

分 置

JUPITER-III 実験解析(II)

1988年3月



動力炉・核燃料開発事業団
動力炉研究開発本部

この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、限られた関係者だけに配付するものです。従って、その取扱には十分注意を払って下さい。なお、この資料の供覧、複製、転載、引用等には事業団の承認が必要です。また今回の配布目的以外のことには使用しないよう注意して下さい。

This document is not intended for publication. No public reference nor disclosure to the third party should be made without prior written consent of Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

本資料についての問合せは下記に願います。

〒107 東京都港区赤坂 1 - 9 - 13

動力炉・核燃料開発事業団

技術管理部 技術情報室

公開資料

PNC TN2410 88-004

1988年3月

JUPITER-III 実験解析(II)

動力炉研究開発本部 炉技術開発Gr

JUPITER サブワーキングGr*

要旨

昨年度1月より実験が開始されたJUPITER-III計画は、予定通り1年間の実験期間を終了した。昨年度は実験計画の検討、関連データの整理等を行なったが、本年度はこれに引き続き、実験データの解析を主とした研究作業を実施し、以下のような成果を得た。

- (1) ZPPR-18の実験予備解析を行ない、実験内容の検討を行なった。この結果、ZPPR-18の実験立案にその成果を反映することができた。
- (2) ZPPR-17A, 17B, 17Cの臨界性評価を行なった。ZPPR-17AのC/E値は、1.0003となり、均質炉心ZPPR-9のC/E値0.9995とほぼ一致した。
- (3) ZPPR-17A, 17Bの β_{eff} 評価を行なった。当ワーキング・グループの β_{eff} はANLよりも3%高目の値となり、JUPITER-I, IIと同様の系統性を示した。
- (4) ZPPR-17A, 17Bの制御棒解析を行なった。ZPPR-17Aの中心制御棒解析の結果、CRPに対する制御棒ワースのC/B値は、

プレートタイプ制御棒 0.871 ~ 0.899

ピンタイプ制御棒 0.883 ~ 0.890

* 白方敬章、山本敏久(動力炉研究開発本部 炉技術開発Gr)

中島文明、三田敏男(同上、ANL-Idaho 駐在)

早瀬 保(日立製作所)、川島正俊(日本原子力事業團)、河北孝司(三菱原子力工業團)

貝瀬與一郎(高速炉エンジニアリング團、62.10.31まで、62.11.1から三菱原子力工業團)

白川正広(富士電機團)、日比宏基(高速炉エンジニアリング團 62.11.1から)

齊藤正幸(センチュリーリサーチセンター團)

となった。また、JUPITER-I, IIの場合と同様、炉心周辺部で計算値が過大評価する C/E値の径方向依存性が見られた。

- (5) ZPPR-17Aの広領域ボイド実験およびナトリウムボイド・ドロワーオシレーター実験について実験データの整理・調査を行なった。
- (6) ZPPR-12の臨界性評価を行なった。C/E値は、プレート燃料体系で1.0200であった。一方、中心ピンゾーン体系では、1.0180、周辺ピンゾーン体系では、1.0193となり、ピンプレート体系のC/E値は $(0.2 \pm 0.1)\%$ の違いで一致した。その他、Naボイド、反応率分布についても同様にピンープレート体系におけるC/E値の比較を行った。
- (7) ZPPR-17Aの実験データをサンプルとして、実験データのデータベース化の検討を行なった。
- (8) ZPPR-17Aにおけるマルチドロワー効果を評価した。臨界性に対するマルチドロワー補正は、 $+0.17\% \Delta k/k$ になった。

PNC TN2410 88-004

March 1988

JUPITER-III Experiment Analyses

Reactor Technology Development

Group, Reactor Research and

Development Project

JUPITER Sub-Working Group *

Abstract

The JUPITER-III program, which started in Jan. 1987, successfully ended after one year experimental period without any delay from the original schedule. In the study last year, we mainly proceeded the experimental planning checks and data arrangement. This time studies were done putting an emphasis on the analysis of the experimental data and following conclusions were derived from the studies.

* K. Shirakata, T. Yamamoto(Reactor Technology Development Group, Reactor Research and Development Project), F. Nakashima, T Sanda (PNC Assignee to ANL-Idaho), T. Hayase (Hitachi, Ltd), M. Kawashima (NAIG), T. Kawakita(MAPI), Y. Kaise (FBEC and MAPI), M. Shirakawa (Fuji Electric), K. Hib (FBEC), M. Saito (CRC)

- (1) Pre-analysis for ZPPR-18 was done attempting to check the experimental plan. The result was actually reflected to the experiments for ZPPR-18 successfully.
- (2) Analysis of criticality for ZPPR-17A, 17B and 17C was done. The C/E value 1.0003 for ZPPR-17A comes to be almost the same value as that for ZPPR-9, which is 0.9995.
- (3) β_{eff} evaluation was made for ZPPR-17A and ZPPR-17B. The value obtained in this study is higher by 3 % than that of ANL, which shows the same tendency as found in the JUPITER-I and II analyses.
- (4) Control rod calculations were done for ZPPR-17A and 17B. The following C/E values were obtained as a result.

Plate type control rod 0.871 ~ 0.899

Pin type control rod 0.883 ~ 0.890

- (5) Experimental data arrangement was done for large zone sodium void experiments and for sodium void drawer oscillating experiments.
- (6) Criticality analysis for ZPPR-12 was performed for the pin cores and the plate Cores. The C/E value for central and edge pin zone cores agreed with those for the plate cores as shown bellow.

Central pin 1.018

Edge pin 1.019

Plate cores 1.020

- (7) An attempt was made for building a data base system for the JUPITER programs, using the ZPPR-17A experimental data as an test example.
- (8) Multidrawer effect was evaluated for ZPPR-17A. The effect on criticality is $+0.17\Delta k/k$.

目 次

要 旨	(i)
Abstract	(iii)
目 次	(v)
List of Tables	(vii)
List of Figures	(X viii)
1. 緒 言	1
2. J U P I T E R - III 実験計画の立案	2
2.1 Z P P R - 18 の実験計画	2
2.2 Z P P R - 18 の予備解析	32
3. 大型炉心設計解析手法の検討	47
3.1 概 要	47
3.2 J U P I T E R - III 解析手法の概要	47
3.3 解析手法改良の必要性	48
3.4 解析手法の検討結果	49
4. J U P I T E R - III 実験解析	60
4.1 臨界性	60
4.2 β_{eff} の評価	107
4.3 制御棒価値	109
4.4 Naボイド反応度	147
5. Z P P R - 12, 12MB の実験解析	158
5.1 Z P P R - 12 解析の目的と狙い	158
5.2 Z P P R - 12 実験の概要	163
5.3 実験解析結果	180

6. 実験・解析データ集の作成とデータベース化の検討	276
6.1 実験データ集の作成	276
6.2 解析データ集の作成	279
6.3 データベース化の検討	280
7. 結 言	308
8. 参考文献	309
付 錄 A. Z P P R - 9におけるストレッチモデル妥当性評価	312
付 錄 B. SLAROM入力リスト	317
付 錄 C. AMM補正計算	323
付 錄 D. J U P I T E R実験解析における β_{eff} の評価方法	336

List of Tables

- Table 2.1-1 ZPPR-18 Atom Densities for Drawer Types (atoms/barn-cm)
- Table 2.1-2 Rod pattern in ZPPR-18 rod worth measurement
- Table 2.1-3 The number of foils in ZPPR-18A measurements
- Table 2.1-4 The number of foils in ZPPR-18A measurements
- Table 2.2-1 ZPPR-18 Preliminary Analysis
- Table 2.2-2 ZPPR-18A Number Density
- Table 2.2-3 Number Density of DUM
- Table 3.2-1 Summary of Method in JUPITER-III Analysis
- Table 3.2-2 Computer Codes Used in Calculations and Their Functions
- Table 3.4-1 Transport Effect in ZPPR-17A
- Table 3.4-2 Cell Model Effect on Criticality
- Table 3.4-3 Multi Drawer Effect on Criticality in ZPPR-17A
- Table 4.1.1-1 Fission Chamber Locations in ZPPR-17A, 17B and 17C
- Table 4.1.1-2 Drawer Loading Summary for the ZPPR-17A Critical Reference
- Table 4.1.1-3 Drawer Loading Summary for the ZPPR-17B Critical Reference
- Table 4.1.1-4 Drawer Loading Summary for the ZPPR-17C Critical Reference
- Table 4.1.1-5 ZPPR Assembly 17A: Atom Densities in Zone
- Table 4.1.1-6 ZPPR Assembly 17B: Atom Densities in Zone
- Table 4.1.1-7 ZPPR Assembly 17C: Atom Densities in Zone
- Table 4.1.1-8 Mass Summary for Various Regions in the ZPPR-17A Critical Reference
- Table 4.1.1-9 Mass Summary for Various Regions in the ZPPR-17B Critical Reference
- Table 4.1.1-10 Mass Summary for Various Regions in the ZPPR-17C Critical Reference
- Table 4.1.1-11 Core Parameters of ZPPR-17 Assemblies

- Table 4.1.2-1 Eigenvalues in Fundamental Cell Calculations for ZPPR-17 Assemblies
- Table 4.1.2-2 Energy Group Structure for 18-Group and 7-Group Calculations
- Table 4.1.3-1 Summary of Criticality Analysis for ZPPR-17A, 17B-and 17C
- Table 4.1.3-2 Transport Corrections for Different Types of Cores With and Without CRPs and /or CRs
- Table 4.2-1 Delayed Neutron Data Used in JUPITER Analysis
- Table 4.3-1 Summary of Control Rod Worth Experiment in ZPPR-17
- Table 4.3.1-1 Data Processing for Central Control Rods in ZPPR-17A
- Table 4.3.1-2 Control Rod Worths of Radial Rod Bank in ZPPR-17B (Preliminary)
- Table 4.3.1-3 Reactivities for Various Rod Insertions in ZPPR-17B
- Table 4.3.1-4 Reactivity Values for Various Rod Insertions Measured with the Long Drawer Technique
- Table 4.3.3-1 Reference Calculation Results of Central Control Rod Worths in ZPPR-17A (7G, XYZ, AD, RM)
- Table 4.3.3-2 C/E Values of Central Control Rod Worths in ZPPR-17A
- Table 4.3.3-3 Reference Calculation Results of Control Rod Worths of Radial Rod Bank in ZPPR-17B (7B, XYZ, AD, RM)
- Table 4.3.3-4 C/E Values of Control Rod Worths of Radial Rod Bank in ZPPR-17B
- Table 4.4-1 Sodium Voiding Reactivities in ZPPR-17A
- Table 4.4-2 Step Reactivity Worths for Sodium Voiding in ZPPR-17A
- Table 4.4-3 Axial Sodium Worth Profiles, in cents in Core Locations with Internal Blanket in ZPPR-17A
- Table 4.4-4 Axial Sodium Worth Profiles, in cents, in Core Locations without Internal Blanket in ZPPR-17A
- Table 4.4-5 Axial Sodium Worth Profiles, in cent, in Radial Blanket Locations in ZPPR-17A
- Table 4.4-6 Energy Group Structure of JES-3R-J2
- Table 4.4-7 Calculated Sodium Void Worth in ZPPR-17A
- Table 5.2-1 The Contents of ZPPR-12 Experiments

Table 5.2-2	Partial-Length Fuel Drawer Summary of ZPPR-12
Table 5.2-3	Heavy Isotope Mass Summary for the Assembly 12 Critical Reference
Table 5.2-4	Drawer Loading Summary for ZPPR-12 Critical Plate Reference
Table 5.2-5	Summary of ZPPR-12 Experiment
Table 5.3.2-1	Results of Criticality Analysis in ZPPR-12
Table 5.3.2-2	Results of Pin Zone Substitution Worth Analysis in ZPPR-12
Table 5.3.2-3	Pin-Plate Cell Heterogeneous Effect (1)
Table 5.3.2-4	Pin-Plate Cell Heterogeneous Effect (2)
Table 5.3.2-5	Pin-Plate Cell Heterogeneous Effect (3)
Table 5.3.3-1	Na Void Worth in ZPPR-12 Plate Core
Table 5.3.3-2	Na Void Worth Component in ZPPR-12 Plate Core
Table 5.3.3-3	Energy Distribution for Na Void Worth Component in ZPPR-12 Plate Core (Center Zone)
Table 5.3.3-4	Na Void Worth Component in ZPPR-12 Pin Core
Table 5.3.3-5	Na Void Worth Component in ZPPR-12 Pin Core
Table 5.3.4-1	Comparisons of Measured Reaction Rate Distributions along x and Y-axes in the plate reference core of ZPPR-12
Table 5.3.4-2	Comparisons of Measured Reaction Rate Distributions along x and Y-axes in the plate voided core of ZPPR-12
Table 5.3.4-3	Comparisons of Measured Reaction Rate Distributions along x and Y-axes in the plate Enhanced Streaming Core of ZPPR-12
Table 5.3.4-4	Comparisons of Measured Reaction Rate Distributions along x and Y-axes in the Rotated Enhanced Streaming Core of ZPPR-12
Table 5.3.4-5	Comparisons of Measured Reaction Rate Distributions along x and Y-axes in the Center-Pin Zone core of ZPPR-12
Table 5.3.4-6	Reaction Rates Analysis in the Plate Reference Core of ZPPR-12 Comparison of C/E values of Pu239 (n, fission)
Table 5.3.4-7	Reaction Rates Analysis in the Plate Reference Core of ZPPR-12 Comparison of C/E values of U235 (n, fission).....

- Table 5.3.4-8 Reaction Rates Analysis in the Plate Reference Core of ZPPR-12
..... Comparison of C/E values of U238 (n, fission) (Radial Mapping).....
- Table 5.3.4-9 Reaction Rates Analysis in the Plate Reference Core of ZPPR-12
..... Comparison of C/E values of U238 (n, fission) (Axial Traverse)
- Table 5.3.4-10 Reaction Rates Analysis in the Plate Reference Core of ZPPR-12
..... Comparison of C/E values of U238 (n, gamma).....
- Table 5.3.4-11 Reaction Rates Analysis in the Center-Pin Zone Core of ZPPR-12
..... Comparison of C/E Values of Pu239 (n, fission) (Radial Mapping).....
- Table 5.3.4-12 Reaction Rates Analysis in the Center-Pin Zone Core of ZPPR-12
..... Comparison of C/E Values of Pu239 (n, fission) (Axial Traverse)
- Table 5.3.4-13 Reaction Rates Analysis in the Center-Pin Zone Core of ZPPR-12
..... Comparison of C/E Values of U238 (n, fission) (Radial Mapping)
- Table 5.3.4-14 Reaction Rates Analysis in the Center-Pin Zone Core of ZPPR-12
..... Comparison of C/E Values of U238 (n, fission) (Axial Traverse)
- Table 5.3.4-15 Reaction Rates Analysis in the Center-Pin Zone Core of ZPPR-12
..... Comparison of C/E Values U238 (n, gamma)
- Table 5.3.4-16 Reaction Rates Analysis in the Enhanced Streaming Cell Core in ZPPR-12 Comparison of C/E Values of U235 (n, fission).....
- Table 5.3.4-17 Reaction Rates Analysis in the Rotated-Cell Plate Core in ZPPR-12
..... Comparison of C/E Values of U235 (n, fission) (Radial Mapping).....
- Table 5.3.4-18 Reaction Rate Ratios Analysis in the Plate Reference Core of ZPPR-12 Comparison of C/E values of U235 (n, fission)
/ Pu239 (n, fission) in the core region

Table 5.3.4-19 Reaction Rate Ratios Analysis in the Plate Reference Core of
ZPPR-12 Comparison of C/E values of U238 (n, fission)
/ Pu239 (n, fission) in the core region

Table 5.3.4-20 Reaction Rate Ratios Analysis in the Plate Reference Core of
ZPPR-12 Comparison of C/E values of U238 (n, gamma) /
Pu239 (n, fission) in the core region

Table 5.3.4-21 Reaction Rate Ratios Analysis in the Center-Pin Zone Core of
ZPPR-12 Comparison of C/E values of U235 (n, fission)
/ Pu239 (n, fission).....

Table 5.3.4-22 Reaction Rate Ratios Analysis in the Center-Pin Zone Core of
ZPPR-12 Comparison of C/E values of U238 (n, fission)
/ Pu239 (n, fission).....

Table 5.3.4-23 Reaction Rate Ratios Analysis in the Center-Pin Zone Core of
ZPPR-12 Comparison of C/E values of U238 (n, gamma)
/ Pu239 (n, fission).....

Table 6.3.2-1 Data Volume in ZPPR-17

List of Figures

- Fig. 2.1-1 ZPPR-18 Core configurations
- Fig. 2.1-2 Plate loading pattern in ZPPR-18
- Fig. 2.1-3 Loading Pattern for DUF Drawers in ZPPR-18
- Fig. 2.1-4 Loading Pattern for DUF Drawers in ZPPR-18
- Fig. 2.1-5 Loading Pattern for Drawers with two column of Plutonium Fuel in ZPPR-18
- Fig. 2.1-6 Loading Pattern for Oxide Radial Blanket Drawers in ZPPR-18
- Fig. 2.1-7 Interface Diagram Showing Zone Boundaries in ZPPR-18
- Fig. 2.1-8 Control Rod Locations and Numbering Scheme in ZPPR-18A
- Fig. 2.1-9 Foil Traverse Locations in ZPPR-18A
- Fig. 2.1-10 Foil Traverse Locations in ZPPR-18A ($Z=+2''$)
- Fig. 2.1-11 Foil Traverse Locations in ZPPR-18A ($Z=+11''$)
- Fig. 2.1-12 Foil Traverse Locations in ZPPR-18A (Axial)
- Fig. 2.1-13 Foil Traverse Locations in ZPPR-18B
- Fig. 2.1-14 Foil Traverse Locations in ZPPR-18 (Z=-11'')
- Fig. 2.1-15 Traverse Locations in ZPPR-18B ($Z=-2''$)
- Fig. 2.1-16 Foil Traverse Locations in ZPPR-18B ($Z=+2''$)
- Fig. 2.1-17 Foil Traverse Locations in ZPPR-18B ($Z=+11''$)
- Fig. 2.1-18 Foil Traverse Locations in ZPPR-18B (Axial)
- Fig. 2.1-19 Cell Factor Measurement Locations in ZPPR-18B
- Fig. 2.1-20 TLD Locations in ZPPR-18A
- Fig. 2.1-21 TLD Locations in ZPPR-18B
- Fig. 2.2-1 Calculation Flow of ZPPR-18 Preliminary Analysis
- Fig. 2.2-2 Calculation Model for ZPPR-18 Preliminary Analysis
- Fig. 2.2-3 DUF/DUM Ratio in ZPPR-18 (1)
- Fig. 2.2-4 DUF/DUM Ratio in ZPPR-18 (2)
- Fig. 2.2-5 Calculation Model of ZPPR-18
- Fig. 2.2-6 Unit Cell Pattern of ZPPR-18

- Fig. 2.2-7 Radial Power Distribution in ZPPR-18A
Fig. 2.2-8 Neutron Spectron in ZPPR-18A
- Fig. 3.2-1 General Flow for JUPITER-III Analysis
Fig. 3.4-1 ZPPR-17A RZ Calculation Model for Multi Drawer Effect
Fig. 3.4-2 XYZ Calculational Model (XY Cross Section) for Multi Drawer Effect
- Fig. 4.1.1-1 Interface Diagram for the ZPPR-17A Reference Configurations
Fig. 4.1.1-2 Interface Diagram for the ZPPR-17B Reference Configurations
Fig. 4.1.1-3 Interface Diagram for the ZPPR-17C Reference Configurations
Fig. 4.1.2-1 RZ Calculational Model for ZPPR-17A
Fig. 4.1.2-2 RZ Calculational Model for ZPPR-17B
Fig. 4.1.2-3 RZ Calculational Model for ZPPR-17C
Fig. 4.1.2-4 XYZ Calculational Model (XY Cross Section) for ZPPR-17A
Fig. 4.1.2-5 XYZ Calculational Model (XY Cross Section) for ZPPR-17B
Fig. 4.1.2-6 XYZ Calculational Model (XY Cross Section) for ZPPR-17C
Fig. 4.1.2-7 Mesh Point Distribution along Z-axis
Fig. 4.3.1-1 Subcritical Reference Configuration in ZPPR-17A
Fig. 4.3.1-2 Positions of Control Rod Drawer in ZPPR-17A
Fig. 4.3.1-3 Loading Pattern for Close-packed Pin Control Rod
Fig. 4.3.1-4 Variation of CR Worth (Relative to CRP) dependent on 10B Average Atomic Density in ZPPR-17A
Fig. 4.3.1-5 Variation of CR Worth (Relative to CRP) dependent on CR Size in ZPPR-17A
Fig. 4.3.1-6 Subcritical Reference Configuration in ZPPR-17B
Fig. 4.3.1-7 Positions of Control Rod Drawer in ZPPR-17B
Fig. 4.3.1-8 Schematic View of Axial Control Rod Position
Fig. 4.3.1-9 Critical Reference Configuration in ZPPR-17B
Fig. 4.3.1-10 Comparison of Axial Worth Profile of B₄C in ZPPR-17B

- Fig. 4.3.2-1 Flow of Control Rod Worth Analysis
- Fig. 4.3.2-2 XYZ Calculational Model (XY Cross Section) for ZPPR-17A
Subcritical Core
- Fig. 4.3.2-3 RZ Calculational Model for ZPPR-17A Subcritical Core
- Fig. 4.3.2-4 XYZ Calculational Model (XY Cross Section) for ZPPR-17B
Subcritical Core
- Fig. 4.3.2-5 RZ Calculational Model for ZPPR-17B Subcritical Core
- Fig. 4.3.2-6 Calculation Model of Closed-packed Pin Control Rod
- Fig. 4.3.2-7 RZ Calculational Model for Nuclear Constant Collapse
- Fig. 4.3.3-1 C/E Value Variation of CR Worth (Relative to Fuel) dependent on
 ^{10}B Average Atomic Number Density of CR in ZPPR-17A
- Fig. 4.3.3-2 Correction Factor Variation of CR Worth Dependent on ^{10}B Average
Atomic Number Density of CR in ZPPR-17A
- Fig. 4.3.3-3 C/E Value Variation of CR Worth (Relative to Fuel) dependent on
CR Size in ZPPR-17A
- Fig. 4.3.3-4 Correction Factor Variation of CR Worth dependent on CR Size in
ZPPR-17A
- Fig. 4.3.3-5 Radial Variation of C/E Value of CR Worth (Relative to CRP) in
ZPPR-17B
- Fig. 4.4-1 Locations of Sodium Void Worth Measurements in ZPPR-17A (1)
- Fig. 4.4-2 Locations of Sodium Void Worth Measurements in ZPPR-17A (2)
- Fig. 4.4-3 Reactivity versus Sodium column Displacement for Various
Locations in ZPPR-17A
- Fig. 5.1-1 Description of Power Reactor Subassembly
- Fig. 5.1-2 Plate Cell Designs in ZPPR-12
- Fig. 5.2-1 ZPPR-12 Configuration
- Fig. 5.2-2 ZPPR-12 Axial Core Displacement
- Fig. 5.2-3 ZPPR Fuel and Blanket Cells
- Fig. 5.2-4 R-Z Model of ZPPR-12 Critical Reference

- Fig. 5.2-5 ZPPR-12 Plate Reference
Fig. 5.2-6 ZPPR-12 Na Voided Reference
Fig. 5.2-7 ZPPR-12 Enhanced Streaming Reference
Fig. 5.2-8 ZPPR-12 Rotated Drawer Configuration
Fig. 5.2-9 ZPPR-12 Edge Pin Zone Configuration
Fig. 5.2-10 ZPPR-12 Central Pin Zone Configuration

Fig. 5.3.1-1 ZPPR-12 Configuration
Fig. 5.3.1-2 R-Z Model of ZPPR-12 Critical Reference
Fig. 5.3.1-3 ZPPR-12 Axial Core Displacement
Fig. 5.3.1-4 ZPPR Fuel and Blanket Cells in ZPPR-12
Fig. 5.3.1-5 Calculation Schemes in the Plate Core Analysis
Fig. 5.3.1-6 Definition of Unit Cell
Fig. 5.3.1-7 Unit Cell Calculation Model
Fig. 5.3.1-8 Unit Pin Calculation Model
Fig. 5.3.1-9 Subassembly Calculation Model

Fig. 5.3.2-1 Calculation Model (XYZ) of the ZPPR-12 Critical Reference
Fig. 5.3.2-2 RZ Model of ZPPR-12 Critical Reference
Fig. 5.3.2-3 ZPPR-12 Enhanced Streaming Reference
Fig. 5.3.2-4 ZPPR-12 Cell Rearrangement Zones
Fig. 5.3.2-5 Calculation Model (XYZ) of Enhanced Streaminig Configuration
Fig. 5.3.2-6 ZPPR-12 Rotated Drawer Configuration
Fig. 5.3.2-7 ZPPR-12 Drawer Rotation Zones
Fig. 5.3.2-8 Calculation Model (XYZ) of Rotated Drawer Configuration
Fig. 5.3.2-9 ZPPR-12 Na Voided Reference
Fig. 5.3.2-10 ZPPR-12 Central Pin Zone Configuration
Fig. 5.3.2-11 ZPPR-12 Edge Pin Zone Configuration
Fig. 5.3.2-12 RZ Model of ZPPR-12 Critical Reference Pin Zone
Fig. 5.3.2-13 Component-wise Contributions to Reactivity Change due to
Difference in Cross Section Homogenization in Plate Cell
(ZPPR-12)

- Fig. 5.3.2-14 Component-wise Contributions to Reactivity Change due to Pin-Plate Cell Cross Section Differences in Plate Cell (ZPPR-12)
- Fig. 5.3.3-1 ZPPR-12 Na Voiding Zones
- Fig. 5.3.3-2 ZPPR-12 Plate Core Voiding Sequence
- Fig. 5.3.3-3 Comparison of Flux Spectra
- Fig. 5.3.3-4 Comparison of Adjoint Spectra
- Fig. 5.3.3-5 Na Void Worth Component in ZPPR-12 Plate Core
- Fig. 5.3.3-6 ZPPR-12 Central Pin Zone Configuration
- Fig. 5.3.3-7 ZPR Pin Calandria
- Fig. 5.3.3-8 ZPPR-12 Central Pin Zone Voiding Sequence
- Fig. 5.3.3-9 Comparison of Na Void Worth Component between Pin and Plate Core
- Fig. 5.3.4-1 Side view cross section of drawer showing irradiation foil locations
- Fig. 5.3.4-2 Cross section of drawer showing typical averaging and point foil locations (view from front of drawer)
- Fig. 5.3.4-3 Location of Foils in Holders Loaded the Top of Drawers or Calandrias
- Fig. 5.3.4-4 Foil Location Number in Pin cell
- Fig. 6.3.1-1 Concept of Data-Base System for JUPITER
- Fig. 6.3.2-1 Example of Drawer Master in ZPPR-12 (DM101 SCF without IB)
- Fig. 6.3.2-2 Example of Loading Map in ZPPR-17A
- Fig. 6.3.2-3 Subcritical Reference Configuration in ZPPR-17A
- Fig. 6.3.2-4 Example of ADEN Input Data in ZPPR-17A
- Fig. 6.3.2-5 General Flow for Volume Average Atomic Density Production
- Fig. 6.3.2-6 Flow of AMM Calculation
- Fig. 6.3.3-1 Example of Relational Data-Base
- Fig. 6.3.3-2 Sample Output for Search System of Relational Data-Base
- Fig. 6.3.4-1 Loading Map in ZPPR-17A (Subcritical Reference)
- Fig. 6.3.4-2 Data Format in Loading Map Data

Fig. 6.3.4-3 Block Division Model for ZPPR Drawer

Fig. 6.3.4-4 Sample Division for Drawer Master in ZPPR-17A

Fig. 6.3.4-5 Basic Figure of JUPITER Data-Base (Experimental Data Bank)

1. 緒 言

動燃と米国エネルギー省の共同研究である大型高速炉物理実験 JUPITER-III 計画は、昭和61年11月より1年間の実験を予定通り終了し、昨年度に続き、動力炉研究開発本部とアルゴンヌ国立研究所において実験解析が進行中である。実験計画は大別して① 電気出力65万キロワット相当の軸方向非均質炉心の模擬実験である ZPPR-17シリーズ (17A, 17B, 17C) ② 電気出力 100万キロワット相当の均質炉心の模擬実験である ZPPR-18シリーズ (18A, 18B, 18C), の2つのシリーズに分けることができる。このうちZPPR-17シリーズの実験結果の後処理作業がZPPRにおいて進行中であり、そのうちの一部のデータ入手が完了している。

ZPPR-17シリーズでは、軸方向非均質炉心の核特性上の特徴である軸方向出力分布平坦化、制御棒ストローク曲線の平坦化、等を詳細に検討するために、制御棒全引抜時および制御棒半挿入時の反応率分布や、中心制御棒のS字曲線の測定が行なわれた。この他、ドロワー・オシレーターを用いたNaボイド反応度のマッピング実験や、径方向／軸方向に振動を与える特殊なドロワーを用いたポーイング模擬実験／軸方向熱膨張模擬実験のように新しく開発された実験器具を用いた測定も行なわれた。

ZPPR-18シリーズは、ZPPRで通常用いられている核分裂性Pu約2.4 tに加えてU-235 約1 tを用いた臨界実験史上最大級の実験になった。このシリーズでは制御棒中途挿入状態だけではなく、ワン・ロッドスタックを模擬した実験を行なわれ、反応率分布が測定されている (ZPPR-18C)。

JUPITER-III 計画は、合計4年（内実験2年）の計画であるが、実験と並行して昨年度から、実験計画立案、実験解析を目的とする JUPITER-III 実験解析が行なわれており、昨年度は実験計画立案、ZPPR-17A の臨界性評価が行なわれた。本報告書では、昨年度に引き続いて本年度1年間に行なわれた実験解析作業の成果について報告する。

2. JUPITER-III実験計画の立案

2.1 ZPPR-18の実験計画

JUPITER-III計画のうち、軸方向非均質炉心模擬実験（ZPPR-17シリーズ）は、昭和62年1月に実験が開始され、同年8月までにZPPR-17A, -17B, 17Cの3体系での実験が行なわれた。引き続き、8月下旬から12月下旬までの4ヶ月間、大型均質炉心模擬実験（ZPPR-18シリーズ）がZPPR-18A, -18B, -18Cの3体系において実施された。昭和62年12月末には、ほぼ1ヶ月に亘るJUPITER-III実験を予定どおり終了した。

ZPPR-18の実験計画については、実証炉炉心設計側からの要求内容を受けて、日本においてサブ・ワーキング・グループ形式で実験計画を立案し、これをPNCの在ANL駐在員を通じてANL側へ伝えた。ANLでは、日本の実験計画案に基づき、試験装置の制約、試験手順等を考慮して計画案を作成し、これを日本側に提示して最終計画案としてまとめた。

本節ではこうして決定された最終計画案を示す。以下に、昭和63年3月現在、詳細最終計画がANLより入手されている臨界試験、制御棒価値及び反応率分布について示す。

2.1.1 臨界試験

ZPPR-18試験は、Fig. 2.1-1に示すとおり、18A, 18B, 18Cの3体系で実施された。

ZPPR-18に使用されたドロワのセルパターンをFig. 2.1-2~6 に示す。また、炉心配置を Fig. 2.1-7 に、炉心の原子数密度を Table 2.1-1に示す。

ZPPR-18の内側炉心は、DUMとDUFの2種類のSCF (Single Column Fuel) 及びDCF (Double Column Fuel) で構成されている。外側炉心はプルトニウムセクタ部とウランセクタ部に分かれ、プルトニウムセクタ部はDUF (SCF) とDCFで構成され、ウランセクタ部は、1/8インチ濃縮ウランプレート1枚が組み入れられたUSCと、同ウランプレート2枚が組み入れられたUDCとで構成されている。これらの各ドロワの存在比は、臨界性、炉心各部出力分担等を考慮して、実証炉を模擬する様に決定されている。

2.1.2 制御棒反応価値

(1) 実験計画の前提条件

- ① 実験期間は2週間とする。
- ② C/Rワースの測定は、4パターン／1日とする。
- ③ 天然B₄C最大使用量

1 CR 2×3 ドロワとして

50%* B₄C ドロワ CR18本分

100%* B₄C ドロワ CR 9本分

(* ドロワ内B₄C体積比)

(2) 実験内容

Z P P R-18AでのCRパターンを Table 2.1-2に示す。

この測定パターンの考え方は次のとおりである。

- ① B₄C 在庫量の制約から基本的にはCRワースを50%B₄C ドロワのCRについて測定することにした。なお、Z P P R-9の実験結果では、B₄C組成とCRワースとの関係は次のとおりとなっている。

ドロワ本数	天然B ₄ C 体積割合	CRワース
3×3	100 %	3.309 \$
3×3	50 %	2.849 \$
2×3	100 %	2.716 \$
2×2	100 %	2.151 \$

- ② 100%B₄C ドロワと50%B₄C ドロワの差異は、多数本制御棒価値（单一リンク）の3ケースでオーバーラップさせて確認することにした。
- ③ Z P P R-17の例にならい、Z P P R-18AからZ P P R-18Bへの移行時を利用して測定を行うことにした。

- (a) 多数本制御棒価値（単一リング）…… case 1～3, 20, 21, 25, 26
制御棒リング毎に、各リングの6本の価値を測定する。また、このパターンにおいて、50% B_4C ドロワと 100% B_4C ドロワの差を把握する。
- (b) 多数本制御棒価値（複数リング）…… case 14～19, 22～24, 27, 28
2つのリング間の干渉効果を測定する。
- (c) ワン・ロッド・スタック模擬
单一リング及び複数リングでのワン・ロッド・スタック状態の制御棒価値を測定する。
- (d) 単一制御棒価値…… case 4～10
各リング代表の計3本について、各制御棒1本当たりの反応度価値（CRP組成と50% B_4C 全挿入組成の置換反応度価値）を測定する。
18A→18B移行時の制御棒価値…… case 23～case 28 半挿入状態の種々のパターンの価値を測定する。
- (e) 制御棒価値径方向分布
Fig. 2.1-8に示す3×3ドロワの測定位置（A～G, a～g）において、CR (50% B_4C) と燃料との置換反応度を測定する。

2.1.3 反応率分布

(1) 実験計画の前提条件

(a) フォイル枚数

ANLと確認したZPPR-18に使用可能なフォイル枚数は次のとおりである。

^{239}Pu	_____	248枚
^{235}U	_____	700枚
^{238}U	_____	1700枚

(b) 照射回数及び1回当たりのフォイル枚数（最大）

• ZPPR-18A	_____	1回照射
	_____	2回照射
	_____	1回照射
	• 照射枚数	472枚／1回

(c) 実験期間 _____ 約2.5週間

(2) 実験内容

最終計画が把握できているZ P P R -18Aと-18Bについて述べる。

(a) U及びPuの反応率分布

測定体系は、18A (24CRP's。従来のFE体系。), 18B (18half-inserted CR's, 6CRP's。従来のFB2体系。) 及び18C (17half-inserted CR's, 7CRP's。従来のFB3体系。) の3体系である。

尚、Z P P R -18の反応率測定用箱のインペントリは、 ^{239}Pu 248枚、EU 700枚、及びDU 1,700枚であるので、 ^{239}Pu 核分裂反応率測定点は、上記図に示した反応率測定の内から、限定する必要がある。そこで、Puについては、X, Y, Z及びB方向についてのみ使用することとし、全体的な分布は ^{235}U を用いて測定することにする。

使用するファイルの枚数をTable 2.1-3及びTable 2.1-4に示す。また、測定位置をFig. 2.1-9~Fig. 2.1-18に示す。

半径方向の反応率分布は、主として、プルトニウムセクタ方向 (+X), 30°方向 (+A。プルトニウムセクタ側の2ヶのCRPを横断する。), 及び制御棒を引き抜き位置不整合を起こさせるCRPの方向 (+B) を測定する。これらの方向については、炉心中心面から離れた軸方向位置での径方向分布を測定する。

軸方向の分布については、中心軸上と+X軸上の合計5点での分布を測定する。

さらに、-X, -Bの方向について、主測定方向 (+X, 及び+B)との対称性を確認する目的で、数点の測定を行う。

(b) セルファクタ

セルファクタは、Z P P R -18Bにおいて測定する。

測定位置をFig. 2.1-19に示す。

(c) ガンマ線発熱分布

TLDを用いてガンマ線発熱分布を測定する。測定位置はFig. 2.1-20 及びFig. 2.1-21に示すとおりであり、プルトニウムセクタ側の半径方向分布 (CRPのない方向、及びCRPを横切る方向の2方向) 及び内側炉心内軸方向分布である。

Table 2.1-1 ZPPR-18 Atom Densities for Drawer Types (atoms/barn-cm)

Isotope	Single Pu Fuel (DUF)	Single Pu Fuel (DUM)	Double Pu Fuel	Single U Fuel	Double U Fuel	Axial Blanket	Radial Blanked (oxide)
O	0.013745	0.008815	0.015683	0.017100	0.016694	0.008761	0.022635
Na	0.009316	0.009316	0.008789	0.008377	0.008731	0.009306	0.004235
Fe	0.012825	0.009479	0.011102	0.017782	0.013665	0.014778	0.008278
U238	0.005828	0.010678	0.008650	0.007344	0.006583	0.008094	0.013353
U235	—	—	—	0.001131	0.002245	—	—
Pu239	0.000886	0.000886	0.001775	—	—	—	—
Pu240	0.000117	0.000117	0.000235	—	—	—	—
Pu241	0.000007	0.000007	0.000016	—	—	—	—

Table 2.1-2 Rod Pattern in ZPPR-18 Rod Worth Measurement

CRパターン	第一リング	第二リング	第三リング	
case	1 2 3 4 5 6	7 8 9 10 11 12	13 14 15 16 17 18	19 20 21 22 23 24
1	●●●●●●●	○○○○○○○	○○○○○○○	○○○○○○○
2	○○○○○○○	●●●●●●●	○○○○○○○	○○○○○○○
3	○○○○○○○	○○○○○○○	●●●●●●●	●●●●●●●
4	○○○○○○●	○○○○○○○	○○○○○○○	○○○○○○○
5	○○○○○●○	○○○○○○○	○○○○○○○	○○○○○○○
6	○○○○○○○	○○○○○○●	○○○○○○○	○○○○○○○
7	○○○○○○○	○○○○○●○	○○○○○○○	○○○○○○○
8	○○○○○○○	○○○○○○○	○○○○○○○	○○●○○○○
9	○○○○○○○	○○○○○○○	○○○○○○○	○○○○●○○
10	○○○○○○○	○○○○○○○	○○○○○○○	○○○○○○●
11	○○○○○○○	○○○○○○○	○●○○○○○	○●○○○○○
12	○○○○○○○	○○○○○○○	●○○○○○○	●○○○○○○
13	○○○○○○○	○○○○○○○	●●○○○○○	●●○○○○○
14	○○○○○○○	●●○○○○○	●●●○○○○	●●●○○○○
15	○○○○○○○	●●●○○○○	●●●●○○○	●●●●○○○
16	○○○○○○○	●●●●○○○	●●●●●○○	●●●●●○○
17	●●●●●●○○	○○○○○○○	●●●●●●○	●●●●●●○
18	●●●●●●●○	○○○○○○○	●●●●●●●○	●●●●●●●○
19	●●●●●●●○	○○○○○○○	●●●●●●●○	●●●●●●●○
20	●●●●●●●○	○○○○○○○	○○○○○○○○	○○○○○○○○
21	●●●●●●○○	○○○○○○○	○○○○○○○○	○○○○○○○○
22	●●●●●●●○	●●●●●●●○	○○○○○○○○	○○○○○○○○
23	●●●●●●●○	●●●●●●●○	○○○○○○○○	○○○○○○○○
24	●●●●●●●○	●●●●●●●○	○○○○○○○○	○○○○○○○○
25	○○○○○○○	●●●●●●●○	○○○○○○○○	○○○○○○○○
26	○○○○○○○	●●●●●●●○	○○○○○○○○	○○○○○○○○
27	○○○○○○○	○○○○○○○○	●○○○○○○○	○○○○○○○○
28	○○○○○○○	○○○○○○○○	●○○○○○○○	●○○○○○○○

● 100% Natural B₄C

⊗ 50% Natural B₄C 半插入

● 50% Natural B₄C

Table 2.1-2 (continued)

CRパターン	第一リング	第二リング	第三リング			
case	1 2 3 4 5 6	7 8 9 10 11 12	13 14 15 16 17 18	19 20 21 22 23 24		
29	○○○○○○	○○○○○○	○○●○○○	○○○○○○		
30	○○○○○○	○○○○○○	○○●○○○	○○●○○○		
31	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	○○○○○○	○○○○○○	○○○○○○		
32	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	○○○○○○	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	⊗⊗⊗⊗⊗○		
33	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	○○○○○○	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	⊗⊗⊗⊗⊗⊗		
34	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	○○○○○○	○○○○○○	⊗⊗⊗⊗⊗⊗		

● 100% Natural B₄C

⊗ 50% Natural B₄C 半挿入

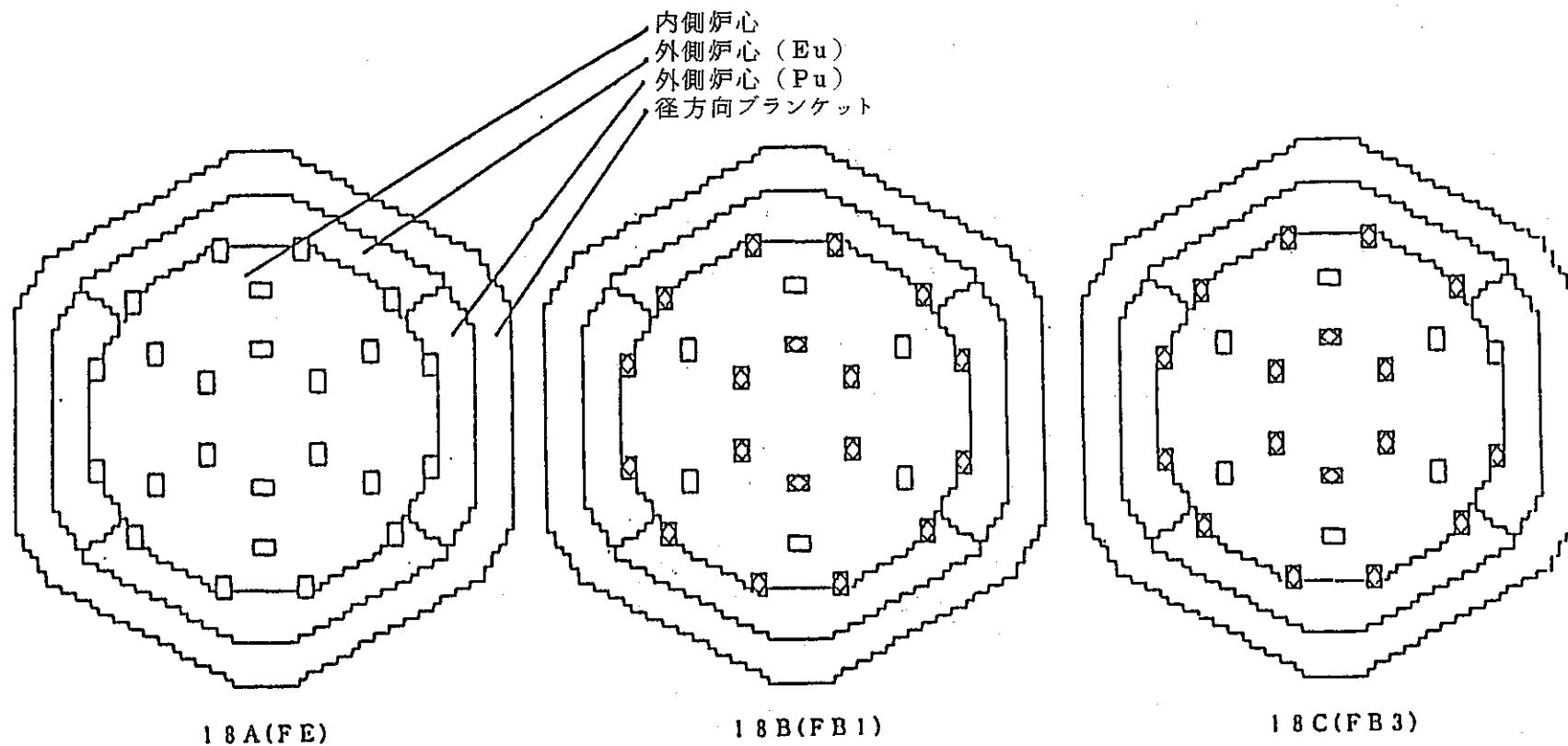
◎ 50% Natural B₄C

Table 2.1-3 The Number of Foils in ZPPR-18A Measurements

	position	U-235	U-238	Pu-239
Z= 2 in	x	3 5	3 4	2 9
	b	3 4	3 4	2 9
	A	1 5	1 5	—
	y	2 6	7	—
	sub total	1 1 0	9 0	5 8
Z= 11 in	x	3 4	2 7	—
	B	3 4	2 2	—
	A	1 5	—	—
	sub total	8 3	4 9	0
Z-direction	Z 1(149,49)	1 6	1 4	1 0
	Z 2(146,57)	1 4	—	—
	Z 3(149,75)	1 6	1 3	—
	sub total	4 6	2 7	1 0
grand total		2 3 9	1 6 6	6 8

Table 2.1-4 The Number of Foils Estimated in ZPPR-18R Measurements

	position	U-235	U-238	Pu-239
Z= 11 in	x	3 4	2 7	1
	B	3 4	2 2	—
	A	1 5	—	—
	sub total	8 3	4 9	1
Z= 2 in	x	3 5	3 4	2 9
	B	3 4	3 4	2 9
	A	1 5	1 5	—
	y	2 6	—	—
	sub total	1 1 0	8 3	5 8
Z= -2 in	x	3 4	2	1
	B	3 4	—	—
	sub total	6 8	2	1
Z=-11 in	x	3 4	2	1
	B	2 5	—	—
	sub total	5 9	2	1
Z-direction	Z 1(249,49)	2 8	2 8	1 8
	Z 2(246,57)	2 8	—	—
	Z 3(249,75)	2 8	2 6	—
	Z 4(249,64)	2 8	—	—
	sub total	1 1 2	5 4	1 8
grand total		4 3 2	1 9 0	7 9



□ : 制御棒全引抜

▨ : 制御棒 50 %挿入

Fig. 2.1-1 ZPPR-18 Core Configurations

JUPITER-III CELLS

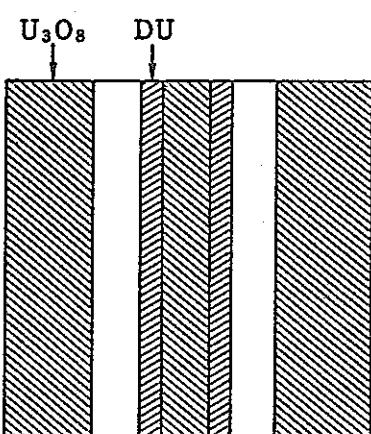
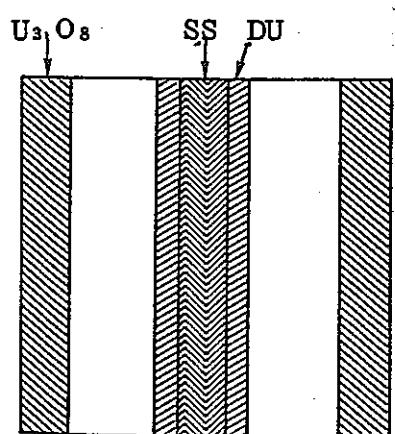
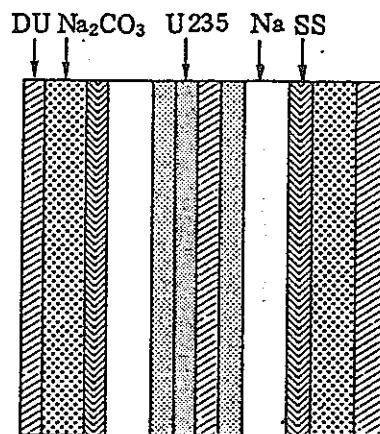
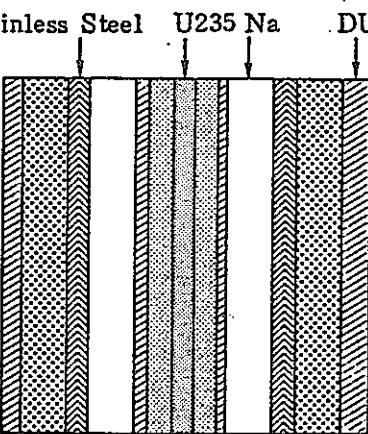
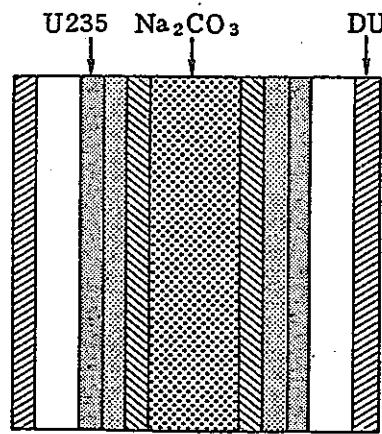
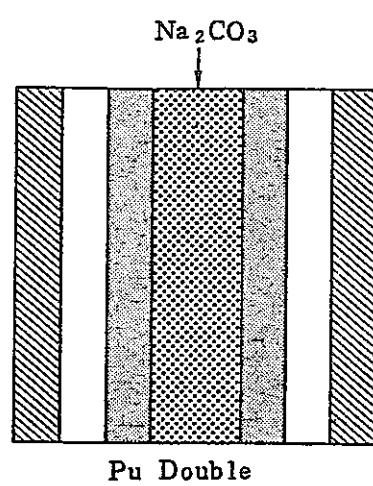
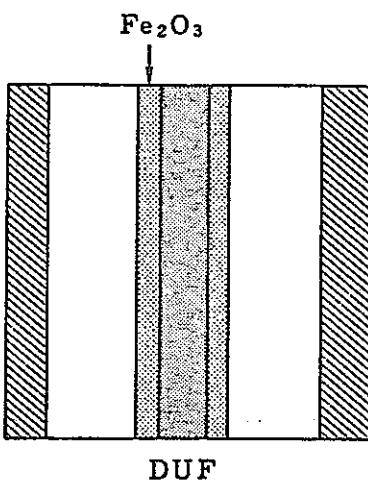
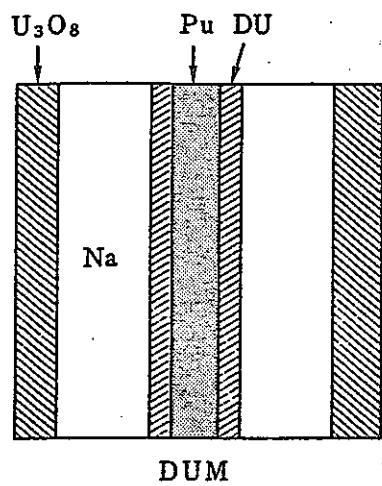


Fig. 2.1-2 Plate loading pattern in ZPPR-18

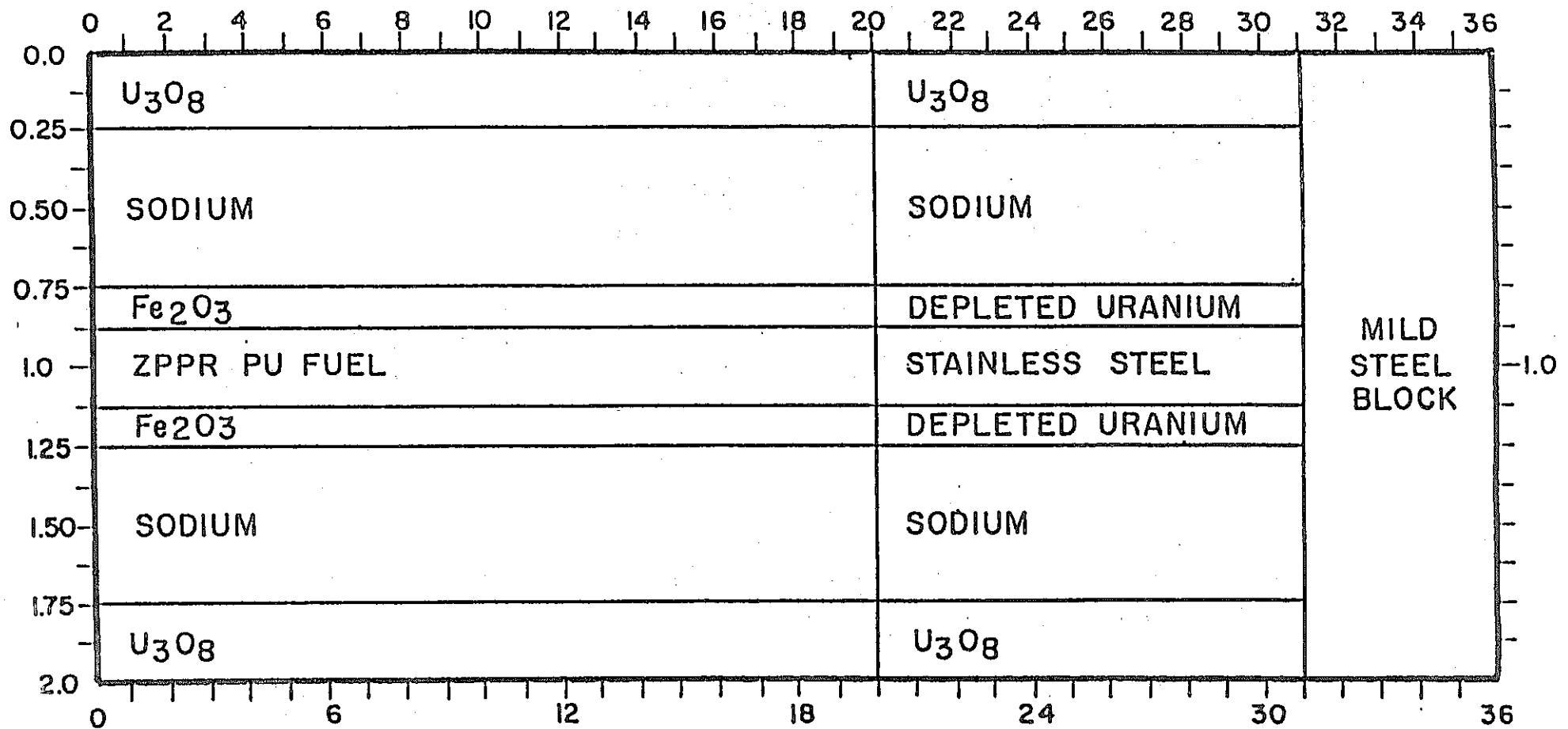


Fig. 2.1-3 Loading Pattern for Drawers in ZPPR-18

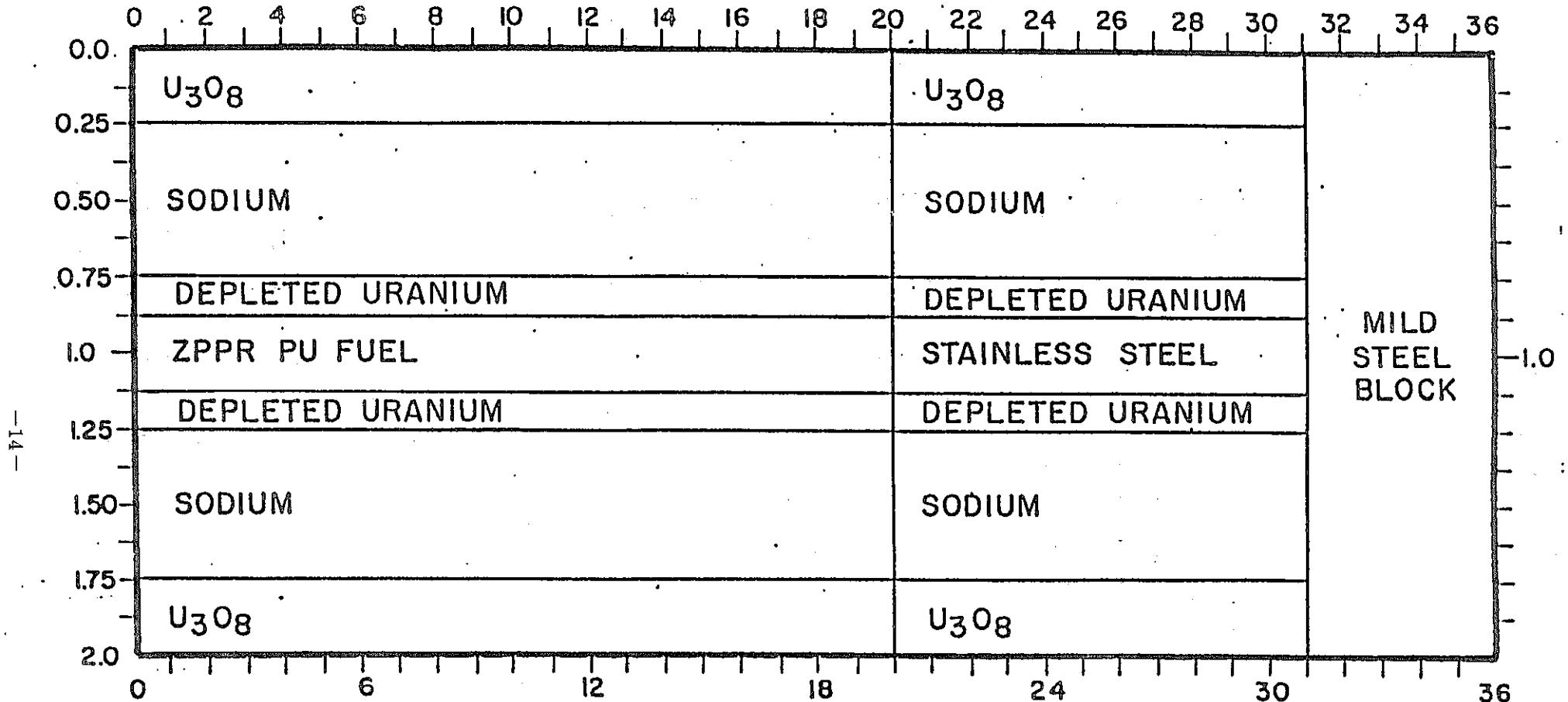


Fig. 2.1-4 Loading Pattern for DUM Drawers in ZPPR-18

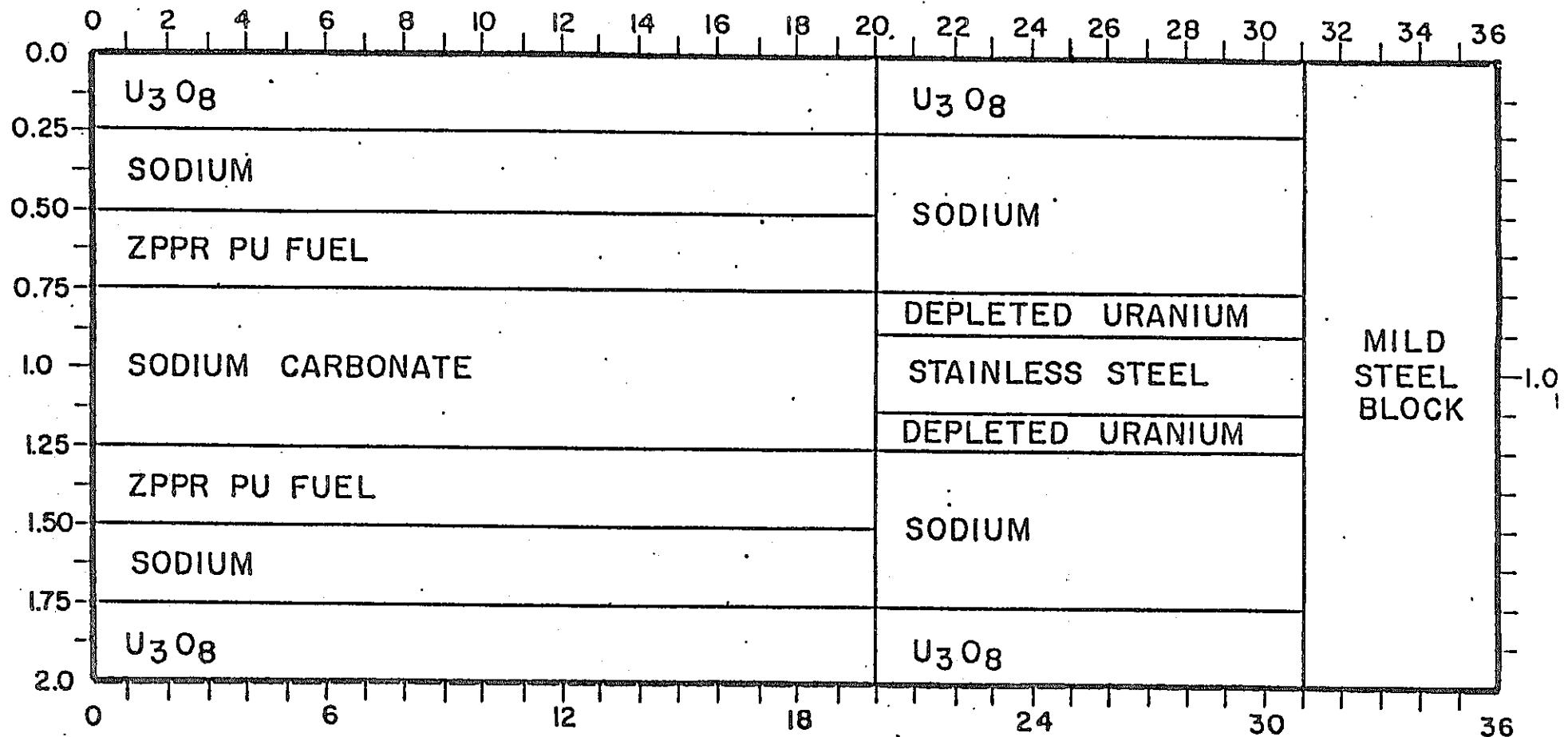


Fig.2.1-5 Loading Pattern for Drawers with Two Columns of Plutonium Fuel in ZPPR-18.

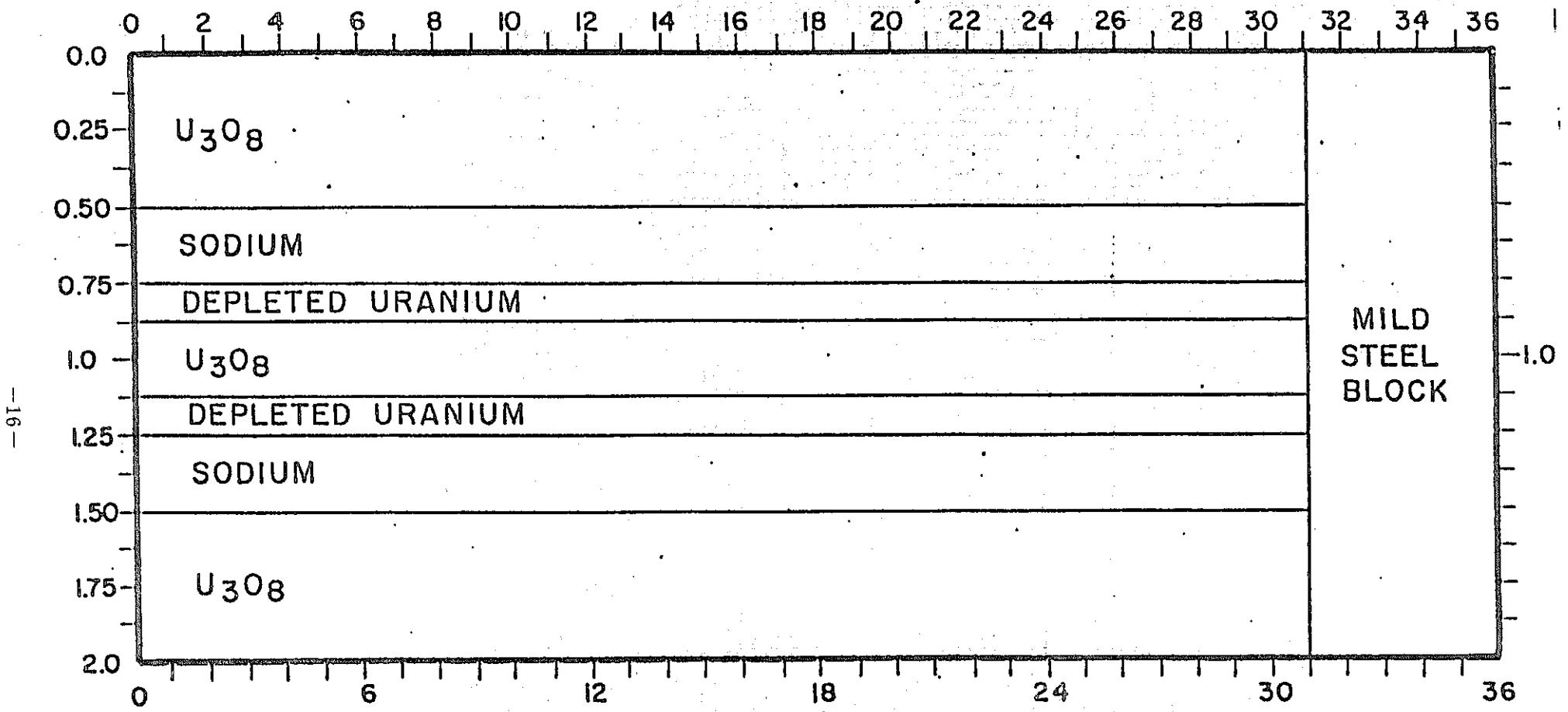


Fig. 2.1-6 Loading Pattern for Oxide Radial Blanket Drawers in ZPPR-18.

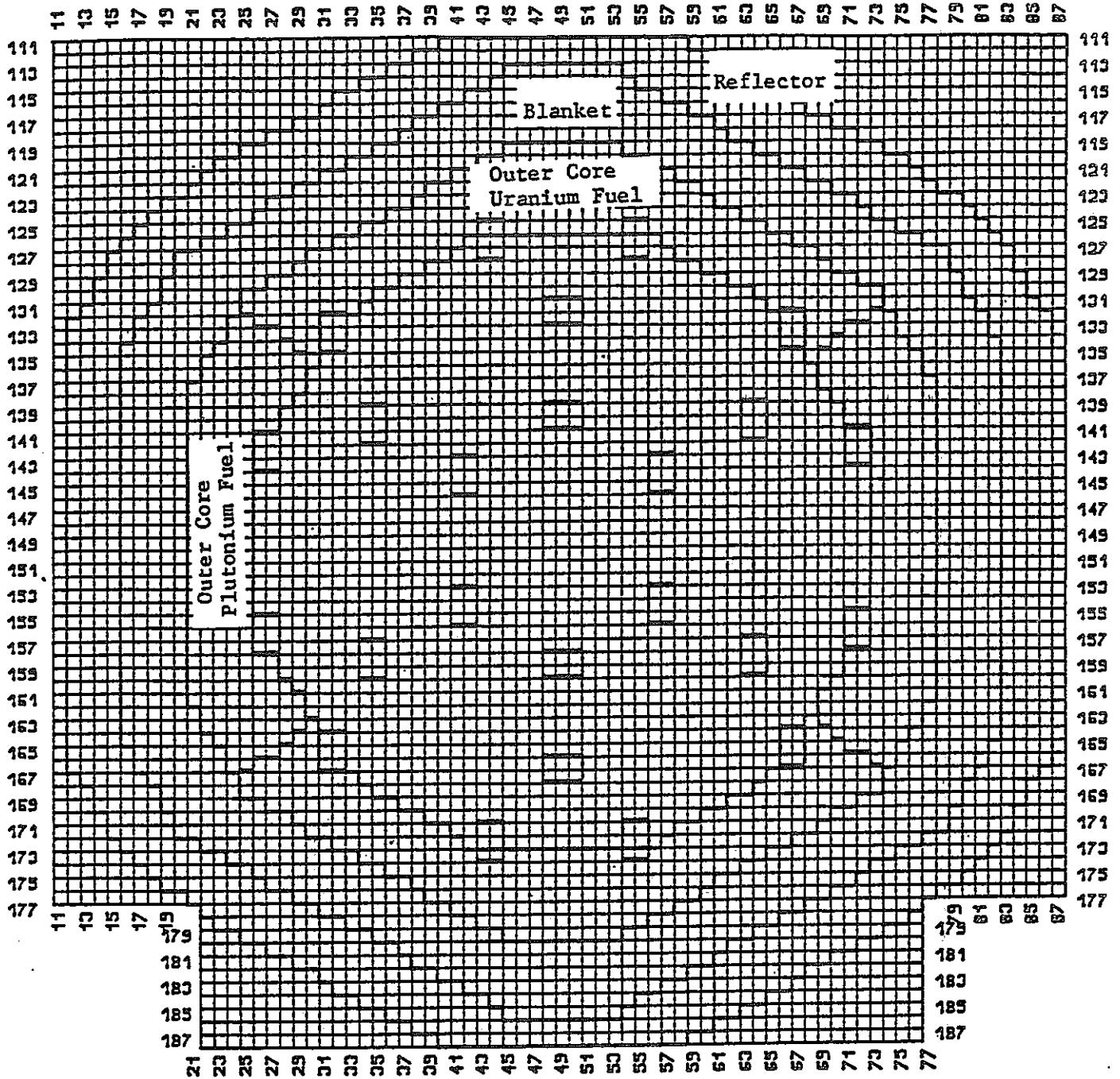


Fig. 2.1-7 Interface Diagram Showing Zone Boundaries in ZPPR-18.

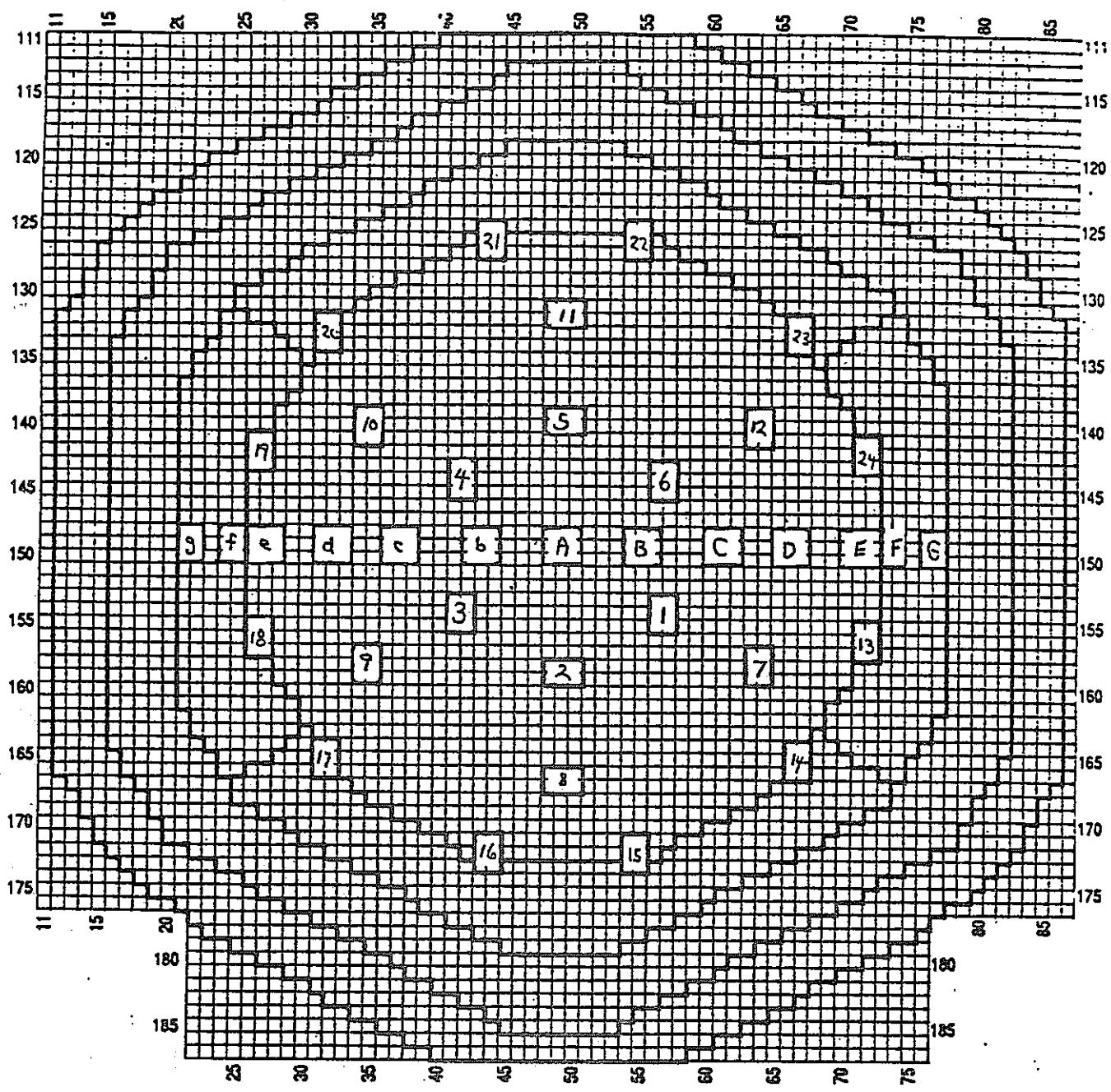


Fig. 2.1-8 Control Rod Locations and Numbering Scheme in ZPPR-18A.

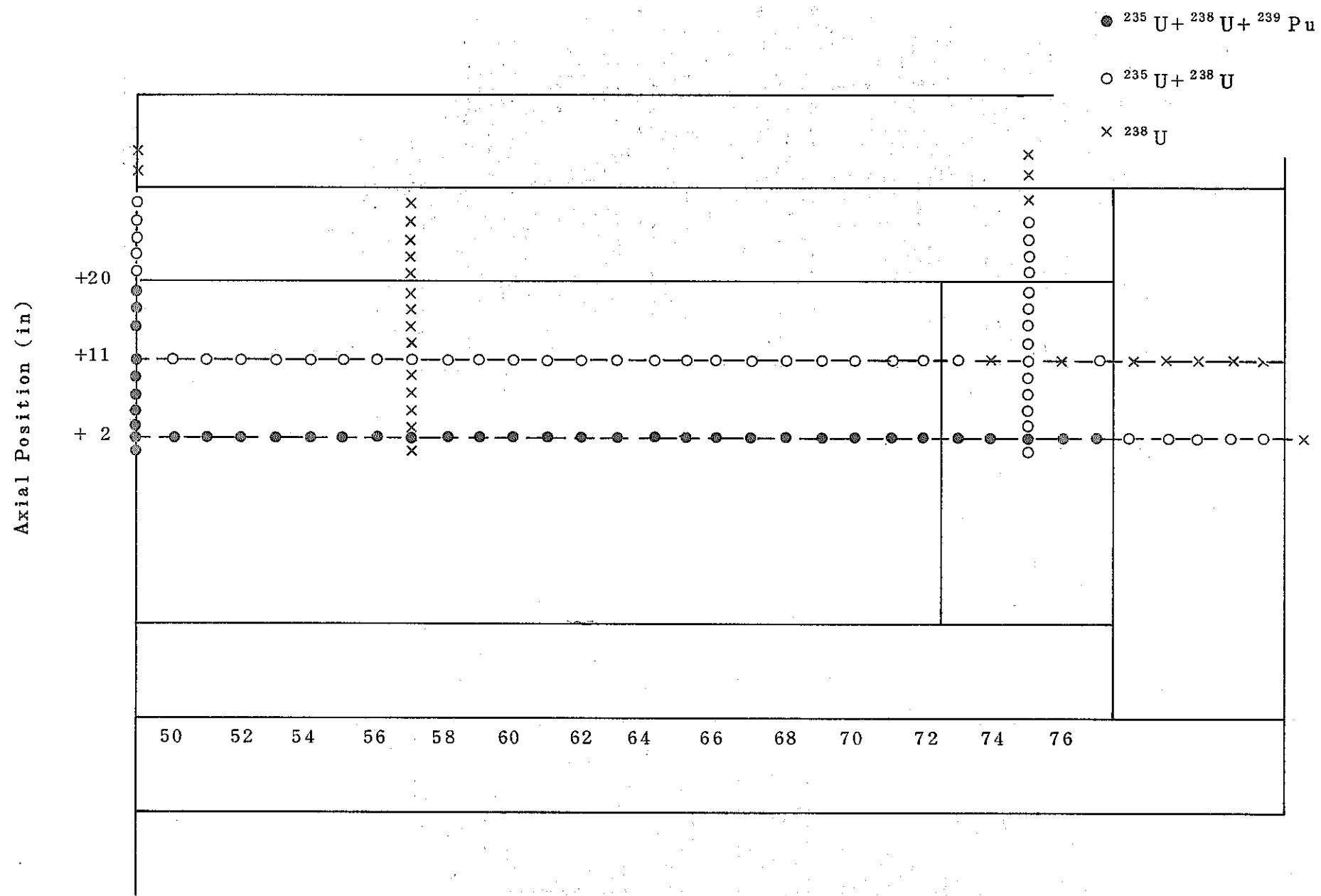
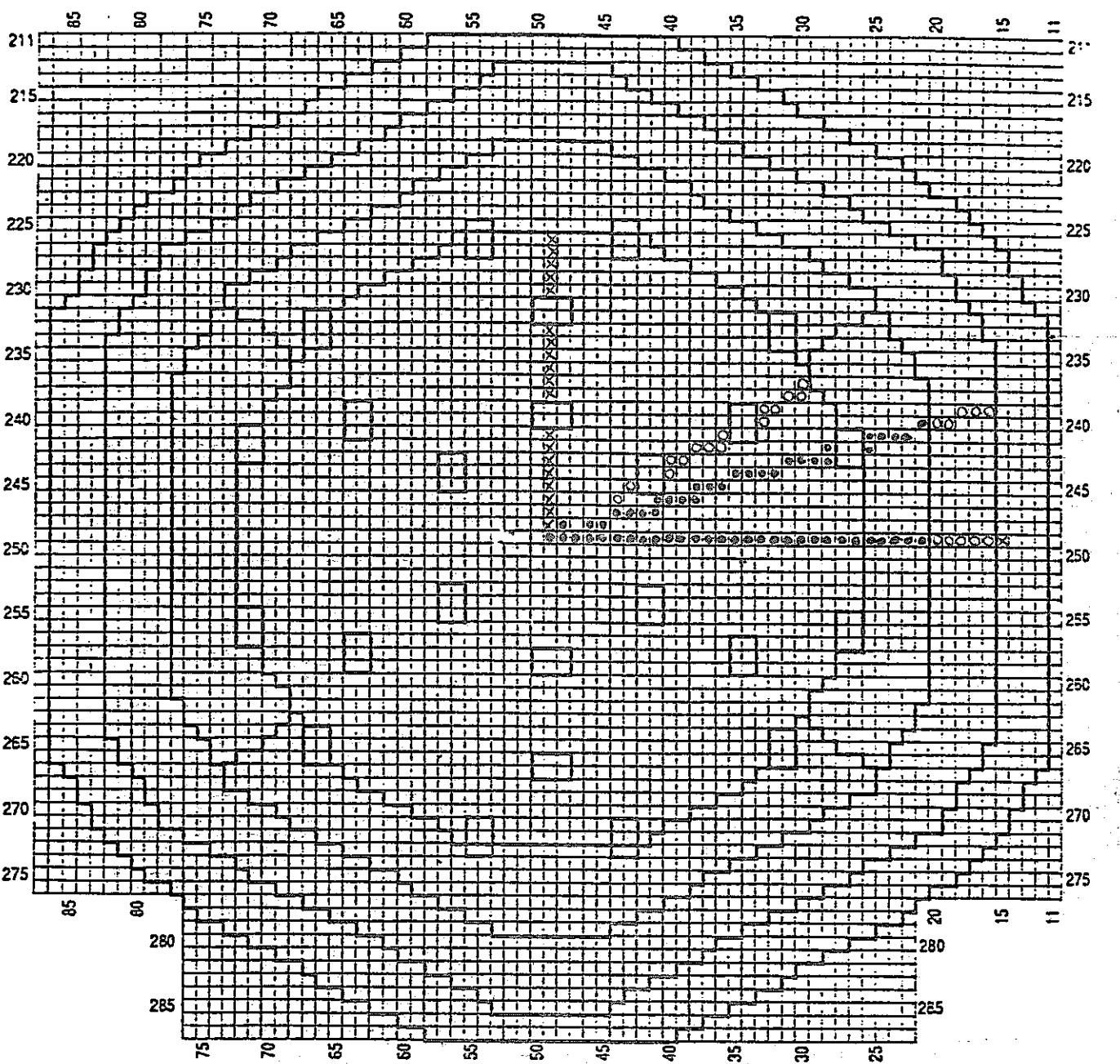


Fig. 2.1 - 9 Foil Traverse Locations in ZPPR-18 A



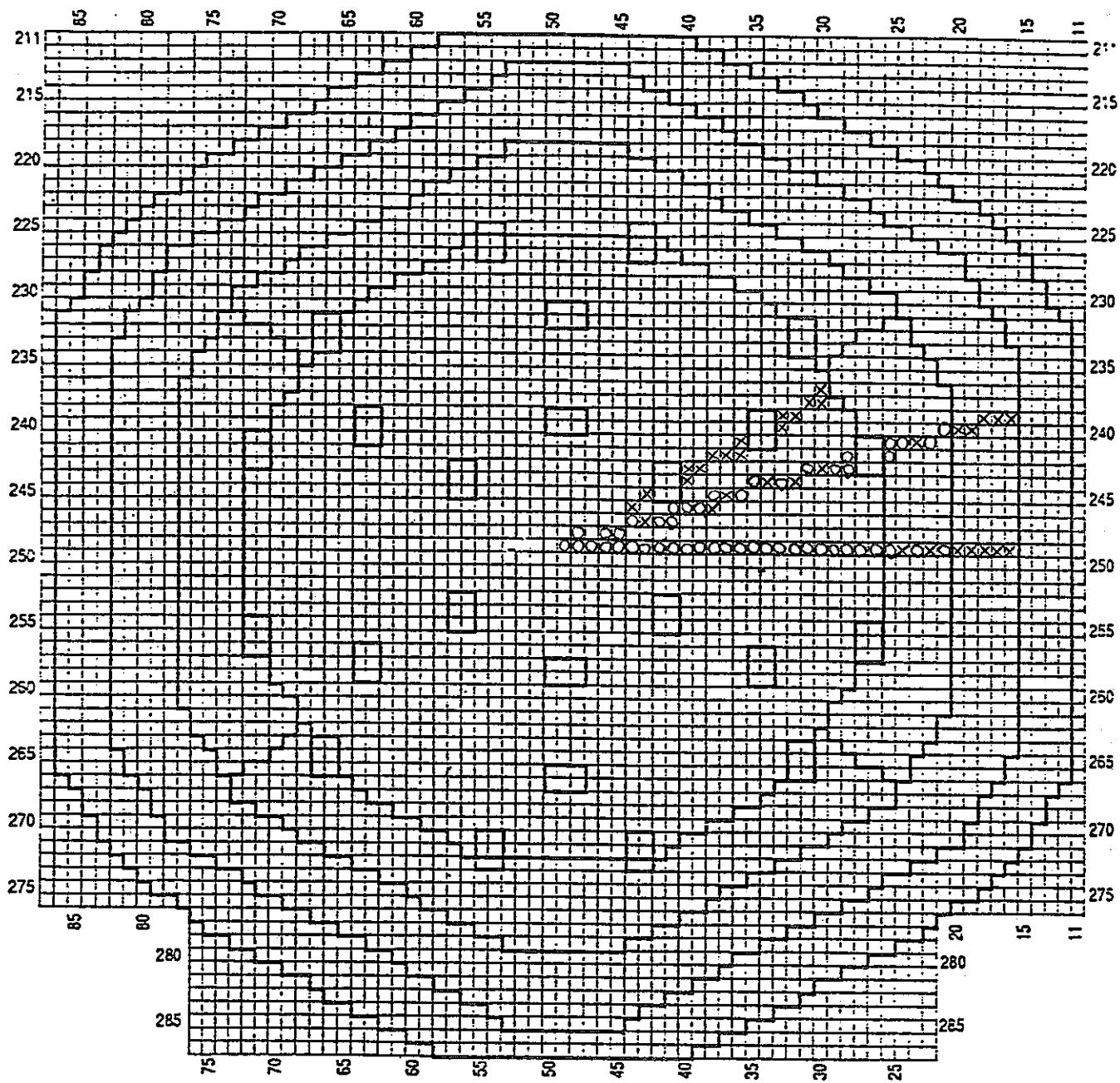
ZPPR18A

X ^{235}U ,

O ^{235}U , ^{238}U

● ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu

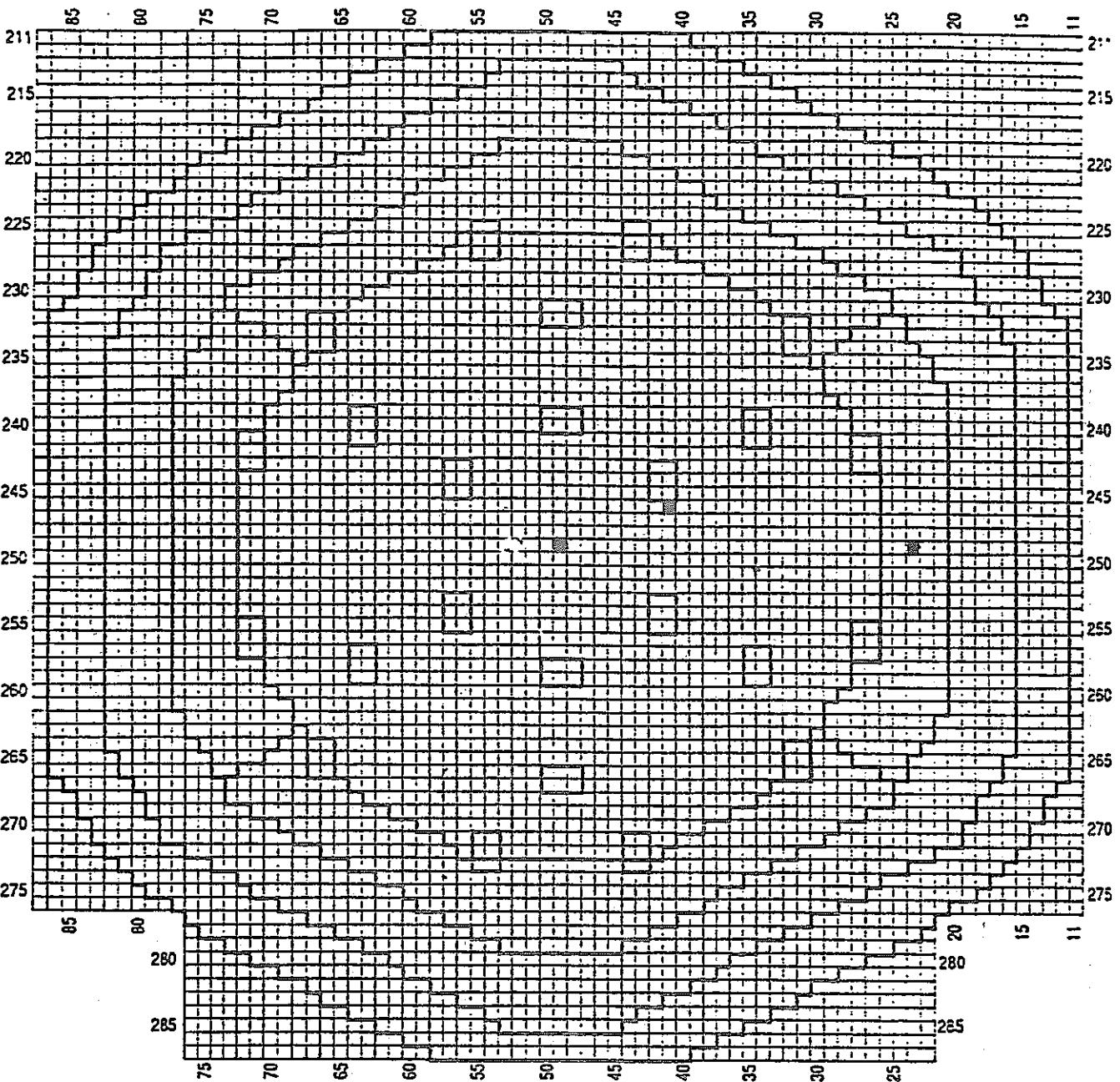
Fig. 2.1-10 Foil Traverse Locations in ZPPR-18A(Z=+2").



ZPPR18A

- \times ^{235}U ,
- \circ ^{235}U , ^{238}U
- \bullet ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu

Fig. 2.1-11 Foil traverse Locations in ZPPR-18A($Z=+11"$).



ZPPR18A

Fig. 2.1-12 Foil Traverse Locations in ZPPR-18A(Axial).

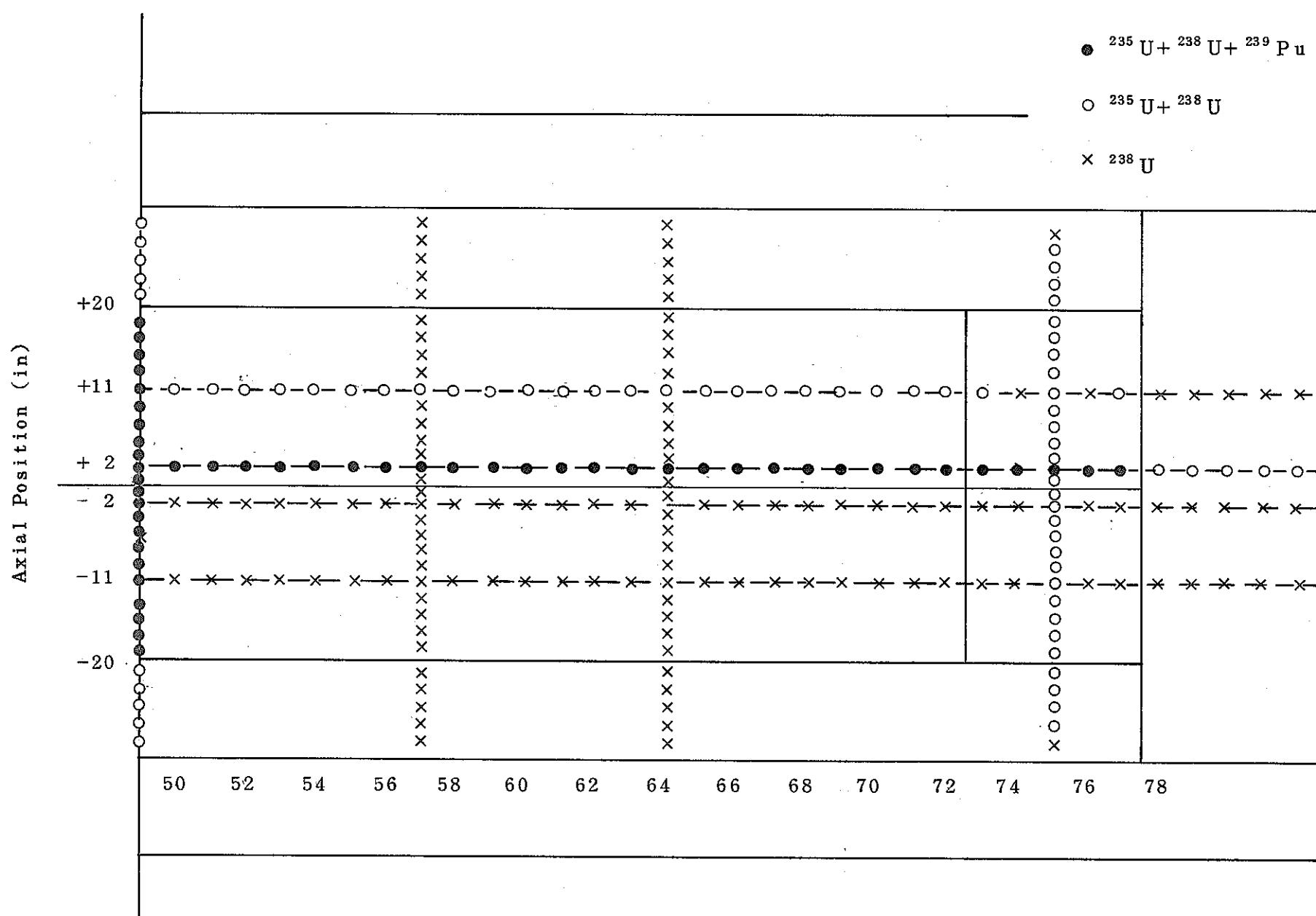
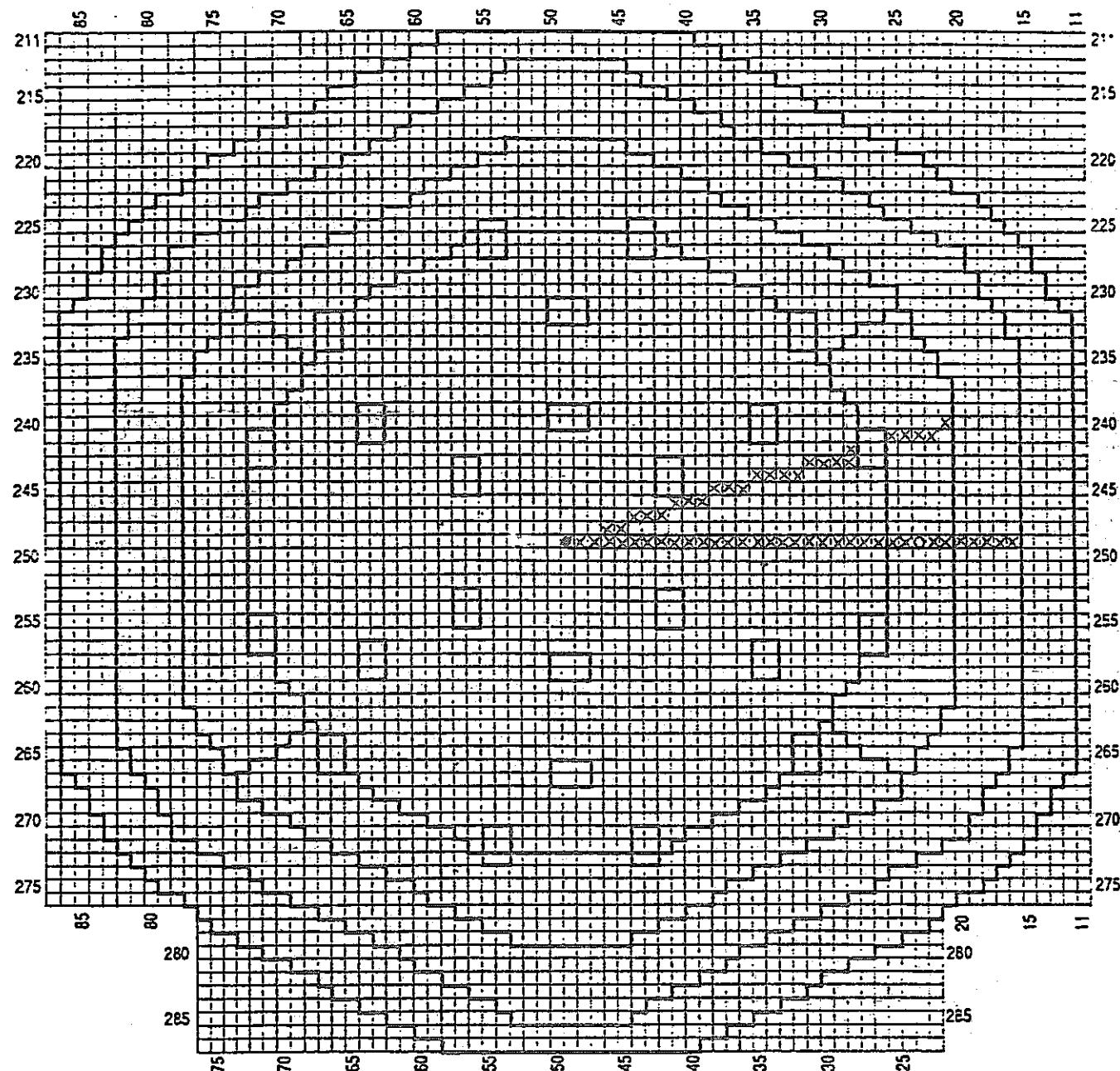


Fig. 2.1 - 13 Foil Traverse Locations in ZPPR-18B

Z=-11"

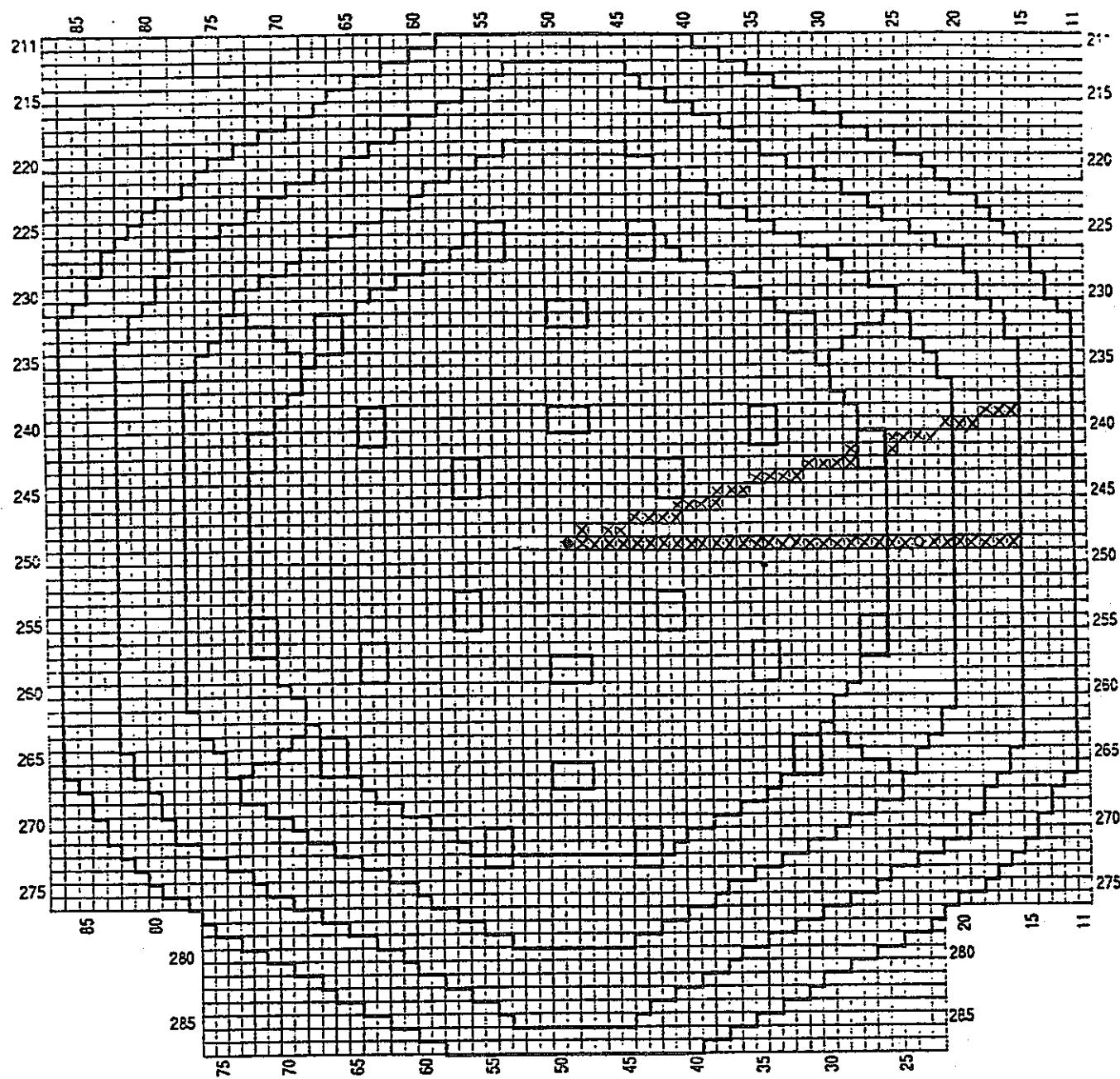


ZPPR18 B

- × 235 U,
- 235 U, 238 U
- 235 U, 238 U, 239 Pu

Fig. 2.1-14 Foil Traverse Locations in ZPPR-18B(Z=-11").

$Z = -2"$

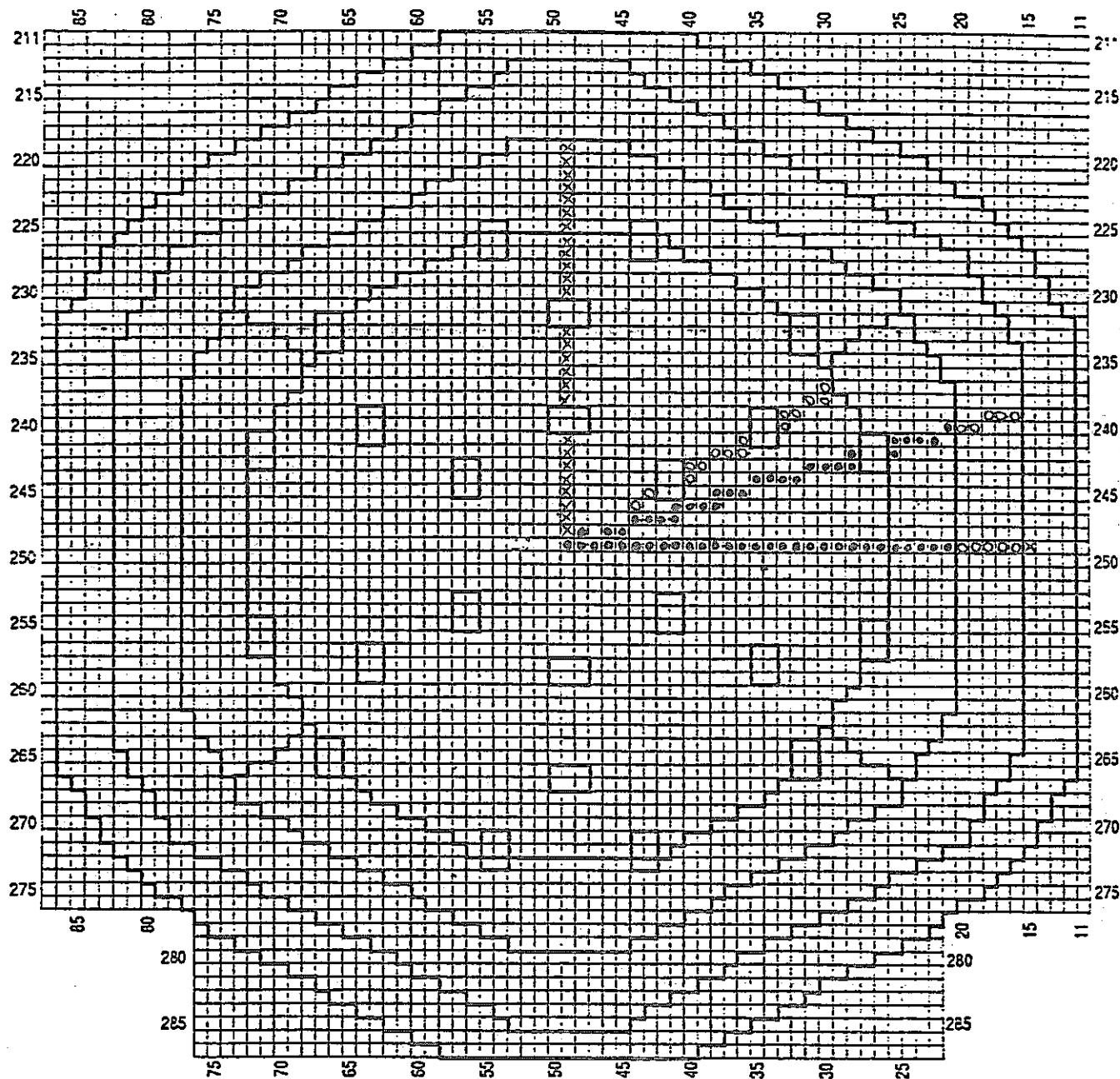


ZPPR 18 B

- \times ^{235}U ,
- \circ ^{235}U , ^{238}U
- \bullet ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu

Fig. 2.1-15 Foil Traverse Locations in ZPPR-18B ($Z = -2"$).

$Z = +2"$



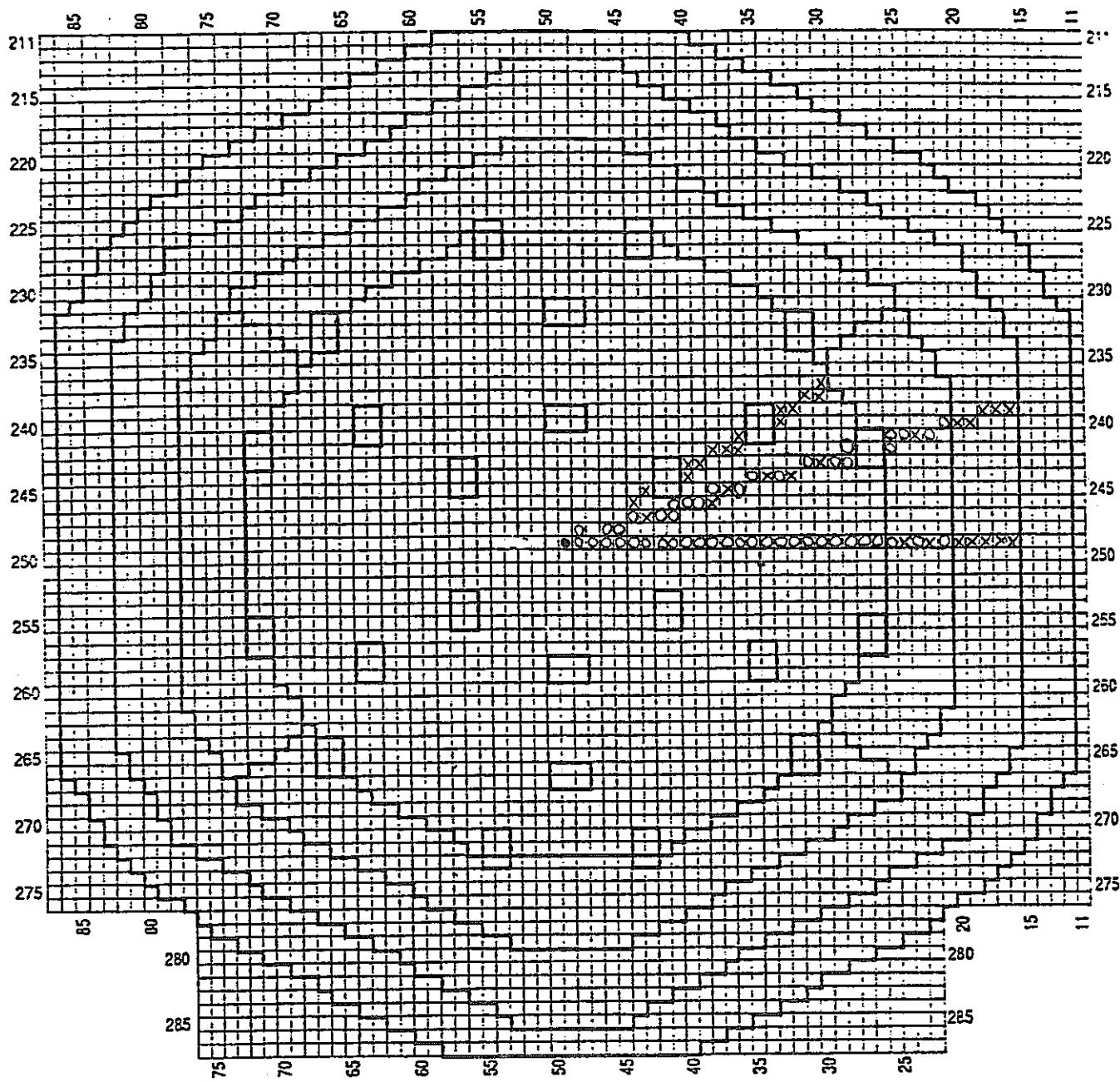
ZPPR18B

$\times \quad ^{235}\text{U},$

$\circ \quad ^{235}\text{U}, ^{238}\text{U}$

$\bullet \quad ^{235}\text{U}, ^{238}\text{U}, ^{239}\text{Pu}$

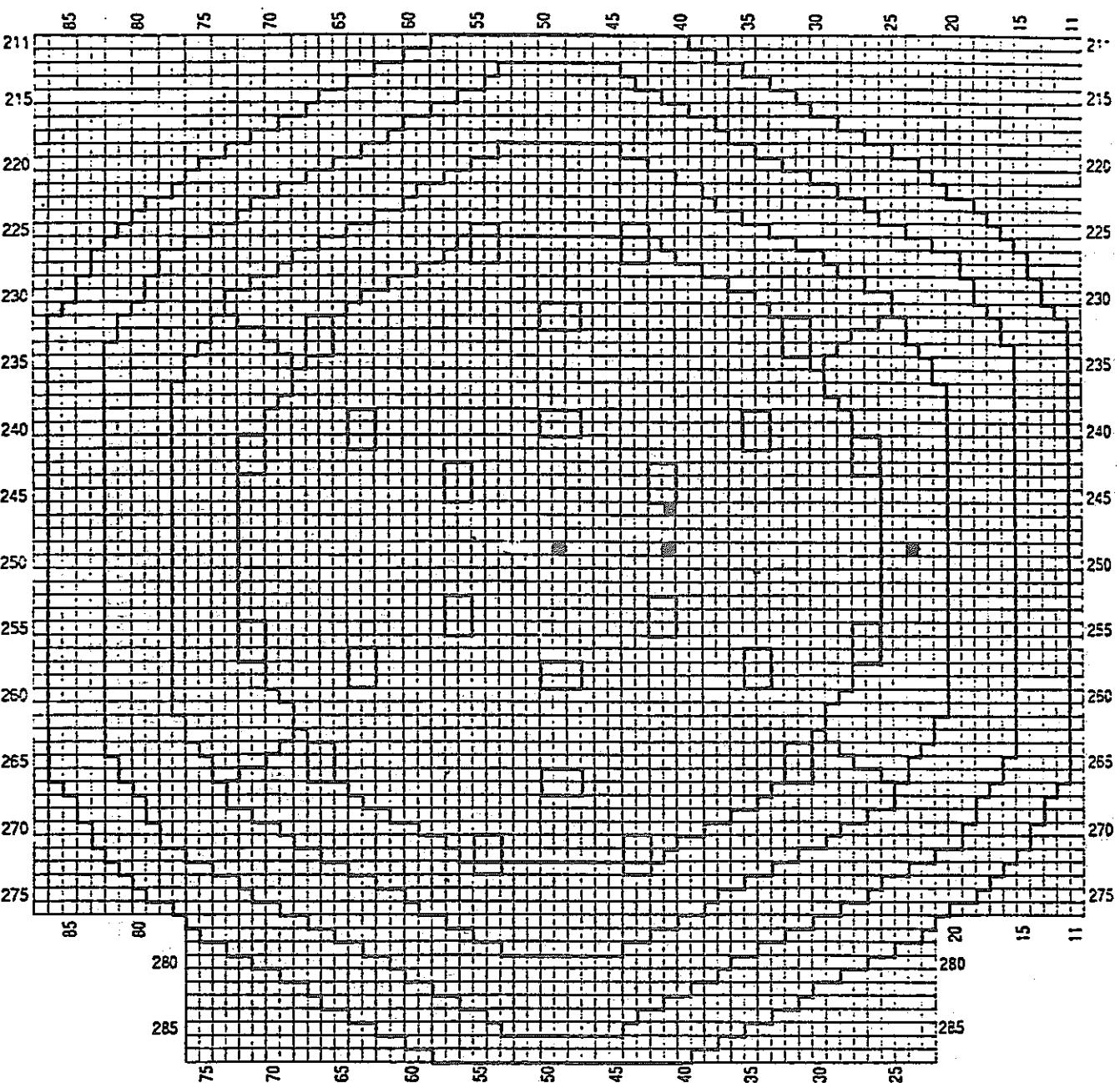
Fig. 2.1-16 Foil Traverse Locations in ZPPR-18B ($Z = +2"$).



ZPPR18 B

\times 235 U,
 \circ 235 U, 238 U
 \bullet 235 U, 238 U, 239 Pu

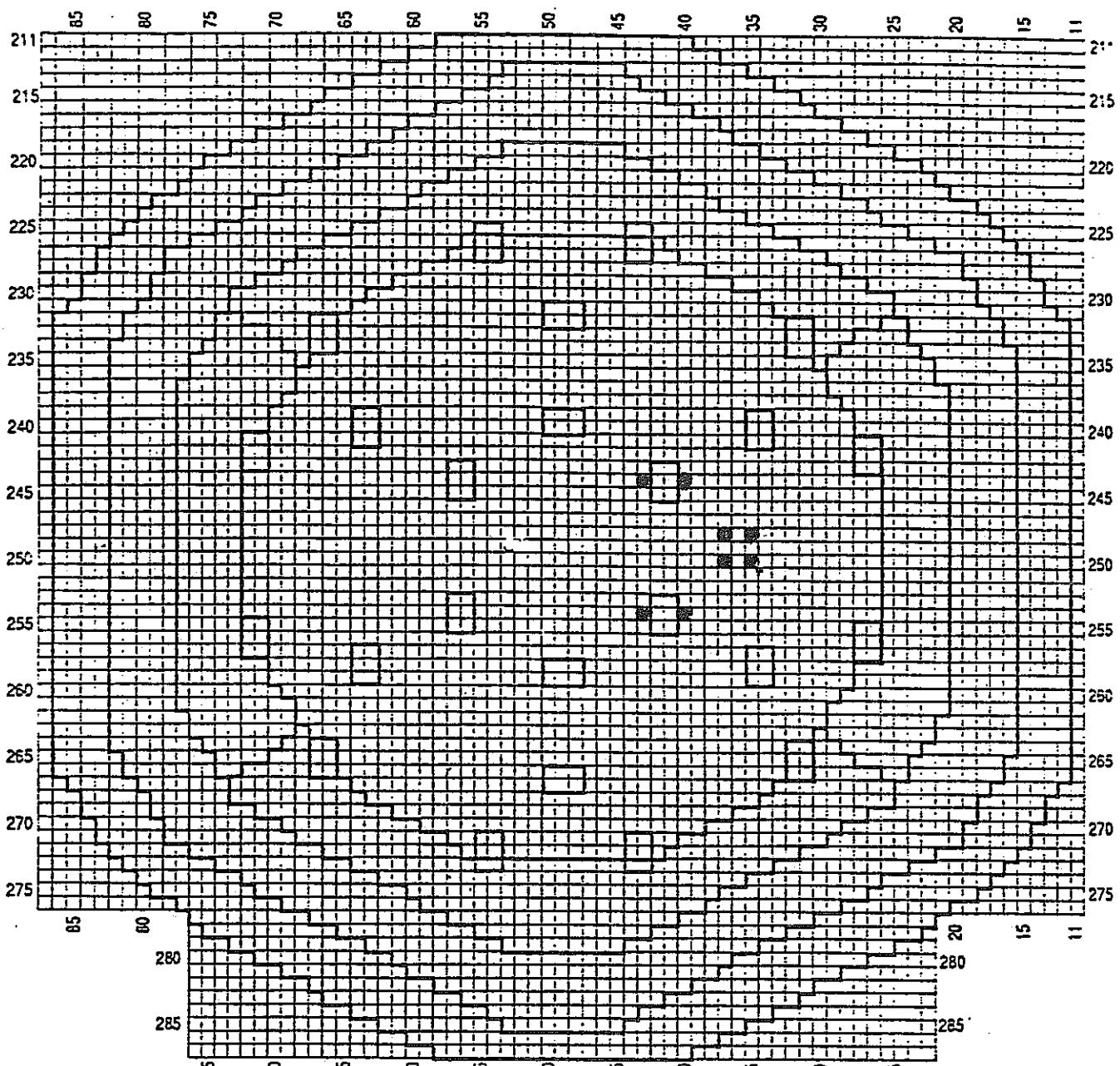
Fig. 2.1-17 Foil Traverse Locations in ZPPR-18B($Z=+11''$).



ZPPR18B

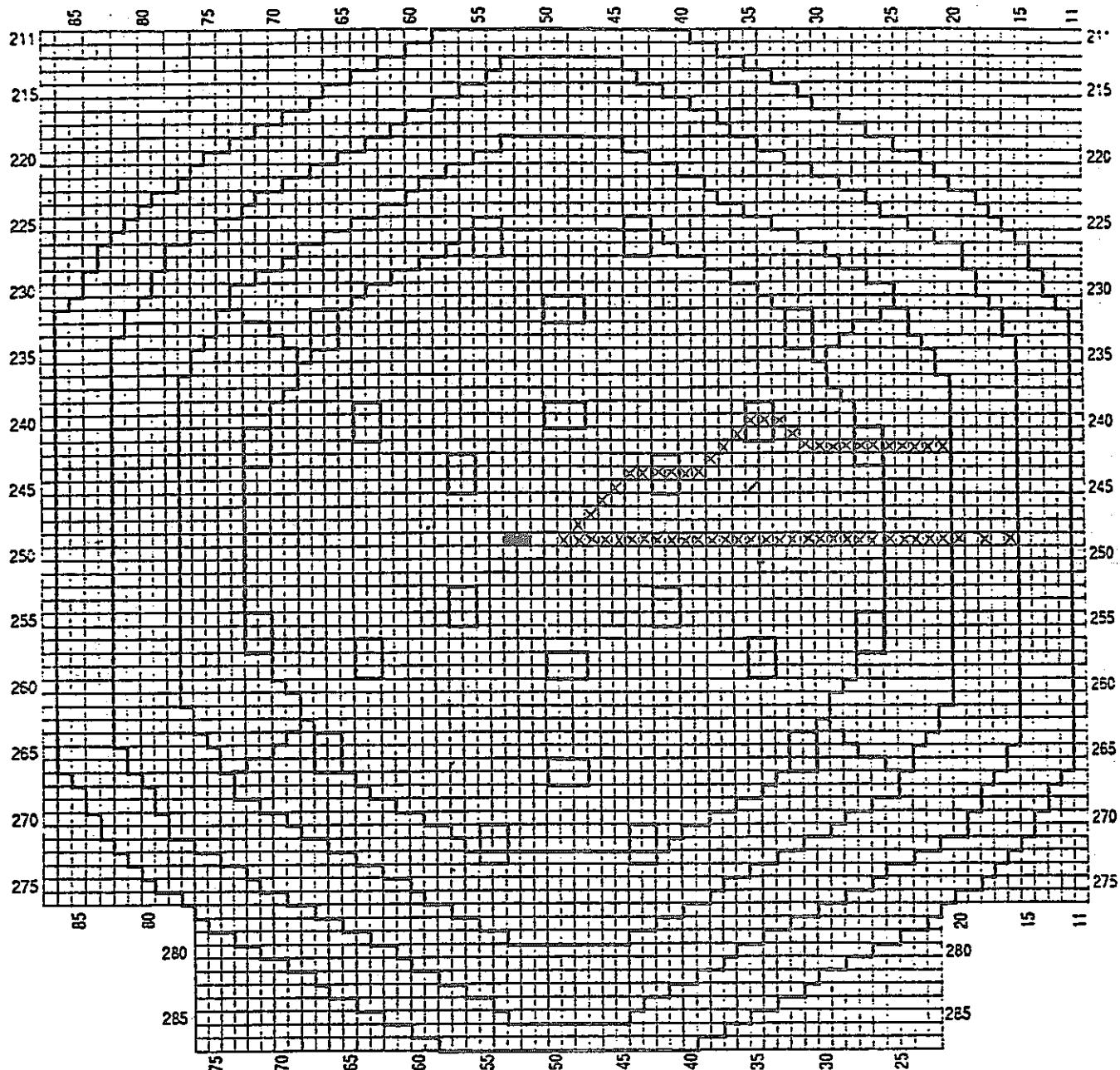
- \times ^{235}U ,
- \circ ^{235}U , ^{238}U
- \bullet ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu

Fig. 2.1-18 Foil Traverse Locations in ZPPR-18B(Axial).



ZPPR18 B

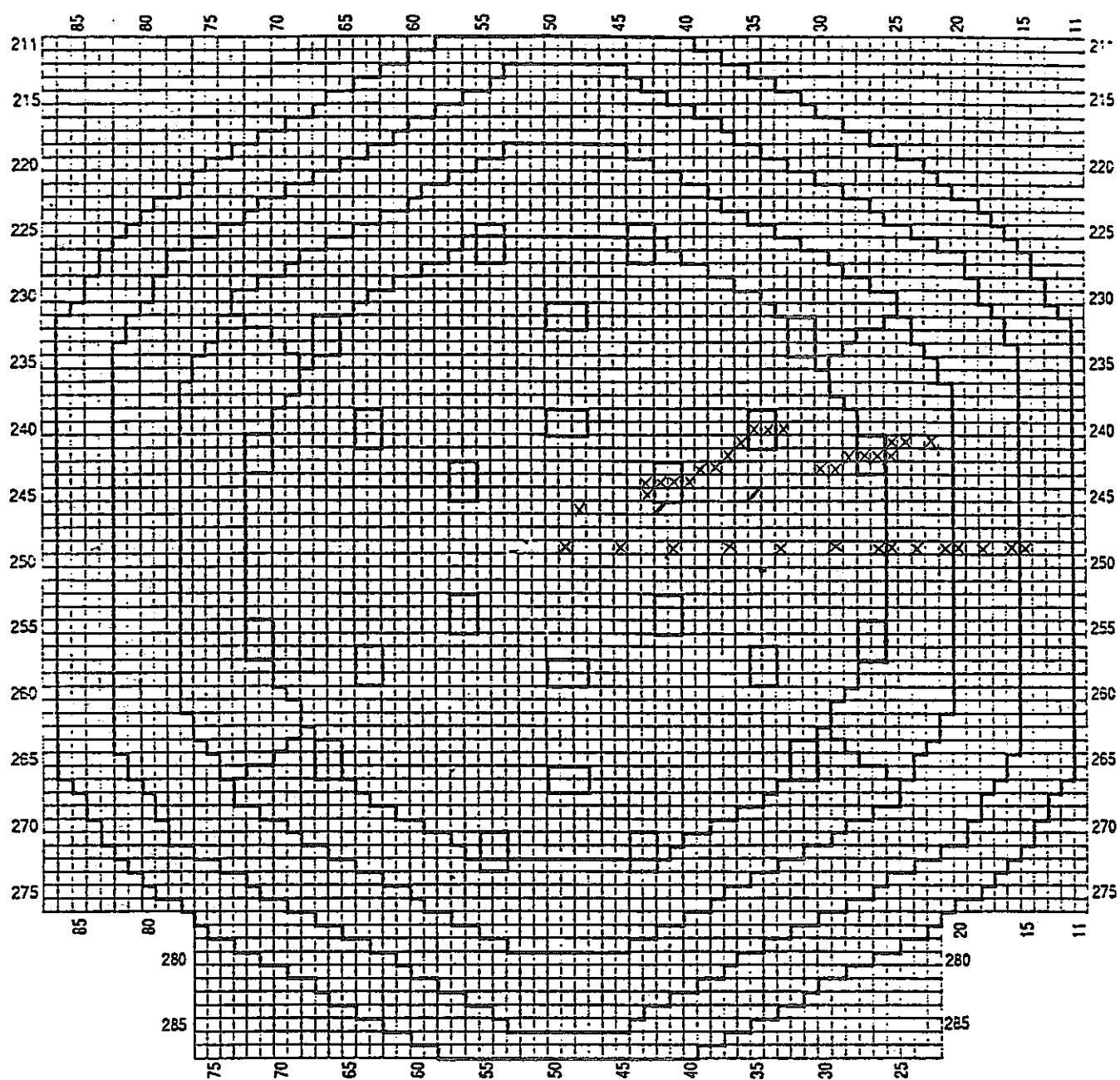
Fig. 2.1-19 Cell Factor Measurement Locations in ZPPR-18B.



ZPPR18A

X - Radial Locations
 / - Axial Locations
 ■ - Cell Locations

Fig. 2.1-20 TLD Locations in ZPPR-18A.



ZPPR18 B

X - Radial Locations
 / - Axial Locations

Fig. 2.1-21 TLD Locations in ZPPR-18B.

2.2 ZPPR-18の予備解析

(1) ZPPR-18Aの炉心組成の検討

JUPITER-III計画のZPPR-18体系は大型均質炉心を模擬することを目的にしており、このため臨界性及び内外炉心の出力分担比を適正化する必要がある。そこで、炉心各部の組成を検討し、計画立案に反映した。

主な検討結果を以下に示す。

内側炉心	DUF/DUM=0.7 / 0.3
外側炉心 (Pu)	DUF/DCF=0.64 / 0.36
" (Eu)	SCU/DCU=0.612/0.388*
keff	1.0010
内側炉心出力分担率 (%)	69.0 (合理化設計約70%)

a. 計算項目 (Table 2.2-1 参照)

- (a) 体系は日本案、組成比は米国原案を用いた予備解析。但し、外側炉心のウランセクタをプルトニウムセクタに置換した。
- (b) ウランセクタ付体系。他は(a)と同じ。
- (c) ウランセクタ付体系で、内外炉心のDUM/DUF比及び外側炉心のDUF/DCF比を独立に変化させ、固有値、出力分担比の変化をサーベイ。
- (d) ウランセクタなしの炉心で、固有値のサーベイ。
- (e) 第1、第3CRリング全挿入体系で、DUM→DUF、DUM→DCFへの置換効果を確認。
- (f) 外側炉心のプルトニウムセクタ部と等しい反応度価値となる様、ウランセクタの組成を調整。

b. 計算結果

(a)～(f)の計算より、炉心組成として

$$\begin{aligned} \text{内側炉心 } DUF/DUM &> 0.7 / 0.3, \\ \text{外側炉心 (Pu) } DUF/DCF &= 0.64 / 0.36, \\ \text{外側炉心 (Eu) } SCU/DCU &= 0.612/0.388 \end{aligned}$$

を選定した。この結果は、Fig. 2.2-3に示す様に最適点からわずかながらはずれているが、影響は無視できると判断した。

(2) O/M比の影響

a. 概要

内側炉心に装荷するDUM（金属劣化Uプレート付のシングルカラムフェューエル）は、当初のプレート配置ではO/M比が約0.74と極端に低い。たのため、Naプレートの半分を Na_2Co_3 プレートに置換してO/M比を改善することの可否を日米相方で検討している。この検討のバックデータとするため、O/M比の異なる2体系の出力分布、スペクトル等を比較し、次の結果を得ている。

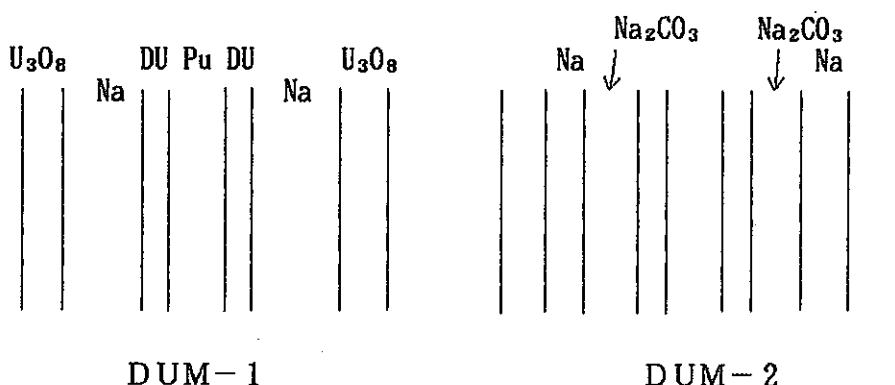
DUMのNaプレートの半分を Na_2Co_3 プレートに置換すると、DUMとDUF

を平均した内側炉心のO/M比は約1.66→約1.96に改善される。(DUM/DUF = 0.3/0.7の場合。) このとき、

- ① 固有値は0.4%ok低下。
- ② 出力分布への影響は、約1%以下であり小さい。
- ③ 10keV以下のスペクトルへの影響がやや大きい。(20~40%)

b. 検討の方法

内側炉心用のPu燃料のシングル・カラム・フェューエル(SCF)として、O/M比の異なる2種類のDUMをそれぞれ装荷した炉心の特性を比較し、O/Mの違いによる炉特性への影響を概略評価した。2種類のDUMのプレート構成は次のとおりである。



上記のDUM-1は、1986年7月の日米実験計画会議で米国が提案してきたセルパターンであり、O/M比は約0.74である。DUM-2は、DUM-1のO/M比改善案のであり、O/M比は約1.79である。

c. 計算条件

(a) 断面積

ZPPR-18の濃縮ウランセクタ効果の検討用に作成した7群ミクロ定数
(JM-85-27 (721018-NA-008) 参照。)

(b) 計算体系等

- 計算コード ————— CITATION-FBR
- 体系モデル ————— 2次元XY $\frac{1}{4}$ 炉心モデル (Fig. 2.2-5)
- メッシュ数 ————— 1メッシュ/1ドロワ

(c) 組成

Z P P R - 18を構成するドロワのセルパターンをFig. 2.2-6に示す。炉心各部のドロワの混在比率は次のとおりである。

ドロワ 領域	DUM-1	DUM-2	DUF	DC	DCU	SCU	RB
内側炉心 < DUM-1 >	0.3		0.7				
内側炉心 < DUM-2 >		0.3	0.7				
外側炉心(Pu)			0.64	0.36			
外側炉心(BU)					0.3625	0.6375	
半径方向 ブランケット							1.0

注) ブランクは0.0。

内側炉心< DUM-1 >と内側炉心< DUM-2 >の原子数密度を表1に示す。

d. 結果

(a) 固有値

$$< \text{DUM-1} > \quad 1.0000 \quad < \text{DUM-2} > \quad 0.9963$$

(b) 出力分布 —— Fig. 2.2-7

(c) 内側炉心スペクトル —— Fig. 2.2-8

Table 2.2-1 ZPPR-18 Preliminary Analysis

計算項目		組成(下段:メンバーネーム)			keff	内側炉心 出力分担率(%)
		内側炉心	外側炉心(Pu)	外側炉心(Eu)		
A. 予備解析 Pu炉心 (組成は ANL原案)	C/R-out	DUF/DUM=0.6/0.4 (IC0001)	DUF/DCF=0.575/0.424 (OCPU01)	_____	0.9981	65.23
	C/R-IN	↑	↑	_____	0.9661	76.56
B. 予備解析 Pu+Eu炉心 (組成は ANL原案)	C/R-out	DUF/DUM=0.6/0.4 (IC0001)	DUF/DCF=0.575/0.424 (OCPU01)	SCU/DCU=0.567/0.433 (OCU001)	0.9967	66.00
	C/R-IN	↑	↑	↑	0.9653	77.52
C. 内側炉心組成の検討 Pu+EU炉心 C/R-out	CASE 1	DUF/DUM=0.7/0.3 (IC0002)	DUF/DCF=0.575/0.424 (OCPU01)	SCU/DCU=0.567/0.433 (OCU001)	1.0045	67.05
	CASE 2	DUF/DUM=0.8/0.2 (IC0003)	↑	↑	1.0140	67.95
	CASE 3	DUF/DUM=1.0/0.0 (DUFIC1)	↑	↑	1.0358	69.78
	CASE 4	DUF/DUM=0.7/0.3 (IC0002)	DUF/DCF=0.6/0.4 (OCPU05)	SCU/DCU=0.587/0.413 (OCU005)	1.0030	67.85
D. 内側炉心組成の検討 Pu炉心 C/R-out	CASE 1	DUF/DUM=0.7/0.3 (IC0002)	DUF/DCF=0.746/0.254 (OCPU06)	_____	0.9946	72.79
	CASE 2	DUF/DUM=0.75/0.25 (IC0010)	DUF/DCF=0.716/0.284 (OCPU07)	_____	1.0011	72.08
	CASE 3	DUF/DUM=0.8/0.2 (IC0003)	DUF/DCF=0.686/0.314 (OCPU08)	_____	1.0079	71.41

Table 2.2-1 (2/2)

計算項目	組成(下段:メンバーネーム)			keff	内側炉心 出力分担率(%)	
	内側炉心	外側炉心(Pu)	外側炉心(Eu)			
C. C/R半插入体系の検討 Pu+Eu炉心 C/R(CR1+CR3)-IN	CASE 1	DUF/DUM=0.7/0.3 (IC0002)	DUF/DCF=0.575/0.424 (OCPU01)	SCU/DCU=0.567/0.433 (OCU001)	0.9248	67.50
	CASE 2	DUF/DUM=0.856/0.144 (IC0005)	↑	↑	0.9427	64.81
	CASE 3	DUF/DUM/DCF=0.7/0.257 /0.043 (IC0008)	↑	↑	0.9475	66.49
F. 臨界性の検討 Pu+Eu炉心 C/R-out (ランセタ組成の調整)	CASE 1 (Pu炉心)	DUF/DUM=0.7/0.3 (IC0002)	DUF/DCF=0.64/0.36 (OCPU07)	—	1.0010	68.88
	CASE 2	↑	↑	SCU/DCU=0.648/0.352 (OCU006)	0.9996	69.77
	CASE 3	↑	↑	SCU/DCU=0.622/0.378 (OCU007)	1.0006	69.20
	CASE 4	↑	↑	SCU/DCU=0.6375/0.3625 (OCU008)	1.0000	69.55
調整後*	—	↑	↑	SCU/DCU=0.612/0.388 (—)	1.0010	69.00

* 内・外挿により求めた。

Table 2.2-2 ZPPR-18A Number Density

物質 核種	DUM	DUF	DCF (Pu)	DCF (EU)	SCF
Pu239	8.88654-4*	8.88654-4	1.791-3	—	—
Pu240	1.17788-4	1.17788-4	2.374-4	—	—
Pu241	8.29730-6	8.29730-6	1.497-5	—	—
Pu242	2.30628-6	2.30628-6	4.042-6	—	—
Am241	—	—	1.829-5	—	—
U235	2.37240-5	1.28173-5	2.215-5	2.238-3	1.125-3
U236	—	—	—	3.192-5	1.596-5
U238	1.06578-2	5.81634-3	9.943-3	6.570-3	5.639-3
C	4.64287-5	4.64287-5	2.109-3	2.145-3	2.156-3
O	8.58129-3	1.40064-2	1.939-2	1.599-2	7.163-3
Na	9.28457-3	9.28457-3	8.798-3	8.798-3	8.357-3
Cr	2.67615-3	2.67615-3	3.144-3	2.599-3	6.312-3
Mn	2.29235-4	—	2.611-4	2.197-4	4.967-4
Fe	9.34371-3	1.30985-2	1.121-2	1.309-2	2.598-2
Ni	1.17191-3	1.17191-3	1.401-3	1.128-3	3.030-3
Mo	2.40120-4	—	4.690-4	1.386-6	1.603-5

* read as 8.88654×10^{-4}

Table 2.2-3 Number Density of DUM

核種	内側炉心< DUM-1 >	内側炉心< DUM-2 >
6 C	4.6429-5	6.7600-4
8 O	1.2373-2	1.4601-2
11 Na	9.2846-3	9.1386-3
24 Cr	2.6762-3	2.6762-3
26 Fe	1.1972-2	1.1972-2
28 Ni	1.1719-3	1.1719-3
925 ^{235}U	1.6089-5	1.6089-5
928 ^{238}U	7.2688-3	7.2688-3
949 ^{239}Pu	8.8865-4	8.8865-4
940 ^{240}Pu	1.1779-4	1.1779-4
941 ^{241}Pu	8.2973-6	8.2973-6
942 ^{242}Pu	2.3063-6	2.3063-6
25 Mn	6.8772-5	6.8772-5
42 Mo	7.2036-5	7.2036-5

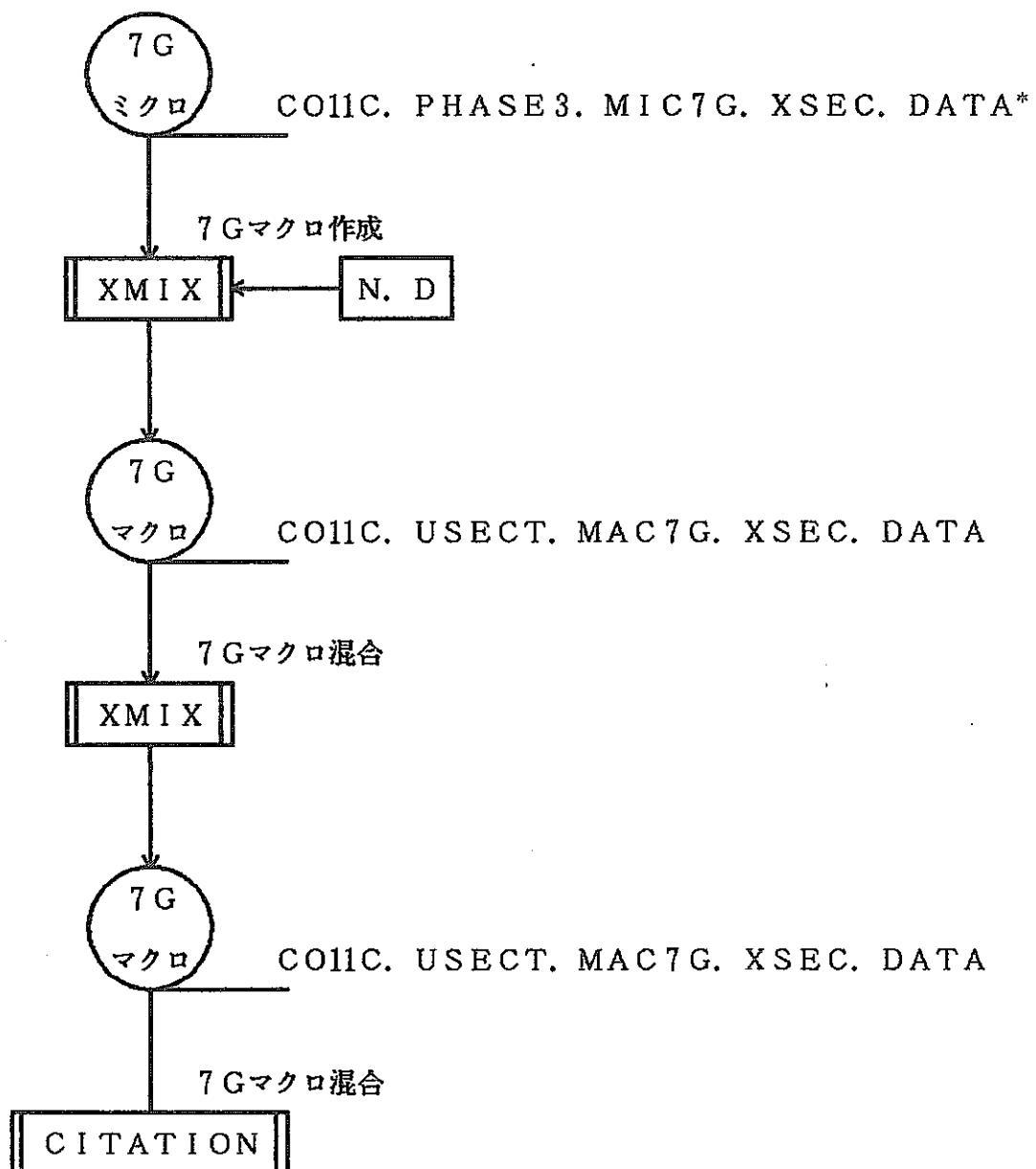


Fig. 2.2-1 Calculation Flow of ZPPR-18 Preliminary Analysis

ZONE NUMBER AT EACH MESH INTERVAL

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6	2	2	2	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6	2	2	2	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6	2	2	2	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	
10	6	6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	
11	6	6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6	2	2	2	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	2	2	2	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	2	2	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	2	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5		
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5		
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5		
18	6	6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5		
19	6	6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5			
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5	5	7			
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5	5	7				
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5	5	7				
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6	1	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5	5	7				
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5	5	7				
25	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	6	6	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5	5	7					
26	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	7							
27	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	7							
28	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	7							
29	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	7							
30	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	7	7	7	7	7	7							
31	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	7	7	7	7	7	7								
32	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	7	7	7	7	7	7									
33	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	7	7	7	7	7	7									
34	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7									
35	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7							
36	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7							
37	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7							
38	5	5	5	5	5	5	5	5	5	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7							
39	5	5	5	5	5	5	5	5	5	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7							

Fig. 2.2-2 Calculation Model for ZPPR-18(Preliminary Analysis).

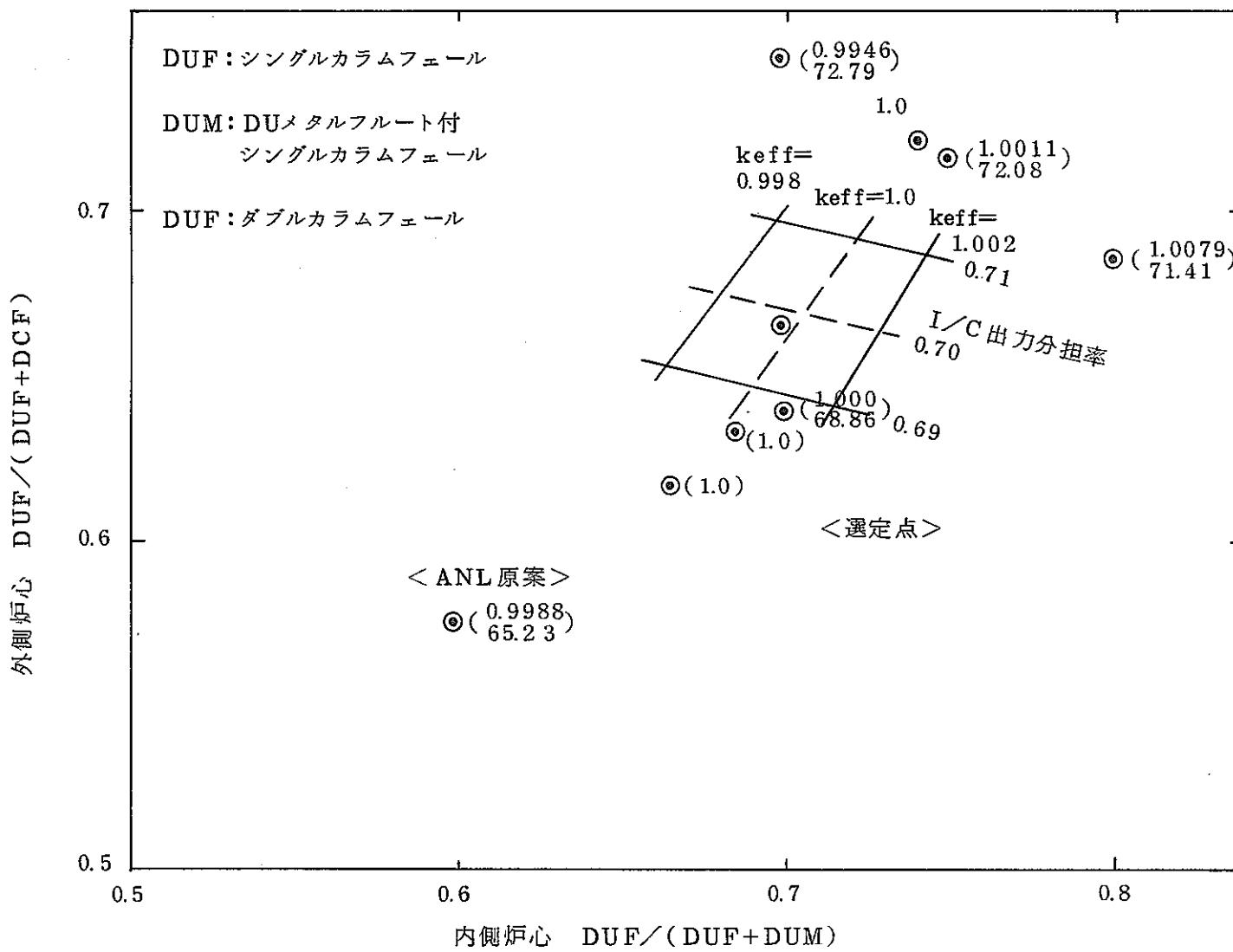


Fig. 2.2 - 3 D U F / D U M Ratio in Z P P R - 18 (1)

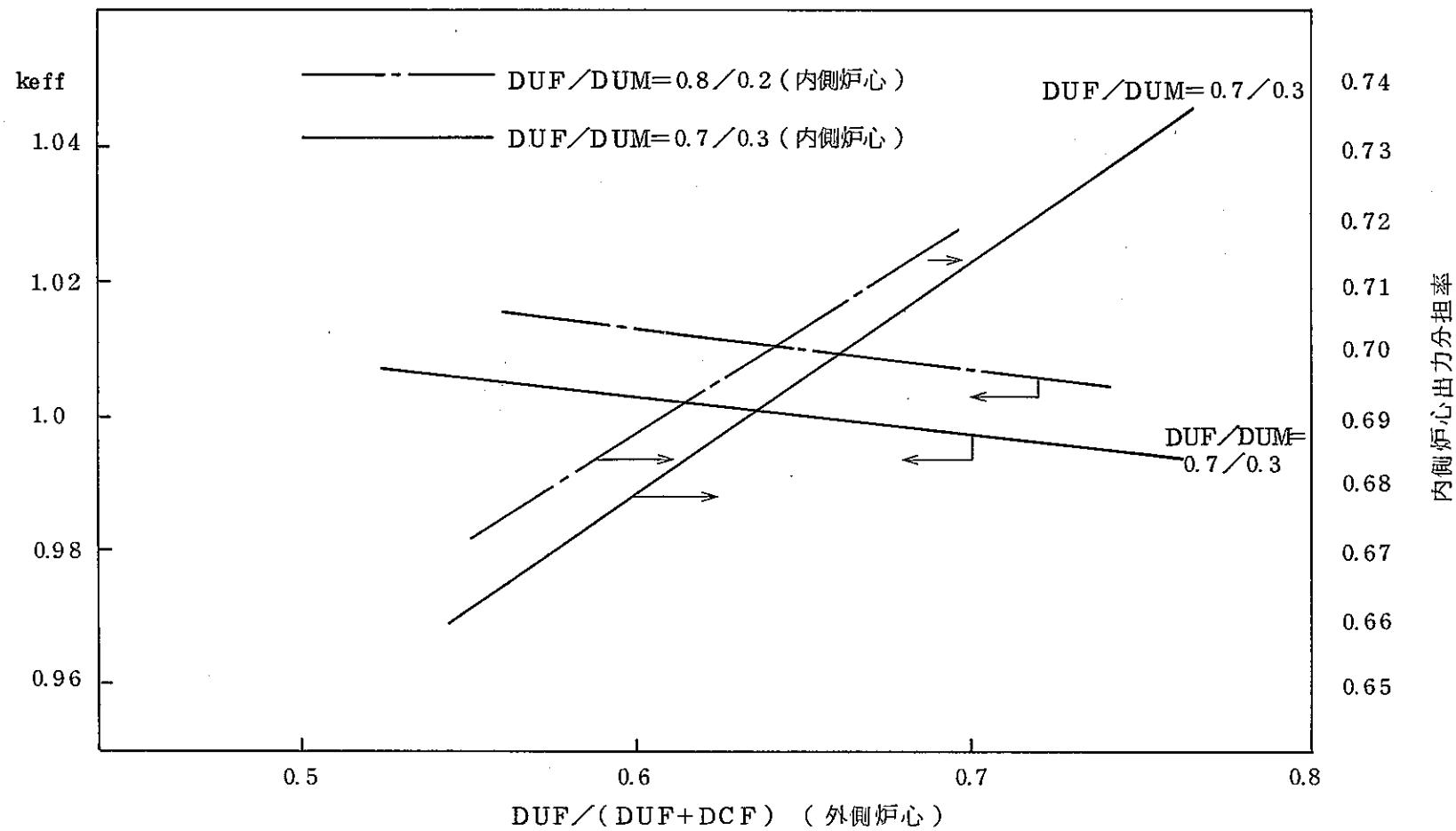


Fig. 2.2-4 DUF/DUM Ratio in ZPPR-18(2)

ZONE NUMBER AT EACH MESH INTERVAL

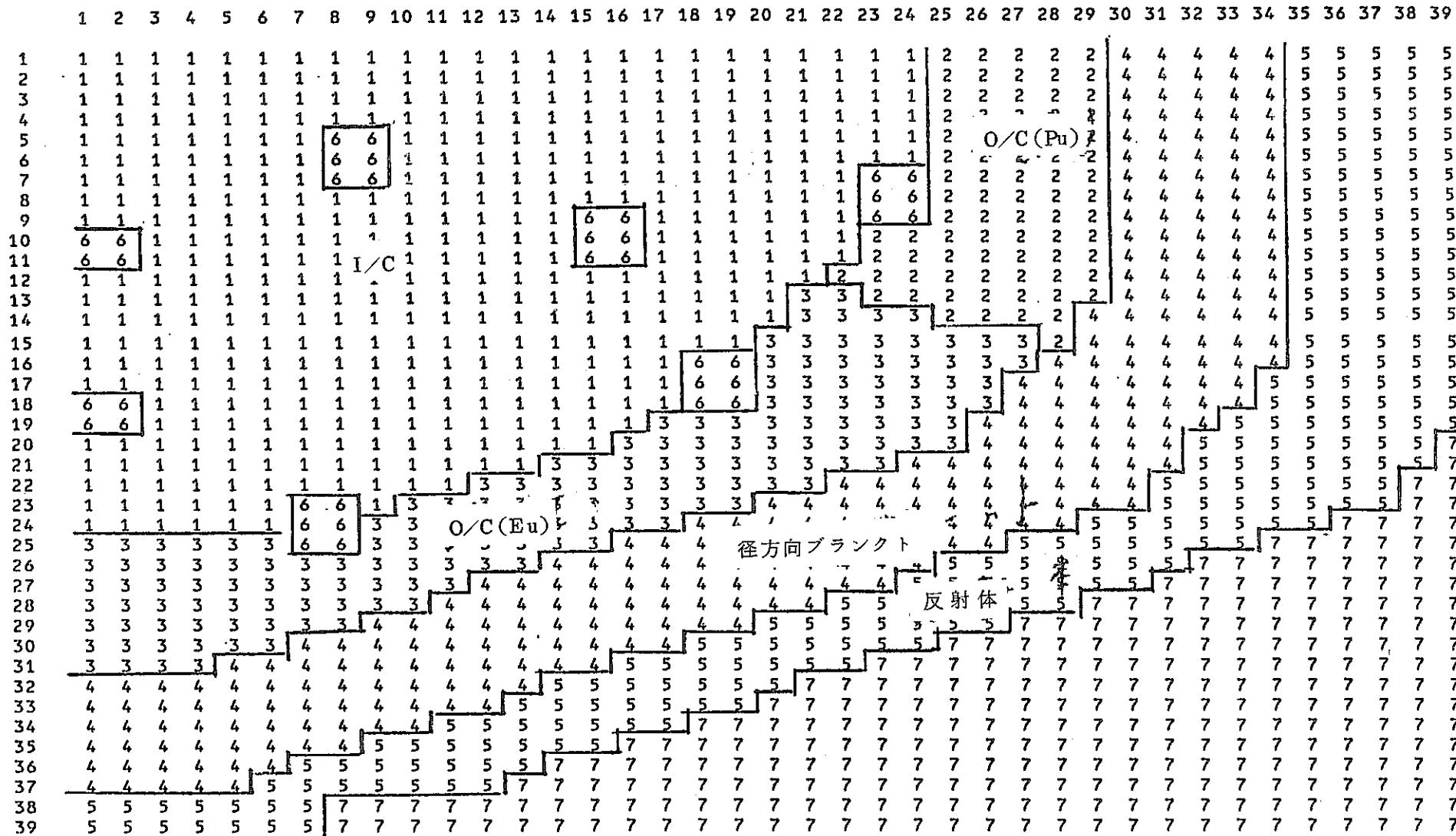
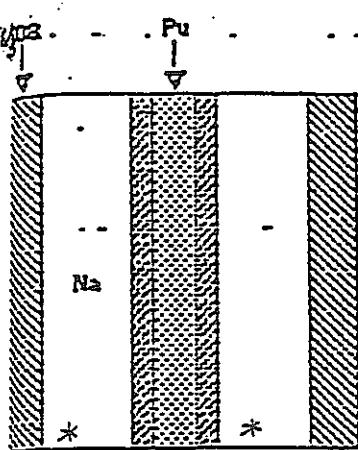
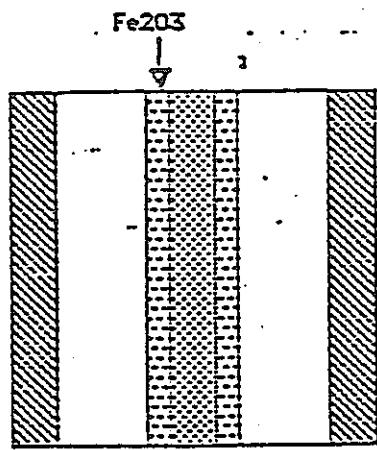


Fig. 2.2-5 Calculation Model of ZPPR-18.

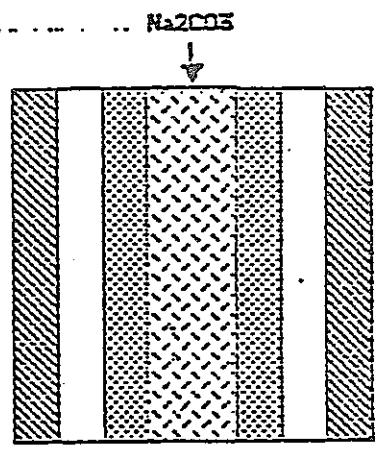
JUPITER-III CELLS



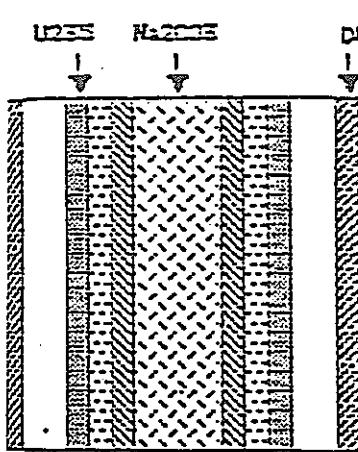
DUM



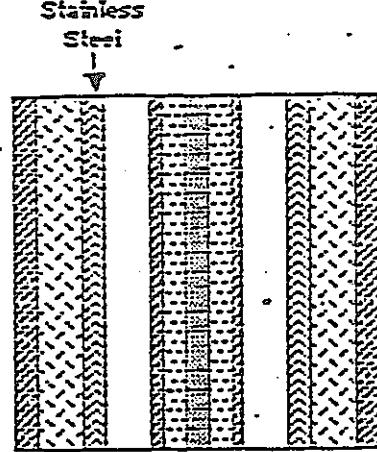
DUF



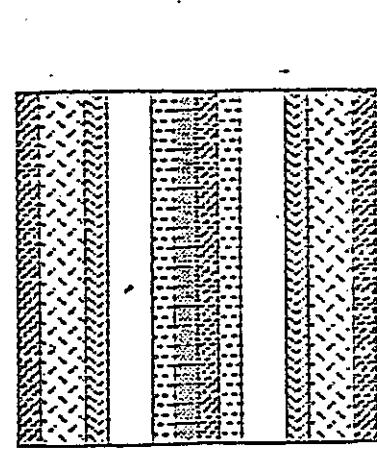
Pu Double (DC)



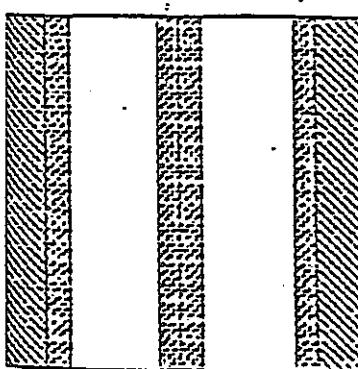
U Double (DCU)



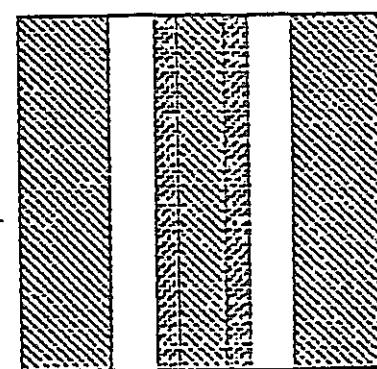
U Symmetric (SCU)



U Asymmetric (SCU)



Axial Blanket (AB)



Radial Blanket (RB)

*Na₂CO₃ in alternative plan

Fig. 2.2-6 Unit cell pattern of ZPPR-18.

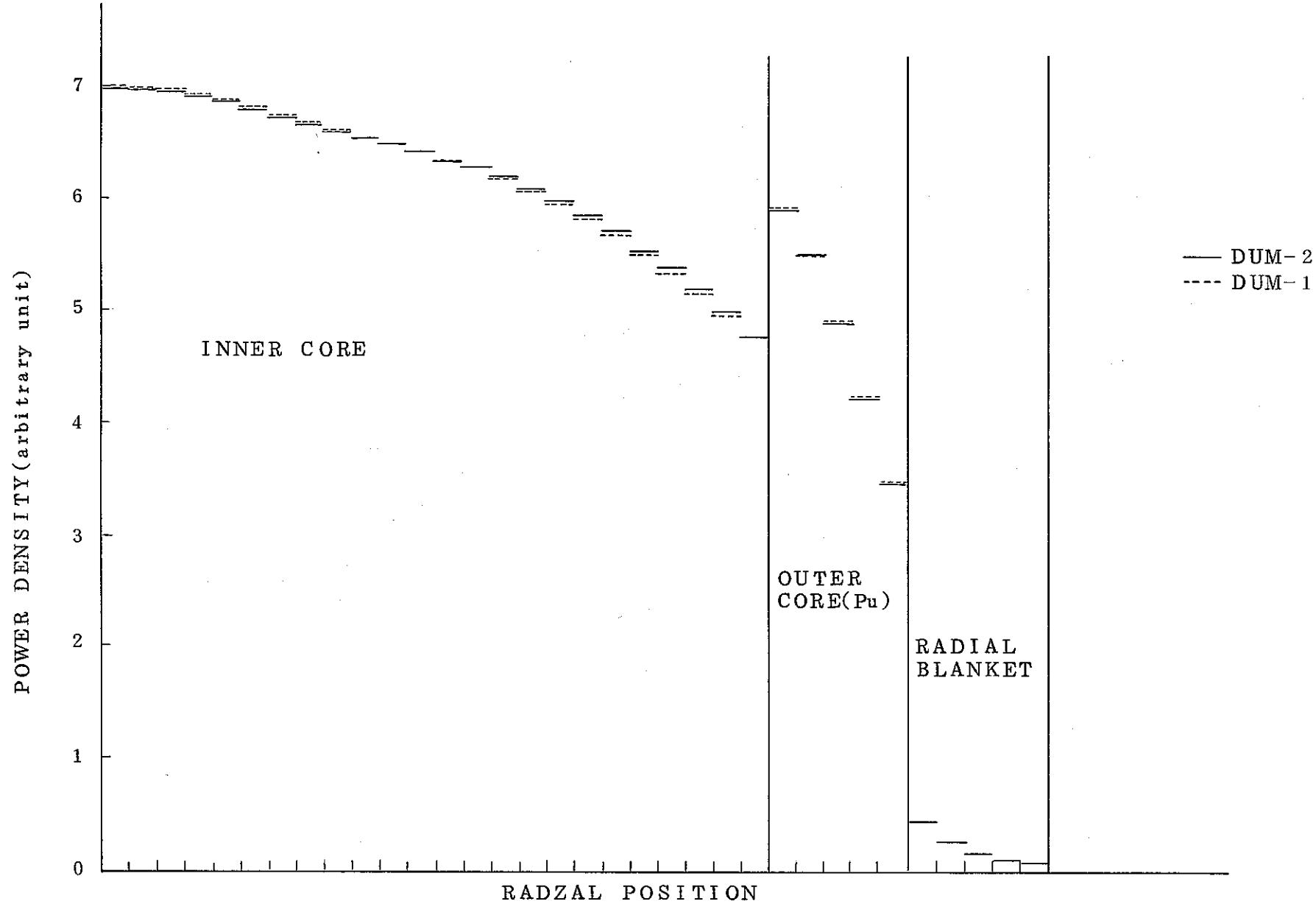


Fig. 2.2 - 7 Radial Power Distribution in ZPPR-18A

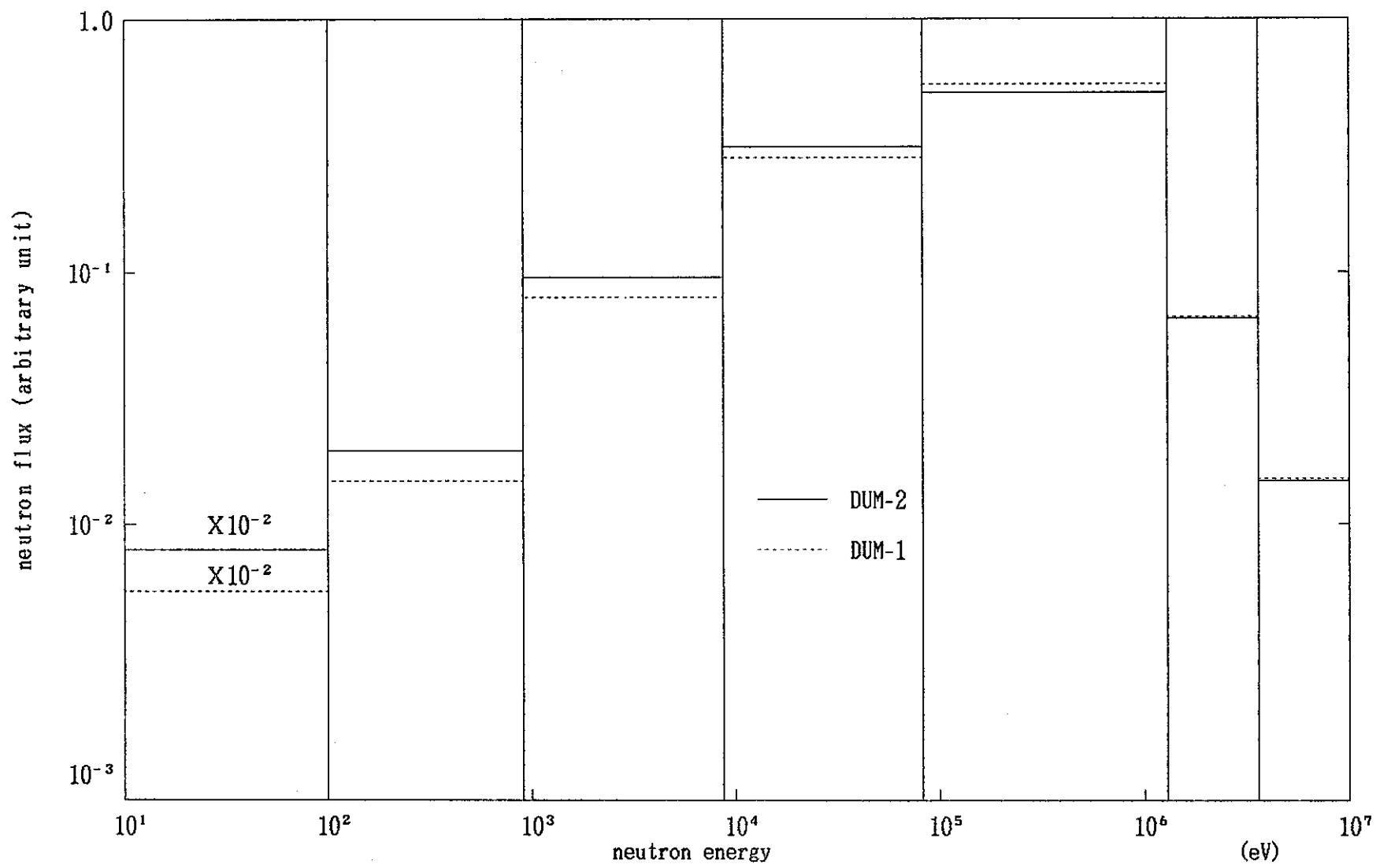


Fig. 2.2-8 Neutron Spectrum in ZPPR-18A

3. 大型炉心設計手法の検討

3.1 概 要

JUPITER-III実験解析を行う目的の1つとして、実験解析を通じ解析手法の検証及び改良・整備ひいては大型炉心設計手法の選定に資することが挙げられる。

本章では、まず3.2節でJUPITER-III解析手法の概要を述べる。次に、これら基準解析手法を前提とし、より詳細な検討を行うために必要な項目あるいは、基準解析手法の妥当性を検証する上で必要な解析手法上の問題について3.3節にまとめた。さらに3.4節では上記の問題を解決するために必要なコードの導入及び現有コードの改良点について述べその解析例について紹介している。

3.2 JUPITER-III解析手法の概要

JUPITER-III実験手法を行うに当り、JUPITER-I, IIにおいて用いられた実験解析方法の整理を各核特性項目ごとに行ってきた。JUPITER-III実験解析に用いる手法は、基本的には、JUPITER-I, IIで用いられた解析手法と同一のものとしている。ただし、JUPITER-IIIの各炉心は、軸方向非均質炉心ZPPR-17と大型均質炉心ZPPR-18とから成り、各炉心の特徴を考慮した解析手法を選定している。これらは、昨年度の報告書¹⁾にまとめられており、本節では、その概要をまとめて、Table 3.2-1,-2及びFig. 3.2-1に示す。

3.3 解析手法改良の必要性

JUPITER-III実験解析は、現在進行中であり、今後、解析が進むにつれ、解析手法上の問題点が種々明らかになる可能性がある。ここでは、JUPITER-I, II及びFCAの実験解析を通じ、解析精度向上の観点から指摘されてきた解析手法改良の必要性についてまとめた。

1) 3次元輸送効果

ZPPR-17体系は軸方向非均質炉心であり、従来、輸送効果として採用してきた2次元XY, RZ及び1次元R計算の組み合わせによる方法では限界がある。また、ZPPR-18体系においても制御棒半挿入体系があり、ZPPR-17と同様の問題が生じる。

3次元輸送計算コードとしては、拡散合成法を加速法にとりいれたTRITACがある。従来JUPITERで用いてきたSLAROM, JOINT等から成る計算コードシステムにTRITACを取り入れ、3次元輸送効果を評価できるようにした。

2) 1次元プレートセルモデル化の影響

セル定数作成に当り、2次元ドロワを1次元計算にモデル化する際にJUPITER-I, IIでは各プレートをドロワ高さにまで引き延ばすplate-stretchモデルを用いてきた。このモデルでは、ドロワ単位の拡散係数は、比較的良好く評価できていると考えられるが、各 plateの中性子束分布及び自己しゃへい因子の評価誤差に伴い、実効ミクロ定数に誤差を生じるおそれがある。ANLでは, plate stretchを行わないcenter lineモデルを用いている。セル定数作成法の妥当性を確認する意味で両モデルの比較を行う必要がある。ただし、center line モデルではドロワ単位の拡散係数を計算できないため、plate-stretch モデルによる拡散係数を用いる必要がある。それに伴い、JOINT等のコード改良の必要が生じた。

3) 炉心-プランケット境界セル定数作成法

JUPITER-II及びFCAの解析結果から、内部プランケット領域の反応率分布及びサンプル反応度分布のC/E値が燃料領域と異なり1.0から大幅にずれ、過

小評価の傾向にあることが明らかとなった。内部ブランケットドロワのセル定数作成法としては、いずれも單一ドロワのモデルを採用している。実際には、ブランケットドロワのソーススペクトルは燃料領域から流れ込む中性子束によるものであり、その効果をマルチドロワモデルによって検討する必要があった。本検討を行うに当たり、従来セル計算に用いてきたSLAROMにはプレート枚数等の制約があったためCASUPコードを動燃計算コードシステムに導入した。

3.4 解析手法の検討結果

本節では解析手法の改良及び新コードの導入に伴い実施した解析例を紹介する。なお、今後、解析の進行に伴い、各改良手法が十分な使用実績を踏んだ後、改めて解析手法の比較検討及び炉心設計手法への反映の検討を行うことが望ましい。

1) 3次元輸送効果

3次元輸送計算コードTRITACを用いて、ZPPR-17A体系の臨界性に及ぼす輸送効果を評価した。比較のため、本体系は制御棒等を有しないクリーンな体系であることからTWOTRANを用いた2次元RZモデルによる計算を行った。結果をTable 3.4-1に示す。TRITACによる計算結果は十分妥当なものと判断されるため、今後、基準解析手法として位置づける。

2) 1次元プレートセルモデル化の影響検討

ZPPR-17A, 17B体系についてplate stretchモデル及びcenter lineモデルによるセル定数を作成し、臨界性への影響を検討した。

検討結果をTable 3.4-2に示す。この結果から2次元プレートセルの1次元モデル化に関して以下の知見が得られた。

- (i) 実効ミクロ定数をより正しく評価したと考えられるcenter-lineモデルを用いた方がplate-stretchモデルを用いた場合と比べて、臨界性については、ZPPR-17A, 17B体系でそれぞれ+0.08% Δk , +0.09% Δk だけC/E値が1.0に近づく方向に補正される。
- (ii) 臨界性に対する影響は、上記の通り0.1% Δk 以下であるが、今後、反応率分布等において1次元モデル化の影響を検討していく必要がある。

3) 炉心-ブランケット境界セル定数作成法

CASUPコードを用いてマルチドロワ計算を行い、ZPPR-17A体系の臨界性についてマルチドロワ効果を検討した。

(1) 計算条件

マルチドロワ効果の検討を行う前に、基準解析に用いたセル定数作成法を以下に示した。

- セル計算モデル : Single-Drawer, Plate-Stretchモデル
- バックリング : 臨界バックリング
- セル計算コード : SLAROM

なお、体系計算には Benoist の異方性拡散係数を用いている。

マルチドロワ効果は、以下に示す2通りの計算条件によって求めた。

(R Z モデル)				(X Y Z モデル)			
i. セル計算モデル				ii. 計算体系モデル			
IB IB SCF SCF ($B_z=0$)				IB IB SCF SCF ($B_z=0$)			
RB RB SCF SCF ("")				RB RB SCF SCF ("")			
AB AB SCF SCF ("")				AB AB SCF SCF ("")			
R Z 炉心領域のマクロ定数は、 XMIXによって計算				IB IB SCF DCF ("")			
$\Sigma_{core}^i = (N_{SCF}^i + N_{DCF}^i) \sigma_{SCF}^i$				IB IB DCF SCF ("")			
				IB IB DCF DCF ("")			

Fig. 3.4-1

Fig. 3.4-2

iii. 計算コード等

- | | |
|--------|--------|
| ○厳密擾動 | ○厳密擾動 |
| ○PERKY | ○PERKY |
| ○7群 | ○7群 |

なお、いずれの場合も拡散係数としは、基準計算で作成した Single-Drawer モデルによる Benoist の異方性拡散係数を用いた。また、マルチドロワセルによるマクロ定数適用領域としては、燃料ドロワーとブランケットドロワー境界の 2 ドロワ相当分とした。

(ii) 計算結果

計算結果を Table 3.4-3 に示す。R Z モデルによる場合、マルチドロワ効果は、 $0.108\% \Delta k$ となった。一方、X Y Z モデルによる場合は、 $0.171\% \Delta k$ となった。X Y Z モデルの方がマルチドロワ効果として大きな値になった主な理由は、X Y Z モデルの方が炉心—ブランケット境界の表面積が大きいこと及び、両モデルで採用したマルチドロワモデルが異なるためであると考えられる。

いずれにしても、臨界性に対するマルチドロワ効果の影響は、 $0.1 \sim 0.2 \% \Delta k$ 程度であるが。一方、 ^{238}U (n, f) 等の反応率分布に対するマルチドロワ効果は数%～10%程度であることが Z P P R -13 等の検討結果から予想される。

今後、反応率分布に対するマルチドロワ効果の検討を行う必要がある。

Table 3.2-1 Summary of Method in JUPITER-III Analysis

項 目	基 本 計 算	補 正 計 算			
		メッシュ効果	群縮約効果	輸送理論効果	そ の 他
臨 界 性	18G XYZ Diff. RM, AD	18G XYZ Diff. DM, AD	—	7G XYZ Trans. RM, S ₄	
反応率分布 反応率比	18G XYZ Diff. RM, AD	18G XYZ Diff. DM, AD	—	7G XYZ Trans. RM, S ₄	
ポイド反応度 各種反応度	18G XYZ Diff. RM, AD, FOP(EP)	18G XYZ Diff. DM, AD, FOP	—	18G RZ Trans. RM, S ₄ FOP	
制御棒反応度	7G XYZ Diff. RM, AD (一部XY体系)	7G XYZ Diff. DM, AD (一部XY体系)	18G XY Diff. RM, AD	7G XYZ Trans RM, S ₄	

Diff. 拡散計算 CITATION-FBR

Trans. 輸送計算 TWOTRAN-2

RM 基本メッシュ (1 Mesh / 1 Drawer)

DM ダブルメッシュ (各方向に対し基本メッシュの 2 倍)

AD 非等方拡散係数

FOP 1次摂動

EP 厳密摂動

Table. 3.2-2 Computer Codes Used in Base Calculations
and Their Functions.

コード名	機能	参照文献
TIMS-PGG	核データ処理	(3)
PLTLIB	プレートデータの改訂	(4)
PLUTO	ドロワーの平均原子数密度計算	(4)
AVER	領域平均原子数密度計算	(4)
SLAROM	衝突確率法による1次元セル計算, その他	(5)
XMIX	マクロ定数の作成, 荷重平均	(2)
JOINT	PDSデータファイルと各コードのインターフェイス縮約計算	(2)
CITATION-FBR	2, 3次元拡散計算	(2)
TWOTRAN-2	2次元輸送計算	(2)
CIPER	拡散摂動計算(2, 3次元)	(6)
PERKY	拡散摂動計算(2, 3次元)	(7)
SNPERT	輸送摂動計算(2次元)	(8)
LAGOON	反応率分布計算	(9)
TRITAC	3次元輸送計算	(10),(11)
GAMLEG-JR	ガンマ線輸送定数作成	(15)

Table 3.4-1 Transport Effect in ZPPR-17A

		Using TRITAC for Transport Effect	Using TWOTRAN for Transport Effect
基 準 計 算		0.9947	
補 正 項	メッシュ { XY Z		-0.0012 -0.0010
	AMM		0.0002
	輸 送	0.0064	0.0063
補 正 後 計 算 値		0.9991	0.9990
実 驗 值		1.0005	
C/E		0.9986	0.9985

Table 3.4-2 Cell Model Effect on Criticality

体 系	Z P P R -17A	Z P P R -17B
基準計算*	0.9947	0.9936
各種補正後 (C)	0.9991	0.9993
実 驗 値 (E)	1.0005	1.0006
(Center-line) - (Plate-stretch)	+0.08%Δk	+0.09%Δk
C / E	0.9994	0.9996

* 基準計算値 : Plate-stretch モデル

Table 3.4-3 Multi Drawer Effect on Criticality in ZPPR-17A

Region *	R Z model	X Y Z model
IB (CORE)	0.031 %Δ k	0.017 %Δ k
CORE (IB)	0.036	0.068
CORE (RB)	0.022	0.024
CORE (AB)	0.009	0.055
RB (CORE)	0.002	0.002
AB (CORE)	0.008	0.005
Total	0.108 %Δ k	0.171 %Δ k

* () は隣接する領域を示す。

Bondarenko-Type
70-Group Set

Cell Homogenization

Cell Calculations

Group Collapsing

Reactor Calculation

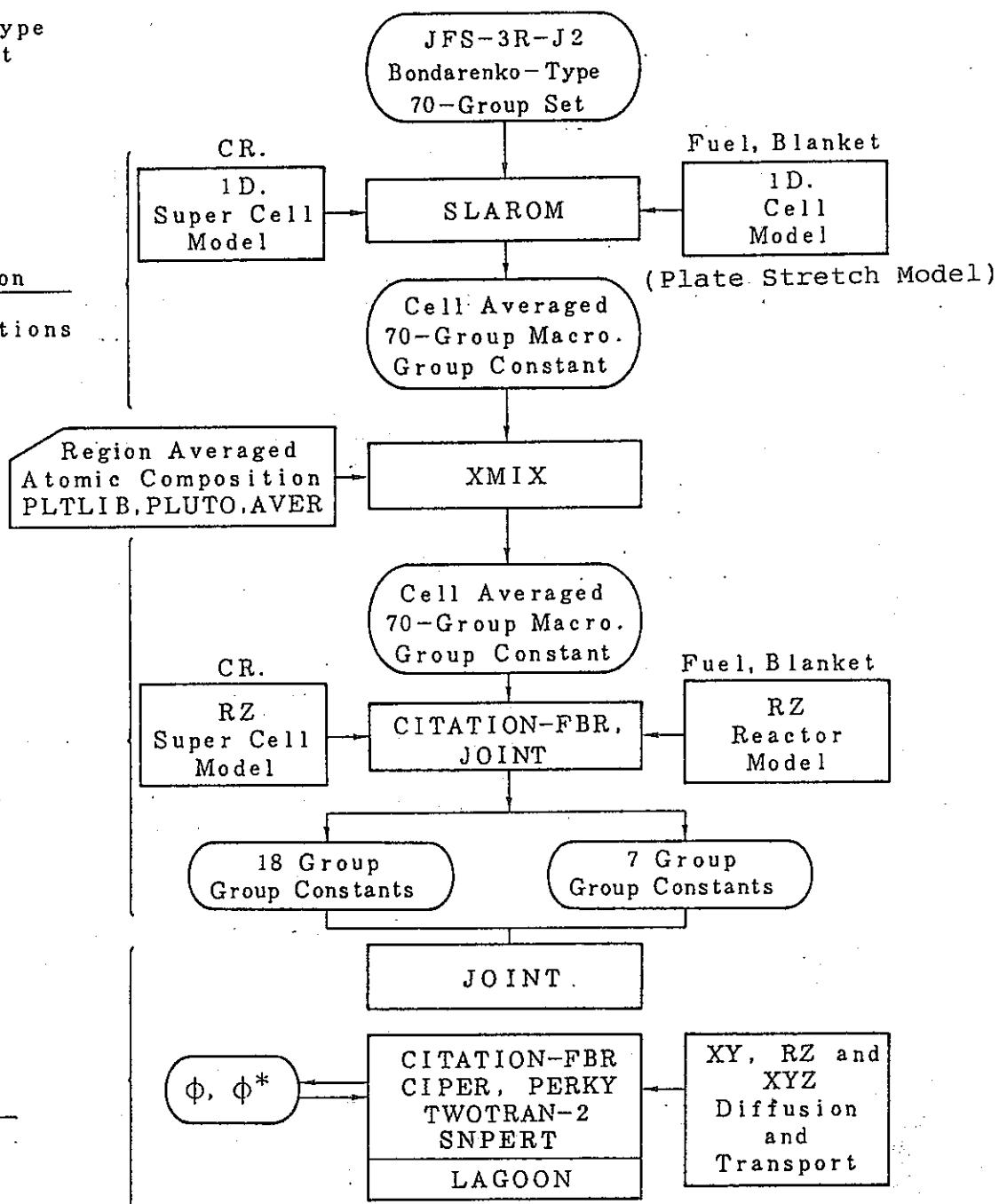


Fig. 3.2-1 General Flow for JUPITER-III Analysis.

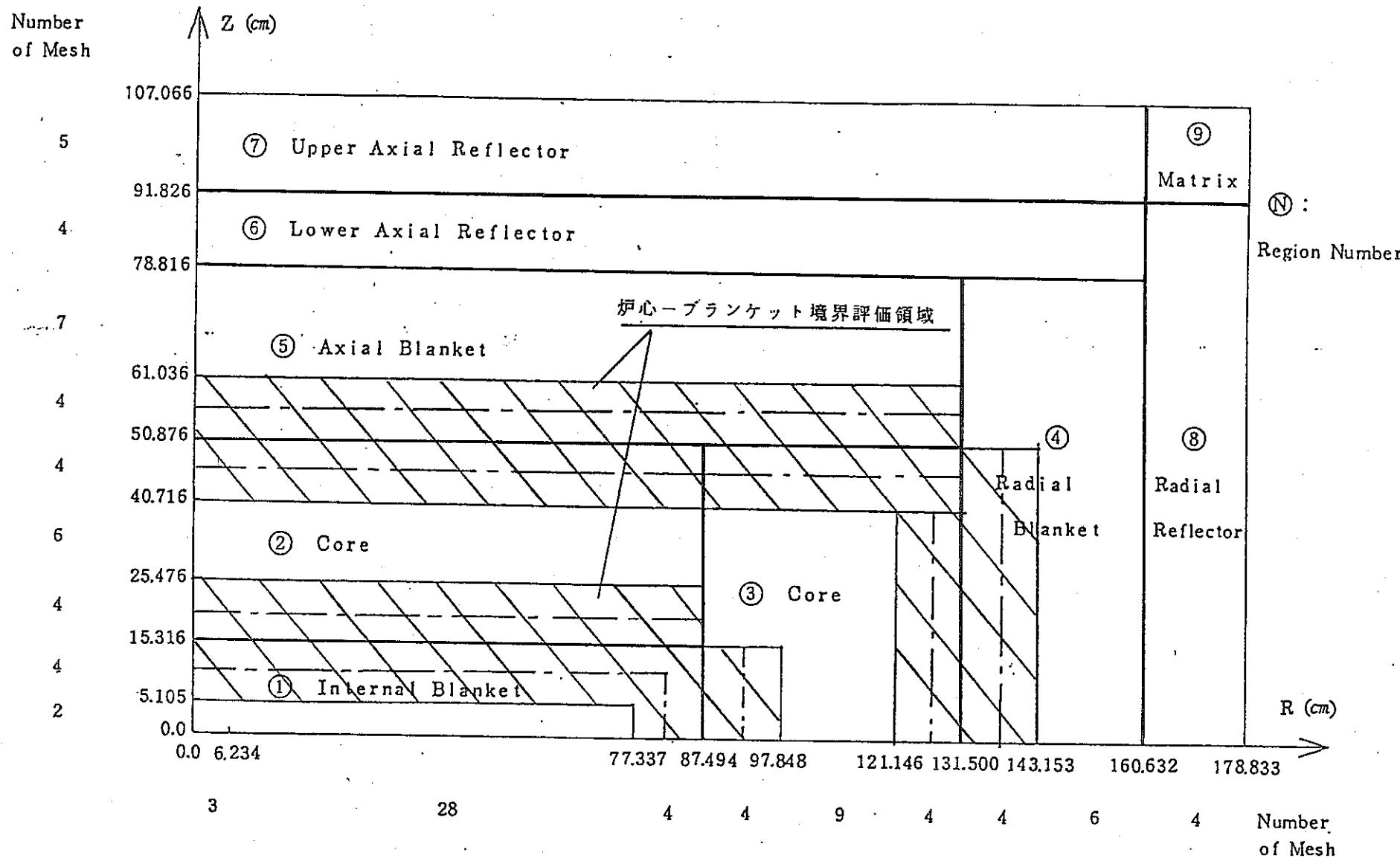
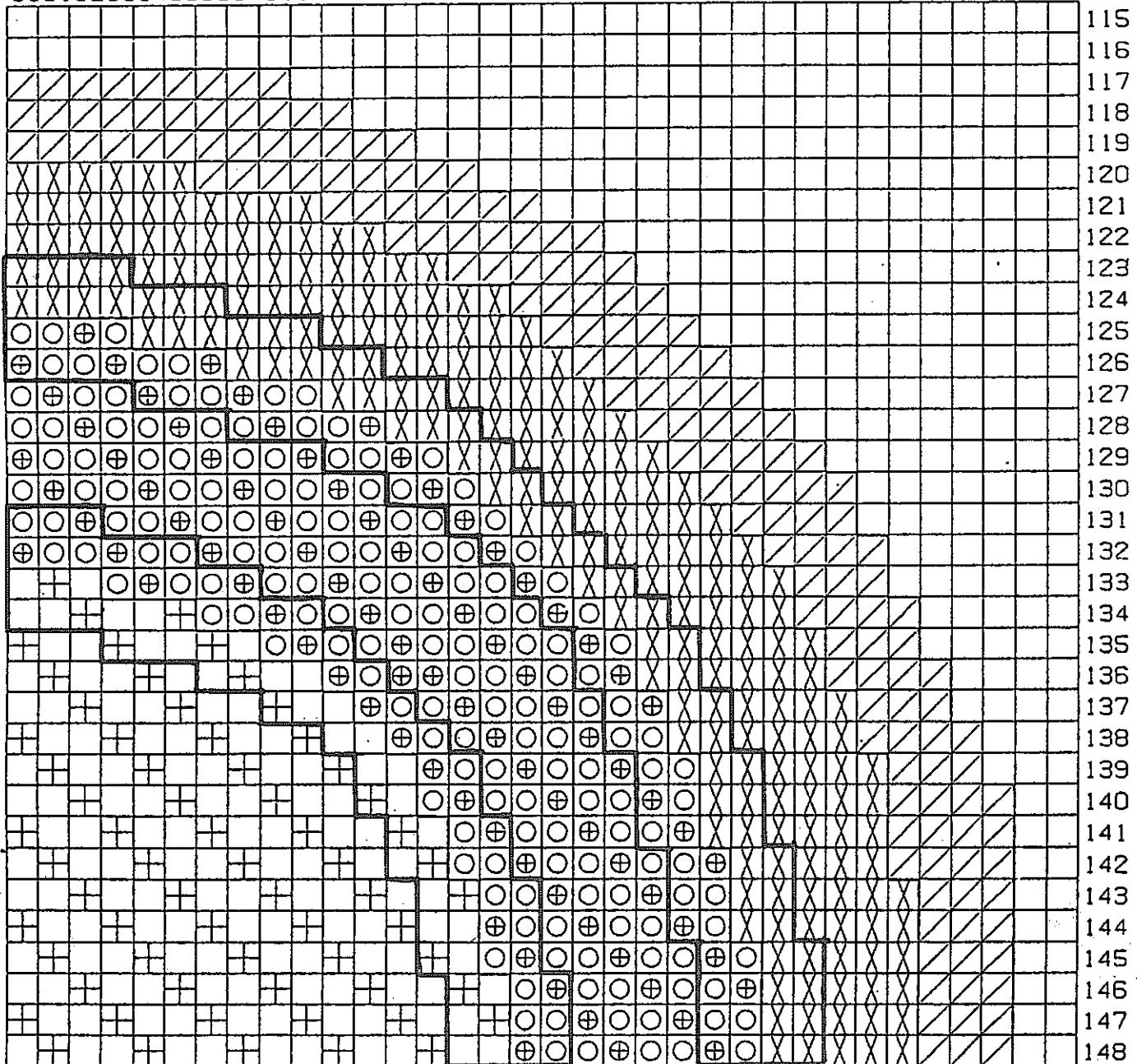


Fig. 3.4-1 RZ Calculation Model for Multi Drawer Effect in ZPPR-17A.

50515253545556575859606162636465666768697071727374757677787980818283



- SINGLE COLUMN FUEL DRAWER WITHOUT IB DOUBLE COLUMN FUEL DRAWER WITH IB
- SINGLE COLUMN FUEL DRAWER WITH IB RADIAL BLANKET
- DOUBLE COLUMN FUEL DRAWER WITHOUT IB RADIAL REFLECTOR

- Region for Multi Drawer Cell

Fig. 3.4-2 XYZ Calculation Model(XY Cross Section)

for Multi Drawer Effect in ZPPR-17A.

4. JUPITER-Ⅲ実験解析

4.1 臨界性

4.1.1 実験結果

ZPPR-17炉心実験の目的は、大型軸方向非均質炉心の核特性を研究することであり、これらの炉心の特徴として炉心の軸方向中心に内部プランケット領域が存在しており、内部プランケットは径方向には炉心の2/3付近までの位置を占めている。

ZPPR-17炉心は、内部プランケット、炉心、径方向プランケット、軸プランケット、軸／径方向反射体、CRP、CRから成っている。燃料ドロワーとしては、燃料カラムの個数が1つのSCF (Single Column Fuel) と2つのDCF (Double Column Fuel) の2種類があり、さらに、それぞれ内部プランケット領域を含むもの、含まないものの2つのバージョンに分かれる。⁽¹⁾ 内部プランケット領域は、ドロワーの前端から 152mm (6インチ) を占めている。

燃料プレートとしては、標準のZPPR Pu-U-Mo合金を使用した。SCFでは U_3O_8 と Fe_2O_3 、DCFでは U_3O_8 と Na_2CO_3 の形で酸素が含まれている。軸方向プランケットでは Fe_2O_3 プレートの不足のため実機の模擬性から見て酸素の量が若干不足している。

炉心高さは、509mm (20インチ)、軸プランケットの厚みは 279mm (11インチ) であり、径プランケット高さは 787mm (31インチ) である。炉心部も径プランケットも軸方向にさらに 127mm (5インチ) 厚の mild steel block があり、さらに各ドロワーの終端の後方に 152mm (6インチ) 厚の long stainless steel block がある。径反射体ドロワーの後方には long stainless steel block がなく、炉心部から 914mm (36インチ) にわたって stainless steel block になっている。内部プランケットを含めた炉心体積は 5518 l であり、内部プランケットを除いた炉心体積は 4777 l である。

出力制御用の運転棒PSRは 134-36のドロワー位置、およびX、Y、Z軸に対称な7つの位置にある。二枚の板状の吸収体を持つ (dual-blade) 安全棒は、144-30/31, 153-30/31, 144-67/68, 153-67/68 およびこれらの位置に対応するハーフ2に設置されている。これらの安全棒は完全な対称になっていないため、144-32, 144-69, 153-32, 153-69 および対応するハーフ2の計8ヶ所にnarrow drawer

を P S R に隣接する形に設置し、安全の対称性を保っている。

64個の fission chamber は炉心、 ブランケット、 反射体領域に分散して置かれている。炉心領域（内ブランケットを含む）では、 fission chamber は S C F のみに組み込まれている。12.7mm幅の普通型 fission chamber は炉心接合面から 77mm の所に中心が来るよう置かれ、 6.4mm幅のより小型の fission chamber は炉心接合面から 230mm、 382mm の所に中心が来るよう 156-39 のドロワーに設置されている。

（即ち、 156-39 には普通型を含め計 3 個存在する。） 256-39 のドロワーには、 6.4mm 幅の小型 fission chamber が、 炉心接合面から 77mm、 230mm、 382mm の所に中心が来るよう、 計 3 個が設置されている。fission chamber の位置を Table 4.1.1-1 に示す。Z P P R -17B、 17C では、 17A で用いられた 64 個のうち、 256-45 にあったものが、 C R P 位置に重なったため、 257-45 に移動された。

Z P P R -17A 炉心は、 1987 年 2 月 23 日に臨界を達成した。過剰反応度は、 炉心平均温度 27.3°C で 7.1 ± 0.1 % であった。炉心は Fig. 4.1.1-1 に示すように、 D C F が X 字状に装置されたパターンが基本になっている。

Z P P R -17B 炉心は、 17A に 2×2 ドロワーの C R P を 25 本加えたものである。この操作による反応度低下分を補償するために、 計 216 本の S C F が D C F に置き換えられた。この他、 前述したように 17A の fission chamber のうち 256-45 のものを、 C R P 設置にあたって 257-45 に移動した。Z P P R -17B は 1987 年 5 月 8 日に臨界を達成し、 過剰反応度は、 炉心平均温度 27.09°C で 11.7 ± 0.1 % であった。

Z P P R -17C 炉心は、 17B の 25 本の C R P のうち、 中心と 12 本の外側制御棒リングにハーフ 2 のみ C R ドロワーを設けたものである。C R ドロワーは、 炉心接合面から 787mm まで 100% natural B₄C plate であり、 それより後方は 127mm の sodium can である。787mm は、 軸方向ブランケットを軸方向反射体の境界に対応している。B₄C 量の制限から、 13 本すべての制御棒に軸反射体外端まで B₄C を満たすことができなかった。C R ドロワーとしては、 組成がほぼ等しいドロワーマスター 639 と 640 を用い、 640 は外側制御棒リングに、 639 は中心制御棒に用いられた。Z P P R -17C は 1987 年 6 月 16 日に臨界を達成し、 過剰反応度は 炉心平均温度 25.9 °C で 6.7 ± 0.1 % であった。

各炉心の炉心構成に関するデータを以下の図表にまとめる。

- 炉心体系図 Fig. 4.1.1-1~3
- ドロワー装荷数 Fig. 4.1.1-2~4
- ドロワータイプ別平均数密度 Fig. 4.1.1-5~7
- 領域別インベントリー一覧 Fig. 4.1.1-8~10

Z P P R - 17A より 17B へ移行する時には 25 本の C R P を設けることに対する反応度の補正として、25 本分の燃料分より多量の核分裂物質を必要とし、その結果核分裂物質のインベントリーが増加するようと思えるが、Table 4.1.1-8 と 4.1.1-9 を比較すると実際は Z P P R - 17B の方がインベントリーが小さくなっている。これは、C R P の設置により内部ブランケットのウラン装荷量が減少したこと、C R P の存在するインポータンスが比較的低い中心付近からほぼ均質に核分裂物質を移動したこと等、軸方向非均質炉心に特有な原因によるものと考えられる。

Table 4.1.1-11 に主要な炉心パラメータ、臨界性実験結果を示す。

4.1.2 解析方法

今回用いた手法は、基本的には J U P I T E R - I, II で用いられた標準解析手法と同等である。即ち、J F S - 3 R - J 2 を用いた Critical Buckling のセル計算によって得られた 18 群の実効マクロ定数を使用して C I T A T I O N - F B R により基本計算を行ない、メッシュ効果、輸送効果を補正計算で取り入れた。今回の解析で異なるのは、輸送効果を 3 次元輸送計算コード T R I T A C を用いて評価した点である。

(1) セル計算

セル計算においてはセルの 1 次元モデル化手法が重要なポイントの 1 つであるが、今回は J U P I T E R - I, II の時と同様、Plate stretch モデルを用いた。このモデルは、ドロワーの上下部の構造材を重核種を含まない構造材、減速材横擬プレートにスマアした後、すべてのプレートをドロワー高さに stretch したモデルである。⁽²⁾ このモデルでは共鳴核種の自己遮蔽効果を評価する場合、実際のプレートの数密度が stretch されることでうすめられるため、誤差を生ずる恐れがある。しかし、全体の平均数密度は保存されるため Benoist の拡散係数を計算することができ、1 回のセル計算で拡散係数も同時に求まるという利点がある。

JUPITERワーキンググループにおいても種々のモデルの提案がなされ、大阪大学を中心にセルモデルの検討がなされた。特に共鳴核種の自己遮蔽効果を忠実に扱うと考えられた Centerline モデル（実際のプレート数密度を使用）の導入について検討されたが、2次元セル計算と比較した結果、このモデルの有効性には核種依存性があり、実際の炉心解析に用いても Stretch モデルと大差がないことが明らかになった。⁽³⁾ 参考のため ZPPR-9に対するセルモデル間の比較を付録Aに示す。

セル計算の際には、燃料ドロワー、プランケットドロワー共に臨界になるような軸方向バックリング（全エネルギー群に共通）をバックリングサーチにより自動的に求めてセル計算に使用した。Table 4.1.2-1 に代表ドロワーの k_{∞} およびバックリング適用後の k を示す。付録Bに SLAROM の入力を示す。

(2) 群縮約計算

2次元 RZ 体系 (Fig. 4.1.2-1~3)での拡散計算による 70 群中性子束を用いて、18 群および 7 群縮約定数を作成した。ZPPR-17B, 17C には CRP と CR が存在するので、同等の体積を持つリング状としてモデル化した。70 群、18 群、7 群の群構造を Table 4.1.2-2 に示す。

(3) 基本計算

基本計算は CITATION-FBR を用いて拡散係数の異方性を考慮した 3 次元 XYZ 18 群拡散計算で行なった。ZPPR-17A, -17B は 1/8 対称炉心であるのでメッシュ数は $32 \times 32 \times 21$ であったが、ZPPR-17C は制御棒が中途挿入されており上下非対称な体系であるため、メッシュ数は $32 \times 32 \times 42$ となった。計算体系図 (XY 断面) を Fig. 4.1.2-4~6 に Z 方向のメッシュ分割を Fig. 4.1.2-7 に示す。

実際の体系は Fig. 4.1.2-4~6 のように Single Column Fuel と Double Column Fuel の差だけでなく、同種のドロワー間にも使用するプレートの種類の違いからくる差が存在する。この差は、主に Pu や U のインベントリーの差の形で臨界性、反応率分布等に影響を与えることがわかっている。この差を補正計算の形で取り入れることを AMM 補正 (All Master Model) と呼んでおり、

JUPITER-IIの径方向非均質炉心では特に補正量が大きくなることがわかった。⁽⁴⁾しかし、今回の実験ではできる限りAMM補正を小さくするように平均的にドロワーを装荷した他、軸方向非均質炉心では径方向非均質炉心に比べこの効果が小さいと考えられる。このため、本解析では付録Cに示す方法で補正值を求め、基準計算に含めた形で取り扱った。

(4) 補正計算

上記の基本計算にメッシュ効果、輸送理論効果の補正を行なった。

a) メッシュ効果

メッシュ効果はXYとZ方向に分離して各々補正量を求め、XYZ 3次元のメッシュ補正として両者を足し合わせた。

XY方向については、3次元XYZ 7群拡散計算を行ない、XおよびY方向のメッシュ数を2倍にした（即ち1ドロワーあたり4メッシュ）時の実効増倍率 k_{xy}^d と元の基準メッシュ（即ち1ドロワーあたり1メッシュ）時の実効増倍率 k^s を用いて、下式に示すように外挿した。

$$k_{xy}^{\infty} = \frac{4}{3} k_{xy}^d - \frac{1}{3} k^s$$

Z方向については、3次元XYZ 7群拡散計算を行ない、Z方向のメッシュ数を2倍にした時の実効増倍率 k_z^d を用いて、下式に示すように外挿した。

$$k_z^{\infty} = \frac{4}{3} k_z^d - \frac{1}{3} k^s$$

さらに、3次元XYZに対する補正量 Δk_{xyz} を下式を用いて算出した。

$$\begin{aligned} \Delta k_{xyz}^{\infty} &= k_{xy}^{\infty} - k^s + k_z^{\infty} - k^s \\ &= k_{xy}^{\infty} + k_z^{\infty} - 2 k^s \end{aligned}$$

b) 輸送理論効果

輸送理論効果は、3次元輸送計算コードTRITAC⁽⁵⁾によって評価した。

既にこのコードを用いてJUPITER-I, IIで用いられた従来手法の妥当性が確認されており、⁽⁶⁾本解析の手法と従来手法との一貫性が保たれている。

輸送計算におけるメッシュ補正と S_N 補正是 S_4 計算でほぼキャンセルする

傾向があるので、(6) 補正は行なわなかった。拡散計算については、メッシュ補正と同様の手法で無限メッシュの値に外挿した。

輸送計算および拡散計算は3次元XYZ7群計算で行ない、得られた無限メッシュ相当の固有値の差を輸送理論補正とした。

c) 群縮約効果

RZ拡散計算による検討によると、18群計算の70群計算に対する群縮約効果はZPPR-17Aの場合で $-0.003\% \Delta k / k$ 程度で無視できる量であるため、群縮約補正は行なっていない。

4.1.3 解析結果

上記解析手法によるZPPR-17A, 17Bおよび17Cの臨界性の解析結果をTable 4.1.3-1に示す。比較のため、均質炉心であるZPPR-9, 径方向非均質炉心ZPPR-13Aについて同じ解析手法を適用した場合の結果も示した。ZPPR-9, 13A, 17Aはいずれもクリーン体系の同出力規模の炉心であるので直接比較することができる。

ZPPR-17Aのメッシュ効果及び輸送効果は、均質炉心と径方向非均質炉心の中間に位置している。25本のCRPを持つ17Bや13本の半挿入CRを持つ17Cではメッシュ効果、輸送効果がさらに大きくなっている。補正後のC/E値は、ほぼZPPR-9と17Aで一致している。

CRPやCRを持つ炉心の輸送効果比較をTable 4.1.3-2に示す。CRP/CR本数やサイズ、CR挿入状態が異なるため直接の比較はできないが、炉心概念の違いにかかわらず、CRPやCRを持つ体系では輸送効果が増大する傾向が見られる。

Table 4.1.1-1 Fission Chamber Locations
in ZPPR-17A, 17B and 17C.

<u>Matrix Location^a</u>	<u>Region^b</u>	<u>Matrix Location^a</u>	<u>Region^b</u>
120-57	RR	226-39	RB
126-57	RB	232-33	C
132-51	C	232-44	C
132-63	C	238-27	RB
138-57	IB	238-39	IB
138-69	C	244-32	C
144-64	IB	244-45	IB
144-75	RB	250-27	C
126-45	C	226-51	C
132-27	RB	226-64	RB
132-39	C	232-57	C
138-33	C	232-69	RB
139-46	IB	232-51	IB
144-27	C	238-63	C
144-39	IB	244-58	IB
144-51	IB	244-69	C
150-33	C	250-51	IB
150-45	IB	250-63	IB
156-27	RB	250-75	RB
156-39	IB	256-39 ^e	IB
156-39 ^c	C	256-39 ^c	C
156-39 ^d	C	256-39 ^d	C
156-51	IB	256-57	IB
162-33	C	256-69	C
162-45	IB	262-51	IB
168-39	C	262-63	C
150-57	IB	268-57	C
150-69	C	250-39	IB
156-63	IB	256-33	C
162-57	IB	256-45 ^f	IB
162-69	C	262-27	RB
168-51	C	262-39	C
168-63	C	268-33	RB
174-63	RB	268-45	C
		274-51	RB

^aChambers centered ±77 mm from midplane.

^bRR is radial reflector, RB is radial blanket, C is core,
IB is internal blanket.

^cNarrow chamber centered 230 mm from miplane.

^dNarrow chamber centered 382 mm from midplane.

^eNarrow chamber centered 77 mm from midplane.

^fMoved to 257-45 in ZPPR-17B and 17C
to accommodate a CRP.

Table 4.1.1-2 Drawer Loading Summary for the
ZPPR-17A Critical Reference

Inner Core - Drawers with Internal Blanket

Drawers with one column of fuel (Includes 23 drawers with fission chambers and 8 narrow drawers adjacent to PSRs)	1056
Drawers with two columns of fuel (Includes 8 narrow drawers adjacent to PSRs)	520

Outer Core

Drawers with one column of fuel (Includes 28 drawers with fission chambers, two drawers with thermocouples, and 16 narrow drawers adjacent to PSRs)	1304
Drawers with two columns of fuel (Includes 8 narrow drawers adjacent to PSRs)	680

Radial Blanket

Radial blanket drawers (Includes 13 drawers with fission chambers)	1752
--	------

Radial Reflector

Stainless-steel-filled reflector drawers (Includes one drawer with fission chamber)	1272
---	------

Table 4.1.1-3 Drawer Loading Summary for the
ZPPR-17B Critical Reference

Inner Core - Drawers with Internal Blanket

Drawers with one column of fuel (Includes 23 drawers with fission chambers and 8 narrow drawers adjacent to PSRs)	888
Drawers with two columns of fuel (Includes 8 narrow drawers adjacent to PSRs)	584

Outer Core

Drawers with one column of fuel (Includes 28 drawers with fission chambers, two drawers with thermocouples, and 16 narrow drawers adjacent to PSRs)	1128
Drawers with two columns of fuel (Includes 8 narrow drawers adjacent to PSRs)	760

Control Rod Position Drawers

Drawers filled with sodium cans	200
---------------------------------	-----

Radial Blanket

Radial blanket drawers (Includes 13 drawers with fission chambers)	1752
--	------

Radial Reflector

Stainless-steel-filled reflector drawers (Includes one drawer with fission chamber)	1272
---	------

Table 4.1.1-4 Drawer Loading Summary for the
ZPPR-17C Critical Reference

Inner Core - Drawers with Internal Blanket

Drawers with one column of fuel (Includes 23 drawers with fission chambers and 8 narrow drawers adjacent to PSRs)	704
---	-----

Drawers with two columns of fuel (Includes 8 narrow drawers adjacent to PSRs)	768
--	-----

Outer Core

Drawers with one column of fuel (Includes 28 drawers with fission chambers, two drawers with thermocouples and 16 narrow drawers adjacent to PSRs)	888
---	-----

Drawers with two columns of fuel (Includes 8 narrow drawers adjacent to PSRs)	1000
--	------

Control Rod Position

Sodium-filled drawers	148
-----------------------	-----

Control Rod

B ₄ C-filled drawers	52
---------------------------------	----

Radial Blanket

Radial blanket drawers (Includes 13 drawers with fission chambers)	1752
---	------

Radial Reflector

Stainless-steel-filled drawers (Includes one drawer with fission chamber)	1272
--	------

Table 4.1.1-5 ZPPR Assembly 17A: Atom Densities by Zone⁺

Isotope	Central Blanket SFC 0-6	Central Blanket DFC 0-6	Inner Core [*] SFC 6-20	Inner Core [*] DFC 6-20	Axial Blanket 20-31	Reflector Iron Block 31-36
C	0.0000333	0.0000331	0.0000331	0.0022784	0.0000532	0.0005889
O	0.0136987	0.0136964	0.0137650	0.0155776	0.0088214	--
Na	0.0092061	0.0091685	0.0092879	0.0087252	0.0092111	--
Si	0.0001433	0.0001458	0.0001570	0.0001822	0.0001925	0.0001231
Al	0.0000029	0.0000029	0.0000040	0.0000062	0.0000029	--
Mn	0.0002046	0.0002019	0.0002282	0.0002671	0.0003416	0.0006795
Cr	0.0023927	0.0023712	0.0026610	0.0031593	0.0041613	0.0020617
Fe	0.0118901	0.0117862	0.0128337	0.0111569	0.0147819	0.0758126
Ni	0.0010320	0.0010430	0.0011633	0.0014326	0.0017657	0.0008384
Cu	0.0000274	0.0000319	0.0000294	0.0000365	0.0000446	0.0000276
Mo	0.0000129	0.0000150	0.0002395	0.0004633	0.0000348	0.0000138
U5	0.0000178	0.0000178	0.0000127	0.0000182	0.0000179	--
U8	0.0081368	0.0081355	0.0058393	0.0082951	0.0081563	--
P8	--	--	0.0000005	0.0000010	--	--
P9	--	--	0.0008875	0.0017529	--	--
P0	--	--	0.0001175	0.0002314	--	--
P1	--	--	0.0000074	0.0000142	--	--
P2	--	--	0.0000019	0.0000037	--	--
A1	--	--	0.0000109	0.0000210	--	--
P	0.0000053	0.0000047	0.0000053	0.0000047	0.0000101	0.0000236
S	0.0000010	0.0000013	0.0000010	0.0000016	0.0000081	0.0000313
Cl	0.0000003	0.0000003	0.0000003	0.0000060	0.0000003	--
Ca	0.0000021	0.0000021	0.0000021	0.0000010	0.0000021	--
Co	0.0000008	0.0000047	0.0000008	0.0000043	0.0000020	0.0000014

*Drawers with inner blanket

+Numbers for the actual loading; taken from Ref.(1)

Table 4.1.1-5 (contd)

Isotope	Reflector Stainless 36-42	Outer Core SFC 0-6	Outer Core DFC 0-6	Outer Core SFC 6-20	Outer Core DFC 6-20	Axial Blanket 20-31
C	0.0002143	0.0000332	0.0022752	0.0000331	0.0022870	0.0000532
O	--	0.0136987	0.0155223	0.0137650	0.0156026	0.0088213
Na	--	0.0092447	0.0087164	0.0092246	0.0087434	0.0091835
Si	0.0008629	0.0001553	0.0001800	0.0001575	0.0001817	0.0001925
Al	--	0.0000038	0.0000057	0.0000041	0.0000062	0.0000029
Mn	0.0015241	0.0002267	0.0002609	0.0002294	0.0002654	0.0003415
Cr	0.0150441	0.0026487	0.0030954	0.0026741	0.0031422	0.0041605
Fe	0.0531084	0.0127704	0.0109304	0.0128793	0.0110970	0.0147790
Ni	0.0066621	0.0011599	0.0014039	0.0011699	0.0014240	0.0017656
Cu	0.0000172	0.0000289	0.0000360	0.0000294	0.0000363	0.0000446
Mo	0.0000083	0.0002402	0.0004697	0.0002398	0.0004685	0.0000349
U5	--	0.0000126	0.0000183	0.0000127	0.0000183	0.0000179
U8	--	0.0057976	0.0083514	0.0058140	0.0083529	0.0081562
P8	--	0.0000003	0.0000010	0.0000004	0.0000010	--
P9	--	0.0008888	0.0017783	0.0008879	0.0017727	--
P0	--	0.0001178	0.0002354	0.0001176	0.0002346	--
P1	--	0.0000064	0.0000145	0.0000066	0.0000145	--
P2	--	0.0000016	0.0000039	0.0000017	0.0000038	--
A1	--	0.0000103	0.0000216	0.0000106	0.0000215	--
P	--	0.0000053	0.0000047	0.0000053	0.0000047	0.0000101
S	--	0.0000010	0.0000016	0.0000010	0.0000016	0.0000081
Cl	--	0.0000003	0.0000060	0.0000003	0.0000061	0.0000003
Ca	--	0.0000021	0.0000010	0.0000021	0.0000010	0.0000021
Co	--	0.0000008	0.0000046	0.0000008	0.0000044	0.0000020

Table 4.1.1-5 (contd)

<u>Isotope</u>	Reflector Iron Block <u>31-36</u>	Reflector Stainless <u>36-42</u>	Radial Blanket <u>0-6</u>	Radial Blanket <u>6-20</u>	Axial Blanket <u>20-31</u>	Reflector Iron Block <u>31-36</u>
C	0.0005882	0.0002143	0.0000322	0.0000323	0.0000323	0.0005928
O	--	--	0.0223887	0.0225016	0.0224943	--
Na	--	--	0.0042238	0.0042451	0.0042293	--
Si	0.0001244	0.0008629	0.0001388	0.0001397	0.0001397	0.0001164
Al	--	--	0.0000024	0.0000024	0.0000025	--
Mn	0.0006804	0.0015241	0.0001976	0.0001990	0.0001990	0.0006745
Cr	0.0020814	0.0150441	0.0023029	0.0023123	0.0023124	0.0019581
Fe	0.0757474	0.0531084	0.0082260	0.0082639	0.0082641	0.0761486
Ni	0.0008475	0.0066621	0.0009924	0.0009938	0.0009938	0.0007910
Cu	0.0000276	0.0000172	0.0000282	0.0000285	0.0000285	0.0000273
Mo	0.0000139	0.0000083	0.0000133	0.0000132	0.0000132	0.0000137
U5	--	--	0.0000288	0.0000290	0.0000289	--
U8	--	--	0.0132208	0.0132875	0.0132871	--
P8	--	--	--	--	--	--
P9	--	--	--	--	--	--
P0	--	--	--	--	--	--
P1	--	--	--	--	--	--
P2	--	--	--	--	--	--
A1	--	--	--	--	--	--
P3	0.0000236	--	0.0000050	0.0000051	0.0000051	0.0000234
S	0.0000313	--	0.0000011	0.0000011	0.0000011	0.0000314
C1	--	--	0.0000001	0.0000001	0.0000001	--
Ca	--	--	0.0000010	0.0000010	0.0000010	--
Co	0.0000015	--	0.0000018	0.0000017	0.0000017	0.0000012

Table 4.1.1-5 (contd)

Isotope	Reflector Stainless 36-42	Radial Reflector 0-36	Blanket Central (SFC+DFC) 0-6	Inner Core * (SFC+DFC) 6-20	Outer Core (SFC+DFC) 0-6	Outer Core (SFC+DFC) 6-20
C	0.0002143	0.0002510	0.0000332	0.0007739	0.0008016	0.0008056
O	--	--	0.0136981	0.0143632	0.0143237	0.0143948
Na	--	--	0.0091938	0.0091023	0.0090636	0.0090597
Si	0.0008629	0.0008767	0.0001441	0.0001653	0.0001638	0.0001658
Al	--	--	0.0000029	0.0000047	0.0000045	0.0000048
Mn	0.0015241	0.0013973	0.0002037	0.0002410	0.0002384	0.0002417
Cr	0.0150441	0.0153821	0.0023857	0.0028254	0.0028018	0.0028346
Fe	0.0531084	0.0546625	0.0118560	0.0122806	0.0121398	0.0122684
Ni	0.0066621	0.0066801	0.0010357	0.0012522	0.0012436	0.0012570
Cu	0.0000172	0.0000400	0.0000289	0.0000317	0.0000313	0.0000318
Mo	0.0000083	0.0000368	0.0000136	0.0003133	0.0003189	0.0003182
U5	--	--	0.0000178	0.0000145	0.0000146	0.0000146
U8	--	--	0.0081365	0.0066497	0.0066729	0.0066842
P8	--	--	--	0.0000007	0.0000006	0.0000006
P9	--	--	--	0.0011731	0.0011937	0.0011912
P0	--	--	--	0.0001551	0.0001581	0.0001577
P1	--	--	--	0.0000096	0.0000092	0.0000094
P2	--	--	--	0.0000025	0.0000024	0.0000024
A1	--	--	--	0.0000142	0.0000142	0.0000143
P	--	0.0000458	0.0000051	0.0000051	0.0000051	0.0000051
S	--	0.0000352	0.0000011	0.0000012	0.0000012	0.0000012
C1	--	--	0.0000003	0.0000022	0.0000023	0.0000023
Ca	--	--	0.0000021	0.0000017	0.0000017	0.0000017
Co	--	0.0000009	0.0000021	0.0000020	0.0000021	0.0000020

*Drawers with inner blanket

Table 4.1.1-5 (contd)

<u>Isotope</u>	<u>Empty Matrix</u>
C	0.0000188
O	--
Na	--
Si	0.0000683
Al	--
Mn	0.0001059
Cr	0.0011891
Fe	0.0042791
Ni	0.0004802
Cu	0.0000172
Mo	0.0000083
U5	--
U8	--
P8	--
P9	--
P0	--
P1	--
P2	--
A1	--
P	0.0000028
S	0.0000007
Cl	--
Ca	--
Co	--

Table 4.1.1-6 ZPPR Assembly 17B: Atom Densities by Zone⁺

Isotope	Central Blanket	Central Blanket	Inner Core*	Inner Core*	Axial Blanket	Reflector Iron Block
	SFC 0-6	DFC 0-6	SFC 6-20	DFC 6-20	20-31	31-36
C	0.0000333	0.0000342	0.0000331	0.0022822	0.0000532	0.0005884
O	0.0136987	0.0136964	0.0137650	0.0155893	0.0088213	--
Na	0.0091995	0.0091764	0.0092812	0.0087323	0.0092077	--
Si	0.0001434	0.0001498	0.0001570	0.0001822	0.0001926	0.0001231
Al	0.0000029	0.0000029	0.0000040	0.0000062	0.0000029	--
Mn	0.0002047	0.0002081	0.0002282	0.0002672	0.0003414	0.0006786
Cr	0.0023943	0.0024413	0.0026606	0.0031600	0.0041603	0.0020566
Fe	0.0118957	0.0120382	0.0128326	0.0111595	0.0147764	0.0757381
Ni	0.0010326	0.0010714	0.0011632	0.0014331	0.0017666	0.0008383
Cu	0.0000274	0.0000329	0.0000294	0.0000365	0.0000448	0.0000277
Mo	0.0000129	0.0000155	0.0002394	0.0004633	0.0000350	0.0000139
U5	0.0000178	0.0000178	0.0000127	0.0000182	0.0000179	--
U8	0.0081368	0.0081355	0.0058392	0.0082951	0.0081562	--
P8	--	--	0.0000005	0.0000010	--	--
P9	--	--	0.0008875	0.0017529	--	--
P0	--	--	0.0001175	0.0002314	--	--
P1	--	--	0.0000073	0.0000140	--	--
P2	--	--	0.0000019	0.0000037	--	--
A1	--	--	0.0000109	0.0000211	--	--
P	0.0000053	0.0000049	0.0000053	0.0000047	0.0000101	0.0000235
S	0.0000010	0.0000013	0.0000010	0.0000016	0.0000081	0.0000313
Cl	0.0000003	0.0000003	0.0000003	0.0000060	0.0000003	--
Ca	0.0000021	0.0000021	0.0000021	0.0000010	0.0000021	--
Co	0.0000008	0.0000047	0.0000008	0.0000043	0.0000022	0.0000017

* Drawers with inner blanket

+ Numbers for the actual loading ; taken from Ref.(1)

Table 4.1.1-6 (contd)

Isotope	Reflector Stainless	Outer Core SFC	Outer Core DFC	Outer Core SFC	Outer Core DFC	Axial Blanket
	36-42	0-6	0-6	6-20	6-20	20-31
C	0.0002143	0.0000343	0.0022792	0.0000331	0.0022898	0.0000532
O	- -	0.0136985	0.0155311	0.0137649	0.0156113	0.0088222
Na	- -	0.0092311	0.0087208	0.0092111	0.0087495	0.0091804
Si	0.0008629	0.0001593	0.0001840	0.0001574	0.0001817	0.0001926
Al	- -	0.0000038	0.0000057	0.0000041	0.0000062	0.0000029
Mn	0.0015241	0.0002328	0.0002673	0.0002294	0.0002654	0.0003414
Cr	0.0150441	0.0027175	0.0031671	0.0026738	0.0031426	0.0041601
Fe	0.0531084	0.0130179	0.0111884	0.0128780	0.0110985	0.0147759
Ni	0.0066621	0.0011875	0.0014329	0.0011697	0.0014240	0.0017666
Cu	0.0000172	0.0000299	0.0000370	0.0000294	0.0000363	0.0000448
Mo	0.0000083	0.0002411	0.0004699	0.0002400	0.0004685	0.0000350
U5	- -	0.0000126	0.0000183	0.0000127	0.0000183	0.0000179
U8	- -	0.0057991	0.0083488	0.0058138	0.0083534	0.0081570
P8	- -	0.0000003	0.0000010	0.0000003	0.0000010	- -
P9	- -	0.0008898	0.0017772	0.0008882	0.0017727	- -
P0	- -	0.0001179	0.0002353	0.0001177	0.0002346	- -
P1	- -	0.0000063	0.0000144	0.0000066	0.0000144	- -
P2	- -	0.0000016	0.0000039	0.0000017	0.0000039	- -
A1	- -	0.0000103	0.0000217	0.0000106	0.0000216	- -
P	- -	0.0000054	0.0000048	0.0000053	0.0000047	0.0000101
S	- -	0.0000010	0.0000016	0.0000010	0.0000016	0.0000081
C1	- -	0.0000003	0.0000060	0.0000003	0.0000061	0.0000003
Ca	- -	0.0000021	0.0000010	0.0000021	0.0000010	0.0000021
Co	- -	0.0000008	0.0000046	0.0000008	0.0000043	0.0000023

Table 4.1.1-6 (contd)

<u>Isotope</u>	Reflector Iron Block <u>31-36</u>	Reflector Stainless <u>36-42</u>	Radial Blanket <u>0-6</u>	Radial Blanket <u>6-20</u>	Axial Blanket <u>20-31</u>	Reflector Iron Block <u>31-36</u>
C	0.0005875	0.0002143	0.0000331	0.0000323	0.0000323	0.0005923
O	--	--	0.0224198	0.0225016	0.0224943	--
Na	--	--	0.0042298	0.0042451	0.0042293	--
Si	0.0001234	0.0008629	0.0001420	0.0001397	0.0001397	0.0001148
Al	--	--	0.0000024	0.0000024	0.0000025	--
Mn	0.0006781	0.0015241	0.0002028	0.0001990	0.0001990	0.0006719
Cr	0.0020591	0.0150441	0.0023609	0.0023123	0.0023124	0.0019296
Fe	0.0756250	0.0531084	0.0084347	0.0082639	0.0082641	0.0760459
Ni	0.0008401	0.0066621	0.0010153	0.0009938	0.0009938	0.0007794
Cu	0.0000275	0.0000172	0.0000290	0.0000285	0.0000285	0.0000269
Mo	0.0000138	0.0000083	0.0000137	0.0000132	0.0000132	0.0000135
U5	--	--	0.0000288	0.0000290	0.0000289	--
U8	--	--	0.0132393	0.0132875	0.0132871	--
P8	--	--	--	--	--	--
P9	--	--	--	--	--	--
P0	--	--	--	--	--	--
P1	--	--	--	--	--	--
P2	--	--	--	--	--	--
A1	--	--	--	--	--	--
P	0.0000235	--	0.0000052	0.0000051	0.0000051	0.0000233
S	0.0000313	--	0.0000011	0.0000011	0.0000011	0.0000314
Cl	--	--	0.0000001	0.0000001	0.0000001	--
Ca	--	--	0.0000010	0.0000010	0.0000010	--
Co	0.0000017	--	0.0000017	0.0000017	0.0000017	0.0000012

Table 4.1.1-6 (contd)

Isotope	Central					
	Reflector Stainless 36-42	Reflector Reflector 0-36	Blanket (SFC+DFC) 0-6	Inner Core (SFC+DFC) 6-20	Outer Core (SFC+DFC) 0-6	Outer Core (SFC+DFC) 6-20
C	0.0002143	0.0002506	0.0000337	0.0009254	0.0009380	0.0009416
O	--	--	0.0136978	0.0144887	0.0144375	0.0145095
Na	--	--	0.0091902	0.0090633	0.0090264	0.0090259
Si	0.0008629	0.0008751	0.0001459	0.0001670	0.0001693	0.0001672
Al	--	--	0.0000029	0.0000049	0.0000046	0.0000049
Mn	0.0015241	0.0013948	0.0002061	0.0002436	0.0002467	0.0002439
Cr	0.0150441	0.0153536	0.0024129	0.0028588	0.0028987	0.0028628
Fe	0.0531084	0.0545599	0.0119522	0.0121688	0.0122826	0.0121628
Ni	0.0066621	0.0066686	0.0010480	0.0012702	0.0012864	0.0012722
Cu	0.0000172	0.0000396	0.0000296	0.0000322	0.0000328	0.0000322
Mo	0.0000083	0.0000366	0.0000139	0.0003282	0.0003333	0.0003320
U5	--	--	0.0000178	0.0000149	0.0000149	0.0000149
U8	--	--	0.0081363	0.0068136	0.0068261	0.0068368
P8	--	--	--	0.0000007	0.0000006	0.0000006
P9	--	--	--	0.0012308	0.0012471	0.0012444
P0	--	--	--	0.0001627	0.0001652	0.0001648
P1	--	--	--	0.0000100	0.0000096	0.0000097
P2	--	--	--	0.0000026	0.0000025	0.0000026
A1	--	--	--	0.0000149	0.0000149	0.0000151
P	--	0.0000457	0.0000051	0.0000051	0.0000052	0.0000051
S	--	0.0000352	0.0000011	0.0000012	0.0000012	0.0000012
C1	--	--	0.0000003	0.0000026	0.0000026	0.0000026
Ca	--	--	0.0000021	0.0000017	0.0000016	0.0000016
Co	--	0.0000009	0.0000024	0.0000022	0.0000023	0.0000022

Table 4.1.1-6 (contd)

<u>Isotope</u>	<u>Empty Matrix 0-60</u>	<u>Control Position 0-20</u>	<u>Control Position 20-31</u>
C	0.0000188	0.0000314	0.0000369
O	- -	0.0000013	0.0000013
Na	- -	0.0182024	0.0182389
Si	0.0000683	0.0001670	0.0001667
Al	- -	0.0000045	0.0000049
Mn	0.0001059	0.0002460	0.0002462
Cr	0.0011891	0.0029889	0.0029856
Fe	0.0042791	0.0105526	0.0106624
Ni	0.0004802	0.0013379	0.0013366
Cu	0.0000172	0.0000361	0.0000358
Mo	0.0000083	0.0000177	0.0000177
U5	- -	- -	- -
U8	- -	- -	- -
P8	- -	- -	- -
P9	- -	- -	- -
P0	- -	- -	- -
P1	- -	- -	- -
P2	- -	- -	- -
A1	- -	- -	- -
P	0.0000028	0.0000041	0.0000040
S	0.0000007	0.0000013	0.0000012
Cl	- -	0.0000006	0.0000006
Ca	- -	0.0000041	0.0000042
Co	- -	0.0000039	0.0000040

Table 4.1.1-7 ZPPR Assembly 17C: Atom Densities by Zone⁺

<u>Isotope</u>	<u>Empty Matrix 0-36</u>	<u>Radial Reflector 0-36</u>	<u>Axial Reflector 36-42</u>	<u>Radial Blanket 31-36</u>	<u>Radial Blanket 20-31</u>	<u>Radial Blanket 6-20</u>
B0	--	--	--	--	--	--
B1	--	--	--	--	--	--
C	0.0000188	0.0002440	0.0002143	0.0005923	0.0000323	0.0000323
O	--	--	--	--	0.0224943	0.0225016
Na	--	--	--	--	0.0042293	0.0042451
Si	0.0000683	0.0009017	0.0008629	0.0001148	0.0001397	0.0001397
Al	--	--	--	--	0.0000025	0.0000024
Mn	0.0001059	0.0014353	0.0015241	0.0006719	0.0001990	0.0001990
Cr	0.0011891	0.0157477	0.0150441	0.0019296	0.0023124	0.0023123
Fe	0.0042791	0.0556680	0.0531083	0.0760459	0.0082641	0.0082639
Ni	0.0004802	0.0068483	0.0066621	0.0007794	0.0009938	0.0009938
Cu	0.0000172	0.0000379	0.0000172	0.0000269	0.0000285	0.0000285
Mo	0.0000083	0.0000356	0.0000083	0.0000135	0.0000132	0.0000132
U5	--	--	--	--	0.0000289	0.0000290
U8	--	--	--	--	0.0132871	0.0132875
P8	--	--	--	--	--	--
P9	--	--	--	--	--	--
P0	--	--	--	--	--	--
P1	--	--	--	--	--	--
P2	--	--	--	--	--	--
A1	--	--	--	--	--	--
P	0.0000028	0.0000472	0.0000533	0.0000233	0.0000051	0.0000051
S	0.0000007	0.0000363	0.0000252	0.0000314	0.0000011	0.0000011
Cl	--	--	--	--	0.0000001	0.0000001
Ca	--	--	--	--	0.0000010	0.0000010
Co	--	0.0000007	--	0.0000012	0.0000017	0.0000017

+Numbers for the actual loading

Table 4.1.1-7 (contd)

Isotope	Radial Blanket	Axial Refl	Axial Blkt			Axial Refl
	0-6	Outer Core 31-36	Outer Core 20-31	Outer Core 6-20	Outer Core 0-6	Inner Core 31-36
B0	--	--	--	--	--	--
B1	--	--	--	--	--	--
C	0.0000333	0.0005874	0.0000532	0.0012314	0.0012263	0.0005884
O	0.0223887	--	0.0088214	0.0147521	0.0146783	--
Na	0.0042238	--	0.0091799	0.0089549	0.0089446	--
Si	0.0001428	0.0001236	0.0001928	0.0001703	0.0001724	0.0001232
Al	0.0000024	--	0.0000029	0.0000052	0.0000049	--
Mn	0.0002038	0.0006777	0.0003411	0.0002486	0.0002513	0.0006779
Cr	0.0023727	0.0020570	0.0041582	0.0029237	0.0029578	0.0020511
Fe	0.0084772	0.0756063	0.0147653	0.0119410	0.0120566	0.0757124
Ni	0.0010206	0.0008422	0.0017683	0.0013052	0.0013186	0.0008390
Cu	0.0000292	0.0000281	0.0000454	0.0000331	0.0000337	0.0000283
Mo	0.0000138	0.0000141	0.0000353	0.0003610	0.0003624	0.0000142
U5	0.0000288	--	0.0000179	0.0000156	0.0000156	--
U8	0.0132208	--	0.0081563	0.0071563	0.0071450	--
P8	--	--	--	0.0000007	0.0000007	--
P9	--	--	--	0.0013565	0.0013596	--
P0	--	--	--	0.0001796	0.0001801	--
P1	--	--	--	0.0000108	0.0000106	--
P2	--	--	--	0.0000028	0.0000028	--
A1	--	--	--	0.0000164	0.0000162	--
P	0.0000052	0.0000234	0.0000100	0.0000050	0.0000051	0.0000234
S	0.0000011	0.0000313	0.0000082	0.0000013	0.0000013	0.0000314
Cl	0.0000001	--	0.0000003	0.0000034	0.0000033	--
Ca	0.0000010	--	0.0000021	0.0000015	0.0000015	--
Co	0.0000018	0.0000022	0.0000027	0.0000027	0.0000028	0.0000022

Table 4.1.1-7 (contd)

Isotope	Axial Blkt			Axial Refl	Axial Blkt	
	Inner Core 20-31	Inner Core* 6-20	Inner Core* 0-6	Outer Core SCF 31-36	Outer Core SCF 20-31	Outer Core SCF 6-20
B0	--	--	--	--	--	--
B1	--	--	--	--	--	--
C	0.0000532	0.0012105	0.0000338	0.0005855	0.0000532	0.0000331
O	0.0088212	0.0147284	0.0136973	--	0.0088213	0.0137650
Na	0.0092079	0.0089966	0.0091901	--	0.0091325	0.0091844
Si	0.0001928	0.0001701	0.0001468	0.0001260	0.0001918	0.0001574
Al	0.0000029	0.0000051	0.0000029	--	0.0000029	0.0000041
Mn	0.0003412	0.0002484	0.0002065	0.0006816	0.0003421	0.0002293
Cr	0.0041587	0.0029197	0.0024191	0.0021181	0.0041628	0.0026730
Fr	0.0147671	0.0119542	0.0119711	0.0754880	0.0147973	0.0128752
Ni	0.0017686	0.0013032	0.0010530	0.0008569	0.0017595	0.0011693
Cu	0.0000454	0.0000331	0.0000303	0.0000256	0.0000432	0.0000294
Mo	0.0000353	0.0003567	0.0000143	0.0000128	0.0000341	0.0002398
U5	0.0000179	0.0000156	0.0000178	--	0.0000179	0.0000127
U8	0.0081561	0.0071223	0.0081361	--	0.0081562	0.0058134
P8	--	0.0000007	--	--	--	0.0000004
P9	--	0.0013416	--	--	--	0.0008879
P0	--	0.0001774	--	--	--	0.0001177
P1	--	0.0000108	--	--	--	0.0000066
P2	--	0.0000028	--	--	--	0.0000017
A1	--	0.0000162	--	--	--	0.0000107
P	0.0000100	0.0000050	0.0000051	0.0000238	0.0000103	0.0000053
S	0.0000082	0.0000013	0.0000012	0.0000312	0.0000080	0.0000010
C1	0.0000003	0.0000033	0.0000003	--	0.0000003	0.0000003
Ca	0.0000021	0.0000015	0.0000021	--	0.0000021	0.0000021
Co	0.0000027	0.0000027	0.0000029	--	0.0000008	0.0000008

*Drawers with inner blanket

Table 4.1.1-7 (contd)

Isotope	Axial Refl		Axial Blkt		Axial Refl	
	Outer Core SCF 0-6	Outer Core DCF 31-36	Outer Core DCF 20-31	Outer Core DCF 6-20	Outer Core DCF 0-6	Inner Core SCF 31-36
B0	---	---	---	---	---	---
B1	---	---	---	---	---	---
C	0.0000343	0.0005891	0.0000532	0.0022955	0.0022849	0.0005885
O	0.0136986	---	0.0088213	0.0156284	0.0155480	---
Na	0.0092043	---	0.0092218	0.0087510	0.0087138	---
Si	0.0001592	0.0001216	0.0001937	0.0001818	0.0001842	0.0001232
Al	0.0000038	---	0.0000029	0.0000063	0.0000058	---
Mn	0.0002328	0.0006742	0.0003403	0.0002657	0.0002677	0.0006808
Cr	0.0027171	0.0020027	0.0041540	0.0031463	0.0031715	0.0020771
Fe	0.0130166	0.0757097	0.0147367	0.0111112	0.0112039	0.0758039
Ni	0.0011873	0.0008291	0.0017761	0.0014258	0.0014351	0.0008375
Cr	0.0000299	0.0000303	0.0000473	0.0000363	0.0000370	0.0000260
Mo	0.0002408	0.0000153	0.0000363	0.0004686	0.0004704	0.0000130
U5	0.0000126	---	0.0000179	0.0000183	0.0000183	---
U8	0.0057979	---	0.0081562	0.0083486	0.0083410	---
P8	0.0000003	---	---	0.0000010	0.0000009	---
P9	0.0008892	---	---	0.0017726	0.0017773	---
P0	0.0001178	---	---	0.0002346	0.0002353	---
P1	0.0000063	---	---	0.0000145	0.0000143	---
P2	0.0000016	---	---	0.0000038	0.0000038	---
A1	0.0000103	---	---	0.0000214	0.0000214	---
P	0.0000054	0.0000230	0.0000098	0.0000047	0.0000048	0.0000238
S	0.0000010	0.0000315	0.0000083	0.0000016	0.0000016	0.0000312
Cl	0.0000003	---	0.0000003	0.0000062	0.0000061	---
Ca	0.0000021	---	0.0000021	0.0000010	0.0000010	---
Co	0.0000008	0.0000042	0.0000044	0.0000043	0.0000046	---

Table 4.1.1-7 (contd)

Isotope	Axial Blkt		Axial Refl		Axial Blkt	
	Inner Core	Inner Core	Inner Core	Inner Core	Inner Core	Inner Core
	SCF 20-31	SCF 6-20	SCF 0-6	DCF 31-36	DCF 20-31	DCF 6-20
B0	--	--	--	--	--	--
B1	--	--	--	--	--	--
C	0.0000532	0.0000331	0.0000333	0.0005882	0.0000532	0.0022897
O	0.0088213	0.0137650	0.0136987	--	0.0088213	0.0156118
Na	0.0092050	0.0092702	0.0091887	--	0.0092107	0.0087458
Si	0.0001919	0.0001569	0.0001434	0.0001232	0.0001937	0.0001821
Al	0.0000029	0.0000040	0.0000029	--	0.0000029	0.0000062
Mn	0.0003422	0.0002281	0.0002047	0.0006753	0.0003402	0.0002669
Cr	0.0041646	0.0026601	0.0023942	0.0020274	0.0041534	0.0031576
Fe	0.0148035	0.0128309	0.0118954	0.0756294	0.0147340	0.0111507
Ni	0.0017604	0.0011629	0.0010325	0.0008404	0.0017760	0.0014319
Cu	0.0000432	0.0000294	0.0000274	0.0000304	0.0000473	0.0000365
Mo	0.0000341	0.0002394	0.0000129	0.0000154	0.0000364	0.0004643
U5	0.0000179	0.0000127	0.0000178	--	0.0000179	0.0000182
U8	0.0081562	0.0058390	0.0081368	--	0.0081562	0.0082988
P8	--	0.0000005	--	--	--	0.0000009
P9	--	0.0008874	--	--	--	0.0017580
P0	--	0.0001175	--	--	--	0.0002323
P1	--	0.0000074	--	--	--	0.0000139
P2	--	0.0000019	--	--	--	0.0000036
A1	--	0.0000109	--	--	--	0.0000210
P	0.0000103	0.0000053	0.0000053	0.0000231	0.0000098	0.0000047
S	0.0000080	0.0000010	0.0000010	0.0000315	0.0000083	0.0000016
C1	0.0000003	0.0000003	0.0000003	--	0.0000003	0.0000060
Ca	0.0000021	0.0000021	0.0000021	--	0.0000021	0.0000010
Co	0.0000008	0.0000008	0.0000008	0.0000043	0.0000045	0.0000044

Table 4.1.1-7 (contd)

<u>Isotope</u>	<u>Inner Blkt</u>	<u>Control Position</u>	<u>Control Position</u>	<u>Control Position</u>	<u>Control Position</u>	<u>Bank Control</u>
	<u>0-6</u>	<u>31-36</u>	<u>20-31</u>	<u>6-20</u>	<u>0-6</u>	<u>Rod 31-36</u>
B0	--	--	--	--	--	--
B1	--	--	--	--	--	--
C	0.0000342	0.0000443	0.0000309	0.0000309	0.0000318	0.0000508
O	0.0136964	0.0000013	0.0000013	0.0000013	0.0000013	0.0000013
Na	0.0091915	0.0179925	0.0184405	0.0183970	0.0180431	0.0180018
Si	0.0001499	0.0001688	0.0001649	0.0001649	0.0001688	0.0001863
Al	0.0000029	0.0000048	0.0000049	0.0000048	0.0000043	0.0000056
Mn	0.0002082	0.0002486	0.0002443	0.0002442	0.0002474	0.0002517
Cr	0.0024420	0.0030099	0.0029657	0.0029644	0.0030089	0.0030170
Fe	0.0120407	0.0108979	0.0104697	0.0104649	0.0106243	0.0109629
Ni	0.0010718	0.0013470	0.0013281	0.0013274	0.0013465	0.0013664
Cu	0.0000329	0.0000365	0.0000353	0.0000353	0.0000367	0.0000364
Mo	0.0000155	0.0000181	0.0000174	0.0000174	0.0000180	0.0000160
U5	0.0000178	--	--	--	--	--
U8	0.0081355	--	--	--	--	--
P8	--	--	--	--	--	--
P9	--	--	--	--	--	--
P0	--	--	--	--	--	--
P1	--	--	--	--	--	--
P2	--	--	--	--	--	--
A1	--	--	--	--	--	--
P	0.0000049	0.0000041	0.0000040	0.0000040	0.0000041	0.0000057
S	0.0000013	0.0000013	0.0000012	0.0000012	0.0000013	0.0000013
C1	0.0000003	0.0000006	0.0000006	0.0000006	0.0000006	0.0000006
Ca	0.0000021	0.0000041	0.0000042	0.0000042	0.0000041	0.0000041
Co	0.0000048	0.0000043	0.0000037	0.0000037	0.0000040	0.0000059

Table 4.1.1-7 (contd)

Isotope	Bank Control Rod 20-31	Bank Control Rod 6-20	Bank Control Rod 0-6	Central Control Rod 31-36	Central Control Rod 20-31	Central Control Rod 6-20
B0	0.0160061	0.0151769	0.0158703	--	0.0160061	0.0157321
B1	0.0649083	0.0615467	0.0643535	--	0.0649083	0.0637966
C	0.0208421	0.0197666	0.0203715	0.0000508	0.0208421	0.0204374
O	0.0000803	0.0000534	0.0001353	0.0000013	0.0000803	0.0000825
Na	--	--	--	0.0180018	--	--
Si	0.0002047	0.0002235	0.0002562	0.0001863	0.0002047	0.0002188
Al	0.0000010	0.0000028	0.0000021	0.0000056	0.0000010	0.0000020
Mn	0.0001928	0.0002204	0.0002066	0.0002517	0.0001928	0.0002028
Cr	0.0022421	0.0026105	0.0024203	0.0030170	0.0022421	0.0023755
Fe	0.0081410	0.0093681	0.0087156	0.0109629	0.0081410	0.0085838
Ni	0.0009734	0.0011621	0.0010609	0.0013664	0.0009734	0.0010417
Cu	0.0000307	0.0000325	0.0000325	0.0000364	0.0000307	0.0000314
Mo	0.0000155	0.0000162	0.0000162	0.0000160	0.0000155	0.0000158
U5	--	--	--	--	--	--
U8	--	--	--	--	--	--
P8	--	--	--	--	--	--
P9	--	--	--	--	--	--
P0	--	--	--	--	--	--
P1	--	--	--	--	--	--
P2	--	--	--	--	--	--
A1	--	--	--	--	--	--
P	0.0000040	0.0000040	0.0000041	0.0000057	0.0000040	0.0000040
S	0.0000012	0.0000012	0.0000013	0.0000013	0.0000012	0.0000012
C1	--	--	--	0.0000006	--	--
Ca	--	--	--	0.0000041	--	--
Co	0.0000037	0.0000037	0.0000040	0.0000059	0.0000037	0.0000037

Table 4.1.1-7
(contd)

<u>Isotope</u>	Central Control Rod 0-6
B0	0.0158703
B1	0.0643535
C	0.0203715
O	0.0001353
Na	- -
Si	0.0002562
Al	0.0000021
Mn	0.0002066
Cr	0.0024203
Fe	0.0087156
Ni	0.0010609
Cu	0.0000325
Mo	0.0000162
U5	- -
U8	- -
P8	- -
P9	- -
P0	- -
P1	- -
P2	- -
A1	- -
P	0.0000041
S	0.0000013
Cl	- -
Ca	- -
Co	0.0000040

Table 4.1.1-8 Mass Summary for Various Regions in the
ZPPR-17A Critical Reference⁺

Material	Mass, kg ^b				
	Inner* Core	Outer Core	Internal Blanket	Radial Blanket	Axial Blanket
Total Pu	911.090	1666.738	---	---	---
Fissile Pu	803.161	1469.219	---	---	---
Total Fissile	812.846	1486.758	5.112	47.500	21.260
²³⁸ Pu	0.449	0.713	---	---	---
²³⁹ Pu	796.474	1457.609	---	---	---
²⁴⁰ Pu	105.733	193.817	---	---	---
²⁴¹ Pu ^a	6.687	11.610	---	---	---
²⁴² Pu	1.747	2.988	---	---	---
Americium ^a	9.619	17.464	---	---	---
²³⁵ U	9.684	17.539	5.112	47.500	21.260
²³⁸ U	4495.945	8135.879	2369.604	22109.920	9787.461
Total Heavy Metal	5426.336	9837.617	2374.716	22157.420	9808.723
O	652.692	1176.432	268.122	2515.876	711.462
Na	591.425	1060.325	256.722	678.242	1061.658
Mo	85.398	156.285	1.595	8.932	16.913
Steel ^c	2619.347	4698.207	1049.908	4557.519	5883.968

^aMasses for all isotopes decayed to the date 2/25/87.

^bMasses are based on the average masses for plate types.

^cSteel mass is the sum of masses of elements Cr, Mn, Fe and Ni.

*Drawers with inner blanket

+Taken from Ref.(1)

Table 4.1.1-9 Mass Summary for Various Regions in the
ZPPR-17B Critical Reference⁺

Material	Mass, kg ^b					CRP
	Inner * Core	Outer Core	Internal Blanket	Radial Blanket	Axial Blanket	
Total Pu	892.778	1656.825	---	---	---	---
Fissile Pu	787.030	1460.446	---	---	---	---
Total Fissile	796.303	1477.526	4.775	47.500	21.066	---
²³⁸ Pu	0.439	0.718	---	---	---	---
²³⁹ Pu	780.554	1448.947	---	---	---	---
²⁴⁰ Pu	103.600	192.665	---	---	---	---
²⁴¹ Pu ^a	6.477	11.499	---	---	---	---
²⁴² Pu	1.708	2.996	---	---	---	---
Americium ^a	9.473	17.498	---	---	---	---
²³⁵ U	9.272	17.080	4.775	47.500	20.066	---
²³⁸ U	4302.801	7918.418	2213.234	22109.920	9237.605	---
Total Heavy Metal	5214.320	9609.824	2218.009	22157.420	9257.672	---
O	614.954	1128.316	250.428	2515.876	671.492	0.020
Na	549.835	1004.801	239.571	678.242	1001.392	391.486
Mo	83.566	155.169	1.505	8.932	16.027	1.564
Steel ^c	2438.270	4453.914	980.128	4557.519	5552.960	776.287

^aMasses for all isotopes decayed to the date 5/11/87.

^bMasses are based on the average masses for plate types.

^cSteel mass is the sum of masses of elements Cr, Mn, Fe and Ni.

*Drawers with inner blanket

+Taken from Ref.(1)

Table 4.1.1-10 Mass Summary for Various Regions in the ZPPR-17C Critical Reference⁺

Material	Mass, kg ^b					
	Inner* Core	Outer Core	Internal Blanket	Radial Blanket	Axial Blanket	Control Positions
Total Pu	972.945	1806.354	---	---	---	---
Fissile Pu	857.722	1592.235	---	---	---	---
Total Fissile	867.424	1610.133	4.775	47.500	20.066	---
²³⁸ Pu	0.456	0.795	---	---	---	---
²³⁹ Pu	850.826	1579.677	---	---	---	---
²⁴⁰ Pu	112.953	210.031	---	---	---	---
²⁴¹ Pu ^a	6.896	12.558	---	---	---	---
²⁴² Pu	1.813	3.293	---	---	---	---
Americium ^a	10.308	19.157	---	---	---	---
²³⁵ U	9.702	17.898	4.775	47.500	20.066	---
²³⁸ U	4497.820	8289.254	2213.234	22109.920	9237.605	---
Total Heavy Metal	5490.777	10132.660	2218.009	22157.420	9257.672	---
O	625.131	1147.273	250.428	2515.876	671.492	0.281
Na	545.761	996.566	239.571	678.242	1001.405	303.896
Mo	90.817	168.764	1.535	8.932	16.154	1.523
Steel ^c	2420.712	4419.553	979.296	4557.519	5550.580	747.117
¹⁰ B	---	---	---	---	---	32.497
¹¹ B	---	---	---	---	---	144.897
C	38.575	71.901	0.455	2.716	3.048	50.910

^aMasses for all isotopes decayed to the date 6/15/87.^bMasses are based on the average masses for plate types.^cSteel mass is the sum of masses of elements Cr, Mn, Fe and Ni.

*Drawers with inner blanket

+A private information from ANL-W

Table 4.1.1-11 Core Parameters of ZPPR-17 Assemblies

	ZPPR-17A	ZPPR-17B	ZPPR-17C
臨界達成日	2/23/87	5/8/87	6/16/87
温度 (K)	300.3	300.1	298.9
接合面ギャップ (mil) *	44.2	42.1	40.1
過剰反応度実験値 (ϵ) **	7.1 ± 0.1	11.7 ± 0.1	6.7 ± 0.1
基準温度 (293K)への温度補正 (ϵ) ***	7.88 ± 0.80	7.67 ± 0.78	6.40 ± 0.6
反応度補正合計	15.0 ± 0.8	19.4 ± 0.8	13.1 ± 0.7
臨界性実験値 (E) +	1.000508 ± 0.000027	1.000655 ± 0.000027	1.000440 ± 0.000023
核分裂性Pu装荷量 (kg)	2273	2248	2450
核分裂性Pu平均富化度 (w/o) ++	14.9	15.2	15.7

* 任意的なゼロ点に対する相対値

** 実験的に求められた温度係数 $-1.08 \pm 0.11 \text{ } \epsilon \text{ K}^{-1}$ を用いた。

*** 実験的に求められたギャップ補正係数 $-0.18 \pm 0.02 \text{ } \epsilon \text{ mil}^{-1}$ を用いた。

+ 計算で求められた $\beta_{\text{eff.}}$ 0.003374 を用いた。

++ 核分裂 Pu/(Pu+U)

Table 4.1.2-1 Eigenvalues in Fundamental Cell Calculations for
ZPPR-17 Assemblies

セルの種類	S C F	D C F	I B	A B	R B
k_{∞}	1.2144	1.5002	0.2033	0.1918	0.2558
バックリング適用後の k	1.0003	0.9998	0.9999	1.0001	1.0003

Table 4.1.2.2 Energy Group Structure for 18-Group and 7-Group calculation

Group 7G 18G 70G		Upper energy	Lower energy	Lethargy width	Fission Spectra*
1	1 1	10.0 (MeV)	7.7880 (MeV)	0.250	8.3498 E-3
	2	7.7880	6.0653	0.250	2.2710 E-2
2	2 3	6.0653	4.7237	0.250	4.5869 E-2
	4	4.7237	3.6788	0.250	7.3294 E-2
3	3 5	3.6788	2.8650	0.250	9.7428 E-2
	6	2.8650	2.2313	0.250	1.1210 E-1
4	4 7	2.2313	1.7377	0.250	1.1520 E-1
	8	1.7377	1.3534	0.250	1.0837 E-1
5	5 9	1.3534	1.0540	0.250	9.5137 E-2
	10	1.0540	0.82085	0.250	7.9137 E-2
6	6 11	0.82085	0.63928	0.250	6.3114 E-2
	12	0.63928	0.49787	0.250	4.8710 E-2
7	13	0.49787	0.38774	0.250	3.6643 E-3
	14	0.38774	0.30197	0.250	2.7021 E-2
8	15	0.30197	0.23518	0.250	1.9618 E-2
	16	0.23518	0.18316	0.250	1.4072 E-2
9	17	0.18316	0.14264	0.250	9.9987 E-3
	18	0.14264	0.11109	0.250	7.0524 E-3
10	19	0.11109(MeV)	0.086517(MeV)	0.250	4.9459 E-3
	20	86.517 (KeV)	67.379 (KeV)	0.250	3.4531 E-3
11	21	67.379	52.475	0.250	2.4025 E-3
	22	52.475	40.868	0.250	1.6671 E-3
12	23	40.868	31.828	0.250	1.1543 E-3
	24	31.828	24.788	0.250	7.9794 E-4
13	25	24.788	19.305	0.250	5.5087 E-4
	26	19.305	15.034	0.250	3.7995 E-4
14	27	15.034	11.709	0.250	2.6185 E-4
	28	11.709	9.1188	0.250	1.8035 E-4
15	29	9.1188	7.1017	0.250	1.2416 E-4
	30	7.1017	5.5308	0.250	8.5444 E-5
16	31	5.5308	4.3074	0.250	5.8784 E-5
	32	4.3074	3.3546	0.250	4.0433 E-5
17	33	3.3546	2.6126	0.250	2.7806 E-5
	34	2.6126	2.0347	0.250	1.9120 E-5
18	35	2.0347	1.5846	0.250	1.3146 E-5
	36	1.5846	1.2341	0.250	9.0376 E-6
19	37	1.2341 (KeV)	0.96112 (KeV)	0.250	5.3758 E-6

239
* Pu

Table 4.1.2.2 Cont'd

Group 7G 18G 70G		Upper energy	Lower energy	Lethargy width	Fission Spectra*
6	15 38	961.12 (eV)	748.52 (eV)	0.250	0.0
	39	748.52	582.95	0.250	0.0
	40	582.95	454.00	0.250	0.0
	16 41	454.00	353.38	0.250	0.0
	42	353.58	275.36	0.250	0.0
	43	275.36	214.45	0.250	0.0
	17 44	214.45	167.02	0.250	0.0
	45	167.02	130.07	0.250	0.0
	46	130.07	101.30	0.250	0.0
7	47	101.30	78.893	0.250	0.0
	48	78.893	61.442	0.250	0.0
	49	61.442	47.851	0.250	0.0
	50	47.851	37.267	0.250	0.0
	51	37.267	29.023	0.250	0.0
	52	29.023	22.603	0.250	0.0
	53	22.603	17.603	0.250	0.0
	54	17.603	13.710	0.250	0.0
	55	13.710	10.677	0.250	0.0
	56	10.677	8.3153	0.250	0.0
	18 57	8.3153	6.4760	0.250	0.0
	58	6.4760	5.0435	0.250	0.0
	59	5.0435	3.9279	0.250	0.0
	60	3.9279	3.0590	0.250	0.0
	61	3.0590	2.3824	0.250	0.0
	62	2.3824	1.8554	0.250	0.0
	63	1.8554	1.4450	0.250	0.0
	64	1.4450	1.1254	0.250	0.0
	65	1.1254	0.87642	0.250	0.0
	66	0.87642	0.68256	0.250	0.0
	67	0.68256	0.53158	0.250	0.0
	68	0.53158	0.41399	0.250	0.0
	69	0.41399	0.32242	0.250	0.0
	70	0.32242(eV)	10^{-5} (eV)	10.65	0.0

$^{239}_{\text{*}} \text{Pu}$

Table 4.1.3-1 Results of Criticality Analysis for ZPPR-17A, 17B and 17C

Z P P R		均 質	径方向非均質	軸 方 向 非 均 質		
集 合 体 名		Z P P R - 9	Z P P R - 13A	Z P P R - 17A	Z P P R - 17B	Z P P R - 17C
基 準 計 算		0.9985 ¹⁾	0.9958	0.9947	0.9933	0.9968
補 正 項	メッシュ $\begin{cases} X Y \\ Z \end{cases}$	-0.0005	-0.0025	-0.0012	-0.0015	-0.0047
		-0.0004	-0.0006	-0.0010	-0.0008	-0.0013
	輸 送 ³⁾	0.0026	0.0080	0.0064	0.0078	0.0090
	A M M	-0.0004 ²⁾	0.0007	0.0002	0.0003	0.0002
	マルチドロワー効果	0.0008	0.0021	0.0017	0.0017	0.0017
補 正 後 計 算 値 (C)		1.0006	1.0035	1.0008	1.0008	1.0017
実 驗 値 (E)		1.0011	1.0005	1.0005	1.0006	1.0004
C / E		0.9995	1.0030	1.0003	1.0002	1.0013

1) 原研における結果 (18G X Y Z, $B^2 = 0$, J F S - 3 - J 2) 0.9921 に GE の報告によるバックリング補正 0.0013, および J F S - 3 R - J 2 と J F S - 3 - J 2 の違い 0.0051 を加えた。

2) 構造材, 燃料密度の効果 (ANL の結果) を引用

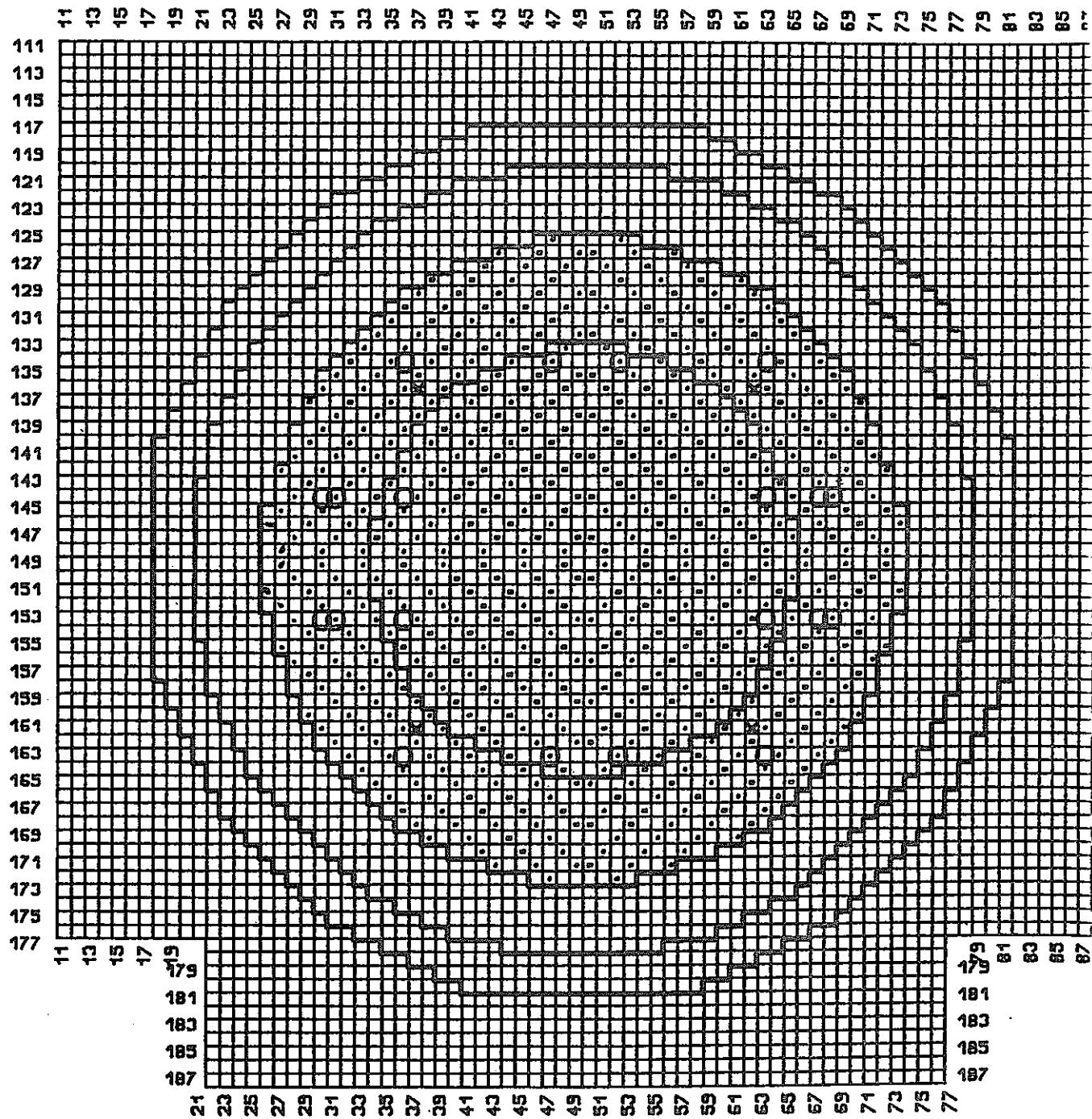
3) TRITACコードによる評価値 ⁽⁶⁾

Table 4.1.3-2 Transport Corrections for Different Types of Cores
with and without CRPs and/or CRs*. (% $\Delta k/k$)

	均質炉心	径方向非均質炉心	軸方向非均質炉心
クリーン炉心	Z P P R - 9 ** + 0.26	Z P P R - 13B / 1 ** + 0.69	Z P P R - 17A + 0.64
CRP体系	Z P P R - 10A ** (3×3 CRP 19本) + 0.49	Z P P R - 13B / 1 ** (2×3 CRP 6本) + 0.74	Z P P R - 17B (2×2 CRP 25本) + 0.78
CR体系	—	Z P P R - 13B / 1 ** (2×3 CR 6本) + 0.88	Z P P R - 17C (2×2 CR半挿入13本) + 0.94

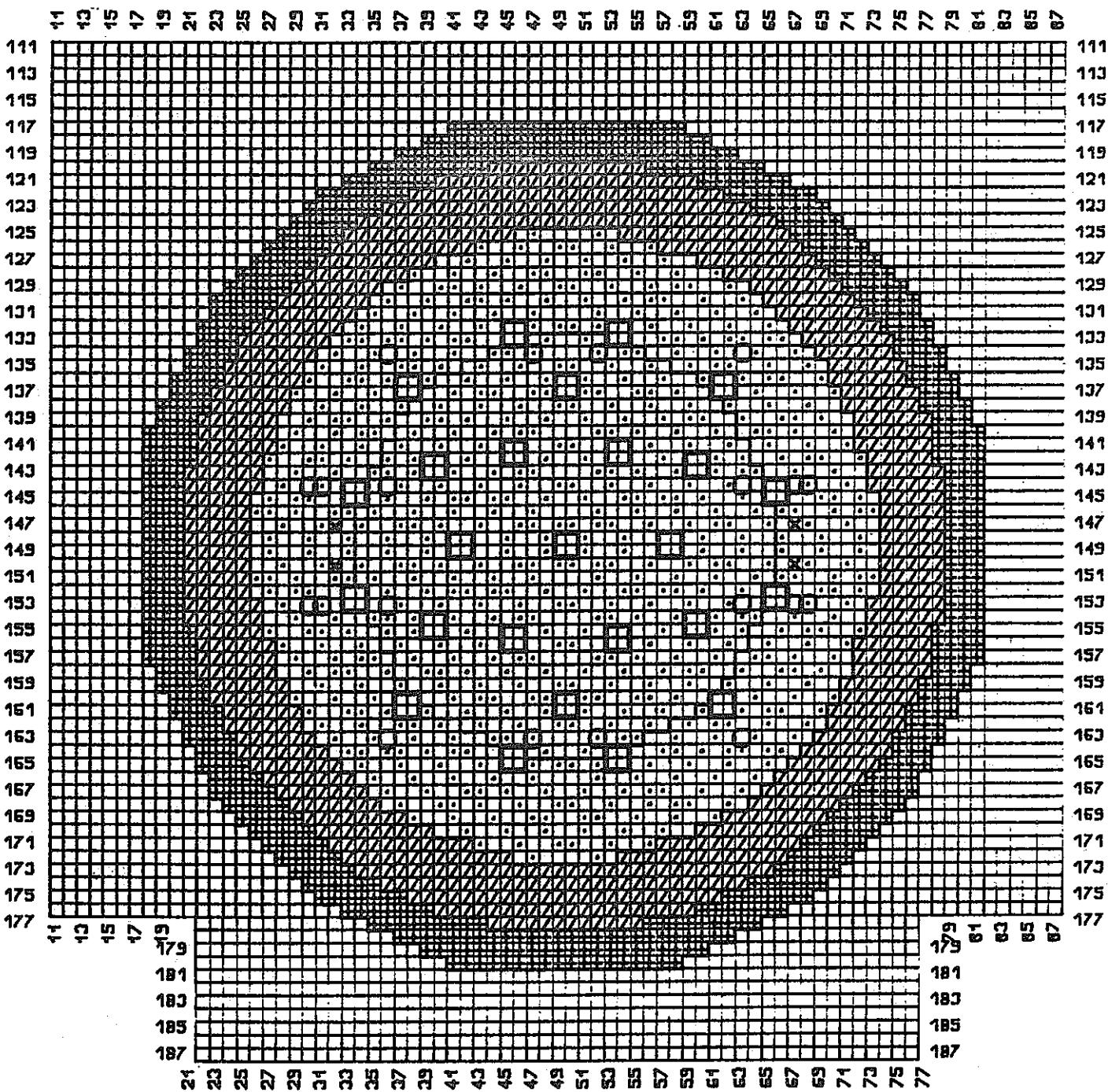
* TRITACコード評価値。

** Ref (6) より引用。Z P P R - 13B / 1 はリング2 CRP/CRの値を示した。



- Single Fuel Column
- Double Fuel Column
- Operating Rod
- Single Column In Subcritical Reference
Double Column In Critical Reference

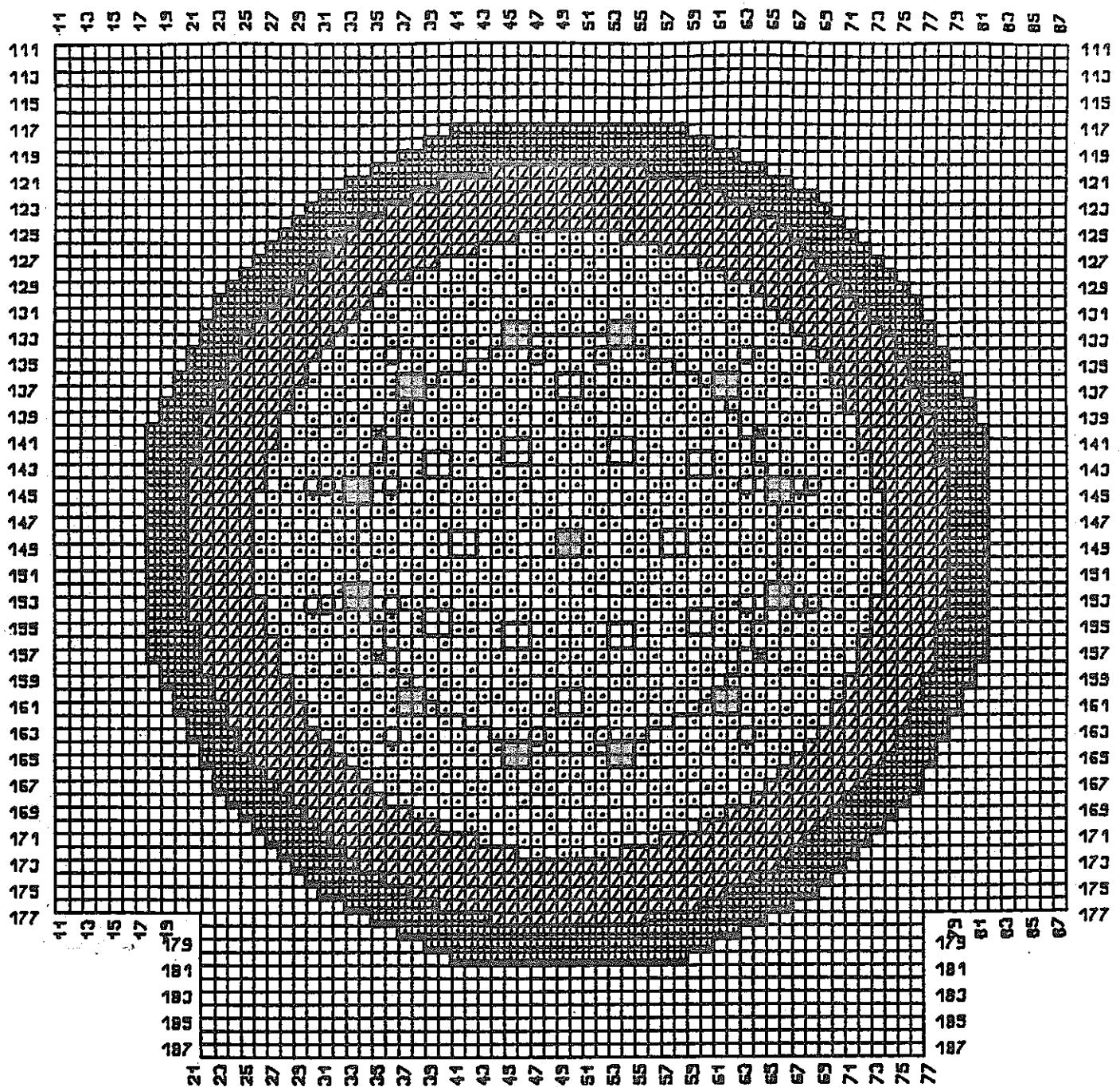
Fig. 4.1.1-1 Interface Diagram for the ZPPR-17A Reference Configurations.



- Single Fuel Column
- Double Fuel Column
- Operating Rod
- Single Column In Subcritical Reference
- Double Column In Critical Reference
- CRP

+ Reflector
/ Blanket

Fig. 4.1.1-2 Interface Diagram for the ZPPR-17B Reference Configurations.



- Single Fuel Column
- Double Fuel Column
- Operating Rod
- Single Column In Subcritical Reference
- Double Column In Critical Reference
- Half Inserted CR

+ Reflector
/ Blanket

Fig. 4.1.1-3 Interface Diagram for the ZPPR-17C Reference Configuration.

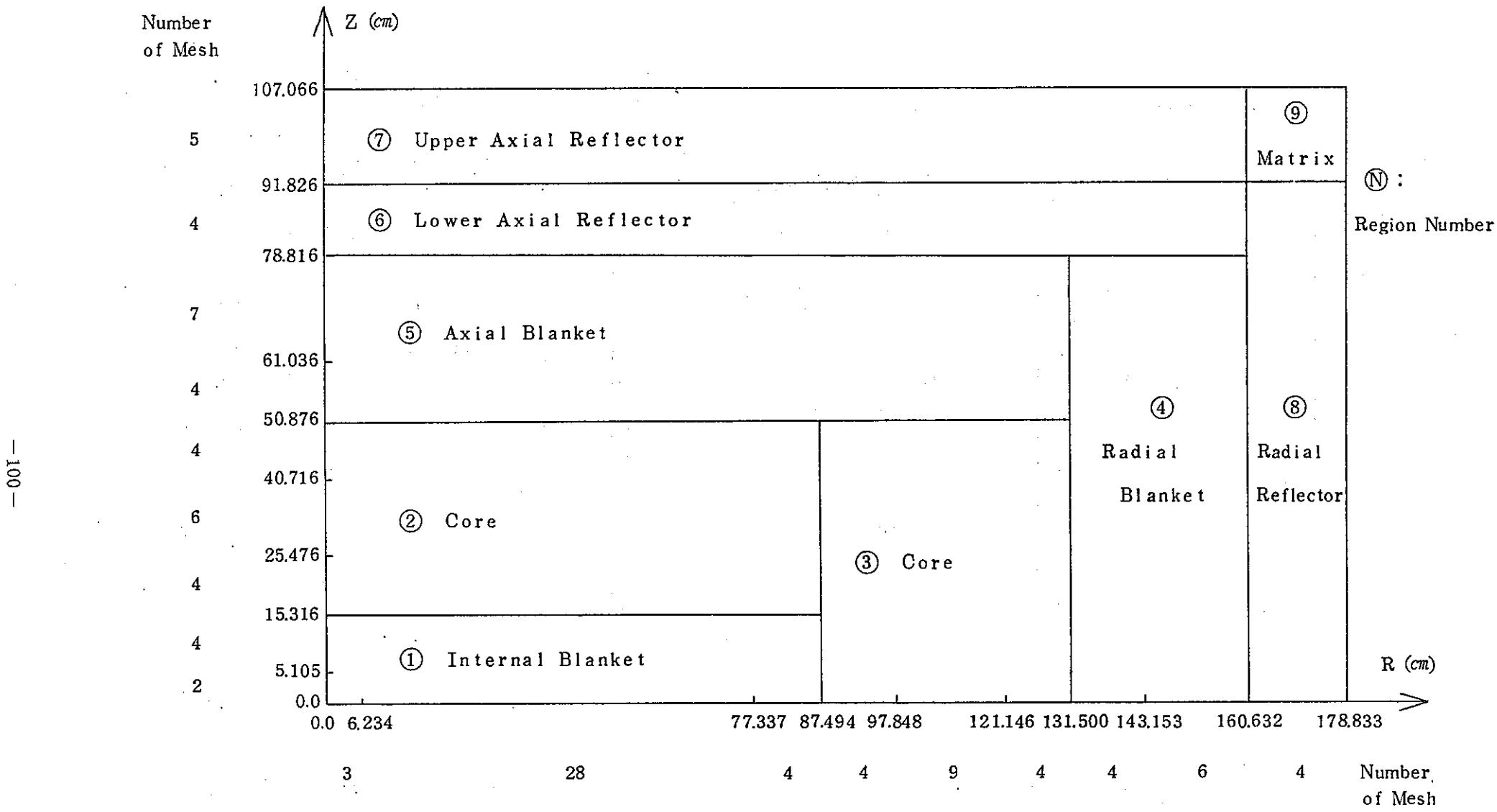


Fig. 4.1.2-1 RZ Calculational Model for ZPPR-17A

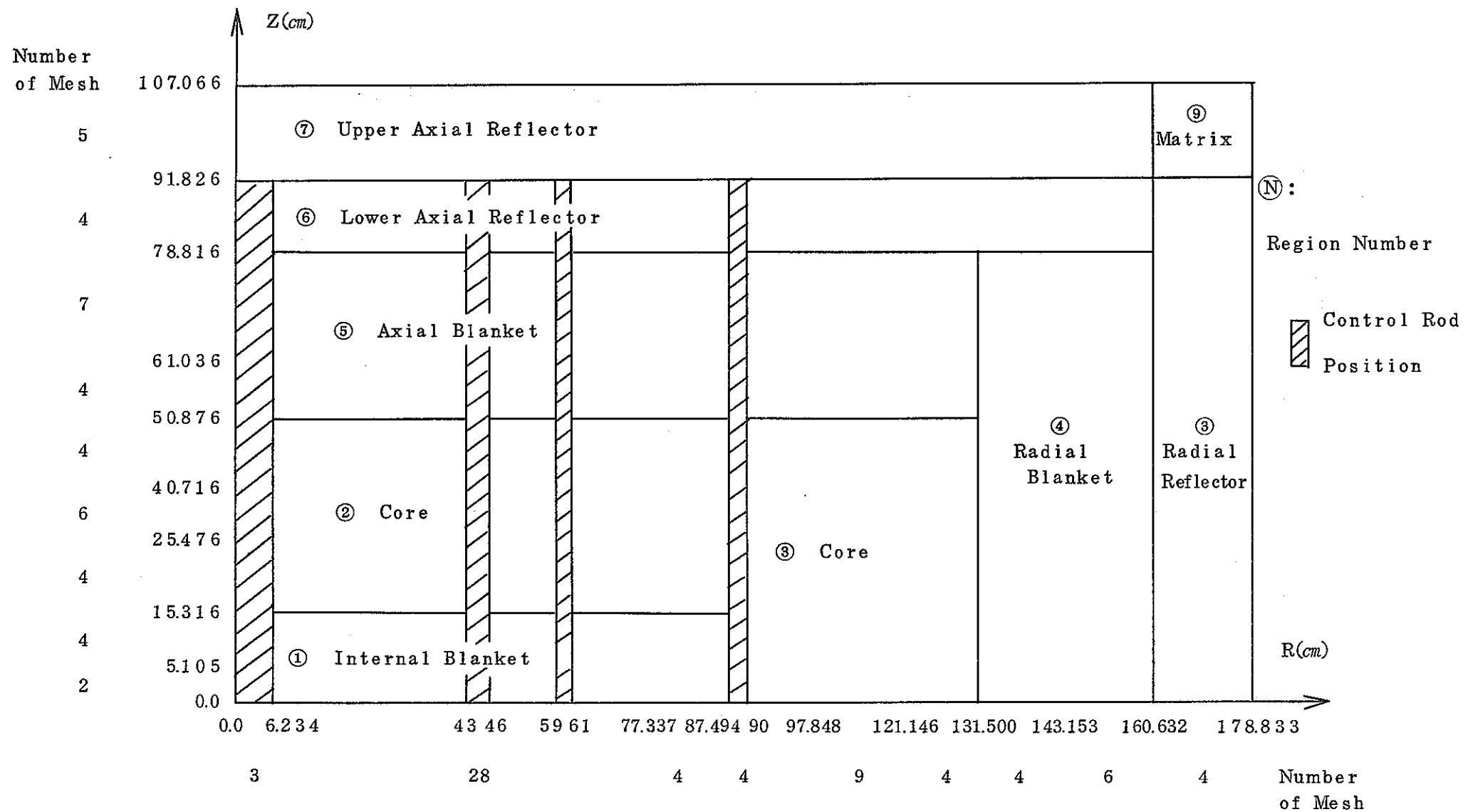


Fig. 4.1.2-2 RZ Calculation Model for ZPPR-17B Subcritical Core

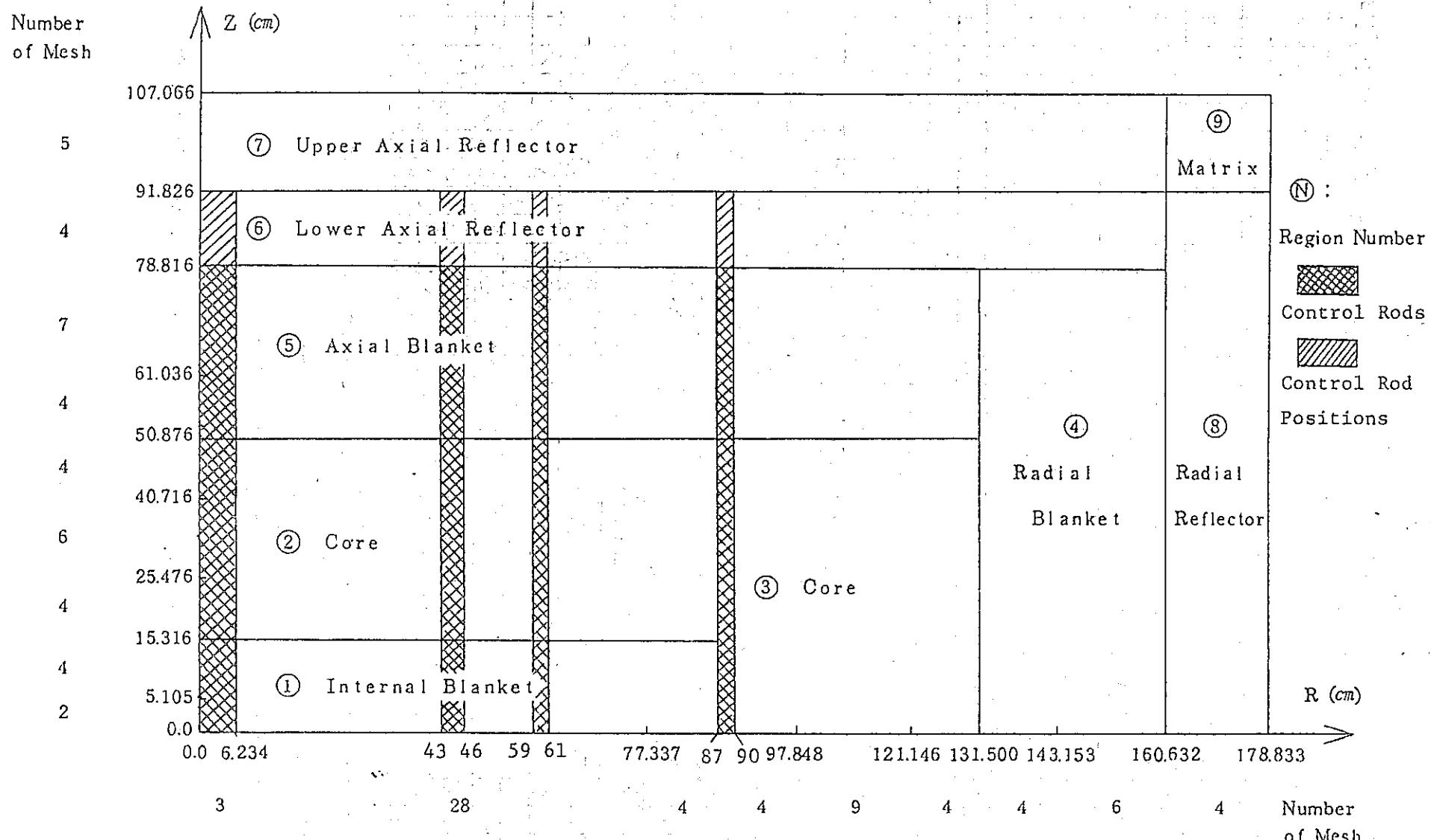
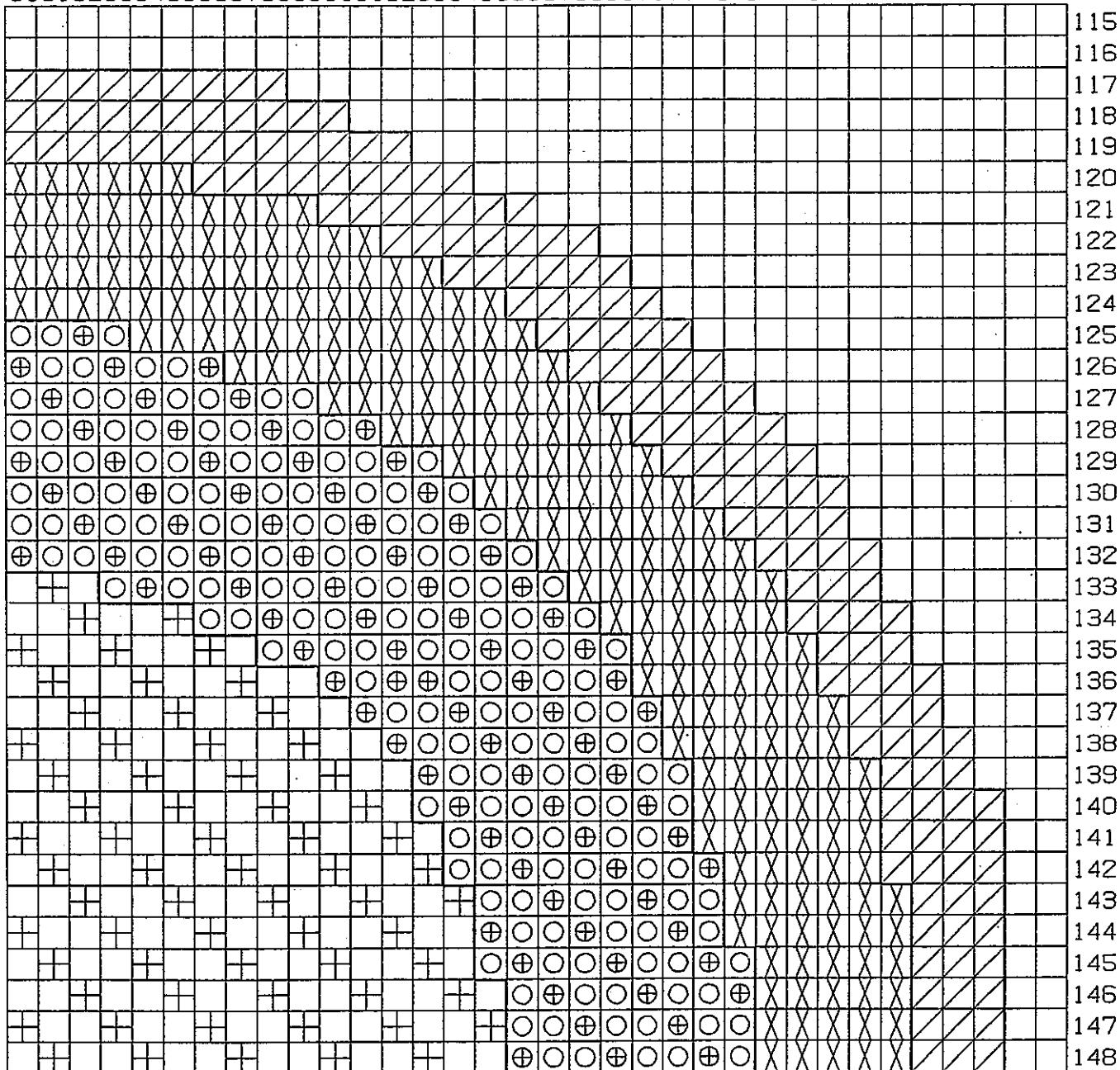


Fig. 4.1.2-3 RZ Calculation Model for ZPPR-17C Subcritical Reference Core (Half2)

(for the half 1, the same model as 17B was used)

50515253545556575859606162636465666768697071727374757677787980818283



- | | | | |
|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> ○ | SINGLE COLUMN FUEL DRAWER WITHOUT IB | <input checked="" type="checkbox"/> × | DOUBLE COLUMN FUEL DRAWER WITH IB |
| <input type="checkbox"/> □ | SINGLE COLUMN FUEL DRAWER WITH IB | <input checked="" type="checkbox"/> X | RADIAL BLANKET |
| <input checked="" type="checkbox"/> ⊕ | DOUBLE COLUMN FUEL DRAWER WITHOUT IB | <input type="checkbox"/> □ | RADIAL REFLECTOR |

Fig. 4.1.2-4 XYZ CALCULATIONAL MODEL (XY CROSS SECTION) FOR ZPPR-17A

50515253545556575859606162636465666768697071727374757677787980818283

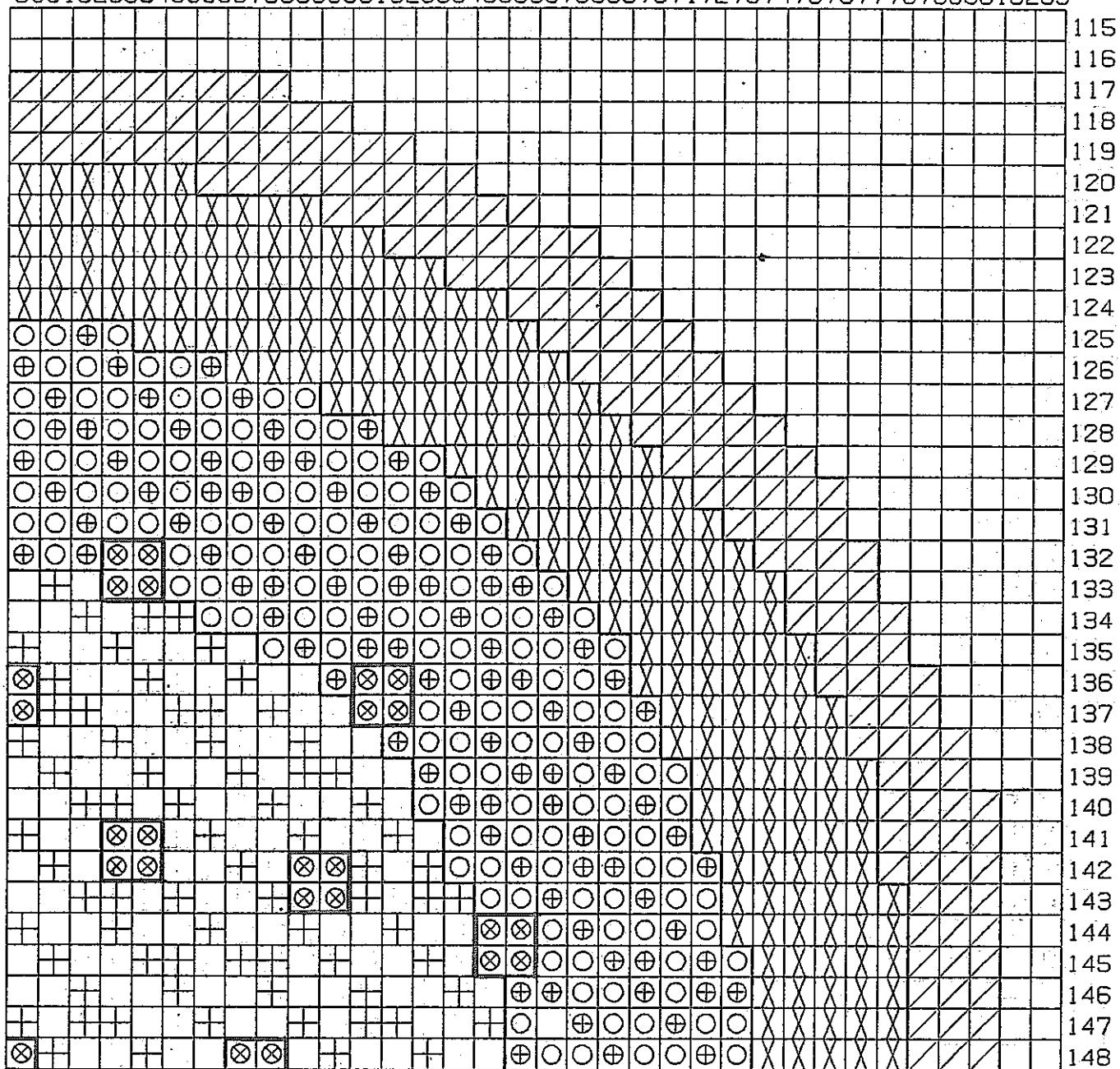
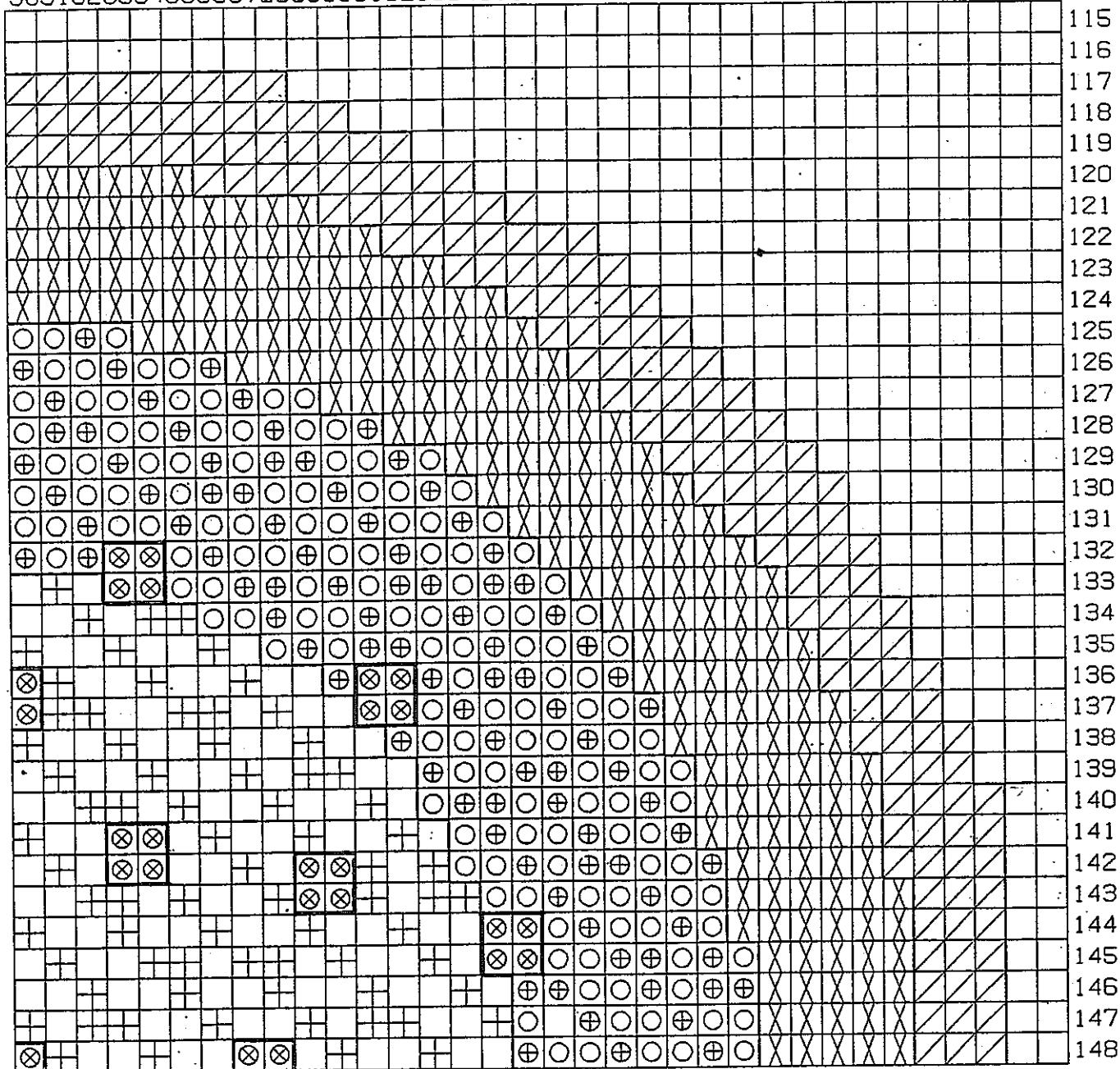


FIG. 4.1.2-5 XYZ CALCULATIONAL MODEL (XY CROSS SECTION) FOR SZPPR-17B

50515253545556575859606162636465666768697071727374757677787980818283



- | | | | |
|--|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> ○ | SINGLE COLUMN FUEL DRAWER WITHOUT IBS | <input type="checkbox"/> ╲／ | DOUBLE COLUMN FUEL DRAWER WITH IBS |
| <input type="checkbox"/> □ | SINGLE COLUMN FUEL DRAWER WITH IBS | <input type="checkbox"/> X | RADIAL BLANKET |
| <input checked="" type="checkbox"/> +○ | DOUBLE COLUMN FUEL DRAWER WITHOUT IBS | <input type="checkbox"/> ╲／ | RADIAL REFLECTOR |
| | | <input checked="" type="checkbox"/> ✕ | CONTROL ROD POSITION DRAWER |

FIG. 4.1.2-6 XYZ CALCULATIONAL MODEL (XY CROSS SECTION) FOR ZPPR-17C

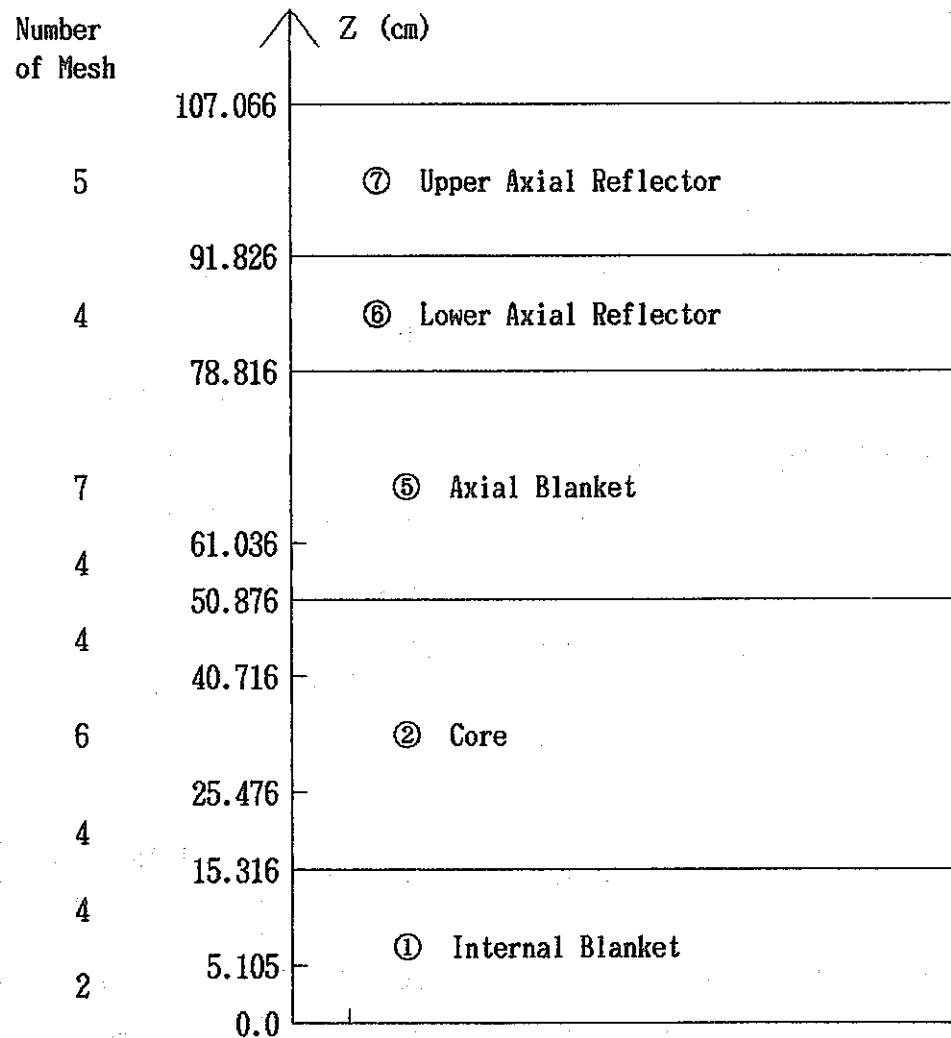


Fig. 4.1.2-7 Mesh Point Distribution Along Z-axis

4.2 $\beta_{\text{eff.}}$ の評価

1) 概 要

JUPITER-I, II と同様の遅発中性子データを用いて、ZPPR-17A, 17B 体系の $\beta_{\text{eff.}}$ を求めた。なお、JUPITER 実験解析に用いている評価方法は、Appendix-D にまとめた。

2) 評価条件

評価条件の概要を以下に示す。

- ϕ, ϕ^* 計算 ライブラリ : JFS-3R-J2
エネルギ群 : 18群
体系モデル : 3次元XYZ (1/8 炉心)
- 遅発中性子データ Yield : Tuttle (1979)²⁾
Spectrum : Saphier (1977)³⁾
その他 : Keepin (1965)¹⁾

計算に用いた遅発中性子データを Table 4.2-1 に示す。

3) 結 果

体 系	JUPITER SUB W/G	(参 考 ANL)	JUPITER ANL
ZPPR-17A	3.492×10^{-3}	3.385×10^{-3}	1.03
ZPPR-17B	3.478×10^{-3}	3.374×10^{-3}	1.03

評価を行った $\beta_{\text{eff.}}$ は、ANL 計算値に対して、3% 程度大きな値となった。これは、JUPITER-I, II と同様の系統性を持つものである。

今後、 $\beta_{\text{eff.}}$ 積分測定の評価等を通じて、遅発中性子データの妥当性を確認していく必要がある。

Table 4.2-1 Delayed Neutron Data Used in JUPITER Analysis

	^{235}U	^{238}U	^{239}Pu	^{240}Pu	^{241}Pu	^{242}Pu
Absolute Yield 1~18 group	0.01673	0.0439	0.0063	0.0095	0.0152	0.0221
Spectrum group E low(MeV)						
4 1.3534	0.0201	0.0205	0.0184			
5 0.82085	0.1033	0.0952	0.1021			
6 0.38774	0.3571	0.3506	0.3570	同左	同左	同左
7 0.18316	0.3273	0.3275	0.3342			
8 0.086517	0.1763	0.1900	0.1692			
9 0.040868	0.0159	0.0162	0.0191			

4.3 制御棒価値

Z P P R -17体系での制御棒価値の実験は、Table 4.3-1 に示す測定が実施された。

このうち、基本的な制御棒価値特性に係わる、

- (i) 炉心中心制御棒価値 (Table 4.3-1, ZPPR-17A の(1)),
 - (ii) 制御棒価値の径方向分布 (Table 4.3-1, ZPPR-17B の(1)),
- についての実験解析について報告する。

4.3.1 実験データの整理

制御棒価値に関して A N L より入手した、以下の実験データを整理して示す。

- (i) 炉心中心制御棒価値 (Table 4.3-1, ZPPR-17A の(1)),
- (ii) 制御棒価値の径方向分布 (Table 4.3-1, ZPPR-17B の(1)),
- (iii) 制御棒価値の軸方向分布 (Table 4.3-1, ZPPR-17B の(4), (5))

(1) 炉心中心制御棒価値⁽¹⁾, ⁽²⁾

Z P P R -17A 体系は、制御棒ポジションを持たないクリーン炉心であるが、中心制御棒について燃料に対する制御棒価値が測定された。測定は、制御棒の¹⁰B 濃縮度、サイズ、位置、構成を変え、実施された。

a. 炉心体系と制御棒位置

制御棒価値の各実験体系は、Z P P R -17A の未臨界基準体系において、その中心燃料ドロワを制御棒ドロワで置換した体系である。Fig. 4.3.1-1 に Z P P R -17A の未臨界基準体系の構成図、Fig. 4.3.1-2 に制御棒ドロワの炉内位置を示す。

b. 制御棒構成

以下の 3 種のタイプの模擬制御棒を使用した。

(a) プレートタイプ制御棒

ドロワ (0 ~ 20in. 領域) : 天然 B₄C 及び 92% 濃縮 B₄C プレート
ドロワ (20 ~ 36in. 領域) : Na

(b) ピンタイプ制御棒 (カランドリア内 B_4C ピン型)

ドロワ (0~20in. 領域) : ピン内92%濃縮 B_4C ペレット, カランドリア

内Na

ドロワ (20~24in. 領域) : ステンレス鋼

ドロワ (24~31in. 領域) : Na

ドロワ (31~36in. 領域) : mild steel ブロック

(c) ピンタイプ制御棒 (密装填 B_4C ピン型)

ドロワ (0~20in. 領域) : Fig. 4.3.1-3に, 装填パターンを示す。

① 天然 B_4C 及び92%濃縮 B_4C ペレット (中心)

② ステンレス鋼ペレット (直径9.52mm) (周囲)

③ ステンレス鋼プレート

(ドロワエッジ, 厚さ3.18mm) (周囲)

ドロワ (20~36in. 領域) : Na

c. 測定方法

測定方法は, 修正中性子源増倍法 (MSM) とロッドドロップ法が使用された。基準反応度は制御棒価値の測定前後に測定され, -25.16¢ ± 0.20¢ であった。

d. 測定結果

各測定ケースとその制御棒価値の測定結果を Table 4.3.1-1に示す。

(a) 炉心中心制御棒価値

Z P P R -17A 炉心中心制御棒価値は, 均質炉心 Z P P R -9 の値の約52%と小さい。①挿入制御棒の約30%が内部ブランケット領域内にある, ②中性子束分布が平坦化されている, に起因していると考えられる。

(b) ^{10}B 濃度依存性

制御棒内平均 ^{10}B 原子数密度に対する制御棒価値の依存性を図4.3.1-4に示す。平均 ^{10}B 原子数密度の増加に対する制御棒価値の増加は, ^{10}B 原子数密度4倍増で約1.4倍と小さい。また, Z P P R -17A の ^{10}B 濃縮度依存性は, 均質炉心 Z P P R -10A ⁽³⁾ と同程度である。

(c) 制御棒サイズ依存性

制御棒サイズ（制御棒の水平断面積）に対する制御棒価値の依存性を図4.3.1-5に示す。制御棒サイズの増加に対する制御棒価値の増加は、サイズ2倍増で約1.4倍であり、 ^{10}B 濃縮度効果よりも大きい。ZPPR-17Aの制御棒サイズ依存性は、均質炉心ZPPR-9の依存性⁽⁴⁾と同程度である。

(d) ピン制御棒効果

密装填 B_4C ペレット型制御棒は、同等な ^{10}B 装填量のプレートタイプ制御棒に比較し、約10%低い制御棒価値をもつ。制御棒内が B_4C ピンからなる中心領域とステンレス鋼からなる外側領域で構成されているため、制御棒サイズ効果の影響を強く受けたものと考えられる。

カランドリア内 B_4C ペレット型制御棒は、プレートタイプ制御棒価値と同等の特性を示す。

(e) 制御棒挿入量の効果

制御棒半挿入体系の制御棒価値は全挿入体系の54%を占める。

(2) 制御棒価値の径方向分布

a. 炉心体系と制御棒位置

制御棒価値の各実験体系は、ZPPR-17Bの未臨界体系において、各径方向の制御棒ポジションのNa装填ドロワを制御棒ドロワで置換した体系である。Fig. 4.3.1-6にZPPR-17Bの未臨界基準体系の構成図、Fig. 4.3.1-7に各径方向位置（中心、Ring 1, Ring 2, Ring 3）の制御棒位置を示す。

b. 制御棒構成

天然 B_4C (B_4C 体積割合 100%, Na 0%) のプレートタイプ制御棒を使用した。

c. 測定方法

測定方法は、修正中性子源増倍法（MSM）が使用された。

d. 測定結果⁽⁵⁾

各測定ケースとその制御棒価値の測定結果を Table 4.3.1-2に示す。軸方向非均質炉心の1本当りの制御棒価値は炉心中心より最外周制御棒が大きく、タンク型炉合理化設計研究などで示された軸方向非均質炉心の制御棒価値の特性

が確認できた。

(3) 制御棒価値の軸方向分布⁽²⁾

制御棒価値の軸方向分布の実験は、Z P P R -17B 体系において、2つの測定方法で実施された。第1の方法は未臨界体系での中性子源増倍法、第2の方法は臨界体系でのドロワオシレーション法である。

a. 未臨界体系での測定

(a) 制御棒位置と構成

実験体系は、Fig. 4.3.1-6に示すZ P P R -17B の未臨界体系において、Fig. 4.3.1-7の中心制御棒ポジションのNa 装填ドロワ (2×2) を制御棒ドロワで置換した体系である。

制御棒は、軸方向に36in. 長さのドロワを3本連ねて構成される (half-one 側 : 36in. 長、half-two側 : 72in. 長)。Fig. 4.3.1-8に、各測定ケースの B_4C 領域 (軸方向の長さ40in.) の軸方向位置を示す。測定の11ステップは、制御棒が炉心-軸方向ブランケット境界から4 in. 長間隔が挿入された位置に対応する。 B_4C プレートは、天然 B_4C を用いている。

(b) 測定方法

測定方法は、修正中性子源増倍法 (M S M) とロッドドロップ法が使用された。基準反応度は $-21.5 \pm 0.20 \%$ であった。

(c) 測定結果

各測定ケースとその制御棒価値の測定結果を Table 4.3.1-3に示す。

b. 臨界体系での測定

(a) 制御棒位置と構成

実験体系は、Fig. 4.3.1-9に示すZ P P R -17B の臨界体系において、Fig. 4.3.1-7の中心制御棒ポジションの 149-49 と 249-49 位置のNa 装填ドロワを制御棒ドロワで置換した体系である。

制御棒ドロワには、40in. 長さの天然 B_4C カンとNa が装填されている。

(b) 測定方法

測定はドロワオシレーション法が用いられた。測定は以下の挿入一引抜きサイクルを繰り返すことによっている。

- ① 制御棒の B_4C 領域の先端を軸方向プランケット領域内 41 in. (炉心 - 軸方向プランケット境界より) 位置に設置。
- ② 制御棒ドロワを炉心内に挿入し、 B_4C 領域が完全に炉心領域をカバーするまで挿入。
- ④ スタート位置①まで制御棒を引抜く。

制御棒価値は、炉心外部に設置された 2 個の BF_3 カウンターの出力履歴の解析より 1 in. 間隔の挿入位置での値が求められた。

(c) 測定結果

各測定ケースとその制御棒価値の測定結果を Table 4.3.1-4 に示す。

c. 制御棒価値の軸方向分布の比較⁽²⁾

ZPPR-17B 体系での未臨界体系と臨界体系での測定値、ZPPR-17A 体系での B_4C サンプルワースの測定値を互いに比較する。Fig. 4.3.1-10 に、上記測定に基づく制御棒価値の軸方向分布（ストローク曲線）を示す。なお、制御棒価値の値は、ZPPR-17B の臨界体系の測定値に規格化している。

3 方法による測定値は良く一致しており、内部プランケットの存在による制御棒価値の軸方向分布（ストローク曲線）の平坦化が確認できる。

4.3.2 解析方法

制御棒価値の解析手順を Fig. 4.3.2-1 に示す。以下、群定数作成、基準計算、補正計算の方法を示す。

(1) 群定数作成

基本群定数セットとして JFS-3R-J2 70 群セットを使用し、Fig. 4.3.2-1 に示す手順で、燃料、プランケット、制御棒（CR の略記）、制御棒ポジション（CRP と略記）の 18 群及び 7 群の縮約群定数を作成した。エネルギー群構造

は第3章のJUPITER-III実験解析手法と同じである。

燃料及びブランケットドロワの縮約群定数は、臨界計算と同じく、臨界バックリングサーチによる非均質セル計算でドロワタイプ(SCF, DCF, ブランケット)毎に70群実効断面積を作成し、それらを2次元RZモデル(制御棒のない臨界基準体系)の拡散計算による70群中性子束で縮約して求めた。拡散係数には、Benoist式による異方性を考慮した。

CR, CRPの縮約群定数は、均質セル計算で実効断面積を作成し、それらを2次元RZモデル(各制御棒挿入体系)の拡散計算による70群中性子束で縮約して求めた。特殊制御棒の扱いは、(3)(e)項に示す。

(2) 基準計算

制御棒価値の基準計算値は、7群定数を用い、基準メッシュ(1メッシュ/1ドロワ)の3次元XYZ非等方拡散計算で求めた。下図に、制御棒価値の解析に用いた体系モデルを示す。

Fig. 4.3.2-2 ZPPR-17Aの未臨界基準体系の3次元XYZモデルの平面図

Fig. 4.3.2-3 同上の2次元RZモデル

Fig. 4.3.2-4 ZPPR-17Bの未臨界基準体系の3次元XYZモデルの平面図

Fig. 4.3.2-5 同上の2次元RZモデル

(3) 補正計算

補正計算は、(a)群縮約効果補正、(b)メッシュ効果補正、(c)輸送理論効果補正、(d)AMM(All Master Model)補正、(e)ランプ効果補正の各項目を考慮した。

各項目の定義は、以下の通りである。

(a) 群縮約効果補正(f_g)

補正係数 f_g は、次式で求めた。

$$f_g = \frac{\rho_{B,18}}{\rho_{B,7}}$$

ここで、

$\rho_{B,7}$: 基準モデル7群XYZ拡散計算値（基準計算値）

$\rho_{B,18}$: 基準モデル18群XYZ拡散計算値

(b) メッシュ効果補正 (f_M)

補正係数 f_M は、7群XYZ拡散計算により次式で求めた。

$$f_M = \frac{\rho_{\infty,7}}{\rho_{B,7}}$$

ここで、

$$\rho_{\infty,7} = \frac{K_{eff,\infty} - K'_{eff,\infty}}{K_{eff,\infty} + K'_{eff,\infty}}$$

$$K_{eff,\infty} = K_{eff,R} + \frac{4}{3} (K_{eff,XYD} - K_{eff,R}) \\ + \frac{4}{3} (K_{eff,ZD} - K_{eff,R})$$

$$\left\{ \begin{array}{l} K_{eff,XYD} : XY\text{方向ダブルメッシュでの} K_{eff} \\ \quad (4\text{メッシュ/ドロワ}) \\ K_{eff,ZD} : Z\text{方向ダブルメッシュでの} K_{eff} \\ \quad (Z\text{方向メッシュ幅} 2.5\text{cm}) \\ K_{eff,R} : \text{基準メッシュでの} K_{eff} \\ \quad (1\text{メッシュ/ドロワ, Z方向メッシュ幅} 5\text{cm}) \end{array} \right.$$

(c) 輸送理論効果補正 (f_{TR})

補正係数 f_{TR} は、7群拡散計算値（メッシュ効果補正済の値）と7群 S_N 計算値を用い次式で求めた。

$$f_{TR} = \rho^{SN} / \rho^{Diff}$$

ここで、

ρ^{SN} : 基準モデル7群XYZ S_4 輸送計算値

ρ^{Diff} : 基準モデル7群XYZ等方拡散計算値

$$\text{ただし, } D_{iso} = 1 / 3 \Sigma_{tr}$$

(d) AMM (All Master Model) 補正 (f_{AMM})

実験で使用した全てのドロワマスタのマスタ番号毎の原子数密度の差を考慮して断面積を作成し、7群XYZ拡散計算を実施した。（以下この計算モデル

をAMMモデルと称する。)

補正係数 f_{AMM} は、次式で求めた。

$$f_{AMM} = \frac{\rho_{AMM}}{\rho_{B, 7}}$$

ここで

ρ_{AMM} : AMMモデル 7群拡散計算による反応度価値

$\rho_{B, 7}$: 基準モデル (SCF, DCF, ブランケット等のドロワタイプ

毎の差のみ考慮したモデル) による 7群XYZ拡散計算値

(e) ランプ効果補正 (f_L)

特殊制御棒のランプ効果は、次の手順で評価する。

(i) Fig. 4.3.2-6の(a)に示す制御棒を(b)の2領域のモデルで近似し、各領域の均質セル計算により実効断面積を求める。

(ii) Fig. 4.3.2-7に示す2次元RZ計算でもとめた中性子束を用いて少數群定数を作成する。

(iii) Fig. 4.3.2-6に示すように制御棒領域を SuS, B₄C の2領域で扱い、全炉心を対象とした7群XYZ拡散計算により、ランプモデル制御棒価値を求める。

(iv) 次式で補正係数 f_L を求める。

$$f_L = \frac{\rho_{L, 7}}{\rho_{B, 7}}$$

ここで、

$\rho_{B, 7}$: 基準計算モデル (全CR領域を均質化) から求めた詳細メッシュ (Fig. 4.3.2-6(b) のメッシュ) の7群XYZ拡散計算値

$\rho_{L, 7}$: 1) ~ 3) の手順で求めたランプモデルでの7群XYZ拡散計算値

4.3.3 実験解析結果

(1) 炉心中心制御棒価値

ZPPR-17A体系での炉心中心制御棒価値の解析結果を以下の表に示す。

Table 4.3.3-1 ZPPR-17A体系の中心制御棒価値の基準計算結果

Table 4.3.3-2 ZPPR-17A体系の中心制御棒価値の C/E値

以下、実験項目ごとの解析結果を検討する。

a. 炉心中心制御棒価値

C/E 値は各制御棒タイプに対し、以下の通りである。

(i) プレートタイプ制御棒

燃料に対する制御棒価値の C/E 値 : 0.877~0.905

CRPに対する制御棒価値の C/E 値 : 0.871~0.899

(ii) ピンタイプ制御棒（密装填 B_4C ピン型）

燃料に対する制御棒価値の C/E 値 : 0.886~0.892

CRPに対する制御棒価値の C/E 値 : 0.883~0.890

(iii) ピンタイプ制御棒（カランドリア内 B_4C ピン型）

燃料に対する制御棒価値の C/E 値 : 0.900

CRPに対する制御棒価値の C/E 値 : 0.899

各制御棒の計算値（CRPに対する値）は実験値を 9~13% 過小評価する。

本解析結果は、径方向非均質炉心 ZPPR-13 の第 1 リング制御棒の C/E 値 0.85~0.91⁽⁶⁾ 均質炉心 ZPPR-9 の中心制御棒の C/E 値 0.91⁽⁷⁾ と同レベルにある。

b. ^{10}B 濃度依存性

制御棒内平均 ^{10}B 原子数密度に対する制御棒価値（燃料に対する値）の C/E 値の変化を Fig. 4.3.3-1 に示す。各制御棒の C/E 値は 0.88~0.91 の範囲にあり、 ^{10}B 濃縮度依存性は小さい。各制御棒の基準計算に対する各種補正係数の ^{10}B 濃度による変化を、Fig. 4.3.3-2 に示す。 ^{10}B 濃度が増加するに従い、各種補正係数の補正幅は増加するが、互いに相殺しあい全体の補正是小さい。

c. 制御棒サイズ依存性

制御棒サイズに対する制御棒価値（燃料に対する値）の C/E 値の変化を Fig. 4.3.3-3 に示す。C/E 値は 0.87 ~ 0.89 の範囲にあり制御棒サイズ依存性も小さい。各制御棒の基準計算に対する各種補正係数の制御棒サイズによる変化を Fig. 4.3.3-4 に示す。各種補正係数はほぼ一定である。

d. ピン制御棒の非均質効果

非均質構造をもつ密装填 B_4C ピン型制御棒の C/E 値は、均質な ^{10}B 濃度分布とした制御棒モデルを用いるとプレートタイプより 5 ~ 10% 大きい値となるが、ランプ効果補正によりプレートタイプと同レベルの C/E 値となる。

e. 制御棒挿入量の効果

中心制御棒の半挿入と全挿入の制御棒価値の C/E 値は双方とも 0.89 であり、C/E 値の挿入量依存性は小さい。

(2) 制御棒価値の径方向分布

ZPPR-17B 体系の各径方向位置での制御棒価値の解析結果を以下の表に示す。

Table 4.3.3-3 ZPPR-17B 体系の径方向制御棒価値の基準計算結果

Table 4.3.3-4 ZPPR-17B 体系の径方向制御棒価値の C/E 値

C/E 値は、中心制御棒で 0.888 で、炉心外周に向かって漸次大きくなり、第 3 リング制御棒で 0.971 となる、径方向依存性を示す。

過去に実施された JUPITER-I 計画（均質炉心模擬）と JUPITER-II 計画（径方向非均質炉心模擬）でも、制御棒価値の C/E 値に径方向依存性があることが示されている。⁽⁶⁾ Fig. 4.3.3-5 に、各臨界実験の制御棒価値の C/E 値の径方向の変化を比較して示す。各体系の C/E 値とも、最外周制御棒と中心制御棒との C/E 値の差は 8 ~ 12% であり、同レベルの径方向変化を示す。

(3) まとめ

以上の実験解析結果の比較より、軸方向非均質炉心の制御棒価値の計算精度は、先行臨界実験の計算精度と同程度であることがわかった。

一方、各炉型に共通な制御棒価値の解析上の課題として、C/E値の径方向依存性がある。先行臨界実験解析結果では、制御棒価値の他に、反応率分布、サンプル反応度価値にも同様な径方向依存性があることが報告されており、各特性値に共通な要因として中性子束分布計算に問題があると考えられている。⁽⁶⁾

今後、以下の項目も含め、C/E値の径方向依存性の原因究明が必要である。

- (i) ZPPR-17体系の反応率分布とサンプル反応度価値の実験解析
- (ii) ZPPR-18体系の制御棒価値、反応率分布の実験解析による径方向依存性の炉心サイズ効果の把握

Table 4.3-1 Summary of Control Rod Worth Experiment in ZPPR-17

Assembly	Measurement Items	Measurement Methods
Z P P R -17A	(1) Central Control Rod Worth (a) ^{10}B Enrichment Effect (b) Control Rod Size Effect (c) B_4C Pin Effect (2) Control Rod Position Worth	(1), (2) Subcritical Source Multiplication Method
Z P P R -17B	(1) Radial Control Rod Bank Worth (2) Control Rod Interaction Effect (3) One Rod Stuck (4) Axial Worth Profile (Subcritical) (5) Axial Worth Profile (Critical)	(1)~(4) Subcritical Source Multiplication Method (5) Drawer Oscillation Method
Z P P R -17C	(1) Radial Control Rod Bank Worth (2) Control Rod Interaction Effect (3) One Rod Stuck (4) Axial Worth Profile (Critical)	(1)~(3) Subcritical Source Multiplication Method (4) Drawer Oscillation Method

Table 4.3.1-1 Data Processing for Central Control Rods in ZPPR-17A

Case	File	Method	FCs	χ^2	Ratio	Worth, \$ ^a	$\sigma_s \%$	$\sigma_t \%$	Difference from ZPR-476, %
2 x 2 CRP	46	All	61	1.090	0.9986	0.0838	0.12	0.90	
		3.6 σ	61	1.090	"	0.0837	0.11	0.90	
		LSFIT	61	0.971	0.9986	0.0837	0.11	1.45	+2
50/50 B ₄ C/Na 2 x 2	47	All	61	9.00	0.9965	0.779	0.15	0.82	
		3.6 σ	55	2.19	"	0.781	0.08	0.81	
		LSFIT	61	1.14	0.9972	0.778	0.06	0.89	-0.6
100% Nat. B ₄ C 2 x 2	48	All	61	3.94	0.9965	1.073	0.09	0.81	
		3.6 σ	57	1.36	"	1.071	0.06	0.81	
		LSFIT	61	0.74	0.9959	1.073	0.04	0.88	-0.7
100% Nat. B ₄ C 2 x 2 Half- Inserted	49	All	61	28.6	0.9965	0.619	0.25	0.85	
		3.6 σ	47	1.74	"	0.623	0.08	0.82	
		LSFIT	58	1.24	0.9976	0.619	0.06	0.90	-0.2
Nat. B ₄ C Pins Tight Pack	50	All	61	19.6	0.9965	0.704	0.21	0.84	
		3.6 σ	54	2.22	"	0.708	0.08	0.81	
		LSFIT	61	0.79	0.9976	0.703	0.05	0.90	-0.5
Enr. B ₄ C Pins In Calandria	51	All	61	11.4	0.9965	1.187	0.19	0.83	
		3.6 σ	56	2.84	"	1.183	0.10	0.81	
		LSFIT	61	1.04	0.9951	1.188	0.06	0.88	-0.7
Enr. B ₄ C Pins Tight Pack	52	All	61	3.89	0.9965	1.083	0.11	0.82	
		3.6 σ	58	1.83	"	1.082	0.07	0.81	
		LSFIT	60	1.14	0.9959	1.083	0.06	0.88	-0.7
100% Enr. B ₄ C Half-inserted	53	All	61	4.79	0.9965	0.817	0.11	0.82	
		3.6 σ	57	1.34	0.9965	0.818	0.07	0.81	
		LSFIT	57	1.11	0.9966	0.817	0.06	0.89	-0.4
50% Enr. B ₄ C Plate	54	All	61	11.7	0.9965	1.194	0.19	0.83	
		3.6 σ	56	2.57	"	1.190	0.09	0.81	
		LSFIT	61	1.01	0.9951	1.195	0.05	0.88	-0.7
2 x 3 Nat. B ₄ C Plate	55	All	61	41.0	0.9965	1.387	0.40	0.90	
		3.6 σ	40	3.31	"	1.380	0.13	0.82	
		LSFIT	34	0.88	0.9919	1.395	0.12	0.89	-0.2
2 x 2 Nat. B ₄ C Plate Off-center	56	All	61	30.3	0.9965	1.117	0.31	0.87	
		3.6 σ	35	3.59	"	1.118	0.16	0.82	
		LSFIT	19	0.89	0.9954	1.108	0.09	0.89	-1.4
3 x 3 CRP	57	All	61	7.47	0.9986	0.305	0.16	0.83	
		3.6 σ	51	2.95	"	0.304	0.11	0.83	
		LSFIT	55	1.27	0.9981	0.306	0.07	0.97	+0.7
3 x 3 Nat. B ₄ C Plate	58	All	61	131.0	0.9965	1.710	0.65	1.04	
		3.6 σ	25	3.80	"	1.702	0.16	0.82	
		LSFIT	18	0.82	0.9917	1.721	0.11	0.88	0.0

^aDetector efficiencies and source ratios were calculated only for the case of the 2 x 2 CRP and for the 2 x 2 100% natural B₄C control rod.

^bWorths are derived relative to the subcritical reference reactivity of -25.16¢ ± 0.20¢ with data recorded on file 45.

Table 4.3.1-2 Control Rod Worths of Radial Rod Bank in ZPPR-17B

Control Rod	Position *	Worth (\$)	1 Rod Worth (\$)
Central CR	1	1.001	1.001
Ring 1 CR	2 ~ 7	5.822	0.971
Ring 2 CR	8 ~ 13	8.318	1.386
Ring 3 CR	14 ~ 25	22.477	1.873

* Rod Position Number in Fig. 4.3.1-5

Table 4.3.1-3 Reactivities for Various Rod Insertions in ZPPR-17B

Reactor	Reactor	Data	Rod		
Run	Loading	File	Insertion, mm	Reactivity, ¢	Drawer Masters
122	111	115	-21.5	601
123	112	116	0 ^a	-29.1	617, 618, 619
124	113	117	101.6	-37.3	617, 620, 621
125	114	118	203.2	-49.6	617, 622, 623
126	115	119	304.8	-61.6	617, 624, 625
127	116	120	406.4	-70.8	617, 626, 627
128	117	121	508.0	-77.7	617, 628, 629
129	118	122	609.6	-85.5	628, 634, 635
130	119	123	711.2	-95.0	630, 636, 635
131	120	124	812.8	-106.4	631, 637, 635
135	123	125	914.4	-115.8	632, 638, 635
136	124	126	1016.0	-119.4	633, 635

^a Zero insertion corresponds to the rod parked at the core/axial blanket interface.

Table 4.3.1-4 Reactivity Values for Various Rod Insertions Measured with the Long Drawer Technique

<u>Rod Insertion, mm</u>	<u>Reactivity, \$</u>
-101.6	0.00
-76.2	-0.23
-50.8	-0.59
-25.4	-1.02
0 ^a	-1.56
25.4	-2.18
50.8	-2.90
76.2	-3.75
101.6	-4.68
127.0	-5.70
152.4	-6.80
177.8	-8.02
203.2	-9.27
228.6	-10.51
254.0	-11.73
279.4	-12.96
304.8	-14.16
330.2	-15.23
355.6	-16.26
381.0	-17.19
406.4	-18.08
431.8	-18.90
457.2	-19.65
482.6	-20.40
508.0	-21.14
533.4	-21.87
558.8	-22.60
584.2	-23.38
609.6	-24.21
635.0	-25.08
660.4	-26.00
685.8	-26.98
711.2	-28.09
736.6	-29.22
762.0	-30.34
787.4	-31.46
812.8	-32.59
838.2	-33.63
863.6	-34.65
889.0	-35.59
914.4	-36.37
939.8	-37.08
965.2	-37.56
990.6	-37.87
1016.0	-38.08

^aZero insertion corresponds to the rod parked at the core/axial blanket interface.

Table 4.3.3-1 Reference Calculation Results of Central Control Rod Worths
in ZPPR-17A (7G, XYZ, AD, RM)

No.	Case	k_{eff}	Worth	
			(%Δk/kk)	(¢) ^{a)}
1	Subcritical Ref.	0.995228	—	—
2	2 × 2 CRP	0.994929	0.0301	8.63
3	50/50 Nat. B ₄ C/Na 2 × 2	0.992797	0.2459	70.43
4	100% Nat. B ₄ C 2 × 2	0.992008	0.3260	93.37
5	100% Nat. B ₄ C 2 × 2 Half-in.	0.993357	0.1892	54.18
6	Nat. B ₄ C Pins Tight Pack 2 × 2	0.992906	0.2349	67.26
7	Enr. B ₄ C Pins in Calan. 2 × 2	0.991511	0.3766	107.85
8	Enr. B ₄ C Pins Tight Pack 2 × 2	0.991543	0.3734	106.92
9	100% Enr. B ₄ C 2 × 2 Half-in.	0.992786	0.2471	70.76
10	50% Enr. B ₄ C Plate 2 × 2	0.991487	0.3790	108.53
11	2 × 3 Nat. B ₄ C Plate	0.991044	0.4241	121.45
12	2 × 2 Nat. B ₄ C Plate Off-center	0.991880	0.3391	97.08
13	3 × 3 CRP	0.994197	0.1042	29.82
14	3 × 3 Nat. B ₄ C Plate	0.990067	0.6289	149.97

a) $\beta_{eff} = 0.3492 \times 10^{-4}$

Table 4.3.3-2 C/E Values of Central Control Rod Worths in ZPPR-17A

No.	Control Rods	Measured Worth (\$) ¹⁾	C/E (Base)	Calculation Results							C/E (Fuel) ³⁾	C/E (CRP) ⁴⁾	
				Correction Factors ²⁾									
				f _G	f _M	f _T	f _A	f _L	Total f				
1	2 × 2 CRP	0.0837	1.030	0.968	0.943	0.970	0.991	1.000	0.878	0.905	—		
2	50/50 Nat. B ₄ C/Na 2 × 2	0.778	0.906	0.950	1.055	0.998	0.993	1.000	0.993	0.899	0.899		
3	100% Nat. B ₄ C 2 × 2	1.073	0.871	0.943	1.103	0.985	0.992	1.000	1.016	0.885	0.883		
4	100% Nat. B ₄ C 2 × 2 Half-inserted	0.619	0.875	0.945	1.097	0.989	(0.991)	1.000	1.016	0.889	0.886		
5	Nat. B ₄ C Pins Tight Pack	0.703	0.957	0.949	1.064	0.992	(0.993)	0.930	0.926	0.886	0.883		
6	Enr. B ₄ C Pins in Calandria	1.188	0.908	0.934	1.099	0.972	0.993	1.000	0.992	0.900	0.899		
7	Enr. B ₄ C Pins Tight Pack	1.083	0.987	0.933	1.112	0.978	0.993	0.897	0.904	0.892	0.890		
8	100% Enr. B ₄ C 2 × 2 Half-inserted	0.817	0.866	0.925	1.149	0.971	(0.992)	1.000	1.024	0.887	0.884		
9	50/50 Enr. B ₄ C/Na 2 × 2	1.195	0.909	0.934	1.102	0.974	0.993	1.000	1.005	0.905	0.905		
10	2×3 100% Nat. B ₄ C Plate	1.395	0.871	(0.946)	(1.094)	(0.983)	(0.995)	1.000	1.011	0.880	0.877		
11	2×2 100% Nat. B ₄ C Plate Off-center	1.108	0.876	(0.974)	(1.042)	(0.991)	(0.992)	1.000	0.999	0.875	0.872		
12	3×3 CRP	0.306	0.975	(0.976)	(0.985)	(0.970)	(0.993)	1.000	0.924	0.901	—		
13	3×3 100% Nat. B ₄ C Plate	1.721	0.871	(0.947)	(1.085)	(0.982)	(0.997)	1.000	1.007	0.877	0.871		

1) $\beta_{eff} = 0.3492\%$ 2) f_G : Energy Group, f_M : Mesh Size, f_T : Transport, f_A : AMM Model, f_L : Lumping

The values in parentheses are extrapolated from correction factors for typical cases.

3) Relative to fuel

4) Relative to CRP

Table 4.3.3-3 Reference Calculation Results of Control Rod Worths
of Radial Rod Band in ZPPR-17B (7G, XYZ, AD, RM)

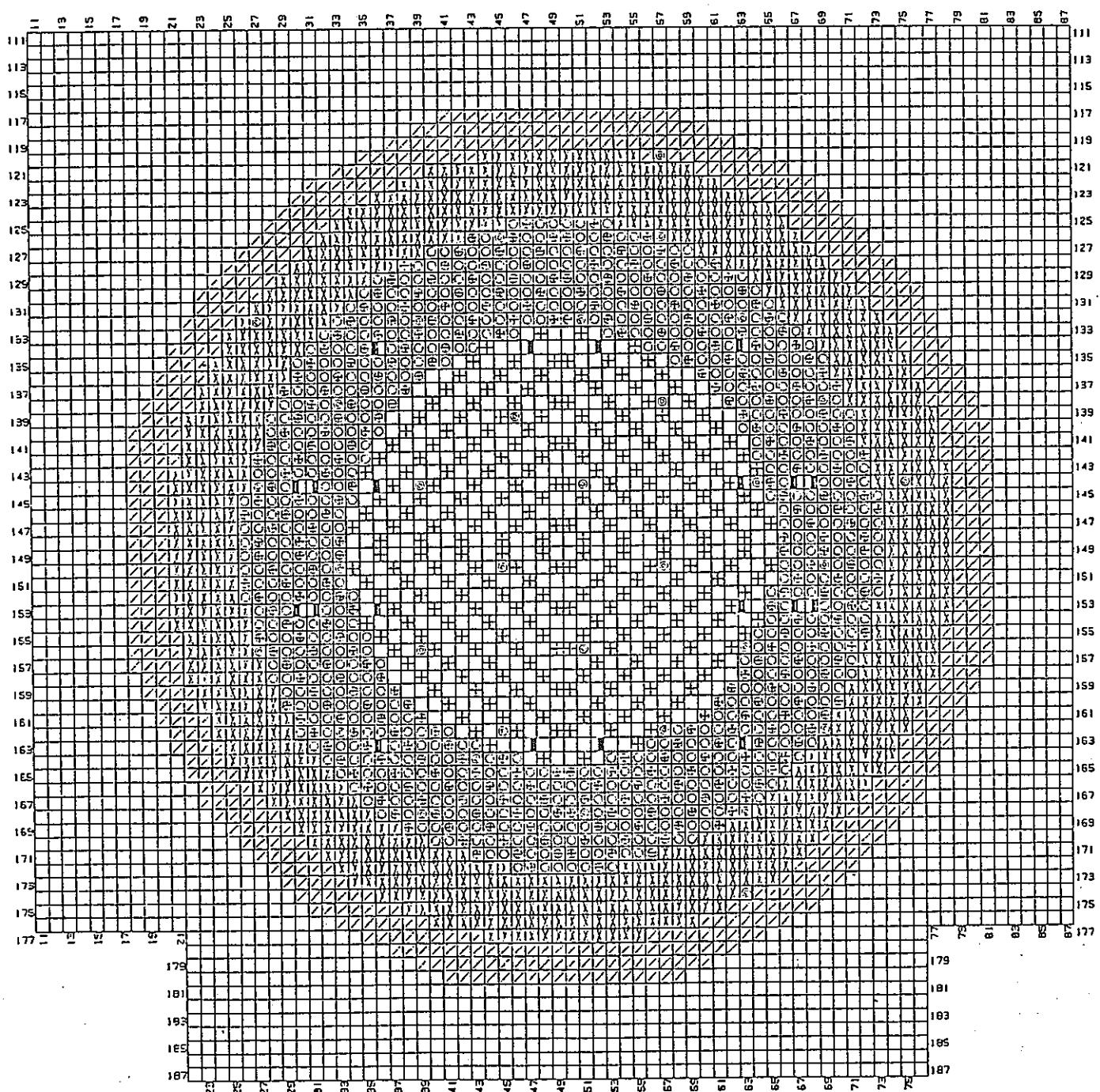
No	Control Rod ^{a)}	keff	Worth	
			(% Δk/kk')	\$ ^{b)}
1	Subcritical Ref.	0.993798	—	—
2	Central CR	0.990869	0.2975	0.855
3	Ring 1 CR	0.976393	1.7938	5.158
4	Ring 2 CR	0.968825	2.5938	7.458
5	Ring 3 CR	0.925614	7.4123	21.313

- a) See Fig. 4.3.1-7
b) $\beta_{eff} = 0.34778 \times 10^{-2}$

Table 4.3.3-4 C/E Values of Control Rod Worths of Radial Rod Bank
in ZPPR-17B

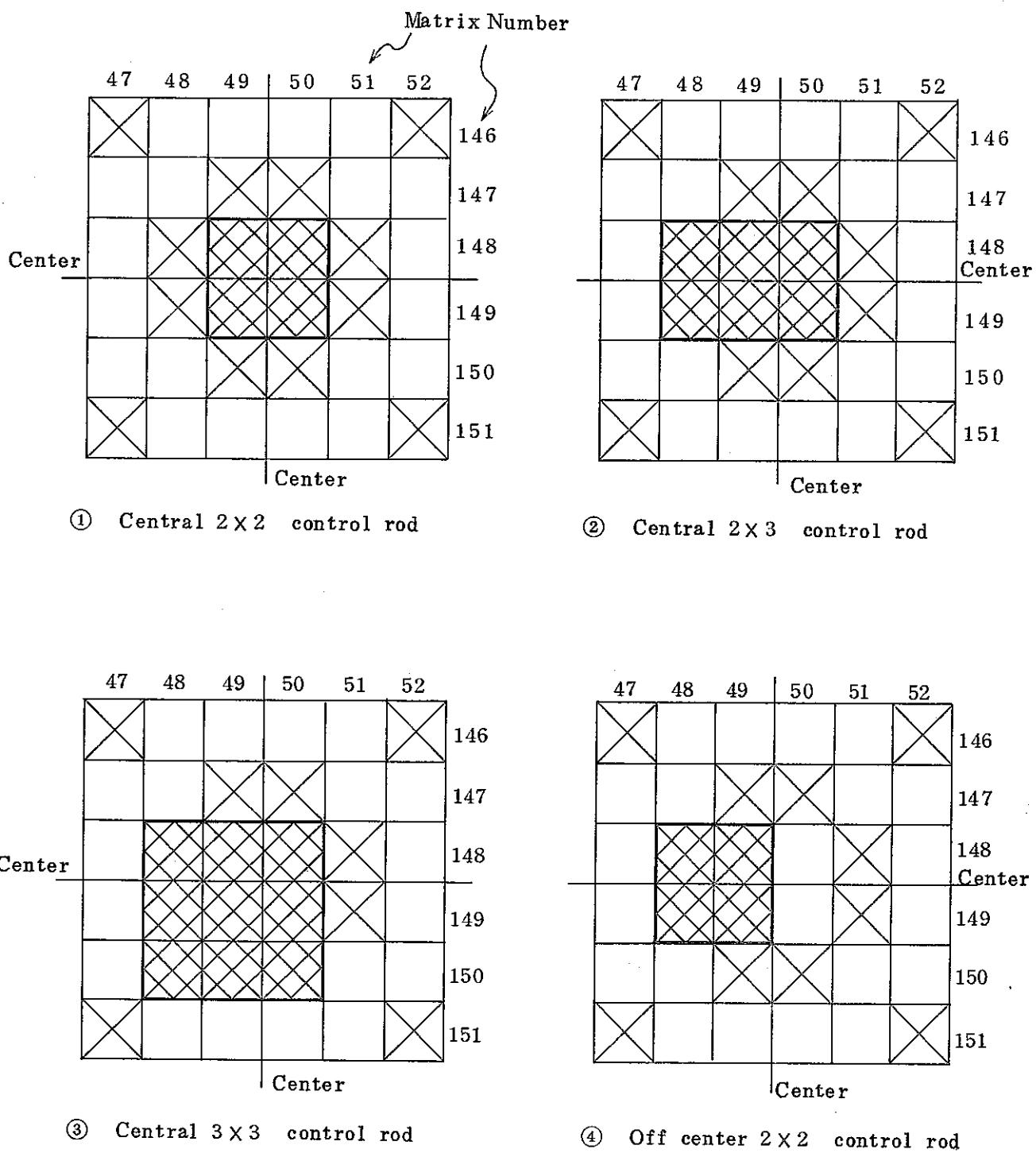
No	Control Rod ^{a)}	Measured ^{b)} (\$ ^{c)}	Reference Cal. (\$)	Correction			Corrected	C/E
				Collapse	Mesh	Transport		
1	Central CR	1.001	0.855	0.944	1.104	0.998	0.889	0.888
2	Ring 1 CR	5.822	5.158	0.956	1.106	0.973	5.309	0.912
3	Ring 2 CR	8.318	7.458	0.961	1.123	0.967	7.785	0.936
4	Ring 3 CR	22.477	21.313	0.959	1.120	0.954	21.819	0.971

- a) See Fig. 4.3.1-7
b) ZPR-482
c) $\beta_{eff} = 0.34778 \times 10^{-2}$



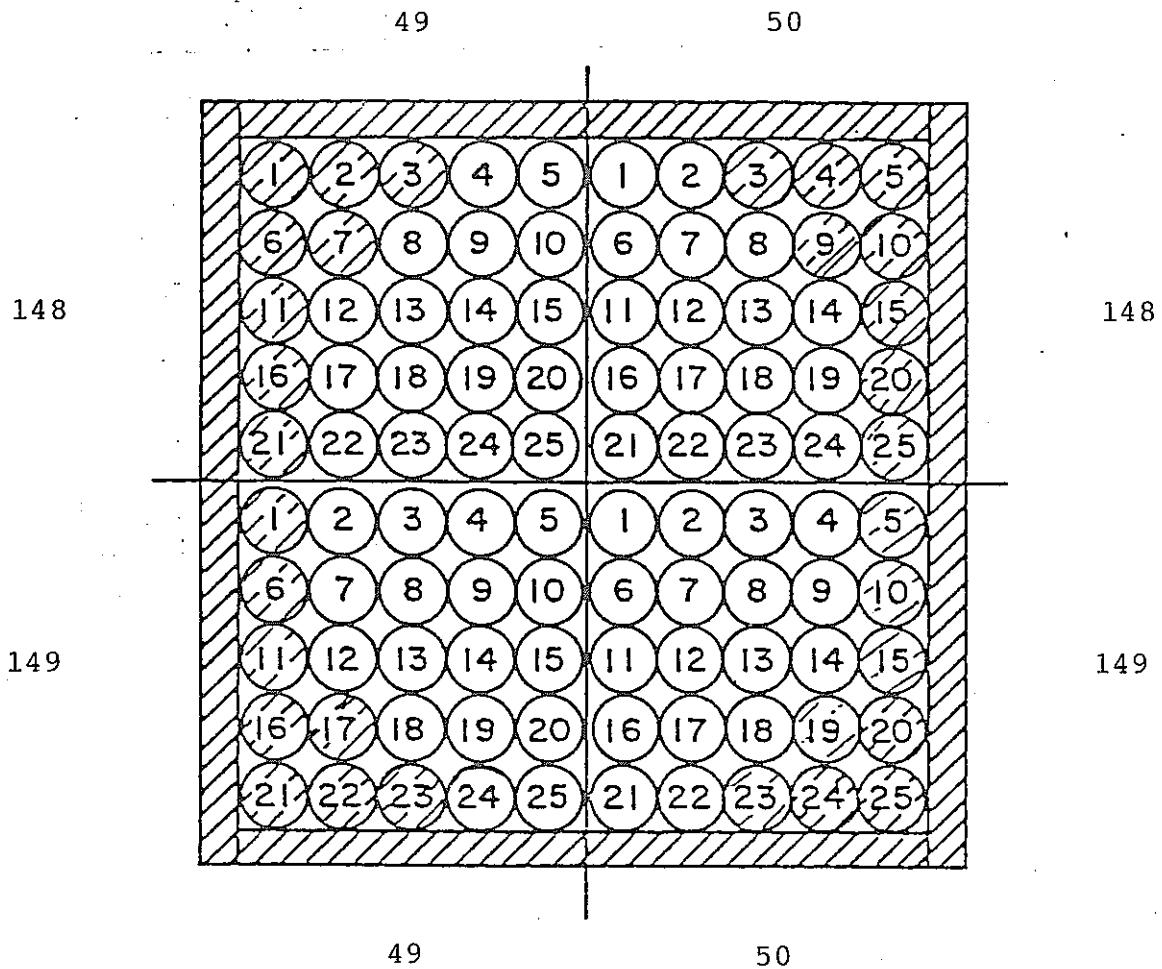
- SINGLE COLUMN FUEL DRAWER WITHOUT IB DOUBLE COLUMN FUEL DRAWER WITH IB
- SINGLE COLUMN FUEL DRAWER WITH IB DOUBLE COLUMN FUEL NARROW DRAWER
- SINGLE COLUMN FUEL NARROW DRAWER RADIAL BLANKET
- DOUBLE COLUMN FUEL DRAWER WITHOUT IB RADIAL REFLECTOR
- COUNTER

Fig. 4.3.1-1 Subcritical Reference Configuration in ZPPR-17A



Singl column fuel drawer with IB
 Double column fuel drawer with IB
 control rod drawer

Fig. 4.3.1 - 2 Position of Control Rod Drawer in ZPPR-17A



B_4C PELLETS



STAINLESS STEEL PINS



STAINLESS STEEL PLATES

Fig. 4.3.1-3 Loading Pattern for Close-packed Pin Control Rod.

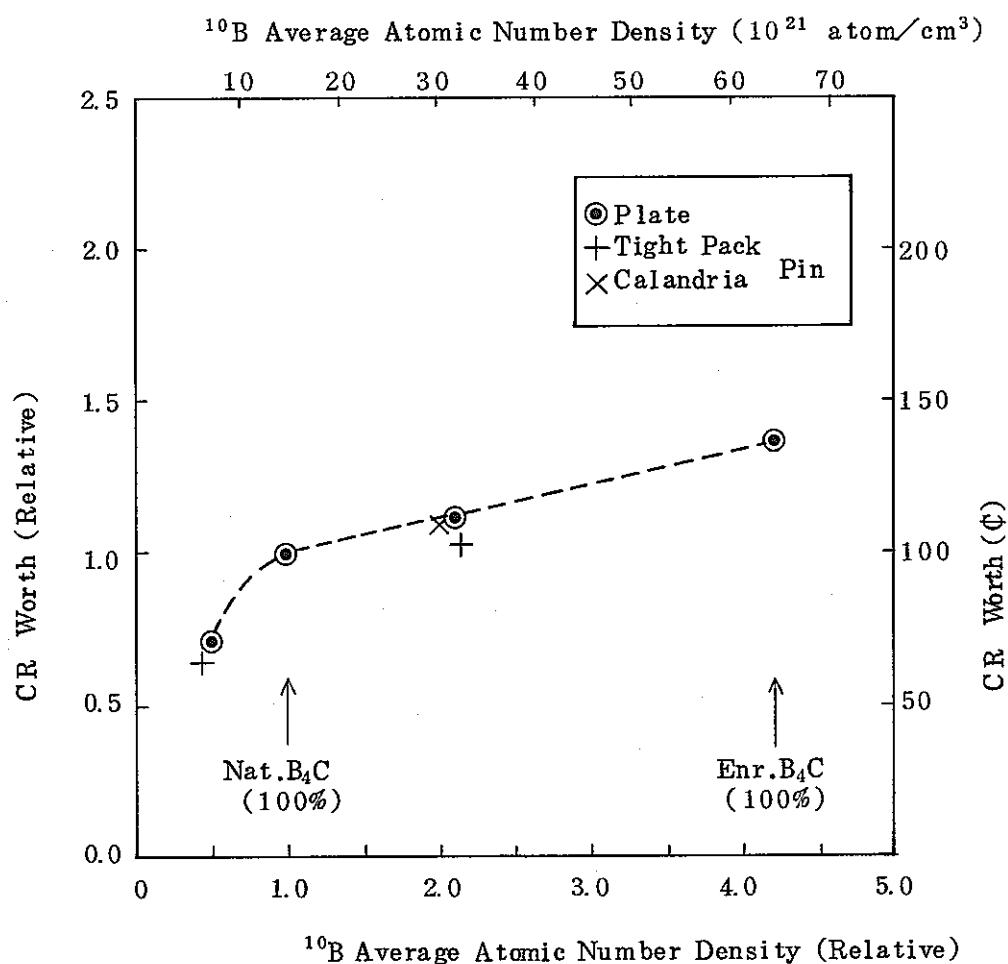


Fig. 4.3.1-4 Variation of CR Worth (Relative to CRP) Dependent on ^{10}B Average Atomic Number Density in ZPPR-1 7A

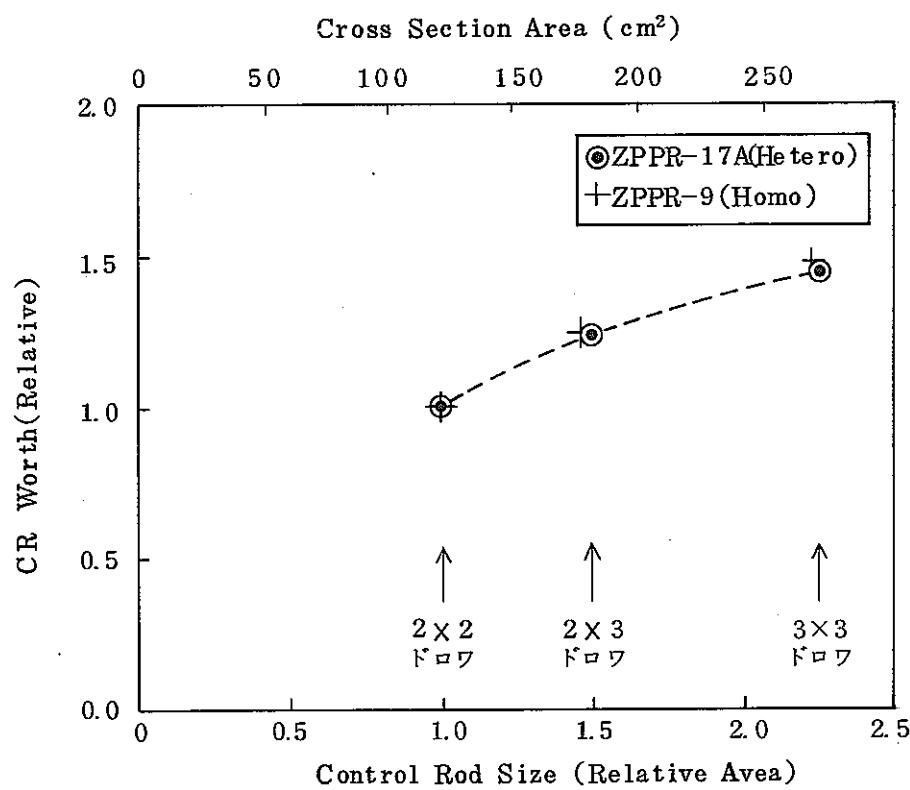
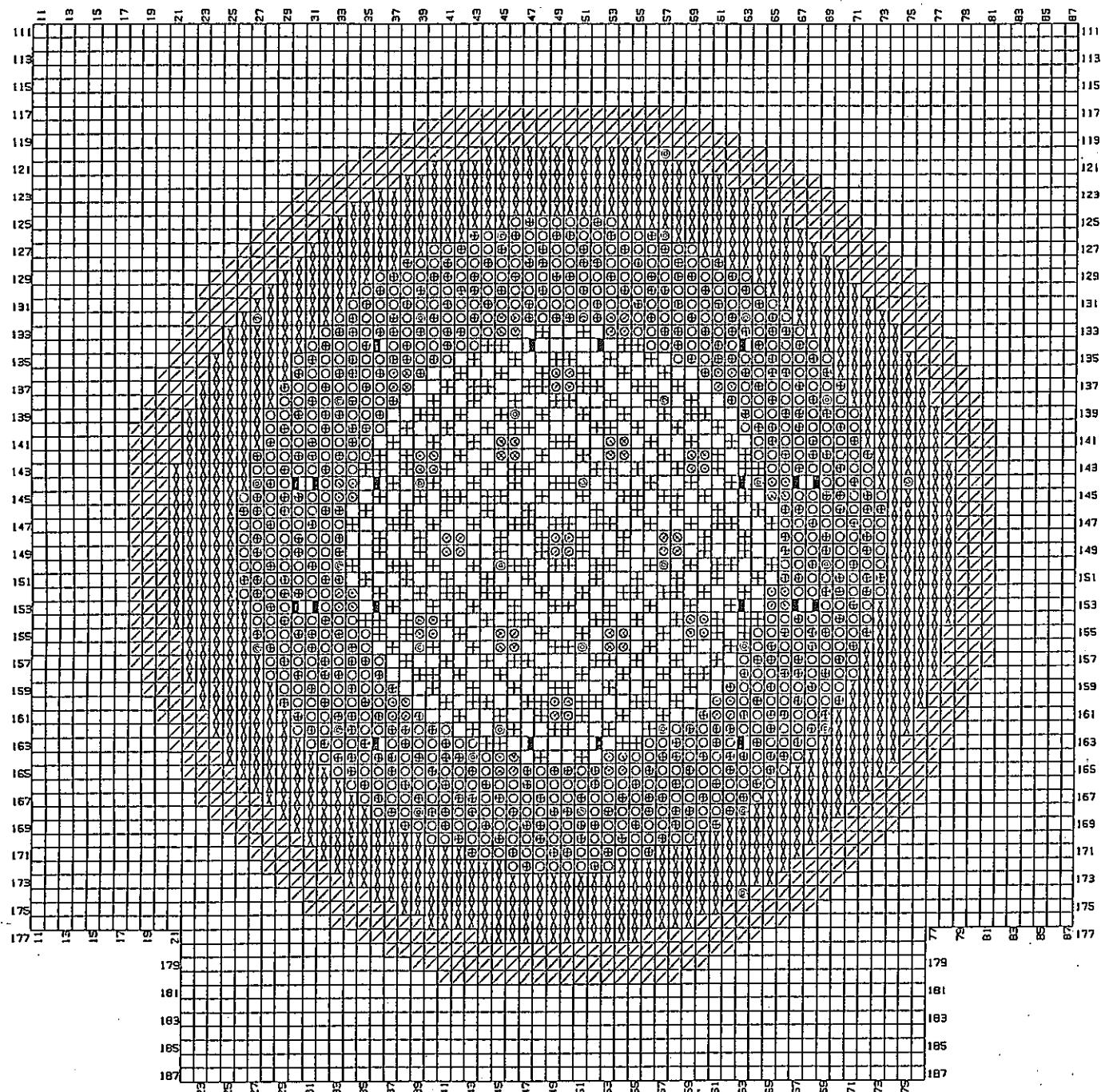
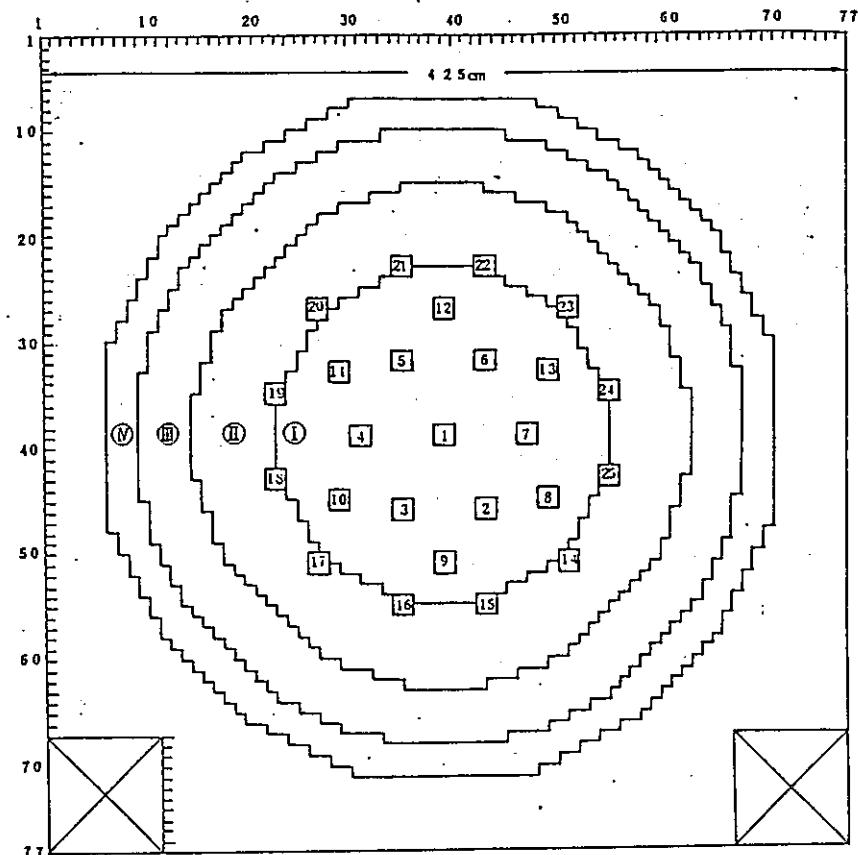


Fig. 4.3.1-5 Variation of CR Worth (Relative to CRP) Dependent on CR Size in ZPPR-1 7A



- | | | | |
|--|--------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> ○ | SINGLE COLUMN FUEL DRAWER WITHOUT IB | <input checked="" type="checkbox"/> ■ | DOUBLE COLUMN FUEL NARROW DRAWER |
| <input type="checkbox"/> □ | SINGLE COLUMN FUEL DRAWER WITH IB | <input type="checkbox"/> X | RADIAL BLANKET |
| <input checked="" type="checkbox"/> ━━ | SINGLE COLUMN FUEL NARROW DRAWER | <input type="checkbox"/> □ | RADIAL REFLECTOR |
| <input checked="" type="checkbox"/> + | DOUBLE COLUMN FUEL DRAWER WITHOUT IB | <input type="checkbox"/> ○ | COUNTER |
| <input checked="" type="checkbox"/> ━━ | DOUBLE COLUMN FUEL DRAWER WITH IB | <input type="checkbox"/> ⊗ | SODIUM FOLWER |

FIG. 4.3.1-6 SUBCRITICAL REFERENCE CONFIGURATION IN ZPPR-17B



- 1 : Central Control Rod Position
- 2 ~ 7 : Ring 1 Control Rod Position
- 8 ~ 13 : Ring 2 Control Rod Position
- 14 ~ 25 : Ring 3 Control Rod Position

- | |
|--|
| I : Core with IB
II : Core without IB
III : Radial Blanket
IV : Reflector |
|--|

Fig. 4.3.1-7 Positions of Control Rod Drawer in ZPPR-17B

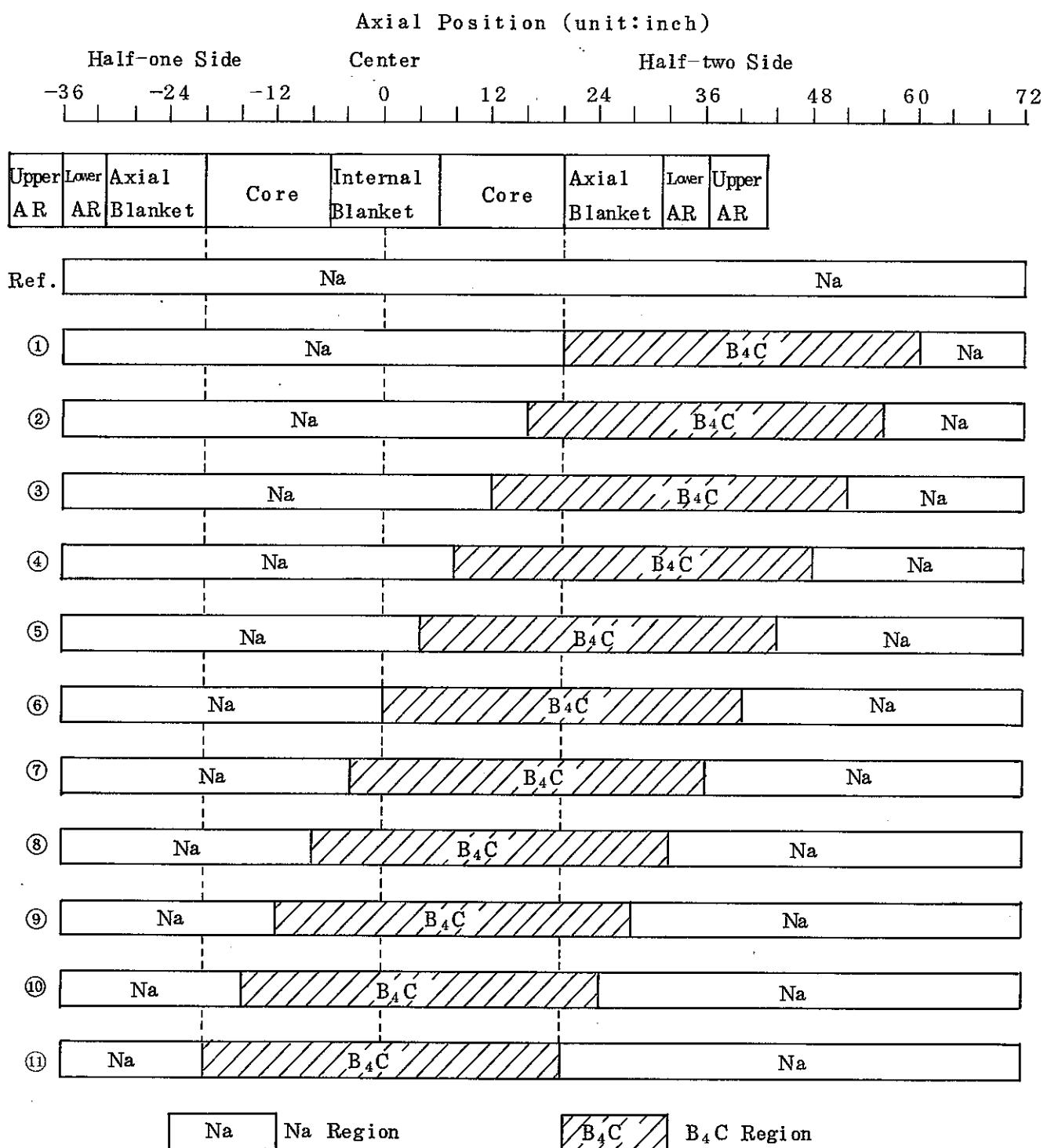


Fig. 4.3.1-8 Schematic View of Axial Control Rod Position

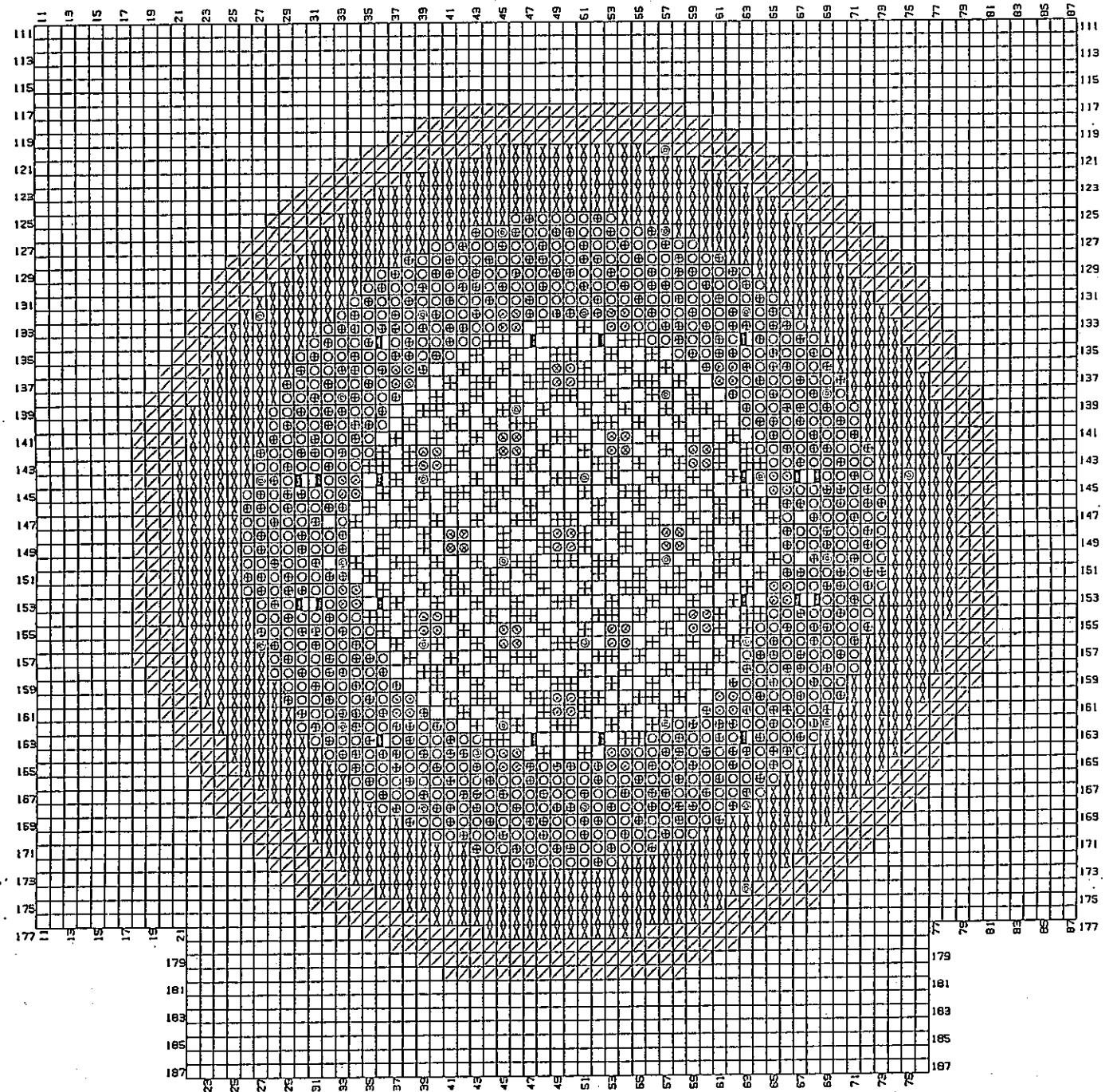


FIG. 4.3.1-9 CRITICAL REFERENCE CONFIGURATION IN ZPPR-17B

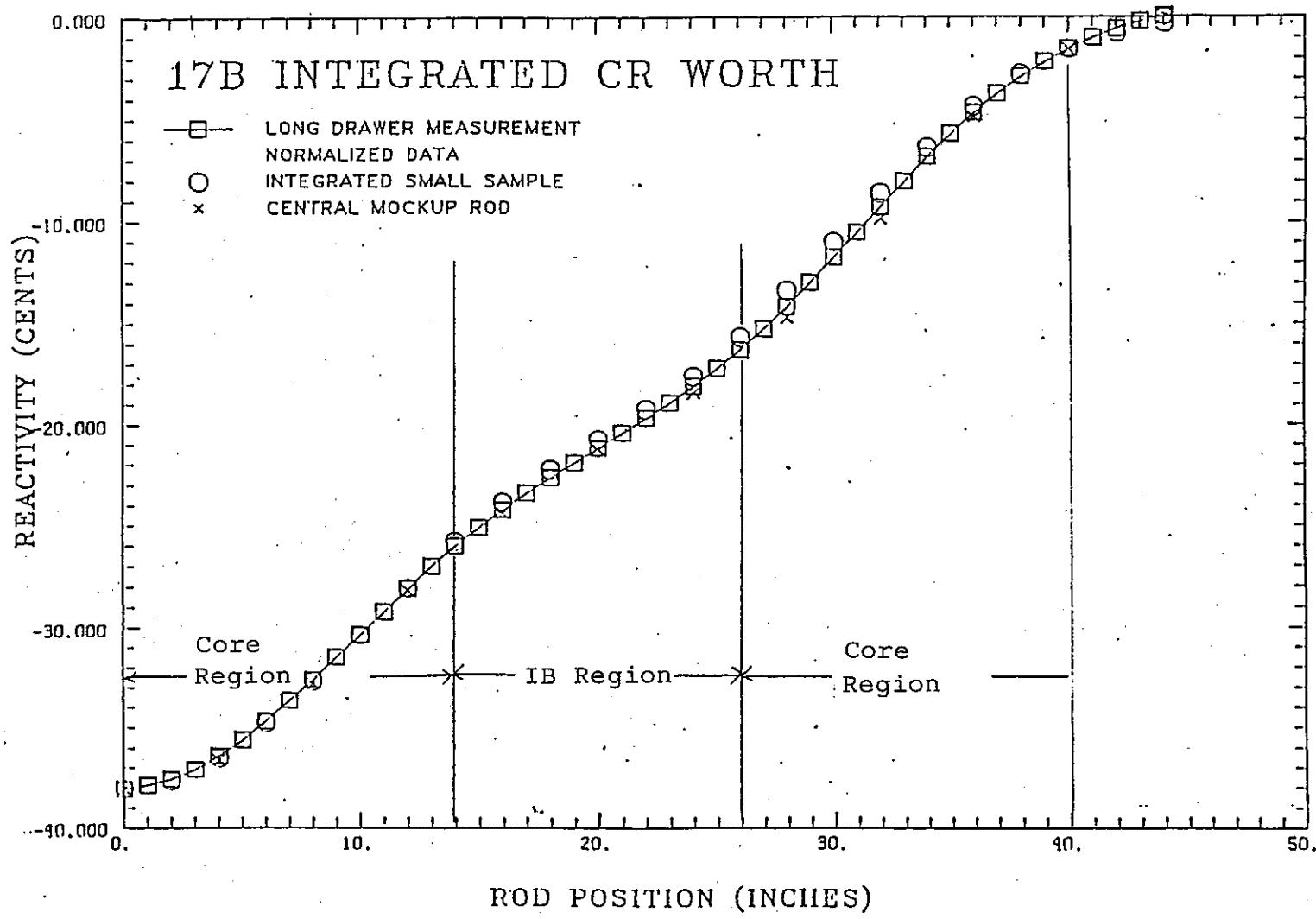


Fig. 4.3.1-10 Comparison of Axial Worth Profiles of B_4C in ZPPR-17B.

Bondarenko-Type
70-Group Set

Cell Homogenization

Cell Calculations

Group Collapsing

Reactor Calculation

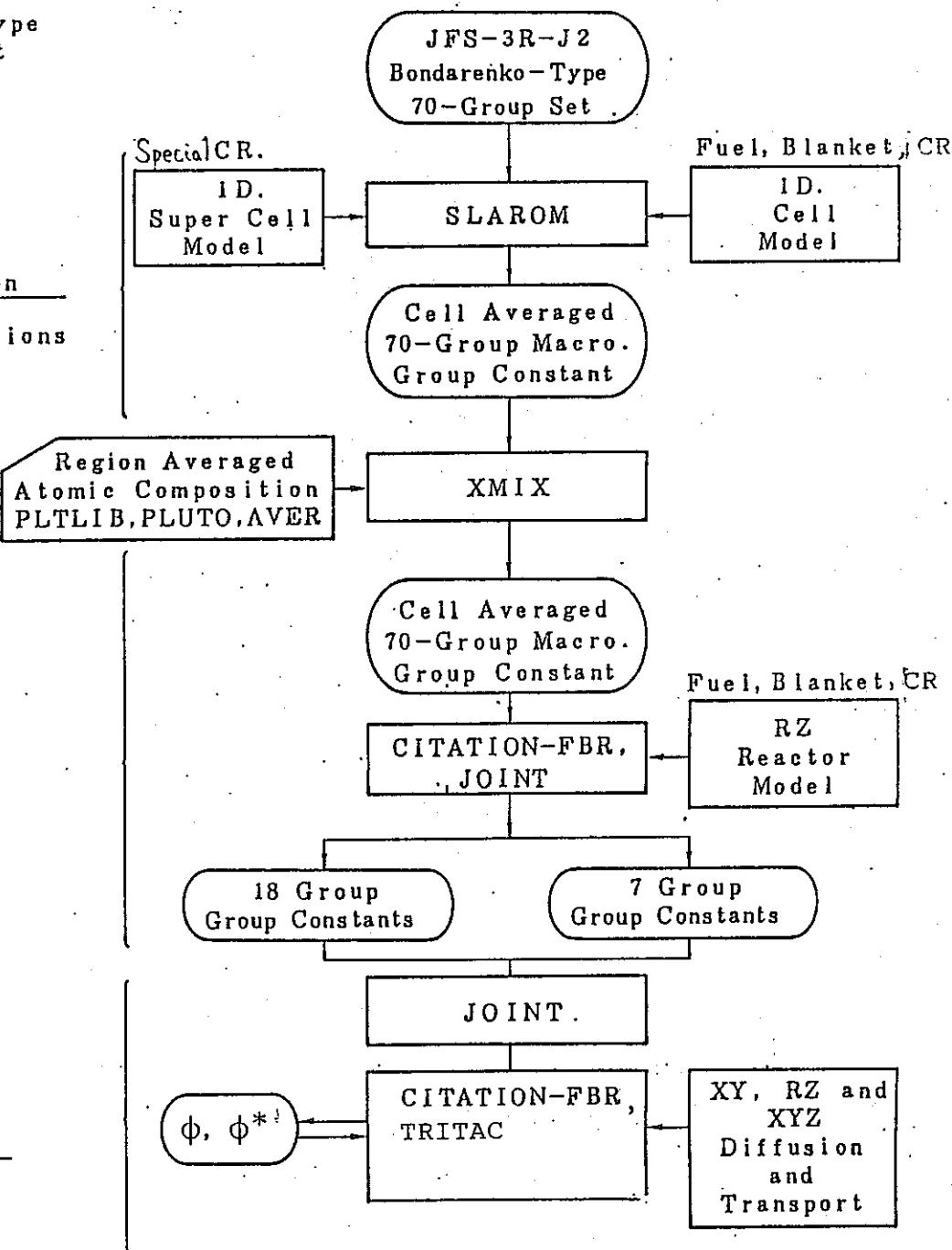
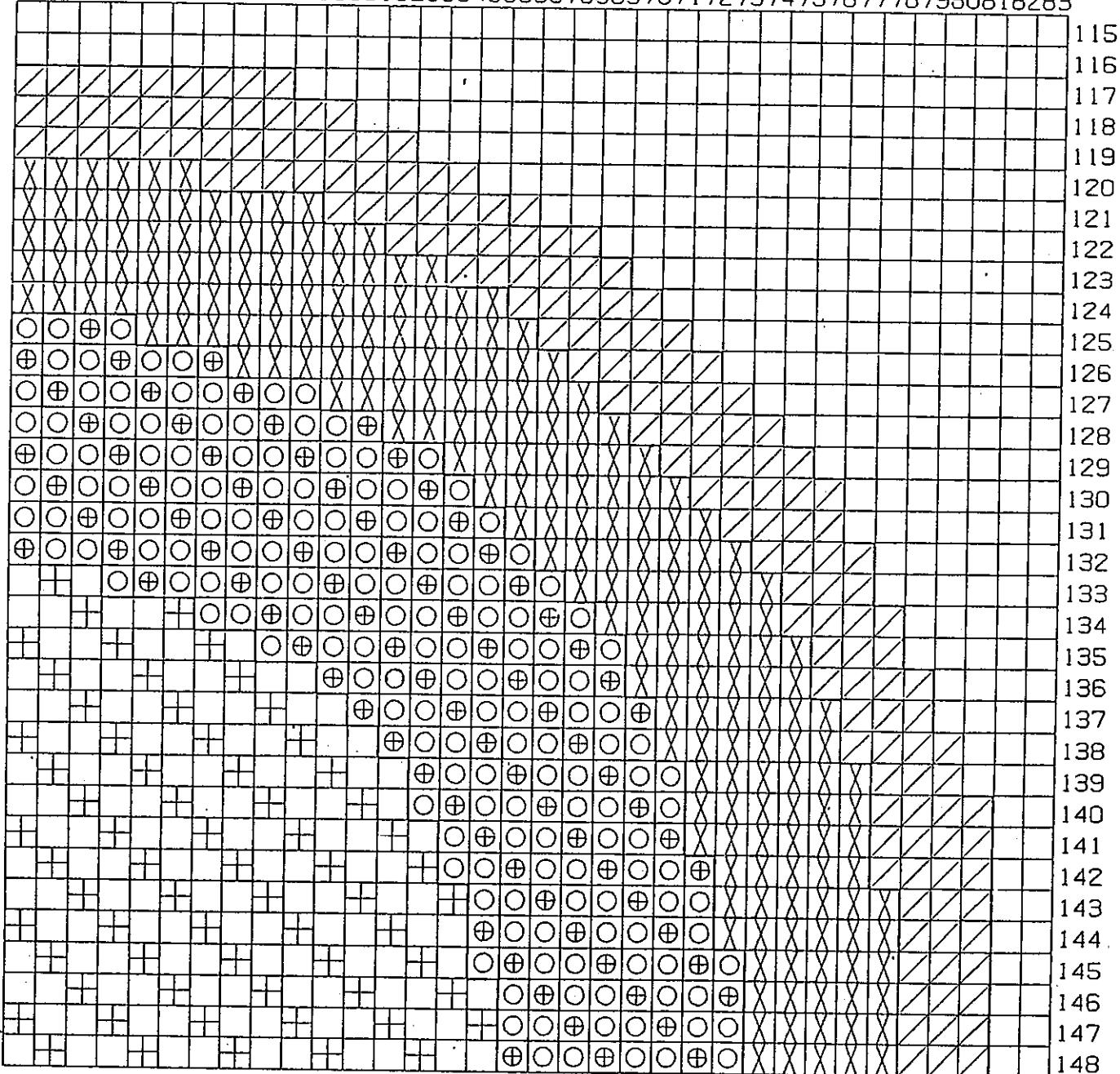


Fig. 4.3.2-1 Flow of Control Rod Worth Analysis

50515253545556575859606162636465666768697071727374757677787980818283



- | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | SINGLE COLUMN FUEL DRAWER WITHOUT IB | <input checked="" type="checkbox"/> | DOUBLE COLUMN FUEL DRAWER WITH IB |
| <input type="checkbox"/> | SINGLE COLUMN FUEL DRAWER WITH IB | <input checked="" type="checkbox"/> | RADIAL BLANKET |
| <input checked="" type="checkbox"/> | DOUBLE COLUMN FUEL DRAWER WITHOUT IB | <input checked="" type="checkbox"/> | RADIAL REFLECTOR |

Fig. 4.3.2-2 XYZ Calculational Model (XY Cross Section) for ZPPR-17A
Subcritical Reference Core

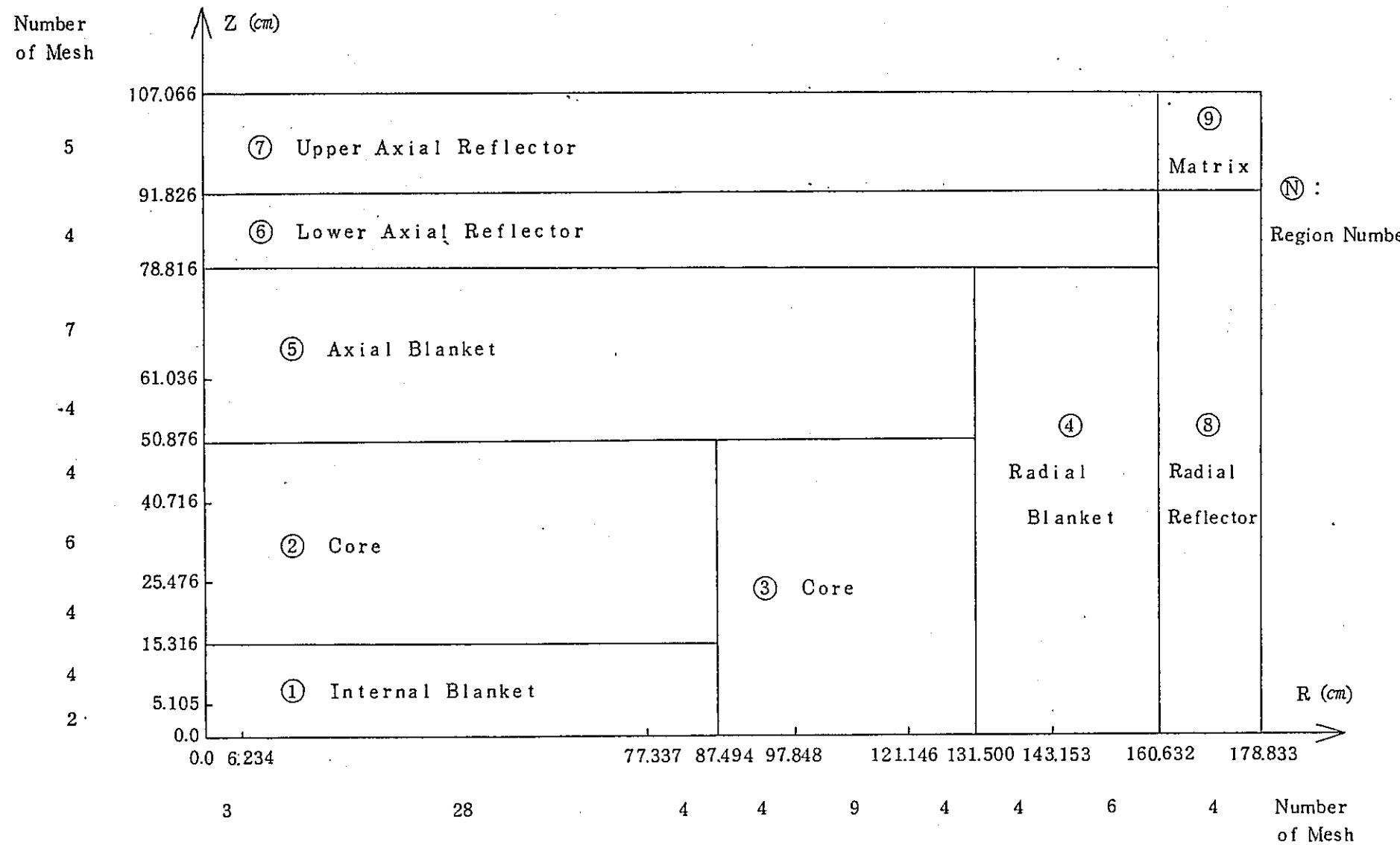


Fig. 4.3.2-3 RZ Calculational Model for ZPPR-17A Subcritical Reference Core

50515253545556575859606162636465666768697071727374757677787980818283

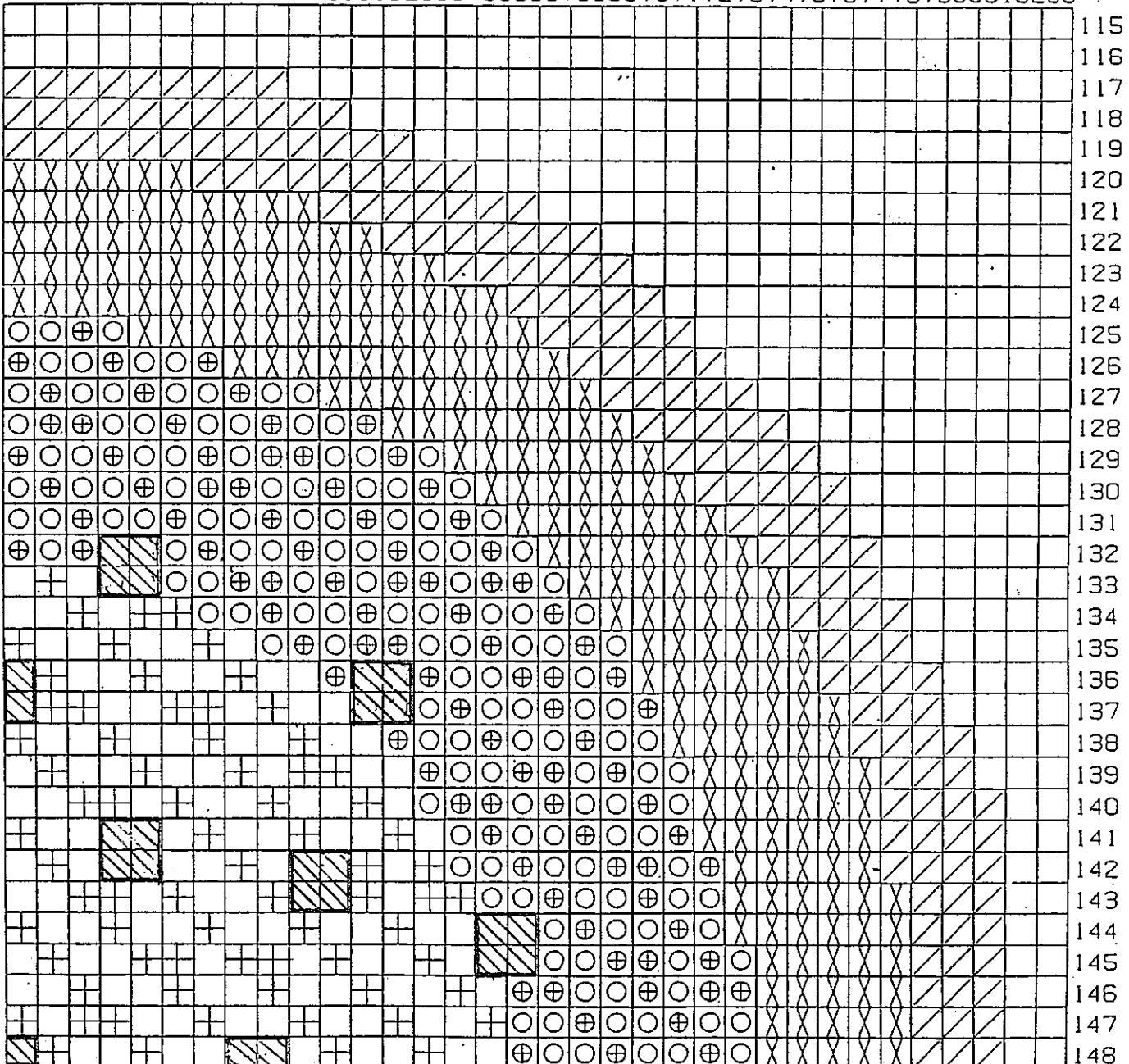


Fig. 4.3.2-4 XYZ Calculational Model (XY Cross Section) For for ZPPR
-17B Subcritical Reference Core

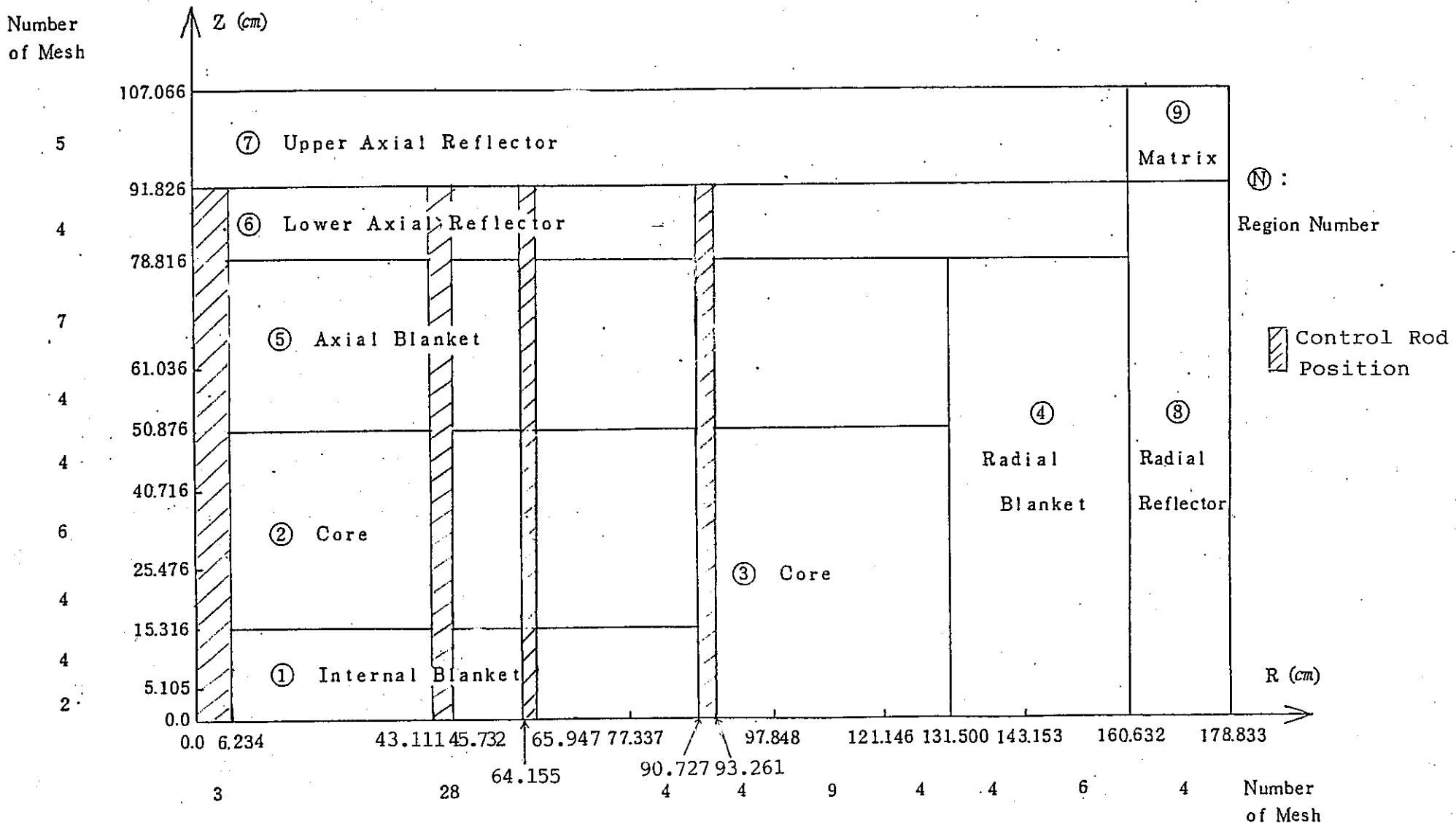


Fig. 4.3.2-5 RZ Calculational Model for ZPPR-17B Subcritical Reference Core

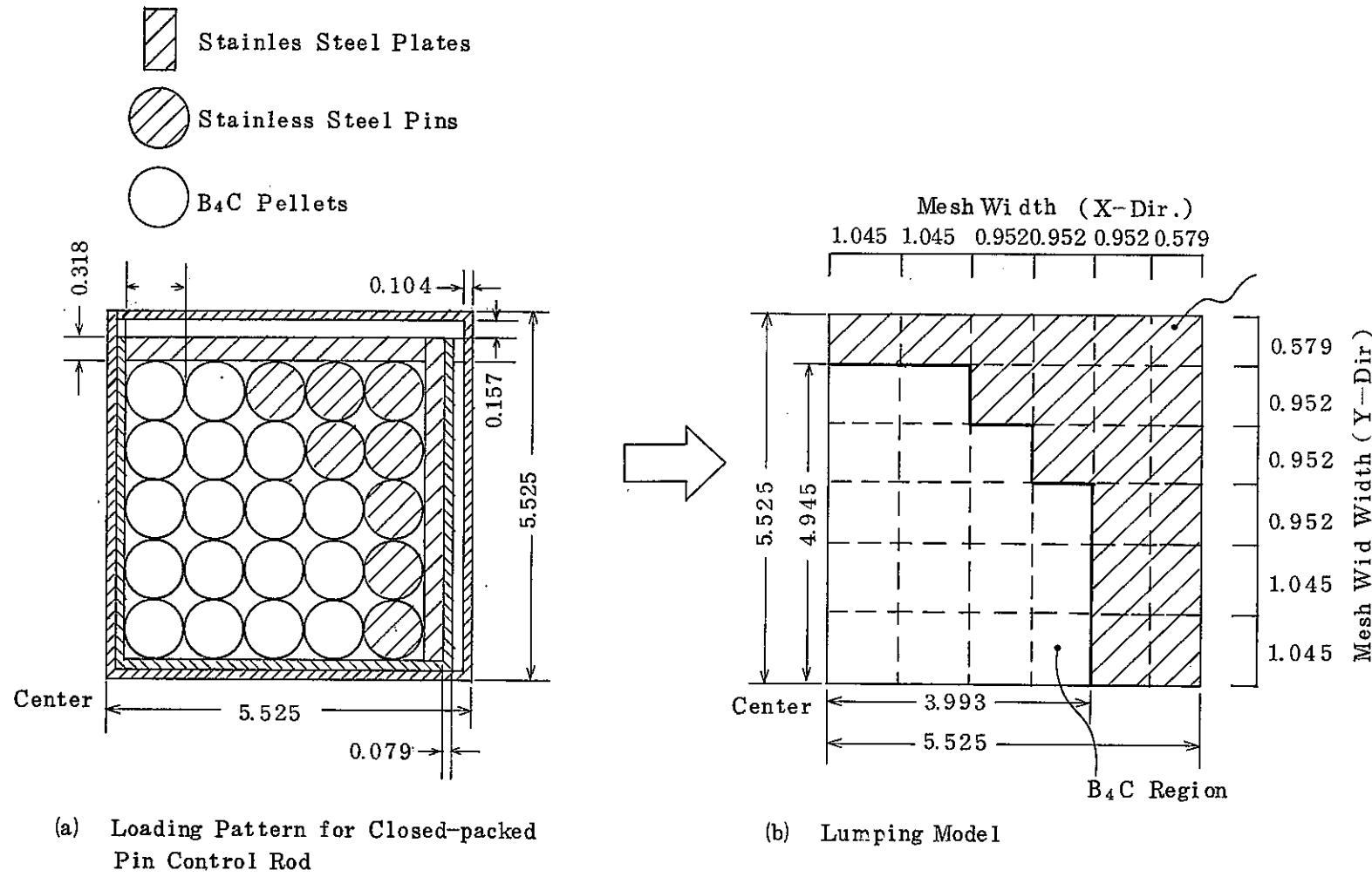


Fig. 4.3.2-6 Calculation Model Closed-packed Pin Control Rod

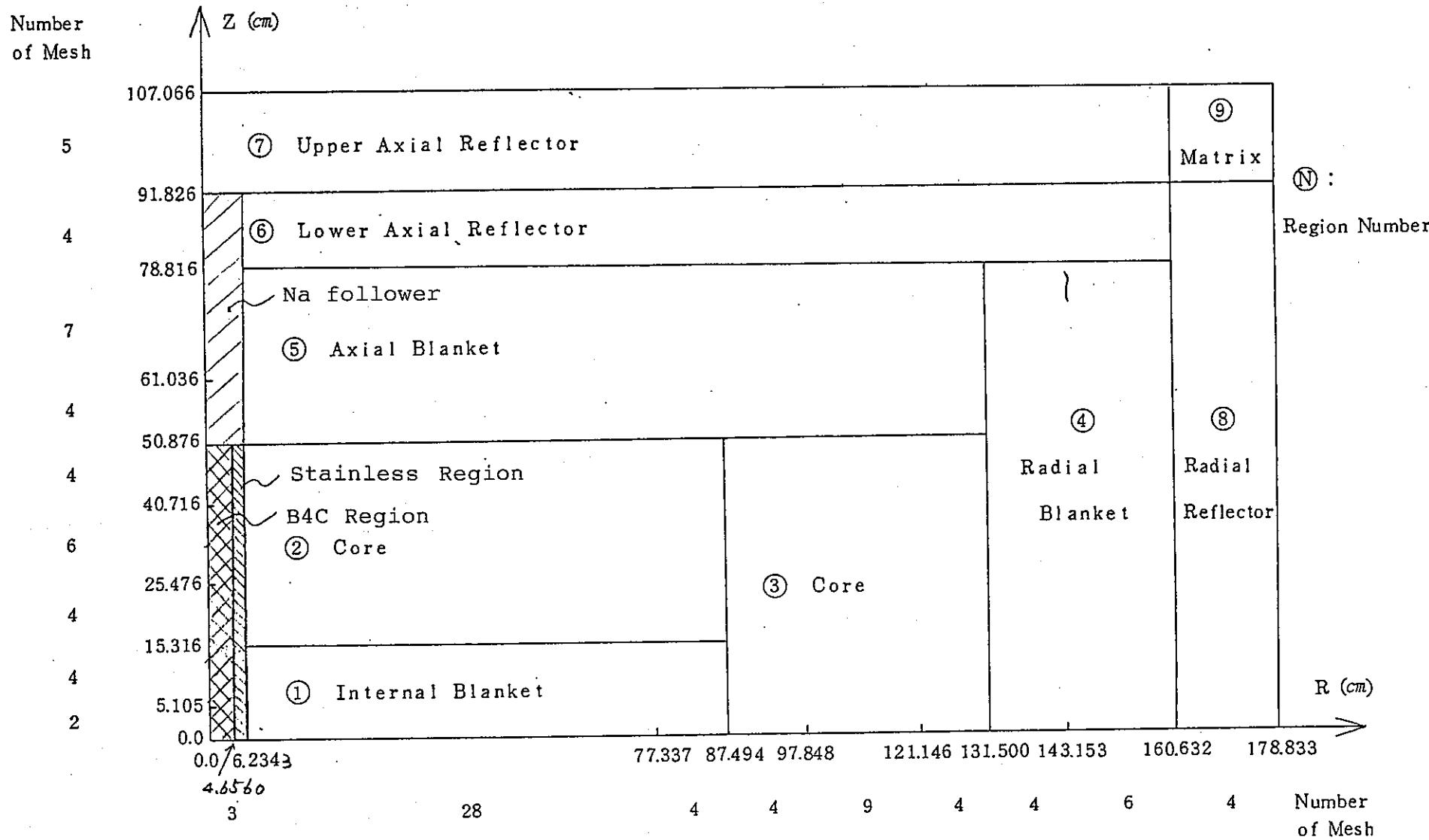


Fig. 4.3.2-7 RZ Calculational Model for Collapsing

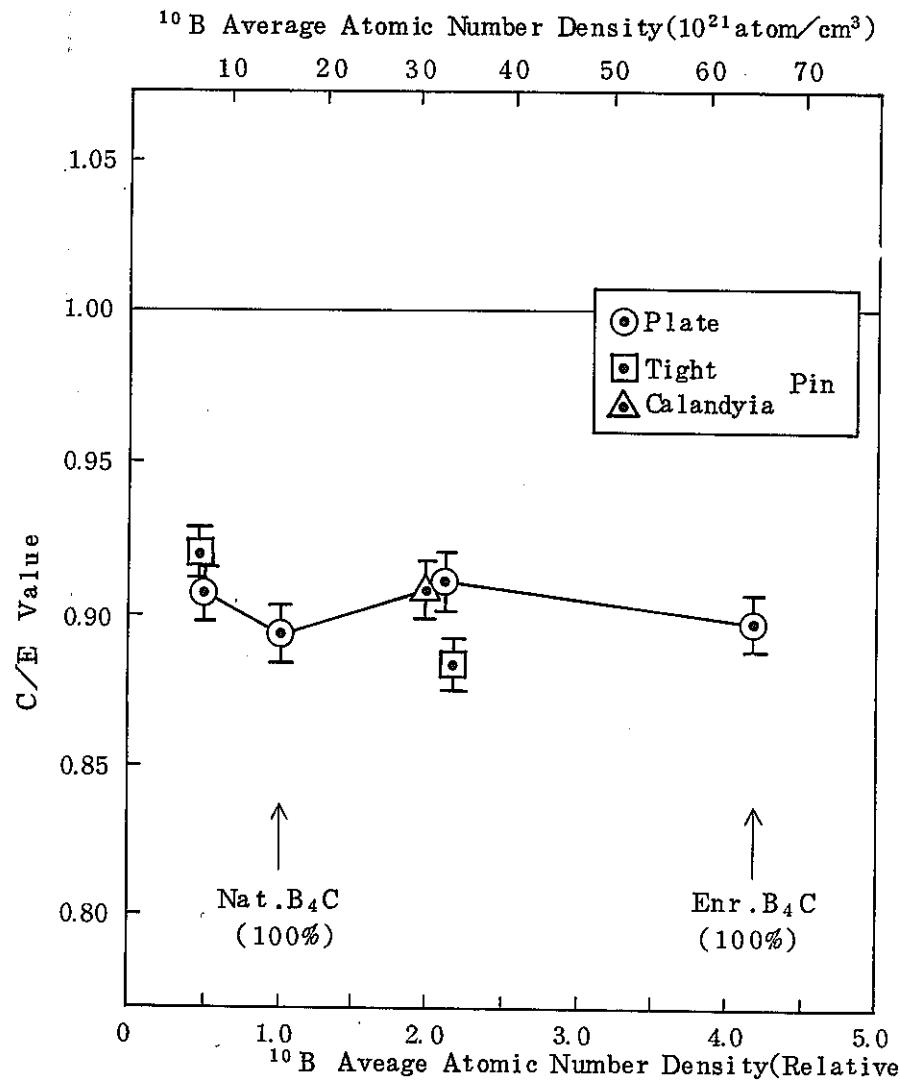


Fig. 4.3.3 - 1 C/E Value Variation of CR Worth (Relative to Fuel) Dependent on ^{10}B Average Atmic Number Density of CR in ZPPR-17A

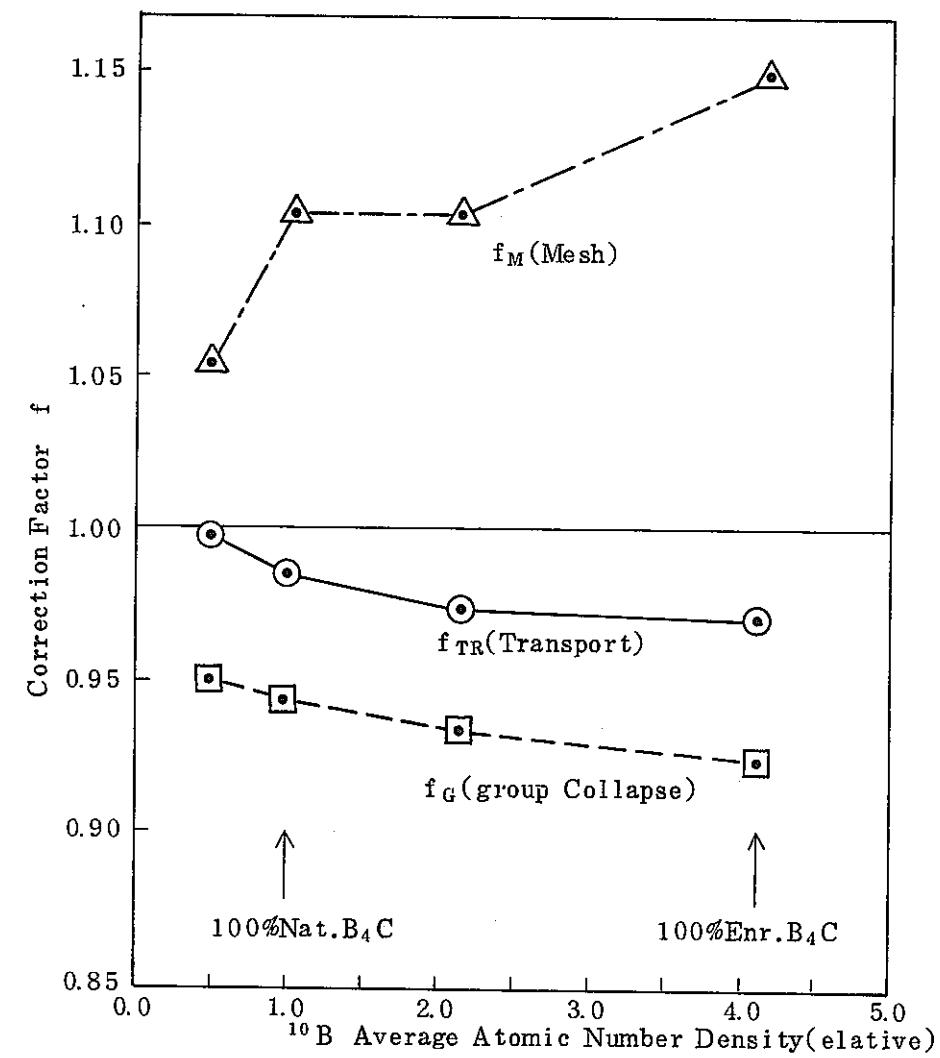


Fig. 4.3.3 - 2 Correction Factor Variation of CR Worth Dependent on ^{10}B Average Atmic Number Dencity of CR in ZPPR-17A

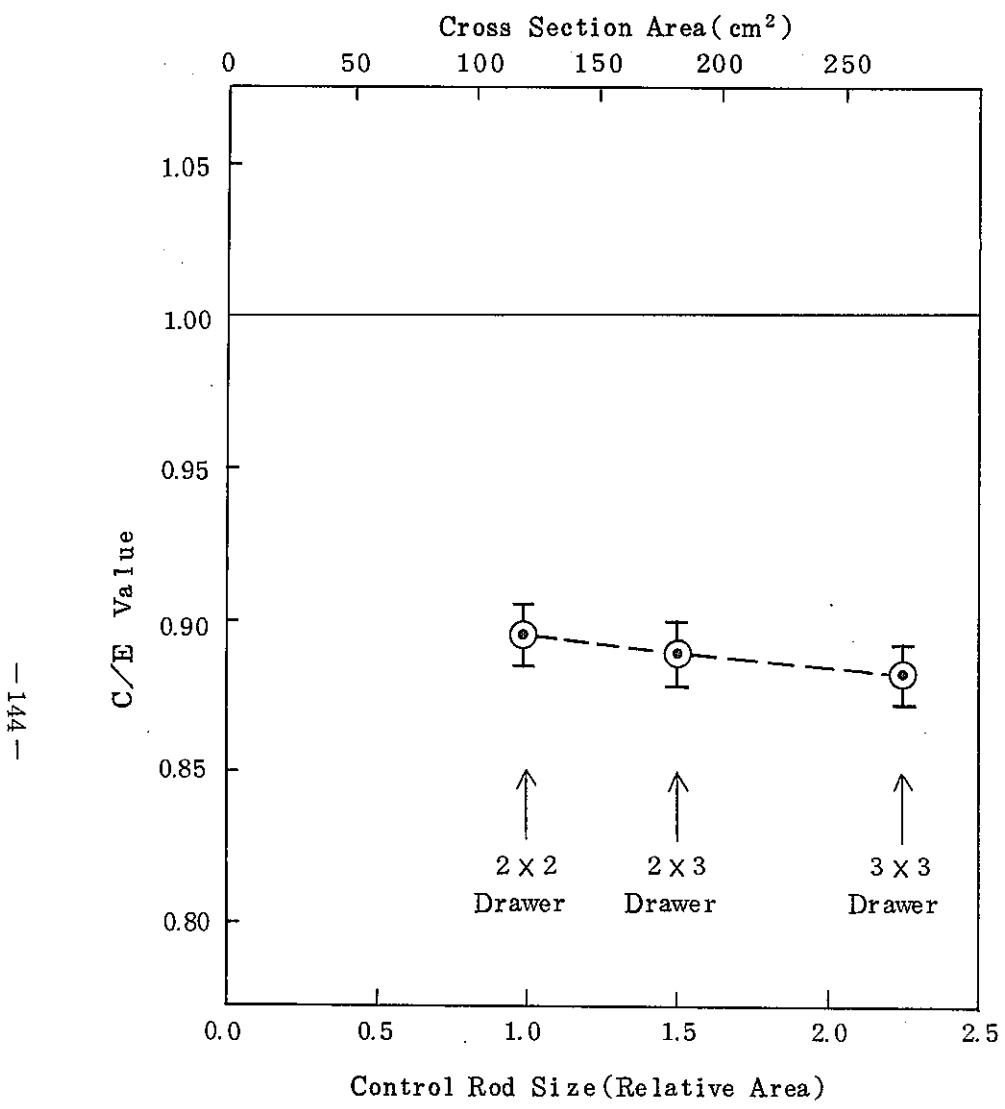


Fig. 4.3.3 - 3 C/E Variation of CR Worth(Relative Fuel)
Dependent on CR Size in ZPPR-17A

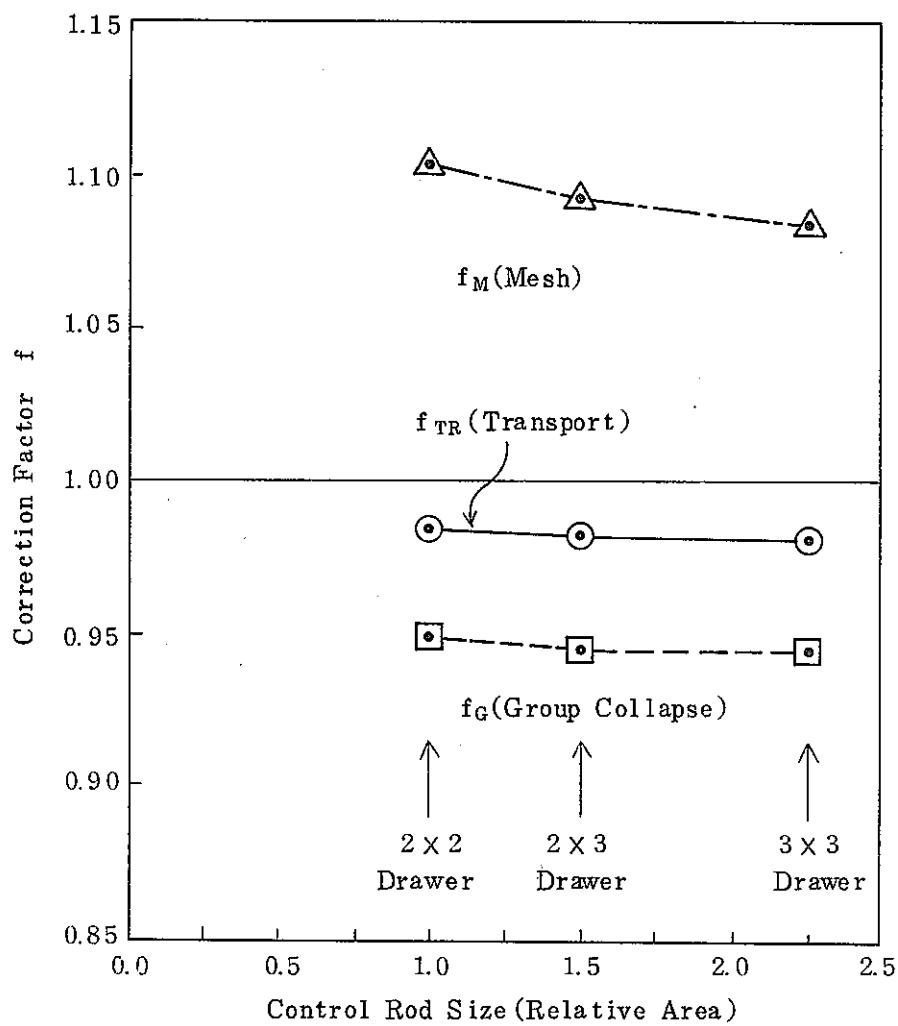


Fig. 4.3.3 - 4 Correction Factor Variation of CR Worth
Dependent on CR Size in ZPPR-17A

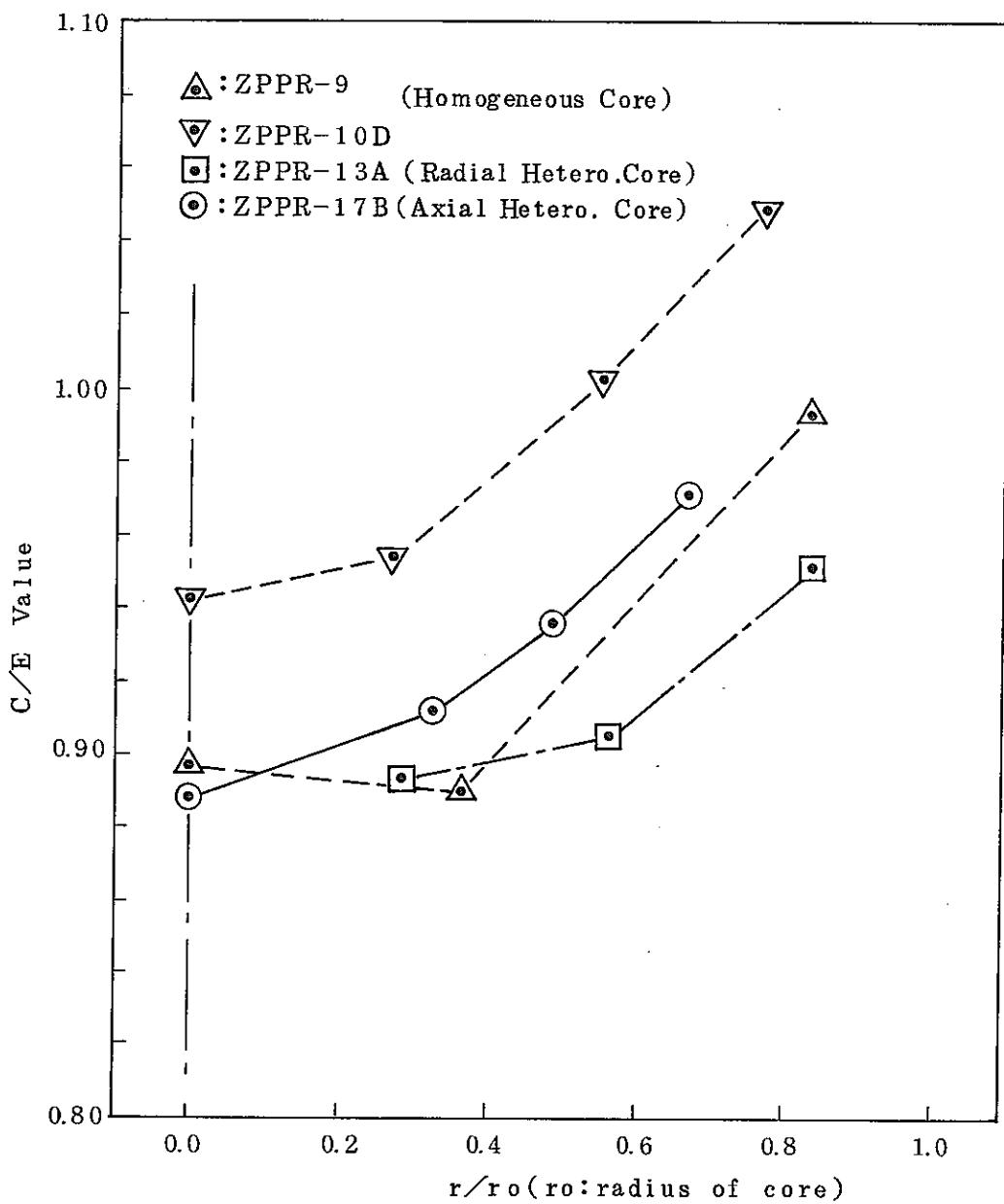


Fig. 4.3.3-5 Radial Variation of C/E Values of CR Worth
(Relative to CRP) in ZPPR-17B

4.4 Na ボイド反応度

4.4.1 実験内容

(1) 実験体系及びボイド位置

Z P P R -17A の Na ボイド反応度の測定体系を Fig. 4.4-1 に示す。

実験は、広領域ボイド実験と Mapping 実験とから成っている。広領域ボイド実験のボイド化領域を Fig. 4.4-1 に示す。また、ドロワオッシレーション法による Mapping 実験の測定位置を Fig. 4.4-2 に示す。

実験内容は、以下の通りである。

a. 広領域ボイド

基準未臨界体系に対して、2つの領域のNa板をボイド缶に置換して、修正中性子源増倍法でボイド反応度が測定された。DCF ドロワには1部 Na_2CO_3 板が使用されているが、本測定では Na_2CO_3 板はそのままにして、Na板のみボイド缶に置換された。

(i) 炉心中央領域

炉心中央の52本のドロワについて、次のごとく軸方向に4ステップに分けてボイド領域を広げて測定された。

- (a) 密着面より 6 インチから 13 インチをボイド
- (b) 密着面より 13 インチから 20 インチをボイド
- (c) 密着面より 6 インチをボイド
- (d) 軸方向プランケット領域をボイド

(ii) 炉心外側領域

炉心外側の36本のドロワについて、次のごとく軸方向に4ステップに分けてボイド領域を広げて測定された。

- (a) 密着面より 8 インチをボイド
- (b) 密着面より 8 インチから 16 インチをボイド
- (c) 密着面より 16 インチから 20 インチをボイド
- (d) 軸方向プランケット領域をボイド

b. Mapping 実験

新らたに開発されたドロワオシレーション法により、10ヶ所で炉心領域と軸方向プランケット領域のNa板をボイド缶に置換してボイド反応度が測定された。また、特定のドロワについては、ボイド反応度の軸方向分布も測定された。

今回用いられたドロワオシレーション法では、1/2インチのNa板を軸方向に結合し、その後方にボイド缶を結合して、この結合した板を26インチ（炉心領域20インチ、軸方向プランケット領域6インチ）振動させて、振動時の出力変動から反応度が求められた。

(2) 測定結果

広領域ボイド実験の結果を Table 4.4-1及び Table 4.4-2に示す。

また、Mapping 実験の結果を Table 4.4-3~Table 4.4-5 及び Fig. 4.4-3 に示す。

4.4.2 実験解析

a. 解析方法

基本計算の概要を以下に示す。

- (1) 断面積
 - 70群群定数 : JFS - 3R - J2
 - セル計算モデル : 臨界バックリング
 - 縮約スペクトル : ノン・ボイドスペクトル
 - エネルギー群 : 18群
- (2) 体系計算
 - 計算コード : CITATION-FBR
 - 体系モデル : 3次元XYZ 1/8炉心
 - メッシュ数 : $32 \times 32 \times 22$ (X, Y, Z)
 - 径方向 1メッシュ／ドロワ
 - 軸方向メッシュ幅 約5cm
 - 拡散係数 : 異方性拡散係数 (Benoist の式)
- (3) 摂動計算
 - 計算コード : PERKY, CIPER
 - 適用理論 : 厳密摂動
 - flux : 各ボイド体系

o adjoint : 未臨界基準体系

70群から18群への縮約は、ボイドドロワー、正常ドロワー共に、ボイド領域を含まない正常炉心の2次元R Z円筒モデルにより、「CITATION-FBR」コードを用いて行なった。18群群構造を Table 4.4-6に示す。

b. 解析結果

厳密摂動計算による計算結果を Table 4.4-7に示す。

厳密摂動計算（未補正）による結果では、C/E値は0.16～1.01の間にあり、やや計算値が過小評価の傾向にある。

今後、漏洩項と非漏洩項をそれぞれに縮約及び輸送補正を行い、JUPITER-I及び-IIの解析結果との比較検討を行っていく。

Table 4.4-1 Sodium Voiding Reactivities in ZPPR-17A

<u>State</u>	<u>Data File</u>	<u>Loading Number</u>	<u>Reactivity^a Difference, \$</u>	<u>\$, \$</u>
<u>Outer Core</u>				
±203 mm	60	42	+6.82	0.21
±406 mm	61	43	+8.50	0.21
±508 mm	63	44	+6.41	0.21
±787 mm	64	45	+2.54	0.20
<u>Inner Core</u>				
±152 to ±330 mm	66	47	+4.92	0.21
±152 to ±508 mm	67	48	+6.27	0.21
±508 mm	68	49	+14.25	0.23
±787 mm	69	50	+9.73	0.22

^aWith respect to subcritical reference reactivity of -25.54\$, the average value from inverse kinetics analysis of rod drops in two measurements in loadings 41 and 46.

Table 4.4-2 Step Reactivity Worths for Sodium Voiding in ZPPR-17A

<u>Step^a</u>	<u>Mass Sodium Voided, kg</u>	<u>Mass Steel Added, kg</u>	<u>Measured Reactivity Change, \$</u>	<u>\$, \$</u>	<u>Specific Reactivity \$/kg (Na)</u>
<u>Outer Core</u>					
0 - 203 mm	12.625	0.111	+6.82	0.21	+0.540
203 - 406 mm	12.624	0.111	+1.68	0.30	+0.133
406 - 508 mm	6.160	0.065	-2.09	0.30	-0.339
508 - 787 mm	21.097	0.071	-3.87	0.30	-0.183
<u>Inner Core</u>					
152 - 330 mm	15.472	0.341	+4.92	0.21	+0.318
330 - 508 mm	15.472	0.340	+1.35	0.30	+0.087
0 - 152 mm	16.821	0.020	+7.98	0.31	+0.474
508 - 787 mm	30.741	0.101	-4.52	0.30	-0.147

^aVoided symmetrically in each half.

Table 4.4-3 Axial Sodium Worth Profiles, in cents, in Core Locations with Internal Blanket in ZPPR-17A

<u>Location Displacement, Inches</u>	<u>148-49 Voided Zone</u>	<u>148-49 Flooded Zone</u>	<u>148-43</u>	<u>148-35</u>	<u>148-34</u>
0	-0.0733	-0.0599	-0.0657	-0.0714	-0.0557
1	-0.0625	-0.0473	-0.0527	-0.0536	-0.0472
2	-0.0544	-0.0402	-0.0454	-0.0476	-0.0365
3	-0.0445	-0.0307	-0.0371	-0.0376	-0.0273
4	-0.0373	-0.0211	-0.0287	-0.0267	-0.0142
5	-0.0323	-0.0215	-0.0208	-0.0229	-0.0082
6	-0.0278	-0.0146	-0.0212	-0.0097	-0.0031
7	-0.0226	-0.0118	-0.0137	-0.0024	0.0079
8	-0.0167	-0.0054	-0.0054	0.0054	0.0205
9	-0.0040	-0.0042	-0.0040	0.0148	0.0284
10	-0.0036	0.0008	0.0035	0.0250	0.0316
11	0.0076	0.0067	0.0086	0.0342	0.0407
12	0.0162	0.0165	0.0127	0.0403	0.0529
13	0.0177	0.0188	0.0176	0.0435	0.0541
14	0.0236	0.0275	0.0197	0.0464	0.0508
15	0.0302	0.0336	0.0296	0.0494	0.0577
16	0.0306	0.0284	0.0321	0.0545	0.0551
17	0.0304	0.0266	0.0276	0.0485	0.0524
18	0.0321	0.0310	0.0284	0.0432	0.0502
19	0.0257	0.0266	0.0274	0.0398	0.0378
20	0.0216	0.0188	0.0204	0.0305	0.0357
21	0.0189	0.0146	0.0170	0.0210	0.0221
22	0.0073	0.0116	0.0058	0.0173	0.0198
23	0.0086	0.0067	0.0018	0.0136	0.0175
24	0.0059	0.0027	0.0033	0.0081	0.0068
25	-0.0002	0.0024	0.0028	0.0009	0.0011
26	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Table 4.4-4 Axial Sodium Worth Profiles,
in cents, in Core Locations
without Internal Blanket
in ZPPR-17A

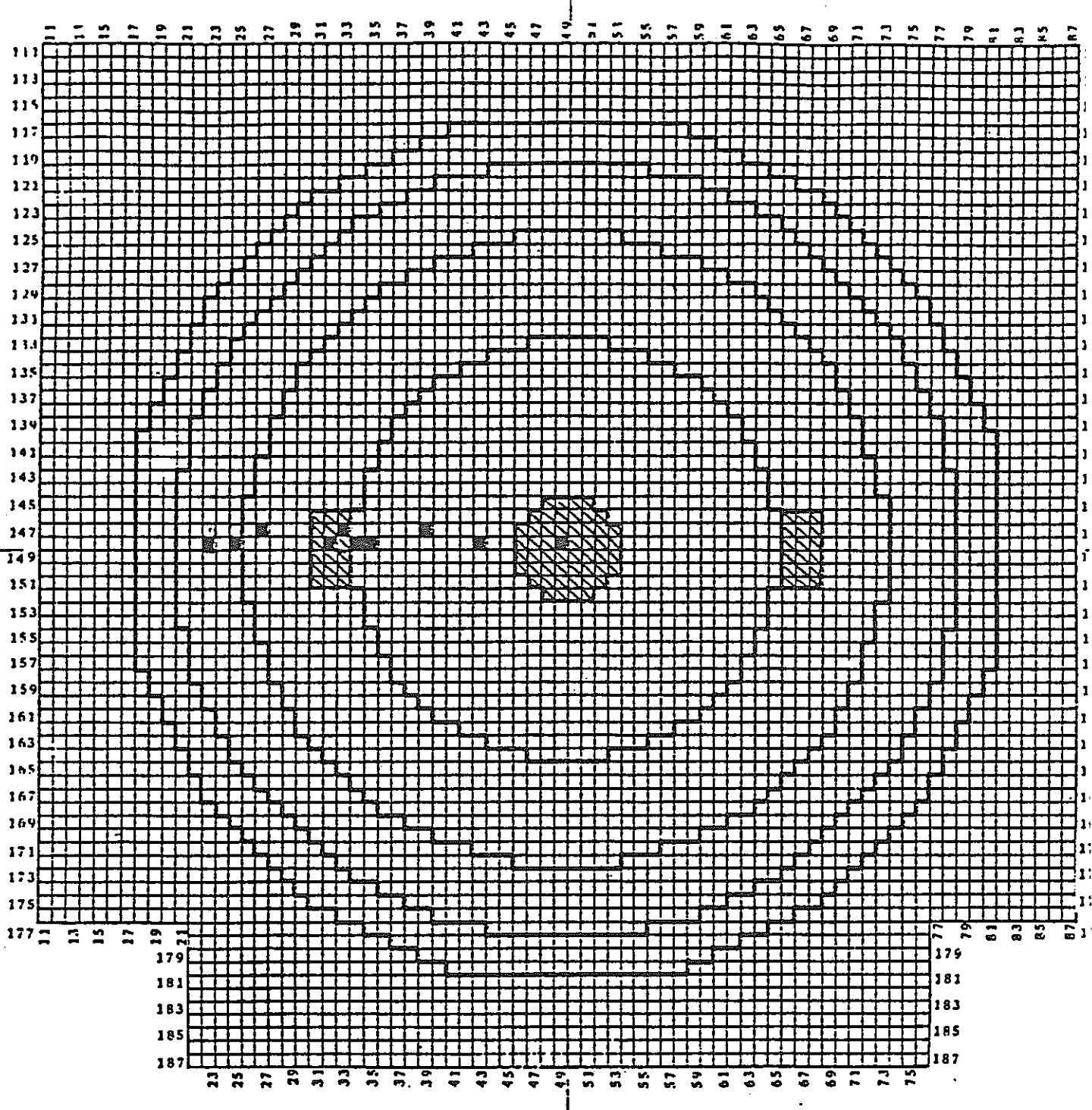
<u>Location</u> <u>Displacement,</u> <u>Inches</u>	<u>147-33</u>	<u>148-32</u>	<u>147-27</u>
0	-0.0557	-0.0398	0.0660
1	-0.0473	-0.0293	0.0639
2	-0.0329	-0.0195	0.0584
3	-0.0242	-0.0071	0.0607
4	-0.0149	-0.0025	0.0611
5	-0.0065	0.0129	0.0545
6	0.0017	0.0171	0.0518
7	0.0108	0.0249	0.0531
8	0.0175	0.0335	0.0461
9	0.0272	0.0427	0.0484
10	0.0370	0.0471	0.0466
11	0.0406	0.0506	0.0423
12	0.0448	0.0564	0.0336
13	0.0494	0.0553	0.0355
14	0.0563	0.0559	0.0313
15	0.0557	0.0565	0.0322
16	0.0492	0.0594	0.0268
17	0.0485	0.0488	0.0203
18	0.0387	0.0460	0.0188
19	0.0360	0.0358	0.0130
20	0.0296	0.0324	0.0115
21	0.0170	0.0188	0.0043
22	0.0126	0.0203	0.0065
23	0.0113	0.0132	0.0023
24	0.0047	0.0095	0.0005
25	0.0012	0.0022	-0.0042
26	0.0000	0.0000	0.0000

Table 4.4-5 Axial Sodium Worth Profiles,
in cents, in Radial Blanket
Locations in ZPPR-17A

<u>Location</u>	<u>148-25</u>	<u>148-23</u>
<u>Displacement,</u> <u>Inches</u>		
0	0.0675	0.0171
1	0.0573	0.0157
2	0.0581	0.0096
3	0.0520	0.0101
4	0.0478	0.0122
5	0.0411	0.0131
6	0.0418	0.0110
7	0.0388	0.0071
8	0.0357	0.0100
9	0.0284	0.0041
10	0.0286	0.0075
11	0.0236	0.0049
12	0.0203	0.0045
13	0.0148	0.0062
14	0.0156	0.0024
15	0.0069	0.0026
16	0.0079	0.0019
17	0.0054	0.0011
18	0.0051	0.0064
19	0.0044	0.0024
20	0.0057	0.0001
21	0.0000	0.0024
22	-0.0029	0.0031
23	-0.0040	-0.0009
24	-0.0021	0.0031
25	0.0010	0.0044
26	0.0000	0.0000

Table 4.4-6 Energy Group Structure of JFS-3R-J2

Group No.	Lower Energy (eV)	18 Groups	Group No.	Lower Energy (eV)	18 Groups
1	7.7880 +6	1	37	9.6112 +2	
2	6.0653 +6		38	7.4852 +2	
3	4.7237 +6	2	39	5.8295 +2	15
4	3.6788 +6		40	4.5400 +2	
5	2.8650 +6	3	41	3.5358 +2	
6	2.2313 +6		42	2.7536 +2	16
7	1.7377 +6	4	43	2.1445 +2	
8	1.3534 +6		44	1.6702 +2	
9	1.0540 +6	5	45	1.3007 +2	17
10	8.2085 +5		46	1.0130 +2	
11	6.3928 +5		47	7.8893 +1	
12	4.9787 +5	6	48	6.1442 +1	
13	3.8774 +5		49	4.7851 +1	
14	3.0197 +5		50	3.7267 +1	
15	2.3518 +5	7	51	2.9023 +1	
16	1.8316 +5		52	2.2603 +1	
17	1.4264 +5		53	1.7603 +1	
18	1.1109 +5	8	54	1.3710 +1	
19	8.6517 +4		55	1.0677 +1	
20	6.7379 +4		56	8.3153	18
21	5.2475 +4	9	57	6.4760	
22	4.0868 +4		58	5.0435	
23	3.1828 +4		59	3.9279	
24	2.4788 +4	10	60	3.0590	
25	1.9305 +4		61	2.3824	
26	1.5034 +4		62	1.8554	
27	1.1709 +4	11	63	1.4450	
28	9.1184 +3		64	1.1254	
29	7.1017 +3		65	0.87643	
30	5.5308 +3	12	66	0.68256	
31	4.3074 +3		67	0.53158	
32	3.3546 +3		68	0.41399	
33	2.6126 +3	13	69	0.32242	
34	2.0347 +3		70	1.0 -5	
35	1.5846 +3	14			
36	1.2341 +3				



\ Void Zones

■ Oscillator Measurement

Fig. 4.4-1 Locations of Sodium Void Worth Measurements in ZPPR-17A. (1)

Table 4.4-7 Calculated Sodium Void Worth in ZPPR-17A

ポイドステップ (累積ポイド)	実験値 (¢)	解析値 (¢)	C/E (-)	C-E (¢)	ポイドステップ (ステップポイド)	実験値 (¢/kg Na)	解析値 (¢/kg Na)	C/E (-)	C-E (¢/kg Na)
1 $\pm 152 \rightarrow \pm 330$ mm	- 4.92	4.81	0.98	-0.10	1 $152 - 330$ mm	0.318	0.311	0.98	-0.007
2 $\pm 152 \rightarrow \pm 508$ mm	6.27	5.02	0.80	-1.25	2 $330 - 508$ mm	0.087	0.014	0.16	-0.073
3 ± 508 mm	14.25	11.13	0.78	-3.13	3 $0 - 152$ mm	0.474	0.363	0.77	-0.111
4 ± 787 mm	9.73	6.55	0.67	-3.17	4 $508 - 787$ mm	-0.147	-0.149	1.01	-0.002

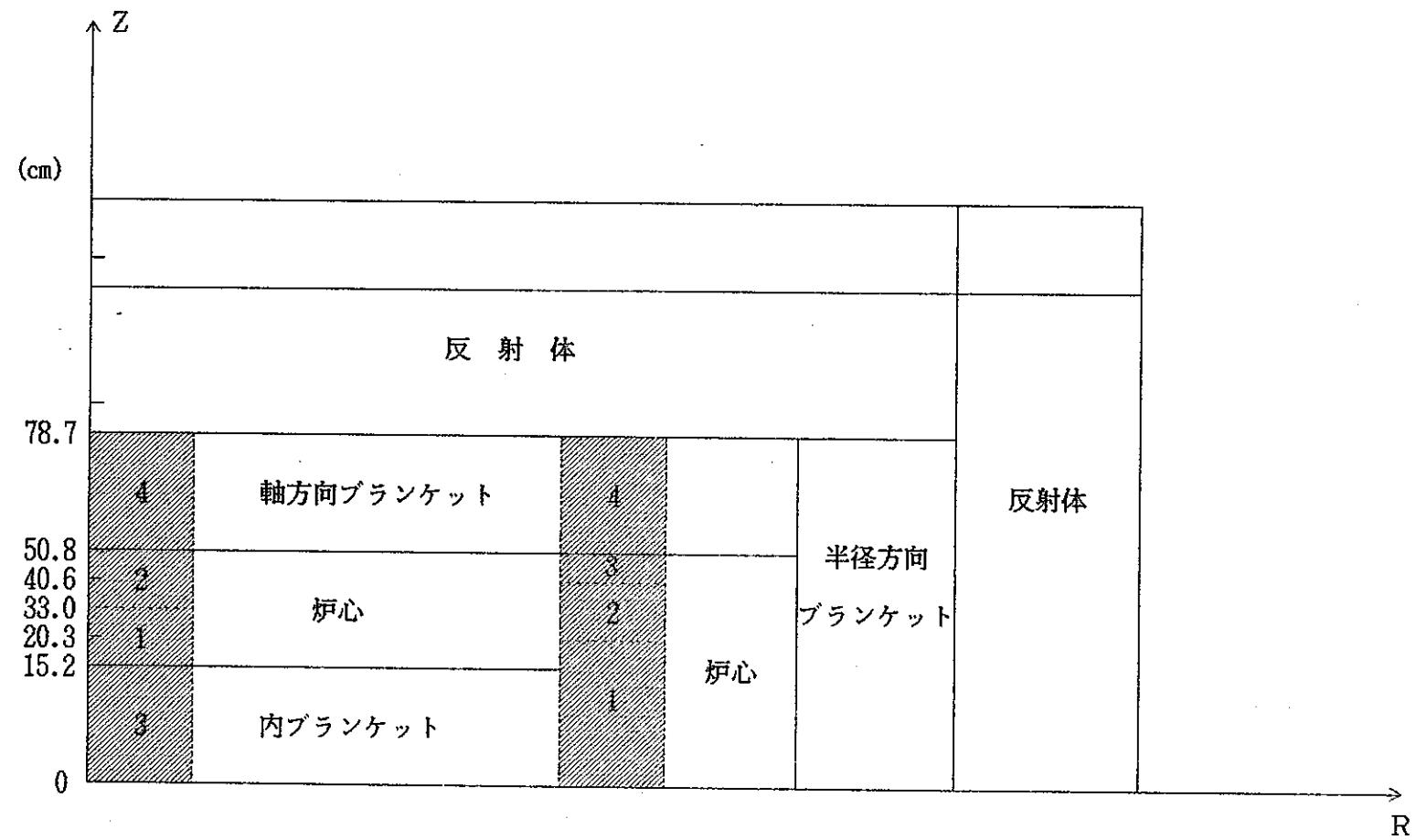


Fig 4.4-2 Locations of Sodium Void Worth Measurements in ZPPR-17 (2)

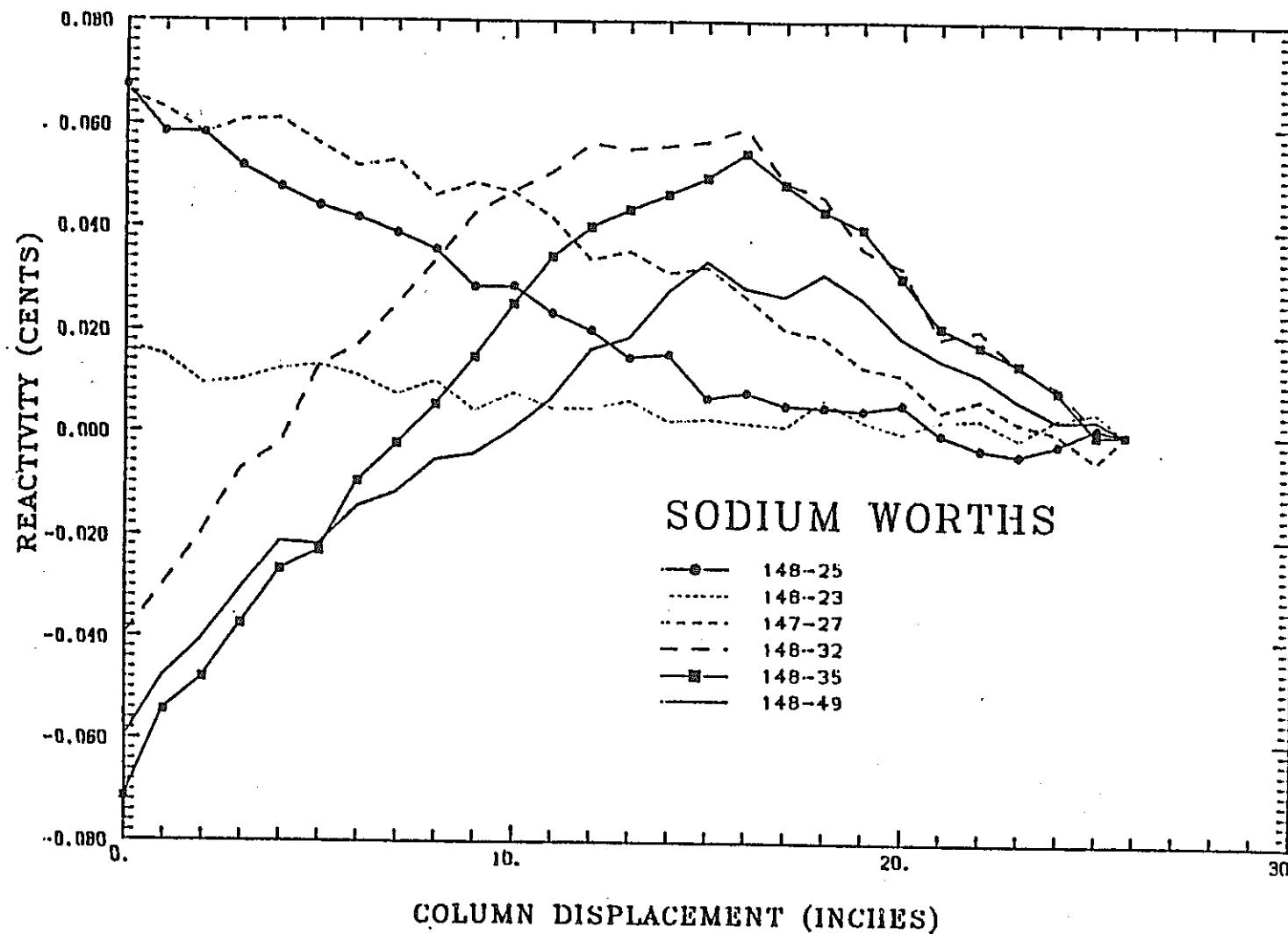


Fig. 4.4-3 Reactivity versus Sodium Column Displacement for Various Locations in ZPPR-17A.

5. Z P P R -12, 12MB の実験解析

5.1 Z P P R -12 解析の目的と狙い

臨界実験装置 Z P P R では、広い範囲の目標炉心 (Target Core) のサイズ、型式等の変化に対応することが可能な様にプレート燃料が使用されている。プレート燃料の組み合せ方式を適当に選択することにより、所有している燃料・希釀材インベントリーの有効利用をはかることが可能となる。Z P P R 装置では小型から大型炉心にわたる広い範囲炉心サイズをカバーした実験が行なわれてきている。J U P I T E R - III 計画もこの範囲で実施され、炉心はプレート燃料で構成されている。プレート燃料炉心は平均的には Target Core を模擬しているが燃料物質の配置については実機の燃料集合体における燃料配列と大きく異なっている。この点で炉心の非均質性に相違が生じている。Fig. 5.1-1 には大型炉心用の集合体の断面仕様の典型例を示してある。集合体ピッチは約 16~18cm であり、ピン径は 7.5 ~ 8.5 mm の大きさである。集合体内は規則的 6 角配列であり燃料ピンの非均質性は小さい。実機の集合体では集合体間のギャップ・ラッパ管厚さ (12~15mm 程度) の存在による非均質性が存在する。この大きさを評価された例がいくつか報告されているが、反応度について見ると 0.3 ~ 0.5 % Δk 程度と推定される。一方、プレート燃料では Fig. 5.1-2 に示す Z P P R -12 で使用される Reference Cell Pattern が典型例であるが、1/8 インチの燃料プレートが 2 枚 (セル構成によっては 1 枚) が約 5 cm のセルの中に存在する。このために非均質効果が大きくなり大型炉級模擬炉心では反応度について見ると 1.5 % Δk 程度の大きさに達する。

これらのことから J U P I T E R - III (既に実施されている J U P I T E R - I, II でも同様) 実験結果およびそれらの解析結果を実機炉心に適用・反映する場合にはプレート-ピン非均質効果を考慮する必要がある。この課題は従来から重要性が認識されており、そのために非均質性の特に大きいプレート燃料臨界実験体系の解析ではセル計算法の詳細化が行なわれてきた。近年の英国の臨界実験装置 Z E B R A におけるピン-プレート非均質効果のベンチマーク問題 (C A D E N Z A プログラム) もその研究の一環である。

臨界実験によるアプローチとしては模擬ピン燃料を使用した実験も一部で行なわれているが、臨界実験ではピン燃料の使用可能インベントリーが非常に制約されている。これはピン燃料では Pu 富化度の調整等が出来ないためである。したがって、ピン燃

料で構成可能な炉心サイズは小型炉心並となる。本解析の対象としているZ P P R - 12炉心の場合の炉心サイズは約 350リットルであり、 1000MWe級大型炉心の炉心体積約8000リットルに比べ1/20以下の小さなものである。したがって、 大型炉心とは炉心部の平均燃料富化度が高く、 炉心が小さいことから核特性に対する中性子もれの効果が支配的になること等の点で、 大型炉心に対する直接の模擬とならない。しかし、 プレート燃料炉心と模擬ピン燃料炉心がほぼ同一の炉心サイズ・燃料組成で構成されているZ P P R - 12集合体では通常実験による比較が出来ないボイド反応度、 反応率分布の測定が行なわれている。これらのデータを最近の標準的な群定数ライブラリーと手法で解析しピンープレート非均質効果を調べておくことは、 J U P I T E R実験(I, II, III) 解析結果を実機大型炉心に反映する上で特に重要である。

本検討では、 この状況に鑑み、 Z P P R - 12集合体で行なわれた以下の実験を燃料セルの非均質性の違いをパラメータとして解析し、 ピンープレート非均質効果についての知見を得ることを目的としている。

Z P P R - 1 2 体系の概要と測定項目

炉心構成： P u 炉心 (酸化物燃料)

炉心高さ 約 91 cm

等価半径 約 35 cm

n o C R P

P l a t e C o r e

セル構成の違い - 3 パターン

P i n C o r e

C e n t r a l Z o n e

P e r i p h e r a l Z o n e

測定項目： 臨界性・置換反応度

N a V o i d 反応度

反応率分布

実験体系と内容は § 5.2 で紹介するとし、更に詳しい内容は前年度の報告書（P N C SN2410 87-006 の第4章）に示されている。Plate Coreではセル構成の違いにより炉全体の中性子ストリーミング効果を変化させることを目的としている。解析では一部の項目について plate, pin セルとともに完全均質化した場合の計算も行ない、特に plate セル計算値の位置付けを把握し、均質性の大きい実機炉心への適用性を考慮した場合のバイアスと非均質性の関係を調べる一助とする試みを行なっている。

Z P P R -12 実験の特徴は、ピンープレートの両体系で Na ボイド反応度、反応率分布が数多く測定されている点である。臨界性以外の核特性についてピンープレート効果を調べる良い材料となる実験は少ないことを考慮すると、Z P P R -12 実験解析の主眼はこれらのボイド、反応率分布特性に対するバイアス（C/E値）の大きさの相互比較であることである。反応率については ^{238}U (n, τ) / ^{239}Pu (n, f) 反応率比に対するピンープレート効果は特に興味深い点である。

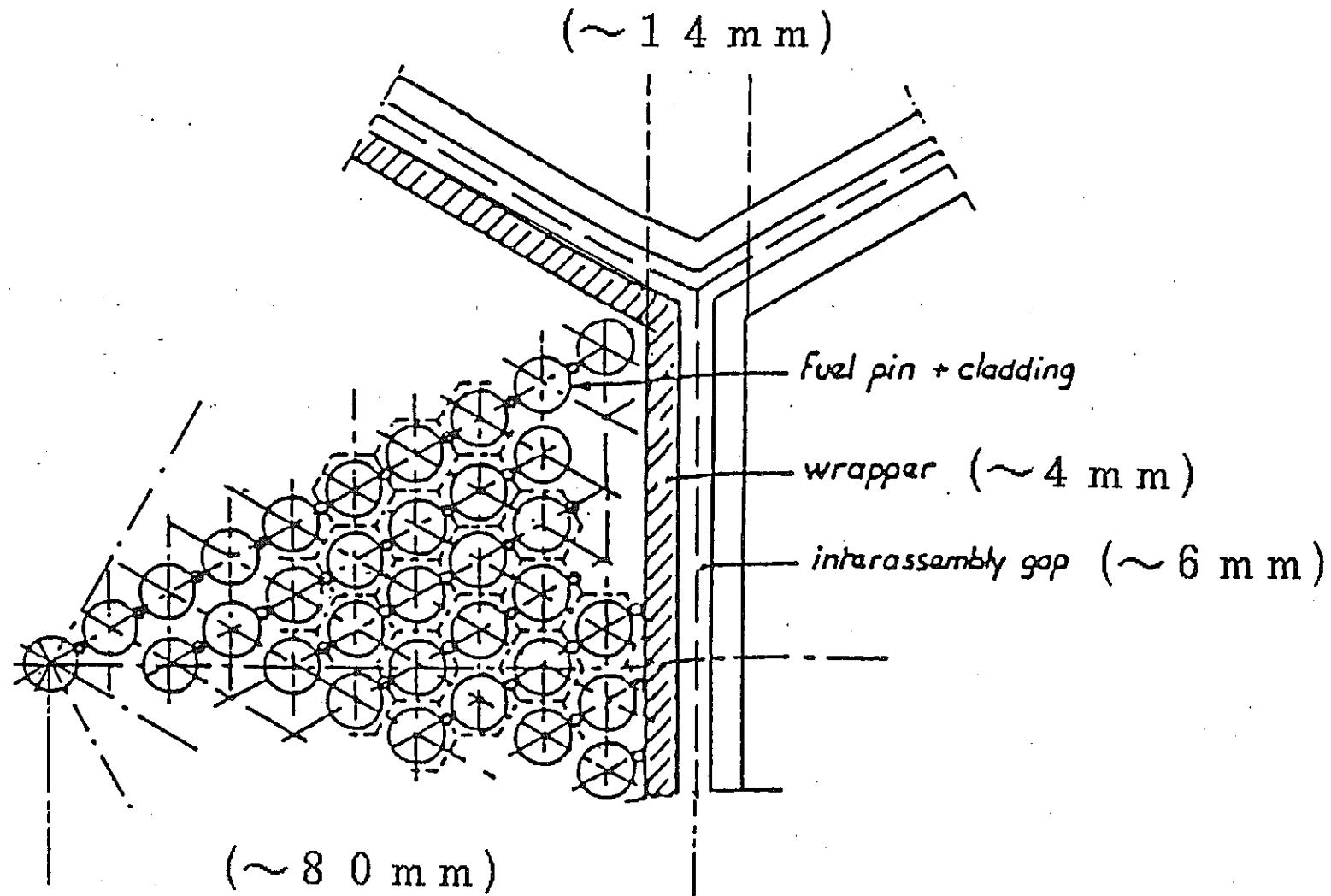
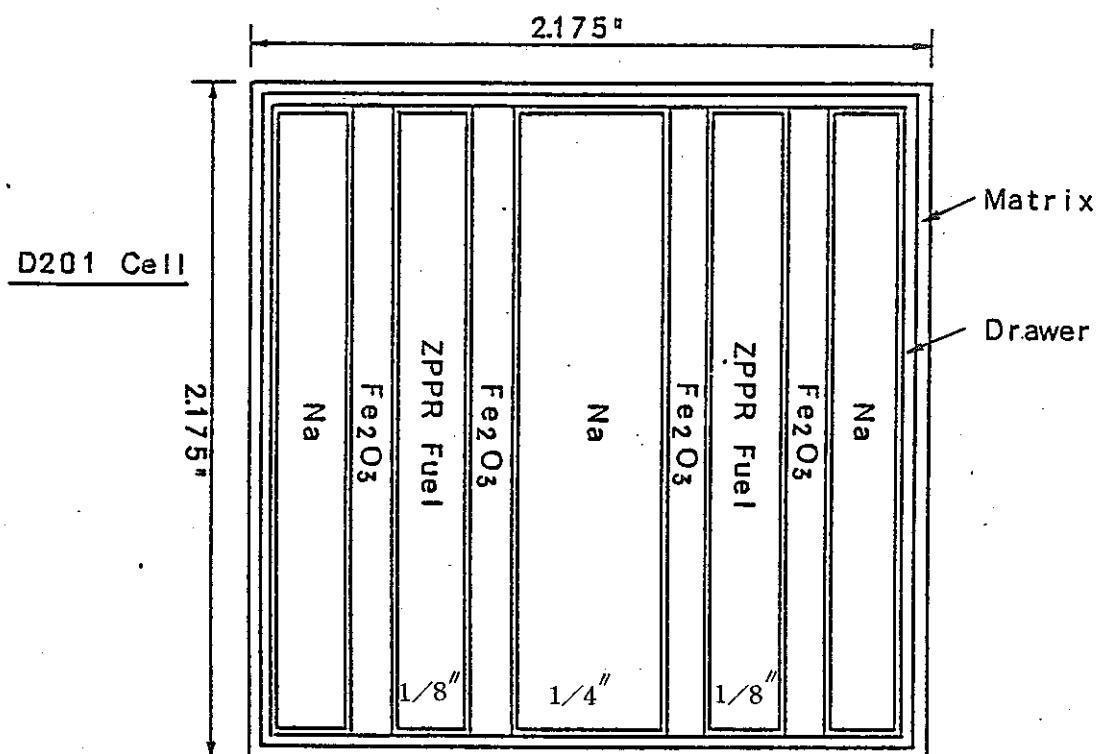
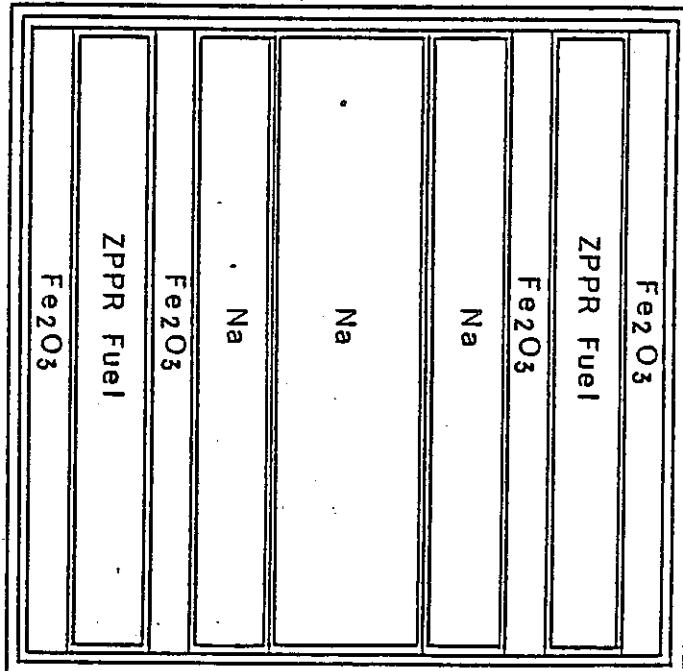


Fig. 5.1-1 Description of Power Reactor Subassembly

Unit Matrix (As Built)



(1) Reference Cell Pattern (Double-Couolumn-Fuel)



(2) Special Cell Pattern (Enhanced Streaming Cell)

Fig. 5.1-2 Plate Cell Designs in ZPPR-12

5.2 Z P P R - 12実験の概要

Z P P R - 12実験の詳細については、現在まで入手した実験データを昨年度の報告書¹⁾にまとめてある。ここでは、その概要をまとめた。

1) Z P P R - 12炉心の特徴

- ① 炉心体積は約 340 ℥と小さい。(1000MWe級大型炉心の約1/20)
- ② 炉心はクリーンな 1 領域炉心であり、この炉心をプランケット及び反射体で囲む配置となっている。この炉心配置を Fig. 5.2-1 に図示した。
- ③ 炉心高さは約90cmであり、12インチ長さのピンカランドリアを軸方向に 3 段積み重ねて構成する。このため、Z P P R - 12は軸方向に偏心した炉心となっており、Fig. 5.2-2 に図示したように half 1 に 2/3, half 2 に 1/3ずつ炉心が含まれる。
- ④ 炉心領域に用いるセルは Z P P R - 7, 8 及び 11 で使用された Double-Column Fuel であり、Fig. 5.2-3 に図示した。
- ⑤ 炉心の反応度は、炉心／プランケット境界における数体のドロワに装荷する燃料の軸方向長さを変えることによって調整される。通常の炉心燃料と比較して長さの短かい燃料を partial length fuel drawer と呼び、この燃料の装荷例を Fig. 5.2-1 と Fig. 5.2-4 に図示した。

2) Z P P R - 12炉心の測定項目

Z P P R - 12の測定項目及び実験体系をTable 5.2-1 にまとめて示した。測定目は①臨界性、②反応率分布、③中性子トリミング効果、④ピン領域への置換反応度、⑤Na ボイド反応度等である。

実験体系は①Plate Reference体系、②Sodium Void体系、③Enhanced Streaming 体系、④Rotated Drawer体系、⑤Edge Pin Zone 体系及び⑥Central Pin Zone 体系である。Enhanced Streaming 及び Rotated Drawer 体系は中性子ストリーミング効果を調べるために構成された。また、Edge Pin Zone, Central Pin Zone 及び Enhanced Streaming 体系はセル非均質効果を調査するために構成された。

これらの 6 体系を Fig. 5.2-5 から Fig. 5.2-10 に図示した。これらの図には partial length fuel drawer の装荷位置及び軸方向長さが記載されている。この

partial length fuel drawerは反応度を調整するために使用している。また、臨界及び未臨界の各体系での partial length fuel drawer の長さを Table 5.2-2にまとめて示した。

また、Z P P R -12の炉心体積は小さいので、中性子の漏れが大きい。そこで、ボイド反応度は負となり、Sodium Void 体系にすると反応度が約 6 % 減少するので、燃料ドロワを炉心周辺に12体装荷している。

なお、Plate Reference 体系における重金属の重量、装荷されたドロワ数をそれぞれ Table 5.2-3, Table 5.2-4 に示した。また、Z P P R -12の 6 体系における余剰反応度の測定データをまとめて Table 5.2-5に示した。

3) Z P P R -12MB 炉心

ブランケット組成を酸化物から金属組成に置換した Z P P R -12 Metal Blanket (以下MBと略す) 体系は、ほぼ同様な炉心サイズの英国 Z E B R A による C A D E N Z A 実験解析結果と Z P P R -12 炉心の解析結果に相違が見られたことから、Z P P R -12 体系のブランケット組成を C A D E N Z A 炉心に近いものとするために構成された。

Z P P R -12MB 炉心では、臨界性及び反応率分布が測定された。

Z P P R -12MB 体系は径・軸方向ブランケット組成を除いて Z P P R -12 炉心の Plate Reference 体系と非常に近いものとなっている。また、Z P P R -12MB の炉心中心面は装置の interface 面と一致させている。この点は Z P P R -12 炉心と異なっている。

炉心ドロワ・セル構成は Z P P R -12 と Z P P R -12MB で同一である。Z P P R -12MB の基準体系には炉内検出器に入っていない。また、反応度調整は Z P P R -12 炉心と同様に炉心周辺の 4 本の partial length fuel drawer によって行われた。ただし、Z P P R -12MB 炉心に関する実験データは、入手されていない。

Table 5.2-1 The Contents of ZPPR-12 Experiments

ZPPR-12 Configurations	Experimental Items					
	Criticality	Reaction Rate	Neutron streaming	Pin Zone Worth	Na Void Worth	Operational Measurement
Plate Reference	○	○ *1	—	—	—	○
Sodium Void Configuration	○	○ *1	—	—	○	—
Enhanced Streaming Configuration	○	○ *2	○ *3	—	—	—
Rotated Drawer Configuration	○	○ *2	○ *4	—	—	—
Edge Pin Zone Configuration	○	○ *2	—	○	—	—
Central Pin Zone Configuration	○	○ *1	—	○	○	—

*1 $^{239}\text{Pu}(n,f)$, $^{235}\text{U}(n,f)$, $^{238}\text{U}(n,f)$, $^{238}\text{U}(n,r)$.

*2 $^{235}\text{U}(n,f)$ only.

*3 Enhanced Neutron Streaming Zone Worth Measurements.

*4 Cell Rotation Zone-Worth Measurements.

Table 5.2-2 Partial-Length Fuel Drawer Summary of ZPPR-12

ZPPR-12 Configuration	Reference Date Mo/D/Yr	Loading No./Run No.	partial-length fuel drawer *1 *2 (Edge Drawer : axial length) (Group)	Comment
Plate Reference (Subcritical)	12/14/81	8/14	A : \pm 10 in.	
" (Critical)	12/17/81	9/15	A : \pm 13 in.	
" (irradiation)	2/ 4/82	- /70	ditto	5 detector drawer → fuel drawer
Sodium Voided (Subcritical)	2/26/82	39/95	A : \pm 4 in.	
" (Critical)	3/ 3/82	42/101	A : \pm 10 in.	
Enhanced Streaming (Subcritical)	3/25/82	56/125	A : \pm 11 in.	
" (Critical)	4/ 1/82	64/134	A : \pm 7 in. B : \pm 7 in.	
Rotated Drawer (Subcritical)	3/30/82	60/129	A : \pm 8 in. B : \pm 5 in.	
" (Critical)	3/29/82	59/128	A : \pm 8 in. B : \pm 8 in.	
Edge Pin Zone (Subcritical)	4/ 7/82	66/135	A : \pm 5 in. B : \pm 5 in.	plate
" (Critical)	4/ 8/82	67/138	A : \pm 6 in. B : \pm 6 in.	Pin Calandria
Central Pin Zone (Subcritical)	4/26/82	76/159	A : \pm 6 in.	
" (Critical)	4/15/82	72/143	A : \pm 4 in. B : \pm 4 in.	

*1 Edge Drawer Group

$$\begin{array}{ll} A & B \\ \left\{ \begin{array}{l} 1,247-43 \\ 1,251-43 \\ 1,247-55 \\ 1,251-55 \end{array} \right. & \left\{ \begin{array}{l} 1,243-47 \\ 1,255-47 \\ 1,243-51 \\ 1,255-51 \end{array} \right. \end{array}$$

*2 . axial length

< \pm 6 in. : half 1

> \pm 6 in. : half 1 + half 2

Table 5.2-3 Heavy Isotope Mass Summary for the
Assembly 12 Critical Reference

Material	Mass, kg		
	Core	Radial Blanket ^b	Axial Blanket ^b
Total Pu	278.487	--	--
Fissile Pu	245.530	--	--
Total Fissile	247.046	27.578	3.843
²³⁸ Pu	0.143	--	--
²³⁹ Pu	242.907	--	--
²⁴⁰ Pu	32.280	--	--
²⁴¹ Pua	2.623	--	--
²⁴² Pu	0.534	--	--
Americium ^a	2.372	--	--
²³⁵ U	1.516	27.578	3.843
²³⁸ U	687.460	13092.712	1824.520
Total Heavy Metal	969.835	13120.290	1828.363

^aMasses for all fuel isotopes decayed to the date 12/17/81.

^bMasses in non-fuel zones are based on average drawer loadings. MR2-A9

Table 5.2-4 Drawer Loading Summary for ZPPR-12
 Critical Plate Reference

	Half 1	Half 2
Double Fuel Column Drawers ^{a,b,c}	125	125
Radial Blanket Drawers ^{a,d}	444	444
Radial Reflector Drawers ^e	388	388

^aBecause of the displaced core, all half 1 core and blanket positions (except for in-core counter drawers) contain back drawers loaded with 6 in. of blanket and 6 in. of iron reflector.

^bFour core drawers per half are narrow drawers to accommodate operational B₄C rods. Two half 1 and twenty half 2 drawers contain in-core fission chambers (see Table 4.1 for axial locations and matrix positions).

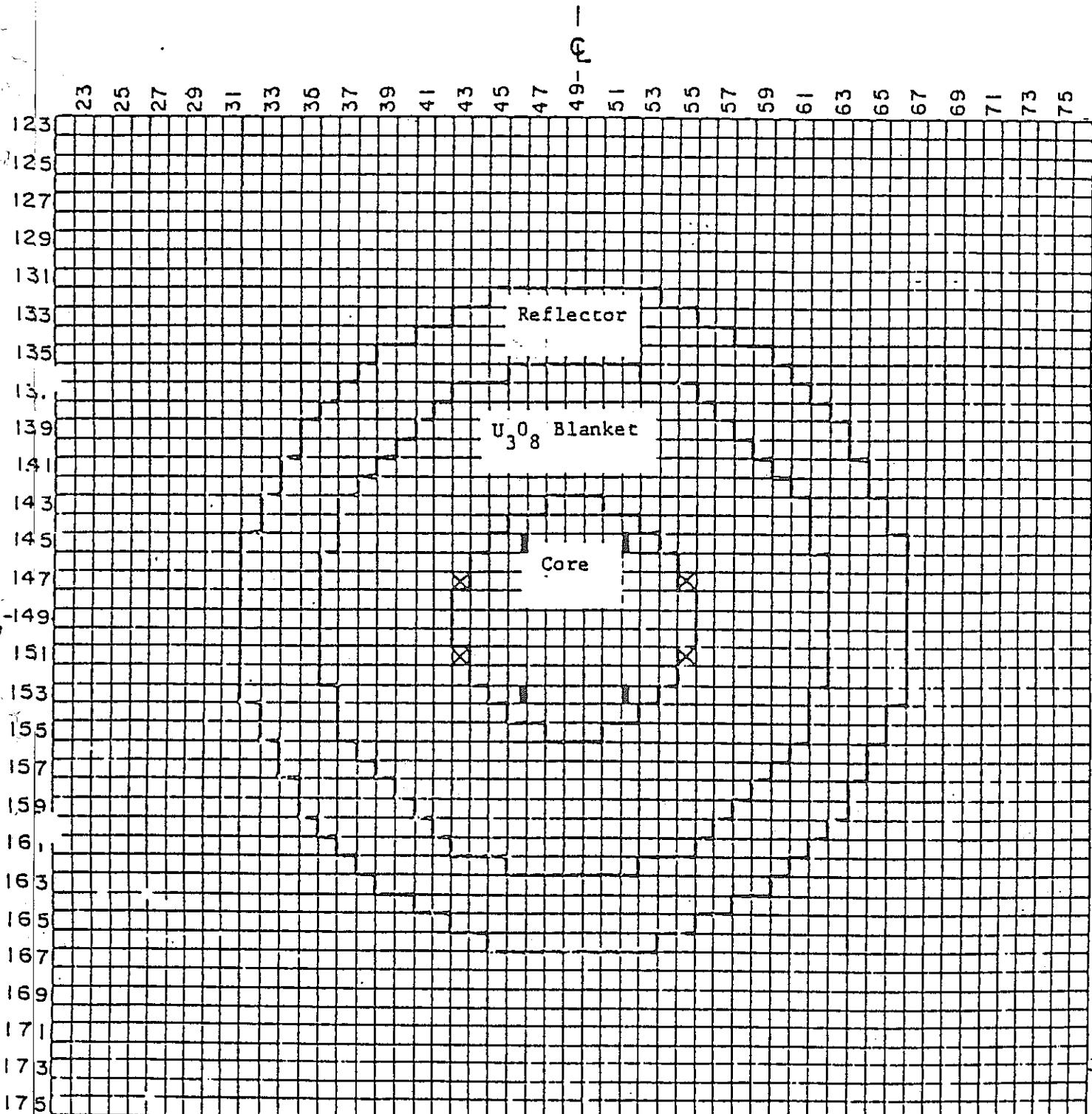
^cFour edge drawers per half have a shortened axial fuel length. Half 1 fuel is 19 in. and half 2 fuel is 7 in., resulting in partial length fuel columns of \pm 13 in. relative to the core center.

^dTwenty-three half 1 and six half 2 blanket drawers contain in-core fission chambers (see Table 4.1 for axial locations and matrix position).

^eOne half 1 reflector drawer contains an in-core fission chamber (see Table 4.1 for axial location and matrix position). MR2-A12

Table 5.2-5 Summary of ZPPR-12 Experiment

ZPPR-12 Configuration	Critical Configuration			Subcritical Reference Configuration		
	Fissile Pu (kg)	Number of fuel drawer H1/H2	excess reactivity (\$) (temp : °C gap : mils)	Fissile Pu (kg)	Number of fuel drawer H1/H2	Subcriticality (\$) (temp : °C gap : mils)
Plate Reference	245.530	125/125	0.1380 ± 0.0035 (26.42 °C) (33.0 mils)	244.164	125/125	-0.2074 ± 0.0052 (24.87 °C) (33.0 mils)
Sodium Void Configuration	267.906	137/137	0.37	265.315	137/133	-0.5600 ± 0.0140 (24.82 °C) (32.6 mils)
Enhanced Streaming Configuration	245.811	129/129	0.31	244.592	125/125	-0.3528 ± 0.0088 (24.99 °C) (23.0 mils)
Rotated Drawer Configuration	246.509	129/129	0.40	245.320	129/125	-0.0652 ± 0.0016 (24.65 °C) (22.7 mils)
Edge Pin Zone Configuration	Plate 128.792 Pin 116.445 total 245.237	(Pl) 65 (Pin) 64 / (Pl) 65 (Pin) 56	0.33	(Pl) 133.182 (Pin) 111.156 total 244.338	(Pl) 73 (Pin) 56 / (Pl) 65 (Pin) 56	-0.0876 ± 0.0022 (26.41 °C) (23.0 mils)
Central Pin Zone Configuration	Plate 122.428 Pin 121.097 total 243.525	(Pl) 68 (Pin) 61 / (Pl) 60 (Pin) 61	0.24	(Pl) 121.515 (Pin) 121.095 total 242.612	(Pl) 64 (Pin) 61 / (Pl) 60 (Pin) 61	-0.1998 ± 0.0050 (27.81 °C) (22.8 mils)



Fuel drawer with shortened fuel length to adjust reactivity
(+ 13 in. length in critical reference)

B₄C operational rod

ZPPR HALF I

Fig. 5.2-1 ZPPR-12 Configuration.

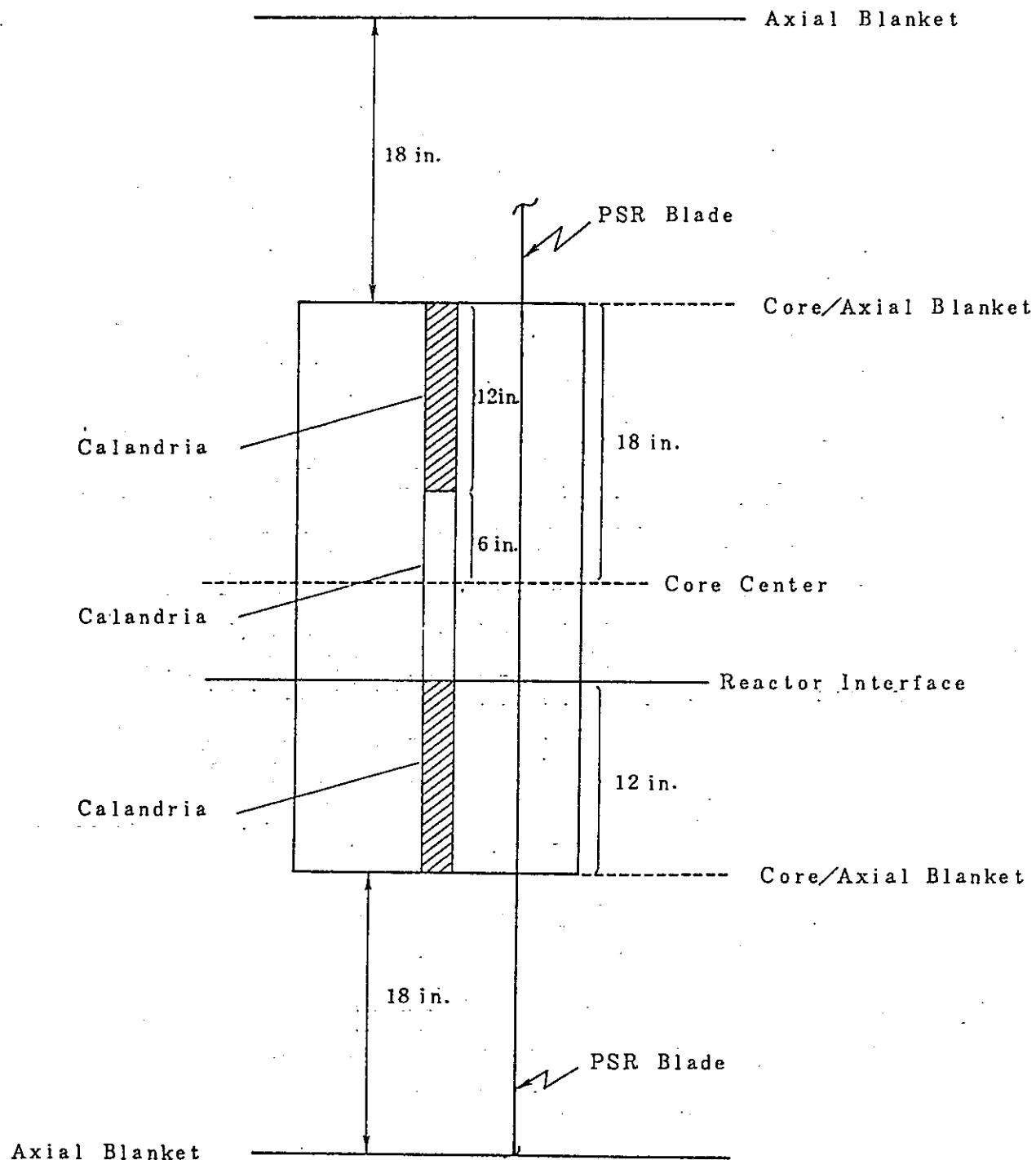
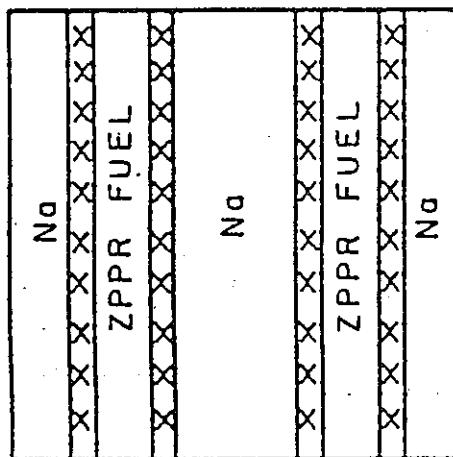
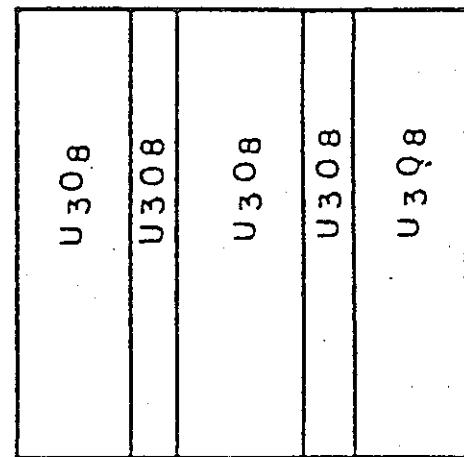


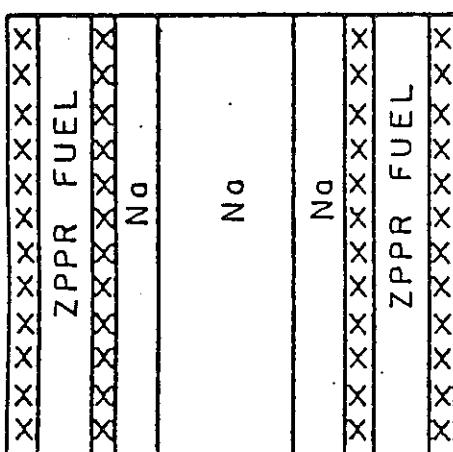
Fig. 5.2-2 ZPPR-12 Axial Core Displacement."



FUEL

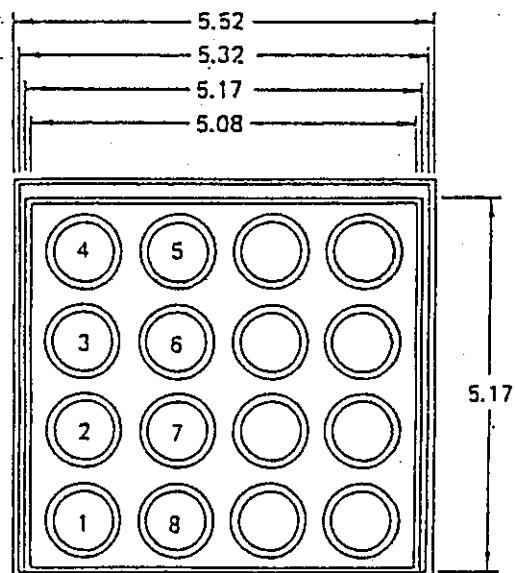


RADIAL AND AXIAL
BLANKET



REARRANGED FUEL
(Enhanced Streaming Cell)

$\boxed{XXX} Fe_2O_3$



ZPR Pin Calandria
(dimensions in cm)

Fig. 5.2-3 ZPPR Fuel and Blanket Cells.

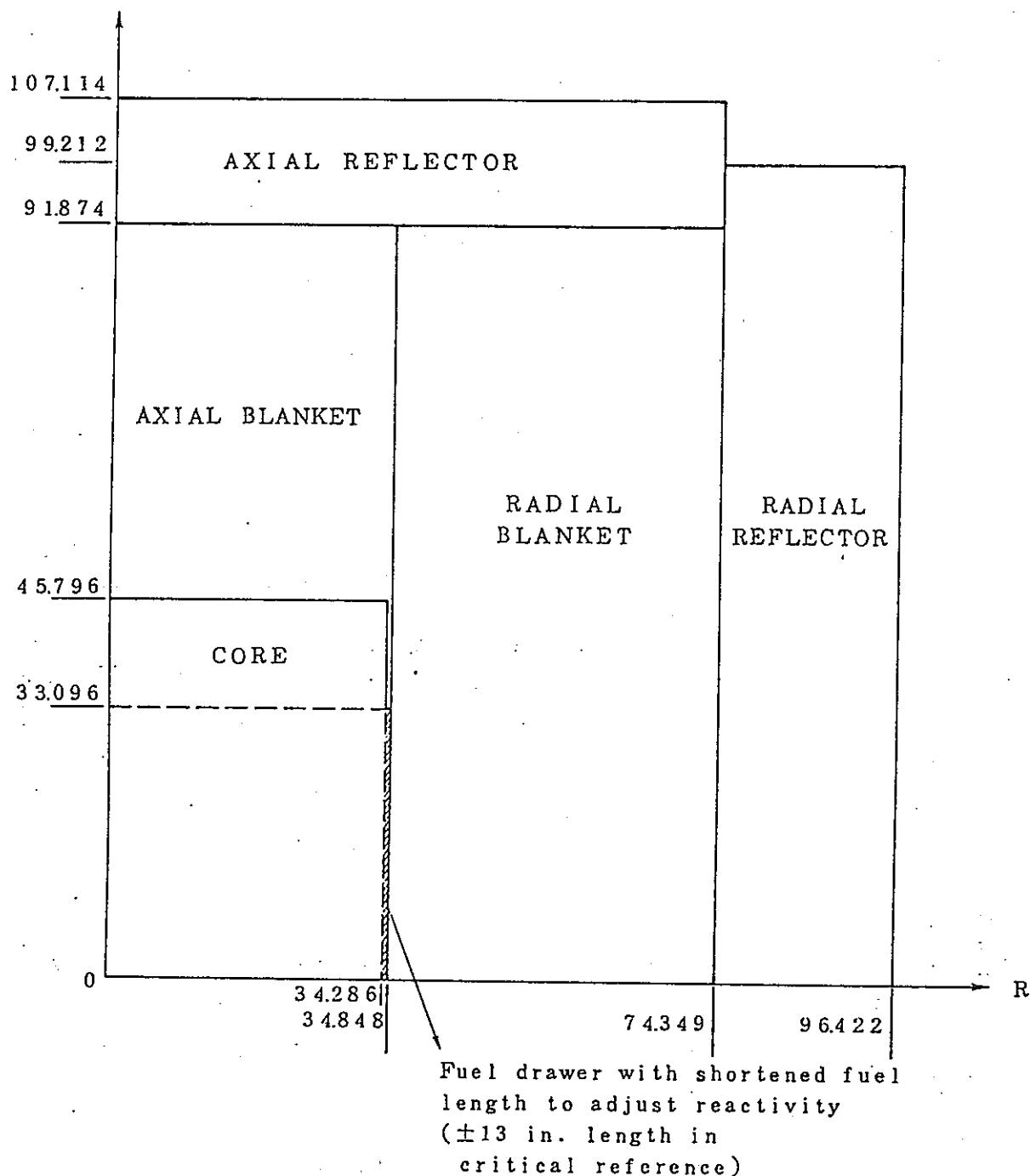
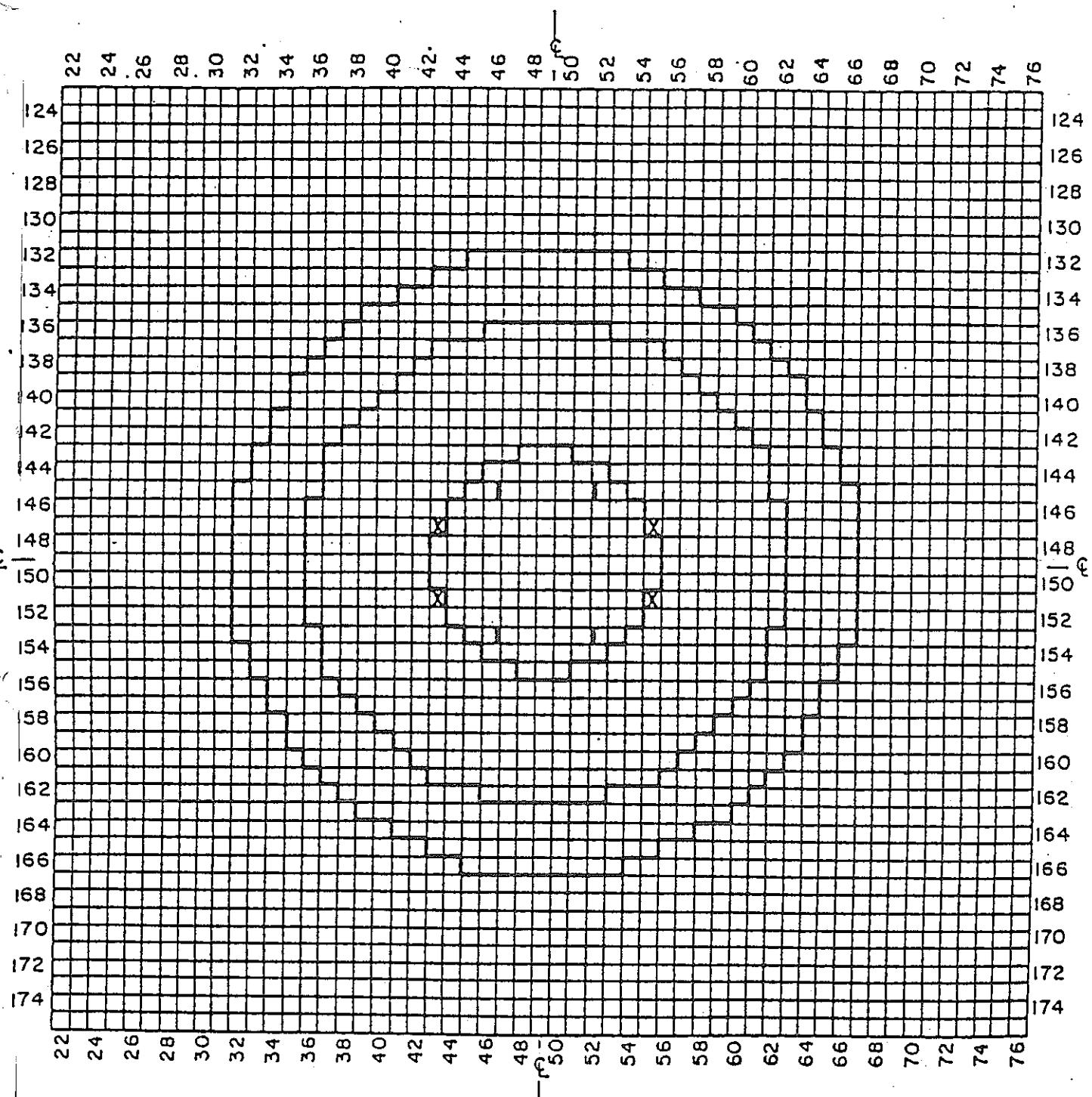
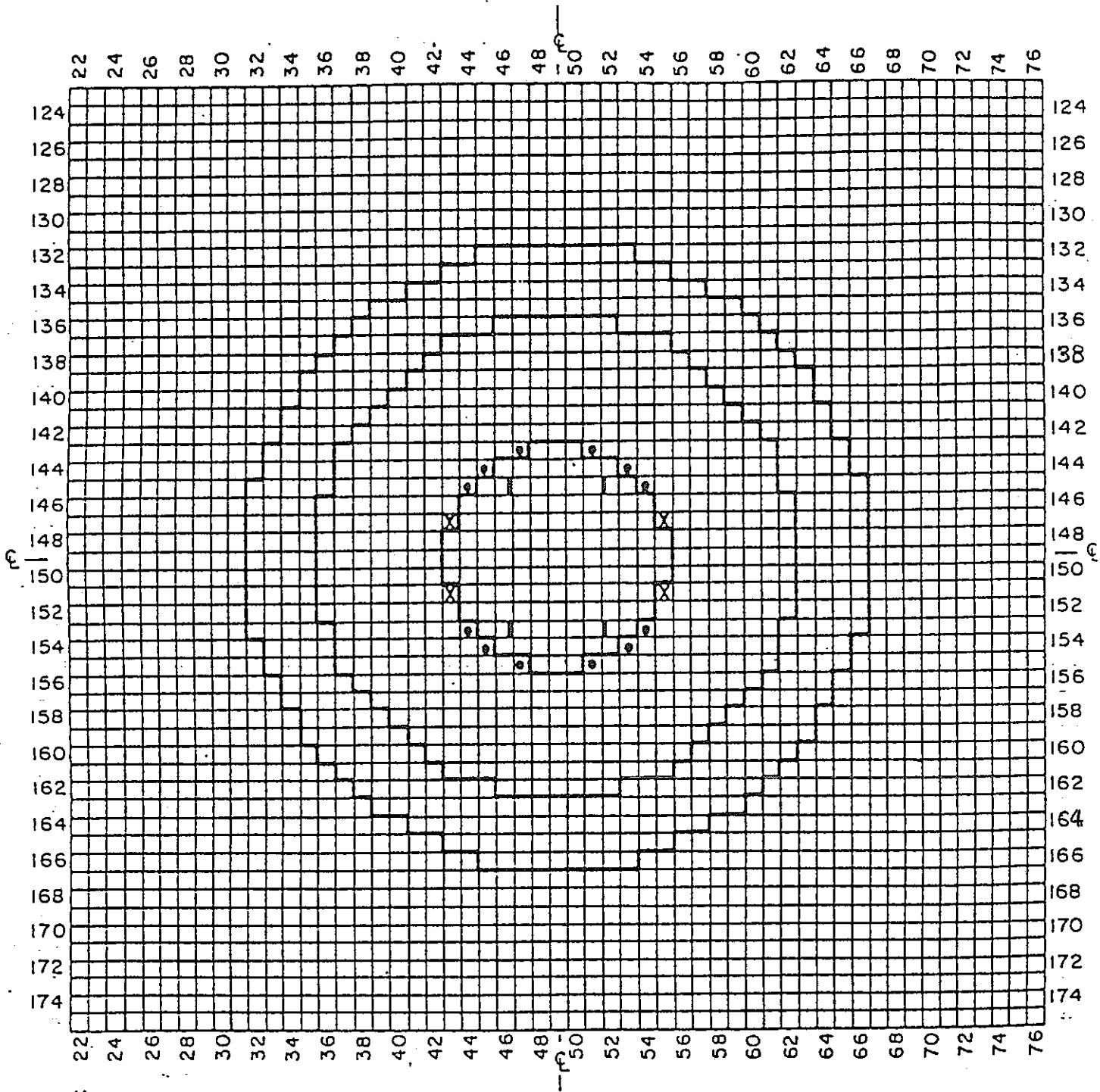


Fig. 5.2-4 R-Z Model of ZPPR-12 Critical Reference.



- X** Fuel drawer with shortened fuel length
 - a. + 10 in. subcritical reference
 - b. + 13 in. critical reference

Fig. 5.2-5 ZPPR-12 Plate Reference

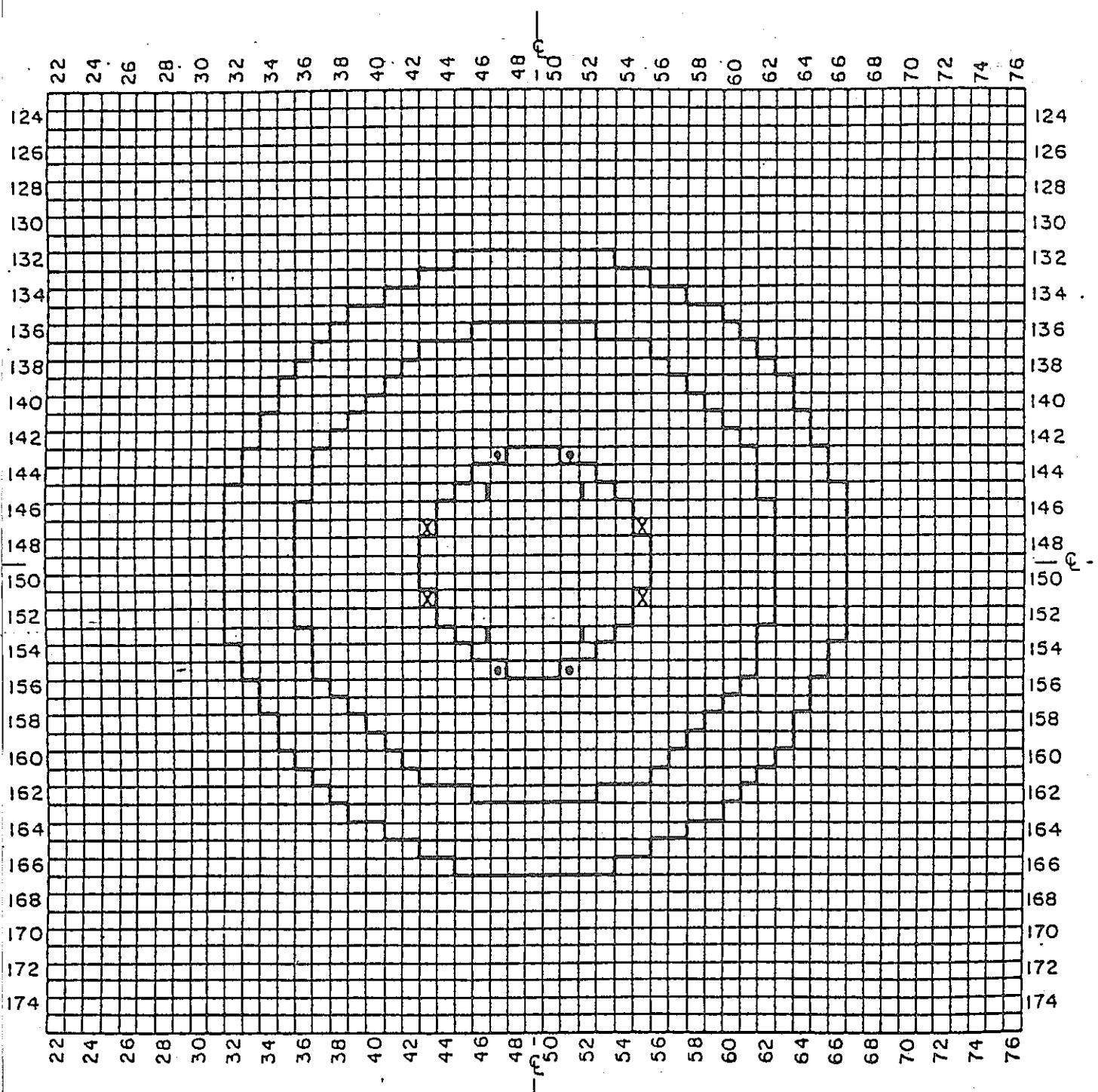


X Fuel drawers with shortened fuel length

- a. + 4 in. subcritical reference
- b. + 10 in. critical reference

• Additional full length (+ 18 in.) fuel column

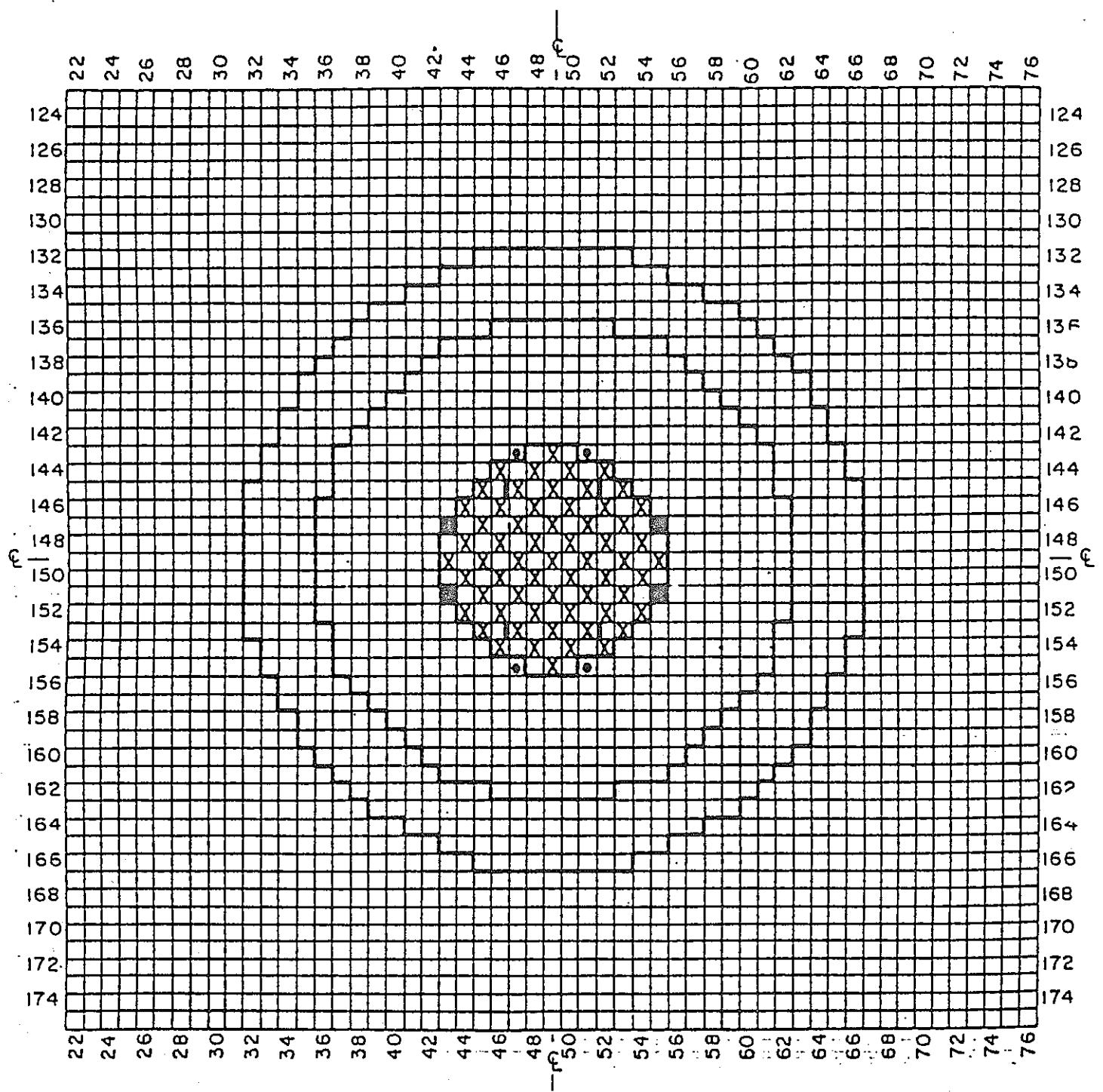
Fig. 5.2-6 ZPPR-12 Na Voided Reference



X a. + 11 in. fuel length in subcritical reference
 b. + 7 in. fuel length in critical configuration

o a. Blanket in subcritical reference
 b. + 7 in. fuel length in critical configuration

Fig. 5.2-7 ZPPR-12 Enhanced Streaming Reference

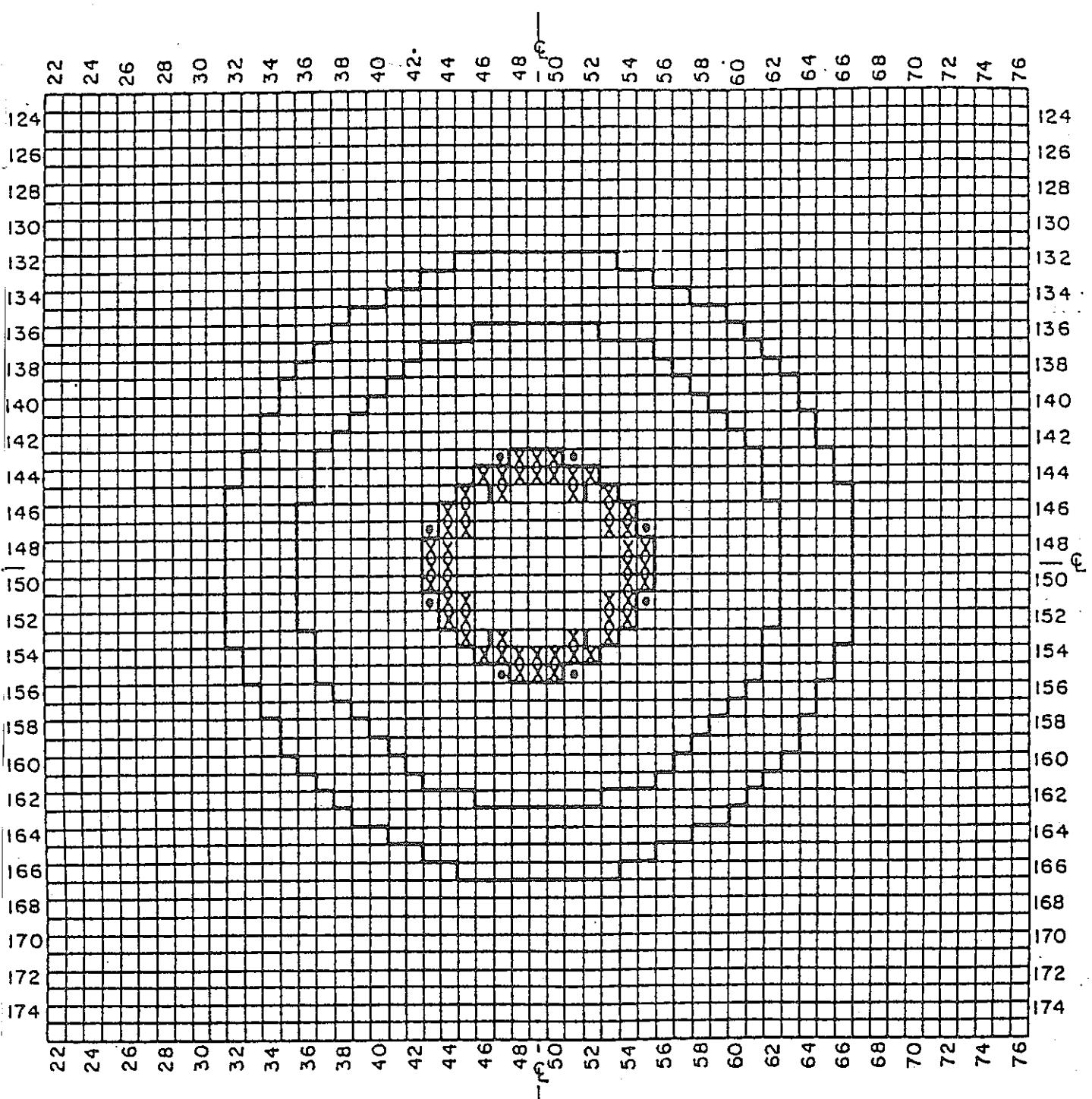


X Drawer contents rotated 90°

■ a. + 8 in. fuel length in subcritical reference
 b. + 8 in. fuel length in critical configuration

• a. + 5 in. fuel length in subcritical reference
 b. + 8 in. fuel length in critical configuration

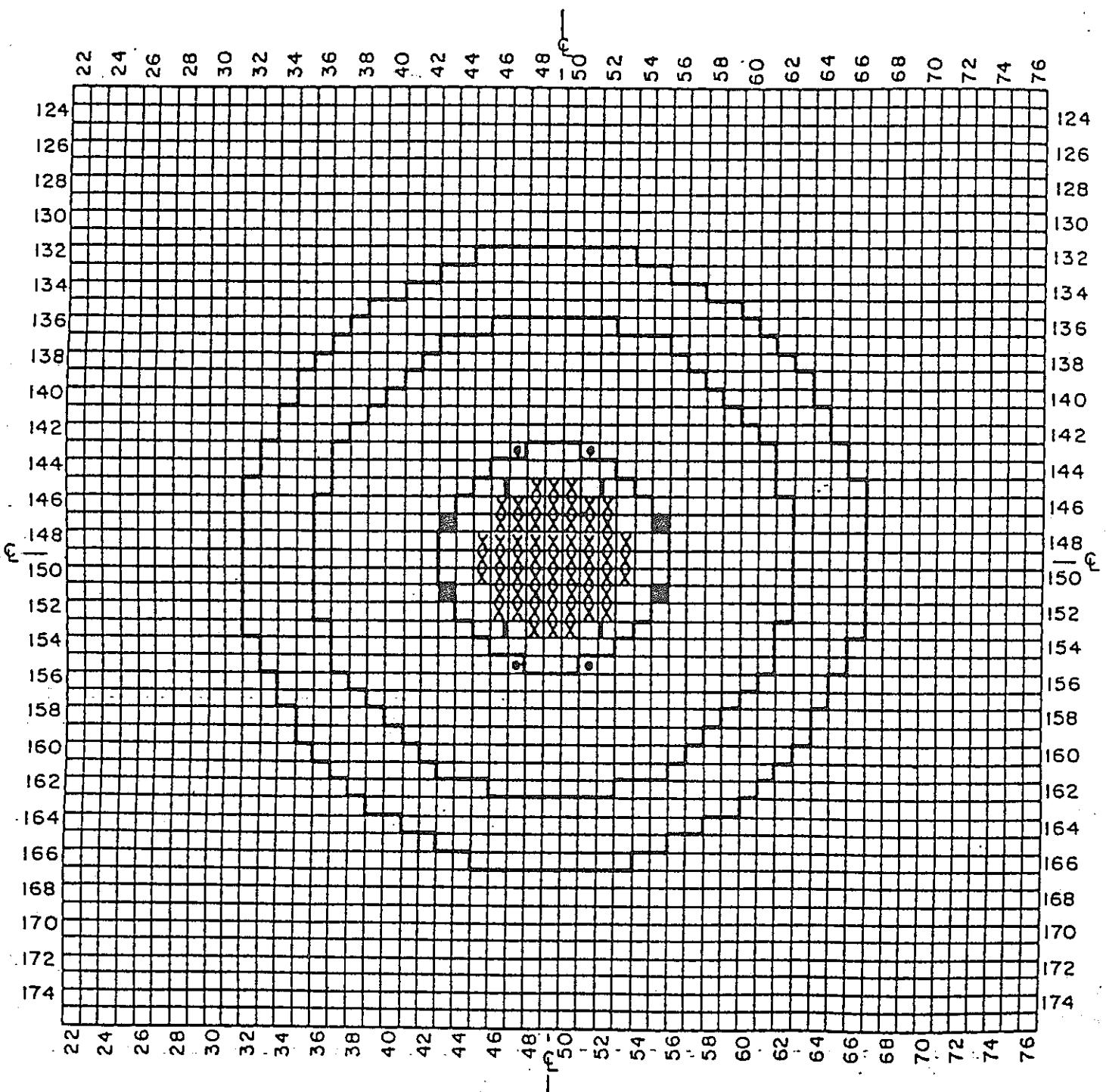
Fig. 5.2-8 ZPPR-12 Rotated Drawer Configuration



X Pin calandria

- a. + 5 in. fuel length in subcritical reference (plate loaded)
- b. + 6 in. fuel length in critical configuration (pin calandria)

Fig. 5.2-9 ZPPR-12 Edge Pin Zone Configuration



X Pin calandria

- a. + 6 in. fuel length in subcritical reference
- b. + 4 in. fuel length in critical configuration
- a. Blanket in subcritical reference
- b. + 4 in. fuel length in critical configuration

Fig. 5.2-10 ZPPR-12 Central Pin Zone Configuration

5.3 実験解析結果

5.3.1 解析モデル

(1) 体系計算

Z P P R -12体系は Fig. 5.3.1-1 に示すように炉心のまわりに U_3O_8 ブロックを配置した制御棒 4 チャンネルなしの体系である。Fig. 5.3.1-2 は Z P P R -12 体系（プレート基準）の R Z モデル化した図である。炉心—ブランケット境界の燃料ドロワーの置換または臨界調整用集合体ドロワーの燃料部の長さを調整し炉心を構成している。Z P P R 装置の密着面から 6 in. ずれたところに炉心中心面がくる点で通常と異なっている。解析モデル上は half-1, -2 のドロワーフロントの 0.03" の構造材を通常行なう通りに炉心部に一様に混合した X Y Z 三次元体系をとった。

基準とする炉心解析は三次元 X Y Z モデルによる。X Y Z モデルでは、ドロワーマスター毎の原子数密度の僅かな違いを反映する“AMM” モデルも適用する。

原子数密度は Z P P R -12 体系は、1981年12月17日時点のものとし、ピン体系は実験日時の1982年4月13日時点のものとした。Z P P R -12 体系の領域の代表ドロワ、平均原子数密度は P N C S N2410 87-006 の Table 4.2.1-1 に示されている。

拡散計算においては Benoist の方向別拡散係数を使用する。ただし、完全均質化モデル、また、炉心をとり囲むブランケット部は均質モデルによる等方拡散係数を使用している。

70群セル実効断面積を18群に縮約して体系計算に使用している。18群のエネルギー構造は70群化した表式で次の通りである。

18群分割 2 / 4 / 6 / 8 / 10 / 13 / 16 / 19 / 22 / 25 / 28 / 31 / 34 / 37 / 40
/ 43 / 46 / 70

炉心内の縮約領域は、ピン—プレート置換実験、ナトリウムボイド実験の領域を考慮して炉心部(1/2 モデル) 9 領域の細分化モデルを採用した。

70群の縮約スペクトルは 2 次元 R Z 計算 (CITATION : Benoist ' D + "Stretch" model) で求める。

縮約計算体系は plate の Z P P R -12 の基準臨界体系の臨界調整用の周辺 4 本ドロワを含まない炉心本数からなる。セルデザインの異なるドロワーボイドセル

についても縮約スペクトルは基準体系の縮約スペクトルを用いて70群から少数组化を行なった。

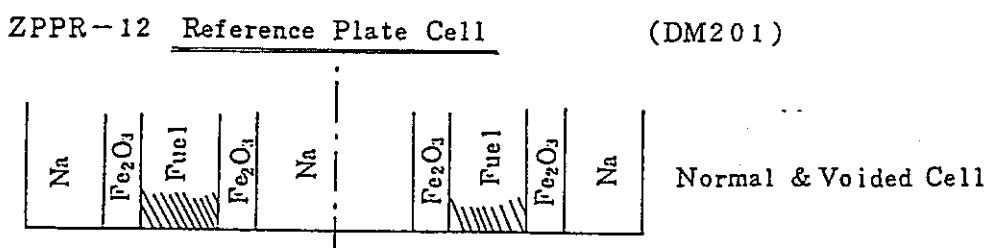
70群の縮約スペクトル計算の固有値=1.004668(代表ドロワで炉心部構成) S n 補正等には、7群化した定数による計算を行なう。この7群分割は次の通りである。

7群分割 4 / 8 / 19 / 28 / 37 / 46 / 70

(2) セル計算モデル

Z P P R -12炉心は、二枚の燃料プレートが使用されている Double-Column-Fuelで構成されている。この二枚の燃料プレートの配列は炉心の中で等間隔に近い“Reference”セルと、燃料プレートをマトリックスドロワの近くに配置しドロワ中央部にはNa-Plateを集めた“Rearranged”セルの二通りがある。これらのセル内のプレートの種類・枚数は同一であり均質組成には相違はないが、プレート体系で大きい中性子 Streaming効果を調べることを目的としている。炉心セルの基本デザインは Fig. 5.3.1-4 に示す。

下図は、二通りのセルの概要を示すものである。ドロワマスター D201 のセルで構成される炉心は、Fuelプレートの配置がほぼ等間隔に近いが、D209型ドロワで構成される炉心では、燃料プレートがドロワマトリックスと Fe₂O₃プレートをはさんで近接していることになり、ドロワ中央部のナトリウムプレート領域(1インチ厚さに相当)からの中性子ストリーミングが炉心特性に影響する。



Enhanced Streaming Plate Cell (DM209)

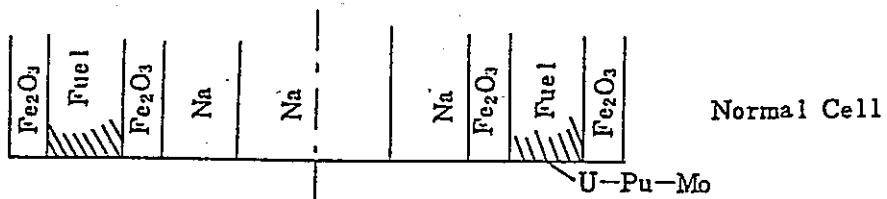


Plate Cell計算は臨界バックリングサーチによる単一セルモデルを使用している。セルモデル“Stretch”原子数密度と“Center-Line”原子数密度の二通りの実効ミクロ断面積計算法を使用している。

使用定数はJFS-3R-J2 70群セットを使用し、セル計算コードはSLAROMを使用している。

Fig. 5.3.1-5 には plate体系のセル計算と体系計算の関係をまとめである。“Center-Line”モデルでも拡散係数は Benoistの異方性拡散係数を使用するが、これは“Stretch”モデルによる結果である。したがって“Center-Line”モデルでは同一セルに対して二回 SLAROMコードを使用している。またこれに伴い三次元計算に受け渡されるデータも二つの異なるデータソースから合成するように計算フローの一部が修正された。

Pin Cell計算は、計算コードSLAROMを用い、1次元円柱、臨界バックリングサーチ法により実施する。カランドリア管およびマトリックスの燃料ペレット中の燃料核種への遮蔽効果を評価するため、Fig. 5.3.1-6の単位セルの定義に基づく Fig. 5.3.1-7 の計算モデルを用いた。

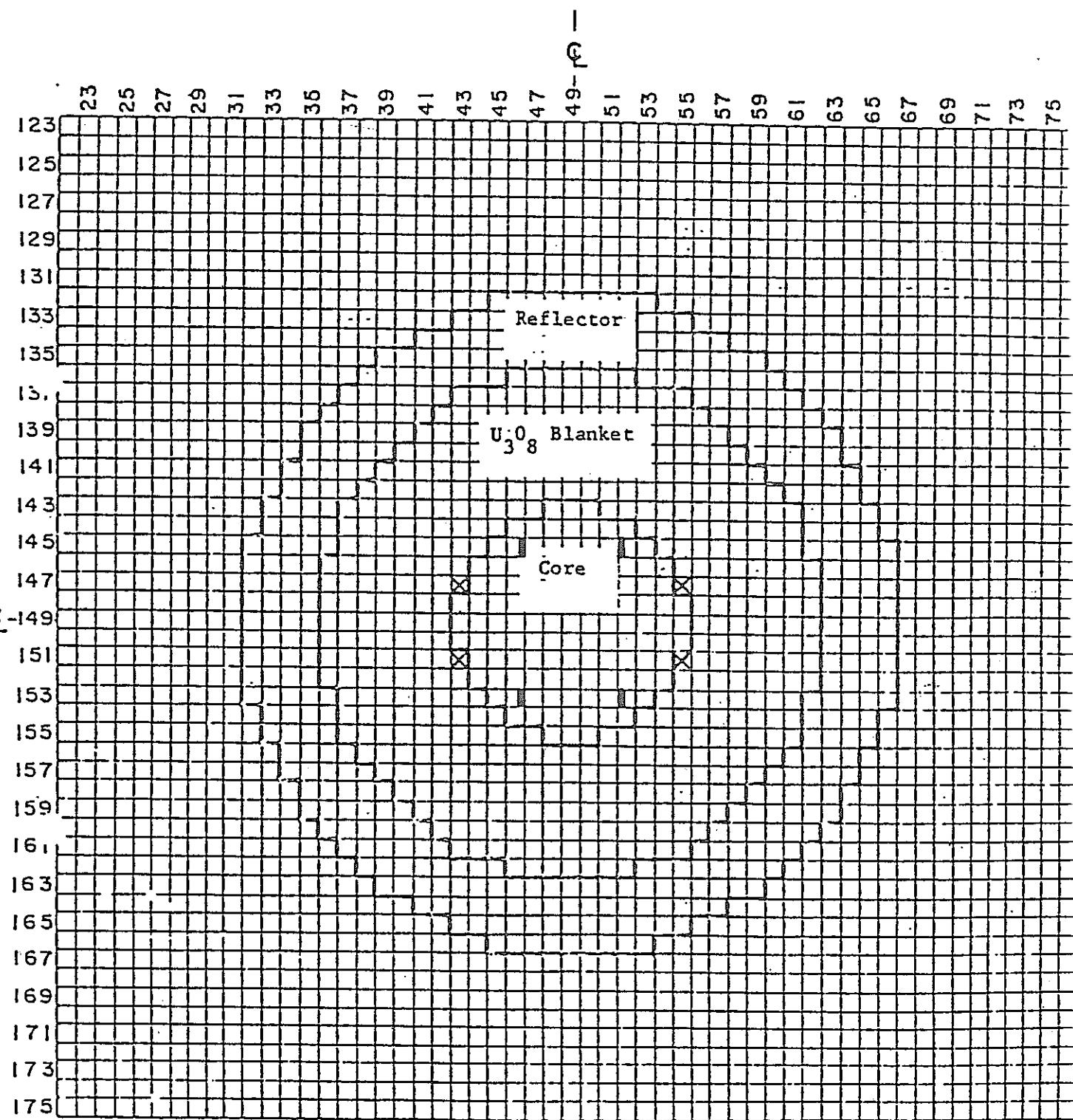
- ① ピンセル周りに外側構造材の1/16を巻いた1次元円柱モデルにより、領域平均の実効ミクロ断面積を求める。
- ② 外側構造材を除いたモデルで中性子束分布を求めて、ピン東部の領域平均ミクロ断面積を求める。また、均質モデルにより外部構造材部の領域平均ミクロ断面積を求める。
- ③ 上記②のピン東部と外部構造材部の2領域からなるサブアゼンブリーセルで、ピン東部と外部構造材部の中性子束部の中性子束分布を計算し、セル平均断面積を求める。

本モデルは、ZPPR-13Cのピンゾーン置換実験解析^{c)}で用いられた評価モデルの1つであり、その妥当性が検証されている。今後のピンセル計算モデルの検討のための標準モデルとして、本モデルを選定した。

計算体系を、Fig. 5.3.1-8 に示す。現実のピンセルを模擬するため、ペレット、ペレットシース、カランドリアクラッドの径は実寸法を用い、Na部は等価半径を用いた。2重非均質性を考慮して、カランドリア外側部分の1/16（ピン16本より）を1次元体系の外側に巻き、周辺Naをその外側部分に浸み込ませるモ

デルを用いた（マトリックスについても1/16を巻く）。

サブアゼンブリセル計算の計算体系を、Fig. 5.3.1-9 に示す。16個のピンセルからなるピンバンドル領域と外側Na，カランドリアラッパー，マトリックスからなる外側領域からなる。各領域の断面積を保存するように等価半径をもつ，1次元円柱モデルを用いた。



Fuel drawer with shortened fuel length to adjust reactivity
 \pm 13 in. length in critical reference)

B_4C operational rod

ZPPR HALF I

Fig. 5.3.1-1 ZPPR-12 Configuration.

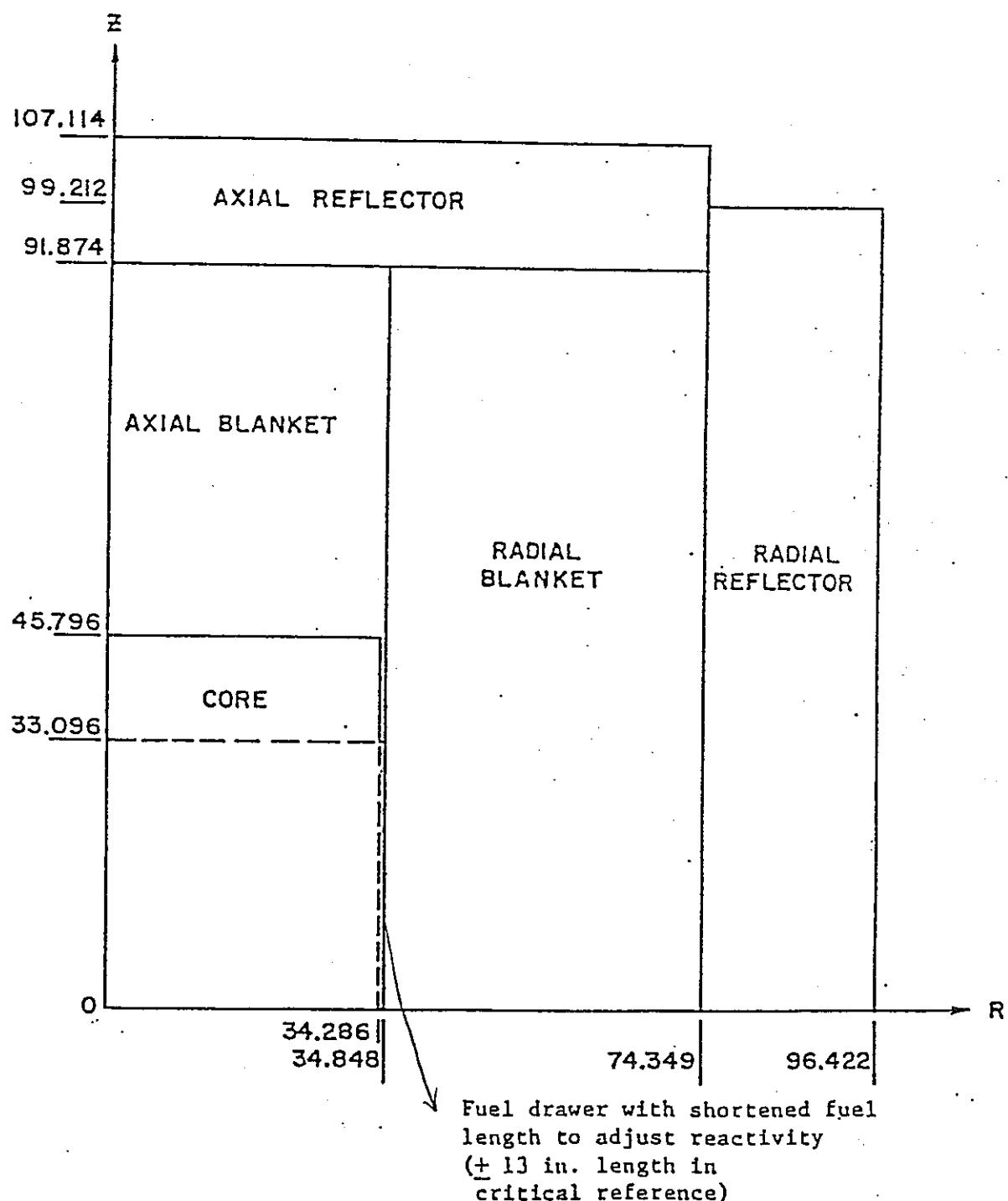


Fig. 5.3.1-2 R-Z Model of ZPPR-12 Critical Reference.

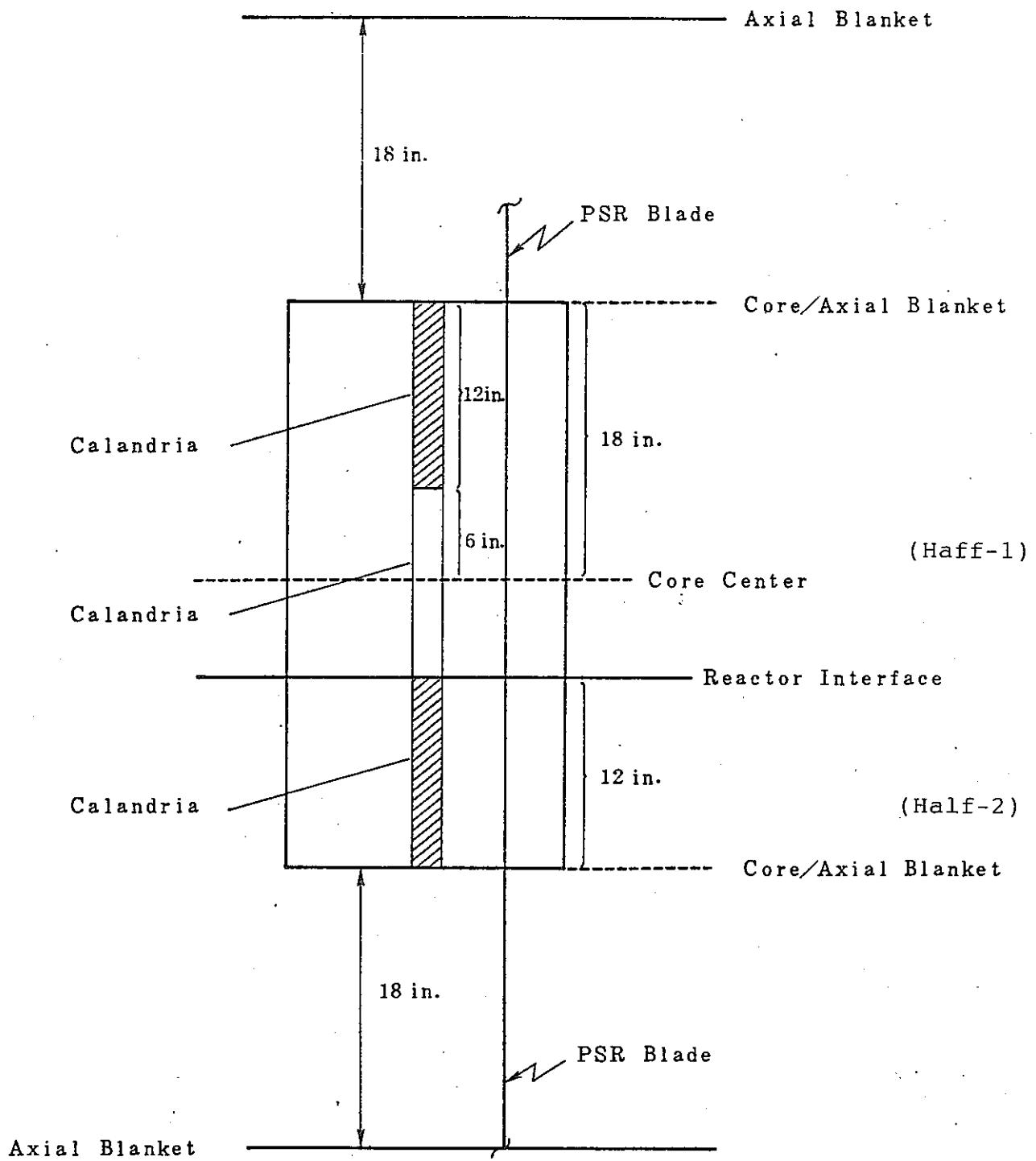


Fig. 5.3.1-3 ZPPR-12 Axial Core Displacement.

	Na		
X	X	X	X
ZPPR FUEL		X	X
X	X	X	X
	Na		
X	X	X	X
ZPPR FUEL		X	X
X	X	X	X
	Na		
X	X	X	X
ZPPR FUEL		X	X
X	X	X	X

FUEL

	U ₃ O ₈		
U ₃ O ₈			
U ₃ O ₈			
U ₃ O ₈			
U ₃ O ₈			

RADIAL AND AXIAL
BLANKET

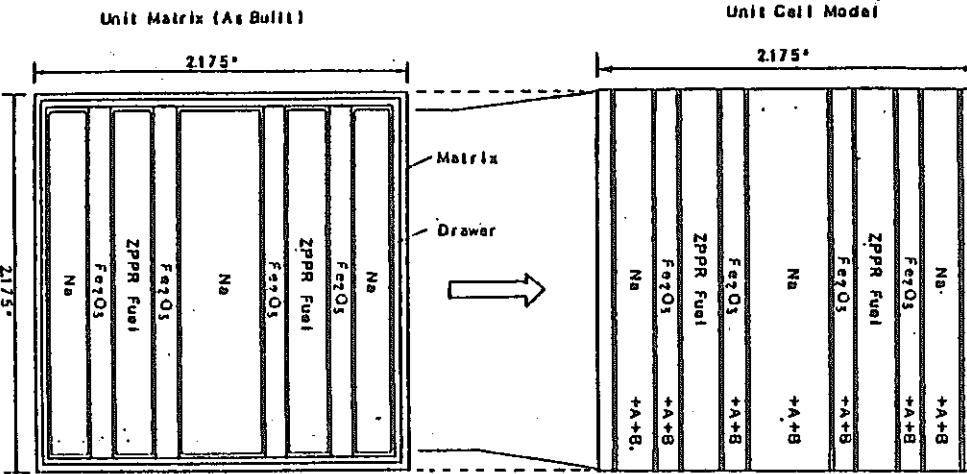
	Na		
X	X	X	X
ZPPR FUEL		X	X
X	X	X	X
	Na		
X	X	X	X
ZPPR FUEL		X	X
X	X	X	X

REARRANGED FUEL

× Fe₂O₃

Fig. 5.3.1-4 ZPPR Fuel and Blanket Cells in ZPPR12

STRETCH MODEL



CENTER-LINE MODEL

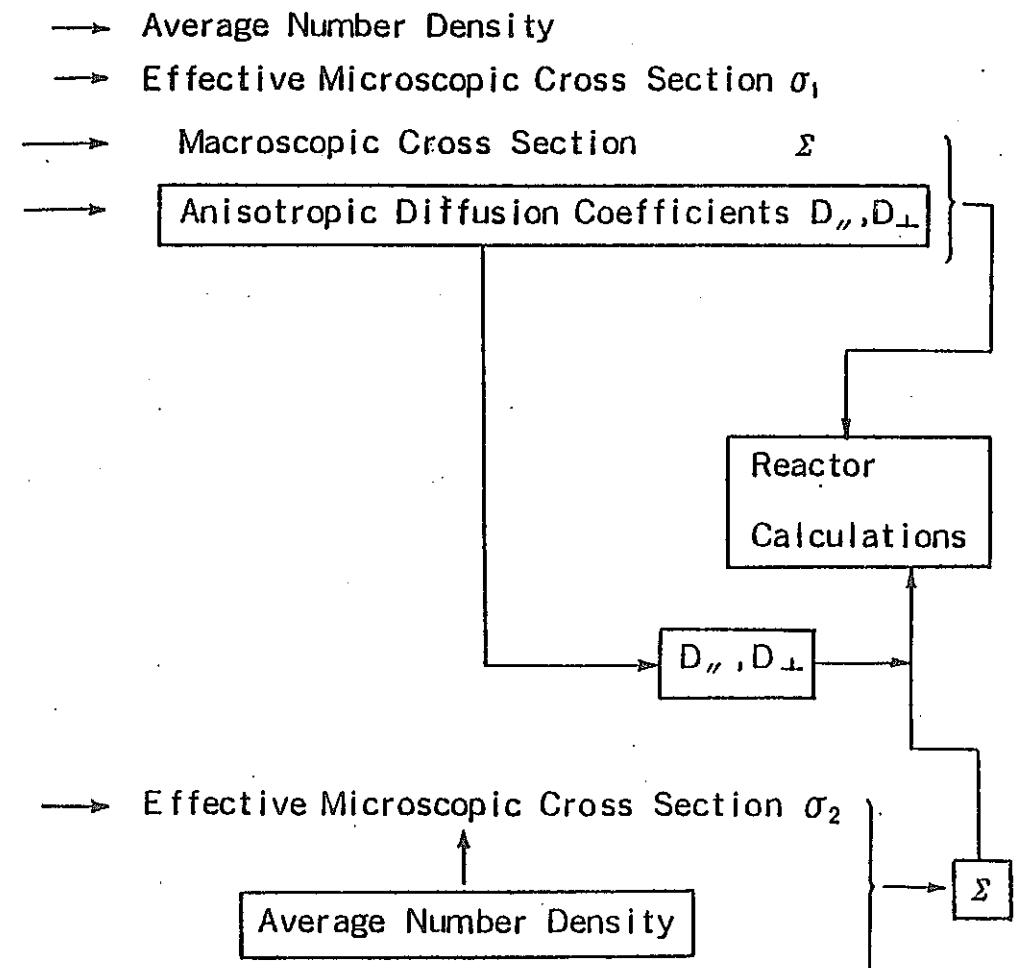
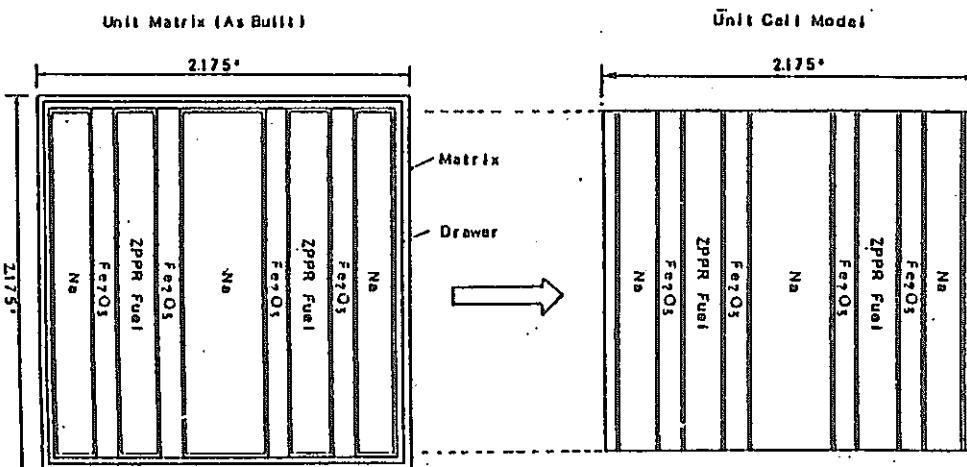


Fig. 5.3.1-5 Calculation Schemes in the Plate Core Analysis

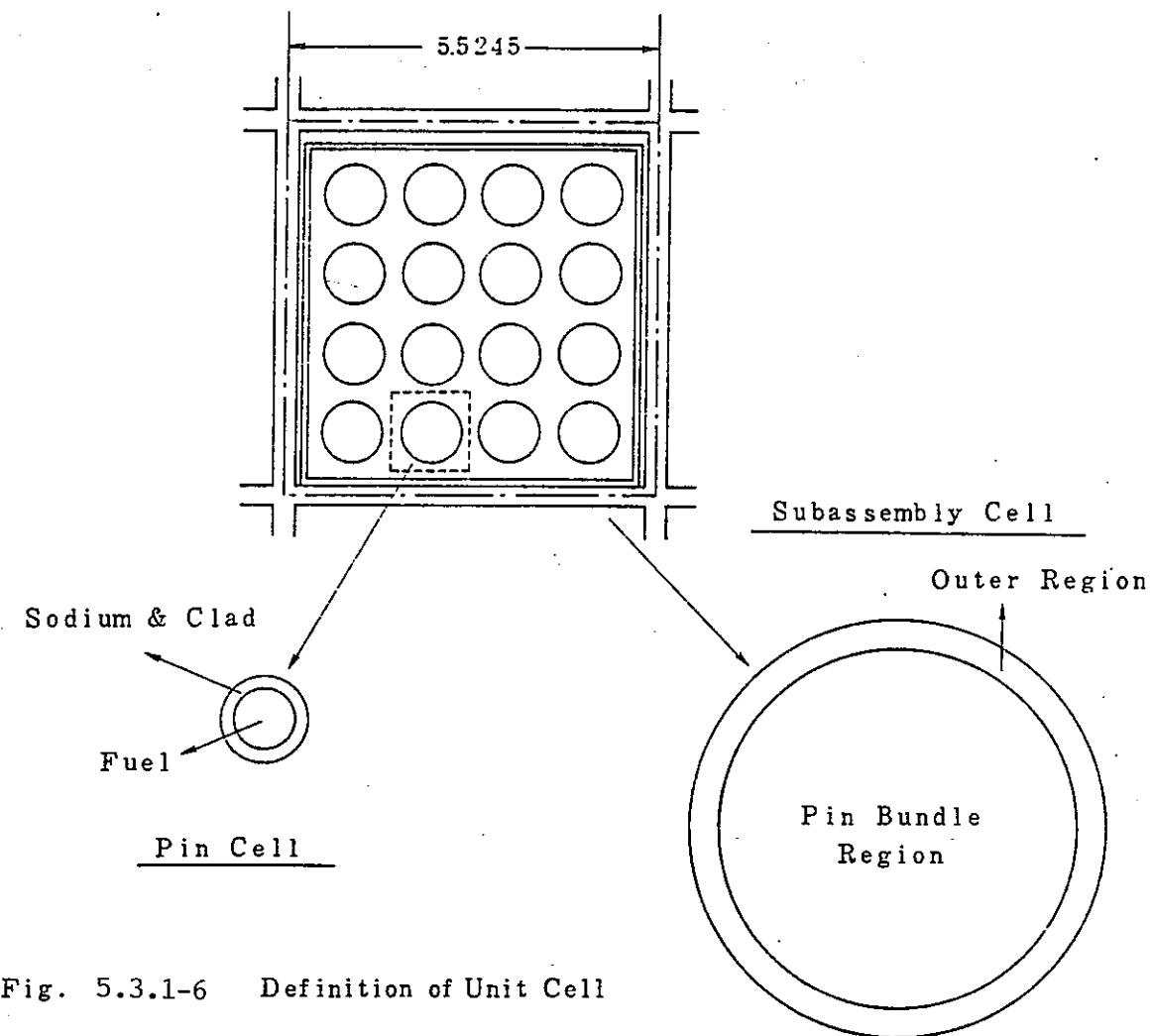


Fig. 5.3.1-6 Definition of Unit Cell

	Unit Pin Cell Calc. Model		③ Subassembly Cell Calc. Model
	① Effective Micro Calc. Model	② Pin Cell Calc. Model	
Vertical Cross Section of Cell			

1*; Fuel Pellet

2*; Sodium & Cladding

3*; 1/16 of Matrix & Calandria Sidewall

4*; Pin Bundle Region

5*; Outer Region

Fig. 5.3.1-7- Unit Cell Calculation Model

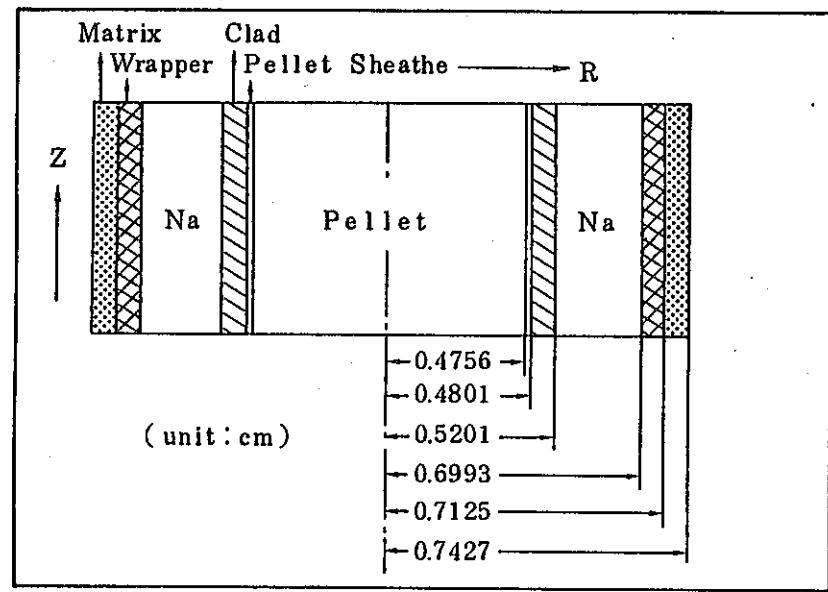
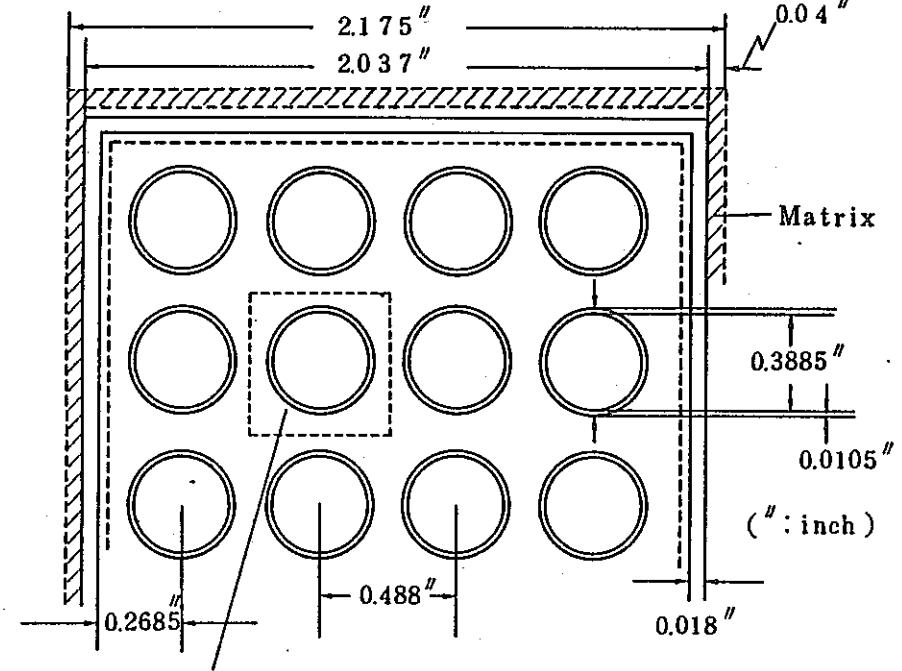


Fig. 5.3.1-8 Unit Pin Cell Calculation Model

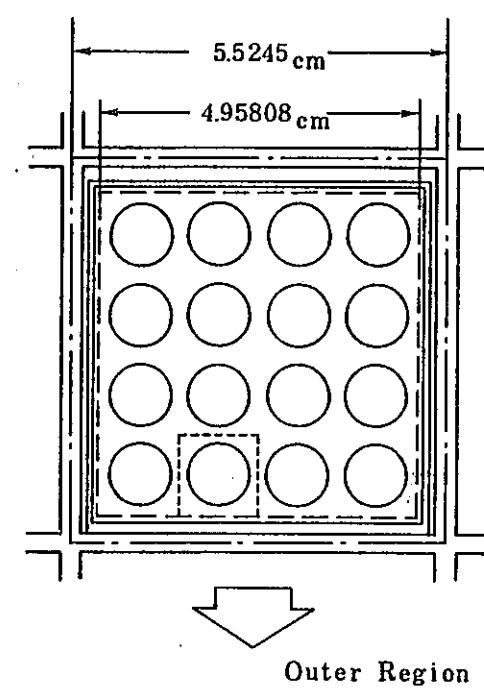


Fig. 5.3.1-9 Subassembly Calculation Model

5.3.2 臨界性解析

(1) Z P P R -12集合体の体系とモデル

以下の各特性値項目の解析に先立ってZ P P R -12体系の炉心構成図をまとめて示しておく。

Plate Cores

Plate Reference, (Fig. 5.3.2-1,-2)

Enhanced Streaming, (Fig. 5.3.2-3,-4,-5)

Rotated Configuration (Fig. 5.3.2-6,-7,-8)

Na Voided Reference (Fig. 5.3.2-9)

Pin Cores

Center Pin Zone (Fig. 5.3.2-10,-12)

Edge Pin Zone (Fig. 5.3.2-11,-12)

Z P P R -12基準臨界体系はHalf-1/Half-2それぞれにある4本の臨界調整用ドロワの高さが±13in. であり、燃料ドロワ本数はHalf-1/Half-2で125本づつで構成されている。Enhanced Streaming体系はHalf-1/Half-2で129本づつの燃料で成り、Half-1, -2にそれぞれある4本の臨界調整用ドロワーの高さは±7 in. Rotated ConfigurationではHalf-1/Half-2のドロワ本数129本づつで4本の臨界調整用ドロワの高さは±8 in. である。

中心ピンゾーン実験の Critical Reference はピンカランドリアドロワーHalf-1/Half-2で8体ずつの臨界調整用ドロワの高さが±4 in. 周辺ピンゾーン実験の Critical Reference はHalf-1/Half-2でそれぞれ8体の臨界調整ドロワーが±6 in. であった。

(2) 臨界性解析

各体系の実効増倍率は、61年度報告書 (P N C S N2410 87-006) の解析方法に基づき以下に示す基準計算と補正計算で求めた。

(a) 基準計算

各体系の基準計算法を以下に示す。

- 体系コード : CITATION
- 適用理論 : 中性子拡散近似 (Benoist の異方性拡散係数)
- 体 系 : 3次元XYZの全炉心 (FC, 1/2 炉心)
- エネルギー群 : 18群
- メッシュ数 : $35 \times 35 \times 22$ (X, Y, Zメッシュ数)
(メッシュ幅: XY方向5.52cm, Z方向約5cm)

基準計算で求めた実効増倍率は次の通りである。

炉 心	Calculated Values
plate Reference	1.00934 (18g, XYZ, FC, Stretch model)
	1.00923 (18g, XYZ, FC, Center Line model)
Enhance Streaming	1.0100 (18g, XYZ, FC, Stretch model)
Rotated Configuration	1.0113 (18g, XYZ, FC, Stretch model)

中心ピンゾーン体系 : 1.00875 (plate部分は Stretch modelを適用)

周辺ピンゾーン体系 : 1.01062 (")

(b) 補正計算

補正計算は、(I)群縮約効果補正、(ii) メッシュ効果補正、(iii) 輸送理論効果補正の各項目を考慮した。各補正内容を以下に示す。

(i) 群縮約効果補正

2次元RZモデルによる70群と18群の非等方拡散計算値の差より、群縮約効果を評価した。

各エネルギー群の実効増倍率と補正值は以下の通りである。

体 系	k_{eff} (70群)	k_{eff} (18群)	群縮約効果補正
中心ピンゾーン	1.01079	1.01007	+0.071% $\Delta k/kk$
周辺ピンゾーン	1.01193	1.01138	+0.054% $\Delta k/kk$
Plate Reference (Stretch model)	1.01153	1.0107	+0.084% $\Delta k/kk$
(Center-line Model)	1.01150	1.0106	+0.088% $\Delta k/kk$
実効増倍率については群数補正の大きさ			~0.1% Δk 以下
Na Void 反応度 (Cumulative) の補正の大きさ			0.03~0.1% Δk / (Zone Void)以下

プレート体系の群数補正の大きさについては “Stretch” および “Center Line” Model のいずれも同じ傾向を示すことが確認出来る。ポイド反応度については補正の大きさがポイド領域の大きさと関係しているので、系統性の検討には、Leakage/Non-leakage 成分等の割合を調べること等が必要である。

(ii) メッシュ効果補正

3次元XYZモデル(1/8炉心)による基準メッシュ幅(約5cm)と1/2メッシュ幅(約2.5cm)の18群非等方拡散計算値より、 ∞ メッシュの実効増倍率を外挿し、これらの差よりメッシュ効果を評価した。各メッシュでの実効増倍率と補正值は以下の通りである。

体 系	(RM)	k_{eff}^* (XY-DM)	k_{eff}^* (Z-DM)	k_{eff}^* (∞ Mesh)	メッシュ効果補正
中心ピンゾーン	1.00898	1.00641	1.00852	1.00494	-0.398% $\Delta k/kk$
周辺ピンゾーン	1.01035	1.00784	1.00989	1.00638	-0.390% $\Delta k/kk$

* RM : Reference Mesh, DM : Double Mesh

plate 体系で二次元RZモデルの範囲内で、メッシュサイズと k_{eff} 計算値の関係参考に示す計算は18群 “Stretch” Modelによって行ない。基準とした~5cmのメッシュの部分 (Reference Meshes; RM) を一律に~2.5cm

(Double Meshes; DM) と場合および更に～1.25cm程度(Re=Double Meshes ; RD) のに細かくした場合の臨界性への影響を見た。以下に18群R Zモデルによるメッシュサイズ効果は次の様である。

メッシュ巾	K-eff 計算値	メッシュサイズ補正
R M	1.01068	(基 準)
D M	1.00853	-0.21% $\Delta k/kk$
R D	1.00803	-0.26% $\Delta k/kk$

この結果から基準とする三次元XYZ(1ドロワ当たり1メッシュのメッシュ巾)拡散計算結果に対するメッシュサイズ補正として、Z方向への無限少メッシュへの外挿値も推定すると臨界性については、-0.35% $\Delta k/kk$ 程度となる。この結果よりプレート体系のメッシュ補正是-0.39% Δk とする。

(iii) 輸送理論効果補正

2次元R Zモデルによる18群S n計算(TWOTRANコード使用)と等方拡散計算($D=1/3 \Sigma_{tr}$ 使用)の差より、輸送理論効果を評価した。

体 系	輸送計算(S_4)	拡散 (∞ Mesh)	輸送理論効果補正
中心ピンゾーン	1.02837	1.01435	+1.344% $\Delta k/kk$
周辺ピンゾーン	1.02899	1.01515	+1.325% $\Delta k/kk$
Plate Reference	1.02955	1.01497	+1.395% $\Delta k/kk$

(c) まとめ

以上、基準計算値を補正した実効増倍率のC/E値を、Table 5.3.2-1に示す。C/E値は約1.02となり、JFS-3-J2セットが有するZPPR-12体系と同規模の小型の臨界集合体(FCAAX炉心など)の解析結果と整合性がある。ピン体系のC/E値は、プレート体系値と同程度であり、顕著なピン-プレート非均質効果はみられない。

体 系	k (cal)	k (exp)	C/E
Plate Reference	1.02023	1.00052	1.0197
Enhanced Streaming	1.02089	1.0013(*)	1.0196(*)
Rotated Config	1.0222	1.0016(*)	1.0202(*)
Center Pin	1.01892	1.00086	1.0180
Edge Pin	1.02051	1.00119	1.0193

(*) 暫定値

これらの結果から、補正の不確かさ $\pm 0.1\% \Delta k$ 程度を考慮して

- ◎ C/E 値については、ピン-プレート体系の差は $0.2 \pm 0.1\% \Delta k$ 以内で一致する。
- ◎ Center-Pin 体系の解析結果をベースとするとピン体系のバイアス (C/E 値) がわずかに ($0.2\% \Delta k$ 以下) に小さい傾向を示唆している。

(d) 組成の違いの効果

ピンとプレート燃料において、組成の相違が大きい Mo と ^{241}Pu の効果を評価した。手法は、2次元 R-Z モデルによる70群非等方拡散計算により、中心ピンゾーン体系で各核種が10%減少した時の実効増倍率を求め、基準組成での計算値との差をみるとことによった。

組成変化による反応度変化は、以下の通りである。

Mo 組成10%減 : $0.007\% \Delta k$ 増

^{241}Pu 組成10%減 : $-0.055\% \Delta k$ 減

^{241}Pu の効果は大きく、精度良い原子数密度評価が必要であるが、Mo の寄与は小さい。

(3) ピン領域の置換反応度解析

ピン領域の置換反応度の実験は、Fig. 5.3.2-10 の中心ピンゾーン体系（調整ドロワ a）と Fig. 5.3.2-12 の周辺ピンゾーン体系（調整ドロワ a）で実施された。置換反応度は、上記の“ピン体系”と“ピンをプレートに置換した体系”と

の反応度差の測定による。

各体系の実効増倍率は、3次元XYZモデル(1/8炉心)の18群非等方拡散計算(基準メッシュ)で評価した。各体系の置換反応度の解析結果をTable 5.3.2-2に示す。

中心ピン及び周辺ピン領域の置換反応度のC/E値は-0.06及び0.06% $\Delta k/kk'$ であり、臨界体系のピンとプレートのC/E値の差約0.1%と同レベルの計算精度にある。

(4) 反応度成分の比較

(a) 均質モデルと非均質モデルの相違

均質セル計算(燃料、Na、構造材のセル内分布を均質化)によるセル定数を用い、非均質セル計算によるセル定数を用いた基準計算値と比較した。

プレート体系では、Plate Preference体系について比較を行なった。

$$k_{eff}^H \text{ (plate 非均質性)} = 1.00934 \text{ (Stretch Model)}$$

$$k_{eff}^H \text{ (均質)} = 0.999840$$

$$\text{非均質効果} = 0.95\% \Delta k/kk'$$

ピン体系は中心ピンゾーン体系を対象とし、3次元XYZ(1/8炉心)モデルを用いた。

均質と非均質セル計算によるピン体系の実効増倍率への効果は、以下の通りであり、プレート体系の約20%と小さい。

$$k_{eff}^H \text{ (均質セル計算群定数使用)} : 1.007219$$

$$k_{eff}^H \text{ (非均質セル計算群定数使用)} : 1.008964$$

$$(k_{eff}^H - k_{eff}^A) / k_{eff}^H \cdot k_{eff}^A : -0.172 \% \Delta k/kk'$$

このときプレート部分は非均質モデル扱いであり、この効果は内側の領域からの寄与である。

Table 5.3.2-3に均質モデルとplate stretchモデルのちがいの成分を示してある。Table 5.3.2-4には同様な効果を1次振動計算によって調べた結果を示す。

これによると、ピンープレート効果(0.2% $\Delta k/k$)よりも大きな効果が均質

これによると、ピンープレート効果 ($0.2\% \Delta k/k$)よりも大きな効果が均質-非均質モデル効果としてあるが、その内容はピン/プレートセルで異なっていることがわかる。即ち plate体系では非均質計算をすることにより“Fission”, “Capture”の項の大きさが見えるが、高エネルギー側とそれ以外の群からの寄与が見えることがわかる。

一方、Pin 体系のときは、“Fission”, “Capture”の項の符号が変化せずピンのセル計算と plateのreference セル計算で非均質効果の生ずる内容が異なることがわかる。

Plate 体系では、Table 5.3.2-5 に数値実験とストリーミングを大きくし、燃料非均質性を更に大きくした Enhanced Streaming Cellの場合の成分を示す。均質 Modelでは実効増倍率が過少評価となるが非均質効果の成分の内訳は、DCF の Reference plateの均質化の場合と異なることがわかる。

(b) Plate Stretch Model と Center-Line Modelの比較

実効増倍率の計算結果に対して、前述の燃料セルモデル (“Stretch” Model と “Center Line” Model) の差は $0.1\% \Delta k$ 程度の影響である。

Fig. 5.3.2-13 には1次摂動計算による “Fission”, “Capture” の項のエネルギー群毎の内訳を示してある。両者のモデルの差はセル内の中性子束分布の違いを反映して Fission, Capture の打消合いはエネルギー群によって大きな変動があり、結果としては打消し合いになっている。

(c) ピンープレート効果の内訳

ピンープレートの置換効果として Center-Pin Zoneを Pinからプレートに変更した場合の反応度成分の群毎の内訳を Fig. 5.3.2-14に示してある。ピンープレートの置換の反応度変化は小さいがその内容は “Fission” と “Capture” termが大きく打消し合っていることがわかる。

Table 5.3.2-1 Results of Criticality Analysis in ZPPR-12

Configulation		Plate Reference	Enhanced Streaming	Rotated Config.	Center Pin	Edge Pin
Base Calculation		1.00934	1.0100	1.0113	1.00875	1.01062
Corrections	Energy Group	0.00084	0.00084	0.00084	0.00071	0.00054
	Mesh	-0.00390	-0.00390	-0.00390	-0.00398	-0.00390
	Transport	0.01395	0.01395	0.01395	0.01344	0.01325
Corrected (C)		1.02023	1.02089	1.0222	1.01892	1.02051
Experiment (E)		1.00052	1.0013	1.0016	1.00086	1.00119
C/E		1.0197	1.0196	1.0206	1.0180	1.0193

Table 5.3.2-2 Results of Pin Zone Substitution Worth
Analysis in ZPPR-12

Substitution Case	Center Pin	Edge Pin
k_{eff} (Pin Config.)	1.00646	1.00918
k_{eff} (Plate Config.)	1.00483	1.00856
Calculation Worth { (%Δk/kk') (¢)	0.161 49.0	0.061 18.5
Experiment (¢)	67.27	-0.93
C - E { (%Δk/kk') (¢)	-0.060 -18.3	0.063 19.4
C/E	0.73	—

* $\beta_{eff} = 0.003289$

Table 5.3.2-3 ZPPR-12 Pin-Plate Cell Heterogeneous Effect(1)

SUMMATION OF REGIONS BY ENERGY GROUP

GROUP	FISSION	CAPTURE	SCATTERING	D + D2	NON-LEAKAGE	X(R)-LEAK	Y(Z)-LEAK	Z(3)-LEAK	LEAKAGE	(DEL K/K)IG
1	-6.78896E-04	-2.40060E-05	-6.81779E-05	0.0	-7.71080E-04	9.40602E-08	3.22874E-06	5.50503E-06	8.82783E-06	-7.62252E-04
2	-1.69426E-03	-1.88708E-05	1.22212E-04	0.0	-1.59092E-03	4.22876E-07	1.25144E-05	2.14660E-05	3.44033E-05	-1.55652E-03
3	-2.34453E-03	1.24728E-05	2.63292E-04	0.0	-2.06876E-03	1.32832E-06	3.08921E-05	5.24050E-05	8.46254E-05	-1.98414E-03
4	-1.87230E-03	5.04036E-05	1.77079E-04	0.0	-1.64482E-03	2.15475E-06	4.31884E-05	7.22165E-05	1.17560E-04	-1.52726E-03
5	-1.25472E-03	1.07901E-04	3.64735E-05	0.0	-1.11034E-03	2.99520E-06	4.97477E-05	8.04465E-05	1.33190E-04	-9.77154E-04
6	-1.04257E-03	1.20817E-04	-1.24603E-05	0.0	-9.34213E-04	7.02683E-06	8.91809E-05	1.40424E-04	2.36631E-04	-6.97582E-04
7	-3.75307E-04	5.51139E-05	1.85523E-06	0.0	-3.18338E-04	1.25496E-05	1.38092E-04	2.07610E-04	3.58250E-04	-3.99126E-05
8	2.18082E-04	-4.84447E-05	-1.76961E-07	0.0	1.69461E-04	1.04288E-05	1.16295E-04	1.76013E-04	3.02736E-04	4.72196E-04
9	2.23425E-04	-8.04352E-05	-3.69023E-06	0.0	1.39300E-04	7.61971E-06	6.64540E-05	1.01680E-04	1.75754E-04	3.15053E-04
10	2.49660E-04	-2.44396E-04	4.19826E-07	0.0	5.68434E-06	6.36913E-06	4.27010E-05	6.84419E-05	1.17512E-04	1.23196E-04
11	2.82465E-04	-3.15742E-04	1.73844E-06	0.0	-3.15308E-05	2.99242E-06	1.55655E-05	2.47000E-05	4.32579E-05	1.17191E-05
12	3.02525E-04	-4.37629E-04	-1.96562E-06	0.0	-1.37070E-04	1.12118E-06	3.92392E-06	4.21696E-06	9.26207E-06	-1.27808E-04
13	2.60557E-04	-5.60852E-04	-7.73232E-06	0.0	-3.08028E-04	4.04060E-07	6.12405E-07	-3.97240E-06	-2.95593E-06	-3.10984E-04
14	1.02255E-03	-1.20118E-03	1.58833E-06	0.0	-1.77040E-04	7.99756E-07	1.99707E-06	9.74998E-06	1.25476E-05	-1.64492E-04
15	6.34874E-04	-7.49318E-04	-7.60207E-07	0.0	-1.15204E-04	2.37106E-07	5.55894E-07	-5.85190E-07	2.07809E-07	-1.14996E-04
16	2.83939E-04	-3.35977E-04	-5.77196E-07	0.0	-5.26151E-05	-9.43063E-08	-5.76136E-07	-4.01359E-06	-4.68403E-06	-5.72992E-05
17	8.47157E-05	-9.93937E-05	7.07469E-07	0.0	-1.39706E-05	-1.58715E-07	-6.85033E-07	-3.73586E-06	-4.57961E-06	-1.85502E-05
18	3.55930E-05	-3.63522E-05	-2.52306E-10	0.0	-7.59466E-07	-8.39140E-08	-3.64336E-07	-2.80279E-06	-3.25104E-06	-4.01050E-06
SUM	-5.66417E-03	-3.80588E-03	5.09823E-04	0.0	-8.96023E-03	5.62060E-05	6.13323E-04	9.49762E-04	1.61929E-03	-7.34093E-03

200

SUMMATION OF ENERGY GROUP BY REGION

REGION NUMBER	(DEL K/K)I	REGION NUMBER	(DEL K/K)I	REGION NUMBER	(DEL K/K)I
1	-2.07167E-03	2	-1.92005E-03	4	-1.37536E-03
5	-1.25585E-03	7	-3.96381E-04	8	-3.20830E-04

TOTAL(SUMMATION OF REGION)

$$(DEL K/K) = -7.34094E-03$$

***** NORMAL CALCULATION END *****

1) $\Delta\Sigma=\Sigma$ Homo- Σ plate stretch $\Delta k = -9.3 \times 10^{-3}$ (direct kによる計算値)

Table 5.3.2-4 ZPPR-12 Pin-Plate Cell Hetcrogeneous Effect(2)

SUMMATION OF REGIONS BY ENERGY GROUP

GROUP	FISSION	CAPTURE	SCATTERING	D * B2	NON-LEAKAGE	X(R)-LEAK	Y(Z)-LEAK	Z(3)-LEAK	LEAKAGE (DEL K/K)IG
1	-2.50419E-03	2.38772E-03	-2.10425E-05	0.0	-1.37509E-04	-4.26047E-07	-4.22588E-07	9.98801E-07	1.50166E-07 -1.37359E-04
2	-6.81316E-03	6.53891E-03	-2.29005E-06	0.0	-2.76557E-04	-1.30427E-06	-1.29459E-06	3.79163E-06	1.19276E-06 -2.75365E-04
3	-1.66794E-02	1.62478E-02	1.47211E-05	0.0	-4.16906E-04	-5.95636E-07	-5.94630E-07	1.14419E-05	1.02516E-05 -4.06654E-04
4	-1.97972E-02	1.95762E-02	8.90195E-08	0.0	-2.20946E-04	4.02197E-06	3.98437E-06	1.96332E-05	2.76395E-05 -1.93306E-04
5	-1.34767E-02	1.33733E-02	-1.02825E-05	0.0	-1.13715E-04	8.70718E-06	8.62938E-06	2.46213E-05	4.19579E-05 -7.17573E-05
6	-2.46743E-02	2.46204E-02	-2.84828E-05	0.0	-8.22864E-05	2.83879E-05	2.81301E-05	5.80316E-05	1.14550E-04 3.22633E-05
7	-2.42520E-02	2.41390E-02	-3.80267E-05	0.0	-1.50998E-04	3.98788E-05	3.95211E-05	6.46397E-05	1.44040E-04 -6.95893E-06
8	-2.16045E-02	2.15515E-02	-2.18475E-05	0.0	-7.48283E-05	3.14468E-05	3.11740E-05	4.65236E-05	1.09145E-04 3.43163E-05
9	-1.58476E-02	1.57871E-02	-5.83769E-06	0.0	-6.63264E-05	2.34098E-05	2.31809E-05	3.16850E-05	7.82758E-05 1.19495E-05
10	-1.08926E-02	1.08004E-02	7.44979E-06	0.0	-8.48026E-05	1.70598E-05	1.68963E-05	2.16041E-05	5.55603E-05 -2.92423E-05
11	-7.46587E-03	7.39547E-03	1.24962E-05	0.0	-5.79107E-05	2.62837E-06	2.59377E-06	3.40072E-06	8.62287E-06 -4.92878E-05
12	-4.49607E-03	4.40746E-03	4.34286E-06	0.0	-8.42633E-05	1.45067E-06	1.42589E-06	4.93551E-07	3.37012E-06 -8.08932E-05
13	-2.20182E-03	2.04560E-03	-3.94664E-06	0.0	-1.60161E-04	1.54468E-07	1.49979E-07	-2.37341E-06	-2.06896E-06 -1.62230E-04
14	-5.21173E-03	4.92817E-03	5.54377E-06	0.0	-2.78022E-04	7.30363E-07	7.12790E-07	2.78796E-06	4.23111E-06 -2.73791E-04
15	-2.85168E-03	2.76301E-03	3.80231E-07	0.0	-8.82925E-05	1.75296E-07	1.69726E-07	-4.20884E-07	-7.58616E-08 -8.83684E-05
16	-7.72810E-04	7.27996E-04	1.57813E-07	0.0	-4.46566E-05	-1.02296E-07	-1.06209E-07	-1.32868E-06	-1.53718E-06 -4.61938E-05
17	-2.00690E-04	1.94354E-04	4.47444E-07	0.0	-5.88811E-06	-7.99166E-08	-8.15717E-08	-7.17453E-07	-8.78941E-07 -6.76705E-06
18	-7.69366E-05	7.58017E-05	-3.63067E-10	0.0	-1.13526E-06	-4.57712E-08	-4.67849E-08	-6.24359E-07	-7.16915E-07 -1.85218E-06
SUM	-1.79819E-01	1.77560E-01	-8.61284E-05	0.0	-2.34520E-03	1.55497E-04	1.54022E-04	2.84187E-04	5.93706E-04 -1.75149E-03

-201-

SUMMATION OF ENERGY GROUP BY REGION

REGION NUMBER	(DEL K/K)I	REGION NUMBER	(DEL K/K)I	REGION NUMBER	(DEL K/K)I
1	-6.34108E-04	2	-5.76525E-04	4	-4.22828E-04
5	-3.76085E-04	7	1.16953E-04	8	1.41101E-04

TOTAL(SUMMATION OF REGION)

(DEL K/K) = -1.75149E-03

***** NORMAL CALCULATION END *****

(Pin homo - Pin hetero) Center Pin Zone

Table 5.3.2-5 Pin-Plate Cell Heterogeneous Effect(3)

SUMMATION OF REGIONS BY ENERGY GROUP

GROUP	FISSION	CAPTURE	SCATTERING	D * B2	NON-LEAKAGE	X(R)-LEAK	Y(Z)-LEAK	Z(3)-LEAK	LEAKAGE	(DEL K/K)
1	-3.90783E-03	3.04662E-03	-7.02795E-05	0.0	-9.31483E-04	2.82287E-07	3.84119E-06	6.55871E-06	1.06822E-05	-9.20801E-01
2	-1.02565E-02	8.14457E-03	1.70106E-04	0.0	-1.94179E-03	1.26275E-06	1.54051E-05	2.64561E-05	4.31239E-05	-1.89866E-01
3	-2.22670E-02	1.92503E-02	3.69296E-04	0.0	-2.64743E-03	3.40567E-06	3.84231E-05	6.52230E-05	1.07052E-04	-2.54038E-01
4	-2.56193E-02	2.33414E-02	2.55471E-04	0.0	-2.02240E-03	6.40549E-06	6.07240E-05	1.01652E-04	1.68781E-04	-1.85362E-01
5	-1.75964E-02	1.61049E-02	5.81270E-05	0.0	-1.35330E-03	1.10367E-05	8.19202E-05	1.32502E-04	2.25459E-04	-1.12784E-01
6	-3.08538E-02	2.97127E-02	-2.50691E-05	0.0	-1.16624E-03	2.34011E-05	1.43694E-04	2.26358E-04	3.93453E-04	-7.72792E-01
7	-2.94021E-02	2.88714E-02	2.82716E-06	0.0	-5.27855E-04	3.64863E-05	2.11907E-04	3.21991E-04	5.70384E-04	4.25293E-01
8	-2.43848E-02	2.45724E-02	-3.96076E-07	0.0	1.87254E-04	3.02130E-05	1.63023E-04	2.46581E-04	4.39817E-04	6.27070E-01
9	-1.76708E-02	1.78024E-02	-6.09969E-06	0.0	1.25441E-04	2.05576E-05	9.41302E-05	1.43371E-04	2.58058E-04	3.83499E-01
10	-1.15956E-02	1.16049E-02	8.98296E-08	0.0	9.38862E-06	1.27023E-05	5.41515E-05	8.51421E-05	1.51996E-04	1.61385E-01
11	-7.67517E-03	7.63369E-03	4.51274E-06	0.0	-3.69632E-05	4.92085E-06	1.77094E-05	2.78181E-05	5.04483E-05	1.34851E-01
12	-4.45025E-03	4.28571E-03	-2.78148E-06	0.0	-1.67322E-04	1.20953E-06	3.80481E-06	4.03313E-06	9.04747E-06	-1.58275E-01
13	-2.11139E-03	1.73753E-03	-9.86989E-06	0.0	-3.83731E-04	6.75701E-07	8.57338E-07	-5.11369E-06	-3.58065E-06	-3.87312E-01
14	-4.10579E-03	3.97331E-03	7.08274E-06	0.0	-1.25389E-04	1.70529E-06	3.63079E-06	1.31613E-05	1.84973E-05	-1.06892E-01
15	-2.32543E-03	2.20859E-03	5.04498E-08	0.0	-1.16790E-04	4.06112E-07	6.65892E-07	4.03640E-07	1.47564E-06	-1.15315E-01
16	-5.67506E-04	5.13638E-04	9.31248E-08	0.0	-5.37761E-05	-9.56264E-08	-5.25048E-07	-3.99826E-06	-4.61894E-06	-5.83950E-01
17	-1.61215E-04	1.44942E-04	1.28808E-06	0.0	-1.49847E-05	-2.11994E-07	-7.21117E-07	-4.38870E-06	-5.32181E-06	-2.03065E-01
18	-6.87040E-05	6.84567E-05	-1.47107E-09	0.0	-2.48727E-07	-1.14452E-07	-3.80730E-07	-3.34355E-06	-3.83873E-06	-4.08746E-01
SUM	-2.15019E-01	2.03097E-01	7.54445E-04	0.0	-1.11676E-02	1.54249E-04	8.92259E-04	1.38440E-03	2.43091E-03	-8.73668E-01

-1202-

SUMMATION OF ENERGY GROUP BY REGION

REGION NUMBER	(DEL K/K)I	REGION NUMBER	(DEL K/K)I	REGION NUMBER	(DEL K/K)I
1	-2.56353E-03	2	-2.30584E-03	4	-1.67310E-03
5	-1.47408E-03	7	-4.20190E-04	8	-2.99957E-04

TOTAL(SUMMATION OF REGION)

(DEL K/K) = -8.73670E-03

***** NORMAL CALCULATION END *****

Enhanced streaming cell

 Σ homo - Σ hetero ϕ, ϕ^* Enhanced streaming cell

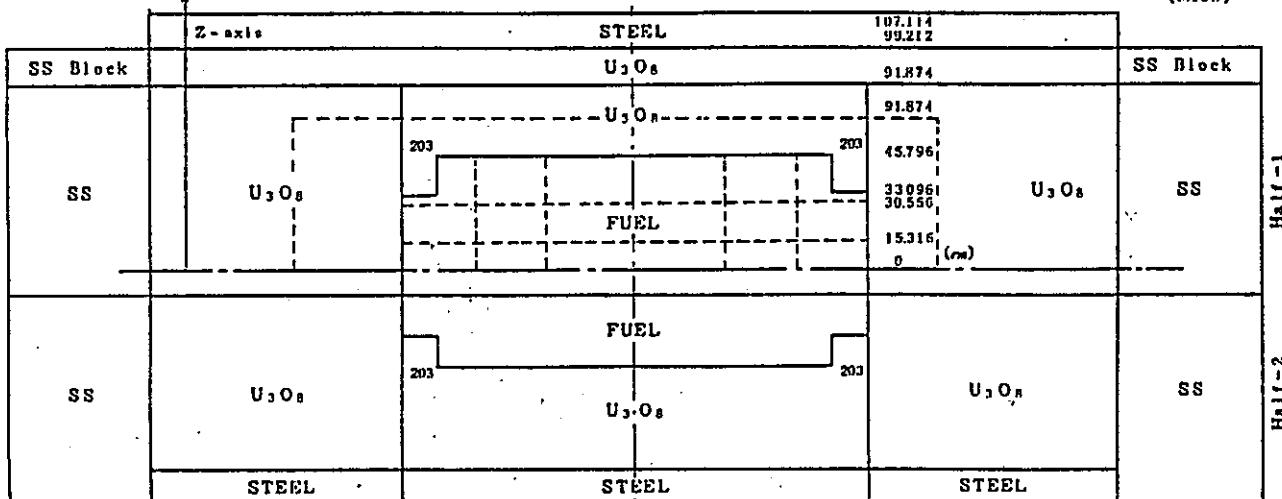
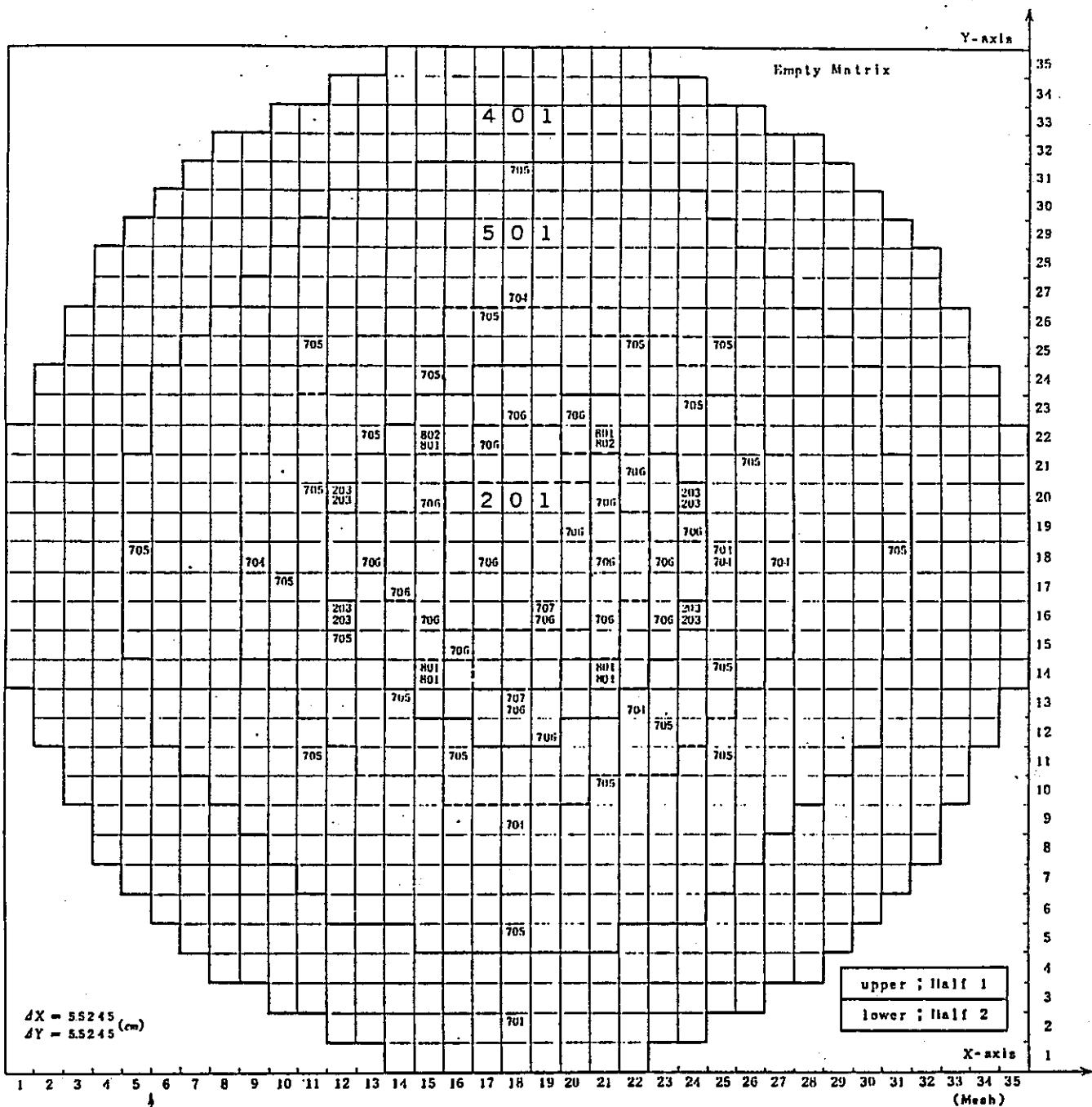


Fig 5.3.2-1 Calculation Model (XYZ) of the ZPPR-12 Critical Reference

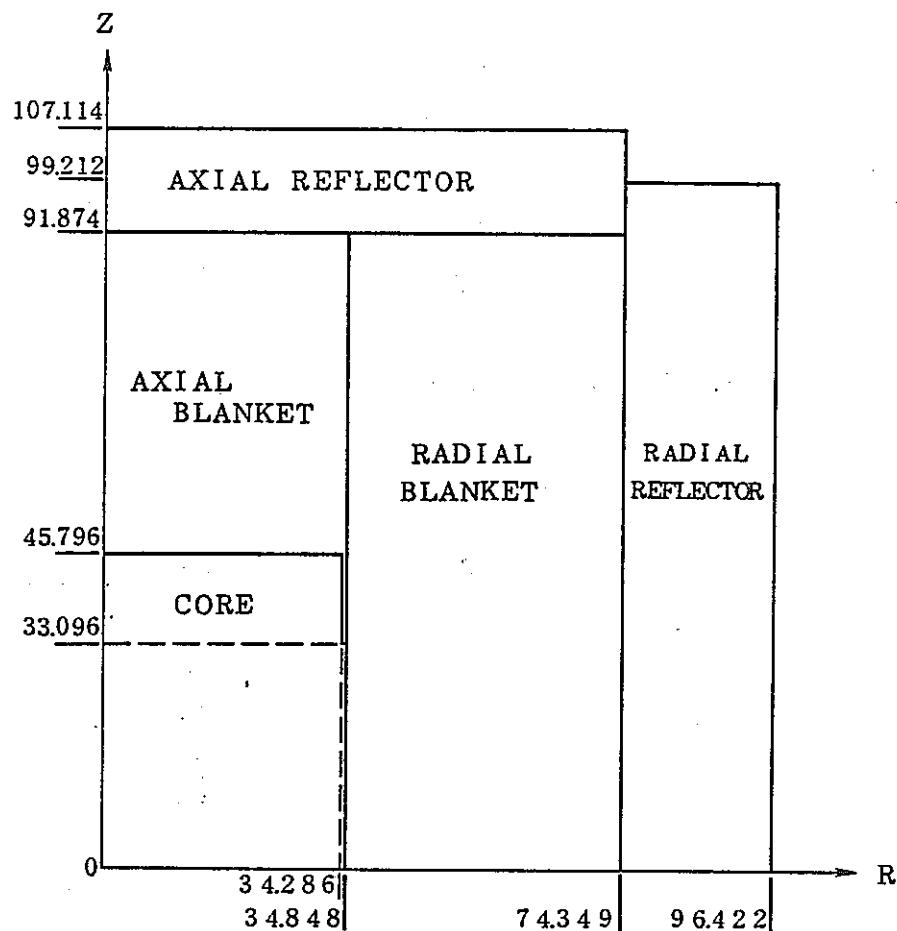
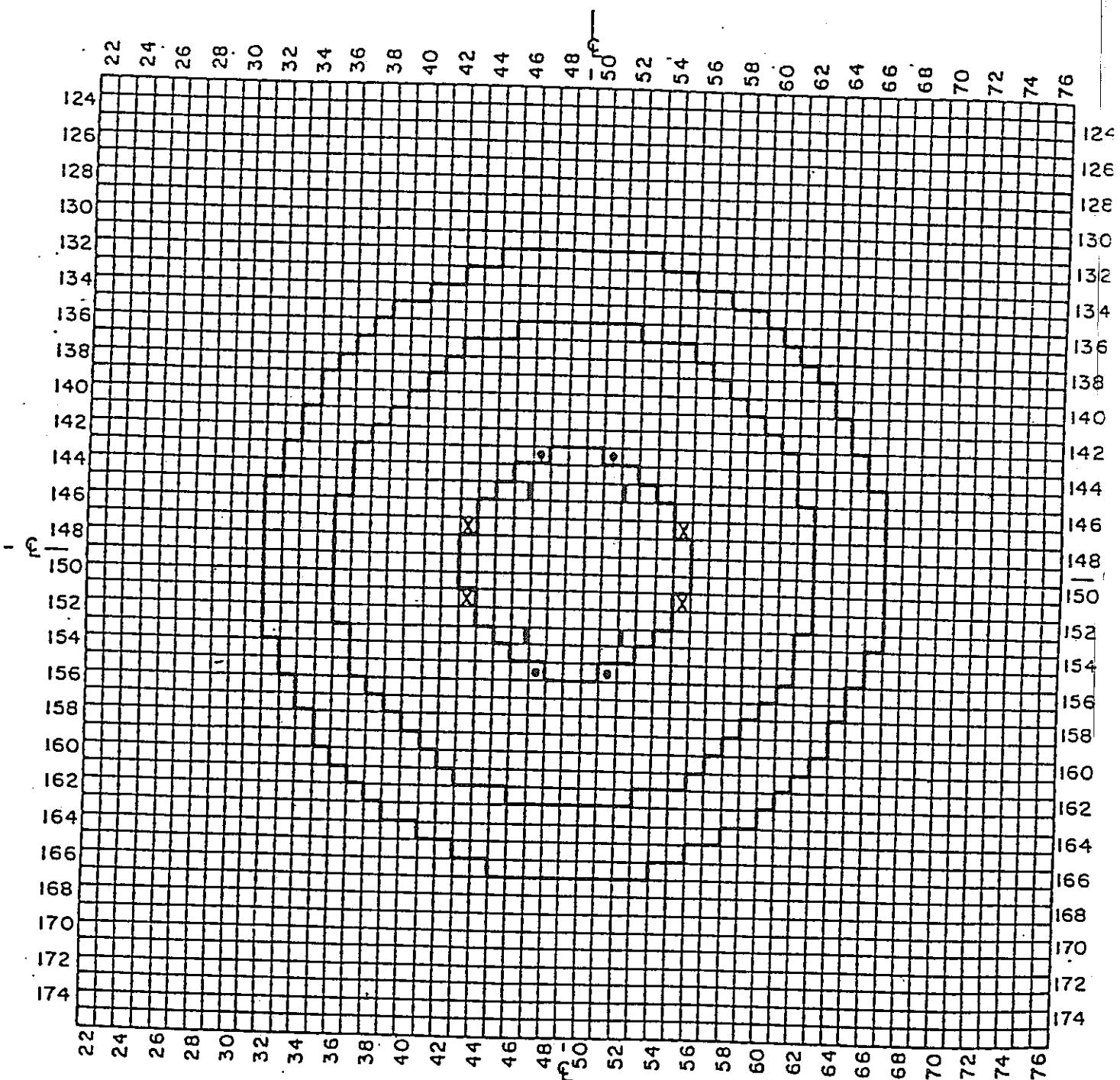


Fig. 5.3.2-2 RZ Model of ZPPR-12 Critical Reference



X a. + 11 in. fuel length in subcritical reference
 b. + 7 in. fuel length in critical configuration

o a. Blanket in subcritical reference
 b. + 7 in. fuel length in critical configuration

Fig. 5.3.2-3 ZPPR-12 Enhanced Streaming Reference

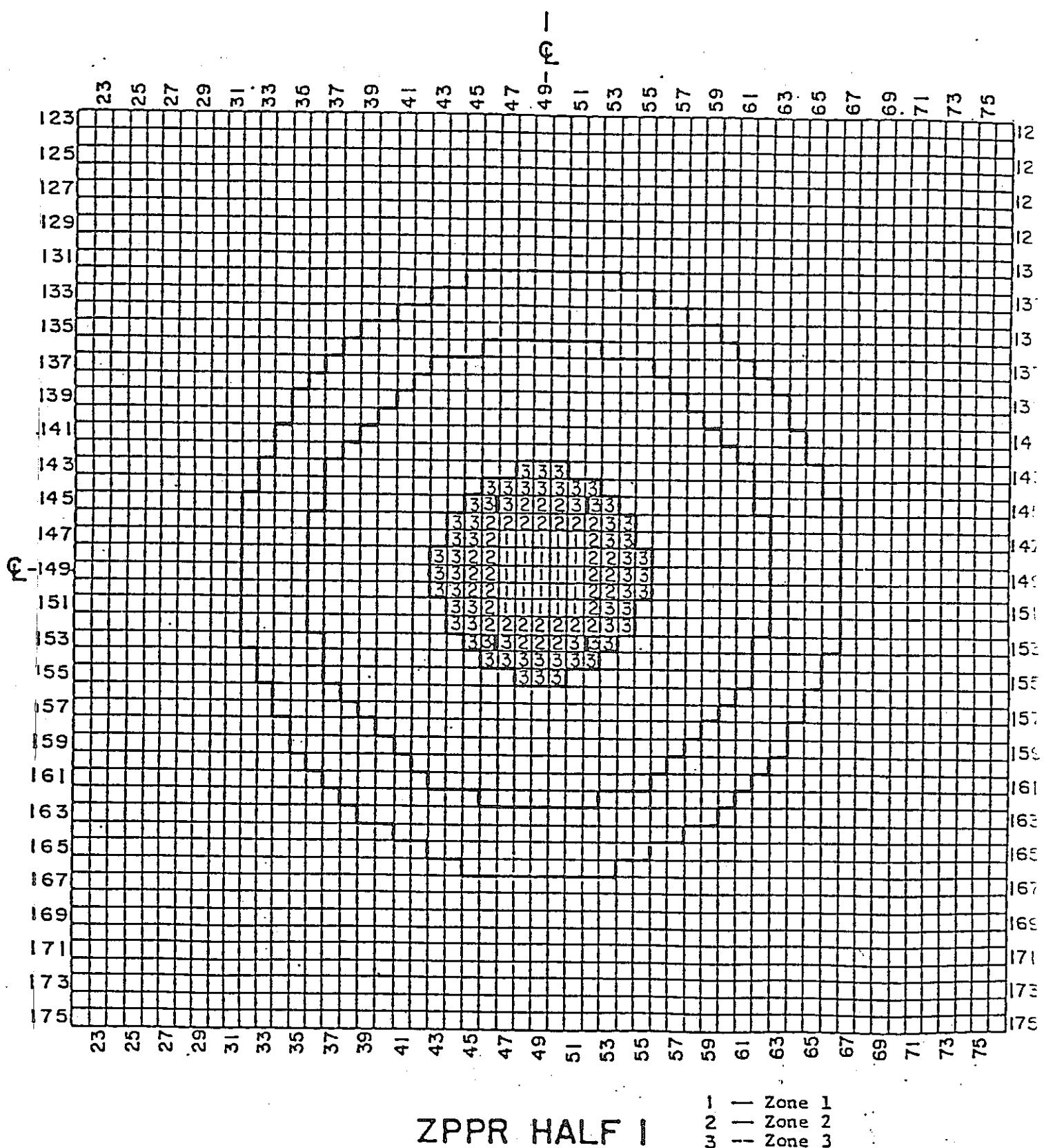


Fig. 5.3.2-4 ZPPR-12 Cell Rearrangement Zones

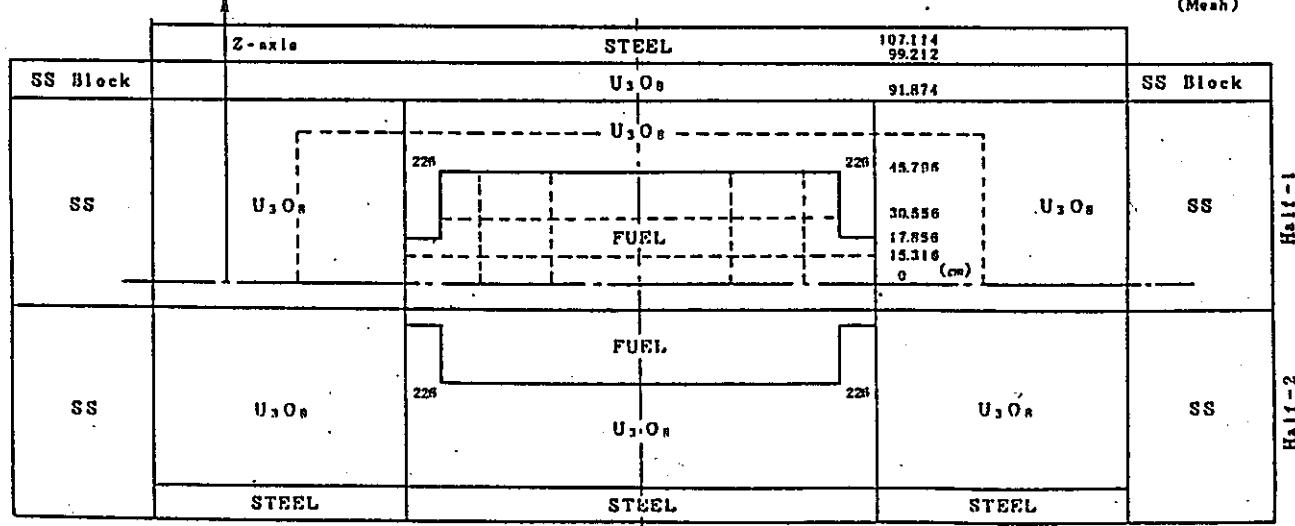
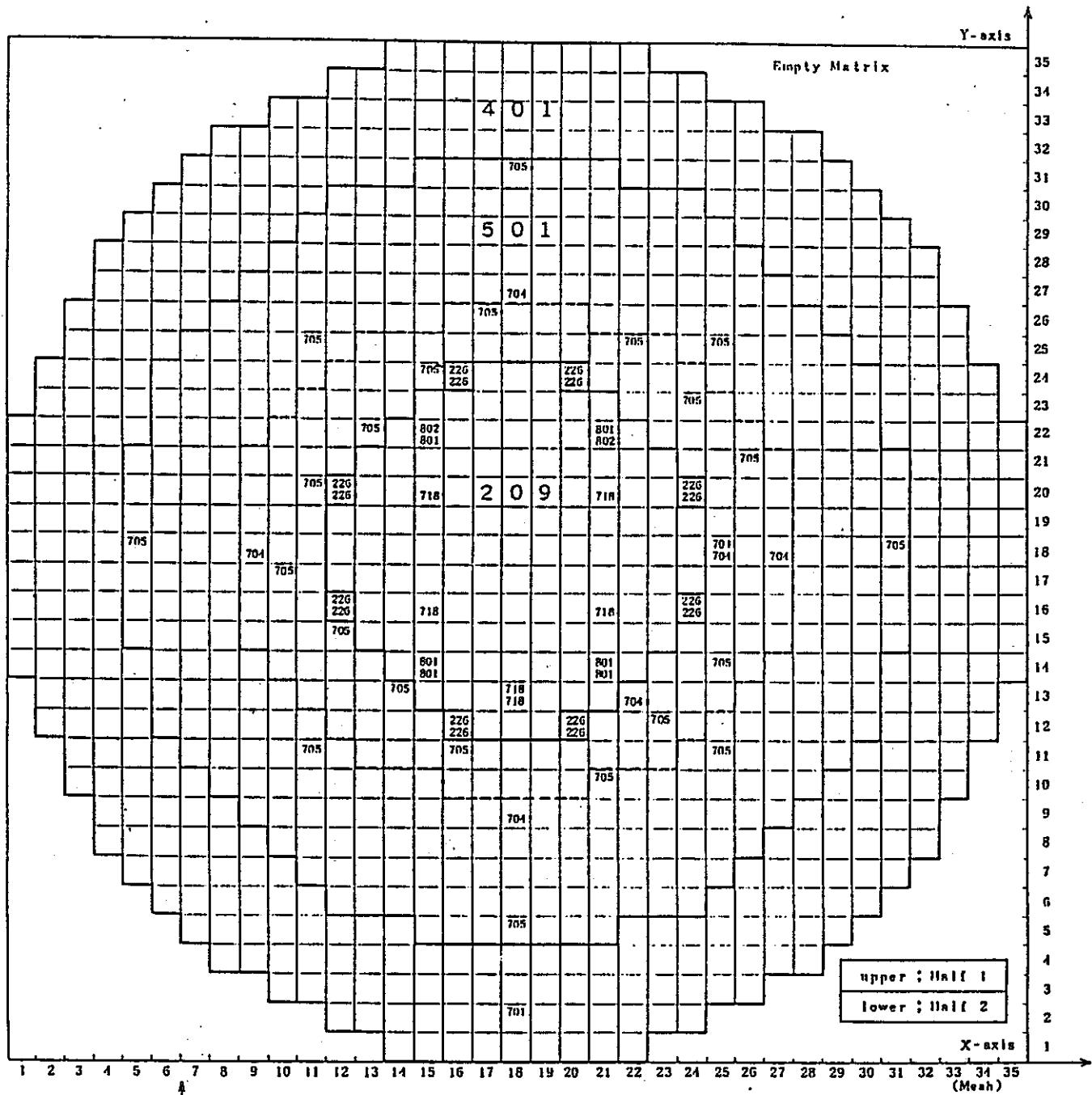
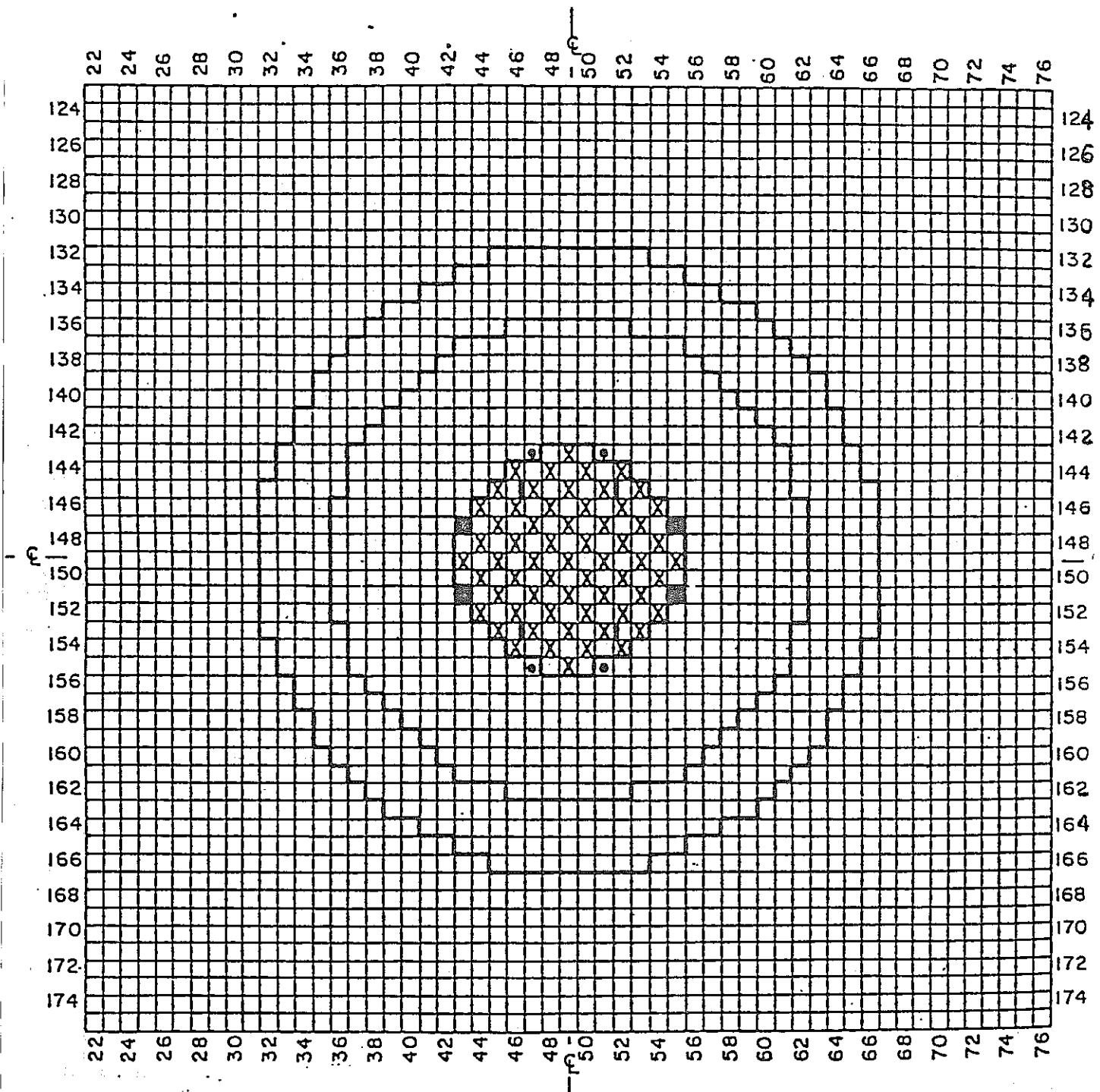


Fig. 5.3.2-5 Calculation Model (XYZ) of Enhanced Streaming Configuration



X Drawer contents rotated 90°

■ a. + 8 in. fuel length in subcritical reference
 b. + 8 in. fuel length in critical configuration

e a. + 5 in. fuel length in subcritical reference
 b. + 8 in. fuel length in critical configuration

Fig. 5.3.2-6 ZPPR-12 Rotated Drawer Configuration

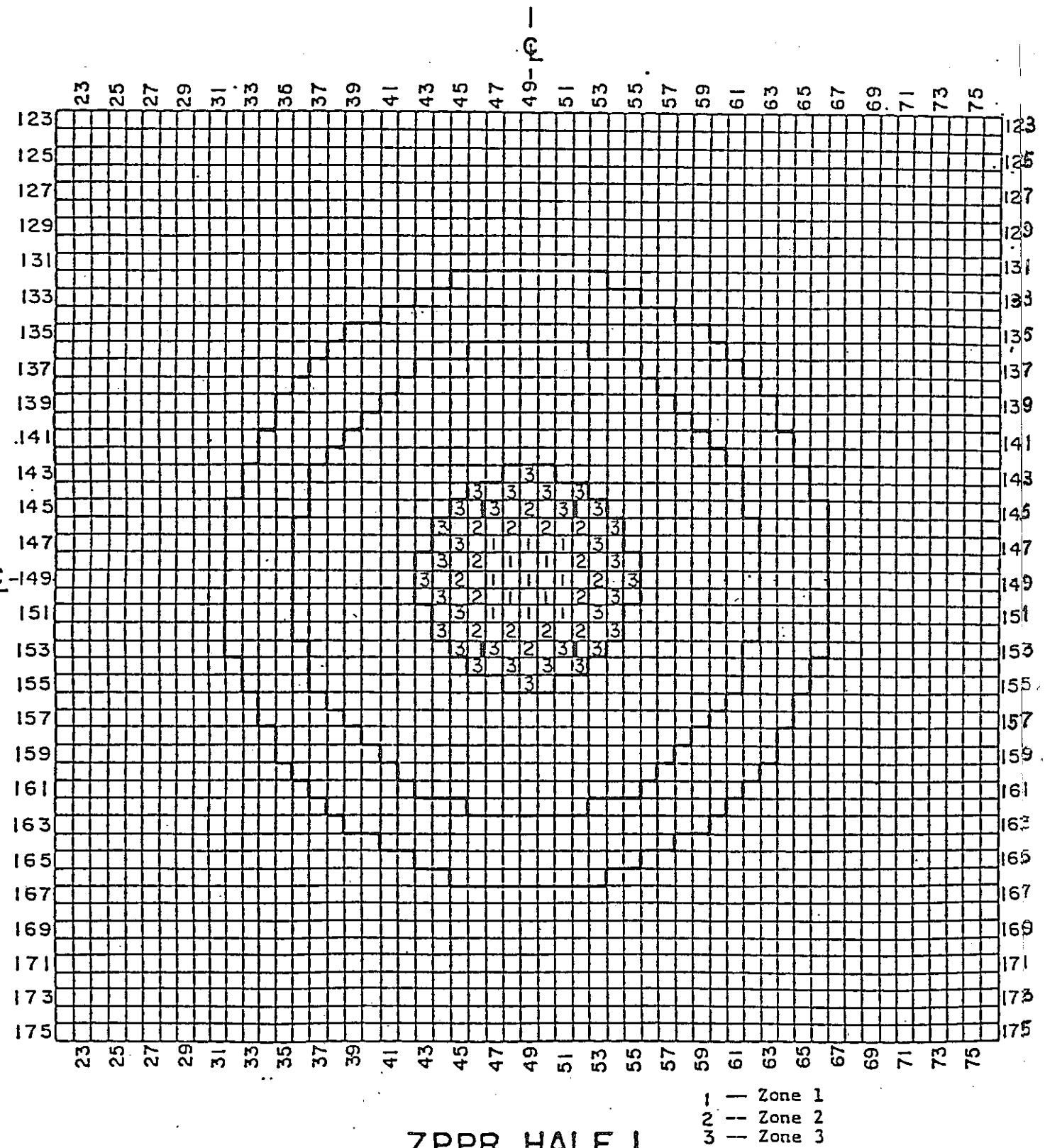


Fig. 5.3.2-7 ZPPR-12 Drawer Rotation Zones

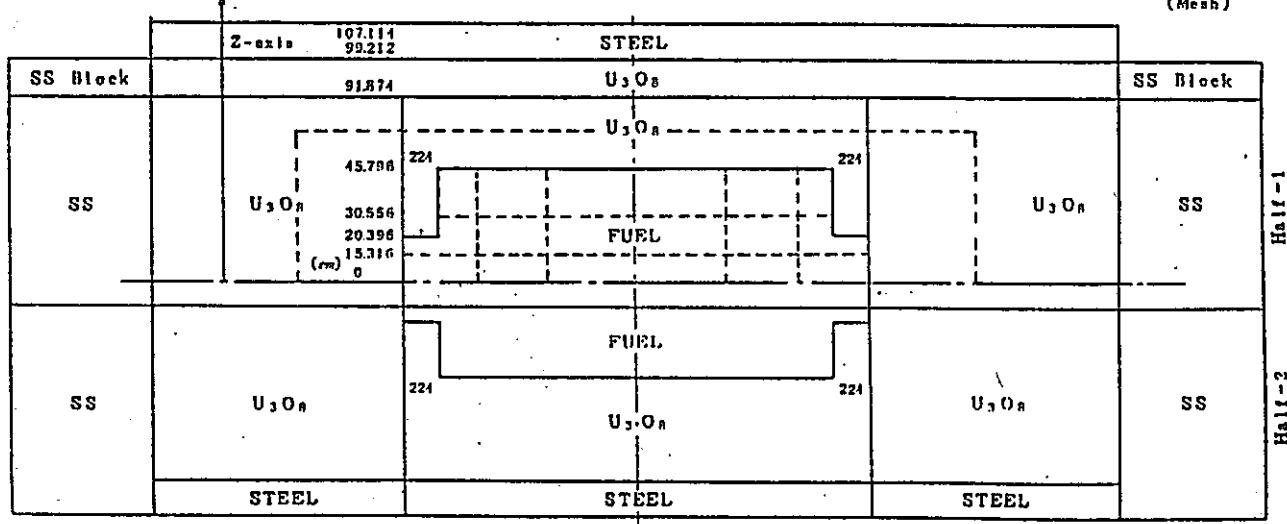
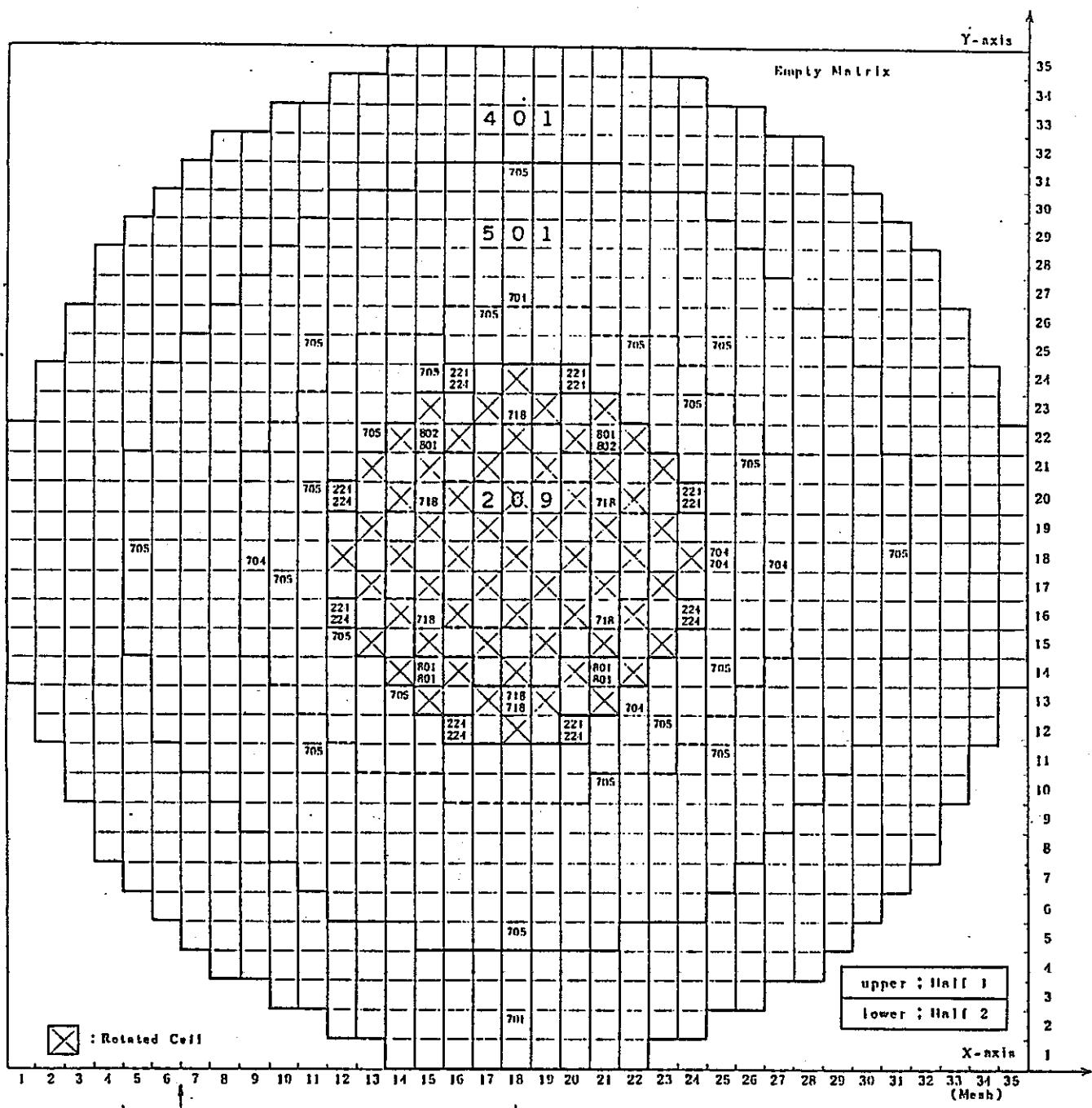
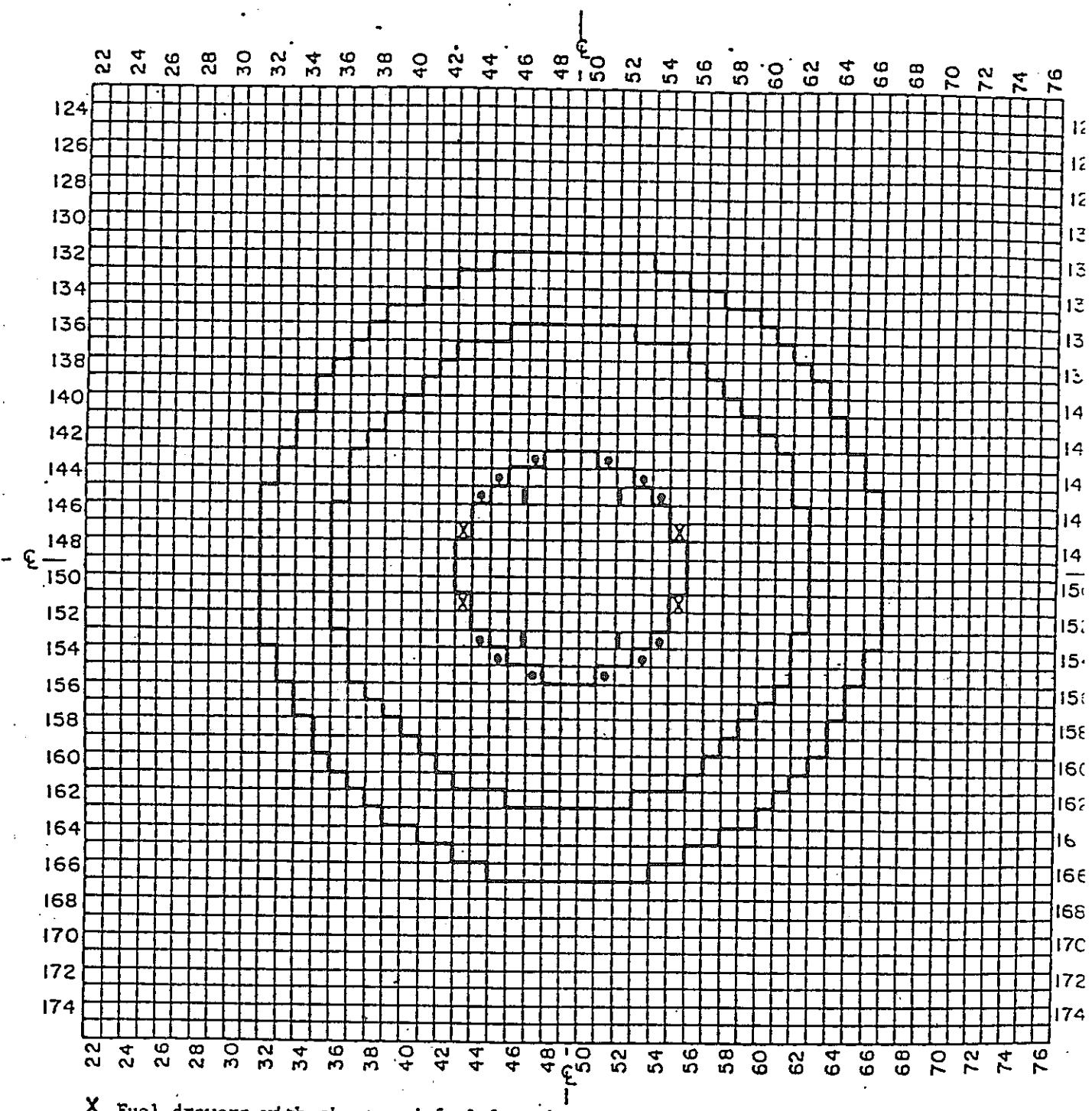
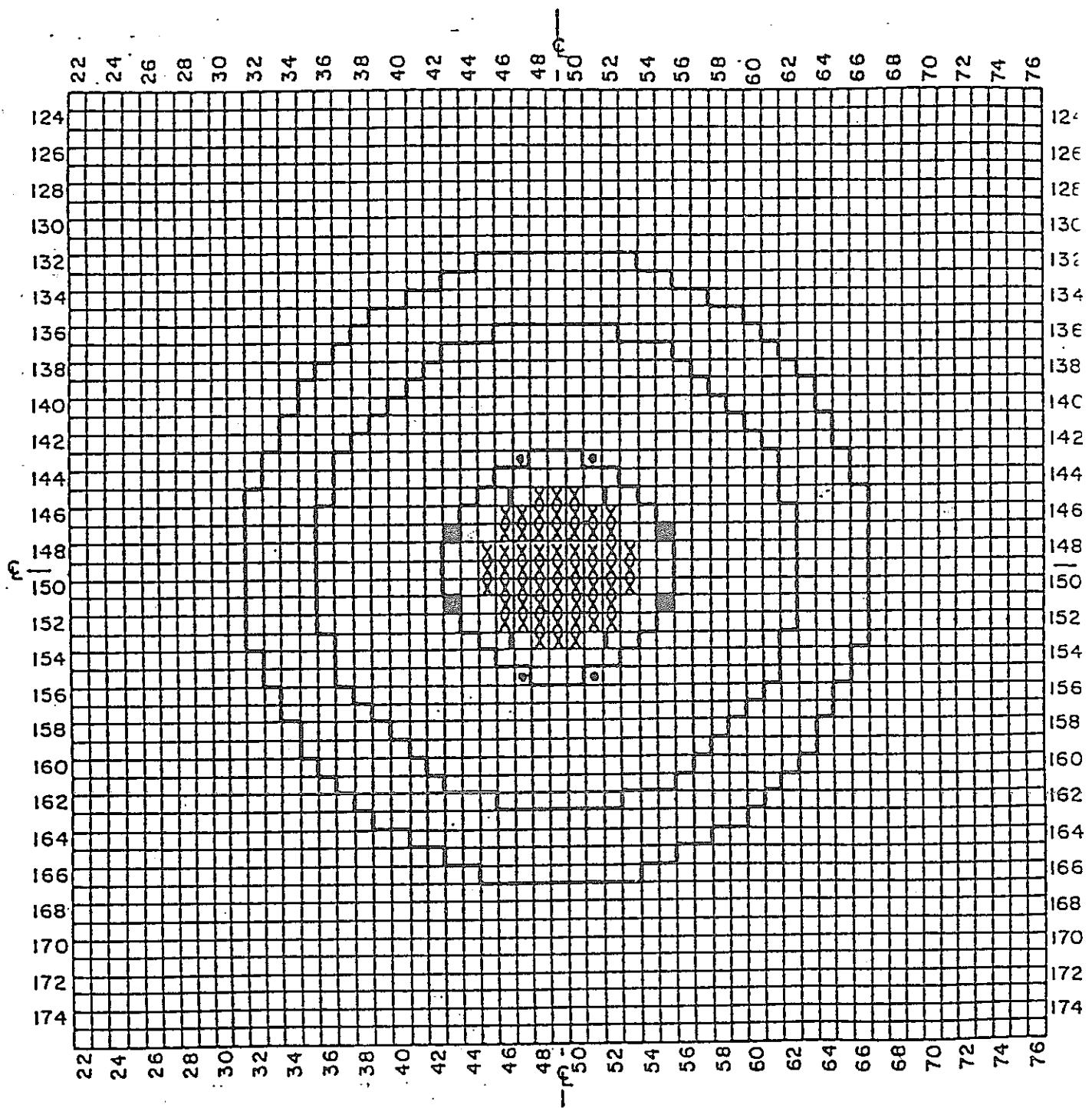


Fig. 5.3.2-8 Calculation Model (XYZ) of Rotated Drawer Configuration



- X** Fuel drawers with shortened fuel length
 - a. ± 4 in. subcritical reference
 - b. ± 10 in. critical reference
- *** Additional full length (± 18 in.) fuel column

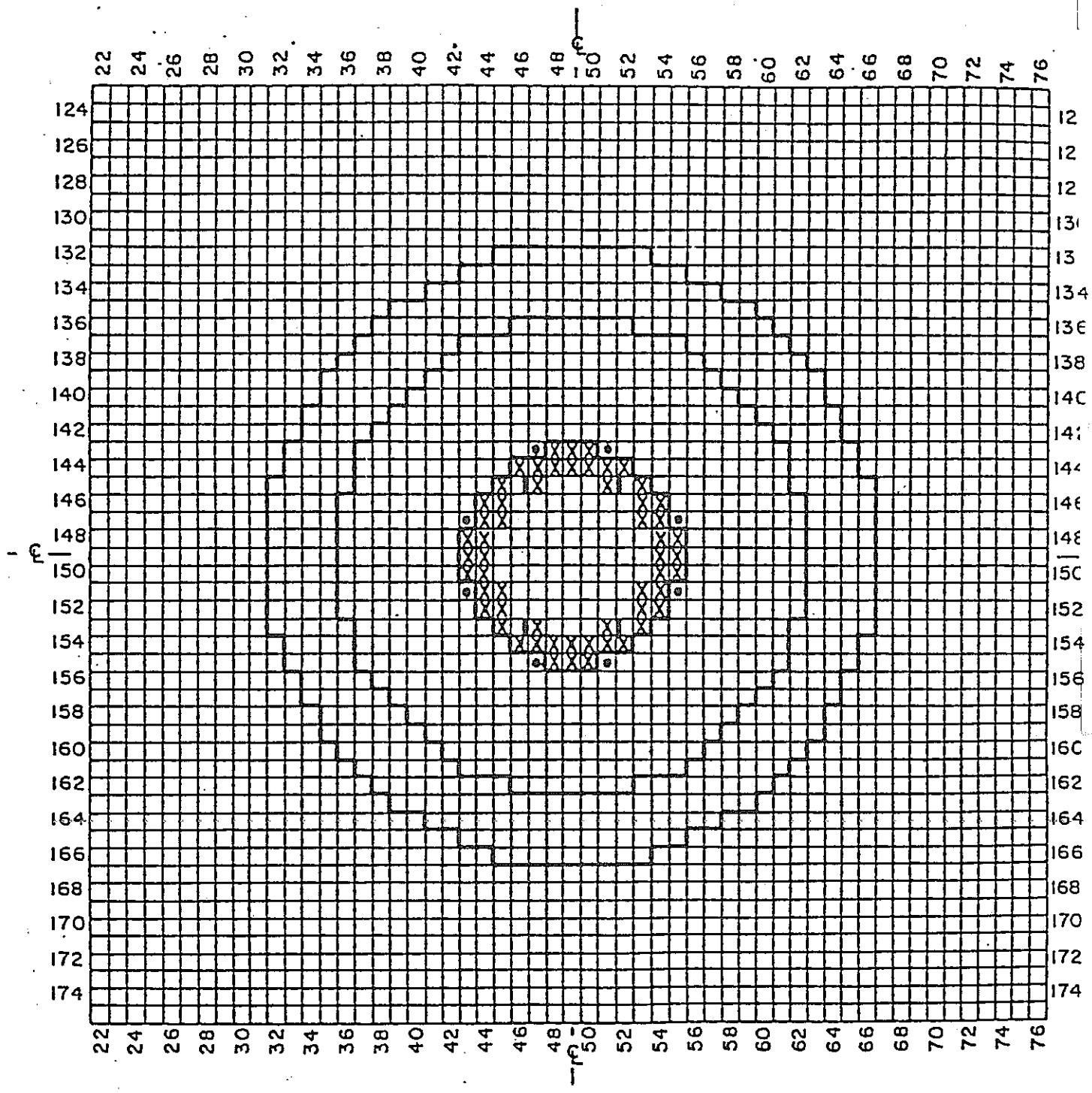
Fig. 5.3.2-9 ZPPR-12 Na Voided Reference



X Pin calandria

- a. + 6 in. fuel length in subcritical reference
- b. + 4 in. fuel length in critical configuration
- a. Blanket in subcritical reference
- b. + 4 in. fuel length in critical configuration

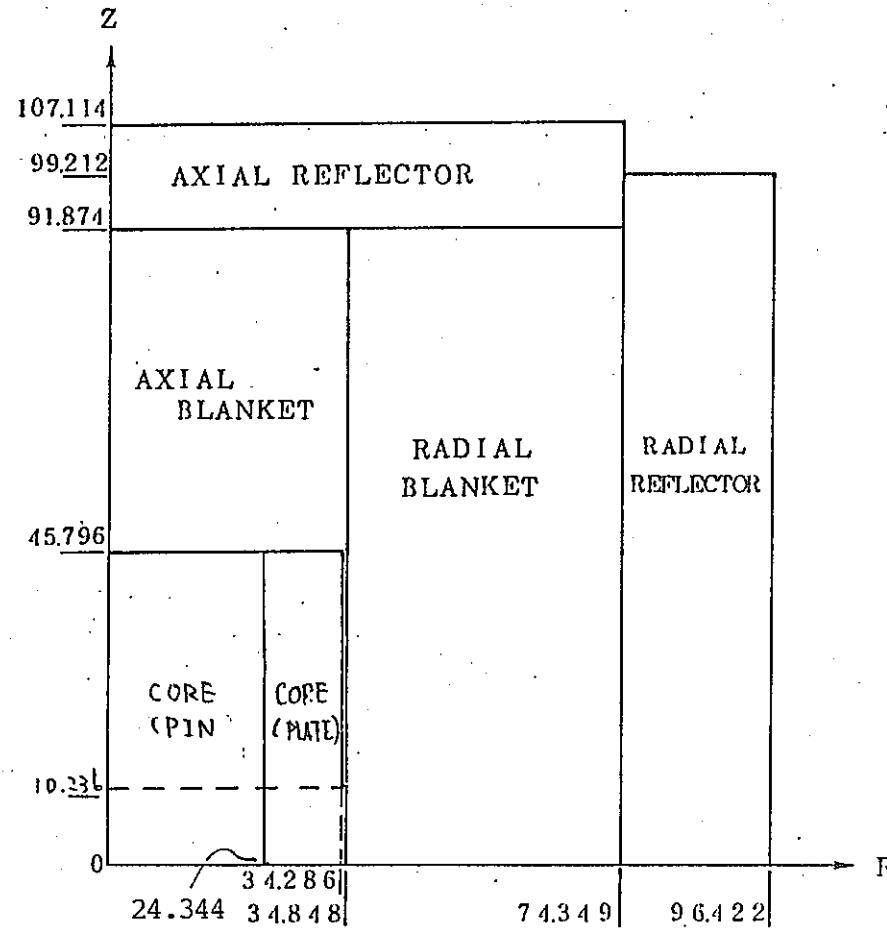
Fig. 5.3.2-10 ZPPR-12 Central Pin Zone Configuration



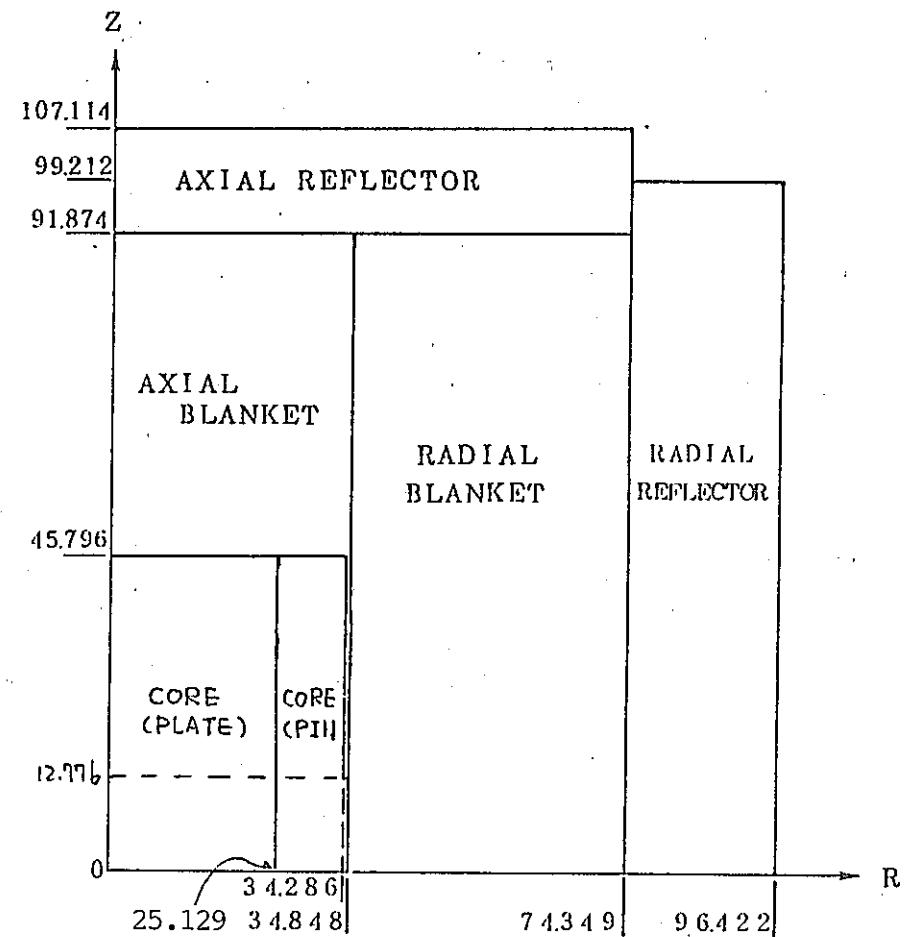
X Pin calandria

- a. + 5 in. fuel length in subcritical reference (plate loaded)
- b. + 6 in. fuel length in critical configuration (pin calandria)

Fig. 5.3.2-11 ZPPR-12 Edge Pin Zone Configuration



(a) Central Pin Zone



(b) Edge Pin Zone

Fig. 5.3.2-12 RZ Model of ZPPR-12 Critical Reference Pin Zone

$$\delta\Sigma = \Sigma(\text{center line model}) - \Sigma(\text{stretch model})$$

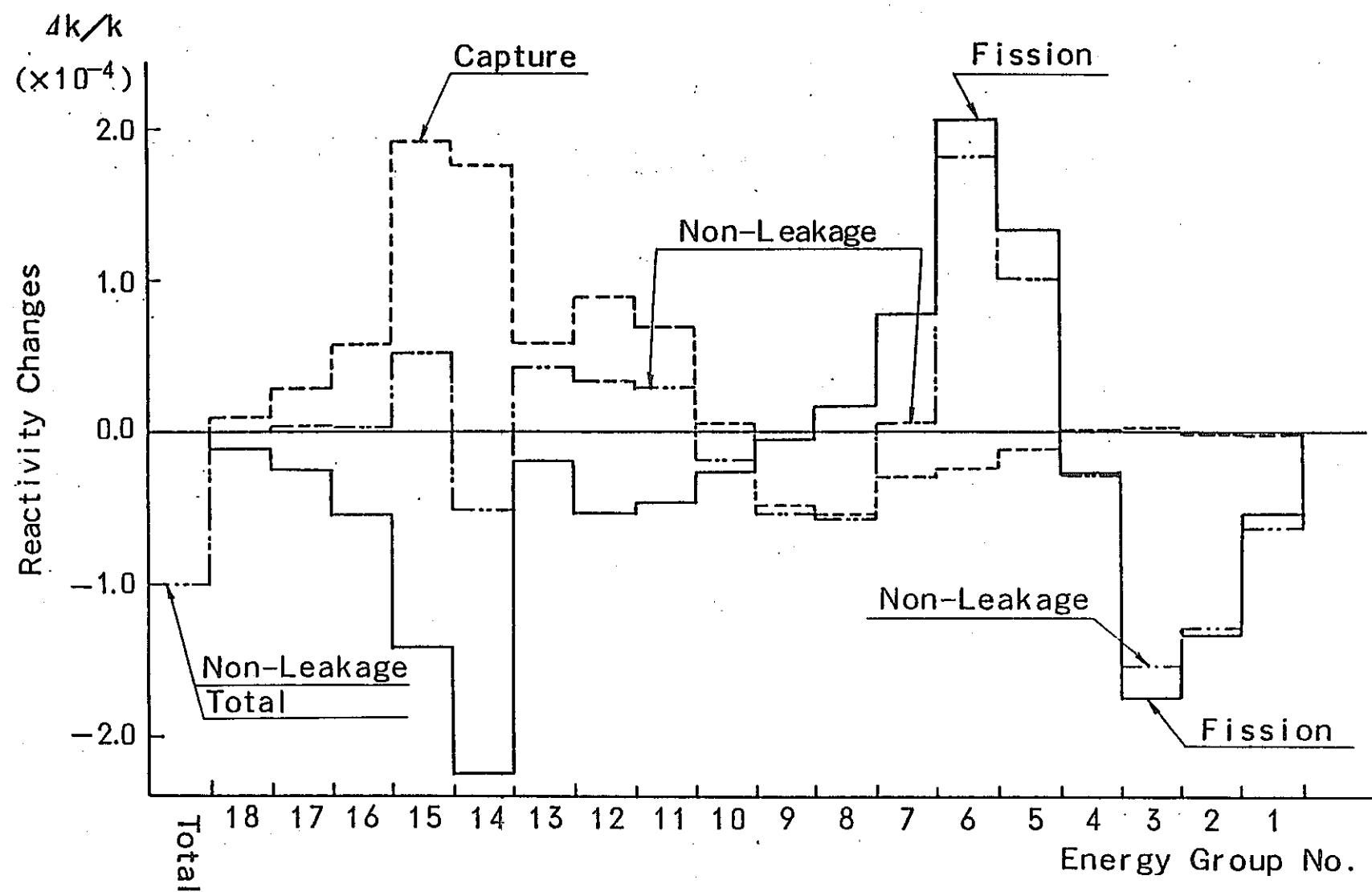


Fig. 5.3.2-13 Component-wise Contributions to Reactivity Change due to Difference in Cross Section Homogenization in Plate Cell (ZPPR-12)

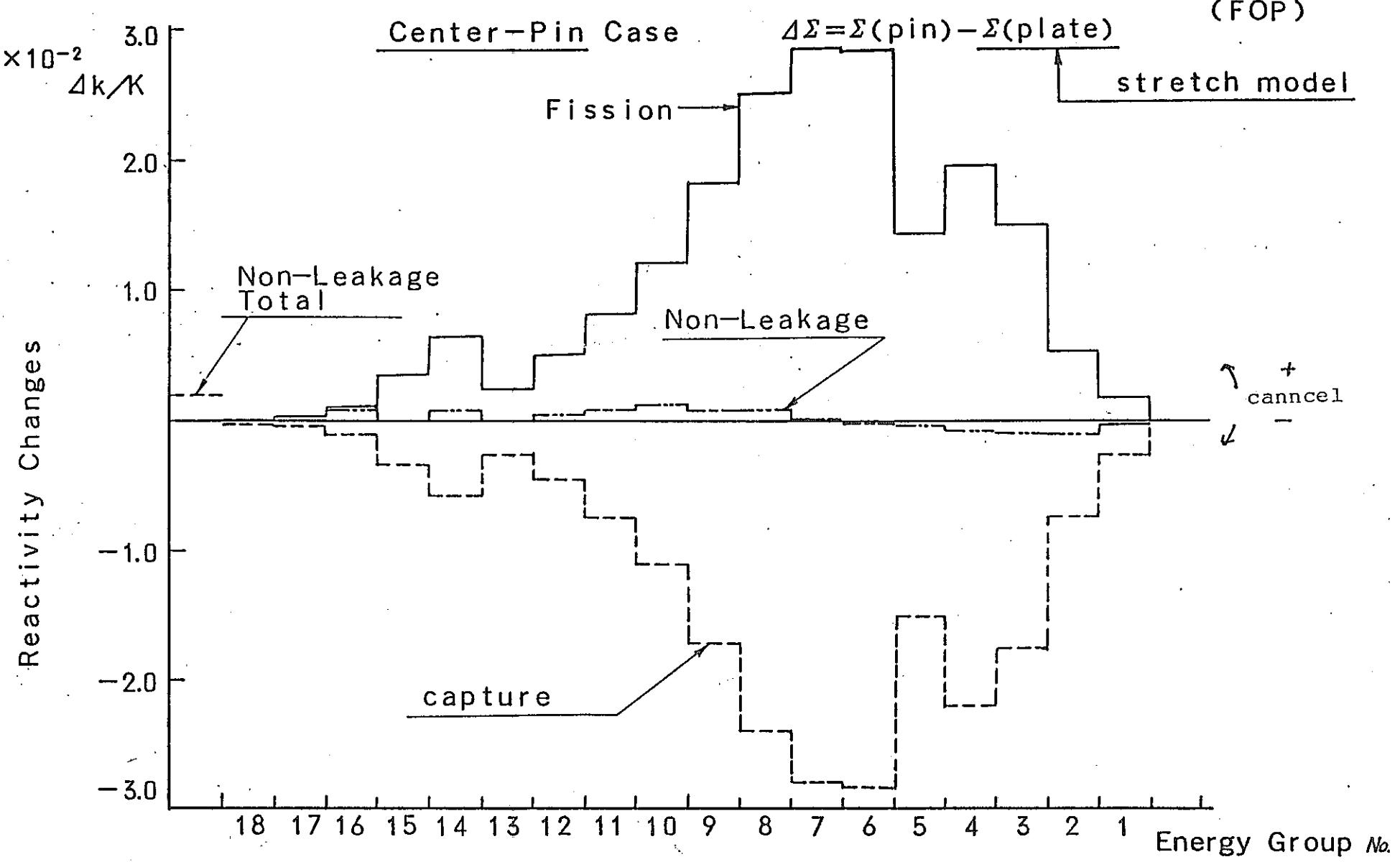


Fig. 5.3.2-14 Component-wise Contributions to Reactivity Change due to Pin-Plate Cell Cross Section Differences (ZPPR-12)

5.3.3 Naボイド反応度

(1) プレート体系

プレート体系のNaボイド実験 (Fig. 5.3.3-1, -2 参照) については、昨年¹⁾に引き続き、以下の検討を行った。

イ. $\beta_{eff.}$ の評価

ロ. セル定数の違いによるNaボイド反応度への影響

ハ. 摂動計算による反応度の比較

なお、参考までに、小型炉心 ZPPR-12と大型炉心ZPPR-9の炉中心の中性子スペクトル、随伴中性子スペクトルをFig.5.3.3-3, -4に示している。

イ. $\beta_{eff.}$ の評価

JUPITER-I, IIと同様の遅発中性子データを用いて、ZPPR-12臨界基準体系の $\beta_{eff.}$ を計算した。なお、評価条件の詳細は、第4.2節と同様である。

評価の結果は、以下の通りであった。

JUPITER SUB W/G	(参考 ANL)	JUPITER ANL
3.289×10^{-3}	3.173×10^{-3}	1.03

評価を行った $\beta_{eff.}$ は、ANL計算値に対して3%大きな値となり、JUPITER-I, IIと同様の系統性が見られるが、小型炉で随伴中性子束のエネルギー全部が平坦であるので、大型炉での差(3~5%)に比べやや小さくなっている。

この β_{eff} 値を用いたNaボイド反応度計算結果をTable 5.3.3-1に示す。

基準計算であるPlate stretchモデルの場合、9ステップ平均C/E値は、1.05となった。

ロ. セル定数の違いによるNaボイド反応度への影響

通常ドロワー及びNaボイドドロワーについて、以下のセル計算モデルによってそれぞれセル定数を作成し、Naボイド反応度への影響を比較した。

i Plate-stretch モデル (基準解析ケース)

ii Center-line モデル

iii Homoモデル

なお、いずれの場合も、70群から18群への縮約にはボイドを含まない臨界基準体系の2次元R Z 70群中性子束を用いた。

直接keff. によるNa ボイド反応度計算結果を、Table 5.3.3-1に示す。Center line モデルによる計算結果は、Plate-stretch モデルによる計算結果と比べて C/E値で 5%程度低い値となった。従来、JUPITER-I, II の各体系のNa ボイド反応度については C/E値が1.1程度と、計算値が過大評価する傾向にあったことを考慮すると、むしろ Plate stretch モデルの方が各ステップ間のバラツキも少なく、妥当な結果であると思われる。なお、Homo モデルは、セル非均質効果の影響を調べる目的で計算を行った。

ハ. 摂動計算による反応度の比較

Z P P R -12炉心は小型炉心であるため、体系からの中性子のものが大きく、Na ボイド反応度についても Fig. 5.3.3-1 に示すように Leakage成分の占める割合が大きい。従って、セル定数モデル間の比較をより詳細に行うためには、摂動計算を行い、反応度成分を調べる必要がある。そこで、以下の条件によって Na ボイド反応度の摂動計算を行った。

- 体 系 : 3次元XYZ
- エネルギ群数 : 18群
- 使用コード : PERKY

各反応度成分計算結果を、Table 5.3.3-2, Fig 5.3.3-5に示す。ただし、表中「Enhanced Streaming」として示したのは、セル定数作成法の比較検討の参考として、第5.2節に示したようなドロワ中央にNa プレートを集めた「Enhanced Streaming」セルについてNa ボイド反応度を計算したものである。

Table 5.3.3-2 の結果から、以下のことがわかる。

- i. Fission 項と Capture項は打ち消し合う傾向にあるが、セル定数作成モデル間の違いが一番大きいのがこれらの項である。
- ii. 特に Center line モデルにおいては、ボイド化に伴い Fission 項が負にならず、他のモデルと大きく異なっている。Center line モデルの non-leakage 項が大きいのは、この理由による。
- iii. Leakage 項は、各モデル間で大きな違いは見られない。ただし、Enhanced

Streaming セルの場合、Leakage 項は、10%~20%程度増大される。

次に、セルモデル間で最も違いが大きかった Fission 項、Capture 項については、各エネルギー群ごとの内訳を調べた。結果を Table 5.3.3-3 に示す。Plate-stretch モデルと Center line モデルが大きく異なるのは、Fission 項では 4 群~12 群 (2MeV~5keV) である。Center line モデルはこれらの群において、Fission 項を大きく評価する。逆に Capture 項については、同様のエネルギー領域において、Center line モデルは Capture 項を小さく評価することがわかる。

(2) ピン体系

ピン体系の Na ボイド実験 (Fig. 5.3.3-6~8 参照) については、昨年¹⁾に引き続き、以下の検討を行った。

イ. 摂動計算による反応度成分

plate 体系と同様の手法により、ピン体系のボイドステップ 5 について摂動計算を行い、反応度成分を調べた。ただし、セル定数としては、ボイドを含まない臨界基準体系のスペクトルによって縮約したものと、ボイド体系のスペクトルによって縮約したものとの比較も行った。

結果を Table 5.3.3-4, Fig. 5.3.3-9 に示す。この結果から、以下のことことがわかる。

i. non-leakage 項と leakage 項の内訳を plate 体系と比較すると、non-leakage 項は約 10~20% 大きくなっているのに対し、leakage 項は約 20% 小さくなっている。その結果、正負の項が相殺し、Total の反応度はプレート体系の約 1/2 となっている。(double heterogeneity セル計算の場合)

ii. セル定数の縮約法については、ボイドスペクトルを用いて縮約を行った場合、スペクトル硬化により Fission 項を大きく評価することがわかる。その結果、ZPPR-12 体系では反応度を + の方向に評価するためノンボイド・スペクトルによる縮約の場合と比べて C/E 値を悪化させる方向となる。

ロ. セルモデルの違いによる解折結果への影響

基準手法である 2 重非均質モデルは、ピンバンドル部の拡散係数の非等方性

の情報がコード機能上失なわれてしまわれており、この影響を調べるため、①
1重非均質モデル ②均質モデルと比較した。計算対象はボイドステップ5で
あり、結果をTable 5.3.3-5 に示す。

これによると、各モデルにおいてleakage 項は大差ないが、non-leakage項に
ついては基準手法の2重非均質モデルは過大評価となっている可能性がある。
このことが、C/E が0.7前後と小さくなっている原因の1つと考えられる。

Table 5.3.3-1 Na Void Worth in ZPPR-12 Plate Core

Step	Step Worth (%Δk/kk ⁽¹⁾)			C/kg Na ⁽¹⁾				C/E		
	Plate stretch	Center line	Homo	Plate stretch	Center line	Homo	Experiment	Plate stretch	Center line	Homo
Step 1	5.7106-2	8.5702-2	8.6248-2	2.2957	3.4453	3.4673	1.566	1.47	2.20	2.21
	-1.3792-1	-1.0790-1	-8.5269-2	-3.8504	-3.0122	-2.3805	-4.194	0.92	0.72	0.57
	-5.6321-1	-5.3431-1	-4.5827-1	-9.4341	-8.9500	-7.6763	-9.048	1.04	0.99	0.85
	-2.7785-2	-6.9916-3	-6.0290-3	-1.1226	-0.2825	-0.2436	-1.393	0.81	0.20	0.17
	-1.6882-1	-1.4654-1	-1.1701-1	-4.7365	-4.1114	-3.2829	-5.052	0.94	0.81	0.65
	-4.9976-1	-4.7618-1	-4.0076-1	-8.4130	-8.0160	-6.7464	-8.097	1.04	0.99	0.83
	-1.7764-1	-1.6588-1	-1.2256-1	-7.1770	-6.7019	-4.9516	-6.600	1.08	1.02	0.75
	-2.5830-1	-2.4536-1	-1.8929-1	-7.2470	-6.8840	-5.3108	-7.001	1.04	0.98	0.76
	-4.3841-1	-4.2446-1	-3.3544-1	-7.3802	-7.1454	-5.6468	-6.737	1.10	1.06	0.84
				9ステップ平均 C/E ($\pm 1\sigma$)				1.05±0.18	1.00±0.52	0.85±0.55
				平均 C/E (step 1, step 4 を除く) ($\pm 1\sigma$)				1.02±0.07	0.94±0.12	0.75±0.11

1) $\beta_{eff.} = 0.003289$ (JUPITER SUB W/G の計算値)

Table 5.3.3-2 Na Void Worth Component in ZPPR-12 Plate Core

 $(\Delta k/k)$

Voided Zone	Cell Model	Fission	Capture	Scattering	Non-leakage	Leakage	Total
Center Zone	Plate stretch	-7.348E-4	9.422E-4	6.667E-3	6.874E-3	-1.739E-2	-1.052E-2
Voided Zone 1, 2, 4, 5, 7, 8	Center line	1.086E-3	5.279E-4	6.505E-3	8.119E-3	-1.739E-2	-9.271E-3
	Homo	-1.018E-3	1.878E-3	6.531E-3	7.391E-3	-1.477E-2	-7.380E-3
	Enhanced Streaming	-2.090E-1	2.079E-1	7.146E-3	6.138E-3	-1.896E-2	-1.282E-2
Void Step 9	Plate stretch	-1.346E-3	1.392E-3	1.164E-2	1.169E-2	-3.421E-2	-2.252E-2
	Center line	1.334E-3	8.558E-4	1.138E-2	1.357E-2	-3.421E-2	-2.064E-2
	Homo	-1.448E-3	2.756E-3	1.064E-2	1.195E-2	-3.397E-2	-2.201E-2
	Enhanced Streaming	-3.054E-1	3.041E-1	1.145E-2	1.017E-2	-4.269E-2	-3.252E-2

Table 5.3.3-3 Energy Distribution for Navoid Worth Component
in ZPPR-12 Plate Core (Center zone)

group	plate stretch	Center line	Home	Enhanced Streaming
Fission				
GROUP	FISSION	FISSION	FISSION	FISSION
1	-1.17422E-04	-1.18106E-04	-9.12594E-06	-3.24712E-03
2	-2.94079E-04	-2.88792E-04	-2.58634E-05	-8.60657E-03
3	-4.27310E-04	-3.79398E-04	-5.74858E-05	-1.99437E-02
4	-2.03205E-04	-6.84985E-05	-7.44334E-05	-2.36818E-02
5	-2.34380E-04	-5.92424E-05	-5.70918E-05	-1.64767E-02
6	-4.11150E-05	3.35145E-04	-1.08342E-04	-2.97167E-02
7	1.00134E-04	4.09800E-04	-1.08018E-04	-2.86853E-02
8	1.61857E-04	4.28813E-04	-9.70262E-05	-2.43659E-02
9	8.33963E-05	2.65853E-04	-7.18159E-05	-1.77614E-02
10	8.46043E-05	2.01143E-04	-6.85150E-05	-1.17396E-02
11	7.12541E-05	1.47674E-04	-4.31710E-05	-7.89637E-03
12	-1.39144E-05	1.09593E-05	-4.78703E-05	-4.79900E-03
13	-6.13055E-05	-6.33004E-05	-9.20684E-05	-2.48229E-03
14	1.31641E-04	2.01522E-04	-1.14592E-04	-5.19123E-03
15	1.32959E-05	3.53196E-05	-3.32850E-05	-3.07579E-03
16	7.22493E-06	1.63927E-05	-4.62078E-06	-9.09867E-04
17	2.04052E-06	5.54698E-06	-3.09305E-06	-2.66170E-04
18	2.45510E-06	5.31012E-06	-1.15514E-06	-1.11482E-04
SUM	-7.34827E-04	1.08614E-03	-1.01757E-03	-2.08957E-01
Capture				
GROUP	CAPTURE	CAPTURE	CAPTURE	CAPTURE
1	1.19920E-04	1.19081E-04	1.29200E-04	3.18839E-03
2	3.49148E-05	3.28467E-05	3.66166E-05	8.18308E-03
3	7.61313E-06	5.63913E-06	3.74066E-06	1.92316E-02
4	1.10486E-05	5.79839E-06	7.87337E-06	2.32724E-02
5	2.68143E-05	9.83173E-06	1.18378E-05	1.60701E-02
6	2.25933E-05	-2.98544E-05	3.64469E-05	2.95228E-02
7	4.94828E-05	-6.70249E-06	8.93242E-05	2.87415E-02
8	7.82434E-05	1.24021E-05	1.43502E-04	2.46155E-02
9	5.474789E-05	-9.77291E-06	1.21832E-04	1.78853E-02
10	5.34844E-05	-1.29956E-06	1.33364E-04	1.18862E-02
11	1.01046E-07	-3.87870E-05	8.43210E-05	7.96711E-03
12	6.63220E-05	5.73810E-05	1.15701E-04	4.83568E-03
13	2.89566E-04	3.07831E-04	4.92235E-04	2.64827E-03
14	9.93793E-05	6.01910E-05	3.64465E-04	5.47398E-03
15	2.80503E-05	1.58483E-05	8.75225E-05	3.12661E-03
16	2.09765E-06	-4.73525E-06	1.51669E-05	9.22688E-04
17	-1.42238E-07	-3.30459E-06	4.92183E-06	2.67716E-04
18	-2.08409E-06	-4.46080E-06	-4.85651E-07	1.09785E-04
SUM	9.42153E-04	5.27933E-04	1.87758E-03	2.07948E-01

Table 5.3.3 - 4 Na Void Worth Component in ZPPR-12 Pin Core

 $(\Delta k/k)$

Voided zone	Cell Model	Fission	Capture	Scattering	non-leakage	leakage	Total
Void Step 5	Hetero(Normal *)	-4.942 E-4	1.493 E-3	5.306 E-3	6.305 E-3	-1.158 E-2	-5.276
	Hetero(CLPS 5) **	-1.262 E-5	1.498 E-3	5.613 E-3	7.099 E-3	-1.177 E-2	-4.671
(参考)	Plate体系 (Plate Stretch)	-7.348 E-5	9.422 E-4	6.667 E-3	6.874 E-3	-1.739 E-2	-1.052

* collapsed with non voided spectrum

** collapsed with voided spectrum (Void step 5)

Table 5.3.3-5 Na Void Worth Component in ZPPR-12 Pin Core

Void Zone	Cell Model	Reactivity Change ($\Delta k/kk'$)				C/E		
		Fission	Capture	Scattering	non-leakage leakage			
step 5	reference (double heterogeneity)	3.468×10^{-5}	1.681×10^{-3}	7.029×10^{-3}	8.745×10^{-3}	-1.430×10^{-2}	-5.555×10^{-3}	0.73
step 5	pin heterogeneity	-7.467×10^{-4}	1.406×10^{-3}	6.854×10^{-3}	7.513×10^{-3}	-1.442×10^{-2}	-6.909×10^{-3}	0.91
step 5	homogeneous	-2.058×10^{-4}	1.460×10^{-3}	6.861×10^{-3}	8.115×10^{-3}	-1.386×10^{-2}	-5.741×10^{-3}	0.76
(参考) plate 体系 plate stretch		-7.348×10^{-4}	9.422×10^{-3}	6.667×10^{-3}	6.874×10^{-3}	-1.739×10^{-2}	-1.052×10^{-2}	—

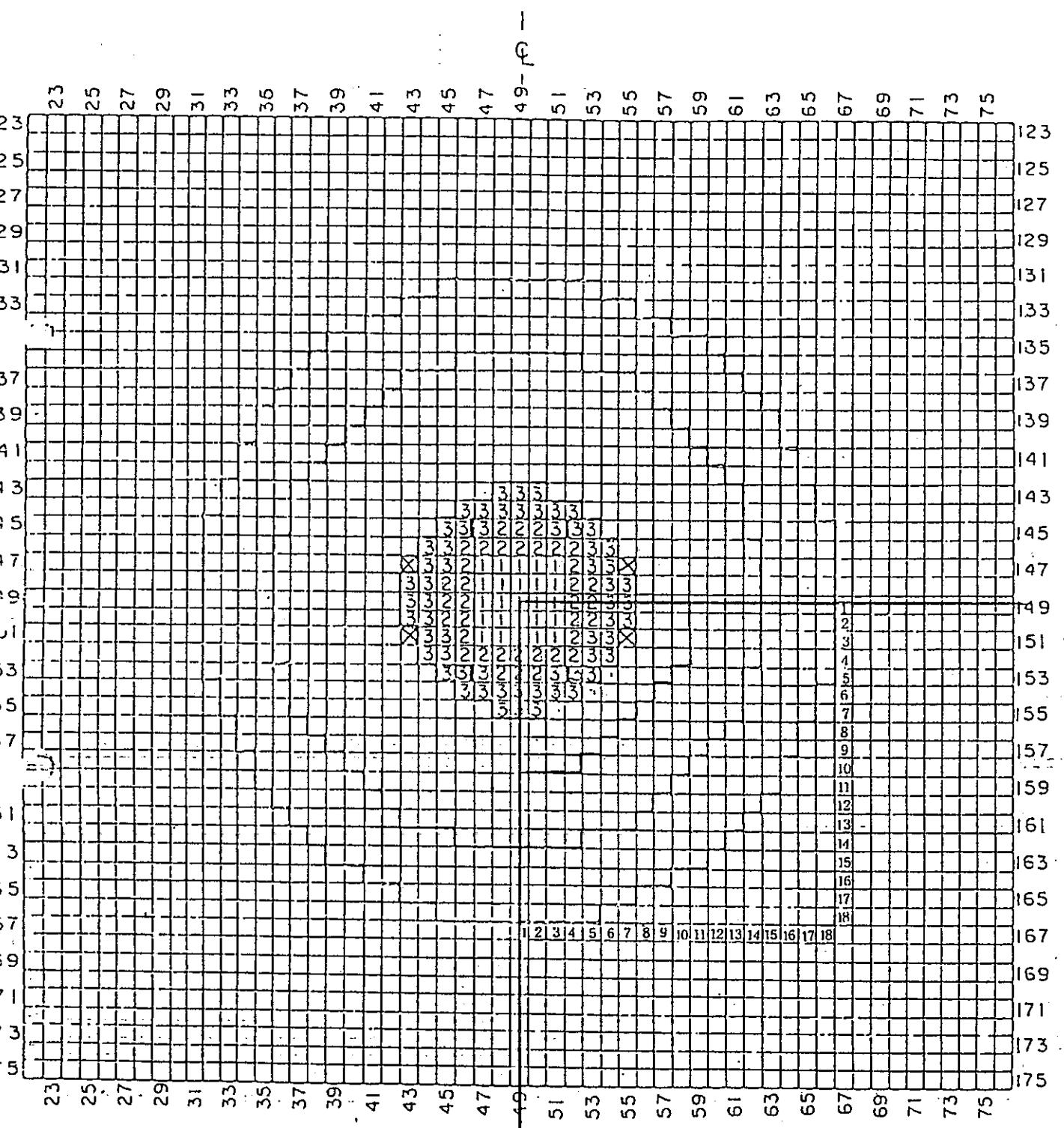


Fig. 5.3.3-1 ZPPR-12 Na Voiding Zones

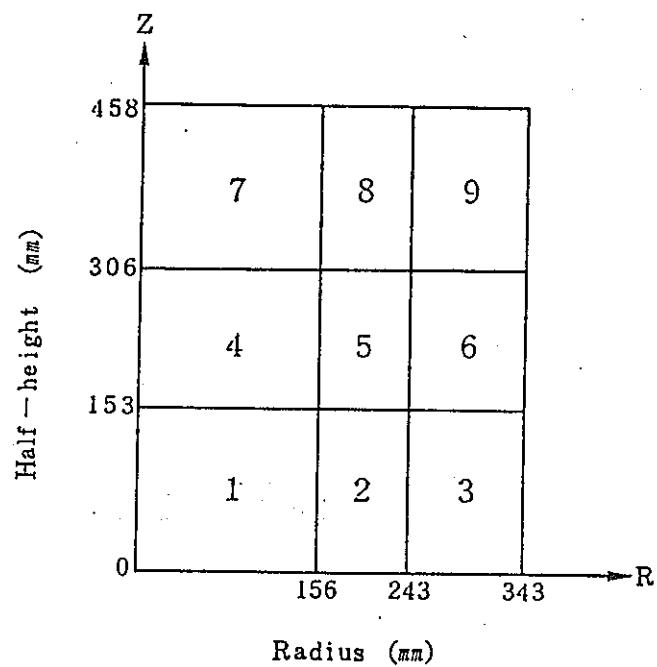


Fig. 5.3.3-2 ZPPR-12 Plate Core Voiding Sequence

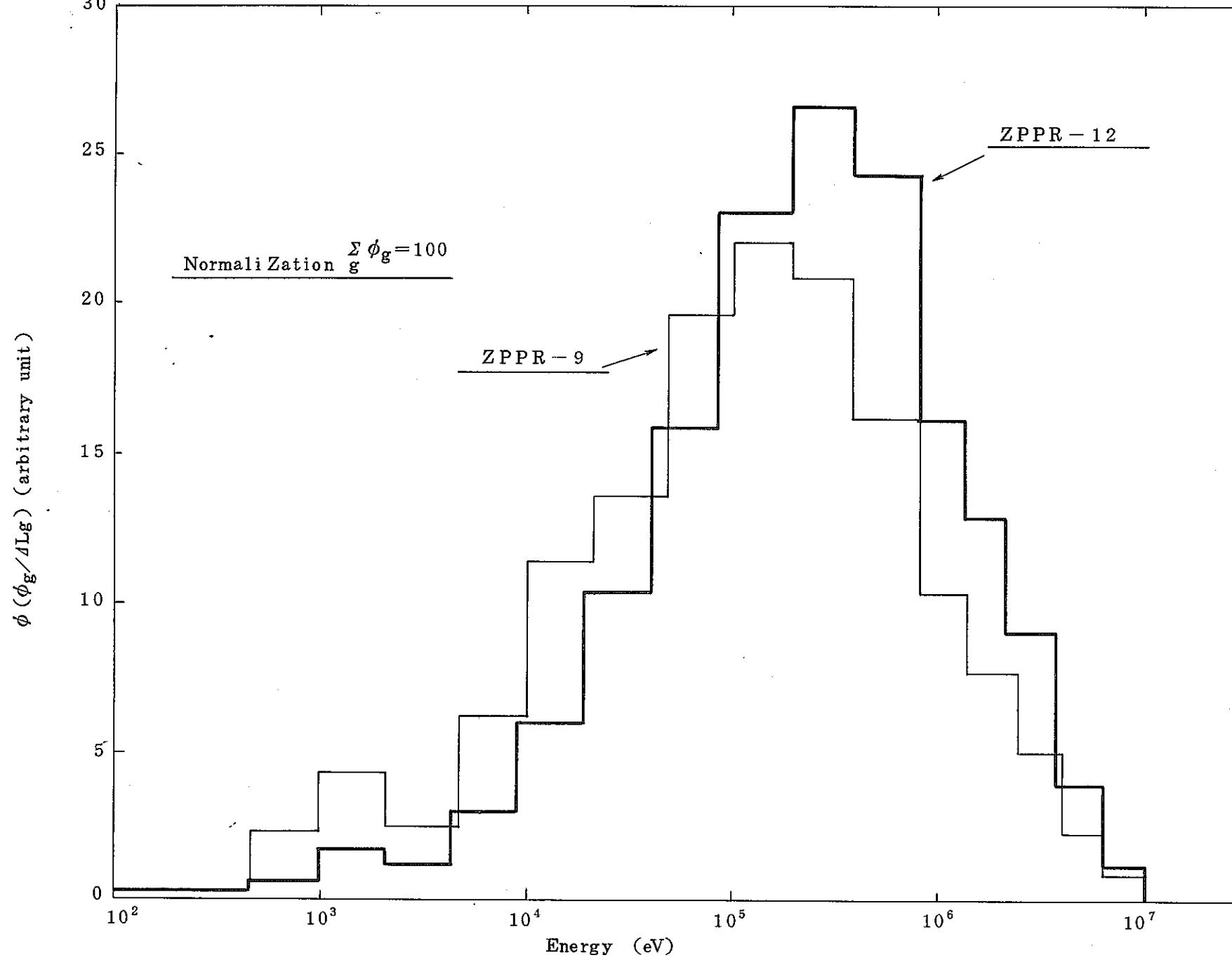


Fig. 5.3.3-3 Comparison of Flux Spectra

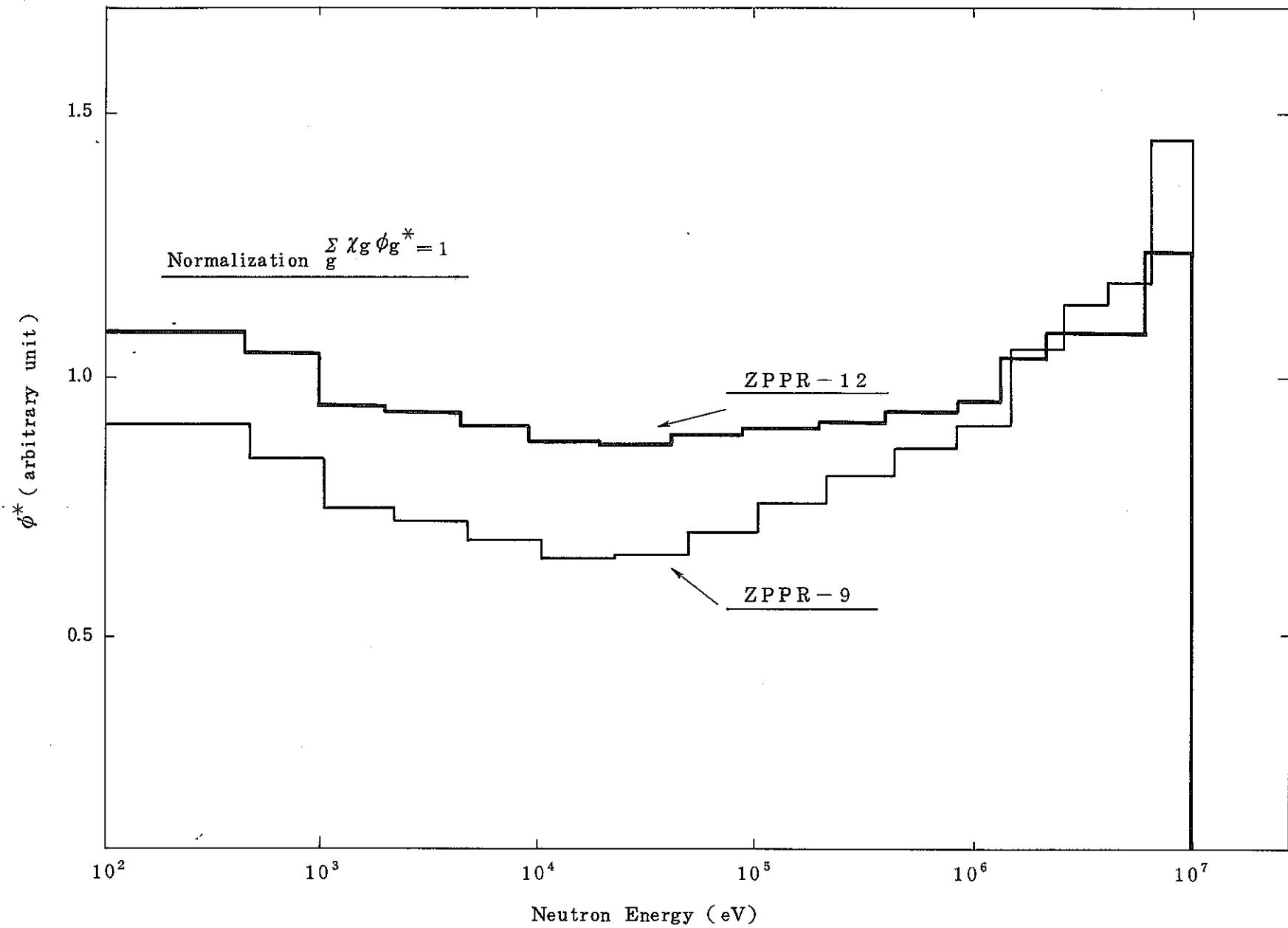


Fig. 5.3.3-4 Comparison of Adjoint Flux Spectra

$\times 10^{-3} \Delta K/K$

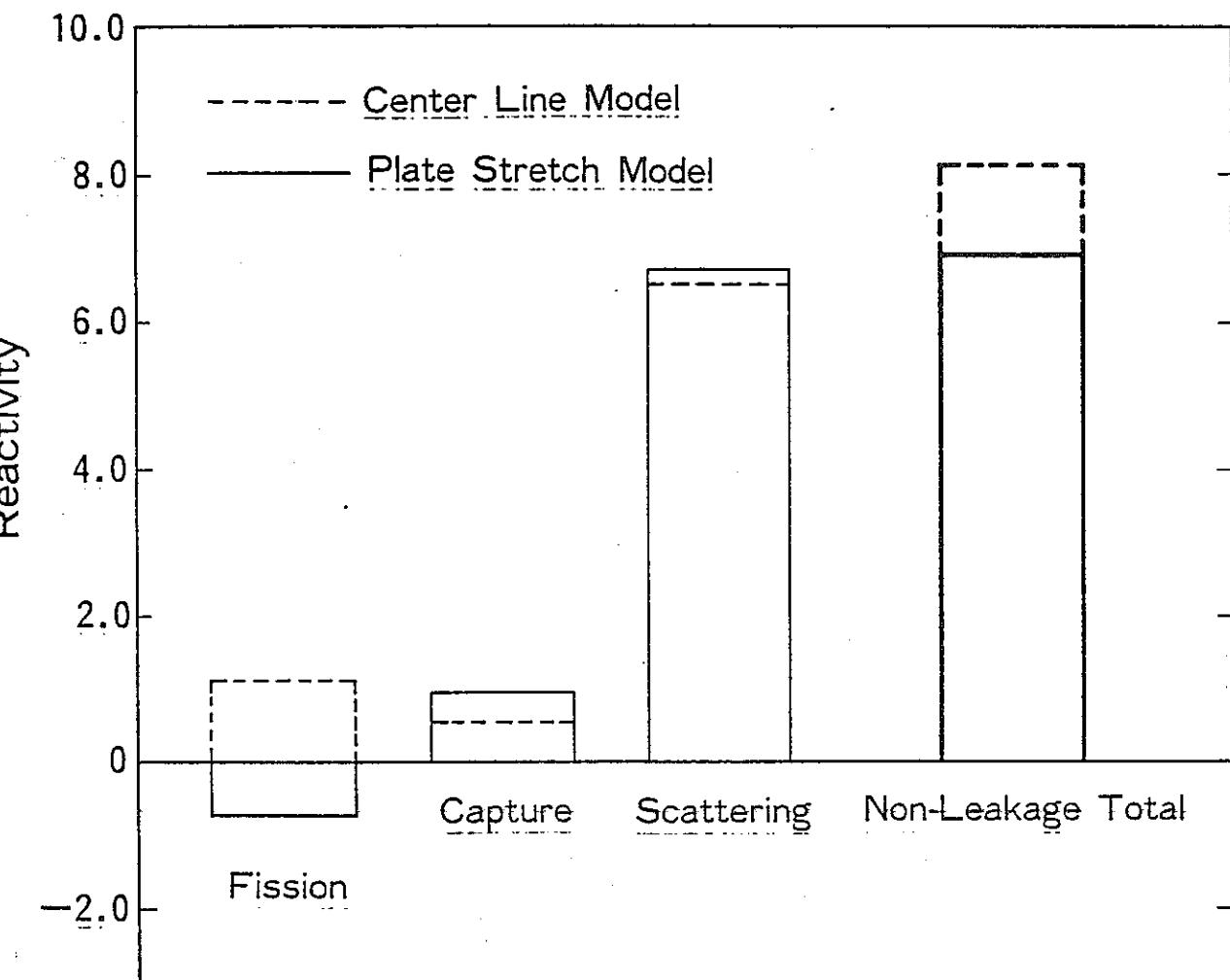
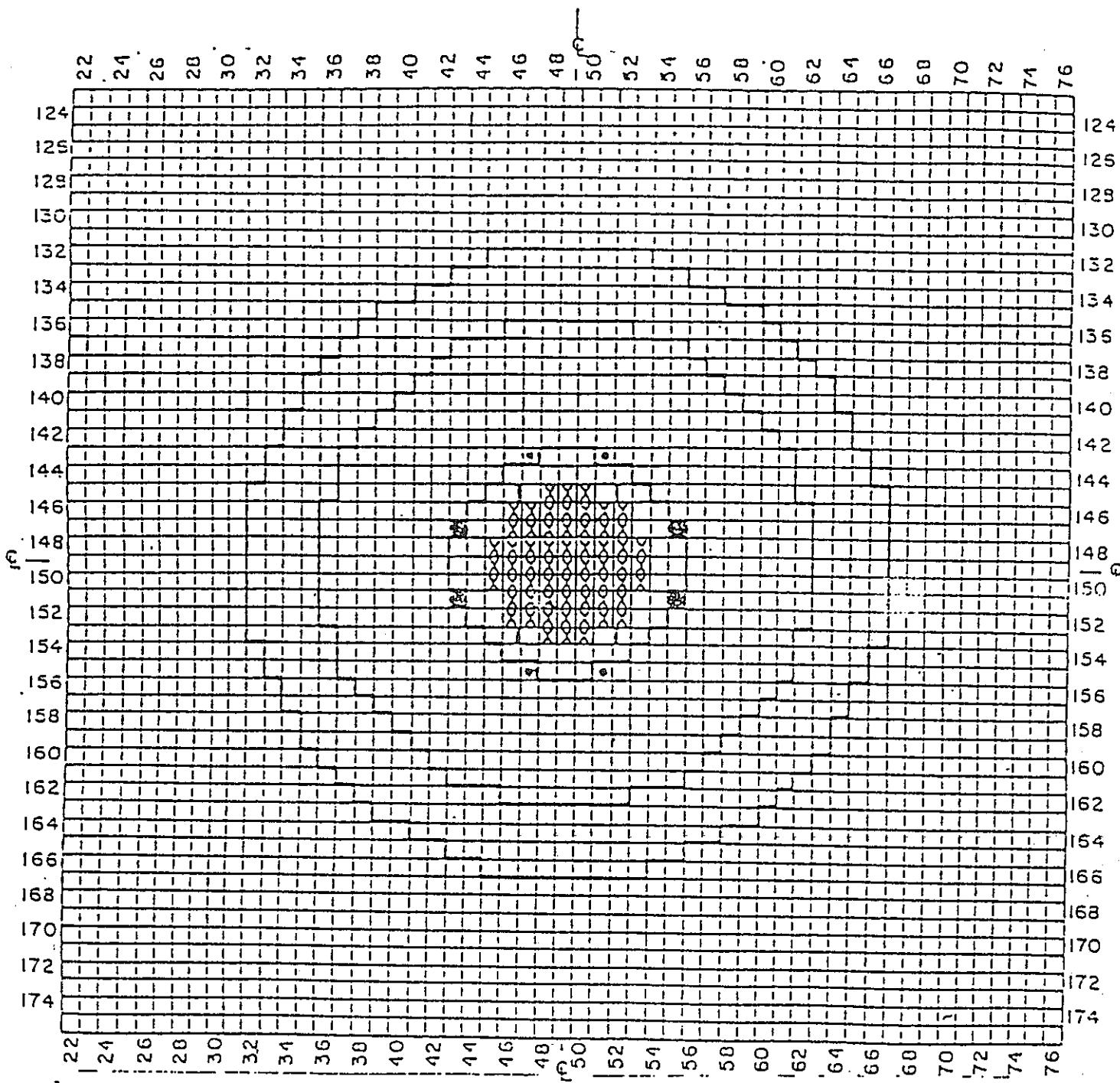


Fig. 5.3.3-5 Comparison between Cell Models for Na Void Reactivity
(Zppr-12 Plate Core)



X Pin calandria

■ a. \pm 6 in. fuel length in subcritical reference
b. \pm 4 in. fuel length in critical configuration

• a. Blanket in subcritical reference
b. \pm 4 in. fuel length in critical configuration

Fig. 5.3.3-6 ZPPR-12 Central Pin Zone Configuration

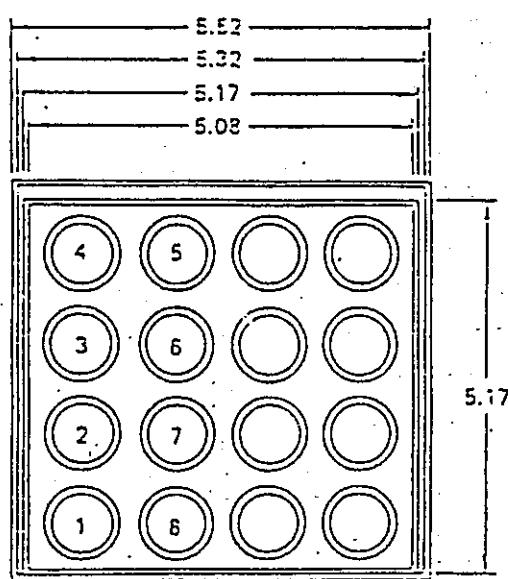


Fig. 5.3.3-7 ZPPR Pin Calandria

(dimensions in cm)

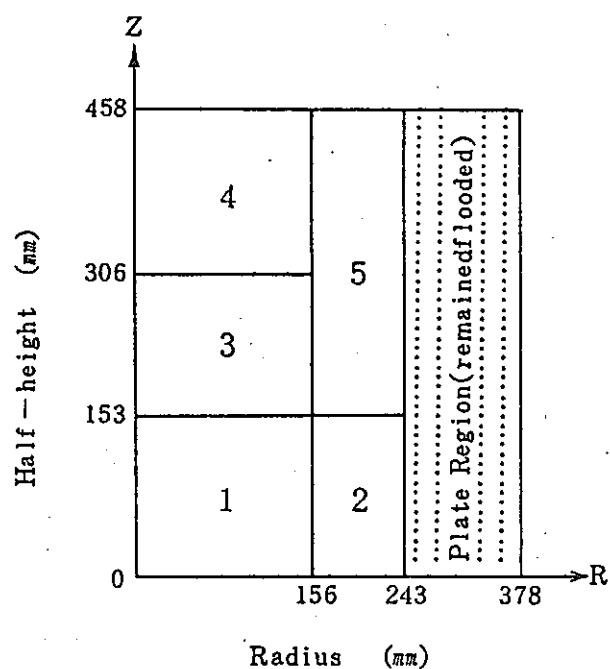


Fig. 5.3.3-8 ZPPR-12 Central Pin Zone Voiding Sequence ^a

^a Core regions are numbered in the order in which they were voided.

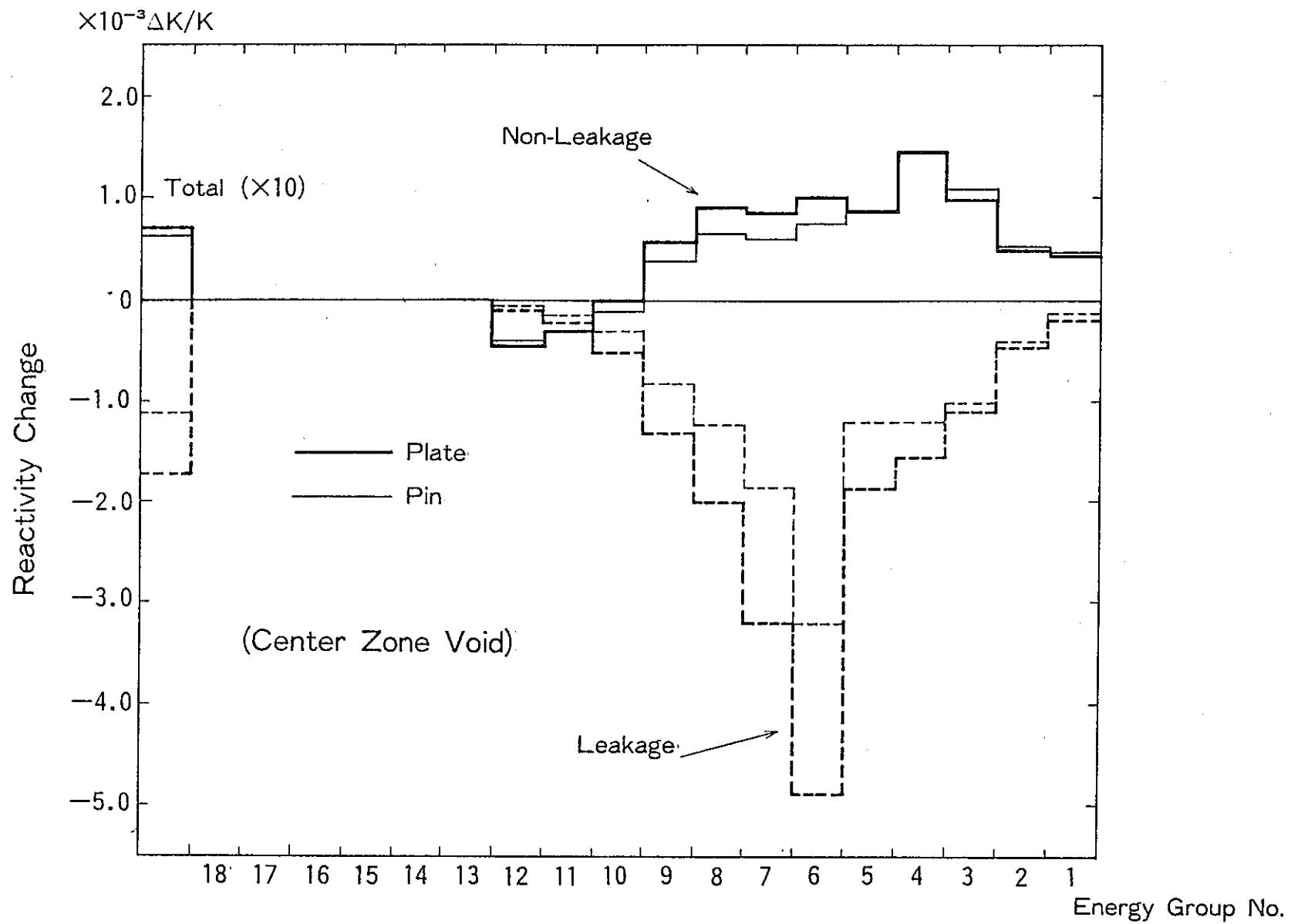


Fig. 5.3.3 - 9 Comparison of Na Void Worth Component between Pin and Plate Core

5.3.4 反応率分布

(1) 解析の目的

< Z P P R -12炉心反応率分布解析（ピンープレート効果）解析の目的>

- ① Z P P R -12炉心体系は小型炉であるが通常実施が難しい反応率分布に対するピンープレート効果とプレート体系固有のストリーミング効果が測定されている。
 - 測定値としてピンープレート効果を比較出来るデータは少ない。
 - 臨界実験結果とその解析結果の解釈に役立つ
 - プレート体系で実施されている大型臨界実験における反応率分布実験
 - ・ 解析結果の実機体系への適用に反映できると考えられている。
(小型炉での測定結果であることの影響等の検討も必要)

- ② 臨界実験解析方法の検討に反映する。

<本研究のアプローチ>

- ① 反応率分布の実験値間の比較による特徴の摘出
 - ピンープレート体系の相互比較
 - プレート体系間のストリーミング実験値の比較
- ② plat stretch/center-line/homogeneousモデルの比較
 - pin cell/homogeneousモデルの比較
- ③ 基準計算モデルの使用
- ④ 反応率比、特に C 8 / F 9 に注目

特に④は C 8 / F 9 の精度が、大型炉で問題となっている反応率分布、制御棒価値の C/E 値の径方向依存性の大きさと関連がある可能性を有していることから、非均質性の異なるピン体系と plate 体系での計算精度の同一性を評価する一つの目安になると考えられるためである。

解析対象は次のものである。

Plate Reference Core

Enhanced Streaming Core

Rotated Configuration Core

Center Pin Zone Core

Plate 体系では Stretch Model, Center Line Model による反応率分布での影響を調べ、また完全均質モデルによる計算も行ってた。解析は 3 次元 X Y Z 18 群の基本計算である。

(2) 実験値の整理

Z P P R における反応率分布はプレート燃料またはピンカランドリアの並んでいる位置において“うすい”箔ホルダーを挿入して一定時間照射した後に箔の放射能を測定して求める。箔の種類は Pu 239, U 235, U 238 の三種類であり、箔ホルダーは Fig. 5.3.4-1~5.3.4-3 に示されるように分類され装荷される。ピン体系では Fig. 5.3.4-4 の Pin カランドリア内の番号付けされた位置のどこかに配置し、その番号で区別している。

解析をはじめる前に、測定値の X, Y 軸での相対分布と各炉心の特徴との関係を概観するために炉心中心面上の分布を比較する。測定値は箔の Z 方向の位置がかならずしも同一でないのでここでは、あまり細かい比較は出来ないが、Table 5.3.4-1~5.3.4-5 に以下の体系毎に示した。

- Plate Reference F9, F5, F8, C8 (Table 5.3.4-1)
- Voided Reference F9, F5, F8, C8 (Table 5.3.4-2)
- Enhanced Streaming Core F5, (Table 5.3.4-3)
- Rotated Config. Core F5 (Table 5.3.4-4)
- Center Pin Zone Core F9, F5, F8, C8 (Table 5.3.4-5)

これらの体系間の比較から次の事柄がわかる。

- ① Plate Reference Core では X, Y 軸 (plate の並び方に平行、垂直方向) の比較では、X 軸上の方が 1 ~ 2 % 大きく、高速中性子が関係する F 8 ではストリーミングの大きくなる Y 軸方向が減衰率が大きい。
- ② X / Y 軸上での減衰率の差についてのこの傾向は Voided Core で Y 軸方向のストリーミングが強調された場合にはある程度はっきりしてくる。しかし、ストリーミングが増加することにより、全体の分布は reference に比べて平坦化していることも示されている。
- ③ Na plate が存在する Enhanced Streaming Core では F 5 のみの測定であるが、

この場合には分布形において Referenceとの差は小さい。

- ④ Pin-plate 体系の比較では、ここでの比較構成を考慮すると分布形と明確な差は出でていない。

(3) 解析結果

o 反応率分布

三次元 X Y Z、18群拡散計算結果に基づく各体系の反応率分布の解析結果を Table 5.3.4-6 ~5.3.4-23に示す。

(a) Plate Reference Core ; Table 5.3.4-6~Table 5.3.4-10

F 9, F 5, F 8, C 8について、三つのセル計算モデルによる C/E値を比較してある。計算値の規格化は、それぞれのケースについて炉心中心面近傍の ^{239}Pu (n, f) 反応率の平均値の C/E値が1.0となる様にした。

F 9はプランケットに接するドロワー位置でやや精度が落となる(1~1.5%)が炉心内では安定してよい一致を示している。F 5, C 8についても同様である。F 8については、炉心-プランケット境界で約1.7%不連続な差が生じている。これはこれまでの経験から輸送効果10%とマルチドロワー効果~5%を考慮する必要がある。均質モデルではこの差は約23%と大きくなっている。

Stretch/Center-Line モデルの差はいずれにおいても C/Eの0.2~0.4%程度の差を与えるものであり、小さいことが確かめられた。一方、完全均質モデルについてもF 9, F 5では顕著な差は出ないが、F 8, C 8では大きな誤差の原因となる。またこれらの比較から Stretch/Center-Lineモデルによる単一セル計算によって C/E値は、1.0からのずれの半分を補正することに相等することが示された。

(b) Center Pin Zone Core ; Table 5.3.4-11 ~ 5.3.4-15

F 9, F 5, F 8, C 8についてピンゾーン内の測定値に限って結果を示した。この時の周辺の plateゾーンは "Stretch" モデルによる定数を使用している。

(c) Enhanced Streaming Core ; Table 5.3.4-16

(d) Rotated Config. Core ; Table 5.3.4-17

これらの炉心ではF 5のみ測定されている。炉心部中心面近傍の箇の C/E値の

平均を1.0となる様に規格化した。これらの炉心はストリーミングに差が生じる様にセルの並び方が変更されているが、C/E値についてみると両者で差がないことがわかる。尚、セルモデルは“Center-Line”, “Stretch” model を使用して解析したが、C/E値の関係は Plate Reference炉心の場合と同一であった。

反応率分布は、いずれの体系でもプランケット境界の C/E値の変動と、プランケット内での C/E値の減少が共通した傾向である。

炉心一プランケット境界の F 8 の C/E値の大きな変動 ($\sim 20\%$ jump) は炉心一軸プランケット境界において plate/Pinのいずれの体系でもほぼ同じ大きさが示されていることが特徴である。

core		
Plate Reference	0.91 → 1.17	(Z位置の変化～4.3 cm)
Pin Zone	0.96 → 1.16	(Z位置の変化～10cm)

このことから変動は Pinの場合が相対的に少ないことがわかる。この原因是、F 8 に大きく関係する Multidrawer効果が pin/plate体系で異なるためと考えられる。

o 反応率比分布

炉心部で Pu239(n, f)反応率をベースとした時の反応率比をPlate Reference, Center Pin Zone Coreで求めた。

(a) Plate Reference Core : Table 5.3.4-18 ~Table 5.3.4-20

炉心中心面の F 5 / F 9 分布を三つのセル計算モデルで計算した。この結果より次の事柄が示されている。

- Stretch/Center-Line Model の差はいずれの場合も C/E値で 0.2 %程度であり小さい。
- F 8, C'8については均質モデルでは明らかに予測精度が悪化している。プレート内では U238 の実効断面積の作成が Key Pointとなることを示している。
- 炉心部の C/Eの平均値は次の通り (Plate Core) 。

	Center-Line Model	Stretch Model	Homogeneous
F 5 / F 9	1.030 ± 0.013	1.027 ± 0.011	1.025 ± 0.011
F 8 / F 9	0.966 ± 0.011	0.968 ± 0.011	0.927 ± 0.011
C 8 / F 9	1.042 ± 0.008	1.046 ± 0.008	1.082 ± 0.009

C 8 / F 9 の均質モデルでの過大評価、F 8 / F 9 の過少評価は plate 体系での実効増倍率の過少評価と関連しているものである。

F 5 / F 9, C 8 / F 9 について "Stretch model" の結果では、それ 3 %, 5 % の過大評価となっており、従来の J U P I T E R - I , II の解析結果と同様である。

(b) Center Pin Zone Core ; Table 5.3.4-21 ~ Table 5.3.4-23

炉心中心面のピン領域についての結果を抜粋してある。

- o Pin 領域の C/E 値は、plate の C/E とほぼ同じ傾向を示しているが、F 5 / F 9, C 8 / F 9 については 1 ~ 2 % 程度大きい傾向が見られる。

炉心部の C/E の平均値は次のようにある。

項目	Pin Core	Plate Core (Center-Line)
F 5 / F 9	1.043 ± 0.011	1.030 ± 0.013
F 8 / F 9	0.961 ± 0.018	0.966 ± 0.011
C 8 / F 9	1.058 ± 0.013	1.042 ± 0.008

(c) まとめ

反応率分布については、Plate Cell Model の重要性が均質 Cell モデルを通して定量的に把握出来た。また、炉心 - プランケット境界では単一セルモデルとマルチドロワーモデルの C/E 値の関係が示された。

反応率分布、スペクトルインデックスに対し "Stretch" / "Center-Line" Model の差は小さいことが定量的に示されている。

Plate / Pin 体系の C/E 値はほぼ 1 ~ 2 % 以内で一致することが示された。

Plate Cell 計算においては U238 の実効断面積の作成が最も重要なことが確認された。

5.3.5 まとめ

Z P P R -12集合体の解析を通して、ピンープレート非均質効果を、臨界性、Na Void反応度、反応率（比）分布について調べた。次の結果が得られている。

○ ピンープレートのバイアスファクターの比較

臨界性；ピンープレートのバイアスの差は $0.1\% \Delta k/kk'$ 程度でありピン体系が小さい傾向があるかよく一致している。

上記のピンープレート体系の C/E値の相違は、Z E B R A -22/23で行なわれた国際ベンチマーク解析の結果⁽¹⁾と若干異なる結果である。即ち、国際ベンチマーク解析では、C/E値バイアスファクターはピン体系の方が大きい。その程度は $0.15\sim 0.82\% \Delta k$ の範囲にばらついている。

今回のZ P P R -12の解析結果とは異なるバイアスの差を示している。この点についても本年度では立ち入れなかったが、今後の詳細評価で検討すべき点であろう。

非均質性の大きい plate-cell 計算ではU238 の実効断面積のつくり方が最も重要であり、“Stretch” / “Center-Line”モデル間の差は非常に小さいことが示された。（ANLによる pin-plate効果も $0.1\% \Delta k$ 以下と小さいことが報告されている。）

Na Void 反応度： Pin-Plate のバイアスが $20\sim 30\%$ 差が見られた。今後は三次元 S n 計算法を通して確認する必要があると考えられる。

Plate 体系では Stretch / Center-Lineモデルで C/E $\sim 10\%$ の差を生じる。Stretch モデルの方が C/Eは 1.0 に近くなっている。

反応率比分布： 炉心一ブランケット境界では Pin-Plateとともに U238(n, f) 反応率については大きな jump が生じているが、その程度は非均質性の大きい plate体系の方が著しいようである。

Stretch / Center-Line Model の差は C/Eで $0.2\sim 0.4\%$ と小さいことが示された。

(1) M. J. Grimstone et. al., "Progress Report on the International Comparison of Calculations for the CADENZA Assemblies (Pin-Plate Benchmark)", Proc. of Topical Mtg. on Reactor Physics and Shielding, Sept. 1984, Chicago, p738

重要なスペクトルインデックスについては pin-plate体系で 1 ~ 2 %の差が生ずる程度であることが示された。(DCF ドロワー)。

C/E	F 5/F 9	F 8/F 9*	C 8/F 9
pin 体系	1.043 ± 0.011	0.961 ± 0.018	1.058 ± 0.013
plate 体系 (stretch Model)	1.030 ± 0.011	0.966 ± 0.011	1.042 ± 0.008
参考 plate 体系 Pans Mtg 1987/4 (ANL)	1.007	0.958	1.045 (ENDF/B-V.2)

(*) 拡散計算値ベース

JFS-3-J2による解析では F 5/F 9, C 8/F 9 の C/E 値は, ZPPR-9, -10, ZPPR-13 の結果とよく一致している。

本検討では, ZPPR-12 解析結果を実機炉心に反映するための外挿法の一助として, 数値実験として plate 体系の非均質性の扱いをパラメータとする均質モデルの計算結果も得ている。これにより plate cell 計算の位置付け, 特徴を定量的に確認することが出来た。今後は JUPITER-III 実験の ZPPR-17, -18 体系の解析においても, 非均質計算に加えて数値実験を取り入れ, 外挿性について定量的アプローチによる確認検討を深める必要がある。

Table 5.3.4-1 Comparisons of Measured Reaction Rate Distributions
along X and Y-axes in the plate reference core of ZPPR-12

(1) Plate Reference Core

Position	Along X-axis				Position	Along Y-axis			
	F9	F5	F8	C8		F9	F5	F8	C8
149-38 BL		0.176	0.016	0.170	138-49 BL		0.172	0.012	0.163
149-39 BL		0.247	0.023	0.248	139-49 BL		0.238	0.021	0.233
149-40 BL		0.333	0.043	0.342	140-49 BL		0.324	0.041	0.335
149-41 BL	0.369	0.439	0.088	0.463	141-49 BL	0.351	0.419	0.094	0.440
149-42 BL	0.465	0.538	0.185	0.564	142-49 BL	0.459	0.529	0.169	0.561
149-43	0.580	0.632	0.478	0.653	143-49				
149-44	0.689	0.717	0.637	0.732	144-49	0.668	0.693	0.599	0.733
149-45	0.786	0.804	0.753	0.814	145-49	0.779	0.791	0.727	0.813
149-46	0.872	0.896	0.864	0.894	146-49	0.863	0.895	0.834	0.890
149-47	0.954	0.950	0.916	0.952	147-49	0.938	0.964	0.914	0.947
149-48	0.983	0.996	0.978	0.990	148-49	0.972	0.989	0.951	0.984
149-49(*)	1.000	1.000	1.000	1.000	149-49(*)	1.000	1.000	1.000	1.000
149-50		0.987			150-49		1.003		
149-51		0.945			151-49		0.957		
149-52		0.887			152-49		0.887		
149-53		0.806			153-49		0.803		
149-54		0.729			154-49		0.693		
149-55		0.626			155-49		0.614		
149-56 BL					156-49 BL		0.528		
149-57 BL		0.436			157-49 BL				
149-58 BL		0.333			158-49 BL		0.318		
149-59 BL					159-49 BL				
149-60 BL		0.175			160-49 BL		0.168		

1) F9: z=89.1mm for 149-49, others; z=90.8mm in half1

2) F5: z=64.9mm for 149-49, others; z=63.1mm in half1

3) F8: z=89.1mm for 149-49, others; z=77.0mm in half1

Table 5.3.4-2 Comparisons of Measured Reaction Rate Distributions
along X and Y-axes in the plate voided core of ZPPR-12

(1) Plate Voided Core

Position	Along X-axis				Position	Along Y-axis			
	F9	F5	F8	C8		F9	F5	F8	C8
149-38 BL		0.230	0.018	0.230	138-49 BL		0.237	0.016	0.236
149-39 BL		0.319	0.028	0.323	139-49 BL		0.322	0.029	0.332
149-40 BL		0.422	0.054	0.442	140-49 BL		0.433	0.051	0.462
149-41 BL	0.438	0.553	0.096	0.584	141-49 BL	0.434	0.542	0.099	0.591
149-42 BL	0.547	0.642	0.209	0.694	142-49 BL	0.551	0.652	0.209	0.715
149-43	0.667	0.713	0.531	0.747	143-49	0.681	0.698	0.501	0.758
149-44	0.738	0.776	0.675	0.800	144-49	0.743	0.769	0.660	0.809
149-45	0.833	0.850	0.811	0.866	145-49	0.832	0.841	0.782	0.865
149-46	0.905	0.919	0.893	0.916	146-49	0.905	0.908	0.876	0.914
149-47	0.967	0.966	0.959	0.959	147-49	0.969	0.957	0.956	0.958
149-48	0.994	0.993	0.983	0.986	148-49	1.000	0.990	0.987	0.986
149-49(*)	1.000	1.000	1.000	1.000	149-49(*)	1.000	1.000	1.000	1.000
149-50		1.003			150-49			0.993	
149-51		0.961			151-49			0.963	
149-52		0.910			152-49			0.915	
149-53		0.845			153-49			0.846	
149-54		0.780			154-49			0.781	
149-55		0.709			155-49			0.707	
149-56 BL					156-49 BL			0.654	
149-57 BL		0.546			157-49 BL				
149-58 BL		0.414			158-49 BL			0.421	
149-59 BL					159-49 BL				
149-60 BL		0.231			160-49 BL			0.230	

1) F9: z=89.1mm for 149-49, others; z=90.8mm in half1

2) F5: z=64.9mm for 149-49, others; z=63.1mm in half1

3) F8,C8: z=89.1mm for 149-49, others; z=77.0mm in half1

Table 5.3.4-3 Comparisons of Measured Reaction Rate Distributions along
x and Y-axes in the plate Enhanced Streaming Core in ZPPR-12

(1) Plate Enhanced Streaming Core

Position	Along X-axis				Along Y-axis			
	F9	F5	F8	C8	Position	F9	F5	F8
149-38 BL		0.171			138-49 BL		0.174	
149-39 BL		0.242			139-49 BL		0.241	
149-40 BL		0.322			140-49 BL		0.333	
149-41 BL		0.430			141-49 BL		0.429	
149-42 BL		0.525			142-49 BL		0.535	
149-43		0.618			143-49		0.611	
149-44		0.707			144-49		0.695	
149-45		0.803			145-49		0.785	
149-46		0.885			146-49		0.867	
149-47		0.940			147-49		0.935	
149-48		0.982			148-49		0.977	
149-49(*)		1.000			149-49(*)		1.000	
149-50		0.974			150-49			
149-51		0.950			151-49		0.936	
149-52		0.883			152-49		0.875	
149-53		0.803			153-49		0.787	
149-54		0.710			154-49		0.699	
149-55		0.617			155-49		0.610	
149-56 BL					156-49 BL		0.540	
149-57 BL					157-49 BL			
149-58 BL		0.322			158-49 BL		0.326	
149-59 BL					159-49 BL			
149-60 BL		0.171			160-49 BL		0.171	

1) F5: z=64.9mm for 149-49, others; z=63.1mm in half1

Table 5.3.4-4 Comparisons of Measured Reaction Rate Distributions along
x and Y-axes in the Rotated Enhanced Streaming Core in ZPPR-12

(1) Plate Rotated Enhanced Streaming Core

Position	Along X-axis				Position	Along Y-axis			
	F9	F5	F8	C8		F9	F5	F8	C8
149-38 BL		0.176			138-49 BL		0.177		
149-39 BL		0.248			139-49 BL		0.246		
149-40 BL		0.335			140-49 BL		0.336		
149-41 BL		0.446			141-49 BL		0.433		
149-42 BL		0.545			142-49 BL		0.539		
149-43					143-49				
149-44		0.725			144-49		0.699		
149-45					145-49				
149-46		0.901			146-49		0.874		
149-47					147-49				
149-48(*)		1.000			148-49		0.982		
149-50		0.994			150-49		0.993		
149-51					151-49				
149-52		0.906			152-49		0.889		
149-53					153-49				
149-54		0.736			154-49		0.705		
149-55					155-49				
149-56 BL					156-49 BL		0.544		
149-57 BL					157-49 BL		0.439		
149-58 BL		0.333			158-49 BL		0.333		
149-59 BL					159-49 BL				
149-60 BL		0.176			160-49 BL		0.176		

1) f5: z=63.1mm for 148-49, others; z=63.1mm in half1

Table 5.3.4-5 Comparisons of Measured Reaction Rate Distributions
along x and Y-axes in the Center-Pin Zone core of ZPPR-12

(1) Center-Pin Zone Core

Position	Along X-axis				Along Y-axis				
	F9	F5	F8	C8	Position	F9	F5	F8	C8
149-38 BL		0.169			138-49 BL		0.171		
149-39 BL		0.235			139-49 BL		0.236		
149-40 BL		0.323			140-49 BL		0.324		
149-41 BL		0.425			141-49 BL		0.419		
149-42 BL		0.518			142-49 BL		0.526		
149-43		0.608			143-49		0.594		
149-44		0.703			144-49		0.690		
149-45 pin	0.817	0.802	0.739	0.817	145-49 pin	0.793	0.806	0.732	0.808
149-46 pin	0.890	0.889	0.856	0.889	146-49 pin	0.895	0.892	0.837	0.893
149-47 pin	0.962	0.958	0.914	0.947	147-49 pin	0.954	0.953	0.907	0.950
149-48 pin	1.000	0.992	0.942	0.988	148-49 pin	1.002	0.988	0.948	0.986
149-49(*)	1.000	1.000	1.000	1.000	149-49(*)	1.000	1.000	1.000	1.000
149-50 pin	1.009	0.985	0.943	0.978	150-49 pin	1.018	0.995	0.976	0.987
149-51 pin	0.960	0.947	0.894	0.937	151-49 pin	0.937	0.938	0.893	0.939
149-52 pin	0.876	0.867	0.817	0.867	152-49 pin	0.881	0.871	0.820	0.880
149-53 pin	0.769	0.787	0.690	0.797	153-49 pin	0.778		0.712	0.800
149-54		0.691			154-49		0.686		
149-55		0.606			155-49		0.605		
149-56 BL					156-49 BL		0.534		
149-57 BL					157-49 BL				
149-58 BL		0.317			158-49 BL		0.320		
149-59 BL					159-49 BL				
149-60 BL		0.168			160-49 BL		0.168		

1) F9: z=153.9mm (2) for 149-49, others;z=153.9mm (11) in half1

2) F5: z=153.2mm (2) for 149-49, foils;z=153.2mm (11) for pin-cell and z=63.1 mm for plate cell

3) F8,C8: z=153.4mm (2) for 149-49, foils;z=153.4mm (11) for pin-cell

Table 5.3.4-6 Reaction Rates Analysis in the Plate Reference Core of ZPPR-12

---- Comparison of C/E values-----

Model-C;Center-Line Model in Cell Calculation

Model-s;Stretch Model in Cell Calculation

Model-H;Homogeneous Model in Cell Calculation

(1) Pu239(n,fission)

(a) Radial Mapping

NO.	MATRIX POSITION	FOIL LOC.	Z-LOC. (cm)	Measured Value	C/E Model-C	C/E Model-S	C/E Model-H
16	141-49	HI	9.08	3.129E-17	9.210E-01	9.208E-01	9.181E-01
17	142-49	HI	9.08	4.090E-17	9.601E-19	9.597E-01	9.534E-01
89	143-49	KL	8.91	5.135E-17	9.900E-01	9.900E-01	9.840E-01
18	144-49	KL	9.08	5.954E-17	9.836E-01	9.836E-01	9.791E-01
19	145-49	KL	9.08	6.944E-17	9.874E-01	9.874E-01	9.847E-01
20	146-49	KL	9.08	7.693E-17	1.005E+00	1.005E+00	1.003E+00
21	147-49	KL	9.08	8.361E-17	1.005E+00	1.004E+00	1.004E+00
22	148-49	KL	9.08	8.661E-17	1.018E+00	1.018E+00	1.018E+00
33	143-48	KL	9.08	4.843E-17	9.829E-01	9.835E-01	9.794E-01
34	144-48	KL	9.08	5.851E-17	9.904E-01	9.904E-01	9.852E-01
35	145-48	KL	9.08	6.780E-17	9.997E-01	9.996E-01	9.997E-01
36	146-48	KL	9.08	7.543E-17	1.013E+00	1.013E+00	1.012E+00
37	147-48	KL	9.08	8.274E-17	1.004E+00	1.004E+00	1.004E+00
38	148-48	KL	9.08	8.611E-17	1.014E+00	1.013E+00	1.013E+00
39	149-48	KL	9.08	8.758E-17	1.012E+00	1.012E+00	1.013E+00
40	144-47	KL	9.08	5.593E-17	9.929E-01	9.931E-01	9.892E-01
41	145-47	KL	9.08	6.516E-17	9.923E-01	9.943E-01	9.924E-01
42	146-47	KL	9.08	7.232E-17	1.011E+00	1.011E+00	1.010E+00
43	147-47	KL	9.08	7.916E-17	1.005E+00	1.005E+00	1.005E+00
44	148-47	KL	9.08	8.295E-17	1.009E+00	1.008E+00	1.009E+00
45	149-47	KL	9.08	8.501E-17	1.000E+00	1.000E+00	1.001E+00
46	144-46	KL	9.08	5.188E-17	9.845E-01	9.850E-01	9.833E-01
47	146-46	KL	9.08	6.706E-17	1.007E+00	1.007E+00	1.007E+00
48	147-46	KL	9.08	7.331E-17	1.005E+00	1.005E+00	1.006E+00
49	148-46	KL	9.08	7.685E-17	1.010E+00	1.010E+00	1.010E+00
50	149-46	KL	9.08	7.768E-17	1.016E+00	1.016E+00	1.017E+00
51	145-45	KL	9.08	5.357E-17	9.971E-01	9.974E-01	9.987E-01
52	146-45	KL	9.08	6.090E-17	9.909E-01	9.909E-01	9.909E-01
53	147-45	KL	9.08	6.542E-17	1.008E+00	1.008E+00	1.008E+00
54	148-45	KL	9.08	6.939E-17	1.002E+00	1.002E+00	1.003E+00
55	149-45	KL	9.08	7.006E-17	1.010E+00	1.009E+00	1.011E+00
58	146-44	KL	9.08	5.245E-17	9.931E-01	9.935E-01	9.964W-01
59	147-44	KL	9.08	5.648E-17	1.006E+00	1.006E+00	1.007E+00
60	148-44	KL	9.08	5.995E-17	1.001E+00	1.001E+00	1.002E+00
61	149-44	KL	9.08	6.165E-17	9.905E-01	9.905E-01	9.930E-01
65	147-43	KL	9.08	4.800E-17	9.815E-01	9.820E-01	9.879E-01
66	148-43	KL	9.08	5.061E-17	9.864E-01	9.867E-01	9.914E-01
67	149-43	KL	9.08	5.170E-17	9.849E-01	9.852E-01	9.879E-01
72	149-42	HI	9.08	4.141E-17	9.720E-01	9.713E-01	9.779E-01
76	149-41	HI	9.08	3.290E-17	9.058E-01	9.055E-01	9.141E-01

a) Unit of fissions per atom per second at a reactor power of approximately 1 watt.

Core Regron

Table 5.3.4-6)

(b) Axial Traverse

NO.	MATRIX POSITION	FOIL LOC.	Z-LOC. (cm)	Measured Value	C/E Model-C	C/E Model-S	C/E Model-H
117	249-49	HI	38.18	2.938E-17	9.923E-01	9.918E-01	9.865E-01
118	249-49	HI	33.10	3.824E-17	9.514E-01	9.514E-01	9.586E-01
120	249-49	EF	26.81	4.733E-17	9.984E-01	9.986E-01	9.906E-01
121	249-49	EF	24.15	5.183E-17	9.943E-01	9.944E-01	9.870E-01
123	249-49	EF	19.07	6.034E-17	9.912E-01	9.911E-01	9.855E-01
126	249-49	EF	11.57	6.986E-17	1.017E+00	1.017E+00	1.014E+00
127	249-49	EF	8.91	7.389E-17	1.009E+00	1.009E+00	1.007E+00
129	249-49	EF	3.83	8.015E-17	1.003E+00	1.003E+00	1.002E+00
132	149-49	KL	3.83	8.467E-17	1.026E+00	1.026E+00	1.026E+00
134	149-49	KL	8.91	8.912E-17	1.004E+00	1.003E+00	1.004E+00
135	149-49	KL	11.57	8.874E-17	1.016E+00	1.016E+00	1.017E+00
138	149-49	KL	19.07	8.992E-17	1.003E+00	1.002E+00	1.003E+00
140	149-49	KL	24.15	8.861E-17	9.966E-01	9.965E-01	9.969E-01
141	149-49	KL	26.81	8.610E-17	1.008E+00	1.008E+00	1.008E+00
144	149-49	KL	34.31	8.111E-17	9.915E-01	9.913E-01	9.903E-01
146	149-49	KL	39.39	7.499E-17	9.944E-01	9.942E-01	9.920E-01
147	149-49	KL	42.05	7.202E-17	9.868E-01	9.866E-01	9.837E-01
150	149-49	KL	49.55	6.079E-17	9.841E-01	9.840E-01	9.784E-01
152	149-49	KL	54.63	5.290E-17	9.743E-01	9.744E-01	9.671E-01
153	149-49	KL	57.29	4.794E-17	9.856E-01	9.858E-01	9.783E-01
155	149-49	HI	63.58	3.974E-17	9.545E-01	9.537E-01	9.466E-01
156	149-49	HI	68.66	3.043E-17	9.579E-01	9.574E-01	9.523E-01

Core Regon

a) Unit of fissions per atom per second at a reactor power of approximately 1 watt.

Table 5.3.4-7 Reaction Rates Analysis in the Plate Reference Core of ZPPR-12
 ---- Comparison of C/E values-----
 Model-C;Center-Line Model in Cell Calculation
 Model-s;Stretch Model in Cell Calculation
 Model-H;Homogeneous Model in Cell Calculation

(1) U235(n,fission)
 (a) Radial Mapping

NO.	MATRIX POSITION	FOIL LOC.	Z-LOC. (cm)	Measured Value	C/E Model-C	C/E Model-S	C/E Model-H
16	141-49	HI	6.31	3.381E-17	9.819E-01	9.815E-01	9.776E-01
17	142-49	HI	6.31	4.268E-17	1.009E+00	1.008E+00	9.990E-01
89	143-49	KL	8.91	4.821E-17	1.003E+00	1.002E+00	9.975E-01
18	144-49	KL	6.31	5.595E-17	1.034E+00	1.032E+00	1.025E+00
19	145-49	KL	6.31	6.388E-17	1.037E+00	1.036E+00	1.030E+00
20	146-49	KL	6.31	7.231E-17	1.021E+00	1.020E+00	1.016E+00
21	147-49	KL	6.31	7.783E-17	1.025E+00	1.023E+00	1.020E+00
22	148-49	KL	6.31	7.990E-17	1.044E+00	1.043E+00	1.041E+00
33	143-48	KL	6.31	4.869E-17	1.013E+00	1.012E+00	1.005E+00
34	144-48	KL	6.31	5.706E-17	1.006E+00	1.005E+00	9.969E-01
35	145-48	KL	6.31	6.433E-17	1.019E+00	1.018E+00	1.013E-01
36	146-48	KL	6.31	7.091E-17	1.031E+00	1.029E+00	1.025E+00
37	147-48	KL	6.31	7.674E-17	1.029E+00	1.027E+00	1.024E+00
38	148-48	KL	6.31	7.909E-17	1.043E+00	1.043E+00	1.041E+00
39	149-48	KL	6.31	8.051E-17	1.041E+00	1.039E+00	1.039E+00
40	144-47	KL	6.31	5.438E-17	1.027E+00	1.025E+00	1.019E+00
41	145-47	KL	6.31	6.109E-17	1.034E+00	1.033E+00	1.028E+00
42	146-47	KL	6.31	6.748E-17	1.041E+00	1.039E+00	1.036E+00
43	147-47	KL	6.31	7.254E-17	1.045E+00	1.044E+00	1.041E+00
44	148-47	KL	6.31	7.653E-17	1.038E+00	1.036E+00	1.034E+00
45	149-47	KL	6.31	7.675E-17	1.050E+00	1.049E+00	1.048E+00
46	144-46	KL	6.31	5.242E-17	1.001E+00	1.000E+00	9.965E-01
47	146-46	KL	6.31	6.387E-17	1.025E+00	1.023E+00	1.021E+00
48	147-46	KL	6.31	6.840E-17	1.032E+00	1.030E+00	1.030E+00
49	148-46	KL	6.31	7.096E-17	1.043E+00	1.042E+00	1.040E+00
50	149-46	KL	6.31	7.233E-17	1.040E+00	1.038E+00	1.037E+00
51	145-45	KL	6.31	5.358E-17	1.013E+00	1.012E+00	1.012E+00
52	146-45	KL	6.31	5.842E-17	1.019E+00	1.017E+00	1.015E+00
53	147-45	KL	6.31	6.125E-17	1.045E+00	1.044E+00	1.041E+00
54	148-45	KL	6.31	6.447E-17	1.039E+00	1.037E+00	1.035E+00
55	149-45	KL	6.31	6.490E-17	1.047E+00	1.045E+00	1.047E+00
58	146-44	KL	6.31	5.250E-17	1.011E+00	1.010E+00	1.009E+00
59	147-44	KL	6.31	5.526E-17	1.020E+00	1.019E+00	1.016E+00
60	148-44	KL	6.31	5.775E-17	1.019E+00	1.017E+00	1.016E+00
61	149-44	KL	6.31	5.791E-17	1.030E+00	1.028E+00	1.029E+00
65	147-43	KL	6.31	4.728E-17	1.029E+00	1.028E+00	1.030E+00
66	148-43	KL	6.31	5.044E-17	1.004E+00	1.003E+00	1.004E+00
67	149-43	KL	6.31	5.100E-17	1.008E+00	1.007E+00	1.008E+00
72	149-42	HI	6.31	4.346E-17	1.007E+00	1.006E+00	1.010E+00
76	149-41	HI	6.31	3.548E-17	9.605E-01	9.601E-01	9.679E-01

a) Unit of fissions per atom per second at a reactor power of approximately 1 watt.

(b) Axial Traverse

NO.	MATRIX	FOIL	Z-LOC.	Measured Value	C/E Model-C	C/E Model-S	C/E Model-H
117	249-49	HI	38.18	3.293E-17	1.012E+00	1.011E+00	1.004E+00
118	249-49	HI	33.10	3.984E-17	1.010E+00	1.013E+00	1.018E+00
119	249-49	EF	29.23	4.441E-17	1.005E+00	1.013E+00	1.014E+00
120	249-49	EF	26.81	4.635E-17	1.022E+00	1.033E+00	1.035E+00
121	249-49	EF	24.15	5.013E-17	1.025E+00	1.024E+00	1.013E+00
122	249-49	EF	21.73	5.345E-17	1.013E+00	1.023E+00	1.024E+00
123	249-49	EF	19.07	5.738E-17	1.019E+00	1.017E+00	1.009E+00
124	249-49	EF	16.65	6.042E-17	1.023E+00	1.021E+00	1.014E+00
125	249-49	EF	13.99	6.390E-17	1.024E+00	1.022E+00	1.016E+00
126	249-49	EF	11.57	6.665E-17	1.029E+00	1.027E+00	1.022E+00
127	249-49	EF	8.91	6.887E-17	1.042E+00	1.041E+00	1.036E+00
128	249-49	EF	6.49	7.073E-17	1.053E+00	1.052E+00	1.048E+00
129	249-49	EF	3.83	7.385E-17	1.046E+00	1.044E+00	1.041E+00
130	249-49	EF	1.41	7.654E-17	1.038E+00	1.036E+00	1.034E+00
131	149-49	KL	1.41	7.808E-17	1.046E+00	1.044E+00	1.042E+00
132	149-49	KL	3.83	7.923E-17	1.051E+00	1.050E+00	1.048E+00
133	149-49	KL	6.49	8.076E-17	1.049E+00	1.047E+00	1.046E+00
134	149-49	KL	8.91	8.137E-17	1.053E+00	1.051E+00	1.050E+00
135	149-49	KL	11.57	8.212E-17	1.052E+00	1.051E+00	1.050E+00
136	149-49	KL	13.99	8.346E-17	1.039E+00	1.038E+00	1.037E+00
137	149-49	KL	16.65	8.365E-17	1.037E+00	1.035E+00	1.034E+00
138	149-49	KL	19.07	8.274E-17	1.044E+00	1.042E+00	1.041E+00
139	149-49	KL	21.73	8.224E-17	1.041E+00	1.040E+00	1.039E+00
140	149-49	KL	24.13	8.121E-17	1.042E+00	1.041E+00	1.039E+00
141	149-49	KL	26.81	8.109E-17	1.026E+00	1.024E+00	1.023E+00
142	149-49	KL	29.23	7.942E-17	1.027E+00	1.025E+00	1.023E+00
143	149-49	KL	31.83	7.666E-17	1.036E+00	1.035E+00	1.032E+00
144	149-49	KL	34.31	7.461E-17	1.035E+00	1.034E+00	1.031E+00
145	149-49	KL	36.97	7.175E-17	1.039E+00	1.037E+00	1.033E+00
146	149-49	KL	39.39	6.985E-17	1.028E+00	1.026E+00	1.022E+00
147	149-49	KL	42.05	6.685E-17	1.026E+00	1.024E+00	1.019E+00
148	149-49	KL	44.47	6.406E-17	1.021E+00	1.020E+00	1.014E+00
149	149-49	KL	47.13	6.041E-17	1.024E+00	1.022E+00	1.014E+00
150	149-49	KL	49.55	5.752E-17	1.017E+00	1.015E+00	1.006E+00
151	149-49	KL	52.21	5.425E-17	1.009E+00	1.008E+00	9.976E-01
152	149-49	KL	54.63	5.092E-17	1.010E+00	1.008E+00	9.973E-01
153	149-49	KL	57.29	4.734E-17	1.013E+00	1.012E+00	1.001E+00
154	149-49	KL	59.71	4.492E-17	1.003E+00	1.002E+00	9.940E-01
155	149-49	HI	63.58	4.129E-17	9.992E-01	9.981E-01	9.876E-01
156	149-49	HI	68.66	3.359E-17	9.920E-01	9.914E-01	9.845E-01

a) Unit of fissions per atom per second at a reactor power of approximately 1 watt.

Table 5.3.4-8 Reaction Rates Analysis in the Plate Reference Core of ZPPR-12

--- Comparison of C/E values ---

Model-C;Center-Line Model in Cell Calculation

Model-s;Stretch Model in Cell Calculation

Model-H;Homogeneous Model in Cell Calculation

(1) U238(n,fission)

(a) Radial Mapping

NO.	MATRIX POSITION	FOIL LOC.	Z-LOC. (cm)	Measured Value	C/E Model-C	C/E Model-S	C/E Model-H
16	141-49	HI	7.70	3.473E-19	9.575E-01	9.574E-01	9.713E-01
17	142-49	HI	7.70	6.266E-19	1.103E+00	1.101E+00	1.115E+00
89	143-49	KL	8.91	1.635E-18	9.286E-01	9.281E-01	8.810E-01
18	144-49	KL	7.70	2.216E-18	9.575E-01	9.541E-01	9.090E-01
19	145-49	KL	7.70	2.692E-18	9.701E-01	9.721E-01	9.300E-01
20	146-49	KL	7.70	3.088E-18	9.764E-01	9.783E-01	9.376E-01
21	147-49	KL	7.70	3.385E-18	9.782E-01	9.802E-01	9.402E-01
22	148-49	KL	7.70	3.518E-18	9.930E-01	9.949E-01	9.548E-01
33	143-48	KL	7.70	1.537E-18	9.422E-01	9.443E-01	8.972E-01
34	144-48	KL	7.70	2.165E-18	9.531E-01	9.552E-01	9.098E-01
35	145-48	KL	7.70	2.703E-18	9.521E-01	9.541E-01	9.115E-01
36	146-48	KL	7.70	3.056E-18	9.739E-01	9.758E-01	9.352E-01
37	147-48	KL	7.70	3.368E-18	9.719E-01	9.738E-01	9.341E-01
38	148-48	KL	7.70	3.526E-18	9.802E-01	9.821E-01	9.423E-01
39	149-48	KL	7.70	3.620E-18	9.726E-01	9.745E-01	9.343E-01
40	144-47	KL	7.70	1.991E-18	9.406E-01	9.426E-01	8.982E-01
41	145-47	KL	7.70	2.488E-18	9.681E-01	9.702E-01	9.275E-01
42	146-47	KL	7.70	2.884E-18	9.780E-01	9.799E-01	9.389E-01
43	147-47	KL	7.70	3.214E-18	9.701E-01	9.721E-01	9.325E-01
44	148-47	KL	7.70	3.377E-18	9.775E-01	9.794E-01	9.399E-01
45	149-47	KL	7.70	3.389E-18	9.925E-01	9.944E-01	9.540E-01
46	144-46	KL	7.70	1.660E-18	9.578E-01	9.599E-01	9.127E-01
47	146-46	KL	7.70	2.642E-18	9.654E-01	9.674E-01	9.269E-01
48	147-46	KL	7.70	2.954E-18	9.668E-01	9.688E-01	9.284E-01
49	148-46	KL	7.70	3.146E-18	9.652E-01	9.671E-01	9.282E-01
50	149-46	KL	7.70	3.198E-18	9.685E-01	9.704E-01	9.315E-01
51	145-45	KL	7.70	1.795E-18	9.609E-01	9.633E-01	9.185E-01
52	146-45	KL	7.70	2.242E-18	9.679E-01	9.701E-01	9.290E-01
53	147-45	KL	7.70	2.605E-18	9.544E-01	9.564E-01	9.167E-01
54	148-45	KL	7.70	2.699E-18	9.892E-01	9.912E-01	9.514E-01
55	149-45	KL	7.70	2.790E-18	9.787E-01	9.808E-01	9.416E-01
58	146-44	KL	7.70	1.756E-18	9.544E-01	9.566E-01	9.167E-01
59	147-44	KL	7.70	2.079E-18	9.697E-01	9.719E-01	9.324E-01
60	148-44	KL	7.70	2.288E-18	9.644E-01	9.664E-01	9.276E-01
61	149-44	KL	7.70	2.358E-18	9.628E-01	9.648E-01	9.235E-01
65	147-43	KL	7.70	1.531E-18	9.510E-01	9.532E-01	9.155E-01
66	148-43	KL	7.70	1.746E-18	9.435E-01	9.456E-01	9.086E-01
67	149-43	KL	7.70	1.768E-18	9.650E-01	9.672E-01	9.283E-01
72	149-42	HI	7.70	6.860E-19	1.086E+00	1.085E+00	1.116E+00
76	149-41	HI	7.70	3.246E-19	1.124E+00	1.123E+00	1.156E+00

a) Unit of fissions per atom per second at a reactor power of approximately 1 watt.

TABLE 5.3.4-9 Reaction Rates Analysis in the Plate Reference Core of ZPPR-12
 --- Comparison of C/E values ---

Model-C;Center-Line Model in Cell Calculation

Model-s;Stretch Model in Cell Calculation

Model-H;Homogeneous Model in Cell Calculation

(1) U238(n,fission)

(b) Axial Traverse

NO.	MATRIX POSITION	FOIL LOC.	Z-LOC. (cm)	Measured Value	C/E Model-C	C/E Model-S	C/E Model-H
111	249-49	HI	68.68	2.047E-20	5.641E-01	5.638E-01	5.732E-01
112	249-49	HI	63.58	2.877E-20	7.019E-01	7.018E-01	7.130E-01
113	249-49	HI	58.50	4.026E-20	8.889E-01	8.885E-01	9.023E-01
114	249-49	HI	53.42	5.812E-20	1.105E+00	1.105E+00	1.121E+00
115	249-49	HI	48.34	9.646E-20	1.210E+00	1.209E+00	1.227E+00
116	249-49	HI	43.26	1.890E-19	1.141E+00	1.141E+00	1.157E+00
117	249-49	HI	38.18	3.312E-19	1.217E+00	1.216E+00	1.233E+00
118	249-49	HI	33.10	6.332E-19	1.203E+00	1.202E+00	1.218E+00
120	249-49	EF	26.81	1.700E-18	9.516E-01	9.537E-01	9.067E-01
121	249-49	EF	24.15	2.001E-18	9.378E-01	9.398E-01	8.950E-01
123	249-49	EF	19.07	2.348E-18	9.810E-01	9.831E-01	9.383E-01
126	249-49	EF	11.57	2.889E-18	9.745E-01	9.764E-01	9.341E-01
127	249-49	EF	8.91	3.021E-18	9.814E-01	9.833E-01	9.413E-01
129	249-49	EF	3.83	3.270E-18	9.811E-01	9.831E-01	9.420E-01
132	149-49	KL	3.83	3.553E-18	9.770E-01	9.789E-01	9.392E-01
134	149-49	KL	8.91	3.701E-18	9.657E-01	9.676E-01	9.287E-01
135	149-49	KL	11.57	3.669E-18	9.825E-01	9.845E-01	9.450E-01
138	149-49	KL	19.07	3.713E-18	9.705E-01	9.724E-01	9.335E-01
140	149-49	KL	24.15	3.591E-18	9.829E-01	9.848E-01	9.450E-01
141	149-49	KL	26.81	3.583E-18	9.678E-01	9.697E-01	9.304E-01
144	149-49	KL	34.31	3.292E-18	9.745E-01	9.764E-01	9.359E-01
146	149-49	KL	39.39	3.056E-18	9.699E-01	9.718E-01	9.305E-01
147	149-49	KL	42.05	2.925E-18	9.622E-01	9.641E-01	9.226E-01
150	149-49	KL	49.55	2.399E-18	9.6000-01	9.620E-01	9.184E-01
152	149-49	KL	54.63	2.015E-18	9.309E-01	9.329E-01	8.887E-01
153	149-49	KL	57.29	1.687E-18	9.586E-01	9.607E-01	9.137E-00
155	149-49	HI	63.58	6.667E-19	1.142E+00	1.142E+00	1.167E+00
156	149-49	HI	68.66	3.456E-19	1.166E+00	1.166E+00	1.182E+00

a) Unit of fissions per atom per second at a reactor power of approximately 1 watt.

Table 5.3.4-10 Reaction Rates Analysis in the Plate Reference Core of ZPPR-12

--- Comparison of C/E values ---

Model-C;Center-Line Model in Cell Calculation

Model-s;Stretch Model in Cell Calculation

Model-H;Homogeneous Model in Cell Calculation

(1) U238(n,gamma)

(a) Radial Mapping

NO.	MATRIX POSITION	FOIL LOC.	Z-LOC. (cm)	Measured Value	C/E Model-C	C/E Model-S	C/E Model-H
16	141-49	HI	7.70	4.358E-18	1.007E-01	1.007E+00	1.005E+00
17	142-49	HI	7.70	5.552E-18	1.016E+00	1.016E+00	1.010E+00
89	143-49	KL	8.91	6.430E-18	1.019E+00	1.025E+00	1.061E+00
18	144-49	KL	7.70	7.253E-18	1.018E+00	1.023E+00	1.054E+00
19	145-49	KL	7.70	8.042E-18	1.036E+00	1.039E+00	1.069E+00
20	146-49	KL	7.70	8.810E-18	1.044E+00	1.047E+00	1.077E+00
21	147-49	KL	7.70	9.369E-18	1.055E+00	1.058E+00	1.089E+00
22	148-49	KL	7.70	9.740E-18	1.059E+00	1.062E+00	1.094E+00
33	143-48	KL	7.70	6.374E-18	1.021E+00	1.026E+00	1.065E+00
34	144-48	KL	7.70	7.140E-18	1.030E+00	1.034E+00	1.065E+00
35	145-48	KL	7.70	7.981E-18	1.034E+00	1.037E+00	1.069E+00
36	146-48	KL	7.70	8.721E-18	1.045E+00	1.048E+00	1.079E+00
37	147-48	KL	7.70	9.286E-18	1.054E+00	1.057E+00	1.088E+00
38	148-48	KL	7.70	9.664E-18	1.057E+00	1.060E+00	1.092E+00
39	149-48	KL	7.70	9.791E-18	1.057E+00	1.060E+00	1.094E+00
40	144-47	KL	7.70	6.942E-18	1.040E+00	1.045E+00	1.081E+00
41	145-47	KL	7.70	7.656E-18	1.044E+00	1.048E+00	1.082E+00
42	146-47	KL	7.70	8.375E-18	1.049E+00	1.052E+00	1.084E+00
43	147-47	KL	7.70	8.929E-18	1.055E+00	1.059E+00	1.091E+00
44	148-47	KL	7.70	9.310E-18	1.057E+00	1.060E+00	1.092E+00
45	149-47	KL	7.70	9.424E-18	1.059E+00	1.062E+00	1.095E+00
46	144-46	KL	7.70	6.674E-18	1.032E+00	1.038E+00	1.080E+00
47	146-46	KL	7.70	7.908E-18	1.042E+00	1.046E+00	1.081E+00
48	147-46	KL	7.70	8.394E-18	1.051E+00	1.054E+00	1.089E+00
49	148-46	KL	7.70	8.746E-18	1.053E+00	1.056E+00	1.090E+00
50	149-46	KL	7.70	8.844E-18	1.056E+00	1.059E+00	1.093E+00
51	145-45	KL	7.70	6.773E-18	1.045E+00	1.050E+00	1.095E+00
52	146-45	KL	7.70	7.398E-18	1.027E+00	1.031E+00	1.067E+00
53	147-45	KL	7.70	7.725E-18	1.044E+00	1.048E+00	1.083E+00
54	148-45	KL	7.70	7.968E-18	1.053E+00	1.057E+00	1.091E+00
55	149-45	KL	7.70	8.056E-18	1.055E+00	1.058E+00	1.094E+00
58	146-44	KL	7.70	6.672E-18	1.037E+00	1.043E+00	1.087E+00
59	147-44	KL	7.70	7.035E-18	1.026E+00	1.030E+00	1.068E+00
60	148-44	KL	7.70	7.256E-18	1.030E+00	1.033E+00	1.070E+00
61	149-44	KL	7.70	7.239E-18	1.044E+00	1.047E+00	1.086E+00
65	147-43	KL	7.70	6.252E-18	1.023E+00	1.029E+00	1.077E+00
66	148-43	KL	7.70	6.385E-18	1.031E+00	1.036E+00	1.081E+00
67	149-43	KL	7.70	6.460E-18	1.031E+00	1.036E+00	1.081E+00
72	149-42	HI	7.70	5.582E-18	1.025E+00	1.025E+00	1.032E+00
76	149-41	HI	7.70	4.579E-18	9.842E-01	9.842E-01	9.951E-01

a) Unit of fissions per atom per second at a reactor power of approximately 1 watt.

Table 5.3.4-11 Reaction Rates Analysis in the Center-Pin Zone Core
of ZPPR-12

--- Comparisons of C/E Values---

(1) Pu239(n,fission)

(a) Radial Mapping

NO.	MATRIX POSITION	LOC	Z-LOC (cm)	MEASURED VALUES	C/E Pin-Zone
-----	-----------------	-----	------------	-----------------	--------------

5	149-53	11	15.39	6.762E-17	1.003E+00
6	149-52	11	15.39	7.697E-17	9.943E-01
7	149-51	11	15.39	8.436E-17	9.872E-01
8	149-50	11	15.39	8.867E-17	9.885E-01
17	145-49	3	15.39	6.685E-17	1.015E+00
19	146-49	3	15.39	7.344E-17	1.042E+00
21	147-49	3	15.39	8.203E-17	1.014E+00
23	148-49	3	15.39	8.598E-17	1.018E+00
25	150-49	11	15.39	8.948E-17	9.862E-01
26	151-49	11	15.39	8.283E-17	1.019E+00
27	152-49	11	15.39	7.745E-17	1.009E+00
35	145-48	11	15.39	6.907E-17	9.713E-01
36	146-48	11	15.39	7.779E-17	9.726E-01
37	147-48	11	15.39	8.209E-17	1.003E+00
38	148-48	11	15.39	8.636E-17	1.003E+00
39	149-48	11	15.39	8.787E-17	1.005E+00
43	146-47	11	15.39	7.356E-17	9.817E-01
44	147-47	11	15.39	7.942E-17	9.909E-01
45	148-47	11	15.39	8.355E-17	9.921E-01
46	149-47	11	15.39	8.457E-17	9.993E-01
50	146-46	11	15.39	6.921E-17	9.625E-01
51	147-46	11	15.39	7.308E-17	9.954E-01
52	148-46	11	15.39	7.524E-17	1.020E+00
53	149-46	11	15.39	7.827E-17	9.999E-01
57	148-45	11	15.39	6.955E-17	9.856E-01
58	149-45	11	15.39	7.185E-17	9.741E-01

a) Unit of fissions per atom per second at a reactor power of approximately 1 watt.

Table 5.3.4-12 Reaction Rates Analysis in the Center-Pin Zone Core
of ZPPR-12

--- Comparisons of C/E Values---

(1) Pu239(n,fission)

(a) Axial Traverse

NO.	MATRIX	LOC	Z-LOC	MEASURED VALUES	C/E Pin-Zone
			(cm)		
92	249-49	HI	38.18	2.900E-17	9.945E-01 } BL
93	249-49	HI	33.10	3.719E-17	9.777E-01 }
94	249-49	15	22.98	5.210E-17	1.021E+00
95	249-49	3	15.39	6.401E-17	1.001E+00
96	249-49	15	7.74	7.446E-17	1.002E+00
97	149-49	14	7.74	8.766E-17	9.991E-01
98	149-49	2	15.39	8.791E-17	1.015E+00
99	149-49	14	22.98	8.766E-17	9.991E-01
100	149-49	14	38.22	7.516E-17	9.924E-01
101	149-49	2	45.87	6.481E-17	9.884E-01
102	149-49	14	53.46	5.372E-17	9.906E-01
103	149-49	HI	63.58	3.850E-17	9.733E-01 } BL
104	149-49	HI	68.66	3.030E-17	9.519E-01 }
113	249-49	TL	26.81	4.625E-17	1.023E+00
114	249-49	TL	24.15	5.073E-17	1.017E+00
116	249-49	TL	19.07	5.835E-17	1.007E+00
119	249-49	TL	11.57	6.926E-17	1.006E+00
120	249-49	TL	8.91	7.329E-17	9.989E-01
122	249-49	TL	3.83	7.854E-17	1.007E+00
125	149-49	TR	3.83	8.435E-17	1.014E+00
127	149-49	TR	8.91	8.805E-17	1.001E+00
128	149-49	TR	11.57	8.854E-17	1.004E+00
133	149-49	TR	24.15	8.709E-17	9.992E-01
134	149-49	TR	26.81	8.435E-17	1.014E+00
137	149-49	TR	34.39	7.893E-17	1.001E+00
139	149-49	TR	39.39	7.283E-17	1.005E+00
140	149-49	TR	42.06	6.934E-17	1.005E+00
143	149-49	TR	49.55	5.938E-17	9.898E-01
145	149-49	TR	54.63	5.177E-17	9.961E-01
146	149-49	TR	57.29	4.678E-17	1.011E+00

a) Unit of fissions per atom per second at a reactor power of approximately 1 watt.

Table 5.3.4-12 Reaction Rates Analysis in the Center-Pin Zone Core
of ZPPR-12

--- Compariosn of C/E Values---

(1) U235(n,fission)

(a) Radial Mapping

NO.	MATRIX POSITION	LOC	Z-LOC (cm)	MEASURED VALUES	C/E Pin-Zone
-----	-----------------	-----	------------	-----------------	--------------

5	149-53	11	15.32	6.493E-17	1.032E+00
6	149-52	11	15.32	7.159E-17	1.046E+00
7	149-51	11	15.32	7.819E-17	1.037E+00
8	149-50	11	15.32	8.132E-17	1.047E+00
17	145-49	3	15.32	6.353E-17	1.055E+00
19	146-49	3	15.32	7.007E-17	1.068E+00
21	147-49	3	15.32	7.619E-17	1.063E+00
23	148-49	3	15.32	8.096E-17	1.050E+00
25	150-49	11	15.32	8.209E-17	1.044E+00
26	151-49	11	15.32	7.746E-17	1.060E+00
27	152-49	11	15.32	7.192E-17	1.062E+00
35	145-48	11	15.32	6.548E-17	1.014E+00
36	146-48	11	15.32	7.189E-17	1.031E+00
37	147-48	11	15.32	7.770E-17	1.032E+00
38	148-48	11	15.32	8.140E-17	1.034E+00
39	149-48	11	15.32	8.190E-17	1.046E+00
43	146-47	11	15.32	7.019E-17	1.012E+00
44	147-47	11	15.32	7.469E-17	1.029E+00
45	148-47	11	15.32	7.722E-17	1.045E+00
46	149-47	11	15.32	7.906E-17	1.040E+00
50	146-46	11	15.32	6.458E-17	1.024E+00
51	147-46	11	15.32	7.001E-17	1.022E+00
52	148-46	11	15.32	7.301E-17	1.029E+00
53	149-46	11	15.32	7.336E-17	1.043E+00
57	148-45	11	15.32	6.504E-17	1.041E+00
58	149-45	11	15.32	6.623E-17	1.041E+00

a)Unit of fissions per atom per second at a reactor power of approximately 1 watt.

Table 5.4.3-13 Reaction Rates Analysis in the Center-Pin Zone Core
of ZPPR-12

--- Compariosn of C/E Values---

(I) U238(n,fission)

(a) Radial Mapping

NO.	MATRIX POSITION	LOC	Z-LOC (cm)	MEASURED VALUES	C/E Pin-Zone
-----	-----------------	-----	------------	-----------------	--------------

5	149-53	11	15.34	2.625E-18	9.816E-01
6	149-52	11	15.34	3.108E-18	9.632E-01
7	149-51	11	15.34	3.399E-18	9.719E-01
8	149-50	11	15.34	3.588E-18	9.751E-01
17	145-49	3	15.34	2.660E-18	9.689E-01
19	146-49	3	15.34	3.049E-18	9.815E-01
21	147-49	3	15.34	3.333E-18	9.901E-01
23	148-49	3	15.34	3.612E-18	9.675E-01
25	150-49	11	15.34	3.713E-18	9.496E-01
26	151-49	11	15.34	3.398E-18	9.876E-01
27	152-49	11	15.34	3.118E-18	9.846E-01
35	145-48	11	15.34	2.692E-18	9.413E-01
36	146-48	11	15.34	3.218E-18	9.168E-01
37	147-48	11	15.34	3.455E-18	9.433E-01
38	148-48	11	15.34	3.721E-18	9.281E-01
39	149-48	11	15.34	3.583E-18	9.845E-01
43	146-47	11	15.34	2.843E-18	9.771E-01
44	147-47	11	15.34	3.319E-18	9.311E-01
45	148-47	11	15.34	3.448E-18	9.525E-01
46	149-47	11	15.34	3.478E-18	9.658E-01
50	146-46	11	15.34	2.710E-18	9.174E-01
51	147-46	11	15.34	3.016E-18	9.298E-01
52	148-46	11	15.34	3.064E-18	9.789E-01
53	149-46	11	15.34	3.258E-18	9.437E-01
57	148-45	11	15.34	2.758E-18	9.446E-01
58	149-45	11	15.34	2.813E-18	9.540E-01

a)Unit of fissions per atom per second at a reactor power of approximately 1 watt.

Table 5.3.4-14 Reaction Rates Analysis in the Center-Pin Zone Core
of ZPPR-12

--- Comparisons of C/E Values---

(1) U238(n,fission)

(a) Axial Traverse

NO.	MATRIX	LOC	Z-LOC	MEASURED VALUES	C/E Pin-Zone
		POSITION	(cm)		
92	249-49	HI	38.18	3.686E-19	1.160E+00 }
93	249-49	HI	33.10	7.016E-19	1.152E+00 } BL
94	249-49	5	22.96	2.070E-18	9.564E-01
95	249-49	3	15.34	2.630E-18	9.533E-01
96	249-49	5	7.72	3.158E-18	9.394E-01
97	149-49	8	7.72	3.699E-18	9.465E-01
98	149-49	2	15.34	3.804E-18	9.379E-01
100	149-49	8	38.20	3.104E-18	9.554E-01
101	149-49	2	45.82	2.671E-18	9.389E-01
102	149-49	8	53.44	2.019E-18	9.801E-01
103	149-49	HI	63.58	6.820E-19	1.184E+00 }
104	149-49	HI	68.66	3.608E-19	1.185E+00 } BL
113	249-49	TC	26.81	1.700E-18	9.671E-01
114	249-49	TC	24.15	1.951E-18	9.684E-01
116	249-49	TC	19.07	2.383E-18	9.482E-01
119	249-49	TC	11.57	2.934E-18	9.404E-01
120	249-49	TC	8.91	3.072E-18	9.473E-01
122	249-49	TC	3.83	3.267E-18	9.663E-01
125	149-49	TC	3.83	3.568E-18	9.598E-01
127	149-49	TC	8.91	3.722E-18	9.480E-01
128	149-49	TC	11.57	3.768E-18	9.448E-01
133	149-49	TC	24.15	3.624E-18	9.611E-01
134	149-49	TC	26.81	3.568E-18	9.598E-01
137	149-49	TC	34.39	3.272E-18	9.639E-01
139	149-49	TC	39.39	3.101E-18	9.384E-01
140	149-49	TC	42.06	2.918E-18	9.453E-01
143	149-49	TC	49.55	2.405E-18	9.395E-01
145	149-49	TC	54.63	1.976E-18	9.562E-01
146	149-49	TC	57.29	1.666E-18	9.866E-01

a) Unit of fissions per atom per second at a reactor power of approximately 1 watt.

Table 5.3.4-15 Reaction Rates Analysis in the Center-Pin Zone Core
of ZPPR-12

--- Compariosn of C/E Values---

(1) U238(n,gamma)

(a) Radial Mapping

NO.	MATRIX	LOC	Z-LOC	MEASURED VALUES	C/E Pin-Zone
			(cm)		
5	149-53	11	15.34	8.352E-18	1.045E+00
6	149-52	11	15.34	9.084E-18	1.065E+00
7	149-51	11	15.34	9.815E-18	1.062E+00
8	149-50	11	15.34	1.024E-17	1.066E+00
17	145-49	3	15.34	8.192E-18	1.066E+00
19	146-49	3	15.34	8.996E-18	1.075E+00
21	147-49	3	15.34	9.640E-18	1.081E+00
23	148-49	3	15.34	1.019E-17	1.071E+00
25	150-49	11	15.34	1.034E-17	1.063E+00
26	151-49	11	15.34	9.840E-18	1.072E+00
27	152-49	11	15.34	9.218E-18	1.069E+00
35	145-48	11	15.34	8.388E-18	1.032E+00
36	146-48	11	15.34	9.284E-18	1.032E+00
37	147-48	11	15.34	9.909E-18	1.041E+00
38	148-48	11	15.34	1.030E-17	1.048E+00
39	149-48	11	15.34	1.035E-17	1.062E+00
43	146-47	11	15.34	8.882E-18	1.038E+00
44	147-47	11	15.34	9.552E-18	1.039E+00
45	148-47	11	15.34	9.808E-18	1.058E+00
46	149-47	11	15.34	9.927E-18	1.064E+00
50	146-46	11	15.34	8.368E-18	1.035E+00
51	147-46	11	15.34	8.904E-18	1.042E+00
52	148-46	11	15.34	9.234E-18	1.051E+00
53	149-46	11	15.34	9.314E-18	1.059E+00
57	148-45	11	15.34	8.380E-18	1.052E+00
58	149-45	11	15.34	8.558E-18	1.047E+00

a)Unit of fissions per atom per second at a reactor power of
approximately 1 watt.

Table 5.3.4-16 Reaction Rates Analysis in the Enhanced Streaming Cell
 Core in ZPPR-12
 ----- Comparison of C/E Values (R134B data)

(1) U235(n,fission)

(a) Radial Mapping

NO.	MATRIX POSITION	LOC.	Z-LOC. (cm)	MEASURED VALUES	C/E Model-C
1	149-60	HI	6.31	1.395E-17	8.764E-01
2	149-58	HI	6.31	2.624E-17	9.141E-01
3	149-55	CD	6.31	5.028E-17	9.950E-01
4	149-54	CD	6.31	5.786E-17	1.004E+00
5	149-53	CD	6.31	6.545E-17	1.007E+00
6	149-52	CD	6.31	7.193E-17	1.010E+00
7	149-51	CD	6.31	7.736E-17	1.005E+00
8	149-50	CD	6.31	7.933E-17	1.017E+00
9	137-49	HI	6.31	1.020E-17	8.656E-01
10	138-49	HI	6.31	1.414E-17	8.791E-01
11	139-49	HI	6.31	1.969E-17	8.966E-01
12	140-49	HI	6.31	2.710E-17	9.050E-01
13	141-49	HI	6.31	3.496E-17	9.423E-01
14	142-49	HI	6.31	4.360E-17	9.728E-01
15	143-49	MN	6.31	4.981E-17	9.738E-01
16	144-49	MN	6.31	5.659E-17	9.944E-01
17	145-49	MN	6.31	6.395E-17	1.003E+00
18	146-49	MN	6.31	7.063E-17	1.007E+00
19	147-49	MN	6.31	7.613E-17	1.006E+00
20	148-49	MN	6.31	7.959E-17	1.006E+00
21	151-49	MN	6.31	7.627E-17	1.004E+00
22	152-49	MN	6.31	7.126E-17	9.984E-01
23	153-49	MN	6.31	6.414E-17	1.000E+00
24	154-49	MN	6.31	5.693E-17	9.887E-01
25	155-49	MN	6.31	4.968E-17	9.767E-01
26	156-49	HI	6.31	4.397E-17	9.650E-01
27	158-49	HI	6.31	2.657E-17	9.231E-01
28	160-49	HI	6.31	1.396E-17	8.904E-01
29	143-48	MN	6.31	4.968E-17	9.692E-01
30	144-48	MN	6.31	5.689E-17	9.823E-01
31	145-48	MN	6.31	6.426E-17	9.899E-01
32	146-48	MN	6.31	7.075E-17	9.985E-01
33	147-48	MN	6.31	7.579E-17	1.004E+00
34	148-48	MN	6.31	7.889E-17	1.008E+00
35	149-48	MN	6.31	7.997E-17	1.009E+00
36	143-47	MN	6.31	4.745E-17	9.938E-01
37	144-47	MN	6.31	5.471E-17	9.857E-01
38	145-47	MN	6.31	6.138E-17	9.990E-01
39	146-47	MN	6.31	6.857E-17	9.924E-01
40	147-47	MN	6.31	7.259E-17	1.010E+00
41	148-47	MN	6.31	7.563E-17	1.014E+00
42	149-47	MN	6.31	7.657E-17	1.016E+00

a)Unit of fissions per atom per second at a reactor power of approximately 1 watt

Table 5.3.4-16 Reaction Rates Analysis in the Enhanced Streaming Cell
 (continued) Core in ZPPR-12

----- Comparison of C/E Values (R134B data)

(1) U235(n,fission)

(a) Radial Mapping

NO.	MATRIX POSITION	LOC.	Z-LOC. (cm)	MEASURED VALUES	C/E Model-C
-----	-----------------	------	----------------	--------------------	----------------

43	144-46	MN	6.31	5.181E-17	9.863E-01
44	146-46	MN	6.31	6.302E-17	1.009E+00
45	147-46	MN	6.31	6.788E-17	1.008E+00
46	148-46	MN	6.31	7.096E-17	1.010E+00
47	149-46	MN	6.31	7.209E-17	1.009E+00
48	145-45	MN	6.31	5.310E-17	9.972E-01
49	146-45	MN	6.31	5.793E-17	1.000E+00
50	147-45	MN	6.31	6.121E-17	1.016E+00
51	148-45	MN	6.31	6.421E-17	1.012E+00
52	149-45	MN	6.31	6.544E-17	1.008E+00
53	144-44	HI	6.31	4.253E-17	9.641E-01
54	145-44	HI	6.31	4.770E-17	9.917E-01
55	146-44	MN	6.31	5.227E-17	9.898E-01
56	147-44	MN	6.31	5.500E-17	9.984E-01
57	148-44	MN	6.31	5.712E-17	1.002E+00
58	149-44	MN	6.31	5.757E-17	1.009E+00
59	144-43	HI	6.31	3.581E-17	9.442E-01
60	145-43	HI	6.31	4.126E-17	9.585E-01
61	146-43	HI	6.31	4.543E-17	9.744E-01
62	147-43	MN	6.31	4.810E-17	9.856E-01
63	148-43	MN	6.31	4.966E-17	9.926E-01
64	149-43	MN	6.31	5.038E-17	9.929E-01
65	145-42	HI	6.31	3.358E-17	9.389E-01
66	146-42	HI	6.31	3.720E-17	9.610E-01
67	147-42	HI	6.31	4.023E-17	9.700E-01
68	148-42	HI	6.31	4.204E-17	9.753E-01
69	149-42	HI	6.31	4.277E-17	9.748E-01
70	146-41	HI	6.31	2.936E-17	9.347E-01
71	147-41	HI	6.31	3.196E-17	9.420E-01
72	148-41	HI	6.31	3.357E-17	9.471E-01
73	149-41	HI	6.31	3.505E-17	9.240E-01
74	149-40	HI	6.31	2.627E-17	9.130E-01
75	149-39	HI	6.31	1.972E-17	8.804E-01
76	149-38	HI	6.31	1.392E-17	8.786E-01
77	149-37	HI	6.31	1.006E-17	8.631E-01

a)Unit of fissions per atom per second at a reactor power of approximately 1 watt

Table 5.3.4-16 Reaction Rates Analysis in the Enhanced Streaming Cell
 Core in ZPPR-12
 ----- Comparison of C/E Values (R134B data)

(2) Axial Traverse

NO.	MATRIX	LOC.	Z-LOC. (cm)	MEASURED VALUES	C/E Model-C
78	249-49	HI	73.74	4.035E-18	7.567E-01
79	249-49	HI	68.66	5.338E-18	8.550E-01
80	249-49	HI	63.58	7.292E-18	9.211E-01
81	249-49	HI	58.50	1.025E-17	9.448E-01
82	249-49	HI	53.42	1.414E-17	9.593E-01
83	249-49	HI	48.34	1.924E-17	9.653E-01
84	249-49	HI	43.26	2.531E-17	9.790E-01
85	249-49	HI	38.18	3.230E-17	9.915E-01
86	249-49	HI	33.10	3.977E-17	9.758E-01
87	249-49	CD	29.23	4.437E-17	9.722E-01
88	249-49	CD	26.81	4.670E-17	9.781E-01
89	249-49	CD	24.15	4.964E-17	9.781E-01
90	249-49	CD	21.73	5.326E-17	9.631E-01
91	249-49	CD	19.07	5.702E-17	9.608E-01
92	249-49	CD	16.65	5.899E-17	9.915E-01
93	249-49	CD	13.99	6.367E-17	9.903E-01
94	249-49	CD	11.57	6.577E-17	1.019E+00
95	249-49	CD	8.91	6.887E-17	1.028E+00
96	249-49	CD	6.49	7.107E-17	1.032E+00
97	249-49	CD	3.83	7.367E-17	1.023E+00
98	249-49	MN	1.41	7.630E-17	1.008E+00
99	149-49	MN	1.41	7.702E-17	1.019E+00
100	149-49	MN	3.83	8.000E-17	9.980E-01
101	149-49	MN	6.49	8.125E-17	9.999E-01
102	149-49	MN	8.91	8.200E-17	1.003E+00
103	149-49	MN	11.57	8.215E-17	1.009E+00
104	149-49	MN	13.99	8.322E-17	1.000E+00
105	149-49	MN	16.65	8.338E-17	9.980E-01
106	149-49	MN	19.07	8.349E-17	9.927E-01
107	149-49	MN	21.73	8.298E-17	9.902E-01
108	149-49	MN	24.15	8.145E-17	9.964E-01
109	149-49	MN	26.81	8.031E-17	9.930E-01
110	149-49	MN	29.23	7.977E-17	9.829E-01
111	149-49	MN	31.89	7.719E-17	9.962E-01
112	149-49	MN	34.31	7.495E-17	1.006E+00
113	149-49	MN	36.97	7.186E-17	1.021E+00
114	149-49	MN	39.39	7.004E-17	1.011E+00
115	149-49	MN	42.05	6.649E-17	1.008E+00
116	149-49	MN	44.47	6.357E-17	9.918E-01
117	149-49	MN	47.13	6.135E-17	9.534E-01

a)Unit of fissions per atom per second at a reactor power of approximately 1 watt

Table 5.3.4-16 Reaction Rates Analysis in the Enhanced Streaming Cell
 (continued) Core in ZPPR-12

----- Comparison of C/E Values (R134B data)

(2) Axial Traverse

NO.	MATRIX	LOC.	Z-LOC. (cm)	MEASURED VALUES	C/E Model-C
-----	--------	------	----------------	--------------------	----------------

118	149-49	MN	49.55	5.666E-17	9.669E-01
119	149-49	MN	52.21	5.337E-17	9.612E-01
120	149-49	MN	54.63	5.102E-17	9.517E-01
121	149-49	MN	57.29	4.798E-17	9.521E-01
122	149-49	MN	59.71	4.516E-17	9.553E-01
123	149-49	HI	63.58	4.067E-17	9.756E-01
124	149-49	HI	68.66	3.367E-17	9.510E-01
125	149-49	HI	73.74	2.628E-17	9.429E-01
126	149-49	HI	78.82	2.003E-17	9.274E-01
127	149-49	HI	83.90	1.465E-17	9.308E-01
128	149-49	HI	88.98	1.032E-17	9.382E-01
129	149-49	HI	94.71	7.250E-18	8.826E-01
130	149-49	HI	99.79	5.294E-18	8.195E-01

a)Unit of fissions per atom per second at a reactor power of
 approximately 1 watt

Table 5.3.4-17 Reaction Rates Analysis in the Rotated-Cell Plate Core
in ZPPR-12

----- Comparison of C/E Values (R128A data) -----

(1) U235(n,fission) Radial Mapping

NO.	MATRIX POSITION	LOC.	Z-LOC. (cm)	MEASURED VALUES	C/E Model-C	C/E Model-S
-----	-----------------	------	----------------	--------------------	----------------	----------------

1	149-60	HI	6.31	1.399E-17	8.797E-01	8.813E-01
2	149-58	HI	6.31	2.647E-17	9.114E-01	9.127E-01
3	149-54	CD	6.31	5.855E-17	9.930E-01	9.928E-01
4	149-52	CD	6.31	7.212E-17	1.004E+00	1.004E+00
5	149-50	CD	6.31	7.908E-17	1.015E+00	1.015E+00
6	137-49	HI	6.31	1.030E-17	8.490E-01	8.506E-01
7	138-49	HI	6.31	1.412E-17	8.721E-01	8.738E-01
8	139-49	HI	6.31	1.961E-17	8.911E-01	8.926E-01
9	140-49	HI	6.31	2.671E-17	9.086E-01	9.100E-01
10	141-49	HI	6.31	3.447E-17	9.448E-01	9.457E-01
11	142-49	HI	6.31	4.289E-17	9.766E-01	9.768E-01
12	144-49	MN	6.31	5.566E-17	1.000E+00	1.000E+00
13	146-49	MN	6.31	6.954E-17	1.016E+00	1.016E+00
14	148-49	MN	6.31	7.813E-17	1.019E+00	1.019E+00
15	150-49	MN	6.31	7.904E-17	1.007E+00	1.007E+00
16	152-49	MN	6.31	7.078E-17	9.979E-01	9.977E-01
17	154-49	MN	6.31	5.609E-17	9.928E-01	9.927E-01
18	156-49	HI	6.31	4.326E-17	9.687E-01	9.690E-01
19	157-49	HI	6.31	3.492E-17	9.329E-01	9.338E-01
20	158-49	HI	6.31	2.648E-17	9.165E-01	9.178E-01
21	160-49	HI	6.31	1.398E-17	8.810E-01	8.826E-01
22	143-48	MN	6.31	4.852E-17	9.803E-01	9.806E-01
23	145-48	MN	6.31	6.250E-17	1.009E+00	1.009E+00
24	147-48	MN	6.31	7.462E-17	1.013E+00	1.013E+00
25	149-48	MN	6.31	7.959E-17	1.009E+00	1.009E+00
26	144-47	MN	6.31	5.388E-17	9.904E-01	9.903E-01
27	146-47	MN	6.31	6.722E-17	1.006E+00	1.006E+00
28	148-47	MN	6.31	7.501E-17	1.017E+00	1.017E+00
29	147-46	MN	6.31	6.735E-17	1.012E+00	1.012E+00
30	149-46	MN	6.31	7.175E-17	1.010E+00	1.010E+00
31	146-45	MN	6.31	5.798E-17	9.962E-01	9.961E-01
32	148-45	MN	6.31	6.414E-17	1.012E+00	1.011E+00
33	144-44	HI	6.31	4.212E-17	9.410E-01	9.430E-01
34	145-44	HI	6.31	4.749E-17	9.723E-01	9.735E-01
35	147-44	MN	6.31	5.551E-17	9.896E-01	9.895E-01
36	149-44	MN	6.31	5.777E-17	1.006E+00	1.006E+00
37	144-43	HI	6.31	3.559E-17	9.483E-01	9.493E-01
38	145-43	HI	6.31	4.117E-17	9.606E-01	9.612E-01
39	146-43	HI	6.31	4.547E-17	9.749E-01	9.751E-01
40	148-43	MN	6.31	4.986E-17	9.921E-01	9.921E-01
41	145-42	HI	6.31	3.350E-17	9.425E-01	9.436E-01

a) Unit of reactions per atom per second at a reactor power
of approximately 1 watt

Table 5.3.4-17(continurd)

NO.	MATRIX POSITION	LOC.	Z-LOC, (cm)	MEASURED VALUES	C/E Model-C	C/E Model-S
42	146-42	HI	6.31	3.753E-17	9.550E-01	9.558E-01
43	147-42	HI	6.31	4.049E-17	9.671E-01	9.676E-01
44	148-42	HI	6.31	4.217E-17	9.768E-01	9.772E-01
45	149-42	HI	6.31	4.341E-17	9.656E-01	9.659E-01
46	146-41	HI	6.31	2.949E-17	9.342E-01	9.354E-01
47	147-41	HI	6.31	3.202E-17	9.446E-01	9.456E-01
48	148-41	HI	6.31	3.401E-17	9.401E-01	9.410E-01
49	149-41	HI	6.31	3.547E-17	9.182E-01	9.191E-01
50	149-40	HI	6.31	2.664E-17	9.058E-01	9.070E-01
51	149-39	HI	6.31	1.971E-17	8.864E-01	8.879E-01
52	149-38	HI	6.31	1.402E-17	8.776E-01	8.792E-01
53	149-37	HI	6.31	1.029E-17	8.499E-01	8.516E-01

a)Unit of reactions per atom per second at a reactor power
of approximately 1 watt

Table 5.3.4-18 Reaction Rate Ratios Analysis in the Plate Reference Core
of ZPPR-12

--- Comparison of C/E values in the core region---

(1) U235(n,fission)/Pu239(n,fission)
(a) Radial Mapping (Near Midplane)

No.	MATRIX POSITION	Measured Value	Measured Error(%)	C/E Model-C	C/E Model-S	C/E Model-H
89	143-49	9.3898E-01	8.8654E-03	1.014	1.012	1.014
18	144-49	9.3969E-01	8.6530E-03	1.051	1.049	1.047
19	145-49	9.2001E-01	7.9036E-03	1.051	1.049	1.046
20	146-49	9.3990E-01	8.5597E-03	1.016	1.015	1.013
21	147-49	9.3083E-01	8.0912E-03	1.020	1.019	1.016
22	148-49	9.2252E-01	8.1640E-03	1.026	1.025	1.023
33	143-48	1.0053E+00	9.4303E-03	1.031	1.029	1.026
34	144-48	9.7520E-01	9.7364E-03	1.016	1.015	1.012
35	145-48	9.4885E-01	9.0340E-03	1.020	1.018	1.016
36	146-48	9.4003E-01	8.2242E-03	1.017	1.016	1.013
37	147-48	9.2742E-01	8.3193E-03	1.024	1.023	1.021
38	148-48	9.1847E-01	7.7117E-03	1.031	1.030	1.028
39	149-48	9.1925E-01	7.8380E-03	1.028	1.027	1.026
40	144-47	9.7237E-01	8.7127E-03	1.034	1.033	1.030
41	145-47	9.3754E-01	8.4720E-03	1.041	1.039	1.036
42	146-47	9.3299E-01	8.0550E-03	1.030	1.028	1.026
43	147-47	9.1646E-01	7.9078E-03	1.040	1.038	1.036
44	148-47	9.2267E-01	7.7441E-03	1.029	1.027	1.025
45	149-47	9.0286E-01	7.5317E-03	1.050	1.049	1.047
46	144-46	1.0104E+00	9.1021E-03	1.017	1.015	1.013
47	146-46	9.5229E-01	8.6306E-03	1.018	1.016	1.014
48	147-46	9.3307E-01	8.4406E-03	1.027	1.026	1.024
49	148-46	9.2341E-01	8.0522E-03	1.033	1.032	1.030
50	149-46	9.3107E-01	8.1702E-03	1.023	1.022	1.020
51	145-45	1.0001E+00	9.3440E-03	1.016	1.015	1.013
52	146-45	9.5918E-01	9.0560E-03	1.028	1.027	1.024
53	147-45	9.3618E-01	8.4941E-03	1.037	1.035	1.032
54	148-45	9.2918E-01	8.1037E-03	1.037	1.035	1.032
55	149-45	9.2635E-01	8.4350E-03	1.037	1.036	1.033
58	146-44	1.0009E+00	9.4158E-03	1.018	1.016	1.013
59	147-44	9.7829E-01	9.3041E-03	1.014	1.013	1.009
60	148-44	9.6324E-01	9.2314E-03	1.018	1.016	1.013
61	149-44	9.3919E-01	9.4072E-03	1.040	1.038	1.036
65	147-43	9.8502E-01	9.1954E-03	1.048	1.046	1.043
66	148-43	9.9680E-01	9.3463E-03	1.018	1.016	1.013
67	149-43	9.8644E-01	9.9540E-03	1.024	1.022	1.019

- a) Model-C;Center-Line Model in Cell Calculation
Model-s;Stretch Model in Cell Calculation
Model-H;Homogeneous Model in Cell Calculation

Table 5.3.4-19 Reaction Rate Ratios Analysis in the Plate Reference Core
of ZPPR-12

--- Comparison of C/E values in the core region---

(1) U238(n,fission)/Pu239(n,fission)

(a) Radial Mapping (Near Midplane)

No.	MATRIX POSITION	Measured Value	Measured Error(%)	C/E Model-C	C/E Model-S	C/E Model-H
89	143-49	3.1853E-02	1.4376E-02	0.935	0.937	0.895
18	144-49	3.7216E-02	1.4387E-02	0.968	0.970	0.928
19	145-49	3.8768E-02	1.3021E-02	0.972	0.985	0.944
20	146-49	4.0138E-02	1.3023E-02	0.972	0.974	0.935
21	147-49	4.0487E-02	1.2065E-02	0.974	0.976	0.937
22	148-49	4.0620E-02	1.3138E-02	0.975	0.978	0.938
33	143-48	3.1730E-02	1.5866E-02	0.959	0.960	0.916
34	144-48	3.6998E-02	1.4410E-02	0.962	0.964	0.923
35	145-48	3.9870E-02	1.2672E-02	0.952	0.954	0.914
36	146-48	4.0510E-02	1.1529E-02	0.961	0.963	0.924
37	147-48	4.0701E-02	1.1881E-02	0.968	0.970	0.931
38	148-48	4.0944E-02	1.2864E-02	0.967	0.969	0.930
39	149-48	4.1329E-02	1.1158E-02	0.961	0.963	0.922
40	144-47	3.5591E-02	1.3519E-02	0.947	0.949	0.908
41	145-47	3.8173E-02	1.1969E-02	0.974	0.976	0.935
42	146-47	3.9872E-02	1.2085E-02	0.967	0.969	0.930
43	147-47	4.0610E-02	1.1355E-02	0.965	0.967	0.928
44	148-47	4.0715E-02	1.2599E-02	0.965	0.971	0.932
45	149-47	3.9870E-02	1.2881E-02	0.992	0.994	0.953
46	144-46	3.1988E-02	1.4758E-02	0.973	0.974	0.928
47	146-46	3.9402E-02	1.2859E-02	0.959	0.961	0.920
48	147-46	4.0301E-02	1.2255E-02	0.962	0.964	0.923
49	148-46	4.0939E-02	1.2079E-02	0.956	0.958	0.919
50	149-46	4.1174E-02	1.3752E-02	0.953	0.955	0.916
51	145-45	3.3511E-02	1.3877E-02	0.964	0.966	0.920
52	146-45	3.6812E-02	1.3777E-02	0.977	0.979	0.938
53	147-45	3.9812E-02	1.2341E-02	0.947	0.949	0.909
54	148-45	3.8894E-02	1.3908E-02	0.987	0.989	0.949
55	149-45	3.9821E-02	1.2057E-02	0.970	0.972	0.931
58	146-44	3.3485E-02	1.4527E-02	0.961	0.963	0.920
59	147-44	3.6808E-02	1.5638E-02	0.964	0.966	0.926
60	148-44	3.8171E-02	1.3316E-02	0.963	0.966	0.925
61	149-44	3.8245E-02	1.4469E-02	0.972	0.974	0.932
65	147-43	3.1906E-02	1.4696E-02	0.969	0.971	0.927
66	148-43	3.4501E-02	1.6031E-02	0.956	0.958	0.916
67	149-43	3.4201E-02	1.4680E-02	0.980	0.982	0.938

a) Model-C;Center-Line Model in Cell Calculation

Model-S;Stretch Model in Cell Calculation

Model-H;Homogeneous Model in Cell Calculation

Table 5.3.4-20 Reaction Rate Ratios Analysis in the Plate Reference Core
of ZPPR-12

--- Comparison of C/E values in the core region ---

(1) U238(n,gamma)/Pu239(n,fission)
(a) Radial Mapping (Near Midplane)

No.	MATRIX POSITION	Measured Value	Measured Error	C/E Model-C	C/E Model-S	C/E Model-H
89	143-49	1.2524E-01	9.0365E-03	1.030	1.035	1.078
18	144-49	1.2181E-01	8.7282E-03	1.036	1.040	1.076
19	145-49	1.1582E-01	8.1619E-03	1.049	1.052	1.086
20	146-49	1.1452E-01	8.3530E-03	1.039	1.042	1.074
21	147-49	1.1205E-01	7.9786E-03	1.050	1.053	1.085
22	148-49	1.1245E-01	8.1296E-03	1.040	1.043	1.075
33	143-48	1.3161E-01	9.4441E-03	1.038	1.044	1.088
34	144-48	1.2202E-01	9.4762E-03	1.040	1.044	1.081
35	145-48	1.1771E-01	8.8989E-03	1.034	1.038	1.072
36	146-48	1.1561E-01	8.5871E-03	1.031	1.034	1.066
37	147-48	1.1222E-01	8.1773E-03	1.050	1.053	1.085
38	148-48	1.1223E-01	7.9168E-03	1.043	1.046	1.078
39	149-48	1.1179E-01	8.0200E-03	1.045	1.048	1.080
40	144-47	1.2412E-01	8.8140E-03	1.048	1.052	1.092
41	145-47	1.1748E-01	8.7655E-03	1.050	1.054	1.090
42	146-47	1.1580E-01	8.4399E-03	1.037	1.041	1.074
43	147-47	1.1280E-01	8.0710E-03	1.050	1.053	1.085
44	148-47	1.1224E-01	7.8975E-03	1.048	1.051	1.083
45	149-47	1.1086E-01	7.7889E-03	1.058	1.061	1.094
46	144-46	1.2864E-01	8.8987E-03	1.048	1.053	1.098
47	146-46	1.1791E-01	8.2273E-03	1.035	1.039	1.073
48	147-46	1.1449E-01	8.2706E-03	1.046	1.049	1.083
49	148-46	1.1381E-01	7.9041E-03	1.043	1.046	1.078
50	149-46	1.1384E-01	7.9914E-03	1.040	1.043	1.075
51	145-45	1.2643E-01	9.0218E-03	1.048	1.053	1.096
52	146-45	1.2146E-01	8.9595E-03	1.036	1.040	1.077
53	147-45	1.1808E-01	8.5508E-03	1.036	1.040	1.074
54	148-45	1.1483E-01	8.4606E-03	1.051	1.055	1.088
55	149-45	1.1499E-01	8.5486E-03	1.045	1.049	1.082
58	146-44	1.2721E-01	9.0550E-03	1.044	1.049	1.091
59	147-45	1.2456E-01	9.2157E-03	1.020	1.024	1.060
60	148-44	1.2103E-01	9.2645E-03	1.029	1.033	1.068
61	149-44	1.1741E-01	8.7087E-03	1.053	1.057	1.094
65	147-43	1.3025E-01	9.1747E-03	1.042	1.047	1.090
66	148-43	1.2618E-01	9.0329E-03	1.045	1.050	1.090
67	149-43	1.2494E-01	9.8322E-03	1.047	1.052	1.092

- a) Model-C;Center-Line Model in Cell Calculation
 Model-s;Stretch Model in Cell Calculation
 Model-H;Homogeneous Model in Cell Calculation

Table 5.3.4-21 Reaction Rate Ratios Analysis in the Center-Pin Zone Core
of ZPPR-12

--- Comparison of C/E Values---

(1) U235(n,fission)/Pu239(n,fission)

(a) Radial Mapping(Core Midplane)

NO.	MATRIX POSITION	MEASURED VALUES	MEASURED ERROR(%)	C/E Pin-Zone
-----	-----------------	-----------------	-------------------	--------------

5	149-53	9.6022E-01	9.8378E-03	1.0288E+00
6	149-52	9.3009E-01	8.8954E-03	1.0522E+00
7	149-51	9.2683E-01	9.0285E-03	1.0504E+00
8	149-50	9.1712E-01	9.2223E-03	1.0588E+00
17	145-49	9.5025E-01	1.1160E-02	1.0397E+00
19	146-49	9.5413E-01	1.1159E-02	1.0257E+00
21	147-49	9.2877E-01	1.0058E-02	1.0483E+00
23	148-49	9.4163E-01	9.5950E-03	1.0313E+00
25	150-49	9.1737E-01	9.6556E-03	1.0581E+00
26	151-49	9.3513E-01	1.0130E-02	1.0403E+00
27	152-49	9.2854E-01	1.0240E-02	1.0526E+00
35	145-48	9.4804E-01	1.0252E-02	1.0436E+00
36	146-48	9.2410E-01	1.0356E-02	1.0601E+00
37	147-48	9.4653E-01	9.8663E-03	1.0293E+00
38	148-48	9.4253E-01	9.5801E-03	1.0309E+00
39	149-48	9.3206E-01	9.1491E-03	1.0414E+00
43	146-47	9.5416E-01	9.4609E-03	1.0309E+00
44	147-47	9.4046E-01	9.8711E-03	1.0390E+00
45	148-47	9.2425E-01	9.9004E-03	1.0537E+00
46	149-47	9.3491E-01	9.2055E-03	1.0405E+00
50	146-46	9.3315E-01	1.0569E-02	1.0640E+00
51	147-46	9.5795E-01	9.9163E-03	1.0265E+00
52	148-46	9.7031E-01	1.1072E-02	1.0087E+00
53	149-46	9.3726E-01	9.6068E-03	1.0426E+00
57	148-45	9.3528E-01	1.0172E-02	1.0558E+00
58	149-45	9.2183E-01	1.0573E-02	1.0688E+00

Table 5.3.4-22 Reaction Rate Ratios Analysis in the Center-Pin Zone Core
of ZPPR-12

--- Compariosn of C/E Values---

(1) U238(n,fission)/Pu239(n,fission)

(a) Radial Mapping(Core Midplane)

NO.	MATRIX POSITION	MEASURED VALUES	MEASURED ERROR(%)	C/E Pin-Zone
5	149-53	3.8814E-02	1.7732E-02	9.7848E-01
6	149-52	4.0385E-02	1.4979E-02	9.6868E-01
7	149-51	4.0290E-02	1.6840E-02	9.8452E-01
8	149-50	4.0466E-02	1.4411E-02	9.8650E-01
17	145-49	3.9789E-02	1.7158E-02	9.5447E-01
19	146-49	4.1513E-02	1.7259E-02	9.4222E-01
21	147-49	4.0636E-02	1.9650E-02	9.7607E-01
23	148-49	4.2006E-02	1.4743E-02	9.5021E-01
25	150-49	4.1491E-02	1.5313E-02	9.6285E-01
26	151-49	4.1018E-02	1.5680E-02	9.6883E-01
27	152-49	4.0253E-02	1.4275E-02	9.7566E-01
35	145-48	3.8980E-02	1.6894E-02	9.6907E-01
36	146-48	4.1370E-02	1.7517E-02	9.4268E-01
37	147-48	4.2090E-02	1.4485E-02	9.4067E-01
38	148-48	4.3083E-02	1.6410E-02	9.2530E-01
39	149-48	4.0775E-02	1.5257E-02	9.7975E-01
43	146-47	3.8644E-02	1.7033E-02	9.9529E-01
44	147-47	4.1787E-02	1.5237E-02	9.3968E-01
45	148-47	4.1273E-02	1.6609E-02	9.6015E-01
46	149-47	4.1126E-02	1.5342E-02	9.6645E-01
50	146-46	3.9159E-02	1.5637E-02	9.5307E-01
51	147-46	4.1260E-02	1.6918E-02	9.3414E-01
52	148-46	4.0726E-02	1.6464E-02	9.6002E-01
53	149-46	4.1622E-02	1.4835E-02	9.4381E-01
57	148-45	3.9652E-02	1.5041E-02	9.5837E-01
58	149-45	3.9146E-02	1.5861E-02	9.7935E-01

Table 5.3.4-23 Reaction Rate Ratios Analysis in the Center-Pin Zone Core
of ZPPR-12

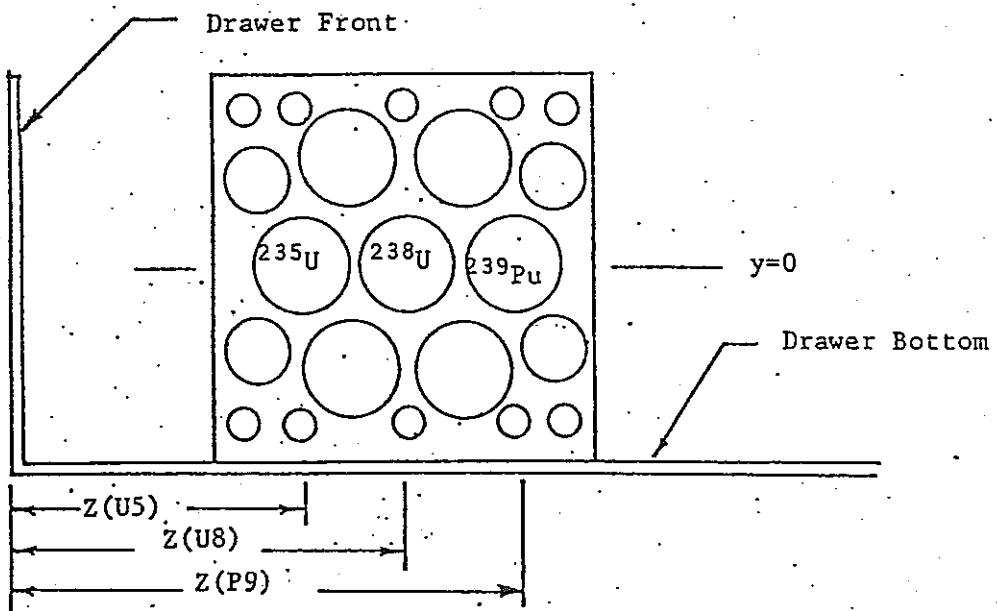
---- Comparisons of C/E Values----

(1) U238(n,gamma)/Pu239(n,fission)

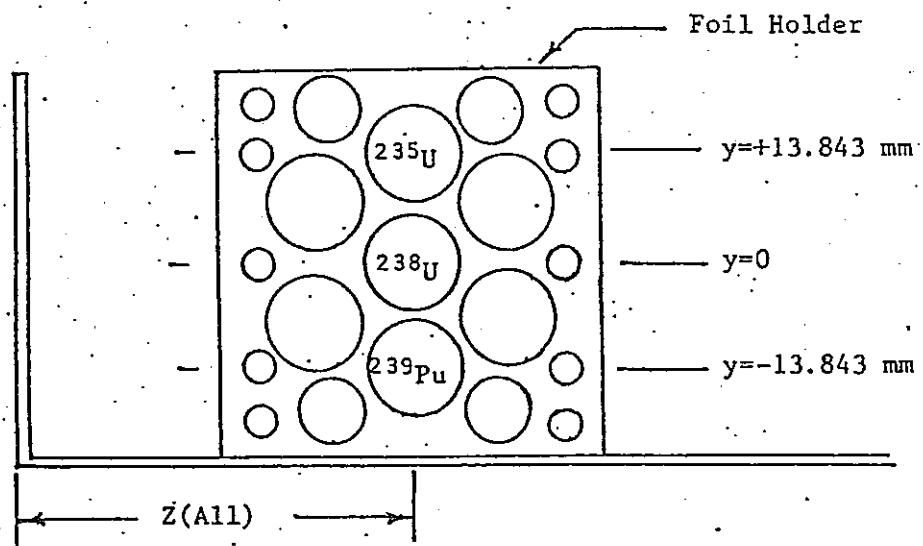
(a) Radial Mapping(Core Midplane)

NO.	MATRIX POSITION	MEASURED VALUES	MEASURED ERROR(%)	C/E Pin-Zone
-----	--------------------	--------------------	----------------------	-----------------

5	149-53	1.2350E-01	9.7178E-03	1.0420E+00
6	149-52	1.1803E-01	8.9554E-03	1.0711E+00
7	149-51	1.1635E-01	8.9700E-03	1.0757E+00
8	149-50	1.1553E-01	9.2129E-03	1.0781E+00
17	145-49	1.2254E-01	1.0822E-02	1.0505E+00
19	146-49	1.2250E-01	1.1115E-02	1.0321E+00
21	147-49	1.1752E-01	9.9443E-03	1.0653E+00
23	148-49	1.1847E-01	9.6141E-03	1.0514E+00
25	150-49	1.1552E-01	9.7083E-03	1.0775E+00
26	151-49	1.1880E-01	1.0089E-02	1.0521E+00
27	152-49	1.1902E-01	1.0106E-02	1.0594E+00
35	145-48	1.2144E-01	1.0198E-02	1.0628E+00
36	146-48	1.1934E-01	1.0390E-02	1.0613E+00
37	147-48	1.2071E-01	1.0009E-02	1.0384E+00
38	148-48	1.1929E-01	9.7061E-03	1.0453E+00
39	149-48	1.1777E-01	9.3872E-03	1.0569E+00
40	149-48	1.1777E-01	9.3872E-03	1.0569E+00
43	146-47	1.2074E-01	9.3115E-03	1.0574E+00
44	147-47	1.2027E-01	9.7472E-03	1.0481E+00
45	148-47	1.1739E-01	9.2958E-03	1.0669E+00
46	149-47	1.1739E-01	8.9997E-03	1.0647E+00
50	146-46	1.2090E-01	1.0545E-02	1.0748E+00
51	147-46	1.2183E-01	9.9397E-03	1.0472E+00
52	148-46	1.2271E-01	1.1260E-02	1.0303E+00
53	149-46	1.1900E-01	9.5303E-03	1.0594E+00
57	148-45	1.2050E-01	1.0021E-02	1.0672E+00
58	149-45	1.1911E-01	1.0402E-02	1.0750E+00



HOLDER ORIENTATION R



HOLDER ORIENTATION A

Fig. 5.3.4-1 Side view cross section of drawer showing irradiation foil locations.

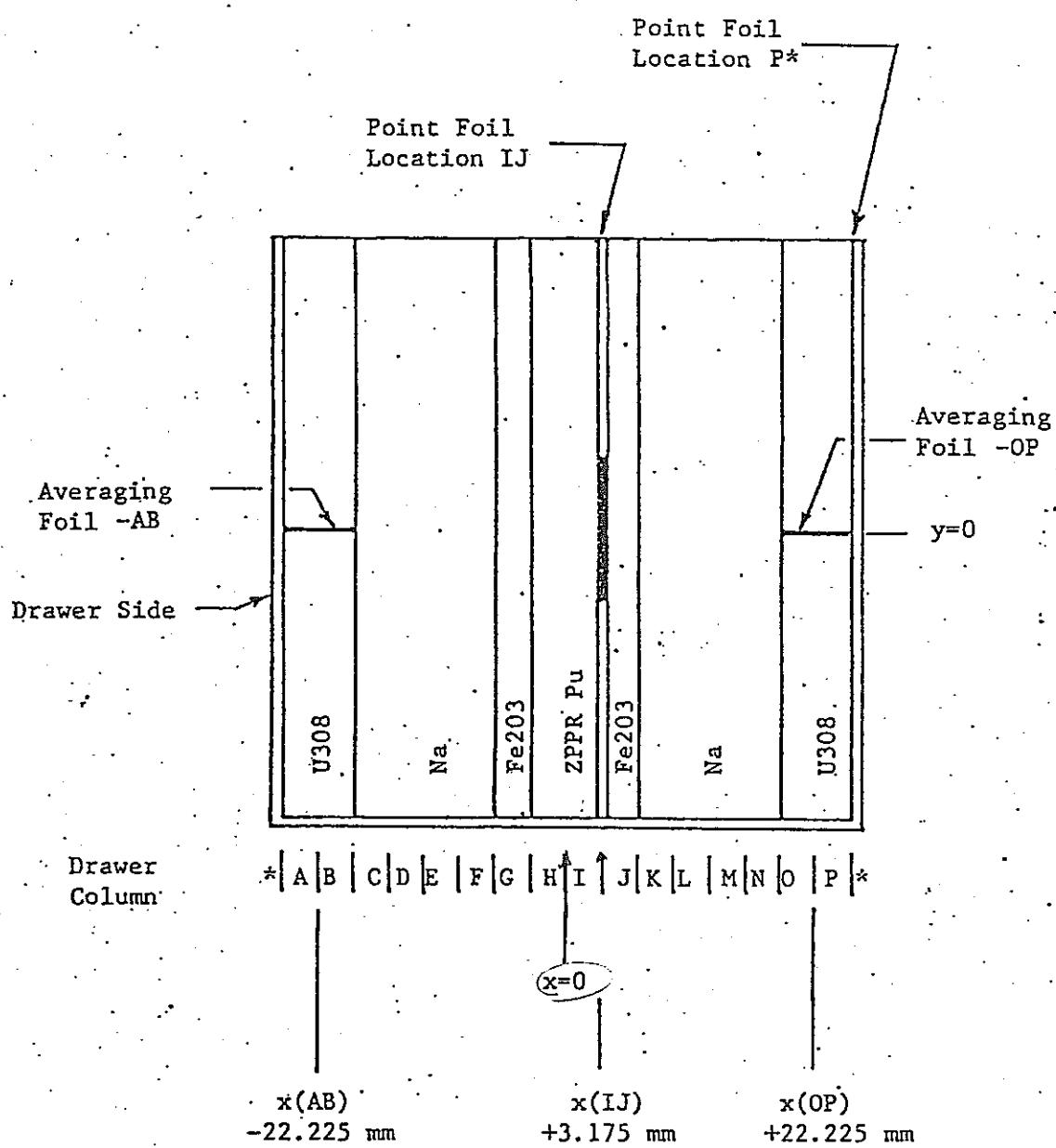


Fig. 5.3.4-2. Cross section of drawer showing typical averaging and point foil locations (view from front of drawer).

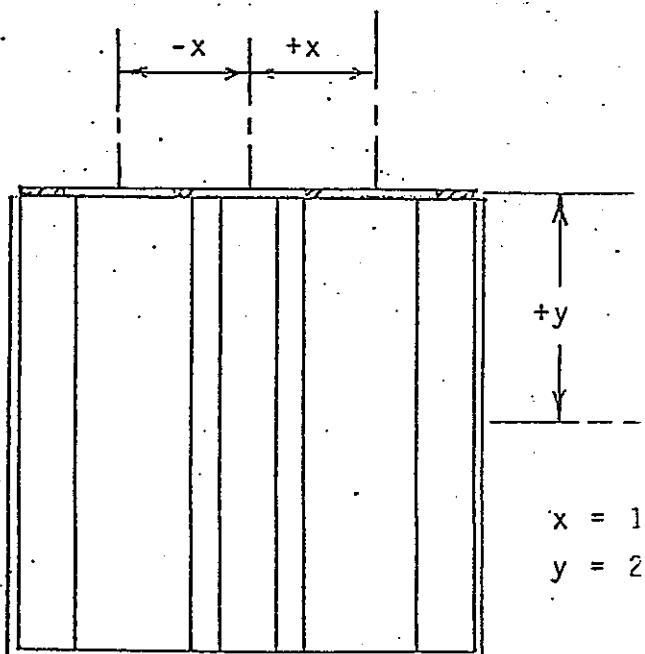
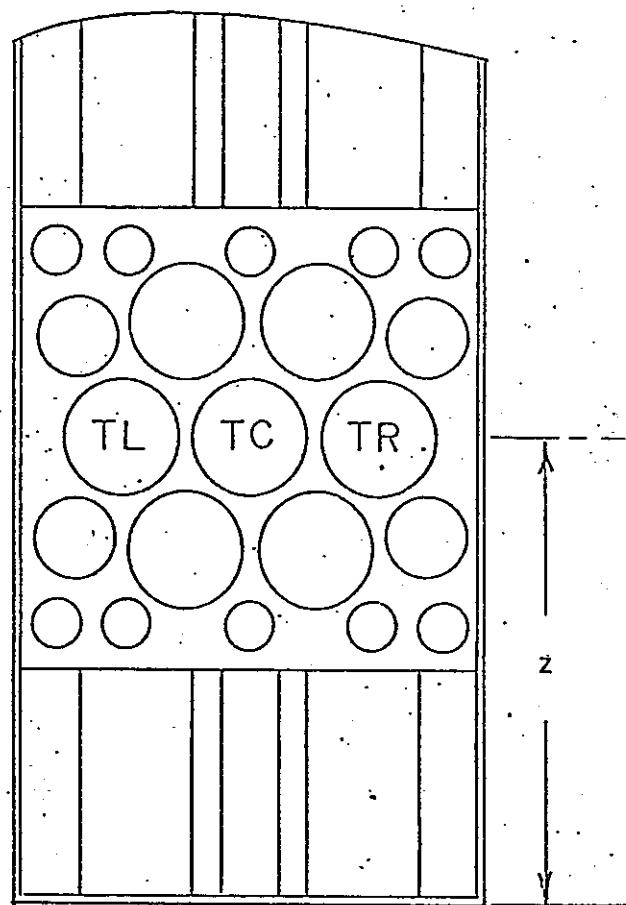
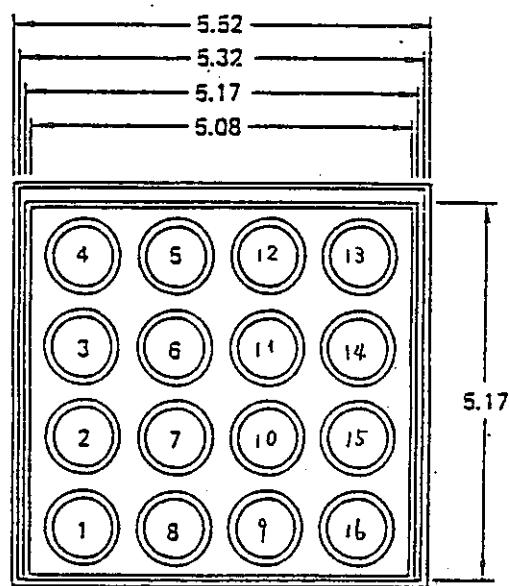


Fig. 5.3.4-3 Location of Foils in Holders Loaded
the Top of Drawers or Calandrias



ZPR Pin Calandria

(dimensions in cm)

Fig. 5.3.4-4 Foil Location Number in Pin Cell

6. 実験・解析データ集の作成とデータベース化の検討

本章では、JUPITER実験・解析データ集の作成とJUPITER実験解析におけるデータベース化の検討についてまとめた。

6.1 実験データ集の作成

JUPITER-III計画において実施されたZPPR-17及びZPPR-18両炉心での模擬臨界実験に関する実験データ集の作成は、本報告書とは別冊にて発行する。ここでは、実験データ集の構成と記載内容についてまとめた。

6.1.1 実験データの集の構成

データ集の作成にあたっては、実験データ集を参照することにより、ZPPRで行なわれた実験の解析ができるることを基本的に考える。そのためには、測定結果を示すデータばかりでなく、実験体系を詳細に把握できるよう物質インベントリー、各部寸法等の体系データが必要となる。

したがって、実験データ集の基本的な構成は次の組合せからなる。

各実験項目で実施された測定項目ごとの

- 炉心体系データ
- 測定結果

ZPPRでの実験方法を考慮すると、上記炉心体系データとして、以下のデータをまとめる必要があると考えられる。

- 実験体系Half-1とHalf-2に対するドロワ装荷データ
- ドロワ内のプレート、放射化箱、検出器等の装荷情報
- プレート、放射化箱、検出器等に対する構造データ（形状、寸法、材質）
- 測定時あるいは測定結果評価時における炉心状態（炉心温度、測定日時、運転用制御棒位置等）

6.1.2 実験データ集の記載内容

実験データ集の記載内容を具体的に明らかにするため、ZPPR-17を例として取り挙げる。

ZPPR-17実験データ集に対する目次構成（案）をTable 6.1.2-1 に示す。

<第1章 序>

Z P P R - 17 実験データ集の位置付けと、収録されているデータの入手方法、範囲について記述する。

<第2章 実験の概要>

Z P P R - 17 で行なわれた Z P P R - 17A, - 17B, - 17C の 3 炉心に対する一連の模擬臨界実験の主体が把握できるよう。

- ① 各実験体系の特徴
- ② 炉心主要仕様
- ③ 実験内容 (実験項目、測定項目、測定方法)
- ④ 実験スケジュール

について、その概略を記述する。

<第3章 Z P P R - 17A 実験データ>

実験データをまとめるにあたって、最もデータ量が多いと考えられる炉心体系データを効率よく整理するために、実験体系ごとに大きく分類し、その中で実施された各実験項目に対する実験データをまとめることとする。

① 炉心体系データ

実験項目ごとばかりでなく測定項目ごとに炉心体系は異なっているが、同一実験項目であれば炉心体系そのものが大きく変更されることなく、数本のドロワの置換が行なわれているのみである。したがって、各測定項目について炉心体系データを全炉心にわたりまとめるのではなく、実験項目ごとに基準となる炉心体系を選定、詳細記述し、測定項目ごとについてはその基準炉心からの変更点のみを記載することとし、炉心体系データの簡素化、低減をはかる。

特に、臨界性測定体系については、最も基準となる炉心体系であるため、臨界性以外の実験項目に対する基準炉心の体系データに加えて、炉心領域ごとの代表的な原子数密度等の詳細データを記述することが望ましい。

また、炉心体系データとしては、炉内におけるドロワ装荷データまでとし、ドロワ内プレート装荷情報等のドロワ単位以下の詳細データについては付録として

記載し、本文の簡素化をはかる。

測定時あるいは測定結果評価時における炉心状態に対するデータとしては、測定値そのものに対する温度補正、 ^{241}Pu の崩壊等に伴う時間補正等の核種補正が施された“結果”が入手されている。したがって、炉心状態に対するデータとしては、測定結果に考慮されていない補正項目をまとめれば十分であると考えられる。これに対応するデータとして、反応率分布測定における運転用制御棒位置が挙げられる。

② 測定結果

測定結果の記述はANLより提示されているディジタル値を正としてまとめ、図のみによる記述は極力避ける。この時、測定評価値だけでなく測定値と各種補正值が明らかであるならば、できるだけ多く記載することが望ましいと考えられる。

第4章 ZPPR-17B実験データ、第5章 ZPPR-17C実験データについても、上記と同じ記載内容についてまとめる。

<付録-A 略語一覧表>

本文中の記述の簡素化・統一性をはかるために、本文中で使用される略語を整理し、その一覧表を作成する。この一覧表には必要に応じて用語の説明も記述することが望ましいと考えられる。

<付録-B ドロワデータ一覧>

ドロワデータ一覧として、各ドロワ番号に対応するドロワ内のプレート、放射化箔、検出器等の装荷状況をまとめる。（これはANLのドロワマスターに対応する。）この時、全てのドロワ番号に対応する装荷状況を記載することも可能であるが、多くのドロワが数種類の基本的装荷パターンに従い、装荷されているプレート番号等が一部異なるのみであるため以下のようにまとめる。

- ① 基本装荷パターンによる全ドロワの分類結果
- ② 基本装荷パターン図

③ 各ドロワの基本装荷パターンとの相異点一覧

<付録-C プレート・放射化箔・検出器等データ一覧>

ドロワ内に装荷されたプレート、放射化箔、検出器等に対する形状、寸法、材質等の構造データをまとめた。

<付録-D 各炉心領域の代表的な原子数密度>

JUPITERサブ・ワーキング・グループにおける実験解析で使用したあるいはANLのZPRレポートに記載されている各炉心領域の代表的な原子数密度を記載し、実験解析実施時の一助となるよう配慮する。

<付録-E ドロワオシレーション法の概要>

ZPPR-17の実験において、ANLで開発された実験手法として、

- ・ドロワオシレーション法
- ・プレートオシレーション法
- ・プレートシフティング法

等が新たに導入されている。実験解析を行なうにあたっては、実験手法を把握することは重要なことである。そこで、従来にない実験手法についてはその内容を記述することは必要であり、付録-E以降に記述する。

6.2 解析データ集の作成

JUPITER-IIIで実施された各実験項目に対する実験解析を記載した解析データ集の作成については、個々の実験解析が実施された報告書に盛り込むこととし、新たに解析データ集として発行しない。

本年度は、

- ① ZPPR-17A, -17B, -17Cの臨界性
- ② ZPPR-17A, -17Bの β_{eff}
- ③ ZPPR-17Aの制御棒反応度価値
- ④ ZPPR-17AのNaボイド反応度

について実験解析が終了し、本報告書の第4章及び付録に実験項目ごとにまとめられ

ている。

6.3 データベース化の検討

本節では JUPITER 実験データ集のデータベース化について検討を行った。

検討に際しては、初めにデータベース化の目的と要求事項を明確にし、データベースに関する調査を通じて JUPITER データベースとして選択すべきデータベース管理ソフトウェア等を示した。さらに、JUPITER データベースとして収納すべきデータを ZPPR-17 を例として検討し、今後の課題を摘出した。

6.3.1 データベース化の目的と要求事項

一般的には、データベース化によってデータの効率的運用が達成され、定形的なデータ処理作業の大幅削減と一元的管理による最新データの維持が可能となる。

JUPITER データベースに要求される事項として以下の項目が挙げられる。

① 実験データの再現性の確保

データベースに収納されたデータにより、常に実験データが再現できることが要求される。

② 実験解析への支援

実験データを収納し管理するだけではなく、解析に必要なデータが、その必要な出力形式で容易に取り出すことができ、実験解析への支援が得られることが望まれる。

上記の要求を達成するために、最終的な JUPITER データベースは、Fig. 6.3.1-1 に示されるように、実験データに関するデータバンク、解析データに関するデータバンク、文献情報に関するデータバンクの 3 つのデータバンクからなるデータベースシステムとすることが望ましいと考えられる。これら 3 つのデータバンクを有機的に結合させることにより、実験解析ばかりでなく設計にも活用できるデータベースとすることが可能になると考えられる。

6.3.2 実験データの運用状況

JUPITER実験で必要とされるデータは実験結果と実験体系データに大きく分類される。

実験結果とは、臨界性、制御棒価値、反応率分布、ドップラ反応度等の各実験項目の測定結果である。

一方、実験体系データとは、ZPPRでの各模擬炉心を解析するのに必要な各部寸法・物質インベントリ、測定パターンなどのデータである。

これらのデータはANLのZPR-TMレポートまたは動燃事業団のANL駐在員からの駐在員レポートによるレポート形態（主に実験結果）と磁気テープ（主に実験体系データ）により入手される。

本項では、JUPITER実験データのデータベース化の検討にあたり、データ量的に問題になると考えられる実験体系データと実験結果の1つである反応率分布データについて、ANLからの入手データの現状をまとめるとともに、この実験体系データのJUPITER実験解析上の使用状況を示した。

(1) 実験データの概要

a. 実験データ入手形態

(a) ADENプレートライブリ

ADENプレートライブリとは、ANL保有の全プレートについて、核種毎の重量をまとめたものであり、磁気テープに収納された形で入手される。

ANL保有のプレートの総数は、約200種類で、それぞれに識別番号としてADEN番号と呼ばれる番号が付けられており、他のプレートと識別できるようになっている。各プレートに対しADENプレートライブリに収納されている核種の総数は、約20種類以下である。

(b) ドロワマスタ

ドロワマスタとは、各実験体系で使用された各ドロワ中のプレート検出器等の装備図で、ANLよりレポートの形で入手される。Fig. 6.3.2-1に、ZPPR-17Aで使用されたドロワマスタ番号No.17-0-101のドロワマスタを例として示す。ここで、ドロワマスタ番号は、ドロワの種類を識別するもの

で、ANLの採番規則に従って設定される。また、Fig. 6.3.2-1で示したドロワマスタにおいてアルファベットは、プレート中の主要な物質を表わし、数値はプレートの長さである。本例に示すドロワは、シングルカラム燃料ドロワで78個のプレートから構成されていることがわかる。

(c) ローディングマップ

ローディングマップとは炉心構成を記述するデータであり、具体的には、前記のドロワマスタで述べた各ドロワーが炉心のどの位置に装荷されているかを示すもので、磁気テープに収納された形で入手される。

ここで、ZPPR-17AのHalf-1のローディングマップを、Fig. 6.3.2-2に示した。本ローディングマップは、Fig. 6.3.2-3に示した炉心構成図の太枠で囲んだ領域でのドロワの装荷状態である。

Fig. 6.3.2-2のローディングマップにおいて、横軸、縦軸の数値は、炉心内の位置を表わすZPPR炉心で定められた座標で、各座標において、装荷しているドロワマスタ番号が記載してある。***印は、領域（反射体、径方向ブランケット、炉心等）の境界を示している。

ローディングマップのデータは大きく分けて、Critical Reference CoreとSubcritical Reference Coreの2種類からなる。それ以外に各測定ごとに実施されたドロワの部分的な装荷変更に関する情報がチェック・サマリとして入手され、すべての測定における炉心装荷状況が把握されるようになっている。

(d) A DEN入力データ

A DEN入力データとは各ドロワのプレート装填情報であり、装填されているプレートの識別番号及び該当セルあたりの装填枚数よりなり、磁気テープにより入手される。Fig. 6.3.2-4にANLより入手したZPPR-17AでのA DEN入力の一部を例として示す。A DEN入力データの具体的な内容は以下の通りである。

ドロワマスタ番号						
実験体系 ; Z P P R17						
MASTER	17	-0-	101	0.000- 6.030 INCHES	6.05000	
15		1.5000	18	6.0000	52	4.0000
92	1.2000	226	1.0000	227	5.0300	
228	1.0000	229	6.0300			

92番のプレートのセル内の装荷割合

(e) 反応率分布データ

実験結果のうち反応率分布データはレポートだけでなく磁気テープによっても入手される。

J U P I T E R 実験では、できるだけ多くの実験情報を得るという観点から、反応率分布の測定に際しては、A N L で保有している ^{238}U , ^{235}U , ^{239}Pu 箔をできるだけ多く使用し、測定している。特に Z P P R - 17 は軸方向非均質炉心であったため、ほぼすべての箔を使用した。A N L で保有されている箔の枚数は以下の通りである。

- ^{235}U 箔 2000枚 (300枚)
- ^{238}U 箔 1000枚 (300枚)
- ^{239}Pu 箔 328枚 (80枚)

() 内はセルファクタ評価用の箔枚数、残りが測定用
反応率分布データとして入手される情報は以下のものがある。

- ・ 箔の種類
- ・ 炉心内装荷位置 (ドロワ単位)
- ・ ドロワ内装荷位置
- ・ カウント測定値
- ・ セルファクタ (反応率換算定数)

- ・反応率（誤差含む、セル平均値）

(f) その他の実験データ

その他に実験結果として臨界性、制御棒価値、ドップラ反応度等の測定結果のデータがある。比較的データ量が多いNaボイド反応度に対する測定結果でも、そのデータ量は約350コであり、反応率分布データ以外の実験結果データの総量は約1000コと考えられる。これらのデータはいづれもレポート形態で入手される。

b. 実験データのデータ量算出

A D E N プレートライブラリは、現 A N L 保有のプレート種類数（約 200 種類）と 1 プレート当りの含有核種数の最大値（約 20 核種）より約 4000 コのデータ量となる。

ドロワマスターは、Z P P R - 17 の実績より基本装填パターンとして約 50 種類を設定した。

ローディングマップは、炉心シリーズによりデータ量が変わるが、Z P P R - 17 では、3 炉心 (Z P P R - 17A, - 17B, - 17C) 組まれ、それぞれに Critical と Subcritical の Reference Core があり、さらに、部分的な装荷変更のデータを考慮すると、最大 30,000 コ程度のデータ量となると予想される。

A D E N 入力データも、炉心シリーズによりデータ量が変わり、ドロワの種類、セルの数及びドロワ内のプレート数に依存する。プレート情報として、プレート識別番号と装荷個数のデータが入るので、合計として、Z P P R - 17 では 4,000 コ程度の量となる。

反応率分布データについては、1 枚の箔につき約 10 コのデータがあり、A N L 保有の反応率測定用箔をすべて使用した時、データ量は約 27000 コになる。

以上の結果を Table 5.3.2-1 にまとめた。これより、Z P P R - 17 における実験データ量は数値データ約 70000 コ、図データ 50 種と概算される。

(2) 実験解析への適用状況

前述した実験データは、現状の実験解析において、下記のように使用されている。

(i) 解析用原子数密度計算

本計算は、ZPPRにおけるドロワ構成、炉心構成に対する解析用の原子数密度を求める計算であり、その計算の流れを Fig. 6.3.2-5 に示した。

① ADENライブラリの改訂

^{241}Pu 核種のように崩壊により核種重量が減少する核種について、体系が臨界となった日付への Decay Correction が必要となる。また、その他にプレートデータが更新された場合、ADENライブラリの改訂が必要となる。これらの処理を「PLTLIB」コードにより実施している。

② ドロワ平均原子数密度計算

ADENライブラリとドロワ内のプレート装填情報であるADEN入力データにより、ドロワ内の平均原子数密度を求める。この処理は「PLUTO」コードにより実施される。

③ 領域平均原子数密度計算

各ドロワーの炉心装荷状態を示すローディングマップデータにより、上記で求めたドロワ平均原子数密度を領域平均化する。この処理は「AVER」コードにより実施している。

(ii) AMM計算

AMM (All Master Model) 計算は各ドロワごとの微妙な組成の違い（主に Pu の組成差）を考慮した体系計算で、Fig. 6.3.2-6 に示した計算の流れに従い実施されている。計算に使用される実験データは、ローディングマップであり、「HERACLES」コードを介して、「CITATION」領域指定データを作成するのに用いられる。

(iii) その他

解析以外に、ドロワの炉内装荷状況をプロットするためのプロッタコードとして「HERACLES-PLOT」コードがあり、ローディングマップのデ

ータを入力としている。Fig. 6.3.2-3 はそのプロット図である。

6.3.3 データベースの調査

前項では、JUPITER実験データとしてANLより入手されるデータについて、その入手形態及びデータ量についてまとめた。本項では、その実験データ入手状況を踏まえ、JUPITERデータベースに適したデータベースシステムを明確にする観点より調査を行なった。(調査の詳細については関連資料(3)に記載されている。)

調査の結果、JUPITERデータベースとしては以下に記すシステムが望ましいと判断される。

① ハードウェア……パーソナル・コンピュータ

一般公衆電話回線によるデータ転送の一般化、他のシステムとの互換性* 及びパーソナル・コンピュータの高性能化を考慮すると、データベースのハードウェアとしては、汎用大型計算機よりパーソナル・コンピュータの方が有利と判断される。(＊オペレーティングシステムとしてMS-DOSを導入)

② ソフトウェア……リレーション型

データベースの拡張に対し柔軟性が高く、使い易さの点で、リレーション型構造をもつデータベースとすることが望ましいと判断される。(Fig. 6.3.3-1, Fig. 6.3.3-2参照)

③ 入出力システムの充実

ANLより入手されるデータのうち、原子数密度等は磁気テープに収納され送付される。また、実験解析は汎用大型計算機により実施されることが多いと考えられるため、外部計算機システムとの結合が容易にできるシステムとすることが望ましい。

6.3.4 JUPITERデータベースの検討

JUPITER-Ⅲ実験はこれまでに全て終了しており、現在その解析が進行中である。そこで、JUPITERデータベースとしては、当面実験データをデータベース化するものとし、解析データのデータベース化については、解析の進捗とJUPITERサブ・ワーキンググループにおける審議を踏えて、その扱いを定める

ものとする。

(1) JUPITERデータベース収納データ

6.3.2項でANLから入手される実験データについてまとめた。その結果次のことが明らかになった。

① 実験解析に必要な原子数密度情報及び炉心体系情報は、

(i) ADENライブラリ

(ii) ADEN入力データ

(iii) ローディングマップ

として磁気テープに収納された状態で入手される。

② ドロワ内の構成については、ドロワマスタとして図の形式で入手される。

③ 実験結果はすべてレポートの形式で入手される。ただし、反応率分布の実験結果については磁気テープに収納された状態でも入手される。

上記の実験データを必要に応じて変換し、実験解析のための入力データとしている。この変換はかなりの部分が補助プログラムを介して自動化されている。

したがって、実験解析に対する実験データの再現性を確保するために、データベースとして収納すべき実験データは以下の項目が挙げられる。（カッコ内はデータ数）

① ADENライブラリ（～4000コ）

② ADEN入力データ（～4000コ）

③ ローディングマップ（～30000コ）

④ ドロワマスタ（～50種類）

さらに、実験値と解析値の比較(C/E値評価等)に必要な実験結果についても、実験解析への支援の観点からデータベースに収納する必要がある。（～30000コ）

(2) データベース収納方法

パーソナルコンピュータを用いたデータベースの規模としては、データ件数約7万件、データ1件あたり約1000バイトのものが実際に使用されている例もある。(JUPITERでのデータ数700万コに相当)したがって、上記収納データ(図も含む)をすべてそのままの形式でデータベースに収納することは不可能で

はない。しかしながら、このような場合、データベースの容量は大きなものとなり、データベース化の大きな制約を与える可能性がある。

そこで、データベース収納方法について検討を行ない、できるだけ小容量化（目標：データ数は10万コ程度）をはかった。

① ADENライブラリ

ADENライブラリの総データ量は高々4000コであり、ライブラリとしての重要性と現状の解析システム（「PLUTO」コードによる原子数密度作成等）を考慮し、ADENライブラリについてはANL入手時のフォーマットにできるだけ近いフォーマットでデータベースに収納する必要があると考えられる。

ADENライブラリのみがANL入手データの中でバイナリーデータとなっており、データ保存の書式を統一する関係上、カードイメージデータに変換する必要がある。したがって、ADENライブラリはANL入手フォーマットのままカードイメージデータに変換しただけの状態でデータベースに収納し、データの活用に対しては表示方法（ファイルへの出力も含む）によって対応することを考える。

② ADEN入力データ

ADEN入力データについてもADENライブラリと同様にANL入手フォーマットのままデータベースに収納するものとし、表示方法の対応によりデータの活用をはかる。

③ ローディングマップ

ローディングマップはFig. 6.3.4-1に示されるように、炉内のドロワ配置情報を提供するものであり、Critical Reference CoreとSubcritical Reference CoreについてはFig. 6.3.4-2のフォーマットに従って磁気テープに収納され入手される。ZPPRの炉心格子の位置は実験によらず標準化されており、Fig. 6.3.4-1のデータフォーマットによってすべての体系の記述が可能である。また、このフォーマットは無駄なデータ（未使用データ）を排除した効率のよいフォーマットとなっている。

各測定において実施されるドロワの装荷変更は、1つの測定につき数ドロワであり、装荷状況の大きな変更とはならない。したがって、ローディングマップについては、各炉心ごとのCritical Reference CoreとSubcritical

Reference CoreについてはANL入手フォーマットのまま全炉心の装荷状況をデータベースに収納するものとし、各測定で実施される装荷変更については、その変更情報（変更位置、変更後のドロワ番号）を収納し、各Reference Coreのデータとあわせて使用することによって炉心装荷状況の再現を得られるようにする。

④ ドロワマスタ

ドロワマスタはドロワ内のプレートの装填状況を示したものであり、ドロワマスタ図として入手される。データベース中に図を収納する場合、以下の方法がある。

- (i) イメージリーダー等を用い、図イメージで収納する。
- (ii) 図作成に必要な情報（線の長さ、始点・終点の座標等）を収納する。
(プロック・テープイメージ)
- (iii) 図をモデル化し、簡略化して収納する。（プロックイメージ）

ANL所有のプレートは概ね標準化されており、次のような寸法となっている。

- ・ 幅 2インチ
- ・ 厚さ 1/16インチの整数倍
- ・ 長さ 1インチの整数倍

したがって、ドロワマスタ図は1/16インチ×1インチのブロック分割によるモデル化が可能であり、データ量の最も少ない（iii）の方式が適用できる。この時のドロワのブロック分割を Fig. 6.3.4-3 に示す。

ドロワマスタのデータベース収納方法として以下の方法が提案される。
(Fig. 6.3.4-4参照)

- ・ ドロワ内プレート位置記述法

ドロワ内のプレート番号 18

プレートの種類 Na

プレートの位置 $\begin{cases} I_{MAX} = 16, & I_{MIN} = 9 \\ J_{MAX} = 12, & J_{MIN} = 5 \end{cases}$

- ・ 標準サイズ外のプレートに対する注記

1/16インチ×1インチにブロック化できないプレート（プレート間の有意な隙間も含む）に対し、その情報を注記として保存する。

上記の方法であれば、ドロワマスタに関するデータ量は1つの炉心について約30000 コになると考えられる。

⑤ 反応率分布データ

ANLから入手される反応率分布測定に対するデータをすべてデータベースに保存する場合、そのデータ量は約27000 コになる。これは必ずしも保存できないデータ量ではない。しかしながら、現状のANLでの測定値に基づいた実験値評価の精度を考慮すると、データベースに保存すべきデータ項目は以下のように絞られる。

- ・ 箔の種類
- ・ 測定位置（ドロワ及びセル単位）
- ・ 反応率（誤差も含む、セル平均値）

これらを所定のフォーマットに基づきデータベースに保存すればよいと考えられる。この時のデータ量は約14000 コになる。

⑥ 反応率分布以外の実験結果

反応率分布データ以外の実験結果に対するデータ量は1炉心につき高々1000コであると考えられる。したがって、データベース化にあたって、保存上の問題にはならない。これらのデータについては、主にその表示方式についての検討が必要であり、JUPITERデータベース使用者の要求を十分把握し、反映されるよう検討する必要がある。

(3) データベースの構成

以上の検討より、JUPITERデータベースとして必要な記憶容量は、データ量にして85000 コ程度であり、パーソナル・コンピュータに十分収納できる。

既存のJUPITER実験解析システムの積極的な利用をはかる観点より、JUPITERデータベースの基本構成として Fig. 6.3.4-5 に示す構成が望ましいと考えられる。

6.3.5 今後の課題

前項までの検討により、JUPITERデータベースの作成において以下のことを明らかにした。

- ① Z P P R -17の実験データに基づき収納すべきデータ量を把握した。
(約85000 コ)
- ② データベース化は使用利便性、機能性を考慮し、パーソナルコンピュータ上に行なう。(リレーショナル型データベース)

上記の検討結果に基づき、今後は J U P I T E R データベースの原型を作成するものとする。具体的には以下の項目を実施する。

(i) 作成準備作業

- ・ハードウェアの選定
- ・データベース管理ソフトウェアの選定(作成も含む)

(ii) 実験データの収納

Z P P R -17での実験データのデータベースへの収納を行なう。

- ・リレーショナルデータベースの各テーブルの定義、各カラムの定義
- ・実験データのデータベースへの入力(入力のために必要なデータ作成作業も含む)
- ・データ出力様式の検討(ファイル出力、プリンター出力等)

原型完成後は、実際にデータベースを使用しながら、適宜改良を行ない、同時に各種の応用ソフトウェアを作成し、データベースシステムの充実をはかるものとする。その際、常に状況を監視し、データの更新・管理に務め、利用者の要求を把握してその改良を行なう必要がある。

Table 6.1.1-1 A Draft of Contents for ZPPR-17 Data Book

1. 序
 2. 実験の概要
 3. Z P P R -17A 実験データ
 - 3.1 臨界性
 - 3.2 制御棒価値
 - 3.3 反応率分布
 - 3.4 γ 線発熱分布
 - 3.5 Na ポイド反応度
 - 3.6 反応度係数
 - 3.7 動特性試験
 4. Z P P R -17B 実験データ
 - 4.1 臨界性
 - 4.2 制御棒価値
 - 4.3 反応率分布
 - 4.4 γ 線発熱分布
 5. Z P P R -17C 実験データ
 - 5.1 臨界性
 - 5.2 制御棒価値
 - 5.3 反応率分布
 - 5.4 γ 線発熱分布
- 付録-A 略語一覧表
- 付録-B ドロワデータ一覧
- 付録-C プレート・放射化箔・検出器等データ一覧
- 付録-D 各炉心領域の代表的な原子数密度
- 付録-E ドロワオシレーション法の概要
- 付録-F プレートオシレーション法の概要
- 付録-G Bowing模擬実験手法の概要
- 付録-H 軸方向熱膨張模擬実験の概要

Table 6.3.2-1 Date Volume in ZPPR-17 Experiment

項 目	デ 一 タ 量	
	内 訳	計
A D E N プレート ライブラリ	プレートの種類 (200) ×プレートごとの核種数 (20)	4,000 コ
ドロワマスタ	ドロワの種類 (50)	50 種類
ローディングマップ	ZPPR-17の炉心 (3種) × Reference Core* (2種) × 炉心マトリックス (65×65) + Replace or Exchangeデータ * Critical と Subcritical	約30000コ
A D E N 入力データ	ドロワの種類(50) × 領域分割数* (4) × プレートの種類(10) × プレート情報(2) * 内部ブランケット, 炉心, 軸方向 ブランケット軸方向しゃへい体	4,000コ
反応率分布データ	箔使用枚数(2700) × 箔情報(10)	27000コ
上記以外の実験データ	測定結果(1000) × ZPPR-17の炉心 (3種)	約3000コ

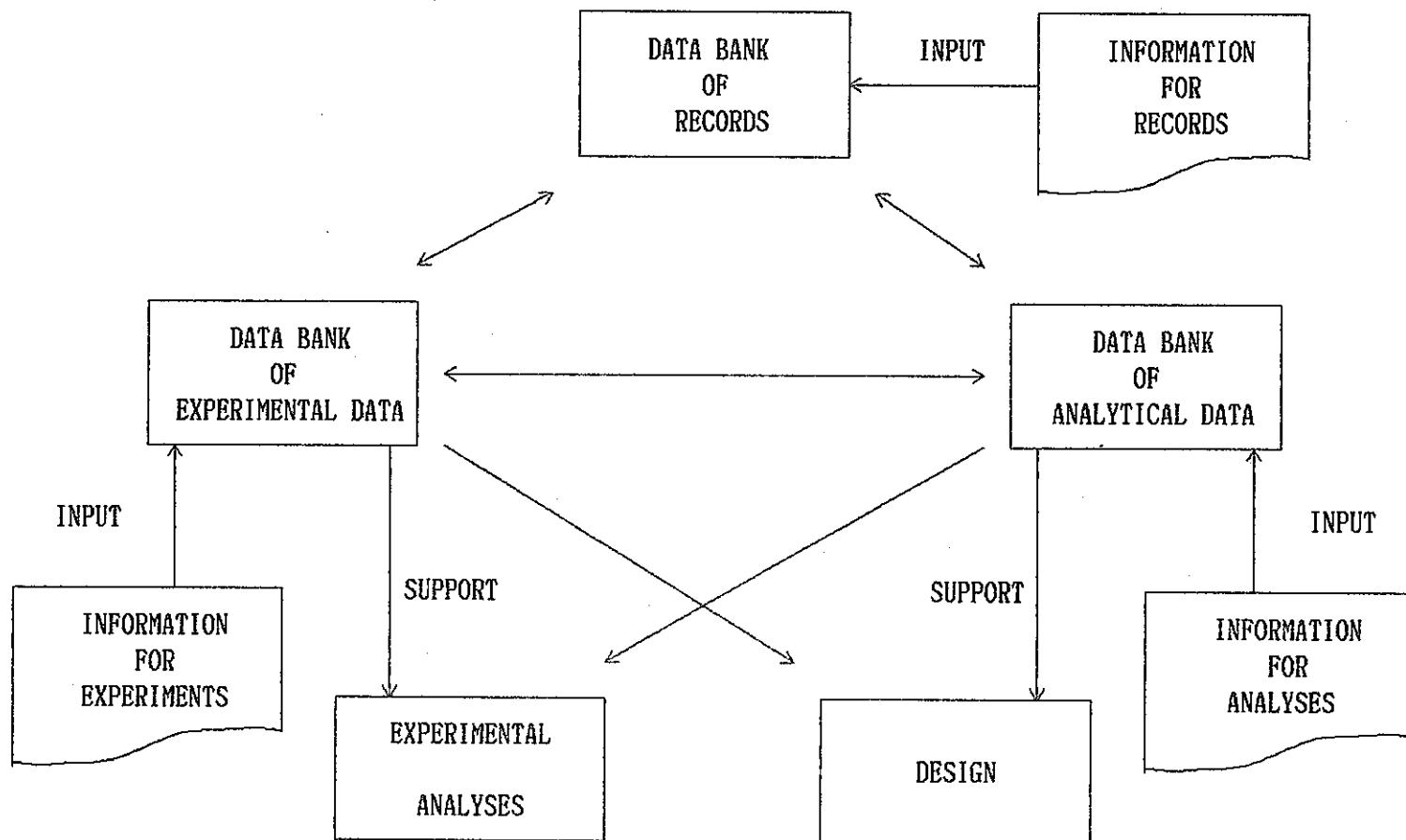
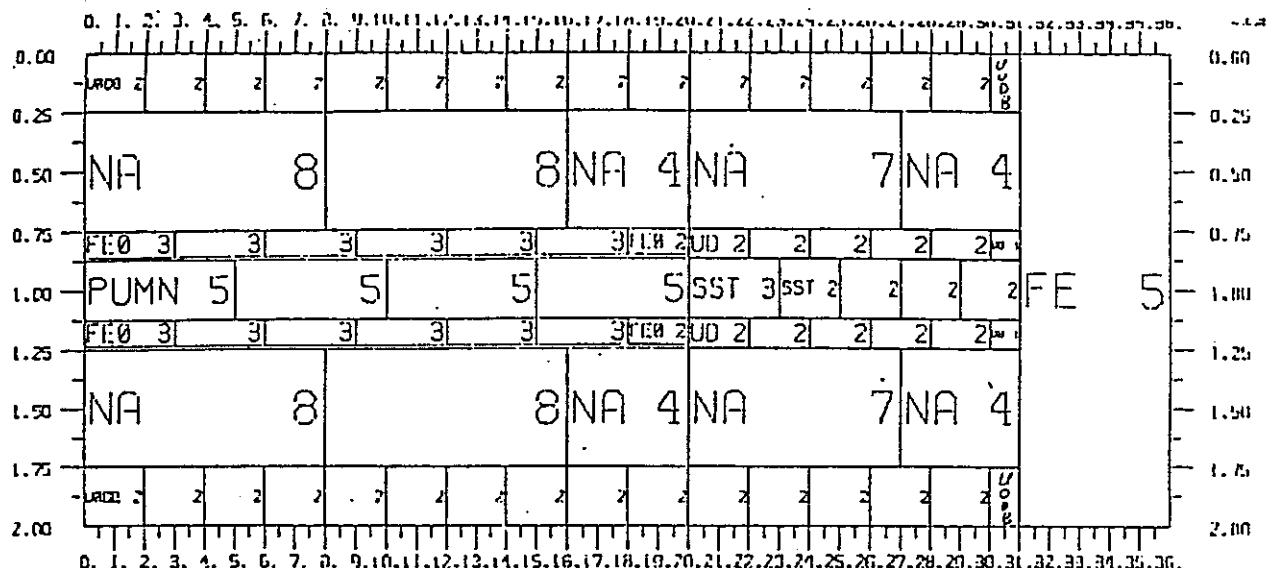


Fig. 6.3.1-1 Concept of Data-Base System for JUPITER



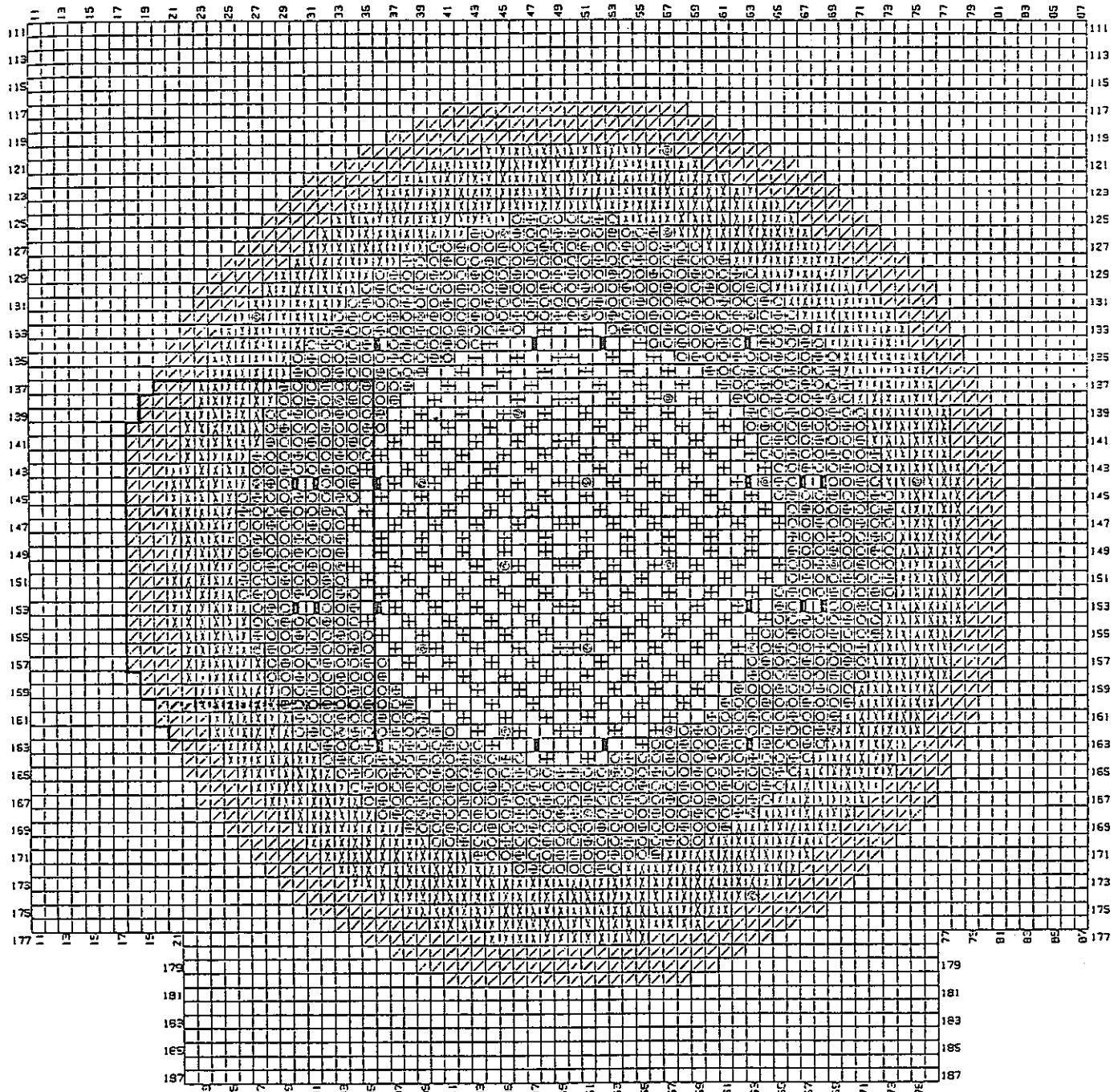
Drawer Master : 17-0-101 Parent Master : 17-0-101
 Drawer Length : 36.0 inches Core Length : 20.0 inches
 Total Core Fissile : 0.54913 kg
 Total Core Plutonium : 0.54577 kg
 Fissile material decayed to 1/1/87
 Comments NEW DRAWER WITH BUTTON

Fig. 6.3.2-1 Example of Drawer Master in ZPPR-17A

(Drawer Master No. 17-0-101 SCF without IB)

	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
137																											
138																											
139																											
140																											
141																											
142																											
143																											
144																											
145																											
146																											
147																											
148																											
149																											
150																											
151																											
152																											
153	*** 領域の境界																										
154																											
155																											
156																											
157																											
158																											
159																											
160																											
161																											
162																											
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	

Fig. 6.3.2-2 Example of Loading Map in ZPPR-17A



- SINGLE COLUMN FUEL DRAWER WITHOUT IB DOUBLE COLUMN FUEL DRAWER WITH IB
- SINGLE COLUMN FUEL DRAWER WITH IB DOUBLE COLUMN FUEL NARROW DRAWER
- SINGLE COLUMN FUEL NARROW DRAWER RADIAL BLANKET
- + DOUBLE COLUMN FUEL DRAWER WITHOUT IB RADIAL REFLECTOR
- C COUNTER

Fig. 6.3.2-3 Subcritical Reference Configuration in ZPPR-17A

1	MASTER	17-0-101	0,000=	6,030	INCHES	6,03000	
2		15	1,5000	18	6,0000	52	4,0000
3		92	1,2000	226	1,0000	227	5,0300
4		228	1,0000	229	6,0300		
5	10						
6		MASTER	17-0-101	6,030=20,030	INCHES	14,00000	
7		11	2,0000	15	2,5000	18	14,0000
8		51	2,0000	52	8,0000	92	2,8000
9		227	14,0000	229	14,0000		
10	10						
11		MASTER	17-0-101	20,030=31,030	INCHES	11,00000	
12		11	2,0000	14	2,0000	17	2,0000
13		18	10,0000	36	2,0000	37	10,0000
14		75	1,0000	111	4,0000	227	11,0000
15		229	11,0000				
16	10						
17		MASTER	17-0-101	31,030=36,152	INCHES	5,12250	
18		58	1,0000	108	1,0000	227	5,1225
19		229	5,1225	230	1,0000		
20	10						
21		MASTER	17-0-102	0,000=	6,030	INCHES	6,03000
22		4	0,8572	15	1,5000	18	6,0000
23		52	4,0000	226	1,0000	227	5,0300
24		228	1,0000	229	6,0300		
25	10						
26		MASTER	17-0-102	6,030=20,030	INCHES	14,00000	
27		3	1,0000	4	1,1429	11	2,0000
28		15	2,5000	18	14,0000	51	2,0000
29		52	8,0000	227	14,0000	229	14,0000
30	10						
31		MASTER	17-0-102	20,030=31,030	INCHES	11,00000	
32		11	2,0000	14	2,0000	17	2,0000
33		18	10,0000	36	2,0000	37	10,0000
34		75	1,0000	111	4,0000	227	11,0000
35		229	11,0000				
36	10						
37		MASTER	17-0-102	31,030=36,152	INCHES	5,12250	
38		58	1,0000	108	1,0000	227	5,1225
39		229	5,1225	230	1,0000		
40	10						
41		MASTER	17-0-103	0,000=	6,030	INCHES	6,03000
42		5	0,7500	15	1,5000	18	6,0000
43		52	4,0000	226	1,0000	227	5,0300
44		228	1,0000	229	6,0300		
45	10						
46		MASTER	17-0-103	6,030=20,030	INCHES	14,00000	
47		3	2,0000	5	0,2500	11	2,0000
48		15	2,5000	18	14,0000	51	2,0000
49		52	8,0000	227	14,0000	229	14,0000
50	10						
51		MASTER	17-0-103	20,030=31,030	INCHES	11,00000	
52		11	2,0000	14	2,0000	17	2,0000
53		18	10,0000	36	2,0000	37	10,0000
54		75	1,0000	111	4,0000	227	11,0000
55		229	11,0000				
56	10						
57		MASTER	17-0-103	31,030=36,152	INCHES	5,12250	
58		58	1,0000	108	1,0000	227	5,1225
59		229	5,1225	230	1,0000		
60	10						
61		MASTER	17-0-104	0,000=	6,030	INCHES	6,03000
62		5	0,7500	15	1,5000	18	6,0000

Fig. 6.3.2-4 Example of ADEN Input Date in ZPPR-17A

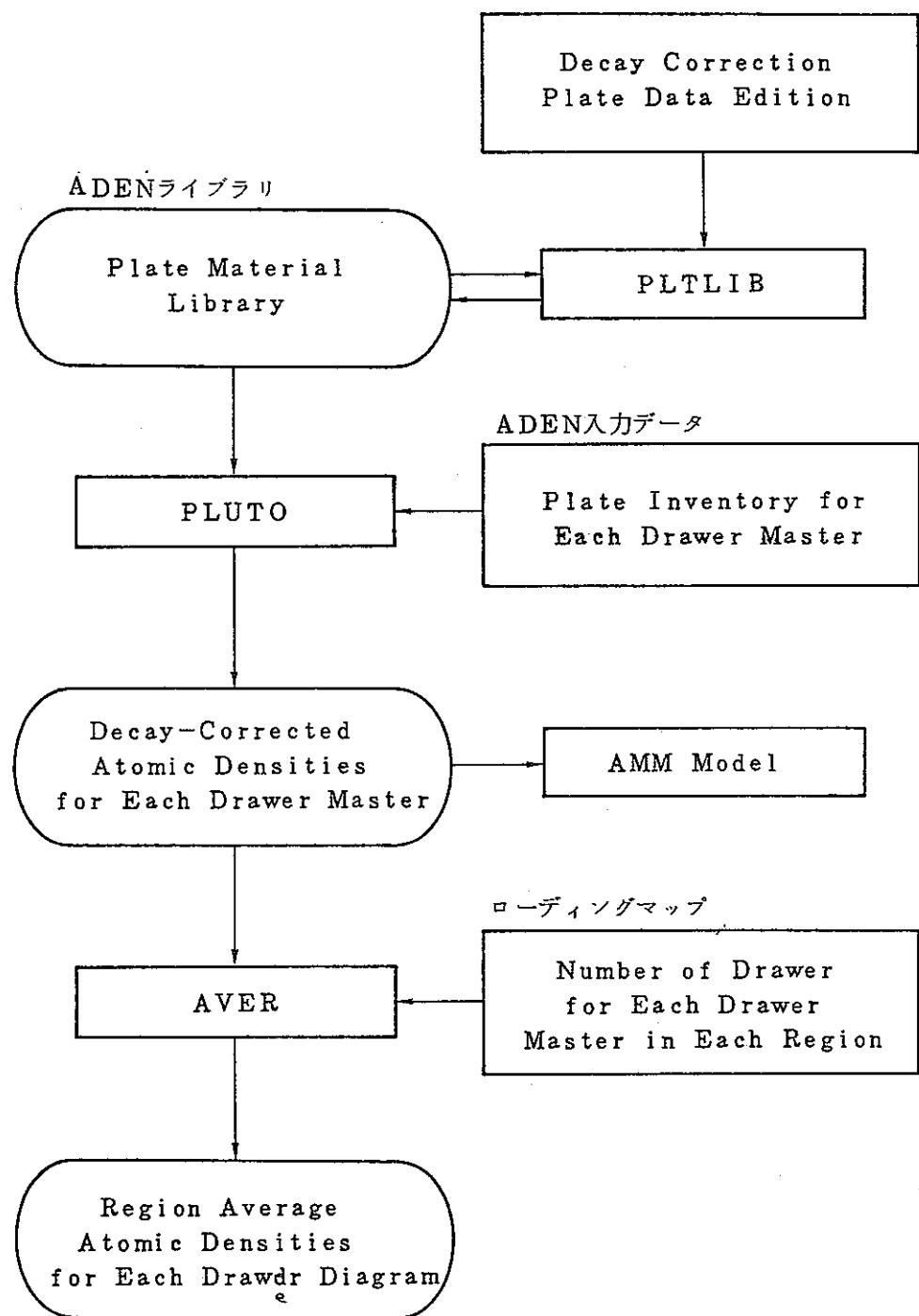


Fig. 6.3.2-5 General Flow for Volume Average Atomic Density Production

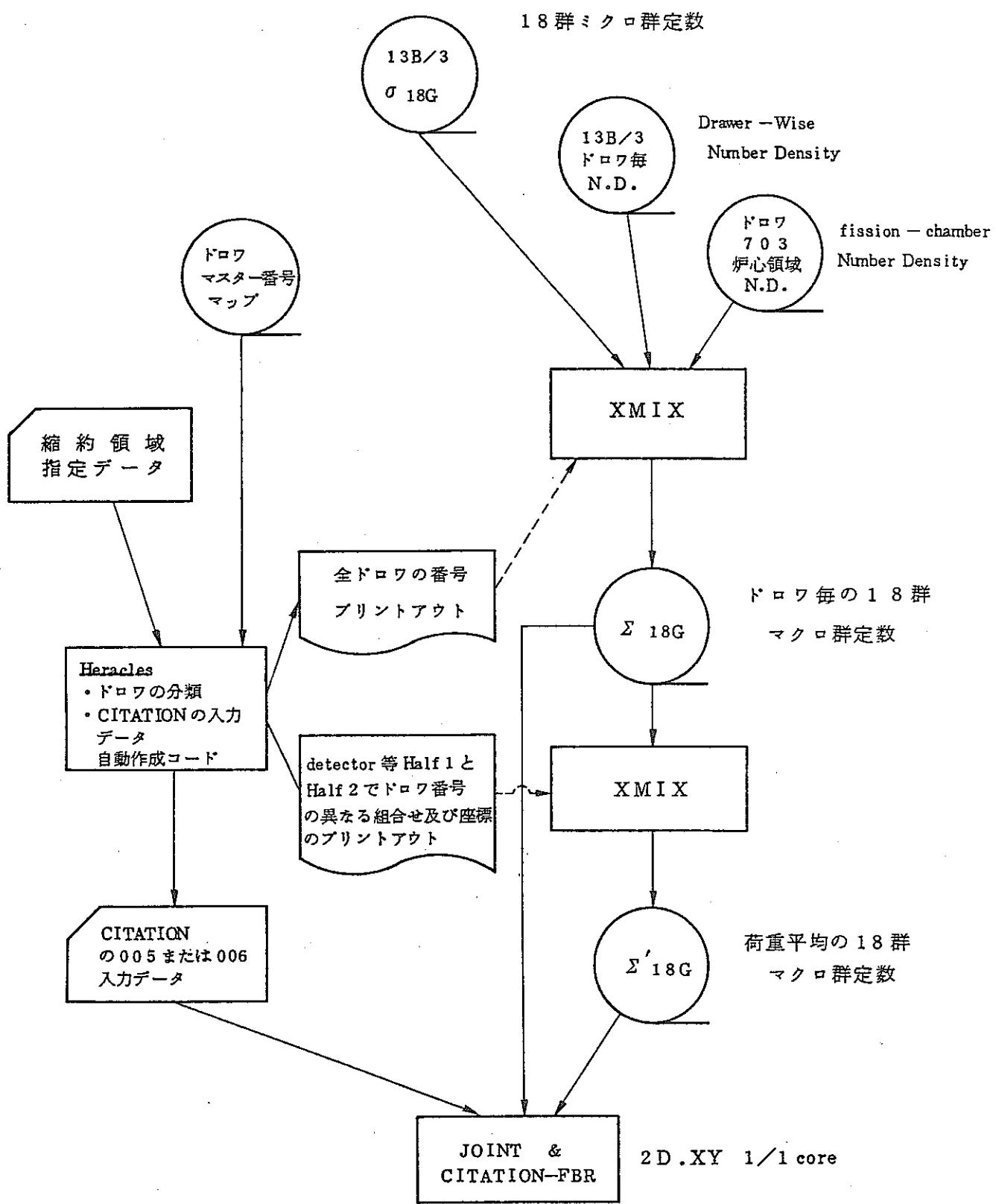


Fig 6.3.2-6 Flow of AMM Calculation

カラム(例)

テーマ	表題	著者	発行年	出版社	ページ数
数学	代数学 I	大山一郎	1925	数学社	350
数学	代数学 II	大山一郎	1930	数学社	450
物理	中性子断面積	小川太郎	1980	三会堂出版	400
化学	C-14の化学	中島次郎	1985	赤坂図書	250

Fig. 6.3.3-1 Example of Relational Data-Base

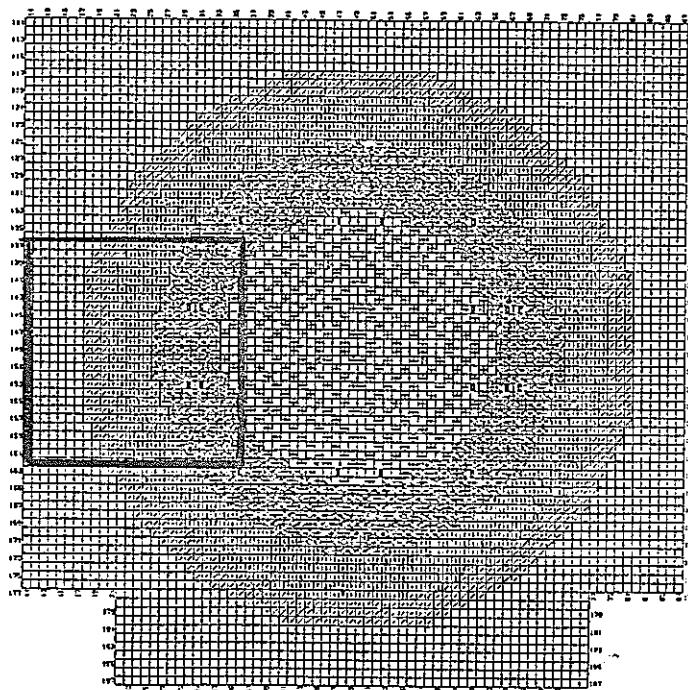
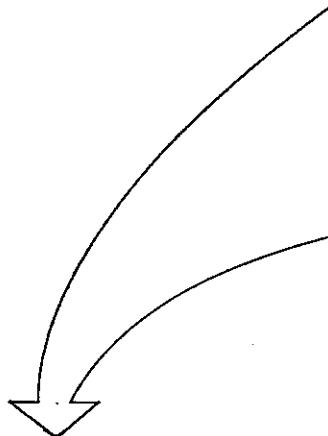
テーマ	表題	表題	著者	表題	発行年	ページ数
数学	代数学 I	代数学 I	大山一郎	代数学 I	1925	350
数学	代数学 II	代数学 II	大山一郎	代数学 II	1930	450
物理	中性子断面積	中性子断面積	小川太郎	中性子断面積	1980	400
化学	C-14の化学	C-14の化学	中島次郎	C-14の化学	1985	250

1970年以前に発行された数学の図書で
ページ数が400ページ以下のものの
表題と著者を出力せよ。

表題	著者
代数学 I	大山一郎

Fig. 6.3.3-2 Sample Output for Search System of Relational Date-Base

(77×77) 格子

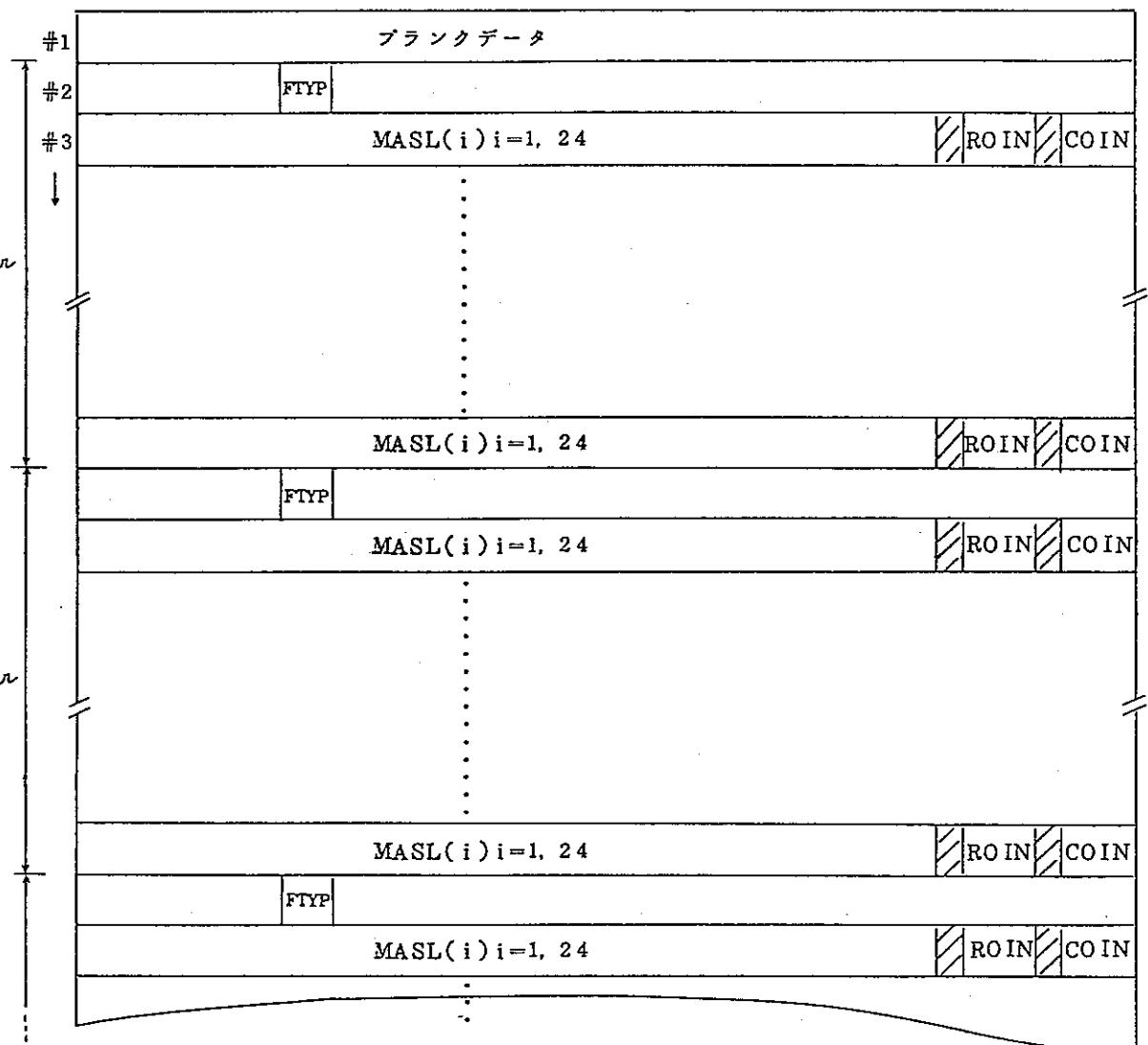


ZPPR-17A(Subcritical)体系

	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35		
137															*****					*****								
138															*				*									
139															****				****									
140															****				****									
141															*				*									
142															****				****									
143															****				****									
144															*				****									
145															****				****									
146															*				*									
147															****				****									
148															*				*									
149															*				*									
150															*				*									
151															*				*									
152															*				*									
153															****				****									
154															*				*									
155															****				****									
156															*				*									
157															****				****									
158															*				*									
159															****				****									
160															*				*									
161															****				****									
162															*				*									
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35		

格子番号

Fig. 6.3.4-1 Loading Map in ZPPR-17A Subcritical Reference Core



#1. ブランクデータ

#2. 実験のフェイズ名称 FTYP (12X, A2)

#3. ドロワ・マスター番号 MASL(i) i=1, 24

Y 軸の座標	ROIN	} (24I3, 2X, I3, 1X, I2)
X 軸の始点座標	COIN	

◦ 以下 #3 を繰り返す。

◦ #2 及び #3 が 1 組になって複数セット用意されている。

Fig. 6.3.4-2 Data Format in Loading Map Data

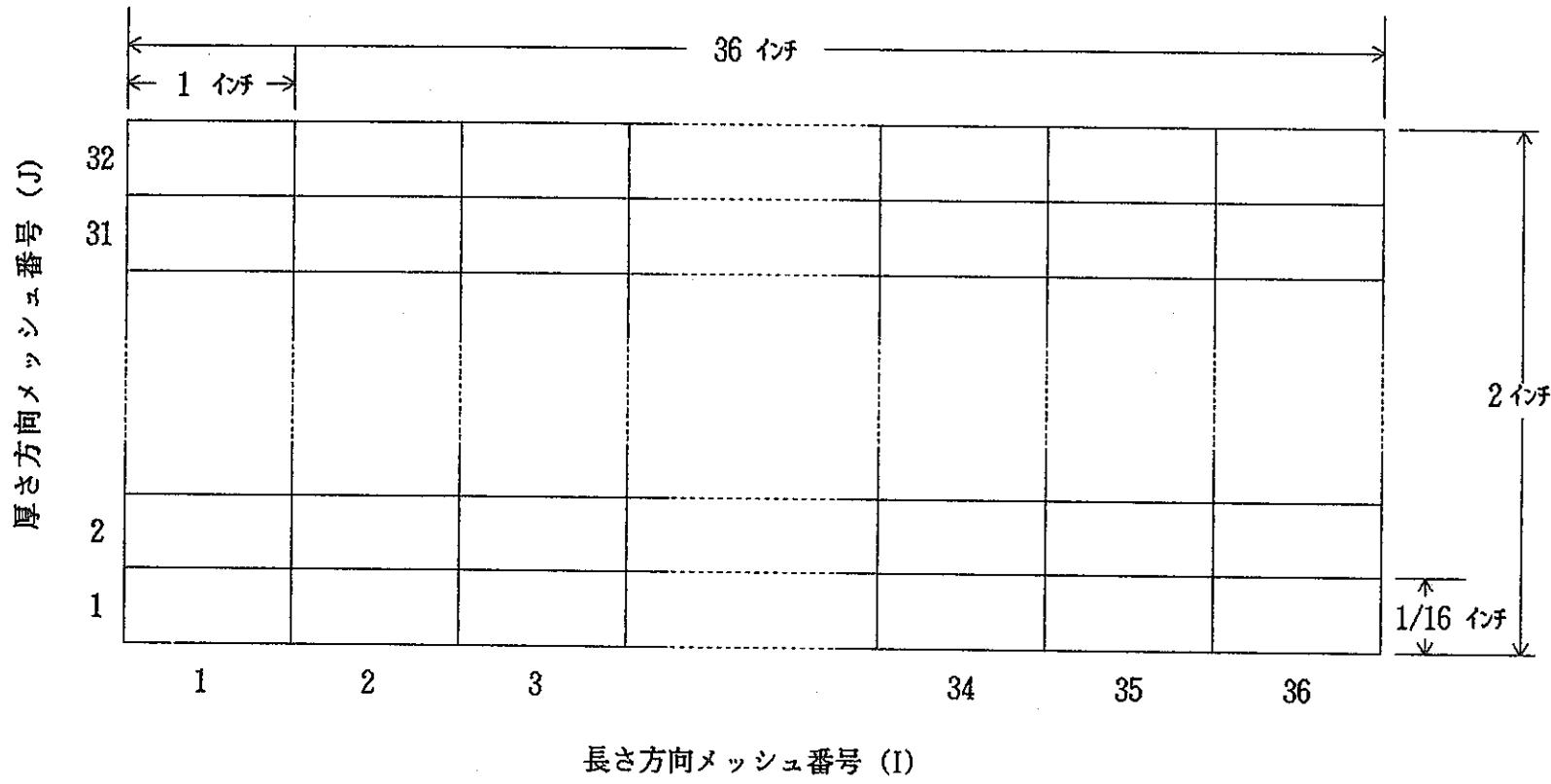
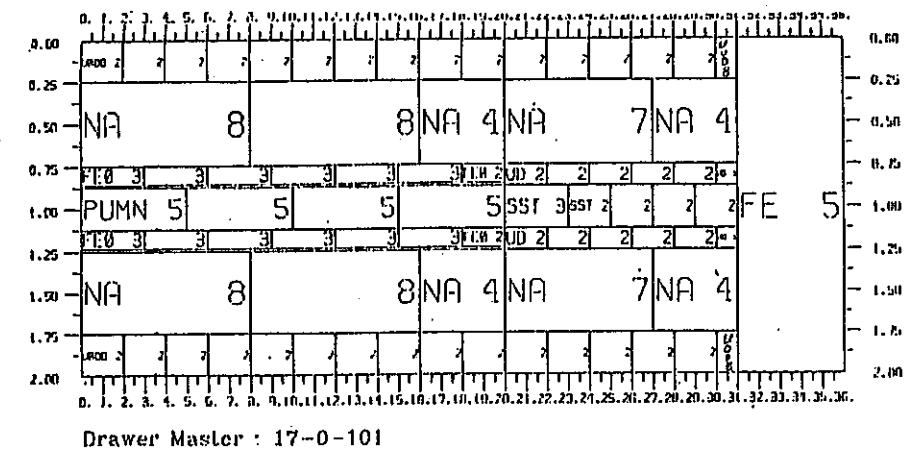


Fig. 6.3.4-3 Block Division Model for ZPPR Drawer



32	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77
31	57			58			59			60			61			
30	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56			
29	35		36		37		38		39	40	41	42	43	78		
28	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34			
27																
26																
25	17		18		19		20		21							
24																
23																
22																
21																
20																
19																
18																
17																
16																
15																
14																
13																
12																
11																
10																
9																
8																
7																
6																
5																
4																
3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2																
1																

Fig. 6.3.4-4 Sample Division for Drawer Master in ZPPR-17A

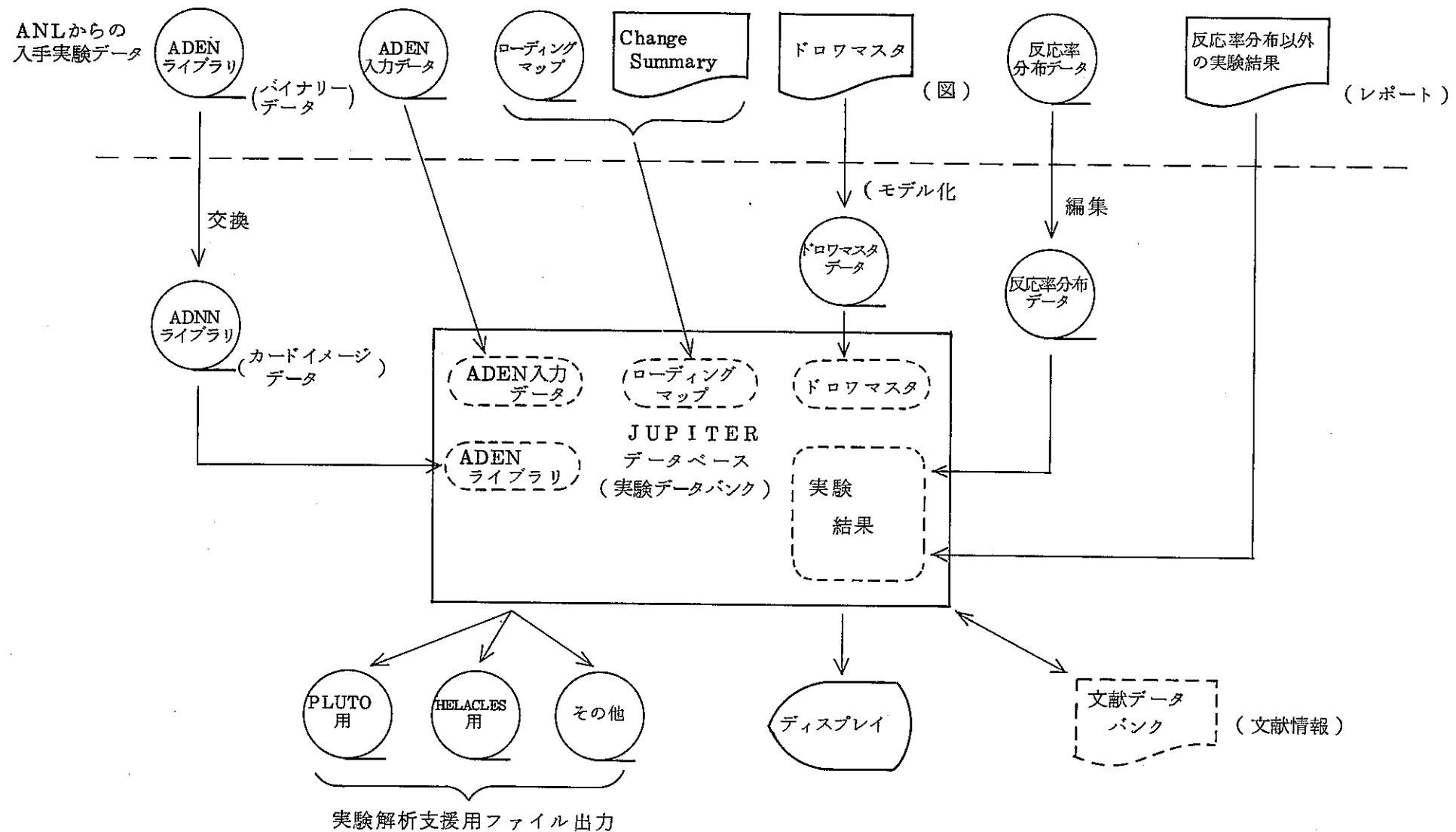


Fig. 6.3.4-5 Basic Figure of JUPITER Data-Base(Experimental Data Bank)

7. 結 言

動燃と米国エネルギー省の共同研究である JUPITER-III 計画は昭和62年1月からの1年間の実験スケジュールを消化し、無事終了した。動力炉・研究開発本部では、昨年度から実験計画の検討、関連データの整理を行なってきたが、本年度は実験解析が本格的にスタートし、解析結果から種々の知見が得られた。

本年度の成果を以下にまとめる。

- (1) ZPPR-18の実験予備解析および実験計画への反映。
- (2) ZPPR-17A, 17B, 17C の臨界性評価。ZPPR-17A の C/E 値は均質炉心 ZPPR-9 と同程度になった。
- (3) ZPPR-17A, 17B の β_{eff} 評価。ANL よりも 3% 高目の値が得られ、傾向は JUPITER-I, II で得られた結果と一致した。
- (4) ZPPR-17A, 17B の制御棒解析。JUPITER-I, II と同様、C/E 値の径方向依存性が見られた。
- (5) ZPPR-17A の広領域ボイド実験およびナトリウムボイドドロワーオシレータ実験についての実験データ整理・調査。
- (6) ZPPR-12 の臨界性評価、反応率分布、ナトリウムボイド反応度解析によるピープレート効果の比較。
- (7) JUPITER 実験データのデータベース化検討
- (8) ZPPR-17A におけるマルチドロワー効果の評価。臨界性に対する補正值は $+0.17\%\Delta k/k$ になった。

来年度は、今年度に引き続き、ZPPR-17, 18 炉心の実験解析を進めていく予定である。

8. 参考文献

3章

- (1) JUPITERサブワーキングGr 「JUPITER-Ⅲ実験解析」
PNC SN2410 87-006 (1987)
- (2) 中川正幸他 「高速炉の核特性解析コードシステム」
JAERI-M 83-066 (1983)
- (3) 高野秀機他 「速中性子エネルギー領域群定数作成コードシステム：TIMS-PGG」 JAERI-M 82-072 (1982)
- (4) 東 芝他 「PLUTO使用説明書」 PNC SJ278 79-20(2) (1979)
- (5) 中川正幸他 「SLAROM高速炉の非均質系炉心解析コード」
JAERI-M-5916 (1974)
- M.Nakagawa他 「SLAROM : A Code for Cell Homogenization Calculation of Fast Reactor」 JAERI 1294 (1984)
- (6) 中川正幸他 「CIPER 2・3次元拡散摂動計算コード」
JAERI-M-6722 (1976)
- (7) 飯島 進他 「高速炉設計用計算プログラム・2」 JAERI-M 6993 (1977)
- (8) 動燃、佐々木誠・市川真一 “「常陽」輸送コードシステムの作成 Sn輸送コード 使用マニュアル” PNC N952 81-08 (1981)
- (9) 岩崎、加藤 「LAGOON-反応率および補正係数計算コード・マニュアル」
(F B E C 資料) (1983)
- (10) 光成友孝他 「3次元輸送計算コードTRITAC使用マニュアル」
PNC SJ2298 87-001 (2) (1987)
- (11) 光成友孝他 「3次元輸送計算コードTRITACの入出力整備(II)」
PNC SJ2298 87-001 (1) (1987)
- (12) G.R.Keepin, "Physics of Nuclear Kinetics" (1965)
- (13) R.J.Tuttle, Consultants Meeting on Delayed Neutron Properties, IAEA,
Vienna, (1979)
- (14) D.Saphier et al, Nucl. Sci. Eng. 62, 660 (1977)
- (15) K.Koyama et al. "RADHEAT-V3, A Code System for Generating Coupled Neutron and Gamma-ray Group Constants and Analyzing Radiation Transport", JAERI-M-7155 (1977)

4章

4.1節

- (1) P. J. Collins et al., "ZPPR Progress Report April 1984 through July 1987", PNC SA 0765 ANL-ZPR-476, (1987)
- (2) Japanese presentation, "Proceeding of the Second Analysis Meeting on JUPITER Program", PNC SN241 81-22, (1981)
- (3) T. Takeda et al., "Two-Dimensional Cell Heterogeneity Effect in Analysis of Fast Critical Assemblies", Proc. Top. Mtg. on Reactor Physics and Safety, vol.2, Saratoga Springs, (1986)
- (4) P. J. Collins et al., "The JUPITER-II Program : ANL Analysis of ZPPR-13A and 13B", PNC SA385 84-01, (1984)
- (5) M. Bando et al., J. Nucl. Sci. Technol., 22(10), 841 (1985)
- (6) T. Yamamoto et al., J. Nucl. Sci. Technol., 23(10), 849 (1986)

4.2節

- (1) G. R. Keepin, "Physics of Nuclear Kinetics" (1965)
- (2) R. J. Tuttle, Consultants' Meeting on Delayed Neutron Properties, IAEA, Vienna, (1979)
- (3) D. Saphier et al, Nucl. Sci. Eng., 62, 660 (1977)

4.3節

- (1) P. J. Collins and S. B. Brumbach, "ZPPR PROGRESS REPORT : APRIL 1987 THROUGH JULY 1987", ANL-ZPR-476, August 24, 1987
- (2) S. B. Brumbach and P. J. Collins, "ZPPR PROGRESS REPORT : AUGUST 1987 THROUGH OCTOBER 1987", ANL-ZPR-480, November 16, 1987
- (3) ANL, "The Jupiter Program : ANL Analysis of ZPPR-10", Sep. 16, 1981 SA 385 81-04
- (4) 東芝, 日立, 富士, 三菱重工, "Jupiter実験解析に関する技術援助報告書 (JUPITERベンチマーク実験のデータ集ZPPR-9)", PNC ZJ 278 79-21(1)
- (5) S. B. Brumbach and P. J. Collins, "ZPPR PROGRESS REPORT : FEBRUARY 1988

THROUGH APRIL 1988", ANL-ZPR-482, May 13, 1988

- (6) 川島正俊, 他, "JupiterフェイズⅡ実験解析(IV) -フェイズⅡ実験解析-", PNC SJ 2449 86-001, 1986年2月
- (7) Susumu Iijima and Hiroyuki Yoshida, "Analysis of the ZPPR-9 Assembly Experiment by using JFS-3-J2 Cross Section Set", Proceeding of the Second Analysis Meeting on Jupiter Program, SN 241 81-22 P.241

5章

- (1) 白方他, "JUPITER-Ⅲ実験解析", PNC SN2410 87-006

6章

- (1) 白方敬章, 他, 「JUPITER実験解析に関する技術援助報告書 JUPITER ベンチマーク実験のデータ集 ZPPR-9」, PNC ZJ278 79-21(1) (1979)
- (2) 白方敬章, 他, 「JUPITER実験解析 JUPITERベンチマーク実験のデータ集 ZPPR-10」, PNC ZJ278 80-02 (1980)
- (3) 白方敬章, 他, 「JASPER実験解析(II)」, PNC SN2410 88-003 (1988)

付録A Z P P R - 9 におけるストレッチモデル妥当性評価

JUPITER解析ではフェイズIより今回のフェイズIIIまで一貫して、セルモデルとしてストレッチモデルを使用している。このモデルの妥当性を2次元セル計算との比較という形で評価する研究が大阪大学において行なわれた。⁽¹⁾ こではその成果を引用してストレッチモデルの妥当性評価の結果をまとめる。

A.1 ストレッチモデルにおける近似

セル計算では、以下の3つのステップにおいてそれぞれモデルを選択する必要がある。

- ① 自己遮蔽因子の計算
- ② セル内中性子束分布によるセル定数の平均化
- ③ 異方性拡散係数の計算

このうち、②と③では各プレートのマクロ定数から計算した衝突確率が使用されるため、各プレートの数密度は実際のドロワー内のプレートの平均数密度と一致する必要がある。逆に、①ではむしろ注目する核種の微視的な環境を再現したモデルが好ましい。

ストレッチモデルでは、実際のプレート高さ5.08cmをドロワー高さ5.5245cmに約8.8%ストレッチするため、①の観点から望ましくないと考えられる。ANL-Westにおいても、①のモデルとして実際の数密度を持つ1次元モデルを使用している。

ここで、燃料プレートの重核種の background cross-section は次式のように衝突確率を用いて表すことができる。

$$\sigma_0 = \frac{\sum_{m \in n}^n N_m \sigma_t^m}{N} + \frac{\sum_l^m N_l P_{lF} \sigma_{tl}^m V_l}{N P_{FF} V_F}$$

ただし、第1項は燃料プレート内の核種の寄与であり、第2項は減速材プレート1に含まれる核種の寄与である。 P_{lF} は減速材から燃料プレートへの衝突確率、 P_{FF} は燃料プレートから燃料プレートへの衝突確率、 V_l はプレート体積、 V_F は燃料プレートの体積、 N^m は核種mの数密度を示す。

今、ストレッチすることにより、燃料プレート、減速材プレートが $1/f_F$ 、 $1/f_s$ 倍だけ伸びたとすると、新しい background cross-section は

$$\sigma_0^{n'} = \frac{\sum_{m \neq n} f_F N_m^n \sigma_t^m}{f_F N^n} + \frac{\sum_l f_S N_l P_{lF} \sigma_{tl}^m V_l}{f_F N P_{FF} V_F}$$

$$= \frac{\sum_{m \neq n} N_m^n \sigma_t^m}{N^n} + \frac{f_S}{f_F} \cdot \frac{\sum_l N_l P_{lF} \sigma_{tl}^m V_l}{N P_{FF} V_F}$$

ただし、 P' はストレッチによってマクロ定数が変化した後の衝突確率を示す。ここで、 P' は変化した後に再び規格化されるため、特に $f_S \approx f_F$ の時はほぼ $P' \approx P$ と見なせる。

$$\sigma_0^{n'} \approx \frac{\sum_{m \neq n} N_m^n \sigma_t^m}{N^n} + \frac{f_S}{f_F} \cdot \frac{\sum_l N_l \sigma_{tl}^m V_l}{N P_{FF} V_F}$$

従って、燃料プレートと減速材プレートが同じだけストレッチした時は

$$f_S = f_F \quad \therefore \quad \sigma_0^{n'} = \sigma_0^n$$

となってストレッチモデルはANL-W等で用いている実際の数密度を使ったモデルの結果と一致する。

ストレッチ・モデルによる数密度変化率は、

$$f_F = 0.8892$$

$$f_S = \begin{cases} 0.9057 & (\text{被覆を持つもの, Na, Na}_2\text{CO}_3) \\ 0.9195 & (\text{被覆を持たないもの, Fe}_2\text{O}_3) \end{cases}$$

故に

$$\frac{f_S}{f_F} = 2 \sim 3\%$$

従ってストレッチモデルと実際の数密度を用いたモデルの差は background Cross-section で高々 1%程度であり、実用上影響は小さいと思われる。

A.2 Z P P R - 9におけるストレッチモデル精度評価

大阪大学において、1次元セルモデルの精度を2次元セルモデルと比較して評価する研究が行なわれた。⁽¹⁾ 1次元セルモデルとしては以下の3つを対象にしている。

A : 1-D モデル

上下マトリクス部と被覆の上下部（以下、上下構造部と呼ぶ）を単純にプレートと平均化し、ドロワー高さ5.5245cmにストレッチする。

B : ストレッチモデル

上下構造部は、重核種を含まない構造材プレートやNaプレートに平均にスマアし、ドロワー高さにストレッチする。即ち本解析の標準手法である。

C : センターラインモデル

上下構造部やプレート上部のギャップの存在を無視して、実際のプレートの数密度を使用する。即ちANL-Wの標準手法である。

2次元セルモデルでは、これらの1次元セルモデルでは直接扱えない上下構造部やプレート上部ギャップ等を詳細に取り扱うことができる。

Z P P R - 9のセルにおける1次元セルモデルの²³⁸U捕獲断面積と²³⁹Pu核分裂断面積の2次元セルモデルからのずれをTable A.1.2-1に示す。²³⁸U捕獲断面積では、センターラインモデル（C）の方がストレッチモデル（B）よりも誤差が小さくなっているが、²³⁹Pu核分裂断面積ではむしろストレッチモデルの方が良好な結果になっている。また、実際の臨界性評価に用いた場合、C/E値はストレッチモデルの方が2次元セルモデルの結果により近くなっている。（Table A.1.2-2）

以上の結果より、次の結論が得られる。

- ① ストレッチモデルとセンターラインモデルの差はごく小さい。
- ② センターラインモデルの優位性は²³⁸U捕獲断面積において認められたが、核種や反応の種類に依存している。
- ③ センターラインモデルを用いても、2次元セルモデルとの誤差は改善されず、ストレッチモデルと同程度の精度しか得られない。
- ④ Z P P R - 9の臨界性評価においては、ストレッチモデルよりセンターラインモデルの方が2次元セルモデルの結果から大きくずれている。

従って、ストレッチモデルを使用した方が、コードシステム改良の手間、セル計算の手間、さらにフェイズI、フェイズIIの解析結果との齊合性の点から望ましいと思

われる。

A.3 参考文献

- (1) T. Takeda et al., "Two-Dimensional Cell Heterogeneity Effect in Analysis of Fast Critical Assemblies", Proc. Top. Mtg. on Reactor Physics and Safety, vol.2, Saratoga Springs, (1986)

Table A.1.2-1 Difference Between Cell-Averaged Microscopic Cross Sections Calculated by 1-D and 2-D Cell Models⁺

^{238}U capture cross section

Energy range	ZPPR cell			Zebra cell					
	Single column fuel			Double column fuel					
Model A	B	C	Model A	B	C	Model A	B	C	
10.0~7.79 MeV	- 0.6*	- 0.3	- 0.5	- 0.9	- 0.6	- 0.3	0.0	0.0	0.0
1.05~0.82 MeV	- 0.2	- 0.2	- 0.0	- 0.2	- 0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
86.5~67.4 keV	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	- 0.0	0.1	0.1	0.1
7.10~5.53 keV	0.9	0.2	- 0.9	2.4	1.9	0.4	2.1	1.2	0.1
3.35~2.61 keV	-18.9	-19.8	-20.4	-13.6	-14.4	-14.8	-13.6	-15.0	-15.3
2.03~1.58 keV	4.1	3.2	0.2	10.2	9.4	4.4	9.7	8.4	4.4
583~454 eV	11.7	10.3	5.3	20.6	19.3	12.6	12.9	10.6	5.0
167~130 eV	12.2	10.4	4.0	28.4	26.5	16.6	12.1	9.1	3.1

^{349}Pu fission cross section

Energy range	Model A	B	C	Model A	B	C	Model A	B	C
10.0~7.79 MeV	- 1.5	- 0.7	- 2.2	- 1.1	- 0.7	- 1.0	- 1.7	- 0.2	- 2.0
1.05~0.82 MeV	- 0.5	- 0.3	- 0.1	- 0.4	- 0.3	- 0.1	- 0.4	- 0.1	- 0.1
86.5~67.4 keV	0.1	0.1	- 0.0	0.1	0.0	- 0.0	0.2	0.1	0.0
7.10~5.53 keV	0.9	0.7	0.2	1.0	0.8	0.3	- 0.4	- 0.9	- 1.4
3.35~2.61 keV	- 1.2	- 1.5	- 4.9	- 1.2	- 1.7	- 2.4	- 3.0	- 4.2	- 4.8
2.03~1.58 keV	2.7	2.6	1.9	4.0	3.8	2.4	- 0.1	- 0.8	- 1.7
583~454 eV	10.0	9.2	7.6	10.1	9.4	7.2	4.9	3.7	1.7
167~130 eV	11.4	10.4	8.6	10.5	9.7	6.6	8.0	6.3	4.0

* Percent difference from 2-D model

+ Taken from Ref(1)

Table A.1.2-2 Calculated Criticality for ZPPR-9 Core Obtained by the Three 1-D Cell Models and the 2-D Cell Model⁺

Cell model	Diffusion coefficient used		C/E*
	1/3Σtr	Benoist	
A	1.0013	0.9997	0.9986
B	1.0022	1.0008	0.9997
C	1.0037	1.0021**	1.0010
2-D	1.0032	1.0006	0.9995

* Benoist's diffusion coefficient was used

** Benoist's diffusion coefficient was calculated by the model A

+ Taken from Ref(1)

付録B SLAROM入力リスト

(a) SCF 燃料ドロワー

```

PREP
ZPPR-17 SCF N0101,N0107 70G MICRO (MOD. 1-D MODEL) JFS-3-J2
15 1 0 2 0 0 3 -20 0 0 0 0 70/
300.0 1.25 0.0/
9 3 9 11 9 10 9 8 9 10 9 11 9 3 9/
0.26192 0.63500 0.03810 1.19380 0.03810 0.27783 0.03810 0.55880
0.03810 0.27783 0.03810 1.19380 0.03810 0.63500 0.26192 /
13 1.15480E-06 42 7.80773E-05 6 1.87362E-04 26 4.30365E-02
24 1.19448E-02 28 4.86701E-03 25 1.06313E-03 14 7.15469E-04
29 1.93433E-04 /
925 3.07665E-05 928 1.44204E-02 8 3.83985E-02 /
13 7.78226E-05 42 1.77502E-05 6 1.51729E-04 26 5.83846E-02
24 1.67639E-02 28 8.45292E-03 25 1.27011E-03 14 1.04066E-03
29 1.77749E-04 /
13 1.15480E-06 42 8.66910E-06 8 1.57286E-06 6 2.36745E-05
11 2.16968E-02 29 2.90811E-05 26 5.38782E-03 24 1.50455E-03
28 6.34243E-04 25 1.31267E-04 14 8.87174E-05 /
13 7.78226E-05 42 1.77502E-05 6 1.51729E-04 26 5.83846E-02
24 1.67639E-02 28 8.45292E-03 25 1.27011E-03 14 1.04066E-03
29 1.77749E-04 /
13 1.15480E-06 42 8.66910E-06 8 4.89509E-02 6 2.15794E-05
26 3.87038E-02 24 1.50455E-03 28 6.34243E-04 25 1.31267E-04
14 8.87174E-05 29 2.33933E-05 /
13 7.35469E-05 42 8.66910E-06 6 2.15794E-05 26 6.71547E-02
24 1.94423E-02 28 9.61713E-03 25 1.66010E-03 14 9.58048E-04
29 1.30977E-04 /
942 2.64787E-05 949 8.69576E-03 940 1.14800E-03 941 7.13387E-05
951 1.03023E-04 925 5.74354E-05 928 2.47022E-02 42 2.22059E-03 /
13 7.35469E-05 42 8.66910E-06 6 2.15794E-05 26 6.71547E-02
24 1.94423E-02 28 9.61713E-03 25 1.66010E-03 14 9.58048E-04
29 1.30977E-04 /
13 1.15480E-06 42 8.66910E-06 8 4.89509E-02 6 2.15794E-05
26 3.87038E-02 24 1.50455E-03 28 6.34243E-04 25 1.31267E-04
14 8.87174E-05 29 2.33933E-05 /
13 7.78226E-05 42 1.77502E-05 6 1.51729E-04 26 5.83846E-02
24 1.67639E-02 28 8.45292E-03 25 1.27011E-03 14 1.04066E-03
29 1.77749E-04 /
13 1.15480E-06 42 8.66910E-06 8 1.57286E-06 6 2.36745E-05
11 2.16968E-02 29 2.90811E-05 26 5.38782E-03 24 1.50455E-03
28 6.34243E-04 25 1.31267E-04 14 8.87174E-05 /
13 7.78226E-05 42 1.77502E-05 6 1.51729E-04 26 5.83846E-02
24 1.67639E-02 28 8.45292E-03 25 1.27011E-03 14 1.04066E-03
29 1.77749E-04 /
925 3.07665E-05 928 1.44204E-02 8 3.83985E-02 /
13 1.15480E-06 42 7.80773E-05 6 1.87362E-04 26 4.30365E-02
24 1.19448E-02 28 4.86701E-03 25 1.06313E-03 14 7.15469E-04
29 1.93433E-04 /

```

PATH

```

ZPPR-17 SCF N0101,N0107 70G MICRO (MOD. 1-D MODEL) JFS-3-J2
70 15 2 1 2 0 0 /
2 15 15 1 15 0 0 0 6 0 1 1 0 0 2 0 /
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 /
0.00000 0.26192 0.89692 0.93502 2.12882 2.16692 2.44475 2.48285
3.04165 3.07975 3.35758 3.39568 4.58948 4.62758 5.26258 5.52450

```

PIJF

```

37 0 5 3 0 0 0 0 /
0 0 0.0 0.0 0.0 0.0 /
0 /

```

EDIT

```

2 2 1 0 0 /

```

SCFCOR

(b) DCF燃料ドロワ

PREP

ZPPR-17 DCF N0203,N0205 70G MICRO (MOD. 1-D MODEL) JFS-3-J2
 19 1 0 2 0 0 3 -20 0 0 0 0 70/
 300.0 1.25 0.0/
 9 3 9 11 9 9 8 9 9 12 9 9 8 9 9 11 9 3 9/
 0.22225 0.63500 0.03810 0.55880 0.03810 0.03810 0.03810 0.55880 0.03810
 0.03810 1.19380 0.03810 0.03810 0.55880 0.03810 0.03810 0.55880
 0.03810 0.63500 0.22225 /
 13 1.88621E-06 42 1.12284E-04 6 2.19541E-04 26 5.03769E-02
 24 1.40601E-02 28 5.91826E-03 25 1.24139E-03 14 8.61690E-04
 29 2.95035E-04 /
 925 3.07665E-05 928 1.44204E-02 8 3.83985E-02 /
 13 7.98792E-05 42 2.09036E-05 6 1.56310E-04 26 5.97277E-02
 24 1.71497E-02 28 8.63631E-03 25 1.30137E-03 14 1.06329E-03
 29 1.87920E-04 /
 13 1.88621E-06 42 1.18755E-05 8 1.50009E-06 6 2.66114E-05
 11 2.09839E-02 29 3.76762E-05 26 6.62975E-03 24 1.86085E-03
 28 8.02075E-04 25 1.60897E-04 14 1.08811E-04 /
 13 7.98792E-05 42 2.09036E-05 6 1.56310E-04 26 5.97277E-02
 24 1.71497E-02 28 8.63631E-03 25 1.30137E-03 14 1.06329E-03
 29 1.87920E-04 /
 13 9.29466E-05 42 1.18755E-05 6 2.46132E-05 26 6.69616E-02
 24 1.93919E-02 28 9.57654E-03 25 1.65166E-03 14 9.54460E-04
 29 1.35291E-04 /
 942 2.70809E-05 949 8.74750E-03 940 1.15732E-03 941 7.30765E-05
 951 1.04872E-04 925 5.80954E-05 928 2.48634E-02 42 2.23659E-03 /
 13 9.29466E-05 42 1.18755E-05 6 2.46132E-05 26 6.69616E-02
 24 1.93919E-02 28 9.57654E-03 25 1.65166E-03 14 9.54460E-04
 29 1.35291E-04 /
 13 7.91520E-05 42 5.53357E-05 6 2.46132E-05 26 6.15986E-02
 24 1.78588E-02 28 8.77404E-03 25 1.31831E-03 14 8.88174E-04
 29 1.30607E-04 /
 13 1.88621E-06 42 1.18755E-05 8 3.17269E-02 6 1.05824E-02
 11 2.11409E-02 29 6.28728E-05 26 6.62975E-03 24 1.86085E-03
 28 8.02075E-04 25 1.60897E-04 14 1.08811E-04 1 8.91590E-05 /
 13 7.91520E-05 42 5.53357E-05 6 2.46132E-05 26 6.15986E-02
 24 1.78588E-02 28 8.77404E-03 25 1.31831E-03 14 8.88174E-04
 29 1.30607E-04 /
 13 9.29466E-05 42 1.18755E-05 6 2.46132E-05 26 6.69616E-02
 24 1.93919E-02 28 9.57654E-03 25 1.65166E-03 14 9.54460E-04
 29 1.35291E-04 /
 942 2.70809E-05 949 8.74750E-03 940 1.15732E-03 941 7.30765E-05
 951 1.04872E-04 925 5.80954E-05 928 2.48634E-02 42 2.23659E-03 /
 13 9.29466E-05 42 1.18755E-05 6 2.46132E-05 26 6.69616E-02
 24 1.93919E-02 28 9.57654E-03 25 1.65166E-03 14 9.54460E-04
 29 1.35291E-04 /
 13 7.98792E-05 42 2.09036E-05 6 1.56310E-04 26 5.97277E-02
 24 1.71497E-02 28 8.63631E-03 25 1.30137E-03 14 1.06329E-03
 29 1.87920E-04 /
 13 1.88621E-06 42 1.18755E-05 8 1.50009E-06 6 2.66114E-05
 11 2.09839E-02 29 3.76762E-05 26 6.62975E-03 24 1.86085E-03
 28 8.02075E-04 25 1.60897E-04 14 1.08811E-04 /
 13 7.98792E-05 42 2.09036E-05 6 1.56310E-04 26 5.97277E-02
 24 1.71497E-02 28 8.63631E-03 25 1.30137E-03 14 1.06329E-03
 29 1.87920E-04 /
 925 3.07665E-05 928 1.44204E-02 8 3.83985E-02 /
 13 1.88621E-06 42 1.12284E-04 6 2.19541E-04 26 5.03769E-02
 24 1.40601E-02 28 5.91826E-03 25 1.24139E-03 14 8.61690E-04
 29 2.95035E-04 /

PATH

ZPPR-17 DCF N0203,N0205 70G MICRO (MOD. 1-D MODEL) JFS-3-J2
 70 19 2 1 2 0 0 /
 2 19 19 1 19 0 0 0 6 0 1 1 0 0 2 0 /
 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 /
 0.00000 0.22225 0.85725 0.89535 1.45415 1.49225 1.53035 2.08915
 2.12725 2.16535 3.35915 3.39725 3.43535 3.99415 4.03225 4.07035
 4.62915 4.66725 5.30225 5.52450 /

PIJF

37 0 5 3 0 0 0 0 /
 0 0 0.0 0.0 0.0 0.0 /
 0 /

EDIT

2 2 1 0 0 /

DCF COR

(c) 径プランケット

PREP

ZPPR-17 RADIAL BLANKET 70G MICRO (MOD. 1-D MODEL) JFS-3-J2
13 1 0 1 0 0 3 -20 0 0 0 0 70 /
300.0 1.25 -7.807E-3 /
9 3 9 11 9 2 3 2 9 11 9 3 9 /
0.22225 1.27000 0.03810 0.55880 0.03810 0.31750 0.63500 0.31750
0.03810 0.55880 0.03810 1.27000 0.22225 /
13 9.50388E-07 42 1.00229E-04 6 2.39777E-04 26 5.47546E-02
24 1.51932E-02 28 6.17777E-03 25 1.35314E-03 14 9.09480E-04
29 2.47659E-04 /
925 3.17722E-05 928 1.48950E-02 8 3.96975E-02 /
13 7.89434E-05 42 2.76340E-05 6 1.76545E-04 26 6.35844E-02
24 1.82060E-02 28 9.03505E-03 25 1.39791E-03 14 1.12710E-03
29 2.03414E-04 /
13 9.50388E-07 42 1.86059E-05 8 1.50009E-06 6 4.68467E-05
11 2.09839E-02 29 5.31708E-05 26 1.04864E-02 24 2.91721E-03
28 1.20081E-03 25 2.57433E-04 14 1.72620E-04 /
13 7.89434E-05 42 2.76340E-05 6 1.76545E-04 26 6.35844E-02
24 1.82060E-02 28 9.03505E-03 25 1.39791E-03 14 1.12710E-03
29 2.03414E-04 /
925 9.48874E-05 928 4.21202E-02 /
925 3.07665E-05 928 1.44204E-02 8 3.83985E-02 /
925 9.48874E-05 928 4.21202E-02 /
13 7.89434E-05 42 2.76340E-05 6 1.76545E-04 26 6.35844E-02
24 1.82060E-02 28 9.03505E-03 25 1.39791E-03 14 1.12710E-03
29 2.03414E-04 /
13 9.50388E-07 42 1.86059E-05 8 1.50009E-06 6 4.68467E-05
11 2.09839E-02 29 5.31708E-05 26 1.04864E-02 24 2.91721E-03
28 1.20081E-03 25 2.57433E-04 14 1.72620E-04 /
13 7.89434E-05 42 2.76340E-05 6 1.76545E-04 26 6.35844E-02
24 1.82060E-02 28 9.03505E-03 25 1.39791E-03 14 1.12710E-03
29 2.03414E-04 /
925 3.17722E-05 928 1.48950E-02 8 3.96975E-02 /
13 9.50388E-07 42 1.00229E-04 6 2.39777E-04 26 5.47546E-02
24 1.51932E-02 28 6.17777E-03 25 1.35314E-03 14 9.09480E-04
29 2.47659E-04 /

PATH

ZPPR-17 RADIAL BLANKET 70G MICRO (MOD. 1-D MODEL) JFS-3-J2
70 13 2 1 0 0 0 /
2 13 13 1 13 0 0 0 6 0 1 1 0 0 2 0 /
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 /
0.00000 0.22225 1.49225 1.53035 2.08915 2.12725 2.44475 3.07975
3.39725 3.43535 3.99415 4.03225 5.30225 5.52450 /

PIJF

37 0 5 3 0 0 0 0 /
0 0 0.0 0.0 0.0 0.0 /
0 /

EDIT

2 2 1 0 0 /

RDBLKB

(d) 軸ブランケット

PREP

ZPPR-17 AXIAL BLANKET 70G MICRO (MOD. 1-D MODEL) JFS-3-J2
13 1 0 1 0 0 3 -20 0 0 0 0 70 /
300.0 1.25 -5.477E-3 /
9 3 9 11 9 2 9 2 9 11 9 3 9 /
0.22225 0.63500 0.03810 1.19380 0.03810 0.31750 0.63500 0.31750
0.03810 1.19380 0.03810 0.63500 0.22225 /
13 1.19811E-06 42 9.05285E-05 6 2.17370E-04 26 4.97444E-02
24 1.38043E-02 28 5.62085E-03 25 1.22858E-03 14 8.27752E-04
29 2.23983E-04 /
925 3.07665E-05 928 1.44204E-02 8 3.83985E-02 /
13 8.23272E-05 42 1.86841E-05 6 1.55003E-04 26 6.06914E-02
24 1.74261E-02 28 8.78985E-03 25 1.31875E-03 14 1.08184E-03
29 1.80949E-04 /
13 1.19811E-06 42 8.90560E-06 8 1.51669E-06 6 2.44618E-05
11 2.11542E-02 29 2.95519E-05 26 5.47619E-03 24 1.52836E-03
28 6.43883E-04 25 1.32872E-04 14 9.08924E-05 /
13 8.23272E-05 42 1.86841E-05 6 1.55003E-04 26 6.06914E-02
24 1.74261E-02 28 8.78985E-03 25 1.31875E-03 14 1.08184E-03
29 1.80949E-04 /
925 9.48874E-05 928 4.21202E-02 /
13 1.19811E-06 42 1.95579E-04 6 1.91247E-04 26 5.94373E-02
24 1.68204E-02 28 6.94642E-03 25 1.31385E-03 14 4.99955E-04
29 2.63827E-04 /
925 9.48874E-05 928 4.21202E-02 /
13 8.23272E-05 42 1.86841E-05 6 1.55003E-04 26 6.06914E-02
24 1.74261E-02 28 8.78985E-03 25 1.31875E-03 14 1.08184E-03
29 1.80949E-04 /
13 1.19811E-06 42 8.90560E-06 8 1.51669E-06 6 2.44618E-05
11 2.11542E-02 29 2.95519E-05 26 5.47619E-03 24 1.52836E-03
28 6.43883E-04 25 1.32872E-04 14 9.08924E-05 /
13 8.23272E-05 42 1.86841E-05 6 1.55003E-04 26 6.06914E-02
24 1.74261E-02 28 8.78985E-03 25 1.31875E-03 14 1.08184E-03
29 1.80949E-04 /
925 3.07665E-05 928 1.44204E-02 8 3.83985E-02 /
13 1.19811E-06 42 9.05285E-05 6 2.17370E-04 26 4.97444E-02
24 1.38043E-02 28 5.62085E-03 25 1.22858E-03 14 8.27752E-04
29 2.23983E-04 /

PATH

ZPPR-17 AXIAL BLANKET 70G MICRO (MOD. 1-D MODEL) JFS-3-J2
70 13 2 1 0 0 0 /
2 13 13 1 13 0 0 0 6 0 1 1 0 0 2 0 /
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 /
0.00000 0.22225 0.85725 0.89535 2.08915 2.12725 2.44475 3.07975
3.39725 3.43535 4.62915 4.66725 5.30225 5.52450 /

PIJF

37 0 5 3 0 0 0 0 /
0 0 0.0 0.0 0.0 0.0 /
0 /

EDIT

2 2 1 0 0 /

AXBLKB

(e) 内部ブランケット

PREP

ZPPR-17 INNER BLANKET 70G MICRO (MOD. 1-D MODEL) JFS-3-J2
14 1 0 1 0 0 3 -20 0 0 0 0 70 /
300.0 1.25 -5.270E-3 /
9 3 9 11 9 10 2 2 10 9 11 9 3 9 /
0.26192 0.63500 0.03810 1.19380 0.03810 0.27783 0.31750 0.31750
0.27783 0.03810 1.19380 0.03810 0.63500 0.26192 /
13 1.04540E-06 42 9.54297E-05 6 1.87974E-04 26 4.25307E-02
24 1.18646E-02 28 4.98689E-03 25 1.04826E-03 14 7.30183E-04
29 2.51179E-04 /
925 3.07665E-05 928 1.44204E-02 8 3.83985E-02 /
13 8.05829E-05 42 1.89387E-05 6 1.56318E-04 26 5.93265E-02
24 1.70377E-02 28 8.60289E-03 25 1.28957E-03 14 1.06019E-03
29 1.83961E-04 /
13 1.04540E-06 42 9.99853E-06 8 1.53167E-06 6 2.42368E-05
11 2.14891E-02 29 3.31358E-05 26 5.32643E-03 24 1.48984E-03
28 6.35363E-04 25 1.29375E-04 14 8.97682E-05 /
13 8.05829E-05 42 1.89387E-05 6 1.56318E-04 26 5.93265E-02
24 1.70377E-02 28 8.60289E-03 25 1.28957E-03 14 1.06019E-03
29 1.83961E-04
13 1.04540E-06 42 9.99853E-06 8 4.91118E-02 6 2.21916E-05
26 3.87392E-02 24 1.48984E-03 28 6.35363E-04 25 1.29375E-04
14 8.97682E-05 29 2.75115E-05 /
925 9.39289E-05 928 4.23038E-02 /
925 9.39289E-05 928 4.23038E-02 /
13 1.04540E-06 42 9.99853E-06 8 4.91118E-02 6 2.21916E-05
26 3.87392E-02 24 1.48984E-03 28 6.35363E-04 25 1.29375E-04
14 8.97682E-05 29 2.75115E-05 /
13 8.05829E-05 42 1.89387E-05 6 1.56318E-04 26 5.93265E-02
24 1.70377E-02 28 8.60289E-03 25 1.28957E-03 14 1.06019E-03
29 1.83961E-04 /
13 1.04540E-06 42 9.99853E-06 8 1.53167E-06 6 2.42368E-05
11 2.14891E-02 29 3.31358E-05 26 5.32643E-03 24 1.48984E-03
28 6.35363E-04 25 1.29375E-04 14 8.97682E-05 /
13 8.05829E-05 42 1.89387E-05 6 1.56318E-04 26 5.93265E-02
24 1.70377E-02 28 8.60289E-03 25 1.28957E-03 14 1.06019E-03
29 1.83961E-04 /
925 3.07665E-05 928 1.44204E-02 8 3.83985E-02 /
13 1.04540E-06 42 9.54297E-05 6 1.87974E-04 26 4.25307E-02
24 1.18646E-02 28 4.98689E-03 25 1.04826E-03 14 7.30183E-04
29 2.51179E-04 /

PATH

ZPPR-17 INNER BLANKET 70G MICRO (MOD. 1-D MODEL) JFS-3-J2
70 14 2 1 0 0 0 /
2 14 14 1 14 0 0 0 6 0 1 1 0 0 2 0 /
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 /
0.00000 0.26192 0.89692 0.93502 2.12882 2.16692 2.44475 2.76225
3.07975 3.35758 3.39568 4.58948 4.62758 5.26258 5.52450 /

PIJF

37 0 5 3 0 0 0 0 /
0 0 0.0 0.0 0.0 0.0 /
0 /

EDIT

2 2 1 0 0 /

INBLKB

(f) 軸／径しゃへい体, マトリクス

PREP
ZPPR-17 AXIAL SHIELD 70G HOMO MODEL <JFS-3-J2>
1 0 0 0 0 1 1 -20 0 0 0 0 70/
300.0 1.25 0.0/
8 /
1.0/
6 5.83421E-04 14 1.32232E-04 24 2.24922E-03 25 6.88559E-04
26 7.54592E-02 28 9.18915E-04 29 8.51012E-05 42 1.48781E-05 /
REGN06
PREP
ZPPR-17 AXIAL SHIELD (STAINLESS BLOCK) 70G HOMO MODEL <JFS-3-J2>
1 0 0 0 0 1 1 -20 0 0 0 0 70/
300.0 1.25 0.0/
8 /
1.0/
42 8.96718E-06 6 2.18218E-04 26 5.17604E-02 24 1.45966E-02
28 6.45829E-03 25 1.47688E-03 14 8.37940E-04 29 9.44196E-05 /
REGN07
PREP
ZPPR-17 RADIAL SHIELD 70G HOMO MODEL <JFS-3-J2>
1 0 0 0 0 1 1 -20 0 0 0 0 70/
300.0 1.25 0.0/
9 /
1.0/
6 2.44859E-04 13 1.87825E-10 14 8.97160E-04 24 1.56828E-02
25 1.42853E-03 26 5.54793E-02 28 6.81922E-03 29 1.22017E-04
42 3.58277E-05 /
REGN08
PREP
ZPPR-17 EMPTY MATRIX 70G HOMO MODEL <JFS-3-J2>
1 0 0 0 0 1 1 -20 0 0 0 0 70/
300.0 1.25 0.0/
8 /
1.0/
42 8.25892E-06 6 1.87560E-05 26 4.27910E-03 24 1.18908E-03
28 4.80174E-04 25 1.05909E-04 14 6.83172E-05 29 2.07224E-05
REGN09

付録C AMM補正計算

C.1 Z P P R -17炉心におけるAMMモデル

Z P P R -17炉心では、大別して以下の6種類のドロワーが装荷されている。

- | | |
|-----------------|--------------------|
| ① 内部プランケットを持たない | Single Column Fuel |
| ② " " | Double Column Fuel |
| ③ 内部プランケットを持つ | Single Column Fuel |
| ④ " " | Double Column Fuel |
| ⑤ 径プランケット | |
| ⑥ 径反射体 | |

実際の炉心では、この他に対称性を保持するための特殊なドロワー、測定のためのフィッショングカウンターや熱電対を持つドロワー、運転用制御棒を挿入するためのドロワー等が存在する他、使用するPu-U-Mo板の数密度の差からさらに数十種類のドロワーマスターに分類することができる。これらの分類まで考慮したモデルが All Master Model (AMM) である。

Z P P R -17A, B および C に使用されているドロワーマスターの一覧を Table C.1 - 1~3, その装荷パターンを Fig. C.1 - 1~3 に示す。

C.2 AMM補正計算

本解析におけるAMM補正計算は次のような条件で行なった。

- 計算コード CITATION-FBR
- 適用理論 拡散近似
- 体系 3次元XYZ 1/2炉心 (64×64×21)
- エネルギー群数 7群
- メッシュ数 1メッシュ/ドロワー
- 拡散係数 Benoist の異方性拡散係数

AMM補正值は、Fig. C.1 ~ 1~3 のドロワー配置に基づいた計算値を、基準計算値の差で求められる。

TABLE C.1-1 Drawer Masters in ZPPR-17A

<u>Zone</u>	<u>Master</u>	<u>Description^a</u>
Core Without	101	Fuel-SC
Internal Blanket	102	Fuel-SC
(Outer Core)	103	Fuel-SC
	104	Fuel-SC
	105	Fuel-SC
	106	Fuel-SC
	109	Fuel-SC-Symmetry retaining
	110	Fuel-SC-Symmetry retaining
	111	Fuel-SC-Symmetry retaining
	112	Fuel-SC-Symmetry retaining
	202	Fuel-DC
	203	Fuel-DC
	207	Fuel-DC
	701	Fuel-SC-FC
	702	Fuel-SC-FC
	703	Fuel-SC-FC
	705	Fuel-SC-FC
	706	Fuel-SC-FC
	711	Fuel-SC-Thermocouple
	714	Fuel-SC-FC-Symmetry retaining
	715	Fuel-SC-FC-Symmetry retaining
	805	Fuel-SC-PSR
	806	Fuel-SC-PSR
	807	Fuel-DC-PSR
	808	Fuel-DC-PSR
	809	Fuel-SC-PSR
	810	Fuel-SC-PSR

TABLE C.1-1 (contd)

<u>Zone</u>	<u>Master</u>	<u>Description^a</u>
Core With Internal Blanket (Inner Core)	107	Fuel-SC
	108	Fuel-SC
	205	Fuel-DC
	707	Fuel-SC-FC
	708	Fuel-SC-FC
	712	Fuel-SC-Axially distributed FC
	713	Fuel-SC-Axially distributed FC
	801	Fuel-SC-PSR
	802	Fuel-SC-PSR
	803	Fuel-DC-PSR
	804	Fuel-DC-PSR
Radial Blanket	501	DU
	502	DU
	709	DU-FC
Radial Reflector	402	Stainless Steel
	403	Stainless Steel
	404	Stainless Steel
	405	Stainless Steel
	710	Stainless Steel

^aSC is single fuel column, DC is double fuel column, FC is fission chamber, PSR is adjacent to poison safety rod, DU is depleted uranium.

TABLE C.1-2 Drawer Masters in ZPPR-17B

<u>Zone</u>	<u>Master</u>	<u>Description^a</u>
Core Without	101	Fuel-SC
Internal Blanket	102	Fuel-SC
(Outer Core)	103	Fuel-SC
	104	Fuel-SC
	105	Fuel-SC
	106	Fuel-SC
	109	Fuel-SC-Symmetry retaining
	110	Fuel-SC-Symmetry retaining
	111	Fuel-SC-Symmetry retaining
	112	Fuel-SC-Symmetry retaining
	202	Fuel-DC
	203	Fuel-DC
	207	Fuel-DC
	226	Fuel-DC
	227	Fuel-DC
	701	Fuel-SC-FC
	702	Fuel-SC-FC
	703	Fuel-SC-FC
	705	Fuel-SC-FC
	706	Fuel-SC-FC
	711	Fuel-SC-Thermocouple
	714	Fuel-SC-FC-Symmetry retaining
	715	Fuel-SC-FC-Symmetry retaining
	805	Fuel-SC-PSR
	806	Fuel-SC-PSR
	807	Fuel-DC-PSR
	808	Fuel-DC-PSR
	809	Fuel-SC-PSR
	810	Fuel-SC-PSR

TABLE C.1-2 (contd)

<u>Zone</u>	<u>Master</u>	<u>Description^a</u>
Core With Internal Blanket (Inner Core)	107	Fuel-SC
	108	Fuel-SC
	205	Fuel-DC
	707	Fuel-SC-FC
	708	Fuel-SC-FC
	712	Fuel-SC-Axially distributed FC
	713	Fuel-SC-Axially distributed FC
	801	Fuel-SC-PSR
	802	Fuel-SC-PSR
	803	Fuel-DC-PSR
	804	Fuel-DC-PSR
Control Rod Position	601	CRP
Radial Blanket	501	DU
	502	DU
	709	DU-FC
Radial Reflector	402	Stainless Steel
	403	Stainless Steel
	404	Stainless Steel
	405	Stainless Steel
	710	Stainless Steel

^aSC is single fuel column, DC is double fuel column, FC is fission chamber, PSR is adjacent to poison safety rod, DU is depleted uranium.

TABLE C.1-3 Drawer Masters in ZPPR-17C

<u>Zone</u>	<u>Master</u>	<u>Description^a</u>
Core Without Internal Blanket (Outer Core)	101	Fuel-SC
	102	Fuel-SC
	103	Fuel-SC
	104	Fuel-SC
	105	Fuel-SC
	106	Fuel-SC
	109	Fuel-SC-Symmetry retaining
	110	Fuel-SC-Symmetry retaining
	111	Fuel-SC-Symmetry retaining
	112	Fuel-SC-Symmetry retaining
	202	Fuel-DC
	203	Fuel-DC
	207	Fuel-DC
	226	Fuel-DC
	227	Fuel-DC
	230	Fuel-DC
	231	Fuel-DC
	232	Fuel-DC
	233	Fuel-DC
	235	Fuel-DC
	236	Fuel-DC
	237	Fuel-DC
	701	Fuel-SC-FC
	702	Fuel-SC-FC
	703	Fuel-SC-FC
	705	Fuel-SC-FC
	706	Fuel-SC-FC
	711	Fuel-SC-Thermocouple
	714	Fuel-SC-FC-Symmetry retaining
	715	Fuel-SC-FC-Symmetry retaining
	805	Fuel-SC-PSR
	806	Fuel-SC-PSR
	807	Fuel-DC-PSR
	808	Fuel-DC-PSR
	809	Fuel-SC-PSR
	810	Fuel-SC-PSR

TABLE C.1-3 (contd)

Zone	Master	Description ^a
Core With Internal Blanket (Inner Core)	107	Fuel-SC
	108	Fuel-SC
	205	Fuel-DC
	228	Fuel-DC
	229	Fuel-DC
	234	Fuel-DC
	707	Fuel-SC-FC
	708	Fuel-SC-FC
	712	Fuel-SC-Axially distributed FC
	713	Fuel-SC-Axially distributed FC
	801	Fuel-SC-PSR
	802	Fuel-SC-PSR
Control Rod Position	803	Fuel-DC-PSR
	804	Fuel-DC-PSR
Control Rod	601	CRP
Radial Blanket	639	CR
	640	CR
Radial Reflector	501	DU
	502	DU
	709	DU-FC
Radial Reflector	402	Stainless Steel
	403	Stainless Steel
	404	Stainless Steel
	405	Stainless Steel
	710	Stainless Steel

^aSC is single fuel column, DC is double fuel column, FC is fission chamber, PSR is adjacent to poison safety rod, DU is depleted uranium.

Fig. C.1-1 (1) The xyz calculation Model for ZPPR-17A(Half1)

Fig. C.1-1 (2) The XYZ Calculation Model for ZPPR-17A(Half2)

Fig. C-1-2 (1) The xyz Calculation Model for ZPPR-17B(Half1)

Fig. C.1-2 (2) The xyz Calculation Model for ZPPR-17B(Half?)

Fig. C.1-3 (1) The XYZ Calculation Model for ZPPR-17C(Half1)

Fig. C.1-3 (2) The XYZ Calculation Model for ZPPR-17C(Half2)

Appendix-D

JUPITER 実験解析における β_{eff} の評価方法

D.1 遅発中性子データ

JUPITER-IにおけるZPPR-9, 10炉心の解析の結果, β_{eff} の計算値に数%のシステムティック誤差が含まれていることが明らかとなった。この検討には, 次の2つのsetを用いて比較した。

DNデータ*	内訳
A	Yields Spectra } ENDF/B-V
B	Yields Tuttle (1979) Spectra Saphier (1977)

いずれも、現時点で入手可能な評価済遅発中性子データとして最新のものと思われる。

このA, B両Setを用いて, ZPPR-10Bの臨界近接時のスパイク反応度を解析した結果をFig. 1に示す。 k_{eff} の計算誤差は、本来系統的なものであり、体系間のバラツキは小さいはずである。従って、この結果から、 β_{eff} の計算にBセットを用いた方が、より妥当な解析結果が得られることを示唆している。

なお、Bセットによる β_{eff} は、Aセットによるものと比べて、約5%大きいが、その方が、Naボイド反応度、燃料核種の物質反応度等の解析においてC/E値が1.0に近い結果が得られる。

以上の理由により、JUPITER実験

解析においては、セ

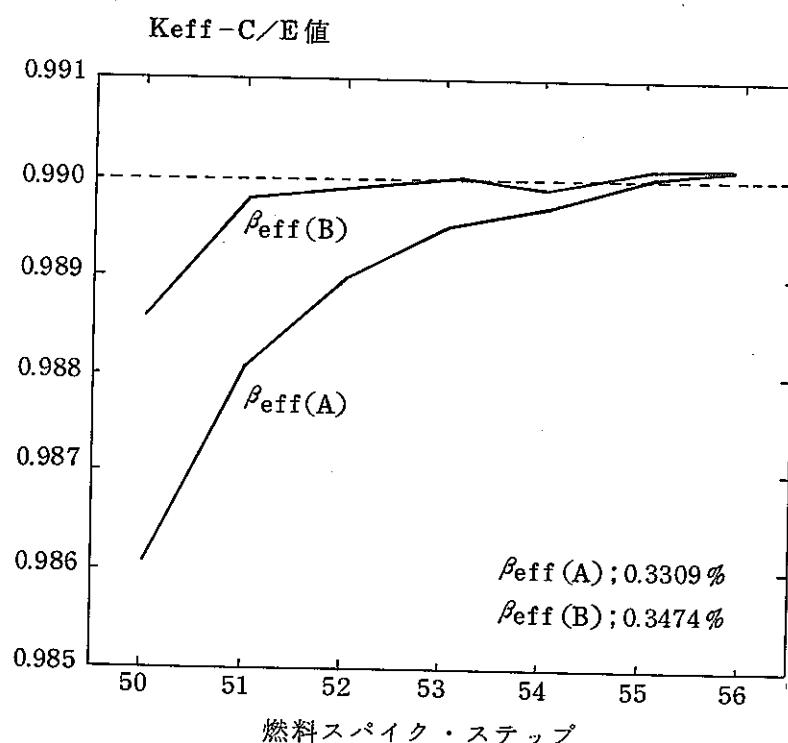


Fig. 1 ZPPR-10B 臨界近接実験の解析

ットBを用いることにしている。

D.2 $\beta_{\text{eff.}}$ の評価式

$$\beta_{\text{eff.}} = \sum_i \beta_{\text{eff.}}^i \quad (1)$$

ここで

$$\beta_{\text{eff.}}^i = i \text{ 核種の } \beta_{\text{eff.}} \text{ への寄与}$$

$$\beta_{\text{eff.}}^i = \sum_n \beta_{\text{eff.}, n}^i \quad (2)$$

ここで

$$\beta_{\text{eff.}, n}^i = i \text{ 核種の delayed neutron family } n \text{ の寄与}$$

$$\beta_{\text{eff.}, n}^i = \frac{a_n^i \int \sum_{g'}^i (\chi_{d, n, g', g'}^i \phi^*) \cdot \sum_g (y_g^i \sum_{f, g}^i \phi) dV}{\int \left[\sum_{g, g'} \left\{ (\chi_{p, g', g'}^i \phi^*) (v \sum_{p, f, g} \phi) \right\} + \sum_{i, n} \sum_{g, g'} \left\{ (\chi_{d, n, g', g'}^i \phi^*) a_n^i \cdot y_g^i \sum_{f, g}^i \phi \right\} \right] dV} \quad (3)$$

ここで

$$\chi_p = \text{prompt neutron spectrum}$$

$$\chi_{d, n}^i = i \text{ 核種の delayed neutron family } n \text{ の delayed neutron spectrum}$$

$$a_n^i = i \text{ 核種の delayed neutron family } n \text{ の fraction} \\ (\sum_n a_n^i = 1.0)$$

$$v_p = \text{prompt neutron / fission}$$

$$y^i = i \text{ 核種の absolute delayed neutron yield} \\ (\text{delayed neutron / fission})$$

式(3)において、分母の第2項の寄与は小さく、十分な精度で次の式で近似できる。

$$\beta_{\text{eff}, n}^i = \frac{\int_{g'}^i (\chi_{d, n, g'}^i \phi_{g'}^*) \cdot \sum_g^i (y_g^i \sum_{f, g}^i \phi_g^*) dV}{\int_{g, g'} \left\{ (\chi_{p, g'}^i \phi_{g'}^*) (v \sum_p^i \phi_p^*) \right\} dV} \quad (4)$$

一般に ϕ^* のエネルギースペクトルは flat であり、また、delayed neutron spectrum データの不確かさを考慮すると、必要以上の delayed neutron spectrum の違いを計算に取り入れる必要はない。(see Table 1)

そこで、核種ごとの delayed neutron spectrum は区別するが、delayed neutron familyごとのスペクトルを区別しないものとした。

Table 1 ZPPR-13A における Effectiveness の比較

Family i	Fuel Ring ϕ^* (2nd FR)				
	^{238}U		^{239}Pu		$\chi_{DG}^i \phi_{DG}^*$
	a_n	$\chi_{DG}^i \phi_{DG}^*$	a_n	$\chi_{DG}^i \phi_{DG}^*$	
1	0.013	1.490	0.038	1.496	
2	0.137	1.534	0.280	1.546	
3	0.162	1.508	0.216	1.501	
4	0.388	1.512	0.328	1.511	
5	0.225	1.506	0.103	1.511	
6	0.075	1.506	0.035	1.511	
$\sum a_i \chi_{DG}^i \phi_{DG}^*$	—	1.512	—	1.518	1.515

$$1) \chi_{DG} = \frac{1}{2} \left(\sum_n a_n \chi_{DG}^{n, 238} + \sum_n a_n \chi_{DG}^{n, 239} \right)$$

D.3 $\beta_{\text{eff.}}$ の解析方法

$\beta_{\text{eff.}}$ の解析方法を以下に示す。

計算体系 : 3次元XYZ (1/8炉心)

使用ライブラリ : JFS-3R-J2

エネルギー群数 : 18群

遅発中性子データ :

Yields	: Tuttle (1979) ¹⁾
Spectra	: Saphier (1977) ²⁾
Delayed Family Fraction, Decay Constant	
	: Keepin (1965) ³⁾

計算に使用した18群のデータを Table. 2 に示した。

使用コード : PERKY

なお、サンプル反応度の解析に用いる1 hへの換算係数は次式によって評価した。

$$I_h / (\Delta k/k) = \left\{ \frac{\ell_p}{3600} + \sum_i \sum_j \frac{\beta_{\text{eff}}^j a_i^j}{1 + 3600 \cdot \lambda_i^j} \right\}^{-1} \left[\beta_{\text{eff}}^j = a_i^j \beta_{\text{eff}}^j \right]$$

ここで、i : Delayed Neutron Family, j : 核種である。

Table 2 Delayed Neutron Data Used in JUPITER Analysis

	^{235}U	^{238}U	^{239}Pu	^{240}Pu	^{241}Pu	^{242}Pu
Absolute Yield 1~18 group	0.01673	0.0439	0.0063	0.0095	0.0152	0.0221
Spectrum						
group E low(MeV)						
4 1.3534	0.0201	0.0205	0.0184			
5 0.82085	0.1033	0.0952	0.1021			
6 0.38774	0.3571	0.3506	0.3570	同左	同左	同左
7 0.18316	0.3273	0.3275	0.3342			
8 0.086517	0.1763	0.1900	0.1692			
9 0.040868	0.0159	0.0162	0.0191			

D.4 結 果

JUPITER-IIにおける $\beta_{\text{eff.}}$ の解析結果を Table 3に示す。参考までにENDF-B/Vを用いているANLの解析値と比較した。両者には主に delayed neutron spectrumの違いに由来する5%の差がある。

Table 3 $\beta_{\text{eff.}}$ 解析結果

Core	this work	ANL	this work	
				ANL
ZPPR-13A	3.4634×10^{-3}	3.2941×10^{-3}		1.051
ZPPR-13B/1	3.4754×10^{-3}	3.3065×10^{-3}		1.051
ZPPR-13B/3	3.5033×10^{-3}	3.3252×10^{-3}		1.053
ZPPR-13B/4	3.4741×10^{-3}	3.3046×10^{-3}		1.051
ZPPR-13C	3.4637×10^{-3}	3.2954×10^{-3}		1.051

参考文献

- 1) R. J. Tuttle : "Delayed-Neutron Yields in Nuclear Fission" (1979)
Consultants' Meeting on delayed Neutron Properties, IAEA, Vienna
- 2) D. Saphier et al : "Evaluated Delayed Neutron Spectra and Their Importance in Reactor Calculations" : Nucl. Sci. Eng., 62 660 (1977)
- 3) G. R. Keepin, "Physics of Nuclear Kinetics" (1965)