

JAERI-M  
86-065

FCAによる大型軸方向非均質炉心の炉物理研究(VI)  
—FCA XIII-1集合体による径方向核特性の測定とその解析—

1986年3月

飯島	進・岡嶋	成晃・早瀬	保*
大部	誠・大杉	俊隆・小坪	龍男
桜井	健・大野	秋男・佐藤	邦雄
佐藤	若英**	辻	延昌***

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）  
あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城  
県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division, Department  
of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun,  
Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1986

---

編集兼発行 日本原子力研究所  
印刷 日立高速印刷株式会社

FCAによる大型軸方向非均質炉心の炉物理研究 (VI)  
—FCA XIII-1集合体による径方向核特性の測定とその解析—

日本原子力研究所東海研究所原子炉工学部

飯島 進・岡嶋 成晃・早瀬 保\*・大部 誠  
大杉 俊隆・小坪 龍男・桜井 健・大野 秋男  
佐藤 邦雄・佐藤 若英\*\*・辻 延昌\*\*\*

(1986年3月26日受理)

高速臨界集合体FCAを用いた大型軸方向非均質炉心模擬実験の一環として、FCA XIII-1集合体による実験が行われた。FCA保有燃料の制約から、大型炉の全炉心規模の模擬体系は組めないため、部分模擬体系により、軸方向非均質炉心の軸方向核特性と径方向核特性を別々に測定することとした。XIII-1集合体は径方向核特性を測定するための標準体系であり、軸方向非均質炉心の炉心燃料を模擬したテスト領域を濃縮ウランドライバーで囲んだ、セクター型模擬体系である。

実験では臨界特性のほか、軸方向非均質炉心の径方向核特性として反応率分布と反応率比、出力分布、物質反応度値および $B_4C$ 制御棒反応度値を測定した。

実験解析では核データとしてJENDL-2を使用し、原研の高速炉核特性計算コードシステムを用い、計算精度の評価を行った。

実験では内部ブランケットにより、その周辺部の中性子スペクトルが変化し径方向出力分布が平坦化することが観測された。また解析では、U-238を除く核分裂反応率分布において、内部ブランケットでの計算値の過小評価が見られた。

---

東海研究所：〒319-11 茨城県那珂郡東海村白方字白根2-4

本報告書は日本原子力研究所が動力炉・核燃料開発事業団の委託により行った研究の成果である。

\* 外来研究員(日立製作所)

\*\* 外来研究員(日本情報サービス)

\*\*\* 外来研究員(富士電機)

Experimental Study of Large Scale Axially  
Heterogeneous LMFBR Core at FCA (VI)  
— Radial Nuclear Characteristics Measurement  
on FCA Assembly XIII-1 and Their Analysis —

Susumu IIJIMA, Sigeaki OKAJIMA, Tamotsu HAYASE\*,  
Makoto OBU, Toshitaka OSUGI, Tatsuo KOAKUTSU,  
Takeshi SAKURAI, Akio ONO, Kunio SATO,  
Wakaei SATO\*\* and Nobumasa TSUJI\*\*\*

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

(Received March 26, 1986)

An experimental study for an axially heterogeneous LMFBR has been planned at FCA. Because enough plutonium fuel constructing a full mockup core of a large scale LMFBR are not prepared on FCA, axial and radial nuclear characteristics have been measured using the respective partial mockup cores in the program. Assembly XIII-1 is the standard core for measurements of nuclear characteristics in the radial direction. Assembly XIII-1 is a sector type core and has a test region simulated a core region of an axially heterogeneous LMFBR at the core center. The test region is surrounded by the driver region fueled an enriched uranium. Following nuclear characteristics have been measured (i) criticality, (ii) reaction rate and reaction rate ratios, (iii) power distributions, (iv) material sample worths and (v)  $B_4C$  control rod worths in the experiment.

---

This work was performed under contract between the Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation and JAERI.

\* HITACHI LTD.

\*\* JAIS LTD.

\*\*\* FUJI ELECTRIC LTD.

In order to examine data and method for the calculation of nuclear characteristics of the axially heterogeneous core, the analyses have been made using cross section library JENDL-2 and JAERI's standard calculation system for a nuclear characteristic of a fast reactor.

In the experiment, power flattening has been observed at the radial direction, which caused by neutron spectrum change due to exist the internal blanket. While the calculation have underestimated the fission reaction rates except U-238 in the internal blanket.

Keywords: LMFBR, Axially Heterogeneous Core, FCA Assembly XIII-1, Radial Nuclear Characteristics Measurement, Mockup Core, JENDL-2, Criticality, Reaction Rate, Power Distributions, Materials Sample Worths, Control Rod Worths

## 目 次

1. はじめに .....	1
2. 実験体系の選定 .....	1
3. 基準体系 .....	10
3.1 基準臨界体系と臨界特性試験 .....	10
3.2 実験解析手法の概要 .....	11
3.3 臨界性の解析 .....	12
4. 反応率分布と反応率比 .....	26
4.1 測定の方法 .....	26
4.2 反応率分布の測定結果と解析 .....	28
4.3 反応率比の測定結果と解析 .....	30
4.4 ま と め .....	31
5. サンプル反応度価値 .....	79
5.1 サンプル反応度価値の測定 .....	79
5.2 サンプル反応度価値の解析 .....	80
6. B <sub>4</sub> C制御棒反応度価値 .....	95
6.1 実 験 .....	95
6.2 解析と検討 .....	98
7. 結 論 .....	106
謝 辞 .....	107
参考文献 .....	107
Appendix A : プレートデータ .....	108
Appendix B : 臨界特性データ .....	116
Appendix C : ドライバー領域のサンプルワース .....	121

## CONTENTS

1. Introduction .....	1
2. Design of Experimental Core .....	1
3. Description of Reference Core .....	10
3.1 Reference Core and Criticality .....	10
3.2 Calculation Method .....	11
3.3 Analysis of Criticality .....	12
4. Reaction Rate and Rate Ratio .....	26
4.1 Experiment .....	26
4.2 Experimental Result of Reaction Rate and Analysis .....	28
4.3 Experimental Result of Rate Ratio and Analysis .....	30
4.4 Conclusion .....	31
5. Sample Reactivity Worth .....	79
5.1 Experiment of Sample Reactivity Worth .....	79
5.2 Analysis of Sample Reactivity Worth .....	80
6. $B_4C$ Control Rod Worth .....	95
7. Conclusion .....	106
Acknowledgment .....	107
Reference .....	107
Appendix A ; Plate Data .....	108
Appendix B ; Data for Criticality .....	116
Appendix C ; Sample Reactivity Worth in Driver Region .....	121

## Content of Tables

Table 3.1	Composition of FCA Assembly XIII-1 .....	14
Table 3.2	Criticality in FCA Assembly XIII-1 .....	15
Table 3.3	Energy structure of 25 energy group .....	15
Table 3.4	Calculation results for criticality of FCA Assembly XIII-1 .	15
Table 4.1	Effective atoms and isotopic compositions of fission counters .....	55
Table 4.2	Radial Pu-239 fission rate distribution at 1Z and C/E in FCA Assembly XIII-1 .....	56
Table 4.3	Radial Pu-239 fission rate distribution at 4Z and C/E in FCA Assembly XIII-1 .....	57
Table 4.4	Radial Pu-239 fission rate distribution at 6Z and C/E in FCA Assembly XIII-1 .....	58
Table 4.5	Radial U-238 fission rate distribution at 1Z and C/E in FCA Assembly XIII-1 .....	59
Table 4.6	Radial U-238 fission rate distribution at 4Z and C/E in FCA Assembly XIII-1 .....	60
Table 4.7	Radial U-238 fission rate distribution at 6Z and C/E in FCA Assembly XIII-1 .....	61
Table 4.8	Radial U-238 capture rate distribution at 1Z and C/E in FCA Assembly XIII-1 .....	62
Table 4.9	Radial U-238 capture rate distribution at 4Z and C/E in FCA Assembly XIII-1 .....	63
Table 4.10	Radial U-238 capture rate distribution at 6Z and C/E in FCA Assembly XIII-1 .....	63
Table 4.11	Radial U-235 fission rate distribution at 1Z and C/E in FCA Assembly XIII-1 .....	64
Table 4.12	Radial U-235 fission rate distribution at 4Z and C/E in FCA Assembly XIII-1 .....	64
Table 4.13	Radial U-235 fission rate distribution at 6Z and C/E in FCA Assembly XIII-1 .....	65
Table 4.14	Radial Np-237 fission rate distribution at 1Z and C/E in FCA Assembly XIII-1 .....	66
Table 4.15	Radial Np-237 fission rate distribution at 4Z and C/E in FCA Assembly XIII-1 .....	67
Table 4.16	Radial Np-237 fission rate distribution at 6Z and C/E in FCA Assembly XIII-1 .....	68



Table 4.17	Axial Pu-239 fission rate distribution at 0R and C/E in FCA Assembly XIII-1 .....	69
Table 4.18	Axial Pu-239 fission rate distribution at 7R and C/E in FCA Assembly XIII-1 .....	69
Table 4.19	Axial Pu-239 fission rate distribution at 9R and C/E in FCA Assembly XIII-1 .....	70
Table 4.20	Axial U-238 fission rate distribution at 0R and C/E in FCA Assembly XIII-1 .....	70
Table 4.21	Axial U-238 fission rate distribution at 7R and C/E in FCA Assembly XIII-1 .....	71
Table 4.22	Axial U-238 fission rate distribution at 9R and C/E in FCA Assembly XIII-1 .....	71
Table 4.23	Axial U-235 fission rate distribution at 0R and C/E in FCA Assembly XIII-1 .....	72
Table 4.24	Axial U-235 fission rate distribution at 7R and C/E in FCA Assembly XIII-1 .....	72
Table 4.25	Axial U-235 fission rate distribution at 9R and C/E in FCA Assembly XIII-1 .....	73
Table 4.26	Axial Np-237 fission rate distribution at 0R and C/E in FCA Assembly XIII-1 .....	73
Table 4.27	Axial Np-237 fission rate distribution at 7R and C/E in FCA Assembly XIII-1 .....	74
Table 4.28	Axial Np-237 fission rate distribution at 9R and C/E in FCA Assembly XIII-1 .....	74
Table 4.29	Fission rate ratios by micro fission counters at 1Z of FCA Assembly XIII-1 .....	75
Table 4.30	Fission rate ratios by micro fission counters at 4Z and 6Z of FCA Assembly XIII-1 .....	76
Table 4.31	Reaction rate ratios in radial direction of FCA Assembly XIII-1 .....	77
Table 4.32	Reaction rate ratios in axial direction of FCA Assembly XIII-1 .....	78
Table 5.1	Data of material used on sample worth measurement .....	82
Table 5.2	Experimental results of PU(92) sample worth in FCA Assembly XIII-1 .....	83
Table 5.3	Experimental results of Nat.B <sub>4</sub> C sample worth in FCA Assembly XIII-1 .....	83

Table 5.4	C/E values of radial PU(92) sample worth distribution in FCA Assembly XIII-1 .....	84
Table 5.5	C/E values of axial PU(92) sample worth distribution in FCA Assembly XIII-1 .....	85
Table 5.6	C/E values of radial Nat.B <sub>4</sub> C sample worth distribution in FCA Assembly XIII-1 .....	86
Table 5.7	C/E values of axial Nat.B <sub>4</sub> C sample worth distribution in FCA Assembly XIII-1 .....	87
Table 6.1	Atomic number density in sodium follower and simulated control rod .....	100
Table 6.2	Correction factor $f_1^*$ by modified source multiplication method (MSM) .....	100
Table 6.3	Measured control rod worth at FCA Assembly XIII-1 .....	101
Table 6.4	Few group energy structure for control rod worth calculation .....	101
Table 6.5	Calculated control rod worth and C/E value at FCA Assembly XIII-1 .....	102
Table 6.6	Measured and calculated interference effects between control rod worths of 4R and 8R positions .....	103

## Content of Figures

Fig. 2.1	Cross section view of calculation model .....	4
Fig. 2.2	R-Z geometry of calculation model .....	4
Fig. 2.3	Radial distributions for $^{238}\text{U}$ fission rate at 1Z .....	5
Fig. 2.4	Radial distributions for $^{238}\text{U}$ fission rate at 4Z .....	5
Fig. 2.5	Radial distributions for $^{238}\text{U}$ fission rate at 6Z .....	6
Fig. 2.6	Radial distributions for $^{239}\text{Pu}$ fission rate at 1Z .....	6
Fig. 2.7	Radial distributions for $^{239}\text{Pu}$ fission rate at 4Z .....	7
Fig. 2.8	Radial distributions for $^{239}\text{Pu}$ fission rate at 6Z .....	7
Fig. 2.9	Radial distributions for $^{239}\text{Pu}$ sample worth at 1Z .....	8
Fig. 2.10	Radial distributions for $^{239}\text{Pu}$ sample worth at 4Z .....	8
Fig. 2.11	Radial distributions for $^{239}\text{Pu}$ sample worth at 6Z .....	9
Fig. 3.1	Reference core of FCA Assembly XIII-1 .....	16
Fig. 3.2	Vertical cross section of FCA Assembly XIII-1 .....	17
Fig. 3.3	Plate arrangement of the drawers in FCA Assembly XIII-1 ....	18
Fig. 3.4	Cross section of the core zone of the test region (T3B3 drawer) in FCA XIII-1 .....	21
Fig. 3.5	Cell model for the core zone of T3B3 drawer .....	21
Fig. 3.6	R-Z model for sector system .....	22
Fig. 3.7	Comparison of neutron spectrum at 1Z .....	23
Fig. 3.8	Comparison of adjoint flux at 1Z .....	23
Fig. 3.9	Comparison of neutron spectrum at 4Z .....	24
Fig. 3.10	Comparison of adjoint flux at 4Z .....	24
Fig. 3.11	Comparison of neutron spectrum at 6Z .....	25
Fig. 3.12	Comparison of adjoint flux at 6Z .....	25
Fig. 4.1	Positions of reaction rate measurements by using micro fission counters in FCA Assembly XIII-1 .....	32
Fig. 4.2	Positions of reaction rate measurements by using depleted uranium foils in FCA Assembly XIII-1 .....	33
Fig. 4.3	Cell pattern for internal blanket with experimental hole in radial fission rate measurement .....	34
Fig. 4.4	Arrangement of core cell for axial fission rate measurement by using micro fission counters and cell pattern for foil measurement .....	35
Fig. 4.5	Radial $^{239}\text{Pu}$ (n,f) distribution at 1Z in FCA Assembly XIII-1 .....	36

Fig. 4.6	Radial $^{239}\text{Pu}$ (n,f) distribution at 4Z in FCA Assembly	
	XIII-1 .....	36
Fig. 4.7	Radial $^{239}\text{Pu}$ (n,f) distribution at 6Z in FCA Assembly	
	XIII-1 .....	37
Fig. 4.8	Radial $^{238}\text{U}$ (n,f) distribution at 1Z in FCA Assembly	
	XIII-1 .....	37
Fig. 4.9	Radial $^{238}\text{U}$ (n,f) distribution at 4Z in FCA Assembly	
	XIII-1 .....	38
Fig. 4.10	Radial $^{238}\text{U}$ (n,f) distribution at 6Z in FCA Assembly	
	XIII-1 .....	38
Fig. 4.11	Radial $^{238}\text{U}$ (n, $\gamma$ ) distribution at 1Z in FCA Assembly	
	XIII-1 .....	39
Fig. 4.12	Radial $^{238}\text{U}$ (n, $\gamma$ ) distribution at 4Z in FCA Assembly	
	XIII-1 .....	39
Fig. 4.13	Radial $^{238}\text{U}$ (n, $\gamma$ ) distribution at 6Z in FCA Assembly	
	XIII-1 .....	40
Fig. 4.14	Radial $^{235}\text{U}$ (n,f) distribution at 1Z in FCA Assembly	
	XIII-1 .....	40
Fig. 4.15	Radial $^{235}\text{U}$ (n,f) distribution at 4Z in FCA Assembly	
	XIII-1 .....	41
Fig. 4.16	Radial $^{235}\text{U}$ (n,f) distribution at 6Z in FCA Assembly	
	XIII-1 .....	41
Fig. 4.17	Radial $^{237}\text{Np}$ (n,f) distribution at 1Z in FCA Assembly	
	XIII-1 .....	42
Fig. 4.18	Radial $^{237}\text{Np}$ (n,f) distribution at 4Z in FCA Assembly	
	XIII-1 .....	42
Fig. 4.19	Radial $^{237}\text{Np}$ (n,f) distribution at 6Z in FCA Assembly	
	XIII-1 .....	43
Fig. 4.20	Axial $^{239}\text{Pu}$ (n,f) distribution at OR in FCA Assembly	
	XIII-1 .....	43
Fig. 4.21	Axial $^{239}\text{Pu}$ (n,f) distribution at 7R in FCA Assembly	
	XIII-1 .....	44
Fig. 4.22	Axial $^{239}\text{Pu}$ (n,f) distribution at 9R in FCA Assembly	
	XIII-1 .....	44
Fig. 4.23	Axial $^{238}\text{U}$ (n,f) distribution at OR in FCA Assembly	
	XIII-1 .....	45
Fig. 4.24	Axial $^{238}\text{U}$ (n,f) distribution at 7R in FCA Assembly	
	XIII-1 .....	45

Fig. 4.25	Axial $^{238}\text{U}$ (n,f) distribution at 9R in FCA Assembly XIII-1 .....	46
Fig. 4.26	Axial $^{235}\text{U}$ (n,f) distribution at 0R in FCA Assembly XIII-1 .....	46
Fig. 4.27	Axial $^{235}\text{U}$ (n,f) distribution at 7R in FCA Assembly XIII-1 .....	47
Fig. 4.28	Axial $^{235}\text{U}$ (n,f) distribution at 9R in FCA Assembly XIII-1 .....	47
Fig. 4.29	C/E values of radial $^{239}\text{Pu}$ (n,f) distribution at 1Z, 4Z and 6Z in FCA Assembly XIII-1 .....	48
Fig. 4.30	C/E values of radial $^{238}\text{U}$ (n,f) distribution at 1Z, 4Z and 6Z in FCA Assembly XIII-1 .....	49
Fig. 4.31	C/E values of radial $^{238}\text{U}$ (n, $\gamma$ ) distribution at 1Z, 4Z and 6Z in FCA Assembly XIII-1 .....	50
Fig. 4.32	C/E values of radial $^{235}\text{U}$ (n,f) distribution at 1Z, 4Z and 6Z in FCA Assembly XIII-1 .....	51
Fig. 4.33	C/E values of radial $^{237}\text{Np}$ (n,f) distribution at 1Z, 4Z and 6Z in FCA Assembly XIII-1 .....	52
Fig. 4.34	C/E values of axial $^{239}\text{Pu}$ (n,f) distribution at 0R, 7R and 9R in FCA Assembly XIII-1 .....	53
Fig. 4.35	C/E values of axial $^{238}\text{U}$ (n,f) distribution at 0R, 7R and 9R in FCA Assembly XIII-1 .....	54
Fig. 5.1	Sample position for sample reactivity worth measurement ....	88
Fig. 5.2	Radial distribution of PU(92) sample worth in FCA Assembly XIII-1 .....	89
Fig. 5.3	Axial distribution of PU(92) sample worth in FCA Assembly XIII-1 .....	90
Fig. 5.4	Radial distributions of Nat. $\text{B}_4\text{C}$ sample worth in FCA Assembly XIII-1 .....	91
Fig. 5.5	Axial distributions of Nat. $\text{B}_4\text{C}$ sample worth in FCA Assembly XIII-1 .....	92
Fig. 5.6	C/E distributions of PU(92) sample worth in FCA Assembly XIII-1 .....	93
Fig. 5.7	C/E distributions of Nat. $\text{B}_4\text{C}$ sample worths in FCA Assembly XIII-1 .....	94

Fig. 6.1 B<sub>4</sub>C pin configuration in simulated control rod ..... 103

Fig. 6.2 Control rod channel position and detector configuration  
in FCA XIII-1 core ..... 104

Fig. 6.3 Schematic view of simulated control rod position ..... 105

## 1. はじめに

大型軸方向非均質高速炉の模擬実験を計画し、高速臨界集合体 F C A を用いて一連の実験を行ってきた。軸方向非均質炉心は、炉心中心に盤状のブランケット領域を設け、出力の平坦化、ナトリウムボイド時の反応度値の低減あるいは増殖性能の向上といった優れた特性を持つ炉心と考えられ、大型高速炉の候補炉心として開発研究が進められている。F C A における実験は軸方向非均質炉心の特徴的な核特性を模擬体系において測定し、併せて炉心設計の計算精度を検証するためのデータをを得ることを目的としている。F C A 保有の燃料の制約から大型軸方向非均質炉心の全炉心規模の模擬体系を組むことはできないため、軸方向および径方向核特性を測定するための部分模擬体系により実験を行った。実験計画では最初に F C A XI-1 集合体<sup>1)</sup>において均質炉心の模擬実験を実施し、非均質炉心と比較するためのデータを得た。続いて XI-2<sup>2)</sup>、XII-1<sup>3)</sup> および XII-2 集合体<sup>4)</sup>において軸方向非均質炉心の軸方向核特性を測定した。そして本報告書で述べる XIII-1 集合体において、軸方向非均質炉心の径方向核特性を測定した。現在 XIII-2 集合体において径方向核特性の測定を引き続き行っており、この実験をもって一連の軸方向非均質炉心の実験を完了する。

XIII-1 集合体では体系中心に内部ブランケットが存在することによる径方向核特性への影響を調べることが目的であり、特に出力分布への影響を評価することが主要課題となる。実験では出力と直接関連した反応率分布の測定を行い、併せて炉心燃料の物質反応度値および B<sub>4</sub>C 制御棒反応度値の測定を行った。

径方向核特性に対する内部ブランケットの影響として内部ブランケットと炉心の径方向境界形状の効果が考えられるが、形状効果については XIII-1 集合体と内部ブランケットの境界形状が異なる XIII-2 集合体での実験を比較することにより評価することとした。

実験解析では核データとして JENDL-2<sup>5)</sup> を使用し、原研の高速炉用核特性計算コードシステム<sup>6),7)</sup> を用い、計算精度の評価を行った。

本報告書では、2章で XIII-1 集合体選定作業について述べ3章で基準臨界体系と臨界特性試験の結果および実験解析手順を述べる。4章以降測定項目ごとに実験値と解析結果について述べる。

## 2. 実験体系の選定

軸方向非均質炉心の径方向核特性に関する内部ブランケットの影響を明らかにするという観点から実験を計画し、体系の選定作業を行った。大型炉心に装荷するプルトニウムが 3.5 ton 程度であることから考えると F C A で使用可能な燃料は量的に不足し、模擬炉心を組む上で大きな制約を受ける。先に行った第1次選定作業<sup>8)</sup>では模擬体系の炉型を決めることを主目的として、扁平炉心やドライバー配置を変えた体系などについて検討を行った。その結

## 1. はじめに

大型軸方向非均質高速炉の模擬実験を計画し、高速臨界集合体 F C A を用いて一連の実験を行ってきた。軸方向非均質炉心は、炉心中心に盤状のブランケット領域を設け、出力の平坦化、ナトリウムボイド時の反応度値の低減あるいは増殖性能の向上といった優れた特性を持つ炉心と考えられ、大型高速炉の候補炉心として開発研究が進められている。F C A における実験は軸方向非均質炉心の特徴的な核特性を模擬体系において測定し、併せて炉心設計の計算精度を検証するためのデータをを得ることを目的としている。F C A 保有の燃料の制約から大型軸方向非均質炉心の全炉心規模の模擬体系を組むことはできないため、軸方向および径方向核特性を測定するための部分模擬体系により実験を行った。実験計画では最初に F C A XI-1 集合体<sup>1)</sup>において均質炉心の模擬実験を実施し、非均質炉心と比較するためのデータを得た。続いて XI-2<sup>2)</sup>、XII-1<sup>3)</sup> および XII-2 集合体<sup>4)</sup>において軸方向非均質炉心の軸方向核特性を測定した。そして本報告書で述べる XIII-1 集合体において、軸方向非均質炉心の径方向核特性を測定した。現在 XIII-2 集合体において径方向核特性の測定を引き続き行っており、この実験をもって一連の軸方向非均質炉心の実験を完了する。

XIII-1 集合体では体系中心に内部ブランケットが存在することによる径方向核特性への影響を調べることが目的であり、特に出力分布への影響を評価することが主要課題となる。実験では出力と直接関連した反応率分布の測定を行い、併せて炉心燃料の物質反応度値および B<sub>4</sub>C 制御棒反応度値の測定を行った。

径方向核特性に対する内部ブランケットの影響として内部ブランケットと炉心の径方向境界形状の効果が考えられるが、形状効果については XIII-1 集合体と内部ブランケットの境界形状が異なる XIII-2 集合体での実験を比較することにより評価することとした。

実験解析では核データとして JENDL-2<sup>5)</sup> を使用し、原研の高速炉用核特性計算コードシステム<sup>6), 7)</sup> を用い、計算精度の評価を行った。

本報告書では、2章で XIII-1 集合体選定作業について述べ3章で基準臨界体系と臨界特性試験の結果および実験解析手順を述べる。4章以降測定項目ごとに実験値と解析結果について述べる。

## 2. 実験体系の選定

軸方向非均質炉心の径方向核特性に関する内部ブランケットの影響を明らかにするという観点から実験を計画し、体系の選定作業を行った。大型炉心に装荷するプルトニウムが 3.5 ton 程度であることから考えると F C A で使用可能な燃料は量的に不足し、模擬炉心を組む上で大きな制約を受ける。先に行った第1次選定作業<sup>8)</sup>では模擬体系の炉型を決めることを主目的として、偏平炉心やドライバー配置を変えた体系などについて検討を行った。その結



果、臨界性の点で大型炉心の径を保存し、径方向核特性を評価できる適当な体系を組むことは困難であることが明らかになった。

実験の目的は径方向核特性に対する内部ブランケットの影響について、基本的な問題を把握することであることを考慮し、炉心半径を短くし炉心の単位体積に装填するプルトニウム燃料板を2枚から3枚に増した体系で再度検討を行った。そして扇形のテスト領域をドライバー領域で囲むセクター型部分模擬体系を候補炉心として検討した結果、大型炉心の炉心組成の模擬は十分ではないが、軸方向非均質炉心の径方向核特性に関する基本的な問題を把握するための実験を行うことができるとの見通しを得た。

以上の検討結果に基づき、最終的な実験体系を決定するための第2次選定作業を実施し、以下の2つの課題に基づいて検討を行った。最初の課題は、FCA保有燃料をできる限り有効に利用したセクター型模擬体系で、軸方向非均質炉心の径方向核特性の基本的な問題をどの程度把握することができるかを検討することである。もう1つの課題はセクター型体系を用いて実験を行う場合プルトニウムと濃縮ウランが空間的に偏在することによる非均質性が測定値へ及ぼす影響をどの程度小さく押さえることができるかを検討することである。

テスト領域の炉心燃料はFCAの標準プルトニウム燃料板(2"-2"-1/16")3枚と劣化ウラン板(DUO<sub>2</sub>; 2"-2"-1/4")3枚を使用することとし、プルトニウム富化度は18.4 w/oとした。テスト領域には中心部に内部ブランケットを持つ内側炉心と内部ブランケットの無い外側炉心があり、内側炉心の半径を約33 cmに、外側炉心を含むテスト領域の径を約64 cmにした。内部ブランケットの組成は、XI-2集合体以来一連の実験で用いたのと同じ組成のブランケットを使用することとした。体系中心面の断面図をFig. 2.1に示す。

ドライバー領域には濃縮ウランを燃料とするドロワーを装填した。ドロワーの燃料組成はK<sub>∞</sub>の値がテスト領域の値にできるだけ近くなるよう濃縮ウランの量を調整し、93%濃縮ウラン板(2"-2"-1/16")1枚と20%濃縮ウラン板2枚(2"-2"-1/16"と2"-2"-1/8")を用いることとした。臨界質量を小さくし装荷する燃料を節約する必要があることから、劣化ウラン板は使用せずアルミナ板と炭素板を装填した。ナトリウムはテスト領域と同じ量とした。以上の結果、核分裂物質の重量比はテスト領域のプルトニウムを1.0とするとドライバー領域の<sup>235</sup>Uは1.16という値となった。一方燃料核種の全重量はテスト領域の1.0に対して0.56と小さい。この結果テスト領域のK<sub>∞</sub>の値が1.516となるのに対し、ドライバー領域の値は1.549となり、両者の差は約2%である。FCA保有燃料をできるだけ有効に利用し体系を大型化するため、20%濃縮ウランのみを装填したK<sub>∞</sub> = 1.358とテスト領域より小さな値をもつ燃料ドロワーをドライバー燃料として補助的に使用した。

内部ブランケット厚さはFCA XII-1集合体では約20 cmとしたが、XIII-1集合体では炉心燃料を濃くしたことにより、炉心からの中性子の流れ込みが強くなり、20 cm厚では内部ブランケットを挿入したことによる中性子吸収効果が明確に現れてこない。そこでXIII-1集合体では厚さ約30 cmの内部ブランケットを装荷することとした。また体系の径をできるだけ大きくとることとし、内部ブランケットを含む炉心高さを81.3 cmとした。R-Z体系をFig. 2.2に示す。

選定作業ではテスト領域の燃料を全炉心に拡大した体系(Full mockup)とセクター型体系について<sup>239</sup>Puおよび<sup>238</sup>Uの核分裂反応率分布を計算し両者を比較した。計算は3次元X-

Y-Z体系を用いた拡散計算である。

径方向反応率分布を中心面 (Plane 1 ; 1Zと略記)、内部ブランケットと炉心境界の炉心側 (Plane 4 ; 4Z) および炉心中央付近 (Plane 6 ; 6Z) で比較した。結果を Fig. 2.3 ~ Fig. 2.8 に示す。高エネルギー領域の中性子束分布の特性を示す  $^{238}\text{U}$  の核分裂率を見ると 1Z, 4Z および 6Z それぞれの分布形が大きく異なり、内部ブランケットの影響が明確に現れている。またテスト領域では 1Z, 4Z および 6Z とともに Full mockup 体系とセクター型体系の分布は良い一致を示している。これに対してドライバー側では両者の分布形に少し差が生ずる。次に  $^{239}\text{Pu}$  の反応率分布についてみると、4Z と 6Z は共に炉心部の分布であるが、4Z では内部ブランケットの影響が強くて、広い平坦部を持つ分布と成っている。1Z の反応率分布では内部ブランケットと炉心の境界付近で変極点が見られ、これは XII-1 集合体において軸方向分布にも現れた現象とよく似ている。テスト領域では 1Z, 4Z および 6Z とともに Full mockup 体系とセクター型体系の分布形は良い一致を示す。これらの結果から内部ブランケットが存在することによる径方向出力分布について、基本的な特徴を把握することができることが明らかになった。

次に中性子インポートランスに関するデータとして  $^{239}\text{Pu}$  の無限小サンプルワースの空間分布をセクター型体系および Full mockup 体系で計算し両者を比較した。空間分布は 1Z, 4Z および 6Z で計算し、比較のため中心で 1.0 になるよう規格化した。結果を Fig. 2.9 ~ Fig. 2.11 に示す。6Z では中心を頂点とするなだらかな分布を示すが、4Z になると内部ブランケットの影響を受けて中心でくぼみを持つ分布形となり、軸方向非均質炉心の特徴が現れる。セクター型ではテスト領域側とドライバー側では分布形が異なり径方向に歪んだ形となるが、テスト領域ではセクター型と Full mockup 体系の分布形は良い一致を示す。この結果から反応度値に関する核特性についても、テスト領域において軸方向非均質炉心の基本的な特徴を捉えることができると考えられる。

実験体系には原子炉を運転するための制御・安全棒が必要であり、FCA では濃縮ウランを装填した燃料ドロワーを制御・安全棒として使用し、中性子吸収による中性子束の局所的歪みを避けている。しかし運転上の制約から炉心燃料と同じ燃料ドロワーとすることは困難であり、通常、制御・安全棒の燃料濃度は周辺のドロワーより高い値となる。実験体系の選定にあたり、制御棒挿入による径方向核特性、特に反応率分布に対する影響を検討した。制御棒を挿入した体系と制御棒を炉心燃料ドロワーに置換した体系でそれぞれ反応率分布を計算し、両者を比較した。その結果、径方向中心軸 ( Fig. 2.1 の X-軸 ) 上の反応率分布については、制御棒の影響は現れないことを確認した。

以上の検討結果から、候補炉心として検討したセクター型体系を用いることにより、軸方向非均質炉心の径方向核特性の特徴的な点を把握することができることが明らかになった。そこで、この体系を XIII-1 集合体の基準体系として実験を行うこととした。

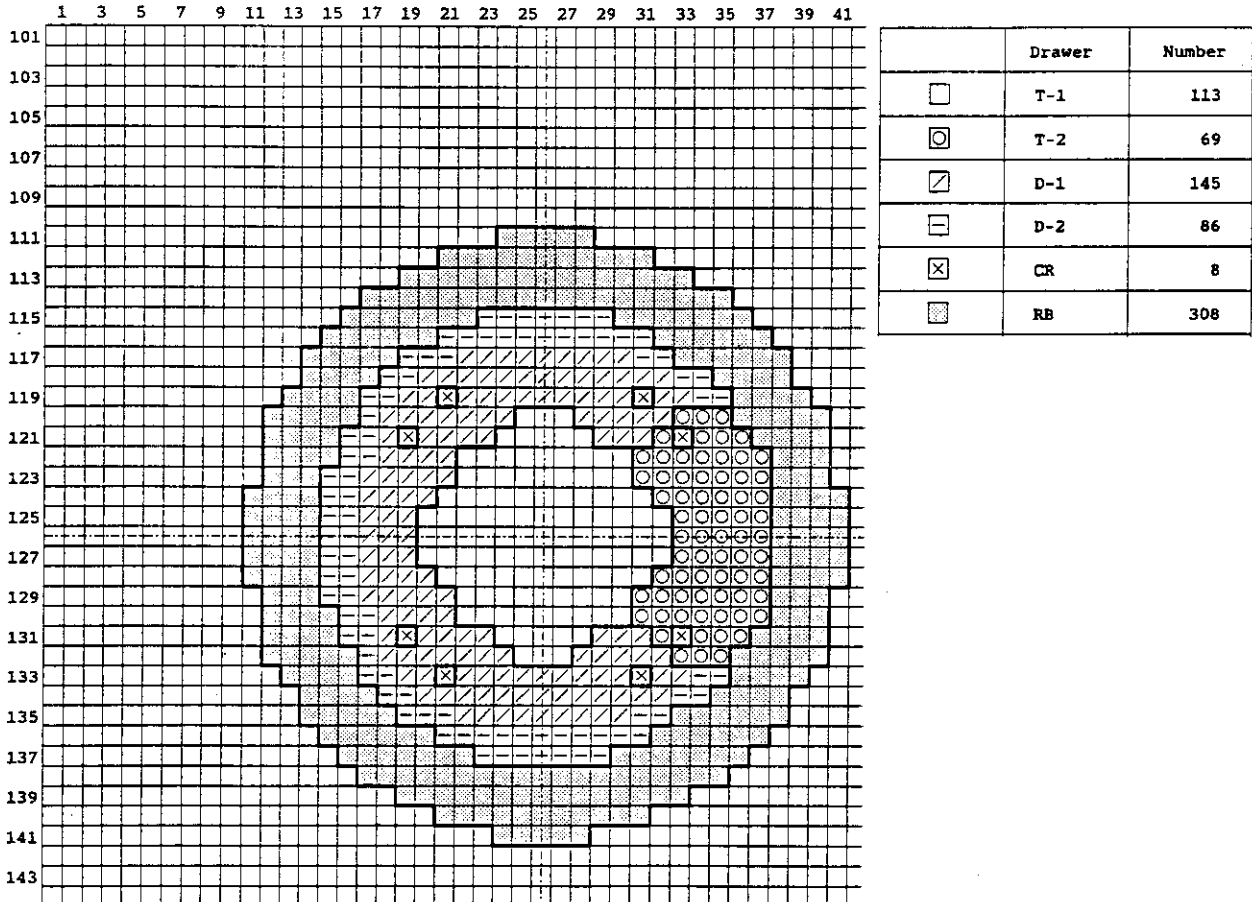


Fig.2.1 Cross Section View of Calculation Model

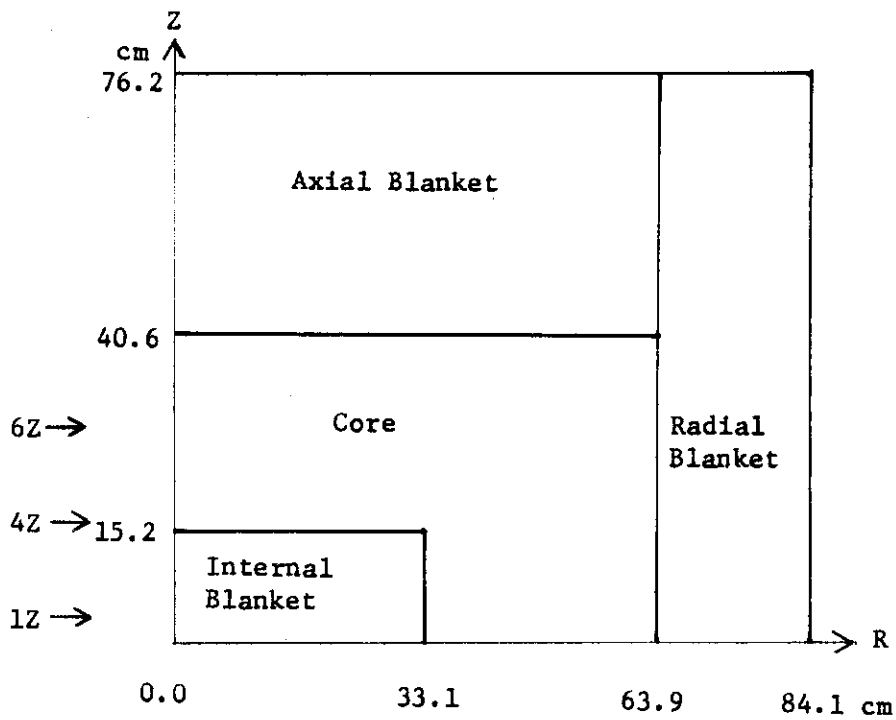


Fig.2.2 R-Z Geometry of Calculation Model

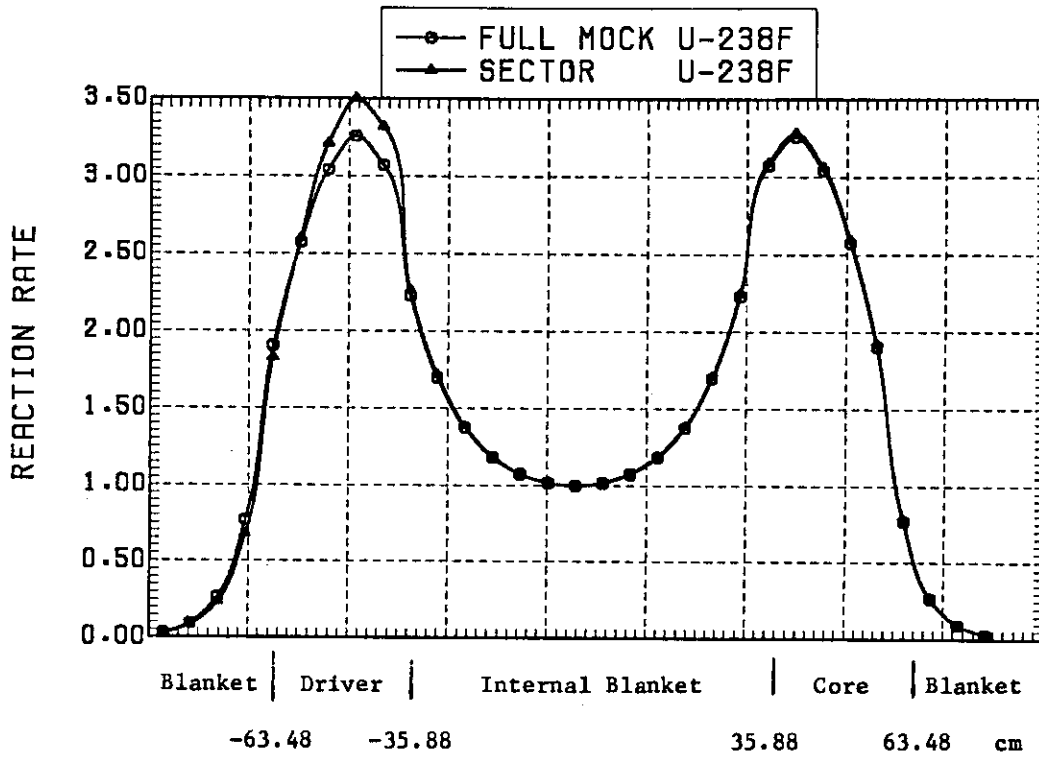


Fig.2.3 Radial distributions for  $^{238}\text{U}$  fission rate at 12

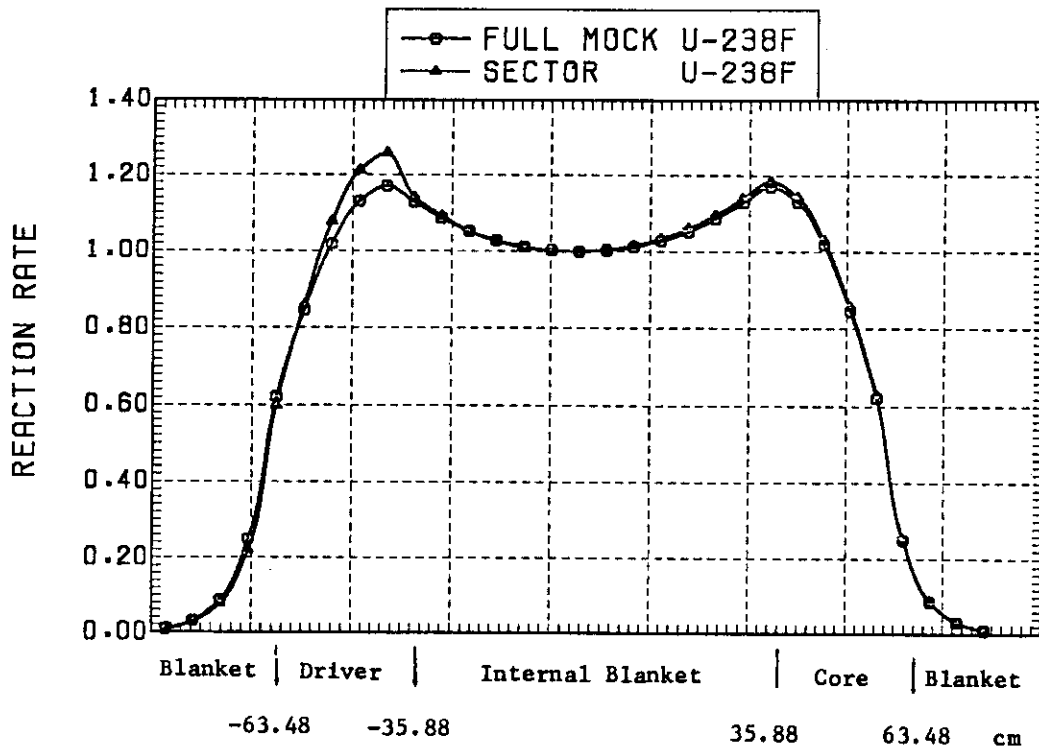


Fig.2.4 Radial distributions for  $^{238}\text{U}$  fission rate at 42

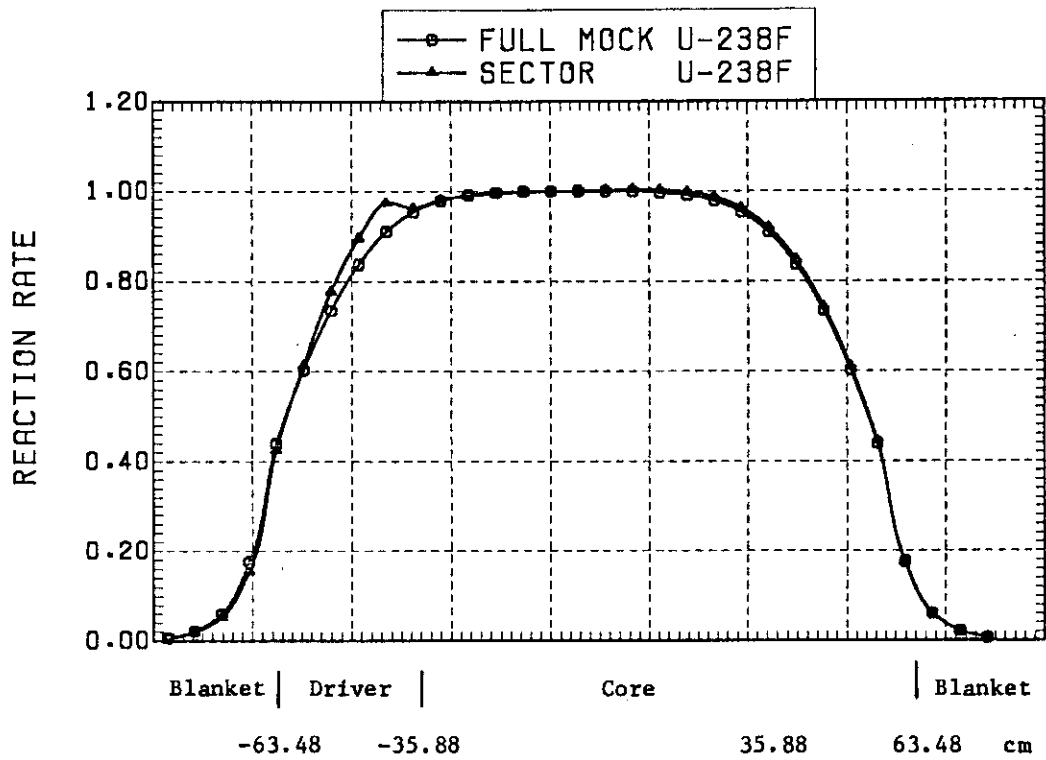


Fig.2.5 Radial distributions for  $^{238}\text{U}$  fission rate at 62

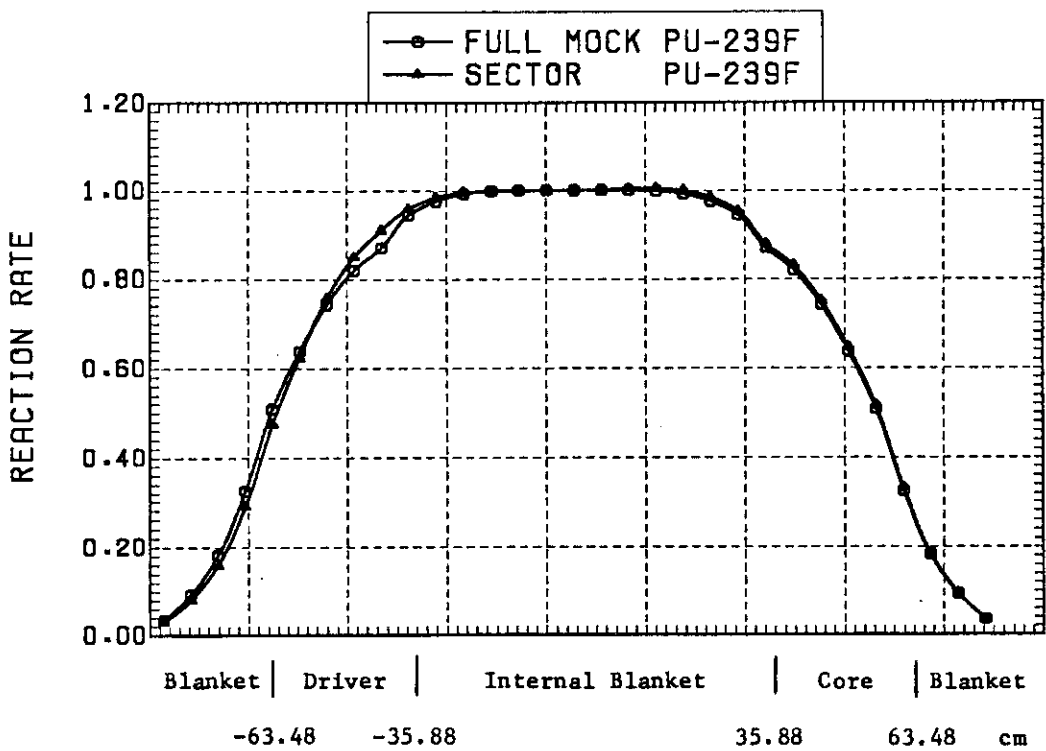


Fig.2.6 Radial distributions for  $^{239}\text{Pu}$  fission rate at 12

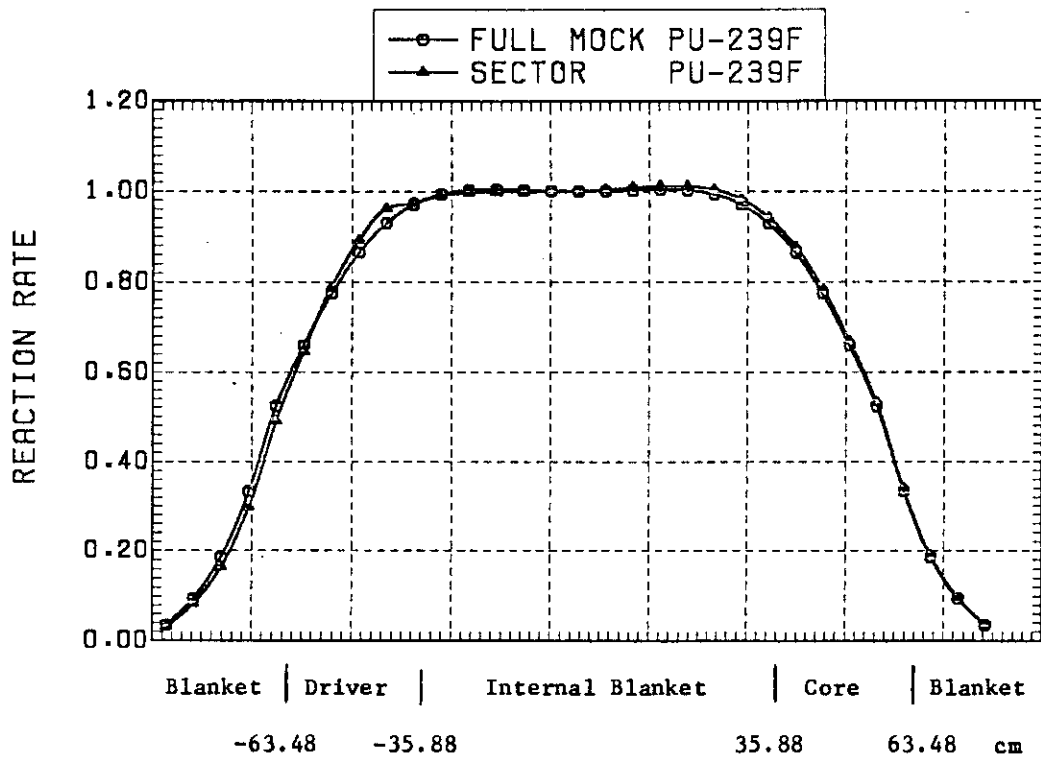


Fig.2.7 Radial distributions for  $^{239}\text{Pu}$  fission rate at 4Z

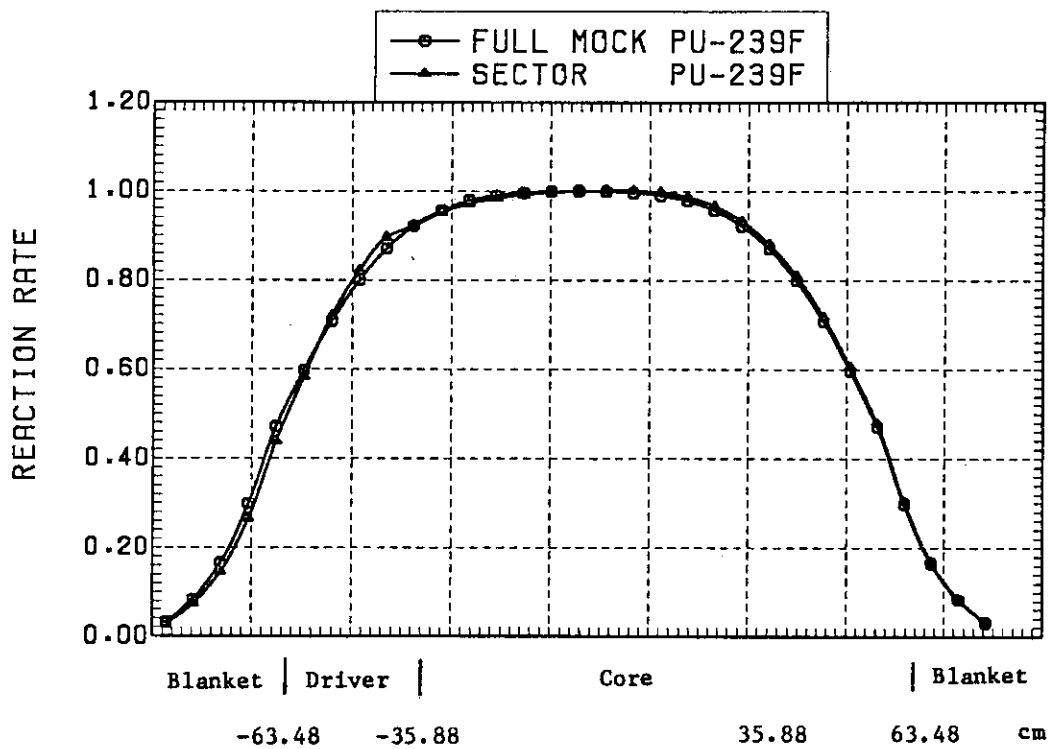


Fig.2.8 Radial distributions for  $^{239}\text{Pu}$  fission rate at 6Z

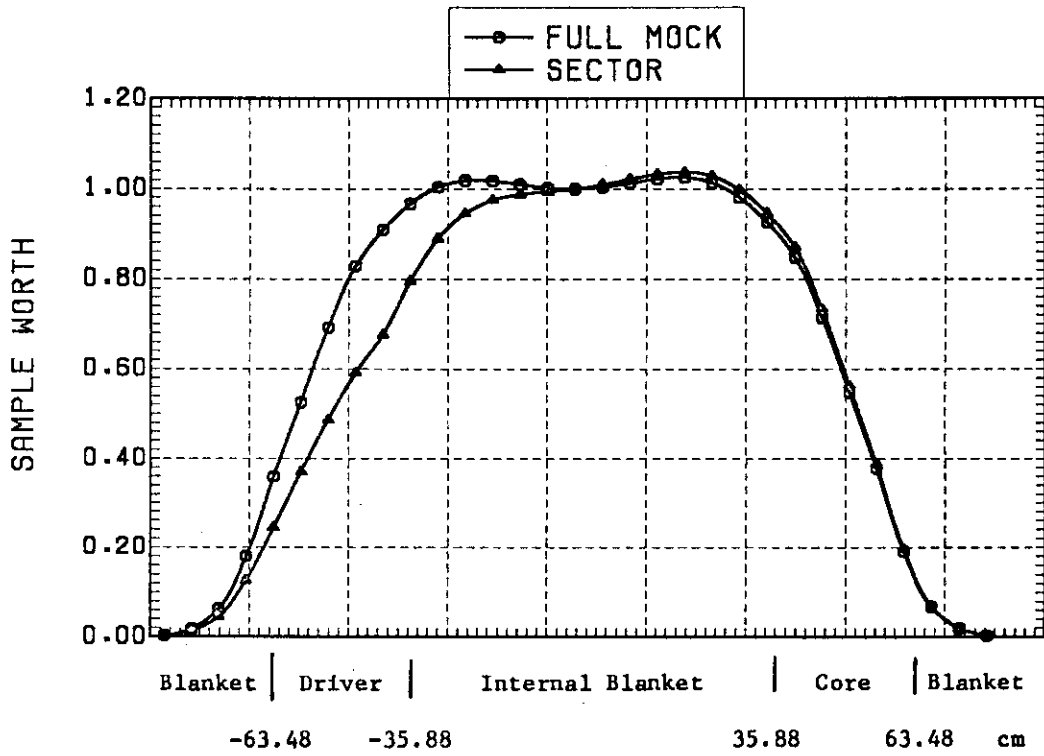


Fig.2.9 Radial distributions for  $^{239}\text{Pu}$  sample worth at 1Z

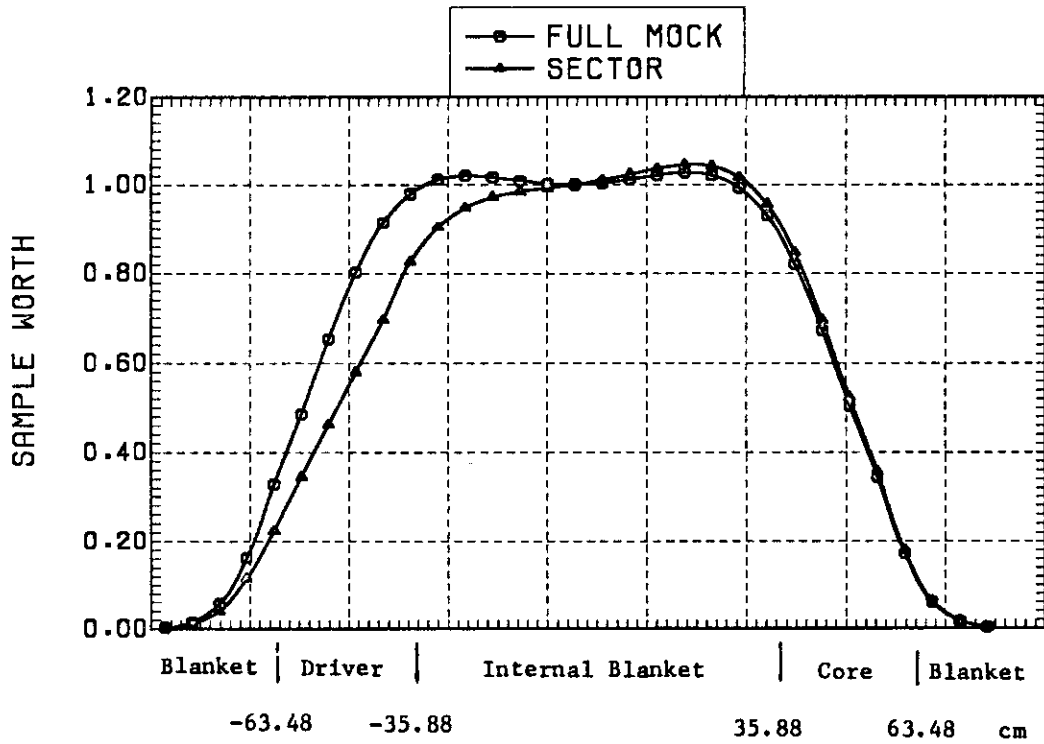


Fig.2.10 Radial distributions for  $^{239}\text{Pu}$  sample worth at 4Z

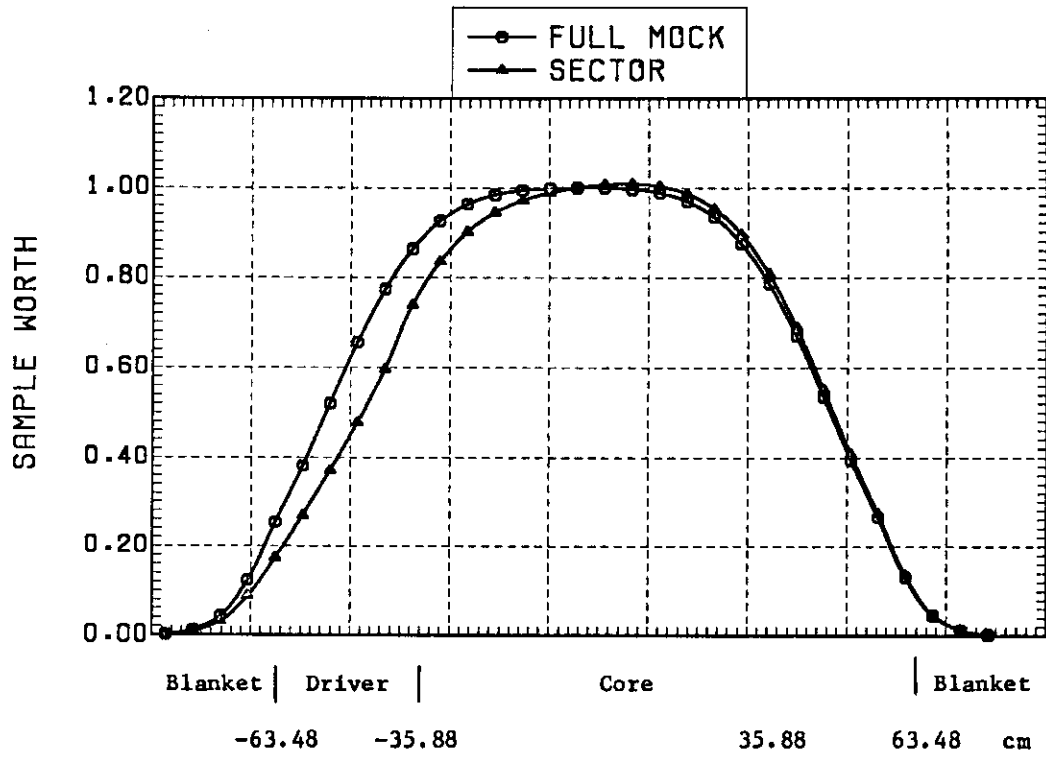


Fig.2.11 Radial distributions for  $^{239}\text{Pu}$  sample worth at 6Z



### 3. 基準体系

#### 3.1 基準臨界体系と臨界特性試験

FCA XIII-1 集合体は 1985 年 7 月 18 日最初の臨界を達成し、以後反応度等の調整を行って基準臨界体系を作成した。集合体は扇型テスト領域をドライバー領域で囲むセクター型部分模擬体系である。体系中心断面図を Fig. 3.1 に、また垂直断面図を Fig. 3.2 に示す。

テスト領域は内部ブランケットを含む内側炉心と内部ブランケットをもたない外側炉心からなり、両炉心共上部および下部に軸方向ブランケットがある。内部ブランケットを含む炉心高さは 81.3 cm、そして軸方向ブランケット厚は 35.6 cm である。炉心中心から内部ブランケットと炉心境界までの距離は 35.9 cm (等価半径 33.1 cm)、炉心の外側境界までの長さは 63.5 cm である。内側炉心には T3B3 ドロワーを装荷し、T3B3 ドロワーの炉心部には FCA の標準燃料である金属プルトニウム燃料板 3 枚、劣化ウラン酸化物燃料板 3 枚および酸化物燃料を模擬するための酸素補給材としてアルミナ板 1 枚、そして冷却材模擬物質としてナトリウム板 4 枚により構成されるセルを装填した。炉心セルのプルトニウム富化度は 18.4 w/o である。内部ブランケット部と軸方向ブランケット部には同一のセルを装填しており、炉心セルの 3 枚のプルトニウム板を天然ウラン燃料板 2 枚とアルミナ板 1 枚に置換したセルである。内部ブランケット部の長さは約 15 cm、炉心部は約 25 cm そして軸方向ブランケットは約 35 cm である。燃料セルはステンレスでできた引き出しの中に装填され、集合体のステンレスの格子管の中に装荷される。実験体系ではこれらのステンレスが炉心構造材模擬物質の役割を果たす。外側炉心は T3 ドロワーを主に装荷し、T3D81 ドロワーを補助的に使用した。T3 ドロワーは T3B3 ドロワーの内部ブランケットセルを炉心セルに置換した構造である。T3D81 ドロワーは炉心セルの 3 枚のプルトニウム燃料板 (92% fissile) のうち 1 枚を PU81 燃料板 (81% fissile) に置換したセル構造となっている。2 つのセルの  $K_{\infty}$  の値は 0.2 % 程度の差であり、両者の違いが体系全体の臨界性に与える影響は小さい。T3 ドロワーの軸方向ブランケットには天然ウラン燃料板 2 枚を装填したが、T3D81 ドロワーでは 2 倍の厚さを持つ天然ウラン板 1 枚になっている。セル平均のウランの量は保存しておりその差が核特性に与える影響は無視してよい。ドロワー装填図を Fig. 3.3 に示し各領域平均の原子数密度を Table 3.1 に示す。セル内物質板の厚さと原子数密度のセル計算用データは Appendix A に示した。

ドライバー領域には 2 種類のドロワーを装荷し、HEUCD ドロワーは 93% 濃縮ウラン燃料板と 20% 濃縮ウラン燃料板を装填し、T3 ドロワーと  $K_{\infty}$  が似た値となるよう配慮した。ドライバー燃料として補助的に使用した EUCD ドロワーは 20% 濃縮ウラン燃料板を装填し、 $K_{\infty}$  の値は T3 ドロワーより小さい。ドライバー領域のドロワーは、T3D81 ドロワーと同じ軸方向ブランケット部を持つ。またテスト領域内側炉心を囲むテスト領域側とドライバー側で、外側形状が同じとなるようドロワーを配置した。体系の外周には、劣化ウランブロックを装填した RB ドロワーを装荷し、径方向ブランケット領域とした。臨界集合体を制御する制御・安全棒

は中性子吸収材ではなく、燃料を装荷したドロワーを使用する。これは吸収材による局所的な中性子束の歪みを避けるためである。

実験では最初に基準臨界体系において臨界特性試験を実施した。臨界性に関する測定結果を Table 3.2 に示す。ここで反応度の単位として  $\rho_0$  を使用する。単位反応度  $1 \rho_0$  は臨界状態にある体系でテスト領域側にある 1 組の安全棒 (2 本の燃料ドロワーで安全棒 1 組を構成) を 50 mm 引き抜いた位置から中心面まで全挿入した時に生ずる反応度と定義する。別に Tomlinson の評価した遅発中性子データ<sup>8)</sup> を用いて実効遅発中性子割合を計算し、 $1 \rho_0 = 0.0438 \% \Delta K / K$  に換算する。XIII-1 集合体の実効遅発中性子割合は  $\beta_{eff} = 0.00557$  である。臨界性に関する補正值は、基準臨界体系を 3 次元 X-Y-Z 体系で模擬することを想定して測定した。体系にはプルトニウムの自発核分裂による中性子源が存在し、出力が有限である限り真の臨界点と見掛け上の臨界点にずれが生じる。臨界特性試験を行った 1 W オーダーの出力では無限大出力の状態と比較して約  $0.1 \rho_0$  未臨界状態にある。集合体は 2 分割型であり、中心密着面にステンレス板と空隙が存在するため、燃料板が中心面で相互に 2.1 mm 離れた状態にある。ギャップおよび中心面ステンレスの補正值は、ギャップとステンレスを取り去り完全密着状態を想定した値である。補正值導出に関する手順の詳細は Appendix B に示した。

制御安全棒はすべて同一種類の燃料ドロワーを使用した。テスト領域側とドライバー領域側では周辺の雰囲気異なるため、反応度値に差が生ずる。挿入状態から全引き抜き状態までの反応度値 (絶対値) ではテスト領域側が約 27% 高い値となり、ドライバー側の制御棒のききが悪い。また臨界性に関するデータとして体系内の代表的な点について燃料引き出しの反応度値を測定した。測定方法および結果は Appendix B に示す。

### 3.2 実験解析手法の概要

原研の標準的な核特性計算手法を用いて計算を行い、実験値と比較することにより、軸方向非均質炉心核特性の特徴的な問題点および計算手法の精度を検討した。本節では計算手順の全体的な流れについて説明し、計算の詳細や補正計算については個々の項目に関する各章で述べる。解析では核データとして JENDL-2 を用い、これを処理した JFS-3-J2 70 群セット (1984.11 修正版)<sup>9)</sup> を計算の出発点とした。

#### 実効断面積の準備

テスト領域およびドライバー領域のセルごとに衝突確率法に基づくセル計算コード SLAROM<sup>10)</sup> を使用した 70 群セル計算を行い、セル平均実効断面積を計算した。計算は 1 次元無限平板セルモデルを用いテスト領域の炉心およびドライバー領域のセルについては、増倍率が 1.0 になるようバックリングサーチを行った。ブランケットについてはバックリングサーチは行っていない。テスト領域の炉心部の単位格子管断面図を Fig. 3.4 に示す。またこれに基づいて作成したセルモデルを Fig. 3.5 に示す。セル計算の各領域の原子数密度は、体系内物質の量を保存するため上部格子管と物質板とのすき間を考慮し、物質板の密度をすき間を含めた体積で均質化した値を使用しており、実際の物質板の密度より少し小さな値となっている。ただし、このことによる実効断面積への影響は、共鳴エネルギー領域の自己遮蔽因子を決める際に二次的に作用するだけ

であるから、小さいと考えられる。左右の格子管はセルモデルで考慮されるが、上下の部分については燃料物質以外の領域に均質に混ぜ合わせた。各領域の物質板データは Appendix A に収録した。セル計算による実効断面積の算出と並行して、Benoist の式に基づく異方性拡散係数を算出した。

#### 実効断面積の縮約

実験体系の R-Z モデルを使用し、拡散計算による各領域平均の中性子スペクトルを重みとして、70群実効断面積を25群に縮約した。25群エネルギー群構造を Table 3.3 に示す。

#### 計算体系

実験体系を3次元 X-Y-Z 体系にモデル化し、各領域に25群群定数を適用し、拡散計算により体系計算を行い実効増倍率、中性子束および随伴中性子束を計算した。計算では体系内の物質板配列に方向性があるため、異方性拡散係数を使用した。計算プログラムは CITATION-FBR である。この結果を用いて臨界計算反応率分布、サンプル反応度値等の計算を行った。サンプル反応度値は、その反応度変化が摂動の範囲と考えられる大きさであり、拡散理論に基づく摂動計算により計算値を求めた。計算コードは PERKY<sup>11)</sup> を使用した。これらの計算値に対しては、輸送効果を考慮するため TWOTRAN-II<sup>12)</sup> を用いた体系計算と SN-PERT を用いた摂動計算を行った。計算手法の詳細、実験値との比較検討は次節以降に記述する。

### 3.3 臨界性の解析

実験体系を模擬した3次元 X-Y-Z 体系を用い、25群群定数および異方性拡散係数を使用した拡散計算により実効増倍率の基準値を計算した。計算モデルでは燃料は中心面で密着し、制御・安全棒は全挿入状態とした。この基準値に対して輸送効果、およびメッシュ効果を補正值として加えた。70群から25群への群縮約効果は、予備解析において小さいことが示されたので補正值から省いた。輸送効果の補正係数は2次元 R-Z 体系モデルと25群群定数を用い  $S_N$  法に基づく輸送計算と拡散計算による体系計算の結果から求めた。輸送計算では角度分点  $S_8$  とし、弾性散乱断面積は  $P_0$  成分をとりこれに  $1 - \bar{\mu}$  の補正を加えた。XII-1 集合体の解析において、角度分点  $N = 4$  から  $N = 8$  に上げると実効増倍率は約  $0.1\% \Delta K/K$  小さくなるが、それ以上分点を増やしても変化は小さいことを確認しており、XIII-1 の解析でも  $S_8$  計算を採用した。輸送補正係数を求めるための拡散計算では輸送断面積の逆数から求めた等方拡散係数を使用した。また、2次元 R-Z 体系にセクター体系を近似する際、以下の手法を用いた。セクター体系を「テスト領域」からなるフルモックアップ体系 (Test region full mockup 体系) と「ドライバー領域」からなるフルモックアップ体系 (Driver full mockup 体系) に理想化し、双方の輸送補正を算出し、双方の体積比で重みづけした値を全輸送補正とした。Fig. 3.6 に、セクター体系用2次元 R-Z モデルを示す。テスト領域とドライバー領域の結合は比較的良いことより、この近似を用いた。メッシュ効果は3次元 X-Y-Z 体系計算から無限メッシュに対応する値を補正係数として求めた。各輸送計算の R-Z モデルでも同じメッシュ補正をした。臨界特性の解析結果を Table 3.4 に示す。

計算値は約0.8%実効増倍率を過大評価する。この値はXII-1の結果と比べ約0.3%高い値である。JENDL-2を用いたZPPR-9集合体での模擬実験の解析では、計算値は実効増倍率を0.15% $\Delta K/K$ 小さく評価しており、XIII-1集合体の解析とは傾向が異なる。実効増倍率での0.8%の差は核設計に及ぼす影響が大きいため、今後さらに解析上の検討を必要とする。輸送補正値は0.68%と大きな値をとり、これは体系が小さいため中性子の漏れの項が大きいためである。

次に3次元X-Y-Z体系で非等方拡散計算により求めた25群中性子スペクトルを、軸ノード1Z, 4Z, 6Z位置の径方向0R, 7R, 9Rの3点で比較しFig. 3.7, 3.9, 3.11に示し、同じく随伴中性子束の比較をFig. 3.8, 3.10, 3.12に示す。軸ノード1Zで内部ブランケットで中性子スペクトルがシフトした状態および随伴中性子束の底部の位置の移動と傾きの変化がみられる。この傾向は6Zノードではみられなくなり、各部分の一様なレベル変化となる。

Table 3.1 Composition of FCA Assembly XIII-1

( $\times 10^{22} \text{n/cm}^3$ )					
Zone	T3	T3D81	HEUCD	EUCD	Blanket
Pu-239	0.1568	0.15568	-	-	-
Pu-240	0.0138	0.0210	-	-	-
Pu-241	0.000679	0.001372	-	-	-
Pu-242	-	0.000283	-	-	-
Am-241	0.000619	0.001403	-	-	-
U-235	0.001395	0.001395	0.1865	0.1960	0.003163
U-238	0.6869	0.6869	0.3002	0.7779	0.9307
O	1.5400	1.5400	1.3623	1.3623	1.7038
Na	0.7656	0.7656	0.7656	0.5742	0.7656
Al	0.1309	0.1317	0.9082	0.9082	0.2169
Cr	0.3481	0.3490	0.3079	0.2753	0.3079
Fe	1.2874	1.2908	1.1304	1.0091	1.1304
Ni	0.1597	0.1599	0.1396	0.1240	0.1396
C	-	-	0.8992	0.8992	-

Zone	CR	NU Block	Radial Blanket	Empty Matrix
U-235	0.59912	0.02890	0.00840	-
U-238	0.61765	3.9889	4.01740	-
O	-	-	-	-
Na	-	-	-	-
Al	1.4126	-	-	-
Cr	0.2936	0.1846	0.1846	0.1229
Fe	1.0684	0.6722	0.6722	0.4473
Ni	0.5275	0.0804	0.0804	0.0535
C	-	-	-	-

Table 3.2 Criticality in FCA Assembly XIII-1  
(unit  $\rho$ .)

Excess reactivity(as built)	3.232 ± 0.012
Correction	
Subcriticality	-0.108 ± 0.003
Gap effect	2.090 ± 0.299
SS effect at midplane	-0.084 ± 0.007
	5.130 ± 0.302
	(Keff=1.0022 <sup>(*)</sup> )

(a)  $1\rho = 0.0438\% \Delta K/K$  ( $\beta_{eff} = 0.00557$ )

Table 3.3 Energy Structure of 25-Energy Group

Group	Energy	Group	Energy
1	10.00 - 6.065 Mev	14	15.03 - 9.119 Kev
2	6.065 - 3.679	15	9.119 - 5.531
3	3.679 - 2.231	16	5.531 - 3.355
4	2.231 - 1.353	17	3.355 - 2.035
5	1.353 - 0.821	18	2.035 - 1.234
6	0.821 - 0.498	19	1.234 - 0.748
7	0.498 - 0.302	20	0.748 - 0.454
8	0.302 - 0.183	21	0.454 - 0.275
9	0.183 - 0.111	22	0.275 - 0.167
10	111.1 - 67.38Kev	23	0.167 - 0.101
11	67.38 - 40.87	24	0.101 - 0.061
12	40.87 - 24.79	25	61.44 - 0.251 ev
13	24.79 - 15.03		

Table 3.4 Calculation Results for Criticality  
of FCA Assembly XIII-1

<u>Calculation</u>	
Base calculation(Keff)	1.0044
Correction	
Transport	0.0068 <sup>(*)</sup>
Mesh effect	-0.0010
Corrected	1.0102
Experiment <sup>(b)</sup>	1.0022
C/E	1.0080

(a) driver full mockup 0.0064  
test region full mockup 0.0081

(b) for X-Y-Z geometry

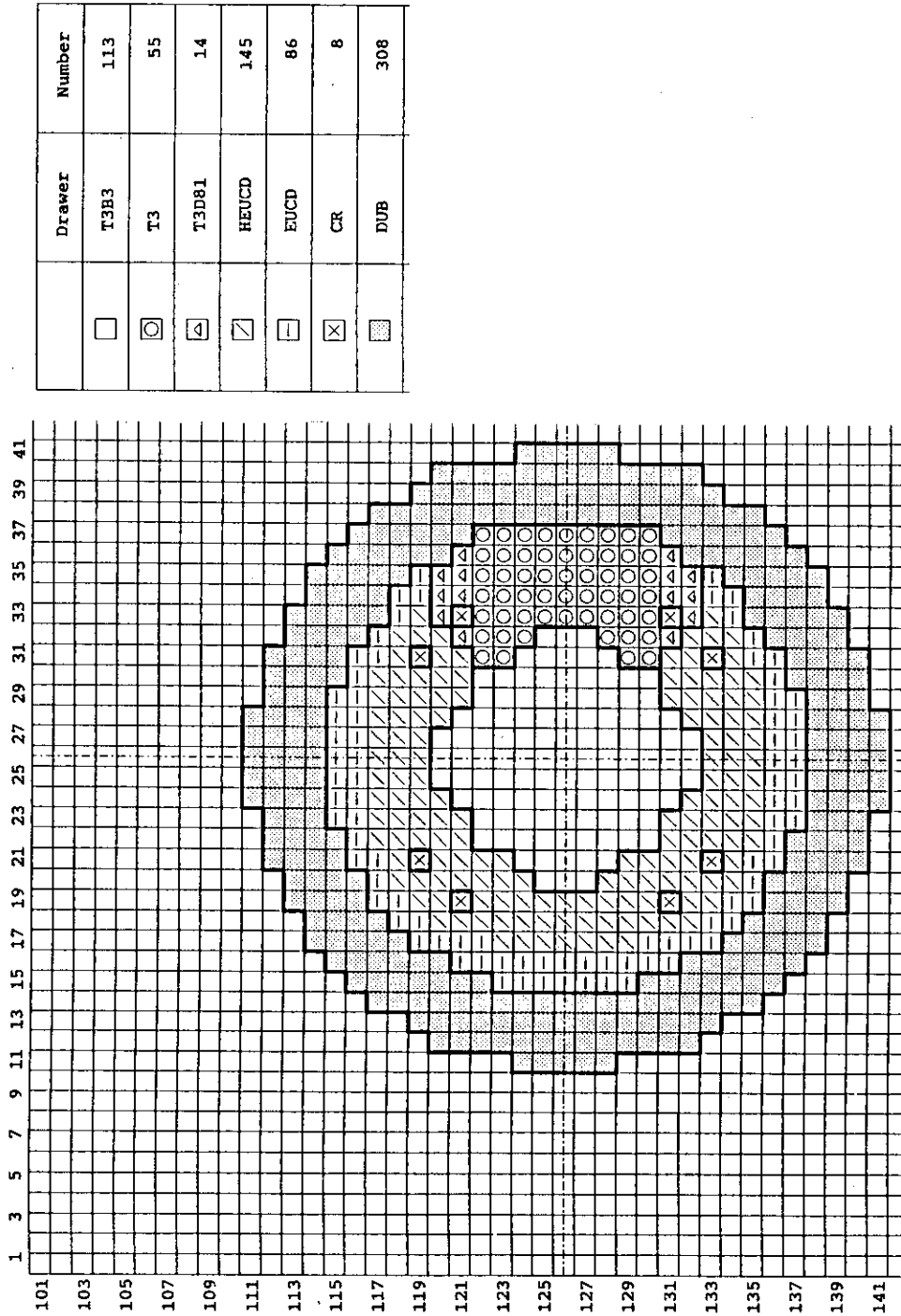


Fig.3.1 Reference Core of FCA Assembly XIII-1

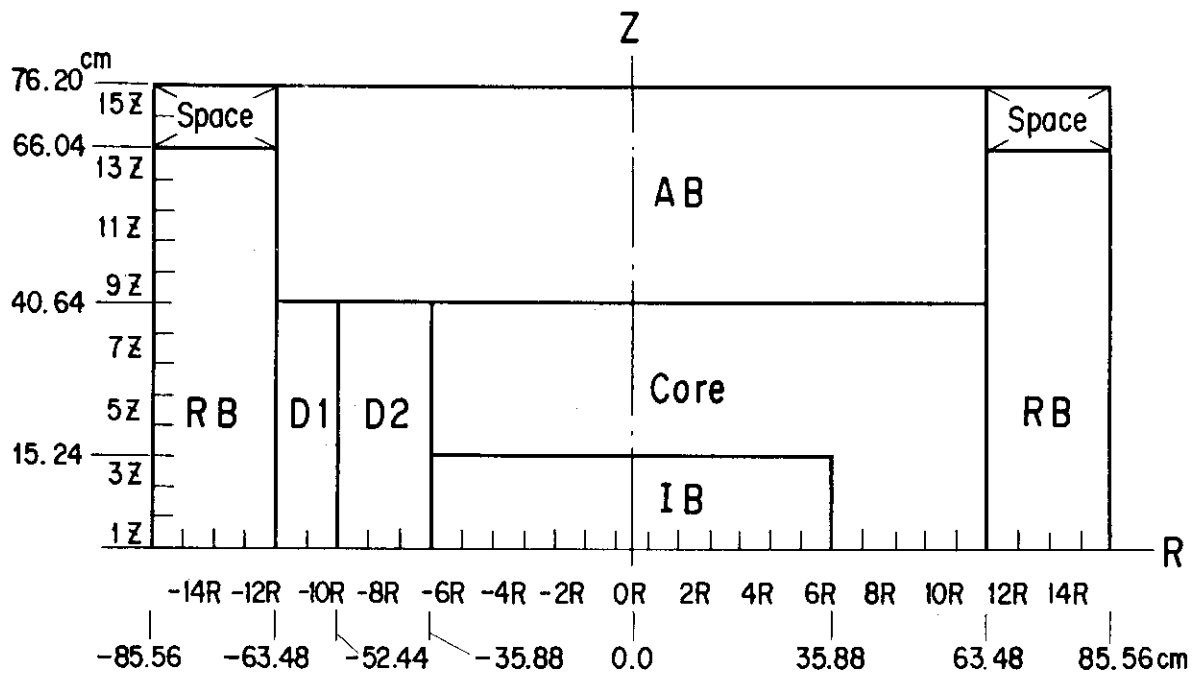
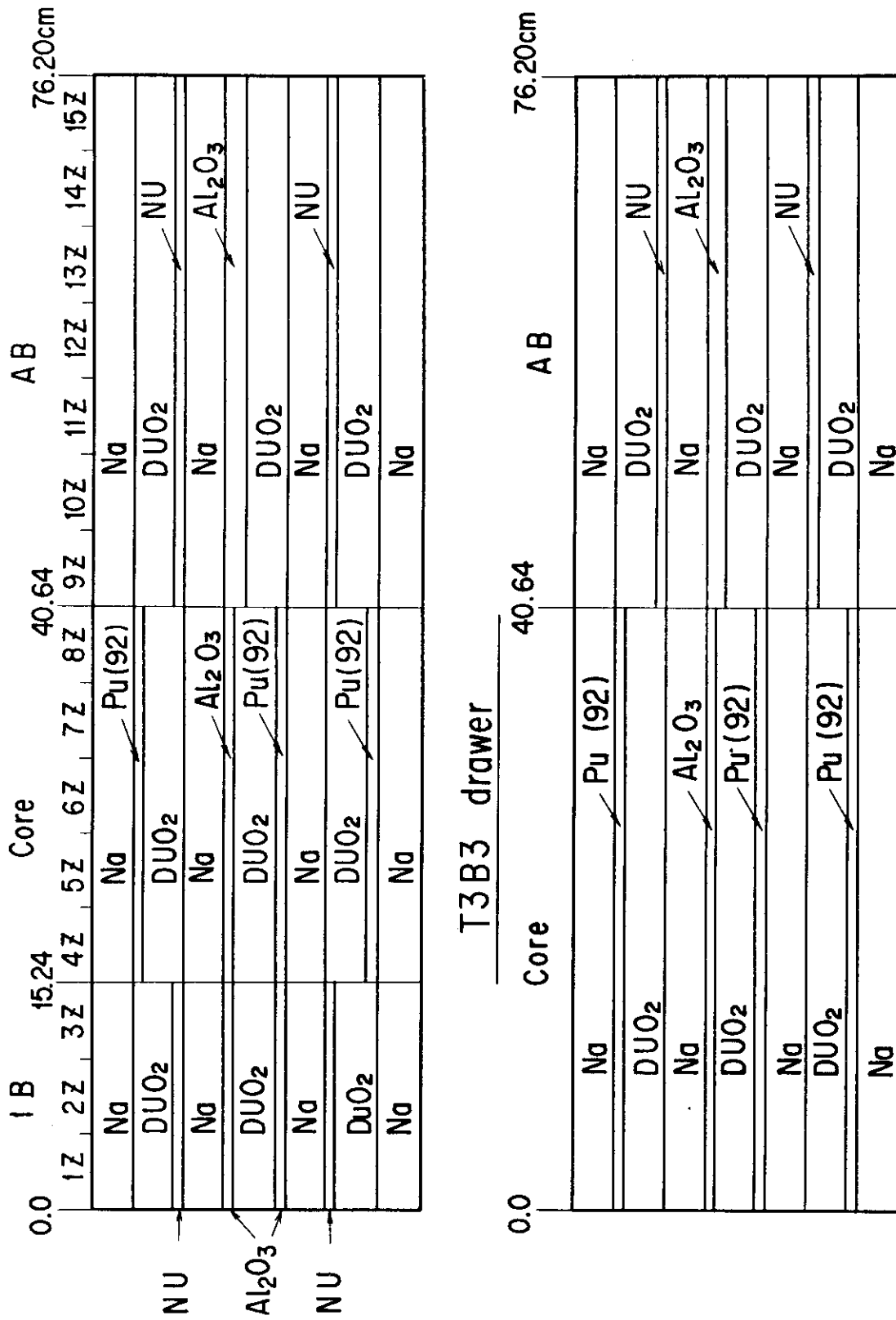


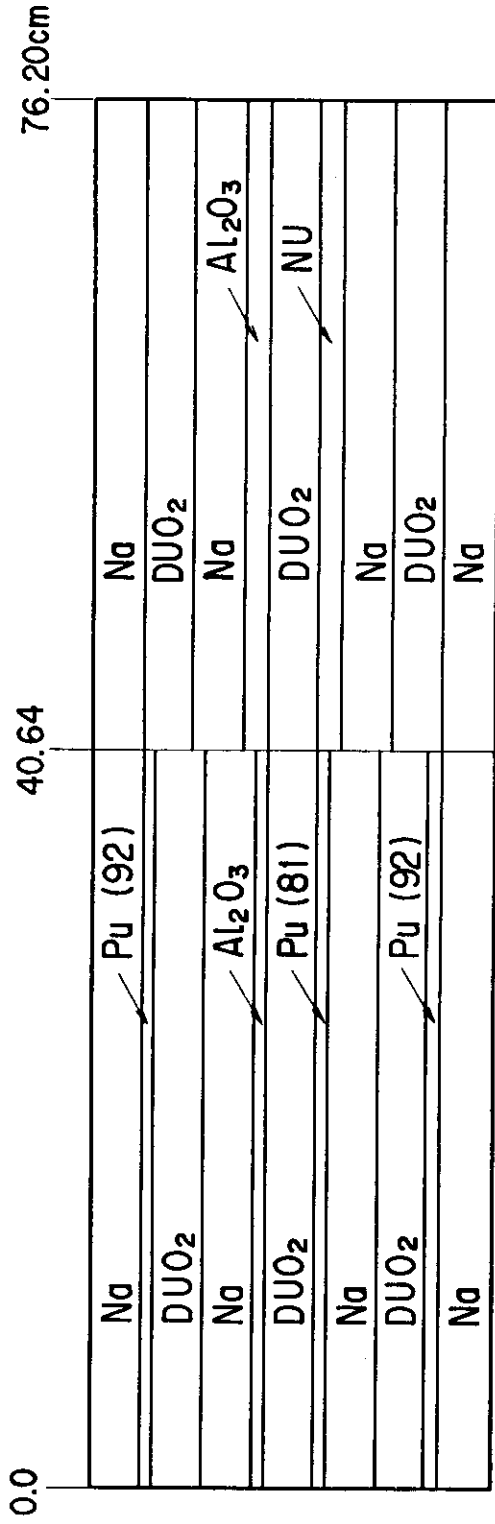
Fig.3.2 Vertical Cross Section of FCA Assembly XIII - 1



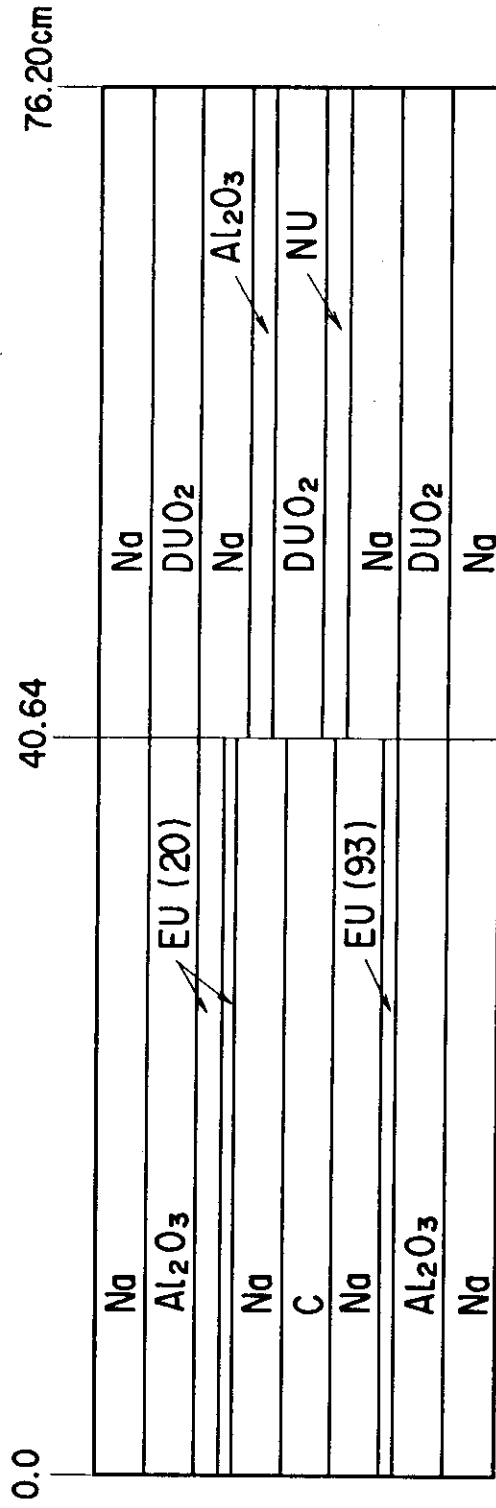


T3 drawer

Fig. 3.3 Plate Arrangement of the Drawers in FCA Assembly XIII - 1

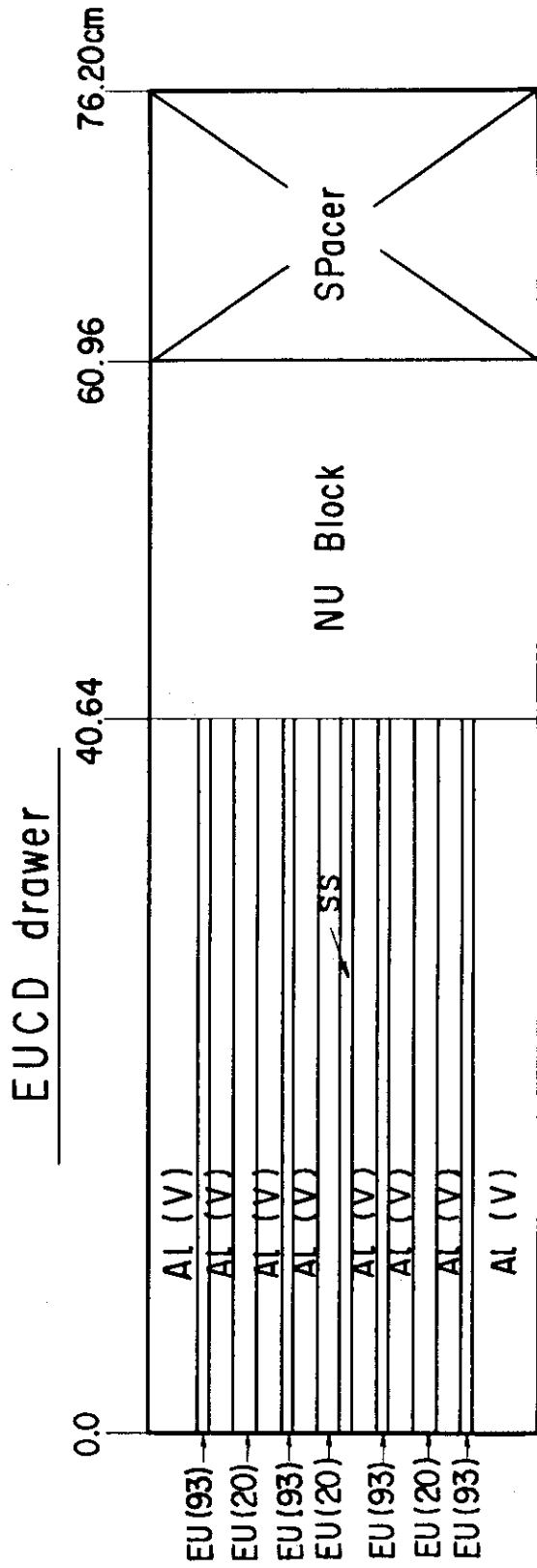
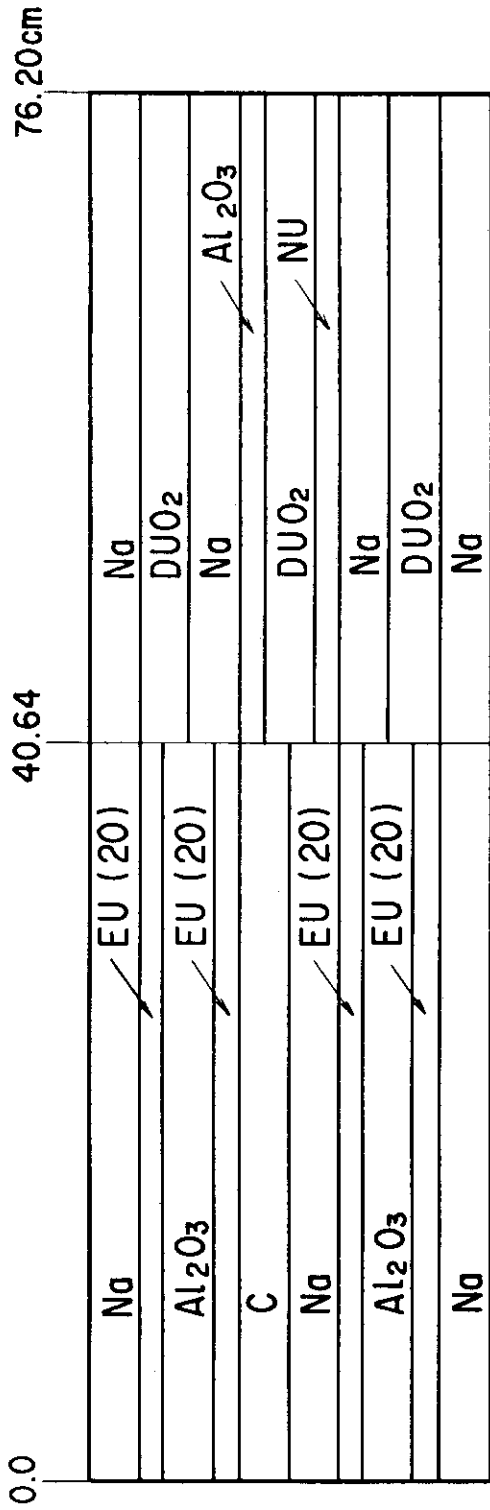


T3D81 drawer



HEUCD drawer

Fig. 3.3 (cont. 1)



CR, SR drawer

Fig. 3. 3 ( cont. 2 )

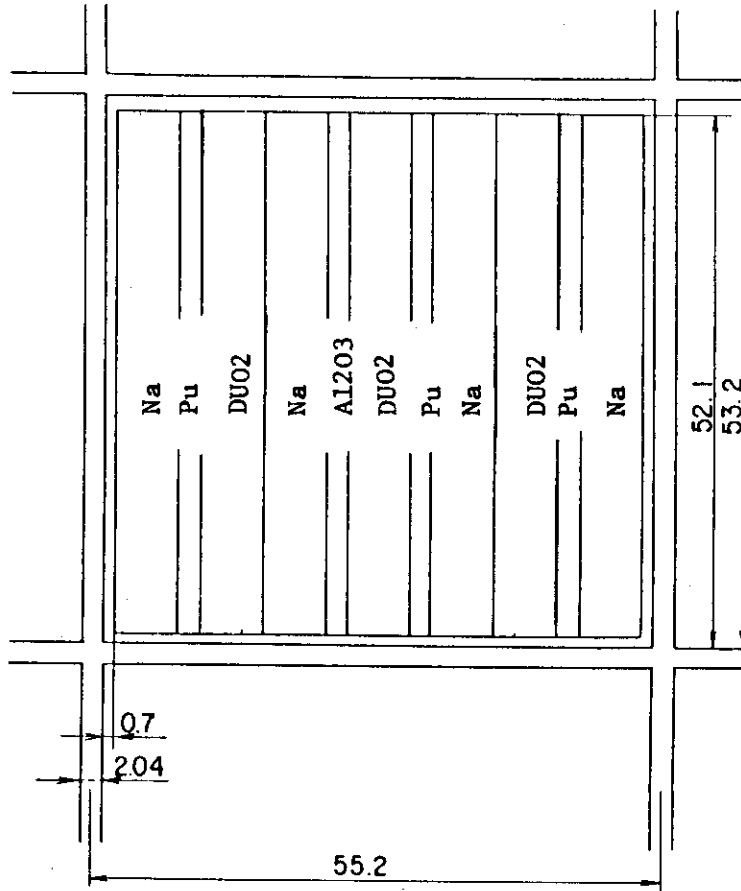


Fig. 3.4 Cross Section of the Core Zone of the Test Region (T3B3 Drawer) in FCA XIII-1

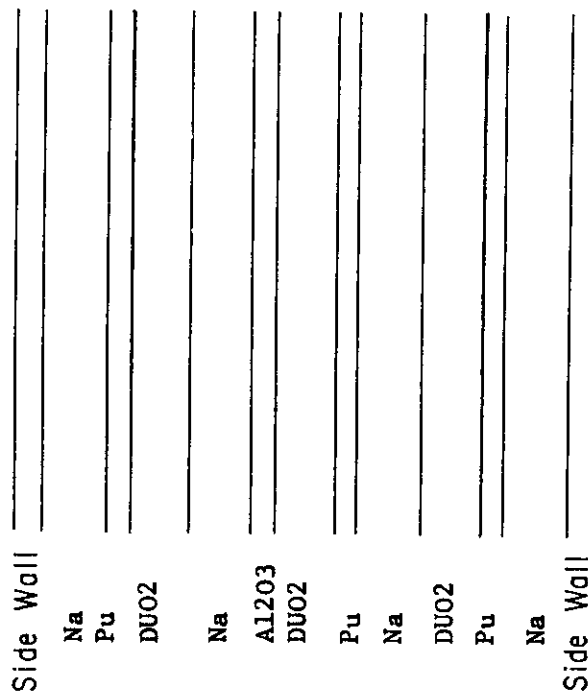


Fig. 3.5 Cell Model for Core Zone of T3B3 Drawer

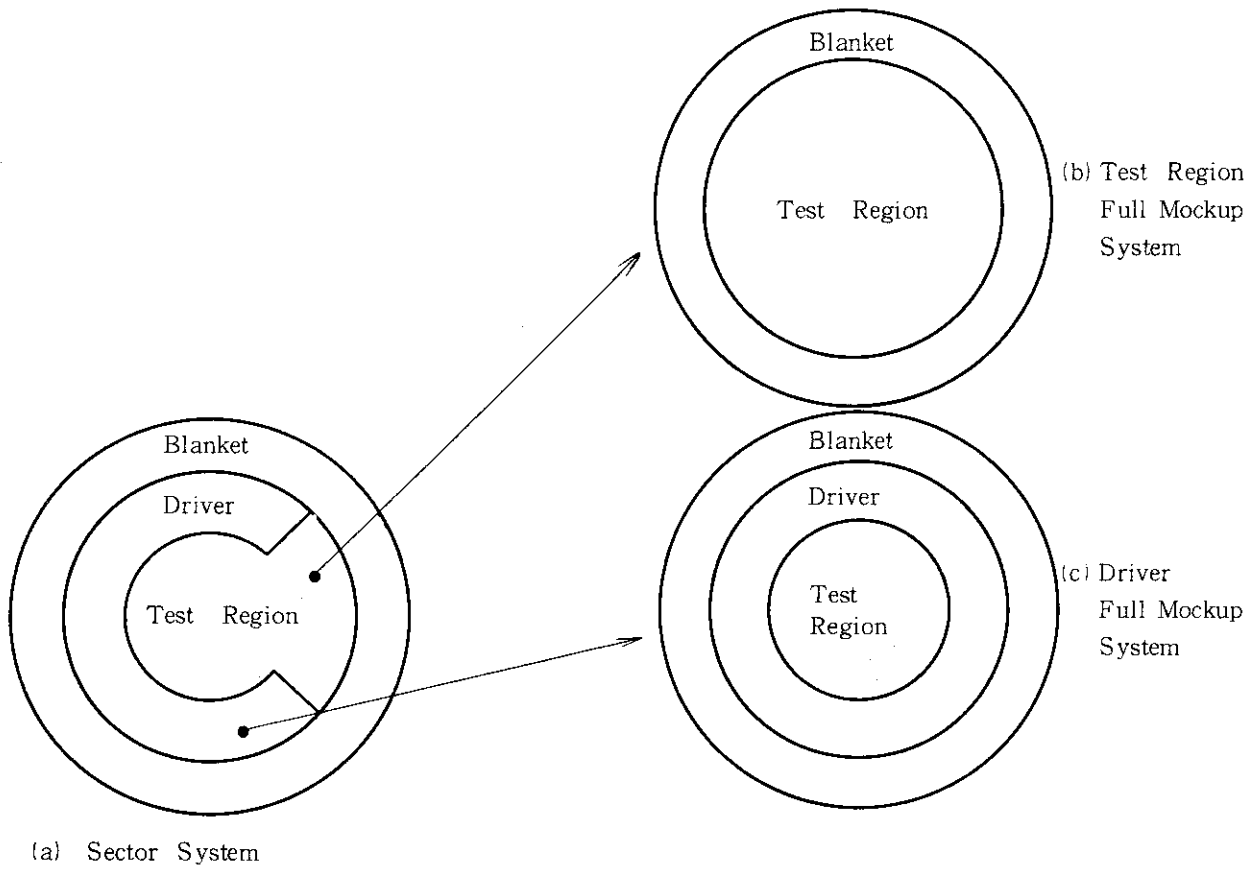


Fig. 3.6 R-Z Model for Sector System

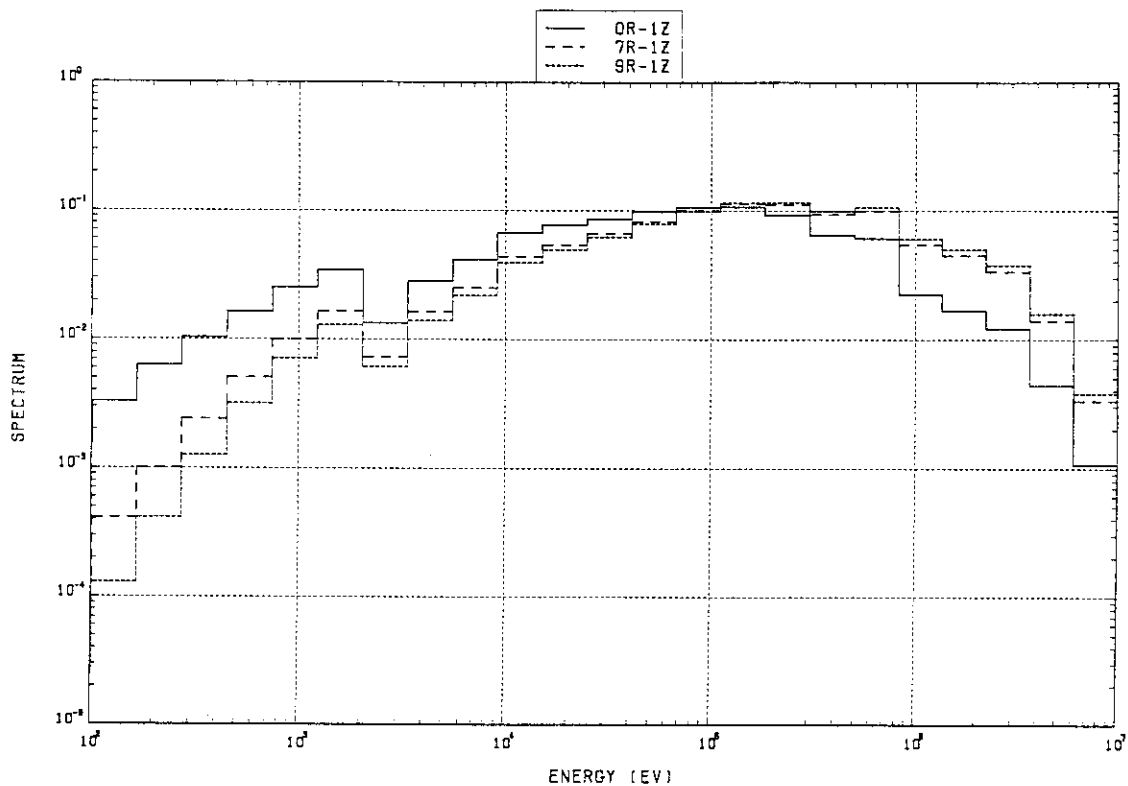


Fig.3.7 Comparison of Neutron Spectrum at 1Z

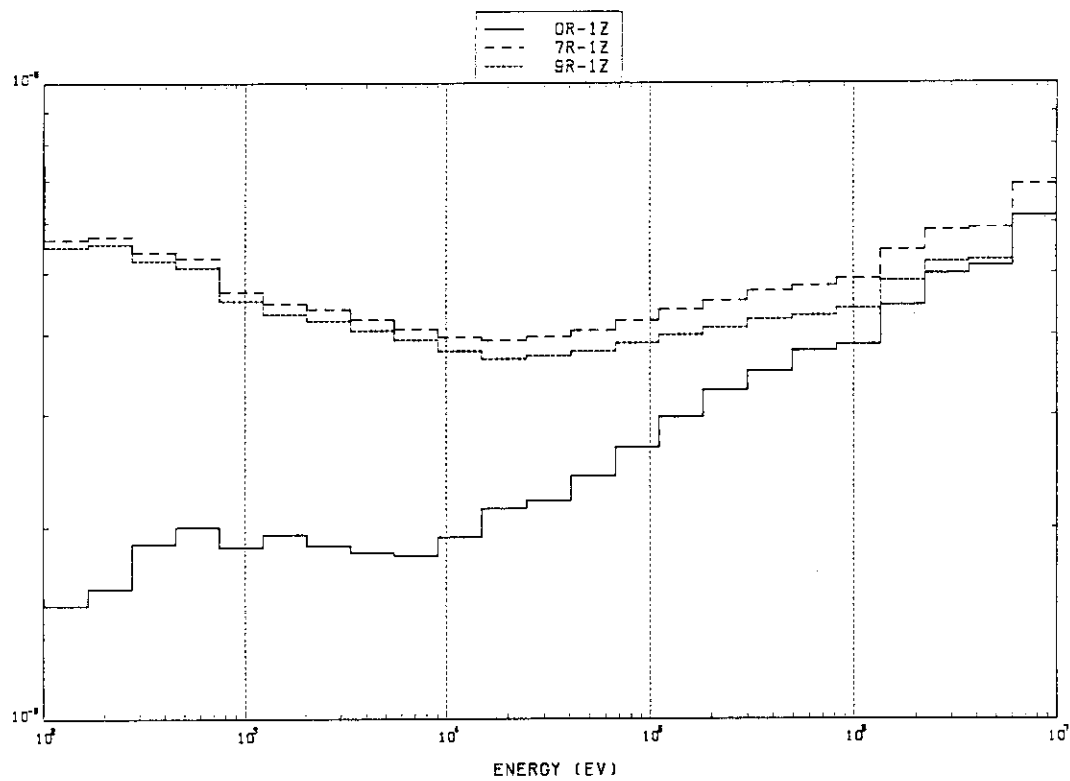


Fig. 3.8 Comparison of Adjoint Flux at 1Z

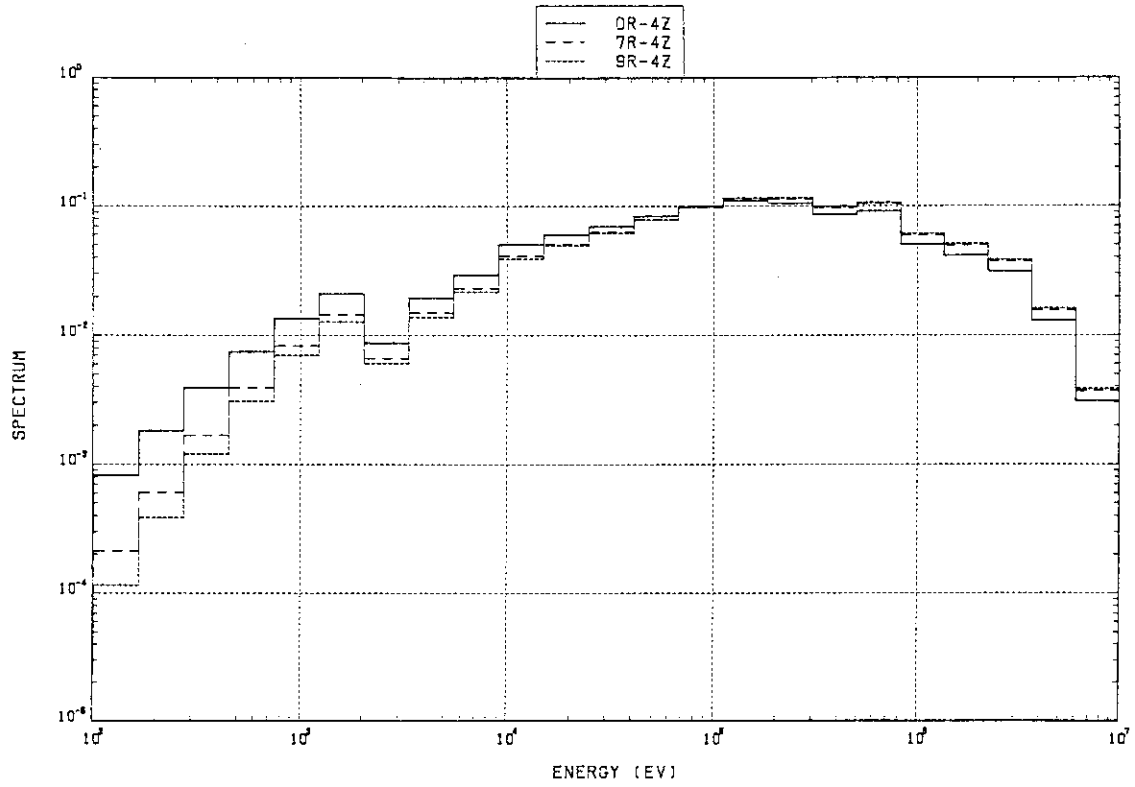


Fig. 3.9 Comparison of Neutron Spectrum at 4Z

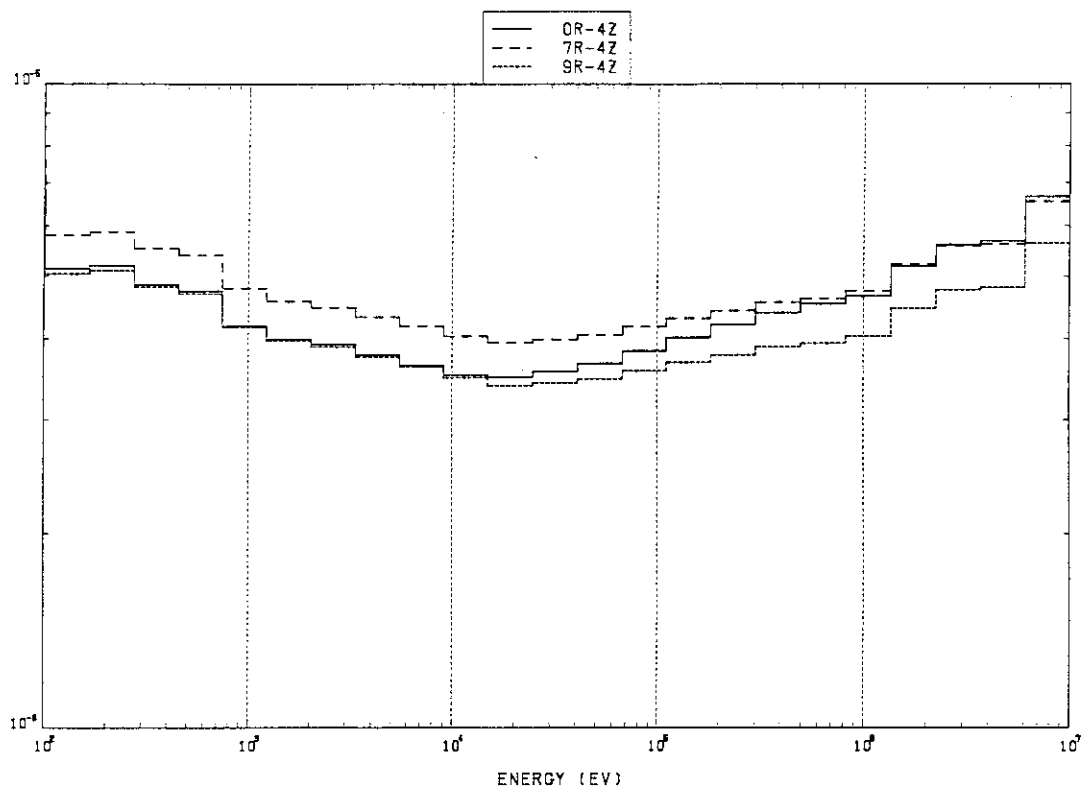


Fig. 3.10 Comparison of Adjoint Flux at 4Z

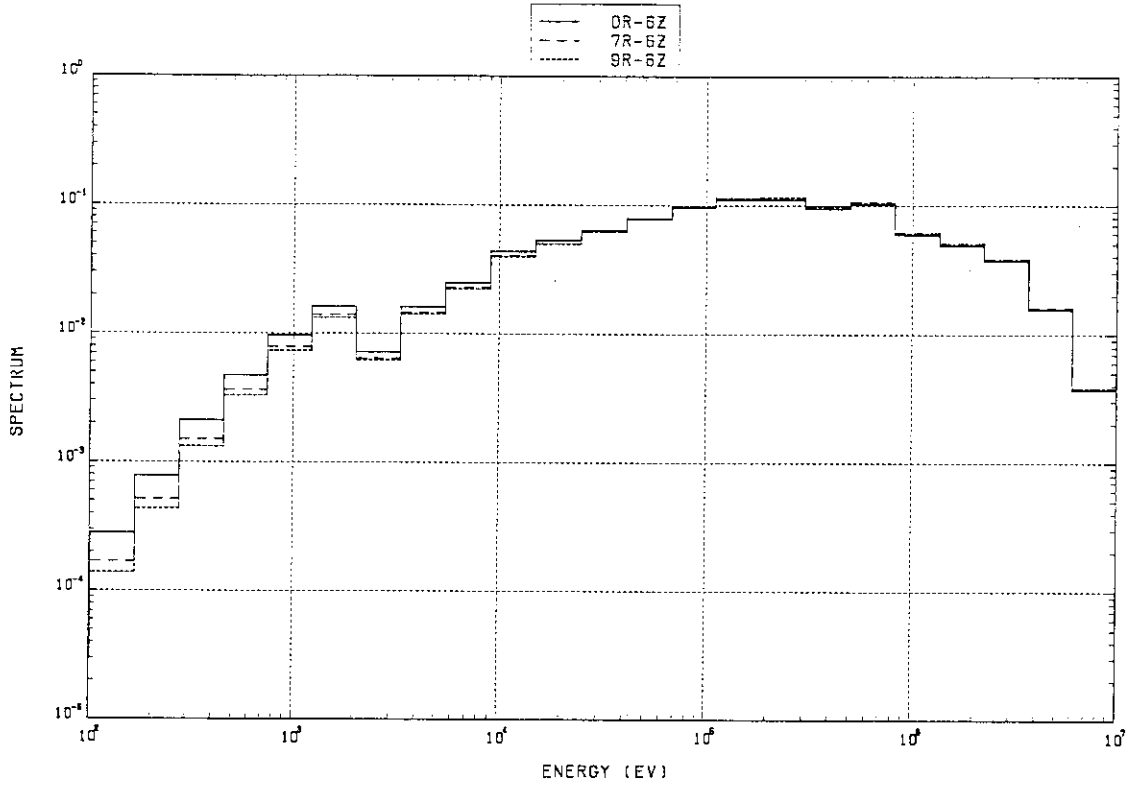


Fig. 3.11 Comparison of Neutron Spectrum at 6Z

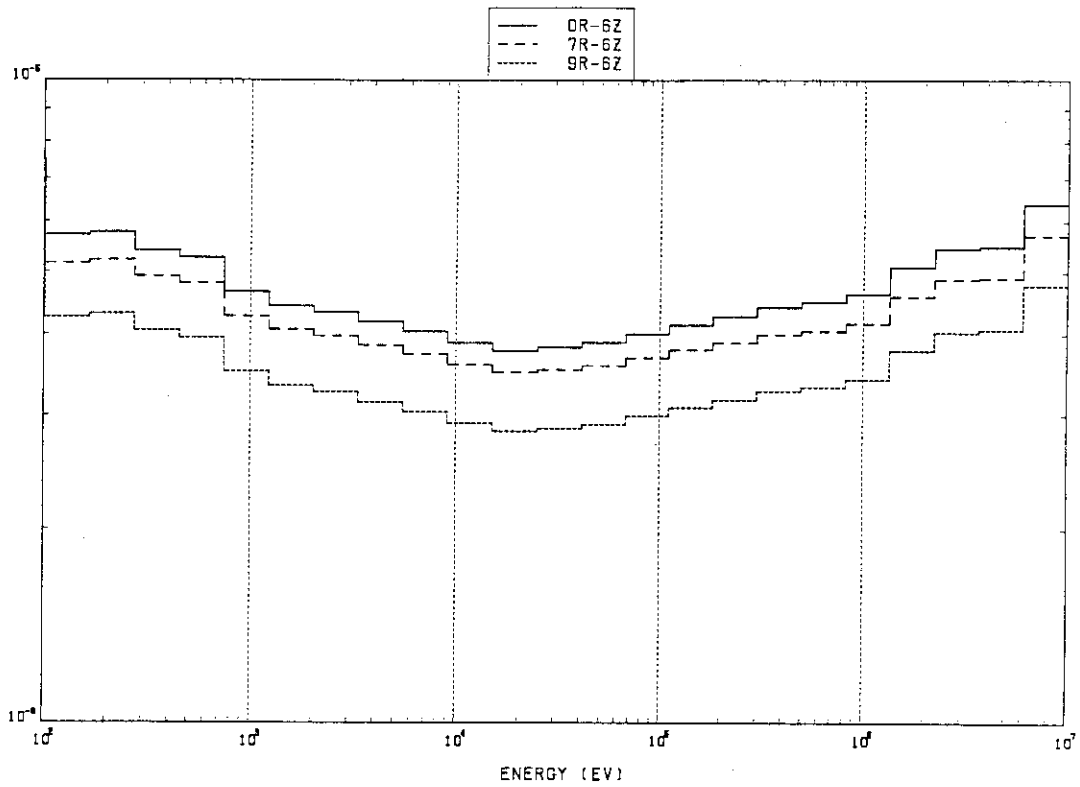


Fig. 3.12 Comparison of Adjoint Flux at 6Z



## 4. 反応率分布と反応率比

小型核分裂計数管および劣化ウラン箔を使用して、径方向反応率分布と軸方向反応率分布を測定した。小型核分裂計数管を用いた測定では $^{239}\text{Pu}$ 、 $^{235}\text{U}$ 、 $^{238}\text{U}$ および $^{237}\text{Np}$ の核分裂反応率を求め、一方、箔測定では $^{238}\text{U}$ の捕獲反応率を求めた。また、反応率比については、内部ブランケットと炉心内の各点で $^{235}\text{U}$ 核分裂反応率に対する反応率比を求めた。本章では、体系内に内部ブランケット (Internal blanket, I.B.) を設けたことによる効果が炉心特性全体に及ぼす影響を反応率分布および反応率比の観点から調べる。測定結果は計算値と比較検討している。

### 4.1 測定の方法

#### 測定位置

XIII-1 集合体は、中心部のテスト領域の外側に非対称にドライバー領域を設けたセクター型の構成になっている。このような体系の反応率を解明する場合、測定は単にテスト領域内のみにとどまらず、ドライバー領域を含む体系全体の均衡を考慮した測定を行う必要がある。また、本体系の主目的である内部ブランケット内外の反応率の系統的な変化を調べる事が重要である。反応率の測定点は、以上の条件に基づき、測定に先立つ予備解析の結果から定めた。小型核分裂計数管による体系内の測定位置をR-Z平面で表した図をFig. 4.1に示す。径方向に関しては、内部ブランケットを貫通する1 Z、炉心内で内部ブランケットに隣接する4 Zおよび内部ブランケットから離れた炉心内の6 Zの位置で計数管トラバース測定を行った。軸方向に関しては0 R、6 Rおよび7 Rの位置でトラバース測定を行った。同図中に、反応率比の測定位置も示してある。一方、箔測定については径方向の測定を主体にして行った。箔測定における測定位置をFig. 4.2に示す。

#### 小型核分裂計数管による測定

使用した小型核分裂計数管の核分裂性物質はプルトニウム (Pu)、93%濃縮ウラン (EU)、天然ウラン (NU) およびネプチウム (Np) の4種類である。計数管はいずれも直径6 mm、壁厚さ0.5 mmの円筒形のアルミニウム製小型計数管で有感部分の実効長さは32 mmである。電極に塗布された核分裂性物質の実効原子数 (計数効率×塗布原子数) は、熱中性子柱照射法あるいは加速器による単色中性子照射により較正されている。それぞれの小型核分裂計数管中の実効原子数と核分裂性同位体の組成をTable 4.1に示す。

小型核分裂計数管による径方向核分裂反応率分布の測定は体系内に直径2 cmの径方向の実験孔を設け、その中で計数管を移動させる事により行った。実験孔を設けた単位セルと小型核分裂計数管の大きさの対比をFig. 4.3に示す。この図から見られるように、計数管の有感長さはかなり長いのでセル中心に計数管を置くと、ほぼセル内の平均的な核分裂反応率が得られると考えられる。測定に際しては、それぞれの計数管を直径8 mm、肉厚0.6 mmの細長いアル

ミニウム保護管内に装填し、NUとEUおよびNpとPuの2本を一組として実験孔に挿入した。アルミニウム保護管の一端は移動のため径方向サンプル駆動装置に取り付けてある。なお、計数管2本を同時に挿入する事の影響については、過去の実験から、相互の計数管の計数率に殆んど影響を与えない事が確認されている。実験孔はまず1Zから作製し、測定に従って順次4Z、6Zと移動させた。測定は十分な計数率が得られるよう炉出力10Wの運転で行い、自動制御により炉出力を一定に保った。制御棒は実験時の体系の均衡を保たせるため移動側制御棒C/R1と固定側制御棒C/R2をほぼ等分に挿入した。1Z測定の場合、C/R1とC/R2の位置はそれぞれ密着面から118mmおよび120mm程度であった。

径方向ブランケットの下部に、炉出力モニターとして劣化ウラン中型核分裂計数管モニター1(M1)とネプチニウム-237中型核分裂計数管モニター2(M2)の2系統を設けた。小型核分裂計数管による計数値は、同時に測定したこれらのモニター計数値で規格化し、測定中の炉出力の微小変動効果を除いた。本実験ではM2の計数値で規格化した各小型核分裂計数管の計数値をもって測定データとした。測定は同一位置で5回程度行い、得られた計数の平均をとり、その分散から統計誤差を見積った。

軸方向核分裂反応率の測定は、燃料引出し内に深さ1"、幅3/8"のトラバース用の溝を設け、その中で小型核分裂計数管を移動させることにより行った。溝を設けた燃料引出し内の炉心セルと計数管の配置をFig. 4.4に示す。また、同Fig. 4.4に箔測定セル配置を対比して示す。軸方向測定の場合、セル内の計数管の配置は燃料板に平行な向きになっているので、この配置では必ずしもセル内平均反応率を測定している事にはならない。この計数管の配置からくる影響については、軸方向測定と同じセルの場所で行った径方向測定の結果と比べその相違を調べた。

実験孔ストリーミング効果は、先のFCA XII-1集合体の実験では軸方向のいわゆるソフトブランケット内では無視できる程小さいが、他方、原子数密度の大きいDU金属ブロックからなる径方向ブランケット内では無視できず、しきい核分裂反応核種である $^{238}\text{U}(n, f)$ の場合-4~-5%の補正が必要であるとの結果が得られている。本実験では、この径方向の実験孔ストリーミング補正を行っていないので、FCA XII-1集合体の結果から類推すると、径方向 $^{238}\text{U}(n, f)$ 分布の測定値は径方向ブランケット内で4~5%過大評価されていると考えられる。

絶対較正された4核種の小型核分裂計数管による測定データから $^{235}\text{U}$ 核分裂に対する $^{238}\text{U}$ 、 $^{237}\text{Np}$ および $^{239}\text{Pu}$ の核分裂反応率比を求めた。測定位置は前述のFig. 4.1に示されている。本測定は、径方向核分裂反応率測定と併用して行った。各測定位置においてマルチチャンネル波高分析器による波高分析を行い、核分裂計数率を求め、実効原子数あたりM2計数あたりの核分裂反応率を得た。ここで、NU計数管およびEU計数管に含まれる核分裂性不純物からの計数の寄与については、両計数管によるそれぞれの計数値と同位体組成比を利用して補正した。Pu計数管に含まれている $^{240}\text{Pu}$ と $^{241}\text{Pu}$ からの寄与については計算値を用いて補正した。また、Np計数管に含まれているPuについては全て $^{239}\text{Pu}$ であると仮定して補正した。各々の核種の核分裂反応率の値を $^{235}\text{U}$ の核分裂反応率値で除して反応率比を求めた。なお、ここで求めた各核種の核分裂反応率比の結果は、径方向および軸方向測定の際の不純物計数の補正にも利用している。

### ウラン箔による測定

使用した箔は薄い円板状の劣化ウラン金属箔で、その直径は 12.7 mm、厚さ 0.127 mm である。箔は、測定時に機器が汚染される事を防ぐため、厚さ 0.017 mm のアルミニウム箔で覆ってある。箔の装填は、内部ブランケットおよび炉心共にセル内中心に位置する  $\text{DUO}_2$  板内に行った。箔の装填は中心の 1/4"  $\text{DUO}_2$  板を取り去り、それを 1/8"  $\text{DUO}_2$  板 2 枚に換えて、板間に箔を狭んで固定する方法で行った。箔は炉出力を一定にし、十分な計数率が得られるよう 300 W-hr (100 W-3 hr) で照射した。

照射後約 16 時間の待ち時間を経て箔を取り出し、箔からの崩壊  $\gamma$  線を同軸型 Ge 検出器を備えた箔測定システムで測定した。測定は開始時間から約 70 時間行い、各 1 枚の箔について 3 回以上の測定をした。また、一部の箔については更に 120 時間まで測定を続行して主要  $\gamma$  線の光電ピークの半減期を求めた。ここで、 $^{238}\text{U}$  捕獲反応率については、 $^{238}\text{U}$  の中性子捕獲反応により生成する  $^{239}\text{Np}$  からの 106.1 keV、209.8 keV および 277.6 keV の 3 光電ピークを捕えた。測定時における測定器の動作指示、ピーク解析を含む一連のデータ処理は FCA における箔データ処理システム<sup>14), 15)</sup>で行っている。各核種からの光電ピークの計数率を求め、箔重量、時間減衰の補正を行い、反応率毎の全ての核種の計数について平均値を求めた。

反応率分布の測定では 1 セル中 1 点の測定を行っている。これらに補正を加えてセル内の平均反応率を導出するために、セル内反応率を得る追加実験を行った。実験は内部ブランケット、炉心および内部ブランケット-炉心境界の単位セルの代表点を選び、その中で 9 ~ 13 枚の箔をセルの板間に狭んで照射し、セル内分布を測定して平均を求めた。これらの平均値を補正量として各領域の反応率分布値に乗ずる事によりセル平均反応率分布を求めた。

## 4.2 反応率分布の測定結果と解析

### 計算方法

反応率分布の測定データを計算結果と比較し検討を行った。計算は群定数ライブラリーとして JENDL-2 を処理した JFS-3-J2 70 群セットを用い、衝突確率法に基づくセル計算コード SLAROM によりセル平均実効断面積を作成する方法に依った。体系計算は、体系の 1/2 対称領域で 3 次元 X-Y-Z モデルを用いた 25 群非等方拡散計算を基準計算 (B.C.) とした。計算のメッシュ幅は約 2.5 cm である。基準計算に輸送効果の補正を行うための輸送補正計算は、反応率を測定した近傍の組成を模擬した RZ full mockup モデルで行った。即ち、体系で径方向トラバースを行った平面について、中心から右半分の領域を 2 次元 RZ モデルで (Test region full mockup)、またドライバーを含む左半分の領域を同様に 2 次元 RZ モデル (Driver full mockup) で独立に計算した。輸送補正には 25 群  $S_4-P_0$  近似による輸送計算 (TR) と 25 群等方拡散計算 (DF) を行い、その比  $T.C. = TR/DF$  をもって輸送補正係数とした。B.C. に T.C. を乗じて補正した計算結果が得られる。輸送計算には TWOTRAN-II コードを、また拡散計算には CITATION-FBR コードを用いた。

### 反応率分布

反応率分布の測定データは、計算値と比較するため、径方向分布、軸方向分布、共に炉心中

中央の0R-6Zの点で1に規格化した。これらの反応率分布の実験誤差は、計数の統計的変動、核分裂性不純物の補正に伴う誤差およびデータの規格化による誤差伝播から算定した。箔測定データについては、これらの誤差にさらにセル平均補正誤差を加えた。測定位置1Z, 4Zおよび6Zで得られた $^{239}\text{Pu}(n,f)$ ,  $^{238}\text{U}(n,f)$ ,  $^{238}\text{U}(n,r)$ ,  $^{235}\text{U}(n,f)$ , および $^{237}\text{Np}(n,f)$ の径方向反応率分布を計算値と共にFig. 4.5~Fig. 4.19に示す。FCA XIII-1集合体では、ドライバー領域よりテスト領域の方が燃料密度が高くなっているため径方向の反応率分布に左右の非対称性が生ずるかも知れない懸念があった。この径方向の非対称性を見ると、炉出力に最も寄与する $^{239}\text{Pu}(n,f)$ の場合、-9R~9Rの範囲でテスト領域側が1~3%高い程度に過ぎない。しかし、9R以遠の領域では非対称性はさらに大きくなる。 $^{238}\text{U}(n,f)$ についてもテスト領域側で1~3%高くなり、 $^{239}\text{Pu}(n,f)$ の場合と同じ傾向を示す。以上の結果から、本集合体は径方向-9R~9Rの主要領域で反応率にさほど大きな非対称性は現れず、テスト領域はほぼ満足すべき状態に実現できていると考えられる。

径方向の $^{239}\text{Pu}(n,f)$ 分布は1Z, 4Zおよび6Zを通じて-33cm(-6R)から33cm(6R)の領域で平坦特性を示す。また、内部ブランケット(I.B.)の近傍である4Zの位置の $^{239}\text{Pu}(n,f)$ 分布は明らかに炉心内6Zの分布と異なった形をしており、この位置では $^{239}\text{Pu}(n,f)$ にI.B.からの影響があることがわかる。径方向の $^{238}\text{U}(n,f)$ の分布を1Z, 4Zおよび6Zと比較すると、1Zの分布はI.B.内の中性子スペクトルの軟化により、I.B.領域で著しく低下している。また、4ZではI.B.からの影響が強く出ていることがわかる。

$^{238}\text{U}(n,r)$ の径方向分布は箔を用いて測定しているため、測定値にセル内平均の補正を施した。セル内補正係数は、内部ブランケットおよび炉心内の径方向4点、軸方向2点のセル内反応率実験から求めた。今回の実験は分布測定用箔の挿入位置を、最もセル内補正が小さくなると考えられるセル中心のDUO<sub>2</sub>板の内部中心に選んだ。そのため、セル内平均補正量は小さく、各点を通じて高々1%程度である。

軸方向の $^{239}\text{Pu}(n,f)$ ,  $^{238}\text{U}(n,f)$ および $^{235}\text{U}(n,f)$ の0R, 7R, 9Rについての分布をFig. 4.20~Fig. 4.28に示す。これらの軸方向反応率分布をそれぞれ径方向反応率分布と対比する事によって、本集合体内の反応率分布特性の全容がほぼ把握できる。測定値と計算値の比較について次に述べる。

#### 解析結果

トラバース位置が各々1Z, 4Z, 6Zで得られた $^{239}\text{Pu}(n,f)$ ,  $^{238}\text{U}(n,f)$ ,  $^{238}\text{U}(n,r)$ ,  $^{235}\text{U}(n,f)$ および $^{237}\text{Np}(n,f)$ の径方向分布の計算値の内訳と測定値をC/Eと共にTable 4.2~Table 4.16に示す。前述の径方向反応率のグラフは本テーブルの値をプロットしたものである。本テーブルのデータは(0R-6Z)の点で1に規格化してある。参考のため、規格化点における核分裂反応率(fission/(atom·sec)/Monitor 2 fission)の値をテーブル中に示した。ただし、核分裂計数管によるセル内微細変化の補正は小さいので無視した。

輸送補正係数は一般に、中性子源の存在しない内部ブランケットおよび外部ブランケットでは炉心領域よりも大きくなる。即ち、これらのブランケット領域では中性子は炉心側からの中性子流として供給されるので、中性子の角度依存性が大きくなるためと解釈される。輸送補正係数は $^{239}\text{Pu}(n,f)$ ,  $^{235}\text{U}(n,f)$ など低い中性子エネルギーに対して感度の高い反応率につい

ではそれ程大きくなく内部ブランケットで高々4～5%程度である。一方、高いエネルギーに対して感度の高いしきい反応、 $^{238}\text{U}(n, f)$  および  $^{237}\text{Np}(n, f)$  については、中性子の平均自由経路が長くなるため、輸送補正量がかなり大きくなる。 $^{238}\text{U}(n, f)$  の場合、内部ブランケット領域で輸送補正量は約-15%を示した。

計算値と測定値の比較評価はC/E（計算値対実験値比）を求める事により行った。結果は前述テーブルの終欄に載せてある。軸方向の $^{239}\text{Pu}(n, f)$ 、 $^{238}\text{U}(n, f)$ 、 $^{235}\text{U}(n, f)$  および  $^{237}\text{Np}(n, f)$  の各々0R、7R、9Rの位置における分布の計算値と測定値をC/Eと共にTable 4.17～Table 4.28に示す。

以上述べてきた反応率分布に関して、径方向と軸方向の反応率のC/Eの傾向をまとめた。結果をFig. 4.29～Fig. 4.35に示す。全体的にみると、各反応率とも炉心領域では計算値は測定値と良く一致している。しかし、内部ブランケット領域では、計算値の予測精度は必ずしも良くなく、過小評価の傾向が見られる。個々の反応率については、 $^{239}\text{Pu}(n, f)$  が炉心内では計算値と測定値が比較的良く一致するにもかかわらず、内部ブランケットで計算値が過小評価されている。原因は現時点で明確に説明できないが、実験的には $^{239}\text{Pu}(n, f)$  は精度良く求める事ができるので大きな問題は考えられない。今回の実験では、径方向の $^{238}\text{U}(n, f)$  に関して計算値は測定値とかなり良い一致を見た。測定は小型核分裂計数管で行っているが、セル配列を横切る形のいわゆる径方向トラバースを行っているので、セル内の平均反応率が得られた結果であると考えられる。

### 4.3 反応率比の測定結果と解析

小型核分裂計数管を使用した核分裂反応率比の測定は、計数管を径方向の向きにセル内に挿入し、計数管の有感長さの中心をセルの中心に一致させた位置で行っている。計数管の有感長さはセル内で十分に長いので、この配置でほぼセル平均核分裂反応率が測定されていると考えられる。しかし、さらに微細なセル内反応率の変化を確認するため、計数管を単位セル内の数点の移動をさせた追加実験を行った。測定点は単位セル長さ5.52cmを4分割した $-1/2$ 、 $-1/4$ 、0、 $1/4$ 、 $1/2$ の5点である。5点の測定値を平均して計数管測定におけるセル内微細変化の補正值とした。

セル内微細変化を考慮した核分裂反応率比の測定値について1Zにおける結果をTable 4.29に、また4Zと6Zにおける結果をTable 4.30に示す。計数管でセル内微細変化を求める場合は計数管が大きい事から点状測定にならず、測定の分解能は悪い。従って得られる微細変化量はそれ程大きくない。得られた微細変化は、平均的に見て、反応率分布の勾配が大きい特殊な点以外は1%かそれ以下である。また、反応率分布の勾配の大きな点(pos. 6)においても、微細変化は2%程度である。核分裂反応率比のデータは微細変化の効果を補正してセル平均反応率比を求めた。ただし、前述の反応率分布相対測定値ではこの微細変化の補正は小さいので無視した。

核分裂反応率比の実験誤差は、計数管の実効原子数の較正誤差、計数値の統計的変動、核分裂性不純物の補正に伴う誤差、セル内微細変化の測定誤差および比を求める際の誤差伝播から

算定した。これらの誤差源のうちで最も大きなものは実効原子数の較正誤差である。ところで、内部ブランケットで求めた  $^{238}\text{U}(n,f)/^{235}\text{U}(n,f)$  の実験誤差 (0R-1Z) が他の測定値のそれに比べてかなり大きい事が目立つ。これは、内部ブランケット領域の中性子スペクトルが軟化しているため、 $^{238}\text{U}(n,f)$  の計数率の低下およびウラン中の  $^{235}\text{U}$  不純物からの寄与の増加が主な原因である。

1Z の位置で得られた径方向 3 点の反応率比の実験値と計算値を C/E と共に Table 4.31 に、また 0R の位置で得られた軸方向 2 点の反応率比の実験値、計算値および C/E を Table 4.32 に示す。炉心領域と内部ブランケット (I.B.) の各  $F^{28}/F^{25}$ 、 $F^{37}/F^{25}$ 、 $F^{49}/F^{25}$  を比較すると、I.B. 内で中性子スペクトルが炉心内よりかなり軟化している。さらに、I.B. 境界に近い炉心の点、即ち、径方向 (7R-1Z) と軸方向 (0R-4Z) で中性子スペクトルは炉心中央のそれより軟化している。これは、I.B. の存在によりその周辺近傍で中性子スペクトルがかなり影響を受けることを表していると言えよう。I.B. 領域では  $F^{28}/F^{25}$  の計算値の予測精度は悪く、計算値は測定値を 10% 以上過大評価している結果となった。また、I.B. 境界付近の (7R-1Z) で同様に計算値が大幅な過大評価になっている。 $F^{37}/F^{25}$  については計算値と実験値の一致はかなり良いが、(7R-1Z) でやはり計算値の過大評価の傾向が見られる。軸方向の炉心内では反応率比はいずれも計算値と測定値に良い一致を得た。

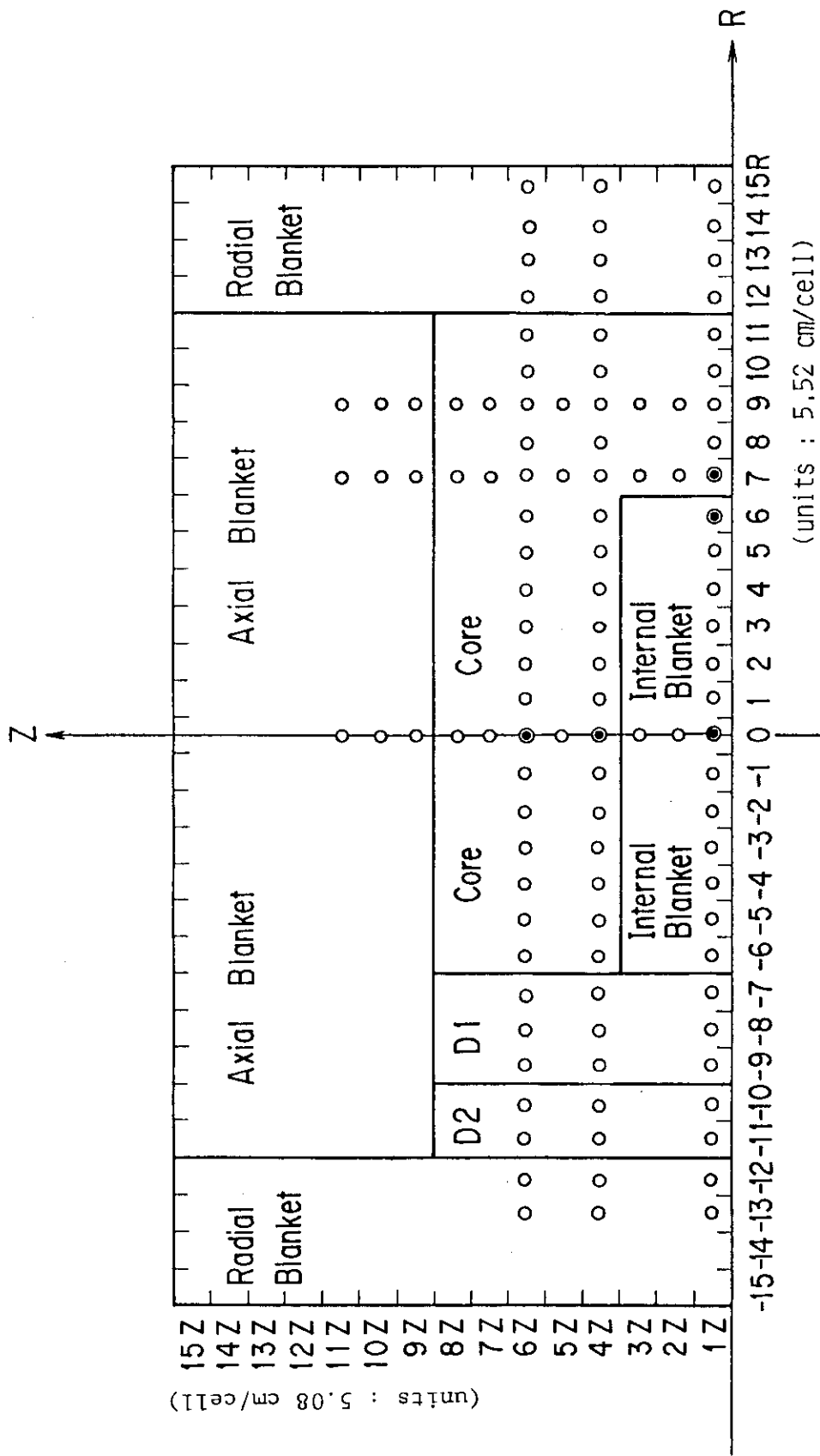
#### 4.4 まとめ

本集合体は径方向 -9R~9R の主な領域で反応率分布に大きな非対称性は現れず、テスト領域はほぼ満足すべき状態に実現できていると考えられる。径方向反応率分布および軸方向反応率分布は、炉心内から内部ブランケットに向けて平坦化の傾向を示しており、体系の中心に内部ブランケットを設けた事による特徴を良く現している。

炉心と内部ブランケット領域の中性子スペクトルの相違については、 $^{238}\text{U}(n,f)/^{235}\text{U}(n,f)$ 、 $^{237}\text{Np}(n,f)/^{235}\text{U}(n,f)$  および  $^{239}\text{Pu}(n,f)/^{235}\text{U}(n,f)$  の各反応率比の実測値が各領域で変化の様子から調べた。その結果、中性子スペクトルは、炉心中心から内部ブランケット→炉心の境界付近、内部ブランケット中心に向って大きく軟化する事が確認された。内部ブランケット領域における中性子スペクトルの軟化の効果はその周辺近傍の炉心領域にも影響を及ぼし、周辺近傍の反応率分布に歪を与えている。

反応率分布の解析において、炉心領域で計算値は実験値と良く一致している。一方、内部ブランケット領域では、 $^{238}\text{U}(n,f)$  分布を除いて、他の反応率の計算値は一様に過小評価になっている。また、径方向ブランケットおよび軸方向ブランケットにおいても、計算値は過小に評価される結果を得た。反応率比の C/E については、 $^{238}\text{U}(n,f)/^{235}\text{U}(n,f)$  が内部ブランケットとその境界付近で計算値が著しく過大評価になる事が指摘される。

以上の結果から、計算値は炉心領域ではかなり精度良く実験値を予測できるが、一方、内部ブランケットでは計算の予測精度が悪く、ブランケット領域の計算上の取り扱いについて、さらに検討が必要である。



⊙ : Positions of reaction rate ratio measurements

Fig. 4.1 Positions of reaction rate measurements by using micro fission counters in FCA Assembly XIII-1

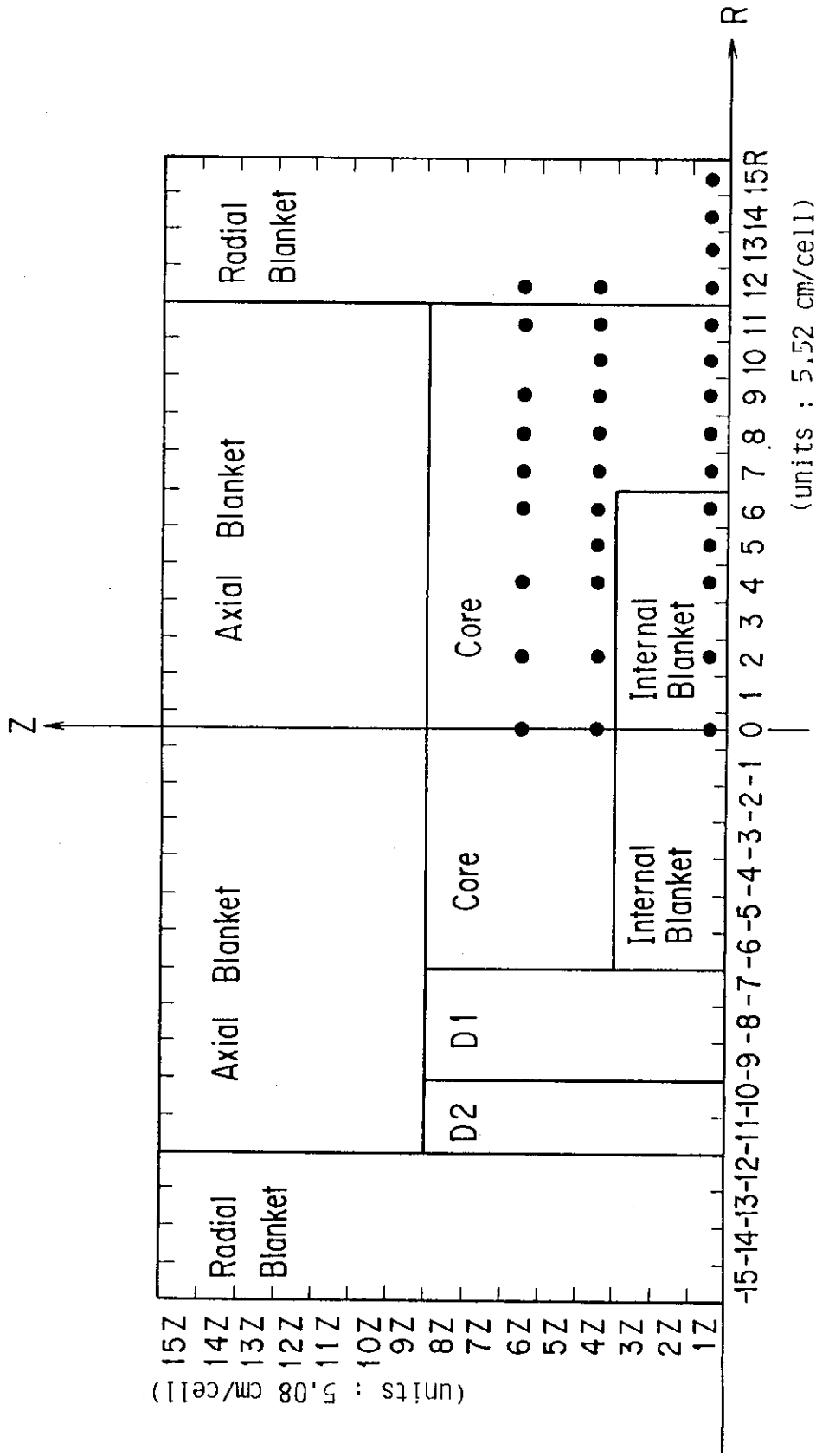


Fig. 4.2 Positions of reaction rate measurements by using depleted uranium foils in FCA Assembly XIII-1



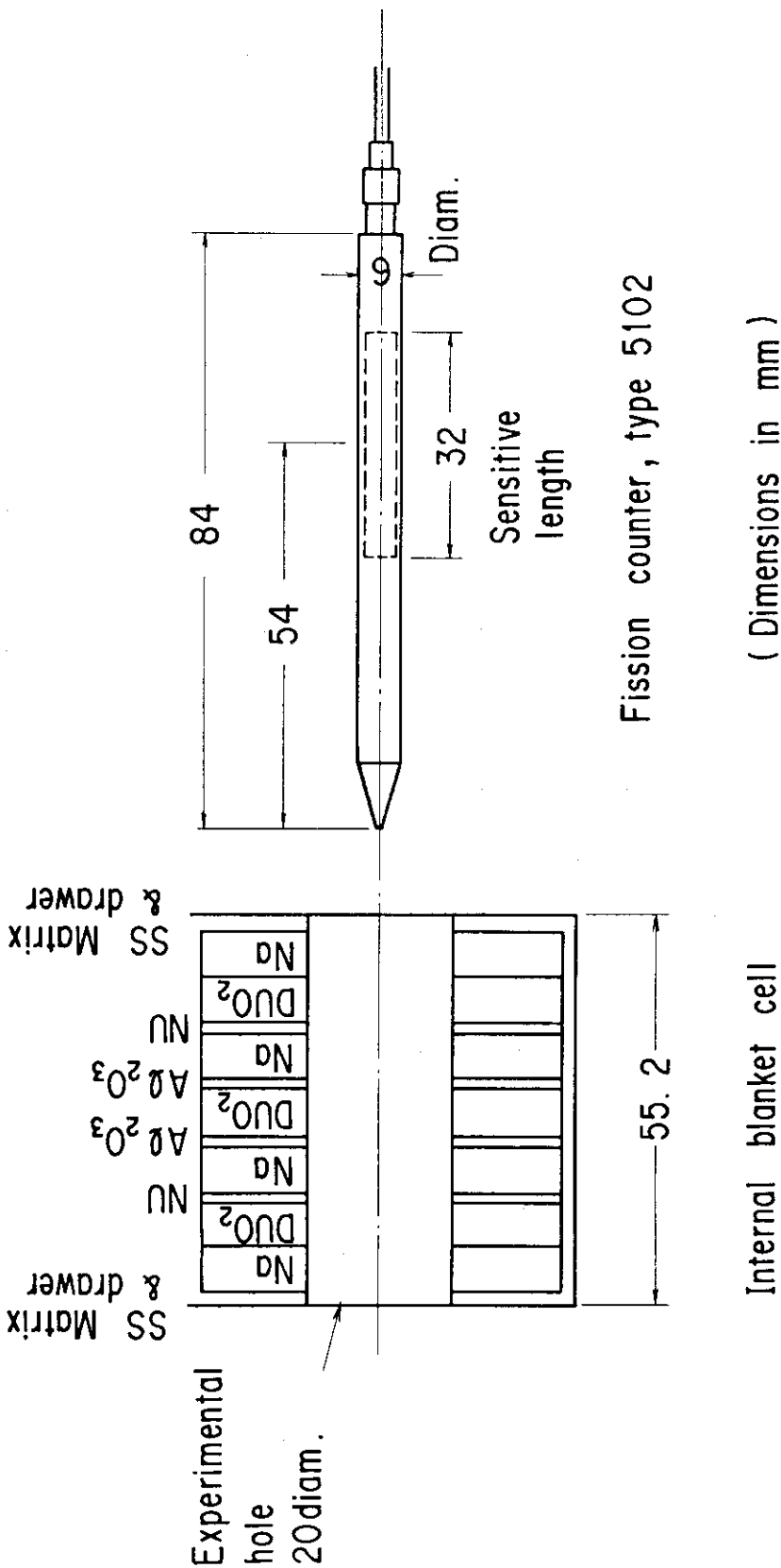
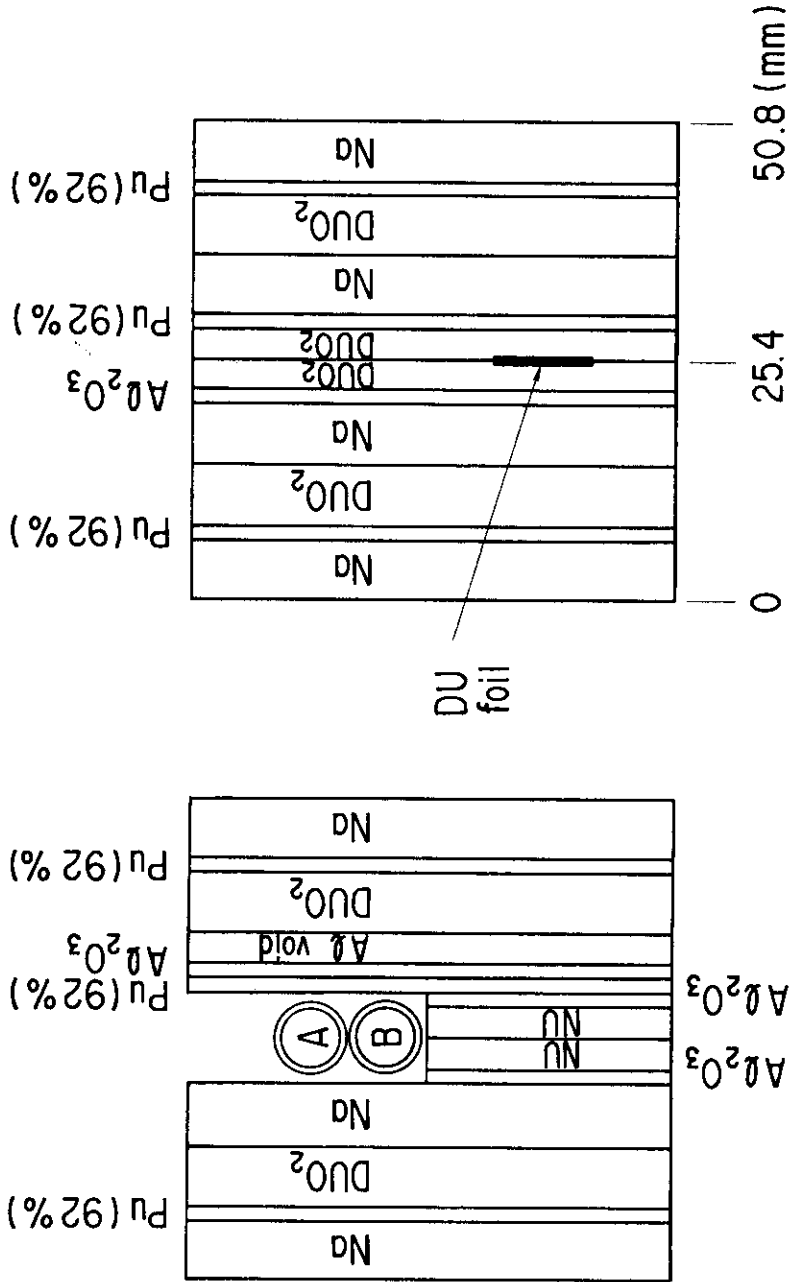


Fig.4.3 Cell pattern for internal blanket with experimental hole in radial fission rate measurement



A : Fission counter 1  
 B : Fission counter 2

Fig.4.4 Arrangement of core cell for axial fission rate measurement by using micro fission counters and cell pattern for foil measurement

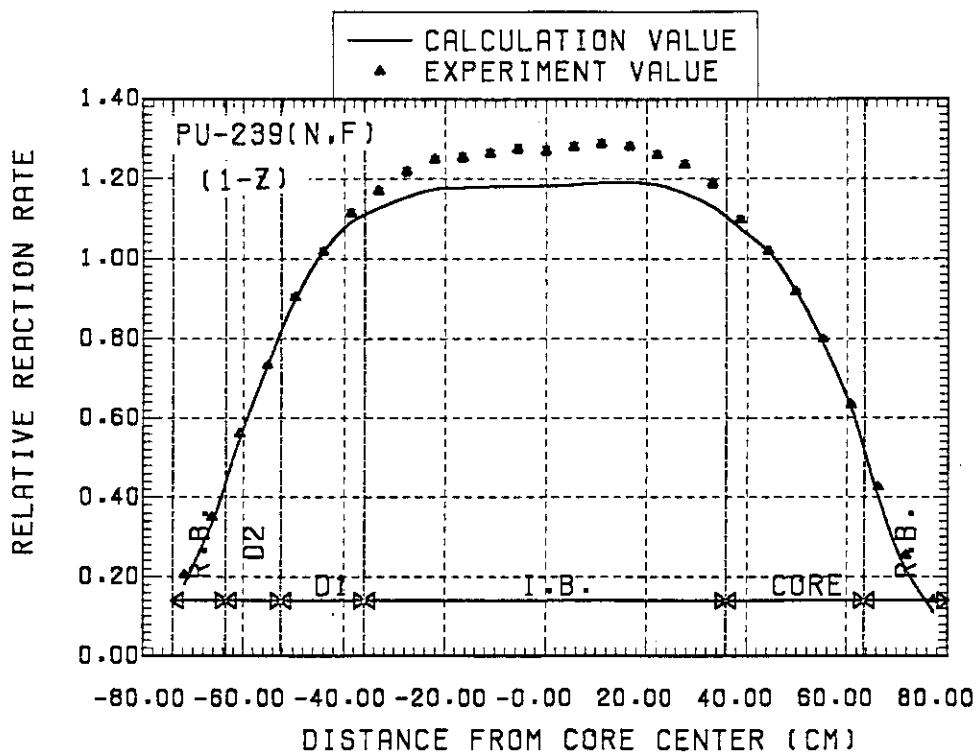


Fig. 4.5 Radial  $^{239}\text{Pu}$  (n,f) distribution at 1Z in FCA Assembly XIII-1

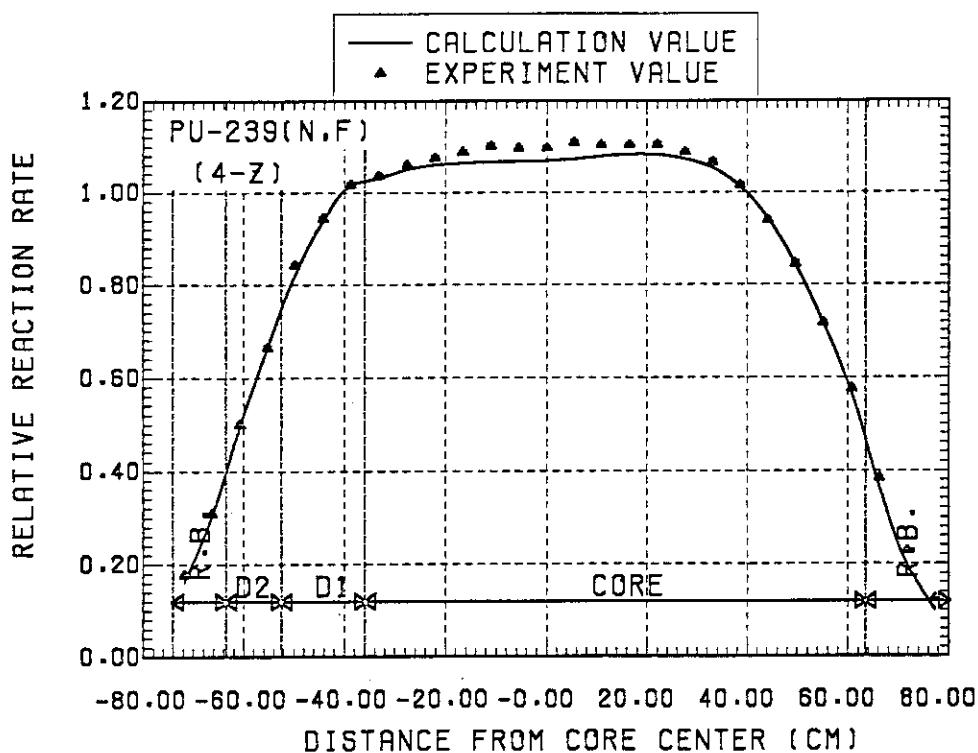


Fig. 4.6 Radial  $^{239}\text{Pu}$  (n,f) distribution at 4Z in FCA Assembly XIII-1

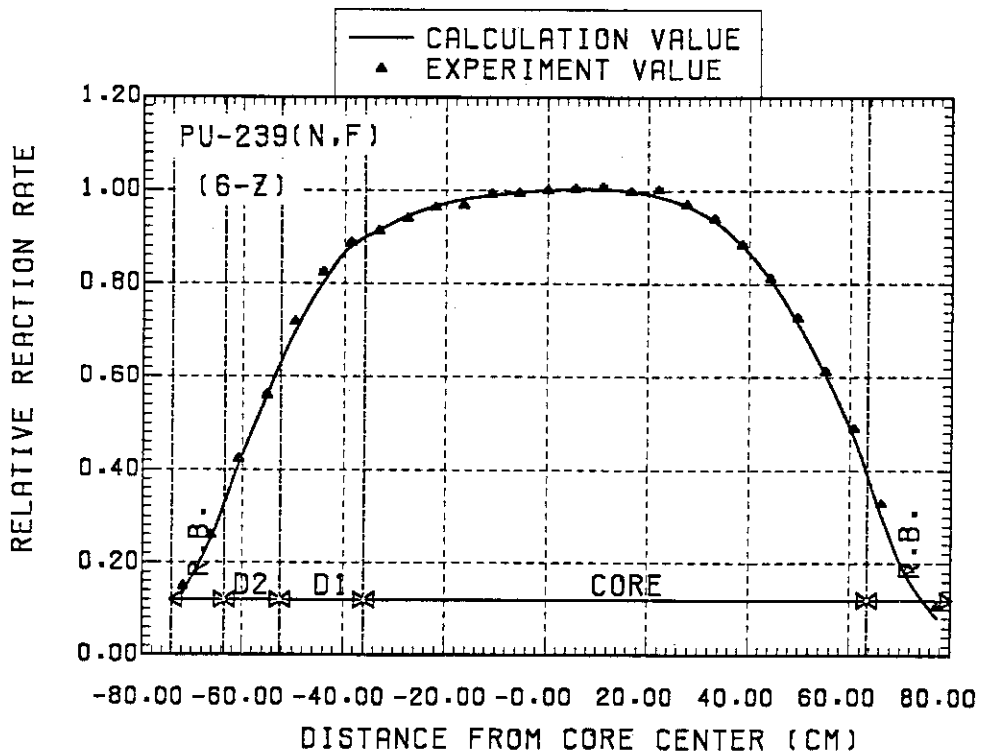


Fig. 4.7 Radial  $^{239}\text{Pu}$  (n,f) distribution at 6Z in FCA Assembly XIII-1

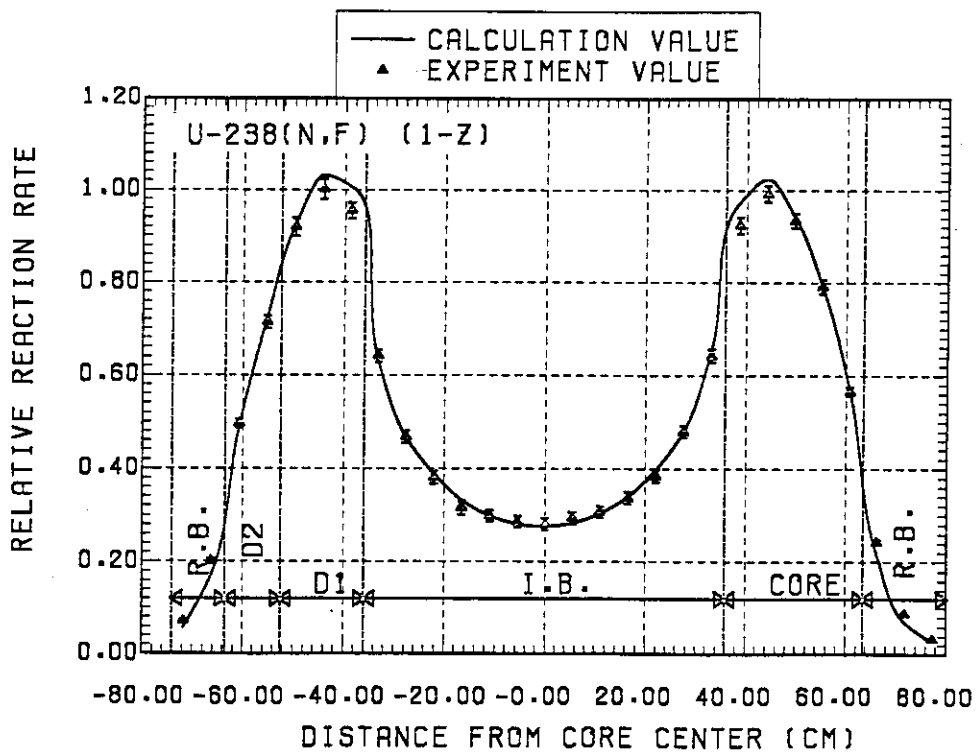


Fig. 4.8 Radial  $^{238}\text{U}$  (n,f) distribution at 1Z in FCA Assembly XIII-1

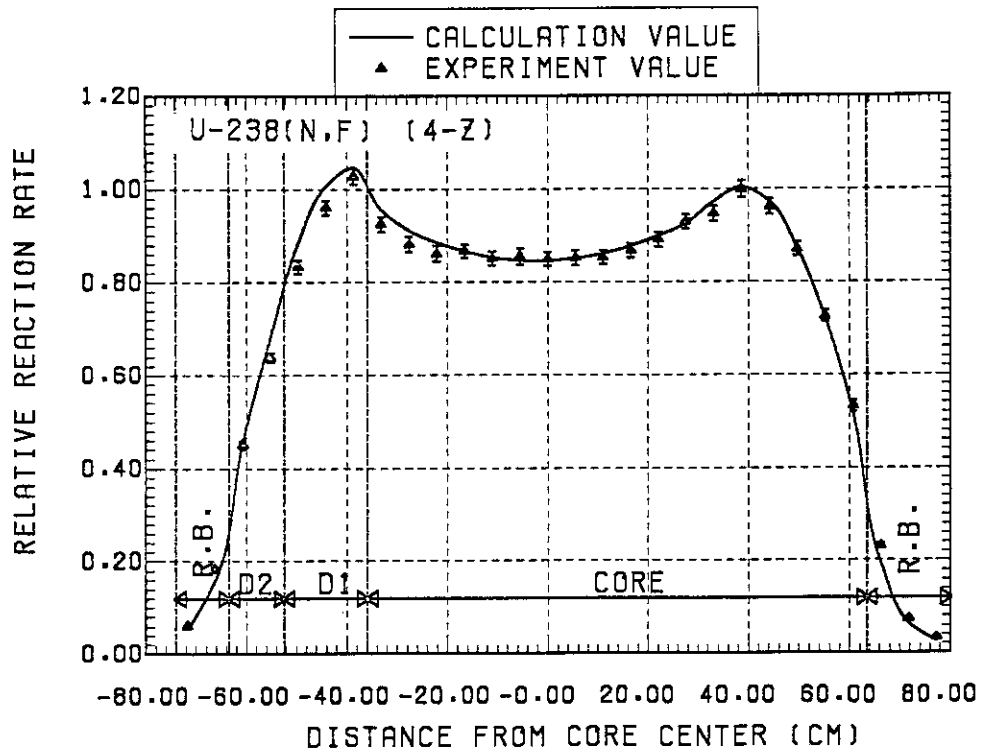


Fig. 4.9 Radial  $^{238}\text{U}$  (n,f) distribution at 4Z in FCA Assembly XIII-1

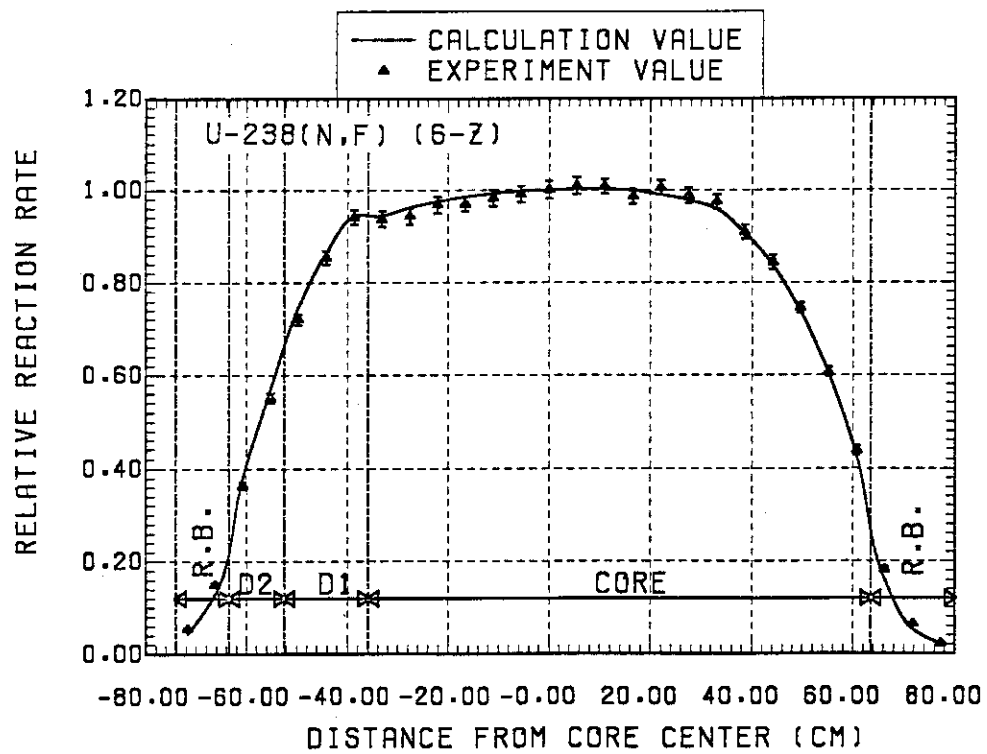


Fig. 4.10 Radial  $^{238}\text{U}$  (n,f) distribution at 6Z in FCA Assembly XIII-1

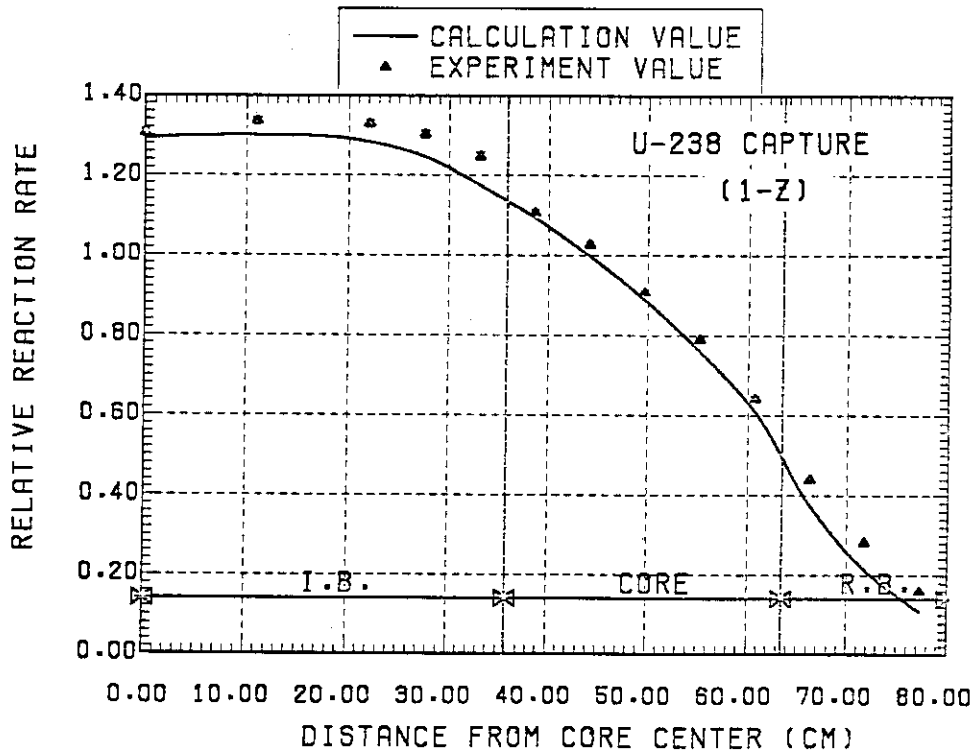


Fig. 4.11 Radial  $^{238}\text{U}$  ( $n, \gamma$ ) distribution at 1Z in FCA Assembly XIII-1

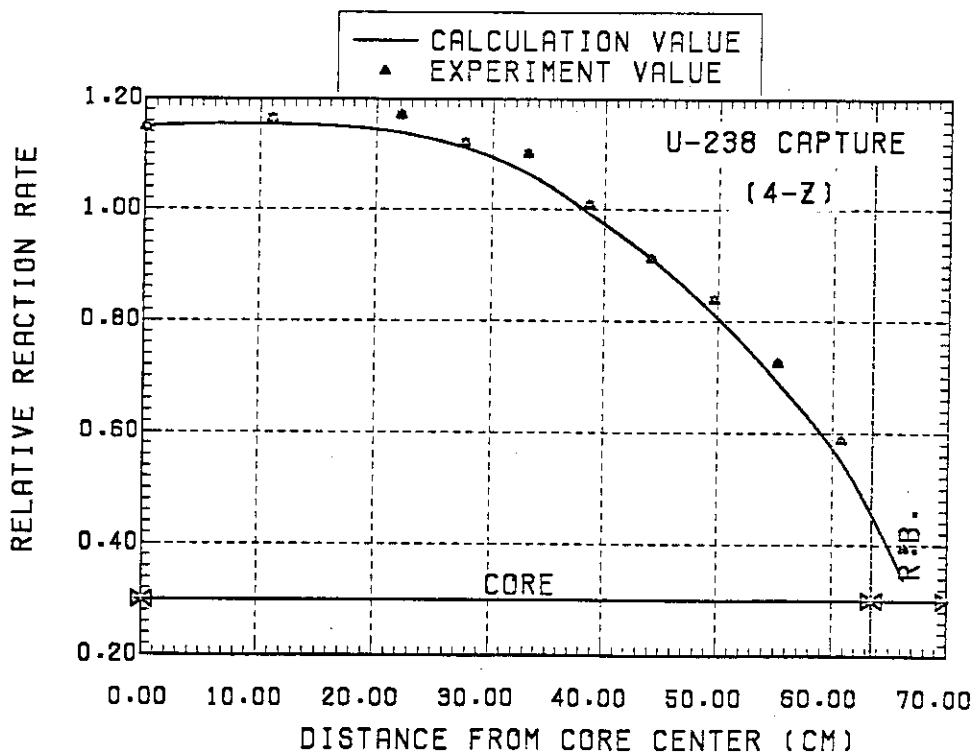


Fig. 4.12 Radial  $^{238}\text{U}$  ( $n, \gamma$ ) distribution at 4Z in FCA Assembly XIII-1

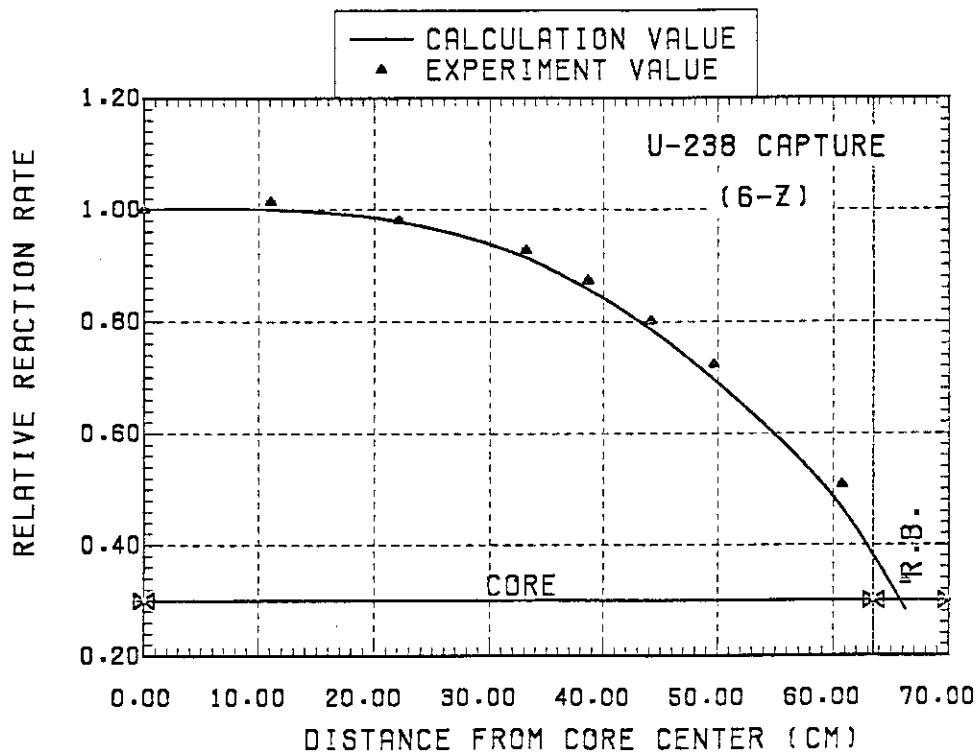


Fig. 4.13 Radial  $^{238}\text{U}$  (n, $\gamma$ ) distribution at 6Z in FCA Assembly XIII-1

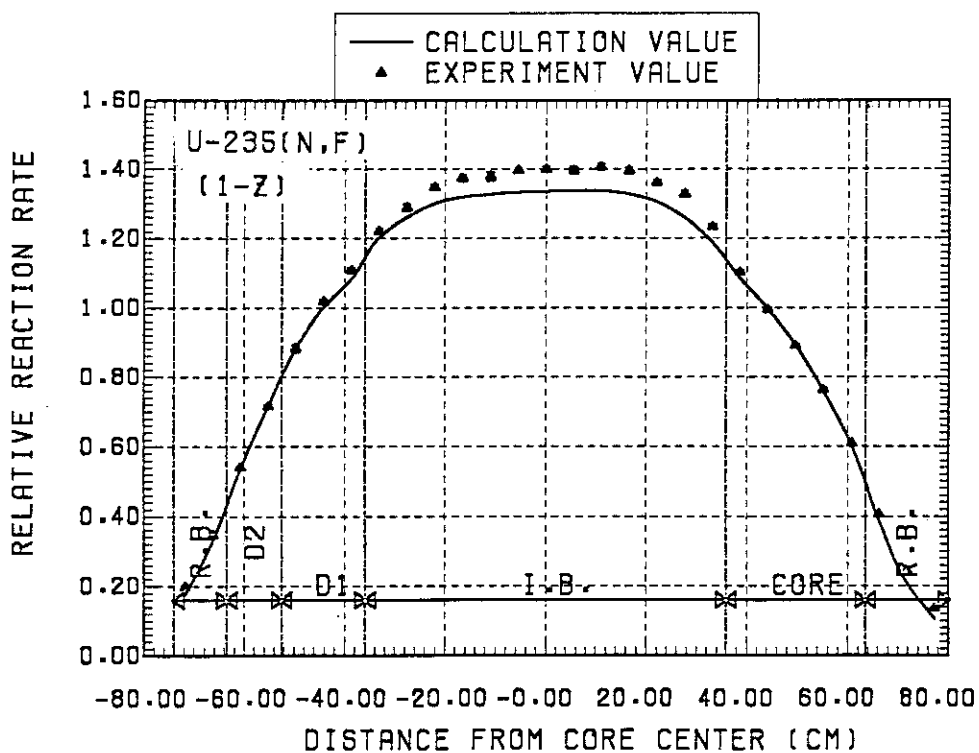


Fig. 4.14 Radial  $^{235}\text{U}$  (n,f) distribution at 1Z in FCA Assembly XIII-1

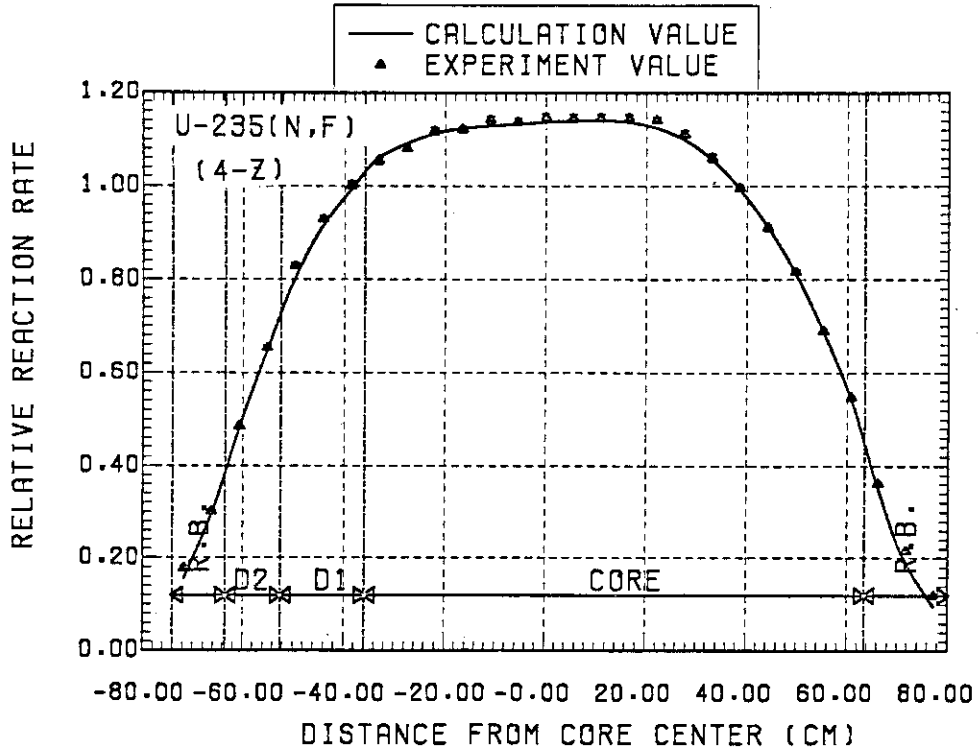


Fig. 4.15 Radial  $^{235}\text{U}$  (n,f) distribution at 4Z in FCA Assembly XIII-1

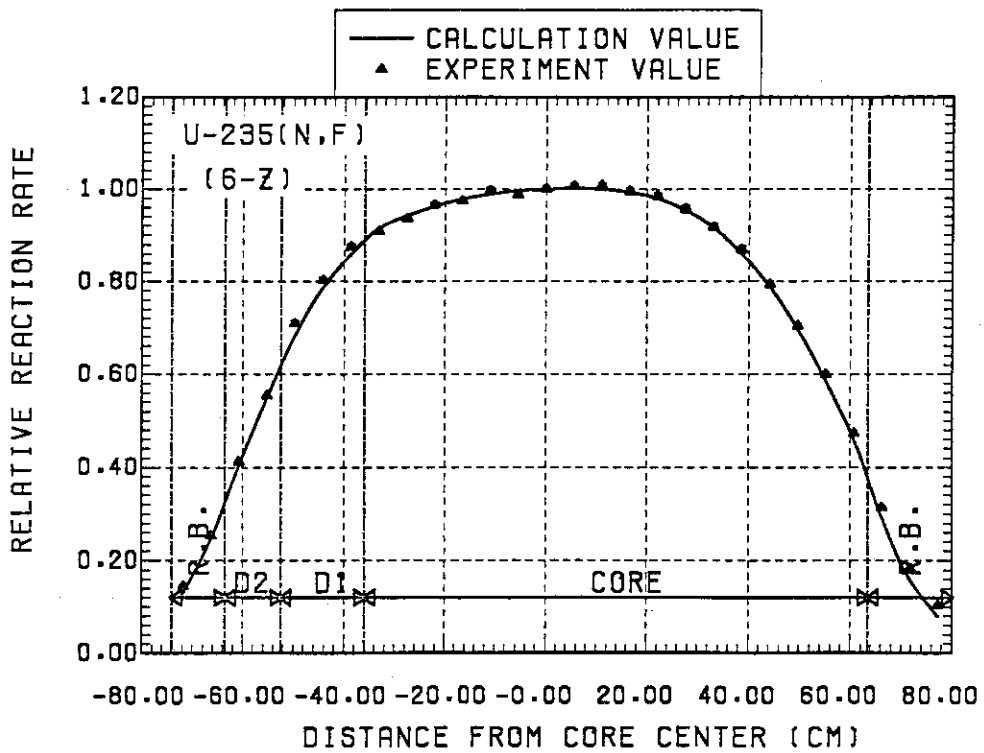


Fig. 4.16 Radial  $^{235}\text{U}$  (n,f) distribution at 6Z in FCA Assembly XIII-1



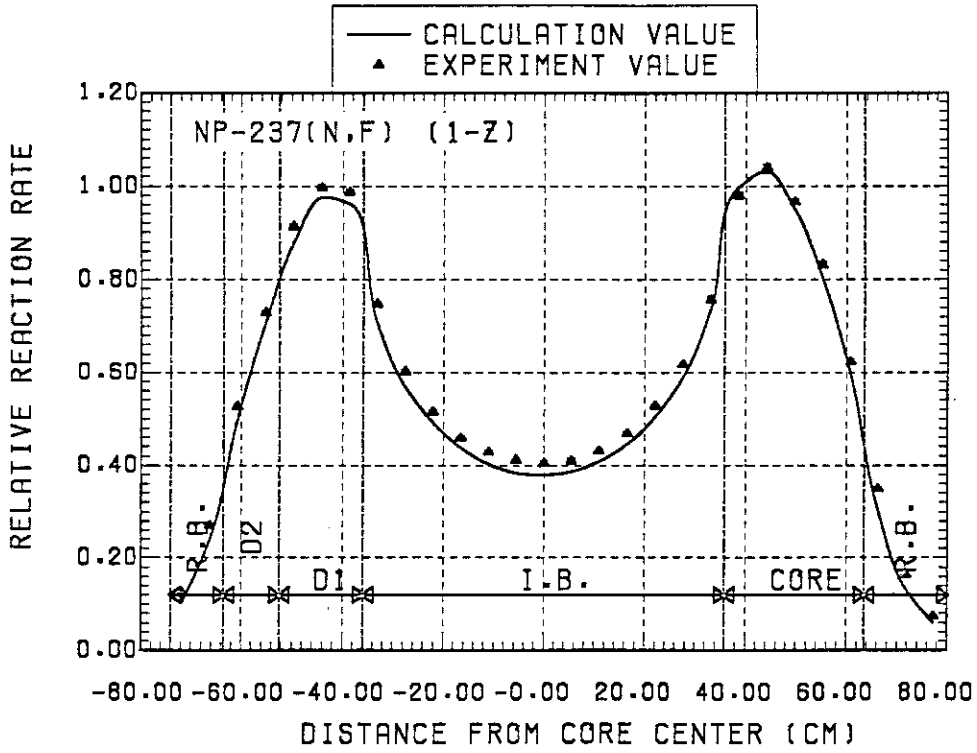


Fig. 4.17 Radial  $^{237}\text{Np}$  (n,f) distribution at 1Z in FCA Assembly XIII-1

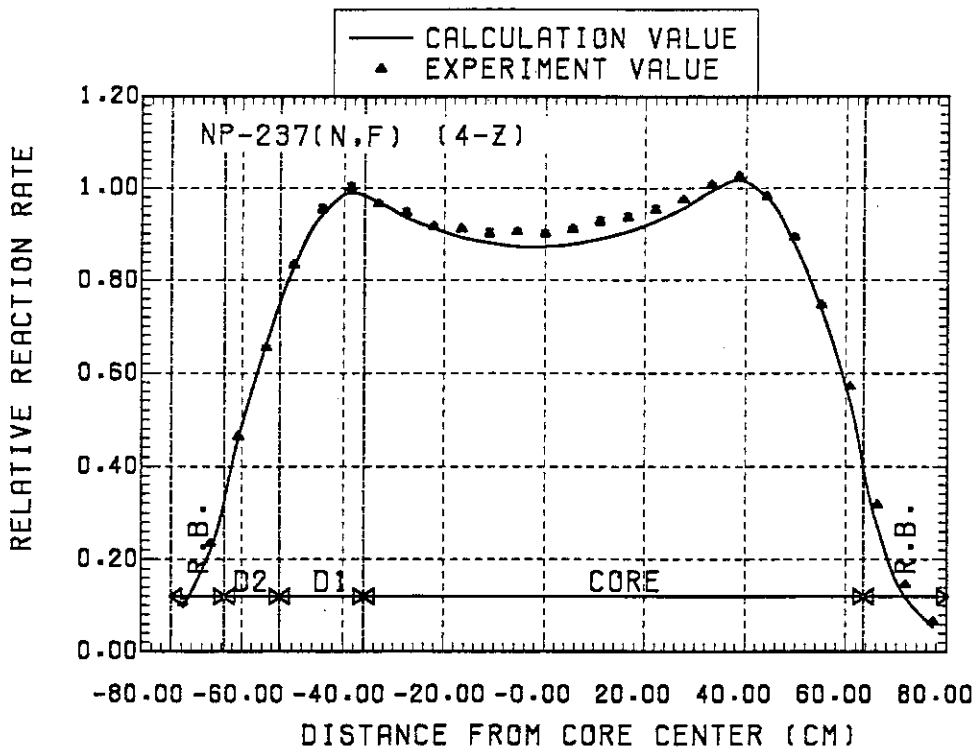


Fig. 4.18 Radial  $^{237}\text{Np}$  (n,f) distribution at 4Z in FCA Assembly XIII-1

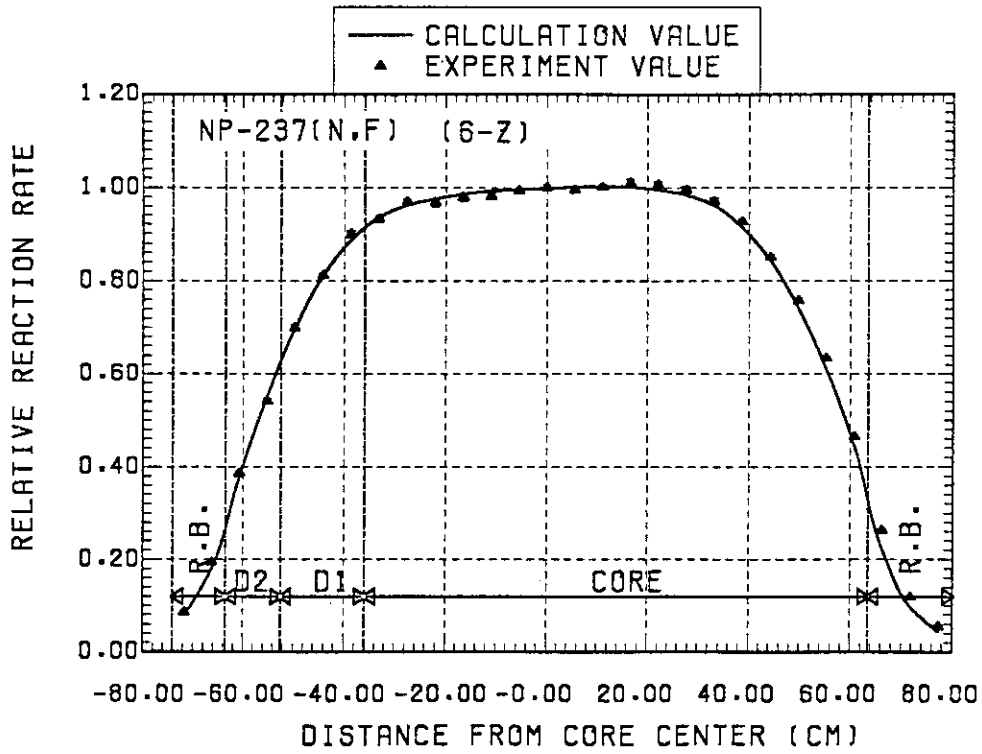


Fig. 4.19 Radial  $^{237}\text{Np}$  (n,f) distribution at 6Z in FCA Assembly XIII-1

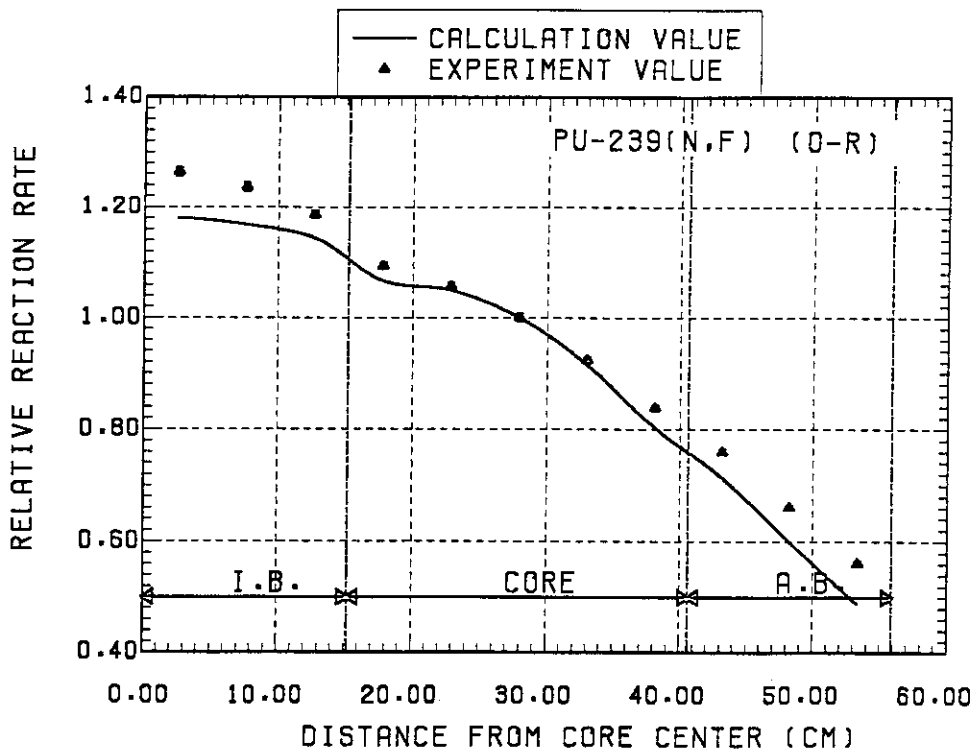


Fig. 4.20 Axial  $^{239}\text{Pu}$  (n,f) distribution at 0R in FCA Assembly XIII-1

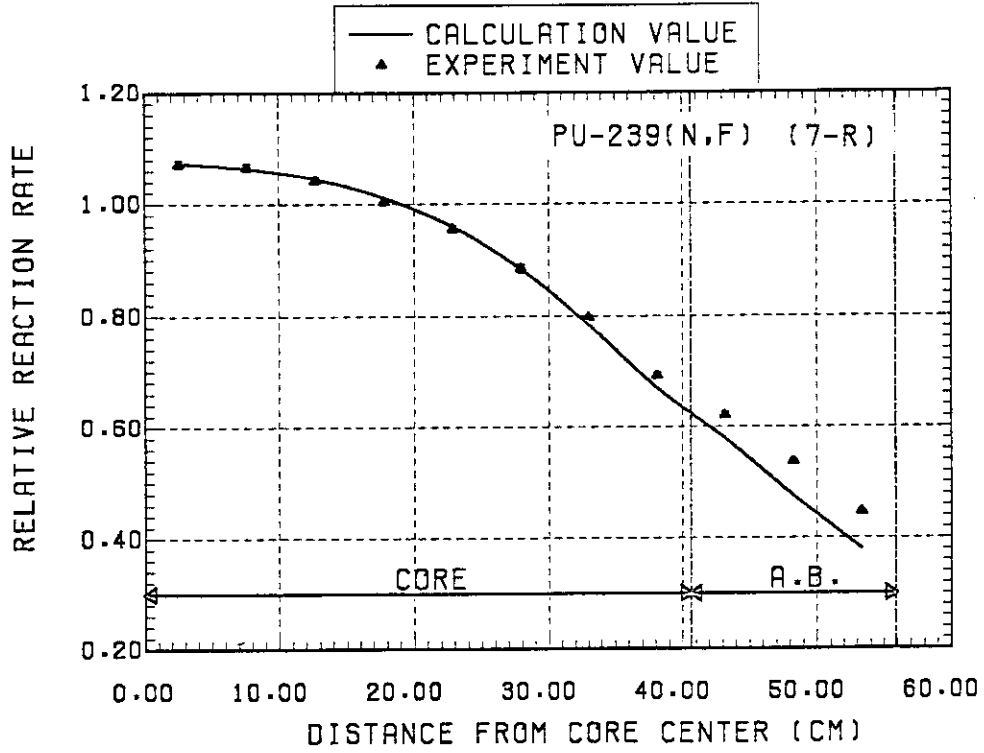


Fig. 4.21 Axial  $^{239}\text{Pu}$  (n,f) distribution at R in FCA Assembly XIII-1

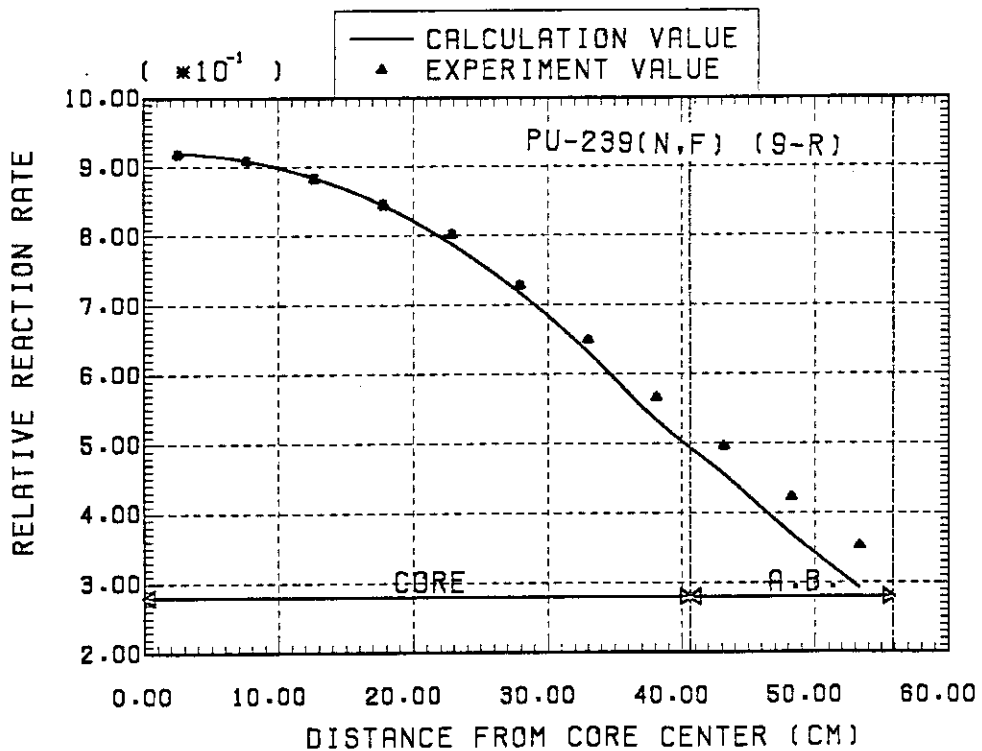


Fig. 4.22 Axial  $^{239}\text{Pu}$  (n,f) distribution at 9R in FCA Assembly XIII-1

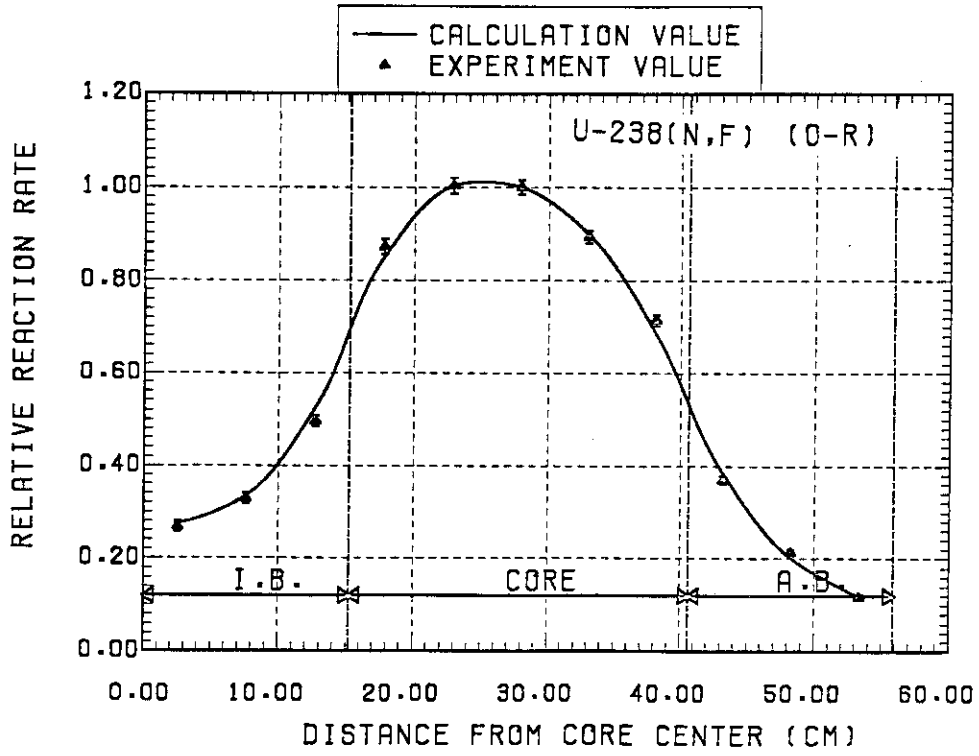


Fig. 4.23 Axial  $^{238}\text{U}$  (n,f) distribution at 0R in FCA Assembly XIII-1

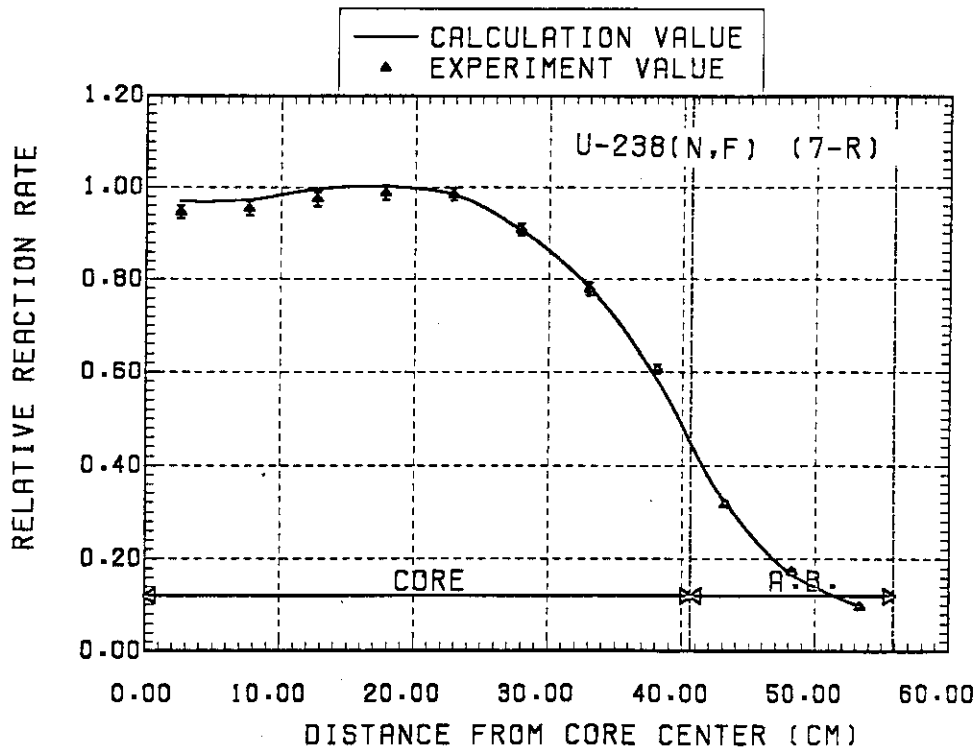


Fig. 4.24 Axial  $^{238}\text{U}$  (n,f) distribution at 7R in FCA Assembly XIII-1

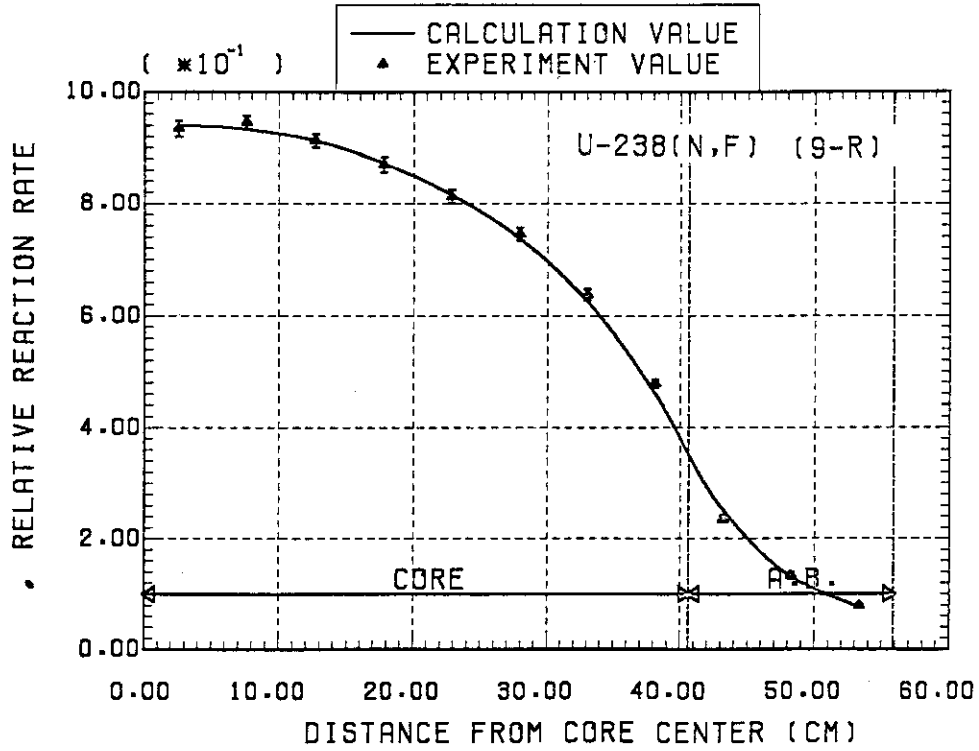


Fig. 4.25 Axial  $^{238}\text{U}$  (n,f) distribution at 9R in FCA Assembly XIII-1

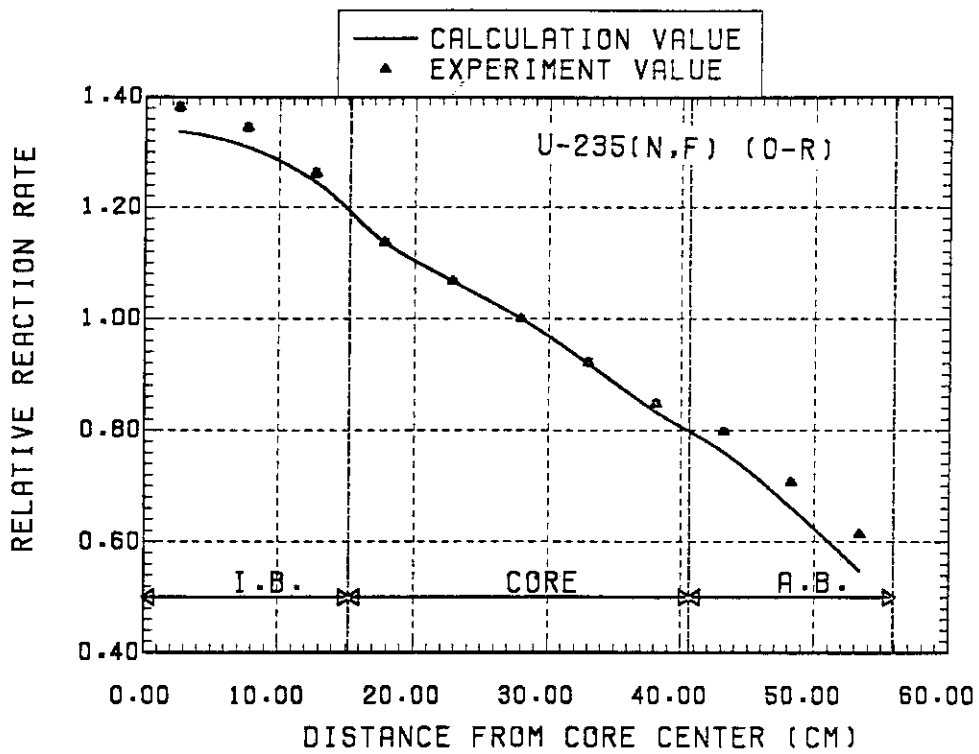


Fig. 4.26 Axial  $^{235}\text{U}$  (n,f) distribution at 0R in FCA Assembly XIII-1

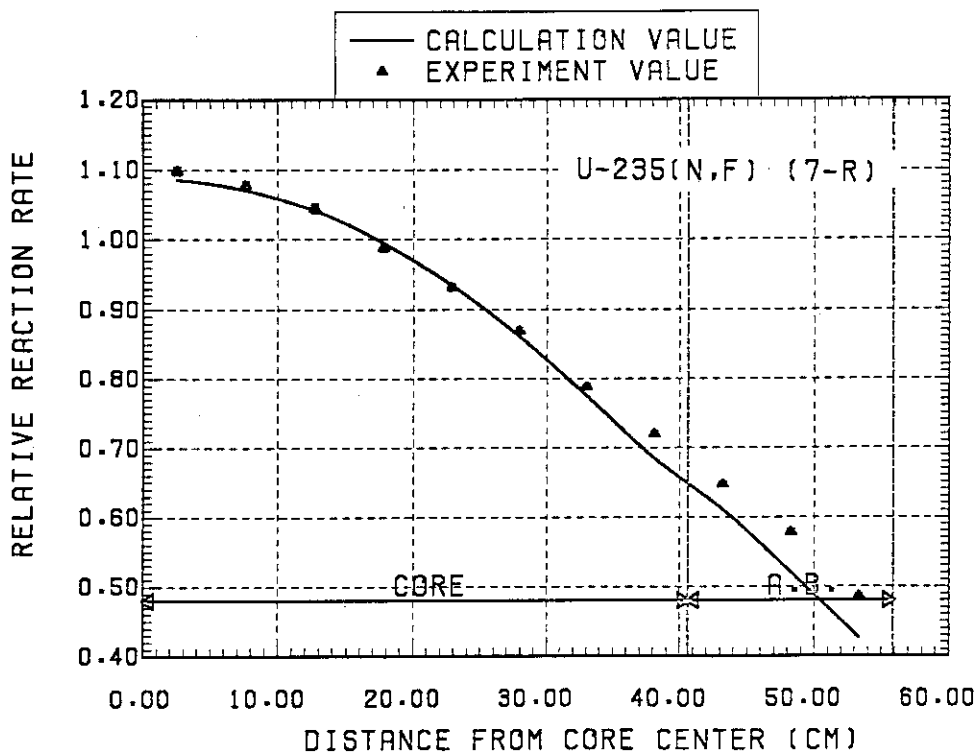


Fig. 4.27 Axial  $^{235}\text{U}$  (n,f) distribution at 7R in FCA Assembly XIII-1

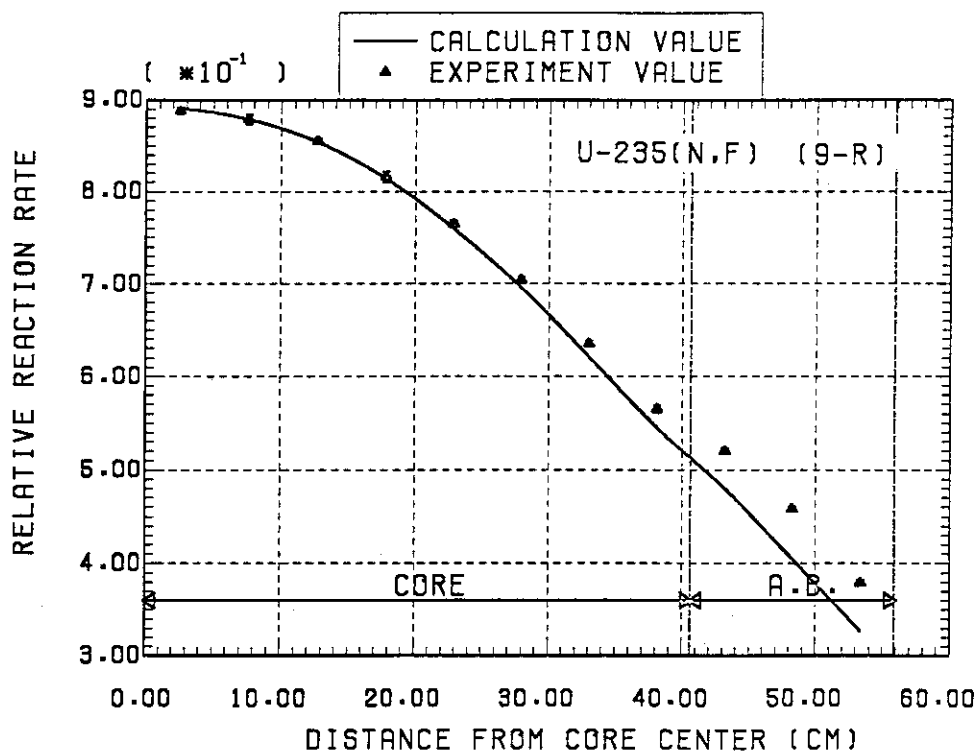


Fig. 4.28 Axial  $^{235}\text{U}$  (n,f) distribution at 9R in FCA Assembly XIII-1

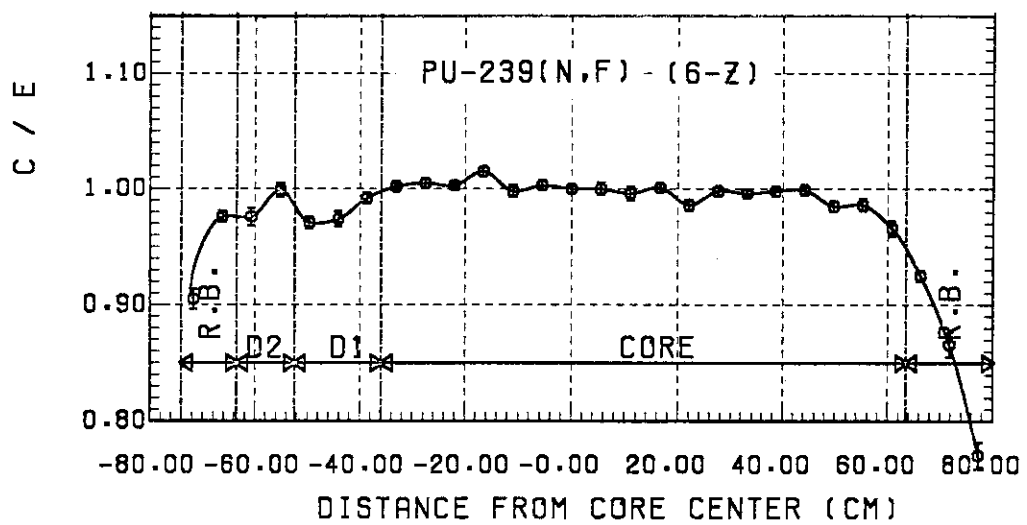
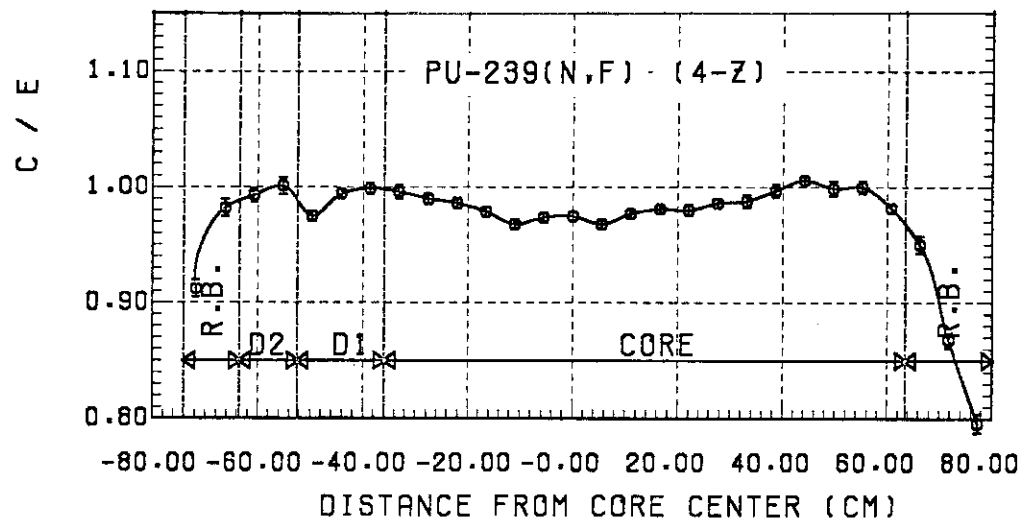
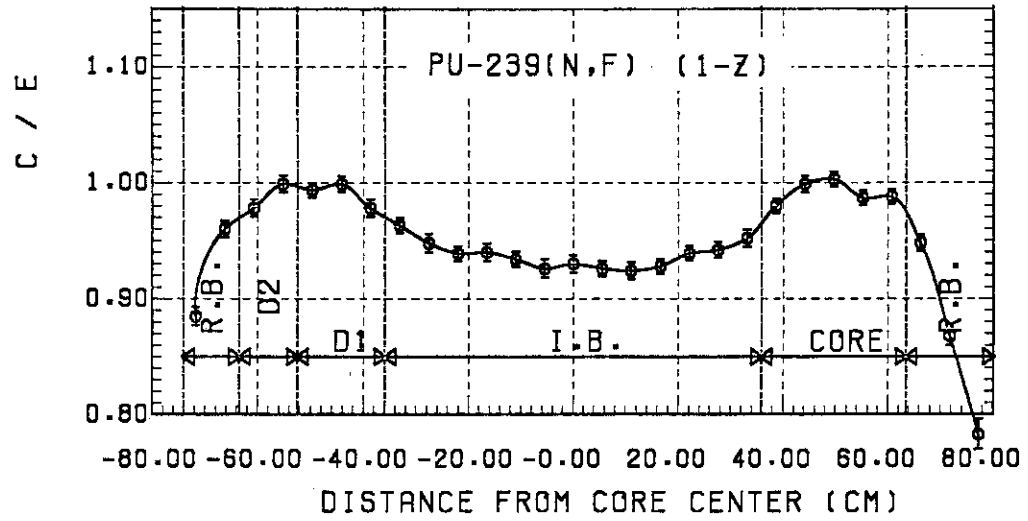


Fig. 4.29 C/E values of radial  $^{239}\text{Pu}$  (n,f) distribution at 1Z, 4Z and 6Z in FCA Assembly XIII-1

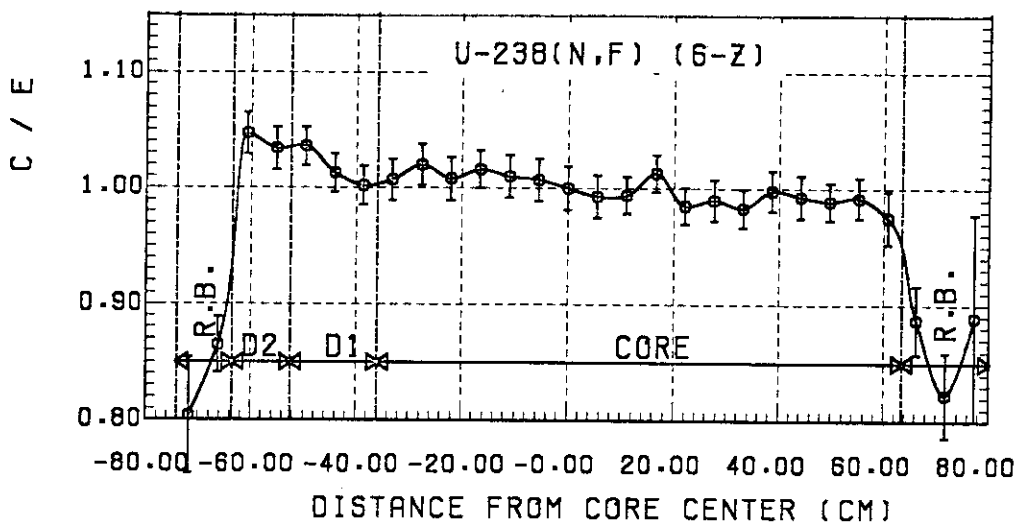
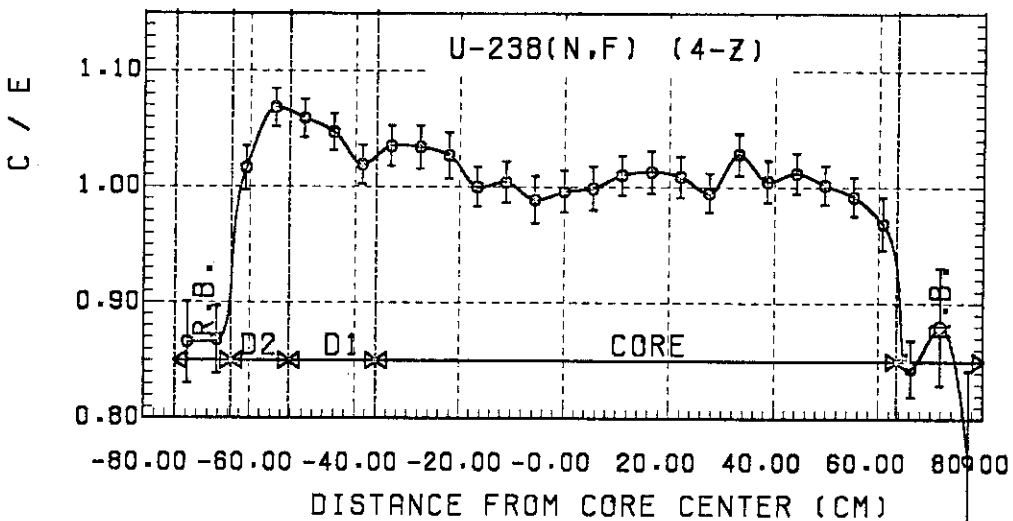
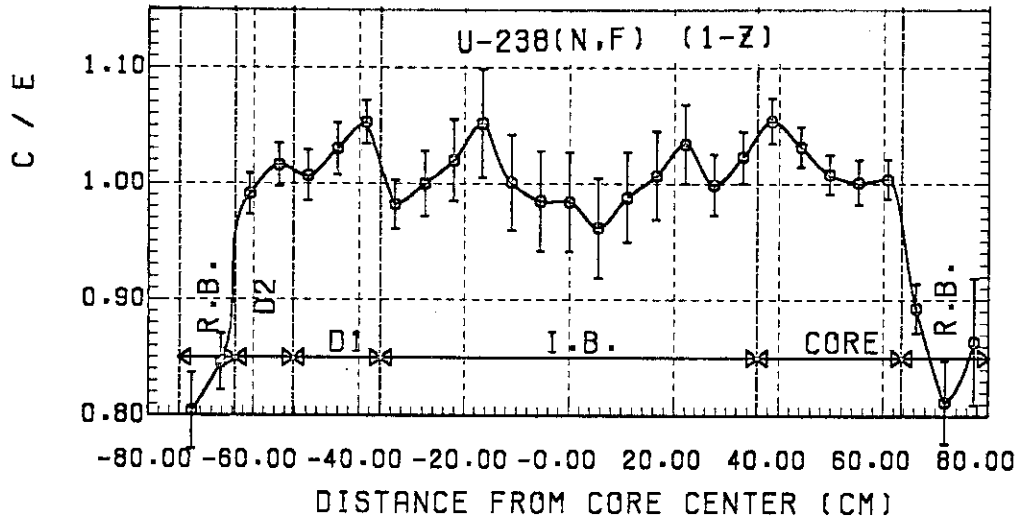


Fig. 4.30 C/E values of radial  $^{238}\text{U}$  (n,f) distribution at 1Z, 4Z and 6Z in FCA Assembly XIII-1



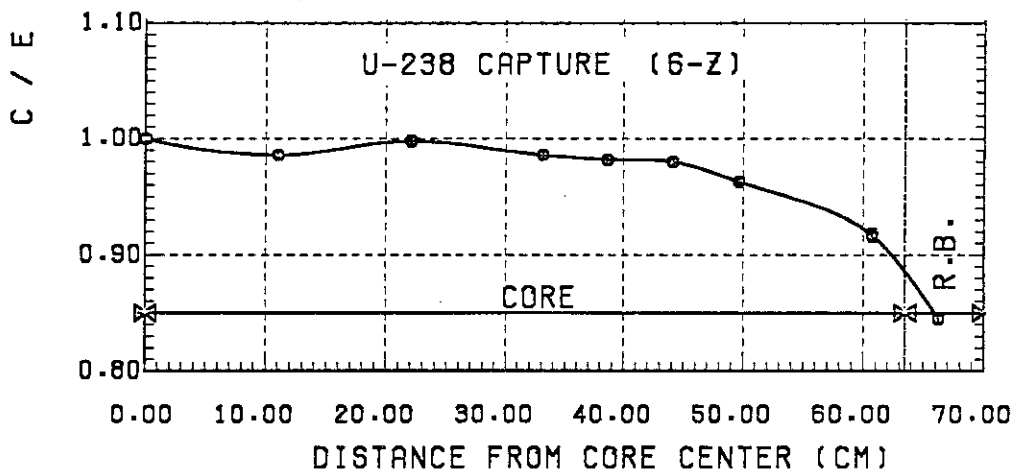
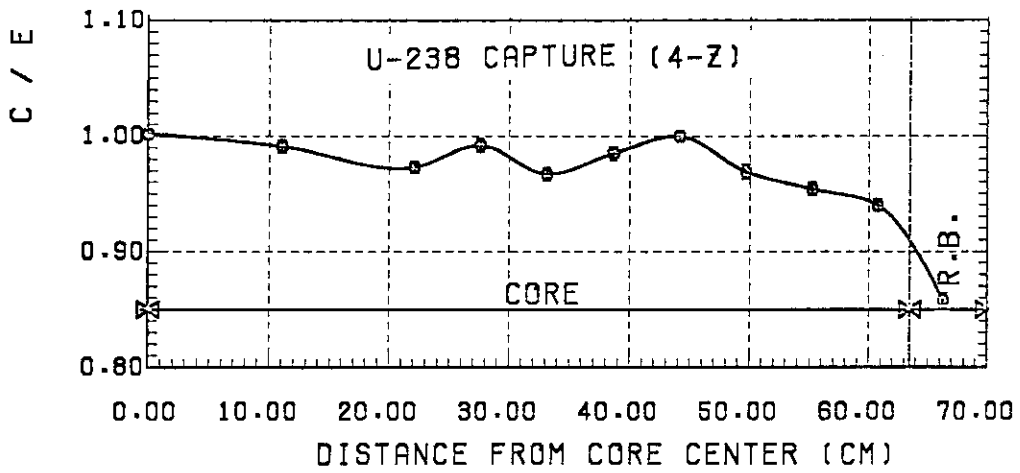
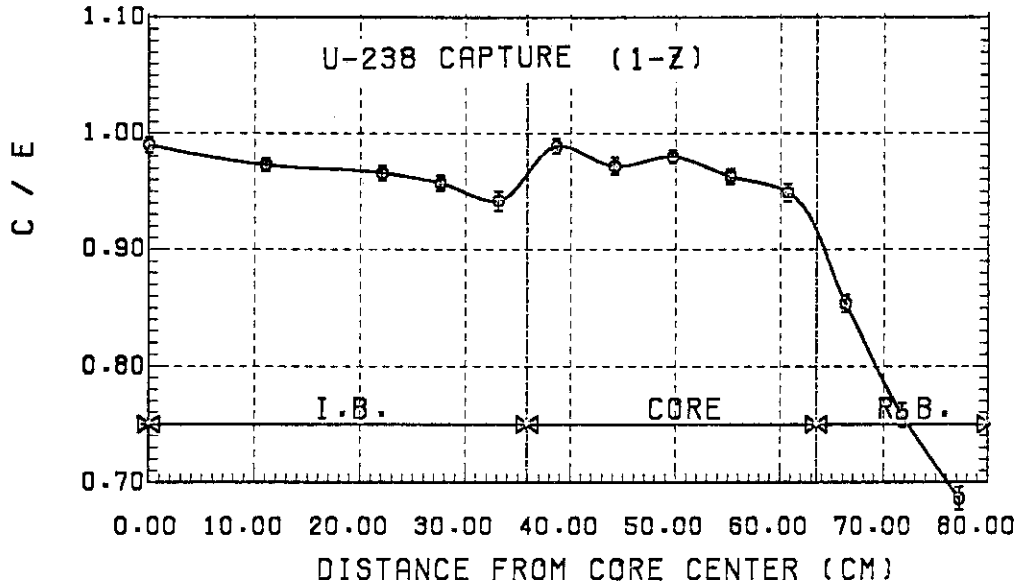


Fig. 4.31 C/E values of radial  $^{238}\text{U}$  ( $n, \gamma$ ) distribution at 1Z, 4Z and 6Z in FCA Assembly XIII-1

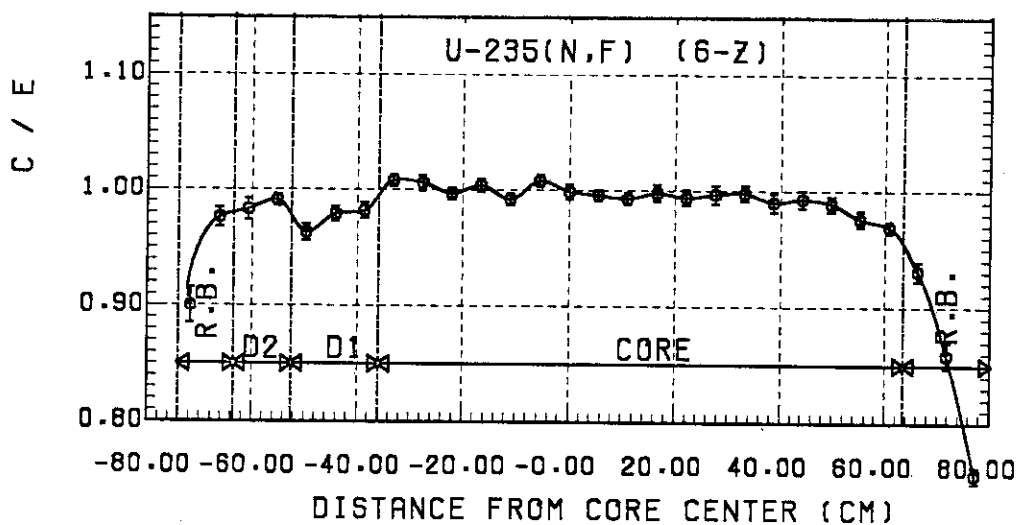
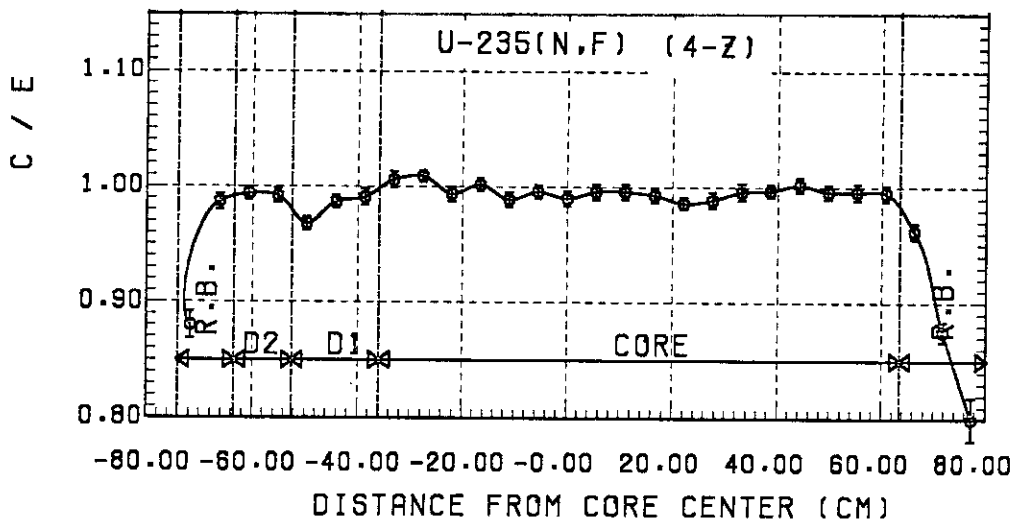
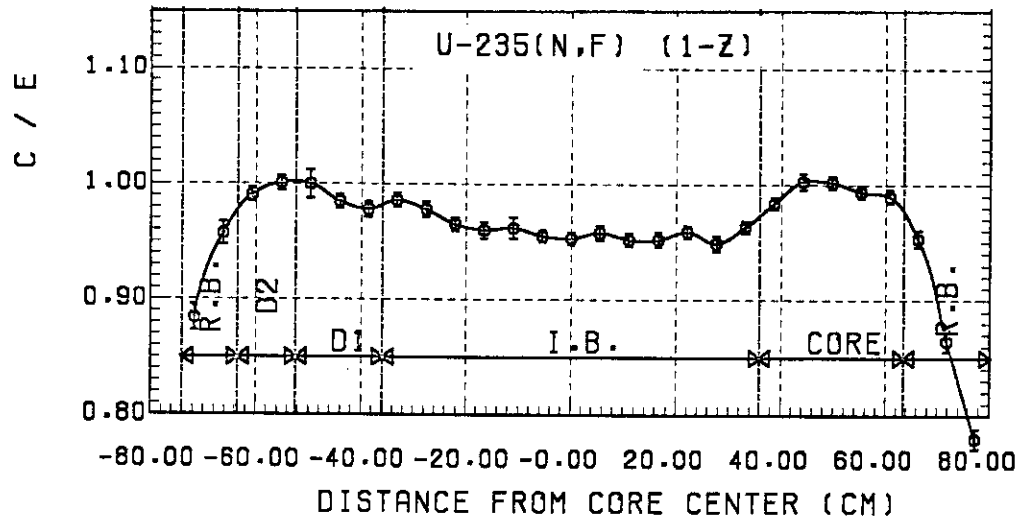


Fig. 4.32 C/E values of radial  $^{235}\text{U}$  (n,f) distribution at 1Z, 4Z and 6Z in FCA Assembly XIII-1

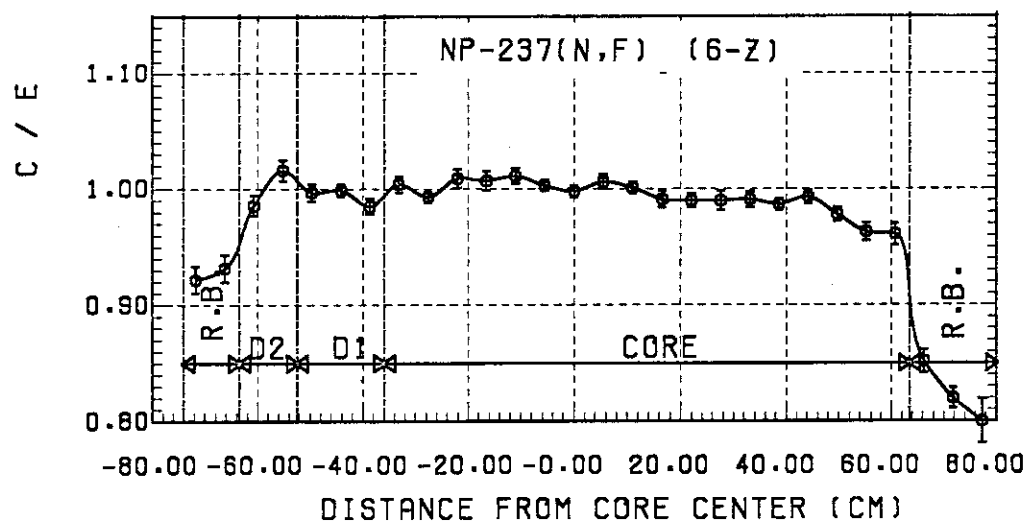
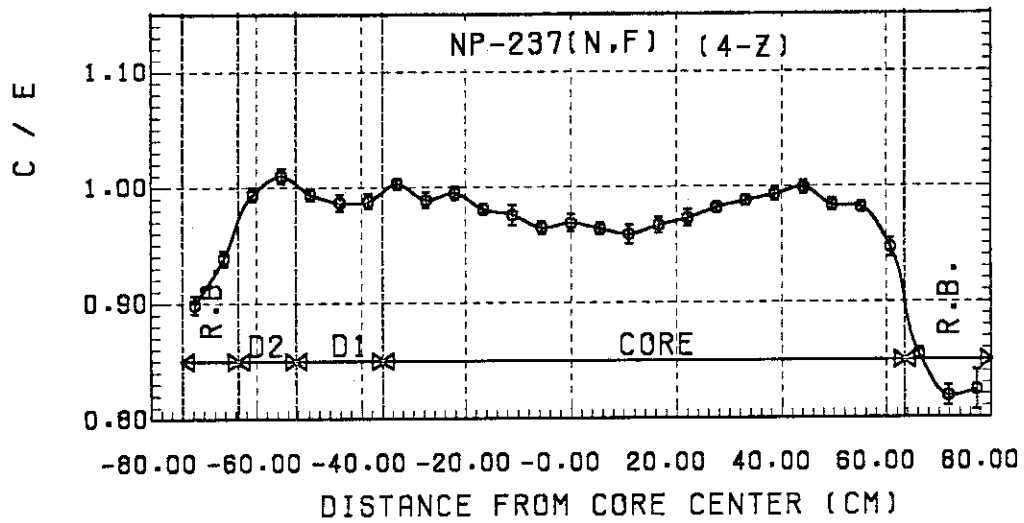
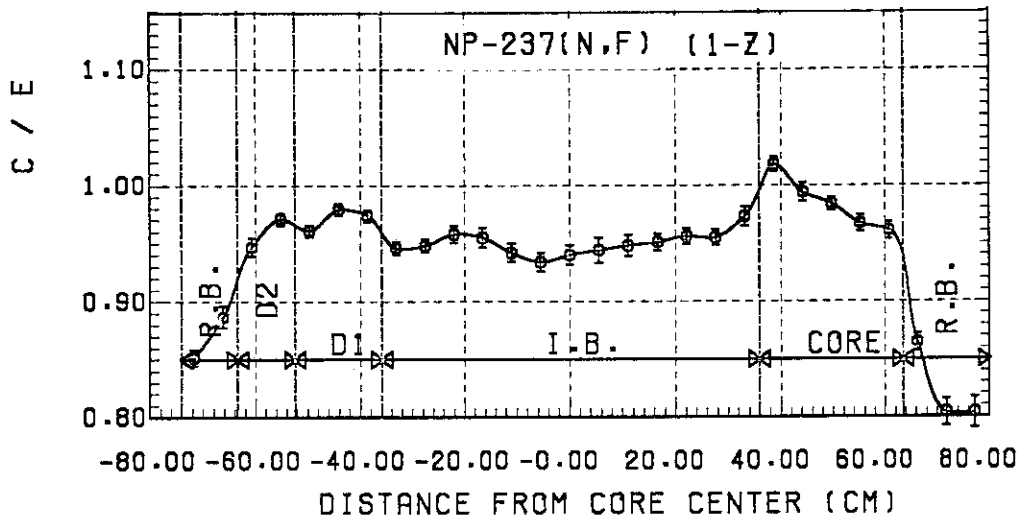


Fig. 4.33 C/E values of radial  $^{237}\text{Np}$  (n,f) distribution at 1Z, 4Z and 6Z in FCA Assembly XIII-1

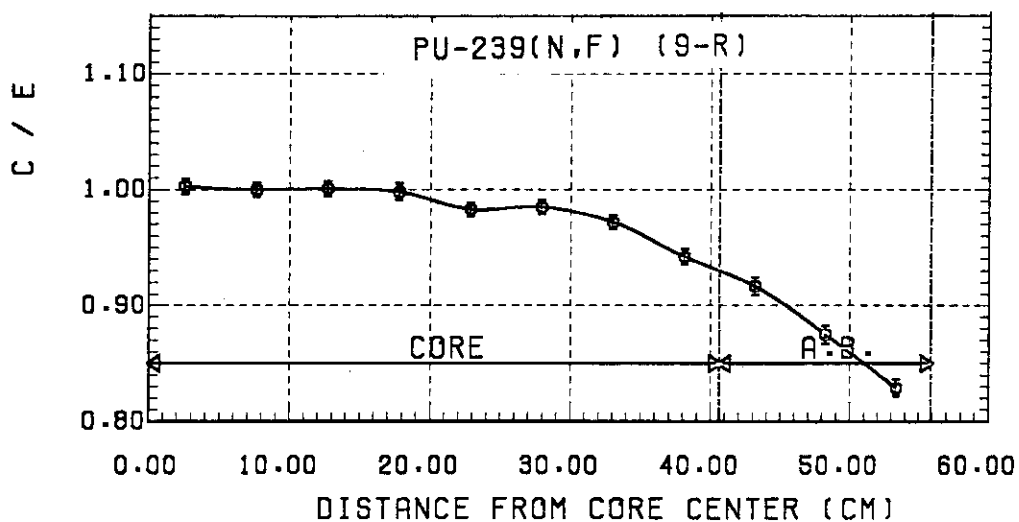
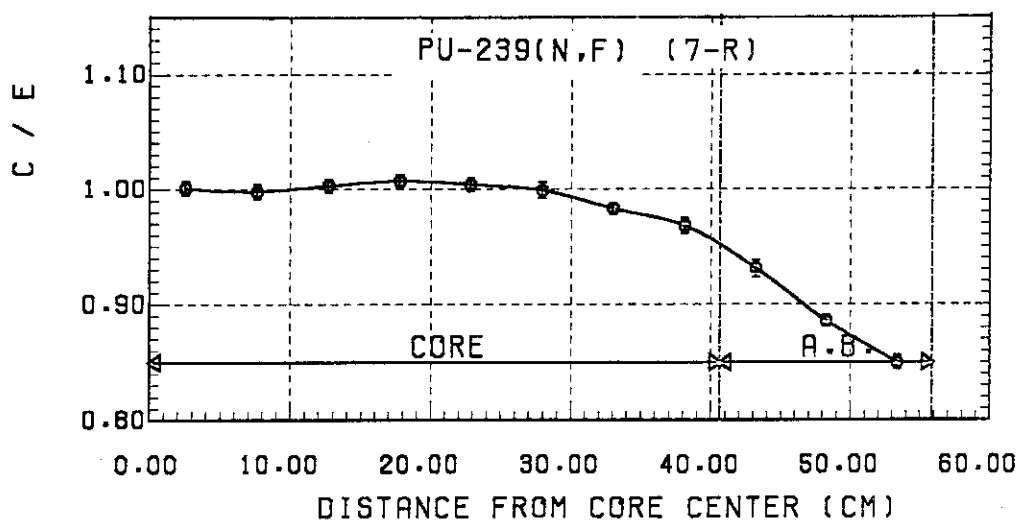
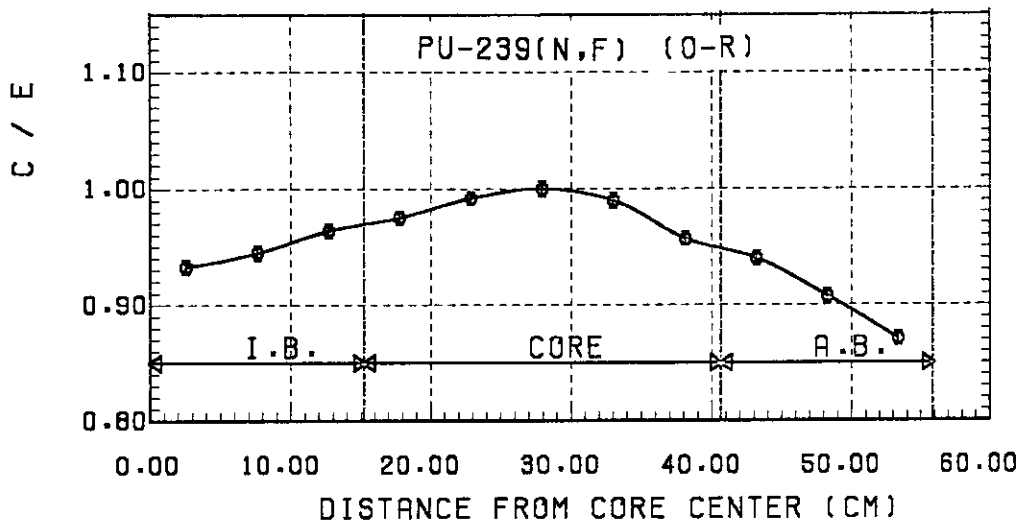


Fig. 4.34 C/E values of axial  $^{239}\text{Pu}$  (n,f) distribution at 0R, 7R and 9R in FCA Assembly XIII-1

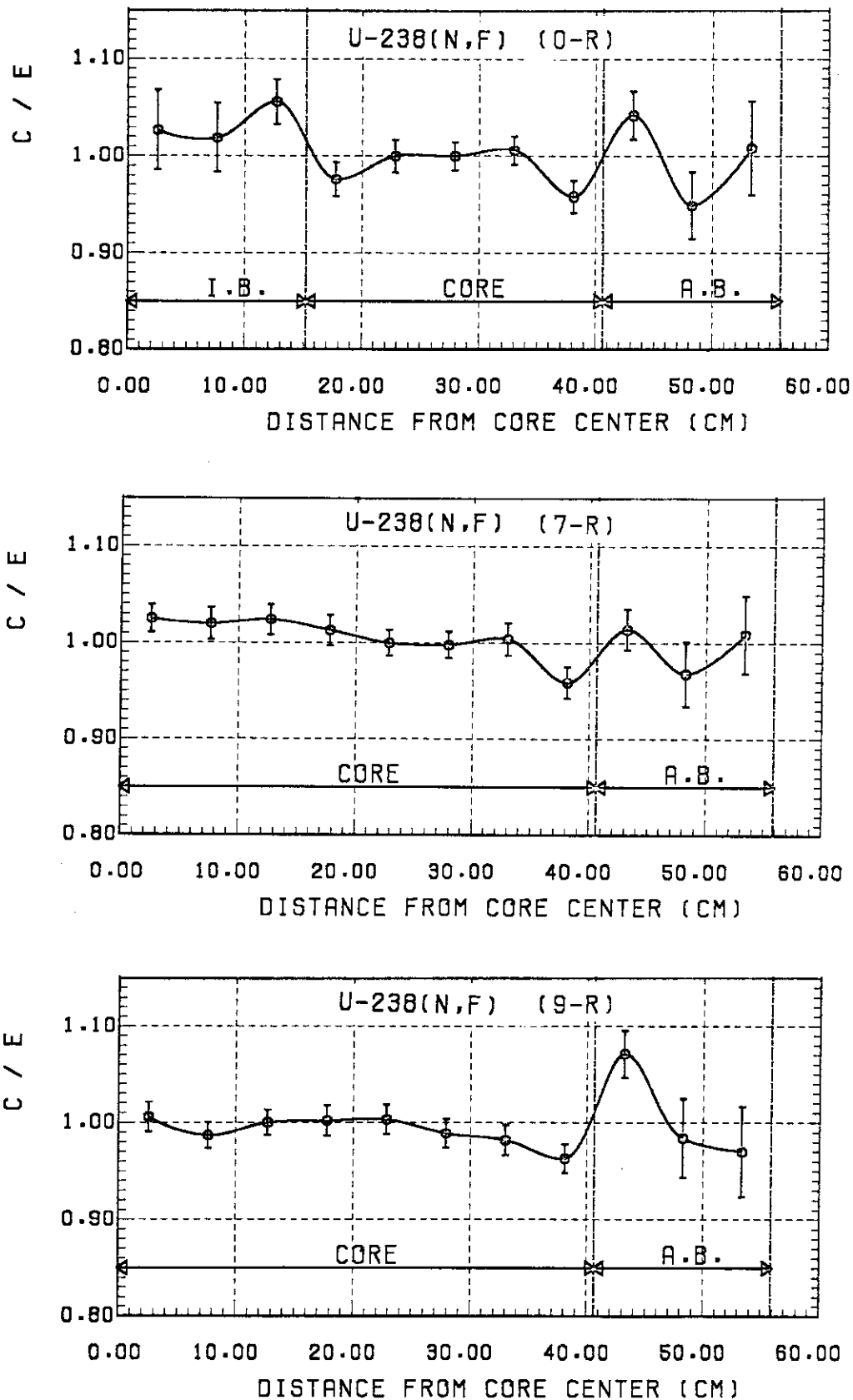


Fig. 4.35 C/E values of axial  $^{238}\text{U}$  (n,f) distribution at 0R, 7R and 9R in FCA Assembly XIII-1

Table 4.1 Effective atoms and isotopic compositions of fission counters

Counter name	Principal isotope	Effective number of fissile atoms	Isotopic composition (Atom %)
Enriched U	$^{235}\text{U}$	$3.04 \times 10^{17} \pm 2.0\%$	$^{234}\text{U}$ $0.95 \pm 0.01$
			$^{235}\text{U}$ $93.31 \pm 0.05$
Natural U	$^{238}\text{U}$	$4.16 \times 10^{18} \pm 2.0\%$	$^{235}\text{U}$ $0.7204 \pm 0.0007$
			$^{238}\text{U}$ $99.28$
Plutonium	$^{239}\text{Pu}$	$7.10 \times 10^{17} \pm 2.0\%$	$^{239}\text{Pu}$ $94.43 \pm 0.02$
			$^{240}\text{Pu}$ $5.22 \pm 0.02$
Neptunium	$^{237}\text{Np}$	$1.42 \times 10^{18} \pm 4.0\%$	$^{241}\text{Pu}$ $0.338 \pm 0.002$
			$^{242}\text{Pu}$ $\sim 0.013$
			$^{237}\text{Np}$ $\text{Pu}^*$ $0.506$

\* Isotopic composition of the Pu is not known.

Table 4.2 Radial Pu-239 fission rate distribution at 1Z and C/E in FCA Assembly XIII-1

Position (cm)	Distance	B.C.	T.C.	Corr.	Exp.	Error (%)	C/E
-13R	-71.76	0.193	0.938	0.181	0.205	0.78	0.885
-12R	-66.24	0.353	0.955	0.337	0.351	0.71	0.960
-11R	-60.72	0.567	0.967	0.549	0.561	0.76	0.978
-10R	-55.20	0.749	0.977	0.732	0.733	0.73	0.999
-9R	-49.68	0.914	0.984	0.900	0.905	0.63	0.994
-8R	-44.16	1.032	0.985	1.017	1.018	0.68	0.999
-7R	-38.64	1.113	0.981	1.091	1.115	0.76	0.978
-6R	-33.12	1.174	0.960	1.127	1.170	0.67	0.963
-5R	-27.60	1.210	0.955	1.155	1.219	0.80	0.948
-4R	-22.08	1.228	0.956	1.174	1.249	0.64	0.939
-3R	-16.56	1.233	0.955	1.178	1.254	0.76	0.940
-2R	-11.04	1.235	0.955	1.180	1.264	0.65	0.934
-1R	-5.52	1.236	0.955	1.181	1.275	0.79	0.926
0R	0.0	1.237	0.955	1.182	1.271	0.76	0.930
1R	5.52	1.240	0.956	1.185	1.281	0.67	0.926
2R	11.04	1.244	0.957	1.190	1.288	0.71	0.924
3R	16.56	1.244	0.957	1.191	1.283	0.63	0.928
4R	22.08	1.237	0.958	1.185	1.261	0.62	0.939
5R	27.60	1.217	0.956	1.164	1.236	0.67	0.942
6R	33.12	1.177	0.961	1.131	1.188	0.72	0.952
7R	38.64	1.090	0.986	1.075	1.097	0.67	0.980
8R	44.16	1.027	0.992	1.019	1.020	0.70	0.999
9R	49.68	0.928	0.992	0.921	0.918	0.65	1.003
10R	55.20	0.797	0.989	0.788	0.799	0.67	0.987
11R	60.72	0.639	0.980	0.627	0.634	0.64	0.988
12R	66.24	0.419	0.963	0.404	0.426	0.67	0.948
13R	71.76	0.233	0.944	0.220	0.253	0.79	0.868
14R	77.28	0.118	0.945	0.111	0.142	1.29	0.783

B.C. : Anisotropic Diffusion Calculation

T.C. : Transport Correction Factor

Corr. : Corrected Value

Normalization Point : 0R-6Z

Table 4.3 Radial Pu-239 fission rate distribution at 4Z and C/E in FCA Assembly XIII-1

Position (cm)	Distance	B.C.	T.C.	Corr.	Exp.	Error (%)	C/E
-13R	-71.76	0.173	0.941	0.163	0.178	0.74	0.912
-12R	-66.24	0.317	0.958	0.304	0.309	0.74	0.982
-11R	-60.72	0.510	0.973	0.496	0.499	0.60	0.993
-10R	-55.20	0.678	0.981	0.665	0.664	0.75	1.001
-9R	-49.68	0.833	0.988	0.822	0.843	0.46	0.975
-8R	-44.16	0.948	0.989	0.938	0.944	0.40	0.994
-7R	-38.64	1.028	0.988	1.016	1.017	0.47	0.999
-6R	-33.12	1.047	0.985	1.031	1.036	0.57	0.996
-5R	-27.60	1.068	0.983	1.050	1.060	0.47	0.990
-4R	-22.08	1.077	0.985	1.060	1.075	0.44	0.986
-3R	-16.56	1.079	0.986	1.064	1.088	0.42	0.979
-2R	-11.04	1.079	0.988	1.066	1.101	0.47	0.968
-1R	-5.52	1.080	0.989	1.068	1.096	0.44	0.974
0R	0.0	1.082	0.989	1.069	1.097	0.40	0.975
1R	5.52	1.086	0.988	1.073	1.109	0.40	0.968
2R	11.04	1.092	0.989	1.079	1.104	0.39	0.977
3R	16.56	1.096	0.988	1.083	1.104	0.38	0.981
4R	22.08	1.096	0.987	1.082	1.104	0.47	0.980
5R	27.60	1.088	0.987	1.073	1.088	0.43	0.986
6R	33.12	1.064	0.990	1.053	1.066	0.56	0.988
7R	38.64	1.018	0.994	1.012	1.015	0.56	0.997
8R	44.16	0.947	0.997	0.944	0.939	0.36	1.006
9R	49.68	0.847	0.996	0.844	0.845	0.66	0.999
10R	55.20	0.721	0.994	0.716	0.717	0.53	1.000
11R	60.72	0.575	0.984	0.566	0.576	0.41	0.982
12R	66.24	0.376	0.969	0.364	0.384	0.74	0.950
13R	71.76	0.208	0.951	0.198	0.228	0.66	0.868
14R	77.28	0.105	0.948	0.100	0.125	0.85	0.796

B.C. : Anisotropic Diffusion Calculation

T.C. : Transport Correction Factor

Corr. : Corrected Value

Normalization Point : 0R-6Z



Table 4.4 Radial Pu-239 fission rate distribution at 6Z and C/E in FCA Assembly XIII-1

Position --(cm)	Distance	B.C.	T.C.	Corr.	Exp.	Error (%)	C/E
-13R	-71.76	0.142	0.943	0.134	0.148	0.84	0.905
-12R	-66.24	0.262	0.961	0.251	0.258	0.50	0.976
-11R	-60.72	0.424	0.974	0.413	0.423	0.78	0.976
-10R	-55.20	0.568	0.984	0.559	0.560	0.59	0.999
-9R	-49.68	0.704	0.990	0.697	0.718	0.50	0.971
-8R	-44.16	0.809	0.992	0.803	0.824	0.64	0.974
-7R	-38.64	0.887	0.992	0.880	0.887	0.47	0.992
-6R	-33.12	0.918	0.995	0.914	0.911	0.45	1.002
-5R	-27.60	0.949	0.995	0.944	0.939	0.40	1.005
-4R	-22.08	0.969	0.996	0.966	0.963	0.28	1.003
-3R	-16.56	0.982	0.999	0.981	0.967	0.41	1.015
-2R	-11.04	0.990	0.999	0.989	0.992	0.53	0.998
-1R	-5.52	0.995	1.001	0.996	0.993	0.44	1.003
0R	0.0	1.000	1.000	1.000	1.000	0.00	1.000
1R	5.52	1.002	1.001	1.003	1.003	0.51	1.000
2R	11.04	1.002	1.000	1.002	1.006	0.57	0.996
3R	16.56	0.999	0.999	0.998	0.997	0.37	1.001
4R	22.08	0.989	0.998	0.987	1.001	0.47	0.986
5R	27.60	0.969	0.999	0.967	0.969	0.40	0.998
6R	33.12	0.935	0.999	0.934	0.938	0.38	0.996
7R	38.64	0.883	0.999	0.882	0.884	0.46	0.998
8R	44.16	0.810	1.001	0.811	0.812	0.45	0.999
9R	49.68	0.717	1.000	0.717	0.728	0.42	0.985
10R	55.20	0.605	0.998	0.604	0.612	0.49	0.986
11R	60.72	0.480	0.986	0.473	0.490	0.65	0.966
12R	66.24	0.312	0.972	0.303	0.328	0.44	0.925
13R	71.76	0.171	0.953	0.163	0.189	1.07	0.866
14R	77.28	0.086	0.958	0.082	0.107	1.15	0.770

B.C. : Anisotropic Diffusion Calculation

T.C. : Transport Correction Factor

Corr. : Corrected Value

Normalization Point : 0R-6Z

Fission rate per monitor fission at normalization point

are :  $3.883 \times 10^{-19}$  (  $\pm 2.9\%$  ) ( fission / (sec·atom) / monitor fission ).

Table 4.5 Radial U-238 fission rate distribution at 1Z and C/E in FCA Assembly XIII-1

Position (cm)	Distance	B.C.	T.C.	Corr.	Exp.	Error (%)	C/E
-13R	-71.76	0.070	0.820	0.057	0.071	3.32	0.804
-12R	-66.24	0.207	0.825	0.171	0.202	2.44	0.846
-11R	-60.72	0.538	0.914	0.491	0.496	1.81	0.991
-10R	-55.20	0.784	0.924	0.725	0.714	1.85	1.016
-9R	-49.68	0.992	0.933	0.926	0.919	2.18	1.007
-8R	-44.16	1.089	0.947	1.031	1.001	2.21	1.030
-7R	-38.64	1.049	0.959	1.006	0.955	1.89	1.053
-6R	-33.12	0.767	0.822	0.630	0.642	2.11	0.982
-5R	-27.60	0.581	0.805	0.468	0.468	2.80	1.000
-4R	-22.08	0.462	0.841	0.389	0.381	3.54	1.020
-3R	-16.56	0.392	0.848	0.332	0.316	4.69	1.052
-2R	-11.04	0.352	0.850	0.299	0.299	4.14	1.001
-1R	-5.52	0.332	0.848	0.281	0.286	4.32	0.985
0R	0.0	0.326	0.849	0.277	0.281	4.31	0.984
1R	5.52	0.333	0.851	0.283	0.294	4.30	0.962
2R	11.04	0.354	0.858	0.304	0.307	3.88	0.988
3R	16.56	0.394	0.863	0.340	0.337	3.82	1.007
4R	22.08	0.465	0.855	0.398	0.385	3.42	1.034
5R	27.60	0.583	0.822	0.480	0.480	2.61	0.999
6R	33.12	0.769	0.854	0.657	0.642	2.23	1.023
7R	38.64	0.991	0.982	0.974	0.924	1.92	1.054
8R	44.16	1.040	0.984	1.024	0.992	1.75	1.032
9R	49.68	0.967	0.973	0.941	0.934	1.69	1.008
10R	55.20	0.811	0.977	0.792	0.792	1.94	1.001
11R	60.72	0.591	0.962	0.568	0.566	1.69	1.004
12R	66.24	0.251	0.866	0.218	0.244	2.14	0.893
13R	71.76	0.084	0.847	0.071	0.088	3.58	0.812
14R	77.28	0.029	0.973	0.028	0.033	5.46	0.864

B.C. : Anisotropic Diffusion Calculation

T.C. : Transport Correction Factor

Corr. : Corrected Value

Normalization Point : 0R-6Z

Table 4.6 Radial U-238 fission rate distribution at 4Z and C/E in FCA Assembly XIII-1

Position (cm)	Distance	B.C.	T.C.	Corr.	Exp.	Error (%)	C/E
-13R	-71.76	0.063	0.856	0.054	0.062	3.53	0.866
-12R	-66.24	0.187	0.850	0.159	0.183	2.93	0.868
-11R	-60.72	0.485	0.944	0.458	0.451	1.87	1.016
-10R	-55.20	0.714	0.955	0.682	0.639	1.68	1.068
-9R	-49.68	0.915	0.964	0.883	0.833	1.65	1.059
-8R	-44.16	1.036	0.971	1.005	0.960	1.60	1.047
-7R	-38.64	1.083	0.967	1.047	1.027	1.66	1.019
-6R	-33.12	0.991	0.965	0.956	0.924	1.76	1.035
-5R	-27.60	0.943	0.966	0.911	0.881	1.86	1.034
-4R	-22.08	0.904	0.979	0.885	0.861	1.97	1.027
-3R	-16.56	0.877	0.987	0.866	0.866	1.70	1.000
-2R	-11.04	0.861	0.991	0.853	0.850	1.77	1.004
-1R	-5.52	0.853	0.992	0.846	0.855	2.04	0.989
0R	0.0	0.852	0.993	0.846	0.849	1.79	0.996
1R	5.52	0.856	0.994	0.851	0.852	1.88	0.999
2R	11.04	0.868	0.992	0.861	0.853	1.72	1.010
3R	16.56	0.887	0.990	0.878	0.867	1.83	1.013
4R	22.08	0.914	0.983	0.899	0.891	1.77	1.009
5R	27.60	0.952	0.972	0.925	0.929	1.67	0.995
6R	33.12	0.997	0.974	0.972	0.946	1.78	1.028
7R	38.64	1.031	0.973	1.003	0.999	1.77	1.005
8R	44.16	0.995	0.978	0.973	0.961	1.74	1.012
9R	49.68	0.893	0.976	0.872	0.870	1.69	1.002
10R	55.20	0.738	0.979	0.722	0.727	1.69	0.992
11R	60.72	0.533	0.966	0.515	0.532	2.29	0.969
12R	66.24	0.226	0.865	0.195	0.231	2.45	0.844
13R	71.76	0.076	0.857	0.065	0.074	5.06	0.880
14R	77.28	0.026	0.976	0.025	0.033	7.67	0.765

B.C. : Anisotropic Diffusion Calculation

T.C. : Transport Correction Factor

Corr. : Corrected Value

Normalization Point : 0R-6Z

Table 4.7 Radial U-238 fission rate distribution at 6Z and C/E in FCA Assembly XIII-1

Position -- (cm) --	Distance	B.C.	T.C.	Corr.	Exp.	Error (%)	C/E
-13R	-71.76	0.051	0.863	0.044	0.054	5.02	0.804
-12R	-66.24	0.152	0.857	0.130	0.150	2.40	0.865
-11R	-60.72	0.399	0.955	0.381	0.364	1.83	1.047
-10R	-55.20	0.589	0.967	0.570	0.551	1.86	1.034
-9R	-49.68	0.764	0.976	0.746	0.720	1.65	1.036
-8R	-44.16	0.884	0.978	0.864	0.854	1.63	1.013
-7R	-38.64	0.968	0.974	0.943	0.941	1.66	1.002
-6R	-33.12	0.961	0.982	0.944	0.937	1.76	1.007
-5R	-27.60	0.980	0.981	0.962	0.943	1.74	1.020
-4R	-22.08	0.989	0.985	0.975	0.967	1.86	1.008
-3R	-16.56	0.994	0.991	0.985	0.969	1.63	1.016
-2R	-11.04	0.995	0.997	0.992	0.982	1.80	1.010
-1R	-5.52	0.998	0.999	0.997	0.990	1.82	1.007
0R	0.0	1.000	1.000	1.000	1.000	0.00	1.000
1R	5.52	1.002	1.000	1.002	1.009	1.83	0.993
2R	11.04	1.004	0.997	1.002	1.008	1.58	0.994
3R	16.56	1.006	0.993	0.999	0.986	1.61	1.013
4R	22.08	1.003	0.987	0.990	1.005	1.58	0.985
5R	27.60	0.992	0.986	0.978	0.988	1.77	0.990
6R	33.12	0.969	0.988	0.958	0.974	1.63	0.983
7R	38.64	0.924	0.982	0.907	0.909	1.71	0.998
8R	44.16	0.850	0.986	0.838	0.844	1.84	0.993
9R	49.68	0.745	0.989	0.737	0.745	1.58	0.989
10R	55.20	0.608	0.991	0.603	0.607	1.72	0.992
11R	60.72	0.436	0.977	0.426	0.437	2.26	0.975
12R	66.24	0.184	0.876	0.161	0.182	2.96	0.887
13R	71.76	0.061	0.864	0.053	0.064	3.68	0.823
14R	77.28	0.021	0.952	0.020	0.022	8.87	0.889

B.C. : Anisotropic Diffusion Calculation

T.C. : Transport Correction Factor

Corr. : Corrected Value

Normalization Point : 0R-6Z

Fission rate per monitor fission at normalization point  
are :  $1.100 \times 10^{-20}$  (  $\pm 3.0\%$  ) ( fission / (sec·atom) / monitor fission ).

Table 4.8 Radial U-238 capture rate distribution at 1Z and C/E in FCA Assembly XIII-1

Position (cm)	Distance	B.C.	T.C.	Corr.	Exp.	Error (%)	C/E
0R	0.0	1.333	0.969	1.292	1.305	0.63	0.990
2R	11.04	1.340	0.970	1.300	1.336	0.54	0.973
4R	22.08	1.320	0.973	1.284	1.329	0.63	0.966
5R	27.60	1.279	0.975	1.247	1.303	0.63	0.957
6R	33.12	1.198	0.980	1.175	1.248	0.82	0.942
7R	38.64	1.107	0.988	1.094	1.106	0.63	0.989
8R	44.16	1.002	0.996	0.998	1.027	0.73	0.972
9R	49.68	0.893	0.996	0.890	0.908	0.54	0.980
10R	55.20	0.765	0.994	0.761	0.790	0.63	0.963
11R	60.72	0.616	0.988	0.609	0.642	0.73	0.949
12R	66.24	0.383	0.980	0.375	0.439	0.73	0.854
13R	71.76	0.221	0.964	0.213	0.281	1.02	0.758
14R	77.28	0.113	0.965	0.109	0.159	1.02	0.686

B.C. : Anisotropic Diffusion Calculation

T.C. : Transport Correction Factor

Corr. : Corrected Value

Normalization Point : 0R-6Z

Table 4.9 Radial U-238 capture rate distribution at 4Z and C/E in FCA Assembly XIII-1

Position (cm)	Distance	B.C.	T.C.	Corr.	Exp.	Error (%)	C/E
0R	0.0	1.163	0.989	1.150	1.142	0.45	1.007
2R	11.04	1.168	0.988	1.154	1.164	0.54	0.991
4R	22.08	1.151	0.990	1.139	1.171	0.45	0.973
5R	27.60	1.121	0.991	1.112	1.121	0.54	0.992
6R	33.12	1.070	0.995	1.065	1.101	0.54	0.967
7R	38.64	0.996	0.997	0.993	1.008	0.54	0.985
8R	44.16	0.912	1.000	0.912	0.912	0.45	1.000
9R	49.68	0.812	1.000	0.812	0.838	0.63	0.969
10R	55.20	0.693	0.996	0.691	0.724	0.54	0.954
11R	60.72	0.556	0.991	0.551	0.586	0.45	0.940
12R	66.24	0.344	0.981	0.338	0.394	0.63	0.858

B.C. : Anisotropic Diffusion Calculation

T.C. : Transport Correction Factor

Corr. : Corrected Value

Normalization Point : 0R-6Z

Table 4.10 Radial U-238 capture rate distribution at 6Z and C/E in FCA Assembly XIII-1

Position (cm)	Distance	B.C.	T.C.	Corr.	Exp.	Error (%)	C/E
0R	0.0	1.000	1.000	1.000	1.000	0.00	1.000
2R	11.04	1.001	0.999	1.000	1.014	0.28	0.986
4R	22.08	0.979	0.999	0.978	0.980	0.36	0.998
6R	33.12	0.913	1.001	0.914	0.927	0.36	0.986
7R	38.64	0.857	1.001	0.858	0.874	0.36	0.982
8R	44.16	0.784	1.002	0.786	0.802	0.36	0.980
9R	49.68	0.695	1.001	0.696	0.723	0.28	0.963
11R	60.72	0.471	0.991	0.466	0.508	0.54	0.917
12R	66.24	0.288	0.984	0.283	0.335	0.36	0.845

B.C. : Anisotropic Diffusion Calculation

T.C. : Transport Correction Factor

Corr. : Corrected Value

Normalization Point : 0R-6Z

Table 4.11 Radial U-235 fission rate distribution at 1Z and C/E in FCA Assembly XIII-1

Position (cm)	Distance	B.C.	T.C.	Corr.	Exp.	Error (%)	C/E
-13R	-71.76	0.186	0.948	0.176	0.199	1.11	0.884
-12R	-66.24	0.343	0.966	0.331	0.346	1.02	0.957
-11R	-60.72	0.551	0.975	0.537	0.541	0.56	0.991
-10R	-55.20	0.729	0.983	0.717	0.716	0.61	1.001
-9R	-49.68	0.893	0.988	0.882	0.882	1.23	1.000
-8R	-44.16	1.014	0.989	1.002	1.018	0.60	0.985
-7R	-38.64	1.103	0.983	1.084	1.109	0.68	0.978
-6R	-33.12	1.241	0.970	1.203	1.221	0.62	0.986
-5R	-27.60	1.307	0.965	1.261	1.289	0.67	0.978
-4R	-22.08	1.347	0.965	1.300	1.347	0.54	0.965
-3R	-16.56	1.369	0.964	1.319	1.374	0.68	0.960
-2R	-11.04	1.378	0.963	1.327	1.379	0.90	0.962
-1R	-5.52	1.384	0.963	1.333	1.396	0.49	0.955
0R	0.0	1.387	0.963	1.335	1.400	0.55	0.953
1R	5.52	1.388	0.964	1.337	1.396	0.64	0.958
2R	11.04	1.388	0.964	1.337	1.406	0.56	0.952
3R	16.56	1.377	0.965	1.328	1.396	0.63	0.952
4R	22.08	1.352	0.966	1.305	1.361	0.51	0.959
5R	27.60	1.303	0.967	1.260	1.328	0.64	0.949
6R	33.12	1.223	0.971	1.188	1.233	0.55	0.963
7R	38.64	1.102	0.985	1.086	1.103	0.54	0.984
8R	44.16	1.004	0.993	0.997	0.994	0.72	1.003
9R	49.68	0.897	0.993	0.891	0.889	0.58	1.002
10R	55.20	0.765	0.991	0.758	0.763	0.54	0.994
11R	60.72	0.612	0.986	0.603	0.609	0.60	0.990
12R	66.24	0.398	0.972	0.387	0.406	0.73	0.953
13R	71.76	0.221	0.948	0.209	0.242	0.90	0.865
14R	77.28	0.112	0.946	0.106	0.136	0.89	0.780

B.C. : Anisotropic Diffusion Calculation

T.C. : Transport Correction Factor

Corr. : Corrected Value

Normalization Point : 0R-6Z

Table 4.12 Radial U-235 fission rate distribution at 4Z and C/E in FCA Assembly XIII-1

Position (cm)	Distance	B.C.	T.C.	Corr.	Exp.	Error (%)	C/E
-13R	-71.76	0.166	0.945	0.157	0.178	1.17	0.880
-12R	-66.24	0.307	0.968	0.297	0.301	0.67	0.987
-11R	-60.72	0.495	0.973	0.482	0.485	0.55	0.994
-10R	-55.20	0.660	0.982	0.648	0.654	0.62	0.992
-9R	-49.68	0.812	0.989	0.803	0.829	0.56	0.968
-8R	-44.16	0.925	0.990	0.916	0.929	0.55	0.987
-7R	-38.64	1.004	0.988	0.993	1.002	0.70	0.991
-6R	-33.12	1.076	0.986	1.061	1.055	0.67	1.006
-5R	-27.60	1.109	0.984	1.091	1.081	0.50	1.009
-4R	-22.08	1.129	0.984	1.112	1.118	0.62	0.994
-3R	-16.56	1.141	0.985	1.124	1.122	0.56	1.002
-2R	-11.04	1.146	0.985	1.129	1.142	0.62	0.989
-1R	-5.52	1.151	0.985	1.133	1.138	0.59	0.996
0R	0.0	1.153	0.986	1.137	1.148	0.62	0.990
1R	5.52	1.156	0.986	1.140	1.145	0.67	0.996
2R	11.04	1.158	0.986	1.141	1.146	0.66	0.996
3R	16.56	1.154	0.986	1.137	1.146	0.58	0.993
4R	22.08	1.142	0.986	1.125	1.142	0.50	0.986
5R	27.60	1.115	0.987	1.100	1.112	0.67	0.989
6R	33.12	1.068	0.989	1.057	1.061	0.73	0.996
7R	38.64	1.000	0.993	0.993	0.996	0.55	0.997
8R	44.16	0.917	0.995	0.913	0.911	0.62	1.002
9R	49.68	0.816	0.996	0.813	0.816	0.61	0.996
10R	55.20	0.693	0.993	0.688	0.690	0.69	0.996
11R	60.72	0.552	0.986	0.544	0.547	0.69	0.995
12R	66.24	0.357	0.975	0.349	0.362	0.67	0.962
13R	71.76	0.197	0.958	0.189	0.216	0.86	0.875
14R	77.28	0.100	0.956	0.096	0.120	1.87	0.800

B.C. : Anisotropic Diffusion Calculation

T.C. : Transport Correction Factor

Corr. : Corrected Value

Normalization Point : 0R-6Z

Table 4.13 Radial U-235 fission rate distribution at 6Z and C/E in FCA Assembly XIII-1

Position (cm)	Distance	B.C.	T.C.	Corr.	Exp.	Error (%)	C/E
-13R	-71.76	0.137	0.952	0.131	0.145	1.51	0.900
-12R	-66.24	0.255	0.971	0.248	0.254	0.81	0.976
-11R	-60.72	0.414	0.978	0.405	0.412	0.94	0.983
-10R	-55.20	0.556	0.987	0.549	0.554	0.48	0.991
-9R	-49.68	0.688	0.992	0.683	0.709	0.69	0.963
-8R	-44.16	0.791	0.994	0.787	0.803	0.64	0.979
-7R	-38.64	0.864	0.995	0.859	0.875	0.67	0.982
-6R	-33.12	0.920	0.995	0.915	0.908	0.48	1.008
-5R	-27.60	0.947	0.995	0.942	0.936	0.63	1.006
-4R	-22.08	0.967	0.995	0.962	0.965	0.50	0.997
-3R	-16.56	0.981	0.997	0.978	0.974	0.56	1.004
-2R	-11.04	0.990	0.998	0.988	0.997	0.49	0.992
-1R	-5.52	0.997	0.999	0.996	0.988	0.53	1.008
0R	0.0	1.000	1.000	1.000	1.000	0.00	1.000
1R	5.52	1.002	0.999	1.002	1.006	0.47	0.996
2R	11.04	1.001	0.999	0.999	1.007	0.50	0.993
3R	16.56	0.995	0.998	0.993	0.995	0.70	0.998
4R	22.08	0.981	0.998	0.979	0.985	0.66	0.994
5R	27.60	0.956	0.998	0.954	0.957	0.80	0.997
6R	33.12	0.917	0.999	0.916	0.918	0.68	0.998
7R	38.64	0.861	0.999	0.860	0.869	0.81	0.990
8R	44.16	0.788	1.001	0.789	0.794	0.75	0.993
9R	49.68	0.696	1.000	0.696	0.704	0.65	0.989
10R	55.20	0.587	0.996	0.585	0.600	0.67	0.976
11R	60.72	0.464	0.989	0.459	0.474	0.52	0.969
12R	66.24	0.298	0.981	0.292	0.314	0.86	0.931
13R	71.76	0.164	0.961	0.158	0.184	1.11	0.859
14R	77.28	0.082	0.958	0.079	0.104	0.70	0.755

B.C. : Anisotropic Diffusion Calculation

T.C. : Transport Correction Factor

Corr. : Corrected Value

Normalization Point : 0R-6Z

Fission rate per monitor fission at normalization point  
are :  $4.030 \times 10^{-19}$  (  $\pm 2.2\%$  ) ( fission / (sec·atom) / monitor fission ).



Table 4.14 Radial Np-237 fission rate distribution at 1Z and C/E in FCA Assembly XIII-1

Position --(cm)--	Distance	B.C.	T.C.	Corr.	Exp.	Error (%)	C/E
-13R	-71.76	0.123	0.858	0.105	0.124	0.72	0.852
-12R	-66.24	0.274	0.876	0.240	0.270	0.95	0.887
-11R	-60.72	0.539	0.926	0.499	0.526	0.78	0.947
-10R	-55.20	0.756	0.937	0.708	0.729	0.51	0.971
-9R	-49.68	0.929	0.944	0.878	0.913	0.51	0.961
-8R	-44.16	1.022	0.955	0.976	0.997	0.50	0.979
-7R	-38.64	1.003	0.958	0.962	0.987	0.50	0.974
-6R	-33.12	0.813	0.869	0.707	0.748	0.55	0.946
-5R	-27.60	0.666	0.856	0.570	0.602	0.55	0.948
-4R	-22.08	0.564	0.875	0.493	0.515	0.72	0.958
-3R	-16.56	0.497	0.882	0.438	0.459	0.87	0.955
-2R	-11.04	0.457	0.883	0.403	0.428	0.79	0.942
-1R	-5.52	0.435	0.882	0.384	0.412	0.80	0.934
0R	0.0	0.430	0.885	0.380	0.405	0.83	0.940
1R	5.52	0.437	0.884	0.387	0.410	1.08	0.944
2R	11.04	0.461	0.887	0.409	0.431	0.91	0.948
3R	16.56	0.503	0.888	0.446	0.469	0.75	0.951
4R	22.08	0.572	0.883	0.505	0.528	0.67	0.956
5R	27.60	0.678	0.869	0.589	0.617	0.66	0.955
6R	33.12	0.831	0.887	0.737	0.757	0.82	0.973
7R	38.64	1.022	0.976	0.997	0.980	0.62	1.018
8R	44.16	1.051	0.982	1.032	1.038	0.81	0.994
9R	49.68	0.974	0.976	0.950	0.966	0.56	0.984
10R	55.20	0.824	0.975	0.803	0.831	0.69	0.967
11R	60.72	0.622	0.962	0.599	0.623	0.73	0.961
12R	66.24	0.333	0.906	0.302	0.349	0.77	0.865
13R	71.76	0.150	0.885	0.133	0.165	1.15	0.804
14R	77.28	0.065	0.917	0.060	0.074	1.31	0.804

B.C. : Anisotropic Diffusion Calculation

T.C. : Transport Correction Factor

Corr. : Corrected Value

Normalization Point : 0R-6Z

Table 4.15 Radial Np-237 fission rate distribution at 4Z and C/E in FCA Assembly XIII-1

Position (cm)	Distance	B.C.	T.C.	Corr.	Exp.	Error (%)	C/E
-13R	-71.76	0.109	0.881	0.096	0.107	0.76	0.899
-12R	-66.24	0.246	0.899	0.221	0.235	0.64	0.939
-11R	-60.72	0.485	0.950	0.461	0.464	0.58	0.994
-10R	-55.20	0.686	0.962	0.660	0.654	0.64	1.010
-9R	-49.68	0.855	0.970	0.829	0.834	0.54	0.994
-8R	-44.16	0.967	0.974	0.942	0.954	0.72	0.987
-7R	-38.64	1.019	0.972	0.990	1.002	0.65	0.988
-6R	-33.12	0.999	0.970	0.969	0.966	0.49	1.003
-5R	-27.60	0.966	0.969	0.936	0.947	0.69	0.989
-4R	-22.08	0.934	0.977	0.913	0.917	0.54	0.995
-3R	-16.56	0.909	0.983	0.893	0.911	0.48	0.981
-2R	-11.04	0.893	0.987	0.881	0.902	0.88	0.976
-1R	-5.52	0.884	0.988	0.873	0.905	0.54	0.965
0R	0.0	0.883	0.989	0.873	0.901	0.74	0.969
1R	5.52	0.888	0.989	0.878	0.911	0.54	0.964
2R	11.04	0.901	0.988	0.890	0.928	0.82	0.959
3R	16.56	0.920	0.985	0.906	0.937	0.71	0.967
4R	22.08	0.948	0.979	0.928	0.954	0.73	0.973
5R	27.60	0.983	0.973	0.956	0.974	0.44	0.982
6R	33.12	1.020	0.974	0.993	1.006	0.46	0.988
7R	38.64	1.041	0.978	1.017	1.025	0.55	0.993
8R	44.16	0.998	0.982	0.980	0.982	0.55	0.999
9R	49.68	0.897	0.981	0.880	0.894	0.53	0.984
10R	55.20	0.748	0.981	0.734	0.747	0.46	0.982
11R	60.72	0.561	0.967	0.542	0.572	0.79	0.947
12R	66.24	0.299	0.909	0.271	0.317	0.49	0.855
13R	71.76	0.134	0.893	0.119	0.146	0.88	0.819
14R	77.28	0.058	0.934	0.054	0.066	1.72	0.824

B.C. : Anisotropic Diffusion Calculation

T.C. : Transport Correction Factor

Corr. : Corrected Value

Normalization Point : 0R-6Z

Table 4.16 Radial  $\text{Np-237}$  fission rate distribution at 6Z and C/E in FCA Assembly XIII-1

Position (cm)	Distance	B.C.	T.C.	Corr.	Exp.	Error (%)	C/E
-13R	-71.76	0.089	0.886	0.079	0.086	1.14	0.922
-12R	-66.24	0.200	0.904	0.181	0.194	1.17	0.932
-11R	-60.72	0.398	0.957	0.380	0.386	0.90	0.986
-10R	-55.20	0.567	0.972	0.551	0.542	0.90	1.016
-9R	-49.68	0.714	0.978	0.698	0.700	0.73	0.997
-8R	-44.16	0.826	0.982	0.811	0.812	0.52	0.999
-7R	-38.64	0.906	0.978	0.887	0.900	0.68	0.985
-6R	-33.12	0.952	0.983	0.936	0.932	0.67	1.004
-5R	-27.60	0.977	0.984	0.962	0.969	0.48	0.993
-4R	-22.08	0.989	0.987	0.976	0.968	0.78	1.009
-3R	-16.56	0.994	0.992	0.986	0.979	0.84	1.007
-2R	-11.04	0.996	0.997	0.993	0.982	0.66	1.011
-1R	-5.52	0.998	0.998	0.996	0.993	0.47	1.003
0R	0.0	1.000	1.000	1.000	1.000	0.00	1.000
1R	5.52	1.002	0.999	1.001	0.995	0.61	1.006
2R	11.04	1.005	0.997	1.002	1.001	0.51	1.001
3R	16.56	1.007	0.995	1.001	1.010	0.70	0.991
4R	22.08	1.005	0.990	0.995	1.006	0.56	0.990
5R	27.60	0.995	0.989	0.984	0.994	0.80	0.990
6R	33.12	0.971	0.990	0.962	0.970	0.68	0.991
7R	38.64	0.927	0.986	0.914	0.926	0.50	0.987
8R	44.16	0.853	0.989	0.844	0.850	0.57	0.993
9R	49.68	0.749	0.990	0.742	0.758	0.64	0.978
10R	55.20	0.616	0.990	0.610	0.634	0.75	0.963
11R	60.72	0.458	0.976	0.447	0.465	0.90	0.961
12R	66.24	0.243	0.918	0.223	0.262	1.01	0.852
13R	71.76	0.109	0.898	0.098	0.119	0.89	0.820
14R	77.28	0.047	0.925	0.044	0.055	1.94	0.800

B.C. : Anisotropic Diffusion Calculation  
T.C. : Transport Correction Factor  
Corr. : Corrected Value  
Normalization Point : 0R-6Z

Fission rate per monitor fission at normalization point  
are :  $8.006 \times 10^{-20}$  (  $\pm 4.2\%$  ) ( fission / (sec  $\cdot$  atom) / monitor fission).

Table 4.17 Axial Pu-239 fission rate distribution at OR and C/E in FCA Assembly XIII-1

Position (cm)	Distance	B.C.	T.C.	Corr.	Exp.	Error (%)	C/E
1Z	2.54	1.236	0.954	1.180	1.264	0.57	0.933
2Z	7.62	1.221	0.957	1.168	1.236	0.60	0.945
3Z	12.70	1.185	0.965	1.144	1.186	0.55	0.964
4Z	17.78	1.081	0.987	1.067	1.094	0.57	0.975
5Z	22.86	1.051	0.999	1.050	1.058	0.50	0.992
6Z	27.94	1.000	1.000	1.000	1.000	0.00	1.000
7Z	33.02	0.917	0.998	0.915	0.924	0.64	0.990
8Z	38.10	0.813	0.988	0.803	0.839	0.54	0.957
9Z	43.18	0.740	0.965	0.714	0.760	0.60	0.940
10Z	48.26	0.628	0.956	0.600	0.661	0.58	0.908
11Z	53.34	0.511	0.956	0.488	0.561	0.59	0.871

B.C. : Anisotropic Diffusion Calculation

T.C. : Transport Correction Factor

Corr. : Corrected Value

Normalization Point : OR-6Z

Table 4.18 Axial Pu-239 fission rate distribution at 7R and C/E in FCA Assembly XIII-1

Position (cm)	Distance	B.C.	T.C.	Corr.	Exp.	Error (%)	C/E
1Z	2.54	1.090	0.985	1.073	1.072	0.60	1.001
2Z	7.62	1.079	0.986	1.064	1.066	0.60	0.998
3Z	12.70	1.056	0.991	1.046	1.043	0.54	1.003
4Z	17.78	1.018	0.993	1.011	1.004	0.54	1.007
5Z	22.86	0.961	0.998	0.959	0.955	0.57	1.004
6Z	27.94	0.883	1.000	0.883	0.884	0.68	0.999
7Z	33.02	0.785	0.999	0.784	0.797	0.49	0.983
8Z	38.10	0.676	0.991	0.670	0.692	0.64	0.968
9Z	43.18	0.596	0.971	0.579	0.621	0.75	0.931
10Z	48.26	0.494	0.963	0.476	0.537	0.50	0.886
11Z	53.34	0.395	0.963	0.380	0.447	0.60	0.850

B.C. : Anisotropic Diffusion Calculation

T.C. : Transport Correction Factor

Corr. : Corrected Value

Normalization Point : OR-6Z

Table 4.19 Axial Pu-239 fission rate distribution at 9R and C/E in FCA Assembly XIII-I

Position (cm)	Distance	B.C.	T.C.	Corr.	Exp.	Error (%)	C/E
1Z	2.54	0.928	0.992	0.920	0.918	0.64	1.003
2Z	7.62	0.915	0.994	0.909	0.909	0.59	1.000
3Z	12.70	0.888	0.995	0.884	0.883	0.62	1.001
4Z	17.78	0.847	0.996	0.844	0.845	0.70	0.998
5Z	22.86	0.790	0.997	0.788	0.802	0.58	0.983
6Z	27.94	0.717	1.000	0.717	0.728	0.60	0.985
7Z	33.02	0.631	1.000	0.631	0.649	0.58	0.972
8Z	38.10	0.538	0.992	0.533	0.566	0.66	0.942
9Z	43.18	0.468	0.973	0.455	0.496	0.76	0.917
10Z	48.26	0.384	0.963	0.369	0.422	0.76	0.875
11Z	53.34	0.303	0.965	0.292	0.352	0.73	0.829

B.C. : Anisotropic Diffusion Calculation

T.C. : Transport Correction Factor

Corr. : Corrected Value

Normalization Point : OR-6Z

Table 4.20 Axial U-238 fission rate distribution at OR and C/E in FCA Assembly XIII-I

Position (cm)	Distance	B.C.	T.C.	Corr.	Exp.	Error (%)	C/E
1Z	2.54	0.324	0.850	0.275	0.268	4.09	1.027
2Z	7.62	0.400	0.838	0.335	0.329	3.57	1.019
3Z	12.70	0.580	0.905	0.525	0.497	2.30	1.056
4Z	17.78	0.856	0.994	0.851	0.872	1.78	0.976
5Z	22.86	0.994	1.010	1.004	1.004	1.68	1.000
6Z	27.94	1.000	1.000	1.000	1.000	0.00	1.000
7Z	33.02	0.902	0.996	0.898	0.893	1.46	1.006
8Z	38.10	0.704	0.973	0.685	0.715	1.66	0.958
9Z	43.18	0.437	0.882	0.385	0.370	2.44	1.042
10Z	48.26	0.251	0.806	0.202	0.213	3.44	0.949
11Z	53.34	0.145	0.821	0.119	0.118	4.86	1.008

B.C. : Anisotropic Diffusion Calculation

T.C. : Transport Correction Factor

Corr. : Corrected Value

Normalization Point : OR-6Z

Table 4.21 Axial U-238 fission rate distribution at 7R and C/E in FCA Assembly XIII-1

Position (cm)	Distance	B.C.	T.C.	Corr.	Exp.	Error (%)	C/E
1Z	2.54	0.984	0.986	0.970	0.946	1.43	1.025
2Z	7.62	0.991	0.981	0.973	0.954	1.64	1.020
3Z	12.70	1.010	0.987	0.996	0.974	1.56	1.024
4Z	17.78	1.030	0.972	1.001	0.988	1.60	1.013
5Z	22.86	1.004	0.980	0.984	0.984	1.38	1.000
6Z	27.94	0.924	0.982	0.907	0.909	1.37	0.998
7Z	33.02	0.791	0.990	0.783	0.780	1.69	1.004
8Z	38.10	0.599	0.973	0.583	0.607	1.65	0.959
9Z	43.18	0.364	0.884	0.322	0.317	2.11	1.014
10Z	48.26	0.205	0.815	0.167	0.173	3.37	0.968
11Z	53.34	0.116	0.843	0.098	0.097	4.00	1.009

B.C. : Anisotropic Diffusion Calculation  
T.C. : Transport Correction Factor  
Corr. : Corrected Value  
Normalization Point : OR-6Z

Table 4.22 Axial U-238 fission rate distribution at 9R and C/E in FCA Assembly XIII-1

Position (cm)	Distance	B.C.	T.C.	Corr.	Exp.	Error (%)	C/E
1Z	2.54	0.967	0.972	0.940	0.934	1.52	1.006
2Z	7.62	0.956	0.976	0.933	0.945	1.35	0.987
3Z	12.70	0.933	0.979	0.913	0.913	1.31	1.000
4Z	17.78	0.893	0.976	0.872	0.870	1.56	1.002
5Z	22.86	0.832	0.979	0.815	0.812	1.50	1.003
6Z	27.94	0.745	0.989	0.737	0.745	1.48	0.989
7Z	33.02	0.627	0.998	0.626	0.638	1.57	0.982
8Z	38.10	0.469	0.983	0.461	0.479	1.48	0.963
9Z	43.18	0.282	0.893	0.252	0.235	2.45	1.071
10Z	48.26	0.157	0.830	0.131	0.133	4.05	0.984
11Z	53.34	0.089	0.864	0.077	0.079	4.66	0.970

B.C. : Anisotropic Diffusion Calculation  
T.C. : Transport Correction Factor  
Corr. : Corrected Value  
Normalization Point : OR-6Z

Table 4.23 Axial U-235 fission rate distribution at OR and C/E in FCA Assembly XIII-1

Position (cm)	Distance	B.C.	T.C.	Corr.	Exp.	Error (%)	C/E
1Z	2.54	1.387	0.964	1.337	1.382	0.47	0.968
2Z	7.62	1.355	0.966	1.309	1.345	0.47	0.974
3Z	12.70	1.281	0.972	1.245	1.262	0.59	0.987
4Z	17.78	1.152	0.987	1.137	1.137	0.51	1.000
5Z	22.86	1.071	0.996	1.067	1.068	0.39	0.999
6Z	27.94	1.000	1.000	1.000	1.000	0.00	1.000
7Z	33.02	0.921	0.998	0.919	0.922	0.67	0.997
8Z	38.10	0.842	0.989	0.833	0.848	0.63	0.982
9Z	43.18	0.781	0.975	0.761	0.798	0.63	0.954
10Z	48.26	0.684	0.967	0.661	0.707	0.49	0.936
11Z	53.34	0.568	0.965	0.548	0.614	0.56	0.893

B.C. : Anisotropic Diffusion Calculation  
T.C. : Transport Correction Factor  
Corr. : Corrected Value  
Normalization Point : OR-6Z

Table 4.24 Axial U-235 fission rate distribution at 7R and C/E in FCA Assembly XIII-1

Position (cm)	Distance	B.C.	T.C.	Corr.	Exp.	Error (%)	C/E
1Z	2.54	1.104	0.984	1.086	1.099	0.54	0.988
2Z	7.62	1.087	0.985	1.071	1.078	0.48	0.993
3Z	12.70	1.054	0.989	1.042	1.045	0.57	0.997
4Z	17.78	1.000	0.995	0.995	0.989	0.52	1.006
5Z	22.86	0.937	0.998	0.935	0.932	0.47	1.003
6Z	27.94	0.861	1.000	0.861	0.869	0.47	0.991
7Z	33.02	0.776	0.999	0.775	0.788	0.48	0.983
8Z	38.10	0.691	0.991	0.685	0.720	0.53	0.953
9Z	43.18	0.625	0.977	0.611	0.647	0.47	0.943
10Z	48.26	0.536	0.970	0.520	0.578	0.59	0.901
11Z	53.34	0.438	0.971	0.426	0.486	0.45	0.876

B.C. : Anisotropic Diffusion Calculation  
T.C. : Transport Correction Factor  
Corr. : Corrected Value  
Normalization Point : OR-6Z

Table 4.25 Axial U-235 fission rate distribution at 9R and C/E in FCA Assembly XIII-1

Position (cm)	Distance	B.C.	T.C.	Corr.	Exp.	Error (%)	C/E
1Z	2.54	0.897	0.993	0.891	0.888	0.37	1.003
2Z	7.62	0.884	0.994	0.879	0.879	0.61	1.000
3Z	12.70	0.857	0.996	0.854	0.855	0.39	0.998
4Z	17.78	0.816	0.997	0.814	0.816	0.72	0.997
5Z	22.86	0.762	0.997	0.760	0.765	0.46	0.994
6Z	27.94	0.696	1.000	0.696	0.704	0.47	0.989
7Z	33.02	0.622	0.999	0.621	0.635	0.51	0.978
8Z	38.10	0.549	0.992	0.545	0.565	0.70	0.964
9Z	43.18	0.490	0.979	0.480	0.520	0.56	0.923
10Z	48.26	0.416	0.972	0.405	0.458	0.55	0.884
11Z	53.34	0.335	0.974	0.327	0.379	0.78	0.861

B.C. : Anisotropic Diffusion Calculation

T.C. : Transport Correction Factor

Corr. : Corrected Value

Normalization Point : OR-6Z

Table 4.26 Axial Np-237 fission rate distribution at OR and C/E in FCA Assembly XIII-1

Position (cm)	Distance	B.C.	T.C.	Corr.	Exp.	Error (%)	C/E
1Z	2.54	0.428	0.887	0.379	0.391	0.86	0.970
2Z	7.62	0.496	0.885	0.439	0.445	1.10	0.986
3Z	12.70	0.648	0.926	0.600	0.594	0.82	1.010
4Z	17.78	0.887	0.991	0.879	0.881	0.80	0.998
5Z	22.86	1.000	1.005	1.005	1.005	0.80	1.000
6Z	27.94	1.000	1.000	1.000	1.000	0.00	1.000
7Z	33.02	0.905	0.996	0.901	0.914	0.81	0.986
8Z	38.10	0.725	0.977	0.708	0.734	0.81	0.965
9Z	43.18	0.470	0.909	0.427	0.451	0.74	0.948
10Z	48.26	0.295	0.862	0.254	0.284	1.10	0.895
11Z	53.34	0.184	0.870	0.160	0.182	0.91	0.880

B.C. : Anisotropic Diffusion Calculation

T.C. : Transport Correction Factor

Corr. : Corrected Value

Normalization Point : OR-6Z



Table 4.27 Axial Np-237 fission rate distribution at 7R and C/E in FCA Assembly XIII-1

Position (cm)	Distance	B.C.	T.C.	Corr.	Exp.	Error (%)	C/E
1Z	2.54	1.015	0.980	0.994	0.999	0.76	0.995
2Z	7.62	1.021	0.979	0.999	0.996	0.75	1.003
3Z	12.70	1.033	0.983	1.015	1.022	0.81	0.993
4Z	17.78	1.042	0.977	1.018	1.044	0.81	0.976
5Z	22.86	1.009	0.985	0.993	1.007	0.80	0.986
6Z	27.94	0.927	0.986	0.914	0.926	0.92	0.988
7Z	33.02	0.797	0.990	0.789	0.827	0.89	0.954
8Z	38.10	0.617	0.976	0.603	0.648	0.74	0.930
9Z	43.18	0.392	0.913	0.358	0.394	0.90	0.909
10Z	48.26	0.241	0.870	0.210	0.239	1.20	0.878
11Z	53.34	0.147	0.882	0.130	0.147	1.61	0.883

B.C. : Anisotropic Diffusion Calculation  
T.C. : Transport Correction Factor  
Corr. : Corrected Value  
Normalization Point : OR-6Z

Table 4.28 Axial Np-237 fission rate distribution at 9R and C/E in FCA Assembly XIII-1

Position (cm)	Distance	B.C.	T.C.	Corr.	Exp.	Error (%)	C/E
1Z	2.54	0.974	0.976	0.950	0.966	0.89	0.984
2Z	7.62	0.962	0.980	0.943	0.947	0.87	0.995
3Z	12.70	0.938	0.982	0.921	0.933	0.80	0.987
4Z	17.78	0.897	0.981	0.880	0.894	1.05	0.985
5Z	22.86	0.836	0.984	0.823	0.841	0.81	0.978
6Z	27.94	0.749	0.990	0.742	0.758	0.87	0.978
7Z	33.02	0.634	0.996	0.631	0.643	0.80	0.982
8Z	38.10	0.485	0.984	0.478	0.506	1.21	0.943
9Z	43.18	0.305	0.918	0.280	0.304	1.17	0.920
10Z	48.26	0.187	0.879	0.164	0.185	1.15	0.887
11Z	53.34	0.113	0.898	0.102	0.111	1.45	0.912

B.C. : Anisotropic Diffusion Calculation  
T.C. : Transport Correction Factor  
Corr. : Corrected Value  
Normalization Point : OR-6Z

Table 4.29 Fission rate ratios by micro fission counters at 1Z of FCA Assembly XIII-1

R-position	$^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$	$^{237}\text{Np}/^{235}\text{U}$	$^{239}\text{Pu}/^{235}\text{U}$
Pos. 0	0.005417 ± 6.3%	0.05767 ± 5.0%	0.8700 ± 3.3%
Fine structure			
Pos. -0.5	1.009	1.022	1.011
Pos. -0.25	1.032	1.034	1.012
Pos. 0	1.000	1.000	1.000
Pos. 0.25	0.9767	1.015	1.002
Pos. 0.5	1.032	1.022	1.016
Cell averaged	0.005457 ± 6.6%	0.05869 ± 5.0%	0.8761 ± 3.3%
Pos. 6.0	0.01413 ± 4.1%	0.1213 ± 4.8%	0.9161 ± 3.3%
Fine structure			
Pos. 5.5	0.8240	0.8842	0.9877
Pos. 5.75	0.8879	0.9286	0.9874
Pos. 6.0	1.000	1.000	1.000
Pos. 6.25	1.119	1.117	1.009
Pos. 6.5	1.324	1.232	1.014
Cell averaged	0.01442 ± 4.2%	0.1244 ± 4.8%	0.9155 ± 3.3%
Pos. 7.0*	0.02269 ± 4.0%	0.1763 ± 4.9%	0.9478 ± 3.4%
Fine structure			
Pos. 6.5	0.8219	0.8514	0.9819
Pos. 6.75	0.8938	0.9229	0.9872
Pos. 7.0	1.000	1.000	1.000
Pos. 7.25	1.083	1.064	1.010
Pos. 7.5	1.134	1.111	1.013
Cell averaged	0.02243 ± 4.1%	0.1749 ± 4.9%	0.9465 ± 3.4%

\* Estimated from distribution experiment.

Table 4.30 Fission rate ratios by micro fission counters at 4Z and 6Z of FCA Assembly XIII-1

( Z-Position : 4Z )

R-position	$^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$	$^{237}\text{Np}/^{235}\text{U}$	$^{239}\text{Pu}/^{235}\text{U}$
Pos. 0	$0.02027 \pm 3.8\%$	$0.1549 \pm 4.9\%$	$0.9104 \pm 3.6\%$
Fine structure			
Pos. -0.5	1.029	1.019	1.000
Pos. -0.25	0.9918	1.013	1.011
Pos. 0.0	1.000	1.000	1.000
Pos. 0.25	1.010	1.002	0.9953
Pos. 0.5	1.012	0.9950	0.9889
Cell averaged	$0.02038 \pm 3.8\%$	$0.1558 \pm 4.9\%$	$0.9106 \pm 3.6\%$

( Z-Position : 6Z )

R-position	$^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$	$^{237}\text{Np}/^{235}\text{U}$	$^{239}\text{Pu}/^{235}\text{U}$
Pos. 0	$0.02728 \pm 3.7\%$	$0.1987 \pm 4.8\%$	$0.9635 \pm 3.7\%$
Fine structure			
Pos. -0.5	1.020	1.017	1.008
Pos. -0.25	0.9979	1.002	0.9981
Pos. 0.0	1.000	1.000	1.000
Pos. 0.25	1.015	1.022	1.007
Pos. 0.5	1.015	0.9926	0.9972
Cell averaged	$0.02749 \pm 3.8\%$	$0.2001 \pm 4.8\%$	$0.9654 \pm 3.7\%$

Table 4.31 Reaction rate ratios in radial direction of FCA Assembly XIII-1

R. R. ratio	Region	Position		Experiment	Calculation			C/E
		R-cm	Z-cm		Base calc.	T. C.	Corrected	
F28/F25	IB	(OR-1Z)	0.00 2.54	0.005457 ± 6.6%	0.00670	0.911	0.00610	1.12
		(6R-1Z)	33.12 2.54		0.0180	0.908	0.0164	1.14
	Core	(7R-1Z)	38.64 2.54	0.02243 ± 4.1%	0.0258	1.030	0.0265	1.18
F37/F25	IB	(OR-1Z)	0.00 2.54	0.05869 ± 5.0%	0.0604	0.945	0.0570	0.97
		(6R-1Z)	33.12 2.54		0.1322	0.940	0.1243	1.00
	Core	(7R-1Z)	38.64 2.54	0.1749 ± 4.9%	0.1805	1.019	0.1839	1.05
F49/F25	IB	(OR-1Z)	0.00 2.54	0.8761 ± 3.3%	0.8426	0.997	0.8396	0.96
		(6R-1Z)	33.12 2.54		0.9084	0.994	0.9029	0.99
	Core	(7R-1Z)	38.64 2.54	0.9465 ± 3.4%	0.9337	1.005	0.9382	0.99

Table 4.32 Reaction rate ratios in axial direction of FCA Assembly XIII-1

R.R ratio	Region	Position		Experiment	Calculation			C/E	
		R-cm	Z-cm		Base calc.	T. C.	Corrected		
F28/F25	Core	(OR-4Z)	0.00	17.74	0.02038 ± 3.8%	0.0211	1.042	0.0220	1.08
		(OR-6Z)	0.00	27.94	0.02749 ± 3.8%	0.0286	1.036	0.0296	1.08
F37/F25	Core	(OR-4Z)	0.00	17.74	0.1558 ± 4.9%	0.1489	1.030	0.1534	0.99
		(OR-6Z)	0.00	27.94	0.2001 ± 4.8%	0.1943	1.028	0.1997	1.00
F49/F25	Core	(OR-4Z)	0.00	17.74	0.9106 ± 3.6%	0.8855	1.005	0.8897	0.98
		(OR-6Z)	0.00	27.94	0.9654 ± 3.7%	0.9443	1.006	0.9497	0.98

## 5. サンプル反応度価値

軸方向非均質炉心では中心にブランケットが存在するため、内部ブランケットから炉心部への核特性の変化を捉えることは炉心特性を研究する上で重要な課題である。XIII-1 集合体では物質板の置換反応度を測定することにより、サンプル反応度価値分布を測定した。測定した物質板はPu-239を主な核種とするPu(92)と天然ボロン $B_4C$ である。

解析は拡散理論に基づく摂動計算により基準値を求め、これに輸送効果の補正を加えた。

この章では測定および解析について記述する。

### 5.1 サンプル反応度価値の測定

基準臨界体系においてサンプル反応度価値を測定した。サンプル反応度価値実験は臨界法で行い、引出し内の特定の位置で物質板を置換した体系と基準体系との反応度差からその物質が体系内に加えられた時の反応度価値を求めた。この物質板を置換する位置を移動させることにより、サンプル反応度価値の軸方向および径方向分布を測定した。測定したサンプルは、Pu(92)と天然 $B_4C$ である。置換した物質板の量は基準体系の中性子場を乱すことのないようにできるだけ少量であること。また要求される測定精度を満足する反応度変化を生ずることを判断基準として最適化した。使用したサンプルの組成と置換した量をTable 5.1に示す。

測定はすべて固定側1/2集合体で行い、内部ブランケットと炉心の境界近傍に重点を置いて軸方向および径方向分布を求めた。

Pu(92)はFCAの標準的プルトニウム燃料板であり、ステンレスの被覆がある。炉心部では1パックのセル当り2枚の燃料板をステンレス板(2-1-1/16")に置換し、内部ブランケットではアルミナ板2枚の位置での燃料板とステンレス板(2-1-1/16")との置換反応度を測定した。Pu(92)に関しては、ドライバー領域についても測定を行った。その結果については、Appendix Cに後述する。

天然 $B_4C$ 反応度価値は、1パックのセルについて中央のDUO<sub>2</sub>板の装填位置で天然 $B_4C$ 板1枚とステンレスボイド板の置換反応度として測定した。これらサンプル反応度価値のセル内測定位置をFig. 5.1に示す。また、測定結果をTable 5.2およびTable 5.3に示し、その分布をFig. 5.2～Fig. 5.5に示す。

Pu(92)サンプル反応度価値径方向分布では、1Z径方向分布は位置6R(内部ブランケット内で、炉心との境界近傍)でピーク値を持ち、内部ブランケット中心へ近づくにつれて、反応度価値は小さくなり、0Rでの値は、6Rでの値に対して7%程度減少している。一方、炉心領域での分布は、径方向外側へいくにつれて、単調に減少していく。4Z径方向分布では、1Zのような内部ブランケット内でのサンプル反応度価値の減少はなく、平坦な分布をしている。この1Zおよび4Z径方向分布における0R～6Rでの分布は、内部ブランケットが存在することによる影響である。しかし、6Z径方向分布では、その影響はほとんど見られ

ない。なお、これら3つの径方向分布において、0 Rでの測定値はドライバーの影響を受けて、若干小さめの値になっていると考えられる（Appendix C 参照）。次に、軸方向分布について述べる。0 R軸方向分布では、径方向1 Zの場合と同様に内部ブランケット中央での値は、炉心境界近傍での値よりも小さい。この傾向は、これまでの一連の軸方向非均質模擬炉心（XI-2～XII-2集合体）での分布が平坦であった<sup>1)~3)</sup>のに対して、大きく異なる特徴である。しかし、6 R軸方向分布では、0 Rの場合と異なり内部ブランケット領域で、その分布は平坦になっている。7 Rでは、6 R軸方向分布と良く似ているが、内部ブランケットと炉心の境界付近でその分布は6 Rのそれと若干異にする。

B<sub>4</sub>Cサンプル反応度値分布では、径方向分布はPu(92)サンプル反応度値分布に類似している。ただし、1 Zでの径方向分布において、内部ブランケット領域での反応度値の減少（絶対値で考えた時）の程度は大きい。また、0 Rでの測定値については、Pu(92)サンプル反応度値と同様、ドライバーの影響がある（Appendix C 参照）。軸方向分布では、0 Rでの分布はPu(92)と同様の傾向を示すが、径方向分布の場合と同様にその中心部での値は、ピークの値に対して25%程度減少し、Pu(92)の場合より分布の変化の程度が大きい。また、6 Rでは分布が内部ブランケット領域で平坦であったのに対し、7 Rでは9 Rの分布に近い傾向を示し、分布の勾配が単調に変化している。

## 5.2 サンプル反応度値の解析

サンプル反応度値の解析は、臨界性や反応率分布と同様3次元体系により非等方拡散理論に基づいて基準計算を行い、摂動法により反応度値を求め、これに輸送補正を加えた。使用した群定数は25群および体系のメッシュ幅はFCAの標準的なセルユニット当たり2メッシュ（約2.5 cm/メッシュ）であり、これらは臨界性等の解析と同様である。計算では、引出し1本に相当する領域を測定点に対応する位置に設定し、これを1パックごとに区分して、それぞれの反応度値を求めた。置換したサンプルの実効断面積は、セル計算により求めたが、計算体系は物質板を置換したセルの両側を標準引出しの組成を均質にした領域ではさんだスーパーセルモデルを使用した。これは置換した引出しは周囲を標準引出しで囲まれており、この影響をセル計算において考慮するためである。

輸送係数は、Test region full mockup 体系において25群群定数を用い、S<sub>N</sub>法による体系計算と摂動計算を行い、その結果と25群等方拡散計算の結果から求めた。ただし、中心軸(0 R)での値に対しては、Test region full mockup 体系とDriver full mockup 体系で評価した輸送補正係数の平均値を輸送補正係数とした。

Pu(92) および天然B<sub>4</sub>Cサンプル反応度値の解析結果をTable 5.4～5.7およびFig. 5.6～5.7に示す。

計算結果より、輸送効果は、Pu(92)に対しては内部ブランケット部で0.92～0.96、炉心部で0.97～1.03であり、天然B<sub>4</sub>Cでは内部ブランケット部で0.96～0.98、炉心部で0.99～1.05であった。

計算値と実験値を比較すると、計算は全般に過小評価している。Pu(92)サンプル反応度値

値  $C/E$  について、1 Z 径方向では内部ブランケット領域での  $C/E$  値が 0.90 ~ 0.92、炉心領域でのそれは 0.91 ~ 0.94 であり、同程度の値である。この傾向は、これまでの一連の軸方向非均質模擬炉心 (XI-2 ~ XII-2) の結果とほぼ同様の傾向である。4 Z および 6 Z での  $C/E$  径方向分布は、 $C/E$  値が 0.90 ~ 0.95 で 1 Z と似た傾向を示す。 $C/E$  軸方向分布では、0 R と 6 R が良く似た傾向を示し、内部ブランケット部では内部ブランケット中央よりも炉心との境界近傍の方が、 $C/E$  値は 1 に近く、炉心領域では炉心中央での  $C/E$  値が 1 に近い。一方、7 R と 9 R は良く似た傾向を示し、これらではその  $C/E$  分布はほぼ平坦である。

天然  $B_4C$  サンプル反応度値では、1 Z 径方向で内部ブランケット部での  $C/E$  値が 0.92 ~ 0.95 であるのに対し、炉心部では 0.91 ~ 0.92 であり、炉心部での  $C/E$  値が小さい。この傾向は、XI-2 ~ XII-2 炉心の結果と同様の傾向である。また、4 Z や 6 Z での径方向  $C/E$  分布も、炉心外側へ行くにつれて  $C/E$  値が小さくなる傾向がある。一方、軸方向分布では、 $C/E$  値が 0.91 ~ 0.98 とこれまでの一連の模擬炉心の結果<sup>1)~3)</sup> に比べて、 $C/E$  値が小さい。特に、0 R では、内部ブランケット領域での  $C/E$  が、炉心領域での  $C/E$  に比べて小さく、この傾向は、これまでの結果と異なる。また、6 R、7 R、9 R での  $C/E$  分布はほぼ平坦である。なお、9 R での 8 Z の  $C/E$  値が 0.8 と他に比べて非常に小さいのは、反応度値自身が小さいことによるものである。



Table 5.1 Data of Material used on Sample Worth Measurement

<u>PU(92)</u>	
Dimension (inch)	2-2-1/16
Isotope	Weight (g )
<sup>239</sup> Pu	32.119
<sup>240</sup> Pu	2.843
<sup>241</sup> Pu	0.268
Cr	1.79
Fe	7.51
Ni	1.01
Al	0.52

<u>B<sub>4</sub>C</u>	
Dimension	2-2-1/4
Isotope	Weight (g )
<sup>10</sup> B	4.16
<sup>11</sup> B	18.56
Cr	7.29
Fe	28.25
Ni	3.40
C	6.36

Table 5.2 Experimental Results of Pu(92) Sample Worth in FCA Assembly XIII-1

unit:  $\rho_0$  ( $\rho_0=0.0438\% \Delta K/K$ )

Distance from core center	40.64	0.157 (0.892)					0.126 (0.889)	0.111 (0.883)		0.071 (0.901)	
	35.56										
	30.48	0.230 (0.948)		0.241 (0.904)		0.236 (0.898)		0.204 (0.941)	0.189 (0.910)		0.126 (0.929)
	25.40										
	20.32	0.256 (0.918)		0.264 (0.898)		0.264 (0.913)		0.257 (0.910)	0.246 (0.907)		0.174 (0.926)
	15.24	0.246 (0.951)						0.257 (0.910)	0.263 (0.890)		0.192 (0.917)
	10.16										
	5.08	0.250 (0.904)		0.252 (0.916)		0.269 (0.894)		0.271 (0.913)	0.265 (0.912)		0.203 (0.936)
	0.00	(0R) 0.00	(1R)	(2R)	(3R)	(4R)	(5R)	(6R)	(7R) 33.12	(8R)	(9R)
		Distance from core center (cm)									

\* experimental error:  $\pm 0.004 \rho_0$ .  
 \*\* Value in parentheses means the C/E value.

Table 5.3 Experimental Results of Nat.B,C Sample Worth in FCA Assembly XIII-1

unit:  $\rho_0$  ( $\rho_0=0.0438\% \Delta K/K$ )

Distance from core center	40.64	-0.143 (0.930)					-0.111 (0.910)	-0.097 (0.897)		-0.066 (0.805)	
	35.56										
	30.48	-0.227 (0.978)		-0.236 (0.932)		-0.228 (0.921)		-0.202 (0.912)	-0.176 (0.922)		-0.113 (0.895)
	25.40										
	20.32	-0.268 (0.955)		-0.279 (0.925)		-0.277 (0.935)		-0.216 (0.935)	-0.244 (0.906)		-0.162 (0.896)
	15.24	-0.251 (0.932)						-0.276 (0.908)	-0.259 (0.923)		-0.177 (0.911)
	10.16										
	5.08	-0.206 (0.932)		-0.210 (0.952)		-0.241 (0.936)		-0.277 (0.917)	-0.277 (0.913)		-0.192 (0.917)
	0.00	(0R) 0.00	(1R)	(2R)	(3R)	(4R)	(5R)	(6R)	(7R) 33.12	(8R)	(9R)
		Distance from core center (cm)									

\* experimental error:  $\pm 0.004 \rho_0$ .  
 \*\* Value in parentheses means the C/E value.

Table 5.4 C/E Values of Radial Pu(92) Sample Worth Distribution  
in FCA Assembly XIII-1

unit:  $\rho_0$  ( $\rho_0 = 0.0438\% \Delta K/K$ )

Axial Pos. = 1Z

Position Distance (cm)	Calculation			Experiment	C/E	
	B.C.	T.C.	Corr.			
0R	0.0	0.243	0.929	0.226	0.250 (0.004)	0.904
1R	5.52	0.246	0.923	0.227	-----	-----
2R	11.04	0.250	0.924	0.231	0.252 (0.004)	0.916
3R	16.56	0.256	0.921	0.236	-----	-----
4R	22.08	0.261	0.921	0.240	0.269 (0.004)	0.894
5R	27.60	0.265	0.918	0.243	-----	-----
6R	33.12	0.265	0.934	0.248	0.269 (0.004)	0.920
7R	38.64	0.245	0.987	0.242	0.265 (0.004)	0.912
8R	44.16	0.226	1.005	0.227	-----	-----
9R	49.68	0.190	1.000	0.190	0.203 (0.004)	0.936
10R	55.20	0.146	0.986	0.144	-----	-----
11R	60.72	0.101	0.968	0.098	-----	-----

Axial Pos. = 4Z

Position Distance (cm)	Calculation			Experiment	C/E	
	B.C.	T.C.	Corr.			
0R	0.0	0.233	1.007	0.235	0.256 (0.004)	0.918
1R	5.52	0.235	0.996	0.234	-----	-----
2R	11.04	0.238	0.996	0.237	0.264 (0.004)	0.898
3R	16.56	0.241	0.992	0.239	-----	-----
4R	22.08	0.243	0.992	0.241	0.264 (0.004)	0.913
5R	27.60	0.241	0.987	0.238	-----	-----
6R	33.12	0.235	0.996	0.234	0.257 (0.004)	0.910
7R	38.64	0.221	1.009	0.223	0.246 (0.004)	0.907
8R	44.16	0.195	1.011	0.197	-----	-----
9R	49.68	0.160	1.006	0.161	0.174 (0.004)	0.926
10R	55.20	0.120	0.991	0.119	-----	-----
11R	60.72	0.082	0.974	0.080	-----	-----

Axial Pos. = 6Z

Position Distance (cm)	Calculation			Experiment	C/E	
	B.C.	T.C.	Corr.			
0R	0.0	0.211	1.035	0.218	0.230 (0.004)	0.948
1R	5.52	0.213	1.022	0.218	-----	-----
2R	11.04	0.213	1.023	0.218	0.241 (0.004)	0.904
3R	16.56	0.212	1.018	0.216	-----	-----
4R	22.08	0.208	1.019	0.212	0.236 (0.004)	0.898
5R	27.60	0.201	1.015	0.204	-----	-----
6R	33.12	0.188	1.021	0.192	0.204 (0.004)	0.941
7R	38.64	0.169	1.018	0.172	0.189 (0.004)	0.910
8R	44.16	0.144	1.021	0.147	-----	-----
9R	49.68	0.115	1.018	0.117	0.126 (0.004)	0.929
10R	55.20	0.085	1.012	0.086	-----	-----
11R	60.72	0.057	0.964	0.055	-----	-----

B.C. : Anisotropic Diffusion Calculation

T.C. : Transport Correction Factor

Corr. : Corrected Value

Value in parentheses means the experimental error.

Table 5.5 C/E Values of Axial Pu(92) Sample Worth Distribution  
in FCA Assembly XIII-1

unit:  $\rho_0$  ( $\rho_0 = 0.0438\% \Delta K/K$ )

Radial Pos. = 0R

Position Distance (cm)	Calculation			Experiment	C/E
	B.C.	T.C.	Corr.		
1Z 2.54	0.243	0.929	0.226	0.250 (0.004)	0.904
2Z 7.62	0.244	0.934	0.228	-----	-----
3Z 12.70	0.244	0.957	0.234	0.246 (0.004)	0.951
4Z 17.78	0.233	1.007	0.235	0.256 (0.004)	0.918
5Z 22.86	0.229	1.032	0.236	-----	-----
6Z 27.94	0.211	1.035	0.218	0.230 (0.004)	0.948
7Z 33.02	0.179	1.033	0.185	-----	-----
8Z 38.10	0.139	1.007	0.140	0.157 (0.004)	0.892

Radial Pos. = 6R

Position Distance (cm)	Calculation			Experiment	C/E
	B.C.	T.C.	Corr.		
1Z 2.54	0.265	0.934	0.248	0.271 (0.004)	0.913
2Z 7.62	0.263	0.938	0.247	-----	-----
3Z 12.70	0.258	0.951	0.245	0.257 (0.004)	0.954
4Z 17.78	0.235	0.996	0.234	0.257 (0.004)	0.910
5Z 22.86	0.217	1.014	0.220	-----	-----
6Z 27.94	0.188	1.021	0.192	0.204 (0.004)	0.941
7Z 33.02	0.151	1.020	0.154	-----	-----
8Z 38.10	0.112	1.000	0.112	0.126 (0.004)	0.889

Radial Pos. = 7R

Position Distance (cm)	Calculation			Experiment	C/E
	B.C.	T.C.	Corr.		
1Z 2.54	0.245	0.987	0.242	0.265 (0.004)	0.912
2Z 7.62	0.242	0.991	0.240	-----	-----
3Z 12.70	0.234	1.000	0.234	0.263 (0.004)	0.890
4Z 17.78	0.221	1.009	0.223	0.246 (0.004)	0.907
5Z 22.86	0.199	1.015	0.202	-----	-----
6Z 27.94	0.169	1.018	0.172	0.189 (0.004)	0.910
7Z 33.02	0.134	1.015	0.136	-----	-----
8Z 38.10	0.098	1.000	0.098	0.111 (0.004)	0.883

Radial Pos. = 9R

Position Distance (cm)	Calculation			Experiment	C/E
	B.C.	T.C.	Corr.		
1Z 2.54	0.190	1.000	0.190	0.203 (0.004)	0.936
2Z 7.62	0.180	1.006	0.181	-----	-----
3Z 12.70	0.175	1.006	0.176	0.192 (0.004)	0.917
4Z 17.78	0.160	1.006	0.161	0.174 (0.004)	0.926
5Z 22.86	0.140	1.007	0.141	-----	-----
6Z 27.94	0.115	1.018	0.117	0.126 (0.004)	0.929
7Z 33.02	0.089	1.023	0.091	-----	-----
8Z 38.10	0.064	1.000	0.064	0.071 (0.004)	0.901

B.C. : Anisotropic Diffusion Calculation

T.C. : Transport Correction Factor

Corr. : Corrected Value

Value in parentheses means the experimental error.

Table 5.6 C/E Values of Radial Nat. B<sub>4</sub>C Sample Worth Distribution  
in FCA Assembly XIII-1

unit:  $\rho_0$  ( $\rho_0 = 0.0438\% \Delta K/K$ )

Axial Pos. = 1Z

Position	Distance (cm)	Calculation			Experiment	C/E
		B.C.	T.C.	Corr.		
0R	0.0	-0.199	0.964	-0.192	-0.206 (0.004)	0.932
1R	5.52	-0.203	0.956	-0.194	-----	-----
2R	11.04	-0.209	0.957	-0.200	-0.210 (0.004)	0.952
3R	16.56	-0.221	0.958	-0.212	-----	-----
4R	22.08	-0.235	0.960	-0.226	-0.241 (0.004)	0.936
5R	27.60	-0.251	0.963	-0.242	-----	-----
6R	33.12	-0.261	0.974	-0.254	-0.277 (0.004)	0.917
7R	38.64	-0.255	0.991	-0.253	-0.277 (0.004)	0.913
8R	44.16	-0.222	0.995	-0.221	-----	-----
9R	49.68	-0.175	1.006	-0.176	-0.192 (0.004)	0.917
10R	55.20	-0.120	1.028	-0.123	-----	-----
11R	60.72	-0.065	1.000	-0.065	-----	-----

Axial Pos. = 4Z

Position	Distance (cm)	Calculation			Experiment	C/E
		B.C.	T.C.	Corr.		
0R	0.0	-0.255	1.005	-0.256	-0.268 (0.004)	0.955
1R	5.52	-0.257	0.996	-0.256	-----	-----
2R	11.04	-0.259	0.996	-0.258	-0.279 (0.004)	0.925
3R	16.56	-0.261	0.996	-0.260	-----	-----
4R	22.08	-0.260	0.996	-0.259	-0.277 (0.004)	0.935
5R	27.60	-0.256	0.996	-0.255	-----	-----
6R	33.12	-0.243	1.004	-0.244	-0.261 (0.004)	0.935
7R	38.64	-0.219	1.010	-0.221	-0.244 (0.004)	0.906
8R	44.16	-0.184	1.012	-0.186	-----	-----
9R	49.68	-0.142	1.023	-0.145	-0.162 (0.004)	0.896
10R	55.20	-0.096	1.045	-0.100	-----	-----
11R	60.72	-0.052	0.981	-0.051	-----	-----

Axial Pos. = 6Z

Position	Distance (cm)	Calculation			Experiment	C/E
		B.C.	T.C.	Corr.		
0R	0.0	-0.216	1.029	-0.222	-0.227 (0.004)	0.978
1R	5.52	-0.216	1.014	-0.219	-----	-----
2R	11.04	-0.216	1.019	-0.220	-0.236 (0.004)	0.932
3R	16.56	-0.213	1.014	-0.216	-----	-----
4R	22.08	-0.207	1.015	-0.210	-0.228 (0.004)	0.921
5R	27.60	-0.197	1.016	-0.200	-----	-----
6R	33.12	-0.180	1.023	-0.184	-0.202 (0.004)	0.912
7R	38.64	-0.158	1.026	-0.162	-0.176 (0.004)	0.922
8R	44.16	-0.130	1.024	-0.133	-----	-----
9R	49.68	-0.098	1.032	-0.101	-0.113 (0.004)	0.895
10R	55.20	-0.066	1.049	-0.069	-----	-----
11R	60.72	-0.034	0.921	-0.031	-----	-----

B.C. : Anisotropic Diffusion Calculation

T.C. : Transport Correction Factor

Corr. : Corrected Value

Value in parentheses means the experimental error.

Table 5.7 C/E Values of Axial Nat. B<sub>1</sub>C Sample Worth Distribution  
in FCA Assembly XIII-1

unit:  $\rho_0$  ( $\rho_0=0.0438\% \Delta K/K$ )

Radial Pos. = 0R

Position	Distance (cm)	Calculation			Experiment	C/E
		B.C.	T.C.	Corr.		
1Z	2.54	-0.199	0.964	-0.192	-0.206 (0.004)	0.932
2Z	7.62	-0.215	0.968	-0.208	-----	-----
3Z	12.70	-0.239	0.978	-0.234	-0.251 (0.004)	0.932
4Z	17.78	-0.255	1.005	-0.256	-0.268 (0.004)	0.955
5Z	22.86	-0.243	1.023	-0.249	-----	-----
6Z	27.94	-0.216	1.029	-0.222	-0.227 (0.004)	0.978
7Z	33.02	-0.176	1.031	-0.181	-----	-----
8Z	38.10	-0.129	1.029	-0.133	-0.143 (0.004)	0.930

Radial Pos. = 6R

Position	Distance (cm)	Calculation			Experiment	C/E
		B.C.	T.C.	Corr.		
1Z	2.54	-0.261	0.974	-0.254	-0.277 (0.004)	0.917
2Z	7.62	-0.260	0.978	-0.254	-----	-----
3Z	12.70	-0.255	0.983	-0.251	-0.276 (0.004)	0.908
4Z	17.78	-0.243	1.004	-0.244	-0.261 (0.004)	0.935
5Z	22.86	-0.216	1.010	-0.218	-----	-----
6Z	27.94	-0.180	1.023	-0.184	-0.202 (0.004)	0.912
7Z	33.02	-0.140	1.022	-0.143	-----	-----
8Z	38.10	-0.099	1.021	-0.101	-0.111 (0.004)	0.910

Radial Pos. = 7R

Position	Distance (cm)	Calculation			Experiment	C/E
		B.C.	T.C.	Corr.		
1Z	2.54	-0.255	0.991	-0.253	-0.277 (0.004)	0.913
2Z	7.62	-0.250	0.991	-0.248	-----	-----
3Z	12.70	-0.239	1.000	-0.239	-0.259 (0.004)	0.923
4Z	17.78	-0.219	1.010	-0.221	-0.244 (0.004)	0.906
5Z	22.86	-0.191	1.017	-0.194	-----	-----
6Z	27.94	-0.158	1.026	-0.162	-0.176 (0.004)	0.922
7Z	33.02	-0.120	1.026	-0.123	-----	-----
8Z	38.10	-0.087	1.000	-0.087	-0.097 (0.004)	0.897

Radial Pos. = 9R

Position	Distance (cm)	Calculation			Experiment	C/E
		B.C.	T.C.	Corr.		
1Z	2.54	-0.175	1.006	-0.176	-0.192 (0.004)	0.917
2Z	7.62	-0.169	1.013	-0.171	-----	-----
3Z	12.70	-0.158	1.021	-0.161	-0.177 (0.004)	0.911
4Z	17.78	-0.142	1.023	-0.145	-0.162 (0.004)	0.896
5Z	22.86	-0.121	1.026	-0.124	-----	-----
6Z	27.94	-0.098	1.032	-0.101	-0.113 (0.004)	0.895
7Z	33.02	-0.073	1.043	-0.076	-----	-----
8Z	38.10	-0.050	1.062	-0.053	-0.066 (0.004)	0.805

B.C. : Anisotropic Diffusion Calculation

T.C. : Transport Correction Factor

Corr. : Corrected Value

Value in parentheses means the experimental error.

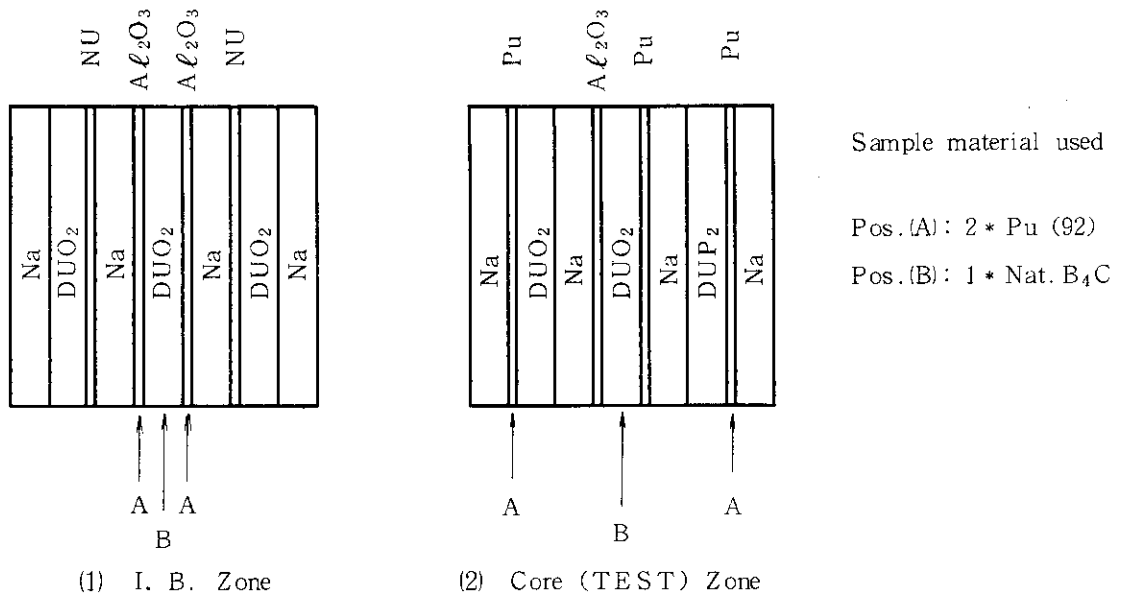


Fig. 5.1 Sample Position for Sample Reactivity Worth Measurement

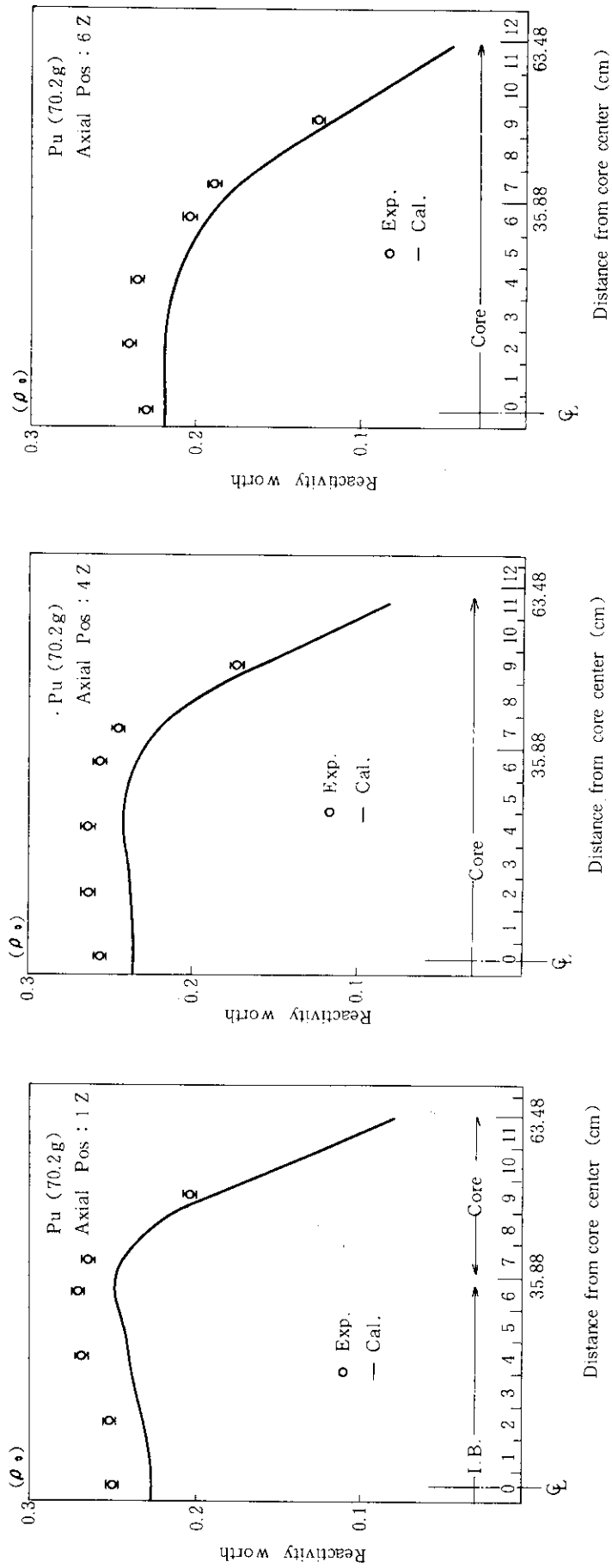


Fig. 5.2 Radial Distributions of Pu (92) Sample worth in FCA Assembly XIII -- 1



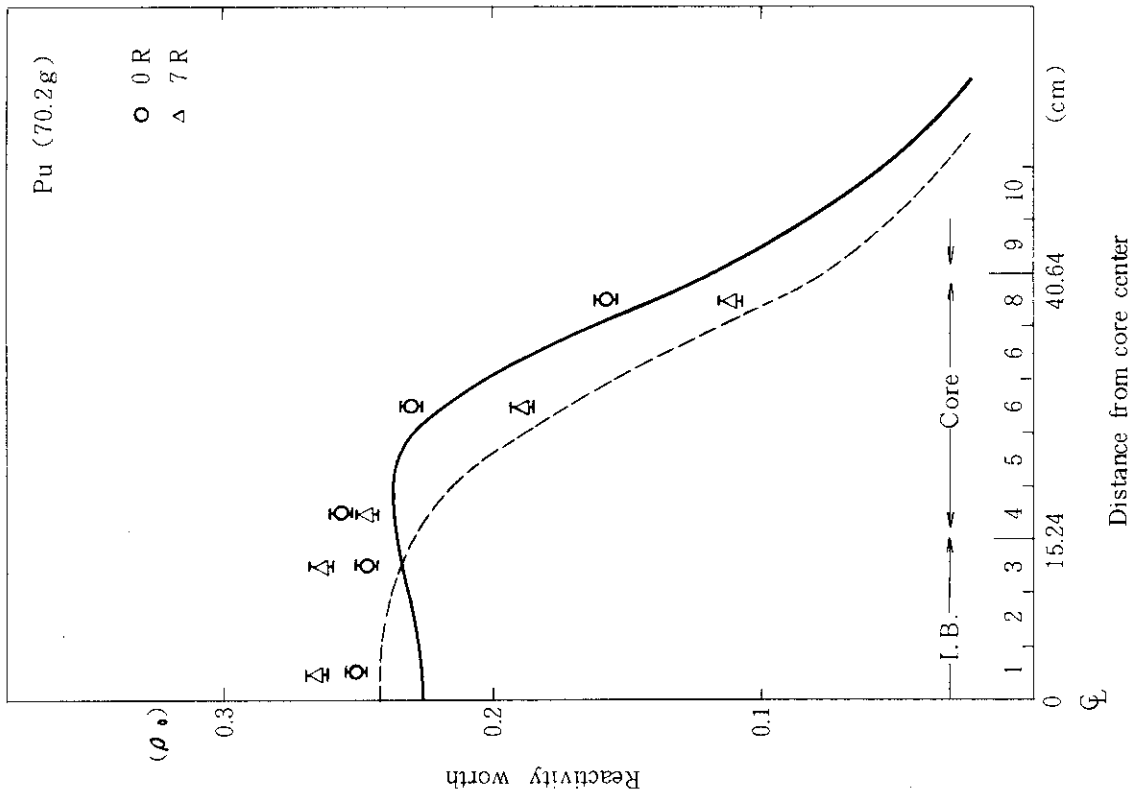
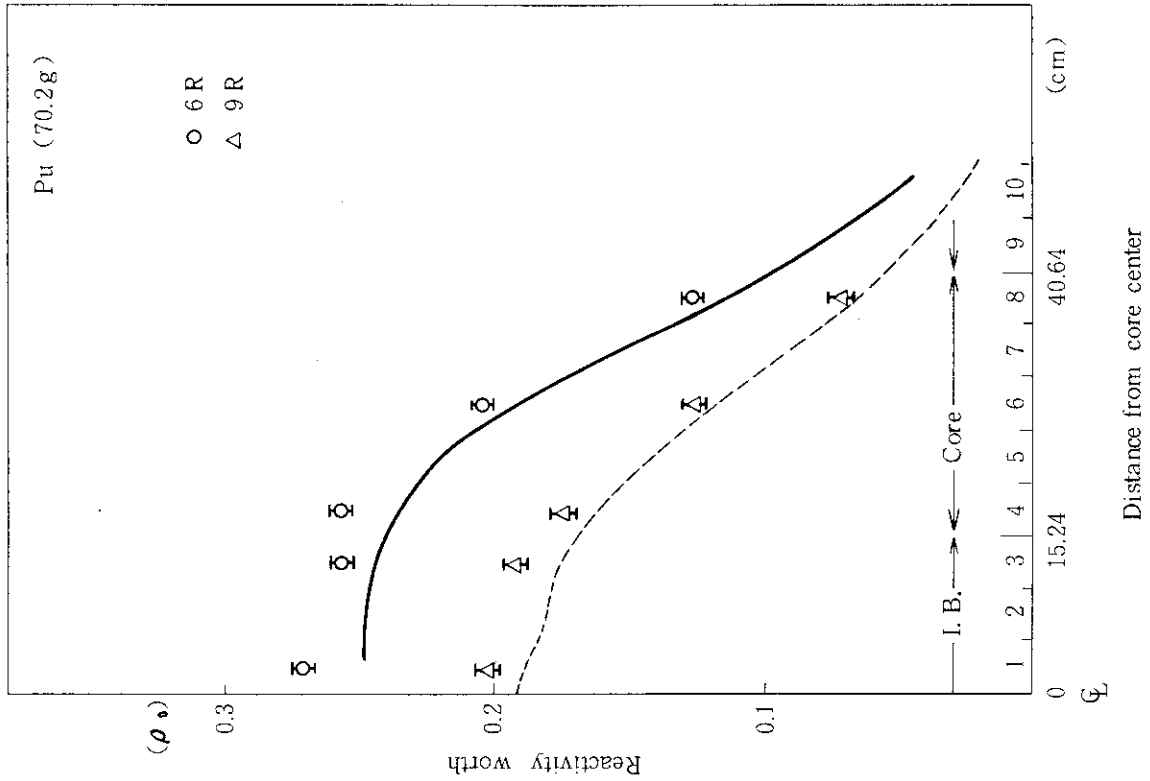


Fig. 5.3 Axial Distributions of Pu (92) Sample worth in FCA Assembly XIII - 1

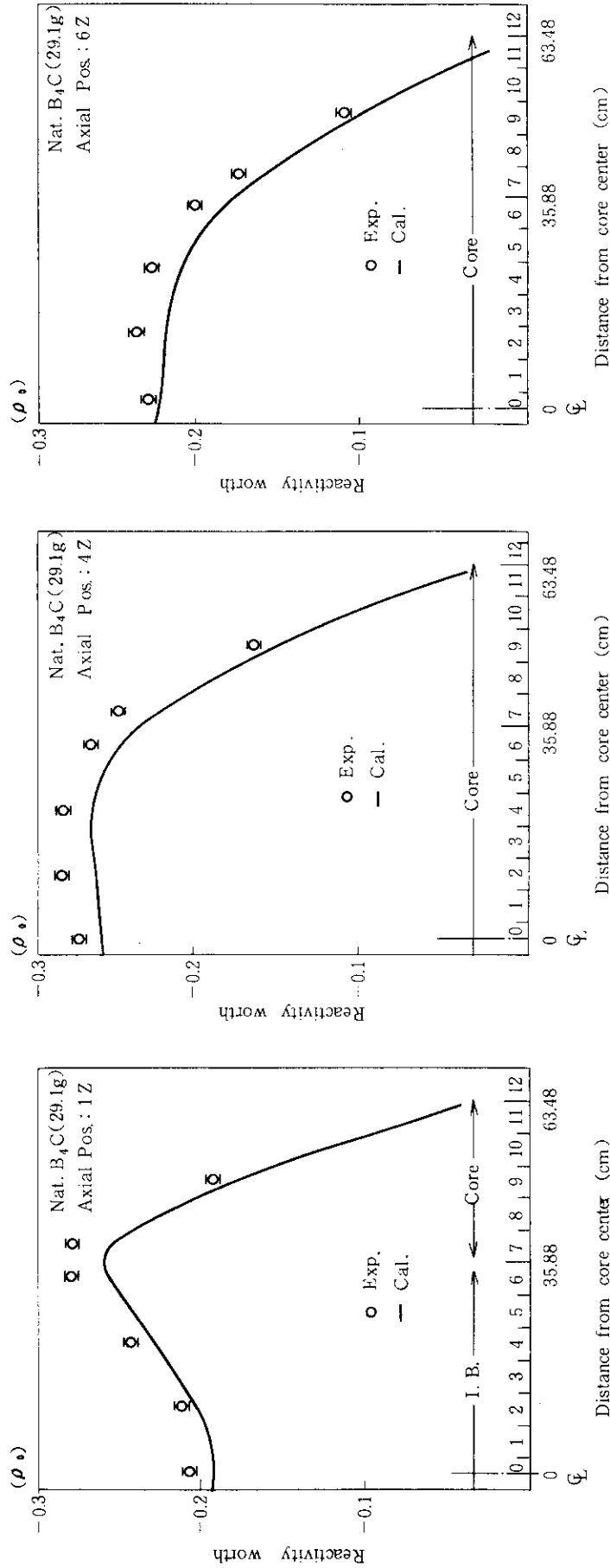


Fig. 5.4 Radial Distributions of Nat. B<sub>4</sub>C Sample worth in FCA Assembly XIII - 1

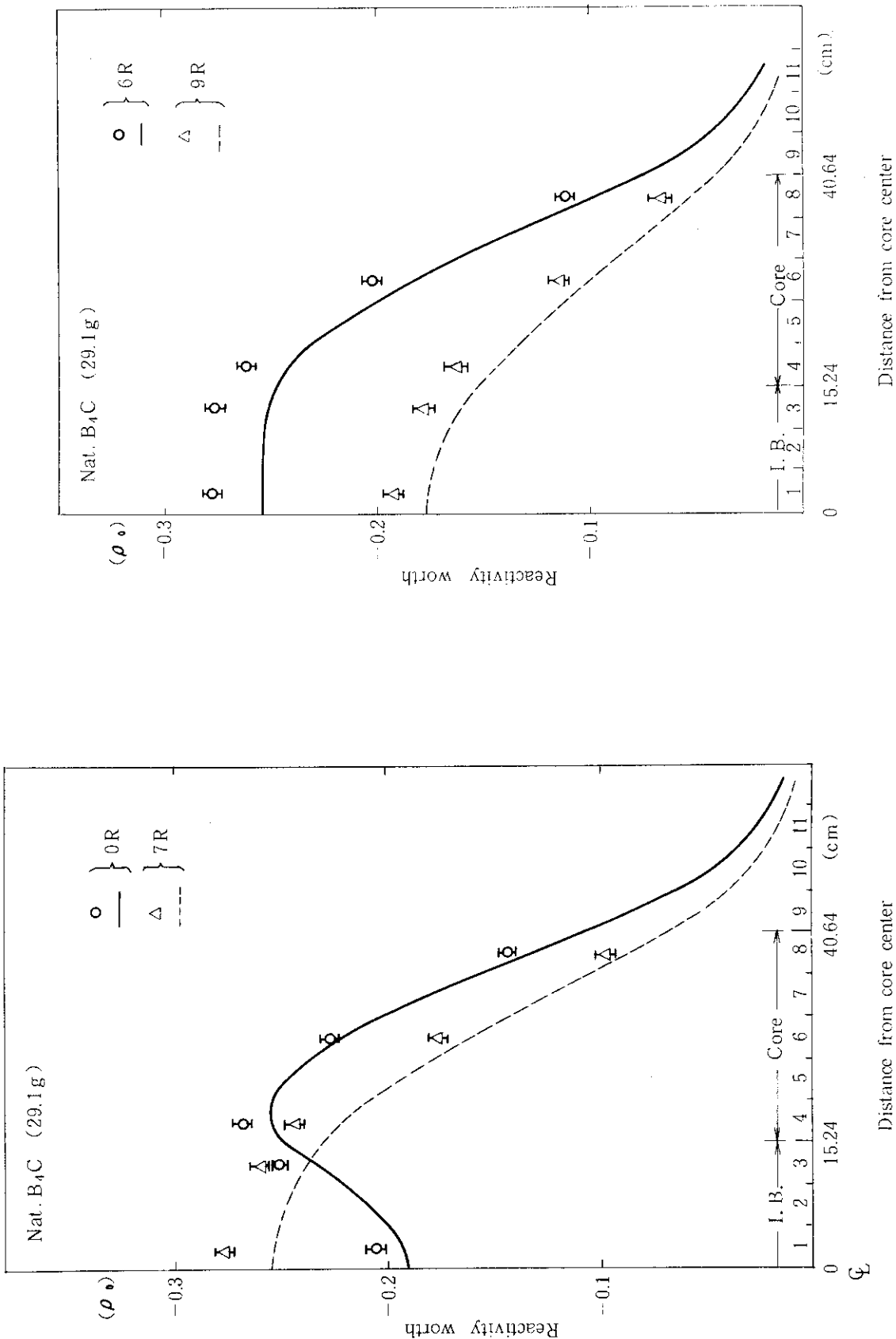


Fig. 5.5 Axial Distributions of Nat. B<sub>4</sub>C Sample worth in FCA Assembly XIII - 1

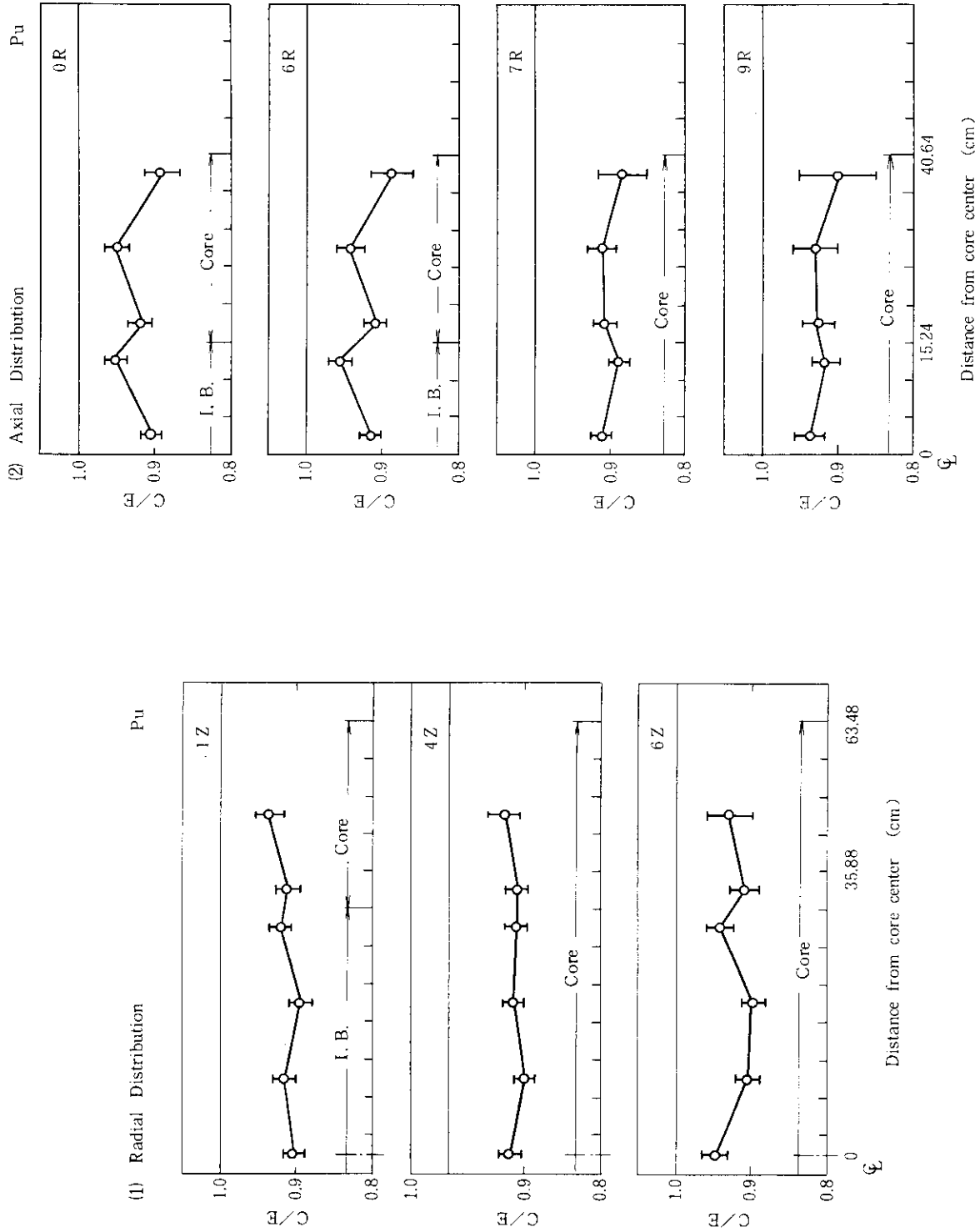


Fig. 5.6 C/E Distributions of Pu (92) Sample worth in FCA Assembly XIII - 1

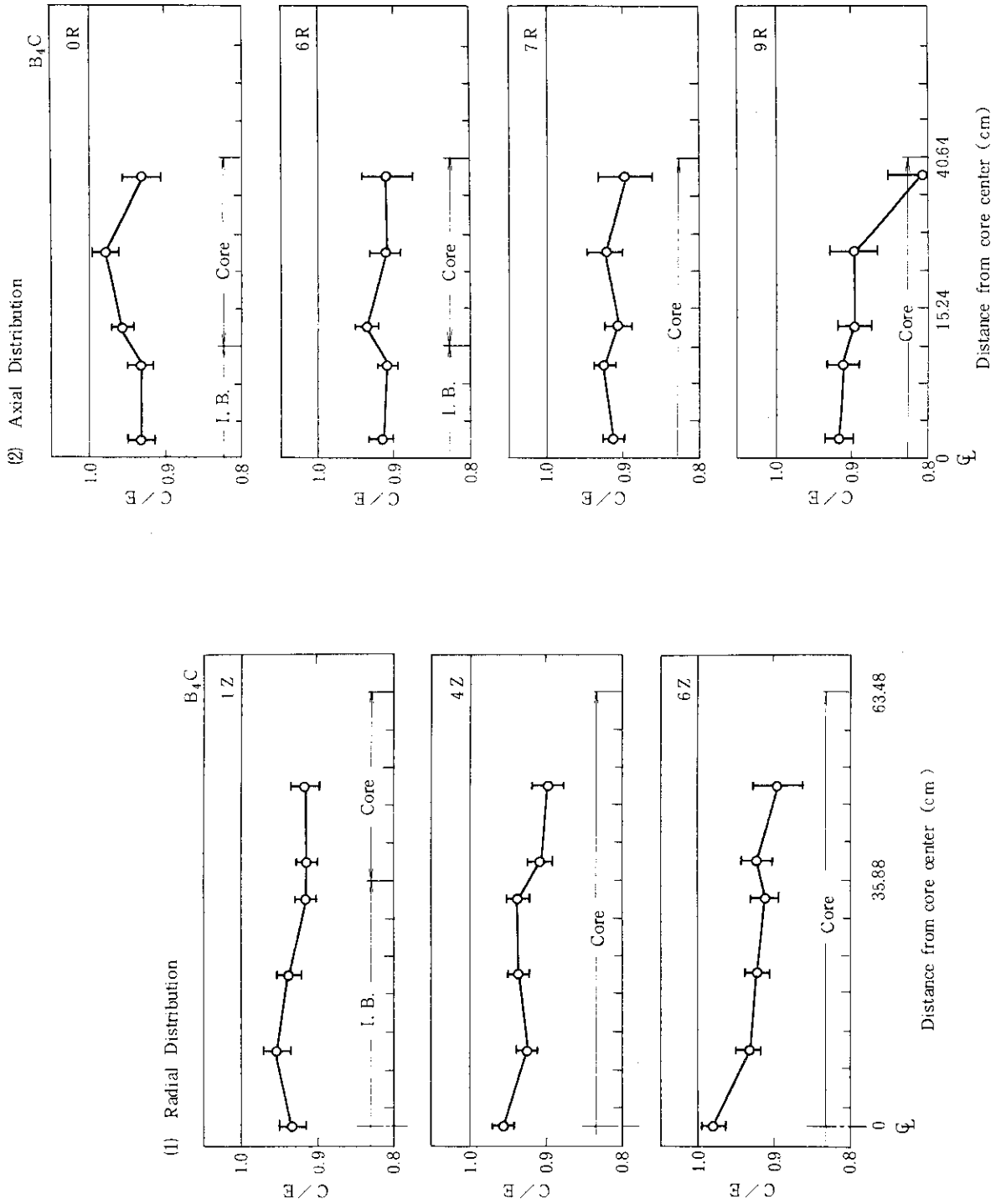


Fig. 5.7 C/E Distributions of Nat B<sub>4</sub>C Sample Worth in FCA Assembly XIII - 1

## 6. B<sub>4</sub>C 制御棒反応度価値

軸方向非均質炉心における制御棒反応度価値を測定し、それらの径方向分布および干渉効果等の特性を明確にする。模擬制御棒は不銹鋼被覆のB<sub>4</sub>Cピンを用いて作成し、吸収体の有効領域は断面が5.52 cm × 5.52 cm、長さが45.72 cmである。制御棒反応度価値はNa フォロワー体系と模擬制御棒挿入体系との反応度差として定義し、それぞれの体系における未臨界度を修正中性子源増倍法により測定した。未臨界度を求める際の各検出器に対する実効的中性子源強度等に関する補正係数は計算により求め補正した。

また、制御棒反応度価値の予測精度を検討するため、測定値と計算値とを比較した。計算は3次元拡散計算を基準とし、これにエネルギー群縮約効果の補正および輸送補正を施した。

### 6.1 実 験

#### (1) 実験の概要

模擬制御棒内の不銹鋼被覆B<sub>4</sub>Cピンおよび空ピンの配列をFig. 6.1に示す。<sup>10</sup>Bの濃縮度は天然(20%)を基本とし、一部のケースに90%の濃縮度のB<sub>4</sub>Cピンを用いた。それぞれ、20% B<sub>4</sub>C, 90% B<sub>4</sub>Cと表わすことにする。不銹鋼缶に詰めたNaを用いてNaフォロワー領域を模擬し、模擬制御棒と組み合わせて制御棒チャンネルとした。20% B<sub>4</sub>C, 90% B<sub>4</sub>C模擬制御棒およびNaフォロワー領域の平均の原子数密度をTable 6.1に示す。制御棒反応度価値の径方向分布の測定のため、XIII-1炉心のテスト領域側に、中心を0 Rとして4 R, 8 Rに順次制御棒チャンネルを移動させた。測定位置をFig. 6.2に示す。干渉効果は4 Rと8 Rとで測定した。模擬制御棒の軸方向挿入位置は①炉心部(炉心+内部ブランケット)への全挿入(F)、②上部炉心部のみへの半挿入(H)、③上部炉心のみへの部分挿入(P)の3つのパターンとした(Fig. 6.3参照)。径方向分布測定ではFとH、干渉効果の測定ではFとPとの挿入パターンを用いた。制御棒反応度価値はNaフォロワー体系と模擬制御棒体系との反応度差として定義し、それぞれの体系における未臨界度は修正中性子源増倍法により測定した。検出器としては、FCAの起動系チャンネルCH1およびCH2、線型出力チャンネルCH5およびCH6を用いた。各検出器に対する実効的中性子源強度等に関する補正係数は計算により求め、測定された各体系の未臨界度を補正した。

#### (2) 修正中性子源増倍法

中性子源増倍法では、未臨界体系における反応度 $\rho$ と中性子検出器の計数率Cとを以下の式で関係づける。

$$-\rho = \frac{A}{C} \quad (6.1)$$

ここで、Aは外部中性子源強度、中性子の生成寿命、検出器の検出効率等を含む項である。通常の中性子源増倍法では、中性子束が基本モードで分布しているとの仮定の下にAを定数とみ

なし、反応度が知られている体系でAを定め、未知の反応度の体系での検出器の計数率 $C_1$ から以下の式にて反応度 $\rho_1$ を求める。

$$-\rho_1 = \frac{A_0}{C_1} \quad , \quad (6.2)$$

$$A_0 = -\rho_0 C_0 \quad . \quad (6.3)$$

ここで、 $\rho_0$ は較正体系での反応度、 $C_0$ は較正体系での中性子検出器の計数率である。(6.2)式は、未臨界度が浅い体系で、検出器の位置を適切に選べばほぼ成立する。しかしながら、未臨界度が深い体系では中性子束高調波の存在により(6.2)式は有効でなくなる。また、外部中性子源の挿入位置、検出器の位置、 $B_4C$ などの吸収材の挿入位置により高調波の影響の度合は異なってくる。これら高調波の影響を計算によって求め(6.2)式を補正しようとする方法が修正中性子源増倍法<sup>16), 17)</sup>である。

修正中性子源増倍法(MSM)では(6.3)式のAを、検出効率 $\epsilon$ と実効的外部中性子源強度 $S_{eff}$ とを用いて以下の式で表わす。

$$A = \epsilon \cdot S_{eff} \quad , \quad (6.4)$$

$$\epsilon = \frac{\langle \Sigma_d \phi \rangle}{\langle \varphi^+ M \phi \rangle} \quad , \quad (6.5)$$

$$S_{eff} = \langle S \varphi^+ \rangle \quad . \quad (6.6)$$

ここで、 $\langle \rangle$ は全ての独立変数についての積分を実行する内積を表わし、 $\Sigma_d$ は検出器断面積である。 $\phi$ は中性子束であり、外部中性子源の存在する未臨界体系を記述する以下の原子炉方程式を解くことにより得られる。

$$L \phi(\mu) - M \phi(\mu) = S(\mu) \quad , \quad (6.7)$$

ただし、L : 中性子消滅の演算子、

M : 中性子生成の演算子、

S : 外部中性子源、

$\mu$  : 全ての独立変数。

$\varphi^+$ は以下の固有値方程式(6.8)式の随伴方程式(6.9)式を解くことにより得られる。

$$L \varphi(\mu) - \lambda M \varphi(\mu) = 0 \quad , \quad (6.8)$$

$$L^+ \varphi^+(\mu) - \lambda M^+ \varphi^+(\mu) = 0 \quad , \quad (6.9)$$

ただし、 $\lambda$  : 固有値。

以上の如く(6.4)式にてAを定義したとき、未知の未臨界体系の反応度 $\rho_1^{MSM}$ は(6.2)式の

代わりに以下の式にて表わされる。

$$-\rho_1^{\text{MSM}} = \frac{A_0}{C_1} \cdot f_1 = -\rho_1^{\text{SM}} \cdot f_1, \quad (6.10)$$

$$\text{ただし, } f_1 = f_{\varepsilon 1} \cdot f_{S1}, \quad (6.11)$$

$$f_{\varepsilon 1} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_0} = \frac{\langle \Sigma_d \phi_1 \rangle / \langle \varphi^+ M_1 \phi_1 \rangle}{\langle \Sigma_d \phi_0 \rangle / \langle \varphi^+ M_0 \phi_0 \rangle},$$

$$f_{S1} = \frac{S_{\text{eff},1}}{S_{\text{eff},0}} = \frac{\langle S_1 \varphi_1^+ \rangle}{\langle S_0 \varphi_0^+ \rangle}$$

ここで、添字 0 は反応度  $\rho_0$  が既知の較正体系を、1 は未知の未臨界体系を示すものとする。(6.10) 式は、通常の中性子源増倍法による反応度  $\rho^{\text{SM}}$  と修正中性子源増倍法による反応度  $\rho^{\text{MSM}}$  との関係を与えるものであり、補正係数  $f_1$  は計算によって求められる。

補正係数  $f_1$  の計算は方向依存拡散係数を用いた 3 次元拡散モデルに従った。群数は簡単のため 4 群 (1 群: 10 MeV ~ 1 MeV, 2 群: 1 MeV ~ 100 keV, 3 群: 100 keV ~ 10 keV, 4 群: 100 keV 以下) とした。Table 6.2 に各測定パターンに対して計算された補正係数  $f_1$  の値を示す。各測定パターンは 20%  $B_4C$  模擬制御棒の全挿入(F)の場合に対応しており、半挿入(H)、部分挿入(P)、あるいは 90%  $B_4C$  模擬制御棒の各挿入パターンについては、それぞれの未臨界度を重みとして  $f_1$  の値を修正して用いることにした。

### (3) 制御棒反応度値の測定値

(6.10) 式の比例定数  $A_0$  は、較正体系として、 $-3 \rho_0$  および  $-5 \rho_0$  ( $1 \rho_0 = 4.38 \times 10^{-4} \Delta k/k$ ) の 2 体系をとり、それぞれの体系にて (6.3) 式を用いて求められた比例定数を平均することにより定めた。各検出器における 2 つの体系での比例定数間のばらつきは最大 1.4 % 程度であり、これらは測定誤差に含め処理した。

これらの  $A_0$  値と、Table 6.2 の  $f_1$  値とから各パターンでの未臨界度を算出し、さらに、Na フォロワー体系と  $B_4C$  制御棒挿入体系との反応度差から、各挿入パターンでの制御棒反応度値を求めた。このようにして求めた各検出器 CH 1, CH 2, CH 5, CH 6 による制御棒反応度値の平均をとり測定値とした。結果を Table 6.3 に示す。測定誤差としては、各検出器による測定値間のばらつき ( $1 \sigma$ )、あるいは各測定誤差の平均のうち大きい値を採用した。

制御棒反応度値の径方向分布をみると、軸方向非均質炉心の特徴が良く現われている。即ち、非中心 (4 R) での制御棒反応度値が中心 (0 R) での値より若干ではあるが大きくなっている。これは、軸方向非均質炉心においては、チャンネル出力および中性子インポートンスの分布が平坦化されており、内部ブランケットを有する領域ではほぼ等しくなっていることに起因している。ただし、内部ブランケットを持たない外側の炉心部 (8 R) では制御棒反応度値は中心 (0 R) と比較して小さくなっている。これはチャンネル出力分布は 8 R 付近まで平坦化されているが、中性子インポートンスがこの領域では小さくなっているためである。



次に、全挿入(F)と半挿入(H)とで制御棒反応度値を比較すると、半挿入での反応度値を2倍した値は、全挿入での反応度値よりも若干(～1.5%)大きくなっているが、その差は小さい。即ち、全挿入と半挿入との軸方向への挿入位置による干渉効果は比較的小さいと言える。

制御棒チャンネル4Rと8Rとで干渉効果を見ると、20% B<sub>4</sub>Cおよび90% B<sub>4</sub>Cを用いた全挿入の場合、20% B<sub>4</sub>Cを用いた部分挿入の場合、いずれのケースをみても干渉効果は最大2%程度で測定誤差内である。即ち、今回測定した制御棒配置による干渉効果は殆んど無いと考えてよい。これは、今回の測定では制御棒間の距離(制御棒チャンネルの端から端まで約17cm)が充分大きく、制御棒挿入による中性子束およびインポートランスの分布の歪みが、他方の制御棒チャンネルに充分伝わっていないためである。

## 6.2 解析と検討

### (1) 計算手法

基準計算は3次元XYZモデルにより、方向依存拡散係数 $D_x$ ,  $D_y$ ,  $D_z$ を用いた9群拡散計算とした。9群のエネルギー群構造をTable 6.4に示す。9群縮約群定数は、2次元RZモデルにて方向依存拡散係数 $D_R$ ,  $D_Z$ を用いた70群計算により得られた各領域毎の中性子束を重みとして縮約し作成した。

Na フォロワー体系での実効増倍係数を $K(Na)$ 、模擬制御棒挿入体系での実効増倍係数を $K(B_4C)$ とすると、制御棒反応度値 $\Delta\rho$ は以下の如く表わされる。

$$\Delta\rho = \frac{K(B_4C) - K(Na)}{K(B_4C) \cdot K(Na)} \quad (6.12)$$

上記基準計算により得られた制御棒反応度値に輸送補正を施す。等方拡散係数( $D_0 = 1/3 \Sigma_{TR}$ :  $\Sigma_{TR}$ は輸送断面積)を用いた9群拡散計算および輸送計算(P0-S4)による制御棒反応度値をそれぞれ $\Delta\rho_D$ ,  $\Delta\rho_T$ とし輸送補正係数 $f_{T/D}$ を以下の如く定義する。

$$f_{T/D} = \frac{\Delta\rho_T}{\Delta\rho_D} \quad (6.13)$$

さらに、70群から9群へのエネルギー群縮約による補正係数 $f_G$ を以下の如く定義する。

$$f_G = \frac{\Delta\rho_{G=70}}{\Delta\rho_{G=9}} \quad (6.14)$$

ここで、 $\Delta\rho_{G=70}$  : 70群計算による制御棒反応度値、

$\Delta\rho_{G=9}$  : 9群計算による制御棒反応度値。

基準計算による制御棒反応度値を $\Delta\rho_S$ とすると、補正済みの制御棒反応度値 $\Delta\rho_C$ は上記の $f_{T/D}$ ,  $f_G$ を用いて、

$$\Delta\rho_C = f_{T/D} f_G \Delta\rho_S \quad (6.15)$$

と表わすことができる。

制御棒チャンネルが中心 0 R にある場合の輸送補正係数  $f_{RZ,J}$  は 2 次元 R Z モデルにて計算した。ただし、J は模擬制御棒の挿入状態 ( J = F, H, P ) とする。制御棒チャンネルが中心に無い場合の補正係数は、2 次元 R Z モデルにて計算した中心での補正係数  $f_{RZ,J}$  に、2 次元 XY モデルにて計算した中心および非中心での補正係数の比  $f_{XY,NC}/f_{XY,C}$  を乗じたものとした。ここで、NC は非中心 ( 4 R, 8 R ) を、C は中心 ( 0 R ) を示すものとする。 $f_{RZ,J}$ 、 $f_{XY,NC}$ 、 $f_{XY,C}$  は、それぞれ対応する拡散計算および輸送計算から ( 6.13 ) 式を用いて計算した。2 次元 XY モデルにおいて、内部ブランケットを有する炉心領域の断面積は、炉心および内部ブランケットの断面積を各領域の体積を重みとして平均して作成した。また、軸方向バックリングは 2 次元 R Z モデルを用いて炉心と軸方向ブランケットとの境界にて計算した。制御棒チャンネルが中心に無い場合の 3 次元的輸送補正係数  $f_{XYZ,J}$  を上記の記号を用いて書き直すと以下の如くなる。

$$f_{XYZ,J} = f_{RZ,J} \frac{f_{XY,NC}}{f_{XY,C}} \quad (6.16)$$

2 次元 XY 計算によっては、J の相違即ち軸方向への制御棒挿入状態の相違は、全挿入の場合のみしか正しく計算できないが、ここでは中心領域での  $f_{RZ,J}$  を用いることにより部分的に近似できるものとしている。

## (2) 計算結果および測定値との比較

Table 6.5 に、制御棒反応度値の計算値および計算値/実験値の比 ( C/E 値 ) を示した。今回の C/E 値の平均は  $0.858 \pm 0.042$  であり、C/E 値間でのばらつきも大きく XII-1 炉心における C/E 値と比較しても 10% 程小さな値である。特に、周辺 4 R と 8 R とに 2 本の模擬制御棒を同時に挿入したケースでは C/E 値の平均は  $0.790 \pm 0.019$  とかなり小さくなっている。このため、これらのケースを除いた C/E 値の平均は  $0.875 \pm 0.023$  となり、ばらつきも半分程になる。

また、測定値からは有意な差として観測できなかった制御棒チャンネル 4 R と 8 R との干渉効果も、計算では、20% B<sub>4</sub>C 全挿入の場合 11%、20% B<sub>4</sub>C 部分挿入の場合 10%、90% B<sub>4</sub>C 全挿入の場合には 13% となっている ( Table 6.6 参照 )。

XIII-1 炉心は、内部ブランケットを有し且つ軸方向非均質炉心の径方向特性を得るという実験目的上から径方向に非対称に模擬制御棒を挿入するという、解析が困難な測定体系となっている。制御棒反応度値の解析では、輸送補正が大きく必要不可欠となるので、3 次元形状での輸送効果をどのように評価するかが今後の課題である。

Table 6.1 Atomic number densities in sodium follower  
and simulated control rod $(10^{22} \cdot \text{cm}^{-3})$ 

Nuclide	Na follower	20 % B <sub>4</sub> C Rod	90 % B <sub>4</sub> C Rod
B - 10	—	0.77353	3.6138
B - 11	—	3.1336	0.38732
C	—	0.98303	0.95018
Na	1.5313	—	—
Cr	0.43868	0.38294	0.38294
Fe	1.6156	1.4075	1.4075
Ni	0.20200	0.16896	0.16896

Table 6.2 Correction factor  $f_1^*$  by Modified Source  
Multiplication Method (MSM)

Control rod pattern	$f_1$ in Eq. (6.12)	
	CH1, CH2	CH5, CH6
0R (Na)	1.005	1.004
0R (20% B <sub>4</sub> C : F)	1.034	0.988
4R (Na)	1.001	1.006
4R (20% B <sub>4</sub> C : F)	1.007	1.012
8R (Na)	0.995	1.012
8R (20% B <sub>4</sub> C : F)	0.979	1.026
4R, 8R (Na)	0.999	1.015
4R (20% B <sub>4</sub> C : F), 8R (Na)	1.005	1.020
4R (Na), 8R (20% B <sub>4</sub> C : F)	0.983	1.029
4R, 8R (20% B <sub>4</sub> C : F)	0.990	1.034

\* From Eq. (6.12)

Table 6.3 Measured control rod worth at FCA Assembly XIII-1

Control rod pattern	Rod worth in $\rho_0$ unit ( $\rho_0 = 10^{-4} \Delta k/k$ )
0 R (20% B <sub>4</sub> C : F)	13.00 ± 0.08
0 R (20% B <sub>4</sub> C : H)	6.60 ± 0.05
4 R (20% B <sub>4</sub> C : F)	13.69 ± 0.08
4 R (20% B <sub>4</sub> C : H)	6.89 ± 0.06
8 R (20% B <sub>4</sub> C : F)	10.31 ± 0.08
8 R (20% B <sub>4</sub> C : H)	5.15 ± 0.10
4 R (20% B <sub>4</sub> C : F), 8 R (Na)	13.68 ± 0.11
4 R (Na), 8 R (20% B <sub>4</sub> C : F)	10.35 ± 0.10
4 R, 8 R (20% B <sub>4</sub> C : F)	23.57 ± 0.10
4 R (20% B <sub>4</sub> C : P), 8 R (Na)	4.57 ± 0.08
4 R (Na), 8 R (20% B <sub>4</sub> C : P)	2.95 ± 0.07
4 R, 8 R (20% B <sub>4</sub> C : P)	7.53 ± 0.10
4 R (90% B <sub>4</sub> C : F), 8 R (Na)	29.45 ± 0.29
4 R (Na), 8 R (90% B <sub>4</sub> C : F)	23.04 ± 0.23
4 R, 8 R (90% B <sub>4</sub> C : F)	51.44 ± 1.18

Table 6.4 Few group energy structure for control rod worth calculation

group	Upper Energy	Lower Energy	Lethargy Width	Corresponding 70 Group
1	10.0 MeV	2.23 MeV	1.5	1 - 6
2	2.23 MeV	0.498 MeV	1.5	7 - 12
3	0.498 MeV	0.111 MeV	1.5	13 - 18
4	0.111 MeV	24.8 MeV	1.5	19 - 24
5	24.8 keV	5.53 keV	1.5	25 - 30
6	5.53 keV	1.23 keV	1.5	31 - 36
7	1.23 keV	0.275 keV	1.5	37 - 42
8	0.275 keV	61.4 keV	1.5	43 - 48
9	61.4 eV	10 <sup>-5</sup> eV	15.9	49 - 70

Table 6.5 Calculated control rod worth and C/E value at FCA Assembly XIII-1

Control rod pattern	Calculated worth (C)				C/E
	$\Delta \rho_s$ ( $10^{-4} \Delta k/k$ )	Correction factor		$\Delta \rho_C^*$ ( $10^{-4} \Delta k/k$ )	
		$f_G$	$f_{T/D}$		
0 R (20% B <sub>4</sub> C : F)	51.7	0.984	0.983	50.0	0.878
0 R (20% B <sub>4</sub> C : H)	26.2	0.984	0.977	25.2	0.872
4 R (20% B <sub>4</sub> C : F)	53.2	0.984	0.988	51.7	0.863
4 R (20% B <sub>4</sub> C : H)	27.2	0.984	0.982	26.3	0.872
8 R (20% B <sub>4</sub> C : F)	39.2	0.984	1.003	38.6	0.856
8 R (20% B <sub>4</sub> C : H)	20.3	0.984	0.997	19.9	0.882
4 R (20% B <sub>4</sub> C : F), 8 R (Na)	52.1	0.984	1.010	51.7	0.863
4 R (Na), 8 R (20% B <sub>4</sub> C : F)	38.8	0.984	1.094	41.8	0.922
4 R, 8 R (20% B <sub>4</sub> C : F)	86.7	0.984	0.977	83.4	0.807
4 R (20% B <sub>4</sub> C : P), 8 R (Na)	17.2	0.984	0.976	16.6	0.827
4 R (Na), 8 R (20% B <sub>4</sub> C : F)	11.1	0.984	1.057	11.5	0.890
4 R, 8 R (20% B <sub>4</sub> C : F)	27.3	0.984	0.944	25.4	0.770
4 R (90% B <sub>4</sub> C : F), 8 R (Na)	117.0	0.959	1.021	114.6	0.889
4 R (Na), 8 R (90% B <sub>4</sub> C : F)	88.4	0.959	1.060	89.9	0.890
4 R, 8 R (90% B <sub>4</sub> C : F)	185.0	0.959	1.005	178.4	0.792

\* From Eq. (6.16),

$$\Delta \rho_C = f_{T/D} \cdot f_G \cdot \Delta \rho_s,$$

where,  $\Delta \rho_s$  : rod worth by standard calculation,

$\Delta \rho_C$  : corrected rod worth,

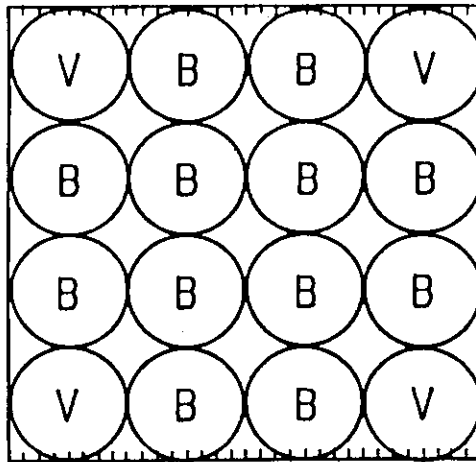
$f_{T/D}$  : correction factor for transport effect,

$f_G$  : correction factor for energy collaption.

Table 6.6 Measured and calculated interference effects between control rod worths of 4 R and 8 R positions

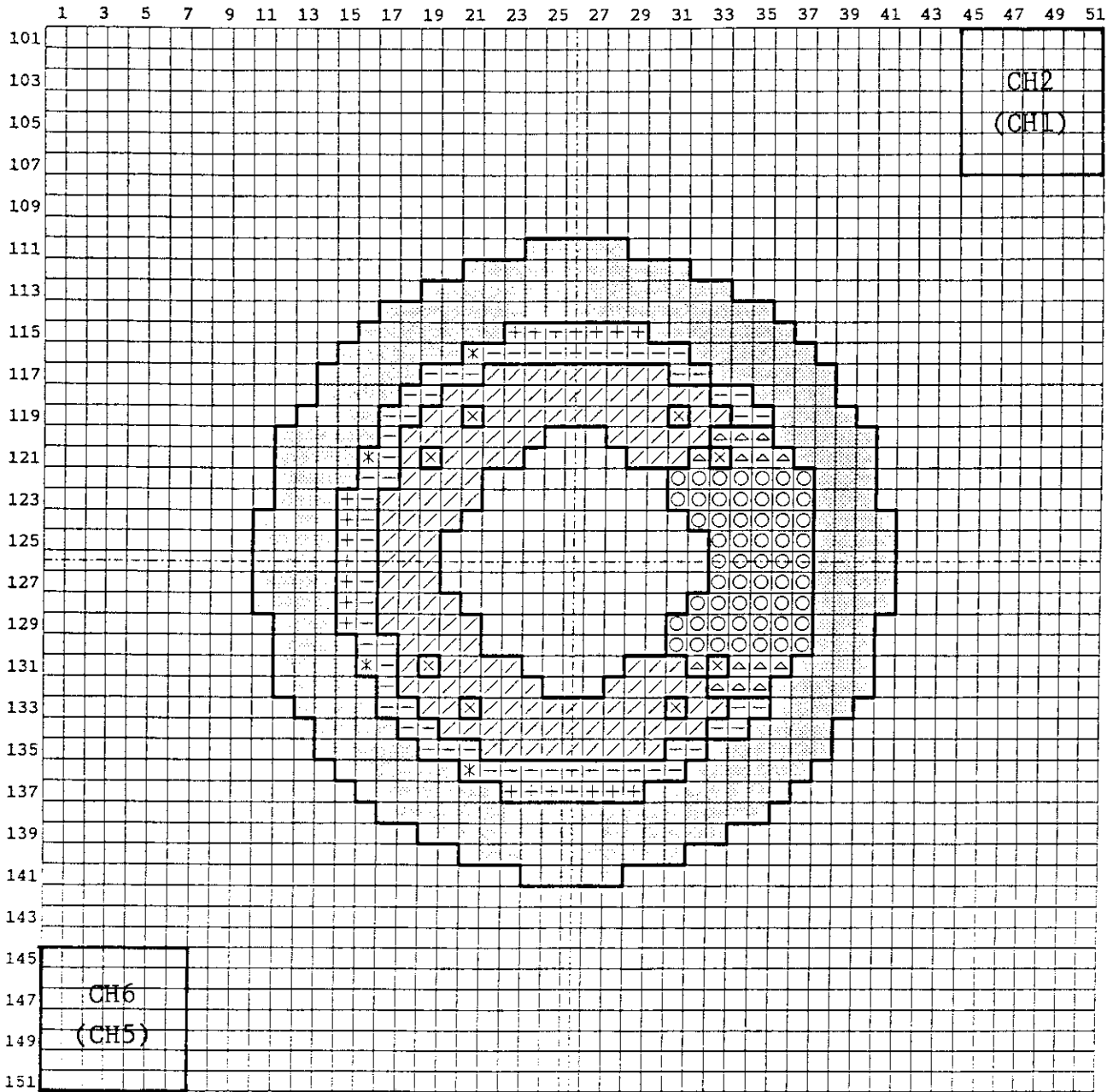
Rod Pattern	$\left( \frac{\Delta \rho_{4R,8R}}{\Delta \rho_{4R} + \Delta \rho_{8R}} - 1 \right) \times 100 (\%)$	
	Measured	Calculated
20% B <sub>4</sub> C : F	- 1.9	- 10.8
20% B <sub>4</sub> C : P	+ 0.1	- 9.6
90% B <sub>4</sub> C : F	- 2.0	- 12.8

- $\Delta \rho_{4R,8R}$  : Rod worth of ( 4 R, 8 R ) position
- $\Delta \rho_{4R}$  : Rod worth of 4 R position
- $\Delta \rho_{8R}$  : Rod worth of 8 R position



- V : Void Pin
- B : 20% <sup>10</sup>B Enriched or 90% <sup>10</sup>B Enriched B<sub>4</sub>C

Fig.6.1 B<sub>4</sub>C pin configuration in simulated control rod



Control Rod Channel Position

OR : 126 / 26  
 4R : 126 / 30  
 8R : 126 / 34

Detector

Start-up Channel (CH1\*, CH2)  
 Linear Channel (CH5\*, CH6) \* in Movable side

Fig.6.2 Control rod channel position and detector configuration in FCA-XIII-1 core

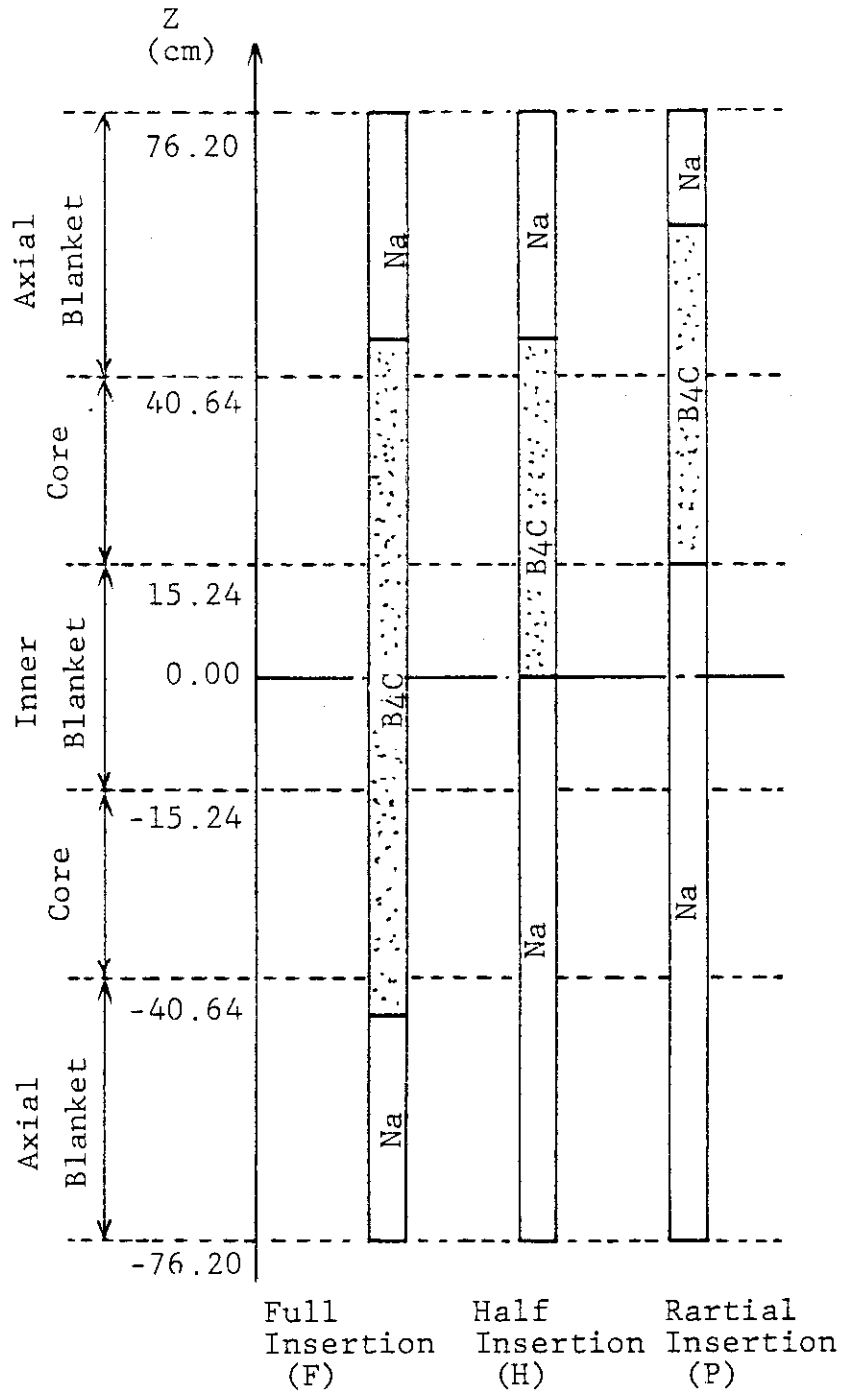


Fig.6.3 Schematic view of simulated control rod position



## 7. 結 論

FCA XIII-1集合体を用い、軸方向非均質炉心の径方向核特性を測定した。体系中心に内部ブランケットを設置したことによる核特性への影響を検討するとともに、実験解析により核特性計算の精度の検証を行った。

XIII-1集合体は軸方向非均質炉心の炉心領域を模擬した扇形のテスト領域を持ち、周辺を濃縮ウランドライバー領域で囲むセクター型部分模擬体系である。実験では臨界性、反応率分布と反応率比、サンプル反応度値および $B_4C$ 制御棒値について測定を行った。臨界性の解析では計算が実効増倍率を0.8%  $\Delta k/k$  過大に評価することが示されたが、これはXII-1集合体の結果と比較し約0.3%  $\Delta k/k$  高い値である。またセクター型であることから、制御・安全棒の反応度値にテスト領域側とドライバ領域側で約27%の差が現れた。

反応率分布は核分裂計数管および箔を用い、 $^{239}\text{Pu}(n, f)$ ,  $^{238}\text{U}(n, f)$ ,  $^{235}\text{U}(n, f)$ ,  $^{237}\text{Np}(n, f)$  および  $^{238}\text{U}(n, \gamma)$  を測定した。内部ブランケットが存在することにより、径方向分布が平坦化する軸方向非均質炉心の特徴が観測された。解析では炉心部では実験値と計算値が良い一致を示すが、内部ブランケットでは $^{238}\text{U}(n, f)$ を除いて一様に計算が過小評価となる傾向がみられた。中性子スペクトルに関する実験として反応率比を測定した。計算は $F^{28}/F^{25}$ の値を内部ブランケットに隣接する炉心部(7R-1Z)で10%以上過大評価する結果となった。

Pu(92)および $B_4C$ サンプル反応度値について空間分布を測定した。Pu(92)サンプル反応度値の測定では、内部ブランケットの影響が炉心部の4Zで見られるが6Zではその影響が小さいことが明らかになった。また体系中心0Rと中心から離れた6Rでは、共に内部ブランケットを含む位置であるが、軸方向分布に相違のあることが観測された。解析では内部ブランケット周辺の炉心部でC/E値が悪くなる傾向がみられた。 $B_4C$ サンプル反応度値では、炉心から内部ブランケットに入ると反応度値が下降する程度がPu(92)サンプルより大きいことが観測された。

$B_4C$ 制御棒反応度値の実験では $B_4C$ を装填した模擬制御棒を体系の中心から径方向に移動し、また挿入位置を全挿入から部分挿入にまで変えた体系において、ナトリウムフォロワーとの置換反応度値を測定した。体系中心と中心から約20cm離れた4Rでは反応度値の差が小さく、内部ブランケットが存在することにより反応度値が径方向に平坦化することが明らかになった。

XIII-1集合体での実験を実施し内部ブランケットの存在により中性子スペクトルおよびインポートンスが影響を受け、核特性が変化するという軸方向非均質炉心の径方向核特性について基本的な特徴を把握することができた。解析では内部ブランケット部および内部ブランケットに隣接する炉心部の計算精度を向上させるための検討が必要であることが明らかになった。

## 謝 辞

本実験計画立案および実施において多くの助言をいただいた日立製作所エネルギー研究所 井上 孝太郎部長，三田 敏男主任研究員，日本原子力研究所高速炉物理研究室 吉田 弘幸室長ならびに炉物理施設管理室 中野 正文室長に感謝の意を表します。また実験におけるFCA管理機関員の皆様の協力を深く感謝いたします。

## 参 考 文 献

- 1) 大杉 俊隆, 飯島 進, 他: "FCA XI-1 集合体による大型高速炉臨界実験", JAERI-84-075 (1984).
- 2) 飯島 進, 岡嶋 成晃, 他: "FCAによる大型軸方向非均質炉心の炉物理研究(II), FCA XI-2 集合体による実験と解析", (公刊予定)
- 3) 飯島 進, 岡嶋 成晃, 他: "FCAによる大型軸方向非均質炉心の炉物理研究(III), FCA XII-1 集合体による実験と解析", JAERI-M 85-045 (1985).
- 4) 岡嶋 成晃, 飯島 進, 他: "FCAによる大型軸方向非均質炉心の炉物理研究(V)", JAERI-M 86-016 (1986).
- 5) Nakagawa, T.: "Summary of JENDL-2 general purpose file", JAERI-M 84-103 (1984).
- 6) 中川 正幸, 阿部 純一, 佐藤 若英: "高速炉の核特性解析コードシステム", JAERI-M 83-066 (1983).
- 7) 飯島 進: (公刊予定)
- 8) Tomlinson, L.: "Delayed neutron from fission", AERE-R 6993 (1972).
- 9) Takano, H., et al.: "Production and benchmark tests of fast reactor group constants set JFS-3-J2", JAERI-M 82-135 (1982).
- 10) Nakagawa, M., et al.: "SLAROM", JAERI-1294 (1984).
- 11) 飯島 進, 他: "PERKY", JAERI-M 6993 (1977).
- 12) Lathrop, K. et al.: "TWOTRAN-II", LA-4848-MS (1973).
- 13) Konishi, T., Ichimori, T. and Obu, M.: "Measurement of central fission rate and fission rate distribution in FCA", JAERI-memo 4356 (公開) (1971).
- 14) 小坪 龍男, 大部 誠: "箔実験におけるデータ処理コードシステム", JAERI-M 84-147 (1984).
- 15) 小坪 龍男: "小型計算機による $\gamma$ 線スペクトル解析コードGSFIT", JAERI-M 84-104 (1984).
- 16) 向山 武彦, 他: "高速炉体系における大きな負の反応度の測定(II)", JAERI-M 6067 (1975).
- 17) 溝尾 宣辰: "中性子源増倍法に関する理論的補正の信頼性", JAERI-M 7135 (1977).

Appendix A プレート・データ

TITLE : T3 CELL FOR XIII-1  
 85-11-20 : ICDATE DATE OF CREATION  
 10 51 4 : ICTIME TIME OF CREATION H I M : S  
 85-11-20 : IUDATE DATE OF LAST UPDATE  
 10 51 4 : IUTIME TIME OF LAST UPDATE H I M : S  
 XT3@@@@ : IDCL SOURCE MEMBER NAME OF CELL PATTERN DATA  
 1985,05 : TNOWD DATE FOR USING DECAY ESTIMATION  
 13 : NPL NUMBER OF REGION IN THIS CELL

MIXING PATTERN : MAT,INDIC, = MATRIX MIXED IND, 1=MIXED ,0=NOT MIXED.

OLD REGION	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
NEW REGION	1	2	2	2	3	4	5	5	5	6	7	8	9	9	9
MAT,INDIC,	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1

OLD REGION	16	17	18	19	20	21
NEW REGION	10	11	12	12	12	13
MAT,INDIC,	0	0	1	1	1	0

REGION NO,	1	2	3	4	5
ID NAME	SS(EDGE)	NA	PU92UKNE	DU02	NA
THICKNESS	0,2200	0,6350	0,1587	0,6350	0,6350
NUCLIDE	3	4	8	3	4
CODE NO,	-----				
8	0,0	0,0	0,0	3,98778E-02	0,0
11	0,0	1,66391E-02	0,0	0,0	1,66391E-02
13	0,0	0,0	2,60734E-03	0,0	0,0
24	1,22240E-02	4,47272E-03	4,65741E-03	0,0	4,47272E-03
26	4,45040E-02	1,64857E-02	1,81929E-02	0,0	1,64857E-02
28	5,32900E-03	2,06674E-03	2,32740E-03	0,0	2,06674E-03
925	0,0	0,0	0,0	4,04351E-05	0,0
928	0,0	0,0	0,0	1,99038E-02	0,0
949	0,0	0,0	1,81774E-02	0,0	0,0
940	0,0	0,0	1,60225E-03	0,0	0,0
941	0,0	0,0	7,86954E-05	0,0	0,0
951	0,0	0,0	7,17147E-05	0,0	0,0

REGION NO,	6	7	8	9	10
ID NAME	AL203	DU02	PU92UKNE	NA	DU02
THICKNESS	0,1587	0,6350	0,1587	0,6350	0,6350
NUCLIDE	5	3	8	4	3
CODE NO,	-----				
8	5,69502E-02	3,98778E-02	0,0	0,0	3,98778E-02
11	0,0	0,0	0,0	1,66391E-02	0,0
13	3,77062E-02	0,0	2,60734E-03	0,0	0,0
24	1,63144E-03	0,0	4,65741E-03	4,47272E-03	0,0
26	5,94184E-03	0,0	1,81929E-02	1,64857E-02	0,0
28	7,11210E-04	0,0	2,32740E-03	2,06674E-03	0,0
925	0,0	4,04351E-05	0,0	0,0	4,04351E-05
928	0,0	1,99038E-02	0,0	0,0	1,99038E-02
949	0,0	0,0	1,81774E-02	0,0	0,0
940	0,0	0,0	1,60225E-03	0,0	0,0
941	0,0	0,0	7,86954E-05	0,0	0,0
951	0,0	0,0	7,17147E-05	0,0	0,0

REGION NO,	11	12	13	14
ID NAME	PU92UKNE	NA	SS(EDGE)	HOMOGENIZED
THICKNESS	0,1587	0,6350	0,2200	5,5200
NUCLIDE	8	4	3	12
CODE NO,	-----			
8	0,0	0,0	0,0	1,54000E-02
11	0,0	1,66391E-02	0,0	7,65638E-03
13	2,60734E-03	0,0	0,0	1,30935E-03
24	4,65741E-03	4,47272E-03	1,22240E-02	3,48123E-03
26	1,81929E-02	1,64857E-02	4,45040E-02	1,28738E-02
28	2,32740E-03	2,06674E-03	5,32900E-03	1,59703E-03
925	0,0	0,0	0,0	1,39545E-05
928	0,0	0,0	0,0	6,86898E-03
949	1,81774E-02	0,0	0,0	1,56829E-03
940	1,60225E-03	0,0	0,0	1,38237E-04
941	7,86954E-05	0,0	0,0	6,78963E-06
951	7,17147E-05	0,0	0,0	6,18735E-06

TITLE : T3D81 CELL  
 86-02-20 : ICDATE DATE OF CREATION  
 9 38 23 : ICTIME TIME OF CREATION H : M : S  
 86-02-20 : IUDATE DATE OF LAST UPDATE  
 9 38 23 : IUTIME TIME OF LAST UPDATE H : M : S  
 XT3D@@@A : IDCL SOURCE MEMBER NAME OF CELL PATTERN DATA  
 1985,03 : INOWD DATE FOR USING DECAY ESTIMATION  
 13 : NPL NUMBER OF REGION IN THIS CELL

MIXING PATTERN : MAT,INDIC. = MATRIX MIXED IND, 1=MIXED 0=NOT MIXED.

OLD REGION 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15  
 NEW REGION 1 2 2 2 3 4 5 5 5 6 7 8 9 9 9  
 MAT,INDIC. 0 1 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 1

OLD REGION 16 17 18 19 20 21  
 NEW REGION 10 11 12 12 12 13  
 MAT,INDIC. 0 0 1 1 1 0

REGION NO.	1	2	3	4	5
ID NAME	SS(EDGE)	NA	PU92UKNE	DU02	NA
THICKNESS	0,2200	0,6350	0,1587	0,6350	0,6350
NUCLIDE	3	4	8	3	4
CODE NO.	-----				
8	0,0	0,0	0,0	3,98778E-02	0,0
11	0,0	1,66391E-02	0,0	0,0	1,66391E-02
13	0,0	0,0	2,60734E-03	0,0	0,0
24	1,22240E-02	4,47272E-03	4,65741E-03	0,0	4,47272E-03
26	4,45040E-02	1,64857E-02	1,81929E-02	0,0	1,64857E-02
28	5,32900E-03	2,06674E-03	2,32740E-03	0,0	2,06674E-03
925	0,0	0,0	0,0	4,04351E-05	0,0
928	0,0	0,0	0,0	1,99038E-02	0,0
949	0,0	0,0	1,81774E-02	0,0	0,0
940	0,0	0,0	1,60225E-03	0,0	0,0
941	0,0	0,0	7,86954E-05	0,0	0,0
942	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
951	0,0	0,0	7,17147E-05	0,0	0,0

REGION NO.	6	7	8	9	10
ID NAME	AL203	DU02	PU81	NA	DU02
THICKNESS	0,1587	0,6350	0,1587	0,6350	0,6350
NUCLIDE	5	3	9	4	3
CODE NO.	-----				
8	5,69502E-02	3,98778E-02	0,0	0,0	3,98778E-02
11	0,0	0,0	0,0	1,66391E-02	0,0
13	3,77062E-02	0,0	2,85805E-03	0,0	0,0
24	1,63144E-03	0,0	4,98005E-03	4,47272E-03	0,0
26	5,94184E-03	0,0	1,93847E-02	1,64857E-02	0,0
28	7,11210E-04	0,0	2,38270E-03	2,06674E-03	0,0
925	0,0	4,04351E-05	0,0	0,0	4,04351E-05
928	0,0	1,99038E-02	0,0	0,0	1,99038E-02
949	0,0	0,0	1,77778E-02	0,0	0,0
940	0,0	0,0	4,11016E-03	0,0	0,0
941	0,0	0,0	3,19662E-04	0,0	0,0
942	0,0	0,0	9,83679E-05	0,0	0,0
951	0,0	0,0	3,44275E-04	0,0	0,0

REGION NO.	11	12	13	14
ID NAME	PU92UKNE	NA	SS(EDGE)	HOMOGENIZED
THICKNESS	0,1587	0,6350	0,2200	5,5200
NUCLIDE	8	4	3	13
CODE NO.	-----			
8	0,0	0,0	0,0	1,54000E-02
11	0,0	1,66391E-02	0,0	7,65638E-03
13	2,60734E-03	0,0	0,0	1,31656E-03
24	4,65741E-03	4,47272E-03	1,22240E-02	3,49050E-03
26	1,81929E-02	1,64857E-02	4,45040E-02	1,29080E-02
28	2,32740E-03	2,06674E-03	5,32900E-03	1,59862E-03
925	0,0	0,0	0,0	1,39545E-05
928	0,0	0,0	0,0	6,86898E-03
949	1,81774E-02	0,0	0,0	1,55680E-03
940	1,60225E-03	0,0	0,0	2,10363E-04
941	7,86954E-05	0,0	0,0	1,37196E-05
942	0,0	0,0	0,0	2,82897E-06
951	7,17147E-05	0,0	0,0	1,40259E-05

TITLE : HIGH U DRIVER  
 86-02-20 : ICDATE DATE OF CREATION  
 9 40 20 : ICTIME TIME OF CREATION H : M : S  
 86-02-20 : IUDATE DATE OF LAST UPDATE  
 9 40 20 : IUTIME TIME OF LAST UPDATE H : M : S  
 XDHE@@@ : IDCL SOURCE MEMBER NAME OF CELL PATTERN DATA  
 1985,05 : TNOWD DATE FOR USING DECAY ESTIMATION  
 15 : NPL NUMBER OF REGION IN THIS CELL

MIXING PATTERN : MAT,INDIC. = MATRIX MIXED IND, 1=MIXED ,0=NOT MIXED,

OLD REGION 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15  
 NEW REGION 1 2 2 2 3 4 5 6 6 6 7 8 9 10 11  
 MAT,INDIC. 0 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1  
  
 OLD REGION 16 17 18 19 20 21 22 23  
 NEW REGION 11 11 12 13 14 14 14 15  
 MAT,INDIC. 1 1 0 1 1 1 1 0

REGION NO,	1	2	3	4	5
ID NAME	SS(EDGE)	NA	AL203	EU20-1/8	EU20 1/16
THICKNESS	0,2200	0,6350	0,6350	0,3175	0,1587
NUCLIDE	3	4	5	2	2
CODE NO,	-----				
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	5,92121E-02	0,0	0,0
11	0,0	1,66391E-02	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	3,94736E-02	0,0	0,0
24	1,22240E-02	3,83180E-03	9,90516E-04	0,0	0,0
26	4,45040E-02	1,41514E-02	3,60755E-03	0,0	0,0
28	5,32900E-03	1,78734E-03	4,31806E-04	0,0	0,0
925	0,0	0,0	0,0	8,51958E-03	8,51584E-03
928	0,0	0,0	0,0	3,38141E-02	3,38013E-02

REGION NO,	6	7	8	9	10
ID NAME	NA	C 16	C 16	C 16	C 16
THICKNESS	0,6350	0,1587	0,1587	0,1587	0,1587
NUCLIDE	4	4	4	4	4
CODE NO,	-----				
6	0,0	7,81693E-02	7,81693E-02	7,81693E-02	7,81693E-02
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	1,66391E-02	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	3,83180E-03	9,90516E-04	9,90516E-04	9,90516E-04	9,90516E-04
26	1,41514E-02	3,60755E-03	3,60755E-03	3,60755E-03	3,60755E-03
28	1,78734E-03	4,31806E-04	4,31806E-04	4,31806E-04	4,31806E-04
925	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
928	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

REGION NO,	11	12	13	14	15
ID NAME	NA	HEU93	AL203	NA	SS(EDGE)
THICKNESS	0,6350	0,1587	0,6350	0,6350	0,2200
NUCLIDE	4	2	5	4	3
CODE NO,	-----				
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	5,92121E-02	0,0	0,0
11	1,66391E-02	0,0	0,0	1,66391E-02	0,0
13	0,0	0,0	3,94736E-02	0,0	0,0
24	3,83180E-03	0,0	9,90516E-04	3,83180E-03	1,22240E-02
26	1,41514E-02	0,0	3,60755E-03	1,41514E-02	4,45040E-02
28	1,78734E-03	0,0	4,31806E-04	1,78734E-03	5,32900E-03
925	0,0	3,93024E-02	0,0	0,0	0,0
928	0,0	2,97117E-03	0,0	0,0	0,0

REGION NO,	16
ID NAME	HOMOGENIZED
THICKNESS	5,5200
NUCLIDE	9
CODE NO,	-----
6	8,99231E-03
8	1,36231E-02
11	7,65638E-03
13	9,08180E-03
24	3,07940E-03
26	1,13041E-02
28	1,39623E-03
925	1,86524E-03
928	3,00247E-03

TITLE : LOW U DRIVER  
 86-02-20 : ICDATE DATE OF CREATION  
 9 41 53 : ICTIME TIME OF CREATION H : M : S  
 86-02-20 : IUDATE DATE OF LAST UPDATE  
 9 41 53 : IUTIME TIME OF LAST UPDATE H : M : S  
 XDL@A : IDCL SOURCE MEMBER NAME OF CELL PATTERN DATA  
 1985,05 : TNOWD DATE FOR USING DECAY ESTIMATION  
 15 : NPL NUMBER OF REGION IN THIS CELL

MIXING PATTERN : MAT,INDIC. = MATRIX MIXED IND. 1=MIXED ,0=NOT MIXED,

OLD REGION 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15  
 NEW REGION 1 2 2 2 3 4 5 6 7 8 9 10 10 10 11  
 MAT,INDIC. 0 1 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 1 0

OLD REGION 16 17 18 19 20 21  
 NEW REGION 12 13 14 14 14 15  
 MAT,INDIC. 1 0 1 1 1 0

REGION NO.	1	2	3	4	5
ID NAME	SS(EDGE)	NA	EU20-1/8	AL203	EU20-1/8
THICKNESS	0,2200	0,6350	0,3175	0,6350	0,3175
NUCLIDE	3	4	2	5	2
CODE NO.	-----				
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	5,92121E-02	0,0
11	0,0	1,66391E-02	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	3,94736E-02	0,0
24	1,22240E-02	3,99688E-03	0,0	1,15560E-03	0,0
26	4,45040E-02	1,47527E-02	0,0	4,20880E-03	0,0
28	5,32900E-03	1,85931E-03	0,0	5,03774E-04	0,0
925	0,0	0,0	8,51958E-03	0,0	8,51958E-03
928	0,0	0,0	3,38141E-02	0,0	3,38141E-02

REGION NO.	6	7	8	9	10
ID NAME	C 16	C 16	C 16	C 16	NA
THICKNESS	0,1587	0,1587	0,1587	0,1587	0,6350
NUCLIDE	4	4	4	4	4
CODE NO.	-----				
6	7,81693E-02	7,81693E-02	7,81693E-02	7,81693E-02	0,0
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,0	0,0	0,0	0,0	1,66391E-02
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	1,15560E-03	1,15560E-03	1,15560E-03	1,15560E-03	3,99688E-03
26	4,20880E-03	4,20880E-03	4,20880E-03	4,20880E-03	1,47527E-02
28	5,03774E-04	5,03774E-04	5,03774E-04	5,03774E-04	1,85931E-03
925	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
928	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

REGION NO.	11	12	13	14	15
ID NAME	EU20-1/8	AL203	EU20-1/8	NA	SS(EDGE)
THICKNESS	0,3175	0,6350	0,3175	0,6350	0,2200
NUCLIDE	2	5	2	4	3
CODE NO.	-----				
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	5,92121E-02	0,0	0,0	0,0
11	0,0	0,0	0,0	1,66391E-02	0,0
13	0,0	3,94736E-02	0,0	0,0	0,0
24	0,0	1,15560E-03	0,0	3,99688E-03	1,22240E-02
26	0,0	4,20880E-03	0,0	1,47527E-02	4,45040E-02
28	0,0	5,03774E-04	0,0	1,85931E-03	5,32900E-03
925	8,51958E-03	0,0	8,51958E-03	0,0	0,0
928	3,38141E-02	0,0	3,38141E-02	0,0	0,0

REGION NO.	16
ID NAME	HOMOGENIZED
THICKNESS	5,5200
NUCLIDE	9
CODE NO.	-----
6	8,99231E-03
8	1,36231E-02
11	5,74229E-03
13	9,08180E-03
24	2,75255E-03
26	1,00912E-02
28	1,24030E-03
925	1,96012E-03
928	7,77970E-03

TITLE 1 IB CELL FOR XIII-1  
 85-11-20 : ICDATE DATE OF CREATION  
 11 15 13 : ICTIME TIME OF CREATION H : M : S  
 85-11-20 : IUDATE DATE OF LAST UPDATE  
 11 15 13 : IUTIME TIME OF LAST UPDATE H : M : S  
 XIII@@@A : IDCL SOURCE MEMBER NAME OF CELL PATTERN DATA  
 1985,05 : TNOWD DATE FOR USING DECAY ESTIMATION  
 13 : NPL NUMBER OF REGION IN THIS CELL

MIXING PATTERN : MAT,INDIC. = MATRIX MIXED IND, 1=MIXED ,0=NOT MIXED.

OLD REGION 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15  
 NEW REGION 1 2 2 2 3 4 5 5 5 6 7 8 9 9 9  
 MAT,INDIC. 0 1 1 1 0 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1

OLD REGION 16 17 18 19 20 21  
 NEW REGION 10 11 12 12 12 13  
 MAT,INDIC. 0 0 1 1 1 0

REGION NO.	1	2	3	4	5
ID NAME	SS(EDGE)	NA	DUO2	NU	NA
THICKNESS	0,2200	0,6350	0,6350	0,1587	0,6350
NUCLIDE	3	4	3	2	4
CODE NO.	-----				
8	0,0	0,0	3,98778E-02	0,0	0,0
11	0,0	1,66391E-02	0,0	0,0	1,66391E-02
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	1,22240E-02	4,38208E-03	0,0	0,0	4,38208E-03
26	4,45040E-02	1,61556E-02	0,0	0,0	1,61556E-02
28	5,32900E-03	2,02723E-03	0,0	0,0	2,02723E-03
925	0,0	0,0	4,04351E-05	3,07365E-04	0,0
928	0,0	0,0	1,99038E-02	4,23955E-02	0,0

REGION NO.	6	7	8	9	10
ID NAME	AL203	DUO2	AL203	NA	NU
THICKNESS	0,1587	0,6350	0,1587	0,6350	0,1587
NUCLIDE	5	3	5	4	2
CODE NO.	-----				
8	5,69502E-02	3,98778E-02	5,69502E-02	0,0	0,0
11	0,0	0,0	0,0	1,66391E-02	0,0
13	3,77062E-02	0,0	3,77062E-02	0,0	0,0
24	1,54080E-03	0,0	1,54080E-03	4,38208E-03	0,0
26	5,61174E-03	0,0	5,61174E-03	1,61556E-02	0,0
28	6,71698E-04	0,0	6,71698E-04	2,02723E-03	0,0
925	0,0	4,04351E-05	0,0	0,0	3,07365E-04
928	0,0	1,99038E-02	0,0	0,0	4,23955E-02

REGION NO.	11	12	13	14
ID NAME	DUO2	NA	SS(EDGE)	HOMOGENIZED
THICKNESS	0,6350	0,6350	0,2200	5,5200
NUCLIDE	3	4	3	8
CODE NO.	-----			
8	3,98778E-02	0,0	0,0	1,70379E-02
11	0,0	1,66391E-02	0,0	7,65638E-03
13	0,0	0,0	0,0	2,16879E-03
24	0,0	4,38208E-03	1,22240E-02	3,07939E-03
26	0,0	1,61556E-02	4,45040E-02	1,13041E-02
28	0,0	2,02723E-03	5,32900E-03	1,39623E-03
925	4,04351E-05	0,0	0,0	3,16335E-05
928	1,99038E-02	0,0	0,0	9,30749E-03

TITLE : ABT CELL  
 86-02-20 : ICDATE DATE OF CREATION  
 9 43 42 : ICTIME TIME OF CREATION H I M : S  
 86-02-20 : IUDATE DATE OF LAST UPDATE  
 9 43 42 : IUTIME TIME OF LAST UPDATE H I M : S  
 XABT@@A : IDCL SOURCE MEMBER NAME OF CELL PATTERN DATA  
 1985,05 : TNOWD DATE FOR USING DECAY ESTIMATION  
 12 : NPL NUMBER OF REGION IN THIS CELL

MIXING PATTERN : MAT,INDIC. = MATRIX MIXED IND. 1=MIXED .0=NOT MIXED.

OLD REGION 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15  
 NEW REGION 1 2 2 2 3 4 5 5 5 6 7 8 8 8 9  
 MAT,INDIC. 0 1 1 1 0 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0

OLD REGION 16 17 18 19 20  
 NEW REGION 10 11 11 11 12  
 MAT,INDIC. 0 1 1 1 0

REGION NO.	1	2	3	4	5
ID NAME	SS(EDGE)	NA	DU02	NU	NA
THICKNESS	0,2200	0,6350	0,6350	0,1587	0,6350
NUCLIDE	3	4	3	2	4
CODE NO.	-----				
8	0,0	0,0	3,98778E-02	0,0	0,0
11	0,0	1,66391E-02	0,0	0,0	1,66391E-02
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	1,22240E-02	4,38208E-03	0,0	0,0	4,38208E-03
26	4,45040E-02	1,61556E-02	0,0	0,0	1,61556E-02
28	5,32900E-03	2,02723E-03	0,0	0,0	2,02723E-03
925	0,0	0,0	4,04351E-05	3,07365E-04	0,0
928	0,0	0,0	1,99038E-02	4,23955E-02	0,0

REGION NO.	6	7	8	9	10
ID NAME	AL203	DU02	NA	NU	DU02
THICKNESS	0,3175	0,6350	0,6350	0,1587	0,6350
NUCLIDE	5	3	4	2	3
CODE NO.	-----				
8	5,69502E-02	3,98778E-02	0,0	0,0	3,98778E-02
11	0,0	0,0	1,66391E-02	0,0	0,0
13	3,77062E-02	0,0	0,0	0,0	0,0
24	1,54080E-03	0,0	4,38208E-03	0,0	0,0
26	5,61174E-03	0,0	1,61556E-02	0,0	0,0
28	6,71698E-04	0,0	2,02723E-03	0,0	0,0
925	0,0	4,04351E-05	0,0	3,07365E-04	4,04351E-05
928	0,0	1,99038E-02	0,0	4,23955E-02	1,99038E-02

REGION NO.	11	12	13
ID NAME	NA	SS(EDGE)	HOMOGENIZED
THICKNESS	0,6350	0,2200	5,5200
NUCLIDE	4	3	8
CODE NO.	-----		
8	0,0	0,0	1,70379E-02
11	1,66391E-02	0,0	7,65638E-03
13	0,0	0,0	2,16879E-03
24	4,38208E-03	1,22240E-02	3,07940E-03
26	1,61556E-02	4,45040E-02	1,13041E-02
28	2,02723E-03	5,32900E-03	1,39623E-03
925	0,0	0,0	3,16335E-05
928	0,0	0,0	9,30749E-03



TITLE ; XABD CELL  
 86-02-20 ; ICDATE DATE OF CREATION  
 9 45 11 ; ICTIME TIME OF CREATION H I M S  
 86-02-20 ; IUDATE DATE OF LAST UPDATE  
 9 45 11 ; IUTIME TIME OF LAST UPDATE H : M : S  
 XABD@e@a ; IDCL SOURCE MEMBER NAME OF CELL PATTERN DATA  
 1985.05 ; TNOWD DATE FOR USING DECAY ESTIMATION  
 11 ; NPL NUMBER OF REGION IN THIS CELL

MIXING PATTERN : MAT,INDIC, = MATRIX MIXED IND, 1=MIXED ,0=NOT MIXED.

OLD REGION 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15  
 NEW REGION 1 2 2 2 3 4 4 4 5 6 7 8 8 8 9  
 MAT,INDIC. 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 0 1 1 1 0

OLD REGION 16 17 18 19  
 NEW REGION 10 10 10 11  
 MAT,INDIC. 1 1 1 0

REGION NO.	1	2	3	4	5
ID NAME	SS(EDGE)	NA	DUO2	NA	AL203
THICKNESS	0,2200	0,6350	0,6350	0,6350	0,3175
NUCLIDE	3	4	3	4	5
CODE NO.	-----				
8	0,0	0,0	3,98778E-02	0,0	5,69502E-02
11	0,0	1,66391E-02	0,0	1,66391E-02	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	3,77062E-02
24	1,22240E-02	4,38208E-03	0,0	4,38208E-03	1,54080E-03
26	4,45040E-02	1,61556E-02	0,0	1,61556E-02	5,61174E-03
28	5,32900E-03	2,02723E-03	0,0	2,02723E-03	6,71698E-04
925	0,0	0,0	4,04351E-05	0,0	0,0
928	0,0	0,0	1,99038E-02	0,0	0,0

REGION NO.	6	7	8	9	10
ID NAME	DUO2	NU	NA	DUO2	NA
THICKNESS	0,6350	0,3175	0,6350	0,6350	0,6350
NUCLIDE	3	2	4	3	4
CODE NO.	-----				
8	3,98778E-02	0,0	0,0	3,98778E-02	0,0
11	0,0	0,0	1,66391E-02	0,0	1,66391E-02
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	0,0	0,0	4,38208E-03	0,0	4,38208E-03
26	0,0	0,0	1,61556E-02	0,0	1,61556E-02
28	0,0	0,0	2,02723E-03	0,0	2,02723E-03
925	4,04351E-05	3,07365E-04	0,0	4,04351E-05	0,0
928	1,99038E-02	4,23915E-02	0,0	1,99038E-02	0,0

REGION NO.	11	12
ID NAME	SS(EDGE)	HOMOGENIZED
THICKNESS	0,2200	5,5200
NUCLIDE	3	8
CODE NO.	-----	
8	0,0	1,70379E-02
11	0,0	7,65638E-03
13	0,0	2,16879E-03
24	1,22240E-02	3,07940E-03
26	4,45040E-02	1,13041E-02
28	5,32900E-03	1,39623E-03
925	0,0	3,16336E-05
928	0,0	9,30725E-03

TITLE : CR CELL  
 86-02-20 : ICDATE DATE OF CREATION  
 11 24 20 : ICTIME TIME OF CREATION H I M S  
 86-02-20 : IUDATE DATE OF LAST UPDATE  
 11 24 20 : IUTIME TIME OF LAST UPDATE H I M S  
 XCRN@@A : IDCL SOURCE MEMBER NAME OF CELL PATTERN DATA  
 0,0 : TNOWD DATE FOR USING DECAY ESTIMATION  
 20 : NPL NUMBER OF REGION IN THIS CELL

MIXING PATTERN : MAT,INDIC, = MATRIX MIXED IND, 1=MIXED ,0=NOT MIXED,

OLD REGION 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15  
 NEW REGION 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15  
 MAT,INDIC, 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0

OLD REGION 16 17 18 19 20  
 NEW REGION 16 17 18 19 20  
 MAT,INDIC, 1 0 1 1 0

REGION NO.	1	2	3	4	5
ID NAME	SS(EDGE)	ALVOID	ALVOID	HEU93	ALVOID
THICKNESS	0,2994	0,3175	0,3175	0,1587	0,3175
NUCLIDE	3	4	4	2	4
CODE NO.	-----				
13	0,0	2,45592E-02	2,45592E-02	0,0	2,45592E-02
24	1,36830E-02	1,68845E-03	1,68845E-03	0,0	1,68845E-03
26	4,98150E-02	6,14931E-03	6,14931E-03	0,0	6,14931E-03
28	5,96600E-03	7,36022E-03	7,36022E-03	0,0	7,36022E-03
925	0,0	0,0	0,0	3,93024E-02	0,0
928	0,0	0,0	0,0	2,97117E-03	0,0

REGION NO.	6	7	8	9	10
ID NAME	EU20-1/8	ALVOID	HEU93	ALVOID	EU20-1/8
THICKNESS	0,3175	0,3175	0,1587	0,3175	0,3175
NUCLIDE	2	4	2	4	2
CODE NO.	-----				
13	0,0	2,45592E-02	0,0	2,45592E-02	0,0
24	0,0	1,68845E-03	0,0	1,68845E-03	0,0
26	0,0	6,14931E-03	0,0	6,14931E-03	0,0
28	0,0	7,36022E-03	0,0	7,36022E-03	0,0
925	8,51958E-03	0,0	3,93024E-02	0,0	8,51958E-03
928	3,38141E-02	0,0	2,97117E-03	0,0	3,38141E-02

REGION NO.	11	12	13	14	15
ID NAME	SSPLATE	ALVOID	HEU93	ALVOID	EU20-1/8
THICKNESS	0,1587	0,3175	0,1587	0,3175	0,3175
NUCLIDE	3	4	2	4	2
CODE NO.	-----				
13	0,0	2,45592E-02	0,0	2,45592E-02	0,0
24	1,67014E-02	1,68845E-03	0,0	1,68845E-03	0,0
26	6,06311E-02	6,14931E-03	0,0	6,14931E-03	0,0
28	1,37202E-02	7,36022E-03	0,0	7,36022E-03	0,0
925	0,0	0,0	3,93024E-02	0,0	8,51958E-03
928	0,0	0,0	2,97117E-03	0,0	3,38141E-02

REGION NO.	16	17	18	19	20
ID NAME	ALVOID	HEU93	ALVOID	ALVOID	SS(EDGE)
THICKNESS	0,3175	0,1587	0,3175	0,3175	0,2994
NUCLIDE	4	2	4	4	3
CODE NO.	-----				
13	2,45592E-02	0,0	2,45592E-02	2,45592E-02	0,0
24	1,68845E-03	0,0	1,68845E-03	1,68845E-03	1,36830E-02
26	6,14931E-03	0,0	6,14931E-03	6,14931E-03	4,98150E-02
28	7,36022E-03	0,0	7,36022E-03	7,36022E-03	5,96600E-03
925	0,0	3,93024E-02	0,0	0,0	0,0
928	0,0	2,97117E-03	0,0	0,0	0,0

REGION NO.	21
ID NAME	HOMOGENIZED
THICKNESS	5,5200
NUCLIDE	6
CODE NO.	-----
13	1,41259E-02
24	2,93577E-03
26	1,06844E-02
28	5,27518E-03
925	5,99124E-03
928	6,17652E-03

## Appendix B 臨界特性データ

## (1) 制御棒反応度値

全引抜き反応度値

CR No. 1 (M 131-19 and 133-21)  $6.90 \rho_0 \pm 1.5 \%$ No. 2 (F 119-31 and 121-33)  $8.75 \rho_0 \pm 1.6 \%$ 実効部分平均反応度値： $\Delta \rho / \Delta x$ CR No. 1  $0.017 \rho_0 / \text{mm}$ No. 2  $0.021 \rho_0 / \text{mm}$ 

## (2) ギャップ反応度効果

密着面のギャップを変えて臨界点を測定し、完全密着点への外挿を行った。測定値を Fig. B.1 に示す。

$$\Delta \rho / \Delta x = -0.995 \pm 0.010 \rho_0 / \text{mm}$$

$$\begin{aligned} \text{ギャップ効果} &= 0.995 \rho_0 / \text{mm} \times 2.1 \text{ mm} \\ &\quad (\pm 0.010) \quad (\pm 0.3) \end{aligned}$$

$$= 2.090 \pm 0.299 \rho_0$$

## (3) 温度効果

炉心温度が変化したことによる反応度変化であり、集合体密着後 2 時間程度の間には炉心温度は約 1°C 変化し安定する。その間の温度と反応度変化から温度効果を求めた。測定結果を Fig. B. 2 に示す。

$$\Delta \rho / \Delta T = -0.077 \rho_0 / ^\circ\text{C}$$

## (4) 臨界点の再現性

同一体系で集合体の分離密着を繰り返した場合の臨界点の再現性を評価した。

$$\pm 0.012 \rho_0$$

この値は制御棒の位置表示として 0.6 ~ 0.7 mm に相当する。制御棒位置の再現性は  $\pm 0.05 \text{ mm}$  程度の精度を持つので、それより 1 桁悪い値となる。

## (5) 密着面ステンレス反応度値

集合体を区分し各区分ごとのステンレス反応度値を測定し、面積積分を行うことにより全平面の反応度値を求めた。区分を Fig. B. 3 に示す。

$$\text{計算式} \quad \left( a \times \frac{b}{c} \times \frac{d}{e} \right) \times 2$$

- a : 反応度値  
 b : 区分の全ドロワー数  
 c : 反応度値を測定したドロワー数  
 d : ドロワー当りの密着面ステンレスの重量  
 e : 反応度値を測定したサンプルの重量

2分割型集合体であるので全体を2倍する。

(Unit :  $\rho_0$ )

$$\text{Zone I} \quad -0.363 \times \frac{28.25}{15} \times \frac{8.73}{200.8} \times 2 = -0.0594 \pm 0.0028$$

$$\text{Zone II} \quad -0.190 \times \frac{71}{22} \times \frac{8.73}{200.8} \times 2 = -0.0533 \pm 0.0048$$

$$\text{Zone III} \quad 0.076 \times \frac{76}{20} \times \frac{8.73}{100.8} \times 2 = 0.0502 \pm 0.0112$$

$$\text{Zone IV} \quad -0.341 \times \frac{84.75}{15} \times \frac{8.73}{200.8} \times 2 = -0.1675 \pm 0.0084$$

$$\text{Zone V} \quad 0.049 \times \frac{239}{21} \times \frac{8.73}{200.8} \times 2 = 0.0485 \pm 0.0168$$

$$\text{Zone VI} \quad 0.051 \times \frac{231}{21} \times \frac{8.73}{100.4} \times 2 = 0.0980 \pm 0.0327$$

---


$$\text{Total} \quad -0.0835 \pm 0.0397$$

#### (6) 引出し反応度値

臨界性を検討する際に、テスト領域およびドライバー領域での各引出しの臨界量への寄与等の詳細なデータとして各引出しの反応度値を測定した。

それぞれの引出しの炉心領域（内部ブランケットを含む）をナトリウム板に置換した場合の反応度値変化を、径方向および周方向について測定した。測定位置を Fig. B.4 に示し、測定結果を Table B.1 に示す。

Table B.1 Experimental Results of Drawer Worth in FCA Assembly XIII-1

(1) Radial Direction

Position	Drawer Type	Worth ( $\rho_0$ )
F126-15 (-11R)	EUCD	0.587 (0.017)
-17 (-9R)	HEUCD	1.045 (0.017)
-19 (-7R)	HEUCD	1.410 (0.017)
-20 (-6R)	T3B3	0.597 (0.017)
-23 (-3R)	T3B3	0.849 (0.017)
-26 (0R)	T3B3	0.942 (0.017)
-29 (3R)	T3B3	0.937 (0.017)
-32 (6R)	T3B3	0.816 (0.017)
-33 (7R)	T3	1.950 (0.017)
-35 (9R)	T3	1.540 (0.017)
-37 (11R)	T3	0.816 (0.017)

(2) Azimuthal Direction

Position	Drawer Type	Worth ( $\rho_0$ )
F128-22	T3B3	0.748 (0.003)
F130-24	T3B3	0.762 (0.003)
F130-28	T3B3	0.811 (0.003)
F128-30	T3B3	0.887 (0.003)
F129-20	HEUCD	1.490 (0.003)
F132-23	HEUCD	1.525 (0.003)
F132-29	HEUCD	1.654 (0.003)
F129-32	T3	2.018 (0.003)

Value in parentheses means the experimental error.

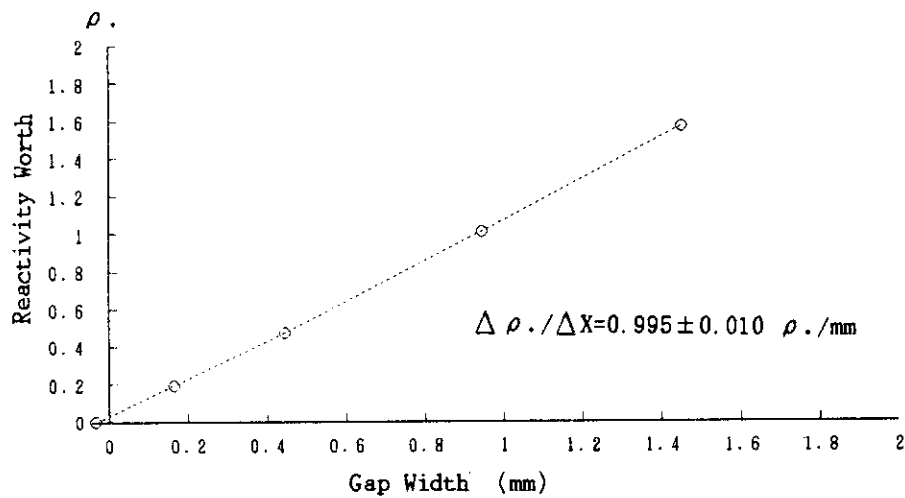


Fig. B.1 Gap Coefficient Measurement

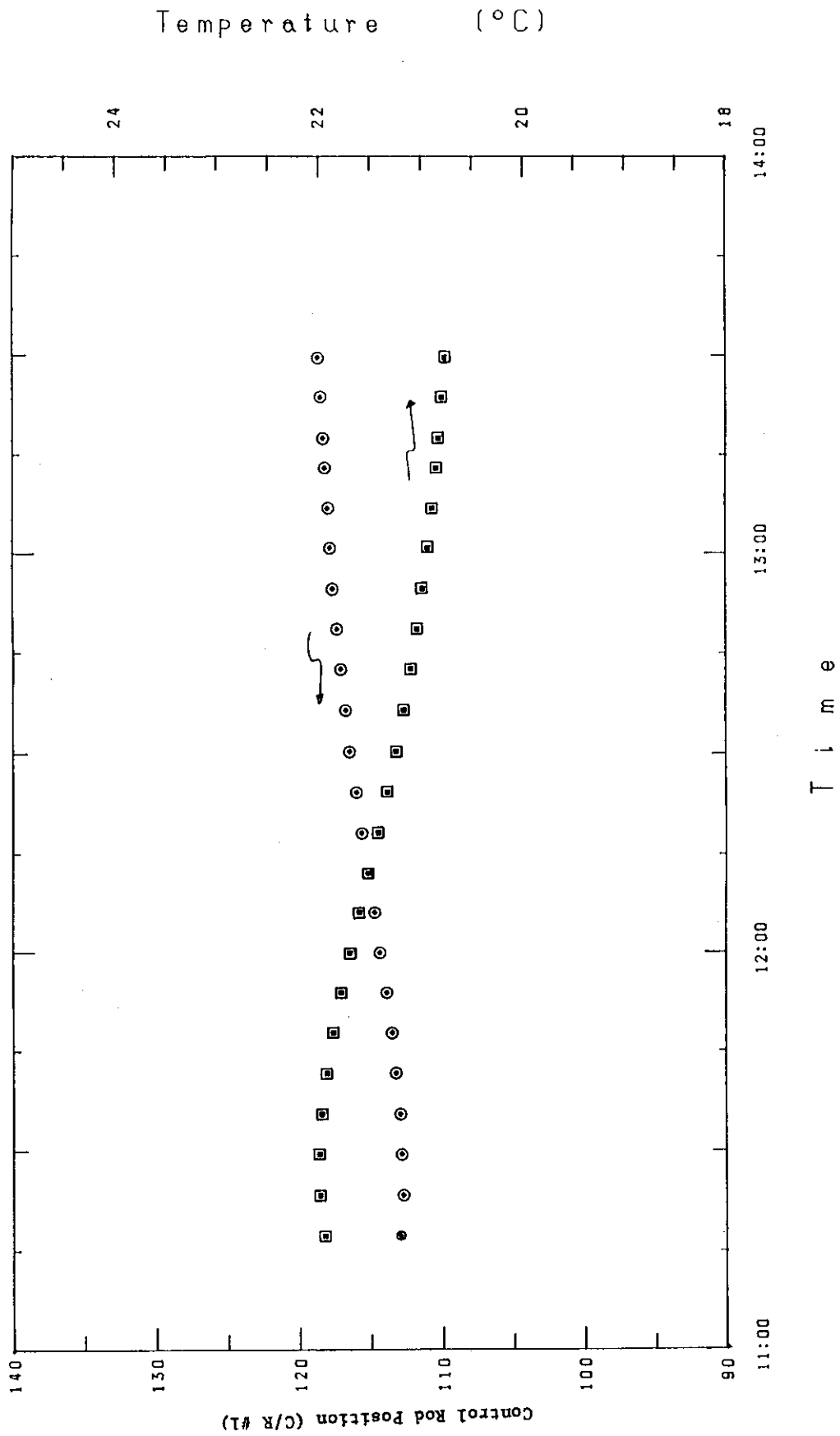


Fig.B.2 Characteristics of Temperature and Criticality after the Contact

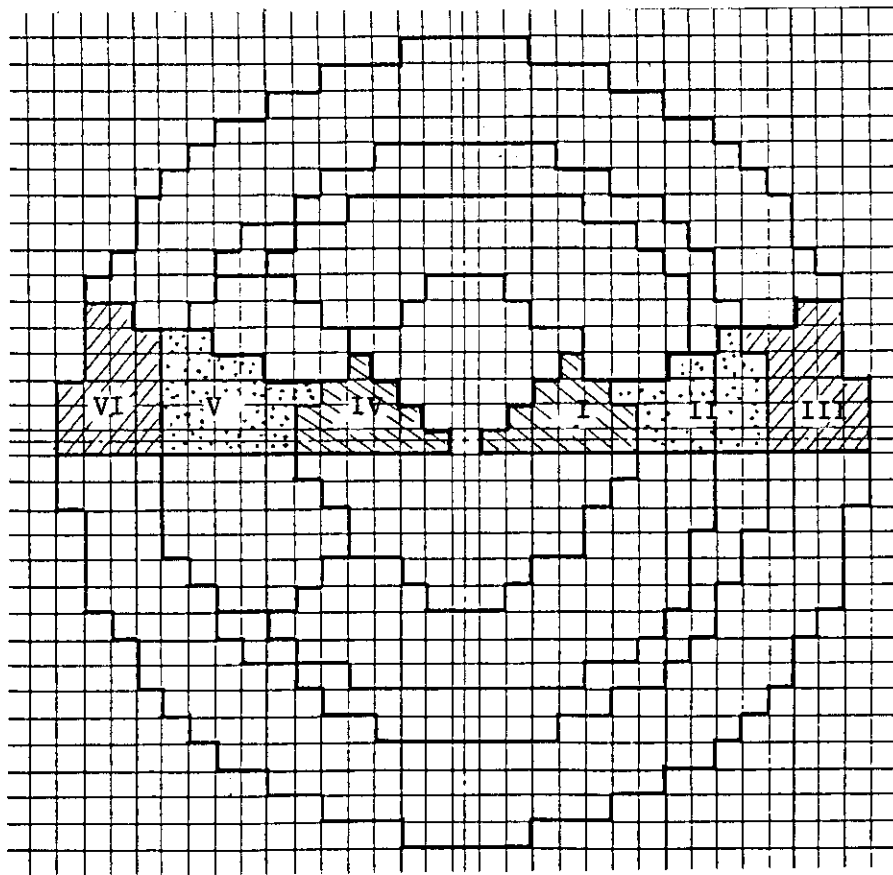


Fig.B.3 SS Worth Effect Measurement at the Midplane

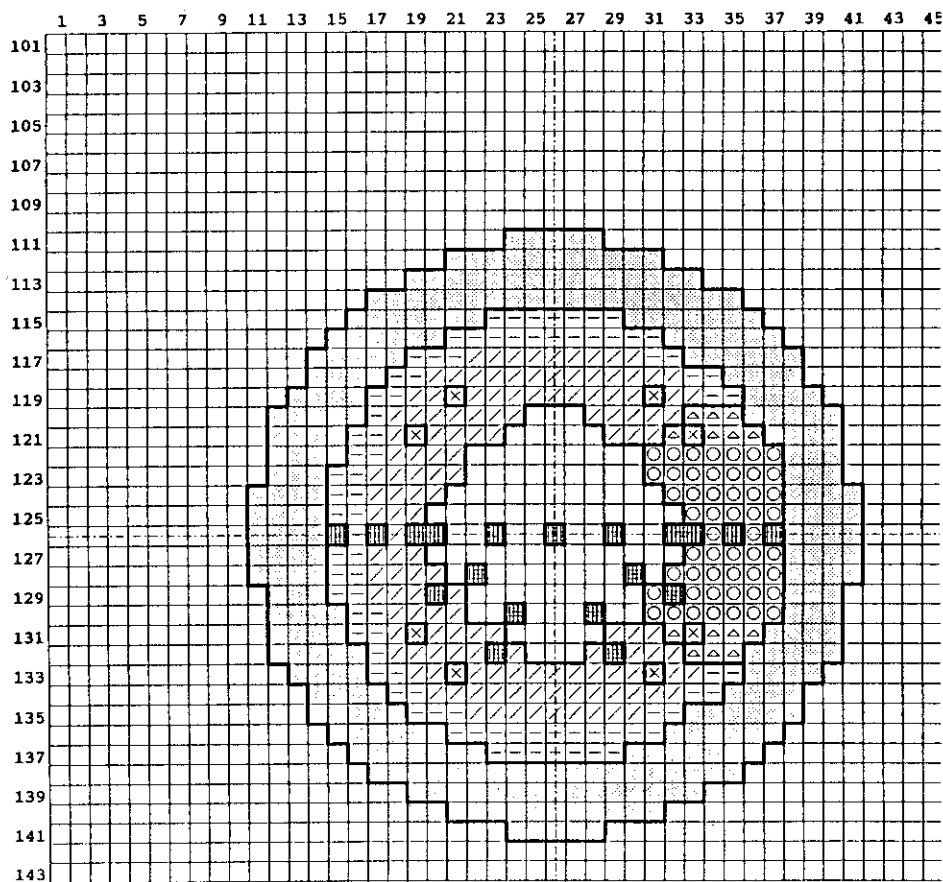


Fig.B.4 Positions for Drawer Worth Measurement

## Appendix C ドライバー領域のサンプルワース

Pu(92) サンプル反応度値は、テスト領域中だけでなく、ドライバー領域中についても測定した。測定および測定に使用したサンプルは、前述のサンプル反応度値と同様であり、径方向分布についてのみ行った。セル内での測定位置は、内部ブランケット部に対してはテスト側のそれと同一であり、その他については Fig. C.1 に示す。

分布は、テスト側とドライバー側とで対称にならず、ドライバー側での測定値は、テスト側での対応する値よりも小さい。これは、中性子インポートランスの分布がテスト側の方がドライバー側の対応する位置での値よりも大きいことによる。これらの分布より、0 Rでの測定値がドライバーの影響を受けていることがわかる。

解析もテスト側での場合と同様に行った。計算結果を Table C.3 に示す。輸送効果は、内部ブランケット内で約 -7% であり、炉心領域で -1% ~ 4% であった。

計算は分布の傾向を良く再現している。実験値と計算値と比較すると、テスト側に比べてドライバー側での C/E 値が 1 に近い。C/E 値の傾向については、テスト側でのそれに良く似ている。



Table C.1 Experimental Results of Pu(92) Sample Worth in FCA Assembly XIII-1

unit:  $\rho$ , ( $\rho = -0.0435\% \Delta K/K$ )

(cm)	(-9R)	(-8R)	(-7R)	(-6R)	(-5R)	(-4R)	(-3R)	(-2R)	(-1R)	(0R)	(1R)	(2R)	(3R)	(4R)	(5R)	(6R)	(7R)	(8R)	(9R)
40.64										0.157 (0.892)						0.126 (0.883)	0.111 (0.883)		0.071 (0.901)
35.56																			
30.48	0.078 (1.013)	0.138 (0.919)				0.204 (0.960)				0.230 (0.948)	0.241 (0.904)	0.236 (0.898)			0.204 (0.941)	0.189 (0.910)			0.126 (0.929)
25.40																			
20.32	0.111 (0.982)					0.230 (0.964)				0.256 (0.918)	0.264 (0.898)	0.264 (0.913)			0.257 (0.910)	0.246 (0.907)			0.174 (0.926)
15.24										0.246 (0.951)					0.257 (0.910)	0.263 (0.890)			0.192 (0.917)
10.16																			
5.08	0.134 (0.942)					0.232 (0.983)				0.250 (0.904)	0.252 (0.916)			0.259 (0.894)	0.271 (0.913)	0.265 (0.912)			0.203 (0.936)
0.00										0.00									

Distance from core center (cm)

\* experimental error: 0.004  $\rho$   
 \*\* Value in parentheses means the C/E value.

Table C.2 C/E Values of Radial Pu(92) Sample Worth Distribution at 1Z in FCA Assembly XIII-1

unit:  $\rho_0$  ( $\rho_0=0.0438\% \Delta K/K$ )

Position	Distance (cm)	Calculation			Experiment	C/E
		B.C.	T.C.	Corr.		
-9R	-49.68	0.128	0.987	0.126	0.134 (0.004)	0.942
-8R	-44.16	0.153	0.994	0.152	-----	-----
-7R	-38.64	0.176	0.985	0.173	0.186 (0.004)	0.932
-6R	-33.12	0.211	0.945	0.199	0.202 (0.004)	0.985
-5R	-27.60	0.227	0.937	0.213	-----	-----
-4R	-22.08	0.236	0.920	0.217	0.232 (0.004)	0.935
-3R	-16.56	0.240	0.936	0.225	-----	-----
-2R	-11.04	0.242	0.940	0.227	-----	-----
-1R	-5.52	0.242	0.936	0.227	-----	-----
0R	0.0	0.243	0.929	0.226	0.250 (0.004)	0.904
1R	5.52	0.246	0.923	0.227	-----	-----
2R	11.04	0.250	0.924	0.231	0.252 (0.004)	0.916
3R	16.56	0.256	0.921	0.236	-----	-----
4R	22.08	0.261	0.921	0.240	0.269 (0.004)	0.894
5R	27.60	0.265	0.918	0.243	-----	-----
6R	33.12	0.265	0.934	0.248	0.269 (0.004)	0.920
7R	38.64	0.245	0.987	0.242	0.265 (0.004)	0.912
8R	44.16	0.226	1.005	0.227	-----	-----
9R	49.68	0.190	1.000	0.190	0.203 (0.004)	0.936
10R	55.20	0.146	0.986	0.144	-----	-----
11R	60.72	0.101	0.968	0.098	-----	-----

B.C. : Anisotropic Diffusion Calculation

T.C. : Transport Correction Factor

Corr. : Corrected Value

Value in parentheses means the experimental error.

Table C.3 C/E Values of Radial Pu(92) Sample Worth Distribution at 4Z in FCA Assembly XIII-1

unit:  $\rho_0$  ( $\rho_0=0.0438\% \Delta K/K$ )

Position	Distance (cm)	Calculation			Experiment	C/E
		B.C.	T.C.	Corr.		
-9R	-49.68	0.109	1.000	0.109	0.111 (0.004)	0.982
-8R	-44.16	0.135	1.000	0.135	-----	-----
-7R	-38.64	0.162	0.995	0.161	0.170 (0.004)	0.948
-6R	-33.12	0.190	1.014	0.193	-----	-----
-5R	-27.60	0.209	1.012	0.212	-----	-----
-4R	-22.08	0.220	1.008	0.222	0.230 (0.004)	0.964
-3R	-16.56	0.226	1.008	0.228	-----	-----
-2R	-11.04	0.229	1.011	0.232	-----	-----
-1R	-5.52	0.231	1.011	0.234	-----	-----
0R	0.0	0.233	1.007	0.235	0.256 (0.004)	0.918
1R	5.52	0.235	0.996	0.234	-----	-----
2R	11.04	0.238	0.996	0.237	0.264 (0.004)	0.898
3R	16.56	0.241	0.992	0.239	-----	-----
4R	22.08	0.243	0.992	0.241	0.264 (0.004)	0.913
5R	27.60	0.241	0.987	0.238	-----	-----
6R	33.12	0.235	0.996	0.234	0.257 (0.004)	0.910
7R	38.64	0.221	1.009	0.223	0.246 (0.004)	0.907
8R	44.16	0.195	1.011	0.197	-----	-----
9R	49.68	0.160	1.006	0.161	0.174 (0.004)	0.926
10R	55.20	0.120	0.991	0.119	-----	-----
11R	60.72	0.082	0.974	0.080	-----	-----

B.C. : Anisotropic Diffusion Calculation

T.C. : Transport Correction Factor

Corr. : Corrected Value

Value in parentheses means the experimental error.

Table C. 4 C/E Values of Radial Pu(92) Sample Worth Distribution at 6Z in FCA Assembly XIII-1

unit:  $\rho_0$  ( $\rho_0 = 0.0438\% \Delta K/K$ )

Position Distance (cm)		Calculation			Experiment	C/E
		B.C.	T.C.	Corr.		
-9R	-49.68	0.079	1.000	0.079	0.078 (0.004)	1.013
-8R	-44.16	0.101	1.008	0.102	-----	-----
-7R	-38.64	0.126	1.007	0.127	0.138 (0.004)	0.919
-6R	-33.12	0.155	1.032	0.160	-----	-----
-5R	-27.60	0.176	1.033	0.182	-----	-----
-4R	-22.08	0.190	1.030	0.196	0.204 (0.004)	0.960
-3R	-16.56	0.199	1.037	0.206	-----	-----
-2R	-11.04	0.205	1.040	0.213	-----	-----
-1R	-5.52	0.209	1.040	0.217	-----	-----
0R	0.0	0.211	1.035	0.218	0.230 (0.004)	0.948
1R	5.52	0.213	1.022	0.218	-----	-----
2R	11.04	0.213	1.023	0.218	0.241 (0.004)	0.904
3R	16.56	0.212	1.018	0.216	-----	-----
4R	22.08	0.208	1.019	0.212	0.236 (0.004)	0.898
5R	27.60	0.201	1.015	0.204	-----	-----
6R	33.12	0.188	1.021	0.192	0.204 (0.004)	0.941
7R	38.64	0.169	1.018	0.172	0.189 (0.004)	0.910
8R	44.16	0.144	1.021	0.147	-----	-----
9R	49.68	0.115	1.018	0.117	0.126 (0.004)	0.929
10R	55.20	0.085	1.012	0.086	-----	-----
11R	60.72	0.057	0.964	0.055	-----	-----

B.C. : Anisotropic Diffusion Calculation

T.C. : Transport Correction Factor

Corr. : Corrected Value

Value in parentheses means the experimental error.

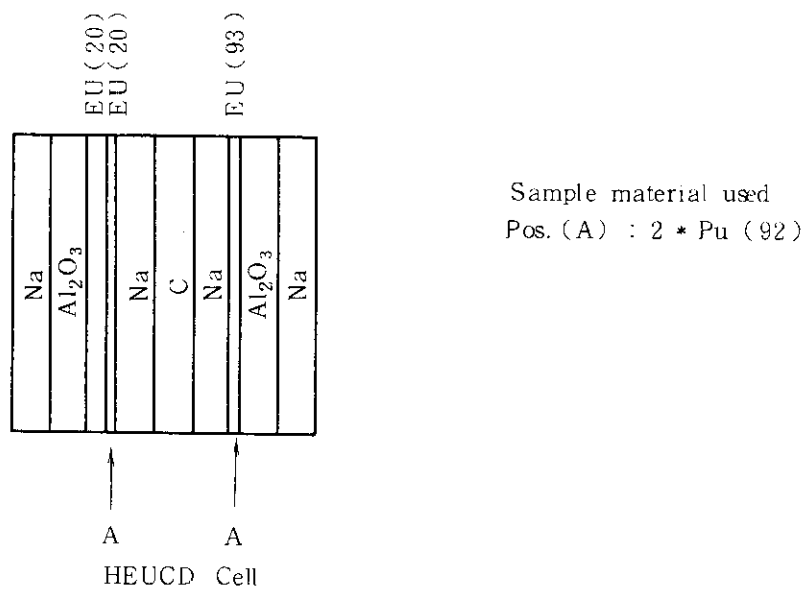


Fig.C.1 Sample Position for Sample Reactivity Worth Measurement

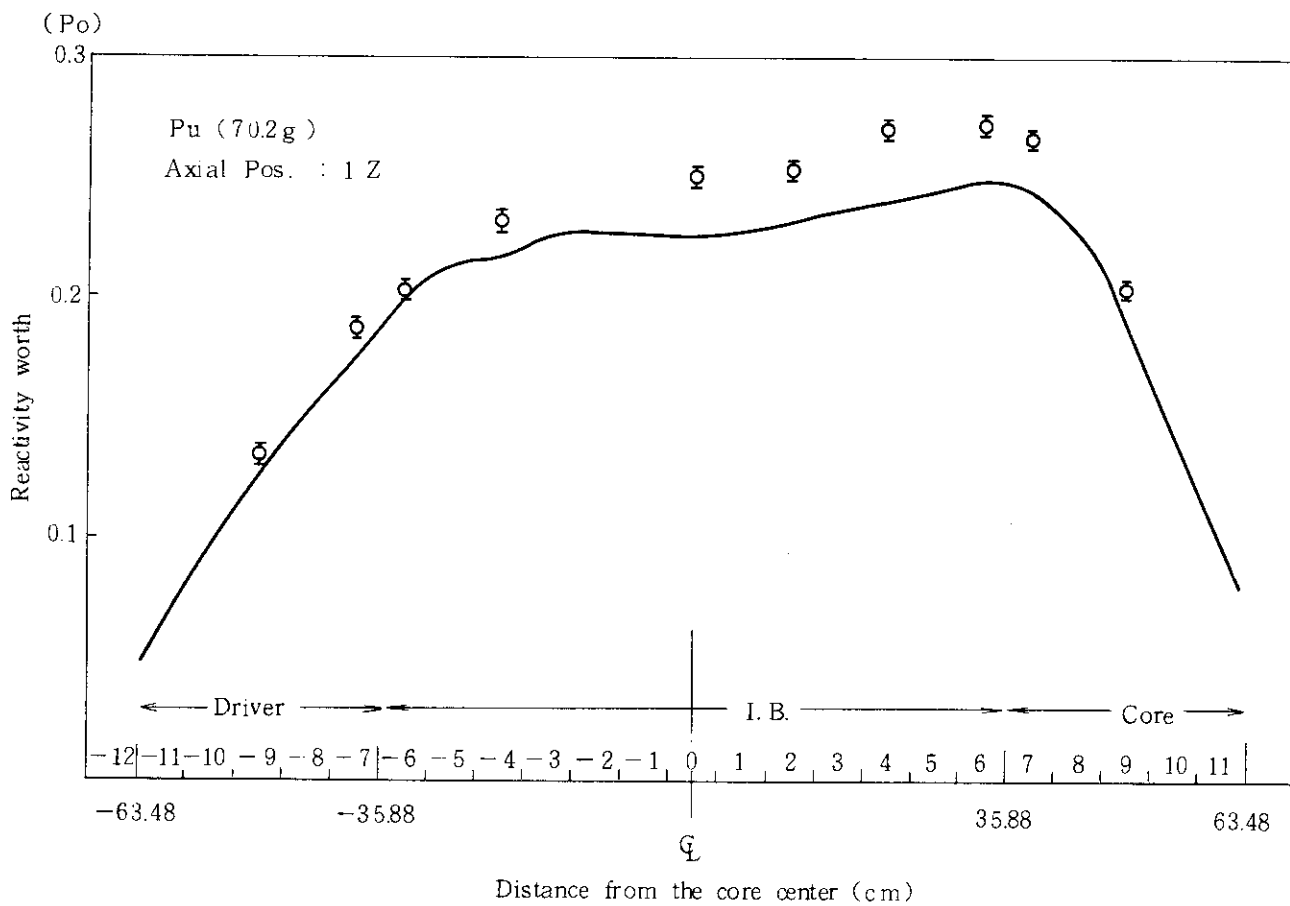


Fig.C.2 Radial Distribution of Pu (92) Sample Worth in FCA Assembly XIII - 1

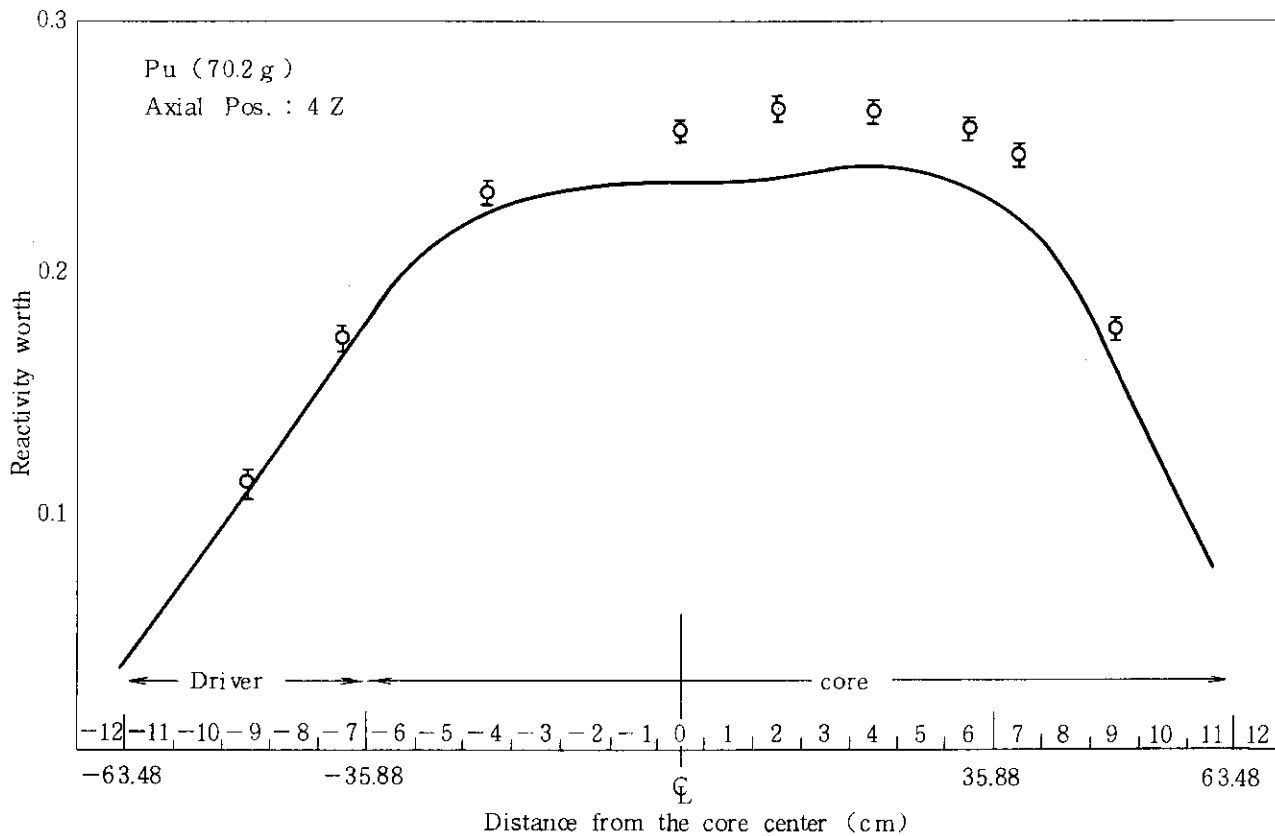


Fig.C.3 Radial Distribution of Pu(92) Sample Worth in FCA Assembly XIII - 1

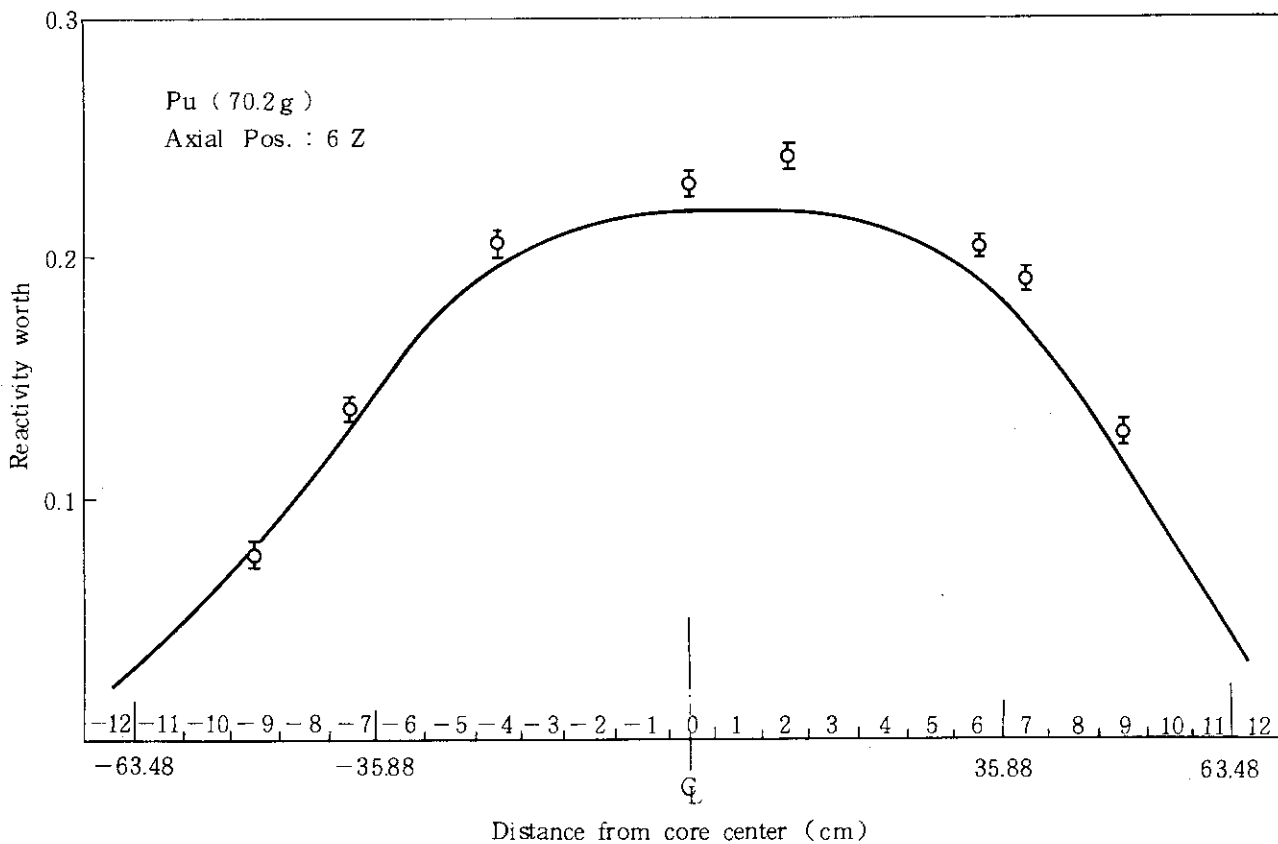


Fig.C.4 Radial Distribution of Pu(92) Sample Worth in FCA Assembly XIII - 1