

JAERI-M  
88-245

VHTRCの実験データに基づく高温工学  
試験研究炉の核設計計算手法の精度検討

1988年12月

山下 清信・新藤 隆一・村田 篤・渡部 隆\*

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

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。  
入手の問合せは、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, 1988

---

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

V H T R C の実験データに基づく高温工学試験研究炉の  
核設計計算手法の精度検討

日本原子力研究所大洗研究所高温工学試験研究炉設計室  
山下 清信・新藤 隆一・村田 勲・渡部 隆\*

(1988年11月10日受理)

本報は、高温ガス炉臨界実験装置（V H T R C）の実験データに基づいて行った高温工学試験研究炉の核設計計算手法の精度検討の結果について報告するものである。核設計計算手法で用いる計算コードとして、燃料格子特性計算に D E L I G H T - 6, 7, 制御棒特性計算に T W O T R A N - 2, 炉心特性計算に C I T A T I O N 及びこれをベクトル化した C I T A T I O N - 1000 VP を使用している。本検討より得られた実効増倍率、制御棒反応度価値、反応度調整材反応度価値、出力分布（銅反応率分布）及び温度係数の実験値に対する計算値の最大の誤差は、各々 1.0% 4k, 9.5%, 4.5%, 2.9%（径方向）及び 7.0% であることが明らかになった。

---

大洗研究所：〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町字新堀3607

\* 川崎重工業（株）

Accuracy Investigation of Nuclear Design Method for  
High Temperature Engineering Test Reactor (HTTR)  
Based on VHTRC Experimental Data

Kiyonobu YAMASHITA, Ryuichi SHINDO  
Isao MURATA and Takashi WATANABE\*

HTTR Designing Laboratory  
Oarai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received November 10, 1988)

The accuracy investigation of nuclear design method for High Temperature engineering Test Reactor (HTTR) has been done through the comparison with various experimental data obtained using the Very High Temperature Reactor Critical Assembly (VHTRC). The nuclear design codes used in this study are DELIGHT-6,7 to obtain the neutron spectrum of a fuel cell and to produce group constants utilizing the nuclear data from ENDF/B-3,4, CITATION and CITATION-1000VP to calculate the three dimensional core performance, and TWOTRAN-2 for control rod cell calculation. The nuclear design method was examined by this study on the integral quantities of effective multiplication factor, control rod reactivity worth, burnable poison rod reactivity worth, power distribution and temperature coefficient. The maximum degrees of disagreement of the aforementioned items with relevant experiments were found to be 1.0% $\Delta k$ , 9.5%, 4.5%, 2.9% and 7.0%, respectively.

Keywords: HTGR Reactor, Nuclear Design, Nuclear Computer Code, DELIGHT, CITATION, TWOTRAN, Critical Assemblies, VHTRC, Effective Multiplication Factor, Control Rod Worth, Burnable Poison Rod Worth, Accuracy, HTTR

---

\* Kawasaki heavy Industries Co., Ltd.

## 目 次

1.はじめに .....	1
2.実験設備の概要と計算対象体系 .....	6
2.1 臨界実験装置 .....	6
2.2 対象体系と実験データ .....	7
3.計算コードと計算モデル .....	43
3.1 燃料格子特性計算 .....	44
3.2 制御棒特性計算 .....	44
3.3 炉心特性計算 .....	45
3.4 エネルギ群数及びメッシュ数 .....	46
4.計算結果と検討 .....	73
4.1 実効増倍率 .....	73
4.2 制御棒反応度値 .....	73
4.3 反応度調整材反応度値 .....	73
4.4 出力分布(銅反応率分布) .....	74
4.5 温度係数 .....	74
5.結論 .....	89
謝辞 .....	90
参考文献 .....	90

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Experiment with VHTRC .....	6
2.1 Outline of VHTRC .....	6
2.2 Experimental data .....	7
3. Calculation code and model .....	43
3.1 Fuel cell calculation .....	44
3.2 Control rod cell calculation .....	44
3.3 Reactor core calculation .....	45
3.4 Energy group and mesh number .....	46
4. Comparison of calculated value with experimental value .....	73
4.1 Effective multiplication factor .....	73
4.2 Control rod reactivity worth .....	73
4.3 Burnable poison rod reactivity worth .....	73
4.4 Power distribution (Cu reation rate) .....	74
4.5 Temperature coefficient .....	74
5. Conclusion .....	89
Acknowledgement .....	90
References .....	90

## 1. はじめに

高温ガス炉の核特性に関する基礎的な臨界実験データを取得するために建設した高温ガス炉臨界実験装置（以下V H T R C）での臨界実験データ<sup>(1)</sup>を、高温工学試験研究炉（以下HTTR）の炉心核設計のために開発した核設計計算手法を用いて解析評価し、その計算結果を実験値と比較することにより計算手法の精度検討を行った。

日本原子力研究所ではV H T R Cに先だって、昭和36年～57年まで半均質臨界実験装置（S H E）を用いて半均質炉及び高温ガス炉の核特性実験が行われてきた。S H Eは、元来、半均質炉の核的模擬実験のための臨界実験装置であり、被覆燃料粒子及び燃料形状によって生じる二重非均質性等を考慮する必要がある高温ガス炉の核的模擬実験に適しているとは言えなかった。そこで二重非均質性を有する高温ガス炉用燃料を炉心に装荷したV H T R Cを建設し昭和60年5月より実験を開始した。V H T R C、S H E及びH T T Rの諸元の比較を表1.1に示す。また各々の炉心に用いている燃料体形状の比較を図1.1に示す。V H T R CとS H Eの主な相違点を以下に述べる。

- i) V H T R Cでは被覆燃料粒子及び燃料棒配列形状によって生じる二重非均質性を有する燃料を使用している。
- ii) V H T R Cでは炉心全体の温度を200°Cまで昇温する実験が可能である。
- iii) V H T R Cの炉心を構成する燃料体ブロックの形状及びブロック内の燃料棒の配置がH T T Rのものと同型式である。
- iv) ウラン濃縮度は、S H Eでは20w/oであるのに対して、V H T Rでは、H T T Rに近い2, 4, 6 w/oである。

V H T R Cは、S H Eの不十分な点を改善し高温ガス炉すなわちH T T Rの特性を模擬したものであり、H T T Rの核設計計算手法の検証に適したものである。

解析対象とした実験炉心はV H T R C - 1, 2, 3炉心であり、解析対象は以下の実験項目とした。

- ① 実効増倍
- ② 制御棒反応度価値
- ③ 反応度調整材反応度価値
- ④ 出力分布（銅反応率分布）
- ⑤ 温度係数

V H T R C - 1, 2, 3の炉心を更に燃料棒装荷数の相違に基づいて分類した1～13の体系と検討項目との対応を表1.2に示す。

使用した計算コードは、H T T Rの核設計で使用している以下のコードである。

- D E L I G H T - 6<sup>(2)</sup>, 7<sup>(3)</sup>
- T W O T R A N - 2<sup>(4)</sup>
- C I T A T I O N<sup>(5)</sup> 及びC I T A T I O N - 1000 V P

計算はHTTR設計に用いられている手順及び考え方に基づいて行ったが、メッシュ数、群数等のパラメータについてはVHTRの炉心寸法が小さいことの特殊性を考慮して設定した。

第2章では、VHTRCの実験設備の概要と本検討に用いた実験体系の説明を行い、第3章で計算方法と計算モデルの説明を行う。第4章では各々の検討項目ごとに計算結果を説明する。

表 1.1 SHE, VHTRC 及び HTTR の諸元の比較

項目		VHTRC	SHE	HTTR
炉心	最大熱出力 最大炉心温度 (°C)	10 W 210*1	10 W 100*1	30 MW 950*2
	炉心形状	六角柱状水 平二分割型	六角柱状水 平二分割型	六角柱状
	炉心寸法 軸方向 (m)	2.4*5	2.4*5	2.9
	径方向 (m)	1.75	1.36	2.3
	カラム数 燃料カラム数	24	—	42
	制御カラム数	7	—	16
	総カラム数	31	517*3	61*4
	反射体を含む炉心寸法 軸長 (m)	2.4	2.4	5.3
	対面間距離 (m)	2.4	2.4	4.25
燃料体	燃料要素 形状 型式	六角柱状 被覆粒子燃料 コンパクト	円柱状 酸化ウラン黒 鉛混合成形デ ィスク	六角柱状 被覆粒子燃料 コンパクト
	燃料コンパクト 外径 (mm)	36	45	26
	内径 (mm)	18	—	10
	高さ (mm)	36	10	39
	燃料棒孔径 (mm)	46	55	41
	燃料棒外径 (mm)	46	55	34
	燃料濃縮度 (%)	2, 4, 6	20	平均6(3~10)
	燃料装荷量 (kg-U)	約260	約66	約900
	(kg- <sup>235</sup> U)	約10	約13	約53
減速材	減速材 形状 材質	六角柱状 黒鉛	円柱状 黒鉛	六角柱状 黒鉛

\*1 電気ヒータにより炉心を直接加熱する。

\*2 原子炉出口冷却材温度

\*3 全燃料棒孔数

\*4 照射カラムを含む。

\*5 最大燃料装荷可能寸法

表 1.2 実験体系と検証項目の対応

検証項目	VHTRC 実験炉心		
	VHTRC - 1	VHTRC - 2	VHTRC - 3
実効増倍率	体系1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	体系10	体系11, 12
制御棒反応度価値	体系13	—	—
反応度調整材反応度価値	体系9	—	—
出力分布 (銅反応率分布)	体系4, 7	—	—
温度係数	体系5	—	—

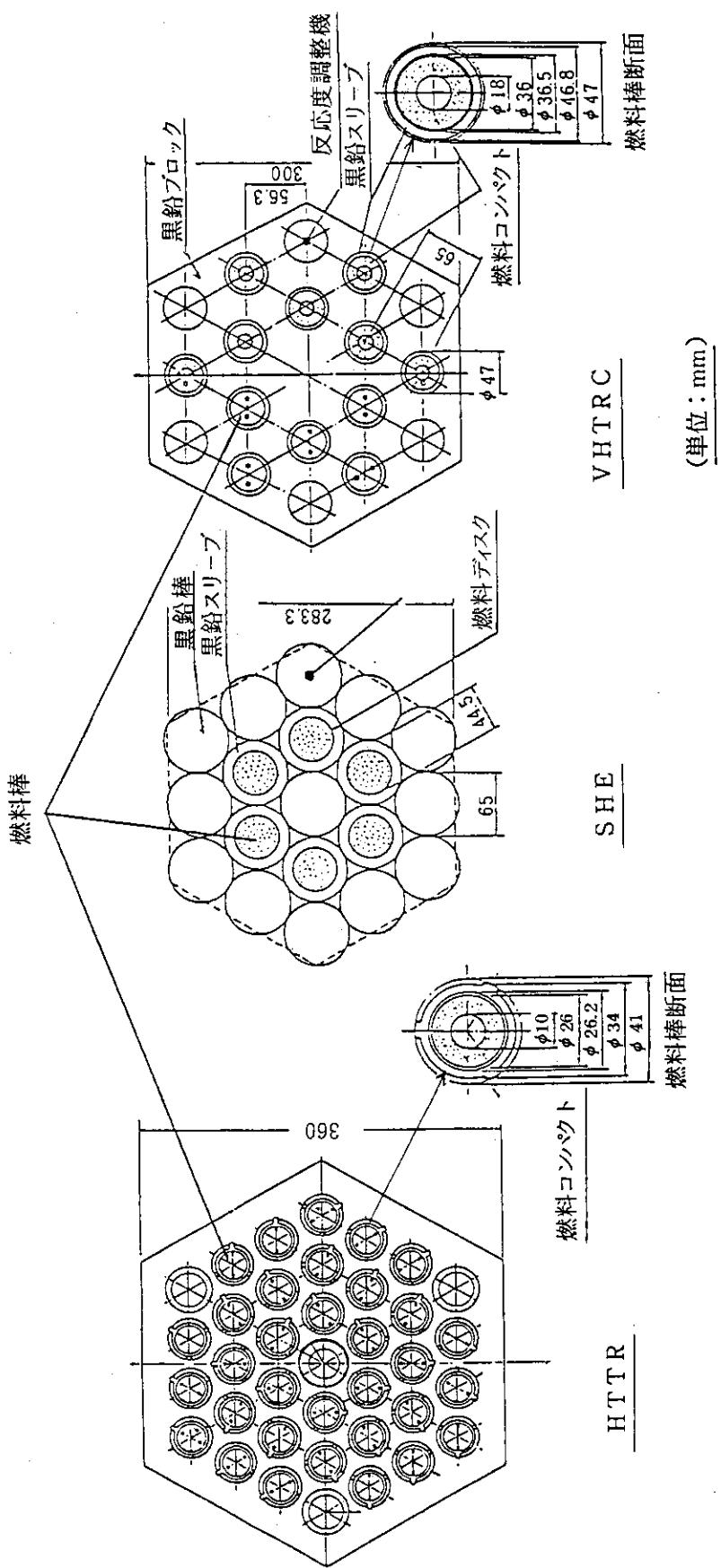


図 1.1 HTTR, SHE 及び VHTRC の燃料体内の燃料棒配列の比較

## 2. 実験設備の概要と計算対象体系

### 2.1 臨界実験装置

図 2.1.1 に VHTRC の概念図を、図 2.1.2 に 1/2 黒鉛集合体の断面図を各々示す。

VHTRC の炉心は 2 つの 1/2 黒鉛集合体から成り、黒鉛ブロックを横置六角柱状に積層し、周囲を固定枠で固定した構造となっている。炉心黒鉛ブロックには燃料装荷用の孔及び制御・安全棒挿入用の孔が設けられており、実験目的に応じて燃料配置、装荷量等炉心の組替えが比較的容易かつ安全に行い得るようになっている。また、このため 1/2 黒鉛集合体の一方を固定型とし、他方を移動型としている。

燃料体としては低濃縮ウランを用いた被覆燃料粒子コンパクトを黒鉛製さやに装填した燃料棒を使用している。

VHTRC の各 1/2 黒鉛集合体は、炉心黒鉛ブロック及び反射体黒鉛ブロックを平径約 2.4 m、軸長約 1.2 m の横置六角柱状に積層した構造である。

炉心黒鉛ブロックには、燃料棒挿入用黒鉛ブロックと実験用制御棒黒鉛ブロックとがあり、反射体黒鉛ブロックは、六角柱状のものと、それを 2 分割した台形柱状のものとがある。反射体黒鉛ブロックの中央には、黒鉛集合体の昇温実験用ヒータ等を挿入するため多目的孔が 1 個設けられている。

本検証は、以下に示す VHTRC - 1, 2, 3 の 3 種類の炉心から得られた実験データを用いて行った。

#### ① VHTRC - 1 炉心

4 % 濃縮ウラン燃料コンパクト 20 個を黒鉛製のさやに装てんした燃料棒（B - 4 型燃料棒）を黒鉛ブロック当たり 12 本装荷した燃料カラムからなる炉心であり、端面反射体及び側面反射体を有する。また必要に応じて 2 % 濃縮ウラン燃料コンパクト 20 個を同様に黒鉛製のさやに装てんした燃料棒（B - 2 型燃料棒）をも用いている。

#### ② VHTRC - 2 炉心

B - 4 型燃料棒を黒鉛ブロック当たり 15 本装荷した燃料カラムからなる炉心であり、端面反射体及び側面反射体を有する。

#### ③ VHTRC - 3 炉心

6 % 濃縮ウラン燃料コンパクト 20 個を黒鉛製のさやに装てんした燃料棒（T - 6 型燃料棒）を、黒鉛ブロック当たり 12 本装荷した燃料カラムからなる端面反射体及び側面反射体付き炉心である。

B - 2, B - 4 及び T - 6 型燃料の検査結果に基づく諸元を表 2.1.1 にその燃料棒の構造を図 2.1.3 に示す。黒鉛ブロックの材料諸元を表 2.1.2 に、燃料体ブロック、制御棒案内ブロック及び反射体ブロックの形状寸法を各々図 2.1.4, 図 2.1.5 及び図 2.1.6 に示す。また、制御棒（BW - 40）の諸元を表 2.1.3 に、その形状を図 2.1.7 に示す。HTTR に使用する制御棒の

諸元を参考として表 2.1.3 に併記する。反応度調整材 ( $N = 8$ ,  $W = 2.5$ ) の諸元を表 2.1.4 に、その形状を図 2.1.8 に示す。HTTR に使用する反応度調整材の諸元を参考として表 2.1.4 に併記する。

## 2.2 対象体系と実験データ

表 1.1 に示すように VHTRC-1, 2, 3 炉心の燃料棒装荷数を変化させた合計 13 体系を用いて、実効倍率、制御棒反応度値、反応度調整材反応度値、出力分布及び温度係数を測定するための実験が行われた。各々の実験の内容を以下に示す。

### (1) 実効倍率に関する実験

燃料棒 B-2, 4 および T-6 を炉心黒鉛ブロックに順次装荷し、臨界近接を行い実効倍率を測定した。この測定値は炉内挿入物や温度に対する反応度補正をほどこして理想状態（炉内挿入物質がない状態）の値を求め、これを実験値とした。

表 2.2.1 に補正で用いる燃料棒、炉心挿入物の反応度値および温度係数を示す。それぞれの値はペリオド法やパルス中性子法等により求められた。以下に述べる他の実験においても反応度測定に関するものはすべて上記の補正を行っている。この実験は常温だけでなく、750 W のヒータを 40 本挿入し 200°C に昇温した炉心についても行った。

### (2) 制御棒反応度値に関する実験

制御棒（BW-40 等）を炉心に挿入しパルス中性子法により反応度値を測定した。

$\text{BF}_3$  中性子検出器を炉内に複数個設置にて中性子束の測定を行った。実験は常温で行われた。

### (3) 反応度調整材反応度値に関する実験

反応度調整材 ( $N = 8$ ,  $W = 2.5$ ) を炉心に挿入し(2)と同様パルス中性子法により反応度値を測定した。実験は常温で行われた。

### (4) 銅反応率分布に関する実験

炉内中性子束を銅の放射化法により測定した。用いた放射化試料は天然の同位体組成をもつ銅（純度 99.99%）の箔及びワイヤである。試料の装荷方法を図 2.2.1 に示す。測定点数は常温実験において、径方向 24 点、軸方向 25 点、200°C での実験では径方向 36 点、軸方向 25 点 × 3 の 75 点である。

実験では、 $^{63}\text{Cu}(n, \gamma)$  反応によって生成する  $^{64}\text{Cu}$  からの消滅ガンマ線が測定されており、その結果により相対熱中性子束分布が求められる。

実験項目と体系との対応を以下に示す。各々の体系の燃料装荷状態を図 2.2.2 ~ 2.2.14 に示す。図の黒丸（●及び◎）が燃料棒が装荷されていることを示し、白丸（○）が黒鉛棒が装荷されていることを示す。燃料棒は VHTRC の構造上移動側と固定側に分かれているので以下に示す燃料棒の数は図の装荷数の 2 倍になる。

#### a) 体系 1, 2, 3, 4, 8

体系 1, 2, 3, 4 はいずれも VHTRC-1 炉心に属するものであり、体系 1 は B-4 型燃料が 240 本、体系 3 は B-4 型燃料が 264 本、また、体系 4 は B-4 型燃料が 280 本、体系 8 は

B-4型燃料が284本各々装荷されている。

これらの体系での実験は、すべて常温で行われ、実効増倍率の測定が行われた。

体系1は、すべての燃料ブロック内の燃料棒孔のすべてに燃料棒が装荷されており、燃料体内均質化モデルが成立するケースの1つであり、燃料棒配置は60°。対象的確にモデル化が可能な体系となっている。この体系を未臨界度が大きい状態の代表として解析の対象とした。

体系2は、HTTRと異なり燃料体内の燃料棒孔のすべてに燃料棒が装荷されていないブロックがあり燃料体内均質化モデルは成立しないが、体系1と同様60°回転対称的確にモデル化が可能な体系と判断し解析の対象とした。

体系3は、60°回転対称の装荷状態では最も臨界に近いケースとして解析した。

体系4は、臨界状態の実効増倍率の他、銅反応率分布の測定を行っている。

#### b) 体系5, 6, 7

体系5, 6, 7は、いずれもVHTRC-1炉心に属する体系であり、体系5はB-4が288本、B-2が12本、体系6はB-4が300本、B-2が144本、体系7はB-4が310本、B-2が144本それぞれ装荷されている。体系5の実験温度は常温及び200°Cであり、この実験より温度係数を求めていた。また、体系6及び体系7では炉心温度が200°Cの実効増倍率の測定を行っており、更に体系7では銅反応率分布の測定も行っている。

#### c) 体系9

体系9はVHTRC-1炉心に層する体系であり、B-4型燃料288本、B-2型燃料148本の装荷となっている。実験温度は常温である。

体系9ではHTTRに用いられる反応度調整材に形状及び天然ボロン濃度が類似した反応度調整材N-8、W-2.5の反応度価値を測定している。

#### d) 体系10

体系10はB-4型燃料が306本装荷されているVHTRC-2炉心である。体系1~4と同様常温による実験で実効増倍率の測定が行われている。

#### e) 体系11

体系11はVHTRC-3炉心に属する体系であり、T-6型燃料が154本、B-4型燃料が24本装荷されている。常温での実効増倍率が測定されている。

#### f) 体系12

体系12はVHTRC-3炉心に属する体系でありT-6型燃料が154本、B-4型燃料が62本装荷されている。200°Cにより実験が行われており実効増倍率の測定が行われている。

#### g) 体系13

VHTRC-1炉心でありB-4型燃料が274本装荷されている。実験は常温で行われており、BW-40型制御棒を中心カラムにそれぞれ0, 1, 2, 本装荷しパルス中性子法で実効増倍率を測定し、制御棒反応度価値を求める。

次に実験結果を実験項目ごとに順に説明する。

i) 実効増倍率の測定

1 ~ 12 の体系について求められた実効増倍率の実験値を表 2.2.2 に示す。

ii) 制御棒反応度価値の測定

体系 13 に BW - 40 型制御棒を挿入した場合の反応度価値を求めた。常温における制御棒

反応度価値は、1 本の時 19.0 \$, 2 本で 30.4 \$ であった。

iii) 反応度調整材反応度価値の測定

体系 9 について N - 8 および W - 2.5 の反応度調整材の反応度価値を求めた。N - 8 の  
反応度価値が 1.63 \$ / 本, W - 2.5 の反応度価値が 1.78 \$ / 本 であった。

iv) 銅反応率分布の測定

体系 4, 7 には径方向、軸方向に銅ワイヤおよび箔を取り付け銅反応率分布が測定された。  
径方向銅反応率分布の実験値を図 2.2.15 及び図 2.2.16 に示し、軸方向銅反応率分布を表 2.  
2.3 及び表 2.2.4 に示す。実験における計測の統計誤差は径方向分布 0.9 % 軸方向分布  
0.5 % 程度と評価されている。

表 2.1.1 燃 料 檢 査 結 果

検査項目		検査結果		
		B-2	B-4	T-6
燃料核	濃縮度 (wt%)	2.000 ± 0.003	4.000 ± 0.006	5.966 ± 0.009
	直 径 (μm)	602 ± 5	599 ± 4	595 ± 6
	UO <sub>2</sub> 密度 (g/cm <sup>3</sup> )	10.42 ± 0.11	10.35 ± 0.08	10.26 ± 0.05
ボロン等価不純物濃度 (ppm)		<0.3	<0.3	<0.3
第1層	厚 さ (μm)	79 ± 5	79 ± 4	60 ± 4
	C 密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.19 ± 0.02	1.18 ± 0.03	1.17 ± 0.04
第2層	厚 さ (μm)	79 ± 4	78 ± 4	30 ± 2
	C 密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.87 ± 0.02	1.87 ± 0.02	1.86 ± 0.02
被覆粒子	厚 さ (μm)			23 ± 2
第3層	sic密度 (g/cm <sup>3</sup> )			3.20~3.21
第4層	厚 さ (μm)			44 ± 2
	C 密度 (g/cm <sup>3</sup> )			1.85 ± 0.03
	直 径 (μm)	918 ± 14	913 ± 10	909 ± 14
燃料コントラクト	ウラン含有量 (g) 外 径 (mm)	20.999 ± 0.044 35.85 ± 0.03	20.950 ± 0.044 35.98 ± 0.05	20.904 ± 0.044 35.96 ± 0.04
	内 径 (mm)	17.95 ± 0.05	17.96 ± 0.02	17.99 ± 0.02
	高さ (mm)	35.98 ± 0.06	36.01 ± 0.06	36.00 ± 0.05
	マトリックス密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.71 ± 0.02	1.69 ± 0.02	1.69 ± 0.02
重金属汚染率		(1.1 ± 1.8) × 10 <sup>-4</sup>	(1.1 ± 1.2) × 10 <sup>-4</sup>	(1.5 ± 0.7) × 10 <sup>-4</sup>

表 2.1.2 黒鉛ブロックの材料諸元

検査項目	検査結果
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.665
不純物 ポロン当量 (ppm)	0.07
灰分 (ppm)	9.4
水分含有量 (wt%)	0.011

表 2.1.3 制御棒諸元

項目	BW-40	HTTRの制御棒
吸収ペレット		
外径 (mm)	89.6 ± 0.05	105
内径 (mm)	60.0 ± 0.05	75
スタック長 (mm)	114.8	3100
ペレット内ポロン含有率 (w/o)	38.3	30
グロス密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.749 ± 0.002	1.9
材質	B <sub>4</sub> C + C	B <sub>4</sub> C + C
ペレット間つぎ目なし		
外筒管		
外径 (mm)	97.5 ± 0.05	110
厚さ (mm)	2.0 ± 0.06	2
材質	SUS304TP	インコロイ800H
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	7.92	7.95
内筒管		
外径 (mm)	55.3 ± 0.2	72
厚さ (mm)	0.2 ± 0.1	2
材質	SUS304TP	インコロイ800H

表 2.1.4 反応度調整材諸元

吸収ペレット	W-2.5	N-8	HTTRの反応度調整材
外形 (mm)	11.90 ± 0.08	7.87 ± 0.13 0.04	14
高さ (mm)	35.97 ± 0.03	36.08 ± 0.04	50
ゲロス密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.427 ± 0.013 0.07	1.412 ± 0.01	1.724
天然ボロン濃度(w/o)	2.54 ± 0.3	8.15 ± 0.52	2.0/2.5
B <sub>4</sub> C 粒径	5μm以下90%以上	同左	同左
スタック長 (cm)	72.4	72.5 ± 0.1	500

表 2.2.1 燃料棒炉心挿入物の反応度係数及び温度効果

		V H T R C - 1		V H T R C - 2		V H T R C - 3	
炉 心		常温炉心 (17.7°C)	昇温炉心 (200.8°C)	常温炉心 (11°C)	常温炉心 (12.5°C)	常温炉心 (200.8°C)	昇温炉心 (200.8°C)
燃料棒係数 (C)							
(1) B - 2 型燃料棒	—	—	1.44	—	—	—	—
(2) B - 4 型燃料棒	7.11	5.91	6.61	9.20	9.20	10.96	10.96
炉心挿入物反応度係数 (C)							
(1) 制御・安全棒挿入孔	46.1	65.3	46.5	48.0	48.0	53.4	53.4
(2) 制御・安全棒の炉心内残部	5.4	5.4 *	5.4	2.1	2.1	5.1 *	5.1 *
(3) 熱電対及び中性子源案内管	1.6	1.6 *	1.6	2.0	2.0	2.0 *	2.0 *
(4) 炉心内検出器 (1/4" CF <sub>3</sub> 4本)	15.0	13.3	—	15.0	15.0	16.7	16.7
(5) 1 / 2 集合体間の間隙	12.5	9.0	11.1	13.2	13.2	12.2	12.2
(6) ヒータ (40本)	—	27.5 *	—	—	—	17.8	17.8
反応度温度効果							
△k / k / °C	—1.79 × 10 <sup>-4</sup>	—1.79 × 10 <sup>-4</sup>	—1.5 × 10 <sup>-4</sup>				

( \* : 常温炉心における測定結果 )

$$\beta_{\text{eff}} = 0.007244$$

表 2.2.2 各体系の実効増倍率の実験値

体 系	燃 料 本 数			温 度 (K)	実効増倍率の 実 験 値
	6 w/o	4 w/o	2 w/o		
V H T R C - 1 体系 1	144			300	0.869
	240			"	0.9817
	264			"	0.9970
	280			"	1.0056
	288	12		"	1.0112
	300	144		500	1.0010
	310	144		"	1.0053
	284			300	1.0076
	288	48		"	1.0159
V H T R C - 2 体系 10	306			"	1.0050
V H T R C - 3 体系 11	154	24		"	1.0041
体系 12	154	62		500	1.0011

表 2.2.3 銅反応率，軸方向分布

(体系 4、測定位置は図 2.2.5 に示す 1 N の位置である。)

番号	中心からの距離 距離 z(cm)	銅反応率 相対分布	測定誤差(%)
1	0.5	1.200	0.41
2	5.5	1.180	0.40
3	10.5	1.163	0.41
4	15.5	1.149	0.42
5	20.5	1.119	0.42
6	25.5	1.095	0.44
7	30.5	1.054	0.45
8	35.5	1.018	0.46
9	40.5	0.978	0.49
10	45.5	0.923	0.51
11	50.5	0.893	0.49
12	55.5	0.853	0.51
13	60.5	0.815	0.52
14	65.5	0.812	0.50
15	70.5	0.831	0.55
16	75.5	0.884	0.53
17	80.5	0.900	0.49
18	85.5	0.864	0.62
19	90.5	0.778	0.70
20	95.5	0.682	0.93
21	100.5	0.552	1.12
22	105.5	0.427	1.3
23	110.5	0.304	1.9
24	115.5	0.171	3.3
25	120.5	0.044	11.7

注) 1 ~ 15 番は燃料領域に属する銅ワイヤ

燃料領域  $z \leq 73\text{cm}$

表 2.2.3 (つづき)

(体系4、測定位置は図2.2.5に示す2Nの位置である。)

番号	中心からの距離 距離z(cm)	銅反応率 相対分布	測定誤差(%)
1	0.5	1.202	0.43
2	5.5	1.178	0.43
3	10.5	1.175	0.43
4	15.5	1.150	0.44
5	20.5	1.117	0.45
6	25.5	1.097	0.45
7	30.5	1.066	0.47
8	35.5	1.025	0.49
9	40.5	0.979	0.50
10	45.5	0.939	0.52
11	50.5	0.889	0.54
12	55.5	0.846	0.54
13	60.5	0.809	0.55
14	65.5	0.800	0.52
15	70.5	0.809	0.56
16	75.5	0.850	0.54
17	80.5	0.842	0.56
18	85.5	0.791	0.66
19	90.5	0.713	0.79
20	95.5	0.613	0.93
21	100.5	0.504	1.11
22	105.5	0.393	1.4
23	110.5	0.273	2.0
24	115.5	0.151	3.5
25	120.5	0.041	10.9

注) 1~15番は燃料領域に属する銅ワイヤ

燃料領域  $z \leq 73\text{cm}$

表 2.2.4 銅反応率，軸方向分布

(体系7、測定位置は図2.2.8に示すANの位置である。)

番号	中心からの距離 距離z(cm)	銅反応率 相対分布	測定誤差(%)
1	0.5	1.198	0.29
2	5.5	1.175	0.29
3	10.5	1.150	0.29
4	15.5	1.135	0.29
5	20.5	1.112	0.30
6	25.5	1.083	0.30
7	30.5	1.060	0.33
8	35.5	1.015	0.34
9	40.5	0.977	0.33
10	45.5	0.939	0.35
11	50.5	0.897	0.36
12	55.5	0.864	0.34
13	60.5	0.832	0.35
14	65.5	0.815	0.33
15	70.5	0.830	0.37
16	75.5	0.872	0.36
17	80.5	0.865	0.38
18	85.5	0.816	0.51
19	90.5	0.735	0.66
20	95.5	0.630	0.78
21	100.5	0.521	1.03
22	105.5	0.398	1.3
23	110.5	0.274	1.9
24	115.5	0.150	3.3
25	120.5	0.037	12.4

注) 1 ~ 15 番は燃料領域に属する銅ワイヤ  
燃料領域  $z \leq 73\text{cm}$

表 2.2.4 (つづき)

(体系7、測定位置は図2.2.8に示すBNの位置である。)

番号	中心からの距離 距離z(cm)	銅反応率 相対分布	測定誤差(%)
1	0.5	1.183	0.30
2	5.5	1.173	0.30
3	10.5	1.162	0.30
4	15.5	1.142	0.31
5	20.5	1.119	0.31
6	25.5	1.103	0.33
7	30.5	1.066	0.33
8	35.5	1.029	0.34
9	40.5	0.990	0.36
10	45.5	0.945	0.37
11	50.5	0.905	0.38
12	55.5	0.861	0.39
13	60.5	0.823	0.39
14	65.5	0.790	0.38
15	70.5	0.779	0.35
16	75.5	0.771	0.38
17	80.5	0.739	0.49
18	85.5	0.677	0.57
19	90.5	0.603	0.70
20	95.5	0.514	0.83
21	100.5	0.424	1.06
22	105.5	0.324	1.4
23	110.5	0.223	2.0
24	115.5	0.120	3.5
25	120.5	0.030	12.2

注) 1~15番は燃料領域に属する銅ワイヤ  
燃料領域  $z \leq 73\text{cm}$

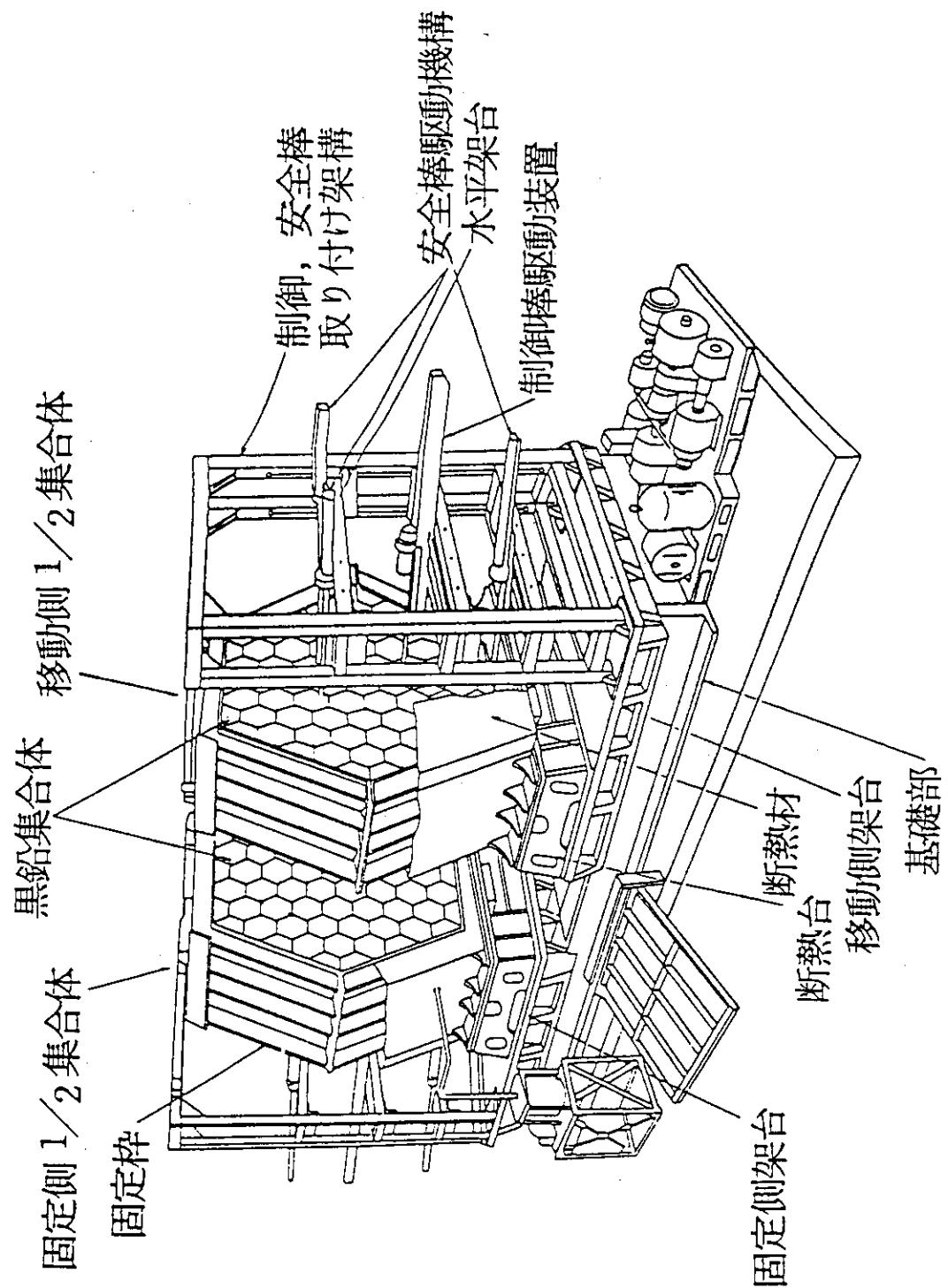


図 2.1.1 VHTRC (高温ガス炉臨界実験装置) の概念図

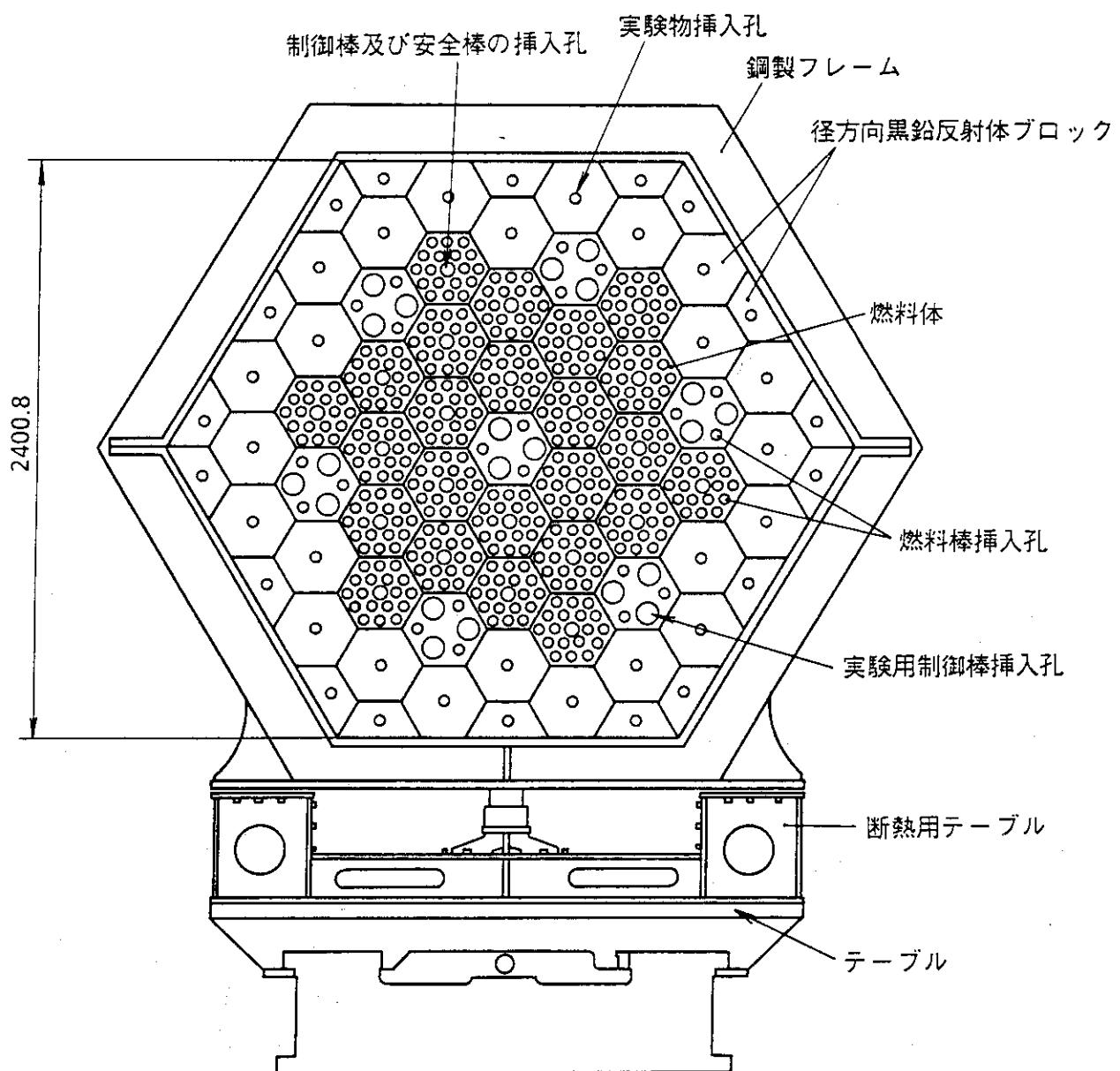


図 2.1.2 VHTRC の側断面図

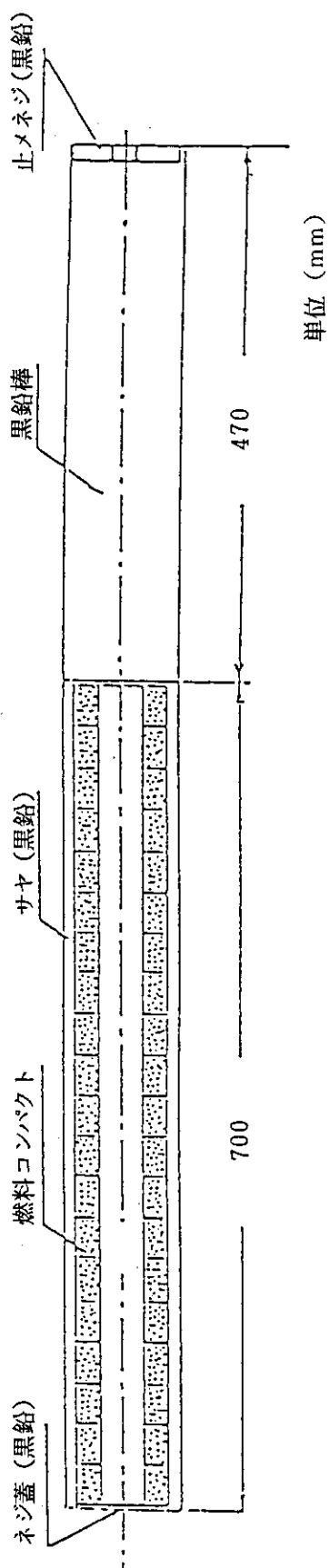
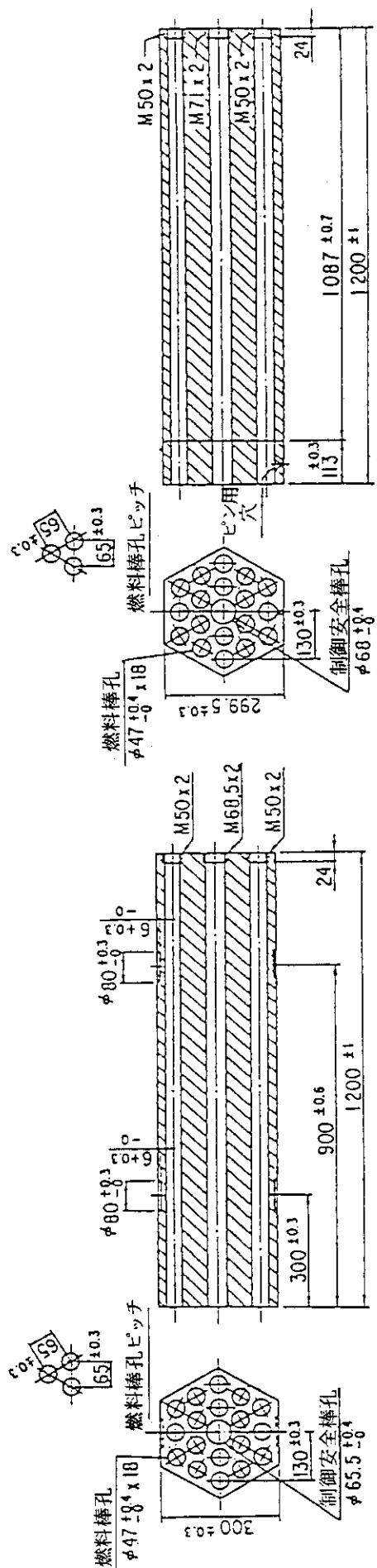


図 2.1.3 燃 料 棒 の 構 造

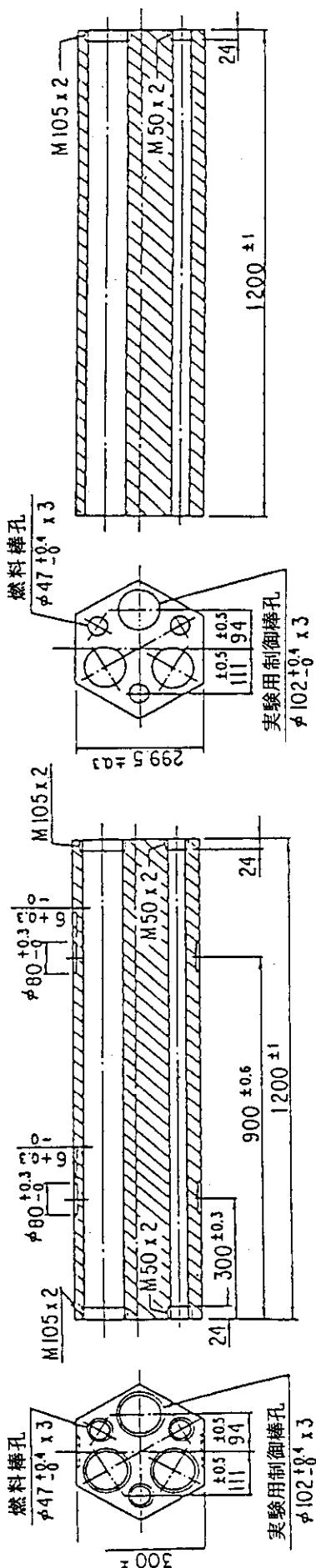


## 燃料体ブロックA-2型（中央ブロック）

单位 (mm)

黒鉛ブロック 型 称	黒鉛ブロック 個 数	中性子束分布測 定用溝の有無		平 径 (mm)	制御安全棒 孔の直 径 (mm)	燃料棒 孔直 径 (mm)	黒鉛ブロック 孔 の有無	備 考
		無	有					
A	44	[無 39個 有 5個]	[有 3個 無 1個]	300 ±0.3	65.5 +0.4 -0.4	47 +0.4 -0.4	有	
A-1	4	[無 3個 有 1個]	[有 1個 無 3個]	300 ±0.3	65.5 +0.4 -0.4	47 +0.4 -0.4	有	中央黒鉛ブロック固定用 ピン孔がある。
A-2	2	[無 2個 無 2個]	[有 1個 無 1個]	299.5 ±0.3	68 +0.4 -0.4	47 +0.4 -0.4	無	固定用ピン孔がある。 実験のため長さ113mmと 1087mmに分割されている。
A-3	2	[無 1個 有 1個]	[有 1個 無 1個]	299.5 ±0.3	56 +0.4 -0.4	56 +0.4 -0.4	無	

図2.1.4 燃料体アーチ



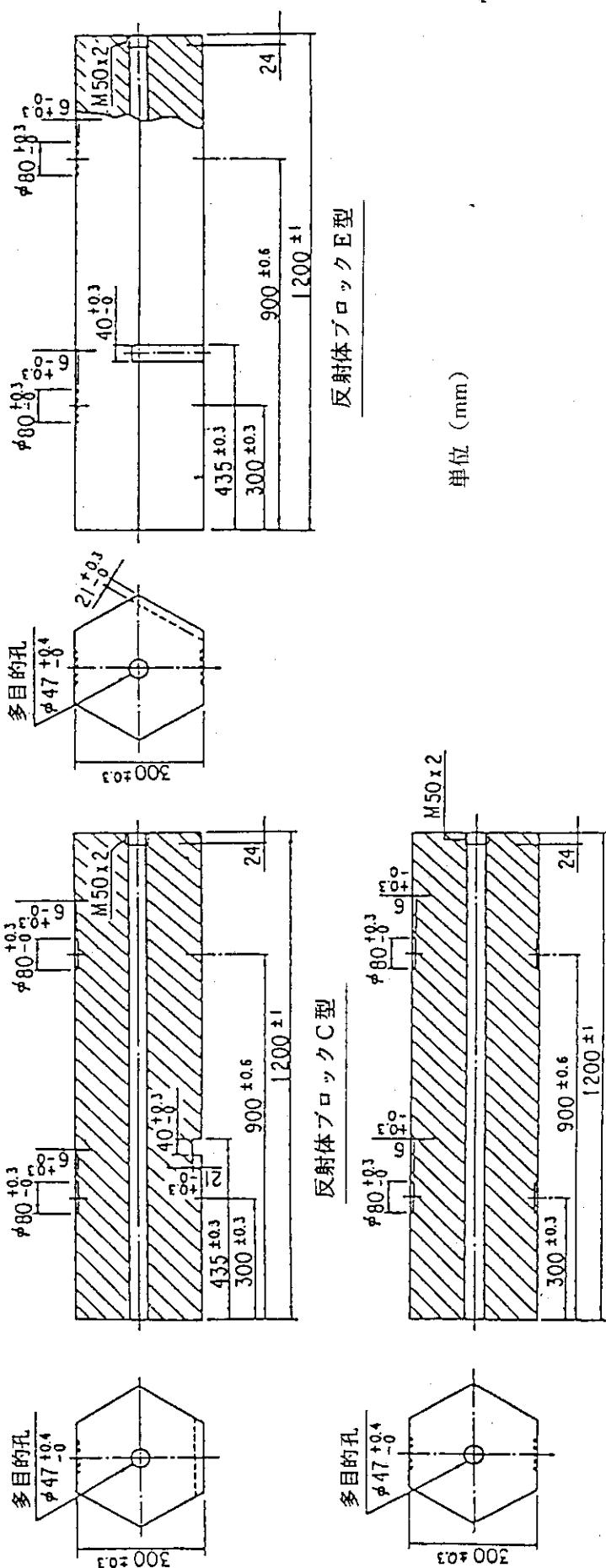
実験用制御棒案内ブロックB-2型(中央ブロック)

単位 (mm)

実験用制御棒案内ブロックB型

黒鉛ブロック 型 称	黒鉛ブロック 個 数 〔中性子束分布測 定用溝の有無〕	平 径 (mm)	黒鉛ブロック 同士のかん合 孔の有無
B	12	[ 無 11個 有 1個 ]	300 +0.3 有
B-2	2	[ 無 1個 有 1個 ]	299.5 +0.3 無

図 2.1.5 制御棒案内ブロック



黒鉛ブロック 型 称	黒鉛ブロック 黒鉛の 個 数 定用溝 の有無	黒鉛ブロック 黒鉛のかん合 孔の かん合 の有 無	固定棒と 固定棒用キー の有 無	備 考
C	8 [ 無 8 個 ]	有	有	—
D	24 [ 無 22 個 有 2 個 ]	有	無	固定側 1/2 集合体の黒鉛ブロックが 1 個には中性子源案内管孔がある。
E	16 [ 無 16 個 ]	有	有	固定側 1/2 集合体の黒鉛ブロックが 1 個には中性子源案内管孔がある。

図 2.1.6 反 射 体 ブ ロ ッ ク

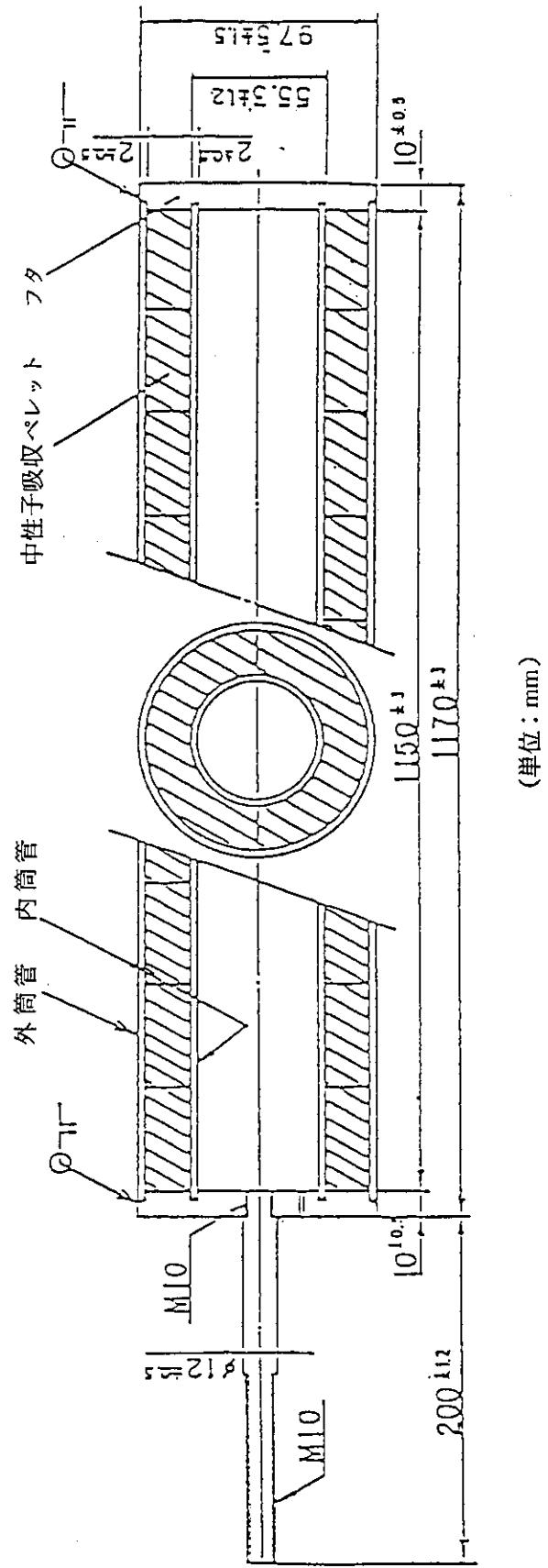
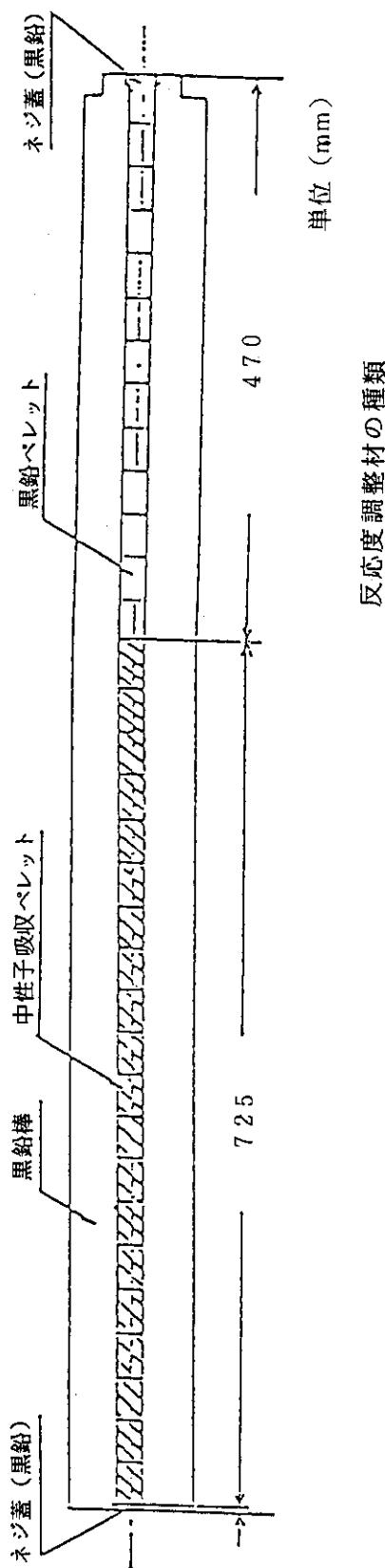


図 2.1.7 制御棒 (BW-40型) の構造



反応度調整材の種類

型式	吸収ペレットの直径 (mm)	ホウ素含有量 (w/o)	B <sub>4</sub> C 粒子の粒径 ( $\mu\text{m}$ )	吸収ペレットの密度 (g/cm <sup>3</sup> )
N-8	7.0	8.2	5	1.41
W-2.5	11.0	2.5	5	1.43

図 2.1.8 反応度 調整材 の 構造

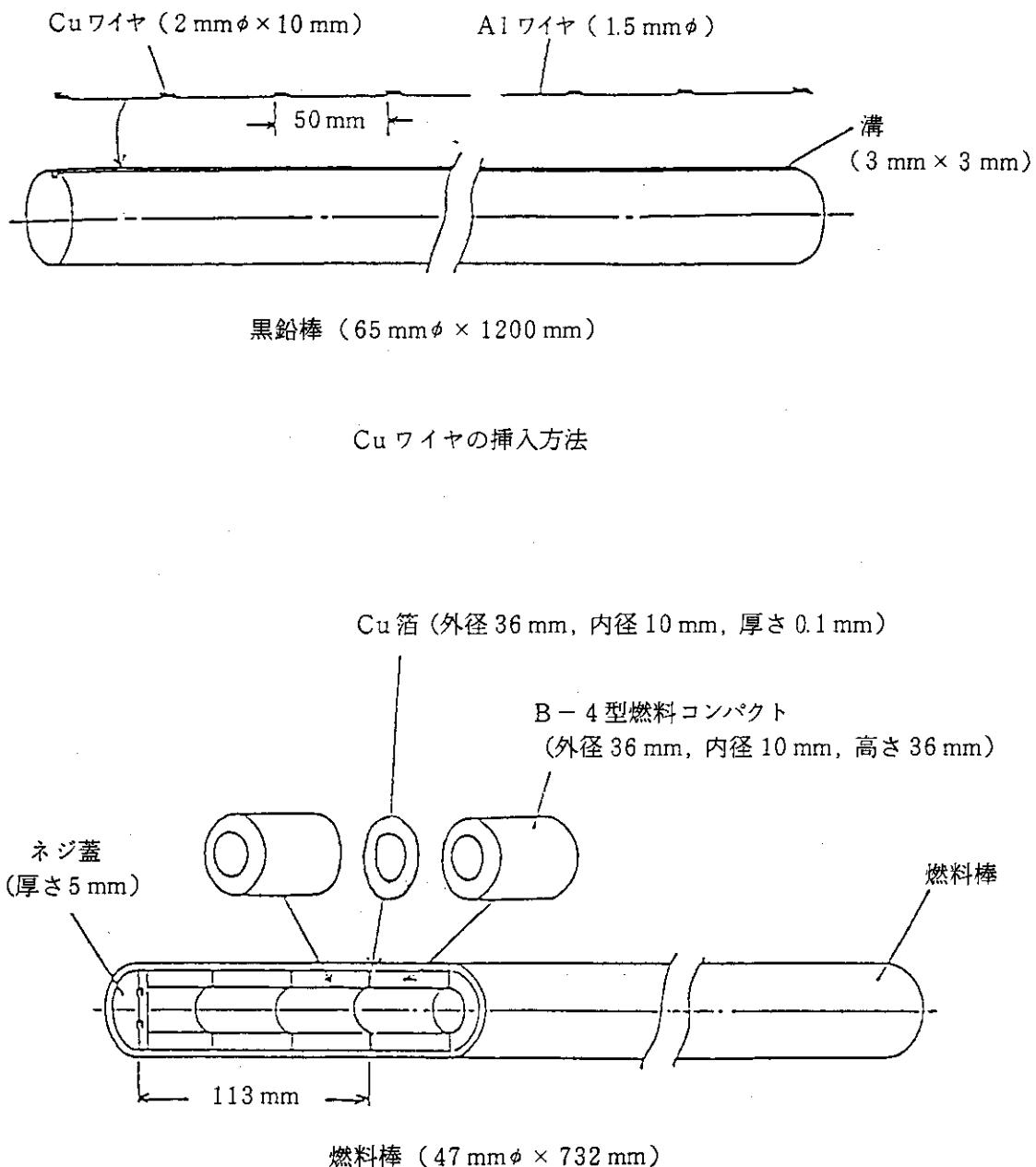
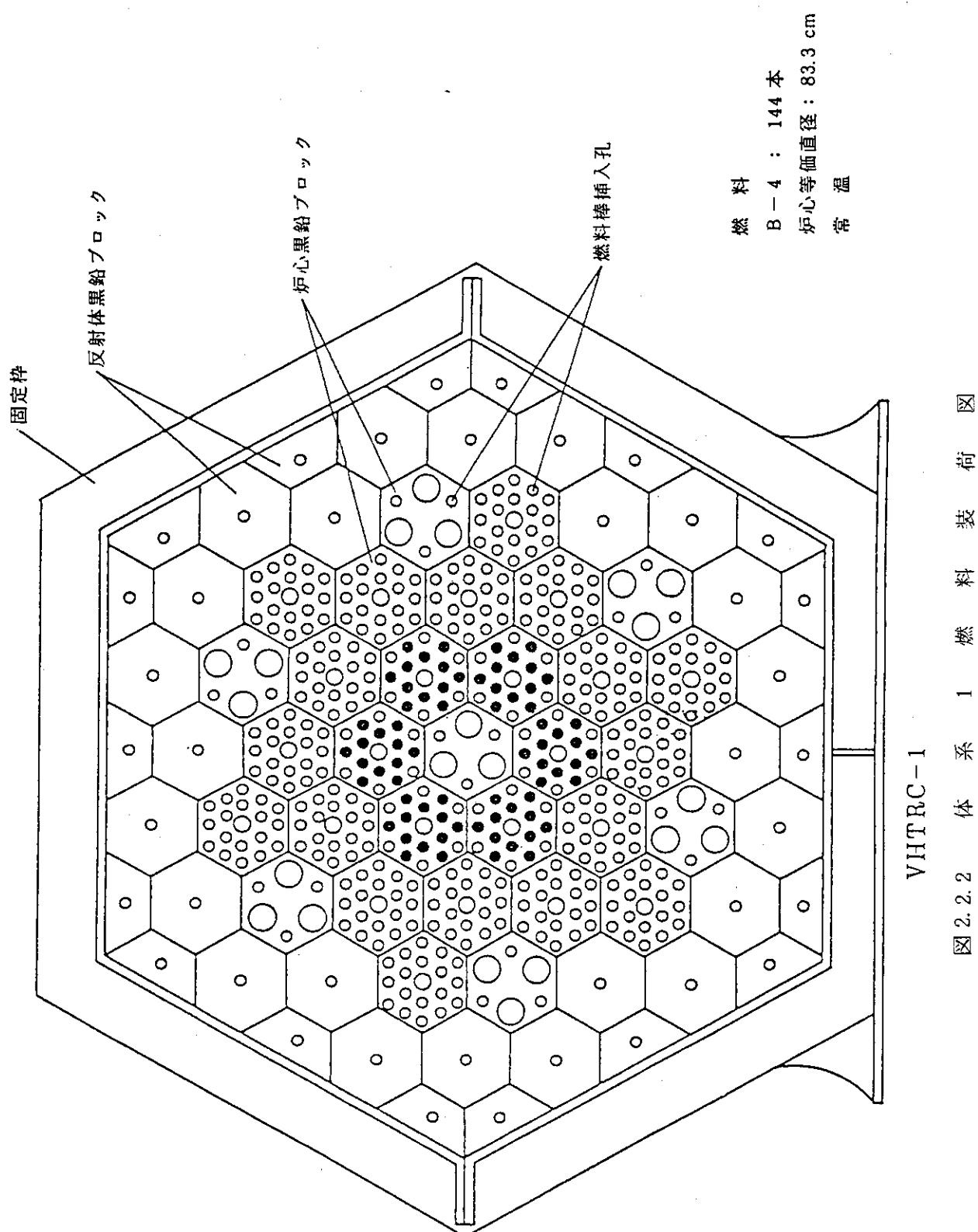
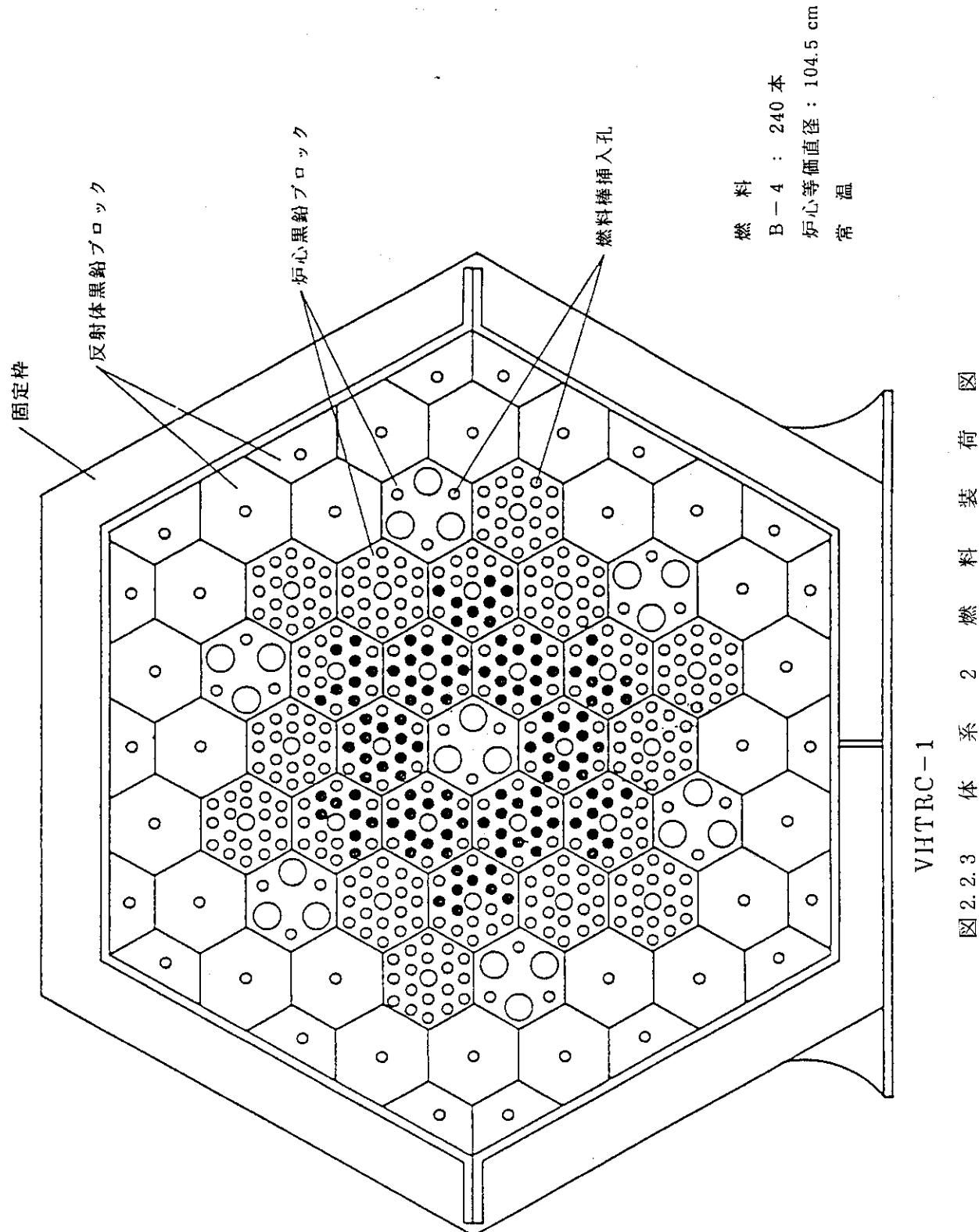
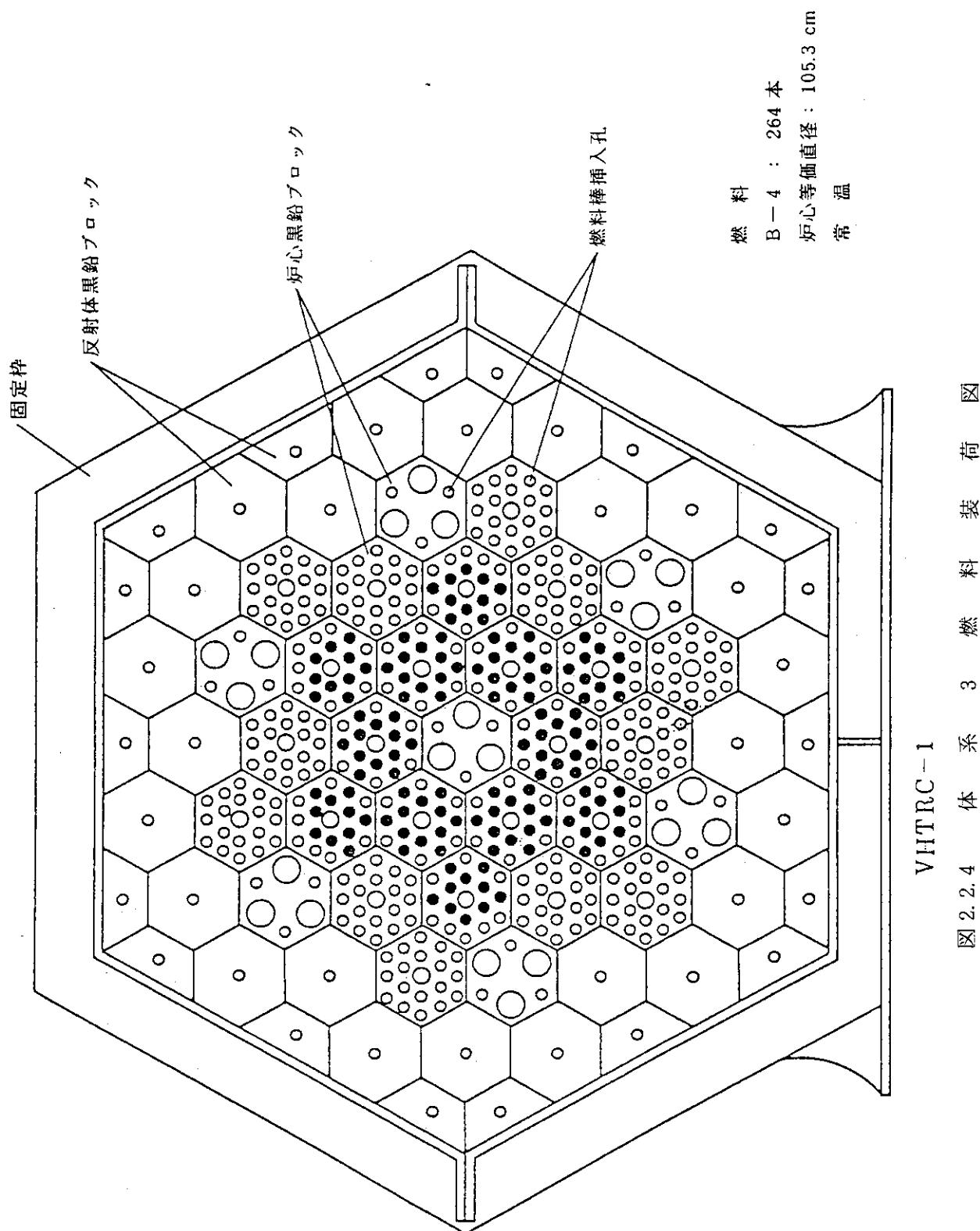
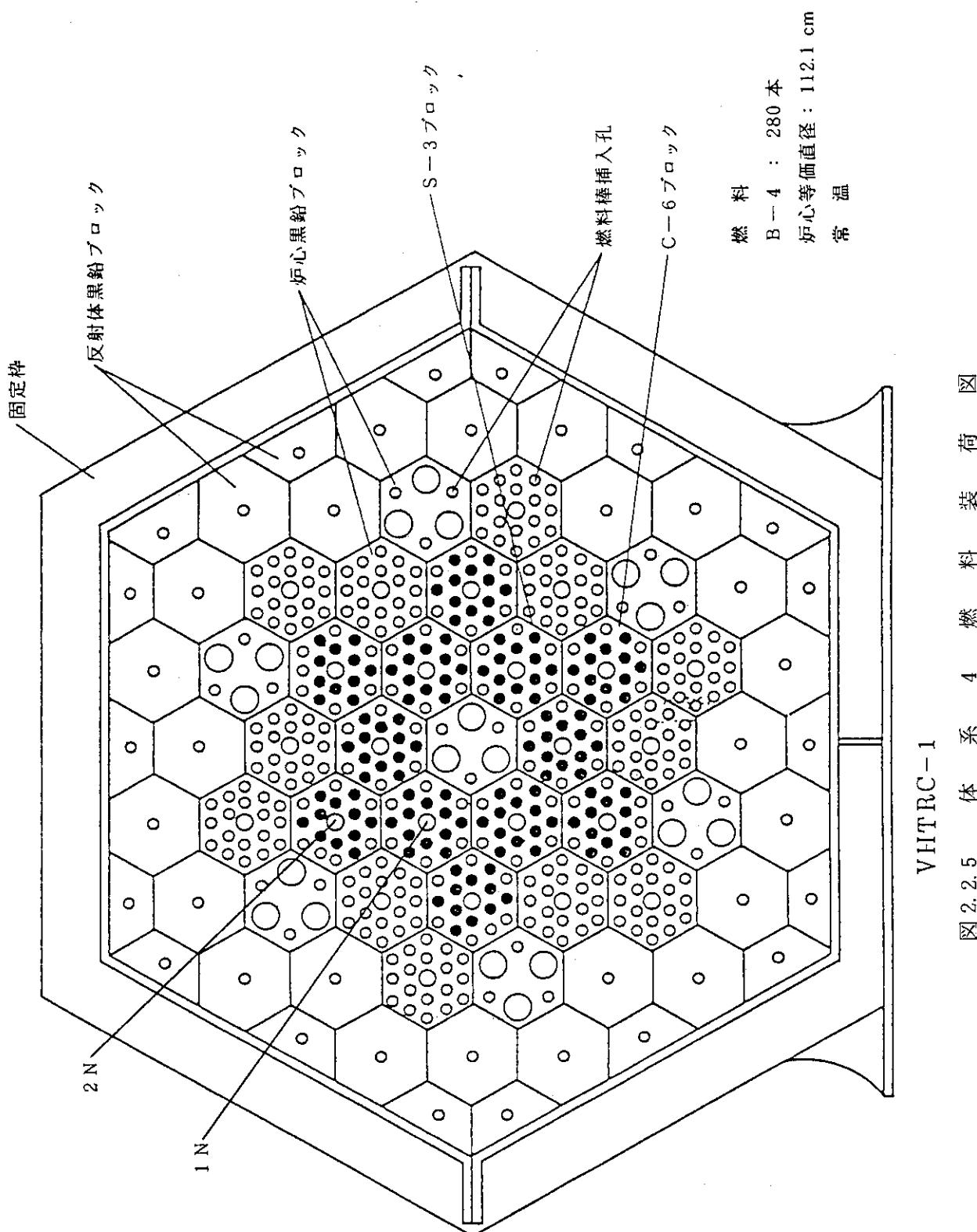


図 2.2.1 銅反応率分布測定用の Cuワイヤ及び Cu箔の固定方法









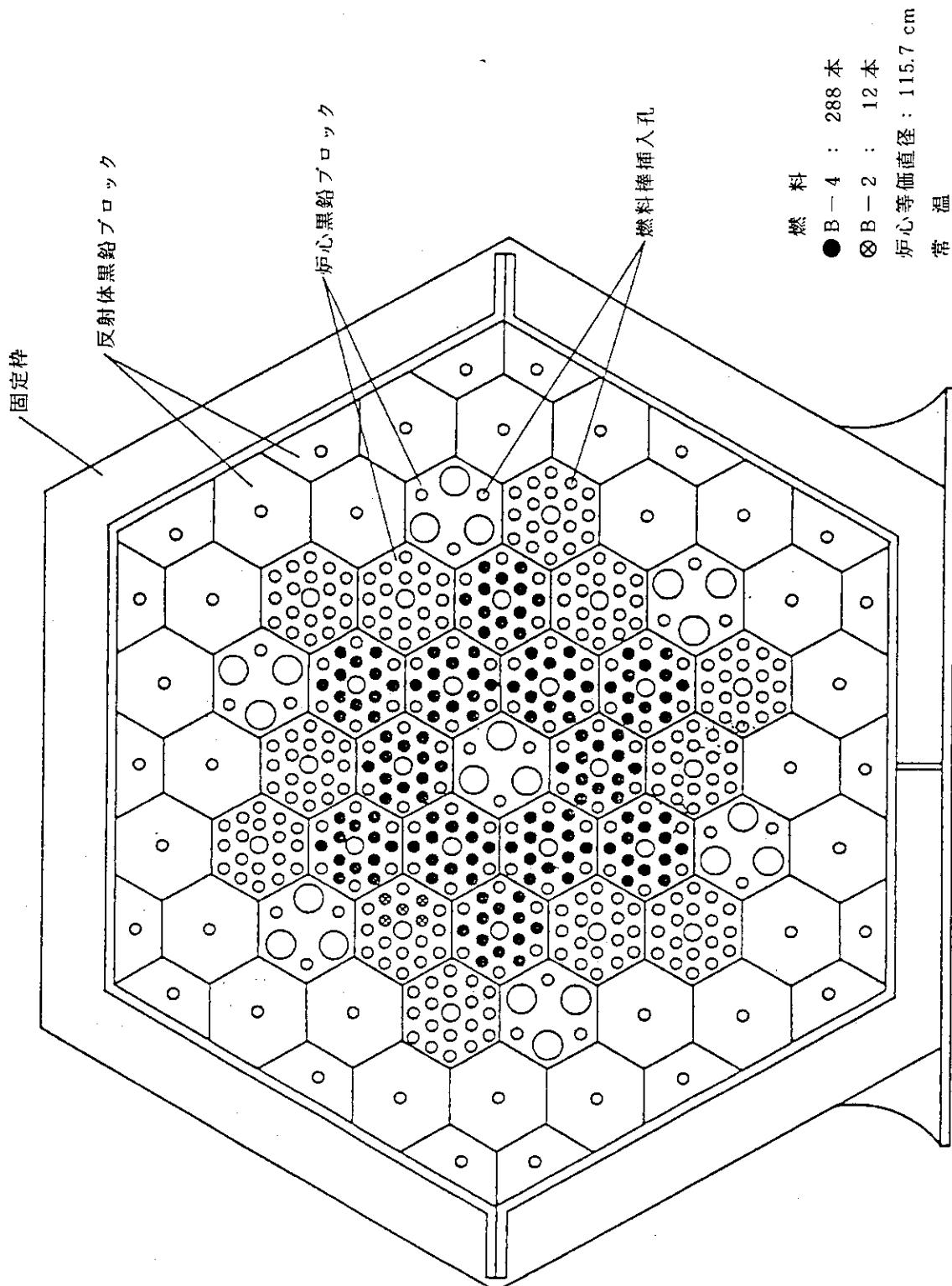
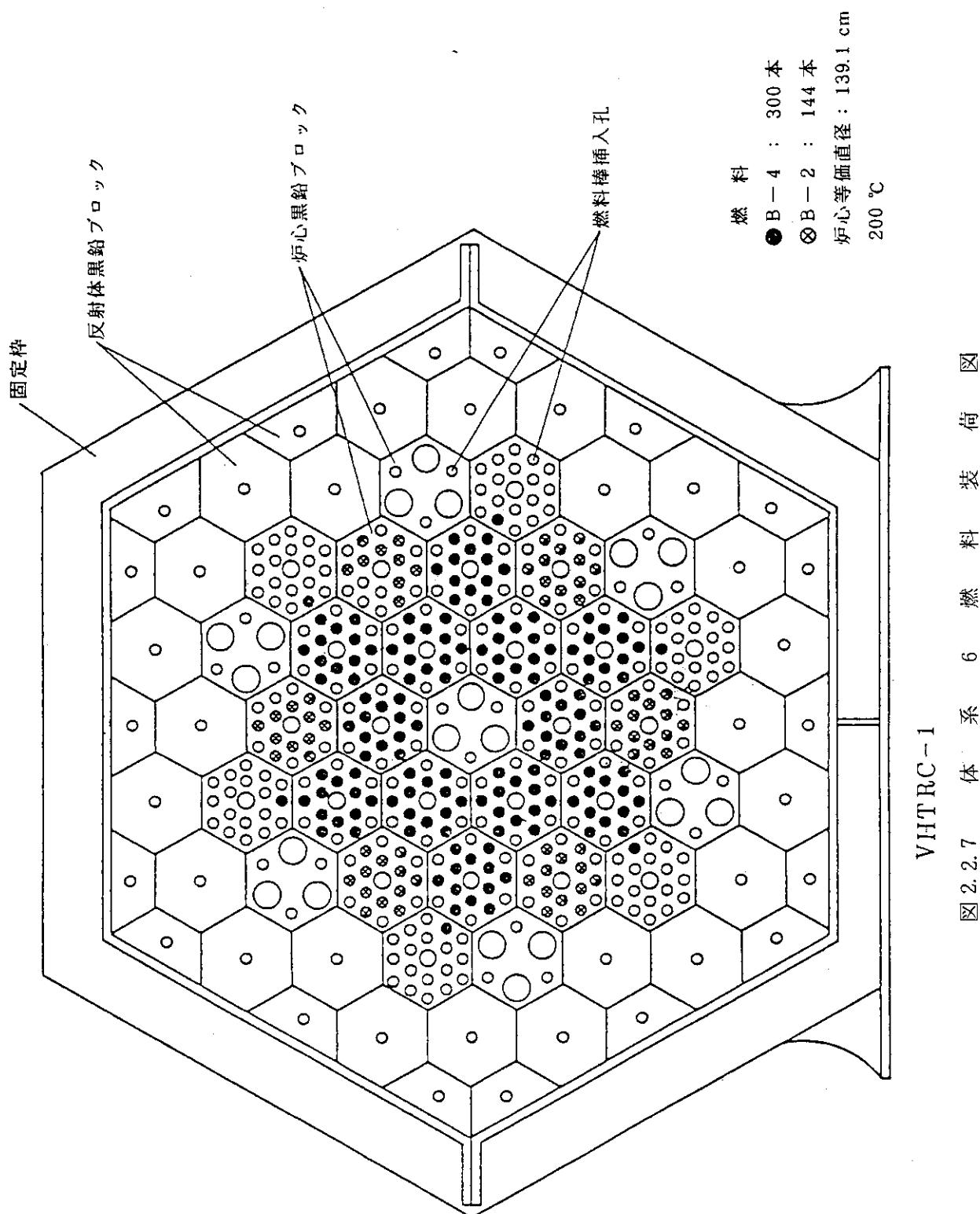


图 2.2.6 体系 5 燃料装荷



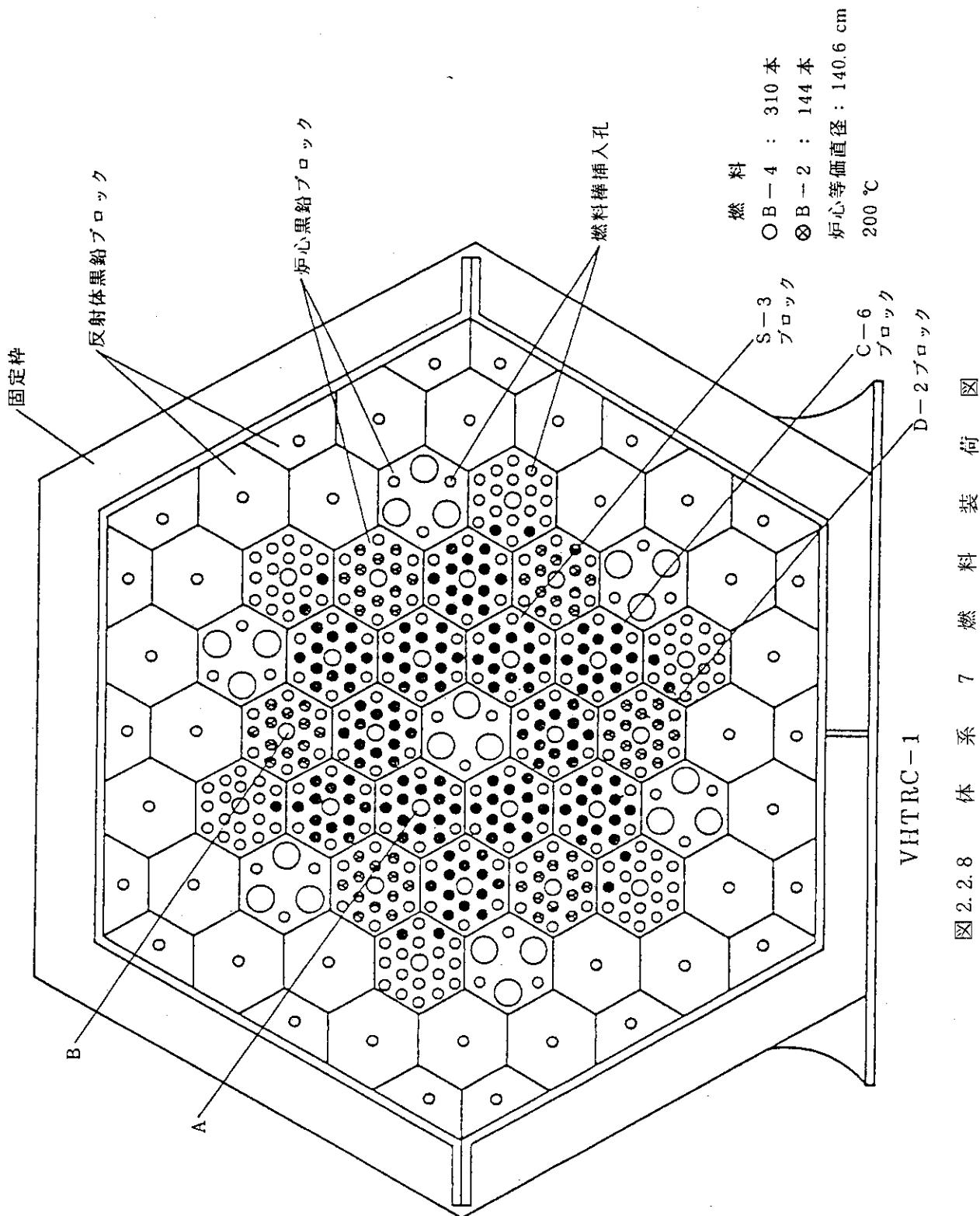
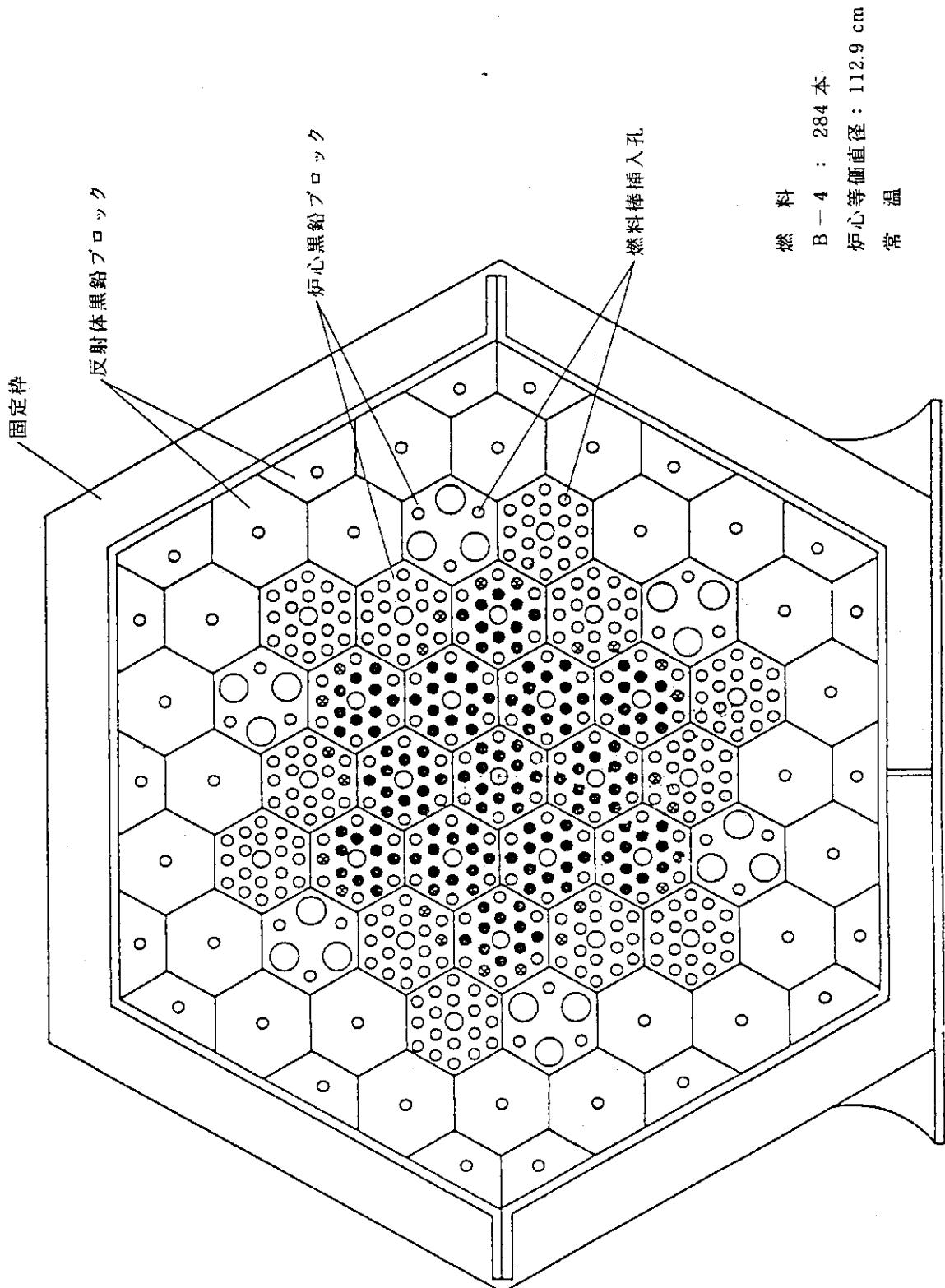
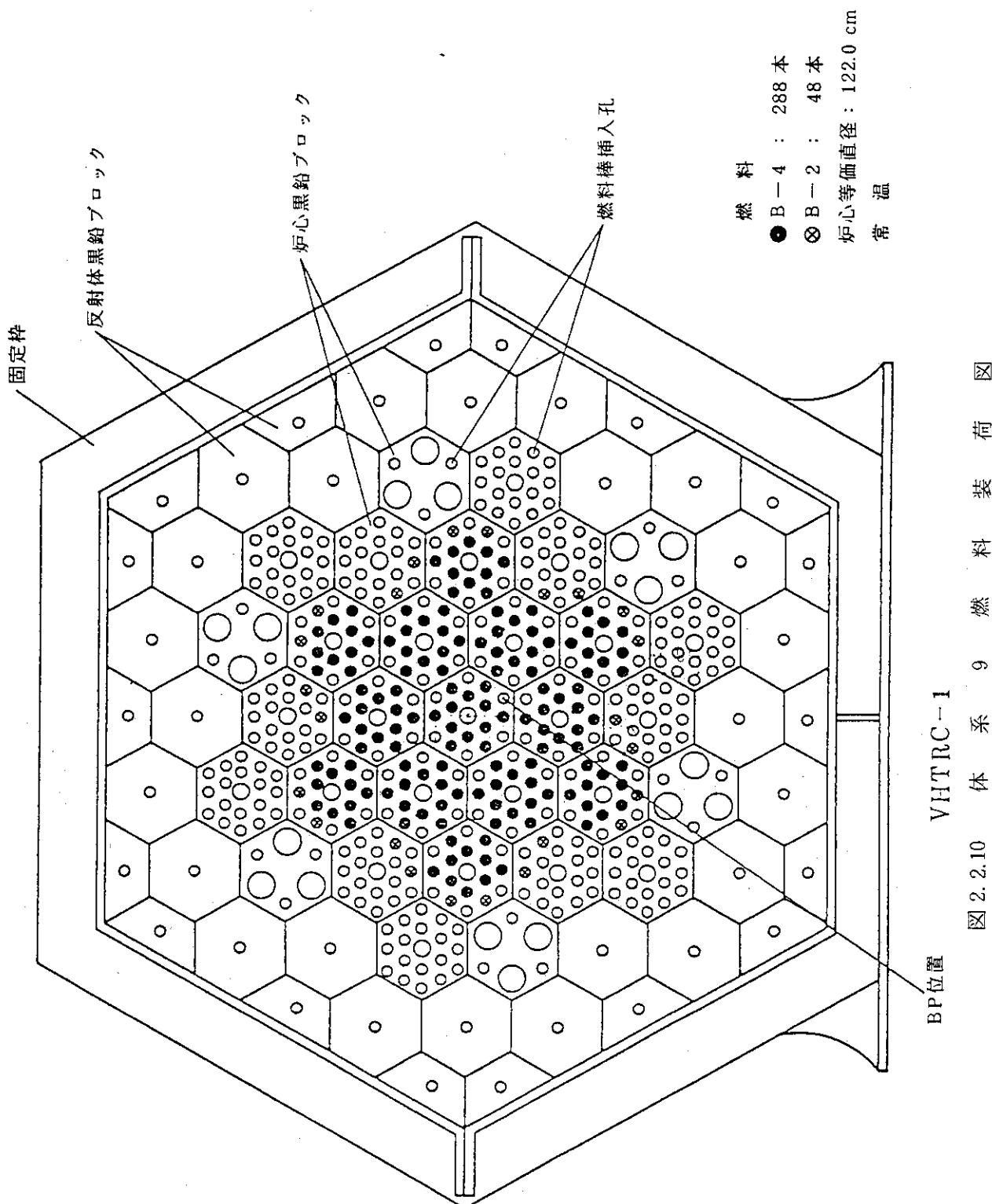
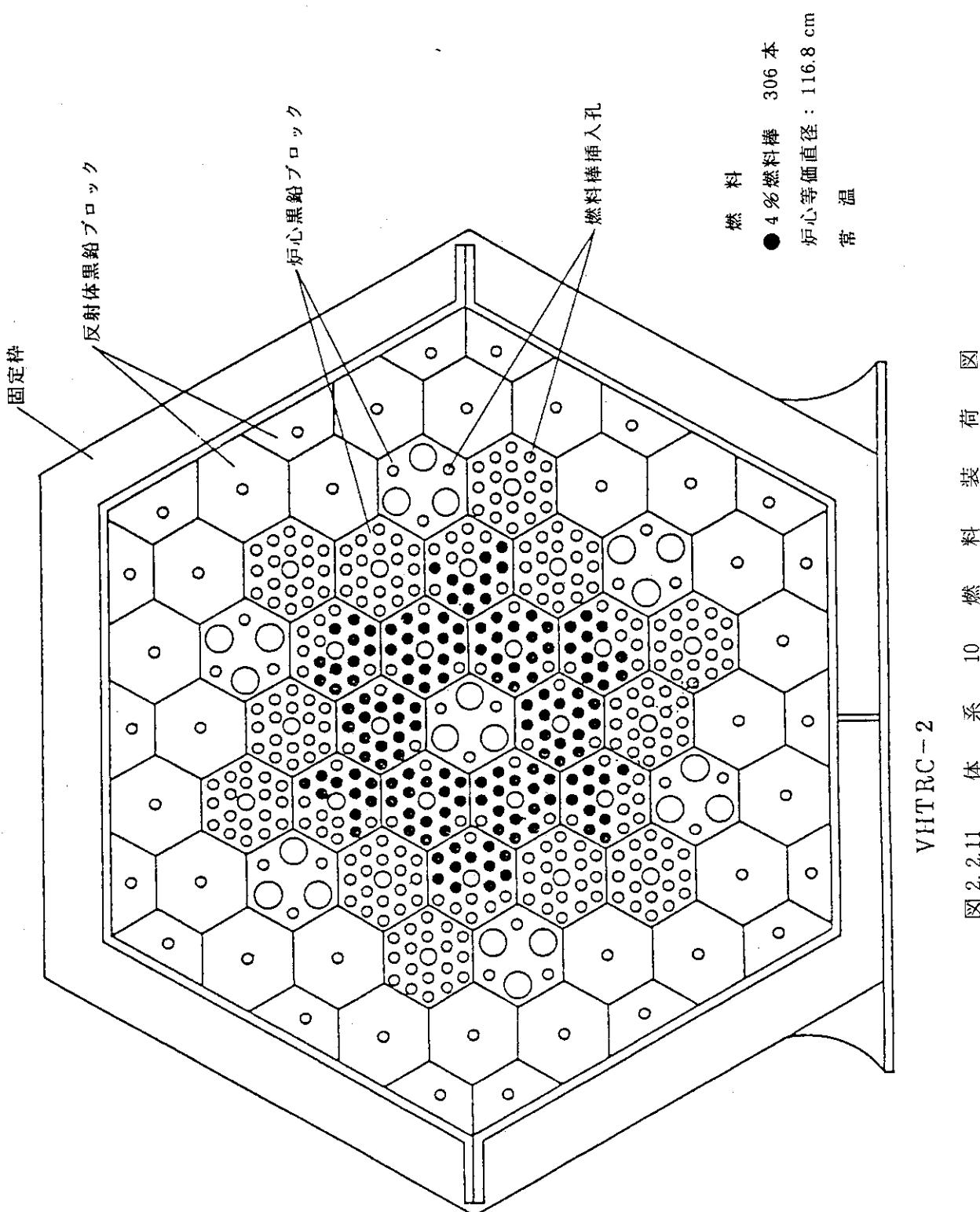
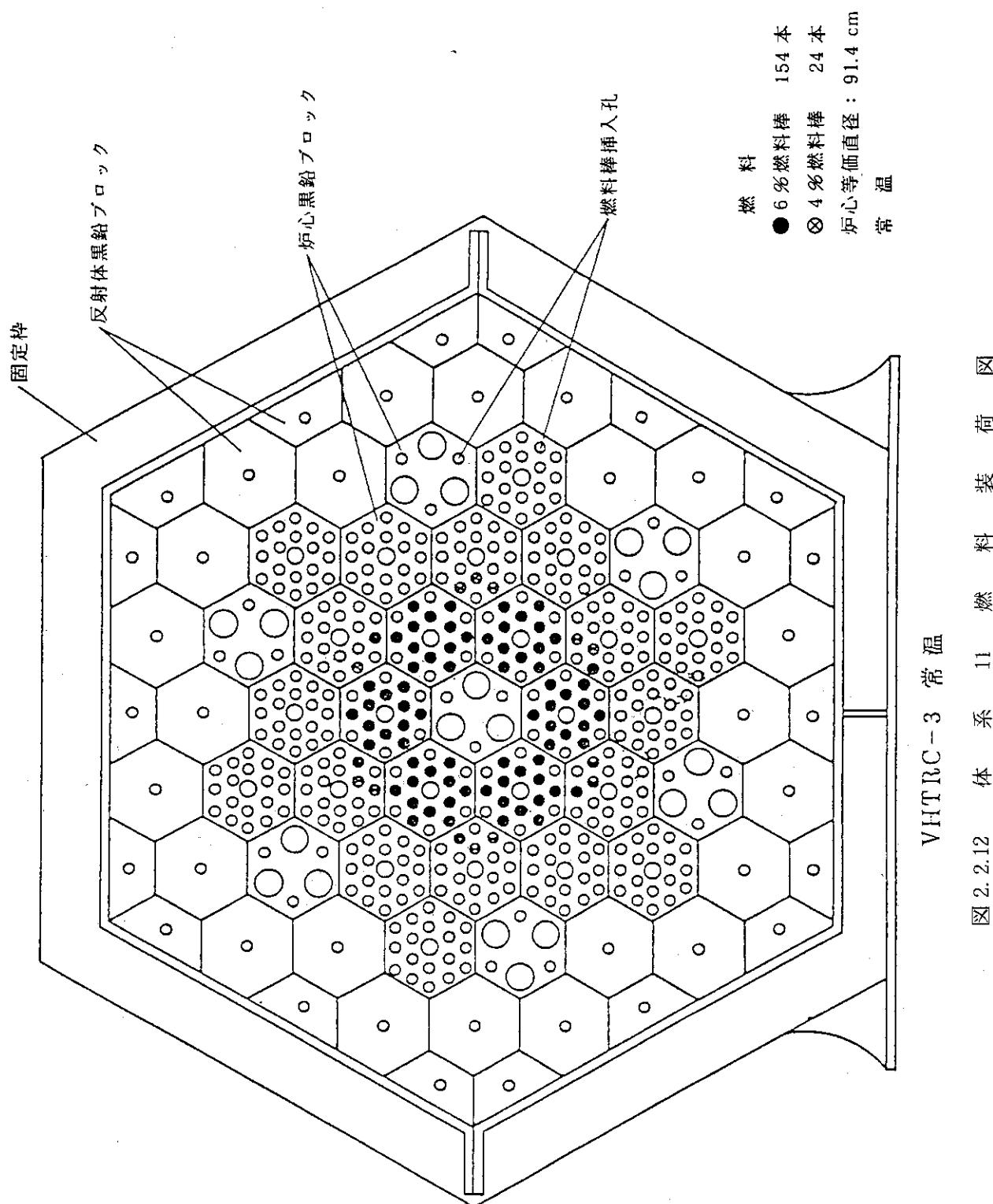


図 2.2.9 体 系 8 燃 料 装 荷 図  
VIITRC-1









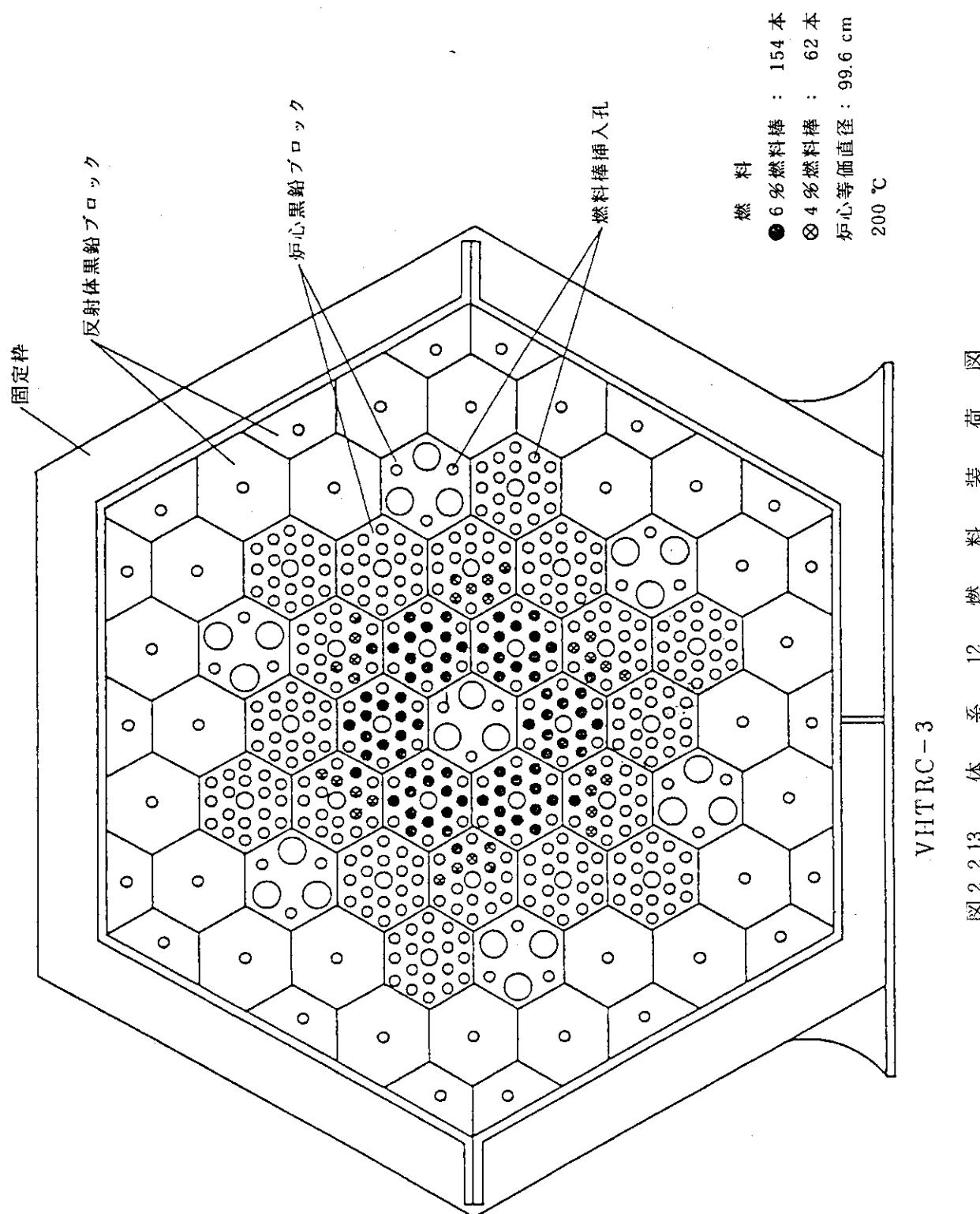


図 2.2.13 体 系 12 燃 料 装 荷 図

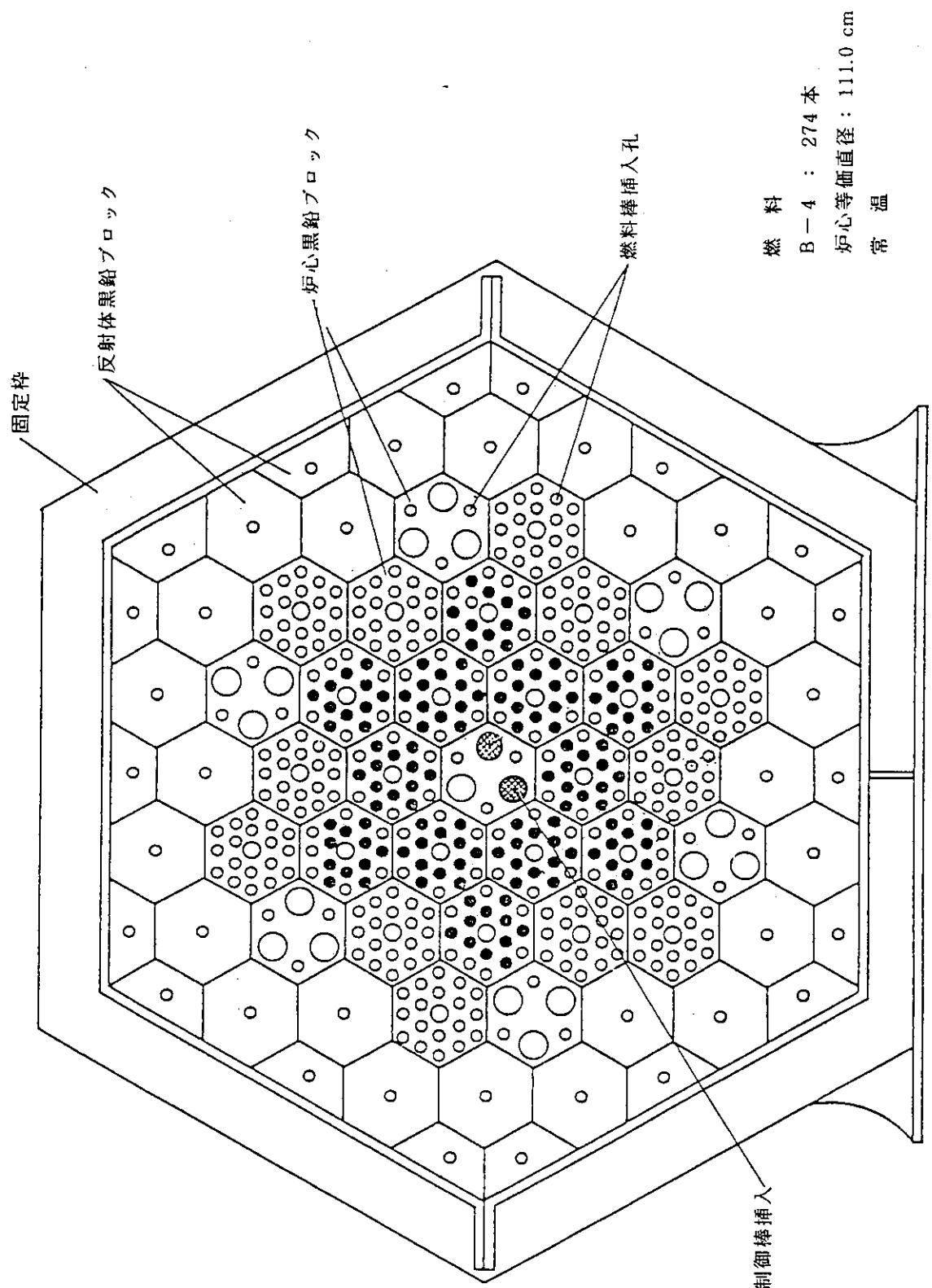
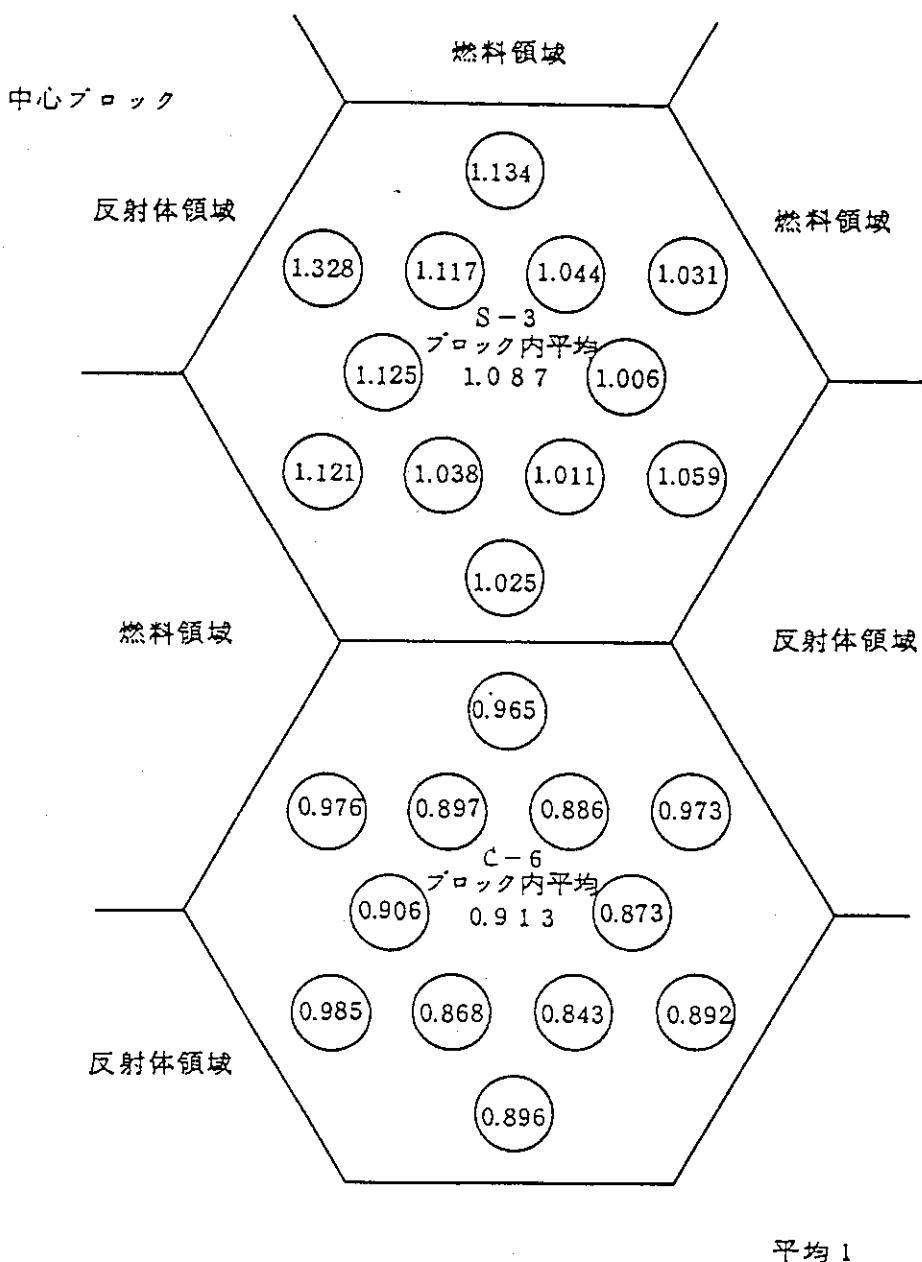


図 2.2.14 体系系 13 燃料装荷図



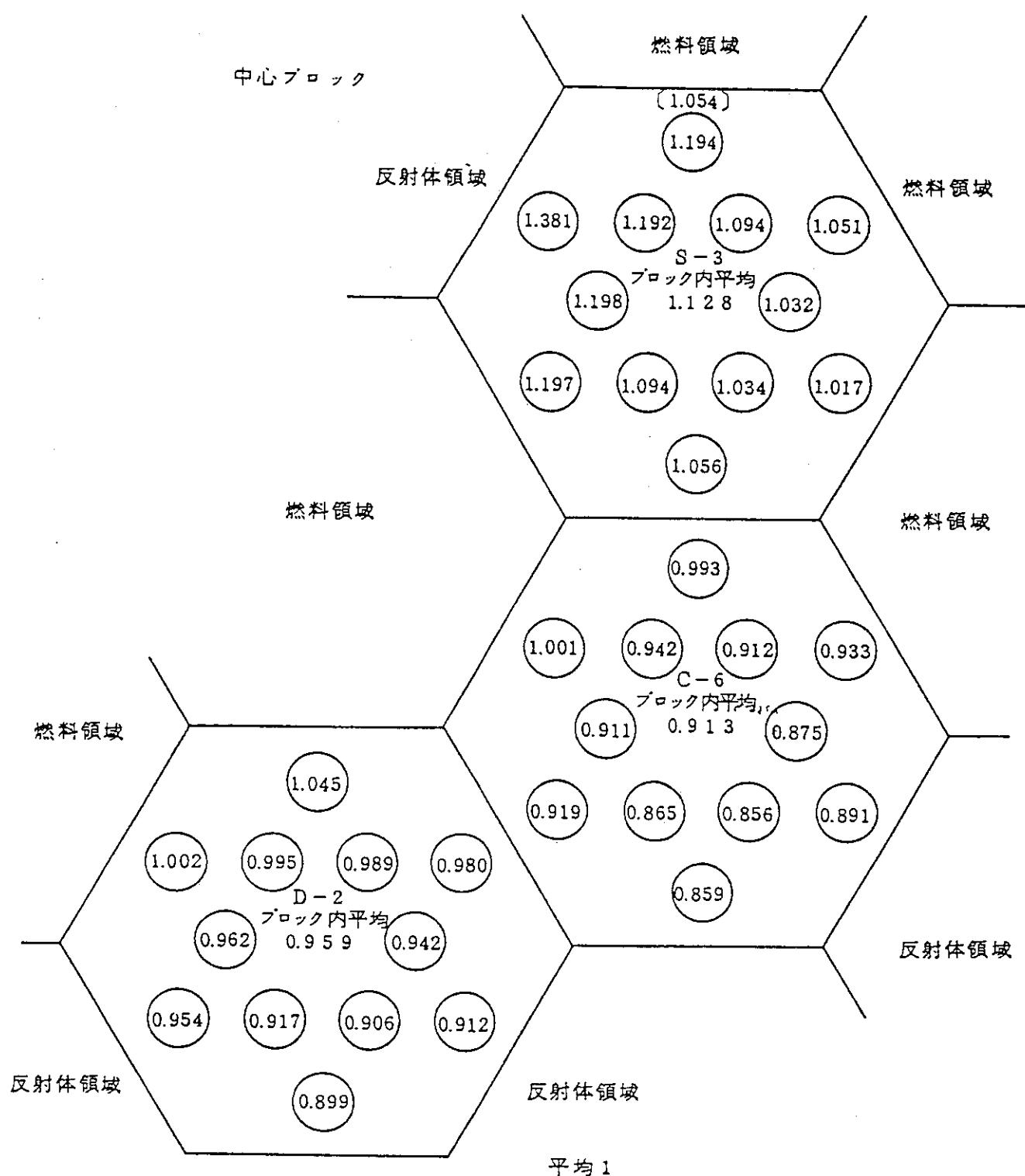
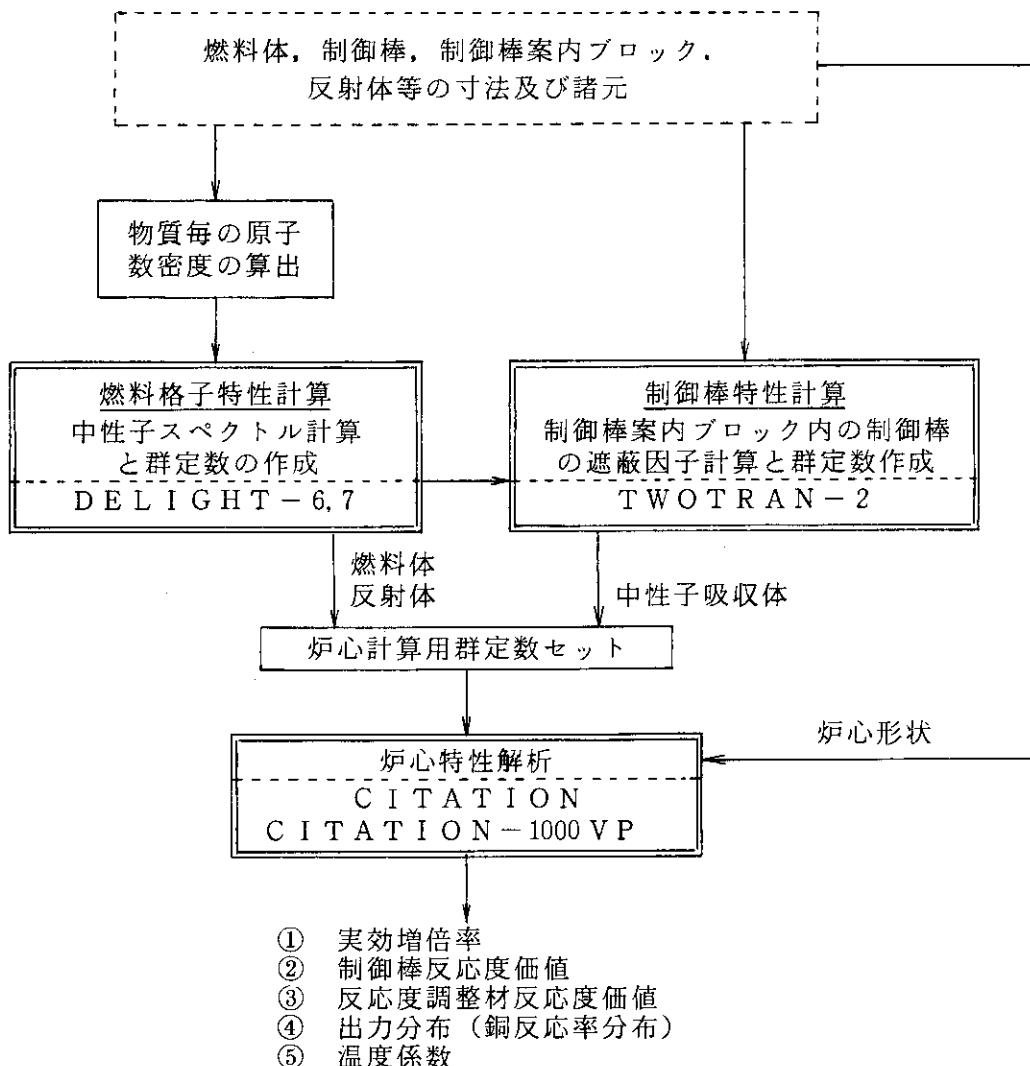


図 2.2.16 銅反応率径方向分布実験値 (200 °C)

注) S-3, C-6 及び D-2 ブロックの位置を図 2.2.8 に示す。

### 3. 計算コードと計算モデル

計算コードは高温工学試験研究炉の核設計用に開発した核設計計算手法を使用し、計算モデルのエネルギー群数及び1燃料体内の径方向メッシュ数はVHTRCの炉心がHTTRの炉心に比較して小さいことを考慮し、パラメータサーベイを行ってその結果に基づいて定めたものを使用することとした。計算は燃料格子特性計算、制御棒特性計算及び炉心特性計算から成る。燃料格子特性計算には高温ガス炉・格子燃料計算コードDELIGHT-6<sup>(2)</sup>及び7<sup>(3)</sup>、制御棒特性計算には2次元中性子輸送計算コードTWOTRAN-2<sup>(4)</sup>に、炉心特性計算には中性子拡散計算コードCITATION<sup>(5)</sup>及びそれをベクトル化したCITATION-1000 VPを使用した。計算コードと計算手順を下図に示す。



燃料体及び制御棒等の諸元を入力データとして燃料格子特性計算及び制御棒特性計算より群定数を作成する。この群定数と炉心寸法等のデータを入力データとして炉心特性計算を行い、実効増倍率、制御棒反応度価値、反応度調整材反応度価値、出力分布（銅反応率分布）及び温度係数の炉心特性を求める。

### 3.1 燃料格子特性計算

燃料格子特性計算は、制御棒特性計算及び炉心特性計算に必要な群定数作成のための計算である。この計算には、SHEの実験データの解析に用いたDELIGHT-6に加え各核種の微視断面積定数の縮約機能を追加したDELIGHT-7を用いた。DELIGHT-7の計算フローを、図3.1.1に示す。燃料格子モデルは、中心部から中央ギャップ、燃料コンパクト、黒鉛スリーブ、黒鉛ブロックの領域から成る円環状格子モデルである。モデルでは、燃料格子の各領域の外形寸法及び原子数が保存されるようにしている。燃料格子モデルを、図3.1.2に示す。各領域の原子数密度を、表3.1.1に示す。尚、表に示す原子数密度は、燃料コンパクトの装荷領域の長さが72cmであるところを、原子数を保存し73cmで平均した値である。共鳴吸収計算は、被覆燃料粒子と燃料要素によって生じる燃料の二重非均質効果を考慮して行っている。核データには、データファイルENDF/B-III, IVのデータを処理して作成した多群核定数ライブラリーデータを使用している。

燃料体中に反応度調整材を装填した場合の燃料体全体の平均群定数は、格子の中心に反応度調整材を置き、その周辺を燃料格子の平均定数を巻き着けた円環状格子モデルで求めた。反応度調整材の各核種の原子数密度を表3.1.2に示し、反応度調整材を均質化するための格子モデルを、図3.1.3に示す。

制御棒案内ブロック、可動反射体及び固定反射体の群定数は、これら黒鉛構造物体中の空隙率を考慮した平均密度を求めるとともに、燃料体の中性子スペクトルを考慮して求めている。

中性子スペクトル計算には、速中性子領域(10MeV~2.38eV)が61群、熱中性子領域(2.38eV~0.0eV)が50群から成るエネルギー群構造を使用した。速中性子領域と熱中性子領域の境界エネルギーは、2.38eVである。また、熱中性子領域及び速中性子領域を各々20群に縮約した合計40群のエネルギー群構造を用いて格子臨界計算を行った。図3.1.4に、速中性子領域及び熱中性子領域のエネルギー群構造を示す。また、同図に制御棒特性計算及び炉心特性計算に用いた群構造と燃料格子特性計算の群構造の関係をも示す。

### 3.2 制御棒特性計算

制御棒特性計算は、制御棒が制御棒案内ブロック内に挿入されている状態での中性子束分布を求め、この中性子束分布を重みとしてブロック内の平均群定数を作成する計算である。この計算には、2次元中性子輸送計算コードTWOTRAN-2を用い、計算はS<sub>4</sub>P<sub>1</sub>の条件で行った。計算メッシュモデルには、1つの六角ブロック内に1対の制御棒が挿入されている状態を計算する必要があるためXYメッシュモデルを使用し、制御棒の円環状吸収体部の形状を多数の微

小長方形で模擬した。制御棒 1 本及び 1 対を制御棒案内ブロックに挿入した場合のメッシュモデルを、各々図 3.2.1 及び 3.2.2 に示す。モデルでは、制御棒による中性子吸収効果をできるかぎり実際のものに近づけるため、モデル図に示す吸収体の領域モデルの外側境界の直線部の中点を連結した折れ線の長さが、実際の制御棒の吸収体外周長とほぼ一致するようにした。また、吸収体体積については、内側境界の位置を調整することにより制御棒の吸収体部体積とモデルの吸収体部体積が等しくなるようにした。XY メッシュによる円環状の制御棒吸収体のモデル化の概念を、図 3.2.3 に示す。制御棒案内ブロックの六角形状も同様に、多数の微小長方形で模擬し、断面積が保存されるようにした。炉心体系の中性子スペクトルが保存されるように、制御棒案内カラム周辺には、燃料体を配置した。制御棒 BW-40 の吸収体、内筒管及び外筒管の原子数密度を表 3.2.1 に示し、内筒管及び外筒管及び各々に内接する外接する内側空気及び外側空気の領域で平均化した原子数密度を表 3.2.2 に示す。計算における内筒管及び外筒管の原子数密度として、この平均原子数密度を用いた。エネルギー群は熱中性子領域が 6 群、速中性子領域が 6 群から成る 12 群で行った。エネルギー群構造を、図 3.1.4 に示す。

### 3.3 炉心特性計算

炉心特性計算は、燃料格子特性計算及び制御棒特性計算より得られた炉心計算用群定数セット及び炉心形状に基づいた計算モデルデータを用いて、実効倍増率、制御棒反応度価値、反応度調整材反応度価値、出力分布（銅反応率分布）及び温度係数を求める計算である。炉心特性計算には、広く原子炉の炉心特性解析に用いられている中性子拡散計算コード CITATION に加え、本計算では燃料体 1 体を 216 メッシュに分割した詳細メッシュ計算を行う観点から、従来の CITATION の領域数の拡大及びプログラムのベクトル化を図り、計算スピードを速くした CITATION-1000 VP を用いた。計算は、燃料体が六角形であることから、2 次元計算には三角メッシュ、3 次元計算には三角柱メッシュを使用した。VHTRC の炉心は HTTR の炉心に比べ小さいため、エネルギー群数を 6, 12, 20 群に、径方向メッシュ数を 6, 24, 96, 216 / 燃料体に変化させた場合の予備検討を行い、計算のための標準エネルギー群構造及び径方向メッシュ数を以下のように決定した。予備検討の内容を、3.4 節で述べる。

\* エネルギ群構造 12 群

\* 径方向メッシュ数

燃料体均質化モデルでは、24 メッシュ / 燃料体

燃料体非均質化モデルでは、216 メッシュ / 燃料体

燃料棒均質モデルとは、燃料体内に燃料棒の平均群定数を配置するモデルであり、この群定数は燃料格子特性計算の臨界計算後に得られる燃料棒全体の平均群定数に対応するものである。燃料体内を 24 個の三角メッシュに分割した燃料棒均質モデルの径方向メッシュ形状を、図 3.3.1 の上部に示す。燃料棒非均質モデルとは、燃料体内で燃料棒部と黒鉛ブロック部とに分離したものであり、燃料体内の格子の非均質性を炉心特性計算で考慮するものである。使用する群定数は、燃料格子特性計算の中性子スペクトル計算後に output されるものを使用した。燃料体内を 216 メッシュに分割した燃料棒非均質モデルの径方向メッシュ型状を図 3.3.1 の下部に示す。

図中の円印で連結されている六個の三角形が燃料棒に対応している部分である。燃料コンパクト内の燃料の原子数を保存した場合のこの六角形内の原子数密度を表 3.3.1 に示す。燃料棒均質モデル及び非均質モデルを用いた水平全炉心メッシュモデルを、各々図 3.3.2 及び図 3.3.3 に示す。体系 1 から体系 13 までの炉心の領域区分を図 3.3.4 及び図 3.3.5 に示し、また領域区分と物質（断面積）の対応を表 3.2.2 及び表 3.2.3 に示す。軸方向のメッシュ数は炉心内及び反射体内で各々以下の値を用いた。

炉心内	11 メッシュ (メッシュ巾 6.636 cm)
反射体内	5 メッシュ (メッシュ巾 9.4 cm)

### 3.4 エネルギ群数及びメッシュ数

体系 1 から体系 13 の実効増倍率、制御棒反応度調整材反応度価値、出力分布（銅反応率分布）及び温度係数の計算に先立って、体系 1 及び 2 を対象としてエネルギー群数及びメッシュ数を変化させた場合の実効倍増率への影響を調べ、VHTRC の炉心特性計算に適したエネルギー群数及びメッシュ数を定めた。実効倍増率の計算結果を、表 3.4.1 に示す。図 3.4.1 に、エネルギー群を 20 群にした場合の実効倍増率とエネルギー群を変化させた場合の実効倍増率の差を示す。また、図 3.4.2 に 1 燃料体内の径方向メッシュ数を 216 とした場合の実効倍増率と、メッシュ数を変化させた場合の実効倍増率の差を示す。これらの結果より、以下に示す考え方に基づいて、エネルギー群数及び径方向メッシュ数を定めた。

- i) 図 3.4.1 より、エネルギー群数が多くなると共に実効倍増率の変化は飽和する傾向があることがわかる。本計算では、エネルギー群数が多くなることによって計算時間が増大することを考慮して、エネルギー群数は実効倍増率の変化がほぼ飽和している 12 群とした。また、同図より炉心寸法が大きい体系 2 ではエネルギー群数の変化による実効倍増率への影響が小さくなっていることもわかる。
  - ii) 図 3.4.2 より、径方向メッシュ数が多くなると共に、実効倍増率の変化は飽和する傾向にあることがわかる。本計算の燃料棒均質モデルでは、1 燃料体内の径方向メッシュ数を多くすることによって計算時間が増大することを考慮し、径方向メッシュ数を 24 個とした。径方向メッシュ数を 216 個と 24 個とした場合の実効倍増率の差は、0.4%  $\Delta k$  以下である。燃料棒非均質モデルの径方向メッシュ数は、非均質性を再現するために最小限必要なメッシュとし、216 個とした。
- 尚、軸方向については、これまでの、解析経験をふまえて炉心内を 11 メッシュ (メッシュ巾 6.636 cm)、反射体内を 5 メッシュ (メッシュ巾 9.4 cm) とした。

表 3.1.1 燃料棒の領域別原子数密度 ( $10^{24}$  個 /  $\text{cm}^3$ )

核種	コード	空気	反射体、 黒鉛 プロック	4W/o 燃料		2W/o 燃料		6W/o 燃料	
				コンパクト	黒鉛スリーブ	コンパクト	黒鉛スリーブ	コンパクト	黒鉛スリーブ
$^{234}\text{U}$	4			6. 2090-7		2. 6418 -7		9. 3135-7	
$^{235}\text{U}$	5			7. 7041-5*		3. 8970 -5		1. 1498-4	
$^{236}\text{U}$	6			4. 833 -7		3. 1044 -7		7. 2495-7	
$^{238}\text{U}$	8			1. 8245-3*		1. 8851 -3		1. 7894-3	
$^{10}\text{B}$	28			1. 2658-8	1. 3315 -9	1. 2788 -8	1. 3893-9	1. 2658-8	1. 3893-9
$^{11}\text{B}$	29			5. 1159-9	5. 1270-8	4. 9359 -9	5. 1799 -8	5. 1159-9	5. 1159-9
$^{12}\text{C}$	30			8. 3534-2*	7. 7171-2	8. 05677-2	7. 77504-2	8. 3534-2	8. 3534-2
O	31	1. 0364-5	8. 8198-6	3. 8163-3	5. 9083 -6	3. 8599 -3	8. 8198-6	3. 8163-3	8. 8198-6
N	49	3. 8624-5	1. 0045-5		1. 0045 -5		1. 0045-5		1. 0045-5
H	50		1. 2252-5	2. 1988-5	1. 1817 -5	2. 2131 -5	1. 2252-5	2. 1988-5	1. 2252-5
Si	33							1. 6941-3	

コンパクト原子数密度は72cm / 73cm の補正を行ったものである。

表 3. 1. 2 反応度調整材諸元及び原子数密度

	W - 2.5	N - 8
B P 諸元		
半 径 (cm)	0. 595	0. 3935
高 さ (cm)	3. 597	3. 608
密 度 (g/cm)	1. 427	1. 412
B %	2. 54	8. 15
ス タ ッ ク 長	72. 4 (71. 94)	72. 5 (72. 16)
黒鉛棒諸元		
内半径 (cm)	0. 6065	0. 407
外半径 (cm)	2. 335	2. 335
密 度 (g/cm)	1. 69	1. 683
原子数密度		
B P		
<sup>10</sup> B	3. 9934 - 4	1. 2679 - 3
<sup>11</sup> B	1. 6195 - 3	5. 1421 - 3
C	6. 9734 - 2	6. 5039 - 2
黒 鉛 棒		
C	8. 4509 - 2	8. 4215 - 2

表 3.2.1 制御棒原子数密度データ

	吸 収 体	内 管	外 管
<sup>10</sup> B	2.8	7.3677 -3	
<sup>11</sup> B	2.9	2.9881 -2	
C	3.0	5.4016 -2	
S i	3.3	9.5110 -4	同 左
M.n	4.0	9.2900 -4	同 左
C r	3.9	1.6876 -2	同 左
F e	3.8	6.0768 -2	同 左
N i	4.1	7.1663 -3	同 左
寸 法			
r <sub>i</sub> (cm)		4.48	2.565
r <sub>o</sub> (cm)		3.0	2.765
$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )		1.746	7.92
L (cm)		114.8	
材 质		B + C + C B : 38.3%	S U S 3 0 4 <sup>TP</sup>

表 3.2.2 制御棒被覆平均原子数密度

	外筒管領域 <sup>*1</sup>	内筒管領域 <sup>*2</sup>
S i	3. 0 5 8 5 - 4	1. 1 2 6 5 - 4
M n	2. 9 8 7 4 - 4	1. 1 0 0 3 - 4
C r	5. 4 2 6 8 - 3	1. 9 9 8 9 - 3
F e	1. 9 5 4 1 - 2	7. 1 9 7 6 - 3
N i	2. 3 0 4 5 - 3	8. 4 8 8 1 - 4
O	7. 0 3 1 2 - 6	9. 1 3 6 4 - 6
N	2. 6 2 0 4 - 5	3. 4 0 4 9 - 6

\* 1 外筒管と孔(102°)内空気の平均

\* 2 内筒管とその内側空気の平均

表 3.3.1 燃料棒非均質モデルの平均原子数密度 ( $10^{24}$ ヶ/cm<sup>3</sup>)

		4 w/o 燃料	2 w/o 燃料	6 w/o 燃料
材料	空 気	0.117012404	0.116882137	0.117403641
体積比	コンパクト	0.35260216	0.349345011	0.351688984
	シース	0.324916616	0.328304032	0.325438556
	黒 鉛	0.205468819	0.205468819	0.205468819
核 種 原子数密度	コード			
<sup>234</sup> U	4	2.1893 -7	9.2286 -8	3.2755 -7
<sup>235</sup> U	5	2.7165 -5	1.3614 -5	4.0437 -5
<sup>238</sup> U	6	1.7041 -7	1.0845 -7	2.5496 -7
<sup>238</sup> U	8	6.4332 -4	6.5855 -4	6.2931 -4
<sup>10</sup> B	28	5.1813 -9	5.2090 -9	5.1893 -9
<sup>11</sup> B	29	2.0733 -8	2.0826 -8	2.0747 -8
C	30	7.0552 -2	7.1750 -2	7.0959 -2
O	31	1.3506 -3	1.3543 -3	1.3480 -3
N	49	9.8472 -6	9.8763 -6	9.8676 -6
H	50	1.4110 -5	1.4271 -5	1.4238 -5
S i	33			5.9580 -4

表 3.3.2 燃料棒均質モデルの領域番号と物質の対応表

体系 No.	領域 No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	VHTRC-2 15π/10	VHTRC-3 11	12	13
1	R F	R F	R F	R F	R F	R F	B P 4-X	B P 4-X	R F	R F	R F	R F	R F	R F
2	B - 4	B - 4	B - 4	B - 4	B - 4	B - 4	B - 4	B - 4	D - 4	T - 6	T - 6	T - 6	B - 4	
3	R F	B - 4	B - 4	B - 4	B - 4	B - 4	B - 4	B - 4		T - 6	T - 6	T - 6		
4										B - 4	B - 4	B - 4		
5														
6														
7														
8														
9														
10	R F													
11														
12														
13														
14		R F												
15'														
16					B - 2	B - 2	B - 2	B - 2						
17														
18					R F									
19														
20					B - 4	B - 4								
21					R F									
22														
23	B A	B A	B A	B A	B A	B A	B A	B A	B A	B A	B A	B A	B A	B A
備考	B - 4	； 4%燃料	T - 6	； 6%燃料	B P 4-X	；	B - 4 + B P							
	B - 2	； 2%燃料	R F	； 反射体	B A	；	J7, J7, J7, J7							

表 3.3.3 燃料棒非均質モデルの領域番号と物質の対応表

領域 No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	VHTRC-2 15ビット 10	VHTRC-3 11	-	12	13
1 中心フロク	R F	R F	R F	R F	R F	R F	R F	G F - 4	G F - 4	R F	R F	R F	R F	R F
2								B P - X	B P - X					
3		↓	↓	↓	↓	↓	↓	H F - 4	H F - 4	↓	↓	↓	↓	↓
4 R, T フロク	G F - 4	G F - 4	G F - 4	G F - 4	G F - 4	G F - 4	G F - 4	G F - 4	G F - 4	G F - 4	G F - 6	G F - 6	G F - 6	G F - 6
5	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	H F - 4	↓	↓	↓	↓
6	H F - 4	H F - 4	H F - 4	H F - 4	H F - 4	H F - 4	H F - 4	H F - 4	H F - 4	H F - 4	H F - 6	H F - 6	H F - 6	H F - 6
7 R, T フロク	R F	G F - 4	G F - 4	G F - 4	G F - 4	G F - 4	G F - 4	G F - 4	G F - 4	G F - 4	R F	G F - 4	G F - 4	G F - 4
8		↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	H F - 4	↓	↓	↓	↓
9	H F - 4	H F - 4	H F - 4	H F - 4	H F - 4	H F - 4	H F - 4	H F - 4	H F - 4	H F - 6	H F - 6	H F - 6	H F - 6	H F - 6
10											H F - 4	H F - 4	H F - 4	H F - 4
11														
12										↓				
13										R F				
14											↓			
15											G F - 4			
16		G F - 4												
17								G F - 4						
18									G F - 4					
19										↓				
20			G F - 4						H F - 2					
21				G F - 4						↓				
22 R, T フロク	R F	R F	R F	G F - 2	G F - 2	G F - 2	R F	R F	R F	R F	R F	R F	R F	R F
23				H F - 2	H F - 2	H F - 2								
24										R F				
25					G F - 2									
26						R F	G F - 2	G F - 2						
27						H F - 2	H F - 2	H F - 2						
28							↓	↓		R F				
29 R, T フロク							H F - 4	H F - 4						
30	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	R F	↓	↓	↓	↓

表 3.4.1 エネルギ群数及び 1 燃料体中の径方向メッシュ数の実効増倍率への影響

体	系	メッシュ	モデル	6 群	12 群	20 群	備考
VHTRC-1	体系 1	6	3D	0.8826 <sub>1</sub>	0.8856 <sub>7</sub>	0.8890 <sub>5</sub>	均質モデル
VHTRC-1	体系 1	24	n	0.8888 <sub>1</sub>	0.8925 <sub>6</sub>	0.8941 <sub>2</sub>	n
VHTRC-1	体系 1	96	n	0.8909 <sub>3</sub>			n
VHTRC-1	体系 1	24	2D	0.8777 <sub>9</sub>		0.8829 <sub>9</sub>	
VHTRC-1	体系 1	96	n	0.8799 <sub>6</sub>		0.8856 <sub>3</sub>	
VHTRC-1	体系 1	216	n	0.8803 <sub>4</sub>		0.8861 <sub>6</sub>	
VHTRC-1	体系 4	216	2D		0.9989 <sub>6</sub>	0.9939 <sub>8</sub>	非均質 軸方向 2 倍メッシュ
VHTRC-1	体系 1	24	3D		0.8890 <sub>1</sub>		
VHTRC-1	体系 2	24	3D	0.9921 <sub>1</sub>	0.9938 <sub>3</sub>	0.9953 <sub>3</sub>	均質モデル

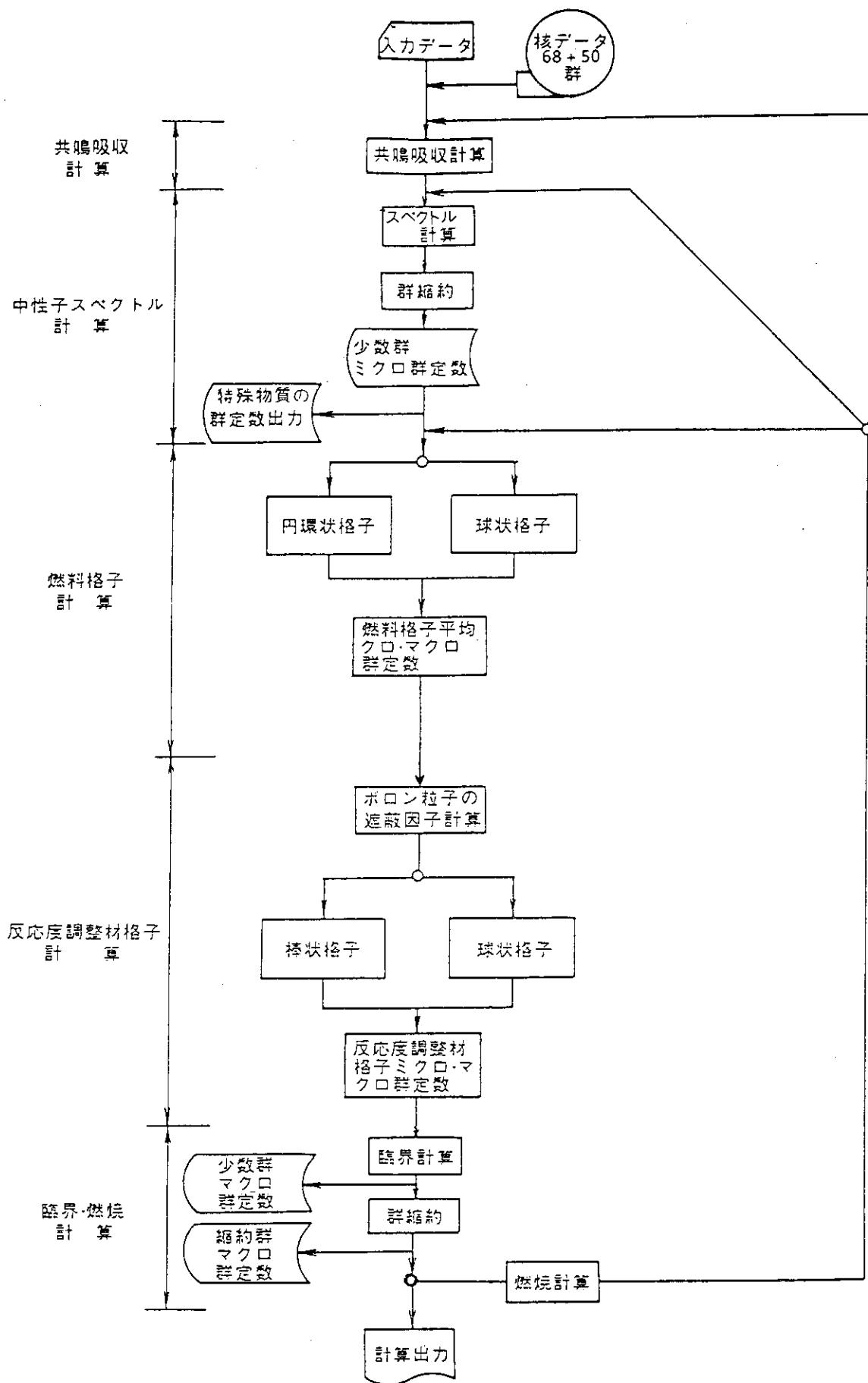


図 3.1.1 DELIGHT-7 の計算フロー

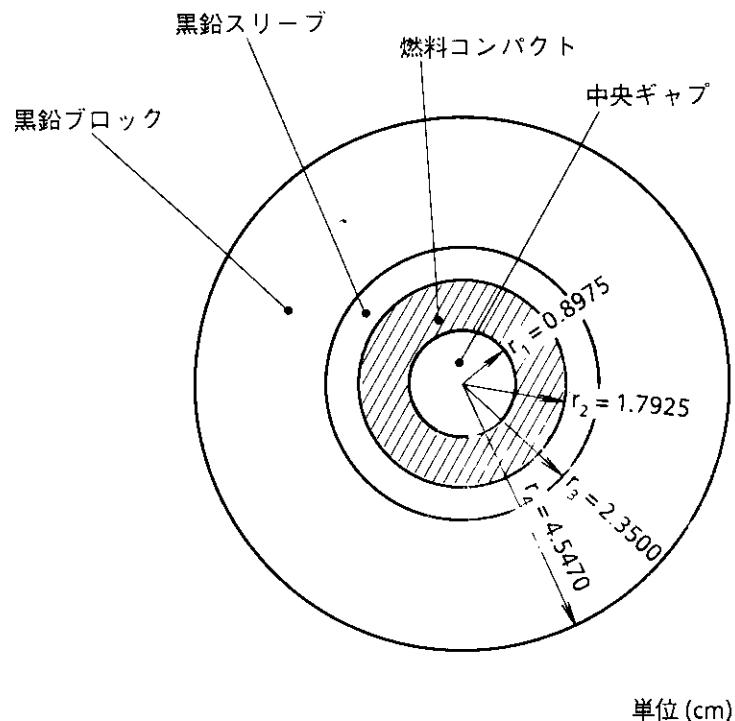


図 3.1.2 燃料格子特性計算用格子モデル

(1 燃料体中に12個の燃料棒が挿入されている場合、15個の  
燃料棒が挿入されている場合は  $r_4 = 4.0669$  cm)

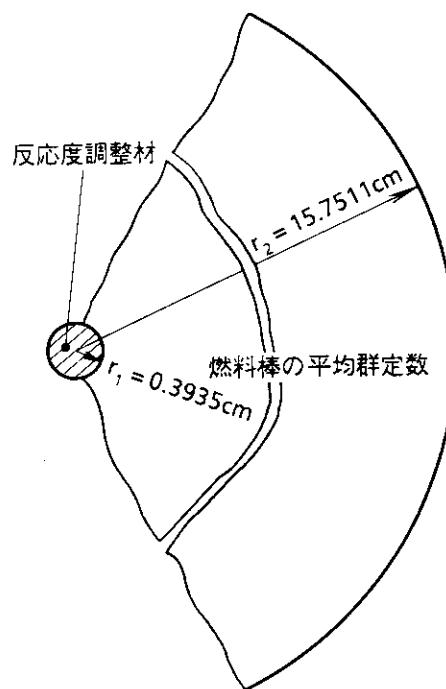


図 3.1.3 反応度調整材の均質化用格子モデル (N - 8)

(W - 2.5 の場合は  $r_1 = 0.595$  cm)

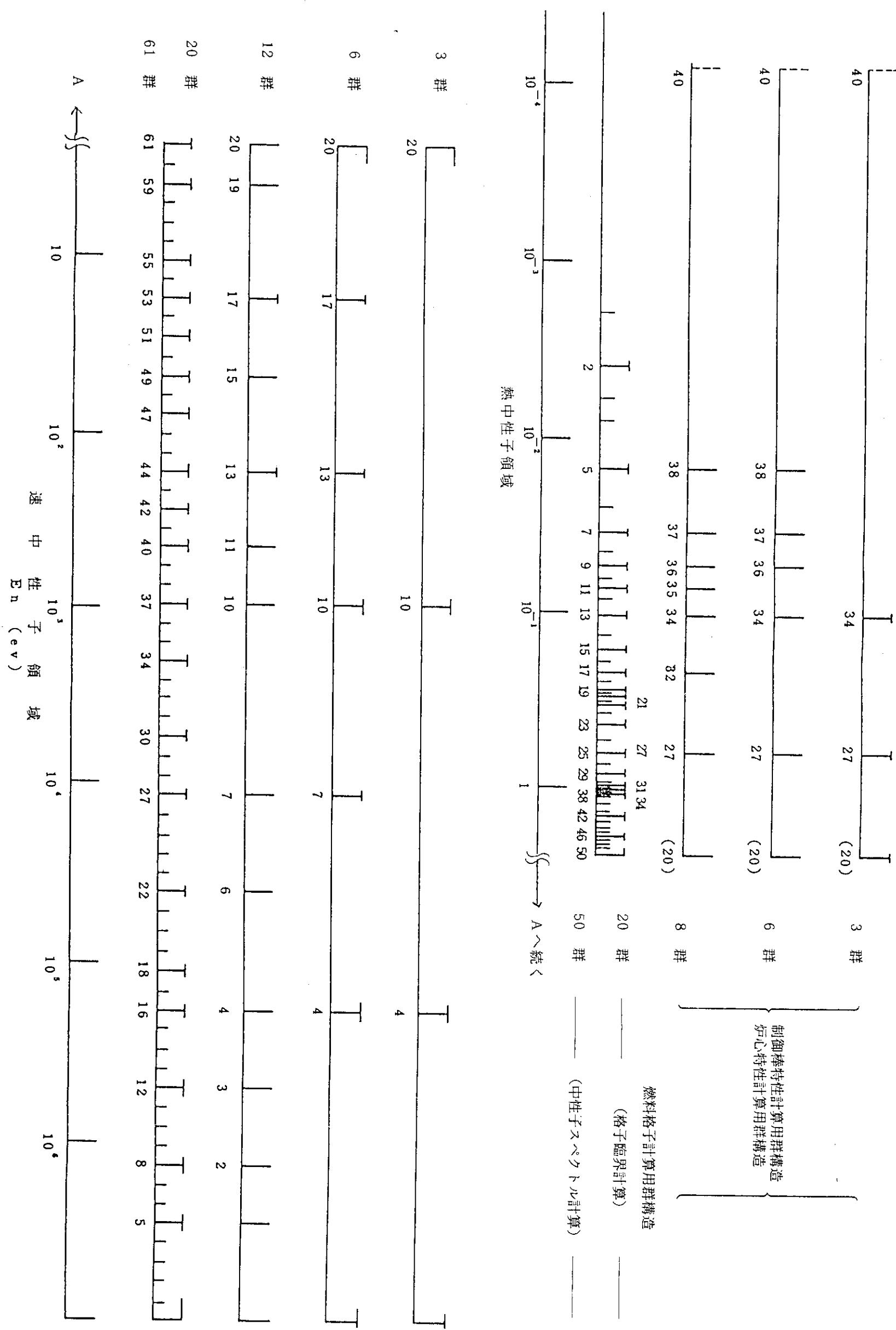


図 3.1.4 工業群構造

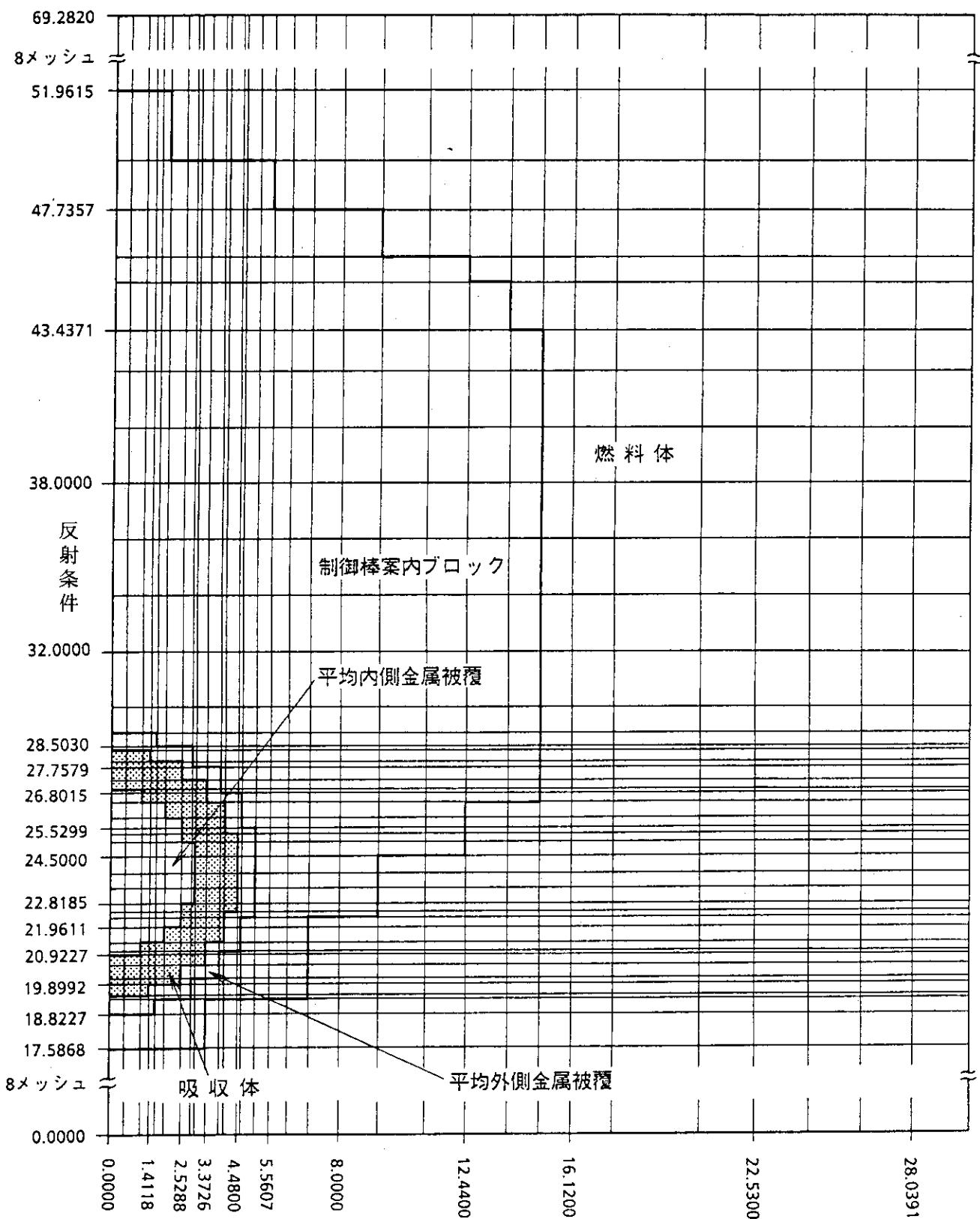


図 3.2.1 TOWTRAN の計算モデル（制御棒 1 本）

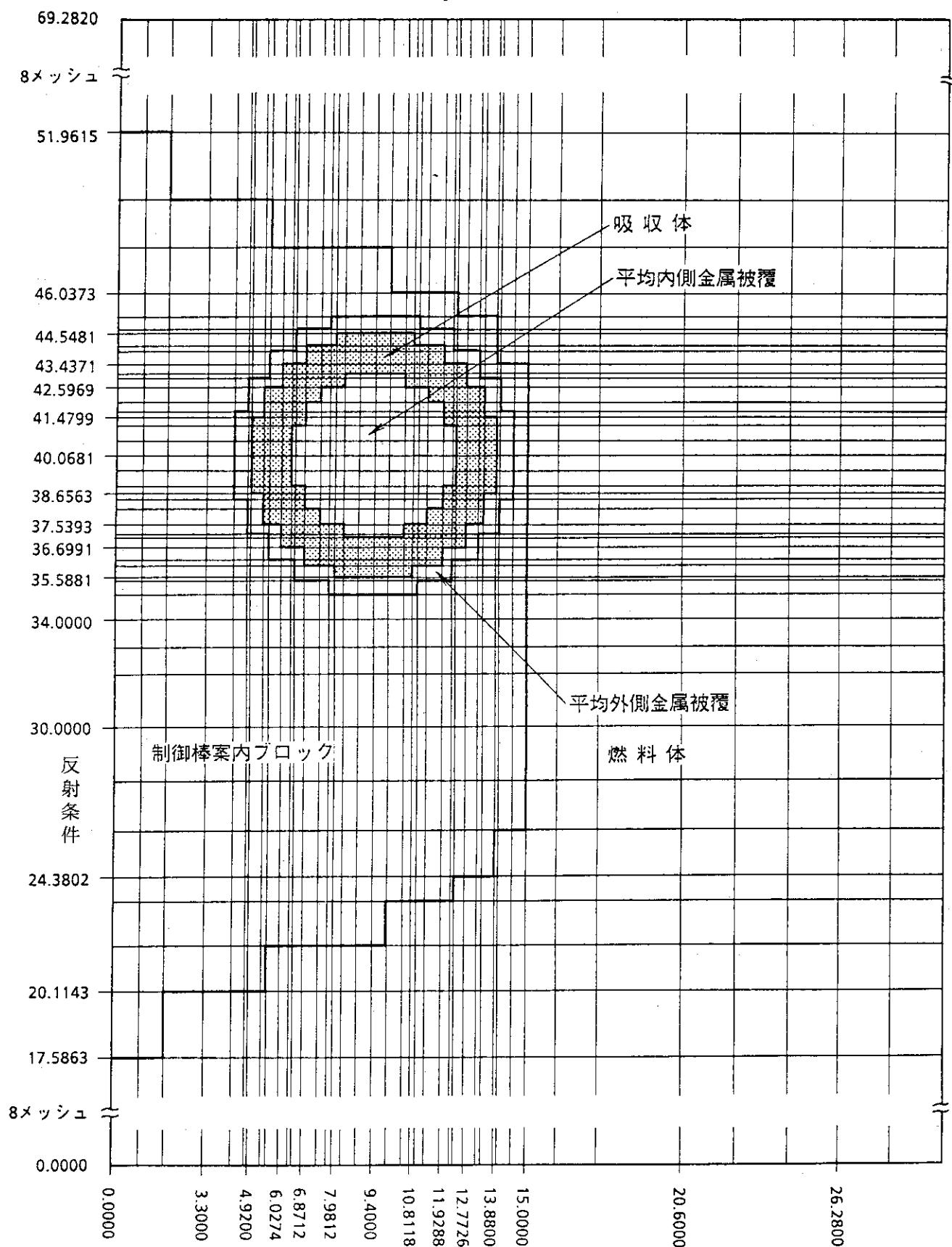


図 3.2.2 TOWTRAN の計算モデル（制御棒 2 本）

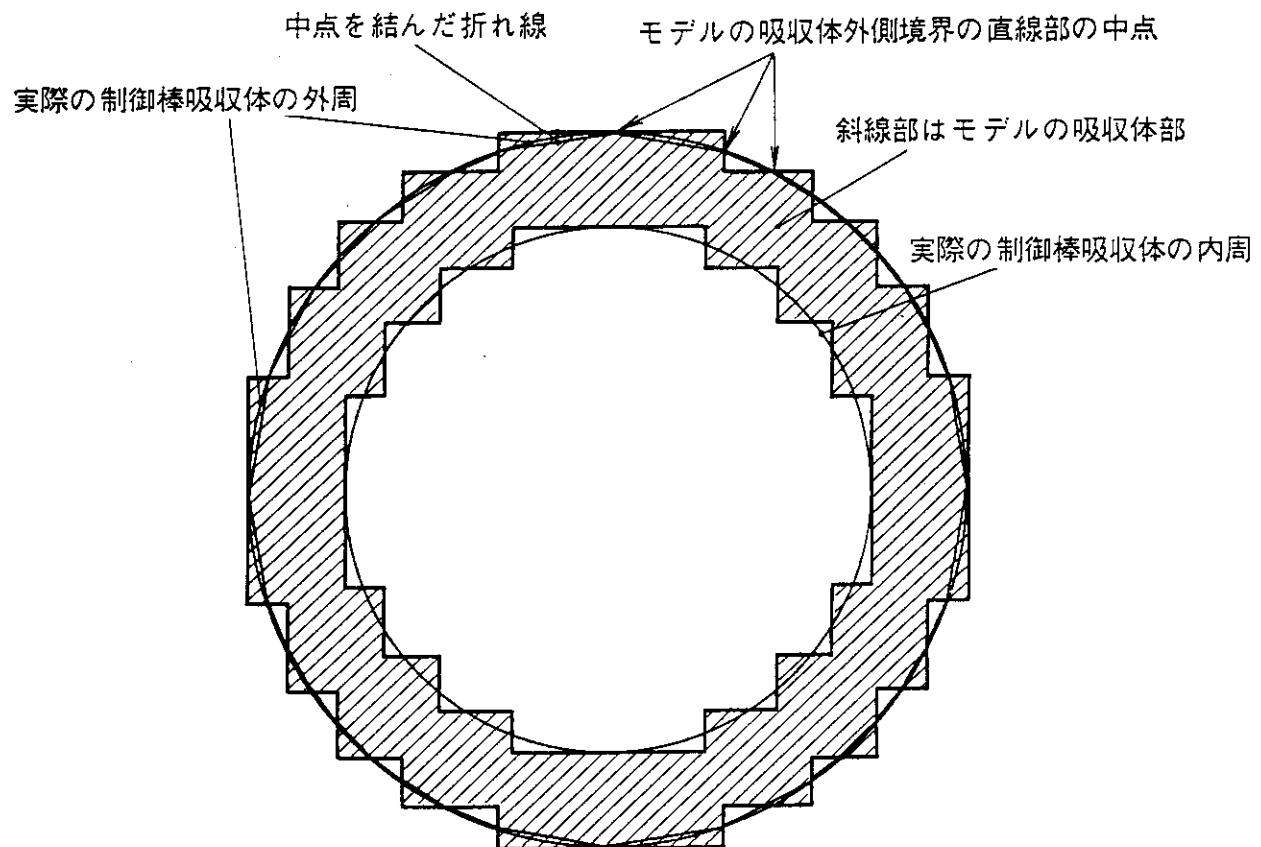
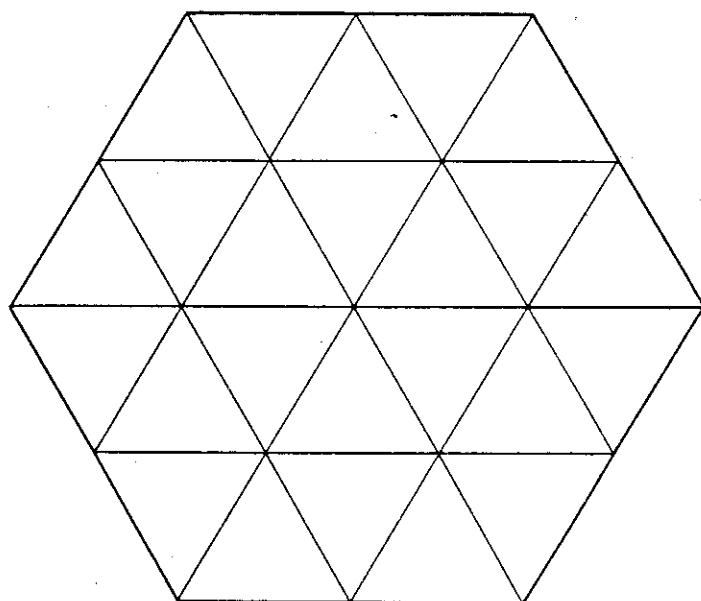


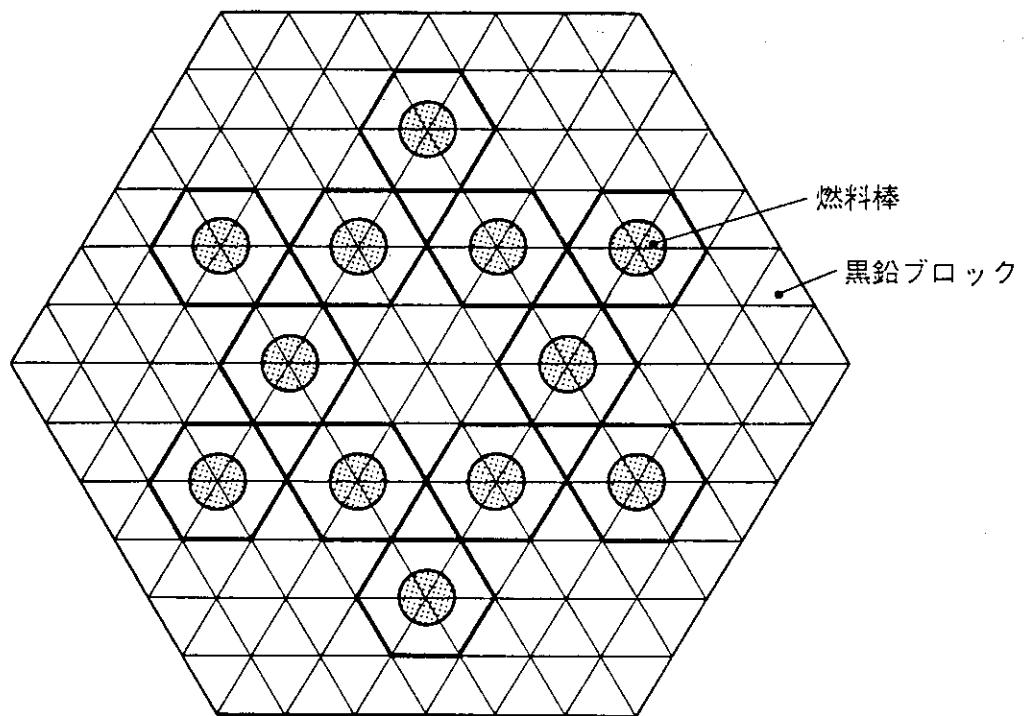
図 3.2.3 X Y メッシュを用いた円環状制御棒吸収体のモデル

24メッシュ/燃料体



1) 燃料棒均質モデル

216メッシュ/燃料体



2) 燃料棒非均質モデル

図 3. 3. 1 燃料体内メッシュ分割と燃料棒配置図

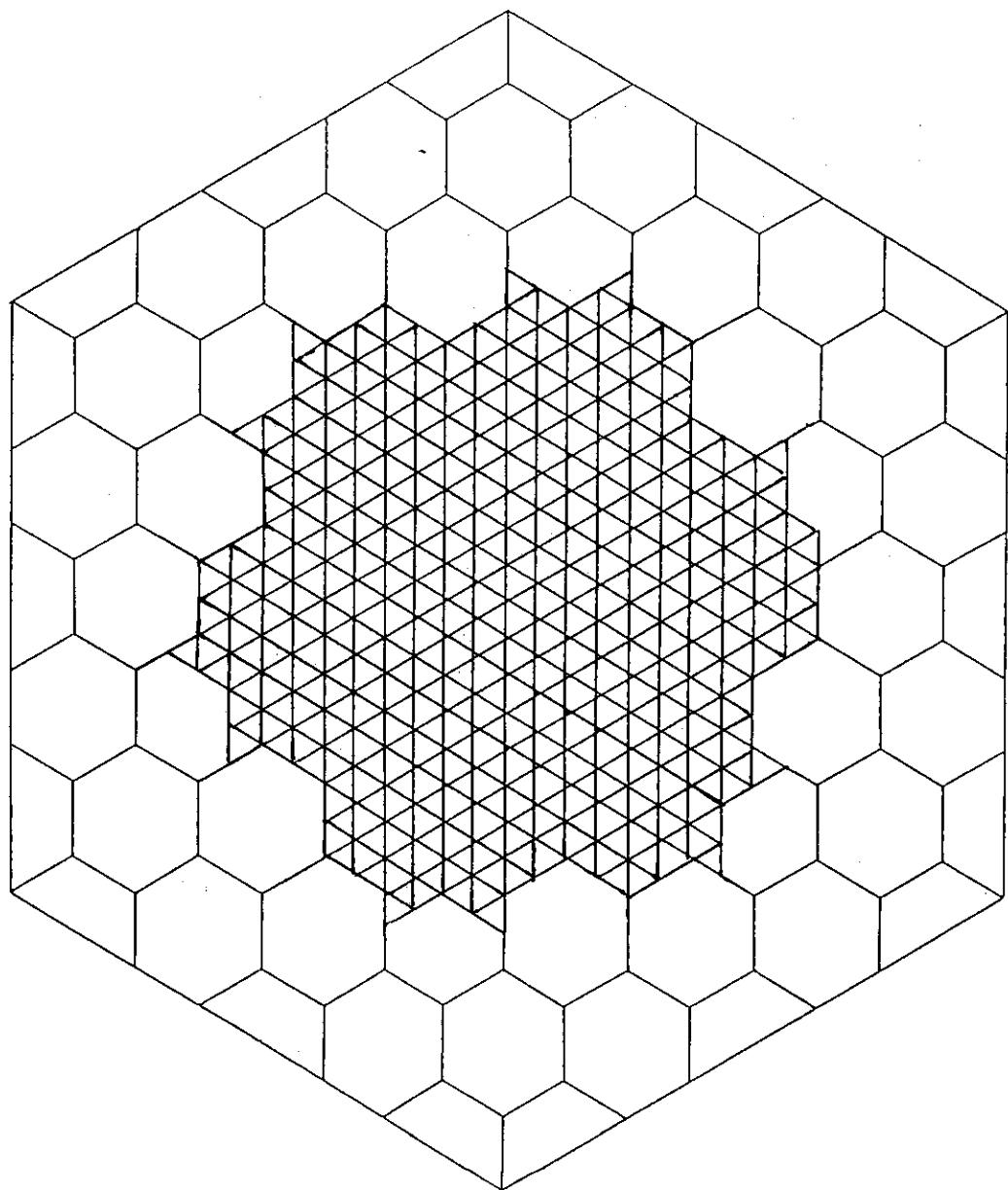


図 3.3.2 燃料棒均質モデルを用いた場合の炉心計算用メッシュ  
(詳細メッシュ領域は燃料棒領域に対応する。)

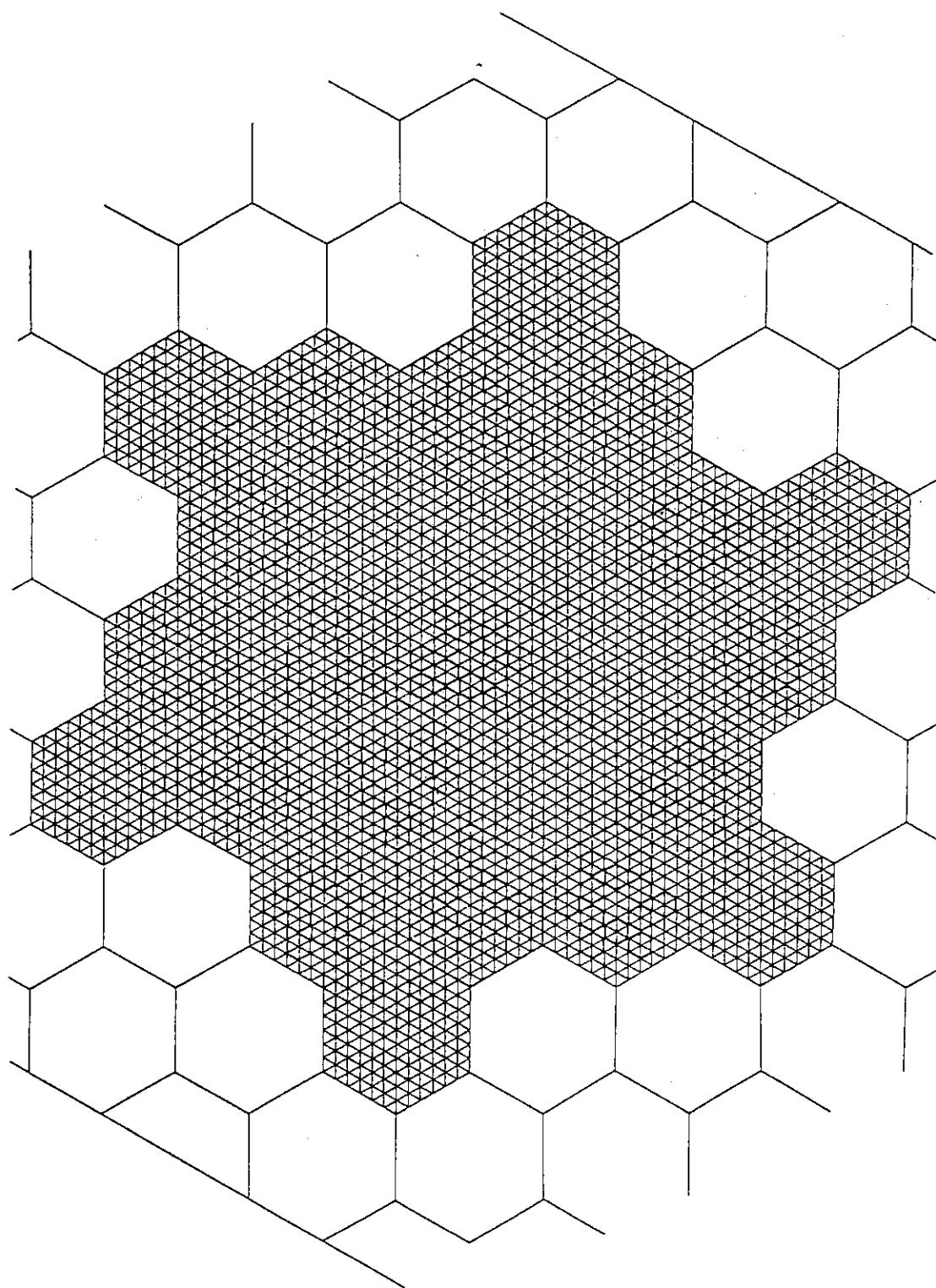


図 3.3.3 燃料棒均質モデルを用いた場合の炉心計算用メッシュモデル  
(詳細メッシュ領域は燃料体領域に対応する。)

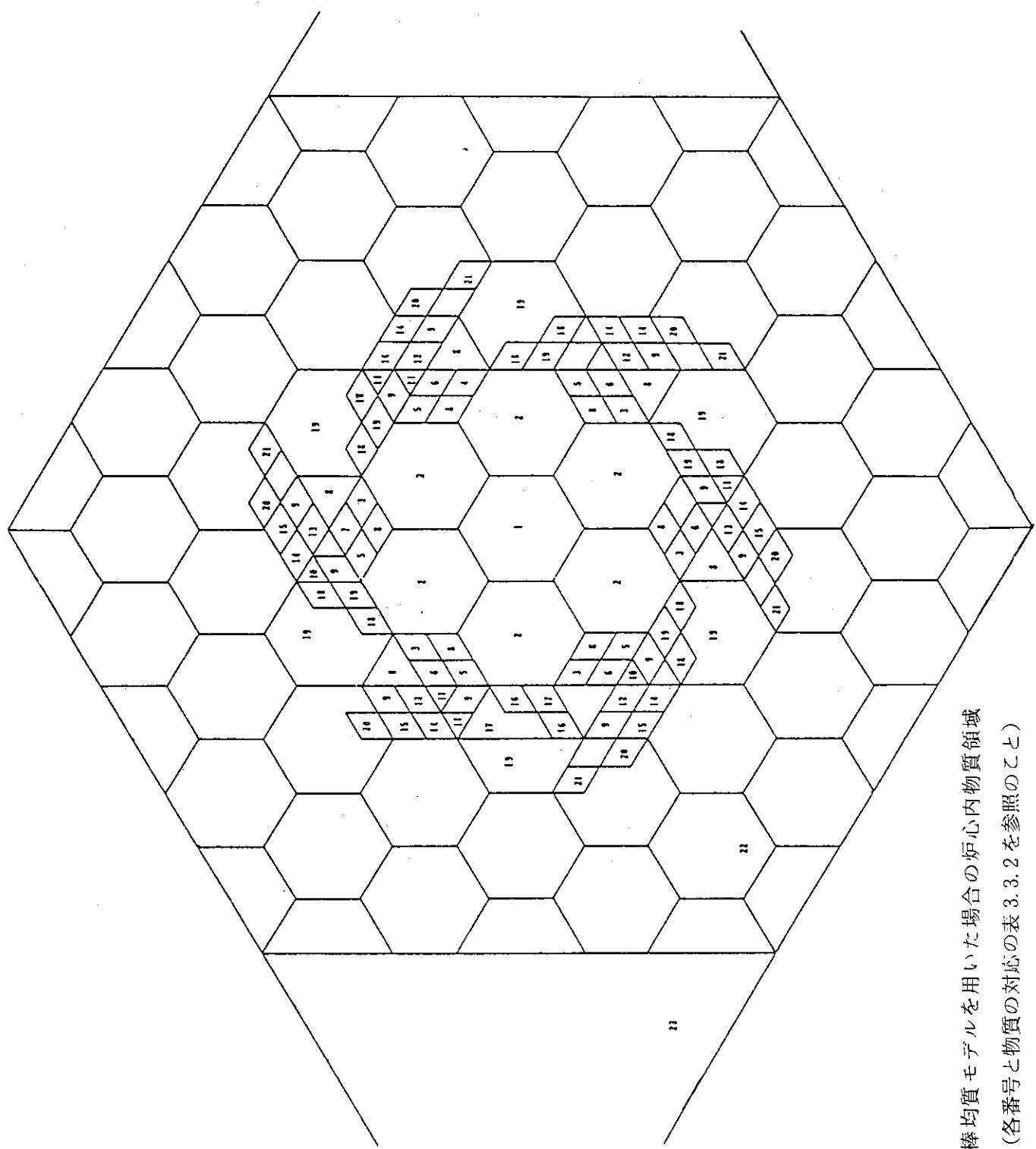


図 3.3.4 燃料棒均質モデルを用いた場合の炉心内物質領域  
(各番号と物質の対応の表 3.3.2 を参照のこと)

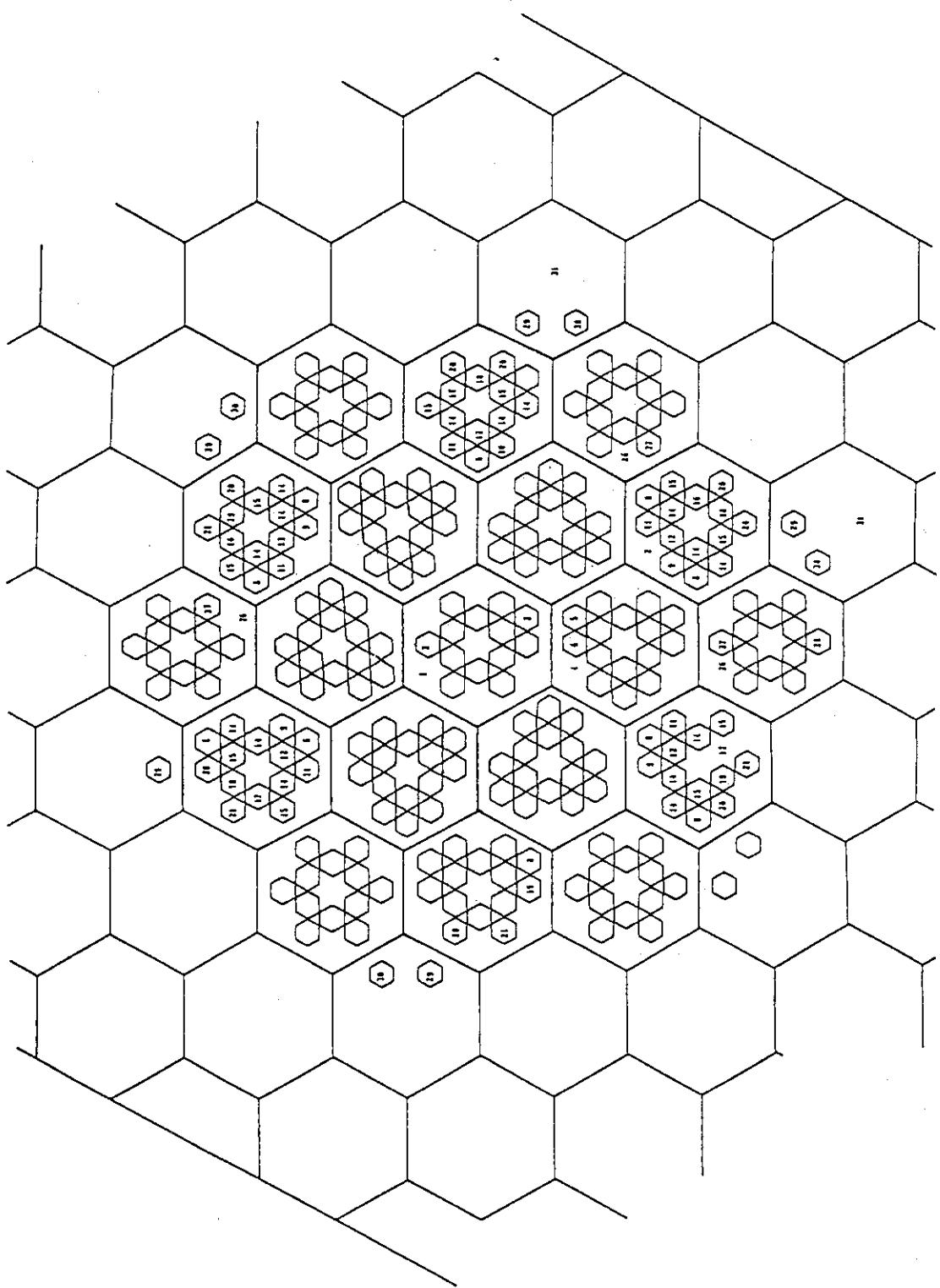


図 3.3.5 燃料棒非均質モデルを用いた場合の炉心内物質領域

(各番号と物質の対応は表 3.3.3 を参照のこと。番号が指定されている領域は  
60°対称の位置の物質番号が対応する。)

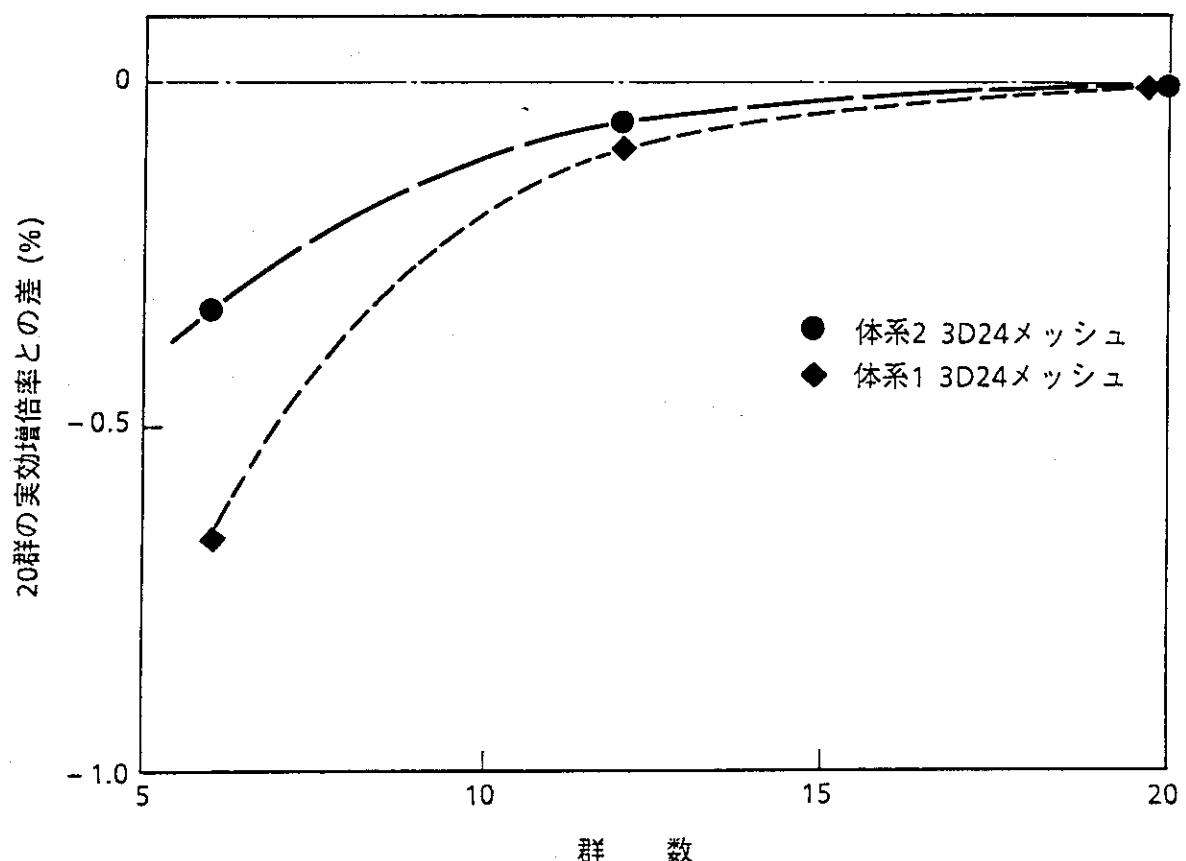


図 3.4.1 エネルギー群数の実効増倍率への影響

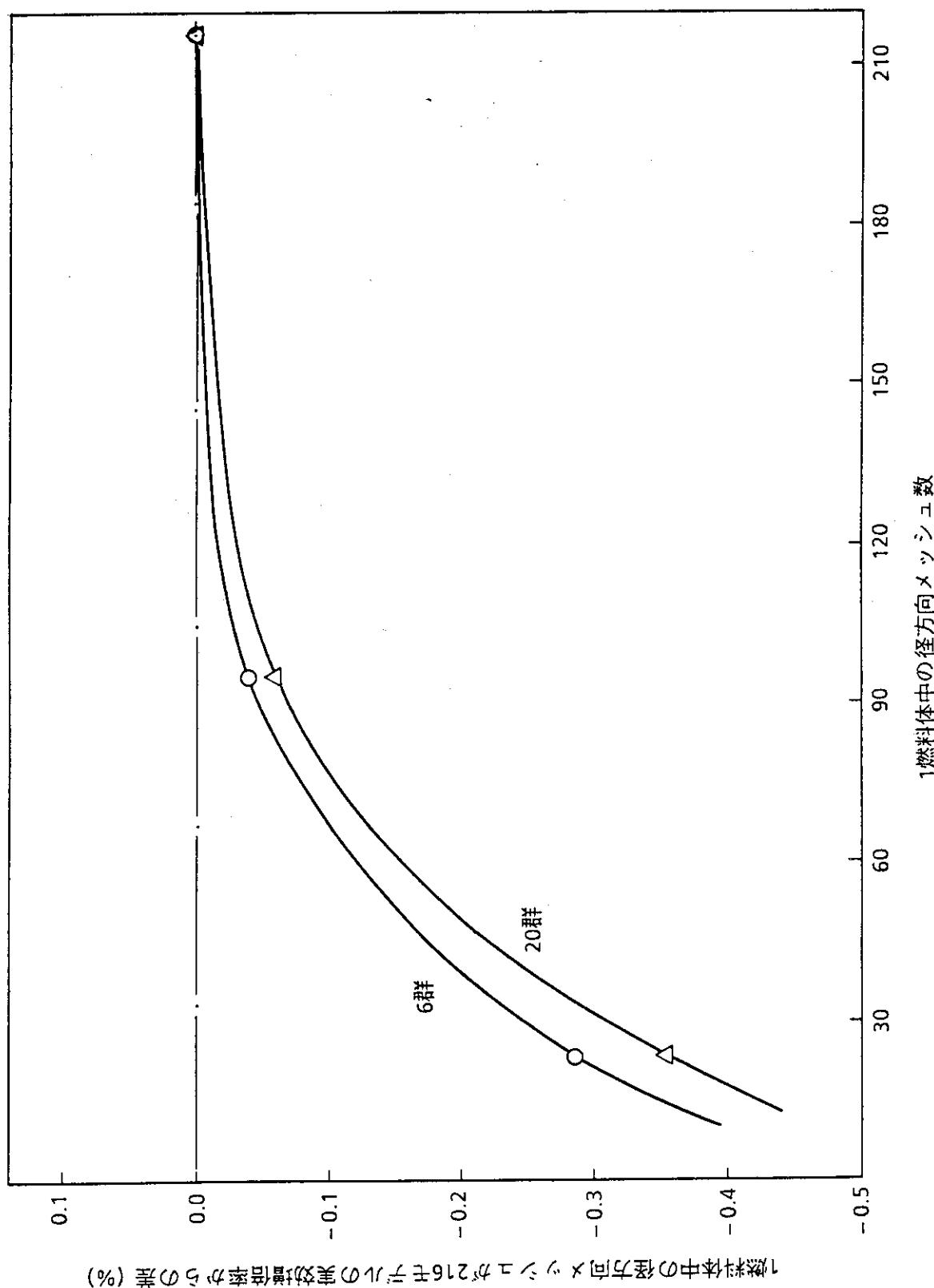


図 3.4.2 メッシュ数の実効増倍率への影響 (体系 1)

## 4. 計算結果と検討

### 4.1 実効増倍率

VHTRCを用いて得られた実効増倍率の測定値に、表2.2.1に示す炉内挿入物の反応度補正を加えた実験値と炉心特性計算より算出した計算値を比較し、計算精度の検討を行った。燃料棒非均質モデルを用いて行った計算値と実験値の比較を表4.1.1に示す。この表より計算値と実験値の誤差は、 $0.7\%\Delta k$ 以下に収まっていることがわかる。1から4の体系に対して、燃料棒非均質モデル及び均質モデルを用いて得られた実効増倍率の計算値と実験値の比較を、表4.1.2に示す。この表より、燃料棒非均質モデルを用いて得られた計算値の方が燃料棒均質モデルを用いて得られたものよりも、実験値とよく一致していることがわかる。この相違は、燃料棒非均質モデルの方が燃料領域周辺部の形状の取り扱いが実際の体系に近く体系外への中性子の漏れを、より正確に取り扱うことができるためと考えられる。この効果は、既に、SHE臨界質量実験の解析で知られている効果であり、文献<sup>(6)</sup>には小型炉では燃料より外へ出た高エネルギーの中性子はあまり散乱せず直線的に進行し、その多くが体系外へ漏れるので、燃料棒についてはできる限り実際に近い形状を持ったモデルを作成することが望ましいことが報告されている。燃料棒均質モデルにおいて、体系1より体系2,3及び4の炉心寸法が大きい体系で計算値と実験値がよく一致している。これは、炉心寸法が大きくなることにより中性子の体系外への漏れが少なくなり、この中性子の体系外への漏れの取り扱いによる実効倍増率への影響が弱くなるためと考えられる。この結果及びHTTRの炉心寸法が更に大きいことを考慮し、燃料棒均質モデルの計算値と実験値の誤差は、体系2,3,4の結果が適切なものと考えて $1\%\Delta k$ とした。したがって、燃料棒非均質モデル及び燃料棒均質モデルを用いた実効増倍率の計算値と実験値の誤差は、 $1\%\Delta k$ 以内に納まっている。これを、図4.1.1に示す。

### 4.2 制御棒反応度価値

制御棒本数が1本及び2本の場合の制御棒反応度価値の計算値と実験値の比較を、表4.2.1に示す。この表より、燃料棒均質モデルでは、計算値が実験値よりも小さいので計算による制御棒反応度価値評価は保守的な傾向にあると言える。制御棒の本数或いは計算モデルが異なるすべてのケースを通して、計算値と実験値の誤差の最大値は9.5%である。

### 4.3 反応度調整材反応度価値

天然ボロン濃縮度が2.54w/o(W-2.5)及び8.15w/o(N-8)の反応度調整材の反応度価値の計算値と実験値の比較を、表4.3.1に示す。この表より、燃料棒非均質モデル及び燃料棒均質モデルの両方のモデルによる計算値は、実験値よりも反応度価値を高く評価する傾向に

あることがわかる。天然ボロン濃度或いは計算モデルが異なるすべてのケースを通して、計算値と実験値の誤差の最大値は 4.5 %である。

#### 4.4 出力分布（銅反応率分布）

銅反応率、中性子束及び核分裂反応率の間には比例関係が有ることを用い、炉心内の銅反応率分布から中性子束分布及び出力分布の計算値と実験値の差を比較評価した。炉心温度が 300 K (体系 4) 及び 500 K (体系 7) の径方向銅反応率分布の計算値と実験値を、各々表 4.4.1、図 4.4.1 及び表 4.4.2、図 4.4.2 に示す。計算値の算出には、燃料棒非均質モデルを用いている。分布の規格化は、規格化された銅反応率の平均値が 1.0 となるようを行っている。これらの図表より、燃料棒ごとの径方向反応率の計算値と実験値の誤差は、最大で 2.9 %であることがわかる。ブロック内の平均径方向反応率の計算値と実験値の比較を、表 4.4.3 に示す。この表より、ブロック内平均径方向反応率の計算値と実験値の差は、0.6 %以下であることがわかる。炉心温度が 300 K (体系 4) 及び 500 K (体系 7) の軸方向銅反応率分布の計算値と実験値の比較を、各々図 4.4.3 及び図 4.4.4 に示す。分布の規格化は、燃料領域に属する銅反応率の平均値が 1.0 となるようを行っている。図 4.4.3 及び図 4.4.4 より、燃料領域内の軸方向銅反応率分布の計算値と実験値とが良く一致していることがわかる。尚、表 4.4.4 に計算値を、また表 2.2.3 及び表 2.2.4 に実験値を示した。

さらに、径方向銅反応率の計算値と実験値の相関関係を図 4.4.5 に示し、軸方向銅反応率の計算値と実験値の相関関係を図 4.4.6 に示す。これらの結果より、径方向及び軸方向の中性子束分布及び出力分布計算値と実験値の誤差は、各々 2.9 %及び 3.0 %以内に収まるといえる。

#### 4.5 温度係数

体系 5 の炉心温度（燃料温度及び減速材温度）が常温及び 500 K の状態に対して燃料棒均質モデルを用いた実効増倍率の計算値は、各々 1.0162 及び 0.9798 であり、この結果より温度係数の計算値は  $-1.83 \times 10^{-4} \Delta k / k \cdot ^\circ C$  となる。体系 5 の昇温実験より得られた実験値は  $-1.71 \times 10^{-4} \Delta k / k \cdot ^\circ C$  である。したがって、温度係数の計算値と実験値の差は、7.0 %である。

表 4.1.1 実効増倍率の比較

体 系	燃 料 本 数			温 度 (K)	実効増倍率		誤 差 (C-E) (%)
	6 w/o	4 w/o	2 w/o		実験値(E)	計算値(C)*	
VHTRC-1	体系1	144		300	0.869	0.870	0.1
	体系2	240		"	0.982	0.978	-0.4
	体系3	264		"	0.997	0.992	-0.5
	体系4	280		"	1.006	1.001	-0.5
	体系5	288	12	"	1.011	1.016	0.5
	体系6	300	144	500	1.001	0.997	-0.4
	体系7	310	144	"	1.005	1.003	-0.2
	体系8	284	48	300	1.008	1.001	-0.7
	体系9	288		"	1.016	1.009	-0.7
VHTRC-2	体系10		306	"	1.005	1.002	-0.3
VHTRC-3	体系11	154	24	300	1.004	1.008	0.4
	体系12	154	62	500	1.001	0.996	-0.5

\*燃料棒非均質モデルを用いた計算結果

表 4.1.2 燃料棒非均質モデルと均質モデルによる実効増倍率の計数値と実験値の比較

体 系	炉心等価直径 cm	実 驗 値 E	$C_{\text{HOM}}$	燃料棒均質モデル $(C_{\text{HOM}} - E) (%)$	$C_{\text{HET}}$	誤 差 ( $C_{\text{HET}} - E$ ) (%)	
						燃料棒非均質モデル $(C_{\text{HET}} - E) (%)$	誤 差 ( $C_{\text{HET}} - E$ ) (%)
1	83.3	0.869	0.869	2	0.870	0.1	
2	104.5	0.982	0.991	0.9	0.978	-0.4	
3	105.3	0.997	1.007	1	0.992	-0.5	
4	112.1	1.006	1.016	1	1.001	-0.5	

表 4.2.1 制御棒反応度価値の計算値と実験値の比較

(体系 13)

制御棒 BW-40	計算モルデル	制御棒の有無	実効増倍率 計算値	制御反応度価値		誤差 (%)
				計算値 (\$)	実験値 (\$)	
中心1本	燃料棒非均質	無	1.001	18.3	19.0	-5.2
		有	0.884			
中心2本	燃料棒均質	無	1.016	17.2		-9.5
		有	0.902			
	燃料棒非均質	無	1.001	31.9		4.9
		有	0.813			
	燃料棒均質	無	1.016	29.6	30.4	-2.6
		有	0.834			

注)  $\beta_{\text{eff}} = 0.007244$

表 4.3.1 反応度調整材反応度価値の計算値と実験値の比較

反応度調整材 種類	体系	燃料棒の 計算モデル	反応度調整材の 有無	実行増倍率		反応度調整材反応度価値		誤差 (%)
				計算値	計算値(\$)	計算値(\$)	実験値(\$)	
N-8	9	非均質	有無	1.009 0.997	—	1.65	1.63	1.2
		均質	有無	— 1.026 —	—	—	—	—
W-2.5	9	非均質	有無	1.009 0.996	—	1.79	1.78	0.6
		均質	有無	— 1.026 1.012	— 1.86	— 1.86	— 1.78	4.5

$$\beta_{eff} = 0.007244$$

表 4.4.1 径方向銅反応率分布の計算値と実験値の比較 (300 K, 体系4)

ピッジNo.	実験値 E	計算値 C	誤差 (C-E)/E(%)
1	0.843	0.830	-1.5
2	0.897	0.881	-1.8
3	0.892	0.918	2.9
4	0.873	0.856	-1.9
5	0.886	0.881	-0.6
6	0.965	0.976	1.1
7	0.973	0.996	2.4
8	0.976	0.976	0.0
9	0.985	0.996	1.1
10	0.906	0.881	-2.6
11	0.868	0.856	-1.4
12	0.896	0.918	2.5

ピッジNo.	実験値 E	計算値 C	誤差 (C-E)/E(%)
1	1.3	1.121	1.151
2	1.4	1.025	1.041
3	1.5	1.038	1.018
4	1.6	1.125	1.104
5	1.7	1.328	1.333
6	1.8	1.011	0.993
7	1.9	1.117	1.104
8	2.0	1.059	1.088
9	2.1	1.006	0.993
10	2.2	1.044	1.018
11	2.3	1.134	1.151
12	2.4	1.031	1.041

表 4.4.2 径方向銅反応率分布の計算値と実験値の比較 (500 K, 体系 7)

ピンNo.	実験値 E	計算値 C	誤差 (C-E)/E(%)
1	0.856	0.838	-2.1
2	0.942	0.918	-2.5
3	0.891	0.901	1.1
4	0.875	0.861	-1.6
5	0.912	0.898	-1.5
6	0.993	0.998	0.5
7	0.933	0.939	0.6
8	1.001	0.996	-0.5
9	0.919	0.923	0.4
10	0.911	0.892	-2.1
11	0.865	0.849	-1.8
12	0.856	0.873	2.0

ピンNo.	実験値 E	計算値 C	誤差 (C-E)/E(%)
1 3	1.197	1.212	1.3
1 4	1.056	1.073	1.6
1 5	1.094	1.082	-1.1
1 6	1.198	1.175	-1.9
1 7	1.381	1.383	0.1
1 8	1.034	1.028	-0.6
1 9	1.192	1.175	-1.4
2 0	1.017	1.045	2.8
2 1	1.032	1.028	-0.4
2 2	1.094	1.082	-1.1
2 3	1.194	1.212	1.5
2 4	1.051	1.072	2.0

表 4.4.2 (つづき)

ビンNo.	実験値 E	計算値 C	誤差 $(C-E)/E(\%)$
25	1.002	1.012	1.0
26	0.954	0.968	1.5
27	0.962	0.955	-0.7
28	0.995	0.988	-0.7
29	1.045	1.052	0.7
30	0.917	0.915	-0.2
31	0.989	0.982	-0.7
32	0.899	0.910	1.2
33	0.906	0.904	-0.2
34	0.942	0.937	-0.5
35	0.980	0.995	1.5
36	0.912	0.927	1.6

表 4.4.3 ブロック内平均径方向銅反応率分布の計算値と実験値の比較

項目	実験値 (E)	計算値 (C)	誤差 (C-E) %
200°C昇温炉心			
ピーキング係数	1.381	1.383	0.2
ブロック平均 S-3	1.128	1.131	0.3
C-6	0.913	0.907	-0.6
D-2	0.959	0.962	0.3
常温炉心			
ピーキング係数	1.328	1.333	0.5
ブロック平均 S-3	1.087	1.087	0.0
C-6	0.913	0.914	0.1

(注1) 平均値で規格化

表 4.4.4 軸方向銅反応率分布の計算値

領域	No	中心からの距離 (cm)	常温炉心(体系4)		500k炉心(体系7)	
			1N	2N	A	B
炉心	1	6.64	1.168	1.171	1.168	1.168
	2	13.27	1.157	1.161	1.157	1.158
	3	19.91	1.136	1.140	1.137	1.137
	4	26.55	1.105	1.109	1.107	1.107
	5	33.18	1.065	1.068	1.067	1.068
	6	39.82	1.015	1.019	1.019	1.020
	7	46.45	0.959	0.963	0.964	0.965
	8	53.09	0.901	0.902	0.906	0.907
	9	59.72	0.846	0.845	0.851	0.851
	10	66.36	0.811	0.805	0.810	0.809
	11	73.0	0.835	0.817	0.815	0.811
反射体	12	82.4	0.992	1.031	0.952	0.942
	13	91.8	0.908	0.958	0.852	0.841
	14	101.2	0.702	0.746	0.655	0.645
	15	110.6	0.450	0.480	0.420	0.413
	16	120.0	0.183	0.196	0.173	0.170

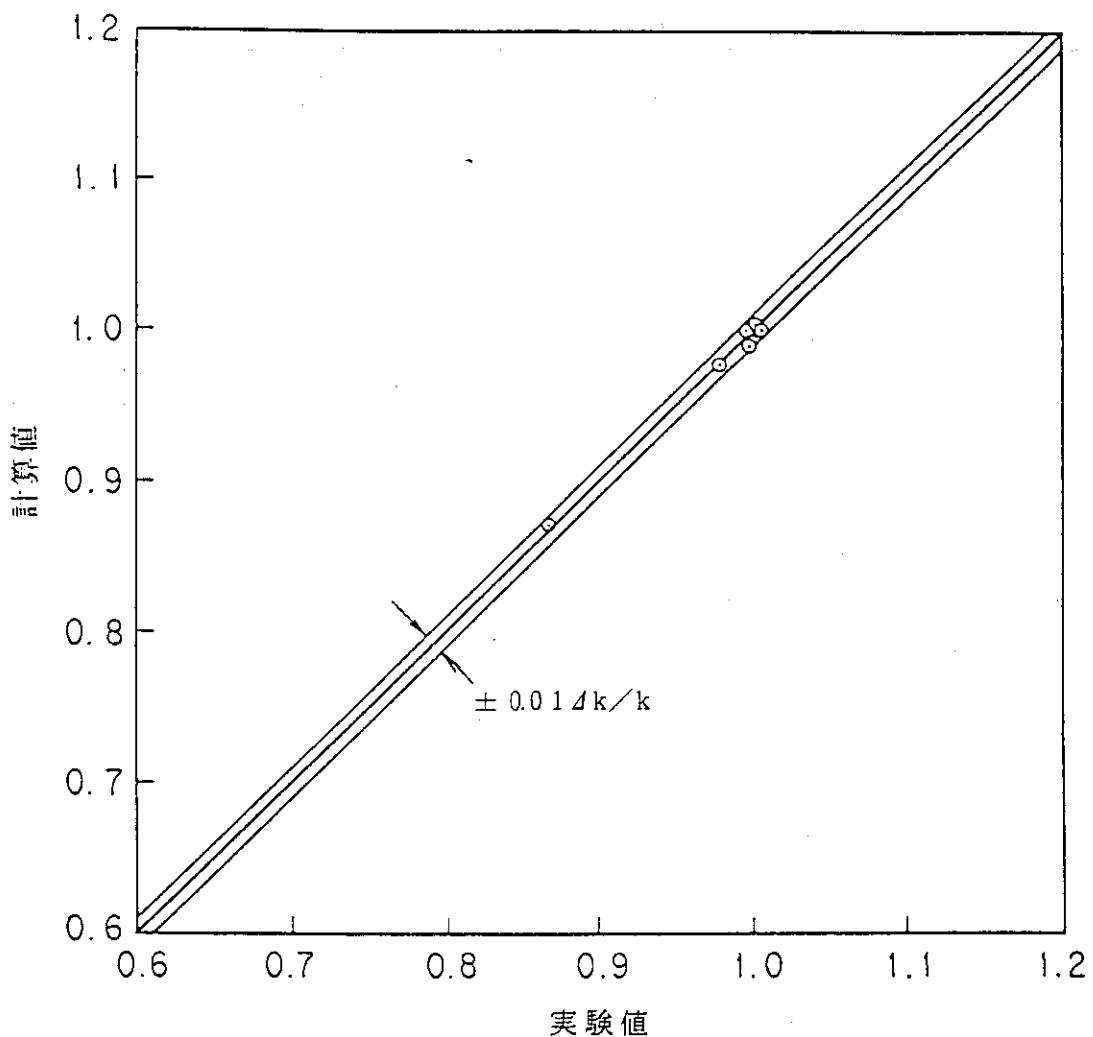


図 4.1.1 実効増倍率の実験値と計算値の比較

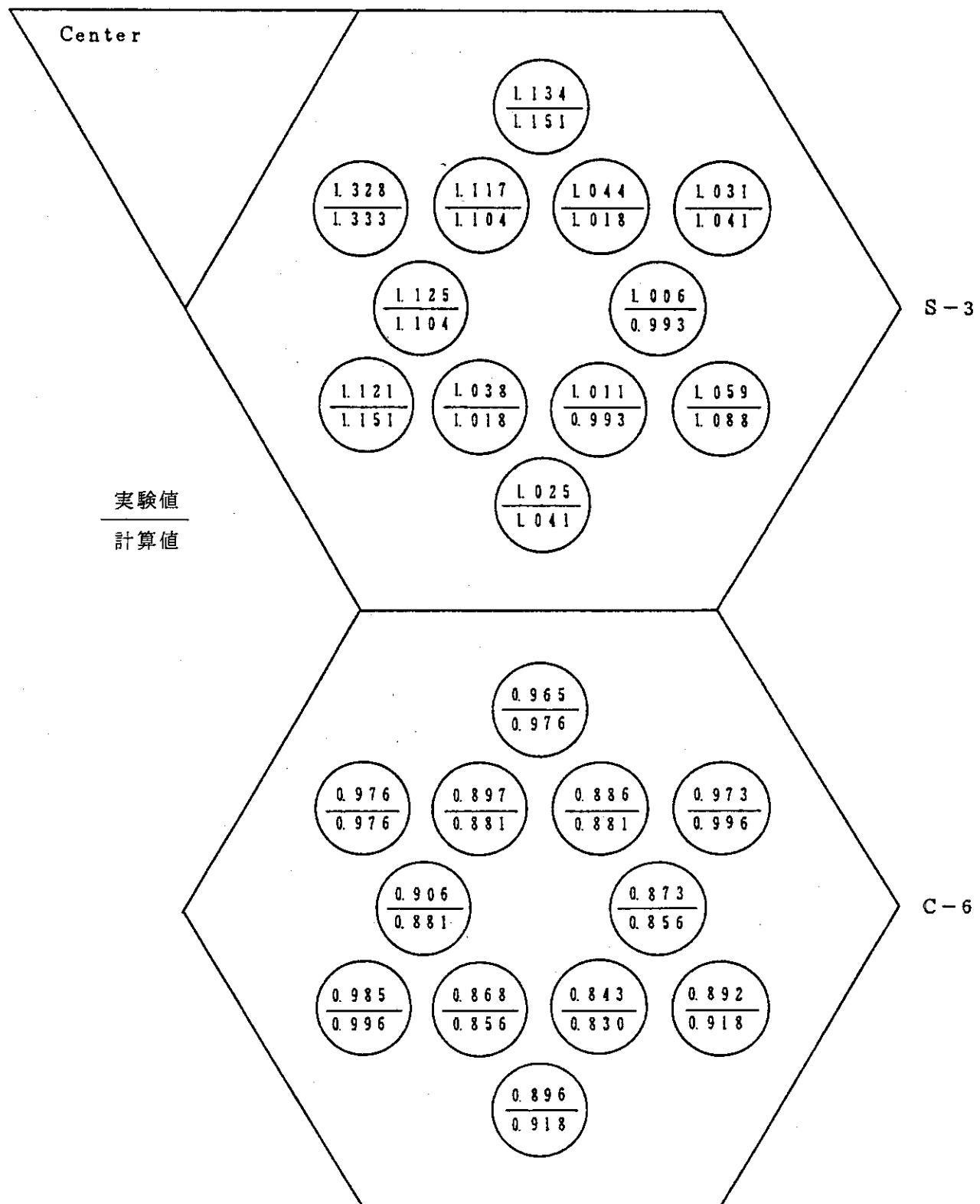


図 4.4.1 炉心径方向銅反応率分布（体系 4 常温）

注) S-3 及び C-6 のブロックの位置を図 2.2.5 に示す。

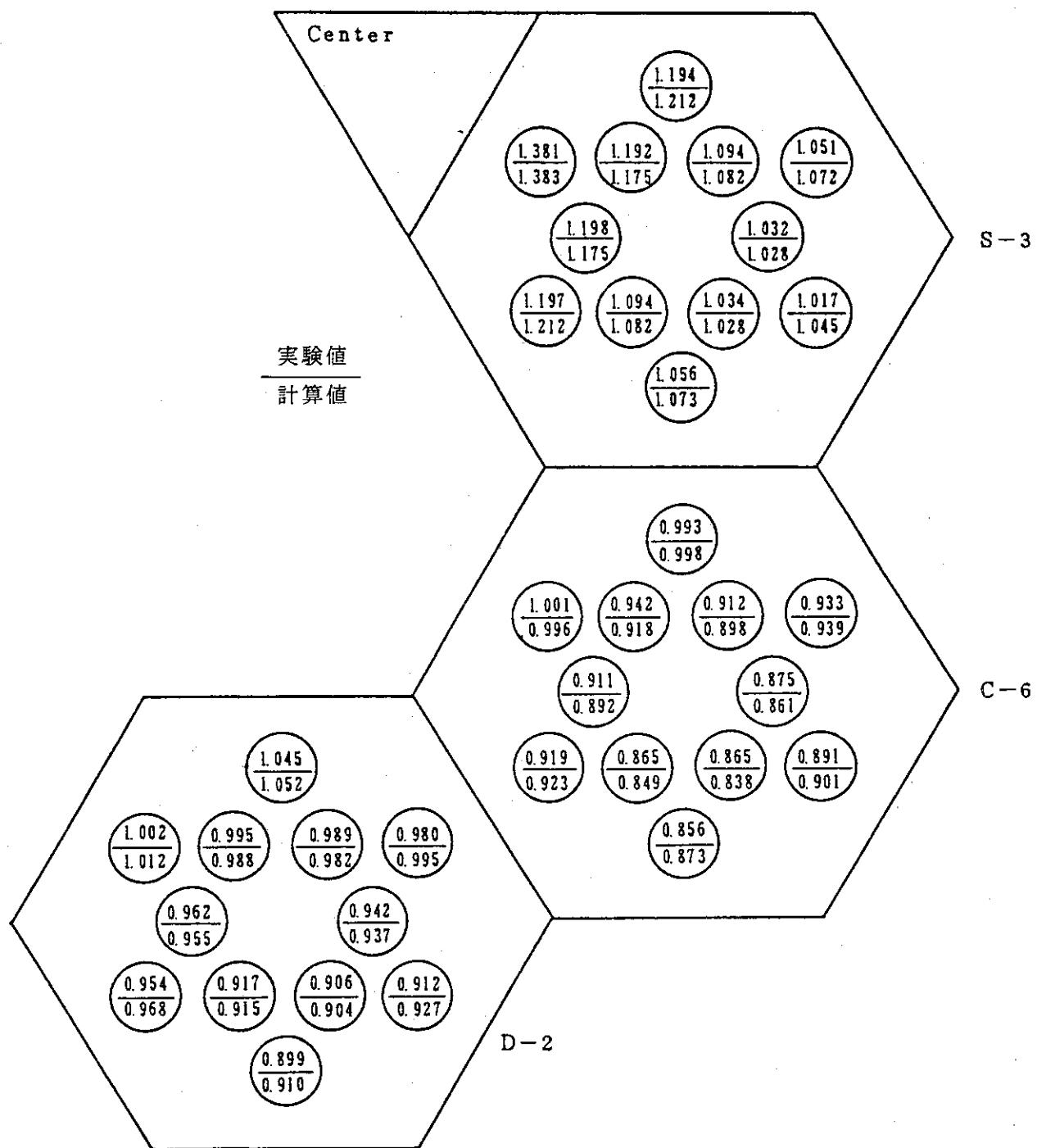


図 4.4.2 炉心径方向銅反応率分布（体系 7,500 K）

注) S-3, C-6 及び D-2 ブロックの位置を図 2.2.8 に示す。  
実験値は, 473 K の値

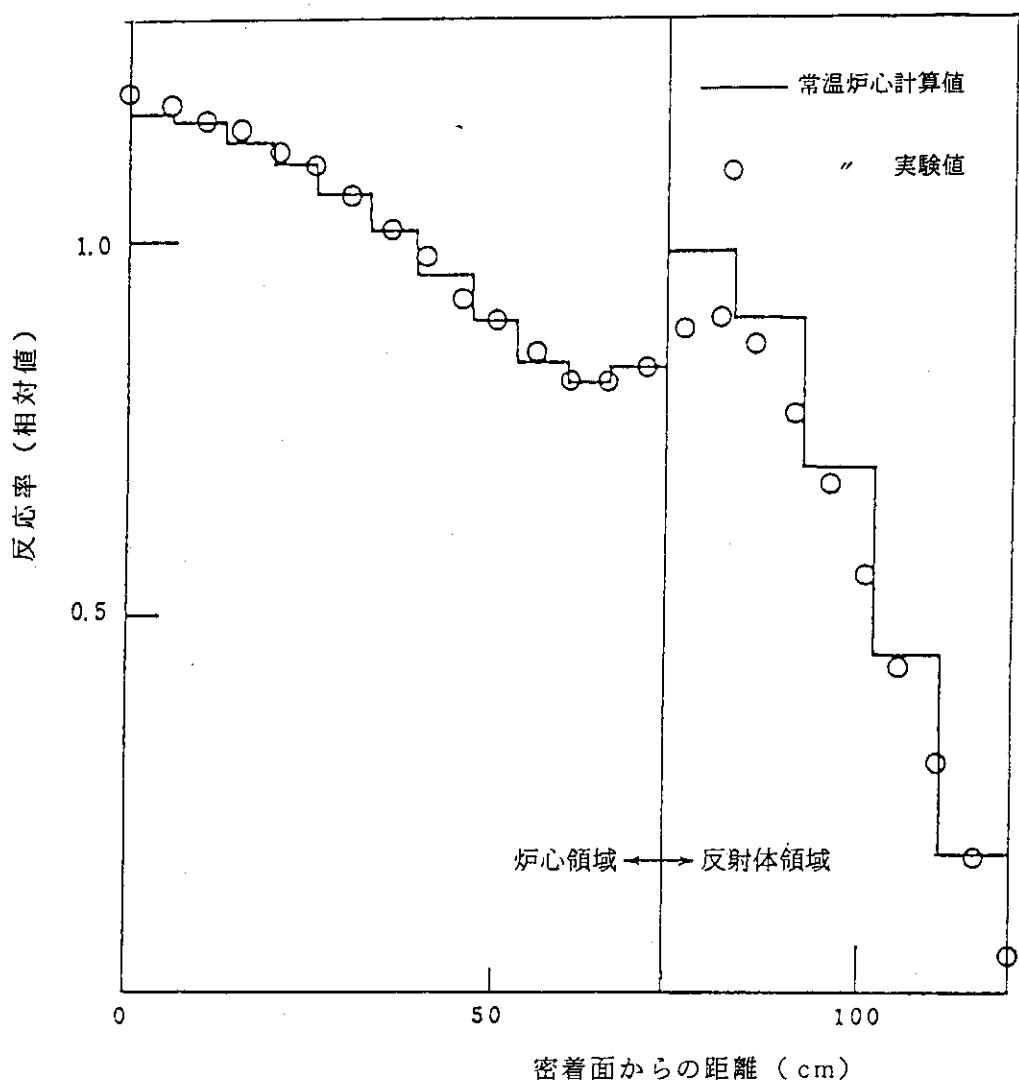


図 4.4.3 軸方向銅反応率分布（体系 4, 常温）

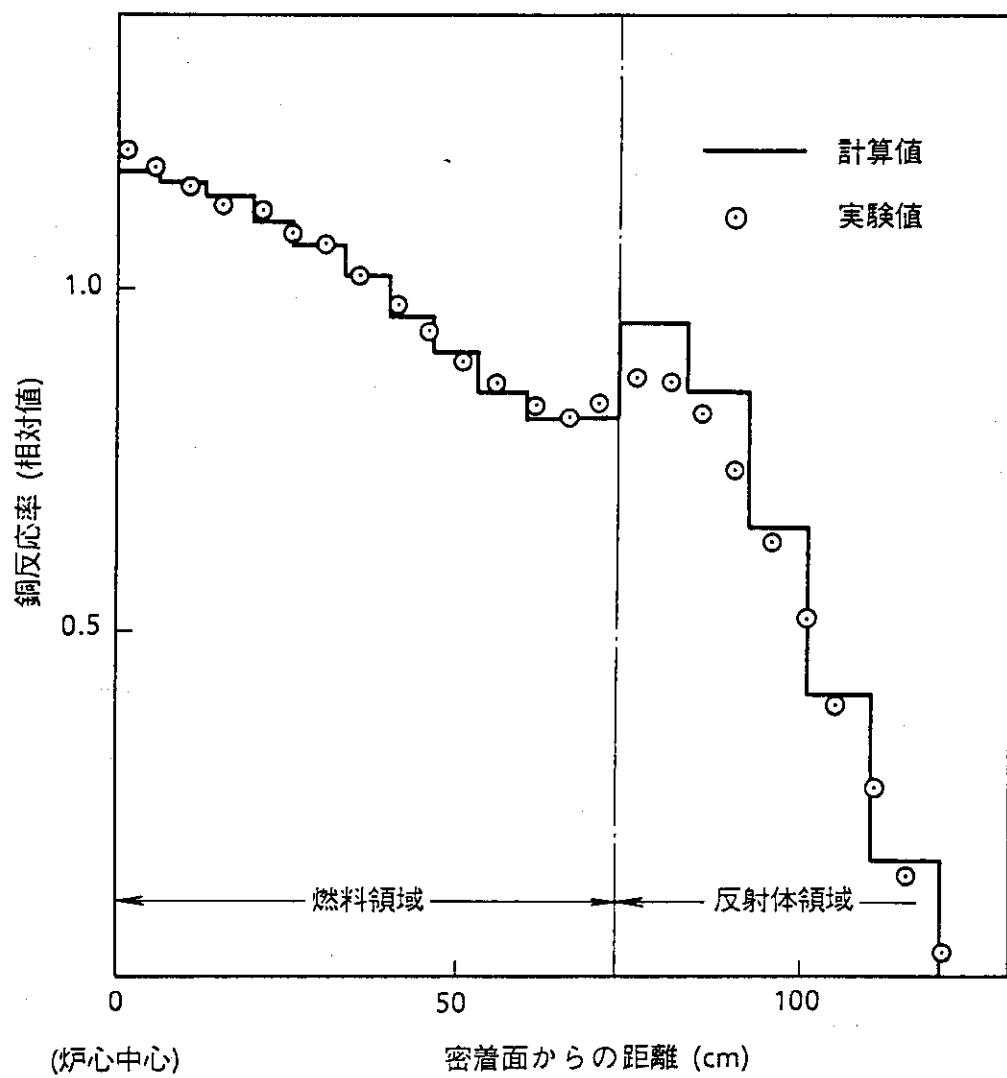


図 4.4.4 軸方向銅反応率分布（体系 7,500 K）

実験値は 473 K の値

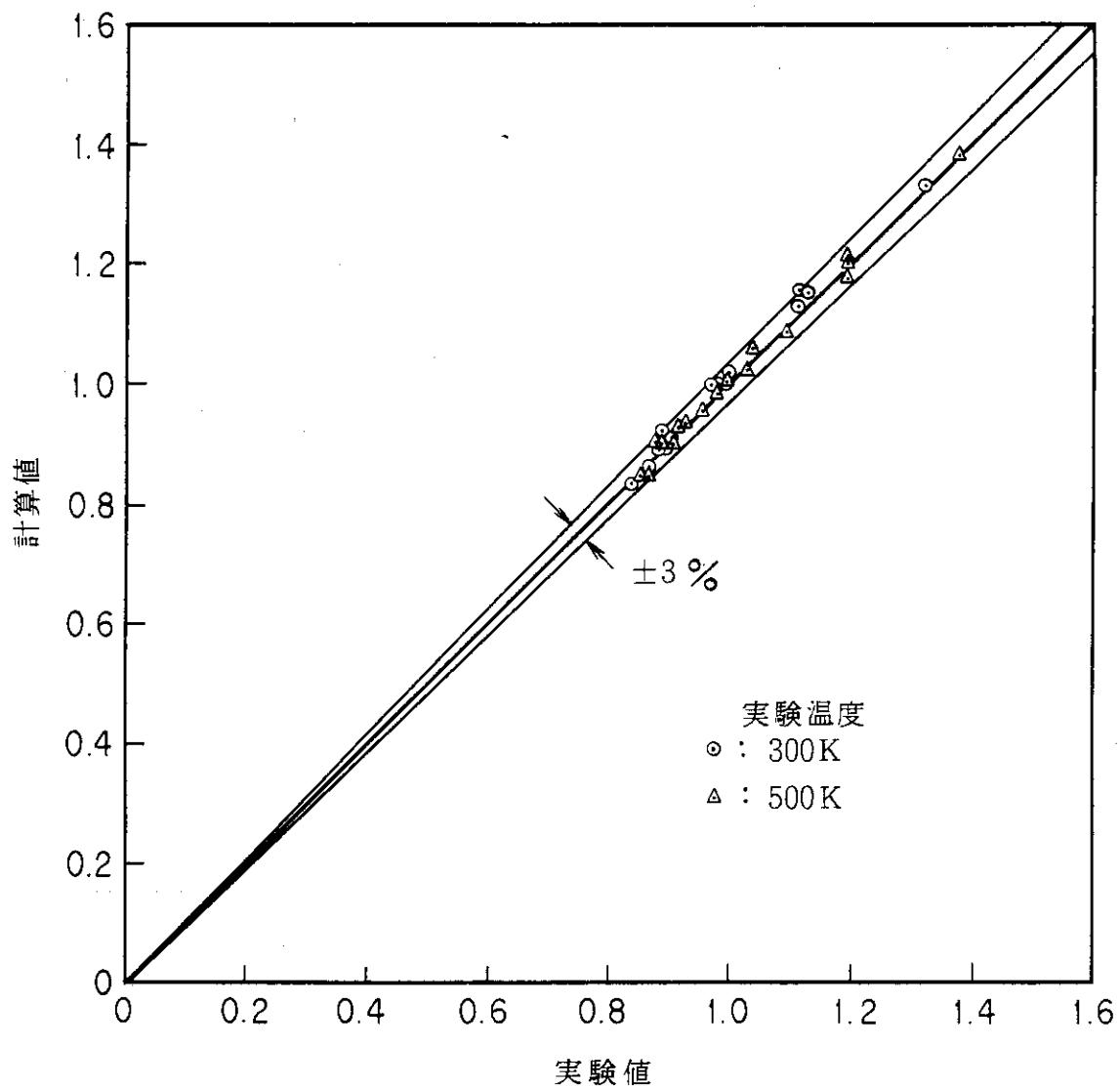


図 4.4.5 半径方向銅反応率の実験値と計算値の比較  
(制御棒未挿入)

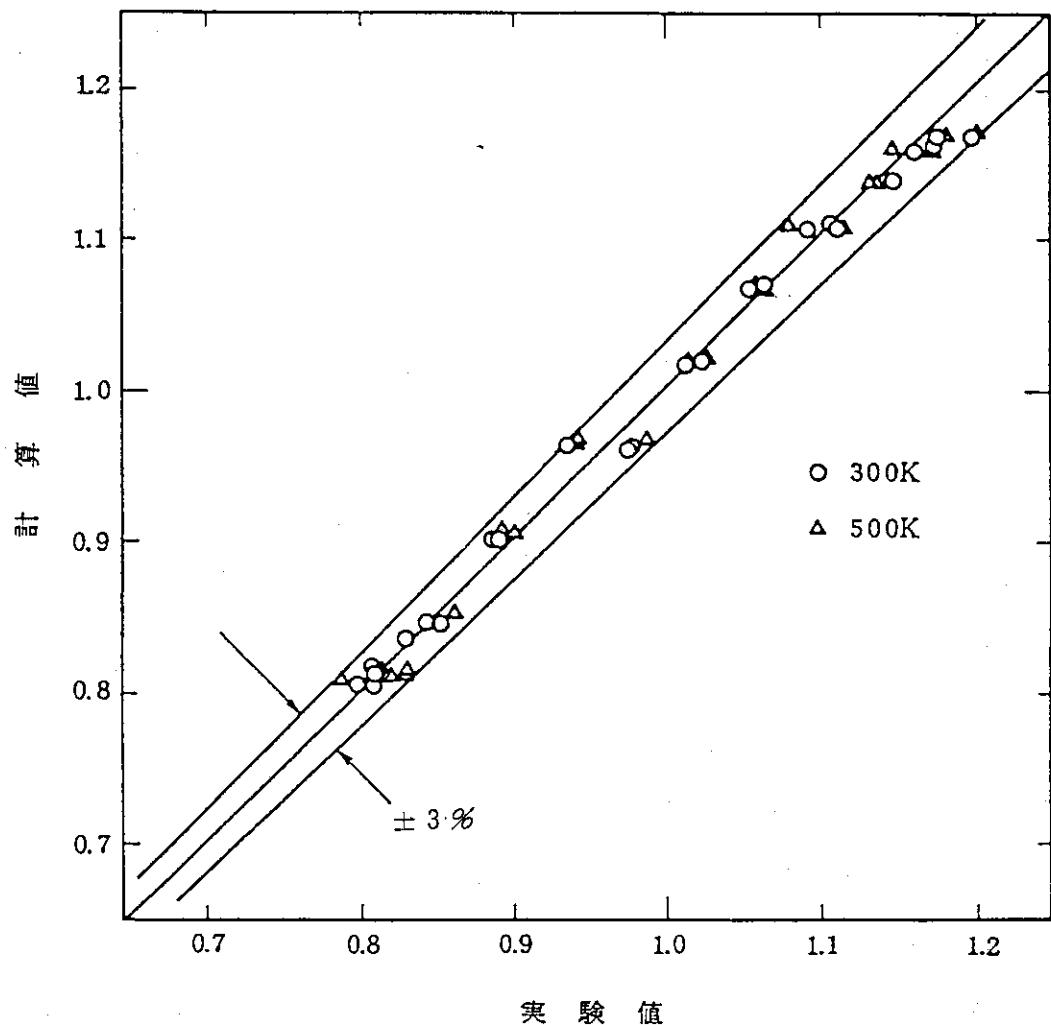


図 4.4.6 軸方向銅反応率の実験値と計算値の比較

## 5. 結論

実効増倍率、制御棒反応度価値、反応度調整材反応度価値、出力分布及び温度係数の各検証項目について高温ガス炉臨界実験装置（VHTRC）より得られた実験値とその炉心諸元に基づいて算出した計算値とを比較し、高温工学試験研究炉の核設計計算手法の精度検討を行った。VHTRCの炉心寸法が小さいことを考慮して、計算におけるエネルギー群数は12群としたが、本検討より、炉心寸法が大きい場合エネルギー群数の変化による実効増倍率の計算値への影響が小さくなることを確認しているので（図3.4.1参照）、高温工学試験研究炉の核設計で用いているエネルギー群数は6群と小さいが、炉心寸法が大きいことを考慮すると十分な群数であるものと考えられる。各々の検討項目の計算値と実験値の差と高温工学試験研究炉の核設計上考慮している設計誤差を表5.1に示す。本検討より、各項目の計算値が実験値とよく一致することがわかり、各々の差が高温工学試験研究炉の核設計に用いている設計誤差以内に収まることが確認できた。

表5.1 核設計計算手法の計算精度の結果

検討項目	計算値と実験値の最大誤差	高温工学試験研究炉の核設計計算で考慮している設計誤差
実効増倍率	1.0%△k	1%△k
制御棒反応度価値	9.5%	10%
反応度調整材反応度価値	4.5%	10%
出力分布 径方向	2.9%	3%
	3.0%	4%
温度係数	7.0%	10%

## 謝 辞

高温工学試験研究炉の核設計計算手法の検証を行うにあたり、高温ガス炉臨界実験装置より得られた実験データを御提示頂いた炉物理実験研究室、並びに本報をまとめるにあたり御指導頂いた高温工学試験研究炉設計室室長斎藤伸三氏並びに同室主任研究員数土幸夫氏に深く感謝致します。

## 参 考 文 献

- (1) 安田秀志, 他 : VHTRC (高温ガス炉臨界実験装置) の建設, JAERI-1305 1986.
- (2) 土井, 新藤, 平野, 高野 : 高温ガス冷却炉・格子燃焼計算コード DELIGHT-6, JAERI-M 83-176 (1983).
- (3) 山下, 新藤 : 高温ガス冷却炉・格子燃焼計算コード DELIGHT-6 (Revised), JAERI-M 83-163 (1985).
- (4) LATHROP K. D., BRINKLEY F. W. ; TWOTRAN-2 : An Interfaced exportable version of the TWOTRAN code for two-dimendional transport, LA-4848-MS (1973).
- (5) FOWER, T. B., VONDY, D. R., CUNNZNGRAM, G. W. ; Nuclear reactor core analysis code, CITATION, ORNL-TM-2496, (1971).
- (6) 高野, 土井, 平野, 新藤, 大村 : SHE 臨界質量実験の解析 - VHTR 核設計法の精度検討(1)-, JAERI-M-9955 (1983).

## 謝 辞

高温工学試験研究炉の核設計計算手法の検証を行うにあたり、高温ガス炉臨界実験装置より得られた実験データを御提示頂いた炉物理実験研究室、並びに本報をまとめるにあたり御指導頂いた高温工学試験研究炉設計室室長斎藤伸三氏並びに同室主任研究員数土幸夫氏に深く感謝致します。

## 参 考 文 献

- (1) 安田秀志、他：VHTRC（高温ガス炉臨界実験装置）の建設、JAERI-1305 1986.
- (2) 土井、新藤、平野、高野：高温ガス冷却炉・格子燃焼計算コード DELIGHT-6, JAERI-M 83-176 (1983).
- (3) 山下、新藤：高温ガス冷却炉・格子燃焼計算コード DELIGHT-6 (Revised), JAERI-M 83-163 (1985).
- (4) LATHROP K. D., BRINKLEY F. W. ; TWOTRAN-2 : An Interfaced exportable version of the TWOTRAN code for two-dimendional transport, LA-4848-MS (1973).
- (5) FOWER, T. B., VONDY, D. R., CUNNZNGRAM, G. W. ; Nuclear reactor core analysis code, CITATION, ORNL-TM-2496, (1971).
- (6) 高野、土井、平野、新藤、大村：SHE臨界質量実験の解析－VHTR核設計法の精度検討(1)－, JAERI-M-9955 (1983).