

JAERI-Tech  
97-060



VHTRC炉物理実験の解析によるモンテカルロコードMVPの精度評価  
—臨界時の実効増倍率、反応度調整材反応度、ボイド反応度—

1997年11月

野尻 直喜・山下 清信・藤本 望・中野 正明  
山根 剛・秋濃 藤義

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

本レポートは、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、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越しください。なお、このほかに財団法人原子力公済会資料センター（〒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。

This report is issued irregularly.

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

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1997

編集兼発行 日本原子力研究所  
印 刷 (株)高野高速印刷

VHTRC炉物理実験の解析によるモンテカルロコードMVPの精度評価

－臨界時の実効増倍率、反応度調整材反応度、ボイド反応度－

日本原子力研究所大洗研究所高温工学試験研究炉開発部

野尻 直喜・山下 清信・藤本 望・中野 正明

山根 剛<sup>+</sup>・秋濃 藤義<sup>+</sup>

(1997年10月20日)

高温ガス炉臨界実験装置（VHTRC : Very High Temperature Reactor Critical Assembly）の実験結果を汎用中性子・光子輸送計算モンテカルロコードMVPにより解析し、高温ガス炉の核特性評価に使用する場合の解析精度の評価を行った。MVPは、実際の体系に近い詳細な3次元体系を解析することができるので、近似を用いることを少なくすることができます。高温ガス炉は、炉心に反応度調整材を含むこと、制御棒挿入孔等の多くのボイド孔が存在する等の核特性上の特徴がある。これらの特徴を考慮し、VHTRC炉心の臨界時の実効増倍率、反応度調整材反応度値、及びボイド反応度値の解析を行った。解析の結果、各々の解析誤差は最大で、0.8%  $\Delta k$ 、7%、及び25%であることがわかった。よって、高温ガス炉体系においてMVPは十分な解析精度で臨界時の実行増倍率を予測でき、高温工学試験研究炉（HTTR）の炉心特性評価にMVPを適用することは可能である。

Evaluation of Accuracy of Monte Carlo Code MVP with VHTRC Experiments  
—Multiplication Factor at Criticality, Burnable Poison Worth and Void Worth—

Naoki NOJIRI, Kiyonobu YAMASHITA, Nozomu FIUJIMOTO,  
Masaaki NAKANO, Tsuyoshi YAMANE<sup>+</sup> and Fujiyoshi AKINO<sup>+</sup>

Department of HTTR Project  
Oarai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Oarai-machi, Higashibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received October 20, 1997)

Experimental data of VHTRC (Very High Temperature Reactor Critical Assembly) were analyzed using Monte Carlo code MVP (general purpose Monte Carlo code of neutron and photon transport calculations based on the continuous energy method). The calculation accuracy of the code was evaluated by the analysis for nuclear characteristics of a HTGR (high temperature gas-cooled reactor). The MVP code can analyze with a detailed three-dimensional core model with a few approximations. The HTGRs have following characteristics from view point of nuclear design : they have burnable poisons, many void holes, namely, the control insertion holes and so on. Taking account of these characteristics, multiplication factor at criticality, burnable poison worth, and void worth were evaluated. The maximum calculation errors were 0.8%  $\Delta k$ , 7%, and 25% respectively. From these results, it can be concluded that the MVP code is able to be applied to the nuclear characteristics analysis of the HTGR like the High Temperature Engineering Test Reactor (HTTR).

Keywords : Monte Carlo Code, High Temperature Gas-cooled Reactor, Multiplication Factor, Burnable Poison Worth, Void Worth, HTTR, VHTRC, Critical Approach, MVP

---

<sup>+</sup> Department of Reactor Engineering, Tokai Research Establishment

## 目 次

1. はじめに.....	1
2. VHTRCを用いた炉物理実験 .....	2
2.1 臨界実験装置 .....	2
2.2 実 驗 .....	3
2.3 実験方法 .....	4
2.4 実験結果 .....	4
3. 解 析 .....	6
3.1 解析条件 .....	6
3.2 解析結果 .....	7
4. ま と め .....	8
謝 辞 .....	9
参考文献 .....	9
付録1 VHTRC燃料の二重非均質性の効果 .....	31
付録2 MVP入力データ .....	32

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Experiments on VHTRC .....	2
2.1 Critical Experiment Assembly .....	2
2.2 Experiments .....	3
2.3 Experimental Methods .....	4
2.4 Experimental Results .....	4
3. Analysis .....	6
3.1 Calculation Conditions .....	6
3.2 Calculation Results .....	7
4. Summary .....	8
Acknowledgments .....	9
References .....	9
Appendix 1 The Double Heterogeneous Effect of VHTRC Fuel .....	31
Appendix 2 Input Data of MVP.....	32

## 1.はじめに

高温工学試験研究炉 (HTTR : High Temperature engineering Test Reactor)は出力30MW、原子炉出口冷却材温度が定格運転時に850°C、高温試験運転時には950°Cの黒鉛減速ヘリウム冷却型高温ガス炉である。炉心は平径360mm、高さ580mmの六角柱状の黒鉛製の燃料ブロック、制御棒案内ブロック等で構成されている。黒鉛ブロックを9段積み重ねたものをカラムと呼び、炉心は30の燃料カラムと7の制御棒案内カラムからなり、炉心有効直径は2.3m、有効高さ2.9mである。第1図にHTTR炉心の垂直断面図を示す。燃料棒は、黒鉛スリーブ中に低濃縮ウランの核を被覆層で多層に被覆した被覆燃料粒子を黒鉛マトリックス中に充填した燃料コンパクトを14個含み、黒鉛ブロックの冷却孔に33本または31本装荷される。燃料の燃焼に伴う炉心の反応度を補償するための反応度調整材 (BP : Burnable Poison) は、B<sub>4</sub>CとCを混合したペレットを使用し、燃料ブロックの反応度調整材挿入孔に装荷している。また、燃料最高温度を抑えるため、燃料コンパクト中のウラン濃縮度を燃料ブロックごとに炉心の軸方向及び径方向に変化させることにより、出力分布を調整している。炉の構造上、冷却材の流路となる冷却孔や制御棒を挿入するための制御棒挿入孔等が炉心の空隙 (ボイド) となり、炉心からの中性子ストリーミングを生じさせる。

HTTRは平成9年度に燃料装荷、臨界特性試験を開始し、平成10年度には出力上昇試験を行うことを計画している。臨界特性試験に先立ち、臨界量を正確に求めておくことは、臨界安全上重要である。また、燃料装荷は、圧力容器上部から直立するスタンドパイプを通して燃料交換機によって行う工程であることを考えると、臨界量を正確に求めておくことは試験工程を円滑に進める上で重要である。HTTRの核設計においては多群拡散計算コードを用いているが、拡散計算では形状メッシュの均質化についての補正や、中性子ストリーミングについての補正などを行う必要がある。そこで、炉心の形状をより詳細な3次元で表現することができ、拡散計算では補正する必要がある制御棒案内カラム等の中性子ストリーミングの影響も考慮することができるモンテカルロコードを用いた解析を行い、より正確な臨界量の確認を行うこととした。

しかし、モンテカルロコードによる黒鉛減速炉の実験に基づいた解析の実績は非常に少ない。そこで、HTTRと同様の炉物理特性を持つVHTRCで行った実験データを用い、今回使用する汎用中性子・光子輸送計算モンテカルロコードMVPによる解析評価を行い、高温ガス炉における解析精度を評価した。尚、MVPの解析精度評価に使用したVHTRC実験データとしては、HTTRの臨界特性試験評価の検証であることを考慮し、最小臨界量等の解析精度の検証のための臨界時の実効増倍率及びHTTRが反応度調整材を多く装荷し、同時にボイド孔を多く有していることを考慮して反応度調整材反応度値とボイド反応度値、の3つを選定した。これらのデータを用いてHTTRの臨界量等の評価に適用する場合の解析誤差を明らかにすることとした。

## 2. V H T R C を用いた炉物理実験

### 2. 1 臨界実験装置

V H T R C は、高温ガス炉の核特性のデータを取得するために製作された臨界実験装置である。減速材に黒鉛を、燃料に低濃縮ウラン被覆燃料粒子を使用している<sup>(1)</sup>。V H T R C と H T T R の燃料体は、どちらも黒鉛ブロックの中に燃料棒を挿入するピン-イン-ブロック構造をしている。V H T R C の燃料体と H T T R の燃料体の比較を第2図に示す。V H T R C は、第3図に示すように炉心が2分割される構造になっており、それぞれ分割された炉心を  $1/2$  黒鉛集合体という。第4図に示すように  $1/2$  黒鉛集合体はそれぞれ黒鉛ブロックを平径約  $2.4\text{ m}$ 、軸長約  $1.2\text{ m}$  の横置六角柱状で、周囲を固定枠で固定した構造となっている。黒鉛ブロックには燃料挿入用のもの、実験用制御棒挿入用のもの及び制御・安全棒挿入用のものがあり、実験目的に応じて燃料装荷位置、装荷量等炉心の組み替えが行い得るようになっている。制御棒及び安全棒は  $1/2$  集合体にそれぞれ1本、3本づつあり、制御棒はモータ駆動ボルスクリューナット方式の駆動装置により駆動する。安全棒は圧縮空気方式の駆動装置によりスクラム時に挿入される。また、スクラム時には制御棒も圧縮空気により急速挿入される。

燃料棒挿入用黒鉛ブロックに挿入している燃料棒は燃料スリーブと燃料コンパクトから構成されている。燃料コンパクトは、低濃縮(2.4及び6wt%)の二酸化ウランを燃料核に用いた被覆燃料粒子を黒鉛マトリックス中に充填した構造となっている。燃料コンパクトはウラン濃縮度と被覆層の違いに応じて B-2,B-4,T-6 の3種類ある。それぞれの燃料コンパクトの諸元を第1表に、燃料棒の構造を第5図に示す。

黒鉛ブロックには、燃料棒挿入用黒鉛ブロック、実験用制御棒挿入用黒鉛ブロック、制御棒・安全棒挿入用黒鉛ブロック及び反射体黒鉛ブロックがある。燃料棒挿入用黒鉛ブロックには18個の燃料棒挿入孔があり、必要な量の燃料棒を挿入し、燃料棒を挿入しない孔には通常、黒鉛棒を挿入する。実験用制御棒黒鉛ブロックには3つの実験用制御棒挿入孔があり、H T T R の制御棒を模擬した実験制御棒を挿入することができる。今回の実験では、実験用制御棒挿入孔はボイド反応度値測定時においてボイド孔として利用し、通常は黒鉛棒が挿入されている。制御棒・安全棒挿入用黒鉛ブロックは、中心に制御棒・安全棒挿入孔が1個あり、その他に18個の燃料棒挿入孔がある。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2種類あり、外側反射体として炉心を構成している。黒鉛ブロックの諸元を第2表に示す。

V H T R C には、ボロンと黒鉛の焼結体から成る反応度調整材を装荷することができる。反応度調整材は吸収ペレットを黒鉛鞘に納めた B P 棒の形で炉心に装荷する。B P 棒は燃料棒と同じ直径と長さを持つので、燃料棒挿入用黒鉛ブロックの燃料棒挿入孔に装荷することができる。B P 棒は、吸収ペレットの W-1(天然ボロン含有量 0.97wt%)と W-2(天然ボロン含有量 1.9wt%)の2種類により構成されている。吸収ペレットの諸元を第3表に、B P 棒の構造図を第6図に示す。

## 2. 2 実験

実験項目は、臨界時の実効増倍率、B P反応度価値、ボイド反応度価値の3項目である。過剰反応度については、燃料の濃縮度勾配による効果、B P装荷による効果を考慮できるよう炉心の構成を変えた3炉心について測定を行った。B P反応度価値については、B P装荷本数、装荷位置を変えた5ケースについて測定を行い、B P量、装荷位置による効果を考慮できるようにした。ボイド反応度価値については、ボイド孔数、ボイド孔位置を変えた3ケースについて測定を行い、孔数、ボイド位置による効果を考慮できるようにした。実験に使用したV H T R C炉心を次に示す。

### (1) V H T R C - 1

V H T R C - 1 炉心はB-4燃料コンパクト(濃縮度4wt%)を燃料棒に20個挿入した燃料棒を用いる。この炉心では臨界時の実効増倍率とボイド反応度価値を測定した。実効増倍率の評価により、減速材が黒鉛であり、被覆燃料粒子を用いた炉心でのM V Pの解析精度がどのようなものかを確認する。また、ボイド反応度価値を測定することにより、H T T Rに多く存在するボイド孔の効果を評価するためのデータを得た。

### (2) V H T R C - 4

V H T R C - 4 炉心は、燃料のウラン濃縮度を軸方向に変化させている。T-6,B-4,B-2(濃縮度6wt%,4wt%,2wt%)燃料コンパクトの3種類を用い、1本の移動側燃料棒にT-6燃料コンパクトを10個とB-4燃料コンパクトを10個、1本の固定側燃料棒にB-4燃料コンパクトを10個とB-2燃料コンパクトを10個を挿入した燃料棒構成をしている。B P棒は固定側に天然ボロン含有量0.97wt%のW-1ペレットを、移動側に天然ボロン含有量1.9wt%のW-2ペレットを使用している。この炉心では臨界時の実効増倍率とB P反応度価値を測定した。H T T Rは12種類のウラン濃縮度の異なる燃料を用いているため、ウラン濃縮度の異なる燃料を装荷している炉心を評価するデータを取得した。また、B P反応度価値は、H T T Rが多く装荷しているB Pの反応度を評価するために用いた。

### (3) V H T R C - 6

V H T R C - 6 炉心の燃料棒はV H T R C - 4 炉心のものと同じく、軸方向にウラン濃縮度に変化を持たせた構成になっている。また、装荷しているB P棒の構造もV H T R C - 4 炉心のB P棒と同じである。V H T R C - 4 炉心との異なる点は多くのB P棒を装荷しているため燃料が多くなり、炉心直径が大きくなっている点である。この炉心は燃料のウラン濃縮度勾配を持ち、B P棒を多く装荷しているH T T Rに最も近い炉心構成を持つ炉心である。

臨界時の実効増倍率はV H T R C - 1、4、6炉心、B P反応度価値はV H T R C - 4炉心、ボイド反応度価値は、V H T R C - 6炉心のものを使用した。第4表にそれぞれの炉心で行った実験を示す。

## 2. 3 実験方法

### (1) 臨界時の実効増倍率

臨界時の実効増倍率の測定実験は以下の方法により行った。まず、炉心を構成し臨界状態にする。このときの制御棒位置から、予め求めておいた制御棒校正曲線から炉心の過剰反応度を求め、実効増倍率に換算した。ただし、制御棒孔、安全棒孔の反応度価値、炉心に残っている部分の安全棒価値、炉心内の熱電対、中性子源案内管の反応度価値、炉内検出器の反応度価値、移動側・固定側集合体の間隙による反応度については別途測定したもの用いて補正し、更に、温度を 300K に合わせるように温度係数を用いて過剰反応度を補正したものを実験値とした。V H T R C - 1, 4, 及び 6 について使用した補正項を第 5 表に示す。第 7 図に臨界時の実効増倍率評価炉心の燃料装荷断面図を示す。

### 2) B P 反応度価値

B P 反応度価値は V H T R C - 4 を用いて測定した。反応度価値は、B P 棒を装荷して未臨界状態の炉心をパルス中性子法により測定した。B P 棒の装荷数や装荷配置を変えて合計 5 ケースの測定を行った。B P 装荷量は 12 本～36 本までであり、実験ケースは炉心中心領域にブロックあたりの B P 本数を変えたもの、炉心周辺領域にも B P を装荷したもの等の組み合わせで 5 ケース用意した。第 8 図に B P 反応度測定炉心の燃料装荷断面図を示す。実験値は  $\epsilon$  単位を、S R A C コード<sup>(5)</sup>（汎用核特性解析コード）により求められた実効遅発中性子割合を用いて  $\% \Delta k/k$  単位に換算した。

### 3) ポイド反応度価値

ポイド反応度価値は V H T R C - 1 を用いて測定した<sup>(2)</sup>。反応度価値の測定は B P 反応度価値測定と同じく未臨界状態の炉心をパルス中性子法により測定した。実験用制御棒挿入孔（直径 102mm、長さ 1200mm）から黒鉛棒を取り出したブロック貫通孔をポイド孔とした。ポイド孔は集合体を貫通するようしている。実験は中心黒鉛ブロックにポイド孔 3 つのもの、燃料領域周辺の黒鉛ブロックにポイド孔 18 個のもの、中心黒鉛ブロック 3 つと燃料周辺に 18 個の合計 21 個のポイド孔のものの合計 3 ケースを測定した。第 9 図にポイド孔測定炉心の燃料装荷図を示す。 $\epsilon$  単位の換算は B P 反応度価値測定と同じである。

## 2. 4 実験結果

### 1) 臨界時の実効増倍率

第 6 表に臨界時の実効増倍率の実験結果を示す。V H T R C - 1 炉心（ウラン濃縮度 4wt%，燃料棒数 282 本）において、臨界時制御棒位置から求めた過剰反応度 28.39  $\epsilon$  に、炉内挿入物及び温度効果の補正を行い、実効遅発中性子割合  $\beta_{\text{eff}}$  を 0.0072456 として実効増倍率に換算した結果、 $k_{\text{eff}} = 1.0079$  となった。また、ウラン濃縮度に 6 - 4 - 2 wt% と勾配を持つ V H T R C - 4 炉心（燃料棒数 284 本）では  $k_{\text{eff}} = 1.0077$  となり、ウラン濃縮度に 6 - 4 - 2 wt% と勾配を持ち、B P 棒を 34 本装荷した V H T R C - 6

炉心（燃料棒数 572 本）では  $k_{\text{eff}} = 1.0073$  となった。

### 2) BP 反応度価値

第 7 表に BP 反応度価値の実験結果を示す。BP 反応度価値については、12～36 本の BP 棒を装荷位置を変えて 5 ケース行い、 $7\% \Delta k/k \sim 18.4\% \Delta k/k$  までの範囲の反応度価値を測定した。装荷位置については、BP 棒を 24 本装荷した BP 評価炉心（2）については 1 本当たりの BP 反応度価値が他のケースに比べ低下する傾向が見られるが、この理由は BP 評価炉心（2）における BP 装荷位置が他のケースに比べ炉心周辺部にまで広がっているので炉心周辺部にある BP 棒の反応度価値が小さいためである。BP 棒装荷量と反応度の関係については、炉心領域の装荷量に反応度は比例し、比例分よりも若干反応度が小さいのは BP 棒間の干渉効果によるものである。

### 3) ボイド反応度価値

第 8 表にボイド反応度価値の実験結果を示す。ボイド反応度価値については、中央カラムに 3 個、反射体領域に 18 個、中心カラムと反射体領域であわせて 21 個のボイド孔の反応度を測定し、 $1.7 \sim 4.2 \Delta k/k\%$  までの範囲の反応度を得た。中心カラムのボイド孔は反射体領域のボイド孔の約 4 倍の反応度があり、BP 棒に比較して、位置による反応度の変化が大きくなる傾向が見られた。

### 3. 解析

#### 3. 1 解析条件

解析には汎用中性子・光子輸送計算モンテカルロコードMVP<sup>(3)</sup>を使用し、核データとしてJENDL 3. 1及び3. 2<sup>(4)</sup>を用いた。全ての計算ケースにおいて、総ヒストリー数1920000（1バッチあたり48000ヒストリーの40バッチ）で行った。解析モデルはVHTRCの燃料、BPを含めた黒鉛構造物全体である。境界条件は、モデル化した黒鉛構造物全体の外周数cmの範囲を内部ボイドとし、（この領域では粒子は衝突反応を行わないとしている。）更に、その外の境界を外部ボイド（真空境界にあたる。）とした。黒鉛ブロックから成る集合体全体を燃料体黒鉛ブロックに装荷されている燃料コンパクト、BPペレットまでモデル化した。MVP入力データのチェック用プログラムである CGVIEW<sup>(3)</sup>によるVHTRCの炉心モデルの中心断面図を第10図に示す。実際の燃料コンパクトは、1個あたりに二酸化ウランの燃料核を被覆層によりコーティングした約直径600μmの被覆燃料粒子（CFP : Coated Fuel Particle）が約1万7千個存在し、黒鉛マトリックス中に均一に分散している。しかし、MVPで燃料コンパクト中のCFP形状・位置を直接モデル化し、解析を行うことは困難であるため、解析モデルでは燃料コンパクトは燃料と黒鉛が均質になっている物質とした。そのため、燃料コンパクト中のCFPによる非均質効果は、予めSACコードを用いて実効増倍率が約0.8%Δk/k増加させるものと評価した。評価結果についての詳細は付録1に示す。実効増倍率の解析結果にCFPの非均質効果の補正として0.8%Δkを加えている（評価値は臨界状態に近いのでΔk/k=Δkとした）。なお、制御棒・安全棒挿入孔、安全棒炉心内残部、炉内挿入物（中性子検出器、熱電対）、1/2集合体間隙による反応度効果は、実験値がそれらの効果で補正されているので解析モデルには加えていない。第9表に計算に用いた炉心を構成する物質の原子数密度を示す。BP反応度係数及びボイド反応度係数の反応度は、（1）式により求めた。

$$\rho = \frac{k' - k}{k' k} \quad (1)$$

k' : BP棒又はボイド孔を模擬した計算モデルの実効増倍率  
k : 基準炉心の計算モデルの実効増倍率

付録2に、VHTRC-1の実効増倍率計算の入力データ例を示す。

### 3. 2 解析結果

#### 1) 臨界時の実効増倍率

解析結果と実験結果の比較を第10表に示す。VHTRC-1, 4, 6炉心の3ケースについての臨界時の実効増倍率を求めた。JENDL 3.1を用いた結果は、CFPの非均質効果を補正した値で、VHTRC-1で1.005、VHTRC-4で1.008、VHTRC-6で1.004となり、モンテカルロ計算に伴う統計誤差( $1\sigma$ )はそれぞれ0.18%、0.08%、0.14%である。これら統計誤差の意味は、求めた値に対してこのずれの範囲で収まる確率が $1\sigma$ であることを示す。解析値の実験値との相対誤差(C/E-1)はそれぞれ-0.29%, 0.03%, 0.13%となっている。この相対誤差(C/E-1)は統計誤差の $2\sigma$ の範囲に収まっているので、解析結果は十分な精度を有しているといえる。また、核データはJENDL 3.2を用いた場合にはJENDL 3.1に比べ、実効増倍率は各解析結果の平均で約0.8% $\Delta k$ 大きくなつた。相対誤差(C/E-1)のうち最大のものは0.82%(VHTRC-4炉心、JENDL 3.2)となつた。

#### 2) BP反応度価値

解析結果と実験結果の比較を第11表に示す。BP反応度価値はBP量、装荷位置を変化させた炉心について評価したが、解析値の実験値との相対誤差(C/E-1)について、BP量や装荷位置に関する相関は見られなかつた。また、全体的にばらつきが大きく、最大で約7%(BP評価炉心(2))となつた。反応度の算出に用いた実効増倍率の統計誤差は約0.15%であるので、解析値は約0.3%の誤差を持ち、この値の反応度に対する誤差は約3%である。

#### 3) ポイド反応度価値

解析結果と実験結果の比較を第12表に示す。解析の結果、中心カラムの3個のポイド孔の反応度価値が2.1% $\Delta k/k$ 、燃料周辺部に18個のポイド孔の反応度が2.9% $\Delta k/k$ 、中心カラムに3個と燃料周辺部に18個のポイド孔の反応度が5.2% $\Delta k$ の値であった。解析値と実験値との相対誤差(C/E-1)は中心カラムに3個と燃料周辺部に18個のポイド孔を持つ炉心のときが最大で、約25%であった。反応度計算に用いた実効増倍率の統計誤差は約0.25%であるので、解析値は約0.5% $\Delta k/k$ の誤差を持つ。この値の反応度価値に対する誤差は、それぞれ、20%、15%、8%である。解析誤差に大きな値を持つものもあるが、全体的に解析値は実験値に比較して約20%大きめに評価するものとなつた。

#### 4.まとめ

VHTRC炉物理実験及びモンテカルロコードMVPによる解析結果から、以下の結論を得た。

- (1) VHTRC炉心の臨界時の実効増倍率について、解析は、核データライブラリにJENDL 3.1及びJENDL 3.2を用いた場合、実験値との相対誤差±0.8%以内で予測できる。
- (2) MVPで使用する核データライブラリについて、VHTRC炉心を解析する場合、JENDL 3.2はJENDL 3.1に比較して約0.8% $\Delta k$ 過剰に評価する。
- (3) BP反応度について、解析値と実験値との相対誤差は±7%以内で評価し、解析におけるBP装荷位置及び装荷本数の違いによる相関は特に見られない。
- (4) ボイド反応度について、解析値と実験値との相対誤差は最大25%であり、解析値では実験値より反応度を平均で約22%大きく評価する。

以上から、ウラン濃縮度に勾配を持ち、BPを装荷した炉心に対してMVPは十分な解析精度を有している。ボイドについては、HTTRのボイド反応度は約1% $\Delta k$ と見込んでいる<sup>(2)</sup>ので実効増倍率に与える影響は約0.2% $\Delta k$ であり、ボイドが存在する炉心に対しても十分な精度を有し、高温ガス炉の解析に適用可能である。

謝辞

V H T R C 実験の解析を行うにあたり、炉物理実験を担当して頂いた原子炉工学部炉工学施設管理室 藤崎伸吾氏、竹内素允氏、小野俊彦氏、並びに解析に使用したM V P コードの使用に関し貴重な助言を 頂いた原子炉工学部部長中川正幸氏、同部炉特性研究室長屋康展氏、並びに本稿をまとめるにあたり御 指導頂いたH T T R 技術開発室室長茂木春義氏、同室竹内光男氏、材料試験部計画課長尾美春氏に深く 感謝いたします。

参考文献

- 1) 安田秀志,他 : V H T R C (高温ガス炉臨界実験装置) の建設、JAERI-1305(1986).
- 2) AKINO.F et al: Experimental Verification and Analysis of Neutron Streaming Effect through Void Holes for Control Rod Insertion in HTTR,J.Nucl.Sci.Technol.,34, 185 (1997).
- 3) 森 貴正,中川正幸 : M V P/G M V P 連続エネルギー法及び多群法に基づく汎用中性子・光子輸送計算モンテカルロコード、JAERI-Data/Code 94-007 (1994).
- 4) Shibata K., et al: "JENDL-3:Japanese Evaluated Nuclear Data Library, Version-3,"JAERI-1319 (1990).
- 5) Tsuchihashi K., Takano H., Horikami K., Ishiguro Y., Kaneko K. and Hara T. : "SRAC;JAERI Thermal Reactor Standard Code System for Reactor Design and Analysis",JAERI 1285 (1983).

謝辞

V H T R C 実験の解析を行うにあたり、炉物理実験を担当して頂いた原子炉工学部炉工学施設管理室 藤崎伸吾氏、竹内素允氏、小野俊彦氏、並びに解析に使用したM V P コードの使用に関し貴重な助言を 頂いた原子炉工学部部長中川正幸氏、同部炉特性研究室長屋康展氏、並びに本稿をまとめるにあたり御 指導頂いたH T T R 技術開発室室長茂木春義氏、同室竹内光男氏、材料試験部計画課長尾美春氏に深く 感謝いたします。

参考文献

- 1) 安田秀志,他 : V H T R C (高温ガス炉臨界実験装置) の建設、JAERI-1305(1986).
- 2) AKINO.F et al: Experimental Verification and Analysis of Neutron Streaming Effect through Void Holes for Control Rod Insertion in HTTR,J.Nucl.Sci.Technol.,34, 185 (1997).
- 3) 森 貴正,中川正幸 : M V P/G M V P 連続エネルギー法及び多群法に基づく汎用中性子・光子輸送計算モンテカルロコード、JAERI-Data/Code 94-007 (1994).
- 4) Shibata K., et al: "JENDL-3:Japanese Evaluated Nuclear Data Library, Version-3,"JAERI-1319 (1990).
- 5) Tsuchihashi K., Takano H., Horikami K., Ishiguro Y., Kaneko K. and Hara T. : "SRAC;JAERI Thermal Reactor Standard Code System for Reactor Design and Analysis",JAERI 1285 (1983).

第1表 燃料コンパクト諸元

燃料コンパクト種類		B-4	B-4	T-6	
燃料核	$^{235}\text{U}$ 濃縮度 (wt%)	2.000±0.003	4.000±0.006	5.966±0.009	
	直径 ( $\mu\text{m}$ )	602±5	599±4	595±6	
	$\text{UO}_2$ 密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	10.42±0.11	10.35±0.08	10.26±0.05	
	不純物濃度* (ppm)	<0.3	<0.3	<0.3	
被覆層	第1層 (PyC)	厚さ ( $\mu\text{m}$ ) 密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	79±5 1.19±0.02	79±4 1.18±0.03	60±4 1.17±0.04
	第2層 (PyC)	厚さ ( $\mu\text{m}$ ) 密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	79±4 1.87±0.02	78±4 1.87±0.02	30±2 1.86±0.02
	第3層 (SiC)	厚さ ( $\mu\text{m}$ ) 密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	- -	- -	23±2 3.20~3.21
	第4層 (PyC)	厚さ ( $\mu\text{m}$ ) 密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	- -	- -	44±2 1.85±0.03
	外径	（ $\mu\text{m}$ ）	918±14	913±10	909±14
	燃料コンパクト	ウラン含有量 (g)	20.999 ±0.044	20.950 ±0.044	20.904 ±0.044
	外径	(mm)	35.85±0.03	35.98±0.05	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
	黒鉛 matrix 密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )		1.71±0.02	1.69±0.02	1.69±0.02

\* 等価天然ボロン当量

第2表 黒鉛ブロック諸元

平径 (mm)	$300 \pm 0.3$
長さ (mm)	$1200 \pm 1$
燃料棒孔の直径 (mm)	$47 \pm 0.4$
制御棒孔の直径 (mm)	$65.5 \pm 0.4$
密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	1.665
不純物* (ppm)	0.07
灰分 (ppm)	9.4
水分含有量 (wt%)	0.011

\* 等価天然ボロン当量

第3表 反応度調整材諸元

反応度調整材ペレット種類	W-1	W-2
直径 (mm)	11.86	11.87
高さ (mm)	18.02	17.87
密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	1.73	1.75
天然ボロン含有量 (wt%)	0.97	1.87

第4表 実験ケース

炉心名	実験ケース	燃料棒数	BP棒数	ボイド孔数	備考
VHTRC-1	VHTRC-1	282	0	0	実効増倍率評価
	ボイド評価炉心(0)	276	0	0	ボイド反応度測定
	ボイド評価炉心(1)	276	0	3	〃
	ボイド評価炉心(2)	276	0	18	〃
VHTRC-4	ボイド評価炉心(3)	276	0	21	〃
	VHTRC-4	284	0	0	実効増倍率評価
	BP評価炉心(0)	276	0	0	BP反応度測定
	BP評価炉心(1)	276	12	0	〃
VHTRC-6	BP評価炉心(2)	276	24	0	〃
	BP評価炉心(3)	276	36	0	〃
	BP評価炉心(4)	276	24	0	〃
	BP評価炉心(5)	276	36	0	〃
VHTRC-6	VHTRC-6	572	34	0	実効増倍率評価

第5表 棄正項

炉心名	VHTRC-1	VHTRC-4	VHTRC-6
1) 制御棒・安全棒挿入孔反応度 (¢)	46.1	46.9	46.5
2) 安全棒炉心内残部反応度 (¢)	5.4	12.4	7.1
3) 熱電対・中性子源案内管反応度 (¢)	1.6	0.6	1.9
4) 炉内中性子検出器反応度 (¢)	15.0	—	—
5) 1/2集合体間隙反応度 (¢)	12.5	13.3	8.8
6) 炉心温度を 300K とした温度補正 (¢) [炉心温度]	-0.28 [17.7°C]	0.03 [27.9°C]	-0.11 [22.1°C]
合計 (¢)	80.32	73.23	64.19
実効遅発中性子割合* $\beta_{\text{eff}}$	0.0072456	0.0072593	0.0073573

\* S R A C (汎用核計算コードシステム) に基づく解析値

第 6 表 臨界時の実効増倍率\* (測定結果)

炉心	燃料棒本数 (燃料コンパクト 種類)	BP 棒 本数	過剰反応度 ( $\phi$ )	炉内挿入物等 の補正 ( $\phi$ )	実効遅発中性子 割合 $\beta_{\text{eff}}$	臨界時の 実効増倍率 $k_{\text{eff}}$
VHTRC-1	282(B-4)	0	28.39	80.32	0.0072456	1.0079
VHTRC-4	284(B-2,B-4,T-6)	0	30.21	73.23	0.0072593	1.0077
VHTRC-6	572(B-2,B-4,T-6)	34	33.98	64.19	0.0073573	1.0073

\* : 臨界時の実効増倍率 検出器等の炉内挿入物の内炉心の持っている反応度を実効増倍率に換算したもの

第7表 BP棒反応度価値（測定結果）

炉心名	燃料棒本数	BP棒本数	BP棒反応度価値 (φ)	(%Δ k/k)
BP評価炉心(0)	276	0	---	---
BP評価炉心(1)	276	12	-977	-7.09
BP評価炉心(2)	276	24	-1387	-10.07
BP評価炉心(3)	276	36	-2520	-18.29
BP評価炉心(4)	276	24	-1833	-13.31
BP評価炉心(5)	276	36	-2534	-18.40

 $\beta_{\text{eff}} = 0.0072593 \cdot \text{VHTRC-4}$

第8表 ボイド反応度価値（測定結果）

炉心名	燃料棒本数	ボイド孔数	(φ)	ボイド反応度価値 (%△ k/k)
ボイド評価炉心 (0)	276	0	----	----
ボイド評価炉心 (1)	276	3	-233	-1.69
ボイド評価炉心 (2)	276	18	-334	-2.42
ボイド評価炉心 (3)	276	21	-580	-4.20

 $\beta_{\text{eff}} = 0.0072456 \cdot \text{VHTRC-1}$

第9表 計算に用いた原子数密度

核種	燃料コシナパクト*		反応度調整材 (BP)		黒鉛ブロック (1気圧)	空氣 (1気圧)
	B-2 (2wt%)	B-4 (4wt%)	W-1 (0.97wt%)	W-2 (1.9wt%)		
<sup>236</sup> U	2. 6418E-7	6. 2090E-7	9. 3135E-7	-	-	-
<sup>235</sup> U	3. 8970E-5	7. 7041E-5	1. 1498E-4	-	-	-
<sup>236</sup> U	3. 1044E-7	4. 8330E-7	7. 2495E-7	-	-	-
<sup>238</sup> U	1. 8851E-3	1. 8245E-3	1. 7894E-3	-	-	-
<sup>10</sup> B	1. 2788E-8	1. 2658E-8	1. 2658E-8	1. 8602E-4	3. 6858E-4	1. 3893E-9
<sup>11</sup> B	5. 1799E-8	5. 1270E-8	5. 1270E-8	7. 4874E-4	1. 4836E-3	5. 1159E-9
<sup>12</sup> C	7. 7750E-2	7. 7171E-2	7. 5664E-2	8. 5898E-2	8. 6075E-2	8. 3534E-2
<sup>16</sup> O	3. 8599E-3	3. 8163E-3	3. 8163E-3	-	-	8. 8198E-6
<sup>1</sup> H	2. 2131E-5	2. 1988E-5	2. 1988E-5	-	-	1. 2252E-5
<sup>14</sup> N	-	-	-	-	-	1. 0045E-5
Si	-	-	1. 6941E-3	-	-	-

( \*) 燃料コシナパクトは燃料棒のねじ蓋を含め補正した値

: 個/cm<sup>3</sup>/barn

第10表 臨界時の実効増倍率(解析結果)

## (1) JENDL 3. 1 を使用

炉心名	燃料棒本数	B P棒 本数	臨界時の 実効増倍率* (E:実験値) (C:解析値)	CFP の非均質効果を 考慮した臨界時の実 効増倍率 (C:解析値)	解析値の 統計誤差 ( $1\sigma$ )	誤差 (%) (C/E-1)
VHTRC-1	282 (B-4)	0	1.0079	0.996690	1.005	0.0018 -0.29
VHTRC-4	284 (B-2,B-4,T-6)	0	1.0077	1.000060	1.008	0.0008 0.03
VHTRC-6	572 (B-2,B-4,T-6)	34	1.0073	0.99636	1.004	0.0014 -0.13

1920000 history (48000 particles/batch,40 batches)

## (2) JENDL 3. 2 を使用

炉心名	燃料棒本数	B P棒 本数	臨界時の 実効増倍率* (E:実験値) (C:解析値)	CFP の非均質効果を 考慮した臨界時の実 効増倍率 (C:解析値)	解析値の 統計誤差 ( $1\sigma$ )	誤差 (%) (C/E-1)
VHTRC-1	282 (B-4)	0	1.0079	1.00534	1.013	0.0018 0.51
VHTRC-4	284 (B-2,B-4,T-6)	0	1.0077	1.00809	1.016	0.0007 0.82
VHTRC-6	572 (B-2,B-4,T-6)	34	1.0073	1.00552	1.014	0.0024 0.67

1920000 history (48000 particles/batch,40 batches)

第11表 BP反応度価値 (解析結果)

炉心名	燃料棒 本数	BP棒 本数	実効増倍率 (解析値)	BP反応度価値 (C:解析値)% $\Delta$	BP反応度価値 (E:実験値)% $\Delta$	BP反応度価値 k/k	解析誤差 %	誤差 %(C/E)
BP評価炉心 ( 0 )	276	0	0.995086±0.00077	.....	.....	.....	.....	.....
BP評価炉心 ( 1 )	276	12	0.930102±0.00126	-7.021	-7.09	3.3	-0.97	
BP評価炉心 ( 2 )	276	24	0.910097±0.00134	-9.385	-10.07	2.6	-6.81	
BP評価炉心 ( 3 )	276	36	0.833601±0.00082	-19.468	-18.29	1.1	5.8	
BP評価炉心 ( 4 )	276	24	0.882315±0.00111	-12.844	-13.31	1.8	-3.5	
BP評価炉心 ( 5 )	276	36	0.841989±0.00104	-18.273	-18.4	1.3	-0.1	

1920000 history (48000 particles/cycle:40 cycles)

VHTRC-4

核データに JENDL3.1 を使用

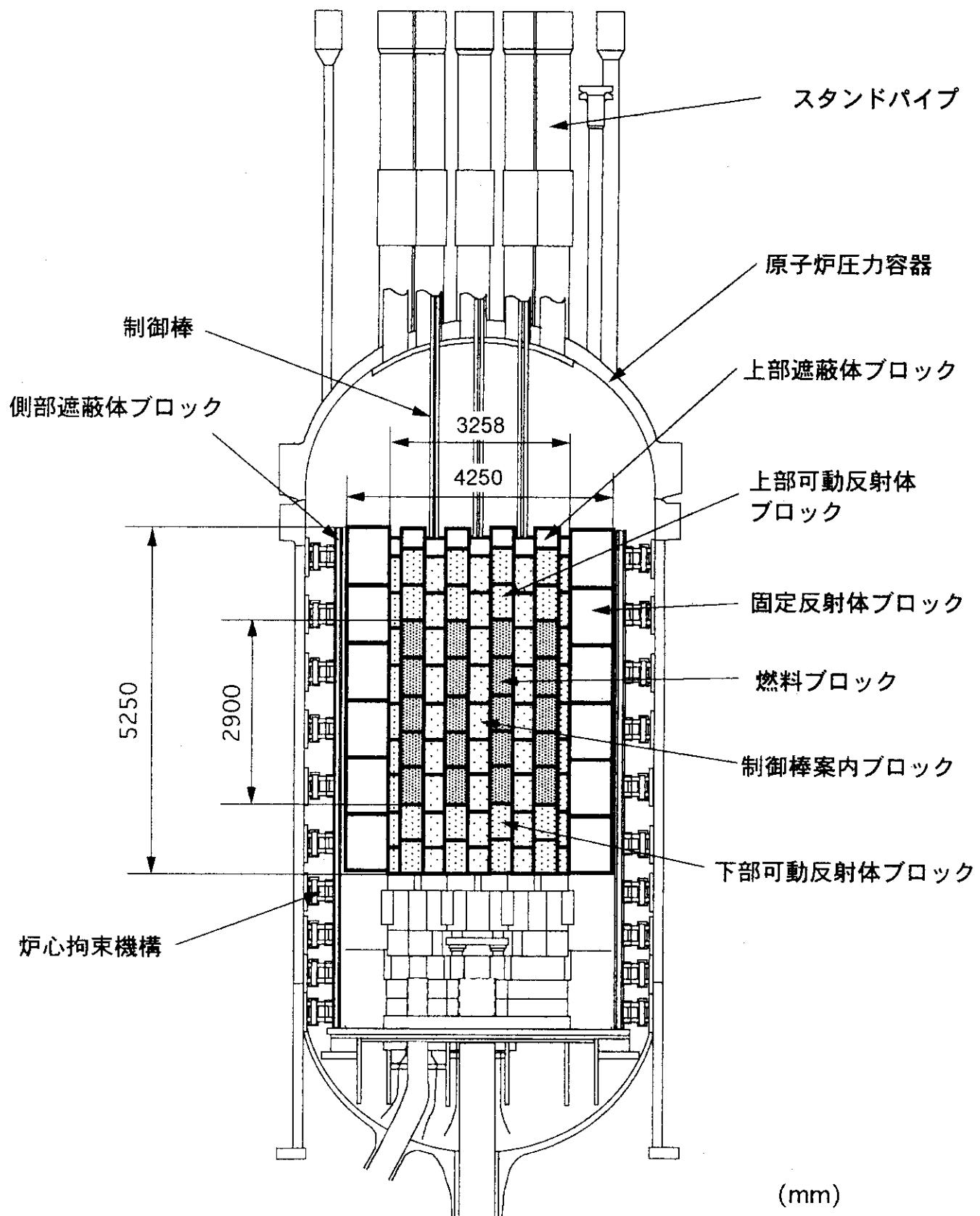
第12表 ポイド反応度価値（解析結果）

炉心名	燃料棒 本数	ポイド 孔数	実効増倍率 (解析値)	ポイド反応度価値 (C:解析値) % Δ k/k	ポイド反応度価値 (E:実験値) % Δ k/k	解析誤差 %	誤差 % (C/E-1)
ポイド評価炉心 (0)	276	0	0.996080 ± 0.00178	.....	.....	.....	.....
ポイド評価炉心 (1)	276	3	0.975909 ± 0.00220	-2.08	-1.69	20	23.1
ポイド評価炉心 (2)	276	18	0.968488 ± 0.00234	-2.86	-2.42	15	18.2
ポイド評価炉心 (3)	276	21	0.946790 ± 0.00212	-5.23	-4.2	8.2	24.4

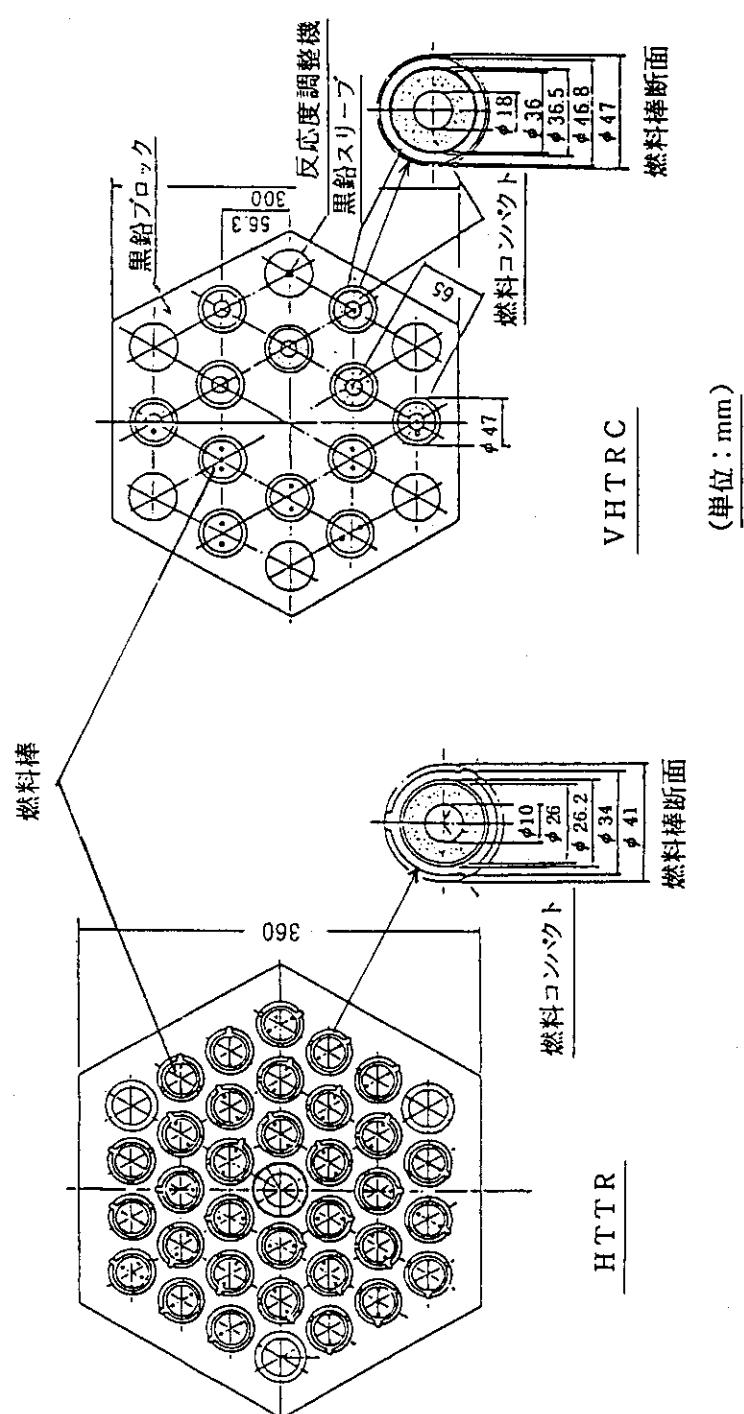
1920000 history (48000 particles/cycle:40 cycles)

VHTRC-1

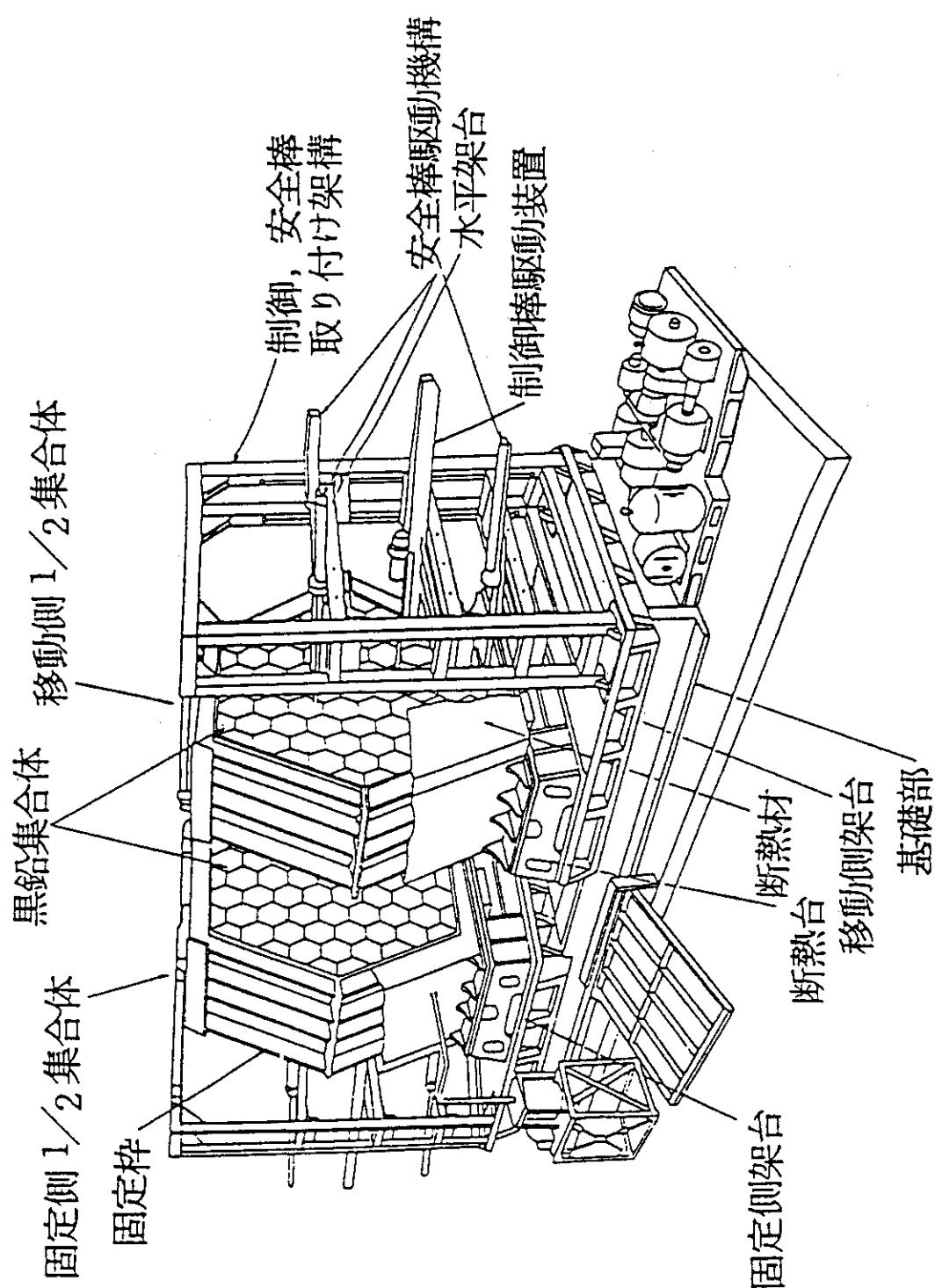
核データに JENDL3.1 を使用



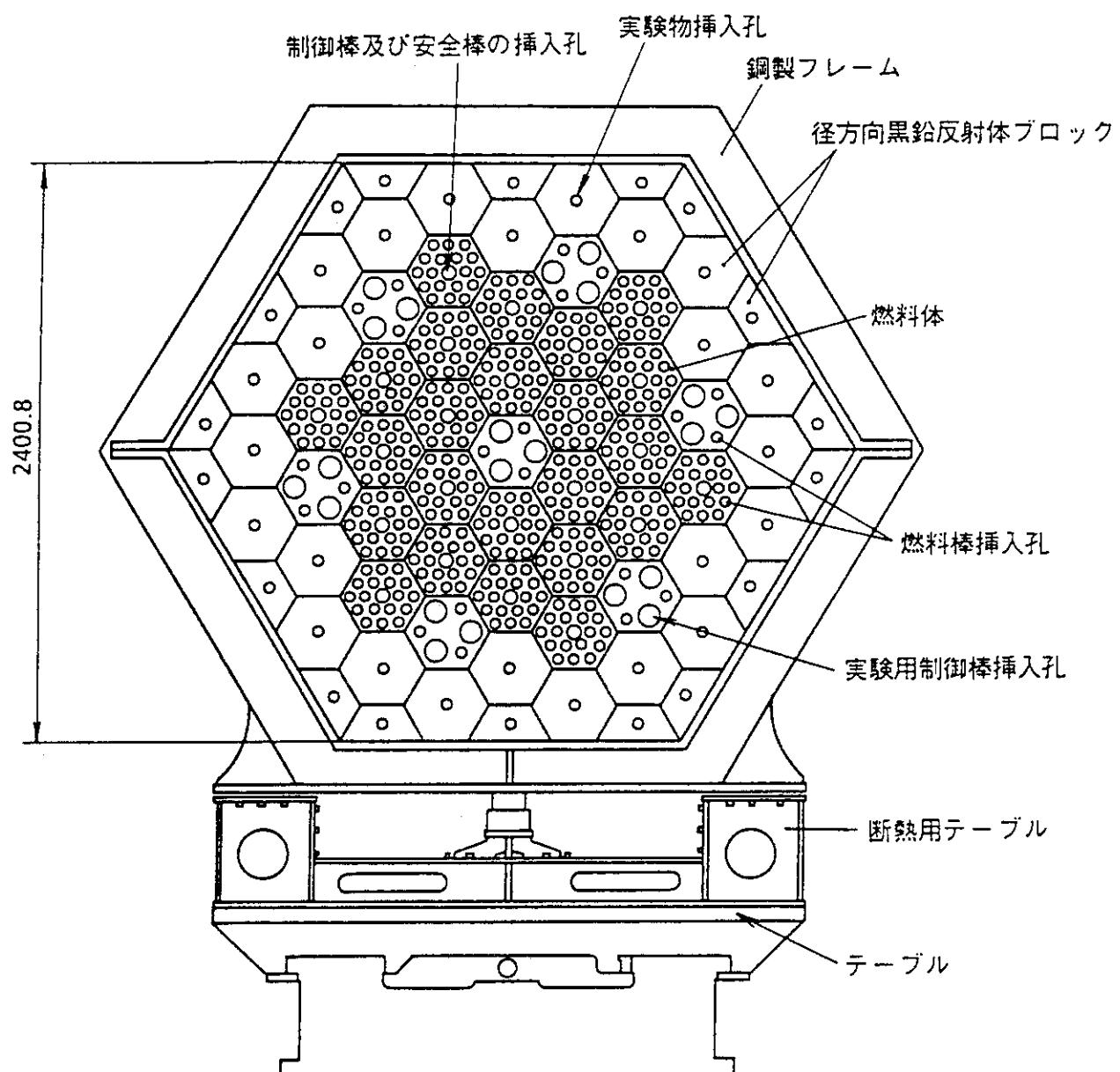
第1図 HTTRの垂直断面図



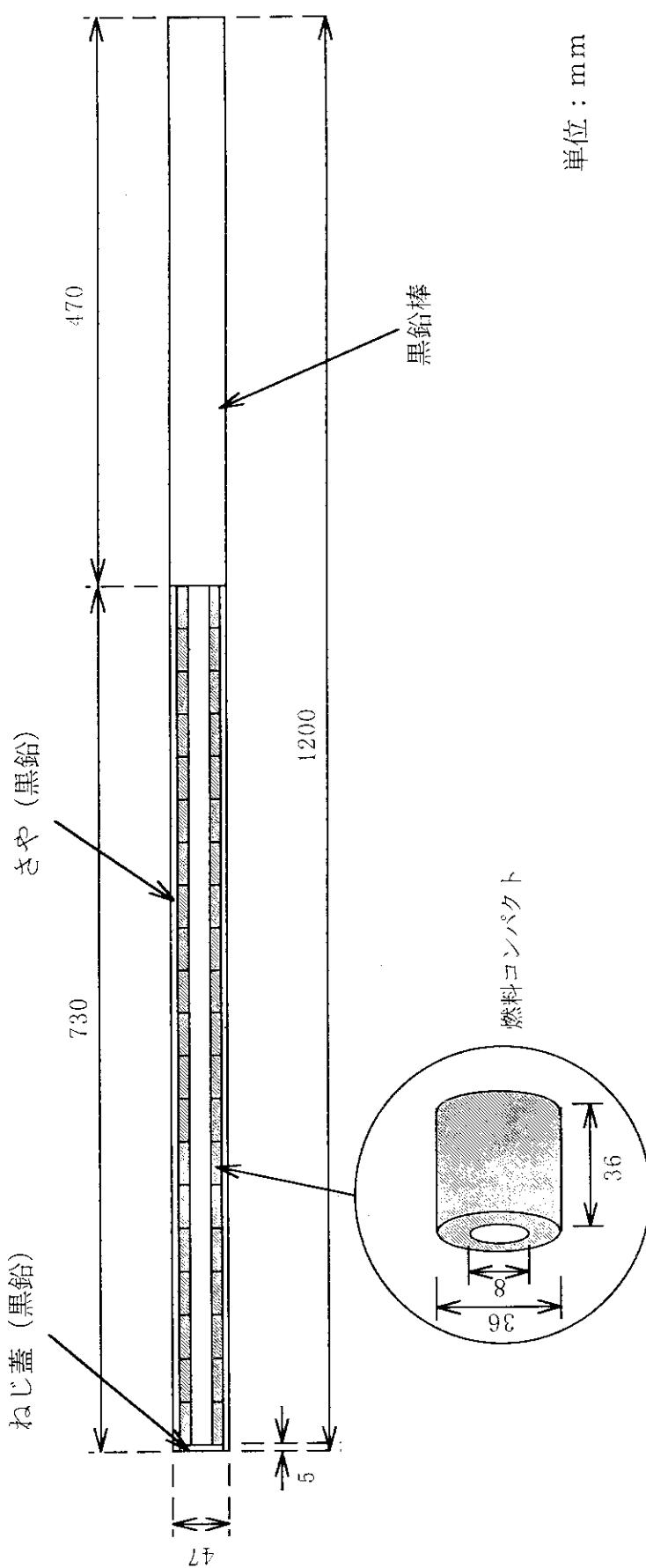
第2図 HTTR、VHTRCの燃料プロックの燃料棒配列比較



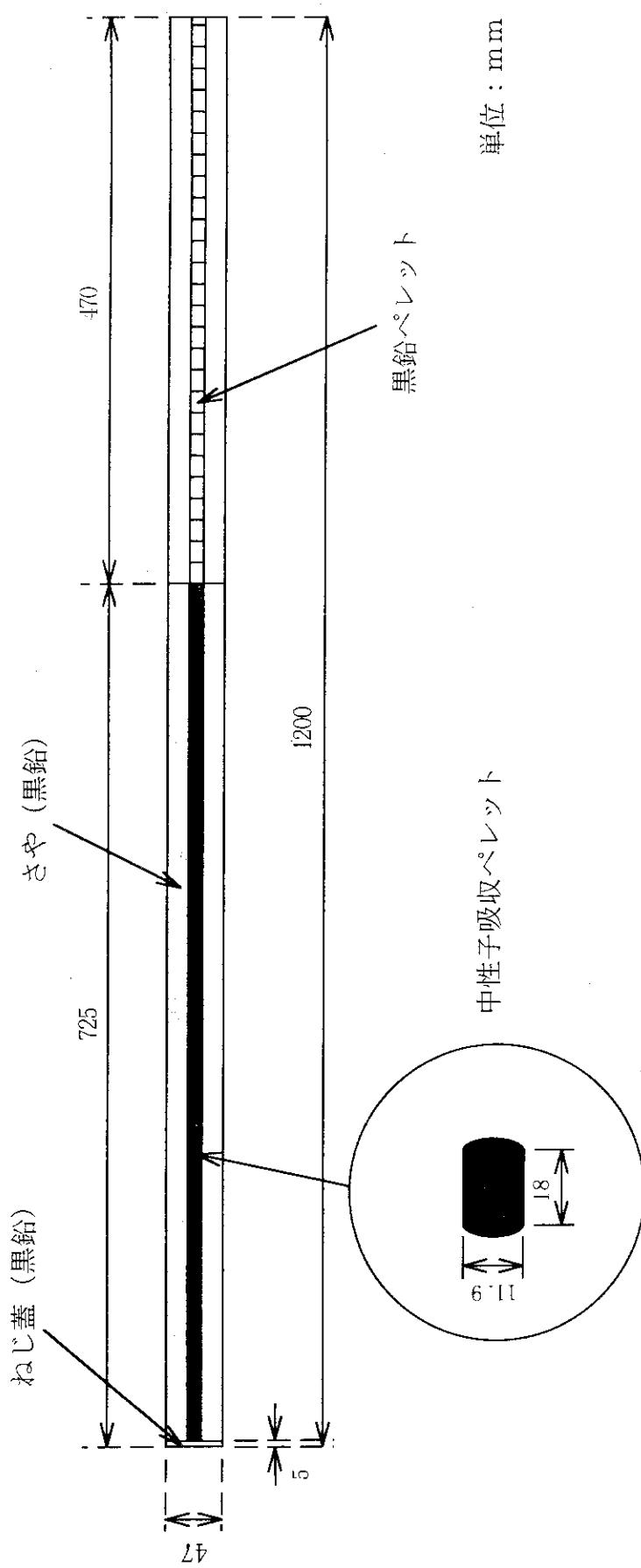
第3図 VHTRC(高温ガス炉臨界実験装置)の概念図



第4図 1/2黒鉛集合体の断面図

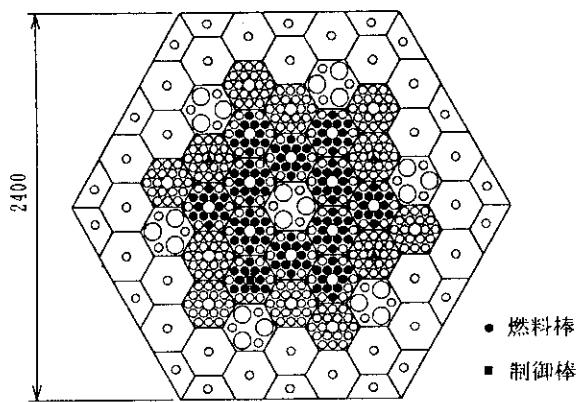


第5図 燃料棒の構造図



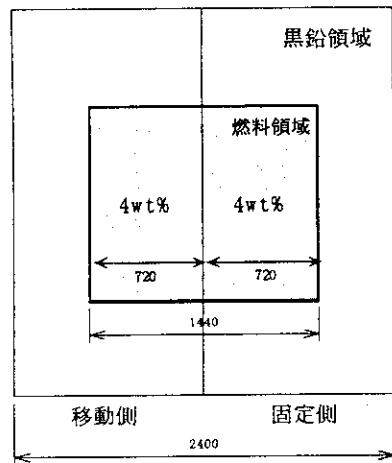
第6図 反応度調整材の構造図

VHTRC-1 横断面図

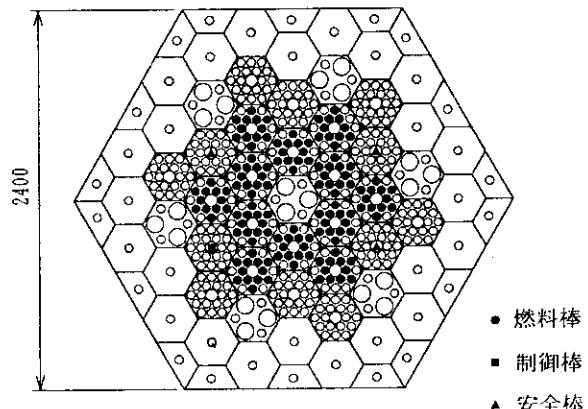


燃料棒 282本 (F141, M141)

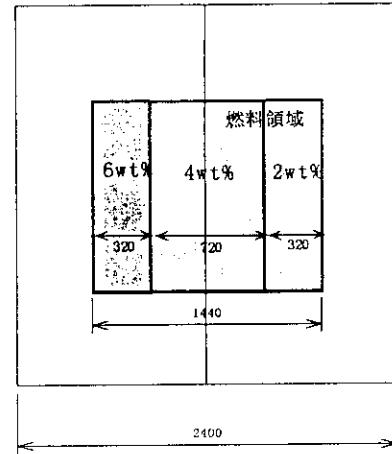
縦断面図



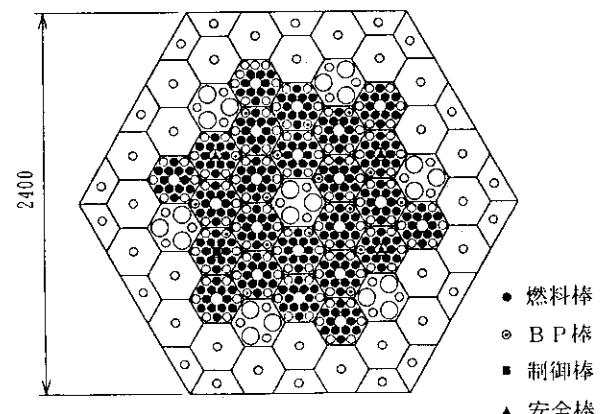
VHTRC-4



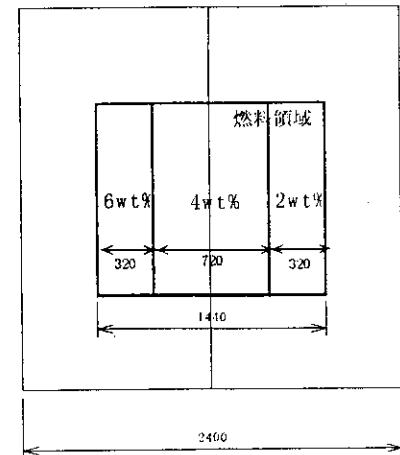
燃料棒 284本 (F142, M142)



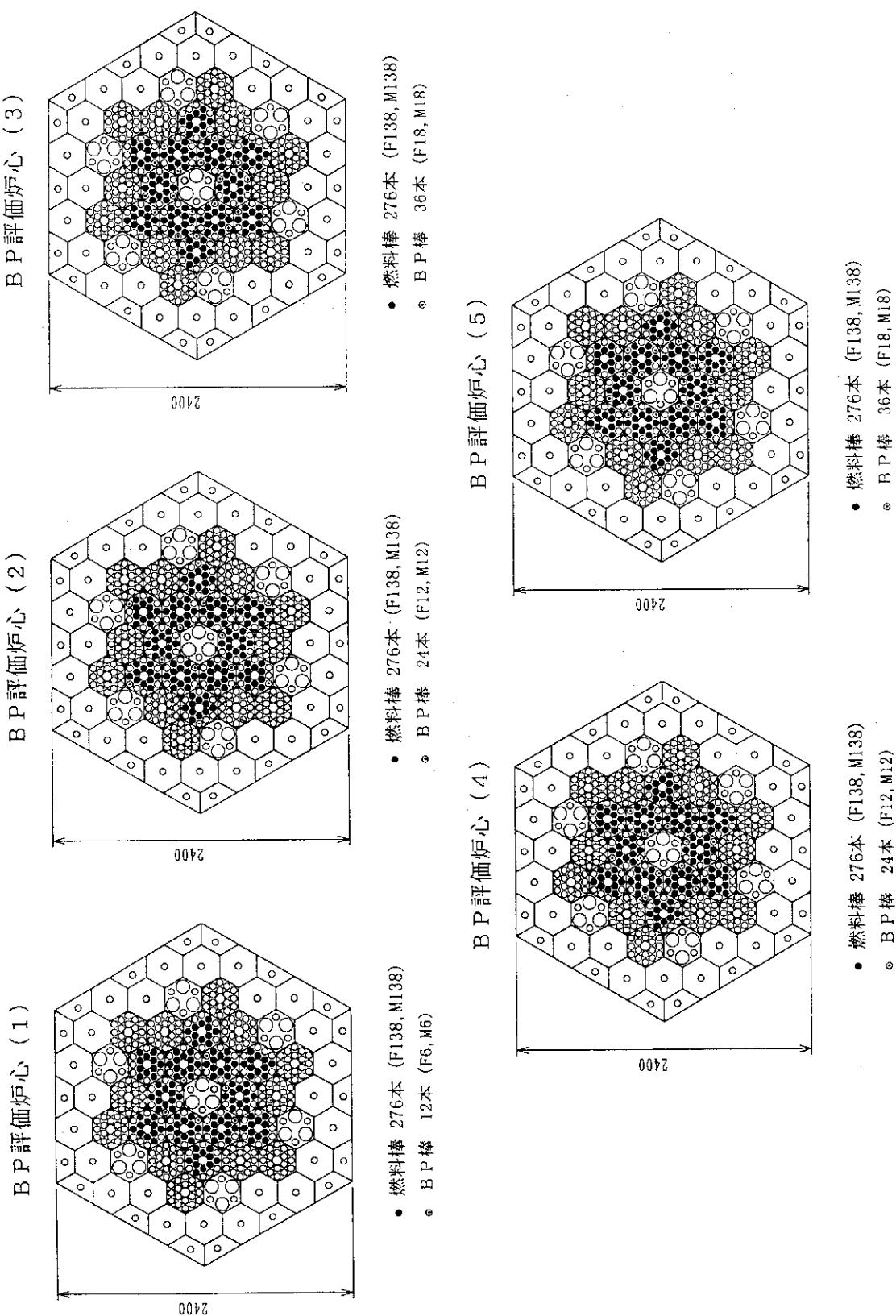
VHTRC-6



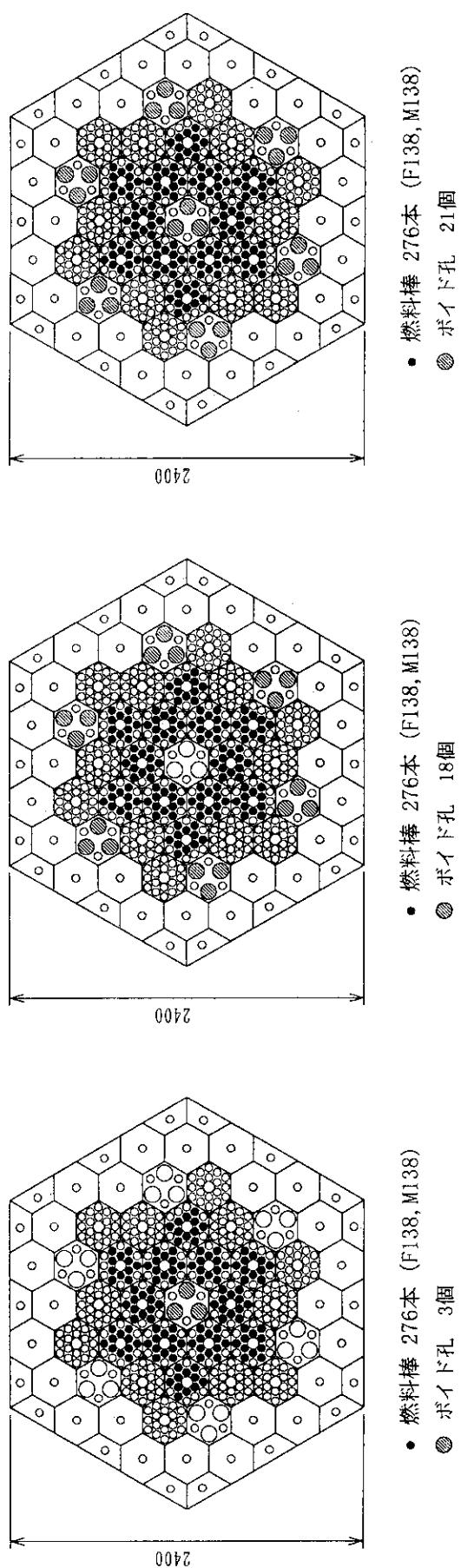
燃料棒 572本 (F286, M286)



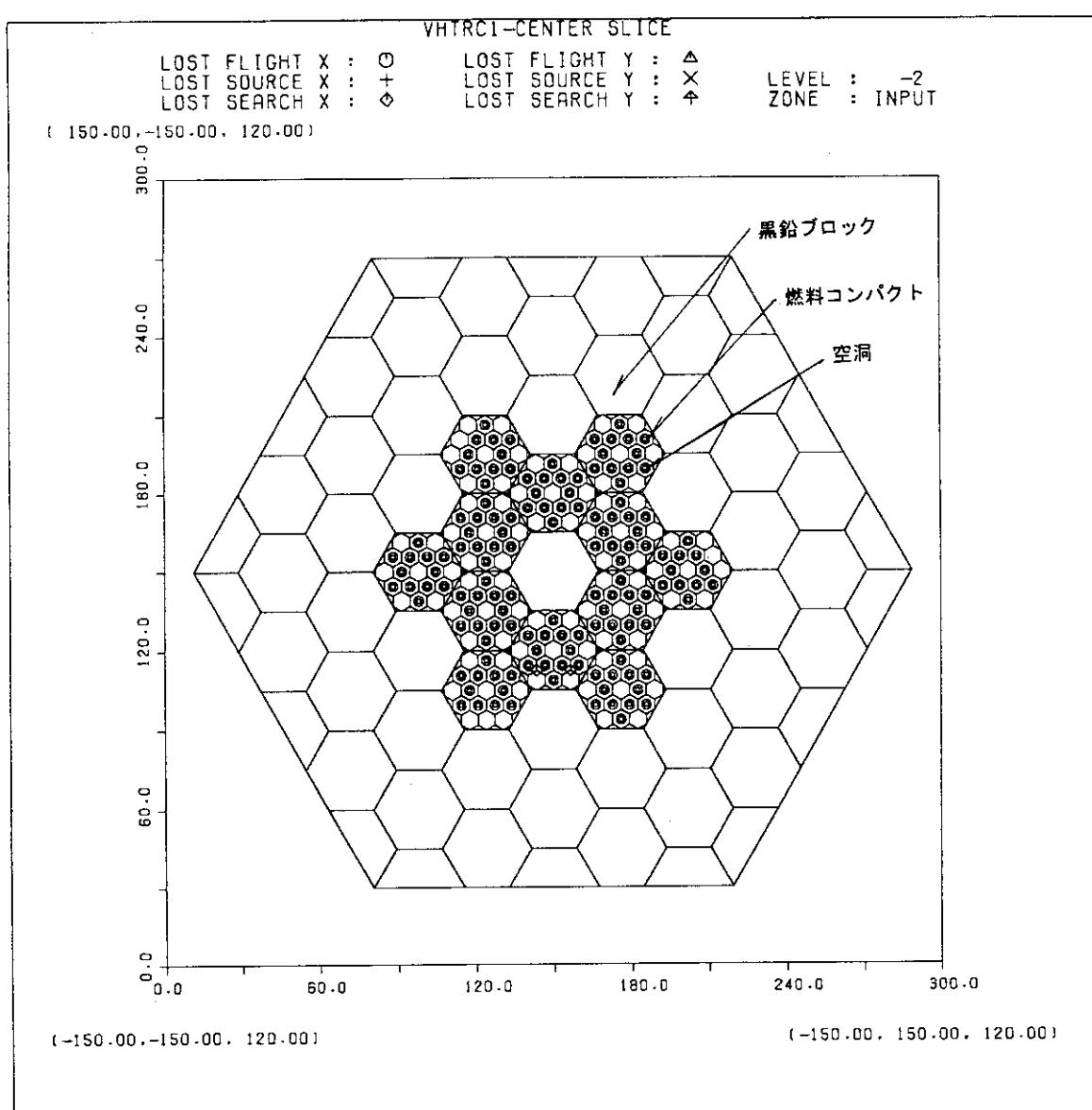
第7図 臨界時の実効増倍率評価炉心



第8図 B P棒反応度評価炉心

ボイド評価炉心 (1)  
ボイド評価炉心 (2)  
ボイド評価炉心 (3)

第9図 ボイド反応度評価炉心



第10図 VHTRC-1炉心断面図 (CG-VIEWによる作図)

## 付録 1 V H T R C 燃料の二重非均質性の効果

V H T R C の燃料コンパクトは、二酸化ウランを含む直径が約  $910 \mu\text{m}$  の被覆燃料粒子を黒鉛マトリックスによりオーバーコートさせ、黒鉛マトリックス中に均一に分散させた構造となっている。このように被覆燃料粒子が燃料コンパクト中に分布している構造は、燃料格子における燃料棒と減速材の非均質性と同様に、 $^{238}\text{U}$  の共鳴吸収を逃れる確率を増やすため、ウランと黒鉛が均一に混ざり合っているものよりも増倍率が大きくなる。そこで、V H T R C 炉心における被覆燃料粒子の非均質効果を、汎用核計算コードシステム S R A C を用いて評価した。被覆燃料粒子を考慮した燃料コンパクトから成る二重非均質を持つ燃料格子とウランと黒鉛が均一な燃料コンパクトから成る一重非均質の燃料格子との反応度の差を被覆燃料粒子の非均質効果として、次の 3 ケースについて評価した。

- 1) 格子計算を行い、ウラン濃縮度 6 wt% の場合について無限増倍率を評価した。
- 2) 格子計算を行い、ウラン濃縮度 4 wt% の場合について無限増倍率を評価した。
- 3) ウラン濃縮度 6wt% と 4 wt% を装荷している V H T R C 炉心について、拡散計算により実効増倍率を評価した。

計算結果を表 1 3 に示す。(1)、(2) の結果、ウラン濃縮度の違いによる二重非均質効果の変化はウラン濃縮度の変化による増倍率の変化に比べ、ほとんど影響を受けない。無限増倍率の二重非均質の効果として、約  $0.85\% \Delta k/k$  の反応度増加があることがわかった。(3) の炉心計算の結果では、約  $0.8\% \Delta k/k$  の反応度増加があった。以上の解析結果から実効増倍率における被覆燃料粒子の非均質性の効果は  $+0.8\% \Delta k/k$  であると評価した。

表 1 3 S R A C による V H T R C の二重非均質効果

	二重非均質	一重非均質	反応度(% $\Delta k/k$ )
(1)ウラン濃縮度 6% 燃料 格子計算( $k_\infty$ )	1.55854	1.53846	0.84
(2)ウラン濃縮度 4% 燃料 格子計算( $k_\infty$ )	1.49538	1.47593	0.88
(3)拡散計算による炉心計 算( $k_{\text{eff}}$ )	0.9916753	0.9842980	0.76

## 付録 2 MVP 入力データ (実効増倍率評価)

## 1) VHTRC-1

```

VHTRC 1 : CONTROL ROD OUT FR=282
MVP KEFF ESTIMATER CHECK
LATTICE NO-VP-MONITOR RUSS-ROUL NO-RESTART IMPORTANCE
NO-RESPONSE ONE-ZONE FISSION EIGEN-VALUE FLUX-PRINT NO-MONITOR

% NG=6, NR=5, NP=1920000, NH=48000
*% NG=6, NR=5, NP=640000, NH=16000
NGROUP(<NG>) NMEMO(10)
NPART(<NP>) NHIST(<NH>) IRAND(19911112) NBANK(<NH*1.1>)
DEPS(1.0E-5) DINF(1.0E20) ETOP(1E7) EBOT(1E-5)
NSKIP(3)
$XSEC
* XSEC OF VHTRC
& IDMAT(3) /* FUEL F2
U04003J3(2.6418E-7)
U05003J3(3.8970E-5)
U06003J3(3.1044E-7)
U08003J3(1.8851E-3)
B00003J3(1.2788E-8)
B01003J3(5.1799E-8)
C02C03J3(7.7750E-2)
O06W03J3(3.8599E-3)
H01H03J3(2.2131E-5)
& IDMAT(5) /* FUEL F4
U04003J3(6.2090E-7)
U05003J3(7.7041E-5)
U06003J3(4.8330E-7)
U08003J3(1.8245E-3)
B00003J3(1.2658E-8)
B01003J3(5.1270E-8)
C02C03J3(7.7171E-2)
O06W03J3(3.8163E-3)
H01H03J3(2.1988E-5)
& IDMAT(7) /* FUEL F6
U04003J3(9.3135E-7)
U05003J3(1.1498E-4)
U06003J3(7.2495E-7)
U08003J3(1.7894E-3)
B00003J3(1.2658E-8)
B01003J3(5.1270E-8)
C02C03J3(7.5664E-2)
O06W03J3(3.8163E-3)
H01H03J3(2.1988E-5)
SIN003J3(1.6941E-3)
& IDMAT(9) /* BLOCK
B00003J3(1.3893E-9)
B01003J3(5.1159E-9)
C02C03J3(8.3534E-2)
O06W03J3(8.8198E-6)
N04003J3(1.0045E-5)
H01H03J3(1.2252E-5)
& IDMAT(11) /* AIR
O06W03J3(1.0364E-5)
N04003J3(3.8624E-5)
$END XSEC

$GEOM
% PS=30.0 , HA=240.0
% P2S=PS/SQRT(3) , DA=240.0
*****CRITICAL ASSEMBLY LATTICE DATA*****
IDLAT(100)
LTYP(2) NVLAT( 13 13 1)
SZLAT(<PS> 30.0 <HA>)
SZHEX(0.0 0.0 <DA> <HA> 0.0)
RCELL( 7 7 )
KLATT(
          0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
          0 0 0 5 5 0 0 0 0 0 0 0 0
          0 0 5 5 5 5 5 0 0 0 0 0 0
          0 5 5 5 4 4 5 5 5 0 0 0 0
          0 5 5 4 4 3 4 4 5 5 0 0 0

```

```

          0 0 5 4 2 2 2 2 4 5 0 0 0
          0 0 5 4 4 2 1 2 4 4 5 0 0
          0 0 0 5 4 3 2 2 3 4 5 0 0
          0 0 0 5 5 4 4 2 4 4 5 5 0
          0 0 0 0 5 5 4 4 5 5 5 0
          0 0 0 0 0 0 5 5 5 5 5 0 0
          0 0 0 0 0 0 0 5 5 0 0 0
          0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 )  

KSLAT(
          0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
          0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
          0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
          0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
          0 0 0 0 0 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0
          0 0 0 0 4 0 0 0 2 0 0 0 0 0 0
          0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
          0 0 0 0 0 5 0 0 0 1 0 0 0 0 0
          0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
          0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
          0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
          0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 )  

*****  

% PC=6.5 , HS=240.0  

% P2=PC/SQRT(3), DS=30.0  

% C=0.540/2 , D=0.33124  

***** FUEL SUBASSEMBLY2 *****12 FUEL RODS***  

IDLAT(200)
LTYP(2) NVLAT( 7 7 1)
SZLAT( <PC> 0.0 <HS> )
SZHEX(0.0 0.0 <DS> <HS> 0.0)
RCELL( 4 4 )
KLATT(
          11 11 11 11 0 0 0
          11 11 10 11 11 0 0
          11 10 10 10 10 11 0
          11 11 10 11 10 11 11
          0 11 10 10 10 10 11
          0 0 11 11 10 11 11
          0 0 0 11 11 11 11 )  

KSLAT(<7*7>(0))
***** FUEL SUBASSEMBLY3 *****11 FUEL RODS***  

IDLAT(300)
LTYP(2) NVLAT( 7 7 1)
SZLAT( <PC> 0.0 <HS> )
SZHEX(0.0 0.0 <DS> <HS> 0.0)
RCELL( 4 4 )
KLATT(
          11 11 11 11 0 0 0
          11 11 10 11 11 0 0
          11 10 10 10 10 11 0
          11 11 10 11 10 11 11
          0 11 10 10 10 10 11
          0 0 11 11 11 11 11
          0 0 0 11 11 11 11 )  

KSLAT(<7*7>(0))
% FB=47.0 , FL=36.5
% CRP=9.5, CRR=5.1, FRR=1.798, BOL=0.898
% CRX=CRP*SQRT(3)/2.0
% CRY=-1.*CRP/2.0
END
RPP (40000 -400.0 400.0 -400.0 400.0 -10.0 <HA+10.0>)
RHP (10000 0.0 0.0 0.0 <HA> <DA> )
RHP (20000 0.0 0.0 0.0 <HA> <DS> )
RHP (30000 0.0 0.0 0.0 <HA> <PC> )
**** PINS :LEVEL 2 *****
RCC ( 1 <CRX> <CRY> 0.0 0.0 0.0 <HA> <CRR> )
RCC ( 2 0.0 0.0 0.0 0.0 <HA> <FRR> )
RCC ( 3 0.0 0.0 <FB> 0.0 0.0 <FL> <FRR> )
RCC ( 4 0.0 0.0 <FB+FL> 0.0 0.0 <2.*FL> <FRR> )
RCC ( 5 0.0 0.0 <FB+3.*FL> 0.0 0.0 <FL> <FRR> )
RCC ( 6 0.0 0.0 0.0 0.0 <HA> <BOL> )
*****CROSS SECTION MATERIAL *****
% F6=7, F4=5, F2=3, GR=9, AIR=11
END

```

```

ETV:6:-1000:-40000
VOID:BOID: 0 :40000 -10000
*****
LAT: : -100 :10000
*****SUBASSEMBLY*****
#CELL ID(1) TYPE(HEXA) /*C. R. CHANNEL
CR : : -999 : -20000
GRP:GRA1: <GR> : 20000
#END CELL
#CELL ID(2) TYPE(HEXA) /*12 FUEL SUBASSEMBLY
FUL1: : -999 : -20000
FUL2: : -200 : 20000
#END CELL
#CELL ID(3) TYPE(HEXA) /*11 FUEL SUBASSEMBLY
FUL1: : -999 : -20000
FUL2: : -300 : 20000
#END CELL
#CELL ID(4) TYPE(HEXA) /* GRAPHITE
GR : : -999 : -20000
GRP :GRA2: <GR> : 20000
#END CELL
#CELL ID(5) TYPE(HEXA) /* GRAPHITE
GR : : -999 : -20000
GRP :GRA3: <GR> : 20000
#END CELL
***** FUEL CELL *****
#CELL ID(10) TYPE(HEXA) /* FUEL ROD
FRD : : -999 : -30000
GRPL:GRA2: <GR> : 30000 -2 -6
GRPL:GRA2: <GR> : 2 -3 -4 -5 -6
F6 :FUEL: <F4> : 3 -6
F4 :FUEL: <F4> : 4 -6
F2 :FUEL: <F4> : 5 -6
AIR :FUEL: <AIR> : 6
#END CELL
#CELL ID(11) TYPE(HEXA) /* GRAPHITE CELL
GRC : : -999 : -30000
GRP :GRA2: <GR> : 30000
#END CELL
*****
$END GEOM
***** GROUP STRUCTURE *****
**DUMMY**
ENGYB( 1.000E+7 1.83E+5 9.61E+2 2.38 0.65 0.105 1.0E-5 )
% NRG = NR*NG
XIMP( 18(1.0) 12(0.25) )
WKIL( 12(0.5) 6(0.8) 12(3.5) )
WSRV( 18(1.0) 12(4.0) )
NRESP(1) RESP( <NNG>(1.0) )
**** INITIAL SOURCE ****
NSOUR(1) KSOUR(3) IFISM(U05003J3) SOUR(1.0)
PSPAC( -45.0 45.0 -45.0 45.0 47.0 193.0 R(0) )
**** FISSION NEUTRONS ****
WGTF( <NR>(0.8) )
* RVOL(1.8611E+4 2.0463E+5 9.5040E+6 1.4965E+7 2.9930E+7 R(1.0) )
/
***CGVIEW inputdata***
TITLE(VHTRC4-CENTER SLICE)
PAPER(-150. -150. 120 0.0 1.0 0.0 1.0 0.0 0.0 150)
XMAX(300. 300.)
LEVEL(-2)
SPTYP(0)
COLOR(1)
/
/

```