

JAERI-M

9105

KENO-IV コードベンチマーク計算 (2)  
(PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> -ポリスチレンのコンパクトの  
ブロック積み)

1980年9月

小室雄一・野村 靖・川上数雄\*

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

KENO-IV コードベンチマーク計算(2)  
(PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>-ポリスチレンのコンパクト  
のブロック積み)

日本原子力研究所東海研究所安全解析部  
小室 雄一<sup>+</sup>・野村 靖・川上 数雄<sup>\*</sup>

(1980年9月2日受理)

モンテカルロ法コードKENO-IVと新たに開発された多群定数ライブラリMGCLとの組合せにより、ステンレスチールおよびボラールなどの中性子吸収板を間に挟んだPuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>-ポリスチレン・コンパクト燃料のブロック積みに関する臨界実験データを用いて、ベンチマーク計算を実施した。これは、原研で整備中の臨界安全性評価コードシステムの計算精度評価を目的として計画された解析作業の一環として実施されたものである。

全部で51ケースある実験データについて計算した結果は、実効増倍率の平均値が1.020で標準偏差が0.6%の分布となった。

---

+ 動力試験炉部

\* 日立エンジニアリング株式会社

KENO-IV Code Benchmark Calculation (2)  
(A Pile of  $\text{PuO}_2$ - $\text{UO}_2$ -Polystyrene Compact Fuel)

Yuichi KOMURO<sup>+</sup>, Yasushi NOMURA  
and Kazuo KAWAKAMI\*  
Division of Reactor Safety Evaluation,  
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received September 2, 1980)

A benchmark test for the Monte carlo calculation code KENO-IV and the newly developed multi-group constants library MGCL has been performed using criticality experiments about a pile of  $\text{PuO}_2$ - $\text{UO}_2$ -Polystyrene compact fuel with a poison plate such as stainless steel, boron etc. This is one of a series of benchmark tests which have been undertaken in JAERI in order to examine the capability of JAERI's criticality safety evaluation system.

In all, 51 cases of the experiments have been calculated, and the effective multiplication factor can be predicted as 1.020 in average with  $\pm 0.6\%$  standard deviation by the JAERI's system.

Keywords: Criticality Safety, Benchmark Calculation, Mixed oxide Compact, Neutron Poison, KENO-IV Monte Carlo Code, MGCL Multi-group Constants Library

---

+ Division of JPDR, Tokai, JAERI

\* Hitachi Engineering Co., Ltd.

## 目 次

|  |    |
|--|----|
| 1. まえがき.....                               | 1  |
| 2. 実験体系と実験データ.....                         | 1  |
| 2.1 実験体系 .....                             | 1  |
| 2.2 実験データ .....                            | 2  |
| 2.2.1 30.6型燃料による体系の臨界実験データ.....            | 2  |
| 2.2.2 30.6型燃料と2.8型燃料の組合せによる体系の臨界実験データ..... | 3  |
| 3. 計算手法と計算モデル .....                        | 9  |
| 3.1 計算手法 .....                             | 9  |
| 3.2 計算モデル .....                            | 10 |
| 4. 計算結果及び考察.....                           | 14 |
| 4.1 30.6型燃料による体系.....                      | 14 |
| 4.2 30.6型燃料と2.8型燃料の組合せによる体系.....           | 14 |
| 4.3 実験レポート記載 $k_{eff}$ 計算値との比較 .....       | 14 |
| 4.4 エネルギー群構造の影響 .....                      | 15 |
| 5. 結 論 .....                               | 25 |
| 参考文献.....                                  | 25 |

## CONTENTS

|   |    |
|---|----|
| 1. Introduction .....   | 1  |
| 2. Experimental System and Data .....   | 1  |
| 2.1 Experimental System .....   | 1  |
| 2.2 Experimental Data .....   | 2  |
| 2.2.1 Criticality Experiment Data for 30.6-Type Fuel<br>System .....                      | 2  |
| 2.2.2 Criticality Experiment Data for 30.6-Type and<br>28-Type Fuels Mixed System .....   | 3  |
| 3. Calculational Method and the Model .....   | 9  |
| 3.1 Calculational Method .....  | 9  |
| 3.2 Calculational Model .....   | 10 |
| 4. Calculated Results and the Consideration .....   | 14 |
| 4.1 30.6-Type Fuel System .....   | 14 |
| 4.2 30.6-Type and 28-Type Fuels Mixed System .....  | 14 |
| 4.3 Comparison with the $k_{eff}$ Calculation Described in<br>the Experiment Report ..... | 14 |
| 4.4 Effect of Energy Group Structure .....  | 15 |
| 5. Conclusion .....   | 25 |
| References .....  | 25 |

## 1. ま え が き

この報告書は、原研で整備中の臨界安全性評価コードシステムの計算精度評価を目的として実施されたKENO-IVコードのベンチマーク計算の成果をまとめたものの一冊である。ここでは、 $\text{PuO}_2$ - $\text{UO}_2$ -ポリスチレンのコンパクトのブロック積みに関する実験データを<sup>1)</sup>ベンチマーク計算の対象としている。計算は、多群定数ライブラリMGCL<sup>2)</sup>と、モンテカルロコードKENO-IVの組み合わせにより各実験体系の実効増倍係数を求めている。

実験は、核燃料取扱施設の臨界安全管理において使用される中性子の吸収材の反応度値を求めるために行われた。実験体系は、 $\text{PuO}_2$ - $\text{UO}_2$ -ポリスチレンのコンパクト燃料を、中性子吸収板を間にはさんで順次ブロック状に積上げ、臨界に到達させたものである。実験データの数は、燃料コンパクトの組成、装荷する中性子吸収板の組成または寸法の違いにより51ケースある。

本報告書では、第2章で実験体系と実験データ、第3章で計算コード、データライブラリおよび計算モデルを説明し、第4章で計算結果と考察、第5章で結論を述べる。なお、第2章で実験体系と実験データの説明のために用いた図及び表はすべて実験レポートから転載したものである。

## 2. 実験体系と実験データ

### 2.1 実験体系

実験体系は、立方体または直方体に成型された $\text{PuO}_2$ - $\text{UO}_2$ -ポリスチレン均質混合燃料コンパクトのブロック積みと、このブロック積みの中にサンドウィッチ状に挿入されている中性子吸収板、及びこれらの燃料領域の全周を包むプレキシグラス（メタクリレート・プラスチック）反射体から構成されている。この実験体系の一例をFig.1に示す。この図に示すように、燃料コンパクトを $8 \times 8$ の正形状に並べたものを二ないし三層積み重ね、その上に同じ大きさの中性子吸収板を載せ、さらにその上に燃料コンパクトの層を積み重ね、最上面には中性子束に関して対称となるように燃料コンパクトを一つずつ追加して臨界に到達させる。なお、臨界到達時の燃料集合体最上面は、一般にFig.1に示すごとく段差をもった形状となる。

実験に使う燃料の組成と寸法、および燃料クラッドとプレキシグラス反射体の組成をTable 1に示す。燃料は、 $H : (\text{Pu} + \text{U})$ の原子個数密度比の観点から分類すると $2.8 H : (\text{Pu} + \text{U})$ 燃料(以後2.8型燃料と呼ぶ)と $3.06 H : (\text{Pu} + \text{U})$ 燃料(以後3.06型燃料と呼ぶ)の2種類になる。燃料の寸法の観点から分類すると縦、横、高さともに $5.09 \text{ cm}$ の立方体型と、縦と横が $5.09 \text{ cm}$ で、高さが $1.38 \text{ cm}$ の平板型の2種類がある。

中性子吸収材は板状に加工され、板の縦と横の寸法は臨界集合体のそれと同一である。実

## 1. ま え が き

この報告書は、原研で整備中の臨界安全性評価コードシステムの計算精度評価を目的として実施されたKENO-IVコードのベンチマーク計算の成果をまとめたものの一冊である。ここでは、 $\text{PuO}_2$ - $\text{UO}_2$ -ポリスチレンのコンパクトのブロック積みに関する実験データを<sup>1)</sup>ベンチマーク計算の対象としている。計算は、多群定数ライブラリMGO<sup>2)</sup>Lと、モンテカルロコードKENO-IVの組み合わせにより各実験体系の実効増倍係数を求めている。

実験は、核燃料取扱施設の臨界安全管理において使用される中性子の吸収材の反応度値を求めるために行われた。実験体系は、 $\text{PuO}_2$ - $\text{UO}_2$ -ポリスチレンのコンパクト燃料を、中性子吸収板を間にはさんで順次ブロック状に積上げ、臨界に到達させたものである。実験データの数は、燃料コンパクトの組成、装荷する中性子吸収板の組成または寸法の違いにより51ケースある。

本報告書では、第2章で実験体系と実験データ、第3章で計算コード、データライブラリおよび計算モデルを説明し、第4章で計算結果と考察、第5章で結論を述べる。なお、第2章で実験体系と実験データの説明のために用いた図及び表はすべて実験レポートから転載したものである。

## 2. 実験体系と実験データ

### 2.1 実験体系

実験体系は、立方体または直方体に成型された $\text{PuO}_2$ - $\text{UO}_2$ -ポリスチレン均質混合燃料コンパクトのブロック積みと、このブロック積みの中にサンドウィッチ状に挿入されている中性子吸収板、及びこれらの燃料領域の全周を包むプレキシグラス（メタクリレート・プラスチック）反射体から構成されている。この実験体系の一例をFig.1に示す。この図に示すように、燃料コンパクトを $8 \times 8$ の正形状に並べたものを二ないし三層積み重ね、その上に同じ大きさの中性子吸収板を載せ、さらにその上に燃料コンパクトの層を積み重ね、最上面には中性子束に関して対称となるように燃料コンパクトを一つずつ追加して臨界に到達させる。なお、臨界到達時の燃料集合体最上面は、一般にFig.1に示すごとく段差をもった形状となる。

実験に使う燃料の組成と寸法、および燃料クラッドとプレキシグラス反射体の組成をTable 1に示す。燃料は、 $H : (\text{Pu} + \text{U})$ の原子個数密度比の観点から分類すると $2.8 H : (\text{Pu} + \text{U})$ 燃料(以後2.8型燃料と呼ぶ)と $3.06 H : (\text{Pu} + \text{U})$ 燃料(以後3.06型燃料と呼ぶ)の2種類になる。燃料の寸法の観点から分類すると縦、横、高さともに $5.09 \text{ cm}$ の立方体型と、縦と横が $5.09 \text{ cm}$ で、高さが $1.38 \text{ cm}$ の平板型の2種類がある。

中性子吸収材は板状に加工され、板の縦と横の寸法は臨界集合体のそれと同一である。実



験では複数個の吸収板を装荷することがあるが、これらは互に同一組成を有し、重ねて用いられ、Fig. 1 に示すような中性子吸収板領域を構成している。中性子吸収板には次に示す8種類が用いられた。

- (1) 304Lステンレス・スチール
- (2) 1.1 w/o ボロン入り304Lステンレス・スチール
- (3) 1.6 w/o ボロン入り304Lステンレス・スチール
- (4) 0.194 w/o  $^{235}\text{U}$ 劣化ウラン
- (5) ポラル（外周は0.102 cm厚さのアルミニウム製クラッドで覆われている）
- (6) カドミウム
- (7) 鉛
- (8) アルミニウム

各吸収板の組成をTable 2に示す。なお、このTableに載っているポラル板の組成にはアルミニウム・クラッドは考慮されていない。

## 2.2 実験データ

実験データは使用する燃料により次の2つに分類される。

- (1) 30.6型燃料による体系に関するもの
- (2) 30.6型燃料と2.8型燃料を組合せた体系に関するもの

### 2.2.1 30.6型燃料による体系の臨界実験データ

これには中性子吸収板の種類および厚さを変えて、Table 3に示すようにNO. 001からNO. 032まで32ケースのデータがある。実験ではまず一辺が5.09 cmの立方体の30.6型燃料が縦横8×8に配列され、これが3段積みになされ、その上に中性子吸収板が置かれた。ただし、NO. 001の実験においては、中性子吸収板が装荷されなかった。Table 3の左側半分には、各実験番号に対応して中性子吸収板の種類、質量、厚さ、それにボイドを含めた厚さ（吸収板自身の厚さと積み重ねで生じるボイドの厚さを合計したもの）が示されている。また、ひとつの種類の中性子吸収板を幾枚か重ねて装荷し、厚さの異なる吸収体領域を形成して実験を行ったため、同一組成の中性子吸収板に複数個の実験番号が対応している。

さらに、中性子吸収板の上に一辺が5.09 cmの立方体型燃料を8×8配列状に積み上げた。その積上げ段数がTable 3の中央右に記載されている。最後に、臨界制御用の燃料（高さが1.38 cmの平板型）が8×8配列状に積上げられた。一般に臨界到達時には、燃料コンパクトが8×8配列を完全に形成することはなく、Fig. 1に示すような段差を持った形状となる。Table 3には、この段差つき形状を平面にならしたときの相当高さを1.38 cm単位で表わした数値が示されている。また燃料の全長を5.09 cm単位で表わした数値も示されている。

## 2.2.2 30.6型燃料と2.8型燃料の組合せによる体系の臨界実験データ

これには中性子吸収板の種類および厚さを変えて、Table 4 に示すようにNo 033からNo 051までの19ケースのデータがある。ただしNo 033のケースにおいては中性子吸収板が装荷されなかった。

実験では、まず一辺が5.09 cmの立方体の2.8型燃料が8×8に配列され、これが2段積み込まれた。その上に中性子吸収板が置かれた。Table 4 の左側の欄には装荷された中性子吸収板の種類、質量、厚さ、それにボイドを含めた厚さが示されている。中性子吸収板の上には8×8配列の2.8型燃料が2段積み込まれ、さらにその上に8×8配列の30.6型燃料が2段ないし3段積み上げられた。最後に、この面の上に臨界制御用の30.6型燃料（高さが1.38 cmの平板型）が並べられた。Table 4 における各燃料の積み上げ段数の表示方法はTable 3 と同様である。

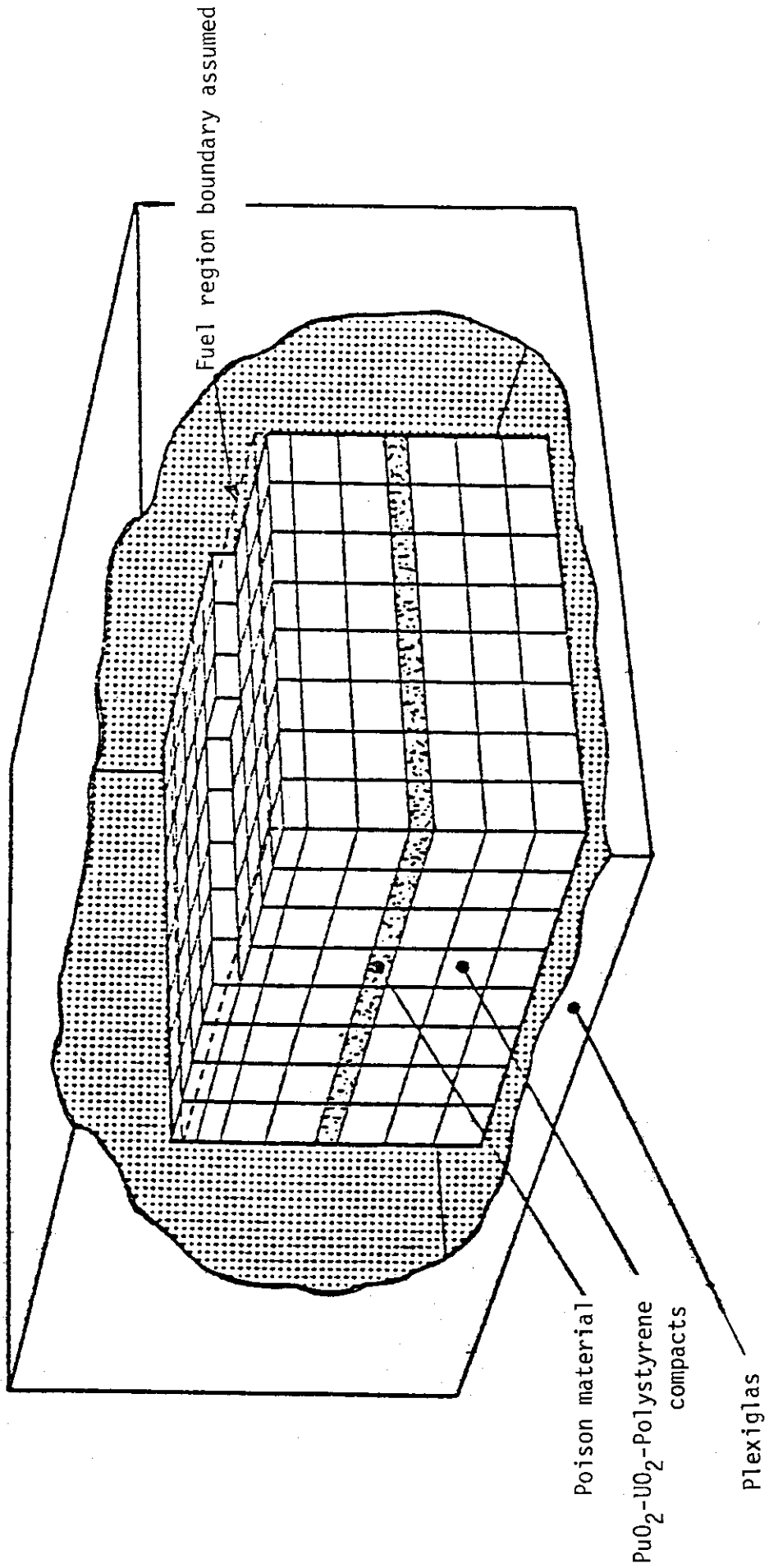


Fig.1 Physical system of  $\text{PuO}_2\text{-UO}_2\text{-Polystyrene}$  assemblies  
with single neutron poison plate

Table 1 Description of Experimental Fuel and Reflector Material

|   | 2.8 H: Pu + U FUELED EXPERIMENTS |              |                            | 30.6 H: Pu + U FUELED EXPERIMENTS |              |                            |
|---|----------------------------------|--------------|----------------------------|-----------------------------------|--------------|----------------------------|
| • CLADDING MATERIAL PER COMPACT, g                                    | 2.432                            |              |                            | 3.175                             |              |                            |
| • CLADDING DENSITY, kg/m <sup>3</sup>                                 | 1120                             |              |                            | 1120                              |              |                            |
| • COMPOSITION OF CLADDING, 10 <sup>30</sup> atoms/m <sup>3</sup>      |                                  |              |                            |                                   |              |                            |
| H   | 4.489 x 10 <sup>-2</sup>         |              |                            | 4.489 x 10 <sup>-2</sup>          |              |                            |
| C   | 3.110 x 10 <sup>-2</sup>         |              |                            | 3.110 x 10 <sup>-2</sup>          |              |                            |
| Cl  | 0.724 x 10 <sup>-2</sup>         |              |                            | 0.724 x 10 <sup>-2</sup>          |              |                            |
| • COMPOSITION OF REFLECTOR, 10 <sup>30</sup> atoms/m <sup>3</sup>     |                                  |              |                            |                                   |              |                            |
| H   | 3.666 x 10 <sup>-2</sup>         |              |                            | 3.666 x 10 <sup>-2</sup>          |              |                            |
| C   | 3.570 x 10 <sup>-2</sup>         |              |                            | 3.570 x 10 <sup>-2</sup>          |              |                            |
| O   | 1.428 x 10 <sup>-2</sup>         |              |                            | 1.428 x 10 <sup>-2</sup>          |              |                            |
| • COMPOSITION OF FUEL COMPACTS, 10 <sup>30</sup> atoms/m <sup>3</sup> |                                  |              |                            |                                   |              |                            |
| <sup>241</sup> Am   | 1.019 x 10 <sup>-5</sup>         |              |                            | 4.843 x 10 <sup>-7</sup>          |              |                            |
| <sup>239</sup> Pu   | 2.208 x 10 <sup>-3</sup>         |              |                            | 1.953 x 10 <sup>-4</sup>          |              |                            |
| <sup>238</sup> Pu   | 1.833 x 10 <sup>-6</sup>         |              |                            | 0.0                               |              |                            |
| <sup>240</sup> Pu   | 2.931 x 10 <sup>-4</sup>         |              |                            | 1.702 x 10 <sup>-5</sup>          |              |                            |
| <sup>241</sup> Pu   | 4.934 x 10 <sup>-5</sup>         |              |                            | 1.211 x 10 <sup>-6</sup>          |              |                            |
| <sup>242</sup> Pu   | 5.636 x 10 <sup>-6</sup>         |              |                            | 8.040 x 10 <sup>-8</sup>          |              |                            |
| O   | 1.869 x 10 <sup>-2</sup>         |              |                            | 3.019 x 10 <sup>-3</sup>          |              |                            |
| <sup>238</sup> U  | 6.172 x 10 <sup>-3</sup>         |              |                            | 1.252 x 10 <sup>-3</sup>          |              |                            |
| <sup>235</sup> U  | 9.401 x 10 <sup>-6</sup>         |              |                            | 1.904 x 10 <sup>-6</sup>          |              |                            |
| H   | 2.417 x 10 <sup>-2</sup>         |              |                            | 4.485 x 10 <sup>-2</sup>          |              |                            |
| C   | 2.666 x 10 <sup>-2</sup>         |              |                            | 4.412 x 10 <sup>-2</sup>          |              |                            |
| • PuO <sub>2</sub> PARTICLE SIZE, μm                                  |                                  |              |                            |                                   |              |                            |
| 95%   | < 20                             |              |                            | < 20                              |              |                            |
| 50%   | < 8                              |              |                            | < 5                               |              |                            |
| 5%  | < 2                              |              |                            | < 0.5                             |              |                            |
| • UO <sub>2</sub> PARTICLE SIZE, μm                                   |                                  |              |                            |                                   |              |                            |
| 95%   | < 40                             |              |                            | < 40                              |              |                            |
| 50%   | < 9                              |              |                            | < 9                               |              |                            |
| 5%  | < 2                              |              |                            | < 3                               |              |                            |
| • POLYSTYRENE PARTICLE SIZE, μm                                       |                                  |              |                            |                                   |              |                            |
| 95%   | < 225                            |              |                            | < 225                             |              |                            |
| 50%   | < 150                            |              |                            | < 150                             |              |                            |
| 5%  | < 50                             |              |                            | < 50                              |              |                            |
| • URANIUM DENSITY, kg/m <sup>3</sup>                                  | 2438 ± 23                        |              |                            | 495 ± 5                           |              |                            |
| PLUTONIUM DENSITY, kg/m <sup>3</sup>                                  | 1012 ± 10                        |              |                            | 85 ± 1                            |              |                            |
| • FUEL COMPACT DENSITY, kg/m <sup>3</sup>                             | 4520 ± 43                        |              |                            | 1615 ± 17                         |              |                            |
| • DIMENSIONS OF FUEL COMPACTS, mm                                     |                                  |              |                            |                                   |              |                            |
|   | <u>LENGTH</u>                    | <u>WIDTH</u> | <u>THICKNESSES</u>         | <u>LENGTH</u>                     | <u>WIDTH</u> | <u>THICKNESSES</u>         |
| UNCLAD COMPACTS   | 50.90 ± 0.05                     | 50.83 ± 0.26 | 50.90 ± 0.05; 13.39 ± 0.26 | 50.90 ± 0.05                      | 50.95 ± 0.21 | 50.90 ± 0.05; 13.84 ± 0.39 |
| CLAD COMPACTS   | 51.14 ± 0.09                     | 51.70 ± 0.26 | 51.14 ± 0.06; 13.63 ± 0.26 | 51.21 ± 0.05                      | 51.42 ± 0.21 | 51.21 ± 0.05; 14.15 ± 0.39 |
| CLAD COMPACTS + VOIDS   | 51.18 ± 0.15                     | 51.74 ± 0.30 | 51.18 ± 0.15; 13.67 ± 0.26 | 51.30 ± 0.10                      | 51.90 ± 0.25 | 51.30 ± 0.10; 14.85 ± 0.75 |

Table 2 Composition of Neutron Poison Plates

| ELEMENT (a)      | BORAL CORE (b)<br>(2530 kg/m <sup>3</sup> ) |  |  |  | STEEL                                      |   |  |   |
|------------------|---|--|--|--|--|---|--|---|
|                  | WT%   | ALUMINUM<br>(2692 kg/m <sup>3</sup> )<br>WT% | NO BORON<br>(7930 kg/m <sup>3</sup> )<br>WT% | 1.1% B<br>(7900 kg/m <sup>3</sup> )<br>WT% | 1.6% B<br>(7770 kg/m <sup>3</sup> )<br>WT% | LEAD<br>(11340 kg/m <sup>3</sup> )<br>WT% | URANIUM<br>(18700 kg/m <sup>3</sup> )<br>WT% | CADMIUM<br>(8650 kg/m <sup>3</sup> )<br>WT% |
| B                | 27.40                                       | --   | --   | 1.05 ± 0.08                                | 1.62 ± 0.10                                | --  | --   | --  |
| Cd               | --  | --   | --   | --   | --   | --  | --   | 99.40 ± 0.5                                 |
| C                | 7.61  | --   | --   | --   | --   | --  | 0.009  | --  |
| Al               | 63.68                                       | 97.98  | --   | --   | --   | --  | 0.003  | --  |
| Cu               | 0.09  | 0.14   | --   | --   | --   | <0.01                                     | 0.001  | --  |
| Zn               | 0.16  | 0.25   | --   | --   | --   | --  | --   | --  |
| Fe               | 0.45  | 0.70   | 74.0   | 73.22                                      | 72.80                                      | <0.03                                     | 0.003  | --  |
| Cr               | 0.10  | 0.15   | 18.0   | 17.81                                      | 17.71                                      | --  | 0.001  | --  |
| Ni               | --  | --   | 8.0  | 7.92                                       | 7.87                                       | --  | 0.002  | --  |
| Mn               | 0.10  | 0.15   | --   | --   | --   | --  | 0.001  | --  |
| Mg               | 0.05  | 0.08   | --   | --   | --   | --  | --   | --  |
| Ti               | 0.10  | 0.15   | --   | --   | --   | --  | --   | --  |
| Ca               | --  | --   | --   | --   | --   | --  | 0.001  | --  |
| Li               | 0.26  | 0.40   | --   | --   | --   | --  | 0.005  | --  |
| Pb               | --  | --   | --   | --   | --   | 99.30 ± 0.5                               | 0.001  | --  |
| Bi               | --  | --   | --   | --   | --   | 0.01                                      | --   | --  |
| <sup>238</sup> U | --  | --   | --   | --   | --   | --  | 99.776                                       | --  |
| <sup>236</sup> U | --  | --   | --   | --   | --   | --  | 0.002  | --  |
| <sup>235</sup> U | --  | --   | --   | --   | --   | --  | 0.194  | --  |
| <sup>234</sup> U | --  | --   | --   | --   | --   | --  | 0.001  | --  |

(a) ALL ELEMENTS ARE NATURAL EXCEPT URANIUM WHICH HAS THE INDICATED NUCLIDE DISTRIBUTIONS

(b) DOES NOT INCLUDE 1.02 mm THICK ALUMINUM CLADDING ON EITHER SIDE OF CORE MATERIAL

Table 3 Experimentally Determined Critical Heights for 3.06H : (Pu+U) Fuel Systems

| Serial NO. | NEUTRON POISON PLATE         |                     |                  |                      |                             |                               |                              |                   |      |          | TOTAL LAYERS OF FUEL (g) (50.9 mm) | RSTM EXPERIMENT NUMBER | CALCULATED $k_{eff}$ (e) |
|------------|------------------------------|---------------------|------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------|------|----------|------------------------------------|------------------------|--------------------------|
|            | LAYERS OF FUEL (g) (50.9 mm) | TYPE                | PLATE MASS (log) | PLATE THICKNESS (mm) | PLATE + VOID THICKNESS (mm) | LAYERS OF FUEL (g) (13.84 mm) | LAYERS OF FUEL (g) (50.9 mm) |                   |      |          |                                    |                        |                          |
| 0 0 1      | 3                            | NONE                | 0                | 0                    | -                           | 1                             | 3.578                        | 4.921 ± 0.006 (f) | 0.97 | 150, 153 | 0.997 ± 0.005                      |                        |                          |
| 0 0 2      | 3                            | STEEL (g)           | 3.902 ± 0.010    | 3.10 ± 0.05          | 3.5 ± 0.5                   | 2                             | 0.781                        | 5.201 ± 0.002     | 085  |          |                                    |                        |                          |
| 0 0 3      | 3                            | STEEL (g)           | 7.804 ± 0.014    | 6.20 ± 0.07          | 6.9 ± 0.8                   | 2                             | 1.655                        | 5.426 ± 0.002     | 086  |          |                                    |                        |                          |
| 0 0 4      | 3                            | STEEL (g)           | 19.510 ± 0.022   | 15.50 ± 0.11         | 15.9 ± 0.5                  | 2                             | 3.667                        | 5.944 ± 0.505     | 090  |          |                                    |                        |                          |
| 0 0 5      | 3                            | STEEL (g)           | 31.216 ± 0.028   | 24.80 ± 0.14         | 25.2 ± 0.5                  | 3                             | 1.317                        | 6.339 ± 0.003     | 087  |          | 1.020 ± 0.006                      |                        |                          |
| 0 0 6      | 3                            | STEEL (g)           | 46.824 ± 0.034   | 37.20 ± 0.17         | 38.0 ± 1.0                  | 3                             | 2.770                        | 6.713 ± 0.003     | 089  |          |                                    |                        |                          |
| 0 0 7      | 3                            | STEEL (g)           | 62.032 ± 0.040   | 49.60 ± 0.19         | 51.2 ± 0.8                  | 4                             | 0.012                        | 7.003 ± 0.004     | 088  |          |                                    |                        |                          |
| 0 0 8      | 3                            | 1.1 Wt% B-STEEL (g) | 3.908 ± 0.028    | 2.98 ± 0.06          | 3.8 ± 0.9                   | 3                             | 1.251                        | 6.322 ± 0.004     | 084  |          |                                    |                        |                          |
| 0 0 9      | 3                            | 1.1 Wt% B-STEEL (g) | 7.816 ± 0.040    | 5.95 ± 0.08          | 7.0 ± 0.8                   | 3                             | 2.937                        | 6.756 ± 0.006     | 081  |          |                                    |                        |                          |
| 0 1 0      | 3                            | 1.1 Wt% B-STEEL (g) | 15.632 ± 0.056   | 11.91 ± 0.11         | 13.2 ± 0.7                  | 4                             | 0.866                        | 7.223 ± 0.006     | 082  |          |                                    |                        |                          |
| 0 1 1      | 3                            | 1.1 Wt% B-STEEL (g) | 23.448 ± 0.069   | 17.86 ± 0.14         | 18.9 ± 0.6                  | 4                             | 1.663                        | 7.428 ± 0.002     | 083  |          |                                    |                        |                          |
| 0 1 2      | 3                            | 1.1 Wt% B-STEEL (g) | 42.988 ± 0.094   | 32.75 ± 0.18         | 35.1 ± 0.5                  | 4                             | 2.813                        | 7.724 ± 0.006     | 095  |          | 1.023 ± 0.005                      |                        |                          |
| 0 1 3      | 3                            | 1.6 Wt% B-STEEL (g) | 3.834 ± 0.008    | 2.98 ± 0.05          | 3.4 ± 0.5                   | 3                             | 2.074                        | 6.534 ± 0.004     | 093  |          |                                    |                        |                          |
| 0 1 4      | 3                            | 1.6 Wt% B-STEEL (g) | 3.834 ± 0.008    | 2.98 ± 0.05          | 3.4 ± 0.5                   | 3                             | 2.024                        | 6.521 ± 0.005 (h) | 094  |          |                                    |                        |                          |
| 0 1 5      | 3                            | 1.6 Wt% B-STEEL (g) | 15.336 ± 0.017   | 11.94 ± 0.11         | 12.8 ± 1.0                  | 4                             | 1.336                        | 7.344 ± 0.003     | 091  |          |                                    |                        |                          |
| 0 1 6      | 3                            | 1.6 Wt% B-STEEL (g) | 30.672 ± 0.024   | 23.87 ± 0.15         | 25.6 ± 1.9                  | 4                             | 2.661                        | 7.685 ± 0.005     | 092  |          | 1.013 ± 0.005                      |                        |                          |
| 0 1 7      | 3                            | URANIUM (f)         | 20.165 ± 0.021   | 6.58 ± 0.13          | 6.7 ± 0.2                   | 2                             | 1.445                        | 5.372 ± 0.002     | 163  |          |                                    |                        |                          |
| 0 1 8      | 3                            | URANIUM (f)         | 61.370 ± 0.030   | 19.53 ± 0.18         | 20.2 ± 0.5                  | 2                             | 3.586                        | 5.923 ± 0.002     | 164  |          | 0.994 ± 0.005                      |                        |                          |
| 0 1 9      | 3                            | URANIUM (f)         | 147.195 ± 0.042  | 45.05 ± 0.24         | 46.5 ± 0.7                  | 3                             | 2.762                        | 6.711 ± 0.003     | 165  |          | 0.990 ± 0.007                      |                        |                          |
| 0 2 0      | 3                            | URANIUM (f)         | 182.370 ± 0.047  | 57.99 ± 0.30         | 60.1 ± 1.5                  | 4                             | 0.109                        | 7.028 ± 0.004     | 166  |          |                                    |                        |                          |
| 0 2 1      | 3                            | BORAL (j)           | 1.552 ± 0.002    | 3.68 ± 0.06          | 4.2 ± 0.6                   | 4                             | 0.967                        | 7.249 ± 0.005     | 151  |          |                                    |                        |                          |
| 0 2 2      | 3                            | BORAL (j)           | 3.142 ± 0.002    | 7.52 ± 0.08          | 8.2 ± 0.7                   | 4                             | 2.479                        | 7.638 ± 0.005     | 152  |          |                                    |                        |                          |
| 0 2 3      | 3                            | BORAL (j)           | 7.840 ± 0.002    | 18.71 ± 0.12         | 19.5 ± 0.8                  | 5                             | 0.047                        | 8.012 ± 0.006     | 155  |          |                                    |                        |                          |
| 0 2 4      | 3                            | BORAL (j)           | 10.907 ± 0.002   | 25.98 ± 0.15         | 26.8 ± 0.8                  | 5                             | 0.548                        | 8.141 ± 0.006     | 157  |          |                                    |                        |                          |
| 0 2 5      | 3                            | BORAL (j)           | 15.393 ± 0.002   | 36.60 ± 0.18         | 38.2 ± 0.8                  | 5                             | 3.885                        | 8.246 ± 0.006     | 156  |          | 1.021 ± 0.005                      |                        |                          |
| 0 2 6      | 3                            | CADMIUM             | 1.441 ± 0.001    | 1.058 ± 0.005        | 1.28 ± 0.2                  | 3                             | 1.736                        | 6.447 ± 0.004     | 096  |          |                                    |                        |                          |
| 0 2 7      | 3                            | CADMIUM             | 2.847 ± 0.001    | 2.079 ± 0.005        | 2.30 ± 0.2                  | 3                             | 2.350                        | 6.605 ± 0.005     | 154  |          |                                    |                        |                          |
| 0 2 8      | 3                            | LEAD                | 12.231 ± 0.021   | 6.44 ± 0.03          | 6.5 ± 0.1                   | 2                             | 0.190                        | 5.049 ± 0.002     | 158  |          |                                    |                        |                          |
| 0 2 9      | 3                            | LEAD                | 30.496 ± 0.030   | 16.02 ± 0.02         | 16.1 ± 0.1                  | 2                             | 0.921                        | 5.237 ± 0.002     | 162  |          | 1.019 ± 0.005                      |                        |                          |
| 0 3 0      | 3                            | LEAD                | 61.386 ± 0.036   | 32.00 ± 0.02         | 32.8 ± 0.5                  | 2                             | 1.989                        | 5.512 ± 0.003     | 160  |          |                                    |                        |                          |
| 0 3 1      | 3                            | LEAD                | 86.136 ± 0.042   | 44.86 ± 0.02         | 45.7 ± 0.8                  | 2                             | 2.984                        | 5.768 ± 0.003     | 159  |          |                                    |                        |                          |
| 0 3 2      | 3                            | LEAD                | 110.896 ± 0.047  | 57.71 ± 0.03         | 58.0 ± 0.3                  | 3                             | 0.062                        | 6.016 ± 0.002     | 161  |          |                                    |                        |                          |

(a) LAYERS OF 50.9 mm THICK FUEL BELOW NEUTRON POISON PLATE  
 (b) INCLUDES THE 0.09 mm VOID PRESENT BETWEEN LAYERS OF FUEL  
 (c) LAYERS OF 50.9 mm AND 13.84 mm THICK FUEL ABOVE NEUTRON POISON PLATE  
 (d) TOTAL LAYERS OF FUEL COMPACTS EXPRESSED AS EQUIVALENT 50.9 mm THICK COMPACTS.  
 MULTIPLY BY 0.9608 TO CORRECT FOR STACKING VOIDS AND CLADDING  
 (e) KENO CALCULATIONS USING 18 GROUP EGGNIT AVERAGED CROSS SECTIONS FROM FLANGE-ETOG PROCESSED ENDFB-3 DATA. ONE SIGMA LIMITS ON THE MONTE CARLO CALCULATION  
 (f) AVERAGE OF THREE MEASUREMENTS, 4.928, 4.916 AND 4.918, PERFORMED DURING COURSE OF EXPERIMENTS  
 (g) TYPE 304L STEEL  
 (h) REPEAT OF RSTM EXPERIMENT NO. 093 WITH DIFFERENT NEUTRON POISON PLATES  
 (i) URANIUM DEPLETED TO 0.194 ± 0.002 Wt% <sup>235</sup>U  
 (j) IN DESCENDING ORDER, POISON REGION CONSISTS OF 1, 2, 5, 7 AND 10 BORAL PLATES EACH CLAD IN 1.02 mm THICK ALUMINIUM

Table 4 Experimentally Determined Critical Heights for 2.8H: (Pu+U) Fuel with 3 0.6H: (Pu+U) Fuel Systems

| SERIAL NO. | LAYERS OF 2.8H:Pu+U FUEL (a) | NEUTRON POISON PLATE |                 |                      | LAYERS OF FUEL (c)              |                         |                           | TOTAL LAYERS OF FUEL (d) | CALCULATED $k_{eff}$ (e) | RSTM EXP. NO. |
|------------|------------------------------|----------------------|-----------------|----------------------|---------------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------|
|            |                              | TYPE                 | PLATE MASS (kg) | PLATE THICKNESS (mm) | PLATE + VOID THICKNESS (b) (mm) | 2.8H:Pu+U FUEL (50.9mm) | 30.6H:Pu+U FUEL (13.84mm) |                          |                          |               |
| 0 3 3      | 2                            | NONE                 | 0               | 0                    | --                              | 2                       | 2                         | 6.060 ± 0.003            | 1.026 ± 0.007            | 025           |
| 0 3 4      | 2                            | STEEL (f)            | 19.510 ± 0.022  | 15.50 ± 0.11         | 16.4 ± 0.5                      | 2                       | 2                         | 6.337 ± 0.003            | 1.010 ± 0.005            | 032           |
| 0 3 5      | 2                            | STEEL (f)            | 42.922 ± 0.033  | 34.11 ± 0.16         | 34.8 ± 0.3                      | 2                       | 2                         | 6.590 ± 0.003            |                          | 031           |
| 0 3 6      | 2                            | 1.1 WT % B-STEEL (f) | 3.908 ± 0.028   | 2.98 ± 0.06          | 3.1 ± 0.3                       | 2                       | 2                         | 6.256 ± 0.003            |                          | 030           |
| 0 3 7      | 2                            | 1.1 WT % B-STEEL (f) | 19.540 ± 0.063  | 14.88 ± 0.12         | 15.8 ± 1.0                      | 2                       | 2                         | 6.709 ± 0.003            |                          | 029           |
| 0 3 8      | 2                            | 1.1 WT % B-STEEL (f) | 42.988 ± 0.094  | 32.75 ± 0.18         | 34.7 ± 1.5                      | 2                       | 2                         | 7.021 ± 0.003            | 1.023 ± 0.006            | 028           |
| 0 3 9      | 2                            | 1.6 WT % B-STEEL (f) | 3.834 ± 0.008   | 2.98 ± 0.05          | 3.2 ± 0.3                       | 2                       | 2                         | 6.302 ± 0.003            |                          | 026           |
| 0 4 0      | 2                            | 1.6 WT % B-STEEL (f) | 30.672 ± 0.024  | 23.87 ± 0.15         | 25.2 ± 1.2                      | 2                       | 2                         | 6.961 ± 0.003            | 1.016 ± 0.005            | 027           |
| 0 4 1      | 2                            | URANIUM (g)          | 20.165 ± 0.021  | 6.58 ± 0.13          | 7.1 ± 0.7                       | 2                       | 2                         | 6.196 ± 0.003            |                          | 022           |
| 0 4 2      | 2                            | URANIUM (g)          | 61.370 ± 0.030  | 19.53 ± 0.18         | 20.1 ± 0.7                      | 2                       | 2                         | 6.379 ± 0.003            | 1.005 ± 0.005            | 023           |
| 0 4 3      | 2                            | URANIUM (g)          | 182.370 ± 0.047 | 57.99 ± 0.30         | 59.8 ± 0.7                      | 2                       | 2                         | 6.850 ± 0.003            |                          | 024           |
| 0 4 4      | 2                            | BORAL (h)            | 1.552 ± 0.002   | 3.68 ± 0.06          | 3.9 ± 0.3                       | 2                       | 2                         | 6.592 ± 0.003            |                          | 036           |
| 0 4 5      | 2                            | BORAL (h)            | 4.747 ± 0.002   | 11.38 ± 0.10         | 11.7 ± 0.4                      | 2                       | 2                         | 7.006 ± 0.004            |                          | 037           |
| 0 4 6      | 2                            | BORAL (h)            | 15.393 ± 0.002  | 36.60 ± 0.18         | 39.2 ± 1.9                      | 2                       | 3                         | 7.430 ± 0.004            | 1.010 ± 0.006            | 035           |
| 0 4 7      | 2                            | CADMIUM              | 2.847 ± 0.001   | 2.079 ± 0.005        | 2.30 ± 0.21                     | 2                       | 2                         | 6.270 ± 0.003            |                          | 040           |
| 0 4 8      | 2                            | LEAD                 | 18.265 ± 0.021  | 9.58 ± 0.03          | 10.9 ± 1.4                      | 2                       | 2                         | 6.185 ± 0.003            |                          | 034           |
| 0 4 9      | 2                            | LEAD                 | 49.265 ± 0.030  | 25.55 ± 0.04         | 26.3 ± 0.8                      | 2                       | 2                         | 6.359 ± 0.003            | 1.013 ± 0.006            | 039           |
| 0 5 0      | 2                            | LEAD                 | 79.761 ± 0.042  | 41.58 ± 0.06         | 43.2 ± 1.4                      | 2                       | 2                         | 6.482 ± 0.003            |                          | 033           |
| 0 5 1      | 2                            | ALUMINIUM            | 11.910 ± 0.056  | 26.78 ± 0.06         | 27.1 ± 0.4                      | 2                       | 2                         | 6.417 ± 0.003            | 1.009 ± 0.005            | 038           |

- (a) LAYERS OF 50.9 mm THICK FUEL BELOW POISON PLATE
- (b) INCLUDES 0.04 mm VOID PRESENT BETWEEN LAYERS OF FUEL
- (c) LAYERS AND TYPE OF 50.9 mm AND 13.84 mm FUEL ABOVE POISON PLATE
- (d) TOTAL LAYERS OF FUEL COMPACTS EXPRESSED AS EQUIVALENT 50.9 mm THICK COMPACTS. BOTTOM FOUR LAYERS ARE 2.8 H: Pu + U FUEL.
- (e) KENO CALCULATIONS USING 18 GROUP EGGNIT AVERAGED CROSS SECTIONS FROM FLANGE-ETOG PROCESSED ENDF/B-3 DATA. ONE SIGMA LIMITS ON THE MONTE CARLO CALCULATION
- (f) TYPE 304 L STEEL
- (g) URANIUM DEPLETED TO 0.194 ± 0.002 WT % <sup>235</sup>U
- (h) IN DESCENDING ORDER, POISON REGION CONSISTS OF 1,3 AND 10 BORAL PLATES EACH CLAD IN 1.02 mm THICK ALUMINIUM

### 3. 計算手法と計算モデル

#### 3.1 計算手法

臨界計算はモンテカルロ法による計算コードKENO-N<sup>3)</sup>により行なう。モンテカルロ法は、階差近似法やSn法とは異なり、複雑な3次元幾何形状を正確に扱える利点をもっている。KENO-Nは多群定数を用いるモンテカルロ計算コードでありHansen-Roach 16群核断面積データセット<sup>4)</sup>を使用している。今回の計算には、原研で開発整備中の多群定数ライブラリMGCL<sup>2)</sup>を用いた。MGCLはENDF/B-IV<sup>5)</sup>の中性子核データを、RESEND-D<sup>6)</sup>、SUPERTOG<sup>7)</sup>、PIXSE<sup>8)</sup>等で処理して作成した多群定数であり、マスターライブラリは137群である。MGCLの多群定数はABB<sup>9)</sup>セットやJAERI-FAST-SET<sup>10)</sup>と同様な表現方式の中性子遮蔽因子 $f(\sigma_0^j, T)$ と無限希釈断面積 $\sigma_0^j$ で与えられている。また、標準スペクトルも内蔵しており、このスペクトルを用いて他の任意の群数を持つ群定数へ縮約することも可能である。ただし、この標準スペクトルは核分裂スペクトル、 $1/E$ 、およびマックスウエル分布を用いて作成されたものである。

今回の計算は、基本的には上記マスターライブラリから標準スペクトルで縮約した26群の多群定数を用いた。137群と26群のエネルギー構造をTable 5に示す。

このMGCLを用いて処理コードMAILによりKENO-N用の巨視的実効断面積セットが作成される。MAILでは、計算対象の各領域の核種個数密度と幾何形状を入力データとして下記の式を用いて巨視的実効断面積 $\Sigma_{eff}$ を求めている。計算の流れをFig. 2に示す。

$$\begin{aligned}\sigma_{eff} &= \sigma_{\infty}^j \cdot f(\sigma_0^j, T) \\ \sigma_0^j &= \frac{1}{N_j} \left( \sum_{i \neq j} N_i \sigma_t^i + \frac{aG}{\ell} \right) \\ \Sigma_{eff} &= \sum_j N_j \sigma_{eff}^j\end{aligned}$$

ここで  $\ell$  : 燃料ブロックの平均弦長

$G$  : ダンコフ補正因子

$a$  : ベル補正因子

$i, j$  : 核種を示す添字

MGCLの中の散乱マトリックスは高速群についてはSUPERTOGで、熱群についてはFLANGE<sup>11)</sup>またはPIXSEで求められており、中性子散乱の角度依存性は散乱断面積をLegendre展開したときの $P_0$ 成分まで考慮されている。MAILコードでは、上記の巨視的断面積の1次元データと散乱マトリックス・データをKENO-N用ライブラリに編集している。KENO-Nの中では方向余弦を散乱断面積の $P_0$ 成分と $P_1$ 成分から求めている。

以上述べたごとく、我々の手法ではKENO-N用のデータ・セットは各計算ケースごとに作成する必要がある。オリジナルのKENO-N計算では、KENO-N用のデータ・セット(例えばHansen-Roach断面積セット)は各計算ケース共通に使い、各元素のID番号と個数密度を入力し、計算コード内で巨視的断面積を作成する。ただし、中性子の自己遮蔽効果はポテンシャル断面積で取り入れるため、使用者は前もってポテンシャル断面積



を計算し、このポテンシャル断面積に対応する微視的断面積を選択して使用することが必要となる。ただし、非均質効果の計算はコード内では行なわれないので、非均質効果を考慮する必要がある場合には、あらかじめ計算し、ポテンシャル断面積に取り入れるようにしなければならない。

今回の我々の計算では、前に述べたように非均質効果はMAILコードの処理の段階で考慮されており、また、バックグラウンド断面積 $\sigma_0$ についてはコードの中で繰返し法により計算され、対応する実効断面積は内挿法で求められる。

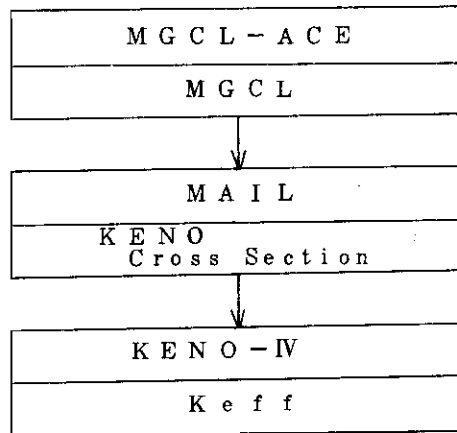


Fig. 2 Flow diagram for KENO calculation

### 3.2 計算モデル

KENO-Mコード用入力幾何形状モデルをFig. 3に示す。ただし、各ケースに共通した形状寸法のみを示す。次に、入力データ作成にあたり考慮した事項を掲げる。

- (1) 体系は燃料コンパクト、中性子吸収板およびプレキシグラス反射体の3要素だけから構成されるとする。即ち、燃料、中性子吸収材およびプレキシグラス反射体の境界面などに存在する空気層ボイドは無しとする。厚さ約0.012 cmの燃料クラッド用テープも省略している。
- (2) クラッドとボイドを省略したことによる反応度効果は、予め各種燃料に対して実験的に求められた補正係数を使用することで考慮する。すなわち3.0.6型燃料領域は、その量を3.92%だけ減少させることによってPuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub>-ポリスチレン成分だけから成ると表現する。2.8燃料に対してはこの補正をしなくてもよいことがわかっている。
- (3) プレキシグラス反射体の厚さは1.5 cm一律とし、その外側は真空とする。\*  
また、反射体中の水素は、水分子として酸素と化学結合しているものと仮定する。
- (4) 燃料を積上げて体系が臨界に近づくと、高さ1.38 cmの薄い平板型の臨界制御用燃料が8×8配列状に並べられたが、臨界到達時には8×8正方配列に並べ終ることはなく、Fig. 1に示すような段差が生ずることとなった。入力モデルとしては、Fig. 1の破線に示すように、体積が等しくなるよう最上面燃料を8×8正方に平坦化し、全体が直方体となるように単純化した計算モデルを採用した。

\* 文献では最低1.5 cmと云う記述があるので、こう仮定した。

Table 5 Energy Group Structure in MGCL 137 and MGCL 26

| Group NO. |       | Upper Energy Boundary | Lethergy width $\Delta U$ | Group NO. |       | Upper Energy Boundary | Lethergy width $\Delta U$ |
|-----------|-------|-----------------------|---------------------------|-----------|-------|-----------------------|---------------------------|
| 24.7e     | 137e  |                       |                           | 24.7e     | 137e  |                       |                           |
| 1         | 1     | 16.487 Mev            | 0.125                     | 4         | 38    | 161.63 Kev            | 0.125                     |
|           | 2     | 14550                 | 0.125                     |           | 39    | 14264                 | 0.125                     |
|           | 3     | 12840                 | 0.125                     |           | 40    | 12588                 | 0.125                     |
|           | 4     | 11331                 | 0.125                     |           | 41    | 11109                 | 0.125                     |
|           | 5     | 10000                 | 0.125                     |           | 42    | 98037                 | 0.125                     |
|           | 6     | 8825                  | 0.125                     |           | 43    | 86517                 | 0.125                     |
|           | 7     | 7788                  | 0.125                     |           | 44    | 76351                 | 0.125                     |
|           | 8     | 68729                 | 0.125                     |           | 45    | 67379                 | 0.125                     |
|           | 9     | 60653                 | 0.125                     |           | 46    | 59462                 | 0.125                     |
|           | 10    | 53526                 | 0.125                     |           | 5     | 47                    | 52475                     |
| 2         | 11    | 47237                 | 0.125                     | 48        |       | 46309                 | 0.125                     |
|           | 12    | 41686                 | 0.125                     | 49        |       | 40868                 | 0.125                     |
|           | 13    | 36788                 | 0.125                     | 50        |       | 36066                 | 0.125                     |
|           | 14    | 32465                 | 0.125                     | 51        |       | 31828                 | 0.125                     |
|           | 15    | 28650                 | 0.125                     | 52        |       | 28088                 | 0.125                     |
|           | 16    | 25284                 | 0.125                     | 53        |       | 24788                 | 0.125                     |
|           | 17    | 22313                 | 0.125                     | 54        |       | 21875                 | 0.125                     |
|           | 18    | 19691                 | 0.125                     | 55        | 19305 | 0.125                 |                           |
|           | 19    | 17377                 | 0.125                     | 56        | 17036 | 0.125                 |                           |
|           | 20    | 15335                 | 0.125                     | 6         | 57    | 15034                 | 0.25                      |
|           | 21    | 13533                 | 0.125                     |           | 58    | 11709                 | 0.25                      |
|           | 22    | 11943                 | 0.125                     |           | 59    | 91188                 | 0.25                      |
| 23        | 10540 | 0.125                 | 60                        |           | 71017 | 0.25                  |                           |
| 3         | 24    | 930.14 Kev            | 0.125                     | 7         | 61    | 55308                 | 0.25                      |
|           | 25    | 82085                 | 0.125                     |           | 62    | 43075                 | 0.25                      |
|           | 26    | 72440                 | 0.125                     |           | 63    | 33546                 | 0.25                      |
|           | 27    | 63928                 | 0.125                     |           | 64    | 26126                 | 0.25                      |
|           | 28    | 56416                 | 0.125                     |           | 65    | 20347                 | 0.25                      |
|           | 29    | 49787                 | 0.125                     |           | 66    | 15846                 | 0.25                      |
|           | 30    | 43937                 | 0.125                     |           | 67    | 12311                 | 0.25                      |
|           | 31    | 38774                 | 0.125                     |           | 68    | 961.12 ev             | 0.25                      |
|           | 32    | 34218                 | 0.125                     |           | 69    | 748.52                | 0.25                      |
|           | 33    | 30197                 | 0.125                     |           | 8     | 70                    | 58295                     |
|           | 34    | 26649                 | 0.125                     | 71        |       | 45400                 | 0.25                      |
|           | 35    | 23518                 | 0.125                     | 72        |       | 35358                 | 0.25                      |
|           | 36    | 20754                 | 0.125                     | 73        |       | 27536                 | 0.25                      |
|           | 4     | 37                    | 18316                     | 0.125     |       | 74                    | 21445                     |

Table 5 Energy Group Structure in MGCL 137 and MGCL 26 (continued)

| Group NO.          | Upper Energy Boundary | Energy width $\Delta U$ |
|--------------------|-----------------------|-------------------------|
| <del>26</del><br>8 | <del>137</del><br>75  | 167.02 ev               |
| 9                  | 76                    | 130.07                  |
|                    | 77                    | 101.30                  |
|                    | 78                    | 78.893                  |
|                    | 79                    | 61.442                  |
|                    | 80                    | 47.851                  |
|                    | 81                    | 37.267                  |
| 10                 | 82                    | 29.023                  |
|                    | 83                    | 22.603                  |
|                    | 84                    | 17.603                  |
|                    | 85                    | 13.710                  |
|                    | 86                    | 10.677                  |
|                    | 87                    | 8.3153                  |
| 11                 | 88                    | 6.4760                  |
|                    | 89                    | 5.0435                  |
|                    | 90                    | 3.9279                  |
|                    | 91                    | 3.0590                  |
|                    | 92                    | 2.3824                  |
| 12                 | 93                    | 1.8554                  |
|                    | 94                    | 1.6374                  |
|                    | 95                    | 1.4450                  |
| 13                 | 96                    | 1.2752                  |
|                    | 97                    | 1.1254                  |
|                    | 98                    | 0.99312                 |
| 14                 | 99                    | 0.87642                 |
|                    | 100                   | 0.77344                 |
| 15                 | 101                   | 0.68256                 |
|                    | 102                   | 0.60236                 |
|                    | 103                   | 0.53158                 |
|                    | 104                   | 0.46912                 |
| 16                 | 105                   | 0.41399                 |
|                    | 106                   | 0.38925                 |
|                    | 107                   | 0.36523                 |
| 17                 | 108                   | 0.34206                 |
|                    | 109                   | 0.31961                 |

| Group NO.           | Upper Energy Boundary | Energy width $\Delta U$ |
|---------------------|-----------------------|-------------------------|
| <del>26</del><br>17 | <del>137</del><br>110 | 0.29792 ev              |
| 18                  | 111                   | 0.27699                 |
|                     | 112                   | 0.25683                 |
|                     | 113                   | 0.23742                 |
| 19                  | 114                   | 0.21871                 |
|                     | 115                   | 0.20090                 |
|                     | 116                   | 0.18378                 |
| 20                  | 117                   | 0.16743                 |
|                     | 118                   | 0.15183                 |
|                     | 119                   | 0.13700                 |
| 21                  | 120                   | 0.12293                 |
|                     | 121                   | 0.10962                 |
|                     | 122                   | 0.09708                 |
| 22                  | 123                   | 0.085295                |
|                     | 124                   | 0.074274                |
|                     | 125                   | 0.064015                |
| 23                  | 126                   | 0.054518                |
|                     | 127                   | 0.045783                |
|                     | 128                   | 0.037811                |
| 24                  | 129                   | 0.030600                |
|                     | 130                   | 0.024152                |
|                     | 131                   | 0.018465                |
| 25                  | 132                   | 0.013541                |
|                     | 133                   | 0.009379                |
|                     | 134                   | 0.005979                |
| 26                  | 135                   | 0.003341                |
|                     | 136                   | 0.001466                |
|                     | 137                   | 0.000352                |
|                     |                       | 0.000033                |

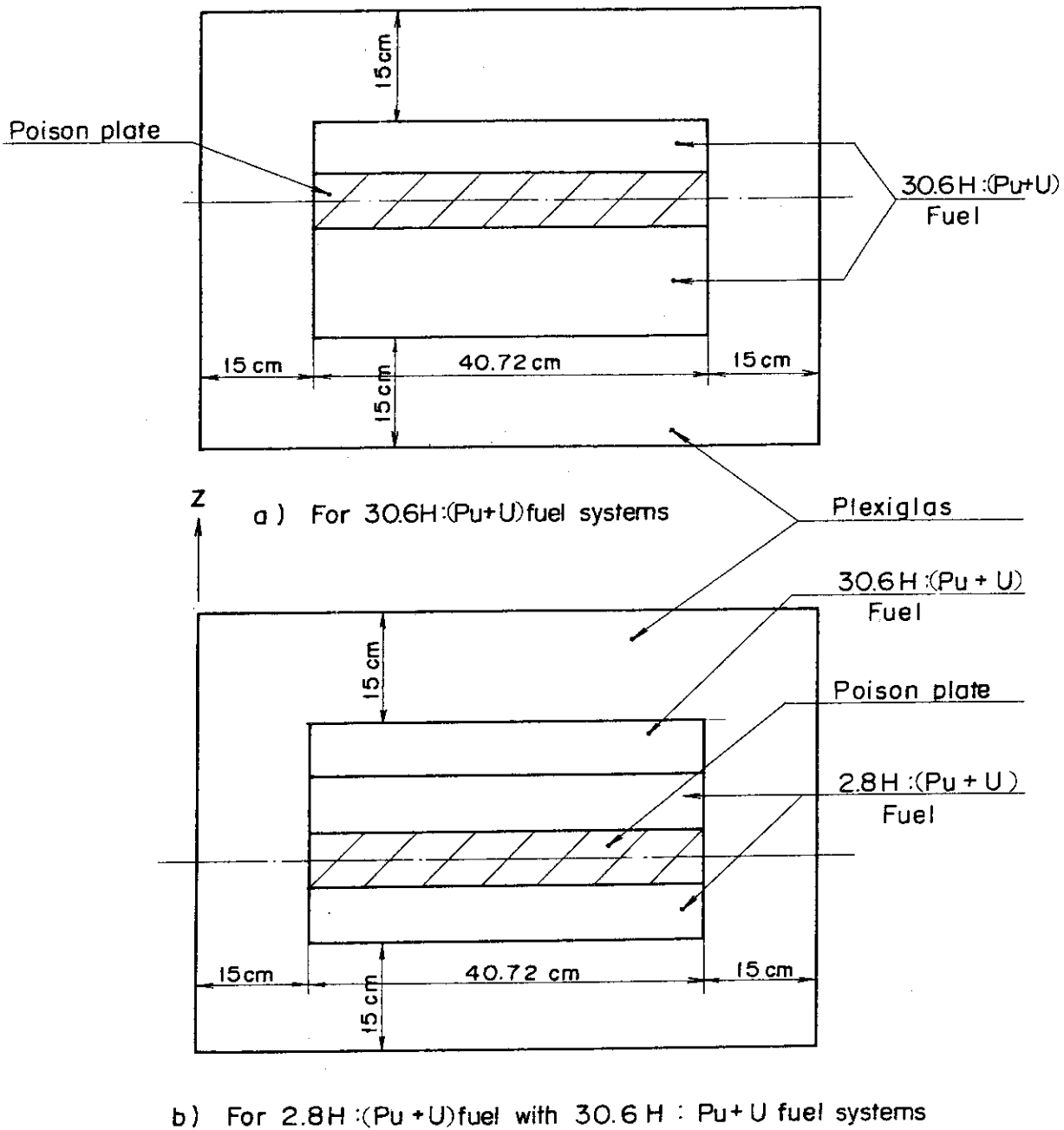


Fig. 3 Calculational model common for each case as the heights of fuel and absorber depend on the each system. They are not described in this figure.

## 4. 計算結果及び考察

MGCL2 6群核断面積セットとKENO-Vコードを組合せて計算を実施した時の条件は次に示すとおりである。

|            |     |
|------------|-----|
| エネルギー群数    | 26  |
| 一世代当りの中性子数 | 300 |
| 計算世代数      | 103 |
| スキップ世代数    | 3   |
| 初期中性子発生分布  | 平坦  |
| 中性子平均重み    | 0.5 |

### 4.1 30.6型燃料による体系

この体系の実験データは、Table 3に示すように32ケースあるが、各ケースについての計算結果をTable 6に示す。また、計算した $k_{eff}$ のヒストグラムをFig. 4の下段に示す。これから、30.6燃料だけを用いた臨界体系の $k_{eff}$ 計算値は1.008から1.028の間に分布し、その平均は1.017となることが判る。Fig. 5は各計算ケースの $k_{eff} \pm \sigma$ を、平均値 $\bar{k}_{eff}$ の線と標準偏差の平均値 $\bar{\sigma}$ の2倍を用いて引いた $k_{eff} \pm 2\bar{\sigma}$ の境界線と共に示したものであり、これから1ケースを除くすべてのケースの $k_{eff}$ は $\bar{k}_{eff} \pm 2\bar{\sigma}$ の範囲に入っていることがわかる。従って中性子吸収板の有無や種類、組成および厚さが異なっても、 $k_{eff}$ 計算値に著しい違いは現われていないことが明らかである。

### 4.2 30.6型燃料と2.8型燃料の組合せによる体系

この体系の実験データ19ケースの計算結果をTable 7に示す。また、 $k_{eff}$ 計算値のヒストグラムをFig. 4の上段に示す。これから $k_{eff}$ 計算値は、1.016から1.040の間に存在し、その平均は1.026となることがわかる。この値は30.6型燃料による体系に関する実験データ32ケースの $k_{eff}$ 平均値1.017と比較して、約1%大きい値となっている。Fig. 6は各計算結果の $k_{eff} \pm \sigma$ をプロットしたものである。3本の横線は下からそれぞれ $\bar{k}_{eff} - 2\bar{\sigma}$ 、 $\bar{k}_{eff}$ 、 $\bar{k}_{eff} + 2\bar{\sigma}$ の値を示している。この図から、1ケースを除くすべてのケースの $k_{eff}$ は $\bar{k}_{eff} \pm 2\bar{\sigma}$ の範囲内に入っていることがわかる。従って、中性子吸収板の有無や、種類、組成および厚さが変わっても、それぞれの $k_{eff}$ 計算値に大きな違いは現われていないといえる。

### 4.3 実験レポート<sup>1)</sup>記載 $k_{eff}$ 計算値との比較

実験レポートには、全51ケースの実験データのうち、中性子吸収板組成が異なるごとに

1 ケースずつ選択した16 ケースについて、Table 3, 4 の右欄に示すごとく KENO-M で計算した実効増倍係数が実験データと共に記載されている。この計算には ENDF/B-3 の核データを FLANGE-II と ETOG で処理し、EGGNIT で縮約した18 群断面積データセットが使われている。コンパクトの計算モデルでは、ボイドやクラディングテープも考慮されている。吸収板領域は、吸収板およびその積み重ねによって生じるボイドとを均質化した領域としている。計算ヒストリ数はすべて45000 で、この内訳は300 の中性子数と150 の世代数となっている。この16 ケースの  $k_{eff}$  計算報告値は Table 6 と Table 7 に今回の全ケースの計算結果と共に載せてある。また、ヒストグラムを Fig. 7 の上段に示す。これから、実験者自身による  $k_{eff}$  計算値は0.990 から1.026 までの間に幅広く平坦に分布し、平均値は1.012 となる。

今回の計算、すなわち ENDF/B-4 の核データを処理した MGCL26 群断面積セットを使い、計算モデルにはボイドとクラディングテープを省略し、その代わりに補正係数を用いた場合の  $k_{eff}$  計算値全51 ケースのヒストグラムを Fig. 7 の下段に示す。この平均は1.020 で、1.008 から1.040 の間に比較的集中して分布している。これは実験レポートの平均1.012 とくらべて約0.008 大きくなっている。

Fig. 7 のヒストグラムには30.6 型燃料による体系に関する  $k_{eff}$  計算値を斜線を施して示したが、2.8 型燃料と30.6 型燃料を組合せた体系に関する  $k_{eff}$  計算値の分布より小さい値の方に片寄って分布していることがわかる。

#### 4.4 エネルギー群構造の影響

エネルギー群構造の違いによる影響を調べるため、MGCL137 群のデータセットを用いて計算した結果を Table 8 と Table 9 に示す。また、この時の  $k_{eff}$  のヒストグラムを Fig. 8 に示す。Fig. 4 と Fig. 8 から、エネルギー群数を26 群から137 群にすると、30.6 型燃料体系の  $k_{eff}$  計算値の平均は約0.6% 上昇し、2.8 型燃料と30.6 型燃料を組合せた体系の  $k_{eff}$  計算値の平均はほとんど変化しないことがわかる。また、 $k_{eff}$  計算値の分布は、エネルギー群数が異なっても大きな変化はない。

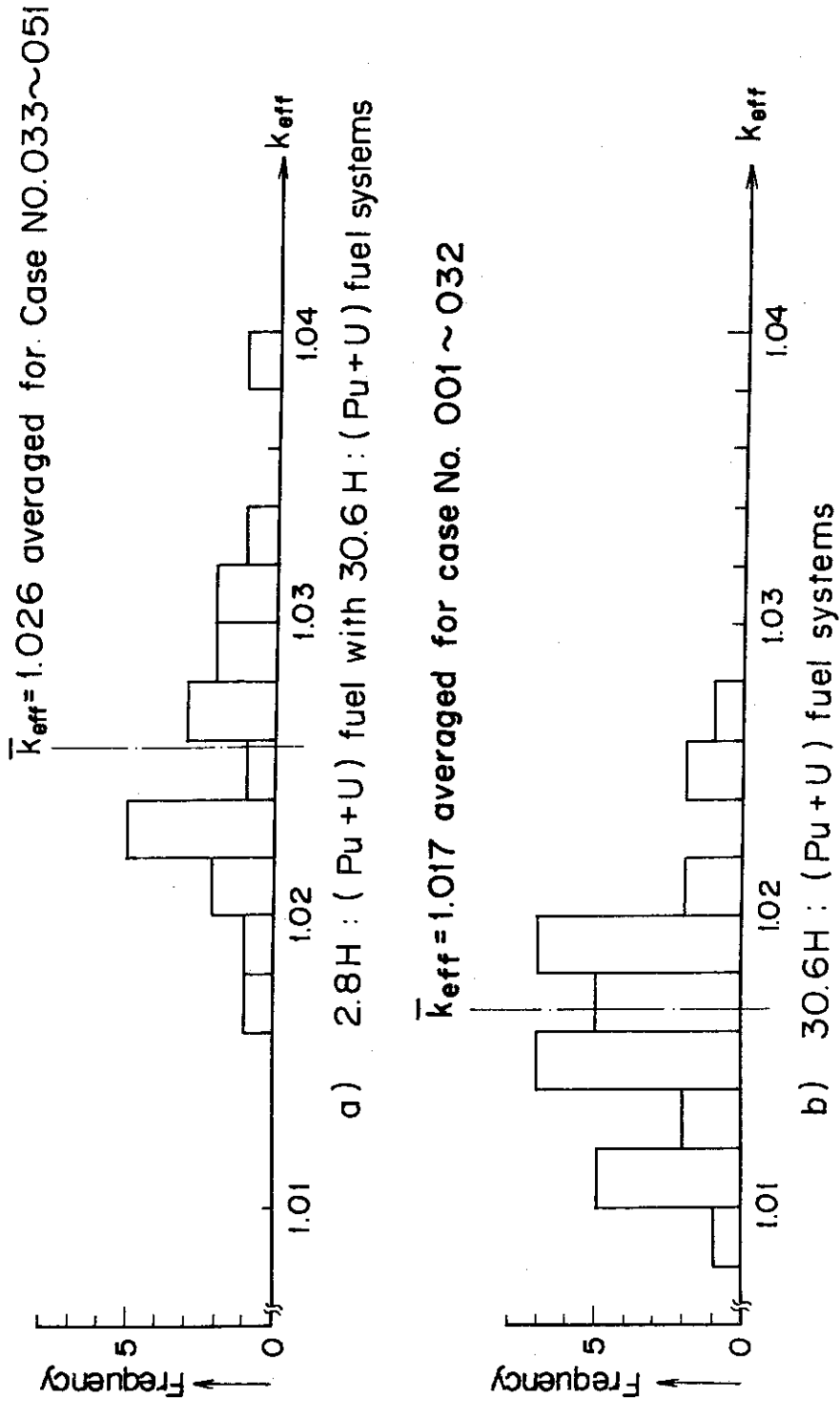


Fig.4 Histogram of keff for the two different fuel systems using KENO-IV and

MGCL 26

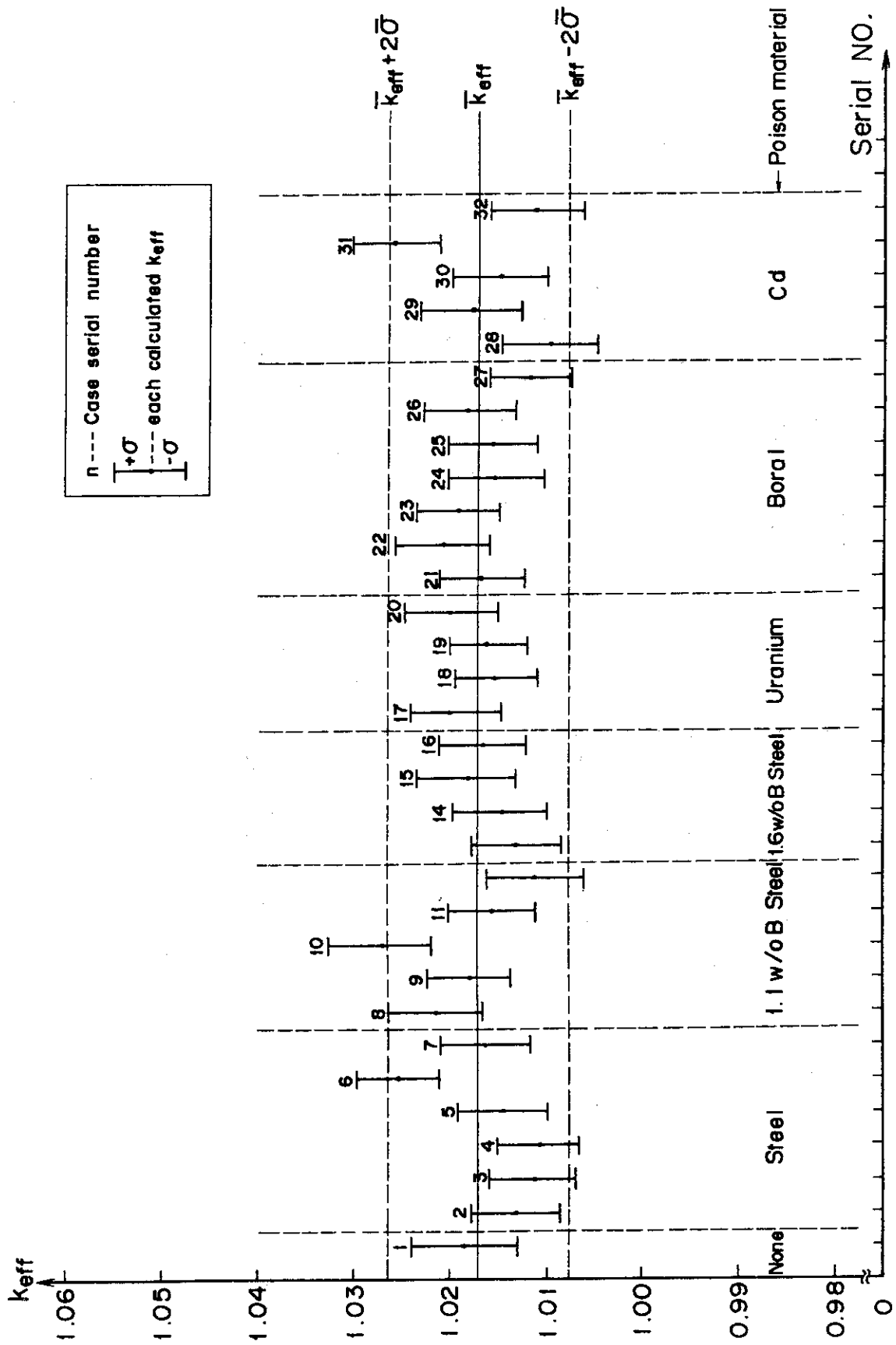


Fig.5  $k_{eff}$  of each serial case for 30.6H:(Pu+U) fuel systems



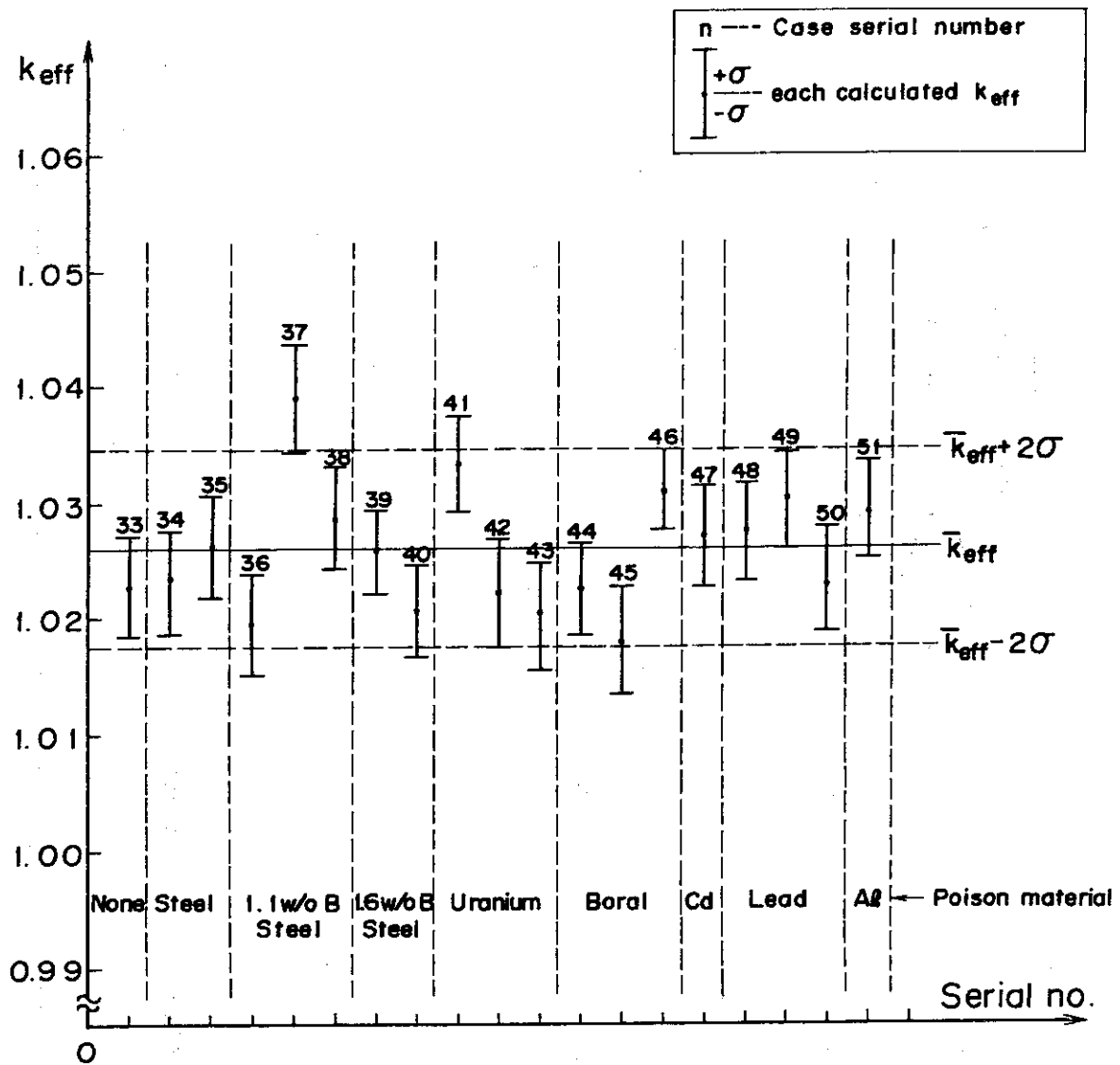


Fig.6  $k_{eff}$  of each serial case for 2.8H:(Pu+U) fuel with 3.0.6H:(Pu+U) fuel systems

- ▨ 30.6 H:(Pu+U) fuel systems
- 2.8 H:(Pu+U) fuel with 30.6H:(Pu+U) fuel systems

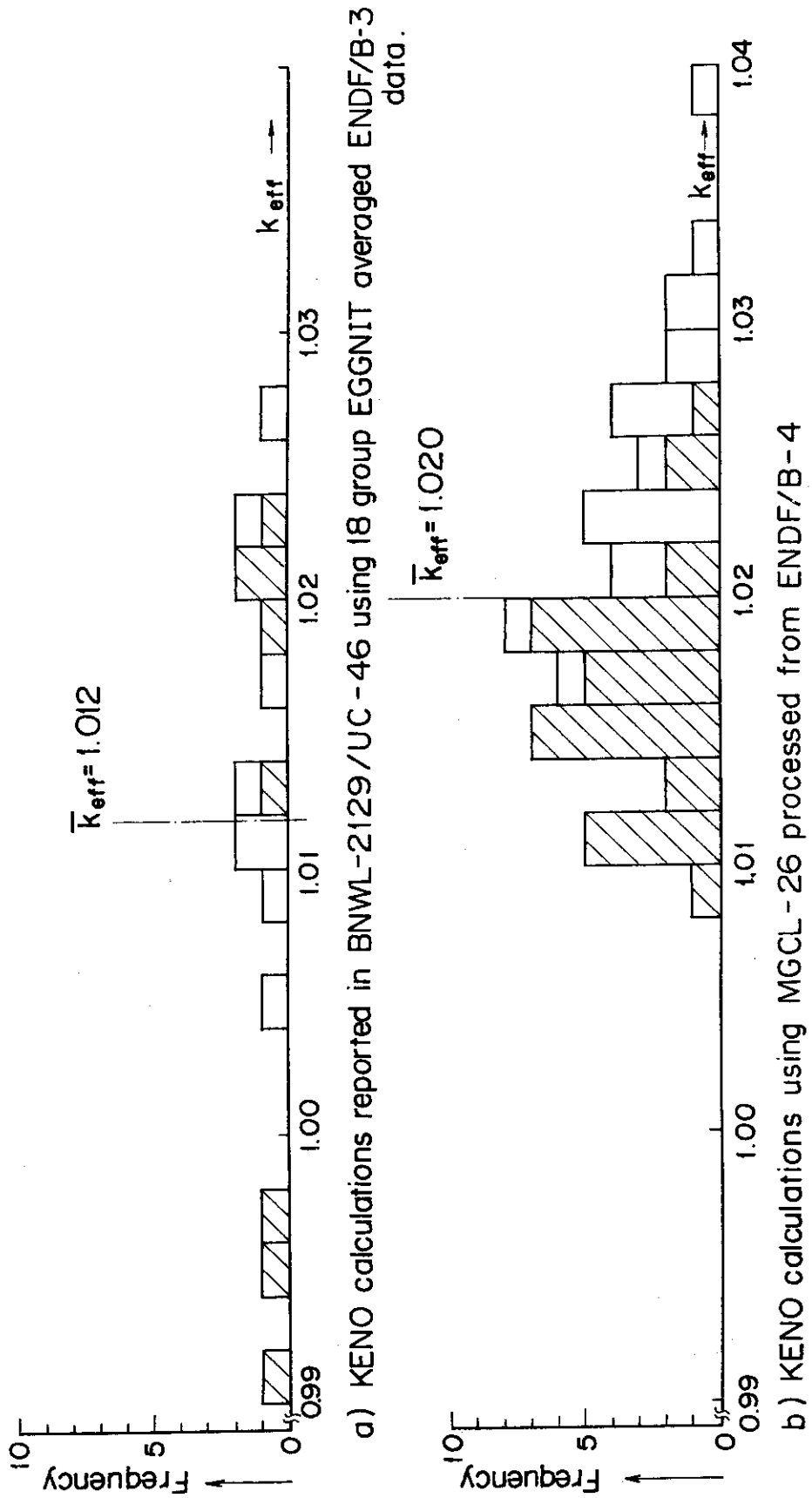


Fig.7 Comparison of  $k_{eff}$  between calculated and reported values

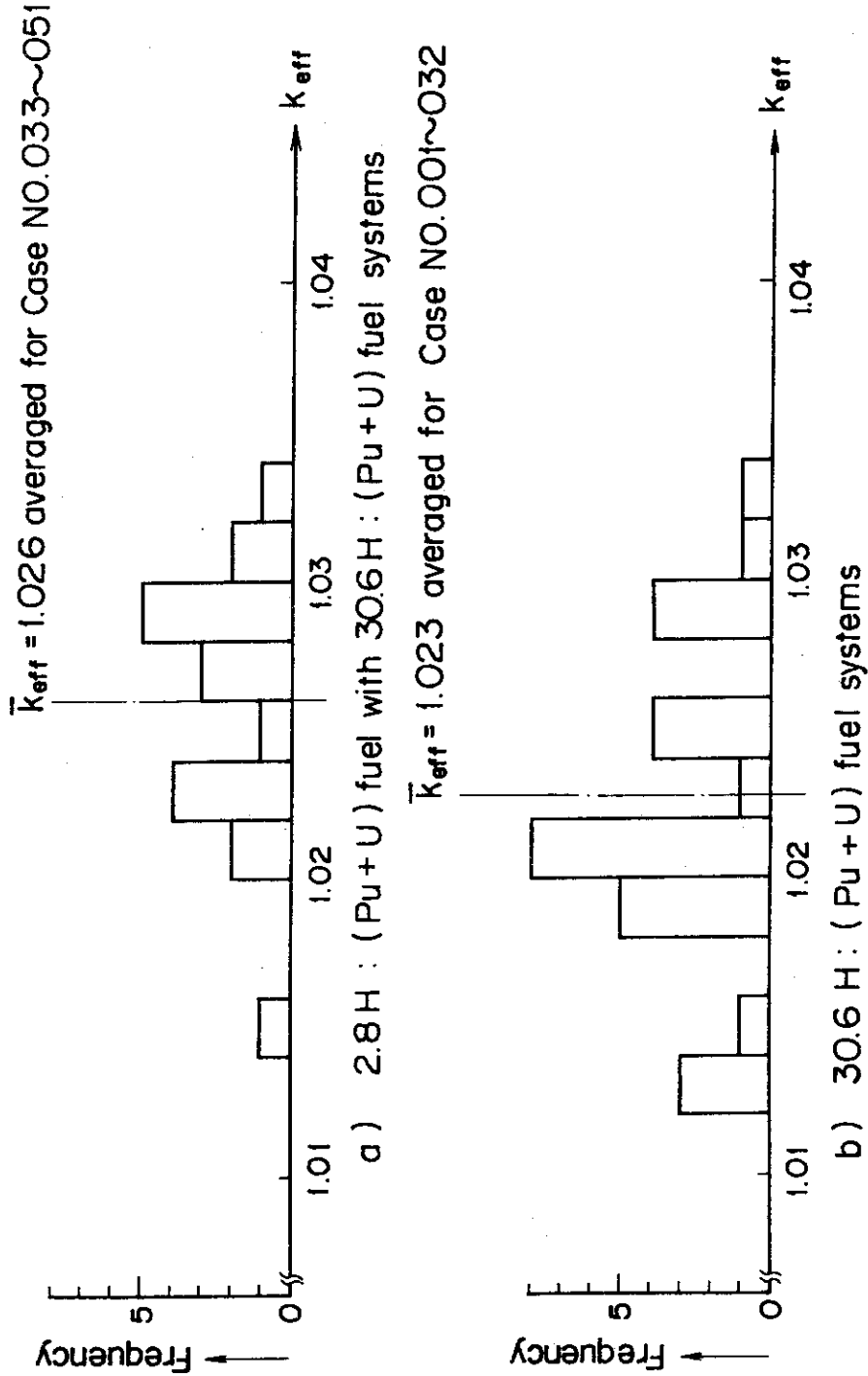


Fig.8 Histogram of keff for two different fuel systems using KENO-IV and MGCL-137

Table 6 Calculated Results of keff for 30.6H: (Pu+U)  
Fuel Systems Using KENO-V and MGCL-26

| No                  | keff    | $\sigma$ | keff <sup>a)</sup> | No      | keff    | $\sigma$ | keff <sup>a)</sup> |
|---------------------|---------|----------|--------------------|---------|---------|----------|--------------------|
| None                |         |          |                    | Uranium |         |          |                    |
| 001                 | 1.01846 | 0.00551  | 0.997              | 017     | 1.01936 | 0.00468  |                    |
| Steel               |         |          |                    | 018     | 1.01522 | 0.00423  | 0.994              |
| 002                 | 1.01315 | 0.00450  |                    | 019     | 1.01600 | 0.00440  | 0.990              |
| 003                 | 1.01155 | 0.00451  |                    | 020     | 1.01990 | 0.00493  |                    |
| 004                 | 1.01081 | 0.00430  |                    | Boral   |         |          |                    |
| 005                 | 1.01454 | 0.00485  | 1.020              | 021     | 1.01676 | 0.00429  |                    |
| 006                 | 1.02547 | 0.00427  |                    | 022     | 1.02078 | 0.00484  |                    |
| 007                 | 1.01636 | 0.00472  |                    | 023     | 1.01917 | 0.00438  |                    |
| 1.1 w/o Boron Steel |         |          |                    | 024     | 1.01530 | 0.00497  |                    |
| 008                 | 1.02144 | 0.00489  |                    | 025     | 1.01576 | 0.00455  | 1.021              |
| 009                 | 1.01804 | 0.00434  |                    | Cadmium |         |          |                    |
| 010                 | 1.02727 | 0.00539  |                    | 026     | 1.01801 | 0.00456  |                    |
| 011                 | 1.01573 | 0.00467  |                    | 027     | 1.01164 | 0.00419  |                    |
| 012                 | 1.01114 | 0.00499  | 1.023              | Lead    |         |          |                    |
| 1.6 w/o Boron Steel |         |          |                    | 028     | 1.00976 | 0.00493  |                    |
| 013                 | 1.01296 | 0.00457  |                    | 029     | 1.01787 | 0.00531  |                    |
| 014                 | 1.01470 | 0.00493  |                    | 030     | 1.01453 | 0.00497  | 1.019              |
| 015                 | 1.01833 | 0.00519  |                    | 031     | 1.02552 | 0.00450  |                    |
| 016                 | 1.01676 | 0.00461  | 1.013              | 032     | 1.01100 | 0.00487  |                    |

a) KENO calculations reported in BNWL-2129/UC-46,  
using 18 group EGGNIT averaged cross sections  
from FLANGE-ETOG processed ENDF/B-3 data.

Table 7 Calculated Results of  $k_{eff}$  for 2.8H: (Pu+U) Fuel  
and 3.0.6H: (Pu+U) Fuel Systems Using KENO-M  
and MGCL-26

| No                  | $k_{eff}$ | $\sigma$ | $k_{eff}^{a)}$ | No       | $k_{eff}$ | $\sigma$ | $k_{eff}^{a)}$ |
|---------------------|-----------|----------|----------------|----------|-----------|----------|----------------|
| None                |           |          |                | Boral    |           |          |                |
| 033                 | 1.02299   | 0.00410  | 1.026          | 044      | 1.02252   | 0.00398  |                |
| Steel               |           |          |                | 045      | 1.01795   | 0.00466  |                |
| 034                 | 1.02329   | 0.00459  |                | 046      | 1.03099   | 0.00349  | 1.010          |
| 035                 | 1.02625   | 0.00439  | 1.010          | Cadmium  |           |          |                |
| 1.1 w/o Boron Steel |           |          |                | 047      | 1.02699   | 0.00438  |                |
| 036                 | 1.01950   | 0.00437  |                | Lead     |           |          |                |
| 037                 | 1.03903   | 0.00461  |                | 048      | 1.02747   | 0.00423  |                |
| 038                 | 1.02881   | 0.00434  | 1.023          | 049      | 1.03009   | 0.00432  | 1.013          |
| 1.6 w/o Boron Steel |           |          |                | 050      | 1.02290   | 0.00436  |                |
| 039                 | 1.02580   | 0.00358  |                | Aluminum |           |          |                |
| 040                 | 1.02074   | 0.00397  | 1.016          | 051      | 1.02930   | 0.00411  | 1.009          |
| Uranium             |           |          |                |          |           |          |                |
| 041                 | 1.03333   | 0.00406  |                |          |           |          |                |
| 042                 | 1.02208   | 0.00474  | 1.005          |          |           |          |                |
| 043                 | 1.02016   | 0.00469  |                |          |           |          |                |

a) KENO calculations reported in BNWL-2129/UC-46,  
using 18 group EGGNIT averaged cross sections  
from FLANGE-ETOG processed ENDF/B-3 data.

Table 8 Calculated Results of keff for 30.6H: (Pu+U)  
fuel Systems Using KENO-W and MGCL-137

| No.                | keff    | $\sigma$ | keff <sup>a)</sup> | No.     | keff    | $\sigma$ | keff <sup>a)</sup> |
|--------------------|---------|----------|--------------------|---------|---------|----------|--------------------|
| None               |         |          |                    | Uranium |         |          |                    |
| 001                | 1.02481 | 0.00535  | 0.997              | 017     | 1.02146 | 0.00463  |                    |
| Steel              |         |          |                    | 018     | 1.02061 | 0.00486  | 0.994              |
| 002                | 1.02052 | 0.00470  |                    | 019     | 1.02065 | 0.00495  | 0.990              |
| 003                | 1.02595 | 0.00457  |                    | 020     | 1.02757 | 0.00444  |                    |
| 004                | 1.01811 | 0.00438  |                    | Boral   |         |          |                    |
| 005                | 1.02136 | 0.00467  | 1.020              | 021     | 1.02755 | 0.00493  |                    |
| 006                | 1.02103 | 0.00431  |                    | 022     | 1.02846 | 0.00501  |                    |
| 007                | 1.02464 | 0.00468  |                    | 023     | 1.02660 | 0.00458  |                    |
| 1.1w/o Boron Steel |         |          |                    | 024     | 1.03323 | 0.00482  |                    |
| 008                | 1.01972 | 0.00490  |                    | 025     | 1.01886 | 0.00531  | 1.021              |
| 009                | 1.02846 | 0.00456  |                    | Cadmium |         |          |                    |
| 010                | 1.01860 | 0.00495  |                    | 026     | 1.01210 | 0.00508  |                    |
| 011                | 1.01379 | 0.00445  |                    | 027     | 1.02138 | 0.00478  |                    |
| 012                | 1.02257 | 0.00472  | 1.023              | Lead    |         |          |                    |
| 1.6w/o Boron Steel |         |          |                    | 028     | 1.03164 | 0.00476  |                    |
| 013                | 1.02129 | 0.00450  |                    | 029     | 1.02868 | 0.00458  |                    |
| 014                | 1.02505 | 0.00505  |                    | 030     | 1.02938 | 0.00547  | 1.019              |
| 015                | 1.01523 | 0.00491  |                    | 031     | 1.02738 | 0.00458  |                    |
| 016                | 1.01391 | 0.00391  | 1.013              | 032     | 1.01841 | 0.00470  |                    |

a) KENO calculations reported in BNWL-2129/UC-46,  
using 18 group EGGNIT averaged cross sections  
from FLANGE-ETOG processed ENDF/B-3 data.

Table 9 Calculated Results of  $k_{eff}$  for 2.8 H: (Pu+U) Fuel  
with 3 0.6 H: (Pu+U) Fuel Systems Using  
KENO-N and MGCL 137

| No                  | $k_{eff}$ | $\sigma$ | $k_{eff}^a$ | No       | $k_{eff}$ | $\sigma$ | $k_{eff}^a$ |
|---------------------|-----------|----------|-------------|----------|-----------|----------|-------------|
| None                |           |          |             | Boral    |           |          |             |
| 033                 | 1.02116   | 0.00466  | 1.026       | 044      | 1.02735   | 0.00456  |             |
| Steel               |           |          |             | 045      | 1.01597   | 0.00424  |             |
| 034                 | 1.02235   | 0.00448  |             | 046      | 1.02916   | 0.00468  | 1.010       |
| 035                 | 1.02391   | 0.00374  | 1.010       | Cadmium  |           |          |             |
| 1.1 w/o Boron Steel |           |          |             | 047      | 1.03293   | 0.00432  |             |
| 036                 | 1.02399   | 0.00425  |             | Lead     |           |          |             |
| 037                 | 1.02844   | 0.00434  |             | 048      | 1.02834   | 0.00432  |             |
| 038                 | 1.02810   | 0.00437  | 1.023       | 049      | 1.02710   | 0.00428  | 1.013       |
| 1.6 w/o Boron Steel |           |          |             | 050      | 1.02080   | 0.00508  |             |
| 039                 | 1.02756   | 0.00455  |             | Aluminum |           |          |             |
| 040                 | 1.02330   | 0.00493  | 1.016       | 051      | 1.02835   | 0.00441  | 1.009       |
| Uranium             |           |          |             |          |           |          |             |
| 041                 | 1.03195   | 0.00468  |             |          |           |          |             |
| 042                 | 1.03034   | 0.00427  | 1.005       |          |           |          |             |
| 043                 | 1.02523   | 0.00429  |             |          |           |          |             |

a) KENO calculations reported in BNWL-2129/UC-46,  
using 18 group EGGNIT averaged cross sections  
from FLANGE-ETOG processed ENDF/B-3 data.

## 5. 結 論

燃料コンパクトを積み上げて行なわれた臨界実験データ51ケースに対してKENO-IVとMGCL26群断面積セットの組み合わせによる臨界計算の結果を述べてきたが、これから次のようにまとめられる。

- (i) 30.6型燃料による体系に関する臨界実験データ32ケースの $k_{eff}$ 計算値の平均は1.017になる。また、制御用に30.6型燃料を使った2.8型燃料コンパクトのブロック積みみの体系に関する臨界実験データ19ケースに対する $k_{eff}$ 計算値の平均は1.026となり、この値は前の32ケースの平均と較べて約0.01大きなものとなっている。
- (ii) 今回の実験データ全51ケースの $k_{eff}$ 計算値の平均は1.020であり、この値は実験レポート<sup>1)</sup>に記載されているENDF/B-3の核データをFLANGE-IIとETOG-Iで処理し、EGGNITで縮約した18群断面積データセットとKENO-IVの組合せによる $k_{eff}$ 計算値の平均1.012より約0.008大きなものとなっている。ただしその分布の分散は今回の計算の方が比較的小さい結果となっている。

## 謝 辞

今回のベンチマーク計算には、契約に基づき日本原子力事業㈱、日立製作所㈱、住友原子力㈱、石川島播磨㈱、日揮㈱の各社の御協力を得ており、また動燃事業団にも参加していただいた。ここに記して謝意を表します。また、日本原子力研究所原子炉データ解析室長下桶敬則氏に御助言と御協力を得たので感謝します。

## 参 考 文 献

- 1) S. R. BIERMAN, B. M. Durst, E. D. Clayton, "Critical Experiments Measuring the Reactivity Worths of Materials Commonly Encountered as Fixed Neutron Poisons," BNWL-2129, Battelle Pacific Northwest Laboratories (1976).
- 2) Y. NAITO et al., to be Published.
- 3) L. M. PETRIE and N. F. CROSS, "KENO-IV - An Improved Monte Carlo Criticality Program," ORNL-4938, Oak Ridge National Laboratory (1975).



## 5. 結 論

燃料コンパクトを積み上げて行なわれた臨界実験データ51ケースに対してKENO-IVとMGCL26群断面積セットの組み合わせによる臨界計算の結果を述べてきたが、これから次のようにまとめられる。

- (i) 30.6型燃料による体系に関する臨界実験データ32ケースの $k_{eff}$ 計算値の平均は1.017になる。また、制御用に30.6型燃料を使った2.8型燃料コンパクトのブロック積みみの体系に関する臨界実験データ19ケースに対する $k_{eff}$ 計算値の平均は1.026となり、この値は前の32ケースの平均と較べて約0.01大きなものとなっている。
- (ii) 今回の実験データ全51ケースの $k_{eff}$ 計算値の平均は1.020であり、この値は実験レポート<sup>1)</sup>に記載されているENDF/B-3の核データをFLANGE-IIとETOG-Iで処理し、EGGNITで縮約した18群断面積データセットとKENO-IVの組合せによる $k_{eff}$ 計算値の平均1.012より約0.008大きなものとなっている。ただしその分布の分散は今回の計算の方が比較的小さい結果となっている。

## 謝 辞

今回のベンチマーク計算には、契約に基づき日本原子力事業㈱、日立製作所㈱、住友原子力㈱、石川島播磨㈱、日揮㈱の各社の御協力を得ており、また動燃事業団にも参加していただいた。ここに記して謝意を表します。また、日本原子力研究所原子炉データ解析室長下桶敬則氏に御助言と御協力を得たので感謝します。

## 参 考 文 献

- 1) S. R. BIERMAN, B. M. Durst, E. D. Clayton, "Critical Experiments Measuring the Reactivity Worths of Materials Commonly Encountered as Fixed Neutron Poisons," BNWL-2129, Battelle Pacific Northwest Laboratories (1976).
- 2) Y. NAITO et al., to be Published.
- 3) L. M. PETRIE and N. F. CROSS, "KENO-IV - An Improved Monte Carlo Criticality Program," ORNL-4938, Oak Ridge National Laboratory (1975).

- 4) G. E. HANSEN and W. H. ROACH, "Six and Sixteen Group Cross Sections for Fast and Intermediate Critical Assemblies," LAMS-2543, Los Alamos Scientific Laboratory (1961).
- 5) M. K. DRAKE, "Data Formats and Procedures for the ENDF Neutron Cross Section Library," BNL-50274, Brookhaven National Laboratory (1970).
- 6) O. OZER, "Program RESEND," BNL-17134, Brookhaven National Laboratory (1972).
- 7) R. Q. WRIGHT et al., "SUPERTOG; A Program to Generate Group Constants and Pu Scattering Matrices from ENDF/B," ORNL-TM-2679, Oak Ridge National Laboratory (1969).
- 8) J. D. MACDOUGALL, "PIXSE," AEEW-M318, Atomic Energy Establishment, Winfrith (1963).
- 9) I. I. BONDARENKO et al., "Group Constants for Nuclear Reactor Calculation," Consultants Bureau, New York (1964).
- 10) S. KATSURAGI et al., "JAERI Fast Reactor Group Constant System, pt. 1 & 2," JAERI-1195, Japan Atomic Energy Research Institute (1970).
- 11) H. C. HONECK and D. R. FINCH, "FLANGE II; A Code to Process Thermal Neutron Data from an ENDF/B Tape," DP-2179, E. I. Du Pont De Nemours & Company (1971).