

JAERI-M

85-002

JRR-3改造炉用燃料貯蔵設備の臨界安全性

1985年2月

鶴田 晴通・岩崎 淳一・市川 博喜

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

JAERI-M レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

入手の問合せは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）  
あて、お申しこしください。なお、このほかに財團法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城  
県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

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

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1985

---

編集兼発行 日本原子力研究所  
印 刷 日立高速印刷株式会社

J R R - 3 改造炉用燃料貯蔵設備の臨界安全性

日本原子力研究所東海研究所研究炉管理部

鶴田 晴通・岩崎 淳一・市川 博喜

(1985年1月10日受理)

J R R - 3 改造炉の20%濃縮U・ $Al_x-Al$ 燃料要素を貯蔵する場合の臨界安全性を評価した。すなわち、貯蔵する配列について、燃料要素数、燃料要素間隔及び減速材としての軽水の密度をパラメータとして、臨界計算を行った。また、中性子吸収材が増倍係数に及ぼす効果も調べた。

結果は、J R R - 3 改造炉の燃料貯蔵設備が、考えられるいかなる状況下に置かれても十分に未臨界であることを示している。これらの計算結果は、種々な条件下における増倍係数を内挿によって推定できるようにまとめられている。

Nuclear Criticality Safety of Fuel Element Storage  
for Upgraded Research Reactor JRR-3

Harumichi TSURUTA, Junichi IWASAKI and  
Hiroki ICHIKAWA

Department of Research Reactor Operation  
Tokai Research Establishment, JAERI

( Received January 10, 1985 )

Criticality aspects of storing 20% enriched  $UAl_x$ -Al fuel elements were evaluated for the upgraded research reactor JRR-3. Criticality calculations were carried out as a function of the number of fuel elements, lattice pitch, and water density in the moderator. The effects of neutron absorbers on neutron multiplication were also examined for storage arrays of the fuel element.

Results show that the arrays in the storage racks proposed for the JRR-3 are subcritical enough. The fuel elements can be safely stored against any possible storage circumstances. The obtained data are presented in a form in which interpolation may be made to estimate the neutron multiplication factor of any element storage configurations of the fuel elements of the JRR-3.

Keywords: JRR-3, Criticality Safety, Research Reactor, Fuel Storage,  $UAl_x$ , Low Enrichment, Light water, Neutron, Subcritical, Criticality calculations

## 目 次

1. 序 .....	1
2. 設計方針 .....	1
3. 燃料要素及び燃料貯蔵設備の構造 .....	2
3.1 燃料要素 .....	2
3.1.1 標準型燃料要素 .....	2
3.1.2 フォロワ型燃料要素 .....	2
3.1.3 UO <sub>2</sub> 燃料要素 .....	2
3.2 燃料貯蔵設備 .....	3
3.2.1 貯蔵庫及び貯蔵プール .....	3
3.2.2 燃料貯蔵ラック .....	3
3.2.3 中性子吸収材 .....	4
4. 計算方法 .....	12
4.1 計算コード .....	12
4.2 実効断面積 .....	12
4.3 実効増倍係数に影響を与える因子 .....	13
4.3.1 燃料要素数 .....	13
4.3.2 燃料要素間隔 .....	14
4.3.3 減速材密度 .....	14
4.4 燃料貯蔵設備の実効増倍係数 .....	15
4.4.1 未使用燃料貯蔵ラック .....	15
4.4.2 使用済燃料貯蔵ラック No 1 .....	16
4.4.3 使用済燃料貯蔵ラック No 2 .....	16
4.4.4 UO <sub>2</sub> 燃料貯蔵ラック .....	17
4.4.5 UO <sub>2</sub> 燃料貯蔵ラックと使用済燃料貯蔵ラックとの共存配列 .....	17
5. 計算結果及び検討 .....	34
5.1 実効増倍係数に影響を与える因子 .....	34
5.1.1 燃料要素数 .....	34
5.1.2 燃料要素間隔 .....	34
5.1.3 減速材密度 .....	35
5.2 燃料貯蔵設備の実効増倍係数 .....	36
5.2.1 未使用燃料貯蔵ラック .....	36
5.2.2 使用済燃料貯蔵ラック No 1 .....	36
5.2.3 使用済燃料貯蔵ラック No 2 .....	37
5.2.4 UO <sub>2</sub> 燃料貯蔵ラック .....	37

5.2.5 UO <sub>2</sub> 燃料貯蔵ラックと使用済燃料貯蔵ラックとの共存配列 .....	37
6. 結論 .....	57
謝辞 .....	57
参考文献 .....	57
付録 .....	59
A 1. 燃料要素及び構造材の原子個数密度 .....	59

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Design policy .....	1
3. Structures of fuel elements and fuel storage facilities .....	2
3.1 Fuel elements .....	2
3.1.1 Standard fuel element .....	2
3.1.2 Control fuel element .....	2
3.1.3 UO <sub>2</sub> fuel element .....	2
3.2 Fuel storage facilities .....	3
3.2.1 Storage vault and storage pool .....	3
3.2.2 Storage rack .....	3
3.2.3 Neutron absorber .....	4
4. Calculation method .....	12
4.1 Computer codes .....	12
4.2 Effective cross sections .....	12
4.3 Factors affecting effective multiplication factor .....	13
4.3.1 Number of fuel elements .....	13
4.3.2 Space between fuel elements .....	14
4.3.3 Density of moderator .....	14
4.4 Effective multiplication factors of fuel storage facilities .....	15
4.4.1 Fresh fuel storage rack .....	15
4.4.2 Spent fuel storage rack No.1 .....	16
4.4.3 Spent fuel storage rack No.2 .....	16
4.4.4 UO <sub>2</sub> fuel storage rack .....	17
4.4.5 Interacting system between UO <sub>2</sub> fuel storage rack and spent fuel storage rack .....	17
5. Results and discussions .....	34
5.1 Factors affecting effective multiplication factor .....	34
5.1.1 Number of fuel elements .....	34
5.1.2 Space between fuel elements .....	34
5.1.3 Density of moderator .....	35
5.2 Effective multiplication factors of fuel storage facilities .....	36
5.2.1 Fresh fuel storage rack .....	36
5.2.2 Spent fuel storage rack No.1 .....	37

5.2.3 Spent fuel storage rack No.2 .....	37
5.2.4 UO <sub>2</sub> fuel storage rack .....	37
5.2.5 Interacting system between UO <sub>2</sub> fuel storage rack and spent fuel storage rack .....	37
6. Conclusions .....	57
Acknowledgments .....	57
References .....	57
Appendix	
A1. Atomic number densities of fuel elements and structural materials .....	59

## List of tables

- Table 4.1 Summary of calculations
- Table 4.2 Energy group structure of MGCL Library
- Table 4.3 Total cross sections of water used in the calculation of Dancoff correction factor of fuel meat
- Table 5.1 Effective multiplication factors  $k_{eff}$  in an infinite array of standard fuel elements as a function of lattice pitch (Category 10)
- Table 5.2 Effective multiplication factors  $k_{eff}$  in ( $N \times$  infinite) array as a function of the number of fuel elements  $N$  (Category 11)
- Table 5.3 Infinite multiplication factors  $k_{inf}$  in an infinite array of fuel elements as a function of lattice pitch (Category 20, 21, and 22)
- Table 5.4 Effective multiplication factors  $k_{eff}$  as a function of water density (Category 30, 31, 32, 33, 34, 35, and 36)
- Table 5.5 Effective multiplication factors  $k_{eff}$  of fresh fuel storage rack with no structural material as a function of water density (Category 100)
- Table 5.6 Effective multiplication factors  $k_{eff}$  of fresh fuel storage rack with SUS plate as a function of water density (Category 101)
- Table 5.7 Effective multiplication factors  $k_{eff}$  of fresh fuel storage rack with neutron absorber plate as a function of water density (Category 102)
- Table 5.8 Effective multiplication factors  $k_{eff}$  of spent fuel storage rack No.1 as a function of water density (Category 200, 201, and 202)
- Table 5.9 Effective multiplication factors  $k_{eff}$  of spent fuel storage rack No.1 as a function of lattice pitch (Category 203)
- Table 5.10 Effective multiplication factors  $k_{eff}$  of spent fuel storage rack No.2 as a function of water density (Category 300, 301, and 302)
- Table 5.11 Effective multiplication factors  $k_{eff}$  of  $UO_2$  fuel storage rack as a function of water density (Category 400)
- Table 5.12 Effective multiplication factors  $k_{eff}$  of interacting system between  $UO_2$  fuel storage rack and spent fuel storage rack No.1 or No.2 as a function of separation between two racks (Category 500 and 501)

- Table A1.1 Atomic number densities in standard fuel element  
Table A1.2 Atomic number densities in UO<sub>2</sub> fuel element and fuel storage rack  
Table A1.3 Atomic number densities of structural material  
Table A1.4 Atomic number densities of neutron absorber plate  
Table A1.5 Atomic number densities of water

## List of figures

- Fig. 3.1 Horizontal cross-section of standard fuel element  
Fig. 3.2 Vertical cross-section of standard fuel element  
Fig. 3.3 Horizontal cross-section of control fuel element  
Fig. 3.4 Vertical cross-section of control fuel element  
Fig. 3.5 Horizontal cross-section of UO<sub>2</sub> fuel element  
Fig. 3.6 Plan view of spent fuel storage pool  
Fig. 3.7 Plan view of spent fuel storage pond No. 1  
Fig. 3.8 Plan view of spent fuel storage pond No. 2  
Fig. 3.9 Front view of fresh fuel storage rack  
Fig. 3.10 Horizontal cross-section of spent fuel storage rack No.1  
Fig. 3.11 Horizontal cross-section of spent fuel storage rack No.2  
Fig. 3.12 Horizontal cross-section of UO<sub>2</sub> fuel storage rack of 15 × 15 array  
Fig. 3.13 Cross-section of neutron absorber plate
- Fig. 4.1 Calculation flow for criticality safety evaluation  
Fig. 4.2 Geometry for the calculation of Dancoff correction factor of fuel meat (Standard fuel element)  
Fig. 4.3 Schematic geometries for the calculation of effective multiplication factors as a function of the number of fuel elements (Category 10 and 11)  
Fig. 4.4 Schematic geometry of standard fuel element for heterogeneous calculation of effective multiplication factor  
Fig. 4.5 Schematic geometry for the calculation of effective multiplication factors as a function of the separation between fuel elements (Category 20, 21, and 22)  
Fig. 4.6 Schematic geometry for the calculation of effective multiplication factors as a function of water density (Category 30, 31, 32, 33, 34, 35, and 36)  
Fig. 4.7 Schematic geometries for the calculation of effective multiplication factors of fresh fuel storage rack (Category 100, 101, and 102)  
Fig. 4.8 Schematic geometries for the calculation of effective multiplication factors of spent fuel storage rack No. 1 (Category 200, 201, 202, and 203)

- Fig. 4.9 Schematic geometries for the calculation of effective multiplication factors of spent fuel storage rack No. 2 (Category 300, 301, and 302).
- Fig. 4.10 Schematic geometry for the calculation of effective multiplication factor of  $\text{UO}_2$  fuel storage rack (Category 400)
- Fig. 4.11 Schematic horizontal cross-section for the calculation of effective multiplication factor of interacting system between  $\text{UO}_2$  fuel storage rack and spent fuel storage rack No. 1 (Category 500)
- Fig. 4.12 Schematic vertical cross-section for the calculation of effective multiplication factor of interacting system between  $\text{UO}_2$  fuel storage rack and spent fuel storage rack No. 1 (Category 500)
- Fig. 4.13 Schematic horizontal cross-section for the calculation of effective multiplication factor of interacting system between  $\text{UO}_2$  fuel storage rack and spent fuel storage rack No. 2 (Category 501)
- Fig. 5.1 Effective multiplication factor  $k_{\text{eff}}$  as a function of the number of fuel elements  $N$  in ( $N \times \text{infinite}$ ) array (Category 10 and 11)
- Fig. 5.2 Infinite multiplication factor  $k_{\text{inf}}$  as a function of lattice pitch in an infinite array of fuel elements (Category 20, 21, and 22)
- Fig. 5.3 Effective multiplication factor  $k_{\text{eff}}$  as a function of water density (Category 30, 31, 32, and 33)
- Fig. 5.4 Effective multiplication factor  $k_{\text{eff}}$  as a function of water density (Category 34, 35, and 36)
- Fig. 5.5 Effective multiplication factor  $k_{\text{eff}}$  of fresh fuel storage rack with no structural material as a function of water density (Category 100)
- Fig. 5.6 Effective multiplication factor  $k_{\text{eff}}$  of fresh fuel storage rack with SUS plate as a function of water density (Category 101)
- Fig. 5.7 Effective multiplication factor  $k_{\text{eff}}$  of fresh fuel storage rack with neutron absorber plate as a function of water density (Category 102)

- Fig. 5.8 Effective multiplication factor  $k_{eff}$  of fresh fuel storage rack as a function of water density. Lattice pitch of the array of fuel elements is 8.166 cm (Category 100, 101, and 102)
- Fig. 5.9 Effective multiplication factor  $k_{eff}$  of fresh fuel storage rack as a function of water density. Lattice pitch of the array of fuel elements is 10.0 cm (Category 100, 101, and 102)
- Fig. 5.10 Effective multiplication factor  $k_{eff}$  of fresh fuel storage rack as a function of water density. Lattice pitch of the array of fuel elements is 20.0 cm (Category 100, 101, and 102)
- Fig. 5.11 Effective multiplication factor  $k_{eff}$  of fresh fuel storage rack as a function of water density. Lattice pitch of the array of fuel elements is 25.0 cm (Category 100, 101, and 102)
- Fig. 5.12 Effective multiplication factor  $k_{eff}$  of spent fuel storage rack No. 1 as a function of water density (Category 200, 201, and 202)
- Fig. 5.13 Effective multiplication factor  $k_{eff}$  of spent fuel storage rack No. 1 as a function of lattice pitch for an array of fuel elements (Category 203)
- Fig. 5.14 Effective multiplication factor  $k_{eff}$  of spent fuel storage rack No. 2 as a function of water density (Category 300, 301, and 302)
- Fig. 5.15 Effective multiplication factor  $k_{eff}$  of UO<sub>2</sub> fuel storage rack as a function of water density (Category 400)
- Fig. 5.16 Effective multiplication factor  $k_{eff}$  of interacting system between UO<sub>2</sub> fuel storage rack and spent fuel storage rack No. 1 or No. 2 as a function of separation between two racks (Category 500 and 501)

## 1. 序

JRR-3 改造炉は、原子炉施設に未使用燃料要素を搬入してから、使用後に使用済燃料要素として搬出するまでの燃料貯蔵を安全に行うため、次の4種類の燃料貯蔵設備を設けている。

- (1) 未使用燃料貯蔵庫
- (2) 使用済燃料プール
- (3) 使用済燃料貯槽No.1
- (4) 使用済燃料貯槽No.2

これらの貯蔵設備には、それぞれ貯蔵ラックが設けられている。

本原子炉施設に搬入された未使用燃料要素は、未使用燃料貯蔵庫の貯蔵ラックに納められ、炉心の燃料交換時に必要本数が炉室へ搬入される。炉心から取出された使用済燃料要素は、使用済燃料プールに移され、貯蔵ラックで約1年間冷却される。冷却後の燃料要素は、使用済燃料貯槽No.1に移され、本原子炉施設から搬出されるまで、ここに貯蔵される。使用済燃料要素は、使用済燃料貯槽No.1からNo.2に移され、ここで使用済燃料輸送容器に納められて搬出される。

なお、旧JRR-3用1.5%濃縮UO<sub>2</sub>燃料も残っており、使用済燃料貯槽No.1及びNo.2で貯蔵する。これらは、UO<sub>2</sub>燃料用の貯蔵ラックに納められる。

以上の燃料貯蔵設備は、核、熱及び遮蔽の各性能が、貯蔵及び取扱いの観点から十分に安全でなければならない。本報告書は、そのうちの核的安全性、すなわち燃料貯蔵設備の臨界安全性を、JRR-3改造炉のための安全設計方針<sup>(1)</sup>とその適合のための設計方針に基づいて評価したものである。このJRR-3改造炉のための安全設計方針は、「発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針について」を参考にして、低濃縮ウラン軽水減速冷却プール型炉の設計上の特徴を踏まえて作成されたものである。

計算は、燃料要素の配列数、間隔及び減速材としての軽水密度をパラメータにした実効増倍係数の変化を求めた。また、実際の貯蔵ラックの実効増倍係数を、吸収板の有る場合と無い場合について計算した。

## 2. 設計方針

本原子炉施設のための安全設計方針において、核燃料の臨界防止については、次のように定められている：

核燃料の貯蔵設備及び取扱設備は、幾何学的な安全配置または他の適切な手段により、想定されるいかなる場合でも臨界を防止する設計であること。

これを受け、適合のための設計方針は次の様になっている：

## 1. 序

JRR-3 改造炉は、原子炉施設に未使用燃料要素を搬入してから、使用後に使用済燃料要素として搬出するまでの燃料貯蔵を安全に行うため、次の4種類の燃料貯蔵設備を設けている。

- (1) 未使用燃料貯蔵庫
- (2) 使用済燃料プール
- (3) 使用済燃料貯槽No.1
- (4) 使用済燃料貯槽No.2

これらの貯蔵設備には、それぞれ貯蔵ラックが設けられている。

本原子炉施設に搬入された未使用燃料要素は、未使用燃料貯蔵庫の貯蔵ラックに納められ、炉心の燃料交換時に必要本数が炉室へ搬入される。炉心から取出された使用済燃料要素は、使用済燃料プールに移され、貯蔵ラックで約1年間冷却される。冷却後の燃料要素は、使用済燃料貯槽No.1に移され、本原子炉施設から搬出されるまで、ここに貯蔵される。使用済燃料要素は、使用済燃料貯槽No.1からNo.2に移され、ここで使用済燃料輸送容器に納められて搬出される。

なお、旧JRR-3用1.5%濃縮UO<sub>2</sub>燃料も残っており、使用済燃料貯槽No.1及びNo.2で貯蔵する。これらは、UO<sub>2</sub>燃料用の貯蔵ラックに納められる。

以上の燃料貯蔵設備は、核、熱及び遮蔽の各性能が、貯蔵及び取扱いの観点から十分に安全でなければならない。本報告書は、そのうちの核的安全性、すなわち燃料貯蔵設備の臨界安全性を、JRR-3改造炉のための安全設計方針<sup>(1)</sup>とその適合のための設計方針に基づいて評価したものである。このJRR-3改造炉のための安全設計方針は、「発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針について」を参考にして、低濃縮ウラン軽水減速冷却プール型炉の設計上の特徴を踏まえて作成されたものである。

計算は、燃料要素の配列数、間隔及び減速材としての軽水密度をパラメータにした実効増倍係数の変化を求めた。また、実際の貯蔵ラックの実効増倍係数を、吸収板の有る場合と無い場合について計算した。

## 2. 設計方針

本原子炉施設のための安全設計方針において、核燃料の臨界防止については、次のように定められている：

核燃料の貯蔵設備及び取扱設備は、幾何学的な安全配置または他の適切な手段により、想定されるいかなる場合でも臨界を防止する設計であること。

これを受け、適合のための設計方針は次の様になっている：

燃料の貯蔵設備として未使用燃料貯蔵庫及び使用済燃料プールを設ける。

未使用燃料は、未使用燃料貯蔵庫の未使用燃料貯蔵ラックに貯蔵する。未使用燃料貯蔵ラックは、燃料要素の間隔を十分にとり、実効増倍係数が0.95以下になるように設計する。

使用済燃料プール中の使用済燃料貯蔵ラックは、設備容量分の燃料を収容しても実効増倍係数が0.95以下であるように設計する。また、使用済燃料プール及び貯蔵ラックは、地震時に破損しないように十分な耐震性を有する設計とし、燃料要素が互いに接近しないようにする。

### 3. 燃料要素及び燃料貯蔵設備の構造

JRR-3 改造炉の20%濃縮U・Al<sub>x</sub>-Al燃料要素には、標準型燃料要素とフォロワ型燃料要素とがある<sup>(2)</sup>。これらの未使用燃料要素は、未使用燃料貯蔵庫の貯蔵ラックに納められる。また、使用済燃料要素は使用済燃料プール、使用済燃料貯槽No.1及び使用済燃料貯槽No.2の貯蔵ラックに納められ保管される。使用済燃料貯槽No.1及びNo.2には、上記燃料要素と共に、旧JRR-3用1.5%濃縮UO<sub>2</sub>燃料要素が納められている貯蔵ラックも設置される。以下に燃料要素、各燃料貯蔵設備及び燃料貯蔵ラックについて述べる。

#### 3.1 燃料要素

##### 3.1.1 標準型燃料要素

標準型燃料要素は、20%濃縮U・Al<sub>x</sub>-Al分散型の板状燃料である。水平断面図をFig.3.1に、また垂直断面図をFig.3.2に示す。水平断面の寸法は7.62×7.62cmの正方形であり、軸方向の燃料有効長は75cmである。構造材はアルミニウムである。1要素あたり300gの<sup>235</sup>Uが含有されている。計算に用いた原子個数密度<sup>(3)</sup>を付録A.1に示す。

##### 3.1.2 フォロワ型燃料要素

フォロワ型燃料要素は、標準型燃料要素と同様に、20%濃縮U・Al<sub>x</sub>-Al分散型の板状燃料である。水平断面図をFig.3.3に、また垂直断面図をFig.3.4に示す。水平断面の寸法は6.36×6.36cmの正方形であり、軸方向の燃料有効長は75cmである。構造材はアルミニウムである。1要素あたり190gの<sup>235</sup>Uが含有されている。

##### 3.1.3 UO<sub>2</sub>燃料要素

UO<sub>2</sub>燃料要素は、4本の燃料ピンを正方形に配列し、その周囲を冷却管で囲んだクラスタ構造になっている。その断面図をFig.3.5に示す。各燃料ピンは、1.5%濃縮UO<sub>2</sub>燃焼ペレットがZr'y-2の被覆管に納められたものである。

燃料ペレットの直径は1.071cmであり、燃料有効部の長さは210cmである。ペレットの密度は、10.4 g/cm<sup>3</sup>(95%理論密度)である。1要素当たりのUO<sub>2</sub>含有量は1970g、<sup>235</sup>Uは104gである。

燃料の貯蔵設備として未使用燃料貯蔵庫及び使用済燃料プールを設ける。

未使用燃料は、未使用燃料貯蔵庫の未使用燃料貯蔵ラックに貯蔵する。未使用燃料貯蔵ラックは、燃料要素の間隔を十分にとり、実効増倍係数が0.95以下になるように設計する。

使用済燃料プール中の使用済燃料貯蔵ラックは、設備容量分の燃料を収容しても実効増倍係数が0.95以下であるように設計する。また、使用済燃料プール及び貯蔵ラックは、地震時に破損しないように十分な耐震性を有する設計とし、燃料要素が互いに接近しないようにする。

### 3. 燃料要素及び燃料貯蔵設備の構造

JRR-3 改造炉の20%濃縮U-Al<sub>x</sub>-Al燃料要素には、標準型燃料要素とフォロワ型燃料要素とがある<sup>(2)</sup>。これらの未使用燃料要素は、未使用燃料貯蔵庫の貯蔵ラックに納められる。また、使用済燃料要素は使用済燃料プール、使用済燃料貯槽No.1及び使用済燃料貯槽No.2の貯蔵ラックに納められ保管される。使用済燃料貯槽No.1及びNo.2には、上記燃料要素と共に、旧JRR-3用1.5%濃縮UO<sub>2</sub>燃料要素が納められている貯蔵ラックも設置される。以下に燃料要素、各燃料貯蔵設備及び燃料貯蔵ラックについて述べる。

#### 3.1 燃料要素

##### 3.1.1 標準型燃料要素

標準型燃料要素は、20%濃縮U-Al<sub>x</sub>-Al分散型の板状燃料である。水平断面図をFig.3.1に、また垂直断面図をFig.3.2に示す。水平断面の寸法は7.62×7.62cmの正方形であり、軸方向の燃料有効長は75cmである。構造材はアルミニウムである。1要素あたり300gの<sup>235</sup>Uが含有されている。計算に用いた原子個数密度<sup>(3)</sup>を付録A1に示す。

##### 3.1.2 フォロワ型燃料要素

フォロワ型燃料要素は、標準型燃料要素と同様に、20%濃縮U-Al<sub>x</sub>-Al分散型の板状燃料である。水平断面図をFig.3.3に、また垂直断面図をFig.3.4に示す。水平断面の寸法は6.36×6.36cmの正方形であり、軸方向の燃料有効長は75cmである。構造材はアルミニウムである。1要素あたり190gの<sup>235</sup>Uが含有されている。

##### 3.1.3 UO<sub>2</sub>燃料要素

UO<sub>2</sub>燃料要素は、4本の燃料ピンを正方形に配列し、その周囲を冷却管で囲んだクラスタ構造になっている。その断面図をFig.3.5に示す。各燃料ピンは、1.5%濃縮UO<sub>2</sub>燃焼ペレットがZr'y-2の被覆管に納められたものである。

燃料ペレットの直径は1.071cmであり、燃料有効部の長さは210cmである。ペレットの密度は、10.4 g/cm<sup>3</sup>(95%理論密度)である。1要素当たりのUO<sub>2</sub>含有量は1970g、<sup>235</sup>Uは104gである。

### 3.2 燃料貯蔵設備

#### 3.2.1 貯蔵庫及び貯蔵プール

未使用燃料は、コンクリート製の未使用燃料貯蔵庫に貯蔵される。このため、貯蔵ラックが設けられている。この貯蔵は、乾燥状態で行われる。

炉心から取出された使用済燃料は、炉室内の使用済燃料プールで冷却し、保管する。このプールには、Fig. 3.6 に示すように、使用済燃料貯蔵ラック No. 1 が 2 基設置されている。プールには、冷却材及び遮蔽材として軽水が満たされており、断面は  $4.0 \times 5.0$  m、水深は約 7 m である。

使用済燃料プールで冷却された燃料要素は、本原子炉施設外へ搬出されるまで、使用済燃料貯槽 No. 1 に移されて保管される。この貯槽には、Fig. 3.7 に示すように使用済燃料貯蔵ラック No. 1 の 3 基と、 $\text{UO}_2$  燃料貯蔵ラックの 2 基が同時に設置されている。貯槽には、冷却材及び遮蔽材として軽水が満たされており、断面は  $5.5 \times 11.0$  m、水深は約 7 m である。

使用済燃料貯槽 No. 1 に保管されていた燃料要素は、本原子炉施設外へ搬出される場合、使用済燃料貯槽 No. 2 に移される。この貯槽には、Fig. 3.8 に示すように、使用済燃料貯蔵ラック No. 2 の 2 基と  $\text{UO}_2$  燃料貯蔵ラックの 2 基が同時に設置されている。使用済燃料貯槽 No. 2 も No. 1 と同様に、冷却材及び遮蔽材として軽水が満たされており、断面は  $4.0 \times 6.5$  m、水深は約 7 m である。

#### 3.2.2 燃料貯蔵ラック

未使用燃料貯蔵ラックは、Fig. 3.9 の立面図に示すように、鉄製の棚板と柱とで構成されている。燃料要素は、棚板の上に水平して、空気中に保管される。燃料要素は 152 体が、8 行 19 列の配列で縦及び横方向の格子間隔を 20 cm にして並べられる。棚板の上には、中性子吸収材のボラル板が置かれる予定である。

使用済燃料貯蔵ラック No. 1 には、標準型燃料要素及びフォロク型燃料要素が垂直に収納される。このラックの平面図を Fig. 3.10 に示す。64 体の燃料要素が  $13.4 \times 8.9$  cm の格子間隔で、8 行 8 列に配列される。燃料要素を固定する枠は、厚さ 0.5 cm の S U S 材であって、内のりが  $8.4 \times 8.4$  cm の正方形になっている。これらの燃料要素の行間には、厚さ 0.546 cm の中性子吸収材であるボラル板が配置されている。

使用済燃料貯蔵ラック No. 2 にも No. 1 と同様に、標準型燃料要素及びフォロワ型燃料要素が垂直に収納される。このラックの平面図を Fig. 3.11 に示す。40 体の燃料要素が  $16 \times 16$  cm の格子間隔で、5 行 8 列に配列される。燃料要素を固定する枠は、厚さ 0.21 cm の S U S 材であって内径 11 cm の円筒状になっている。これらの燃料要素の行間には、1 行置きに厚さ 0.54 cm の中性子吸収材であるボラル板が配置されている。

$\text{UO}_2$  燃料貯蔵ラックには、 $\text{UO}_2$  燃料要素が垂直に収納される。このラックの平面図を Fig. 3.12 に示す。225 本の燃料要素が、 $9.5 \times 9.5$  cm の格子間隔で 15 行 15 列に配列されている。燃料要素を固定する枠は、内径 6.6 cm、厚さ 0.2 cm のアルミニウム製円筒である。

### 3.2.3 中性子吸収材

中性子吸収材は、未使用燃料貯蔵ラック、使用済燃料貯蔵ラックNo.1及び同No.2に使用する。中性子吸収材はボラル板である。この断面図をFig.3.13に示す。構造は、ボロン・カーバイト( $B_4C$ )とアルミニウムで構成される0.446 cmの芯材を、0.05cmのアルミニウム被覆材でサンドイッチにしたものである。芯材中の $^{10}B$ 含有量は、単位面積当たり0.06gである。ボラル板の領域毎についての原子個数密度を、付録A 1に示す。なお、芯材中のアルミニウムは、中性子の吸収及び減速に寄与しないので、臨界計算においては無視した。

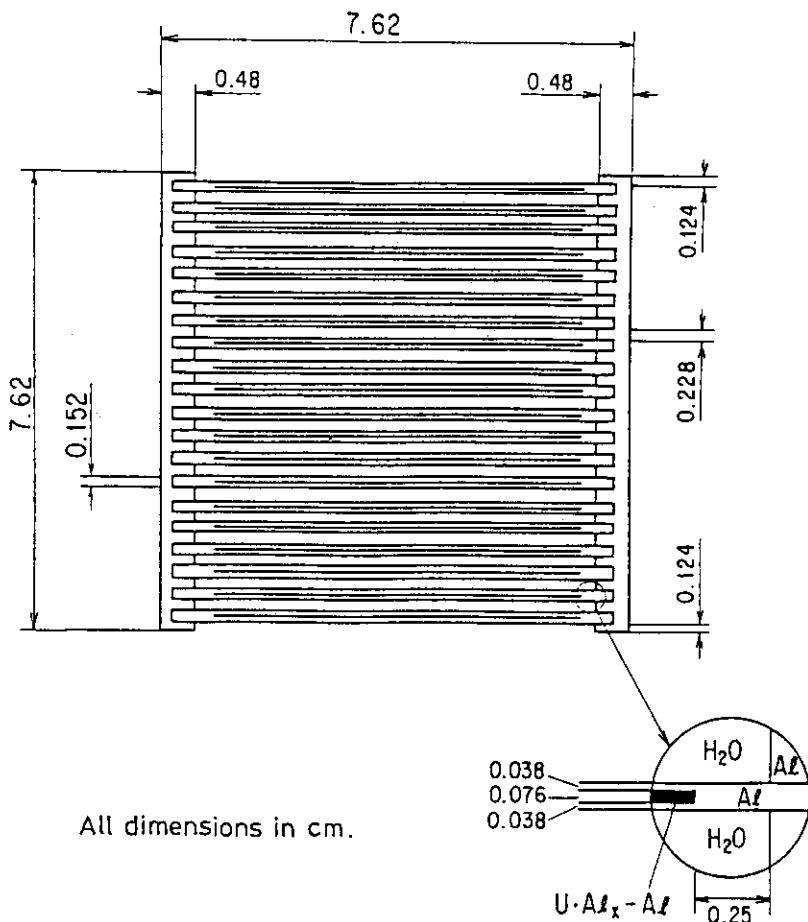


Fig. 3.1 Horizontal cross-section of standard fuel element

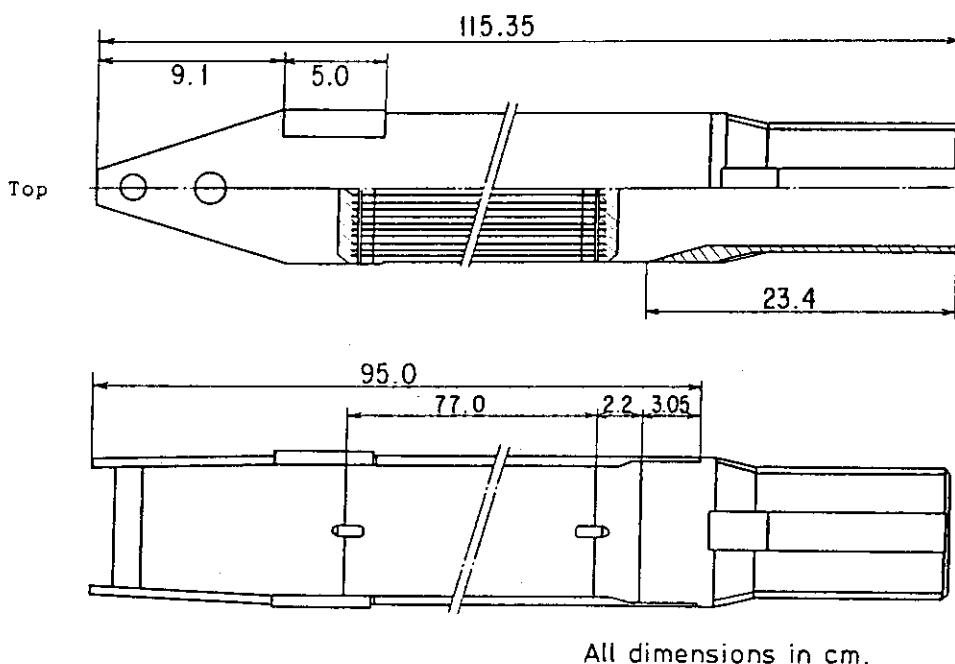


Fig. 3.2 Vertical cross-section of standard fuel element

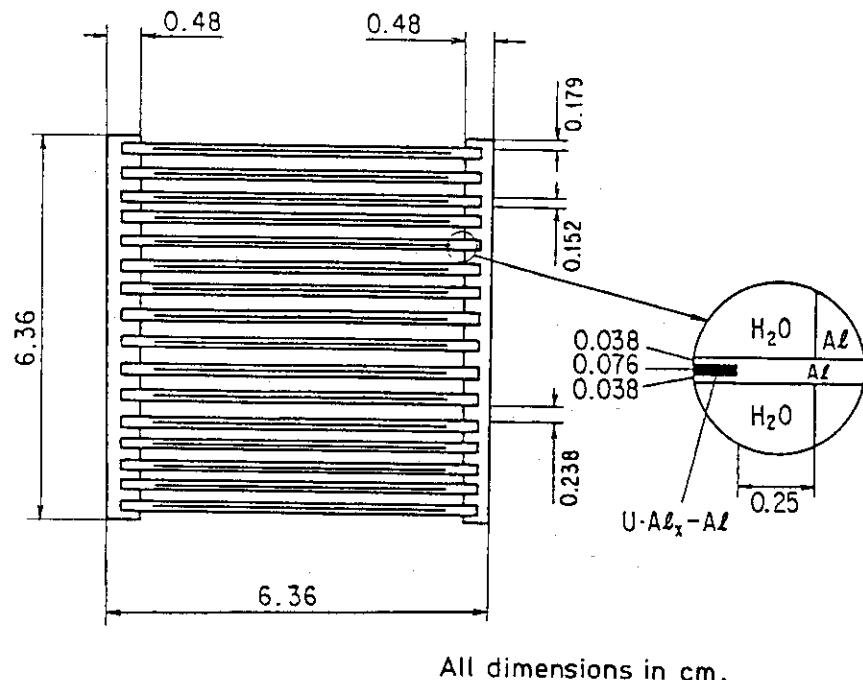


Fig. 3.3 Horizontal cross-section of control fuel element

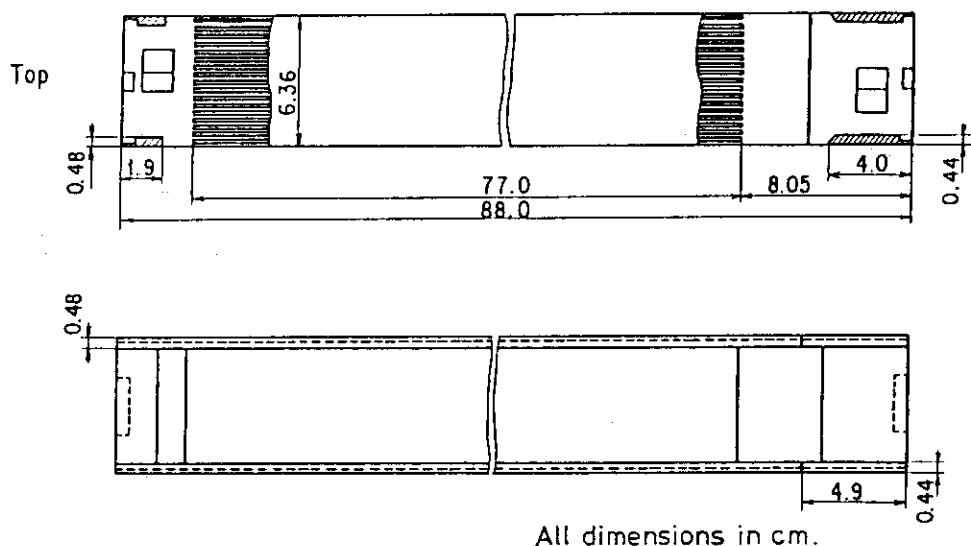
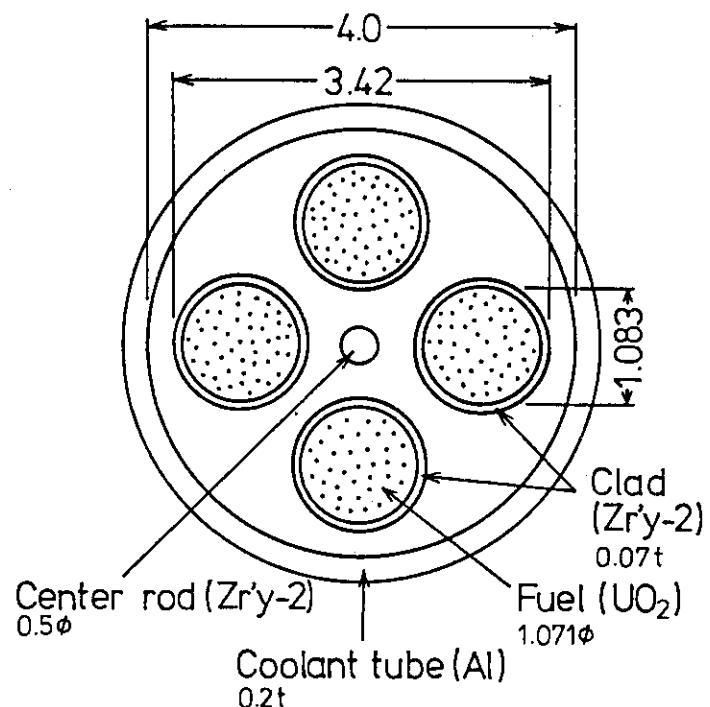


Fig. 3.4 Vertical cross-section of control fuel element



All dimensions in cm.

Fig. 3:5 Horizontal cross-section of  $\text{UO}_2$  fuel element

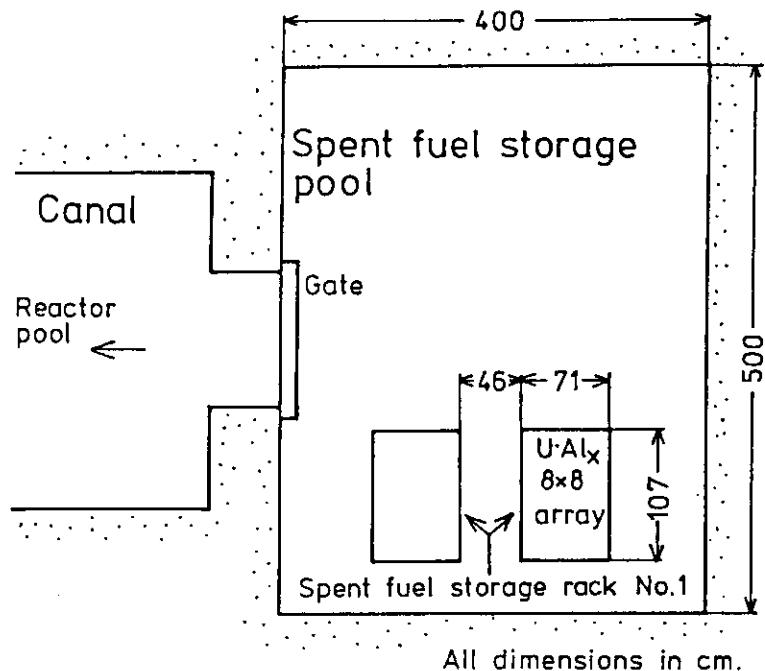
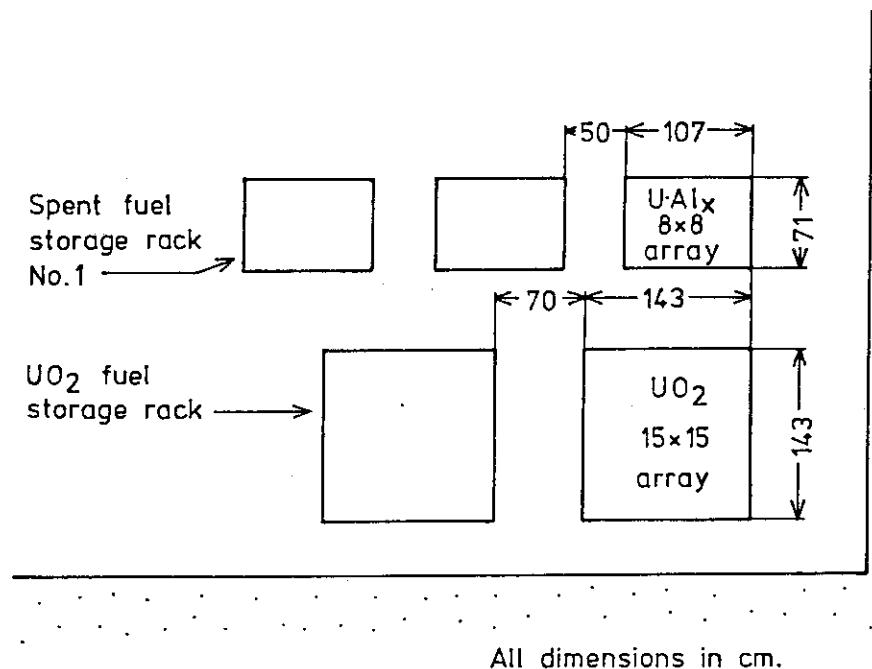
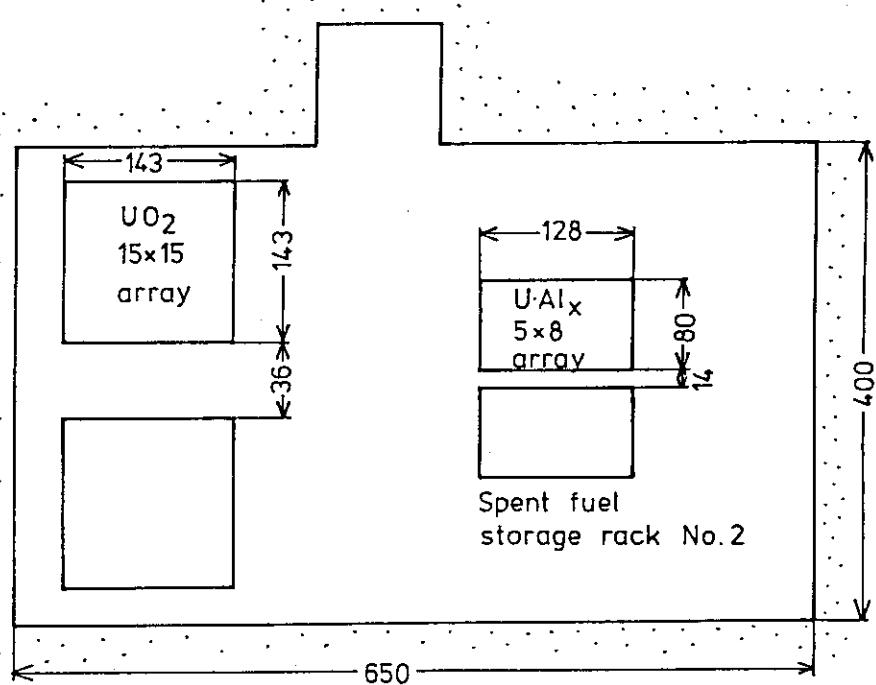


Fig. 3.6 Plan view of spent fuel storage pool



All dimensions in cm.

Fig. 3.7 Plan view of spent fuel storage pond No. 1



All dimensions in cm.

Fig. 3.8 Plan view of spent fuel storage pond No. 2

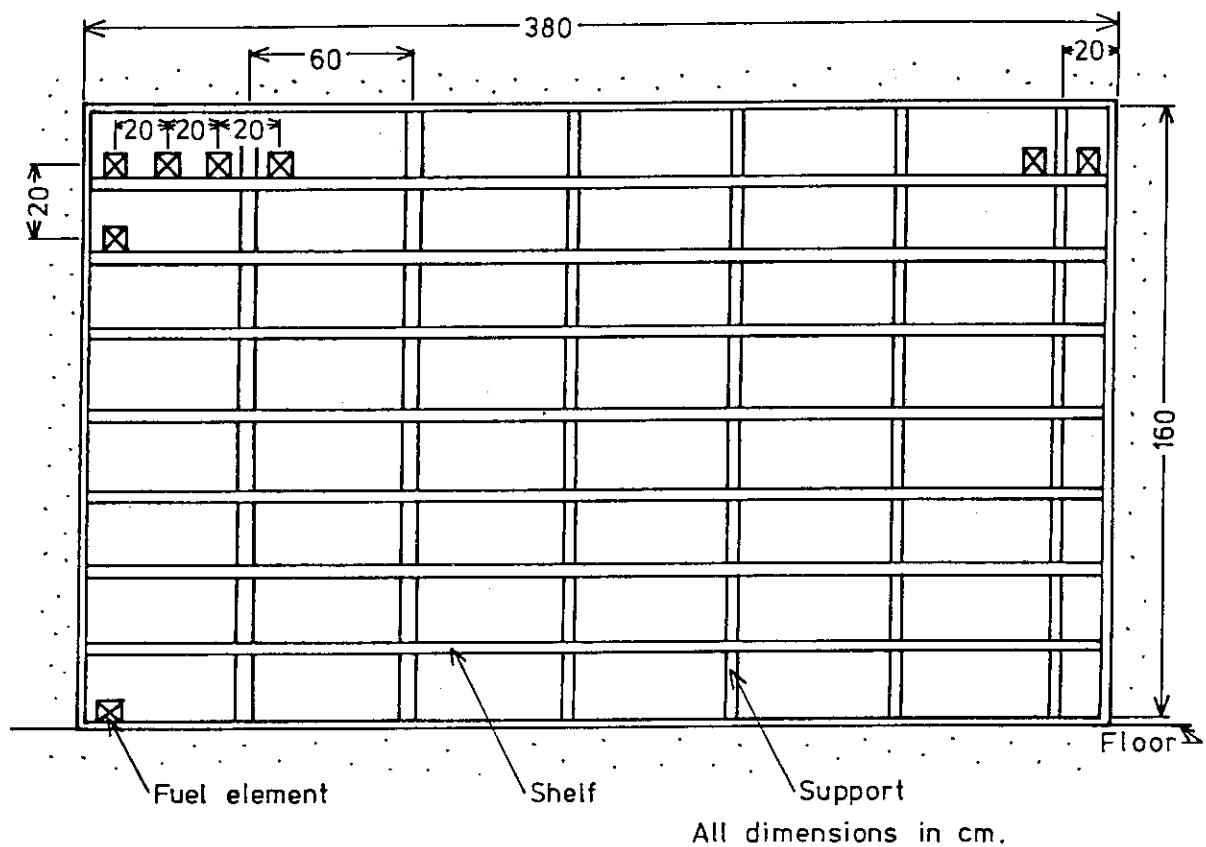


Fig. 3.9 Front view of fresh fuel storage rack

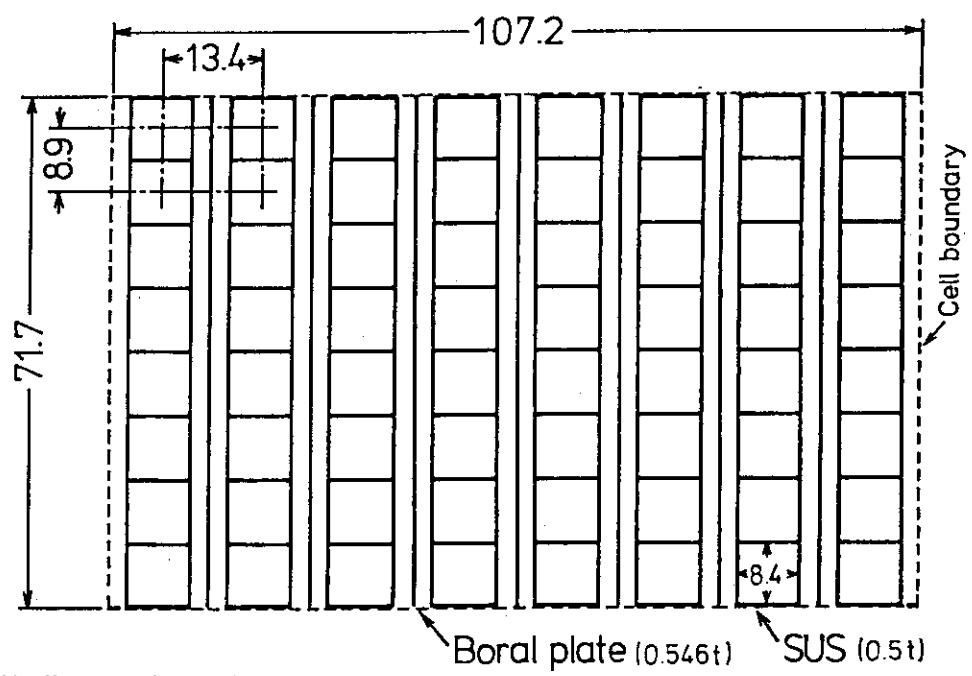
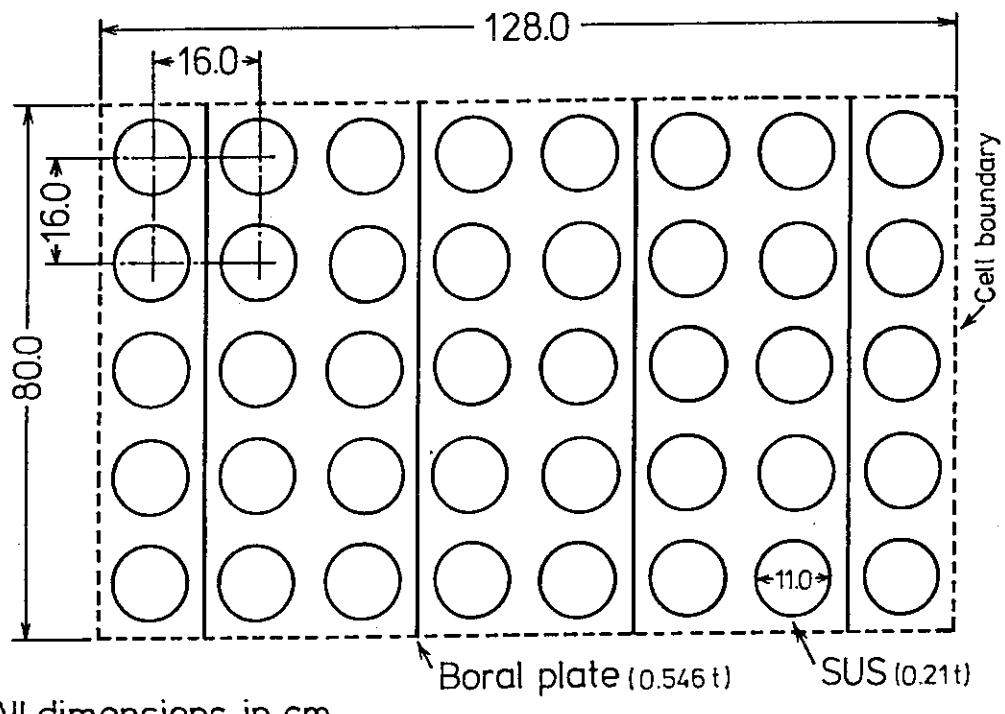
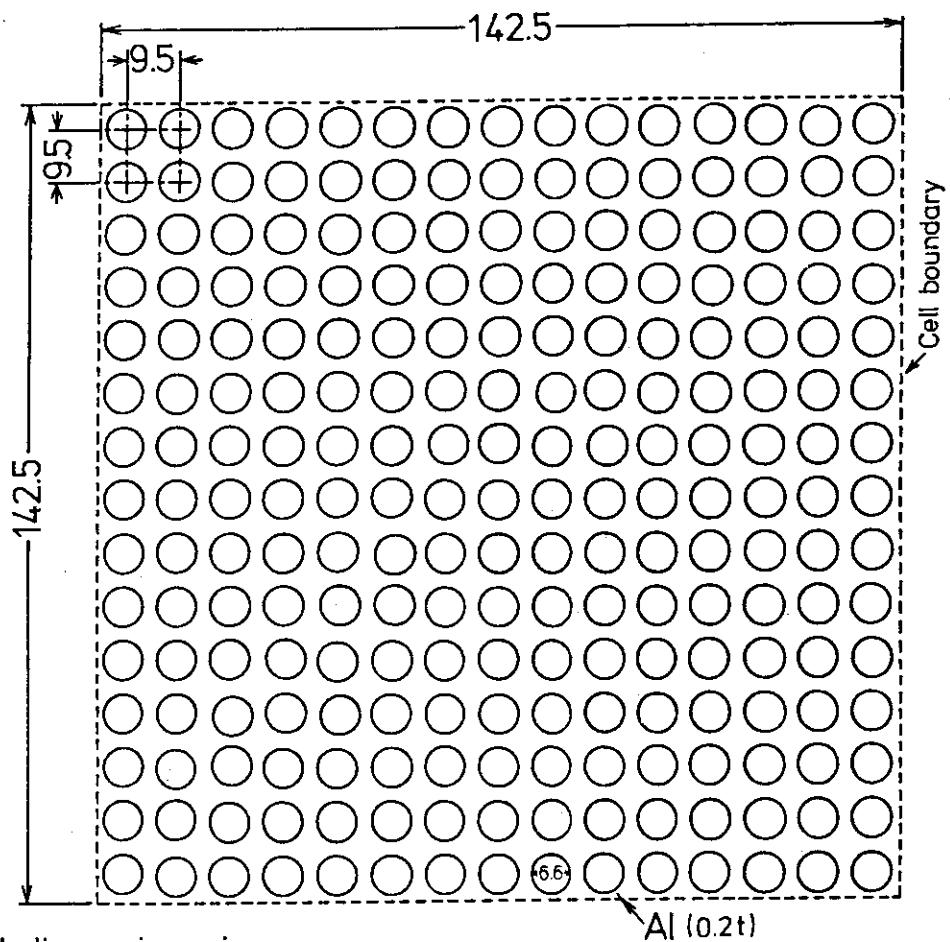


Fig. 3.10 Horizontal cross-section of spent fuel storage rack No.1



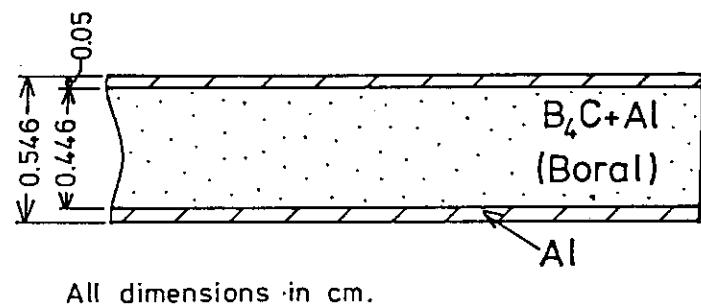
All dimensions in cm.

Fig. 3.11 Horizontal cross-section of spent fuel storage rack No. 2



All dimensions in cm.

Fig. 3.12 Horizontal cross-section of UO<sub>2</sub> fuel storage rack of 15 x 15 array



All dimensions in cm.

Fig. 3.13 Cross-section of neutron absorber plate

## 4. 計 算 方 法

燃料貯蔵設備の臨界計算は、「原子力臨界安全評価コードシステム J A C S (The Nuclear Criticality Safety Evaluation Code System)<sup>(4)</sup>」を用いて行った。計算は大別して次の2種類である。

- (1) 単純な配列における、燃料要素数、格子間隔、及び減速材密度の実効増倍係数に及ぼす効果。
- (2) 実際の貯蔵設備の実効増倍係数。

計算ケースは、Table 4.1 に示すように、内容によって分類されて番号が付されている。上記の分類(1)は10番台、分類(2)は100番台である。

全計算とも標準型燃料要素について行った。また、使用済燃料貯蔵設備の評価においても、未使用燃料要素を用いて計算を行った。これは、<sup>235</sup>U 含有量の多い未使用標準型燃料要素について評価しておけば、十分安全側の評価となるからである。

$\text{UO}_2$ 燃料要素の評価も同様に、未使用のものについて行った。

### 4.1 計算コード

J A C S システムは、中性子断面積ライブラリ (M G C L) とその処理コードや、Sn 輸送理論、拡散理論及びモンテカルロ法の計算コードによって構成されている。本計算のフローを Fig. 4.1 に示し、以下に用いた計算コードについて簡単に述べる。

- (1) M A I L<sup>(5)</sup> : M G C L ライブラリを用いて、臨界計算用の巨視的実効断面積を計算する。ただし、群構造の縮約は行わない。
- (2) K E N O - IV<sup>(6)</sup> : モンテカルロ法による臨界計算を行う。
- (3) M U L T I - K E N O<sup>(7)</sup> : K E N O - IV コードの改良版である。より複雑な体系についての計算に用いる。

### 4.2 実効断面積

燃料要素及び燃料貯蔵設備の各構造材の巨視的実効断面積は、M A I L コードを使用して計算した。燃料要素は、要素内を均質と仮定した場合と、非均質として要素内の各構造材毎に計算したものとがある。要素内を非均質とした場合の燃料芯材の実効断面積の計算では、減速材の密度を考慮してダンコフ補正を行った。

計算条件を以下に示す。

- (1) 核断面積データ : M G C L ライブラリ (ENDF / B - IV を基にして作成)
- (2) エネルギー群構造 : 137 群及び 26 群であり、それぞれのエネルギー切断値を Table 4.2 に示す。

- (3) 体 系 温 度 : 300 K
- (4) 自 己 遮 蔽 効 果 : MGCLライブラリに内蔵されている自己遮蔽テーブルを参照することにより補正する。
- (5) ダンコフ補正 : Black limit Approximation 燃料要素内を非均質とした場合の燃料芯材の実効断面積の計算のみである。計算体系を Fig. 4. 2 に示す。補正に使用した、減速材の減速エネルギー領域の巨視的全断面積を Table 4. 3 に示す。

#### 4.3 実効増倍係数に影響を与える因子

実効増倍係数は、種々の因子によって変化する。それらの因子のうち、燃料貯蔵ラックの設計において重要な次の因子について、実効増倍係数との関係を調べた。

- 燃料要素数
- 燃料要素間隔
- 減速材密度

計算体系は、燃料貯蔵ラックの構造材を無視した、燃料要素のみの配列である。

これらの因子についての計算と同時に、群定数ライブラリのエネルギー群数、燃料要素の近似法（均質又は非均質）、ダンコフ補正及び燃料要素有効長についての効果も調べた。

##### 4.3.1 燃料要素数

次の2種類の燃料要素配列について、燃料要素数が実効増倍係数に及ぼす効果を調べた。

- 分類10：無限×無限 (infinite × infinite)
- 分類11：有限×無限 (N × infinite)

有限した方向については、その要素数Nを変えて計算を行った。

燃料有効長は 75 cm である。燃料の軸方向の両端には、20 cm の軽水領域を配置した。

計算条件を以下に示す。

- 計算コード : MULTI-KENO
- エネルギー群数 : 137
- 計算体系 : Fig. 4. 3
- 燃料要素モデル : 非均質 (Fig. 4. 4)
- 境界条件 :
  - 軸方向 (Z方向) 真空
  - 無限配列方向 (X方向) 全反射
  - 有限配列方向 (Y方向) 真空
- 燃料格子間隔 : 7.62 (密着), 10, 20, 及び 25 cm
- 有限方向配列数 : N = 1 から 100
- 軽水密度 : 10 g/cm<sup>3</sup>
- ヒストリ数 : 30,000 (1世代当たりの発生中性子数 300)

#### 4.3.2 燃料要素間隔

燃料要素を等間隔で無限に配列した体系について、要素間隔と増倍係数との関係を次の場合について調べた。

- 分類20 : 燃料要素内を均質にする。エネルギー群数は137である。
- 分類21 : 燃料要素内を非均質にする。エネルギー群数は137である。
- 分類22 : 燃料要素内を非均質にする。エネルギー群数は26である。

なお、燃料有効長はいずれの場合も無限である。

上記以外の計算条件は、以下の通りである。

- 計算コード : KENO-IV 分類20  
MULTI-KENO 分類21, 22
- 計算体系 : Fig. 4.5 (燃料要素内が非均質の場合の要素内形状はFig. 4.4 を参照のこと)
- 境界条件 : 全方向とも全反射
- 燃料要素格子間隔 : 7.72から20cm (燃料要素間隔で0.1から12.38cm)
- 軽水密度 : 1.0 g/cm<sup>3</sup>
- ヒストリ数 : 30,000 (1世代当たりの発生中性子数300)

#### 4.3.3 減速材密度

燃料要素を8行19列に配列した体系で、減速材である軽水の密度を変化させて計算を行い、軽水の密度が増倍係数に及ぼす効果を次の場合について調べた。

- 分類30 : 燃料要素内を均質とし、燃料有効長を無限とした。エネルギー群数は137である。
- 分類31 : 燃料有効長を75cmとし、軸方向の両端にそれぞれ20cmの軽水を配置した。他は分類30と同様である。
- 分類32 : 燃料要素内を非均質とした。燃料芯材の巨視的実効断面積は、軽水密度を1.0 g/cm<sup>3</sup>としてダンコフ補正したものを用いた。燃料有効長は75cmとし、軸方向両端にそれぞれ20cmの軽水を配置した。エネルギー群数は、137である。
- 分類33 : エネルギー群数は26である。他は分類32と同様である。
- 分類34 : 分類32と同様である。ただし、燃料芯材の巨視的実効断面積は軽水密度の変化に応じてダンコフ補正をしたもの用いた。例えば、軽水密度が0.5 g/cm<sup>3</sup>のときの計算には、軽水密度を0.5 g/cm<sup>3</sup>としてダンコフ補正をした巨視的実効断面積を用いた。
- 分類35 : エネルギー群数は26である。他は分類34と同様である。
- 分類36 : 分類32と同様である。ただし、燃料芯材の巨視的実効断面積はダンコフ補正しないものを用いた。すなわち、軽水密度を0.0 g/cm<sup>3</sup>としたときの巨視的実効断面積である。

いずれも軽水密度を変化させて計算した。

上記以外の計算条件を以下に示す。

- 計算コード : KENO-IV 分類30及び31  
MULTI-KENO 分類32, 33, 34, 35及び36
- 計算体系 : Fig. 4.6 (燃料要素内を非均質として計算する場合は要素内形状はFig. 4.4 参照)
- 境界条件 : 全方向とも、軽水領域の外側で真空条件である。ただし、分類30の燃料要素軸方向については全反射条件である。
- 燃料要素配列数 :  $8 \times 19$ 体
- 燃料要素格子間隔 :  $20.0 \times 20.0$  cm
- 軽水密度 : 0.0 から  $1.0$  g/cm<sup>3</sup>
- ヒストリ数 : 30,000 (1世代当たりの発生中性子数 300)

#### 4.4 燃料貯蔵設備の実効増倍係数

燃料要素が実際に貯蔵される場合に用いられる、貯蔵ラックの実効増倍係数を計算した。この場合、安全性の評価が安全側になるように、計算体系をモデル化した。また、実効増倍係数に大きな影響を与える燃料格子間隔、減速材密度及び吸収材の効果についても調べた。

##### 4.4.1 未使用燃料貯蔵ラック

未使用燃料貯蔵ラックに燃料要素が収納されている場合について、燃料要素の格子間隔及び体系内の軽水密度と実効増倍係数との関係を調べた。計算は、次のように分類される。

- 分類 100 : 貯蔵ラックの構造材を無視した場合である。
- 分類 101 : 鉄製の棚板を考慮した場合である。
- 分類 102 : ボラル板が、棚板の代りに置かれている場合である。

計算体系を Fig. 4.7 に示す。燃料要素の有効長を 75 cm とし、軸方向の両端にそれぞれ 20 cm の軽水領域を配置した。

各分類に共通する計算条件は、次の通りである。

- 計算コード : MULTI-KENO
- エネルギー群数 : 137
- 燃料要素モデル : 非均質 (Fig. 4.4)
- 境界条件 : 軸方向 (Z 方向) 真空  
無限配列方向 (X 方向) 全反射  
有限配列方向 (Y 方向) 真空
- 燃料要素格子間隔 : 7.62 (密着) から 25 cm まで
- 軽水密度 : 0.0 から  $1.0$  g/cm<sup>3</sup>
- 燃料要素数 : 有限配列方向 (Y 方向) 80 体
- ヒストリ数 : 30,000 (1 世代当たりの発生中性子数 300)

#### 4.4.2 使用済燃料貯蔵ラック No. 1

使用済燃料貯蔵ラック No. 1 に燃料要素が無限配列された体系での実効増倍係数を、次の分類に従って計算した。

- 分類 200 : 燃料要素内を均質とし、軽水の密度を変化させた。
- 分類 201 : 燃料要素内を非均質とし、軽水の密度を変化させた。
- 分類 202 : 燃料要素内を非均質とし、ボラル板の効果を考慮した。軽水の密度を変化させた。
- 分類 203 : 燃料要素内を均質とし、要素間隔を変化させた。軽水密度は、一定にした。

各分類とも燃料有効長は 75cm とし、軸方向の両端にそれぞれ 20 cm の軽水を配置した。上記以外の計算条件を以下に示す。

- 計算コード : KENO - IV 分類 200, 203  
MULTI - KENO 分類 201, 202
- エネルギー群数 : 137
- 計算体系 : Fig. 4.8 (燃料要素内が非均質の場合には Fig. 4.4 も参照)
- 境界条件 : 軸方向 (Z 方向) 真空  
配列方向 (X, Y 方向) 全反射
- 軽水密度 : 0.0 から  $1.0 \text{ g/cm}^3$  (分類 203 は  $1.0 \text{ g/cm}^3$  のみ)
- 燃料要素格子間隔 : X 方向 13.4 cm  
Y 方向 8.9 cm  
(分類 203 は Y 方向のみを 8.9 から 12 cm まで変化させた。)
- ヒストリ数 : 30,000 (1 世代当たりの発生中性子数 300)

#### 4.4.3 使用済燃料貯蔵ラック No. 2

使用済燃料貯蔵ラック No. 2 に燃料要素が無限配列された体系での実効増倍係数を、次の分類に従って計算した。

- 分類 300 : 燃料要素内を均質とした。
- 分類 301 : 燃料要素内を非均質とした。
- 分類 302 : 燃料要素内を非均質とし、ボラル板の効果を考慮した。

各分類とも燃料有効長は 75 cm とし、軸方向の両端にそれぞれ 20 cm の軽水を配置した。いずれの場合も、軽水密度を変化させた。

上記以外の計算条件を以下に示す。

- 計算コード : KENO - IV 分類 300  
MULTI - KENO 分類 301 及び 302
- エネルギー群数 : 137
- 計算体系 : Fig. 4.9 (燃料要素内を非均質として計算する場合の要素内形状は、Fig. 4.4 参照)
- 境界条件 : 軸方向 (Z 方向) 真空

配列方向 (X, Y 方向) 全反射

- 軽水密度 : 0.0 から  $1.0 \text{ g/cm}^3$
- ヒストリ数 : 30,000 (1 世代当たりの発生中性子数 300)

#### 4.4.4 $\text{UO}_2$ 燃料貯蔵ラック

$\text{UO}_2$  燃料貯蔵ラックは、 $\text{UO}_2$  燃料要素が 9.5 cm の格子間隔で 15 行 15 列に配列され、燃料貯槽 No.1 及び No.2 にそれぞれ 2 基ずつ設置される。したがって、各貯槽には最大 450 体ずつが貯蔵することができるが、計算においては、余裕を見込んで 34 行 34 列の合計 1156 体が配列されているとした。

$\text{UO}_2$  燃料要素の配列の水平方向の外側は、50 cm 厚さの軽水領域を置いた。軸方向については、210 cm の燃料有効部があり、その上・下部に 50 cm の軽水領域を置いた。

燃料要素は、4 本の燃料ピンで構成されているが、計算では Fig. 4.10 に示すように、要素セル内を同心円状に 3 領域に分割して均質化した。それぞれの領域は、内側から領域 1, 2 及び 3 と呼ぶことにする。さらに、要素セルの外側には、軽水のみの領域（領域 4）を置いた。体系内の軽水密度はパラメトリックに変えて、実効増倍係数の変化を調べた（分類 400）。

以下に、その他の計算条件を示す。

- 計算コード : KENO-IV
- エネルギー群数 : 137
- 境界条件 : 全方向 真空
- 軽水密度 : 0.0 から  $1.0 \text{ g/cm}^3$
- ヒストリ数 : 30,000 (1 世代当たりの発生中性子数 300)

#### 4.4.5 $\text{UO}_2$ 燃料貯蔵ラックと使用済燃料貯蔵ラックとの共存配列

$\text{UO}_2$  燃料貯蔵ラックは、使用済燃料貯蔵ラック No.1 又は No.2 と同一貯槽に設置される。このため、両貯蔵ラックが並べられて配置された場合の実効増倍係数を、次の分類に従って計算した。

- 分類 500 :  $\text{UO}_2$  燃料貯蔵ラックと使用済燃料貯蔵ラック No.1 とが並んだ場合である。  
計算体系を Fig. 4.11 及び 4.12 に示す。 $\text{UO}_2$  燃料貯蔵ラック内の水ギャップは、内部で 0.07 cm、両端でその約半分の 0.04 cm である。
- 分類 501 :  $\text{UO}_2$  燃料貯蔵ラックと使用済燃料貯蔵ラック No.2 とが並んだ場合である。  
計算体系を Fig. 4.13 に示す。 $\text{UO}_2$  燃料貯蔵ラック内の水ギャップは、内部で 0.1 cm、両端ではその半分の 0.05 cm である。

$\text{UO}_2$  燃料貯蔵ラック内の水ギャップ幅は、分類 500 と 501 とで同じであるべきだが、計算モデルの作成上 0.03 cm の差が生じている。しかし、この差は僅かなものであるので、結果には本質的な影響をもたらさない。

Fig. 4.11, 4.12 及び 4.13 に示した計算体系の中で、各燃料貯蔵ラック内の体系は詳記していないが、 $\text{UO}_2$  燃料貯蔵ラックは分類 400、使用済燃料貯蔵ラック No.1 は分類 202、及び使用済燃料貯蔵ラック No.2 は分類 302 の場合と同様である。ただし、使用済燃料貯蔵ラック No.1 及び No.2 の中の燃料要素は均質と仮定した。

$\text{UO}_2$ 燃料貯蔵ラックと使用済燃料貯蔵ラック No.1 又は No.2との距離はパラメータとして、その距離と実効増倍係数との関係を調べた。

以下に、上記以外の計算条件を示す。

- 計 算 コ ー ド : MULTI-KENO
- エ ネ ル ギ ー 群 数 : 137
- 燃 料 有 効 長 :  $\text{UO}_2$ 燃料要素 210.0 cm  
標準型燃料要素 75.0 cm
- 境 界 条 件 : 軸方向 (Z 方向) 真 空  
無限配列方向 (X 方向) 全反射  
有限配列方向 (Y 方向) 真 空
- 軽 水 密 度 :  $1.0 \text{ g/cm}^3$
- ヒ ス ト リ 数 : 30,000 (1 世代当りの発生中性子数 300)

Table 4.1 Summary of calculations

Category I.D.	Storage rack	Fuel array			Lattice pitch * : Separation	Moderator density (g/cm <sup>3</sup> )	Neutron absorber	Fuel length (cm)	Energy groups	Fuel element model	H <sub>2</sub> O in Dancoff correction
		Finite × Finite	Infinite × Finite	Infinite × Infinite							
10	None (Uniform lattice)			○	7.62~25.0	1.0	None	75	137	Hetero.	100%
11	"		1~100		"	"	"	"	"	"	"
20	"			○ ○	7.72~20.0	"	"	Infinite	"	Homo.	—
21	"			○ ○	"	"	"	"	"	Hetero.	100%
22	"			○	"	"	"	"	26	"	"
30	"	8×19			20.0	0.0~1.0	"	"	137	Homo.	—
31	"	"			"	"	"	75	"	"	—
32	"	"			"	"	"	"	"	Hetero.	100%
33	"	"			"	"	"	"	26	"	"
34	"	"			"	"	"	"	137	"	Same as moderator
35	"	"			"	"	"	"	26	"	"
36	"	"			"	"	"	"	137	"	None
100	Fresh fuel		80		7.62~25.0	"	"	"	"	"	Same as moderator
101	"		"		7.92~25.0	"	Fe	"	"	"	"
102	"		"		8.17~25.0	"	Boral	"	"	"	"
200	No. 1		○	13.4×8.9	"	SUS	"	"	"	Homo.	—
201	"		○	"	"	"	"	"	"	Hetero.	Same as moderator
202	"		○	"	"	Boral	"	"	"	"	"
203	"		○	8.9~12.0	1.0	SUS	"	"	"	Homo.	—
300	No. 2		○	16.0×16.0	0.0~1.0	"	"	"	"	"	—
301	"		○	"	"	"	"	"	"	Hetero.	Same as moderator
302	"		○	"	"	Boral	"	"	"	"	"
400	UO <sub>2</sub>	34×34			9.5	"	None	210	"	Homo.	—
500	Na <sub>1</sub> +UO <sub>2</sub>		40		0~100*	1.0	Boral	75 210	"	"	—
501	Na <sub>2</sub> +UO <sub>2</sub>		"		"	"	"	"	"	"	—

\* : Separation between UO<sub>2</sub> and U-Al<sub>x</sub>-Al fuel arrays

Table 4.2 Energy group structure of MGCL Library

137 GROUPS (MASTER)				26 GROUPS				137 GROUPS (MASTER)				26 GROUPS			
GROUP	UPPER NO.	LETH- ENERGY	GR.- ARGY	GROUP	LETH- NO.	GR.- ARGY	GROUP	UPPER NO.	LETH- ENERGY	GR.- ARGY	GROUP	UPPER NO.	LETH- ENERGY	GR.- ARGY	WIDTH
1	16.487	MEV	0.125					36	207.54	KEV	0.125				
2	14.550	"						37	183.16	"					
3	12.840	"						38	161.63	"					
4	11.331	"						39	142.64	"					
5	10.000	"						40	125.88	"					
6	8.825	"						41	111.09	"					
7	7.788	"						42	98.037	"					
8	6.8729	"						43	86.517	"					
9	6.0653	"						44	76.351	"					
10	5.3526	"						45	67.379	"					
11	4.7237	"						46	59.462	"					
12	4.1686	"						47	52.475	"					
13	3.6788	"						48	46.309	"					
14	3.2465	"						49	40.868	"					
15	2.8650	"						50	36.066	"					
16	2.5284	"						51	31.828	"					
17	2.2313	"						52	28.088	"					
18	1.9691	"						53	24.788	"					
19	1.7377	"						54	21.875	"					
20	1.5335	"						55	19.305	"					
21	1.3533	"						56	17.036	"					
22	1.1943	"						57	15.034	0.25					
23	1.0540	"						58	11.709	"					
24	930.14	KEV	"					59	9.1188	"					
25	820.85	"						60	7.1017	"					
26	724.40	"						61	5.5308	"					
27	639.28	"						62	4.3075	"					
28	564.16	"						63	3.3546	"					
29	497.87	"						64	2.6126	"					
30	439.37	"						65	2.0347	"					
31	387.74	"						66	1.5846	"					
32	342.18	"						67	1.2341	"					
33	301.97	"						68	961.12	EV	"				
34	266.49	"						69	748.52	"					
35	235.18	"						70	582.95	"					
															8 1.50

Table 4.2 Energy group structure of MGCL Library (continued)

137 GROUPS (MASTER)			26 GROUPS			137 GROUPS (MASTER)			26 GROUPS			
GROUP	UPPER	LETH-	GR.	LETH-	GR.	UPPER	ENERGY	CITY	VELO-	GR.	VELO-	
NO.	ENERGY	ARGY	NO.	ARGY	NO.	NO.	WIDTH	WIDTH	CITY	NO.	CITY	
71	454.00	EV	0.25	"	"	105	0.41399	EV	270	M/S	"	
72	353.58	"	"	8	1.50	106	0.38925	"	"	16	810	M/S
73	275.36	"	"			107	0.36528	"				
74	214.45	"	"			108	0.34206	"				
75	167.02	"	"			109	0.31961	"		17	"	
76	130.07	"	"			110	0.29792	"				
77	101.30	"	"			111	0.27699	"				
78	78.893	"	"	9	1.50	112	0.25683	"		18	"	
79	61.442	"	"			113	0.23742	"				
80	47.851	"	"			114	0.21878	"				
81	37.267	"	"			115	0.20090	"		19	"	
82	29.023	"	"			116	0.18378	"				
83	22.603	"	"			117	0.16743	"				
84	17.603	"	"	10	1.50	118	0.15183	"		20	"	
85	13.710	"	"			119	0.13700	"				
86	10.677	"	"			120	0.12293	"				
87	8.3153	"	"			121	0.10962	"		21	"	
88	6.4760	"	"			122	0.09708	"				
89	5.0435	"	"			123	0.085295	"				
90	3.9279	"	"	11	1.25	124	0.074274	"		22	"	
91	3.0590	"	"			125	0.064015	"				
92	2.3824	"	"			126	0.054518	"				
93	1.8554	"	"			127	0.045783	"		23	"	
94	1.6374	"	0.125			128	0.037811	"				
95	1.4450	"	"			129	0.030600	"				
96	1.2752	"	"			130	0.024152	"		24	"	
97	1.1254	"	"	13	0.375	131	0.018465	"				
98	0.99312	"	"			132	0.013541	"				
99	0.87642	"	"	14	0.25	133	0.009379	"		25	"	
100	0.77344	"	"			134	0.005979	"				
101	0.68256	"	"			135	0.003341	"				
102	0.60236	"	"	15	0.50	136	0.001466	"		26	"	
103	0.53158	"	"			137	0.000352	"				
104	0.46912	"	"			BOT.	0.000033	"				

Table 4.3 Total cross sections of water used in the calculation of  
Dancoff correction factor of fuel meat

(TEMPERATURE: 300 K)

WATER DENSITY (G/CM**3)	TOTAL CROSS SECTION OF H2O (1/CM)
1.00	1.4870
0.90	1.3383
0.80	1.1896
0.70	1.0409
0.60	0.8922
0.50	0.7435
0.45	0.6692
0.40	0.5948
0.35	0.5205
0.30	0.4461
0.20	0.2974
0.10	0.1487
0.05	0.0744

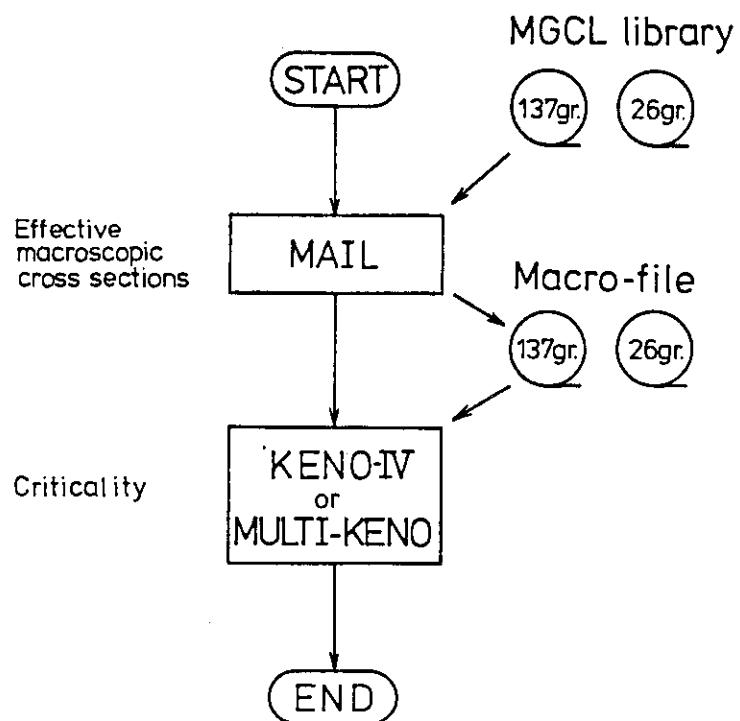
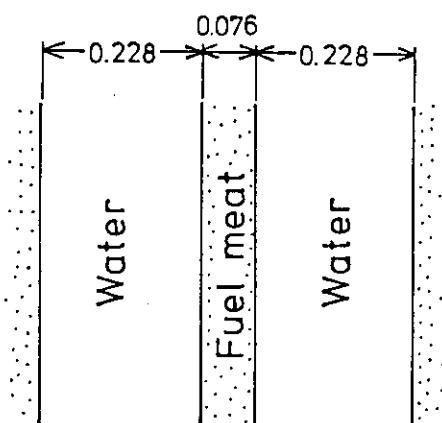


Fig. 4.1 Calculation flow for criticality safety evaluation



All dimensions in cm.

Fig. 4.2 Geometry for the calculation of Dancoff correction factor of fuel meat (Standard fuel element)

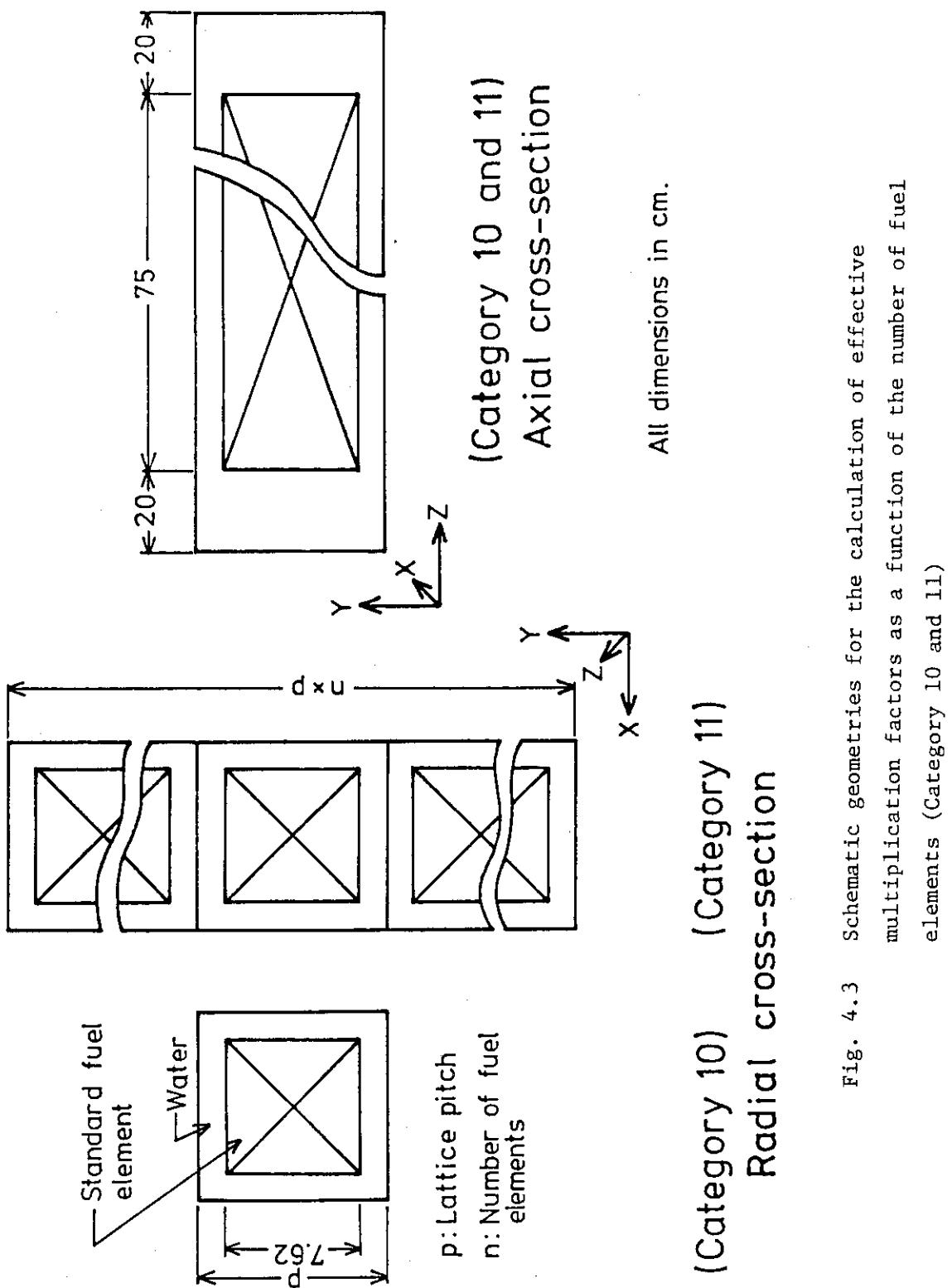


Fig. 4.3 Schematic geometries for the calculation of effective multiplication factors as a function of the number of fuel elements (Category 10 and 11)

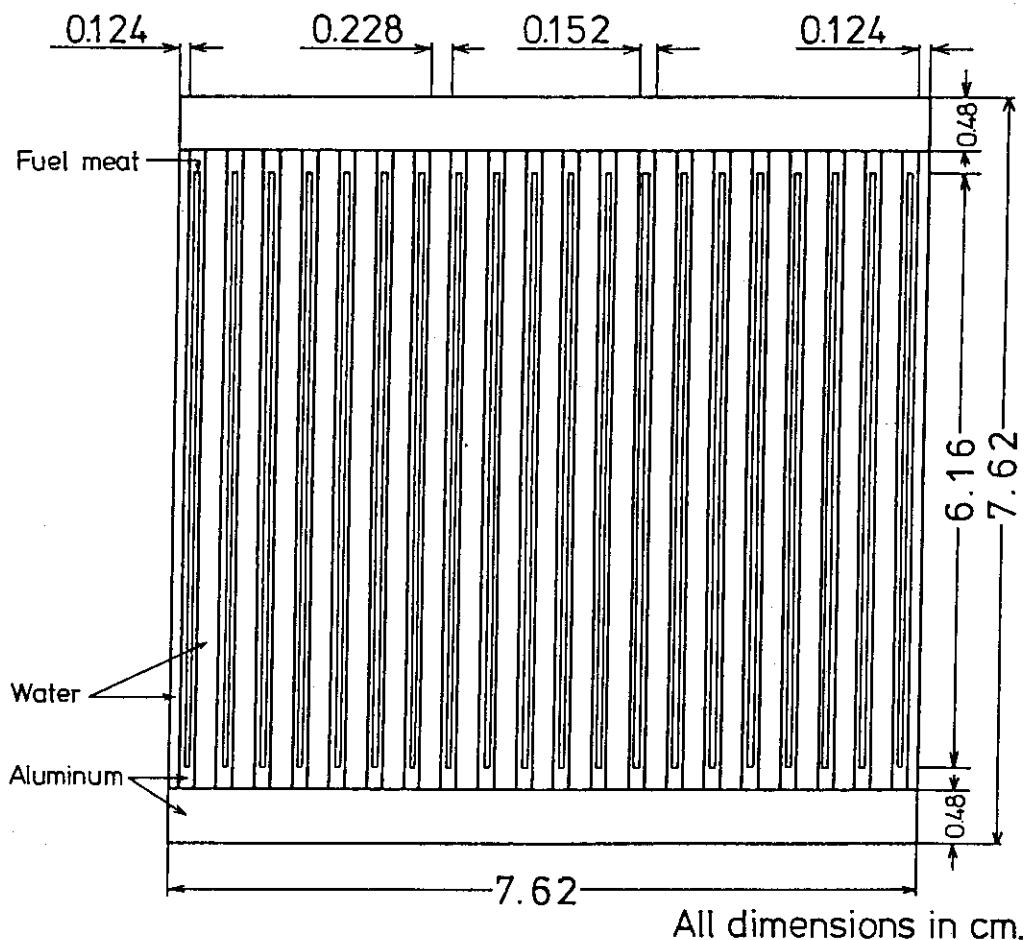
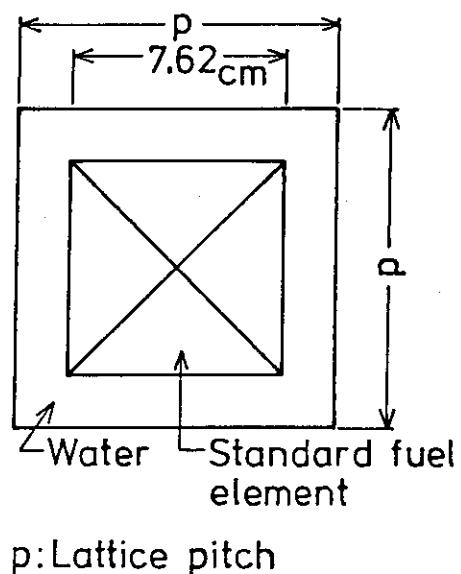
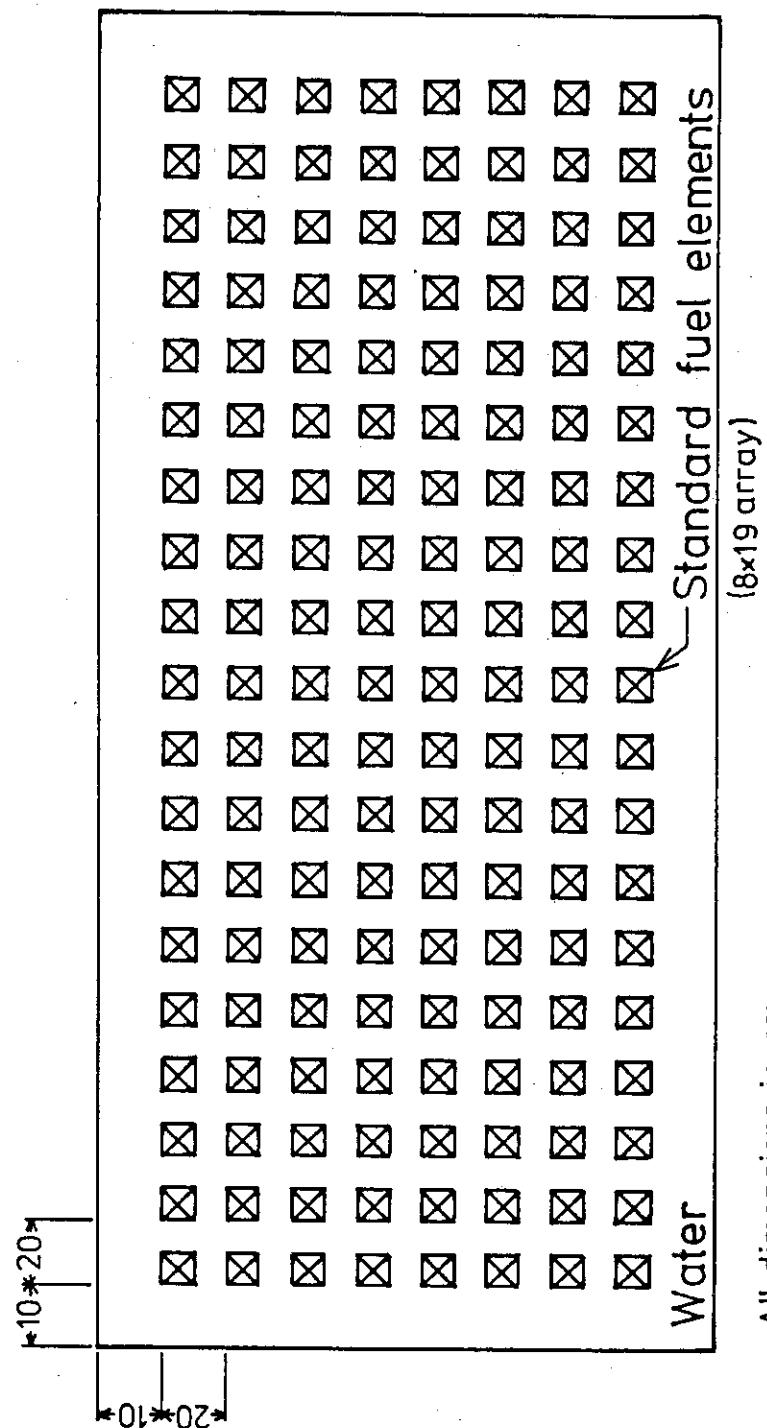


Fig. 4.4 Schematic geometry of standard fuel element for heterogeneous calculation of effective multiplication factor



$p$ : Lattice pitch

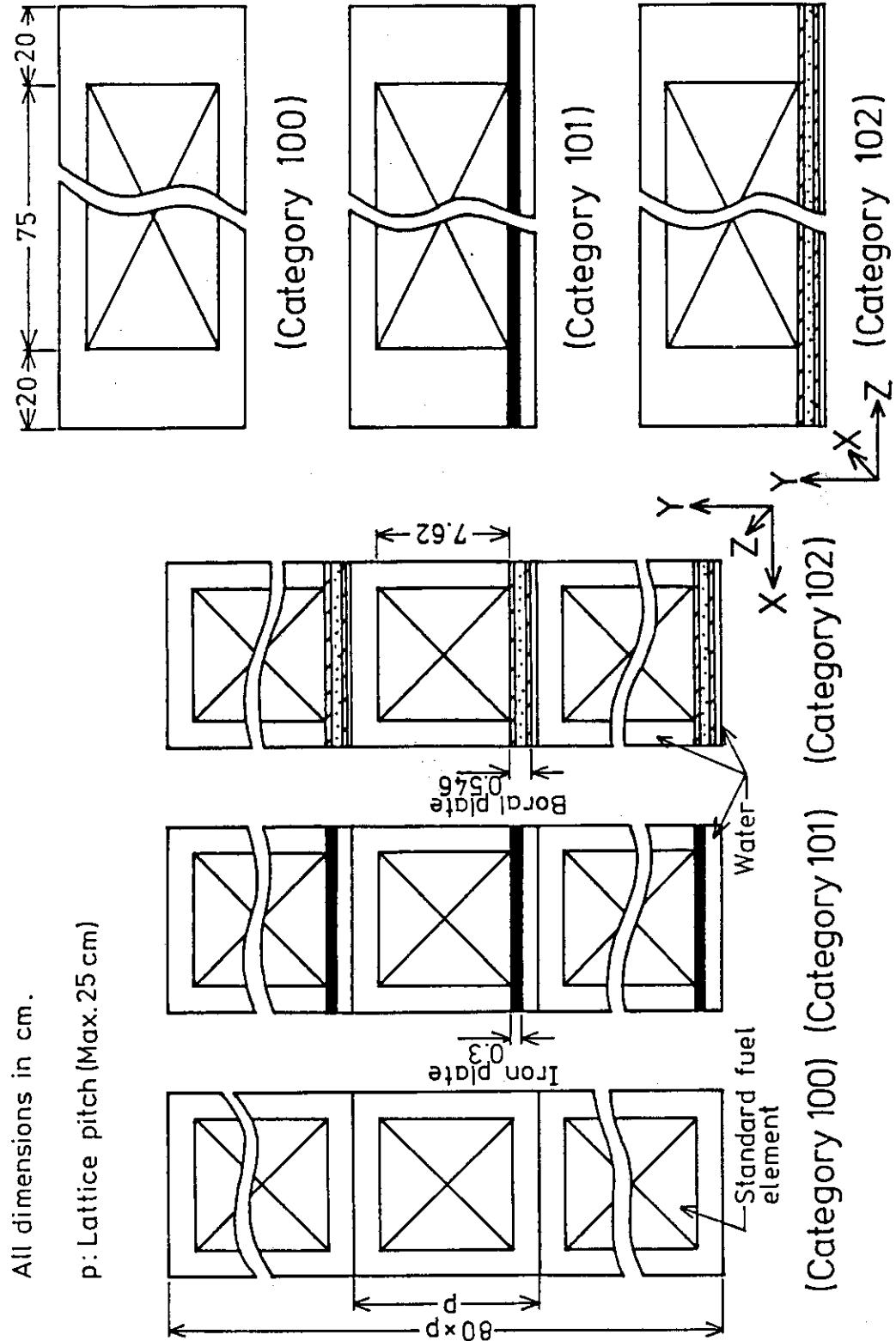
Fig. 4.5 Schematic geometry for the calculation of effective multiplication factors as a function of the separation between fuel elements (Category 20, 21, and 22)



(8x19 array)

All dimensions in cm.

Fig. 4.6 Schematic geometry for the calculation of effective multiplication factors as a function of water density (Category 30, 31, 32, 33, 34, 34, and 36)

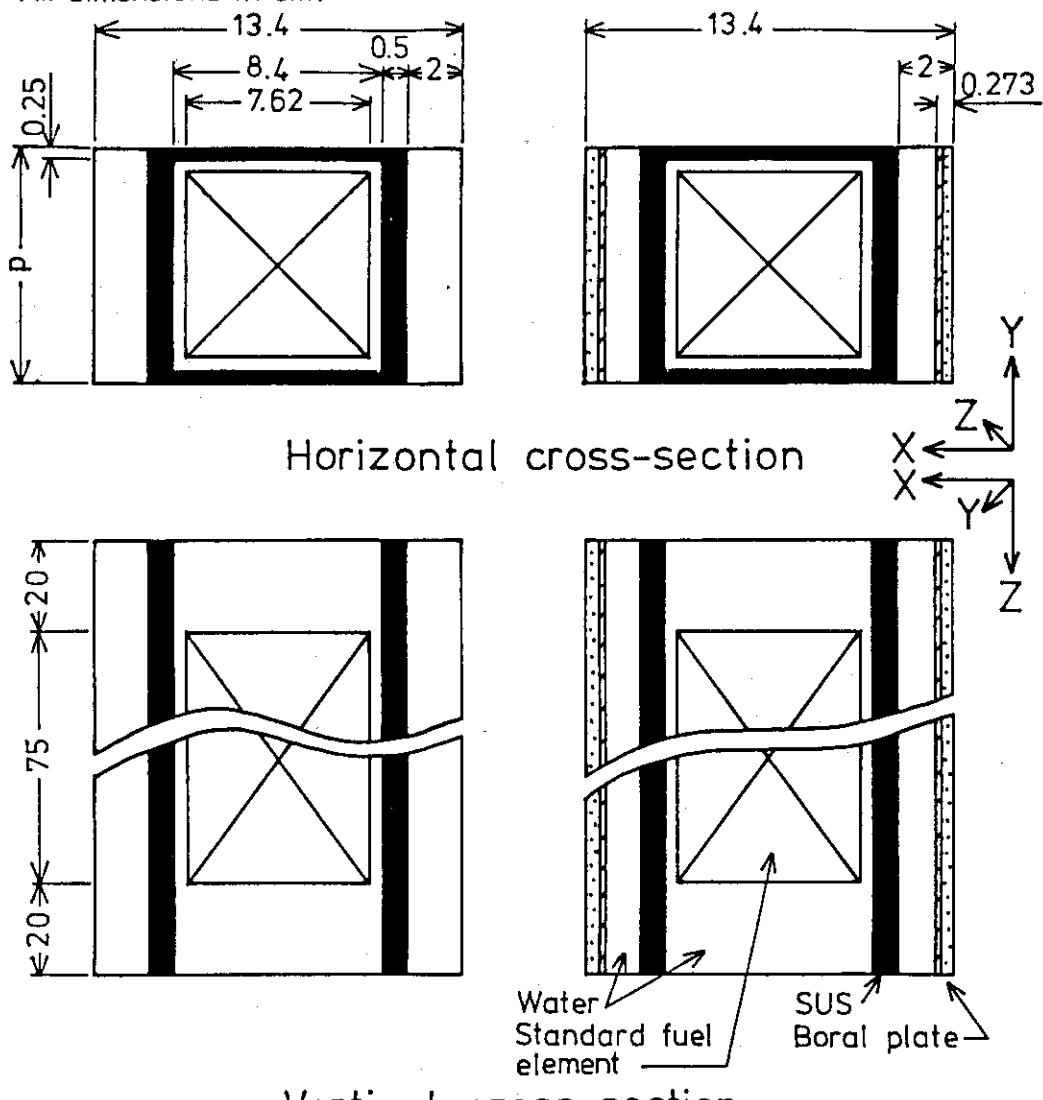


### Radial cross-section

Fig. 4.7 Schematic geometries for the calculation of effective multiplication factors of fresh fuel storage rack (Category 100, 101, and 102)

### Axial cross-section

All dimensions in cm.

(Category 200, 201,  
and 203)

(Category 202)

p: Lattice pitch, 8.9cm for Category 200, 201, and 202.  
8.9 ~ 12.0 cm for Category 203.

Fig. 4.8 Schematic geometries for the calculation of effective multiplication factors of spent fuel storage rack No. 1  
(Category 200, 201, 202, and 203)

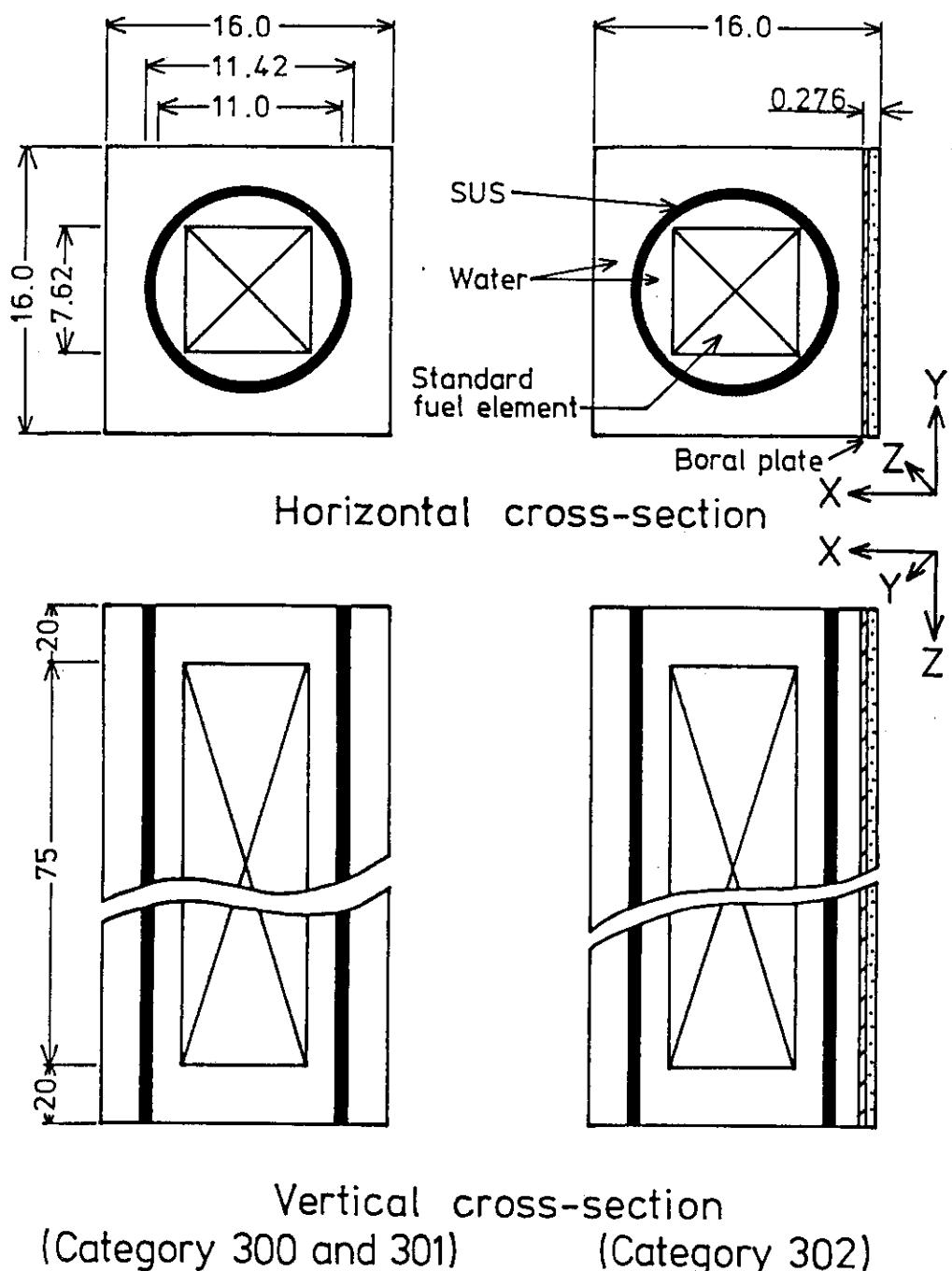


Fig. 4.9 Schematic geometries for the calculation of effective multiplication factors of spent fuel storage rack No. 2 (Category 300, 301, and 302).

All dimensions in cm.

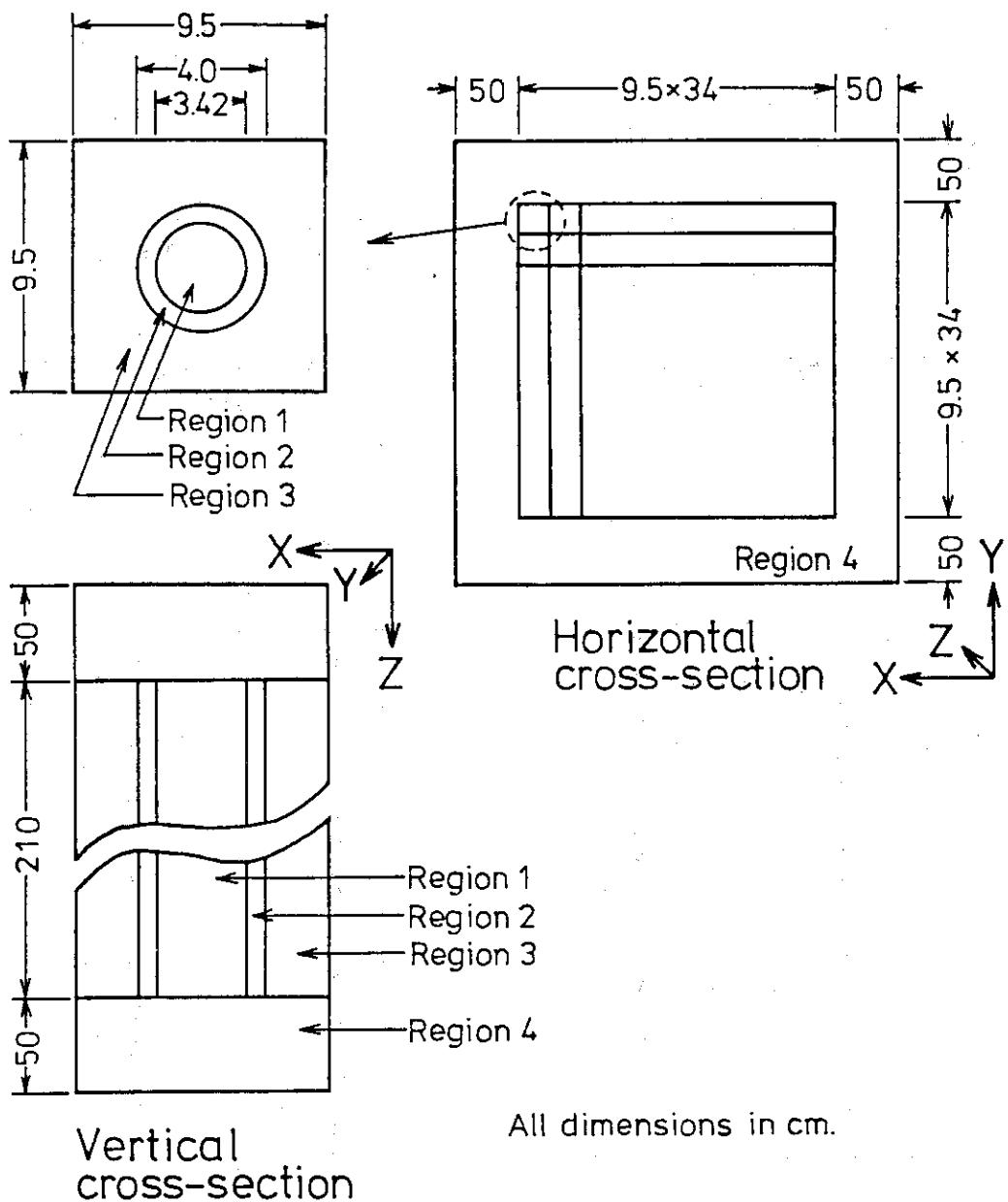


Fig. 4.10 Schematic geometry for the calculation of effective multiplication factor of  $\text{UO}_2$  fuel storage rack (Category 400)

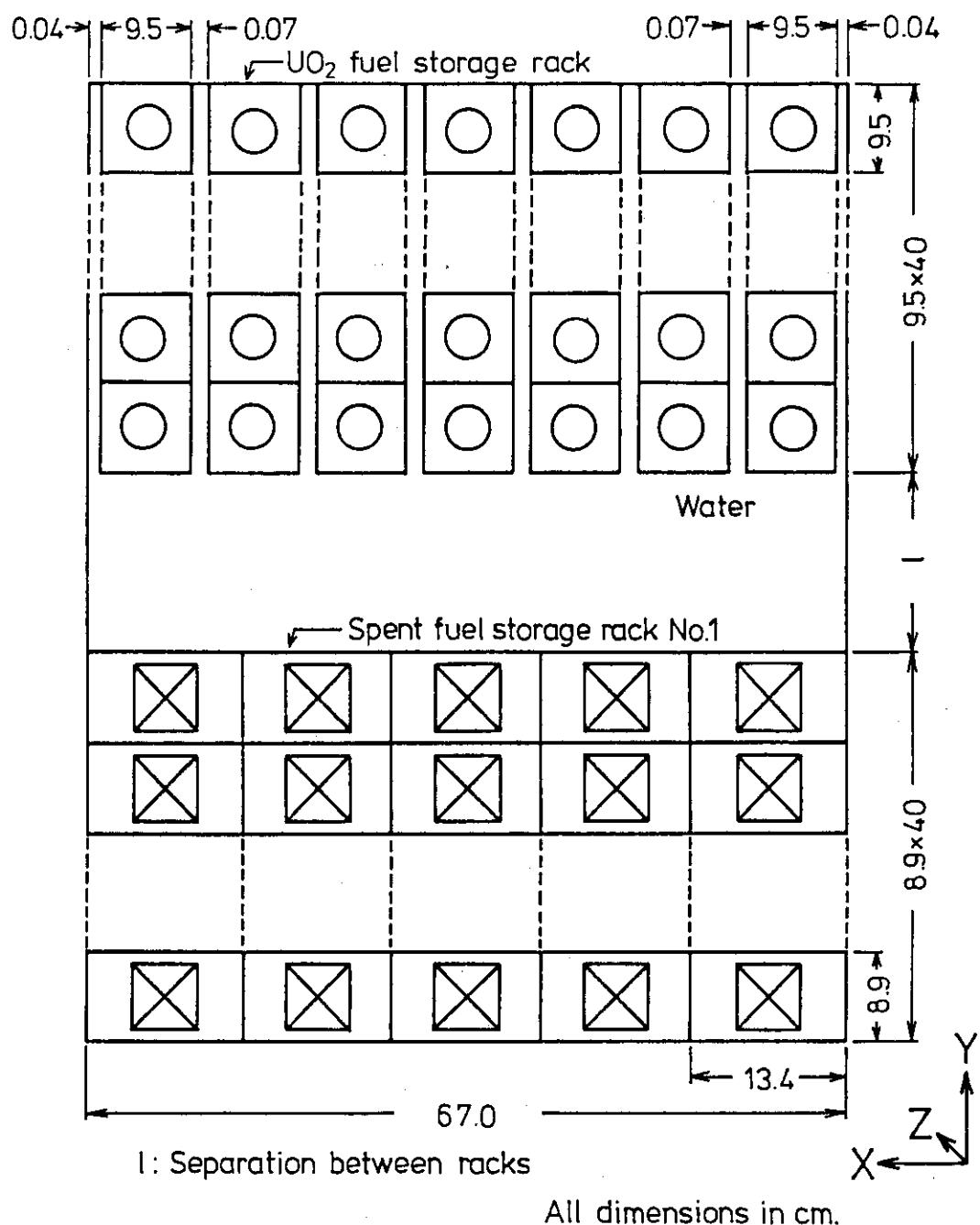


Fig. 4.11 Schematic horizontal cross-section for the calculation of effective multiplication factor of interacting system between UO<sub>2</sub> fuel storage rack and spent fuel storage rack No. 1 (Category 500)

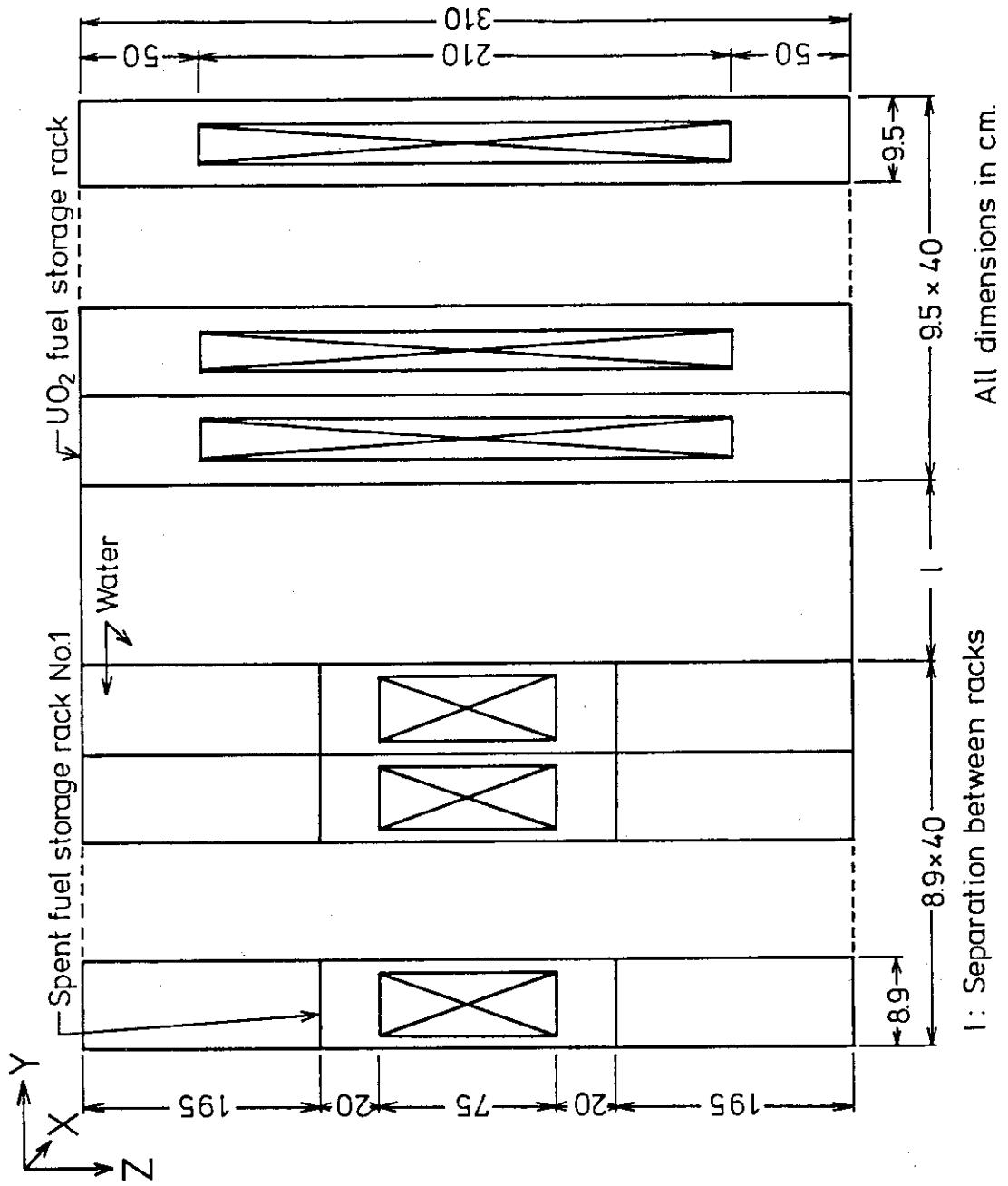


Fig. 4.12 Schematic vertical cross-section for the calculation of effective multiplication factor of interacting system between UO<sub>2</sub> fuel storage rack and spent fuel storage rack No. 1 (Category 500)

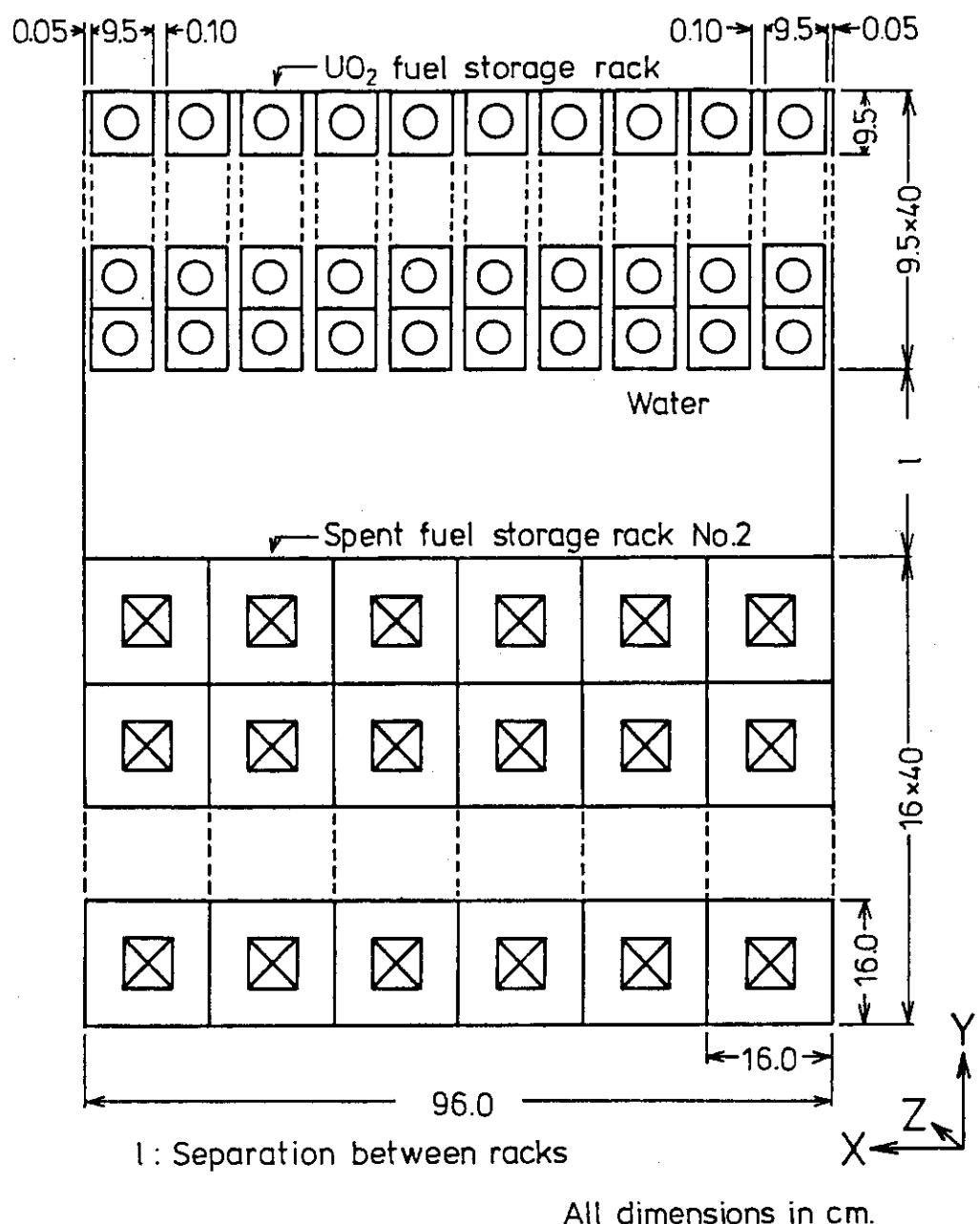


Fig. 4.13 Schematic horizontal cross-section for the calculation of effective multiplication factor of interacting system between UO<sub>2</sub> fuel storage rack and spent fuel storage rack No. 2 (Category 501)

## 5. 計算結果及び検討

### 5.1 実効増倍係数に影響を与える因子

#### 5.1.1 燃料要素数

燃料有効長 75 cm の標準型燃料要素の無限×無限配列体系（分類 10）での実効増倍係数  $k_{eff}$  を、燃料要素格子間隔が 7.62（密着状態）、10, 20 及び 25 cm の場合について Table 5.1 に示す。また、格子間隔が 7.62 及び 25 cm の場合を Fig. 5.1 に示す。さらに、同じ体系で 1 方向にのみ有限配列をした場合（分類 11）の  $k_{eff}$  を、有限方向の燃料要素数をパラメータとして Table 5.2 及び Fig. 5.1 に示す。燃料要素格子間隔は 7.62（密着状態）及び 25 cm の場合である。

Fig. 5.1 から分かるように、 $k_{eff}$  は有限方向の燃料要素の増加に伴い無限に配列した場合（分類 10）の  $k_{eff}$  に収束している。有限方向の燃料要素数が 60 体の体系は、増倍係数に関して無限×無限配列体系と十分等価であるとみなせる。

また、 $k_{eff}$  の燃料要素数への依存性は、燃料要素格子間隔が小さい場合ほど大きい。すなわち、燃料要素格子間隔が 7.62 cm の場合（密着状態）は、有限方向の燃料要素数が 50 体以下で  $k_{eff}$  は大きく変化するが、燃料要素格子間隔が 25 cm になると、 $k_{eff}$  の燃料要素数への依存性は小さくなっている。

#### 5.1.2 燃料要素間隔

燃料有効長を無限と仮定した標準型燃料要素を無限×無限に配列した体系で、燃料要素格子間隔を 7.72 から 20 cm（燃料要素間隔で 0.1 から 12.38 cm）まで変化させた場合の無限増倍係数  $k_{inf}$  の変化を Table 5.3 及び Fig. 5.2 に示す。図から分かるように  $k_{inf}$  はどの分類でも燃料要素格子間隔が 7.72 cm のときに最大であり、燃料要素格子間隔が増大するに伴い単調に減少している。燃料要素格子間隔が 7.72 cm のときの  $k_{inf}$  は、分類 20, 21 及び 22 でそれぞれ 1.595, 1.607 及び 1.595 である。燃料要素格子間隔が 13 cm 以上では、どの分類でも未臨界である。

分類 20（燃料要素が均質）と 21（同非均質）とを比較すると、 $k_{inf}$  は全体的に分類 20 のほうが大きく、最大で 6.7%（分類 21 の  $k_{inf}$  が 0.743 のとき）の差がある。分類 21（エネルギー群数 137）と分類 22（同 26）とでは、分類 22 のほうが  $k_{inf}$  は小さく、最大で 1.0%（分類 21 の  $k_{inf}$  が 1.366 のとき）の差がある。

無限×無限に配列した体系での計算は分類 10 でも行った（燃料要素内は非均質、エネルギー群数 137）。この結果を分類 21 と比較すると、燃料要素格子間隔が 7.62（分類 21 の 7.72 cm の場合と比較する。）及び 20 cm のときに、 $k_{inf}$  はそれぞれ 6.2 及び 6.1% だけ小さい（分類 21 の  $k_{inf}$  がそれぞれ 1.607 及び 0.488 のとき）。これは分類 21 が燃料有効長を無限と仮定しているのに対し、分類 10 では 75 cm として計算しているためである。

燃料有効長が無限で、燃料要素格子間隔が 7.72 cm の場合については、JRR-3 改造炉の核

設計において、S R A C コードシステムを用いた計算も行われている<sup>(3)</sup>。使用コードは、衝突確率法によるP I J コードである。結果は、分類 20, 21 及び 22 の燃料要素格子間隔 7.72 cm の場合に対応しており、 $k_{inf}$  が 1.5880 である。モンテカルロ法による値は、いずれも S R A C コードシステムの場合により 0.4 から 1.2 % ほど大きい。

### 5.1.3 減速材密度

標準型燃料要素を  $20 \times 20$  cm の格子間隔で 8 行 19 列に配列した体系で、減速材である軽水の密度を変化させた場合の実効増倍係数  $k_{eff}$  の変化を Table 5.4 及び Fig. 5.3 と 5.4 に示す。図から分かるように  $k_{eff}$  は軽水密度が 0.2 から  $0.3 \text{ g/cm}^3$  付近で最大になっている。また、燃料有効長を無限とした分類 3 0 の計算値を除いて、軽水密度がいかなる場合でも未臨界となっている。

燃料有効長が  $k_{eff}$  に及ぼす効果を見るため、分類 3 0（無限燃料有効長）と分類 3 1（燃料有効長 75 cm）とを比較する。前者は軽水密度が  $0.20 \text{ g/cm}^3$  付近で  $k_{eff}$  が最大 1.09 となるのに対し、後者は軽水密度が  $0.25 \text{ g/cm}^3$  付近で最大 0.80 となっている。燃料有効長が  $k_{eff}$  に及ぼす効果は軽水密度が低い場合に顕著であり、軽水密度が  $0.06 \text{ g/cm}^3$  の時に分類 3 1 の  $k_{eff}$  は分類 3 0 の 29 % である。なお、軽水密度が  $1.0 \text{ g/cm}^3$  の時は、3.2 % の差となっている。

また、前節 5.1.2 では、分類 1 0（燃料有効長 75 cm）と分類 2 1（無限有効長）とを比較しているが、燃料要素格子間隔 20 cm、軽水密度  $1.0 \text{ g/cm}^3$  のときに、増倍係数は前者が 6.2 % 小さかった。これには、上述の分類 3 0 及び 3 1 が、燃料要素が  $8 \times 19$  の有限配列として計算しているのに対し、分類 1 0 及び 2 1 は燃料要素が無限 × 無限の配列として計算している違いがある。

燃料要素の近似法（均質又は非均質）が  $k_{eff}$  に及ぼす効果を見るため、分類 3 1（燃料要素内均質）と分類 3 2（燃料要素内非均質）とを比較する。 $k_{eff}$  は両者とも軽水密度が  $0.25 \text{ g/cm}^3$  付近で最大となり、それぞれ 0.80 及び 0.75 となっている。分類 3 1 は 3 2 に比較して  $k_{eff}$  が大きく、軽水密度が  $0.5 \text{ g/cm}^3$  のとき最大 7.5 % の差があり、軽水密度が  $1.0 \text{ g/cm}^3$  のときは 6.8 % の差である。なお、前節で示した分類 2 0（燃料要素内均質）と分類 2 1（燃料要素内非均質）とでは、燃料要素格子間隔 20 cm、軽水密度  $1.0 \text{ g/cm}^3$  のときに  $k_{inf}$  が 5.7 % の差であり、体系の大きさには依存していない。

群定数ライブラリのエネルギー群数が  $k_{eff}$  に及ぼす効果は、分類 3 2（エネルギー群数 137）と分類 3 3（同 26）とを比較することによって見ることができる。 $k_{eff}$  は両者とも軽水密度が  $0.25 \text{ g/cm}^3$  付近で最大 0.75 となっている。また、軽水密度が  $0.25 \text{ g/cm}^3$  付近では、 $k_{eff}$  は分類 3 2 のほうが大きく、軽水密度が高くなると分類 3 3 のほうが大きくなっている。その差は分類 3 2 を基準として軽水密度が  $0.8 \text{ g/cm}^3$  のとき最大 2.2 % である。

燃料要素内を非均質とした計算において、燃料芯材断面積のダンコフ補正が  $k_{eff}$  に及ぼす効果を見る。分類 3 2 は燃料芯材の巨視的実効断面積として、燃料板間の軽水密度を  $1.0 \text{ g/cm}^3$  としてダンコフ補正したものを用いている（エネルギー群数 137）。それに対して分類 3 4 は、軽水密度に応じてダンコフ補正したものを用いている（同 137）。いずれの分類も軽水密度が  $0.25 \text{ g/cm}^3$  付近で  $k_{eff}$  は最大となり、分類 3 2 及び 3 4 でそれぞれ 0.75 及び 0.76 となって

いる。また、 $k_{eff}$  は軽水密度が  $0.05 \text{ g/cm}^3$  の低いところで分類 3 4 のほうが大きく、分類 32 に比べて最大 5.0 % の差となっている。

分類 3 3 及び 3 5 の比較によっても、分類 3 2 及び 3 4 と同様にダンコフ補正の効果を見ることができる。ただし、使用した群定数ライブラリのエネルギー群数は 26 である。この場合もエネルギー群数 137 での計算と同様に、軽水密度が  $0.25 \text{ g/cm}^3$  付近で  $k_{eff}$  は最大となり、分類 3 3 及び 3 5 でそれぞれ 0.75 及び 0.76 となっている。また、分類 3 5 は 3 3 に比べ、軽水密度が  $0.8 \text{ g/cm}^3$  の時  $k_{eff}$  は最大 3.6 % 差がある。

全くダンコフ補正をしない場合が分類 3 6 である（エネルギー群数 137）。 $k_{eff}$  は軽水密度が  $0.25 \text{ g/cm}^3$  付近で最大 0.76 となっている。ダンコフ補正を行った分類 3 2 と比較すると、全体的に  $k_{eff}$  は大きくなっている。軽水密度が  $0.5 \text{ g/cm}^3$  のとき最大 2.6 % の差となっている。

以上から、標準型燃料要素を  $20 \times 20 \text{ cm}$  の格子間隔で  $8 \times 19$  に配列した体系では、燃料要素の近似法（均質又は非均質）、ダンコフ補正及びエネルギー群数（137 又は 26）が  $k_{eff}$  に及ぼす効果は小さいことがわかる。

## 5.2 燃料貯蔵設備の実効増倍係数

### 5.2.1 未使用燃料貯蔵ラック

未使用燃料貯蔵ラックに燃料要素が収納されている場合の実効増倍係数  $k_{eff}$  を計算した。パラメータは、燃料要素の格子間隔と体系内の軽水密度である。

体系内の貯蔵ラックの構造材で無視した場合（分類 100）の  $k_{eff}$  を Table 5.5 及び Fig. 5.5 に示す。 $k_{eff}$  は格子間隔が  $10 \text{ cm}$  以下であると、明らかに臨界に達する場合がある。

貯蔵ラックの鉄製の棚板を考慮した場合（分類 101）は、 $k_{eff}$  は Table 5.6 及び Fig. 5.6 に示すように、 $k_{eff}$  は構造材を無視した場合よりやや低下する。しかし、格子間隔が  $10 \text{ cm}$  以下であると、明らかに臨界に達する。

棚板をボラル板に置換した場合（分類 102）の  $k_{eff}$  を Table 5.7 及び Fig. 5.7 に示す。ボラル板が置かれることにより、格子間隔が狭くなった時の  $k_{eff}$  の軽水密度への依存性が大きく変化している。そして、 $k_{eff}$  の最大値は、燃料要素が密着した時よりも、やや間隔を置いた場合に表われている。しかし、その値は 0.8 であって十分未臨界である。

上述の図は、計算分類毎に示したが、それらのデータについて観点を変え、格子間隔毎に図示したのが Fig. 5.8 から 5.11 である。ボラル板を置くことによって、 $k_{eff}$  が大きく低下することが理解される。また、格子間隔が大きくなるにつれ、 $k_{eff}$  が低下するとともに、最大値が軽水密度の低い側へ移動している。

### 5.2.2 使用済燃料貯蔵ラック No. 1

使用済燃料貯蔵ラック No. 1 の計算は、分類 200, 201, 202 及び 203 で行った。分類 200, 201 及び 202 は軽水密度変化に伴う実効増倍係数  $k_{eff}$  の変化であり、計算結果を Table 5.8 及び Fig. 5.12 に示す。ボラル板が無い場合（分類 200 及び 201）の  $k_{eff}$  は、軽水密度が  $0.5 \text{ g/cm}^3$  付近で最大となり、分類 200 及び 201 でそれぞれ 0.91 及び 0.90 となっている。ボラ

ル板がある場合（分類 202）には、軽水密度が  $0.5 \text{ g/cm}^3$  のときに  $k_{\text{eff}}$  が 0.52 であり、 $1.0 \text{ g/cm}^3$  のときに最大となり  $k_{\text{eff}}$  が 0.67 となっている。

分類 203 は燃料要素格子間隔の変化に伴う  $k_{\text{eff}}$  の変化であり、計算結果を Table 5.9 及び Fig. 5.13 に示す。いずれも十分未臨界である。

### 5.2.3 使用済燃料貯蔵ラック No. 2

使用済燃料貯蔵ラック No. 2 の計算は、分類 300, 301 及び 302 で行った。それぞれの分類は、軽水密度変化に伴う実効増倍係数  $k_{\text{eff}}$  の変化であり、計算結果を Table 5.10 及び Fig. 5.14 に示す。

ボラル板が無い場合（分類 300 及び 301）の  $k_{\text{eff}}$  は、軽水密度が  $0.25 \text{ g/cm}^3$  付近で最大となり、分類 300 及び 301 でそれぞれ 0.85 及び 0.81 となっている。ボラル板がある場合（分類 302）には、軽水密度が  $0.4 \text{ g/cm}^3$  付近で最大となり、 $k_{\text{eff}}$  は 0.58 となっている。いずれの場合も十分未臨界である。

### 5.2.4 $\text{UO}_2$ 燃料貯蔵ラック

$\text{UO}_2$  燃料貯蔵ラックの計算（分類 400）は軽水密度をパラメータとして行った。計算結果を Table 5.11 及び Fig. 5.15 に示す。実効増倍係数  $k_{\text{eff}}$  は、軽水密度が  $0.12 \text{ g/cm}^3$  付近で最大となり、 $k_{\text{eff}}$  は 0.82 となっている。軽水密度が  $1.0 \text{ g/cm}^3$  では  $k_{\text{eff}}$  は 0.42 となっている。いずれの場合も十分未臨界である。

### 5.2.5 $\text{UO}_2$ 燃料貯蔵ラックと使用済燃料貯蔵ラックとの共存配列

貯蔵ラック間の距離を変えた場合の実効増倍係数  $k_{\text{eff}}$  の変化を、Table 5.12 及び Fig. 5.16 に示す。両燃料貯蔵ラックが共存している場合の  $k_{\text{eff}}$  は、計算分類 500 及び 501 の両者において、それぞれの燃料貯蔵ラックが独立して配列されている場合の平均値に近くなっている。配列間の距離を変えた場合の効果は、 $k_{\text{eff}}$  の計算結果には表われていないが、これは両燃料要素の配列がそれぞれ無限に並んでいるためと考えられる。

Table 5.1 Effective multiplication factors  $k_{\text{eff}}$  in an infinite array of standard fuel elements as a function of lattice pitch (Category 10)

(TEMPERATURE: 300 K)

LATTICE PITCH (CM)	K-EFF
7.62	1.507+-0.003
10.00	1.286+-0.004
20.00	0.458+-0.004
25.00	0.400+-0.004

FUEL ARRAY : INFINITE  
 FUEL LENGTH (CM) : 75.0  
 FUEL MODEL : HETERO.  
 WATER DENSITY (G/CM\*\*3) : 1.0  
 ENERGY GROUPS : 137

Table 5.2 Effective multiplication factors  $k_{\text{eff}}$  in ( $N \times$  infinite) array as a function of the number of fuel elements N (Category 11)

(TEMPERATURE: 300 K)

NUMBER OF FUEL ELEMENTS ARRAYED IN Y-DIRECTION, N	K-EFF	
	LATTICE PITCH (CM) 7.62	25.0
1	0.708+-0.004	-
8	1.377+-0.004	0.394+-0.004
10	1.416+-0.004	0.396+-0.004
15	1.448+-0.004	0.399+-0.004
20	1.472+-0.004	0.393+-0.004
25	1.483+-0.004	0.396+-0.004
30	1.490+-0.003	0.388+-0.003
35	1.487+-0.003	0.403+-0.004
40	1.501+-0.004	0.398+-0.004
45	1.500+-0.004	-
50	1.491+-0.003	-
60	1.503+-0.003	0.393+-0.004
70	1.507+-0.003	-
80	1.508+-0.003	0.391+-0.004
90	1.498+-0.003	-
100	1.500+-0.004	0.399+-0.003

FUEL ARRAY : N\*INFINITE  
 FUEL LENGTH (CM) : 75.0  
 FUEL MODEL : HETEROGENEOUS  
 WATER DENSITY (G/CM\*\*3) : 1.0  
 ENERGY GROUPS : 137

Table 5.3 Infinite multiplication factors  $k_{\text{inf}}$  in an infinite array of fuel elements as a function of lattice pitch (Category 20, 21, and 22)

(TEMPERATURE: 300 K)				
LATTICE PITCH (CM)	K-INF	CATEGORY 20	CATEGORY 21	CATEGORY 22
7.72	1.595+-0.003	1.607+-0.003	1.595+-0.003	
9.00	1.520+-0.003	-	-	
10.00	1.408+-0.003	1.366+-0.003	1.352+-0.003	
11.00	1.263+-0.003	-	-	
12.00	1.125+-0.003	-	-	
14.00	0.878+-0.003	-	-	
15.00	0.793+-0.004	0.743+-0.004	0.743+-0.004	
16.00	0.701+-0.003	-	-	
20.00	0.516+-0.004	0.488+-0.004	0.489+-0.003	

FUEL ARRAY	INFINITE
FUEL LENGTH	INFINITE
FUEL MODEL	HETERO.
ENERGY GROUPS	137
WATER DENSITY (G/CM**3)	1.0
	26

Table 5.4 Effective multiplication factors  $k_{eff}$  as a function of water density (Category 30, 31, 32, 33, 34, 35, and 36)

WATER DENSITY (G/CM**3)	(TEMPERATURE: 300 K)					
	K-EFF CATEGORY 30	K-EFF CATEGORY 31	K-EFF CATEGORY 32	K-EFF CATEGORY 33	K-EFF CATEGORY 34	K-EFF CATEGORY 35
1.00	0.506+-0.003	0.490+-0.003	0.459+-0.004	0.465+-0.003	0.459+-0.004	0.465+-0.003
0.80	0.554+-0.004	0.523+-0.004	0.491+-0.004	0.502+-0.003	0.490+-0.003	0.484+-0.004
0.50	0.745+-0.004	0.662+-0.004	0.616+-0.004	0.628+-0.003	0.619+-0.004	0.623+-0.004
0.40	-	-	0.682+-0.004	0.689+-0.004	0.695+-0.004	0.688+-0.004
0.30	0.981+-0.004	0.778+-0.004	0.744+-0.004	0.739+-0.004	0.755+-0.004	0.754+-0.004
0.20	1.078+-0.004	0.744+-0.004	0.717+-0.005	0.718+-0.005	0.727+-0.005	0.715+-0.005
0.15	1.075+-0.005	0.645+-0.005	-	-	-	-
0.10	0.942+-0.005	0.433+-0.004	0.421+-0.004	0.413+-0.005	0.434+-0.005	0.426+-0.005
0.06	0.636+-0.005	0.183+-0.003	-	-	-	-
0.05	-	-	0.119+-0.003	0.125+-0.002	0.125+-0.002	0.125+-0.002
0.03	0.244+-0.003	0.134+-0.003	-	-	-	-
0.01	0.049+-0.001	0.017+-0.002	-	-	-	-
0.001	0.032+-0.0002	0.016+-0.0001	-	-	-	-
0.00	0.032+-0.0002	0.016+-0.0001	0.018+-0.0002	0.018+-0.0002	0.018+-0.0002	0.018+-0.0002
FUEL ARRAY FUEL LENGTH (CM) FUEL MODEL LATTICE PITCH (CM) ENERGY GROUPS						
		INFINITE	75.0	75.0	8*19 75.0	75.0
	HOMO.	HOMO.	HETERO.	HETERO.	HETERO.	HETERO.
			20.0*20.0			
	137	137	26	137	26	137

Table 5.5 Effective multiplication factors  $k_{eff}$  of fresh fuel storage  
rack with no structural material as a function of water  
density (Category 100)

		(TEMPERATURE: 300 K)			
WATER DENSITY (G/CM**3)	K-EFF	LATTICE PITCH (CM)			
		7.62	8.166	10.0	20.0
1.00	1.508+-0.003	1.485+-0.004	1.284+-0.004	0.463+-0.004	0.391+-0.004
0.90	-	-	-	-	0.382+-0.004
0.80	-	1.473+-0.004	1.329+-0.004	0.489+-0.004	0.380+-0.004
0.70	-	-	-	-	0.383+-0.003
0.60	-	-	-	-	0.396+-0.003
0.50	1.396+-0.004	1.405+-0.004	1.373+-0.004	0.650+-0.004	0.445+-0.003
0.40	1.336+-0.004	1.351+-0.004	1.357+-0.004	0.740+-0.004	0.508+-0.004
0.30	1.243+-0.005	1.259+-0.004	1.293+-0.004	0.816+-0.004	0.609+-0.004
0.20	1.076+-0.005	1.103+-0.005	1.157+-0.005	0.856+-0.004	0.674+-0.004
0.10	0.738+-0.005	0.741+-0.004	0.769+-0.005	0.635+-0.005	0.545+-0.005
0.00	0.140+-0.001	0.129+-0.001	0.075+-0.0005	0.025+-0.0003	0.019+-0.0002

FUEL ARRAY : 80\*INFINITE  
 FUEL LENGTH (CM) : 75.0  
 FUEL MODEL : HETEROGENEOUS  
 ENERGY GROUPS : 137  
 RACK : NO  
 BORAL PLATE : NO

Table 5.6 Effective multiplication factors  $k_{\text{eff}}$  of fresh fuel storage rack  
with SUS plate as a function of water density (Category 101)

		(TEMPERATURE: 300 K)			
WATER DENSITY (G/CM**3)	K-EFF	LATTICE PITCH (CM)			K-EFF
		7.92	8.166	10.0	
1.00	1.423+-0.004	1.403+-0.004	1.213+-0.004	0.443+-0.004	0.372+-0.004
0.80	-	1.397+-0.004	1.251+-0.004	0.468+-0.004	0.358+-0.003
0.50	1.315+-0.004	1.311+-0.004	1.283+-0.004	0.611+-0.004	0.415+-0.004
0.40	1.264+-0.004	1.268+-0.004	1.274+-0.004	0.691+-0.004	0.482+-0.003
0.30	1.162+-0.004	1.181+-0.005	1.219+-0.004	0.778+-0.004	0.569+-0.004
0.20	1.023+-0.004	1.027+-0.004	1.080+-0.005	0.798+-0.004	0.638+-0.004
0.10	0.714+-0.005	0.711+-0.005	0.728+-0.005	0.596+-0.004	0.517+-0.004
0.00	0.138+-0.001	0.134+-0.001	0.076+-0.0005	0.024+-0.0003	0.018+-0.0002

FUEL ARRAY : 80\*INFINITE  
 FUEL LENGTH (CM) : 75.0  
 FUEL MODEL : HETEROGENEOUS  
 ENERGY GROUPS : 137  
 RACK : YES  
 BORAL PLATE : NO

Table 5.7 Effective multiplication factors  $k_{\text{eff}}$  of fresh fuel storage rack  
with neutron absorber plate as a function of water density  
(Category 102)

		(TEMPERATURE: 300 K)		
WATER DENSITY (G/CM**3)	K-EFF	LATTICE PITCH (CM)		25.0
		10.0	20.0	
1.00	0.757+-0.004	0.795+-0.005	0.349+-0.003	0.297+-0.004
0.80	0.660+-0.005	0.754+-0.004	0.346+-0.003	0.271+-0.003
0.50	0.504+-0.003	0.628+-0.005	0.423+-0.003	0.299+-0.003
0.45	0.469+-0.004	-	-	-
0.40	0.428+-0.003	0.558+-0.004	0.451+-0.004	0.332+-0.004
0.35	0.406+-0.003	-	-	-
0.30	0.383+-0.003	0.467+-0.004	0.473+-0.004	0.369+-0.003
0.20	0.312+-0.003	0.367+-0.003	0.446+-0.003	0.391+-0.004
0.10	0.237+-0.002	0.226+-0.002	0.279+-0.003	0.276+-0.003
0.00	0.126+-0.001	0.075+-0.0005	0.025+-0.0003	0.019+-0.0002

FUEL ARRAY : 80\*INFINITE  
FUEL LENGTH (CM) : 75.0  
FUEL MODEL : HETEROGENEOUS  
ENERGY GROUPS : 137  
RACK : NO  
BORAL PLATE : YES

Table 5.8 Effective multiplication factors  $k_{\text{eff}}$  of spent fuel storage rack No.1 as a function of water density (Category 200, 201, and 202)

(TEMPERATURE: 300 K)

WATER DENSITY (G/CM**3)	K-EFF	(TEMPERATURE: 300 K)		
		CATEGORY 200	CATEGORY 201	CATEGORY 202
1.00	0.872+-0.004	0.841+-0.005	0.674+-0.005	0.674+-0.005
0.80	0.900+-0.004	0.864+-0.004	0.631+-0.004	0.631+-0.004
0.50	0.913+-0.004	0.901+-0.004	0.523+-0.004	0.523+-0.004
0.40	-	0.887+-0.004	0.465+-0.003	0.465+-0.003
0.30	0.876+-0.004	0.857+-0.004	0.392+-0.003	0.392+-0.003
0.20	0.804+-0.004	0.791+-0.004	0.303+-0.003	0.303+-0.003
0.15	0.729+-0.003	-	-	-
0.10	0.620+-0.004	0.620+-0.004	0.207+-0.002	0.207+-0.002
0.06	0.474+-0.003	-	-	-
0.03	0.302+-0.003	-	-	-
0.01	0.157+-0.001	-	-	-
0.001	0.094+-0.001	-	-	-
0.00	0.089+-0.001	0.089+-0.001	0.088+-0.001	0.088+-0.001

FUEL ARRAY	INFINITE
FUEL LENGTH (CM)	75.0
FUEL MODEL	HETERO.
LATTICE PITCH (CM)	HOMO.
ENERGY GROUPS	13.4*8.9
RACK	137
BORAL PLATE	YES NO
	YES YES

Table 5.9 Effective multiplication factors  $k_{eff}$  of spent fuel storage  
rack No.1 as a function of lattice pitch (Category 203)

(TEMPERATURE: 300 K)		
LATTICE PITCH IN Y-DIRECTION (CM)	K-EFF	
8.9	0.872+-0.004	
10.0	0.840+-0.004	
12.0	0.753+-0.004	

FUEL ARRAY	:	INFINITE
FUEL LENGTH (CM)	:	75.0
FUEL MODEL	:	HETERO.
WATER DENSITY (G/CM**3)	:	1.0
ENERGY GROUPS	:	137
RACK	:	YES
BORAL PLATE	:	NO

Table 5.10 Effective multiplication factors  $k_{eff}$  of spent fuel storage  
rack No.2 as a function of water density (Category 300, 301,  
and 302)  
(TEMPERATURE: 300 K)

WATER DENSITY (G/CM**3)	K-EFF	
	CATEGORY 300	CATEGORY 301
1.00	0.578+-0.004	0.544+-0.004
0.80	0.631+-0.004	0.593+-0.004
0.50	0.767+-0.004	0.728+-0.004
0.40	-	0.775+-0.004
0.30	0.842+-0.003	0.814+-0.004
0.20	0.817+-0.004	0.790+-0.003
0.15	0.743+-0.004	-
0.10	0.607+-0.005	0.577+-0.005
0.06	0.380+-0.003	-
0.03	0.161+-0.002	-
0.01	0.049+-0.001	-
0.001	0.034+-0.0003	-
0.00	0.033+-0.0002	0.035+-0.0003
 FUEL ARRAY		
FUEL LENGTH		
(CM) 75.0		
 FUEL MODEL		
LATTICE PITCH		
(CM) HOMO.		
 ENERGY GROUPS		
RACK		
BORAL PLATE		
NO YES		
HETERO.		
16.0*16.0		

Table 5.11 Effective multiplication factors  $k_{\text{eff}}$  of  $\text{UO}_2$  fuel storage rack  
as a function of water density (Category 400)

(TEMPERATURE: 300 K)

WATER DENSITY . (G/CM**3)	K-EFF
1.00	0.418+-0.002
0.80	0.486+-0.002
0.50	0.644+-0.003
0.30	0.766+-0.003
0.20	0.813+-0.003
0.15	0.814+-0.003
0.10	0.745+-0.003
0.06	0.594+-0.003
0.03	0.333+-0.003
0.01	0.131+-0.001
0.001	0.101+-0.001
0.00	0.100+-0.001

FUEL ARRAY	:	34*34
FUEL LENGTH (CM)	:	210.0
LATTICE PITCH (CM)	:	9.5*9.5
ENERGY GROUPS	:	137
RACK	:	YES

Table 5.12 Effective multiplication factors  $k_{\text{eff}}$  of interacting system between  $\text{UO}_2$  fuel storage rack and spent fuel storage rack No.1 or No.2 as a function of separation between two racks (Category 500 and 501)

(TEMPERATURE: 300 K)

SEPARATION (CM)	K-EFF	
	CATEGORY 500	CATEGORY 501
0.0	0.680+-0.005	0.530+-0.004
5.0	0.696+-0.004	0.538+-0.004
10.0	0.687+-0.004	0.530+-0.004
15.0	0.690+-0.004	0.530+-0.003
20.0	0.688+-0.004	0.527+-0.004
25.0	0.698+-0.004	0.532+-0.004
30.0	0.688+-0.004	0.534+-0.004
40.0	0.691+-0.004	0.528+-0.004
50.0	0.701+-0.004	0.523+-0.003
60.0	0.693+-0.004	0.523+-0.003
70.0	0.694+-0.004	-
80.0	0.698+-0.004	-
90.0	0.691+-0.004	-
100.0	0.694+-0.004	0.523+-0.003

FUEL LENGTH (CM)	:	75.0 (STANDARD FUEL)
	:	210.0 ( $\text{UO}_2$ FUEL)
FUEL MODEL	:	HOMOGENEOUS
WATER DENSITY (G/CM**3)	:	1.0
ENERGY GROUPS	:	137
RACK	:	YES
BORAL PLATE	:	YES

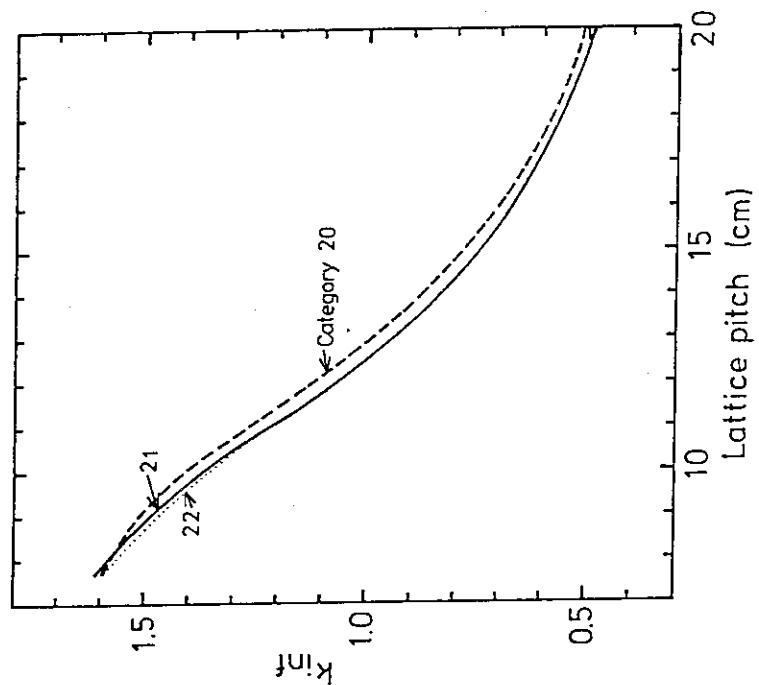
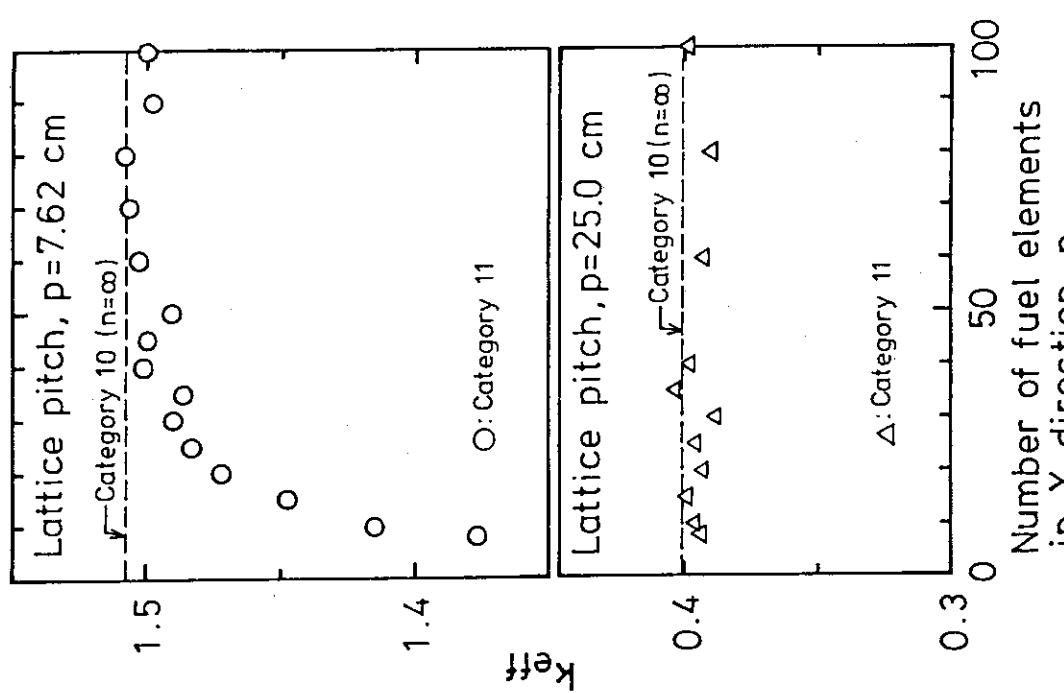


Fig. 5.1 Effective multiplication factor  $k_{eff}$  as a function of the number of fuel elements  $N$  in ( $N \times \infty$ ) array (Category 10 and 11)

Fig. 5.2 Infinite multiplication factor  $k_{inf}$  as a function of lattice pitch in an infinite array of fuel elements (Category 20, 21, and 22)

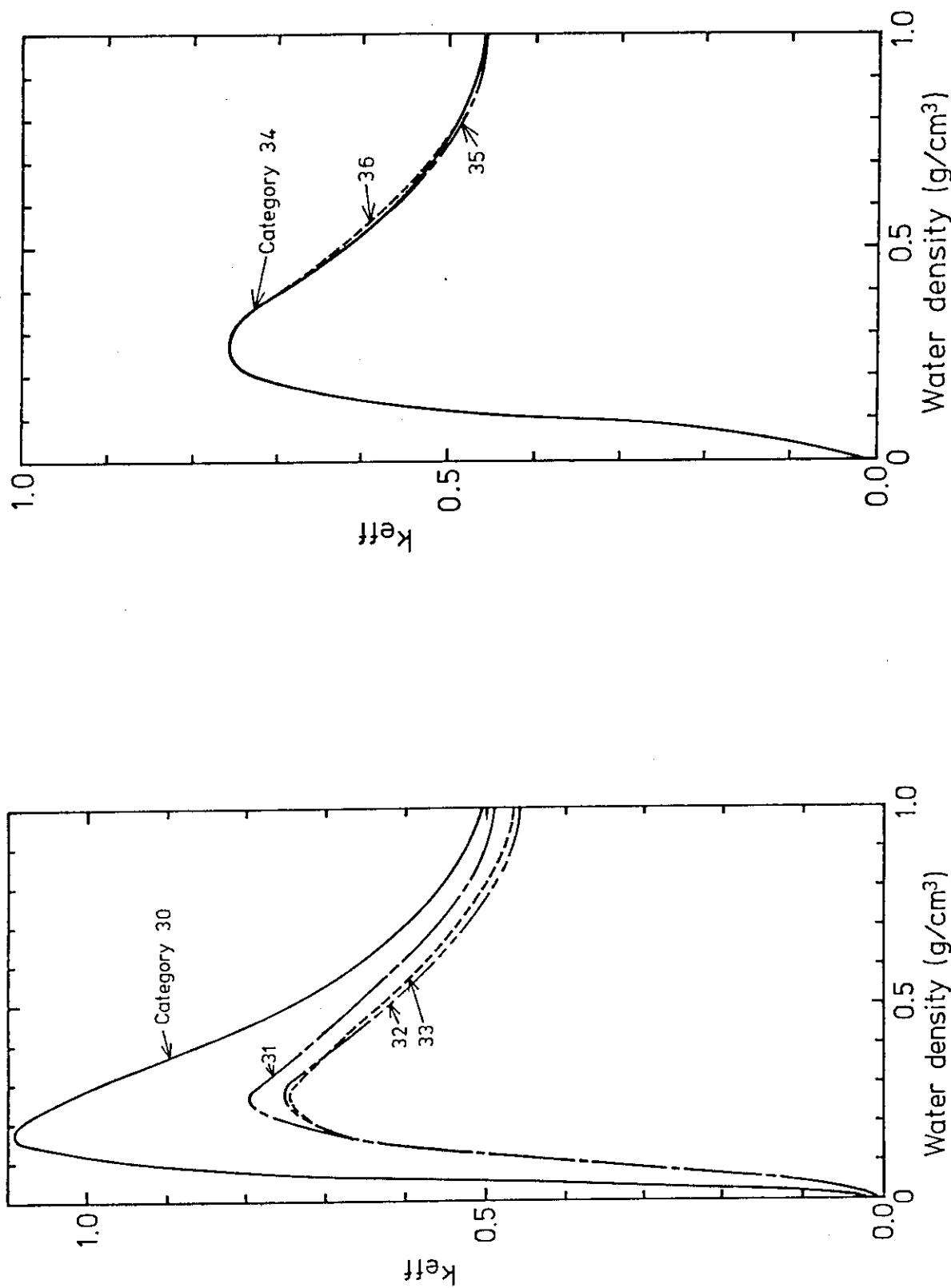


Fig. 5.4 Effective multiplication factor  $k_{\text{eff}}$  as a function of water density (Category 34, 35, and 36)

Fig. 5.3 Effective multiplication factor  $k_{\text{eff}}$  as a function of water density (Category 30, 31, 32, and 33)

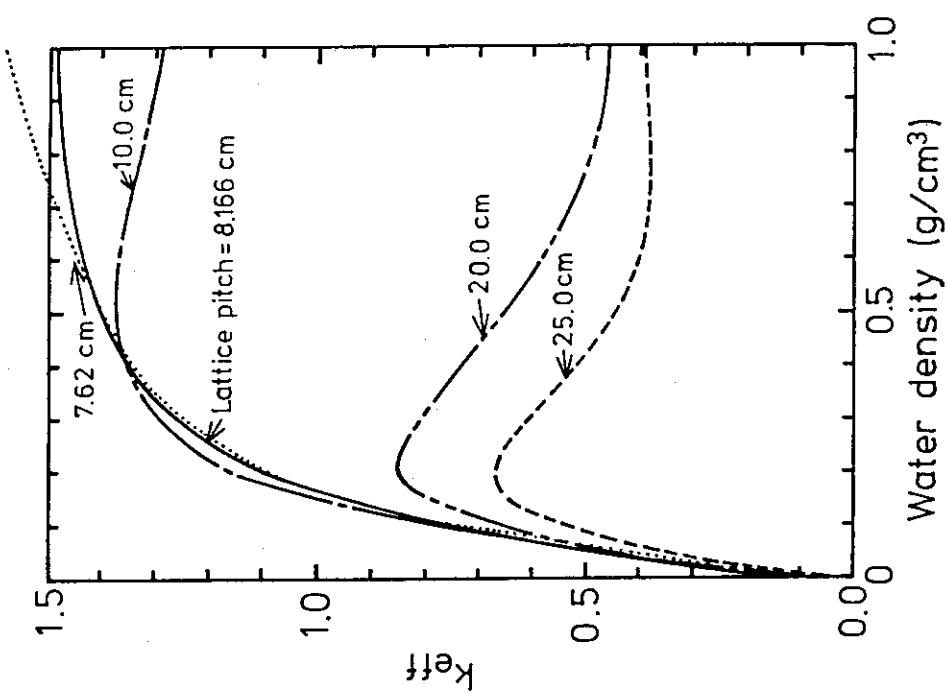


Fig. 5.5 Effective multiplication factor  $k_{\text{eff}}$  of fresh fuel storage rack with no structural material as a function of water density (Category 100)

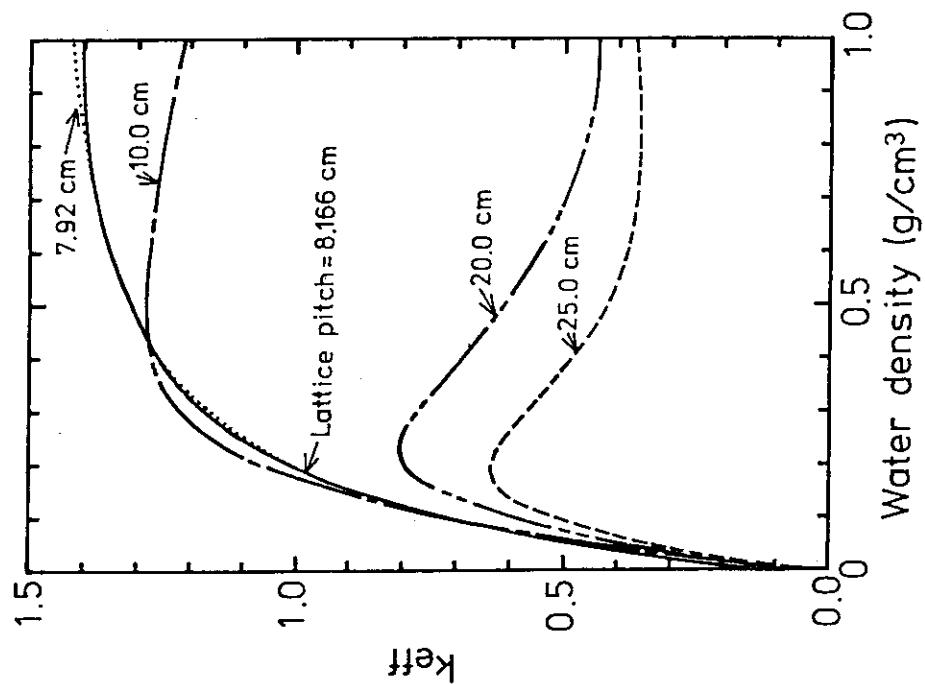


Fig. 5.6 Effective multiplication factor  $k_{\text{eff}}$  of fresh fuel storage rack with SUS plate as a function of water density (Category 101)

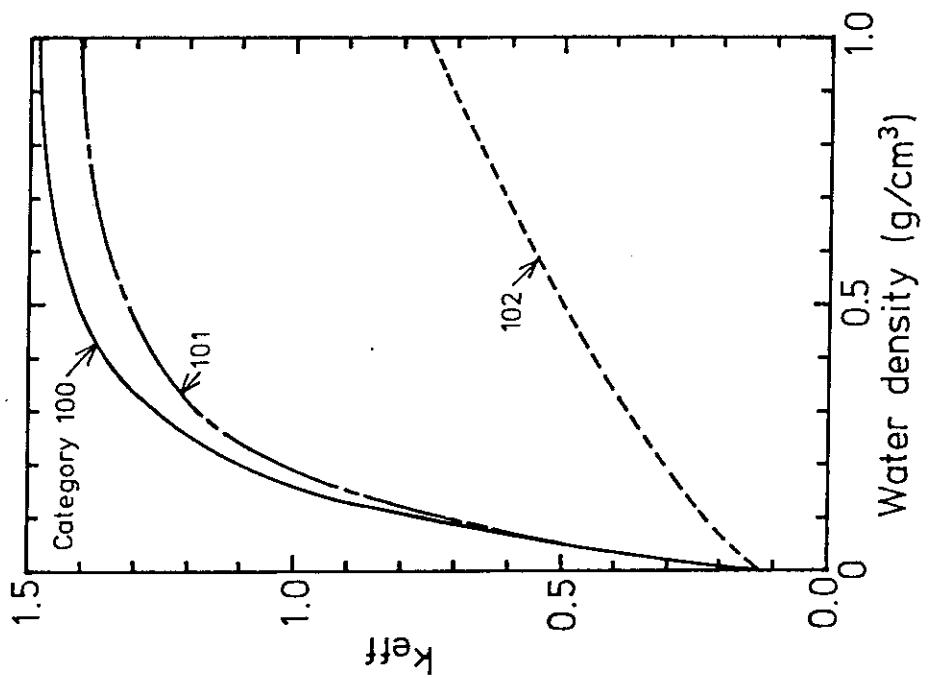


Fig. 5.7 Effective multiplication factor  $k_{\text{eff}}$  of fresh fuel storage rack as a function of water density. Lattice pitch of the array of fuel elements is 8.166 cm (Category 100, 101, and 102)

Fig. 5.8 Effective multiplication factor  $k_{\text{eff}}$  of fresh fuel storage rack with neutron absorber plate as a function of water density (Category 102)

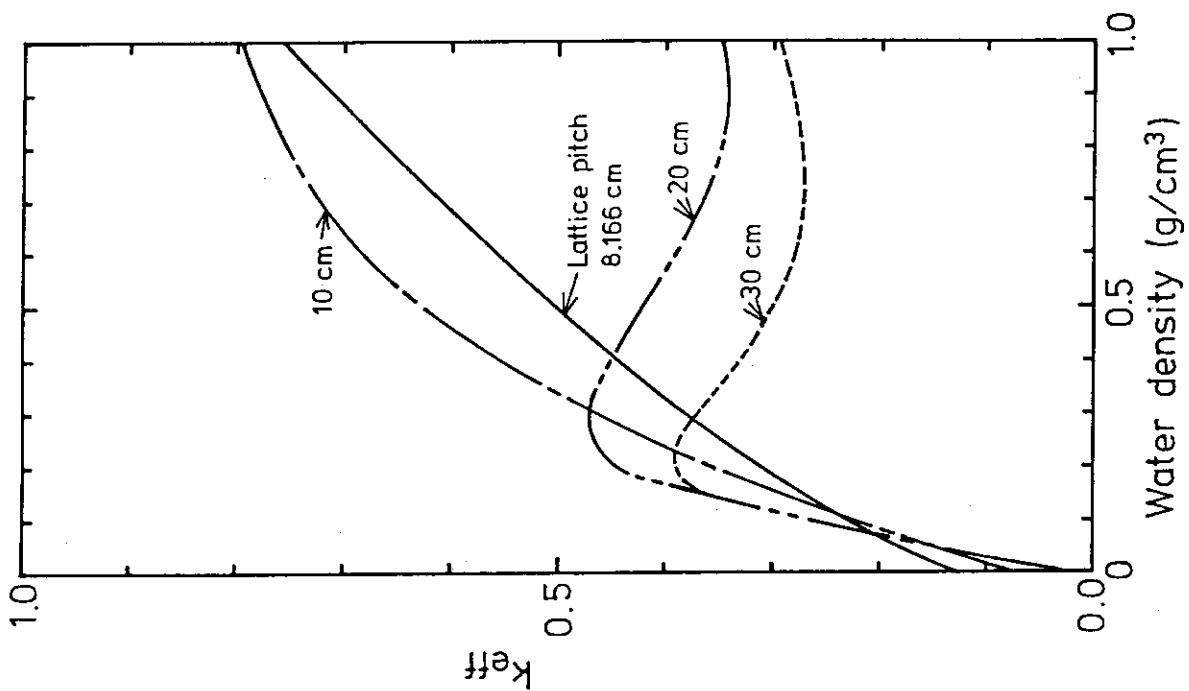


Fig. 5.7 Effective multiplication factor  $k_{\text{eff}}$  of fresh fuel storage rack with neutron absorber plate as a function of water density (Category 102)

Fig. 5.8 Effective multiplication factor  $k_{\text{eff}}$  of fresh fuel storage rack with neutron absorber plate as a function of water density (Category 102)

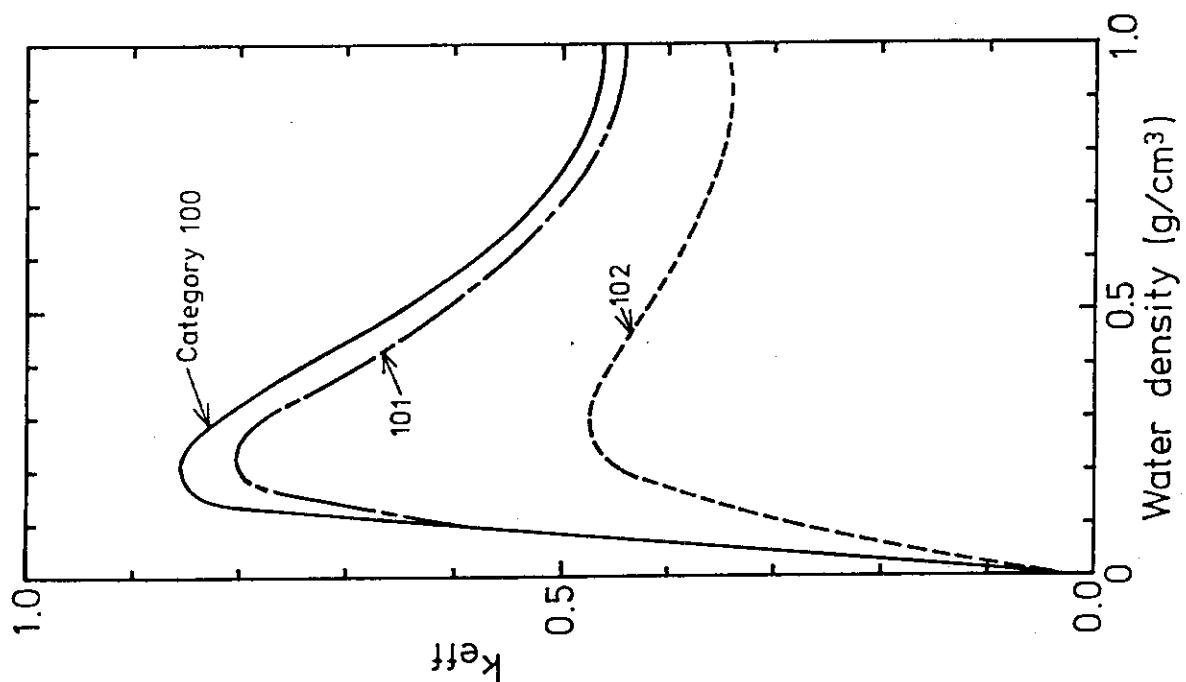


Fig. 5.9 Effective multiplication factor  $K_{\text{eff}}$  of fresh fuel storage rack as a function of water density. Lattice pitch of the array of fuel elements is 10.0 cm (Category 100, 101, and 102)

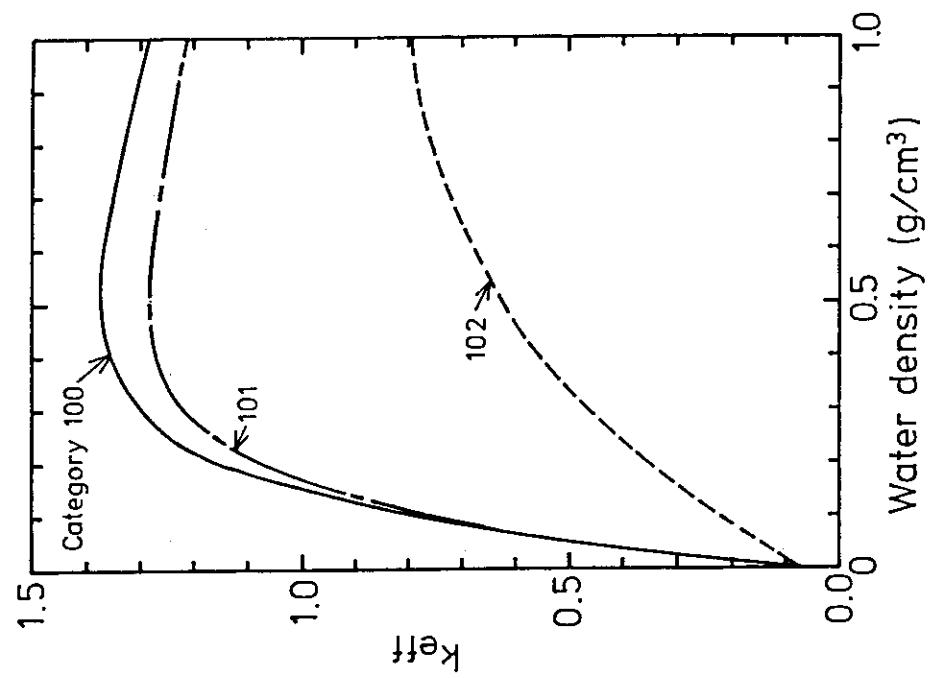


Fig. 5.10 Effective multiplication factor  $K_{\text{eff}}$  of fresh fuel storage rack as a function of water density. Lattice pitch of the array of fuel elements is 20.0 cm (Category 100, 101, and 102)

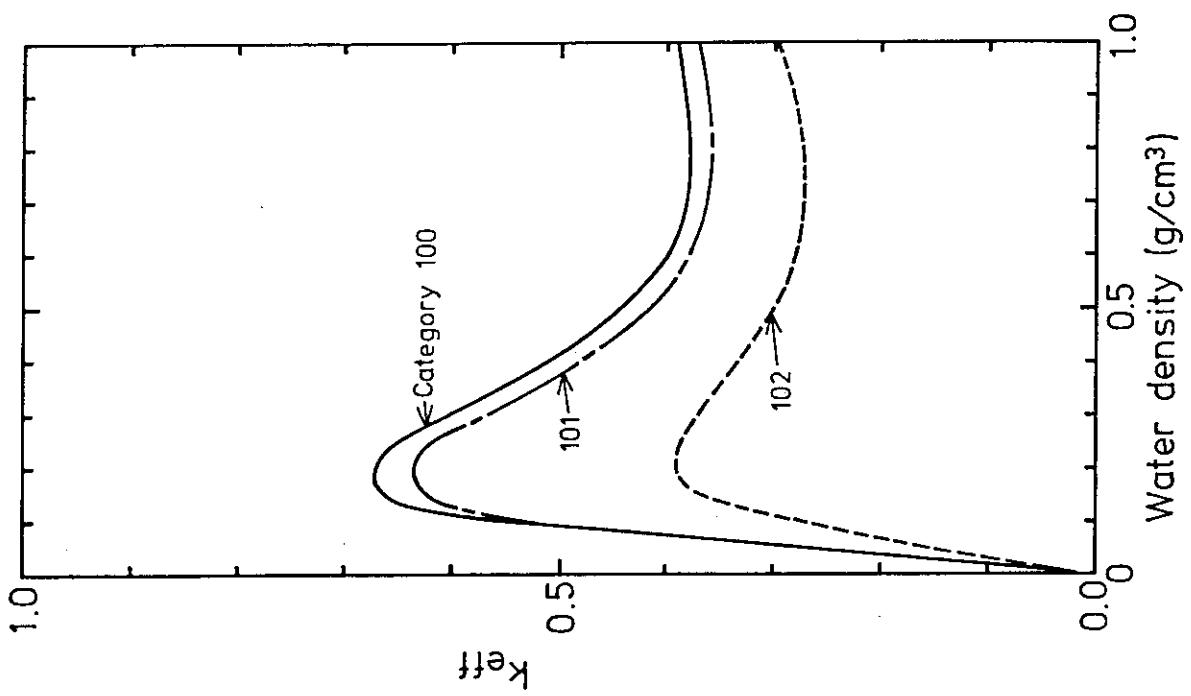


Fig. 5.11 Effective multiplication factor  $k_{eff}$  of spent fuel storage rack as a function of water density. Lattice pitch of the array of fuel elements is 25.0 cm (Category 100, 101, and 102)

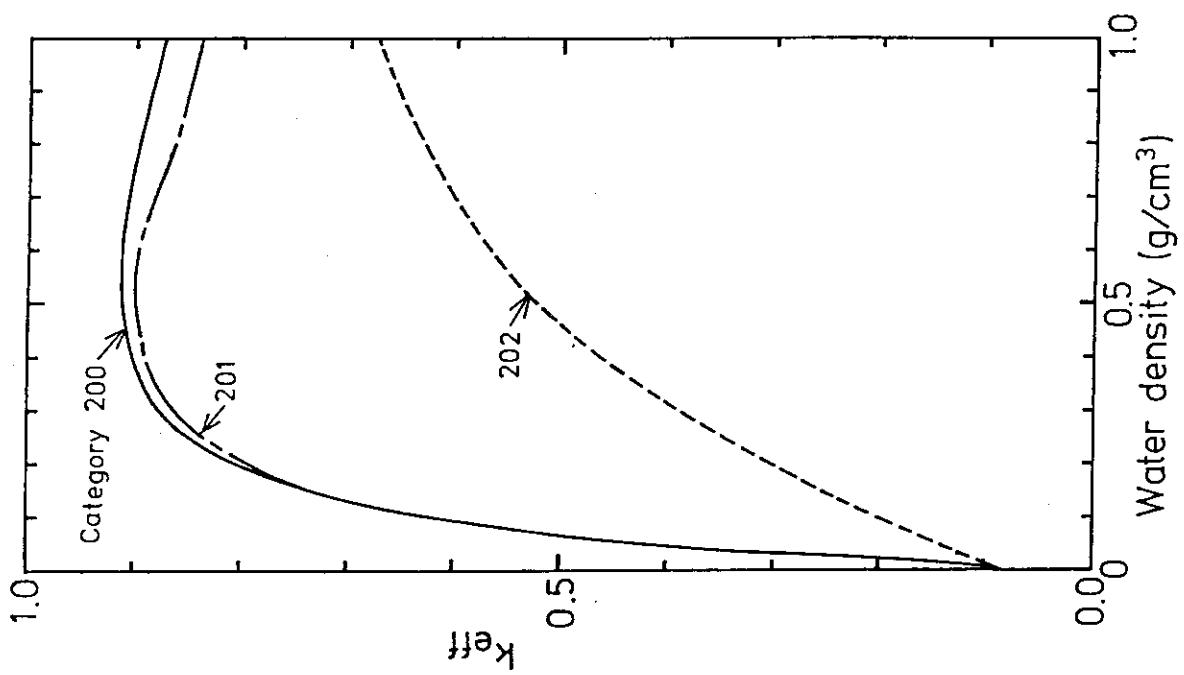


Fig. 5.12 Effective multiplication factor  $k_{eff}$  of spent fuel storage rack No. 1 as a function of water density (Category 200, 201, and 202)

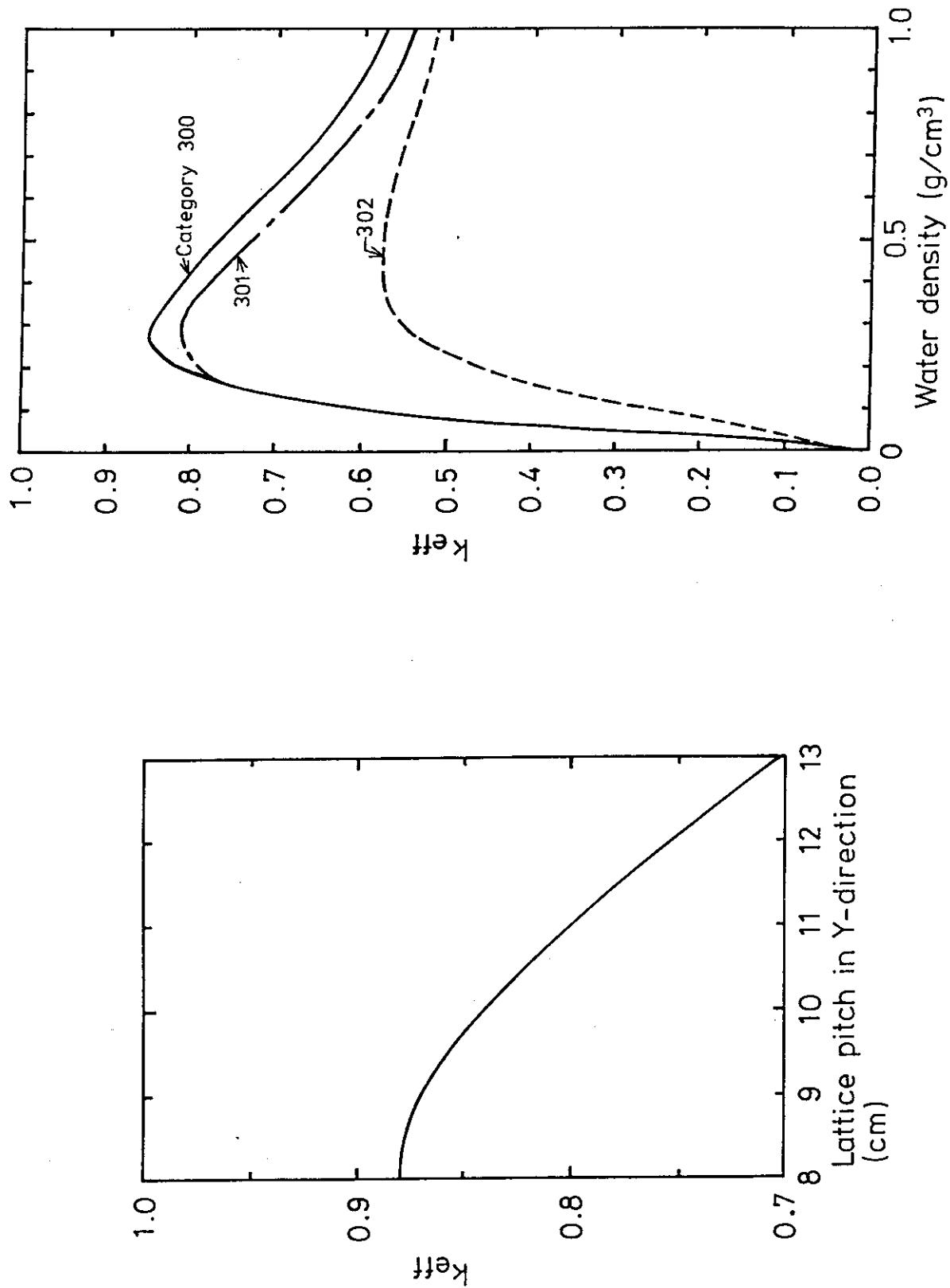
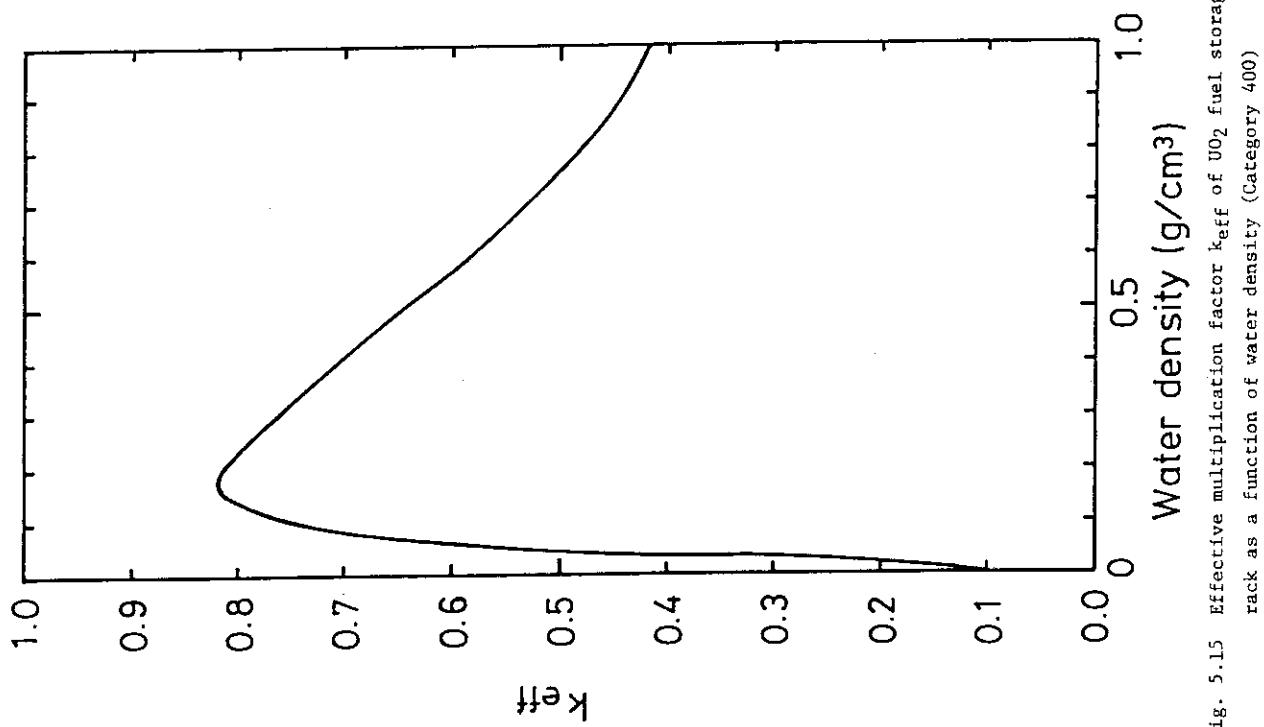
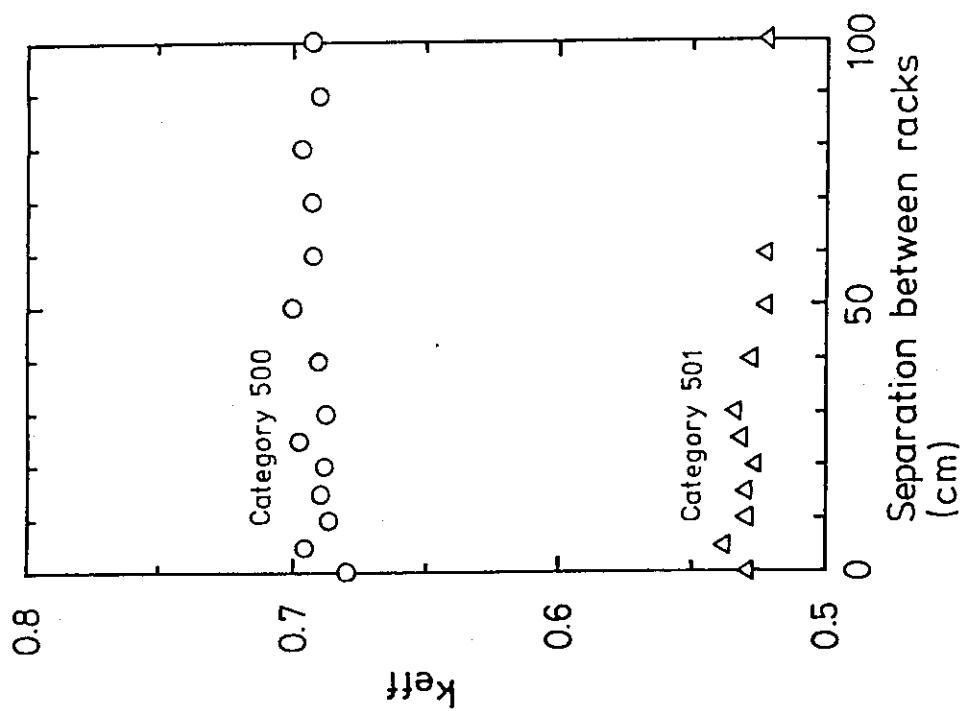


Fig. 5.13 Effective multiplication factor  $k_{\text{eff}}$  of spent fuel storage rack No. 1 as a function of lattice pitch for an array of fuel elements (Category 203)

Fig. 5.14 Effective multiplication factor  $k_{\text{eff}}$  of spent fuel storage rack No. 2 as a function of water density (Category 300, 301, and 302)



- 56 -



## 6. 結 論

JRR-3 改造炉の燃料貯蔵設備について、臨界安全性を評価した。燃料は、20%濃縮U $\cdot$ Al<sub>x</sub>-Al 燃料要素と 1.5% UO<sub>2</sub> 燃料要素であり、いずれも未使用燃料の場合である。計算は、大別して次の 2 種類について行った。

- (1) 単純な配列における、燃料要素数、格子間隔、及び減速材密度の実効増倍係数に及ぼす効果。
- (2) 実際の貯蔵設備の実効増倍係数（中性子吸収材の存在する場合及び無い場合）。

結果として、JRR-3 改造炉用燃料要素について、種々な貯蔵条件下における実効増倍係数が得られた。また、計算方法について検討を行った結果、燃料要素の幾何形状の近似法（均質化又は非均質化）、エネルギー群数（26群又は137群）及びダンコフ補正の方法（補正の有無及び減速材の割合）の違いによる実効増倍係数の変化は格子間隔が 20×20 cm の配列において問題にならない程度であった。

現在考えられている貯蔵設備については、減速材としての軽水の密度が変化した場合を考慮して実効増倍係数を求めた。その結果、中性子吸収材を用いなくても、十分に未臨界状態を維持できることが分かった。

以上の計算結果は、表及び図にパラメトリックにまとめて示してある。これらのデータを用いることにより、燃料要素間隔などの貯蔵条件を変更した場合について、実効増倍係数を推定することができる。

### 謝 辞

本作業は、研究炉整備計画に基づいて研究炉管理部において進められている、JRR-3 の改造の一環として行われたものである。本報告書は、その過程における燃料貯蔵設備の設計計算をまとめたものであり、桜井裕研究炉管理部長を始めとした改造に携わる方々のご協力のお陰である。

特に、佐藤一男研究炉管理部次長には、内容について査読をして頂き貴重なご意見を頂いた。また、研究炉開発室高柳政二氏には貯蔵ラックの構造やボラル板のデータを、研究炉技術課内山順三氏（現研究炉開発室）には UO<sub>2</sub> 燃料貯蔵ラックに関するデータをそれぞれ提供して頂いた。JACS コードシステムの使用にあたっては、安全解析部核燃料施設安全解析室内藤倅孝室長及び小室雄一氏に多くの有益な助言を頂いた。こゝに深く感謝する。

### 参 考 文 献

- (1) 日本原子力研究所：原子炉設置変更許可申請書（JRR-3 原子炉施設の変更），昭和 59 年 4 月。

## 6. 結 論

JRR-3 改造炉の燃料貯蔵設備について、臨界安全性を評価した。燃料は、20%濃縮U $\cdot$ A $\ell_x$ -A $\ell$ 燃料要素と1.5%UO<sub>2</sub>燃料要素であり、いずれも未使用燃料の場合である。計算は、大別して次の2種類について行った。

- (1) 単純な配列における、燃料要素数、格子間隔、及び減速材密度の実効増倍係数に及ぼす効果。
- (2) 実際の貯蔵設備の実効増倍係数（中性子吸収材の存在する場合及び無い場合）。

結果として、JRR-3 改造炉用燃料要素について、種々な貯蔵条件下における実効増倍係数が得られた。また、計算方法について検討を行った結果、燃料要素の幾何形状の近似法（均質化又は非均質化）、エネルギー群数（26群又は137群）及びダンコフ補正の方法（補正の有無及び減速材の割合）の違いによる実効増倍係数の変化は格子間隔が20×20 cmの配列において問題にならない程度であった。

現在考えられている貯蔵設備については、減速材としての軽水の密度が変化した場合を考慮して実効増倍係数を求めた。その結果、中性子吸収材を用いなくても、十分に未臨界状態を維持できることが分かった。

以上の計算結果は、表及び図にパラメトリックにまとめて示してある。これらのデータを用いることにより、燃料要素間隔などの貯蔵条件を変更した場合について、実効増倍係数を推定することができる。

### 謝 辞

本作業は、研究炉整備計画に基づいて研究炉管理部において進められている、JRR-3 の改造の一環として行われたものである。本報告書は、その過程における燃料貯蔵設備の設計計算をまとめたものであり、桜井裕研究炉管理部長を始めとした改造に携わる方々のご協力のお陰である。

特に、佐藤一男研究炉管理部次長には、内容について査読をして頂き貴重なご意見を頂いた。また、研究炉開発室高柳政二氏には貯蔵ラックの構造やボラル板のデータを、研究炉技術課内山順三氏（現研究炉開発室）にはUO<sub>2</sub>燃料貯蔵ラックに関するデータをそれぞれ提供して頂いた。JACSコードシステムの使用にあたっては、安全解析部核燃料施設安全解析室内藤倣孝室長及び小室雄一氏に多くの有益な助言を頂いた。こゝに深く感謝する。

### 参 考 文 献

- (1) 日本原子力研究所：原子炉設置変更許可申請書（JRR-3 原子炉施設の変更），昭和59年4月。

## 6. 結 論

JRR-3 改造炉の燃料貯蔵設備について、臨界安全性を評価した。燃料は、20%濃縮U $\cdot$ A $\ell_x$ -A $\ell$ 燃料要素と1.5%UO<sub>2</sub>燃料要素であり、いずれも未使用燃料の場合である。計算は、大別して次の2種類について行った。

- (1) 単純な配列における、燃料要素数、格子間隔、及び減速材密度の実効増倍係数に及ぼす効果。
- (2) 実際の貯蔵設備の実効増倍係数（中性子吸収材の存在する場合及び無い場合）。

結果として、JRR-3 改造炉用燃料要素について、種々な貯蔵条件下における実効増倍係数が得られた。また、計算方法について検討を行った結果、燃料要素の幾何形状の近似法（均質化又は非均質化）、エネルギー群数（26群又は137群）及びダンコフ補正の方法（補正の有無及び減速材の割合）の違いによる実効増倍係数の変化は格子間隔が20×20cmの配列において問題にならない程度であった。

現在考えられている貯蔵設備については、減速材としての軽水の密度が変化した場合を考慮して実効増倍係数を求めた。その結果、中性子吸収材を用いなくても、十分に未臨界状態を維持できることが分かった。

以上の計算結果は、表及び図にパラメトリックにまとめて示してある。これらのデータを用いることにより、燃料要素間隔などの貯蔵条件を変更した場合について、実効増倍係数を推定することができる。

### 謝 辞

本作業は、研究炉整備計画に基づいて研究炉管理部において進められている、JRR-3 の改造の一環として行われたものである。本報告書は、その過程における燃料貯蔵設備の設計計算をまとめたものであり、桜井裕研究炉管理部長を始めとした改造に携わる方々のご協力のお陰である。

特に、佐藤一男研究炉管理部次長には、内容について査読をして頂き貴重なご意見を頂いた。また、研究炉開発室高柳政二氏には貯蔵ラックの構造やボラル板のデータを、研究炉技術課内山順三氏（現研究炉開発室）にはUO<sub>2</sub>燃料貯蔵ラックに関するデータをそれぞれ提供して頂いた。JACSコードシステムの使用にあたっては、安全解析部核燃料施設安全解析室内藤倉孝室長及び小室雄一氏に多くの有益な助言を頂いた。こゝに深く感謝する。

### 参 考 文 献

- (1) 日本原子力研究所：原子炉設置変更許可申請書（JRR-3 原子炉施設の変更），昭和59年4月。

- (2) 鶴田晴通, 市川博喜, 岩崎淳一: 「JRR-3 改造炉の核設計」, JAERI-M 84-099 (1984).
- (3) 岩崎淳一, 市川博喜, 鶴田晴通: 「JRR-3 改造炉の核計算(少数组定数)」, JAERI-M 84-159 (1984).
- (4) J. KATAKURA, et al.: "Development of the Computer Code System JACS for Criticality Safety," Trans. Am. Nucl. Soc., 41 (1982).
- (5) Y. NAITO, et al.: "MGCL - PROCESSOR : A COMPUTER CODE SYSTEM FOR PROCESSING MULTIGROUP CONSTANTS LIBRARY MGCL," JAERI-M 9396 (1981).
- (6) L. M. PETRIE, N. F. CROSS: "KENO-IV, AN IMPROVED MONTE CARLO CRITICALITY PROGRAM," ORNL-4938 (1975).
- (7) Y. NAITO, et al.: "MULTI-KENO : A MONTE CARLO CODE FOR CRITICALITY SAFETY ANALYSIS," JAERI-M 83-049 (1983).

## 付 錄

## A 1. 燃料要素及び構造材の原子個数密度

臨界安全性の評価に用いた、燃料及び構造材の原子個数密度を求めた。温度は300Kである。標準型燃料要素をTable A 1.1に、 $\text{UO}_2$ 燃料要素をTable A 1.2に示す。軽水の密度は、1.0  $\text{g}/\text{cm}^3$  である。

燃料貯蔵ラックをTable A 1.3に示す。未使用燃料貯蔵ラックは鉄製であり、使用済燃料貯蔵ラックNo.1及びNo.2はSUS製である。

中性子吸収材として用いるボラル板を、<sup>(1)</sup> Table A 1.4に示す。芯材中のアルミニウムは無視している。<sup>(2)</sup> ポロンの組成は、天然のものである。

減速材としての軽水をTable A 1.5に示す。軽水の密度は、1.0から0.05  $\text{g}/\text{cm}^3$  の範囲で変えてある。

## 参考文献

- (1) Brooks & Perkins Inc. : "BORAL, The Neutron Absorber," Product performance report 624 (1983).
- (2) 東京天文台編纂：「理科年表」，丸善株式会社（1981）.

Table A1.1 Atomic number densities in standard fuel element

				(10 <sup>+24</sup> N/CM**3)		
				*	*	*
				H	O	
FUEL PLATE (MEAT)	1.0945E-3	4.3912E-3	4.7522E-2	-	-	
(CLAD)	-	-	6.0038E-2	-	-	
SIDE PLATE	-	-	6.0038E-2	-	-	
ELEMENT AVERAGED	1.7196E-4	6.8989E-4	2.5799E-2	3.5815E-2	1.7907E-2	

\* : IN THE CASE OF 1.0 G/CM\*\*3 WATER DENSITY  
TEMPERATURE: 300 K

Table A1.2 Atomic number densities in UO<sub>2</sub> fuel element and fuel storage rack

				(10 <sup>+24</sup> N/CM**3)		
				*	*	*
				H	O	
REGION	1	1.3801E-4	8.9484E-3	5.8292E-3	-	3.1008E-2
"	2	-	-	5.0166E-4	-	3.3673E-2
"	3	-	-	-	5.6904E-3	6.6079E-2
"	4	-	-	-	4.1992E-4	3.3039E-2
				-	-	3.0041E-2
				-	6.6627E-2	3.3313E-2

\* : IN THE CASE OF 1.0 G/CM\*\*3 WATER DENSITY  
TEMPERATURE: 300 K

Table Al.3 Atomic number densities of structural material

(10<sup>+24</sup> N/CM\*\*3)

		FE	CR	NI
FRESH FUEL	STORAGE RACK	8.4755E-2	-	
SPENT FUEL	STORAGE RACK NO.1	6.3277E-2	1.6532E-2	6.5083E-3
SPENT FUEL	STORAGE RACK NO.2	"	"	"

TEMPERATURE: 300 K

Table Al.4 Atomic number densities of neutron absorber plate

(10<sup>+24</sup> N/CM\*\*3)

	B-10	B-11	C	AL
MEAT (B4C)	8.0891E-3	3.5168E-2	1.0802E-2	-
CLAD (AL)	-	-	-	6.0038E-2

TEMPERATURE: 300 K

Table A1.5 Atomic number densities of water

(10+24 N/CM\*\*3)

DENSITY (G/CM**3)	H	O
1.00	6.6627E-2	3.3313E-2
0.90	5.9964E-2	2.9982E-2
0.80	5.3302E-2	2.6650E-2
0.70	4.6639E-2	2.3319E-2
0.60	3.9976E-2	1.9988E-2
0.50	3.3314E-2	1.6657E-2
0.45	2.9982E-2	1.4991E-2
0.40	2.6651E-2	1.3325E-2
0.35	2.3319E-2	1.1660E-2
0.30	1.9988E-2	9.9939E-3
0.20	1.3325E-2	6.6626E-3
0.10	6.6627E-3	3.3313E-3
0.05	3.3314E-3	1.6657E-3

TEMPERATURE: 300 K