

JAERI-Research  
95-029



浸水の恐れのない系の臨界安全評価法の検討  
(受託研究)

1995年3月

内藤倅孝・板原国幸\*・山本俊弘・小室雄一

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

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

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

This report is 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, 1995

編集兼発行 日本原子力研究所  
印 刷 いばらき印刷(株)

浸水の恐れのない系の臨界安全評価法の検討

日本原子力研究所東海研究所燃料サイクル安全工学部

内藤 俊孝・板原 国幸\*・山本 俊弘

小室 雄一

(1995年3月6日受理)

単一ユニットの核燃料の臨界安全評価は、これまで多くの場合、その周囲に十分な厚さの水反射体を仮定して行なわれていた。しかし近年、浸水の恐れのない系においては十分な厚さの水反射体を仮定しないで臨界安全評価を行なう場合が増えてきた。この場合に、周囲の構造物や枝管による反応度効果を2.5cm厚さの水反射体で模擬する方法が提案されている。ここでは、構造物や枝管の反応度値を推定し、それが2.5cmの水反射体による反応度値より、多くの場合、小さいことを示す。また、周囲の構造物や枝管を無視した複数ユニットの臨界計算の結果からその複数ユニットの臨界安全性を評価する方法を提案する。さらに、実際の再処理施設と近い体系について、構造物や枝管の代わりに2.5cmの水反射体を巻きつける方法が安全側の答えを与えることを、多くの計算例により示す。

---

この報告書は、電源開発促進対策特別会計法に基づく科学技術庁からの受託としておこなった研究成果の一部である。

東海研究所：〒319-11 茨城県那珂郡東海村白方字白根2-4

\* 三菱重工業(株)

Study on Criticality Safety Evaluation of a System Where Flood will Never Occur

Yoshitaka NAITO, Kuniyuki ITAHARA\* , Toshihiro YAMAMOTO and Yuichi KOMURO

Department of Fuel Cycle Safety Research  
Tokai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received March 6, 1995)

Criticality safety evaluation for a single unit containing nuclear fuel has usually been performed on the assumption that there is a fully thick water reflector around the unit. For a system where flood will never occur, however, the thick reflector assumption is usually not applied recently. In such cases, a method is proposed, which models surrounding structural material and branch pipes as 2.5cm thick water reflector. This report shows that reactivity worth of structural material and branch pipes is, in many cases, less than that of 2.5cm thick water reflector. Further, another method is shown to evaluate criticality safety for a multiple unit system, using computed results with surrounding structural material and branch pipes neglected. And it is shown with many sample calculations that the method with 2.5cm thick water reflector in place of structural material and pipes gives safety side results to similar systems to real reprocessing plants.

Keywords: Criticality Safety Evaluation, 2.5cm Thick Water Reflector, Structural Material, Reprocessing Plant

---

\* Mitsubishi Heavy Industries, LTD

## 目 次

1. はじめに .....	1
2. 構造物等の影響を考慮した臨界安全評価の方法 .....	2
2.1 単一ユニットの臨界安全評価の方法 .....	2
2.1.1 構造物の中性子反射効果 .....	3
2.1.2 枝管の反応度価値 .....	5
2.2 複数ユニットの臨界安全評価の方法 .....	7
2.2.1 構造物等の中性子反射効果による反応度増大分を単一ユニットに付加した モンテカルロ計算 .....	7
2.2.2 単一ユニットに厚さ 2.5cmの水反射体を付けた状態でのモンテカルロ計算 .....	9
2.3 機器を設置する際の臨界安全評価の方法 .....	10
3. 2.5cm 水反射の実体系への適用性の検討 .....	12
3.1 単一ユニットについての検討 .....	12
3.1.1 計算対象 .....	12
3.1.2 計算ケース .....	12
3.1.3 計算方法、計算条件 .....	13
3.1.4 計算結果 .....	13
3.2 複数ユニットについての検討 .....	14
3.2.1 計算対象 .....	14
3.2.2 計算ケース .....	14
3.2.3 計算方法、計算条件 .....	15
3.2.4 計算結果 .....	15
4. おわりに .....	16
謝 辞 .....	17
参考文献 .....	18
付録 枝管の反応度価値 .....	68

Contents

1. Introduction .....	1
2. Methods of Nuclear Criticality Safety Evaluation Which Takes Account of Effects of Neutron Reflection by Structural Materials and Branch Pipes .....	2
2.1 Methods for Single Unit Systems .....	2
2.1.1 Effect of Neutron Reflection by Structural Materials .....	3
2.1.2 Reactivity Worth of Branch Pipes .....	5
2.2 Methods for Multiple Unit Systems .....	7
2.2.1 Monte Carlo Calculation for a System Which Consists of Some Units with Additional Reactivity Worth Equivalent to Neutron Reaction by Structural Materials .....	7
2.2.2 Monte Carlo Calculation for a System Which Consists of Some Units with "2.5cm Water Reflection" .....	9
2.3 Methods for Nuclear Criticality Safety Evaluation on Installation of Instruments in a Facility .....	10
3. Application of the "2.5cm Water Reflection" for Real Systems .....	12
3.1 Application for Single Unit Systems .....	12
3.1.1 Geometry Description .....	12
3.1.2 Calculation Cases .....	12
3.1.3 Calculation Details .....	13
3.1.4 Results of Calculations .....	13
3.2 Application for Multiple Unit Systems .....	14
3.2.1 Geometry Description .....	14
3.2.2 Calculation Cases .....	14
3.2.3 Calculation Details .....	15
3.2.4 Results of Calculations .....	15
4. Conclusions .....	16
Acknowledgement .....	17
References .....	18
Appendix Reactivity Worth of Branched Pipes .....	68

## 1. はじめに

臨界安全評価においては、初めに、核燃料が単一で存在している場合に臨界にならないことを評価する。これを単一ユニットの臨界安全評価という。次に、それら単一ユニットが複数あって相互に干渉しあうような場合でも臨界にならないことを評価する。これを、複数ユニットの臨界安全評価という。単一ユニットの臨界安全評価は、これまで多くの場合、その周囲に十分な厚さの水反射体を仮定して行なわれていた。これは2つの理由による。その1つは水没のために、単一ユニットの周囲に十分な厚さの水反射体が実際に存在する可能性があること、あと1つは周囲の構造物による中性子反射効果を取り込むためである。しかし近年、合理的な設計の観点から臨界安全設計が見直され、浸水の恐れのない系においては十分な厚さの水反射体を仮定しない評価法が提案されている。この場合に周囲の構造物による中性子反射効果をどのように組み込むかが重要な課題となる。

第2章では、厚さ2.5cmの水反射体を想定すれば、ユニットの周囲の構造物や枝管の反応度効果が、多くの場合考慮できることを示す。厚さ2.5cmの水反射体の想定によって中性子増倍率が大きくなった単一ユニットから成る複数ユニットの臨界計算を、モンテカルロコードを用いて行う方法について述べる。さらに、ユニット周囲の構造物の中性子反射効果が、厚さ2.5cmの水反射体の中性子反射効果より大きくないことを、機器の設置の際に確認する方法を述べる。第3章では、厚さ2.5cmの水反射体を実際の体系に適用して、その妥当性を検討する。第4章で本報告書全体のまとめを行う。

## 2. 構造物等の影響を考慮した臨界安全評価の方法

### 2.1 単一ユニットの臨界安全評価の方法

浸水の恐れのない系の単一ユニットの臨界安全評価では、そのユニットの周囲の反射条件は、反射の要因となるものすべてを包含して設定すべきである。反射の要因の例として、以下のものが挙げられる。

- ① 機器が設置されるセル等の壁、天井、床
- ② 機器周辺の支持構造物、枝管
- ③ 人、可動式タンク、プラスチック製品、木製品  
(但し、これらが機器周辺に接近する可能性がある場合)

これらの反射要因を臨界安全評価用のモデルに忠実に反映させることは、モデルが幾何学的に非常に複雑になって、合理的でない。そこで、単一ユニットの周囲の反射効果を十分に補償する厚さの水反射体で模擬する。水の厚さとして 2.5cm が用いられることがある。この場合の上記3つの要因の取扱いを次に述べる。

#### ① 機器が設置されるセル等の壁、天井、床

中性子反射効果の大きさは、単一ユニットと壁等との距離に依存する。従って、壁等による中性子反射は、一定の反射効果を与える水反射体に取り込むよりも、その設置環境が反映されるものとして取扱うことが考えられ、厚さ2.5cmの水反射体を設定する場合にはこの考え方が用いられる。つまり、厚さ2.5cmの水反射体を設定する場合には、その中には壁等による中性子反射効果は取込まない。壁等は省略しないで、評価モデルの中に取り入れる。

#### ② 機器周辺の支持構造物、枝管

これらは評価モデルの中に取り入れるべきだが、そうすることは次の理由からむずかしい。臨界安全基本設計が行われる時期は、施設設計の早い段階にあるために、支持構造物や枝管の仕様はまだ決定されていない。たとえ仕様が決ったとしても、これらが有する複雑な幾何形状を評価モデル上に忠実に再現することは困難である。このような事情から、支持構造物や配管は評価モデルの中に取り入れない。代わりに厚さ2.5cmの水反射体をユニットの周囲に設置する。

## ③ 人、可動式タンク、プラスチック製品、木製品

人、溶液の入ったタンク、有機物の中性子反射効果は大きい。これらが接近する可能性をもつ単一ユニットの評価モデルに、厚さ2.5cmの水反射体を設置するときには、特別の注意深い検討が必要である。

以上をまとめると、次のようになる。

- 壁等はそのまま評価モデルの中に再現する
- 支持構造物や枝管の中性子反射効果は、厚さ2.5cmの水反射体に置き換えて評価モデルに取込む
- 中性子反射効果の大きい物体が接近する可能性がある場合には、評価モデルの中に厚さ2.5cmの水反射体を設置することは、原則として行わない。

単一ユニットの臨界安全評価では、壁を除く周囲の構造物及び枝管を無視した単一ユニットの中性子増倍率に、無視した構造物による中性子反射効果及び枝管の反応度値に相当する反応度を加算しても臨界にならないことを確認する。以下の検討例では、構造物の中性子反射効果による反応度増大は、アルベドにして 0.15 以内相当と仮定する。また、枝管の反応度値は  $3\% \Delta k/k$  程度と考える。

本章では、構造物と枝管の単一ユニットに対する反応度値は、厚さ2.5cmの水反射体を単一ユニットに付加して生じる反応度増大より小さいことを示す。これが立証できれば、単一ユニットの臨界安全評価において、構造物と枝管を省略し、その代替に厚さ2.5cm水反射体を設けた単純な評価モデルを使えることになる。

## 2.1.1 構造物の中性子反射効果

十分な厚さの水及びステンレス鋼のアルベドはそれぞれ約 0.56 及び 0.79 である。従って、アルベド 0.15 とは、水のアルベドでたとえればその約 27%、ステンレス鋼のアルベドの 19% に相当する。換言すれば、ユニットの周囲に0.15 のアルベドを想定することは、ユニットの約1/4面を十分に厚い水で覆うか、ユニットの1/5面を十分に厚いステンレス鋼で覆うことと等価である。

次に、アルベド0.15に相当する水反射体厚さを求める。はじめに、水反射体厚さの増大に伴う反応度の増大  $\delta k(t)$  の関係を調べる。図2.1.1 及び 図2.1.2 にその関係を示す。また、図2.2.1 及び 図2.2.2 に Reflector Factor (RF2) の例を示す。RF2 の定義式と、その値が反射体の厚さに対して指数関数的に変化することを用いると、式(2.1)

が得られる。

$$RF2 = \frac{k(\infty) - k(t)}{k(\infty)} = \frac{k(\infty) - k(0)}{k(\infty)} \cdot \exp(\alpha t) \quad (2.1)$$

この関係式から、次の2つの式を得る。

$$\frac{k(\infty) - k(t)}{k(\infty) - k(0)} = \exp(\alpha t) \quad (2.2)$$

$$\frac{\delta k(t)}{\delta k(\infty)} = \frac{\{k(t) - k(0)\} / k(0)}{\{k(\infty) - k(0)\} / k(0)} = 1 - \exp(\alpha t) \quad (2.3)$$

ここで、 $k(\infty)$ 及び $k(t)$ は、反射体厚さが無限大の場合と $t$ の場合の単一ユニットの中性子増倍率である。 $\alpha$ の値は約 $-1/2.5\text{cm}$ であるから<sup>1)</sup>、 $t=2.5\text{cm}$ における $\delta k(t)/\delta k(\infty)$ の値は式(2.3)より、約0.63になる。このことは、厚さ2.5cmの水による中性子反射効果は、十分な厚さの水による反射効果の約6割であることを示している。同様に、 $t=1\text{cm}$ における $\delta k(t)/\delta k(\infty)$ の値は約0.33である。さらに、

$$\frac{k(t)}{k(0)} = \frac{\frac{k(\infty)}{1 + \{1 - \beta(t)\} M^2 B^2}}{\frac{k(\infty)}{1 + M^2 B^2}} = 1 + \frac{\beta(t) M^2 B^2}{1 + M^2 B^2} \quad (2.4)$$

である。ここで $k(\infty)$ は無増倍率、 $M^2$ は移動面積、 $B^2$ はバックリング、 $\beta(t)$ は厚さ $t$ の物質のアルベドである。式(2.3)と式(2.4)より、式(2.5)を得る。

$$\frac{\delta k(t)}{\delta k(\infty)} = \frac{1 - k(t)/k(0)}{1 - k(\infty)/k(0)} = \frac{\beta(t)}{\beta(\infty)} \quad (2.5)$$

本節の冒頭で、十分に厚い水のアルベド $\beta(\infty)$ は0.56であることを述べた。さらに、 $t=2.5\text{cm}$ における $\delta k(t)/\delta k(\infty)$ の値は約0.63であることを示した。この2つの値を式(2.5)に代入して、 $\beta(2.5)=0.35$ を得る。同様にして、 $\beta(1.0)=0.18$ を得る。

以上の検討結果から、アルベド0.15を想定することは、厚さ約1cm程度の水反射体を想定することと反応度的には近いことになる。

## 2.1.2 枝管の反応度値

反応度値の高い枝管は単一ユニットの計算モデルに含めて計算するものとする。ここでいう枝管とは反応度値の小さいものを指す。枝管の反応度値を最高 $3\% \Delta k/k$ 程度に想定しておく通常枝管はこの中に含まれる。図2.3に示す枝管の反応度値の計算結果を表2.1に示す。図2.3におけるA, B, Cの例は、通常枝管の範ちゅうには入らないものとする。

次に、 $3\% \Delta k/k$ と水反射体厚さとの関係を検討する。 $k(0)/k(\infty)$ の値は図2.4.1及び図2.4.2に示すように体系によって大きく変化する。 $t=2.5\text{cm}$ と $1.0\text{cm}$ の場合の反応度差 $\delta k(2.5, 1.0)$ は式(2.3)から、

$$\begin{aligned} \delta k(2.5, 1.0) &= \{ \delta k(2.5) - \delta k(1.0) \} \\ &= \{ \exp(\alpha) - \exp(2.5\alpha) \} \cdot \{ k(\infty) - k(0) \} \\ &= k(\infty) \cdot 0.30 \cdot \{ 1 - k(0)/k(\infty) \} \end{aligned} \quad (2.6)$$

となる。即ち、 $k(0)/k(\infty)$ の値が0.9以下であれば、 $\delta k(2.5, 1.0)/k(\infty)$ の値は $3\% \Delta k/k$ より大きい。 $k(0)/k(\infty)$ の値が0.9以上になるということは中性子漏洩量 $L$ が小さくなることを意味する。中性子漏洩量が小さくなることは、反射体の反応度効果が小さくなるが、中性子による相互干渉効果も小さくなることを意味する。

中性子漏洩率の反射体効果と相互干渉効果に与える影響を評価する。枝管 $i$ の反応度値は近似的に次の式で表現できる(文献2)参照)。

$$\delta k_i = \frac{\{L/(L+A)\}_0 \cdot \{L/(L+A)\}_i \cdot \Omega_{0i} \cdot \Omega_{i0}}{1 - k_i/k_0} \quad (2.7.1)$$

ここで、 $k_0$ 及び $k_i$ は母ユニット及び枝管 $i$ がそれぞれ単独で存在する時の中性子増倍率である。 $\Omega_{0i}$ は母ユニットから枝管 $i$ を見込んだ時の立体角分率である。枝管 $i$ から母ユニットを見込む立体角分率 $\Omega_{i0}$ の最大値は0.5、枝管 $i$ の中性子漏洩率 $\{L/(L+A)\}_i$ の最大値は1.0である。また、式(2.7.1)において、 $k_i/k_0$ の値は1.0に比べて十分小さいので、式(2.7.1)を次のように表現する。

$$\delta k_i < 0.5 \cdot \{L/(L+A)\}_0 \cdot \Omega_{0i} \quad (2.7.2)$$

図2.4.1に示すように、式(2.6)右辺の $\{1 - k(0)/k(\infty)\}$ は次のように表現できる。

$$1 - k(0)/k(\infty) = 1 - \frac{1 + \{\pi/(T + 14.2D)\}^2 M^2}{1 + \{\pi/(T + 4.0D)\}^2 M^2}$$

$$\begin{aligned}
& \{ \pi / (T + 4.0D) \}^2 M^2 [ 1 - \{ (T + 4.0D) / (T + 14.2D) \}^2 ] \\
= & \frac{\quad}{1 + \{ \pi / (T + 4.0D) \}^2 M^2} \\
= & \{ L / (L + A) \}_0 \cdot [ 1 - \{ 1 - 10.2D / (T + 14.2D) \}^2 ]
\end{aligned}
\tag{2.7.3}$$

ここで、

- T : 燃料厚さ、  
 $M^2$  : 中性子移動面積、  
D : 拡散係数。

式(2.7.2)及び式(2.7.3)から分かるように、中性子相互干渉効果 $\delta k_i$ も反射体効果も共に中性子漏洩率 $\{L/(L+A)\}_0$ に比例する。しかし、式(2.7.3)から分かるように反射体効果は燃料厚さTが増大(即ち、中性子漏洩率が減少)すると、その比例係数は減少する。即ち、反射体効果がより早く減少する。

いま、 $k(0)/k(\infty)$ の値が0.9以下であれば、 $\delta k(2.5, 1.0)/k(\infty)$ の値は $3\% \Delta k/k$ より大きいので、式(2.7.2)の右辺が $3\% \Delta k/k$ 以下になるような枝管の反応度効果は、厚さ2.5cmの水による反射効果の中に含まれる。 $k(0)/k(\infty)$ の値が0.9以上になると反射体効果は落ちるので、相互干渉に対する立体角分率 $\Omega_{oi}$ の条件は厳しくなる。式(2.7.2)と式(2.7.3)から、

$$\Omega_{oi} < \Omega_{oi}(0.9) \cdot \frac{1 - \{ 1 - 10.2D / (T + 14.2D) \}^2}{1 - [ 1 - 10.2D / \{ T(0.9) + 14.2D \} ]^2}
\tag{2.8}$$

ここで、 $T(0.9)$ 及び $\Omega_{oi}(0.9)$ は $k(0)/k(\infty)$ の値が0.9のときのT及び $\Omega_{oi}$ の値である。

以上の結果から、次の2つの条件：

- ① 構造物による反射割合が0.15以内、
- ② 枝管の反応度値が $3\% \Delta k/k$ 以内

が成立すれば、構造物による中性子反射効果及び枝管の反応度効果の代替として、厚さ2.5cmの水反射体を想定することは安全側の想定と考えられる。但し、中性子漏洩率が小さく $k(0)/k(\infty)$ の値が0.9以下となるような体系については、枝管の許容される反応度を減ずる必要がある。また、壁からの反射中性子を、仮想した水反射体が吸収してしまう問題がある。このようなことが考えられる場合には、水反射体を想定しない場合についても中性子増倍率を計算して、大きい方の中性子増倍率で臨界性を判定する必要がある。

## 2.2 複数ユニットの臨界安全評価の方法

複数ユニットの臨界安全評価においても、機器周辺の構造物等の存在をどのように考慮するかは重要な課題である。本節では2つの方法について検討した。その1つは、構造物等の中性子反射効果によって単一ユニットの反応度が增大する分を、単一ユニットの中性子増倍率に加算する方法である。この方法は、構造物等がユニットの反応度を増大させる効果を考慮する一方、構造物がユニット間の中性子相互作用を妨げる効果を考慮しないため、中性子増倍率を小さく見積ることはない。もう1つの方法は各単一ユニットに2.5cmの水反射体を付けた状態で複数ユニットのモンテカルロ計算を行い、中性子増倍率を計算する方法である。

### 2.2.1 構造物等の中性子反射効果による反応度増大分を単一ユニットに付加したモンテカルロ計算

2.1節では、単一ユニットの周囲に配置された構造物等の反応度効果を厚さ2.5cmの水反射体で代用する方法について述べた。本項では、この2.5cm水反射体の考えを複数ユニットに適用する方法について考える。使用できる計算コードとして MUTUAL<sup>2)</sup>、KENO IV<sup>3)</sup>、MULTI-KENO<sup>4)</sup> 等があるが、以下では KENO IV を用いた方法について述べる。

複数ユニットにおける2.5cm水反射体の適用とは、複数ユニット体系内の形状の複雑な構造物等を直接評価モデルに取込まない代わりに、それらの中性子反射効果については、体系内の個々のユニットに厚さ2.5cmの水反射体を設けることで補うものである。しかし、この評価モデルは、実体系と較べて次の2つの点で異なる。

- ①各ユニット間の立体角が大きくなる。
- ②各ユニット間の中性子相互干渉効果が、水による中性子の吸収のために小さくなる。

②は非安全側の効果を持つため、単一ユニットで採用した2.5cm水反射の考えを複数ユニットの評価モデルにそのまま適用することは出来ない。②の効果による反応度減少分を抑えるには、各ユニットに2.5cmの水反射体を設置する代わりに、2.5cm水反射体相当分の反応度を各ユニットに付加した評価モデルを用いればよい。この考え方に基づく簡易評価法について説明する。

#### (1) KENO IV による簡易評価法

KENO IV は、オプションにより、複数ユニットの array unit interaction matrix を計算する。この行列Aの各成分 $a_{i,j}$ は、ユニットiで生成した中性子が、次の世代にユニットjで核分裂を起こす確率を示している。ここで、行列Aの固有値を $\lambda$ 、固有ベクトルをSとすると、

$$AS = \lambda S \quad (2.9)$$

となる。KENO IV は固有値  $\lambda$  のうちの最大のもを BOX TYPE K-EFFECTIVE として出力する。最大固有値に対応する固有ベクトル  $S$  は各ユニットの核分裂源を表している。これと MUTUAL との対応付けを試みる。MUTUAL では固有値を以下のように表す<sup>2)</sup>。

$$K^{-1}(I - TD^{-1})(D\phi) = \frac{1}{\lambda}(D\phi) \quad (2.10)$$

これを变形すると、

$$(I - TD^{-1})K^{-1}(P\phi) = \frac{1}{\lambda}(P\phi) \quad (2.11)$$

となる。ここで、 $P\phi$  は各ユニットの核分裂源を表している。一方、式(2.9)を次のように変形する。

$$A^{-1}S = \frac{1}{\lambda}S \quad (2.12)$$

従って、式(2.11)と式(2.12)から次のように定義する。

$$A^{-1}(= (a_{i,j}^{-1})) \equiv (I - TD^{-1})K^{-1} \quad (2.13)$$

$$a_{i,i}^{-1} \equiv \frac{1}{k_i(1 - T_{i,i}/d_i)} \quad (2.14)$$

$$a_{i,j}^{-1} \equiv \frac{1}{k_j(1 - T_{i,j}/d_j)} \quad (2.15)$$

ここで、 $k_i$  はユニット  $i$  の孤立系での中性子増倍率である。他の記号の意味は文献2) に準じた。

いま、孤立系の各ユニットの周囲に厚さ2.5cmの水反射体を設けたために、中性子増倍率が  $k_j$  から  $k_j^*$  に変化したとすると、変化後の  $A^{-1*}$  の各要素は次のように表せる。

$$a_{i,j}^{-1*} = a_{i,j}^{-1} \cdot (k_j/k_j^*) \quad (2.16)$$

但し、ここでは  $T_{i,j}$  と  $d_j$  は変化しないものと仮定した。このことは核定数のうち核分裂当たりの平均中性子放出数  $\nu$  のみが増加して、他の核定数や各ユニット間の立体角が増加しない場合に対応している。

次に、行列 $A^{-1}$ の固有値の逆数 $\lambda^*$ を計算する。この $\lambda^*$ を、2.5cm水反射相当の反応度を各ユニットに付加した複数ユニットの中性子増倍率とみなすこととする。

本評価法を用いることにより、本項のはじめに①及び②で述べた2つの問題点が克服できることになる。

ここで、KENO IVの計算から得られる $\lambda$ (BOX TYPE K-EFFECTIVE)は、 $k_{eff}$ (AVERAGE K-EFFECTIVE)より小さい値を与えることに注意しなければならない。この傾向はヒストリー数が多くなるほど強くなる。一方、KENO Vでは両者の差はKENO IVより小さいので本評価法にはKENO Vの使用が望ましい。なお、 $\lambda$ と $k_{eff}$ との差を補正するには、

$$k_{eff}^* = \lambda^* \cdot (k_{eff}/\lambda) \quad (2.17)$$

で以て、2.5cm水反射相当の反応度を各ユニットに付加した複数ユニットの中性子増倍率とすればよい。

## (2)計算例

図2.5に示す4つのユニットで構成される複数ユニットを例に、計算を行った。一辺が2mのコンクリート壁に囲まれた部屋の中に、溶液燃料の入った4つのタンクが並んだ体系である。KENO IVの計算を行って、体系の中性子増倍率と式(2.9)に示した行列Aの各成分を求めた。結果を表2.2.1に示す。また、各ユニット単独の中性子増倍率を、2.5cm水反射体有り及び無しの双方についてKENO IVで求めた結果を表2.2.2に示す。これらのデータを(1)で述べた簡易評価法に従って処理すると、 $k_{eff}^* = 0.892$ を得る。

参考のために、各ユニットに厚さ2.5cmの水反射体を付加した場合の中性子増倍率を求めたところ  $0.85935 \pm 0.00248$  を得た。複数ユニット体系において、各ユニットに厚さ2.5cmの水反射体を付加すると、各ユニット間を飛び交う中性子が水反射体で吸収されるために、非安全側の結果を与えることは(1)で述べた。今回の計算例では、(1)で説明した簡易評価法で求めた複数ユニットの中性子増倍率は、各ユニットに厚さ2.5cmの水反射体を付加した体系の中性子増倍率よりも大きく、安全側の結果を与えた。

### 2.2.2 単一ユニットに厚さ2.5cmの水反射体を付けた状態でのモンテカルロ計算

複数ユニットの内部に構造物があると、ユニット間の中性子相互干渉効果、及び壁による中性子反射効果(壁に反射された中性子が再びユニットの戻ってくる)が減少する。従って、複数ユニットの場合は、構造物の反応度値は大きくないと考えられる。ところが、2.2.1項に述べた方法で複数ユニットの中性子増倍率を求めると、安全裕度を大きく見積り過ぎることになる。この方法の他に、構造物の存在がこれら2つの効果を妨げることを考慮して、中性子増倍率を計算する方法がある。それは、各ユニットに厚さ2.5cmの水反射体を巻いて複数ユニットの実効増倍率を計算する方法である。この方法はユニット間の、壁による中性子反射効果及びユニット間の中性子相互干渉効

果を過大に減少させる恐れがあるが、3章に詳しく示すように、多くの場合安全側の仮定になっていることがわかる。

### 2.3 機器を設置する際の臨界安全評価の方法

2.1節で想定した、構造物からの中性子反射効果の大きさ及び枝管の反応度値の妥当性については、機器を設置する際に確認する必要がある。以下にその1つの方法を示す。

- (1) 着目する単一ユニット(以下では、燃料*i*)に対する構造物のアルベドが0.15以内であることを確認する方法

燃料*i*の中心から構造物*j*を見た立体角分率を $\Omega_{ij}$ 、構造物から燃料を見た立体角分率を $\Omega_{ji}$ とする。燃料*i*から出た中性子が再び*i*に戻る実効アルベドは次の式で表現できる。但し、構造物に到達した中性子は、アルベド $\beta$ で等方的に反射されるものと仮定する。

$$\beta_{eff} = \beta \cdot \sum_j \Omega_{ij} [ \Omega_{ji} + \beta \cdot \sum_k \Omega_{jk} \{ \Omega_{ki} + \beta \cdot \sum_l \Omega_{kl} ( \Omega_{li} + \dots ) \} ] \quad (2.18)$$

この式を次のように簡単に表現する。

$$\beta_{eff} = \beta \cdot ( \sum_j \Omega_{ij} ) \cdot \Gamma_{ji} \leq 0.15 \quad (2.19)$$

但し、

$$\Gamma_{ji} = \Omega_{ji} + \beta \cdot \sum_k \Omega_{jk} \{ \Omega_{ki} + \beta \cdot \sum_l \Omega_{kl} ( \Omega_{li} + \dots ) \} ] \quad (2.20)$$

とする。ここで、 $\Gamma_{ji}$ を単純に $r_i/r_{ij}$ で表現する。 $r_i$ は燃料領域の等価半径、 $r_{ij}$ は燃料領域の中心から構造物までの距離である。

この式(2.19)の妥当性を検討するために、球形燃料がある距離においてステンレス鋼に覆われた場合の実効アルベドの計算値と簡便式による値を比較して表2.3及び図2.6に示す。これらの図表から分かるように簡便式は極端に悪い精度ではない。このことは、最も効率よく反射する場合について、式(2.19)が良い近似になっていることを意味する。この結果から、構造物を見込む立体角を燃料からの距離ごとに求め、その結果が式(2.19)を満たしていることを確認すればよいことが分る。

(2) 枝管の反応度値が  $3\% \Delta k/k$  以下であることを確認する方法

式(2.8)により計算した値が  $3\% \Delta k/k$  以下であることを確認すればよい。すなわち、母ユニットから枝管を見込んだ立体角分率の合計が 0.33 以下であることを確認すればよい。

### 3. 2.5cm水反射の実体系への適用性の検討

#### 3.1 単一ユニットについての検討

##### 3.1.1 計算対象

実物に近い機器2例をとりあげ、支持構造物及び配管の中性子反射効果と厚さ2.5cmの水反射体の中性子反射効果の大きさを、体系の中性子増倍率 $k_{eff}$ を目安に比較した。2つの計算対象を図3.1.1及び図3.1.2に示す。前者はミキサセトラを模擬した平板状の機器と、それを支持する構造物や配管から成る。図3.1.1の上部に示すように、機器は厚さCの燃料部（硝酸プルトニウム水溶液）、厚さtのカドミウム板、厚さTのポリエチレンで構成される。ポリエチレンは、熱中性子計測カウンタに熱中性子を供給するための減速材の役割りを果たす。カドミウム板はポリエチレン内で減速された中性子が燃料部に戻るのを防ぐための中性子吸収材である。すべての配管の内部は水で満たされていると仮定した。一方、後者はパルスカラムを模擬した堅型の円筒形状機器と、それを支持する構造物や配管から成る。機器は燃料部（硝酸プルトニウム水溶液）のみで、ポリエチレンやカドミウム板はない。なお、両者とも外周には厚さ80cmのコンクリート壁が設けられている。コンクリートの組成を表3.1に示す。この組成は「臨界安全ハンドブック」<sup>5)</sup>から引用した。燃料を受入れる容器、支持構造物、配管等の材質はすべてSUS304ステンレススチールとした。

##### 3.1.2 計算ケース

平板形状機器の場合は、図3.1.1に示す基本体系を表3.2.1から表3.2.10に示すように変化させる。円筒形状機器の場合は、図3.1.2に示す基本体系を表3.2.11から表3.2.20に示すように変化させる。これらの各ケースについて、以下の計算を行なう。

- ① 変更を一切加えないで計算モデルを作成し、 $k_{eff}$ を計算する。……………（現実的モデル）
- ② 支持構造物及び配管をすべて除外し、その代替に機器の全周に水を設置した計算モデルを作成する。水の厚さを変えて $k_{eff}$ を計算する。但し、コンクリート壁は計算モデルの中に入れる。……………（単純モデル）

①から得られる $k_{eff}$ を、②から得られる $k_{eff}$ 群と対比することで、支持構造物及び配管の中性子反射効果と厚さ2.5cmの水反射体の中性子反射効果との比較ができる。

### 3.1.3 計算方法、計算条件

多群定数ライブラリーMGCL-B-IV<sup>9)</sup>とモンテカルロ臨界計算プログラムMULTI-KENOの組合せで、各ケースの $k_{eff}$ を計算した。MULTI-KENOの計算条件は次の通りである。

1世代当りの中性子数	: 600
計算世代数	: 110
スキップ世代数	: 10
初期中性子発生分布	: 平坦
エネルギー群数	: 137

### 3.1.4 計算結果

平板形状機器の結果( $k_{eff}$ )を表3.3.1に、円筒形状機器の結果( $k_{eff}$ )を表3.3.2に示す。これらの結果から得られた知見を表3.4.1及び表3.4.2に示す。それを簡潔にまとめると、以下のようになる。

#### ① 平板形状機器

今回とりあげたカドミウム板及びポリエチレン付き平板形状機器の場合、機器の周囲の支持構造物及び配管と等価な水反射体厚さは0.5cmであることがわかった。また配管直径・燃料組成・濃度、機器とコンクリートの距離が等価な水反射体に及ぼす効果を調べるための計算も実施したが、それらの効果はいずれも小さいことがわかった。

しかし、機器底部のカドミウム板及びポリエチレンを除去し、かつ、支持構造物の天板の厚さが10cmの場合には、等価な水反射体厚さは2.5cmでは足りず、3cmを超えた。但し、天板の厚さを2.5cmにすれば、等価な水反射体厚さは1.5cm程度になった。このように、平板形状機器の場合には、面積が大きく中性子の漏れが大きな面(たとえば機器の底面)が支持構造物の天板と密着し、かつカドミウム板及びポリエチレンの組合せ等の中性子吸収材が無いと、支持構造物による中性子反射効果は大きく、その程度は支持構造物の天板の厚さに大きく依存することがわかった。

#### ② 円筒形状機器

この場合にも等価な水反射体厚さは0.5cm程度となった。こうなった理由は、想定した支持構造物及び配管が機器に密着しておらず、機器からこれらを仰いだ立体角も小さいために中性子反射効果が小さいためと考えられる。基準ケースに対して支持構造材の寸法、機器とコンクリートの距離、燃料濃度を変化させた計算も行なったが、等価な水反射体厚さは基準ケースと同様であった。

本節では特殊例を2つとりあげたが、これらに限れば、天板の厚さが極めて厚くかつ中性子吸収材を置かない場合を除いて、機器周辺の配管及び支持構造物と等価な水反射体厚さは特殊な場合を除いて2.5cmを十分に下回った。よって、これら2例に対して機器の全周に2.5cmの水反射体を巻き付けた計算モデルを使用することは、臨界安全性評価上安全側の仮定といえる。

### 3.2 複数ユニットについての検討

#### 3.2.1 計算対象

3.1節では単一ユニットを対象に、厚さ2.5cmの水反射体を機器の外周に設定した単純モデルの $k_{eff}$ と、支持構造物や配管等の省略を一切行なわない詳細モデルの $k_{eff}$ とを比較した。単純モデルの $k_{eff}$ が詳細モデルの $k_{eff}$ を上回れば、機器等の臨界安全評価に単純モデルを使用できることの一例を示せると考えたからである。

これと同様の観点から、本節では複数ユニットを対象に、単純モデルの $k_{eff}$ と詳細モデルの $k_{eff}$ を比較する。3.1節で用いた単一ユニット（平板または円筒機器）を $2 \times 2$ に配列し、その周囲を厚さ80cmのコンクリートで囲んだ複数ユニット体系を計算の対象とした。体系図の詳細を図3.2.1及び図3.2.2に示す。両図とも、6面の境界のうち2面に完全反射条件を設定して、 $2 \times 2$ 配列を模擬している。図3.2.1は図3.1.1と、図3.2.2は図3.1.2と、それぞれ一部の境界反射条件を除いて同一である。

#### 3.2.2 計算ケース

平板形状機器の場合は、図3.2.1に示す基本体系を、単一ユニットの場合と同じく表3.2.1から表3.2.10に示すように変化させる。円筒形状機器の場合は、図3.2.2に示す基本体系を、単一ユニットの場合と同じく、表3.2.11から表3.2.20に示すように変化させる。さらに表3.5.1から表3.5.5に示す変化を与える。これらの各ケースについて、以下の計算を行う。

- ① 変更を一切加えないで計算モデルを作成し、 $k_{eff}$ を計算する。……………（現実的モデル）
- ② 支持構造物及び配管をすべて除外し、その代替に機器の全周に厚さ2.5cmの水を設置した計算モデルの $k_{eff}$ を計算する。但し、コンクリート壁は計算モデルの中に入られる。水の厚さが0cmのモデルの $k_{eff}$ も一部のケースについて計算する。……………（単純モデル）

### 3.2.3 計算方法、計算条件

3.1.3項に示した方法、条件と同じである。但し、一部の計算では、1世代当りの中性子数を600から1000に増やした。

### 3.2.4 計算結果

計算結果を表3.6.1及び表3.6.2に示す。円筒ユニットの配列系では、すべてのケースで、単純モデルの $k_{eff}$ は詳細モデルの $k_{eff}$ を上回った。平板ユニットの配列系では、カドミウム板のないケースを除いて、単純モデルの $k_{eff}$ が詳細モデルの $k_{eff}$ を上回った。平板ユニットの底面（表面積が大きい）に貼付けられたカドミウム板は、支持構造物の天板が反射した中性子を遮る。このため、カドミウム板を取去ったケースの詳細モデルでは、天板による中性子反射効果が大きい。効果の程度は、機器の全周に設けた厚さ2.5cmの水による反射効果（すなわち、単純モデルの反射効果）よりも大きい。これが原因となって、平板ユニットの配列系でカドミウム板のないケースでは、詳細モデルの $k_{eff}$ が単純モデルの $k_{eff}$ を上回ったと考える。これは前節の単一ユニット系でもみられた現象である。

底部にカドミウム板のない配列系を除いて、機器周辺の支持構造物や配管等の中性子反射効果は、各ユニットの周囲に設けた厚さ2.5cmの水の反射効果よりも小さいことが分った。よって、本節で取上げた体系の臨界安全評価では、詳細モデルの代わりに、2.5cm水反射体を各ユニットに取付けた単純モデルを使用することは、安全側の仮定といえる。

#### 4. おわりに

厚さ 1cm 及び 2.5cm の水反射体の反応度は、十分に厚い水反射体の反応度のそれぞれ約 33%、約 63%であることを示した(2.1.1項)。単一ユニットの全面の 1/5面をステンレス鋼で覆うことは、ユニットの全面に 0.15 のアルベドを付加すること、あるいは、ユニットの全面を厚さ 1cm の水反射体で包むこととおおよそ等価であることを示した(2.1.1項)。通常的设计では、単一ユニットの全面の 1/5以上が構造物で覆われることはないので、単一ユニットの周囲の構造物の中性子反射効果を厚さ 1cm の水で代用することは、臨界上安全な仮定といえる。

厚さ 2.5cm と 1cm の水反射体の反応度の差は  $3\% \Delta k/k$  以上あることを示した(2.1.2項)。枝管の反応度値を  $3\% \Delta k/k$  以下とすれば(2.1.2項)、ユニット周囲の水反射体の厚さを 1cm から 2.5cm に増加することは、枝管の反応度値を包含することになる。

以上のことから、複雑な形状の構造物や枝管を省略して、代わりに厚さ 2.5cm の水反射体を単一ユニットの周囲に設定した単純な評価モデルが、単一ユニットの臨界安全評価に使用できること分かった。但し、枝管はその形状寸法及び内容物により系の中性子増倍率に与える効果が異なるので、ケースごとに評価し、母ユニットの形状寸法を大きくする等して、その効果を組込んだ評価モデルを設定することが望ましい。この立場に立てば、厚さ 2.5cm の水反射体はアルベドにして  $0.35$  ( $0.56$ (十分に厚い水反射体のアルベド) $\times 63\%$ )に相当するので、より多くの構造材の反射効果を考慮でき、より安全側の評価を与えることができる。その結果、機器を設置する段階での中性子反射効果の妥当性の判定も容易になる。

複数ユニットの安全評価においては、構造物および枝管を無視した体系の臨界計算をモンテカルロコードで行い、その計算結果に単一ユニットでの 2.5cm 水反射体相当の反射効果を補正することで、複数ユニットでの構造物及び枝管の反応度効果を取込む方法を提案した(2.2.1項)。この他、各単一ユニットの周囲に厚さ 2.5cm の水反射体を設け、モンテカルロコードで体系の中性子増倍率を計算する方法が考えられるが、この方法で、多くの場合安全側の結果が得られることを確認した(3章)。

本報告書では、臨界安全設計の条件として、単一ユニットに対する構造物のアルベドが 0.15 以内であること、及び枝管の反応度値を  $3\% \Delta k/k$  以下であることを設定した。この 2つの条件が満たされることを、機器を設置する段階で簡便に確認する 1つの方法を示した(2.3節)。

## 謝 辞

本報告書は臨界安全ハンドブックの検討を行なっている臨界安全性実験データ検討ワーキンググループ（リーダー：仁科浩二郎名古屋大学教授）のもとに設置された第一サブワーキンググループの検討の結果をまとめたものである。以下に示すグループ員に謝意を表します。また、本研究を長期にわたり支援して下さいました、原研燃料サイクル安全評価研究室の野村靖室長に感謝いたします。

## 第1 サブワーキンググループ構成員

氏 名	所 属
板原国幸	三菱原子力工業(株) 燃料サイクル統括部
*金子俊幸	(株)日本総合研究所 原子力技術部
小林岩夫	日本原子力研究所 燃料安全工学部
小室雄一	日本原子力研究所 燃料安全工学部 核燃料施設安全評価研究室
*塩田雅之	(株)CRC総合研究所 原子力部 第1課
高井克昭	原子燃料工業(株) 熊取製造所 環境管理部
寺山弘通	三菱原子燃料(株) 東海製作所 環境管理部 安全管理課
内藤淑孝	日本原子力研究所 燃料安全工学部 核燃料施設安全評価研究室
○西堀俊雄	日本ニュークリア・フュエル(株) 環境安全部
浜田 隆	日本原燃サービス(株) 設計部 主工程課
*森岡信男	三菱マテリアル(株) 原子力本部
三好慶典	日本原子力研究所 燃料安全工学部 臨界安全研究室
*山本俊弘	(財)原子力工学試験センター 原子力安全解析所 原子炉コード整備第2室

○：グループリーダー \*：オブザーバー

## 参 考 文 献

- 1) 酒井友宏、他、「中性子輸送に関する十分な反射体厚さと隔離厚さ」、JAERI-M 88-160(1988)
- 2) Y. Naito, et.al., "MUTUAL : A Computer Code for Analysing Nuclear Criticality Safety on Array System," JAERI-M 86-140 (1986)
- 3) L. M. Petrie and M. F. Cross, "KENO IV — An Improved Monte Carlo Criticality Program," ORNL-4938 (1975)
- 4) Y. Naito, et.al., "MULTI-KENO : A Monte Carlo Code for Criticality Safety Analysis," JAERI-M 83-049 (1983)
- 5) 科学技術庁編、「臨界安全ハンドブック」、にっかん書房 (1988)
- 6) Y. Naito, et.al., "MGCL-PROCESSOR : A Computer Code System for Processing Multigroup Constants Library MGCL," JAERI-M 9396 (1981)

表2.1 枝管の有無と中性子増倍率の比

〔図2.3の形状G（枝管の付いていない基本形状）の中〕  
 性子増倍率に対する形状A～Fの各中性子増倍率の比〕

形 状	計 算 コ ー ド		
	KENO IV	MUTUAL(中心源)	MUTUAL(端 源)
A*	1.023	1.021	1.038
B*	1.060	1.034	1.054
C*	1.075	1.054	1.078
D	1.024	1.012	1.024
E	1.011	1.003	1.009
F	1.003	1.001	1.004

\* 枝管とはいえない。

表2.2.1 図2.5に示す複数ユニット体系のKENO IVの計算結果

AVERAGE K-EFFECTIVE	0.80982 ± 0.00220
ARRAY UNIT INTERACTION MATRIX	
(1, 1) 6.23E-01 (1, 2) 3.30E-02 (1, 3) 2.80E-02 (1, 4) 2.22E-02	
(2, 1) 2.26E-02 (2, 2) 6.58E-01 (2, 3) 1.99E-02 (2, 4) 2.39E-02	
(3, 1) 2.59E-02 (3, 2) 3.00E-02 (3, 3) 6.21E-01 (3, 4) 2.68E-02	
(4, 1) 2.08E-02 (4, 2) 3.47E-02 (4, 3) 2.66E-02 (4, 4) 6.21E-01	
BOX TYPE K-EFFECTIVE	0.712068

表2.2.2 図2.5に示す複数ユニット体系内にある4つのユニットが、それぞれ孤立して存在する場合の中性子増倍率

	反射体無し( $k_i$ )	2.5cm水反射体付( $k_i^*$ )	$k_i/k_i^*$
ユニット1, 3, 4	0.72046 ± 0.00232	0.80309 ± 0.00250	0.89711
ユニット2	0.79435 ± 0.00224	0.85705 ± 0.00268	0.92684

表2.3 実効アルベド  $\beta_{eff}$  の計算結果 (裸の燃料)

ケースNo	燃料の種類	$\gamma$	$\eta$	アルベド	$\beta_{eff}$ (燃料外周)
1	減速系	13.0	1.0	0.0	0.0
2		"	1.0	0.79	0.7900109
3		"	1.5	"	0.6257016
4		"	2.0	"	0.4852331
5		"	3.0	"	0.2953787
6		"	5.0	"	0.1313696
7		"	10.0	"	0.0368323
8	非減速系	"	1.0	0.0	0.0
9		"	1.0	0.79	0.7900030
10		"	1.5	"	0.6257564
11		"	2.0	"	0.4846983
12		"	3.0	"	0.2948842
13		"	5.0	"	0.1310364
14		"	10.0	"	0.0366303

表3.1 普通コンクリートの密度と成分

{ 「臨界安全ハンドブック」から引用。表中の数値の  
単位は  $[g/cm^3]$ 。 }

元 素 \ 密 度	2.30
H	0.023
O	1.220
C	0.0023
Na	0.0368
Mg	0.005
Al	0.078
Si	0.775
K	0.0299
Ca	0.100
Fe	0.032

表3.2.1 平板形状機器（単一ユニット）に対する評価（0）

## 目的

平板形状機器に対する基準ケース
-----------------

## 評価モデル

記号等	寸法等	記号等	寸法等	記号等	寸法等
d <sub>1</sub>	126 mm	W <sub>5</sub>	595 mm	ℓ <sub>3</sub>	76 mm
d <sub>2</sub>	70 mm	W <sub>6</sub>	900 mm	a	1800
d <sub>3</sub>	30	W <sub>7</sub>	900	b	600
d <sub>4</sub>	100	W <sub>8</sub>	595	c	80
d <sub>5</sub>	100	W <sub>9</sub>	180	t	1 mm (1 mm厚のカドミウム板)
d <sub>6</sub>	50	W <sub>10</sub>	1000	T	150 mm (150 mm厚のポリエチレン)
d <sub>7</sub>	530	h <sub>1</sub>	1200	燃料組成	Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>
d <sub>8</sub>	130	h <sub>2</sub>	200	Pu 組成	<sup>239</sup> Pu : <sup>240</sup> Pu = 85 : 15
W <sub>1</sub>	1200	h <sub>3</sub>	2500	濃度	150 g Pu / ℓ
W <sub>2</sub>	1200	h <sub>4</sub>	1000		
W <sub>3</sub>	700	ℓ <sub>1</sub>	496		
W <sub>4</sub>	700	ℓ <sub>2</sub>	490	W <sub>11</sub>	1145

容器壁は6 mm厚 SUS-304 であり、支持構造物、配管の材質も SUS-304 とする。

配管は管厚 5 mm、内径 20 mm とし、水が充満しているとする。

表3.2.2 平板形状機器（単一ユニット）に対する評価（1）

目的

支持構造物の寸法に対する感度の評価	
（ 基準ケースに対し	$d_4 : 100 \rightarrow 25$ $d_7 : 530 \rightarrow 630$
	$d_5 : 100 \rightarrow 25$

評価モデル

記号等	寸法等	記号等	寸法等	記号等	寸法等
$d_1$	126 mm	$W_5$	595 mm	$\ell_3$	76 mm
$d_2$	70	$W_6$	900	a	1800
$d_3$	30	$W_7$	900	b	600
$d_4$	25 $\Delta$	$W_8$	595	c	80
$d_5$	25 $\Delta$	$W_9$	180	t	1 mm (1mm厚さのカドミウム板)
$d_6$	50	$W_{10}$	1000	T	150 mm (150 mm厚のポリエチレン)
$d_7$	630 $\Delta$	$h_1$	1200	燃料組成	$Pu(NO_3)_4$
$d_8$	230	$h_2$	200	Pu 組成	$^{239}Pu : ^{240}Pu = 85 : 15$
$W_1$	1200	$h_3$	2500	濃度	150 gPu/ $\ell$
$W_2$	1200	$h_4$	1000		
$W_3$	700	$\ell_1$	496		
$W_4$	700	$\ell_2$	490		

容器壁は6mm厚 SUS-304 であり，支持構造物，配管の材質も SUS-304 とする。

配管は管厚5mm，内径20mmとし，水が充満しているとする。

$\Delta$ 印は基準ケースまたはその他のケースと異なる寸法を与えた箇所を示す。

$\Delta$ 内の数字は評価ケース番号である。以下同じ。

表3.2.3 平板形状機器（単一ユニット）に対する評価（2）

目的

基準ケースに対し、カドミウム板及びポリエチレンを除去した場合の評価

評価モデル

記号等	寸法等	記号等	寸法等	記号等	寸法等
d <sub>1</sub>	126 mm	W <sub>5</sub>	595 mm	ℓ <sub>3</sub>	76 mm
d <sub>2</sub>	70	W <sub>6</sub>	900	a	1800
d <sub>3</sub>	30	W <sub>7</sub>	900	b	600
d <sub>4</sub>	100	W <sub>8</sub>	595	c	80
d <sub>5</sub>	100	W <sub>9</sub>	180	t	0      △
d <sub>6</sub>	50	W <sub>10</sub>	1000	T	0      △
d <sub>7</sub>	530	h <sub>1</sub>	1200	燃料組成	Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>
d <sub>8</sub>	130	h <sub>2</sub>	200	Pu 組成	<sup>239</sup> Pu : <sup>240</sup> Pu = 85 : 15
W <sub>1</sub>	1200	h <sub>3</sub>	2500	濃 度	150 g Pu / ℓ
W <sub>2</sub>	1200	h <sub>4</sub>	1000		
W <sub>3</sub>	700	ℓ <sub>1</sub>	496		
W <sub>4</sub>	700	ℓ <sub>2</sub>	490		

容器壁は6mm厚 SUS-304 であり、支持構造物、配管の材質も SUS-304 とする。

配管は管厚 5 mm、内径 20 mm とし、水が充満しているとする。

表3.2.4 平板形状機器（単一ユニット）に対する評価（3）

目的

基準ケースのカドミウム，ポリエチレンがない場合（評価ケース(2)）に対し，支持構造物の寸法に対する感度の評価

評価モデル

記号等	寸法等	記号等	寸法等	記号等	寸法等
d <sub>1</sub>	126 mm	W <sub>5</sub>	595 mm	ℓ <sub>3</sub>	76 mm
d <sub>2</sub>	70	W <sub>6</sub>	900	a	1800
d <sub>3</sub>	30	W <sub>7</sub>	900	b	600
d <sub>4</sub>	25 △	W <sub>8</sub>	595	c	80
d <sub>5</sub>	25 △	W <sub>9</sub>	180	t	0 △
d <sub>6</sub>	50	W <sub>10</sub>	1000	T	0 △
d <sub>7</sub>	630 △	h <sub>1</sub>	1200	燃料組成	Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>
d <sub>8</sub>	130	h <sub>2</sub>	200	Pu 組成	<sup>239</sup> Pu : <sup>240</sup> Pu = 85 : 15
W <sub>1</sub>	1200	h <sub>3</sub>	2500	濃度	150 g Pu / ℓ
W <sub>2</sub>	1200	h <sub>4</sub>	1000		
W <sub>3</sub>	700	ℓ <sub>1</sub>	496		
W <sub>4</sub>	700	ℓ <sub>2</sub>	490		

容器壁は 6mm 厚 SUS-304 であり，支持構造物，配管の材質も SUS-304 とする。

配管は管厚 5 mm，内径 20 mm とし，水が充満しているとする。

表3.2.5 平板形状機器 (単一ユニット) に対する評価 (4)

## 目的

基準ケースに対し、配管径を変化した場合の評価

## 評価モデル

記号等	寸法等	記号等	寸法等	記号等	寸法等
d <sub>1</sub>	126 mm	W <sub>5</sub>	595 mm	ℓ <sub>2</sub>	76 mm
d <sub>2</sub>	70	W <sub>6</sub>	870 △	a	1800
d <sub>3</sub>	50 △	W <sub>7</sub>	870 △	b	600
d <sub>4</sub>	100	W <sub>8</sub>	595	c	80
d <sub>5</sub>	100	W <sub>9</sub>	156 △	t	1 mm (1mm厚のカドミウム板)
d <sub>6</sub>	50	W <sub>10</sub>	1000	T	150 mm (150mm厚のポリエチレン)
d <sub>7</sub>	530	h <sub>1</sub>	1200	燃料組成	Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>
d <sub>8</sub>	130	h <sub>2</sub>	200	Pu 組成	<sup>239</sup> Pu : <sup>240</sup> Pu = 85 : 15
W <sub>1</sub>	1200	h <sub>3</sub>	2500	濃度	150 gPu / ℓ
W <sub>2</sub>	1200	h <sub>4</sub>	1000		
W <sub>3</sub>	700	ℓ <sub>1</sub>	496		
W <sub>4</sub>	700	ℓ <sub>2</sub>	490		

容器壁は6mm厚 SUS-304 であり、支持構造物、配管の材質も SUS-304 とする。

配管は管厚5mm、水が充満しているとする。

表3.2.6 平板形状機器（単一ユニット）に対する評価（5）

## 目的

基準ケースに対し、コンクリート壁と機器との距離を変化させた場合  
 （ただし、機器底面のCd板およびポリエチレンは）  
 除去する。

## 評価モデル

記号等	寸法等	記号等	寸法等	記号等	寸法等
d <sub>1</sub>	126 mm	W <sub>5</sub>	2455 mm△	ℓ <sub>3</sub>	76 mm
d <sub>2</sub>	70	W <sub>6</sub>	900	a	1800
d <sub>3</sub>	30	W <sub>7</sub>	900	b	600
d <sub>4</sub>	100	W <sub>8</sub>	2455 △	c	80
d <sub>5</sub>	100	W <sub>9</sub>	180	t	0 △
d <sub>6</sub>	50	W <sub>10</sub>	2860 △	T	0 △
d <sub>7</sub>	530	h <sub>1</sub>	3000 △	燃料組成	Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>
d <sub>8</sub>	130	h <sub>2</sub>	2000	Pu組成	<sup>239</sup> Pu : <sup>240</sup> Pu = 85 : 15
W <sub>1</sub>	3000 △	h <sub>3</sub>	2500	濃度	150 g Pu / ℓ
W <sub>2</sub>	3000 △	h <sub>4</sub>	1000		
W <sub>3</sub>	2500 △	ℓ <sub>1</sub>	496		
W <sub>4</sub>	2500 △	ℓ <sub>2</sub>	490	W <sub>11</sub>	3000

容器壁は6mm厚SUS-304であり、支持構造物、配管の材質もSUS-304とする。

配管は管厚5mm、内径20mmとし、水が充満しているとする。

表3.2.7 平板形状機器（単一ユニット）に対する評価（6）

## 目的

基準ケースに対し、濃度を変更（薄く）する。

## 評価モデル

記号等	寸法等	記号等	寸法等	記号等	寸法等
d <sub>1</sub>	126 mm	W <sub>5</sub>	595 mm	ℓ <sub>3</sub>	76 mm
d <sub>2</sub>	70	W <sub>6</sub>	900	a	1800
d <sub>3</sub>	30	W <sub>7</sub>	900	b	600
d <sub>4</sub>	100	W <sub>8</sub>	595	c	80
d <sub>5</sub>	100	W <sub>9</sub>	180	t	1 mm (1 mm厚のカドミウム板)
d <sub>6</sub>	50	W <sub>10</sub>	1000	T	150 mm (150 mm厚のポリエチレン)
d <sub>7</sub>	530	h <sub>1</sub>	1200	燃料組成	Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>
d <sub>8</sub>	130	h <sub>2</sub>	200	Pu組成	<sup>239</sup> Pu : <sup>240</sup> Pu = 85 : 15
W <sub>1</sub>	1200	h <sub>3</sub>	2500	濃度	50 g Pu / ℓ △
W <sub>2</sub>	1200	h <sub>4</sub>	1000		
W <sub>3</sub>	700	ℓ <sub>1</sub>	496		
W <sub>4</sub>	700	ℓ <sub>2</sub>	490	W <sub>11</sub>	1140

容器壁は6 mm厚 SUS-304 であり、支持構造物、配管の材質も SUS-304 とする。

配管は管厚5 mm、内径20 mmとし、水が充満しているとする。

表3.2.8 平板形状機器（単一ユニット）に対する評価（7）

目的

基準ケースに対し、燃料組成、濃度を変更する。

評価モデル

記号等	寸法等	記号等	寸法等	記号等	寸法等
d <sub>1</sub>	126 mm	W <sub>5</sub>	595 mm	ℓ <sub>3</sub>	76 mm
d <sub>2</sub>	70	W <sub>6</sub>	900	a	1800
d <sub>3</sub>	30	W <sub>7</sub>	900	b	600
d <sub>4</sub>	100	W <sub>8</sub>	595	c	300      △
d <sub>5</sub>	100	W <sub>9</sub>	180	t	1 mm (1 mm 厚のカドミウム板)
d <sub>6</sub>	50	W <sub>10</sub>	1000	T	150 mm (150 mm 厚のポリエチレン)
d <sub>7</sub>	530	h <sub>1</sub>	1200	燃料組成	UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> △
d <sub>8</sub>	130	h <sub>2</sub>	200	<sup>235</sup> U濃縮度	3 wt %      △
W <sub>1</sub>	1200	h <sub>3</sub>	2500	濃度	1300 g U / ℓ      △
W <sub>2</sub>	1200	h <sub>4</sub>	1000		
W <sub>3</sub>	700	ℓ <sub>1</sub>	496		
W <sub>4</sub>	700	ℓ <sub>2</sub>	490	W <sub>11</sub>	1140

容器壁は 6 mm 厚 SUS-304 であり、支持構造物、配管の材質も SUS-304 とする。  
 配管は管厚 5 mm、内径 20 mm とし、水が充満しているとする。

表3.2.9 平板形状機器 (単一ユニット) に対する評価 (8)

## 目的

燃料組成, 濃度を変更したケース (評価ケース(7)) に対し,  
機器とコンクリート壁との距離を更に変更した。

## 評価モデル

記号等	寸法等	記号等	寸法等	記号等	寸法等
$d_1$	126 mm	$W_5$	2455 mm $\triangle$	$l_3$	76 mm
$d_2$	70	$W_6$	900	a	1800
$d_3$	30	$W_7$	900	b	600
$d_4$	100	$W_8$	2455 $\triangle$	c	300 $\triangle$
$d_5$	100	$W_9$	180	t	1 mm (1mm厚のカドミウム板)
$d_6$	50	$W_{10}$	2860 $\triangle$	T	150 mm (150 mm厚のポリエチレン)
$d_7$	530	$h_1$	3000 $\triangle$	燃料組成	$UO_2 (NO_3)_2$ $\triangle$
$d_8$	130	$h_2$	2000	$^{235}U$ 濃縮度	3 wt % $\triangle$
$W_1$	3000 $\triangle$	$h_3$	2500	濃度	1300 g U / $l$ $\triangle$
$W_2$	3000 $\triangle$	$h_4$	1000		
$W_3$	2500 $\triangle$	$l_1$	496		
$W_4$	2500 $\triangle$	$l_2$	490	$W_{11}$	3000 $\triangle$

容器壁は6mm厚 SUS-304 であり, 支持構造物, 配管の材質も SUS-304 とする。  
配管は管厚5mm, 内径20mmとし, 水が充満しているとする。

表3.2.10 平板形状機器（単一ユニット）に対する評価（9）

## 目的

燃料組成、濃度および機器とコンクリート壁との距離を変更したケース  
 （評価ケース(8)）に対し、支持構造物寸法を変更する。

## 評価モデル

記号等	寸法等	記号等	寸法等	記号等	寸法等
d <sub>1</sub>	126 mm	W <sub>5</sub>	2455 mm	ℓ <sub>3</sub>	76 mm
d <sub>2</sub>	70	W <sub>6</sub>	900	a	1800
d <sub>3</sub>	30	W <sub>7</sub>	900	b	600
d <sub>4</sub>	25 △	W <sub>8</sub>	2455	c	300
d <sub>5</sub>	25 △	W <sub>9</sub>	180	t	1 mm (1mm厚のカドミウム)
d <sub>6</sub>	50	W <sub>10</sub>	2860	T	150 mm (150 mm厚のポリエチレン)
d <sub>7</sub>	630 △	h <sub>1</sub>	3000	燃料組成	UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
d <sub>8</sub>	130	h <sub>2</sub>	2000	<sup>235</sup> U濃縮度	3 wt %
W <sub>1</sub>	3000	h <sub>3</sub>	2500	濃度	1300 g U / ℓ
W <sub>2</sub>	3000	h <sub>4</sub>	1000		
W <sub>3</sub>	2500	ℓ <sub>1</sub>	496		
W <sub>4</sub>	2500	ℓ <sub>2</sub>	490	W <sub>11</sub>	3000

容器壁は6mm厚 SUS-304 であり、支持構造物、配管の材質も SUS-304 とする。  
 配管は管厚5mm、内径20mmとし、水が充満しているとする。

表3.2.11 円筒形状機器（単一ユニット）に対する評価（0）

目的

円筒形状機器に対する基準ケース
-----------------

評価モデル

記号等	寸法等	記号等	寸法等	記号等	寸法等
$h_1$	200 mm	$h_{13}$	600 mm	d	200 mm
$h_2$	200	$d_1$	100	h	10000
$h_3$	2500	$d_2$	500	燃料組成	$Pu(NO_3)_4$
$h_4$	200	$d_3$	212	Pu 組成	$^{239}Pu : ^{240}Pu = 85 : 15$
$h_5$	2500	$d_4$	70	濃度	150 g Pu / ℓ
$h_6$	200	$d_5$	50		
$h_7$	2500	$d_6$	50		
$h_8$	200	$W_1$	1200		
$h_9$	2500	$W_2$	1200		
$h_{10}$	200	$W_3$	1250		
$h_{11}$	3000	$W_4$	1250		
$h_{12}$	500				

容器壁は6mm厚 SUS-304 であり、支持構造物、配管の材質も SUS-304 とする。

表3.2.12 円筒形状機器（単一ユニット）に対する評価（1）

目的

基準ケースに対し、支持構造物の寸法を変更（太く）する。

評価モデル

記号等	寸法等	記号等	寸法等	記号等	寸法等
$h_1$	200 mm	$h_{13}$	600 mm	d	200 mm
$h_2$	300 $\Delta$	$d_1$	120 $\Delta$	h	10000 mm
$h_3$	2400	$d_2$	480	燃料組成	$\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$
$h_4$	300 $\Delta$	$d_3$	212	Pu 組成	$^{239}\text{Pu} : ^{240}\text{Pu} = 85 : 15$
$h_5$	2400	$d_4$	70 $\Delta$	濃度	150 g Pu / $\ell$
$h_6$	300 $\Delta$	$d_5$	70		
$h_7$	2400	$d_6$	50		
$h_8$	300 $\Delta$	$W_1$	1190		
$h_9$	2400	$W_2$	1190		
$h_{10}$	300 $\Delta$	$W_3$	1240		
$h_{11}$	2900	$W_4$	1240		
$h_{12}$	400				

容器壁は6mm厚 SUS-304 であり、支持構造物、配管の材質も SUS-304 とする。

表3.2.13 円筒形状機器（単一ユニット）に対する評価（2）

目的

基準ケースに対し、支持構造物の寸法を変更（細く）する。

評価モデル

記号等	寸法等	記号等	寸法等	記号等	寸法等
$h_1$	200 mm	$h_{13}$	600 mm	$d$	200 mm
$h_2$	100 △	$d_1$	60 △	$h$	10000 mm
$h_3$	2600	$d_2$	540	燃料組成	$\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$
$h_4$	100 △	$d_3$	212	Pu 組成	$^{239}\text{Pu} : ^{240}\text{Pu} = 85 : 15$
$h_5$	2600	$d_4$	70	濃度	150 g Pu / ℓ
$h_6$	100 △	$d_5$	30 △		
$h_7$	2600	$d_6$	50		
$h_8$	100 △	$W_1$	1220		
$h_9$	2600	$W_2$	1220		
$h_{10}$	100 △	$W_3$	1260		
$h_{11}$	3100	$W_4$	1260		
$h_{12}$	600				

容器壁は6mm厚 SUS-304 であり、支持構造物、配管の材質も SUS-304 とする。

表 3.2.14 円筒形状機器 (単一ユニット) に対する評価 (3)

目的

基準ケースに対し、機器とコンクリート壁との距離を広くする。

評価モデル

記号等	寸法等	記号等	寸法等	記号等	寸法等
$h_1$	1500 mm $\triangle$	$h_{13}$	1900 mm $\triangle$	$d$	200 mm
$h_2$	200	$d_1$	100	$h$	10000
$h_3$	2500	$d_2$	500	燃料組成	$\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$
$h_4$	200	$d_3$	212	Pu 組成	$^{239}\text{Pu} : ^{240}\text{Pu} = 85 : 15$
$h_5$	2500	$d_4$	70	濃度	150 g Pu / $\ell$
$h_6$	200	$d_5$	50		
$h_7$	2500	$d_6$	50		
$h_8$	200	$W_1$	2500 $\triangle$		
$h_9$	2500	$W_2$	2500 $\triangle$		
$h_{10}$	200	$W_3$	2500 $\triangle$		
$h_{11}$	5000 $\triangle$	$W_4$	2500 $\triangle$		
$h_{12}$	500				

容器壁は 6mm 厚 SUS-304 であり、支持構造物、配管の材質も SUS-304 とする。

表3.2.15 円筒形状機器（単一ユニット）に対する評価（4）

## 目的

機器とコンクリート壁との距離を広くしたケースに対し、（評価ケース(3)）、  
支持構造物の寸法を変更（太く）する。

## 評価モデル

記号等	寸法等	記号等	寸法等	記号等	寸法等
$h_1$	1500 mm	$h_{13}$	1900 mm	$d$	200 mm
$h_2$	300 $\Delta$	$d_1$	120 $\Delta$	$h$	10000
$h_3$	2400	$d_2$	480	燃料組成	$\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$
$h_4$	300 $\Delta$	$d_3$	212	Pu 組成	$^{239}\text{Pu} : ^{240}\text{Pu} = 85 : 15$
$h_5$	2400	$d_4$	70	濃度	150 g Pu / $\ell$
$h_6$	300 $\Delta$	$d_5$	70 $\Delta$		
$h_7$	2400	$d_6$	50		
$h_8$	300 $\Delta$	$W_1$	2490		
$h_9$	2400	$W_2$	2490		
$h_{10}$	300 $\Delta$	$W_3$	2490		
$h_{11}$	4900	$W_4$	2490		
$h_{12}$	400				

容器壁は6mm厚 SUS-304 であり、支持構造物、配管の材質も SUS-304 とする。

表3.2.16 円筒形状機器（単一ユニット）に対する評価（5）

目的

機器とコンクリート壁との距離を広くしたケース(評価ケース(3))に対し、  
支持構造物の寸法を変更(細く)する。

評価モデル

記号等	寸法等	記号等	寸法等	記号等	寸法等
$h_1$	1500 mm	$h_{13}$	1900 mm	d	200 mm
$h_2$	100 $\Delta$	$d_1$	60 $\Delta$	h	10000
$h_3$	2600	$d_2$	540	燃料組成	$\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$
$h_4$	100 $\Delta$	$d_3$	212	Pu 組成	$^{239}\text{Pu} : ^{240}\text{Pu} = 85 : 15$
$h_5$	2600	$d_4$	70	濃度	150 g Pu / $\ell$
$h_6$	100 $\Delta$	$d_5$	30 $\Delta$		
$h_7$	2600	$d_6$	50		
$h_8$	100 $\Delta$	$W_1$	2520		
$h_9$	2600	$W_2$	2520		
$h_{10}$	100 $\Delta$	$W_3$	2510		
$h_{11}$	5100	$W_4$	2510		
$h_{12}$	600				

容器壁は6mm厚 SUS-304 であり、支持構造物、配管の材質も SUS-304 とする。

表 3.2.17 円筒形状機器（単一ユニット）に対する評価（6）

目 的

基準ケースに対し、濃度を変更（薄く）する。

評価モデル

記号等	寸法等	記号等	寸法等	記号等	寸法等
$h_1$	200 mm	$h_{13}$	600 mm	d	200 mm
$h_2$	200	$d_1$	100	h	10000
$h_3$	2500	$d_2$	500	燃料組成	$Pu(NO_3)_4$
$h_4$	200	$d_3$	212	Pu 組成	$^{239}Pu : ^{240}Pu = 85 : 15$
$h_5$	2500	$d_4$	70	濃 度	50 g Pu / ℓ $\Delta$
$h_6$	200	$d_5$	50		
$h_7$	2500	$d_6$	50		
$h_8$	200	$W_1$	1200		
$h_9$	2500	$W_2$	1200		
$h_{10}$	200	$W_3$	1250		
$h_{11}$	3000	$W_4$	1250		
$h_{12}$	500				

容器壁は 6 mm 厚 SUS-304 であり、支持構造物、配管の材質も SUS-304 とする。

表 3.2.18 円筒形状機器（単一ユニット）に対する評価（7）

目 的

濃度を変更したケース（評価ケース(6)）に対し、  
支持構造物の寸法を変更（太く）する。

評価モデル

記号等	寸法等	記号等	寸法等	記号等	寸法等
$h_1$	200 mm	$h_{13}$	600 mm	d	200 mm
$h_2$	300 $\Delta$	$d_1$	120 $\Delta$	h	10000
$h_3$	2400	$d_2$	480	燃料組成	$\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$
$h_4$	300 $\Delta$	$d_3$	212	Pu 組成	$^{239}\text{Pu} : ^{240}\text{Pu} = 85 : 15$
$h_5$	2400	$d_4$	70	濃 度	50 g Pu / $\ell$
$h_6$	300 $\Delta$	$d_5$	70 $\Delta$		
$h_7$	2400	$d_6$	50		
$h_8$	300 $\Delta$	$W_1$	1190		
$h_9$	2400	$W_2$	1190		
$h_{10}$	300 $\Delta$	$W_3$	1240		
$h_{11}$	2900	$W_4$	1240		
$h_{12}$	400				

容器壁は 6mm 厚 SUS-304 であり、支持構造物、配管の材質も SUS-304 とする。

表3.2.19 円筒形状機器（単一ユニット）に対する評価（8）

## 目的

濃度を変更したケース（評価ケース(6)）に対し、  
支持構造物の寸法を変更（細く）する。

## 評価モデル

記号等	寸法等	記号等	寸法等	記号等	寸法等
$h_1$	200 mm	$h_{13}$	600 mm	d	200 mm
$h_2$	100 △	$d_1$	60 △	h	10000
$h_3$	2600	$d_2$	540	燃料組成	$\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$
$h_4$	100 △	$d_3$	212	Pu 組成	$^{239}\text{Pu} : ^{240}\text{Pu} = 85 : 15$
$h_5$	2600	$d_4$	70	濃度	50 g Pu / ℓ
$h_6$	100 △	$d_5$	30 △		
$h_7$	2600	$d_6$	50		
$h_8$	100 △	$W_1$	1220		
$h_9$	2600	$W_2$	1220		
$h_{10}$	100 △	$W_3$	1260		
$h_{11}$	3100	$W_4$	1260		
$h_{12}$	600				

容器壁は6mm厚 SUS-304 であり、支持構造物、配管の材質も SUS-304 とする。

表3.2.20 円筒形状機器（単一ユニット）に対する評価（9）

## 目的

機器とコンクリート壁との距離を広くしたケース（評価ケース(3)）に対し、濃度を変更（薄く）する。

## 評価モデル

記号等	寸法等	記号等	寸法等	記号等	寸法等
$h_1$	1500 mm	$h_{13}$	1900 mm	d	200 mm
$h_2$	200	$d_1$	100	h	10000
$h_3$	2500	$d_2$	500	燃料組成	$\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$
$h_4$	200	$d_3$	212	Pu 組成	$^{239}\text{Pu} : ^{240}\text{Pu} = 85 : 15$
$h_5$	2500	$d_4$	70	濃度	50 g Pu / ℓ $\Delta$
$h_6$	200	$d_5$	50		
$h_7$	2500	$d_6$	50		
$h_8$	200	$W_1$	2500		
$h_9$	2500	$W_2$	2500		
$h_{10}$	200	$W_3$	2500		
$h_{11}$	5000	$W_4$	2500		
$h_{12}$	500				

容器壁は6mm厚 SUS-304 であり、支持構造物、配管の材質も SUS-304 とする。

表 3.3.1 計算結果 (平板形状機器、単一ユニット)

評価	目的及び解析体系の概要	現実的モデル $k_{eff} \pm \sigma$	水反射体 0.0cm $k_{eff} \pm \sigma$	水反射体 0.5cm $k_{eff} \pm \sigma$	水反射体 1.0cm $k_{eff} \pm \sigma$	水反射体 1.5cm $k_{eff} \pm \sigma$	水反射体 2.0cm $k_{eff} \pm \sigma$	水反射体 2.5cm $k_{eff} \pm \sigma$	水反射体 3.0cm $k_{eff} \pm \sigma$	水反射体 4.0cm $k_{eff} \pm \sigma$
0	平板形状機器に対する基準 ケース	$0.61799 \pm 0.00265$	$0.61689 \pm 0.00326$	$0.62755 \pm 0.00337$	$0.64910 \pm 0.00320$	$0.67415 \pm 0.00325$	$0.68061 \pm 0.00290$	$0.70079 \pm 0.00306$	—	—
1	基準ケースに対し支持構造 物の寸法の変化による感度 評価	$0.61116 \pm 0.00294$	—	—	—	—	—	—	—	—
2	基準ケースに対し Cd 板, ポリエチレンを除去した場 合の評価	$0.74614 \pm 0.00364$	$0.54882 \pm 0.00312$	$0.59273 \pm 0.00330$	$0.62652 \pm 0.00319$	$0.67384 \pm 0.00374$	$0.69231 \pm 0.00314$	$0.71404 \pm 0.00303$	$0.74410 \pm 0.00348$	$0.77000 \pm 0.00300$
3	評価ケース 2 に対し支持構 造物の寸法の変化による感 度評価	$0.64475 \pm 0.00528$	—	—	—	—	—	—	—	—
4	基準ケースに対し配管の径 を変化させた場合の評価	$0.61764 \pm 0.00311$	—	—	—	—	—	—	—	—
5	評価ケース 2 に対しコンク リート壁の中性子反射効果 の評価	$0.73287 \pm 0.00326$	$0.53210 \pm 0.00307$	$0.57466 \pm 0.00319$	$0.61950 \pm 0.00385$	$0.65642 \pm 0.00323$	$0.68764 \pm 0.00341$	$0.70643 \pm 0.00346$	$0.73610 \pm 0.00347$	$0.76531 \pm 0.00355$
6	基準ケースに対し燃料濃度 の変化による評価	$0.55430 \pm 0.00281$	$0.55624 \pm 0.00338$	$0.57300 \pm 0.00305$	$0.59690 \pm 0.00281$	$0.61568 \pm 0.00311$	$0.62048 \pm 0.00309$	$0.63204 \pm 0.00302$	—	—
7	基準ケースに対し燃料組成, 濃度の変化による評価	$0.79697 \pm 0.00258$	$0.79799 \pm 0.00233$	$0.79788 \pm 0.00239$	$0.80289 \pm 0.00241$	$0.80879 \pm 0.00235$	$0.81427 \pm 0.00251$	$0.81767 \pm 0.00228$	—	—
8	評価ケース 7 に対しコンク リート壁の中性子反射効果 の評価	$0.79262 \pm 0.00276$	$0.79204 \pm 0.00285$	$0.79700 \pm 0.00266$	$0.80259 \pm 0.00234$	$0.80858 \pm 0.00225$	$0.80905 \pm 0.00250$	$0.81798 \pm 0.00294$	—	—
9	評価ケース 8 に対し支持構 造物の寸法の変化による感 度評価	$0.79219 \pm 0.00271$	—	—	—	—	—	—	—	—

表 3.3.2 計算結果 (円筒形状機器、単一ユニット)

評価 No	目的及び解析体系の概要	現実的モデル $k_{eff} \pm \sigma$	水反射体 0.0cm $k_{eff} \pm \sigma$	水反射体 0.5cm $k_{eff} \pm \sigma$	水反射体 1.0cm $k_{eff} \pm \sigma$	水反射体 1.5cm $k_{eff} \pm \sigma$	水反射体 2.0cm $k_{eff} \pm \sigma$	水反射体 2.5cm $k_{eff} \pm \sigma$
0	円筒形状機器に対する基準 ケース	$0.79179 \pm 0.00354$	$0.78801 \pm 0.00327$	$0.80309 \pm 0.00377$	$0.82210 \pm 0.00344$	$0.83646 \pm 0.00318$	$0.85788 \pm 0.00310$	$0.86619 \pm 0.00357$
1	基準ケースに対し支持構造 物の寸法の変化による感度 評価	$0.79894 \pm 0.00353$	—	—	—	—	—	—
2	基準ケースに対し支持構造 物の寸法の変化による感度 評価	$0.78610 \pm 0.00366$	—	—	—	—	—	—
3	基準ケースに対しコンクリ ート壁の中性子反射効果の 評価	$0.79448 \pm 0.00358$	$0.77370 \pm 0.00340$	$0.78941 \pm 0.00338$	$0.81535 \pm 0.00352$	$0.83566 \pm 0.00343$	$0.84033 \pm 0.00339$	$0.87004 \pm 0.00363$
4	評価ケース 3 に対し支持構 造物の寸法の変化による感 度評価	$0.79447 \pm 0.00357$	—	—	—	—	—	—
5	評価ケース 3 に対し支持構 造物の寸法の変化による感 度評価	$0.77770 \pm 0.00360$	—	—	—	—	—	—
6	基準ケースに対し燃料濃度 の感度評価	$0.75309 \pm 0.00331$	$0.74390 \pm 0.00274$	$0.76279 \pm 0.00355$	$0.78546 \pm 0.00315$	$0.79679 \pm 0.00322$	$0.80270 \pm 0.00346$	$0.81720 \pm 0.00296$
7	評価ケース 6 に対し支持構 造物の寸法の変化による感 度評価	$0.75713 \pm 0.00334$	—	—	—	—	—	—
8	評価ケース 6 に対し支持構 造物の寸法の変化による感 度評価	$0.74298 \pm 0.00331$	—	—	—	—	—	—
9	評価ケース 6 に対しコンク リート壁の中性子反射効果 の評価	$0.74707 \pm 0.00303$	$0.72233 \pm 0.00317$	$0.75480 \pm 0.00342$	$0.77442 \pm 0.00350$	$0.79246 \pm 0.00351$	$0.80167 \pm 0.00314$	$0.81921 \pm 0.00303$

表3.4.1 計算結果から得られた知見 (平板形状機器、単一ユニット)

評価 No.	目的および解析体系の概要	結 果
0	平板形状機器に対する評価の基準ケースであり、平板形状機器 (底部にCd (1mm厚) およびポリエチレン (15cm厚) 付き) が10cm厚の支持構造物の天板 (SUS製) 上に設置されている。燃料は硝酸プルトニウム溶液 (150gPu/l) である。	機器周辺の支持構造物、配管等を省略して簡略化した計算モデルでも、機器の全周に厚さ 0.5 cmの水反射体を設ければ、詳細な計算モデルと同等の $k_{eff}$ を得ることができる。
1	基準ケースに対し支持構造物の寸法の変化による感度を評価するため天板厚および支持柱幅を減少させる。 (天板厚を 10cm から 2.5cm に変更) (支持柱幅を 10cm から 2.5cm に変更)	Cd, ポリエチレンがある場合には、支持構造物寸法変化に対する感度は非常に小さい。等価な $k_{eff}$ は水反射体 0.5cm以下の設定で与えられる。
2	基準ケースに対し、Cd板、ポリエチレンを除去した場合の評価であり、平板形状機器が直接 10cm厚の支持構造物の天板に設置される。	支持構造物天板 10cmの場合、Cd; ポリエチレンを除去すると、等価な $k_{eff}$ は水反射体 3cm程度の設定で与えられる。これは天板が 10 cmの SUS-304 であり、中性子反射効果が大きい為である。
3	評価ケース No. 2 に対し支持構造物の寸法の変化による感度を評価する。すなわち、Cd板、ポリエチレンがない状態の平板形状機器に対し、天板厚および支持柱幅を減少させる。 (天板厚を 10cm から 2.5cm に変更) (支持柱幅を 10cm から 2.5cm に変更)	支持構造物寸法を小さくした場合には、Cd, ポリエチレンがなくても、等価な $k_{eff}$ は水反射体 1.5cm程度の設定で与えられる。ただし等価な $k_{eff}$ を与える水反射体厚さは Cd, ポリエチレンがない場合、天板厚に依存する。
4	基準ケースに対し配管径の寸法の変化による感度を評価するため、配管径を増大させる。 (配管直径を 30 cm から 50 cm に変更)	配管径を増大させても、その感度は小さく、等価な $k_{eff}$ は水反射体 0.5cm以下の設定で与えられる。
5	評価ケース No. 2 に対し、コンクリート壁の中性子反射効果の感度を評価するため、コンクリート壁と機器との距離を2倍以上に増大させる。機器はCd, ポリエチレンがない状態で 10cm厚天板上に設置されている。	評価 No. 2 と No. 5 の現実的モデルの比較よりコンクリート壁との距離を拡げれば、 $k_{eff}$ は低下する。ただし等価な $k_{eff}$ を与える水反射体厚は、Cd, ポリエチレンがない評価 No. 2 と同程度の 3cmである。
6	基準ケースに対し、燃料濃度の変化による感度を評価するため、硝酸プルトニウム溶液のPu濃度を 150gPu/l から 50gPu/l に変更する。	Pu濃度の低下により、スペクトルがソフトになる。このため支持構造物は熱中性子の吸収体として働き、速中性子の反射体としての効果は低下する。等価な $k_{eff}$ は水反射体厚さ 0.5cm以下で与えられる。

表3.4.1 (続 き)

評価 No.	目的および解析体系の概要	結 果
7	基準ケースに対し、燃料組成、濃度の変化による感度を評価するため、硝酸プルトニウム溶液 (150 g Pu/ℓ) を硝酸ウラニル溶液 (1300 g U/ℓ) に変更する。	硝酸ウラニル溶液の場合にも、等価な $k_{eff}$ は水反射体厚さ 0.5cm 以下で与えられる。
8	評価ケースNo.7に対し、コンクリート壁の中性子反射効果を評価するため、コンクリート壁と機器との距離を2倍以上に拡大する。燃料溶液は硝酸ウラニル溶液である。	硝酸ウラニル溶液の場合にもコンクリート壁と機器との距離を広げれば $k_{eff}$ は低下する。等価な $k_{eff}$ は水反射体厚さ 0.5cm 以下で与えられる。
9	評価ケースNo.8に対し、支持構造物の寸法の変化による感度を評価するため、支持構造物天板厚および支持柱幅を減少させる。 (天板厚を 10cm から 2.5cm に変更) (支持柱幅を 10cm から 2.5cm に変更)	コンクリート壁と機器との距離を広げた状態で支持構造物寸法を変化(減少)させてもその感度は小さい。 等価な $k_{eff}$ は水反射体厚さ 0.5cm 以下で与えられる。

表3.4.2 計算結果から得られた知見 (円筒形状機器, 単一ユニット)

評価 No.	目的および解析体系の概要	結 果
0	円筒形状機器に対する評価の基準ケースであり, 円筒形状機器が支持構造柱に囲まれた配置である。 燃料は硝酸プルトニウム溶液(150g Pu/l)である。	機器周辺の支持構造物, 配管等を省略して簡略化した計算モデルでも, 機器の全周に厚さ 0.5 cm の水反射体を設ければ, 詳細な計算モデルと同等の $k_{eff}$ を得ることができる。
1	基準ケースに対し, 支持構造物の寸法の変化による感度を評価するため, 支持構造物を太くする。 (支持柱幅を 10cm から 12cm に変更 支持ばりを 20cm 幅から 30cm 幅に変更 更し, 厚みを 5 cm から 7 cm に変更)	支持構造物寸法を太くしても等価な $k_{eff}$ は水反射体厚さ 0.5 cm 以下で与えられる。
2	基準ケースに対し支持構造物の寸法の変化による感度を評価するため, 支持構造物を細くする。 (支持柱幅を 10cm から 6cm に変更 支持ばりを 20cm 幅から 10cm 巾に変更 し, 厚みを 5 cm から 3 cm に変更)	支持構造物寸法を細くしても, 等価な $k_{eff}$ は水反射体厚さ 0.5 cm 以下で与えられる。
3	基準ケースに対しコンクリート壁の中性子反射効果の感度を評価するため, コンクリート壁と機器との距離を 2 倍以上に増大させる。	コンクリート壁と機器との距離を大きくした場合, 等価 $k_{eff}$ は, 水反射体厚さ 1.0 cm 程度で与えられる。
4	評価ケース No.3 に対し支持構造物の寸法の変化による感度を評価するため支持構造物を太くする。 コンクリート壁と機器との距離を拡げた状態において (支持柱幅を 10cm から 12cm に変更 支持ばりを 20cm 幅から 30cm に変更 し, 厚みを 5cm から 7cm に変更)	コンクリート壁と機器との距離を大きくした状態で, 支持構造物の寸法を大きくした場合にも, 評価 No.3 と同様等価な $k_{eff}$ は水反射体厚さ 1.0 cm 程度で与えられる。
5	評価ケース No.3 に対し支持構造物の寸法の変化による感度を評価するため支持構造物を細くする。 コンクリート壁と機器との距離を拡げた状態において (支持柱幅を 10cm から 6cm に変更 支持ばりを 20cm 幅から 10cm 幅に変更 更し, 厚みを 5cm から 3cm に変更)	支持構造物寸法を小さくした場合には, 評価 No.3 と No.5 の比較より現実的モデルで $k_{eff}$ は低下している。このため等価な $k_{eff}$ は水反射体厚さ 0.5 cm 以下で与えられる。

表3.4.2 (続 き)

評価 No.	目的および解析体系の概要	結 果
6	基準ケースに対し燃料濃度の変化による感度を評価するため、硝酸プルトニウム水溶液のPu濃度を150gPu/lから50gPu/lに変更する。	Pu濃度を低下させ、スペクトルがソフトになった場合も等価な $k_{eff}$ は水反射体厚さ0.5cm以下で与えられる。
7	評価ケースNo.6に対し支持構造物の寸法の変化による感度を評価するため支持構造物を太くする。 硝酸プルトニウム水溶液のPu濃度50gPu/lに対し (支持柱幅を10cmから12cmに変更) (支持ばりを20cm幅から30cm幅に変更) 更し、厚みを5cmから7cmに変更	Pu濃度を低下させた状態で、支持構造物の寸法を大きくした場合においても等価な $k_{eff}$ は水反射体厚さ0.5cm以下で与えられる。
8	評価ケースNo.6に対し支持構造物の寸法の変化による感度を評価するため、支持構造物を細くする。 硝酸プルトニウム水溶液のPu濃度50gPu/lに対し (支持柱幅を10cmから6cmに変更) (支持ばりを20cm幅から10cm幅に変更) 更し、厚みを5cmから3cmに変更	支持構造物の寸法を小さくした場合、評価No.6とNo.8の比較より、現実的モデルで $k_{eff}$ は低下している。このため、等価な水反射体厚さは0.5cm以下で与えられる。
9	評価ケースNo.6に対しコンクリート壁の中性子反射効果の感度を評価するため、コンクリート壁と機器との距離を2倍以上に拡大させる。	コンクリート壁と機器との距離を2倍以上に拡大した場合でも等価な $k_{eff}$ は水反射体厚さ0.5cm以下で与えられる。

表3.5.1 円筒形状機器（複数ユニット）に対する評価（10）

目的

基準ケースに対しカドミウム板を巻付ける

評価モデル

記号等	寸法等	記号等	寸法等	記号等	寸法等
$h_1$	200 mm	$h_{13}$	600 mm	$d$	200 mm
$h_2$	200	$d_1$	100	$h$	10000
$h_3$	2500	$d_2$	500	燃料組成	$\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$
$h_4$	200	$d_3$	212	Pu 組成	$^{239}\text{Pu} : ^{240}\text{Pu} = 85 : 15$
$h_5$	2500	$d_4$	70	濃度	150 g Pu / ℓ
$h_6$	200	$d_5$	50	Cd	1 mm 
$h_7$	2500	$d_6$	50		
$h_8$	200	$W_1$	1200		
$h_9$	2500	$W_2$	1200		
$h_{10}$	200	$W_3$	1250		
$h_{11}$	3000	$W_4$	1250		
$h_{12}$	500				

容器壁は6mm厚 SUS-304 であり、支持構造物、配管の材質も SUS-304 とする。

表 3. 5. 2 円筒形状機器（複数ユニット）に対する評価（11）

目 的

基準ケースに対し機器の間隔を近づける

評価モデル

記号等	寸法等	記号等	寸法等	記号等	寸法等
$h_1$	200 mm	$h_{13}$	600 mm	d	200 mm
$h_2$	200	$d_1$	100	h	10000
$h_3$	2500	$d_2$	500	燃料組成	$\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$
$h_4$	200	$d_3$	212	Pu 組成	$^{239}\text{Pu} : ^{240}\text{Pu} = 85 : 15$
$h_5$	2500	$d_4$	70	濃 度	150 g Pu / ℓ
$h_6$	200	$d_5$	50		
$h_7$	2500	$d_6$	50		
$h_8$	200	$W_1$	1200		
$h_9$	2500	$W_2$	300 		
$h_{10}$	200	$W_3$	1250		
$h_{11}$	3000	$W_4$	350 		
$h_{12}$	500				

容器壁は 6mm 厚 SUS-304 であり、支持構造物、配管の材質も SUS-304 とする。

表3.5.3 円筒形状機器（複数ユニット）に対する評価（12）

目的

基準ケースに対し機器の間隔を近づける

評価モデル

記号等	寸法等	記号等	寸法等	記号等	寸法等
$h_1$	200 mm	$h_{13}$	600 mm	$d$	200 mm
$h_2$	200	$d_1$	100	$h$	10000
$h_3$	2500	$d_2$	500	燃料組成	$\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$
$h_4$	200	$d_3$	212	Pu 組成	$^{239}\text{Pu} : ^{240}\text{Pu} = 85 : 15$
$h_5$	2500	$d_4$	70	濃度	150 g Pu/l
$h_6$	200	$d_5$	50		
$h_7$	2500	$d_6$	50		
$h_8$	200	$W_1$	1200		
$h_9$	2500	$W_2$	150 		
$h_{10}$	200	$W_3$	1250		
$h_{11}$	3000	$W_4$	200 		
$h_{12}$	500				

容器壁は 6 mm 厚 SUS-304 であり、支持構造物、配管の材質も SUS-304 とする。

表 3.5.4 円筒形状機器（複数ユニット）に対する評価（13）

目 的

評価ケース(10)に対し機器の間隔を近づける

評価モデル

記号等	寸法等	記号等	寸法等	記号等	寸法等
$h_1$	200 mm	$h_{13}$	600 mm	d	200 mm
$h_2$	200	$d_1$	100	h	10000
$h_3$	2500	$d_2$	500	燃料組成	$Pu(NO_3)_4$
$h_4$	200	$d_3$	212	Pu 組成	$^{239}Pu : ^{240}Pu = 85 : 15$
$h_5$	2500	$d_4$	70	濃 度	150 g Pu / l
$h_6$	200	$d_5$	50		
$h_7$	2500	$d_6$	50		
$h_8$	200	$W_1$	1200		
$h_9$	2500	$W_2$	300 		
$h_{10}$	200	$W_3$	1250		
$h_{11}$	3000	$W_4$	350 		
$h_{12}$	500				

容器壁は 6mm 厚 SUS-304 であり、支持構造物、配管の材質も SUS-304 とする。

表3.5.5 円筒形状機器（複数ユニット）に対する評価（14）

目的

評価ケース(10)に対し機器の間隔を近づける

評価モデル

記号等	寸法等	記号等	寸法等	記号等	寸法等
$h_1$	200 mm	$h_{12}$	600 mm	d	200 mm
$h_2$	200	$d_1$	100	h	10000
$h_3$	2500	$d_2$	500	燃料組成	$Pu(NO_3)_4$
$h_4$	200	$d_3$	212	Pu 組成	$^{239}Pu : ^{240}Pu = 85 : 15$
$h_5$	2500	$d_4$	70	濃度	150 g Pu / ℓ
$h_6$	200	$d_5$	50		
$h_7$	2500	$d_6$	50		
$h_8$	200	$W_1$	1200		
$h_9$	2500	$W_2$	150 		
$h_{10}$	200	$W_3$	1250		
$h_{11}$	3000	$W_4$	200 		
$h_{12}$	500				

容器壁は6mm厚 SUS-304 であり、支持構造物、配管の材質も SUS-304 とする。

表3.6.1 計算結果 (平板形状機器, 複数ユニット)

評価 NO.	目的及び解析体系の概要	現実的モデル Keff ± σ	単純モデル					
			水反射体 0.0cm Keff ± σ	水反射体 0.5cm Keff ± σ	水反射体 1.0cm Keff ± σ	水反射体 1.5cm Keff ± σ	水反射体 2.0cm Keff ± σ	水反射体 2.5cm Keff ± σ
0	平板形状機器に対する基準ケース。容器壁は6mmのSUSであり、支持構造物の材質もSUS。配置は、縦厚5mm、内径20mmとし、水が充填しているものとする。なお、コンクリート壁は800mmとした。	0.62309 ± 0.00350	0.62115 ± 0.00313	—	—	—	—	0.70773 ± 0.00349
1	基準ケースに対し支持構造物の寸法の変化による感度評価。 支持構造物の寸法を細くする。	0.62054 ± 0.00340	—	—	—	—	—	—
2	基準ケースに対しCd板、ポリエチレンを除去した場合の評価。	0.74115 ± 0.00343	0.58425 ± 0.00280	—	—	—	—	0.72003 ± 0.00337
3	評価ケース2に対し支持構造物の寸法の変化による感度評価。 基準ケースに対し、Cd板、ポリエチレンを除去すると共に支持構造物の寸法を細くする。	0.65708 ± 0.00435	—	—	—	—	—	—
4	基準ケースに対し配置の径を変化させた場合の評価。 配置の径を5mmから7mmに変える。	0.62221 ± 0.00354	—	—	—	—	—	—
5	評価ケース2に対しコンクリート壁の中性子反照物果の評価。 基準ケースに対し、Cd板、ポリエチレンを除去すると共に機器とコンクリート壁との距離を広くする。	0.73386 ± 0.00369	0.53254 ± 0.00256	—	—	—	—	0.71106 ± 0.00305
6	基準ケースに対し燃料温度の変化による評価。 燃料温度を150 g P U / ℓ から 50 g P U / ℓ に変更する。	0.55686 ± 0.00322	0.54894 ± 0.00282	—	—	—	—	0.63328 ± 0.00308
7	基準ケースに対し燃料温度、濃度の変化による評価。 基準ケースに対し、燃料温度を150 g P U / ℓ から130 g P U / ℓ に変更すると共に平板機器の厚みを80 mmから30 mmに変更。	0.70741 ± 0.00261	0.79708 ± 0.00239	—	—	—	—	0.81229 ± 0.00224
8	評価ケース7に対し、機器とコンクリート壁との距離を広くする。	0.70157 ± 0.00277	0.79113 ± 0.00237	—	—	—	—	0.80954 ± 0.00265
9	評価ケース8に対し支持構造物の寸法の変化による感度評価。 評価ケース7に対し、支持構造物の寸法を細くする。	0.70564 ± 0.00250	—	—	—	—	—	—

表3.6.2 計算結果 (円筒形状機器, 複数ユニット)

評価 NO.	目的及び解析体系の概要	現実的モデル Keff±σ	単純モデル					
			水反射体 0.0cm Keff±σ	水反射体 0.5cm Keff±σ	水反射体 1.0cm Keff±σ	水反射体 1.5cm Keff±σ	水反射体 2.0cm Keff±σ	水反射体 2.5cm Keff±σ
0	円筒形状機器に対する基準ケース。容器は6mmのSUSであり、支持構造物、配管の材質もSUS。配管は、管厚5mm以内で、20mmとし、水が充填しているものとする。なお、コンクリート壁は800mmとした。	0.81212 ± 0.00375	0.81509 ± 0.00338	—	—	—	—	0.88338 ± 0.00370
1	基準ケースに対し支持構造物の寸法の変化による感度評価。 支持構造物の寸法を太くする。	0.81640 ± 0.00371	—	—	—	—	—	—
2	基準ケースに対し支持構造物の寸法の変化による感度評価。 支持構造物の寸法を細くする。	0.80345 ± 0.00320	—	—	—	—	—	—
3	基準ケースに対しコンクリート壁の中性子反射効果の評価。 機器とコンクリート壁との距離を広くする。	0.79559 ± 0.00333	0.78120 ± 0.00335	—	—	—	—	0.87276 ± 0.00409
4	評価ケース3に対し支持構造物の寸法の変化による感度評価。 基準ケースに対し、機器とコンクリート壁との距離を広くすると共に支持構造物の寸法を太くする。	0.80092 ± 0.00360	—	—	—	—	—	—
5	評価ケース3に対し支持構造物の寸法の変化による感度評価。 基準ケースに対し、機器とコンクリート壁との距離を広くすると共に支持構造物の寸法を細くする。	0.78689 ± 0.00344	—	—	—	—	—	—
6	基準ケースに対し燃料温度の感度評価。 燃料温度を150 g P u / ℓ から 50 g P u / ℓ に変更する。	0.76488 ± 0.00287	0.76888 ± 0.00314	—	—	—	—	0.82466 ± 0.00277
7	評価ケース6に対し支持構造物の寸法の変化による感度評価。 基準ケースに対し、燃料温度を150 g P u / ℓ から 50 g P u / ℓ に変更すると共に支持構造物の寸法を太くする。	0.77284 ± 0.00350	—	—	—	—	—	—
8	評価ケース6に対し支持構造物の寸法の変化による感度評価。 基準ケースに対し、燃料温度を150 g P u / ℓ から 50 g P u / ℓ に変更すると共に支持構造物の寸法を細くする。	0.75942 ± 0.00343	—	—	—	—	—	—
9	評価ケース6に対しコンクリート壁の中性子反射効果の評価。 基準ケースに対し、燃料温度を150 g P u / ℓ から 50 g P u / ℓ に変更すると共に機器とコンクリート壁との距離を広くする。	0.74609 ± 0.00306	0.73931 ± 0.00328	—	—	—	—	0.81773 ± 0.00362

表3.6.2 (続き)

評価 NO.	目的及び解析体系の概要	現実的モデル Keff±σ	単純モデル					
			水反射体 0.0cm Keff±σ	水反射体 0.5cm Keff±σ	水反射体 1.0cm Keff±σ	水反射体 1.5cm Keff±σ	水反射体 2.0cm Keff±σ	水反射体 2.5cm Keff±σ
10	基準ケースに対しC4板をまきつけ感度評価。 円筒容器外側に厚2mmのCd板をまきつける。	0.80587 ± 0.00360	0.79261 ± 0.00386	0.80812 ± 0.00373	0.82126 ± 0.00348	0.82265 ± 0.00319	0.83505 ± 0.00393	0.83141 ± 0.00320
11	基準ケースに対し機器間距離の変化による感度評価。 機器間距離を近づける。	0.84773 ± 0.00364	0.83160 ± 0.00305	—	—	—	—	0.80326 ± 0.00356
12	基準ケースに対し機器間距離の変化による感度評価。 機器間距離をさらに近づける。	0.85675 ± 0.00340	0.84567 ± 0.00394	—	—	—	—	0.80841 ± 0.00352
13	基準ケースに対しC4板をまきつけ感度評価。 円筒容器外側に厚2mmのCd板をまきつける。	0.82603 ± 0.00263	0.80582 ± 0.00302	0.82353 ± 0.00242	0.83505 ± 0.00317	0.83714 ± 0.00261	0.84286 ± 0.00232	0.84144 ± 0.00240
14	基準ケースに対しC4板をまきつけ感度評価。 円筒容器外側に厚2mmのCd板をまきつける。	0.84830 ± 0.00313	0.82391 ± 0.00344	0.83696 ± 0.00367	0.83943 ± 0.00362	0.84336 ± 0.00319	0.85149 ± 0.00360	0.85231 ± 0.00350

\* : 10万ヒストリ

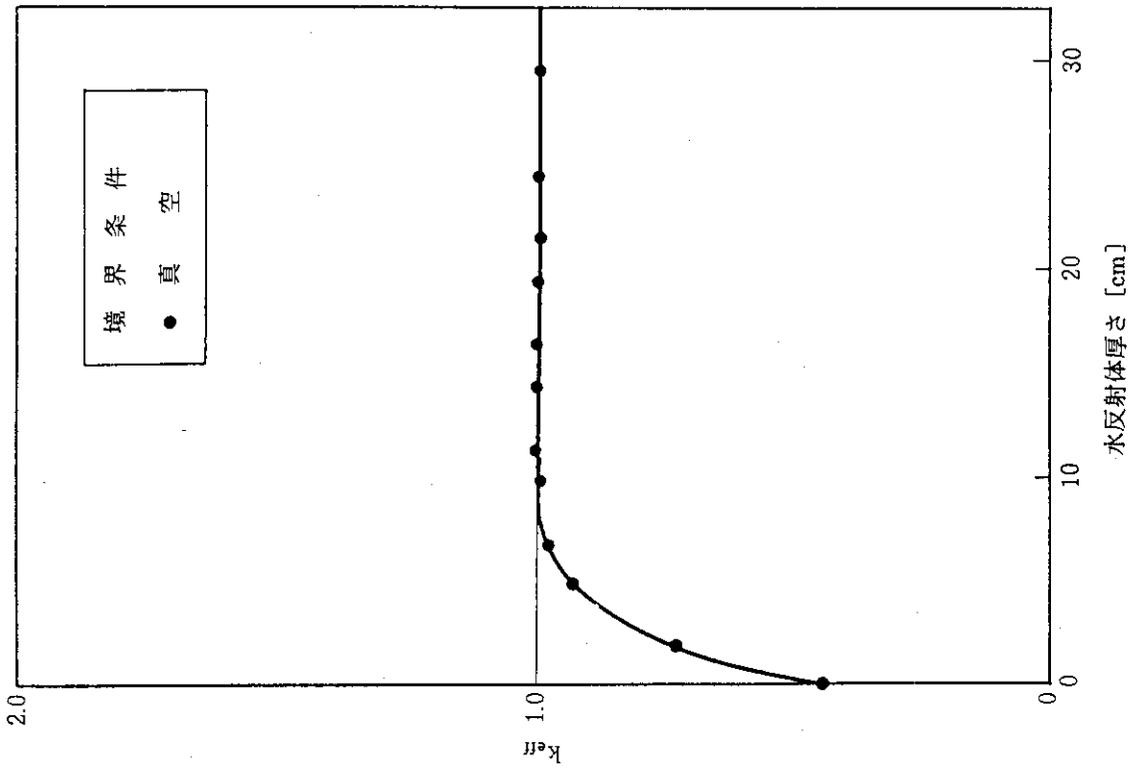


図2.1.1 水反射体付均質U-H<sub>2</sub>O無限平板燃料の中性子倍増率  
(<sup>235</sup>U濃縮度5 wt%, ウラン濃度2.0gU/cm<sup>3</sup>)

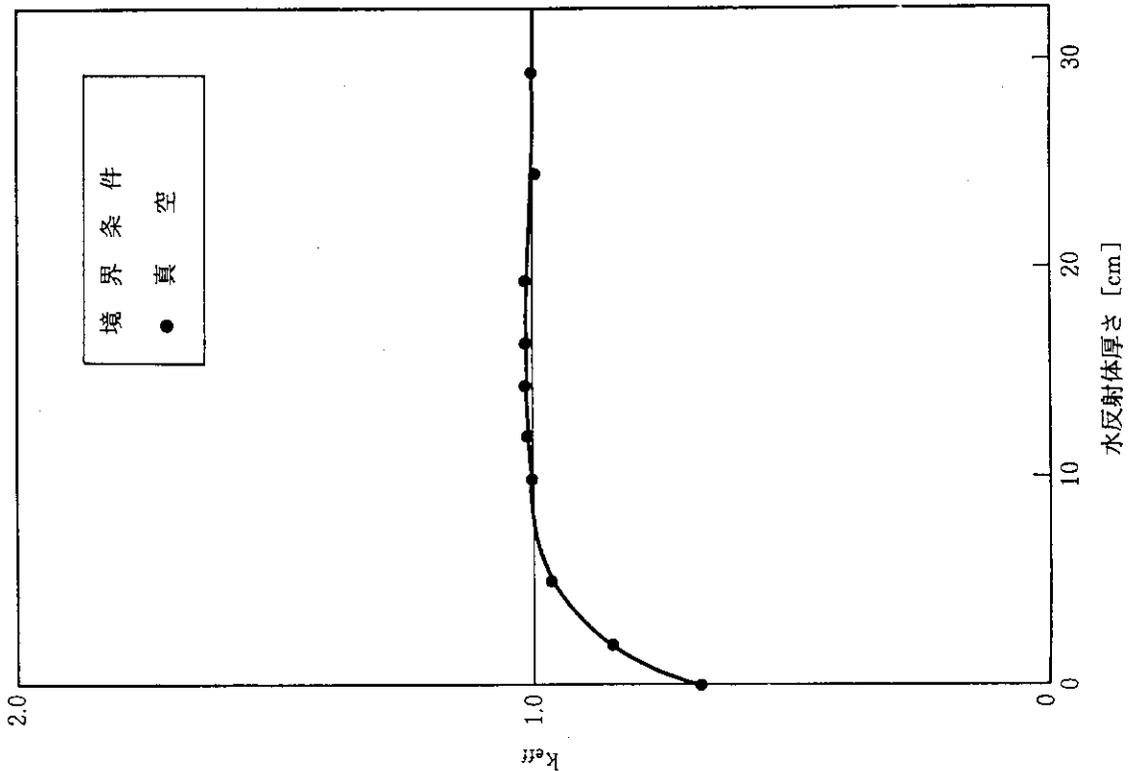


図2.1.2 水反射体付均質U-H<sub>2</sub>O無限平板燃料の中性子倍増率  
(<sup>235</sup>U濃縮度100wt%, ウラン濃度0.1gU/cm<sup>3</sup>)

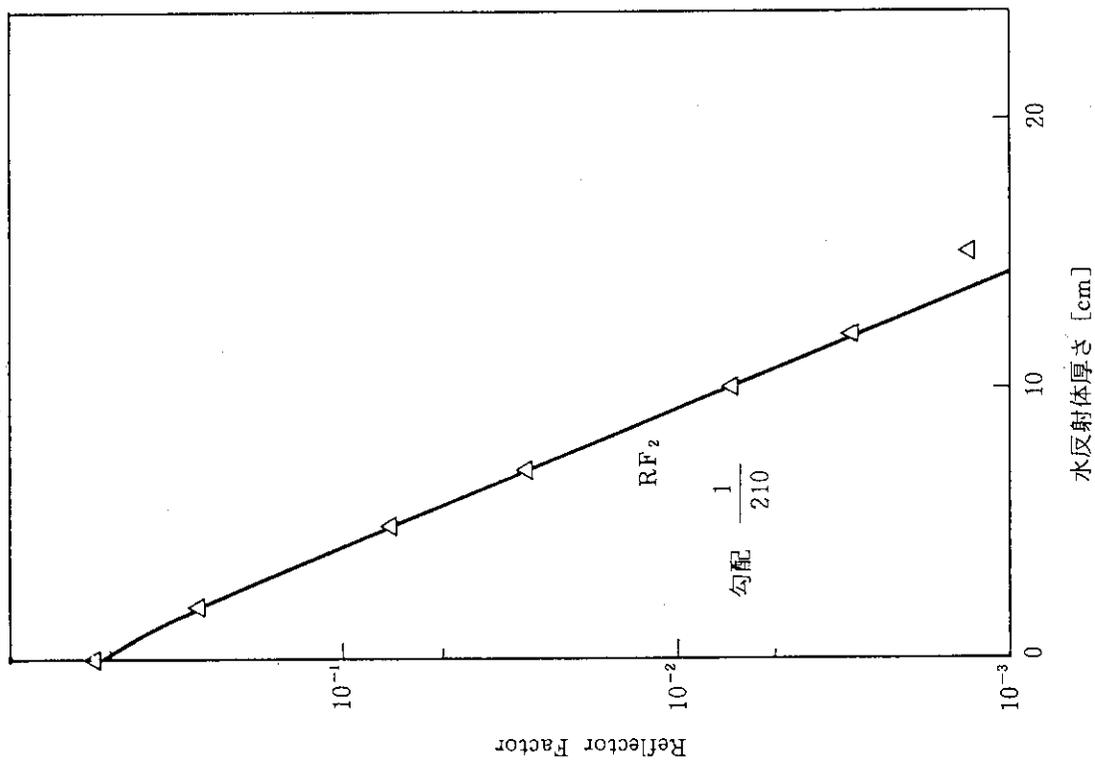


図2.2.2 水反射体に対するReflector Factor  
(無限平板, <sup>235</sup>U濃縮度100wt%, ウラン濃度0.1gU/cm<sup>3</sup>)

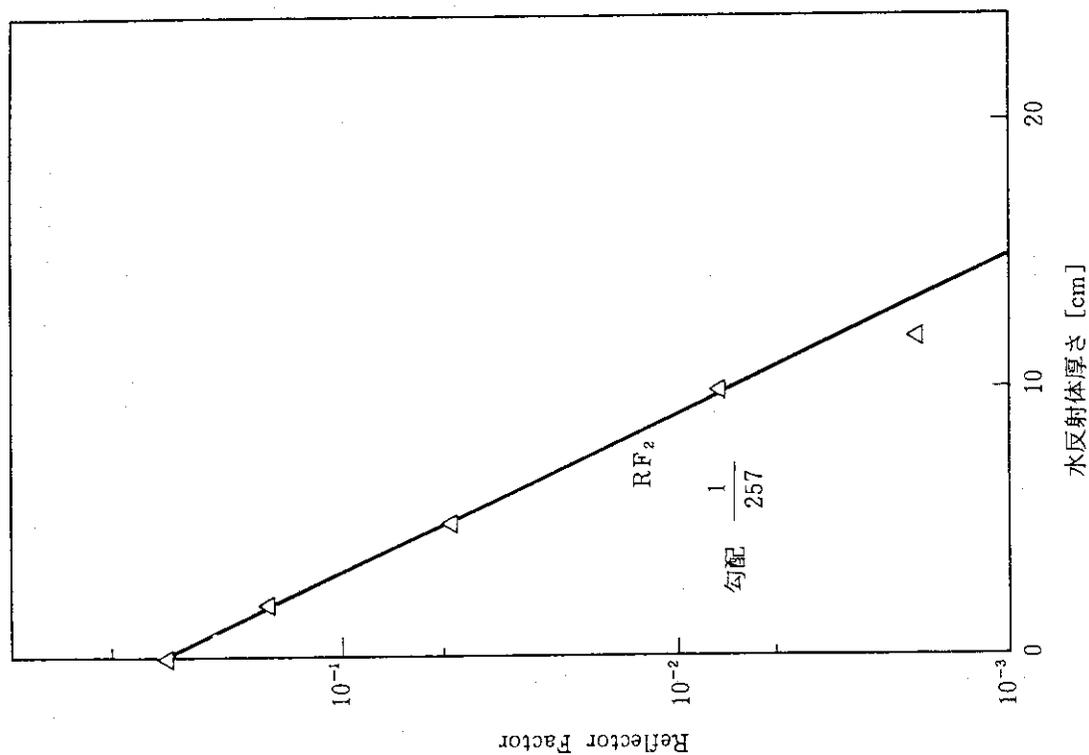


図2.2.1 水反射体に対するReflector Factor  
(無限平板, <sup>235</sup>U濃縮度5wt%, ウラン濃度2.0gU/cm<sup>3</sup>)

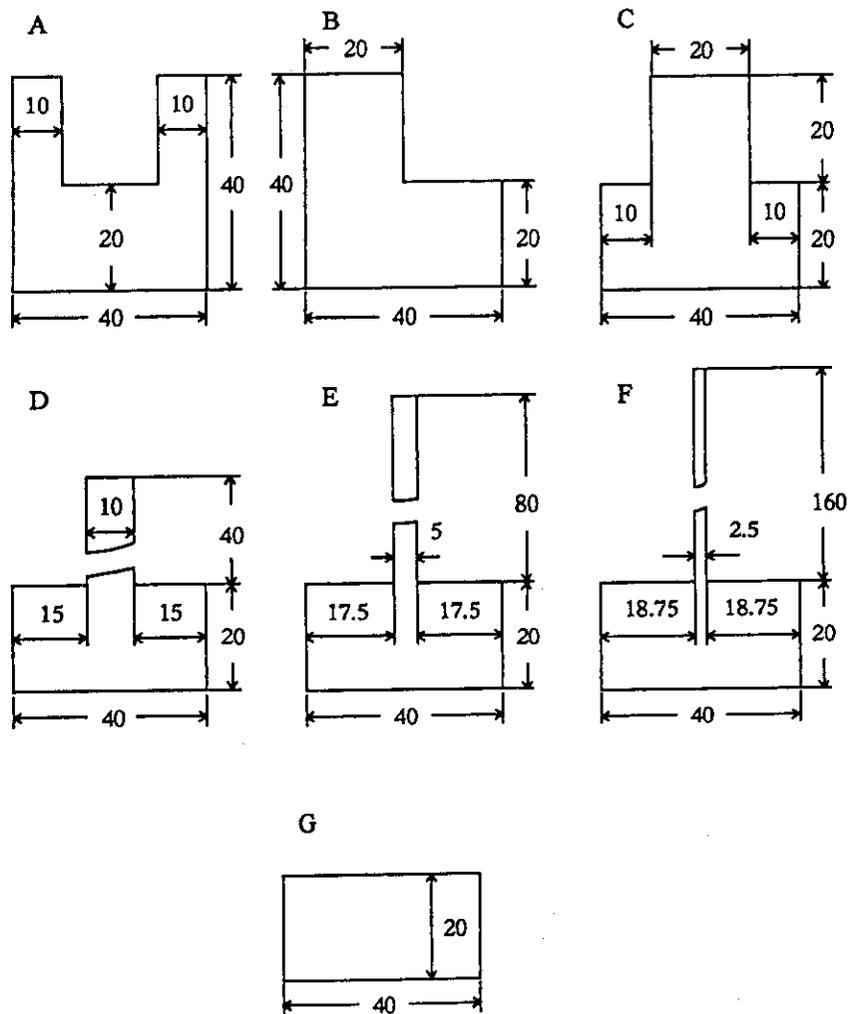


図2.3 枝管の反応度値を検討するために設定した7種類の形状をもつ均質 $UO_2$ 粉末- $H_2O$ 燃料の断面図

〔単位はcm。形状によって断面図は異なるが、断面積は等しい。形状Gは枝管の付いていない基本形状である。形状A~Cは枝管とはいえない。  
 $^{235}U$ 濃縮度4wt%,  $UO_2$ 密度 $5gUO_2/cm^3$ ,  $H/U=7$ 。〕

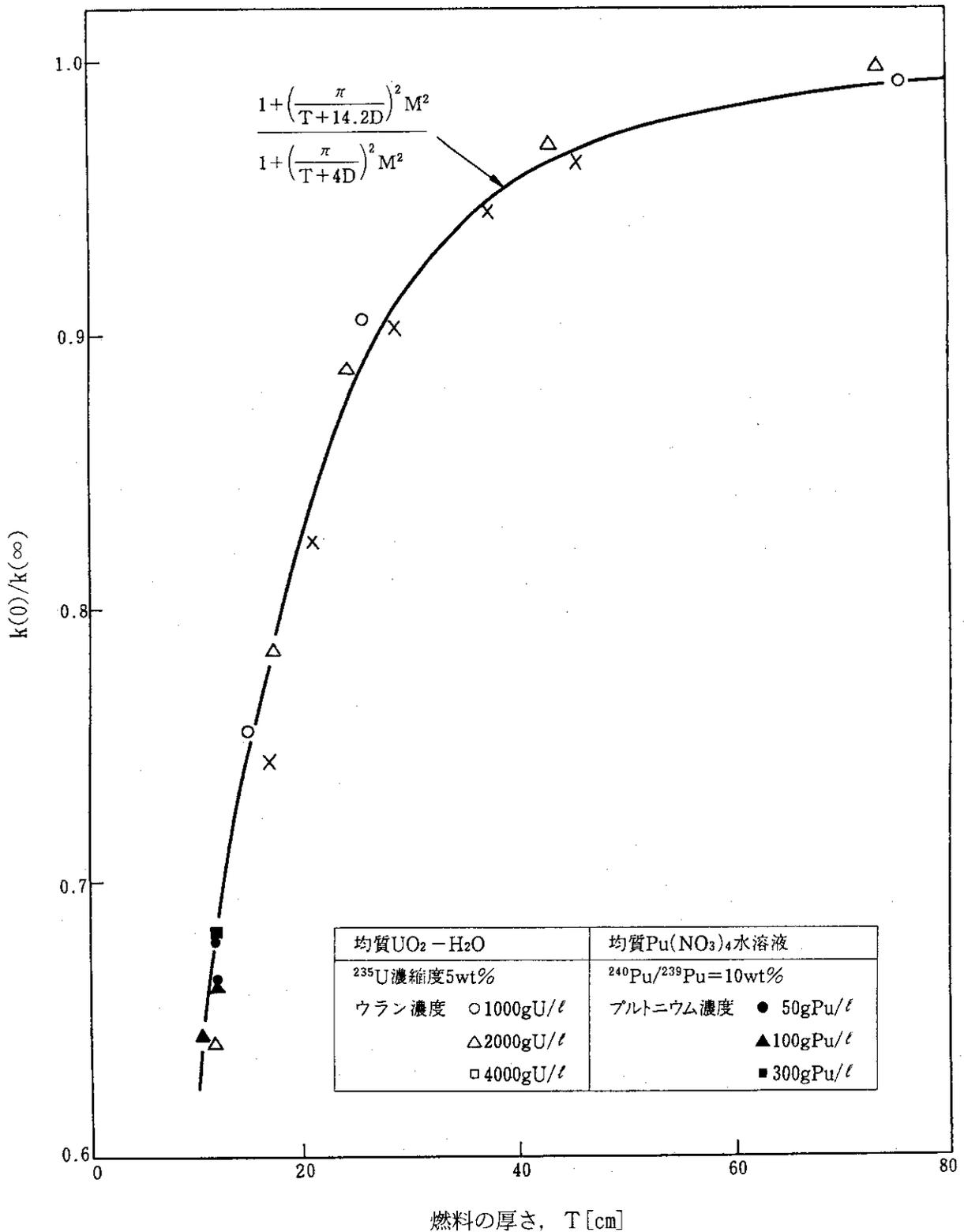


図2.4.1 無限平板燃料の厚さTとk(0)/k(∞)の関係

k(0)は反射体厚さゼロの時の中性子増倍率。k(∞)は反射体厚さが無限に厚い時の中性子増倍率。図内に示す式はk(0)/k(∞)を表わす理論式で、M<sup>2</sup>は移動面積、Dは拡散係数である。曲線は、この理論式に基づくTとk(0)/k(∞)の関係を、M<sup>2</sup> = 33cm<sup>2</sup>、D = 1 cmの場合について例示している。

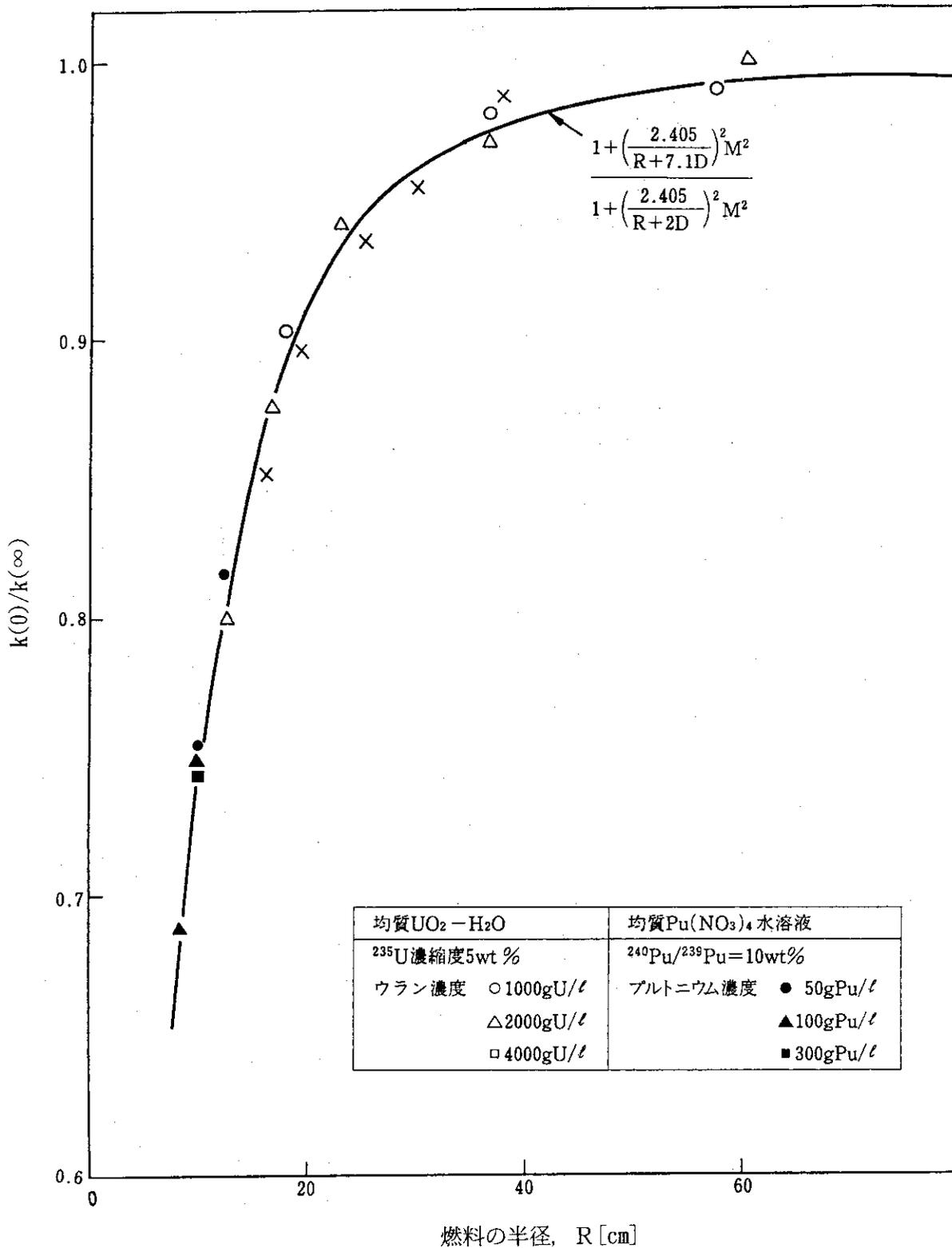
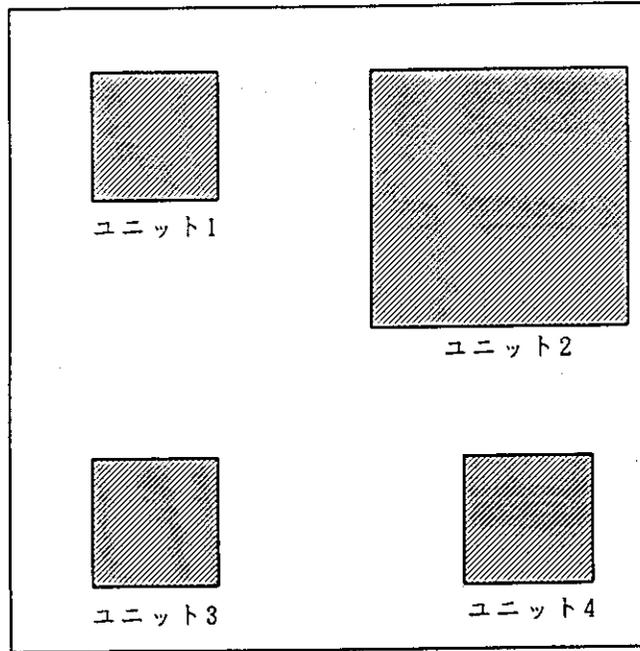


図2.4.2 無限円柱燃料の半径Rとk(0)/k(∞)の関係

k(0)は反射体厚さゼロの時の中性子増倍率。k(∞)は反射体厚さが無限に厚い時の中性子増倍率。図内に示す式はk(0)/k(∞)を表わす理論式で、M<sup>2</sup>は移動面積、Dは拡散係数である。曲線は、この理論式に基づくRとk(0)/k(∞)の関係を、M<sup>2</sup> = 33cm<sup>2</sup>、D = 1cmの場合について例示している。



(平面図)

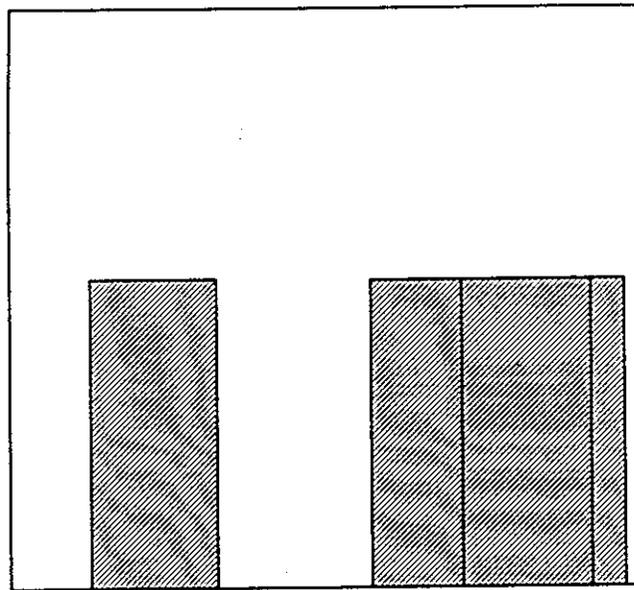


図2.5 複数ユニット体系の一例  
(ユニット1, 3, 4の寸法は同じ)

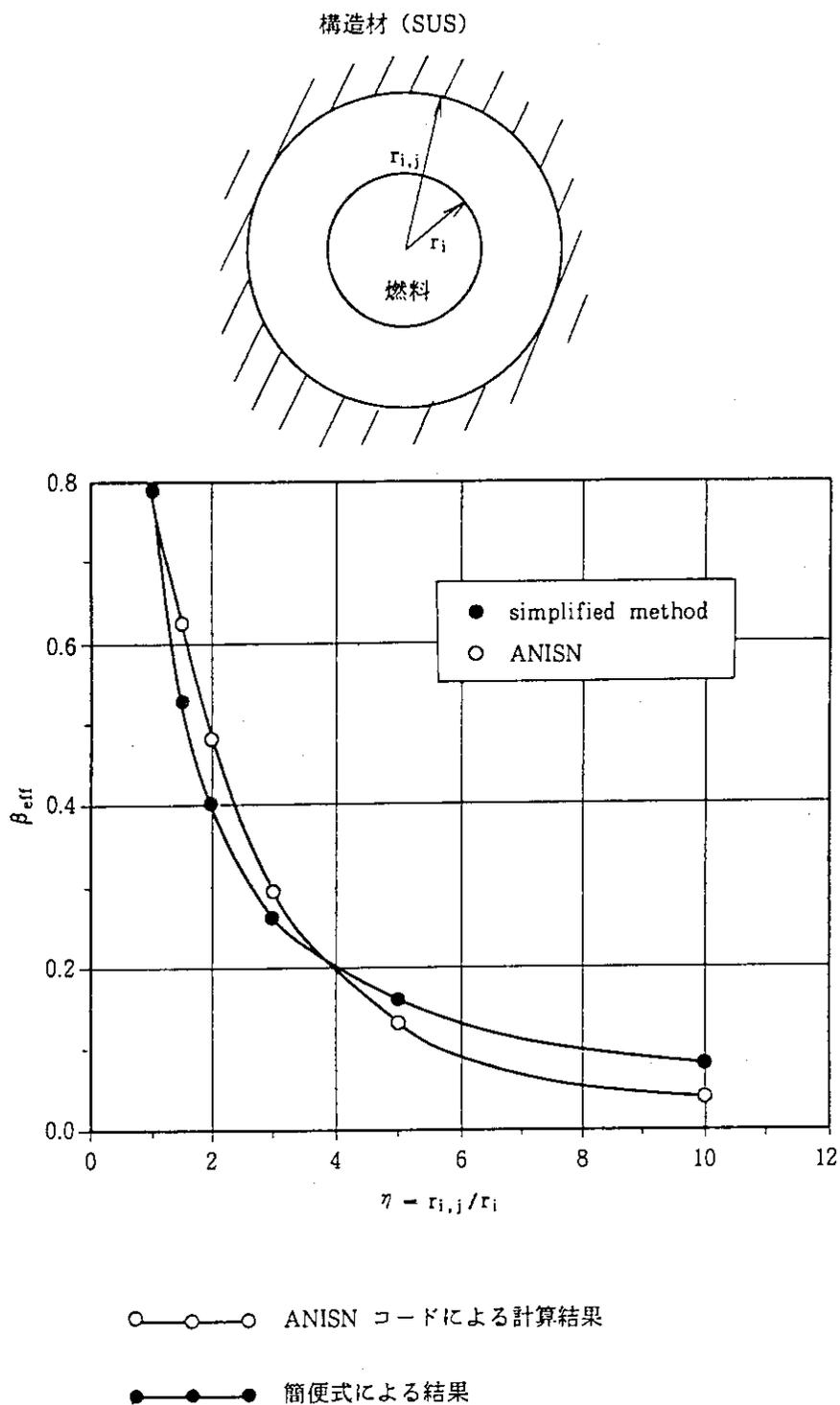
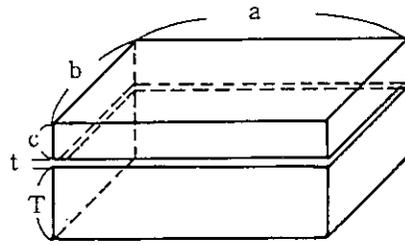


図2.6 同心球体系における実効アルベド $\beta_{eff}$   
 (但し, SUSのアルベド $\beta$ を0.79とした。)



機器形状

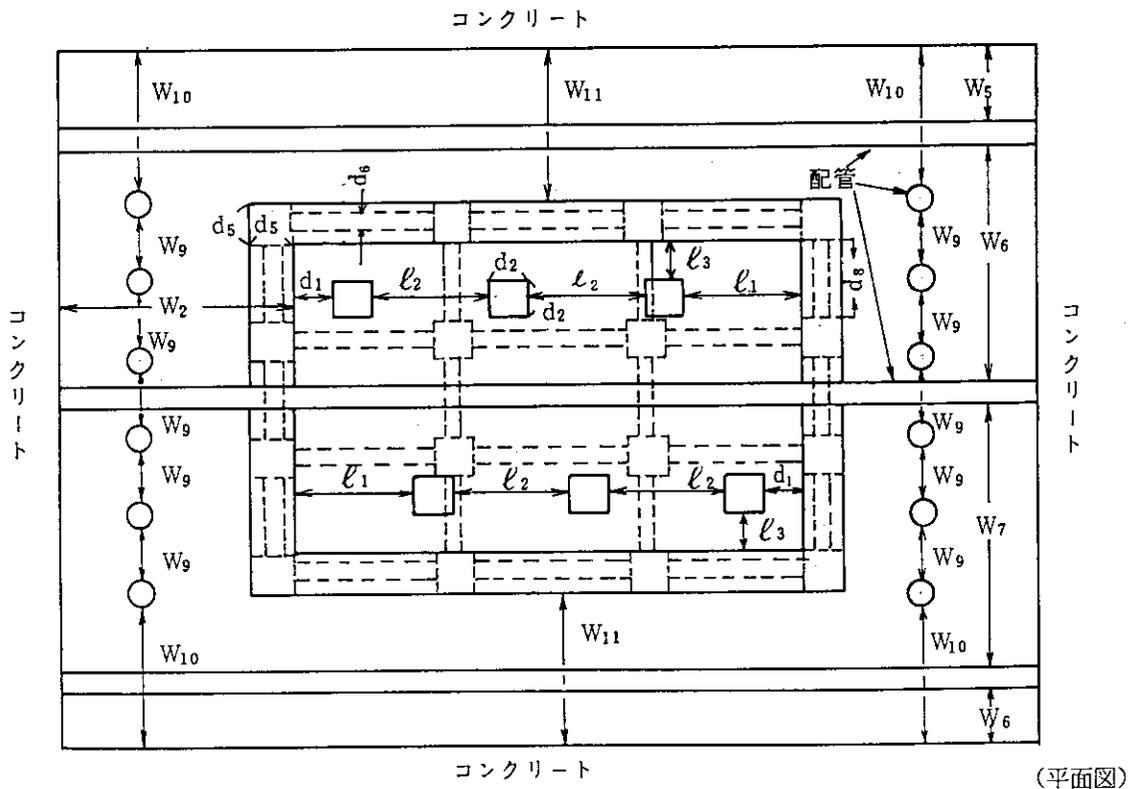
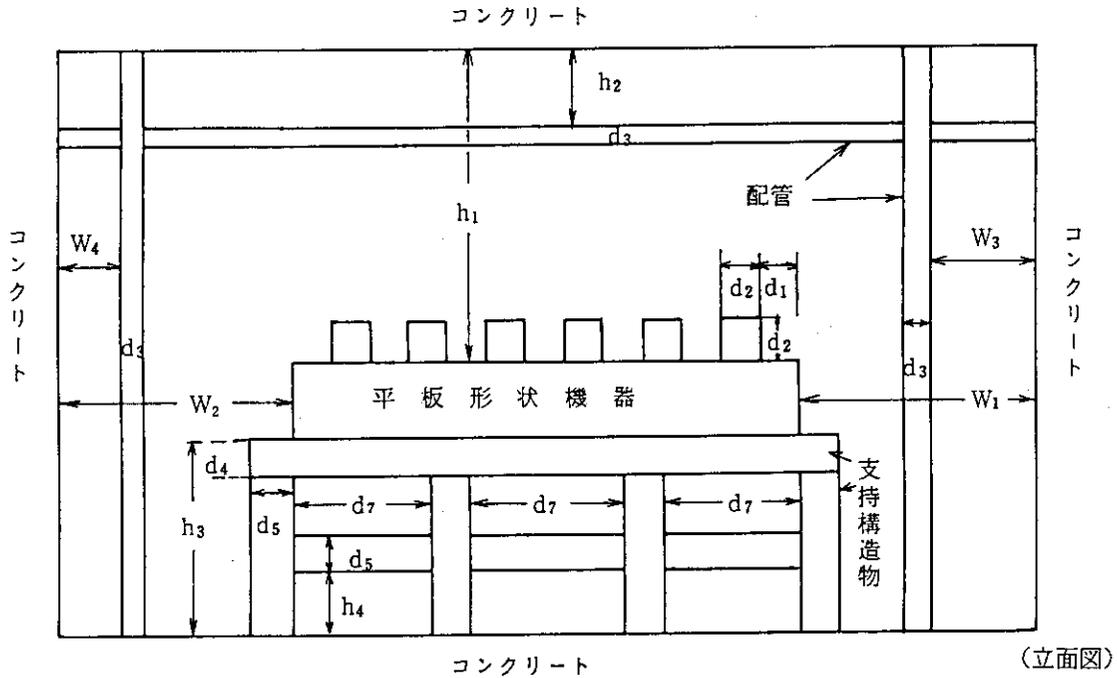


図3.1.1 平板形状機器のセル内配置図 (単一ユニット)

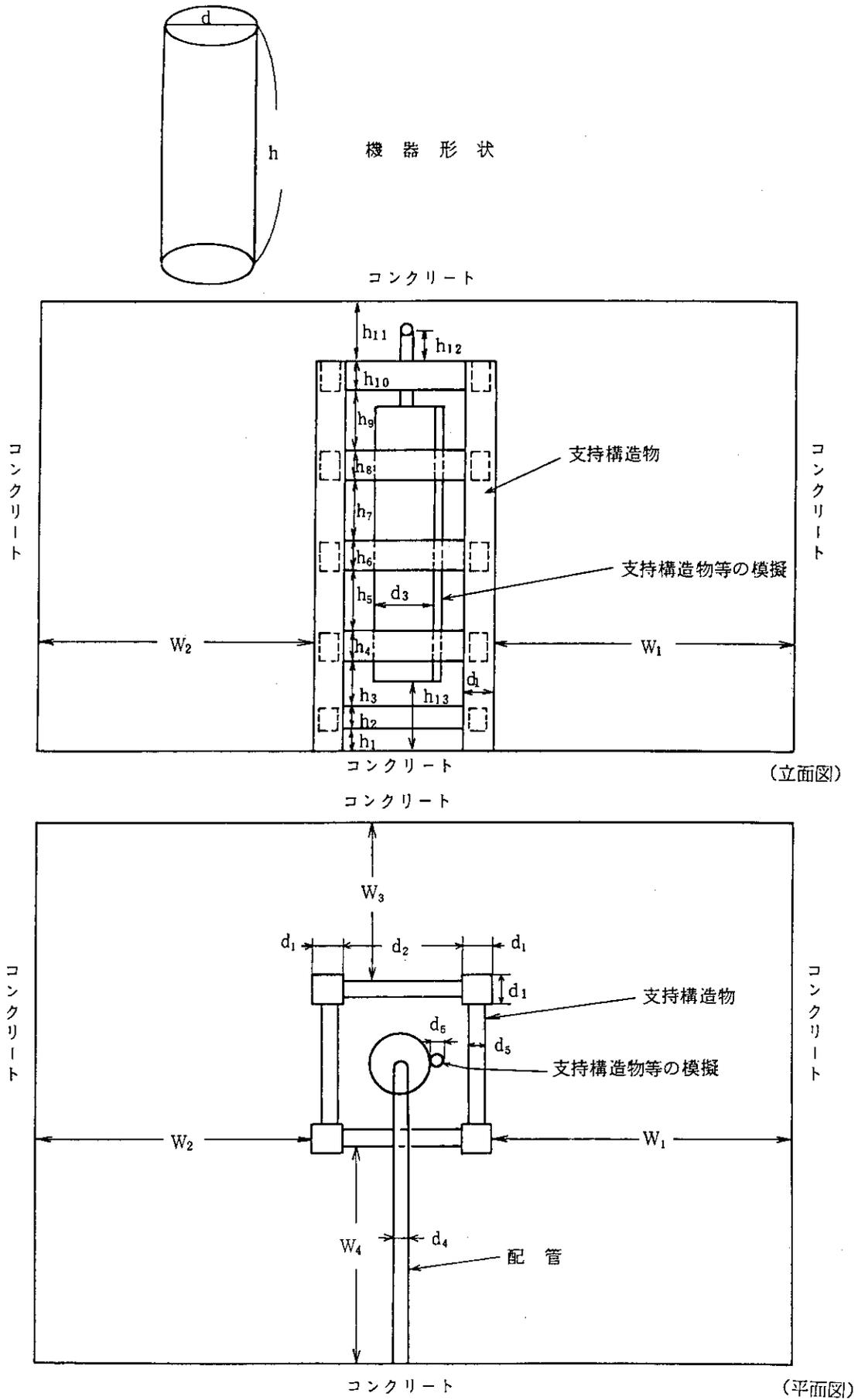


図3.1.2 円筒形状機器のセル内配置図 (単一ユニット)



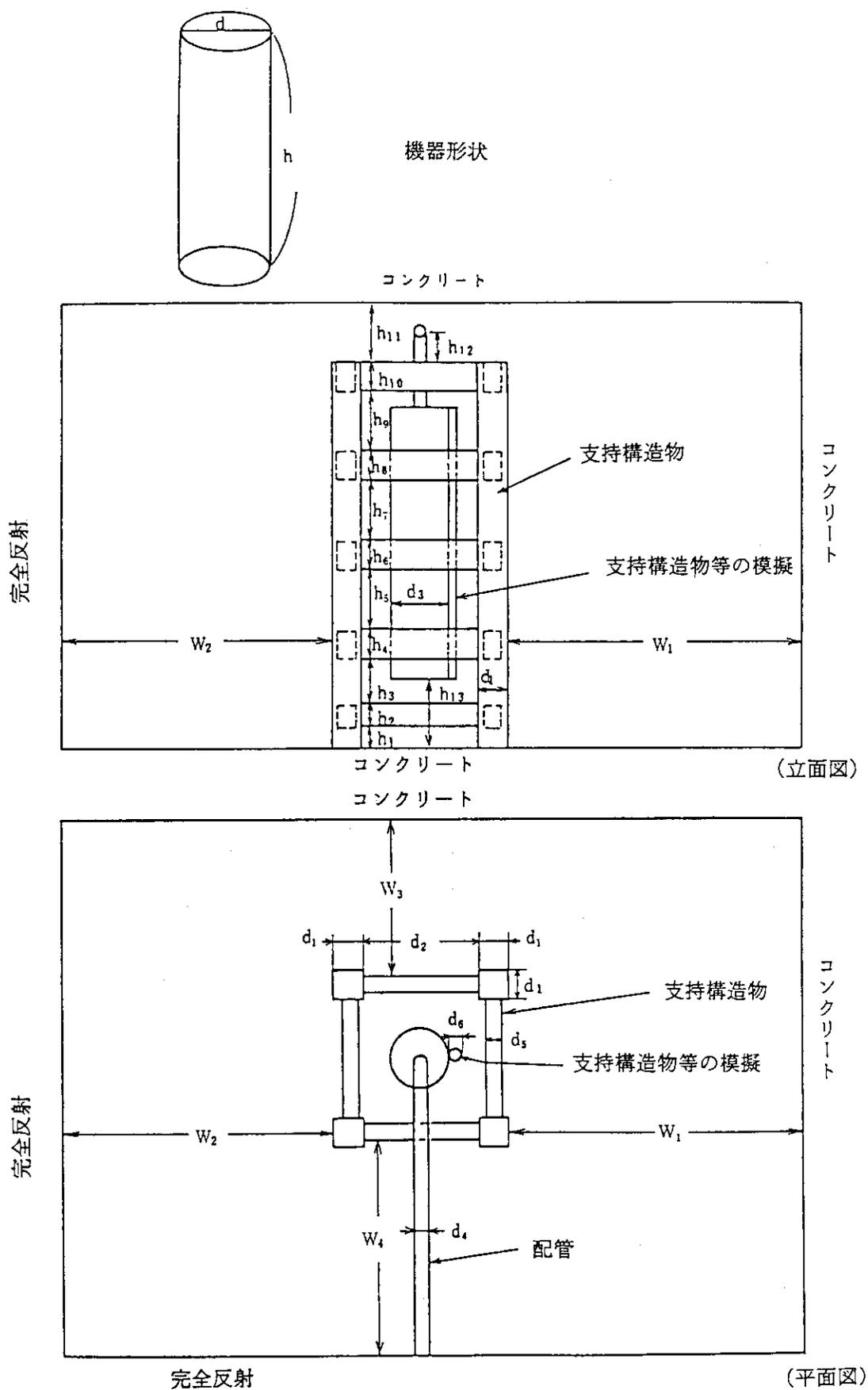


図3.2.2 円筒形状機器のセル内配置図 (複数ユニット)

## 付録 枝管の反応度値

本文2.1.2項の式(2.7)の導出を行なう。複数の燃料ユニットから成る体系を考える。ユニット間の中性子相互干渉をMUTUALコードと同様に取扱えば、体系の固有値は次の式で表現できる。

$$K^{-1} (I - TD^{-1}) (D\phi) = \frac{1}{\lambda} (D\phi) \quad (\text{A.1})$$

式(A.1)は本文2.2.1項の式(2.10)と同じである。式(A.1)をはじめ以下に示す各式の記号の意味は、本文の文献2)に準ずる。式(A.1)より、体系の中性子増倍率 $\lambda$  (あるいは $k_{eff}$ )の逆数は $K^{-1} (I - TD^{-1})$ の最小固有値である。ここで、行列Aを、

$$A \equiv K^{-1} (I - TD^{-1}) \quad (\text{A.2})$$

と定義すれば、MUTUALコードの表現に倣って、行列Aの要素は次のようになる。

$$a_{ii} = \frac{1}{k_i} \quad (\text{A.3.1})$$

$$a_{ij} = \frac{1}{k_i} \cdot \frac{(M^2 B^2)_j}{1 + (M^2 B^2)_j} \cdot \Omega_{ji} \quad (\text{A.3.2})$$

ここで、 $k_i$ はユニットiが孤立して存在するときの中性子増倍率、 $(M^2 B^2)_j$ はユニットjの中性子漏洩割合、 $\Omega_{ji}$ はユニットjからユニットiをみたときの立体角分率である。

複数の燃料ユニットから成る体系の固有値は、次に示す行列式を解いて得られる。

$$\begin{vmatrix} a_{11} - 1/\lambda & a_{12} & a_{13} & \cdots \\ a_{21} & a_{22} - 1/\lambda & a_{23} & \cdots \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} - 1/\lambda & \cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{vmatrix} = 0 \quad (\text{A.4})$$

式(A.4)において、非対角項からの寄与が相互干渉効果を表している。各ユニットの中性子増倍率( $k_1, k_2, k_3, \dots$ )のうち $k_1$ が最大であると仮定すると、式(A.4)の固有値は次のように表現できる。但し、非対角項については3次以上を無視した。

$$\begin{aligned}
\frac{1}{\lambda} &= \frac{1}{k_1} - \sum_{p \neq 1} \frac{a_{1p} \cdot a_{p1}}{1/k_p - 1/k_1} \\
&= \frac{1}{k_1} - \sum_{p \neq 1} \frac{1}{1/k_p - 1/k_1} \cdot \left\{ \frac{1}{k_1} \cdot \frac{(M^2 B^2)_p \cdot \Omega_{p1}}{1 + (M^2 B^2)_p} \right\} \cdot \\
&\quad \left\{ \frac{1}{k_p} \cdot \frac{(M^2 B^2)_1 \cdot \Omega_{1p}}{1 + (M^2 B^2)_1} \right\} \\
&= \frac{1}{k_1} - \frac{1}{k_1} \sum_{p \neq 1} \frac{1}{1 - k_p/k_1} \cdot \frac{(M^2 B^2)_p \cdot \Omega_{p1}}{1 + (M^2 B^2)_p} \cdot \\
&\quad \frac{(M^2 B^2)_1 \cdot \Omega_{1p}}{1 + (M^2 B^2)_1} \\
&= \frac{1}{k_1} - \frac{1}{k_1} \sum_{p \neq 1} \delta k_p \tag{A.5}
\end{aligned}$$

ここで、

$$\delta k_p = \frac{1}{1 - k_p/k_1} \cdot \frac{(M^2 B^2)_p \cdot \Omega_{p1}}{1 + (M^2 B^2)_p} \cdot \frac{(M^2 B^2)_1 \cdot \Omega_{1p}}{1 + (M^2 B^2)_1} \tag{A.6}$$

である。式 (A.6) は、複数ユニットの固有値に対する、ユニット 1 以外のあるユニット p の寄与分に相当する。式 (A.6) は次のように書改めることができる。

$$\delta k_p = \frac{1}{1 - k_p/k_1} \cdot \left( \frac{L}{L+A} \right)_p \cdot \left( \frac{L}{L+A} \right)_1 \cdot \Omega_{p1} \cdot \Omega_{1p} \tag{A.7}$$

ここで、L はユニットからの中性子漏洩量、A はユニット内での中性子吸収量である。

いま、母ユニットとそれに連結するいくつかの枝管を考える。式 (A.7) において、ユニット 1 を母ユニット、ユニット 1 以外のユニットを枝管とみなせば、本文 2.1.2 項の式 (2.7) を得る。