

JAERI - M
86-069

複数ユニットの臨界安全評価に使用する各単一
ユニットの裸の実効増倍率算出法に関する考察

1986年4月

三澤 毅*・奥野 浩・内藤 俣孝

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。
入手の間合わせは、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、お申しこしください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

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

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1986

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 いばらき印刷(株)

複数ユニットの臨界安全評価に使用する
各単一ユニットの裸の実効増倍率算出法
に関する考案

日本原子力研究所東海研究所燃料安全工学部

三澤 毅*・奥野 浩・内藤俣孝

(1986 年 4 月 3 日受理)

核燃料施設内の複数の核燃料ユニットの臨界安全性を評価するためには中性子相互作用を考慮に入れなければならない。この中性子相互作用の大きさを評価する方法として立体角法がある。立体角法には裸の体系での実効増倍率の値が必要となる。この裸の体系の実効増倍率を水反射体付きの実効増倍率から簡便に算出する方法について検討を行った。その結果、反射体の有無による実効増倍率の比は燃料寸法の単調な関数として表わされ、この関係は移動距離、外挿距離、反射体節約の値を算出することにより一群拡散モデルによってよく説明されることがわかった。

A Study of Estimating the Effective Multiplication Factor
of An Individual Bare Unit for Evaluation of
Criticality Safety of Units in Array

Tsuyoshi MISAWA*, Hiroshi OKUNO, Yoshitaka NAITO

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

(Received April 3, 1986)

It is necessary to consider the interaction of neutron between individual fuel units for the safety analysis of nuclear fuel facilities. The solid angle method has been developed for these analyses, and it requires the effective multiplication factor in a bare fuel unit. A simple evaluation method was examined to calculate the effective multiplication factor in a bare unit from that with water reflector.

It is concluded that the ratio of the effective multiplication factor in a fuel unit without to with water reflector is shown by the function of a dimension of a fuel vessel, and this relation is well explained by the one group diffusion theory with calculating migration area, extrapolation length and reflector savings.

Keywords : Criticality Safety, Nuclear Fuel Facility, Effective
Multiplication Factor, Bare Unit, Array Units,
Solid Angle Method, JACS

* Kyoto University

目 次

1. 序 論	1
2. 計算方法	2
2.1 計算対象	2
2.2 計算手順	2
2.3 計算条件	2
3. 計算結果	6
4. 考 察	13
5. 結 論	17
謝 辞	17
参考文献	18
付録A 計算上の補足事項	19
A.1 原子個数密度の算出法	19
A.2 ジョブ制御文	22
付録B ANISN-JRとKENO-IVの計算結果の比較	27

Contents

1. Introduction	1
2. Method of Calculation	2
2.1 Fuel Models	2
2.2 Calculation Flow	2
2.3 Choice of Parameters	2
3. Results	6
4. Considerations	13
5. Conclusion	17
Acknowledgments	17
References	18
Appendix A Additional Items in calculation	19
A.1 Calculation Method of Atomic Number Density	19
A.2 Job Control Statements	22
Appendix B Comparison of the Results by ANISN-JR and KENO-IV	27

1. 序 論

核燃料施設は技術的に想定されるいかなる場合においても臨界安全性が確保されなければならない。それ故、核燃料施設の単一ユニットは、多くの場合、浸水等により冠水していると仮定して臨界安全性を評価する。このため、各単一ユニットを30cm厚さの水反射体（無限厚さの水反射体と等価と考えられる）で囲んで中性子増倍率を計算し、臨界にならないことを確認している。欧米の臨界ハンドブックにも、反射体が付いた場合の臨界質量、臨界寸法等の臨界となる条件または確実に未臨界となる条件が示されている。単一ユニットはこの未臨界となる条件を満たすように設計されなければならない。

一方、単一ユニットが二つ以上存在する場合には、それらの中性子による相互作用を考慮して、臨界にならないように配置しなければならない。この際、中性子相互作用が最も大きくなるのは、多くの場合、ユニット間に反射体等の物質がない場合と考えられる。

裸の配列体系の中性子相互作用の大きさを評価する方法として立体角法がある。これは相互作用の大きさの指標として立体角を用いるものである。たとえば、オークリッジ・ガス拡散工場（ORGDP）で開発された立体角法では、相互作用をしている配列の中心部の単一ユニットの実効増倍率を k_{eff} 、他のユニットからそのユニットを眺めたときの立体角の総和を Ω と記すとき、この Ω がsr単位で、

$$\begin{cases} \Omega \leq 9 - 10 \cdot k_{eff} & (0.3 \leq k_{eff} \leq 0.8) \\ \Omega \leq 6 & (k_{eff} \leq 0.3) \end{cases}$$

の制限を満たしているときにその配列が未臨界であるとしている¹⁾。ここで k_{eff} は反射体に囲まれていない裸の単一ユニットの実効増倍率である。

米国の10CFR/Part 70(1963)によれば、同報告書に記載されている反射体有りの燃料ユニットの許容体積、円柱直径又は平板厚さを用いる場合には、裸のユニットの実効増倍率を0.8としてもよいとされている。我が国においても、しばしば米国の臨界ハンドブックTID 7016(第2版)¹⁾に記されている未臨界条件を用いて単一ユニットの設計を行い、複数ユニット間の配置は k_{eff} を0.8としてORGDPで開発された立体角の制限値を満たすように決定している。このとき制限立体角は1srとなる。しかし、この方法は或る場合には必ずしも安全側の仮定にはなっていないことを本報告書では示す。

本報告書は、裸の体系の実効増倍率 $k_{eff,b}$ を水反射体付きの実効増倍率 $k_{eff,r}$ からより合理的に且つ簡便に算出する方法について検討する。初めにこれらの値を原研で開発した臨界安全評価コードシステムJACS²⁾の中のモンテカルロ法中性子輸送計算コードKENO-N³⁾により算出する。計算法を第2章に述べる。第3章では計算結果を示す。第4章ではこれら2種類の実効増倍率の比 $r \equiv k_{eff,b}/k_{eff,r}$ を簡便に求める方法について考察する。第5章では結論を記す。なお、計算上の補足事項として、原子個数密度の算出法を付録Aに、KENO-Nと1次元S_N法中性子輸送計算コードANISN-JR⁴⁾の計算結果の比較を付録Bに記す。

2. 計 算 方 法

2.1 計算対象

計算の対象とした燃料モデルは、二酸化ウラン粉末と水の均質混合系（空隙なし）及び硝酸プルトニウム均質水溶液系の2種類である。形状は無限円柱及び無限平板について調べた。これらの燃料の濃度及び濃縮度（又は同位体比）を表1に、寸法を表2に示す。ここで用いた体系の寸法は、水反射体付きではほぼ臨界となる燃料の寸法とした（計算には原研で作成していた簡易臨界計算コードSIMCRI⁵⁾を用いた）。これにより $r = k_{\text{eff, b}} / k_{\text{eff, r}}$ は濃度を一定としたときの濃縮度の関数として、又は臨界寸法の関数として得ることができる。ただし、 $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ 水溶液でプルトニウムの同位体比 $^{240}\text{Pu} / ^{239}\text{Pu} = 10 \text{ wt } \%$ の場合についてはPuの濃度にかかわらず寸法を一定としている。

2.2 計算手順

計算には臨界条件データの算出にも使用している臨界安全評価コードシステムJACSを用いた。具体的にはエネルギー137群の定数ライブラリーMGCL（体系温度300K）と体系の各領域を構成する原子個数密度とを巨視的断面積作成コードMAIL⁶⁾に入力し、中性子輸送計算で用いる各領域での巨視的実効断面積を作成する。次に、これらの巨視的実効断面積と体系の3次元形状をモンテカルロ法中性子輸送計算コードKENO-Nに入力し、燃料体に水反射体が付いた体系の実効増倍率 $k_{\text{eff, r}}$ と反射体が付かない体系の実効増倍率 $k_{\text{eff, b}}$ とを算出する。算出方法の流れを図1に示す。なお、各核種の原子個数密度算出方法及び計算値を付録A.1に載せる。

2.3 計算条件

KENO-Nコードに用いた無限円柱、無限平板のそれぞれ水反射体付きの計算モデルを図2に示す。円柱の裸の体系ではボイドの四角柱を直接燃料の円柱に外接させる。

KENO-Nコードの計算条件となるパラメータの値を表3に示す。

表1 計算対象とした燃料の濃度及び濃縮度

(a) 均質 $\text{UO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ 系 (間隙なし)

ウラン密度 [gU/cm^3]	1.0, 2.0, 4.0
^{235}U 濃縮度 [wt %]	1.3, 1.5, 2, 3, 5

(b) 均質 $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ 水溶液 (酸性度 0)

プルトニウム濃度 [gPu/ℓ]	50, 100, 300
プルトニウム同位体比 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ [wt %]	0, ^{*)} 10, 30 ^{*)}

*) プルトニウム濃度が $100 \text{ gPu}/\ell$ のときのみ。

表2 計算対象とした燃料の寸法

(a) 均質UO₂-H₂O系 (間隙なし)

無限円柱半径〔cm〕				無限平板厚さ〔cm〕			
²³⁵ U 濃縮度	ウラン密度 〔gU/cm ³ 〕			²³⁵ U 濃縮度	ウラン密度 〔gU/cm ³ 〕		
	1.0	2.0	4.0		1.0	2.0	4.0
1.3〔wt%〕	—*)	60.75	38.0	1.3〔wt%〕	—*)	74.0	46.0
1.5	—*)	37.25	30.5	1.5	—*)	43.5	37.5
2	57.8	23.25	25.25	2	76.0	24.5	29.0
3	37.0	16.75	19.5	3	26.0	17.5	21.0
5	18.0	12.75	16.25	5	15.0	12.0	17.0

*) 臨界とはならない。

(b) 均質Pu(NO₃)₄水溶液

無限円柱半径〔cm〕				無限平板厚さ〔cm〕			
²⁴⁰ Pu / ²³⁹ Pu	Pu濃度 〔gPu/l〕			²⁴⁰ Pu / ²³⁹ Pu	Pu濃度 〔gPu/l〕		
	50	100	300		50	100	300
0〔wt%〕	—	8.5	—	0〔wt%〕	—	7.0	—
10	10.0	10.0	10.0	10	12.0	12.0	12.0
30	—	12.25	—	30	—	11.0	—

表3 KENO-Nコードの計算条件

エネルギー群数	137
1世代あたりの中性子数	300
計算世代数	103
スキップ世代数	3
初期中性子発生分布	平坦

上記の中性子数と世代数を標準ヒストリーとして、必要に応じて増加させる。境界条件については図2を参照。

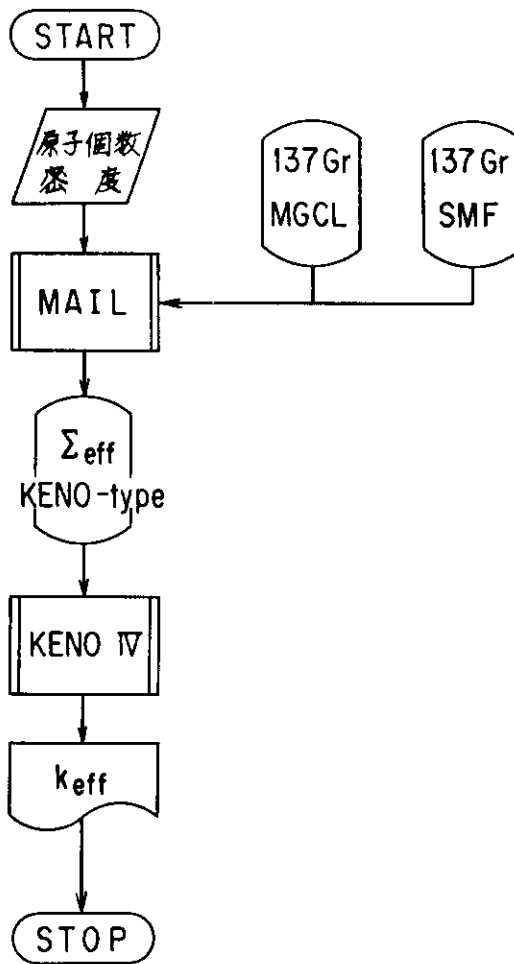
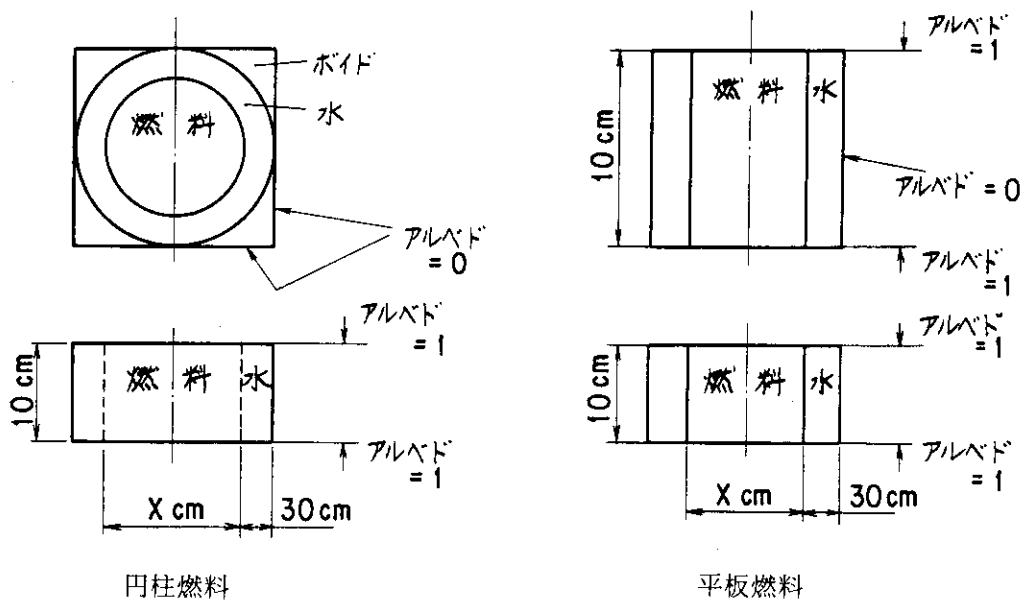


図1 実効増倍率 k_{eff} 算出の流れ図



円柱燃料

平板燃料

図2 無限円柱燃料及び無限平板燃料のKENO-N計算モデル

3. 計 算 結 果

多群定数ライブラリーMGCL (137群) とモンテカルロ法中性子輸送計算コードKENO - IVを用いて、均質 UO_2 粉末 - H_2O 系の実効増倍率を算出した結果を表4に示す。また $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ 水溶液系の実効増倍率の算出結果を表5に示す。いずれの表でも水反射体付きの場合の実効増倍率 $k_{\text{eff},r}$ と標準偏差 σ 、裸の場合の実効増倍率 $k_{\text{eff},b}$ と標準偏差 σ 、及び2つの実効増倍率の比 $r \equiv k_{\text{eff},b} / k_{\text{eff},r}$ を記している。

均質 UO_2 粉末 - H_2O 系について得られた r をウラン濃度をパラメータとし、 ^{235}U 濃縮度の関数として図示したものが無限円柱については図3、無限平板については図4である。これらの図から、 r は濃縮度の増加とともに減少していること、またその減少の割合は無限円柱よりも無限平板の方が大きいことがわかる。また $\text{UO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ の燃料部分の形状が無限円柱でも無限平板でもウラン密度が一定ならば ^{235}U 濃縮度の大きいほうが r が小さくなることがわかる。また ^{235}U 濃縮度が2 wt %未満で一定ならば、1.0、2.0、4.0 gU/cm³の3つの中で4.0 gU/cm³の場合が、また濃縮度2 wt %以上では2.0 gU/cm³の場合が、それぞれ r が最も小さい値を示す。このような r が小さくなる条件は臨界となる燃料寸法が小さくなる条件とほぼ一致しているため r と燃料領域の寸法との間に比較的単純な関係のあることが予想される。それ故、無限円柱の場合につき、 r と燃料部円柱半径 R との関係を調べた。これを図5に示す。この半径 R は30 cmの水反射体を付けたときにほぼ臨界となる寸法である UO_2 粉末 - H_2O 系、 $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ 水溶液系とも併せて同一の図に示した。燃料部の半径 R の増加に伴い、 r がほぼ単調に増加しているのがわかる。同様のことが無限平板の場合にもみられ、それを図6に示す。

表4 均質 UO_2 粉末-H $_2$ O系の実効増倍率算出結果
(KENO - IVコードによる)

燃料 番号	形状	ウラン密度 〔gU/cm 3 〕	^{235}U 濃縮度 〔wt%〕	水反射体付き		裸		$k_{\text{eff}, b}$
				$k_{\text{eff}, r}$	σ	$k_{\text{eff}, b}$	σ	$k_{\text{eff}, r}$
1	円柱	1.0	2.0	0.997	.002	0.988	.002	0.991
2			3.0	1.110	.003	1.090	.004	0.982
3			5.0	1.078	.004	0.975	.004	0.904
4		2.0	1.3	0.993	.002	0.994	.002	1.001
5			1.5	1.006	.003	0.977	.003	0.972
6			2.0	0.995	.004	0.939	.003	0.943
7			3.0	1.002	.004	0.878	.005	0.877
8			5.0	0.990	.004	0.793	.005	0.801
9		4.0	1.3	0.999	.003	0.987	.003	0.988
10			1.5	1.001	.004	0.957	.004	0.956
11			2.0	1.026	.003	0.961	.004	0.937
12			3.0	1.023	.004	0.917	.004	0.897
13			5.0	1.038	.005	0.885	.005	0.852
14	平板	1.0	2.0	1.004	.002	0.995	.002	0.991
15			3.0	1.005	.003	0.910	.004	0.906
16			5.0	1.003	.004	0.759	.004	0.757
17		2.0	1.3	0.999	.002	0.995	.003	0.996
18			1.5	0.999	.003	0.968	.003	0.969
19			2.0	0.985	.003	0.874	.004	0.887
20			3.0	1.008	.004	0.791	.004	0.784
21			5.0	0.989	.004	0.634	.004	0.642
22		4.0	1.3	1.006	.003	0.967	.003	0.962
23			1.5	1.011	.003	0.955	.004	0.945
24			2.0	1.032	.003	0.931	.004	0.902
25			3.0	1.032	.004	0.851	.004	0.824
26			5.0	1.056	.004	0.787	.004	0.745

表5 均質Pu (NO₃)₄水溶液系の実効増倍率算出結果
(KENO -Vコードによる)

燃料 番号	形状	Pu 濃度 (gPu/l)	²⁴⁰ Pu/ ²³⁹ Pu (wt%)	水反射体付き		裸		$k_{eff, b}$
				$k_{eff, r}$	σ	$k_{eff, b}$	σ	$k_{eff, r}$
27	円柱	50	10	0.950	.005	0.716	.004	0.754
28		100	0	1.003	.006	0.692	.006	0.690
29			10	1.007	.004	0.755	.005	0.749
30			30	0.999	.004	0.816	.004	0.817
31		300	10	0.994	.005	0.740	.005	0.745
32	平板	50	10	1.066	.004	0.724	.005	0.679
33		100	0	1.019	.005	0.438	.004	0.430
34			10	1.135	.005	0.754	.005	0.664
35			30	1.004	.004	0.647	.005	0.645
36		300	10	1.120	.005	0.763	.005	0.682

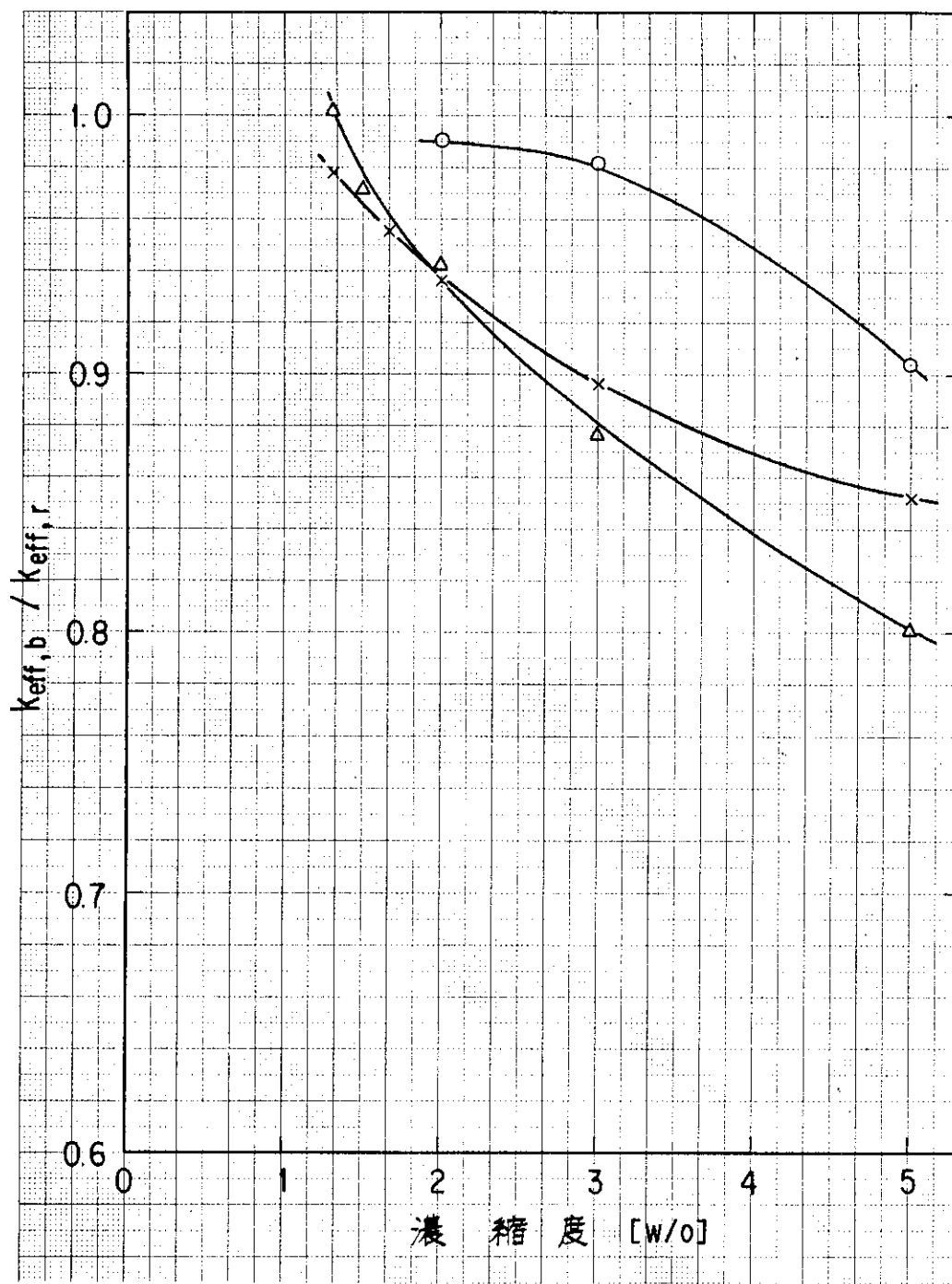


図3 実効増倍率の比 $k_{eff,b}/k_{eff,r}$ と濃縮度との関係
(均質 UO_2-H_2O 燃料, 無限円柱)

図中の記号は以下の通り

記号	ウラン密度 [gU/cm ³]
○	1.0
△	2.0
×	4.0

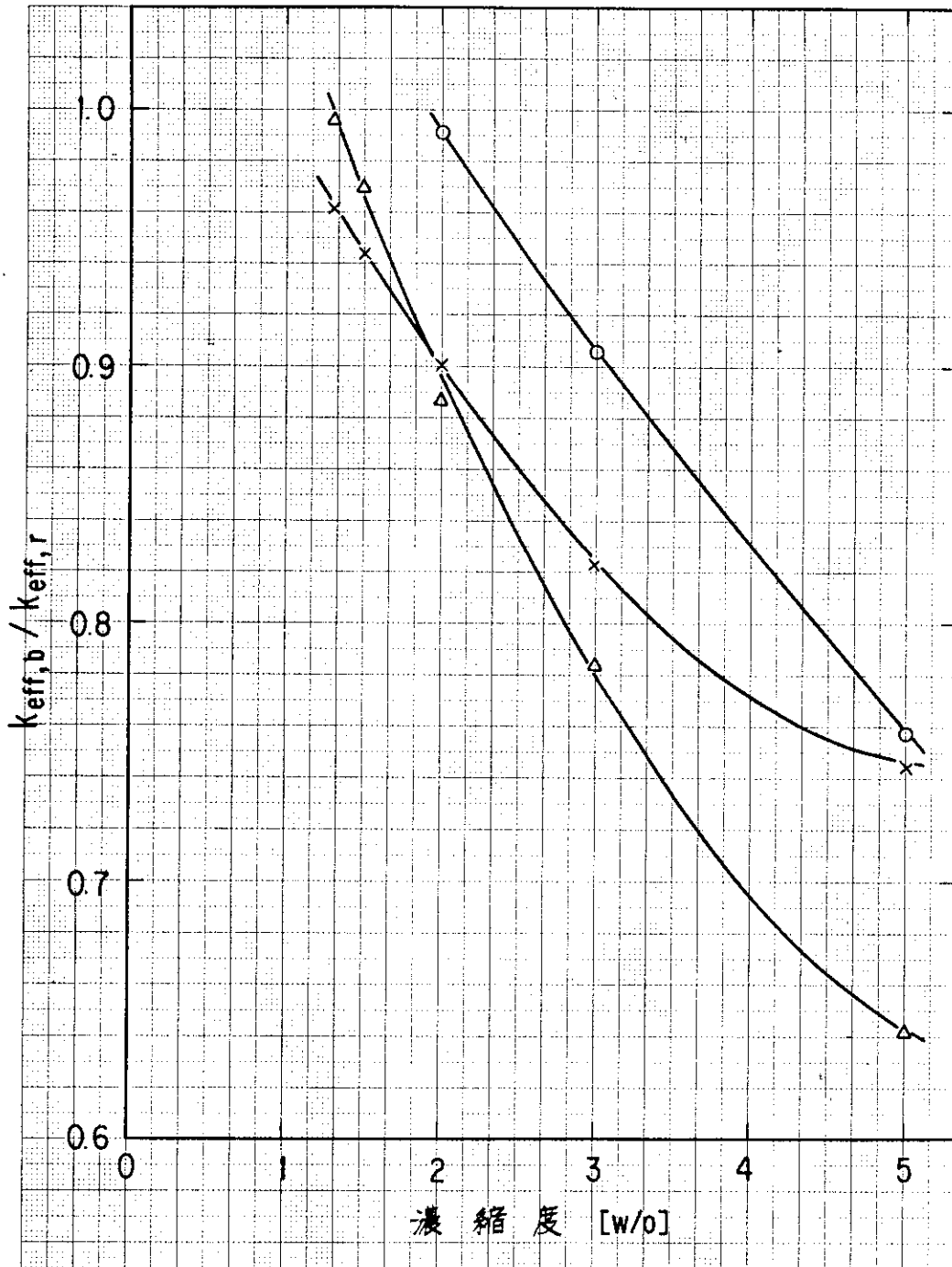


図4 実効増倍率の比 $k_{eff,b} / k_{eff,r}$ と濃縮度との関係
 (均質 UO_2-H_2O 燃料, 無限平板)
 [図中の記号は図3と同じ]

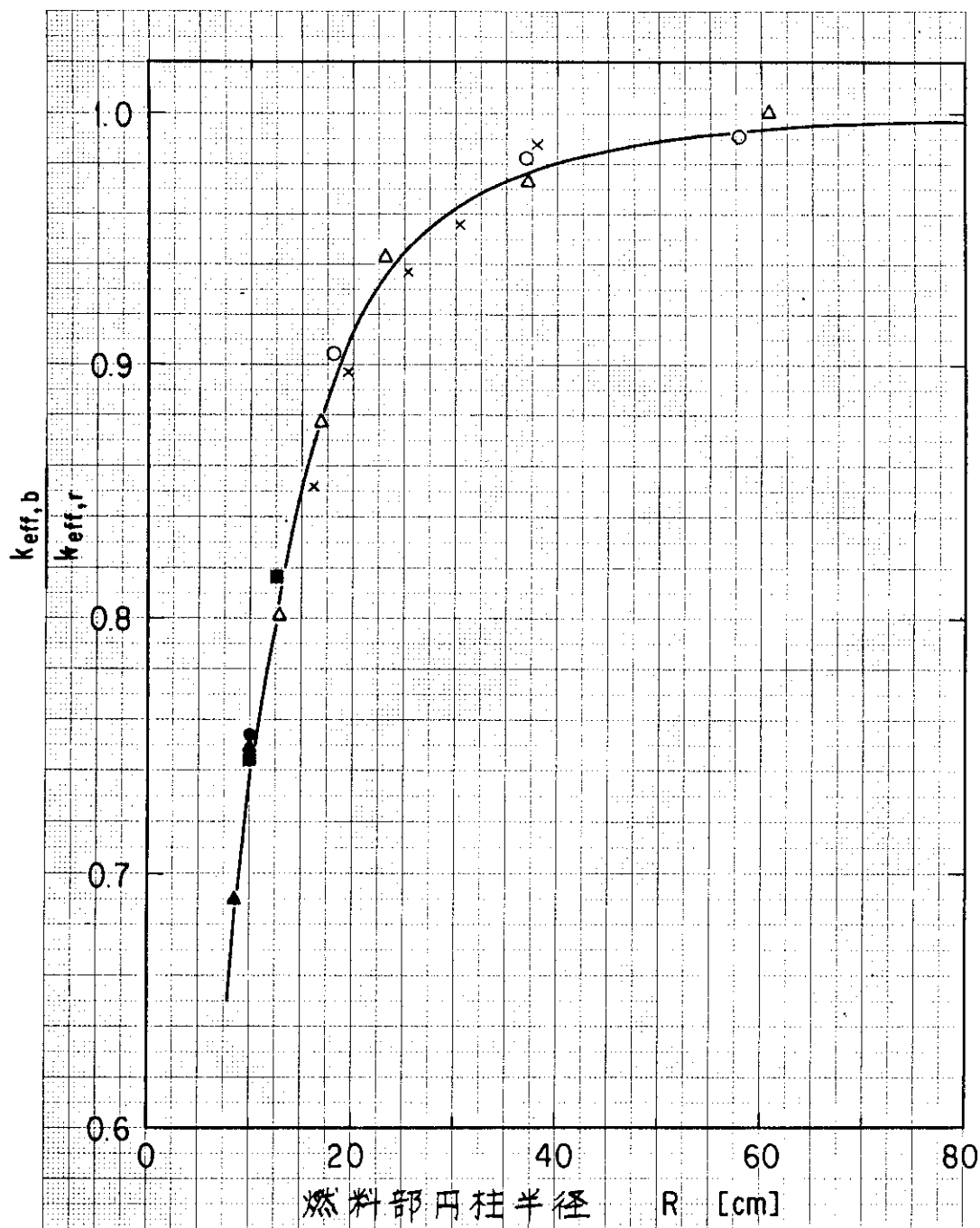


図5 実効増倍率の比 $k_{eff,b}/k_{eff,r}$ と燃料部円柱半径との関係

均質UO₂粉末-H₂O系 (²³⁵U/U = 5wt%)

均質Pu(NO₃)₄水溶液系 (²⁴⁰Pu/²³⁹Pu = 10wt%)

記号	ウラン密度 [gU/cm ³]
○	1.0
△	2.0
×	4.0

記号	プルトニウム密度 [gPu/l]
●	50
▲	100
■	300

実線は式(4.3)を表した。ただし、
 $M^2 = 33 \text{ cm}^2$, $\lambda = 2.4 \text{ cm}$, $\delta = 4.7 \text{ cm}$ である。

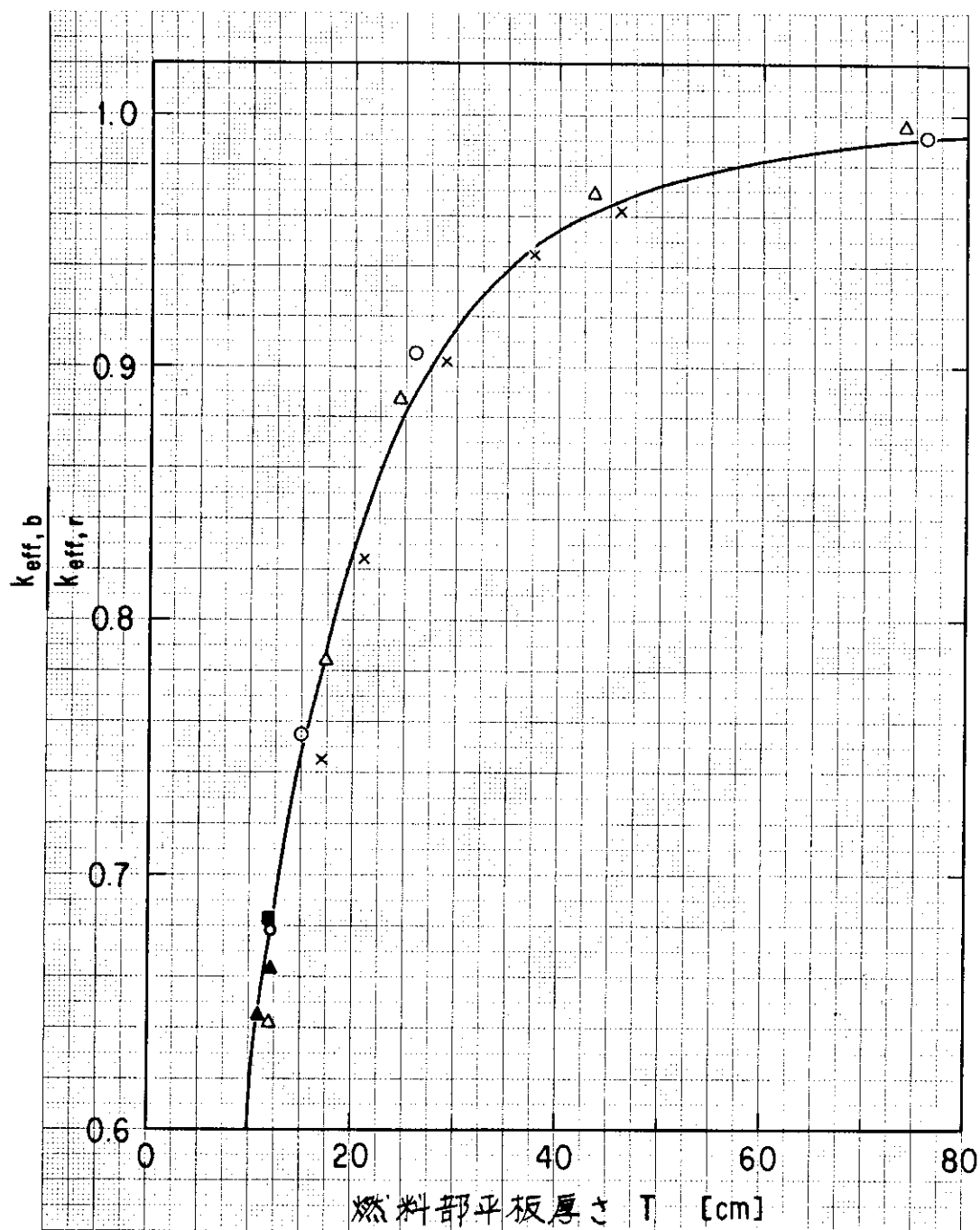


図6 実効増倍率の比 $k_{eff,b}/k_{eff,r}$ と燃料部平板厚さとの関係

〔記号は図5と同じ。実線は式(4.4)を表した。
 ただし、 $M^2=33\text{ cm}^2$, $\lambda=2.1\text{ cm}$, $\delta=4.7\text{ cm}$ である。〕

4. 考 察

図5に示した燃料部半径 R と r との関係は、一群拡散理論を用いると次のように表すことができる。まず、燃料部に反射体を付けない場合、実効増倍率 $k_{\text{eff},b}$ は

$$k_{\text{eff},b} = \frac{k_{\infty}}{1 + \left(\frac{2.405}{R + \lambda}\right)^2 M^2} \quad (4.1)$$

と表わされる。ここで、 k_{∞} は無限増倍率、 M^2 は中性子移動面積、 λ は外挿距離である。また、燃料部に反射体を付けた場合には、実効増倍率 $k_{\text{eff},r}$ は

$$k_{\text{eff},r} = \frac{k_{\infty}}{1 + \left(\frac{2.405}{R + \lambda' + \delta}\right)^2 M'^2} \quad (4.2)$$

と表わされる。ここで δ は反射体節約である。また M'^2 及び λ' はそれぞれ反射体が付いた場合の中性子移動面積及び外挿距離である。 M'^2 及び λ' をそれぞれ M^2 及び λ で近似すると、 r は以下の式で表わされる。

$$r = \frac{k_{\text{eff},b}}{k_{\text{eff},r}} = \frac{1 + \left(\frac{2.405}{R + \lambda + \delta}\right)^2 M^2}{1 + \left(\frac{2.405}{R + \lambda}\right)^2 M^2} \quad (4.3)$$

また、燃料部が無限平板の場合には、その厚さを T とすると、 r は、

$$r = \frac{k_{\text{eff},b}}{k_{\text{eff},r}} = \frac{1 + \left(\frac{\pi}{T + 2\lambda + 2\delta}\right)^2 M^2}{1 + \left(\frac{\pi}{T + 2\lambda}\right)^2 M^2} \quad (4.4)$$

と表わされる。

(4.3)、(4.4) 式の M^2 、 λ 、 δ は以下の手順で算出した。

- (a) KENO-Nにより反射体の有無の実効増倍率を計算する。
- (b) 裸の体系で得られた実効増倍率 $k_{\text{eff},b}$ を簡易臨界計算コード SIMCRIに入力して、対応するバックリング B^2 を求める。この際、無限増倍率 k_{∞} 、中性子移動面積 M^2 も算出される。

(c) 以下の式により裸の体系での外挿距離 λ を求める。

$$B_{\text{bare}}^2 = \left(\frac{2.405}{R + \lambda} \right)^2 \quad (4.5)$$

(d) (4.2) 式に $k_{\text{eff},r}$, k_{∞} , λ , M^2 を代入することにより, 反射体節約 δ が得られる。

k_{∞} , B^2 , M^2 , λ , δ の計算結果を表 6, 表 7 に載せる。

参考のため, 式 (4.3) で M^2 , λ , δ の各パラメータの値を一定にしたときに, 無限円柱の半径 R と反射体有無での実効増倍率の比 r との関係进行调查。表 6, 表 7 で示された値の近似値として, $M^2 = 33 \text{ cm}^2$, $\lambda = 2.4 \text{ cm}$, $\delta = 4.7 \text{ cm}$ とした場合の関係を図 5 に実線で示す。また, 無限平板の厚さ T と反射体有無での実効増倍率の比 r との関係进行调查のため, 式 (4.4) で $M^2 = 33 \text{ cm}^2$, $\lambda = 2.1 \text{ cm}$, $\delta = 4.7 \text{ cm}$ とした。得られた関係を図 6 に実線で示す。いずれの場合も, この実線で示した関係は, KENO - IV の計算値として得られた r をほぼ 2% の誤差でよく近似している。これは今回の計算体系がすべて軽水中に燃料が均一に分散, 又は溶解したものであり, M^2 , λ , δ のパラメータはウラン濃度, ウラン濃縮度, プルトニウムの濃度, ^{239}Pu 比率に大きく依存することはなく, 各体系でそれぞれのパラメータがほぼ同じ値をとっているためといえる。

表6 均質 UO_2 粉末- H_2O 系の移動面積, 外挿距離, 反射体節約
(SIMCRIコードによる)

形状	ウラン密度 〔 gU/cm^3 〕	^{235}U 濃縮度 〔wt%〕	k_∞	B^2 *1 〔 cm^{-2} 〕	M^2 *2 〔 cm^2 〕	λ 〔cm〕	δ 〔cm〕	
円柱	1.0	2.0	1.045	1.749×10^{-3}	32.89	—	5.36	
		3.0	1.219	3.670	32.05	2.55	3.87	
		5.0	1.407	1.401×10^{-2}	31.64	2.32	4.17	
	2.0	1.3	1.043	1.478×10^{-3}	33.45	1.81	—	
		1.5	1.101	3.807	33.29	1.73	6.13	
		2.0	1.210	8.717	33.11	2.51	4.05	
		3.0	1.343	1.600×10^{-2}	33.11	2.26	4.69	
		5.0	1.473	2.581	33.21	2.22	4.88	
	4.0	1.3	1.099	3.166×10^{-3}	35.91	4.74	2.82	
		1.5	1.142	5.369	36.07	2.32	5.66	
		2.0	1.220	7.494	35.93	2.53	3.16	
		3.0	1.311	1.198×10^{-2}	35.90	2.47	5.16	
		5.0	1.396	1.627	35.46	2.60	5.56	
	平板	1.0	2.0	1.045	1.554×10^{-3}	32.64	1.85	4.33
			3.0	1.219	1.047×10^{-2}	32.42	2.35	4.01
5.0			1.407	2.597	32.83	2.25	4.44	
2.0		1.3	1.043	1.469×10^{-3}	33.33	3.99	1.94	
		1.5	1.101	4.127	33.25	2.70	3.92	
		2.0	1.210	1.149×10^{-2}	33.42	2.40	4.36	
		3.0	1.343	2.075	33.67	2.15	4.91	
		5.0	1.473	3.791	34.87	2.07	5.19	
4.0		1.3	1.099	3.780×10^{-3}	36.04	2.55	5.37	
		1.5	1.142	5.423	36.08	2.58	4.84	
		2.0	1.220	8.621	36.12	2.42	5.18	
		3.0	1.311	1.488×10^{-2}	36.39	2.38	5.33	
		5.0	1.400	2.132	36.27	2.26	5.92	

* 1 裸の体系に対するバックリング

* 2 " 移動面積

表7 均質 Pu (NO₃)₄ 水溶液系の移動面積, 外挿距離, 反射体節約

形状	Pu 濃度 〔gPu/l〕	²⁴⁰ Pu/ ²³⁹ Pu 〔wt %〕	k _∞	B ² 〔cm ⁻² 〕	M ² 〔cm ² 〕	λ 〔cm〕	δ 〔cm〕
円柱	50	10	1.589	3.885 × 10 ⁻²	31.40	2.20	4.23
	100	0	1.803	5.106 × 10 ⁻²	31.47	2.14	4.46
		10	1.630	3.839	30.18	2.27	4.53
		30	1.474	2.734	29.45	2.29	4.39
	300	10	1.565	3.763 × 10 ⁻²	29.60	2.40	4.87
平板	50	10	1.589	3.812 × 10 ⁻²	31.32	2.05	4.51
	100	0	1.803	8.680 × 10 ⁻²	35.87	1.83	4.39
		10	1.630	3.849	30.19	2.01	5.06
		30	1.474	4.179	30.57	2.18	5.01
	300	10	1.565	3.563 × 10 ⁻²	29.47	2.32	5.20

5. 結 論

均質 UO_2 粉末- H_2O 系 (空隙なし) と均質 $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ 水溶液系を対象として、燃料濃度(ウラン濃度またはプルトニウム濃度)と燃料の同位体組成 (^{235}U 濃縮度またはプルトニウム同位体化 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$) とを変化させて、これらの燃料が反射体付きではほぼ臨界となる燃料寸法 (無限円柱半径又は無限平板厚さ) を設定した。次に個々の燃料体系で水反射体が周囲に付いている場合の実効増倍率 $k_{\text{eff},r}$ と付かない場合の実効増倍率 $k_{\text{eff},b}$ とを KENO-N により算出した。これらの比 $r = k_{\text{eff},b}/k_{\text{eff},r}$ をすべての燃料体系について燃料寸法ごとに図示すると、この r が燃料寸法の増加関数として表わされることがわかった。さらにこの関係は移動距離、外挿距離、反射体節約の値を算出することにより一群拡散モデルによってよく説明されることがわかった。これにより、水反射体付きで臨界となる燃料体系に対して反射体のない場合の実効増倍率が推定できる。この値は立体角法で燃料貯蔵容器などの配列系の臨界安全評価を行う際の裸の実効増倍率として使用できる。

以上の検討の結果、 $r = k_{\text{eff},b}/k_{\text{eff},r}$ が 0.8 以上になることがあること、また、その比が形状寸法の単純な関数として合理的に表現されることがわかった。 r が 0.8 より大きくなる場合があるということは、燃料の形状寸法として反射体ありの燃料ユニットの許容体積、円柱直径又は平板厚さをとったときに実効増倍率を 0.8 と評価すると非安全側になりうることを示している。

謝 辞

本研究の実施に際し御指導をいただいた、コンピューターサービス(株)の中丸昇一氏、原研燃料安全工学部プラント安全解析研究室の小室雄一氏に深く感謝いたします。また、本報告書の原稿を閲読し、有益な御意見をいただいた原研燃料安全工学部臨界安全研究室の須崎武則氏に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) J.T. THOMAS (ed.), "Nuclear Safety Guide, TID-7016, Revision 2," NUREG/CR-0095 (1978).
- 2) J. KATAKURA, Y. NAITO and Y. KOMURO, "Development of the Computer Code System JACS for Criticality Safety, Trans. Am. Nucl. Soc. 41 (1982) 329.
- 3) L.M. PETRIE and N.F. CROSS, "KENO IV - An Improved Monte Carlo Criticality Program," ORNL-4938 (1975)
- 4) R.G. Soltész, "Revised WANL ANISN Program User's Manual," WANL-TMI-1967 (1967).
- 5) S. NAKAMARU et al., "SIMCRI : A Simple Computer Code for Calculating Nuclear Criticality Parameters," JAERI-M 86-027 (1986).
- 6) Y. NAITO et al., "MGCL-PROCESSOR : A Computer Code System for Processing Multigroup Constants Library MGCL," JAERI-M 9396 (1981).

付録 A 計算上の補足事項

A. 1 原子個数密度の算出法

巨視的断面積作成コードMAILに入力した各核種の原子個数密度は、以下のようにして算出した。また、計算結果を表A.1に示す。

(a) $\text{UO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ 系

ウランの原子個数密度 N_U^{235} 、 N_U^{238} 〔 $1/\text{cm}^3$ 〕は下式によって計算される。(以下、上添字は原子量、下添字は原子記号を表す。)

$$N_U^{235} = A_V \cdot C_U \frac{e}{100 A_U^{235}} \quad (\text{A. 1})$$

$$N_U^{238} = A_V \cdot C_U \frac{100 - e}{100 A_U^{238}} \quad (\text{A. 2})$$

ここで

- e : U濃縮度〔wt%〕
- C_U : U濃度〔 gU/cm^3 〕
- A_V : アボガドロ数
- A : 原子量

である。

この系で UO_2 が単位体積中に占める体積 V_{UO_2} は、 UO_2 の分子量を A_{UO_2} 、密度を ρ_{UO_2} 〔 g/cm^3 〕とすると、

$$V_{\text{UO}_2} = \frac{1}{A_U \rho_{\text{UO}_2}} (N_U^{235} A_{\text{UO}_2}^{235} + N_U^{238} A_{\text{UO}_2}^{238}) \quad (\text{A. 3})$$

となる。ただし、 UO_2 の密度は ^{235}U 、 ^{238}U の場合で変化しないものと仮定した。

次に、 UO_2 と水とが隙間なく詰められていると考え、水素、酸素の原子個数密度 N_H 、 N_O は、

$$N_H = \frac{2 A_V \rho_{\text{H}_2\text{O}}}{A_{\text{H}_2\text{O}}} (1 - V_{\text{UO}_2}) \quad (\text{A. 4})$$

$$N_O = \frac{1}{2} N_H + 2 (N_U^{235} + N_U^{238}) \quad (\text{A. 5})$$

と与えられる。ここで $A_{\text{H}_2\text{O}}$ は水の分子量、 $\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ は水の密度〔 g/cm^3 〕である。

(b) Pu (NO₃)₄ 水溶液系

Pu 濃度 C_{Pu} (gPu/ℓ), 温度 T (°C) の Pu (NO₃)₄ 水溶液の密度 ρ (g/cm³) は,

$$\rho = 0.99708 + 1.65625 \times 10^{-3} C_{Pu} - 5.9915 \times 10^{-4} (T - 25) - 1.4217 \times 10^{-6} C_{Pu} (T - 25) - 3.418 \times 10^{-8} (C_{Pu})^2 \quad (\text{A. 6})$$

により求めることができる¹⁾

²⁴⁰Pu / ²³⁹Pu が e (wt %) に対する各原子個数密度 N (1/cm³) は,

$$N_{Pu}^{239} = \frac{A_V \cdot C_{Pu} \cdot 10^{-3}}{A_{Pu}^{239}} \cdot \frac{100}{100 + e} \quad (\text{A. 7})$$

$$N_{Pu}^{240} = \frac{A_V \cdot C_{Pu} \cdot 10^{-3}}{A_{Pu}^{240}} \cdot \frac{e}{100 + e} \quad (\text{A. 8})$$

$$N_H = \frac{2 A_V}{A_{H_2O}} \left\{ \rho - \frac{1}{A_V} (N_{Pu}^{239} A_{Pu(NO_3)_4}^{239} + N_{Pu}^{240} \cdot A_{Pu(NO_3)_4}^{240}) \right\} \quad (\text{A. 9})$$

$$N_O = \frac{1}{2} N_H + 12 (N_{Pu}^{239} + N_{Pu}^{240}) \quad (\text{A. 10})$$

$$N_N = 4 (N_{Pu}^{239} + N_{Pu}^{240}) \quad (\text{A. 11})$$

により算出される。

計算では以下の数値を使用した。

A _H	: 1.0079
A _O	: 14.0062
A _N	: 15.9997
A _U ²³⁵	: 235.0439
A _U ²³⁸	: 238.0508
A _{Pu} ²³⁹	: 239.0522
A _{Pu} ²⁴⁰	: 240.0538
A _V	: 6.022045 × 10 ²³
ρ _{H₂O}	: 0.996516 (g/cm ³) (27 °C)
ρ _{UO₂}	: 10.97 (g/cm ³)

参 考 文 献

- 1) 館盛勝一, 阿見則男, 三好慶典, 「ウラン, プルトニウム溶液系の臨界計算, I (溶液密度と原子個数の考察)」, JAERI - M 83 - 047 (1983)

表A. 1 原子個数密度

UO₂-H₂O系 〔 1/barn・cm 〕

ウラン密度 〔gU/cm ³ 〕	²³⁵ U濃縮度 〔wt%〕	²³⁵ U	²³⁸ U	H	O
1	2.0	5.12418×10^{-5}	2.47914×10^{-3}	5.97315×10^{-2}	3.49265×10^{-2}
	3.0	7.68628	2.45384	5.97314	3.49271
	5.0	1.28105×10^{-4}	2.40324	5.97314	3.49283
2	1.3	6.66144×10^{-5}	4.99369×10^{-3}	5.28421×10^{-2}	3.65417×10^{-2}
	1.5	7.68628	4.98357	5.28420	3.65419
	2.0	1.02484×10^{-4}	4.95827	5.28419	3.65425
	3.0	1.53726	4.90768	5.28417	3.65437
	5.0	2.56209	4.80649	5.28413	3.65461
4	1.3	1.33229×10^{-4}	9.98738×10^{-3}	3.90631×10^{-2}	3.97727×10^{-2}
	1.5	1.53726	9.96714	3.90630	3.97732
	2.0	2.04968	9.91655	3.90628	3.87744
	3.0	3.07451	9.81536	3.90623	3.97768
	5.0	5.12419	9.61298	3.90615	3.97815

Pu (NO₃)₄ 水溶液系 〔 1/barn・cm 〕

Pu濃度 〔gPu/l〕	²⁴⁰ Pu/ ²³⁹ Pu 〔wt%〕	²³⁹ Pu	²⁴⁰ Pu	H	N	O
50	10.0	1.14506×10^{-4}	1.14028×10^{-5}	6.52903×10^{-2}	5.03636×10^{-4}	3.41561×10^{-2}
100	0.0	2.51913×10^{-4}	0.0	6.39879×10^{-2}	1.00765×10^{-3}	3.50169×10^{-2}
	10.0	2.29012	2.28057×10^{-5}	6.39906	1.00727	3.50171
	30.0	1.93780	5.78913	6.39946	1.00668	3.50173
300	10.0	6.87037×10^{-4}	6.84170×10^{-5}	5.86771×10^{-2}	3.02181×10^{-3}	3.84040×10^{-2}

A. 2 ジョブ制御文

(1) KENO-N用巨視的断面積作成のためのMAILのジョブ制御文

```

MEMBER NAME KENODATA
//JCLG JOB
//JCLG EXEC JCLG
//SYSIN DD DATA,DLM='++'
// JUSER 92259063,TS.MISAWA,0954.01
// T.1 W.0 I.4 C.4 OPN
// OPTP PASSWORD=M,NOTIFY=J9063,MSGLEVEL=(1,1)
//*****
//**** MAIL DATA FOR KENO4
//*****
//MLKN PROC MAILIN=,U=VIO,
// SP1='(TRK,(30,10))',
// DCB='(RECFM=VBS,LRECL=19064,BLKSIZE=19068)'
//*-----
//MAIL EXEC PGM=TEMPNAME,COND=(0,LT),PARM='FLIB(ERRCUT=0)'
//STEPLIB DD DSN=J3069.MAIL.LOAD,DISP=SHR
//FT01F001 DD DSN=J3375.CL137300.DATA,DISP=SHR,LABEL=(,,IN)
//FT02F001 DD UNIT=&U,SPACE=&SP1,DISP=NEW,DCB=&DCB
//FT03F001 DD SPACE=(TRK,(10,5,2),RLSE),DISP=OLD,
// DCB=(RECFM=VBS,LRECL=19064,BLKSIZE=19068,DSORG=PO),
// DSN=J9063.KENO1.DATA(U025W)
//FT05F001 DD DSN=&MAILIN,DISP=SHR,LABEL=(,,IN)
//FT06F001 DD SYSOUT=*
//FT31F001 DD DSN=J3375.SM137300.DATA,DISP=SHR,LABEL=(,,IN)
//*****--
//MLKN PEND
//*****
//SAMPLE EXEC MLKN,
// MAILIN=J9063.INP.DATA(MLU025W)
++
//

```

(2) ANISN - JR 巨視的断面積作成のためのMAILのジョブ制御文

```

MEMBER NAME ANISDATA
//JCLG JOB
// EXEC JCLG
//SYSIN DD DATA,DLM='++'
// JUSER 92259063,TS.MISAWA,0954.01
// T.2 W.0 C.4 I.5 OPN
// OPTP PASSWORD=M,NOTIFY=J9063,MSGLEVEL=(1,1)
//*****
//***** SUPER-MAIL FOR ANISN
//*****
//MLAN PROC MAILIN=,
// DCB='(RECFM=VBS,LRECL=19064,BLKSIZE=19068,DSORG=PS)',
// LP='(,PASS)',LS='(TRK,(10,30))',LU='TSSWK',
// LB='(RECFM=VBS,LRECL=13026,BLKSIZE=13030)',
// WS='(TRK,(30,50))',WU='WK10',
// WB='(RECFM=VBS,LRECL=19064,BLKSIZE=19068,DSORG=PS)',
// MGCL='J3375.CL137300.DATA',
// SMF='J3375.SM137300.DATA',
// MACRO='J3069.MACRO137.DATA'
//*-----
//MAIL EXEC PGM=MAIN
//STEPLIB DD DSN=J3069.SUPRMAIL.LOAD,DISP=SHR,LABEL=(,,IN)
// DD DSN=SYS1.FORTLIBL,DISP=SHR
//FT01F001 DD DSN=&MGCL,DISP=SHR,LABEL=(,,IN)
//FT02F001 DD SPACE=&WS,UNIT=&WU,DCB=&WB
//*T03F001 DD DSN=&KLIB,SPACE=&LS,UNIT=&LU,DCB=&LB,DISP=&LD
//FT04F001 DD UNIT=D095B,SPACE=(TRK,(30,10,5),RLSE),DISP=OLD,
// DCB=&DCB,DSN=J9063.ANISDATA.DATA(U022W)
//FT05F001 DD DSN=&MAILIN,DISP=SHR,LABEL=(,,IN)
//FT06F001 DD SYSOUT=*
//FT10F001 DD DSN=&MACRO,DISP=SHR,LABEL=(,,IN)
//FT11F001 DD SPACE=&WS,UNIT=&WU,DCB=&WB
//FT15F001 DD SPACE=&WS,UNIT=&WU,DCB=&WB
//FT31F001 DD DSN=&SMF,DISP=SHR,LABEL=(,,IN)
//FT32F001 DD SPACE=&WS,UNIT=&WU,DCB=&WB
//FT33F001 DD SPACE=&WS,UNIT=&WU,DCB=&WB
//FT41F001 DD SPACE=&WS,UNIT=&WU,DCB=&WB
//FT42F001 DD SPACE=&WS,UNIT=&WU,DCB=&WB
//*T50F001 DD DSN=&MLIB,SPACE=&LS,UNIT=&LU,DCB=&LB,DISP=&LD
//*-----
//MLAN PEND
//*****
//SAMPLE EXEC MLAN,
// MAILIN=J9063.JCL1.DATA(BKEU023S)
++
//

```

(3) KENO - N のジョブ制御文

```

MEMBER NAME KENORUN
//JCLG JOB
//JCLG EXEC JCLG
//SYSIN DD DATA,DLM='++'
// JUSER 92259063,TS.MISAWA,0954.01
// T.6 W.1 I.3 C.4 OPN
// OPTP PASSWORD=M,NOTIFY=J9063,MSGLEVEL=(1,1)
//*****
//*** KENO4 ****
//*****
//MLKN PROC KENOIN=,U=VIO,
// SP1='(TRK,(30,10))',SP2='(CYL,(5,2))',SP3='(TRK,(30,10,1))',
// DCB='(RECFM=VBS,LRECL=19064,BLKSIZE=19068)'
//*-----
// FORT EXEC PGM=JZKAFORT,REGION=768K,COND=(4,LT),
// PARM='LINECOUNT(0),LANGVL(66)'
//SYSPRINT DD DUMMY
//SYSLIN DD UNIT=&U,SPACE=&SP1,DISP=(,PASS)
//SYSIN DD DDNAME=FORT
//*-----
//LINK EXEC PGM=JQAL,REGION=512K,COND=(4,LT),PARM='NOLIST,LET
//SYSLIB DD DSN=SYS1.FORTLIB,DISP=SHR
//SYSPRINT DD DUMMY
//SYSUT1 DD UNIT=&U,SPACE=&SP1
//SYSLMOD DD UNIT=&U,SPACE=&SP3,DISP=(,PASS)
//SYSLIN DD DSN=*.FORT.SYSLIN,DISP=(OLD,DELETE)
// DD DDNAME=LINK
//OLDLM DD DSN=J0000.KENO4.LOAD,DISP=SHR,LABEL=(,,IN)
//*-----
//KENO EXEC PGM=TEMPNAME,COND=(0,LT),PARM='FLIB(ERRCUT=0)'
//STEPLIB DD DSN=*.LINK.SYSLMOD,DISP=(OLD,DELETE)
//FT05FO01 DD DSN=&KENOIN,DISP=SHR,LABEL=(,,IN)
//FT06FO01 DD SYSOUT=*
//FT18FO01 DD UNIT=&U,SPACE=&SP1
//FT41FO01 DD DSN=J9063.KENO1.DATA(UO23W),DISP=SHR
//FT91FO01 DD DUMMY
//MLKN PEND
//*****
//SAMPLE EXEC MLKN,
// KENOIN=J9063.INPUTSAV.DATA(KEUO23CY)
//FORT.FORT DD *
// SUBROUTINE ALOCAT( PROGM )
// COMMON D(200000)
// CALL PROGM(D,200000)
// RETURN
// END
//
//LINK.LINK DD *
// INCLUDE OLDLM(TEMPNAME)
// ENTRY MAIN
// NAME TEMPNAME
//
//
//
//

```

(4) ANISN-JRのジョブ制御文

```

MEMBER NAME ANISNRUN
//JCLG JOB
// EXEC JCLG
//SYSIN DD DATA,DLM='++'
// JUSER 92259063,TS.MISAWA,0954.01
   T.8   W.1   C.4   I.4   OPN NGT
   OPTP PASSWORD=M,NOTIFY=J9063,MSGLEVEL=(1,1)
//*****
//***** ANISN
//*****
//MLAN PROC ANISNIN=,U=VIO,
// SP1='(TRK,(30,10))',SP3='(TRK,(30,50,3))',WU='WK10',
// WB='(RECFM=VBS,LRECL=19064,BLKSIZE=19068,DSORG=PS)'
//*-----
//FORT EXEC PGM=JZKAFORT,REGION=768K,COND=(4,LT),
// PARM='LINECOUNT(0),LANGLVL(77)'
//SYSPRINT DD DUMMY
//SYSLIN DD UNIT=&U,SPACE=&SP1,DISP=(,PASS)
//SYSIN DD DDNAME=FORT
//*-----
//LINK EXEC PGM=JQAL,REGION=512K,COND=(4,LT),PARM='NOLIST,LET'
//SYSLIB DD DSN=SYS1.FORTLIB,DISP=SHR
//SYSPRINT DD DUMMY
//SYSUT1 DD UNIT=&U,SPACE=&SP1
//SYSLMOD DD UNIT=&U,SPACE=&SP3,DISP=(,PASS)
//SYSLIN DD DSN=*.FORT.SYSLIN,DISP=(OLD,DELETE)
// DD DDNAME=LINK
//OLDLM DD DSN=J9005.ANISNX.LOAD,DISP=SHR,LABEL=(,,IN)
//*-----
//ANISN EXEC PGM=TEMPNAME,COND=(0,LT),PARM='FLIB(ERRCUT=0)'
//STEPLIB DD DSN=*.LINK.SYSLMOD,DISP=(OLD,DELETE)
//FT01FO01 DD UNIT=&WU,SPACE=&SP1,DISP=(NEW,PASS),DCB=&WB
//FT02FO01 DD UNIT=&WU,SPACE=&SP1,DISP=(NEW,PASS),DCB=&WB
//FT04FO01 DD DSN=J9063.ANISDATA.DATA(UO23W),DISP=SHR,LABEL=(,,
//FT05FO01 DD DSN=&ANISNIN,DISP=SHR,LABEL=(,,IN)
//FT06FO01 DD SYSOUT=*
//FT20FO01 DD UNIT=&WU,SPACE=&SP1,DISP=(NEW,PASS),DCB=&WB
//MLAN PEND
//*****
//SAMPLE EXEC MLAN,
// ANISNIN=J9063.INPUT.DATA(S1620)
//FORT DD *
COMMON/ BULKBU / D(1),LIM1,DUMY(190000)
LIM1=190000
REWIND 30
CALL ERRSET(209,15,-1,1)
CALL DTLIST
CALL ANISN
STOP
END
SUBROUTINE DTLIST
C
CHARACTER CARD*80
C
REWIND 5
WRITE(6,6000) (I , I=1,8 )
LC = 1
NO = 1
C

```

```

MEMBER NAME  ANISNRUN
              10 CONTINUE
                READ(5,5000,END=1000) CARD
                WRITE(6,6010) NO , CARD
                LC = LC + 1
                NO = NO + 1
                IF (LC .EQ. 50 ) THEN
                    WRITE(6,6020)
                    WRITE(6,6000) ( I , I=1,8 )
                    LC=1
                END IF
                                                    GO TO 10
C
1000 CONTINUE
    WRITE(6,6020)
    REWIND 5
C
                                                    RETURN
C
5000 FORMAT( A80 )
6000 FORMAT('1' /// 50X , '      INPUT DATA IMAGE LIST
&          // 20X , 'CARD ' , 8(9X,I1)
&          / 20X , ' SEQ.' , 8('-----5-----0') )
6010 FORMAT(20X , I4 , 1X , A80 )
6020 FORMAT(25X ,8('-----5-----0') )
C
                                                    END
/*
//LINK.LINK DD *
    INCLUDE OLDLM(TEMPNAME)
    ENTRY    MAIN
    NAME     TEMPNAME
/*
++
//

```

・(5) SIMCRI のジョブ制御文

```

MEMBER NAME  SIMCRI
//JCLG JOB
//JCLG EXEC JCLG
//SYSIN DD DATA,DLM='++'
// JUSER 92259063,TS.MISAWA,0954.01
    T.O W.O I.2 C.3 OPN
    OPTP PASSWORD=M,NOTIFY=J9063,MSGLEVEL=(1,1)
//*****
//***  SIMCRI  ****
//*****
//SIMCRI EXEC LMGO,LM=J9005.SIMCRI,PNM=FLAT
//RUN.FT41FOO1 DD DSN=J9063.KENODATA.DATA(U022W),
//          DISP=SHR,LABEL=(,,IN)
    *TEST RUN OF SIMCRI U02-H20 2.0W%
      1 1 0
++
//

```


付録 B ANISN-JRとKENO-IVの計算結果の比較

序論で述べた核燃料取扱施設での臨界安全性を評価するための計算では、一般にモンテカルロ法が用いられるが、この理由の一つとして、モンテカルロ法が複雑な体系での解析も可能であることがいえる。しかし今回行った解析で用いた体系の幾何形状は無限平板と無限円柱という最も単純なモデルであるため、臨界安全解析コードシステムJACSに含まれている一次元 S_N コードANISN-JRによる計算も行い、KENO-Nとの比較を試みた。ANISN-JRの計算は S_4 近似で、メッシュ間隔は0.8cmとした。

表B.1, B.2にその結果を示す。水反射体の有る場合と裸の場合共に、ANISN-JRでの値はKENO-Nのものと同じ一致をしていることがわかる。裸の体系で2%ほどずれているケースは、体系が小さいためANISN-JRの S_N 次数が十分でなかったためと思われる。

なお参考として、ANISN-JRの計算で、メッシュ間隔と S_N 次数を変えたときの k_{eff} の値を表B.3, B.4に示す。

表B.1 ANISN-JRとKENO-Nによる k_{eff} の比較(1)

(水反射体付き)

形状	ウラン密度 〔gU/cm ³ 〕	²³⁵ U濃縮度 〔wt%〕	ANISN-JR	KENO-N		$k_{eff,A}$
			$k_{eff,A}$	$k_{eff,K}$	σ	$k_{eff,K}$
円柱	2.0	2	0.9936	0.995	.004	0.999
		3	1.0020	1.002	.004	1.000
		5	0.9895	0.990	.004	0.999
平板	2.0	2	0.9819	0.985	.003	0.997
		3	1.0026	1.008	.004	0.995
		5	0.9859	0.989	.004	0.997
形状	Pu濃度 〔gPu/l〕	²⁴⁰ Pu/ ²³⁹ Pu 〔wt%〕	ANISN-JR	KENO-N		$k_{eff,A}$
			$k_{eff,A}$	$k_{eff,K}$	σ	$k_{eff,K}$
円柱	50	10	0.9509	0.950	.005	1.001
	100		1.0056	1.007	.004	0.999
	300		0.9998	0.994	.005	1.006
平板	50	10	1.0646	1.066	.004	0.999
	100		1.1270	1.135	.005	0.993
	300		1.1172	1.120	.005	0.998

表B. 2 ANISN-JRとKENO-Nによる k_{eff} の比較(2)

(裸)

形状	ウラン濃度 (gU/cm ³)	²³⁵ U濃縮度 (wt%)	ANISN-JR	KENO-N		$k_{eff,A}$
			$k_{eff,A}$	$k_{eff,K}$	σ	$k_{eff,K}$
円柱	2.0	2	0.9386	0.939	.003	1.000
		3	0.8851	0.878	.005	1.008
		5	0.7991	0.793	.005	1.008
平板	2.0	2	0.8716	0.874	.004	0.997
		3	0.7904	0.791	.004	0.999
		5	0.6192	0.634	.004	0.977
形状	Pu濃度 (gPu/l)	²⁴⁰ Pu/ ²³⁹ Pu (wt%)	ANISN-JR	KENO-N		$k_{eff,A}$
			$k_{eff,A}$	$k_{eff,K}$	σ	$k_{eff,K}$
円柱	50	10	0.7151	0.716	.004	0.999
	100		0.7560	0.755	.005	1.001
	300		0.7374	0.740	.005	0.996
平板	50	10	0.7174	0.724	.005	0.991
	100		0.7609	0.754	.005	1.009
	300		0.7442	0.763	.005	0.975

表 B. 3 ANISN-JRでのメッシュ間隔と S_N 次数の
変化による $k_{eff}(1)$

UO₂-H₂O系 (3.0 w/o, 2.0 gU/cm³)
水反射体付き無限円柱 (直径 33.5 cm)

メッシュ間隔 〔cm〕	S ₂	S ₄	S ₈	S ₁₆
8.4	0.9207	0.9289	0.9244	0.9182
5.6	0.9285	0.9339	0.9327	0.9323
4.2	0.9493	0.9537	0.9520	0.9517
2.1	1.0048	0.9953	0.9939	0.9923
1.4	1.0038	1.0021	0.9987	0.9977
1.0	1.0034	1.0019	0.9995	0.9985
0.8	1.0030	1.0014	0.9990	0.9980

表 B. 4 ANISN-JRでのメッシュ間隔と S_N 次数の
変化による $k_{eff}(2)$

Pu (NO₃)₄ 水溶液 (²⁴⁰Pu/²³⁹Pu = 10w/o)
裸の無限平板 (厚さ 10.0 cm)

Pu 濃度 〔gPu/l〕	メッシュ間隔 〔cm〕	S ₄	S ₈	S ₁₆
50	0.83	0.7174	0.7248	0.7263
	0.63	0.7176	0.7251	0.7266
	0.50	0.7177	0.7252	0.7267
100	0.83	0.7609	0.7689	0.7705
	0.63	0.7612	0.7691	0.7707
	0.50	0.7613	0.7693	0.7708
300	0.83	0.7442	0.7520	0.7536
	0.63	0.7444	0.7523	0.7538
	0.50	0.7445	0.7524	0.7540