

JAERI-Tech
99-033



JP9950291



臨界安全評価に利用できる反射材・隔離材
効果に関するデータ
(受託研究)

1999年3月

奥野 浩・片倉純一

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。
入手の間合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越しください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.
Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 〒319-1195, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1999

編集兼発行 日本原子力研究所

臨界安全評価に利用できる反射材・隔離材効果に関するデータ
(受託研究)

日本原子力研究所東海研究所安全性試験研究センター燃料サイクル安全工学部
奥野 浩・片倉 純一⁺

(1999年2月22日受理)

臨界安全評価の際に、評価対象をモデル化する。このうち、反射材及び隔離材をモデル化する上で有用な、これらの影響を示すデータを数値計算により算出した。(1)ステンレス鋼製の容器壁の反射の影響を、外側に反射体がない場合、及び外側に水反射体が付いている場合に検討した。(2)非減速燃料でコンクリートを隔離材とするときに、それらを介在中性子相互作用の大きさを表わす係数 R_F を導入し、その係数と隔離材の厚さの関係を示した。(3)隔離厚さと水素原子の原子個数密度との関係をさまざまな隔離材の種類について求めた。これらの計算結果は、既に「臨界安全ハンドブック」に引用されている。ここに、それらの計算の詳細を公開する。

この報告書は、電源開発促進対策特別法に基づく科学技術庁からの受託として行った研究成果である。

東海研究所：〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4

+ エネルギーシステム研究部

Reflector and Isolator Effects Data
Applicable to Nuclear Criticality Safety Evaluation
(Contract Research)

Hiroshi OKUNO and Jun-ichi KATAKURA +

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

(Received February 22, 1999)

For nuclear criticality safety assessment, the evaluation object is usually modelled. We made numerical calculations to obtain those data showing reflector and isolator effects that are applicable to nuclear criticality safety evaluation. (1) Effects of vessel wall made of stainless steel were examined with and without water reflector outside the vessel wall. (2) The neutron interactions through a concrete isolator, expressed by a factor RF, were shown as a function of isolator thickness for non-moderated fuels. (3) The relations of isolator thickness and atomic number densities of hydrogen were examined for various isolators. Only the results of above calculations were cited in the Nuclear Criticality Safety Handbook of Japan. We publish the details of calculations in this report.

Keywords : Reflector, Isolator, RF, Stainless Steel, Water, Concrete, Safety, Criticality,
Handbook

This work was carried out by the Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI) under entrustment by the Science and Technology Agency (STA) of Japan.

+ Department of Nuclear Energy System

目 次

1. はじめに.....	1
2. 容器壁の反射効果.....	2
3. 非減速燃料でのRFのコンクリート隔離材厚さ依存性.....	8
4. 隔離厚さと水素原子の原子個数密度との関係.....	12
5. おわりに.....	17
謝辞.....	17
参考文献.....	17

Contents

1. Introduction.....	1
2. Reflector Effect of Vessel Wall.....	2
3. Dependence of RF on Concrete Isolator Thickness.....	8
4. Relation of Isolator Thickness and Hydrogen Number Densities.....	12
5. Concluding Remarks.....	17
Acknowledgments.....	17
References.....	17

This is a blank page.

1. はじめに

臨界安全評価の際に、評価対象をモデル化する。「臨界安全ハンドブック」¹⁾は、これを(1)燃料のモデル化、(2)減速材のモデル化、(3)反射体のモデル化、(4)吸収材のモデル化に分けて記述している。このうち、反射体及び隔離体の文献については、これまでに文献 2) にかなり体系的にまとめられている。しかし、「臨界安全ハンドブック」では引用されているが、文献 2) には述べられなかった数値計算例が 2、3 存在している。「臨界安全ハンドブック第 2 版」³⁾を刊行するに当たり、この数値計算例の詳細情報を記述し、追計算あるいは補足計算が可能にしておく必要性があると考え、本報告書をまとめた。本報告書には、以下の 3 つの事項を記す。

第 2 章には、ステンレス鋼製の容器壁の反射の影響を、外側に反射体がない場合、及び外側に水反射体が付いている場合に検討した。第 3 章には、非減速燃料でコンクリートを隔離材とするときに、それらを介在中性子相互作用の大きさを表わす係数 RF と隔離材の厚さの関係を示した。第 4 章には、隔離厚さと水素原子の原子個数密度との関係をさまざまな隔離材の種類について求めた。第 5 章には、まとめと補足事項を記す。

2. 容器壁の反射効果

臨界安全ハンドブックのデータ集に記載されているデータは、通常燃料の容器を無視したものである。しかし、溶液状あるいはスラリー状の燃料の場合には、実際は容器に入っている。このため、臨界安全評価上で簡単のため容器の厚さを無視することが厳しい評価になっているか否かを把握しておく必要がある。

このため、 $\text{UO}_2\text{-H}_2\text{O}$ がボイドなしに均質に混合した燃料体系を対象にして、30 cm 厚の水反射体を燃料の周囲に巻き付けた場合と、何も反射体を置かない場合の 2 通りを考える。なお、十分な厚さの水反射体を置いた場合にはある厚さまでの容器壁は吸収体として働き、体系の反応度を低下させる。また、燃料の外側に反射体を置かない場合には、容器壁は反射体として働き、体系の反応度を高める。このときの効果を定量的に求めるために、数値計算を行った。

(1) 計算モデル

計算モデルを図 2.1 及び図 2.2 に示す。反射体付き体系では円柱形状と平板形状を考えるが、反射体がない体系では円柱形状のみである。また、ウラン濃縮度は 4wt%、ウラン濃度は 400、600、1000、2000、4000gU/L の 5 つの濃度を考えた。各ウラン濃度における燃料領域の寸法を表 2.1 に示す。この寸法は、容器壁がなく、水反射体のみを 30cm 巻付けたときに臨界になる寸法である。容器は SUS-304 でできているものとし、厚さは 0 から 10cm まで 1cm ごとに変化させた。なお、体系温度は 300K とした。

(2) 計算方法

体系の中性子増倍率の計算には、臨界安全性評価コードシステム JACS を用いた。即ち、巨視的断面積セット作成コード MAIL に各領域の原子個数密度を入力し、26 群定数ライブラリ MGCL-26 から各領域の実効断面積セットを作成した。次に、一次元中性子輸送計算コード ANISN-JR に体系の形状を入力し、この実効断面積セットをファイルから読み込むことにより、体系の中性子増倍率 k_{eff} を算出した。計算手順を図 2.3 に示す。

(3) 計算条件

計算をするために設定した ANISN-JR の計算条件を表 2.2 に示す。

(4) 計算結果

容器外側に水反射体を設置したときの計算結果を表 2.3、図 2.4 及び図 2.5 に示す。また、反射体がない場合の計算結果を表 2.4 及び図 2.6 に示す。

表 2.1 UO₂-H₂O のポイドなし均質混合系の燃料領域の寸法

ウラン濃度 [gU/L]	燃料円柱直径 [cm]	燃料平板厚さ [cm]
400	137.1	---
600	50.55	24.48
1000	34.12	17.03
2000	28.02	13.56
4000	30.53	14.52

表 2.2 ANISN-JR の計算条件

収束判定値	1.0×10 ⁻⁵	(固有値)
	2.0×10 ⁻⁵	(中性子束)
メッシュ幅*	最大 3 cm	(水領域)
	最小 0.25 cm	(境界面にて)
境界条件	反射境界	(中心点)
	真空境界	(最外縁)
P _L 次数	P ₁	
S _N 次数	S ₈	

* 隣接するメッシュ幅の比は 2 倍以内としている。

表 2.3 30cm 厚の水反射体を巻いた UO₂-H₂O (ウラン濃縮度 4wt%) ポイドなし均質体系の中性子増倍率計算結果

幾何形状	容器壁の厚さ [cm]	ウラン濃度 [gU/L]			
		600	1000	2000	4000
無限円柱	0.5	0.9786	0.9493	0.9552	0.9575
	1.0	0.9766	0.9438	0.9456	0.9450
	1.5	0.9770	0.9439	0.9441	0.9410
	2.0	0.9782	0.9463	0.9462	0.9411
	3.0	0.9816	0.9532	0.9545	0.9471
無限平板	5.0	0.9881	0.9678	0.9742	0.9650
	10.0	0.9994	0.9936	1.0107	1.0010
	12.0	1.0024	1.0004	1.0203	1.0108
	0.5	0.9710	0.9310	0.9306	0.9350
	1.0	0.9676	0.9207	0.9127	0.9121
	1.5	0.9681	0.9202	0.9087	0.9037
	2.0	0.9699	0.9234	0.9113	0.9027
	3.0	0.9751	0.9344	0.9242	0.9117
	5.0	0.9853	0.9578	0.9565	0.9414
	10.0	1.0027	0.9986	1.0156	1.0011
	12.0	1.0071	1.0090	1.0309	1.0170

表 2.4 反射体が付かない UO_2-H_2O (ウラン濃縮度 4wt%) ポイドなし均質体系の中
 性子増倍率計算結果

幾何形状	容器壁の 厚さ [cm]	ウラン濃度 [gU/L]				
		400	600	1000	2000	4000
無限円柱	0.0	0.9865	0.9455	0.8839	0.8241	0.8193
	1.0	0.9878	0.9574	0.9123	0.8671	0.8590
	2.0	0.9887	0.9660	0.9324	0.8977	0.8881
	3.0	0.9891	0.9728	0.9478	0.9210	0.9108
	4.0	0.9907	0.9780	0.9601	0.9396	0.9292
	5.0	0.9895	0.9826	0.9703	0.9548	0.9443
	6.0	0.9896	0.9865	0.9788	0.9676	0.9572
	7.0	0.9907	0.9897	0.9859	0.9785	0.9681
	8.0	0.9903	0.9926	0.9922	0.9878	0.9776
	9.0	0.9910	0.9950	0.9977	0.9960	0.9858
	10.0	0.9909	0.9972	1.0023	1.0030	0.9930

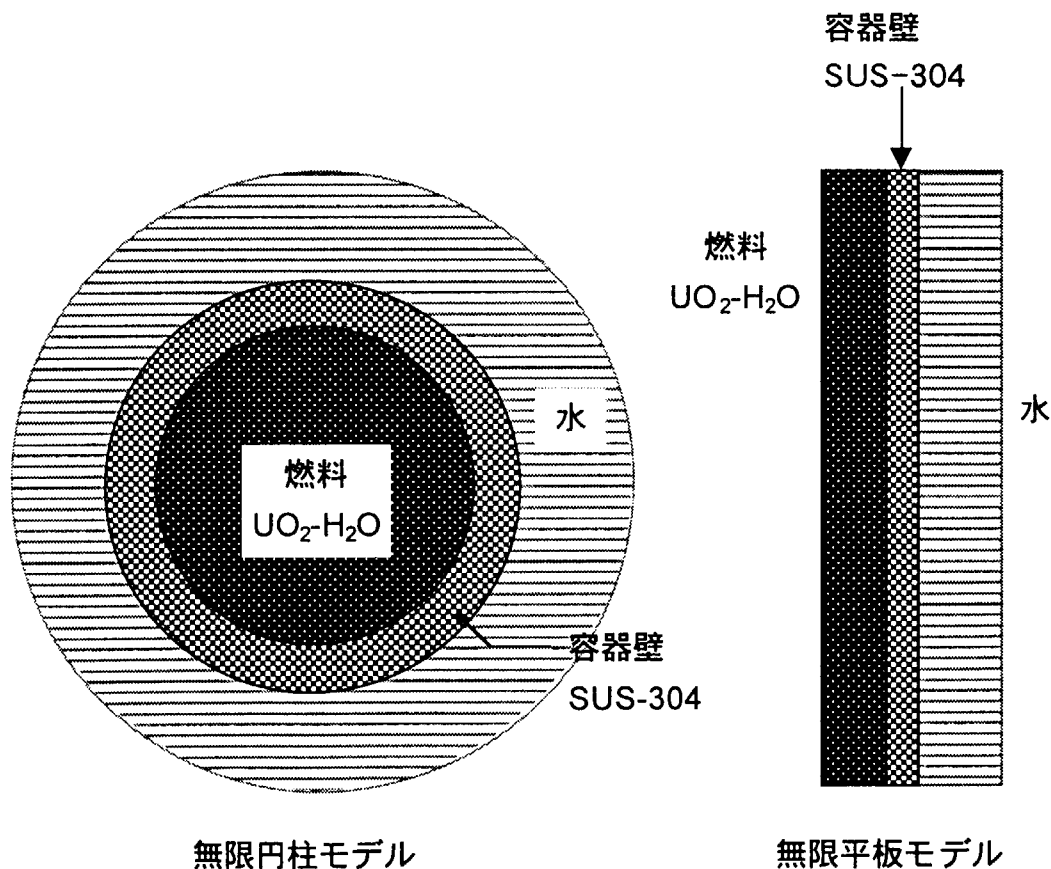


図 2.1 容器壁の外側に水反射体が付いた体系の計算モデル図

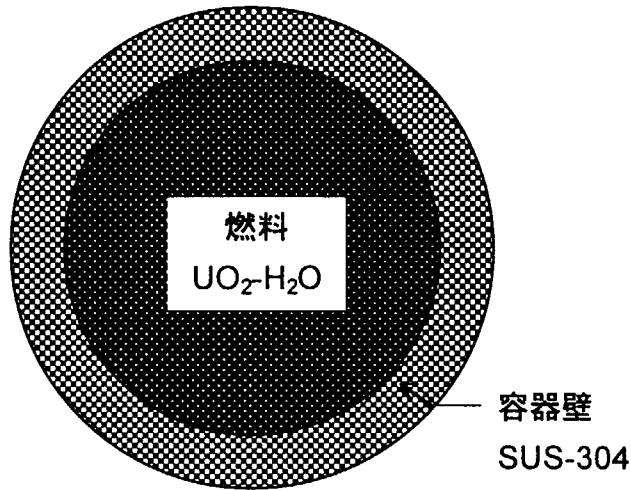


図 2.2 容器壁の外側に反射体がない体系の計算モデル図

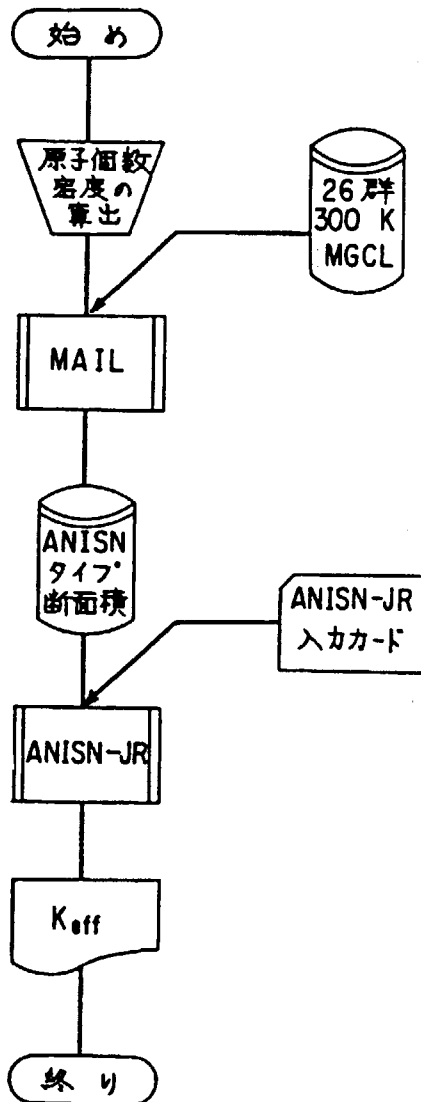


図 2.3 容器壁の反射効果についての計算流れ図

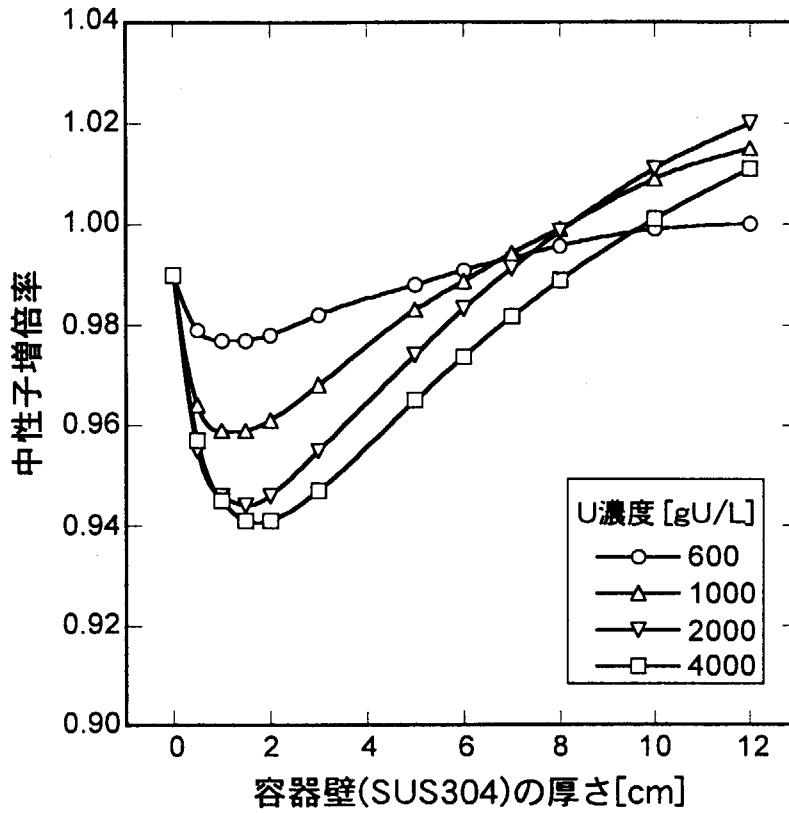


図 2.4 均質 UO_2-H_2O 燃料体系の SUS-304 容器壁厚さによる中性子増倍率の変化 (ウラン濃縮度 4wt%、無限円柱、容器外側に 30cm 厚の水反射体付き)

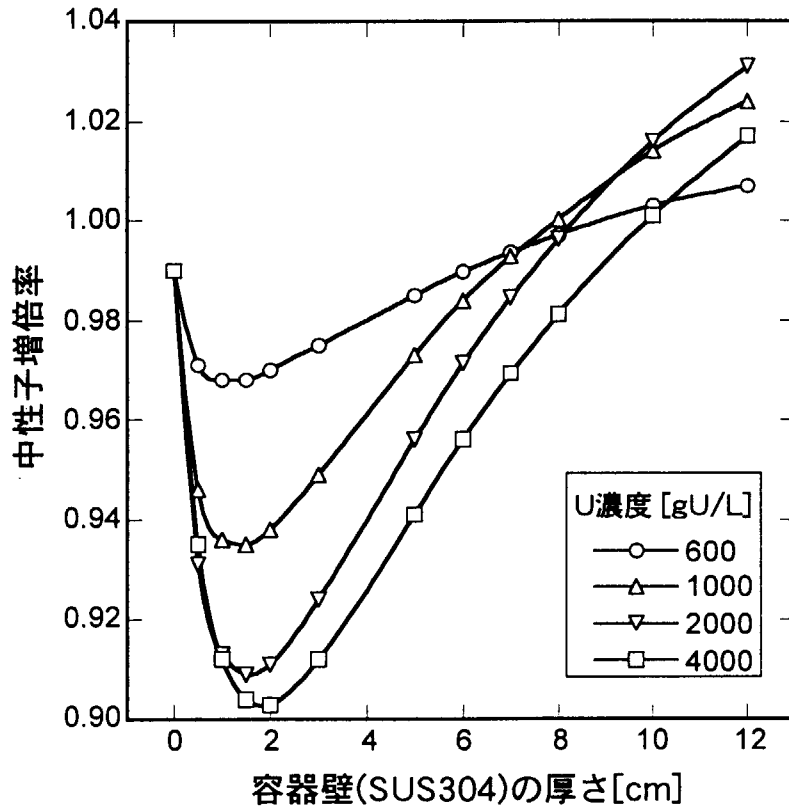


図 2.5 均質 UO_2-H_2O 燃料体系の SUS-304 容器壁厚さによる中性子増倍率の変化 (ウラン濃縮度 4wt%、無限平板、容器外側に 30cm 厚の水反射体付き)

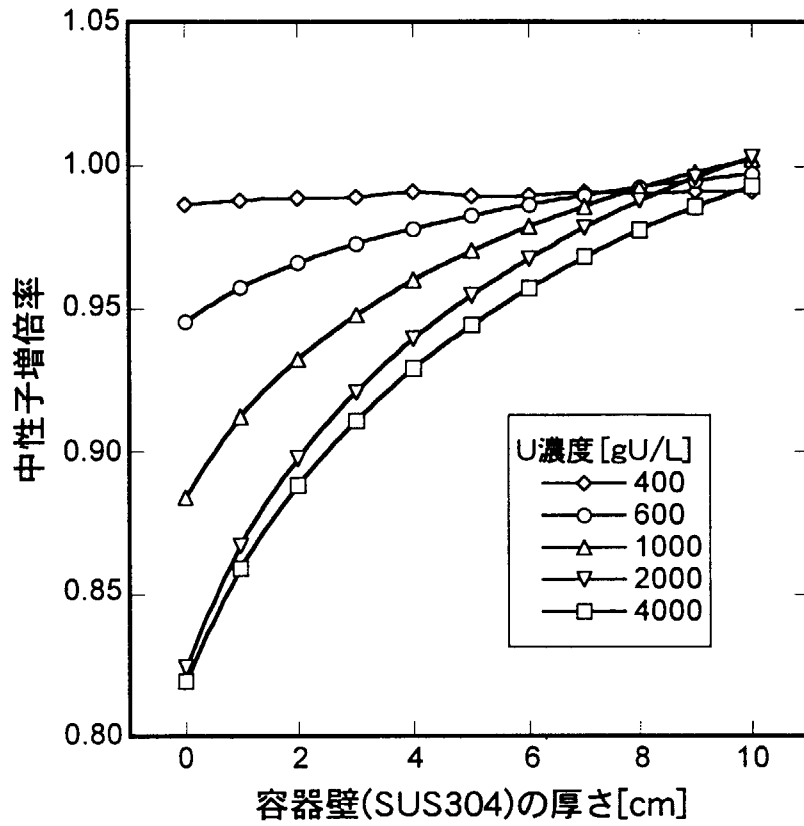


図 2.6 均質 $\text{UO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 燃料体系の SUS-304 容器壁厚さによる中性子増倍率の変化
(ウラン濃縮度 4wt%、無限円柱、容器外側は反射体なし)

3. 非減速燃料での RF のコンクリート隔離材厚さ依存性

臨界安全ハンドブックでは、臨界安全上の中性子遮蔽効果の指標として反射体効果係数と呼ばれる RF を導入している。これは、

$$RF = \frac{|k(R) - k(R \rightarrow \infty)|}{k(R \rightarrow \infty)} \quad (3.1)$$

により定義される。ここで $2R$ が隔離材厚さである。この RF の遮蔽材厚さ依存性について、非減速系燃料の例として、BWR 集合体保管庫の場合に調べた。さらに、修正一群理論による簡易評価式とも比較した。

(1) 計算モデル

図 3.1 から図 3.3 に示す BWR 集合体保管庫を対象とする。燃料集合体は 8×8 燃料棒の配列からなる。図 3.1 に BWR 集合体モデルの水平断面図を、図 3.2 には燃料棒の断面図を示す。BWR 燃料集合体は横に 20 体並べ、縦方向無限に並べたとした。この様子を、図 3.3 に示した。また、表 3.1 には燃料集合体及び燃料の仕様を示した。なお、体系温度は 300K とした。

(2) 計算方法

まず、137 群定数ライブラリ MGCL とモンテカルロ臨界計算コード MULTI-KENO を用いて中性子増倍率を求めた。次に、(3.1) 式に示したように中性子隔離材が無限厚の中性子増倍率に対する増加割合の形で定義される RF を計算する。

非減速燃料体系の場合、中性子が減速するまでに隔離材中の中性子移動距離だけ要すると仮定し、(3.1) 式の簡易評価式として

$$RF = \frac{k(0) - k_s}{k_s} \cdot \exp\left[-\frac{R - M}{M}\right] \quad (3.2)$$

を導入する。ここで、

$k(0)$: $k(R \rightarrow 0)$ 、即ち隔離材の厚さが 0 になって、注目する核燃料体系と同一の核燃料体系が密着した体系の中性子増倍率、非減速燃料体系にあっては F/A (即ち、中性子生成量と吸収量の比)、

R : 隔離材の厚さ、

M : 隔離材中の中性子移動距離。

この式は、隔離材の厚さがその中性子移動距離よりも厚くなると、 RF は指数関数的に減少すると仮定して導いた。

(4) 計算結果及び検討

反射体厚さをパラメタとしたときの中性子増倍率の計算結果を図 3.4 に示す。また、これから (3.1) 式に従い求めた RF の計算結果を図 3.5 に示す。MULTI-KENO コードによって得られたデータの直線部分を外挿して、 RF が反応度裾切り値 (3×10^{-3} と設定) となる R の値を求めると 64cm となる。同図には、簡易式 (3.2) を用いた結果も示している。即ち、この式を用いると隔離厚さは 78cm と求められる。

表 3.1 BWR 燃料集合体・燃料棒の仕様

燃料棒配列	8×8 型
燃料棒本数	63
燃料棒案内管本数	0
計測管本数	0
燃料棒ピッチ	1.626 cm
被覆管外径	1.252 cm
被覆管肉厚	0.086 cm
²³⁵ U 濃縮度	4%
ペレット密度	理論密度 (10.96g/cm ³) の 95%
ペレット直径	1.057 cm
ペレット材質	UO ₂
被覆管材質	ジルカロイ-2
核計算体系温度	20 °C
燃料部 (UO ₂) 長さ	370 cm

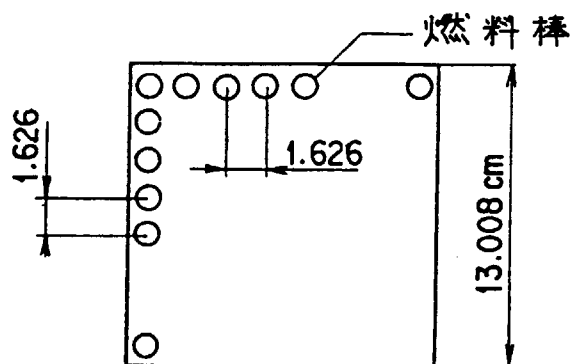


図 3.1 BWR 集合体モデル断面図

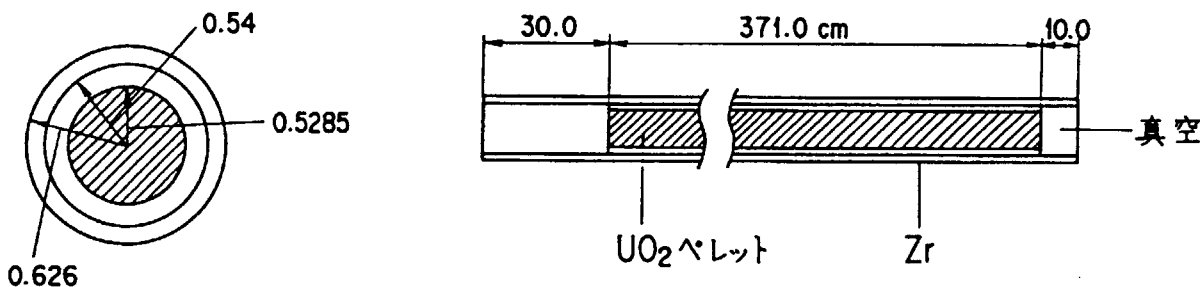


図 3.2 燃料棒モデル

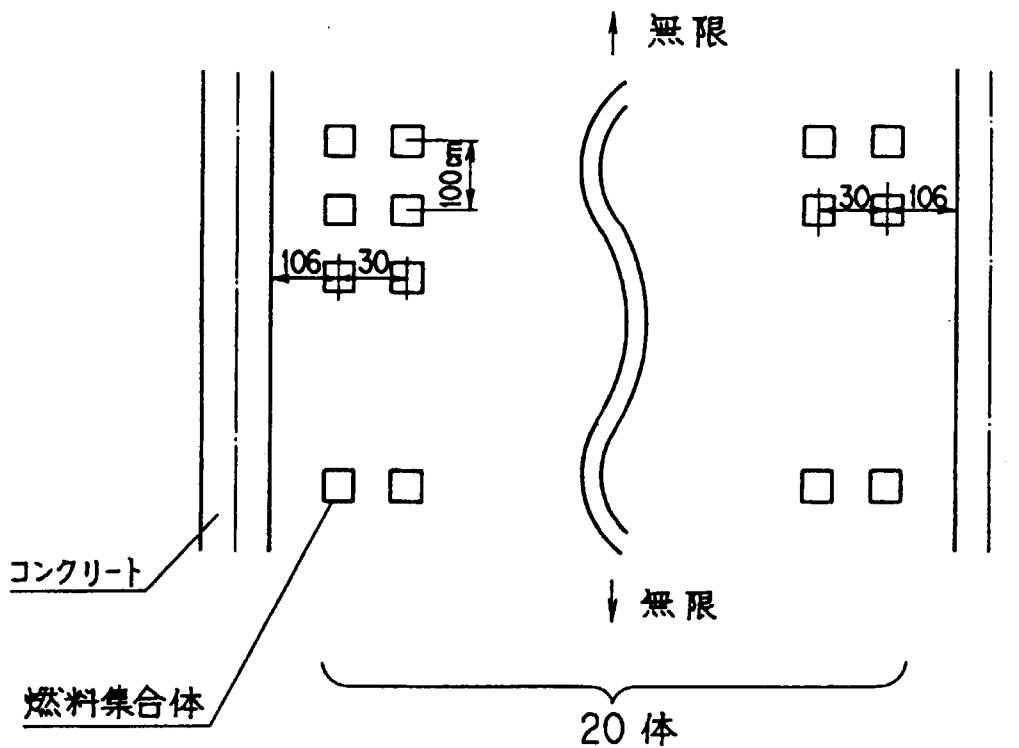


図 3.3 BWR 燃料集合体概念図

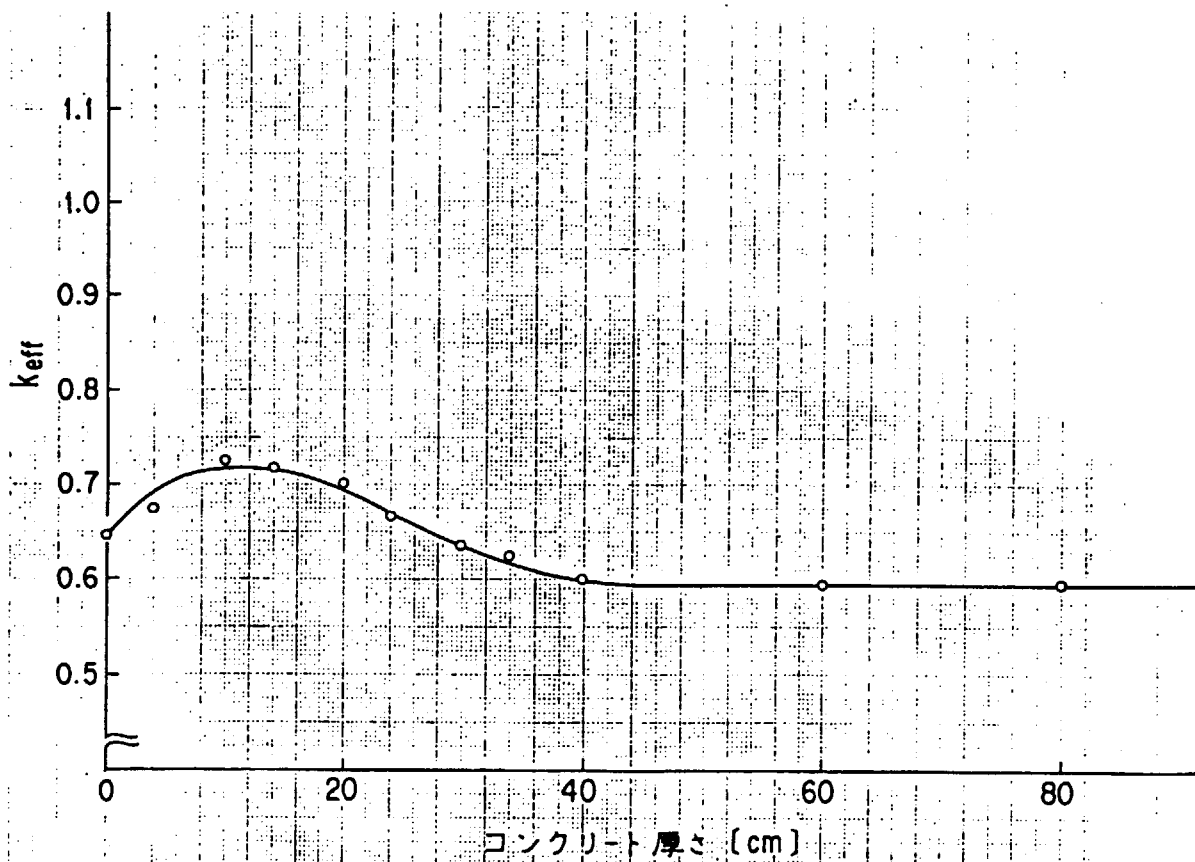


図 3.4 中性子増倍率の計算結果 (BWR 燃料集合体保管庫のモデル)

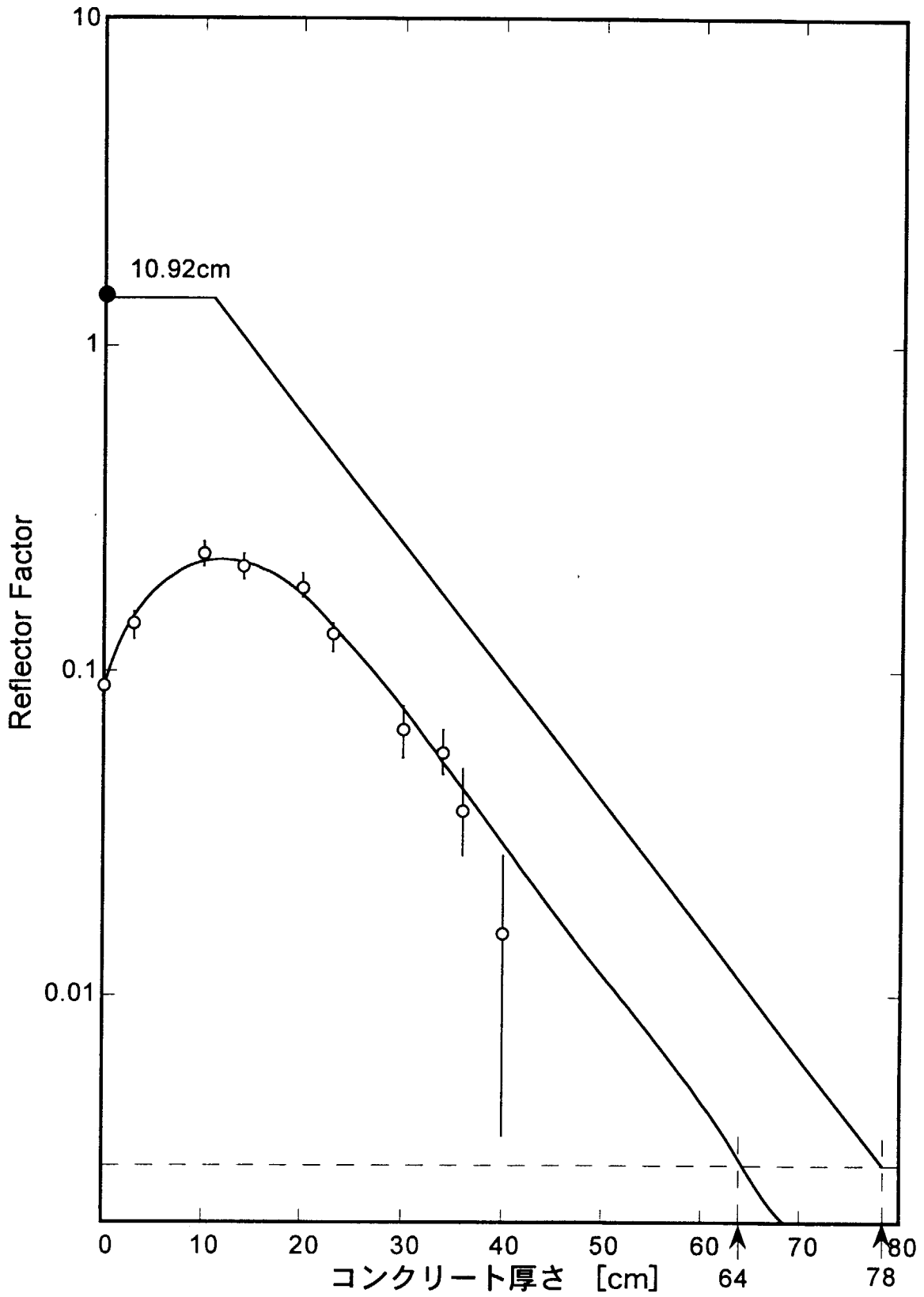


図 3.5 コンクリート隔離材の厚さに対する RF の変化 (BWR 燃料集合体保管庫のモデル)

4. 隔離厚さと水素原子の原子個数密度との関係

臨界安全ハンドブックのデータ集には隔離材として水及びコンクリートについて調べられている。このほか、隔離材としてはパラフィン、ポリエチレン、プレキシグラスなどが用いられることから、こららを水で置き換えることが安全側の設定であるかどうかを調べておく必要がある。このため、 ^{239}Pu 金属燃料体系を対象にして、水、パラフィン、ポリエチレン、プレキシグラスを隔離材として置いたときの隔離効果を比較した。

(1) 計算モデル

計算モデルを図 4.1 に示す。燃料は、漏洩割合の大きい ^{239}Pu 金属燃料の平板体系を対象とし、その厚さは、十分な厚さの水反射体で囲まれたときに臨界になる寸法 (0.8cm) を用いた。反射体厚さ (隔離材厚さの半分) は、0 から 5cm おきに 25cm まで計算した。なお、体系温度は 300K とした。

(2) 計算方法

計算手順を図 4.2 に示す。体系の中性子増倍率の計算には、臨界安全性評価コードシステム JACS を用いた。即ち、巨視的断面積セット作成コード MAIL に各領域の原子個数密度を入力し、26 群定数ライブラリ MGCL-26 から各領域の実効断面積セットを作成した。次に、一次元中性子輸送計算コード ANISN-JR に体系の形状を入力し、この実効断面積セットをファイルから読み込むことにより、体系の中性子増倍率 k_{eff} を算出した。さらに、これから反射体効果係数 RF を計算した。ここで RF は、

$$RF = \left| \frac{k(R) - k(R \rightarrow \infty)}{k(R \rightarrow \infty)} \right| \quad (4.1)$$

により定義される。ここで R は反射体厚さである。また、 R が十分大きければ RF は次の近似式で表される。

$$RF = Ce^{-\frac{R}{L}} \quad (4.2)$$

(4.2) 式における定数 C 及び L を求め、裾切り判定値 ϵ (ここでは 3×10^{-3}) 以下となる厚さの 2 倍を隔離厚さとした。

(3) 計算条件

計算をするために設定した ANISN-JR の計算条件を表 4.1 に示す。

(4) 計算結果

反射体厚さをパラメタとしたときのの中性子増倍率の計算結果を表 4.2 及び図 4.3 に示す。また、これから (4.1) 式に従い求めた RF の計算結果を表 4.3 及び図 4.4 に示す。さらに、(4.2) 式の C 及び L の値を表 4.4 にまとめる。この表の一番右には、(4.2) 式に従い、 RF が ϵ に等しくなる厚さの 2 倍として求めた隔離厚さを示した。

隔離厚さは隔離材の組成に依存する。図 4.5 には隔離厚さと水素原子個数密度との関係を示す。この図より、隔離厚さは水素原子個数密度の小さな物質ほど長くなることが分かる。この理由として、今回検討した隔離材を構成する元素の中で、水素が最

も巨視的断面積への寄与が大きいことが考えられる。

表 4.1 ANISN-JR の計算条件

収束判定値	1.0×10 ⁻⁵	(固有値)
	2.0×10 ⁻⁵	(中性子束)
メッシュ幅*	最大 3 cm	(隔離材領域)
	最小 0.25 cm	(境界面にて)
境界条件	反射境界	(中心点)
	反射境界	(最外縁)
P _L 次数	P ₁	
S _N 次数	S ₁₆	

* 隣接するメッシュ幅の比は 2 倍以内としている。

表 4.2 ²³⁹Pu 金属燃料の平板体系 (厚さ 0.8cm) の中性子増倍率計算結果

反射体厚さ R [cm]	隔離材厚さ 2R [cm]	隔離材の材質			
		水	ポリエチレン	パラフィン	プレキシングラス
0	0	3.0310	3.0310	3.0310	3.0310
5	10	1.4347	1.3111	1.3035	1.5374
10	20	1.0767	1.0362	1.0326	1.1499
15	30	1.0190	1.0033	1.0007	1.0803
20	40	1.0081	0.9978	0.9953	1.0676
25	50	1.0055	0.9962	0.9937	1.0645
50	100	1.0040	0.9958	0.9934	1.0631

表 4.3 ²³⁹Pu 金属燃料の平板体系 (厚さ 0.8cm) の RF 計算結果

反射体厚さ R [cm]	隔離材厚さ 2R [cm]	隔離材の材質			
		水	ポリエチレン	パラフィン	プレキシングラス
0	0	2.02	2.04	2.05	1.85
5	10	4.29×10 ⁻¹	3.17×10 ⁻¹	3.12×10 ⁻¹	4.46×10 ⁻¹
10	20	7.24×10 ⁻²	4.06×10 ⁻²	3.94×10 ⁻²	8.16×10 ⁻²
15	30	1.49×10 ⁻²	7.6×10 ⁻³	7.3×10 ⁻³	1.62×10 ⁻²
20	40	4.1×10 ⁻³	2.0×10 ⁻³	1.9×10 ⁻³	4.2×10 ⁻³
25	50	1.5×10 ⁻³	---	3.0×10 ⁻⁴	1.3×10 ⁻³

表 4.4 ^{239}Pu 金属燃料の平板体系（厚さ 0.8cm）の隔離厚さ計算結果

隔離材の材質	フィテイング定数		隔離厚さ [cm]
	C	L [cm]	
水	2.54	2.81	37.9
ポリエチレン	2.47	2.43	32.6
パラフィン	2.47	2.42	32.5
プレキシングラス	2.44	2.94	39.4

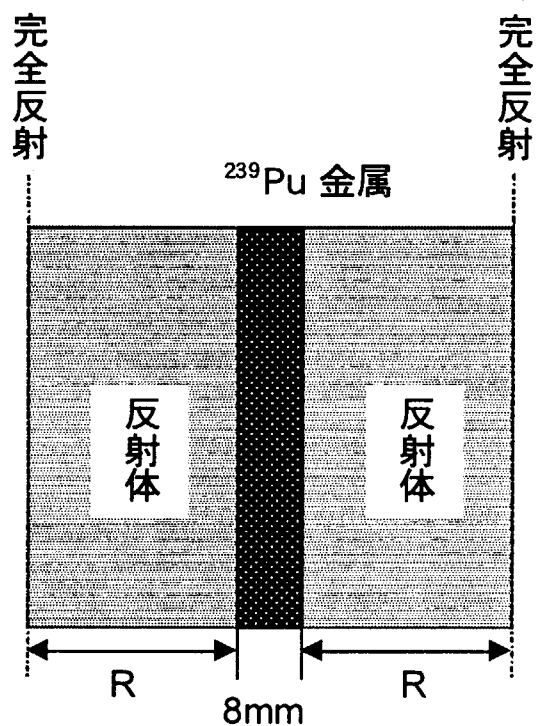


図 4.1 隔離材の効果を調べるための計算モデル図

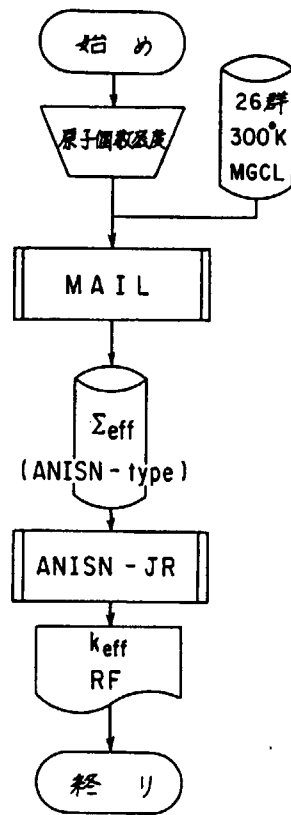


図 4.2 隔離材の効果を調べるための計算流れ図

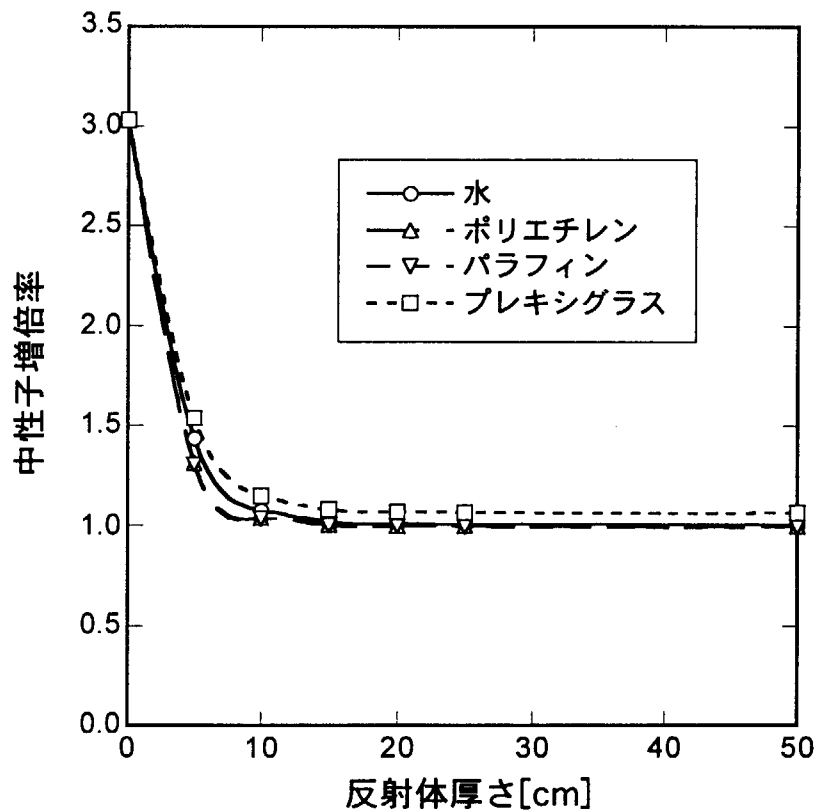


図 4.3 ^{239}Pu 無限平板 (平板厚さ 0.8cm) 体系と各隔離材の無限配列の中性子増倍率計算結果

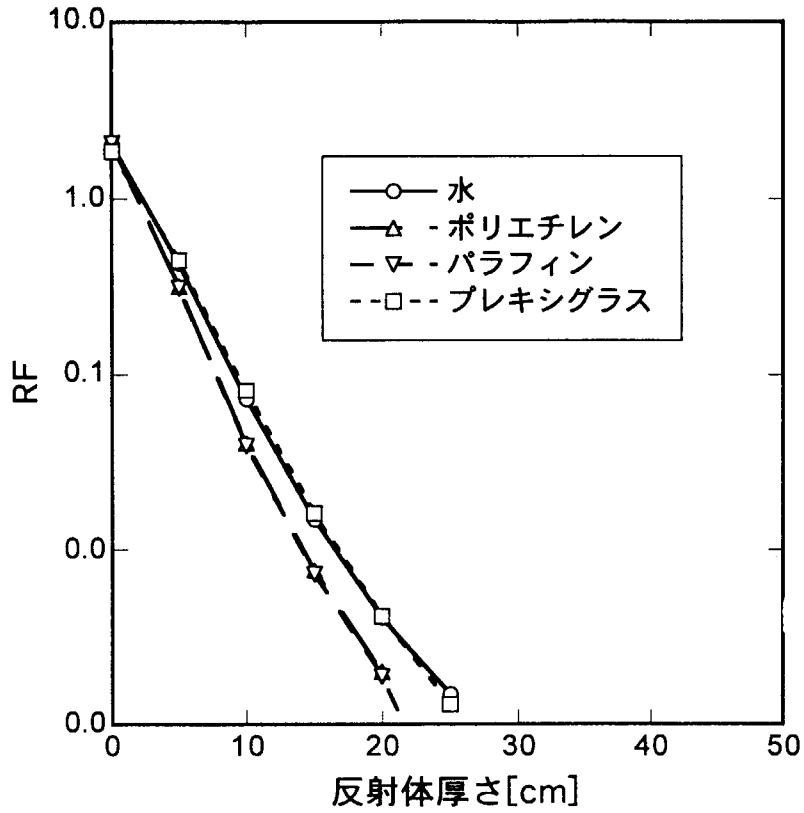


図 4.4 各隔離材の RF (厚さ 0.8cm の ^{239}Pu 無限平板燃料体系)

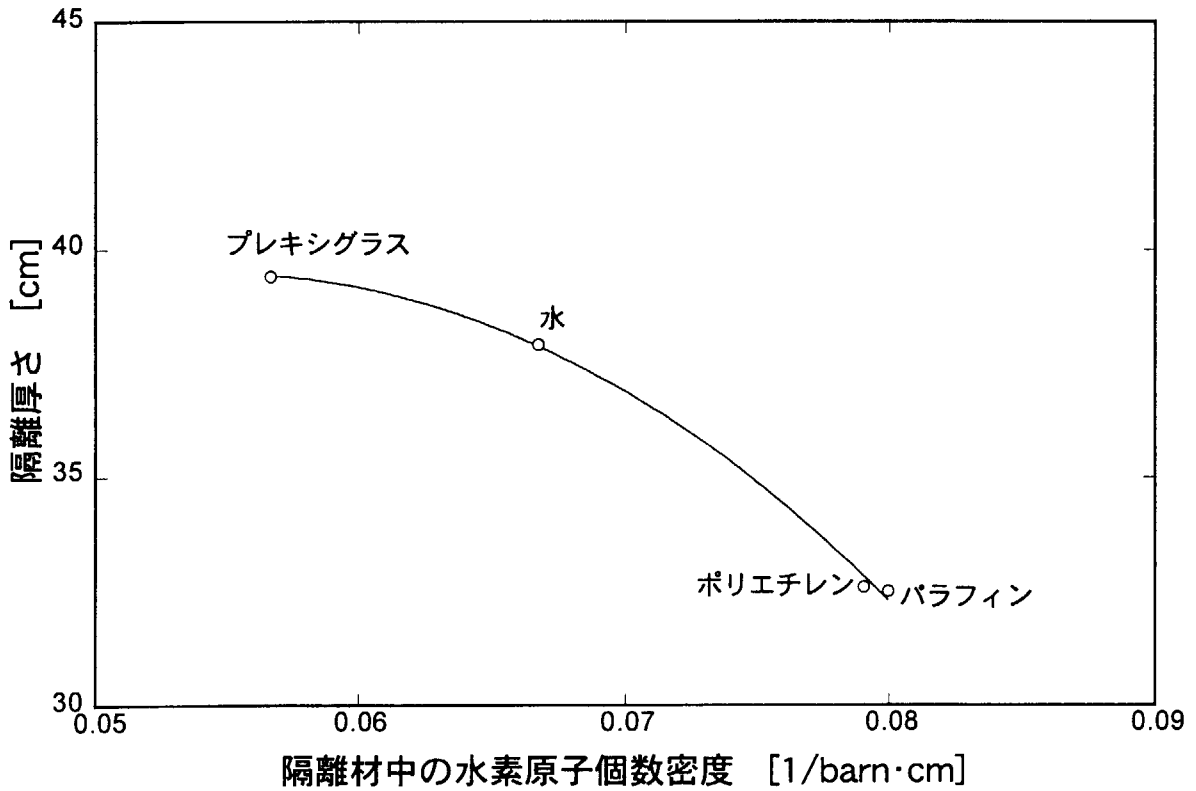


図 4.5 隔離厚さと水素原子個数密度との関係 (厚さ 0.8cm の ^{239}Pu 無限平板燃料体系)

5. おわりに

本報告書では、反射材及び隔離材をモデル化する上で有用な、これらの影響を示すデータについて数値計算例の詳細情報を記述した。本報告書にまとめたのは、以下の3つの項目で、補足事項と併せて以下に記す。

1. ステンレス鋼製の容器壁の反射の影響を、外側に反射体がない場合、及び外側に水反射体が付いている場合に検討した。外側に水反射体が付いた体系は、円柱及び平板形状について計算したが、反射体がない体系は円柱形状に計算は限定した。また、円柱形状では、1インチ (=2.54cm) 付いた体系の計算もあり、30cm 水反射体が付いた体系と、反射体ない体系の中間の様相を示すが、ここには記さなかった。
2. 非減速燃料でコンクリートを隔離材とするときに、それらを介在中性子相互作用の大きさを表わす係数 RF と隔離材の厚さの関係を示した。MULTI-KENOの計算条件や計算結果の数値データが残っていないので、現在分かっている情報のみでまとめた。
3. 隔離厚さと水素原子の原子個数密度との関係をさまざまな隔離材の種類について求めた。燃料の表面に 0.5mm のカドミニウム吸収板が付いた体系についても計算は実施しており、隔離材の厚さが 10cm 以上では RF の隔離材厚さに対する減少率は次第に緩やかになり、Cdなし体系と等しくなる、という結論を得ている。

謝辞

本報告書の元になったデータは、臨界安全ハンドブック専門部会（部会長：平野見明氏）の下に設けられた相互干渉効果検討ワーキング・グループ（グループリーダー：野村靖氏）及び特殊条件下の臨界問題検討ワーキング・グループ（グループリーダー：北野照明氏）にて、昭和 59 年度及び 60 年度に検討されたものです。当該ワーキンググループのメンバーの方々に感謝いたします。

参考文献

- 1) 科学技術庁原子力安全局核燃料規制課、「臨界安全ハンドブック」、にっかん書房 (1988) .
- 2) 酒井友宏・内藤倣孝・小室雄一、「中性子輸送に関する十分な反射体厚さと隔離厚さ」、JAERI-M88-160 (1988).
- 3) 臨界安全性実験データ検討ワーキンググループ、「臨界安全ハンドブック第2版」、JAERI 1340 (1999).

This is a blank page.

国際単位系 (SI) と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m·kg/s ²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N·m
工率, 放射束	ワット	W	J/s
電気量, 電荷	クーロン	C	A·s
電位, 電圧, 起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光度	ルーメン	lm	cd·sr
照射度	ルクス	lx	lm/m ²
放射能	ベクレル	Bq	s ⁻¹
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分, 時, 日	min, h, d
度, 分, 秒	°, ', "
リットル	l, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

1 eV = 1.60218 × 10⁻¹⁹ J
1 u = 1.66054 × 10⁻²⁷ kg

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バ	b
バール	bar
ガロン	Gal
キュリー	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

1 Å = 0.1 nm = 10⁻¹⁰ m
1 b = 100 fm² = 10⁻²⁸ m²
1 bar = 0.1 MPa = 10⁵ Pa
1 Gal = 1 cm/s² = 10⁻² m/s²
1 Ci = 3.7 × 10¹⁰ Bq
1 R = 2.58 × 10⁻⁴ C/kg
1 rad = 1 cGy = 10⁻² Gy
1 rem = 1 cSv = 10⁻² Sv

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10 ¹⁸	エクサ	E
10 ¹⁵	ペタ	P
10 ¹²	テラ	T
10 ⁹	ギガ	G
10 ⁶	メガ	M
10 ³	キロ	k
10 ²	ヘクト	h
10 ¹	デカ	da
10 ⁻¹	デシ	d
10 ⁻²	センチ	c
10 ⁻³	ミリ	m
10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ⁻¹⁸	アト	a

(注)

- 表1-5は「国際単位系」第5版, 国際度量衡局 1985年刊行による。ただし, 1 eV および 1 uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里, ノット, アール, ヘクトールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは, JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- EC閣僚理事会指令では bar, barn および「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

換算表

力	N (=10 ⁵ dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
	9.80665	1	2.20462
	4.44822	0.453592	1

粘度 1 Pa·s (N·s/m²) = 10 P (ポアズ) (g/(cm·s))

動粘度 1 m²/s = 10⁴ St (ストークス) (cm²/s)

圧	MPa (=10 bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg (Torr)	lbf/in ² (psi)
	1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 ³	145.038
力	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322 × 10 ⁻⁴	1.35951 × 10 ⁻³	1.31579 × 10 ⁻³	1	1.93368 × 10 ⁻²
	6.89476 × 10 ⁻³	7.03070 × 10 ⁻²	6.80460 × 10 ⁻²	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J (=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal (計量法)	Btu	ft·lbf	eV
	1	0.101972	2.77778 × 10 ⁻⁷	0.238889	9.47813 × 10 ⁻⁴	0.737562	6.24150 × 10 ¹⁸
	9.80665	1	2.72407 × 10 ⁻⁶	2.34270	9.29487 × 10 ⁻³	7.23301	6.12082 × 10 ¹⁹
	3.6 × 10 ⁶	3.67098 × 10 ⁵	1	8.59999 × 10 ⁵	3412.13	2.65522 × 10 ⁶	2.24694 × 10 ²⁵
	4.18605	0.426858	1.16279 × 10 ⁻⁶	1	3.96759 × 10 ⁻³	3.08747	2.61272 × 10 ¹⁹
	1055.06	107.586	2.93072 × 10 ⁻⁴	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 ²¹
	1.35582	0.138255	3.76616 × 10 ⁻⁷	0.323890	1.28506 × 10 ⁻³	1	8.46233 × 10 ¹⁸
	1.60218 × 10 ⁻¹⁹	1.63377 × 10 ⁻²⁰	4.45050 × 10 ⁻²⁶	3.82743 × 10 ⁻²⁰	1.51857 × 10 ⁻²²	1.18171 × 10 ⁻¹⁹	1

1 cal = 4.18605 J (計量法)
= 4.184 J (熱化学)
= 4.1855 J (15 °C)
= 4.1868 J (国際蒸気表)
仕事率 1 PS (馬力)
= 75 kgf·m/s
= 735.499 W

放射能	Bq	Ci
	1	2.70270 × 10 ⁻¹¹
	3.7 × 10 ¹⁰	1

吸収線量	Gy	rad
	1	100
	0.01	1

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	2.58 × 10 ⁻⁴	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

臨界安全評価に利用できる反射材・隔離材効果に関するデータ