

# 水冷却型増殖炉の核特性に関する検討結果 (研究報告)

2000年3月

核燃料サイクル開発機構  
大洗工学センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4-49

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

Inquires about copyright and reproduction should be addressed to :

Technical Cooperation Section,

Technology Management Division,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184,

Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

2000

# 水冷却型増殖炉の核特性に関する検討結果

## (研究報告書)

庄野彰\*、佐藤若英\*\*、栗原國壽\*\*\*

### 要 旨

水冷却型増殖炉の核特性の特徴を把握するために、公開文献に基づいて沸騰軽水を冷却材とした炉心、それをベースに冷却材を非沸騰重水及び非沸騰軽水に置換した炉心、ならびに高速炉の代表炉心として大型 Na 冷却 MOX 燃料炉心の仕様を設定し、基本的な核特性の比較検討を実施した。

高速炉用非均質セル計算コード SLAROM と軽水炉解析に汎用的に用いられている SRAC の解析結果を比較し、転換比・中性子スペクトル・エネルギー領域別反応割合・1群断面積等について、両コード間の差は小さく、高速炉核特性評価システムが水冷却型増殖炉の基本的核特性の検討に適用可能であることを確認した。

SLAROM コードを用いて上記4種類の炉心の核的パラメータ及び増殖性に見られる相違を考察した。冷却材の変更によって、中性子スペクトル・ $\eta$  値・主要エネルギー領域等が変化する傾向を把握した。水冷却型増殖炉では、冷却材中に存在する水素（または重水素）の影響で低エネルギー成分の中性子束が高速炉に比べて増大し、その結果、主要エネルギー領域が低エネルギー側に移行し、核分裂性核種の  $\eta$  値が低下するが、MOX 燃料を稠密に配置して増殖性を担保する設計であることが理解できた。

Pu 同位体組成が増殖特性に及ぼす影響を SRAC コードの燃焼解析機能を用いて検討し、Pu-240 含有率が大きい組成の Pu を装荷した場合には転換比が大きく算定される傾向にあることを定量的に評価した。

臨界性及び反応率比に対する感度解析により、沸騰軽水冷却増殖炉では、高速炉に比べて、1keV 以下のエネルギー領域における感度が増加することがわかった。断面積不確かさに起因する核設計予測精度評価については、現在核データセンターで共分散データの見直し中であるため、現状の共分散データを用いて暫定解析結果を得た。見直し後の最新共分散データを用いた内部転換比予測精度評価が今後の課題である。

---

\* 大洗工学センター システム技術開発部 炉心技術開発グループ

\*\* 原子力システム株式会社

\*\*\* 大洗工学センター システム技術開発部 リスク評価技術開発グループ

# Comparative analyses on nuclear characteristics of water-cooled breeder cores

Akira Shono\*, Wakaei Sato\*\* and Kunitoshi Kurihara\*\*\*

## ABSTRACT

In order to compare the nuclear characteristics of water-cooled breeder cores with that of LMFBR, MOX fuel cell models are established for boiling and non-boiling LWR, non-boiling HWR and sodium-cooled reactor. First, the comparison is made between the heterogeneous cell calculation results by SRAC and those by SLAROM. The results show some differences as for neutron energy spectrum, one-grouped cross section and conversion ratio due to the different grouped cross section library (both are based on JENDL-3.2, though) used for each code, however, the difference is acceptably small for grasping the basic characteristics of the above-mentioned cores. Second, using the SLAROM code, main core parameters such as mean neutron energy, ratio of fast neutron and  $\eta$ -value, are analyzed. The comparison between the cores show that softened neutron spectrum by the scattering effect of hydrogen or heavy hydrogen increase the contribution of nuclear reaction (especially for neutron capture reaction rather than fission reaction) in lower energy region comparing with LMFBR. In order to overcome the effect, tighter lattice than LMFBR is necessary for water-cooled cores to realize the breeding of fissile nuclides. Third, effects of Pu isotopic composition on the breeding ratio are evaluated using SRAC burnup calculation. From the results, it is confirmed that degraded Pu (larger ratio of Pu-240) show the larger breeding ratio. At last, sensitivity analyses are made for k-effective and main reaction ratios. As for k-effective, using a temporary covariance data of JENDL-3.2, uncertainty resulting from the cross sections' error is analyzed for a boiling LWR and a sodium-cooled reactor. The boiling LWR core shows larger sensitivity in lower energy region than the sodium-cooled reactor (especially for the energy region lower than 1keV). And, 18-group analysis that is considered acceptably good for LMFBR analysis, should not be enough for accurate sensitivity estimation of water-cooled breeder cores. Revision of the covariance data of JENDL-3.2 will be planned, and thus allows us to obtain more accurate results.

---

\* Reactor Physics Research Group, System Engineering Technology Division, O-arai Engineering Center, JNC, Japan

\*\* Nuclear Engineering System Incorporation

\*\*\* Nuclear System Safety Research Group, System Engineering Technology Division, O-arai Engineering Center, JNC, Japan

## 目 次

要旨	i
Abstract	ii
目次	iii
図リスト	v
表リスト	vii
1. 緒言	1
2. 検討概要及び検討対象炉心の設定	2
2.1 検討概要	2
2.2 検討対象炉心の設定	2
3. 解析方法の検討	5
3.1 概要	5
3.2 検討方法	5
3.3 SRAC 及び SLAROM による解析結果の比較	6
3.3.1 規格化中性子スペクトルの比較 1 (4 種類の炉心燃料セルの比較)	6
3.3.2 規格化中性子スペクトルの比較 2 (SRAC(PEACO)と SLAROM の比較)	6
3.3.3 転換比の比較 (SRAC(PEACO)、SRAC(NR 近似)及び SLAROM の比較)	6
3.3.4 主要核反応の発生エネルギー領域の比較	7
3.4 SLAROM と SRAC の解析結果に見られる差異に関する考察	7
3.4.1 規格化中性子スペクトル	7
3.4.2 1 群ミクロ断面積	9
3.4.3 $\eta$ 値	10
3.5 まとめ	10
4. 主要核的パラメータ及び増殖性の検討	36
4.1 概要	36
4.2 Na 冷却高速炉と水冷却型増殖炉の核的パラメータの比較	36
4.2.1 セル仕様の相違点	36
4.2.2 核的パラメータの比較結果	36
4.2.3 核反応の発生するエネルギー領域の比較	38
4.3 Na 冷却高速炉と水冷却型増殖炉の増殖性の相違に関する考察	39
4.3.1 代表的な核反応に対する核種毎寄与割合	39
4.3.2 1 群ミクロ定数	39
4.3.3 転換比に及ぼす核種毎分担割合	40
4.3.4 $\eta$ 値が変化することの原因の考察	40

4.4	まとめ	42
5.	Pu 同位体組成等の増殖性への影響	57
5.1	概要	57
5.2	検討内容	57
5.3	解析結果	57
5.3.1	ボイド率の変化が沸騰軽水炉の無限増倍率及び転換比に及ぼす影響	57
5.3.2	Pu 同位体組成の違いが沸騰軽水炉 (65%void)の増殖特性に及ぼす影響	58
5.3.3	冷却材を非沸騰軽水、重水、及びNaに替えた炉心の増殖特性	58
5.3.4	Na冷却高速炉と3種類の水冷却型増殖炉の燃焼特性の比較	59
5.4	まとめ	60
6.	感度解析及び核設計予測精度評価結果	70
6.1	概要	70
6.2	評価体系	70
6.3	解析方法	70
6.4	感度解析結果	70
6.5	核設計予測精度評価結果 (暫定値)	71
6.6	今後予想される共分散データの見直しと設計予測精度への影響について	72
6.7	まとめ	72
7.	結論	83
	謝辞	86
	参考文献	87

## 図リスト

- 図 3.1 SRAC(PEACO)による Na 冷却高速炉及び水冷却型増殖炉の規格化中性子スペクトル
- 図 3.2 SLAROM による Na 冷却高速炉及び水冷却型増殖炉の規格化中性子スペクトル
- 図 3.3 Na 冷却高速炉の規格化中性子スペクトルの比較 (SRAC(PEACO)と SLAROM)
- 図 3.4 非沸騰重水炉の規格化中性子スペクトルの比較 (SRAC(PEACO)と SLAROM)
- 図 3.5 沸騰軽水炉 (65%void) の規格化中性子スペクトルの比較 (SRAC(PEACO)と SLAROM)
- 図 3.6 非沸騰軽水炉の規格化中性子スペクトルの比較 (SRAC(PEACO)と SLAROM)
- 図 3.7 全核分裂反応のエネルギー領域別反応割合
- 図 3.8 Fertile(U238, Pu-240)捕獲反応のエネルギー領域別反応割合
- 図 3.9 Na 冷却高速炉の規格化中性子エネルギースペクトルの詳細比較
- 図 3.10 非沸騰重水炉の規格化中性子エネルギースペクトルの詳細比較
- 図 3.11 沸騰軽水炉 (65%void)の規格化中性子エネルギースペクトルの詳細比較
- 図 3.12 非沸騰軽水炉の規格化中性子エネルギースペクトルの詳細比較
- 図 3.13 計算手法による規格化中性子束の比較 (Na 冷却高速炉の燃料セル計算結果)
- 図 3.14 計算手法による規格化中性子束の比較 (水冷却型増殖炉の燃料セル計算結果)
- 図 3.15 全弾性散乱断面積のライブラリー間の差
- 図 3.16 自群弾性散乱断面積のライブラリー間の差
- 図 4.1 SLAROM による Na 冷却高速炉及び水冷却型増殖炉の中性子スペクトル
- 図 4.2 核分裂中性子発生率のエネルギー分布
- 図 4.3 中性子吸収反応率のエネルギー分布
- 図 4.4 中性子捕獲反応率のエネルギー分布
- 図 4.5 Na 冷却高速炉の規格化反応率スペクトル (by SLAROM)
- 図 4.6 非沸騰重水炉の規格化反応率スペクトル (by SLAROM)
- 図 4.7 沸騰軽水炉 (65%void)の規格化反応率スペクトル (by SLAROM)
- 図 4.8 非沸騰軽水炉の規格化反応率スペクトル (by SLAROM)
- 図 4.9 吸収当たり発生する中性子の数  $\eta$  値の比較
- 図 4.10 fissile 生成反応の分担割合
- 図 4.11 核分裂反応の分担割合
- 図 4.12 吸収当たりの核分裂中性子発生数  $\eta$  値のエネルギー分布
- 図 4.13 各炉における Pu-240 の規格化吸収反応率のエネルギー分布
- 図 4.14 各炉における Pu-240 の吸収当たりの核分裂中性子発生数  $\eta$  値のエネルギー分布
- 図 4.15 各炉における U-238 の規格化吸収反応率のエネルギー分布
- 図 4.16 各炉における U-238 の吸収当たりの核分裂中性子発生数  $\eta$  値のエネルギー分布
- 図 4.17 各炉における Pu-239 の規格化吸収反応率のエネルギー分布
- 図 4.18 各炉における Pu239 の吸収当たりの核分裂中性子発生数  $\eta$  値のエネルギー分布

- 図 4.19 各炉における Pu241 の規格化吸収反応率のエネルギー分布
- 図 4.20 各炉における Pu241 の吸収当たりの核分裂中性子発生数  $\eta$  値のエネルギー分布
- 図 5.1 RBWR の炉心、燃料集合体とセル計算体系
- 図 5.2 沸騰軽水炉(RBWR)燃料集合体  $k_{inf}$  の燃焼に伴う変化 (ボイド率依存性)
- 図 5.3 沸騰軽水炉(RBWR)燃料集合体 転換比 の燃焼に伴う変化 (ボイド率依存性)
- 図 5.4 沸騰軽水炉(RBWR)燃料集合体  $k_{inf}$  の燃焼に伴う変化 (Pu 組成、Pu 富化度 依存性)
- 図 5.5 沸騰軽水炉(RBWR)燃料集合体 転換比 の燃焼に伴う変化 (Pu 組成、Pu 富化度 依存性)
- 図 5.6 非沸騰軽水炉燃料集合体  $k_{inf}$  の燃焼に伴う変化 (Pu 富化度依存性)
- 図 5.7 非沸騰軽水炉燃料集合体 転換比 の燃焼に伴う変化 (Pu 富化度依存性)
- 図 5.8 非沸騰軽水炉燃料集合体  $k_{inf}$  の燃焼に伴う変化 (Pu 組成、Pu 富化度依存性)
- 図 5.9 非沸騰軽水炉燃料集合体 転換比 の燃焼に伴う変化 (Pu 組成、Pu 富化度依存性)
- 図 5.10 非沸騰重水炉燃料集合体  $k_{inf}$  の燃焼に伴う変化 (Pu 富化度依存性)
- 図 5.11 非沸騰重水炉燃料集合体 転換比 の燃焼に伴う変化 (Pu 富化度依存性)
- 図 5.12 非沸騰重水炉燃料集合体  $k_{inf}$  の燃焼に伴う変化 (Pu 組成、Pu 富化度依存性)
- 図 5.13 非沸騰重水炉燃料集合体 転換比 の燃焼に伴う変化 (Pu 組成、Pu 富化度依存性)
- 図 5.14 Na 冷却高速炉燃料集合体  $k_{inf}$  の燃焼に伴う変化 (Pu 組成、Pu 富化度依存性)
- 図 5.15 Na 冷却高速炉燃料集合体 転換比 の燃焼に伴う変化 (Pu 組成、Pu 富化度依存性)
- 図 5.16 燃料集合体  $k_{inf}$  の燃焼変化の比較 (Na 冷却高速炉、非沸騰重水炉、沸騰軽水炉 (65%void)、非沸騰軽水炉)
- 図 5.17 燃料集合体 転換比 の燃焼変化の比較 (Na 冷却高速炉、非沸騰重水炉、沸騰軽水炉 (65%void)、非沸騰軽水炉)
- 図 6.1 核設計予測精度評価に用いた沸騰軽水炉 (65%void)の 2次元 r-z モデル
- 図 6.2 核設計予測精度評価に用いた Na 冷却高速炉の 2次元 r-z モデル
- 図 6.3 実効増倍係数に対する感度係数の比較
- 図 6.4 反応率比 (C28/F49) に対する感度係数
- 図 6.5 反応率比 (C40/F49) に対する感度係数
- 図 6.6 実効増倍係数( $k_{eff}$ )の誤差に対する主要核反応の寄与割合の比較
- 図 6.7 Pu-239 の核分裂断面積の断面積と標準偏差 (18 群)
- 図 6.8 Pu-239 の捕獲断面積の断面積と標準偏差 (18 群)
- 図 6.9 U-238 の捕獲断面積の断面積と標準偏差 (18 群)
- 図 6.10 Pu-240 の捕獲断面積の断面積と標準偏差 (18 群)
- 図 6.11 Pu-241 の核分裂断面積の断面積と標準偏差 (18 群)
- 図 6.12 Pu-241 の捕獲断面積の断面積と標準偏差 (18 群)



## 表リスト

- 表 2.1 検討対象とした炉心燃料セルの仕様
- 表 3.1 SRAC と SLAROM の解析に用いたエネルギー群構造の比較
- 表 3.2 SRAC 及び SLAROM による 4 種類の炉心燃料セルの転換比
- 表 3.3 Na 冷却高速炉の無限体系における転換比の比較[SRAC(PEACO)と SLAROM]
- 表 3.4 非沸騰重水炉の無限体系における転換比の比較[SRAC(PEACO)と SLAROM]
- 表 3.5 沸騰軽水炉 (65%void) の無限体系における転換比の比較[SRAC(PEACO)と SLAROM]
- 表 3.6 非沸騰軽水炉の無限体系における転換比の比較[SRAC(PEACO)と SLAROM]
- 表 3.7 Na 冷却高速炉の無限体系における転換比の比較[SRAC(NR 近似)と SLAROM]
- 表 3.8 非沸騰重水炉の無限体系における転換比の比較[SRAC(NR 近似)と SLAROM]
- 表 3.9 沸騰軽水炉 (65%void) の無限体系における転換比の比較[SRAC(NR 近似)と SLAROM]
- 表 3.10 非沸騰軽水炉の無限体系における転換比の比較[SRAC(NR 近似)と SLAROM]
- 表 3.11 SLAROM と SRAC による 1 群断面積の比較(Na 冷却高速炉)
- 表 3.12 SLAROM と SRAC による 1 群断面積の比較(非沸騰重水炉)
- 表 3.13 SLAROM と SRAC による 1 群断面積の比較(沸騰軽水炉 (65%void))
- 表 3.14 SLAROM と SRAC による 1 群断面積の比較(非沸騰軽水炉)
- 表 3.15  $\eta$  値の比較 (SRAC と SLAROM)
- 表 4.1 セル計算仕様値及び計算結果の比較
- 表 4.2 主要核的パラメータの比較
- 表 4.3 発生中性子数に占める寄与
- 表 4.4 中性子吸収反応に占める寄与
- 表 4.5 中性子捕獲反応に占める寄与
- 表 4.6 1 群ミクロ定数の比較 (SLAROM70 群セル計算結果より編集)
- 表 5.1 解析対象とした Pu 同位体組成比
- 表 5.2 増殖特性に関する解析結果のまとめ
- 表 6.1 エネルギー群構造の比較 (70 群構造と 18 群構造)
- 表 6.2 核設計予測精度評価結果 (断面積誤差に起因する核特性の誤差)

## 1. 緒言

平成 11 年度より開始した FBR サイクル実用化戦略調査研究では、様々な概念の高速増殖炉心についてそれらの特徴を把握し、利害得失を比較した上で、将来の実用化に向けて研究開発を集中すべき炉心概念を絞り込むことを目標としている。本報告書は、その検討の一環として、最近日本原子力研究所（以下、「原研」と記す）を中心に検討が行われている水冷却型増殖炉概念<sup>1),2)</sup>について、増殖性を中心とする核特性を検討した結果をまとめたものである。

本検討を開始した後に、サイクル機構と原研との間で実用化戦略調査研究に関する研究協力が開始され、原研の研究成果の入手及び原研研究者と議論を行う場が設定された。本報告書記載内容の大半は上記協力の開始前に検討を終了しており、平成 11 年 12 月 1 日に開催された原研との予備打合せでその概要を報告したが、その後計算結果の一部修正を行い、考察内容に加筆修正を加えた。主要な変更点として、異なるセル計算コード間の規格化中性子スペクトル形状に見られる差異が上記報告内容より減少したことがあげられる。ただし、原研から入手した技術情報は、本報告書では使っていない。

平成 12 年度の検討項目としては、原研からの入手が期待される最新の設計研究仕様を対象に、近日中に改訂予定の核断面積共分散データ最新値を適用した「増殖比の設計精度評価」を予定している。

## 2. 検討概要及び検討対象炉心の設定

### 2.1 検討概要

水冷却型増殖炉はサイクル機構が従来の知見を有しない炉概念であったことを踏まえ、今年度の検討を以下のように実施した。

第一に、外部機関が水冷却型増殖炉の核特性として報告している高速炉に類似の中性子スペクトル及び基本核特性について、サイクル機構が有する高速炉核特性評価システムによって同等の結果が得られるかどうかを確認することとした。具体的には、高速炉用セル計算コード SLAROM<sup>3)</sup>と汎用核計算コードシステム SRAC<sup>4)</sup>の解析結果を比較した。また、炉心概念の違いによる主要エネルギー領域の変化を調査した。検討結果を第3章に示す。

第二に、水冷却型増殖炉の核特性上の特徴を浮かび上がらせるために、規格化中性子束スペクトル・平均中性子エネルギー・高速中性子束割合・ $\eta$  値等の基本的な核特性を、Na 冷却型 MOX 燃料高速炉心と比較した。検討結果を第4章に示す。

第三に、炉設計パラメータの変化が増殖性に及ぼす影響を評価した。炉設計パラメータとして冷却材ボイド率、及び Pu 同位体組成の二つを選定し、炉心燃料セルの転換比に及ぼす影響を燃焼効果も含めて評価した。検討結果を第5章に示す。

なお、以上の検討は、いずれも非均質セル計算をベースとしたものである。

第四に、核断面積の不確かさに起因する核特性の不確かさを検討するために、感度解析及び核設計精度評価を行った。これにより、核特性に影響を与えるエネルギー領域を明確にするとともに、通常ノミナル値で報告される設計研究の「増殖比」がどの程度の不確かさを有しているのかを把握することを狙った。ただし、最新核データである JENDL-3.2<sup>5)</sup>の共分散データは現在核データセンターによる改訂作業中のため、本報告書では改訂前共分散データを用いて得た結果を暫定評価値として記載し、その結果から水冷却型増殖炉の特徴を類推するにとどめた。検討結果を第6章に示す。

最後に、本検討の結論と今後の課題を第7章に示した。

### 2.2 検討対象炉心の設定

各種概念の水冷却型増殖炉と液体金属冷却高速増殖炉の基本的な核特性を比較検討するために、まず公開文献に基づいて沸騰軽水を冷却材とした炉心を設定し、それをベースに冷却材を非沸騰重水及び非沸騰軽水に置換した炉心を設定した。また、高速炉の代表炉心として典型的な大型 Na 冷却 MOX 燃料炉心の仕様を設定した。

まず、沸騰軽水を冷却材とした増殖炉の検討対象として(株)日立製作所が研究してきた RBWR(Resource-Renewable BWR)をとりあげ、公開文献<sup>6)</sup>を参考にして、炉心燃料セル仕様を設定した。以下、これを「沸騰軽水炉(65%void)」と呼ぶ。ここでとりあげた炉心の仕様は、電気出力 1356MW、冷却材平均ボイド率 65%、炉心部取出燃焼度 45GWd/t で

あり、直径 10.08mm の燃料ピンに平均 Pufissile 富化度 10.8w/o (Pu 富化度 18.4w/o) の MOX 燃料を装荷し、燃料ピン間距離を 1.3mm と稠密化することによって、増殖比 1.01 を達成できるとしている。

次に、上記炉心燃料セルの形状は保存したまま、冷却材を沸騰軽水から非沸騰重水、及び非沸騰軽水に変更した炉心燃料セルをそれぞれ「非沸騰重水炉」及び「非沸騰軽水炉」と名付けた。ここで、「非沸騰重水炉」については、SRAC によって燃焼度 45GWd/t までの燃焼計算を行い、平衡サイクル末期における無限増倍率が「沸騰軽水炉(65%void)」と同等になるように Pu 富化度を調整した。ただし、「非沸騰軽水炉」についてはこの調整は行っておらず、燃料部数密度は「沸騰軽水炉(65%void)」と同一の値を用いた。

最後に、典型的な大型 Na 冷却 MOX 燃料炉心の仕様として、平成 10 年度の実用化戦略調査研究（予備調査）<sup>7)</sup>の中で検討した熱出力 3800MW(電気出力 1600MW)、取出平均燃焼度約 150GWd/t、運転サイクル期間 18 ヶ月、バッチ数 5、増殖比 1.07（径ブランケット付き）の炉心を取りあげ、その内側燃料の仕様（燃料ピン直径は 9.7mm、燃料ピン間距離は 1.45mm）を参考に、炉心の実効燃料体積比（38.1%）が同等になるように冷却材領域を調整して、「Na 冷却高速炉」の炉心燃料セルを設定した。

以上述べた 4 種類の炉心燃料セルの具体的な設定値を表 2.1 及び表 2.2 に示す。これらのセルを対象として、第 3 章に示す SRAC と SLAROM の解析結果の比較及び主要エネルギー領域の比較、ならびに第 4 章に示す主要核的パラメータと増殖性に関する検討を実施した。第 5 章に示す Pu 同位体組成の増殖性への影響の検討では、燃料セルの形状はそのまま用いたが、Pu 同位体組成の相違に応じて SRAC 燃焼計算結果をもとに Pu 富化度を再設定したので燃料部の数密度が異なっている。第 6 章に示す感度解析及び核設計予測精度評価結果では、「沸騰軽水炉(65%void)」と「Na 冷却高速炉」について 2 次元 R-Z 体系を設定した。第 5 章及び第 6 章の検討対象炉心の仕様については、各章でそれぞれ具体的に説明する。

表2.1 Na冷却高速炉の炉心燃料セル仕様

項目	寸法
燃料ピン外径(cm)	0.97
燃料ピン内径(cm)	0.85
燃料ピン間距離[三角格子](cm)	1.185
燃料ピン等価面積 (cm <sup>2</sup> )	1.215
冷却材領域外径 (cm)	1.244

← SRACコードで使用 →

← SLAROMコードで使用 →

表2.2 水冷型増殖炉の炉心燃料セル仕様

項目	寸法
燃料ピン外径(cm)	1.008
燃料ピン内径(cm)	0.948
燃料ピン間距離[三角格子](cm)	1.138
燃料ピン等価面積 (cm <sup>2</sup> )	1.122
冷却材領域外径 (cm)	1.195

O/(Pu+U) : 2.0  
 燃料スミア密度 : 95 %  
 Pu 同位体組成比(W/O) :  
 .4/51.3/37.8/6.5/4 (Pu238/239/240/241/242)  
 U 同位体組成比(W/O) : 0.20/99.80 (U235/U238)  
 被覆管組成比(W/O) :  
 98.23/1.5/0.12/0.1/0.05(Zr/Sn/Fe/Cr/Ni)

注) 寸法及び被覆管原子数密度は、(a)~(c)は同一の値を用いた。

Pu富化度 : 17.0 (平衡炉心内側燃料)  
 O/(Pu+U) : 1.98  
 燃料スミア密度 : 83.74 %  
 Pu 同位体組成比(W/O) :  
 1.70/58.10/25.00/9.20/4.70/1.30 (Pu238/Pu239/Pu240/Pu241/Pu242/Am241)  
 U 同位体組成比(W/O) : 0.30/99.70 (U235/U238)  
 被覆管組成比(W/O) : 60.75/15.00/20.00/2.50/1.75(Fe/Cr/Ni/Mo/Mn)

No.	核種	原子数密度(×1E24/cc)		
		燃料(MOX)	被覆管(SUS)	冷却材(Na)
1	949 Pu-239	0.00235		
2	940 Pu-240	0.001007		
3	941 Pu-241	0.000369		
4	942 Pu-242	0.000188		
5	951 Am-241	5.21E-05		
6	925 U-235	6.02E-05		
7	926 U-236	0		
8	928 U-238	0.01977		
9	8 O	0.047251		
10	11 Na			0.022446
11	26 Fe		0.056392	
12	24 Cr		0.014955	
13	28 Ni		0.017666	
14	42 Mo		0.001351	
15	25 Mn		0.001651	
16	857 U235-FP			
17	897 Pu239-FP			
18	6 C			
19	7 N			
20	50 Sn			
21	40 Zr			
22	937 Np-237			
23	939 Np-239			
24	952 Am-242			
25	953 Am-243			
26	962 Cm-242			
27	963 Cm-243			
28	964 Cm-244			
29	965 Cm-245			
30	948 Pu-238	6.9E-05		
31	887 U238-FP			
32	817 Pu241-FP			
33	105 B-10			
34	115 B-11			
35	1 H			

(a) 非沸騰重水炉

No.	核種	原子数密度(×1E24/cc)		
		Pu富化度(w/o)	燃料(MOX)	被覆管(Zr-2)
1	949 Pu-239	21.44	2.577E-03	
2	940 Pu-240		1.899E-03	
3	941 Pu-241		3.265E-04	
4	942 Pu-242		2.009E-04	
5	951 Am-241		0.000E+00	
6	925 U-235		3.681E-05	
7	926 U-236		0.000E+00	
8	928 U-238		1.837E-02	
9	8 O		4.639E-02	
10	11 Na			
11	26 Fe		5.1320E-05	
12	24 Cr		4.2767E-05	
13	28 Ni		2.1383E-05	
14	42 Mo			
15	25 Mn			
16	857 U235-FP			
17	897 Pu239-FP			
18	6 C			
19	7 N			
20	40 Zr			0.028062
21	937 Np-237			
22	939 Np-239			
23	952 Am-242			
24	953 Am-243			
25	962 Cm-242			
26	963 Cm-243			
27	964 Cm-244			
28	965 Cm-245			
29	948 Pu-238		2.009E-05	
30	887 U238-FP			
31	817 Pu241-FP			
32	105 B-10			
33	115 B-11			
34	1 H			
35	2 D			0.056124

(b) 沸騰軽水炉(65%void)

No.	核種	原子数密度(×1E24/cc)		
		Pu富化度(w/o)	燃料(MOX)	冷却材(H2O)
1	949 Pu-239	18.43	2.215E-03	
2	940 Pu-240		1.632E-03	
3	941 Pu-241		2.807E-04	
4	942 Pu-242		1.727E-04	
5	951 Am-241		0.000E+00	
6	925 U-235		3.823E-05	
7	926 U-236		0.000E+00	
8	928 U-238		1.908E-02	
9	8 O		4.640E-02	
10	11 Na			
11	26 Fe			
12	24 Cr			
13	28 Ni			
14	42 Mo			
15	25 Mn			
16	857 U235-FP			
17	897 Pu239-FP			
18	6 C			
19	7 N			
20	40 Zr			
21	937 Np-237			
22	939 Np-239			
23	952 Am-242			
24	953 Am-243			
25	962 Cm-242			
26	963 Cm-243			
27	964 Cm-244			
28	965 Cm-245			
29	948 Pu-238		1.727E-05	
30	887 U238-FP			
31	817 Pu241-FP			
32	105 B-10			
33	115 B-11			
34	1 H			
35	2 D			0.050519

(c) 非沸騰軽水炉

### 3. 解析方法の検討

#### 3.1 概要

水冷却型増殖炉の基本的な核特性について、軽水炉の解析に広く使用されている汎用核計算コードシステム SRAC<sup>4)</sup>と高速炉用に開発されたセル計算コード SLAROM<sup>3)</sup>の解析結果を相互比較し、両者にどの程度の差異が見られるかを把握した。これにより、サイクル機構で使用経験の豊富な高速炉核特性解析システムの水冷却型増殖炉の炉心特性評価への適用性を検討した。

#### 3.2 検討方法

SLAROM 及び SRAC を用いて、2.2 で設定した 4 種類の炉心燃料セルを対象として非均質セル計算を実施した。いずれのコードも、入力される燃料セルの物質配置に基づき衝突確率法計算(PIJ)を行って、燃料セル各領域の実効断面積、中性子スペクトル等を求めるものだが、使用する核データライブラリや共鳴領域の実効断面積算出法等に相違があるため、できるだけ条件をそろえて両コードの比較を行うために、主な解析条件を以下のように設定した。

- 核データライブラリとして、SLAROM は高速炉用 70 群炉定数セット JFS-3-J3.2<sup>5),8)</sup>、SRAC は同システム内蔵の JENDL-3.2 に基づく Public Fast Library を使用した。
- 中性子エネルギー群数は、SLAROM では 70 群、SRAC では 107 群である。両コードの各群のエネルギー範囲を表 3.1 に示す。第 1 群～第 62 群 (1.855eV～10MeV) は両者同一であり、これより低エネルギー側では SRAC の方が SLAROM より詳細な構造となっている。
- 実際の炉心で生じる炉心燃料から周辺部への中性子漏洩を模擬するために、SLAROM では「臨界バックリング」、SRAC ではバックリングサーチオプションを用いた (IC9=-11 ; P1 近似による臨界バックリングサーチ)。
- セル形状は、SLAROM はピンモデル (燃料/被覆管/冷却材を同心円状に配置) を用い、SRAC は六角格子 (IGT=6) を用いて燃料/被覆管を同心円状に配置した外側に冷却材を実際の集合体配置に模擬したエントセル寸法に配置した。冷却材領域の面積を同一とすることによって、両者の整合性を確保した。
- SRAC の共鳴領域の実効断面積作成オプションとして、SLAROM と同等の取扱いを行う意味で「NR 近似」を用いたケース、及びできるだけ共鳴構造を詳細に取り扱った場合の影響を調査する意味で「超詳細群による直接計算(PEACO)」を用いたケースの二種類の計算を実施した。

{補足} SRAC の「NR 近似」(IC5=0)では、上述の群構造に対して与えられている無限希釈断面積と共鳴遮蔽因子のテーブル(f-table)データを用いて共鳴核種の実効断面積が求められるが、この際 f-table の値の引用を決定する背景断面積はダンコフ係数<sup>9)</sup>に基

づいて算出されるので、SLAROM の取扱いと同等であると考えた。一方、SRAC の「超詳細群による直接計算(PEACO)」では、「IC5=2, IC8=3」と設定することにより、約 1keV 以下のエネルギー範囲を超詳細群 (961.12eV( $\delta u=0.000250$ )～130.0712eV( $\delta u=0.0005$ )～thermal cut off energy) に取り扱って中性子スペクトルを厳密に解き、実効マイクロ断面積が計算される。

したがって、セル計算結果は3種類あり、本章ではそれぞれを「SLAROM」、「SRAC(NR 近似)」、「SRAC(PEACO)」と記載する。

### 3.3 SRAC 及び SLAROM による解析結果の比較

Na 冷却高速炉、非沸騰重水炉、沸騰軽水炉 (65%void)、非沸騰軽水炉の4種類の炉心燃料セル (表 2.1 参照) に対し、SRAC 及び SLAROM による解析結果を示す。

#### 3.3.1 規格化中性子スペクトルの比較 1 (4種類の炉心燃料セルの比較)

図 3.1 及び図 3.2 に、それぞれ SRAC(PEACO)と SLAROM の規格化中性子スペクトル (各群のレサジー幅で割った値。以下同様) を示す。全体的な形状は類似であり、炉型による中性子スペクトル形状の変化は両コードとも共通の傾向が見られる。

#### 3.3.2 規格化中性子スペクトルの比較 2 (SRAC(PEACO)と SLAROM の比較)

図 3.3～図 3.6 に、4種類の炉心燃料セルにおける SRAC(PEACO)と SLAROM の規格化中性子スペクトルを示す。いずれのセルについても、両者は高エネルギー側できわめてよく一致するのに対し、低エネルギー側で SRAC(PEACO)は SLAROM より大きな中性子束を示す傾向が見られる。すなわち、SRAC(PEACO)の方が若干軟らかいスペクトルを示す。この差異の原因については、3.4 で考察する。

#### 3.3.3 転換比の比較 (SRAC(PEACO)、SRAC(NR 近似)及び SLAROM の比較)

SRAC(PEACO)、SRAC(NR 近似)及び SLAROM によって、4種類の炉心燃料セル (無限体系) に対して算出される転換比を表 3.2 に示す。転換比の定義は下式の通りである。

$$\text{転換比} = \frac{\text{U-238 及び Pu-240 の中性子捕獲反応率の和}}{\text{U-235, Pu-239 及び Pu-241 の中性子吸収反応率の総和}}$$

いずれのセルに対しても、SLAROM は SRAC(PEACO)及び SRAC(NR 近似)よりやや大きめの転換比を算出する。SRAC(PEACO)に対する SLAROM の差は、Na 冷却高速炉の場合 1.1%、水冷却型増殖炉はいずれも約 3% (3.0～3.4%) である。SRAC(NR 近似)に対する SLAROM の差は、Na 冷却高速炉の場合 1.2%で SRAC(PEACO)の場合と同等だが、水冷却型増殖炉の場合には、0.3～2.8%と減少し、中性子スペクトルが軟らかな

セルほど両コードの計算値の差が小さくなる傾向が見られた（逆に言うと、SRAC(PEACO)と SRAC(NR 近似)の差が増加した）。これらの原因については、3.4 で考察する。

以上の計算結果の詳細を示すために、各核種の核分裂及び捕獲反応率を、高速領域（1～37 群、961eV～10MeV）、中速領域（38～62 群、1.855eV～961.1eV）、低速領域（63 群以下、1.855eV 以下）の 3 群に分類整理した値、及びそれらの各値についての SLAROM と SRAC の相違が転換比に及ぼす影響を表 3.3～表 3.10 に整理した。

### 3.3.4 主要核反応の発生エネルギー領域の比較

これらの情報をもとに、全核分裂反応及び親物質（U-238 及び Pu-240）捕獲反応の上記 3 つのエネルギー群における反応割合について、3 種類の解析方法による値を、図 3.7 及び図 3.8 に示す。高速領域の寄与は、Na 冷却高速炉では全核分裂及び親物質捕獲反応共に 90%以上を占めるのに対し、非沸騰重水炉では約 80%、沸騰軽水炉（65%void）では 60～70%、非沸騰軽水炉の核分裂反応については約 50%、捕獲反応については 35%弱まで減少する。一方、Na 冷却高速炉で 5%以下である中速領域の寄与は、高速領域に見られる傾向と対照的に増大し、非沸騰軽水炉では核分裂反応が約 40%、捕獲反応が約 50%に増大する。低速領域の寄与は Na 冷却高速炉、非沸騰重水炉及び沸騰軽水炉（65%void）では 5%以下と小さく、最も大きくなる非沸騰軽水炉においても 15%以下である。以上の整理結果に関しては、SLAROM と SRAC（2 種類）の解析結果は概ね同様の傾向を示していることから、いずれの手法によっても、これらの炉概念の主要核反応の発生エネルギー領域の分析結果は同等のものが得られると考えられる。

## 3.4 SLAROM と SRAC の解析結果に見られる差異に関する考察

3 種類のセル解析結果間の差異は、炉特性の概略評価の観点からは大きくないものと考えられるが、セル計算手法及び核データライブラリの差異による影響を定性的に理解しておくために、その発生原因を考察した。

### 3.4.1 規格化中性子スペクトル

Na 冷却高速炉、非沸騰重水炉、沸騰軽水炉（65%void）、及び非沸騰軽水炉の 4 種類の炉心燃料セルに対する規格化中性子スペクトルについて、3 種類のセル計算結果の相違が見られるエネルギー領域を拡大して、それぞれ図 3.9～図 3.12 に示す。また、2 種類のセル計算結果の比を 3 組プロットした図を、Na 冷却高速炉について図 3.13 に、3 種類の水冷却型増殖炉について図 3.14 にそれぞれ示す。

これらの図より、SRAC(PEACO)及び SRAC(NR 近似)の中性子束が SLAROM に比較して大きい（軟らかい）傾向を示すエネルギー領域は、Na 冷却高速炉については約 3keV 以下、3 種類の水冷却型増殖炉については約百 eV 以下のエネルギー領域であることがわ



かる。したがって、この原因は両コードの用いる群定数の違いに基づくものと推測される。そこで、各体系の keV 領域以下の中性子スペクトル形状に最も影響が大きいと考えられる核種（注目するセル体系内において、質量数が小さく、かつ大量に存在する核種）として、Na-23, O-16, D, 及び H の弾性散乱断面積に注目し、SLAROM が使用する JFS-3-J3.2、SRAC が使用する Public Fast Library を比較した。

全弾性散乱断面積の差（相対値）を図 3.15 に、自群散乱断面積の差（全弾性散乱断面積に対する相対値）を図 3.16 に示す。ただし、プロット区間は、両群定数のエネルギー群構造が同一である第 1 群～62 群(1.855eV～10MeV)とした。まず、全弾性散乱断面積の比較（図 3.15）においては、Na-23 を除く 3 核種にはほとんど差は見られない。Na-23 の場合は、約 3keV に存在する鋭い共鳴散乱ピークの付近で JFS-3-J3.2 の方が平均的に小さな値を示す。これが、Na 冷却高速炉において、約 3keV 付近から SRAC の中性子束が SLAROM に比べて大きい傾向を示す原因と考えられる。

次に、自群散乱断面積の比較（図 3.16）においては、H を除く 3 核種について、低エネルギー側で両群定数間の差が増加すること、またその傾向は質量数が大きい核種ほど顕著であることがわかる。この原因は群定数作成時に重み関数として用いられた中性子スペクトルの相違にあると思われる。すなわち、JFS-3-J3.2 の場合は、JFS-3-J2<sup>10</sup>と同様に典型的な Na 冷却高速炉として「もんじゅ」内側炉心燃料領域の中性子スペクトル（以下、「もんじゅ」スペクトル、と記す）が用いられたのに対し、SRAC の Public Fast Library の場合は、十分に減速される体系に典型的な  $1/E$  スペクトルが用いられた<sup>11)</sup>という違いがある。「もんじゅ」スペクトルは、本報告書に示す Na 冷却高速炉と同様、1keV 以下の領域で急激に減衰する「左下がり」の「硬い」スペクトルである。このようなスペクトルを用いた場合、 $1/E$  スペクトルを用いた場合に比べて、自群散乱断面積をより大きく算定する傾向が生じると考えられる。その理由は、ある群に注目した場合、その群の高エネルギー側で発生する弾性散乱現象に大きな重みを付けてその群の平均断面積を算定するためである。また、特定の群における自群散乱断面積は、質量数が大きく減速能が小さい核種ほど相対的に大きな値を示す傾向があり、上記の重みスペクトルの影響がより大きく現れる。ちなみに、SRAC の Public Fast Library によれば、全弾性散乱断面積に対する自群散乱断面積の比は、ほぼ一定値を示す 1keV 以下の領域において、Na-23 が 65.9%、O-16 が 51.6%、D が 13.0%、H が 11.5%である。以上を考慮すれば、図 3.16 に見られる傾向は理解できる。これによって、Na 冷却高速炉の約 3keV で発生した SRAC と SLAROM の中性子スペクトルの差異は、エネルギー低下とともに拡大する傾向を示すものと考えられる。また、3 種類の水冷却型増殖炉では、両群定数間の H 及び D の自群散乱断面積の差異が小さいため、SRAC と SLAROM の中性子スペクトルの差異は Na 冷却高速炉に比べれば小さいが、O-16 の自群散乱断面積の差異が約百 eV 以下で顕著に増加することが影響して同エネルギー領域の中性子スペクトルの差が顕在化するものと推測できる。

(補足) なお、SLAROMにおける散乱の取扱は下方30群まで考慮することとしているが、水素が存在する体系の解析では、誤差の原因となるおそれがあると考え、下方の全群(最大70群)を考慮するようプログラム変更したチェック計算も行ったが、規格化中性子スペクトルに及ぼす影響は第1~69群(0.32eV~10MeV)で最大1.4%、第70群(0.32eV以下)でも4.9%と小さな差にとどまることを確認した。

また、SRAC(PEACO)とSRAC(NR近似)の差異に注目すると、図3.9及び図3.13に見られるように、Na冷却高速炉では、SRAC(NR近似)はSRAC(PEACO)よりさらに軟らかい規格化中性子スペクトル形状を示し、SLAROMとの差異が増大した。これに対して、図3.10~図3.12及び図3.14に見られるように、3種類の水冷却型増殖炉ではいずれもこの逆の傾向を示し、SRAC(NR近似)はSRAC(PEACO)とSLAROMの中間的な規格化中性子スペクトル形状を示す。SLAROMとSRAC(NR近似)は共鳴領域における自己干渉効果の取扱いが同等と考えられるので、水冷却型増殖炉に見られる傾向の方が理解しやすい。Na冷却高速炉において逆の傾向が見られる原因については理解できていない。厳密には共鳴領域における主要核種の実効断面積を考慮した比較検討を行う必要があると思われる。現在、高速炉の中性子スペクトルを考慮し、かつ共鳴領域の取扱いを詳細化した解析を可能とするために、PEACOルーチンをSLAROMに組み込むことを別途検討中であり、本検討に有用と考える。

### 3.4.2 1群マイクロ断面積

今年度の検討では、実効マイクロ断面積については主要重核種の1群マイクロ断面積を比較するにとどめる。Na冷却高速炉、非沸騰重水炉、沸騰軽水炉(65%void)、及び非沸騰軽水炉の4種類の炉心燃料セルにおける1群マイクロ断面積について、3種類のセル計算結果を比較した結果を表3.11~表3.14に示す。U-235、U-238及びPu-238~Pu-242の7核種に関する特徴は、表の右端の欄に示すとおりである。ここでは、主要核反応への寄与の大きい核種・反応(表中に網掛けで表示)に見られる傾向を記載する。(注;1%以内の差異は一致しているとみなした。)

Na冷却高速炉(表3.11)においては、いずれの核種・断面積についても、SLAROMの値はSRACに比べて小さい値を示しており、これは3.4.1で示した「SLAROMがSRACより硬い中性子スペクトル形状を示す」ことで説明できる。ただし、1群マイクロ断面積の差異は4%以内と小さい。

非沸騰重水炉(表3.12)においては、U-238捕獲断面積以外のすべての核種・断面積について、SLAROMの値はSRACに比べて大きい傾向を示した(約6%以内)。これは、図3.14より、SLAROMがSRACに比べて約300eV~10keVの領域の中性子束がやや大きい傾向を示す効果が、約100eV以下の領域で中性子束が減少する効果を上回るためと考えられる。

沸騰軽水炉 (65%void)については、U-238 及び Pu-240 の捕獲・吸収断面積以外のすべての核種・断面積について、SLAROM の値は SRAC に比べて小さい傾向を示した。ただし、それらの差異は最大 2.2%ときわめて小さい。これは、図 3.14 より、非沸騰重水炉について示したエネルギー領域における SLAROM と SRAC の中性子束の差異が相対的に減少していることに対応するものと考えられる。

非沸騰軽水炉については、SRAC(PEACO)による U-238 捕獲断面積以外のすべての核種・断面積について、SLAROM の値は SRAC に比べて小さい傾向を示し、その差異は他の 3 種類の炉心燃料セルに比較して顕著に増加した (最大 13.8%)。図 3.14 の比較結果だけを見ると、沸騰軽水炉 (65%void)との違いがわからないが、図 3.11 と図 3.12 の比較より、1eV 以下の規格化中性子束が一桁増加しており、この領域でエネルギーの低下に伴って増加する断面積が 1 群マイクロ断面積に大きく寄与してくるため、この領域の中性子束が小さい SLAROM の方が SRAC に比べて 1 群マイクロ断面積を小さく算定する傾向が強調されるものと考えられる。これについては、図 3.7 及び図 3.8 に見られた低速エネルギー成分 (1eV 以下) の核分裂反応及び捕獲反応に及ぼす寄与が非沸騰軽水炉のみ 10~15%と有意な値を示したことと整合している。

### 3.4.3 $\eta$ 値

Na 冷却高速炉、非沸騰重水炉、沸騰軽水炉 (65%void)、及び非沸騰軽水炉の 4 種類の炉心燃料セルにおける中性子吸収あたりに発生する核分裂中性子数 ( $\eta$  値) について、3 種類のセル計算結果を比較した結果を表 3.15 に示す。増殖特性を担保する主要核種である Pu-239 及び Pu-241 に注目すると、どの炉心燃料セルに対しても解析手法による差はきわめて小さく、最大でも 0.02 である。これより、本検討でとりあげた 3 種類の解析手法いづれによっても、 $\eta$  値はほぼ同等の結果が得られることがわかった。これは、3.4.2 に示した 1 群マイクロ断面積の解析手法による変化傾向は、ほとんどの場合、吸収断面積と核分裂断面積について、同一方向 (例えば、片方が減少すれば他方も減少する) に生じているため、 $\eta$  値の算定においてそれらの相違がキャンセルしているものと考えられる。なお、解析手法による  $\eta$  値の差異が相対的に大きい核種は、沸騰軽水炉 (65%void) 及び非沸騰軽水炉における Pu-238、ならびに非沸騰軽水炉における Pu-241 である。

## 3.5 まとめ

- SRAC と SLAROM では、群定数ライブラリが異なることによって解析結果に若干の差が生じる。しかし、両コードの解析結果間の差異は小さく、Na 冷却高速炉と水冷型増殖炉に関する中性子スペクトルの概略把握、転換比の比較 (SLAROM の方が 0~3% 大きい値を算出する)、主要核反応の発生エネルギー領域の分析結果等については、ほぼ同等の結果を与えることから、炉概念の違いによる核特性の相違を議論する場

合に支障となるような食い違いは発生しないと判断できる。

- SRAC と SLAROM の解析結果に見られる差異は、SRAC における共鳴領域 (1keV 以下) の実効断面積の算出を PEACO ルーチンによって詳細化するオプションを使用した場合には、SLAROM と同じ解法である「NR 近似」(f-table 法) を用いた場合に比べて、若干増加し、その差は中性子スペクトルの軟化とともに増加する。したがって、中性子スペクトルの軟らかな炉心概念に高速炉解析システムを適用する際には、共鳴領域における解析結果の信頼性を向上させるために、PEACO ルーチンを SLAROM 等のセル計算実行時に活用する方途を確立することが有益であると思われる。

表3.1 SRACとSLAROMの解析に用いたエネルギー群構造の比較

SRACのエネルギー群構造				SLAROMのエネルギー群構造			
群 No.	中性子エネルギー(eV)		レサジー幅	群 No.	中性子エネルギー(eV)		レサジー幅
	上限値	下限値			上限値	下限値	
1	1.000E+07	7.788E+06	0.250	1	1.000E+07	7.788E+06	0.250
2	7.788E+06	6.065E+06	0.250	2	7.788E+06	6.065E+06	0.250
3	6.065E+06	4.724E+06	0.250	3	6.065E+06	4.724E+06	0.250
4	4.724E+06	3.679E+06	0.250	4	4.724E+06	3.679E+06	0.250
5	3.679E+06	2.865E+06	0.250	5	3.679E+06	2.865E+06	0.250
6	2.865E+06	2.231E+06	0.250	6	2.865E+06	2.231E+06	0.250
7	2.231E+06	1.738E+06	0.250	7	2.231E+06	1.738E+06	0.250
8	1.738E+06	1.353E+06	0.250	8	1.738E+06	1.353E+06	0.250
9	1.353E+06	1.054E+06	0.250	9	1.353E+06	1.054E+06	0.250
10	1.054E+06	8.209E+05	0.250	10	1.054E+06	8.209E+05	0.250
11	8.209E+05	6.393E+05	0.250	11	8.209E+05	6.393E+05	0.250
12	6.393E+05	4.979E+05	0.250	12	6.393E+05	4.979E+05	0.250
13	4.979E+05	3.877E+05	0.250	13	4.979E+05	3.877E+05	0.250
14	3.877E+05	3.020E+05	0.250	14	3.877E+05	3.020E+05	0.250
15	3.020E+05	2.352E+05	0.250	15	3.020E+05	2.352E+05	0.250
16	2.352E+05	1.832E+05	0.250	16	2.352E+05	1.832E+05	0.250
17	1.832E+05	1.426E+05	0.250	17	1.832E+05	1.426E+05	0.250
18	1.426E+05	1.111E+05	0.250	18	1.426E+05	1.111E+05	0.250
19	1.111E+05	8.652E+04	0.250	19	1.111E+05	8.652E+04	0.250
20	8.652E+04	6.738E+04	0.250	20	8.652E+04	6.738E+04	0.250
21	6.738E+04	5.248E+04	0.250	21	6.738E+04	5.248E+04	0.250
22	5.248E+04	4.087E+04	0.250	22	5.248E+04	4.087E+04	0.250
23	4.087E+04	3.183E+04	0.250	23	4.087E+04	3.183E+04	0.250
24	3.183E+04	2.479E+04	0.250	24	3.183E+04	2.479E+04	0.250
25	2.479E+04	1.930E+04	0.250	25	2.479E+04	1.930E+04	0.250
26	1.930E+04	1.503E+04	0.250	26	1.930E+04	1.503E+04	0.250
27	1.503E+04	1.171E+04	0.250	27	1.503E+04	1.171E+04	0.250
28	1.171E+04	9.119E+03	0.250	28	1.171E+04	9.119E+03	0.250
29	9.119E+03	7.102E+03	0.250	29	9.119E+03	7.102E+03	0.250
30	7.102E+03	5.531E+03	0.250	30	7.102E+03	5.531E+03	0.250
31	5.531E+03	4.307E+03	0.250	31	5.531E+03	4.307E+03	0.250
32	4.307E+03	3.355E+03	0.250	32	4.307E+03	3.355E+03	0.250
33	3.355E+03	2.613E+03	0.250	33	3.355E+03	2.613E+03	0.250
34	2.613E+03	2.035E+03	0.250	34	2.613E+03	2.035E+03	0.250
35	2.035E+03	1.585E+03	0.250	35	2.035E+03	1.585E+03	0.250
36	1.585E+03	1.234E+03	0.250	36	1.585E+03	1.234E+03	0.250
37	1.234E+03	9.611E+02	0.250	37	1.234E+03	9.611E+02	0.250
38	9.611E+02	7.485E+02	0.250	38	9.611E+02	7.485E+02	0.250
39	7.485E+02	5.830E+02	0.250	39	7.485E+02	5.830E+02	0.250
40	5.830E+02	4.540E+02	0.250	40	5.830E+02	4.540E+02	0.250
41	4.540E+02	3.536E+02	0.250	41	4.540E+02	3.536E+02	0.250
42	3.536E+02	2.754E+02	0.250	42	3.536E+02	2.754E+02	0.250
43	2.754E+02	2.145E+02	0.250	43	2.754E+02	2.145E+02	0.250
44	2.145E+02	1.670E+02	0.250	44	2.145E+02	1.670E+02	0.250
45	1.670E+02	1.301E+02	0.250	45	1.670E+02	1.301E+02	0.250
46	1.301E+02	1.013E+02	0.250	46	1.301E+02	1.013E+02	0.250
47	1.013E+02	7.889E+01	0.250	47	1.013E+02	7.889E+01	0.250
48	7.889E+01	6.144E+01	0.250	48	7.889E+01	6.144E+01	0.250
49	6.144E+01	4.785E+01	0.250	49	6.144E+01	4.785E+01	0.250
50	4.785E+01	3.727E+01	0.250	50	4.785E+01	3.727E+01	0.250
51	3.727E+01	2.902E+01	0.250	51	3.727E+01	2.902E+01	0.250
52	2.902E+01	2.260E+01	0.250	52	2.902E+01	2.260E+01	0.250
53	2.260E+01	1.760E+01	0.250	53	2.260E+01	1.760E+01	0.250
54	1.760E+01	1.371E+01	0.250	54	1.760E+01	1.371E+01	0.250
55	1.371E+01	1.068E+01	0.250	55	1.371E+01	1.068E+01	0.250
56	1.068E+01	8.315E+00	0.250	56	1.068E+01	8.315E+00	0.250
57	8.315E+00	6.476E+00	0.250	57	8.315E+00	6.476E+00	0.250
58	6.476E+00	5.044E+00	0.250	58	6.476E+00	5.044E+00	0.250
59	5.044E+00	3.928E+00	0.250	59	5.044E+00	3.928E+00	0.250
60	3.928E+00	3.059E+00	0.250	60	3.928E+00	3.059E+00	0.250
61	3.059E+00	2.382E+00	0.250	61	3.059E+00	2.382E+00	0.250
62	2.382E+00	1.855E+00	0.250	62	2.382E+00	1.855E+00	0.250
63	1.855E+00	1.637E+00	0.125	63	1.855E+00	1.445E+00	0.250
64	1.637E+00	1.445E+00	0.125	64	1.445E+00	1.125E+00	0.250
65	1.445E+00	1.275E+00	0.125	65	1.125E+00	8.764E-01	0.250
66	1.275E+00	1.125E+00	0.125	66	8.764E-01	6.826E-01	0.250
67	1.125E+00	9.931E-01	0.125	67	6.826E-01	5.316E-01	0.250
68	9.931E-01	8.764E-01	0.125	68	5.316E-01	4.140E-01	0.250
69	8.764E-01	7.734E-01	0.125	69	4.140E-01	3.224E-01	0.250
70	7.734E-01	6.826E-01	0.125	70	3.224E-01	1.000E-05	10.381
71	6.826E-01	6.024E-01	0.125				
72	6.024E-01	5.316E-01	0.125				
73	5.316E-01	4.691E-01	0.125				
74	4.691E-01	4.140E-01	0.125				
75	4.140E-01	3.893E-01	0.062				
76	3.893E-01	3.653E-01	0.064				
77	3.653E-01	3.421E-01	0.066				
78	3.421E-01	3.196E-01	0.068				
79	3.196E-01	2.979E-01	0.070				
80	2.979E-01	2.770E-01	0.073				
81	2.770E-01	2.568E-01	0.076				
82	2.568E-01	2.374E-01	0.079				
83	2.374E-01	2.188E-01	0.082				
84	2.188E-01	2.009E-01	0.085				
85	2.009E-01	1.838E-01	0.089				
86	1.838E-01	1.674E-01	0.093				
87	1.674E-01	1.518E-01	0.098				
88	1.518E-01	1.370E-01	0.103				
89	1.370E-01	1.229E-01	0.108				
90	1.229E-01	1.096E-01	0.115				
91	1.096E-01	9.708E-02	0.122				
92	9.708E-02	8.540E-02	0.128				
93	8.540E-02	7.428E-02	0.140				
94	7.428E-02	6.402E-02	0.149				
95	6.402E-02	5.452E-02	0.161				
96	5.452E-02	4.579E-02	0.175				
97	4.579E-02	3.781E-02	0.191				
98	3.781E-02	3.060E-02	0.212				
99	3.060E-02	2.415E-02	0.237				
100	2.415E-02	1.847E-02	0.268				
101	1.847E-02	1.354E-02	0.310				
102	1.354E-02	9.381E-03	0.367				
103	9.381E-03	5.980E-03	0.450				
104	5.980E-03	3.342E-03	0.582				
105	3.342E-03	1.466E-03	0.824				
106	1.466E-03	3.524E-04	1.426				
107	3.524E-04	1.000E-05	3.562				

表3.2 SRAC及びSLAROMによる4種類の炉心燃料セルの転換比

炉心燃料セル	SRAC(PEACO)	SLAROM	SRAC(PEACO)に 対するSLAROMの 差 (%)	SRAC(NR近似)	SRAC(NR近似)に 対するSLAROMの 差 (%)
Na冷却高速炉	0.865	0.875	1.1	0.865	1.2
非沸騰重水炉	0.853	0.880	3.2	0.856	2.8
沸騰軽水炉 (65%void)	0.840	0.869	3.4	0.853	1.8
非沸騰軽水炉	0.822	0.846	3.0	0.843	0.3

表3.3 Na冷却高速炉の無限体系における転換比の比較  
[SRAC(PEACO)とSLAROM]

反応率(by SLAROM ; 臨界ハッキング)

Reaction rate	Density ( $\times 10^{24}/cc$ )	fast-F 1-37Gr	epi-th F 38-62Gr	thermal F 62-70Gr	total F 1-70Gr	fast-C 1-37Gr	epi-th C 38-62Gr	thermal C 62-70Gr	total C 1-70Gr	
U-235	6.02E-05	5.32E-03	2.30E-04	2.62E-14	5.55E-03	1.42E-03	8.45E-05	6.31E-15	1.50E-03	
U-238	1.98E-02	5.50E-02	7.93E-06	8.37E-19	5.50E-02	2.47E-01	1.02E-02	2.24E-13	2.57E-01	
Pu-238	6.90E-05	3.99E-03	7.02E-05	3.00E-16	4.06E-03	1.93E-03	1.75E-04	6.95E-15	2.11E-03	
Pu-239	2.35E-03	2.05E-01	5.97E-03	1.11E-12	2.11E-01	4.81E-02	4.86E-03	2.37E-13	5.30E-02	
Pu-240	1.01E-03	2.14E-02	1.06E-04	8.35E-16	2.15E-02	2.48E-02	2.00E-03	4.42E-12	2.68E-02	
Pu-241	3.69E-04	4.37E-02	1.72E-03	2.28E-13	4.54E-02	7.67E-03	5.14E-04	3.41E-14	8.19E-03	
Pu-242	1.88E-04	2.85E-03	6.54E-06	5.96E-18	2.86E-03	3.91E-03	2.65E-04	6.71E-14	4.17E-03	
Sum		3.37E-01	8.11E-03	1.37E-12	3.45E-01	3.35E-01	1.81E-02	4.99E-12	3.53E-01	
Fis(U5+P9+P1)		2.54E-01	7.92E-03	1.36E-12	2.62E-01	5.72E-02	5.46E-03	2.78E-13	6.27E-02	
Fer(U8+P0)		7.64E-02	1.14E-04	8.36E-16	7.65E-02	2.72E-01	1.22E-02	4.64E-12	2.84E-01	転換比
Fer C/Fis A										8.750E-01

反応率(by SRAC ; PEACO+ハッキングサーチ)

Reaction rate	Density ( $\times 10^{24}/cc$ )	fast-F 1-37Gr	epi-th F 38-62Gr	thermal F 62-107Gr	total F 1-107Gr	fast-C 1-37Gr	epi-th C 38-62Gr	thermal C 62-107Gr	total C 1-107Gr	
U-235	6.03E-05	5.20E-03	2.98E-04	8.01E-14	5.50E-03	1.38E-03	1.10E-04	5.43E-14	1.50E-03	
U-238	1.98E-02	5.44E-02	9.80E-06	2.92E-18	5.44E-02	2.39E-01	1.30E-02	8.15E-13	2.52E-01	
Pu-238	6.90E-05	3.91E-03	9.18E-05	9.94E-16	4.01E-03	1.90E-03	2.34E-04	2.32E-14	2.14E-03	
Pu-239	2.35E-03	2.01E-01	7.81E-03	3.32E-12	2.09E-01	4.78E-02	6.27E-03	6.80E-13	5.41E-02	
Pu-240	1.01E-03	2.11E-02	1.20E-04	1.60E-15	2.13E-02	2.42E-02	2.51E-03	8.33E-12	2.67E-02	
Pu-241	3.69E-04	4.27E-02	2.23E-03	7.63E-13	4.49E-02	7.52E-03	6.65E-04	1.13E-13	8.18E-03	
Pu-242	1.88E-04	2.83E-03	7.42E-06	6.04E-17	2.84E-03	3.82E-03	3.15E-04	7.31E-13	4.14E-03	
Sum		3.31E-01	1.06E-02	4.16E-12	3.41E-01	3.26E-01	2.31E-02	1.08E-11	3.49E-01	
Fis(U5+P9+P1)		2.49E-01	1.03E-02	4.16E-12	2.59E-01	5.67E-02	7.04E-03	8.47E-13	6.37E-02	
Fer(U8+P0)		7.56E-02	1.29E-04	1.61E-15	7.57E-02	2.64E-01	1.55E-02	9.15E-12	2.79E-01	転換比
Fer C/Fis A										8.654E-01

転換比の差= 1.1%

SRACとSLAROMの転換比の差の寄与内訳 (SLAROM計算値がSRAC転換比に及ぼす影響)

	fast-F	epi-th F	thermal F	total F	fast-C	epi-th C	thermal C	total C
U-235	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
U-238					2.7%	-1.0%	0.0%	1.7%
Pu-238								
Pu-239	-1.3%	0.6%	0.0%	-0.7%	-0.1%	0.4%	0.0%	0.3%
Pu-240					0.2%	-0.2%	0.0%	0.0%
Pu-241	-0.3%	0.2%	0.0%	-0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Pu-242								
合計	-1.7%	0.8%	0.0%	-0.9%	2.8%	-0.7%	0.0%	2.1%

表3.4 非沸騰重水炉の無限体系における転換比の比較  
[SRAC(PEACO)とSLAROM]

反応率(by SLAROM ; 臨界マッキング)

Reaction rate	Density ( $\times 10^{24}/cc$ )	fast-F 1-37Gr	epi-th F 38-62Gr	thermal F 62-70Gr	total F 1-70Gr	fast-C 1-37Gr	epi-th C 38-62Gr	thermal C 62-70Gr	total C 1-70Gr
U-235	3.68E-05	2.77E-03	8.01E-04	2.33E-07	3.57E-03	7.88E-04	3.27E-04	5.09E-08	1.11E-03
U-238	1.84E-02	4.61E-02	2.16E-05	8.11E-12	4.61E-02	2.07E-01	4.28E-02	2.13E-06	2.49E-01
Pu-238	2.01E-05	8.62E-04	1.13E-04	1.39E-09	9.75E-04	5.60E-04	2.93E-04	3.57E-08	8.53E-04
Pu-239	2.58E-03	1.74E-01	4.11E-02	2.13E-05	2.15E-01	5.81E-02	3.08E-02	7.25E-06	8.88E-02
Pu-240	1.90E-03	3.05E-02	4.42E-04	1.75E-08	3.10E-02	4.49E-02	2.24E-02	9.24E-05	6.74E-02
Pu-241	3.27E-04	3.26E-02	9.54E-03	2.49E-06	4.21E-02	6.35E-03	2.74E-03	5.60E-07	9.09E-03
Pu-242	2.01E-04	2.33E-03	1.82E-05	5.83E-11	2.34E-03	4.18E-03	1.73E-03	6.44E-07	5.91E-03
Sum		2.89E-01	5.20E-02	2.41E-05	3.41E-01	3.21E-01	1.01E-01	1.03E-04	4.22E-01
Fis(U5+P9+P1)		2.09E-01	5.14E-02	2.41E-05	2.61E-01	6.52E-02	3.38E-02	7.86E-06	9.90E-02
Fer(U8+P0)		7.66E-02	4.63E-04	1.75E-08	7.71E-02	2.51E-01	6.51E-02	9.45E-05	3.17E-01
Fer C/Fis A									転換比 8.801E-01

反応率(by SRAC ; PEACO+マッキング)

Reaction rate	Density ( $\times 10^{24}/cc$ )	fast-F 1-37Gr	epi-th F 38-62Gr	thermal F 62-107Gr	total F 1-107Gr	fast-C 1-37Gr	epi-th C 38-62Gr	thermal C 62-107Gr	total C 1-107Gr
U-235	3.68E-05	2.73E-03	8.17E-04	5.31E-07	3.54E-03	7.72E-04	3.44E-04	2.70E-07	1.12E-03
U-238	1.84E-02	4.63E-02	1.88E-05	2.42E-11	4.63E-02	2.01E-01	3.99E-02	6.65E-06	2.41E-01
Pu-238	2.01E-05	8.63E-04	1.16E-04	3.21E-09	9.79E-04	5.49E-04	3.29E-04	7.91E-08	8.78E-04
Pu-239	2.58E-03	1.74E-01	4.06E-02	5.20E-05	2.14E-01	5.71E-02	2.99E-02	1.75E-05	8.70E-02
Pu-240	1.90E-03	3.07E-02	3.86E-04	4.16E-08	3.11E-02	4.37E-02	1.97E-02	2.19E-04	6.36E-02
Pu-241	3.27E-04	3.21E-02	9.63E-03	6.76E-06	4.18E-02	6.22E-03	2.81E-03	1.34E-06	9.03E-03
Pu-242	2.01E-04	2.35E-03	1.70E-05	4.92E-10	2.37E-03	4.08E-03	1.67E-03	5.91E-06	5.75E-03
Sum		2.89E-01	5.16E-02	5.94E-05	3.40E-01	3.13E-01	9.46E-02	2.51E-04	4.08E-01
Fis(U5+P9+P1)		2.08E-01	5.10E-02	5.93E-05	2.59E-01	6.40E-02	3.31E-02	1.91E-05	9.72E-02
Fer(U8+P0)		7.70E-02	4.05E-04	4.16E-08	7.74E-02	2.44E-01	5.95E-02	2.26E-04	3.04E-01
Fer C/Fis A									転換比 8.528E-01

転換比の差 = 3.2%

SRACとSLAROMの転換比の差の寄与内訳 (SLAROM計算値がSRAC転換比に及ぼす影響)

	fast-F	epi-th F	thermal F	total F	fast-C	epi-th C	thermal C	total C
U-235	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
U-238					1.9%	1.0%	0.0%	2.9%
Pu-238								
Pu-239	-0.1%	-0.1%	0.0%	-0.2%	-0.3%	-0.2%	0.0%	-0.5%
Pu-240					0.4%	0.9%	0.0%	1.2%
Pu-241	-0.1%	0.0%	0.0%	-0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Pu-242								
合計	-0.3%	-0.1%	0.0%	-0.4%	2.0%	1.6%	0.0%	3.6%



表3.5 沸騰軽水炉 (65%void)の無限体系における転換比の比較  
[SRAC(PEACO)とSLAROM]

反応率 (by SLAROM ; 臨界 $k_{eff}$ 値)

Reaction rate	Density ( $\times 10^{24}/cc$ )	fast-F 1-37Gr	epi-th F 38-62Gr	thermal F 62-70Gr	total F 1-70Gr	fast-C 1-37Gr	epi-th C 38-62Gr	thermal C 62-70Gr	total C 1-70Gr	
U-235	3.82E-05	2.26E-03	1.64E-03	2.89E-05	3.92E-03	5.76E-04	7.70E-04	5.51E-06	1.35E-03	
U-238	1.91E-02	5.63E-02	2.19E-05	6.34E-10	5.63E-02	1.50E-01	7.86E-02	1.61E-04	2.29E-01	
Pu-238	1.73E-05	7.27E-04	1.39E-04	2.28E-07	8.66E-04	3.34E-04	4.40E-04	6.56E-06	7.81E-04	
Pu-239	2.22E-03	1.29E-01	7.12E-02	2.70E-03	2.03E-01	3.42E-02	5.07E-02	1.16E-03	8.60E-02	
Pu-240	1.63E-03	3.02E-02	4.03E-04	1.16E-06	3.06E-02	2.67E-02	3.87E-02	6.16E-03	7.15E-02	
Pu-241	2.81E-04	2.20E-02	1.98E-02	3.08E-04	4.21E-02	3.94E-03	5.72E-03	1.03E-04	9.76E-03	
Pu-242	1.73E-04	2.41E-03	1.62E-05	3.02E-09	2.43E-03	2.45E-03	5.30E-03	3.20E-05	7.78E-03	
Sum		2.43E-01	9.32E-02	3.04E-03	3.39E-01	2.18E-01	1.80E-01	7.63E-03	4.06E-01	
Fis(U5+P9+P1)		1.53E-01	9.26E-02	3.04E-03	2.49E-01	3.87E-02	5.72E-02	1.27E-03	9.72E-02	
Fer(U8+P0)		8.65E-02	4.25E-04	1.16E-06	8.69E-02	1.77E-01	1.17E-01	6.32E-03	3.00E-01	転換比
Fer C/Fis A										8.687E-01

反応率 (by SRAC ; PEACO+ $k_{eff}$ 値)

Reaction rate	Density ( $\times 10^{24}/cc$ )	fast-F 1-37Gr	epi-th F 38-62Gr	thermal F 62-107Gr	total F 1-107Gr	fast-C 1-37Gr	epi-th C 38-62Gr	thermal C 62-107Gr	total C 1-107Gr	
U-235	3.82E-05	2.21E-03	1.77E-03	4.01E-05	4.02E-03	5.64E-04	8.55E-04	1.26E-05	1.43E-03	
U-238	1.91E-02	5.56E-02	1.90E-05	1.18E-09	5.57E-02	1.47E-01	7.77E-02	3.12E-04	2.25E-01	
Pu-238	1.73E-05	7.19E-04	1.50E-04	2.76E-07	8.70E-04	3.27E-04	5.84E-04	7.68E-06	9.19E-04	
Pu-239	2.22E-03	1.27E-01	7.33E-02	4.83E-03	2.06E-01	3.38E-02	5.13E-02	2.31E-03	8.74E-02	
Pu-240	1.63E-03	2.99E-02	3.67E-04	2.16E-06	3.03E-02	2.60E-02	3.28E-02	1.15E-02	7.02E-02	
Pu-241	2.81E-04	2.16E-02	2.04E-02	5.20E-04	4.26E-02	3.86E-03	6.16E-03	1.55E-04	1.02E-02	
Pu-242	1.73E-04	2.39E-03	1.58E-05	1.47E-08	2.41E-03	2.40E-03	5.40E-03	1.74E-04	7.97E-03	
Sum		2.40E-01	9.60E-02	5.39E-03	3.41E-01	2.14E-01	1.75E-01	1.44E-02	4.03E-01	
Fis(U5+P9+P1)		1.51E-01	9.55E-02	5.39E-03	2.52E-01	3.82E-02	5.83E-02	2.48E-03	9.90E-02	
Fer(U8+P0)		8.55E-02	3.86E-04	2.16E-06	8.59E-02	1.73E-01	1.10E-01	1.18E-02	2.95E-01	転換比
Fer C/Fis A										8.400E-01

転換比の差 = 3.4%

SRACとSLAROMの転換比の差の寄与内訳 (SLAROM計算値がSRAC転換比に及ぼす影響)

	fast-F	epi-th F	thermal F	total F	fast-C	epi-th C	thermal C	total C
U-235	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
U-238					1.2%	0.3%	-0.1%	1.4%
Pu-238								
Pu-239	-0.4%	0.6%	0.6%	0.8%	-0.1%	0.2%	0.3%	0.4%
Pu-240					0.2%	2.0%	-1.8%	0.4%
Pu-241	-0.1%	0.2%	0.1%	0.1%	0.0%	0.1%	0.0%	0.1%
Pu-242								
合計	-0.5%	0.8%	0.7%	1.0%	1.3%	2.6%	-1.5%	2.4%

表3.6 非沸騰軽水炉の無限体系における転換比の比較  
[SRAC(PEACO)とSLAROM]

反応率(by SLAROM ; 臨界K<sub>eff</sub>)

Reaction rate	Density (X1E24/cc)	fast-F 1-37Gr	epi-th F 38-62Gr	thermal F 62-70Gr	total F 1-70Gr	fast-C 1-37Gr	epi-th C 38-62Gr	thermal C 62-70Gr	total C 1-70Gr
U-235	3.82E-05	1.46E-03	2.30E-03	1.77E-04	3.94E-03	3.61E-04	1.17E-03	3.24E-05	1.57E-03
U-238	1.91E-02	4.65E-02	1.83E-05	3.10E-09	4.65E-02	9.64E-02	1.21E-01	7.69E-04	2.18E-01
Pu-238	1.73E-05	5.02E-04	1.52E-04	1.64E-06	6.55E-04	2.14E-04	5.87E-04	4.82E-05	8.49E-04
Pu-239	2.22E-03	8.48E-02	1.05E-01	1.77E-02	2.07E-01	2.23E-02	7.30E-02	7.97E-03	1.03E-01
Pu-240	1.63E-03	2.27E-02	3.88E-04	5.60E-06	2.31E-02	1.70E-02	5.48E-02	2.96E-02	1.01E-01
Pu-241	2.81E-04	1.42E-02	3.26E-02	2.07E-03	4.89E-02	2.50E-03	9.68E-03	7.56E-04	1.29E-02
Pu-242	1.73E-04	1.86E-03	1.51E-05	1.24E-08	1.87E-03	1.56E-03	1.26E-02	1.26E-04	1.43E-02
Sum		1.72E-01	1.40E-01	1.99E-02	3.32E-01	1.40E-01	2.73E-01	3.93E-02	4.53E-01
Fis(U5+P9+P1)		1.01E-01	1.40E-01	1.99E-02	2.60E-01	2.51E-02	8.38E-02	8.76E-03	1.18E-01
Fer(U8+P0)		6.92E-02	4.06E-04	5.60E-06	6.96E-02	1.13E-01	1.76E-01	3.04E-02	3.20E-01
Fer C/Fis A									
									転換比 8.458E-01

反応率(by SRAC ; PEACO+K<sub>eff</sub>)

Reaction rate	Density (X1E24/cc)	fast-F 1-37Gr	epi-th F 38-62Gr	thermal F 62-107Gr	total F 1-107Gr	fast-F 1-37Gr	epi-th C 38-62Gr	thermal C 62-107Gr	total C 1-107Gr
U-235	3.82E-05	1.42E-03	2.44E-03	2.27E-04	4.08E-03	3.49E-04	1.27E-03	5.47E-05	1.67E-03
U-238	1.91E-02	4.55E-02	1.58E-05	4.99E-09	4.55E-02	9.29E-02	1.17E-01	1.28E-03	2.11E-01
Pu-238	1.73E-05	4.90E-04	1.64E-04	1.82E-06	6.56E-04	2.07E-04	8.00E-04	5.25E-05	1.06E-03
Pu-239	2.22E-03	8.30E-02	1.05E-01	3.06E-02	2.18E-01	2.17E-02	7.16E-02	1.57E-02	1.09E-01
Pu-240	1.63E-03	2.22E-02	3.48E-04	1.03E-05	2.26E-02	1.63E-02	4.37E-02	5.44E-02	1.14E-01
Pu-241	2.81E-04	1.38E-02	3.25E-02	3.26E-03	4.96E-02	2.42E-03	1.02E-02	1.07E-03	1.37E-02
Pu-242	1.73E-04	1.82E-03	1.46E-05	4.68E-08	1.84E-03	1.51E-03	1.25E-02	5.40E-04	1.45E-02
Sum		1.68E-01	1.40E-01	3.41E-02	3.43E-01	1.35E-01	2.57E-01	7.31E-02	4.65E-01
Fis(U5+P9+P1)		9.82E-02	1.40E-01	3.41E-02	2.72E-01	2.44E-02	8.30E-02	1.68E-02	1.24E-01
Fer(U8+P0)		6.78E-02	3.64E-04	1.03E-05	6.81E-02	1.09E-01	1.61E-01	5.57E-02	3.26E-01
Fer C/Fis A									
									転換比 8.215E-01

転換比の差= 3.0%

SRACとSLAROMの転換比の差の寄与内訳 (SLAROM計算値がSRAC転換比に及ぼす影響)

	fast-F	epi-th F	thermal F	total F	fast-C	epi-th C	thermal C	total C
U-235	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
U-238					1.1%	1.3%	-0.2%	2.2%
Pu-238								
Pu-239	-0.5%	0.0%	3.4%	2.9%	-0.1%	-0.3%	2.0%	1.5%
Pu-240					0.2%	3.4%	-7.6%	-4.0%
Pu-241	-0.1%	0.0%	0.3%	0.2%	0.0%	0.1%	0.1%	0.2%
Pu-242								
合計	-0.6%	0.0%	3.7%	3.1%	1.1%	4.5%	-5.7%	-0.1%

表3.7 Na冷却高速炉の無限体系における転換比の比較  
[SRAC(NR近似)とSLAROM]

反応率(by SLAROM ; 臨界ハッキング)

Reaction rate	Density (×1E24/cc)	fast-F 1-37Gr	epi-th F 38-62Gr	thermal F 62-70Gr	total F 1-70Gr	fast-C 1-37Gr	epi-th C 38-62Gr	thermal C 62-70Gr	total C 1-70Gr	
U-235	6.02E-05	5.32E-03	2.30E-04	2.62E-14	5.55E-03	1.42E-03	8.45E-05	6.31E-15	1.50E-03	
U-238	1.98E-02	5.50E-02	7.93E-06	8.37E-19	5.50E-02	2.47E-01	1.02E-02	2.24E-13	2.57E-01	
Pu-238	6.90E-05	3.99E-03	7.02E-05	3.00E-16	4.06E-03	1.93E-03	1.75E-04	6.95E-15	2.11E-03	
Pu-239	2.35E-03	2.05E-01	5.97E-03	1.11E-12	2.11E-01	4.81E-02	4.86E-03	2.37E-13	5.30E-02	
Pu-240	1.01E-03	2.14E-02	1.06E-04	8.35E-16	2.15E-02	2.48E-02	2.00E-03	4.42E-12	2.68E-02	
Pu-241	3.69E-04	4.37E-02	1.72E-03	2.28E-13	4.54E-02	7.67E-03	5.14E-04	3.41E-14	8.19E-03	
Pu-242	1.88E-04	2.85E-03	6.54E-06	5.96E-18	2.86E-03	3.91E-03	2.65E-04	6.71E-14	4.17E-03	
Sum		3.37E-01	8.11E-03	1.37E-12	3.45E-01	3.35E-01	1.81E-02	4.99E-12	3.53E-01	
Fis(U5+P9+P1)		2.54E-01	7.92E-03	1.36E-12	2.62E-01	5.72E-02	5.46E-03	2.78E-13	6.27E-02	
Fer(U8+P0)		7.64E-02	1.14E-04	8.36E-16	7.65E-02	2.72E-01	1.22E-02	4.64E-12	2.84E-01	転換比
Fer C/Fis A										8.750E-01

反応率(by SRAC ; NR近似+ハッキングサテ)

Reaction rate	Density (×1E24/cc)	fast-F 1-37Gr	epi-th F 38-62Gr	thermal F 62-107Gr	total F 1-107Gr	fast-C 1-37Gr	epi-th C 38-62Gr	thermal C 62-107Gr	total C 1-107Gr	
U-235	6.03E-05	5.20E-03	3.01E-04	3.28E-13	5.50E-03	1.38E-03	1.11E-04	2.23E-13	1.50E-03	
U-238	1.98E-02	5.44E-02	7.99E-06	1.20E-17	5.44E-02	2.39E-01	1.27E-02	3.34E-12	2.52E-01	
Pu-238	6.90E-05	3.91E-03	9.83E-05	4.08E-15	4.01E-03	1.90E-03	2.40E-04	9.52E-14	2.14E-03	
Pu-239	2.35E-03	2.01E-01	7.84E-03	1.36E-11	2.08E-01	4.78E-02	6.27E-03	2.78E-12	5.40E-02	
Pu-240	1.01E-03	2.11E-02	1.22E-04	6.56E-15	2.13E-02	2.42E-02	2.59E-03	3.41E-11	2.68E-02	
Pu-241	3.69E-04	4.26E-02	2.27E-03	3.13E-12	4.49E-02	7.51E-03	6.72E-04	4.65E-13	8.19E-03	
Pu-242	1.88E-04	2.83E-03	7.67E-06	2.48E-16	2.84E-03	3.82E-03	3.44E-04	3.00E-12	4.17E-03	
Sum		3.31E-01	1.06E-02	1.71E-11	3.41E-01	3.26E-01	2.30E-02	4.40E-11	3.49E-01	
Fis(U5+P9+P1)		2.48E-01	1.04E-02	1.71E-11	2.59E-01	5.67E-02	7.05E-03	3.47E-12	6.37E-02	
Fer(U8+P0)		7.56E-02	1.30E-04	6.57E-15	7.57E-02	2.64E-01	1.53E-02	3.75E-11	2.79E-01	転換比
Fer C/Fis A										8.645E-01

転換比の差= 1.2%

SRACとSLAROMの転換比の差の寄与内訳 (SLAROM計算値がSRAC転換比に及ぼす影響)

	fast-F	epi-th F	thermal F	total F	fast-C	epi-th C	thermal C	total C
U-235	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
U-238					2.8%	-0.9%	0.0%	1.8%
Pu-238								
Pu-239	-1.3%	0.6%	0.0%	-0.8%	-0.1%	0.4%	0.0%	0.3%
Pu-240					0.2%	-0.2%	0.0%	0.0%
Pu-241	-0.3%	0.2%	0.0%	-0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Pu-242								
合計	-1.7%	0.8%	0.0%	-0.9%	2.8%	-0.6%	0.0%	2.2%

表3.8 非沸騰重水炉の無限体系における転換比の比較  
[SRAC(NR近似)とSLAROM]

反応率(by SLAROM ; 臨界ハッキング)

Reaction rate	Density (X1E24/cc)	fast-F 1-37Gr	epi-th F 38-62Gr	thermal F 62-70Gr	total F 1-70Gr	fast-C 1-37Gr	epi-th C 38-62Gr	thermal C 62-70Gr	total C 1-70Gr	
U-235	3.68E-05	2.77E-03	8.01E-04	2.33E-07	3.57E-03	7.88E-04	3.27E-04	5.09E-08	1.11E-03	
U-238	1.84E-02	4.61E-02	2.16E-05	8.11E-12	4.61E-02	2.07E-01	4.28E-02	2.13E-06	2.49E-01	
Pu-238	2.01E-05	8.62E-04	1.13E-04	1.39E-09	9.75E-04	5.60E-04	2.93E-04	3.57E-08	8.53E-04	
Pu-239	2.58E-03	1.74E-01	4.11E-02	2.13E-05	2.15E-01	5.81E-02	3.08E-02	7.25E-06	8.88E-02	
Pu-240	1.90E-03	3.05E-02	4.42E-04	1.75E-08	3.10E-02	4.49E-02	2.24E-02	9.24E-05	6.74E-02	
Pu-241	3.27E-04	3.26E-02	9.54E-03	2.49E-06	4.21E-02	6.35E-03	2.74E-03	5.60E-07	9.09E-03	
Pu-242	2.01E-04	2.33E-03	1.82E-05	5.83E-11	2.34E-03	4.18E-03	1.73E-03	6.44E-07	5.91E-03	
Sum		2.89E-01	5.20E-02	2.41E-05	3.41E-01	3.21E-01	1.01E-01	1.03E-04	4.22E-01	
Fis(U5+P9+P1)		2.09E-01	5.14E-02	2.41E-05	2.61E-01	6.52E-02	3.38E-02	7.86E-06	9.90E-02	
Fer(U8+P0)		7.66E-02	4.63E-04	1.75E-08	7.71E-02	2.51E-01	6.51E-02	9.45E-05	3.17E-01	転換比 8.801E-01
Fer C/Fis A										

反応率(by SRAC ; NR近似+ハッキングサチ)

Reaction rate	Density (X1E24/cc)	fast-F 1-37Gr	epi-th F 38-62Gr	thermal F 62-107Gr	total F 1-107Gr	fast-C 1-37Gr	epi-th C 38-62Gr	thermal C 62-107Gr	total C 1-107Gr	
U-235	3.68E-05	2.73E-03	8.05E-04	4.67E-07	3.54E-03	7.73E-04	3.34E-04	2.38E-07	1.11E-03	
U-238	1.84E-02	4.63E-02	1.68E-05	2.13E-11	4.63E-02	2.01E-01	4.02E-02	5.86E-06	2.41E-01	
Pu-238	2.01E-05	8.64E-04	1.16E-04	2.82E-09	9.80E-04	5.50E-04	3.13E-04	6.94E-08	8.63E-04	
Pu-239	2.58E-03	1.74E-01	4.03E-02	4.55E-05	2.14E-01	5.72E-02	2.97E-02	1.52E-05	8.69E-02	
Pu-240	1.90E-03	3.08E-02	4.02E-04	3.65E-08	3.12E-02	4.38E-02	1.99E-02	1.92E-04	6.39E-02	
Pu-241	3.27E-04	3.22E-02	9.54E-03	5.94E-06	4.17E-02	6.23E-03	2.75E-03	1.17E-06	8.97E-03	
Pu-242	2.01E-04	2.36E-03	1.73E-05	4.35E-10	2.37E-03	4.09E-03	1.70E-03	5.23E-06	5.79E-03	
Sum		2.89E-01	5.12E-02	5.20E-05	3.40E-01	3.14E-01	9.49E-02	2.20E-04	4.09E-01	
Fis(U5+P9+P1)		2.09E-01	5.07E-02	5.19E-05	2.59E-01	6.42E-02	3.28E-02	1.67E-05	9.70E-02	
Fer(U8+P0)		7.71E-02	4.79E-04	3.65E-08	7.75E-02	2.45E-01	6.01E-02	1.98E-04	3.05E-01	転換比 8.560E-01
Fer C/Fis A										

転換比の差= 2.8%

SRACとSLAROMの転換比の差の寄与内訳 (SLAROM計算値がSRAC転換比に及ぼす影響)

	fast-F	epi-th F	thermal F	total F	fast-C	epi-th C	thermal C	total C
U-235	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
U-238					1.8%	0.8%	0.0%	2.6%
Pu-238								
Pu-239	-0.1%	-0.2%	0.0%	-0.3%	-0.2%	-0.3%	0.0%	-0.5%
Pu-240					0.4%	0.8%	0.0%	1.1%
Pu-241	-0.1%	0.0%	0.0%	-0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Pu-242								
合計	-0.2%	-0.2%	0.0%	-0.4%	1.9%	1.4%	0.0%	3.2%

表3.9 沸騰軽水炉 (65%void)の無限体系における転換比の比較  
[SRAC(NR近似)とSLAROM]

反応率 (by SLAROM ; 臨界ハッキング)

Reaction rate	Density ( $\times 10^{24}/\text{cc}$ )	fast-F 1-37Gr	epi-th F 38-62Gr	thermal F 62-70Gr	total F 1-70Gr	fast-C 1-37Gr	epi-th C 38-62Gr	thermal C 62-70Gr	total C 1-70Gr	転換比
U-235	3.82E-05	2.26E-03	1.64E-03	2.89E-05	3.92E-03	5.76E-04	7.70E-04	5.51E-06	1.35E-03	
U-238	1.91E-02	5.63E-02	2.19E-05	6.34E-10	5.63E-02	1.50E-01	7.86E-02	1.61E-04	2.29E-01	
Pu-238	1.73E-05	7.27E-04	1.39E-04	2.28E-07	8.66E-04	3.34E-04	4.40E-04	6.56E-06	7.81E-04	
Pu-239	2.22E-03	1.29E-01	7.12E-02	2.70E-03	2.03E-01	3.42E-02	5.07E-02	1.16E-03	8.60E-02	
Pu-240	1.63E-03	3.02E-02	4.03E-04	1.16E-06	3.06E-02	2.67E-02	3.87E-02	6.16E-03	7.15E-02	
Pu-241	2.81E-04	2.20E-02	1.98E-02	3.08E-04	4.21E-02	3.94E-03	5.72E-03	1.03E-04	9.76E-03	
Pu-242	1.73E-04	2.41E-03	1.62E-05	3.02E-09	2.43E-03	2.45E-03	5.30E-03	3.20E-05	7.78E-03	
Sum		2.43E-01	9.32E-02	3.04E-03	3.39E-01	2.18E-01	1.80E-01	7.63E-03	4.06E-01	
Fis(U5+P9+P1)		1.53E-01	9.26E-02	3.04E-03	2.49E-01	3.87E-02	5.72E-02	1.27E-03	9.72E-02	
Fer(U8+P0)		8.65E-02	4.25E-04	1.16E-06	8.69E-02	1.77E-01	1.17E-01	6.32E-03	3.00E-01	
Fer C/Fis A										8.687E-01

反応率 (by SRAC ; NR近似+ハッキングサナ)

Reaction rate	Density ( $\times 10^{24}/\text{cc}$ )	fast-F 1-37Gr	epi-th F 38-62Gr	thermal F 62-107Gr	total F 1-107Gr	fast-C 1-37Gr	epi-th C 38-62Gr	thermal C 62-107Gr	total C 1-107Gr	転換比
U-235	3.82E-05	2.23E-03	1.70E-03	3.78E-05	3.97E-03	5.68E-04	8.17E-04	1.19E-05	1.40E-03	
U-238	1.91E-02	5.58E-02	1.78E-05	1.11E-09	5.58E-02	1.48E-01	8.00E-02	2.94E-04	2.28E-01	
Pu-238	1.73E-05	7.22E-04	1.48E-04	2.60E-07	8.71E-04	3.30E-04	5.05E-04	7.22E-06	8.42E-04	
Pu-239	2.22E-03	1.28E-01	7.27E-02	4.54E-03	2.05E-01	3.40E-02	5.13E-02	2.17E-03	8.75E-02	
Pu-240	1.63E-03	3.00E-02	3.81E-04	2.04E-06	3.04E-02	2.62E-02	3.44E-02	1.08E-02	7.14E-02	
Pu-241	2.81E-04	2.18E-02	2.03E-02	4.89E-04	4.25E-02	3.88E-03	5.97E-03	1.46E-04	1.00E-02	
Pu-242	1.73E-04	2.40E-03	1.60E-05	1.39E-08	2.42E-03	2.41E-03	5.47E-03	1.64E-04	8.05E-03	
Sum		2.41E-01	9.52E-02	5.07E-03	3.41E-01	2.15E-01	1.78E-01	1.36E-02	4.07E-01	
Fis(U5+P9+P1)		1.52E-01	9.47E-02	5.07E-03	2.52E-01	3.85E-02	5.81E-02	2.33E-03	9.89E-02	
Fer(U8+P0)		8.58E-02	3.98E-04	2.04E-06	8.62E-02	1.74E-01	1.14E-01	1.11E-02	2.99E-01	
Fer C/Fis A										8.532E-01

転換比の差 = 1.8%

SRACとSLAROMの転換比の差の寄与内訳 (SLAROM計算値がSRAC転換比に及ぼす影響)

	fast-F	epi-th F	thermal F	total F	fast-C	epi-th C	thermal C	total C
U-235	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
U-238					0.9%	-0.5%	0.0%	0.4%
Pu-238								
Pu-239	-0.2%	0.4%	0.5%	0.8%	-0.1%	0.2%	0.3%	0.4%
Pu-240					0.2%	1.4%	-1.6%	0.0%
Pu-241	-0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.0%	0.1%	0.0%	0.1%
Pu-242								
合計	-0.3%	0.6%	0.6%	0.9%	1.0%	1.2%	-1.3%	0.9%

表3.10 非沸騰軽水炉の無限体系における転換比の比較  
[SRAC(NR近似)とSLAROM]

反応率(by SLAROM ; 臨界K<sub>eff</sub>)

Reaction rate	Density (X1E24/cc)	fast-F 1-37Gr	epi-th F 38-62Gr	thermal F 62-70Gr	total F 1-70Gr	fast-C 1-37Gr	epi-th C 38-62Gr	thermal C 62-70Gr	total C 1-70Gr	転換比 8.458E-01
U-235	3.82E-05	1.46E-03	2.30E-03	1.77E-04	3.94E-03	3.61E-04	1.17E-03	3.24E-05	1.57E-03	
U-238	1.91E-02	4.65E-02	1.83E-05	3.10E-09	4.65E-02	9.64E-02	1.21E-01	7.69E-04	2.18E-01	
Pu-238	1.73E-05	5.02E-04	1.52E-04	1.64E-06	6.55E-04	2.14E-04	5.87E-04	4.82E-05	8.49E-04	
Pu-239	2.22E-03	8.48E-02	1.05E-01	1.77E-02	2.07E-01	2.23E-02	7.30E-02	7.97E-03	1.03E-01	
Pu-240	1.63E-03	2.27E-02	3.88E-04	5.60E-06	2.31E-02	1.70E-02	5.48E-02	2.96E-02	1.01E-01	
Pu-241	2.81E-04	1.42E-02	3.26E-02	2.07E-03	4.89E-02	2.50E-03	9.68E-03	7.56E-04	1.29E-02	
Pu-242	1.73E-04	1.86E-03	1.51E-05	1.24E-08	1.87E-03	1.56E-03	1.26E-02	1.26E-04	1.43E-02	
Sum		1.72E-01	1.40E-01	1.99E-02	3.32E-01	1.40E-01	2.73E-01	3.93E-02	4.53E-01	
Fis(US+P9+P1)		1.01E-01	1.40E-01	1.99E-02	2.60E-01	2.51E-02	8.38E-02	8.76E-03	1.18E-01	
Fer(U8+P0)		6.92E-02	4.06E-04	5.60E-06	6.96E-02	1.13E-01	1.76E-01	3.04E-02	3.20E-01	
Fer C/Fis A										

反応率(by SRAC ; NR近似+K<sub>eff</sub>サテ)

Reaction rate	Density (X1E24/cc)	fast-F 1-37Gr	epi-th F 38-62Gr	thermal F 62-107Gr	total F 1-107Gr	fast-F 1-37Gr	epi-th C 38-62Gr	thermal C 62-107Gr	total C 1-107Gr	転換比 8.433E-01
U-235	3.82E-05	1.43E-03	2.35E-03	2.19E-04	4.00E-03	3.53E-04	1.23E-03	5.28E-05	1.64E-03	
U-238	1.91E-02	4.58E-02	1.53E-05	4.81E-09	4.58E-02	9.38E-02	1.22E-01	1.24E-03	2.17E-01	
Pu-238	1.73E-05	4.94E-04	1.59E-04	1.76E-06	6.55E-04	2.09E-04	6.75E-04	5.06E-05	9.34E-04	
Pu-239	2.22E-03	8.37E-02	1.04E-01	2.95E-02	2.18E-01	2.19E-02	7.21E-02	1.51E-02	1.09E-01	
Pu-240	1.63E-03	2.24E-02	3.62E-04	9.89E-06	2.28E-02	1.65E-02	4.75E-02	5.25E-02	1.16E-01	
Pu-241	2.81E-04	1.39E-02	3.29E-02	3.14E-03	5.00E-02	2.44E-03	9.98E-03	1.03E-03	1.35E-02	
Pu-242	1.73E-04	1.83E-03	1.47E-05	4.51E-08	1.85E-03	1.52E-03	1.28E-02	5.21E-04	1.49E-02	
Sum		1.70E-01	1.40E-01	3.29E-02	3.43E-01	1.37E-01	2.66E-01	7.05E-02	4.74E-01	
Fis(US+P9+P1)		9.90E-02	1.40E-01	3.29E-02	2.72E-01	2.47E-02	8.33E-02	1.62E-02	1.24E-01	
Fer(U8+P0)		6.82E-02	3.77E-04	9.89E-06	6.86E-02	1.10E-01	1.70E-01	5.37E-02	3.34E-01	
Fer C/Fis A										

転換比の差= 0.3%

SRACとSLAROMの転換比の差の寄与内訳 (SLAROM計算値がSRAC転換比に及ぼす影響)

	fast-F	epi-th F	thermal F	total F	fast-C	epi-th C	thermal C	total C
U-235	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
U-238					0.8%	-0.3%	-0.1%	0.3%
Pu-238								
Pu-239	-0.3%	-0.1%	3.1%	2.7%	-0.1%	-0.2%	1.8%	1.5%
Pu-240					0.1%	2.2%	-6.8%	-4.5%
Pu-241	-0.1%	0.1%	0.3%	0.3%	0.0%	0.1%	0.1%	0.1%
Pu-242								
合計	-0.4%	0.0%	3.4%	3.0%	0.8%	1.7%	-5.1%	-2.5%

表3.11 SLAROM とSRACによる1群断面積の比較(Na冷却高速炉)

## (a) 1群捕獲断面積

	SLAROM	SRAC (PEACO)	SLAROMの SRAC(PEACO) に対する差	SRAC (NR近似)	SLAROMの SRAC(NR近似) に対する差	特 徴
核種			(%)		(%)	
U235	4.87E-01	4.95E-01	-1.5	4.95E-01	-1.5	SLAROMはSRAC(PEACO)に 対して、すべての核種につい て小さめに算出している。 (-3.9~-0.2%) SRAC(NR近似)に対しても、 この傾向は同様で、若干差が 大きくなる方向。
U238	2.54E-01	2.55E-01	-0.2	2.54E-01	-0.0	
Pu238	5.96E-01	6.17E-01	-3.4	6.18E-01	-3.6	
Pu239	4.40E-01	4.58E-01	-3.9	4.59E-01	-3.9	
Pu240	5.19E-01	5.29E-01	-1.9	5.30E-01	-2.2	
Pu241	4.34E-01	4.42E-01	-1.9	4.42E-01	-2.0	
Pu242	4.34E-01	4.39E-01	-1.2	4.42E-01	-1.9	

## (b) 1群核分裂断面積

	SLAROM	SRAC (PEACO)	SLAROMの SRAC(PEACO) に対する差	SRAC (NR近似)	SLAROMの SRAC(NR近似) に対する差	特 徴
核種			(%)		(%)	
U235	1.80E+00	1.82E+00	-1.0	1.82E+00	-1.1	SLAROMはSRAC(PEACO)に 対して、すべての核種につい て小さめに算出している。 (-1.4~-0.6%) SRAC(NR近似)に対しても、 この傾向は同様である。
U238	5.43E-02	5.49E-02	-1.0	5.49E-02	-1.0	
Pu238	1.15E+00	1.16E+00	-0.6	1.16E+00	-0.8	
Pu239	1.75E+00	1.77E+00	-0.8	1.77E+00	-0.8	
Pu240	4.16E-01	4.21E-01	-1.1	4.21E-01	-1.1	
Pu241	2.40E+00	2.42E+00	-0.8	2.43E+00	-0.9	
Pu242	2.97E-01	3.01E-01	-1.4	3.01E-01	-1.4	

## (c) 1群吸収断面積

	SLAROM	SRAC (PEACO)	SLAROMの SRAC(PEACO) に対する差	SRAC (NR近似)	SLAROMの SRAC(NR近似) に対する差	特 徴
核種			(%)		(%)	
U235	2.29E+00	2.31E+00	-1.1	2.32E+00	-1.2	SLAROMはSRAC(PEACO)に 対して、すべての核種につい て小さめに算出している。 (-1.6~-0.3%) SRAC(NR近似)に対しても、 この傾向は同様である。
U238	3.08E-01	3.09E-01	-0.3	3.09E-01	-0.2	
Pu238	1.74E+00	1.77E+00	-1.6	1.78E+00	-1.8	
Pu239	2.19E+00	2.23E+00	-1.4	2.23E+00	-1.5	
Pu240	9.35E-01	9.50E-01	-1.5	9.52E-01	-1.7	
Pu241	2.84E+00	2.87E+00	-1.0	2.87E+00	-1.1	
Pu242	7.31E-01	7.41E-01	-1.3	7.44E-01	-1.7	

注) 網掛け部は、各反応の主要核種を示す。

表3.12 SLAROM とSRACによる1群断面積の比較(非沸騰重水炉)

(a) 1群捕獲断面積

核種	SLAROM	SRAC (PEACO)	SLAROMの SRAC(PEACO) に対する差	SRAC (NR近似)	SLAROMの SRAC(NR近似) に対する差	特 徴
			(%)		(%)	
U235	8.10E-01	8.09E-01	0.1	8.02E-01	1.0	SLAROMはSRAC(PEACO)に 対して、Pu238以外の核種の 1群捕獲断面積を大きめに算出 している。(最大6.2%) SRAC(NR近似)に対しても、こ の傾向は同様に、若干差が小 さくなる方向。
U238	3.63E-01	3.49E-01	3.9	3.50E-01	3.7	
Pu238	1.14E+00	1.17E+00	-2.5	1.14E+00	-0.7	
Pu239	9.22E-01	9.01E-01	2.4	8.99E-01	2.6	
Pu240	9.49E-01	8.94E-01	6.2	8.97E-01	5.9	
Pu241	7.45E-01	7.38E-01	1.0	7.33E-01	1.6	
Pu242	7.87E-01	7.64E-01	3.0	7.68E-01	2.4	

(b) 1群核分裂断面積

核種	SLAROM	SRAC (PEACO)	SLAROMの SRAC(PEACO) に対する差	SRAC (NR近似)	SLAROMの SRAC(NR近似) に対する差	特 徴
			(%)		(%)	
U235	2.60E+00	2.57E+00	1.0	2.56E+00	1.3	1群核分裂断面積の差は比較的 小さく、±1.3%以内である。
U238	6.72E-02	6.73E-02	-0.1	6.73E-02	-0.1	
Pu238	1.30E+00	1.30E+00	-0.1	1.30E+00	-0.2	
Pu239	2.23E+00	2.22E+00	0.7	2.22E+00	0.8	
Pu240	4.36E-01	4.37E-01	-0.2	4.38E-01	-0.3	
Pu241	3.45E+00	3.41E+00	1.2	3.41E+00	1.3	
Pu242	3.12E-01	3.15E-01	-0.8	3.15E-01	-0.8	

(c) 1群吸収断面積

核種	SLAROM	SRAC (PEACO)	SLAROMの SRAC(PEACO) に対する差	SRAC (NR近似)	SLAROMの SRAC(NR近似) に対する差	特 徴
			(%)		(%)	
U235	3.41E+00	3.38E+00	0.8	3.36E+00	1.2	SLAROMはSRAC(PEACO)に 対して、Pu238以外の核種の 1群吸収断面積を大きめに算出 する。(最大4.1%) SRAC(NR近似)に対しても、 この傾向は同様に、若干差が 小さくなる方向。
U238	4.30E-01	4.17E-01	3.3	4.17E-01	3.1	
Pu238	2.44E+00	2.47E+00	-1.2	2.45E+00	-0.4	
Pu239	3.16E+00	3.12E+00	1.2	3.12E+00	1.3	
Pu240	1.39E+00	1.33E+00	4.1	1.33E+00	3.8	
Pu241	4.20E+00	4.15E+00	1.1	4.14E+00	1.4	
Pu242	1.10E+00	1.08E+00	1.9	1.08E+00	1.5	

注) 網掛け部は、各反応の主要核種を示す。



表3.13 SLAROM とSRACによる1群断面積の比較(沸騰軽水炉 (65%void))

## (a) 1群捕獲断面積

核種	SLAROM	SRAC (PEACO)	SLAROMの SRAC(PEACO) に対する差	SRAC (NR近似)	SLAROMの SRAC(NR近似) に対する差	特 徴
			(%)		(%)	
U235	1.05E+00	1.12E+00	-6.1	1.09E+00	-3.5	1群捕獲断面積については、SLAROMはSRAC(PEACO)に対して、U238とPu240が約1%大きく、他の核種は小さい傾向(-2.1~-15.6%)を示す。一方、SRAC(NR近似)に対しては、これらの差異は顕著に減少する傾向。
U238	3.56E-01	3.51E-01	1.3	3.55E-01	0.2	
Pu238	1.34E+00	1.59E+00	-15.6	1.45E+00	-7.5	
Pu239	1.15E+00	1.18E+00	-2.1	1.17E+00	-1.9	
Pu240	1.30E+00	1.28E+00	1.2	1.30E+00	-0.1	
Pu241	1.03E+00	1.08E+00	-4.6	1.06E+00	-2.5	
Pu242	1.34E+00	1.38E+00	-3.0	1.39E+00	-3.5	

## (b) 1群核分裂断面積

核種	SLAROM	SRAC (PEACO)	SLAROMの SRAC(PEACO) に対する差	SRAC (NR近似)	SLAROMの SRAC(NR近似) に対する差	特 徴
			(%)		(%)	
U235	3.04E+00	3.14E+00	-3.1	3.08E+00	-1.3	1群核分裂断面積については、SLAROMとSRAC(PEACO)の差は比較的小さく、(-3.1~+0.6%)。SRAC(NR近似)に対しては、これらの差異はさらに減少し、(-1.5~+0.7%)となる。
U238	8.76E-02	8.70E-02	0.6	8.70E-02	0.7	
Pu238	1.49E+00	1.50E+00	-1.0	1.50E+00	-0.7	
Pu239	2.71E+00	2.77E+00	-2.0	2.76E+00	-1.5	
Pu240	5.55E-01	5.53E-01	0.4	5.53E-01	0.3	
Pu241	4.45E+00	4.52E+00	-1.7	4.50E+00	-1.2	
Pu242	4.17E-01	4.16E-01	0.2	4.16E-01	0.2	

## (c) 1群吸収断面積

核種	SLAROM	SRAC (PEACO)	SLAROMの SRAC(PEACO) に対する差	SRAC (NR近似)	SLAROMの SRAC(NR近似) に対する差	特 徴
			(%)		(%)	
U235	4.09E+00	4.26E+00	-3.9	4.17E+00	-1.9	1群吸収断面積については、SLAROMはSRAC(PEACO)に対して、(-8.5~+1.2%)の範囲にある。SRAC(NR近似)に対しては、これらの差異は、(-4.1~+0.3%)まで減少する。
U238	4.44E-01	4.38E-01	1.2	4.42E-01	0.3	
Pu238	2.83E+00	3.09E+00	-8.5	2.95E+00	-4.1	
Pu239	3.87E+00	3.95E+00	-2.0	3.93E+00	-1.6	
Pu240	1.85E+00	1.84E+00	1.0	1.85E+00	0.1	
Pu241	5.48E+00	5.60E+00	-2.2	5.56E+00	-1.5	
Pu242	1.75E+00	1.79E+00	-2.2	1.80E+00	-2.6	

注) 網掛け部は、各反応の主要核種を示す。

表3.14 SLAROM とSRACによる1群断面面積の比較(非沸騰軽水炉)

(a) 1群捕獲断面面積

核種	SLAROM	SRAC (PEACO)	SLAROMの SRAC(PEACO) に対する差	SRAC (NR近似)	SLAROMの SRAC(NR近似) に対する差	特 徴
			(%)		(%)	
U235	1.79E+00	1.94E+00	-7.5	1.89E+00	-5.2	1群捕獲断面面積については、SLAROMはSRAC(PEACO)に対し、U238を除く他の核種は小さい傾向を示し、その程度は(-3.1~-21.1%)である。SRAC(NR近似)に対しては、その差異はPu240を除いて減少する傾向である。(-13.8~-0.5%)
U238	5.00E-01	4.91E-01	1.8	5.02E-01	-0.5	
Pu238	2.15E+00	2.72E+00	-21.1	2.39E+00	-10.0	
Pu239	2.03E+00	2.18E+00	-6.8	2.17E+00	-6.3	
Pu240	2.71E+00	3.11E+00	-12.8	3.15E+00	-13.8	
Pu241	2.01E+00	2.16E+00	-6.7	2.11E+00	-4.7	
Pu242	3.61E+00	3.73E+00	-3.1	3.80E+00	-4.9	

(b) 1群核分裂断面面積

核種	SLAROM	SRAC (PEACO)	SLAROMの SRAC(PEACO) に対する差	SRAC (NR近似)	SLAROMの SRAC(NR近似) に対する差	特 徴
			(%)		(%)	
U235	4.50E+00	4.74E+00	-5.0	4.62E+00	-2.5	1群核分裂断面面積については、SLAROMはSRAC(PEACO)に対し、差は比較的小さく、(-6.5~+0.6%)である。SRAC(NR近似)に対しては、その差異はPu241を除いて減少する傾向である。(-5.6~+0.5%)
U238	1.06E-01	1.06E-01	0.6	1.06E-01	0.5	
Pu238	1.66E+00	1.69E+00	-1.7	1.67E+00	-1.0	
Pu239	4.09E+00	4.37E+00	-6.5	4.33E+00	-5.6	
Pu240	6.18E-01	6.14E-01	0.5	6.15E-01	0.4	
Pu241	7.61E+00	7.84E+00	-3.0	7.85E+00	-3.1	
Pu242	4.73E-01	4.72E-01	0.3	4.72E-01	0.2	

(c) 1群吸収断面面積

核種	SLAROM	SRAC (PEACO)	SLAROMの SRAC(PEACO) に対する差	SRAC (NR近似)	SLAROMの SRAC(NR近似) に対する差	特 徴
			(%)		(%)	
U235	6.29E+00	6.68E+00	-5.7	6.50E+00	-3.2	1群吸収断面面積については、SLAROMはSRAC(PEACO)に対し、U238以外の核種は小さい傾向(-2.7~-13.7%)を示す。SRAC(NR近似)に対しても、この傾向は同様であり、核種によって増減傾向は異なる。
U238	6.06E-01	5.97E-01	1.6	6.08E-01	-0.3	
Pu238	3.80E+00	4.41E+00	-13.7	4.06E+00	-6.3	
Pu239	6.12E+00	6.56E+00	-6.6	6.50E+00	-5.8	
Pu240	3.33E+00	3.73E+00	-10.6	3.76E+00	-11.5	
Pu241	9.62E+00	1.00E+01	-3.8	9.96E+00	-3.4	
Pu242	4.09E+00	4.20E+00	-2.7	4.27E+00	-4.3	

注) 網掛け部は、各反応の主要核種を示す。

表3.15  $\eta$  値の比較 (SRACとSLAROM)

## (a) Na冷却高速炉

核種	SLAROM	SRAC (PEACO)	SRAC (NR近似)	SLAROMとSRACの差 (絶対値)の最大値
U235	1.94	1.94	1.94	0.00
U238	0.49	0.49	0.49	0.01
Pu238	1.99	1.97	1.97	0.02
Pu239	2.37	2.35	2.35	0.01
Pu240	1.34	1.34	1.33	0.01
Pu241	2.53	2.53	2.53	0.00
Pu242	1.24	1.24	1.24	0.00

## (b) 非沸騰重水炉

核種	SLAROM	SRAC (PEACO)	SRAC (NR近似)	SLAROMとSRACの差 (絶対値)の最大値
U235	1.87	1.86	1.87	0.00
U238	0.43	0.45	0.45	0.02
Pu238	1.61	1.59	1.61	0.02
Pu239	2.09	2.10	2.10	0.01
Pu240	0.96	1.00	1.00	0.04
Pu241	2.44	2.44	2.45	0.00
Pu242	0.88	0.90	0.90	0.03

## (c) 沸騰軽水炉 (65%void)

核種	SLAROM	SRAC (PEACO)	SRAC (NR近似)	SLAROMとSRACの差 (絶対値)の最大値
U235	1.82	1.81	1.82	0.01
U238	0.55	0.55	0.55	0.01
Pu238	1.60	1.48	1.54	0.12
Pu239	2.07	2.07	2.07	0.00
Pu240	0.91	0.92	0.91	0.01
Pu241	2.41	2.40	2.41	0.01
Pu242	0.73	0.72	0.71	0.02

## (d) 非沸騰軽水炉

核種	SLAROM	SRAC (PEACO)	SRAC (NR近似)	SLAROMとSRACの差 (絶対値)の最大値
U235	1.75	1.74	1.74	0.01
U238	0.49	0.50	0.49	0.01
Pu238	1.33	1.16	1.26	0.16
Pu239	1.96	1.96	1.95	0.00
Pu240	0.57	0.51	0.50	0.07
Pu241	2.34	2.32	2.33	0.02
Pu242	0.36	0.35	0.34	0.02

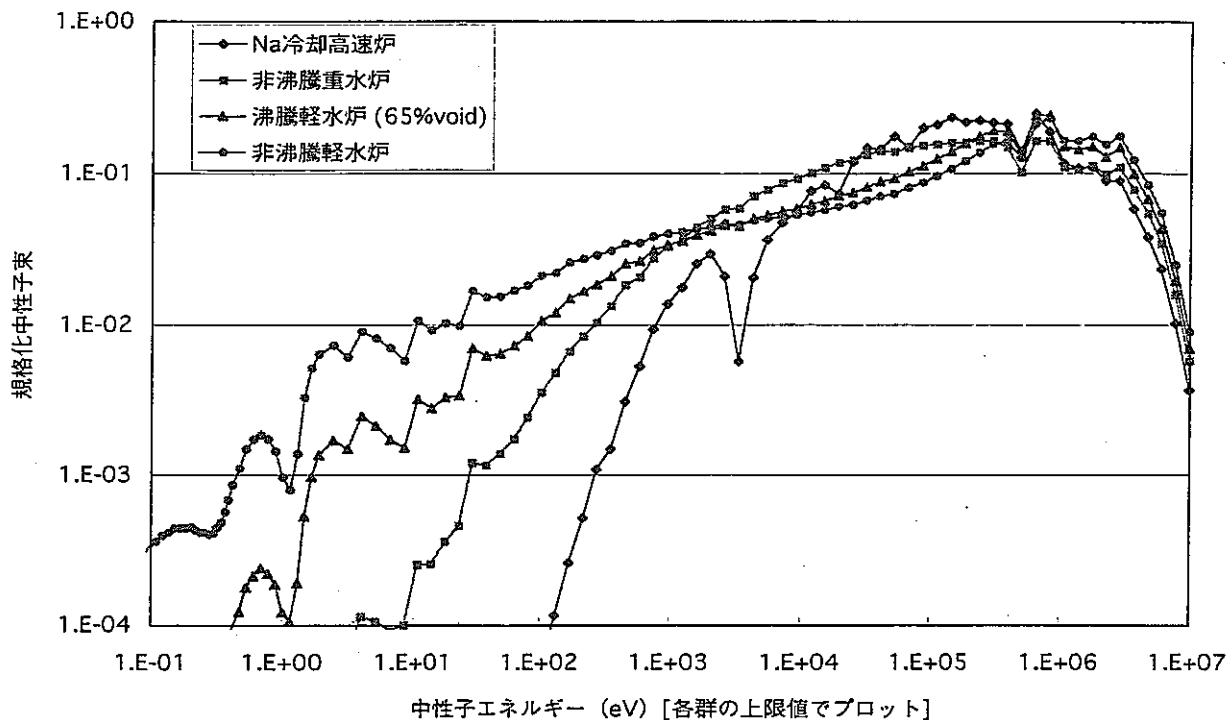


図3.1 SRAC(PEACO)によるNa冷却高速炉及び水冷却型増殖炉の規格化中性子スペクトル

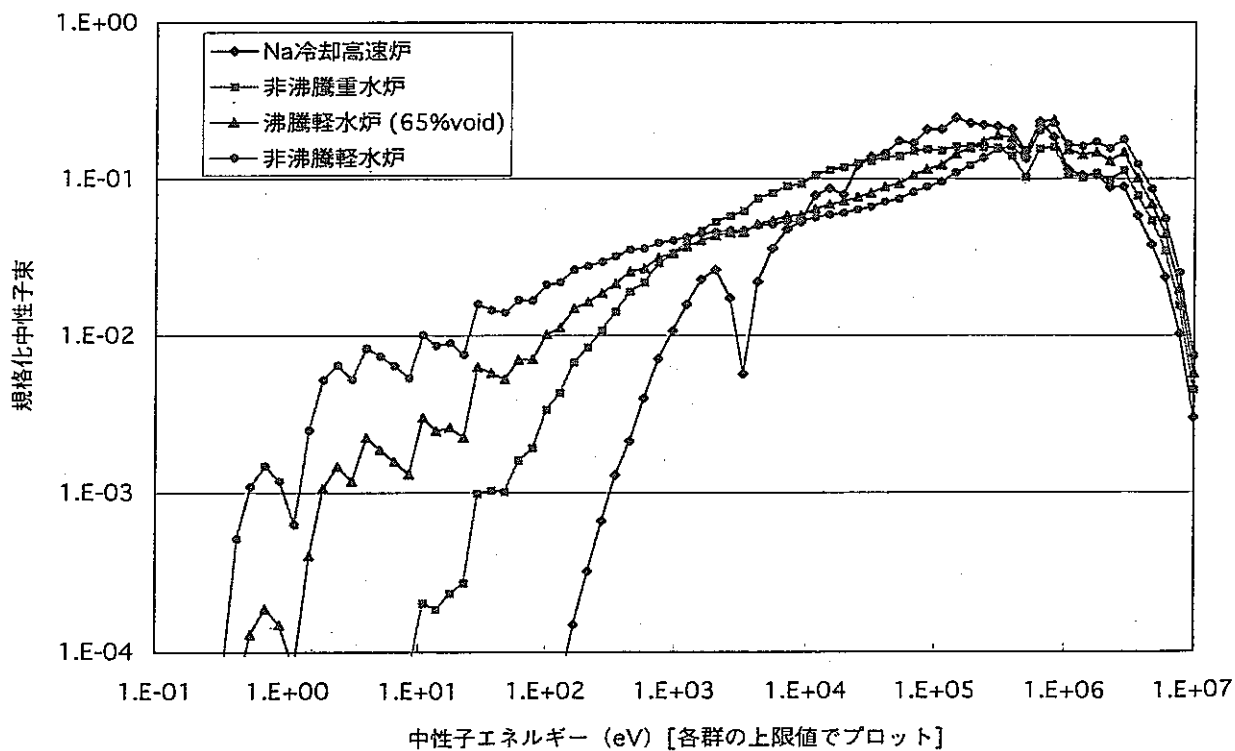


図3.2 SLAROMによるNa冷却高速炉及び水冷却型増殖炉の規格化中性子スペクトル

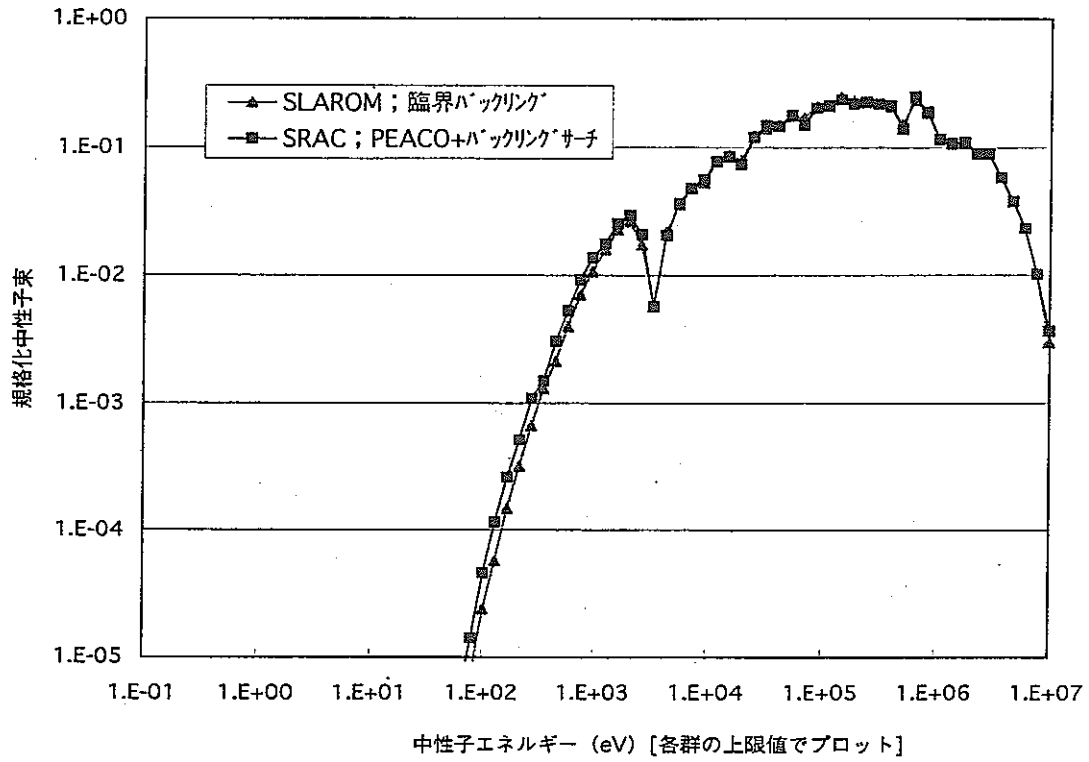


図3.3 Na冷却高速炉の規格化中性子スペクトルの比較 (SRAC(PEACO)とSLAROM)

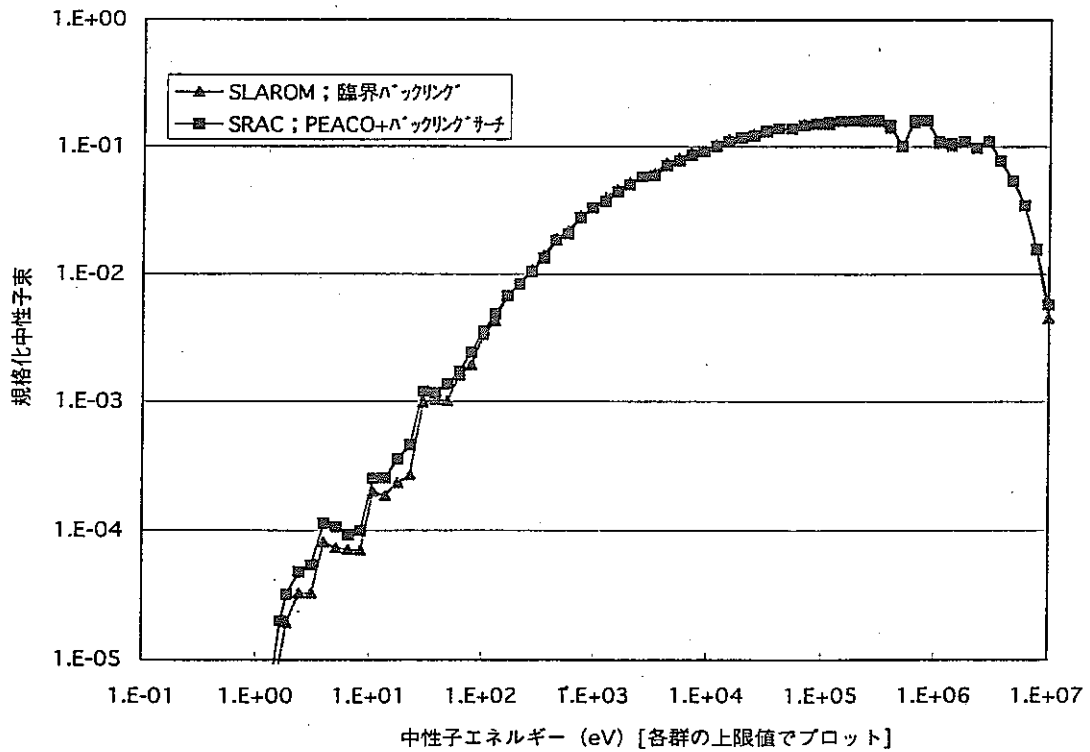


図3.4 非沸騰重水炉の規格化中性子スペクトルの比較 (SRAC(PEACO)とSLAROM)

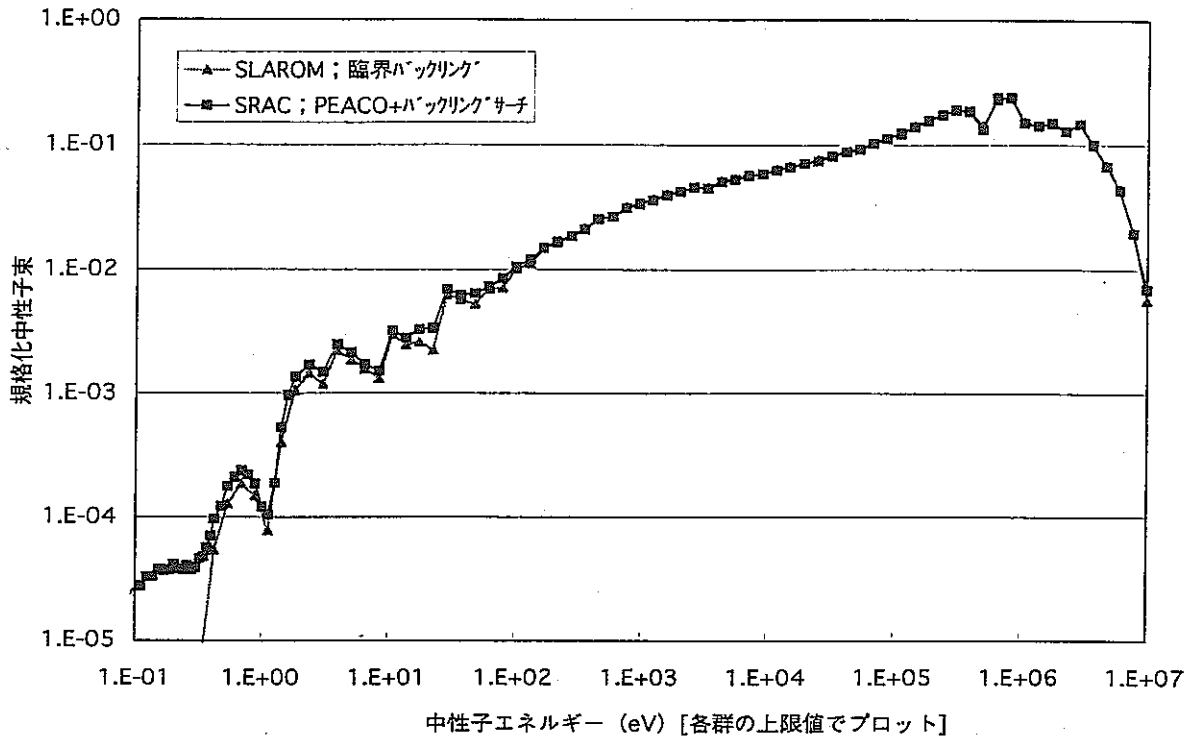


図3.5 沸騰軽水炉 (65%void) の規格化中性子スペクトルの比較 (SRAC(PEACO)とSLAROM)

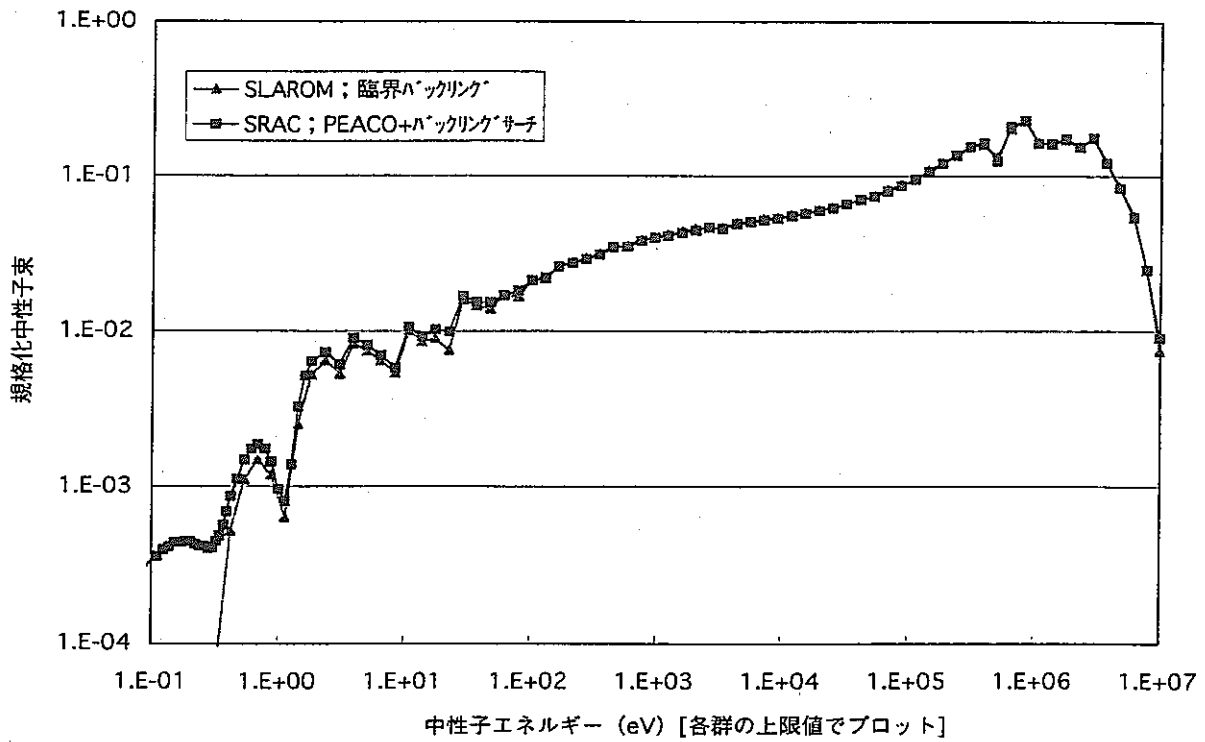


図3.6 非沸騰軽水炉の規格化中性子スペクトルの比較 (SRAC(PEACO)とSLAROM)

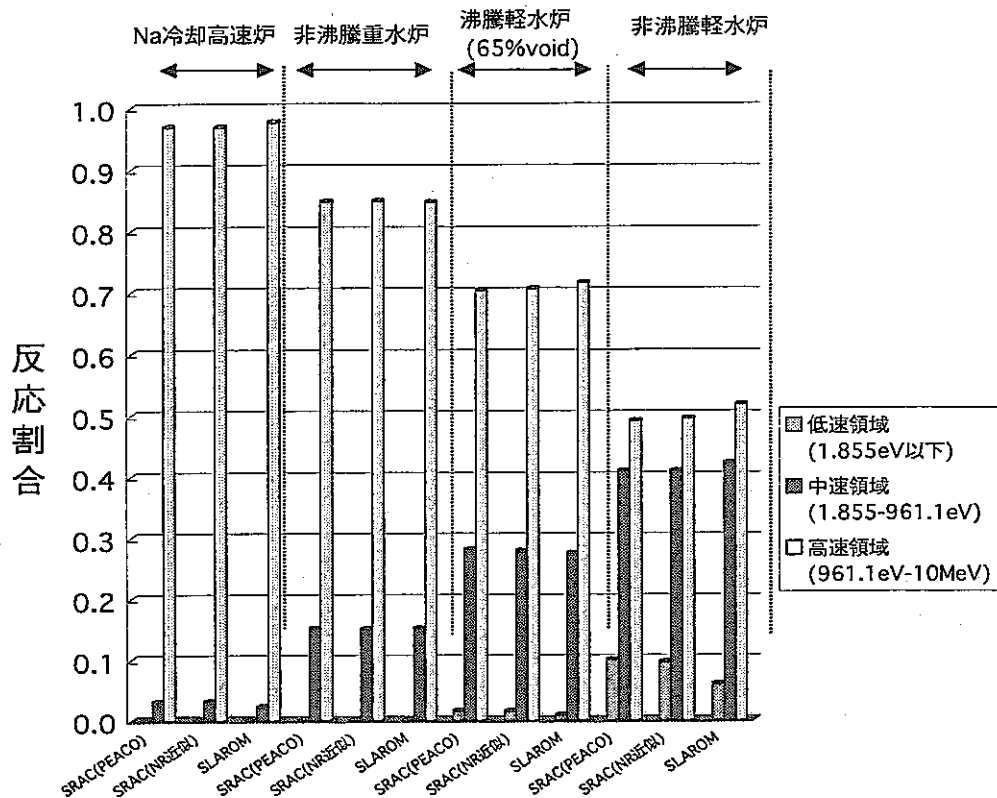


図3.7 全核分裂反応のエネルギー領域別反応割合

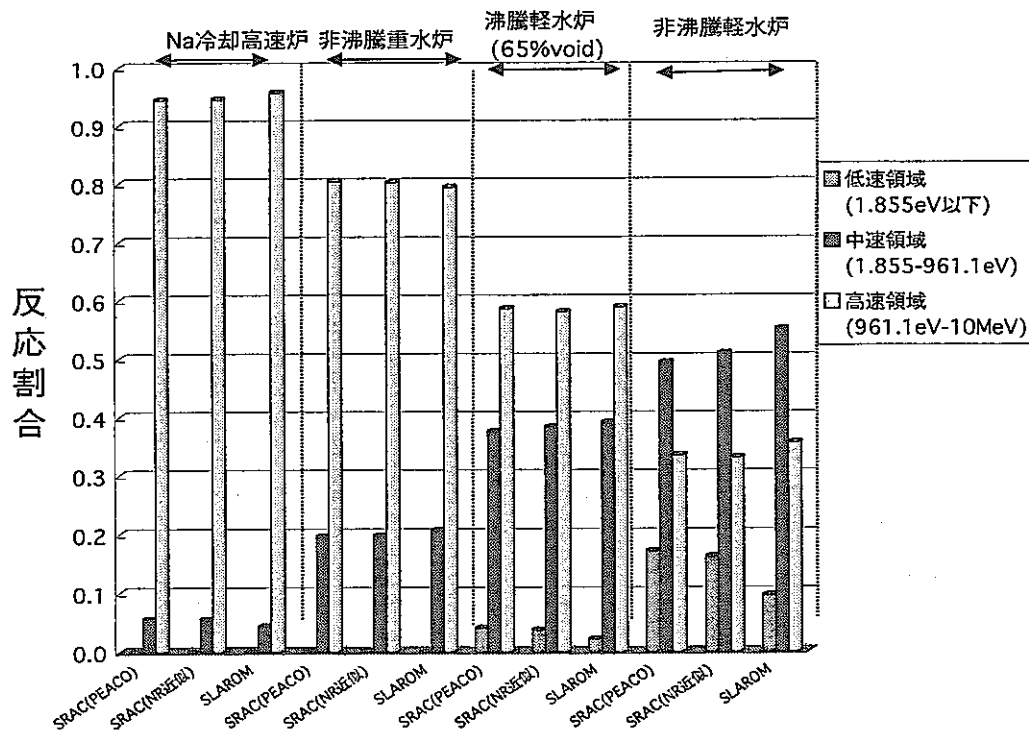


図3.8 親物質(U238, Pu-240)捕獲反応のエネルギー領域別反応割合

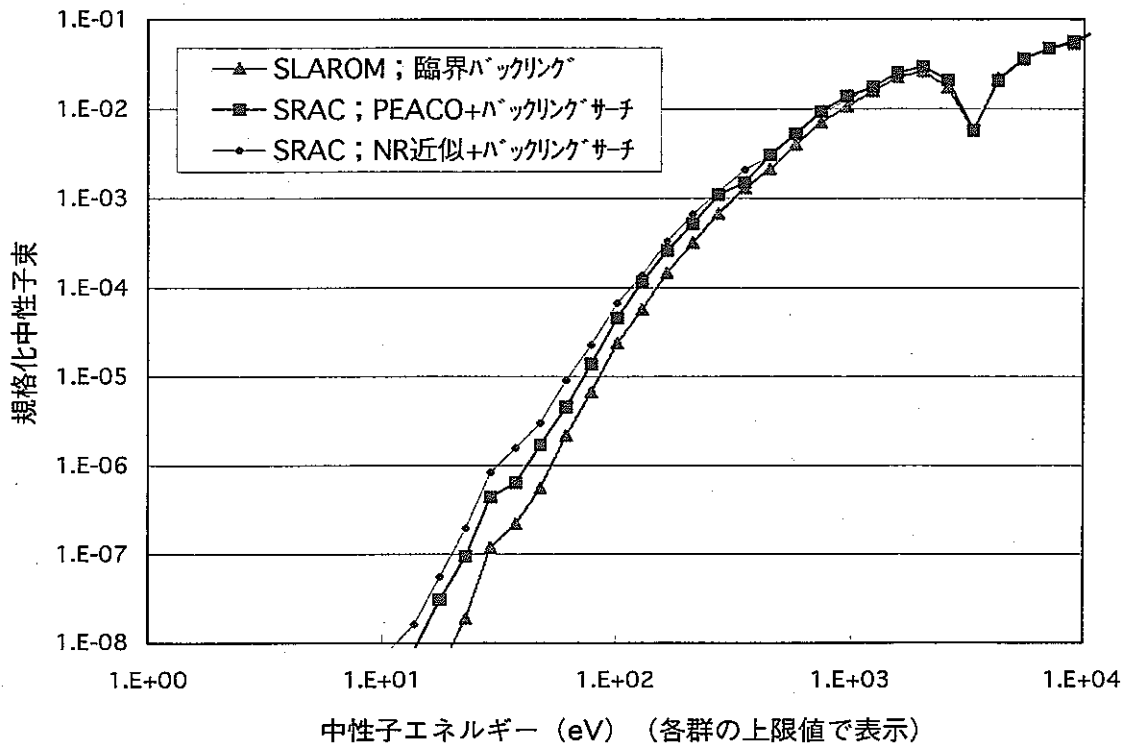


図3.9 Na冷却高速炉の規格化中性子エネルギースペクトルの詳細比較

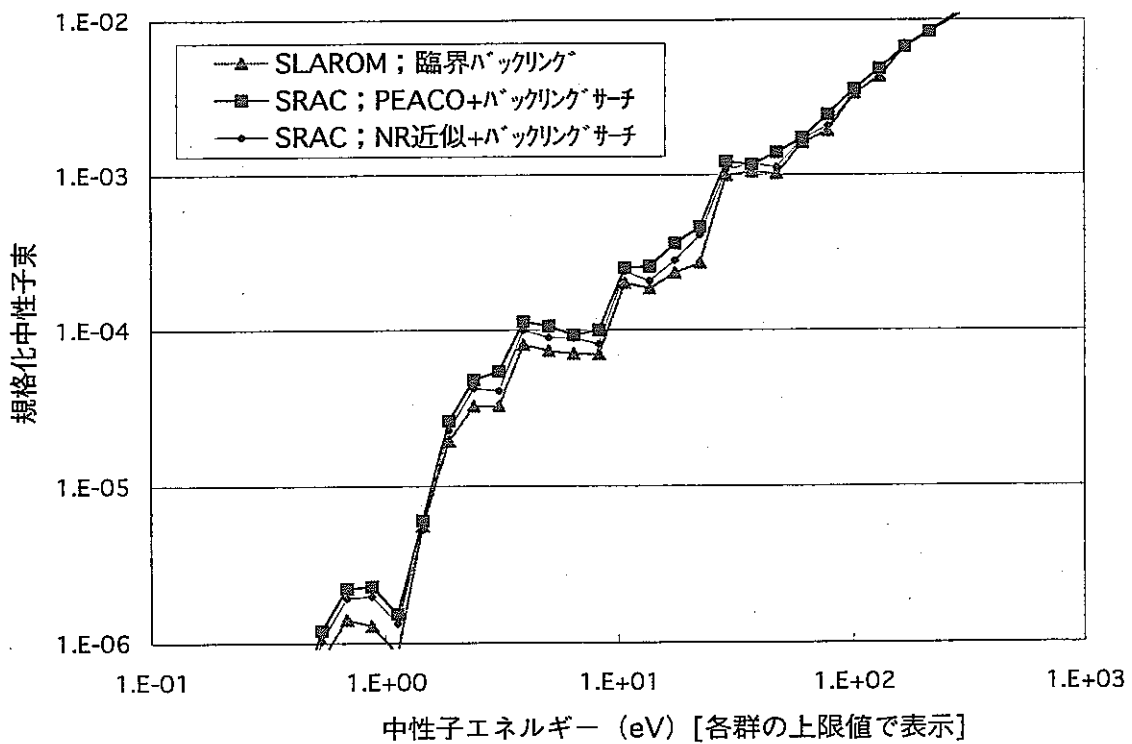


図3.10 非沸騰重水炉の規格化中性子エネルギースペクトルの詳細比較



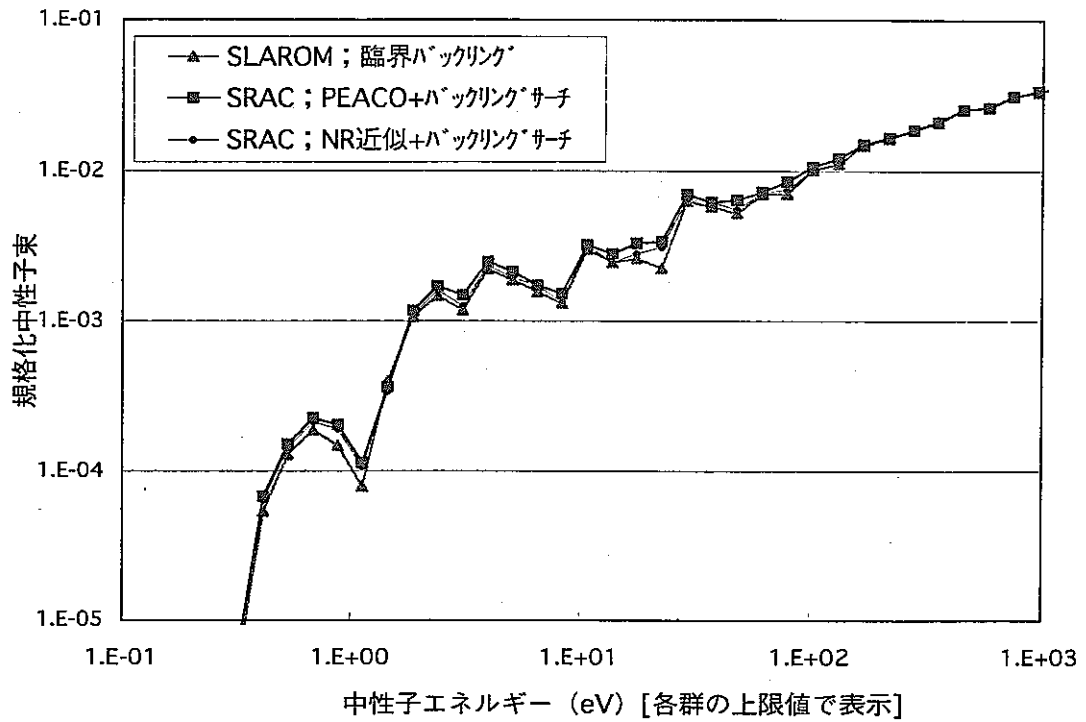


図3.11 沸騰軽水炉 (65%void)の規格化中性子エネルギースペクトルの詳細比較

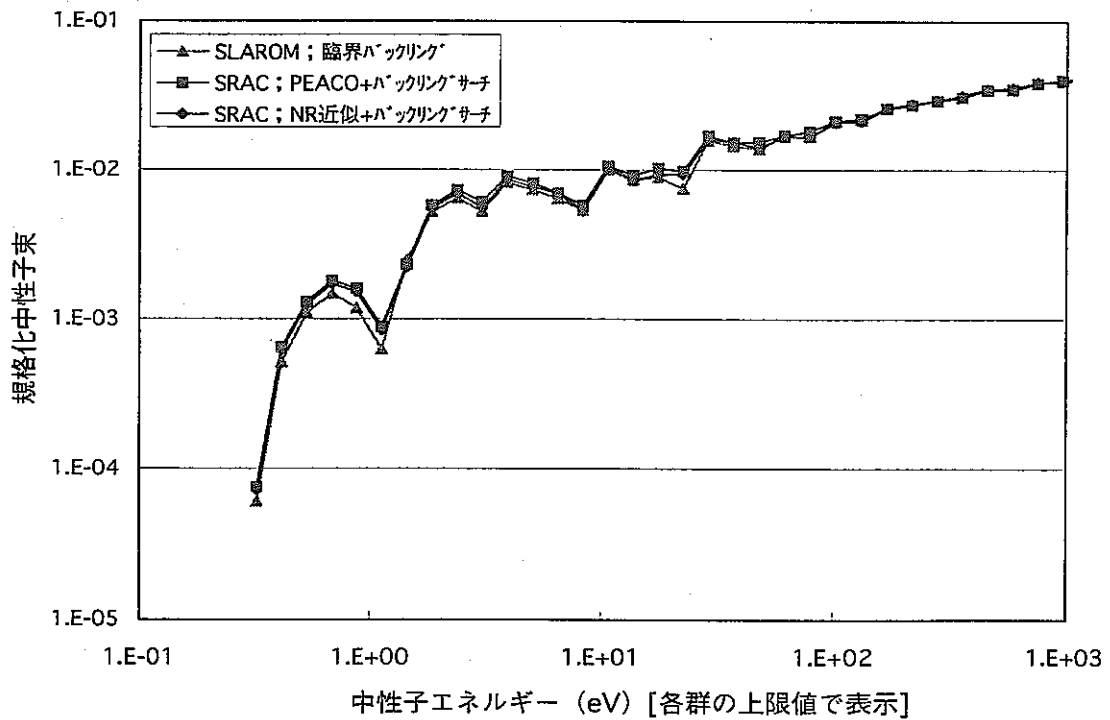


図3.12 非沸騰軽水炉の規格化中性子エネルギースペクトルの詳細比較

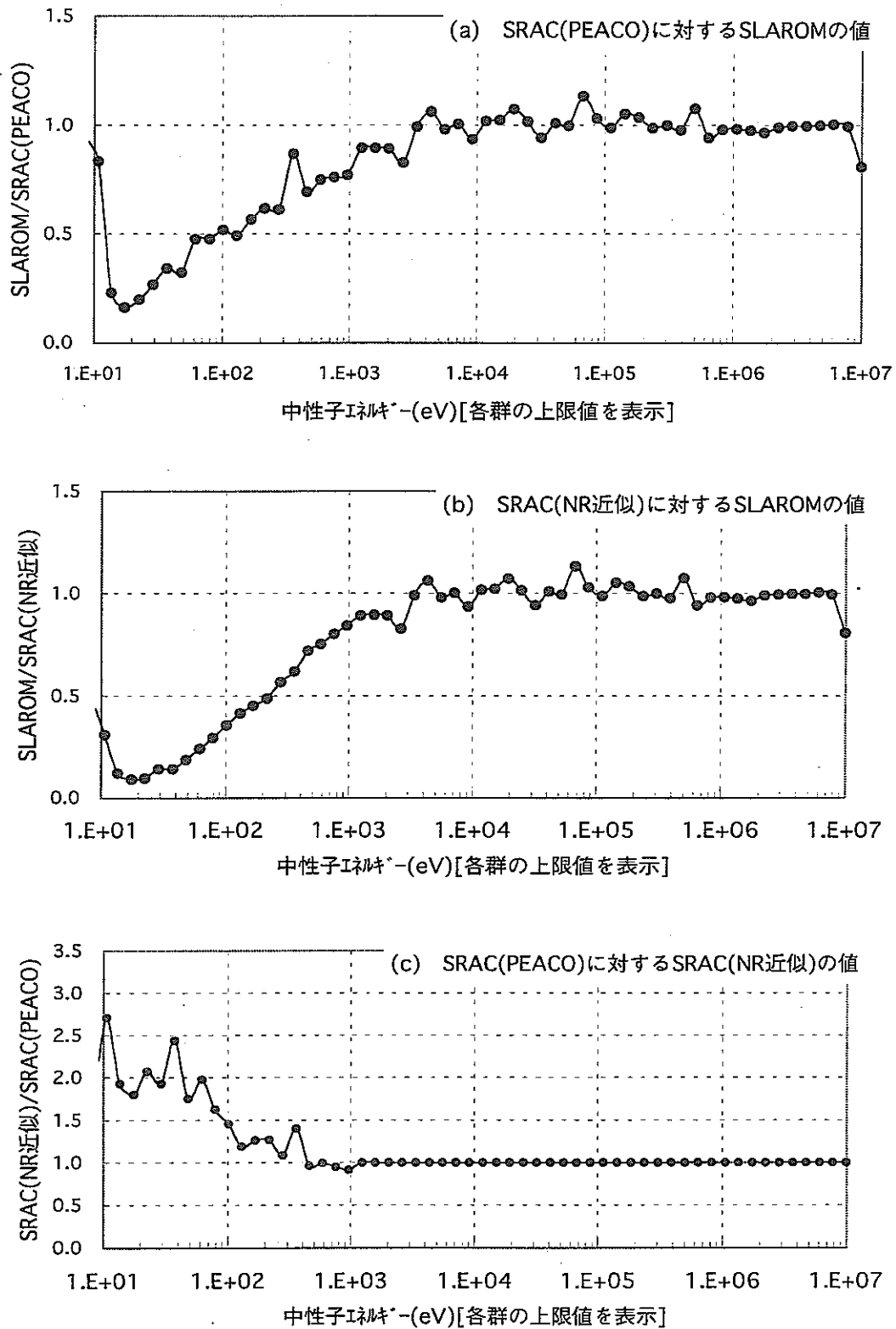


図3.13 計算手法による規格化中性子束の比較  
(Na冷却高速炉の燃料セル計算結果)

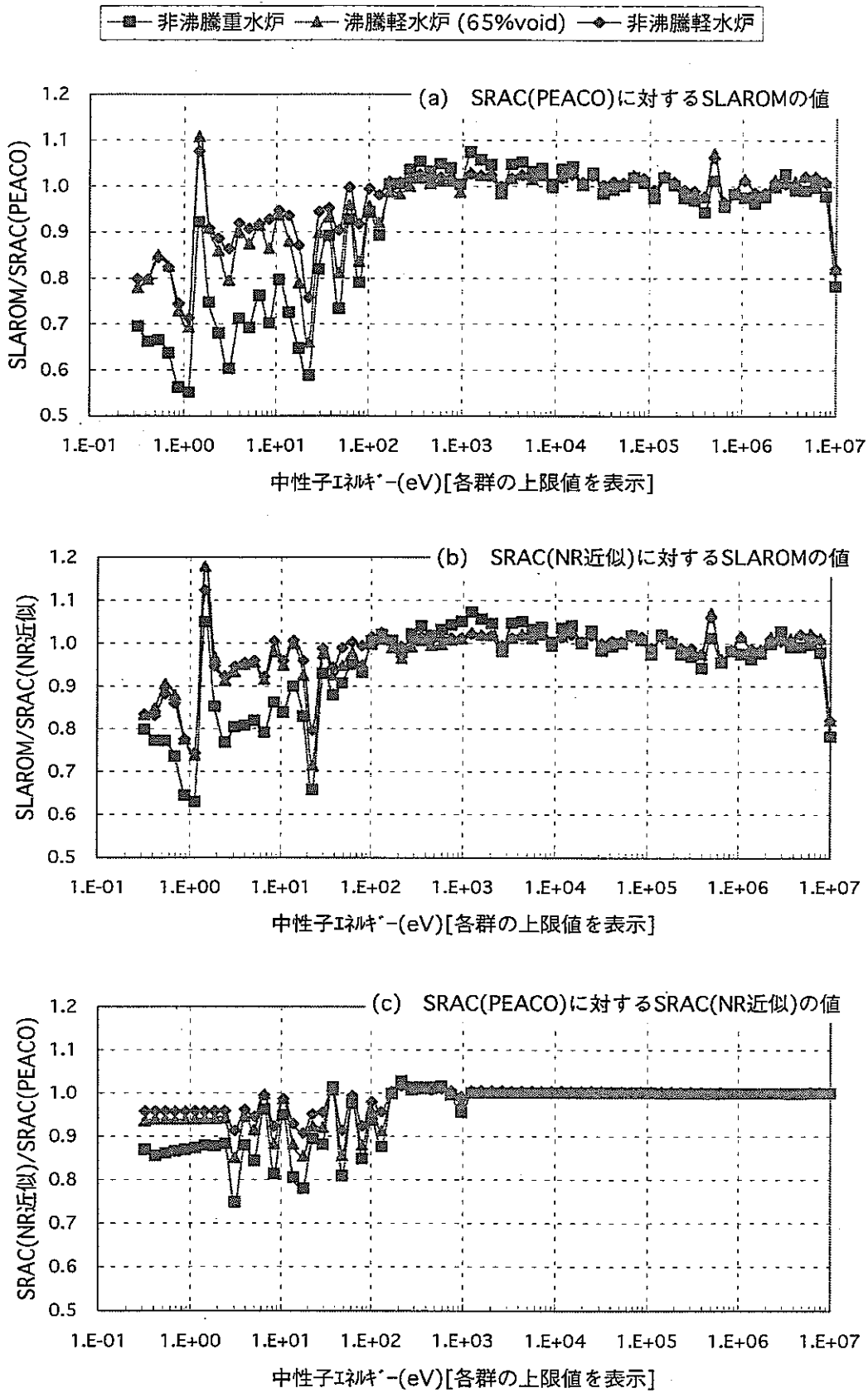


図3.14 計算手法による規格化中性子束の比較  
(水冷却型増殖炉の燃料セル計算結果)

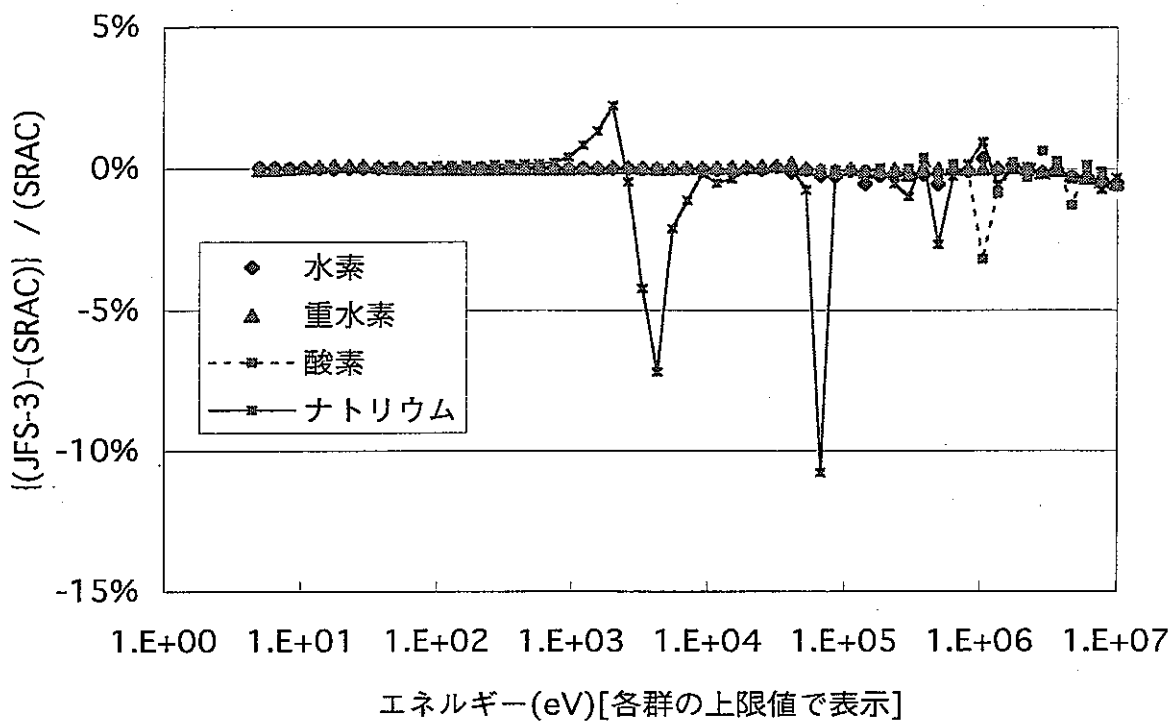


図3.15 全弾性散乱断面積のライブラリー間の差

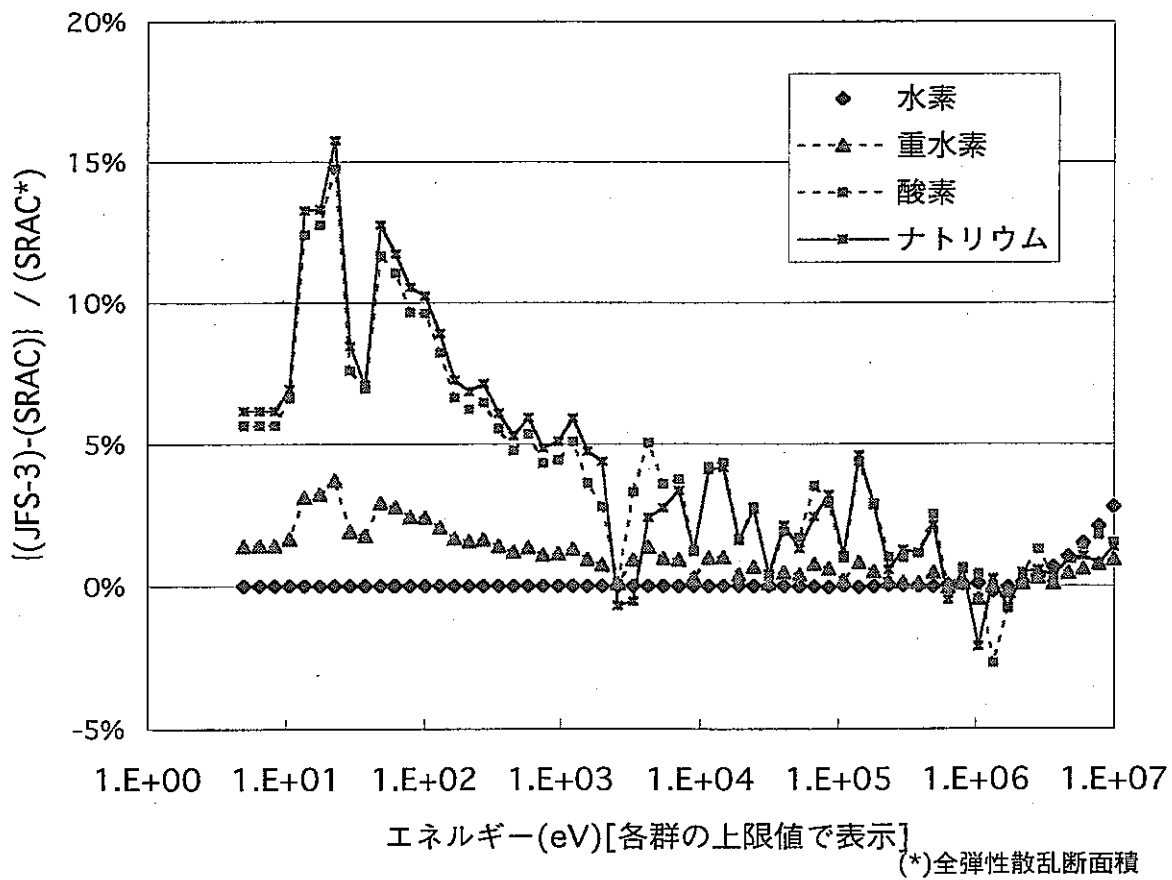


図3.16 自群弾性散乱断面積のライブラリー間の差

## 4. 主要核的パラメータ及び増殖性の検討

### 4.1 概要

Na 冷却高速炉と水冷却型増殖炉（3 種類）について設定した炉心燃料セルに対して SLAROM による無限体系セル計算を行い、主要な核的パラメータを比較した。また、増殖性に相違が見られる原因を考察した。

### 4.2 Na 冷却高速炉と水冷却型増殖炉の核的パラメータの比較

#### 4.2.1 セル仕様の相違点

まず、セル（セル計算における燃料、被覆管、冷却材をスミアした体系）の仕様を比較する。4 種類の炉心燃料セルについて、炉心概念、燃料仕様、セル仕様、原子個数密度、一部の計算結果を表 4.1 に示す。転換比は 0.85~0.88 と類似の結果が得られているが、無限増倍率( $k_{eff}$ )は Na 冷却高速炉が最も高く、水冷却型増殖炉はやや小さい傾向が見られる。いずれの炉心概念も、Pu 富化度 20w/o 前後の MOX 燃料を稠密 ( $P/D=1.13\sim 1.22$ ) に配置して高速中性子による増殖性を図る点で共通だが、冷却材が Na、非沸騰重水、沸騰/非沸騰軽水に変わる以外に、セル仕様に下記の相違がある。

- セル全領域面積は、Na 冷却高速炉より水冷却型増殖炉の方が約 8%小さい。
  - 燃料体積比は、Na 冷却高速炉が 0.47 に対し、水冷却型増殖炉は 0.63 と大きい。
  - 燃料スミア密度は、Na 冷却高速炉が約 84%に対し、水冷却型増殖炉は 95%と大きい。
  - Pu 同位体組成は、Na 冷却高速炉が LWR 取出組成に対し、水冷却型増殖炉は RBWR で 30 回マルチサイクル後の組成である。すなわち、水冷却型増殖炉の Pu 組成は、核分裂性 Pu の比率が小さく、親物質(特に Pu240)の比率が大きい。
- ◎ 重金属原子個数密度は、水冷却型増殖炉が Na 冷却高速炉より大きく、その差は核分裂性核種で 2~4 割、親物質核種が 3 割に及ぶ。

その他、被覆管材料は、Na 冷却高速炉のステンレス鋼に対して、水冷却型増殖炉ではジルカロイが用いられている。

#### 4.2.2 核的パラメータの比較結果

主要な核的パラメータを比較した結果を表 4.2 に示す。以下、各パラメータ毎に説明を加える。

##### (1) 全中性子束

セル計算の対象とする燃料、被覆管、冷却材の全領域における核分裂発生数（単位時間、単位面積あたり）を一定とした場合について、Na 冷却高速炉に対する相対値で整理した。設計に置き換えると、炉心平均出力密度をそろえたことに対応する。水冷

却型増殖炉の全中性子束は Na 冷却高速炉のおよそ半分程度という結果となった。これは、1 群マクロ核分裂断面積が大きくなることに対応しており、4.2.1 で示した核分裂性核種個数密度の増加と、後述する実効ミクロ核分裂断面積の増加が共に寄与している。後者の現象は、水冷却型増殖炉における核分裂反応の発生エネルギー領域が低エネルギー側へシフトすることによって生じるものであり、4.2.3 で検討する。

## (2) 平均中性子エネルギー

いずれの炉心燃料セルも、平均中性子エネルギーは数百 keV 以上であり、高速炉の特徴を示している。水冷却型増殖炉は Na 冷却高速炉に比べてむしろ平均中性子エネルギーが増加する。この傾向を理解するために、4 種類の炉心燃料セルに対する中性子スペクトル (図 4.1) とそれらの規格化値 (図 3.2) を検討する。図 4.1 の中性子スペクトルは、核分裂発生中性子数一定の下に比較したものである。約 2MeV 以上の成分は核分裂発生中性子スペクトルが強く影響するのではほぼ同等であり、Na より重水及び軽水の減速能が勝るために、keV 領域の成分が eV 領域に減速される効果が Na 冷却高速炉より非沸騰重水炉、沸騰軽水炉 (65%void)、非沸騰軽水炉の順により顕著に現れ (すなわち中性子スペクトルが軟化し)、それぞれの炉心燃料セルに特徴的なスペクトルが生まれる。これだけを見ると、水冷却型増殖炉の方が平均中性子エネルギーが小さくなるように感じるが、平均中性子エネルギーを論じる場合には規格化中性子スペクトル (図 3.2) の傾向を見る必要がある。

規格化中性子スペクトルは中性子スペクトルを全中性子束で除した値なので、(1)項の結果より、水冷却型増殖炉の値は Na 冷却高速炉に比べて相対的に 2 倍程度大きくなる。その結果、数百 keV 以上の値は、水冷却型増殖炉の方が Na 冷却高速炉より大きくなる (図 3.2 参照)。減速効果の影響によって低エネルギー成分の規格化値が Na 冷却高速炉より大きくなる効果は数十 keV 以下で見られるものの、この領域の中性子束の大きさは全体に及ぼす寄与が小さいため、水冷却型増殖炉の方が Na 冷却高速炉に比べて高い平均中性子エネルギーを示すものと解釈できる。

## (3) 高速中性子束の割合及び高速中性子束

70 群計算における 1~19 群 (86.5keV 以上) を高速中性子束に計上した。いずれの炉心とも、高速中性子束割合は 0.5 を超えており、差異は小さい。したがって、炉心平均出力密度をそろえた場合の高速中性子束については、水冷却型増殖炉の値は Na 冷却高速炉の半分程度となる。

## (4) 中性子平均自由行程

1 群マクロ全断面積の逆数として算出される中性子平均自由行程は、いずれの炉心とも、3~4cm となり、Na 冷却高速炉と同等である。したがって、核計算実行時に設定す

るメッシュ寸法は、従来 Na 冷却高速炉で用いてきた値と同程度で十分と考えられる。

#### (5) 核分裂当たりの中性子発生数

核分裂当たりの中性子発生数( $\nu$ )は、いずれの炉心とも 2.9 を超え、ほぼ一定の値を示す。

#### (6) 余剰中性子数

ここでの「余剰中性子数」は、セル全領域における 1 群マクロ中性子発生数( $\nu \times \Sigma_{\text{fission}}$ )と 1 群マクロ吸収断面積 ( $\Sigma_{\text{absorption}}$ ) の比で決まる「中性子吸収当たりに発生する中性子数 ( $\eta$ )」から 1 を引いて求めた。

Na 冷却高速炉の 0.39 に対し、非沸騰重水炉では 0.31、沸騰軽水炉 (65%void)では 0.28 と水冷却型増殖炉の方が約 0.1 小さい傾向がある。また、非沸騰軽水炉では、この値は 0.04 まで低下する。「余剰中性子数」は、実際の炉心で燃料部以外に存在するブランケット部や制御棒に吸収され得る中性子の数の多さを示す値であり、増殖性や反応度制御に関する設計上の余裕度の大小を図る指標と考えられる。したがって、4 つの炉心燃料セルは同程度の転換比を示しているが、中性子有効利用を図るポテンシャルの面では、水冷却型増殖炉は Na 冷却高速炉に比べて裕度の小さい概念と言えよう。

### 4.2.3 核反応の発生するエネルギー領域の比較

セル全領域平均の核分裂中性子発生率を 1.0 としたときの、核分裂中性子発生率、中性子吸収反応率、及び中性子捕獲反応率のエネルギー分布を図 4.2～図 4.4 に示す。同じ核分裂中性子発生率を達成する場合、水冷却型増殖炉では Na 冷却高速炉に比べて中性子吸収反応率、特に捕獲反応率が增大する傾向が顕著である。水冷却型増殖炉の中性子捕獲反応率は Na 冷却高速炉に対して、およそ 10keV 付近を境に、それ以上では減少し、それ以下では増大するが、その総和は図 4.4 の凡例中に記載したように中性子スペクトルの軟化に伴って増加していることから、高エネルギー側の減少効果を低エネルギー側の増大効果はるかに上回るので、4.2.2(6)で示した「余剰中性子数」が Na 冷却高速炉に比べて減少する傾向にあるものと解釈できる。

主要な核反応の発生エネルギー領域が各炉心燃料セルでどのように変化するかを調べるために、転換比を決定する核反応である Pu-239 及び Pu-241 の核分裂反応率、ならびに U-238 及び Pu-240 の捕獲反応率のエネルギースペクトルを、4 種類の炉心燃料セルについて、それぞれ図 4.5～図 4.8 に示す。Na 冷却高速炉 (図 4.5) では、いずれの核反応もその大部分が 1keV 以上のエネルギー領域で発生し、10keV～1MeV での反応が支配的である。これに対して、水冷却型増殖炉の場合、中性子スペクトルが軟かくなるに従って、いずれの核反応についても、その主要な反応領域が低エネルギー側にシフトしていく傾向が見られており、その範囲は 1～3 桁にまで及び、Na 冷却高速炉の場合にはほとんど無

視できる 1keV 以下の領域の核反応の寄与が増加することがわかる。

### 4.3 Na 冷却高速炉と水冷却型増殖炉の増殖性の相違に関する考察

#### 4.3.1 代表的な核反応に対する核種毎寄与割合

セル全領域に対する中性子発生数、中性子吸収反応、中性子捕獲反応に対する重金属核種の寄与割合を、表 4.3～表 4.5 にそれぞれ整理した。

中性子発生数（表 4.3）に関しては、炉心概念による差異は小さい。すなわち、いずれの炉心においても、Pu-239 が 60%強、Pu-241 が 13～15%であり、いわゆる核分裂性 Pu の寄与割合が 75%程度を占める。残りは、U-238 と Pu-240（しきい値反応による高速核分裂）の和が 20～25%だが、それぞれの値の変化は 3ポイント以内と小さい。

中性子吸収反応（表 4.4）の場合は、Na 冷却高速炉で小さな Pu-240 の寄与割合が水炉において増加し、対応して U-238 の寄与割合が減少する傾向が見られる。

中性子捕獲反応（表 4.5）を見ると、この傾向はより顕著に現れる。水冷却型増殖炉では、Pu-240 の寄与割合が Na 冷却高速炉の 6.9%から 16～25%と 2～3 倍に増大する。また、Pu-239 の寄与割合も増大する傾向があり、対照的に、U-238 の寄与割合が減少する。また、重金属核種以外の寄与が Na 冷却高速炉の 7.3%に対して水冷却型増殖炉は 2.5%と小さいことも特徴としてあげられる。

以上の結果から、4.2.3 で考察した水冷却型増殖炉における低エネルギー領域の中性子捕獲反応の増大に寄与している主な核種は Pu-240 及び Pu-239 と考えられる。

#### 4.3.2 1群マイクロ定数

SLAROM によって算出した重金属核種の 1群マイクロ定数を表 4.6 に示す。

##### (1) 全般的傾向

おしなべて、Na 冷却高速炉に対して水冷却型増殖炉の方が、1群マイクロ断面積が増大する。図 3.2 より水冷却型増殖炉の規格化中性子スペクトルが Na 冷却高速炉より大きな値を示すエネルギー領域は、数百 keV より高速側及び十 keV より低速側である。重金属核種の捕獲断面積は総じて低エネルギー側で増大すること、及び、しきい値反応による高速核分裂断面積は 1MeV 以上に存在することを考慮すれば、この傾向は理解できる。

##### (2) 核分裂断面積と捕獲断面積の変化傾向

Na 冷却高速炉と水冷却型増殖炉の間での核分裂断面積と捕獲断面積の増大度合いは、核種によって一定しない。例えば、Na 冷却高速炉と非沸騰軽水炉の比較では、U-238 はいずれの断面積の増大度合いとも約 2 倍だが、Pu-240 は核分裂断面積が 50%程度しか変化しないのに対して捕獲断面積は 5 倍以上変化する。すなわち、中性子スペクト



ルの変化が1群マイクロ断面積（核分裂、中性子捕獲）に及ぼす影響は核種によってそれぞれ異なる。

### (3) $\eta$ 値の変化傾向

4種類の炉心燃料セルにおける各核種の増殖性に及ぼす影響を比較するために、中性子吸収あたりに発生する中性子数 ( $\eta \equiv \nu \sigma_{\text{fission}} / \sigma_{\text{absorption}}$ ) を図 4.9 に示す。表 4.6 の右端の欄に Na 冷却高速炉に対して水冷却型増殖炉が示す変化傾向を記載した。

$\eta$  値は Pu-240 及び Pu-242 の変化が最も顕著であり、Na 冷却高速炉では 1.2~1.3 だったのが、水炉では 0.5~1.0 の範囲に低下し、Pu-240 の親物質としての性能を向上させることがわかる。一方、もう一つの親物質である U-238 の  $\eta$  値は、Na 冷却高速炉の値が約 0.5 と小さく、水冷却型増殖炉においても大きく変化しない。

核分裂性核種(U-235, Pu-239, Pu-241)の  $\eta$  値はいずれも減少する傾向を示すが、その程度は Pu-239 が最も顕著である。Na 冷却高速炉では 2.37 だったが、水炉では 2.0 に近い値まで低下し、増殖炉燃料の核分裂性核種としての必要条件 ( $\eta \geq 2.0$ ) の下限値に近くなっている。もう一つの核分裂性核種である Pu-241 の  $\eta$  値の低下傾向が小さいことが、水冷却型増殖炉の増殖性が確保される重要な因子と評価できる。

## 4.3.3 転換比に及ぼす核種毎分担割合

### (1) fissile 生成反応の分担割合

図 4.10 に、fissile 生成反応核種である U-238 と Pu-240 の捕獲反応の分担割合を示す。Na 冷却高速炉では、10%程度である Pu-240 の寄与が水冷却型増殖炉では 20~30% に増大する。これは、4.2.1 に示した原子個数密度の増大だけでは説明がつかず、中性子スペクトルの変化に伴って Pu-240 の  $\eta$  値が低下するが、U-238 の  $\eta$  値は変化しないことによって理解できる。

### (2) 核分裂反応の分担割合

図 4.11 に、核分裂反応の分担割合を示す。総じて、炉心燃料セル間の差異は小さい。これは、表 4.6 及び図 4.9 に示したように、主要な核分裂性核種である Pu-239 と Pu-241 の  $\eta$  値が共に減少するが、その度合いに著しく大きな差がないことによる。また、U-238 の  $\eta$  値に大きな変化が見られないことも影響している。

## 4.3.4 $\eta$ 値が変化する原因の考察

### (1) $\eta$ 値のエネルギー分布

図 4.12 に、Pu-239, Pu-240, Pu-241, U-238 の  $\eta$  値のエネルギー分布を示す。これらは、Na 冷却高速炉における実効マイクロ断面積を用いて、 $\eta \equiv \nu \sigma_{\text{fission}} / \sigma_{\text{absorption}}$  を各エネルギー群毎に算出した値をプロットしたものである。(注；他の3種類の炉心燃料セルの値もほとんど同等であることは別途確認済み)

増殖炉の核分裂性核種として用いられる Pu-239 と Pu-241 は、広いエネルギー範囲において 2.0 を超える  $\eta$  値を示すが、Pu-239 の場合、10eV～10keV での捕獲反応の増大に伴う  $\eta$  値の低下が Pu-241 より顕著に現れている。つまり、このエネルギー領域における中性子成分が大きい炉心では Pu-239 の増殖性能が劣化する傾向が予想される。Pu-241 の場合は、中性子スペクトルに対する  $\eta$  値の感度は Pu-239 より小さいと推測できる。これらは、いずれも 4.3.2(3)に示した Na 冷却高速炉と水冷却型増殖炉の  $\eta$  値の変化傾向と定性的に一致する。

## (2) Pu-240 の $\eta$ 値の変化原因

核種の増殖性の目安として使われる  $\eta$  値は炉心の中性子スペクトルを考慮して 1 群化した量であり、図 4.12 に示す  $\eta$  値のエネルギー分布に、規格化吸収反応率（各群毎の吸収反応率（ $\equiv$ 中性子束 $\times$ 実効マイクロ吸収断面積）を全吸収反応率で除した値の分布）を乗じた後、それらを全エネルギー範囲にわたって積分して得られる。

Pu-240 の規格化吸収反応率及びそれを  $\eta$  値分布に乗じた値のエネルギー分布を、それぞれ図 4.13 及び図 4.14 に示す。図 4.13 より、Na 冷却高速炉に対して水冷却型増殖炉では、Pu-240 の規格化吸収反応率が低エネルギー側にシフトしており、その結果、Pu-240 の  $\eta$  値を決定する数百 keV 以上の値が低下していることがわかる。これは、低エネルギー側での捕獲反応の増大効果が、高エネルギー側の核分裂反応率増大効果を上回るためであり、4.3.2(2)に示した 1 群マイクロ核分裂断面積と捕獲反応断面積の変化傾向の相違と対応している。

## (3) U-238 の $\eta$ 値の変化原因

中性子スペクトルの変化に対する  $\eta$  値の変化傾向が Pu-240 と異なる U-238 について、その規格化吸収反応率及び  $\eta$  値分布との積のエネルギー分布を、それぞれ図 4.15 及び図 4.16 に示す。図 4.12 より、U-238 の  $\eta$  値に寄与するエネルギー範囲は 1MeV 以上のみであることが明らかである。図 4.15 より、U-238 の規格化吸収反応率のエネルギー分布は炉心燃料セルによって異なり、Na 冷却高速炉に対して水冷却型増殖炉で低エネルギー側にシフトする点は Pu-240 と同じである。ただし、1MeV 以上の値にあまり変化が見られないことが相違点である。つまり、U-238 の規格化吸収反応率（実質的には捕獲反応率）は、水冷却型増殖炉においては Na 冷却高速炉に対して、十 keV 以上で減少し、それ以下で増大する傾向を持つが、両者はほぼバランスしており、1MeV 以上の高速核分裂反応の持つ重みに大きな変化が生じない。その結果、図 4.16 を積分して得られる  $\eta$  値には、各炉心燃料セルの中性子スペクトルによる差異が大きく現れないものと考えられる。

(4) Pu-239 の  $\eta$  値の変化原因

次に、最も主要な核分裂性核種である Pu-239 について、その規格化吸収反応率及び  $\eta$  値分布との積のエネルギー分布を、それぞれ図 4.17 及び図 4.18 に示す。図 4.17 より、水冷却型増殖炉では Na 冷却高速炉に対して、Pu-239 の  $\eta$  値が 2.0 を下回る 10eV~10keV での規格化吸収反応率が增大すること、及び、Pu-239 の  $\eta$  値が 2.5 以上となる数百 keV 以上の領域での規格化吸収反応率が低下することがあいて、 $\eta$  値が低下することがわかる。なお、1~10eV では  $\eta$  が 2.0 以上になるが、この領域の規格化吸収反応率はいずれの炉心においても非常に小さく、影響は小さい

(5) Pu-241 の  $\eta$  値の変化原因

もう一つの核分裂性核種である Pu-241 について、その規格化吸収反応率及び  $\eta$  値分布との積のエネルギー分布を、それぞれ図 4.19 及び図 4.20 に示す。図 4.19 より、水冷却型増殖炉では Na 冷却高速炉に対して、規格化吸収反応率が低エネルギー側にシフトする傾向が他の核種と同様に見られるが、図 4.12 に示すように Pu-241 の  $\eta$  値が広いエネルギー領域において 2.0 以上の値を示し、エネルギー依存性が小さいことから、水冷却型増殖炉における  $\eta$  値の低下度合いは Pu-239 に比べて小さい。

(6)  $\eta$  値の変化原因に関するまとめ

以上の考察より、水冷却型増殖炉において重金属核種の  $\eta$  値が Na 冷却高速炉に比べて低下する原因は、中性子スペクトルが低エネルギー側にシフトすることによって生じる中性子捕獲反応の増大効果が、核分裂反応の増大効果を上回ることによるものであることが確認できた。

## 4.4 まとめ

高速炉用セル計算コード SLAROM の解析結果を用いて、Na、重水及び軽水を冷却材とした高速増殖炉概念の核特性について理解を深めるためのデータ整理と考察を行った。主要な結論は以下のとおりである。

- 主要な核的パラメータについて、水冷却型増殖炉と Na 冷却高速炉の比較を行った。その結果、平均中性子エネルギー、高速中性子束割合、中性子平均自由行程等ほどの炉心燃料セルも類似の特性を示すことがわかった。
  - 一方、水冷却型増殖炉は Na 冷却高速炉に対して、重金属原子核個数密度を大きくする必要があり、中性子束が低いこと、「余剰中性子数」が小さいこと等の相違点を持つことがわかった。
- ミクロ定数の分析により、水冷却型増殖炉は Na 冷却高速炉に比べて、中性子スペ

クトルの軟化による低エネルギー側での捕獲反応増大効果が核分裂反応増大効果を上回るために、1個の中性子吸収あたりに発生する核分裂中性子数 $\eta$ 値がほとんどの重金属核種について減少し、特にPu-239の $\eta$ 値が2.0に近い値まで低下することがわかった。一方、この効果は、Pu240の親物質特性の向上に結びついていることもわかった。

- しきい値核分裂反応を持つ核種の $\eta$ 値は、低エネルギー領域での捕獲反応と高エネルギー領域での核分裂反応のバランスで決まる。Pu-240の場合は前者の寄与が大きいため、中性子スペクトルが軟化する水冷却型増殖炉においてはNa冷却高速炉より $\eta$ 値が減少するが、U-238の場合は二つの反応の変化量に顕著な差がないために、炉心による $\eta$ 値の変化が小さい。

表4.1 セル計算仕様値及び計算結果の比較

分類	項目	単位	Na冷却高速炉	非沸騰重水炉	沸騰軽水炉 (65%void)	非沸騰軽水炉	水冷却型増殖炉 のNa冷却高速炉 に対する特徴
炉心 概念	炉心設定の考え方		1600MWe炉心の設計例を参考に設定	右記の炉心仕様で冷却材を重水とし、燃焼中の実効増倍係数が同等となるようにPu富化度を設定	1356MWe炉心の設計例(RBWR)より平均Pu富化度を設定	左記の炉心で軽水が沸騰していない状況を設定(Pu富化度は同一)	
	燃焼度	GWd/t	150	45相当	45		低い
	冷却材		ナトリウム	重水	沸騰軽水	非沸騰軽水	減速能大
	ボイド率	%	0	0	65	0	
燃料仕様	被覆管材料		ステンレス鋼	ジルカロイ	ジルカロイ	ジルカロイ	中性子吸収小
	燃料スミア密度	%	83.74	95.00	95.00	95.00	大
	Pu富化度	w/o	17.00	21.44	18.43	18.43	
	Pu238	w/o	1.70	0.40	0.40	0.40	Na冷却高速炉はLWR取出組成。水冷却型増殖炉はRBWRで30回マリアケル後の組成。
	Pu239	w/o	58.10	51.30	51.30	51.30	
	Pu240	w/o	25.00	37.80	37.80	37.80	
	Pu241	w/o	9.20	6.50	6.50	6.50	
	Pu242	w/o	4.70	4.00	4.00	4.00	
Am241	w/o	1.30	0.00	0.00	0.00		
U235/U238	w/o	0.3/99.7	0.2/99.8	0.2/99.8	0.2/99.8		
セル寸法	被覆管内径(燃料部外径)	(cm)	0.850	0.948	0.948	0.948	燃料領域比が大きく、被覆管及び冷却材領域比が小さい
	被覆管外径	(cm)	0.970	1.008	1.008	1.008	
	冷却材領域外径	(cm)	1.244	1.195	1.195	1.195	
	P/D		1.22	1.13	1.13	1.13	
セル面積	燃料領域	(cm <sup>2</sup> )	0.567	0.706	0.706	0.706	約8%小さい
	被覆管領域	(cm <sup>2</sup> )	0.172	0.092	0.092	0.092	
	冷却材領域	(cm <sup>2</sup> )	0.476	0.324	0.324	0.324	
	燃料/被覆管/冷却材領域比	(%)	47/14/39	63/8/29	63/8/29	63/8/29	
	全領域面積	(cm <sup>2</sup> )	1.215	1.122	1.122	1.122	
原子個数密度 (全領域平均)	Pu238		3.22E-05	1.26E-05	1.09E-05	1.09E-05	
	Pu239		1.10E-03	1.62E-03	1.39E-03	1.39E-03	26~47%大
	Pu240		4.70E-04	1.19E-03	1.03E-03	1.03E-03	2.2~2.5倍
	Pu241		1.72E-04	2.05E-04	1.76E-04	1.76E-04	2~19%大
	Pu242		8.76E-05	1.26E-04	1.09E-04	1.09E-04	
	Am241		2.43E-05				
	U235		2.81E-05	2.31E-05	2.40E-05	2.40E-05	
	U238		9.23E-03	1.15E-02	1.20E-02	1.20E-02	25~30%大
	Na		8.80E-03				Naがない
	D			1.63E-02			軽核の存在
fissile個数密度 (U235+Pu239+Pu241)			1.30E-03	1.85E-03	1.59E-03	1.59E-03	22~42%大
	fertile個数密度 (U238+Pu240)		9.70E-03	1.27E-02	1.30E-02	1.30E-02	31~34%大
計算結果 by SLAROM	無限増倍率(k <sub>inf</sub> )		1.304	1.254	1.277	1.206	やや小さい
	転換比		0.875	0.880	0.869	0.846	ほぼ同等

表4.2 主要核的パラメータの比較

記号		単位	Na冷却高速炉	非沸騰重水炉	沸騰軽水炉 (65%void)	非沸騰軽水炉
$\Phi_{total}$	全中性子束 <sup>*1</sup>	(相対値)	1.00	0.55	0.49	0.31
$\Sigma_{fission}$	1群 $\gamma$ 核分裂断面積	( $cm^{-1}$ )	3.13E-03	5.71E-03	6.40E-03	1.01E-02
$E_{mean}$	平均中性子エネルギー	(eV)	5.05E+05	5.43E+05	7.07E+05	8.03E+05
$\Phi_{fast}/\Phi_{total}$	高速中性子束の割合	-	0.63	0.52	0.63	0.62
$\Phi_{fast}$	高速中性子束 <sup>*1</sup>	(相対値)	1.00	0.45	0.49	0.30
$\lambda$	中性子平均自由行程	(cm)	3.49	2.97	3.52	2.91
$\Sigma_{total}$	1群 $\gamma$ 全断面積	( $cm^{-1}$ )	0.286	0.337	0.284	0.344
$\nu$	核分裂当たりの中性子発生数	-	2.93	2.94	2.93	2.92
SN	余剰中性子数	-	0.39	0.31	0.28	0.04
$\eta$	吸収当たりの中性子発生数	-	1.39	1.31	1.28	1.04
$\nu \Sigma_{fission}$	1群 $\gamma$ 加中性子発生数	( $cm^{-1}$ )	9.18E-03	1.68E-02	1.88E-02	2.94E-02
$\Sigma_{absorption}$	1群 $\gamma$ 加吸収断面積	( $cm^{-1}$ )	6.59E-03	1.28E-02	1.47E-02	2.84E-02

\*1 核分裂発生数の全領域平均値を一定にした場合の比較  
(炉心平均出力密度一定の場合に相当)

算出方法； SLAROM70群解析結果より編集

( $\Phi$ ,  $\Sigma_{total}$ ,  $\Sigma_{absorption}$ ,  $\Sigma_{fission}$ ,  $\nu \Sigma_{fission}$ は全領域平均値を使用)

$$\phi_{total} = \sum_{g=1}^{70} \phi^g \quad \phi_{fast} = \sum_{g=1}^{19} \phi^g \quad \phi_{norm}^g = \frac{\phi^g}{\phi_{total}}$$

$$\Sigma_{fission} = \sum_{g=1}^{70} (\phi_{norm}^g \times \Sigma_{fission}^g)$$

$$\lambda = \frac{1}{\Sigma_{total}} \quad \leftarrow \quad \Sigma_{total} = \sum_{g=1}^{70} (\phi_{norm}^g \times \Sigma_{total}^g)$$

$$E_{mean} = \sum_{g=1}^{70} (E^g \times \phi_{norm}^g)$$

$$\nu = \frac{(\nu^g \times \phi_{norm}^g \times \Sigma_{fission}^g)}{\Sigma_{fission}}$$

$$\nu \Sigma_{fission} = \sum_{g=1}^{70} (\phi_{norm}^g \times \nu \Sigma_{fission}^g)$$

$$\eta = \frac{\nu \Sigma_{fission}}{\Sigma_{absorption}}$$

$$\Sigma_{absorption} = \sum_{g=1}^{70} (\phi_{norm}^g \times \Sigma_{absorption}^g)$$

表4.3 中性子発生数に占める寄与

核種	Na冷却高速炉	非沸騰重水炉	沸騰軽水炉 (65%void)	非沸騰軽水炉
Pu239	61.6%	63.5%	60.5%	63.6%
Pu240	6.4%	9.4%	9.3%	7.0%
Pu241	13.4%	12.5%	12.6%	14.9%
Pu242	0.9%	0.7%	0.7%	0.6%
Am241	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%
U235	1.3%	0.9%	1.0%	1.0%
U238	14.9%	12.7%	15.6%	12.7%
Pu238	1.2%	0.3%	0.3%	0.2%

表4.4 中性子吸収反応に占める寄与

核種	Na冷却高速炉	非沸騰重水炉	沸騰軽水炉 (65%void)	非沸騰軽水炉
Pu239	36.1%	39.3%	38.3%	39.2%
Pu240	6.6%	12.7%	13.9%	17.1%
Pu241	7.3%	6.6%	6.9%	7.7%
Pu242	1.0%	1.1%	1.4%	2.0%
Am241	0.7%	0.0%	0.0%	0.0%
U235	1.0%	0.6%	0.7%	0.7%
U238	42.7%	38.1%	37.5%	32.0%
Pu238	0.8%	0.2%	0.2%	0.2%
重金属核種合計	96.1%	98.6%	98.7%	98.9%

表4.5 中性子捕獲反応に占める寄与

核種	Na冷却高速炉	非沸騰重水炉	沸騰軽水炉 (65%void)	非沸騰軽水炉
Pu239	13.8%	20.5%	20.7%	22.3%
Pu240	6.9%	15.6%	17.8%	24.5%
Pu241	2.1%	2.1%	2.3%	2.8%
Pu242	1.1%	1.4%	1.9%	3.0%
Am241	1.1%	0.0%	0.0%	0.0%
U235	0.4%	0.3%	0.3%	0.3%
U238	66.7%	57.5%	54.4%	45.1%
Pu238	0.5%	0.2%	0.2%	0.2%
重金属核種合計	92.7%	97.5%	97.7%	98.2%

注) 上記3種類の表は、いずれもセル全領域に対する値である。

表4.6 1群マイクロ定数の比較 (SLAROM70群セル計算結果より編集)

核種	1群マイクロ定数 ( $\eta$ と $\nu$ 以外の単位; barn)	Na冷却高速炉	非沸騰重水炉	沸騰軽水炉 (65%void)	非沸騰軽水炉	吸収当たり発生 する中性子数 $\eta$ の変化傾向
U235	$\nu \sigma_{\text{fission}}$	4.44	6.36	7.47	11.01	水冷却型増殖炉 で低下するが、 変化範囲は1割 程度
	$\sigma_{\text{fission}}$	1.80	2.60	3.04	4.50	
	$\nu$	2.46	2.45	2.45	2.45	
	$\sigma_{\text{absorption}}$	2.29	3.41	4.09	6.29	
	$\sigma_{\text{capture}}$	0.49	0.81	1.05	1.79	
	$\eta = \nu \sigma_{\text{fission}} / \sigma_{\text{absorption}}$	1.94	1.87	1.82	1.75	
U238	$\nu \sigma_{\text{fission}}$	0.15	0.19	0.24	0.30	約0.5であり、 中性子スペクトルの 軟化に対して必ずしも一定の傾 向を示さない
	$\sigma_{\text{fission}}$	0.05	0.07	0.09	0.11	
	$\nu$	2.76	2.78	2.77	2.78	
	$\sigma_{\text{absorption}}$	0.31	0.43	0.44	0.61	
	$\sigma_{\text{capture}}$	0.25	0.36	0.36	0.50	
	$\eta = \nu \sigma_{\text{fission}} / \sigma_{\text{absorption}}$	0.49	0.43	0.55	0.49	
Pu238	$\nu \sigma_{\text{fission}}$	3.47	3.92	4.52	5.04	水冷却型増殖炉 で2~3割低下
	$\sigma_{\text{fission}}$	1.15	1.30	1.49	1.66	
	$\nu$	3.02	3.02	3.04	3.04	
	$\sigma_{\text{absorption}}$	1.74	2.44	2.83	3.80	
	$\sigma_{\text{capture}}$	0.60	1.14	1.34	2.15	
	$\eta = \nu \sigma_{\text{fission}} / \sigma_{\text{absorption}}$	1.99	1.61	1.60	1.33	
Pu239	$\nu \sigma_{\text{fission}}$	5.20	6.60	8.01	11.99	水冷却型増殖炉 で1~2割低下
	$\sigma_{\text{fission}}$	1.75	2.23	2.71	4.09	
	$\nu$	2.96	2.96	2.95	2.93	
	$\sigma_{\text{absorption}}$	2.19	3.16	3.87	6.12	
	$\sigma_{\text{capture}}$	0.44	0.92	1.15	2.03	
	$\eta = \nu \sigma_{\text{fission}} / \sigma_{\text{absorption}}$	2.37	2.09	2.07	1.96	
Pu240	$\nu \sigma_{\text{fission}}$	1.25	1.33	1.70	1.90	水冷却型増殖炉 で3~6割低下
	$\sigma_{\text{fission}}$	0.42	0.44	0.56	0.62	
	$\nu$	3.01	3.04	3.05	3.07	
	$\sigma_{\text{absorption}}$	0.94	1.39	1.85	3.33	
	$\sigma_{\text{capture}}$	0.52	0.95	1.30	2.71	
	$\eta = \nu \sigma_{\text{fission}} / \sigma_{\text{absorption}}$	1.34	0.96	0.91	0.57	
Pu241	$\nu \sigma_{\text{fission}}$	7.17	10.26	13.21	22.50	水冷却型増殖炉 で低下するが、 変化範囲は1割 以内
	$\sigma_{\text{fission}}$	2.40	3.45	4.45	7.61	
	$\nu$	2.98	2.97	2.97	2.96	
	$\sigma_{\text{absorption}}$	2.84	4.20	5.48	9.62	
	$\sigma_{\text{capture}}$	0.43	0.74	1.03	2.01	
	$\eta = \nu \sigma_{\text{fission}} / \sigma_{\text{absorption}}$	2.53	2.44	2.41	2.34	
Pu242	$\nu \sigma_{\text{fission}}$	0.91	0.97	1.29	1.47	水冷却型増殖炉 で3~7割低下
	$\sigma_{\text{fission}}$	0.30	0.31	0.42	0.47	
	$\nu$	3.06	3.09	3.09	3.10	
	$\sigma_{\text{absorption}}$	0.73	1.10	1.75	4.09	
	$\sigma_{\text{capture}}$	0.43	0.79	1.34	3.61	
	$\eta = \nu \sigma_{\text{fission}} / \sigma_{\text{absorption}}$	1.24	0.88	0.73	0.36	



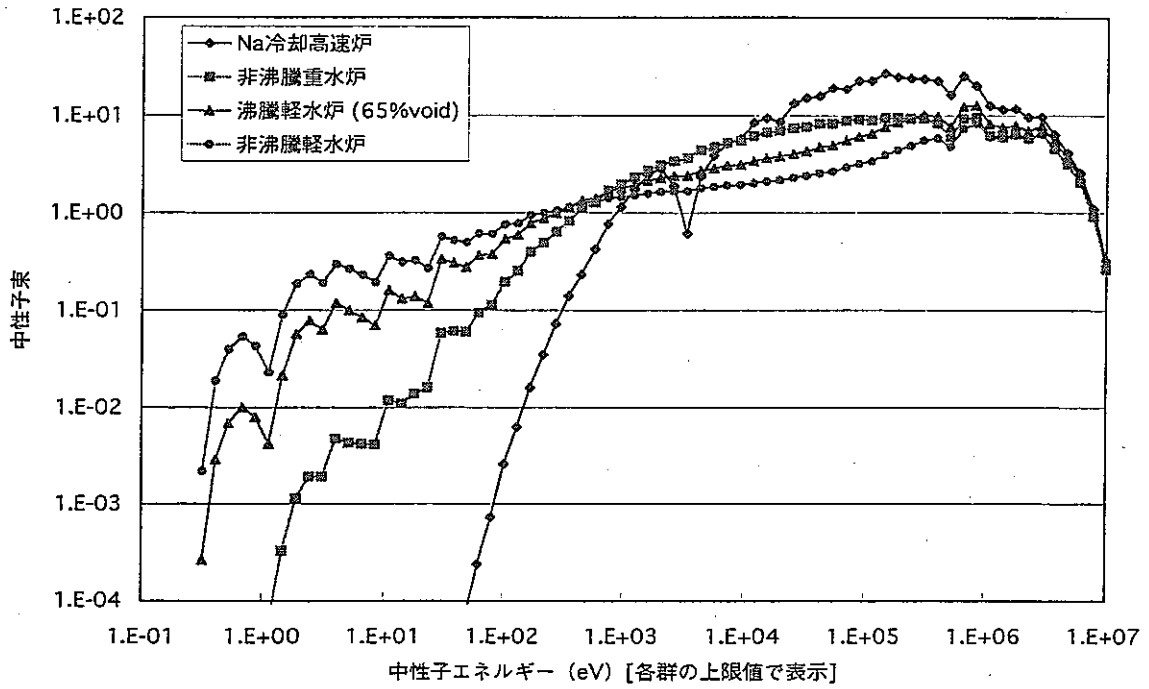


図4.1 SLAROMによるNa冷却高速炉及び水冷却型増殖炉の中性子スペクトル

図4.2 核分裂中性子発生率のエネルギー分布  
(全領域平均の  $\Phi \times \nu \times \Sigma \text{ fission}$ )

総和はいずれの炉心も1.0

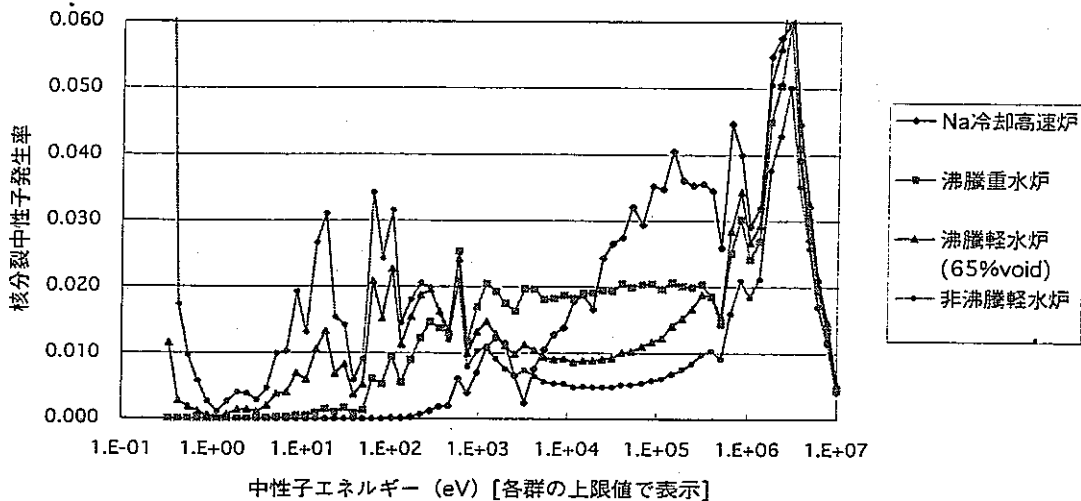


図4.3 中性子吸収反応率のエネルギー分布  
(全領域平均の  $\Phi \times \Sigma \text{ absorption}$ )

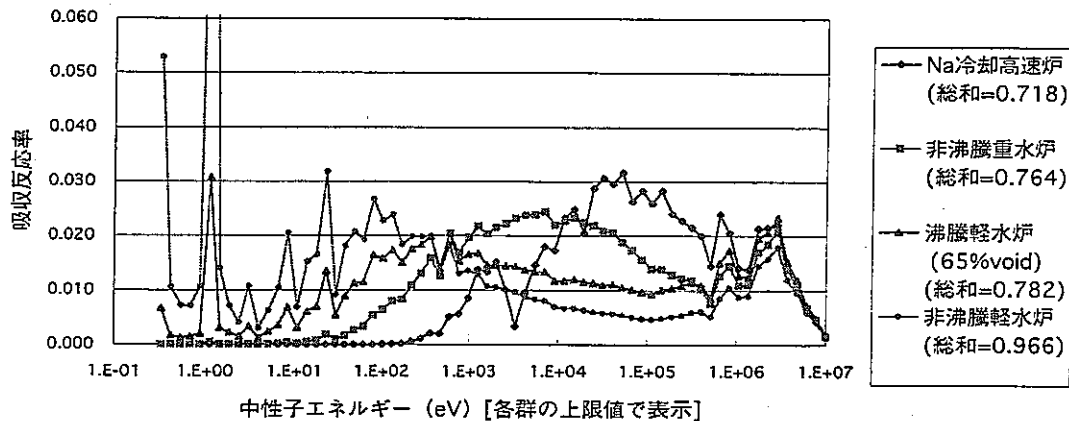
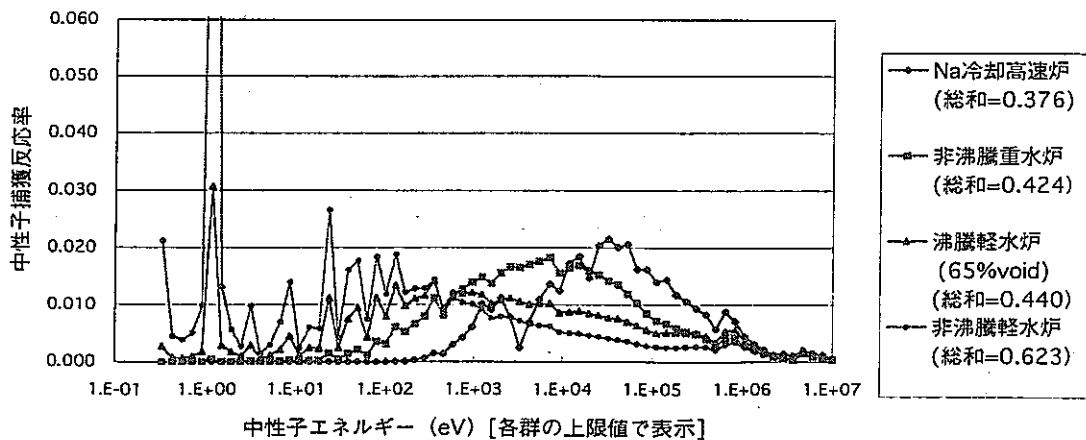


図4.4 中性子捕獲反応率のエネルギー分布  
(全領域平均の  $\Phi \times (\Sigma \text{ absorption} - \Sigma \text{ fission})$ )



セル全領域平均の核分裂中性子発生率を1.0としたときの各反応率のエネルギー分布

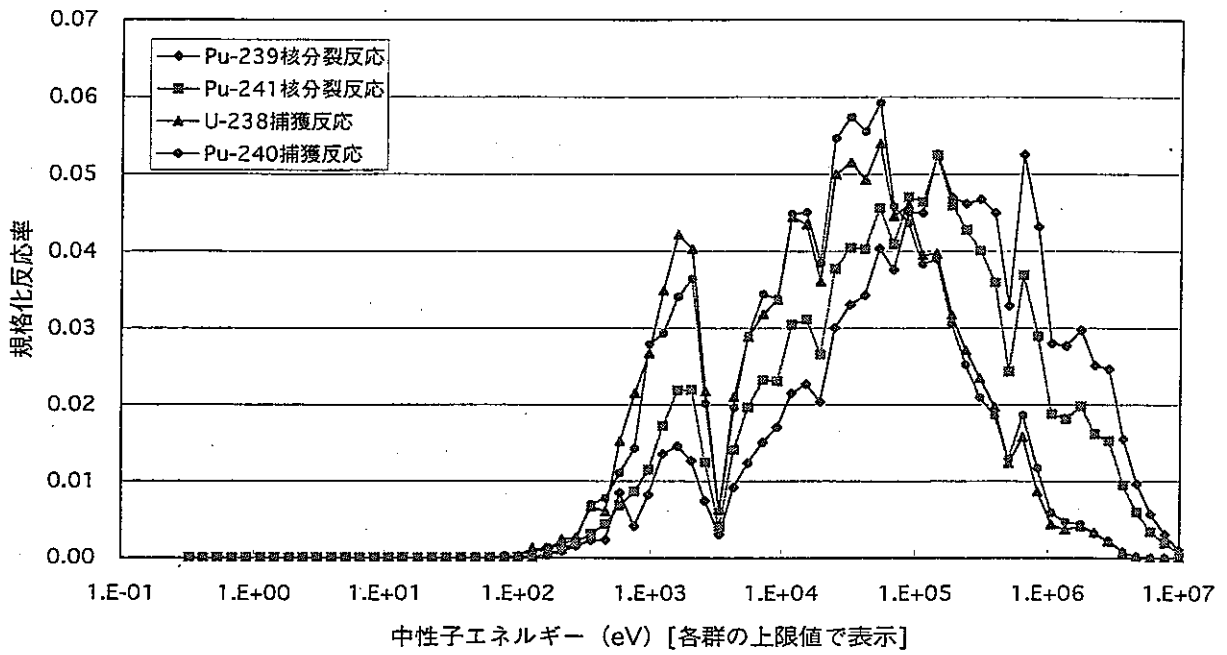


図4.5 Na冷却高速炉の規格化反応率スペクトル (by SLAROM)

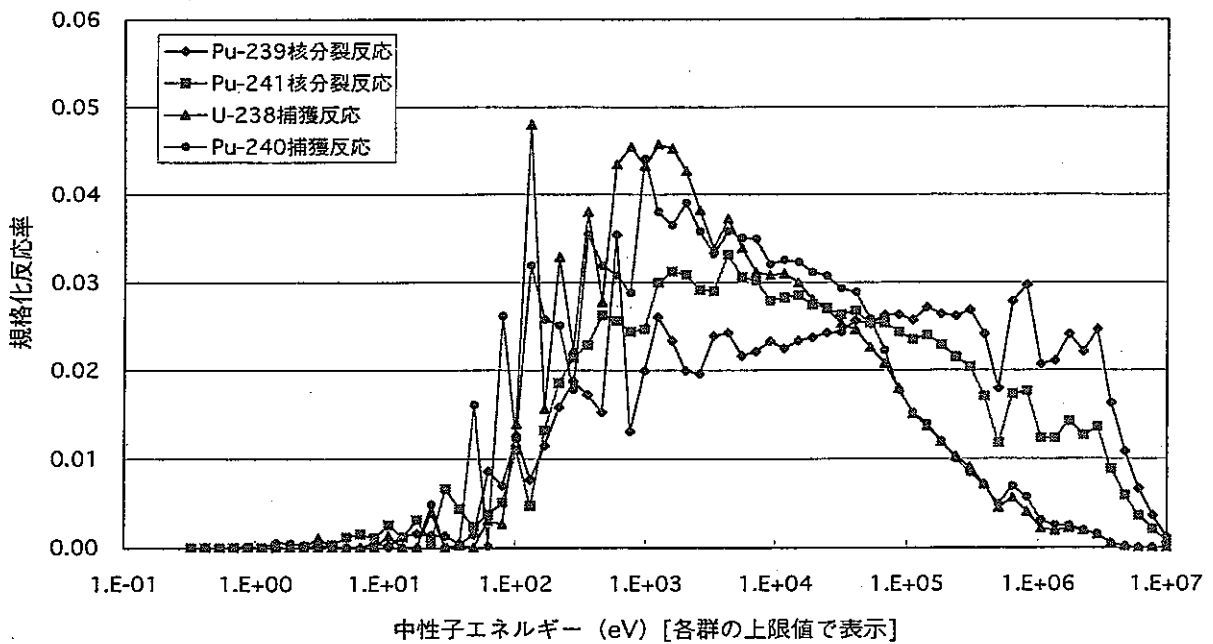


図4.6 非沸騰重水炉の規格化反応率スペクトル (by SLAROM)

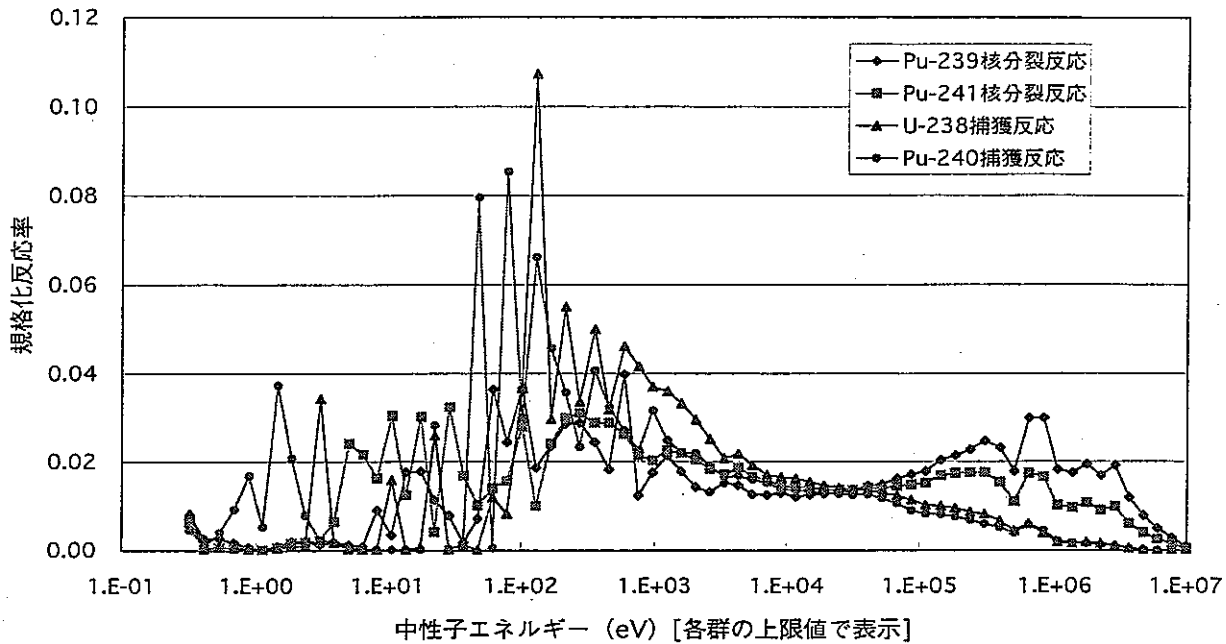


図4.7 沸騰軽水炉 (65%void)の規格化反応率スペクトル (by SLAROM)

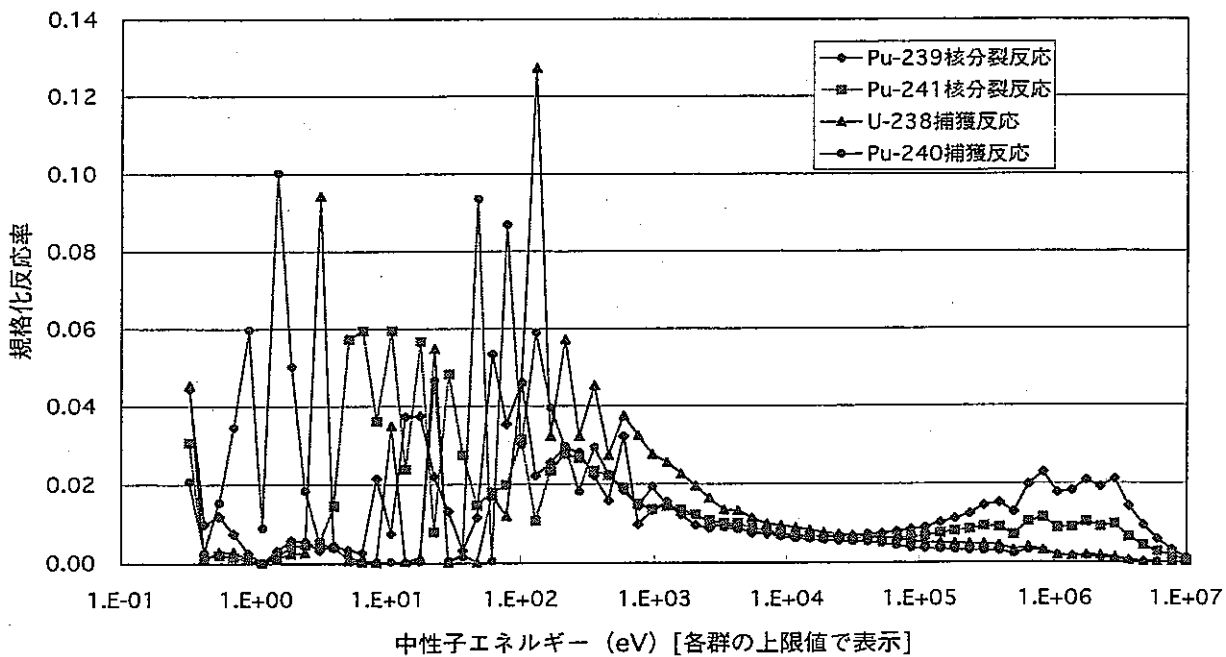


図4.8 非沸騰軽水炉の規格化反応率スペクトル (by SLAROM)

図4.9 吸収当たり発生する中性子の数  $\eta$  値の比較

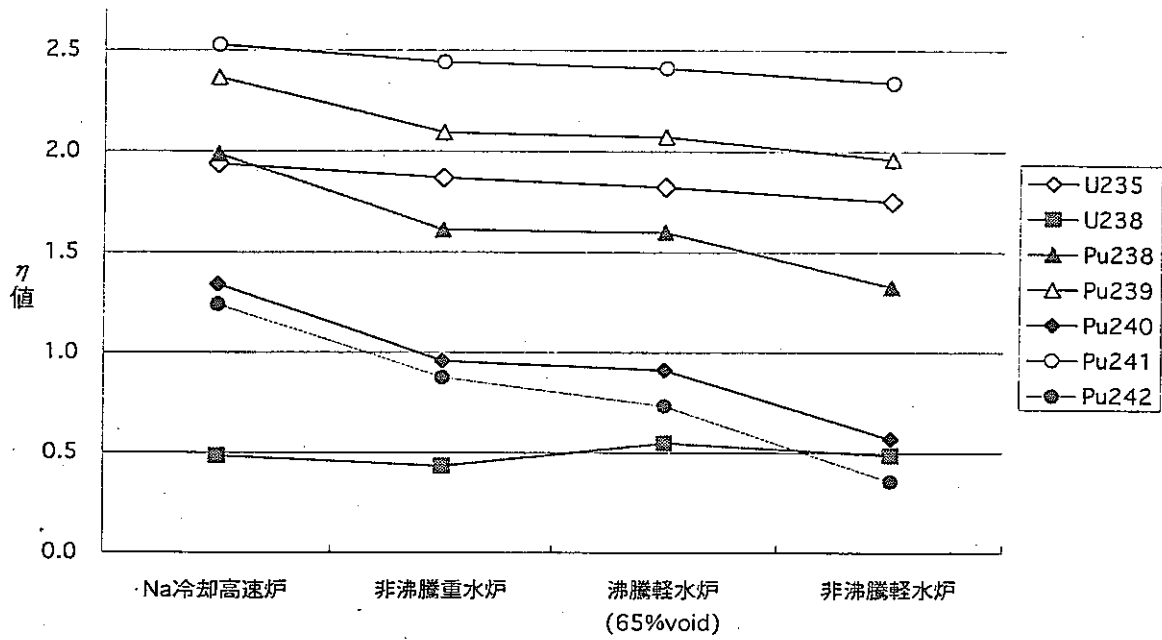


図4.10 fissile生成反応の分担割合

□ U238 □ Pu240

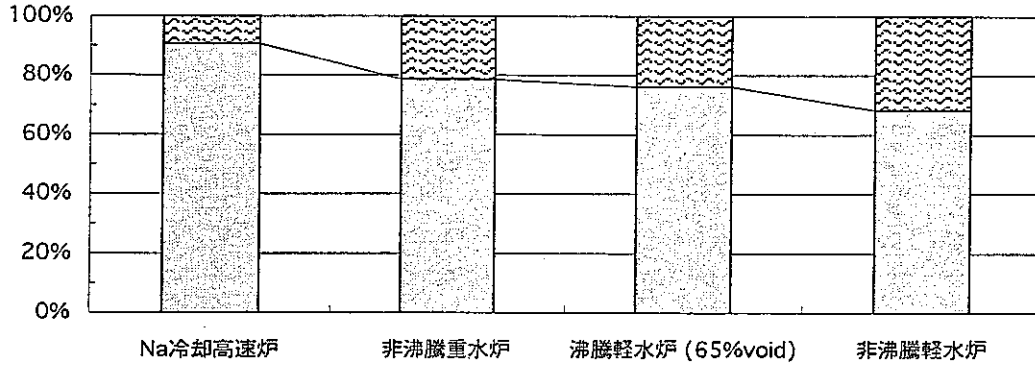


図4.11 核分裂反応の分担割合

□ Pu239 □ Pu241 □ U238 □ その他

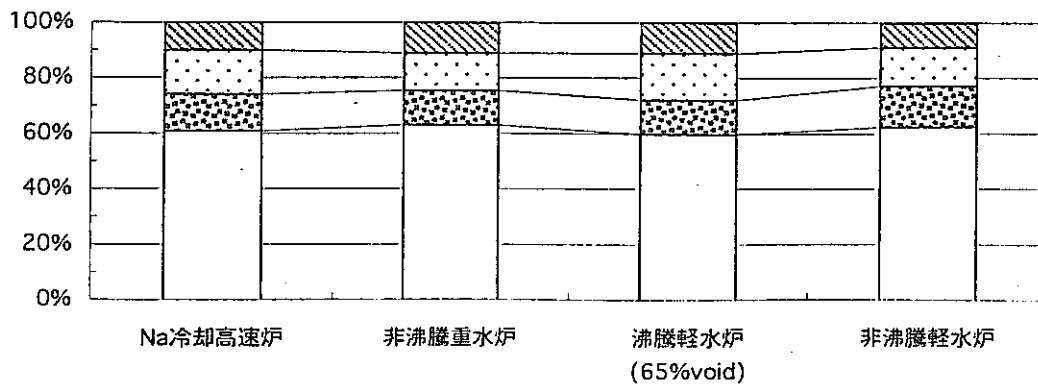


図 4.12 吸収当たりの核分裂中性子発生数  $\eta$  値のエネルギー分布  
 $(\nu^g \times \sigma^g_{\text{fission}} / \sigma^g_{\text{absorption}})$

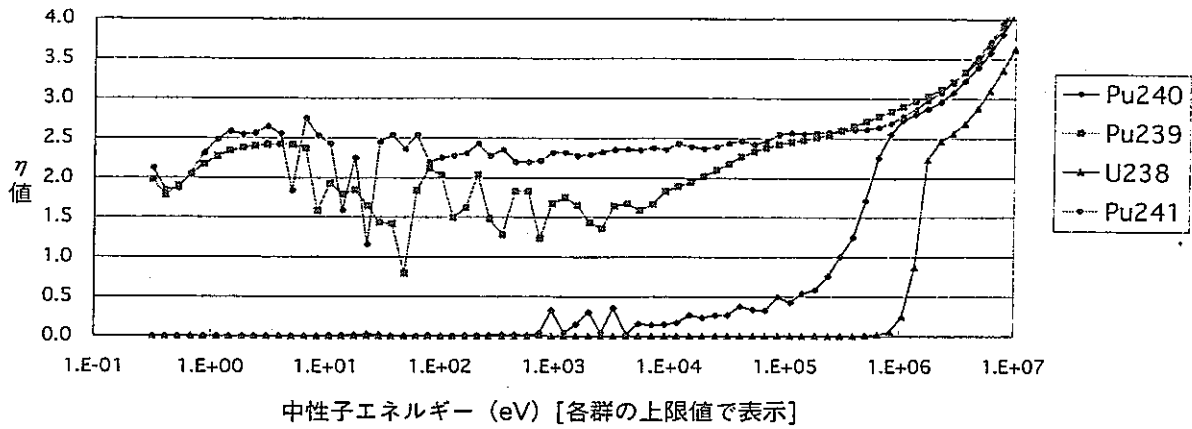


図 4.13 Pu240の規格化吸収反応率のエネルギー分布  
 $((\phi^g \times \sigma^g_{\text{absorption}}) / (\phi_{\text{total}} \times \sigma^{1\text{群化}}_{\text{absorption}}))$

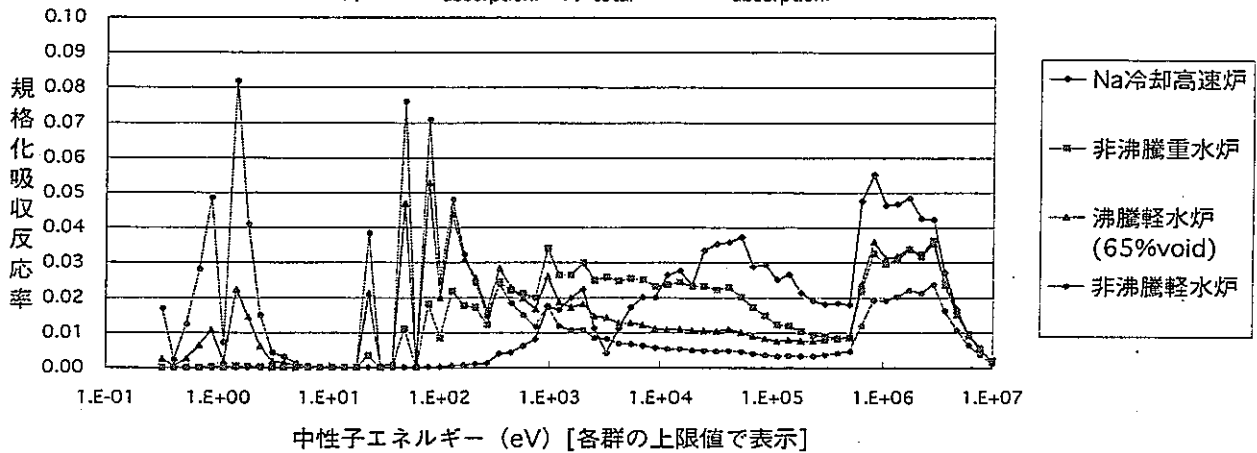


図 4.14 各炉におけるPu240の吸収当たりの核分裂中性子発生数  $\eta$  値のエネルギー分布  
 $(\eta^g * \text{規格化吸収反応率}^g; \nu^g \times \sigma^g_{\text{fission}} \times \phi^g / \phi_{\text{total}}$ とも表せる)

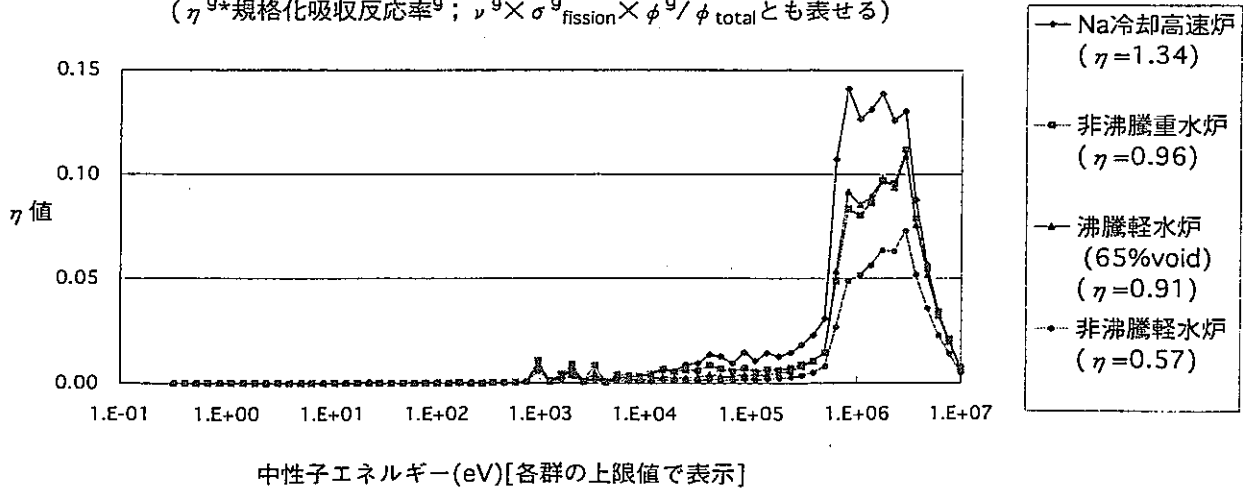


図 4.15 U238の規格化吸収反応率のエネルギー分布  
 $((\phi^g \times \sigma^g_{\text{absorption}}) / (\phi_{\text{total}} \times \sigma^{\text{1群化}}_{\text{absorption}}))$

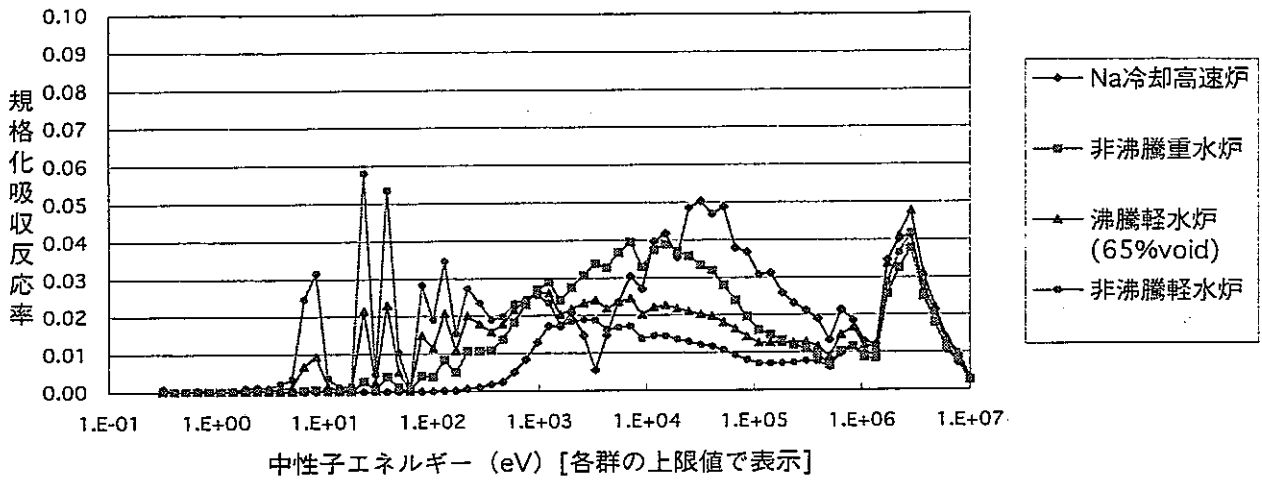


図 4.16 各炉におけるU238の吸収当たりの核分裂中性子発生数 $\eta$ 値のエネルギー分布  
 $(\eta^g * \text{規格化吸収反応率}^g ; \nu^g \times \sigma^g_{\text{fission}} \times \phi^g / \phi_{\text{total}} \text{とも表せる})$

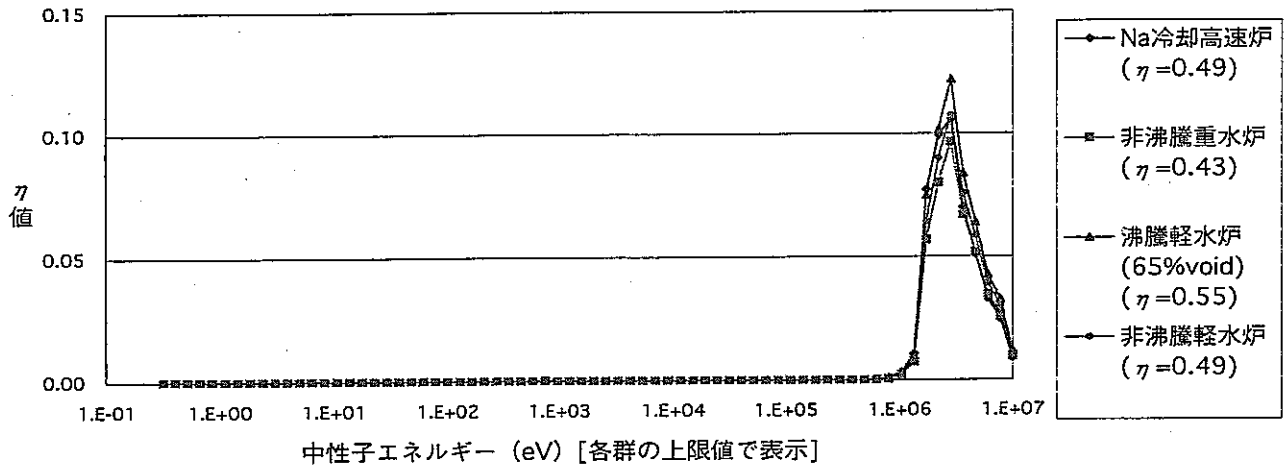


図 4.17 Pu239の規格化吸収反応率のエネルギー分布  
 $((\phi^g \times \sigma^g_{\text{absorption}}) / (\phi_{\text{total}} \times \sigma^{1\text{群化}}_{\text{absorption}}))$

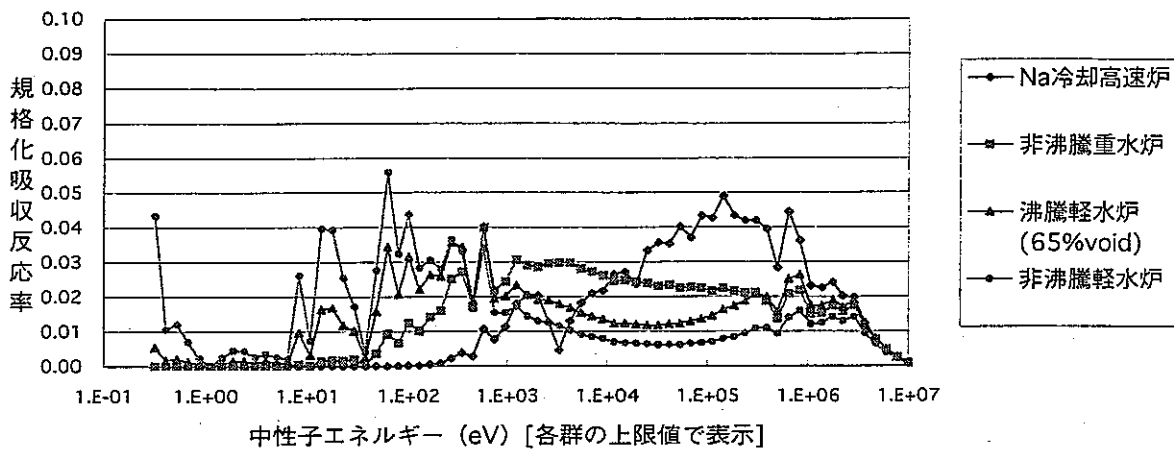


図 4.18 各炉におけるPu239の吸収当たりの核分裂中性子発生数  $\eta$  値のエネルギー分布  
 $(\eta^g * \text{規格化吸収反応率}^g ; \nu^g \times \sigma^g_{\text{fission}} \times \phi^g / \phi_{\text{total}} \text{とも表せる})$

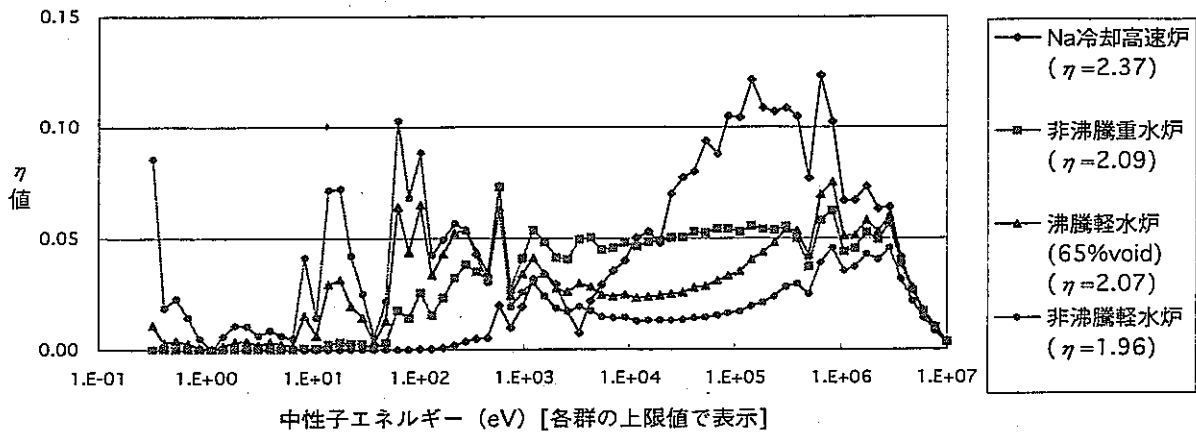




図 4.19 Pu241の規格化吸収反応率のエネルギー分布  
 $((\phi^g \times \sigma^g_{\text{absorption}}) / (\phi_{\text{total}} \times \sigma^{1\text{群化}}_{\text{absorption}}))$

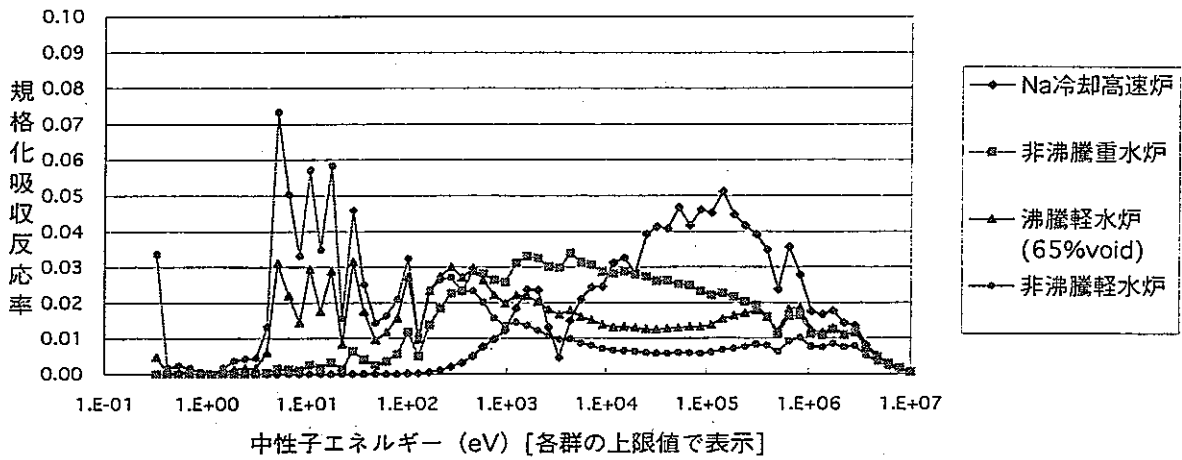
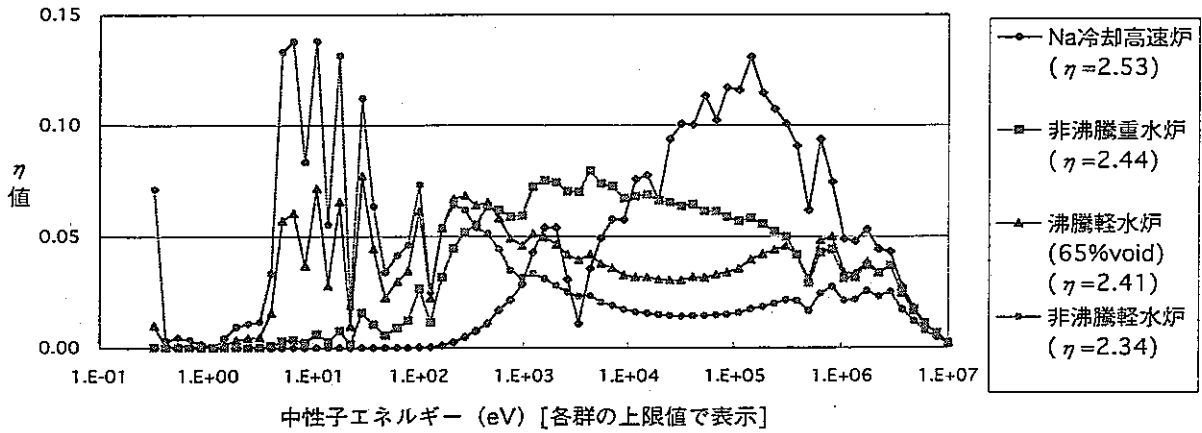


図 4.20 各炉におけるPu241の吸収当たりの核分裂中性子発生数  $\eta$  値のエネルギー分布  
 $(\eta^g = \text{規格化吸収反応率}^g; \nu^g \times \sigma^g_{\text{fission}} \times \phi^g / \phi_{\text{total}} \text{とも表せる})$



## 5. Pu 同位体組成等の増殖性への影響

### 5.1 概要

水冷却型増殖炉の増殖特性に関わる炉心設計パラメータの感度解析として、Pu 同位体組成及びボイド率が増殖性に及ぼす影響について、SRAC システムの燃焼解析機能を用いて定量的に評価し、Na 冷却高速炉と水冷却型増殖炉の特性を比較した。

### 5.2 検討内容

炉の設計パラメータが変わった場合の増殖炉としての成立性、及び冷却材を沸騰軽水・重水・非沸騰軽水に替えた場合の水冷却型増殖炉の増殖性能の変化等についての知見を得るため、2.2 に示した 4 種類の炉心燃料セルについて、Pu 同位体組成またはボイド率を変化させた状態での平衡サイクル末期における実効増倍率が同等になるように Pu 富化度を決定し（燃料部の数密度を変更し）、セル計算結果により算出される転換比を比較することにより、下記 2 項目の検討を行った。

- ボイド率を変えた場合の転換比の燃焼に伴う変化（沸騰軽水炉のみ）
- Pu 同位体組成の違いが増殖特性に及ぼす影響（Na 冷却高速炉、非沸騰重水炉、沸騰軽水炉 (65%void)、非沸騰軽水炉）

セル計算は、SRAC コードを用いた。解析上の設定は、非常に小さな値( $1 \times 10^{-10}$ )のバックリング値を入力してバックリングサーチを行わなかったことを除き、3.2 に記載した SRAC(PEACO)と同一である。

沸騰軽水炉 (65%void)の炉心燃料セルを設定する際に参考とした RBWR<sup>9)</sup>の炉心及び燃料集合体の構成、Pu 富化度分布、軸方向ボイド率分布、SRAC システムによるセル計算体系モデルなどについて、図 5.1 に示す。

RBWR の増殖特性は、LWR 取出 Pu を RBWR 炉心で 30 回 マルチサイクルした平衡 サイクル状態の Pu 組成 (Pu-30) に対して評価されている。ここで使用されている LWR 取出 Pu の組成は、高速炉実用化戦略調査研究で高速炉の解析に使用している組成（表 2.1 参照）とほぼ同様なので、Am を無視して Pu 組成比を求め直し、これを本解析における LWR 取出 Pu 組成(Pu-01)とした。これらの Pu 同位体組成を、表 5.1 に示す。

本検討では、これら二種類の Pu 同位体組成に対する燃料集合体の転換比を解析し、その変化幅から、平衡 サイクル Pu 組成 (Pu-30) に対して計算されている増殖比の設計値 (=1.01) が、Pu サイクル を通じてどの程度変化するかを評価する。

### 5.3 解析結果

#### 5.3.1 ボイド率の変化が沸騰軽水炉の無限増倍率及び転換比に及ぼす影響

RBWR 炉心下部、中央部、上部の代表的なボイド率 (30、65、80%) について、軸方

向平均 Pu 富化度 (18.4%) 及び平衡 リサイクル Pu 組成 (Pu-30) に対する沸騰軽水炉 (RBWR) 燃料集合体の無限増倍率 ( $k_{inf}$ ) 及び転換比に対する燃焼特性を、それぞれ図 5.2 及び図 5.3 に示す。

沸騰軽水炉 (RBWR) 燃料集合体 [冷却材/燃料 体積比 = 約 0.5] では、ボイド率とともに、転換比及び無限増倍率のいずれもが増加しており、増殖炉を構築する上で高ボイド化が有効であること、及びボイド反応度を負にするためには炉心設計上の工夫が必要であることがわかる。

### 5.3.2 Pu 同位体組成の違いが沸騰軽水炉 (65%void) の増殖特性に及ぼす影響

LWR 取出 Pu 組成 (Pu-01) に対して、平衡 リサイクル Pu 組成 (Pu-30) に対する軸方向平均 Pu 富化度の設計値 (18.4%) をベースとして、それと同じ平衡 サイクル末期 (取出燃焼度 45GWd/t、4 バッチ燃料交換を想定) の実効増倍率を得るのに必要な平均 Pu 富化度を求めて (15.9%)、ボイド率 65% における燃料集合体  $k_{inf}$  及び転換比の燃焼変化を解析した結果を、それぞれ図 5.4 及び図 5.5 に示す。

同一 Pu 富化度 (18.4%) で比較すると、LWR 取出 Pu 組成 (Pu-01) では平衡 リサイクル Pu 組成 (Pu-30) に比べて親物質 (Pu240) の割合が小さくなるために転換比が大幅に低下するが、核分裂性核種の割合がより大きいために無限増倍率は増加する。このため、Pu 富化度を低減でき (18.4→15.9%)、転換比は若干増加するが、前者の効果が勝っており、転換比は、LWR 取出 Pu 組成 (Pu-01) の方が平衡 リサイクル Pu 組成 (Pu-30) に比べると、0.055 小さくなる (図 5.5 参照)。

### 5.3.3 冷却材を非沸騰軽水、重水、及び Na に替えた炉心の増殖特性

#### (a) 非沸騰軽水炉

##### 1) 冷却材条件を変えたことによる転換比への影響 (Pu 富化度依存性)

沸騰軽水炉 (65%void) と同じ炉心燃料セル (冷却材/燃料 体積比 = 約 0.5) のままで、冷却材を非沸騰軽水に替えた場合の燃料集合体  $k_{inf}$  及び転換比について、平衡 リサイクル Pu 組成 (Pu-30) に対する燃焼特性を、それぞれ図 5.6 及び図 5.7 に示す。

沸騰軽水炉 (65%void) と同じ平衡 サイクル末期の実効増倍率を得るためには、ボイド率の低下 (65→0%) に伴って平均 Pu 富化度を増加する必要がある (18.4→22.9%) ので、転換比は、両方の効果により、沸騰軽水炉 (65%void) に比べて 0.133 小さくなる (図 5.7 参照)。

##### 2) Pu 同位体組成の違いが増殖特性に及ぼす影響

5.3.2 と同様な解析を非沸騰軽水炉に対して行い、得られた燃料集合体  $k_{inf}$  及び転換比の燃焼変化を、それぞれ図 5.8 及び図 5.9 に示す。

5.3.2 と同様な理由により、LWR 取出 Pu 組成 (Pu-01) の転換比は、平衡 リサイクル Pu

組成 (Pu-30) に比べて 0.056 小さくなる (図 5.9 参照)。

## (b) 非沸騰重水炉

### 1) 冷却材条件を変えたことによる転換比への影響 (Pu 富化度依存性)

(a)と同様に、沸騰軽水炉 (65%void)と同じ炉心燃料セルのまま、冷却材を非沸騰重水に替えた場合の燃料集合体  $k_{inf}$  及び転換比について、平衡 サイクル Pu 組成 (Pu-30) に対する燃焼特性を、それぞれ図 5.10 及び図 5.11 に示す。

この炉心でも、沸騰軽水炉 (65%void)と同じ平衡 サイクル末期の実効増倍率を得るためには、平均 Pu 富化度を増やす必要がある (18.4→21.4%)、同一 Pu 富化度 (18.4%) では沸騰軽水炉 (65%void)に比べて高い転換比は低下し、その差は 0.011 とほぼ同等の値を示す (図 5.11 参照)。

### 2) Pu 同位体組成の違いが増殖特性に及ぼす影響

5.3.2 と同様な解析を非沸騰重水炉に対して行い、得られた燃料集合体  $k_{inf}$  及び転換比の燃焼変化を、それぞれ図 5.12 及び図 5.13 に示す。

5.3.2 と同様な理由により、LWR 取出 Pu 組成 (Pu-01) の転換比は、平衡 サイクル Pu 組成 (Pu-30) に比べて 0.054 小さくなる (図 5.13 参照)。

## (c) Na 冷却高速炉

Na 冷却高速炉については、Pu 組成は Pu-01 の方をベースとし、大型 FBR レファレンス炉心設計<sup>7)</sup>の内/外炉心領域の平均値 (18.2%) を基準の平均 Pu 富化度と設定して、平衡 サイクル Pu 組成 (Pu-30) に変わった場合の増殖特性への影響を評価した。

5.3.2 と同様な解析を Na 冷却高速炉 (取出燃焼度 150GWd/t、5 バッチ燃料交換) に対して行い、得られた燃料集合体  $k_{inf}$  及び転換比の燃焼変化を、それぞれ図 5.14 及び図 5.15 に示す。

同一 Pu 富化度 (18.2%) で比較すると、平衡 サイクル Pu 組成 (Pu-30) では LWR 取出 Pu 組成 (Pu-01) に比べて親物質 (Pu-240) の割合が大きいため転換比が大きいが、核分裂性核種の割合が小さいために Pu 富化度を増大する必要がある (18.2→20.0%)。これによって転換比は低下するが、前者の効果が勝っており、転換比は、平衡 サイクル Pu 組成 (Pu-30) の方が LWR 取出 Pu 組成 (Pu-01) に比べて、0.047 大きくなる (図 5.15 参照)。

### 5.3.4 Na 冷却高速炉と 3 種類の水冷却型増殖炉の燃焼特性の比較

燃料集合体の無限増倍率及び転換比の燃焼に伴う変化を、Na 冷却高速炉・非沸騰重水炉・沸騰軽水炉 (65%void)・非沸騰軽水炉について比較した結果を図 5.16 及び図 5.17 にそれぞれ示す。いずれの解析においても平衡 サイクル Pu 組成 (Pu-30) を用いており、平衡サイクル末期の炉心実効増倍率を同等にするため、平衡サイクル末期の平均燃焼度に対応する燃料集合体無限増倍率が等しくなるように Pu 富化度が調整されている。

図 5.16 より、燃焼による燃料集合体無限増倍率の低下傾向は、Na 冷却高速炉が最も小さく、中性子スペクトルが軟らかくなる順に顕著になることがわかる。一方、燃焼による転換比の変化は、Na 冷却高速炉でゆるやかに減少するのに対し、水冷却型増殖炉では増加する傾向を示している。

これらの傾向は、4 章に示した主要核種の 1 群断面積の比較結果より、水冷却型増殖炉では Na 冷却高速炉に比べて、Pu-239 の中性子捕獲反応が増加して Pu-240 への転換が促進されるために無限増倍率の低下が顕著になる一方、Pu-240 の中性子捕獲反応が増加して Pu-241 への転換も促進されるために転換比が増加傾向を示すものと推察される。

#### 5.4 まとめ

以上示した各炉心燃料セルの増殖特性に関する解析結果を、表 5.2 にまとめた。これらから得られる主要な結論を以下に述べる。

- Pu 組成を、親物質の割合が小さい LWR 取出 Pu 組成に替えると、RBWR 炉心の増殖比は、平衡 サイクル Pu 組成に比べて 5%程度低減する見通しである。  
RBWR 標準設計炉心の増殖比は、平衡 サイクル Pu 組成に対して 1.01 であり、LWR 取出 Pu 組成に対しては 1.0 を下回ることになるが、増殖比 1.1 程度を実現する炉心設計検討例もあることから、炉心設計の工夫により、この程度の増殖性の向上は可能な範囲と考えられる。
- RBWR 炉心（沸騰軽水炉 (65%void)）について上記に示した Pu 組成変化による転換比の変動幅は、その他の水冷却型増殖炉や Na 冷却高速炉に対しても、ほぼ同程度である。  
通常の FBR 炉心設計では、LWR 取出 Pu 組成を使用しているため、低めの転換比となっており、親物質の比率が大きい Pu 同位体組成に基づいて設計された水冷却型増殖炉の特性と比較する場合には、この効果を補正する必要がある。
- 軽水のボイド化は、反応度及び転換比を同時に高めることができるので、沸騰軽水冷却型増殖炉は、増殖特性の向上に効果的であることが確認された。この理由により、沸騰軽水冷却型増殖炉である RBWR は、非沸騰軽水冷却型増殖炉に比べて、増殖比を 10%以上増大できる見通しである。ただし、ボイド係数を負にするための炉心設計上の工夫が必要である。
- 非沸騰重水冷却型増殖炉は、一般に軽水冷却型増殖炉に比べて中性子スペクトルが

硬く転換比が大きいが、RBWR 炉心（沸騰軽水炉（65%void））と比べるとの差はそれほど大きくない見通しである（増殖比の増大幅にして1%程度）。

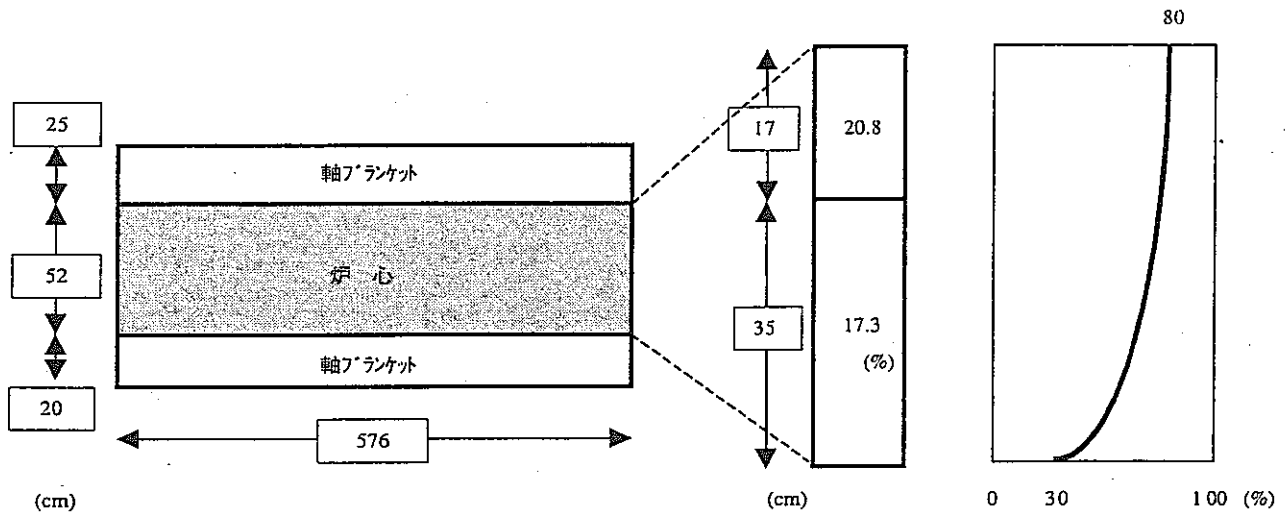
表5.1 解析対象としたPu同位体組成比

(単位 %)

Pu 同位体	Pu-01 (LWR取出)	Pu-30 (RBWRで30 回マルチサイクル)
Pu-238	1.7	0.4
Pu-239	58.9	51.3
Pu-240	25.3	37.8
Pu-241	9.3	6.5
Pu-242	4.8	4

表5.2 増殖特性に関する解析結果のまとめ

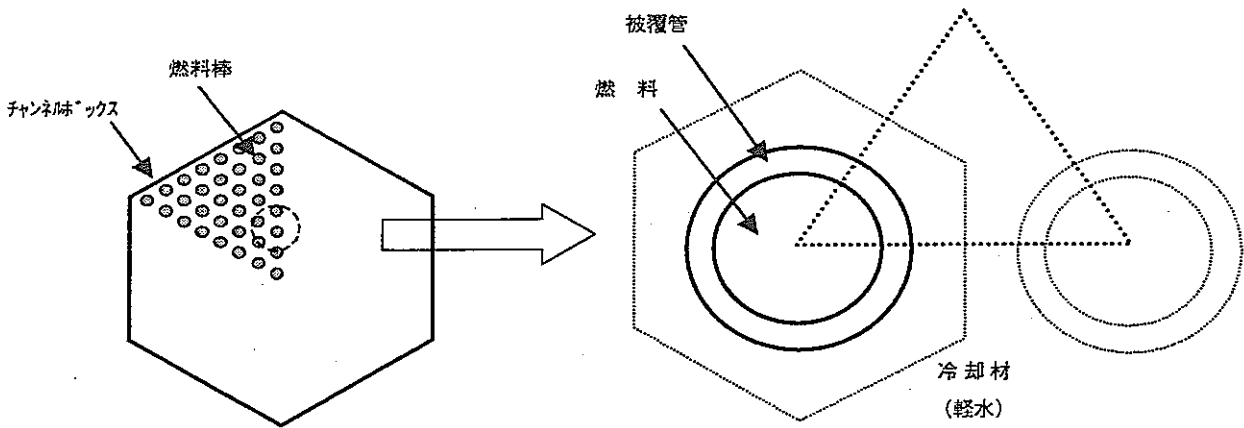
項目	沸騰軽水炉 (RBWR)	非沸騰軽水炉 (軽水PWR)	非沸騰重水炉 (重水PWR)	Na冷却炉 (Na高速炉)
ボトム率 (v/o)	65%	0%	0%	0%
Pu-30使用				
Pu富化度 (w/o)	18.4	22.9	21.4	20.0
転換比 (燃料集合体)	0.87	0.74	0.88	0.94
Pu-01使用				
Pu富化度 (w/o)	15.9	19.3	18.5	18.2
転換比 (燃料集合体)	0.81	0.68	0.83	0.89
転換比の差 (Pu01-Pu30)	-0.055	-0.056	-0.054	-0.049
増殖比の差 (Pu01-Pu30)	-0.052	-0.053	-0.051	-0.047
備考	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 取出燃焼度 45GWd/t、 4バッチ燃料交換を想定</li> <li>・ RBWR(Pu-30)と同一のEOEC炉心反応度が 得られるように他の炉心のPu富化度を決定</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 150GWd/t 5バッチ交換</li> <li>・ Na炉(Pu01) と同一</li> </ul>



炉心 垂直断面

Pu 富化度分布

燃焼率分布



集合体ピッチ	: 19.94/19.44 cm
燃料棒本数	: 271
格子配列	: 三角格子

燃料棒ピッチ	: 1.138 cm
燃料棒径	: 1.008 cm
水/燃料体積比	: 約 0.5

燃料集合体 水平断面

セル 計算体系

図 5.1 RBWR の炉心、燃料集合体とセル計算体系



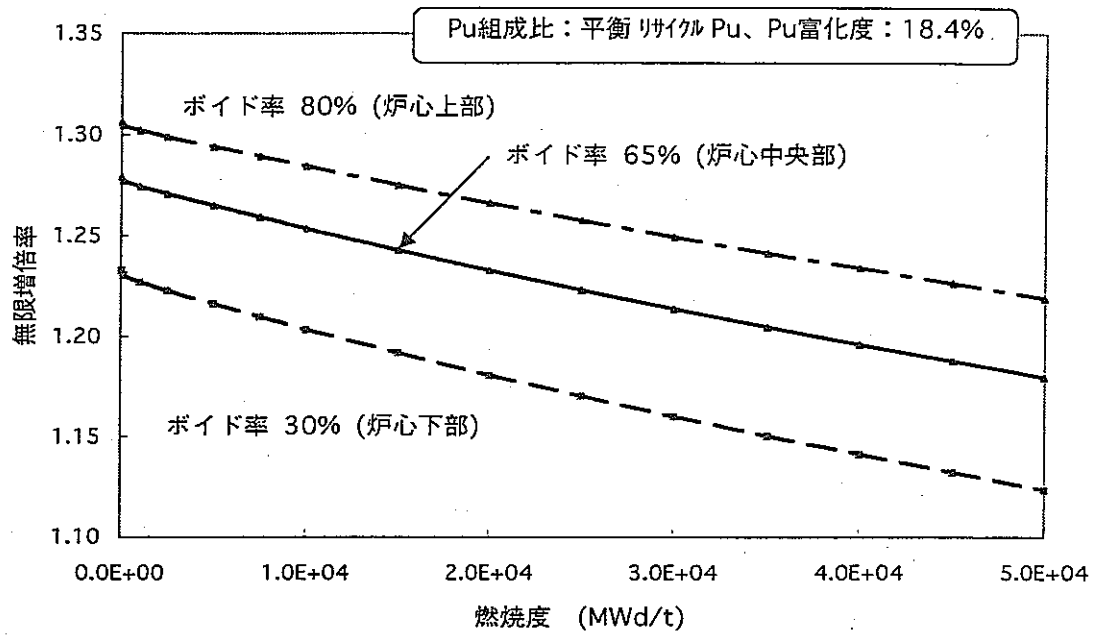


図5.2 沸騰軽水炉(RBWR)燃料集合体  $k_{inf}$  の燃焼に伴う変化 (ボイド率依存性)

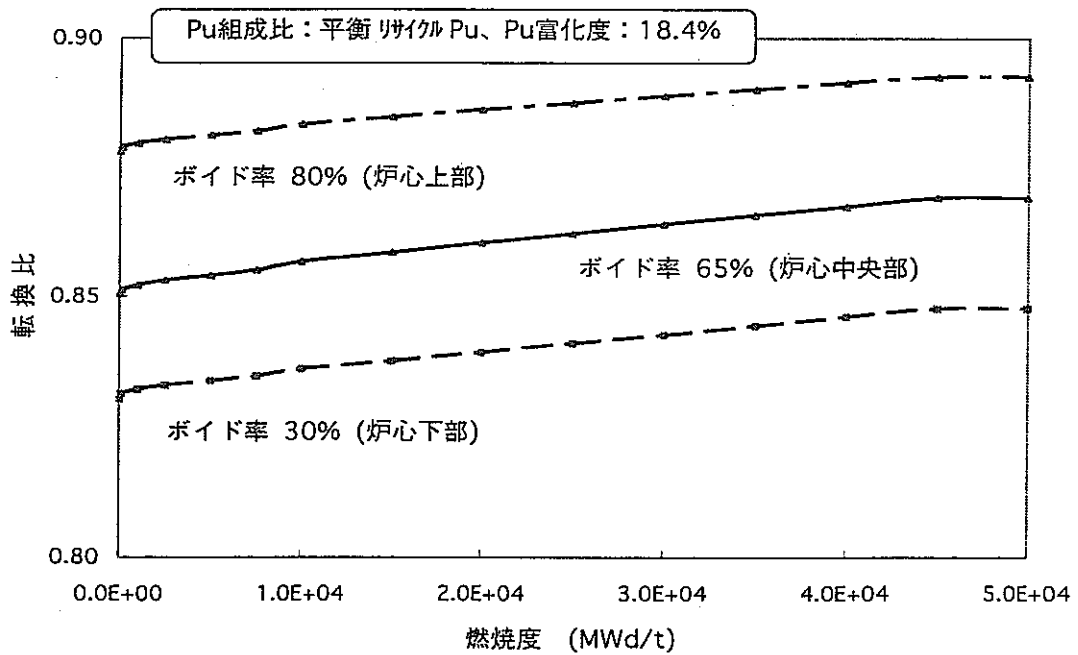


図5.3 沸騰軽水炉(RBWR)燃料集合体 転換比 の燃焼に伴う変化 (ボイド率依存性)

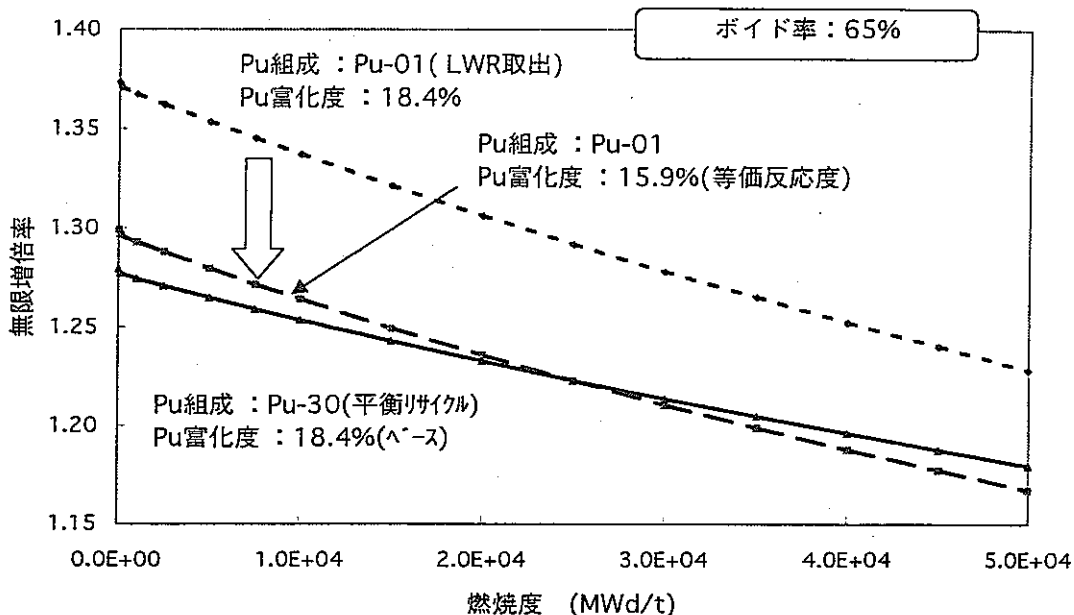


図5.4 沸騰軽水炉(RBWR)燃料集合体  $k_{inf}$  の燃焼に伴う変化 (Pu組成、Pu富化度 依存性)

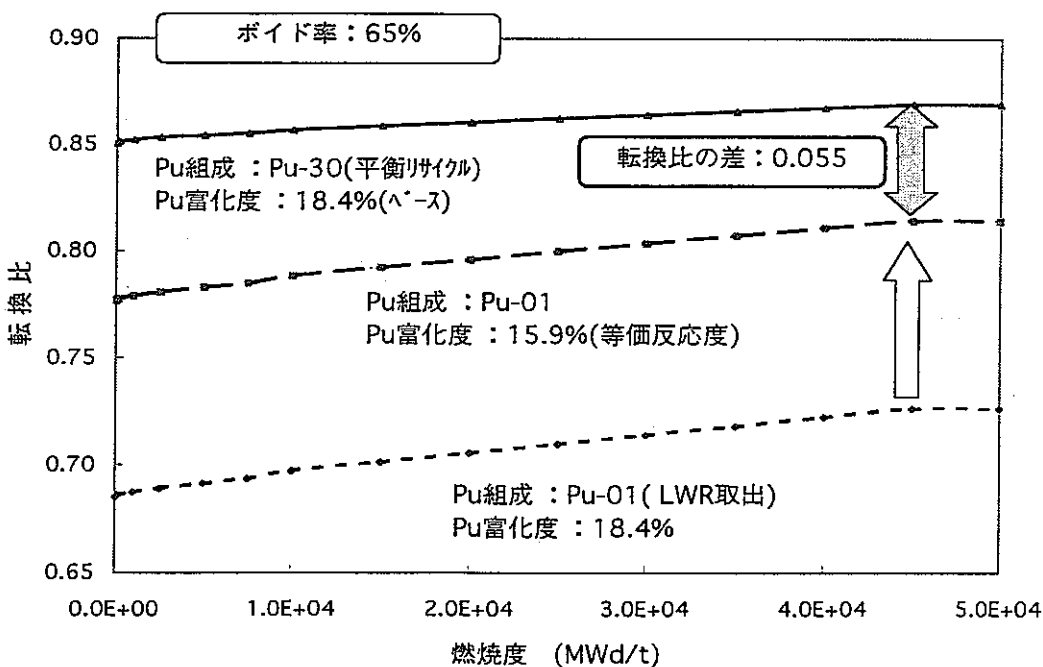


図5.5 沸騰軽水炉(RBWR)燃料集合体 転換比 の燃焼に伴う変化 (Pu組成、Pu富化度 依存性)

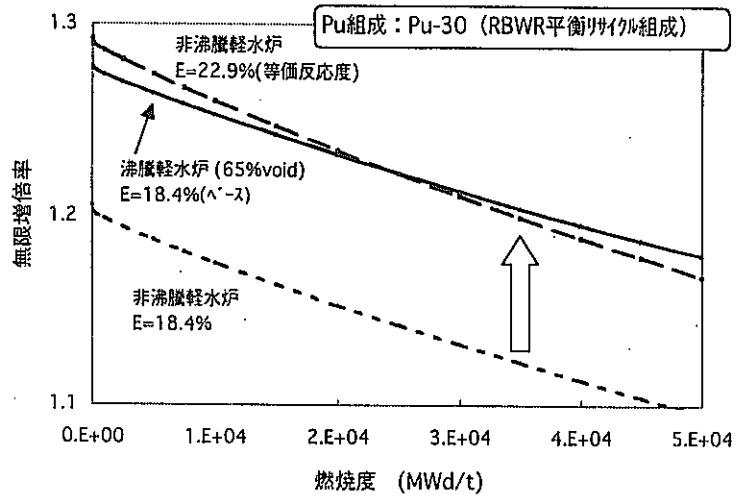


図5.6 非沸騰軽水炉燃料集合体  $k_{inf}$  の燃焼に伴う変化 (Pu富化度依存性)

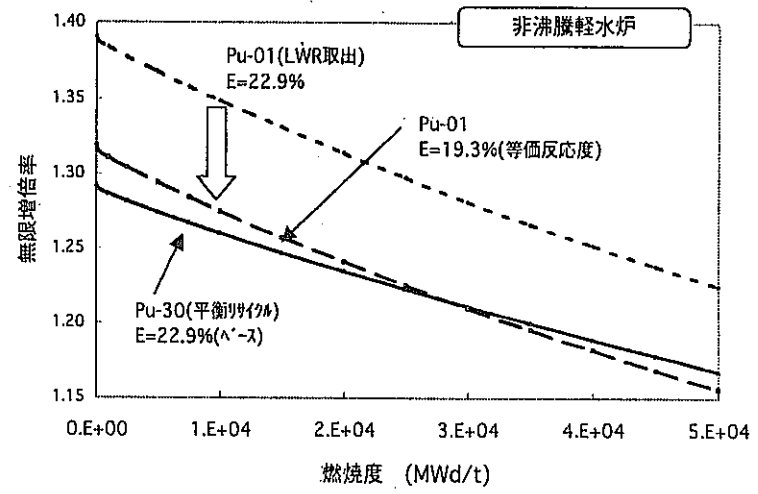


図5.8 非沸騰軽水炉燃料集合体  $k_{inf}$  の燃焼に伴う変化 (Pu組成、Pu富化度依存性)

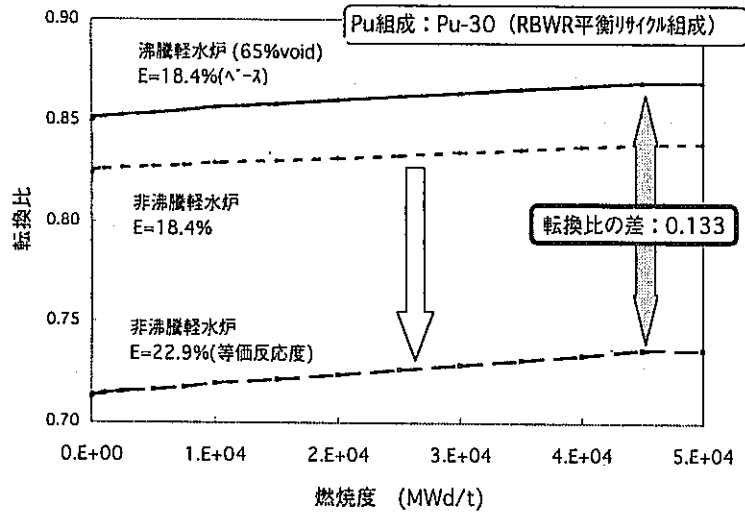


図5.7 非沸騰軽水炉燃料集合体 転換比 の燃焼に伴う変化 (Pu富化度依存性)

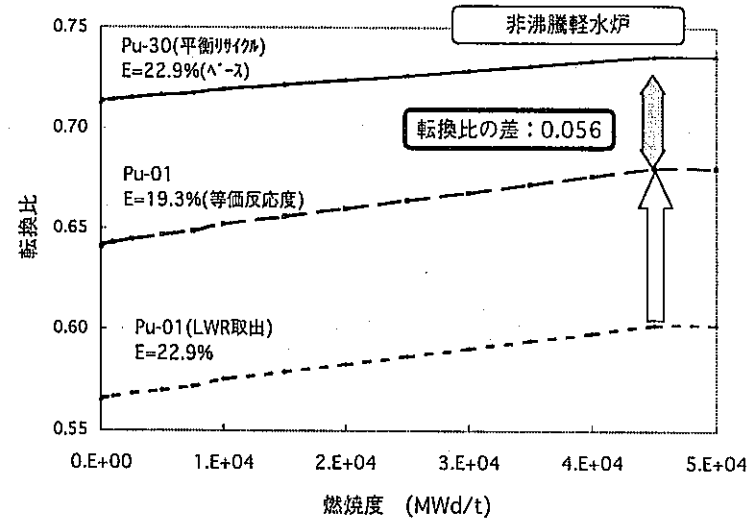


図5.9 非沸騰軽水炉燃料集合体 転換比 の燃焼に伴う変化 (Pu組成、Pu富化度依存性)

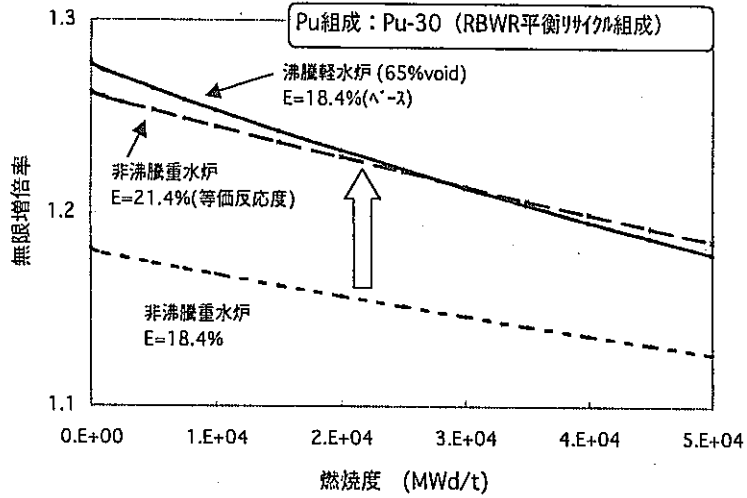


図5.10 非沸騰重水炉燃料集合体  $k_{inf}$  の燃焼に伴う変化 (Pu富化度依存性)

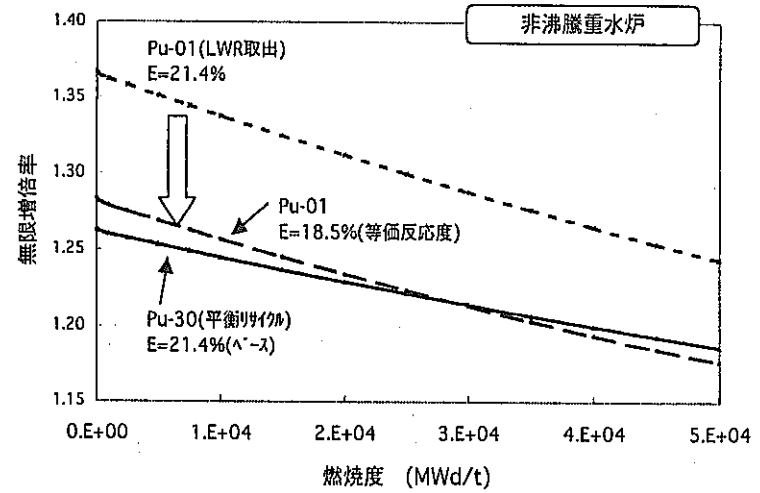


図5.12 非沸騰重水炉燃料集合体  $k_{inf}$  の燃焼に伴う変化 (Pu組成、Pu富化度依存性)

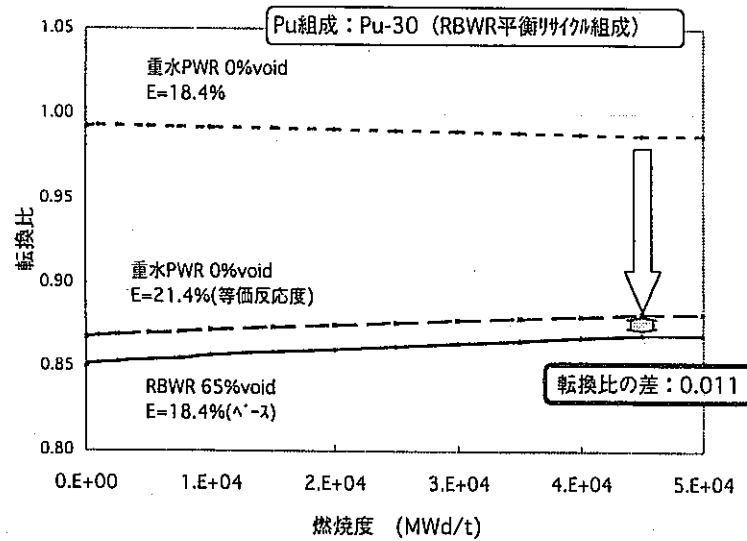


図5.11 非沸騰重水炉燃料集合体 転換比 の燃焼に伴う変化 (Pu富化度依存性)

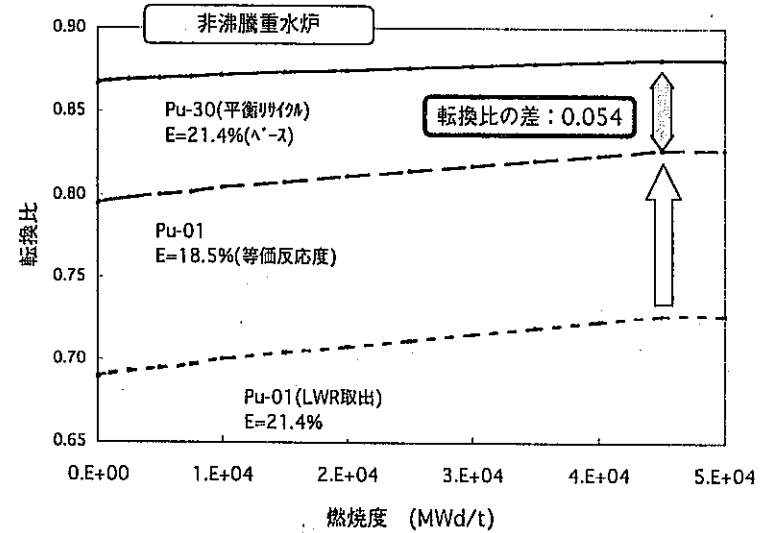


図5.13 非沸騰重水炉燃料集合体 転換比 の燃焼に伴う変化 (Pu組成、Pu富化度依存性)

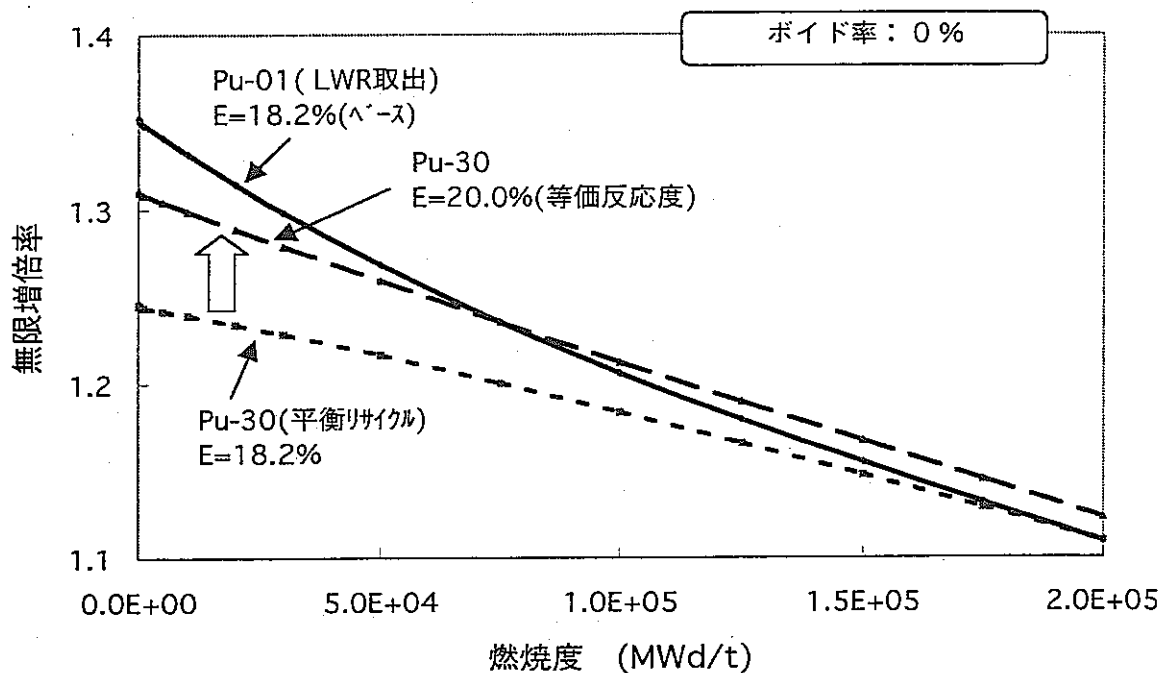


図5.14 Na冷却高速炉燃料集合体  $k_{inf}$  の燃焼に伴う変化 (Pu組成、Pu富化度 依存性)

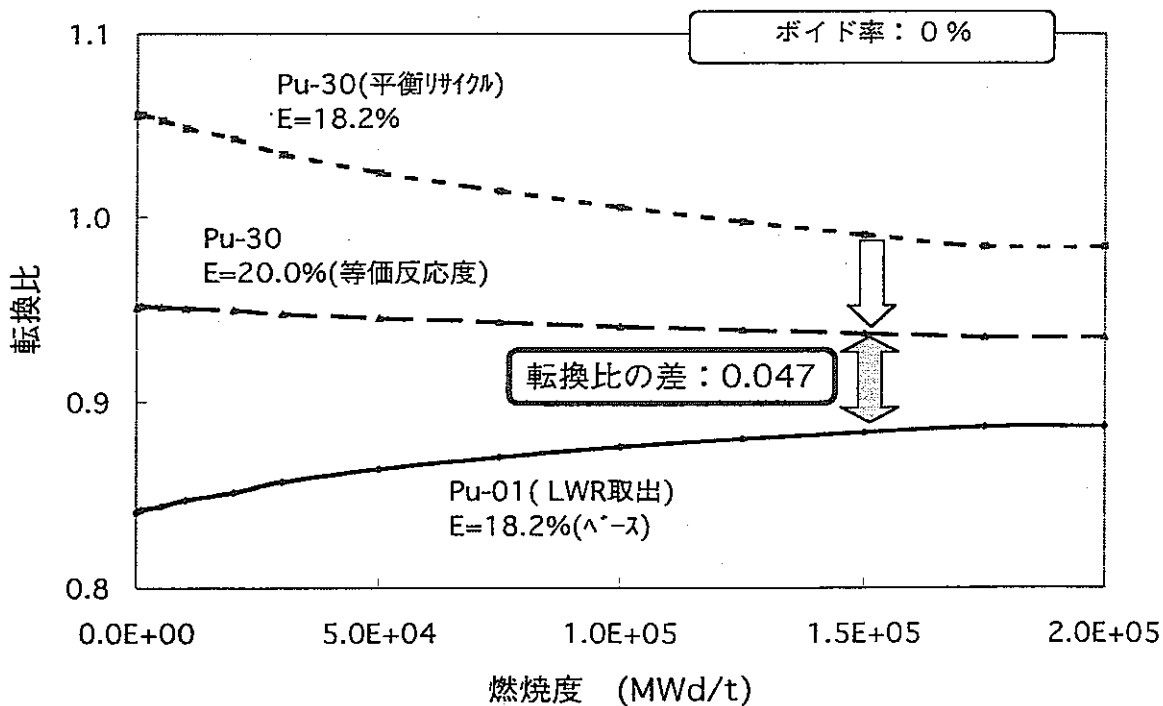


図5.15 Na冷却高速炉燃料集合体 転換比 の燃焼に伴う変化 (Pu組成、Pu富化度 依存性)

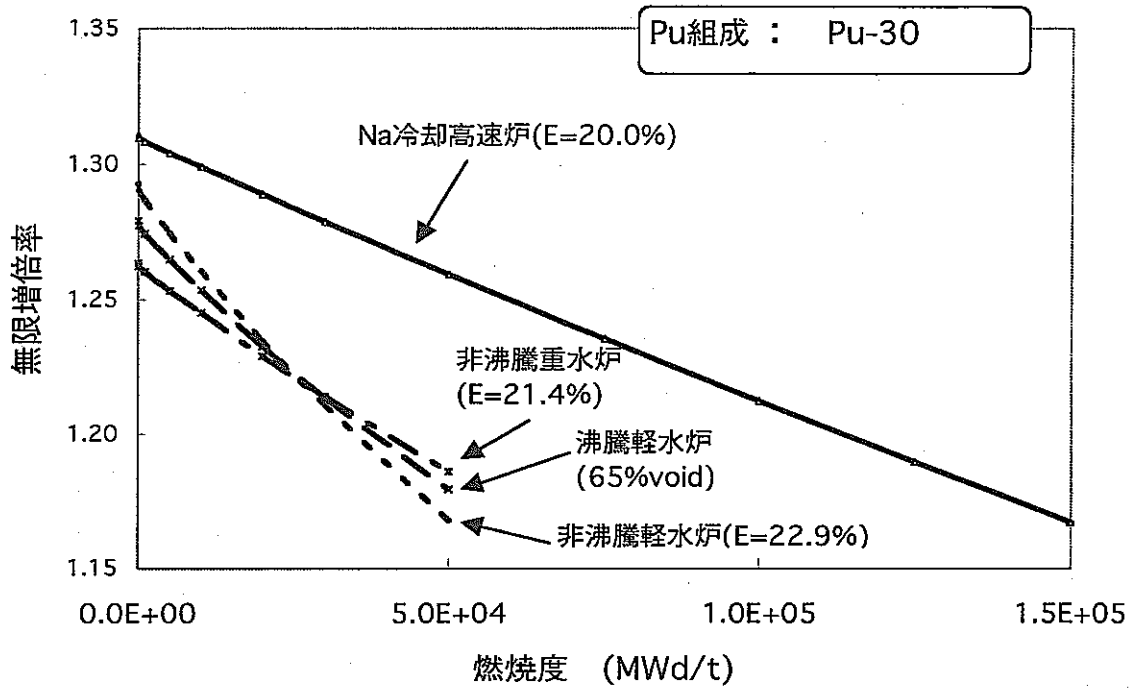


図5.16 燃料集合体  $k_{inf}$  の燃焼変化の比較  
(Na冷却高速炉、非沸騰重水炉、沸騰軽水炉 (65%void)、非沸騰軽水炉)

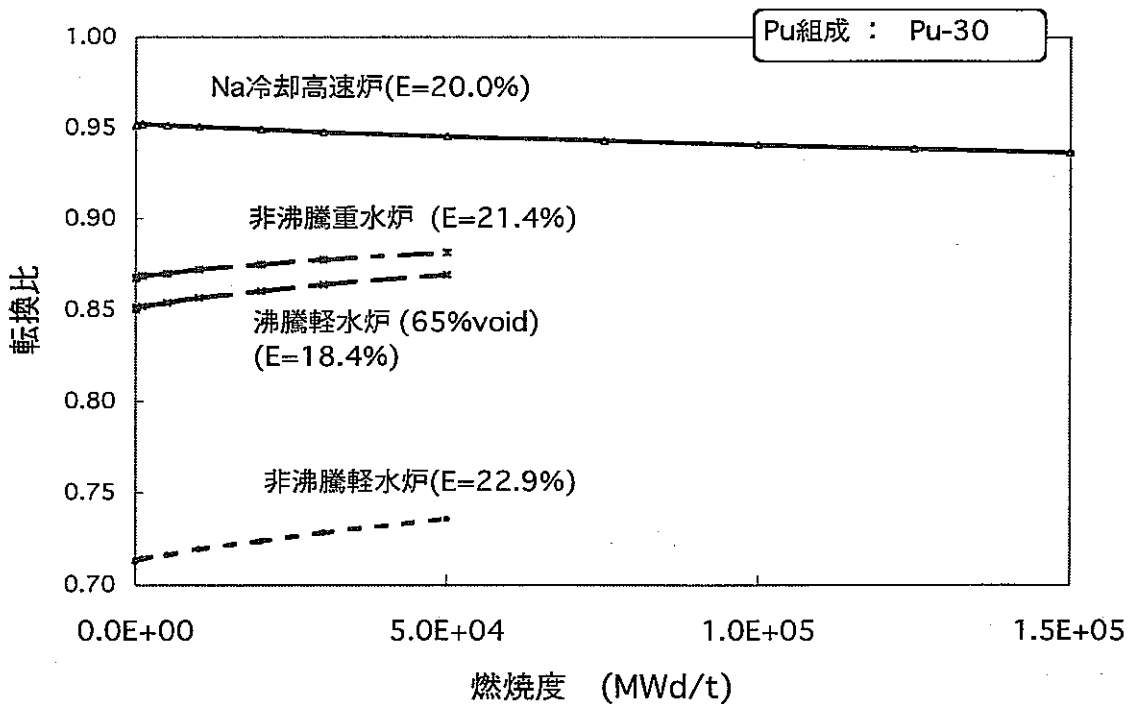


図5.17 燃料集合体 転換比 の燃焼変化の比較  
(Na冷却高速炉、非沸騰重水炉、沸騰軽水炉 (65%void)、非沸騰軽水炉)

## 6. 感度解析及び核設計予測精度評価結果

### 6.1 概要

水冷却型増殖炉の代表例として、沸騰軽水炉 (65%void) について、断面積に対する感度解析及び断面積誤差 (共分散) に基づく核設計予測精度評価を行った。感度解析結果、予測誤差( $1\sigma$ )及びその構成因子等について、Na 冷却高速炉の評価結果と比較した。

### 6.2 評価体系

炉心体系は、いずれも 2 次元 r-z モデルを用いた。

沸騰軽水炉 (65%void) については RBWR の設計研究例<sup>9)</sup>を参考に、Pu 富化度約 20.8w/o の 1 領域燃料炉心 {燃料部高さ 52cm、その上下にトータル 45cm の軸ブランケット付き、等価直径 576cm} を設定した。(図 6.1 参照)

Na 冷却高速炉については、H3 年度 60 万 kWe 設計研究成果<sup>12)</sup>の基底増殖炉心に関する仕様を用いた。平均 Pu 富化度約 18.5w/o の 2 領域燃料炉心 {燃料部高さ 100cm、その上下にトータル 70cm の軸ブランケット付き、等価直径 275cm} を設定した。(図 6.2 参照)

### 6.3 解析方法

各領域の実効ミクロ断面積は、70 群炉定数 JFS-3-J3.2 に基づき、SLAROM による均質計算結果を 18 群に縮約した値を用いた。炉心計算 (18 群) は、拡散計算コード CITATION-FBR<sup>13)</sup>を使用して、実効増倍係数及び反応率比を算出した。なお、エネルギー群数を 70 群とした感度解析結果も一部実施した。70 群及び 18 群のエネルギー群構造を表 6.1 に示す。

今回行った核設計予測精度評価では、基本炉定数と断面積誤差を考慮し、解析誤差は無視した。まず、SAGEP コード<sup>14)</sup>によって評価対象炉心の核特性 R に対する感度係数  $G$  ( $\equiv (dR/R)/(d\sigma/\sigma)$ ) を求めた。次に、基本炉定数 JENDL-3.2 の誤差[共分散]M を用いて、GMG[共分散]を行列計算によって求め、この値の平方根をもって予測誤差( $1\sigma$ )とした。

ここで、断面積共分散 M については、シグマ研究委員会「共分散評価データ WG」において最新手法に基づく系統的な評価の途上であるため、今回は暫定値として、1992 年から 1994 年にかけて、原研核データセンター中川らが評価した簡易評価法による値 (JAERI-memo 04-280、PNC ZJ9500 94-004) を使用した。したがって、今回示す予測誤差はあくまで暫定値であり、今後の共分散改訂に伴って大きく変わり得るものである。

### 6.4 感度解析結果

実効増倍係数及び反応率比 (C28/F49、C40/F49) に対する感度を、沸騰軽水炉 (65%void) と Na 冷却高速炉で比較した結果を図 6.3~図 6.5 に示す。縦軸の値は、70 群構造 (レサジー幅 0.25) に対して得られる感度係数に合わせるよう規格化した。

図 6.3 には、実効増倍係数( $k_{eff}$ )に対する感度が大きい Pu239 核分裂断面積及び U238 捕獲断面積、さらに沸騰軽水炉 (65%void)の予測精度に寄与の大きい (後述) Pu239 捕獲断面積の値を示した。Na 冷却高速炉では十 keV～数百 keV の感度が大きいのに対し、沸騰軽水炉 (65%void)では十 keV 以下の感度が増加することが特徴である。また、Pu239 捕獲断面積の感度は、Na 冷却高速炉では非常に小さいのに対し、沸騰軽水炉 (65%void)では U238 捕獲断面積の約 4 割にまで増大している。さらに、沸騰軽水炉 (65%void)に対する 18 群と 70 群の計算結果の比較より、いずれの核種の感度も 101.3eV 以下の領域で強いエネルギー依存性を持つことが明かであり、この領域を一つの群として取り扱う 18 群構造では核設計予測精度評価結果の信頼性が十分得られないものと思われる。

図 6.4 及び図 6.5 にプロットした反応率比 (C28/F49、C40/F49) に対する Pu239 核分裂断面積、U238 捕獲断面積及び Pu240 捕獲断面積の感度についても、大きな感度を与えるエネルギー領域について同様の特徴が見られている。すなわち、Na 冷却高速炉では十 keV～数百 keV の感度が大きいのに対し、沸騰軽水炉 (65%void)では十 keV 以下の感度が増加する。

これらの傾向は、既に報告した主要核反応の規格化反応率スペクトルに見られる炉心燃料セル間の差異 (4.2.3 参照) と整合している。

## 6.5 核設計予測精度評価結果 (暫定値)

表 6.2 に、実効増倍係数及び反応率比 (炉心中心における C28/F49、C40/F49 等) に対して算出した予測誤差( $1\sigma$ )を示す。実効増倍係数については、沸騰軽水炉 (65%void)及び Na 冷却高速炉のいずれも 1.3%強と同様の誤差を示した。また、反応率比については、いずれも沸騰軽水炉 (65%void)の方が Na 冷却高速炉に比べて小さい値を示した。次章に述べる理由により、共分散データの大幅な見直しが見込まれているので、今回の評価結果に見られる大小関係については、暫定値の位置づけである。よって今回は、同一共分散データを用いて 2 つの炉型の特徴を比較する観点から、実効増倍係数の誤差を引き起こす因子について考察を試みる。

図 6.6 に、実効増倍係数の誤差原因となる主要な核反応の寄与割合を沸騰軽水炉 (65%void)と Na 冷却高速炉で比較した結果を示す。目立った変化としては、Na 冷却高速炉における 2 つの主要な誤差因子であった U-238 捕獲反応と Pu-239 核分裂反応の寄与が沸騰軽水炉 (65%void)においてはいずれも減少し、その代わりに Na 冷却高速炉では小さな因子であった Pu-239 捕獲反応の寄与が大幅に増大していることがわかる。また、沸騰軽水炉 (65%void)では Na 冷却高速炉に比べて、Pu-241 核分裂反応の寄与の減少と Pu-240 捕獲反応の寄与の増大も特徴としてあげられる。

沸騰軽水炉 (65%void)において実効増倍係数の誤差への寄与割合が増大した Pu-239 捕獲反応及び Pu-240 捕獲反応は、第 4 章に示したように、いずれも水冷却型増殖炉において低エネルギー領域における反応率が顕著に増大する核反応であることから、炉心燃料



セル間の中性子スペクトルの相違によって生じる反応率スペクトルの差異の傾向と整合している。

## 6.6 今後予想される共分散データの見直しと設計予測精度への影響について

今回の評価に用いた断面積及び共分散データのうち、主要なものを図 6.7～6.12 に示す。これらのデータについては、「共分散評価データ WG」において、第 18 群 (100eV 以下) の共分散が小さすぎる核反応があること (例えば Pu239 核分裂断面積)、共鳴領域の共分散には統計誤差だけしか考慮されておらず今後系統誤差も含めた見直しが必要であること等が議論されている。つまり、共鳴領域及び第 18 群の共分散が増加する方向に見直される可能性がある。これらの変更の影響は、Na 冷却高速炉よりも共鳴領域及びさらに低いエネルギー領域における核反応の割合が大きい沸騰軽水炉 (65%void) の設計予測精度に及ぼす影響が大きいことに注目して、改訂後共分散データによる再評価を行う必要がある。

## 6.7 まとめ

- 断面積誤差が核特性に及ぼす影響 (感度) が大きいエネルギー領域は Na 冷却高速炉と沸騰軽水炉 (65%void) で大きく異なる。すなわち、Na 冷却高速炉では約十 keV ～数百 keV の感度が大きいのに対し、沸騰軽水炉 (65%void) では約十 keV 以下の感度が相対的に増加する。
- 沸騰軽水炉 (65%void) の実効増倍係数予測誤差の内訳は、Na 冷却高速炉の場合の主因である U-238 捕獲反応と Pu-239 核分裂反応の寄与が減少し、代わりに、Pu-239 捕獲反応及び Pu-240 捕獲反応の寄与が増大する傾向が見られた。これは、第 4 章で明らかにした中性子スペクトルが低エネルギー側にシフトする傾向と対応している。
- 今回の核設計予測精度評価に用いた断面積共分散データは近日中に見直される予定である。改訂は、共鳴領域及びそれ以下のエネルギー領域において共分散の値を増加させる可能性があり、その場合には Na 冷却高速炉よりも沸騰軽水炉 (65%void) の予測精度により大きな影響を及ぼすことに注目して再解析を行う必要がある。

表6.1 エネルギー群構造の比較 (70群構造と18群構造)

70群構造				18群構造			
群 No.	中性子I補時 <sup>-</sup> (eV)		レサジー幅	群 No.	中性子I補時 <sup>-</sup> (eV)		レサジー幅
	上限値	下限値			上限値	下限値	
1	1.000E+07	7.788E+06	0.250	1	1.000E+07	6.065E+06	0.500
2	7.788E+06	6.065E+06	0.250				
3	6.065E+06	4.724E+06	0.250	2	6.065E+06	3.679E+06	0.500
4	4.724E+06	3.679E+06	0.250				
5	3.679E+06	2.865E+06	0.250	3	3.679E+06	2.231E+06	0.500
6	2.865E+06	2.231E+06	0.250				
7	2.231E+06	1.738E+06	0.250	4	2.231E+06	1.353E+06	0.500
8	1.738E+06	1.353E+06	0.250				
9	1.353E+06	1.054E+06	0.250	5	1.353E+06	8.209E+05	0.500
10	1.054E+06	8.209E+05	0.250				
11	8.209E+05	6.393E+05	0.250	6	8.209E+05	3.877E+05	0.750
12	6.393E+05	4.979E+05	0.250				
13	4.979E+05	3.877E+05	0.250				
14	3.877E+05	3.020E+05	0.250	7	3.877E+05	1.832E+05	0.750
15	3.020E+05	2.352E+05	0.250				
16	2.352E+05	1.832E+05	0.250				
17	1.832E+05	1.426E+05	0.250	8	1.832E+05	8.652E+04	0.750
18	1.426E+05	1.111E+05	0.250				
19	1.111E+05	8.652E+04	0.250				
20	8.652E+04	6.738E+04	0.250	9	8.652E+04	4.087E+04	0.750
21	6.738E+04	5.248E+04	0.250				
22	5.248E+04	4.087E+04	0.250				
23	4.087E+04	3.183E+04	0.250	10	4.087E+04	1.930E+04	0.750
24	3.183E+04	2.479E+04	0.250				
25	2.479E+04	1.930E+04	0.250				
26	1.931E+04	1.503E+04	0.250	11	1.931E+04	9.119E+03	0.750
27	1.503E+04	1.171E+04	0.250				
28	1.171E+04	9.119E+03	0.250				
29	9.119E+03	7.102E+03	0.250	12	9.119E+03	4.307E+03	0.750
30	7.102E+03	5.531E+03	0.250				
31	5.531E+03	4.307E+03	0.250				
32	4.307E+03	3.355E+03	0.250	13	4.307E+03	2.035E+03	0.750
33	3.355E+03	2.613E+03	0.250				
34	2.613E+03	2.035E+03	0.250				
35	2.035E+03	1.585E+03	0.250	14	2.035E+03	9.611E+02	0.750
36	1.585E+03	1.234E+03	0.250				
37	1.234E+03	9.611E+02	0.250				

70群構造				18群構造			
群 No.	中性子I補時 <sup>-</sup> (eV)		レサジー幅	群 No.	中性子I補時 <sup>-</sup> (eV)		レサジー幅
	上限値	下限値			上限値	下限値	
38	9.611E+02	7.485E+02	0.250	15	9.611E+02	4.540E+02	0.750
39	7.485E+02	5.830E+02	0.250				
40	5.830E+02	4.540E+02	0.250				
41	4.540E+02	3.536E+02	0.250	16	4.540E+02	2.145E+02	0.750
42	3.536E+02	2.754E+02	0.250				
43	2.754E+02	2.145E+02	0.250				
44	2.145E+02	1.670E+02	0.250	17	2.145E+02	1.013E+02	0.750
45	1.670E+02	1.301E+02	0.250				
46	1.301E+02	1.013E+02	0.250				
47	1.013E+02	7.889E+01	0.250	18	1.013E+02	1.000E-05	16.131
48	7.889E+01	6.144E+01	0.250				
49	6.144E+01	4.785E+01	0.250				
50	4.785E+01	3.727E+01	0.250				
51	3.727E+01	2.902E+01	0.250				
52	2.902E+01	2.260E+01	0.250				
53	2.260E+01	1.760E+01	0.250				
54	1.760E+01	1.371E+01	0.250				
55	1.371E+01	1.068E+01	0.250				
56	1.068E+01	8.315E+00	0.250				
57	8.315E+00	6.476E+00	0.250				
58	6.476E+00	5.044E+00	0.250				
59	5.044E+00	3.928E+00	0.250				
60	3.928E+00	3.059E+00	0.250				
61	3.059E+00	2.382E+00	0.250				
62	2.382E+00	1.855E+00	0.250				
63	1.855E+00	1.445E+00	0.25				
64	1.445E+00	1.125E+00	0.25				
65	1.125E+00	8.764E-01	0.25				
66	8.764E-01	6.826E-01	0.25				
67	6.826E-01	5.316E-01	0.25				
68	5.316E-01	4.140E-01	0.25				
69	4.140E-01	3.224E-01	0.25				
70	3.224E-01	1.000E-05	10.381				

表6.2 核設計予測精度評価結果 (断面積誤差に起因する核特性の誤差)

核特性	沸騰軽水炉 (65%void)		Na冷却高速炉	
	誤差* (1 $\sigma$ ) (%)	ミナル値	誤差* (1 $\sigma$ ) (%)	ミナル値
臨界性 (実効増倍係数keff)	1.35	1.08831	1.33	1.03904
炉心中心反応率比 (C28/F49)	2.80	0.139	3.66	0.160
炉心中心反応率比 (C40/F49)	3.18	0.523	5.48	0.329
炉心中心反応率比 (C49/F49)	7.66	0.445	9.17	0.289
炉心中心反応率比 (C41/F49)	2.83	0.396	5.7	0.268
炉心中心反応率比 (F41/F49)	2.48	1.661	3.2	1.415

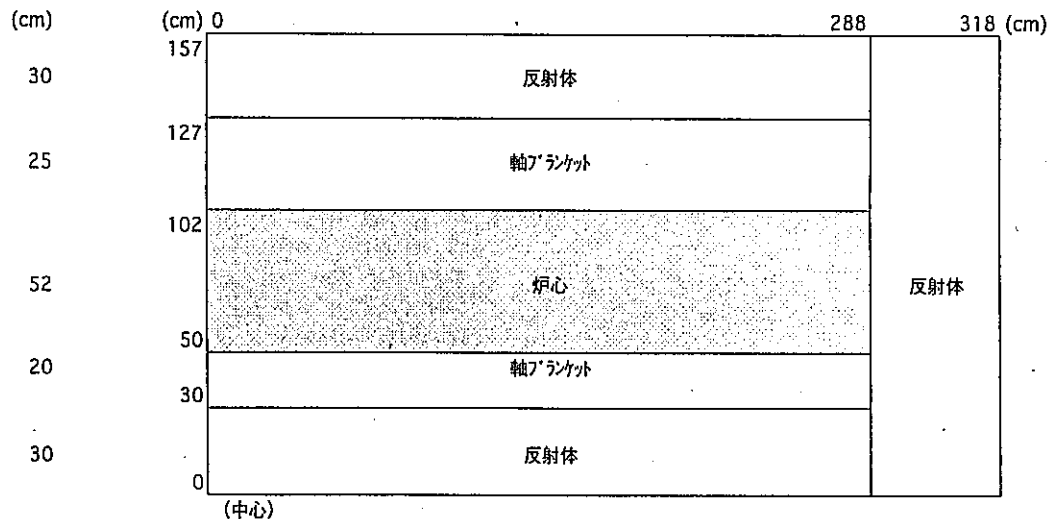
\* GMGの平方根 (G ; 感度係数; M ; 断面積の共分散(JENDL3.2))

沸騰軽水炉 (65%void) 2D-RZ体系

(領域高さ)

沸騰軽水炉 (65%void) 炉心特性解析 入力データ

	寸法(cm)	面積(cm <sup>2</sup> )
被覆管外径 (燃料棒外径)	1.01	0.80
被覆管内径 (燃料棒内径)	0.86	0.58
燃料棒ピッチ (三角格子)	1.14	
燃料棒等価面積		1.12
領域	面積(cm <sup>2</sup> )	面積比
燃料ペレット (ホア、キャップ部含む)	0.58	0.522
被覆管領域	0.21	0.190
冷却領域	0.32	0.288



均質原子数密度

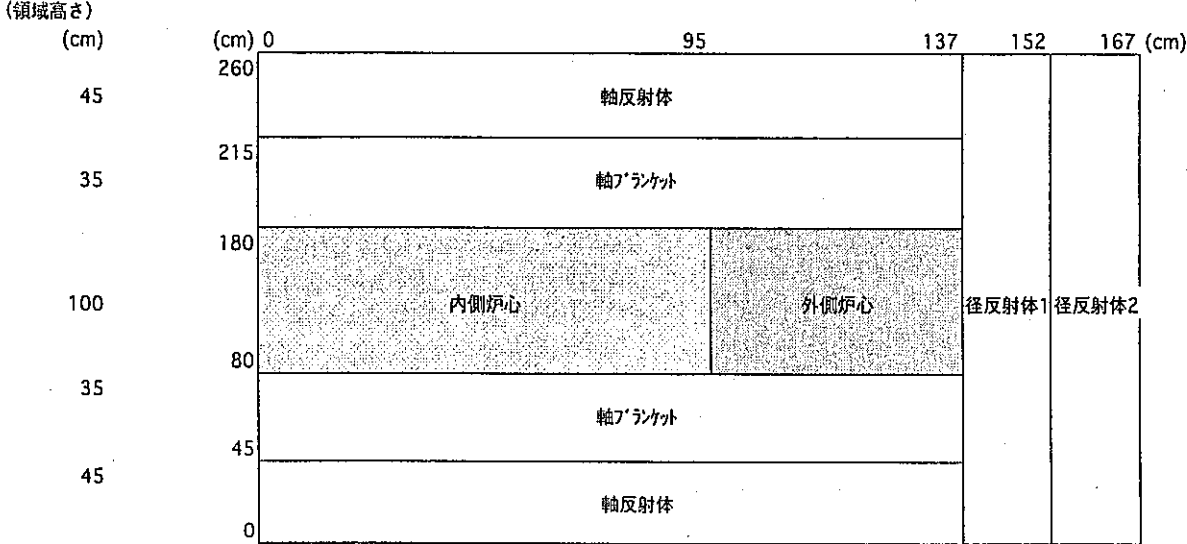
	核種	炉心燃料(Pu富化度20.76%)	軸ブランクット燃料	反射体
949	Pu-239	1.3015E-03		
940	Pu-240	9.5903E-04		
941	Pu-241	1.6491E-04		
942	Pu-242	1.0148E-04		
951	Am-241			
925	U-235	1.9367E-05	2.4443E-05	
926	U-236			
928	U-238	9.6639E-03	1.2197E-02	
8	O	2.6948E-02	2.6948E-02	2.7501E-03
11	Na			
26	Fe	9.7500E-06	9.7500E-06	5.1320E-05
24	Cr	8.1250E-06	8.1250E-06	4.2767E-05
28	Ni	4.0625E-06	4.0625E-06	2.1383E-05
42	Mo			
25	Mn			
50	Sn	1.2188E-04	1.2188E-04	6.4150E-04
40	Zr	7.9812E-03	7.9812E-03	4.2010E-02
948	Pu-238	1.0148E-05		
1	H	5.5002E-03	5.5002E-03	5.5002E-03

図6.1 核設計予測精度評価に用いた沸騰軽水炉 (65%void)の2次元r-zモデル

動燃60万kWe炉心 2D-RZ体系

動燃60万kWe炉心特性解析 入力データ

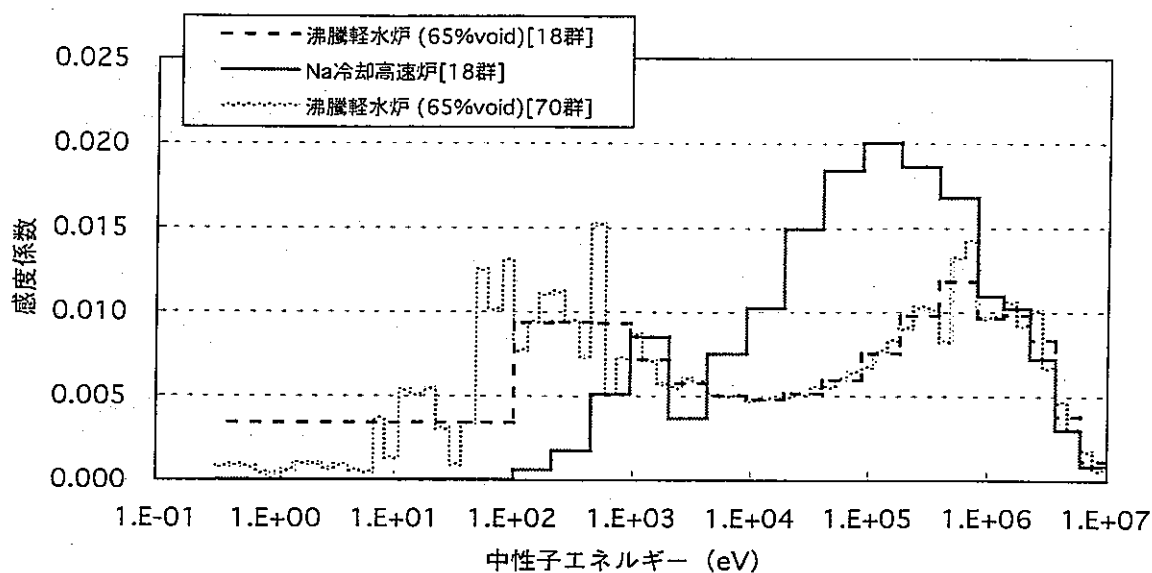
	寸法(cm)	面積(cm <sup>2</sup> )
被覆管外径 (燃料棒外径)	0.85	0.57
被覆管内径 (燃料棒内径)	0.75	0.45
燃料棒ピッチ (三角格子)	0.99	
燃料棒等価面積		0.84
領域	面積(cm <sup>2</sup> )	面積比
燃料ペレット (ホア、キャップ部含む)	0.45	0.531
被覆管領域	0.12	0.144
冷却領域	0.27	0.325



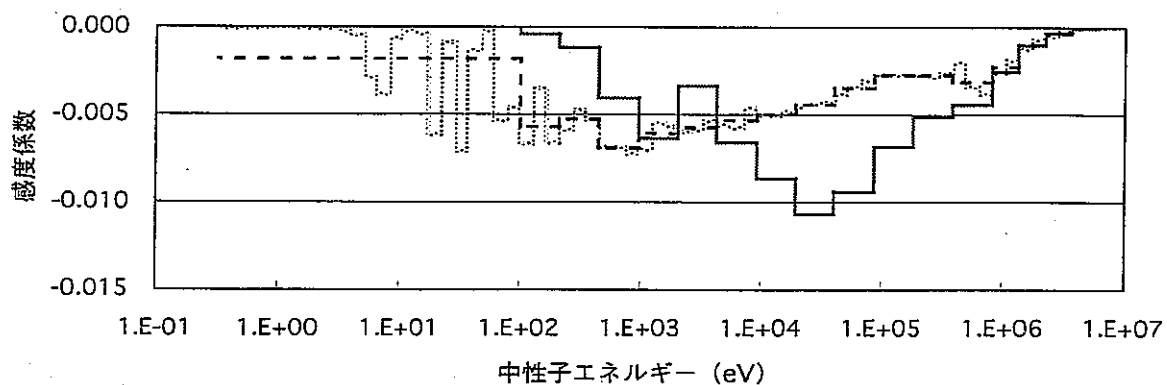
均質原子数密度 (平衡炉心初期)

	核種	内側炉心燃料 (初期Pu富化度 17.01%)	外側炉心燃料 (初期Pu富化度 21.05%)	軸ブランケット 燃料	軸反射体	径反射体1	径反射体2
949	Pu-239	8.2959E-04	9.7715E-04	8.9469E-05			
940	Pu-240	3.9092E-04	4.7587E-04	2.4384E-06			
941	Pu-241	1.4652E-04	1.8967E-04	5.4560E-08			
942	Pu-242	1.0506E-04	1.3042E-04	7.4730E-10			
951	Am-241	5.7464E-06	8.0051E-06	1.2178E-09			
925	U-235	1.7214E-05	1.7868E-05	2.6652E-05			
926	U-236	1.1903E-06	8.2171E-07	6.6925E-07			
928	U-238	7.1607E-03	6.9133E-03	9.4833E-03			
8	O	1.7816E-02	1.7843E-02	1.9230E-02			
11	Na	7.5616E-03	7.5616E-03	7.5616E-03	7.5616E-03	5.9621E-03	4.4164E-03
26	Fe	1.1754E-02	1.1754E-02	1.1754E-02	1.1754E-02	5.0987E-02	5.5877E-02
24	Cr	3.1164E-03	3.1164E-03	3.1164E-03	3.1164E-03	9.0786E-03	9.9492E-03
28	Ni	3.5773E-03	3.5773E-03	3.5773E-03	3.5773E-03	3.5792E-04	3.9224E-04
42	Mo	2.8168E-04	2.8168E-04	2.8168E-04	2.8168E-04	1.1777E-04	1.2906E-04
25	Mn	3.8608E-04	3.8608E-04	3.8608E-04	3.8608E-04		
857	U235-FP	4.1142E-06	2.8635E-06	1.8476E-06			
889	U238-FP	3.6273E-05	2.7261E-05	4.9404E-06			
897	Pu239-FP	1.9446E-04	1.6307E-04	5.1738E-06			
819	Pu241-FP	4.7299E-05	4.2051E-05	4.2158E-09			
948	Pu-238	3.7002E-05	4.8933E-05				

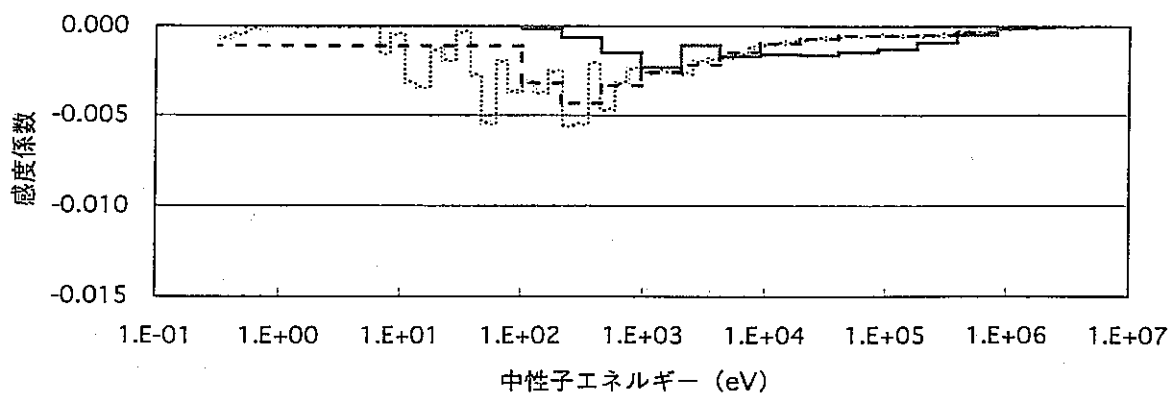
図6.2 核設計予測精度評価に用いたNa冷却高速炉の2次元r-zモデル



(a) Pu-239核分裂断面積の感度係数



(b) U-238捕獲断面積の感度係数



(c) Pu-239捕獲断面積の感度係数

図6.3 実効増倍係数に対する感度係数の比較

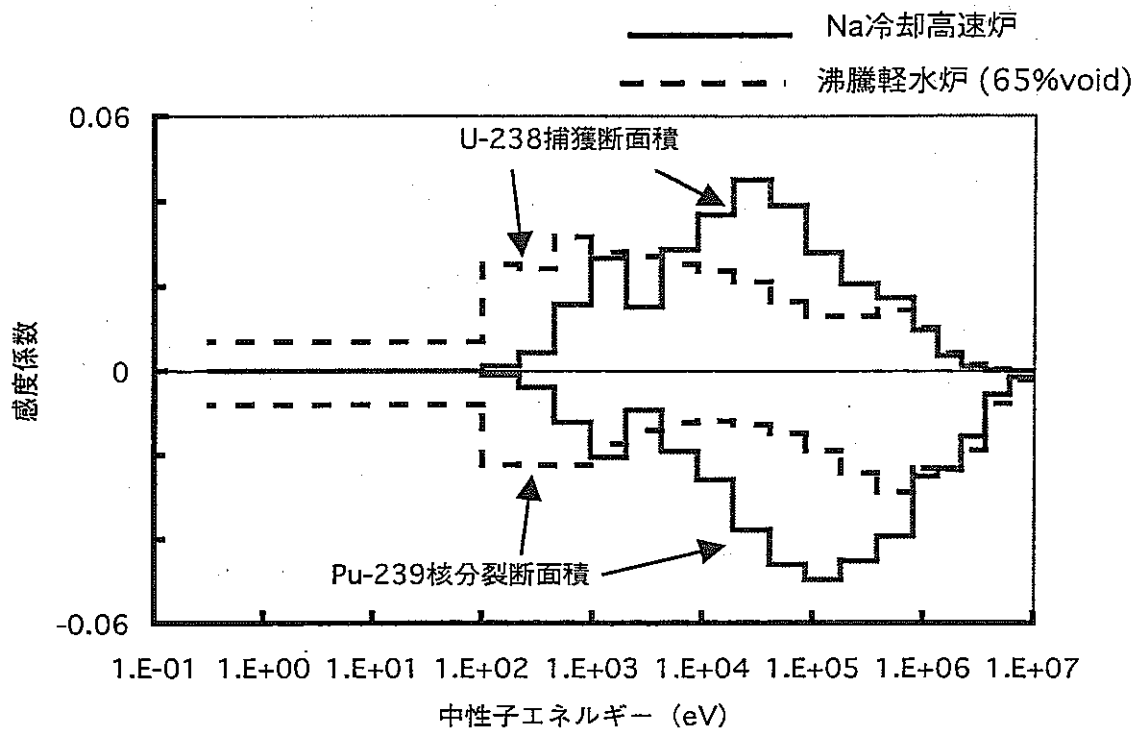


図6.4 反応率比 (C28/F49) に対する感度係数

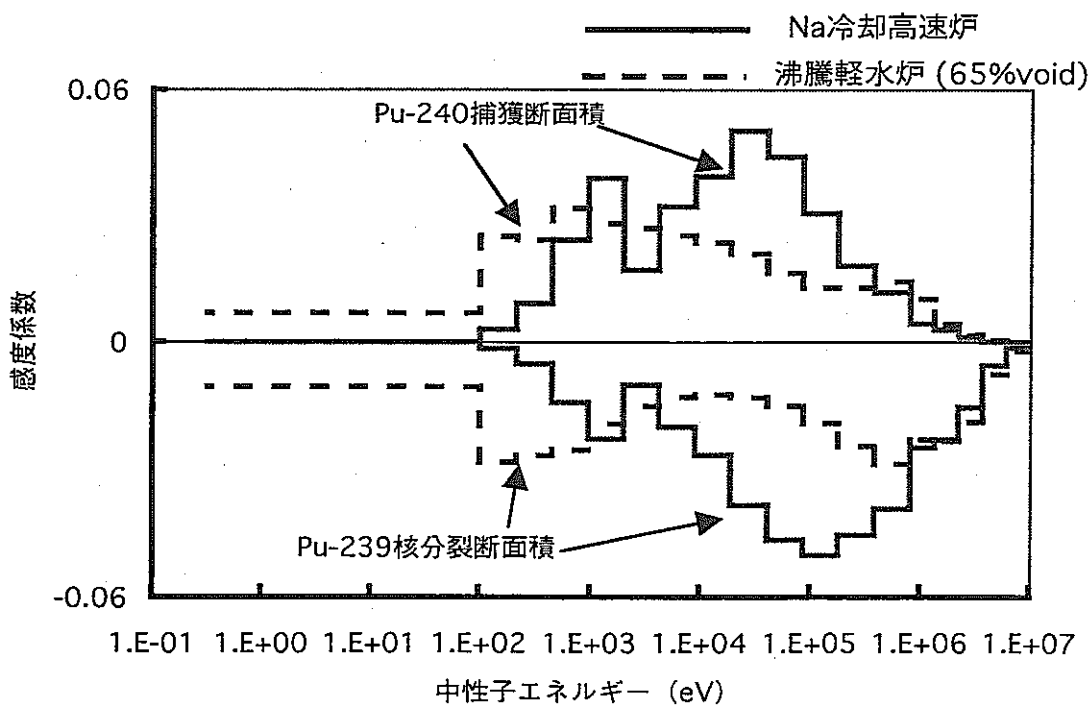


図6.5 反応率比 (C40/F49) に対する感度係数

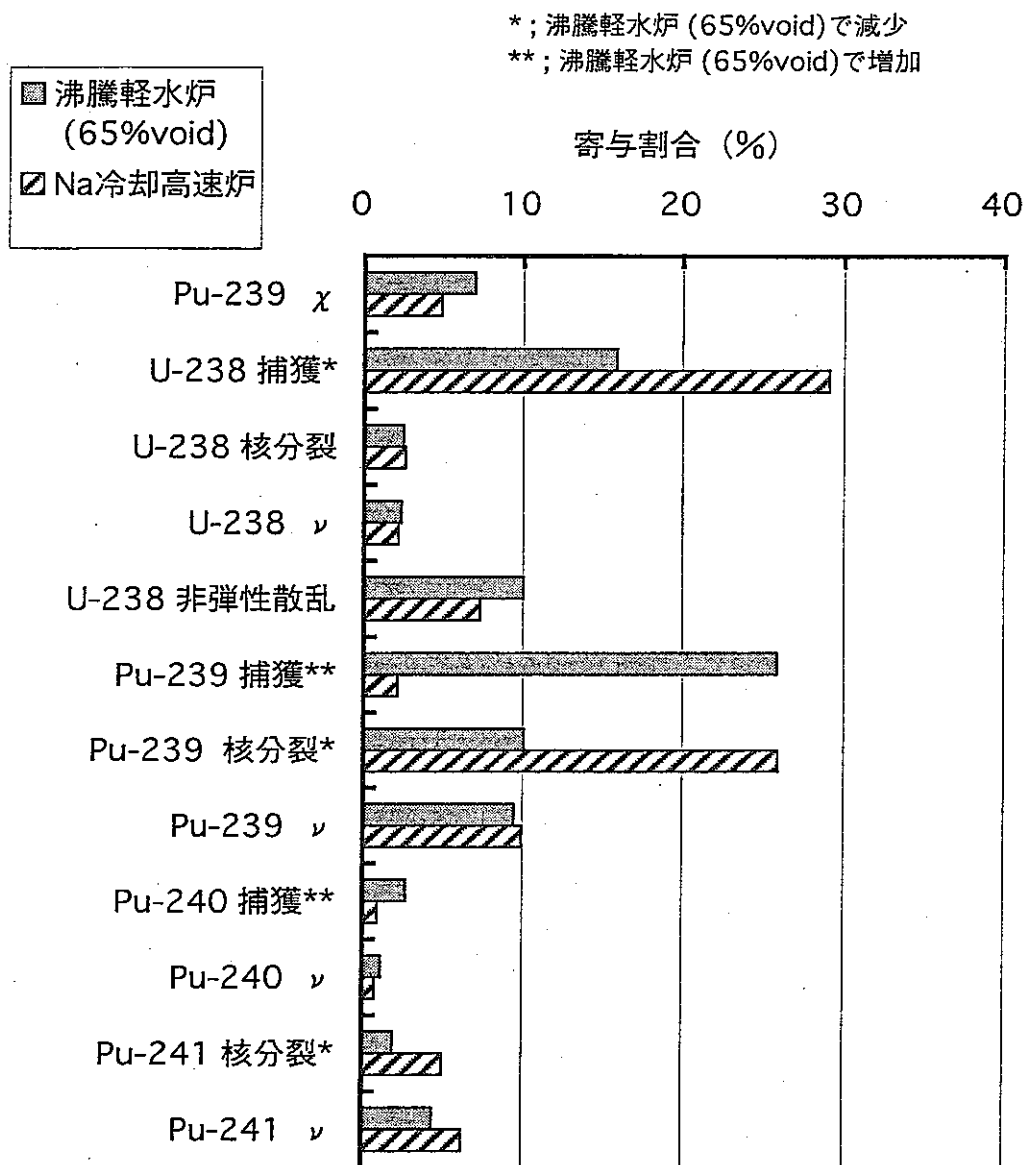


図6.6 実効増倍係数(keff)の誤差に対する主要核反応の寄与割合の比較



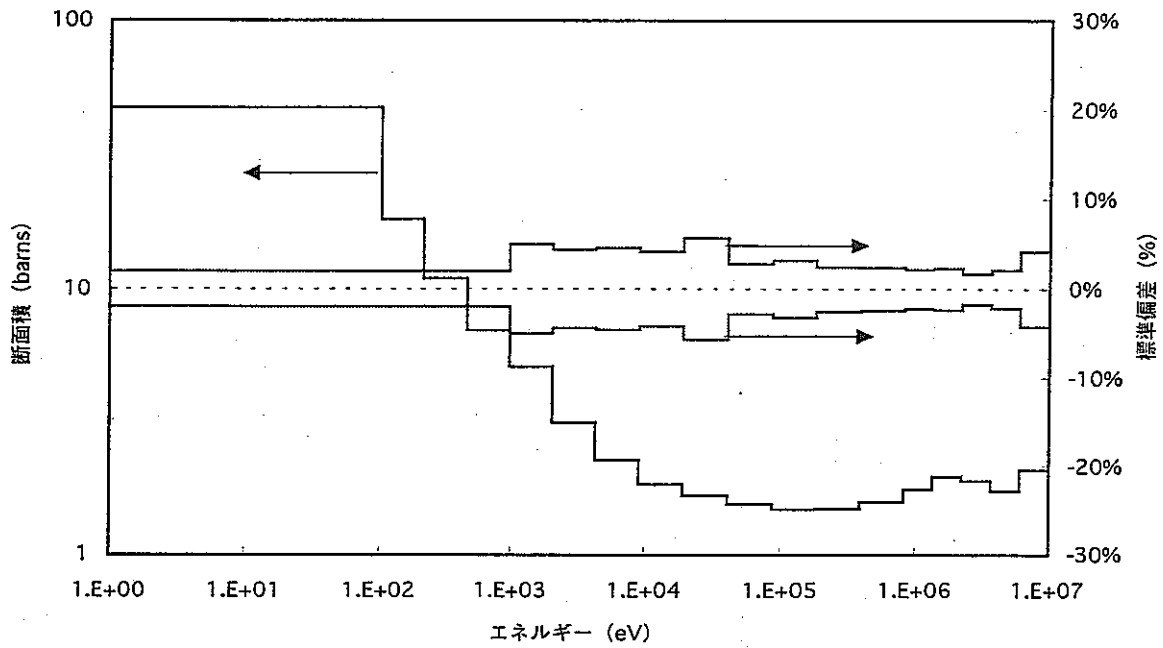


図6.7 Pu-239の核分裂断面積の断面積と標準偏差 (18群)

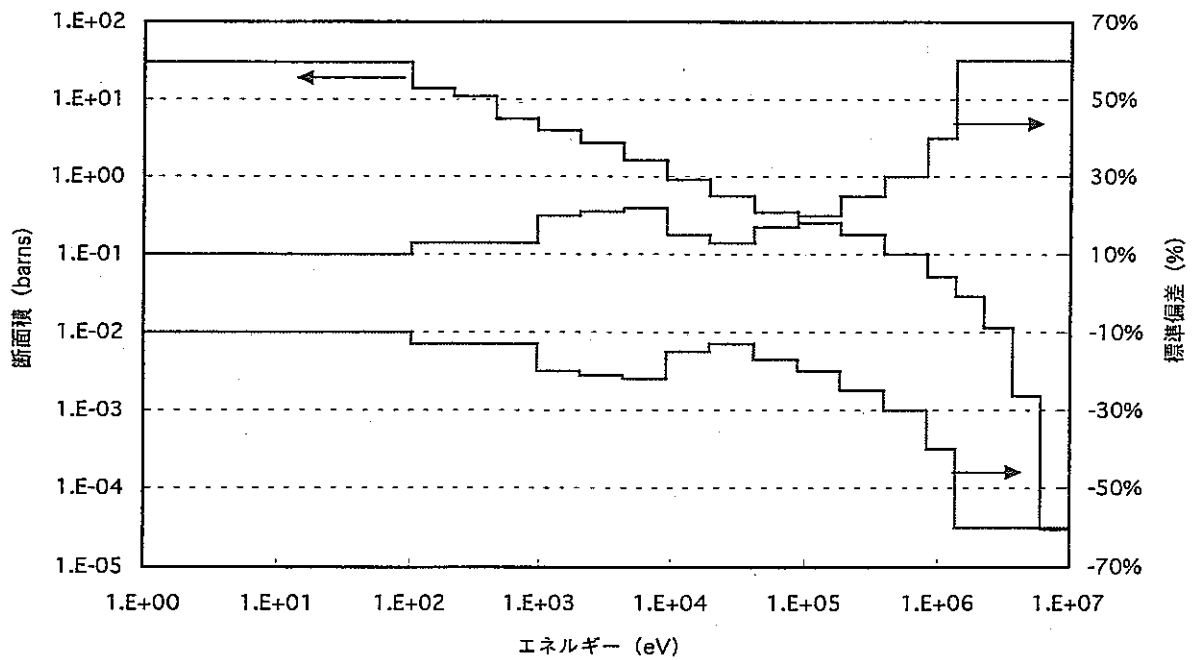


図6.8 Pu-239の捕獲断面積の断面積と標準偏差 (18群)

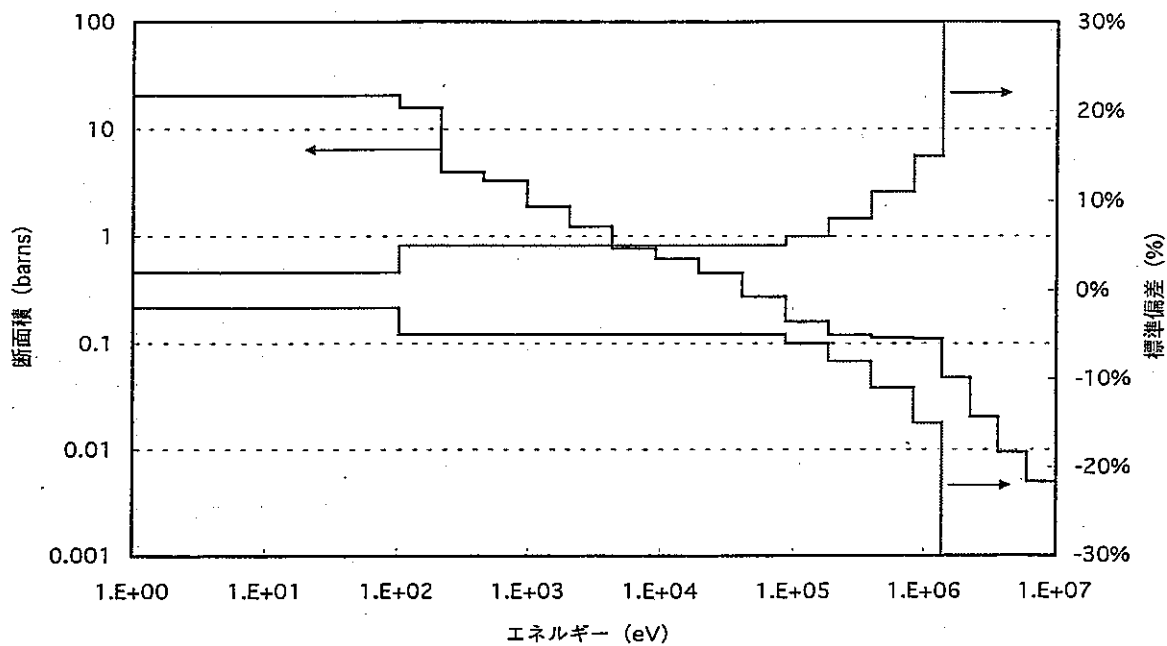


図6.9 U-238の捕獲断面積の断面積と標準偏差 (18群)

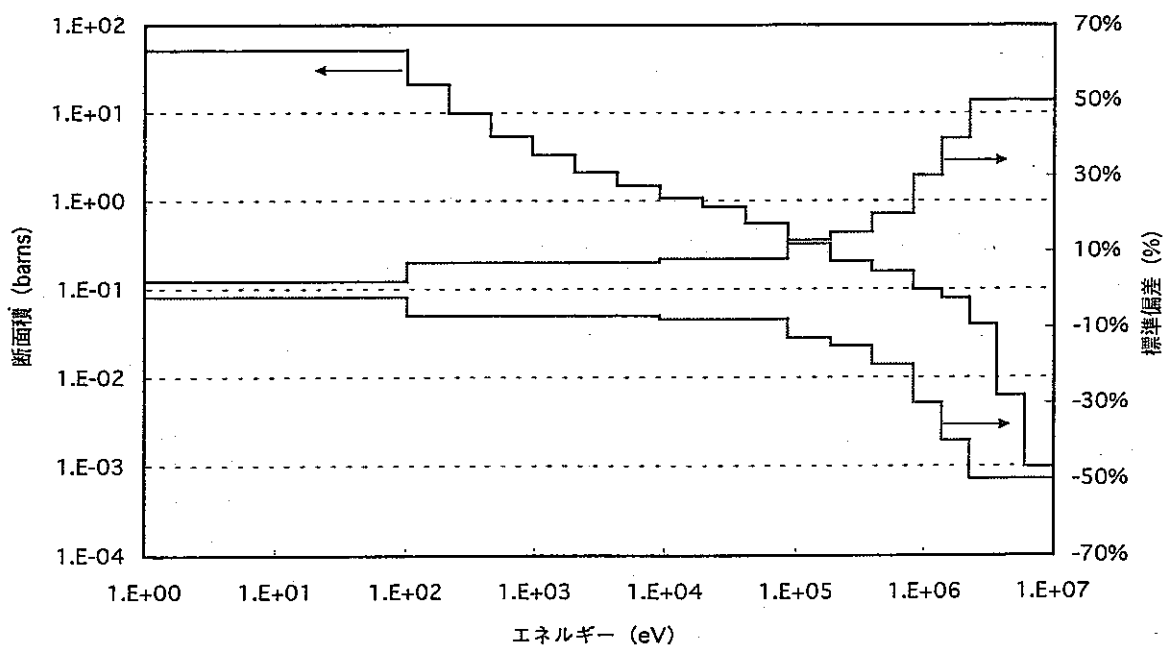


図6.10 Pu-240の捕獲断面積の断面積と標準偏差 (18群)

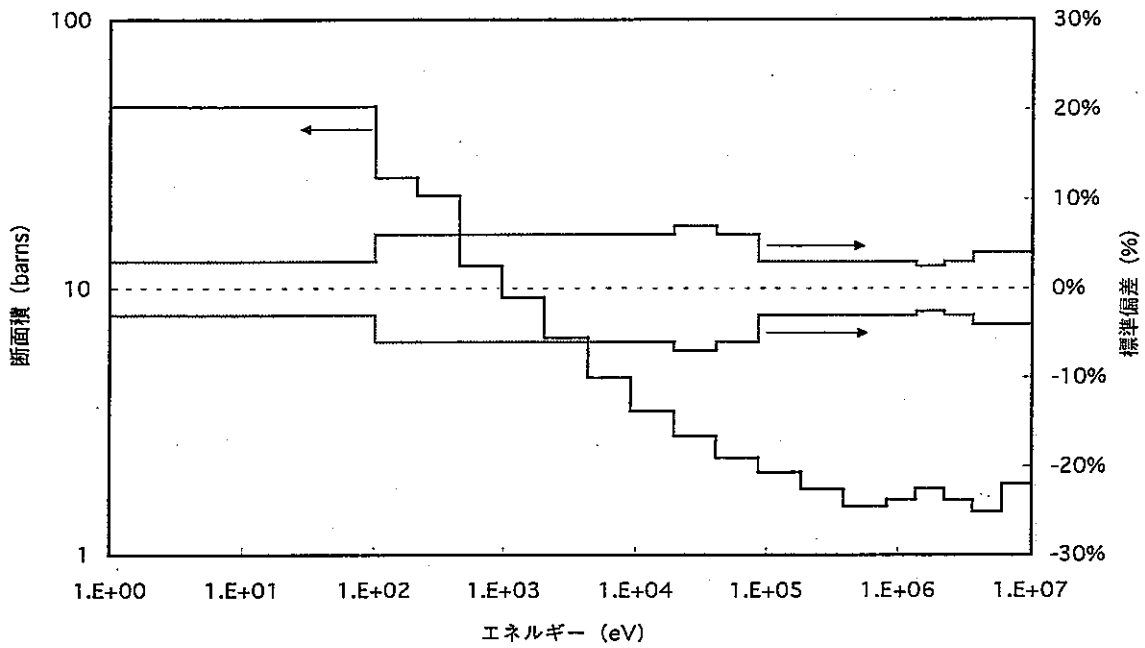


図6.11 Pu-241の核分裂断面積の断面積と標準偏差 (18群)

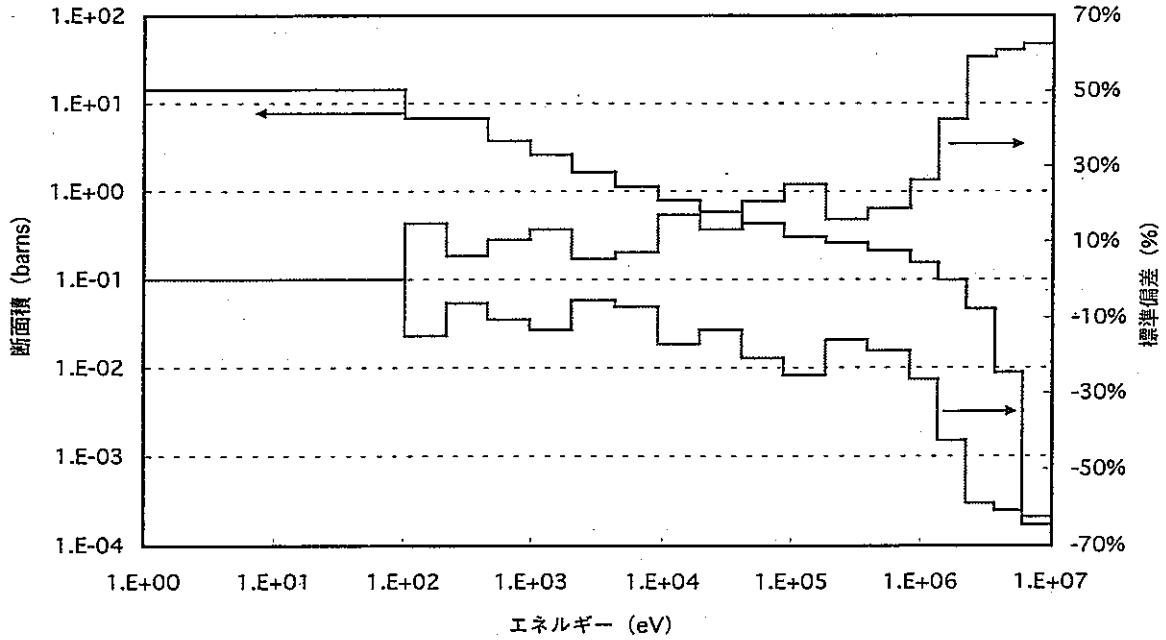


図6.12 Pu-241の捕獲断面積の断面積と標準偏差 (18群)

## 7. 結論

水冷却型増殖炉として、公開文献を参考に沸騰軽水炉 (65%void)の炉心燃料セルを設定し、それをもとに非沸騰重水炉及び非沸騰軽水炉の炉心燃料セルを設定した。また、比較検討用に、典型的な Na 冷却 MOX 燃料炉心セルも設定した。それらを対象としたセル計算結果、及び 2 次元 r-z 体系計算に基づく感度解析結果の検討により、下記の結論を得た。

### 高速炉核特性評価システムの適用性 (第 3 章の結論)

- 軽水炉に広く利用されている汎用核計算コードシステム SRAC と高速炉用セル計算コード SLAROM では、群定数ライブラリが異なることによって解析結果に若干の差が生じる。しかし、両コードの解析結果間の差異は小さく、Na 冷却高速炉と水冷却型増殖炉に関する中性子スペクトルの概略把握、転換比の比較 (SLAROM の方が 0~3% 大きい値を算出する)、主要核反応の発生エネルギー領域の分析結果等については、ほぼ同等の結果を与える。よって、炉概念の違いによる核特性の相違を議論する場合に支障となるような食い違いは発生しないと判断できる。
- SRAC と SLAROM の解析結果に見られる差異は、SRAC における共鳴領域 (1keV 以下) の実効断面積の算出を PEACO ルーチンによって詳細化するオプションを使用した場合には、SLAROM と同じ解法である「NR 近似」(f-table 法) を用いた場合に比べて、若干増加し、その差は中性子スペクトルの軟化とともに増加する。したがって、中性子スペクトルの軟らかな炉心概念に高速炉解析システムを適用する際には、共鳴領域における解析結果の信頼性を向上させるために、PEACO ルーチンを SLAROM 等のセル計算実行時に活用する方途を確立することが有益であると思われる。

### 炉心の核的パラメータ及びマイクロ定数の比較結果 (第 4 章の結論)

- 平均中性子エネルギー、高速中性子束割合、中性子平均自由行程等については、水冷却型増殖炉と Na 冷却高速炉は類似の特性を示す。  
一方、水冷却型増殖炉は Na 冷却高速炉に対して、重金属原子核個数密度を大きくする必要があり、中性子束が低いこと、「余剰中性子数」が小さいこと等の相違点を持つ。
- 水冷却型増殖炉は Na 冷却高速炉に比べて、中性子スペクトルの軟化による低エネ

ルギー側での捕獲反応増大効果が核分裂反応増大効果を上回るために、1個の中性子吸収あたりに発生する核分裂中性子数 $\eta$ 値がほとんどの重金属核種について減少し、特に Pu-239 の $\eta$ 値が 2.0 に近い値まで低下する。一方、この効果は、Pu240 の親物質特性の向上に結びついている。

- しきい値核分裂反応を持つ核種の $\eta$ 値は、低エネルギー領域での捕獲反応と高エネルギー領域での核分裂反応のバランスで決まる。Pu-240 の場合は前者の寄与が大きいため、中性子スペクトルが軟化する水冷却型増殖炉においては Na 冷却高速炉より $\eta$ 値が減少するが、U-238 の場合は二つの反応の変化量に顕著な差がないために、炉心による $\eta$ 値の変化が小さい。

### Pu 同位体組成等の増殖性への影響（第 5 章の結論）

- Pu 組成を、親物質の割合が小さい LWR 取出 Pu 組成に替えると、RBWR 炉心の増殖比は、平衡 サイクル Pu 組成に比べて 5%程度低減する見通しである。  
RBWR 標準設計炉心の増殖比は、平衡 サイクル Pu 組成に対して 1.01 であり、LWR 取出 Pu 組成に対しては 1.0 を下回ることになるが、増殖比 1.1 程度を実現する炉心設計検討例もあることから、炉心設計の工夫により、この程度の増殖性の向上は可能な範囲と考えられる。
- RBWR 炉心（沸騰軽水炉 (65%void)）について上記に示した Pu 組成変化による転換比の変動幅は、その他の水冷却型増殖炉や Na 冷却高速炉に対しても、ほぼ同程度である。  
通常の FBR 炉心設計では、LWR 取出 Pu 組成を使用しているので、低めの転換比となっており、親物質の比率が大きい Pu 同位体組成に基づいて設計された水冷却型増殖炉の特性と比較する場合には、この効果を補正する必要がある。
- 軽水のボイド化は、反応度及び転換比を同時に高めることができるので、沸騰軽水冷却型増殖炉は、増殖特性の向上に効果的であることが確認された。この理由により、沸騰軽水冷却型増殖炉である RBWR は、非沸騰軽水冷却型増殖炉に比べて、増殖比を 10%以上増大できる見通しである。ただし、ボイド係数を負にするための炉心設計上の工夫が必要である。
- 非沸騰重水冷却型増殖炉は、一般に軽水冷却型増殖炉に比べて中性子スペクトルが硬く転換比が大きいのが、RBWR 炉心（沸騰軽水炉 (65%void)）と比べるとその差はそれほど大きくないと思われる（増殖比の増大幅にして 1%程度）。

## 感度解析及び核設計予測精度評価結果

- 断面積誤差が核特性に及ぼす影響（感度）が大きいエネルギー領域は Na 冷却高速炉と沸騰軽水炉（65%void）で大きく異なる。すなわち、Na 冷却高速炉では約十 keV～数百 keV の感度が大きいのに対し、沸騰軽水炉（65%void）では約十 keV 以下の感度が相対的に増加する。
- 沸騰軽水炉（65%void）の実効増倍係数予測誤差の内訳は、Na 冷却高速炉の場合の主因である U-238 捕獲反応と Pu-239 核分裂反応の寄与が減少し、代わりに、Pu-239 捕獲反応及び Pu-240 捕獲反応の寄与が増大する傾向が見られた。これは、第4章で明らかにした中性子スペクトルが低エネルギー側にシフトする傾向と対応している。
- 今回の核設計予測精度評価に用いた断面積共分散データは近日中に見直される予定である。改訂は、共鳴領域及びそれ以下のエネルギー領域において共分散の値を増加させる可能性があり、その場合には Na 冷却高速炉よりも沸騰軽水炉（65%void）の予測精度により大きな影響を及ぼすことに注目して再解析を行う必要がある。

## 水冷却型増殖炉の核特性に関する今後の検討課題

- PEACO ルーチンを SLAROM に組み込むことによる共鳴領域の取扱いの詳細化及び解析精度向上
- 改訂済み共分散データ及び最新の設計情報を反映した核設計予測精度評価
- MA 燃焼特性及び FP 消滅特性に関する解析
- 燃料取出平均燃焼度と炉心特性の関係の評価

## 謝 辞

本研究の実施にあたっては、開発経緯の異なる二種類のセル計算コードの解析結果を比較する必要があったため、両者の差異の検討過程において両コードに深い知見を有する(株)総合技術情報機構の金子邦男氏に種々アドバイスをいただき、考察を深めることができた。ここに謹んで感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 中島伸也、他：「低減速スペクトル炉に関する研究会報告書」、JAERI-Conf 98-013 (1998年9月)
- 2) 岩村公道、他：「低減速スペクトル炉の研究」、JAERI-Research 99-058 (1999年11月)
- 3) 中川正幸、他：「SLAROM : A Code for Cell Homogenization Calculation of Fast Reactor」、JAERI 1294 (1984年)
- 4) 奥村啓介、他：「SRAC95 ; 汎用核計算コードシステム」、JAERI-Data/Code 96-015 (1996年3月)
- 5) T. Nakagawa, et al.: "Japanese Evaluated Nuclear Data Library Version 3 Revision-2: JENDL 3.2", Journal of Nuclear Science and Technology 32, p1259(1995)
- 6) 竹田練三：「次世代型沸騰水型軽水炉 RBWR の概念」、第 28 回炉物理夏期セミナーテキスト、(社)日本原子力学会 (1996年7月)
- 7) 早船浩樹、他：「実用化戦略調査研究 (FBR プラント) —平成 10 年度予備調査結果要約の取りまとめ—」、JNC TN9420 99-004 (1999年6月)
- 8) 高野秀機、他：「速中性子エネルギー領域群定数作成コードシステム：TIMS-PGG」、JAERI-M 82-072 (1982年7月)
- 9) Ishiguro Y. et al.: "Generalized Dancoff Factor in Complex Lattice Arrangement", J. Nuclear Science and Technology., 22, 853(1985)
- 10) 高野秀機、他：「高速炉用炉定数ライブラリー、JFS-3-J2 の作成」、JAERI-memo 8823 (1980年4月)
- 11) 土橋敬一郎、他：「SRAC：核設計と解析のための原研熱中性子炉標準コードシステム」、JAERI1285 (1983年1月)
- 12) 一宮正和、他：「平成4年度大型高速炉設計研究成果報告書」、PNC TN9410 93-162 (1993年7月)
- 13) 中川正幸、他：「高速炉の核特性解析コードシステム」、JAERI-M 83-066 (1983年4月)
- 14) 原昭浩、他：「SAGEP : 一般化摂動理論に基づく二次元感度解析コード」：JAERI-M-84-027 (1984年2月)