

# LLFP 核変換解析手法の検討

## (研究報告)



2002年4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村松4番地49

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

Inquiries 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)  
2002

## LLFP核変換解析手法の検討 (研究報告)

神智之\*、大木繁夫\*\*

### 要 旨

FBRサイクル実用化戦略調査研究では、高速炉における長寿命核分裂生成物 (Long-Lived Fission Product, LLFP) の核変換が検討されている。LLFP核変換効率向上のため中性子減速材が使用されるが、減速材付きLLFP集合体においては中性子束の空間分布およびエネルギー分布が大きく変化する。現状の解析ではモンテカルロ計算コードによりこれらを詳細に取り扱っているが、LLFP核変換炉心の設計計算や炉物理的な分析を行う上で、決定論による計算コードを用いた解析手法が必要である。本研究では、LLFP集合体とその周辺領域についてのスーパーセルモデルを、汎用核計算コードシステム「SRAC95」を用いて構築することを目的としている。平成13年度はLLFP集合体領域を均質に限定し、周辺領域からの中性子の流れ込みをうまく扱うスーパーセルモデルを見い出した。

---

本報告書はFBRサイクル実用化戦略調査研究フェーズII計画 (WBS) 112520 「LLFP核変換手法開発」に係る平成13年度の検討結果をまとめたものである。

\* 株式会社 原子力システム

\*\* 大洗工学センター システム技術開発部 中性子工学グループ

## Method of Calculation for LLFP Transmutation in a Fast Reactor

JIN Tomoyuki\*, OHKI Shigeo\*\*

### Abstract

Transmutation of long-lived fission product (LLFP) using a fast reactor has been investigated in the framework of the feasibility study on commercialized fast reactor cycle systems in Japan. Neutron-moderating material is used in LLFP target subassembly for the sake of enhancing the transmutation efficiency, which causes the considerable changes of neutron distribution both in space and energy. At the present calculation the Monte Carlo method is employed for exact treatment of such a complicated system. Moreover the calculation method based on deterministic codes should be needed when we perform core design calculations and physical analysis. This study aimed at the establishment of a super cell modeling for LLFP target subassembly by using the general-purpose deterministic code system, SRAC95. In the fiscal year 2001, a super cell modeling has been worked out which appropriately deals with the incoming neutrons from the adjacent fuel region to the LLFP target, under the condition that the LLFP target is represented as homogeneous region.

---

\* Nuclear Engineering System Incorporation (NESI)

\*\* Reactor Physics Group, System Technology Division, OEC, JNC

## 目次

1. はじめに .....	1
2. 対象炉心 .....	2
3. 検討方法 .....	4
4. 計算結果 .....	9
4. 1 MVPを用いたスーパーセルモデルの検討 .....	9
4. 2 SRACの適用 (SRACとMVPの比較) .....	12
4. 3 エネルギー群の縮約・空間メッシュの平均化 .....	19
5. まとめ .....	34
参考文献 .....	35

## 図リスト

図 1	炉心体系及び中性子スペクトル(動燃 60 万 kWe 級炉心) .....	3
図 2	検討フロー .....	5
図 3.1	格子計算体系(一次元平板スーパーセルモデル) .....	6
図 3.2	格子計算体系(一次元平板スーパーセルモデル、空間メッシュの平均化) .....	7
図 4.1	中性子束の径方向分布(炉心計算と格子計算の比較) .....	10
図 4.2	中性子束の径方向分布(炉心計算と格子計算の相対差) .....	10
図 4.3	$^{10}\text{B}$ 一群吸収断面積の径方向分布(炉心計算と格子計算の比較) ..	11
図 4.4	$^{10}\text{B}$ 一群吸収断面積の径方向分布(炉心計算と格子計算の相対差) ..	11
図 5.1	中性子束の径方向分布(SRAC と MVP の比較) .....	13
図 5.2	中性子束の径方向分布(SRAC と MVP の相対差) .....	13
図 5.3	$^{10}\text{B}$ 一群吸収断面積の径方向分布(SRAC と MVP の比較) .....	14
図 5.4	$^{10}\text{B}$ 一群吸収断面積の径方向分布(SRAC と MVP の相対差) .....	14
図 5.5	LLFP ターゲット領域における $^{129}\text{I}$ 一群吸収反応率の径方向分布(SRAC と MVP の比較) .....	15
図 5.6	LLFP ターゲット領域における $^{129}\text{I}$ 一群吸収反応率の径方向分布(SRAC と MVP の相対差) .....	15
図 5.7	炉心燃料領域における一群核分裂反応率の径方向分布(SRAC と MVP の比較) .....	16
図 5.8	炉心燃料領域における一群核分裂反応率の径方向分布(SRAC と MVP の相対差) .....	16
図 5.9	$^{10}\text{B}$ 一群吸収断面積の径方向分布(メッシュ分割詳細化の効果) ..	17
図 5.10	$^{10}\text{B}$ 一群吸収断面積の径方向分布(メッシュ分割詳細化の効果、SRAC と MVP の相対差) .....	17
図 5.11	炉心燃料領域における一群核分裂反応率の径方向分布(メッシュ分割詳細化の効果) .....	18
図 5.12	炉心燃料領域における一群核分裂反応率の径方向分布(メッシュ分割詳細化の効果、SRAC と MVP の相対差) .....	18
図 6.1	中性子束の径方向分布(エネルギー群の縮約) .....	22
図 6.2	中性子束の径方向分布(107 群計算と 18 群計算の相対差) .....	22
図 6.3	$^{10}\text{B}$ 一群吸収断面積の径方向分布(エネルギー群の縮約) .....	23
図 6.4	$^{10}\text{B}$ 一群吸収断面積の径方向分布(107 群計算と 18 群計算の相対差) ..	23
図 6.5	LLFP ターゲット領域における $^{129}\text{I}$ 一群吸収反応率の径方向分布(エネルギー群の縮約) .....	24

図 6.6 LLFP ターゲット領域における $^{129}\text{I}$ 一群吸収反応率の径方向分布 (107 群計算と 18 群計算の相対差) .....	24
図 6.7 炉心燃料領域における一群核分裂反応率の径方向分布 (エネルギー群の縮約) .....	25
図 6.8 炉心燃料領域における一群核分裂反応率の径方向分布 (107 群計算と 18 群計算の相対差) .....	25
図 7.1 中性子束の径方向分布 (空間メッシュの平均化) .....	26
図 7.2 中性子束の径方向分布 (詳細メッシュ計算と平均化メッシュ計算の相対差) .....	26
図 7.3 $^{10}\text{B}$ 一群吸収断面積の径方向分布 (空間メッシュの平均化) .....	27
図 7.4 $^{10}\text{B}$ 一群吸収断面積の径方向分布 (詳細メッシュ計算と平均化メッシュ計算の相対差) .....	27
図 7.5 LLFP ターゲット領域における $^{129}\text{I}$ 一群吸収反応率の径方向分布 (空間メッシュの平均化) .....	28
図 7.6 LLFP ターゲット領域における $^{129}\text{I}$ 一群吸収反応率の径方向分布 (詳細メッシュ計算と平均化メッシュ計算の相対差) .....	28
図 7.7 炉心燃料領域における一群核分裂反応率の径方向分布 (空間メッシュの平均化) .....	29
図 7.8 炉心燃料領域における一群核分裂反応率の径方向分布 (詳細メッシュ計算と平均化メッシュ計算の相対差) .....	29
図 8.1 中性子束の径方向分布 (少数群・平均化メッシュ計算) .....	30
図 8.2 中性子束の径方向分布 (詳細計算と少数群・平均化メッシュ計算の相対差) .....	30
図 8.3 $^{10}\text{B}$ 一群吸収断面積の径方向分布 (少数群・平均化メッシュ計算) ..	31
図 8.4 $^{10}\text{B}$ 一群吸収断面積の径方向分布 (詳細計算と少数群・平均化メッシュ計算の相対差) .....	31
図 8.5 LLFP ターゲット領域における $^{129}\text{I}$ 一群吸収反応率の径方向分布 (少数群・平均化メッシュ計算) .....	32
図 8.6 LLFP ターゲット領域における $^{129}\text{I}$ 一群吸収反応率の径方向分布 (詳細計算と少数群・平均化メッシュ計算の相対差) .....	32
図 8.7 炉心燃料領域における一群核分裂反応率の径方向分布 (少数群・平均化メッシュ計算) .....	33
図 8.8 炉心燃料領域における一群核分裂反応率の径方向分布 (詳細計算と少数群・平均化メッシュ計算の相対差) .....	33

表リスト

表1 SRACライブラリーのエネルギー群構造	.....	8
------------------------	-------	---

## 1. はじめに

LLFP 核変換炉心解析を行うにあたり、決定論に基づく高速炉用核特性解析コードを用いた設計用解析手法では、LLFP 核変換率及び局所出力ピークを過大評価することがモンテカルロ法による詳細解析との比較よりわかっている<sup>[1]</sup>。これらの課題を改善する方法として以下が挙げられている。

- ・ 热エネルギー領域までを取り扱うことのできる炉定数の使用
- ・ LLFP ターゲット及び周辺領域での中性子束及び中性子スペクトルの空間的な変化を取り扱うためのスーパーセルモデルの適用
- ・ LLFP ターゲットの非均質性の考慮
- ・ LLFP ターゲット及び周辺領域での詳細なメッシュ分割

本報告では、上記項目を考慮した解析手法の検討の第一ステップとして、汎用核計算コードシステム SRAC<sup>[2]</sup>を用いて、LLFP ターゲットのスーパーセルモデルの検討を行った。ここで、LLFP ターゲットは均質とし、LLFP ターゲットの非均質性は次の検討ステップで取り扱うこととした。レファレンスとして、連続エネルギーモンテカルロコード MVP<sup>[3]</sup>を用いた。

## 2. 対象炉心

レファレンスとなる高速炉は、動燃 60 万 kW<sub>e</sub> 級炉心<sup>[4]</sup>である。炉心体系を図 1 に示す。LLFP ターゲット装荷位置は、同炉心の径方向プランケット位置（126 体）である。LLFP ターゲットの仕様は暫定的に同炉心の径方向プランケットと同一とした。対象とする LLFP は <sup>129</sup>I（元素分離を仮定）、化学形は NaI とし、スマア密度 50%、減速材 ( $ZrH_{1.6}$ ) の割合は 71%とした。炉心計算は 2 次元 RZ 体系により行った。使用した断面積ライブラリは JENDL-3.2 に基づくもので、全核種 300K とした。なお、 $ZrH_{1.6}$  については化学結合を考慮したライブラリを使用した。

図 1 に LLFP ターゲット及び周辺領域の中性子スペクトルを示した。LLFP ターゲット内の減速材の効果により、LLFP ターゲット及び隣接する領域の中性子スペクトルが軟化されていることがわかる。

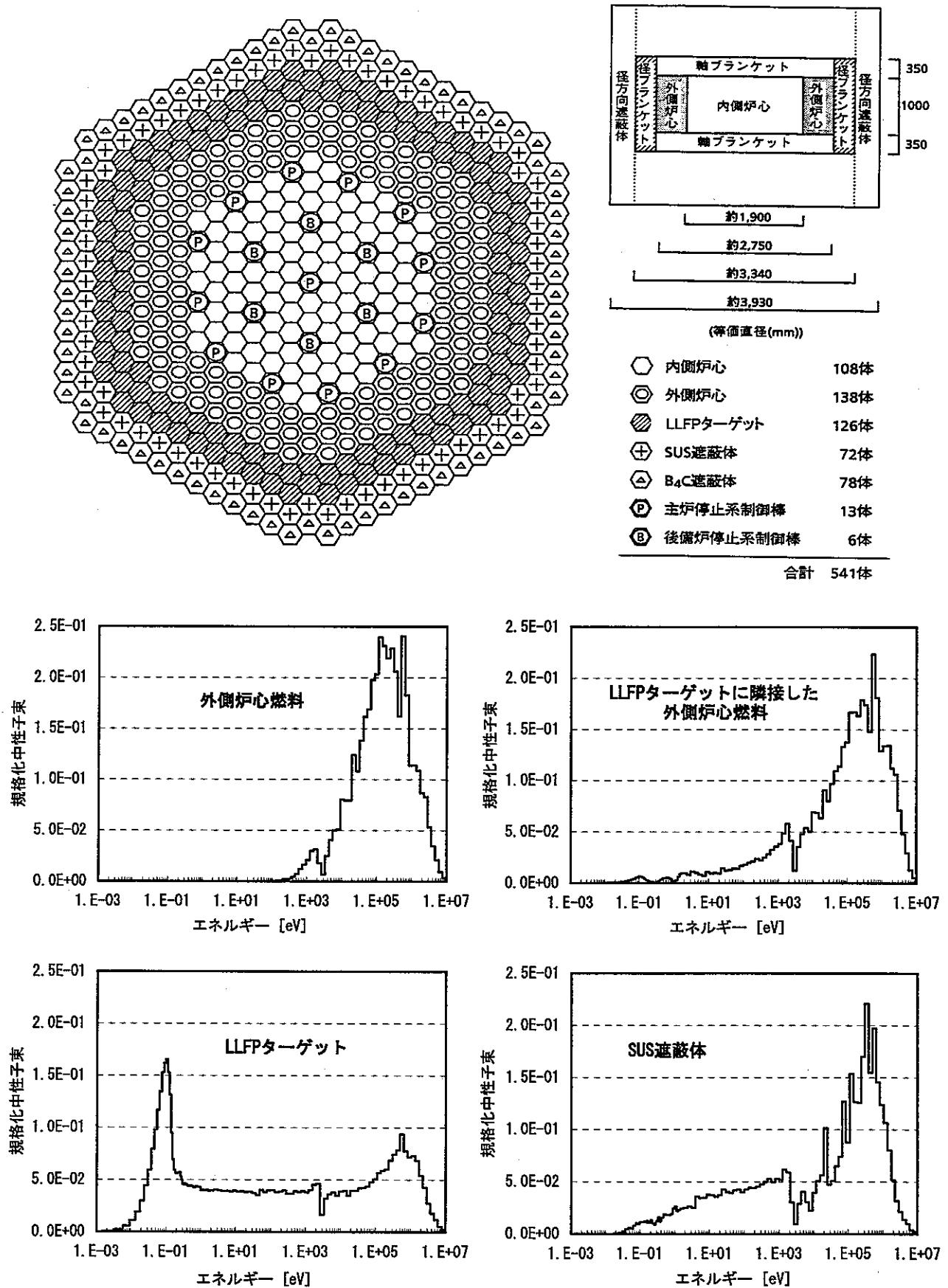


図1 炉心体系及び中性子スペクトル（動燃60万kWe級炉心）

### 3. 検討方法

図2に本検討の流れを示す。本検討での格子計算体系（スーパーセルモデル）を図3.1に示す。LLFP ターゲット領域と周辺の炉心燃料領域及びSUS 領域からなる一次元平板体系とし、それぞれの領域内は均質とした（\*LLFP ターゲット内の非均質性は次のステップで検討する）。メッシュ分割幅はできるだけ詳細なものとし、約1cmとした。炉心燃料側の境界条件は“完全反射”、SUS 領域側の境界条件は“真空”である。

本検討は、①MVP を用いたスーパーセルモデルの検討、②SRAC の導入、③SRAC 計算時のエネルギー群の縮約及び空間メッシュの平均化の順で進めていく。まず、MVP を用いた炉心体系計算と格子体系計算の比較から、スーパーセルモデルの妥当性を確認する。次に、MVP によるスーパーセル計算をレファレンスとし、SRAC の同一体系の計算との比較から、SRAC の適用性を確認する。ここで SRAC のエネルギー群数は 107 群（詳細群）とする（表1 参照）。SRAC による格子計算は、衝突確率法モジュール PIJ と一次元 Sn 輸送計算モジュール ANISN の体系固有値計算を組み合わせて行う。また、SRAC 計算時主要オプションは、実効共鳴断面積計算は NR 近似、ルジャンドル次数は  $P_1$  成分まで、Sn 次数は 8 とする。

SRAC の適用性が確認された後、エネルギー群数の縮約及びメッシュ平均化の検討を、SRAC の詳細格子計算をレファレンスとして行う。まず、エネルギー群数を 107 群から 18 群に縮約し、結果を比較する。107 群及び 18 群構造は表1に示したものである。次に、エネルギー群数は 107 群のままメッシュ平均化を行う（図3.2 参照）。このとき、局所出力の発生場所のメッシュ分割は 1cm のままとする。最後に、群縮約とメッシュ平均化を同時にを行い、計算結果が妥当となることを確認する。

これらの検討を行うまでの評価項目は、中性子束の空間的変化（スーパーセル内の中性子束の径方向分布）、中性子スペクトルの空間的変化（各メッシュの中性子スペクトルで縮約した  $^{10}\text{B}$  一群吸収断面積の径方向分布）、LLFP 核変換率（ $^{129}\text{I}$  吸収反応率）、局所出力ピーク（核分裂反応率）である。

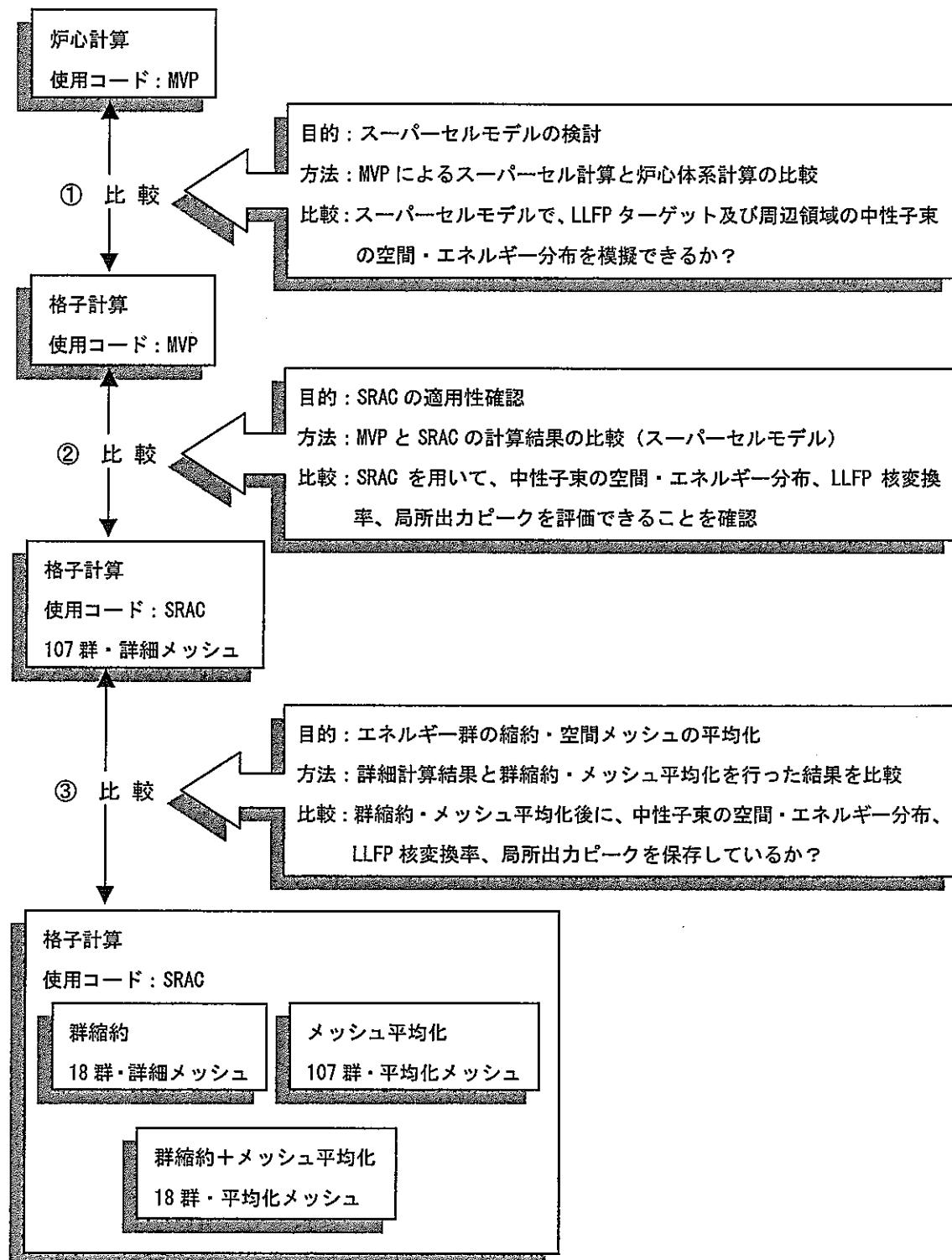


図2 検討フロー

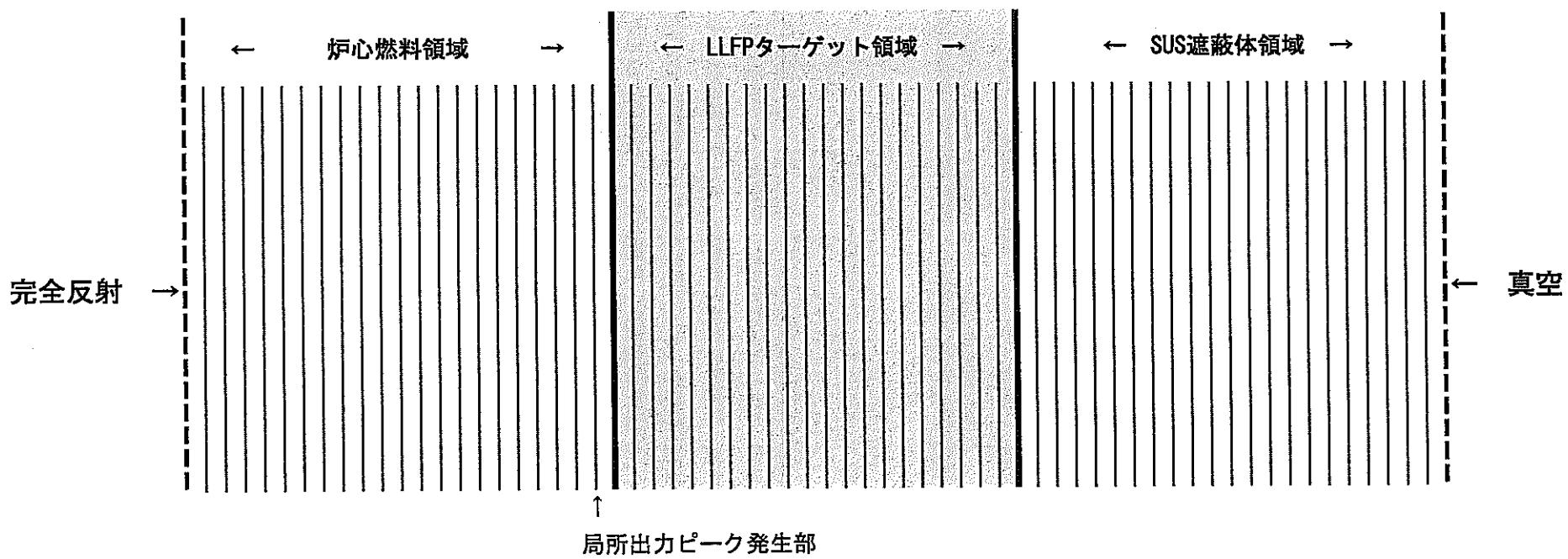


図3.1 格子計算体系（一次元平板スーパーセルモデル）

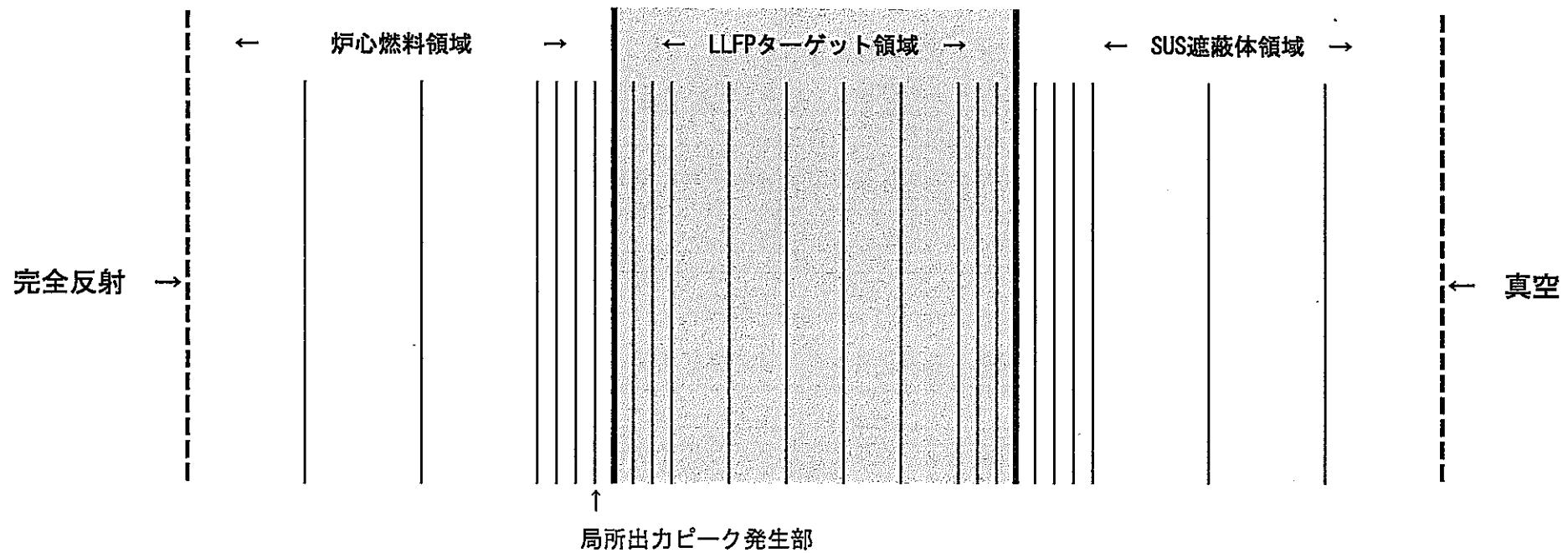


図3.2 格子計算体系（一次元平板スーパーセルモデル、空間メッシュの平均化）

表1 SRACライブラリーのエネルギー群構造

Group		Upper energy	Lower energy	Lethargy Width	Group		Upper energy	Lower energy	Lethargy Width
18G	107G				18G	107G			
1	1	1.0000E+07	7.7880E+06	0.250	10	62	2.3824E+00	1.8554E+00	0.250
	2	7.7880E+06	6.0653E+06	0.250		63	1.8554E+00	1.6374E+00	0.125
	3	6.0653E+06	4.7237E+06	0.250		64	1.6374E+00	1.4450E+00	0.125
	4	4.7237E+06	3.6788E+06	0.250		65	1.4450E+00	1.2752E+00	0.125
2	5	3.6788E+06	2.8650E+06	0.250		66	1.2752E+00	1.1253E+00	0.125
	6	2.8650E+06	2.2313E+06	0.250		67	1.1253E+00	9.9312E-01	0.125
	7	2.2313E+06	1.7377E+06	0.250		68	9.9312E-01	8.7642E-01	0.125
	8	1.7377E+06	1.3534E+06	0.250	11	69	8.7642E-01	7.7344E-01	0.125
	9	1.3534E+06	1.0540E+06	0.250		70	7.7344E-01	6.8256E-01	0.125
	10	1.0540E+06	8.2085E+05	0.250		71	6.8256E-01	6.0236E-01	0.125
3	11	8.2085E+05	6.3928E+05	0.250		72	6.0236E-01	5.3158E-01	0.125
	12	6.3928E+05	4.9787E+05	0.250		73	5.3158E-01	4.6911E-01	0.125
4	13	4.9787E+05	3.8774E+05	0.250		74	4.6911E-01	4.1399E-01	0.125
	14	3.8774E+05	3.0197E+05	0.250	12	75	4.1399E-01	3.8926E-01	0.062
	15	3.0197E+05	2.3518E+05	0.250		76	3.8926E-01	3.6528E-01	0.064
5	16	2.3518E+05	1.8316E+05	0.250		77	3.6528E-01	3.4206E-01	0.066
	17	1.8316E+05	1.4264E+05	0.250		78	3.4206E-01	3.1961E-01	0.068
	18	1.4264E+05	1.1109E+05	0.250		79	3.1961E-01	2.9792E-01	0.070
	19	1.1109E+05	8.6517E+04	0.250		80	2.9792E-01	2.7699E-01	0.073
	20	8.6517E+04	6.7380E+04	0.250	13	81	2.7699E-01	2.5683E-01	0.076
6	21	6.7380E+04	5.2475E+04	0.250		82	2.5683E-01	2.3742E-01	0.079
	22	5.2475E+04	4.0868E+04	0.250		83	2.3742E-01	2.1878E-01	0.082
	23	4.0868E+04	3.1828E+04	0.250		84	2.1878E-01	2.0090E-01	0.085
	24	3.1828E+04	2.4788E+04	0.250		85	2.0090E-01	1.8378E-01	0.089
	25	2.4788E+04	1.9304E+04	0.250	14	86	1.8378E-01	1.6743E-01	0.093
	26	1.9304E+04	1.5034E+04	0.250		87	1.6743E-01	1.5183E-01	0.098
	27	1.5034E+04	1.1709E+04	0.250		88	1.5183E-01	1.3700E-01	0.103
	28	1.1709E+04	9.1188E+03	0.250		89	1.3700E-01	1.2293E-01	0.108
7	29	9.1188E+03	7.1017E+03	0.250		90	1.2293E-01	1.0963E-01	0.115
	30	7.1017E+03	5.5308E+03	0.250	15	91	1.0963E-01	9.7080E-02	0.122
	31	5.5308E+03	4.3074E+03	0.250		92	9.7080E-02	8.5397E-02	0.128
	32	4.3074E+03	3.3546E+03	0.250		93	8.5397E-02	7.4276E-02	0.140
	33	3.3546E+03	2.6126E+03	0.250		94	7.4276E-02	6.4017E-02	0.149
	34	2.6126E+03	2.0347E+03	0.250		95	6.4017E-02	5.4520E-02	0.161
	35	2.0347E+03	1.5846E+03	0.250		96	5.4520E-02	4.5785E-02	0.175
8	36	1.5846E+03	1.2341E+03	0.250		97	4.5785E-02	3.7813E-02	0.191
	37	1.2341E+03	9.6112E+02	0.250	16	98	3.7813E-02	3.0602E-02	0.212
	38	9.6112E+02	7.4852E+02	0.250		99	3.0602E-02	2.4154E-02	0.237
	39	7.4852E+02	5.8295E+02	0.250		100	2.4154E-02	1.8467E-02	0.268
	40	5.8295E+02	4.5400E+02	0.250		101	1.8467E-02	1.3543E-02	0.310
	41	4.5400E+02	3.5358E+02	0.250	17	102	1.3543E-02	9.3805E-03	0.367
	42	3.5358E+02	2.7536E+02	0.250		103	9.3805E-03	5.9804E-03	0.450
	43	2.7536E+02	2.1445E+02	0.250		104	5.9804E-03	3.3423E-03	0.582
9	44	2.1445E+02	1.6702E+02	0.250	18	105	3.3423E-03	1.4663E-03	0.824
	45	1.6702E+02	1.3007E+02	0.250		106	1.4663E-03	3.5238E-04	1.426
	46	1.3007E+02	1.0130E+02	0.250		107	3.5238E-04	1.0000E-05	3.562
	47	1.0130E+02	7.8893E+01	0.250					
	48	7.8893E+01	6.1442E+01	0.250					
	49	6.1442E+01	4.7851E+01	0.250					
	50	4.7851E+01	3.7266E+01	0.250					
	51	3.7266E+01	2.9023E+01	0.250					
	52	2.9023E+01	2.2603E+01	0.250					
	53	2.2603E+01	1.7604E+01	0.250					
	54	1.7604E+01	1.3710E+01	0.250					
	55	1.3710E+01	1.0677E+01	0.250					
	56	1.0677E+01	8.3153E+00	0.250					
	57	8.3153E+00	6.4759E+00	0.250					
	58	6.4759E+00	5.0435E+00	0.250					
	59	5.0435E+00	3.9279E+00	0.250					
	60	3.9279E+00	3.0590E+00	0.250					
	61	3.0590E+00	2.3824E+00	0.250					

## 4. 計算結果

### 4.1 MVP を用いたスーパーセルモデルの検討

MVP を用いた炉心体系計算をレファレンスとし、スーパーセルモデルの妥当性を確認する。MVP 計算結果には MVP の統計誤差（ $1\sigma$ 相当\*）を示す。

- 中性子束の空間的変化の比較を図 4.1 及び図 4.2 に示す。炉心体系計算と格子体系計算を比べると、炉心燃料領域及び LLFP ターゲット領域については約 10%以内の相違となっている。
- 中性子スペクトルの空間的変化の比較を図 4.3 及び図 4.4 に示す。減速材の効果により、LLFP ターゲット領域の中性子スペクトルが軟化されている。炉心燃料及び SUS 領域においても LLFP ターゲット領域との境界付近に中性子スペクトルの軟化が見られる。炉心体系計算結果と格子体系計算結果を比べると、炉心燃料領域及び LLFP ターゲット領域では約 3%以内の相違（MVP 計算誤差の範囲内）となっている。

本スーパーセル体系を用いることで炉心燃料領域、LLFP ターゲット領域の中性子束の空間変化は約 10%以内の相違で、また、中性子スペクトルの空間的変化は約 3%以内の相違で模擬できることができることがわかった。中性子スペクトルの模擬度は十分である。中性子束の空間変化については、最終的には炉心体系計算で計算されるものであり、実効定数を作成する領域の分割において、中性子束の空間分布の違いが問題にならない程度とすればよい。なお、SUS 領域の不一致性が LLFP 核変換率や局所出力ピークに与える影響は二次的なものと考えられるため、さらなる改良は今後の課題とし、以下では本スーパーセル体系にて検討を行うものとする。

---

\* MVP 評価値の初期乱数依存性を考慮し、MVP で算出される統計誤差 ( $1\sigma$ ) の 3 倍を「 $1\sigma$ 相当」とした。

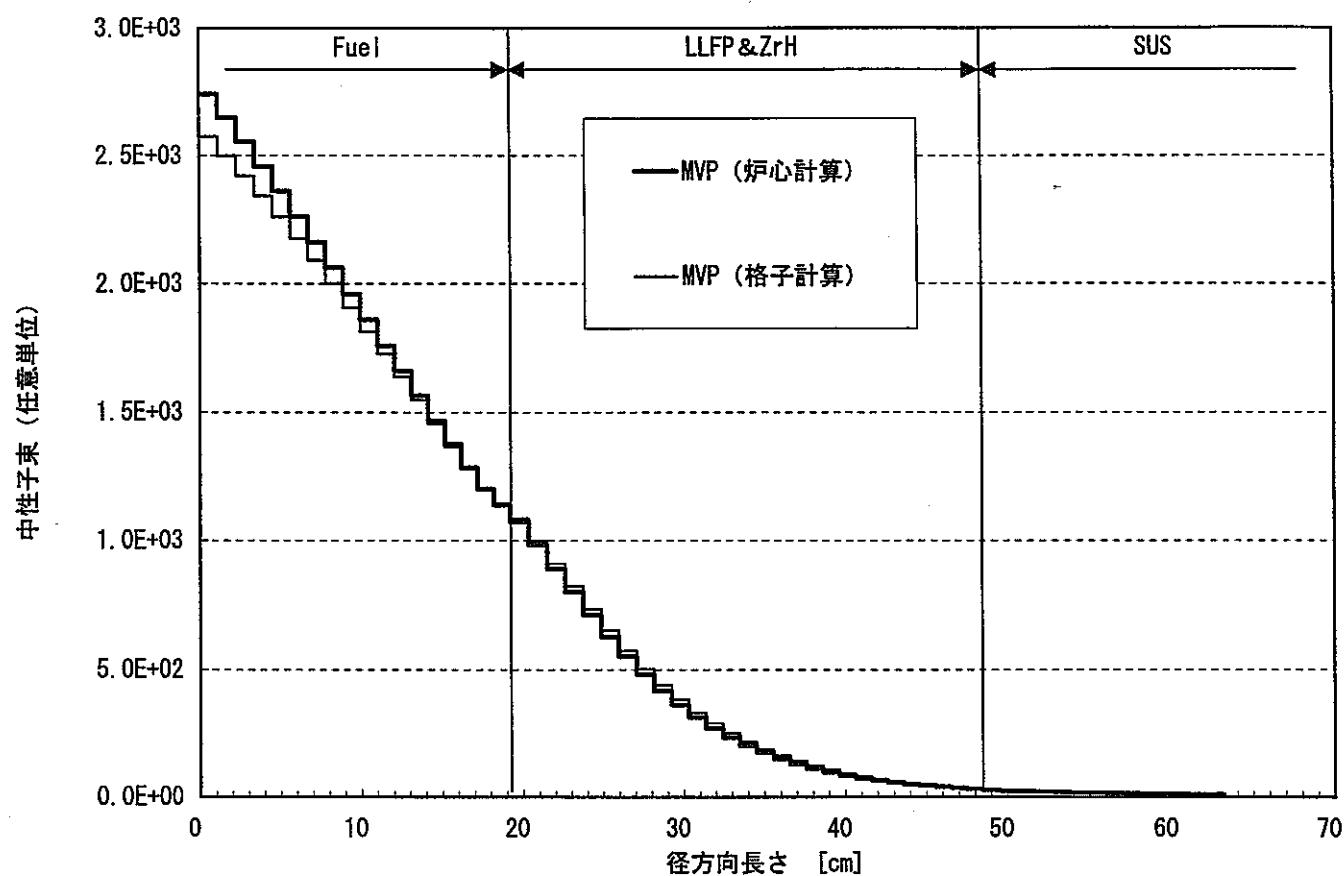


図4.1 中性子束の径方向分布（炉心計算と格子計算の比較）

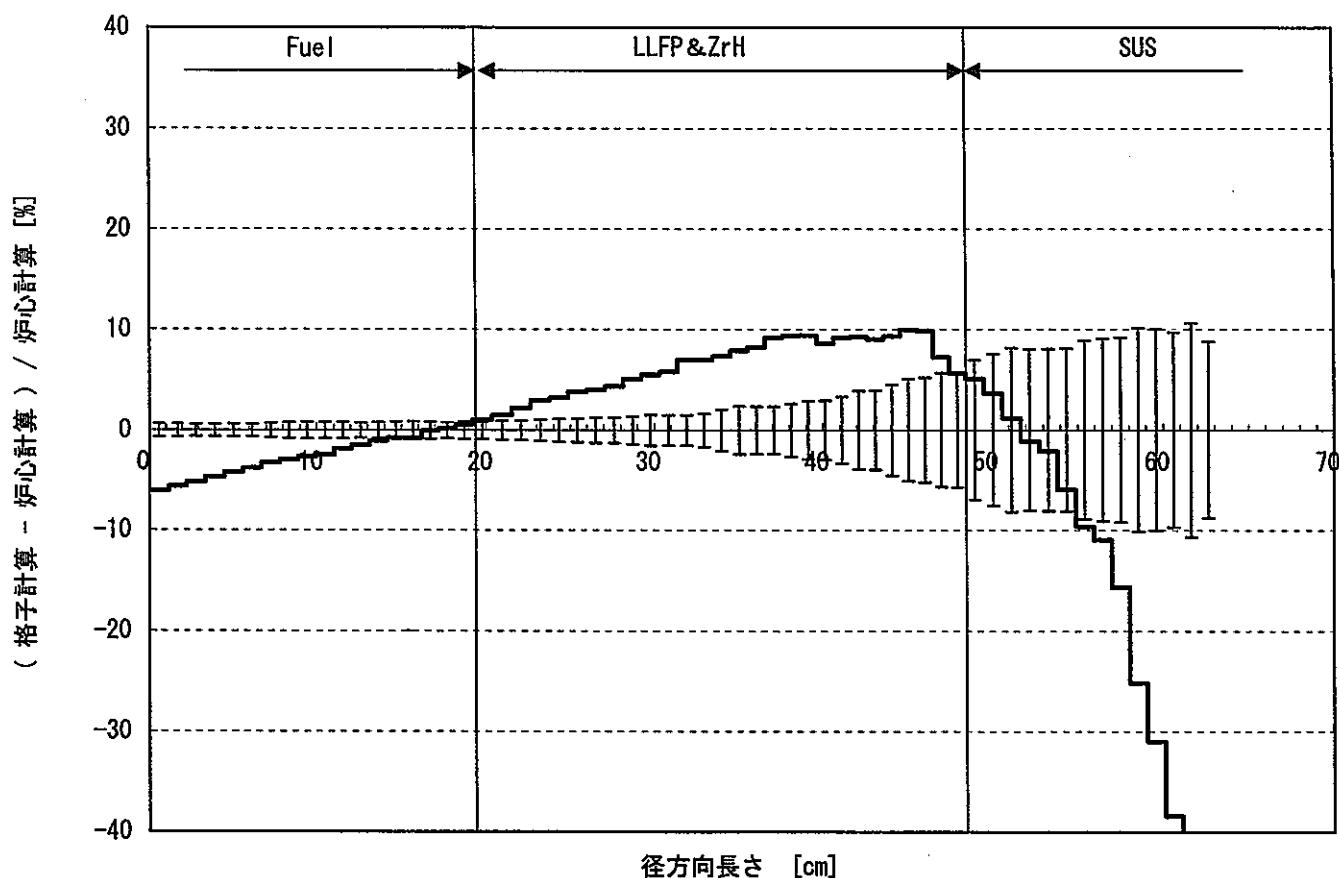
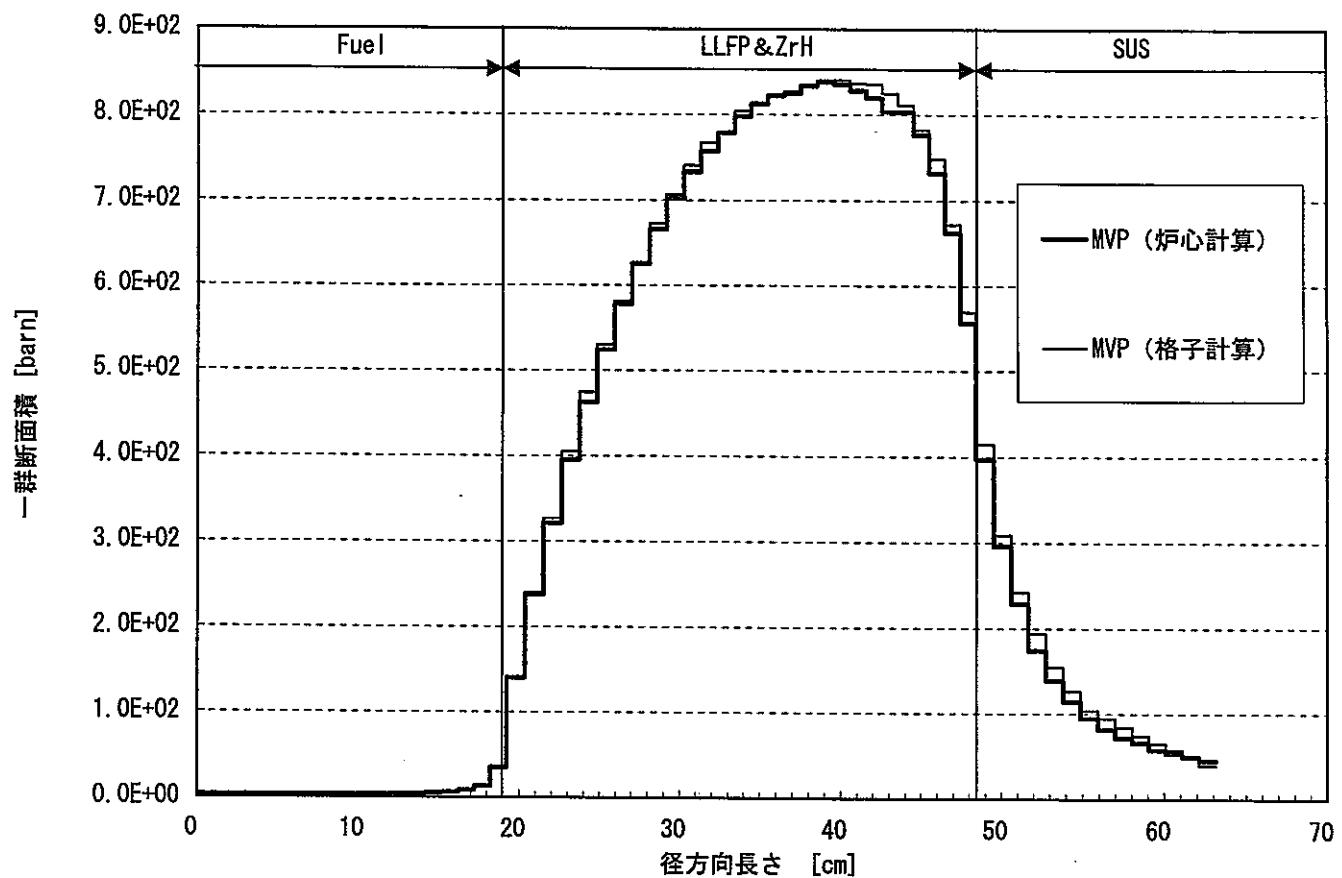
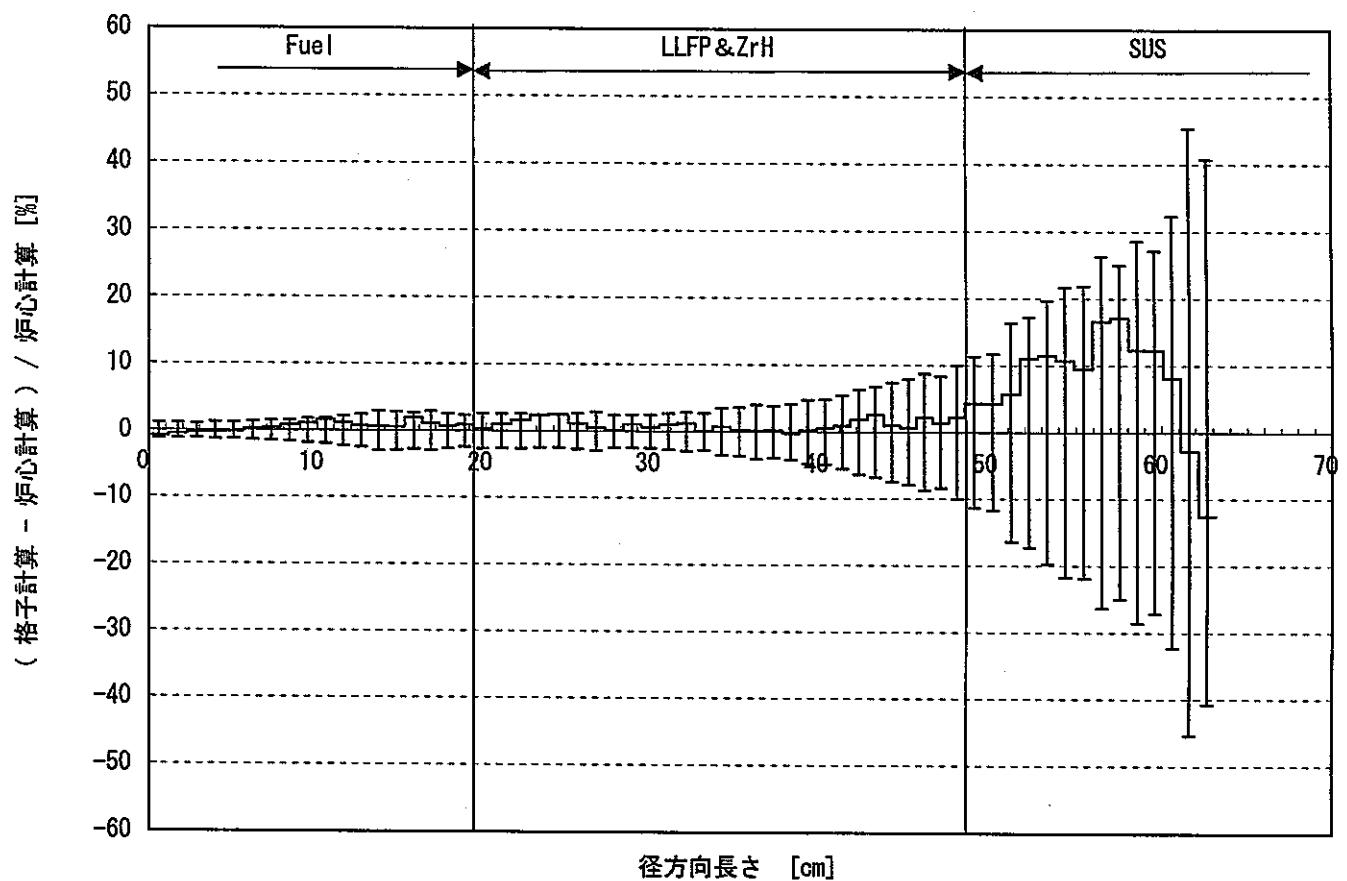


図4.2 中性子束の径方向分布（炉心計算と格子計算の相対差）

図4.3  $^{10}\text{B}$ 一群吸収断面積の径方向分布（炉心計算と格子計算の比較）図4.4  $^{10}\text{B}$ 一群吸収断面積の径方向分布（炉心計算と格子計算の相対差）

#### 4.2 SRAC の適用 (SRAC と MVP の比較)

MVP のスーパーセル計算をレファレンスとし、SRAC の適用性の確認を行った。計算結果の比較を行う際、SRAC と MVP の計算結果を総核分裂反応率により規格化した。計算結果を以下にまとめる。

- 中性子束の空間的変化の比較を図 5.1 及び図 5.2 に示す。炉心燃料及び LLFP ターゲット領域では MVP 計算結果との相違が約 2~3% となっている。
- 中性子スペクトルの空間的変化の比較を図 5.3 及び図 5.4 に示す。燃料領域の LLFP ターゲットとの境界付近で MVP 計算結果との相違が約 10~15% と大きくなっている、これは MVP の統計誤差を上回っている。同領域は局所出力ピーク発生部である。
- LLFP ターゲット領域内の  $^{129}\text{I}$  吸収反応率の空間分布の比較を図 5.5 及び図 5.6 に示す。MVP 計算結果と比較すると  $^{129}\text{I}$  吸収反応率の分布では約 3~4% 以内の相違となっている。 $^{129}\text{I}$  ターゲット内総吸収反応率では 1.3% の相違となり、よく一致している。
- 局所出力ピークとして、炉心燃料領域の核分裂反応率の空間分布を比較したもの図 5.7 及び図 5.8 に示す。LLFP ターゲット領域との境界で、SRAC と MVP との相違が約 10% と大きくなっている。これは、 $^{10}\text{B}$  吸収断面積の結果と同様の原因と考えられる。

以上の比較結果から、SRAC では中性子束の空間的変化は約 2~3% 以内の相違で、LLFP 核変換率については約 3~4% 以内の相違で計算できることがわかった。しかし、局所出力ピークには約 10% の相違が生ずる結果となった。そこで、局所出力ピーク発生部の相違を改善するため、同領域のメッシュ分割幅を 1cm から 0.5cm とさらに詳細分割した計算を行った。中性子スペクトルの空間的変化の比較を図 5.9 及び図 5.10 に、核分裂反応率の空間分布の比較を図 5.11 及び図 5.12 に示すが、局所出力ピーク発生部における中性子スペクトル及び核分裂反応率の相違はメッシュ分割幅を詳細にすることで改善され、MVP と約 2~3% 以内で一致するようになった。このことから、局所出力ピークの評価には、0.5cm 程度の詳細メッシュ分割を行うか、より広い幅のメッシュ分割で行う基準計算にメッシュ補正を加えることが必要であることがわかった。

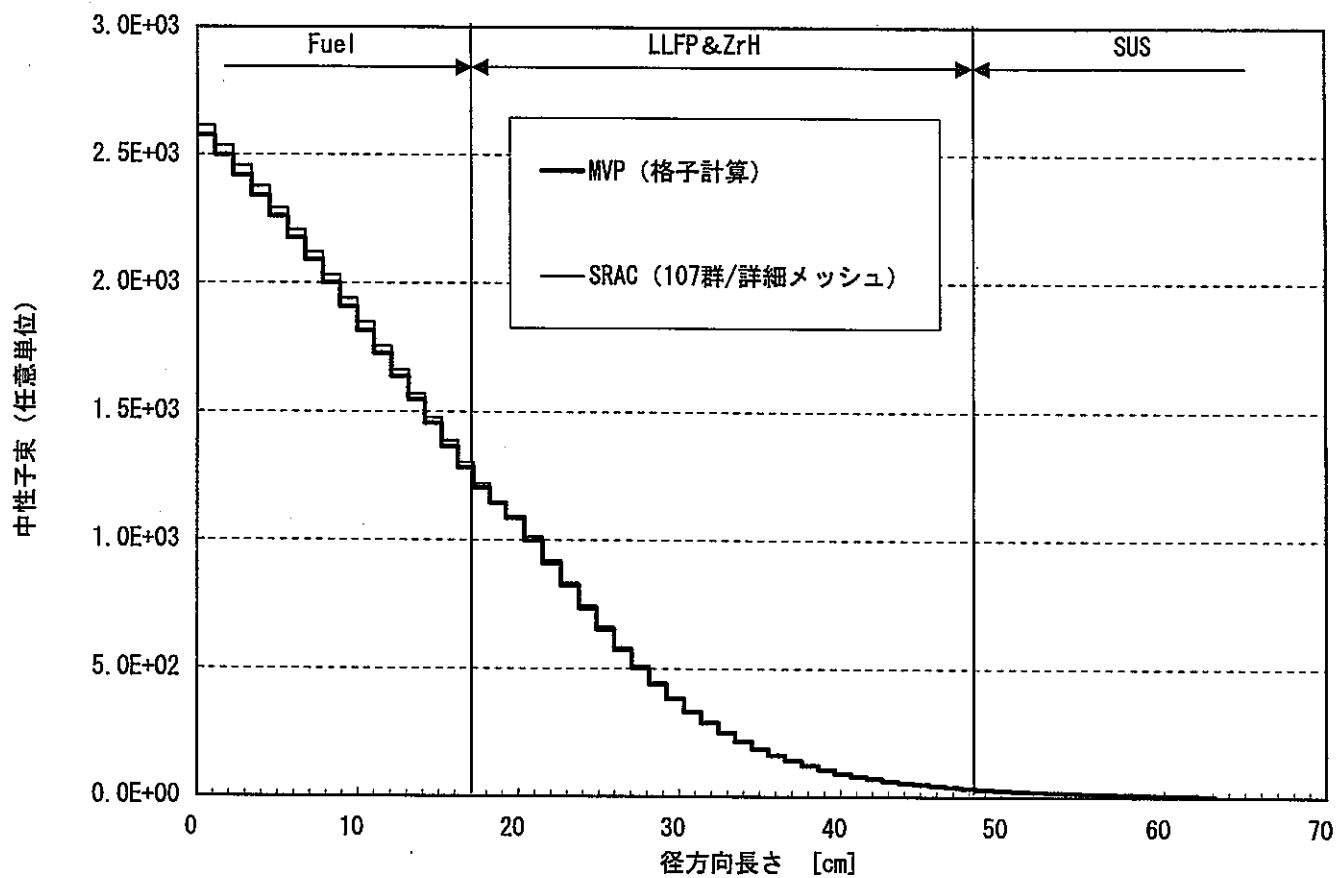


図5.1 中性子束の径方向分布 (SRACとMVPの比較)

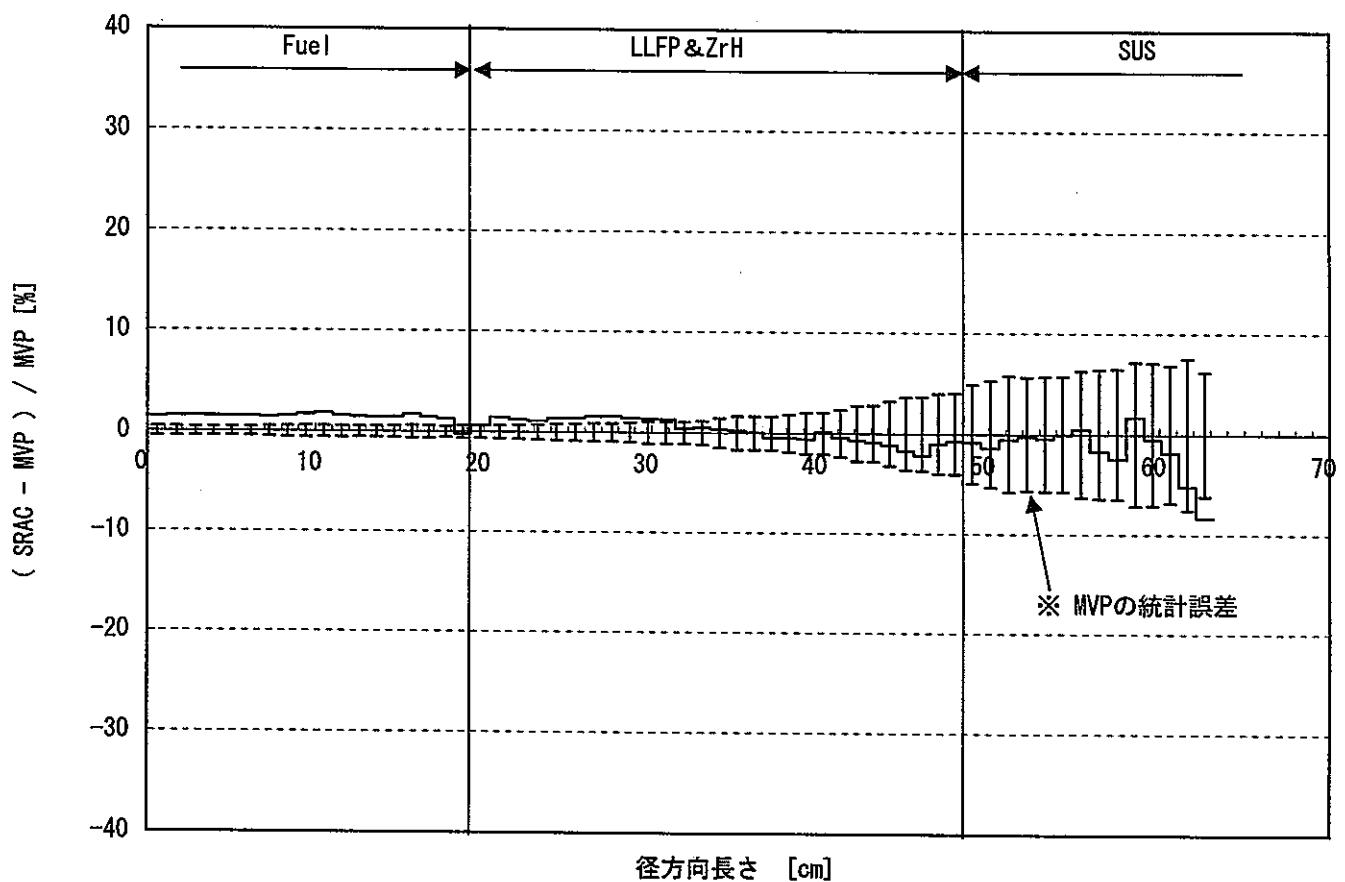
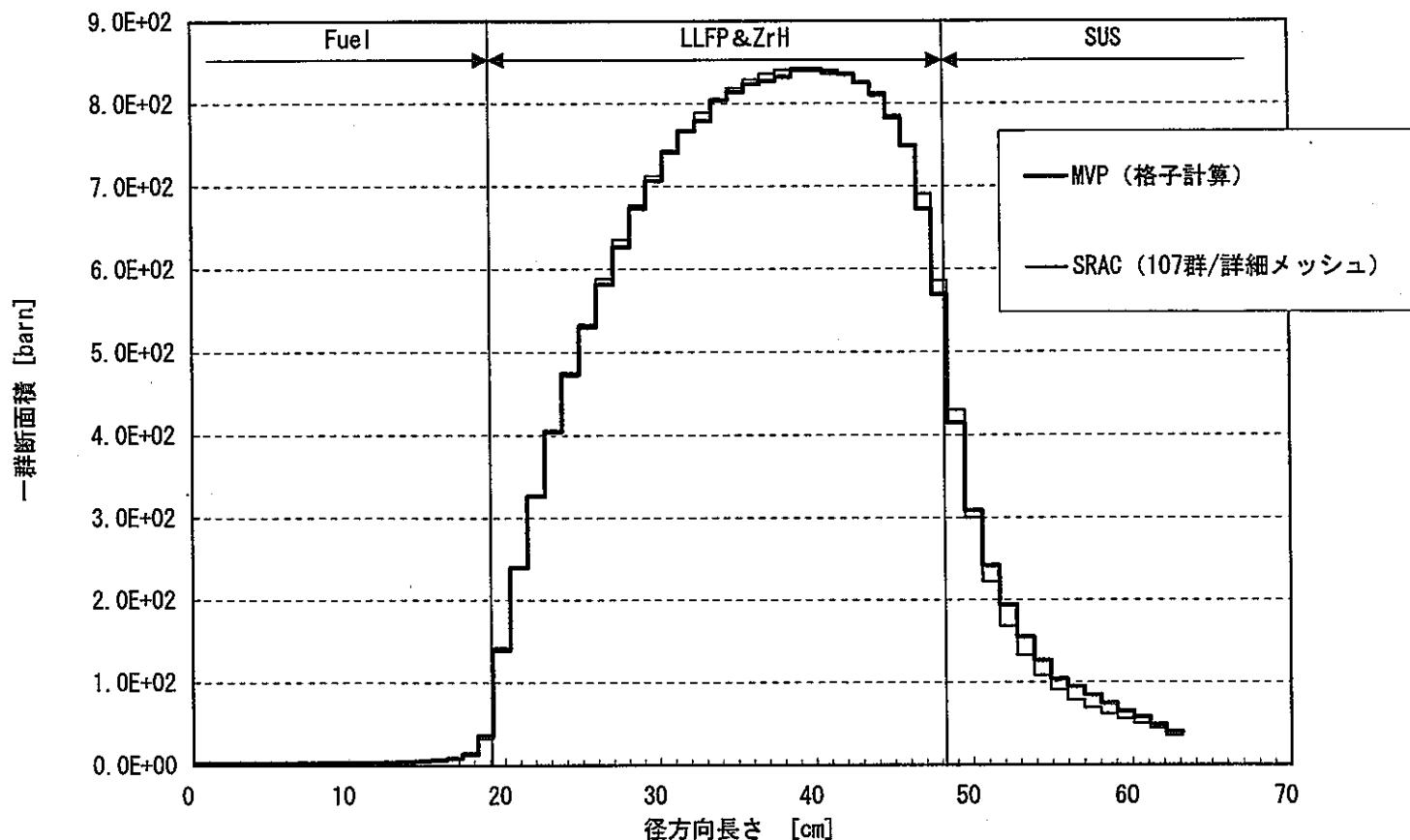
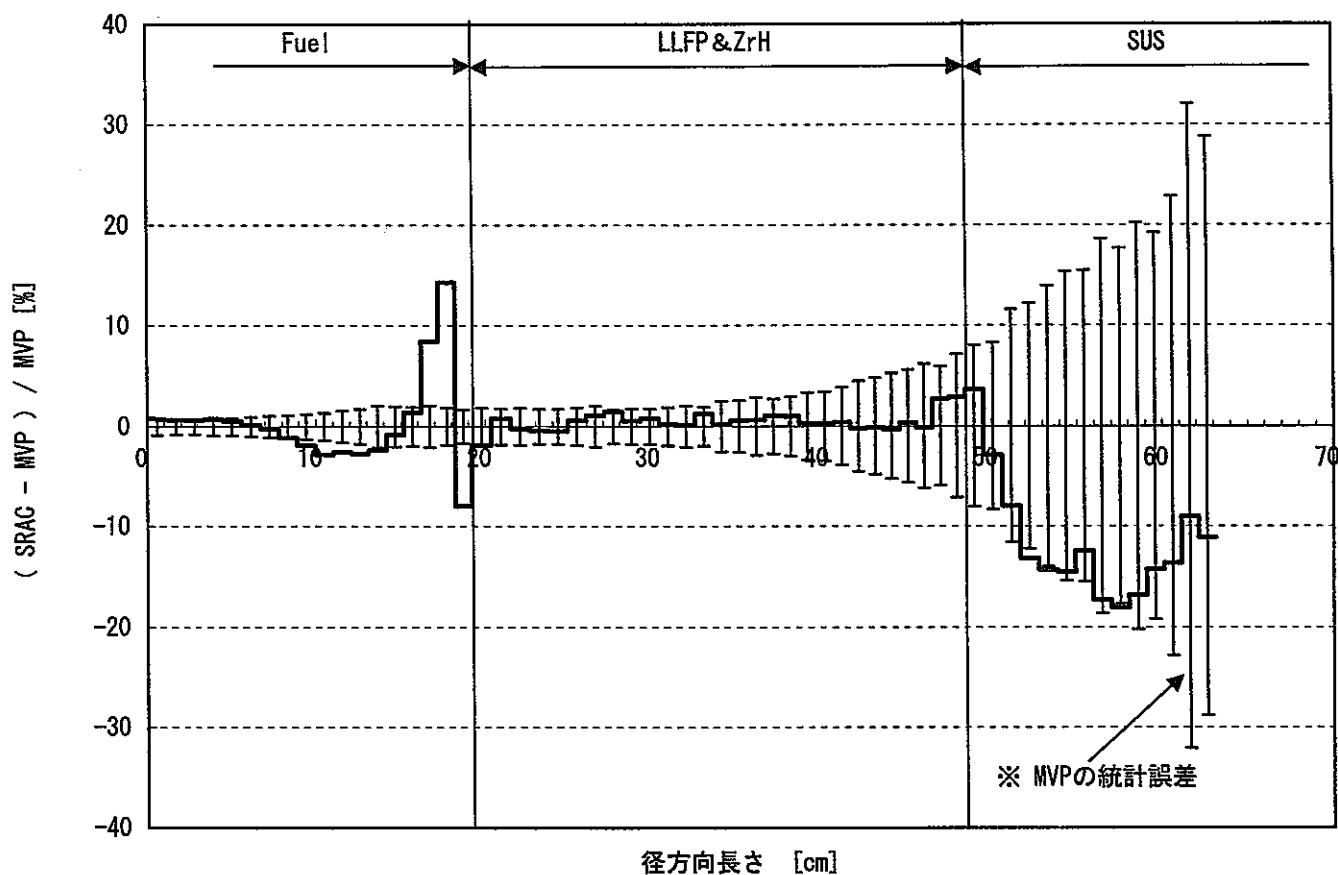


図5.2 中性子束の径方向分布 (SRACとMVPの相対差)

図5.3  $^{10}\text{B}$ 一群吸収断面積の径方向分布 (SRACとMVPの比較)図5.4  $^{10}\text{B}$ 一群吸収断面積の径方向分布 (SRACとMVPの相対差)

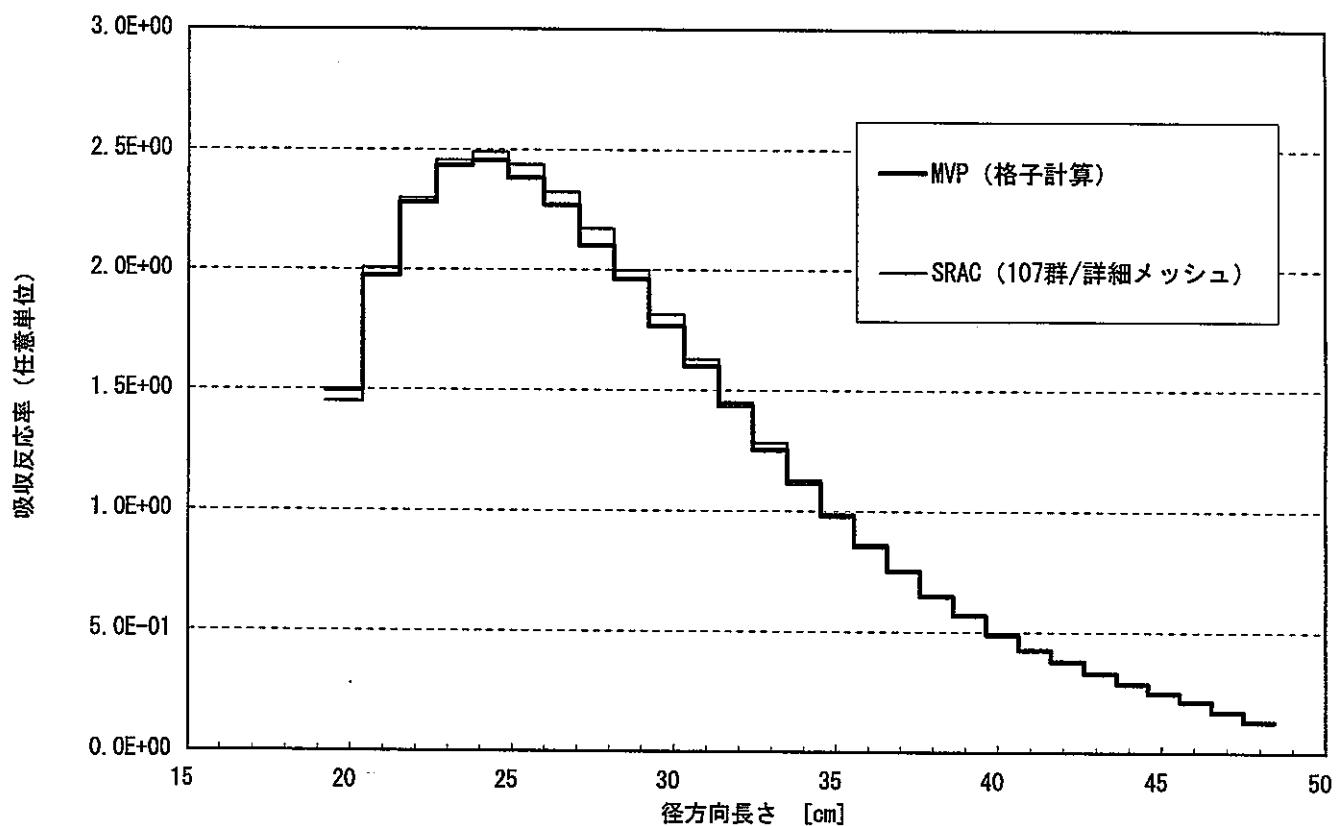


図5.5 LLFPターゲット領域における<sup>129</sup>I一群吸収反応率の径方向分布  
(SRACとMVPの比較)

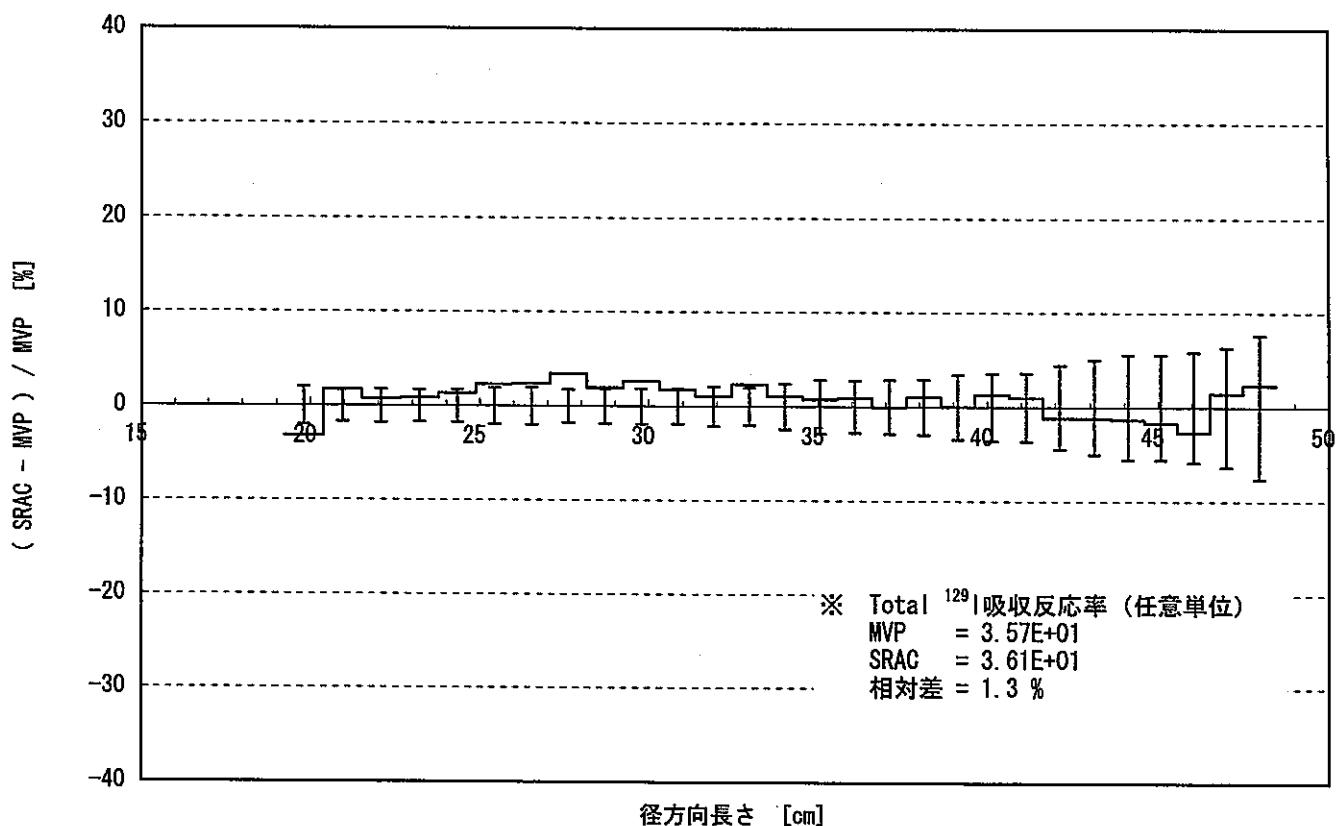


図5.6 LLFPターゲット領域における<sup>129</sup>I一群吸収反応率の径方向分布  
(SRACとMVPの相対差)

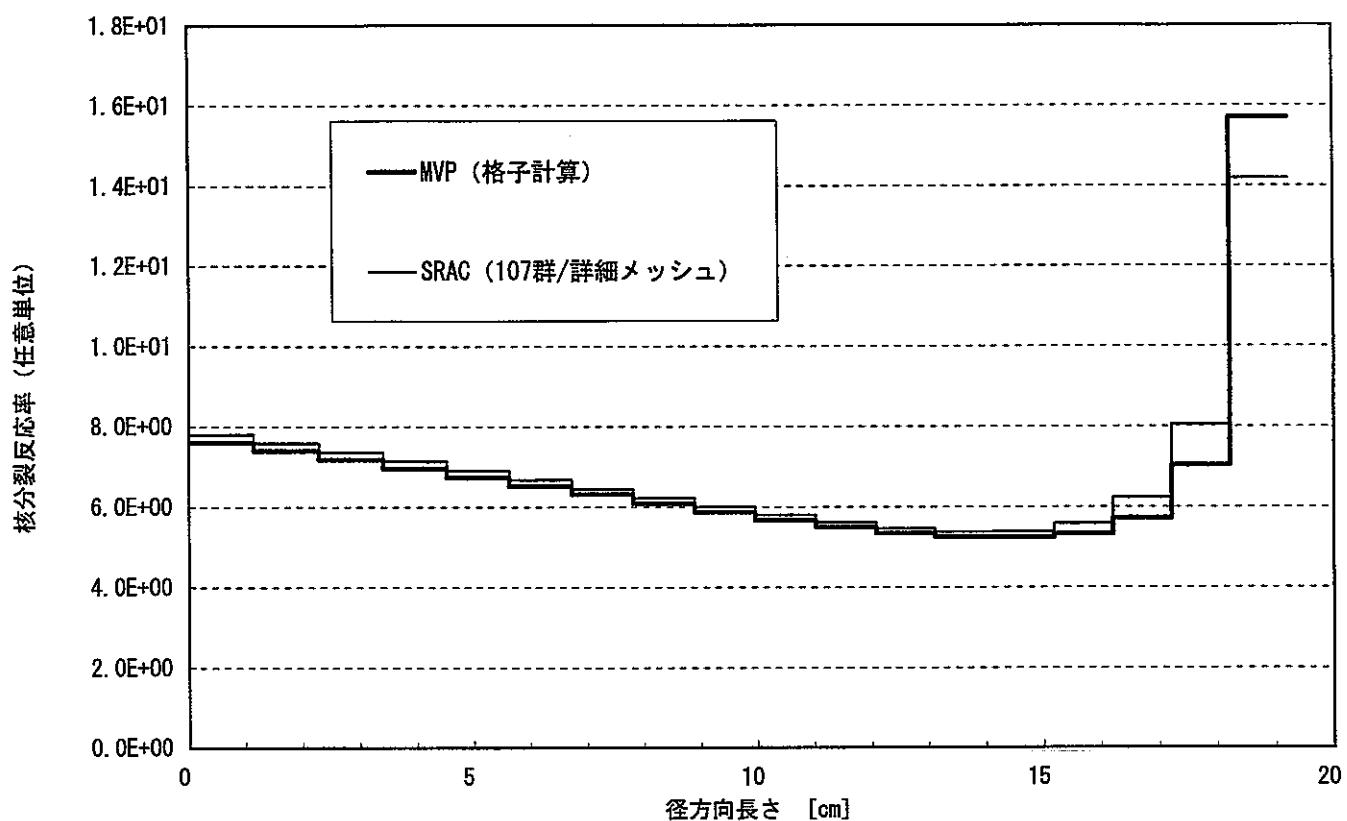


図5.7 炉心燃料領域における一群核分裂反応率の径方向分布  
(SRACとMVPの比較)

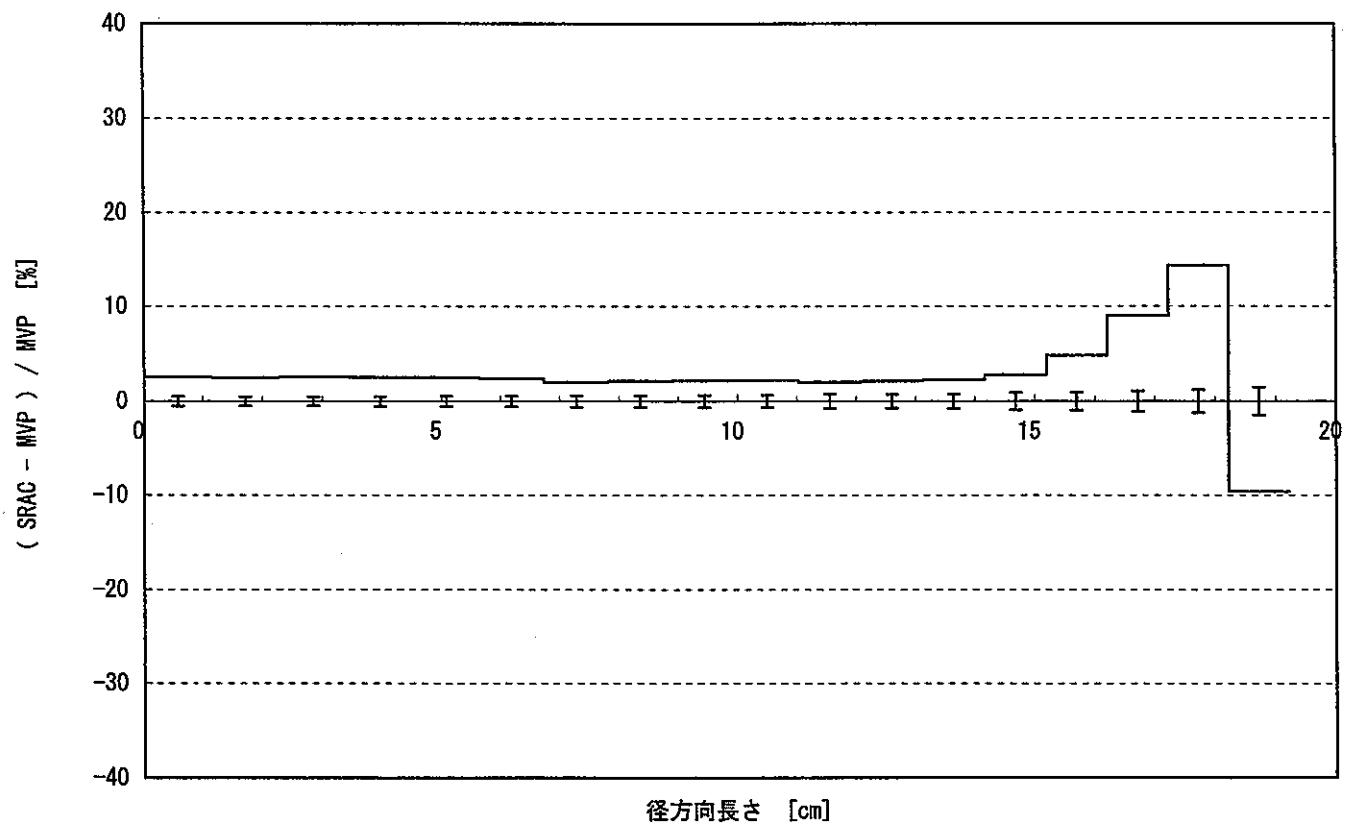
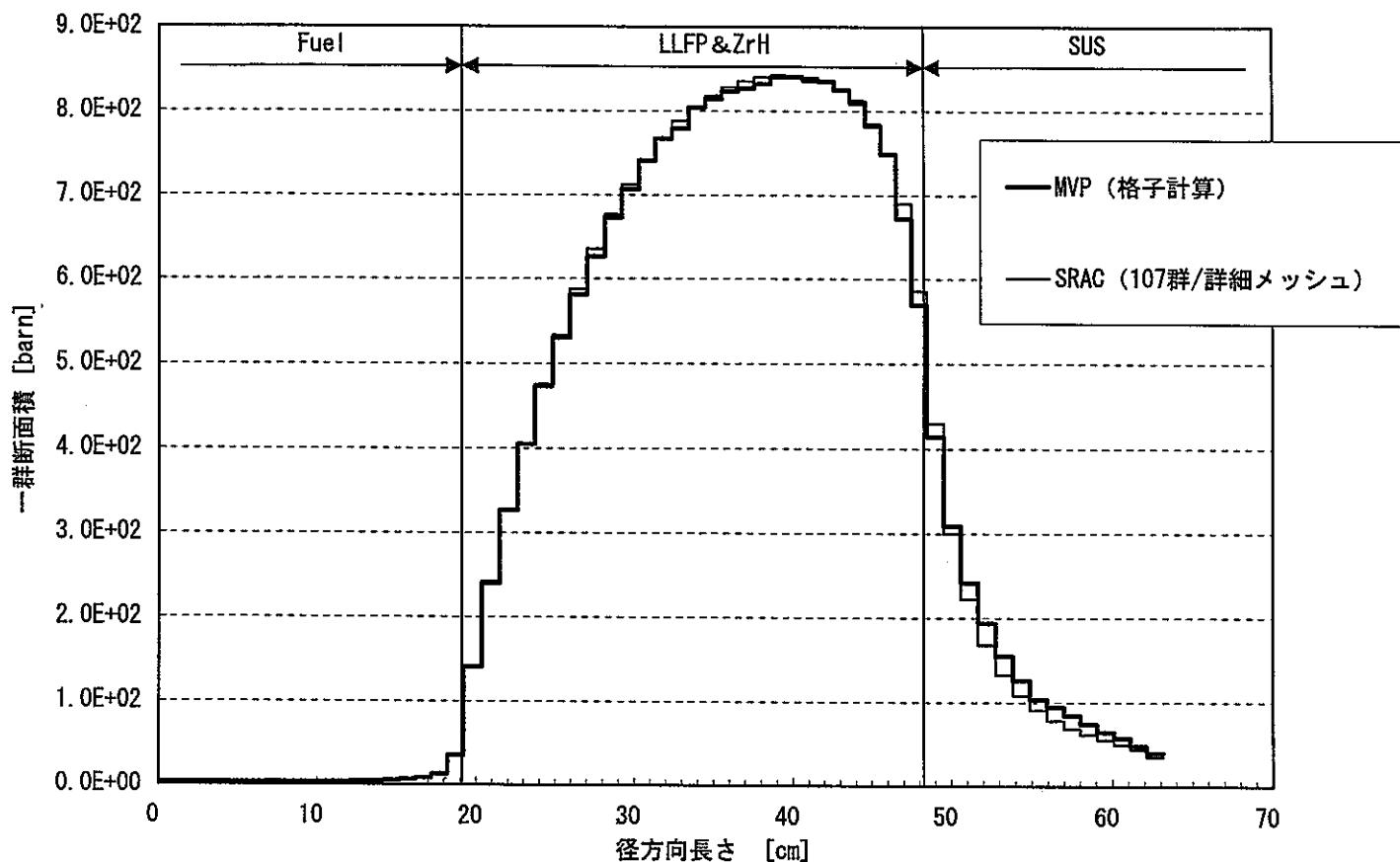
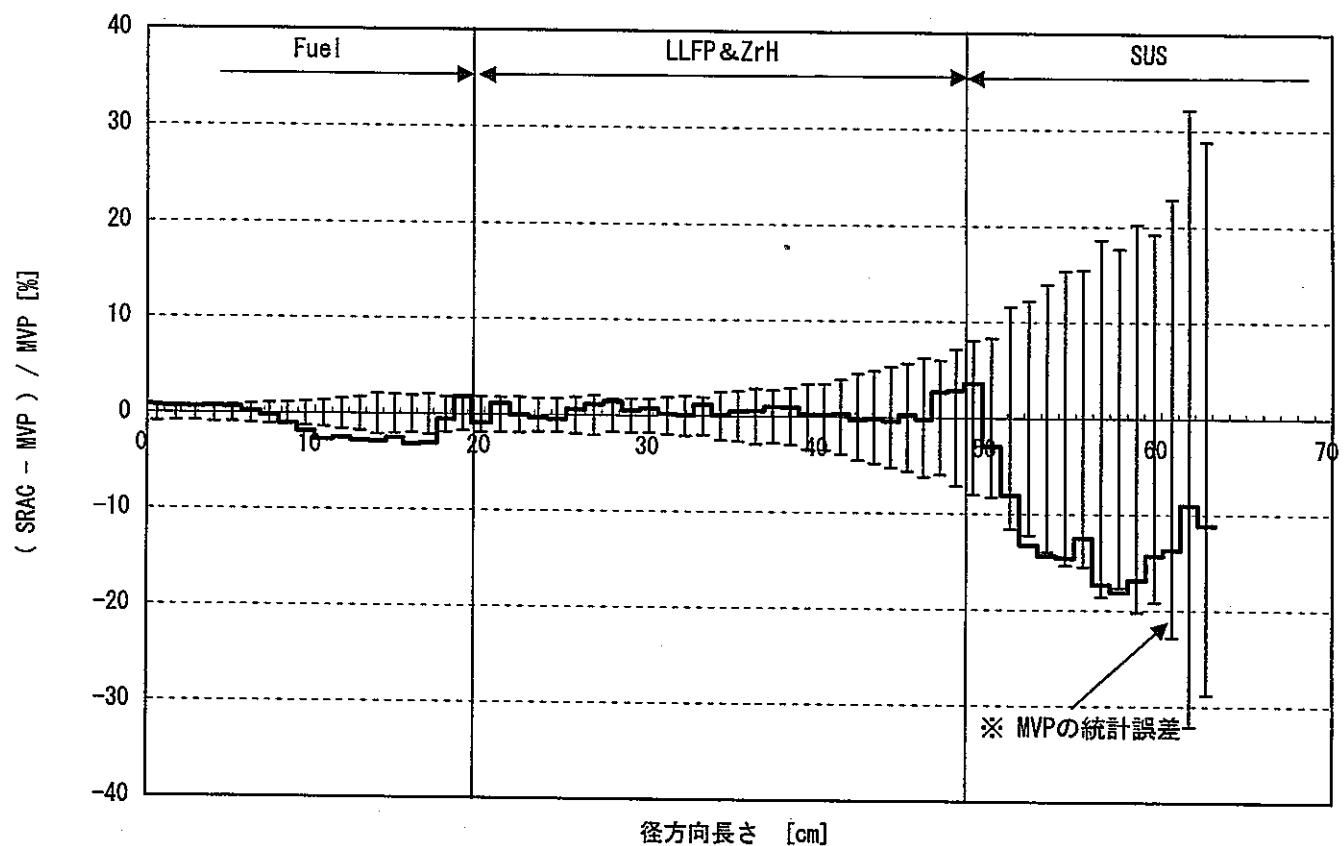


図5.8 炉心燃料領域における一群核分裂反応率の径方向分布  
(SRACとMVPの相対差)

図5.9  $^{10}\text{B}$ 一群吸収断面積の径方向分布（メッシュ分割詳細化の効果）図5.10  $^{10}\text{B}$ 一群吸収断面積の径方向分布  
(メッシュ分割詳細化の効果、SRACとMVPの相対差)

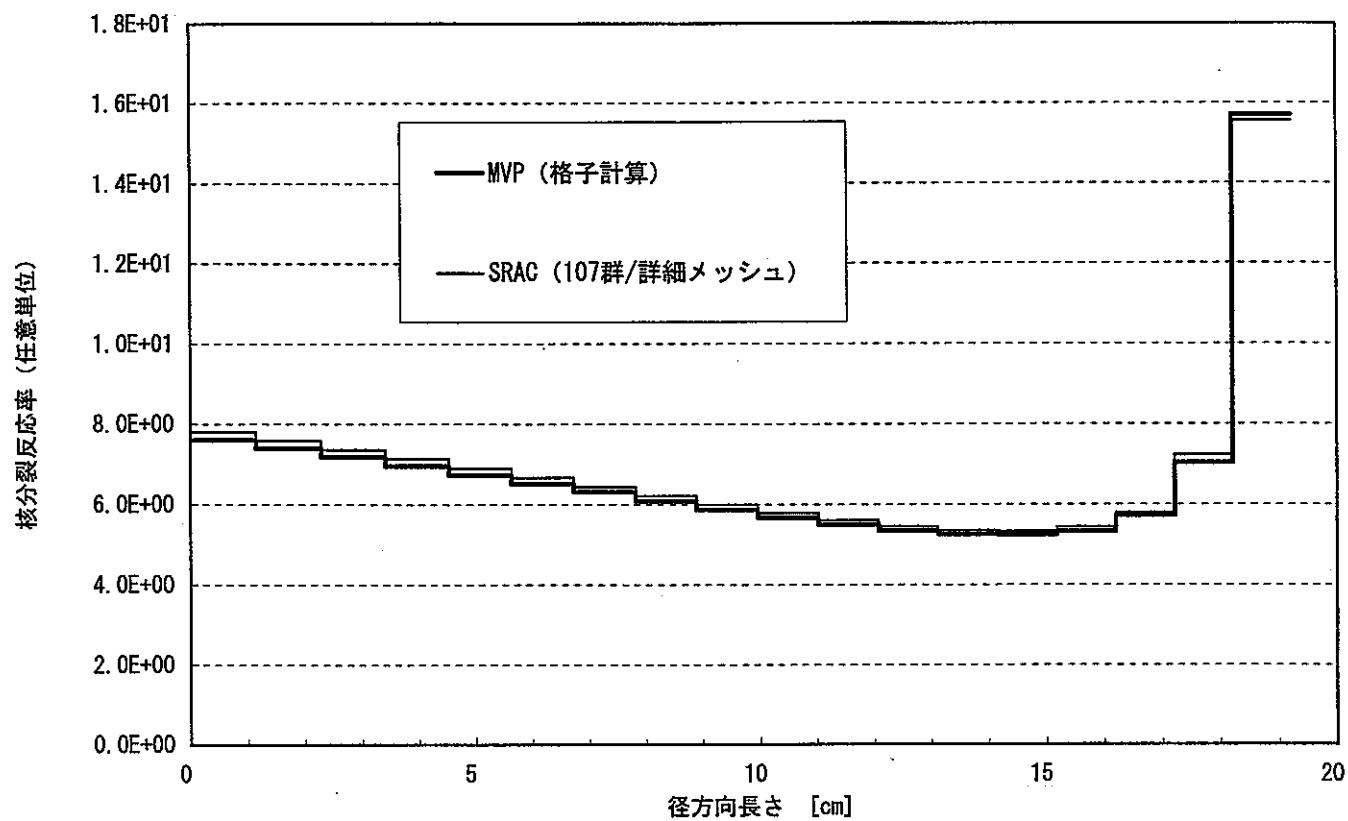


図5.11 炉心燃料領域における一群核分裂反応率の径方向分布  
(メッシュ分割詳細化の効果)

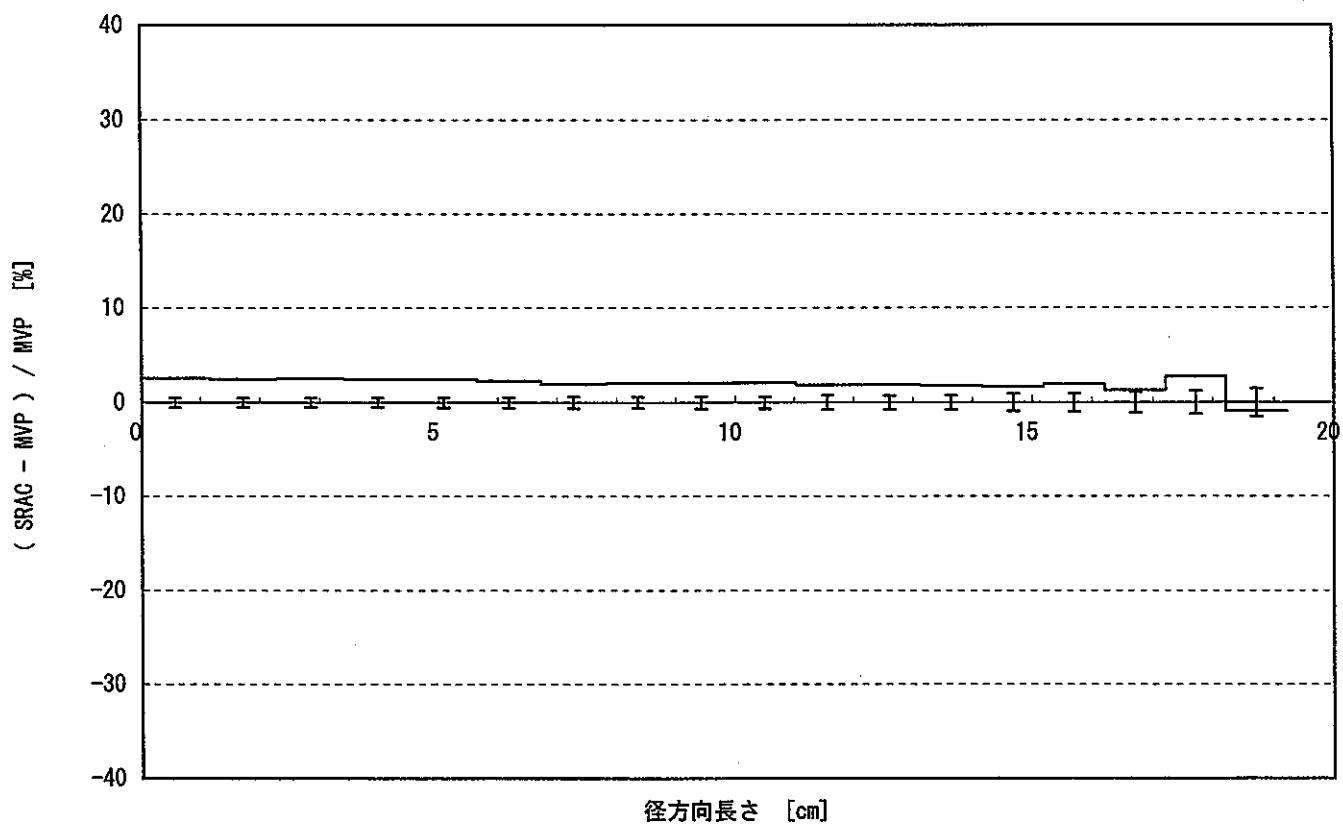


図5.12 炉心燃料領域における一群核分裂反応率の径方向分布  
(メッシュ分割詳細化の効果、SRACとMVPの相対差)

#### 4.3 エネルギー群の縮約・空間メッシュの平均化

SRAC の詳細格子計算（107 群・詳細メッシュ分割）をレファレンスとし、エネルギー群の縮約及び空間メッシュの平均化を行った。スーパーセル内の中性子束及び中性子スペクトルの空間的変化、LLFP 核変換率、炉心燃料領域の局所出力ピークについて詳細計算結果との比較を行う。

##### (1) エネルギー群の縮約

詳細計算結果と「18 群・詳細メッシュ」の計算結果の比較を以下にまとめると。

- 中性子束の空間変化の比較を図 6.1 及び図 6.2 に示す。燃料領域は良く一致している。LLFP ターゲット領域及び SUS 領域では、詳細計算と最大 4%程度の相違がみられる。
- 中性子スペクトルの空間変化の比較を図 6.3 及び図 6.4 に示す。詳細計算と比べると、2%以内で一致している。
- $^{129}\text{I}$  吸収反応率の空間分布の比較を図 6.5 及び図 6.6 に示す。SUS 領域との境界にかけて詳細計算との相違が増加し、最大約 4%の相違となっている。これは、前述の中性子束の過大評価に起因する。なお、 $^{129}\text{I}$  ターゲット内総吸収反応率を比べると、相違の生じている部分は吸収反応率分布の山のすそ野にあたる部分のため、全体に与える影響は小さくなり、詳細計算結果とよく一致する結果となっている。
- 炉心燃料領域における核分裂反応率の空間分布の比較を図 6.7 及び図 6.8 に示す。局所出力ピーク発生部及びその他の領域においても良く一致している。

エネルギー群の縮約により影響が出るのは、LLFP ターゲット領域及び SUS 領域の中性子束の空間分布（さらに  $^{129}\text{I}$  吸収反応率分布）のみであった。

##### (2) 空間メッシュの平均化

詳細計算結果と「107 群・平均化メッシュ」の計算結果の比較を以下にまとめると。

- 中性子束の空間変化の比較を図 7.1 及び図 7.2 に示す。詳細計算と比べると、燃料領域はよく一致しているが、LLFP ターゲット領域（SUS 領域との境界附近）及び SUS 領域において約 10%の相違が見られる。

- 中性子スペクトルの空間変化の比較を図 7.3 及び図 7.4 に示す。詳細計算と比べると、LLFP ターゲット領域 (SUS 領域との境界付近) 及び SUS 領域で詳細計算との相違が大きくなる傾向が見られる。
- $^{129}\text{I}$  吸収反応率の空間分布の比較を図 7.5 及び図 7.6 に示す。詳細計算と比べると、SUS 領域に近づくにつれて最大 7%程度の相違が生じる。これは、前述の中性子束及び中性子スペクトルの相違の傾向を重ね合わせたものとなっている。なお、 $^{129}\text{I}$  ターゲット内総吸収反応率を比べると、相違の生じている部分の寄与が小さいことと正負の相違の打ち消し合いにより、詳細計算結果と 0.4%の違いでよく一致している。
- 炉心燃料領域における核分裂反応率の空間分布の比較を図 7.7 及び図 7.8 に示す。一致性は良好である。

メッシュ平均化によって、LLFP ターゲット領域から SUS 領域にかけて、中性子束の空間分布及び中性子スペクトルの空間分布の相違が増加する傾向にある。しかし、ターゲット内の LLFP 総変換率に着目すれば一致性は保たれる。また、局所出力ピークの計算精度も悪化しない。

### (3) 群縮約 + メッシュ平均化

群縮約とメッシュ平均化を同時に行つた場合の計算結果の比較を以下にまとめる。

- 中性子束の空間変化の比較を図 8.1 及び図 8.2 に示す。詳細計算と比べると、燃料領域はよく一致しているが、LLFP ターゲット領域及び SUS 領域において約 5%の相違が見られる。これは群縮約とメッシュ平均化の影響を合わせたものになっている。
- 中性子スペクトルの空間変化の比較を図 8.3 及び図 8.4 に示す。LLFP ターゲット領域から SUS 領域にかけて詳細計算との相違が大きくなる。これは主にメッシュ平均化の影響である。
- $^{129}\text{I}$  吸収反応率の空間分布の比較を図 8.5 及び図 8.6 に示す。最大 7%程度の相違となっている。 $^{129}\text{I}$  ターゲット内総吸収反応率を比べると、詳細計算結果に対し 1.4%の相違とよく一致している。

- 炉心燃料領域における核分裂反応率の空間分布の比較を図8.7及び図8.8に示す。局所出力ピーク発生部及びその他の領域において良く一致している。

以上、群縮約とメッシュ平均化それぞれに見られた影響が合わさった結果となった。評価対象を LLFP 総変換率と局所出力ピークに限れば、本検討で設定した少数组・平均化メッシュ計算でも詳細計算相当の結果が得られることがわかった。

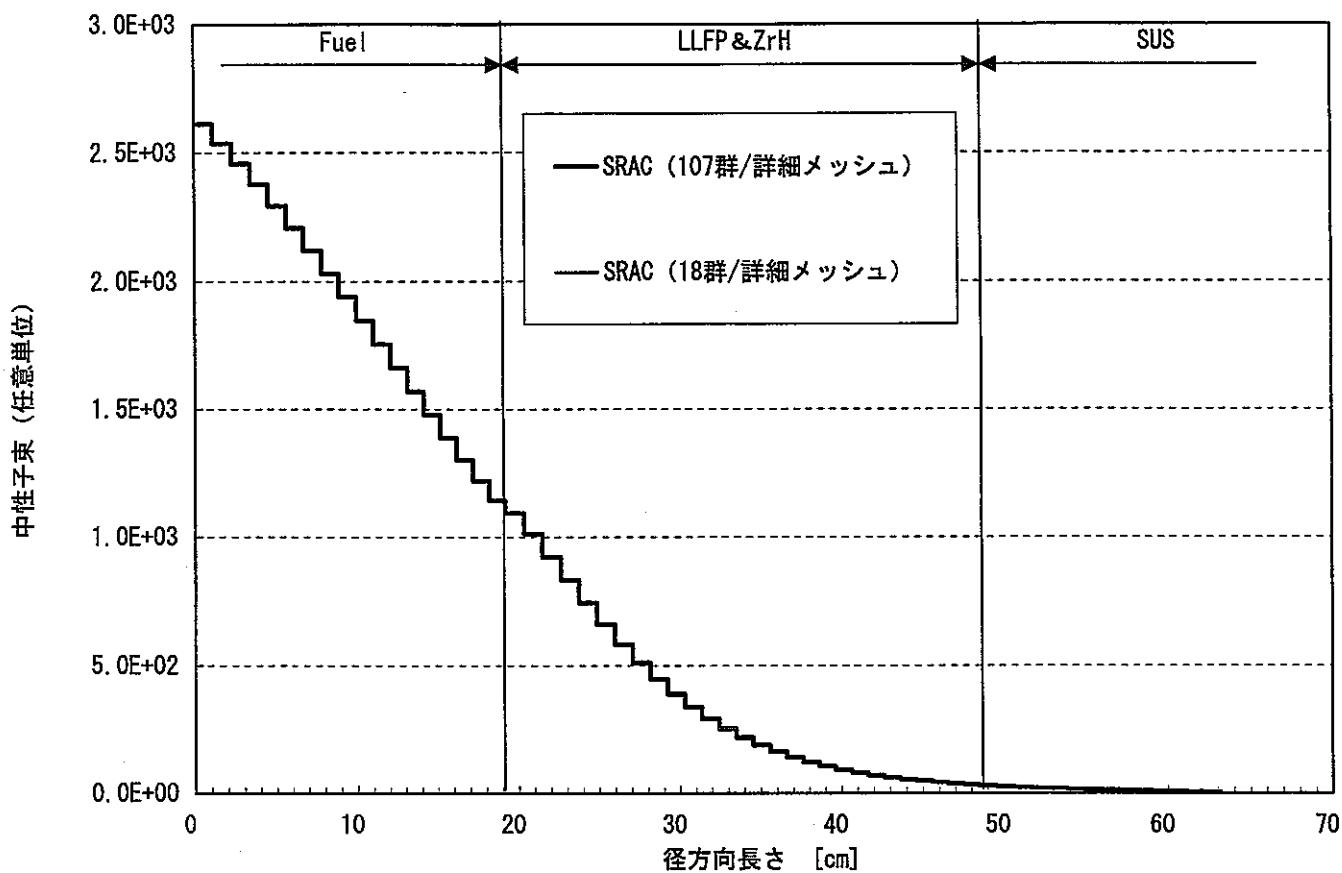


図6.1 中性子束の径方向分布（エネルギー群の縮約）

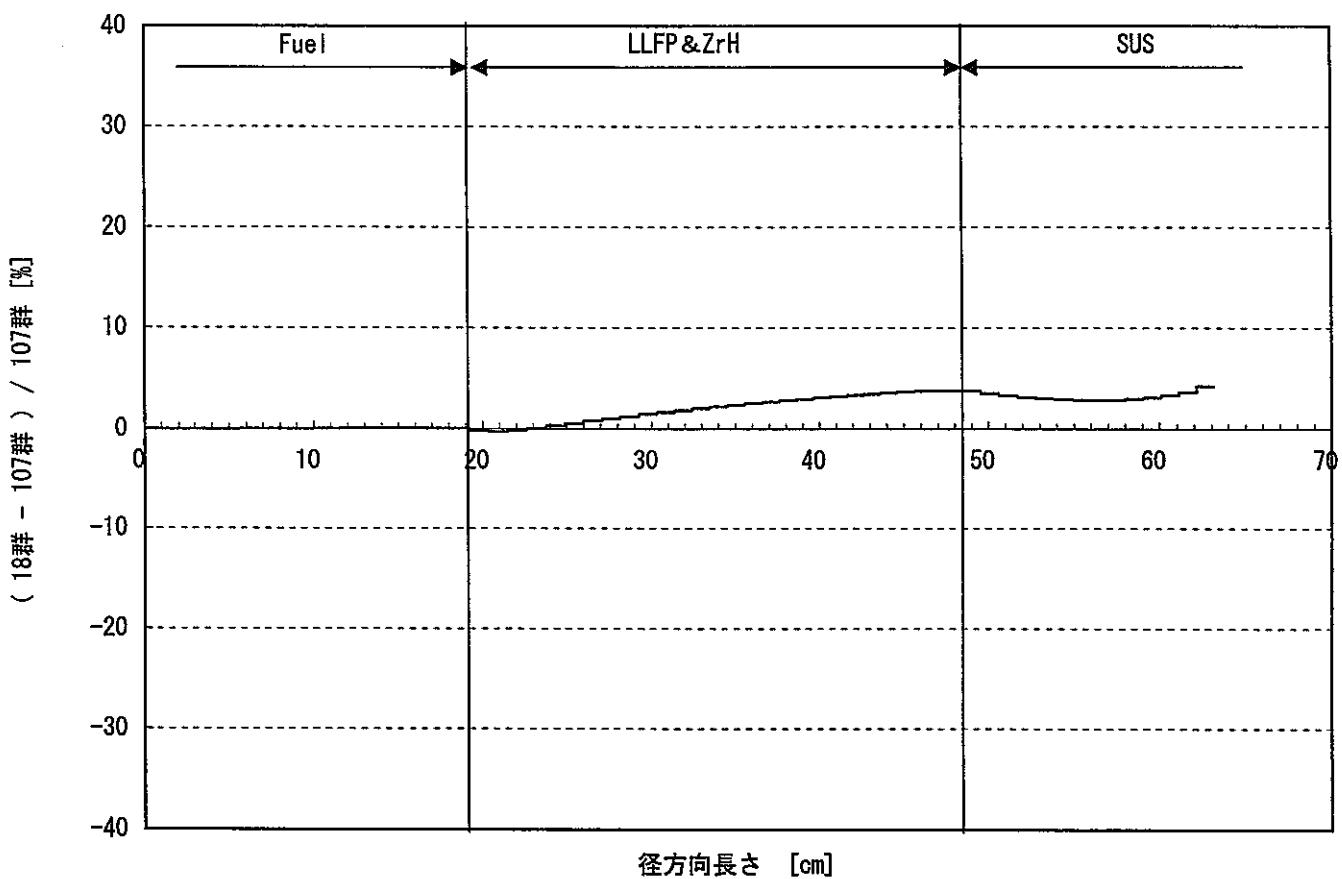
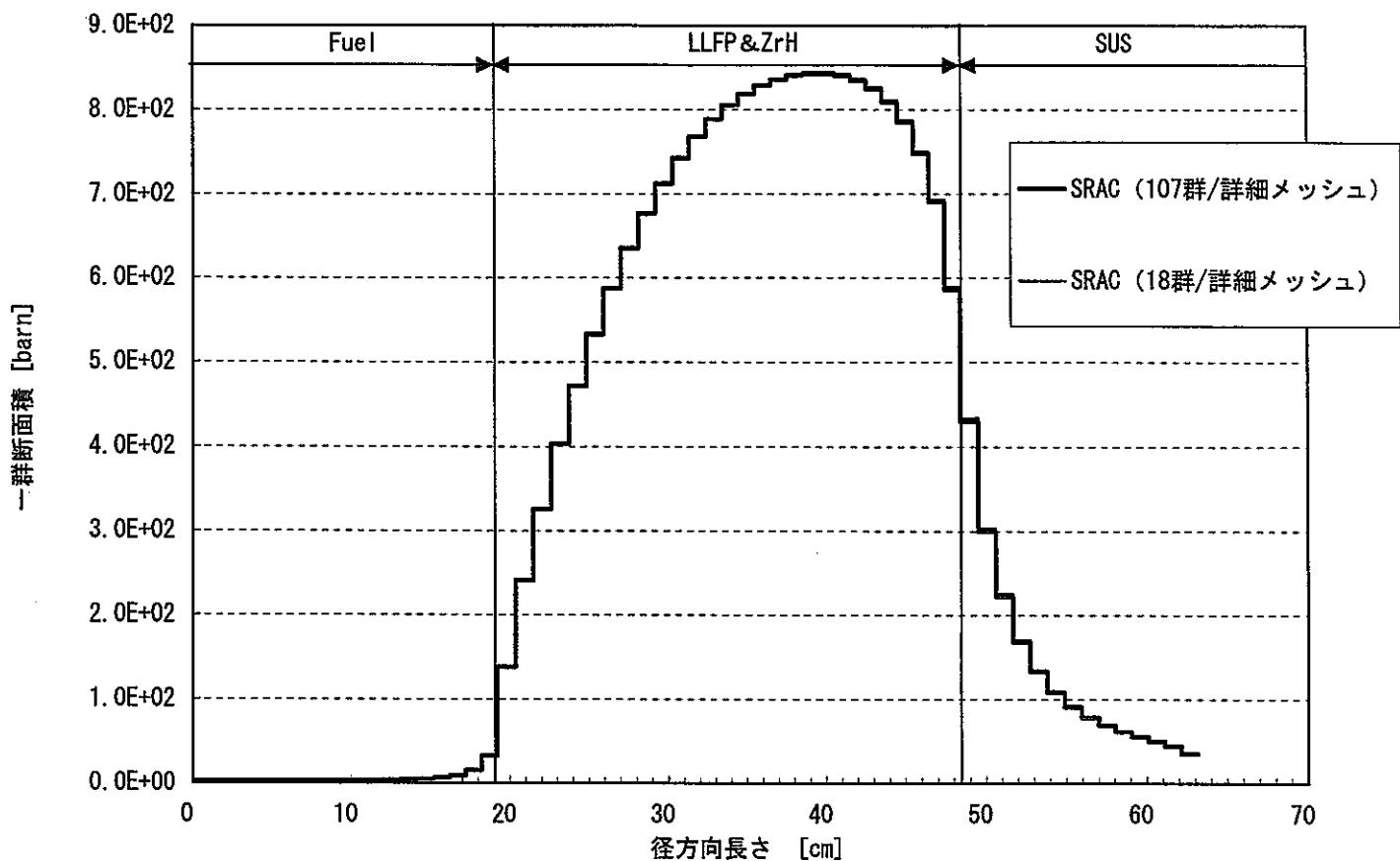
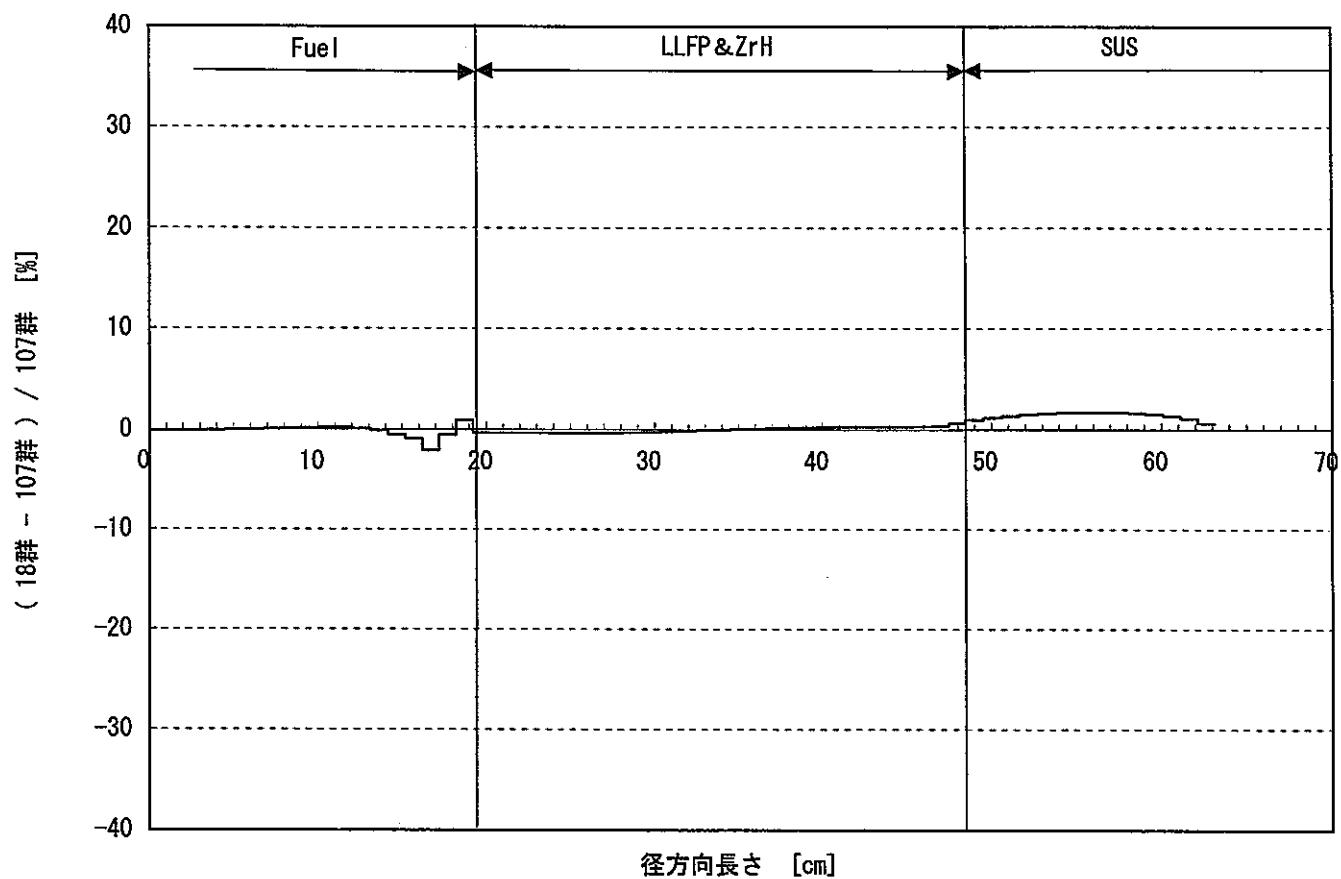


図6.2 中性子束の径方向分布（107群計算と18群計算の相対差）

図6.3  $^{10}\text{B}$ 一群吸収断面積の径方向分布（エネルギー群の縮約）図6.4  $^{10}\text{B}$ 一群吸収断面積の径方向分布（107群計算と18群計算の相対差）

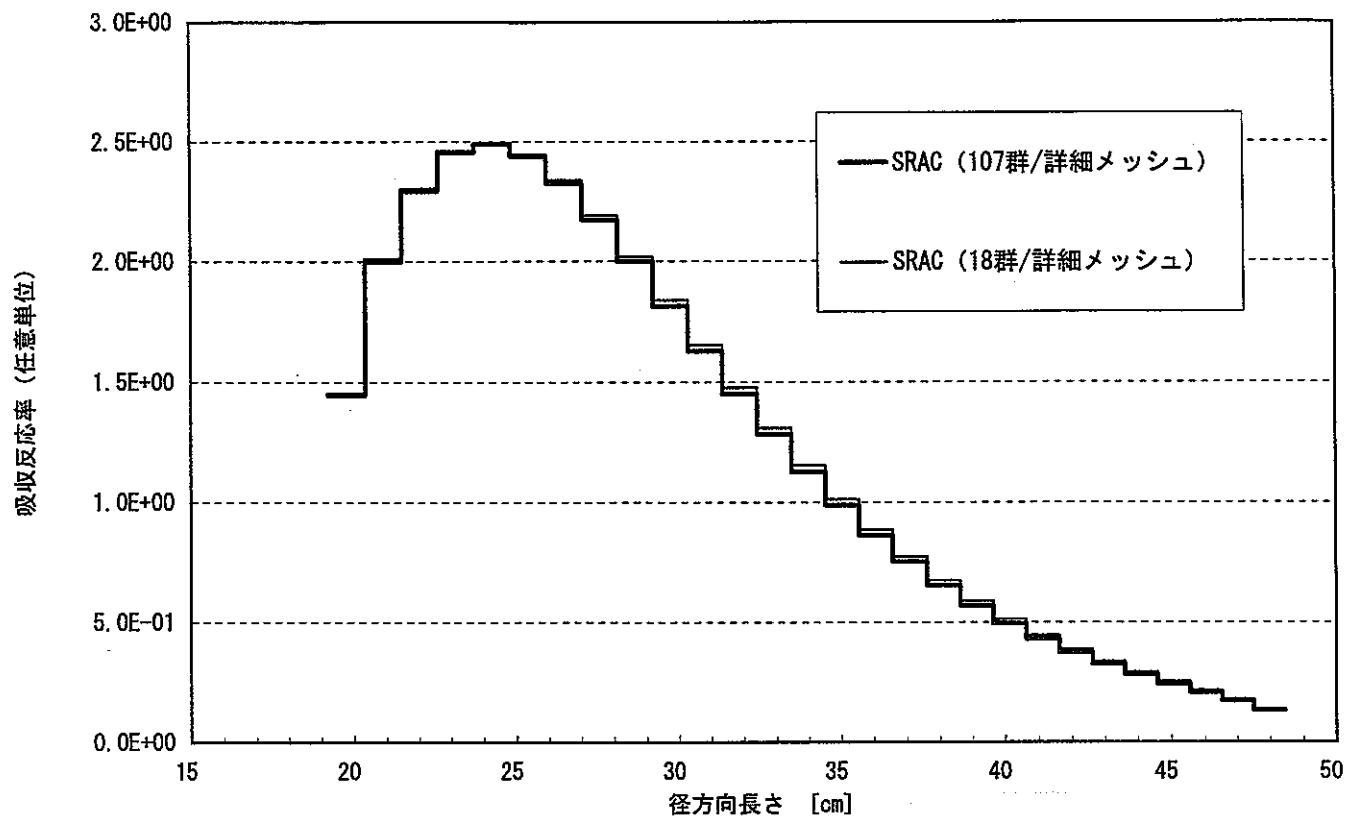


図6.5 LLFPターゲット領域における $^{129}\text{I}$ 一群吸収反応率の径方向分布  
(エネルギー一群の縮約)

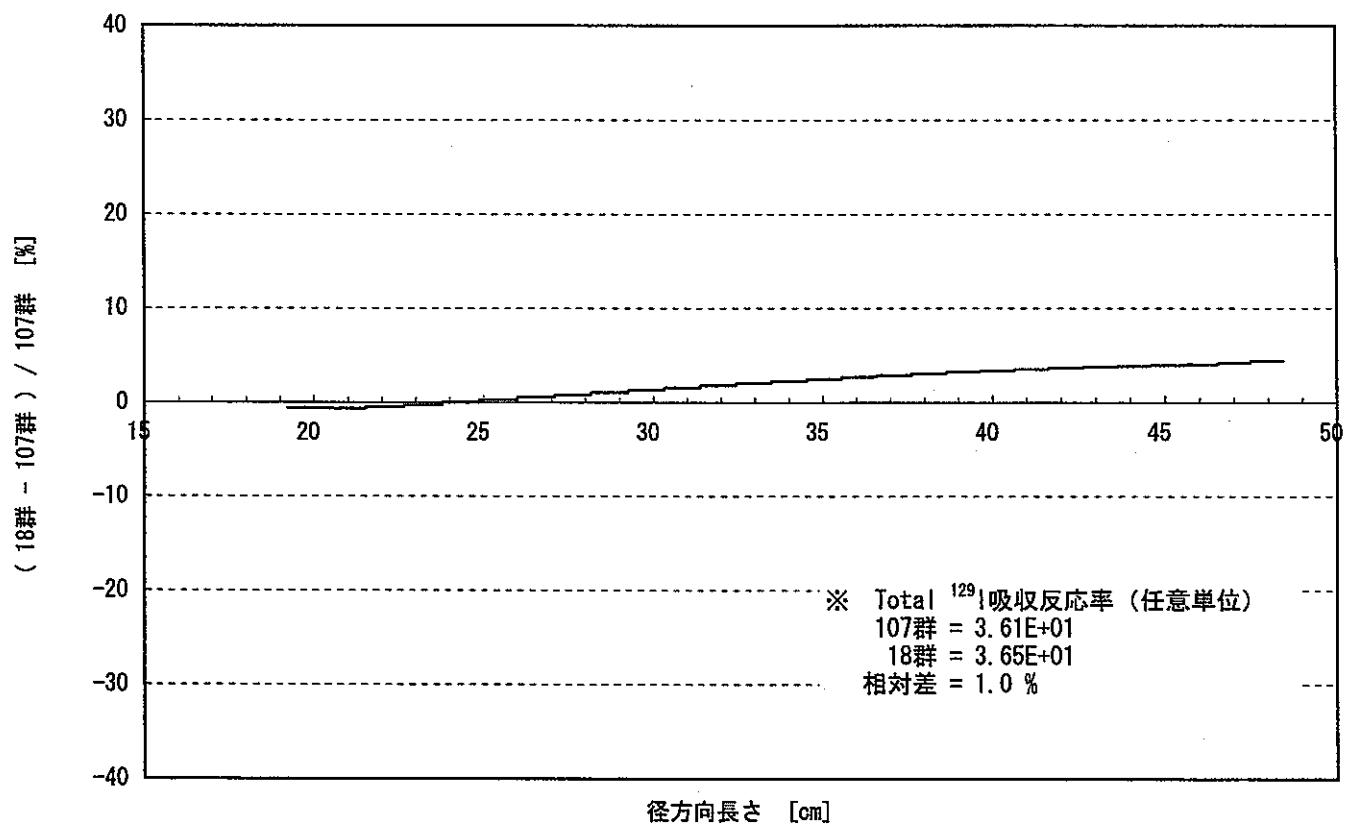


図6.6 LLFPターゲット領域における $^{129}\text{I}$ 一群吸収反応率の径方向分布  
(107群計算と18群計算の相対差)

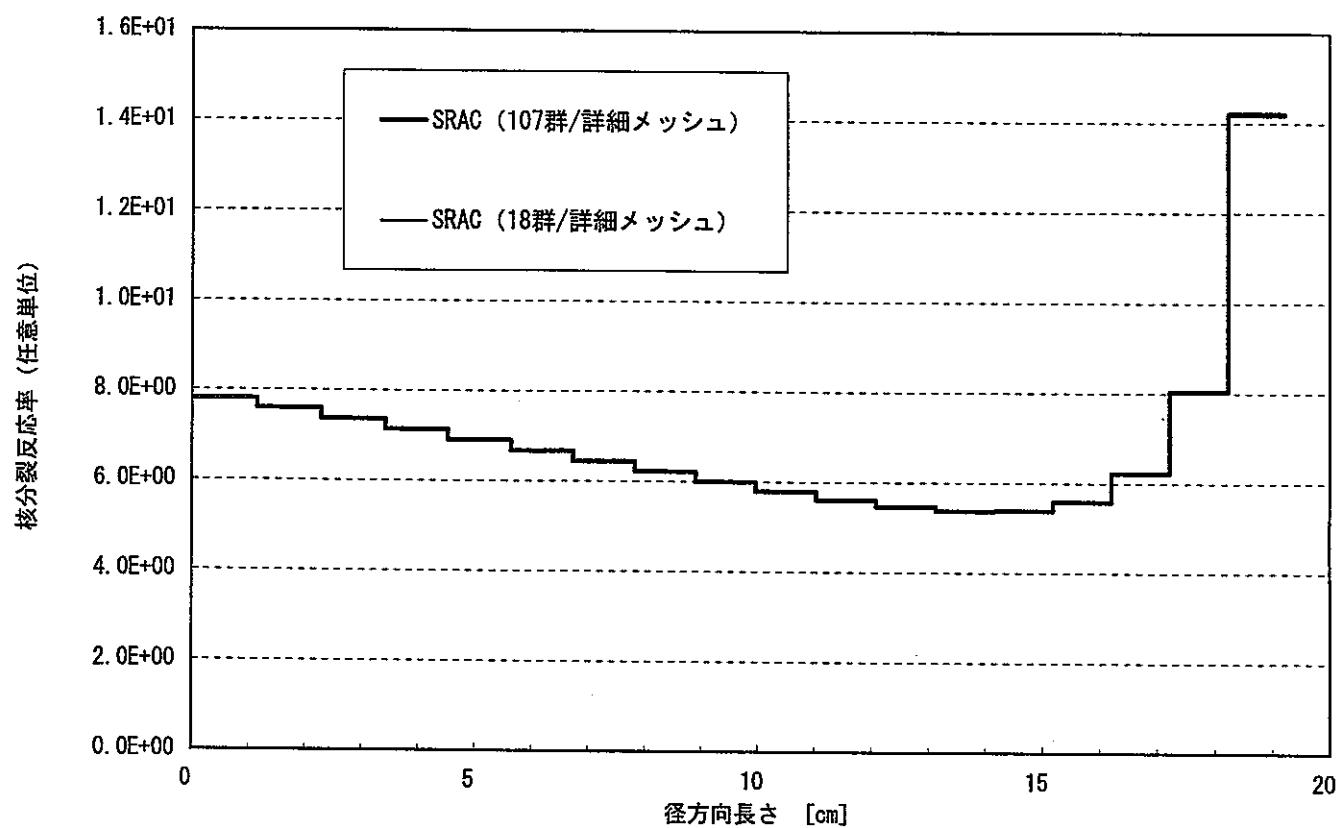


図6.7 炉心燃料領域における一群核分裂反応率の径方向分布  
(エネルギー群の縮約)

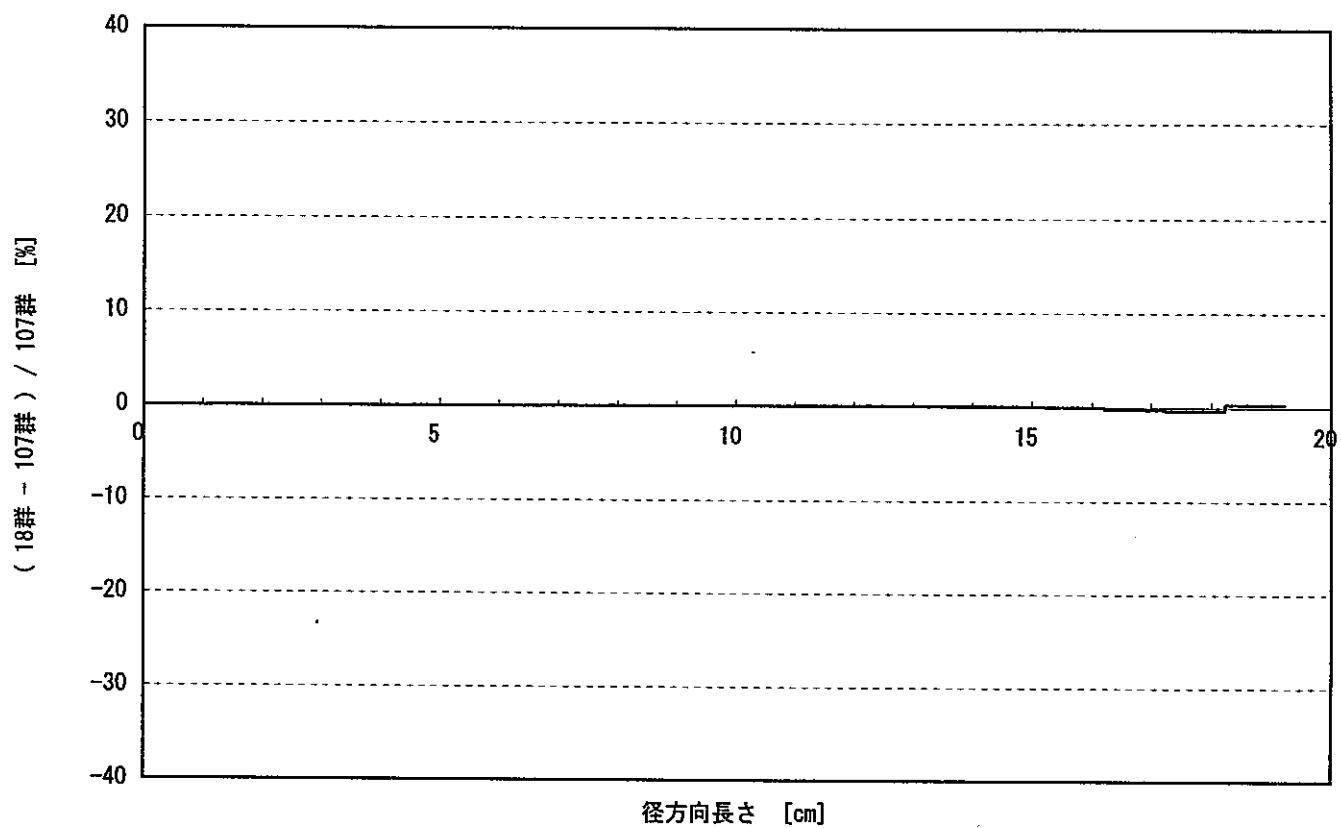


図6.8 炉心燃料領域における一群核分裂反応率の径方向分布  
(107群計算と18群計算の相対差)

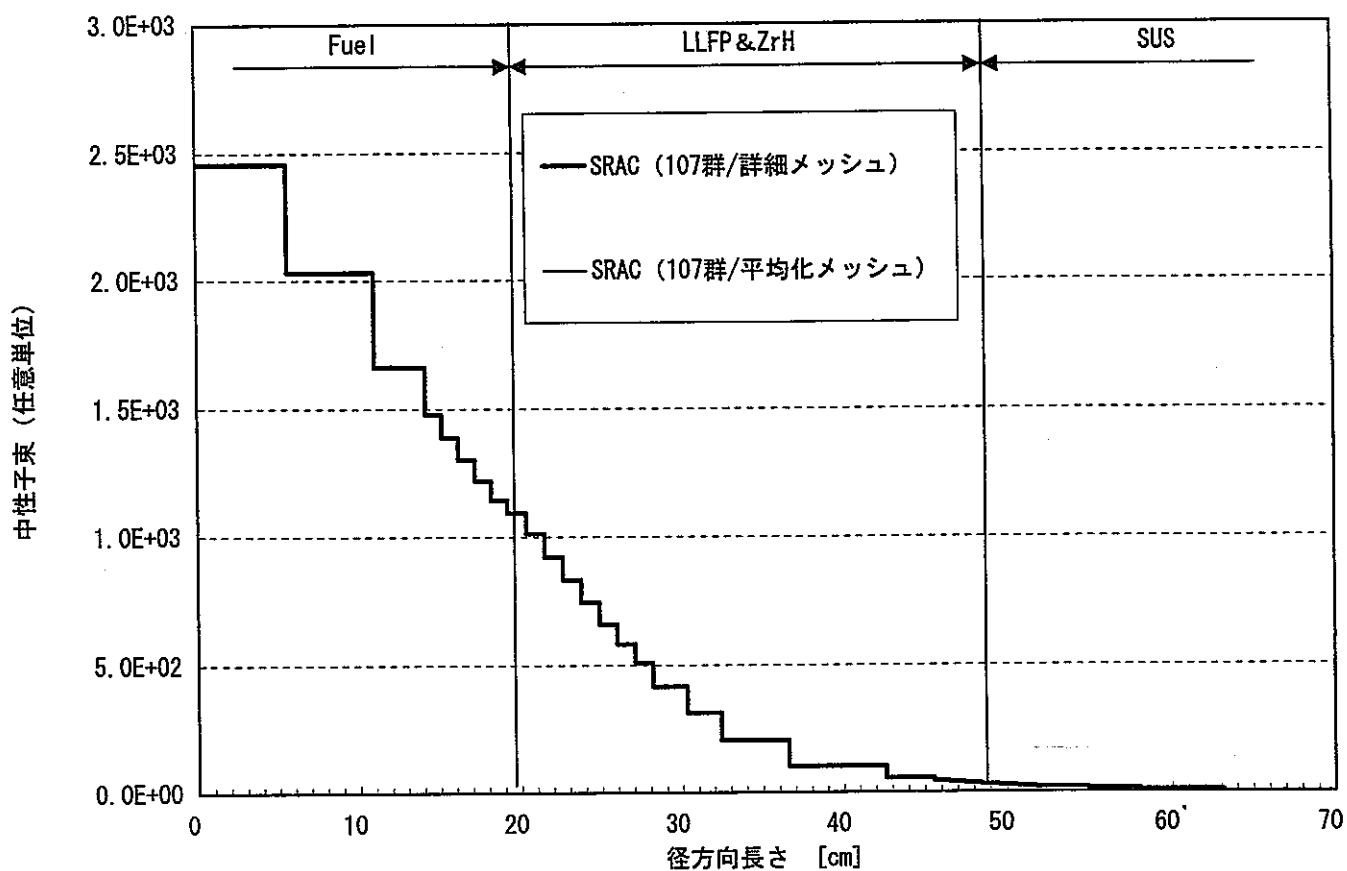


図7.1 中性子束の径方向分布（空間メッシュの平均化）

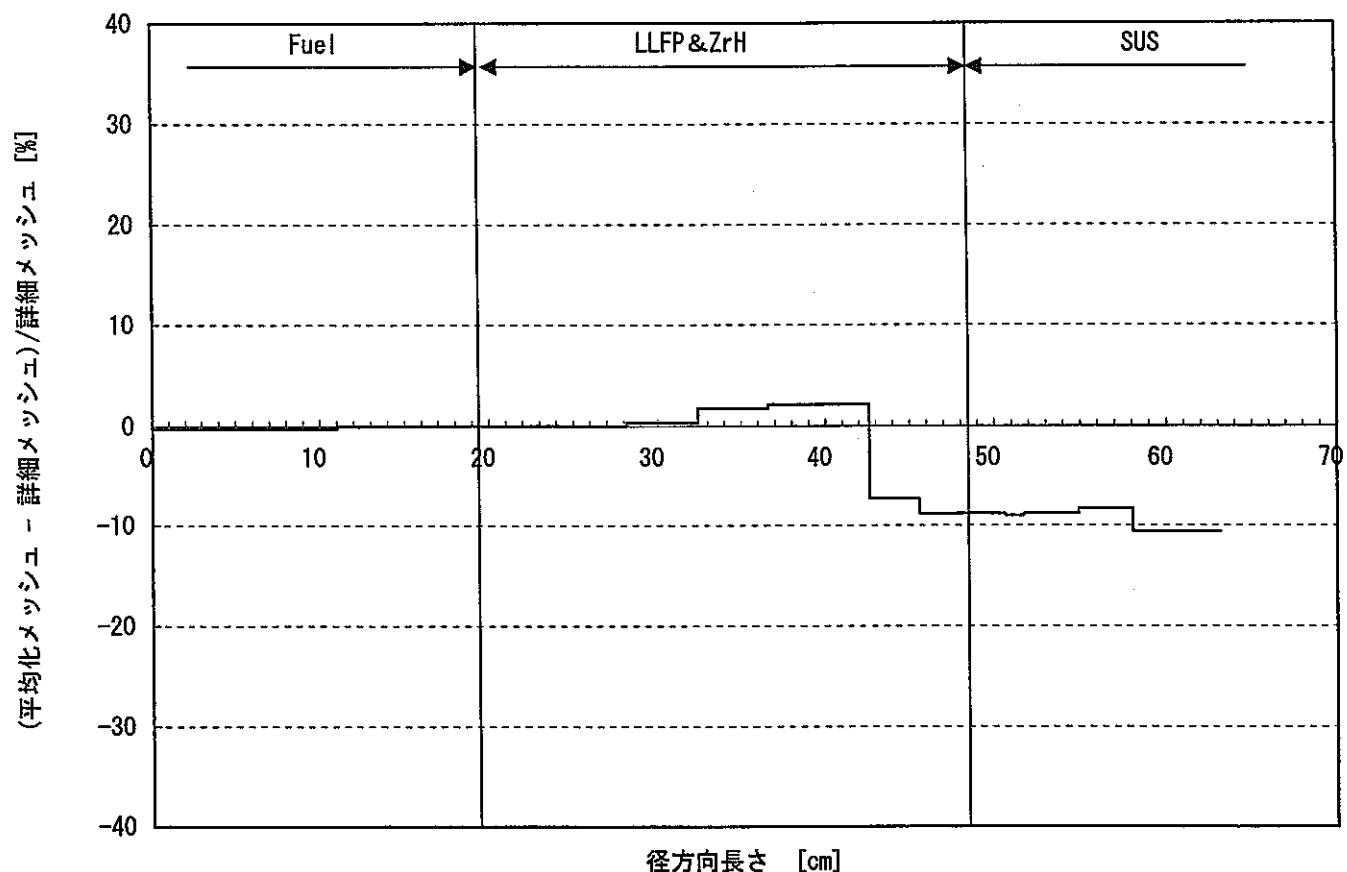
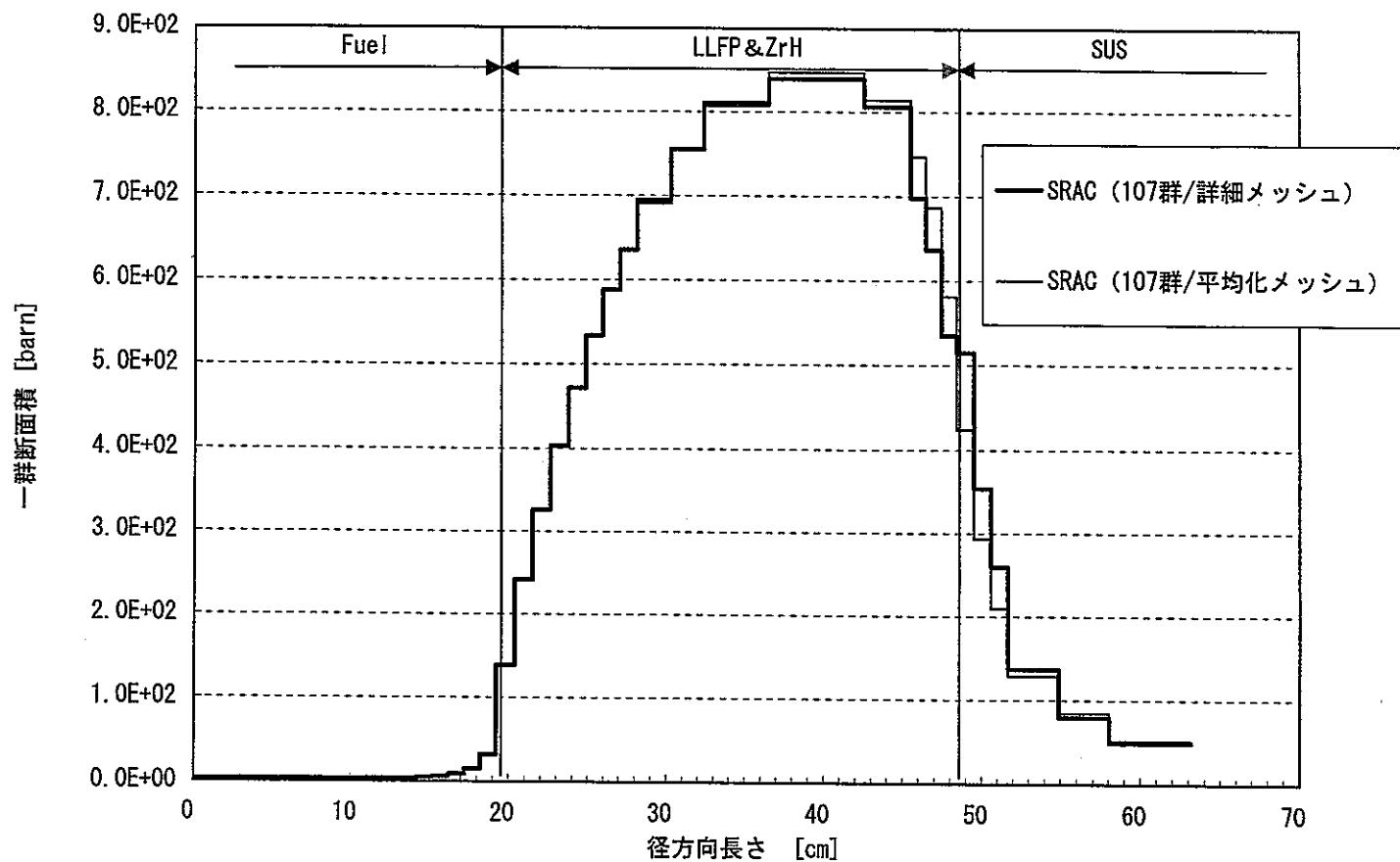
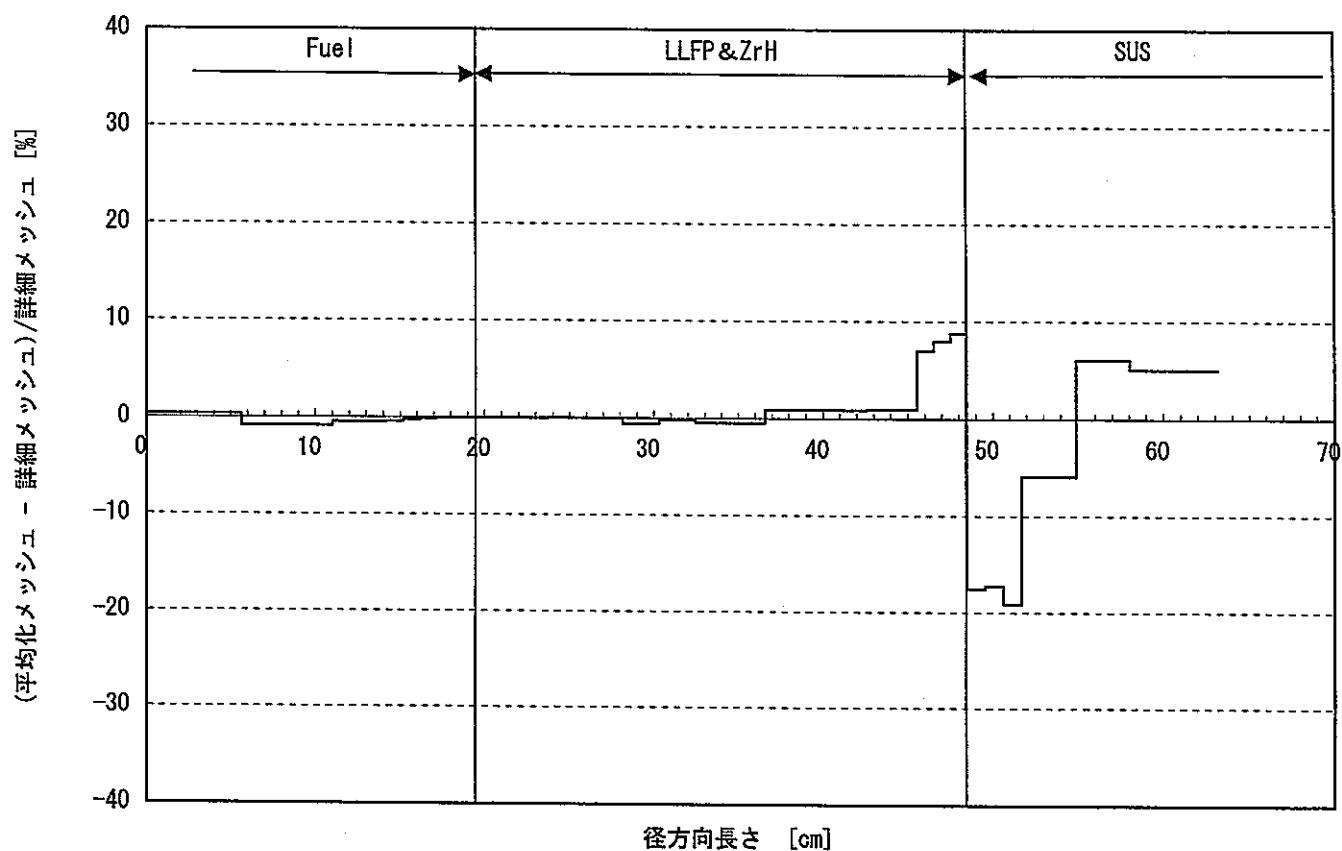


図7.2 中性子束の径方向分布（詳細メッシュ計算と平均化メッシュ計算の相対差）

図7.3  $^{10}\text{B}$ 一群吸収断面積の径方向分布（空間メッシュの平均化）図7.4  $^{10}\text{B}$ 一群吸収断面積の径方向分布  
(詳細メッシュ計算と平均化メッシュ計算の相対差)

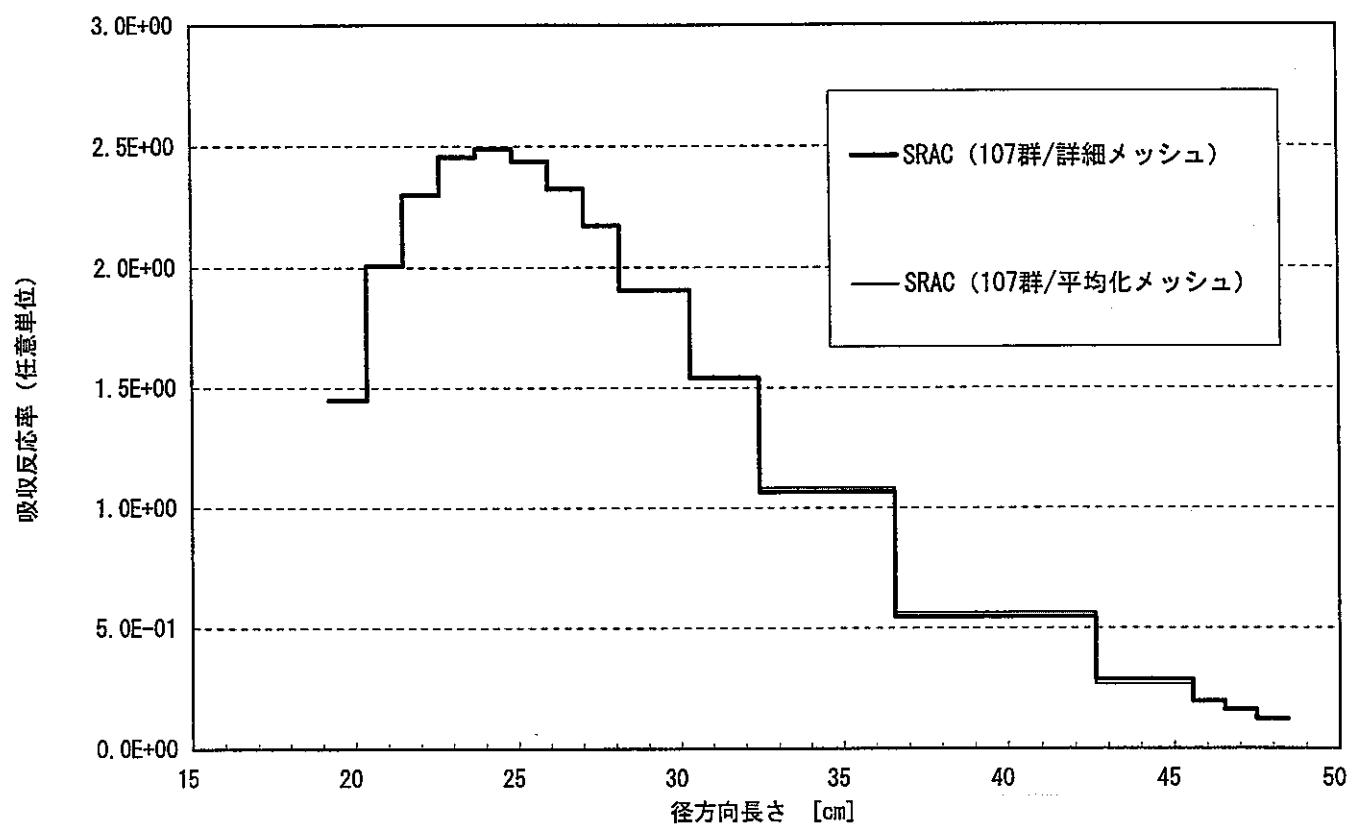


図7.5 LLFPターゲット領域における $^{129}\text{I}$ 一群吸収反応率の径方向分布  
(空間メッシュの平均化)

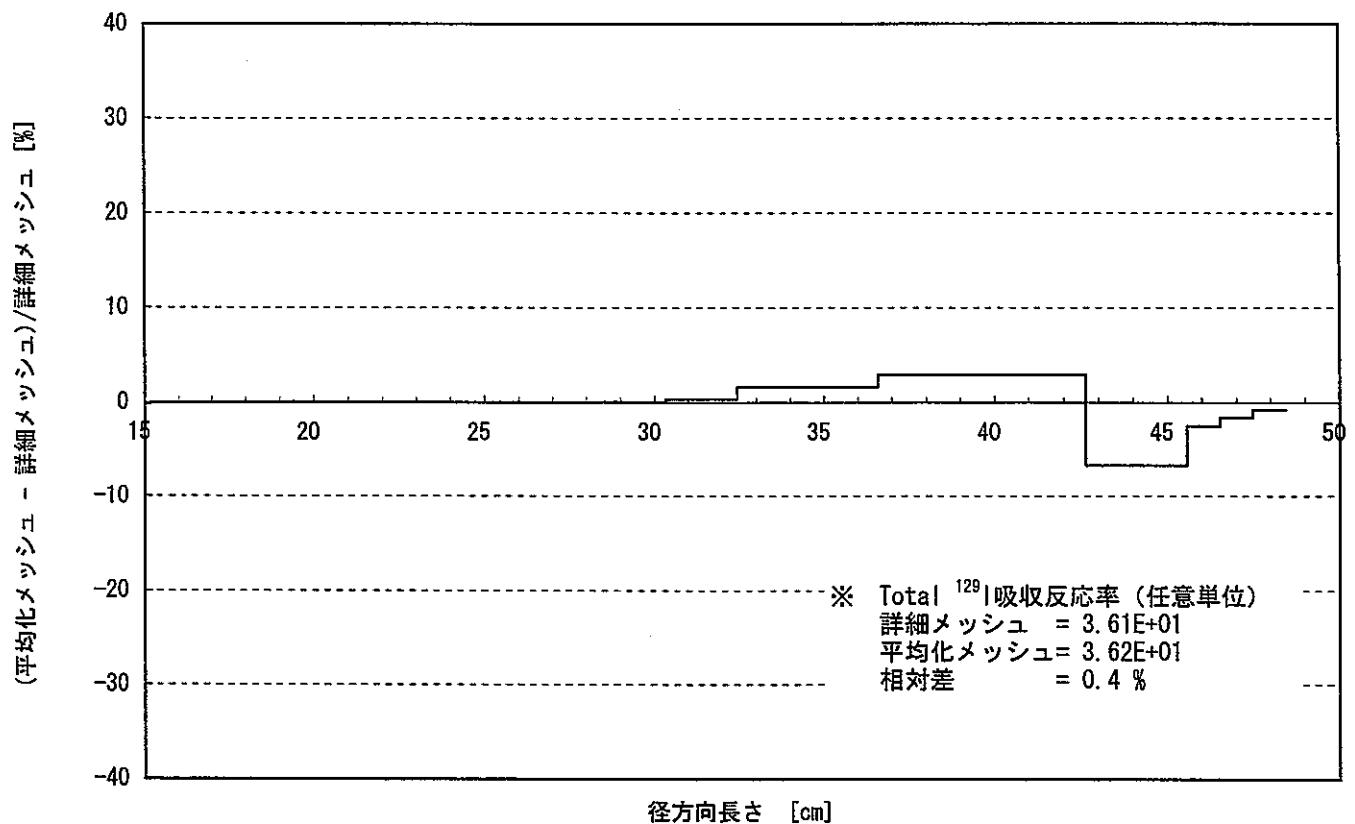


図7.6 LLFPターゲット領域における $^{129}\text{I}$ 一群吸収反応率の径方向分布  
(詳細メッシュ計算と平均化メッシュ計算の相対差)

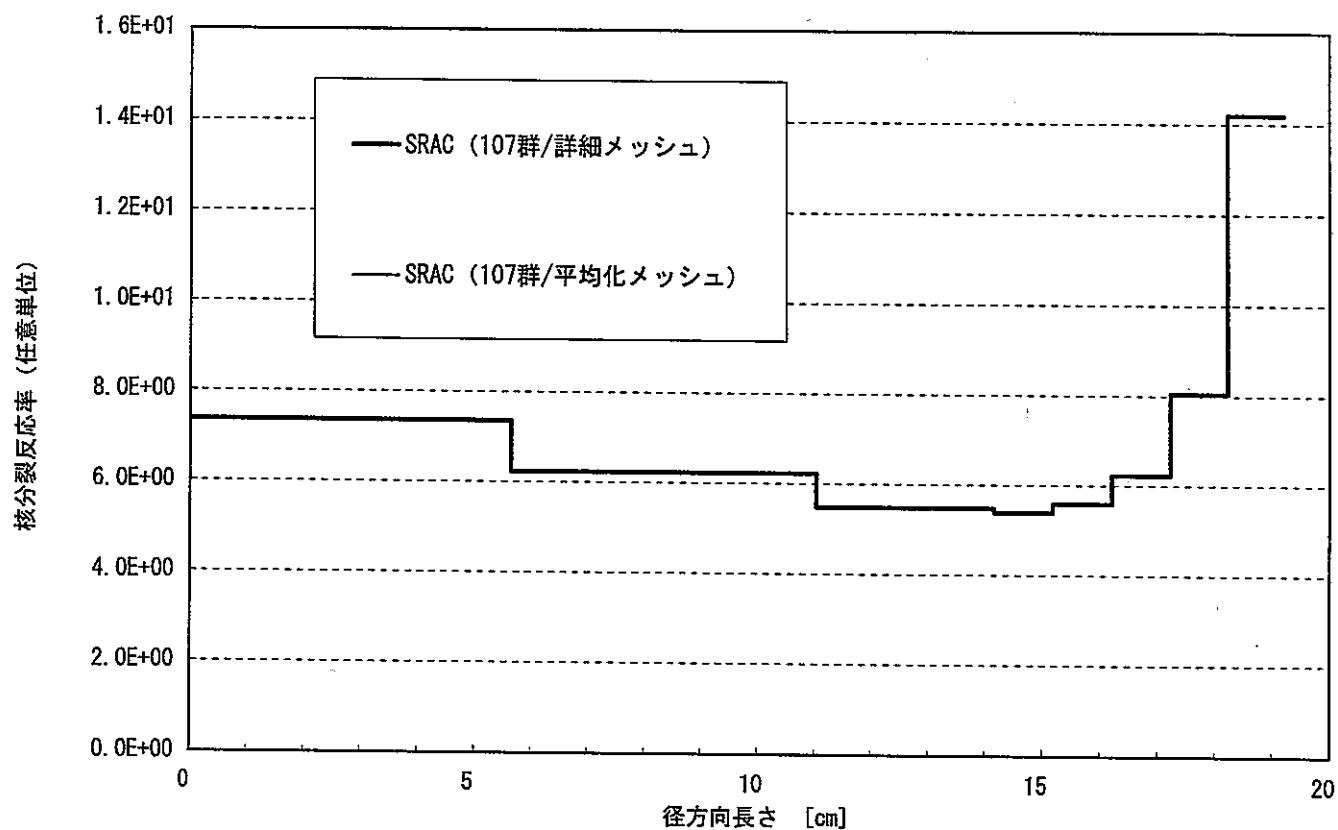


図7.7 炉心燃料領域における一群核分裂反応率の径方向分布  
(空間メッシュの平均化)

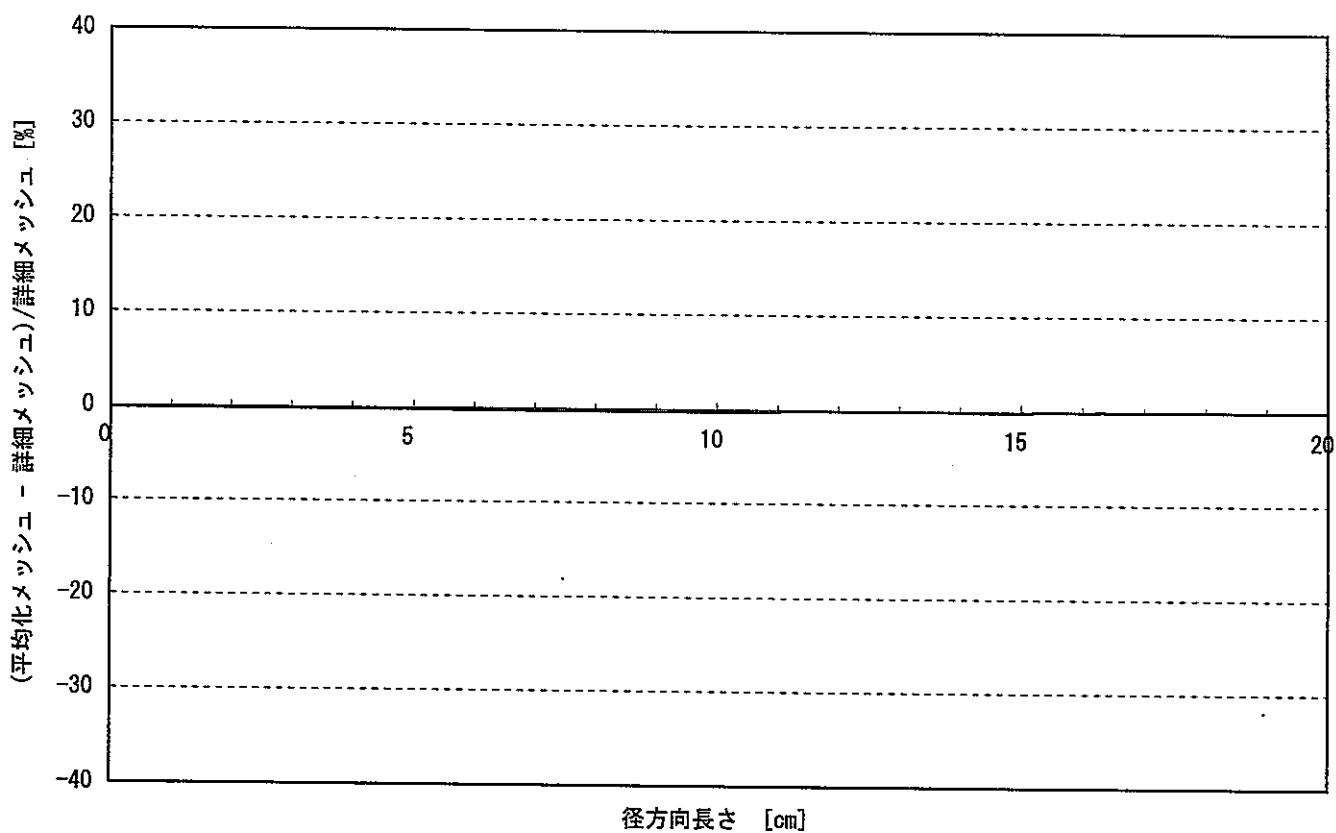


図7.8 炉心燃料領域における一群核分裂反応率の径方向分布  
(詳細メッシュ計算と平均化メッシュ計算の相対差)

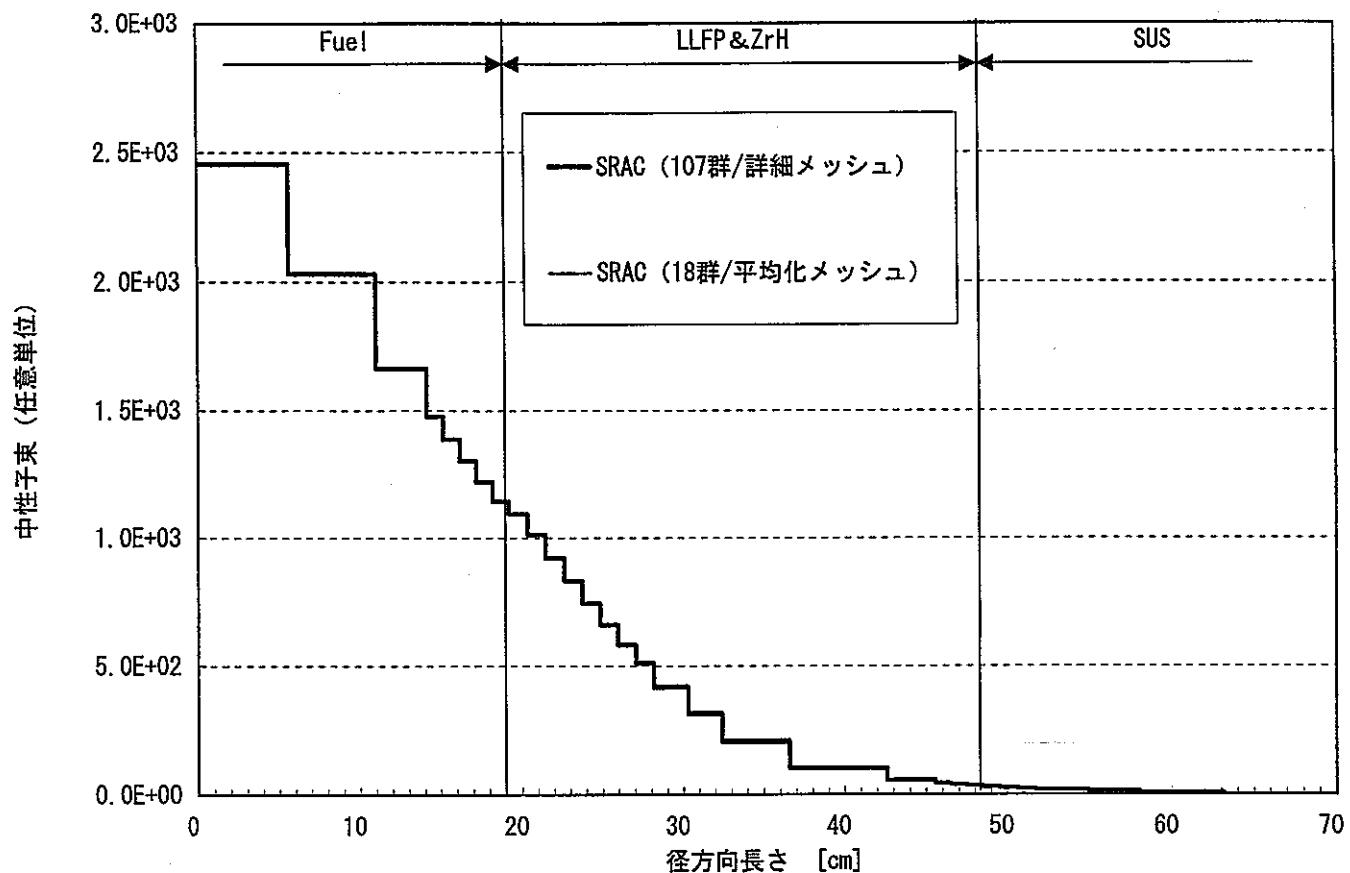


図8.1 中性子束の径方向分布（少数群・平均化メッシュ計算）

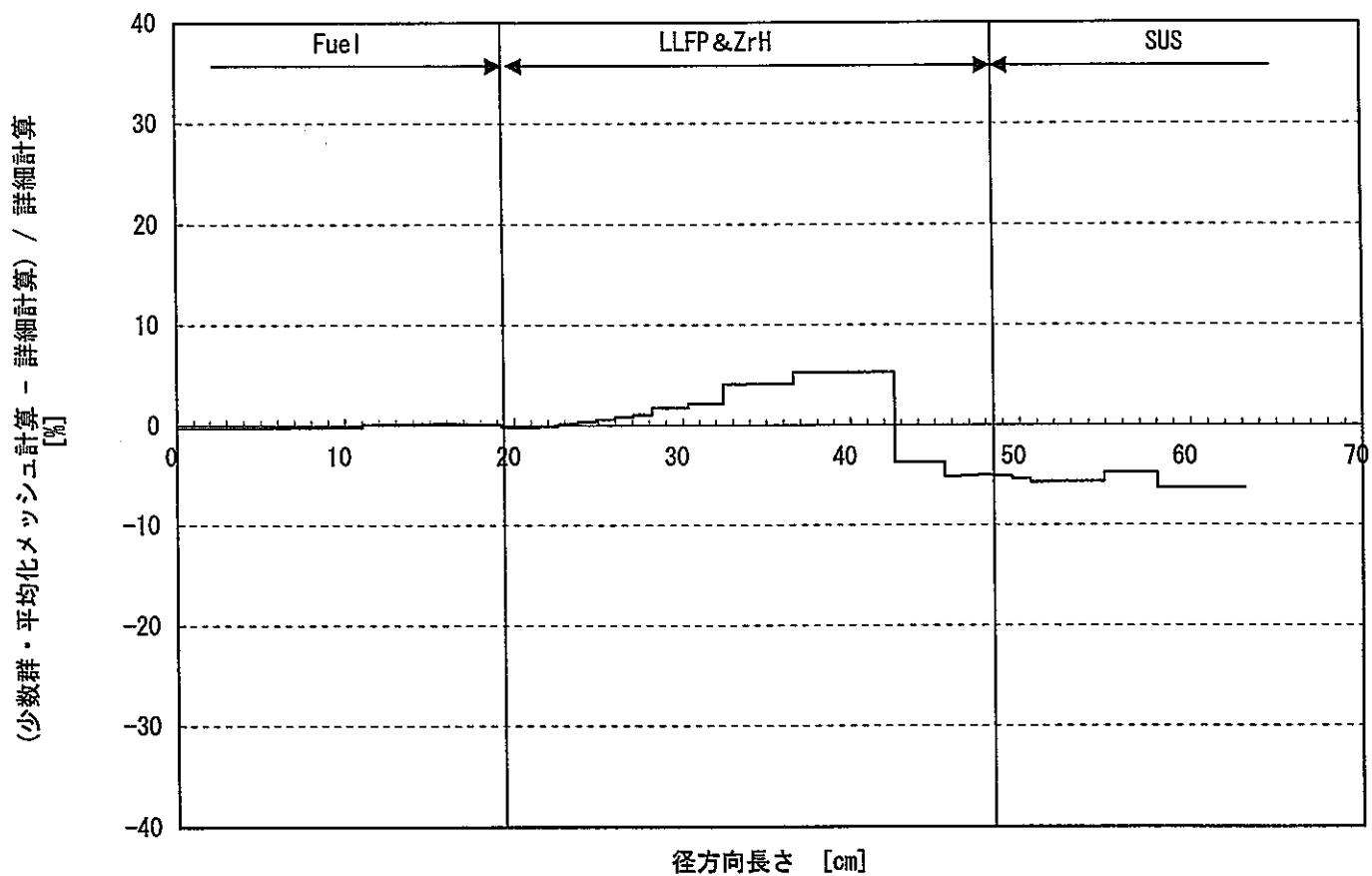
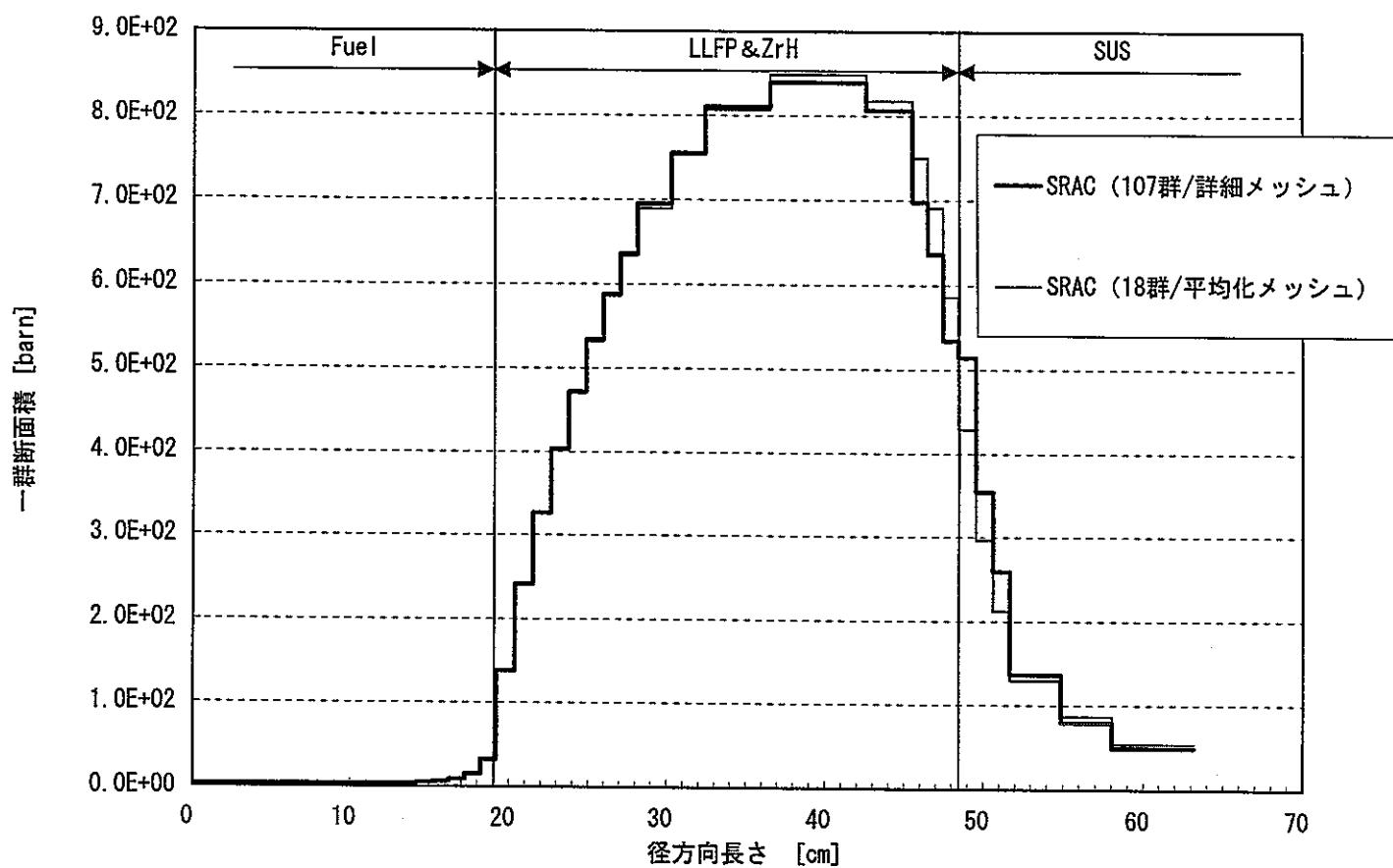
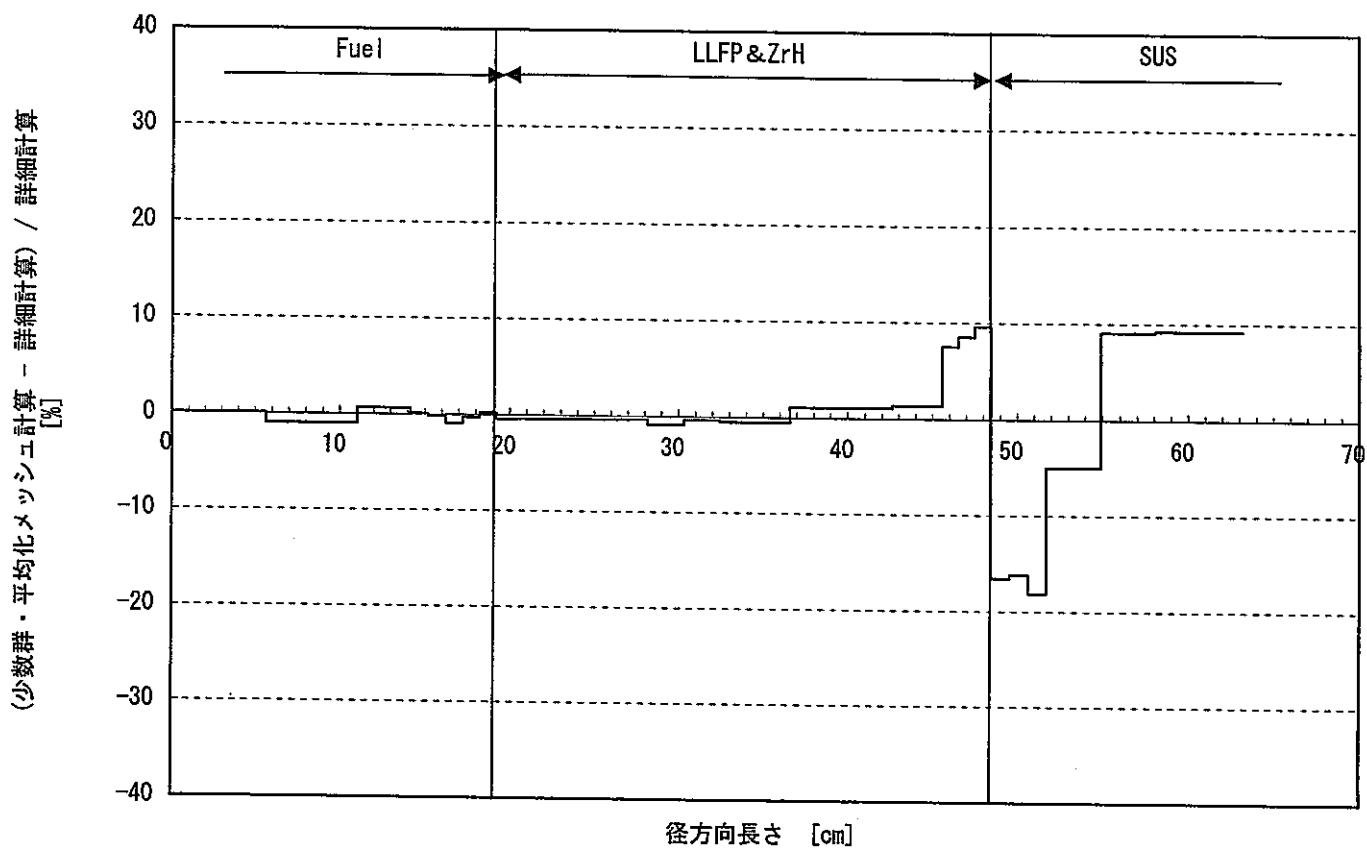


図8.2 中性子束の径方向分布（詳細計算と少数群・平均化メッシュ計算の相対差）

図8.3  $^{10}\text{B}$ 一群吸収断面積の径方向分布（少数组・平均化メッシュ計算）図8.4  $^{10}\text{B}$ 一群吸収断面積の径方向分布  
(詳細計算と少数组・平均化メッシュ計算の相対差)

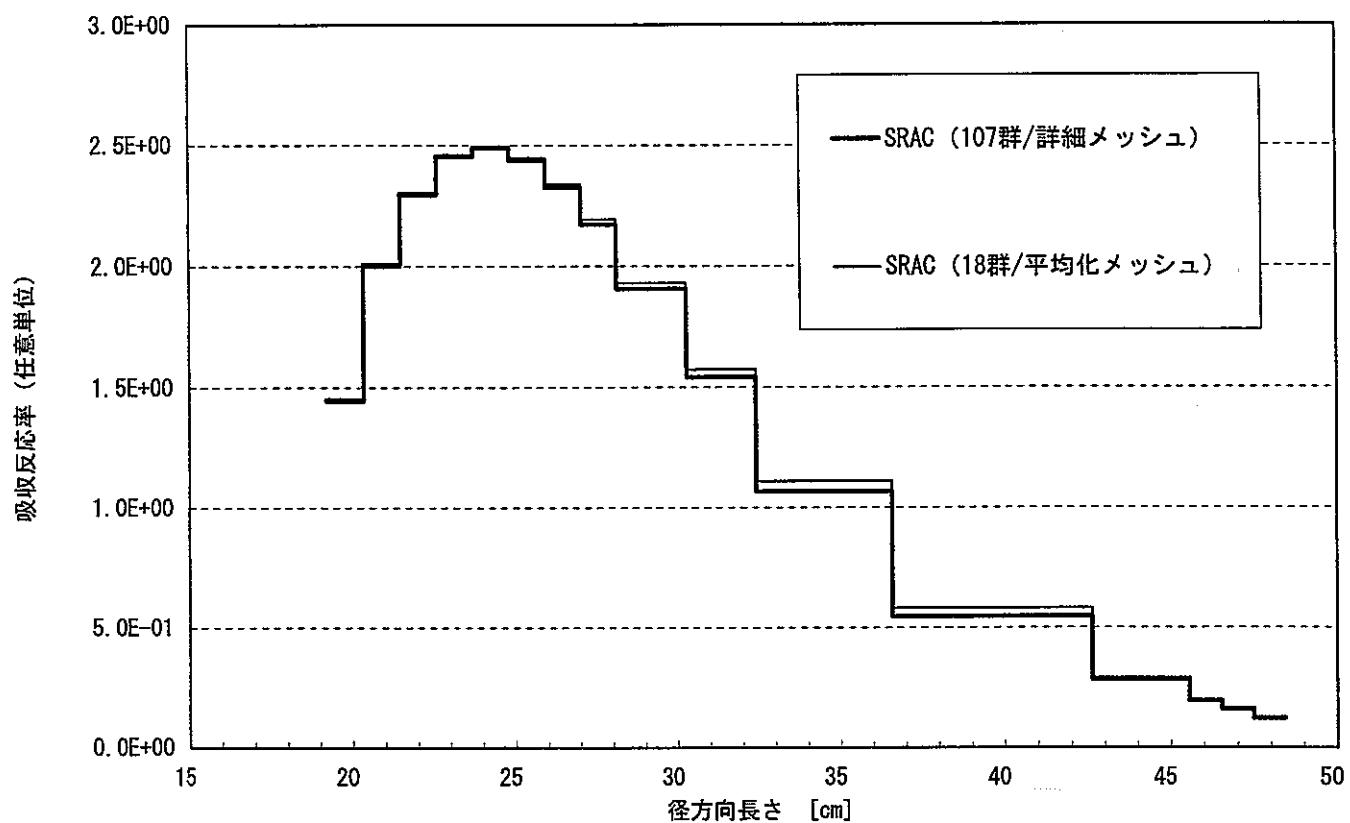


図8.5 LLFPターゲット領域における<sup>129</sup>I一群吸収反応率の径方向分布  
(少數群・平均化メッシュ計算)

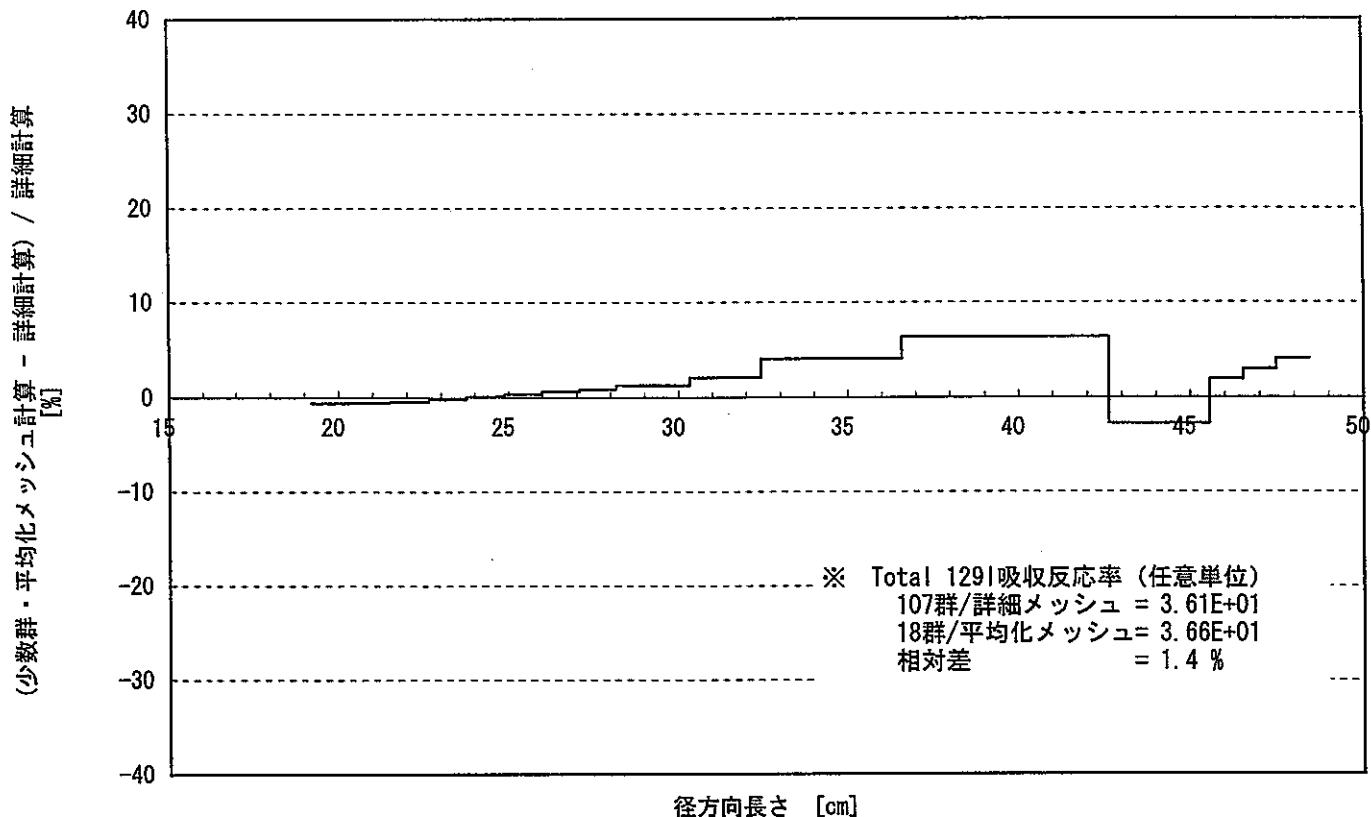


図8.6 LLFPターゲット領域における<sup>129</sup>I一群吸収反応率の径方向分布  
(詳細計算と少數群・平均化メッシュ計算の相対差)

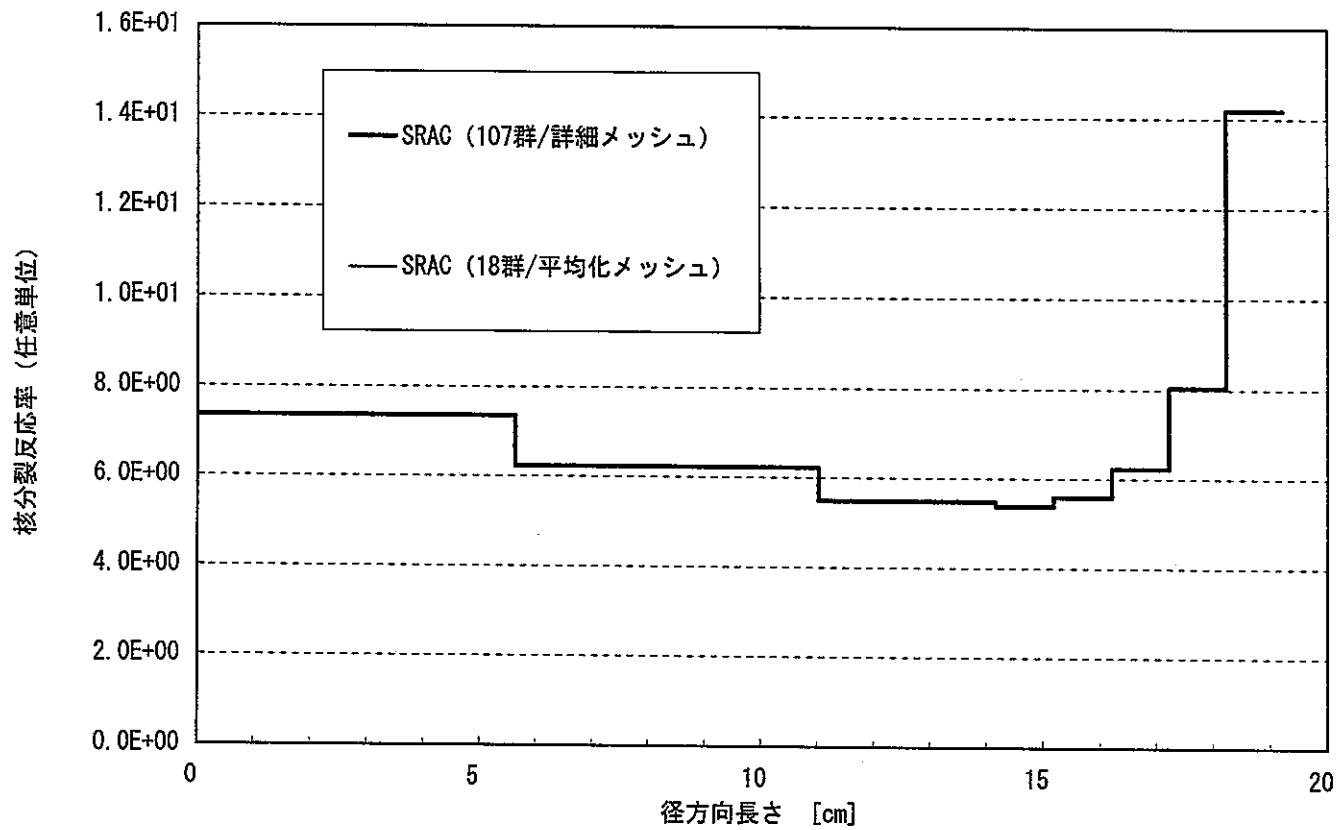


図8.7 炉心燃料領域における一群核分裂反応率の径方向分布  
(少數群・平均化メッシュ計算)

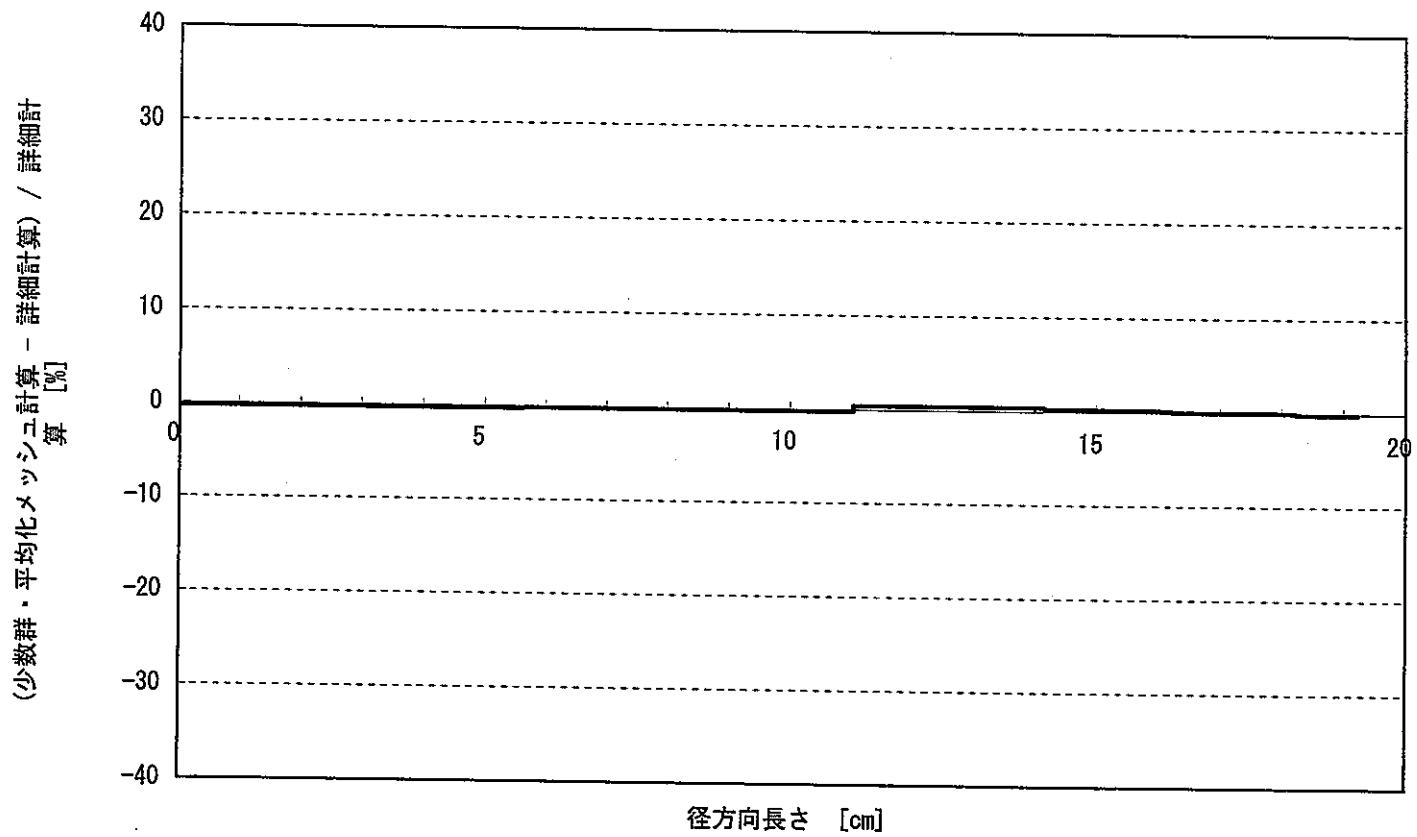


図8.8 炉心燃料領域における一群核分裂反応率の径方向分布  
(詳細計算と少數群・平均化メッシュ計算の相対差)

## 5. まとめ

LLFP 核変換解析手法構築の第一ステップとして、汎用核計算コードシステム SRAC を用い、LLFP ターゲットのスーパーセルモデルの検討を行った。まず、MVP を用いた炉心体系計算と格子体系計算の比較から、スーパーセルモデルの妥当性を確認した。次に、MVP によるスーパーセル計算をレファレンスとし、①SRAC の適用性を確認し、②エネルギー群数の縮約及び③空間メッシュの平均化の影響を検討した。LLFP 吸収反応率と局所出力ピークについて、各検討ステップで得られた計算精度を次表にまとめる。

表 SRAC を用いた LLFP ターゲットスーパーセル計算精度

	① SRAC の適用性 (MVP→SRAC)	② 群縮約 (107 群→18 群)	③ 空間メッシュ の平均化
$^{129}\text{I}$ 吸収反応率 (ターゲット total)	+1.3%	+1.0%	+0.4%
$^{129}\text{I}$ 吸収反応率分布	< 3~4%	< 4%	< 7%
局所出力ピーク	-10% ( < 2~3%*)	~ 0%	~ 0%

\* メッシュ補正を施すことでも局所出力ピークの相違を改善できる。

結果として、SRAC を用いたスーパーセル計算により、 $^{129}\text{I}$  吸収反応率をうまく評価できることがわかった。LLFP ターゲット内の反応率分布は、SUS 反射体側において群縮約あるいはメッシュ平均化によって計算値の相違が増加するものの、燃料側の計算精度は良好に保たれ、ターゲット内総反応率で比べた場合、約 3%内の相違で MVP と一致する。

一方、局所出力ピークについては、メッシュ分割の詳細化 (~0.5cm 幅) により、MVP と 2~3%以内で一致させることができること、群縮約及びメッシュ平均化の影響が小さいことがわかった。

今後は、本スーパーセルモデルをベースに、LLFP ターゲット内の非均質性を考慮した格子計算体系の検討を行う予定である。

## 参考文献

- [1] 大木 繁夫, 神 智之, 青柳 成美, “高速炉における LLFP 核変換の検討”, JNC TN9400 2001-098 (2001 年 10 月)
- [2] 奥村 啓介, 金子 邦男, 土橋 敬一郎, “SRAC95 ; 汎用核計算コードシステム”, JAERI-Data/Code 96-015 (1996 年 3 月)
- [3] 森 貴正, 中川 正幸, “MVP/GMVP 連続エネルギー法及び多群法に基づく汎用中性子・光子輸送計算モンテカルロコード”, JAERI-Data/Code 94-007 (1994 年 4 月)
- [4] 林 秀行, 他, “大型高速炉設計研究成果報告書 -60 万 kW<sub>e</sub> 級プラントの設計研究一”, PNC ZN9410 92-137 (1992 年 5 月)