

本資料は2001年7月31日付で
登録区分変更する。 [技術展開部技術協力課]

JASPER実験解析(III)

1989年3月



動力炉・核燃料開発事業団
動力炉研究開発本部

本資料は、核燃料サイクル開発機構の開発業務を進めるために作成されたものです。したがって、その利用は限られた範囲としており、その取扱には十分な注意を払ってください。この資料の全部または一部を複写・複製・転載あるいは引用する場合、特別の許可を必要としますので、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)



配布限定
PNC 8N2410 89-002
1989年3月

JASPER実験解析 (III)

動力炉研究開発本部 炉技術開発Gr.
JASPERサブワーキングGr.*)

要 旨

本報告書は、動力炉研究開発本部炉技術開発Gr.で組織されているJASPERサブワーキングGr.が昭和63年度に実施した研究成果をまとめたものである。動力炉核燃料開発事業団では、米国エネルギー省(DOE)との共同研究としてオークリッジ国立研究所(ORNL)の実験装置TSF(Tower Shielding Facility)を用いて大型炉遮蔽ベンチマーク実験(JASPER計画、Japanese American Shielding Program of Experimental Researches)を実施しており、JASPERサブワーキングGr.は実験の計画、データ解析を行うためのワーキンググループである。JASPERサブワーキングGr.では、JASPER計画で得られた実験データのほか、日米情報交換で動燃が入手した実験データ、及び、ORNLのTSFで実施され既に公開されている実験データを解析すると同時に、実験解析や高速炉の遮蔽設計解析で明らかになった解析法の問題点の検討や解析手法の開発を行っている。JASPER計画は現在継続中であり、サブワーキングGr.の解析も次年度以降継続の予定である為、個々の解析には完結していないものもあるが、今年度の主な成果は次の通りである。

*) 白方敬章(動力炉研究開発本部 炉技術開発Gr.)、大谷暢夫(同左、現大洗工学センター技術開発部プラント工学室)、茶谷恵治(同左、現ORNL駐在); 川合将義、上松幹夫(日本原子力事業(株)); 西裕二((株)東芝); 佐々木研治、太田励(三菱原子力工業(株)); 半田博之、根目沢重紀(日立エンジニアリング(株)); 竹村守雄、清水康幸(川崎重工業(株)); 角田弘和、佐藤理(三菱総合研究所(株)); 石塚龍雄(センチュリリサーチセンター(株)); 青木保(高速炉エンジニアリング(株))、鈴置善郎(同左、現三菱原子力工業(株))

***) 林秀行、石川真(日本原子力発電(株)、オブザーバー参加)

JASPERサブワーキングGr.における作業は、実験解析と解析手法の検討の2種類に大別される。実験解析では、ナトリウムベンチマーク実験、 B_4C 透過実験、初回核分裂実験、3次元炉内燃料貯蔵実験、コンクリート透過実験、ガスプレナムストリーミング実験、ギャップストリーミング実験について検討が進められた。特に始めの5種類の実験についてはほとんどすべての実験データが計算値と比較されており、従来部分的にしか解析結果が得られていなかった実験や、解析結果に特に問題のあった実験についても、すべてのデータが評価整理された。ガスプレナムストリーミング実験については従来の評価上の問題が解決するには至らず、ギャップストリーミング実験については部分的な解析に留まっている。

ナトリウムベンチマーク実験解析には、JENDL-2によるJSDJ2ライブラリーと、ENDF/B-IVによるJSD100ライブラリーの2種類の核定数が使用された。6桁強の中性子束の減衰で、JSDJ2によるC/E値は0.73~0.89、JSD100では0.91~1.07であった。 B_4C の透過実験では、今年度新しく解析された B_4C の厚い層の測定データについて、JSDJ2を用いてC/E値が0.61~1.23となった。炉内貯蔵燃料の効果を評価する初回核分裂実験と3次元炉内燃料貯蔵実験では、炉内貯蔵燃料から発生する高速中性子の評価について、JSDJ2でC/E=0.54、JSD100でC/E=0.71という結果が得られた。コンクリートの中性子透過実験解析では、約1m、5桁程度の減衰に対してC/E=0.6~1.1となった。

解析手法の検討としては、前年度からの課題であった2次元コードにおけるメッシュ効果の評価、燃料集合体軸方向遮蔽体解析手法の開発、炉内貯蔵燃料で発生する核分裂中性子量の評価、実験解析結果を設計に適用する際のバイアスファクターの評価法の開発、遮蔽データのデータベース化の検討が実施された。2次元コードのメッシュ効果については、中性子束分布の形とメッシュの形とのかねあいでおこることが明らかになり、2次元メッシュを正方形に近い形にとる必要があることが数学的にも確認された。今後の大規模なプラント解析において、正しい評価を得るために充分留意する必要がある。

燃料集合体軸方向遮蔽体解析手法の開発では、 B_4C のような強い吸収体を遮蔽材として使用するさいに問題となる中性子ストリーミングを、炉心まわりの遮蔽評価に取り込む手法が開発された。従来の手法でファクター3.5の補正が必要であった体系に本手法を適用すると、ファクター1.3程度の補正で済むことになり、不必要な余裕が削減できる。特にプラント設計において有効な手法であると期待される。

炉内貯蔵燃料で発生する核分裂中性子量の評価では、ループ型高速炉を例にとって中性子発生量とその影響が詳細に評価された。例としたプラントの炉内貯蔵燃料で発生する核分裂中性子は、炉心槽の最大照射量位置や中間熱交

換器位置ではほとんど問題にならないが、炉心槽で最も影響の大きい位置では、中性子束レベルが約4倍になることが明らかになった。炉内貯蔵燃料による核分裂中性子量の評価は、計算が複雑で大規模であり、繰り返し計算の収束状況等、今回の計算で得られた経験が今後のプラント計算に有用である。

実験解析結果を設計に適用する際のバイアスファクターの評価法の開発では、空間チャンネル理論を適用して中性子の漏洩経路を評価する事によって、より合理的なバイアスファクターを計算する方法が検討された。本手法を用いることによって、例えば炉心槽位置でバイアスファクターを20%程度削減できる可能性がある。

遮蔽データのデータベース化については、ヨーロッパにおけるデータベース化の計画を調査した。遮蔽データの性質や数量を考えるとデータベース化には未だ議論の余地があり、その必要性をさらに検討する必要がある。

動燃事業団では、JASPER計画の成果を高速実証炉の遮蔽設計に反映することを目的として、日本原子力発電(株)と高速炉の遮蔽に関する共同研究を実施している。JASPERサブワーキンググループでは、実験解析と共同研究を同じ場で議論したが、本報告書は動燃事業団の実験解析に関するものであり、共同研究の内容は含んでいない。

(プラント工学室 大谷)



Limited Distribution
PNC JN2410 89-002
March, 1989

JASPER Experiment Analyses (III)

JASPER Sub-Working Gr. ^{*)},
Reactor Technology Gr.,
Reactor Research and
Development Project

Abstract

The works of JASPER sub-working group in FY'88 are summarized in this report. JASPER (Japanese American Shielding Program of Experimental Researches) is the co-operative research program between PNC and DOE, U.S.A., using TSF (Tower Shielding Facility) in ORNL (Oak Ridge National Laboratory) as the experiment facility, and the JASPER sub-working group is organized by the reactor physics group of Reactor Research and Development Project, PNC, for plannings and analyses of the experiments in the JASPER program.

In the JASPER sub-working group, the experimental data obtained in MONJU/CRBR information exchange agreement and the published data of TSF experiments have been analyzed in addition to the JASPER data. The sub-working group also investigates and develops the methods for FBR shielding analyses. The items and main results of this year are as follows: some of them will be completed in the JASPER program and sub-working group in the following years.

^{*)}
K. Shirakata, N. Ohtani, K. Chatani (PNC); M. Kawai, M. Uematsu (NAIG);
H. Nishi (Toshiba Corp.); K. Sasaki, S. Ohta (MAPI); H. Handa, S.
Nemezawa (HEC); M. Takemura, Y. Shimizu (KHI); H. Tsunoda, O.
Sato (MRI); T. Ishizuka (CRC); T. Aoki (FBEC); Z. Suzuoki (FBEC, now MAPI)

The first experiment analyzed in the sub-working group is the sodium benchmark experiment. Nuclear group constant library JSDJ2 made from JENDL-2 file, and the library JSD100 from ENDF/B-IV are both applied to the analysis. The C/E values by JSDJ2 have been proved to be 0.73~0.89, and also those by JSD100 to be 0.91~1.07, in the 10^6 decay of neutron fluxes.

By the analysis of the alternate shield experiment, which is the neutron penetration experiment for B_4C shield, the C/E values by JSDJ2 have been proved to be 0.61~1.23 for the thick cases of B_4C regions.

The analyses of the first fission experiment and the three dimensional stored fuel experiment, which are both for the estimation of the neutron flux increase by the fuel stored in the in-vessel storage tank, have shown that the C/E values for the fast neutron production in the stored fuel are 0.54 by JSDJ2 and also 0.71 by JSD100.

The analyses of neutron penetration experiment for the concrete slab shows that the C/E values are 0.6~1.1 for the neutron flux decay of about 10^5 in 1 meter thick concrete.

In addition to these experiments, the JASPER gas plenum streaming experiment and the gap streaming experiment have been investigated, but the final results have not been obtained yet in the work of this year.

Studies about mesh size effect in two dimensional transport calculations have shown that the radial and axial mesh sizes should be almost equal if the weighted difference mode is selected in the case that the neutrons leak to both directions in the calculated geometry. This fact has been approved both numerically and theoretically; and it should be noticed especially in a large scale plant analysis.

A method for including streaming effect in the axial shield of the fuel assembly into the shielding calculations of the whole reactor system has been developed. By adapting this method in the case of B_4C axial shield, the streaming factor multiplied to the source neutron is decreased from 3.5 to 1.3, and the more reliable estimation can be expected.

Fission neutron production in the fuel stored in the in-vessel-storage-tank has been estimated. A precise estimation for a typical large scale loop-type reactor is obtained by two-dimensional calculations including outer-iterations. Neutron fluence effect in the system and also the convergence characteristics in the numerical calculation have been also studied.

The space channel theory is applied to determine the bias factor in shielding design calculation. In this method, the dominant neutron penetration path is estimated and the more precise bias factor required in

shielding design calculation can be obtained. For example, the bias factor for the fast neutron fluence at the position of a core barrel can be reduced 20% by applying this method.

The idea of making shielding data base has been studied following the plan in European countries. Further consideration about volume and characteristics of the shielding data will be required for planning the data base system.

(N. Ohtani, PNC)

目 次

要 旨	(i)
Abstract	(iv)
目 次	(vii)
図表リスト	(X ii)
1. 諸 言	1
第 I 部 実験解析	
2. ナトリウムベンチマーク実験	5
2.1 実験概要	5
2.2 解析条件	5
2.3 解析結果	7
2.4 解析精度の検討	12
2.5 今後の課題	15
3. B ₄ C透過実験 (Alternate Shield Experiment) A	58
3.1 実験概要	58
3.1.1 概 要	58
3.1.2 実験体系および測定内容	58
3.2 解析条件	59
3.2.1 解析手法	59
3.2.2 物質組成	59
3.3 実験解析	61
3.3.1 解 析	61
3.3.2 解析結果	61
3.3.3 検 討	61

4. B ₄ C透過実験 (Alternate Shield Experiment) B	104
4.1 B ₄ C密度効果	104
4.1.1 目的	104
4.1.2 解析方法	105
4.1.3 解析結果および検討	105
4.2 コンクリート組成効果	108
4.2.1 目的	108
4.2.2 解析方法	108
4.2.3 解析結果および検討	108
4.3 径方向メッシュ効果	109
4.3.1 目的	109
4.3.2 解析方法	109
4.3.3 解析結果および検討	109
5. コンクリート透過実験	122
5.1 実験とORNLの解析	122
5.1.1 実験の概要	122
5.1.2 ORNL解析の概要	123
5.2 実験解析	125
5.2.1 解析範囲	125
5.2.2 解析手法	125
5.2.3 1次元計算結果	126
5.2.4 群縮約計算結果	127
5.2.5 2次元計算結果	128
5.3 解析手法の検討	129
5.3.1 SPACETRANとFALSTFの比較	129
5.3.2 非衝突線束の考慮	129
5.4 まとめと今後の課題	130

6. 初回核分裂実験	166
6.1 実験の概要	166
6.2 実験解析結果	166
6.3 群構造に関する検討	166
6.3.1 検討方法	166
6.3.2 解析結果	167
6.3.3 検 討	167
7. 3次元炉内貯蔵実験	175
7.1 実験の概要	175
7.2 実験解析結果	175
7.3 群構造に関する検討	176
7.3.1 検討方法	176
7.3.2 解析結果	176
7.3.3 検 討	177
7.4 増倍線源に関する検討	178
7.4.1 検討方法	178
7.4.2 解析結果	178
7.4.3 検 討	179
7.5 まとめ	180
8. ガスプレナムストリーミング実験	210
8.1 前年度解析の見直し	210
8.1.1 前年度解析結果の概要	210
8.1.2 原因の所在	211
8.2 実験解析	212
8.2.1 応答関数の影響	212
8.2.2 コンクリート組成の影響	213
8.2.3 コンクリート中水分感度解析	214
8.2.4 炉心とコリメータ出口間距離の影響	214

8.2.5 見直し結果	215
8.3 まとめと今後の課題	216
9. ギャップストリーミング実験	233
9.1 実験概要および解析条件	233
9.2 解析結果および検討	235
<u>第Ⅱ部 解析手法の検討</u>	
10. 燃料集合体軸方向遮蔽解析手法の開発	242
10.1 高速実証炉の軸方向遮蔽	242
10.2 円環モデルによる軸方向遮蔽2次元解析(昭和61年度)	242
10.3 無限セルモデルによる解析	244
10.3.1 2次元SN輸送コードDOT3.5による解析	244
10.3.2 モンテカルロコードMORSE-CGによる解析	251
10.4 軸方向遮蔽ストリーミング解析手法の検討	254
10.4.1 中性子ストリーミング解析結果のまとめ	254
10.4.2 新手法の概要	255
10.4.3 新手法のB ₄ C製軸遮蔽への適用	261
10.5 まとめ	263
11. 2次元S _n コードにおけるメッシュ効果 A	315
11.1 S _n 輸送計算コードの比較	315
11.1.1 適用コード	315
11.1.2 解析	316
11.1.3 比較検討	317
11.2 DOT3.5の階差式モードと径方向メッシュ効果	318
11.2.1 階差式モード	318
11.2.2 解析	318
11.2.3 比較検討	319
11.3 階差式モードと実験解析	320

11. 3. 1	解析条件	320
11. 3. 2	解析	320
11. 3. 3	検討	321
11. 4	まとめ	323
12.	2次元Sn計算におけるメッシュ効果 B	330
12. 1	序論	330
12. 2	重み付き差分モデルの検討	331
12. 3	メッシュ効果の定性的検討	335
12. 4	数値計算による検証	338
12.4.1	計算内容	338
12.4.2	メッシュ効果サーベイ結果	339
12.4.3	メッシュ分割法効果サーベイ結果	340
12. 5	1次元計算によるメッシュ効果評価法	341
12. 6	結論	343
13.	炉心まわり遮蔽設計解析手法の検討	354
13. 1	IVS内の核分裂中性子発生量の評価	354
13. 1. 1	目的	354
13. 1. 2	解析方法	354
13. 1. 3	結果および検討	355
13. 2	炉心槽の中性子束最大照射位置への透過経路評価	356
13. 2. 1	目的	356
13. 2. 2	方法	356
13. 2. 3	結果および検討	357
14.	遮蔽ベンチマーク実験のデータベース化	368
14. 1	実験データ集の作成	368
14. 2	データベースの検討	369
15.	あとがき	374

表 リ ス ト

- 表2.1.1 ナトリウムベンチマーク実験測定項目
- 表2.2.1 T S F15-1/4 in コリメータによる Bare Beam スペクトル
- 表2.2.2 原子数密度
- 表2.3.1 解析対象ケースおよび減衰率
- 表2.3.2 15 ft 体系後方中心軸上のB.B 計数率測定値及びC/E
- 表2.3.3 15 ft 体系後方 24in での 3in- B.B 計数率径方向分布測定値及びC/E
- 表2.3.4 15 ft 体系後方 23in での 12in-B.B 計数率径方向分布測定値及びC/E
- 表2.3.5 12.5 ft 体系後方中心軸上のB.B 計数率測定値及びC/E
- 表2.3.6 10 ft 体系後方中心軸上のB.B 計数率測定値及びC/E
- 表2.3.7 10 ft 体系後方 2inでのB.B 計数率径方向分布測定値及びC/E
- 表2.3.8 5 ft 体系後方のB.B 計数率測定値及びC/E
- 表2.3.9 2.5ft 体系後方のB.B 計数率測定値及びC/E
- 表2.3.10 スペクトル測定のC/E
- 表3.1.2-1 体系概要および測定内容
- 表3.2.2-1 実験解析のための原子数密度
- 表3.3.2-1 体系 I A ボナーボール反応率
- 表3.3.2-2 (1/2) 体系 I A 中性子スペクトル (計算値)
- 表3.3.2-2 (2/2) 体系 I A 中性子スペクトル (実験値)
- 表3.3.2-3 (1/2) 体系 II ボナーボール計数率 (体系後方30cm)
- 表3.3.2-3 (2/2) 体系 II ボナーボール計数率 (体系後方30cm)
- 表3.3.2-4 (1/2) 体系 II ボナーボール計数率 (炉心中心より304.8 cm)
- 表3.3.2-4 (2/2) 体系 II ボナーボール計数率 (炉心中心より304.8 cm)
- 表3.3.2-5 (1/7) 体系 II 中性子スペクトル (計算値)
- 表3.3.2-5 (2/7) 体系 II 中性子スペクトル (実験値 II A)
- 表3.3.2-5 (3/7) 体系 II 中性子スペクトル (実験値 II B)
- 表3.3.2-5 (4/7) 体系 II 中性子スペクトル (実験値 II C)
- 表3.3.2-5 (5/7) 体系 II 中性子スペクトル (実験値 II D)
- 表3.3.2-5 (6/7) 体系 II 中性子スペクトル (実験値 II E)

- 表3.3.2-5 (7/7) 体系Ⅱ中性子スペクトル (実験値ⅡF)
- 表4.1.3-1 B₄C密度変更によるB.B.反応率
- 表4.1.3-2 ナトリウム厚181.9 cm, B₄C実効透過厚5.1g/cm²における予想C/E値
- 表4.2.1 各種コンクリート組成
- 表4.3.3 体系ⅠVG径方向メッシュ効果
- 表5.1 供試体および主要透過媒質の厚さ
- 表5.2 実験体系と測定項目
- 表5.3 コンクリートの組成
- 表5.4 ORNL解析で使用了群定数のエネルギー群構造
- 表5.5 ORNL解析で使用了主要物質の核種数密度
- 表5.6 ORNL 2次元解析結果
- 表5.7 ORNL解析水分含有量感度解析結果
- 表5.8 縮約エネルギー群構造
- 表5.9 輸送計算のパラメータ
- 表5.10 1次元輸送計算に使用了線源スペクトル
- 表5.11 1次元計算によるボナーボール計数率の減衰
- 表5.12 2次元計算によるC/E値
- 表5.13 群縮約効果補正を施したC/E値
- 表5.14 FALSTFとSPACETRANとの計算値の比較
- 表5.15 FALSTFによるボナーボール計数率と非衝突線束寄与分
- 表5.16 2次元計算による補正後C/E値
- 表6.2-1 カドミカバー付BF₃カウンタ-応答の計算値と測定値の比較
- 表6.2-2 体系Ⅱ後方2 inの水素カウンタ-応答の計算値と測定値の比較
- 表6.3.1-1 1次元計算モデル
- 表6.3.3-1 エネルギー群構造の影響により補正したカドミカバー付きBF₃カウンタ-
答のC/E値
- 表6.3.3-2 エネルギー群構造の影響により補正した水素カウンタ-応答値のC/E
- 表7.2-1 ボナーボール計数率の計算値と測定値の比較
- 表7.2-2 貯蔵燃料体系とダミー燃料体系のボナーボール-応答値の比較
- 表7.2-3 NE-213による測定値スペクトルと計算値の比較

- 表7.3.1-1 エネルギー群構造
- 表7.3.1-2 3次元炉内貯蔵実験1次元計算モデル
- 表7.3.2-1 群構造の違いによるボナーボール計数率の比較
- 表7.3.3-1 群構造の違いにより補正したC/E値
- 表7.3.3-2 I体系でノーマライズしたC/E値
- 表7.4.2-1 ボナーボール計数率に寄与する線源の割合
- 表7.4.2-2 エネルギー群毎にみた貯蔵燃料から発生する線源の寄与
- 表7.4.2-3 ボナーボール計数率に寄与するエネルギー毎の割合
- 表8.1 応答関数見直し結果 — 体系後方中心軸上
- 表8.2 応答関数見直し結果 — 径方向トラバース
- 表8.3 ガスプレナム供試体のコンクリート組成
- 表8.4 コンクリート組成変更結果 — 体系後方中心軸上
- 表8.5 コンクリート組成変更結果 — 径方向トラバース
- 表8.6 化学分析によるコンクリート組成データ
- 表8.7 解析で設定したコンクリート組成データ
- 表8.8 コンクリート中水分の影響
- 表8.9 炉心とコリメータ出口間距離の影響
- 表8.10 前年度解析の見直し結果 — 体系後方中心軸上
- 表8.11 前年度解析の見直し結果 — 径方向トラバース
- 表9.2.1 ギャップストリーミング実験スペクトルモディファイヤ体系のC/E
- 表10.2-1 昭和61年度軸方向遮蔽解析用の原子数密度および組成表
- 表10.3-1 軸方向遮蔽ストリーミング解析用の原子数密度および組成表
- 表10.3-2 S₈₀分点セット
- 表10.3-3 中性子単層透過に対する計算精度
- 表10.3-4 S₁₆₄分点セット
- 表10.3-5 DOT 3.5の解析による軸方向遮蔽中の中性子ストリーミング係数
- 表10.3-6 DOT 3.5およびMORSE-CGの解析によるB₄C製中心型軸方向遮蔽中の中性子束の減衰
- 表10.3-7 DOT 3.5およびMORSE-CGの解析による軸方向遮蔽中の中性子スペクトル

- 表10.3-8 B₄C製中心型軸方向遮蔽における高速中性子束ストリーミング係数
(DOT3.5とMORSE-CGの比較)
- 表10.4-1 中性子重み断面積によるB₄C製中心型軸方向遮蔽中の中性子スペクトル
- 表10.4-2 中性子重み断面積によるB₄C製中心型軸方向遮蔽の高速中性子束ストリーミング補正係数
- 表11.3.3-1 階差式モードによる実験解析の径方向メッシュ効果
- 表11.3.3-2 階差式モードによる実験解析反応率
- 表13.1.2 I V S内中性子発生量解析条件
- 表13.2.3 炉心槽最大照射位置までの透過距離
- 表14-1 遮蔽ベンチマーク実験リスト

図 リ ス ト

- 図2.1.1 ナトリウムベンチマーク実験体系 (15ft体系)
- 図2.2.1 ナトリウムベンチマーク実験解析の解析フロー (Collided成分)
- 図2.2.2 1次元計算体系 (15ft)
- 図2.2.3 2次元計算体系
- 図2.2.4 2次元計算に用いる点線源
- 図2.3.1 15ft体系中性子束分布 (JSDJ2, 不純物無)
- 図2.3.2 15ft体系B.Bレスポンス分布 (JSDJ2, 不純物無)
- 図2.3.3 15ft体系後方中心軸上のB.B計数率のC/E
- 図2.3.4 15ft体系後方24inでの3in-B.B計数率のC/E径方向分布
- 図2.3.5 Na 12.5ft中心軸後方24in Benjamin の実験と計算値のスペクトル比較
- 図2.3.6 10ft体系後方中心軸上のB.B計数率のC/E
- 図2.3.7 Na 10ft中心軸後方24in Benjamin の実験と計算値のスペクトル比較
- 図2.3.8 Na 10ft中心軸後方24in NE-213 の実験と計算値のスペクトル比較
- 図2.3.9 Na 5ft中心軸後方24in Benjamin の実験と計算値のスペクトル比較
- 図2.3.10 Na 5ft中心軸後方359in Benjaminの実験と計算値のスペクトル比較
- 図2.3.11 Na 5ft中心軸後方359in 中心軸から96inでのBenjaminの実験と計算値の
スペクトル比較
- 図2.3.12 Na 5ft中心軸後方359in NE-213の実験と計算値のスペクトル比較
- 図2.3.13 Na 5ft中心軸後方359in 中心軸から96inでのNE-213実験と計算値のスペ
クトル比較
- 図2.4.1 ナトリウム透過厚とC/E
- 図2.4.2 中性子スペクトルのJSDJ2とJSD100 の比較
- 図2.4.3 Na マクロ断面積のJSDJ2とJSD100 の比較
- 図2.4.4 Na 無限希釈断面積のJSDJ2とJSD100 の比較
- 図2.4.5 不純物効果のナトリウム厚依存性
- 図3.1.2-1 B₄C遮蔽体構造
- 図3.1.2-2 (1/17) 実験体系IA
- 図3.1.2-2 (2/17) 実験体系IIA

- 図3.1.2-2 (3/17) 実験体系ⅡB
 図3.1.2-2 (4/17) 実験体系ⅡC
 図3.1.2-2 (5/17) 実験体系ⅡD, ⅡDD
 図3.1.2-2 (6/17) 実験体系ⅡE, ⅡEE
 図3.1.2-2 (7/17) 実験体系ⅡF, ⅡFF
 図3.1.2-2 (8/17) 実験体系ⅡG
 図3.1.2-2 (9/17) 実験体系ⅡH
 図3.1.2-2 (10/17) 実験体系ⅡI
 図3.1.2-2 (11/17) 実験体系ⅡJ
 図3.1.2-2 (12/17) 実験体系ⅡK
 図3.1.2-2 (13/17) 実験体系ⅡL
 図3.1.2-2 (14/17) 実験体系ⅡM
 図3.1.2-2 (15/17) 実験体系ⅡN
 図3.1.2-2 (16/17) 実験体系ⅡO
 図3.1.2-2 (17/17) 実験体系ⅡP
 図3.2.2-1 解析フロー
 図3.3.1-1 体系ⅡJ 1次元縮約計算モデル
 図3.3.1-2 (1/2) DOT計算モデル 体系ⅡE
 図3.3.1-2 (2/2) DOT計算モデル 体系ⅡJ
 図3.3.2-1 (1/2) 5" ボナーボール反応率等高線図 体系ⅡE
 図3.3.2-1 (2/2) 5" ボナーボール反応率等高線図 体系ⅡJ
 図3.3.2-2 (1/2) 5" ボナーボール反応率径方向分布 体系Ⅰ
 図3.3.2-2 (2/2) 5" ボナーボール反応率径方向分布 体系Ⅱ
 図3.3.2-3 (1/2) 5" ボナーボール反応率径方向分布 体系Ⅱ
 図3.3.2-3 (2/2) 5" ボナーボール反応率径方向分布 体系Ⅱ
 図3.3.2-4 (1/3) 遮蔽体透過によるC/Eの変化
 図3.3.2-4 (2/3) 遮蔽体透過によるC/Eの変化
 図3.3.2-4 (3/3) 遮蔽体透過によるC/Eの変化
 図4.1.2 B₄C密度効果解析体系
 図4.1.3 B₄C密度変更によるB.B.検出器C/E値の変化

- 図4.2.2 コンクリート組成効果検討用体系 (体系ⅢA A)
- 図4.2.3 中性子束径方向分布
- 図4.3.2 径方向メッシュ効果検討用メッシュ
- 図5.1 コンクリート供試体
- 図5.2 実験体系とボナーボール検出器設定位置
- 図5.3 計算処理の流れ
- 図5.4 1次元輸送計算体系
- 図5.5 2次元輸送計算体系の例
- 図5.6 1次元計算による体系内中性子スペクトル
- 図5.7 1次元計算による体系内ガンマ線スペクトル
- 図5.8 1次元計算による体系内高速中性子束分布
- 図5.9 1次元計算による体系内中速中性子束分布
- 図5.10 1次元計算による体系内熱中性子束分布
- 図5.11 1次元計算による体系内ガンマ線束分布
- 図5.12 1次元計算による体系内カドミカバーBF₃計数率
- 図5.13 1次元計算による体系内3インチボナーボール計数率
- 図5.14 1次元計算による体系内6インチボナーボール計数率
- 図5.15 1次元計算による体系内10インチボナーボール計数率
- 図5.16 群縮約効果—中性子束の比
- 図5.17 群縮約効果—ガンマ線束の比
- 図5.18 群縮約効果—ボナーボール計数率の比
- 図5.19 2次元計算による体系5内6インチボナーボール計数率の分布
- 図5.20 2次元計算によるボナーボール計数率のC/E値の傾向
- 図6.1-1 CRBR初回核分裂実験体系
- 図6.3.2-1 エネルギー群構造の違いによる全中性子束減衰分布の比較
- 図6.3.2-2 エネルギー群構造の違いによる全中性子束の比較
- 図7.1-1 3次元炉内貯蔵実験体系
- 図7.2-1 線源条件
- 図7.3.2-1 群構造の違いによるボナーボール計数率の比較
- 図7.3.2-2 エネルギー群数の違いによる全中性子束の比較

- 図7.3.2-3 群構造の違いによるスペクトルの比較
- 図7.3.2-4 群構造の違いによる中性子束減衰分布の比較
- 図7.4.1-1 3次元炉内貯蔵実験 体系Ⅶ計算モデル
- 図7.4.2-1 透過軸方向高速中性子束減衰分布 (体系Ⅲ)
- 図7.4.2-2 エネルギー群毎の各線源成分の寄与
- 図8.1 体系Ⅱにおけるコンクリート組成の影響
- 図8.2 体系Ⅲにおけるコンクリート組成の影響
- 図8.3 体系Ⅲにおけるコンクリート中水分の影響
- 図8.4 供試体厚さとC/E値との関係
- 図9.1.1 ギャップストリーミング実験スペクトルモディファイヤ体系
- 図9.1.2 コリメータ形状の比較
- 図9.1.3 線源条件の比較
- 図9.1.4 計算体系の比較
- 図10.1-1 高速実証炉の軸方向遮蔽の構造
- 図10.2-1 7体のB₄C製中心型軸方向遮蔽から成る計算体系
- 図10.2-2 7体のB₄C製中心型軸方向遮蔽のナトリウム流路における67KeV以上の高速中性子束の減衰 (DOT3.5の円環モデルとMORSE-CGの比較)
- 図10.3-1 ステンレス鋼(SS316)製軸方向遮蔽解析モデル (DOT3.5)
- 図10.3-2 ステンレス鋼(SS316)製軸方向遮蔽内中性子束等高線図
- 図10.3-3 ステンレス鋼(SS316)製軸方向遮蔽透過後の高速中性子束の空間分布
- 図10.3-4 ステンレス鋼(SS316)製軸方向遮蔽における高速中性子束の減衰
- 図10.3-5 B₄C製中心型軸方向遮蔽解析モデル (DOT3.5)
- 図10.3-6 B₄C製中心型軸方向遮蔽内中性子束等高線図
- 図10.3-7 B₄C製中心型軸方向遮蔽透過後の高速中性子束の空間分布
- 図10.3-8 B₄C製軸方向遮蔽における高速中性子束の減衰
- 図10.3-9 B₄C製中心型軸方向遮蔽透過後の中性子スペクトルのS_n分点依存性
- 図10.3-10 B₄C製ロッドバンドル型軸方向遮蔽解析モデル (DOT3.5)
- 図10.3-11 B₄C製ロッドバンドル型軸方向遮蔽内中性子束等高線図
- 図10.3-12 B₄C製ロッドバンドル型軸方向遮蔽透過後の高速中性子束の空間分布
- 図10.3-13 B₄C製中心型軸方向遮蔽のMORSE-CG解析モデル

- 図10.3-14 B₄C製中心型軸方向遮蔽内高速中性子束減衰 (MORSE-CG)
- 図10.3-15 B₄C製軸方向遮蔽内の高速中性子スペクトル (DOT3.5とMORSE-CGの比較)
- 図10.3-16 B₄C製中心型軸方向遮蔽における高速中性子束ストリーミング係数 (DOT3.5とMORSE-CGの比較)
- 図10.4-1 B₄C製中心型軸方向遮蔽の中性子束重み平均断面積の変化
- 図10.4-2 新手法における解析の流れ
- 図10.4-3 新手法におけるB₄C中心型軸遮蔽の領域分割
- 図10.4-4 新手法に基づくB₄C製中心型軸方向遮蔽内の高速中性子束の減衰
- 図10.4-5 新手法に基づくB₄C製中心型軸方向遮蔽透過後の中性子スペクトル
- 図11.1.2-1 透過実験体系IAのDOT3.5解析モデル
- 図11.1.2-2 S_n輸送計算コード間のメッシュ効果比較
- 図11.2.2-1 DOT3.5計算における径方向メッシュ効果と階差式モード
- 図11.3.2-1 高速中性子束分布の比較 (体系IA)
- 図12.1 各差分近似の概念図
- 図12.2 2次元計算体系
- 図12.3 P₃S48近似でのメッシュ幅に依存した吸収および漏洩量
- 図12.4 P₀S48近似でのメッシュ幅に依存した吸収および漏洩量
- 図12.5 メッシュ分割法効果サーベイ結果
- 図12.6 2次元計算におけるメッシュ幅に依存した誤差
- 図12.7 1次元計算におけるメッシュ幅に依存した吸収および漏洩量
- 図12.8 1次元計算と2次元計算のメッシュ効果の比較 (吸収量)
- 図12.9 1次元計算と2次元計算のメッシュ効果の比較 (漏洩量)
- 図13.1.1 ループ型高速実証炉炉内全中性子束分布
- 図13.1.2-1 ループ型高速実証炉2次元解析モデル
- 図13.1.2-2 ループ型高速実証炉2次元解析モデルメッシュ分割構成
- 図13.1.3-1 核分裂発生中性子を含む炉内中性子束分布
- 図13.1.3-2 核分裂を考慮していない炉内中性子束の核分裂発生中性子による増加割合
- 図13.2.3 炉心槽までの透過経路
- 図14-1 ベンチマーク確認システム

1. 諸言

動力炉・核燃料開発事業団動力炉研究開発本部炉技術開発Gr.では、米国エネルギー省(DOE)との共同研究として、オークリッジ国立研究所(ORNL)のTSF(Tower Shielding Facility)を用いて大型炉遮蔽ベンチマーク実験(JASPER計画、Japanese American Shielding Program of Experimental Researches)を実施している。本報告書は、JASPER実験の実験計画とデータ解析を実施するためのJASPERサブワーキングGr.の成果をまとめたものである。JASPERサブワーキングGr.では、直接JASPER計画にかかわる計画・解析のほかに、動燃事業団が日米情報交換等で入手している実験データの解析、解析手法の検討・開発をおこない、高速実証炉をふくむ将来の高速炉の遮蔽設計法の確立をめざしている。JASPERサブワーキングGr.は継続した作業であるため個々の成果は必ずしも完結していないが、本報告書には、実験解析と解析手法の検討について以下の項目の成果が含まれている。実験解析では、

- ・ナトリウムベンチマーク実験
 - ・ B_4C 透過実験(Alternate Shield Experiment)
 - ・初回核分裂実験
 - ・3次元炉内燃料貯蔵実験
 - ・コンクリート透過実験
 - ・ガスプレナムストリーミング実験
 - ・ギャップストリーミング実験
- についてデータが解析され、解析手法では
- ・2次元コードにおけるメッシュ効果
 - ・燃料集合体軸方向遮蔽体解析手法
 - ・炉心まわり遮蔽設計解析手法
 - ・遮蔽データのデータベース化
- について、検討が進められた。

ナトリウムベンチマーク実験は、ORNLのTSFで実施され公開されている有名なベンチマーク実験である。我が国でもシグマ委員会等で部分的には解析されていたが、大規模な実験である為、解析に多大の計算機時間と労力を要し、これまで統一的に全データを解析した経験はなかった。高速炉においてはナトリウムは最も基本的な媒質であるが、特に大型のタンク型炉ではナトリウム領域が大きく、ナトリウムの中性子透過特性がこれまで以上に重要になる。JASPER計画では、高速炉の遮蔽設計の重要項目の1つである2次ナトリウムの放射化量を評価する実験が計画されているが、サブワーキングGr.では2次ナトリウムの放射化量評価のためのデータの一つとして、ナトリウムベンチマーク実験のすべてのデータを解析し、計算値と実験値

を比較した。尚、本実験はTSFの原子炉から入射する中性子ビームが現在の実験条件と比較して小さくコリメートされている。細くコリメートされた中性子ビームを表現するため、今回の解析でも公開されているORNLの解析でも、計算には初回衝突線源が使用されているが、初回衝突線源はプラント設計の計算では使用することが少ないので、次年度以降、初回衝突線源を用いない解析を実施する予定である。

B₄C透過実験は、JASPER実験の直前にTSFにおいてAlternate Shield Experimentとして実施されたB₄Cの透過実験であり、JASPER計画の一部としてデータが入手された。実験に使用されたB₄CスラブがORNLで製作されたものでなく、B₄Cの密度についてORNLの解析者からも疑問がだされている等データの信頼性にやや疑問があるが、今回密度の疑問点も含めてすべてのデータを解析しJASPER実験を補完するデータとした。この実験では、JASPER実験よりうすいB₄C領域の中性子透過データがとられている。

コンクリート透過実験はTSFで実施され、動燃事業団と米国DOEの「もんじゅ」/CRBR情報交換協定でデータが入手された。コンクリートは、物理的な実験の対象としては成分があいまいで研究者からは敬遠されがちであり、遮蔽体として最も広く使用されている割には実験データおよび解析結果が得られていない。本実験についても我国で解析されるのは始めてであり、今年度は中性子に関するデータの1次元解析と2次元解析を実施した。本実験では中性子のほかにガンマ線も測定されており、次年度以降解析を継続する予定である。

初回核分裂実験と3次元炉内燃料貯蔵実験は、いずれもCRBRの設計のためにTSFで実施された実験であり、コンクリート透過実験と同様、「もんじゅ」/CRBR情報交換協定によってデータが入手された。本実験は以前にもJASPERサブワーキングGr.で解析されたが、計算値と実験値の一致が悪く課題が残されていた。今回改めて問題点を検討し再評価を行った。この2件の実験についても、解析可能な実験データはすべて計算値と比較されている。

ガスプレナムストリーミング実験は、JASPER計画の第2の実験として実施された。実験ではガスプレナムにおけるストリーミングは検出されず、ストリーミングはないという事が本実験の結論であるが、透過実験として解析した結果のC/E値が中性子束の透過減衰量と較べて非常に悪く、課題として残されていた。本実験ではガスプレナム部の模擬試験体の周辺が、TSFの標準的な透過実験のようにリチウムパラフィンで囲まれておらず、周辺のコンクリートに直接接しているため、コンクリートの成分が影響しているのではないかと考えられた。今年度は、コンクリート中の成分、具体的には水分の含有量のあいまいさに着目して解析を実施した。

ギャップストリーミング実験は、FFTFの設計のためにTSFで実施された実験であり、JASPER実験を補完する実験としてデータが入手された。鉄体系中のスリットを透過する中性子ストリーミングが測定されている。前年度にも一部解析が実施されたがC/E値が非常に悪く、許容できる解析結果は得られていなかった。今年度は特にスペクトルモディファイヤー部についていくつかの評価を試みた。

解析手法の開発として実施された燃料集合体軸方向遮蔽解析手法の開発は、炉心直近の遮蔽構造におけるストリーミング効果を、炉体まわりの遮蔽評価に合理的に持ち込むことを目的とした研究である。従来のステンレス鋼を用いた軸方向遮蔽体ではストリーミングファクターが1.2程度であるので、軸方向遮蔽体領域を均質化して取り扱わざるをえない炉体まわりの計算でも、炉心から出てくる中性子束をストリーミングファクター分だけ大きく評価して大きな影響は生じなかった。しかしながら、 B_4C を軸方向遮蔽体として用いると、周辺のナトリウムの中性子断面積との差が大きいため、ストリーミングファクターは3以上になり、そのまま炉体まわり遮蔽の評価に持ち込むと、不必要に大きな余裕をとることになる。ここでは、軸方向遮蔽体部の中性子断面積の計算法を改めることによって、炉体まわりの評価で必要となるストリーミングファクターを低減する手法を検討した。

本研究における2次元Snコードにおけるメッシュ効果とは、2次元RZ座標系のR方向メッシュ幅をZ方向をそのままにして細かくすると、Z方向への中性子の漏洩が飽和せずに漸増していくという現象であり、前年度のJASPER解析で明らかになった問題である。メッシュを細かくしても計算値が収束しないというのは数値計算上重大な問題であり、種々の試計算も含めて詳細な評価が実施された。

炉心まわり遮蔽設計解析手法の検討としては、炉内貯蔵燃料で発生する核分裂中性子の遮蔽特性に与える影響の詳細評価、および、プラント遮蔽設計におけるバイアス補正量を、空間チャンネル理論(Spatial Channel Theory)を用いて合理化する手法の検討を行った。炉内貯蔵燃料内でおこる核分裂で発生する中性子の量を評価するには大規模な計算が必要となり、これまで具体的な数値はほとんど得られていない。今回ループ型高速炉程度の炉容器を持つ高速炉の炉内貯蔵燃料で発生する中性子が詳細に評価された。計算手法は特に新しい物ではないが、収束状況等、今後のプラント解析に有用な経験が得られた。

JASPER計画等の透過実験を解析して得られたC/E値は、プラント設計においてはバイアスファクターとして適用され、計算値を補正して設計値とされる。しかしながらプラント内における中性子の透過経路は複雑であり、評価すべきプラント内の特定の位置について、どのような媒質のC/E値をバイアスファクターとして使用するかは一意的ではない。ここでは空間

チャンネル理論を適用して中性子の主要な透過経路を求め、合理的にバイアスファクターを決定する手法を開発した。

1988年秋に英国で開催された遮蔽国際会議に置いて、ヨーロッパの関係国から遮蔽のベンチマークデータをデータベースとして整備するという計画が提案された。我が国においても公開・非公開のデータを含め遮蔽関係の測定データや解析データが蓄積されてきており、データベース化が検討された。

以下、各章に個々の解析の詳細を記する。

(プラント工学室 大谷)

第 I 部 実験解析

2. ナトリウムベンチマーク実験

ナトリウムベンチマーク実験⁽¹⁾の解析は過去においても新たに作成された断面積ライブラリやコード検証等のためにたびたび利用されてきた^{(2)~(3)}。しかしながら、同一断面積、同一解析手法による全実験体系を網羅した解析は実施されておらず、現在、高速炉遮蔽設計において要求されている設計計算に含まれる不確かさを低減するための十分なデータをそれらから得ることは困難であるといえる。そこで、本年度、新たにナトリウム透過に対する計算精度をより良く把握する上でのバックデータの充実を計る目的で本実験解析を実施することとした。なお、実設計の計算精度評価を有効に行なうためには、設計に用いるものと同様の断面積及び解析手法によって実験解析が実施される必要があり、このため、実設計での使用が検討されているJSD100およびJSDJ2 両ライブラリを用いて本解析を実施した。

2.1 実験概要

ナトリウムベンチマーク実験では、TSF の15-1/4 in. 径のコリメータから漏洩する中性子を線源として、円柱状のナトリウムタンク透過後のB. B レスポンスおよびスペクトルの測定が行なわれている。ナトリウムタンクは2.5ft (76.2cm) 厚のもの2体、5ft (152.4 cm) 厚のもの2体が存在し、それらを単体または組み合わせることによって全長約75cm~4.5 mのナトリウム厚を有する実験体系を構成している。

図2.1.1 に最もナトリウム透過厚の大きな15ft (457.2 cm) の実験体系を示した。実験体系としては、この他にナトリウム厚2.5ft (76.2cm) , 5ft (152.4 cm) , 10ft (304.8 cm) , 12.5ft (381 cm) の体系が存在する。主な測定は、裸、Cd-カバー付、3" , 4" , 5" , 6" , 8" , 10" , 12" , Mod.-3" の各径B. B 検出器を用い、体系後端および中心軸からの距離をパラメータとして行なわれている。また、5ft, 10ft, 12.5ft体系に対して、NE-213やBenjamin検出器によるスペクトル測定が行なわれている。これらの測定項目を表2.1.1 に示す。

2.2 解析条件

実験解析は断面積ライブラリやナトリウム中に含まれる不純物量を変化させたそれぞれの解析に対して以下の手順により実施した。

- ① 中性子100 群ライブラリJSDJ2 またはJSD100からRADHEAT により解析に必要な各組成の実効マクロ断面積 (100 群) を作成する。
- ② ANISN-W (100 群-P5-S8, 収束誤差0.01%以下) による1次元計算を実施し、得られた中性子スペクトルを重みとして100 群断面積を縮約し、各体系領域毎の21群断面積を作成する。
- ③ その断面積を用いてDOT-3.5 (21群-P3-S48 , 収束誤差0.1%以下) による

2次元計算を実施し、体系後端における角度束を求める。

④ その角度束からSPACETRANにより各測定点に対する検出器レスポンスを得る。

これらを図2.2.1にまとめた。ANISN-Wによる縮約計算はナトリウム厚の最も大きな15ft体系に対してのみ実施し、縮約にあたっては2次元計算での各領域毎の21群断面積を透過厚に相当する100群領域平均スペクトルを用いて作成した。図2.2.2, 図2.2.3に1次元および2次元計算体系をそれぞれ示す。線源はTSF15-1 / 4 in. コリメータ出口に対して表2.2.1として得られている中性子束から作成し、1次元計算ではこの中性子束を最前方方向のShell Sourceとして与える。また、2次元計算はDOT-3.5の初回衝突線源 (Analytic First Collision Source) オプションにより実行され、その際の線源がコリメータ出口から59.5in. 内側の位置に等方点源として与えられる。それを図2.2.4に示した。線源強度についてはコリメータ出口中心軸上で表2.2.1の中性子束となるように距離による減衰を考慮して点線源強度を決定した。

ただし、上記によって得られる検出器レスポンスは点線源からの非衝突線による寄与 (Uncollided成分) が考慮されない。そこでこの寄与については下式により評価した。

$$R_{unc}^g = f^g \cdot \phi_o^g \cdot (59.5 / (59.5 + Z))^2 \cdot \exp \left\{ - \sum_i \Delta t_i \cdot \Sigma_i^g, \text{total} \right\}$$

- R_{unc} : 検出器レスポンスのUncollided成分
f : 検出器レスポンス関数 (スペクトル測定では1.0)
 ϕ_o : コリメータ出口中心軸での中性子束 (表2.2.1)
Z : 測定点のコリメータ出口からの距離 (in.)
 Δt_i : 物質 i の透過厚
 Σ_i, total : 物質 i の全断面積
g : エネルギー群番号 (全100群)

解析に用いる各物質の組成は表2.2.2に原子数密度として与えるもので、ナトリウムについては不純物を考慮しないものと水素10ppm および60ppmを考慮した断面積を作成し、解析を通して不純物の影響について検討した。なお、ここで水素60ppmのものは本実験レポート (ORNL-4880) に記載された最大不純物量に相当する。また、水素10ppmのものについては不純物量について調査した結果得られた現実的な設定値である⁽⁴⁾。

2.3 解析結果

(1) 計算結果

解析対象ケースおよび各2次元計算の径方向第1メッシュにおける供試体部の全中性子束減衰率を表2.3.1にまとめた。また、図2.3.1, 図2.3.2に15ft体系に対する代表的な中性子束およびB.B レスポンスの等高線図を示した。中性子束の減衰率はナトリウムの透過厚の最も大きな15ft体系に対して約 2×10^{-8} である。JSDJ2とJSD100では透過厚の増加とともに減衰率の差が広がってゆき15ft体系では、JSDJ2が約20%大きな減衰率(小さな中性子束)となっている。

(2) 測定値との比較

各体系に対する測定値およびC/Eを以下の表に整理した。これらは、10ft体系のB.B 検出器の後端にナトリウムを設置して実施された径方向Traverse測定

(表2.1.1の注釈参照)を除く全測定に対する結果である。

表2.3.2 15ft体系後方中心軸上のB.B 計数率測定値およびC/E

表2.3.3 15ft体系後方24in. での3 in.-B.B 計数率径方向分布測定値およびC/E

表2.3.4 15ft体系後方23in. での12in.-B.B 計数率径方向分布測定値およびC/E

表2.3.5 12.5ft体系後方中心軸上のB.B 計数率測定値およびC/E

表2.3.6 10ft体系後方中心軸上のB.B 計数率測定値およびC/E

表2.3.7 10ft体系後方2 in. でのB.B 計数率径方向分布測定値およびC/E

表2.3.8 5ft体系後方のB.B 計数率測定値およびC/E

表2.3.9 2.5ft体系後方のB.B 計数率測定値およびC/E

表2.3.10 スペクトル測定のC/E

各体系毎の解析結果の概要について以下に述べる。

(a) 15ft体系 (表2.3.1 ~ 表2.3.4)

15ft体系での測定は各種B.B を用いて行なわれている。中心軸上に対しては、測定点として供試体後端からの距離を2 in. ~74 in. まで変化させた測定が行なわれ、また径方向分布として3 in. B.Bおよび12 in. B.Bによる測定が行なわれている。

図2.3.3に中心軸上測定に対して、測定点の位置を変化させた場合のC/Eを示した。C/EはB.Bが供試体に近接すると上昇するが約20in.以上離れるといずれのB.Bについてもほぼ一定値となる。B.BのエネルギーレスポンスはB.Bに対して平行ビームが入射していることを仮定して求められているが、B.Bが体系に近接してくると必ずしもこの仮定が成立しないためにC/Eが増加することが考えられる。JSDJ2とJSD100によるC/Eを比較するとJSD100がJSDJ2に比

べ約20%程度大きな値となる。これは両者の減衰率の差に相当する。結果的にはJSD100の方がC/Eが1.0に近くなり実験値との一致が良いといえる。裸およびMod.-3 in. B. Bを除く各B. BのC/EはJSDJ2ではB. B径が大きくなるに従ってC/Eが小さくなる傾向にあるが、JSD100ではその傾向は顕著ではない。B. Bは径が大きくなるほど高エネルギー中性子に対する感度が高まるため、JSDJ2とJSD100との差は高エネルギー中性子ほど大きくなっていると考えられる。このことは高エネルギー中性子のみ感度を有するMod.-3 in. B. Bでの両者の差がファクター2程度まで広がっていることから裏付けられる。裸やMod-3 in. B. Bについては、C/Eは他のB. Bに比べ小さくなっているがこれはバックグラウンドの影響のためで実験値自体の信頼性が薄いものであるといえる。特に検出感度の極端に小さなMod-3 in. B. Bでは、バックグラウンドの影響が顕著となる。(本実験ではバックグラウンドは別途測定されその値を差し引いたものを測定値(Net)として計算値と比較しているが、裸やMod-3 in. B. Bに対するバックグラウンドのNetに対する割合が最小でも15%程度と大きい。またバックグラウンド測定では大気や地面からの散乱線が考慮されないために、測定が過少評価となることが実験レポートで述べられている。バックグラウンドが過少評価であればそれを差し引いて得られるNetは過大評価となり、これがバックグラウンドの寄与の大きな裸やMod-3 in. B. Bでは大きな影響として表れることとなる。)

図2.3.4には3 in. B. Bの供試体後方24in.でのC/Eの径方向分布を示した。ここでの測定値は実験レポートにおいてバックグラウンドの評価がなされていないため、バックグラウンド成分を含んだ値となっている。このため中心軸上でのC/Eの比較では前述のC/E(表2.3.2)より約7%小さな値となっている。C/Eは周辺部にゆくに従って小さくなっているが、これは、周辺部の方がバックグラウンドが大きいために主に生じるものであると解釈する。また、Vertical Traverseでは供試体のナトリウムとコンクリートとの間に存在するギャップからの中性子ストリーミングの影響によりC/Eが局所的に低下する。特に上部ではギャップ幅が大きいためその周辺においても測定値の上昇がみられ、C/Eの低下が顕著となっている。ただし、中心軸部分へのストリーミングの影響は1%と小さく中心軸上のC/Eへの影響を問題にする必要はない。

15ft体系に対するC/Eは、B. B検出器レスポンスの適用限界やバックグラウンドの影響が懸念される測定を除けば以下の様になる。

JSDJ2 : 0.73~0.89

JSD100: 0.91~1.07

上記は体系後方18in.以上離れた中心軸測定点でのC/Eによる。なお、これ

らのC/Eには不純物の効果を別途補正する必要がある。(2.4(2)参照)

(b) 12.5ft体系(表2.3.5, 表2.3.10)

12.5ft体系では, 体系後方24in. 中心軸上でのB. B 測定およびBenjamin検出器によるスペクトル測定が実施されている。

B. B 測定のC/Eはバックグラウンドの影響が大きな裸およびMod-3 in. B. Bを除けば以下の様になる。

JSDJ2 : 0.95~1.05

JSD100: 1.14~1.20

JSDJ2の実験値との一致が±5%程度と良いのに対してJSD100では最大20%実験値を過大評価する結果となっている。

図2.3.5のBenjamin検出器によるスペクトルを比較してもJSD100は実験値を過大評価していることがわかる。Benjamin検出器の計測エネルギー範囲でのC/Eは,

JSDJ2 : 0.85
(1.5MeV~73.4KeV)

JSD100: 1.77

となり, JSD100の過大評価傾向はこの様な高エネルギー領域で特に顕著であることがわかる。

なお, これらのC/Eに対しては不純物の効果を別途補正する必要がある。

(2.4(2)参照)

(c) 10ft体系(表2.3.6, 表2.3.7, 表2.3.10)

10ft体系では体系後方距離を6~72.4in. とした各種B. Bによる中心軸上測定および体系後方2 in. でのCd-カバー, 3 in. B. Bによる径方向分布測定が実施されている。また体系後方24in. 中心軸上ではBenjamin検出器およびNE-213によるスペクトル測定が行なわれている。B. BのC/Eの傾向は15ft体系と同様のことがいえるが, その他にJSD100では高エネルギー中性子に感度の大きな径の大きいB. BのC/Eが特に大きくなることが図2.3.6(中心軸上測定のC/E分布)よりわかる。

図2.3.7に示したBenjamin検出器に対するスペクトル比較では12.5ft体系と同様JSD100の結果は実験値を過大評価する傾向にあり, JSDJ2の方が実験値との一致が良くなっている。一方, 図2.3.8に示したNE-213に対するスペクトル比較ではJSD100は若干実験値を過大評価する傾向にあるものの, むしろJSDJ2の過少評価の度合が顕著に見受けられる。Benjamin検出器とNE-213では約1.0 MeVでの測定値が40%以上も異なっており, JSDJ2とJSD100の評価精度を議論するにあたっては両検出器の測定の信頼性を検討する必要があるといえる。

10ft体系のC/E を整理すると以下の様になる。

- ・ B. B 検出器 (裸およびMod-3 in. B. Bを除く, 体系後方24in. 以上離れた中心軸上測定でナトリウム中不純物無のC/E)

JSDJ2 : 0.84~0.97

JSD100: 0.90~1.11

- ・ Benjamin検出器 (計測エネルギー範囲, 1.5MeV~72.9KeV)

JSDJ2 : 0.88

JSD100: 1.53

- ・ NE-213 (計測エネルギー範囲, 10MeV ~ 1 MeV)

JSDJ2 : 0.56~0.72

JSD100: 0.99~1.27

NE-213のC/E の幅は測定値の上限および下限による。

なお, これらのC/E には不純物の効果を別途補正する必要がある。(2.4 (2) 参照)

(d) 5 ft体系 (表2.3.8, 表2.3.10)

5 ft体系では体系後方24in., 359in.の中心軸上での各種B. B およびスペクトル測定 (NE-213は359in.後方のみ) が実施されている。また中心軸上測定以外には, 体系後方24in. 中心軸から30in. の点でのB. B 測定および体系後方359in., 中心軸から96in. の点でのBenjamin検出器, NE-213によるスペクトル測定が行なわれている。

B. B のC/E はJSDJ2, JSD100共に1.0 に近く, 実験値との一致は良い。ただし, 径の大きいB. B ではJSD100の方がJSDJ2 に比べ10~15%程度大きくなるのに対し, 径の小さいB. B ではこれが逆転する傾向にある。また, 本体系では非衝突線の寄与が大きくなっており, 最大では全計数率の1/3 程度 (JSDJ2 の12" B. B, 中心軸上359in. 後方) の寄与を与えている。非衝突線の影響はB. B 径が大きいかつ体系後方距離が大きくなるほど顕著となる。

図2.3.9 ~図2.3.13に示したBenjamin検出器およびNE-213によるスペクトルの比較では他の体系と同様にBenjamin検出器に対しては, JSDJ2 と実験値との一致が良く, JSD100では実験値を過大評価するが, NE-213ではJSD100が実験値と良く一致し, JSDJ2 が過少評価傾向となる。本測定においても計測範囲がオーバーラップしている約1.0MeVでの両検出器の測定値は10~20%程度の差が生じており, 両検出器の測定に対する信頼性が問題であるといえる。

5 ft体系のC/E を整理すると以下の様になる。

- ・ B. B 検出器 (裸およびMod-3 in. B. Bを除く中心軸上測定 of C/E)
 - JSDJ2 : 0.88~1.07
 - JSD100: 0.84~1.09
- ・ Benjamin検出器 (計測エネルギー範囲, 1.35MeV ~73KeV)
 - JSDJ2 : 0.94~1.00
 - JSD100: 1.20~1.30
- ・ NE-213 (計測エネルギー範囲, 12MeV ~ 1 MeV)
 - JSDJ2 : 0.76~0.97
 - JSD100: 0.93~1.19

なお, これらのC/E には不純物の効果を別途補正する必要がある。(2.4 (2) 参照)

(e) 2.5ft 体系 (表2.3.9)

2.5ft 体系では各種B. B を用いて体系後方24in. 166in. での中心軸上測定および体系後方24in. 中心軸から24in. 離れた点での測定が実施されている。

C/E の傾向は 5 ft体系と同様, 高エネルギーに感度の大きな径の大きいB. B ではJSD100の方がJSDJ2 に比べC/E が大きくなるが, 径の小さいB. B ではこれが逆転する。ただし, 両者の差は最大でも7%程度 (中心軸上24in. 後方の12" B. B 測定) と他の体系に比べ小さくなっている。

非衝突線の寄与は, 本体系では透過厚が小さいために非常に顕著となっており, 寄与の大きなものでは全計数率の2/3 以上 (JSDJ2 の12" B. B , 中心軸上166in. 後方) が非衝突線により占められている。

裸のB. B. を除く中心軸上測定 of C/E は以下の様になる。

JSDJ2 : 0.73~1.08

JSD100: 0.70~1.16

なお, これらのC/E には不純物の効果を別途補正する必要がある。(2.4 (2) 参照)

2.4 解析精度の検討

解析結果に基づきナトリウム透過に対する計算精度について以下に検討した。

(1) ナトリウム透過厚とC/E

実験上のバックグラウンドの問題や解析に用いるB. B レスポンス関数の適用限界等を考慮して精度評価上有効な比較が行なえると考えられる測定点に対するC/Eは各体系毎に前項で示した。それらをまとめると以下の様になる。なお、これらのC/Eには不純物の効果を別途補正する必要がある。(2.4 (2)参照)

	検出器*1	JSDJ2	JSD100	測定点
2.5ft体系	B. B	0.73~1.08	0.70~1.16	中心軸後方24in. , 166in.
5ft体系	B. B	0.88~1.07	0.84~1.09	中心軸後方24in. , 359in.
	Benjamin*2	0.94~1.00	1.20~1.30	中心軸後方24in. , 359in. および中心軸後方359in. 中心軸から96in.
	NE-213*3	0.76~0.97	0.93~1.19	中心軸後方359in. および 中心軸後方359in. 中心軸か ら96in.
10ft体系	B. B	0.84~0.97	0.90~1.11	中心軸後方24in. ~72in.
	Benjamin*2	0.88	1.53	中心軸後方24in.
	NE-213*3	0.56~0.72	0.99~1.27	中心軸後方24in.
12.5ft体系	B. B	0.95~1.05	1.14~1.20	中心軸後方24in.
	Benjamin*2	0.85	1.77	中心軸後方24in.
15ft体系	B. B	0.73~0.89	0.91~1.07	中心軸後方20in. ~74in.

*1 B. B に対しては裸およびMod-3 in. を除く。

*2 計測エネルギー範囲: 0.1MeV~1MeV

*3 計測エネルギー範囲: 1MeV~10MeV

図2.4.1 にナトリウム透過厚に対してこれらのC/E をプロットした。

B. B のC/E はJSDJ2 では透過厚とともに緩かに減少してゆく傾向となるが、JSD100では一定あるいは緩かに増加してゆく傾向となる。この結果、透過厚が小さな部分では両者はほぼ同じC/E であるので透過厚とともにJSDJ2 , JSD100との差は広がってゆき、透過厚約4.5 mでは20%程度の差となる。結果的にはJSD100の方がC/E が1.0 に近く実験値との一致が良いといえるが、B. B 間での変動幅はJSD100の方が大きくなる。このことはJSD100の方がJSDJ2 よりも計算精度のエネルギー依存性が大きいことを示唆している。スペクトル測定に対してはJSDJ2 ではB. B と同様に透過厚とともにC/E は減少傾向となるが、JSD100では顕著に増加してゆく傾向となる。特にBenjamin検出器のC/E がJSD100では大きな値となる。これらの現象はJSD100のナトリウム断面積が高速中性子の透過をJSDJ2 に比べ大きめに評価するために生じていると考えられる。図2.4.2 に本解析で実施したナトリウム15ft体系の1次元計算の種々のナトリウム透過過程での中性子スペクトルを比較した。図2.4.2 では、まず、高速中性子（特にナトリウムの散乱ピークである2.4KeV以上のエネルギー領域）においてJSD100とJSDJ2 の差が生じ、それが透過が進につれて低エネルギー側へ伝播してゆく様子がわかる。そこで高速群で大きな寄与を持つナトリウムの散乱断面積に注目し、両者を図2.4.3 , 図2.4.4 に比較した。ここで図2.4.3 は本解析用に作成した実効マクロ断面積を、図2.4.4 はJSDJ2 , JSD100の群定数ライブラリにある無限希釈断面積を示している。図2.4.3 より減速散乱断面積が高速群において10%程度JSDJ2 で大きくなっており、これが直接的に両断面積による結果の違いを導いているものと考えられる。そして、これらは図2.4.4 に示した無限希釈断面積のうち非弾性散乱および弾性散乱の相違により生じている。

JSD100での高速中性子はBenjamin検出器のC/E からは大きく実験値を過大評価するといえるが、NE-213では比較的实验値との一致は良く、むしろJSDJ2 が過少評価する傾向となる。しかし、両検出器の測定値は両者がオーバーラップしている約1.0 MeV の中性子に対して最大40%以上も異なったものとなっており、NE-213の測定値がBenjamin検出器に比べて大きく、両者には明らかに不整合が存在する。どちらの検出器の信頼性が高いかについては明確な結論を現状で得ることは困難であるが、JSD100のB. B 検出器に対する解析結果が若干過大評価傾向で、かつC/E が緩かに増加するためには高速中性子がBenjamin検出器に対する程度、過大評価しているとする方がもっともらしい結果であると考えられ、JSD100では高速中性子の透過を実際よりもかなり過大に評価するものと結論づけられる。

(2) ナトリウム中不純物の影響

本解析ではJSDJ2を用いて10ft体系に対してナトリウム中の不純物の効果について検討した。それらのC/E値は既に表2.3.6, 表2.3.7に示してある。ナトリウム中の不純物量としては水素10ppmおよび60ppmを考慮したケースについて解析を実施している。不純物の影響はナトリウム透過厚とともに増大するため、1次元計算での結果を含めて不純物効果のナトリウム厚依存性を図2.4.5に示した。本図は不純物を考慮しない場合と考慮した場合とで種々の検出器レスポンスの比が最小となる値を示している。なお、1次元計算では15ft体系についてのみ解析が実施されているため、各透過厚に相当する位置での検出器レスポンスの比を用いた。

計算結果は、不純物中の水素の含有量にほぼ比例して小さくなり、例えば、15ft体系に対しては水素10ppmで約5%、60ppmでは約30%の低下となる。前項までに得られたC/Eはこの不純物の効果を考慮して補正する必要があると考えられるが、それらは不純物中の水素の含有量の設定に大きく依存する。図2.4.5の水素60ppmは本実験レポートに記載されている最大不純物量であるが、一般用ナトリウムについて調査した結果⁴⁾以下の様な事項が明らかとなった。

- ① 一般用ナトリウムの規格は99.6%以上ナトリウムがあればよく、不純物については特別な規定はない。
- ② 過去に一般用ナトリウムを分析した例では不純物量は下記に示す値であった。また、以下では原子炉級のスペックおよび本実験レポートの最大不純物量とを比較する。

元素	一般用ナトリウム (分析例)	原子炉級ナトリウム (もんじゅ購入スペック)	本実験レポート (最大値)
H	10ppm 以下	5 ppm 以下	60ppm 以下
O	50ppm 以下	30ppm 以下	200ppm 以下
K	10ppm 以下	300ppm 以下	150ppm 以下
Ca	10ppm 以下	10ppm 以下	400ppm 以下

なお、K, Caについてはナトリウムの原料となる塩の産地によって変動が大きい。

これらの調査結果から、本実験レポートでのH, O含有量は大きすぎると考えられる。そこで補正係数に用いる不純物量としては水素10ppmのものを採用することとし、図2.4.5から各体系毎に補正值は以下の値となる。

	補正係数
2.5ft体系	0.99
5ft体系	0.99
10ft体系	0.97
12.5ft体系	0.96
15ft体系	0.95

2.5 今後の課題

本年度実施したナトリウムベンチマーク実験解析の結果JSD100の高速中性子は実際よりも過大評価となることが明らかとなった。JSDJ2ではC/Eは全般に1.0より小さく実験値を若干過少評価する。種々のB.BのC/Eは高速中性子の過大評価の影響のため結果的にはJSD100の方が1.0に近くなり実験値との一致が良くなっている。一方、本解析結果の誤差要因として、非衝突線の影響が考えられ、特にナトリウム透過厚の小さな2.5ftや5ft体系ではその影響が顕著となり、一連のDOT-3.5による計算では非衝突線の寄与が得られないために別途これを評価し加算する必要が生じた。これは、本解析での線源が初回衝突線源として与えられるためであるが、この様な線源条件の取り扱いが通常の透過計算においては、一般的とはいえない。そして、この線源条件の影響は次の様な観点から計算値を過少評価する傾向をもっている可能性がある。

- ① 2.5ftや5ft体系でのB.BのC/Eのうち、裸のB.Bはバックグラウンドの影響が大きいためC/Eが小さくなっていると考えられるが、熱中性子の寄与を遮断したCdカバーB.Bではバックグラウンドの影響はそれほど大きくはない。それにもかかわらず、他のB.Bに比べ顕著にC/Eが低下している(表2.3.8, 表2.3.9)。これは、計算での線源条件の設定上の問題による可能性がある。
- ② 本実験でのコリメータ中心軸の線源強度を設定したレポート⁽⁵⁾によれば、コリメータ外周部からの寄与が少なくとも約5%は存在することが述べられている。

JSDJ2の過少評価がこの影響を受けているとすれば、線源条件について検討することにより計算値が大きくなるため実験値との一致がより一層良くなることが期待でき、今後の課題として認識しておく必要がある。

(Mapi 太田 勳)

参考文献

- (1) R. E. Maerker 他. FINAL REPORT ON A BENCHMARK EXPERIMENT FOR NEUTRON TRANSPORT IN THICK SODIUM. ORNL-4880. Oak Ridge National Laboratory. Jan. 1974
- (2) K. Sasaki 他. ANALYSIS OF BENCHMARK EXPERIMENT FOR NEUTRON TRANSPORT IN SODIUM, STAINLESS STEEL AND IRON. Proc. of 6th Int. Conf. on Radiation Shielding. Vol. I P. 481. Tokyo. May 16-20 1983
- (3) 林田芳久 他, ナトリウム遮蔽ベンチマーク実験の解析, S58 日本原子力学会要旨集, C68, 1983
- (4) 佐々木研治, 一般用ナトリウムの不純物調査結果, JSP-SWG-38 (JASPERサブワーキンググループ第38回配布資料), 1988
- (5) R. E. Maerker 他, THE ABSOLUTE NEUTRON SPECTRUM EMERGING THROUGH A 15- $\frac{1}{4}$ -IN. COLLIMATOR FROM THE TSR-II REACTOR AT THE TOWER SHIELDING FACILITY. ORNL-TM-4010. Oak Ridge National Laboratory. DEC. 1972

表2.1.1 ナトリウムベンチマーク実験測定項目

Table IV. Experimental Configurations

Nominal Sodium Thickness (in.)	Tank Numbers	Detector Locations (in.)		Detector Type
		Centerline Distance Behind Slab	Radial Distance from Centerline	
30 (2.5ft)	1	24	0	Bonner balls
		24	24	Bonner balls
		166	0	Bonner balls
60 (5ft)	3	24	0	Bonner balls, Benjamin spectrom- eter
		24	30	Bonner balls
		359	0	Bonner balls, Benjamin spectrom- eter, NE-213 spec- trometer
		359	96	Benjamin spectrom- eter, NE-213 spec- trometer
120 (10ft)	2+3	6-72	0	Bonner balls
		2	0+84	Cadmium and 3-in. Bonner balls
		2*	0+84	Cadmium and 3-in. Bonner balls
		24	0	Benjamin Spectrom- eter, NE-213 spec- trometer
150 (12.5ft)	1+2+3	24	0	Bonner balls, Ben- jamin spectrometer
180 (15ft)	1+2+3+4	6-72	0	Bonner balls
		24	0+84 (hor.)	3-in. and 12-in. Bonner balls
		24	0+90 (vert.)	3-in. Bonner ball

*These radial traverses were made with a 5-ft sodium tank immediately behind the detectors (これについては本年度実験解析の対象外とする。)

表2.2.1 TSF15-1/4in. コリメータによる Bare Beam スペクトル (1/2)

Table III. Source Spectrum at the Exit of the Collimator

Group	Energy Interval	Intensity (neutrons/cm ² min/W)	Group	Energy Interval	Intensity (neutrons/cm ² min/W)
1	13.5-14.9 MeV	14	46	0.150-0.166 MeV	827
2	12.2-13.5	32	47	0.136-0.150	785
3	11.05-12.2	73	48	0.123-0.136	798
4	10.0-11.05	199	49	0.111-0.123	799
5	9.04-10.0	312	50	86.5-111 keV	1870
6	8.19-9.04	545	51	67.4-86.5	1790
7	7.41-8.19	846	52	52.5-67.4	1730
8	6.70-7.41	1375	53	40.9-52.5	1650
9	6.07-6.70	2070	54	31.8-40.9	1590
10	5.49-6.07	2585	55	24.8-31.8	1530
11	4.97-5.49	3180	56	19.3-24.8	1490
12	4.49-4.97	3665	57	15.0-19.3	1440
13	4.07-4.49	4420	58	11.7-15.0	1370
14	3.68-4.07	4880	59	9.12-11.7	1340
15	3.33-3.68	4825	60	7.10-9.12	1310
16	3.01-3.33	5315	61	5.53-7.10	1260
17	2.73-3.01	6570	62	4.31-5.53	1220
18	2.47-2.73	7075	63	3.35-4.31	1200
19	2.23-2.47	6955	64	2.61-3.35	1180
20	2.02-2.23	6190	65	2.03-2.61	1150
21	1.83-2.02	5570	66	1.58-2.03	1120
22	1.65-1.83	5175	67	1.23-1.58	1100
23	1.50-1.65	4200	68	961-1230 eV	1030
24	1.35-1.50	4000	69	749-961	1020
25	1.22-1.35	3170	70	583-749	1010
26	1.11-1.22	2485	71	454-583	990
27	1.00-1.11	2350	72	354-454	970
28	0.907-1.00	2135	73	275-354	960
29	0.821-0.907	2215	74	214-275	940
30	0.743-0.821	2345	75	167-214	920
31	0.672-0.743	2320	76	130-167	900
32	0.608-0.672	1990	77	101-130	900
33	0.550-0.608	1700	78	78.9-101	900
34	0.497-0.550	1425	79	61.4-78.9	900
35	0.450-0.497	1210	80	47.9-61.4	900
36	0.408-0.450	1130	81	37.3-47.9	900
37	0.369-0.408	1170	82	29.0-37.3	900
38	0.334-0.369	1175	83	22.6-29.0	900
39	0.302-0.334	1130	84	17.6-22.6	900
40	0.273-0.302	1055	85	13.7-17.6	900
41	0.247-0.273	955	86	10.7-13.7	930
42	0.224-0.247	837	87	8.32-10.7	960
43	0.202-0.224	777	88	6.48-8.32	990
44	0.183-0.202	926	89	5.04-6.48	1035
45	0.166-0.183	845	90	3.93-5.04	1035

表2.2.1 TSF15-1/4in, コリメータによる Bare Beam スペクトル (2/2)

Table III. Source Spectrum at the Exit of the Collimator (continued)

Group	Interval	Intensity (neutrons/cm ² min/W)	Group	Energy Interval	Intensity (neutrons/cm ² min/W)
91	3.06-3.93 eV	1035	96	0.876-1.13 eV	1250
92	2.38-3.06	1035	97	0.683-0.876	1350
93	1.86-2.38	1060	98	0.532-0.683	1565
94	1.44-1.86	1100	99	0.414-0.532	1900
95	1.13-1.44	1170	100	0.000-0.414	9.50 x 10 ⁴
		Totals 1-100		0.000-14.9 MeV	2.702 x 10 ⁵

表2.2.2 原子数密度

単位: atoms/barn·cm

媒質名 密度 (g/cm ³) 元素	アルミニウム	ナトリウム (不純物無し)	ナトリウム (H:10ppm) *1	ナトリウム (H:60ppm) *2	コンクリート
	2.70	0.945	0.945	0.945	2.37
H			5.646E-06	3.388E-05	8.880E-03
C					7.970E-03
N					
O			1.778E-06	7.114E-06	4.200E-02
Na		2.475E-02	2.474E-02	2.473E-02	2.730E-05
Mg					1.440E-03
Al	5.906E-02				4.140E-04
Si					3.840E-03
K			2.183E-06	2.183E-06	2.340E-03
Ca			5.680E-06	5.680E-06	1.000E-02
Fe	5.823E-04				2.640E-04
出典	JASPER実験解析 用データ	ORNL-4880		ORNL-4880	JASPER実験解析 用データ

*1 その他の不純物として、O:50ppm, K:150ppm, Ca:400ppmを考慮した。

*2 その他の不純物として、O:200ppm, K:150ppm, Ca:400ppmを考慮した。

表2.3.1 解析対象ケースおよび減衰率

No.	ナトリウム厚 (ft)	断面積	不純物	減衰率*3
1	15	JSDJ2	無	1.8×10^{-6}
2	15	JSD100	無	2.2×10^{-6}
3	12.5	JSDJ2	無	1.4×10^{-5}
4	12.5	JSD100	無	1.7×10^{-5}
5	10	JSDJ2	無	9.6×10^{-5}
6	10	JSDJ2	H: 10ppm *1	9.4×10^{-5}
7	10	JSDJ2	H: 60ppm *2	8.5×10^{-5}
8	10	JSD100	無	1.1×10^{-4}
9	5	JSDJ2	無	3.2×10^{-3}
10	5	JSD100	無	3.3×10^{-3}
11	2.5	JSDJ2	無	2.8×10^{-2}
12	2.5	JSD100	無	2.8×10^{-2}

*1 その他の不純物として O: 50ppm K: 150ppm Ca: 400ppm

*2 その他の不純物として O: 200ppm K: 150ppm Ca: 400ppm

*3 2次元計算径方向第1メッシュの供試体部に対する減衰率

表2.3.2 15ft体系後方中心軸上のB,B計数率測定値及びC/E (1/3)

体系後方 距離 (in.)	B, B	測定値 (cpm/w)	C/E ^{*1, *2}		B, B	測定値 (cpm/w)	C/E ^{*1, *2}					
			JSDJ2	JSD100			JSDJ2	JSD100				
2	Bare	0.225	0.74	0.83	3'	0.666	1.13	1.35				
4						0.585	0.96	1.15				
5		0.571	0.91	1.10								
6		0.193	0.75	0.84		0.507	0.91	1.09				
8						0.493	0.88	1.06				
9		0.168	0.73	0.82		0.438	0.90	1.08				
11						0.418	0.89	1.07				
12		0.145	0.73	0.82		0.394	0.86	1.03				
14						0.365	0.89	1.06				
18		0.111	0.73	0.82		0.285	0.88	1.05				
20						0.277	0.86	1.03				
24		0.085	0.73	0.82		0.220	0.86	1.03				
26						0.210	0.86	1.03				
30		0.067	0.74	0.83		0.172	0.85	1.02				
36						0.165	0.86	1.03				
38		0.053	0.75	0.84		0.135	0.87	1.04				
44	0.132				0.85	1.02						
48	Cd- cover	0.092	0.85	0.98	4'	0.773	0.85	1.04				
50						0.661	0.83	1.02				
56		0.0765	0.86	1.00		0.578	0.81	0.99				
60						0.496	0.81	0.99				
62		0.066	0.84	0.97		0.371	0.80	0.98				
64						0.287	0.78	0.95				
66		0.057	0.84	0.97		0.222	0.78	0.95				
68						0.176	0.78	0.96				
70		0.043	0.83	0.96								
72										0.033	0.81	0.94
74		0.033	0.81	0.94						0.287	0.78	0.95
76												
78		0.0202	0.82	0.95						0.176	0.78	0.96
80												

*1 計算による全中性子束減衰率 = 1.833×10^{-6} (JSDJ2, 径方向第1メッシュ)
 *2 計算ではナトリウム中不純物は考慮していない。

表2.3.2 15ft体系後方中心軸上のB, B計数率測定値及びC/E (2/3)

体系後方 距離 (in.)	B, B	測定値 (cpm/w)	C/E ^{*1, *2}		B, B	測定値 (cpm/w)	C/E ^{*1, *2}						
			JSDJ2	JSD100			JSDJ2	JSD100					
2	5'	0.626	0.89	1.10	8'	0.208	0.99	1.24					
4						0.199	0.88	1.10					
5						0.175	0.83	1.03					
6						0.174	0.81	1.02					
8						0.147	0.81	1.02					
9						0.127	0.81	1.01					
11						0.302	0.84	1.04					
12						0.232	0.83	1.02					
14						0.232	0.83	1.02					
18						0.181	0.82	1.01					
20						0.181	0.82	1.01					
24						0.143	0.82	1.02					
26						0.143	0.82	1.02					
30						0.143	0.82	1.02					
36						0.143	0.82	1.02					
38	0.143	0.82	1.02										
44	6'	0.480	0.96	1.19	10'	0.0787	0.90	1.13					
48						0.0771	0.89	1.12					
50						0.0702	0.83	1.04					
56						0.0664	0.82	1.03					
60						0.0561	0.83	1.04					
62						0.0497	0.80	1.00					
64						0.289	0.81	1.01					
72						0.221	0.78	0.97					
74						0.221	0.78	0.97					
2						6'	0.453	0.87	1.08	10'	0.0367	0.79	0.99
4											0.0702	0.83	1.04
5											0.0664	0.82	1.03
6											0.0561	0.83	1.04
8											0.0497	0.80	1.00
9											0.392	0.81	1.01
11	0.337	0.82	1.02										
12	0.337	0.82	1.02										
14	0.289	0.81	1.01										
18	0.289	0.81	1.01										
20	0.221	0.78	0.97										
24	0.221	0.78	0.97										
26	0.166	0.79	0.99										
30	0.166	0.79	0.99										
36	0.130	0.78	0.97										
38	0.130	0.78	0.97										
44	6'	0.103	0.79	0.98	10'	0.0230	0.74	0.93					
48						0.0176	0.76	0.95					
50						0.0176	0.76	0.95					
56						0.0176	0.76	0.95					
60						0.0176	0.76	0.95					
62						0.0176	0.76	0.95					
64						0.0176	0.76	0.95					
72						0.0176	0.76	0.95					
74						0.0176	0.76	0.95					

*1 計算による全中性子束減衰率 = 1.833×10^{-6} (JSDJ2, 径方向第1メッシュ)
 *2 計算ではナトリウム中不純物は考慮していない。

表2.3.2 15ft体系後方中心軸上のB, B計数率測定値及びC/E (3/3)

体系後方 距離 (in.)	B, B	測定値 (cpm/w)	C/E ^{*1, *2}	
			JSDJ2	JSD100
2	12'	0.0304	0.88	1.10
4				
5				
6				
8				
9				
11				
12				
14				
18				
20				
24				
26				
30				
36				
38				
44				
48	0.0108	0.77	0.97	
50	0.0091	0.77	0.97	
56				
60				
62				
64	0.0079	0.76	0.95	
72	0.0070	0.73	0.91	
74				
23	Mod. -3'	0.000121	0.23	0.58

*1 計算による全中性子束減衰率 = 1.833×10^{-6} (JSDJ2、径方向第1メッシュ)
 *2 計算ではナトリウム中不純物は考慮していない。

表2.3.3 15ft体系後方24in.での3in.-B,B計数率径方向分布測定値及びC/E

Horizontal Traverse				Vertical Traverse			
中心軸からの距離 (in.)	測定値*1 (cpm/w)	C/E*2		中心軸からの距離 (in.)	測定値*1 (cpm/w)	C/E*2	
		JSDJ2	JSD100			JSDJ2	JSD100
84 South	0.0714	0.55	0.66	65 Down	0.161	0.61	0.73
72	0.113	0.63	0.75	64 3/4	0.165	0.59	0.71
60	0.171	0.70	0.84	64 1/2	0.170	0.58	0.70
48	0.235	0.75	0.91	64 1/4	0.168	0.59	0.71
36	0.306	0.78	0.94	64	0.165	0.61	0.73
24	0.361	0.81	0.97	63 1/2	0.155	0.66	0.80
12	0.399	0.83	0.99	63	0.153	0.69	0.83
4	0.414	0.81	0.98	61	0.159	0.71	0.85
0	0.419	0.80	0.96	55	0.189	0.76	0.92
6 North	0.417	0.81	0.97	49	0.225*3	0.77	0.92
12	0.407	0.81	0.97	43	0.258	0.80	0.96
24	0.366	0.80	0.96	37	0.293	0.80	0.96
36	0.309	0.77	0.93	31	0.323	0.81	0.97
48	0.235	0.75	0.91	25	0.350	0.83	0.99
60	0.173	0.69	0.83	19	0.373	0.83	0.99
72	0.113	0.63	0.75	13	0.395	0.83	0.99
76	0.0926	0.63	0.76	7	0.411	0.82	0.98
				1	0.424	0.80	0.95
				5 Up	0.424	0.79	0.95
				11	0.416	0.80	0.95
				17	0.402	0.78	0.94
				23	0.378	0.78	0.94
				29	0.353	0.76	0.92
				35	0.327	0.75	0.90
				41	0.301	0.72	0.86
				47	0.272	0.67	0.80
				53	0.241	0.64	0.77
				55	0.227	0.64	0.76
				59	0.208	0.60	0.72
				63	0.194	0.54	0.65
				65	0.194	0.50	0.60
				66	0.205	0.46	0.55
				66 1/2	0.220	0.41	0.50
				67	0.232	0.38	0.46
				67 1/2	0.231	0.38	0.45
				68	0.227	0.38	0.45
				69	0.199	0.41	0.49
				71	0.159	0.47	0.56
				77	0.118	0.47	0.57
				83	0.0912*4	0.45	0.54
				89	0.0643*4	0.48	0.58

*1 測定のパック・グランドを含んだ値。(Traverse測定では、パック・グランドを測定していない。)

*2 計算ではナトリウム中不純物は考慮していない。

*3 ORNL-4880のTable XX, の記載値は0.252となっているがFig. 5. から読み取れる値及び計算値との比較よりTable XX, が誤植であると判断した。

*4 ORNL-4880のTable XX, の記載値は1桁小さい数値となっているがFig. 5. から読み取れる値及び計算値との比較よりTable XX, が誤植であると判断した。

表2.3.4 15ft体系後方23in.での12in.-B,B計数率径方向分布測定値及びC/E

Horizontal Traverse				
中心軸から の距離 (in.)	測定値* ¹ (cpm/w)	C/E* ²		
		JSDJ2	JSD100	
84 South	0.00404	0.36	0.45	
72	0.00575	0.50	0.62	
60	0.00869	0.58	0.73	
48	0.0136	0.59	0.73	
36	0.0169	0.65	0.81	
24	0.0182	0.72	0.91	
12	0.0205	0.73	0.92	
0	0.0216	0.72	0.90	
12 North	0.0234	0.64	0.80	
24	0.0187	0.70	0.88	
36	0.0157	0.70	0.87	
48	0.0124	0.64	0.81	
60	0.00861	0.59	0.74	
72	0.00564	0.51	0.64	
84	0.00387	0.37	0.47	

*1 測定のパック・グラブを含んだ値。(Traverse測定では、パック・グラブを測定していない。)

*2 計算ではナトリウム中不純物は考慮していない。

表2.3.5 12.5ft体系後方中心軸上のB,B計数率測定値及びC/E

体系後方 距離 (in.)	B, B	測定値 (cpm/w)	*1, *2 C/E	
			JSDJ2	JSD100
24	Bare	0.865	0.77	0.82
	Cd- cover	0.349	0.95	1.05
	3'	2.51	1.05	1.20
	4'	3.40	0.98	1.14
	5'	2.91	1.00	1.17
	6'	2.11	0.97	1.15
	8'	0.950	0.95	1.14
	10'	0.359	0.97	1.17
	12'	0.141	0.95	1.14
	Mod. -3'	0.00177	0.32	0.69

*1 計算による全中性子束減衰率 = 1.441×10^{-5} (JSDJ2、径方向第1メッシュ)

*2 計算ではナトリウム中不純物は考慮していない。

表2.3.6 10ft体系後方中心軸上のB, B計数率測定値及びC/E (1/2)

体系後方 距離 (in.)	B, B	測定値 (cpm/w)	C/E ^{*1, *4}			
			JSDJ2			JSD100
			不純物無	H:10ppm ^{*2}	H:60ppm ^{*3}	不純物無
6	Bare	5.98	0.84	0.83	0.80	0.86
12		5.28	0.82	0.81	0.78	0.84
24		4.16	0.77	0.76	0.73	0.79
36		3.31	0.75	0.74	0.70	0.77
48		2.67	0.71	0.70	0.67	0.73
60		2.15	0.70	0.70	0.66	0.73
72.4		1.75	0.69	0.68	0.64	0.71
6	Cd- cover	3.08	0.96	0.94	0.86	1.00
12		2.66	0.93	0.91	0.83	0.97
24		1.96	0.91	0.89	0.81	0.95
36		1.50	0.88	0.86	0.79	0.92
48		1.14	0.87	0.86	0.78	0.91
60		0.888	0.87	0.85	0.78	0.91
72.4		0.707	0.86	0.85	0.77	0.90
6	3'	27.5	1.03	1.01	0.90	1.11
12		23.5	0.98	0.96	0.86	1.06
24		17.3	0.97	0.94	0.85	1.04
36		13.0	0.95	0.93	0.83	1.03
48		10.1	0.92	0.90	0.80	0.99
60		7.78	0.92	0.90	0.80	0.99
72.4		6.07	0.93	0.91	0.81	1.01
6	4'	39.9	0.97	0.94	0.84	1.07
12		34.5	0.92	0.90	0.80	1.02
24		25.3	0.90	0.88	0.79	1.00
36		18.9	0.89	0.87	0.77	0.99
48		14.7	0.86	0.84	0.75	0.95
60		11.3	0.86	0.84	0.75	0.95
72.4		8.82	0.87	0.85	0.75	0.96
6	5'	35.4	0.99	0.96	0.86	1.11
12		30.5	0.96	0.94	0.84	1.07
24		22.3	0.93	0.91	0.81	1.04
36		16.8	0.91	0.89	0.79	1.03
48		12.8	0.90	0.88	0.78	1.01
60		9.85	0.90	0.88	0.78	1.01
72.4		7.74	0.90	0.88	0.78	1.01
6	6'	26.7	0.97	0.94	0.84	1.10
12		22.8	0.91	0.89	0.79	1.03
24		16.7	0.90	0.88	0.78	1.02
36		12.6	0.86	0.84	0.75	0.98
48		9.52	0.87	0.85	0.75	0.99
60		7.41	0.86	0.84	0.75	0.98
72.4		5.78	0.87	0.84	0.75	0.98
6	8'	12.1	0.99	0.97 (0.96)	0.86	1.14
12		10.2	0.94	0.92	0.82	1.09
24		7.61	0.90	0.88	0.78	1.04
36		5.67	0.87	0.85	0.76	1.01
48		4.31	0.87	0.85	0.75	1.00
60		3.32	0.87	0.85	0.75	1.00
72.4		2.61	0.87	0.85	0.75	1.00

*1 計算による全中性子束減衰率 = 9.634×10^{-5} (JSDJ2-不純物無、径方向第1メッシュ)

*2 その他の不純物として、O:50ppm, K:150ppm, Ca:400ppmを考慮した。

*3 その他の不純物として、O:200ppm, K:150ppm, Ca:400ppmを考慮した。

*4 カッコ内はcollided成分のみによるC/E。

表2.3.6 10ft体系後方中心軸上のB, B計数率測定値及びC/E (2/2)

体系後方 距離 (in.)	B, B	測定値 (cpm/w)	C/E ^{*1, *4}			
			JSDJ2			JSD100
			不純物無	H:10ppm ^{*2}	H:60ppm ^{*3}	不純物無
6 12 24 36 48 60 72.4	10'	4.90 4.17 3.01 2.26 1.71 1.33 1.03	0.97 0.90 0.89 0.85 0.85 0.84 0.84	0.95 0.88 0.87 0.83 0.83 0.82 0.82	0.85 0.79 0.77 0.74 0.74 0.73 0.73	1.14 1.05 1.03 1.00 0.99 0.98 0.98
6 12 24 36 48 60 72.4	12'	1.78 1.51 1.09 0.818 0.616 0.471 0.368	1.05 0.94 0.94 0.90 0.89 0.90 0.90 (0.89)	1.03 (1.02) 0.92 0.92 0.88 0.87 0.88 0.88 (0.87)	0.92 0.83 0.82 0.79 0.78 0.79 0.78	1.24 (1.23) 1.11 1.11 1.06 1.05 1.06 1.06 (1.05)
24 72.4	Mod. -3'	0.0308 0.0103	0.40 (0.39) 0.36	0.39 0.35	0.37 0.33	0.71 0.66

*1 計算による全中性子束減衰率 = 9.634×10^{-5} (JSDJ2-不純物無、径方向第1メッシュ)
 *2 その他の不純物として、O:50ppm, K:150ppm, Ca:400ppmを考慮した。
 *3 その他の不純物として、O:200ppm, K:150ppm, Ca:400ppmを考慮した。
 *4 カッコ内はcollided成分のみによるC/E。

表2.3.7 10ft体系後方2in.でのB,B計数率径方向分布測定値及びC/E

中心軸からの距離 (in.)	B, B	測定値 (cpm/w)	C/E			
			JSDJ2			JSD100
			不純物無	H:10ppm* ¹	H:60ppm* ²	不純物無
0	Cd-cover	3.55	1.11	1.09	1.00	1.16
12		3.36	0.81	0.80	0.73	0.85
24		2.95	0.66	0.65	0.59	0.69
36		2.39	0.45	0.45	0.40	0.48
48		1.69	0.31	0.31	0.28	0.33
60		0.909	0.26	0.26	0.23	0.28
72		0.083	0.73	0.71	0.64	0.78
0	3'	30.6	1.24	1.21	1.09	1.34
12		28.8	0.85	0.83	0.74	0.91
24		25.3	0.64	0.62	0.56	0.69
36		20.3	0.37	0.36	0.32	0.40
48		14.0	0.28	0.27	0.24	0.30
60		7.34	0.23	0.22	0.20	0.25
72		0.64	0.65	0.63	0.56	0.72

*1 その他の不純物として、O:50ppm, K:150ppm, Ca:400ppmを考慮した。

*2 その他の不純物として、O:200ppm, K:150ppm, Ca:400ppmを考慮した。

表2.3.8 5ft体系後方のB,B計数率測定値及びC/E

体系後方 距離 (in.)	中心軸から の距離 (in.)	B, B	測定値 (cpm/w)	C/E*1, *2, *3	
				JSDJ2	JSD100
24	0	Bare	42.0	0.73 (0.72)	0.69
24	30		34.2	0.69	0.67
359	0		1.03	0.66 (0.65)	0.64
24	0	Cd- cover	21.4	0.88	0.84
24	30		17.2	0.82	0.79
359	0		0.372	0.96	0.93
24	0	3'	295.	1.00	0.98
24	30		228.	0.95	0.93
359	0		4.89	1.07	1.05
24	0	4'	590.	0.93	0.94 (0.93)
24	30		435.	0.88	0.90
359	0		9.05	1.02 (1.01)	1.04 (1.03)
24	0	5'	639.	0.92	0.95
24	30		462.	0.89	0.92
359	0		9.32	1.04 (1.03)	1.09 (1.07)
24	0	6'	551.	0.91	0.97 (0.96)
24	30		389.	0.88	0.94
359	0		8.02	1.01 (0.98)	1.08 (1.05)
24	0	8'	318.	0.91 (0.90)	1.00 (0.99)
24	30		224.	0.84	0.93
359	0		4.88	0.94 (0.86)	1.03 (0.96)
24	0	10'	149.	0.92 (0.89)	1.05 (1.02)
24	30		102.	0.83	0.95
359	0		2.37	0.94 (0.77)	1.05 (0.89)
24	0	12'	71.8	0.91 (0.85)	1.06 (1.00)
24	30		46.6	0.79	0.94
359	0		1.24	0.93 (0.63)	1.02 (0.75)
24	0	Mod. -3'	6.94	0.48 (0.47)	0.59 (0.58)
359	0		0.103	0.43 (0.41)	0.55 (0.53)

*1 計算による全中性子束減衰率 = 3.225×10^{-3} (JSDJ2, 径方向第1メッシュ)

*2 計算ではナトリウム中不純物は考慮していない。

*3 カッコ内はcollided成分のみによるC/E。

表2.3.9 2.5ft体系後方のB,B計数率測定値及びC/E

体系後方 距離 (in.)	中心軸から の距離 (in.)	B, B	測定値 (cpm/w)	C/E*1,*2,*3	
				JSDJ2	JSD100
24 24 166	0 24 0	Bare	318. 197. 26.6	0.69 (0.61) 0.66 0.54 (0.36)	0.62 (0.57) 0.61 0.47 (0.34)
24 24 166	0 24 0	Cd- cover	58.5 41.0 4.07	0.79 (0.75) 0.77 0.73 (0.62)	0.76 (0.73) 0.75 0.70 (0.60)
24 24 166	0 24 0	3'	840. 611. 55.7	0.99 (0.96) 0.93 0.88 (0.79)	0.95 (0.92) 0.89 0.85 (0.76)
24 24 166	0 24 0	4'	2068. 1428. 129.	0.96 (0.92) 0.91 0.87 (0.75)	0.94 (0.90) 0.90 0.86 (0.74)
24 24 166	0 24 0	5'	2678. 1824. 174.	0.98 (0.92) 0.91 0.87 (0.69)	0.98 (0.92) 0.91 0.87 (0.70)
24 24 166	0 24 0	6'	2821. 1801. 187.	0.97 (0.88) 0.90 0.86 (0.61)	0.99 (0.91) 0.93 0.88 (0.64)
24 24 166	0 24 0	8'	2163. 1306. 159.	1.02 (0.87) 0.88 0.89 (0.49)	1.07 (0.92) 0.95 0.91 (0.53)
24 24 166	0 24 0	10'	1379. 754. 113.	1.07 (0.83) 0.87 0.93 (0.38)	1.14 (0.91) 0.96 0.96 (0.42)
24 24 166	0 24 0	12'	878. 422. 77.5	1.08 (0.76) 0.85 0.98 (0.29)	1.16 (0.85) 0.97 1.00 (0.33)

*1 計算による全中性子束減衰率 = 2.823×10^{-2} (JSDJ2, 径方向第1メッシュ)

*2 計算ではナトリウム中不純物は考慮していない。

*3 カッコ内はcollided成分のみによるC/E。

表2.3.10 スペクトル測定のカ/E

体系	検出器	測定点		エネルギー幅 (MeV)	測定値 (n/cm ² /min/w)	C/E*1 *2	
		体系後方 距離(in.)	中心軸からの 距離(in.)			JSDJ2	JSD100
5 ft	Benjamin	24	0	1.35~0.0739	76.05	0.96	1.20
		359	0	1.35~0.0725	1.097	0.94 (0.93)	1.21
		359	96	1.35~0.0739	0.9868	1.00	1.30
	NE-213	359	0	12~1	0.6824~0.5837	0.83~0.97 (0.33~0.39)	0.93~1.08 (0.46~0.54)
		359	96	12~1	0.3652~0.3183	0.76~0.88	1.04~1.19
10ft	Benjamin	24	0	1.5 ~0.0279	0.2705	0.88	1.53
	NE-213	24	0	10~1	0.06871~0.05341	0.56~0.72 (0.54~0.70)	0.99~1.27 (0.97~1.25)
12.5ft	Benjamin	24	0	1.5 ~0.0734	0.01241	0.85	1.77

*1 計算ではナトリウム中不純物は考慮していない。ただし、10ft体系に対して不純物を考慮した計算を実施しているが、その効果はBenjaminで6%、NE-213で2% (H: 60ppm) である。

*2 カッコ内はCollided成分のみによるC/E

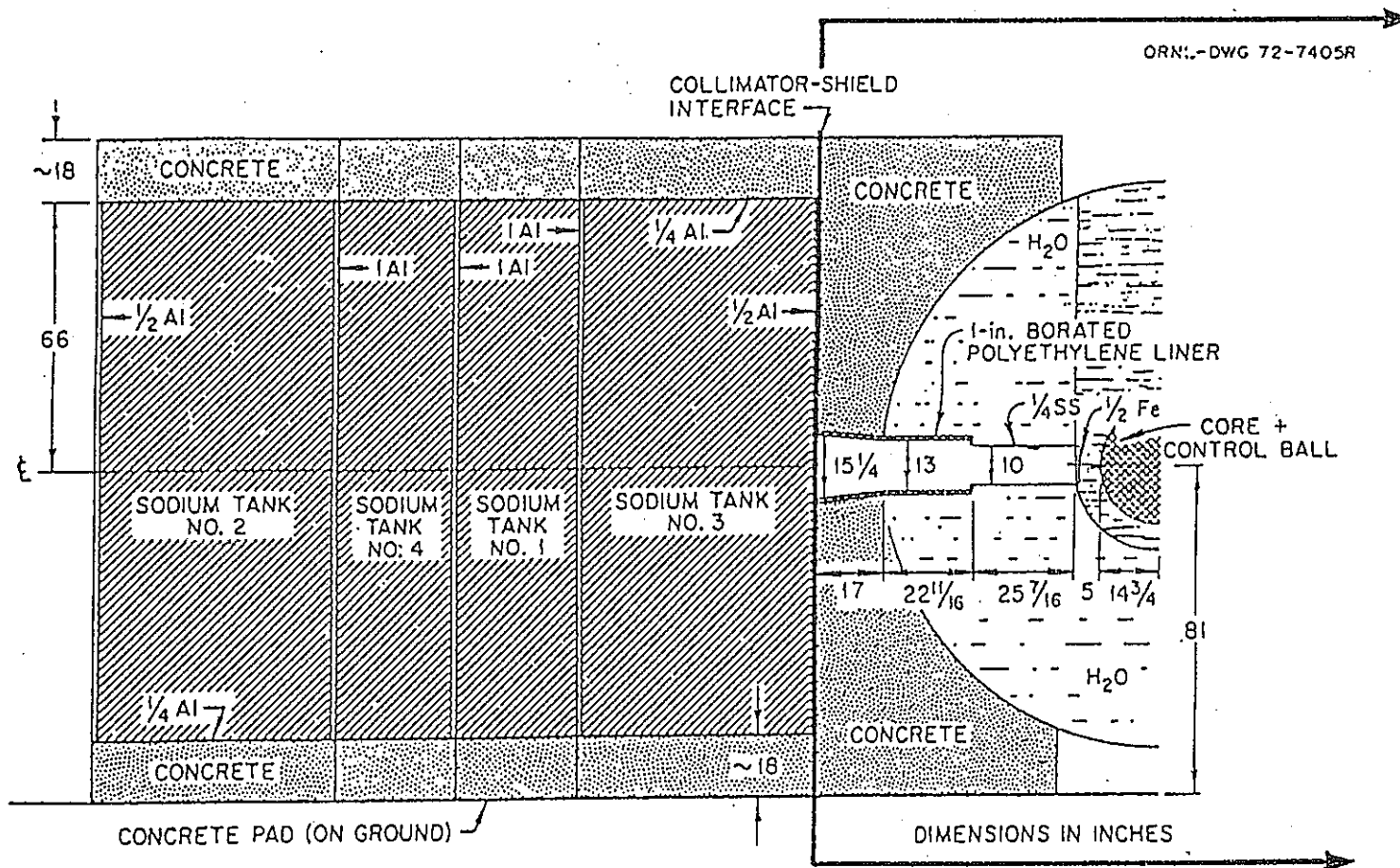


Fig. 1. Side-View of Reactor and Sodium Shield Geometry.

Collimator Region

図2.1.1 ナトリウムベンチマーク実験体系 (15ft体系)

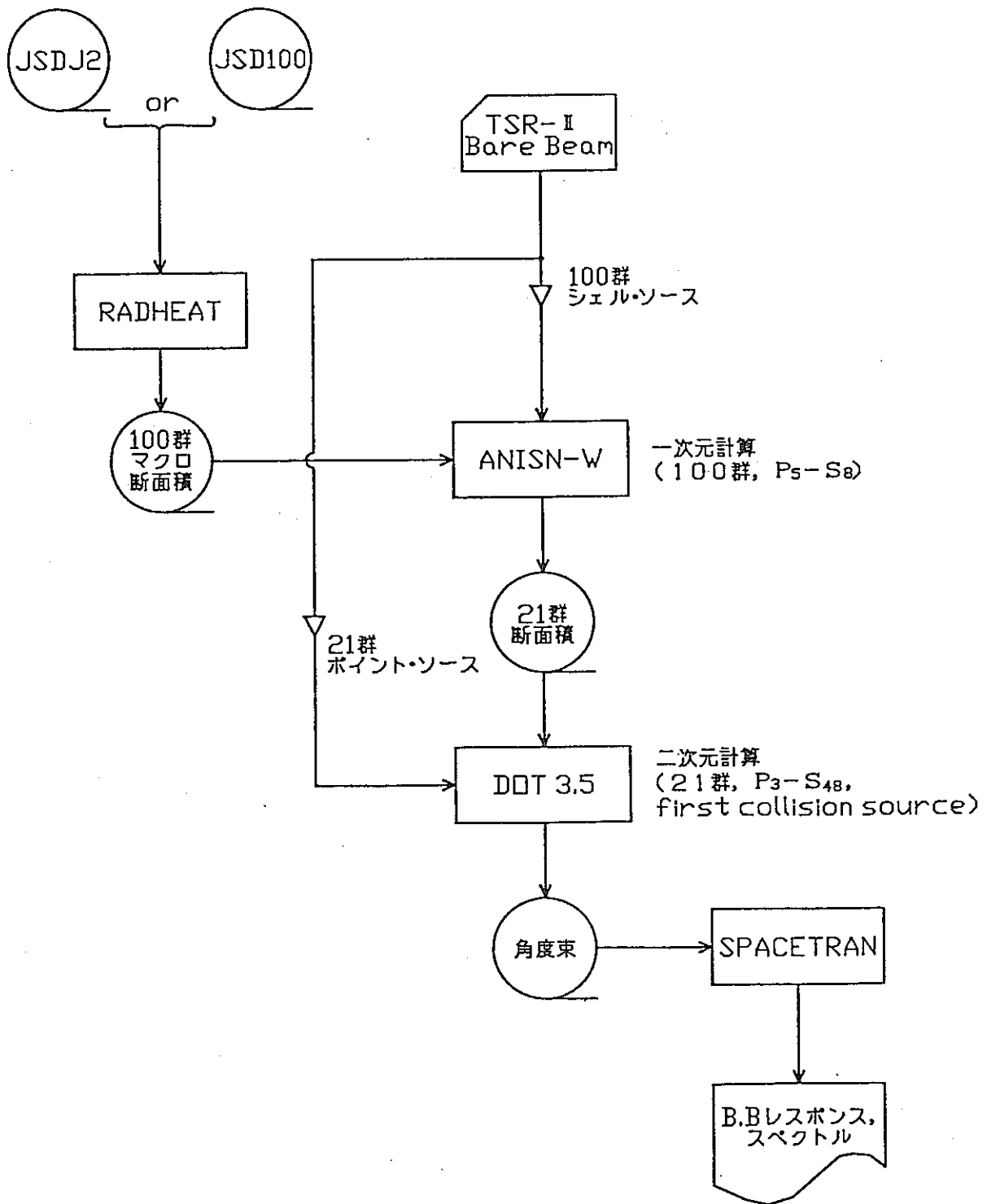


図2.2.1 ナトリウムベンチマーク実験解析の解析フロー (Collided成分)

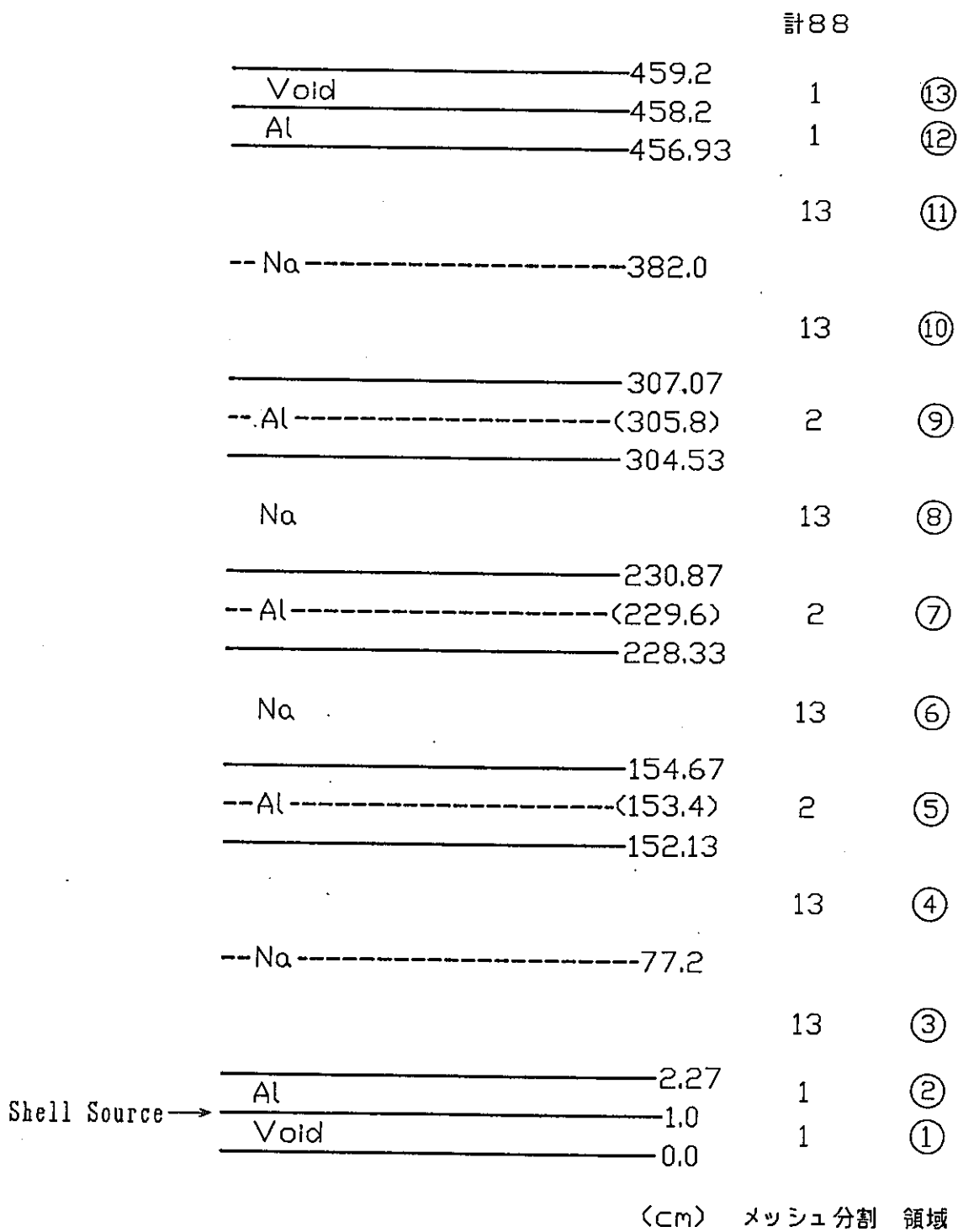
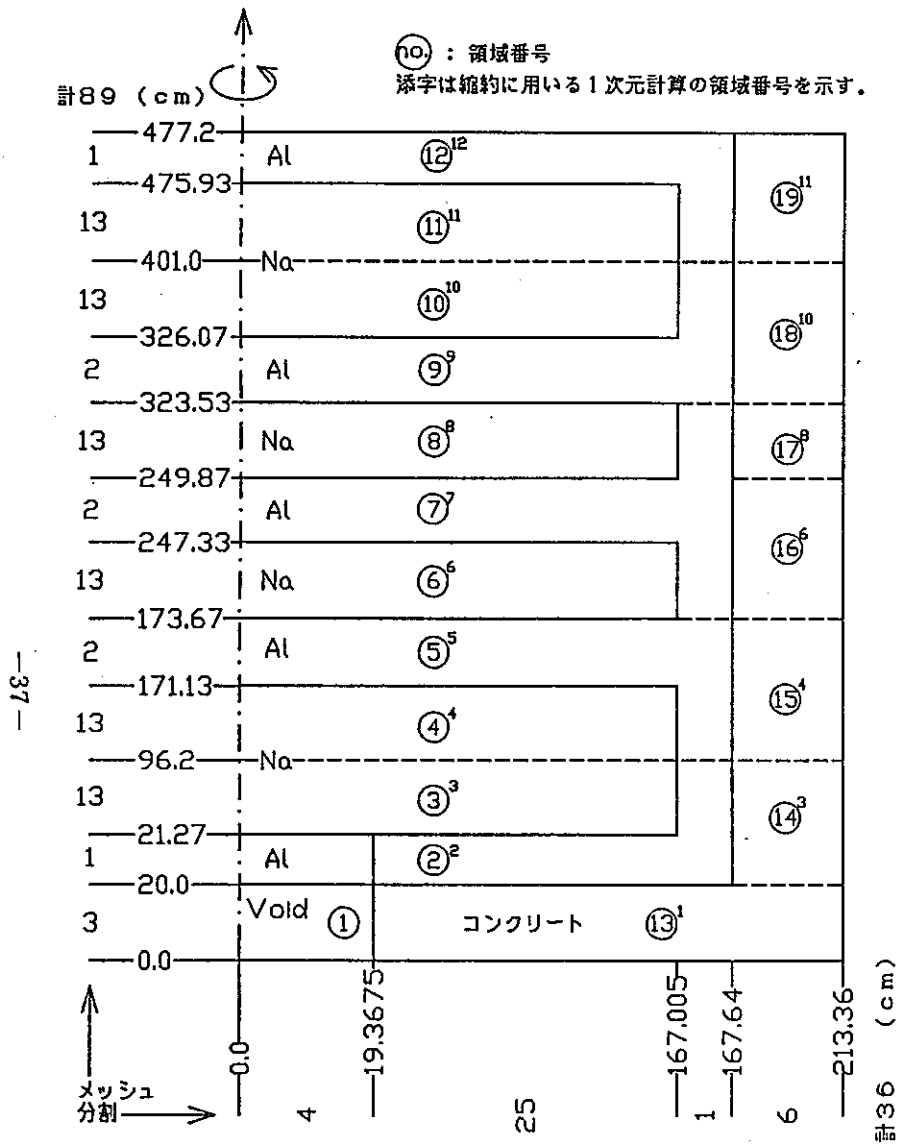
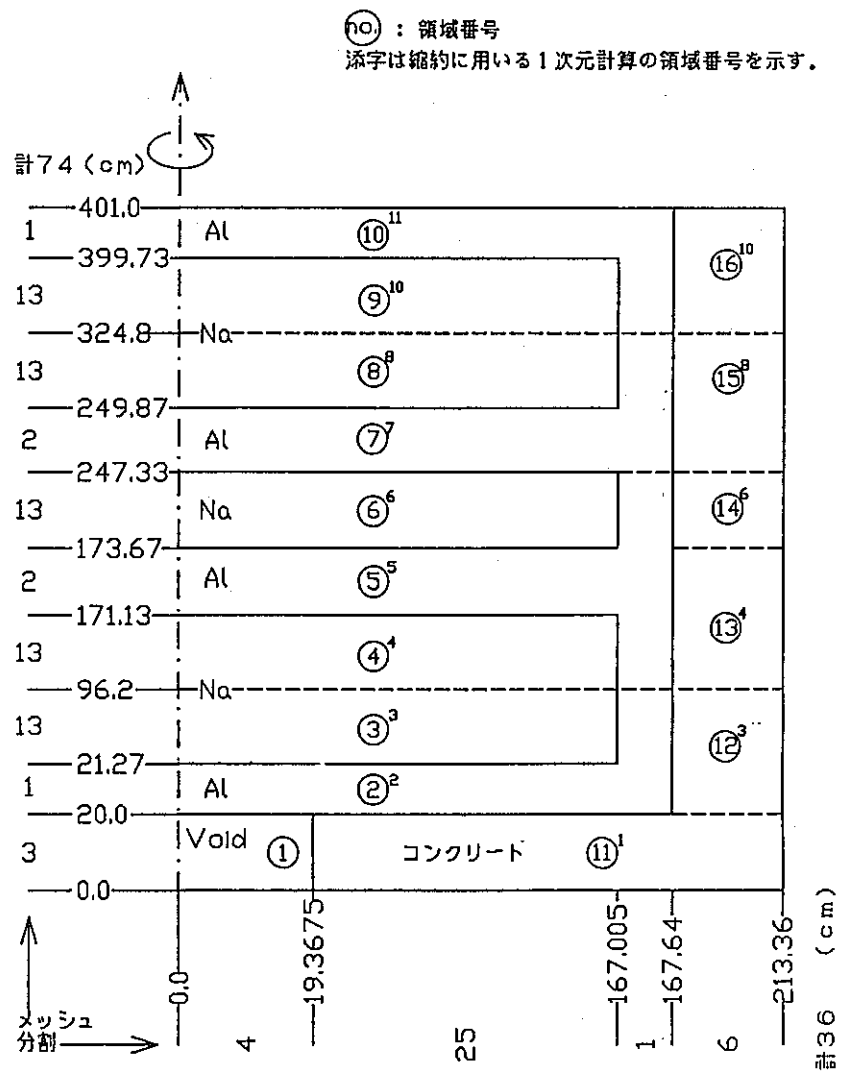


図2.2.2 1次元計算体系 (15ft)

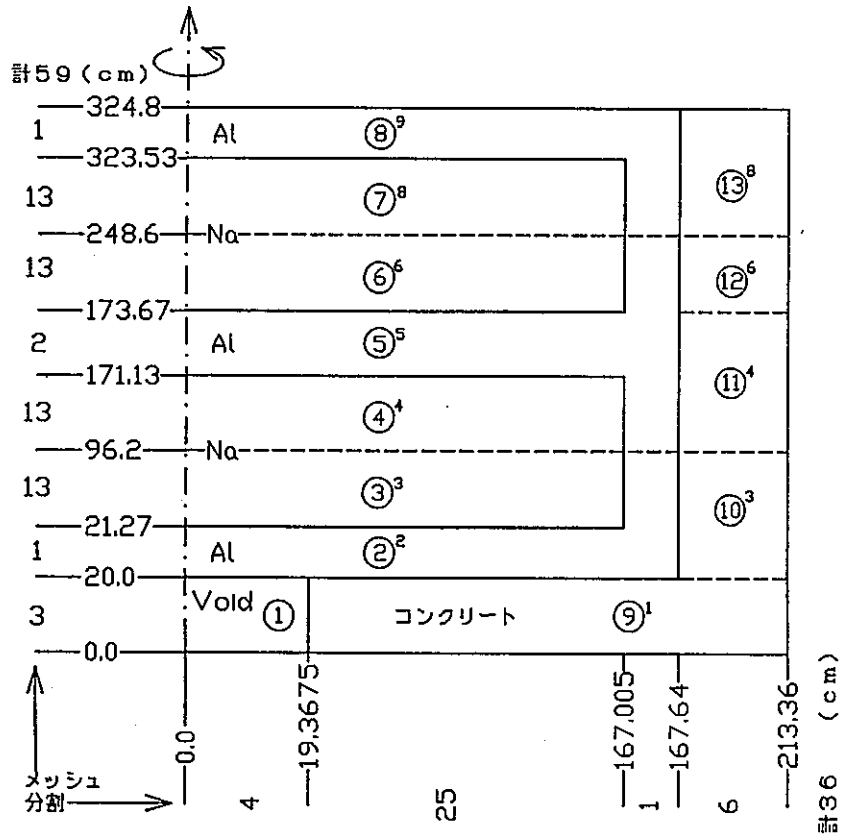


(a) Na 15ft.

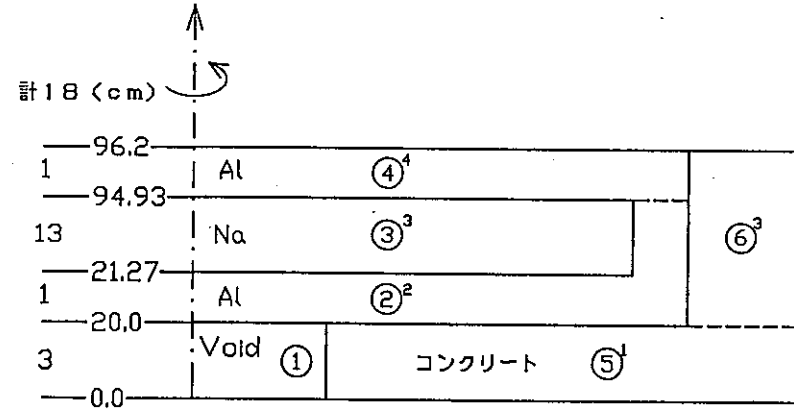


(b) Na 12.5ft.

⑩: 領域番号
添字は縮約に用いる1次元計算の領域番号を示す。

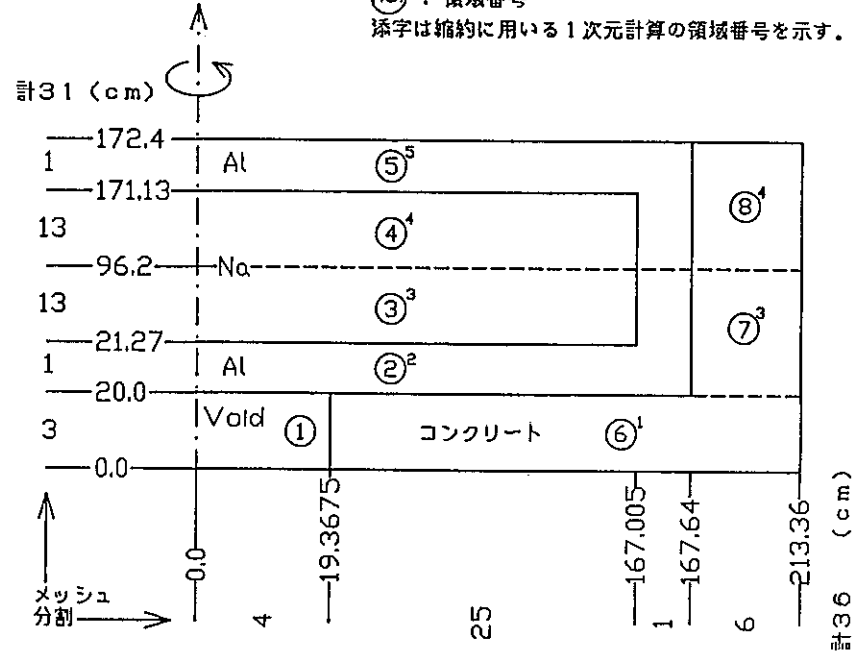


(c) Na 10ft.



(e) Na 30in.

⑩: 領域番号
添字は縮約に用いる1次元計算の領域番号を示す。



(d) Na 5ft.

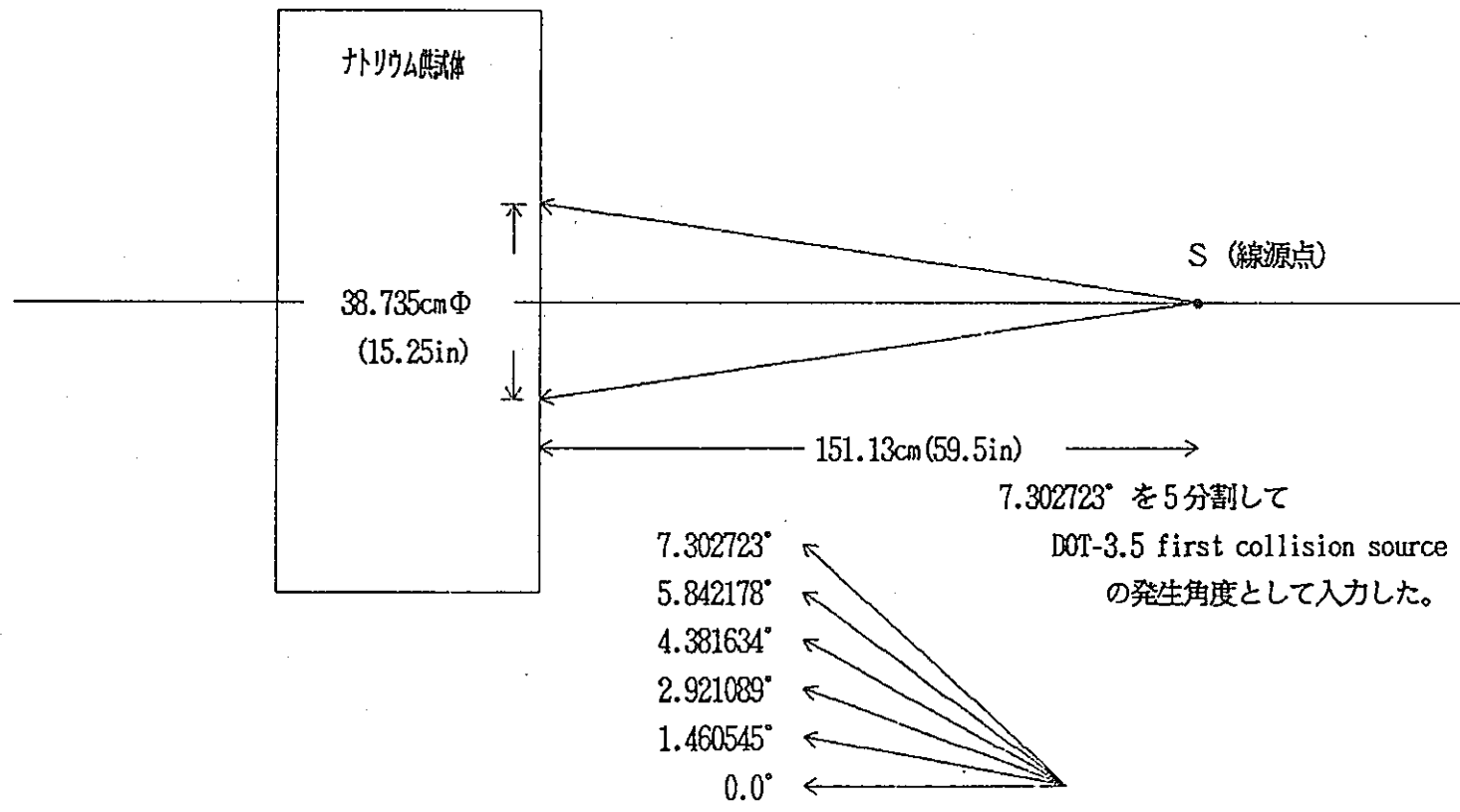
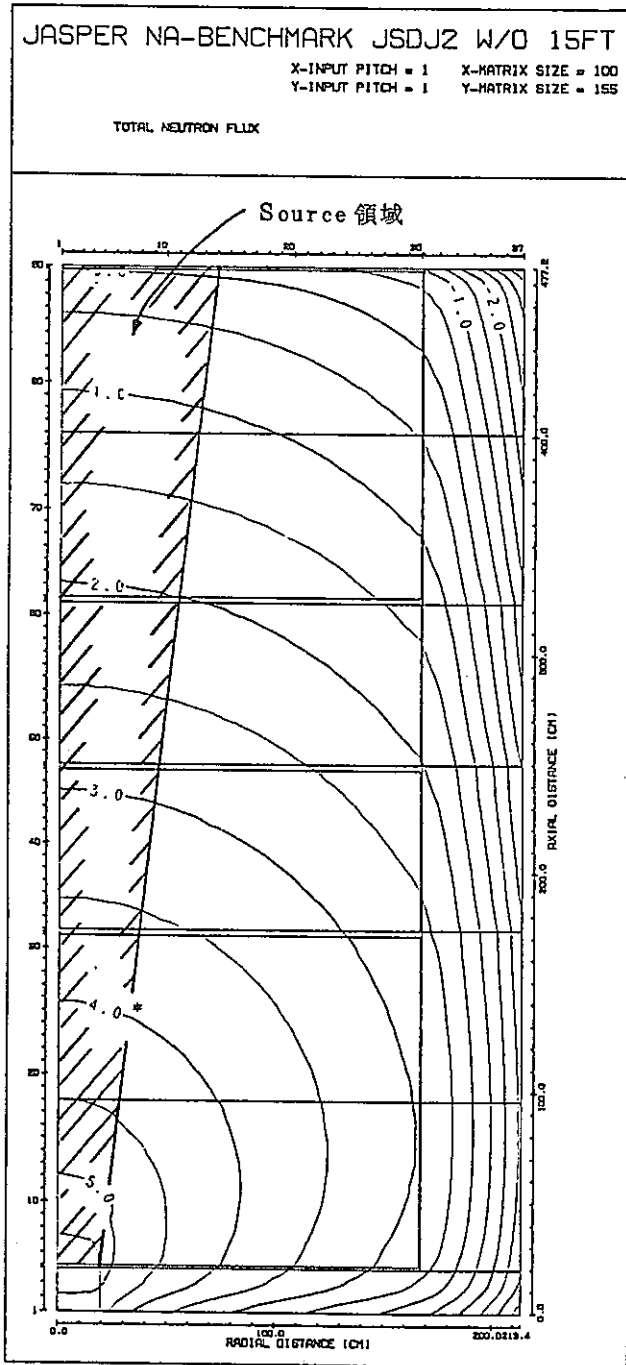
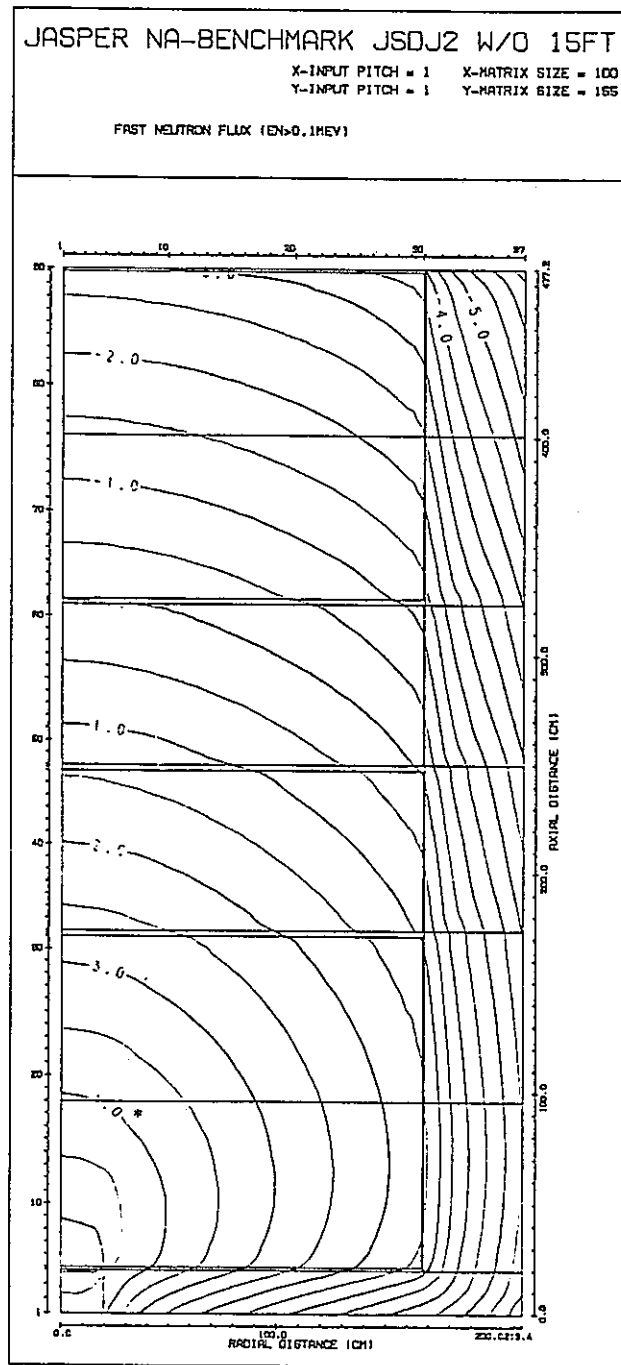


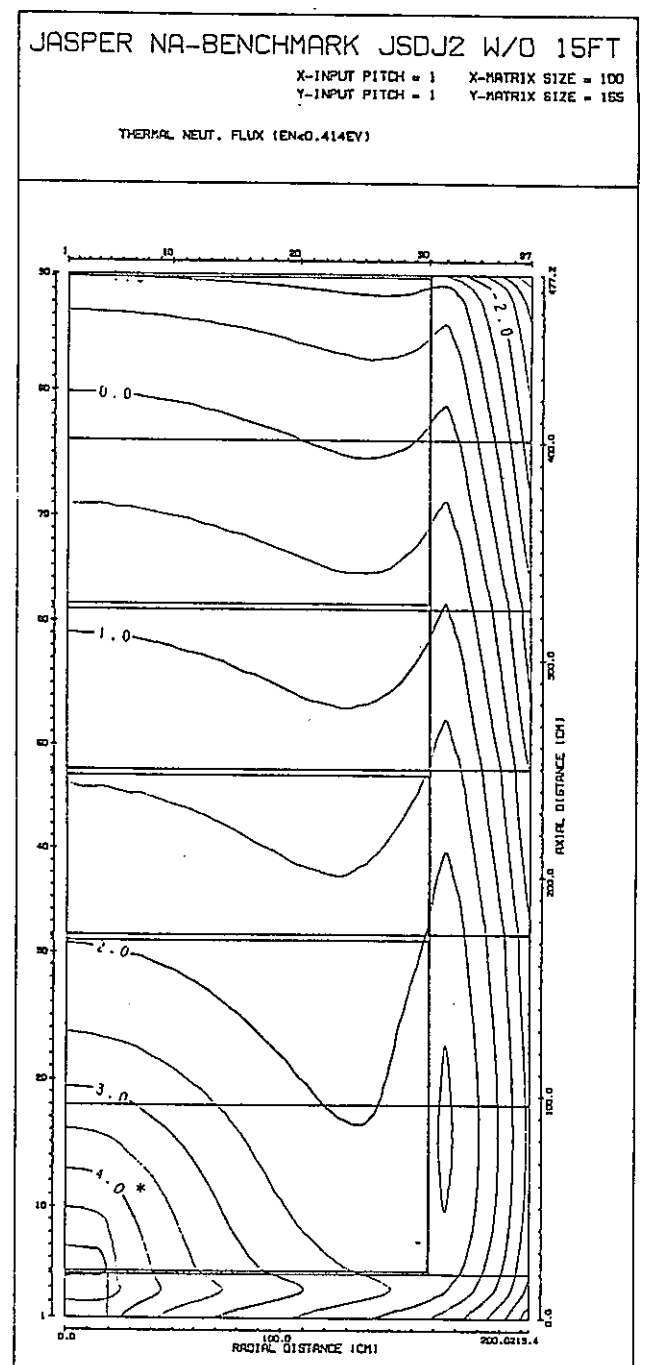
図2.2.4 2次元計算に用いる点線源



(a) 全中性子束

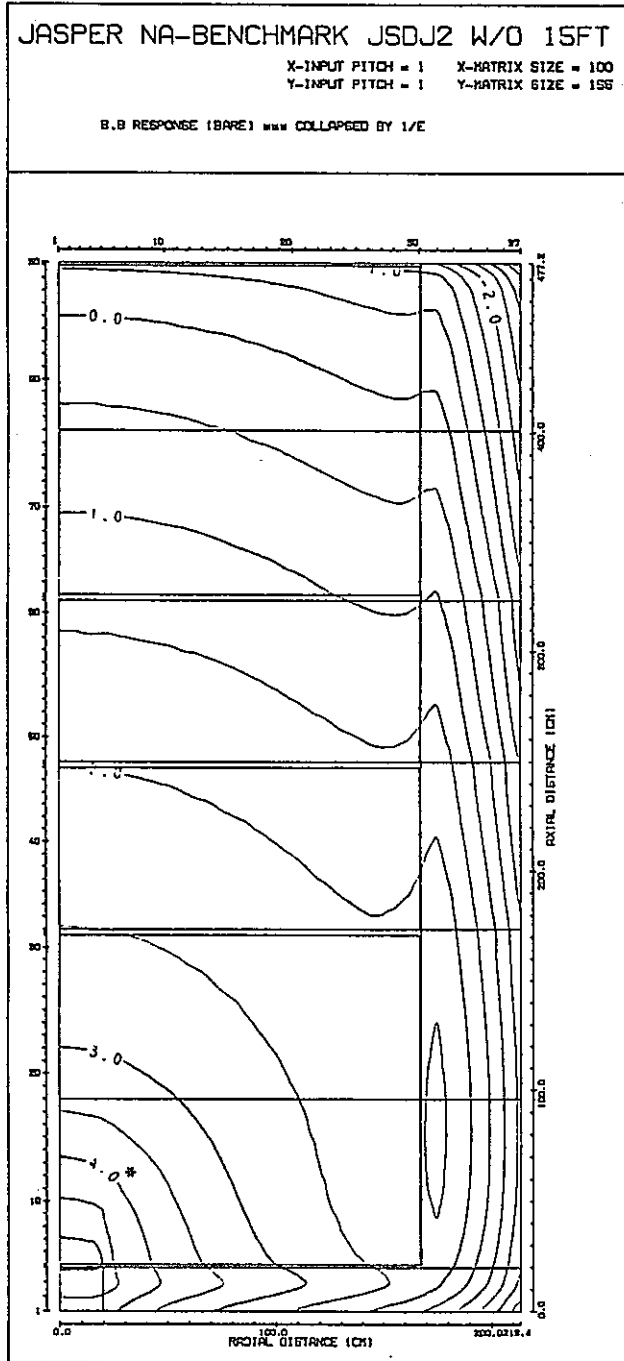


(b) 高速中性子束 ($E > 0.1\text{MeV}$)

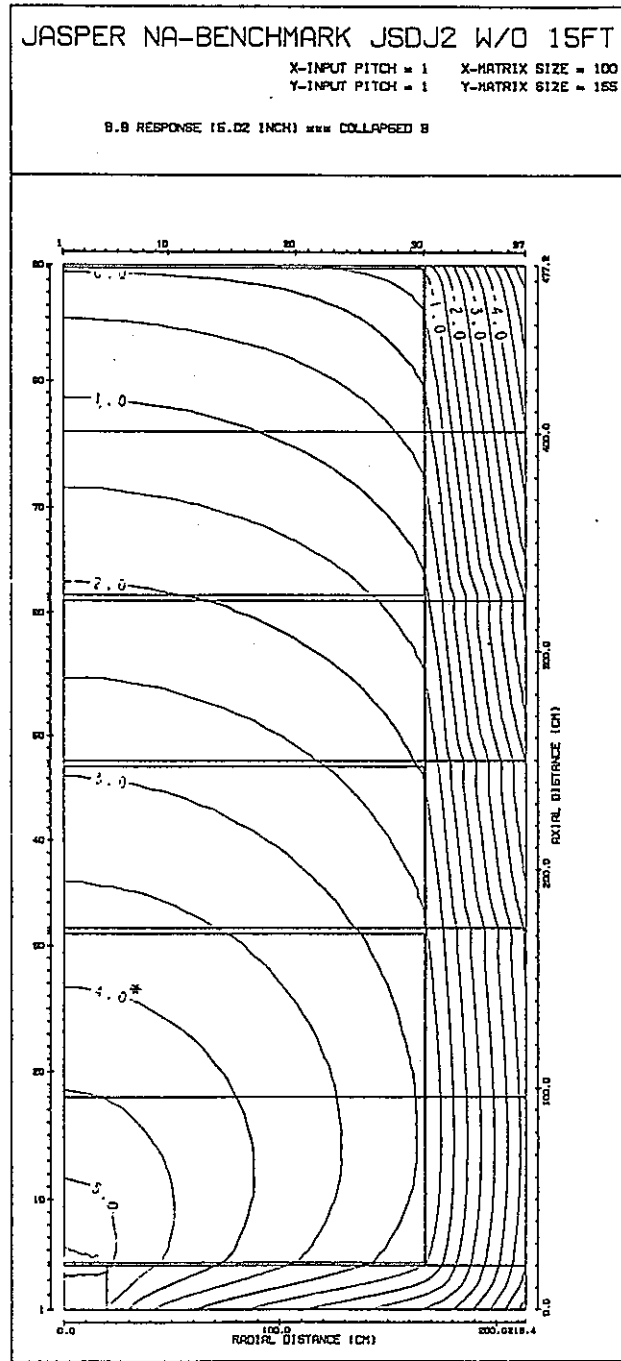


(c) 熱中性子束 ($E < 0.414\text{eV}$)

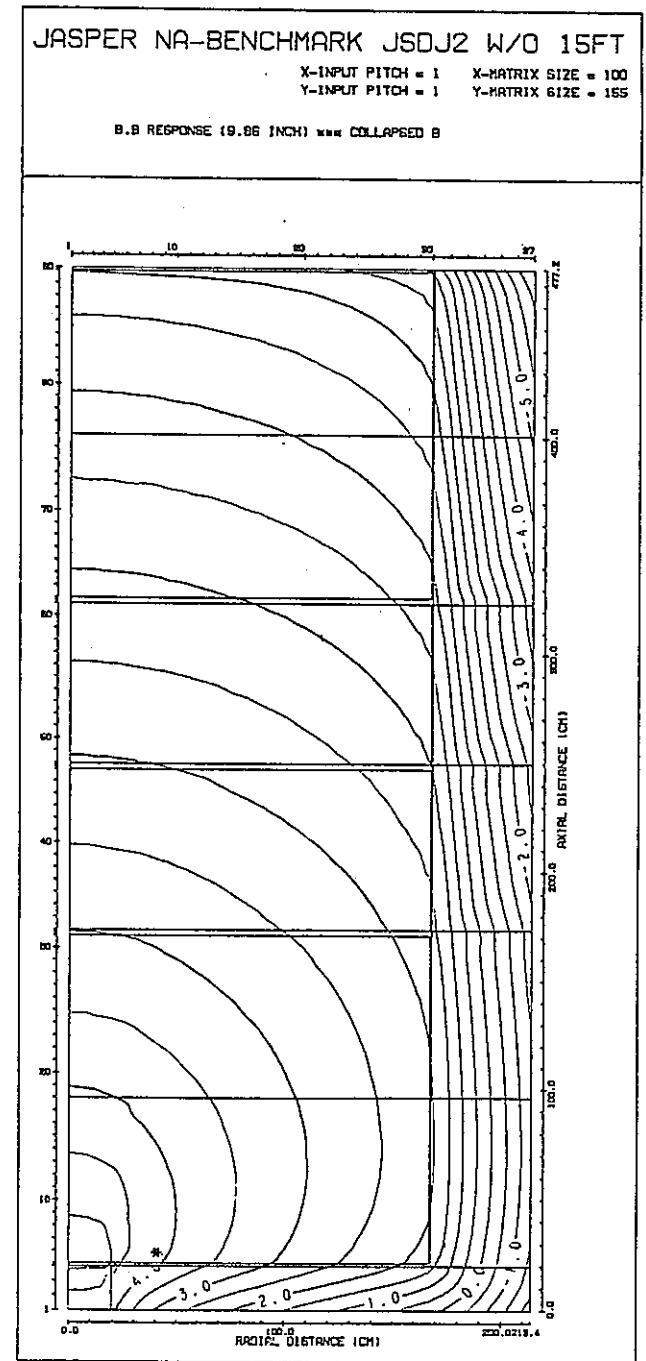
* 1.0×10^4 (n/cm²/min/w) を示す。



(a) Bare

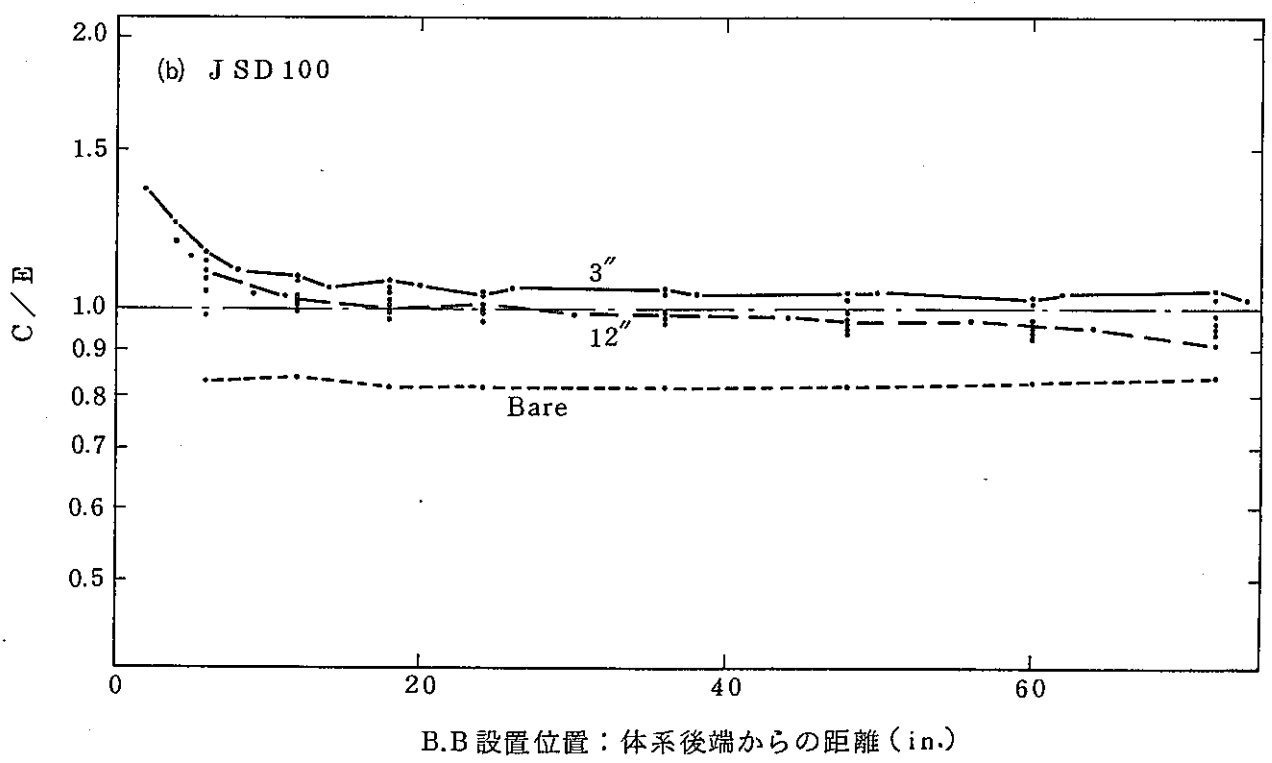
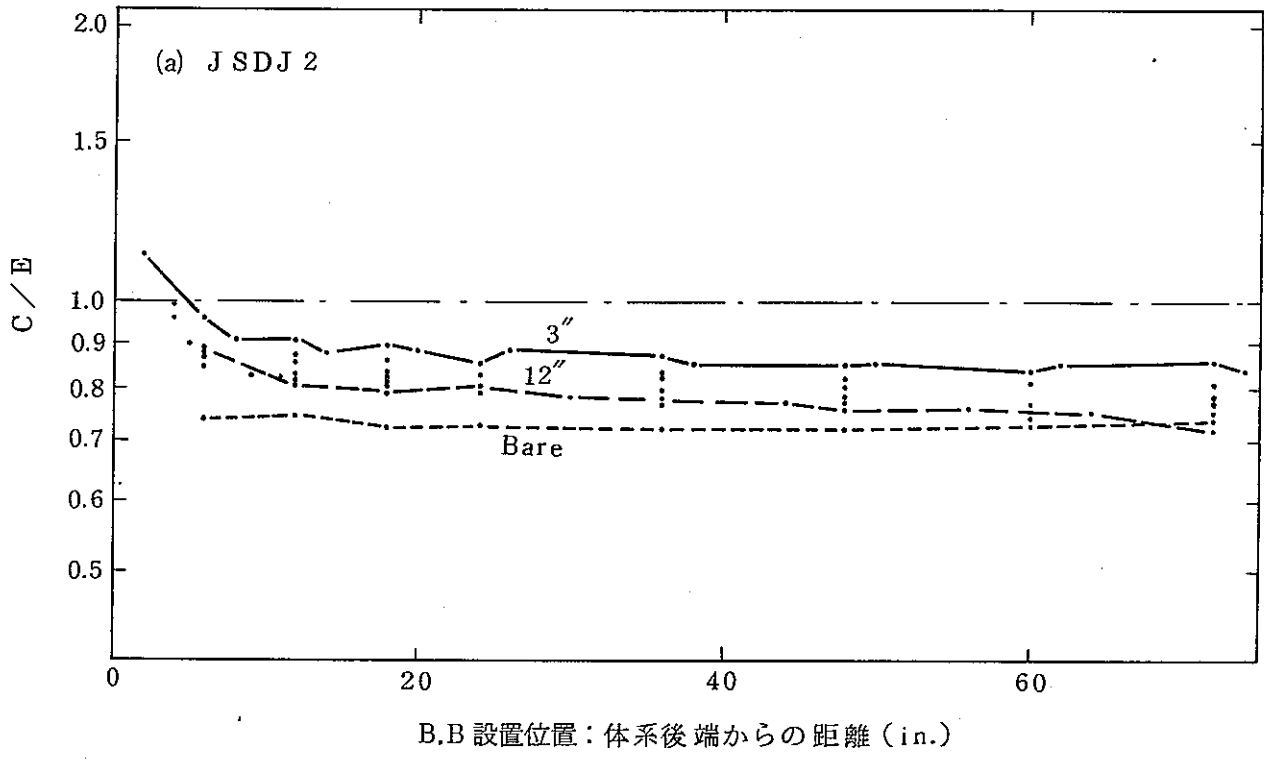


(b) 5 in.



(c) 10 in.

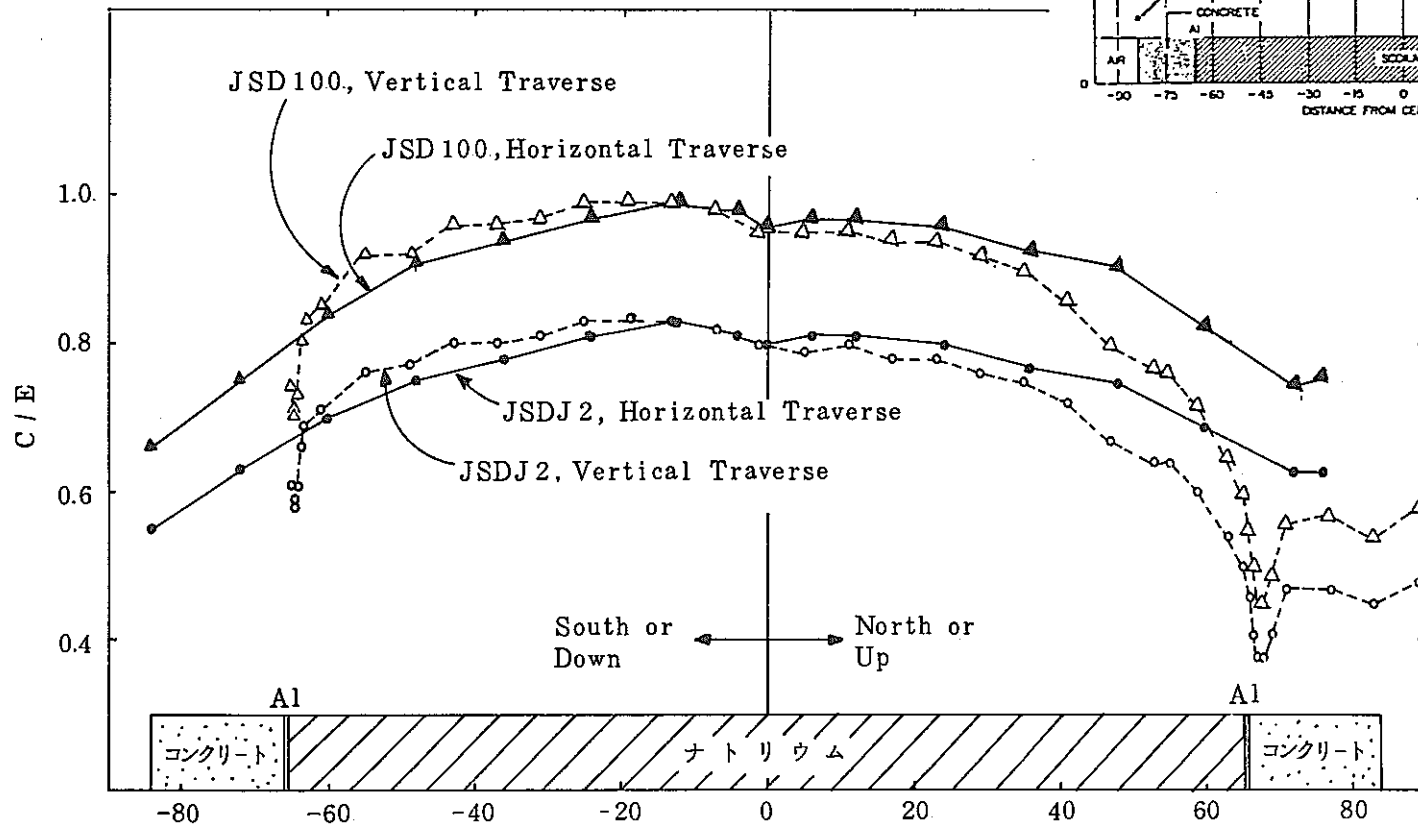
* 1.0×10^4 (Cpm/w) を示す。



注) 計算ではナトリウム中不純物は考慮していない。

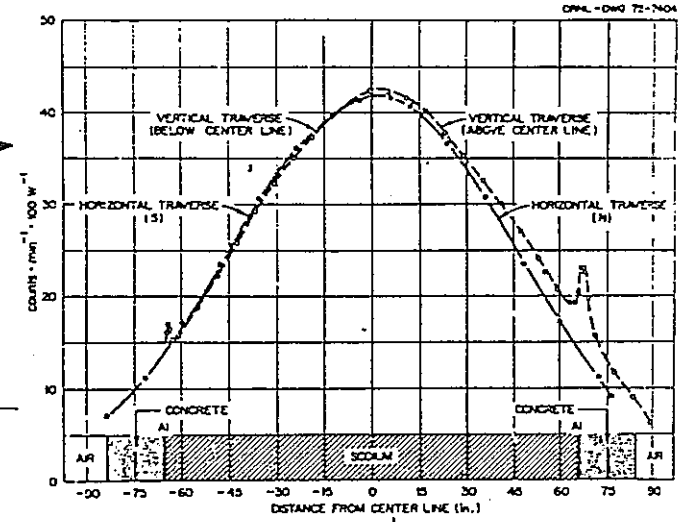
図 2.3.3 15 ft 体系後方中心軸上の B.B 計数率の C/E

図 2.3.4 15ft 体系後方 24 in での 3 in-B.B 計数率の C/E 径方向分布



注) 計算ではナトリウム中不純物は考慮していない。

測定値 →



注) 計算ではナトリウム中不純物は考慮していない。

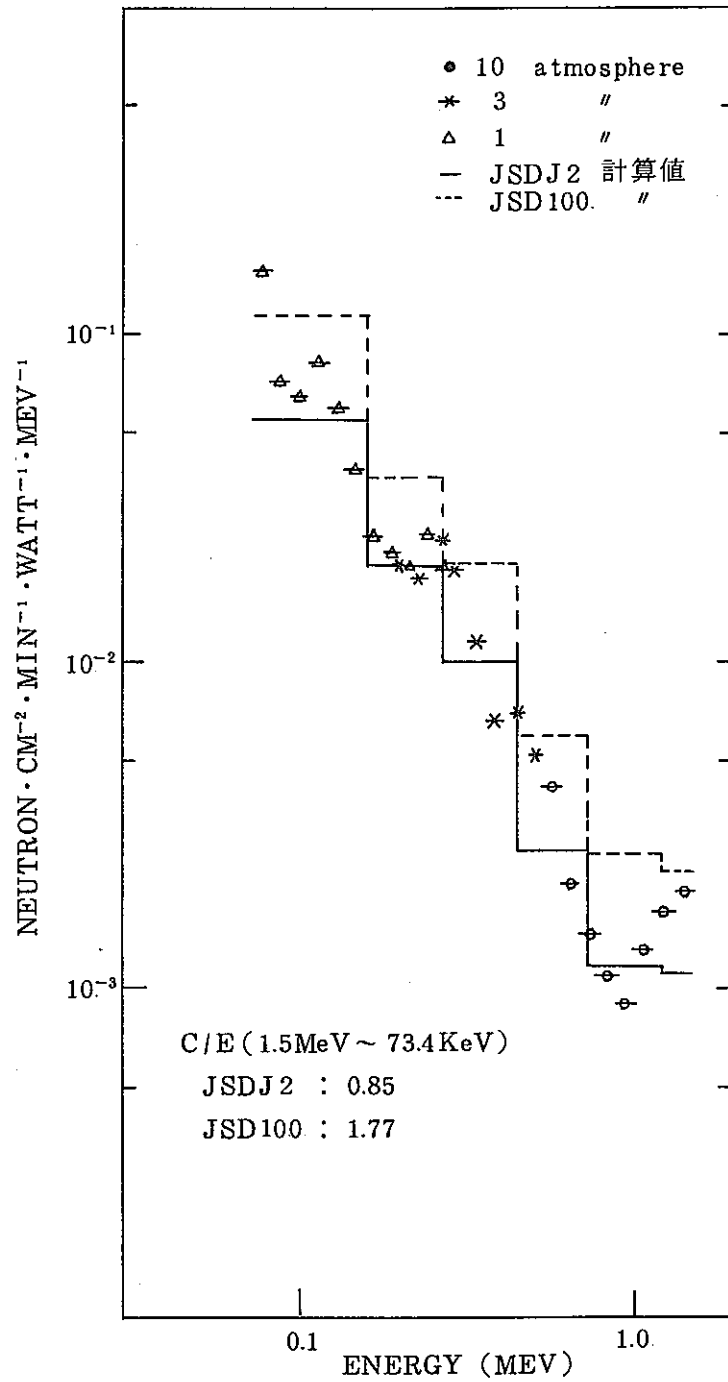
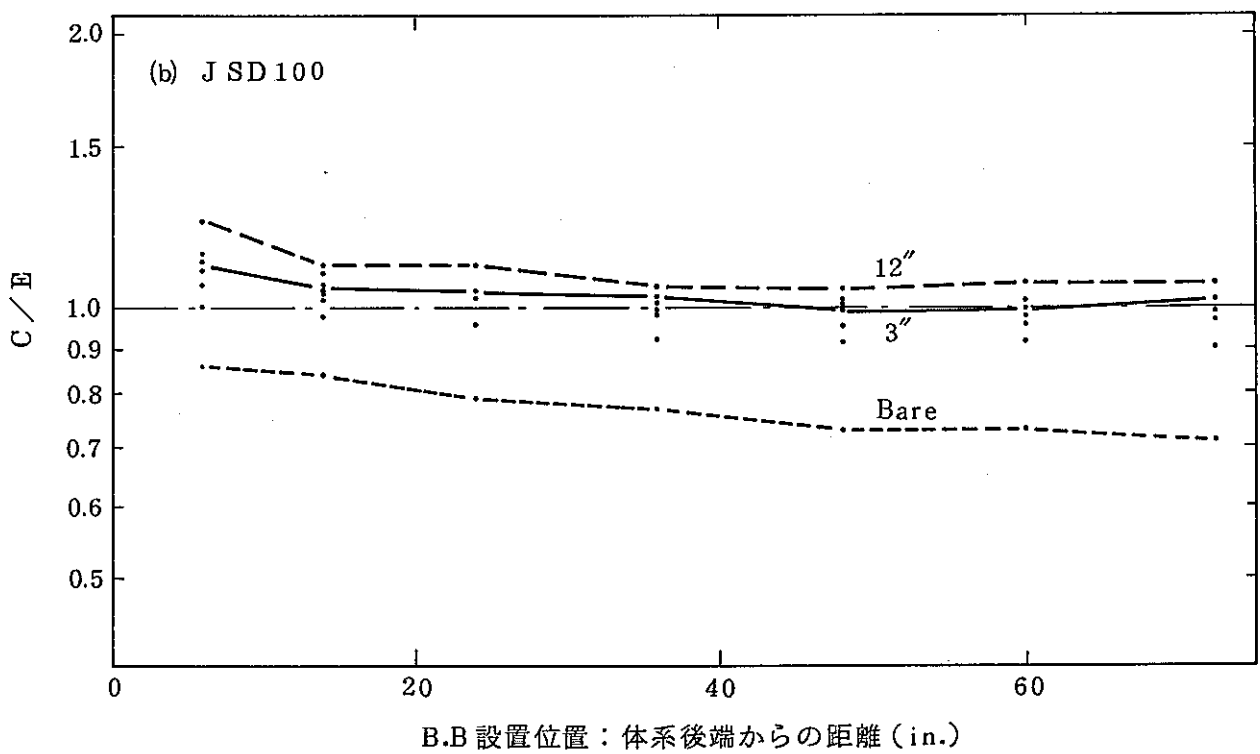
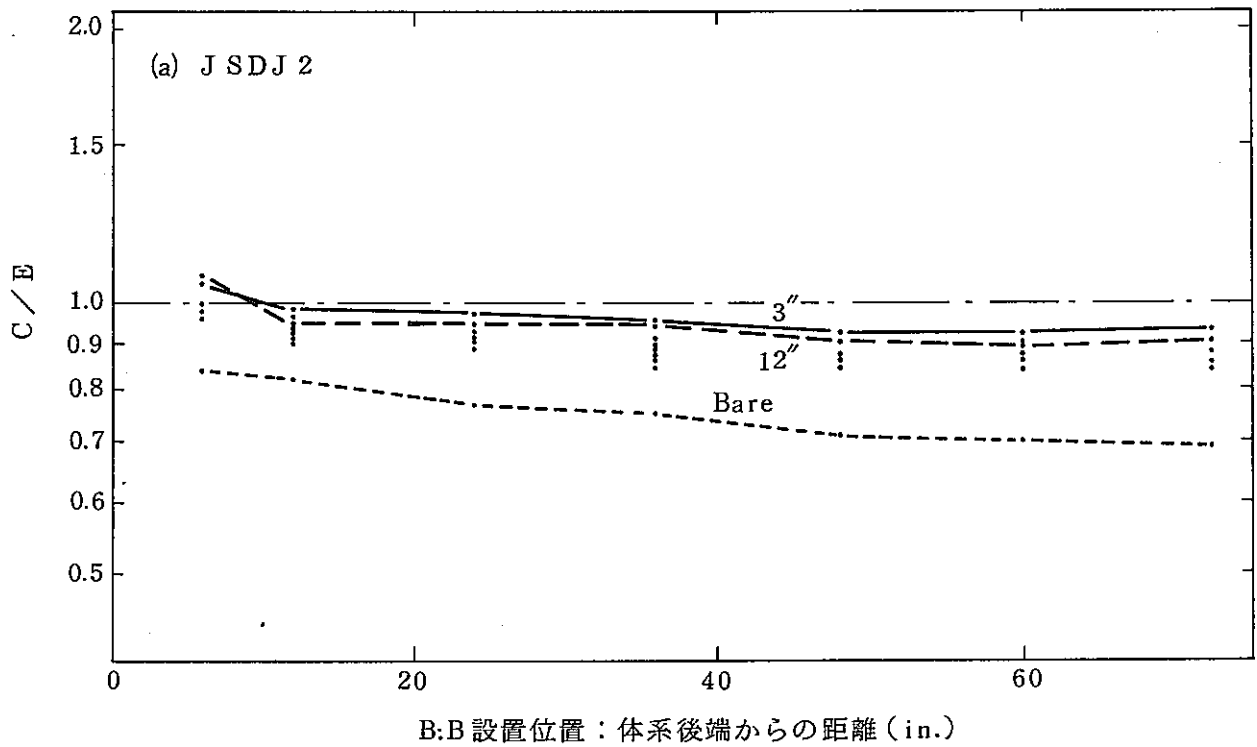


図 2. 3. 5 Na 12.5 ft 中心軸後方 24 in Benjamin の実験と計算値のスペクトル比較



注) 計算ではナトリウム中不純物は考慮していない。

図 2.3.6 10 ft 体系後方中心軸上の B.B 計数率の C/E

注) 計算ではナトリウム中不純物は考慮していない。

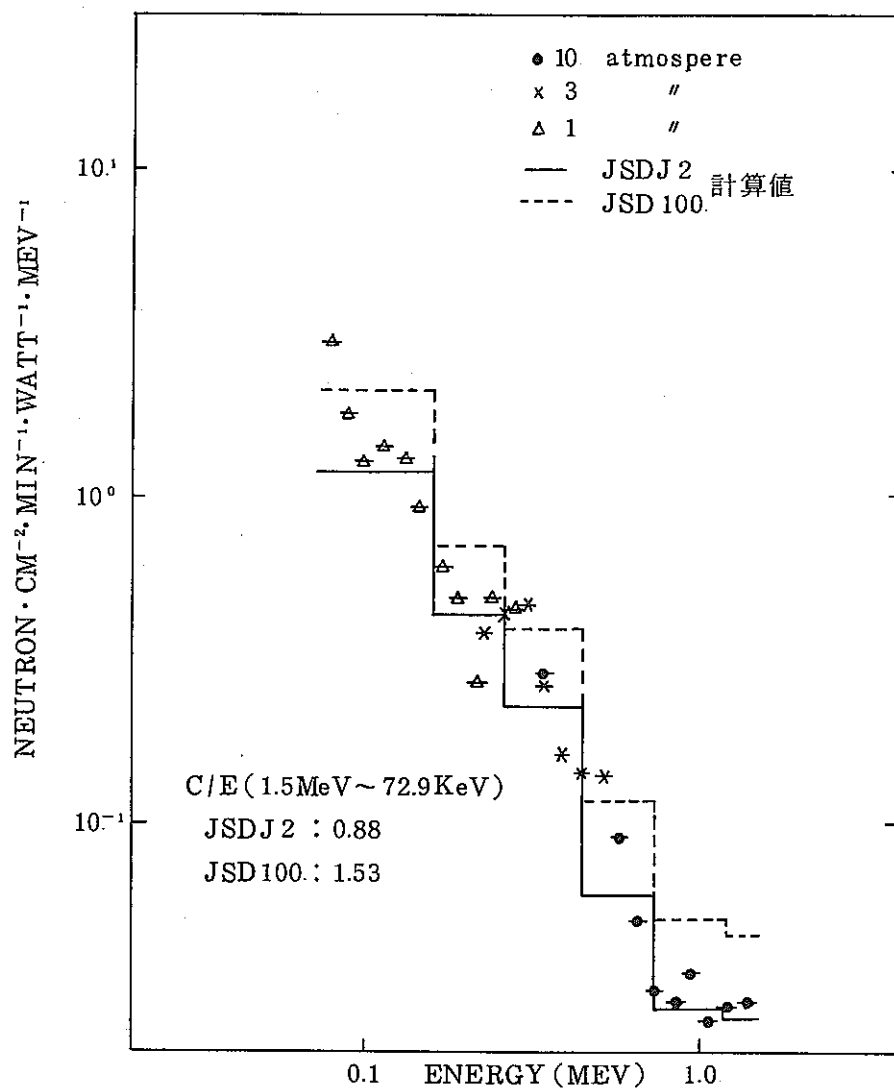


図 2.3.7 Na10ft 中心軸後方 24 in Benjamin の実験と計算値のスペクトル比較

注) 計算ではナトリウム中不純物は考慮していない。

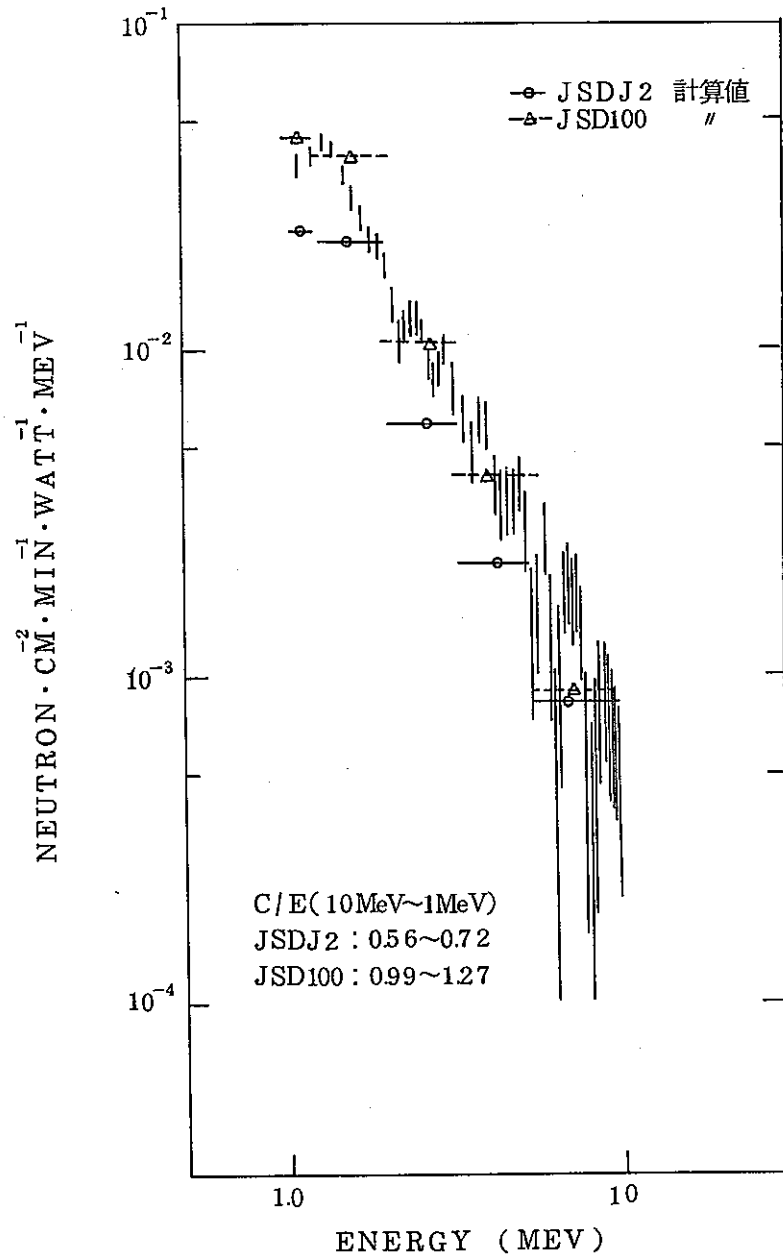


図 2.3.8 Na10ft 中心軸後方 24in NE213 の実験と計算値のスペクトル比較

注) 計算ではナトリウム中不純物は考慮していない。

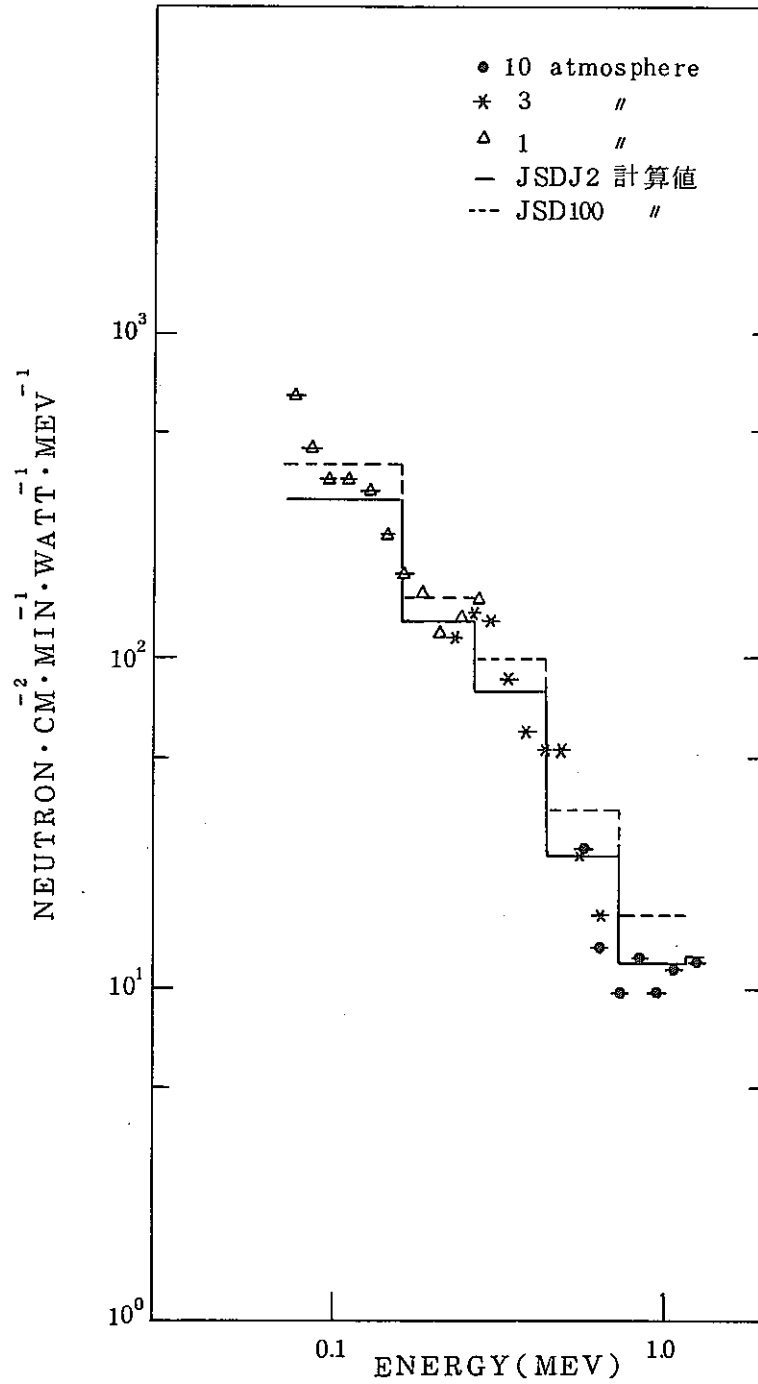


図 2.3.9 Na5ft 中心軸後方 24in. Benjamin の実験と計算値のスペクトル比較

注) 計算ではナトリウム中不純物は考慮していない。

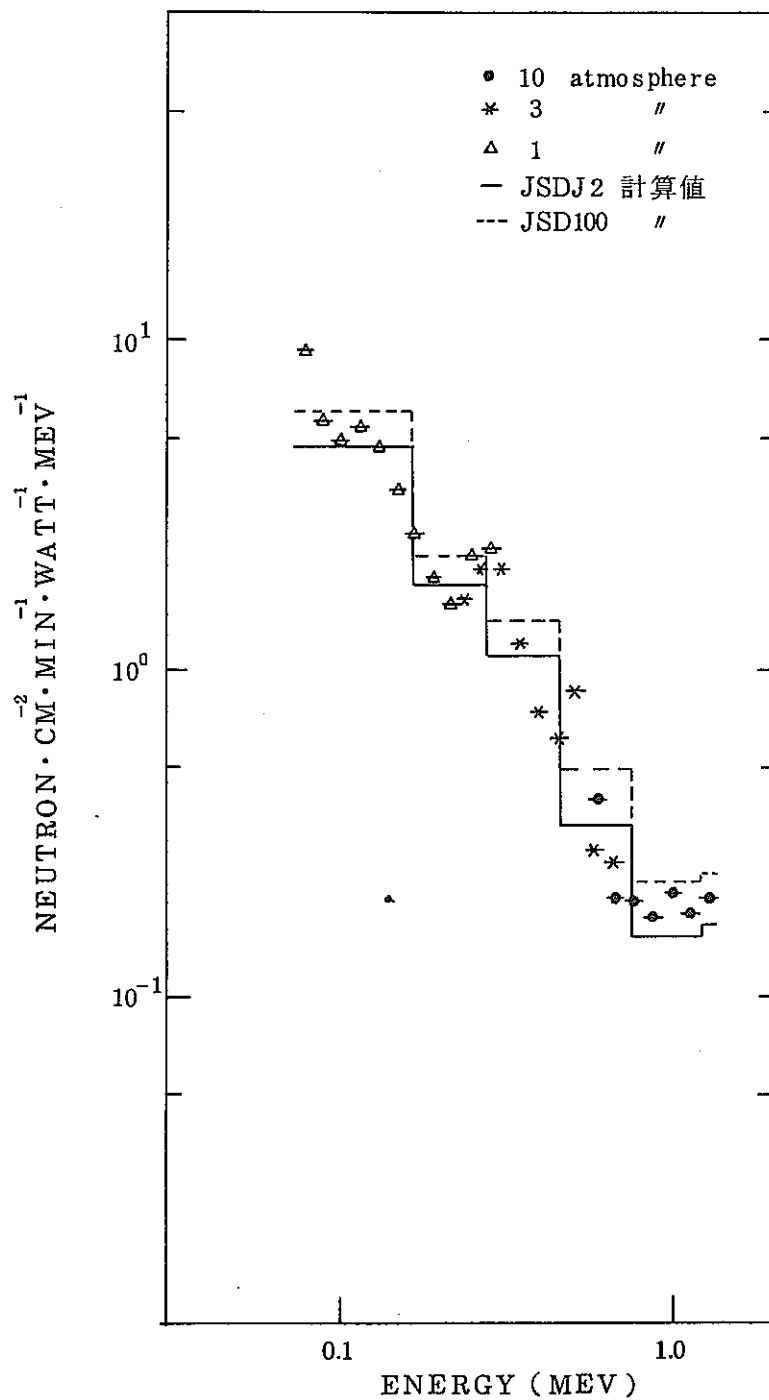


図 2.3.10 Na5ft 中心軸後方 359 in Benjamin の実験と計算値のスペクトル比較

注) 計算ではナトリウム中不純物は考慮していない。

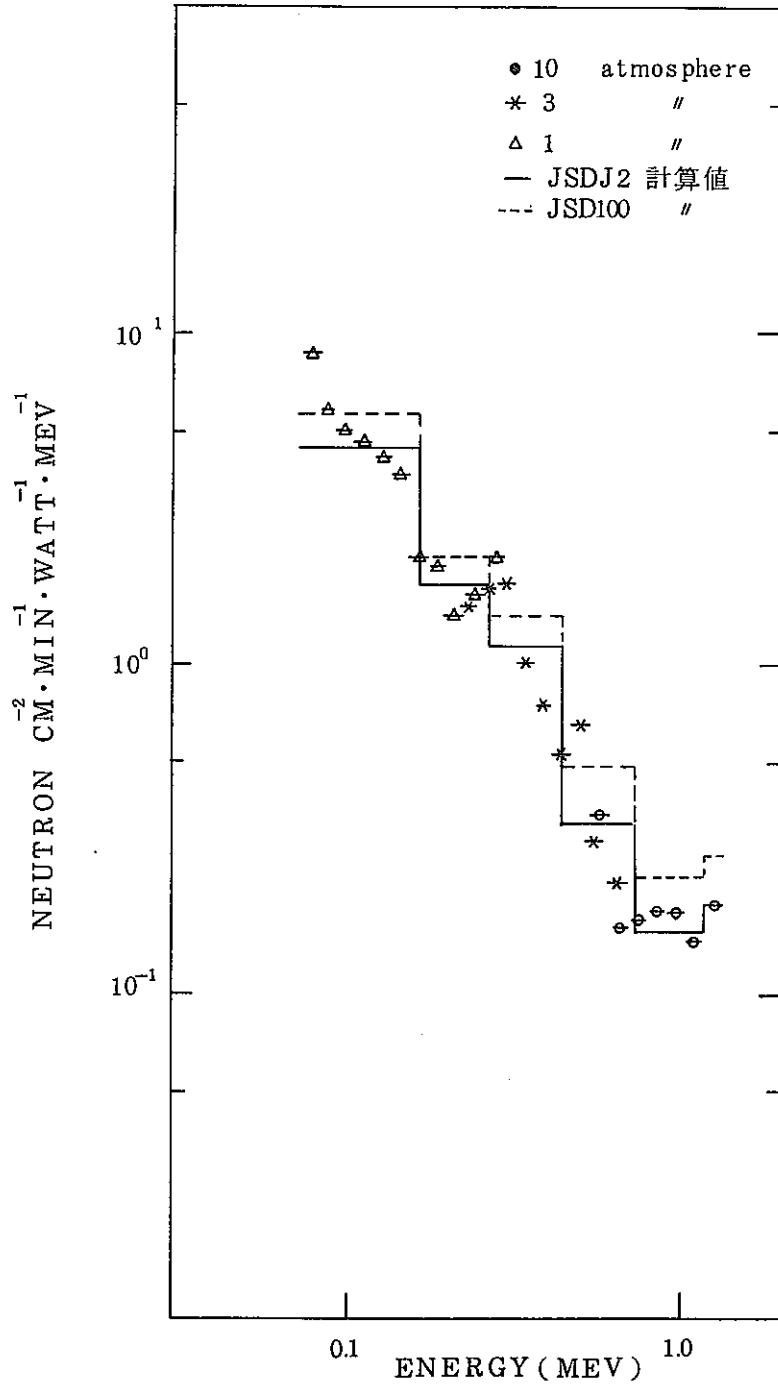


図 2.3.11 Na5ft 中心軸後方 359in. 中心軸から 96in での Benjamin の実験と計算値のスペクトル比較

注) 計算ではナトリウム中不純物は考慮していない。

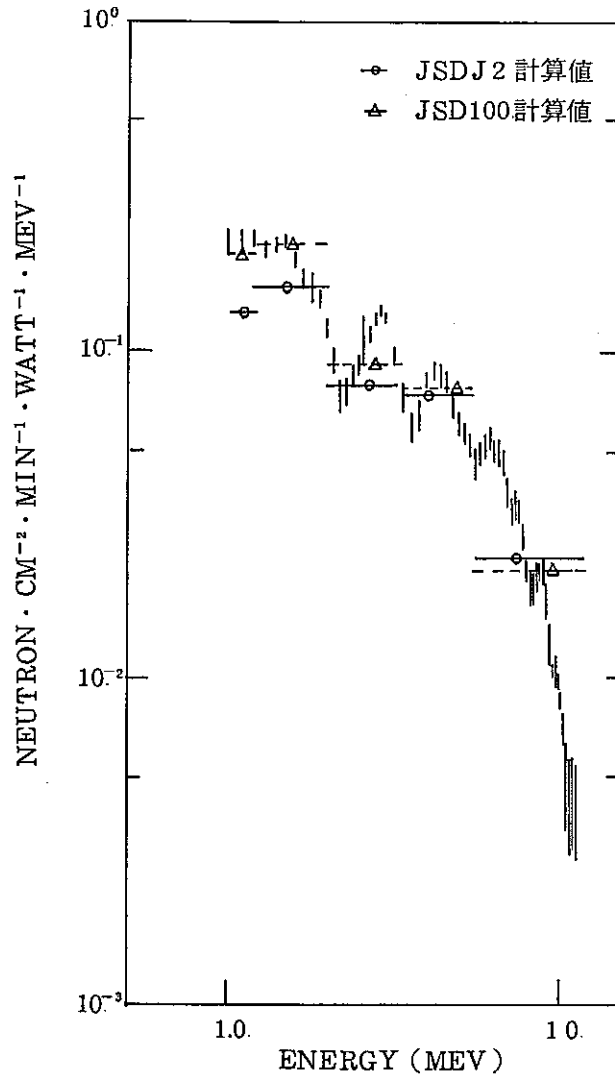


図 2. 3. 12. Na 5 ft 中心軸後方 359 in. NE-213 の実験と計算値のスペクトル比較

注) 計算ではナトリウム中不純物は考慮していない。

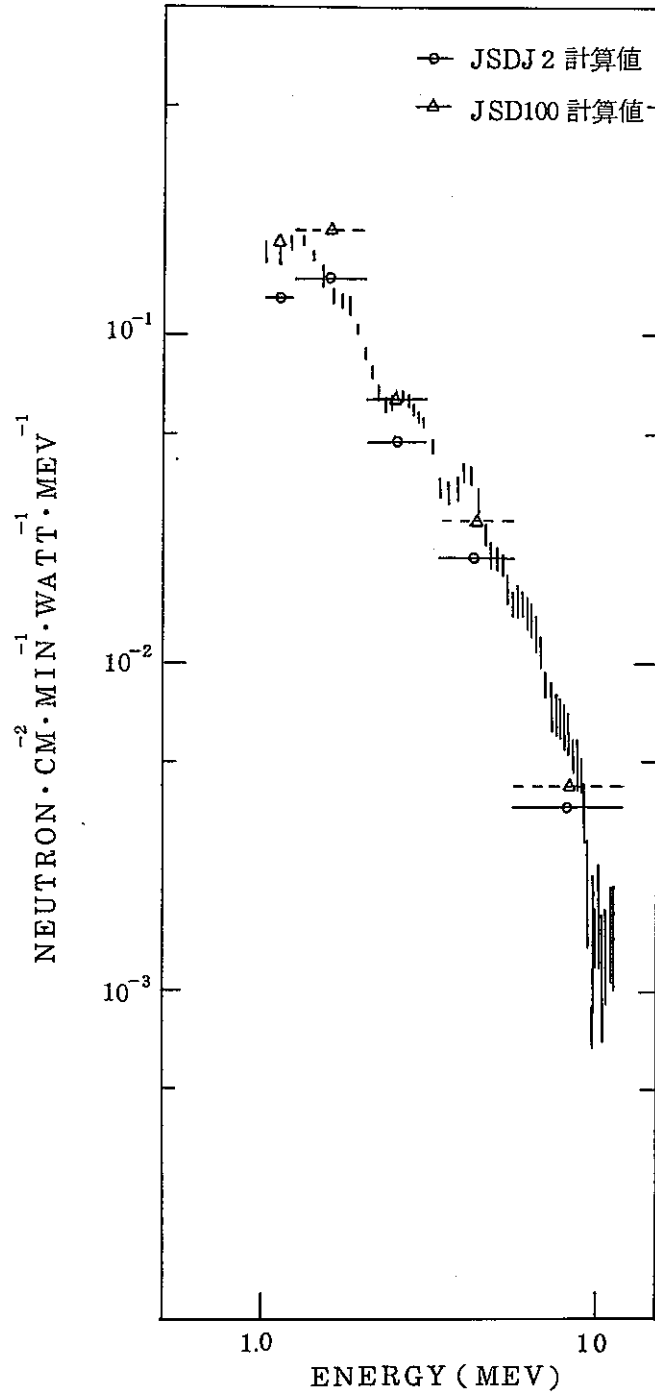
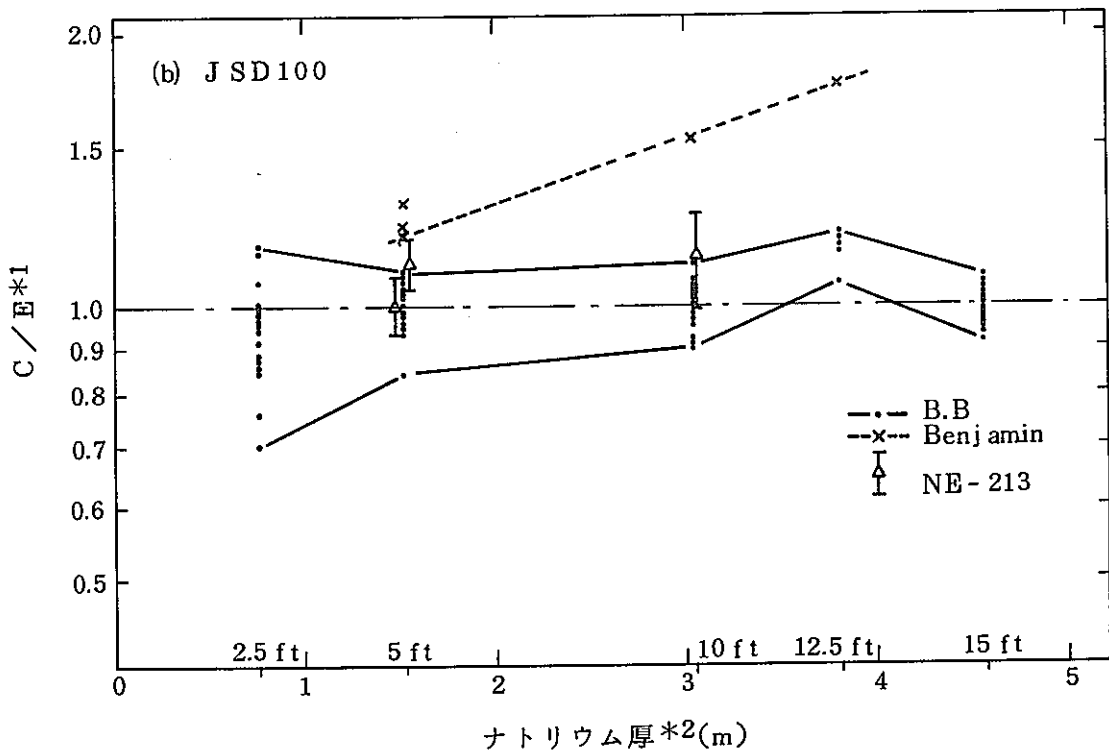
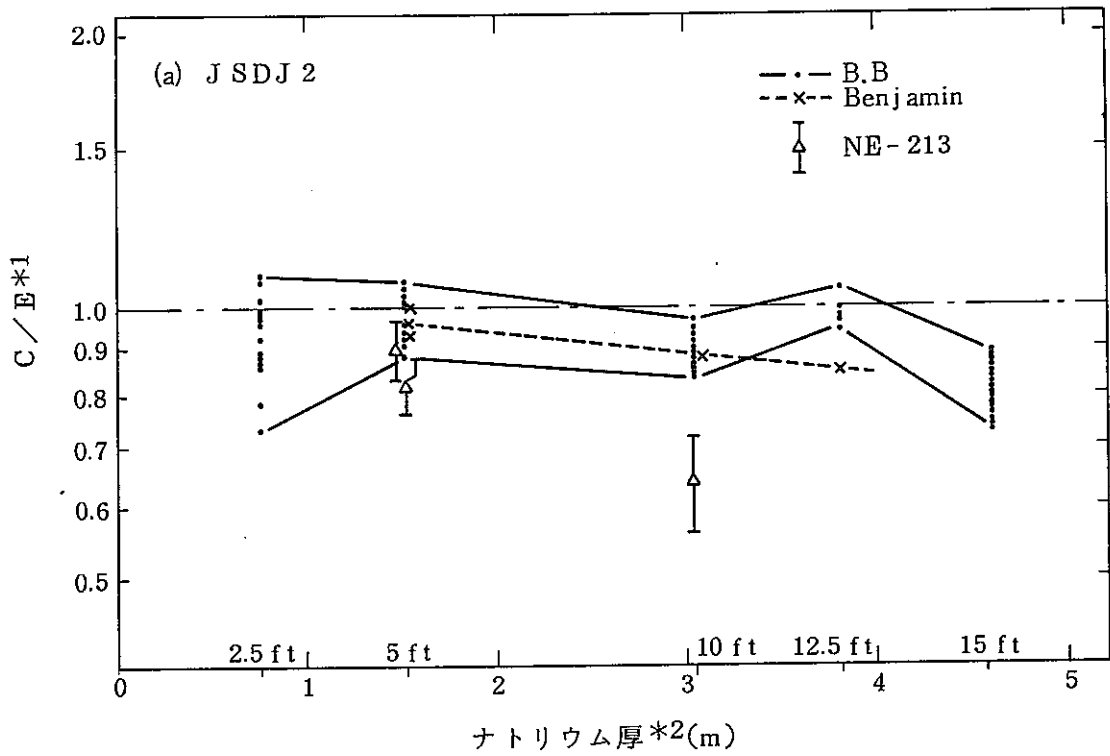


図 2.3.13 Na 5 ft 中心軸後方 359 in. 中心軸から 96 in での NE-213 実験と計算値のスペクトル比較



*1 計算ではナトリウム中不純物は考慮していない。

*2 ナトリウム密度 0.945 g/cm^3 。アルミ被覆厚を含む。

図 2.4.1 ナトリウム透過厚と C/E

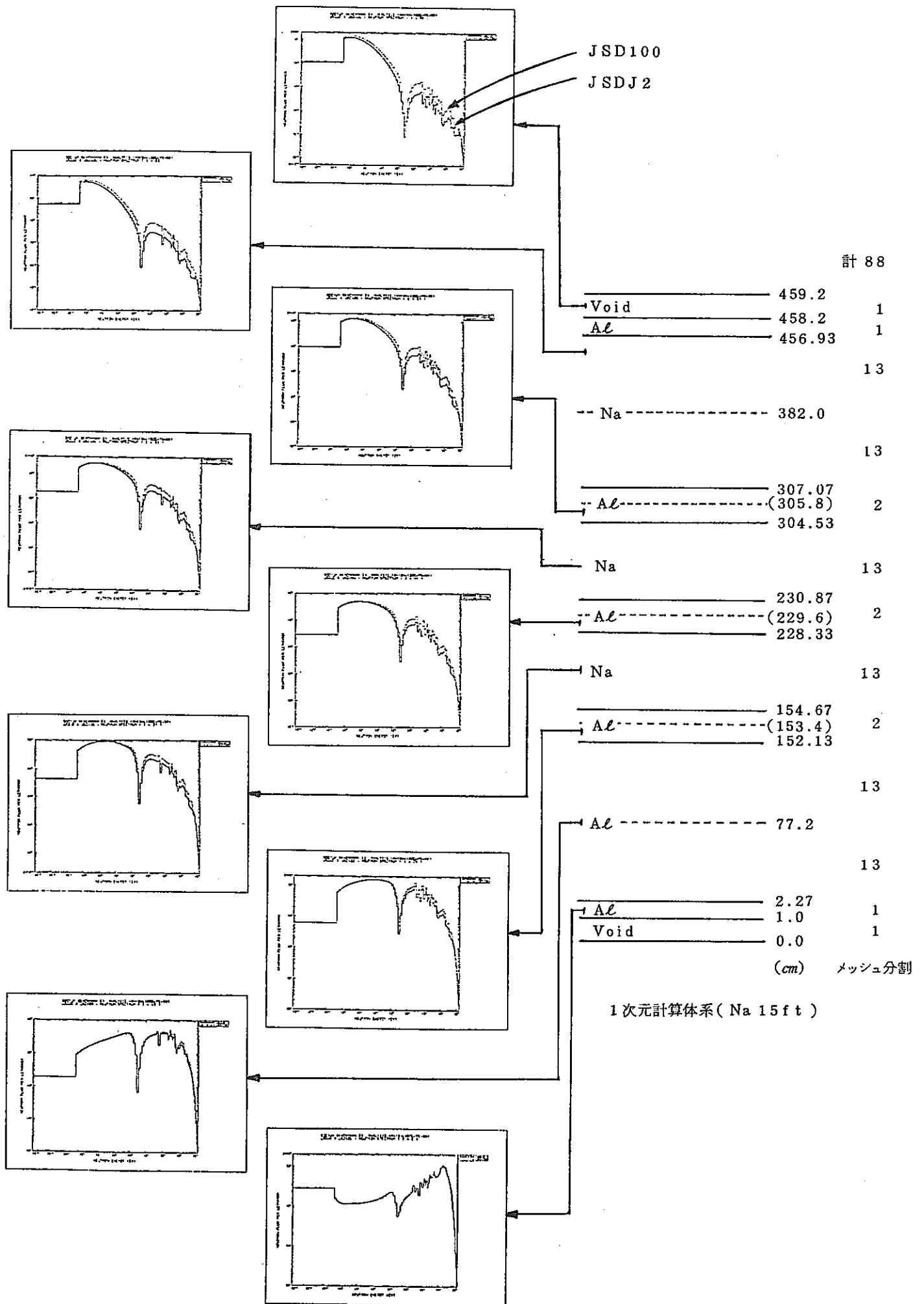
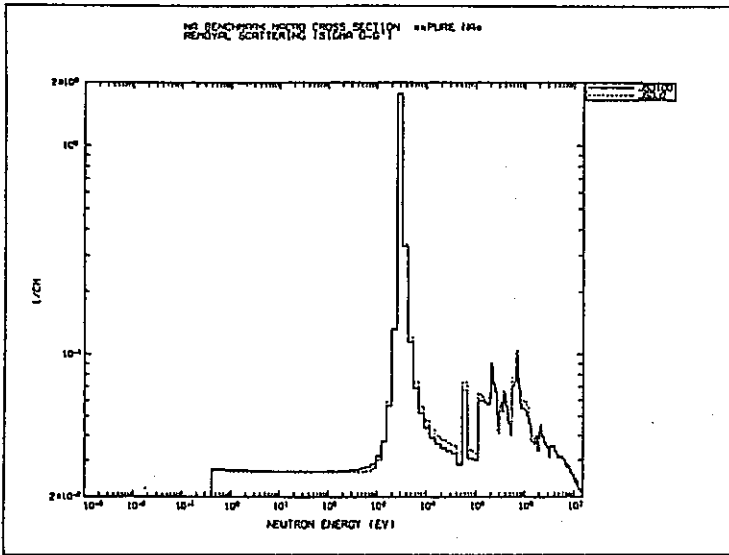
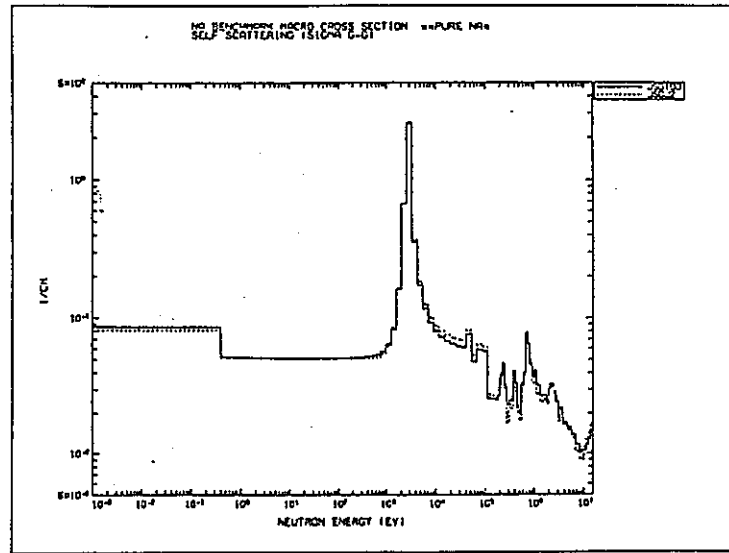


図 2.4.2 中性子スペクトルの JSDJ2 と JSD100 の比較

2.4.3 Naマクロ断面積のJSDJ2とJSD100の比較

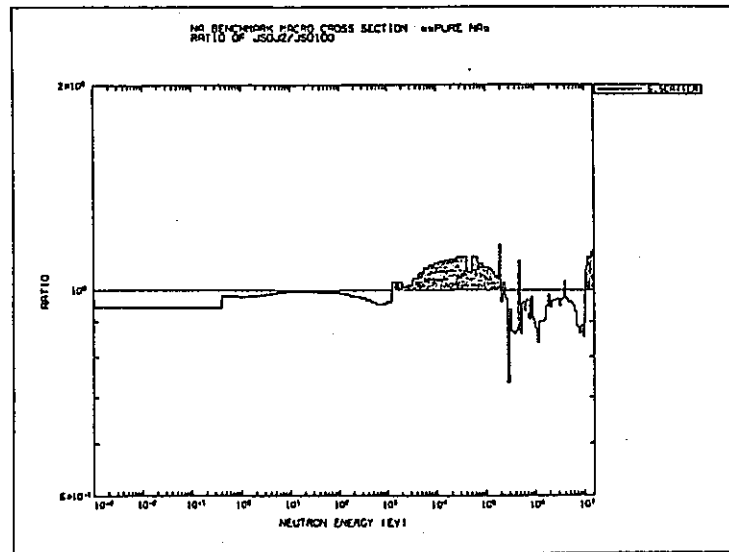
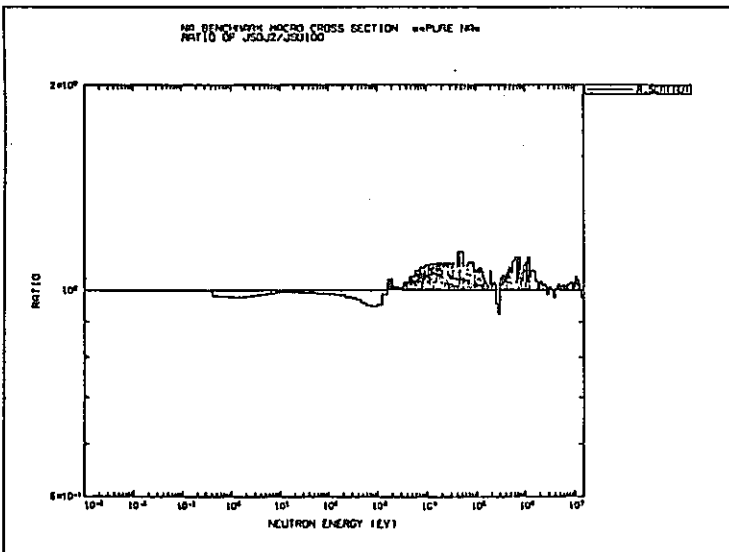


減速(除去)散乱



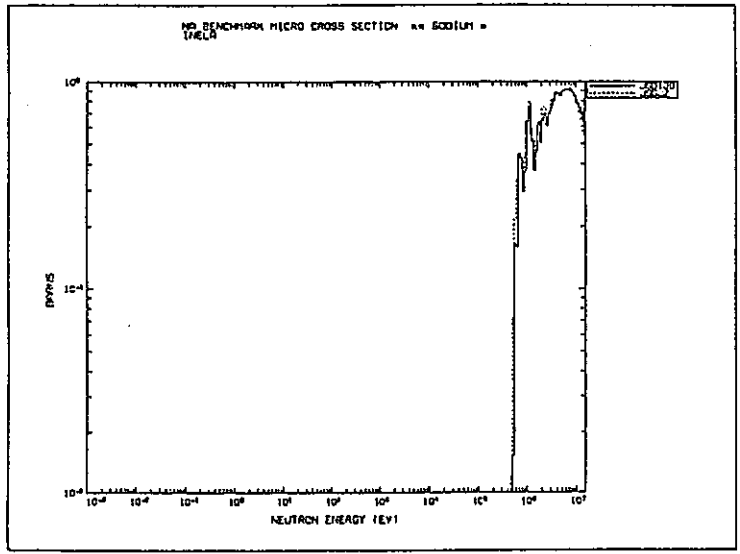
自群散乱

—:JSD100
 - - -:JSDJ2

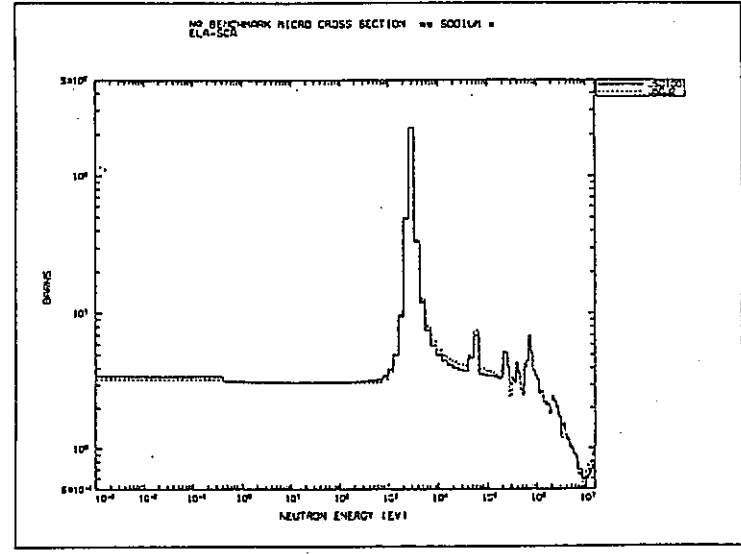


RATIO
 = JSDJ2 / JSD100

図 2.4.4 Na 無限希釈断面積の JSDJ2 と JSD100 の比較

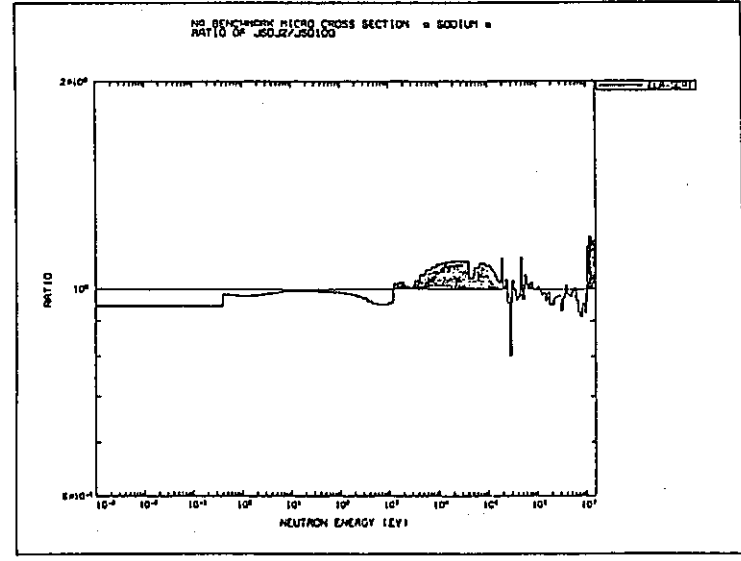
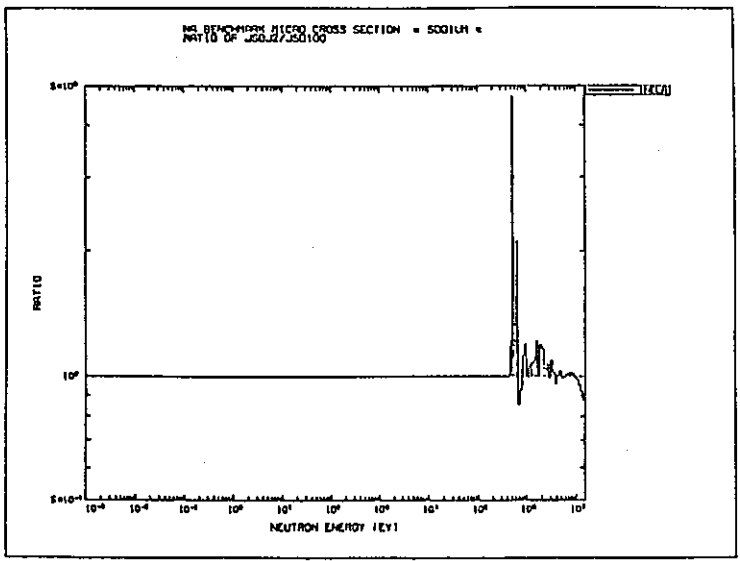


非弾性散乱



弾性散乱

—:JSD100
 - - :JSDJ2



RATIO
 = JSDJ2 / JSD100

*1 測定に用いられた全検出器に対する比の最小値

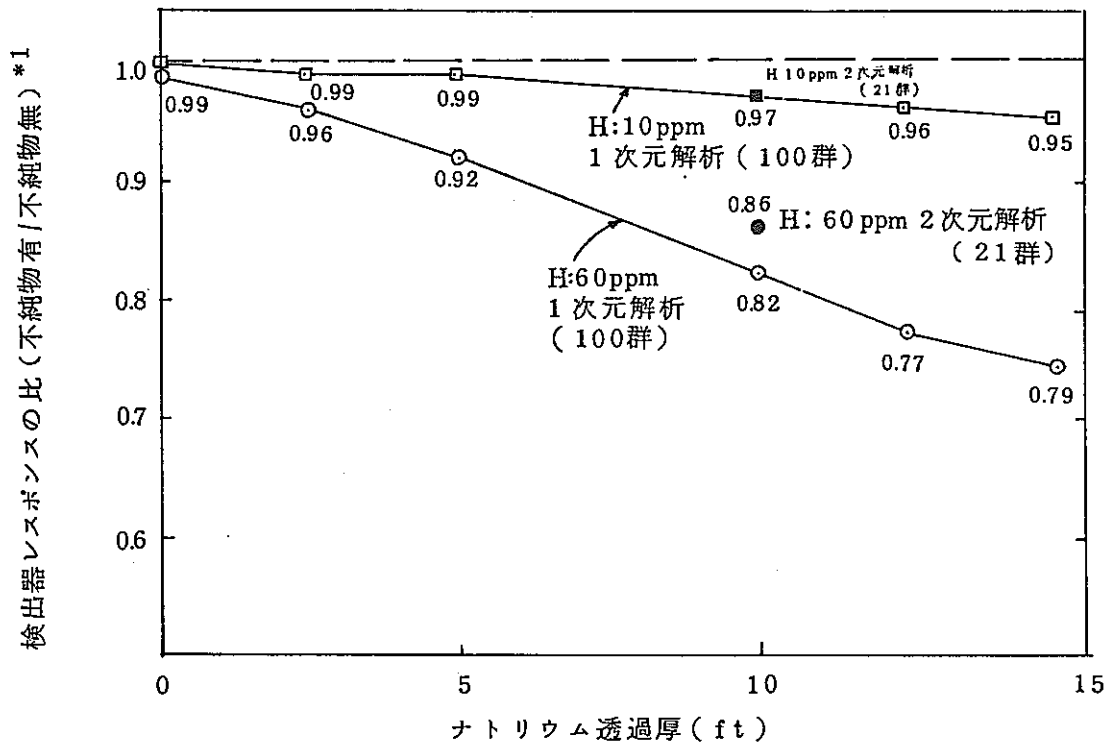


図 2.4.5 不純物効果のナトリウム厚依存性

3. B₄C透過実験 (Alternate Shield Experiment) A

3.1 実験概要

3.1.1 概要

Alternate Shield Experiment は、JASPER実験の直前に TSFにおいて実施されたものであり、ナトリウム高速炉の B₄C遮蔽を対象としたものである。この実験は、炉心周辺遮蔽実験と機器遮蔽実験との2つの実験グループに分かれる。このうち、炉心から離れたナトリウム中に存在する熱交換器あるいは燃料貯蔵槽の周辺に B₄C遮蔽を設けた場合を想定した第2の実験グループは、前年度において解析が実施された。⁽¹⁾ 今年度は残りの第1の実験グループについて解析を実施した。第1の実験グループは、炉心周辺の径方向あるいは軸方向遮蔽層におけるステンレス鋼遮蔽を B₄C遮蔽で置換した場合に相当する。

第1の実験では、鉄、アルミ及びボラールから構成される多重層をスペクトルモディファイヤとし、供試体は各種厚さのステンレス鋼と4.6cm、9.5cm、19cmおよび28.5cm厚の B₄Cを組み合わせた多重層からなる。測定は径の異なるボナーボールによる透過軸上の積分中性子束の減衰の測定を基本としている。必要に応じて透過軸の直交方向におけるボナーボールでの積分中性子束分布の測定およびNE-213、反跳陽子検出器を用いた透過軸上での中性子スペクトルの測定を実施している。また、一部限定された体系において TLD (熱蛍光線量計) を用いたガンマ線の測定が実施されている。

3.1.2 実験体系および測定内容

各体系の構成および測定内容を表3.1.2-1 に示す。体系Ⅰ、Ⅱは今年度解析を実施した炉心周辺遮蔽実験のグループであり、体系Ⅲ、Ⅳは前年度実施した機器遮蔽実験のグループである。

本解析では体系Ⅰ、Ⅱの全体系について解析を実施した。体系Ⅰはスペクトルモディファイヤであり、体系Ⅱでステンレス鋼と B₄Cとの各種組み合わせについて測定を行っている。測定は裸 (BF₃ カウンター)、カドミカバー付、3"、5"、8"および10" のボナーボール検出器を用い、供試体後方30cm及び炉心中心

より304.8cm の位置で行われている。NE-213および反跳陽子検出器を用いたスペクトル測定と、同位置での3”、5”、および10” のボナーボール測定は体系ⅠA、ⅡA～Fで行われている。供試体後方30cm位置での5”ボナーボールによる径方向分布測定は体系ⅠA、ⅡC、ⅡF、ⅡI、ⅡL及びⅡMで行われている。本実験ではこの他に一部の体系において、カドミシートをかぶせた裸のBF₃による測定と TLDによるガンマ線の測定が実施されているが、本解析では対象外として解析は実施しなかった。

図3.1.2-1 に B₄C遮蔽体の構造図を示す。厚さが2.21cmと11.55cm の2種類のもので用いられている。図3.1.2-2 に体系ⅠおよびⅠの実験体系図を示す。

3.2 解析条件

3.2.1 解析手法

実験解析手法は、前年度実施した本実験内の機器遮蔽実験で用いた解析手法と基本的に同一である。

即ち、100 群の断面積ライブラリを ANISNによる1次元計算で求めたスペクトルを重みとして21群に縮約し、これを用いたDOT3.5による2次元計算(21群、P₃-S96)により中性子束を求めた。ボナーボール計数率は、検出中心での中性子束から変換し、供試体の後方定位置(炉心中心より304.8cm)の中性子束はDOT3.5での解析結果を SPACETRANに接続して計算した。図3.2.2-1 に解析フローを示す。

100 群の断面積ライブラリはJSDJ2Lを使用した。

3.2.2 物質組成

各物質の原子数密度を表3.2.2-1 に示す。この原子数密度は前年度実施した機器遮蔽実験解析と同一である。

B₄C としては下記の6枚の供試体が存在しており、各々密度が異なっているが、表中にはこのうち1.65g/cm³ の原子数密度を示した。

厚さ (cm)	ID No.	密度 (g/cm ³)
11.55	# 1	1.65
11.55	# 2	1.67
11.55	# 3	1.68
2.21	# 1	1.87
2.21	# 2	1.89
2.21	# 3	1.82

3.3 実験解析

3.3.1 解析

縮約断面積は各体系ごとに作成した。縮約計算モデルの例として図3.3.1-1に体系Ⅱ Jのモデルを示す。2次元の解析ではいわゆる境界線源を用いたつなぎ計算をせずに、各体系ごとに炉心表面よりスペクトル・モディファイヤ及び供試体をモデル化した。この場合、供試体後方30cm位置の測定点も計算モデルに含まれるため、ボナーボール検出中心がメッシュ中央にくるように配置した。2次元DOT3.5計算モデルの例として図3.3.1-2に体系Ⅱ E及びⅡ Jのモデルを示す。解析ではJSDJ2Lのライブラリを用いた。ボナーボール検出器の反応率はすべてその実効中心位置で計算した。

3.3.2 解析結果

表3.3.2-1に体系Ⅰ Aの中心軸上ボナーボール反応率を示す。バックグラウンドの影響が大きい裸およびカドミ付ボナーボール以外では供試体後方30cm位置でC/Eが、1.16～1.25、炉心中心より304.8cm位置で1.07～1.31である。表3.3.2-2は体系Ⅰ Aの中性子スペクトルである。表3.3.2-3は体系Ⅱの供試体後方30cm位置での中心軸上ボナーボール反応率、表3.3.2-4は同じく炉心中心より304.8cm位置でのものである。体系Ⅱでの3"～10"のボナーボール反応率のC/Eは供試体後方30cm位置で、0.59～1.30、炉心中心より304.8cm位置で0.66～1.30である。表3.3.2-5は体系Ⅱの中性子スペクトルである。

図3.3.2-1は体系Ⅱ EおよびⅡ Jでの5"ボナーボール反応率の等高線図である。図3.3.2-2は体系Ⅰ Aでの5"ボナーボール反応率に関するC/Eの径方向分布である。同じく図3.3.2-3は体系Ⅱでの径方向分布である。図3.3.2-4は炉心中心より304.8cm位置での3"～10"ボナーボール反応率のC/Eを、共通な遮蔽体のグループ毎にまとめたものである。

3.3.3 検討

(1) C/E

表3.3.2-3 および表3.3.2-4 より明らかなように供試体後方中心軸上のボナ

ーボール反応率の C/Eは、裸およびカドミカバー付ボナーボールを除いて0.66～1.31である。各径のボナーボール反応率でみると

3" : 0.79 ~ 1.31
 5" : 0.74 ~ 1.13
 8" : 0.68 ~ 1.10
 10" : 0.66 ~ 1.10

である。図3.3.2-4 に炉心中心より 304.8cmでの遮蔽体透過による C/Eの変化を示す。全体的に 3インチボナーボールの C/Eが他のボナーボールに比較して C/E が大きいことがわかる。この原因としては、3インチボナーボールの感度が低エネルギーにもあることにより、供試体側部のコンクリートからの散乱の影響が考えられる。今後の検討が必要と思われる。5,8 および10インチボナーボールに関しては C/Eの拡がり小さく、全体的に良好な結果が得られているが、B₄C の前のSS厚を変化させたII J、K、L、Mでは C/Eが、最終的には0.66程度になっており、SS厚の増加に伴って C/Eが悪化することがわかった。

(2) 線源までの距離

本実験解析では、炉心中心より内部境界線源位置までの距離を53.66cm とし、実際の距離55.525cmより短く設定している。そこでこの距離の違いによる C/E の変化をスペクトル・モディファイヤ体系である、IA体系で実施した。炉心中心より 304.8cm位置での各ボナーボール反応率の C/Eを以下に示す。

距離 \ B.B	3"	5"	8"	10"
53.66cm	1.31	1.13	1.09	1.07
55.525cm	1.25	1.08	1.04	1.02

上記結果より明らかなように全体的に C/Eが5%程度下がるということがわかった。この C/Eの減少は全体系に共通であるので、前述した裸及びカドミカバー付ボナ

— ボールを除いた、供試体後方中心軸上の C/Eは0.61~1.26となる。

(3) B₄C の密度

本実験解析では B₄C密度として実験レポート (ORNL/TM9977) に示される値ではなく、ORNLのSlaterの指摘による密度を用いている。これを下表に示す。

単位 g/cc

B ₄ C Slab	thin			thick		
	#1	#2	#3	#1	#2	#3
ORNL/TM9977	1.65	1.67	1.68	1.87	1.89	1.82
Slater指摘	1.87	1.89	1.82	1.65	1.67	1.68

本解析でもこの指摘の妥当性を確認するため、体系ⅡFF、G、I、M及びPの5体系について、ORNLレポートに示される B₄C密度を用いて解析を実施した。下記に炉心中心より 304.8cm位置でのボナーボール計数率の C/Eを示す。

Ⅱ-FF SMI + 30cm B₄C (thick slab)

	3in	5in	8in	10in
ORNLレポート	0.72	0.67	0.67	0.72
Slater指摘	1.14	1.03	1.00	1.07

Ⅱ-G SMI + 5cmSS + 30cm B₄C (thin slab)

	3in	5in	8in	10in
ORNLレポート	1.23	1.16	1.13	1.10
Slater指摘	1.13	1.07	1.04	1.02

II - I SMI + 10cmSS + 10cm B₄C (thick slab)

	3in	5in	8in	10in
ORNLレポート	0.90	0.81	0.81	0.77
Slater指摘	1.13	1.02	1.01	0.95

II - M SMI + 60cmSS + 20cm B₄C (thick slab)

	3in	5in	8in	10in
ORNLレポート	0.43	0.40	0.36	0.35
Slater指摘	0.79	0.74	0.68	0.66

II - P SMI + 10cmSS + 10cm B₄C + 10cmSS + 10cm B₄C (thick slab)

	3in	5in	8in	10in
ORNLレポート	0.68	0.62	0.59	0.60
Slater指摘	1.07	0.98	0.91	0.91

以上の結果より明らかなように各ボナーボール計数率の相対的な傾向はORNLレポート、Slater指摘とも同様の傾向を示すが、Slater指摘による B_4C 密度を用いた方が、C/Eの1.0への接近度合は大きいと思われる。

CRC 石塚 龍雄

参考文献

- (1) JASPER実験解析(Ⅱ) PNC SN2410 88-003(1988).
- (2) F.J.Muckenthaler, "Measurements of the Alternate Shielding Materials Experiment.", ORNL/TM-9977(1986).

表 3. 1. 2-1 体系概要および測定内容

Configuration		B.B H.C. NE-213 ¹⁾	B.B. Centerline ²⁾		5"B.B. Traverse ³⁾	Bare BF ₃ ⁴⁾	TLD ⁵⁾
IA	SM I	Y	a	b	X		
IIA	SM I +10cmSS	X	a	b			
B	SM I +20cmSS	X	a	b			
C	SM I +30cmSS	X	a	b	X		X
D	SM I +10cmB ₄ C	Y	a	b			
E	SM I +20cmB ₄ C	Y	a	b			
F	SM I +30cmB ₄ C	Y	a	b	X		
G	SM I + 5cmSS+ 5cmB ₄ C		a	b			
H	SM I + 5cmSS+10cmB ₄ C		a	b			
I	SM I +10cmSS+10cmB ₄ C		a	b			
J	SM I +10cmSS+20cmB ₄ C		a	b	X		
K	SM I +20cmSS+20cmB ₄ C		a	b			
L	SM I +40cmSS+20cmB ₄ C		a	b	X		
M	SM I +60cmSS+20cmB ₄ C		a	b	X	c	
N	SM I +10cmSS+10cmB ₄ C		a	b		c	
O	SM I +10cmSS+10cmB ₄ C+10cmSS		a	b		c	
P	SM I +10cmSS+10cmB ₄ C+10cmSS+10cmB ₄ C		a	b		c	
IIIA	SM II (No Li-paraffine and Block concrete)				X		
AA	SM II		A	B	X	d	
B	SM II +20cmVoid+7.26cmPb	X					
IVA	SM II + 5cmSS		A	B			
B	SM II +10cmSS		A	B	X		
C	SM II + 5cmB ₄ C		A	B			d
D	SM II +10cmB ₄ C		A	B	X		
E	SM II + 5cmSS+ 5cmB ₄ C		A	B	X		
F	SM II + 3cmSS		A	B			d
G	SM II + 3cmSS+ 3cmB ₄ C		A	B			
H	SM II + 3cmSS+ 3cmB ₄ C+ 3cmSS		A	B			d
I	SM II + 3cmSS+10cmB ₄ C		A	B			
J	SM II + 3cmSS+10cmB ₄ C+ 3cmSS		A	B			d

- 1) B.B. : 3", 5", 10" Y : 7.26cmPb behind mockup.
 Detector position : Config. I -227.2cm. Config. II -256.0cm. Config. III -384.8cm from core center.
- 2) a, b : 3", 5", 10"B.B. a-30cm behind mockup. b-304.8cm from core center.
 A, C : Bare and Cd-covered BF₃ counter, 3", 5", 8", 10"B.B. A-same as a. C-457.2cm from core center.
- 3) 30cm behind mockup.
- 4) c-304.8cm, d-457.2cm from core center.
 Cd-sheet over face of last slab in the configuration.
- 5) Located on centerline at 0.0, 10.34, 20.86, and 31.41cm of last slab.

表3.2.2-1 LMR Alternate Shielding Materials Experiment 実験解析のための原子数密度

$\times 10^{24} \text{atom/cm}^3$

物質	Carbon Steel	Al	Boral	SS304	B.C	Sodium	Lithiated Paraffin	Concrete Block	Concrete Saddle	TSF Concrete	Pb	Water
比重/cm ³	7.86	2.70		7.88	1.65	0.945					11.34	
H							5.930-2	6.40-3	1.30-2	8.88-3		6.692-2
⁶ Li							5.625-4					
⁷ Li							6.938-3					
¹⁰ B			5.130-3		1.424-2							
¹¹ B			2.077-2		5.770-2							
C	9.852-4		6.450-3	1.949.4	1.799-2		3.340-2	1.01-2	7.76-3	7.97-3		
O							1.130-2	4.48-2	4.33-2	4.20-2		3.346-2
Na						2.475-2			2.66-5	2.73-5		
Mg								2.18-3	1.40-5	1.44-3		
Al		5.906-2	3.650-2					6.24-4	6.35-4	4.14-4		
Si	4.213-4			7.490-2				4.35-3	3.74-3	3.84-3		
P								7.13-6	1.66-5			
S								5.78-5	8.22-5	1.02-4		
K								1.11-4	2.28-3	2.34-3		
Ca								9.89-3	9.77-3	1.00-2		
Cr				1.707-2								
Mn	8.616-4			1.149-3								
Fe	8.340-2	5.823-4	7.700-4	5.909-2				1.09-4	1.10-4	2.64-4		
Ni				7.600-3								
Pb											3.296-2	

表3.3.2-1 体系 I A ボナーボール反応率

体系後方 30cm

	実験値	計算値	C/E
Bare	7.94 +1	5.173 +1	0.65
Cd-covered	3.64 +1	2.911 +1	0.80
3"	2.26 +3	2.819 +3	1.25
5"	1.34 +4	1.670 +4	1.25
8"	1.22 +4	1.476 +4	1.21
10"	7.29 +3	8.442 +3	1.16

炉心より 304.8cm

	実験値	計算値	C/E
Bare	1.00 +0	1.38 +1	13.8
Cd-covered	2.83 +0	4.03 +0	1.42
3"	2.14 +2	2.81 +2	1.31
5"	1.38 +3	1.56 +3	1.13
8"	1.23 +3	1.34 +3	1.09
10"	7.35 +2	7.89 +2	1.07

表3.3.2-2(1/2) 体系 I A 中性子スペクトル (計算値)

No.	Upper Energy (MeV)	Flux (neutron $\text{cm}^{-2}\text{MeV}^{-1}\text{kw}^{-1}\text{s}^{-1}$)
1	1.492 +1	1.101 +3
2	5.488 +0	1.194 +4
3	3.329 +0	4.572 +4
4	2.019 +0	1.599 +5
5	1.225 +0	3.821 +5
6	7.427 -1	8.864 +5
7	4.505 -1	1.365 +6
8	2.732 -1	2.125 +6
9	1.657 -1	3.123 +6
10	6.738 -2	6.708 +6
11	2.479 -2	1.302 +7
12	9.119 -3	1.777 +7
13	3.355 -3	3.289 +7
14	1.234 -3	5.347 +7
15	4.540 -4	8.073 +7
16	1.670 -4	1.495 +8
17	4.785 -5	2.988 +8
18	1.371 -5	6.311 +8
19	3.928 -6	1.597 +9
20	1.125 -6	4.070 +9
21	4.140 -7	2.292 +10

表3.3.2-2(2/2) 体系 I A 中性子スペクトル (実験値)

N	Energy boundary		Flux	
	(MeV)		(neutrons cm ⁻² MeV ⁻¹ kW ⁻¹ s ⁻¹)	
1	0.0530	0.0638	5.52E	06 ^a
2	0.0638	0.0745	4.93E	06
3	0.0745	0.0871	3.36E	06
4	0.0871	0.1033	2.44E	06
5	0.1033	0.1212	3.01E	06
6	0.1212	0.1428	2.90E	06
7	0.1428	0.1679	1.82E	06
1	0.1199	0.1417	2.50E	06
2	0.1417	0.1679	1.68E	06
3	0.1679	0.1984	1.63E	06
4	0.1984	0.2333	1.69E	06
5	0.2333	0.2726	1.81E	06
6	0.2726	0.3206	1.61E	06
7	0.3206	0.3773	1.33E	06
8	0.3773	0.4470	1.11E	06
9	0.4470	0.5256	9.72E	05
1	0.3842	0.4461	1.10E	06
2	0.4461	0.5256	9.89E	05
3	0.5256	0.6227	8.52E	05
4	0.6227	0.7287	6.73E	05
5	0.7287	0.8612	5.04E	05
6	0.8612	1.0114	4.11E	05
7	1.0114	1.1880	3.12E	05
8	1.1880	1.4000	2.18E	05

^aRead: 5.52×10^6 .

表3.3.2-3(1/2) 体系Ⅱ ボナーボール計数率 (体系後方30cm)

体系	Bare BF ₃			Cd-covered BF ₃		
	実験値	計算値	C/E	実験値	計算値	C/E
Ⅱ A	3.74 +1	2.696 +1	0.72	1.99 +1	1.850 +1	0.93
Ⅱ B	2.32 +1	1.940 +1	0.84	1.49 +1	1.607 +1	1.08
Ⅱ C	1.22 +1	1.198 +1	0.98	8.72 +0	9.998 +0	1.15
Ⅱ D	1.04 +1	3.258 +0	0.31	4.28 +0	1.811 +0	0.42
Ⅱ E	1.73 +0	4.495 -1	0.26	6.72 -1	2.773 -1	0.41
Ⅱ F	2.95 -1	7.555 -2	0.26	1.19 -1	5.297 -2	0.45
Ⅱ G	1.67 +1	7.910 +0	0.47	1.23 +1	4.638 +0	0.38
Ⅱ H	7.37 +0	3.034 +0	0.41	3.02 +0	2.028 +0	0.67
Ⅱ I	4.71 +0	1.815 +0	0.39	2.03 +0	1.317 +0	0.68
Ⅱ J	6.33 -1	2.056 -1	0.32	2.63 -1	1.784 -1	0.68
Ⅱ K	4.27 -1	1.888 -1	0.44	1.26 -1	9.317 -2	0.74
Ⅱ L	7.11 -2	2.392 -2	0.34	2.25 -2	1.471 -2	0.65
Ⅱ M	2.16 -2	2.281 -3	0.11	4.17 -3	2.033 -3	0.49
Ⅱ N	5.91 +0	1.780 +0	0.30	2.36 +0	1.351 +0	0.57
Ⅱ O	1.95 +0	9.195 -1	0.47	1.01 +0	8.615 -1	0.85
Ⅱ P	2.73 -1	8.998 -2	0.33	1.11 -1	7.592 -2	0.68

表3.3.2-3(2/2) 体系Ⅱ ボナーボール計数率 (体系後方30cm)

体系	3" B.B			5" B.B			8" B.B			10" B.B		
	実験値	計算値	C/E	実験値	計算値	C/E	実験値	計算値	C/E	実験値	計算値	C/E
Ⅱ A	1.12 +3	1.452 +3	1.30	7.06 +3	7.949 +3	1.13	5.85 +3	6.442 +3	1.10	3.19 +3	3.498 +3	1.10
Ⅱ B	6.70 +2	8.128 +2	1.21	3.51 +3	3.870 +3	1.10	1.87 +3	1.880 +3	1.01	1.41 +3	1.469 +3	1.04
Ⅱ C	3.71 +2	4.263 +2	1.15	1.84 +3	1.888 +3	1.03	1.34 +3	1.329 +3	0.99	6.54 +2	6.502 +2	0.99
Ⅱ D	3.38 +2	4.260 +2	1.26	2.51 +3	2.854 +3	1.14	2.45 +3	2.683 +3	1.10	1.51 +3	1.653 +3	1.10
Ⅱ E	6.03 +1	7.121 +1	1.18	4.64 +2	5.167 +2	1.11	4.88 +2	5.209 +2	1.07	3.02 +2	3.355 +2	1.11
Ⅱ F	1.11 +1	1.328 +1	1.20	9.26 +1	1.030 +2	1.11	9.74 +1	1.105 +2	1.13	6.11 +1	7.417 +1	1.21
Ⅱ G	5.47 +2	6.465 +2	1.18	3.42 +3	4.094 +3	1.20	2.97 +3	3.514 +3	1.18	1.84 +3	1.992 +3	1.08
Ⅱ H	2.37 +2	2.988 +2	1.26	1.60 +3	1.898 +3	1.16	1.48 +3	1.629 +3	1.10	8.76 +2	9.463 +2	1.08
Ⅱ I	1.65 +2	2.089 +2	1.27	1.15 +3	1.283 +3	1.12	9.43 +2	1.052 +3	1.12	5.38 +2	5.756 +2	1.07
Ⅱ J	2.25 +1	2.855 +1	1.27	1.53 +2	1.798 +2	1.18	1.42 +2	1.551 +2	1.09	8.17 +1	8.924 +1	1.09
Ⅱ K	9.86 +0	1.197 +1	1.21	6.07 +1	6.671 +1	1.10	4.97 +1	5.061 +1	1.02	2.67 +1	2.613 +1	0.98
Ⅱ L	1.74 +0	1.905 +0	1.09	9.83 +0	9.404 +0	0.96	6.93 +0	6.062 +0	0.87	3.39 +0	2.797 +0	0.83
Ⅱ M	3.06 -1	2.815 -1	0.92	1.56 +0	1.309 +0	0.84	1.05 +0	7.974 -1	0.76	4.98 -1	3.485 -1	0.70
Ⅱ N	1.71 +2	2.060 +2	1.20	1.12 +3	1.244 +3	1.11	9.45 +2	1.037 +3	1.10	5.36 +2	5.583 +2	1.04
Ⅱ O	7.43 +1	8.965 +1	1.21	4.51 +2	4.960 +2	1.10	3.66 +2	3.876 +2	1.06	1.96 +2	2.034 +2	1.04
Ⅱ P	9.65 +0	1.184 +1	1.23	6.46 +1	6.950 +1	1.08	5.50 +1	5.313 +1	0.97	2.86 +1	2.849 +1	1.00

表3.3.2-4(1/2) 体系Ⅱ ボナーボール計数率 (炉心中心より304.8cm)

体系	Bare BF ₃			Cd-covered BF ₃		
	実験値	計算値	C/E	実験値	計算値	C/E
Ⅱ A	1.50 +0	5.518 +0	3.68	1.88 +0	2.345 +0	1.25
Ⅱ B	1.36 +0	2.945 +0	2.17	1.80 +0	2.047 +0	1.14
Ⅱ C	1.18 +0	1.802 +0	1.53	1.25 +0	1.400 +0	1.12
Ⅱ D D	7.40 -1	1.388 +0	1.88	4.02 -1	4.829 -1	1.20
Ⅱ E E	2.06 -1	1.563 -1	0.76	7.09 -2	7.345 -2	1.04
Ⅱ F F	5.00 -2	3.612 -1	0.72	1.74 -2	1.557 -2	0.89
Ⅱ G	2.00 +0	2.464 +0	1.23	9.21 -1	8.488 -1	0.92
Ⅱ H	1.08 +0	8.846 -1	0.82	4.11 -1	3.412 -1	0.83
Ⅱ I	8.10 -1	5.293 -1	0.65	3.09 -1	2.342 -1	0.76
Ⅱ J	1.00 -1	6.001 -2	0.60	3.88 -2	3.014 -2	0.78
Ⅱ K	5.50 -2	8.237 -2	1.50	2.07 -2	2.213 -2	1.07
Ⅱ L	1.77 -2	9.941 -3	0.56	6.40 -3	3.809 -3	0.60
Ⅱ M	5.10 -3	1.047 -3	0.21	1.66 -3	6.942 -4	0.42
Ⅱ N	7.90 -1	5.185 -1	0.66	2.98 -1	2.320 -1	0.78
Ⅱ O	1.68 -1	1.618 -1	0.96	1.33 -1	1.188 -1	0.89
Ⅱ P	6.60 -2	3.417 -2	0.52	2.20 -2	1.569 -2	0.71

表3.3.2-4(2/2) 体系Ⅱ ボナーボール計数率 (炉心中心より304.8cm)

体系	3" B.B			5" B.B			8" B.B			10" B.B		
	実験値	計算値	C/E	実験値	計算値	C/E	実験値	計算値	C/E	実験値	計算値	C/E
Ⅱ A	1.18 +2	1.535 +2	1.30	7.47 +2	8.175 +2	1.09	6.33 +2	6.374 +2	1.01	3.51 +2	3.456 +2	0.98
Ⅱ B	8.55 +1	9.747 +1	1.14	4.68 +2	4.588 +2	0.98	3.72 +2	3.299 +2	0.89	1.87 +2	1.679 +2	0.90
Ⅱ C	5.58 +1	5.836 +1	1.05	2.73 +2	2.562 +2	0.94	2.03 +2	1.808 +2	0.89	1.01 +2	8.563 +1	0.85
Ⅱ D D	4.36 +1	4.456 +1	1.02	2.73 +2	2.952 +2	1.08	2.81 +2	2.817 +2	1.00	1.72 +2	1.760 +2	1.02
Ⅱ E E	7.21 +0	8.356 +0	1.16	5.90 +1	5.915 +1	1.00	6.36 +1	6.155 +1	0.97	4.05 +1	4.085 +1	1.01
Ⅱ F F	1.57 +0	1.794 +0	1.14	1.37 +1	1.413 +1	1.03	1.51 +1	1.512 +1	1.00	9.84 +0	1.049 +1	1.07
Ⅱ G	6.24 +1	7.046 +1	1.13	3.92 +2	4.197 +2	1.07	3.46 +2	3.613 +2	1.04	2.03 +2	2.064 +2	1.02
Ⅱ H	2.85 +1	3.290 +1	1.15	1.89 +2	2.089 +2	1.11	1.76 +2	1.854 +2	1.05	1.06 +2	1.053 +2	0.99
Ⅱ I	2.10 +1	2.370 +1	1.13	1.42 +2	1.445 +2	1.02	1.19 +2	1.203 +2	1.01	6.78 +1	6.470 +1	0.99
Ⅱ J	3.54 +0	3.544 +0	1.00	2.25 +1	2.259 +1	1.00	2.08 +1	2.004 +1	0.96	1.23 +1	1.185 +1	0.96
Ⅱ K	1.16 +0	1.848 +0	1.15	1.02 +1	1.011 +1	0.99	8.51 +0	7.564 +0	0.89	4.65 +0	4.014 +0	0.86
Ⅱ L	4.16 -1	4.039 -1	0.97	2.28 +0	1.942 +0	0.85	1.65 +0	1.298 +0	0.79	8.11 -1	6.000 -1	0.74
Ⅱ M	1.05 -1	8.248 -2	0.79	5.36 -1	3.950 -1	0.74	3.60 -1	2.435 -1	0.68	1.66 -1	1.090 -1	0.66
Ⅱ N	2.10 +1	2.351 +1	1.12	1.39 +2	1.433 +2	1.03	1.24 +2	1.192 +2	0.96	6.85 +1	6.439 +1	0.94
Ⅱ O	1.03 +1	1.093 +1	1.06	6.37 +1	6.068 +1	0.95	5.22 +1	4.767 +1	0.91	2.70 +1	2.520 +1	0.93
Ⅱ P	1.66 +0	1.774 +0	1.07	1.04 +1	1.020 +1	0.98	8.93 +0	8.121 +0	0.91	4.78 +0	4.357 +0	0.91

表3.3.2-5(1/7) 体系Ⅱ 中性子スペクトル (計算値)

No.	Upper Energy (MeV)	Flux (neutron cm ⁻² MeV ⁻¹ kw ⁻¹ s ⁻¹)					
		Ⅱ A	Ⅱ B	Ⅱ C	Ⅱ D	Ⅱ E	Ⅱ F
1	1.492 +1	3.345 +2	4.983 +1	8.172 +0	2.943 +2	1.011 +2	3.731 +1
2	5.488 +0	3.346 +3	4.859 +2	7.531 +1	2.815 +3	9.115 +2	3.118 +2
3	3.329 +0	1.343 +4	2.429 +3	4.511 +2	9.695 +3	2.960 +3	9.481 +2
4	2.019 +0	5.123 +4	1.241 +4	2.977 +3	2.696 +4	7.210 +3	2.135 +3
5	1.225 +0	1.566 +5	5.586 +4	1.894 +4	7.052 +4	1.838 +4	5.167 +3
6	7.427 -1	4.743 +5	2.489 +5	1.216 +5	1.234 +5	2.963 +4	8.001 +3
7	4.505 -1	8.714 +5	5.368 +5	3.147 +5	1.645 +5	3.594 +4	9.306 +3
8	2.732 -1	1.116 +6	6.100 +5	3.553 +5	2.737 +5	5.612 +4	1.376 +4
9	1.657 -1	2.121 +6	1.307 +6	8.127 +5	3.930 +5	8.127 +4	1.922 +4
10	6.738 -2	2.987 +6	1.725 +6	1.104 +6	8.011 +5	1.570 +5	3.522 +4
11	2.479 -2	5.232 +6	2.777 +6	1.717 +6	1.464 +6	2.700 +5	5.803 +4
12	9.119 -3	6.457 +6	3.336 +6	1.933 +6	1.832 +6	3.498 +5	7.254 +4
13	3.355 -3	2.170 +7	1.281 +7	7.506 +6	2.037 +6	3.992 +5	7.760 +4
14	1.234 -3	3.913 +7	2.876 +7	1.751 +7	2.235 +6	4.601 +5	8.167 +4
15	4.540 -4	5.394 +7	4.408 +7	2.756 +7	3.338 +6	7.181 +6	1.187 +5
16	1.670 -4	1.157 +8	1.220 +8	8.314 +7	6.762 +6	1.449 +6	2.299 +5
17	4.785 -5	2.312 +8	2.970 +8	2.223 +8	1.781 +7	3.732 +6	5.803 +5
18	1.371 -5	4.500 +8	6.298 +8	5.117 +8	5.113 +7	1.051 +7	1.637 +6
19	3.928 -6	9.019 +8	1.093 +9	9.154 +8	1.532 +8	3.080 +7	4.831 +6
20	1.125 -6	1.876 +9	1.529 +9	1.183 +9	4.173 +8	8.214 +7	1.285 +7
21	4.140 -7	1.105+10	2.698 +9	1.250 +9	2.570 +9	4.449 +8	6.696 +7

表3.3.2-5(2/7) 体系Ⅱ中性子スペクトル(実験値 ⅡA)

N	Energy boundary (MeV)		Flux (neutron cm ⁻² MeV ⁻¹ kW ⁻¹ s ⁻¹)
1	0.0536	0.0645	2.47E 06 ^a
2	0.0645	0.0754	2.49E 06
3	0.0754	0.0881	2.28E 06
4	0.0881	0.1045	1.52E 06
5	0.1045	0.1226	1.72E 06
6	0.1226	0.1444	2.19E 06
7	0.1444	0.1699	1.38E 06
8	0.1699	0.2008	1.18E 06
1	0.1446	0.1705	1.29E 06
2	0.1705	0.2008	1.10E 06
3	0.2008	0.2353	9.96E 05
4	0.2353	0.2742	1.14E 06
5	0.2742	0.3217	1.18E 06
6	0.3217	0.3821	8.74E 05
7	0.3821	0.4469	5.54E 05
8	0.4469	0.5289	4.58E 05
1	0.3778	0.4489	5.39E 05
2	0.4489	0.5289	4.57E 05
3	0.5289	0.6178	4.95E 05
4	0.6178	0.7244	3.96E 05
5	0.7244	0.8578	2.37E 05
6	0.8578	1.0089	1.86E 05
7	1.0089	1.1867	1.28E 05
8	1.1867	1.4000	7.77E 04

^aRead: 2.47 × 10⁶.

表3.3.2-5(3/7) 体系Ⅱ中性子スペクトル(実験値 ⅡB)

N	Energy boundary (MeV)		Flux (neutron cm ⁻² MeV ⁻¹ kW ⁻¹ s ⁻¹)
1	0.0535	0.0625	1.39E 06 ^a
2	0.0625	0.0752	1.71E 06
3	0.0752	0.0879	1.79E 06
4	0.0879	0.1024	1.14E 06
5	0.1024	0.1206	1.27E 06
6	0.1206	0.1423	1.82E 06
7	0.1423	0.1677	1.07E 06
8	0.1677	0.1985	8.48E 06
1	0.1418	0.1680	1.14E 06
2	0.1680	0.1985	7.98E 05
3	0.1985	0.2334	6.74E 05
4	0.2334	0.2770	7.71E 05
5	0.2770	0.3250	8.69E 05
6	0.3250	0.3818	6.18E 05
7	0.3818	0.4472	3.50E 05
8	0.4472	0.5301	2.69E 05
1	0.3761	0.4485	3.41E 05
2	0.4485	0.5301	2.72E 05
3	0.5301	0.6207	2.80E 05
4	0.6207	0.7294	2.13E 05
5	0.7294	0.8563	1.15E 05
6	0.8563	1.0104	8.19E 04
7	1.0104	1.1825	5.13E 04
8	1.1825	1.4000	2.75E 04

^aRead: 1.39 × 10⁶.

表3.3.2-5(4/7) 体系Ⅱ中性子スペクトル (実験値 ⅡC)

N	Energy boundary (MeV)		Flux (neutron cm ⁻² MeV ⁻¹ kW ⁻¹ s ⁻¹)	
1	0.0540	0.0628	9.61E 05 ^a	
2	0.0628	0.0734	1.13E 06	
3	0.0734	0.0876	1.28E 06	
4	0.0876	0.1017	8.02E 05	
5	0.1017	0.1212	8.81E 05	
6	0.1212	0.1424	1.26E 06	
7	0.1424	0.1672	7.19E 05	
8	0.1672	0.1972	5.33E 05	
1	0.1409	0.1669	7.32E 05	
2	0.1669	0.1972	4.79E 05	
3	0.1972	0.2319	4.11E 05	
4	0.2319	0.2753	4.66E 05	
5	0.2753	0.3229	5.32E 05	
6	0.3229	0.3793	3.57E 05	
7	0.3793	0.4443	1.90E 05	
8	0.4443	0.5267	1.36E 05	
1	0.3826	0.4457	1.84E 05	
2	0.4457	0.5267	1.43E 05	
3	0.5267	0.6167	1.47E 05	
4	0.6167	0.7248	1.07E 05	
5	0.7248	0.8598	4.83E 04	
6	0.8598	1.0039	3.17E 04	
7	1.0039	1.1839	1.84E 04	
8	1.1839	1.4000	8.25E 03	

^aRead: 9.61 × 10⁵.

表3.3.2-5(5/7) 体系Ⅱ中性子スペクトル (実験値 ⅡD)

N	Energy boundary (MeV)		Flux (neutron cm ⁻² MeV ⁻¹ kW ⁻¹ s ⁻¹)	
1	0.0530	0.0620	8.98E 05 ^a	
2	0.0620	0.0746	8.40E 05	
3	0.0746	0.0872	7.51E 05	
4	0.0872	0.1016	6.60E 05	
5	0.1016	0.1195	6.39E 05	
6	0.1195	0.1411	5.89E 05	
7	0.1411	0.1663	4.95E 05	
8	0.1663	0.1968	4.59E 05	
1	0.1406	0.1665	4.67E 05	
2	0.1665	0.1968	4.37E 05	
3	0.1968	0.2314	4.06E 05	
4	0.2314	0.2747	3.42E 05	
5	0.2747	0.3223	3.27E 05	
6	0.3223	0.3785	2.70E 05	
7	0.3785	0.4434	2.18E 05	
8	0.4434	0.5256	2.30E 05	
1	0.3842	0.4461	2.13E 05	
2	0.4461	0.5256	2.27E 05	
3	0.5256	0.6227	2.17E 05	
4	0.6227	0.7287	1.90E 05	
5	0.7287	0.8612	1.63E 05	
6	0.8612	1.0114	1.35E 05	
7	1.0114	1.1880	8.26E 04	
8	1.1880	1.4000	4.66E 04	

^aRead: 8.98 × 10⁵.

表3.3.2-5(6/7) 体系Ⅱ中性子スペクトル (実験値 II E)

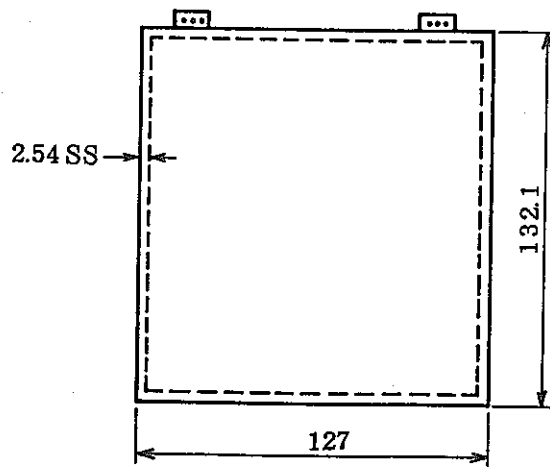
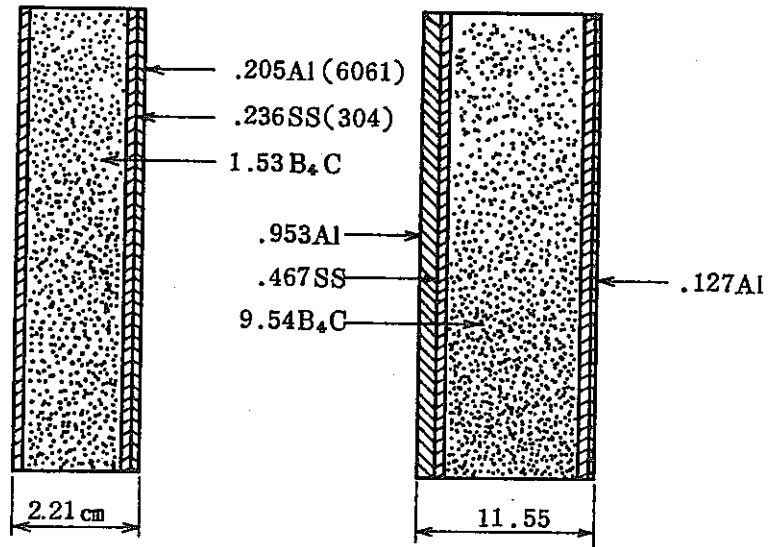
N	Energy boundary (MeV)		Flux (neutron cm ⁻² MeV ⁻¹ kW ⁻¹ s ⁻¹)
	1	0.0535	0.0626
2	0.0626	0.0735	1.07E 05
3	0.0735	0.0862	1.00E 05
4	0.0862	0.1025	8.87E 04
5	0.1025	0.1206	8.55E 04
6	0.1206	0.1424	8.23E 04
7	0.1424	0.1660	7.00E 04
8	0.1660	0.1968	6.58E 04
1	0.1406	0.1665	6.41E 04
2	0.1665	0.1968	5.93E 04
3	0.1968	0.2314	5.38E 04
4	0.2314	0.2747	4.88E 04
5	0.2747	0.3223	4.59E 04
6	0.3223	0.3785	3.96E 04
7	0.3785	0.4434	3.23E 04
8	0.4434	0.5256	3.59E 04
1	0.3842	0.4461	3.12E 04
2	0.4461	0.5256	3.35E 04
3	0.5256	0.6227	3.30E 04
4	0.6227	0.7287	3.06E 04
5	0.7287	0.8612	2.77E 04
6	0.8612	1.0114	2.27E 04
7	1.0114	1.1880	1.35E 04
8	1.1880	1.4000	7.15E 03

^aRead: 1.18 × 10⁵.

表3.3.2-5(7/7) 体系Ⅱ中性子スペクトル (実験値 II F)

N	Energy boundary (MeV)		Flux (neutron cm ⁻² MeV ⁻¹ kW ⁻¹ s ⁻¹)
	1	0.0536	0.0645
2	0.0645	0.0754	2.58E 04
3	0.0754	0.0881	2.38E 04
4	0.0881	0.1045	2.23E 04
5	0.1045	0.1226	2.07E 04
6	0.1226	0.1444	2.08E 04
7	0.1444	0.1699	1.74E 04
8	0.1699	0.2008	1.67E 04
1	0.1446	0.1705	1.52E 04
2	0.1705	0.2008	1.48E 04
3	0.2008	0.2353	1.36E 04
4	0.2353	0.2742	1.21E 04
5	0.2742	0.3217	1.15E 04
6	0.3217	0.3821	1.02E 04
7	0.3821	0.4469	8.67E 03
8	0.4469	0.5289	9.49E 03
1	0.3778	0.4489	8.59E 03
2	0.4489	0.5289	9.22E 03
3	0.5289	0.6178	9.04E 03
4	0.6178	0.7244	8.54E 03
5	0.7244	0.8578	7.70E 03
6	0.8578	1.0089	6.15E 03
7	1.0089	1.1867	3.61E 03
8	1.1867	1.4000	1.79E 03

^aRead: 2.79 × 10⁴.



ALL DIMENSIONS ARE IN CENTIMETERS

图3.1.2-1 B₄C 遮蔽体构造

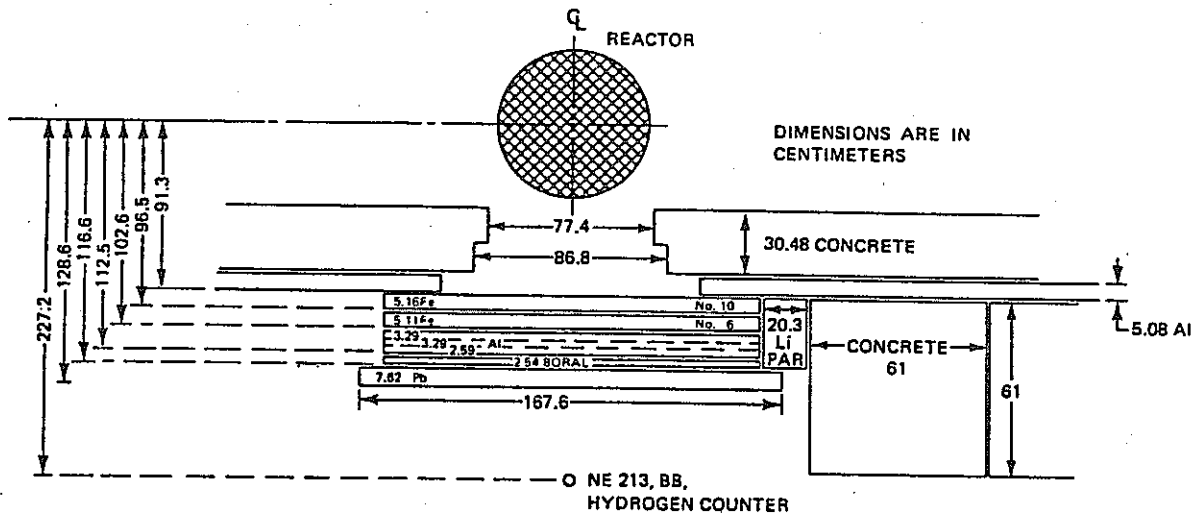
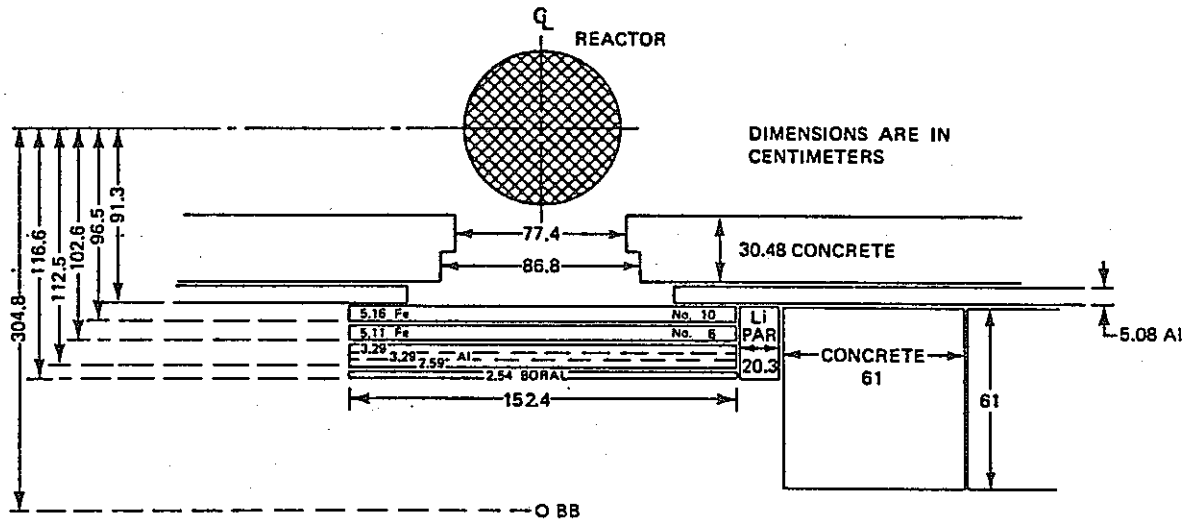


図3.1.2-2(1/17) 実験体系 I A

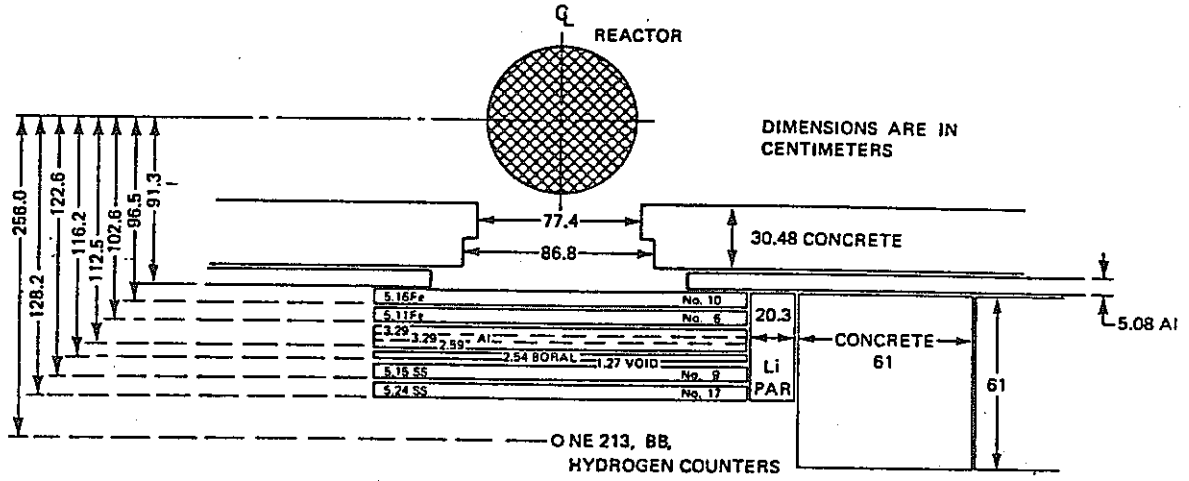


图3.1.2-2(2/17) 实验体系 II A

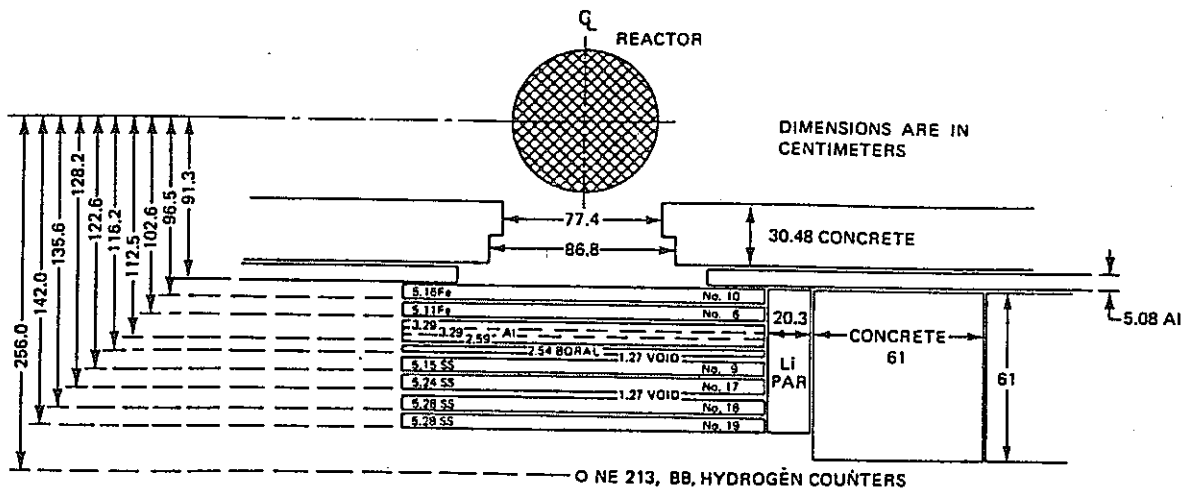


图3.1.2-2(3/17) 实验体系 II B

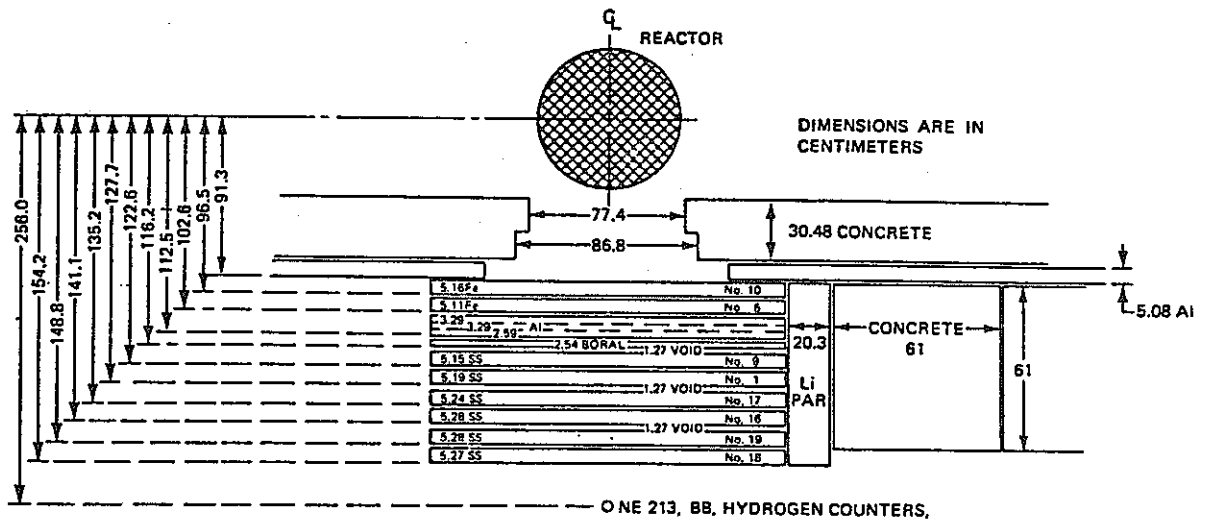


図3.1.2-2(4/17) 実験体系 II C

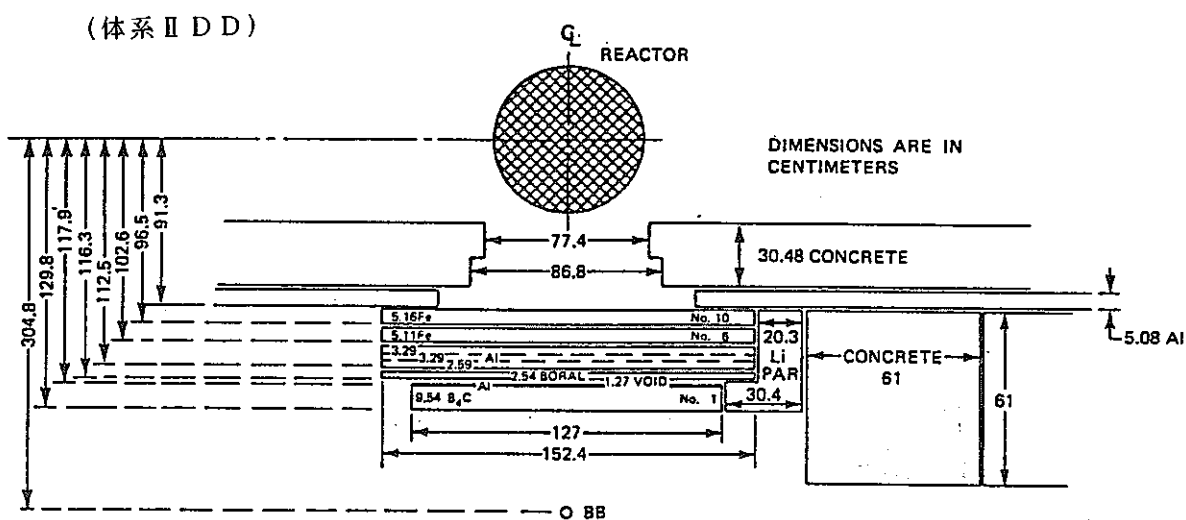
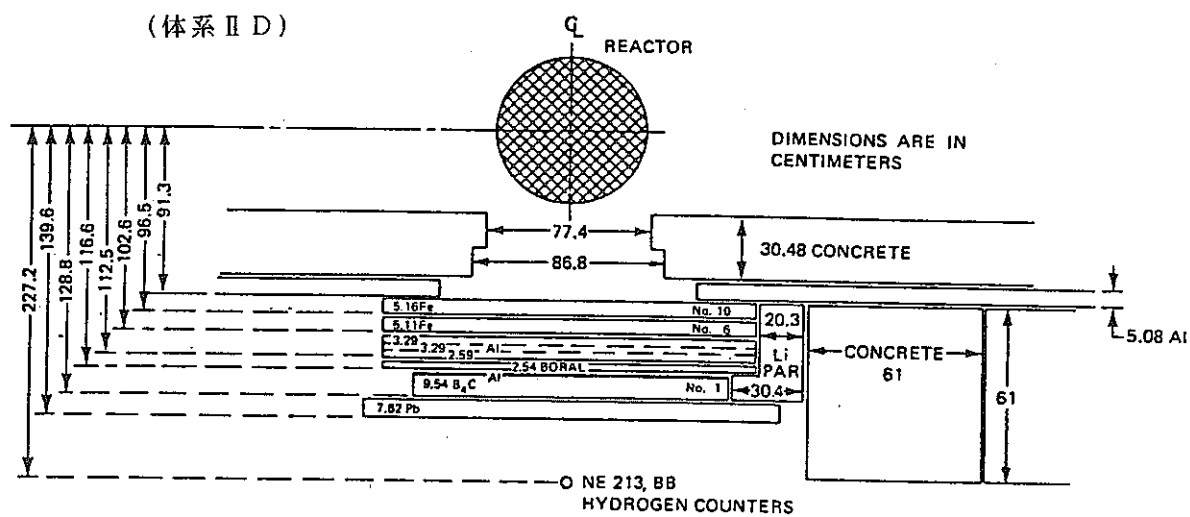


图3.1.2-2(5/17) 实验体系 II D, II D D

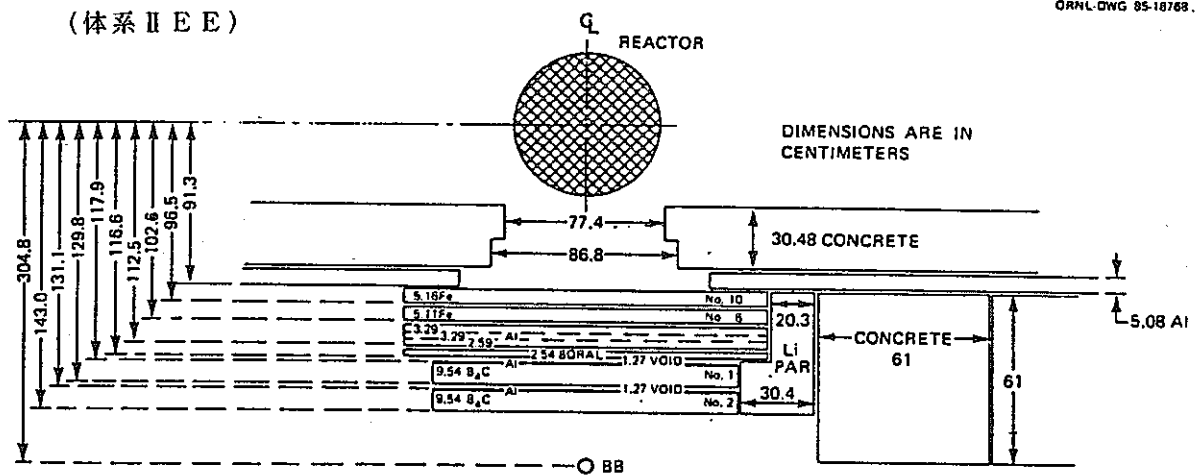
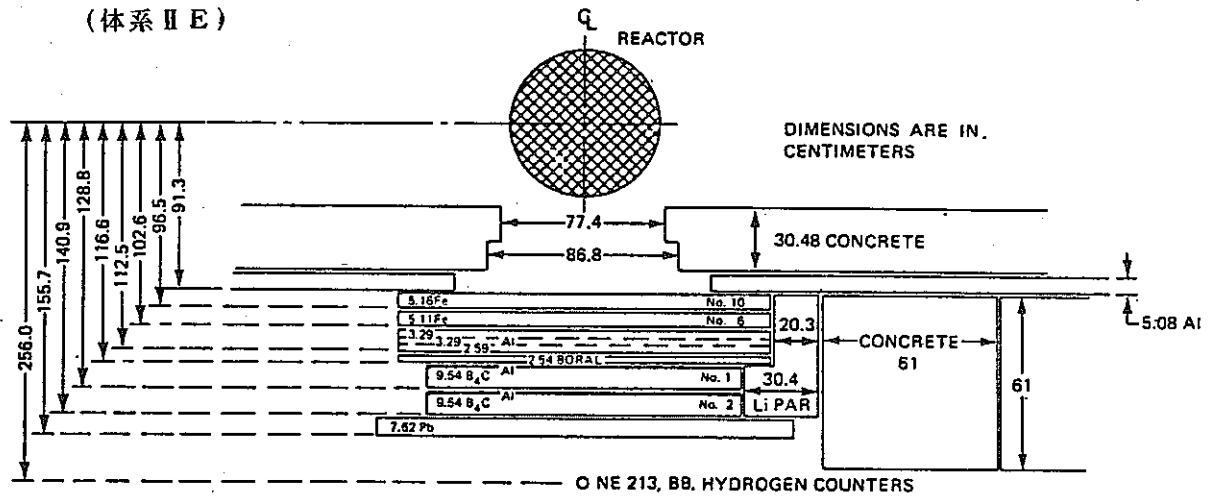
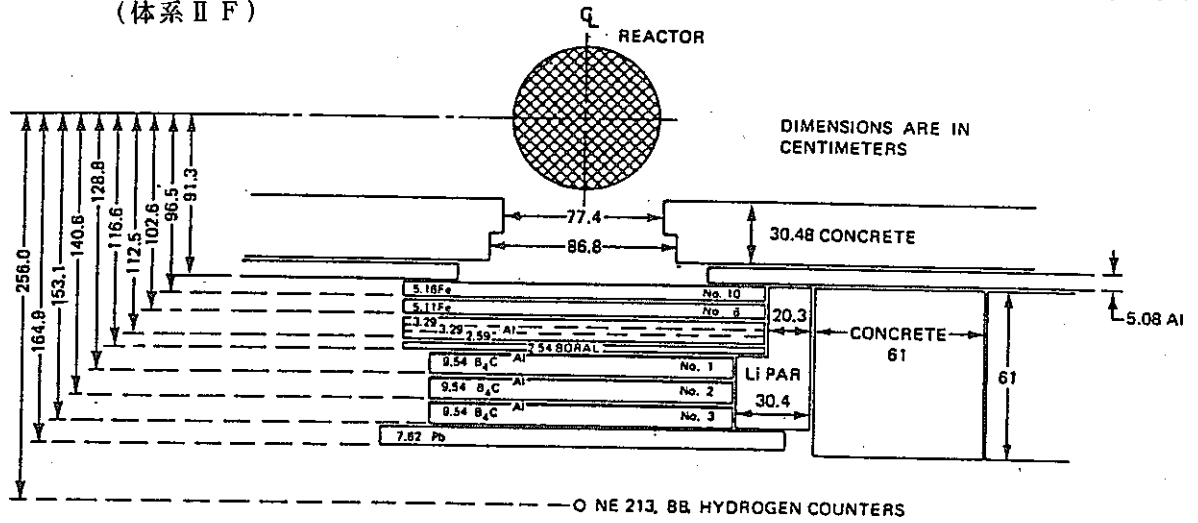


图3.1.2-2(6/17) 实验体系 II E, II E E

(体系 II F)

ORNL-OWG 85-18771



(体系 II F F)

ORNL-OWG 85-18772

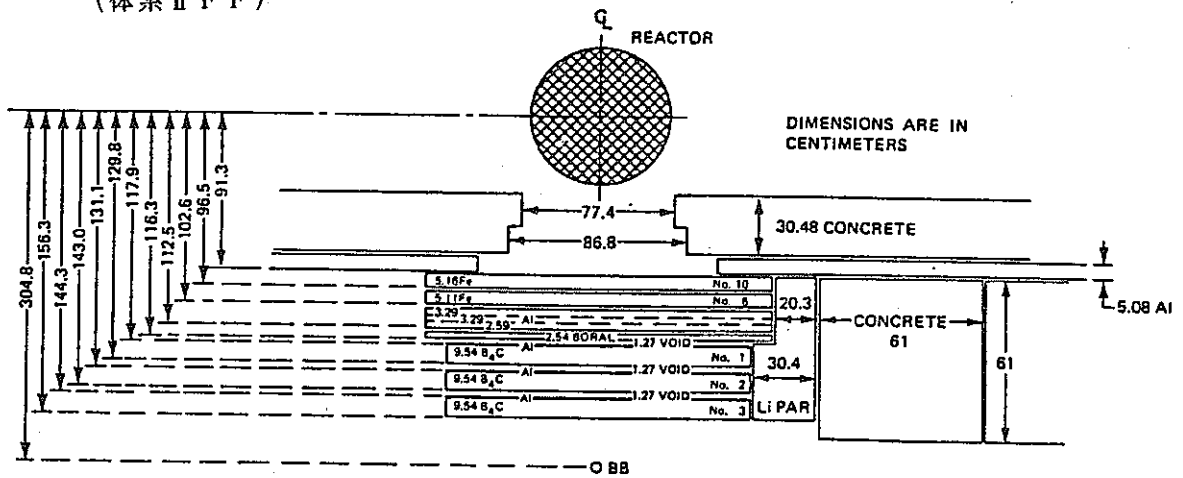


图3.1.2-2(7/17) 实验体系 II F, II F F

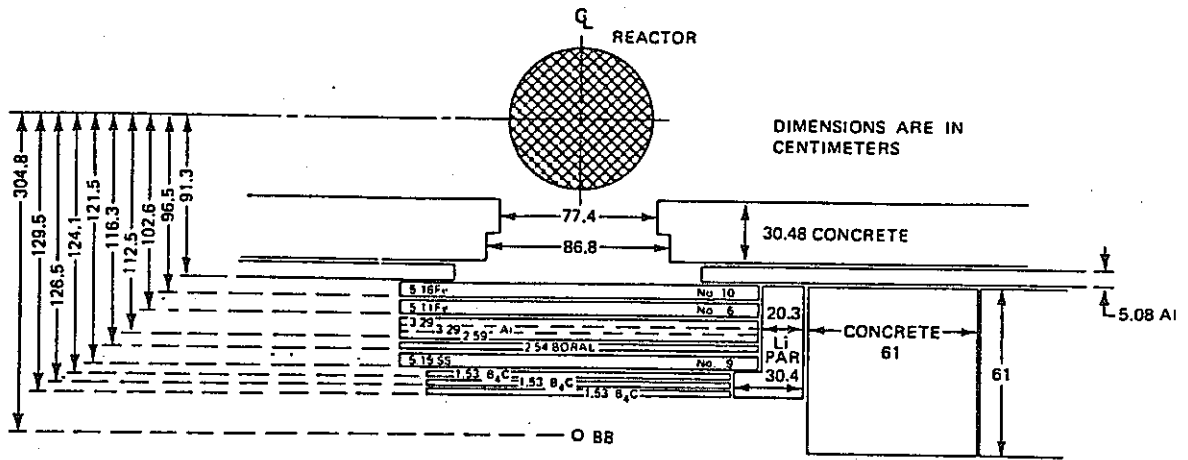


図3.1.2-2(8/17) 実験体系 II G

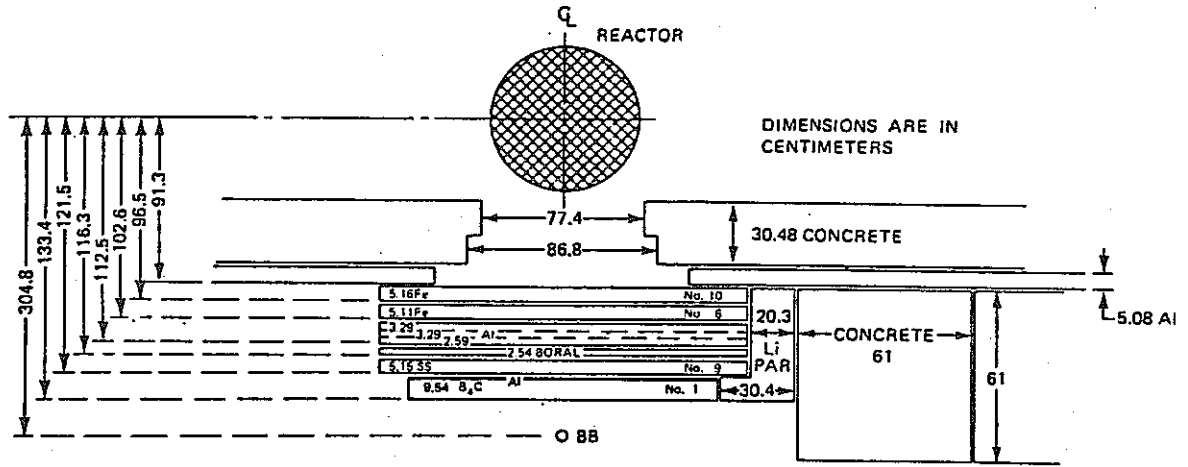


图3.1.2-2(9/17) 实验体系 II H

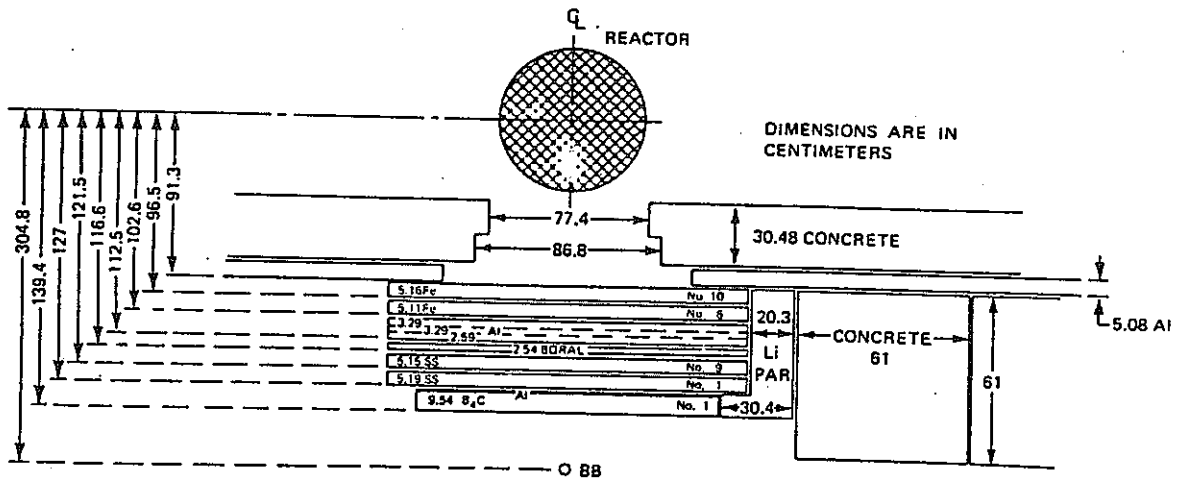


图3.1.2-2(10/17) 实验体系 II I

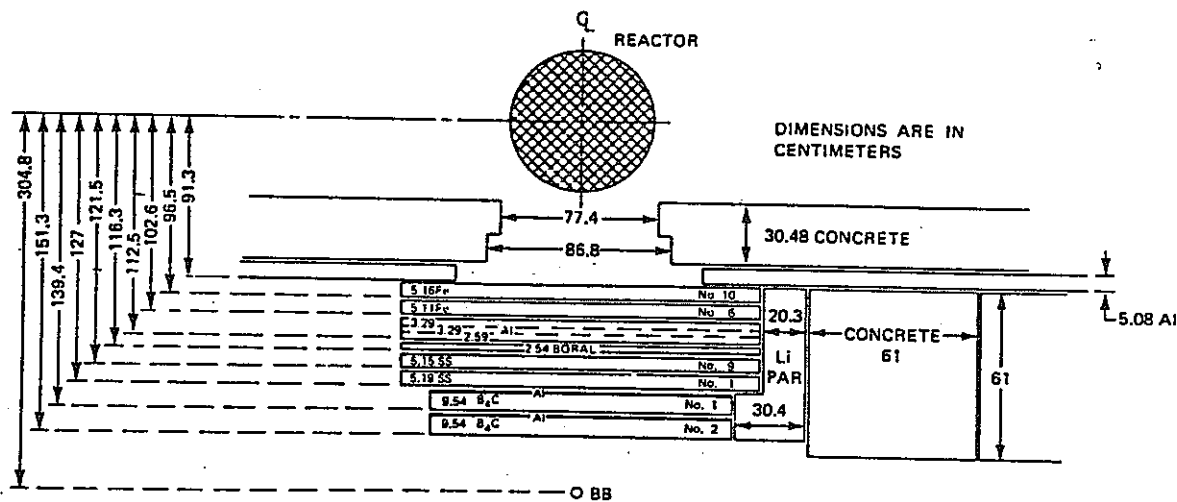


図3.1.2-2(11/17) 実験体系 II J

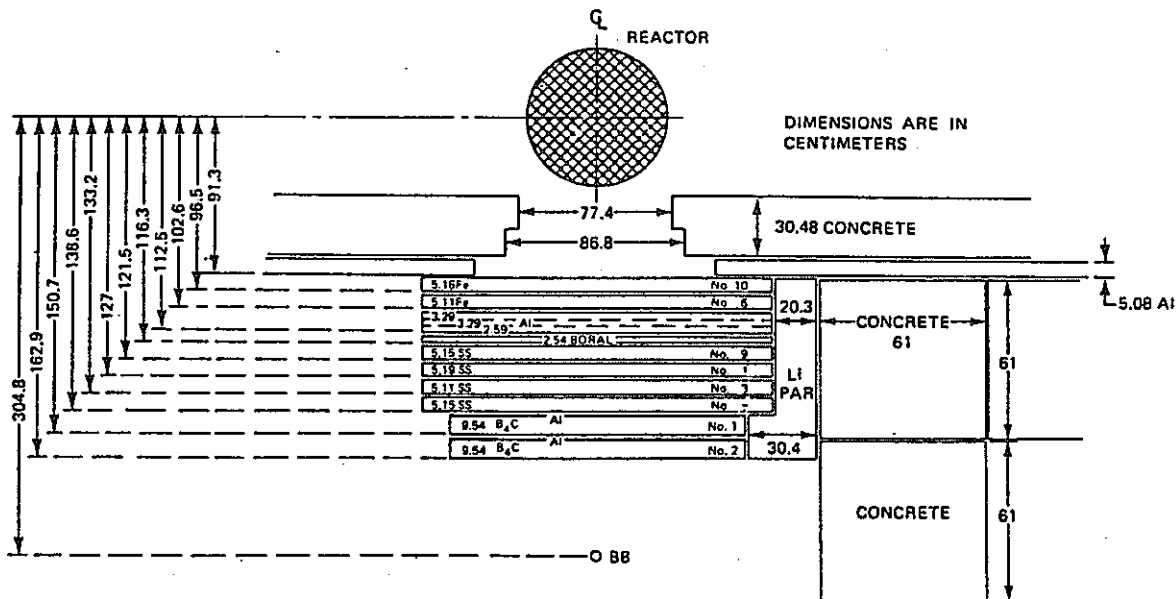


図3.1.2-2(12/17) 実験体系 II K

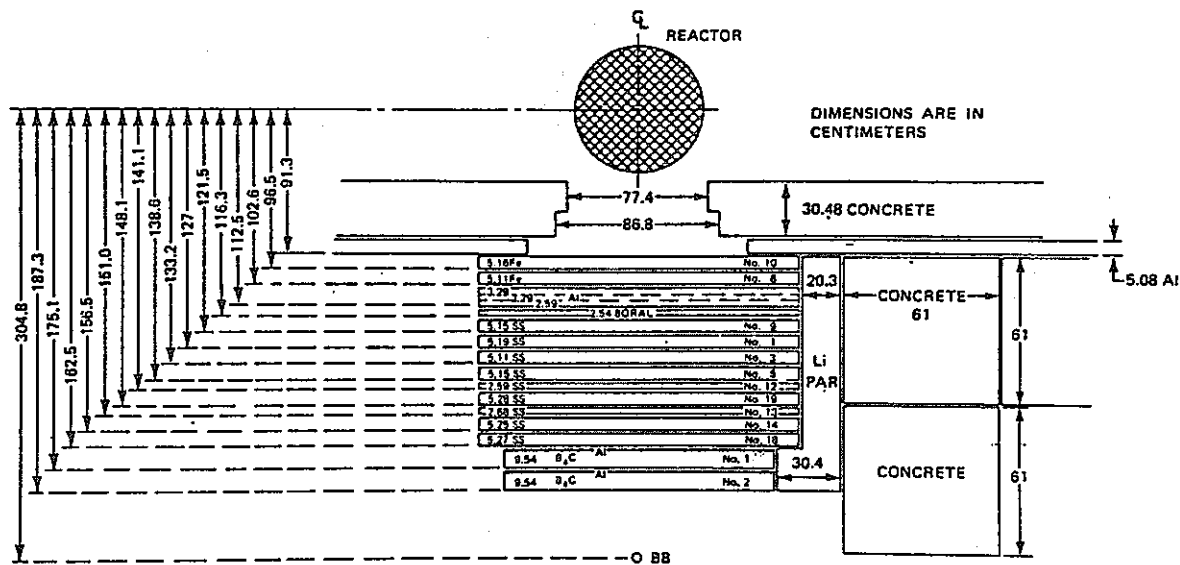


图3.1.2-2(13/17) 实验体系 II L

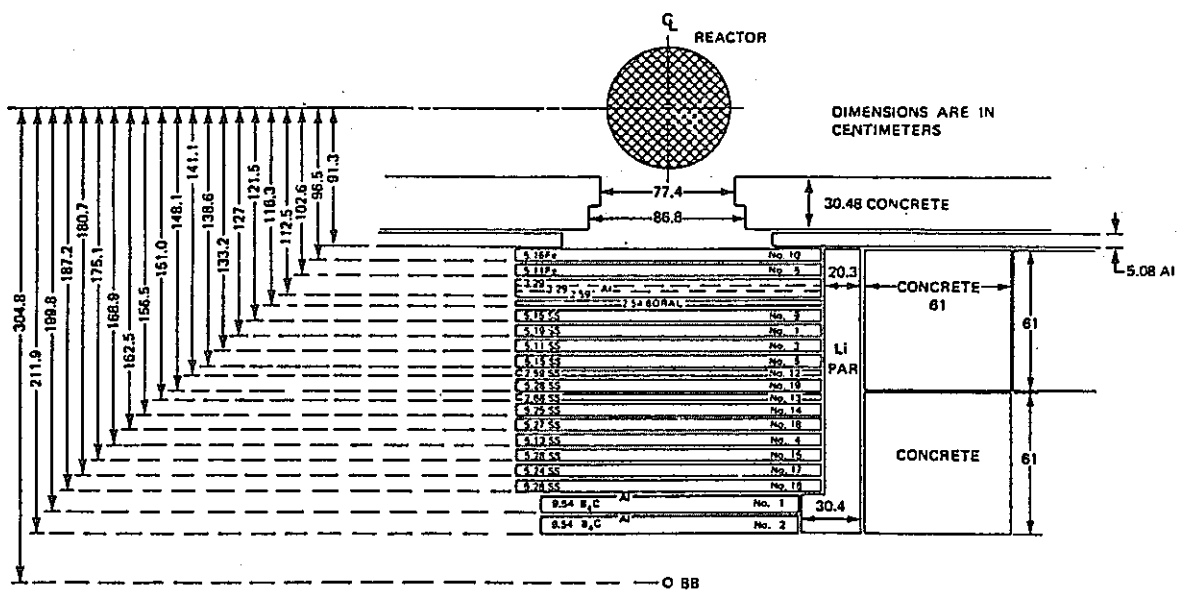


图3.1.2-2(14/17) 实验体系 II M

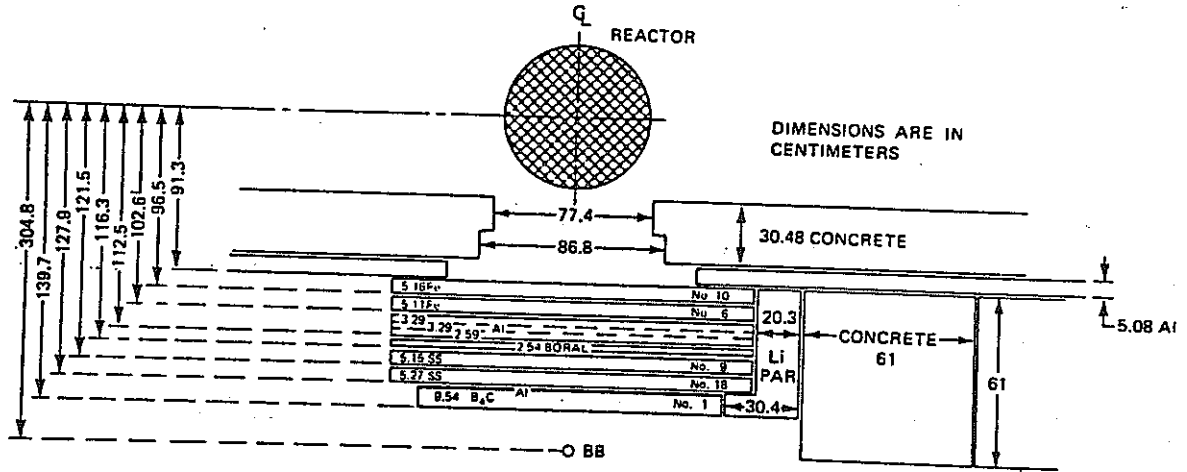


図3.1.2-2(15/17) 実験体系 II N

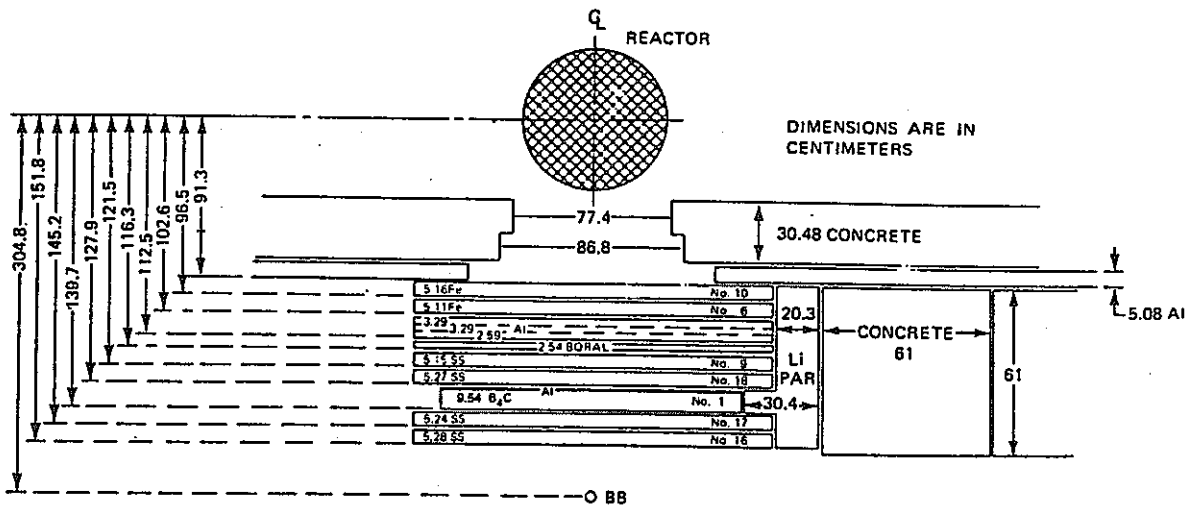


図3.1.2-2(16/17) 実験体系 II O

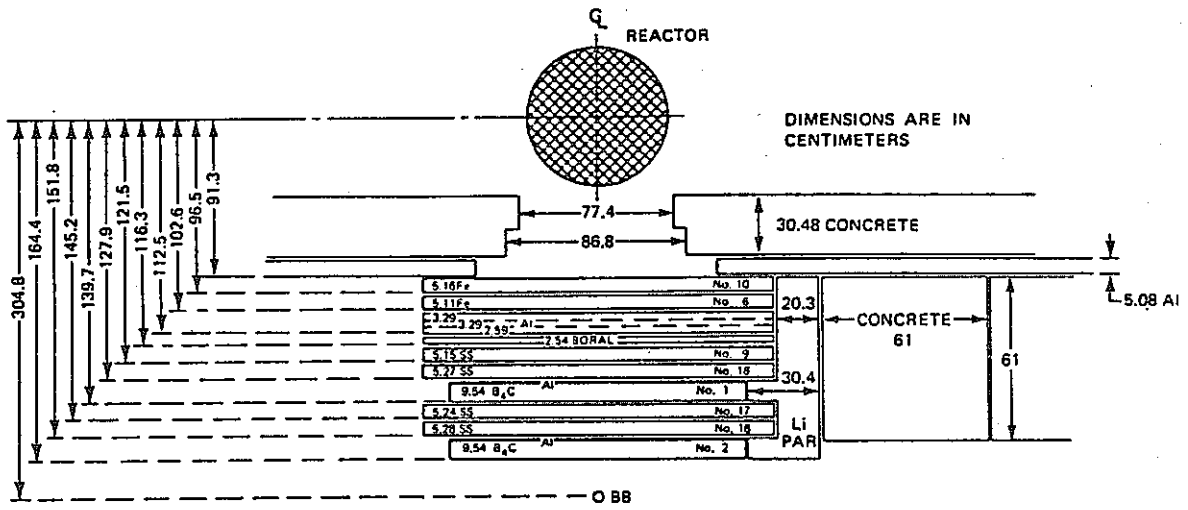


图3.1.2-2(17/17) 实验体系 II P

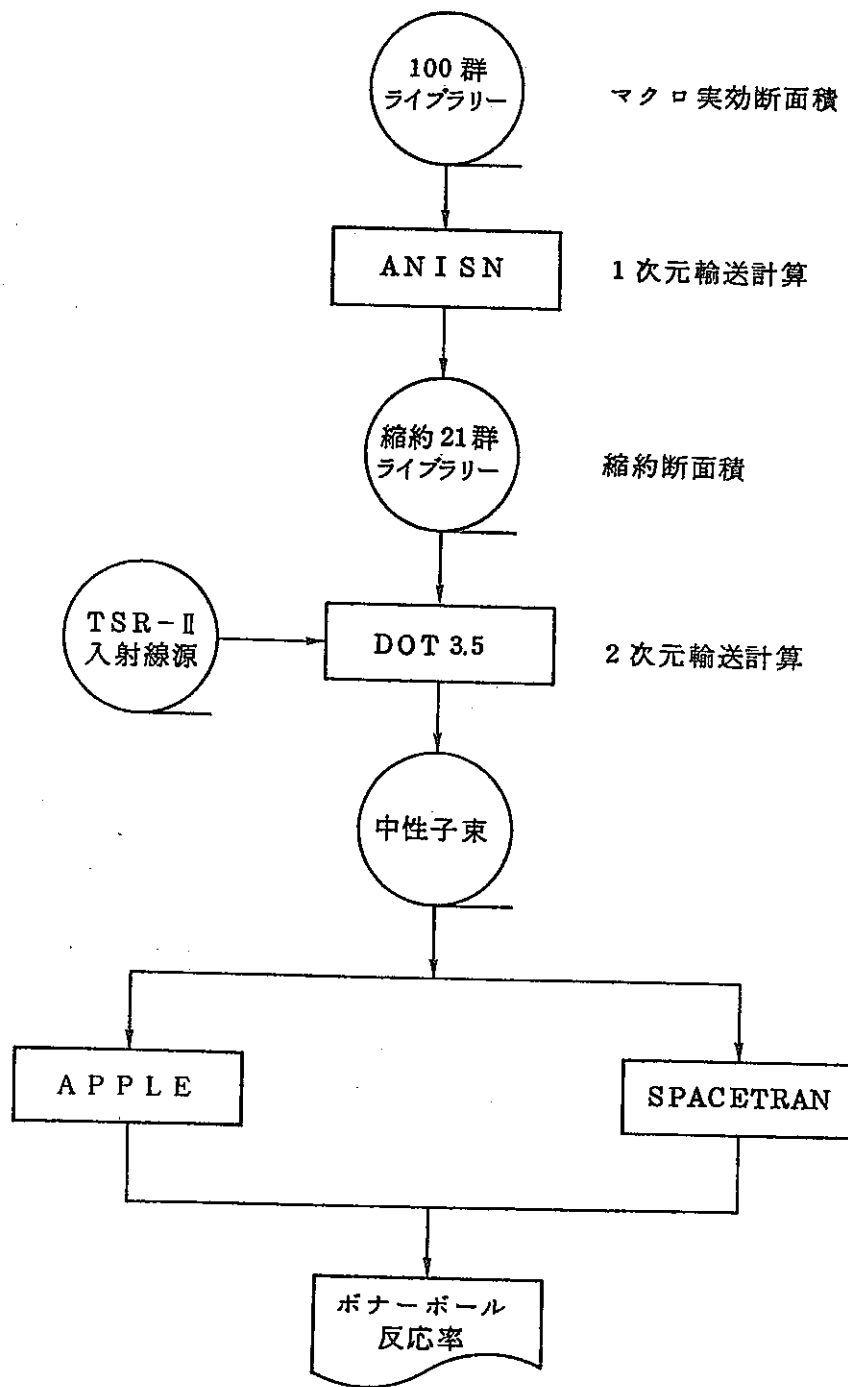


図3.2.2-1 解析フロー

		領域番号	メッシュ数
0.	(1.0) ボイド	①	1
1.0	(5.16) Fe	②	4
6.16	(5.11)	③	4
11.27	(3.29)	④	6
	(3.29) Al		
	(2.59)		
20.44	(0.635)	⑤	5
21.075	(1.27) ボラル		
22.345	(0.635)		
22.89	(5.15) SS	⑥	4
28.13	(5.19) SS	⑦	4
33.32	(0.953) Al	⑧	1
34.273	(0.467) SS	⑨	1
34.74	(2.385)	⑩	20
37.125	(4.77) B ₄ C (#1)		
41.895	(2.385)		
44.28	(0.467) SS	⑪	1
44.747	(1.08) Al	⑫	1
45.827	(0.467) SS	⑬	1
46.294	(2.385)	⑭	20
48.679	(4.77) B ₄ C (#2)		
53.449	(2.385)		
55.834	(0.467) SS	⑮	1
56.301	(0.127) Al	⑯	1
56.428			
		計	165

図 3.3.1-1 体系Ⅱ J 1次元縮約計算モデル

計(108)

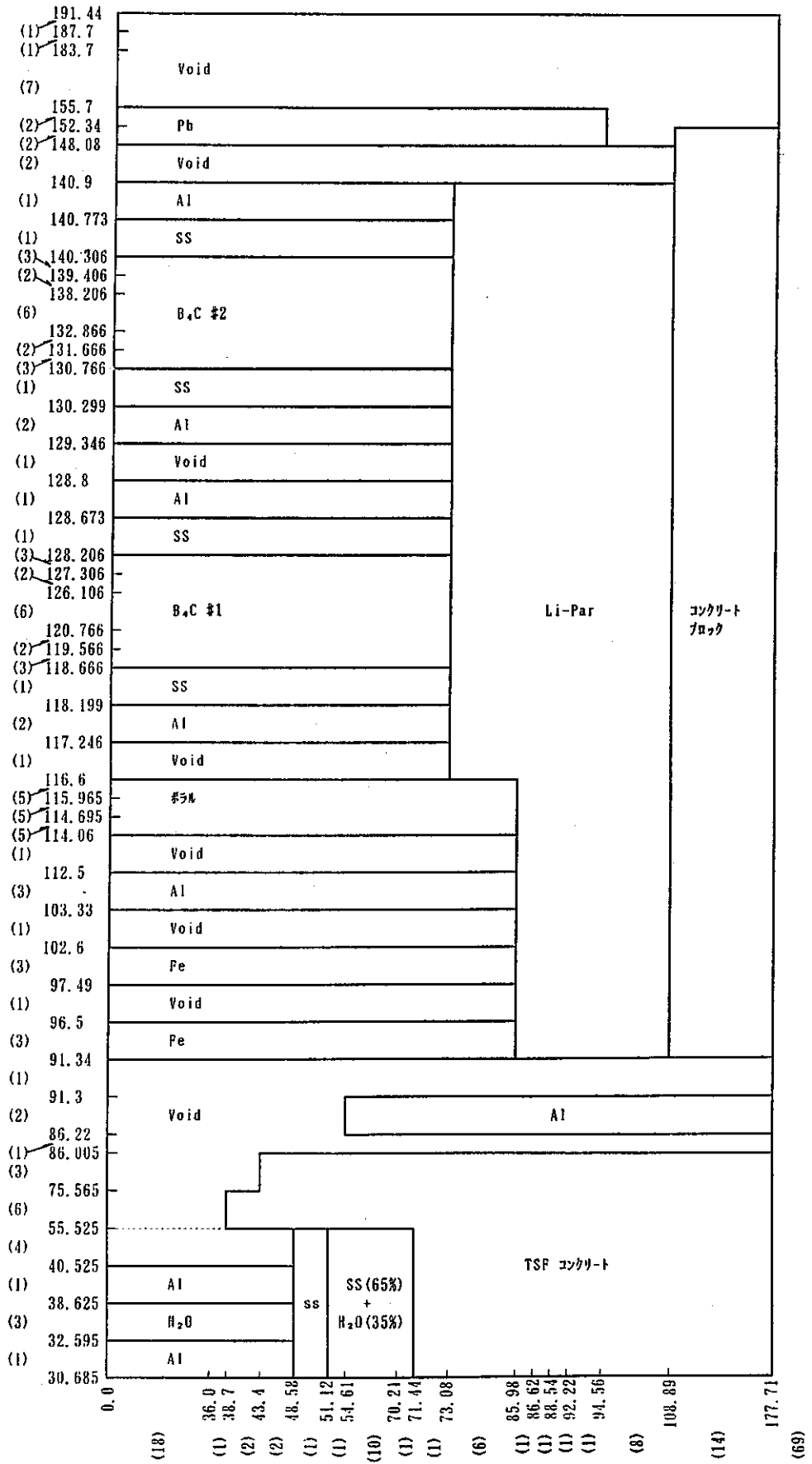


図3.3.1-2(1/2) DOT 計算モデル 体系ⅡE

計 (111)

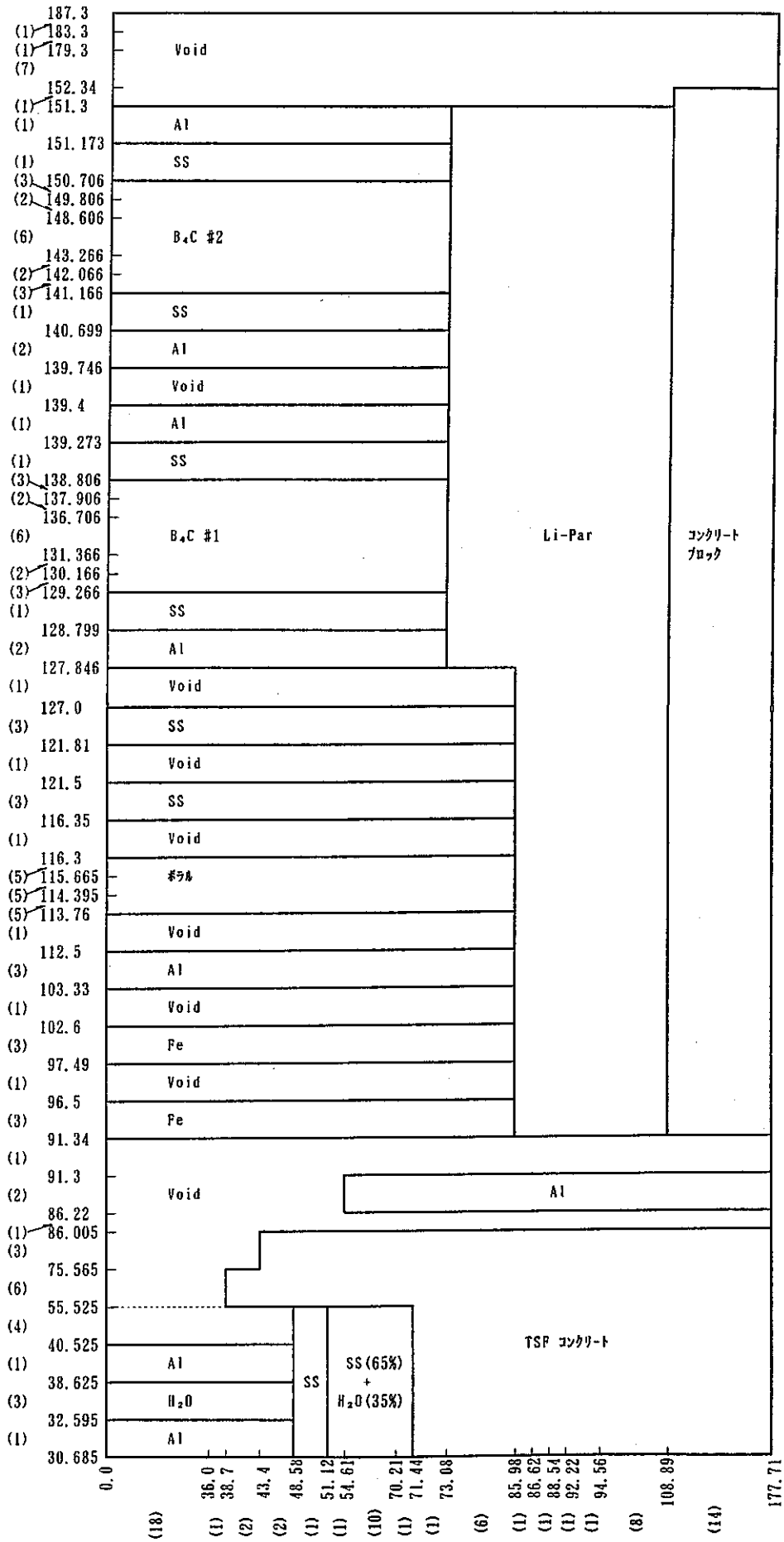


図3.3.1-2(2/2) DOT 計算モデル 体系 II J

図3.3.2-1(1/2) 5"ボナーボール反応率等高線図 体系ⅡE

BONEER BALL RESPONSE FUNCTION (2E, 5.02 IN)

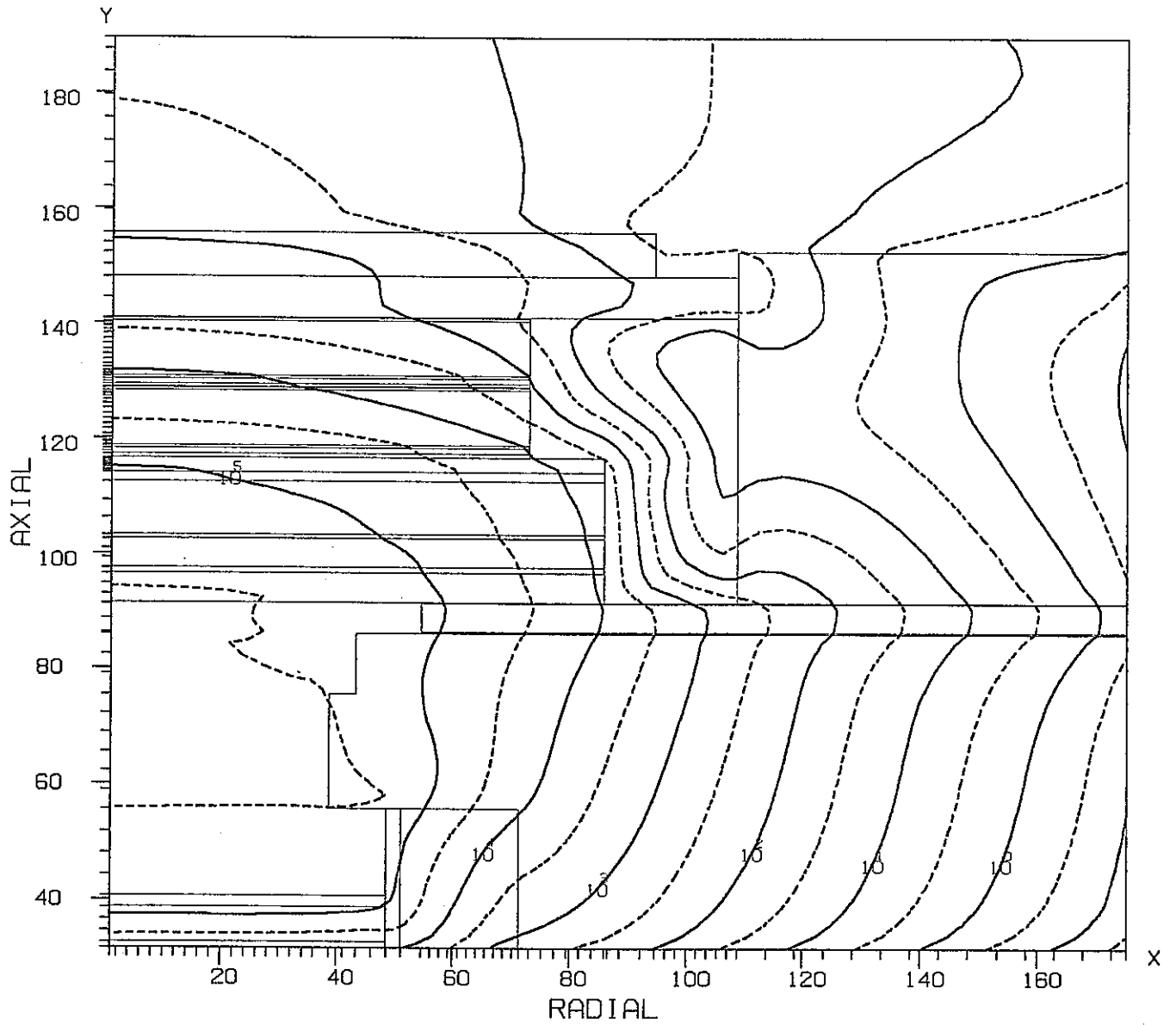
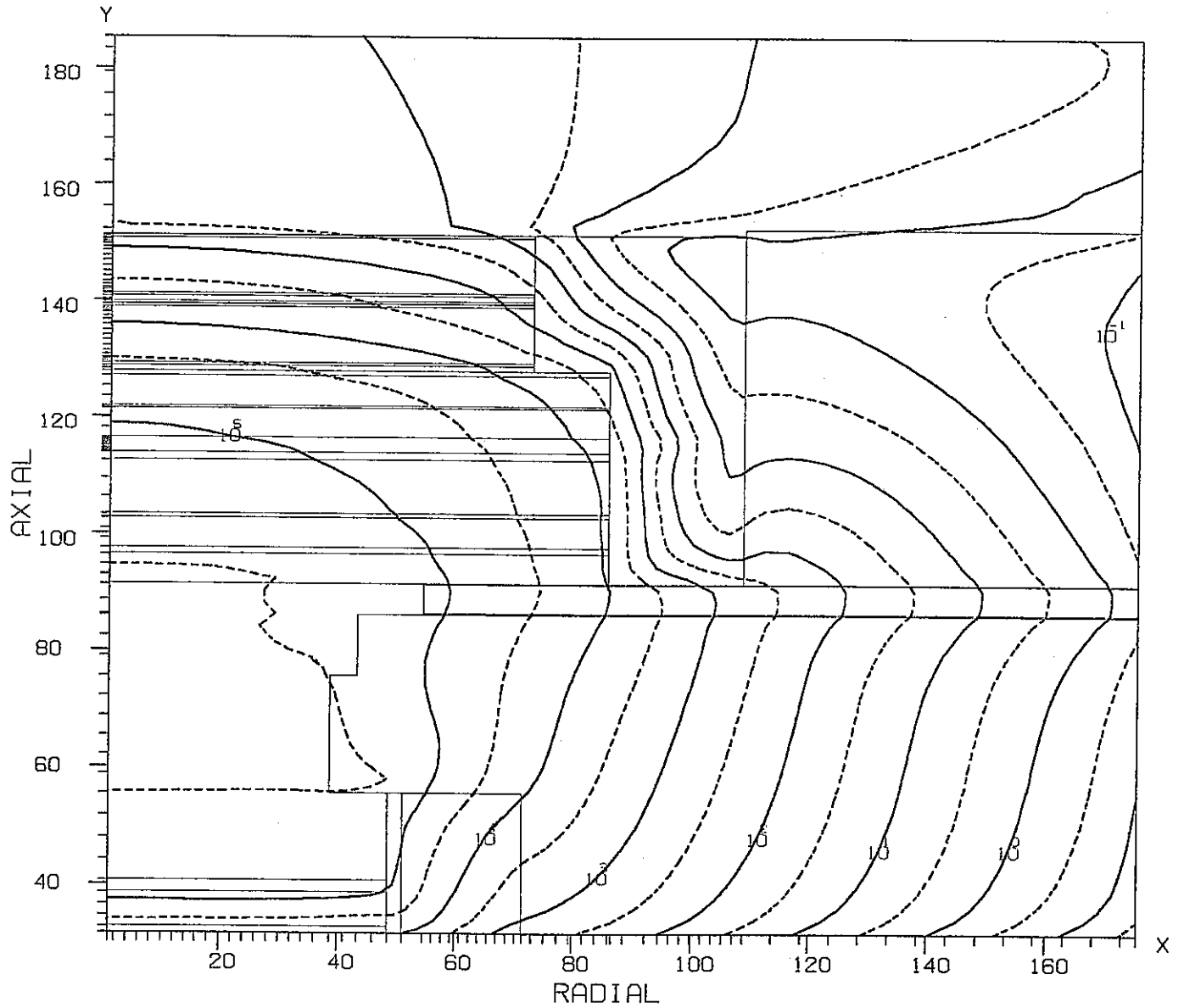


図3.3.2-1(2/2) 5"ボナーボール反応率等高線図 体系II J

BONEER BALL RESPONSE FUNCTION (2J, 5.02 IN)



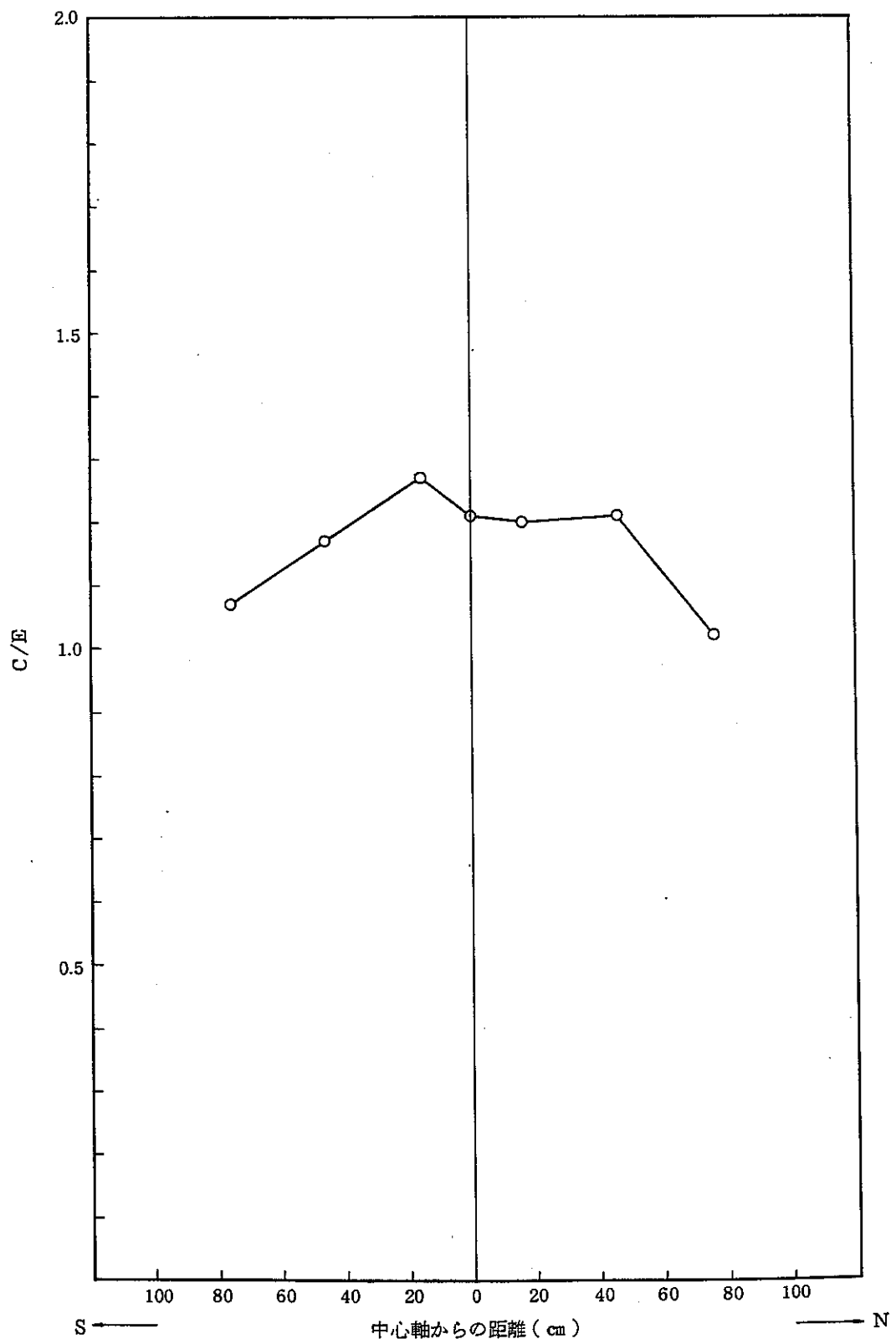


図 3.3.2 - 2(1/2) 5" ボナーボール反応率径方向分布 体系 I

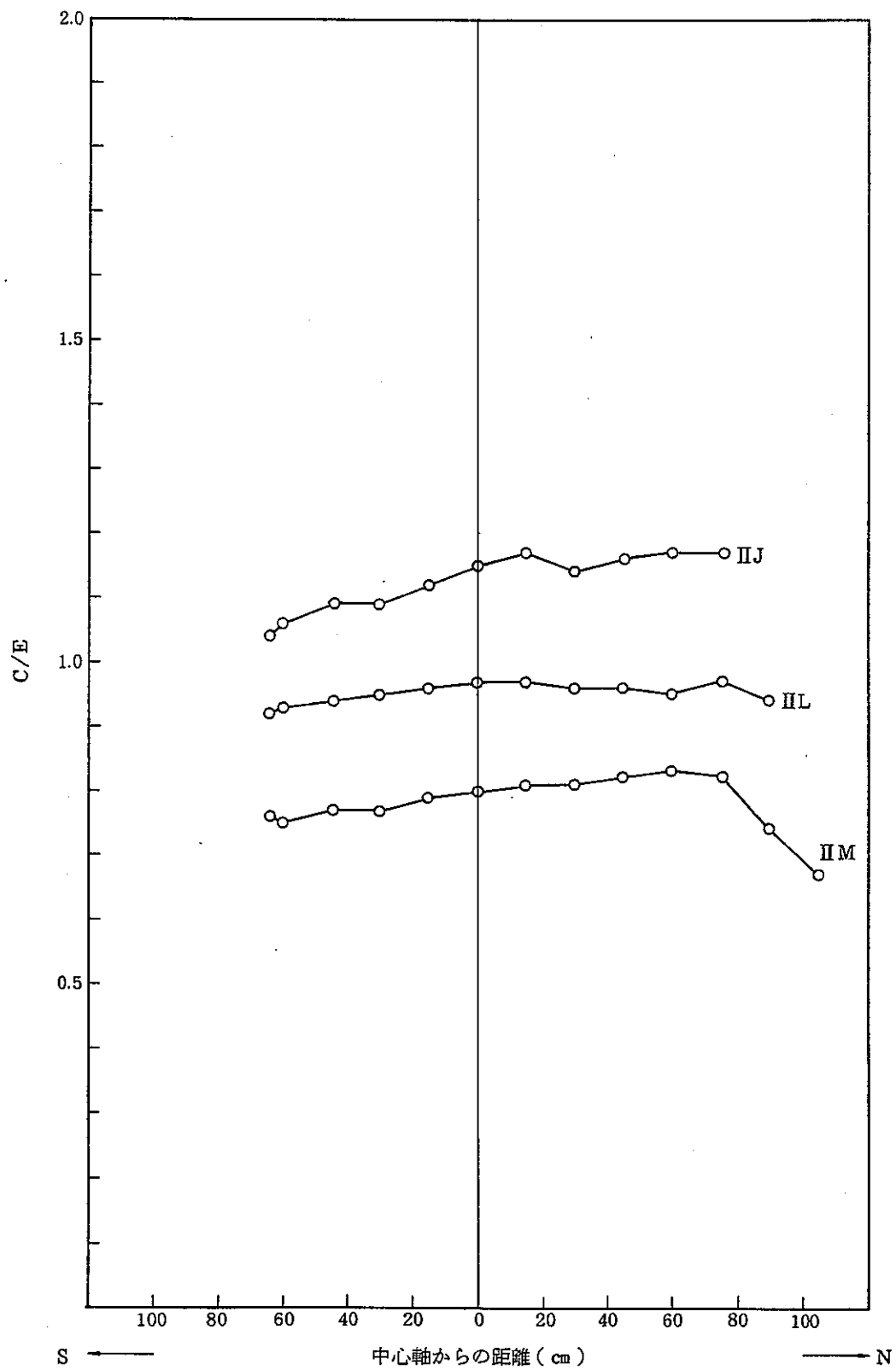


図 3.3.2-2 (2/2) 5" ボナーボール反応率径方向分布 体系 II

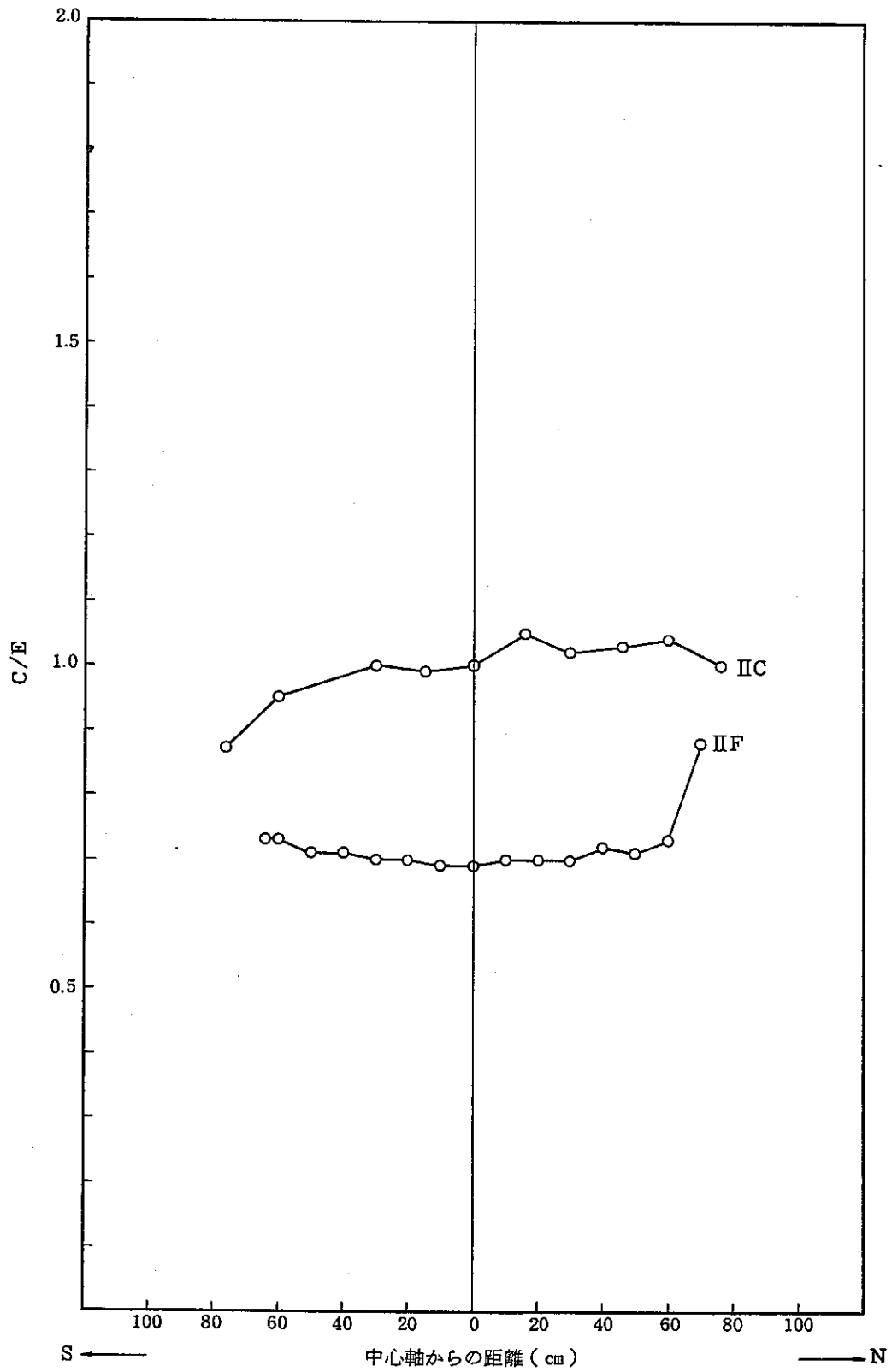


図 3.3.2-3 (1/2) 5'' ボナーボール反応率径方向分布 体系II

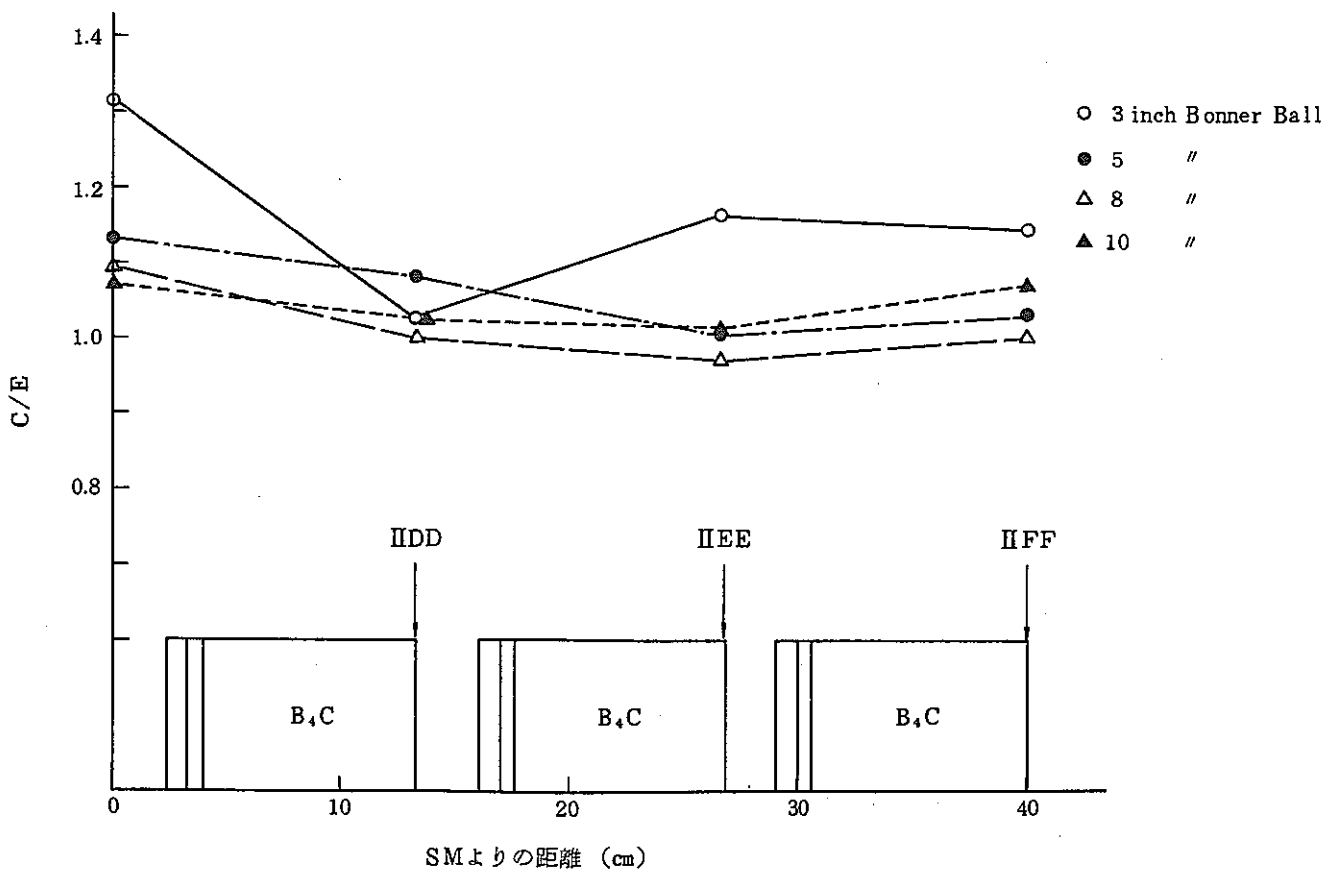
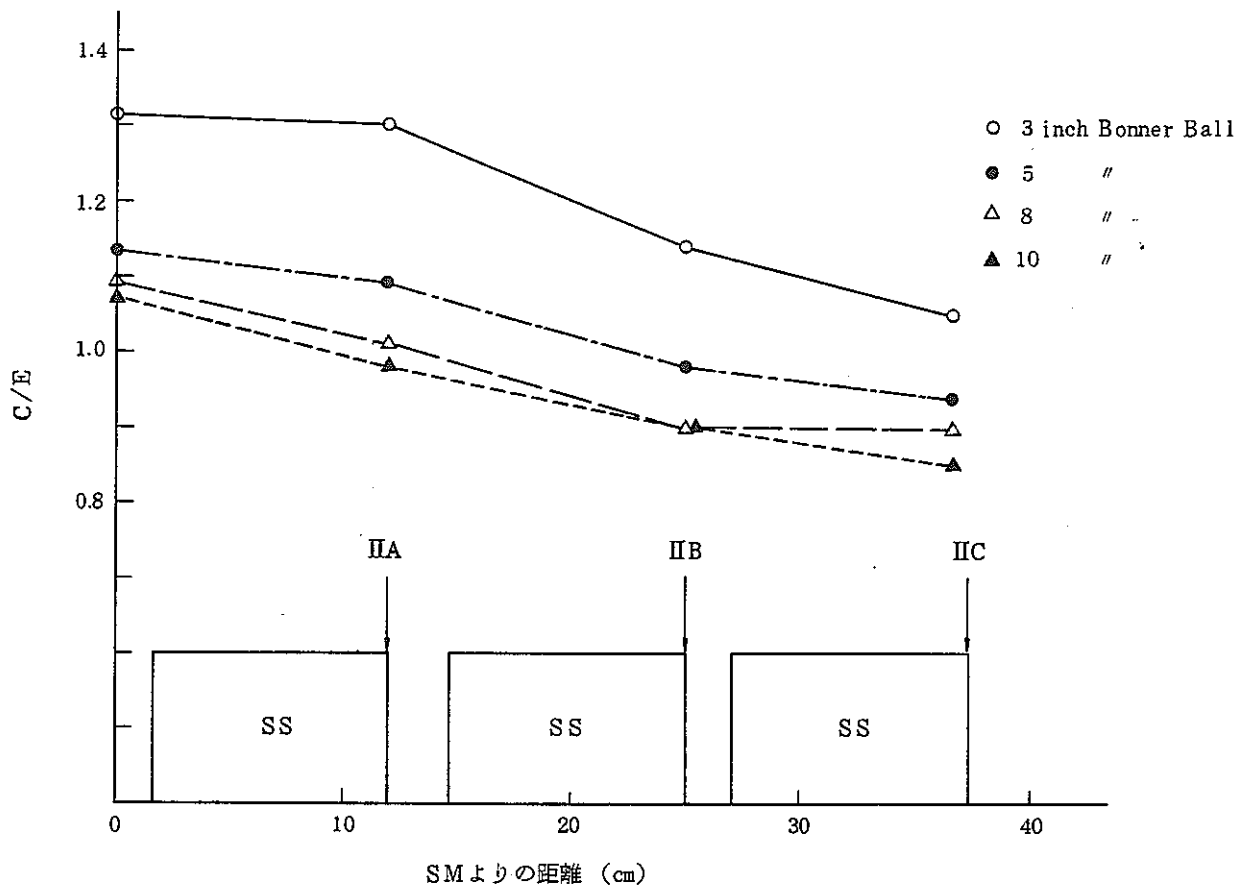


図 3.3.2 - 4 (1/3) 遮蔽体透過による C/E の変化

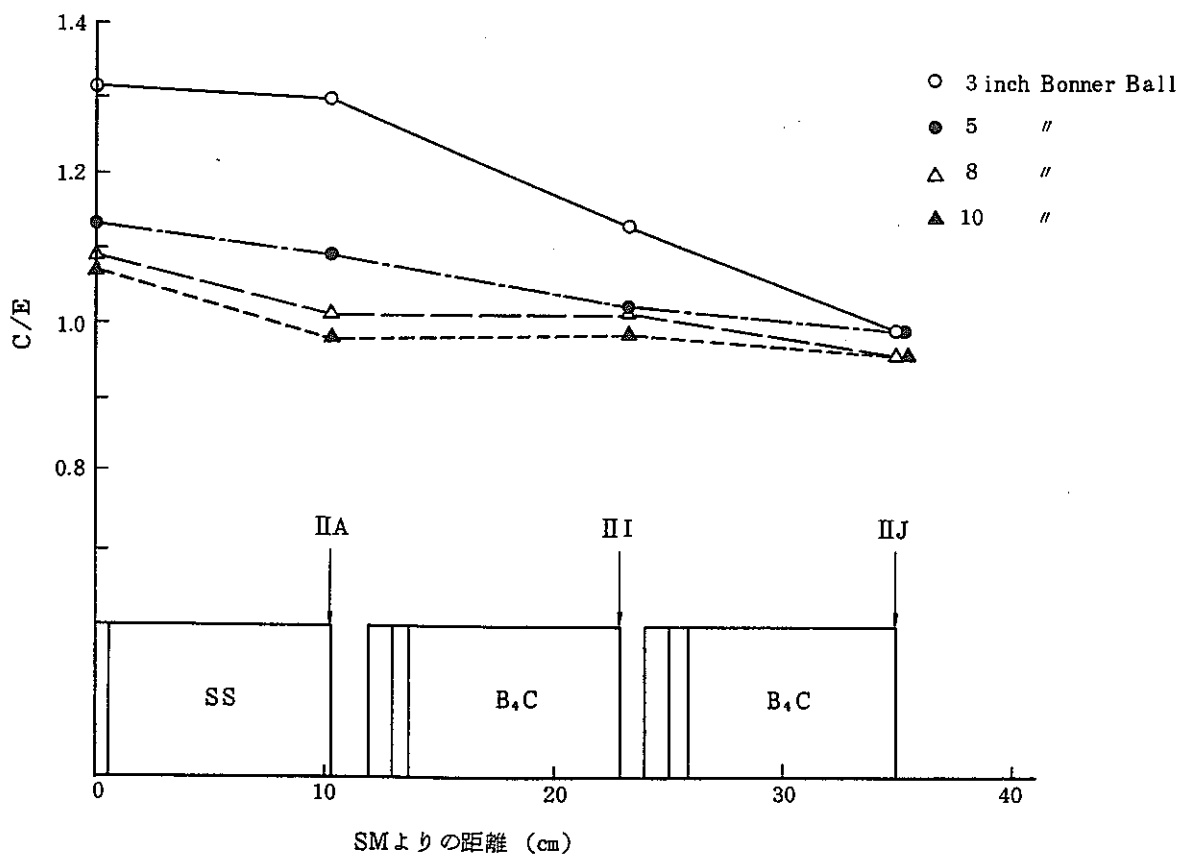
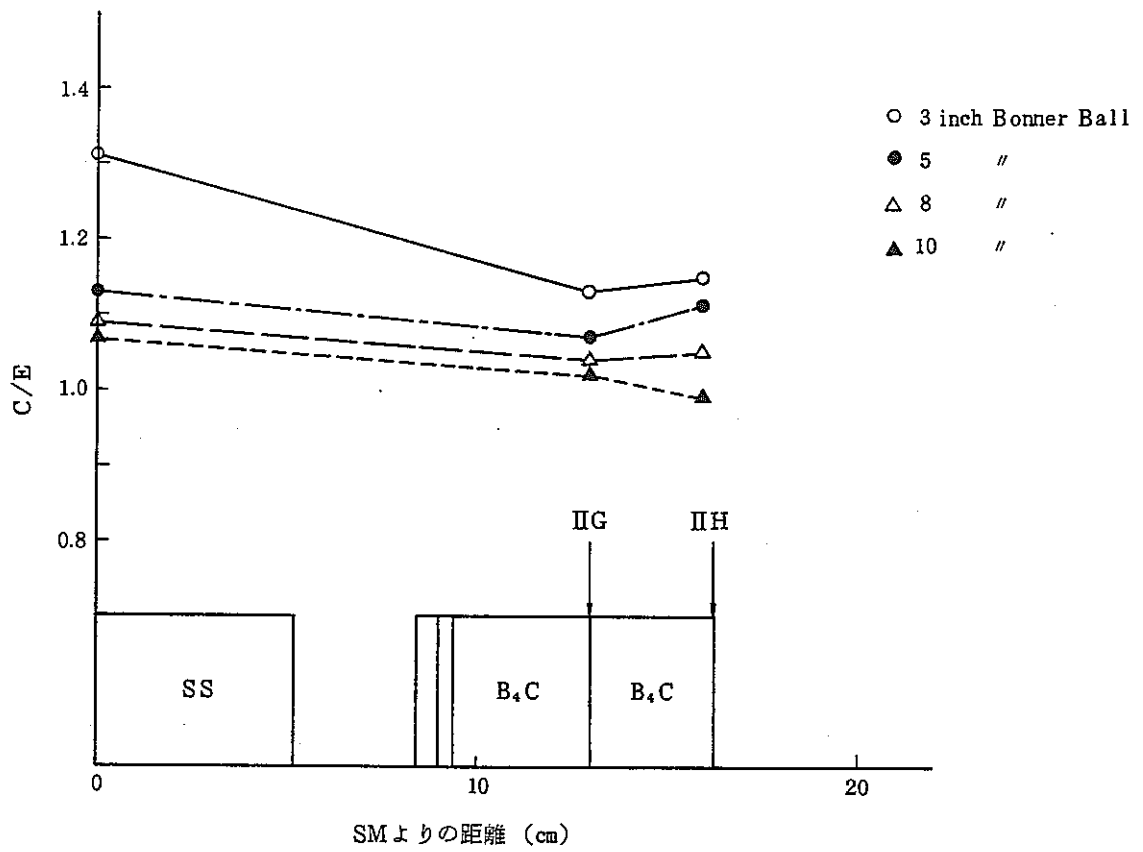


図 3.3.2-4 (2/3) 遮蔽体透過によるC/E の変化

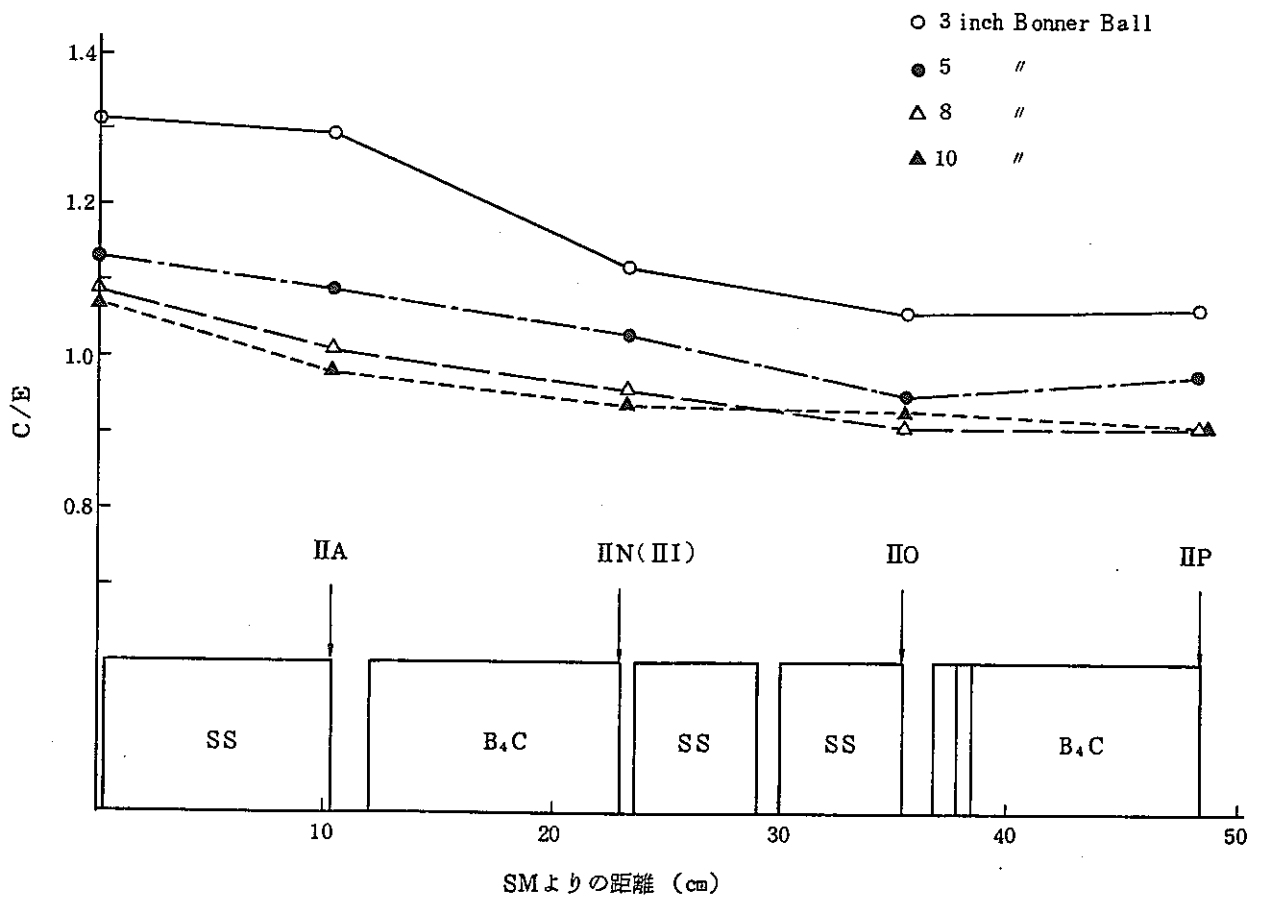
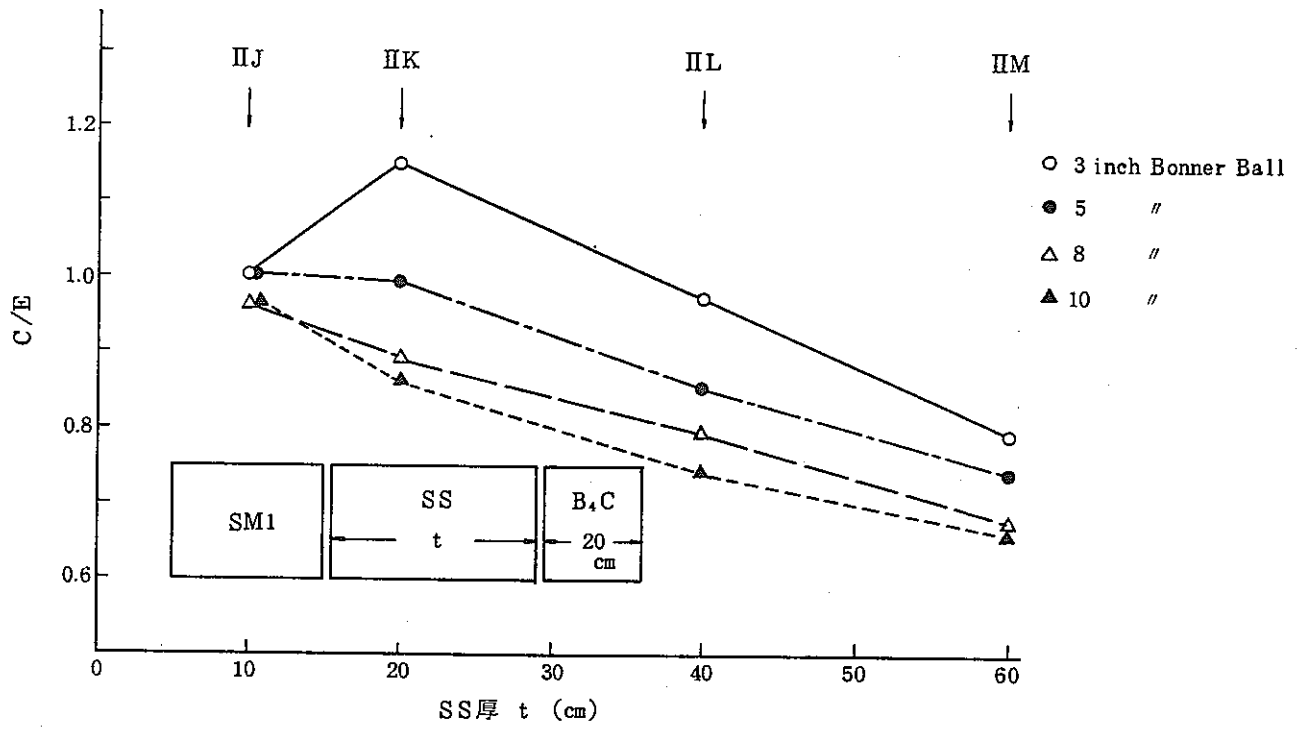


図 3.3.2-4 (3/3) 遮蔽体透過による C/E の変化

4 B₄C 透過実験 (Alternate Shield Experiment) B

Alternate Shield Experiment における機器遮蔽実験 (体系Ⅲ・Ⅳ) については、前年度において解析が実施された。解析の結果、ボナーボール反応率測定についてC/E 値がまとめられ、ナトリウム層の後方にB₄C を配置した体系における実験解析上の問題点が明らかにされた。

今年度は、レポートにより記載値に違いのあるB₄C 密度の効果、また前年度では3種類用いたコンクリート組成の影響、さらにJASPER透過実験解析において問題となった径方向メッシュ効果についての検討を行った。

4.1 B₄C 密度効果

4.1.1 目的

前年度の解析では、B₄C 密度としてORNLでの実験解析を担当したSlaterの推奨した以下に示す値を用いた。

厚いB₄C スラブ(9.54cm)

#1 : 1.65 g/cc

#2 : 1.67 g/cc

#3 : 1.68 g/cc

薄いB₄C スラブ(1.53cm)

#1 : 1.87 g/cc

#2 : 1.89 g/cc

#3 : 1.82 g/cc

しかしAlternate Shield Experiment の実験レポート⁽¹⁾ には、以下に示すように薄いスラブと厚いスラブとでB₄C 密度の入れかわった値が記載されている。

厚いB₄C スラブ(9.54cm)

#1 : 1.87 g/cc

#2 : 1.89 g/cc

#3 : 1.82 g/cc

薄いB₄C スラブ(1.53cm)

#1 : 1.65 g/cc

#2 : 1.67 g/cc

#3 : 1.68 g/cc

このため今年度は、実験レポート記載のB₄C 密度を用いて実験解析を行ない、前年度の解析結果とともにJASPER半径方向透過実験における局所遮蔽体系（体系V）との比較を行った。

4.1.2 解析方法

今回の解析は、B₄C 透過厚が最も薄くB₄C 層の後にステンレス層がない体系IVG と、体系IVG に対してB₄C 透過厚のみが違う体系IVI を対象とした。図4.1.2 に体系図を示す。前年度解析結果およびJASPER透過実験の体系V 解析結果との比較は、体系後方30cmでの3"~10" ボナーボール反応率について行った。BareおよびCd付ボナーボールについては、バックグラウンドの影響によると考えられる誤差が大きいため比較の対象からはずした。B₄C 密度以外の解析条件および解析方法は前年度解析と同一である。

4.1.3 解析結果および検討

解析結果を前年度の結果とともに表4.1.3-1 に、またJASPER透過実験解析結果とのC/E 値の比較を図4.1.3 に示す。体系IVG ではB₄C 密度が約12%減少したのに対応してC/E 値が8%~20%増加し、体系IVI ではB₄C 密度が約13%増加したのに対応してC/E 値が5%~24%減少した。前年度結果ではB₄C 透過厚の増加によるC/E 値の変化は一様であった。しかし、今年度結果では薄い方のB₄C 透過厚においてピークが現れ

JASPER透過実験の体系Vの解析結果と同様の傾向になり、最も大きい違いのあったB₄C透過厚の薄い方の体系における3"ボナーボールのC/E値での差は、前年度においてJSDJ2で24%、JSD100で37%あったものが今回の解析結果ではJSDJ2で13%、JSD100で29%となった。JSDJ2の場合、全体的にC/E値そのものが非常に近くなる。

JSD100においては依然C/E値に差がみられるが、これはB₄C透過前のナトリウム層の厚さの違いにより生じていると考えられる。ナトリウム透過厚はJASPER透過実験で181.9cm、Alternate Shield Experimentで158.6cmとなっている。そこでナトリウム透過厚181.9cm、B₄C実効透過厚5.1g/cm²における各径ボナーボールの予想C/E値をJASPER透過実験についてはB₄C実効透過厚を補正することにより、Alternate Shield Experimentについてはナトリウム透過厚を補正することにより求めた。JASPER透過実験におけるB₄C透過厚の補正は、体系VAおよび体系VEのC/E値から内挿し行った。Alternate Shield Experimentにおけるナトリウム厚の補正は、B₄Cのない体系(体系IVF)からB₄C透過厚5.1g/cm²にかけてのC/E値の増加がナトリウム透過厚の分さらに増えるとして次式により行った。

$$(\text{体系IVF, JSD100C/E値}) \times \left(\frac{(\text{体系IVG, JSD100C/E値})}{(\text{体系IVF, JSD100C/E値})} \right)^{181.9/158.6}$$

* 体系IVFは2.59cmSSのみの体系

両実験解析結果から求めたB₄C厚およびその前の透過ナトリウム厚を一致させたとした場合の予想C/E値を表4.1.3-2に示す。B₄C層の前もしくは後に設置されたステンレス鋼の存在の違い等を考慮すれば、

JSD100による解析結果においてもJASPER透過実験とAlternate Shield Experimentとで整合したC/E 値が得られていると考えられる。

今回の解析では実験レポート記載の B_4C 密度を用いたが、この場合JASPER透過実験と同様に薄い方の B_4C 密度においてC/E 値のピークが現れた。この傾向は B_4C の定数に起因するものであるのか、また B_4C 領域におけるメッシュ分割等解析手法上の問題であるのか今後検討が必要である。

4.2 コンクリート組成効果

4.2.1 目的

前年度の解析では、表4.2.1に示すようにTSF concrete, Block concrete (供試体横), Saddle concrete (ナトリウムタンク保持用)の3種類のコンクリート組成を使いわけた。しかしORNLの解析ではすべてTSF concreteを用いており、今回コンクリート組成の影響について検討を行った。

4.2.2 解析方法

図4.2.2に示すように体系ⅢAAについてBlock concreteおよびSaddle concreteについて組成を変更しいずれもTSF concreteとした解析をJSDJ2を用いて行った。その他の解析条件および解析方法は前年度解析と同一である。

4.2.3 解析結果および検討

図4.2.3に中性子束の径方向分布を示す。中心軸上ではコンクリート組成による影響は現われていない。ナトリウムタンク後端面の径方向分布においてコンクリート組成による影響が現れるのは $R \geq 190.0\text{cm}$ の範囲である。また、体系後方30.0cmの測定位置において影響が現れるのは $R \geq 170.0\text{cm}$ の範囲で、コンクリート中の1.2keV以下の中性子束は最大65%の減少となる。従って透過軸上の中性子束に対する、周辺のコンクリート組成の若干の変化による影響は無視できることがわかった。さらにAlternate Shield Experimentにおける径方向分布測定は最大で $R=128.3\text{cm}$ までなので、実験解析においてコンクリート組成による影響は実質的には生じないことが確認された。

4.3 径方向メッシュ効果

4.3.1 目的

Alternate Shield Experiment 体系Ⅲ・Ⅳの解析は、JASPER透過実験体系Ⅴ解析との比較を目的として実施された。前年度においてJASPER透過実験解析では、各々の体系について径方向メッシュ効果が検討された。今回、JASPER透過実験体系Ⅴ解析における径方向メッシュ効果の検討と同様に、Alternate Shield Experiment においても径方向メッシュの影響について検討を行った。

4.3.2 解析方法

前年度の解析におけるメッシュ分割はJASPER透過実験体系Ⅴの61年度解析を参考にしており、径方向メッシュはJASPER透過実験の他の体系に比べ細かいものとなっている。従って、JASPER透過実験の体系Ⅴ以外の体系の径方向メッシュ分割と同等とした解析を体系ⅣGについて行った。図4.3.2に前年度および今年度の解析における径方向メッシュを示す。

4.3.3 解析結果および検討

表4.3.3に体系後方30cmにおける3"~10" ボナーボール反応率の計算結果を示す。メッシュを粗くすることにより計算値は約8%減少する。径方向メッシュ効果は11章で述べるように径方向と軸方向とメッシュ幅のアンバランスによって生ずる。今年度解析の方がメッシュのバランスはとれており、C/E値も1.0に近くなり改善されている。

前年度におけるJASPER透過実験解析では、透過が深くなるとメッシュ効果は増加することが報告されている。今回検討を行った体系ⅣGはB₄C透過厚が薄い体系である。よってAlternate Shield Experimentに

おける他の体系では体系IVGと同程度か、B₄C透過厚の大きい体系において
は体系IVG以上の径方向メッシュ効果があると考えらる。

川崎重工業(株) 清水

参考文献

- (1) F.J.Muckenthaler "Measurements of the Alternate Shielding
Materials Experiment." ORNL/TM-9977 (1986)

表4.1.3-1 B₄C 密度変更によるB.B.反応率 (JSDJ2)

体系IVG	実験値	前年度解析		今年度解析	
		計算値	C/E 値	計算値	C/E 値
Bare	4.01	5.24 -1	0.13	5.98 -1	0.15
Cd-covered	1.06	3.30 -1	0.31	3.95 -1	0.37
3"	3.23 +1	3.29 +1	1.02	3.76 +1	1.16
5"	1.38 +2	1.54 +2	1.12	1.71 +2	1.24
8"	9.55 +1	1.07 +2	1.12	1.17 +2	1.23
10"	5.00 +1	5.24 +1	1.09	5.95 +1	1.19

体系IVI	実験値	前年度解析		今年度解析	
		計算値	C/E 値	計算値	C/E 値
Bare	1.12	2.54 -1	0.22	2.32 -1	0.21
Cd-covered	1.54 -1	5.12 -2	0.33	4.00 -2	0.26
3"	5.89	6.72	1.14	5.10	0.87
5"	3.17 +1	3.72 +1	1.17	2.88 +1	0.91
8"	2.60 +1	2.93 +1	1.13	2.34 +1	0.90
10"	1.49 +1	1.65 +1	1.11	1.35 +1	0.90

表4.1.3-1 B₄C 密度変更によるB.B.反応率 (JSD100)

体系IVG	実験値	前年度解析		今年度解析	
		計算値	C/E 値	計算値	C/E 値
Bare	4.01	6.19 -1	0.15	6.96 -1	0.17
Cd-covered	1.06	3.86 -1	0.36	4.53 -1	0.43
3"	3.23 +1	4.07 +1	1.26	4.59 +1	1.42
5"	1.38 +2	1.97 +2	1.43	2.17 +2	1.57
8"	9.55 +1	1.40 +2	1.46	1.52 +2	1.59
10"	5.00 +1	7.24 +1	1.45	7.82 +1	1.56

体系IVI	実験値	前年度解析		今年度解析	
		計算値	C/E 値	計算値	C/E 値
Bare	1.12	3.02 -1	0.27	2.84 -1	0.25
Cd-covered	1.54 -1	6.64 -2	0.43	5.20 -2	0.34
3"	5.89	8.85	1.50	6.73	1.14
5"	3.17 +1	4.98 +1	1.57	3.87 +1	1.22
8"	2.60 +1	3.98 +1	1.53	3.18 +1	1.22
10"	1.49 +1	2.25 +1	1.51	1.83 +1	1.23

表4.1.3-2 ナトリウム厚181.9cm , B₄C 実効透過厚5.1g/cm²
 における予想C/E 値

B.B.径	JASPER実験に基づく値	Alternate Shield Exp. に基づく値
3"	1.78	1.45
5"	1.66	1.63
8"	1.62	1.65
10"	1.69	1.61

表4.2.1 各種コンクリート組成

$\times 10^{24} \text{atom/cm}^3$

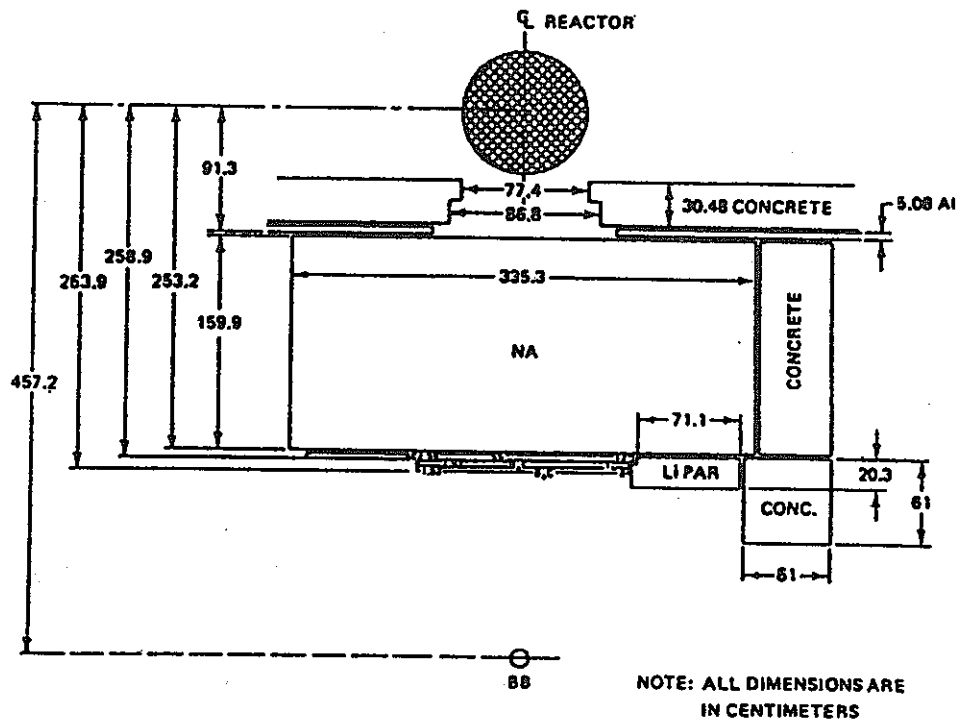
Material	Block Concrete	Saddle Concrete	TSF Concrete
Region	Concrete Blocks	Sodium Tank saddle	Collimator
H	6.40-3	1.30-2	8.88-3
C	1.01-2	7.76-3	7.97-3
O	4.48-2	4.33-2	4.20-2
Na		2.66-5	2.73-5
Mg	2.18-3	1.40-5	1.44-3
Al	6.24-4	6.35-4	4.14-4
Si	4.35-3	3.74-3	3.84-3
P	7.13-6	1.66-5	
S	5.78-5	8.22-5	1.02-4
K	1.11-4	2.28-3	2.34-3
Ca	9.89-3	9.77-3	1.00-2
Fe	1.09-4	1.10-4	2.64-4

表4.3.3 体系IVG 径方向メッシュ効果

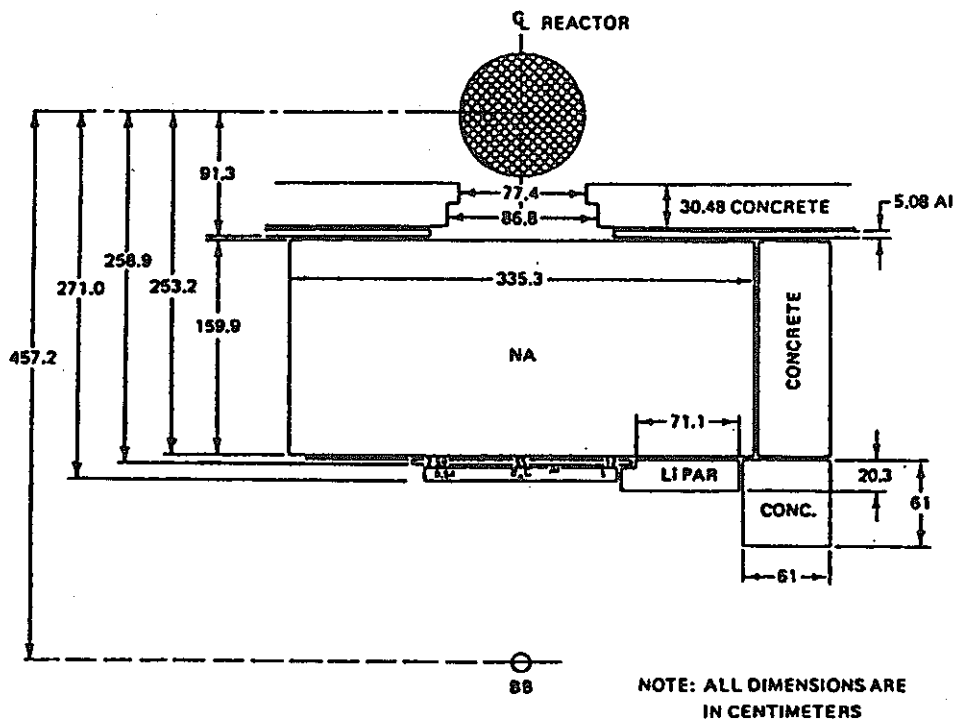
	実験値	前年度解析*1		今年度解析*2	
		計算値	C/E 値	計算値	C/E 値
Bare	4.01	5.24 -1	0.13	5.66 -1	0.14
Cd-covered	1.06	3.30 -1	0.31	3.36 -1	0.32
3"	3.23 +1	3.29 +1	1.02	3.04 +1	0.94
5"	1.38 +2	1.54 +2	1.12	1.42 +2	1.03
8"	9.55 +1	1.07 +2	1.12	9.85 +1	1.03
10"	5.00 +1	5.24 +1	1.09	5.05 +1	1.01

*1：径方向メッシュが軸方向メッシュに対して細かいモデルによる解析。

*2：径方向メッシュと軸方向メッシュとでバランスのとれたモデルによる解析。



(a) 体系IV G



(b) 体系IV I

图 4.1.2 B₄C 密度效果解析体系

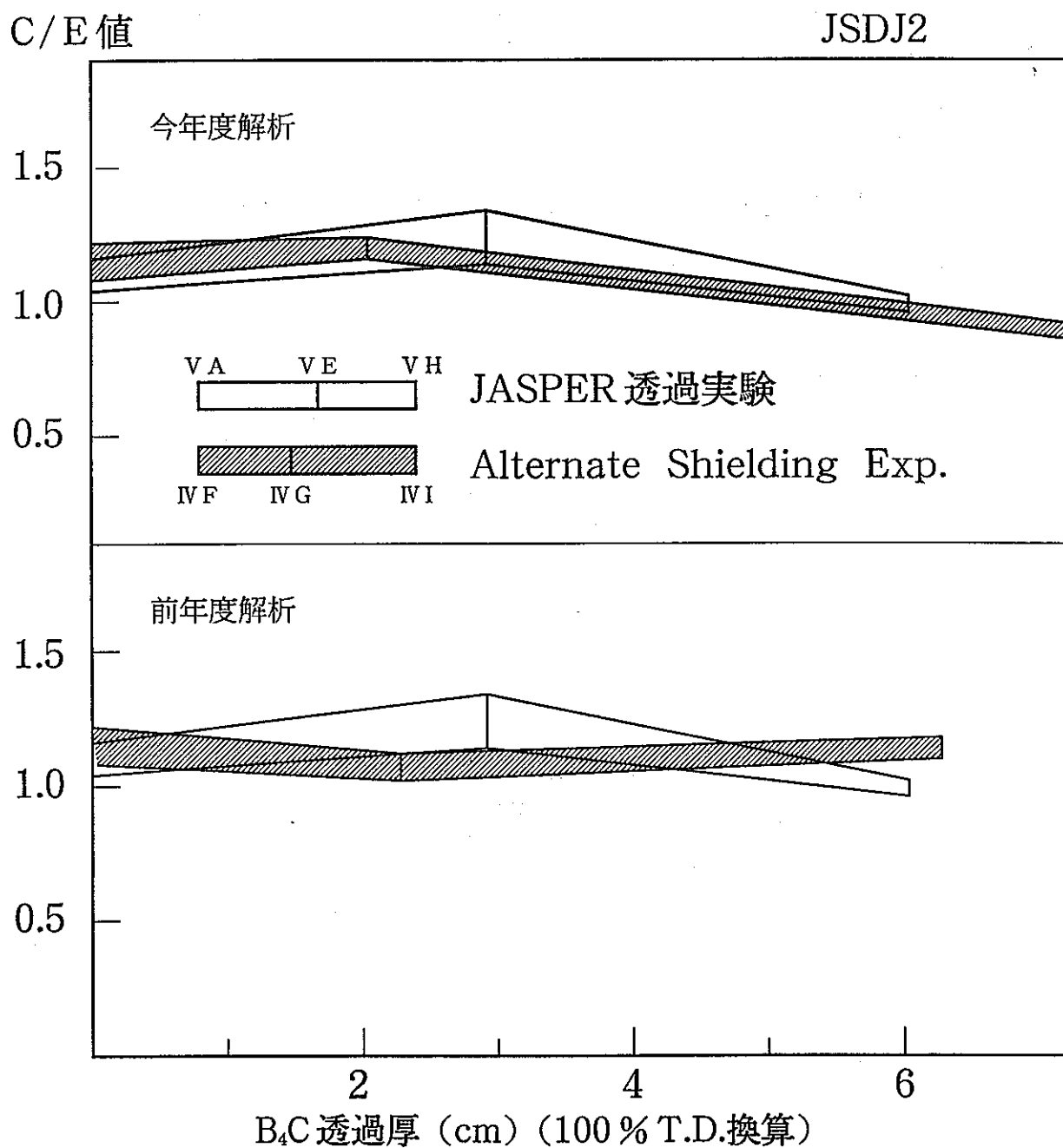


図4. 1. 3 B_4C 密度変更による B.B. 検出器 C/E 値の変化 (JSDJ2)

C/E 値

JSD100

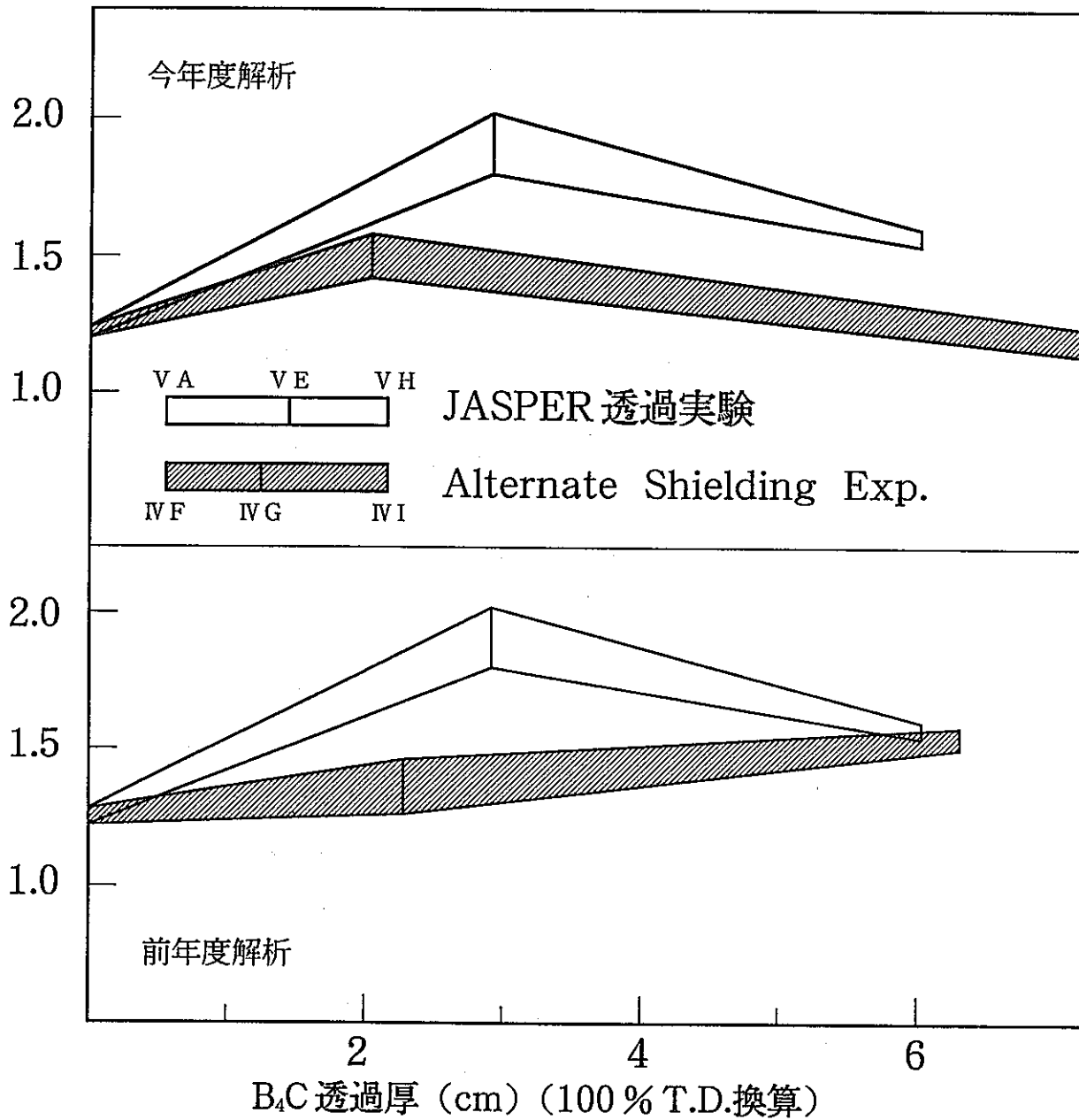


図4.1.3 B₄C密度変更によるB.B.検出器C/E値の変化
(JSD100)

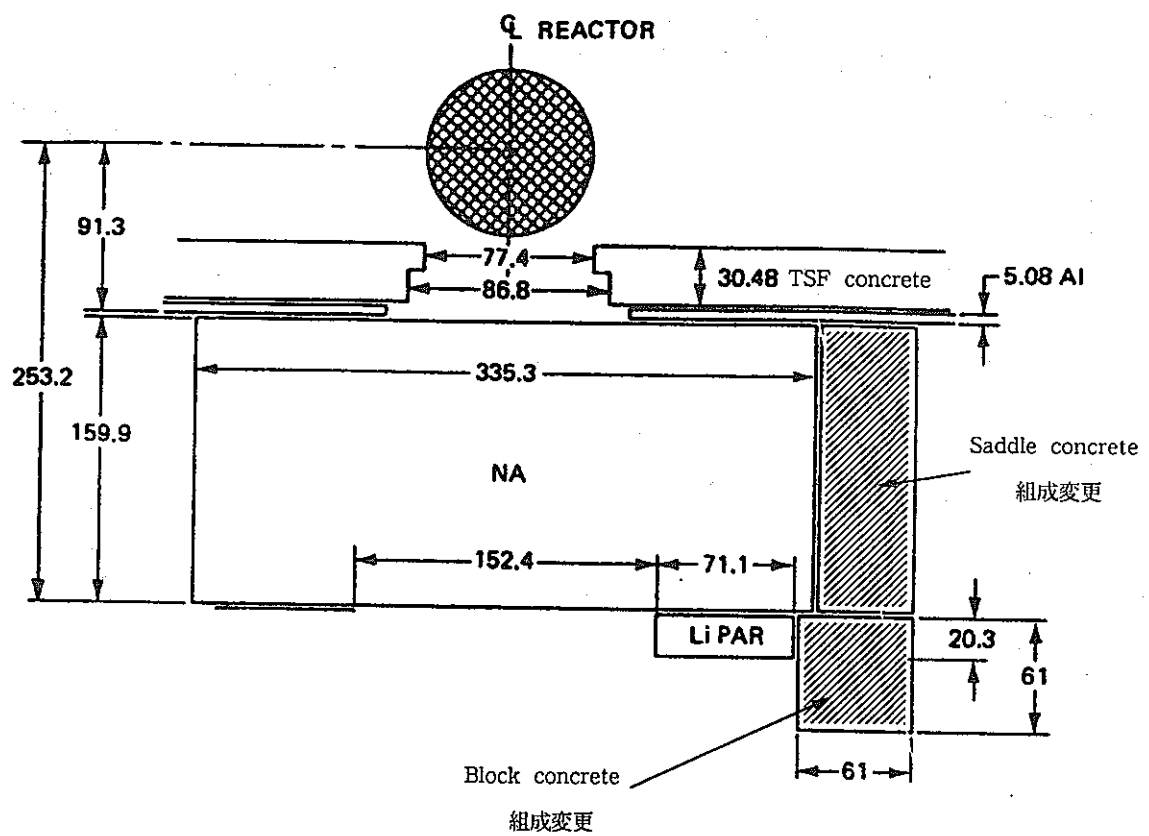
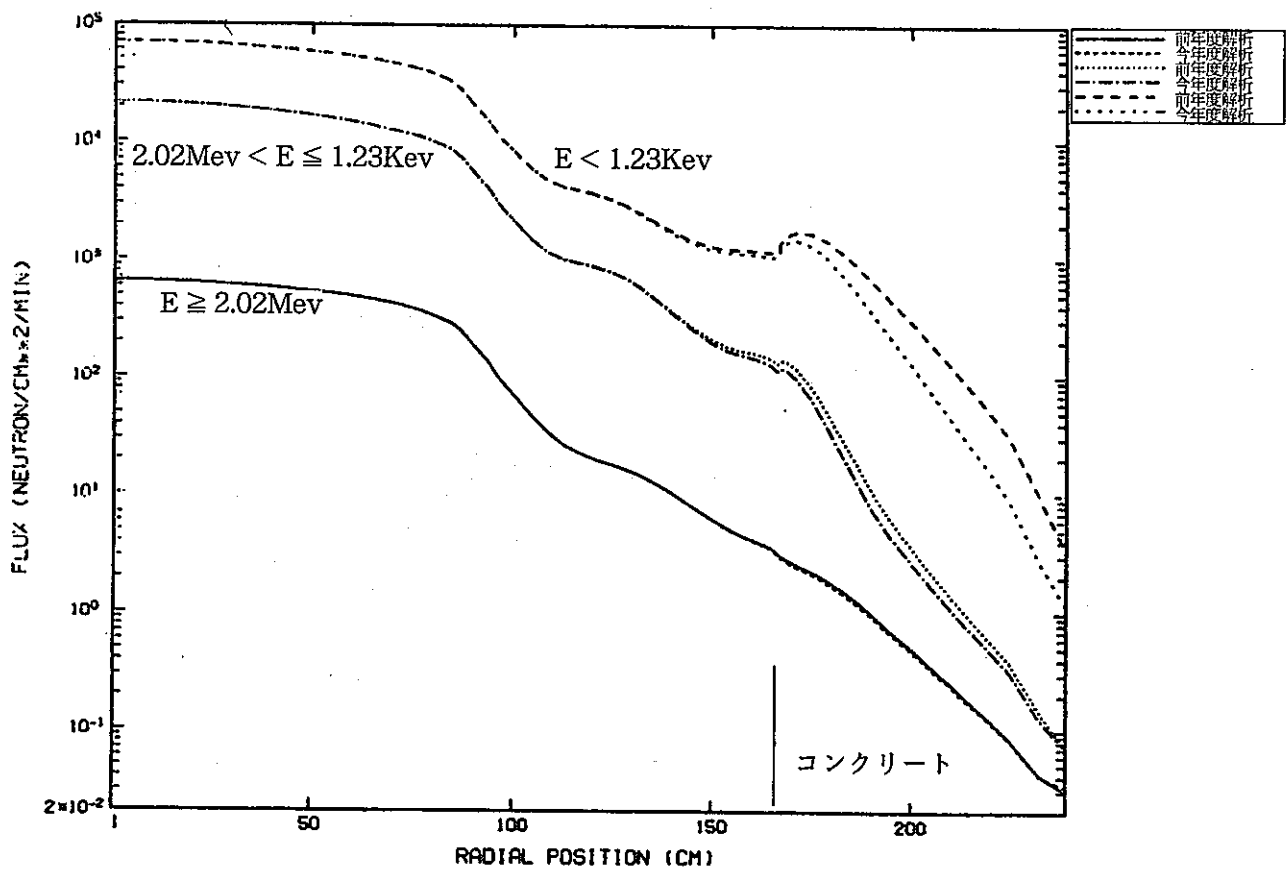
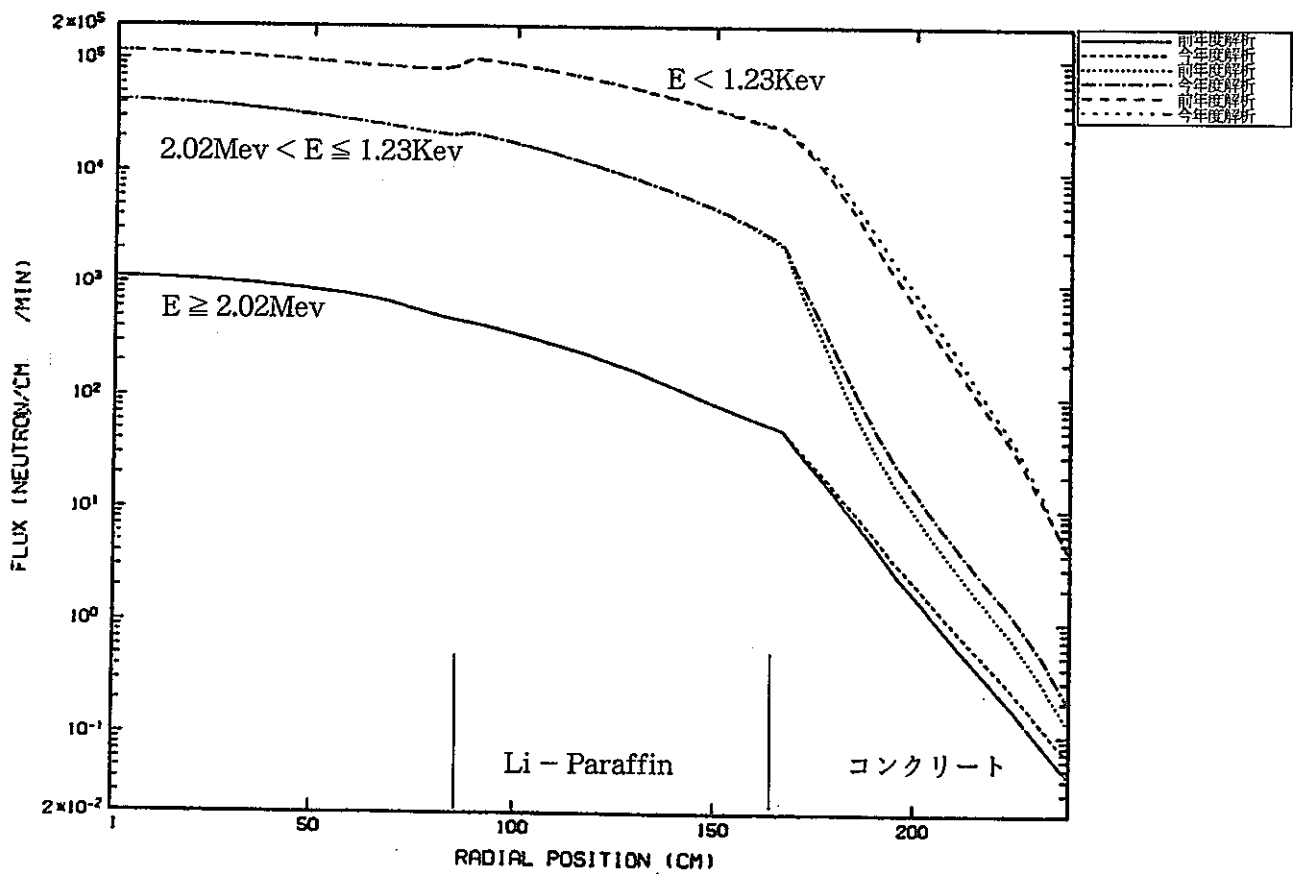


図4.2.2 コンクリート組成効果検討用体系 (体系ⅢAA)



(a) 体系後方30.0cm



(b) Naタンク後端

図4.2.3 中性子束径方向分布

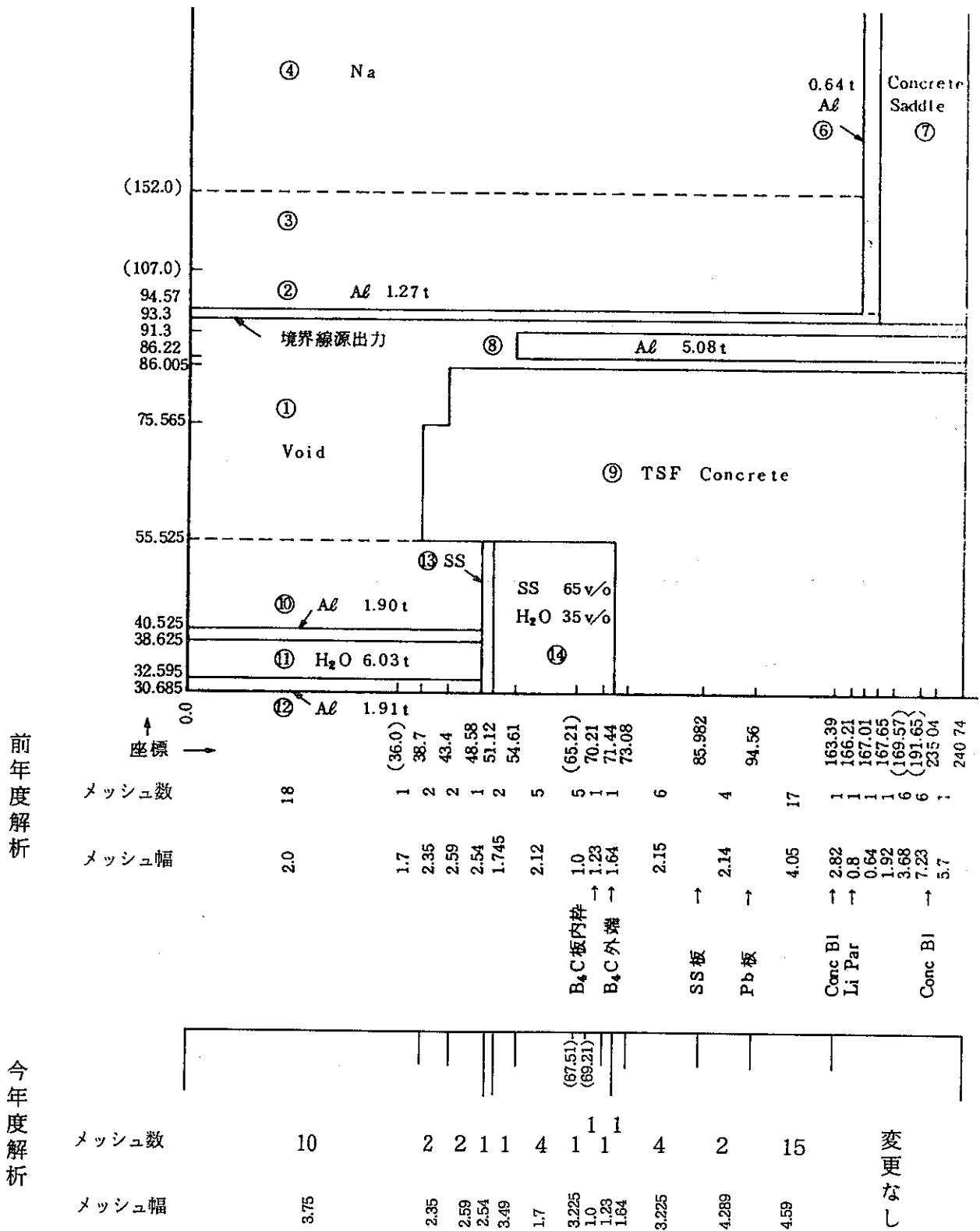


図 4.3.2 径方向メッシュ効果検討用メッシュ

5 コンクリート透過実験

第8章に示すように、ガスプレナムストリーミング実験解析の結果、ガスプレナム模擬部の周辺コンクリート領域の組成が、ボナーボール検出器応答に大きな影響を及ぼすことが明らかになった。また、今後JASPER実験として予定されているギャップストリーミング実験においては、コンクリートを供試体とする実験体系も検討されている。そこで、現状の解析手法でコンクリート系の媒質に対する予測精度を把握すること、また、2次ガンマ線の解析精度を検討するために、ORNLT-SFで実施されたコンクリート透過実験を取り上げ、解析することとした。ただし、ここでは中性子束の解析精度の評価にとどめ、ガンマ線の評価については別途報告する。

5.1 実験とORNLTの解析

本実験は、高速炉系の遮蔽材として多用されるコンクリート、特に鉄筋コンクリートを対象として、2次ガンマ線の生成量を検討するために、ORNLTのTSFにおいて1974年に実施された。実験とその解析結果は、文献⁽¹⁾（以下、実験レポート）に記されているが、ここではその中から主としてボナーボール検出器による中性子束の測定を中心に概要をまとめる。

5.1.1 実験の概要

(1) 実験の目的

実験レポートによれば、鉄筋コンクリートの中の鉄は、中性子照射によって2次ガンマ線を放出するが、次の点がはっきりしていないとしている。

- ・遮蔽体の外側境界近傍で生成するガンマ線が遮蔽体外の線束へ及ぼす影響
- ・遮蔽体中でのガンマ線吸収の増加に伴う放射線加熱が増加する程度

そこで、これらの検討を目的として実験及びその解析が実施された。

(2) 実験体系と測定項目

実験に使用したコンクリート供試体の構造を図5.1に示す。供試体は通常のコンクリート供試体（タイプ1）と格子状の鉄筋を含む供試体（タイプ2）とに分けられる。後者はリバー（Rebar）コンクリートと呼ばれ、体積比で7.6%の鉄を含んでいる。供試体および主要媒質の厚さを表5.1に示す。

実験体系と測定項目をまとめて表5.2に示す。これらの測定項目のうち、測定値が実験レポートに示されているものは*と△の記号をつけたものだけである。特にボナーボール検出器による測定は、番号①、②、③、⑤で示した4体系に限られる。ボナーボール検出器は、図5.2に示すように、供試体後方12インチ(30.5 cm)の位置に設定された。一方、ガンマ線の測定はNaIスペクトロメータ、TLDおよび電離箱を用いて行われた。

線源はTSR-II炉心からの漏洩中性子であり、供試体との間に設けられた"Small" コリメータにより、スペクトルモディファイヤ(SM)領域に入射する中性子束の範囲が絞られている。SM領域は12インチの鉄と1インチのボラールから構成されている。

(3) 供試体組成の検討

表5.3に化学分析により得られたコンクリートの組成(重量比、ただし水分を除いたもの)を示す。水の含有量は化学分析では2.65 wt%であったが、これは小さすぎるとされ、供試体に中性子を当てて、水素(2.23 MeV)とカルシウム(1.94 MeV)の捕獲ガンマ線の相対比から水素含有量を評価している。その結果、供試体中の水分は 8 ± 1 wt%であることがわかった。一方、密度については比重測定(2.3 g/cc)の外、コバルト60のガンマ線透過による減衰率から得られた密度(2.29 g/cc)とを比較し、両者が良く一致したことから2.3 g/ccを用いることとしている。なお後述のように、計算に用いる核種数密度は、ここで述べた密度と重量比から計算して得られたものである。このような分析法は、不確かさが大きいコンクリート組成決定法として、今後の遮蔽実験でも採用されることが望ましいと考えられる。

5.1.2 ORNL解析の概要

(1) 解析手法

ORNL解析においては、コンクリート中水分の影響、あるいは炉心からの1次ガンマ線の影響評価等についてはANISNコードによる1次元計算を利用したが、ボナーボール計数率の測定値との比較は2次元計算コードDOT III⁽²⁾を用いた。この2次元計算では、まずGRTUNCL⁽³⁾コードを用いて初回衝突源を作成し、DOTコードによりP₃S48で輸送計算を行った。次に最終衝突法(Last-Collision)コードFFALSTF⁽⁴⁾によりボナーボール計数率を算出した。

使用した群定数は、大部分ENDF/B-II修正版とENDF/B-IIIをもとに作成された、中性子51群、ガンマ線25群の結合ライブラリである。そのエネルギー群構造を、表5.4に示す。

解析に使用した主要物質の核種数密度を表5.5に示す。これは前項で述べたコンクリート中の水分を8wt%とし、表5.3に示したその他の物質の重量比合計が92wt%となるようにして算出したものである。

(2) 解析結果

ボナーボール計数率の測定値とORNLの計算値との比較を表5.6に示す。C/E値を見ると、6インチ厚コンクリート透過後の結果は、カドミカバーBF₃の結果を除いて実験値とほぼ良く合っている。しかしながら、コンクリートの厚さが増すにつれて、計算値は過小評価する傾向がみられる。しかも、この傾向はボナーボール検出器の大きさが10インチ、6インチ、3インチと小さくなるにつれ著しくなっている。カドミカバーBF₃のC/E値は他のボナーボールのC/E値の傾向と大きく異なっており、コンクリート厚さ0インチ(SM直後)では0.46となっている。

熱中性子束の測定値(カドミカバーBF₃とBF₃計数管の計数率から算出)と計算値との比較から、SM直後の熱中性子束のC/E値は約0.13となっている。この原因は、計算ではボラール板でほとんどの熱中性子が吸収されるのに対し、実験ではバックグラウンドが大きいいため、ボラール板での吸収が余り効いていないためであると考察している。

また、解析ではコンクリート中水分のボナーボール計数率への影響を、1次元計算で評価している。6インチおよび36インチ厚コンクリート透過体系について水の含有量を変化させた結果を表5.7に示す。6インチ体系では基準とした8wt%の含有量から±2wt%水の含有量を変化させた場合、±25~35%程度ボナーボール計数率が変化すると結果が得られている。また、36インチ厚コンクリート体系では、1wt%の変化に対して58%程度迄(3インチボナーボール)変化することも示されている。従って、コンクリート中の水分含有量は非常に重要であることがわかる。また、前記2次元計算のC/E値と表5.7との感度から、基準として8wt%の水分含有量よりも若干減らし、7.25wt%程度とした方がC/E値が1に近づき、かつボナーボール間のC/E値も揃うことが予想される。しかしながら、ORNL側の判断では、2次元計算によるC/E値自体に他の要因(計算モデル、断面積データの不確かさ等)による誤差が含まれていることが予想されるため、8wt%を評価に採用している。

5.2 実験解析

前節で概要を述べたコンクリート透過実験を対象として、JASPER実験解析で使っている解析システムにより解析を行った。

5.2.1 解析範囲

前節で述べたように、本実験は主眼が2次ガンマ線発生量の評価にある。そのため、ボナーボール検出器応答などの中性子に関する測定結果が少なく、特にボナーボール計数率については高々4体系の測定値が実験レポートに記載されているだけである。実験値との比較は、この4体系(表5.2中の体系番号1、2、3、5)に限ることとした。ただし、全体的な中性子およびガンマ線の挙動を調べるために、1次元計算では全ての体系について計算を実施した。本報告では、測定値としてはボナーボール計数率のみを取り上げ、ガンマ線束の評価およびコンクリート組成の影響評価は別途報告することとする。

5.2.2 解析手法

(1) 計算手法

本解析における解析手法は、原則的にJASPER実験解析で採用しているものである。図5.3に計算処理の流れを示す。

実効断面積は、JSDJ2ライブラリを基にRADHEAT-V3コードシステムにより作成した。次に、1次元輸送計算によって体系内の中性子およびガンマ線の挙動を調べると共に、このスペクトルを用いて120群断面積を41群断面積へと群縮約する。この縮約群構造を表5.8に示す。中性子群はJASPER解析で標準的に採用されている21群構造であるが、ガンマ線群はエネルギースペクトルの比較を行うために縮約せず、元の20群構造のままとした。

この群定数を用いて2次元RZ体系輸送計算を行った。実験体系が"Small" コリメータを使用しているため、ナトリウム透過実験の解析⁽⁵⁾を参考として、初回衝突源をGRT-UNCLコードにより作成し、レイ効果を防止することとした。この線源を用いてDOT 3.5コードで体系内線束分布を計算した。輸送計算のパラメータを表5.9に示す。DOT 3.5の計算では、後段のFALSTFコードのために散乱源ファイルを作成した。

ボナーボール検出器等の応答評価については、JASPER実験解析で標準的に用いられているSPACETRANコードの外、最終衝突法を用いたFALSTFコードを採用した。

このように、実験解析に用いた輸送計算コード(GRTUNCL、DOT 3.5、FAL

STF) は、前記 ORNL の計算コードと同じである。エネルギー群数を含めて群定数のみが異なっている。

(2) 計算体系

1次元輸送計算の体系を図5.4に示す。1次元計算ではここに示した13体系の計算を行った。空間メッシュ幅は、例えばSM部では鉄およびボラルの領域で約1cm/メッシュ、コンクリート領域でも約2cm/メッシュとしている。群縮約領域は、スペクトル変化の大きいSM部の鉄領域を2分割した外、コンクリート領域も各供試体スラブに対応する領域毎に設定した。線源スペクトルは、文献⁽⁵⁾に記載されたスペクトルをSM部入口の強度で規格化して用いた。これを表5.10に示す。なおANISN-Wコードの入力としてはシェルソース最前方角のみに与えた。

2次元計算体系の例を図5.5に示す。GRTUNCLコードの使用する仮想点線源は、図5.5の体系上部($Z=+151.13$ cm)に設けた。スペクトルは表5.10と同一である。

(3) 計算に使用した組成

本解析では、主要な媒質(鉄、ボラル、供試体コンクリート)の核種数密度は、表5.5に示したORNL設定値を用いた。図5.5に示した他の領域(コリメータ部コンクリート、ボロンポリエチレン、径方向遮蔽用コンクリート)については、JASPER解析で標準的に設定しているものを用いた。

5.2.3 1次元計算結果

体系内の中性子束およびガンマ線束の分布を見るためと、群定数の縮約を目的として1次元計算を実施した。この結果から体系内の中性子およびガンマ線の分布を検討する。

(1) 中性子スペクトル

まず体系内の中性子およびガンマ線のスペクトルを図5.6、図5.7に示す。図5.6から、SM部の出口では約300KeVにピークをもつスペクトルであるが、コンクリート領域に入るとスペクトルが軟化し、 $1/E$ に近い形となることが分かる。また、コンクリート厚24インチ以降ではスペクトルの形が同一となる。このスペクトル変化から、群定数の縮約に際しては、SM領域およびその直後のコンクリート領域について注意を払う必要があることが分かった。次に、図5.7に示したガンマ線スペクトルでは、鉄の領域では900KeVお

よび7 MeV付近にピークが見られる外、ボラール領域では500～600 KeV近傍に大きなピークが存在している。コンクリート領域を透過するにつれて、中性子スペクトルと同様に平坦なスペクトルとなる。

(2) 線束の減衰

図5.8～図5.10に中性子束の空間分布を示す。同じくガンマ線束の分布を図5.11に示す。

図5.8および図5.9から、中性子スペクトルの変化が激しい領域では中性子束の減衰傾向が24インチ以上のコンクリート領域のものと異なっていることがわかる。図5.10に示す熱中性子束の落込みは、1インチ厚のボラール領域での吸収によるものである。

図5.11はガンマ線束の分布である。SM領域では一度減衰傾向に入った後、ボラール領域でピーク値をとる。これは、図5.7に示した500～600 KeVのピークを生じているアルミニウムの捕獲ガンマ線によるものである。

(3) ボナーボール計数率の分布

体系内の中性子束に、ボナーボール応答関数を乗じて得られる計数率の分布を、図5.12～図5.15に示す。各図には体系1から体系8までの各々の計数率を重ねて表示してあるが、各体系の境界近傍を除き同じ減衰傾向を示している。これらの1次元計算結果を用いて、各ボナーボール計数率の減衰傾向を測定値のそれと比較した。結果を表5.11に示す。表中の“相対値”は、SM領域出口部の計数率を基準として各体系での計数率の相対値を出したもので、この相対値を計算と実験とで比較することにより減衰傾向の大まかな妥当性評価ができる。体系1～3の減衰では3インチ、6インチ、10インチボナーボールの結果共、計算及び実験値から得られる相対値が同程度であり、顕著な差は見られない。一方、カドミカバーBF₃ではSM出口部の測定値が前述のようにバックグラウンドの影響を受けており、そのため約2倍の差が生じている。

5.2.4 群縮約計算結果

前項の1次元輸送計算で得られた線束を用いて2次元計算用に群定数を縮約した。この群縮約の過程で、どの程度計算に誤差が生ずるかを調べることにした。この検討では縮約前の計算値(120群)と、縮約した定数を用いた計算値(41群)とを直接比較した。

その1例として、体系8(SM+84インチコンクリート)における線束およびボナーボール計数率の比(120群計算値/41群計算値)を図5.16～図5.18に示す。図5.

16は高速(0.1 MeV以上)、中速および熱(0.414 eV以下)の中性子束の比を図示したものである。84インチ厚コンクリート透過後では約35%程度の縮約誤差が生じている。図5.6に示した中性子スペクトルが、全体としてほぼ $1/E$ に近いことと、3つのエネルギー範囲で比の傾向が同じであることから、高速領域のコンクリート断面積の共鳴の山及び谷が縮約によって均らされて誤差を生じ、これが減速によって低エネルギー側へ移ることにより、この様な傾向が得られたものと推定される。これは、特に高速中性子束の比がコンクリート領域内12インチ厚までの領域で大きくなることから推定できる。一方、図5.17を見ると、ガンマ線束の場合は高々2%程度の誤差であり、中性子束の縮約誤差がガンマ線束に大きく影響しないことがわかる。この理由としては、ガンマ線の平均自由行程が大きく、ボラール領域の2次ガンマ線発生量がコンクリート中の減衰を支配しているためと考えられる。

図5.18はボナーボール計数率の比である。これは中速中性子束の比と同様である。2次元計算は41群の計算を行うため、この41群2次元計算値を120群2次元計算値に外挿する際には、この比(120群/41群)を乗ずれば良いと考えられる。

5.2.5 2次元計算結果

2次元計算結果の例として、図5.19に体系5(SM+36インチコンクリート)内の6インチボナーボール計数率の分布を示す。FALSTFコードによる4種類のボナーボール検出器(3インチ、6インチ、10インチ、カドミカバーBF₃)の計数率とC/E値を、ORN L計算値と合わせて表5.12に示す。これを図にしたものを図5.20に示す。C/E値の傾向はORN Lの解析結果と良く合っており、基本的に妥当な計算結果であると考えられる。

第5.12表に示したC/E値に、群縮約効果の補正を施した結果を第5.13表に示す。

5.3 解析手法の検討

本解析を進める過程で検討を加えた解析手法に係わる内容を述べる。

5.3.1 SPACETRANとFALSTFの比較

本解析では、ボナーボール計数率の評価に最終衝突法コードFALSTFを用いた。既に報告されている他のJASPER解析では一貫してSPACETRANを採用している。そこで、ここでは両コードの結果を比較し、計算値に与える影響を明らかにする。ただし、両コードの結果はほとんど差を生じないことが、既に川辺らによってJASPERサブワーキンググループで報告されている。以下に述べる結果は、この報告と同様であるが、対象が異なることから改めて示す。

つぎの3ケースを比較する。

(a) DOT 3.5で作成した散乱源ファイルを用いるFALSTF計算

(b) DOT 3.5で作成したスカラー束ファイルを用いるFALSTF計算

(c) DOT 3.5で作成したスカラー束ファイルを用いるSPACETRAN計算

ただし、(c)は当然ながら、スカラー束ファイル中の境界角度束を用いている。

体系1、2、3、5について、(a)～(c)を比較した結果を表5.14に示す。この表から、(a)と(b)とは最大でも1%以下の差しかないものの、(a)と(c)では最大4.5%もの差を生じている。特に、比較的高いエネルギー域に感度を持つ10インチのボナーボールで差が大きい。これは、評価点が体系後方30.5cmと近いため、境界線束を用いるSPACETRANの精度が落ちていることによるものと考えられる。

5.3.2 非衝突線束の考慮

ナトリウム透過実験解析⁽⁵⁾では、DOTあるいはMORSEの計算結果に非衝突線束の補正を施している。本実験も"Small"コリメータを用いた実験であるので、同様な補正が必要かどうか検討した。

非衝突線束の計算は、文献⁽⁵⁾中の式(p36, (1)式)を用いて中性子100群で行った。結果を表5.15に示す。この解析体系では、鉄とボラールからなるSM領域でも既に非衝突線束の寄与分が最大でも2%未満であることが分かった。したがって、本実験解析結果については、非衝突線束の補正を行っても、表5.13に示したC/E値が大きく変更されることはない。

5.4 まとめと今後の課題

ここでは、まずORNLで実施されたコンクリート透過実験とその解析をまとめた。続いて、JASPER実験解析手法により主としてボナーボール計数率のC/E値を算出した。群縮約と非衝突線束寄与分の補正を施した結果を表5.16に示す。本解析の結果をまとめると次の通りである。

(1) 各ボナーボールに対するC/E値は以下の範囲に収まる。

3インチ : 0.62~0.97

6インチ : 0.71~1.01

10インチ : 0.77~1.07

また、各体系でのC/E値の変化は、ORNL解析値と同じ傾向である。

(2) 各ボナーボールのC/E値が悪化する領域は、SM領域直後の6インチ厚コンクリートの領域である。コンクリート中の水分も含めてこの領域の組成の影響評価が必要である。

(3) 本解析では、ボナーボール計数率評価のためにFALSTFコードを使用した。従来から使用してきたSPACETRANコードの計算値と比べると最大、4.5%程度の差を生じることが明らかとなった。

今後は、コンクリート組成に関する感度解析、水の含有量の影響評価を行い、ガスプレナムストリーミング解析の最終評価に結び付ける必要がある。

(株)三菱総合研究所 角田

参考文献

- (1) R. L. Childs et al. "Analysis of a TSF Experiment on Secondary Gamma-Ray Production in Reinforced Concrete Shields," PNC SA0017 PWG ORNL-5272 (1980)
- (2) W. A. Rhoads and F. R. Mynatt, "DOT III, Two Dimensional Discrete Ordinates Transport Code," CCC-209, ORNL-TM-4280 (1973)
- (3) W. A. Rhoads and F. R. Mynatt, "DOT 3.5, Two Dimensional Discrete Ordinates Transport Code," CCC-276, ORNL-TM-4280, p.95-97, (1976)
- (4) V. Baker and R. L. Childs, "FALSTF INFORMAL NOTES," CCC-351 (1979)
- (5) R. E. Maerker et al. "Final Report on a Benchmark Experiment for Neutron Transport in Thick Sodium," ORNL-4880 (1974)

表 5.1 供試体および主要透過媒質の厚さ

Material	Slab No.	Slab Thickness	
		(in.)	(mm)
Iron	2	2.005	51
	5	2.006	51
	8	2.021	51
	10	2.030	52
	13	2.020	51
	14	2.051	52
Concrete	1	12.125	308
	2	12.125	308
	3	6.125	156
	4	12.125	308
	5	12.125	308
	6	6.125	156
	7	12.125	308
	8	12.125	308
Rebar ^a	9	6.125	154

^aConcrete with reinforcing bar; see Fig. 2.

表 5.2 実験体系と測定項目

Configuration	Measurements Made ^a
① Spectrum Modifier (SM) (12 in. Fe + 1 in. Boral)	BB ^{b*}
② SM + 6 in. Concrete	BB ^{b*}
③ SM + 12 in. Concrete	BB ^{b*} NaI ^{b*}
④ SM + 24 in. Concrete	BB
⑤ SM + 36 in. Concrete	BB ^{b*}
⑥ SM + 48 in. Concrete	BB NaI ^{b*} TLD
SM + 60 in. Concrete (Detectors in Gap) ^c	TLD IC ^{b*}
⑦ SM + 60 in. Concrete (No Gap)	NaI ^{b*} TLD ^{b*}
⑧ SM + 84 in. Concrete	NaI
⑨ SM + 6 in. Rebar + 42 in. Concrete	NaI ^{b*} TLD
⑩ SM + 6 in. Rebar + 54 in. Concrete	NaI TLD
⑪ SM + 42 in. Concrete + 6 in. Rebar	NaI TLD
⑫ SM + 3/8 in. Fe + 48 in. Concrete	NaI TLD
⑬ SM + 6 in. Concrete + 3/8 in. Fe + 42 in. Concrete	NaI ^{b*} TLD ^{b*}

^aBB = Bonner balls, NaI = sodium iodide spectrometer; TLD = thermoluminescent dosimeters; and IC = ionization chamber.

^bThese detector responses calculated during analysis described in Section 3.

^cTLD and IC measurements made simultaneously.

表 5.3 コンクリートの組成

Compound	Weight Percent ^a
CaO	45.9
CO ₂	35.10
MgO	8.42
SiO ₂	7.04
R ₂ O ₃ ^b	2.70
K ₂ O	0.58
SO ₃	0.50
Na ₂ O	0.13
P ₂ O ₅	0.063

^aResults of chemical analysis; for calculations these percentages were adjusted to total 92 wt%, with the remaining 8 wt% assumed to be water (see text).

^bAll metals precipitating as hydroxides, mostly Al and Fe (Al₂O₃ = 1.92 wt%; Fe₂O₃ = 0.78 wt%).

表 5. 4 ORNL解析で使した群定数のエネルギー群構造

Neutron Groups				Gamma-Ray Groups	
Group	Energy (eV)	Group	Energy (eV)	Group	Energy (MeV)
1	1.492(+7) ^a	27	5.248(+4)	1	13.0000
2	1.221(+7)	28	4.087(+4)	2	10.1970
3	1.000(+7)	29	3.183(+4)	3	7.9983
4	8.187(+6)	30	2.479(+4)	4	6.2737
5	6.703(+6)	31	1.931(+4)	5	4.9210
6	5.488(+6)	32	1.503(+4)	6	3.8599
7	4.493(+6)	33	7.102(+3)	7	3.0277
8	3.679(+6)	34	4.307(+3)	8	2.3748
9	3.012(+6)	35	3.555(+3)	9	1.8628
10	2.466(+6)	36	2.613(+3)	10	1.4611
11	2.019(+6)	37	2.035(+3)	11	1.14610
12	1.653(+6)	38	1.585(+3)	12	0.89896
13	1.353(+6)	39	1.234(+3)	13	0.70513
14	1.108(+6)	40	9.611(+2)	14	0.55309
15	9.072(+5)	41	4.540(+2)	15	0.43383
16	7.427(+5)	42	2.145(+2)	16	0.34029
17	6.081(+5)	43	1.013(+2)	17	0.26692
18	4.979(+5)	44	4.785(+1)	18	0.20937
19	4.076(+5)	45	2.260(+1)	19	0.16422
20	3.337(+5)	46	1.068(+1)	20	0.12881
21	2.732(+5)	47	5.044(+0)	21	0.101040
22	2.237(+5)	48	2.382(+0)	22	0.079252
23	1.832(+5)	49	1.125(+0)	23	0.062164
24	1.500(+5)	50	4.140(-1)	24	0.048760
25	1.228(+5)	51 ^b	1.000(-1)	25 ^c	0.038247
26	8.652(+4)				

^aRead: 1.492 x 10⁷.

^bBottom energy of group 51 is 1.0000(-5) eV.

^cBottom energy of group 25 is 0.030000 MeV.

表 5.5 ORNL解析で使した主要物質の核種数密度

Slab	Element	Density (atoms·barn ⁻¹ ·cm ⁻¹)
Concrete ^a (8 wt% H ₂ O)	Oxygen	4.347(-2)
	Hydrogen	1.225(-2)
	Calcium	1.034(-2)
	Carbon	1.007(-2)
	Magnesium	2.640(-3)
	Silicon	1.479(-3)
	Aluminum	4.757(-4)
	Iron	1.235(-4)
	Sulfur	7.879(-5)
	Sodium	5.275(-5)
Iron	Iron	8.37(-2)
	Manganese	5.15(-4)
	Carbon	9.815(-4)
Rebar	Same as Iron	
Boral	Iron	7.7(-4)
	Aluminum	3.65(-2)
	Boron ^b	2.59(-2)
	Carbon	6.45(-3)

^aPotassium not included because of uncertainties in cross sections.

^bNatural boron (19.8% ¹⁰B, 80.2% ¹¹B).

表 5.6 ORNL 2 次元解析結果

Concrete Thickness ^a (in.)	Bonner Ball	Count Rate (counts·min ⁻¹ ·kW ⁻¹)		Ratio:
		Calculated	Measured	<u>Calculated</u> <u>Measured</u>
0 ^b	3-in.	8.98(5) ^c	8.57(5) ^d	1.05
	6-in.	7.31(6)	6.63(6)	1.10
	10-in.	3.33(6)	2.78(6)	1.20
	Cd-cov.	5.03(3)	1.10(4)	0.46
6	3-in.	5.50(5)	5.43(5)	1.01
	6-in.	1.01(6)	1.01(6)	1.00
	10-in.	2.91(5)	2.82(5)	1.03
	Cd-cov.	4.27(4)	5.14(4)	0.83
12	3-in.	4.84(4)	6.37(4)	0.76
	6-in.	6.85(4)	7.62(4)	0.90
	10-in.	2.04(4)	2.19(4)	0.94
	Cd-cov.	5.01(3)	7.07(3)	0.71
36	3-in.	4.42(0)	6.10(0)	0.72
	6-in.	1.28(1)	1.63(1)	0.78
	10-in.	8.05(0)	9.59(0)	0.84
	Cd-cov.	3.71(-1)	6.85(-1)	0.54

^aSee Fig. 3 for sketch of typical experimental configuration.

^bDetector 12 in. beyond spectrum modifier (SM).

^cRead: 8.98×10^5 .

^dAverages of two runs at different reactor powers. Comparisons between pairs of runs show a negligible (<5%) dependence on power level.

表 5.7 ORNL 解析水分含有量感度解析結果

Concrete Thickness (in.)	Water Content (wt%)	Relative Detector Response (=1.0 for 8 wt% Water Content)			
		3-in.	6-in.	10-in.	Cd-cov.
6	6.0	1.262	1.357	1.354	1.148
	10.0	0.773	0.738	0.746	0.825
36	7.0	1.583	1.469	1.383	1.630
	7.5	1.250	1.207	1.172	1.267

表 5.8 縮約エネルギー群構造

群 番号	中性子群 (eV)		ガンマ群 (eV)	
	上 限	下 限	上 限	下 限
1	1.492E+07	- 5.488E+06	1.400E+07	- 1.200E+07
2	5.488E+06	- 3.329E+06	1.200E+07	- 1.000E+07
3	3.329E+06	- 2.019E+06	1.000E+07	- 8.000E+06
4	2.019E+06	- 1.225E+06	8.000E+06	- 6.500E+06
5	1.225E+06	- 7.427E+05	6.500E+06	- 5.000E+06
6	7.427E+05	- 4.505E+05	5.000E+06	- 4.000E+06
7	4.505E+05	- 2.732E+05	4.000E+06	- 3.000E+06
8	2.732E+05	- 1.657E+05	3.000E+06	- 2.500E+06
9	1.657E+05	- 6.738E+04	2.500E+06	- 2.000E+06
10	6.738E+04	- 2.479E+04	2.000E+06	- 1.660E+06
11	2.479E+04	- 9.119E+03	1.660E+06	- 1.330E+06
12	9.119E+03	- 3.355E+03	1.330E+06	- 1.000E+06
13	3.355E+03	- 1.234E+03	1.000E+06	- 8.000E+05
14	1.234E+03	- 4.540E+02	8.000E+05	- 6.000E+05
15	4.540E+02	- 1.670E+02	6.000E+05	- 4.000E+05
16	1.670E+02	- 4.755E+01	4.000E+05	- 3.000E+05
17	4.755E+01	- 1.371E+01	3.000E+05	- 2.000E+05
18	1.371E+01	- 3.928E+00	2.000E+05	- 1.000E+05
19	3.928E+00	- 1.125E+00	1.000E+05	- 5.000E+04
20	1.125E+00	- 4.140E-01	5.000E+04	- 2.000E+04
21	4.140E-01	- 1.000E-03		

表 5.9 輸送計算のパラメータ

(1) 1次元計算

形 状	1次元平板
境界条件	左：真空 右：真空
中性子源	左端にシェルソース
エネルギー群数	中性子100群、ガンマ線20群
S _N 分点数	16
P _L 次数	5
精 度	1.0E-3

(2) 2次元計算

形 状	2次元円柱
境界条件	左：反射 右：真空 上：真空 下：真空
中性子源	GRTUNCLコードによる初回衝突源
エネルギー群数	中性子21群、ガンマ線20群
S _N 分点数	96
P _L 次数	3
精 度	1.0E-2

表 5. 10 1次元輸送計算に使用した線源スペクトル

詳細群	強度 (n/cm ² /min/W)	少数群	強度 (n/cm ² /min/W)	詳細群	強度 (n/cm ² /min/W)	少数群	強度 (n/cm ² /min/W)				
1	4.0180E+06	1	2.3106E+09	51	5.1370E+08	10	1.8654E+09				
2	9.1840E+06			52	4.9650E+08						
3	2.0950E+07			53	4.7350E+08						
4	5.7110E+07			54	4.5630E+08						
5	8.9540E+07			55	4.3910E+08						
6	1.5640E+08			56	4.2760E+08						
7	2.4280E+08			57	4.1330E+08			11	1.6187E+09		
8	3.9460E+08			58	3.9320E+08						
9	5.9410E+08			2	6.0197E+09			59	3.8460E+08	12	1.4321E+09
10	7.4190E+08							60	3.7600E+08		
11	9.1270E+08	61	3.6160E+08								
12	1.0520E+09	62	3.5010E+08								
13	1.2690E+09	63	3.4440E+08			13	1.3058E+09				
14	1.4010E+09	64	3.3870E+08								
15	1.3850E+09	3	9.2150E+09			65	3.3000E+08	14	1.1623E+09		
16	1.5250E+09					66	3.2140E+08				
17	1.8860E+09					67	3.1570E+08				
18	2.0310E+09					68	2.9560E+08				
19	1.9960E+09			69	2.9270E+08						
20	1.7770E+09			70	2.8990E+08						
21	1.5990E+09			4	6.3468E+09	71	2.8410E+08			15	1.0877E+09
22	1.4850E+09					72	2.7840E+08				
23	1.2050E+09					73	2.7550E+08				
24	1.1480E+09					74	2.6980E+08				
25	9.0980E+08	75	2.6400E+08			16	1.2915E+09				
26	7.1320E+08	76	2.5830E+08								
27	6.7440E+08	5	3.3090E+09			77	2.5830E+08	17	1.2915E+09		
28	6.1270E+08					78	2.5830E+08				
29	6.3570E+08					79	2.5830E+08				
30	6.7300E+08					80	2.5830E+08				
31	6.6580E+08			81	2.5830E+08						
32	5.7110E+08			82	2.5830E+08						
33	4.8790E+08			6	2.4811E+09	83	2.5830E+08			18	1.4205E+09
34	4.0900E+08					84	2.5830E+08				
35	3.4730E+08					85	2.5830E+08				
36	3.2430E+08					86	2.6690E+08				
37	3.3580E+08	87	2.7550E+08								
38	3.3720E+08	7	1.6244E+09			88	2.8410E+08				
39	3.2430E+08					89	2.9700E+08				
40	3.0280E+08					90	2.9700E+08				
41	2.7410E+08					91	2.9700E+08				
42	2.4020E+08					92	2.9700E+08	19	1.5497E+09		
43	2.2300E+08			93	3.0420E+08						
44	2.6580E+08			8	1.2456E+09	94	3.1570E+08	20	1.7406E+09		
45	2.4250E+08					95	3.3580E+08				
46	2.3730E+08					96	3.5870E+08				
47	2.2530E+08					97	3.8740E+08				
48	2.2900E+08	9	1.9713E+09			98	4.4920E+08				
49	2.2930E+08					99	5.4530E+08				
50	5.3670E+08					100	2.7626E+10			21	2.7626E+10

表 5.1.1 一次元計算によるボナーボール計数率の減衰(1/2)

(1) 3インチボナーボール

番号	体 系	測 定 値		計 算 値	
		(CPM/kW)	相対値	(CPM/kW)	相対値
1	SM (12inch Fe + 1inch Boral)	8.57E+05	1.00E+00	3.71E+04	1.00E+00
2	SM + 6inch Concrete	5.43E+05	6.34E-01	3.14E+04	8.46E-01
3	SM + 12inch Concrete	6.37E+04	7.43E-02	2.44E+03	6.59E-02
4	SM + 24inch Concrete			1.31E+01	3.52E-04
5	SM + 36inch Concrete	6.10E+00	7.12E-06	4.11E-01	1.11E-05
6	SM + 48inch Concrete			1.90E-02	5.13E-07
7	SM + 60inch Concrete			9.69E-04	2.61E-08
8	SM + 84inch Concrete			2.92E-06	7.87E-11
9	SM + 6inch Rebar + 42inch Concrete			1.72E-02	4.63E-07
10	SM + 6inch Rebar + 54inch Concrete			8.70E-04	2.35E-08
11	SM + 42inch Concrete + 6inch Rebar			1.91E-02	5.14E-07
12	SM + 3/8inch Fe + 48inch Concrete			1.65E-02	4.44E-07
13	SM + 6inch Conc + 3/8inch Fe + 42inch Conc			1.60E-02	4.31E-07

(2) 6インチボナーボール

番号	体 系	測 定 値		計 算 値	
		(CPM/kW)	相対値	(CPM/kW)	相対値
1	SM (12inch Fe + 1inch Boral)	6.63E+06	1.00E+00	2.70E+05	1.00E+00
2	SM + 6inch Concrete	1.01E+06	1.52E-01	4.69E+04	1.73E-01
3	SM + 12inch Concrete	7.62E+04	1.15E-02	2.94E+03	1.09E-02
4	SM + 24inch Concrete			2.75E+01	1.02E-04
5	SM + 36inch Concrete	1.61E+01	2.43E-06	1.06E+00	3.91E-06
6	SM + 48inch Concrete			5.08E-02	1.88E-07
7	SM + 60inch Concrete			2.64E-03	9.77E-09
8	SM + 84inch Concrete			8.14E-06	3.01E-11
9	SM + 6inch Rebar + 42inch Concrete			4.57E-02	1.69E-07
10	SM + 6inch Rebar + 54inch Concrete			2.37E-03	8.76E-09
11	SM + 42inch Concrete + 6inch Rebar			5.22E-02	1.93E-07
12	SM + 3/8inch Fe + 48inch Concrete			4.39E-02	1.62E-07
13	SM + 6inch Conc + 3/8inch Fe + 42inch Conc			4.26E-02	1.57E-07

表 5.11 一次元計算によるボナーポール計数率の減衰(2/2)

(3) 10インチボナーポール

番号	体 系	測 定 値		計 算 値	
		(CPM/kW)	相対値	(CPM/kW)	相対値
1	SM (12inch Fe + 1inch Boral)	2.78E+06	1.00E+00	1.03E+05	1.00E+00
2	SM + 6inch Concrete	2.82E+05	1.01E-01	1.10E+04	1.08E-01
3	SM + 12inch Concrete	2.19E+04	7.88E-03	7.69E+02	7.49E-03
4	SM + 24inch Concrete			1.33E+01	1.29E-04
5	SM + 36inch Concrete	9.59E+00	3.45E-06	5.74E-01	5.60E-06
6	SM + 48inch Concrete			2.87E-02	2.79E-07
7	SM + 60inch Concrete			1.53E-03	1.49E-08
8	SM + 84inch Concrete			4.84E-06	4.72E-11
9	SM + 6inch Rebar + 42inch Concrete			2.58E-02	2.51E-07
10	SM + 6inch Rebar + 54inch Concrete			1.37E-03	1.33E-08
11	SM + 42inch Concrete + 6inch Rebar			2.85E-02	2.78E-07
12	SM + 3/8inch Fe + 48inch Concrete			2.48E-02	2.41E-07
13	SM + 6inch Conc + 3/8inch Fe + 42inch Conc			2.40E-02	2.34E-07

(4) カドミカバーBF3

番号	体 系	測 定 値		計 算 値	
		(CPM/kW)	相対値	(CPM/kW)	相対値
1	SM (12inch Fe + 1inch Boral)	1.10E+04	1.00E+00	2.16E+02	1.00E+00
2	SM + 6inch Concrete	5.14E+04	4.67E+00	2.65E+03	1.22E+01
3	SM + 12inch Concrete	7.07E+03	6.43E-01	2.71E+02	1.25E+00
4	SM + 24inch Concrete			1.24E+00	5.73E-03
5	SM + 36inch Concrete	6.85E-01	6.23E-05	3.47E-02	1.61E-04
6	SM + 48inch Concrete			1.58E-03	7.32E-06
7	SM + 60inch Concrete			8.01E-05	3.70E-07
8	SM + 84inch Concrete			2.39E-07	1.11E-09
9	SM + 6inch Rebar + 42inch Concrete			1.43E-03	6.60E-06
10	SM + 6inch Rebar + 54inch Concrete			7.19E-05	3.32E-07
11	SM + 42inch Concrete + 6inch Rebar			1.52E-03	7.04E-06
12	SM + 3/8inch Fe + 48inch Concrete			1.37E-03	6.34E-06
13	SM + 6inch Conc + 3/8inch Fe + 42inch Conc			1.33E-03	6.14E-06

表 5.12 2次元計算による C/E 値

体系 1 SM (12インチ Fe + 1インチ Boral)

検出器	測定値 (CPM/kW)	計算値 (CPM/kW)	C/E	参考C/E (ORNL)
カトミカハ-BF3	1.10E+04	4.95E+03	0.45	0.46
3インチボナーホール	8.57E+05	8.04E+05	0.94	1.05
6インチボナーホール	6.63E+06	6.47E+06	0.98	1.10
10インチボナーホール	2.78E+06	2.88E+06	1.03	1.20

体系 2 SM + 6インチ Concrete

検出器	測定値 (CPM/kW)	計算値 (CPM/kW)	C/E	参考C/E (ORNL)
カトミカハ-BF3	5.14E+04	3.58E+04	0.70	0.83
3インチボナーホール	5.43E+05	4.44E+05	0.82	1.01
6インチボナーホール	1.01E+06	7.63E+05	0.76	1.00
10インチボナーホール	2.82E+05	2.16E+05	0.77	1.03

体系 3 SM + 12インチ Concrete

検出器	測定値 (CPM/kW)	計算値 (CPM/kW)	C/E	参考C/E (ORNL)
カトミカハ-BF3	7.07E+03	4.01E+03	0.57	0.71
3インチボナーホール	6.37E+04	3.78E+04	0.59	0.76
6インチボナーホール	7.62E+04	5.12E+04	0.67	0.90
10インチボナーホール	2.19E+04	1.61E+04	0.73	0.94

体系 5 SM + 36インチ Concrete

検出器	測定値 (CPM/kW)	計算値 (CPM/kW)	C/E	参考C/E (ORNL)
カトミカハ-BF3	6.85E-01	3.16E-01	0.46	0.54
3インチボナーホール	6.10E+00	3.82E+00	0.63	0.72
6インチボナーホール	1.63E+01	1.12E+01	0.69	0.78
10インチボナーホール	9.59E+00	7.29E+00	0.76	0.84

注) F A L S T F (散乱源利用) による

表 5.13 群縮約効果補正を施した C/E 値

体系 1 SM (12インチ Fe + 1インチ Boral)

検出器	測定値 (CPM/kW)	計算値 (CPM/kW)	C/E	群縮約 補正係数	補正済み C/E
カトミカハ-BF3	1.10E+04	4.95E+03	0.45	1.02	0.46
3インチホナーホー	8.57E+05	8.04E+05	0.94	1.02	0.96
6インチホナーホー	6.63E+06	6.47E+06	0.98	1.02	1.00
10インチホナーホー	2.78E+06	2.88E+06	1.03	1.02	1.06

体系 2 SM + 6インチ Concrete

検出器	測定値 (CPM/kW)	計算値 (CPM/kW)	C/E	群縮約 補正係数	補正済み C/E
カトミカハ-BF3	5.14E+04	3.58E+04	0.70	1.02	0.71
3インチホナーホー	5.43E+05	4.44E+05	0.82	1.02	0.83
6インチホナーホー	1.01E+06	7.63E+05	0.76	1.02	0.77
10インチホナーホー	2.82E+05	2.16E+05	0.77	1.02	0.78

体系 3 SM + 12インチ Concrete

検出器	測定値 (CPM/kW)	計算値 (CPM/kW)	C/E	群縮約 補正係数	補正済み C/E
カトミカハ-BF3	7.07E+03	4.01E+03	0.57	1.03	0.58
3インチホナーホー	6.37E+04	3.78E+04	0.59	1.04	0.62
6インチホナーホー	7.62E+04	5.12E+04	0.67	1.05	0.70
10インチホナーホー	2.19E+04	1.61E+04	0.73	1.05	0.77

体系 5 SM + 36インチ Concrete

検出器	測定値 (CPM/kW)	計算値 (CPM/kW)	C/E	群縮約 補正係数	補正済み C/E
カトミカハ-BF3	6.85E-01	3.16E-01	0.46	1.08	0.50
3インチホナーホー	6.10E+00	3.82E+00	0.63	1.08	0.68
6インチホナーホー	1.63E+01	1.12E+01	0.69	1.09	0.75
10インチホナーホー	9.59E+00	7.29E+00	0.76	1.10	0.84

表 5.14 FALSTF と SPACETRAN との計算値の比較 (1/4)
体系 1 SM (12インチ Fe + 1インチ Boral)

(1) FALSTF 計算値 (散乱源利用)

検出器	測定値 (CPM/kW)	計算値 (CPM/kW)	C/E	備考
カトミカハ-BF3	1.10E+04	4.95E+03	0.45	
3インチホナーホール	8.57E+05	8.04E+05	0.94	
6インチホナーホール	6.63E+06	6.47E+06	0.98	
10インチホナーホール	2.78E+06	2.88E+06	1.03	

(2) FALSTF 計算値 (スカラー束利用)

検出器	測定値 (CPM/kW)	計算値 (CPM/kW)	C/E	(1)からの 誤差
カトミカハ-BF3	1.10E+04	4.95E+03	0.45	-0.08%
3インチホナーホール	8.57E+05	8.03E+05	0.94	-0.11%
6インチホナーホール	6.63E+06	6.45E+06	0.97	-0.31%
10インチホナーホール	2.78E+06	2.86E+06	1.03	-0.64%

(3) SPACETRAN 計算値

検出器	測定値 (CPM/kW)	計算値 (CPM/kW)	C/E	(1)からの 誤差
カトミカハ-BF3	1.10E+04	4.87E+03	0.44	-1.69%
3インチホナーホール	8.57E+05	8.00E+05	0.93	-0.47%
6インチホナーホール	6.63E+06	6.39E+06	0.96	-1.24%
10インチホナーホール	2.78E+06	2.79E+06	1.00	-3.01%

表 5.14 FALSTF と SPACETRAN との計算値の比較 (2/4)
体系 2 SM + 6インチ Concrete

(1) FALSTF 計算値 (散乱源利用)

検出器	測定値 (CPM/kW)	計算値 (CPM/kW)	C/E	備考
カトミカハ-BF3	5.14E+04	3.58E+04	0.70	
3インチホナーホール	5.43E+05	4.44E+05	0.82	
6インチホナーホール	1.01E+06	7.63E+05	0.76	
10インチホナーホール	2.82E+05	2.16E+05	0.77	

(2) FALSTF 計算値 (スカラー束利用)

検出器	測定値 (CPM/kW)	計算値 (CPM/kW)	C/E	(1)からの 誤差
カトミカハ-BF3	5.14E+04	3.58E+04	0.70	0.00%
3インチホナーホール	5.43E+05	4.44E+05	0.82	-0.01%
6インチホナーホール	1.01E+06	7.62E+05	0.75	-0.09%
10インチホナーホール	2.82E+05	2.15E+05	0.76	-0.36%

(3) SPACETRAN 計算値

検出器	測定値 (CPM/kW)	計算値 (CPM/kW)	C/E	(1)からの 誤差
カトミカハ-BF3	5.14E+04	3.65E+04	0.71	2.05%
3インチホナーホール	5.43E+05	4.51E+05	0.83	1.45%
6インチホナーホール	1.01E+06	7.54E+05	0.75	-1.14%
10インチホナーホール	2.82E+05	2.08E+05	0.74	-3.66%

表 5.14 FALSTF と SPACETRAN との計算値の比較 (3/4)
体系 3 SM + 12インチ Concrete

(1) FALSTF 計算値 (散乱源利用)

検出器	測定値 (CPM/kW)	計算値 (CPM/kW)	C/E	備考
カトミカハ-BF3	7.07E+03	4.01E+03	0.57	
3インチホナーホール	6.37E+04	3.78E+04	0.59	
6インチホナーホール	7.62E+04	5.12E+04	0.67	
10インチホナーホール	2.19E+04	1.61E+04	0.73	

(2) FALSTF 計算値 (スカラー束利用)

検出器	測定値 (CPM/kW)	計算値 (CPM/kW)	C/E	(1)からの 誤差
カトミカハ-BF3	7.07E+03	4.01E+03	0.57	0.00%
3インチホナーホール	6.37E+04	3.78E+04	0.59	0.00%
6インチホナーホール	7.62E+04	5.11E+04	0.67	-0.09%
10インチホナーホール	2.19E+04	1.60E+04	0.73	-0.38%

(3) SPACETRAN 計算値

検出器	測定値 (CPM/kW)	計算値 (CPM/kW)	C/E	(1)からの 誤差
カトミカハ-BF3	7.07E+03	3.97E+03	0.56	-1.12%
3インチホナーホール	6.37E+04	3.75E+04	0.59	-0.84%
6インチホナーホール	7.62E+04	5.01E+04	0.66	-2.10%
10インチホナーホール	2.19E+04	1.54E+04	0.70	-4.49%

表 5.14 FALSTF と SPACETRAN との計算値の比較 (4/4)
体系 5 SM + 36インチ Concrete

(1) FALSTF 計算値 (散乱源利用)

検出器	測定値 (CPM/kW)	計算値 (CPM/kW)	C/E	備考
カトミカハ-BF3	6.85E-01	3.16E-01	0.46	
3インチホナーホール	6.10E+00	3.82E+00	0.63	
6インチホナーホール	1.63E+01	1.12E+01	0.69	
10インチホナーホール	9.59E+00	7.29E+00	0.76	

(2) FALSTF 計算値 (スカラー束利用)

検出器	測定値 (CPM/kW)	計算値 (CPM/kW)	C/E	(1)からの 誤差
カトミカハ-BF3	6.85E-01	3.16E-01	0.46	0.00%
3インチホナーホール	6.10E+00	3.82E+00	0.63	0.00%
6インチホナーホール	1.63E+01	1.12E+01	0.69	-0.07%
10インチホナーホール	9.59E+00	7.28E+00	0.76	-0.19%

(3) SPACETRAN 計算値

検出器	測定値 (CPM/kW)	計算値 (CPM/kW)	C/E	(1)からの 誤差
カトミカハ-BF3	6.85E-01	3.19E-01	0.47	0.92%
3インチホナーホール	6.10E+00	3.88E+00	0.64	1.43%
6インチホナーホール	1.63E+01	1.12E+01	0.69	-0.68%
10インチホナーホール	9.59E+00	6.99E+00	0.73	-4.16%

表 5.15 FALSTF によるボナーポール計数率と非衝突線束寄与分

体系 1 SM (12インチ Fe + 1インチ Boral)

検出器	測定値 (CPM/kW)	衝突成分 (CPM/kW)	非衝突成分 (CPM/kW)	計算値 (CPM/kW)	非衝突成分 寄与率 (%)
カトミカハ-BF3	1.10E+04	4.95E+03	6.23E+01	5.02E+03	1.24
3インチボナーポール	8.57E+05	8.04E+05	1.23E+04	8.16E+05	1.51
6インチボナーポール	6.63E+06	6.47E+06	1.00E+05	6.57E+06	1.53
10インチボナーポール	2.78E+06	2.88E+06	4.96E+04	2.93E+06	1.70

体系 2 SM + 6インチ Concrete

検出器	測定値 (CPM/kW)	衝突成分 (CPM/kW)	非衝突成分 (CPM/kW)	計算値 (CPM/kW)	非衝突成分 寄与率 (%)
カトミカハ-BF3	5.14E+04	3.58E+04	2.00E-01	3.58E+04	0.00
3インチボナーポール	5.43E+05	4.44E+05	4.43E+01	4.44E+05	0.01
6インチボナーポール	1.01E+06	7.63E+05	9.29E+02	7.64E+05	0.12
10インチボナーポール	2.82E+05	2.16E+05	8.21E+02	2.17E+05	0.38

体系 3 SM + 12インチ Concrete

検出器	測定値 (CPM/kW)	衝突成分 (CPM/kW)	非衝突成分 (CPM/kW)	計算値 (CPM/kW)	非衝突成分 寄与率 (%)
カトミカハ-BF3	7.07E+03	4.01E+03	6.97E-03	4.01E+03	0.00
3インチボナーポール	6.37E+04	3.78E+04	1.04E+00	3.78E+04	0.00
6インチボナーポール	7.62E+04	5.12E+04	3.60E+01	5.12E+04	0.07
10インチボナーポール	2.19E+04	1.61E+04	4.41E+01	1.61E+04	0.27

体系 5 SM + 36インチ Concrete

検出器	測定値 (CPM/kW)	衝突成分 (CPM/kW)	非衝突成分 (CPM/kW)	計算値 (CPM/kW)	非衝突成分 寄与率 (%)
カトミカハ-BF3	6.85E-01	3.16E-01	1.15E-06	3.16E-01	0.00
3インチボナーポール	6.10E+00	3.82E+00	1.16E-04	3.82E+00	0.00
6インチボナーポール	1.63E+01	1.12E+01	5.35E-03	1.13E+01	0.05
10インチボナーポール	9.59E+00	7.29E+00	8.13E-03	7.30E+00	0.11

表 5.16 2次元計算による補正後 C/E 値

体系 1 SM (12インチ Fe + 1インチ Boral)

検出器	測定値 (CPM/kW)	衝突成分* (CPM/kW)	非衝突成分 (CPM/kW)	計算値 (CPM/kW)	C/E
カトミカハ-BF3	1.10E+04	5.05E+03	6.23E+01	5.11E+03	0.46
3インチホナーホール	8.57E+05	8.20E+05	1.23E+04	8.32E+05	0.97
6インチホナーホール	6.63E+06	6.60E+06	1.00E+05	6.70E+06	1.01
10インチホナーホール	2.78E+06	2.93E+06	4.96E+04	2.98E+06	1.07

体系 2 SM + 6インチ Concrete

検出器	測定値 (CPM/kW)	衝突成分* (CPM/kW)	非衝突成分 (CPM/kW)	計算値 (CPM/kW)	C/E
カトミカハ-BF3	5.14E+04	3.65E+04	2.00E-01	3.65E+04	0.71
3インチホナーホール	5.43E+05	4.53E+05	4.43E+01	4.53E+05	0.83
6インチホナーホール	1.01E+06	7.78E+05	9.29E+02	7.79E+05	0.77
10インチホナーホール	2.82E+05	2.21E+05	8.21E+02	2.21E+05	0.78

体系 3 SM + 12インチ Concrete

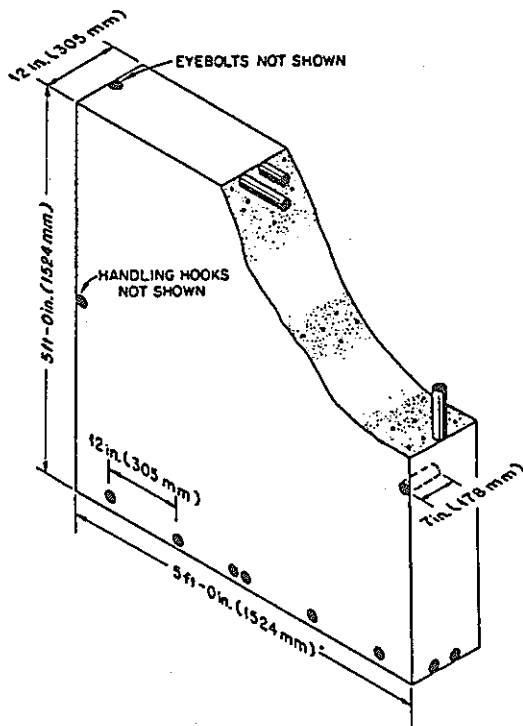
検出器	測定値 (CPM/kW)	衝突成分* (CPM/kW)	非衝突成分 (CPM/kW)	計算値 (CPM/kW)	C/E
カトミカハ-BF3	7.07E+03	4.13E+03	6.97E-03	4.13E+03	0.58
3インチホナーホール	6.37E+04	3.93E+04	1.04E+00	3.93E+04	0.62
6インチホナーホール	7.62E+04	5.37E+04	3.60E+01	5.37E+04	0.71
10インチホナーホール	2.19E+04	1.69E+04	4.41E+01	1.69E+04	0.77

体系 5 SM + 36インチ Concrete

検出器	測定値 (CPM/kW)	衝突成分* (CPM/kW)	非衝突成分 (CPM/kW)	計算値 (CPM/kW)	C/E
カトミカハ-BF3	6.85E-01	3.41E-01	1.15E-06	3.41E-01	0.50
3インチホナーホール	6.10E+00	4.13E+00	1.16E-04	4.13E+00	0.68
6インチホナーホール	1.63E+01	1.23E+01	5.35E-03	1.23E+01	0.75
10インチホナーホール	9.59E+00	8.02E+00	8.13E-03	8.03E+00	0.84

* F A L S T F で計算された衝突成分に群縮約補正を施したものの

ORNL-DWG 76-4829



ORNL-DWG 76-4830

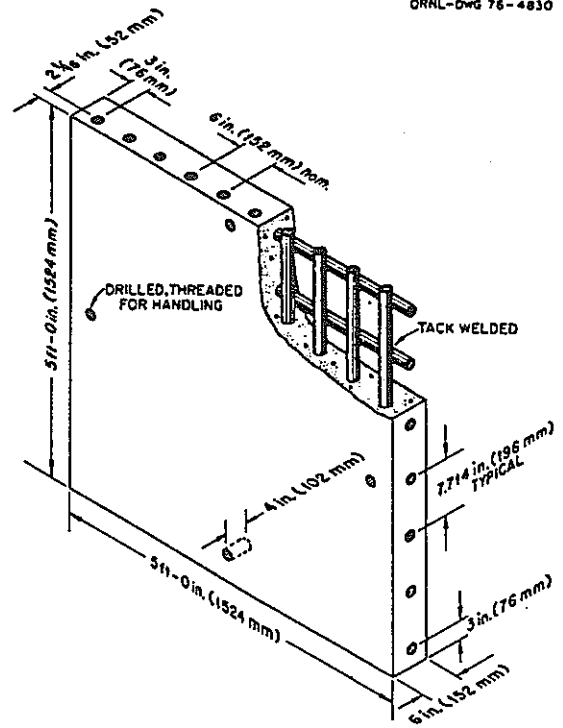


図 5.1 コンクリート供試体

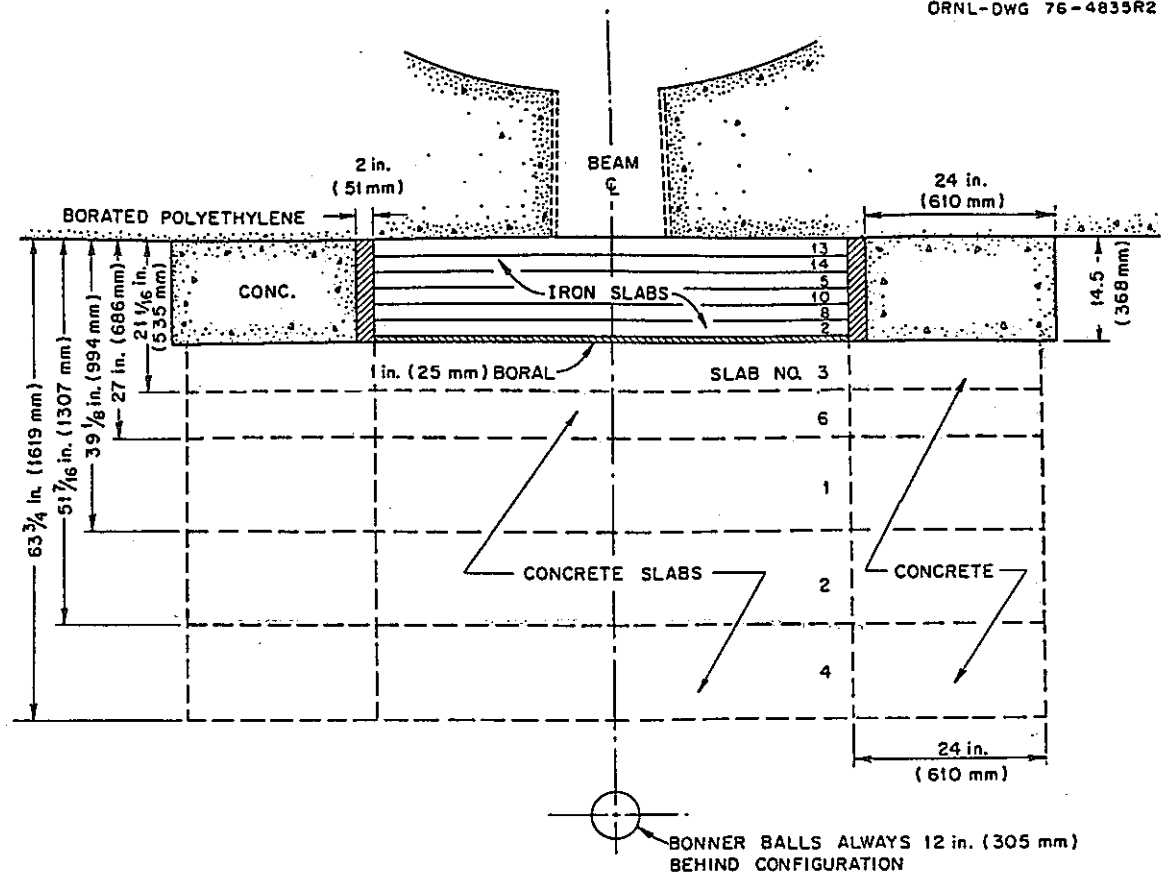


図 5.2 実験体系とボナーボール検出器設定位置

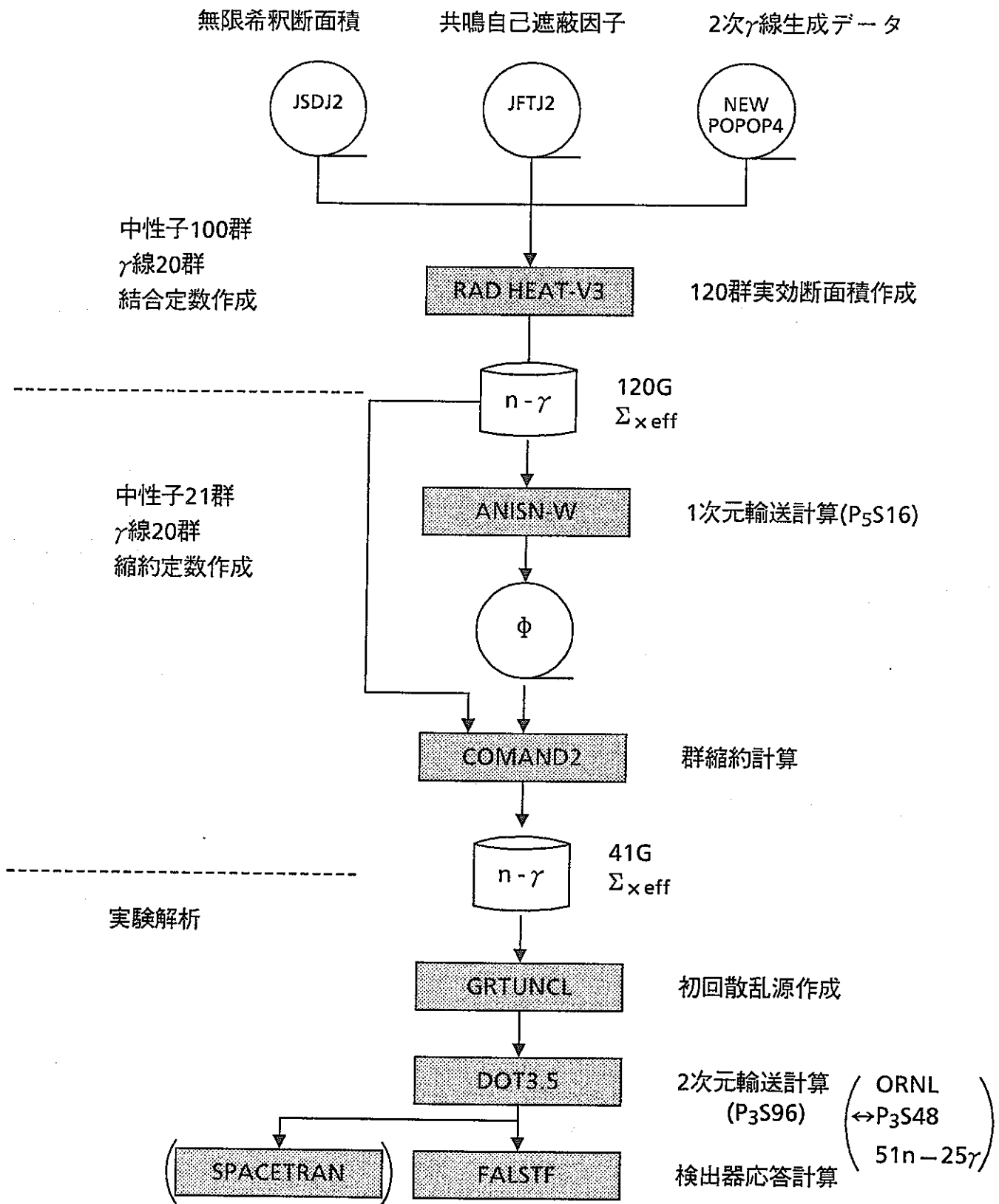


図 5.3 計算処理の流れ

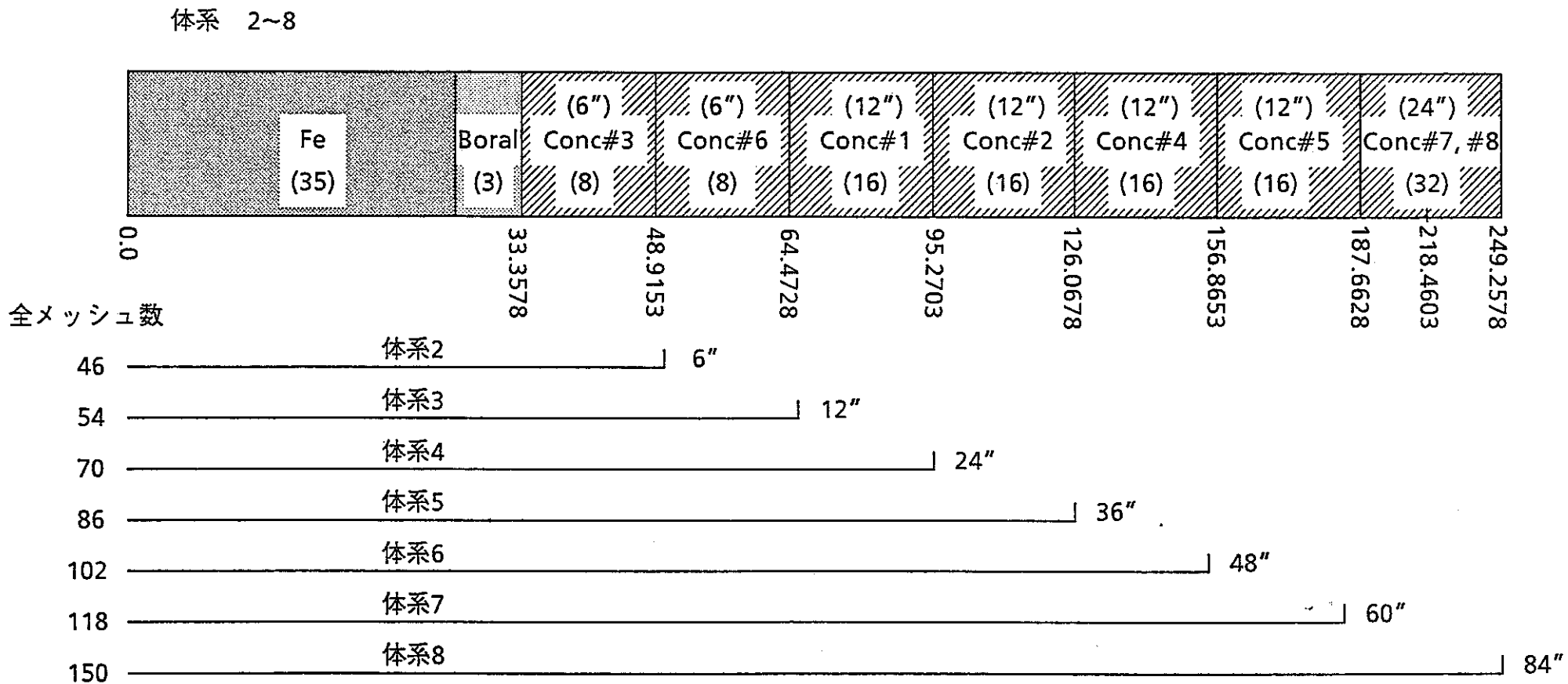
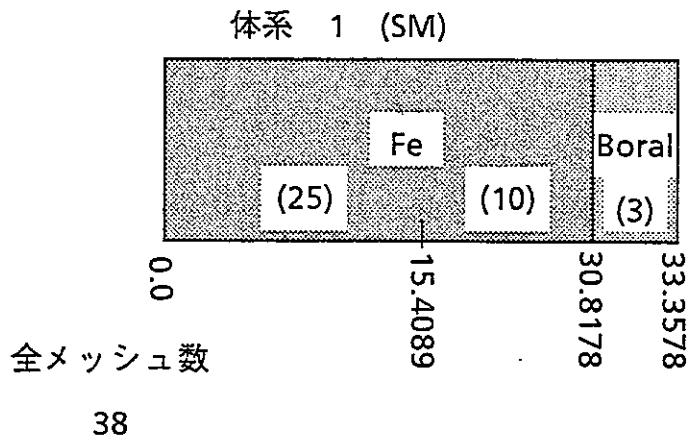
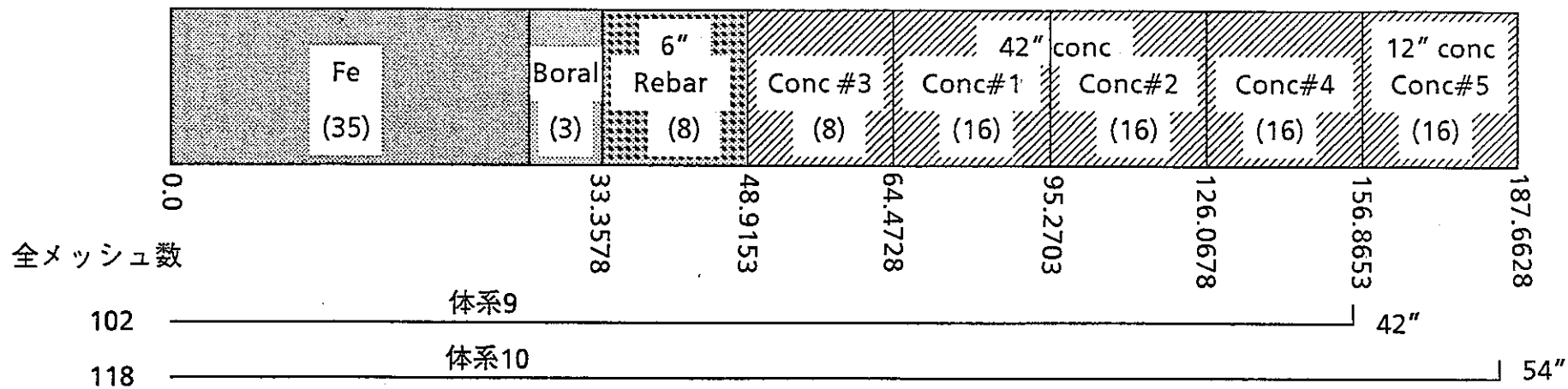


图 5.4 1次元輸送計算体系(1)

体系 9~10



体系 11

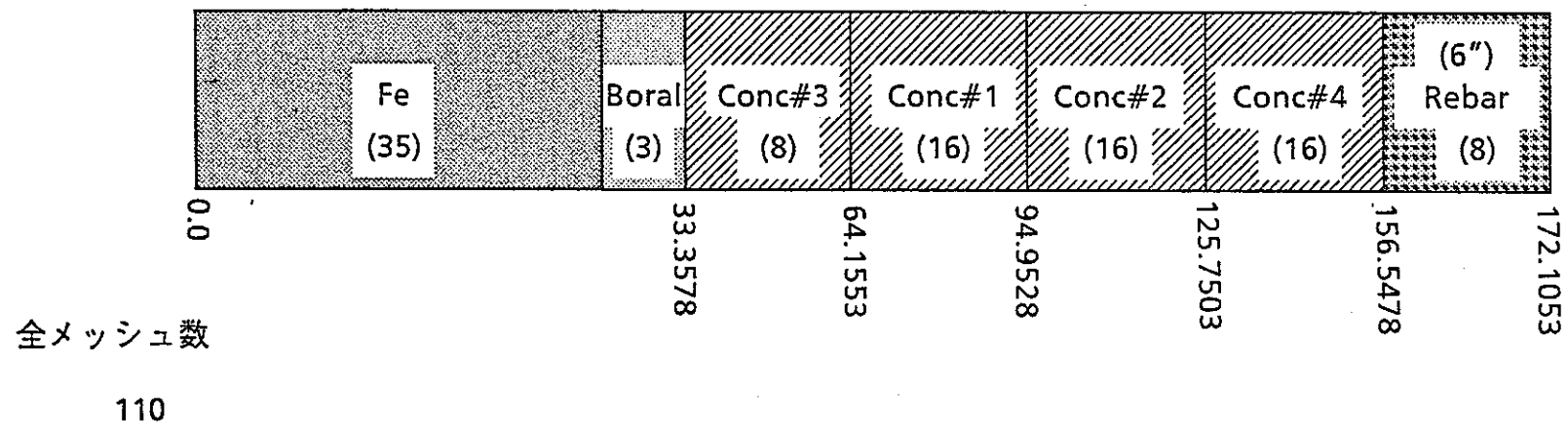
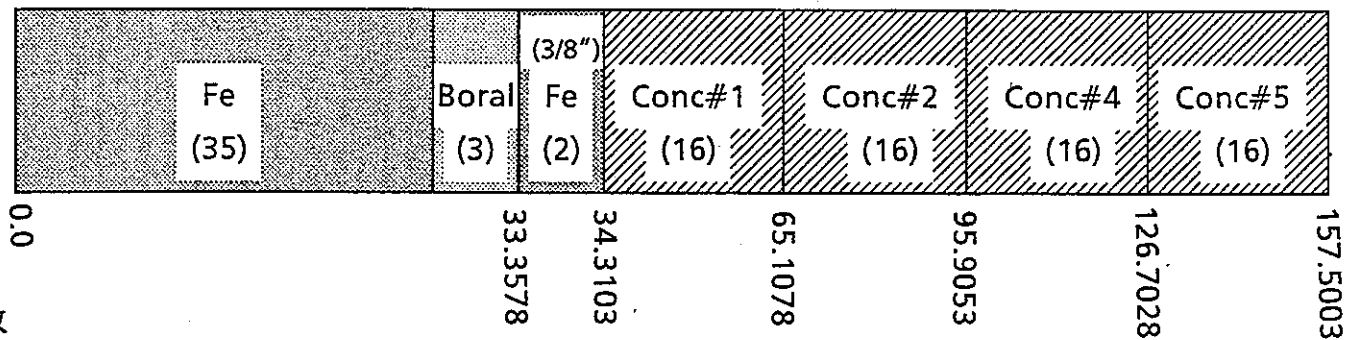


图 5.4 1次元輸送計算体系(2)

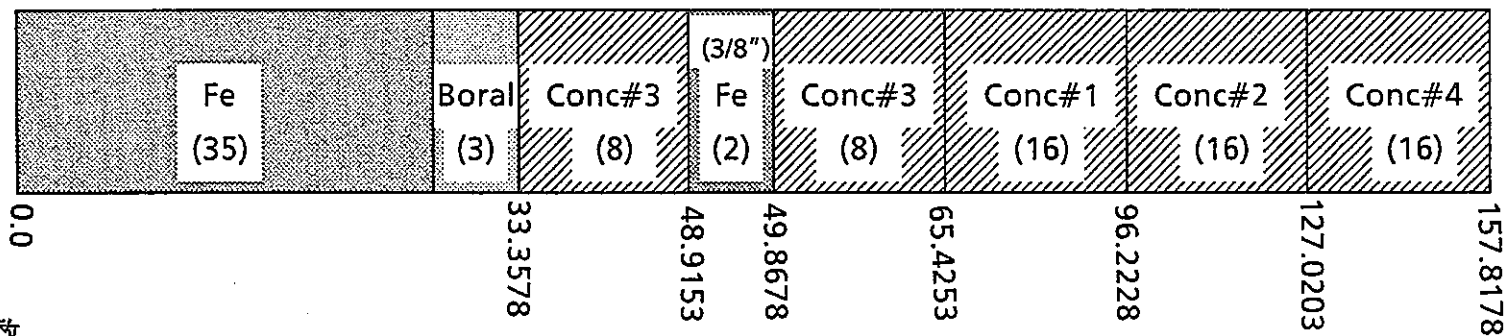
体系 12



全メッシュ数

104

体系 13



全メッシュ数

104

図 5.4 1次元輸送計算体系(3)

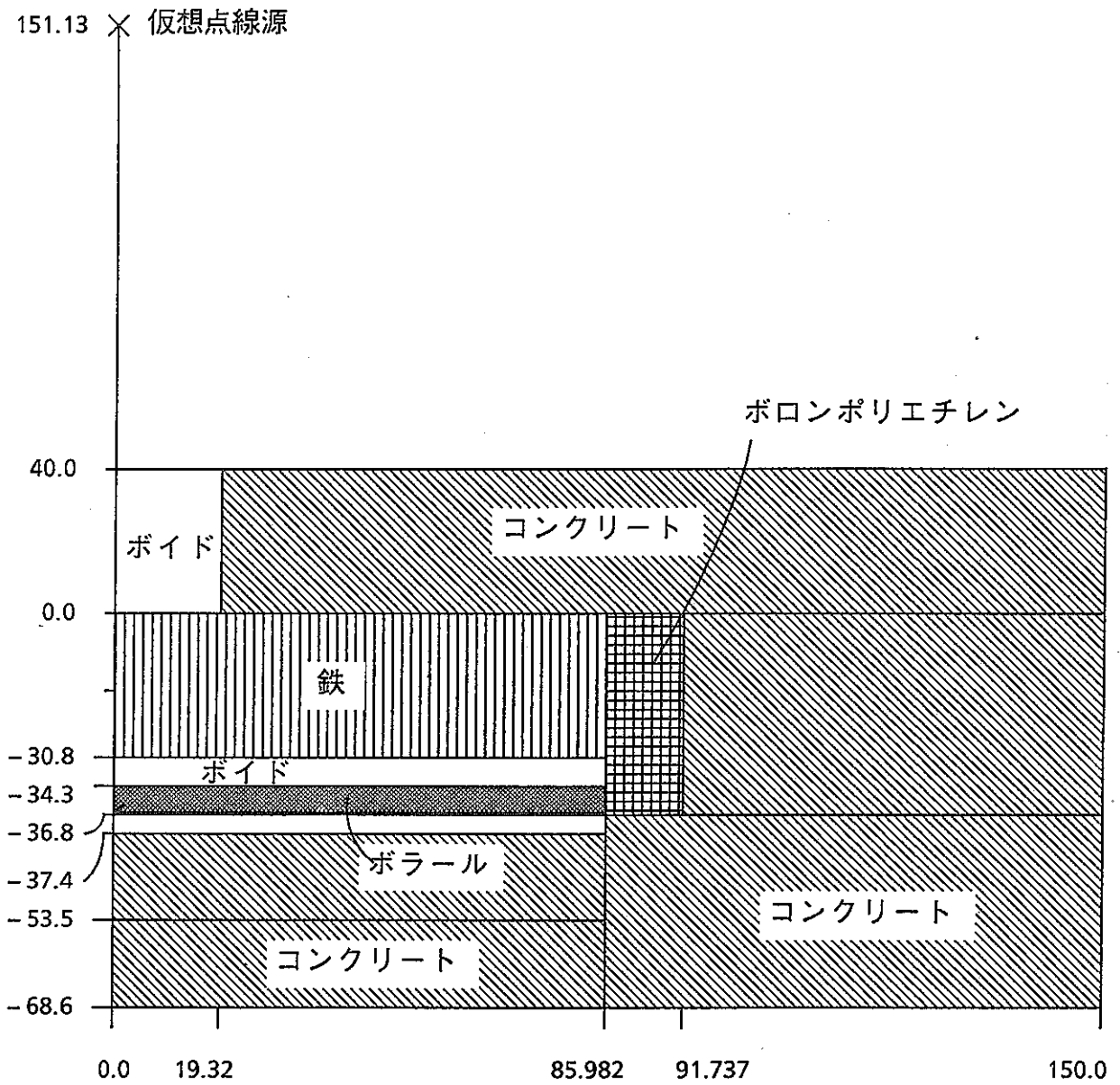


図 5.5 2次元輸送計算体系の例
(体系3)

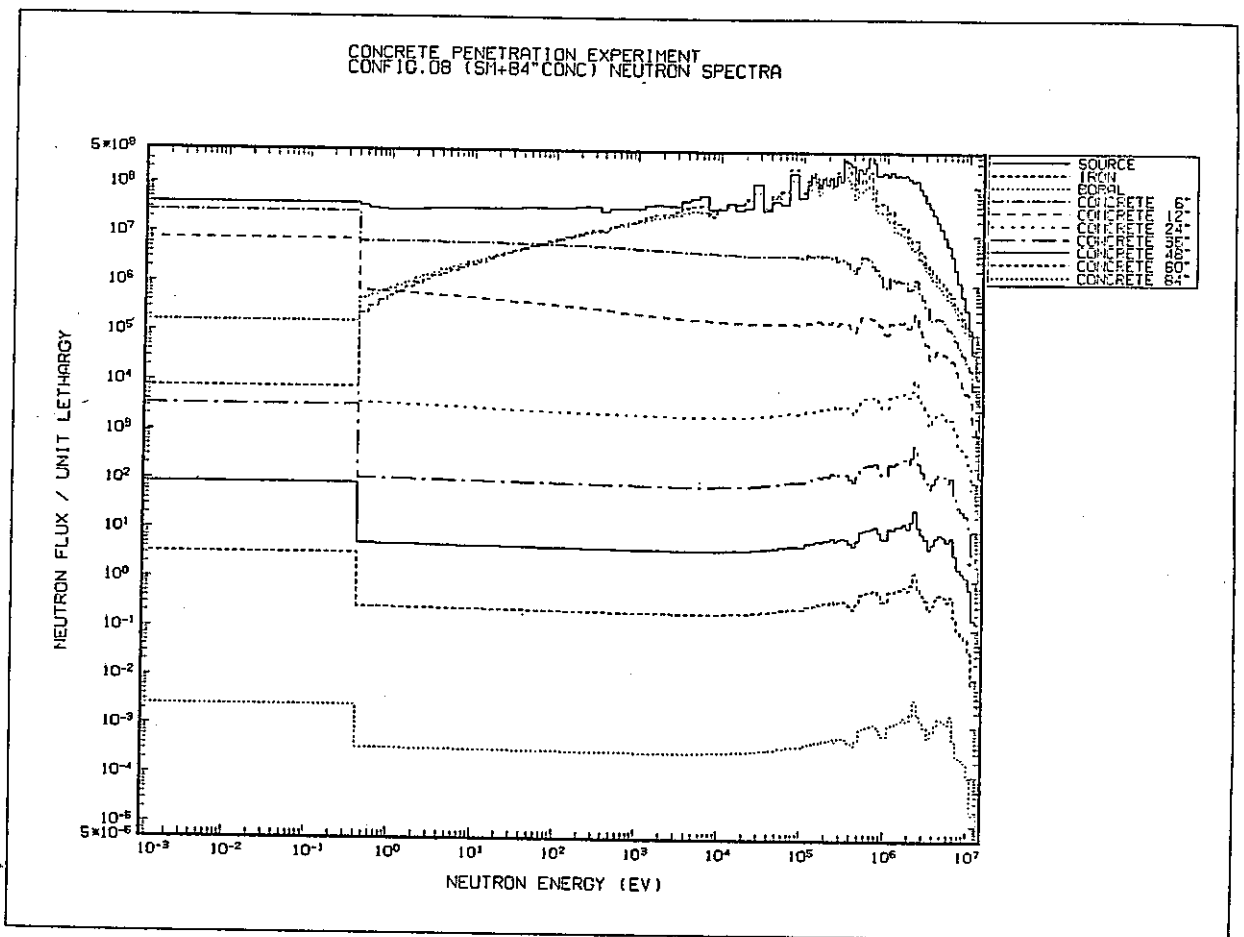


図 5.6 1次元計算による体系内中性子スペクトル

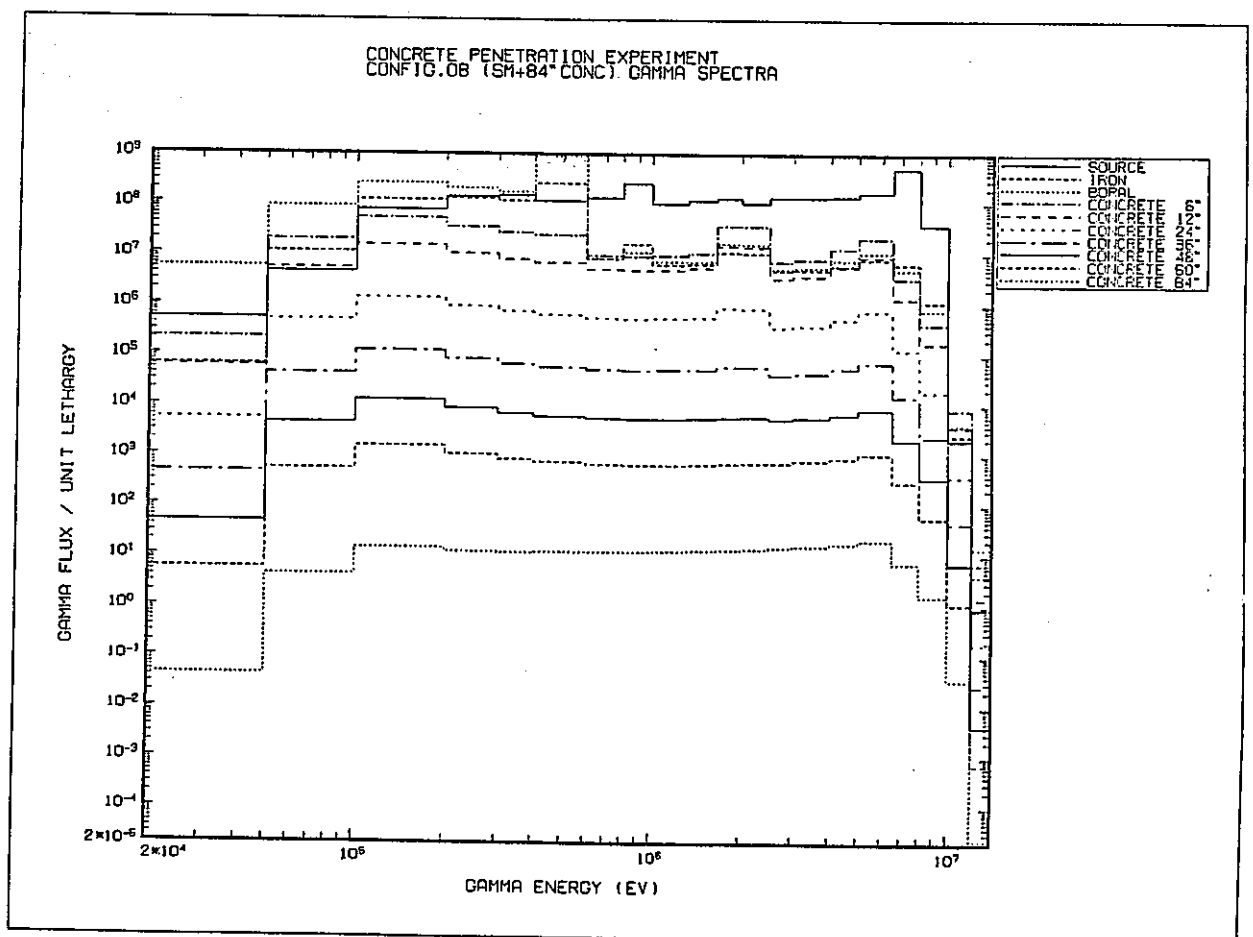


図 5.7 1次元計算による体系内ガンマ線スペクトル

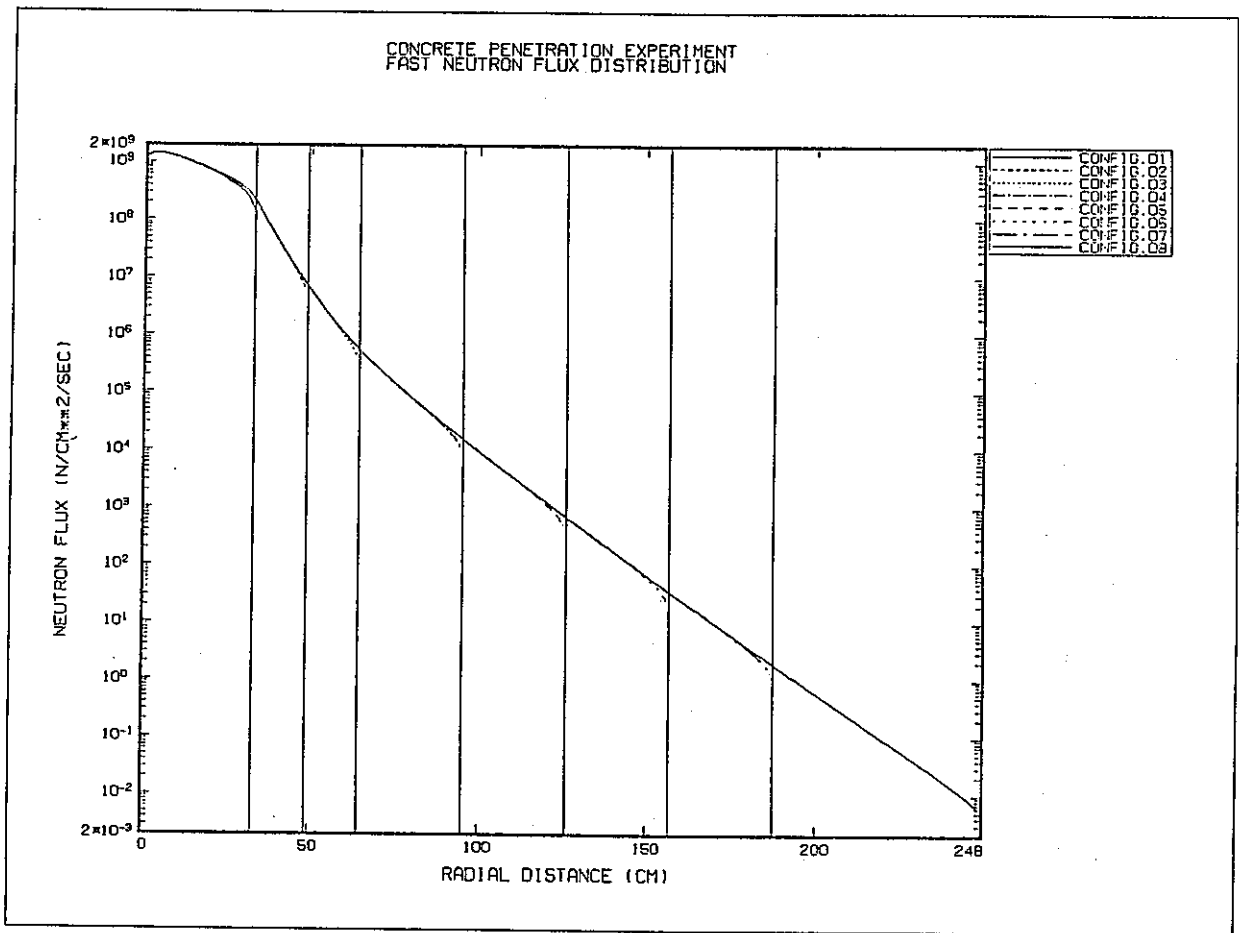


図 5.8 1次元計算による体系内高速中性子束分布

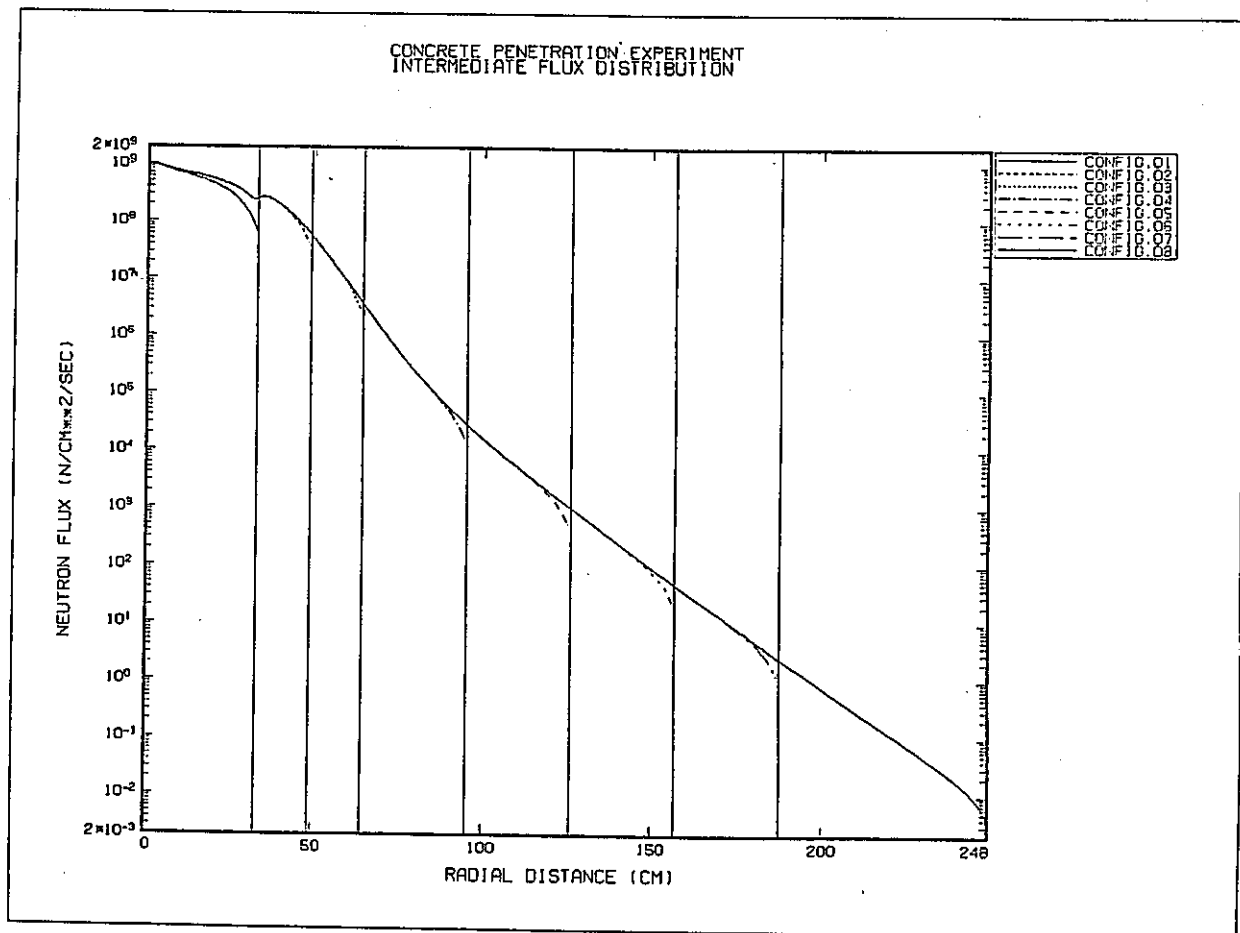


図 5.9 1次元計算による体系内中速中性子束分布

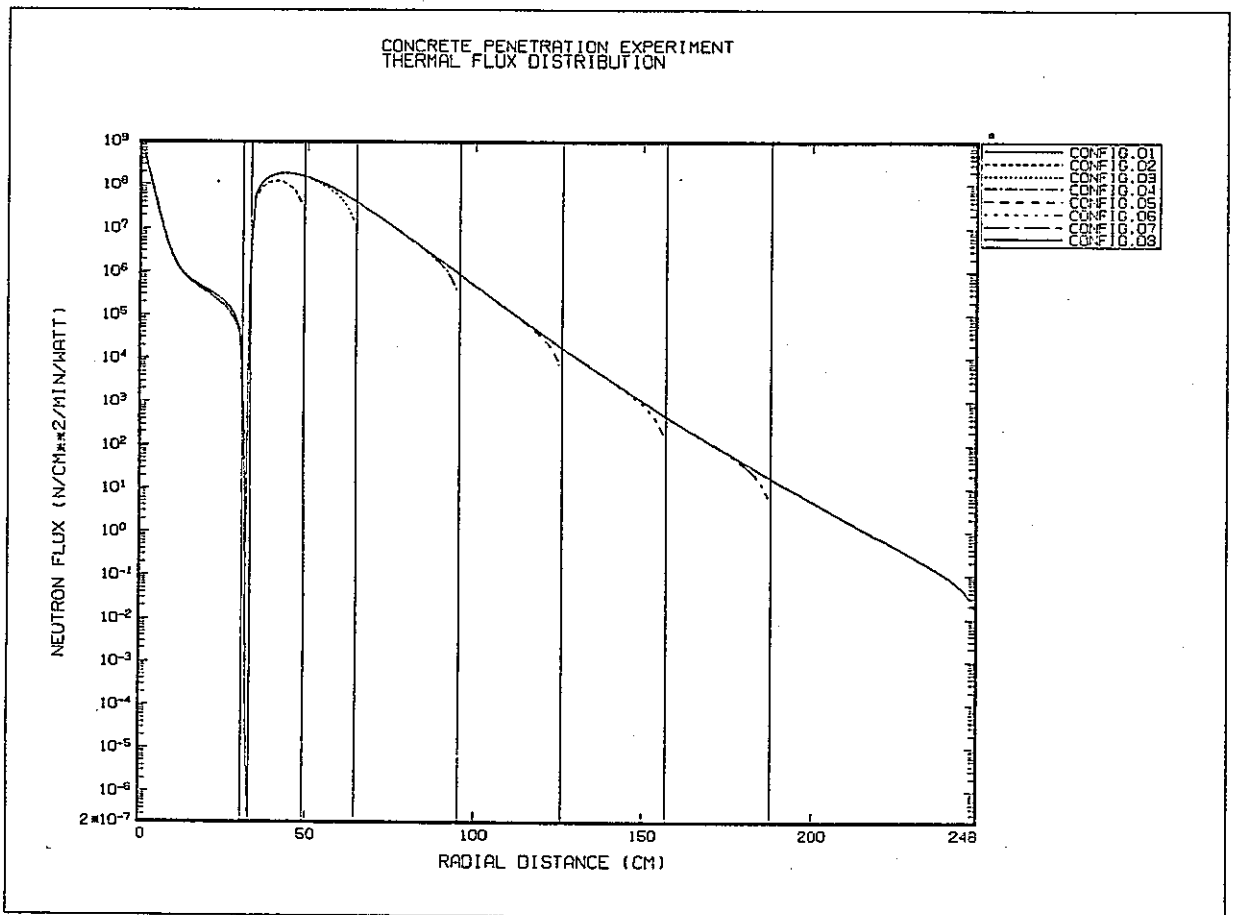


図 5.10 1次元計算による体系内熱中性子束分布

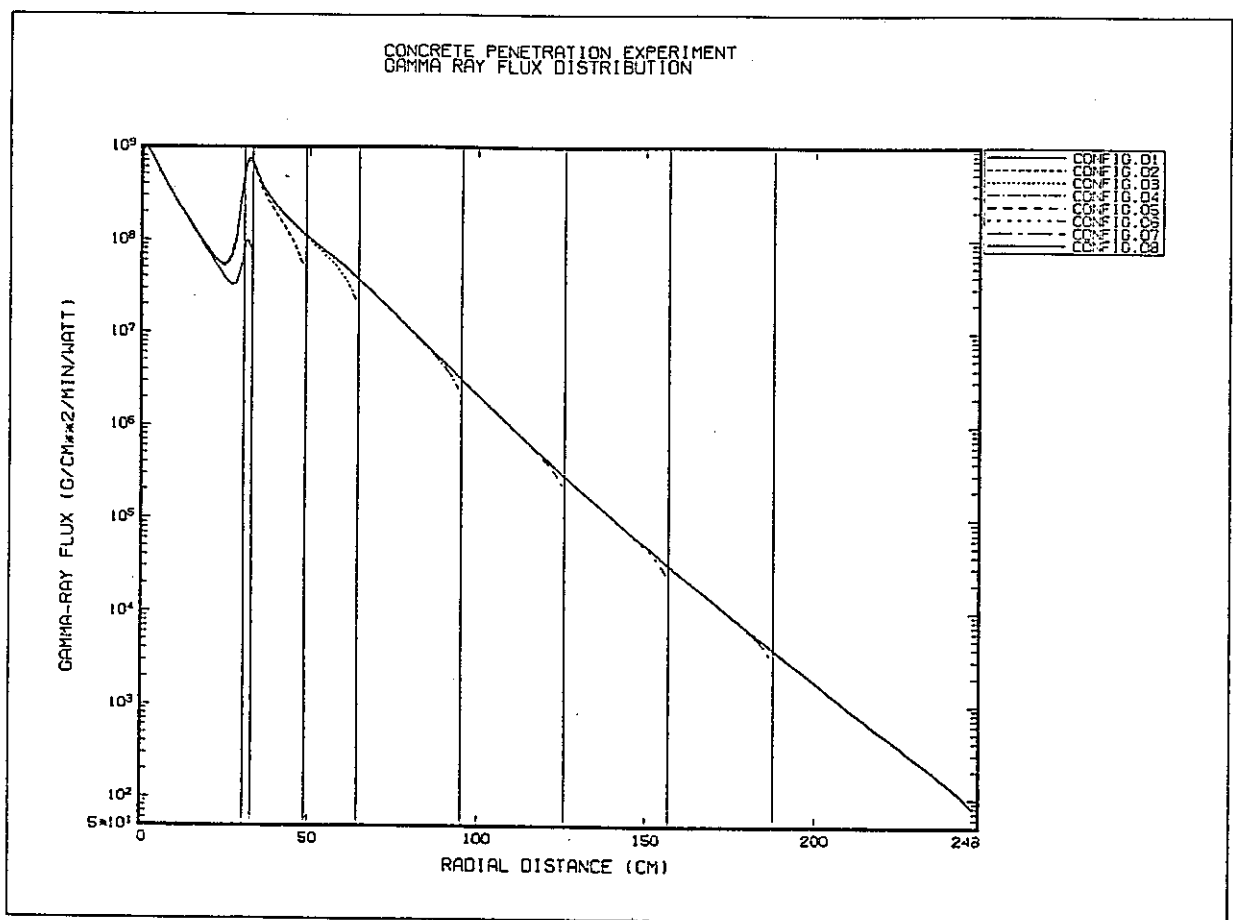


図 5.11 1次元計算による体系内ガンマ線束分布

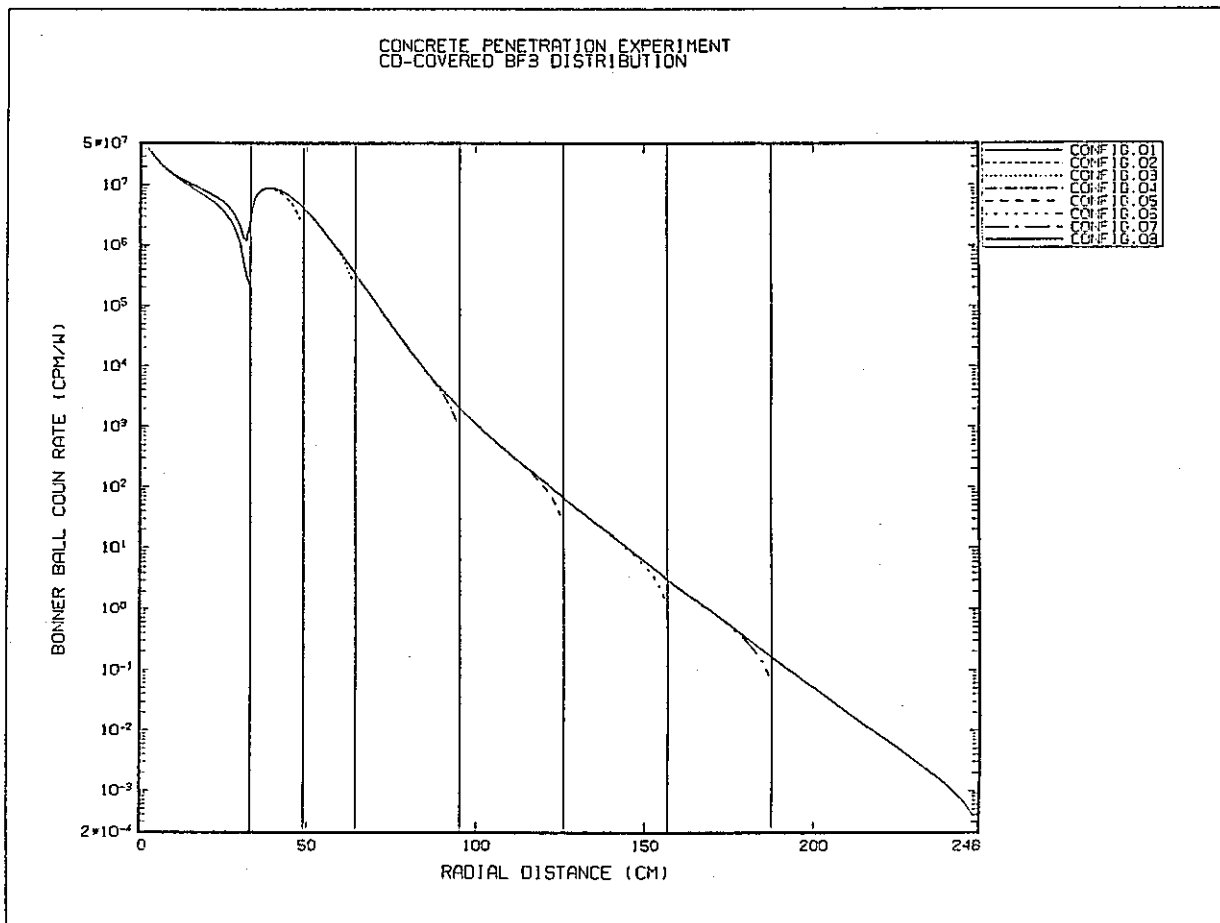


図 5.12 1次元計算による体系内カドミカバーBF₃計数率

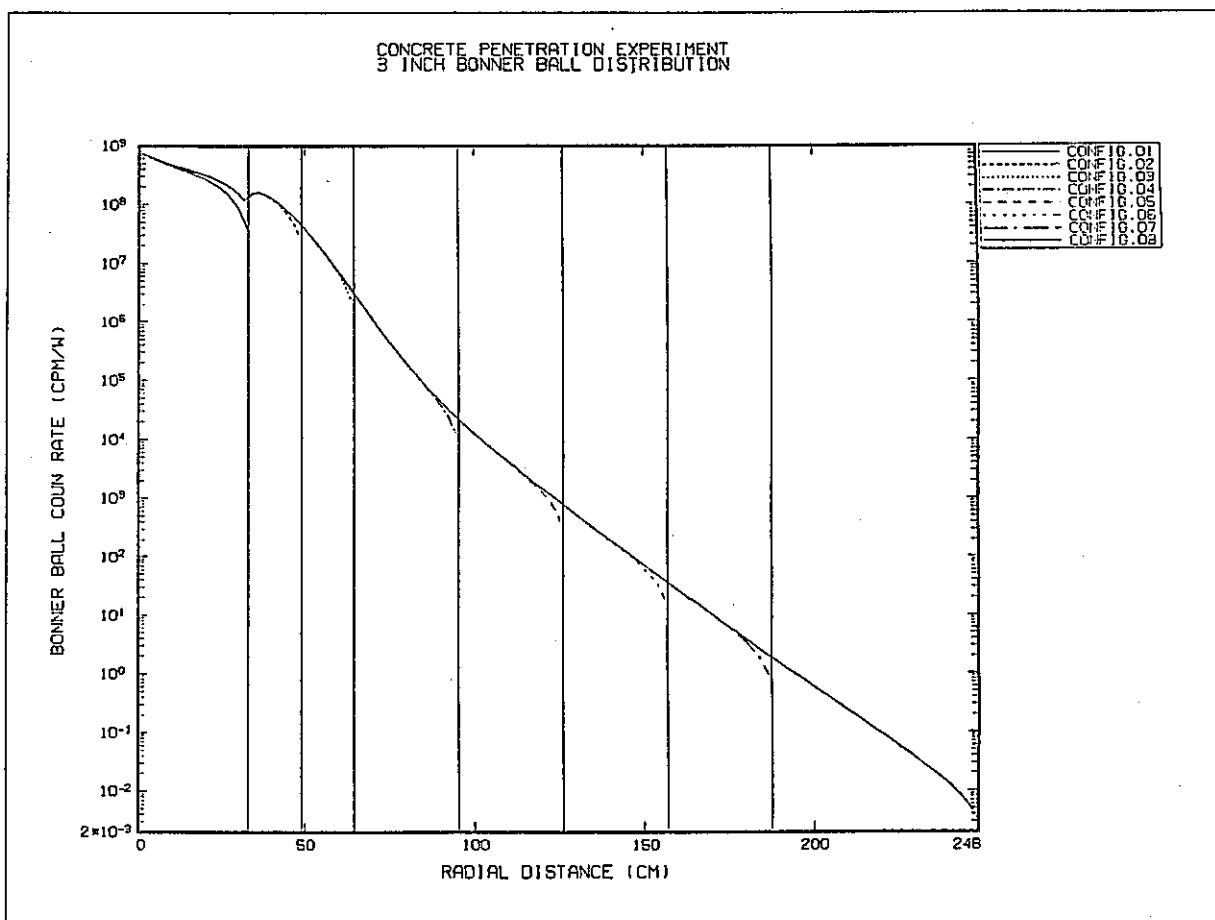


図 5.13 1次元計算による体系内3インチボナーボール計数率

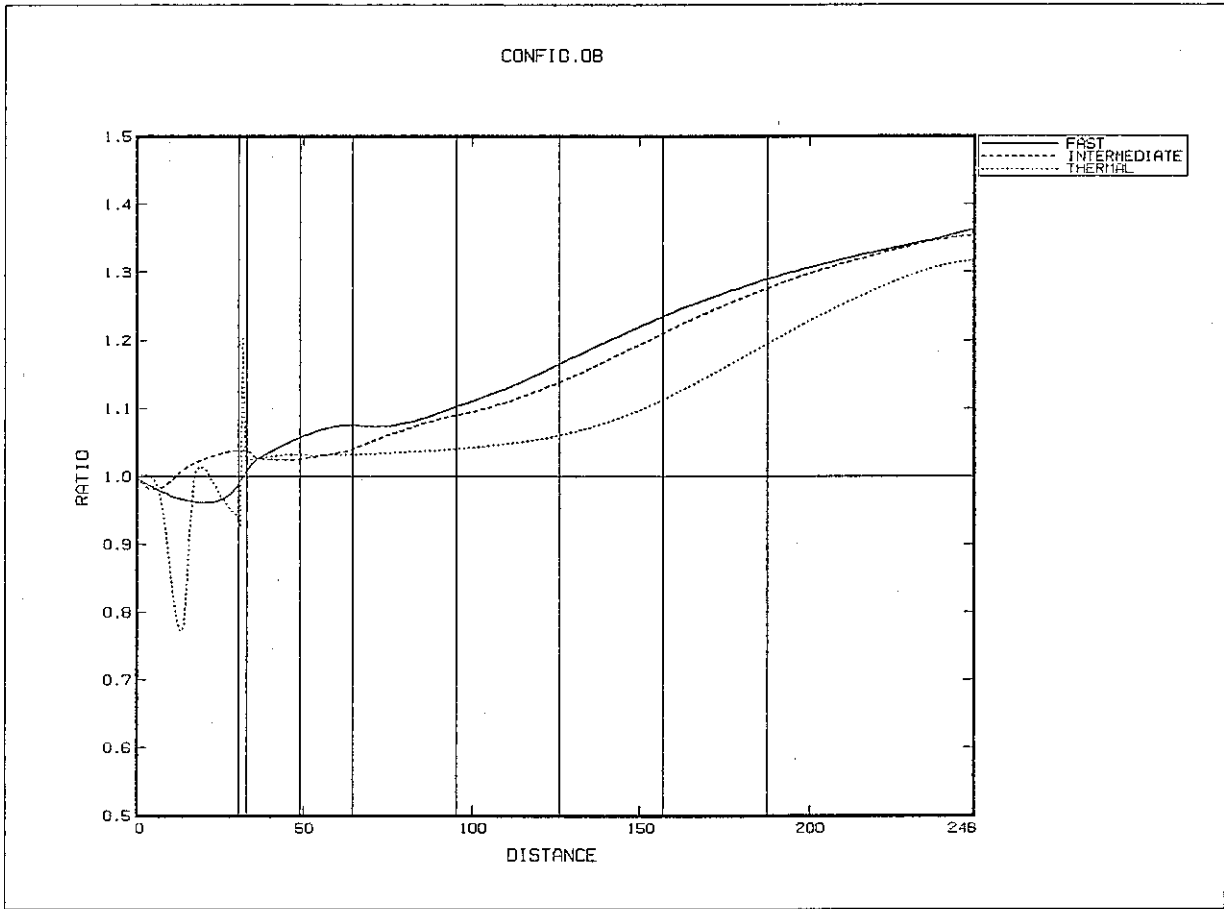


図 5.16 群縮的效果—中性子束の比

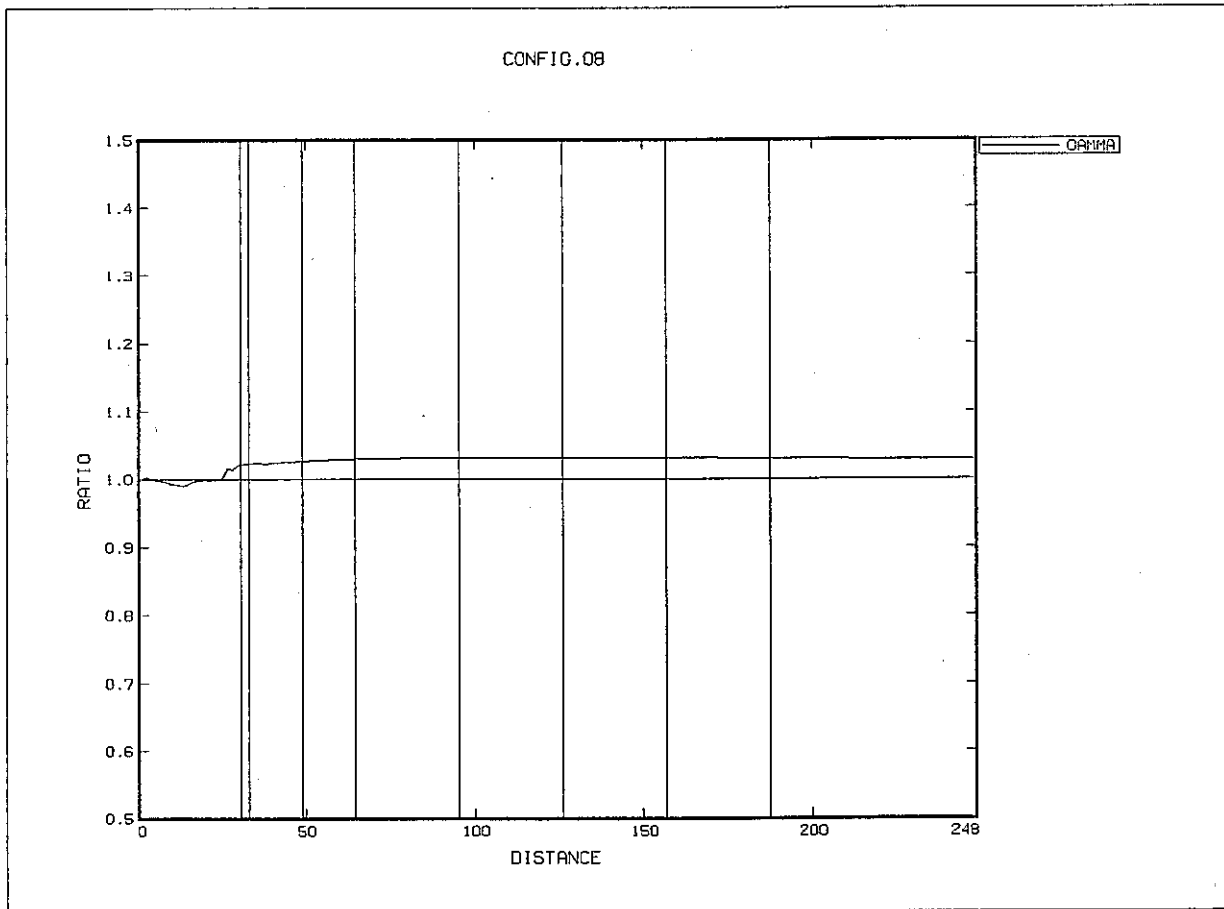


図 5.17 群縮的效果—ガンマ線束の比

CONFIG.08

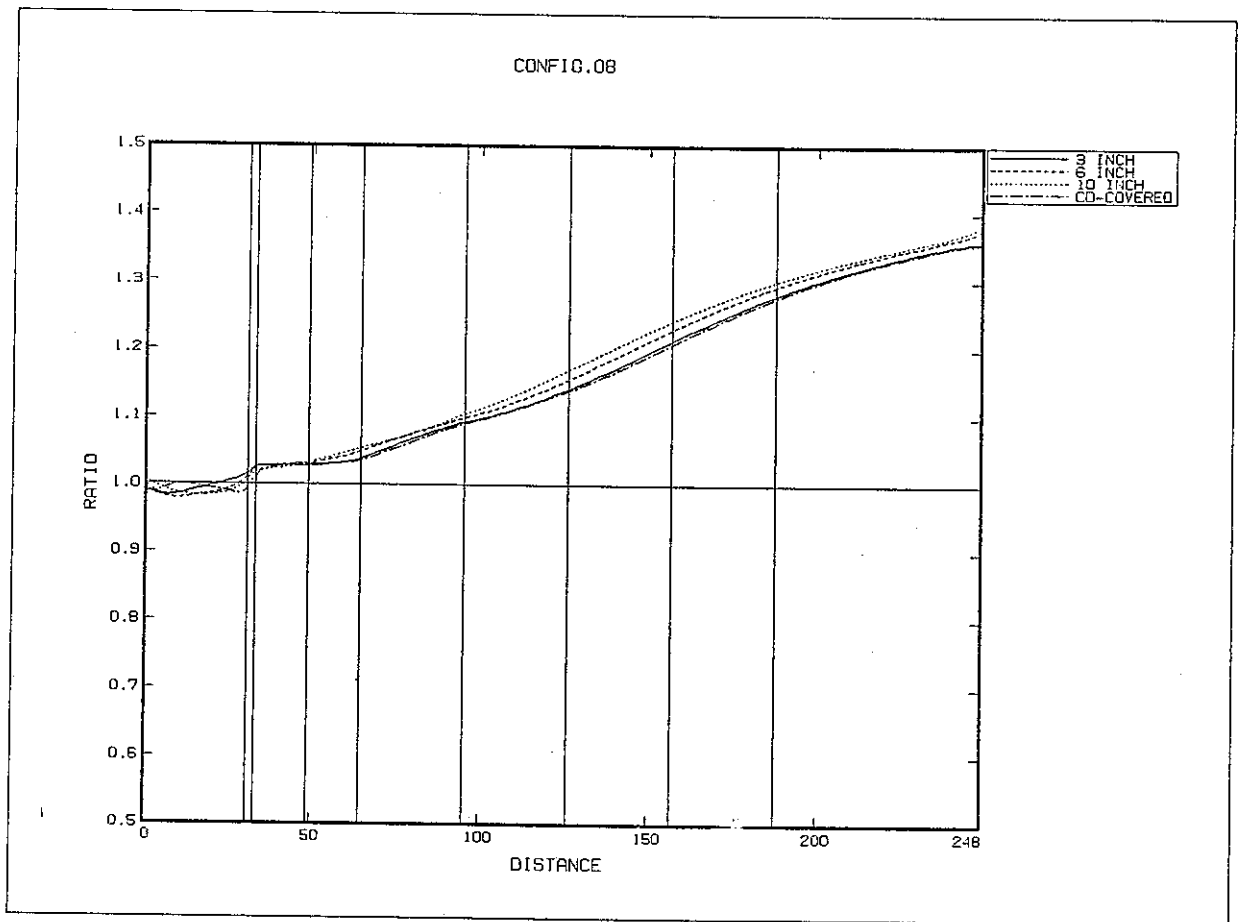


図 5.18 群縮的效果—ボナーボール計数率の比

CONFIG.03

X-INPUT PITCH = 1 X-MATRIX SIZE = 150
Y-INPUT PITCH = 1 Y-MATRIX SIZE = 77

6.00 INCH

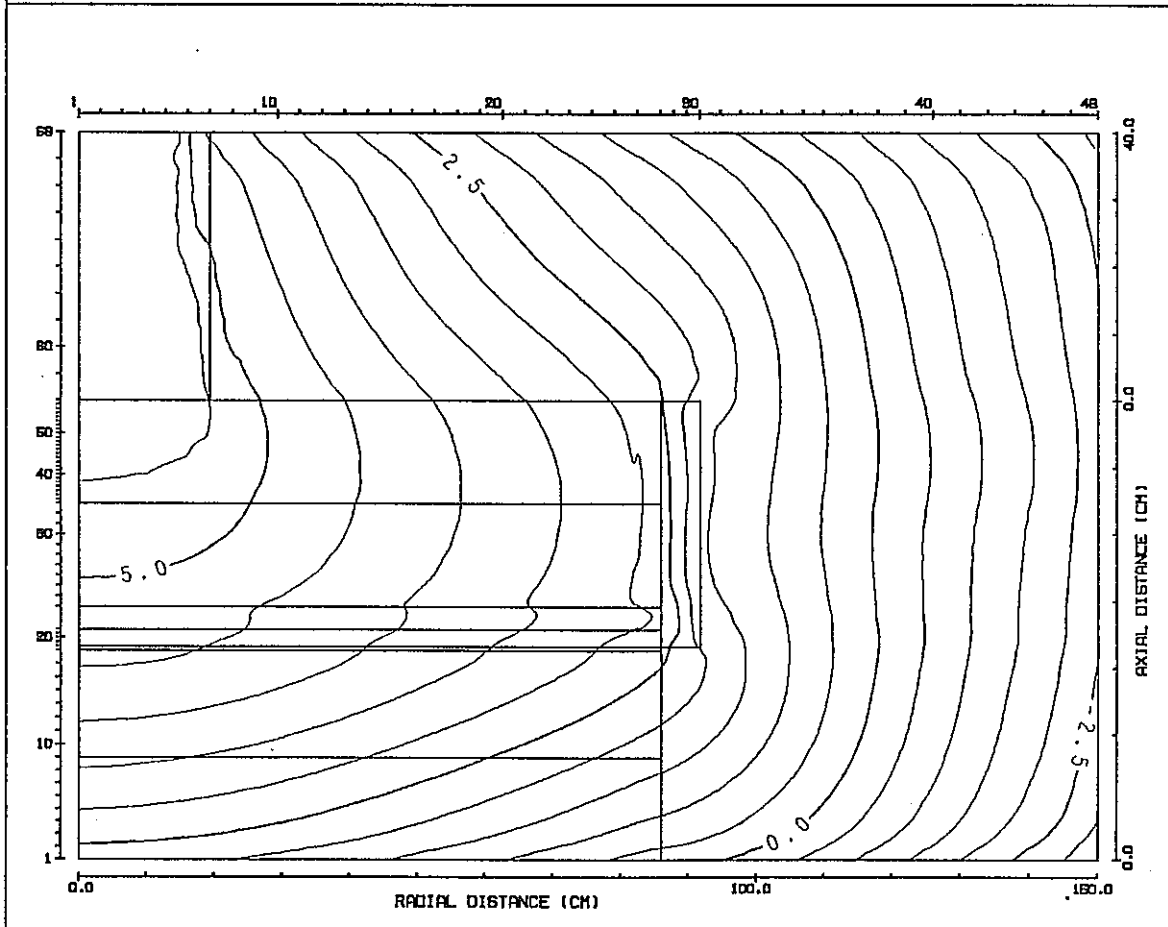
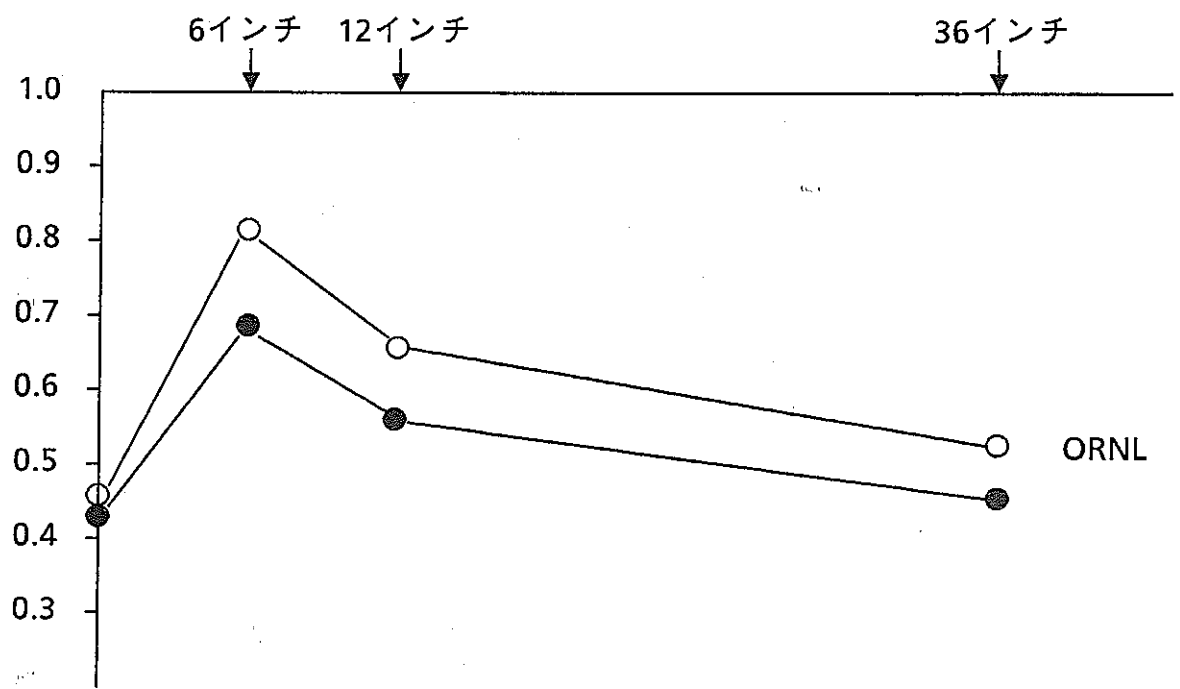
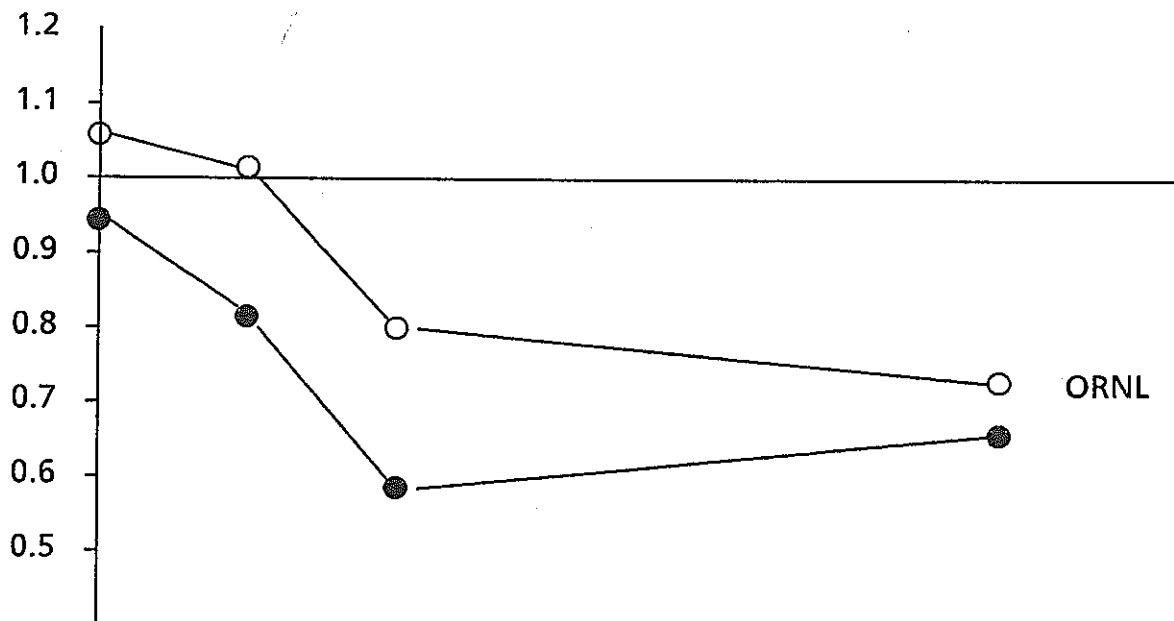


図 5.19 2次元計算による体系5内6インチボナーボール計数率の分布

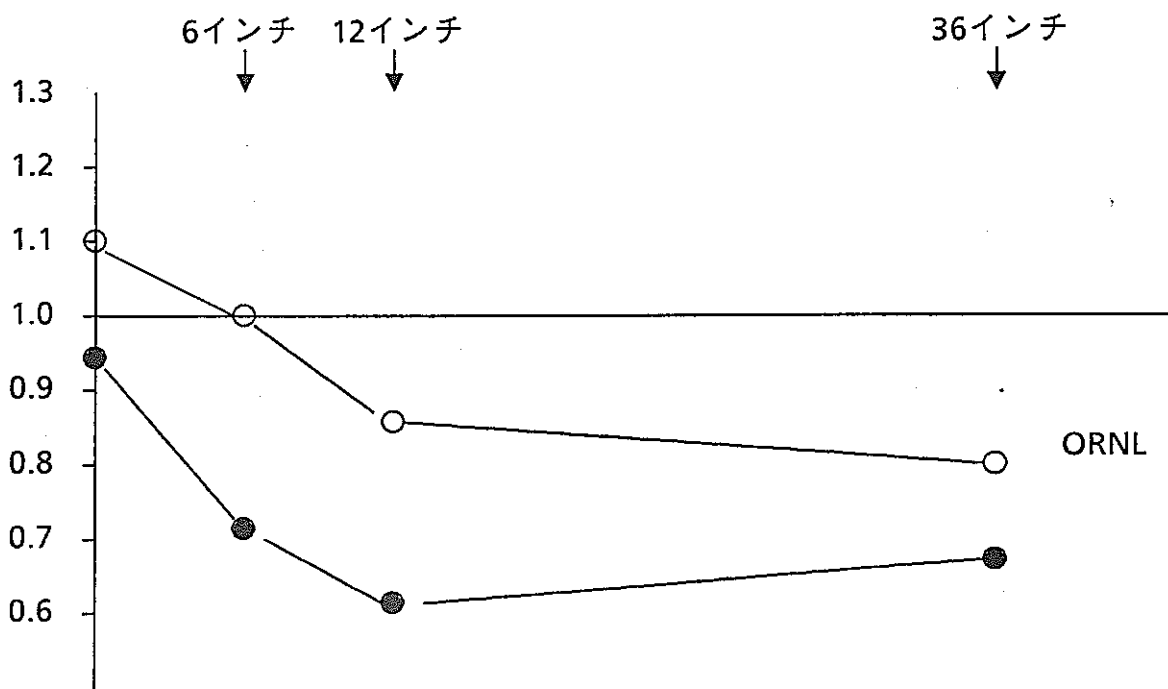


(1) カドミカバー付 BF₃ 計数率 C/E

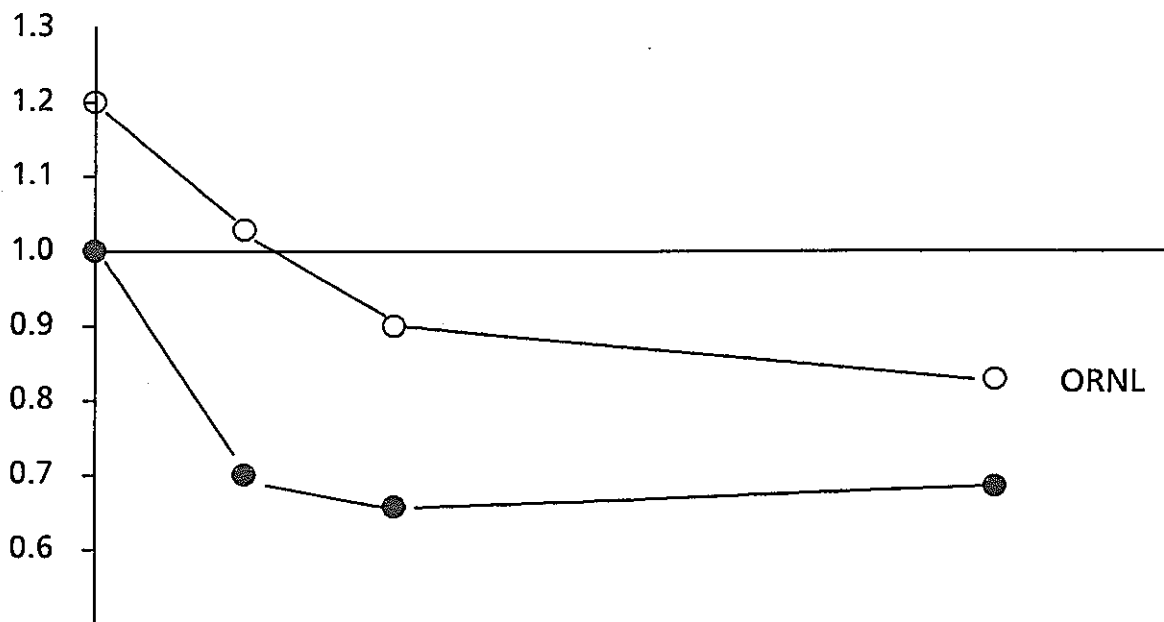


(2) 3" ボナーボール計数率 C/E

図 5.20. 2次元計算によるボナーボール計数率の C/E 値の傾向 (1)



(3) 6" ボナーボール計数率 C/E



(4) 10" ボナーボール計数率 C/E

図 5.20 2次元計算によるボナーボール計数率のC/E値の傾向(2)

6. 初回核分裂実験

T S FにおいてCRBRの設計を支援するために、径方向遮蔽を模擬して行なわれた実験から、貯蔵燃料位置における核分裂反応を測定する「初回核分裂実験」について、62年度に解析を実施したが、実測値と比較して過小評価の傾向となった。このため、エネルギー群構造による影響について検討した。

6.1 実験の概要

実験体系の形状は、CRBRの炉心部から貯蔵燃料部での平板領域を模擬した体系であり、T S Fの15インチ径のコリメータから漏洩する中性子を線源として、図6.1-1に示すような供試体構成の実験となっている。ブランケット部の手前までの領域がスペクトルモディファイアとなっており、次の領域が劣化ウランを用いたブランケット模擬体である。次に径方向遮蔽体を模擬する5インチのステンレス鋼領域、及び炉心支持体を模擬する5インチのインコネル領域、さらに、径方向遮蔽体及び炉心槽を模擬する鉄、ステンレス鋼の領域、そしてナトリウムの領域と続いている。測定には、BF₃検出器、水素検出器等が用いられた。

6.2 実験解析結果

62年度に実施した解析結果を、表6.2-1及び表6.2-2に示す。解析方法は、7章3次元炉内貯蔵実験に示す解析方法と同様であり、2次元輸送コードDOT3.5を用い、線源には、GRTUNCLコードにより作成したfirst Collision Sourceを用いた。

6.3 群構造に関する検討

2次元解析結果の実測値との不一致の原因を検討するために、エネルギー群構造の違いが計算値に与える影響を調べた。

6.3.1 検討方法

断面積ライブラリとして、JSD100、JSDJ2について、エネルギー群数100群と1次元計算により求めた各領域のスペクトルを重みとして縮約した21群を用いて、1次元計算による比較を行なった。計算モデルは、表6.3.1-1に示す。

6.3.2 解析結果

21群計算結果と100群計算結果の比較を、図6.3.2-1及び図6.3.2-2に示す。図からわかるように、SUS及びFeの透過により100群と21群の差が広がる傾向にある。このため体系IV後方から、体系II透過の間にその差が20%程度となり、これが、体系IV→体系IIの過小評価の原因のひとつになっていることが考えられる。

6.3.3 検討

21群と100群の計算結果の比により、補正すると表6.3.3-1に示すように、カドミカバー付きボナーボールのC/E値は、体系IIで2~3%、体系IVで約20%程度21群計算よりも大きくなり、体系IVではJSD100で0.66、JSDJ2では0.60となり、体系IIではJSD100で1.22、JSDJ2で1.12となる。また、水素カウンタに対するC/E値については、表6.3.3-2に示すように1~10%改善され、JSD100で1.14~0.70、JSDJ2で0.95~0.93となる。

(HEC 根目沢重紀)

参考文献

- (1) 動力炉・核燃料開発事業団 動力炉研究開発本部
"J A S P E R 実験解析(Ⅱ)"
PNC-SN2410 88-003 (1988年3月)
- (2) 日立製作所
"T S F 遮蔽実験解析(c)"
PNC-SJ2124 86-01 (1987年5月)
- (3) R.L.Childs, F.R.Mynatt and L.S.Abbott
"Analysis of the TSF First-Fission Stored-Fuel and Ex-Vessel
Low-Level Flux Monitor Experiments for the Clinch River Breeder
Reactor"
ORNL/TM-5057 (March 1976)
- (4) R.L.Childs, F.R.Mynatt and Lorraines S.Abbott
"Analysis of the TSF First-Fission Stored-Fuel Experiment for
the Fast Test Reactor"
ORNL/TM-4960 (March 1976)

表6.2-1 カドミカバー付BF₃カウンター応答の計算値と測定値の比較

	測定値 (cpm/MW)	ORNL		JSD100		JSDJ2	
		解析値	C/E	解析値	C/E	解析値	C/E
体系2	1.46+5	9.81+4	0.674	9.44+4	0.647	8.59+4	0.588
体系4	2.86+6	1.96+6	0.687	2.95+6	1.03	2.70+6	0.944

表6.2-2 2体系後方2inの水素カウンター応答の計算値と測定値の比較

エネルギー 群	エネルギー 上限 (MeV)	測定値 (n/cm ² ·min·w)	ORNL		JSD100		JSDJ2	
			解析値	C/E	解析値	C/E	解析値	C/E
5	1.11	7.963-3	3.194-3	0.492	5.536-3	0.695	3.069-3	0.385
6	0.743	9.762-2	8.533-2	0.874	9.408-2	0.964	5.929-2	0.607
7	0.408	2.393-1	2.605-1	0.863	2.480-1	1.036	2.080-1	0.869
8	0.273	5.137-1	4.266-1	0.830	4.449-1	0.866	3.850-1	0.749
9	0.150	7.562-1	5.845-1	0.773	5.586-1	0.739	4.533-1	0.599

表6.3.1-1 1次元計算モデル
(体系 II)

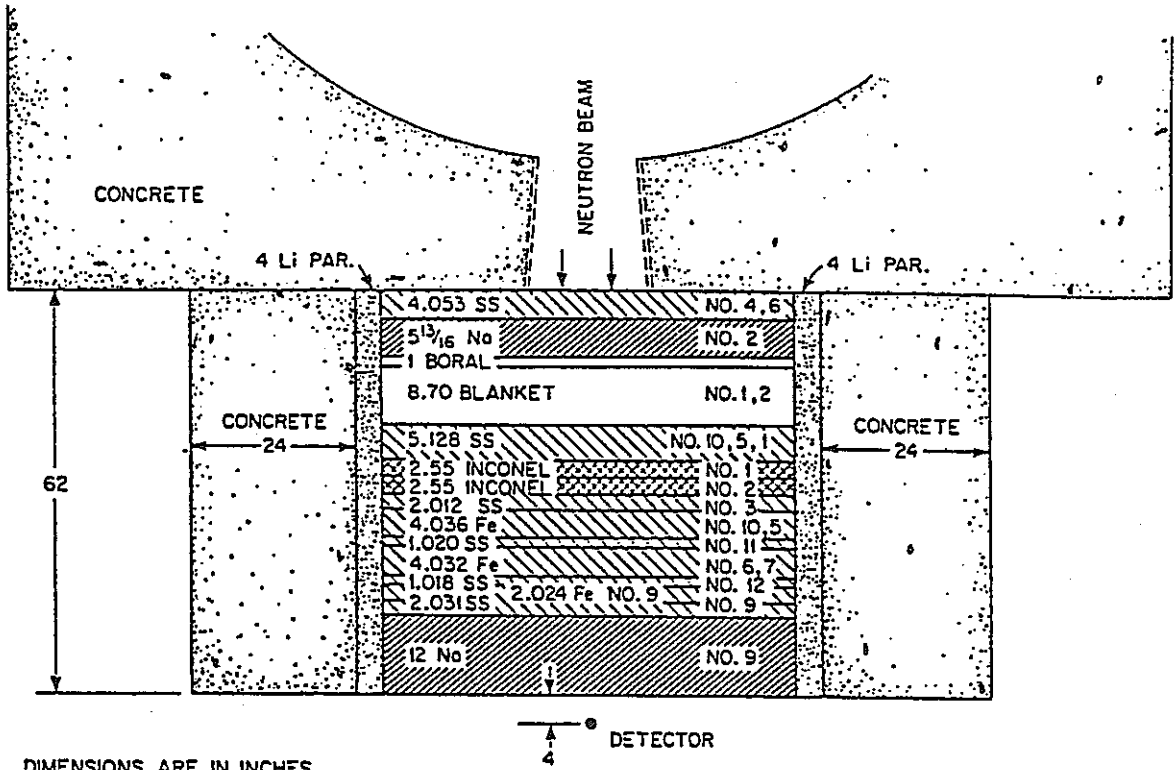
No.	領域物質	領域境界	領域幅	メッシュ数	
				領域	累計
1	空間部	138.26509	10.16	5	5
2	Al	138.90009	0.635	2	7
3	Na	169.38009	30.48	30	37
4	Al	170.01509	0.635	2	39
5	SS304	175.17383	5.15874	6	45
6	Fe	180.31479	5.14096	6	51
7	SS304	182.90051	2.58572	3	54
8	Fe	193.14179	10.24128	11	65
9	SS304	195.73259	2.5908	3	68
10	Fe	205.98403	10.25144	11	79
11	SS304	211.09451	5.11048	6	85
12	INCONEL	224.04851	12.954	13	98
13	SS304	237.07363	13.02512	13	111
14	BLANKET	259.17163	22.098	22	133
15	BORAL	261.71163	2.54	3	136
16	Al	262.34663	0.635	2	138
17	Na	277.11038	14.76375	15	153
18	Al	277.74538	0.635	2	155
19	SS304	288.04	10.29462	11	166
20	CONCRETE	310.09	22.86	24	190

表6.3.3-1 エネルギー群構造の影響により補正したカドミカバ-付き
BF₃カウンター-応答のC/E値

ライブラリ 体系	2次元解析結果のC/E (21群計算)		100群に補正後のC/E	
	JSD100	JSDJ2	JSD100	JSDJ2
体系II	0.65	0.59	0.66	0.60
体系IV	1.03	0.94	1.22	1.12

表6.3.3-2 エネルギー群構造の影響により補正した水素カウンタ
応答値のC/E

エ ネ ル ギ 群	エネルギー 上限(MeV)	2次元解析結果のC/E (21群計算)		100群に補正後のC/E	
		JSD100	JSDJ2	JSD100	JSDJ2
5	1.11	0.70	0.39	0.70	0.39
6	0.743	0.96	0.61	1.01	0.63
7	0.408	1.04	0.87	1.14	0.95
8	0.273	0.87	0.75	0.91	0.79
9	0.150	0.74	0.60	0.78	0.64



DIMENSIONS ARE IN INCHES

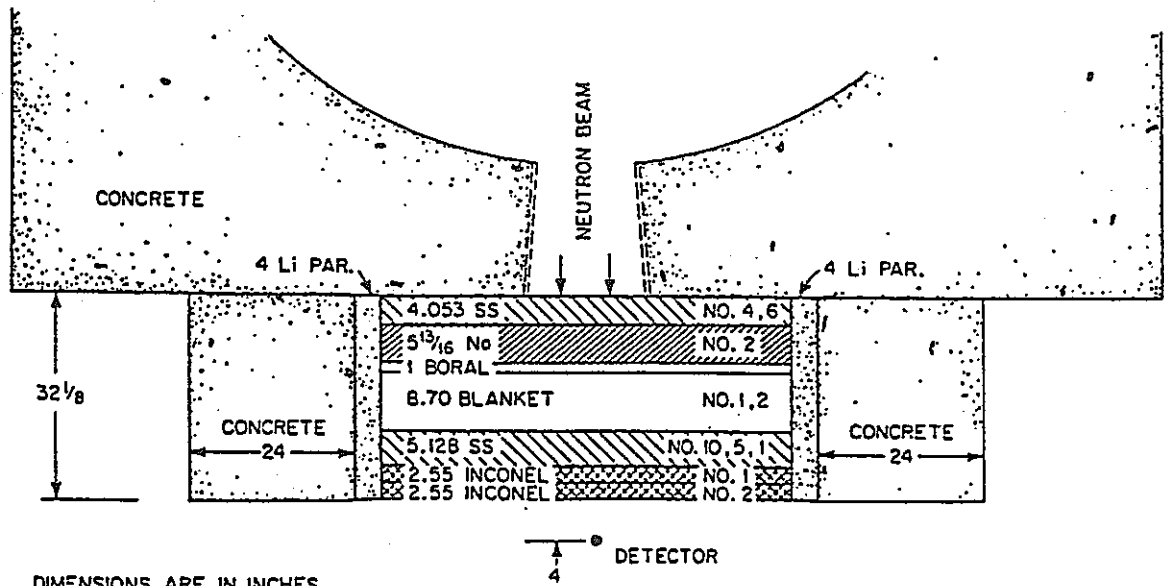
NOTE: 12 Li PAR. ON TOP OF CONFIGURATION

1/4 ALUMINUM ON EACH FACE OF No TANKS; BORAL CLAD WITH 0.02 Al

(体系 II)

図 6.1 - 1 (1/2)

CRBR 初回核分裂実験体系



DIMENSIONS ARE IN INCHES

NOTE: 12 Li PAR. ON TOP OF CONFIGURATION

1/4 ALUMINUM ON EACH FACE OF No TANKS; BORAL CLAD WITH 0.02 Al

(体系 IV)

図 6.1 - 1 (2/2)

CRBR 初回核分裂実験体系

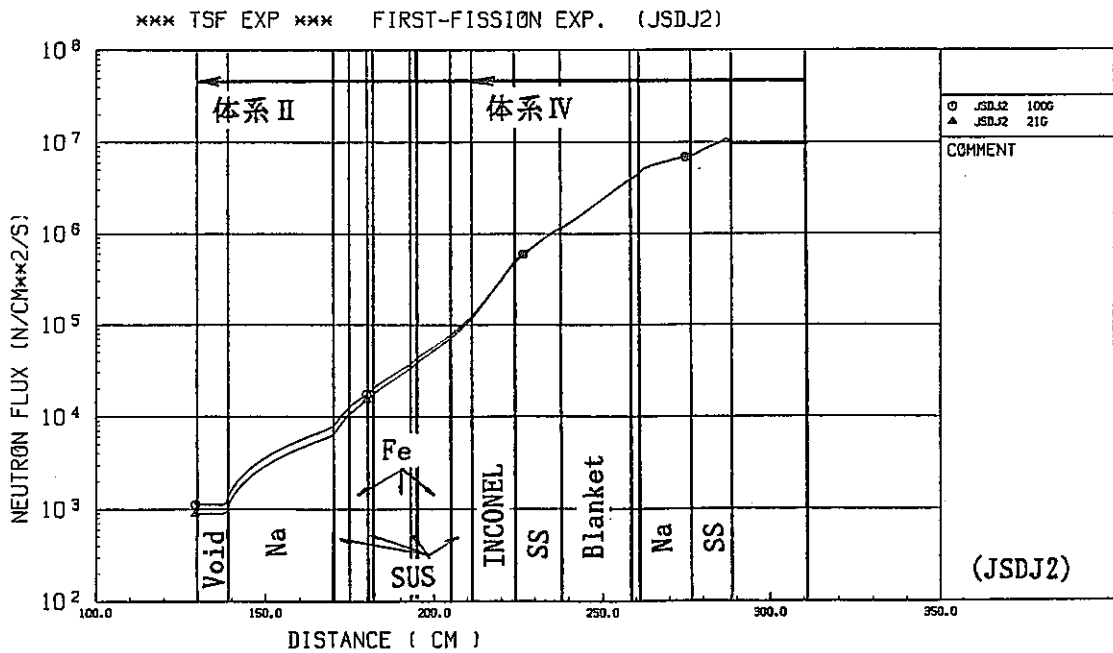
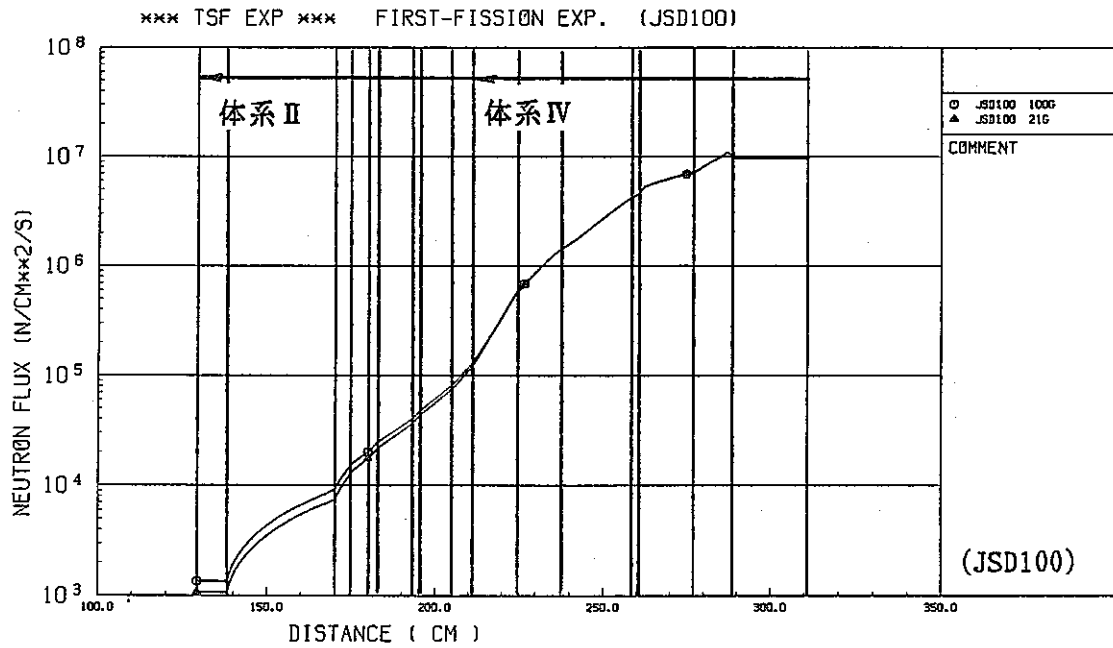


図6.3.2-1 エネルギー群構造の違いによる全中性子束減衰分布の比較

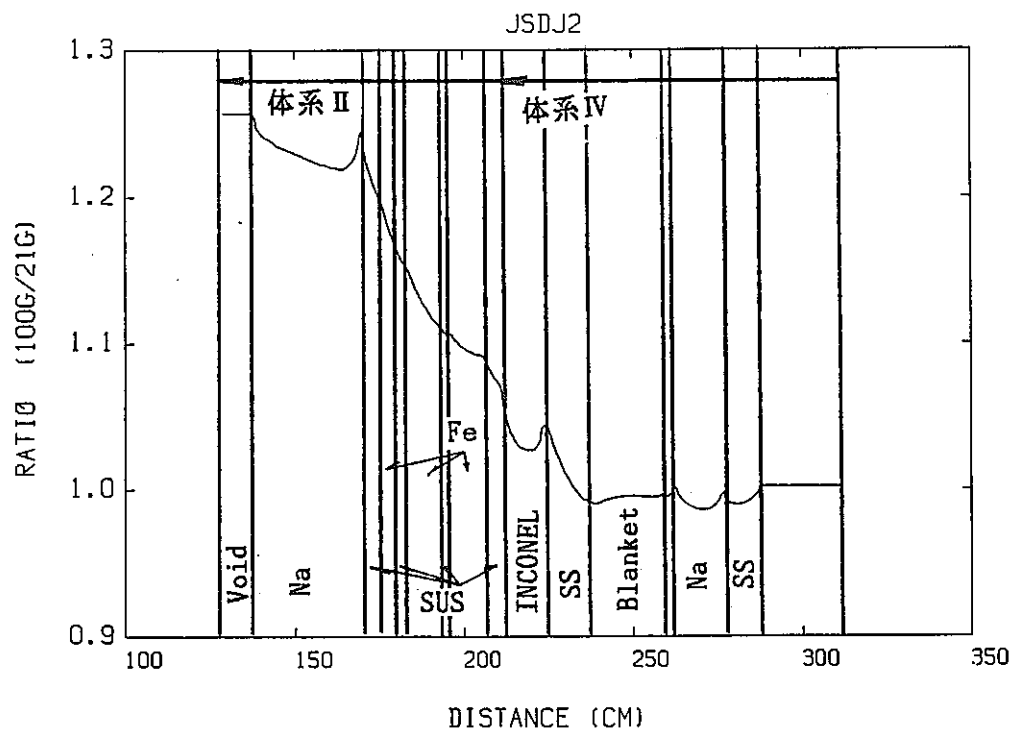
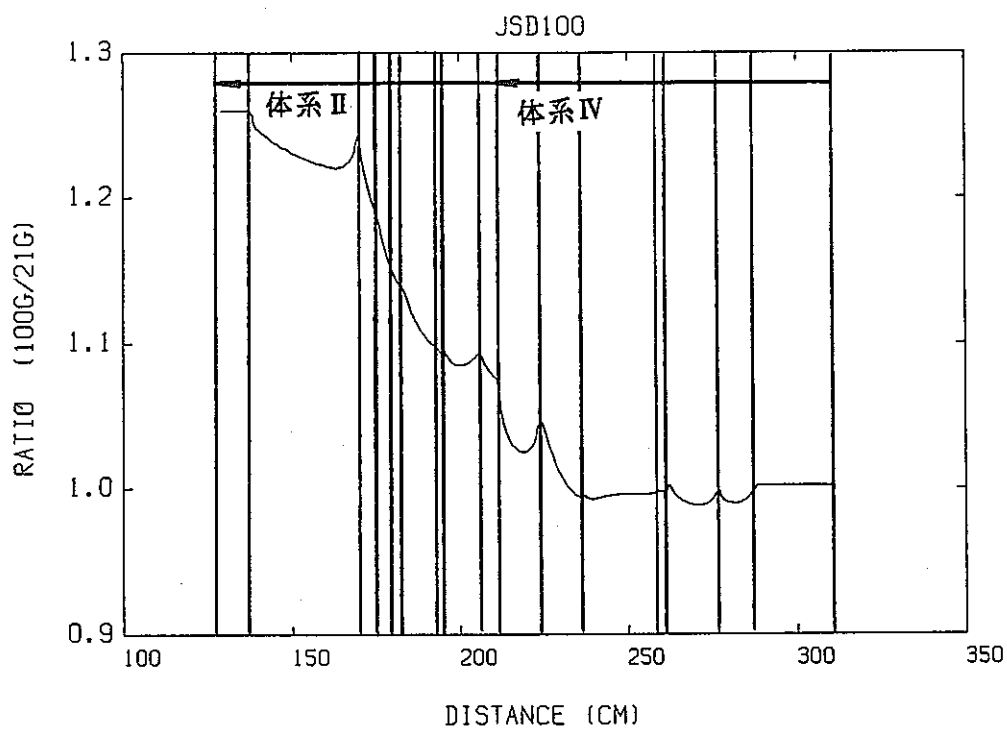


図 6.3.2-2 エネルギー群構造の違いによる全中性子束の比較

7. 3次元炉内貯蔵実験

T S Fにおいて、径方向遮蔽を模擬して行なわれた体系の実験の中から貯蔵燃料を模擬した三次元の「炉内貯蔵燃料実験」について62年度に解析を実施したが、その結果は全体的に過小評価の傾向となった。この原因として考えられるエネルギー群構造による影響の検討及び設計反映の観点より、貯蔵燃料から発生する線源の解析精度についての検討を行なった。

7.1 実験の概要

実験体系の形状は、CRBRの炉心部から貯蔵燃料部の外側までを模擬した体系であり、T S Fの15インチ径のコリメータから漏洩する中性子を線源として、図7.1-1に示すような供試体構成の実験となっている。貯蔵燃料領域には、ナトリウムを模擬したアルミニウムの平板の中に濃縮ウランの円筒シェルを埋め込んだものを用いている。また貯蔵燃料領域の供試体に燃料を含まず、ダミー燃料としてアルミニウムを使用した実験についても行なわれている。

測定は体系後方において、ポナーボール（3インチφ、6インチφ、10インチφ、カドミカバー付、裸）、水素カウンター、NE-213カウンターが用いられている。

7.2 実験解析結果

62年度に実施した実験解析は、断面積ライブラリとしてJSD100、JSDJ2両ライブラリを使用して、1次元計算により求めた領域毎のスペクトルを重みとして縮約した中性子21群定数による輸送計算をDOT3.5コードを用いて行なった。線源としては、図7.2-1に示すような仮想的な点線源を用いてGRTUNCLコードにより作成したfirst Collision Sourceを用いた。尚、本解析では、実験体系外側から検出器までの空気層の領域も計算モデルに含めている。また、貯蔵燃料からの発生線源については、DOTコードのOuter Iterationを用いて計算した。計算の結果、ポナーボールカウンターの実測値との比較では表7.2-1及び表7.2-2に示すようになり、貯蔵燃料を含めた体系の応答値と貯蔵燃料をアルミニウムで代用した体系での応答値の比較値を実測値と計算値で比較した場合の一致はよかったものの直接実測値と計算値を比較した場合、体系Iを除く全体系で過小評価の結果となった。また高エネルギーの測定をするNE-213カウンターでは、表7.2-3に示すようにC/E値はJSD100で1.13～0.31、JSDJ2で0.80～0.24となり、計算値の過小評価がみられた。

7.3 群構造に関する検討

2次元解析結果が実測値に対し過小評価する原因を検討するために、エネルギー群構造の違いが計算値に与える影響を調べた。

7.3.1 検討方法

断面積ライブラリとしてはJSD100, JSDJ2を用いた100群及び21群構造と、さらに多群構造とした検討を行なうためVITAMIN-Cライブラリを用いた171群, 100群及び21群構造の群定数を作成し、これらのライブラリを使用した1次元計算結果の比較からエネルギー群構造の違いが計算値に与える影響を検討した。

エネルギー群の縮約に関しては、VITAMIN-C171群ライブラリについてはMALOCSコードを用いて100群に縮約した。また、100群から21群構造への縮約は、いずれのライブラリとも1次元計算により得られる各領域毎のスペクトルを重みとして縮約した。エネルギー群構造については表7.3.1-1に示す。

1次元計算は貯蔵燃料を含まない最長体系である「体系Ⅷ」（図7.1-1参照）について実施した。計算モデルは表7.3.1-2に示すものに平行ビームShell Sourceとした線源を用いた。

7.3.2 解析結果

1次元の21群計算結果と100群, 171群計算結果による体系毎のボナーポール計数率の比較を表7.3.2-1及び図7.3.2-1に示す。また、群構造の違いによる全中性子束の比較値の分布を図7.3.2-2に示す。

図7.3.2-2の全中性子束の比較からわかるように21群に縮約した断面積を用いた計算結果は、100群の計算結果と比較すると、体系の後方にあるナトリウムを除いては、ほぼ透過と伴に過小評価が広がる傾向があり、ナトリウム透過では差が小さくなりその後再び大きくなる傾向となる。

体系毎にみると、100群と比較した21群が過小評価となる傾向が現われはじめるのは、インコネル, ステンレス鋼を透過した体系Ⅱであり、図7.3.2-2に示す①→②でわかるように、体系Ⅰのブランケット後方（減衰率約 1×10^{-2} ）で約2%程度の違いであるものが、体系Ⅱ直後（ブランケット後方からの減衰率約 1×10^{-2} ）で約20%の違いが現われている。これらの減衰でのスペクトルの変化から、100群と21群の違いを図7.3.2-3（1/3）よりみると、どのエネルギーにおいても、ほぼ同様に差がみられることがわかる。

体系Ⅱからさらに13インチのアルミニウム透過した体系Ⅳの場合(図7.3.2-2に示す②→③,減衰率 6×10^{-1})には、100群と21群の差はJSD100で約40%, JSDJ2で約30%と広がるが、このアルミニウム透過における減衰によるスペクトルの変化は図7.3.2-3(2/3)からみると、高エネルギー領域での違いであるために、このエネルギーの減衰傾向の違いに原因があり、エネルギー構造の違いによる差が現われていると考えられる。

体系Ⅳから後ろに続くナトリウムを透過した体系では、図7.3.2-2に示す③以降にみられるように、100群と21群の差が小さくなり、その後、再び差が広がるが、差が小さくなる傾向は、図7.3.2-3(3/3)にみられるように、フラックスのピークのあるエネルギー領域が移り変わるところで現われている。

以上の傾向については、VITAMIN-Cライブラリを用いた計算結果にも現われているが、100群と21群の比はJSD100, JSDJ2ライブラリよりも10%程度広がる。171群と100群の比較では体系毎にみると、体系Ⅰで5%以下、体系Ⅱで20%程度、体系Ⅳ以降の体系で約30%となることがわかる。

また、高速中性子束について、エネルギー群の違いによる影響をみると、図7.3.2-4に示すように、差が大きく現われていることから、高速群でのエネルギー群構造の違いに原因があることが考えられる。

7.3.3 検討

解析の結果、エネルギー群構造を詳細にした場合には、全体的には透過が進むにつれて、差が広がる傾向がみられた。このため、前年度解析を行なった21群による2次元の解析結果が透過が進むにつれて、過小評価の傾向が顕著に現われていることの原因が群構造による影響と考えられることから、群構造による補正を行なうと、表7.3.3-1に示すようになる。JSD100, JSDJ2とも体系Ⅰでは過大評価となり、C/E値が悪くなっているが、これをスペクトルモディファイアに最も近い体系Ⅰでノーマライズした場合、表7.3.3-2に示すように、21群解析でみられた透過により過小評価が進む傾向が小さくなり、最も大きな体系(減衰率 2×10^{-1})で100群構造では、JSD100, JSDJ2ともに約20%の改善となる。また、171群構造を想定した補正を行なった場合、体系ⅠでノーマライズしたC/E値は、JSD100で0.88~1.18, JSDJ2で0.91~1.12となる。

7.4 増倍線源に関する検討

2次元計算により、体系後方での測定値に与える影響を炉心からの透過成分による寄与と貯蔵燃料から発生する線源の成分による寄与を明らかにし、貯蔵燃料から発生する線源に対する精度の検討を行なった。

7.4.1 検討方法

2次元計算により、貯蔵燃料での発生線源を0とした計算を行ない、貯蔵燃料での発生線源を考慮した計算結果との差より、貯蔵燃料から発生する線源による寄与を明らかにした。

2次元計算にはDOT 3.5コード（中性子21群， P_3 ， S_{49} ）を用い、炉心からの線源にはfirst Collision Sourceを用いた。また、体系Ⅲ以降の体系は、体系Ⅱで得られた角度束を境界線源とした計算とした。これらの解析条件は、7.2に示してある62年度の解析に用いた条件と同様である。この計算において貯蔵燃料から発生する線源はDOTコードのOuter Iterationによって求めており、これを行なわないことにより貯蔵燃料からの発生線源を0とした。

解析には、貯蔵燃料を含む体系である体系Ⅲ，V，Ⅶ（図7.1-1参照）について行なった。Ⅶ体系の計算モデルを図7.4.1-1に示す。

7.4.2 解析結果

透過軸方向の高速中性子束減衰分布を、図7.4.2-1に示す。

この結果をボナーボール計算率でみると、表7.4.2-1に示すようにボナーボール計数率の内、貯蔵燃料から発生する線源による成分が与える影響は、体系Ⅲにおいては、高エネルギーに比較的感度の高い10インチφボナーボールで約30%、3インチボナーボールでは10%程度であることがわかり、さらに、48インチのナトリウムを透過した体系Ⅶにおいても、その寄与は、10インチで約35%、3インチで約20%であることがわかる。また、これをエネルギー群毎にみても、表7.4.2-2及び図7.4.2-2に示すように、貯蔵燃料からの成分の寄与が現われるのは、約0.1 MeV以上の範囲であることがわかる。

貯蔵燃料から発生する線源の成分についての、0.8 MeV以上の計算精度については、NE-213カウンタのC/E値をそのまま用いることができ、JSD100で0.71，JSDJ2で0.54となり、過小評価であることがわかる。

貯蔵燃料透過に伴うボナーボール計数率のC/E値（貯蔵燃料を含む体系の手前でノーマライズした値）は、高エネルギーに比較的感度の高いボナーボールほど過小評価しているが、貯蔵燃料を含んでいない体系においても同様の値の過小評価を示しており、貯蔵燃料の線源成分の過小評価に起因しているとはいえない。

また、径をかえたボナーボールによる計数率について、各エネルギー群毎の寄与割合が全体に与える影響をみると、表7.4.2-3に示すように、貯蔵燃料で発生した線源による寄与の大きな高エネルギーでの割合は小さく、かつ、径をかえてもそのピークはあまり変化しない結果となっていることから、貯蔵燃料から発生する線源の精度をみる上では、あまり有効でないデータとなっている。

7.4.3 検討

本実験体系では、貯蔵燃料から発生する線源強度が小さなものであり、ボナーボール計数率に与える影響が小さいため、貯蔵燃料から発生する線源による成分が大部分を占める高エネルギー群の測定値であるNE-213カウンタでのC/E値について検討した。

貯蔵燃料を含む供試体の直後での0.8MeV以上の計算値は、実測値との比較で、JSD100で0.71, JSDJ2で0.54となり、本計算でのOuter Iterationにより貯蔵燃料で発生する線源を考慮した計算値は過小評価であるといえる。また、この値は、燃料を含む供試体を2次元円筒体系で模擬したことによる影響も含んでいる。

この体系の後に、さらに12インチのナトリウムを透過した体系では、ナトリウム透過前のC/E値よりさらに40%程度過小評価するが、このことについては、エネルギー群構造の観点からみても説明できない。

7.5 まとめ

炉内貯蔵実験体系についてC/E値をエネルギー群構造の効果により補正した値は、スペクトルモディファイア体系に近い体系Iでノーマライズした場合に100群構造を考慮した場合の実測値との幅の最大値はJSD100で0.75, JSDJ2で0.70となり、全体としては過小評価となるが、21群構造による計算値が透過が進むにつれて、過小評価が顕著に現われていたものが、エネルギー群構造100群の効果により、補正することにより、約20%の改善となることがわかった。

貯蔵燃料で発生する線源についてのC/E値は0.8MeV以上のエネルギーについてみると、JSD100で0.71, JSDJ2で0.54であり過小評価である。

ただし、この値は0.8MeV以上のエネルギーについてのC/E値であり、設計における高速中性子束照射量の評価等を考慮した場合には、データ不足であり、径をかえたボナーボールの測定によっても応答値のピークのあるエネルギー範囲はかわらず、高エネルギーに対する感度が小さいことから、増倍線源の寄与を検討することはむずかしく、また、照射量を評価する際に用いるデータとしてもあまり有効的とはいえず、今後の実験においては、実験手法についても検討する必要があると考えられる。

(HEC 根目沢重紀)

参考文献

- (1) 動力炉・核燃料開発事業団 動力炉研究開発本部
"J A S P E R 実験解析(II)"
PNC-SN2410 88-003 (1988年3月)
- (2) 日立製作所
"T S F 遮蔽実験解析(c)"
PNC-SJ2124 86-01 (1987年5月)
- (3) R.L.Childs, M.B.Emmette, F.R.Mynatt and L.S.Abbott
"Analysis of the TSF Three-Dimensional Stored-Fuel Experiment for
CRBR"
ORNL-5187 (September 1976)
- (4) R.L.Childs, F.R.Mynatt and Lorraines S.Abbott
"Analysis of the TSF First-Fission Stored-Fuel Experiment for
the Fast Test Reactor"
ORNL/TM-4960 (March 1976)

表 7.2-1 ボナーボール計数率の計算値と測定値の比較

Conf. No.	Bonner Ball	Count Rate (c/min·kw)			C/E		
		Measured	JSD100	JSDJ2	JSD100	JSDJ2	
12in. Beyond Configuration	I	3-in.	1.28(5)	1.68(5)	1.46(5)	1.31	1.14
		6-in.	6.08(5)	6.84(5)	6.21(5)	1.13	1.02
		10-in.	2.18(5)	2.45(5)	2.26(5)	1.12	1.04
		Cd-cov.	3.31(3)	4.27(3)	3.35(3)	1.29	1.01
	II	3-in.	3.15(3)	2.94(3)	2.73(3)	0.93	0.87
		6-in.	1.37(4)	1.13(4)	1.02(4)	0.82	0.74
		10-in.	3.84(3)	3.31(3)	2.96(3)	0.86	0.77
		Cd-cov.	9.45(1)	8.68(1)	8.08(1)	0.92	0.86
	III	3-in.	1.59(3)	1.46(3)	1.34(3)	0.92	0.84
		6-in.	5.22(3)	4.32(3)	3.80(3)	0.83	0.73
		10-in.	1.45(3)	1.12(3)	9.63(2)	0.77	0.66
		Cd-cov.	5.65(1)	4.51(1)	4.23(1)	0.80	0.75
IV	3-in.	1.73(3)	1.54(3)	1.40(3)	0.89	0.81	
	6-in.	4.78(3)	3.86(3)	3.39(3)	0.81	0.71	
	10-in.	1.09(3)	8.34(2)	7.30(2)	0.77	0.67	
VII	3-in.	3.28(1)	2.75(1)	2.33(1)	0.84	0.71	
	6-in.	4.20(1)	3.06(1)	2.47(1)	0.73	0.59	
	10-in.	8.81(0)	5.71(0)	4.46(0)	0.65	0.51	
	Cd-cov.	2.66(0)	2.45(0)	2.13(0)	0.92	0.80	
VIII	3-in.	2.93(1)	2.40(1)	2.05(1)	0.82	0.70	
	6-in.	3.31(1)	2.45(1)	2.02(1)	0.74	0.61	
	10-in.	6.08(0)	4.26(0)	3.59(0)	0.70	0.59	
III	3-in.	2.69(3)	2.53(3)	2.32(3)	0.94	0.86	
	Cd-cov.	8.26(1)	7.16(1)	6.78(1)	0.87	0.82	

表 7.2-2 貯蔵燃料体系とダミー燃料体系のボナーボール応答値の比較

検出器	ボナーボール応答値の比較 (体系Ⅲ/体系Ⅳ)						
	実測値	ORN L C/E		JSD100 C/E		JSDJ2 C/E	
3inφBB	0.92	0.92	1.00	0.95	1.03	0.96	1.04
6inφBB	1.09	1.07	0.98	1.12	1.03	1.12	1.03
10inφBB	1.33	1.26	0.95	1.34	1.01	1.32	0.99

検出器	ボナーボール応答値の比較 (体系Ⅶ/体系Ⅷ)						
	実測値	ORN L C/E		JSD100 C/E		JSDJ2 C/E	
3inφBB	1.12	1.17	1.04	1.15	1.03	1.14	1.02
6inφBB	1.27	1.34	1.06	1.25	0.98	1.22	0.96
10inφBB	1.45	1.52	1.05	1.34	0.92	1.24	0.86

表 7.2-3 NE-213 による測定値スペクトルと計算値の比較

	Upper Energy (ev)	Flux (n/cm ² ·min·MeV·w)							
		Experiment	ORNL		JSD100		JSDJ2		
			Flux	C/E	Flux	C/E	Flux	C/E	
体系 III	2	5.4881(6)	8.23-3	5.45-3	0.66	5.04-3	0.61	3.62-3	0.44
	3	3.0119(6)	3.16-2	2.04-2	0.65	2.40-2	0.76	1.63-2	0.52
	4	2.0190(6)	7.82-2	5.37-3	0.69	3.09-2	0.40	2.85-2	0.36
	5	1.1080(6)	1.27-1	1.33-1	1.04	1.43-1	1.13	1.01-1	0.80
	体系 V	2	5.4881(6)	2.54-3	1.61-3	0.63	1.25-3	0.49	8.07-4
	3	3.0119(6)	9.57-3	5.73-3	0.60	4.95-3	0.52	3.06-3	0.32
	4	2.0190(6)	2.76-2	1.87-2	0.68	8.50-3	0.31	6.55-3	0.24
	5	1.1080(6)	3.83-2	3.13-2	0.82	2.31-2	0.60	1.48-2	0.39

表 7.3.1-1 エネルギー群構造

群	171群 (eV)	100群	21群	群	171群 (eV)	100群	21群	群	171群 (eV)	100群	21群
1	1.733E+07			61	9.616E+05	2 8		121	2.188E+04		
2	1.649E+07			62	9.072E+05			122	1.930E+04		
3	1.564E+07			63	8.629E+05	2 9		123	1.503E+04		1 1
4	1.492E+07			64	8.209E+05			124	1.171E+04		
5	1.455E+07			65	7.808E+05	3 0		125	9.119E+03		
6	1.419E+07	1		66	7.427E+05			126	7.102E+03		
7	1.384E+07			67	7.065E+05	3 1		127	5.531E+03		
8	1.350E+07			68	6.721E+05			128	4.307E+03		1 2
9	1.284E+07	2		69	6.393E+05	3 2		129	3.707E+03		
10	1.221E+07			70	6.081E+05			130	3.355E+03		
11	1.162E+07	3		71	5.784E+05	3 3		131	3.035E+03	6 4	
12	1.105E+07			72	5.502E+05			132	2.747E+03		
13	1.051E+07	4		73	5.234E+05	3 4		133	2.613E+03		
14	1.000E+07		1	74	4.979E+05	3 5		134	2.485E+03	6 5	1 3
15	9.512E+06	5		75	4.505E+05	3 6		135	2.249E+03		
16	9.048E+06			76	4.076E+05			136	2.035E+03	6 6	
17	8.607E+06	6		77	3.877E+05	3 7		137	1.585E+03	6 7	
18	8.187E+06			78	3.688E+05	3 8		138	1.234E+03	6 8	
19	7.788E+06	7		79	3.337E+05	3 9		139	9.811E+02	6 9	
20	7.408E+06			80	3.020E+05			140	7.485E+02	7 0	1 4
21	7.047E+06	8		81	2.985E+05			141	5.829E+02	7 1	
22	6.703E+06			82	2.972E+05	4 0		142	4.540E+02	7 2	
23	6.592E+06	9		83	2.945E+05			143	3.536E+02	7 3	1 5
24	6.376E+06			84	2.872E+05			144	2.754E+02	7 4	
25	6.065E+06	10		85	2.732E+05	4 1		145	2.144E+02	7 5	
26	5.769E+06			86	2.472E+05			146	1.670E+02	7 6	
27	5.488E+06			87	2.352E+05	4 2		147	1.301E+02	7 7	
28	5.220E+06	11		88	2.237E+05			148	1.013E+02	7 8	1 6
29	4.966E+06			89	2.128E+05	4 3		149	7.889E+01	7 9	
30	4.724E+06	12		90	2.024E+05			150	6.144E+01	8 0	
31	4.493E+06	13	2	91	1.926E+05	4 4		151	4.785E+01	8 1	
32	4.066E+06	14		92	1.832E+05			152	3.727E+01	8 2	
33	3.679E+06	15		93	1.742E+05	4 5		153	2.902E+01	8 3	
34	3.329E+06			94	1.657E+05			154	2.260E+01	8 4	1 7
35	3.166E+06	16		95	1.576E+05	4 6		155	1.760E+01	8 5	
36	3.012E+06			96	1.500E+05			156	1.371E+01	8 6	
37	2.865E+06	17		97	1.426E+05	4 7		157	1.068E+01	8 7	
38	2.725E+06			98	1.357E+05			158	8.315E+00	8 8	
39	2.592E+06	18		99	1.291E+05	4 8		159	6.476E+00	8 9	
40	2.466E+06			100	1.228E+05			160	5.043E+00	9 0	1 8
41	2.385E+06		3	101	1.168E+05	4 9		161	3.928E+00	9 1	
42	2.365E+06	19		102	1.111E+05			162	3.059E+00	9 2	
43	2.346E+06			103	9.804E+04	5 0		163	2.382E+00	9 3	
44	2.307E+06			104	8.652E+04			164	1.855E+00	9 4	1 9
45	2.231E+06			105	8.250E+04			165	1.445E+00	9 5	
46	2.123E+06	20		106	7.950E+04	5 1		166	1.125E+00	9 6	
47	2.019E+06			107	7.200E+04			167	8.764E-01	9 7	
48	1.920E+06	21		108	6.738E+04			168	6.826E-01	9 8	2 0
49	1.827E+06			109	5.666E+04	5 2		169	5.316E-01	9 9	
50	1.738E+06	22		110	5.248E+04			170	4.140E-01		
51	1.653E+06			111	4.631E+04	5 3		171	1.000E-01	1 0 0	2 1
52	1.572E+06	23		112	4.087E+04			-	1.000E-02		
53	1.495E+06		4	113	3.431E+04	5 4					
54	1.423E+06	24		114	3.183E+04						
55	1.353E+06			115	2.850E+04						
56	1.287E+06	25		116	2.700E+04	5 5					
57	1.225E+06			117	2.606E+04						
58	1.165E+06	26		118	2.479E+04						
59	1.108E+06	27		119	2.418E+04	5 6					
60	1.003E+06			120	2.358E+04						

表 7.3.1-2 3次元炉内貯蔵実験 1次元計算モデル

(体系Ⅷ)

	Region	Distance, cm	
		(Thickness, cm)	
1	SUS	18.21	(5.12318)
2	Sodium	98.31	(80.10625)
3	Sodium	128.95	(30.63875)
4	Void	139.11	(10.16)
5	Stored Fuel	172.45	(33.3375)
6	SUS	177.63	(5.18922)
7	Fe	182.78	(5.14096)
8	SUS	185.49	(2.68224)
9	Fe	190.59	(5.13334)
10	Inconel	197.07	(6.477)
11	Fe	202.18	(5.10794)
12	SUS	204.77	(2.5908)
13	Fe	209.86	(5.09524)
14	Inconel	216.34	(6.477)
15	Fe	221.50	(5.1562)
16	SUS	237.07	(15.5778)
17	SUS	237.55	(0.48)
18	Blanket	247.64	(10.09)
19	SUS	248.60	(0.96)
20	Blanket	258.69	(10.09)
21	SUS	259.17	(0.48)
22	Boral	261.71	(2.54)
23	Al	262.35	(0.635)
24	Sodium	277.11	(14.76375)
25	Al	277.74	(0.635)
26	SUS	288.04	(10.29462)
27	Concrete	310.09	(27.86)

透
過
方
向

(炉心側)

表7.3.2-1 群構造の違いによるボナーボール計数率の比較

体系	ボナーボールの種類	JSD100	JSDJ2	VITAMIN-C	
		100群/21群	100群/21群	100群/21群	171群/100群
I	Cd	1.13	1.14	1.16	1.07
	3in	1.07	1.08	1.12	1.04
	6in	1.07	1.08	1.12	1.03
	10in	1.07	1.07	1.10	1.02
II	Cd	1.20	1.25	1.38	1.25
	3in	1.13	1.17	1.28	1.23
	6in	1.15	1.18	1.28	1.20
	10in	1.15	1.19	1.27	1.17
IV	Cd	1.72	1.31	1.44	1.28
	3in	1.51	1.36	1.50	1.29
	6in	1.38	1.35	1.50	1.31
	10in	1.37	1.35	1.49	1.32
(V)	Cd	1.18	1.38	1.56	1.29
	3in	1.13	1.27	1.45	1.30
	6in	1.16	1.25	1.42	1.32
	10in	1.16	1.25	1.42	1.31
VIII	Cd	1.44	1.42	1.57	1.31
	3in	1.36	1.37	1.53	1.31
	6in	1.31	1.33	1.49	1.32
	10in	1.30	1.33	1.49	1.32

表7.3.3-1 群構造の違いにより補正したC/E値

エネルギー群 ライブラリ		21群 *1		100群 *2		171群 *3	
		JSD100	JSDJ2	JSD100	JSDJ2	JSD100	JSDJ2
体系	ボナーボールの種類						
I	Cd	1.29	1.01	1.46	1.15	1.56	1.23
	3in	1.31	1.14	1.40	1.23	1.46	1.28
	6in	1.13	1.02	1.21	1.10	1.25	1.13
	10in	1.12	1.04	1.20	1.11	1.22	1.13
II	Cd	0.92	0.86	1.10	1.08	1.38	1.35
	3in	0.93	0.87	1.05	1.02	1.29	1.25
	6in	0.82	0.74	0.94	0.87	1.16	1.07
	10in	0.86	0.77	0.99	0.92	1.19	1.10
IV	Cd	-	-	-	-	-	-
	3in	0.89	0.81	1.34	1.10	1.73	1.42
	6in	0.81	0.71	1.12	0.96	1.47	1.26
	10in	0.77	0.67	1.05	0.90	1.39	1.19
VII	Cd	-	-	-	-	-	-
	3in	0.82	0.70	1.12	0.96	1.47	1.26
	6in	0.74	0.61	0.97	0.81	1.28	1.07
	10in	0.70	0.59	0.91	0.78	1.20	1.03

*1 21群 C/E値：2次元計算結果のC/E値。

*2 100群 C/E値：21群C/E値を1次元計算結果の(100群/21群)により補正。

*3 171群 C/E値：100群C/E値をVITAMIN-Cの計算結果による(171群/100群)により補正。

表7.3.3-2 I体系でノーマライズしたC/E値

(群構造の影響を補正後)

体系	エネルギー群 ライブラリ ボナーボールの種類	21群 *1		100群 *2		177群 *3	
		JSD100	JSDJ2	JSD100	JSDJ2	JSD100	JSDJ2
		II	Cd	0.71	0.85	0.75	0.94
	3in	0.71	0.76	0.75	0.83	0.88	0.98
	6in	0.73	0.73	0.78	0.79	0.93	0.95
	10in	0.77	0.74	0.83	0.83	0.98	0.97
IV	Cd	—	—	—	—	—	—
	3in	0.68	0.71	0.96	0.89	1.18	1.11
	6in	0.72	0.70	0.93	0.87	1.18	1.12
	10in	0.69	0.64	0.88	0.81	1.14	1.05
VIII	Cd	—	—	—	—	—	—
	3in	0.63	0.61	0.80	0.78	1.01	0.98
	6in	0.65	0.60	0.80	0.74	1.02	0.95
	10in	0.63	0.57	0.76	0.70	1.98	0.91

*1 21群 C/E値：2次元計算結果のC/E値。

*2 100群 C/E値：21群C/E値を1次元計算結果の(100群/21群)により補正。

*3 171群 C/E値：100群C/E値をVITAMIN-Cの計算結果による(171群/100群)により補正。

表 7.4.2-1 ボナーボール計数率に寄与する線源の割合

(JSD100)

(A) (B) (A)-(B)

ボナーボールの種類	(A)		(B)		(A)-(B)		
	全応答値	炉心線源からの寄与	貯蔵燃料からの線源による寄与	C/E値*	炉心線源からの寄与の割合	貯蔵燃料からの寄与の割合	
体系Ⅲ	3in	1.46+3	1.34+3	0.12+3	0.99	0.92	0.08
	6in	4.32+3	3.52+3	0.80+3	1.01	0.81	0.19
	10in	1.12+3	0.769+3	0.351+3	0.90	0.69	0.31
	Cd-Cov	4.51+1	4.38+1	0.13+1	0.87	0.97	0.03

体系Ⅶ	3in	2.75+1	2.11+1	0.64+1	0.90	0.77	0.23
	6in	3.06+1	2.15+1	0.91+1	0.89	0.70	0.30
	10in	5.71+0	3.74+0	1.97+0	0.76	0.65	0.35
	Cd-Cov	2.45+0	1.98+0	0.47+0	1.00	0.81	0.19

(JSDJ2)

ボナーボールの種類	(A)		(B)		(A)-(B)		
	全応答値	炉心線源からの寄与	貯蔵燃料からの線源による寄与	C/E値*	炉心線源からの寄与の割合	貯蔵燃料からの寄与の割合	
体系Ⅳ	3in	1.34+3	1.21+3	0.13+3	0.97	0.90	0.10
	6in	3.80+3	3.09+3	0.71+3	0.99	0.81	0.19
	10in	9.63+2	6.66+2	2.97+2	0.86	0.69	0.31
	Cd-Cov	4.23+1	4.11+1	0.12+1	0.87	0.97	0.03

体系Ⅴ	3in	2.33+1	1.80+1	0.53+1	0.82	0.77	0.23
	6in	2.47+1	1.79+1	0.68+1	0.80	0.72	0.28
	10in	4.46+0	3.10+0	1.36+0	0.66	0.70	0.30
	Cd-Cov	2.13+0	1.72+0	0.41+0	0.93	0.81	0.19

*体系Ⅱ (I V S手前の体系) でノーマライズ

表7.4.2-2 (1/2) エネルギー群毎にみた貯蔵燃料から発生する線源の寄与
体系 III
JSD100

エネルギー群	(n/cm ² ·min·w)			炉心線源からの寄与の割合	貯蔵燃料から発生する線源からの寄与割合	(n/cm ² ·min·w·MeV)		C/E値
	全体量	炉心線源からの寄与	貯蔵燃料から発生する線源の寄与			計算値	実験値	
1	2.990-3	1.840-6	2.988-3	0.001	0.999			
2	1.248-2	2.504-6	1.248-2	0.000	1.000	5.04-3	8.23-3	0.61
3	2.378-2	7.657-6	2.377-2	0.000	1.000	2.40-2	3.16-2	0.76
4	2.819-2	7.846-5	2.811-2	0.003	0.997	3.09-2	7.82-2	0.40
5	5.211-2	7.042-4	5.141-2	0.013	0.987	1.43-1	1.27-1	1.13
6	6.485-2	5.305-3	5.955-2	0.082	0.918			
7	6.170-2	1.333-2	4.837-2	0.216	0.784			
8	9.125-2	3.503-2	5.622-2	0.384	0.616			
9	9.118-2	4.784-2	4.334-2	0.525	0.475			
10	1.054+0	8.911-1	1.629-1	0.845	0.155			
11	9.296-1	8.593-1	7.030-2	0.924	0.076			
12	2.332-1	2.198-1	1.340-2	0.943	0.057			
13	2.226-1	2.140-1	8.600-3	0.961	0.039			
14	1.938-1	1.881-1	5.700-3	0.971	0.029			
15	9.782-2	9.522-2	2.600-3	0.973	0.027			
16	1.538-1	1.511-1	2.700-3	0.982	0.018			
17	1.210-1	1.193-1	1.700-3	0.986	0.014			
18	8.282-2	8.171-2	1.110-3	0.987	0.013			
19	2.518-2	2.479-2	3.900-4	0.985	0.015			
20	1.570-2	1.535-2	3.500-4	0.978	0.022			
21	5.244-3	5.001-3	2.430-4	0.954	0.046			
					2-5群	2.46-2	3.46-2	0.71

JSDJ2

エネルギー群	(n/cm ² ·min·w)			炉心線源からの寄与の割合	貯蔵燃料から発生する線源の寄与の割合	(n/cm ² ·min·w·MeV)		C/E値
	全体量	炉心線源からの寄与	貯蔵燃料から発生する線源の寄与			計算値	実験値	
1	2.565-3	1.949-6	2.563-3	0.001	0.999			
2	8.972-3	2.997-6	8.969-3	0.000	1.000	3.62-3	8.23-3	0.44
3	1.622-2	7.786-6	1.621-2	0.000	1.000	1.63-2	3.16-2	0.52
4	2.597-2	8.089-5	2.589-2	0.003	0.997	2.85-2	7.82-2	0.36
5	3.698-2	3.324-4	3.665-2	0.009	0.991	1.01-1	1.27-1	0.80
6	4.645-2	2.107-3	4.434-2	0.045	0.955			
7	4.457-2	5.995-3	3.858-2	0.135	0.865			
8	6.495-2	1.799-2	4.696-2	0.277	0.723			
9	5.652-2	2.237-2	3.415-2	0.396	0.604			
10	1.057+0	8.725-1	1.845-1	0.825	0.175			
11	6.818-1	6.218-1	6.000-2	0.912	0.088			
12	1.857-1	1.739-1	1.180-2	0.936	0.064			
13	2.189-1	2.099-1	9.000-3	0.959	0.041			
14	2.059-1	1.995-1	6.400-3	0.969	0.031			
15	1.095-1	1.065-1	3.000-3	0.973	0.027			
16	1.606-1	1.575-1	3.100-3	0.981	0.019			
17	1.116-1	1.100-1	1.600-3	0.986	0.014			
18	7.487-2	7.389-2	9.800-4	0.987	0.013			
19	2.320-2	2.286-2	3.400-4	0.985	0.015			
20	1.504-2	1.473-2	3.100-4	0.979	0.021			
21	5.413-3	5.177-3	2.360-4	0.956	0.044			
					2-5群	1.86-2	3.46-2	0.54

表 7.4.2-2 (2/2) エネルギー群毎にみた貯蔵燃料から発生する線源の寄与
体 系 V
JSD100

エネルギー群	(n/cm ² ·min·w)			炉心線源 からの寄与 の割合	貯蔵燃料から発生 する線源からの 寄与割合	(n/cm ² ·min·w·MeV)		C/E値
	全体量	炉心線源 からの寄与	貯蔵燃料から発生 する線源の寄与			計算値	実験値	
1	7.301-4	4.196-7	7.297-4	0.001	0.999			
2	3.092-3	5.419-7	3.091-3	0.000	1.000	1.25-3	2.54-3	0.49
3	4.914-3	1.173-6	4.913-3	0.000	1.000	4.95-3	9.57-3	0.52
4	7.739-3	1.058-5	7.728-3	0.001	0.999	8.50-3	2.76-2	0.31
5	8.423-3	5.556-5	8.367-3	0.007	0.993	2.31-2	3.83-2	0.60
6	1.973-2	6.513-4	1.908-2	0.033	0.967			
7	2.352-2	1.959-3	2.156-2	0.083	0.917			
8	3.512-2	5.973-3	2.915-2	0.170	0.830			
9	3.693-2	9.937-3	2.699-2	0.269	0.731			
10	1.646-1	1.154-1	4.920-2	0.701	0.299			
11	3.418-1	2.733-1	6.850-2	0.800	0.200			
12	4.158-2	3.339-2	8.190-3	0.803	0.197			
13	8.281-2	6.816-2	1.465-2	0.823	0.177			
14	2.585-1	2.236-1	3.490-2	0.865	0.135			
15	1.242-1	1.098-1	1.440-2	0.884	0.116			
16	1.354-1	1.235-1	1.190-2	0.912	0.088			
17	8.583-2	8.025-2	5.580-3	0.935	0.065			
18	5.653-2	5.338-2	3.150-3	0.944	0.056			
19	1.889-2	1.781-2	1.080-3	0.943	0.057			
20	1.519-2	1.417-2	1.020-3	0.933	0.067			
21	7.408-3	6.696-3	7.120-4	0.904	0.096			
						2~5群	5.09-3 1.13-2	0.45

JSDJ2

エネルギー群	(n/cm ² ·min·w)			炉心線源 からの寄与 の割合	貯蔵燃料から発生 する線源からの 寄与割合	(n/cm ² ·min·w·MeV)		C/E値
	全体量	炉心線源 からの寄与	貯蔵燃料から発生 する線源の寄与			計算値	実験値	
1	4.817-4	4.358-7	4.813-4	0.001	0.999			
2	1.998-3	5.869-7	1.997-3	0.000	1.000	8.07-4	2.54-3	0.32
3	3.042-3	1.140-6	3.041-3	0.000	1.000	3.06-3	9.57-3	0.32
4	58.96-3	1.047-5	5.957-3	0.002	0.998	6.55-3	2.76-2	0.24
5	5.424-3	2.478-5	5.399-3	0.005	0.995	1.48-2	3.83-2	0.39
6	1.257-2	2.298-4	1.234-2	0.018	0.982			
7	1.605-2	8.255-4	1.522-2	0.051	0.949			
8	2.448-2	2.798-3	2.168-2	0.114	0.886			
9	2.341-2	4.243-3	1.917-2	0.181	0.819			
10	1.235-1	8.530-2	3.820-2	0.691	0.309			
11	2.727-1	2.112-1	6.150-2	0.774	0.226			
12	3.390-2	2.638-2	7.520-3	0.778	0.222			
13	7.321-2	5.867-2	1.454-2	0.801	0.199			
14	2.513-1	2.150-1	3.630-2	0.856	0.144			
15	1.227-1	1.079-1	1.480-2	0.879	0.121			
16	1.379-1	1.257-1	1.220-2	0.912	0.088			
17	8.428-2	7.866-2	5.620-3	0.933	0.067			
18	5.389-2	5.086-2	3.030-3	0.944	0.056			
19	1.806-2	1.704-2	1.020-3	0.944	0.056			
20	1.447-2	1.354-2	9.300-4	0.936	0.064			
21	7.222-3	6.551-3	6.710-4	0.907	0.093			
						2~5群	3.46-3 1.13-2	0.31

表7.4.2-3

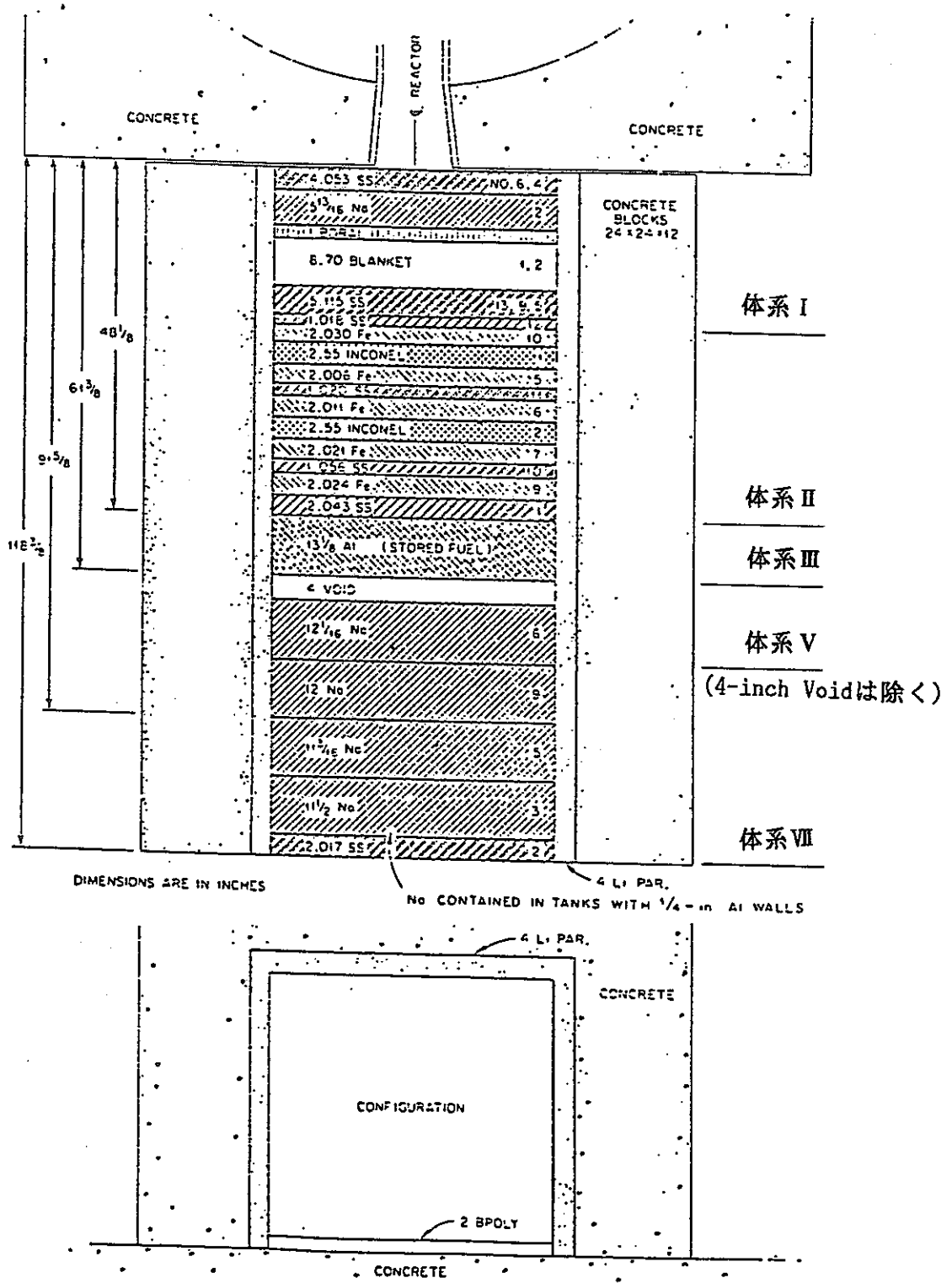
ボナーボール計数率に寄与するエネルギー毎の割合

体系Ⅲ

GROUP	3-INCH	6-INCH	10-INCH	CD-COV
1	0.000	0.000	0.003	0.000
2	0.000	0.002	0.015	0.000
3	0.000	0.006	0.030	0.000
4	0.001	0.008	0.033	0.000
5	0.002	0.018	0.050	0.000
6	0.004	0.023	0.049	0.000
7	0.005	0.022	0.035	0.001
8	0.010	0.031	0.041	0.001
9	0.013	0.029	0.032	0.002
10	★0.196	★0.316	★0.298	0.032
11	★0.229	★0.263	★0.216	0.052
12	0.070	0.064	0.049	0.021
13	0.079	0.060	0.043	0.031
14	0.082	0.051	0.035	0.045
15	0.049	0.025	0.016	0.035
16	0.086	0.036	0.024	0.095
17	0.076	0.026	0.018	★0.162
18	0.065	0.015	0.010	★0.235
19	0.021	0.004	0.002	★0.147
20	0.010	0.001	0.001	★0.142
21	0.0	0.0	0.0	0.0

体系Ⅶ

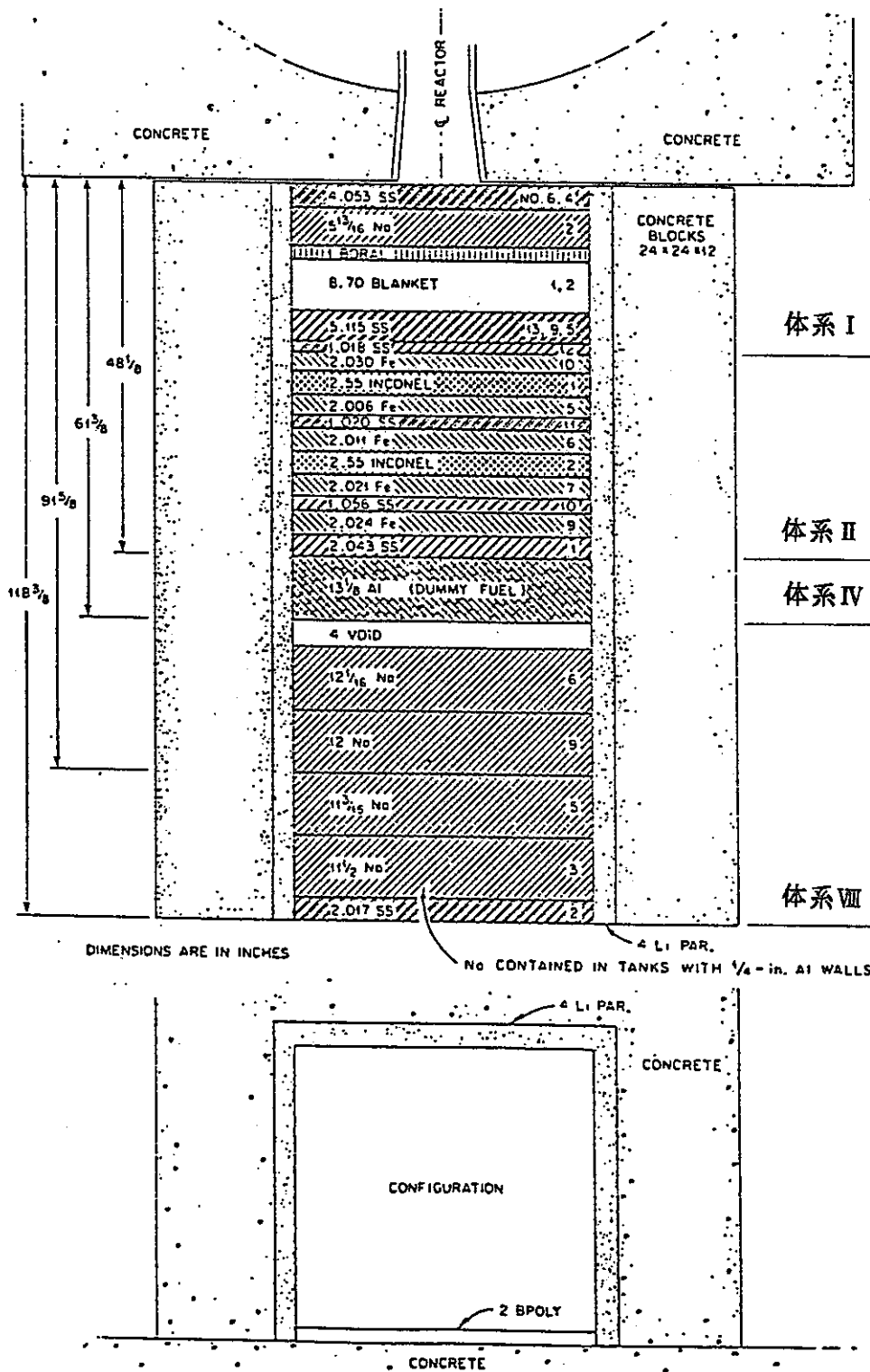
GROUP	3-INCH	6-INCH	10-INCH	CD-COV
1	0.000	0.000	0.001	0.000
2	0.000	0.000	0.003	0.000
3	0.000	0.001	0.004	0.000
4	0.000	0.002	0.012	0.000
5	0.000	0.002	0.007	0.000
6	0.000	0.004	0.012	0.000
7	0.001	0.007	0.016	0.000
8	0.001	0.010	0.018	0.000
9	0.002	0.014	0.021	0.000
10	0.007	0.029	0.038	0.000
11	0.013	0.039	0.044	0.001
12	0.008	0.019	0.020	0.001
13	0.009	0.018	0.018	0.001
14	0.048	0.078	0.073	0.009
15	0.055	0.074	0.067	0.014
16	★0.243	★0.266	★0.244	0.093
17	★0.265	★0.241	★0.226	★0.196
18	★0.228	★0.143	★0.130	★0.288
19	0.078	0.036	0.033	★0.185
20	0.042	0.016	0.014	★0.211
21	0.0	0.0	0.0	0.0



Configuration VII: Spectrum Modifier Plus Mockup of CRBR Radial Regions Out to Reactor Vessel (With Stored-Fuel Mockup)

図 7.1 - 1 (1/2)

3次元炉内貯蔵実験体系



Configuration VIII: Spectrum Modifier Plus Mockup of CRBR Radial Regions Out to Reactor Vessel (With Dummy-Fuel Mockup)

图 7.1 - 1 (2/2)

3次元炉内貯藏実験体系

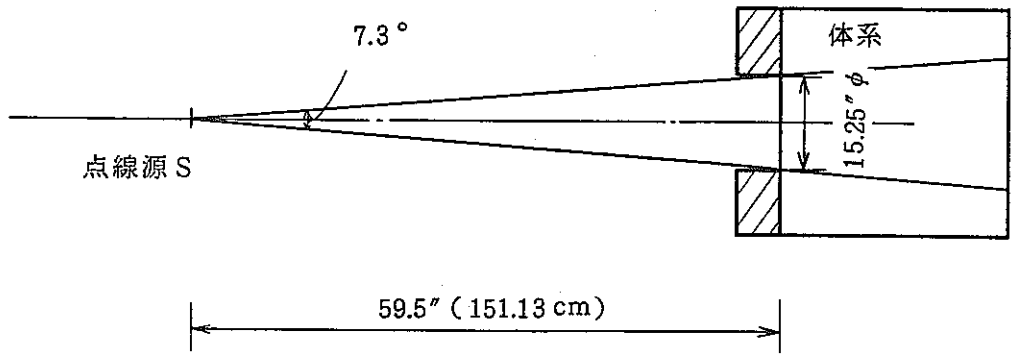
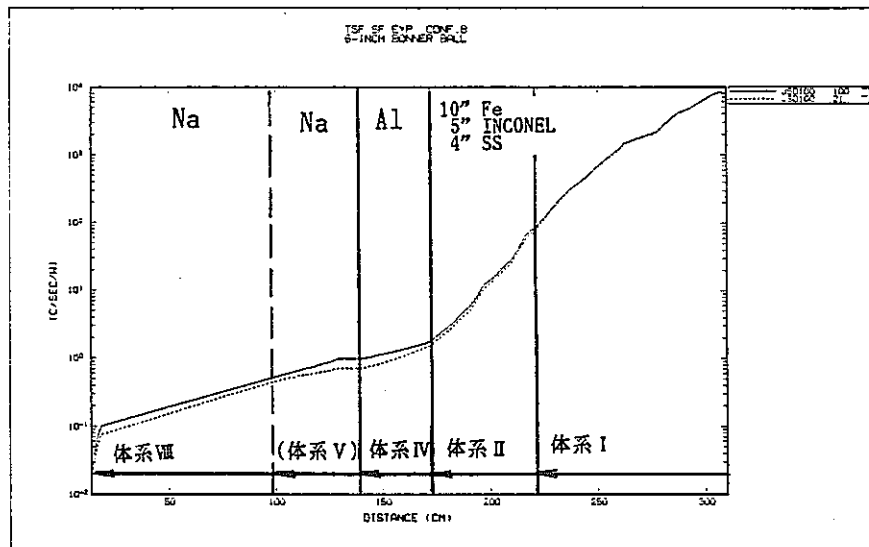
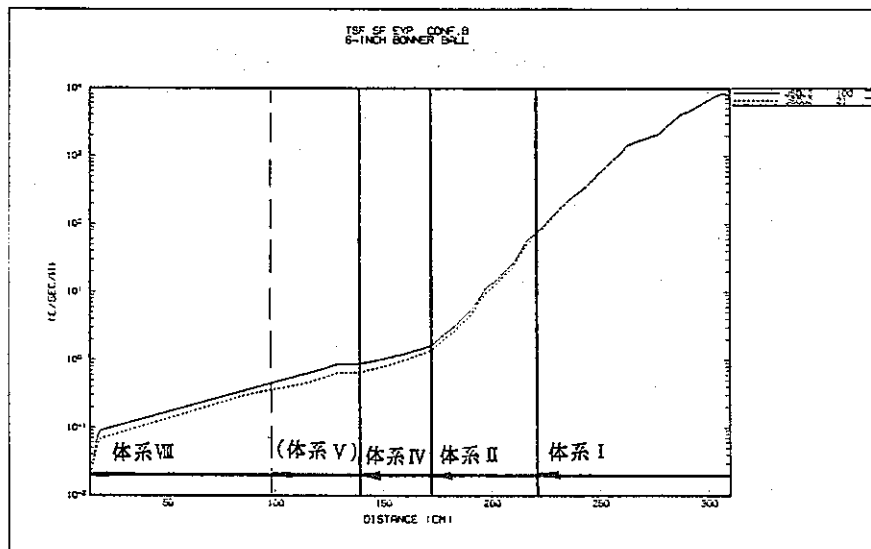


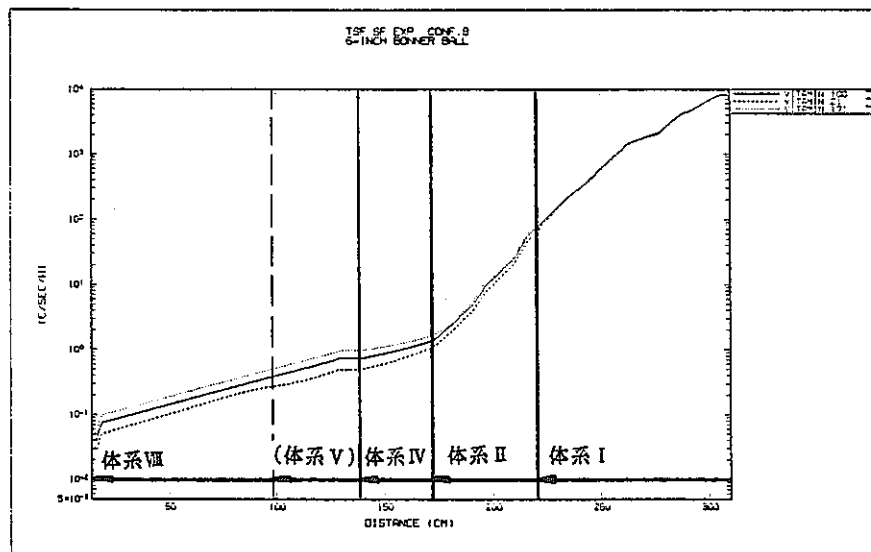
图 7.2 - 1 線源条件



JSD100



JSDJ2



VITAMIN-C

100群 ————
21群 - - - - -
171群 ······

図 7.3.2-1 群構造の違いによるボナーボール計数率の比較

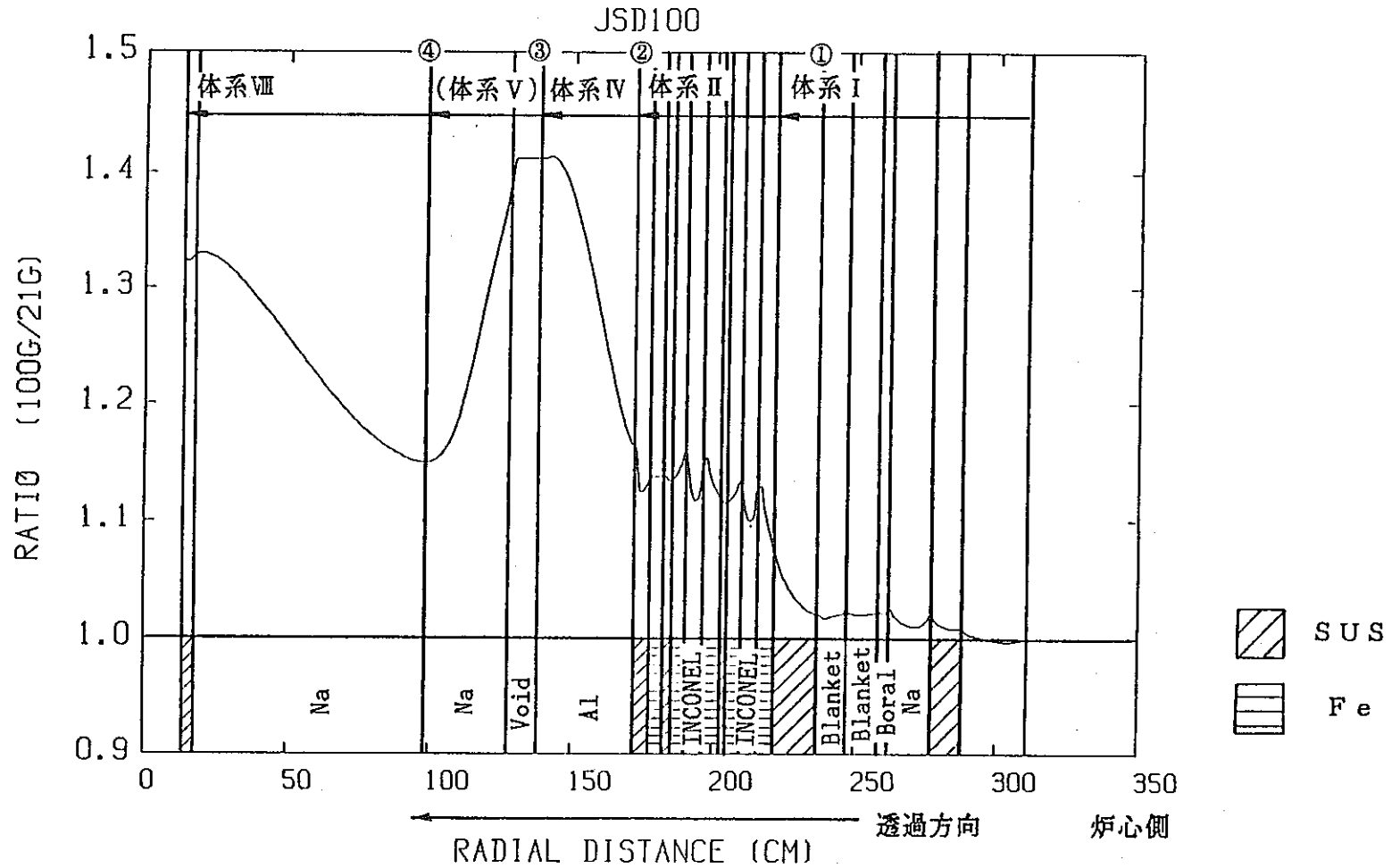


図7.3.2-2(1/3) エネルギー群数の違いによる全中性子束の比較

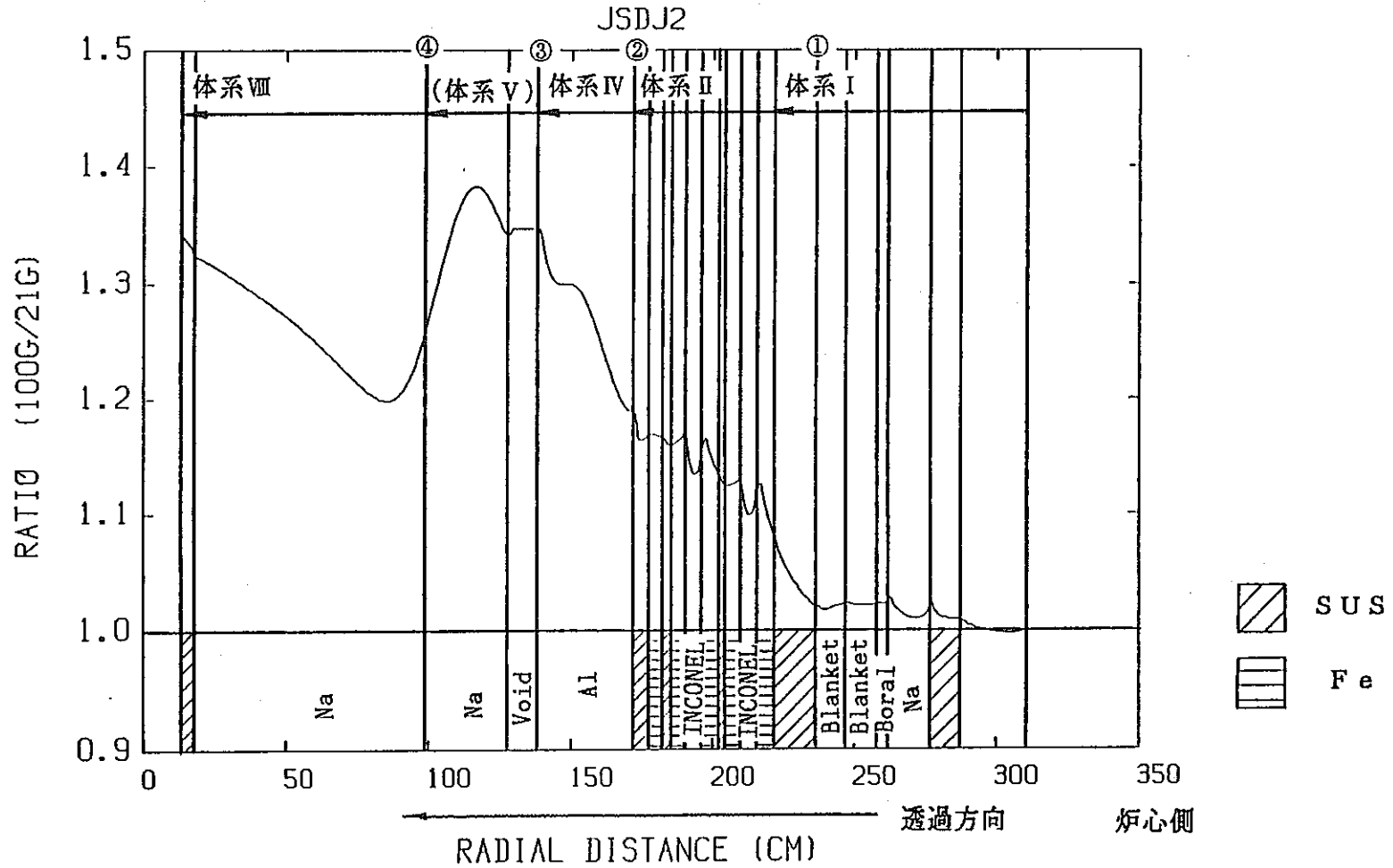


図 7.3.2-2 (2/3) エネルギー群数の違いによる全中性子束の比較

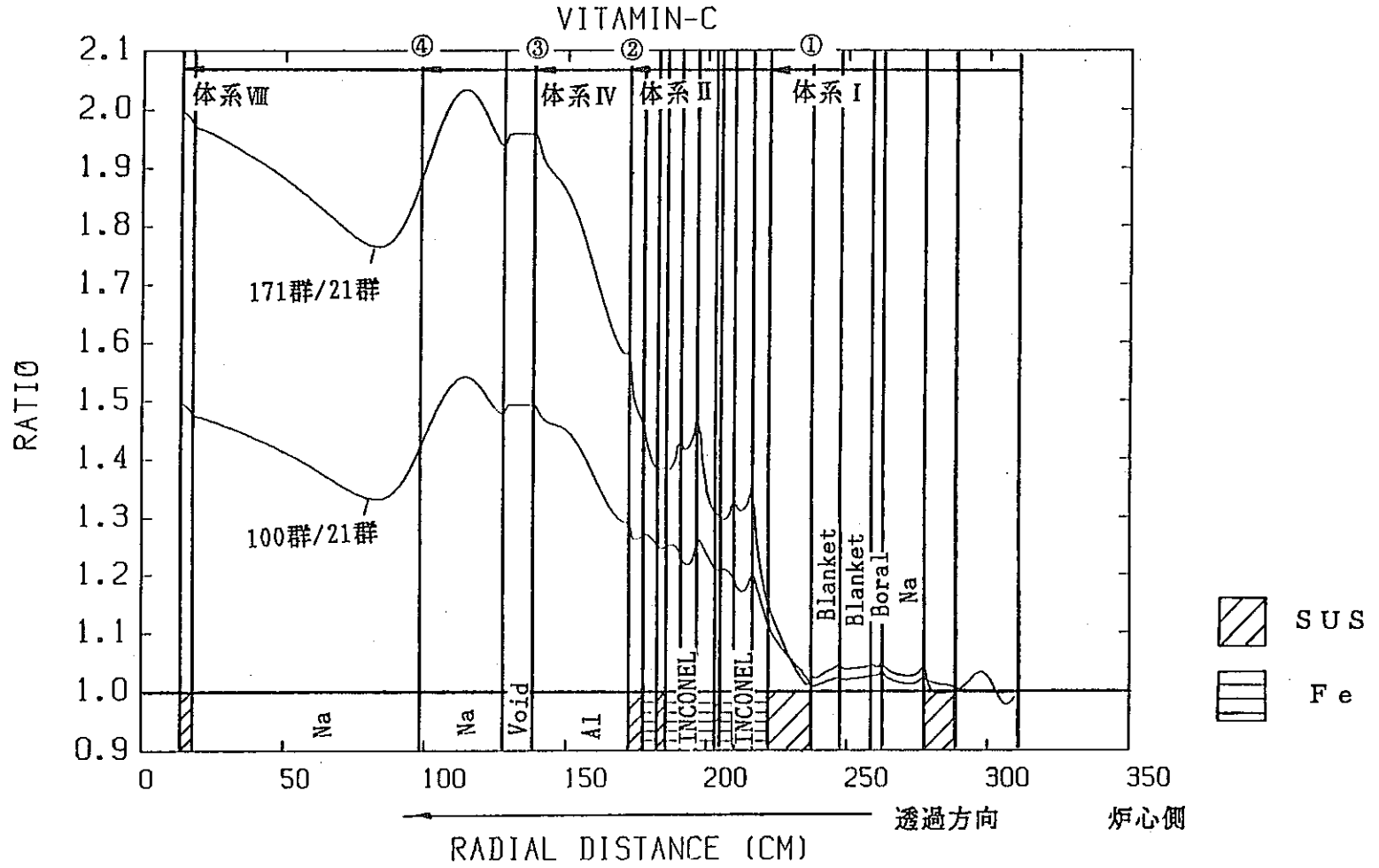


図 7.3.2-2 (3/3) エネルギー群数の違いによる全中性子束の比較

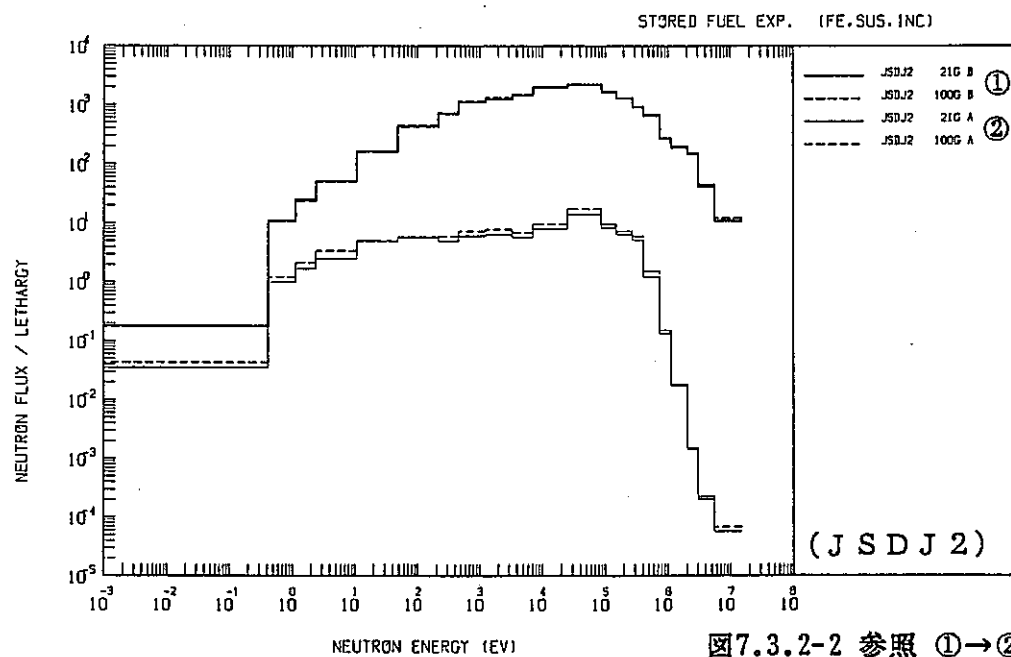
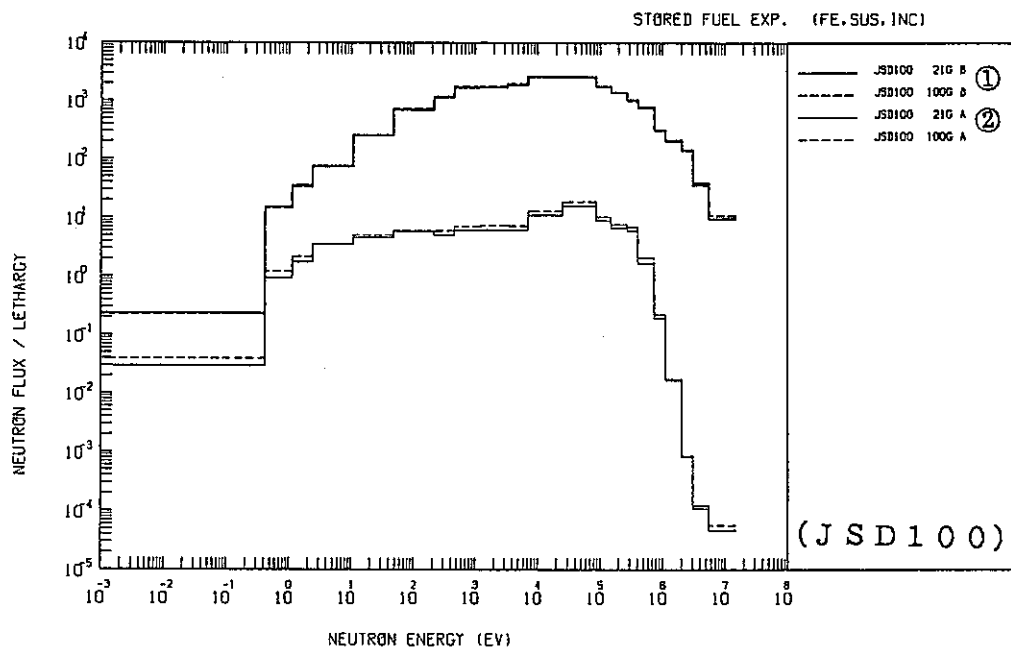


図7.3.2-2 参照 ①→②
(SUS, Fe, INCONEL透過)

図7.3.2-3 (1/3) 群構造の違いによるスペクトルの比較

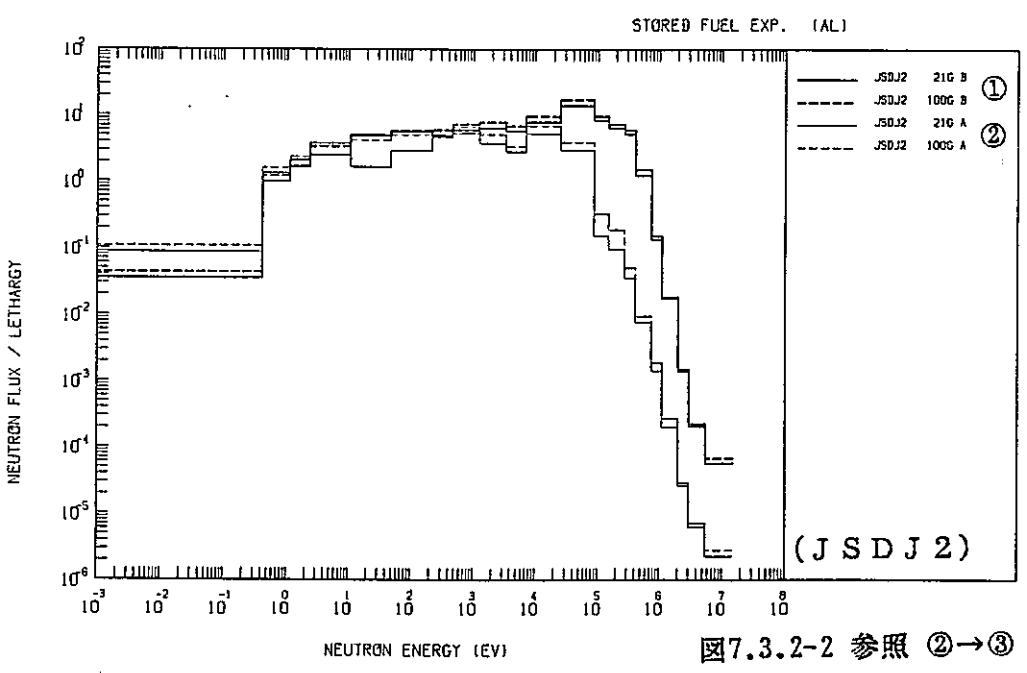
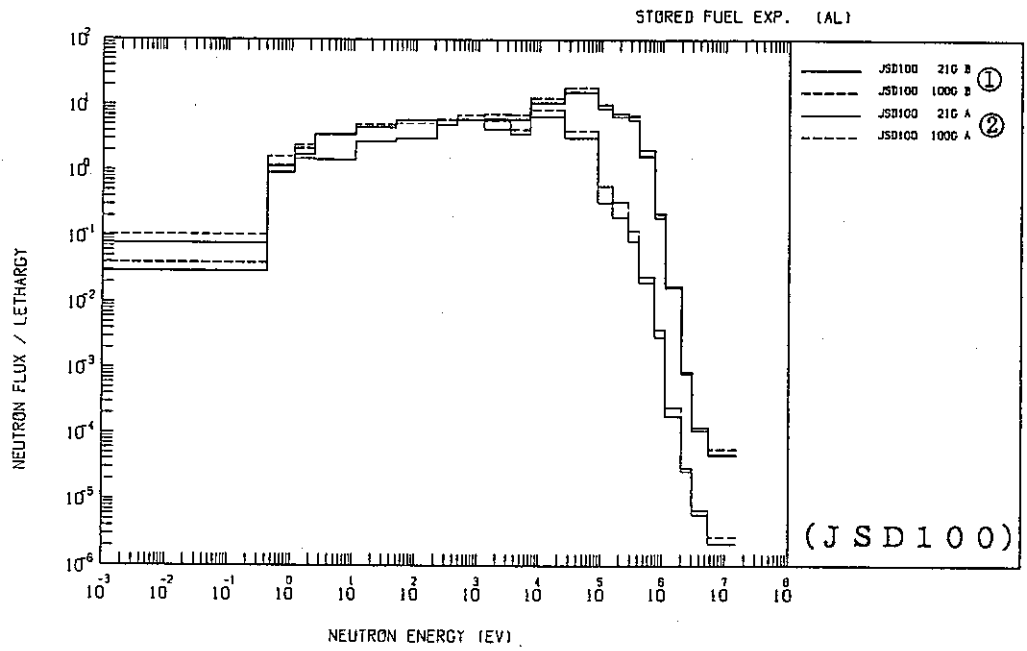


図7.3.2-2 参照 ②→③
(A1透過)

図7.3.2-3 (2/3) 群構造の違いによるスペクトルの比較

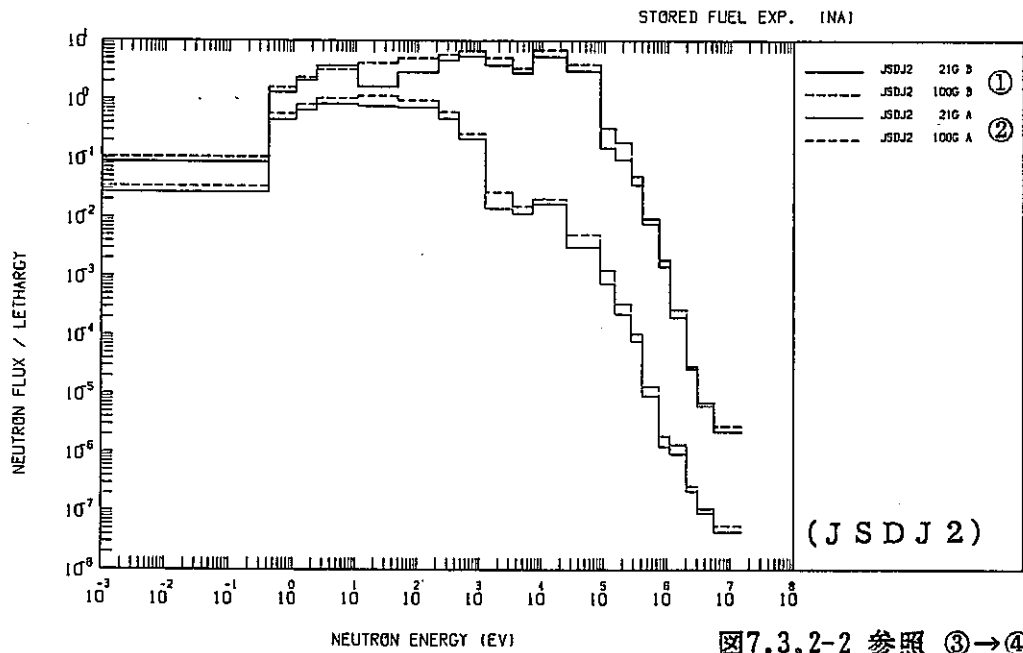
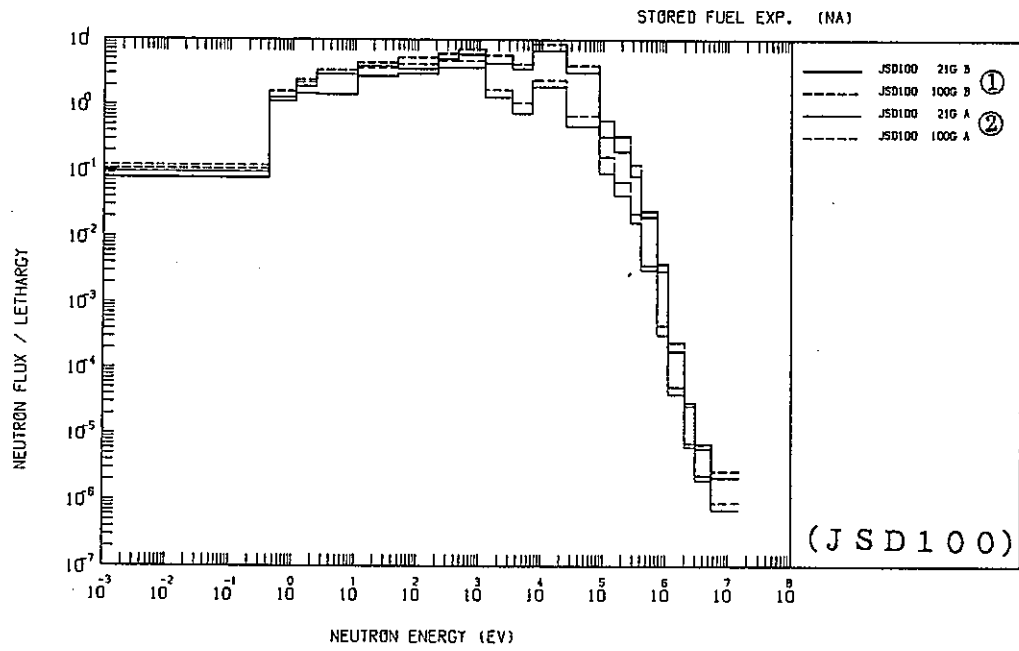
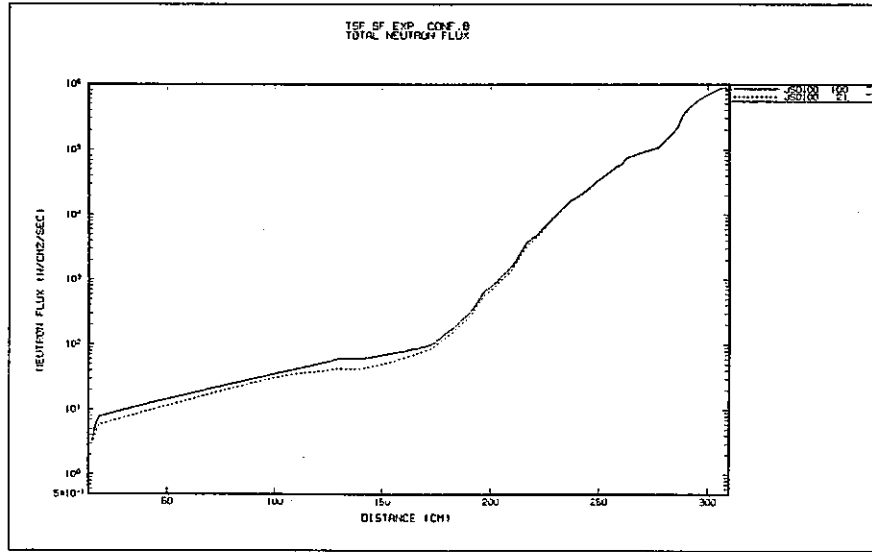


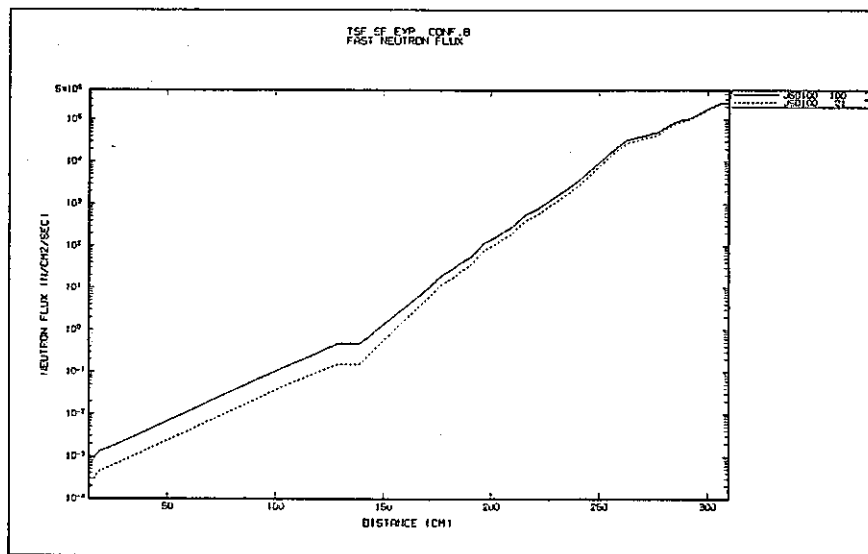
図7.3.2-2 参照 ③→④
(Na透過)

図7.3.2-3 (3/3) 群構造の違いによるスペクトルの比較

全中性子束



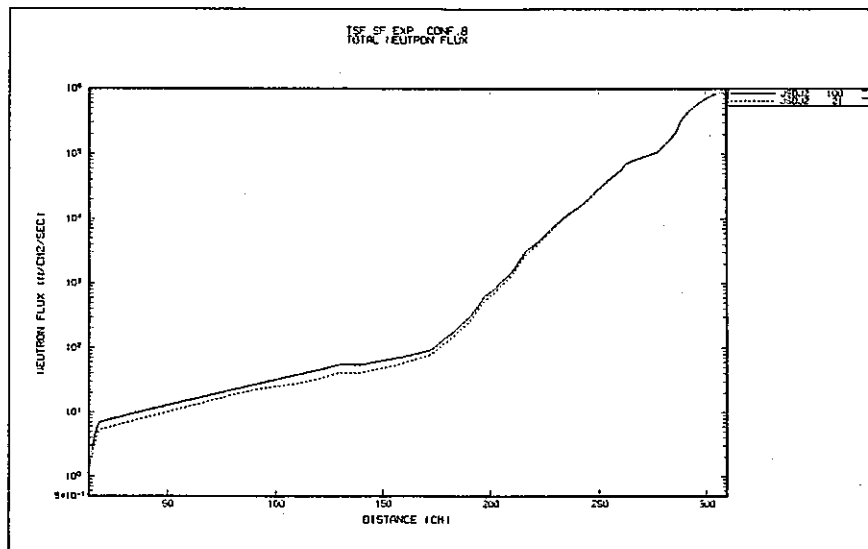
高速中性子束



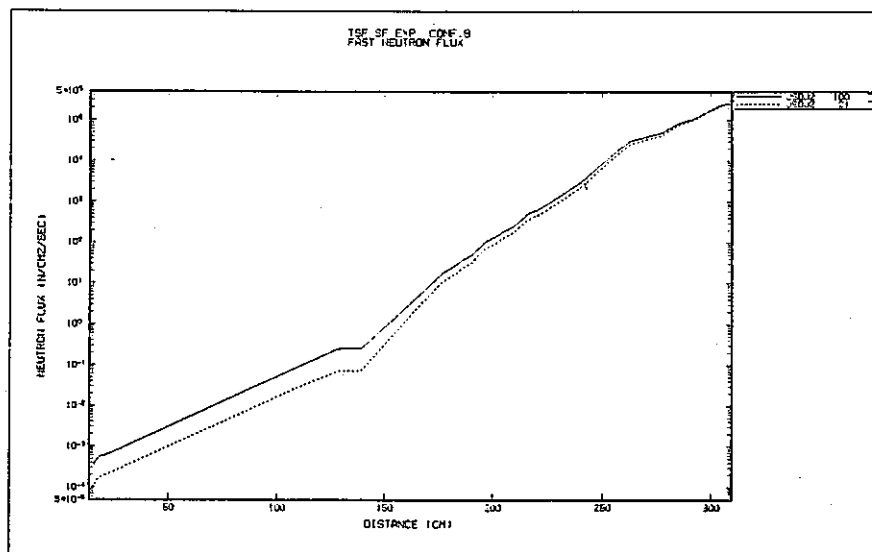
(JSD100)

図 7.3.2-4 (1/3) 群構造の違いによる中性子束減衰分布の比較

全中性子束



高速中性子束

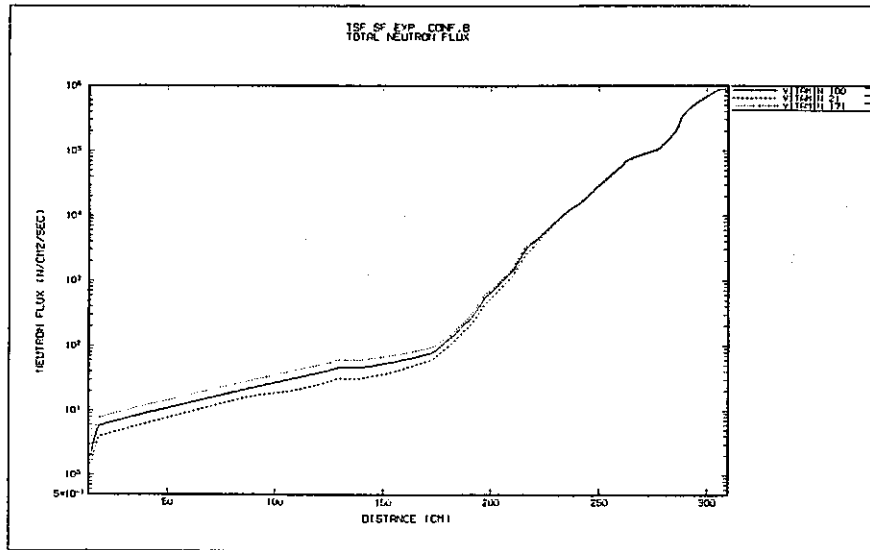


(JSDJ2)

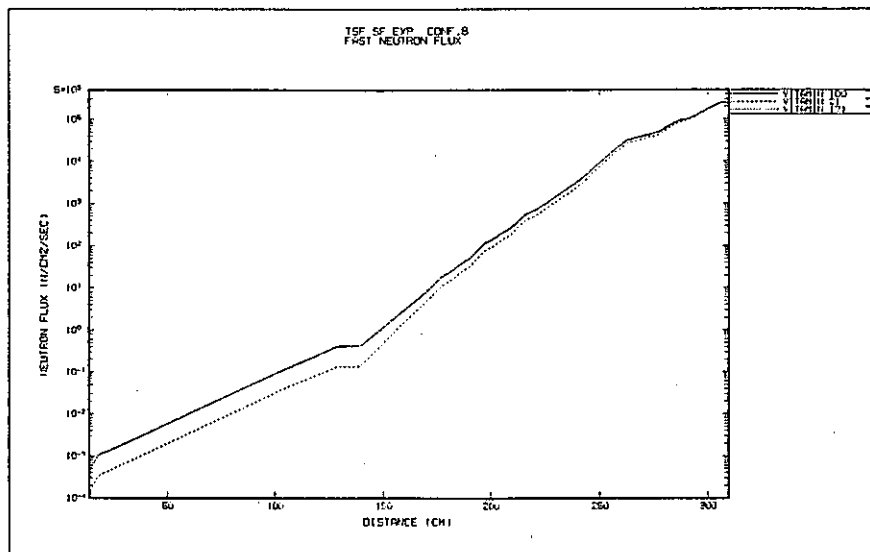
図 7.3.2-4 (2/3)

群構造の違いによる中性子束減衰分布の比較

全中性子束



高速中性子束



(VITAMIN-C)

図 7.3.2-4 (3/3) 群構造の違いによる中性子束減衰分布の比較

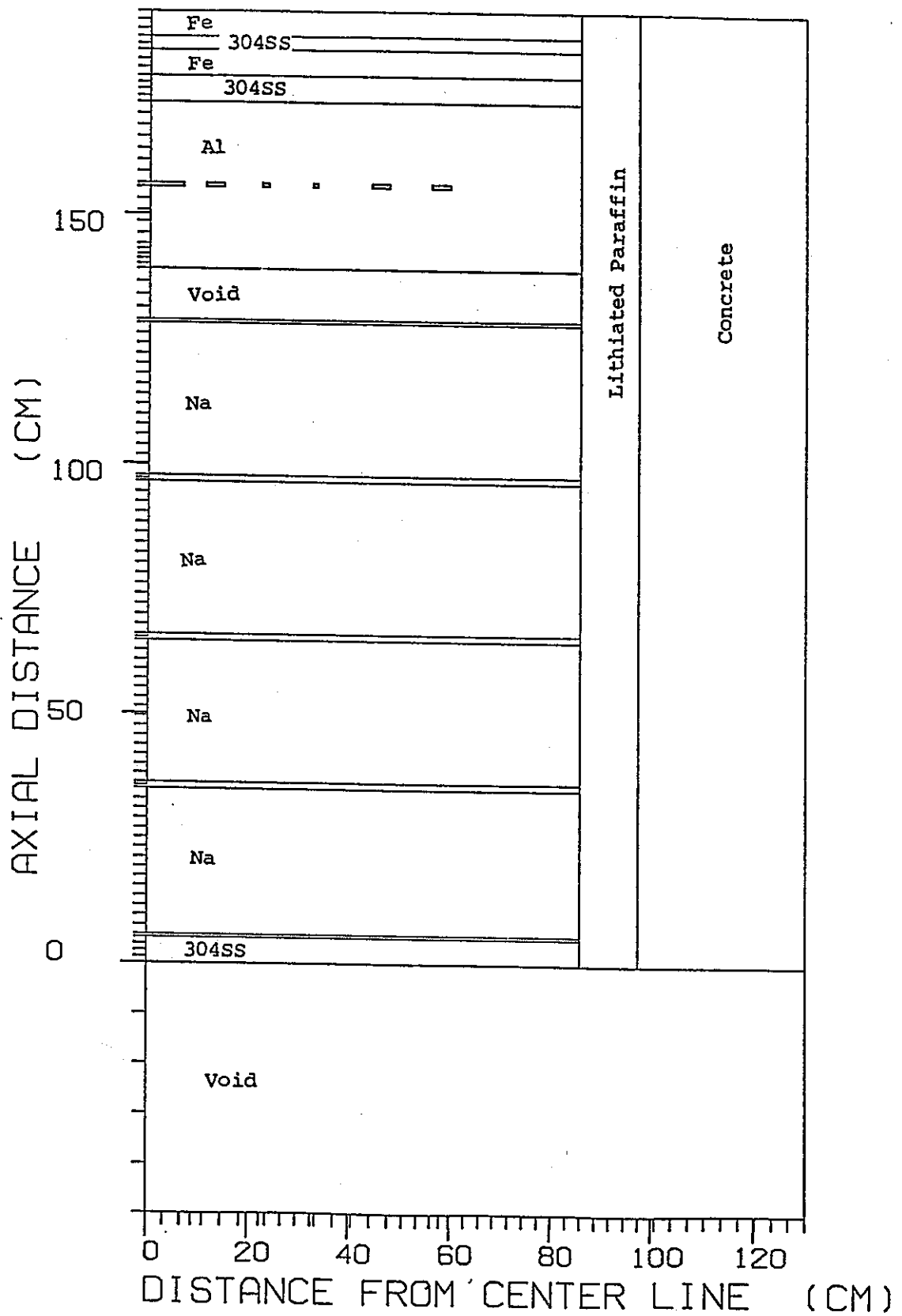


图 7.4.1-1 3次元炉内貯蔵実験 体系Ⅳ計算モデル

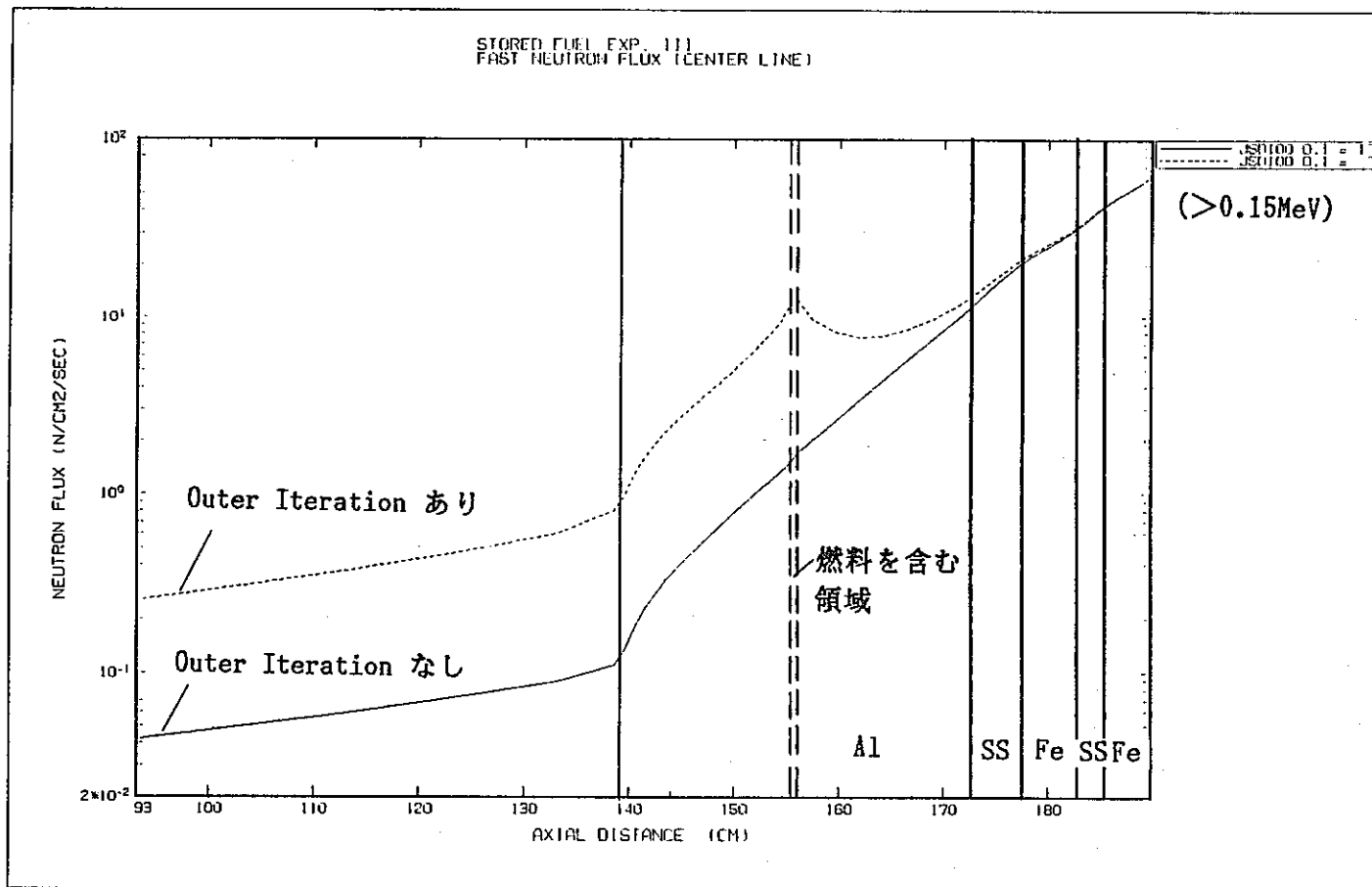


図7.4.2-1 透過軸方向高速中性子束減衰分布 (体系Ⅲ)

STORED FUEL EXP. CONF 3 JSD100

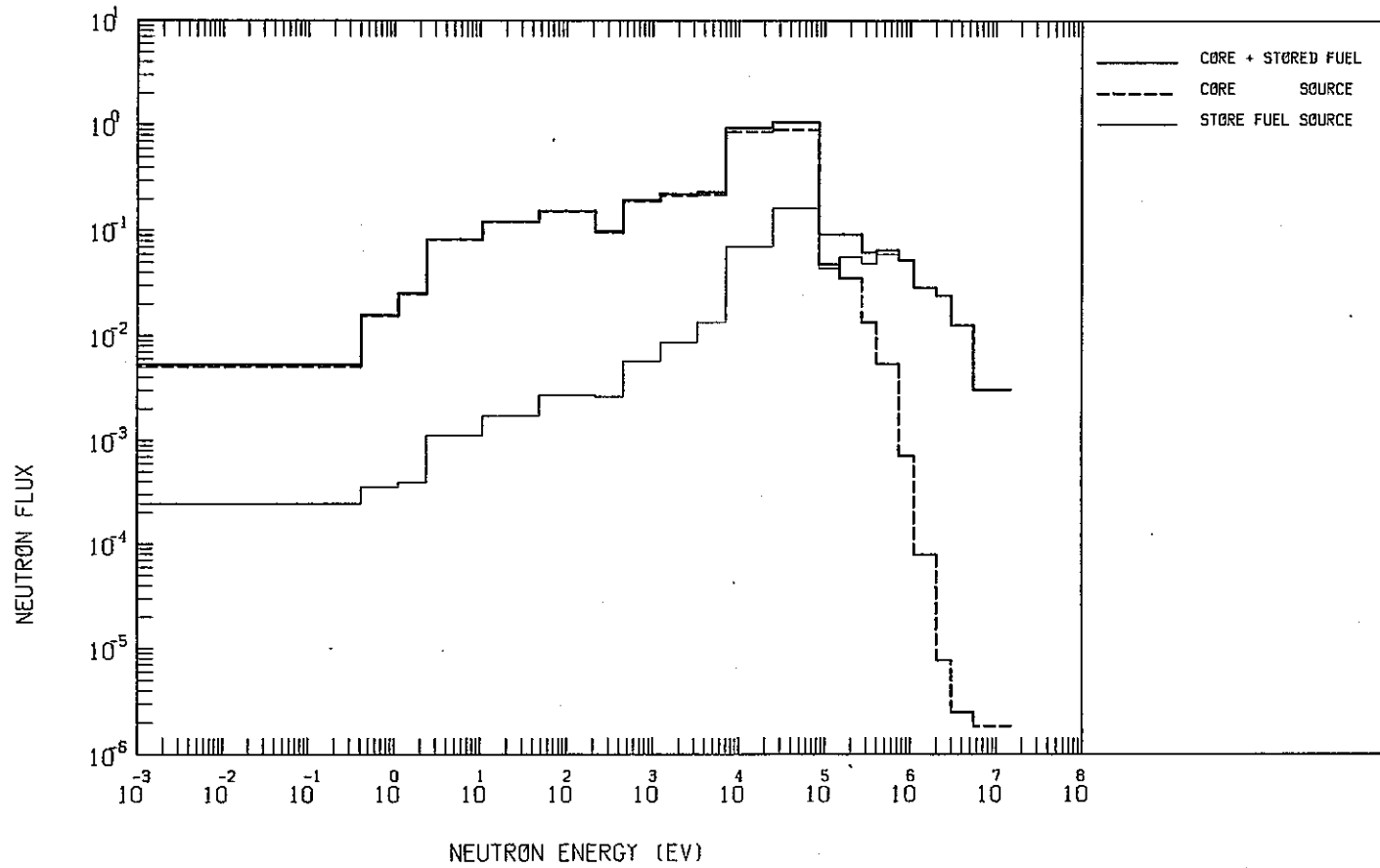


図 7.4.2-2 エネルギー群毎の各線源成分の寄与

8 ガスプレナムストリーミング実験

前年度実施したガスプレナムストリーミング実験解析⁽¹⁾では、ボナーボール計数率のC/E値が径方向遮蔽実験解析結果とやや傾向が異なり、またC/E値自体も悪かった。次のJASPER実験として予定されている軸方向遮蔽実験では、ガスプレナムストリーミング実験で使用した供試体を引き続き使用する体系もあることから、解析結果の見直しが必要と考えられる。ここでは前年度解析の見直しを目的とした検討結果を述べる。

8.1 前年度解析の見直し

8.1.1 前年度解析結果の概要

前年度は、ガスプレナムストリーミング実験体系⁽²⁾のうち、スペクトルモディファイヤ体系(体系Ⅰ)と均質モデル供試体を設けた2体系(体系Ⅱ、体系Ⅲ、各々ガスプレナム供試体厚さが8 cm, 20 cm)について、JSD100およびJSDJ2を用いた計算を行った。その結果をまとめると以下の通りになる。

(1) ボナーボール計数率のC/E値

・中心軸上での測定値に対するC/E値

体系Ⅰ：0.80～1.22

体系Ⅱ：0.85～1.29

体系Ⅲ：1.09～2.07

・径方向トラバースに対するC/E値

体系Ⅱ：1.13～1.26

体系Ⅲ：1.59～2.31

(2) 高速中性子スペクトルのC/E値

体系Ⅲ：約1.4

(3) ライブラリの影響

減衰が小さいため特に大きな差は見られない。

以上の結果を見ると、次の問題点のあることが分かる。

a) 径方向遮蔽実験の体系 I A⁽³⁾と同じ体系であるガスプレナム体系 I とでは、以下のよう
に C/E 値の差が見られる。また、各ボナーボールの C/E 値にボナーボールの大きさに
依存した傾向が見られる。

・ガスプレナムストリーミング実験体系 I : 0.80~1.22 (JSDJ2)

・径方向遮蔽実験体系 I A : 0.98~1.18 (JSDJ2)

b) 体系 I と体系 III では供試体厚さ 20 cm の差しかないにもかかわらず、C/E 値が大幅に異
なる。

これらの問題点を検討することとした。

8.1.2 原因の所在

上記 a) については、測定値側にも、径方向遮蔽実験の体系 I A とガスプレナム体系 I との間
で最大 10% 程度ボナーボール計数率に差がある^注ことも指摘しておく必要があるが、ここで
は問題点の原因を解析に求めて検討することとした。検討項目は次の通りである。

- ・解析に使用した応答関数
- ・検出器応答評価法
- ・組成データ
- ・計算体系

これらについて、径方向遮蔽実験解析と個別に比較した結果、次の問題点が明らかになった。

まず、応答関数については、JASPER 解析に標準的に使用してきたものと異なり、旧来の
ものを使用していた。これは結果に大きな影響を及ぼすことが分かった。

また、検出器応答評価法は、供試体後方 30 cm での位置では、実効検出中心とボナーボールの
占める空間範囲を考慮したボイド領域での平均応答により算出していた。JASPER 解析では、
SPACE TRAN もしくはボイド領域の実効検出中心でのみ評価している。

組成についてはほとんどの領域について問題はないが、供試体の試験領域周辺コンクリート組
成データについては、実験レポート⁽²⁾中の化学分析結果の解釈を再度見直す必要があり、これ
に基づいて数密度データを決定する必要がある。

さらに、計算体系については、TSR 炉心からコリメータ出口までの距離が、径方向透過実験
解析で設定していたものより、約 2 cm 短く、CRBR 上部軸方向遮蔽実験解析⁽⁴⁾の値を使用し
ていた。この距離の違いは、スペクトルモディファイヤー入口部の入射中性子束強度に影響を及
ぼす。ちなみに、幾何的に定まる強度の比を考えると、JASPER 設定値が 55.525 cm、

前年度解析設定値が53.66cmであるので、 $(55.525 / 53.66)^2 = 1.07$ となり、入射線源強度を約7%過大評価していることになる。

これらの解析手法の違いを考慮して、再度解析を行うこととした。

(注) 以下の通り3インチボナーボール計数率に約10%の差がある。

- ・ガスプレナムストリーミング実験体系I : 6.53+2 (CPM/Watt)
- ・径方向遮蔽実験体系IA : 5.92+2 (CPM/Watt)

8.2 実験解析

8.2.1 応答関数の影響

前年度解析で得られたDOT3.5の中性子束ファイルとJASPER実験解析で標準的に使用している応答関数を使用して、SPACETRANコードにより、全てのボナーボール計数率を算出した。結果を表8.1および表8.2に示す。この応答関数と応答評価法の修正により、次の通りC/E値が改善され、またボナーボールの大きさに依存するばらつきも減っていることが分かる。

	見直し前	見直し後
(中心軸上ボナーボール計数率)		
体系I	0.80~1.22	0.97~1.04
体系II	0.85~1.29	1.05~1.13
体系III	1.09~2.07	1.32~2.21
(径方向トラバースのボナーボール計数率)		
体系II	1.13~1.26	1.04~1.23
体系III	1.59~2.31	1.43~2.11

特に体系IのC/E値のばらつきが小さくなっていることが注目される。

8.2.2 コンクリート組成の影響

前項の再計算結果から、体系ⅠのC/E値がほぼ1となったにもかかわらず、体系Ⅲでは依然過大評価であり、C/E値の平均が1.48となっている。両体系間には、厚さ20cmの供試体の有無しか体系上の差異はない。20cmの領域厚でC/E値が50%も異なることは、通常の透過実験と比較すると考えにくく、供試体を構成する物質の組成を疑うことが自然である。そこで供試体の組成、特に試験領域（ガスプレナム模擬部）周辺コンクリートの組成に着目して検討した。

ガスプレナム供試体は、半径30cmの試験領域の外側を幅約50cmのコンクリート領域が取り囲む構成となっている。このコンクリート領域の組成を、側方遮蔽用コンクリート組成と比較して表8.3に示す。供試体コンクリートの組成は、前述のように実験レポート中に記された化学分析結果を判断して設定したものである。この表から両コンクリート組成のうち、特に水素、アルミニウム、カリウム、マグネシウム等に大きな差のあることが分かる。そこで前年度解析の供試体コンクリートの組成を側方遮蔽用コンクリート組成に置換した計算を行い、コンクリート組成の影響を調べることにした。

表8.4および表8.5に結果を示す。体系Ⅰは当然ながら影響がない。表8.1と表8.4とを比較すると、中心軸上のボナーボール計数率C/E値の平均は次の通りまとめられる。

	組成置換前	組成置換後
(体系後方30cm位置)		
体系Ⅱ	1.10	1.08
体系Ⅲ	1.45	1.31
(炉心から304.8cm位置)		
体系Ⅱ	1.09	1.05
体系Ⅲ	1.65	1.33

このように、組成置換後はC/E値の平均が改善されており、特にコンクリートの占める体積の大きい体系Ⅲでは、供試体後方30cmの位置で14%、炉心から304.8cm位置で32%も改善されている。

次に、径方向トラバースのC/E値の変化を検討する。表8.2と表8.5とから、各々のC/E値の分布を図示すると図8.1および図8.2のようになる。体系Ⅱ（図8.1）でもコンクリート組成の置換により、径方向のC/E値の分布がある程度改善されるが、体系Ⅲ（図8.2）では著しく改善されることが分かる。特に、組成置換前のC/E値は、径方向に沿って過大評価の割合が増大する傾向にあったが、置換後のC/E値の分布は平坦化し、しかもガスプレナム模擬部

でもC/E値が改善されている。逆に云えば、上述の中心軸上のボナーボール計数率は周辺コンクリート領域の組成に大きく影響されていることが分かる。

側方遮蔽用コンクリートの組成は、ORNL側で報告している核種数密度データであるが、ガスプレナム供試体コンクリートは表8.6に示す化学分析によるものである。この表の数値は、例えばLOIが何を指すか不明であるほか、LOIを除いても合計が100%を越えるなど、解釈が難しく、本解析では表8.7のように解析者が判断して設定している。ここで示した解析結果を見る限り、供試体コンクリートとしては側方遮蔽コンクリートの組成を用いることがより妥当であると考えられる。

8.2.3 コンクリート中水分感度解析

前項のように、ガスプレナム供試体のコンクリート組成を変えることにより、体系Ⅱおよび体系Ⅲのボナーボール計数率C/E値が改善されたことから、さらに組成の影響を検討する。ここではコンクリート中の水分の影響を調べた。

解析では体系Ⅲの供試体コンクリートについて、コンクリート組成に水を加えて巨視的断面積を作成した。水の添加量はコンクリート密度 2.4 g/cm^3 に対して、0.5、1、2 wt%の3ケースを考えた。5インチボナーボール計数率のC/E値の径方向分布を表8.8および図8.3に示す。この図から、水分増加によってC/E値は全体として1に近づくものの、径方向分布がその分歪むことが分かる。分布が平坦でかつ1に近づくことが望ましいが、結果はこれに反することから、コンクリート中水分のみでは、依然として残る過大評価を説明することは難しい。

8.2.4 炉心とコリメータ出口間距離の影響

前年度解析では、TSR炉心中心とコリメータ出口間の距離が約1.9cm大きく設定されていた。そこでJASPER解析で標準的に用いられている値に置き換えて再計算を行った。前節で述べたように、距離の差に基づく幾何的な線源強度補正量は約7%であることが分かっている。ここでは実際にDOTコードによりこの補正量を調べると共に、ボナーボール検出器毎に補正量の差が現れるかどうかを調べた。

計算結果を表8.9に示す。これは体系Ⅰの結果であるが、体系後方30cmと炉心中心から304.8cmのどちらも、ボナーボール検出器の種類によらずほぼ同一のファクター(0.95)を考えれば良いことが分かった。また、ここでは体系Ⅰのみで補正量を考えたが、入射線強度が変わるだけなので、補正因子(0.95)を体系Ⅱおよび体系Ⅲに適用することは可能であると考えられる。

8.2.5 見直し結果

以上の各検討項目を反映した今年度作業の結果（見直し結果）を以下に示す。

ここでは、応答関数および応答評価法、コンクリート組成として側壁の組成を使用すること、さらに炉心とコリメータ間距離を修正すること、この3項目を考慮する。コンクリート中水分の影響は、今回の解析結果では反映させるに足る内容ではないため、第5章で述べたコンクリート透過実験解析を進めてから再度検討することとした。

見直し結果を表8.10と表8.11に示す。これをまとめて以下に示す。

	見直し前	見直し後
(中心軸上ボナーボール計数率)		
体系Ⅰ	0.80～1.22	0.93～0.98
体系Ⅱ	0.85～1.29	0.96～1.05
体系Ⅲ	1.09～2.07	1.12～1.52
(径方向トラバースのボナーボール計数率)		
体系Ⅱ	1.13～1.26	0.99～1.05
体系Ⅲ	1.59～2.31	1.16～1.25

また、中心軸上のボナーボール計数率について、ガスプレナム供試体厚さとC/E値との関係を図8.4に示す。この図から、供試体厚さの増大と共に、C/E値が過大評価となることが分かる。ただし、炉中心から304.8cm位置でのC/E値1.52は、測定値がバックグラウンドの影響を受けているためと考えられる。

このように、各体系共にC/E値が大幅に改善された。ただし、体系Ⅲについては依然過大評価の傾向が残っている。

8.3 まとめと今後の課題

今回の解析では、解析に使用した応答関数、検出器応答評価法、組成データ、計算体系等の見直しを行い、改めてガスプレナムストリーミング実験のボナーボール計数率C/E値を算出した。その結果、各体系共にボナーボール計数率のC/E値が改善された。ただし、体系Ⅲの結果については、依然として過大評価の傾向が残っている。

今回の解析から、ガスプレナムストリーミング供試体のコンクリートの組成が計算値に大きく影響することが明らかとなった。コンクリートの組成は、前記のように、実験レポートに記載された化学分析結果に解析者の判断が必要なものである。このような任意性が解析を複雑にしていることから、ORNLで実施されたコンクリート透過実験を対象とした解析を行い（第5章参照）、コンクリート組成の影響と解析精度を把握したうえで、再度ガスプレナムストリーミング解析を見直すことが必要と考えられる。

(株) 三菱総合研究所 佐藤

参考文献

- (1) JASPERサブワーキングGr.、「JASPER実験解析(Ⅱ)」第3章、
PNC SN2410 88-003、1988年3月.
- (2) D. T. Ingersoll et al., "Technical Progress Report December 1 - January 31, 1987#
PNC SA0735 ORNL/LMR/AC-87/2 1987.
- (3) "Proceeding of the Jasper Analysis Meeting - Japanese Presentation - ,"
PNC SA0733 87-001, April 1987.
- (4) R. E. Maerker, et al., "Measurements and Calculations of the ORNL CRBR Upper
Axial Shield Experiment," ORNL-5259, June 1977.

表8.1 応答関数見直し結果—体系後方中心軸上

体系	B.B.	ボナーボール計数率 (cps/W)					
		体系後方30cm			炉心中心から304.8cm		
		2次元 計算値 ^{注)} (JSDJ2)	測定値	C/E	2次元 計算値 (JSDJ2)	測定値	C/E
I	3"	6.77+2	6.53+2	1.04	8.98+1	8.86+1	1.01
	5"	3.16+3	3.12+3	1.01	4.13+2	4.10+2	1.01
	8"	2.24+3	2.18+3	1.03	2.86+2	2.94+2	0.97
	10"	1.16+2	1.16+3	1.00	1.46+2	1.47+2	0.99
	12"	5.47+2	5.28+2	1.04	7.00+1	6.85+1	1.02
II	3"	6.30+2	5.85+2	1.08	9.63+1	9.14+1	1.05
	5"	2.39+3	2.21+3	1.08	3.20+2	2.82+2	1.13
	8"	1.59+3	1.41+3	1.13	1.94+2	1.71+2	1.13
	10"	8.16+2	7.23+2	1.13	9.58+1	8.82+1	1.09
	12"	3.80+2	3.58+2	1.06	4.51+1	4.30+1	1.05
III	3"	5.05+2	3.07+2	1.64	8.55+1	3.87+1	2.21
	5"	1.57+3	1.09+2	1.44	2.18+2	1.24+2	1.76
	8"	9.94+2	6.98+2	1.42	1.22+2	8.15+1	1.50
	10"	5.06+2	3.53+2	1.43	5.94+2	4.12+1	1.44
	12"	2.31+2	1.74+2	1.33	2.77+1	2.10+1	1.32

注) DOT-3.5 P₃S100 21G JSDJ2, SPACETRANで再評価

表8.2 応答関数見直し結果-径方向トラバース

体系	中心軸からの距離	5"ボナーボール計数率 測定値 (cps/W)		5"ボナーボール計数率 2次元計算値 (JSDJ2)		
		南側	北側	計数率 (cps/W)	C/E (南側)	C/E (北側)
II	70.0cm	7.17+2	6.78+2	8.32+2	1.16	1.23
	60.0cm	9.51+2	9.19+2	1.09+3	1.15	1.19
	45.0cm	1.36+3	1.33+3	1.51+3	1.11	1.14
	30.0cm	1.77+3	1.74+3	1.99+3	1.12	1.14
	22.5cm	1.98+3	1.97+3	2.18+3	1.10	1.11
	15.0cm	2.11+3	2.11+3	2.33+3	1.10	1.10
	10.0cm	2.16+3	2.21+3	2.39+3	1.11	1.08
	0.0cm	2.30+3	-	2.39+3	1.04	-
III	70.0cm	2.09+2	-	4.42+2	2.11	-
	60.0cm	2.97+2	2.93+2	5.96+2	2.01	2.03
	45.0cm	4.97+2	5.14+2	8.88+2	1.79	1.73
	30.0cm	7.56+2	7.74+2	1.24+3	1.64	1.60
	22.5cm	8.98+2	9.01+2	1.40+3	1.56	1.55
	15.0cm	9.86+2	1.03+2	1.51+3	1.53	1.47
	10.0cm	1.04+3	1.05+3	1.56+3	1.50	1.49
	0.0cm	1.10+3	-	1.57+3	1.43	-

表8.3 ガスプレナム供試体のコンクリート組成

計算	G/p供試体コンクリート	側方遮蔽コンクリート
・ H	8.850-3	8.88-3
C	8.326-3	7.97-3
O	4.683-2	4.2-2
・ Al	7.03-4	4.14-4
Ca	9.64-3	1.00-2
・ K	1.77-4	2.43-3
・ Mg	5.025-3	1.44-3
Si	9.6-5	1.02-4
Fl	1.68-4	-
Na	4.73-4	2.73-5
S	9.6-5	1.02-4

単位：個/(barn·cm)

表8.4 コンクリート組成変更結果－体系後方中心軸上

体系	B.B.	ボナーボール計数率 (cps/W)					
		体系後方30cm			炉心中心から304.8cm		
		2次元 計算値 ^{注)} (JSDJ2)	測定値	C/E	2次元 計算値 (JSDJ2)	測定値	C/E
I	3"	6.77+2	6.53+2	1.04	8.98+1	8.86+1	1.01
	5"	3.16+3	3.12+3	1.01	4.13+2	4.10+2	1.01
	8"	2.24+3	2.18+3	1.03	2.86+2	2.94+2	0.97
	10"	1.16+2	1.16+3	1.00	1.46+2	1.47+2	0.99
	12"	5.47+2	5.28+2	1.04	7.00+1	6.85+1	1.02
II	3"	6.48+2	5.85+2	1.11	9.98+1	9.14+1	1.09
	5"	2.31+3	2.21+3	1.05	2.99+2	2.82+2	1.06
	8"	1.54+3	1.41+3	1.09	1.81+2	1.71+2	1.06
	10"	7.95+2	7.23+2	1.10	9.04+1	8.82+1	1.02
	12"	3.76+2	3.58+2	1.05	4.34+1	4.30+1	1.01
III	3"	4.24+2	3.07+2	1.38	6.19+1	3.87+1	1.60
	5"	1.37+3	1.09+2	1.26	1.69+2	1.24+2	1.36
	8"	9.11+2	6.98+2	1.31	1.02+2	8.15+1	1.25
	10"	4.75+2	3.53+2	1.35	5.15+1	4.12+1	1.25
	12"	2.19+2	1.74+2	1.26	2.48+1	2.10+1	1.18

注) DOT-3.5 P₃S100 21G JSDJ2, SPACETRANで再評価

表8.5 コンクリート組成変更結果 - 径方向トラバース

体系	中心軸からの距離	5"ボナーボール計数率 測定値 (cps/W)		5"ボナーボール計数率 2次元計算値 (JSDJ2)		
		南側	北側	計数率 (cps/W)	C/E (南側)	C/E (北側)
II	70.0cm	7.17+2	6.78+2	7.48+2	1.04	1.10
	60.0cm	9.51+2	9.19+2	9.92+2	1.04	1.08
	45.0cm	1.36+3	1.33+3	1.41+3	1.04	1.06
	30.0cm	1.77+3	1.74+3	1.89+3	1.07	1.09
	22.5cm	1.98+3	1.97+3	2.09+3	1.06	1.06
	15.0cm	2.11+3	2.11+3	2.25+3	1.07	1.07
	10.0cm	2.16+3	2.21+3	2.31+3	1.07	1.05
	0.0cm	2.30+3	-	2.31+3	1.00	-
III	70.0cm	2.09+2	-	2.57+2	1.23	-
	60.0cm	2.97+2	2.93+2	3.71+2	1.25	1.27
	45.0cm	4.97+2	5.14+2	6.27+2	1.26	1.22
	30.0cm	7.56+2	7.74+2	9.89+2	1.31	1.28
	22.5cm	8.98+2	9.01+2	1.16+3	1.29	1.29
	15.0cm	9.86+2	1.03+3	1.29+3	1.31	1.25
	10.0cm	1.04+3	1.05+3	1.36+3	1.31	1.30
	0.0cm	1.10+3	-	1.37+3	1.25	-

表 8.6 化学分析によるコンクリート組成データ

Element	wt %
Al_2O_3	2.43
CaO	36.78
CO_3	44.3
Fe_2O_3	0.92
H_2O (Bound)	2.10
H_2O (Free)	0.26
K_2O	0.57
LOI*	35.62*
MgO	13.78
Na_2O	0.13
P_2O_5	0.0285
SiO_2	8.54
SO_3	0.53

*Includes free and bound H_2O , CO_2 , and SO_3 values shown in the table.

表8.7 解析で設定したコンクリート組成データ

化合物	重量比(%)
Al ₂ O ₃	2.43
CaO	36.78
Fe ₂ O ₃	0.92
H ₂ O	2.36
K ₂ O	0.57
MgO	13.78
Na ₂ O	0.13
SiO ₂	8.54
SO ₃	0.53
小計	66.04
CO ₃	33.96
合計	100.00

表8.8 コンクリート中水分の影響
(体系III)

コンクリート中水分増 加量(wt%)	中心軸からの 距離	測定値 (cps/W)		2次元計算値 (JSDJ2)		
		南側	北側	計数率(cps/W)	C/E(南側)	C/E(北側)
0.0	70.0cm	2.09+2	-	2.57+2	1.23	-
	60.0cm	2.97+2	2.93+2	3.71+2	1.25	1.27
	45.0cm	4.97+2	5.14+2	6.27+2	1.26	1.22
	30.0cm	7.56+2	7.74+2	9.89+2	1.31	1.28
	22.5cm	8.98+2	9.01+2	1.16+3	1.29	1.29
	15.0cm	9.86+2	1.03+3	1.29+3	1.31	1.25
	10.0cm	1.04+3	1.05+3	1.36+3	1.31	1.30
	0.0cm	1.10+3	-	1.37+3	1.25	-
0.5	70.0cm	2.09+2	-	2.41+2	1.15	-
	60.0cm	2.97+2	2.93+2	3.50+2	1.18	1.19
	45.0cm	4.97+2	5.14+2	6.03+2	1.21	1.17
	30.0cm	7.56+2	7.74+2	9.69+2	1.28	1.25
	22.5cm	8.98+2	9.01+2	1.14+3	1.27	1.26
	15.0cm	9.86+2	1.03+3	1.28+3	1.29	1.24
	10.0cm	1.04+3	1.05+3	1.34+3	1.29	1.28
	0.0cm	1.10+3	-	1.36+3	1.24	-
1.0	70.0cm	2.09+2	-	2.25+2	1.08	-
	60.0cm	2.97+2	2.93+2	3.30+2	1.11	1.13
	45.0cm	4.97+2	5.14+2	5.78+2	1.16	1.13
	30.0cm	7.56+2	7.74+2	9.43+2	1.25	1.22
	22.5cm	8.98+2	9.01+2	1.11+3	1.24	1.24
	15.0cm	9.86+2	1.03+3	1.25+3	1.27	1.22
	10.0cm	1.04+3	1.05+3	1.32+3	1.27	1.26
	0.0cm	1.10+3	-	1.34+3	1.22	-
2.0	70.0cm	2.09+2	-	1.99+2	0.95	-
	60.0cm	2.97+2	2.93+2	2.96+2	1.00	1.01
	45.0cm	4.97+2	5.14+2	5.35+2	1.08	1.04
	30.0cm	7.56+2	7.74+2	8.99+2	1.19	1.16
	22.5cm	8.98+2	9.01+2	1.07+3	1.19	1.19
	15.0cm	9.86+2	1.03+3	1.21+3	1.23	1.17
	10.0cm	1.04+3	1.05+3	1.28+3	1.23	1.22
	0.0cm	1.10+3	-	1.30+3	1.18	-

注) 測定点で評価

表 8.9 炉心とコリメータ出口間距離の影響

(1) 体系後方 30 cm

ボナー ボール	Z=55.525			Z=53.66		
	DOT-4.3 LIN-ZERO	DOT-4.3 ⊙-WEIGHT	DOT-4.3 WEIGHTED	DOT-4.3 LIN-ZERO	DOT-4.3 ⊙-WEIGHT	DOT-4.3 WEIGHTED
3"	8.56E+02	8.56E+02	8.41E+02	8.98E+02	8.96E+02	8.81E+02
5"	3.87E+03	3.88E+03	3.81E+03	4.06E+03	4.05E+03	3.99E+03
8"	2.63E+03	2.63E+03	2.59E+03	2.75E+03	2.74E+03	2.71E+03
10"	1.35E+03	1.35E+03	1.34E+03	1.41E+03	1.41E+03	1.43E+03
12"	6.34E+02	6.36E+02	6.29E+02	6.64E+02	6.62E+02	6.56E+02

Z=52.525結果/Z=53.66結果

ボナー ボール	DOT-4.3 LIN-ZERO	DOT-4.3 ⊙-WEIGHT	DOT-4.3 WEIGHTED
3"	0.95	0.96	0.95
5"	0.95	0.96	0.95
8"	0.96	0.96	0.96
10"	0.96	0.96	0.94
12"	0.95	0.96	0.96

(2) 炉心中心から 304.8 cm

ボナー ボール	Z=55.525			Z=53.66		
	DOT-4.3 LIN-ZERO	DOT-4.3 ⊙-WEIGHT	DOT-4.3 WEIGHTED	DOT-4.3 LIN-ZERO	DOT-4.3 ⊙-WEIGHT	DOT-4.3 WEIGHTED
3"	1.08E+02	1.08E+02	1.07E+02	1.13E+02	1.13E+02	1.12E+02
5"	4.71E+02	4.72E+02	4.67E+02	4.95E+02	4.94E+02	4.90E+02
8"	3.18E+02	3.18E+02	3.16E+02	3.33E+02	3.33E+02	3.31E+02
10"	1.60E+02	1.60E+02	1.59E+02	1.67E+02	1.67E+02	1.67E+02
12"	7.52E+01	7.54E+01	7.49E+01	7.88E+01	7.87E+01	7.83E+01

Z=52.525結果/Z=53.66結果

ボナー ボール	DOT-4.3 LIN-ZERO	DOT-4.3 ⊙-WEIGHT	DOT-4.3 WEIGHTED
3"	0.96	0.96	0.96
5"	0.95	0.96	0.95
8"	0.95	0.95	0.95
10"	0.96	0.96	0.95
12"	0.95	0.96	0.96

表8.10 前年度解析の見直し結果－体系後方中心軸上

体系	B.B.	ボナーボール計数率 (cps/W)					
		体系後方30cm			炉心中心から304.8cm		
		2次元 計算値 ^{注)} (JSDJ2)	測定値	C/E	2次元 計算値 (JSDJ2)	測定値	C/E
I	3"	6.43+2	6.53+2	0.98	8.53+1	8.86+1	0.96
	5"	3.00+3	3.12+3	0.96	3.92+2	4.10+2	0.96
	8"	2.13+3	2.18+3	0.98	2.72+2	2.94+2	0.93
	10"	1.10+2	1.16+3	0.95	1.39+2	1.47+2	0.95
	12"	5.20+2	5.28+2	0.98	6.65+1	6.85+1	0.97
II	3"	6.16+2	5.85+2	1.05	9.48+1	9.14+1	1.04
	5"	2.19+3	2.21+3	0.99	2.84+2	2.82+2	1.01
	8"	1.46+3	1.41+3	1.04	1.72+2	1.71+2	1.01
	10"	7.55+2	7.23+2	1.04	8.59+1	8.82+1	0.97
	12"	3.57+2	3.58+2	1.00	4.12+1	4.30+1	0.96
III	3"	4.03+2	3.07+2	1.31	5.88+1	3.87+1	1.52
	5"	1.30+3	1.09+2	1.19	1.61+2	1.24+2	1.30
	8"	8.65+2	6.98+2	1.24	9.69+1	8.15+1	1.19
	10"	4.51+2	3.53+2	1.28	4.89+1	4.12+1	1.19
	12"	2.08+2	1.74+2	1.20	2.36+1	2.10+1	1.12

注) DOT-3.5 P₃S100 21G JSDJ2, SPACETRANで再評価

表8.11 前年度解析の見直し結果—径方向トラバース

体系	中心軸からの 距離	測定値 (cps/W)		2次元計算値 (JSDJ2)		
		南側	北側	計数率 (cps/W)	C/E (南側)	C/E (北側)
II	70.0cm	7.17+2	6.78+2	7.11+2	0.99	1.05
	60.0cm	9.51+2	9.19+2	9.42+3	0.99	1.03
	45.0cm	1.36+3	1.33+3	1.34+3	0.99	1.01
	30.0cm	1.77+3	1.74+3	1.80+3	1.02	1.03
	22.5cm	1.98+3	1.97+3	1.99+3	1.01	1.01
	15.0cm	2.11+3	2.11+3	2.14+3	1.01	1.01
	10.0cm	2.16+3	2.21+3	2.19+3	1.01	0.99
	0.0cm	2.30+3	—	2.19+3	1.00	—
III	70.0cm	2.09+2	—	2.44+2	1.17	—
	60.0cm	2.97+2	2.93+2	3.52+2	1.19	1.20
	45.0cm	4.97+2	5.14+2	5.96+2	1.20	1.16
	30.0cm	7.56+2	7.74+2	9.40+2	1.24	1.21
	22.5cm	8.98+2	9.01+2	1.10+3	1.22	1.22
	15.0cm	9.86+2	1.03+2	1.23+3	1.25	1.19
	10.0cm	1.04+3	1.05+3	1.29+3	1.24	1.23
	0.0cm	1.10+3	—	1.30+3	1.18	—

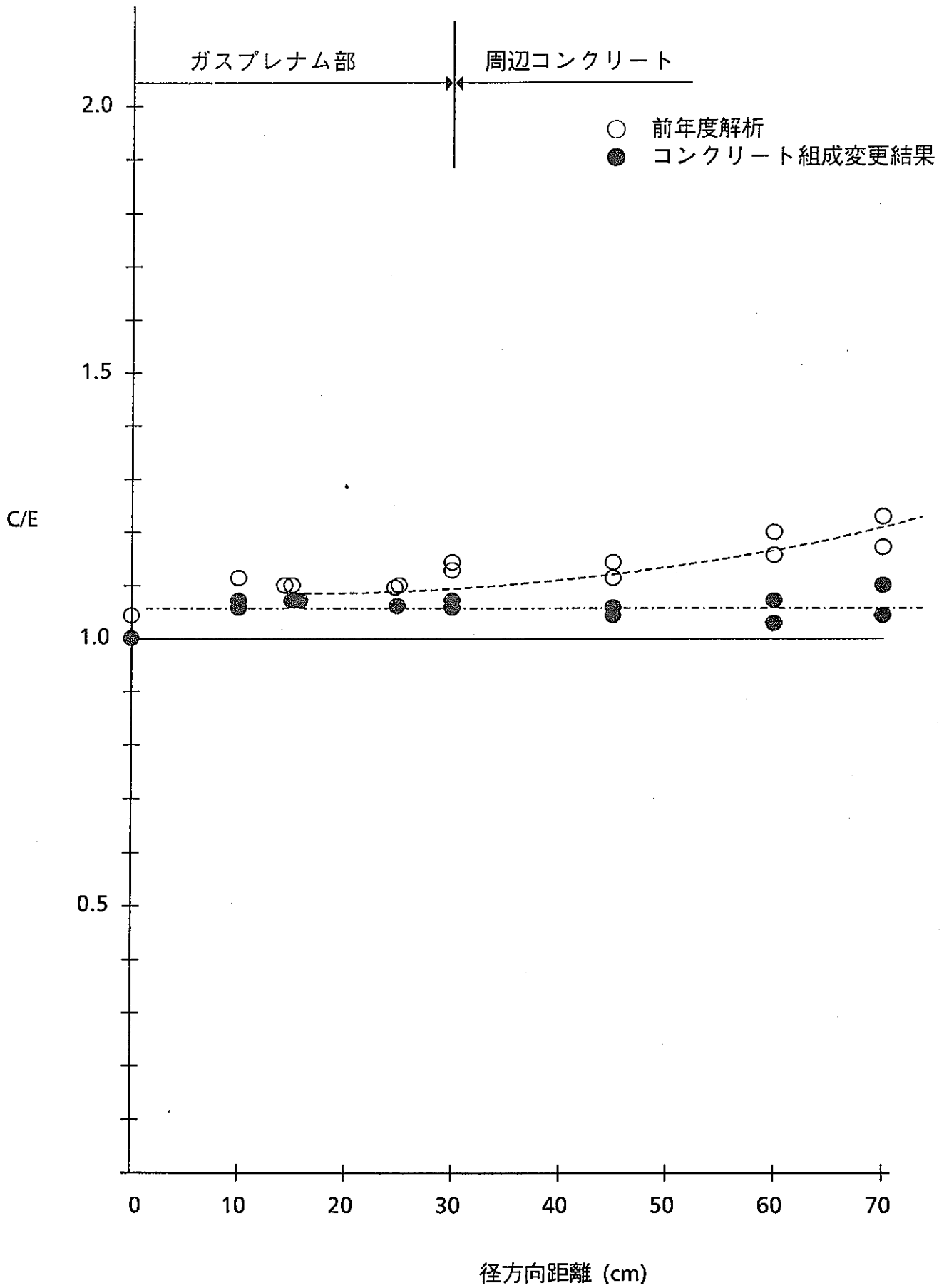


図8.1 体系IIにおけるコンクリート組成の影響

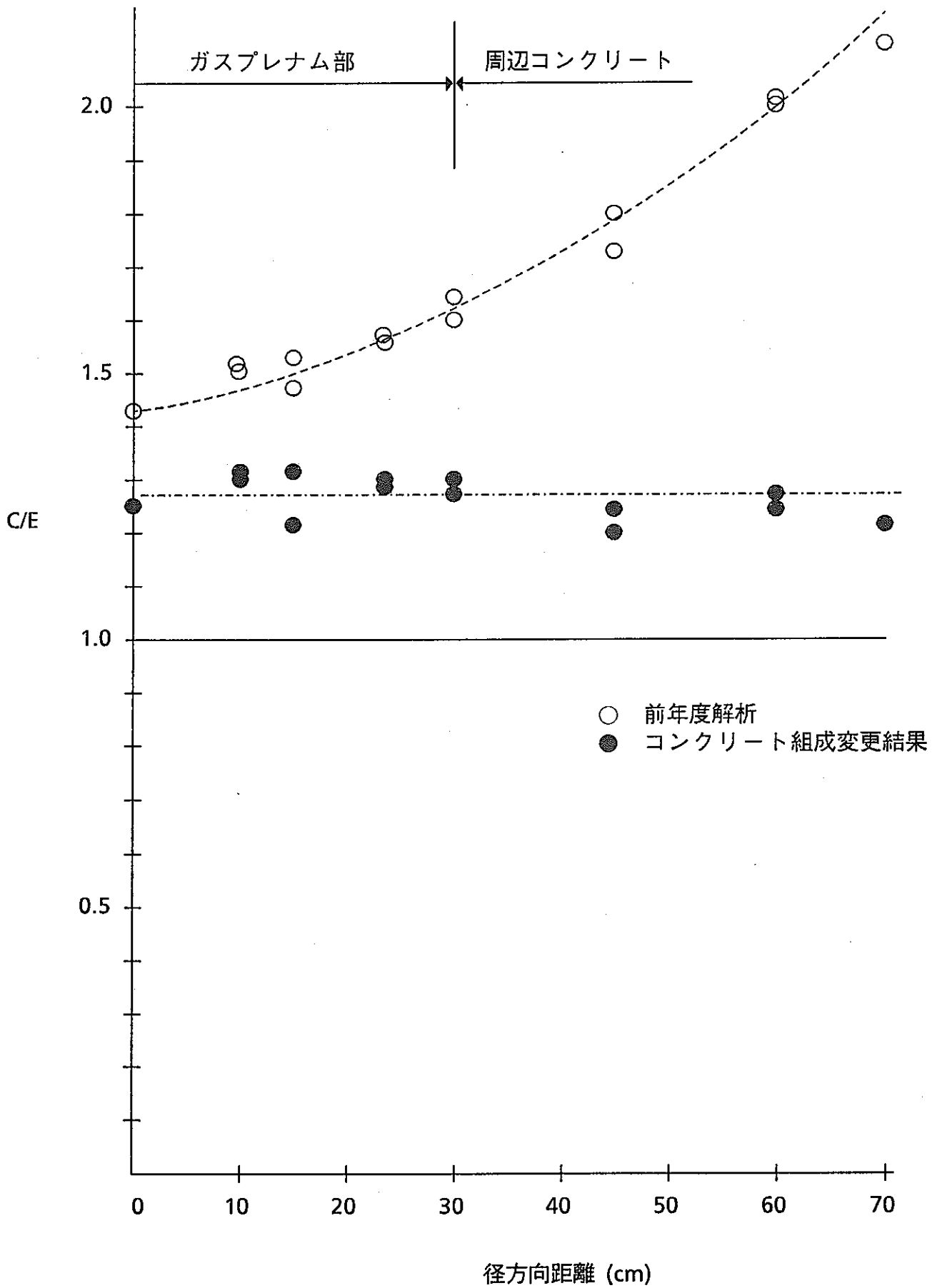


図8.2 体系IIIにおけるコンクリート組成の影響

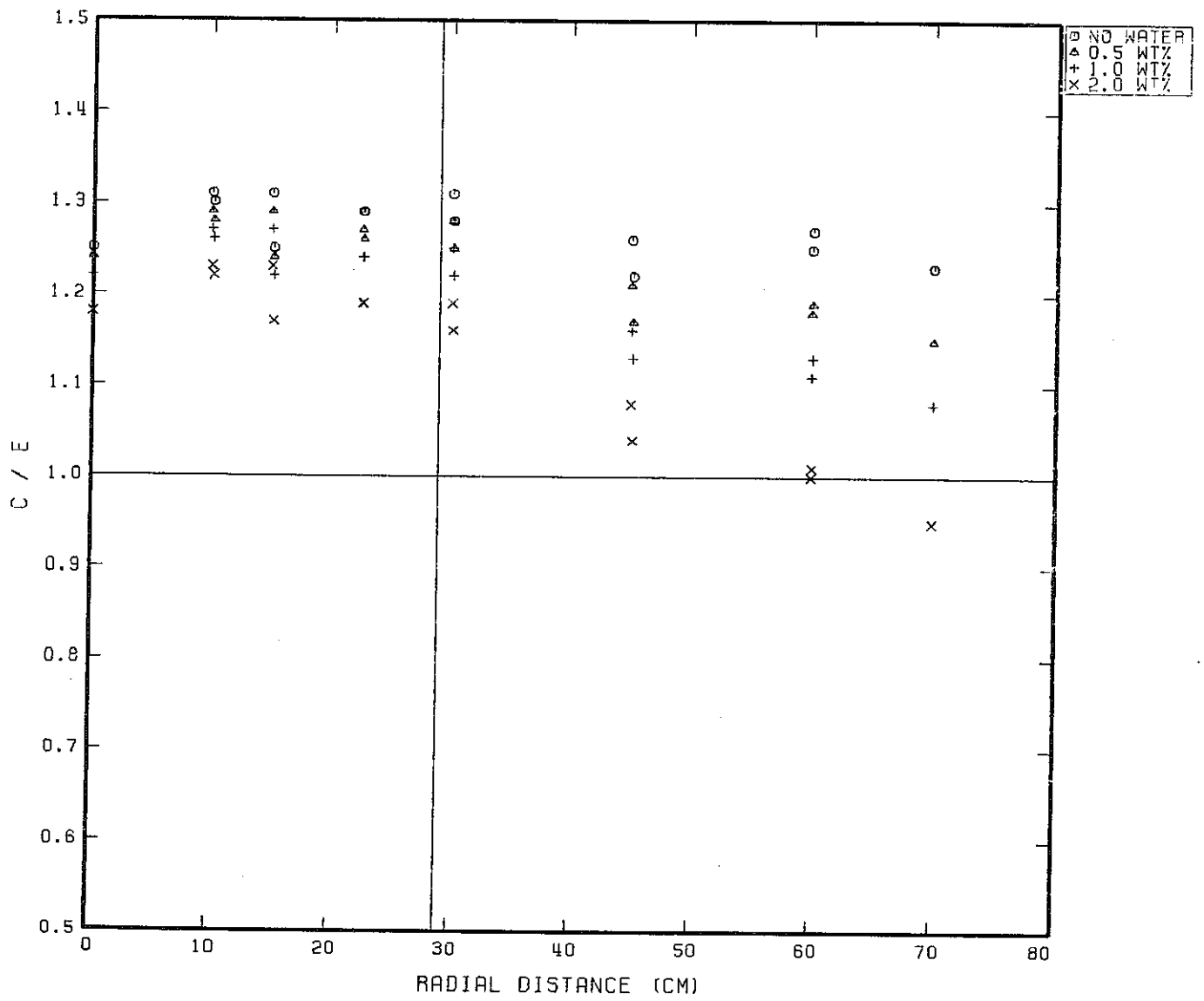
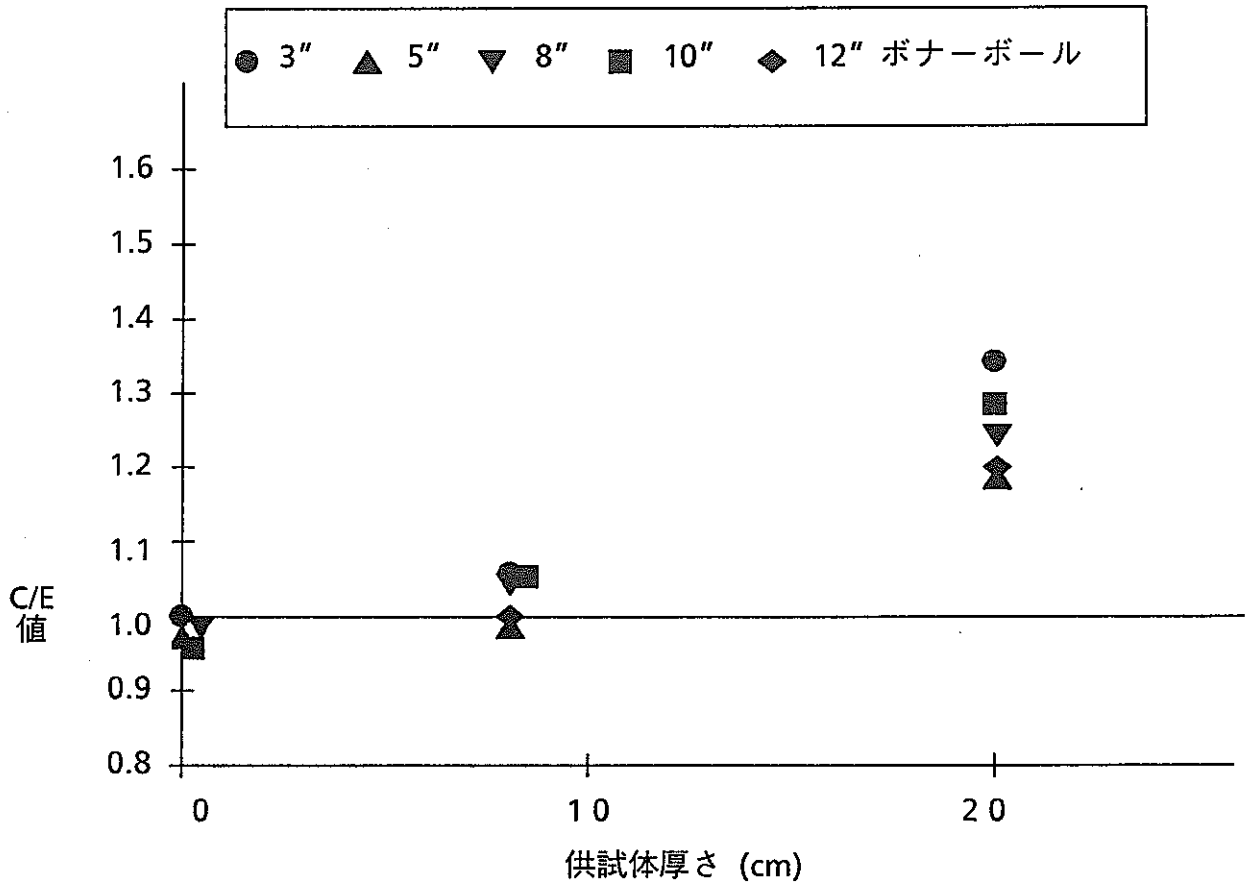
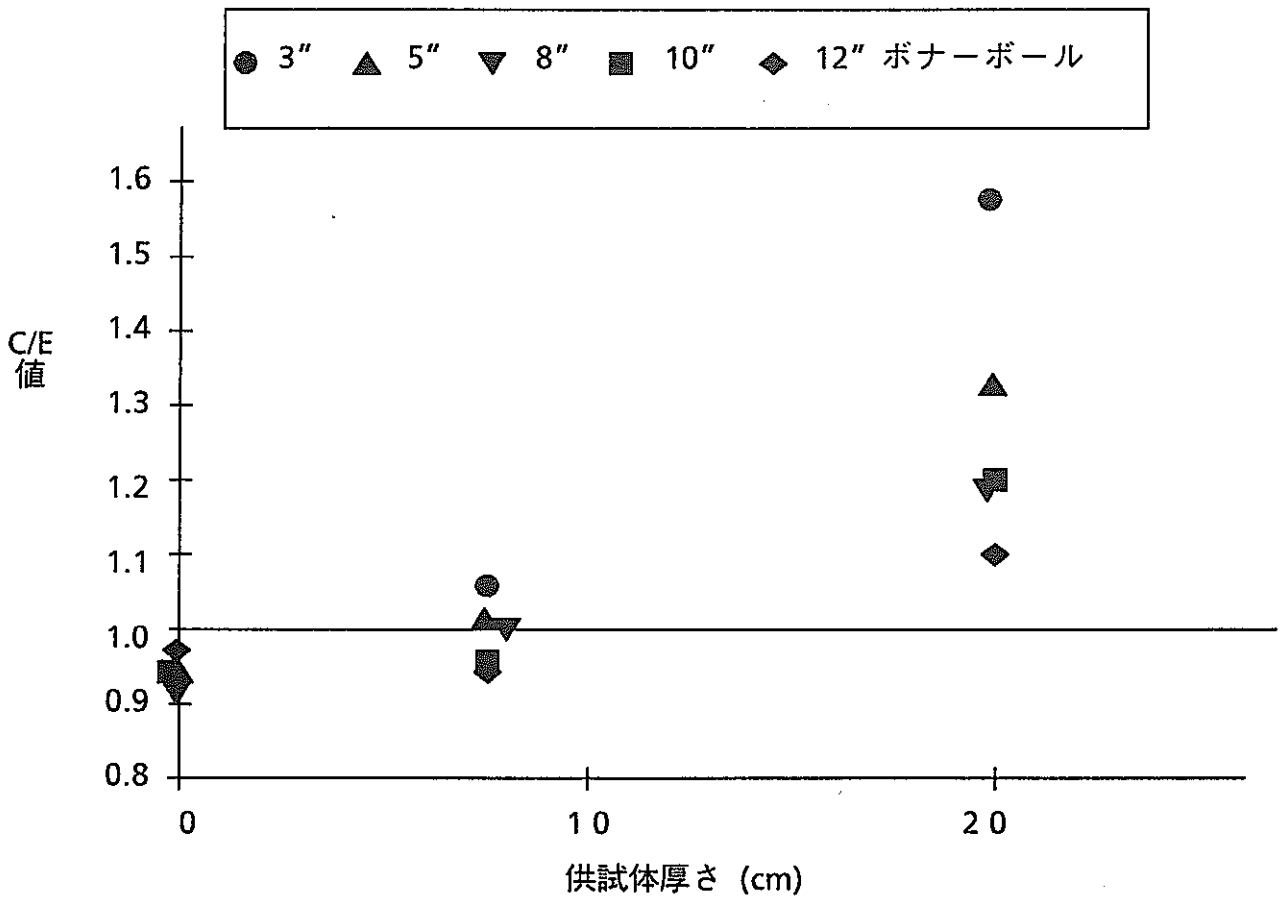


図 8.3 体系Ⅲにおけるコンクリート中水分の影響



(i) 中心軸上体系後方30cm



(ii) 炉中心から304.8cm

図8.4 供試体厚さとC/E値との関係

9. ギャップストリーミング実験

ギャップストリーミング実験は、FFTFの回転プラグの遮蔽性能等の研究のためにTSFを用いて実施されたものである⁽¹⁾。本実験項目のうちアニュラースリットストリーミング実験の解析が先年度行なわれた⁽²⁾が、その結果得られたC/Eは、供試体前段のスペクトルモディファイヤ部に対して0.3～0.4程度、供試体透過後は0.1程度となり、実験値と解析結果との一致は非常に悪い。この原因については、主に鉄の透過に対する現状の解析手法における計算精度の問題であると考えられた。すなわち、本実験供試体は鉄により構成されているが、この鉄の透過に対するC/Eは過去に実施された鉄のベンチマーク実験の結果とほぼ一致する⁽³⁾⁽⁴⁾。しかしながら、この他にナトリウムが主体となっているスペクトルモディファイヤ部ですでにC/Eが0.3～0.4程度となることについては線源条件や計算パラメータ等の設定に問題があることも考えられる。そこで、本年度はこのスペクトルモディファイヤ部に着目し、再解析を実施した。

9.1 実験概要および解析条件

本年度解析を行なったスペクトルモディファイヤ部は、TSF 15in. コリメータ後方に鉄8in.、ナトリウム60in.を設置した実験体系で、それを図9.1.1に示す。本体系は8in.厚の鉄のスラブが存在するものの、ほとんどがナトリウムによって構成されている。本体系と同じナトリウム厚60in. (5ft)の透過に対する実験解析は、前述のナトリウムベンチマーク実験(2章参照)からC/Eとして1.0程度の値(3"以上のB.Bレスポンスについて)が得られており、先年度実施した本実験の解析結果と大きくくいちがいが生じている。この原因は、ナトリウムの前段に鉄が存在するためであるとも考えられるが、先年度実施した解析条件を詳細に検討したところ次の様な疑問点が明らかになった。

- ① 本実験レポート(ORNL/TM-3513)では解析を実施するにあたっての線源条件となるコリメータ出口での中性子束が50群構造で報告されているが、これはナトリウムベンチマーク実験(ORNL-4880)の100群構造のものと同であった。このため先年度の解析は、ナトリウムベンチマーク実験と同じ線源条件により実施した。すなわち、仮想点源位置をコリメータ出口から59.5in.内側に設定して、DOT-3-5初回衝突線源オプションにより解析を行った。しかしながら実際のコリメータ形状は図9.1.2に比較したように両者で若干異なっている。ギャップストリーミング実験ではコリメータ径が15in.であるのに対し、ナトリウムベンチマーク実験では15-1/4in.である。またギャップストリーミング実験ではコリメータまわりにコンクリートが設置されていないため、コリメータ長がナトリウムベンチマーク実験より短くなっている。これらのコリメータ形状の相違に基づく線源条件の違いが解析結果に影響を及ぼしている可能性が

ある。

- ② 先年度実施した解析では角度分点として後段のストリーミング体系の解析を考慮して前方方向に多くの角度点を有する非対称 S 124 分点を使用した。しかし、この様な角度分点は今回対象としているスペクトルモディファイヤの様なバルク透過問題では通常使用されない。

本年度は、スペクトルモディファイヤ部に対する実験値との不一致がこれらの疑問点によるものであるか否かを確認する目的で以下に示す条件の基に解析を実施した。

(1) 線源条件

本実験レポートでは解析に用いる線源条件をどの様に設定すべきであるかについての明確な記述は存在しない。しかしながら、¹⁰B スペクトルメータによるコリメータ出口での中性子束の測定結果および線源強度に関して検討されている部分の記述内容から、DOT-3.5 の初回衝突線源を用いるとすれば、その仮想点源位置はコリメータ出口から内側へ 44in. の位置であることが推定される。そこで本年度の解析では、コリメータ径を 15-1/4in. から 15in. と変更し、仮想点源位置を上記の 44in. とし、DOT-3-5 初回衝突線源オプションにより解析を実施した。その線源条件を先年度の条件と比較し図 9.1.3 に示す。

(2) 角度分点

先年度実施した S 124 非対称分点から S 48 対称分点に変更した。この分点はナトリウムベンチマーク実験 (2 章参照) において用いられたものと同じものである。

(3) その他の条件

その他の解析手法および条件は基本的に先年度と同じである。ただし、径方向メッシュ分割について、本年度は後段のストリーミング体系を考慮する必要がないためナトリウムベンチマーク実験解析と同程度の分割数に低減した。また検出器 (B.B) レスポンスの算出にあたって、先年度は DOT-3.5 を用いたために体系後方のボイド部を計算体系に考慮していたが、本年度はこれを SPACETRAN を用いて実施するため計算範囲をスペクトルモディファイヤ部のみに限定した。図 9.1.4 に両計算体系を比較して示す。

9.2 解析結果および検討

スペクトルモディファイヤの中心軸上10in. 後方にて得られているB. B レスポンスに対するC/Eを表9.2.1に示した。表9.2.1のうち本年度新たに検討したものは、以下の3ケースである。

- ① 先年度と同一解析条件であるがB. B レスポンスの算出をSPACETRANにて行なった計算
- ② 線源条件や角度分点等の解析条件を見直した21群計算
- ③ 線源条件や角度分点等の解析条件を見直した100群計算

①より、B. B レスポンス算出にあたってDOT-3.5, SPACETRANにおける手法上の違いはないことが確認できた。なお、SPACETRANによって得られるB. B レスポンスに考慮されない非衝突線束の寄与については別途評価したが、この寄与は0.1%以下で無視できるレベルであった。

解析条件を変更して得られた結果のうち先年度と同じ21群計算に対してはほとんど変化はなく、むしろC/Eが小さくなる傾向となり、実験値との一致が改善されるには至らなかった。この原因はナトリウムの前段にある鉄スラブの影響であると考えられた。100群計算は、過去の鉄のベンチマーク実験解析で22群や28群による結果が100群解析によってある程度改善されることが報告されている⁽³⁾ ⁽⁴⁾ことから、検討を進める意味で実施したものである。しかしながら、得られた結果は表9.2.1に示した様に21群解析とほとんど変化がなかった。これは、本実験が鉄単層ではなくナトリウムとの多重層の透過実験となっているためであると考えられるが現状では、詳細な原因について言及することは困難である。表9.2.1にはORNLの解析結果についても示してある。その結果ではC/Eは0.74~0.94で実験値との一致が比較的良い。本解析に関しては、「線源として初回衝突線源を用いていないと思われる」という情報をORNLの関係者から非公式ではあるが聴取している。もしこれが事実であるならば、初回衝突線源を用いない妥当な線源条件を与えることによって今回行なった解析結果が改善されることが期待できる。初回衝突線源については前述の鉄のベンチマーク実験解析が実験値と一致しない要因としても問題視されており、今後検討すべき重要なテーマであるといえる。

(Mapi 太田 勳)

参考文献

- (1) C. E. Clifford 他. STUDY OF NEUTRON TRANSMISSION THROUGH PLANAR AND CYLINDRICAL ANNULAR SLITS IN IRON SHIELD. ORNL/TM-3513. Oak Ridge National Laboratory. Sept. 1980
- (2) JASPERサブワーキンググループ, JASPER実験解析(Ⅱ), PNC SN2410 88-003, 1988年3月(前年度本報告書)
- (3) Kenji Sasaki 他. ANALYSIS OF BENCHMARK EXPERIMENT FOR NEUTRON TRANSPORT IN SODIUM, STAINLESS STEEL AND IRON. Proc. 6th International Conference on Radiation Shielding, Vol I, P. 418. Tokyo, May 16-20 1983
- (4) M. Kawai 他. INTEGRAL TEST OF IRON DATA IN JENDL-2 FOR FAST SHIELDING ANALYSIS. 同上. P. 428

表9.2.1 ギャップストリーミング実験スペクトルモディファイヤ体系のC/E

— (中心軸上, 体系後方10in.) —

B.B 径	線 計 算		解 析 結 果 (C/E)				
	実 験 値 (cpm / w)	源 条 件	パラメータ	21群-P3-S124	21群-P3-S48	100群-P3-S48	50群-P1-S100*3
		コリメータ径 (in)	15.25	15.0			
		点線源位置 (in)	59.5	44.0			?
B.B レスポンスの算出方法		DOT-3-5 *1	SPACETRAN *2				
3 in.	2.387×10^2	0.42	0.41	0.39	0.39	0.94	
4 in.	3.813×10^2	0.43	0.43	0.40	0.42	0.95	
6 in.	3.494×10^2	0.37	0.36	0.34	0.36	0.74	
8 in.	1.651×10^2	0.38	0.38	0.35	0.37	0.78	
10 in.	6.519×10^1	0.37	0.38	0.35	0.37	0.79	
12 in.	2.580×10^1	0.36	0.36	0.33	0.35	0.75	
全中性子束減衰率	—————	4.4×10^{-4}	4.3×10^{-4}	4.5×10^{-5}	—————		

*1 先年度解析結果

*2 本年度解析結果 (使用した断面積は先年度同様JSDJ2 である。)

*3 ORNL解析結果 (ORNL/TM-3513 より)

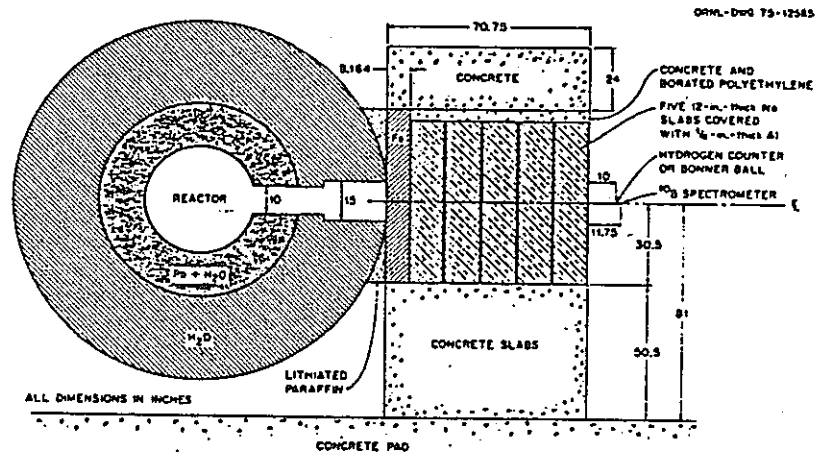


Fig. 4.3. TSR-II Fe-Na Spectrum Modifier Arrangement (Vertical Cross Section).

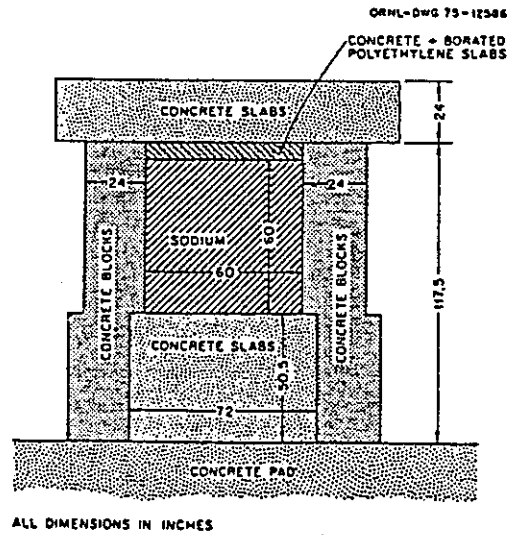


Fig. 4.4. TSR-II Fe-Na Spectrum Modifier Arrangement (Front View).

図9.1.1 ギャップストリーミング実験スペクトルモディファイヤ体系

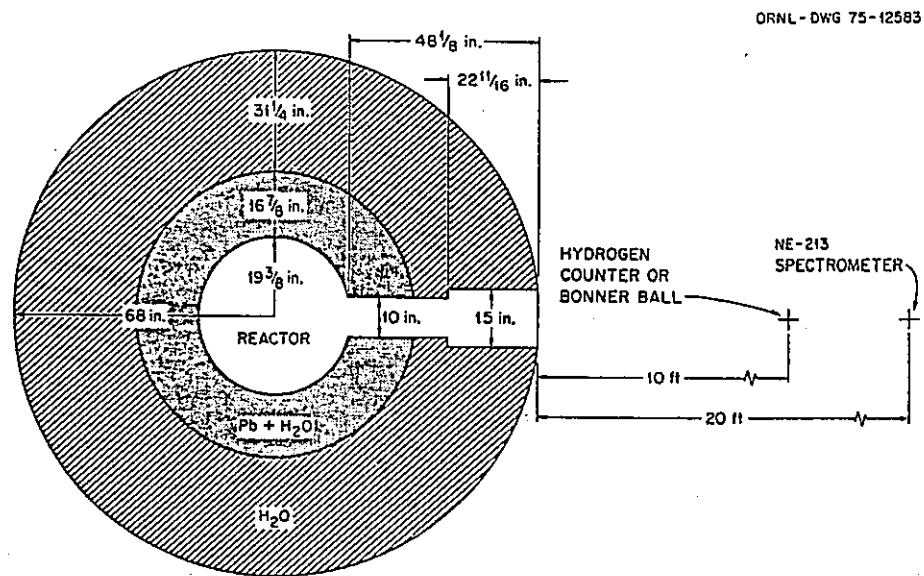


Fig. 2.1. Detector Locations for TSR-II Bare Beam Measurements.

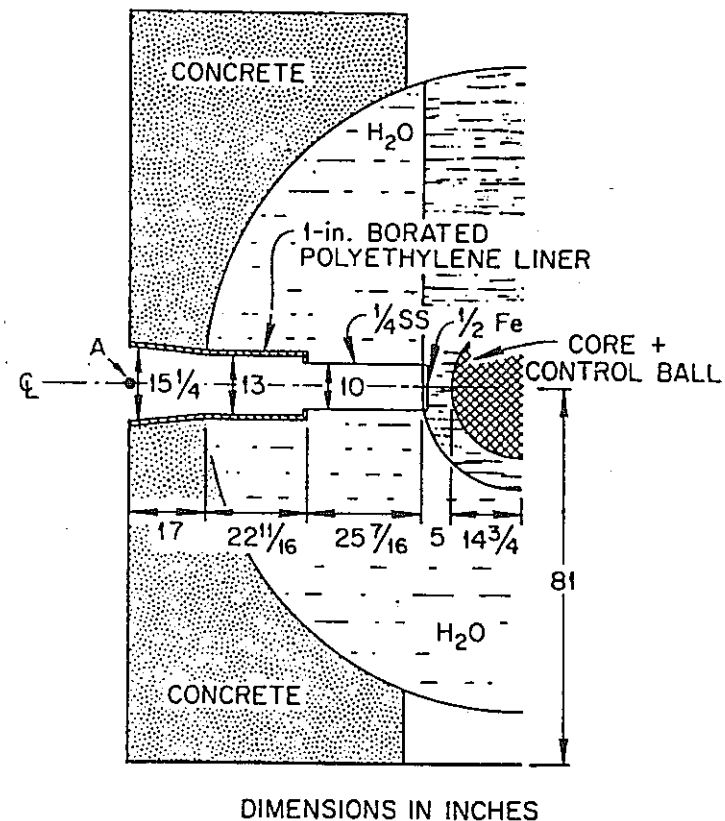
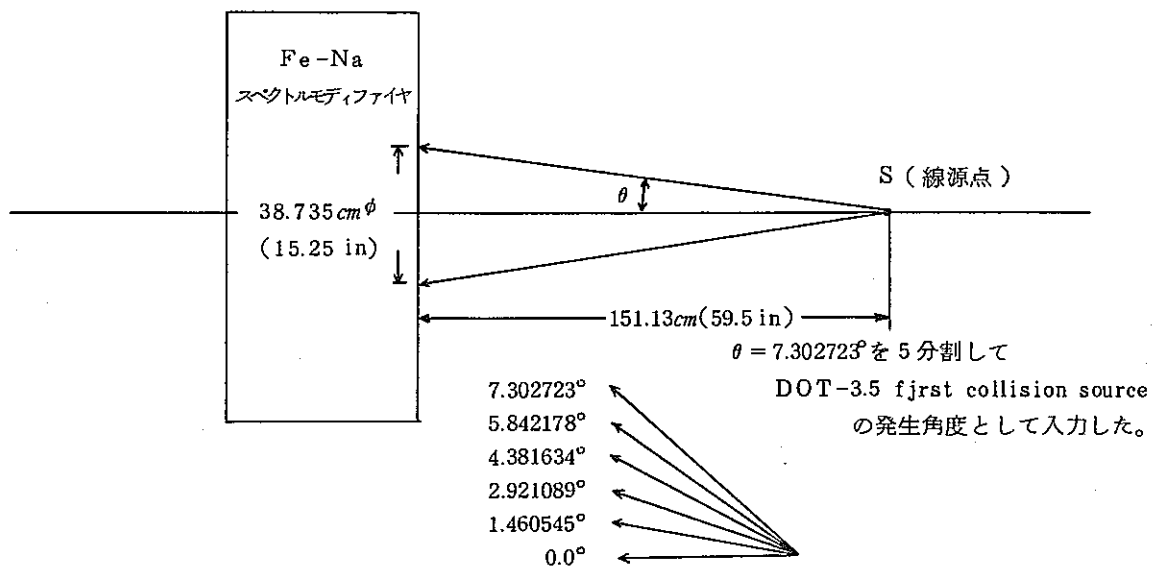


Fig. 3. Experimental Configuration for the 15-1/4-in.-diam Collimator

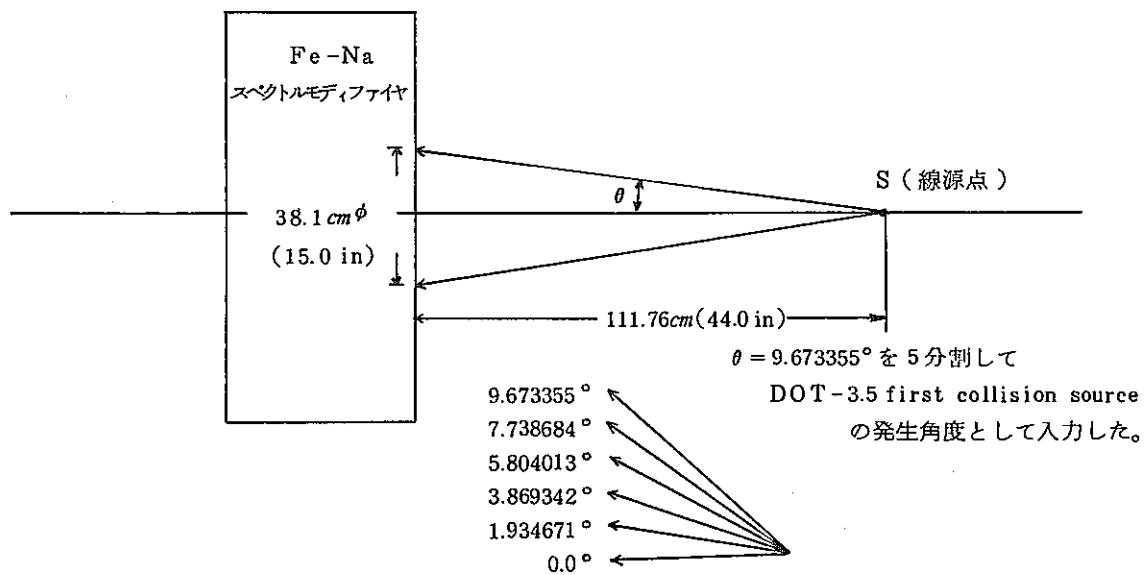
(a) ギャップストリーミング実験

(b) ナトリウムベンチマーク実験

図9.1.2 コリメータ形状の比較

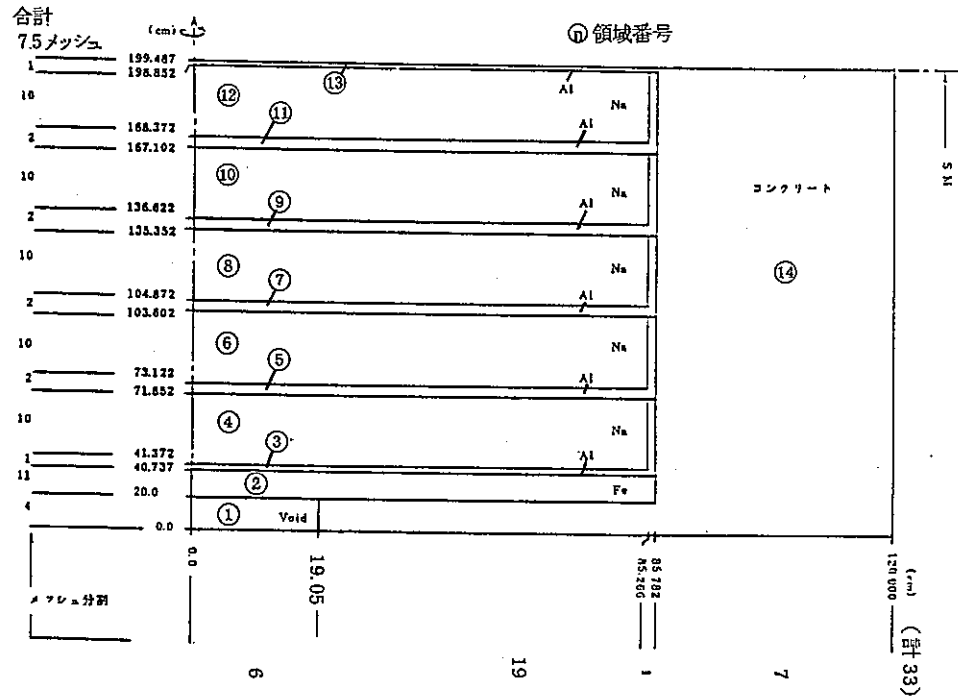


(a) 先年度解析

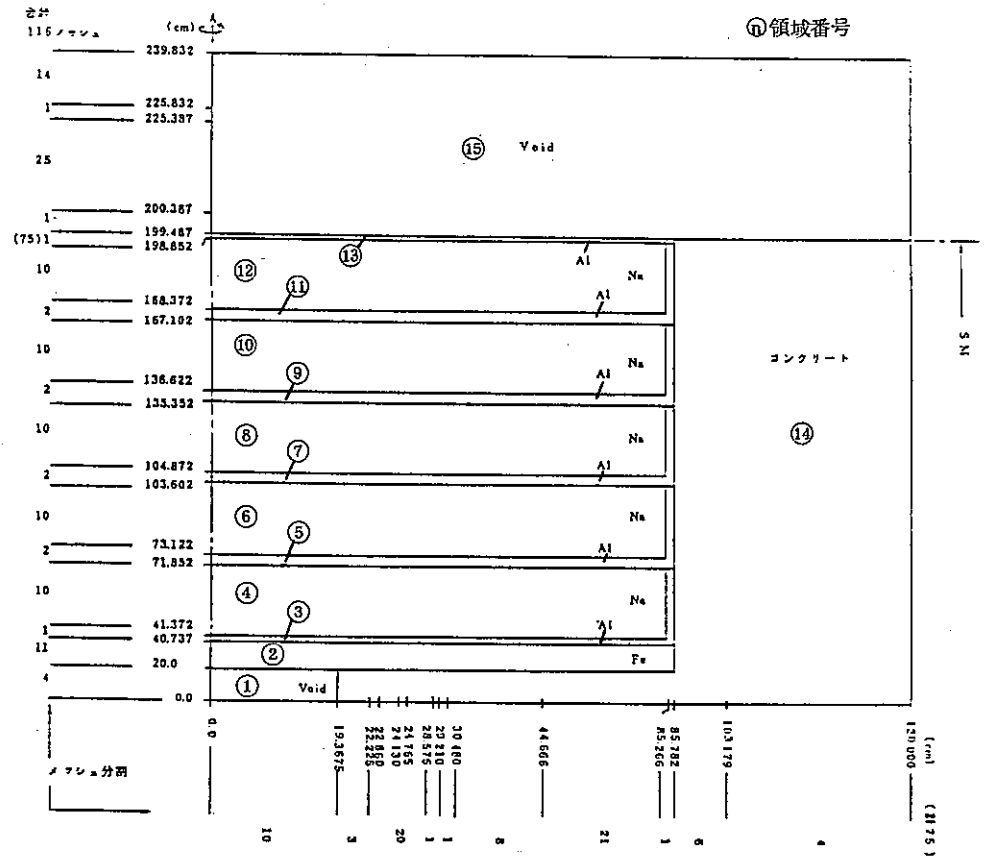


(b) 本年度解析

図 9. 1. 3 線源条件の比較



(a) 本年度解析



(b) 先年度解析

図 9.1.4 計算体系の比較

第II部 解析手法の検討

10. 燃料集合体軸方向遮蔽解析手法の開発

10.1 高速実証炉の軸方向遮蔽

図 10.1-1 に高速実証炉の軸方向遮蔽の構造を示す。軸方向遮蔽 1 体は16cmピッチの六角柱形状をしており、これが数10体集まって軸方向遮蔽領域を形成する。部を冷却材流路とする周辺型遮蔽の他、軸方向遮蔽 1 体の中に複数のピン型の遮蔽を有するロッドバンドル型遮蔽がある。

軸方向遮蔽の構造は、炉容器内部全体のような大きな体系を対象とする解析においては、冷却材・構造材・遮蔽材を混合した均質体系として扱われるのが普通である。しかし、冷却材流路に沿った中性子束のストリーミングが遮蔽体透過の中性子束レベルをかなり高める可能性があり、その効果が均質体系に基づく解析でどの程度まで評価し得るかが解析手法上の重要な問題である。

ここでは、2次元 S_n 輸送コード DOT3.5 およびモンテカルロコード MORSE-CG の解析から高速実証炉の軸方向遮蔽におけるストリーミングの効果を評価し、従来の均質体系計算に基づく評価法の精度について検討するとともに、新しい手法として開発した均質体系計算手法について述べる。DOT3.5によるストリーミングの評価は無限セルモデルで実施したが、2次元 S_n 計算でよく用いられる円環モデルについては昭和61年度の成果をレビューしながらその精度をまとめる。

10.2 円環モデルによる軸方向遮蔽 2次元解析 (昭和61年度)

「大型しゃへい実験に関する評価研究」の昭和61年度評価作業で設計解析方法の検討として DOT3.5 および MORSE-CG コードによる軸方向遮蔽ストリーミングの評価を行っている。ここでは主として設計解析方法の検討という観点に立っているが、JASPER 計画で実施予定の軸方向遮蔽実験の予備検討としての意味を持たせるため、図 10.2-1 に示すように7体の軸方向遮蔽 (B₄C 製中心型遮蔽) がボラルとコンクリート遮蔽で囲まれた体系について解析評価を行った。

DOT3.5の解析においては7体全部をモデル化することができないから、図 10.2-1(a)のような円環状のモデルで解析することとなる。円環状にモデル化するに当たっては以下の量が保存されるようにした。

- ① 各材質（冷却材・構造材・遮蔽材）の体積
- ② 中心の遮蔽体中心と周辺の遮蔽体領域の中心間の距離

円環状のモデルを用いたDOT3.5の解析の精度を検証するため、図 10.2-1(b)のモデルでMORSE-CGによる解析を行った。得られた結果をDOT3.5の円環モデルによる解析結果とMORSE-CGによる解析結果を比較して図 10.2-2 に示す。これは中心の軸方向遮蔽のナトリウム流路における67keV 以上の高速中性子束の減衰を比較したものである。透過距離30cm辺りから DOT3.5 の過小評価傾向が現われ、70cm 透過位置ではDOT3.5とMORSE-CGの間にファクタ5程度の差が現れている。この違いはDOT3.5の解析で周囲の6体のモデルを円環状にモデル化したためであり、円環状のモデルでは冷却材の体積は保存されているが、冷却材流路の幅が実際よりかなり狭くなるから、中性子がストリーミングしにくくなる。また、実際には中性子が周囲の円柱状の遮蔽体の間隙を通して外部（ボラルの領域）から中心の遮蔽体に流入するのに対し、DOT3.5の解析では円環状のB₄、C遮蔽が中心の遮蔽体を完全に囲んでいるため、まわりからの中性子の影響を過小評価していることもDOT3.5の過小評価の原因となっている。

昭和61年度評価作業では、軸方向遮蔽領域を材質の体積を重みとして均質化した計算（均質体系計算）をDOT3.5とMORSE-CGの双方で実施しており、図 10.2-1(a) および図 10.2-1(b)に示した非均質体系計算との比較から67keV 以上の高速中性子束のストリーミング係数Kを算出し、解析モデルによる比較を行った。ストリーミング係数Fの定義は以下の通りである。

$$K(z) = \phi_{\text{HETERO}}(z) / \phi_{\text{HOMO}}(z) \quad (10.2-1)$$

ここで、

- z ; 軸方向透過距離
- $\phi_{\text{HOMO}}(z)$; 均質体系計算による軸方向透過距離 z の位置の平均高速中性子束（径方向に平均した中性子束）
- $\phi_{\text{HETERO}}(z)$; 非均質体系計算による軸方向透過距離 z の位置の平均高速中性子束（径方向に平均した中性子束）

得られたストリーミング係数（中心1体分）は以下の通りである。

i) 30 cm透過位置	DOT3.5の結果	1.28
	MORSE-CGの結果	1.74
ii) 70 cm透過位置	DOT3.5の結果	1.39
	MORSE-CGの結果	2.62

DOT3.5の結果とMORSE-CGの結果の間にはかなりの開きがあり、周囲軸方向遮蔽体のモデル化が中心部軸方向遮蔽内の中性子束分布に顕著な影響を与えることが明らかとなった。即ち、DOT3.5の解析でよく用いられる円環状のモデルはB₄C製軸遮蔽の解析に対しては十分な計算精度を持たないことが昭和61年度評価作業の結果として得られた。また、昭和61年度評価作業で用いた7体の軸方向遮蔽体から成る解析モデルは周囲の影響（コンクリート・ボラル領域からの中性子の流入）が強く軸方向遮蔽内のストリーミングの検討が難しく、DOT3.5の解析のためのモデル化が困難なことから、1体のみを取り出し、周囲を完全反射境界とした無限セルモデルによる解析を新たに実施する必要性が生じた。

10.3 無限セルモデルによる解析

高速炉の軸方向遮蔽領域全体を2次元S_n計算用にモデル化するとすれば、精度よくモデル化できるのは中心一体のみで、周囲は各材質の体積を保存しながら円環状にモデル化することとなる。このモデルでは周囲の軸方向遮蔽の冷却材流路でのストリーミングが正しく評価できない。そこで、計算モデルをより実機形状に近づけるため、1体のみを取り出し、周囲を完全反射境界とした無限セルモデルによる解析を実施することとした。

10.3.1 2次元S_n輸送コードDOT3.5による解析

DOT3.5の解析においては軸方向遮蔽一体のみを取り出して円柱形状にモデル化し、円柱側面における境界条件を完全反射とした。即ち、円柱形状の軸方向遮蔽を無限に配列した無限セルモデルになっている。実際には軸方向遮蔽1体

は六角柱であるが、円柱形状とすることによる誤差については最もストリーミング効果が顕著に現われたケースについてモンテカルロ法による検証を行う。

(1) ステンレス鋼製中心型軸遮蔽の解析

合理化設計研究における高速実証炉の軸方向遮蔽の遮蔽材はステンレス鋼向であり、実験データ等を通してそのストリーミング効果の影響が検討された。実験データ等からはステンレス鋼製の軸方向遮蔽に於ける高速中性子束のストリーミング係数は比較的小さく 1.2程度であるとの結果が得られている。ここでは60cm長のステンレス鋼製の中心型軸方向遮蔽について解析を行った。

a. 解析条件

解析対象は次の2ケースである。

- ① ステンレス鋼(SS316) 製軸方向遮蔽非均質モデル
- ② ステンレス鋼(SS316) 製軸方向遮蔽均質モデル

解析モデルを図 10.3-1 に、解析に用いた原子数密度を表 10.3-1 に示す。②は軸方向遮蔽領域をナトリウムとステンレス鋼の体積で平均化したモデルである。②の解析に用いた断面積は1次元Sn 輸送コードANISN-Wの断面積混合表で作成したものである。2次元計算の解析条件は次の通りである。

計算コード	DOT3.5
エネルギー群数	中性子21群
輸送近似	P3 S80 (S80; z方向にバイアス 表 10.3-2 参照)
空間メッシュ	120メッシュ (0.5cm間隔) 21メッシュ (0.4~0.5cm間隔)
収束条件	メッシュ毎の中性子束誤差 $\leq 1\%$

b. 解析結果

図 10.3-2 に非均質モデルによる軸方向遮蔽内中性子束等高線図を示す。軸方向遮蔽透過後の高速中性子束の起伏は図 10.3-3 に示すようにファク

タ**に収まっている。また、67keV以上の高速中性子束（径方向に平均した値）の軸方向の減衰を非均質モデル計算と均質モデル計算で比較して図 10.3-4 に示す。

得られた高速中性子束ストリーミング係数は以下の通りである。

- i) 20 cm透過位置 1.28
- ii) 40 cm透過位置 1.74
- iii) 60 cm透過位置 1.39

因みにステンレス鋼の中性子透過計算の精度は40 cm（軸方向遮蔽体中のステンレス鋼実効厚さ）当りでファクタ 1.6程度である（表 10.3-3 参照）。ストリーミングの影響は60 cm透過に対してファクタ 1.2程度であり、バルク透過の計算精度に比べて十分に小さいと言える。即ち、ストリーミング係数を透過計算誤差に対するE/C補正と同様、中性子束に対する補正係数として扱うことに問題は無いと判断される。

(2) B₄C製中心型軸遮蔽の解析

合理化設計研究では当初はステンレス鋼製軸方向遮蔽が考えられ、現在でも1設計案として位置付けられている。しかし、合理化設計研究の検討結果の1つとして、ステンレス鋼製軸方向遮蔽を採用した場合、径方向遮蔽透過中性子束よりも軸方向遮蔽透過中性子束の方がIHXへの寄与が大きくなり、2次ナトリウム放射化量の観点から設計条件がかなり厳しくなることが示されている。従って、将来軸方向遮蔽をB₄C製とすることによる設計合理化がなされる可能性がある。B₄C製軸方向遮蔽を用いた場合、ステンレス鋼製軸方向遮蔽に比べて非均質効果が遥かに強く現れることが予想される。

ここでは中心型のB₄C製軸方向遮蔽を例として取り上げ、DOT3.5により実施した中性子ストリーミング解析の結果について述べる。

a. 解析条件

解析対象は次の2ケースである。

- ① B₄C製中心型軸方向遮蔽非均質モデル
- ② B₄C製軸方向遮蔽均質モデル

計算体系を図 10.3-5 に、解析に用いた原子数密度を表 10.3-1 に示す。
 ②は軸方向遮蔽領域をB₄ C、ナトリウム、ステンレス鋼の体積で平均化したモデルであり、高速炉全体を対象とするような大規模な計算でよく用いられる計算モデルである。②に用いた断面積は1次元S_n 輸送コードANISN-W の断面積混合表で作成した。2次元計算の解析条件は次の通りである。

計算コード	DOT3.5
エネルギー群数	中性子21群
輸送近似	P ₃ S ₈₀ およびP ₃ S ₁₆₄ (S ₈₀ ; z方向にバイアス 表 10.3-2 参照) (S ₁₆₄ ; z方向にバイアス 表 10.3-4 参照)
空間メッシュ	軸方向 120メッシュ (0.5cm間隔) 径方向 21メッシュ (0.4~0.5cm間隔)
収束条件	メッシュ毎の中性子束誤差 ≤ 1%

この解析においては中性子角度束の非等方性がかなり顕著に出ることが考えられるので、S₈₀とS₁₆₄ の両方の解析を実施し、S_n 分点数依存性を検討する。

b. 解析結果

図 10.3-6 に非均質モデルによる軸方向遮蔽内中性子束等高線図を示す。軸方向遮蔽透過後の高速中性子束は図 10.3-7 に示すようにファクタ3の起伏が見られる。また、67keV 以上の高速中性子束（径方向に平均した値）の軸方向の減衰を非均質モデル計算と均質モデル計算で比較して図 10.3-8 に示す。S_n 分点数依存性については軸方向遮蔽透過後の中性子束平均スペクトルでS₈₀とS₁₆₄ の解析結果を比較して図 10.3-9 に示す。数10 keV 以上の高速領域においてはS₈₀とS₁₆₄ の解析結果殆ど一致し、S₈₀ で充分であることが確かめられた。

得られた高速中性子束ストリーミング係数は以下の通りである。

- i) 20 cm透過位置 1.68

ii) 40 cm透過位置 2.55

iii) 60 cm透過位置 3.63

10.2で述べた昭和61年度実施の7体遮蔽体解析モデルの結果と比較すると、MORSE-CGの結果とほぼ同傾向を示しており、昭和61年度のDOT3.5による円環モデルの解析がストリーミングを過小評価することをあらためて確認した。昭和61年度のMORSE-CGの結果に比べて今回の結果がややストリーミング係数が高めになっているのは B_4C 密度が今回の方が高く（昭和61年度の解析が理論密度の77%であるのに対し、今回は95%）、ナトリウム温度を実証炉並にしている（昭和61年度の解析では室温）ためである。

B_4C 製軸遮蔽の場合ストリーミング係数は、60cm透過に対してファクタ 3.6に達しており、ステンレス鋼製軸遮蔽に比べて遥かにストリーミングの影響が強いことがわかった。因みに B_4C の中性子透過計算の精度は30cm（軸方向遮蔽体中の B_4C 実効厚さ）当りでファクタ 1.5程度であり、ストリーミング係数はこれに比べてもかなり大きい。

ストリーミング係数を透過計算誤差に対するE/C補正と同様に扱うことに対しては検討の余地がある。

(3) B_4C 製ロッドバンドル型軸遮蔽の解析

合理化設計研究の検討結果を踏まえて、 B_4C 製軸方向遮蔽の採用が1設計案として考えられており、その設計形状として中心型遮蔽の他に集合体の中心に7本の細い円柱状遮蔽体を有するロッドバンドル型軸遮蔽（7本ピンタイプ）が検討されている。

非均質効果は中心型遮蔽に比べてかなり小さく、透過特性も均質に近づくこと等から、その意味で設計計算上有利になることが予想される。ここでは7本ピンタイプのロッドバンドル型 B_4C 製軸方向遮蔽についてDOT3.5による中性子ストリーミング解析を実施した。

a. 解析条件

解析対象は次の2ケースである。

① B_4C 製ロッドバンドル型軸方向遮蔽非均質モデル

② B₄C 製軸方向遮蔽均質モデル

①の計算体系を図 10.3-10に、解析に用いた原子数密度を表 10.3-1 に示す。②は中心型遮蔽の比較検討のために行った均質体系計算である。ロードバンドル型遮蔽は中心型モデルと異なり、ラッパー管の中に7本の遮蔽体が入るため、無限セル形状へのモデル化は困難である。そこで、ラッパー管 (SS316 製) とナトリウム冷却材の部分のみ均質化し、1本のピンについて無限セルモデルを作成した。ラッパー管とナトリウム冷却材を均質化することによる誤差を次の計算で評価する。

③ B₄C 製中心型軸方向遮蔽非均質モデル

④ B₄C 製中心型軸方向遮蔽非均質モデル (ラッパー管とナトリウム冷却材を均質化)

図 10.3-10に④の体系図を併せて示す。ロードバンドル型モデル①の計算条件は以下の通りである。

計算コード	DOT3.5
エネルギー群数	中性子21群
輸送近似	P3 S80 (S80; z方向にバイアス 表 10.3-2 参照)
空間メッシュ	軸方向 120メッシュ (0.5cm間隔) 径方向 10メッシュ (0.4~0.5cm間隔)
収束条件	メッシュ毎の中性子束誤差 ≤ 1%

b. 解析結果

図 10.3-12に非均質モデルによる軸方向遮蔽内中性子束等高線図を示す。軸方向遮蔽透過後の高速中性子束は図 10.3-12に示すようにファクタ 1.6の起伏が見られる。また、67keV以上の高速中性子束(径方向に平均した値)の軸方向の減衰を中心型遮蔽について非均質モデル計算と均質モデル計算で比較した図 10.3-8内に示す。

得られた高速中性子束ストリーミング係数は以下の通りである。

- i) 20 cm透過位置 1.33
- ii) 40 cm透過位置 1.55
- iii) 60 cm透過位置 1.73

ただし、この値はラッパー管とナトリウム冷却材部分を均質化しているため、その補正が必要である。中心型モデルでラッパー管とナトリウム冷却材部分を均質化した場合（モデル④）のストリーミング係数への影響は次の通りである。

- i) 20cm透過位置 1.68（中心型）→ 1.63（モデル④）
- ii) 40cm透過位置 2.55（中心型）→ 2.37（モデル④）
- iii) 60cm透過位置 3.63（中心型）→ 3.20（モデル④）

中心型モデルとロッドバンドル型ではピッチが異なるのでストリーミング係数そのものを上記の比で補正するのは妥当とは言えない。ここでは対数を取ってそれを補正するものとする。例えば20cm透過位置では

$$\log(1.68) / \log(1.63) = 1.061$$

を $\log(1.33)$ に対する補正とする。20cm透過位置では

$$\exp[1.061 \times \log(1.33)] = 1.353$$

で1.35が補正後のストリーミング係数となる。補正後のストリーミング係数を以下に示す。

- i) 20 cm透過位置 1.35
- ii) 40 cm透過位置 1.61
- iii) 60 cm透過位置 1.84

B₄C製ロッドバンドル型軸遮蔽の場合ストリーミング係数は、60cm透過に対してファクタ 1.8であり、中心型遮蔽の場合に比べるとかなり小さい。しかし、B₄C 30 cm透過（軸方向遮蔽体中のB₄C実効厚さ）当りの中性子透過計算の精度はファクタ 1.5程度であり、ストリーミング係数はこれに比べてかなり大きい。

ロッドバンドル型軸遮蔽の場合、中心型遮蔽の場合に比べてストリーミングの影響は小さくなるが、ストリーミング係数は依然としてバルク透過

計算の誤差に対する補正よりも大きい。中心型遮蔽の場合と同様、ストリーミング係数を透過計算誤差に対するE/C補正と同様に扱うことに対しては検討の余地がある。

(4) まとめ

以上、①ステンレス鋼製中心型遮蔽、②B₄C製中心型遮蔽、および④B₄C製ロッドバンドル型遮蔽について、高速中性子束ストリーミング係数を評価した。結果を表 10.3-5 にまとめる。B₄C製軸方向遮蔽の場合、ストリーミングの影響がかなり強く、軸方向遮蔽透過後の中性子束に対する補正係数としては、バルク透過の誤差に対する補正よりもストリーミング係数の方が大きくなる。この事情はステンレス鋼製の軸方向遮蔽と逆になっており、B₄C製軸方向遮蔽においてはストリーミング解析精度の向上が非常に重要であることがわかった。

尚、軸方向遮蔽の形状は実際には六角柱であるが、計算上は2次元S_n法で扱えるよう円柱にモデル化した。ストリーミングの影響が最も顕著に現われたB₄C製中心型遮蔽についてそのモデル化の影響をMORSE-CGにより検証する。

10.3.2 モンテカルロコードMORSE-CGによる解析

ストリーミング係数の大きいB₄C中心型軸遮蔽についてモンテカルロ計算による3次元計算を行い、2次元S_n計算における六角柱→円柱のモデル化による誤差について検討する。前述のようにDOT3.5コードでは六角柱の無限セルモデルが採り得ないので、モンテカルロ法コードMORSE-CGを用いた解析から、円柱形状とすることによる誤差を評価する。また、2次元S_n法と3次元モンテカルロ法との手法による比較を行う。

(1) 計算モデル

図 10.3-13にB₄C製軸方向遮蔽のMORSE-CG解析モデルを示す。解析対象は次の3ケースである。

- ① B₄C製中心型軸方向遮蔽非均質モデル(六角柱)

② B₄C製中心型軸方向遮蔽非均質モデル（円柱）

③ B₄C製軸方向遮蔽均質モデル（六角柱）

①と③の比較から高速中性子束のストリーミング係数を求め、DOT3.5コードで求めたストリーミング係数と比較する。①と②の比較、及び①とDOT3.5の非均質計算の比較から、六角柱を円柱にモデル化したことによる誤差について考察する。

(2) 計算結果

B₄C製中心型軸方向遮蔽を①六角柱形状非均質モデル、②円柱形状非均質モデル、③六角柱均質モデルとした67keV以上の高速中性子束の減衰の計算結果をDOT3.5の計算結果と合わせて図 10.3-14に示す。また、主要な結果については積分中性子束を表 10.3-6 に、中性子スペクトルを表 10.3.7 と図 10.3-15に示す。

MORSE-CGによる六角柱形状非均質モデルの計算結果と円柱形状非均質モデルの計算結果を高速中性子束で比較すると次のようになる。

入射位置	5.39×10^4 (六角柱)	5.39×10^4 (円柱)
20cm透過位置	5.17×10^3 (六角柱)	4.26×10^3 (円柱)
40cm透過位置	6.37×10^2 (六角柱)	5.42×10^2 (円柱)
60cm透過位置	3.26×10^1 (六角柱)	4.33×10^1 (円柱)

透過距離40cm以内の領域では、六角柱形状非均質モデルの結果は円柱形状の結果に比べて20%高い値になっている。六角柱遮蔽体3体が接する位置では中性子のストリーミングパスがかなり広いため、一様なスリット状のストリーミングパスとする円柱形状の計算モデルではストリーミング量を過小評価するものと考えられる。しかし、60cm透過位置では大小関係が逆転しており、この点については物理的解釈ができない。MORSE-CGの計算における円柱面での完全反射条件が正しく機能しているかどうかは確認済みである（粒子が境界に達した所で円柱面に対する接平面を求め、そこで鏡面反射するようになっている）。計算値のF.S.D.は六角柱の計算では6%、円柱の計算では

3%であり、20~30%の差を説明するには十分なヒストリ数が取れている筈である。しかし、モンテカルロ計算ではF.S.D.が小さいことが必ずしも収束していることを示すものではないから、上記の大小関係の逆転については60cm位置ではまだ最終的な値に収束していないことが原因として考えられる。

均質モデルによる透過高速中性子束の結果は以下の通りである。

入射位置	5.39×10^4	
20cm透過位置	3.07×10^3	(±2.8%)
40cm透過位置	2.11×10^2	(±5.1%)
60cm透過位置	9.54×10^0	(±10.2%)

MORSE-CGにより求めた高速中性子束のストリーミング係数は以下のようになる。

入射位置	1. 0 (六角柱)	1. 0 (円柱)
20cm透過位置	1. 6 8 (六角柱)	1. 3 9 (円柱)
40cm透過位置	3. 0 2 (六角柱)	2. 5 7 (円柱)
60cm透過位置	3. 4 2 (六角柱)	4. 5 4 (円柱)

円柱形状の60cm透過位置でのストリーミング係数は過大になっている(恐らくは未収束)が、0~40cmまでの傾向から円柱形状へのモデル化が高速中性子束のストリーミングをほぼ一様に20%過小評価することが示された。

(3) 2次元S_n計算との比較

B₄C製軸方向遮蔽における67keV以上の高速中性子束のストリーミング係数の解析結果を表10.3-8と図10.3-16に示す。DOT3.5の解析結果とMORSE-CGの解析結果はほぼ同様の傾向を示しており、B₄C製軸方向遮蔽60cm透過後の高速中性子束のストリーミング係数が約3.5であることがわかった。

MORSE-CGによる均質モデルの計算結果と、DOT3.5の均質モデルの結果を比べると、60cm位置でMORSE-CGによる高速中性子束レベルはDOT3.5の結果に比

べて、15%程度高い値となった。

非均質体系計算では 40 cm透過位置までは DOT3.5 と MORSE-CG の結果は良く一致しており、以下の3点が結論として得られた。

- ① 円柱形状 ; 40 cm透過位置でストリーミング係数 = 2.57
- ② 六角柱形状 ; 40 cm透過位置でストリーミング係数 = 3.02
- ③ 円柱形状へのモデル化の誤差 ; 40 cm透過位置で20%過小評価

ただし、60cm透過位置のMORSE-CGの計算結果については、円柱モデルの結果は過大評価、六角柱モデルの結果は過小評価で、大小関係が逆転しており、F.S.D から判断する限り見掛け上は収束しているものの、まだ最終値に到達していないことが考えられる。40cm位置までストリーミング係数の傾向から以下の2点が推測できる。

- ④ 円柱形状 ; 60 cm透過位置でストリーミング係数 = 3.6
- ⑤ 六角柱形状 ; 60 cm透過位置でストリーミング係数 ~ 4.2

いずれにしても、全長60cmのB₄C製軸方向遮蔽における高速中性子束のストリーミング係数は4前後となった。つまり、軸方向遮蔽領域を均質領域とする計算に対して補正係数4が必要であることを意味する。これは、補正係数の範囲を越えており、解析手法の改良を行うことが望ましい。

10.4 軸方向遮蔽ストリーミング解析手法の検討

10.4.1 中性子ストリーミング解析結果のまとめ

B₄C製軸方向遮蔽においては、中性子ストリーミングの透過中性子束レベルへの影響が顕著であり、ストリーミングの扱いは遮蔽設計精度向上による設計合理化を検討するうえで非常に重要である。

高速炉炉内全体を対象とする大規模な計算に於いては現状では軸方向遮蔽領域は均質領域として扱わざるを得ない。しかし、ストリーミング係数で一律に

中性子束を補正する従来の遮蔽設計手法は、10.3で述べたように補正係数が3.6と大きいためかなりの補正誤差を持っている可能性がある。また、IHXあるいはDHX内2次ナトリウム放射化量を評価する場合、軸方向遮蔽透過中性子束の補正係数（E/C補正係数とストリーミング係数の積）と径方向遮蔽透過中性子のE/C補正係数の差がかなり大きくなることが考えられ、放射化量の計算値に対する補正が非常に繁雑になる。

従って、均質計算の段階で中性子ストリーミングの影響をも含めて解析できることが望ましい。そこで、ストリーミングの影響を均質化した定数に反映させることにより、中性子束とスペクトルを精度よく求める手法を開発した。

10.4.2 新手法の概要

(1) 中性子束重み断面積による均質体系計算

従来の設計計算法は材料の体積で平均化した断面積を用いる均質体系計算である。即ち、平均断面積 Σ_{AV} として、以下の値を用いる。

$$\Sigma_{AV} = \frac{(\Sigma_{B4C} V_{B4C} + \Sigma_{Na} V_{Na} + \Sigma_{SS} V_{SS})}{(V_{B4C} + V_{Na} + V_{SS})} \quad (10.4-1)$$

V_{B4C} 、 V_{Na} 、 V_{SS} はそれぞれ B_4C 、ナトリウム、ステンレス鋼が軸方向遮蔽内に占める体積、 Σ_{B4C} 、 Σ_{Na} 、 Σ_{SS} は B_4C 、ナトリウム、ステンレス鋼の中性子反応断面積である。軸方向遮蔽内の中性子束の分布を考えると、 B_4C 内では中性子減衰が早いから、ナトリウム領域では B_4C 領域よりも中性子束レベルが高くなる。即ち、反応率に着目すると、ナトリウム領域の重みは同体積でも B_4C 領域よりも大きいはずである。そこで、今回開発した手法では、まずステップ1として体系を軸方向に複数の領域に分割し、それぞれの軸方向領域で次式のように中性子束重みで平均した断面積 Σ_{AV1} を作成する。

$$\Sigma_{AV1} = \frac{(\Sigma_{B4C} \phi_{B4C} + \Sigma_{Na} \phi_{Na} + \Sigma_{SS} \phi_{SS})}{(\phi_{B4C} + \phi_{Na} + \phi_{SS})} \quad (10.4-2)$$

ϕ_{B4C} , ϕ_{Na} , ϕ_{SS} は非均質体系計算で得た中性子束をそれぞれB₄C, ナトリウム, ステンレス鋼の部分で空間的に積分したもので, 各軸方向領域で反応率が保存されるように平均断面積を考慮している。また、従来の体積平均断面積を用いる手法の場合、軸方向遮蔽の組成は軸方向距離でさ程変化しないから、全長60cmの軸方向遮蔽領域を2~3領域に分けるのが普通であり、領域分割数を増やしても計算精度は殆ど同じである。しかし、中性子束を重みとする本手法では、図10.4-1に示すように透過とともに中性子束の径方向分布が変化するため、領域分割は多い程精度が高い。平均断面積は透過距離zの関数であると言える。

$$\Sigma_{AV1} = \Sigma_{AV1}(z) \quad (10.4-2')$$

後述するように全長60cmのB₄C製中心型軸方向遮蔽の場合、領域分割数として9領域が必要となる。

(c) 中性子束勾配による調整 (ステップ2)

1) 手法の概要

ステップ1の結果から、さらに精度をあげるため、ステップ2の処理を行う。ステップ2は非均質体系計算の解 ϕ と均質体系計算の解 ϕ_1 の勾配の比較に基づく除去断面積(全断面積 $\Sigma_T(E)dE$ から自群散乱断面積 $\Sigma_{GG}(E)dE$ を差し引いた値) Σ_R の微調整である。

$$\Sigma_{R1}(E_0) = \left[-\frac{d}{dz} \log \Phi(E_0) / -\frac{d}{dz} \log \Psi_1(E_0) \right] \times \Sigma_{R0}(E_0) \quad (10.4-3)$$

$\Sigma_{R0}(E_0)$ は非均質体系計算の解 ϕ を用いて(10.4-2)式により求めた断面積(ステップ1)、 $\Sigma_{R1}(E_0)$ は中性子束勾配をもとに調整した断面積である。これは中性子束の相対減衰率($-\nabla\phi/\phi$)が近似的に除去断面積に等しくなること、即ち透過距離zに対して

$$\phi(z) = \phi(0) \exp[-\Sigma_R z] \quad (10.4-4)$$

となることを利用したものである。この式の数学的意味についてはii)で後述する。(10.4-4)式が近似的に成り立つのは下方散乱による線源を含め分布線源の形での外部線源がないときに限られる。 $\Phi(E_0)$ と $\Psi_1(E_0)$ をエネルギー E_0 以上で積分した中性子束、 $\Sigma_{R1}(E_0)$ と $\Sigma_{R0}(E_0)$ をエネルギー E_0 以上で平均した断面積(次式)とすれば(10.4-4)式が成立する。

$$\begin{aligned}\Phi(E_0) &= \int_{E_0} \phi(E) dE && (E_0 \text{以上の全中性子束}) \\ \Psi_1(E_0) &= \int_{E_0} \phi_1(E) dE && (E_0 \text{以上の全中性子束}) \quad (10.4-5) \\ \Sigma_{R0}(E_0) &= \int_{E_0} [\Sigma_T(E) dE - \Sigma_{CC}(E) dE] \phi(E) / \Phi(E_0)\end{aligned}$$

(10.4-3)式と(10.4-5)式の操作がステップ2である。(10.4-3)式によって調整した断面積(Σ_{R1} をもとに作成)を用いて得られた中性子束分布(Ψ_2 と書く)はステップ1の解 Ψ_1 に比べて厳密解 Φ に近くなる筈である。次のステップとして(10.4-6)式に示すように Ψ_2 と厳密解 Φ の比較から断面積 Σ_{R1} をさらに調整することができる。

$$\Sigma_{R2}(E_0) = \left[-\frac{d}{dz} \log \Phi(E_0) / -\frac{d}{dz} \log \Psi_2(E_0) \right] \times \Sigma_{R1}(E_0) \quad (10.4-6)$$

ステップ2の操作は繰返しが可能で、以下に示すように精度を少しずつ向上させることができる。

Ψ_2, Σ_{R1}	\rightarrow	Σ_{R2}	断面積調整
Σ_{R2}	\rightarrow	Ψ_3	均質体系輸送計算
Ψ_3, Σ_{R2}	\rightarrow	Σ_{R3}	断面積調整
Σ_{R3}	\rightarrow	Ψ_4	均質体系輸送計算

実際に解析を行う際のフローチャートを図 10.4-2 に示す。

ii) ステップ2の数学的説明

中性子束勾配による調整の妥当性について説明する。

中性子束の勾配を保存させる方法をもう一度示すと

$$\Sigma_{R1} \cdot \nabla \phi_1 / \phi_1 = \Sigma_{R0} \cdot \nabla \phi / \phi \quad (10.4-4')$$

または

$$\Sigma_{R1} = (\nabla \log \phi / \nabla \log \phi_1) \Sigma_{R0} \quad (10.4-4'')$$

Σ_{R0} ; 除去断面積 (修正前、例えば中性子束重み断面積)

Σ_{R1} ; 除去断面積 (修正後の値)

ϕ ; 中性子束 (厳密解)

ϕ_1 ; 中性子束 (中性子束重み断面積による近似解)

イメージ的には片対数表示でみた中性子束の傾きで除去断面積を修正するというものである。

例えば右図では近似解の傾きが大きすぎ、近似計算における除去断面積 Σ_{R0} が過大になっていることを示している。従って、厳密解 ϕ と近似解 ϕ_1 の傾きが等しくなるように除去断面積を修正する。

これは

『除去断面積の逆数が片対数表示でみた中性子束の傾きにほぼ等しい』
という仮定に立っている。

尚、 ϕ, ϕ_1 は

$$\phi(E) = \int_E^{\infty} \phi(E') dE' \quad (10.4-7)$$

即ちエネルギー E より上の積分値である。高いエネルギー群からの減速散

乱による Source が体系内に分布している場合、除去断面積と中性子束の傾きの関係が崩れるため、中性子束のうち任意のエネルギー群中性子束に対して中性子束勾配を保存させる方法を適用することはできない。

『除去断面積の逆数が片対数表示でみた中性子束の傾きにほぼ等しい』
 ことの証明を以下に示す。

定常状態のボルツマン輸送方程式は次式で与えられる。

$$\begin{aligned}
 & - (\nabla \cdot \vec{\Omega}) \phi(\vec{r}, \vec{\Omega}, E) - \Sigma t(\vec{r}, E) \phi(\vec{r}, \vec{\Omega}, E) \\
 & + \int_E^\infty \Sigma s(\vec{r}, \vec{\Omega}' \rightarrow \vec{\Omega}, E' \rightarrow E) \phi(\vec{r}, \vec{\Omega}', E') dE' \\
 & + S(\vec{r}, E) = 0 \qquad (10.4-8)
 \end{aligned}$$

これをエネルギーで積分する。ただし、あるエネルギーEから ∞ までの積分である。

$$\phi(\vec{r}, \vec{\Omega}, E) = \int_E^\infty \phi(\vec{r}, \vec{\Omega}', E') dE' \quad (10.4-7)$$

エネルギーで積分した中性子角度束 ϕ に関する輸送方程式は次のようになる。(ただし $S=0$, 線源の無い領域)

$$\begin{aligned}
 & - (\nabla \cdot \vec{\Omega}) \phi(\vec{r}, \vec{\Omega}, E) - \bar{\Sigma} t(\vec{r}, E) \phi(\vec{r}, \vec{\Omega}, E) \\
 & + \bar{\Sigma} s(\vec{r}, \vec{\Omega}' \rightarrow \vec{\Omega}, E) \phi(\vec{r}, \vec{\Omega}', E) dE' \\
 & = 0 \qquad (10.4-9)
 \end{aligned}$$

$\bar{\Sigma} t$, $\bar{\Sigma} s$ は縮約した全断面積と散乱断面積である。

$$\bar{\Sigma} t(\vec{r}, E) = \int_E^\infty \Sigma t(\vec{r}, E') \phi(\vec{r}, \vec{\Omega}, E') dE' / \phi(\vec{r}, \vec{\Omega}, E) \quad (10.4-10a)$$

$$\begin{aligned} \bar{\Sigma}_s(\vec{r}, \vec{\Omega}' \rightarrow \vec{\Omega}, E) \\ = \frac{\int_E^\infty dE' \int_E^\infty \Sigma_s(\vec{r}, \vec{\Omega}' \rightarrow \vec{\Omega}', E'' \rightarrow E') \phi(\vec{r}, \vec{\Omega}'', E'') dE''}{\phi(\vec{r}, \vec{\Omega}, E)} \end{aligned} \quad (10.4-10b)$$

これをさらに角度 $\vec{\Omega}$ で積分する。

$$\Phi(\vec{r}, E) = \int \phi(\vec{r}, \vec{\Omega}, E) d\vec{\Omega} \quad (10.4-11)$$

$$\begin{aligned} \int (\nabla \cdot \vec{\Omega}) \vec{\Phi}(\vec{\Omega}) d\vec{\Omega} \\ = \int \{ d\phi_x/dx + d\phi_y/dy + d\phi_z/dz \} d\vec{\Omega} \\ = d[\int \phi_x d\vec{\Omega}]/dx + d[\int \phi_y d\vec{\Omega}]/dy + d[\int \phi_z d\vec{\Omega}]/dz \end{aligned} \quad (10.4-12)$$

$$\vec{\Phi}(\vec{r}, E) = [\Phi_x, \Phi_y, \Phi_z] \quad (10.4-13)$$

$$\Phi_x = \int \phi_x d\vec{\Omega}$$

$$\Phi_y = \int \phi_y d\vec{\Omega}$$

$$\Phi_z = \int \phi_z d\vec{\Omega} \quad \text{と書くこととすれば}$$

$$\int (\nabla \cdot \vec{\Omega}) \phi(\vec{\Omega}) d\vec{\Omega} = \nabla \cdot \vec{\Phi} \quad (10.4-12')$$

$$\Phi(\vec{r}, E) = \Phi_x^2 + \Phi_y^2 + \Phi_z^2 \quad (10.4-13')$$

また、 $\bar{\Sigma}_s(\vec{r}, \vec{\Omega}' \rightarrow \vec{\Omega}, E) \phi(\vec{r}, \vec{\Omega}', E')$ は自群散乱の項であり、粒子束の方向が散乱によって変化するだけである。即ち、自群散乱はスカラー束には全く変化を及ぼさないから、

$$\bar{\Sigma}_s(\vec{r}, \vec{\Omega}' \rightarrow \vec{\Omega}, E) = \bar{\Sigma}_s(\vec{r}, E) \quad (10.4-14)$$

のように表記しても差し使えない。エネルギーで積分した中性子束 Φ に関する輸送方程式は次のようになる。

$$-\nabla \cdot \vec{\Phi}(\vec{r}, E) - \bar{\Sigma}_t(\vec{r}, E) \Phi(\vec{r}, E) + \bar{\Sigma}_s(\vec{r}, E) \Phi(\vec{r}, E) = 0 \quad (10.4-15)$$

そこで以下のように除去断面積 $\bar{\Sigma}_R(\vec{r}, E)$ を定義する。

$$\bar{\Sigma}_R(\vec{r}, E) = \bar{\Sigma}_t(\vec{r}, E) - \bar{\Sigma}_s(\vec{r}, E) \quad (10.4-16)$$

輸送方程式は次のようになる。

$$-\nabla \cdot \vec{\Phi}(\vec{r}, E) - \bar{\Sigma}_R(\vec{r}, E) \Phi(\vec{r}, E) = 0 \quad (10.4-17)$$

即ち、

$$\begin{aligned} \bar{\Sigma}_R(\vec{r}, E) &= -\nabla \cdot \vec{\Phi}(\vec{r}, E) / \Phi(\vec{r}, E) \\ &= -\nabla \cdot \log[\vec{\Phi}(\vec{r}, E)] \end{aligned} \quad (10.4-18)$$

1次元の場合は

$$\begin{aligned} \bar{\Sigma}_R(x, E) &= -\frac{d}{dx} \Phi(x, E) / \Phi(x, E) \\ &= -\frac{d}{dx} \log(\Phi(x, E)) \end{aligned} \quad (10.4-19)$$

— 証明終 —

10.4.3 新手法の B_4C 製軸遮蔽への適用

(1) ステップ1による均質体系計算

新しく開発した解析手法を16cmピッチ、60cm長の B_4C 製中心型遮蔽に適用する。中性子束重み平均断面積を求めるための計算体系は10.3で述べた中心型遮蔽の円柱形状の無限セルモデル(図10.3-5)である。

中性子束重み平均断面積を用いた計算は、完全に1次元体系になっているから、1次元輸送コードANISN-Wによって解析できる。ここでは図10.3-5に示す2次元解析モデルで計算したが、径方向依存性はないから物理的にはANISN-Wで計算しても全く同じである。領域分割は図10.4-3に示すように

9領域とした。

中性子束重み平均断面積を用いて得られた高速中性子束分布を図 10.4-4 に示す。中性子束重みの平均断面積を用いたステップ1の均質体系計算と非均質体系計算のずれは透過後の高速中性子束レベルでファクタ 1.55 まで縮まった。また、中性子スペクトルの形（軸方向遮蔽上面における平均スペクトル）に比べて大幅に改善されることがわかる。

(2) ステップ2による均質体系計算の精度の向上

ステップ1による均質体系計算で、ストリーミングに対する補正係数（ストリーミング係数）は 3.6から 1.55 まで低減できることがわかった。この結果は中性子束重み断面積による均質体系計算が、軸方向遮蔽の中性子透過計算において非常に有効であることを示している。しかし、軸方向遮蔽のバルク透過の計算誤差（ファクタ 1.5）に比べてまだストリーミング補正の方が大きいため、実用的には解析精度をもう1歩進めることが必要である。

ここではステップ2による平均断面積の微調整を2回繰り返し、精度の向上を図った。ステップ2で調整した平均断面積に基づく軸方向遮蔽内中性子スペクトルを表 10.4-1 に、透過後のスペクトルを図 10.4-5 に示す。

従来の均質体系計算を用いた場合、透過高速中性子束をファクタ3.5 過小評価するのに対し、2ステップからなる本解析手法はファクタ 1.3以内の精度で非均質体系計算の結果と一致することがわかった。

高速増殖炉炉内全体の計算においては、ステップ1とステップ2は軸方向遮蔽領域の平均断面積を求めるための断面積処理という位置付けになる。ここで例題計算として得た平均断面積の場合、ストリーミングに対する補正係数は 1.3である。即ち、高速増殖炉炉内全体計算のうちの軸方向遮蔽体の透過計算に対する補正係数としては、実験解析に基づくE/C 補正係数（バルク透過の計算誤差に対する補正）と上記のストリーミング係数 1.3の積を用いることとなる。

計算時間としては平均断面積の調整を行うステップ2において、1次元計算2～3回分が追加されるだけで、従来手法と殆ど差がない。新しい手法で得られた軸方向遮蔽均質断面積を炉内全体の計算に適用する際にも、軸方向

遮蔽領域の扱いは従来法と同様である。また、計算精度を上げるためには軸方向遮蔽領域の領域分割を軸方向に細かくすることが必要であるが、2次元計算モデルにおける領域数が数領域と、断面積テーブル上の物質数が数組増えるだけであり、2次元計算のC、U、およびメモリサイズには殆ど影響が無い。

10.5 まとめ

軸方向遮蔽など、中性子束のストリーミングの影響の強い領域においては、まず各材質の体積で平均した断面積で均質体系計算を行い、ストリーミング係数という形で解析結果を補正するのが従来の手法である。合理化設計のステンレス鋼製の軸方向遮蔽の場合、ストリーミング係数は1.2程度であり、補正係数として妥当な大きさであると言える。

B₄C製軸方向遮蔽においては、DOT3.5とMORSE-CGの解析結果から中性子束の冷却材流路に沿うストリーミングが強く、透過高速中性子束をファクタ 3.5~4 過小評価することが分かった。これは、軸方向遮蔽領域を均質領域とする計算に対して補正係数 3.5~4 が必要であることを意味している。補正係数が非常に大きい場合、中性子スペクトルの形が正しく評価されていない可能性があり、軸方向遮蔽透過後の中性子透過計算の信頼性が低いということになる。

ストリーミング係数が大きい場合のもう1つの問題点は径方向遮蔽透過成分と軸方向透過成分の補正係数のバランスが悪くなるという点である。高速実証炉の径方向遮蔽の透過計算精度はJASPER計画の実験解析等からファクタ 1.5~2.0であることがわかっているが、軸方向遮蔽の場合従来手法を用いる限りストリーミングの補正だけで径方向遮蔽透過成分に対する補正係数を優に越えてしまう。例えばIHX内2次ナトリウム放射化量を評価する場合、中性子束の寄与として軸方向遮蔽透過成分と径方向遮蔽透過成分の2成分があるが、この2成分を分けて評価することは非常に難しい。従って軸方向遮蔽透過成分と径方向遮蔽透過成分で補正係数が大きく異なる場合、2次ナトリウム放射化量に対する補正係数が決定しにくくなる。簡便さを優先させるならば、軸方向透過成分に対する補

正係数（ストリーミング係数を含む）を用いることになるし、設計の合理化が必要な場合には Space Channel Theory 等に基づいて中性子の主経路の評価が必要になる。ともかく、径方向と軸方向で補正係数のバランスが崩れていることは計算精度の向上という面から好ましくない。

そこで、ストリーミングの影響を均質化した定数に反映させる手法として①中性子束重み断面積の算出，②中性子勾配に基づく平均断面積の調整の2ステップからなる解析手法を開発し、透過高速中性子束の計算精度が少なくともファクタ 1.3まで向上できることを示した。計算時間および計算の手順としては従来手法と殆ど差がなく、設計計算精度を効率よく向上させるうえでこの手法が非常に有効であるといえる。

（NAIG 上松幹夫）

表 10.2-1 昭和61年度軸方向遮蔽解析用の原子数密度および組成表

(1) 原子数密度表

	[Atoms/b·cm]				
	SS316	ナトリウム	B ₄ C	ボラル	コンクリート
H					7.3 -3
B-10			1.582-2	5.128-3	
B-11			6.878-2	2.077-2	
C			2.112-2	6.45 -3	1.07-2
O					4.47-2
Na		2.48-2			
Al				3.65-2	
Si					3.8-3
Ca					1.22-2
Cr	1.45-2				
Mn	2.0 -3				
Fe	5.5 -2			7.7-4	
Ni	1.10-2				
Mo	1.2 -3				
密度	7.797 g/cc	0.947 g/cc	1.941 g/cc	2.30 g/cc	2.40 g/cc
備考		300K	77 % T.D.		

(2) 材料組成表

	[体積%]		
	B ₄ C (77% T.D.)	SS316	ナトリウム
B ₄ C 遮蔽	100 %		
構造材 (SS316)		100 %	
冷却材 (Na)			100 %
均質体系計算用 断面積	55 %	20 %	25 %

表 10.3-1 軸方向遮蔽ストリーミング解析用の原子数密度および組成表

(1) 原子数密度表

[Atoms/b·cm]

	SS316	ナトリウム	B ₄ C
B-10			1.945-2
B-11			8.454-2
C			2.596-2
Na		2.48 -2	
Cr	1.581-2		
Fe	5.931-2		
Ni	9.886-3		
Mo	1.260-3		
密度	8.03 g/cc	0.820 g/cc	2.385 g/cc
備考		823K	95 % T.D.

(2) 材料組成表

[体積%]

	B ₄ C (77% T.D.)	SS316	ナトリウム
B ₄ C 遮蔽	100 %		
構造材 (SS316)		100 %	
冷却材 (Na)			100 %
均質体系計算用 断面積	52.74%	11.92%	35.34%

表 10.3-2 S₈₀分点セット

NO.	MU	ETA	WEIGHT
1	-0.377079554	-0.926180877	0.000000000
2	-0.266635507	-0.926180877	0.044031560
3	0.266635500	-0.926180877	0.044031560
4	-0.731810935	-0.681507714	0.000000000
5	-0.681507714	-0.681507714	0.039301770
6	-0.266635507	-0.681507714	0.039301780
7	0.266635500	-0.681507714	0.039301780
8	0.681507707	-0.681507714	0.039301770
9	-0.963797450	-0.266635507	0.000000000
10	-0.926180877	-0.266635507	0.044031560
11	-0.681507714	-0.266635507	0.039301780
12	-0.266635507	-0.266635507	0.044031550
13	0.266635500	-0.266635507	0.044031550
14	0.681507707	-0.266635507	0.039301780
15	0.926180869	-0.266635507	0.044031560
16	-0.027196750	0.999630094	0.000000000
17	-0.019231006	0.999630094	0.000199198
18	0.019231006	0.999630094	0.000199198
19	-0.057171433	0.998364374	0.000000000
20	-0.040426308	0.998364374	0.000463490
21	0.040426308	0.998364374	0.000463490
22	-0.089555398	0.995981842	0.000000000
23	-0.063325225	0.995981842	0.000727683
24	0.063325219	0.995981842	0.000727683
25	-0.121887684	0.992543899	0.000000000
26	-0.086187609	0.992543899	0.000991138
27	0.086187601	0.992543899	0.000991138
28	-0.154107250	0.988054119	0.000000000
29	-0.108970284	0.988054119	0.001253551
30	0.108970277	0.988054119	0.001253551
31	-0.186171502	0.982517257	0.000000000
32	-0.131643131	0.982517257	0.001514636
33	0.131643124	0.982517257	0.001514636
34	-0.218042955	0.975939170	0.000000000
35	-0.154179655	0.975939170	0.001774118
36	0.154179648	0.975939170	0.001774118
37	-0.249686114	0.968326822	0.000000000
38	-0.175554747	0.968326822	0.002031719
39	0.175554739	0.968326822	0.002031719
40	-0.281066515	0.959688291	0.000000000
41	-0.198744044	0.959688291	0.002287168
42	0.198744036	0.959688291	0.002287168
43	-0.312150344	0.950032711	0.000000000
44	-0.220723629	0.950032711	0.002540192
45	0.220723622	0.950032711	0.002540192
46	-0.342904314	0.939370334	0.000000000
47	-0.242246996	0.939370334	0.002884936
48	0.242246993	0.939370334	0.002884936
49	-0.501662612	0.865063369	0.000000000
50	-0.433395393	0.865063369	0.024441940
51	0.433395393	0.865063369	0.012920910
52	-0.148874342	0.865063369	0.012920910
53	0.148874335	0.865063369	0.024441940
54	-0.433395386	0.865063369	0.000000000
55	-0.794095564	0.679409564	0.000000000
56	-0.679409571	0.679409564	0.027011120
57	0.679409571	0.679409564	0.008549830
58	-0.433395393	0.679409564	0.019210620
59	0.433395386	0.679409564	0.008549830
60	-0.679409564	0.679409564	0.027011120
61	-0.901203271	0.433395386	0.000000000
62	-0.865063377	0.433395386	0.024441940
63	0.865063369	0.433395386	0.008549830
64	-0.679409571	0.433395386	0.027468320
65	0.433395393	0.433395386	0.008549830
66	-0.148874342	0.433395386	0.008549830
67	0.148874335	0.433395386	0.027468320
68	-0.433395393	0.433395386	0.008549830
69	0.433395386	0.433395386	0.024441940
70	-0.865063369	0.148874335	0.000000000
71	-0.679409571	0.148874335	0.016577830
72	0.679409571	0.148874335	0.012920910
73	-0.433395386	0.148874335	0.019210620
74	0.433395393	0.148874335	0.008549830
75	-0.148874342	0.148874335	0.018225040
76	0.148874335	0.148874335	0.018225040
77	-0.433395386	0.148874335	0.008549830
78	0.679409564	0.148874335	0.019210620
79	0.865063369	0.148874335	0.012920910
80	0.973906524	0.148874335	0.016567830

表 10.3-3 中性子単層透過に対する計算精度 (JASPER計画・径方向遮蔽透過実験解析および既存TSF実験解析による)

(1) JSD100ライブラリに基づく透過中性子束計算値に対するE/C補正係数

物質名	1 m透過あたり 補正係数	中性子1桁減衰 あたり補正係数
ステンレス鋼 SS304 ^{a)}	3.2	1.39
B ₄ C (2.51g/cc) ^{a)}	4.2 (10g/cm ³ 当り 1.059)	1.10
黒鉛 ^{a)} 浅い透過 (≦30cm)	2.17	1.33
黒鉛 ^{a)} 深い透過 (≧30cm)	1.64	1.14
ナトリウム ^{b)}	~1.0	~1.0

(2) JSDJ2 ライブラリに基づく透過中性子束計算値に対するE/C補正係数

物質名	1 m透過あたり 補正係数	中性子1桁減衰 あたり補正係数
ステンレス鋼 SS304 ^{a)}	3.2	1.39
B ₄ C (2.51g/cc) ^{a)}	3.3 (10g/cm ³ 当り 1.048)	1.08
黒鉛 ^{a)} 浅い透過 (≦30cm)	1.45	1.15
黒鉛 ^{a)} 深い透過 (≧30cm)	1.28	1.07
ナトリウム ^{b)}	1.07	1.09

a) 「大型しゃへい実験に関する評価研究」昭和62年度成果である。

b) 「大型しゃへい実験に関する評価研究」昭和63年度成果である。

表 10.3-4

S₁₆₄ 分点セット

NO.	MU	ETA	WEIGHT	NO.	MU	ETA	WEIGHT
1	-0.377079554	-0.926180877	0.000000000	91	-0.037862761	0.975939170	0.000197124
2	-0.266635507	-0.926180877	0.044031560	92	-0.009510900	0.975939170	0.000098562
3	0.266635500	-0.926180877	0.044031560	93	0.009510900	0.975939170	0.000098562
4	-0.731810935	-0.681507714	0.000000000	94	0.037862761	0.975939170	0.000197124
5	-0.681507714	-0.681507714	0.039301770	95	0.117154390	0.975939170	0.000689935
6	-0.266635507	-0.681507714	0.039301780	96	0.204893251	0.975939170	0.000788497
7	0.266635500	-0.681507714	0.039301780	97	-0.249686114	0.968326822	0.000000000
8	0.681507707	-0.681507714	0.039301770	98	-0.234628201	0.968326822	0.000902986
9	-0.963797450	-0.266635507	0.000000000	99	-0.134156257	0.968326822	0.000790113
10	-0.926180877	-0.266635507	0.044031560	100	-0.043357539	0.968326822	0.000225747
11	-0.681507714	-0.266635507	0.039301780	101	-0.010891155	0.968326822	0.000112873
12	-0.266635507	-0.266635507	0.044031550	102	0.010891155	0.968326822	0.000112873
13	0.266635500	-0.266635507	0.044031550	103	0.043357538	0.968326822	0.000225747
14	0.681507707	-0.266635507	0.039301780	104	0.134156249	0.968326822	0.000790113
15	0.926180869	-0.266635507	0.044031560	105	0.234628193	0.968326822	0.000902986
16	-0.002399998	0.999997117	0.000000000	106	-0.281066515	0.959688291	0.000000000
17	-0.002255261	0.999997117	0.000001280	107	-0.264116131	0.959688291	0.001016519
18	-0.001289518	0.999997117	0.000001120	108	-0.151016928	0.959688291	0.000889454
19	-0.000416755	0.999997117	0.000000320	109	-0.048806688	0.959688291	0.000254130
20	-0.000104686	0.999997117	0.000000160	110	-0.012259949	0.959688291	0.000127065
21	0.000104686	0.999997117	0.000000160	111	0.012259949	0.959688291	0.000127065
22	0.000416755	0.999997117	0.000000320	112	0.048806687	0.959688291	0.000254130
23	0.001289518	0.999997117	0.000001120	113	0.151016921	0.959688291	0.000889454
24	0.002255261	0.999997117	0.000001280	114	0.264116123	0.959688291	0.001016519
25	-0.009599890	0.999953918	0.000000000	115	-0.312150344	0.950032711	0.000000000
26	-0.009020946	0.999953918	0.000010240	116	-0.293325372	0.950032711	0.001128974
27	-0.005158017	0.999953918	0.000008960	117	-0.167718251	0.950032711	0.000987853
28	-0.001657003	0.999953918	0.000002560	118	-0.054204338	0.950032711	0.000282244
29	-0.000418741	0.999953918	0.000001280	119	-0.013615807	0.950032711	0.000141122
30	0.000418741	0.999953918	0.000001280	120	0.013615807	0.950032711	0.000141122
31	0.001657003	0.999953918	0.000002560	121	0.054204337	0.950032711	0.000282244
32	0.005158016	0.999953918	0.000008960	122	0.167718254	0.950032711	0.000987853
33	0.009020945	0.999953918	0.000010240	123	0.293325365	0.950032711	0.001128974
34	0.027195750	0.999630094	0.000000000	124	-0.342960431	0.939370334	0.000000000
35	-0.025556585	0.999630094	0.000077012	125	-0.322224654	0.939370334	0.001282194
36	-0.014612803	0.999630094	0.000061385	126	-0.182423553	0.939370334	0.001121919
37	-0.004722666	0.999630094	0.000016253	127	-0.036544709	0.939370334	0.000320548
38	-0.001185306	0.999630094	0.000009827	128	-0.014336727	0.939370334	0.000160274
39	0.001185306	0.999630094	0.000009827	129	0.014336726	0.939370334	0.000160274
40	0.004722666	0.999630094	0.000019253	130	0.036544708	0.939370334	0.000320548
41	0.014612802	0.999630094	0.000067986	131	0.182423545	0.939370334	0.001121919
42	0.025556584	0.999630094	0.000077012	132	-0.322224647	0.939370334	0.001282194
43	-0.037117133	0.996336474	0.000000000	133	-0.303536292	0.939370334	0.000000000
44	-0.063723574	0.996336474	0.000026996	134	-0.283833359	0.939370334	0.024441940
45	-0.030718189	0.996336474	0.000180225	135	-0.148874335	0.939370334	0.012320910
46	-0.006927715	0.996336474	0.000055142	136	-0.036874335	0.939370334	0.012320910
47	0.002453783	0.996336474	0.000026746	137	0.036874335	0.939370334	0.012320910
48	0.024537833	0.996336474	0.000025746	138	0.148874335	0.939370334	0.024441940
49	0.069277715	0.996336474	0.000055143	139	0.303536291	0.939370334	0.000000000
50	0.030718188	0.996336474	0.000180225	140	-0.283833359	0.939370334	0.024441940
51	0.033723573	0.996336474	0.000226996	141	-0.148874335	0.939370334	0.012320910
52	0.069553398	0.995981842	0.000000000	142	-0.148874335	0.939370334	0.012320910
53	0.084154546	0.995981842	0.000323415	143	-0.036874335	0.939370334	0.012320910
54	0.046118078	0.995981842	0.000282268	144	0.036874335	0.939370334	0.012320910
55	0.002851131	0.995981842	0.000060664	145	0.148874335	0.939370334	0.024441940
56	0.003996352	0.995981842	0.000060664	146	0.303536291	0.939370334	0.000000000
57	0.003996351	0.995981842	0.000040427	147	-0.283833359	0.939370334	0.024441940
58	0.011855113	0.995981842	0.000040427	148	-0.148874335	0.939370334	0.008549830
59	0.048118077	0.995981842	0.000082268	149	-0.036874335	0.939370334	0.027468320
60	0.084154539	0.995981842	0.000323415	150	0.036874335	0.939370334	0.027468320
61	0.121867684	0.992543899	0.000000000	151	0.148874335	0.939370334	0.008549830
62	0.114536936	0.992543899	0.000000000	152	0.303536291	0.939370334	0.000000000
63	0.065490209	0.992543899	0.000348506	153	-0.283833359	0.939370334	0.024441940
64	0.021166674	0.992543899	0.000110125	154	-0.148874335	0.939370334	0.008549830
65	0.008316666	0.992543899	0.000055063	155	-0.036874335	0.939370334	0.024441940
66	0.008316666	0.992543899	0.000055063	156	0.036874335	0.939370334	0.024441940
67	0.021166574	0.992543899	0.000110125	157	0.148874335	0.939370334	0.008549830
68	0.065490201	0.992543899	0.000348506	158	0.303536291	0.939370334	0.000000000
69	0.114536939	0.992543899	0.000000000	159	-0.283833359	0.939370334	0.024441940
70	0.154107250	0.988054119	0.000445060	160	-0.148874335	0.939370334	0.008549830
71	0.144213448	0.988054119	0.000000000	161	-0.036874335	0.939370334	0.016225040
72	0.082801767	0.988054119	0.000487492	162	0.036874335	0.939370334	0.016225040
73	0.028760443	0.988054119	0.000139283	163	0.148874335	0.939370334	0.008549830
74	0.008722064	0.988054119	0.000068842	164	0.303536291	0.939370334	0.000000000
75	0.008722064	0.988054119	0.000068842	165	-0.283833359	0.939370334	0.024441940
76	0.028760443	0.988054119	0.000139283	166	-0.148874335	0.939370334	0.008549830
77	0.082801759	0.988054119	0.000487492	167	-0.036874335	0.939370334	0.016225040
78	0.144213441	0.988054119	0.000557134	168	0.036874335	0.939370334	0.016225040
79	0.166171502	0.982517257	0.000000000	169	0.148874335	0.939370334	0.008549830
80	0.174943991	0.982517257	0.000073172	170	0.303536291	0.939370334	0.000000000
81	0.100029878	0.982517257	0.000589025	171	-0.283833359	0.939370334	0.024441940
82	0.032328342	0.982517257	0.000168293	172	-0.148874335	0.939370334	0.008549830
83	0.008120687	0.982517257	0.000084146	173	-0.036874335	0.939370334	0.024441940
84	0.008120687	0.982517257	0.000084146	174	0.036874335	0.939370334	0.024441940
85	0.032328342	0.982517257	0.000168293	175	0.148874335	0.939370334	0.008549830
86	0.100029871	0.982517257	0.000589025	176	0.303536291	0.939370334	0.000000000
87	0.174943984	0.982517257	0.000073172	177	-0.283833359	0.939370334	0.024441940
88	-0.218042955	0.975939170	0.000000000	178	-0.148874335	0.939370334	0.008549830
89	-0.204893358	0.975939170	0.000788497	179	-0.036874335	0.939370334	0.016225040
90	-0.117154397	0.975939170	0.000689935	180	0.036874335	0.939370334	0.016225040

表 10.3-5 DOT3.5の解析による軸方向遮蔽中の中性子ストリーミング係数

(1) ステンレス鋼製中心型軸遮蔽

a) 高速中性子束 ($E_n \geq 67\text{keV}$)

透過距離	中性子束 ($\text{n}/\text{cm}^2/\text{s}$)		ストリーミング 係数
	非均質体系	均質体系	
0 cm	6.777E+04	6.811E+04	1.00
20cm	2.383E+04	2.303E+04	1.03
40cm	7.286E+03	6.793E+03	1.07
60cm	7.518E+02	6.385E+02	1.18

b) 中速中性子束 ($0.4\text{ eV} \leq E_n \leq 67\text{keV}$)

透過距離	中性子束 ($\text{n}/\text{cm}^2/\text{s}$)		ストリーミング 係数
	非均質体系	均質体系	
0 cm	2.033E+05	2.049E+05	0.99
20cm	6.980E+04	6.335E+04	1.10
40cm	2.064E+04	1.635E+04	1.26
60cm	1.254E+03	8.106E+03	1.55

c) 全中性子束

透過距離	中性子束 ($\text{n}/\text{cm}^2/\text{s}$)		ストリーミング 係数
	非均質体系	均質体系	
0 cm	2.711E+05	2.731E+05	0.99
20cm	9.364E+04	8.639E+04	1.08
40cm	2.794E+04	2.315E+04	1.21
60cm	2.005E+03	1.449E+03	1.38

表 10.3-5 (全頁より続く)

(2) B₄C 製中心型軸遮蔽

a) 高速中性子束 ($E_n \geq 67\text{keV}$)

透過距離	中性子束 ($\text{n}/\text{cm}^2/\text{s}$)		ストリーミング 係数
	非均質体系	均質体系	
0 cm	5.394E+04	5.419E+04	1.00
20cm	4.102E+03	2.441E+03	1.68
40cm	4.595E+02	1.803E+02	2.55
60cm	3.014E+01	8.292E+00	3.63

b) 中速中性子束 ($0.4\text{ eV} \leq E_n \leq 67\text{keV}$)

透過距離	中性子束 ($\text{n}/\text{cm}^2/\text{s}$)		ストリーミング 係数
	非均質体系	均質体系	
0 cm	1.307E+05	1.233E+05	1.06
20cm	3.909E+03	1.545E+03	2.53
40cm	3.074E+02	7.325E+01	4.20
60cm	1.227E+01	1.866E+00	6.58

c) 全中性子束

透過距離	中性子束 ($\text{n}/\text{cm}^2/\text{s}$)		ストリーミング 係数
	非均質体系	均質体系	
0 cm	1.847E+05	1.775E+05	1.04
20cm	8.011E+03	3.987E+03	2.01
40cm	7.669E+02	2.536E+02	3.02
60cm	4.241E+01	1.016E+01	4.17

表 10.3-5 (全頁より続く)

(3) B₄C製ロッドバンドル型軸遮蔽^{*})

a) 高速中性子束 ($E_n \geq 67\text{keV}$)

透過距離	中性子束 ($n/\text{cm}^2/\text{s}$)		ストリーミング 係数
	非均質体系	均質体系	
0 cm	5.376E+04	5.419E+04	0.99
20 cm	3.253E+03	2.441E+03	1.33
40 cm	2.798E+02	1.803E+02	1.55
60 cm	1.435E+01	8.292E+00	1.73

b) 中速中性子束 ($0.4\text{ eV} \leq E_n \leq 67\text{keV}$)

透過距離	中性子束 ($n/\text{cm}^2/\text{s}$)		ストリーミング 係数
	非均質体系	均質体系	
0 cm	1.278E+05	1.233E+05	1.04
20 cm	2.398E+03	1.545E+03	1.55
40 cm	1.403E+02	7.325E+01	1.92
60 cm	4.121E+01	1.866E+00	2.21

c) 全中性子束

透過距離	中性子束 ($n/\text{cm}^2/\text{s}$)		ストリーミング 係数
	非均質体系	均質体系	
0 cm	1.817E+05	1.775E+05	1.02
20 cm	5.651E+03	3.987E+03	1.42
40 cm	4.201E+02	2.536E+02	1.66
60 cm	1.847E+01	1.016E+01	1.82

^{*}) 非均質計算の計算体系は、ラッパー管とナトリウム領域を均質化し、B₄C遮蔽、SS316被覆、均質領域(ラッパー管とナトリウム)の3領域からなるモデルとした。

表 10.3-6 DOT3.5およびMORSE-CGの解析によるB₄C製中心型軸方向遮蔽中の
中性子束の減衰

a) 非均質体系

① 高速中性子束 ($E_n \geq 67\text{keV}$)

透過 距離	非均質体系 (円柱)			非均質体系 (六角柱)	
	DOT3.5	MORSE-CG	(F.S.D)	MORSE-CG	(F.S.D)
0 cm	5.394E+04	—	—	—	—
20cm	4.102E+03	4.258E+03	(1.9%)	5.171E+03	(3.0%)
40cm	4.595E+02	5.421E+02	(3.4%)	6.371E+02	(6.3%)
60cm	3.014E+01	4.329E+01	(3.7%)	3.262E+01	(6.8%)

② 中速中性子束 ($0.4 \text{ eV} \leq E_n \leq 67\text{keV}$)

透過 距離	非均質体系 (円柱)			非均質体系 (六角柱)	
	DOT3.5	MORSE-CG	(F.S.D)	MORSE-CG	(F.S.D)
0 cm	1.307E+05	—	—	—	—
20cm	3.909E+03	4.004E+03	(1.2%)	5.605E+03	(2.5%)
40cm	3.074E+02	3.727E+02	(2.0%)	4.577E+02	(3.6%)
60cm	1.227E+01	1.488E+01	(3.8%)	1.580E+01	(6.1%)

③ 全中性子束

透過 距離	非均質体系 (円柱)			非均質体系 (六角柱)	
	DOT3.5	MORSE-CG	(F.S.D)	MORSE-CG	(F.S.D)
0 cm	1.847E+05	—	—	—	—
20cm	8.011E+03	8.261E+03	(1.2%)	1.078E+04	(2.0%)
40cm	7.669E+02	9.148E+02	(2.2%)	1.095E+03	(4.3%)
60cm	4.241E+01	5.817E+01	(3.1%)	4.843E+01	(5.2%)

表 10.3-6 (前頁より続く)

b) 均質体系

① 高速中性子束 ($E_n \geq 67\text{keV}$)

透過距離	DOT3.5	MORSE-CG	(F.S.D)
0 cm	5.419E+04	—	—
20cm	2.441E+03	3.069E+03	(2.8%)
40cm	1.803E+02	2.107E+02	(5.1%)
60cm	8.292E+00	9.537E+00	(10.1%)

② 中速中性子束 ($0.4 \text{ eV} \leq E_n \leq 67\text{keV}$)

透過距離	DOT3.5	MORSE-CG	(F.S.D)
0 cm	1.233E+05	—	—
20cm	1.545E+03	1.927E+03	(2.5%)
40cm	7.325E+01	9.408E+01	(4.1%)
60cm	1.866E+00	1.998E+00	(6.8%)

③ 全中性子束

透過距離	DOT3.5	MORSE-CG	(F.S.D)
0 cm	1.775E+05	—	—
20cm	3.987E+03	4.996E+03	(2.1%)
40cm	2.536E+02	3.048E+02	(4.0%)
60cm	1.016E+01	1.153E+01	(8.6%)

表 10.3-7 DOT3.5およびMORSE-CGの解析による軸方向遮蔽中の中性子スペクトル

(1) 20cm透過位置

上限 エネルギー	非均質体系 (円柱)			非均質体系 (六角柱)	
	DOT3.5	MORSE-CG	(F.S.D)	MORSE-CG	(F.S.D)
1 14.0 MeV	1.722E+01	2.137E+01	(18.7 %)	9.816E+00	(18.4 %)
2 5.5 MeV	5.281E+01	4.331E+01	(7.6 %)	5.459E+01	(13.8 %)
3 3.3 MeV	1.430E+02	1.321E+02	(6.6 %)	1.605E+02	(10.3 %)
4 2.0 MeV	2.352E+02	2.177E+02	(4.7 %)	2.825E+02	(8.0 %)
5 1.22 MeV	3.582E+02	3.434E+02	(4.1 %)	3.833E+02	(7.1 %)
6 743 keV	5.325E+02	5.339E+02	(4.0 %)	6.444E+02	(6.5 %)
7 450 keV	6.139E+02	6.609E+02	(4.5 %)	8.312E+02	(7.9 %)
8 273 keV	7.032E+02	7.119E+02	(3.2 %)	9.008E+02	(6.7 %)
9 166 keV	1.446E+03	1.593E+03	(3.7 %)	1.904E+03	(4.8 %)
10 67.4 keV	1.488E+03	1.433E+03	(2.0 %)	2.179E+03	(4.2 %)
11 24.8 keV	1.233E+03	1.258E+03	(2.1 %)	1.685E+03	(3.4 %)
12 9.1 keV	4.885E+02	4.927E+02	(2.5 %)	6.928E+02	(4.4 %)
3.4 keV					

上限 エネルギー	均質体系		
	DOT3.5	MORSE-CG	(F.S.D)
1 14.0 MeV	1.565E+01	1.650E+01	(19.0 %)
2 5.5 MeV	4.794E+01	6.644E+01	(22.7 %)
3 3.3 MeV	1.235E+02	1.478E+02	(8.6 %)
4 2.0 MeV	1.812E+02	2.107E+02	(7.4 %)
5 1.22 MeV	2.820E+02	3.327E+02	(7.2 %)
6 743 keV	3.229E+02	3.855E+02	(8.2 %)
7 450 keV	3.569E+02	4.327E+02	(5.5 %)
8 273 keV	3.967E+02	5.328E+02	(5.1 %)
9 166 keV	7.148E+02	9.438E+02	(4.1 %)
10 67.4 keV	6.867E+02	8.813E+02	(4.0 %)
11 24.8 keV	5.247E+02	6.438E+02	(3.7 %)
12 9.1 keV	2.429E+02	2.936E+02	(3.8 %)
3.4 keV			

表 10.3-7 (前頁より続く)

(2) 40cm透過位置

上限 エネルギー	非均質体系 (円柱)			非均質体系 (六角柱)	
	DOT3.5	MORSE-CG	(F.S.D)	MORSE-CG	(F.S.D)
1 14.0 MeV	2.436E+00	3.187E+00	(20.9 %)	2.357E+00	(39.0 %)
2 5.5 MeV	6.742E+00	7.043E+00	(15.6 %)	9.515E+00	(27.8 %)
3 3.3 MeV	1.664E+01	1.838E+01	(11.8 %)	1.545E+01	(19.9 %)
4 2.0 MeV	2.984E+01	3.082E+01	(9.4 %)	4.732E+01	(25.5 %)
5 1.22 MeV	4.440E+01	4.877E+01	(7.3 %)	4.521E+01	(9.6 %)
6 743 keV	6.274E+01	6.521E+01	(6.1 %)	9.456E+01	(13.2 %)
7 450 keV	7.002E+01	9.228E+01	(12.1 %)	7.651E+01	(9.3 %)
8 273 keV	7.642E+01	8.709E+01	(4.9 %)	1.320E+02	(17.8 %)
9 166 keV	1.503E+02	1.893E+02	(5.4 %)	2.142E+02	(7.9 %)
10 67.4 keV	1.400E+02	1.636E+02	(2.8 %)	2.197E+02	(5.5 %)
11 24.8 keV	9.685E+01	1.179E+02	(3.0 %)	1.337E+02	(4.4 %)
12 9.1 keV	3.690E+01	4.468E+01	(6.1 %)	5.022E+01	(5.2 %)
3.4 keV					

上限 エネルギー	均質体系		
	DOT3.5	MORSE-CG	(F.S.D)
1 14.0 MeV	1.848E+00	4.470E+00	(41.9 %)
2 5.5 MeV	5.069E+00	3.419E+00	(22.0 %)
3 3.3 MeV	1.134E+01	1.441E+01	(17.3 %)
4 2.0 MeV	1.650E+01	1.203E+01	(11.2 %)
5 1.22 MeV	2.455E+01	2.905E+01	(14.3 %)
6 743 keV	2.611E+01	3.040E+01	(10.4 %)
7 450 keV	2.550E+01	3.281E+01	(8.8 %)
8 273 keV	2.633E+01	3.222E+01	(9.3 %)
9 166 keV	4.309E+01	5.158E+01	(6.4 %)
10 67.4 keV	3.714E+01	4.894E+01	(5.4 %)
11 24.8 keV	2.303E+01	2.786E+01	(5.4 %)
12 9.1 keV	9.833E+00	1.255E+01	(7.5 %)
3.4 keV			

表 10.3-7 (前頁より続く)

(3) 60cm透過位置

上限 エネルギー	非均質体系 (円柱)			非均質体系 (六角柱)	
	DOT3.5	MORSE-CG	(F.S.D)	MORSE-CG	(F.S.D)
1 14.0 MeV	3.428E-01	5.238E-01	(28.3 %)	3.203E-01	(53.8 %)
2 5.5 MeV	7.534E-01	1.485E+00	(27.8 %)	8.868E-01	(47.2 %)
3 3.3 MeV	1.562E+00	3.051E+00	(13.2 %)	1.411E+00	(26.3 %)
4 2.0 MeV	2.605E+00	3.906E+00	(11.6 %)	2.973E+00	(24.4 %)
5 1.22 MeV	3.457E+00	5.077E+00	(11.9 %)	3.340E+00	(19.0 %)
6 743 keV	4.332E+00	6.106E+00	(11.0 %)	4.749E+00	(13.7 %)
7 450 keV	4.614E+00	6.389E+00	(7.2 %)	5.687E+00	(11.8 %)
8 273 keV	4.400E+00	5.344E+00	(6.7 %)	5.757E+00	(11.7 %)
9 166 keV	8.071E+00	1.141E+01	(5.2 %)	7.499E+00	(7.6 %)
10 67.4 keV	6.235E+00	7.351E+00	(6.0 %)	8.052E+00	(10.1 %)
11 24.8 keV	3.873E+00	4.832E+00	(5.7 %)	5.014E+00	(7.8 %)
12 9.1 keV	1.096E+00	1.252E+00	(7.4 %)	1.207E+00	(10.0 %)
3.4 keV					

上限 エネルギー	均質体系		
	DOT3.5	MORSE-CG	(F.S.D)
1 14.0 MeV	2.067E-01	3.789E-01	(56.3 %)
2 5.5 MeV	4.439E-01	8.761E-01	(33.9 %)
3 3.3 MeV	8.038E-01	2.111E+00	(28.6 %)
4 2.0 MeV	9.661E-01	1.170E+00	(19.2 %)
5 1.22 MeV	1.308E+00	1.055E+00	(18.2 %)
6 743 keV	1.182E+00	8.297E-01	(16.1 %)
7 450 keV	1.024E+00	9.332E-01	(19.1 %)
8 273 keV	9.577E-01	8.993E-01	(32.3 %)
9 166 keV	1.399E+00	1.285E+00	(8.6 %)
10 67.4 keV	1.036E+00	1.057E+00	(8.3 %)
11 24.8 keV	5.731E-01	6.758E-01	(9.6 %)
12 9.1 keV	2.022E-01	2.174E-01	(12.5 %)
3.4 keV			

表 10.3-8 B₄C 製中心型軸方向遮蔽における高速中性子束ストリーミング係数
(DOT3.5とMORSE-CGの比較)

(1) DOT3.5の解析結果

透過距離	非均質計算	均質計算	ストリーミング係数
0 cm	5.394+4 ¹⁾	5.418+4	1.00
20cm	4.102+3	2.441+3	1.68
40cm	4.595+2	1.803+2	2.54
60cm	3.014+1	8.291+0	3.64

(2) MORSE-CGの解析結果 (六角柱)

透過距離	非均質計算	均質計算	ストリーミング係数
0 cm	(5.394+4) ²⁾	(5.418+4) ²⁾	1.00
20cm	5.171+3 ± 3.0%	3.069+3 ± 2.8%	1.68 ± 0.07
40cm	6.371+2 ± 6.3%	2.107+2 ± 5.1%	3.02 ± 0.25
60cm	3.262+1 ± 6.8%	9.537+0 ± 10.2%	3.42 ± 0.42

(3) MORSE-CGの解析結果 (円柱)

透過距離	非均質計算	均質計算	ストリーミング係数
0 cm	(5.394+4) ²⁾	(5.418+4) ²⁾	1.00
20cm	4.258+3 ± 1.9%	3.069+3 ± 2.8%	1.39 ± 0.05
40cm	5.421+2 ± 3.4%	2.107+2 ± 5.1%	2.57 ± 0.16
60cm	4.329+1 ± 3.7%	9.537+0 ± 10.2%	4.54 ± 0.49

1) 5.394×10^4 と読む。

2) DOT3.5による。

表 10.4-1 中性子重み断面積による B₄C 製中心型軸方向遮蔽中の
中性子スペクトル

(1) 20cm透過位置

群	上限 エネルギー	非均質体系	均質体系		
			従来手法	ステップ1	ステップ2
1	14.0 MeV	1.722E+01	1.565E+01	1.567E+01	1.707E+01
2	5.5 MeV	5.281E+01	4.794E+01	6.558E+01	5.299E+01
3	3.3 MeV	1.430E+02	1.235E+02	1.624E+02	1.412E+02
4	2.0 MeV	2.352E+02	1.812E+02	2.336E+02	2.304E+02
5	1.22 MeV	3.582E+02	2.820E+02	3.317E+02	3.497E+02
6	743 keV	5.325E+02	3.229E+02	4.035E+02	5.114E+02
7	450 keV	6.139E+02	3.569E+02	4.547E+02	5.963E+02
8	273 keV	7.032E+02	3.967E+02	5.107E+02	6.860E+02
9	166 keV	1.446E+03	7.148E+02	9.886E+02	1.407E+03
10	67.4 keV	1.488E+03	6.867E+02	1.016E+03	1.414E+03
11	24.8 keV	1.233E+03	5.247E+02	8.270E+02	1.181E+03
12	9.1 keV	4.885E+02	2.429E+02	3.620E+02	4.571E+02
13	3.4 keV	2.497E+02	7.137E+01	1.663E+02	2.224E+02
14	1.23 keV	2.104E+02	1.768E+01	1.079E+02	1.803E+02
15	454 eV	1.102E+02	1.728E+00	5.438E+01	8.752E+01
16	167 eV	8.016E+01	1.088E-01	4.920E+01	5.733E+01
17	47.6 eV	3.193E+01	2.328E-03	2.342E+01	2.138E+01
18	13.7 eV	1.223E+01	2.494E-05	9.750E+00	8.103E+00
19	3.9 eV	4.088E+00	1.379E-07	3.529E+00	2.958E+00
20	1.1 eV	1.160E+00	4.953E-10	1.031E+00	9.008E-01
21	0.41 eV	1.260E-01	2.840E-12	1.023E-01	2.392E-02

従来手法 ; 体積重み平均断面積による均質体系計算

新しい手法 ステップ1 ; 中性子束重み平均断面積による均質体系計算

ステップ2 ; ステップ1の平均断面積を中性子勾配で調整した
平均断面積による均質体系計算

表 10.4-1 中性子重み断面積による B₄C 製中心型軸方向遮蔽中の
中性子スペクトル (前頁より続く)

(2) 40cm透過位置

群	上限 エネルギー	非均質体系	均質体系		
			従来手法	ステップ1	ステップ2
1	14.0 MeV	2.436E+00	1.848E+00	3.546E+00	2.430E+00
2	5.5 MeV	6.742E+00	5.069E+00	9.843E+00	6.742E+00
3	3.3 MeV	1.664E+01	1.134E+01	2.086E+01	1.610E+01
4	2.0 MeV	2.984E+01	1.650E+01	2.986E+01	2.796E+01
5	1.22 MeV	4.440E+01	2.455E+01	3.925E+01	4.091E+01
6	743 keV	6.274E+01	2.611E+01	4.222E+01	5.561E+01
7	450 keV	7.002E+01	2.550E+01	4.207E+01	6.330E+01
8	273 keV	7.642E+01	2.633E+01	4.373E+01	7.091E+01
9	166 keV	1.503E+02	4.309E+01	7.561E+01	1.510E+02
10	67.4 keV	1.400E+02	3.714E+01	6.808E+01	1.400E+02
11	24.8 keV	9.685E+01	2.303E+01	4.486E+01	9.627E+01
12	9.1 keV	3.690E+01	9.833E+00	1.853E+01	3.559E+01
13	3.4 keV	1.693E+01	2.704E+00	7.511E+00	1.549E+01
14	1.23 keV	8.748E+00	5.173E-01	2.450E+00	6.916E+00
15	454 eV	3.898E+00	2.831E-02	8.589E-01	2.776E+00
16	167 eV	2.615E+00	5.500E-04	9.666E-01	1.993E+00
17	47.6 eV	9.557E-01	9.218E-07	5.492E-01	7.928E-01
18	13.7 eV	3.812E-01	5.356E-10	2.333E-01	3.177E-01
19	3.9 eV	1.226E-01	1.121E-11	8.893E-02	1.235E-01
20	1.1 eV	3.795E-02	7.368E-14	2.540E-02	3.879E-02
21	0.41 eV	2.292E-03	2.792E-13	2.148E-03	1.047E-03

従来手法 ; 体積重み平均断面積による均質体系計算

新しい手法 ステップ1 ; 中性子束重み平均断面積による均質体系計算

ステップ2 ; ステップ1の平均断面積を中性子勾配で調整した
平均断面積による均質体系計算

表 10.4-1 中性子重み断面積による B₄C 製中心型軸方向遮蔽中の
中性子スペクトル (前頁より続く)

(3) 60cm 透過位置

群	上限 エネルギー	非均質体系	均質体系		
			従来手法	ステップ1	ステップ2
1	14.0 MeV	3.428E-01	2.067E-01	5.766E-01	3.445E-01
2	5.5 MeV	7.534E-01	4.439E-01	1.241E+00	7.492E-01
3	3.3 MeV	1.562E+00	8.038E-01	2.066E+00	1.473E+00
4	2.0 MeV	2.605E+00	9.661E-01	2.499E+00	2.247E+00
5	1.22 MeV	3.457E+00	1.308E+00	2.850E+00	2.798E+00
6	743 keV	4.332E+00	1.182E+00	2.591E+00	3.064E+00
7	450 keV	4.614E+00	1.024E+00	2.295E+00	3.188E+00
8	273 keV	4.400E+00	9.577E-01	2.116E+00	3.052E+00
9	166 keV	8.071E+00	1.399E+00	3.221E+00	6.404E+00
10	67.4 keV	6.235E+00	1.036E+00	2.440E+00	5.065E+00
11	24.8 keV	3.873E+00	5.731E-01	1.395E+00	3.155E+00
12	9.1 keV	1.096E+00	2.022E-01	4.694E-01	8.871E-01
13	3.4 keV	3.589E-01	4.505E-02	1.373E-01	2.684E-01
14	1.23 keV	3.094E-01	8.902E-03	5.493E-02	1.879E-01
15	454 eV	1.752E-01	4.362E-04	1.561E-02	1.215E-01
16	167 eV	1.345E-01	7.607E-06	2.355E-02	8.681E-02
17	47.6 eV	5.425E-02	2.096E-08	1.750E-02	3.496E-02
18	13.7 eV	2.177E-02	2.562E-11	7.687E-03	1.488E-02
19	3.9 eV	7.167E-03	1.137E-12	3.234E-03	6.289E-03
20	1.1 eV	2.100E-03	7.611E-15	8.286E-04	1.946E-03
21	0.41 eV	1.109E-04	3.266E-14	7.483E-05	2.941E-06

従来手法 ; 体積重み平均断面積による均質体系計算

新しい手法 ステップ1 ; 中性子束重み平均断面積による均質体系計算

ステップ2 ; ステップ1の平均断面積を中性子勾配で調整した
平均断面積による均質体系計算

表 10.4-2 中性子重み断面積によるB₄C製中心型軸方向遮蔽の高速中性子束ストリーミング補正係数

[$E_n \geq 67 \text{ keV}$]

(1) 従来手法（体積重み断面積）によるストリーミング補正係数¹⁾

透過距離	非均質計算	均質計算	ストリーミングに対する補正係数
0 cm	5.394+4 ²⁾	5.418+4	1.00
20 cm	4.102+3	2.441+3	1.68
40 cm	4.595+2	1.803+2	2.54
60 cm	3.014+1	8.291+0	3.64

(2) 新手法ステップ1（中性子重み断面積）に対するストリーミング補正係数

透過距離	非均質計算	均質計算	ストリーミングに対する補正係数
0 cm	5.394+4	5.362+4	1.01
20 cm	4.102+3	3.172+3	1.29
40 cm	4.595+2	3.070+2	1.50
60 cm	3.014+1	1.946+1	1.55

(3) 新手法ステップ2（ステップ1の中性子重み断面積を中性子束勾配で調整）に対するストリーミング補正係数

透過距離	非均質計算	均質計算	ストリーミングに対する補正係数
0 cm	5.394+4	5.361+4	1.01
20 cm	4.102+3	3.992+3	1.03
40 cm	4.595+2	4.350+2	1.06
60 cm	3.014+1	2.332+1	1.29

1) 「ストリーミング係数」の定義は非均質計算と均質計算（従来法）の比である。新手法も含め、均質体系計算に対する非均質効果の補正という意味で「ストリーミング補正係数」という語を用いた。

2) 5.394×10^4 と読む。

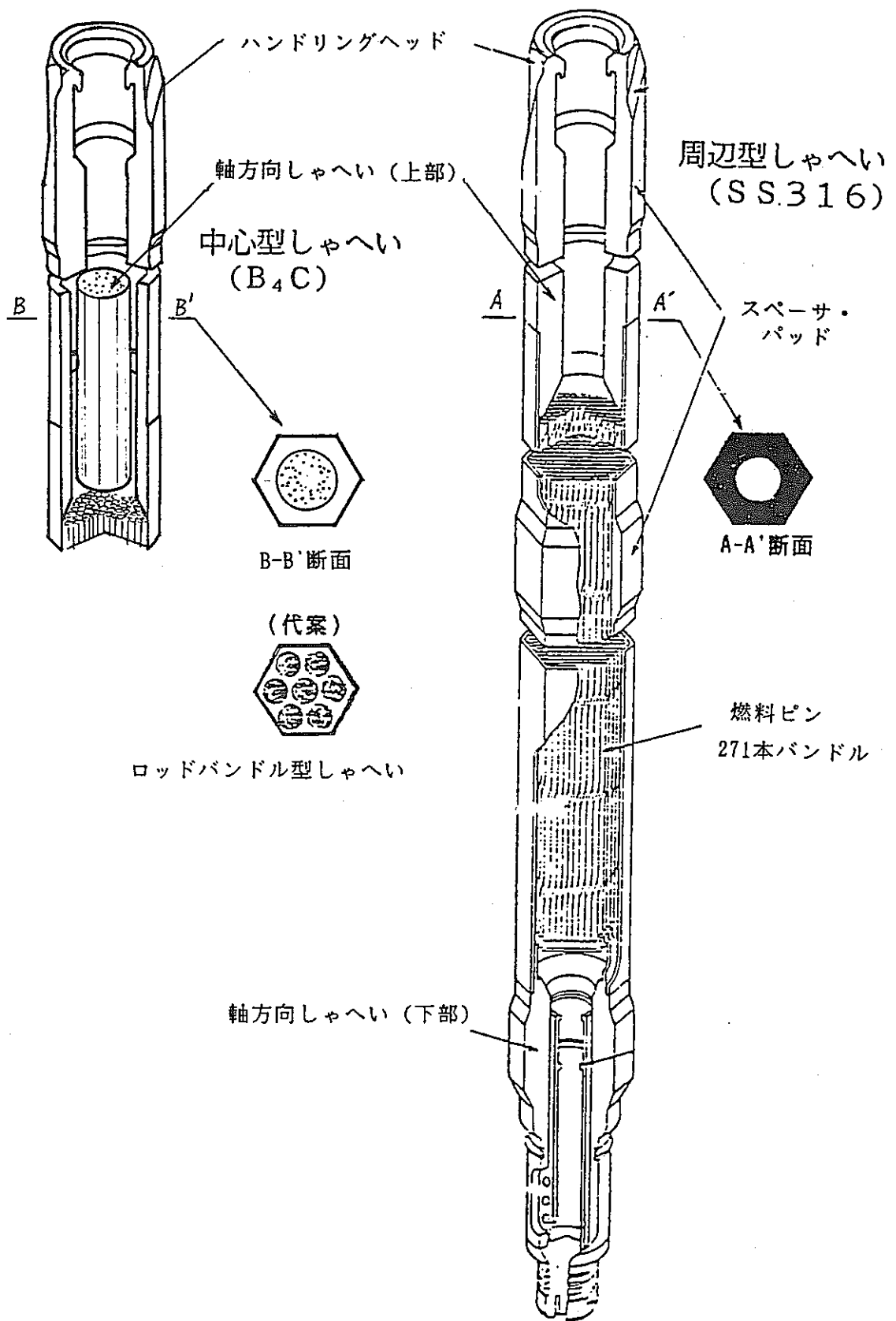
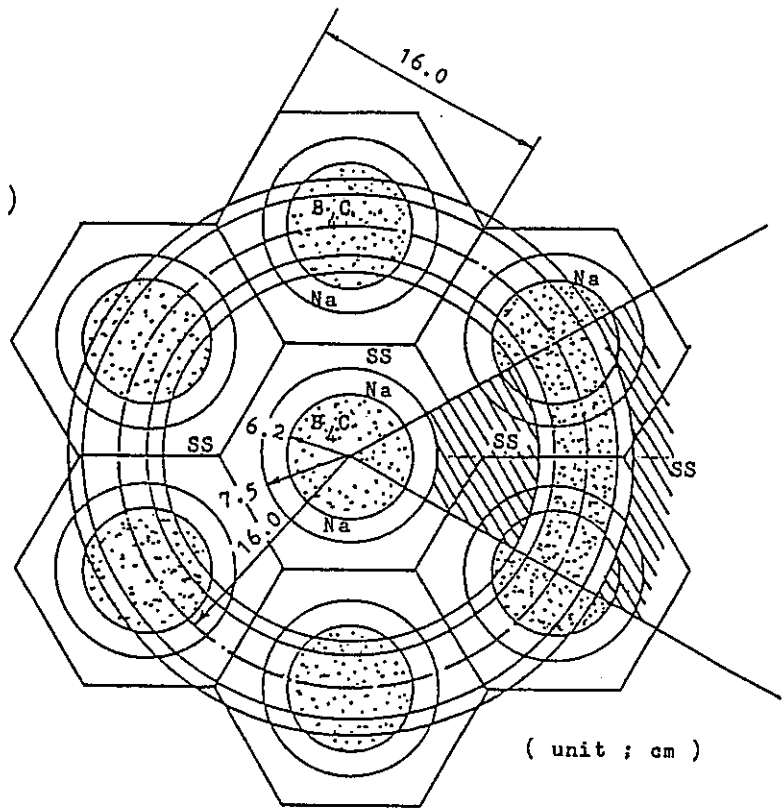


図 10.1-1 高速実証炉の軸方向遮蔽の構造

(a) DOT3.5 (円環モデル)



(b) MORSE-ALB

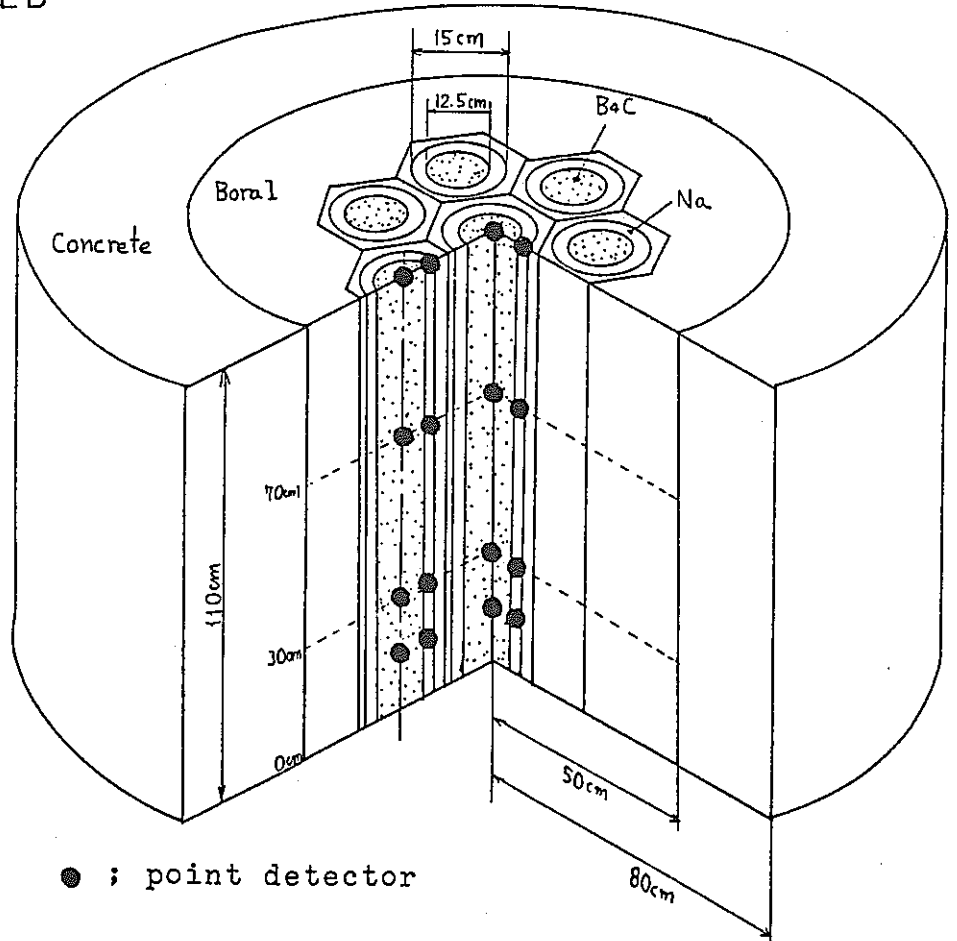


図 10.2-1 7体のB₄C製中心型軸方向遮蔽から成る計算体系

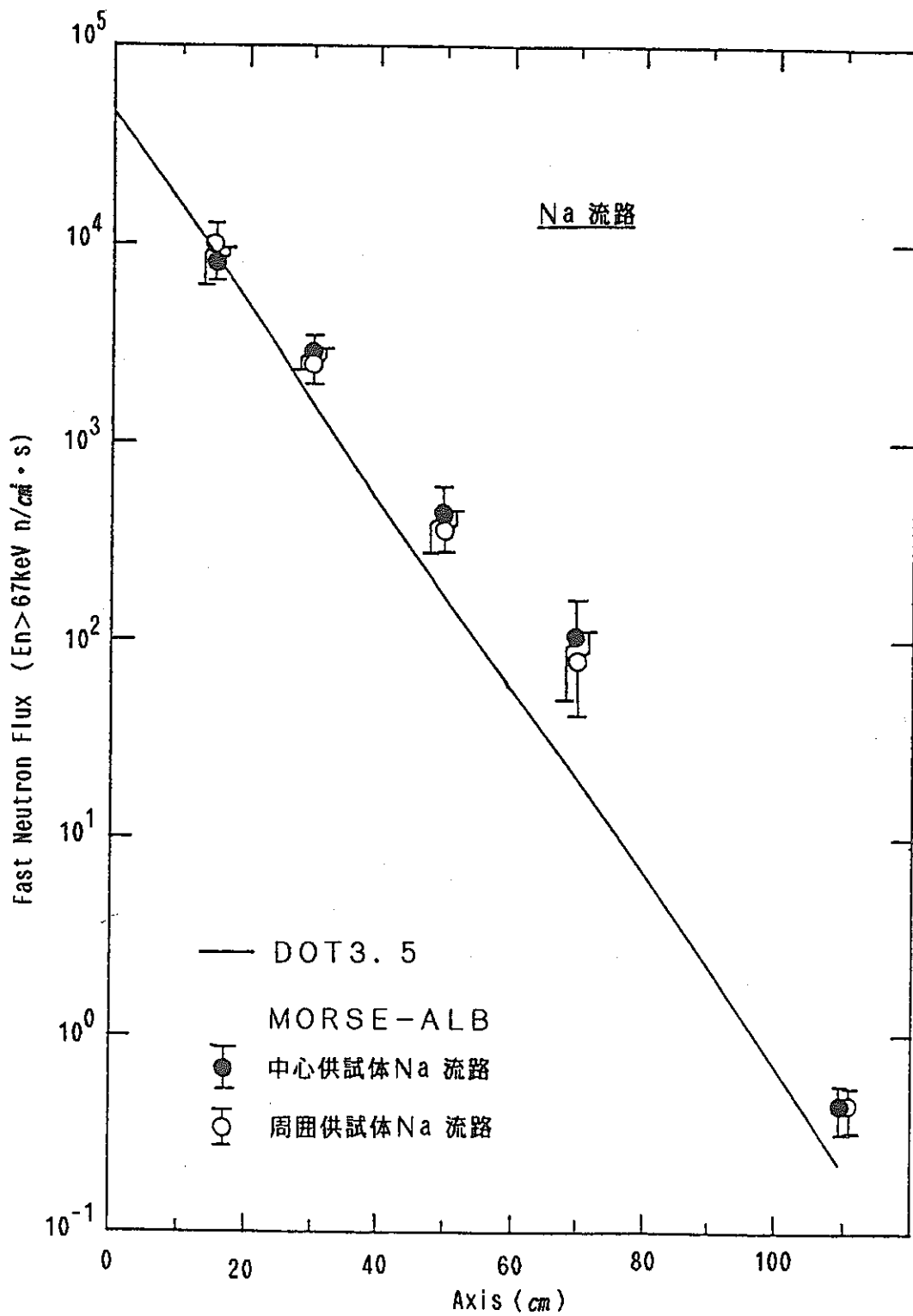


図 10.2-2 7体のB₄C製中心型軸方向遮蔽のナトリウム流路における67keV以上の高速中性子束の減衰 (DOT3.5の円環モデルとMORSE-CGの比較)

計算形状 R-Z 2次元円柱モデル
 計算領域
 径方向 $0.0 \leq r \leq 8.4\text{cm}$ (軸方向しゃへい1体分)
 軸方向 $0.0 \leq z \leq 60.0\text{cm}$

軸方向メッシュ数

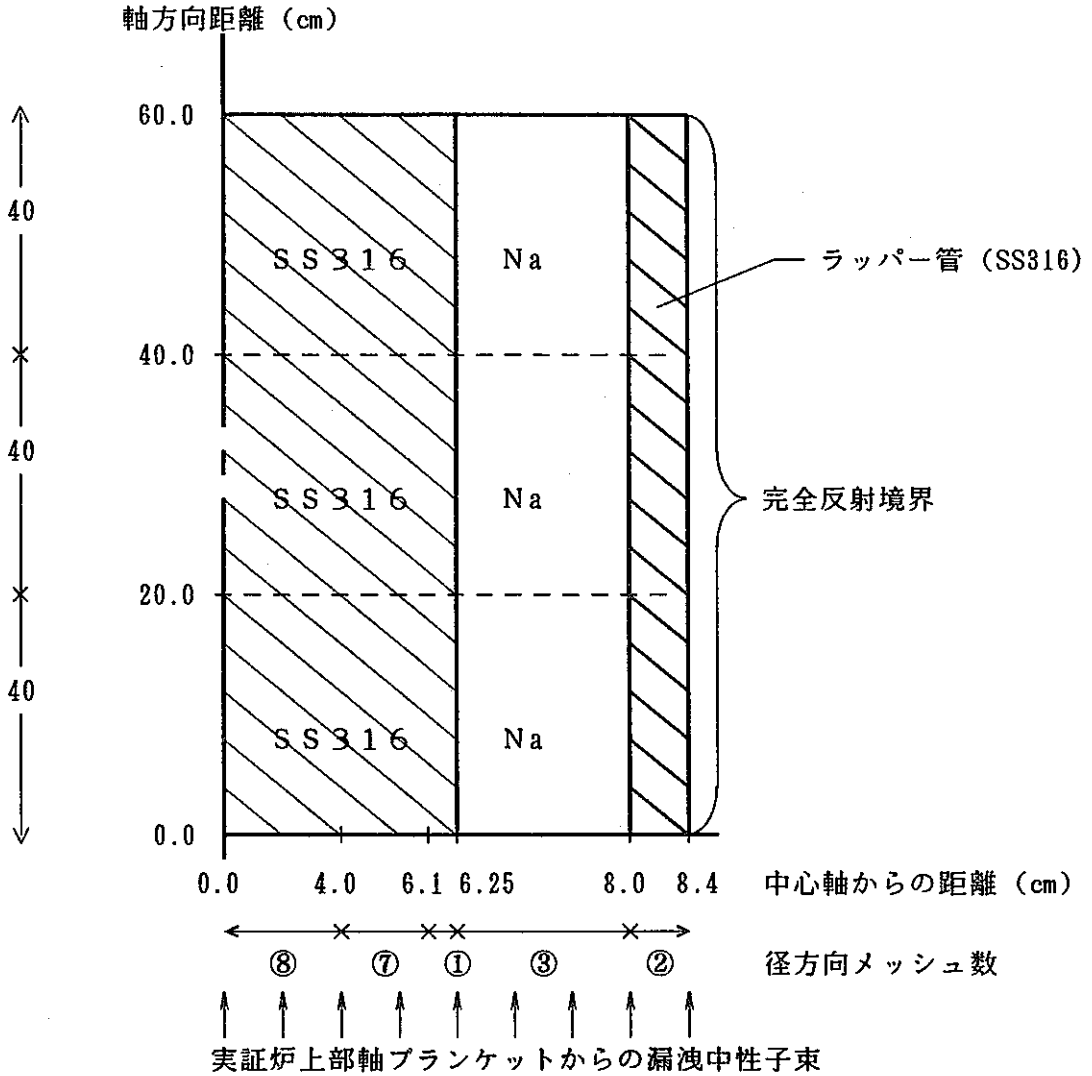


図 10.3-1 ステンレス鋼(SS316)製軸方向遮蔽解析モデル (DOT3.5)

注) 上図は非均質モデル(中心型モデル)。均質計算は同一メッシュで全領域をステンレス鋼とナトリウムの混合物として計算。

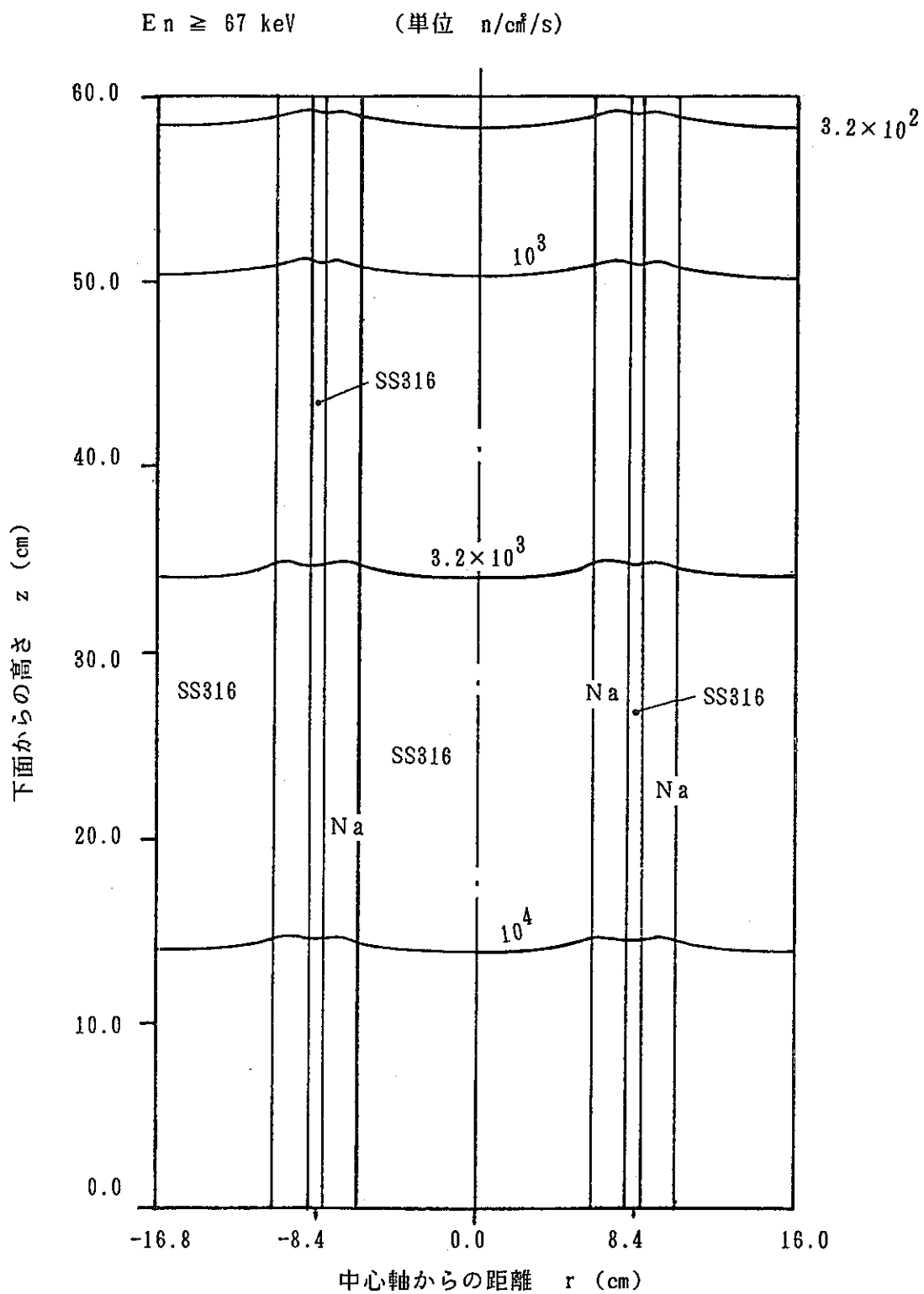


図 10.3-2 ステンレス鋼(SS316)製軸方向遮蔽内中性子束等高線図
 (a) 高速中性子束 ($E_n \geq 67 \text{ keV}$)
 (実際の計算領域は $0.0 \leq r \leq 8.4 \text{ cm}$)

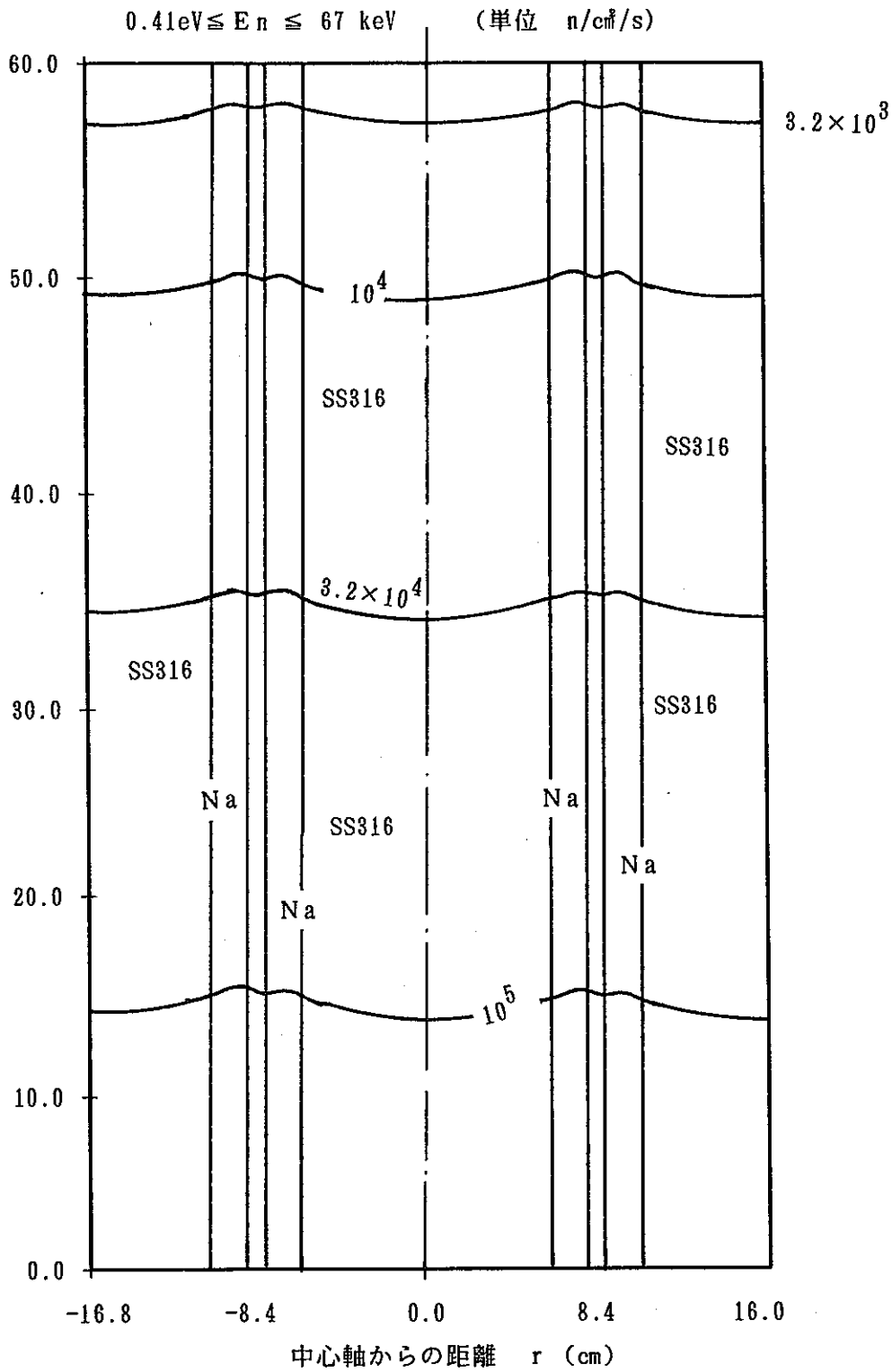


図 10.3-2 ステンレス鋼(SS316) 製軸方向遮蔽内中性子束等高線図
 (b) 中速中性子束 ($0.41\text{eV} \leq E_n \leq 67\text{keV}$)
 (実際の計算領域は $0.0 \leq r \leq 8.4\text{cm}$)

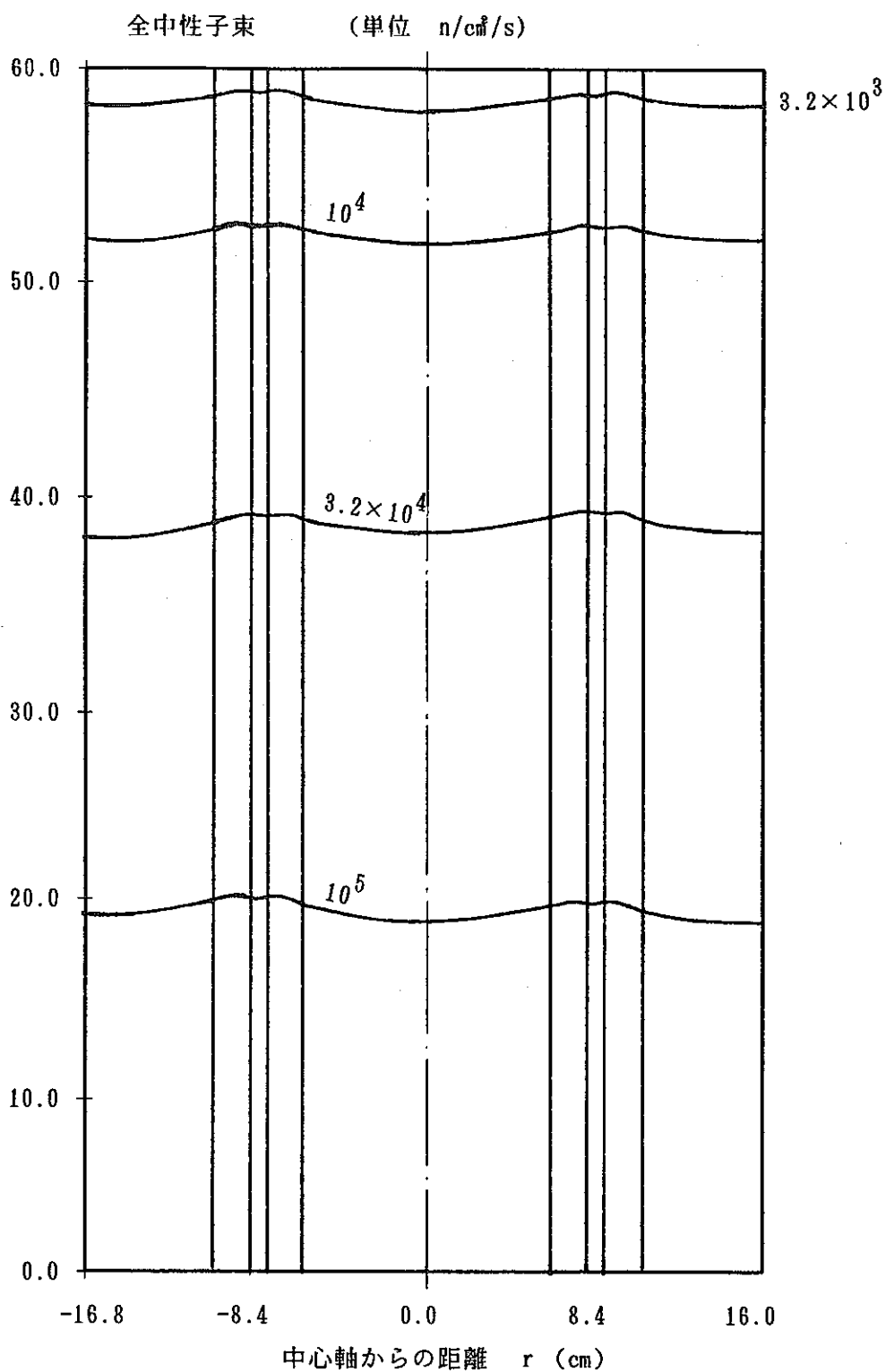


図 10.3-2 ステンレス鋼(SS316)製軸方向遮蔽内中性子束等高線図
 (c) 全中性子束
 (実際の計算領域は $0.0 \leq r \leq 8.4$ cm)

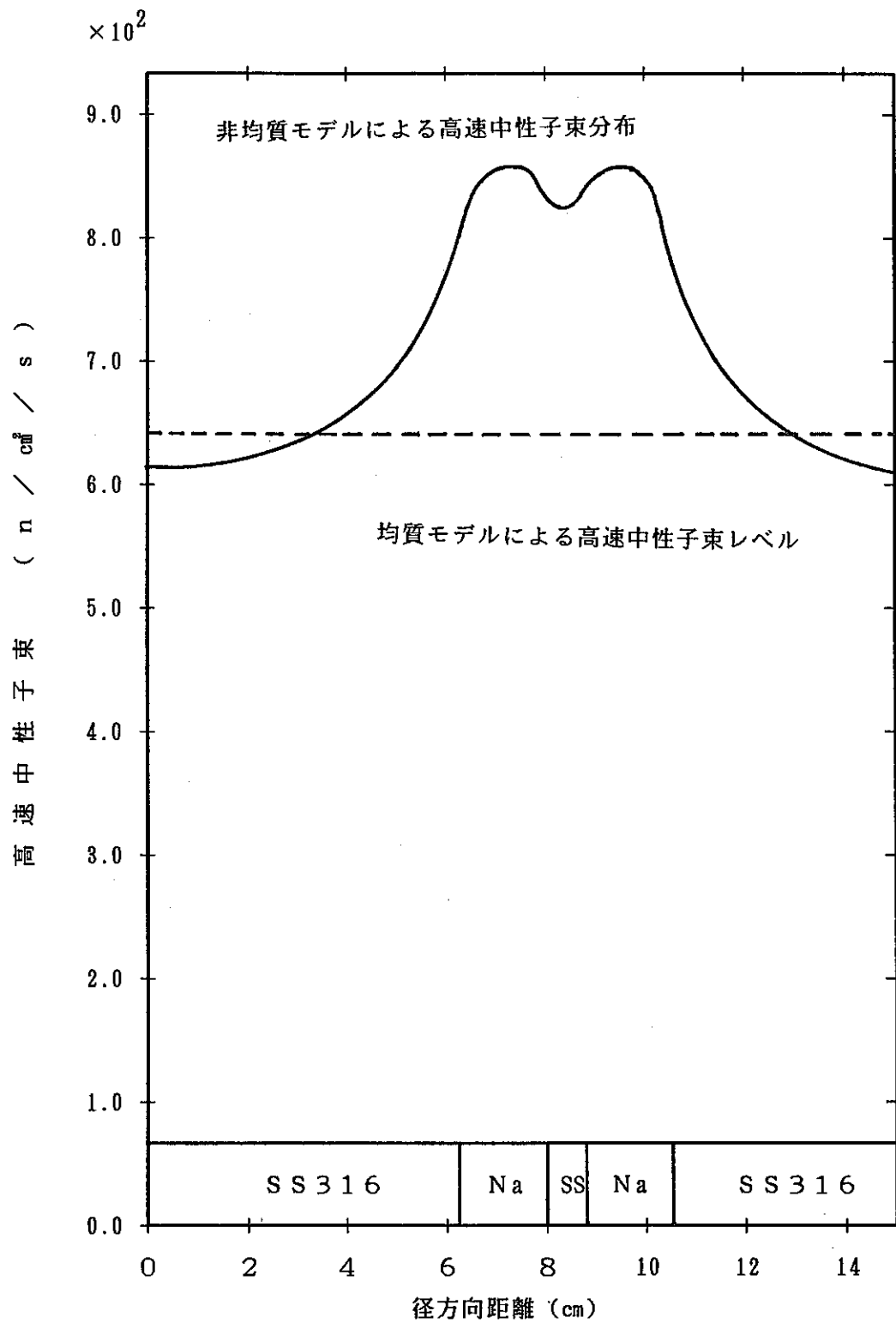


図 10.3-3 ステンレス鋼(SS316) 製軸方向遮蔽透過後の高速中性子束の空間分布

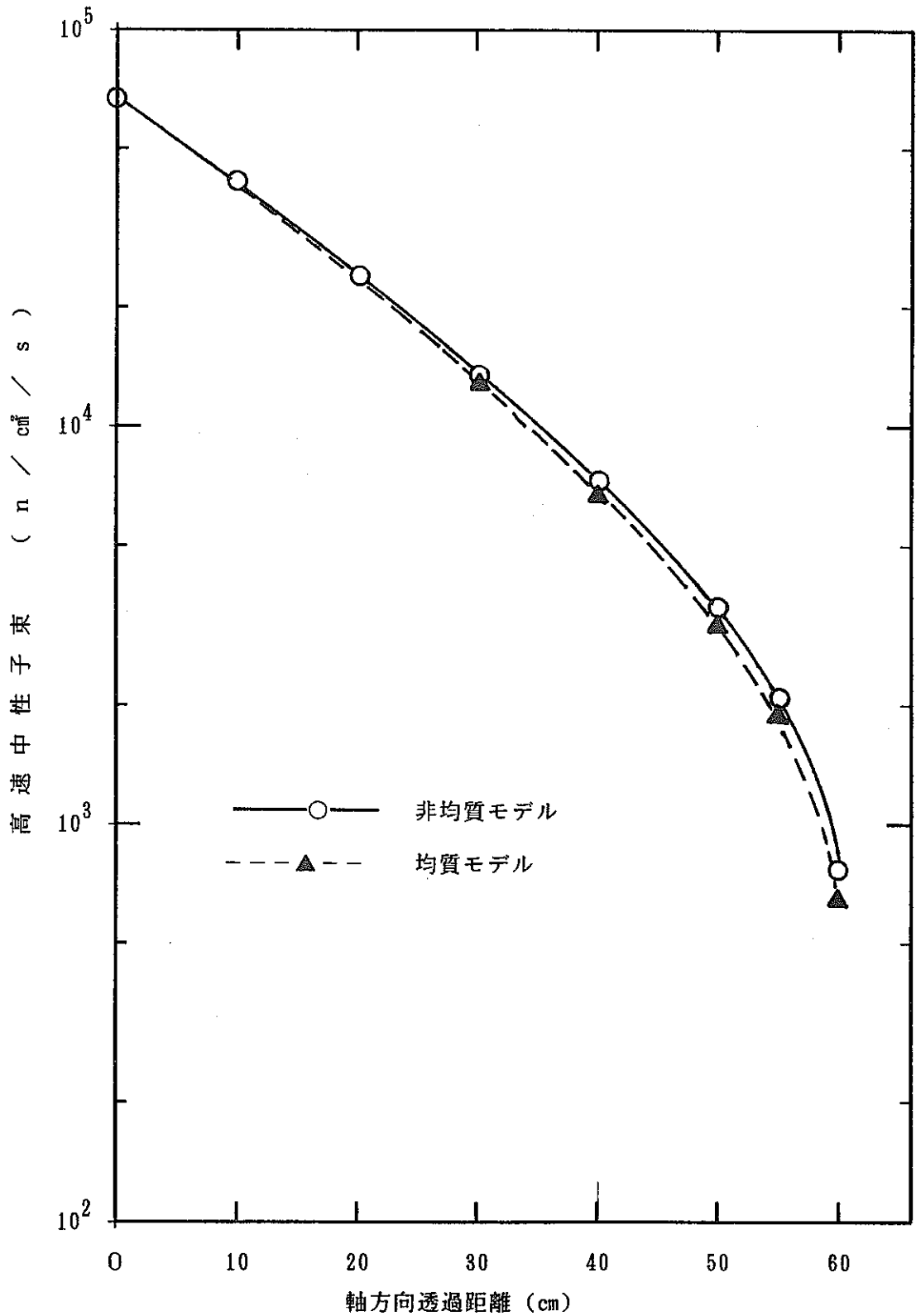


図 10.3-4 ステンレス鋼(SS316)製軸方向遮蔽における高速中性子束の減衰

計算形状 R-Z 2次元円柱モデル
 計算領域
 径方向 $0.0 \leq r \leq 8.4\text{cm}$ (軸方向しゃへい1体分)
 軸方向 $0.0 \leq z \leq 60.0\text{cm}$

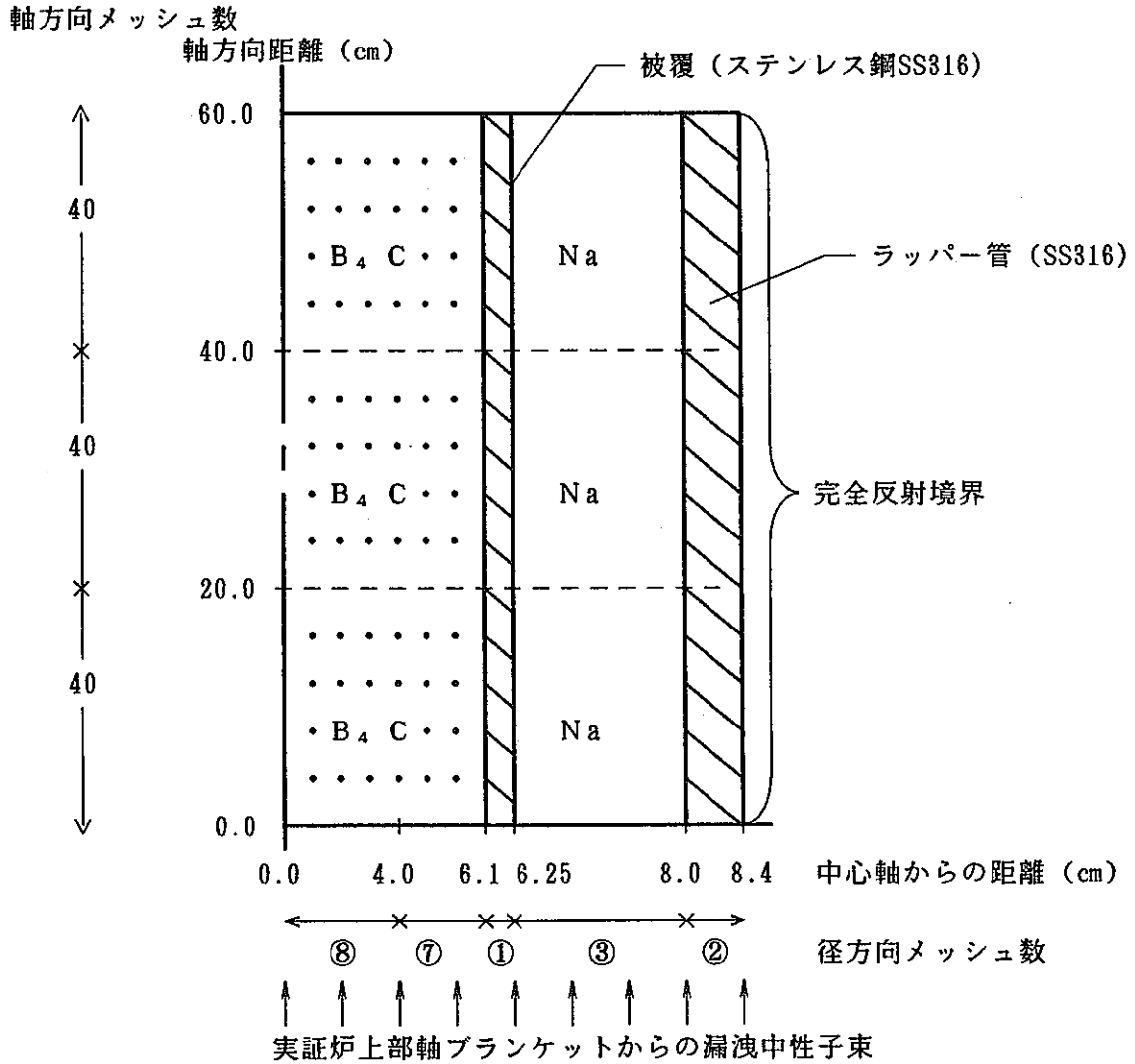


図 10.3-5 B₄C 製中心型軸方向遮蔽解析モデル (DOT3.5)

注) 上図は非均質モデル (中心型モデル)。均質計算は同一メッシュで全領域を
 B₄C, ステンレス鋼, ナトリウムの混合物として計算。

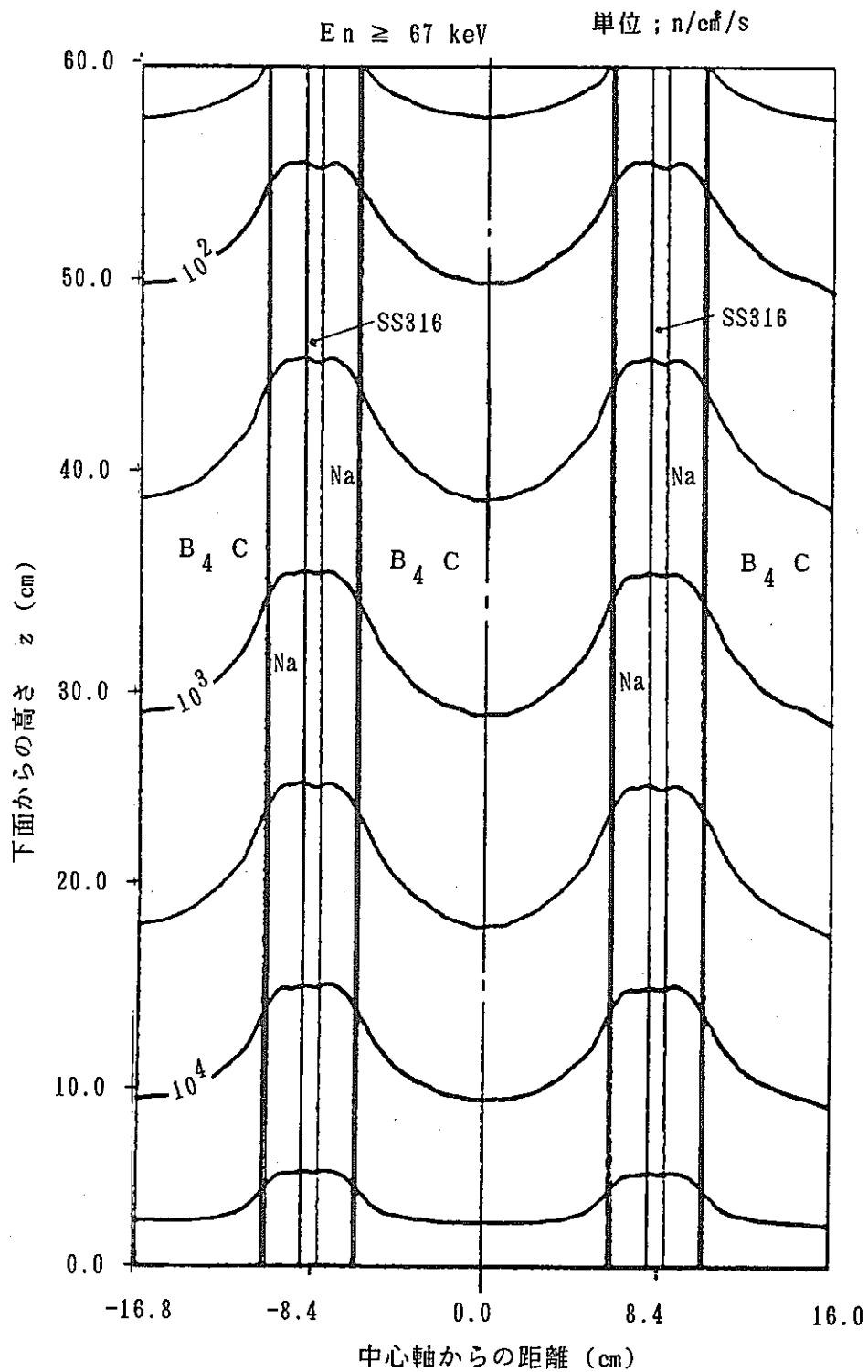


図 10.3-6 B_4C 製中心型軸方向遮蔽内中性子束等高線図
 (a) 高速中性子束 ($E_n \geq 67 \text{ keV}$)
 (実際の計算領域は $0.0 \leq r \leq 8.4 \text{ cm}$)

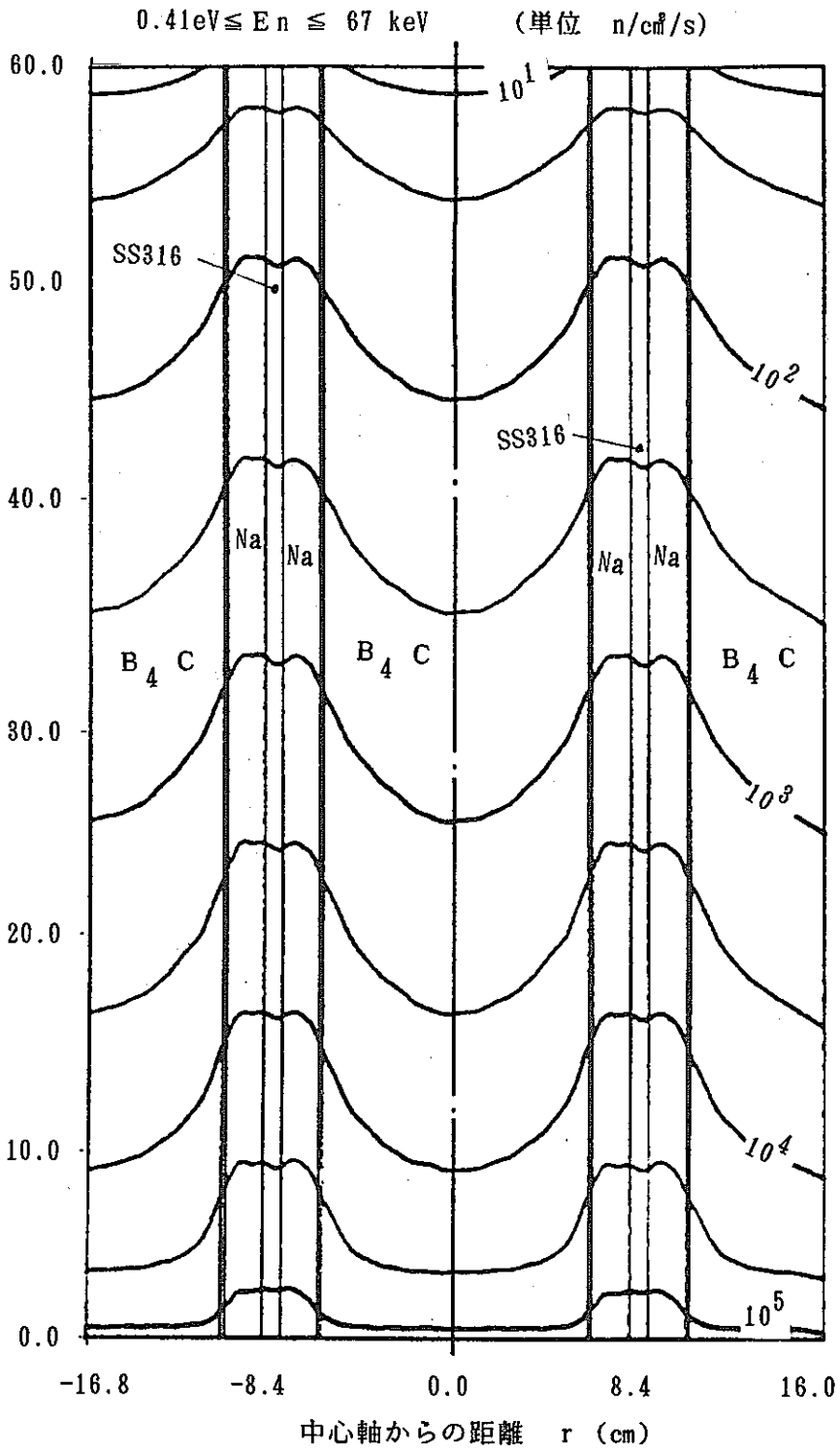


図 10.3-6 B_4C 製中心型軸方向遮蔽内中性子束等高線図
 (b) 中速中性子束 ($0.41\text{eV} \leq E_n \leq 67\text{keV}$)
 (実際の計算領域は $0.0 \leq r \leq 8.4\text{cm}$)

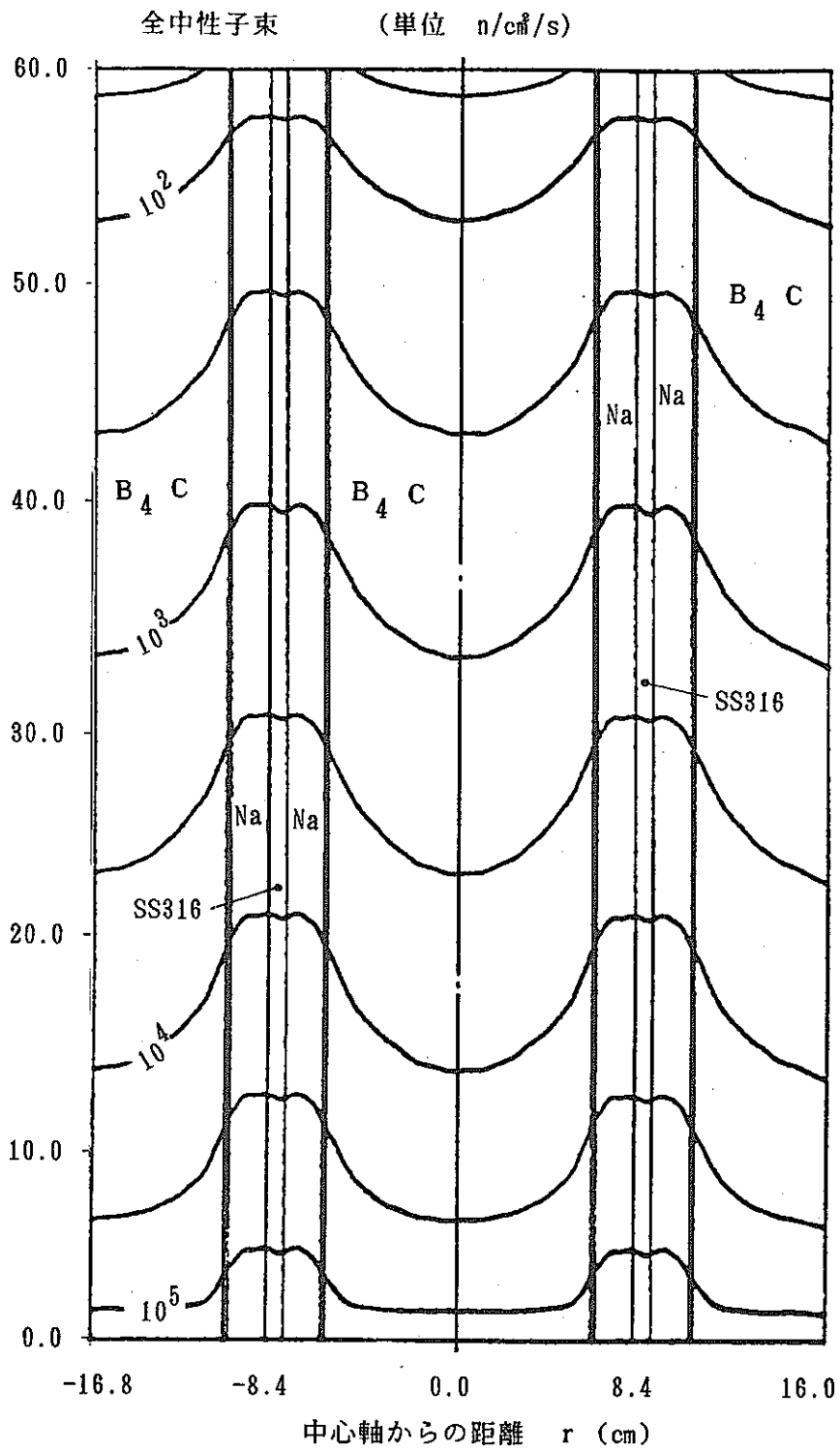


図 10.3-6 B_4C 製中心型軸方向遮蔽内中性子束等高線図
 (c) 全中性子束
 (実際の計算領域は $0.0 \leq r \leq 8.4$ cm)

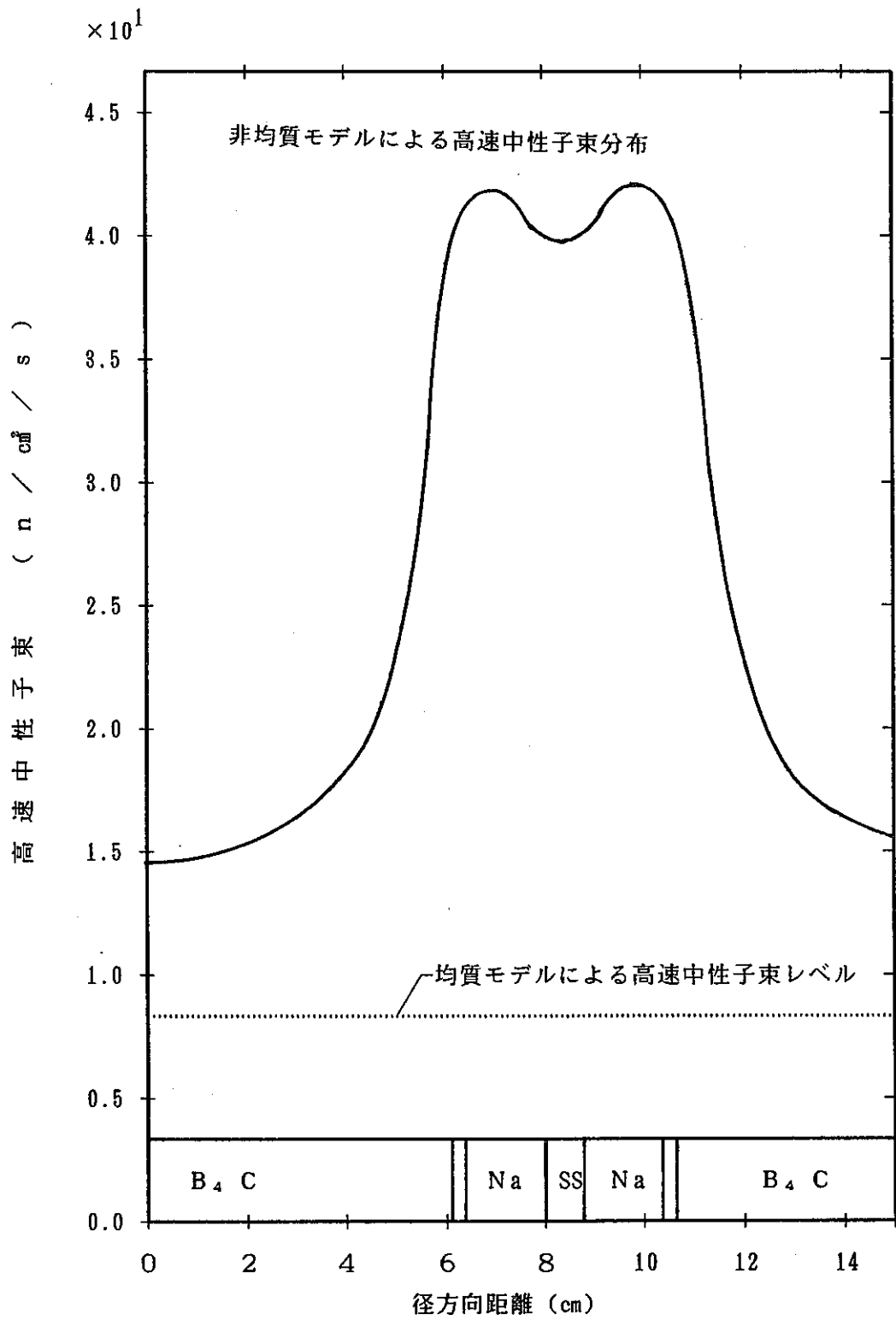


図 10.3-7 B₄C 製中心型軸方向遮蔽透過後の高速中性子束の空間分布

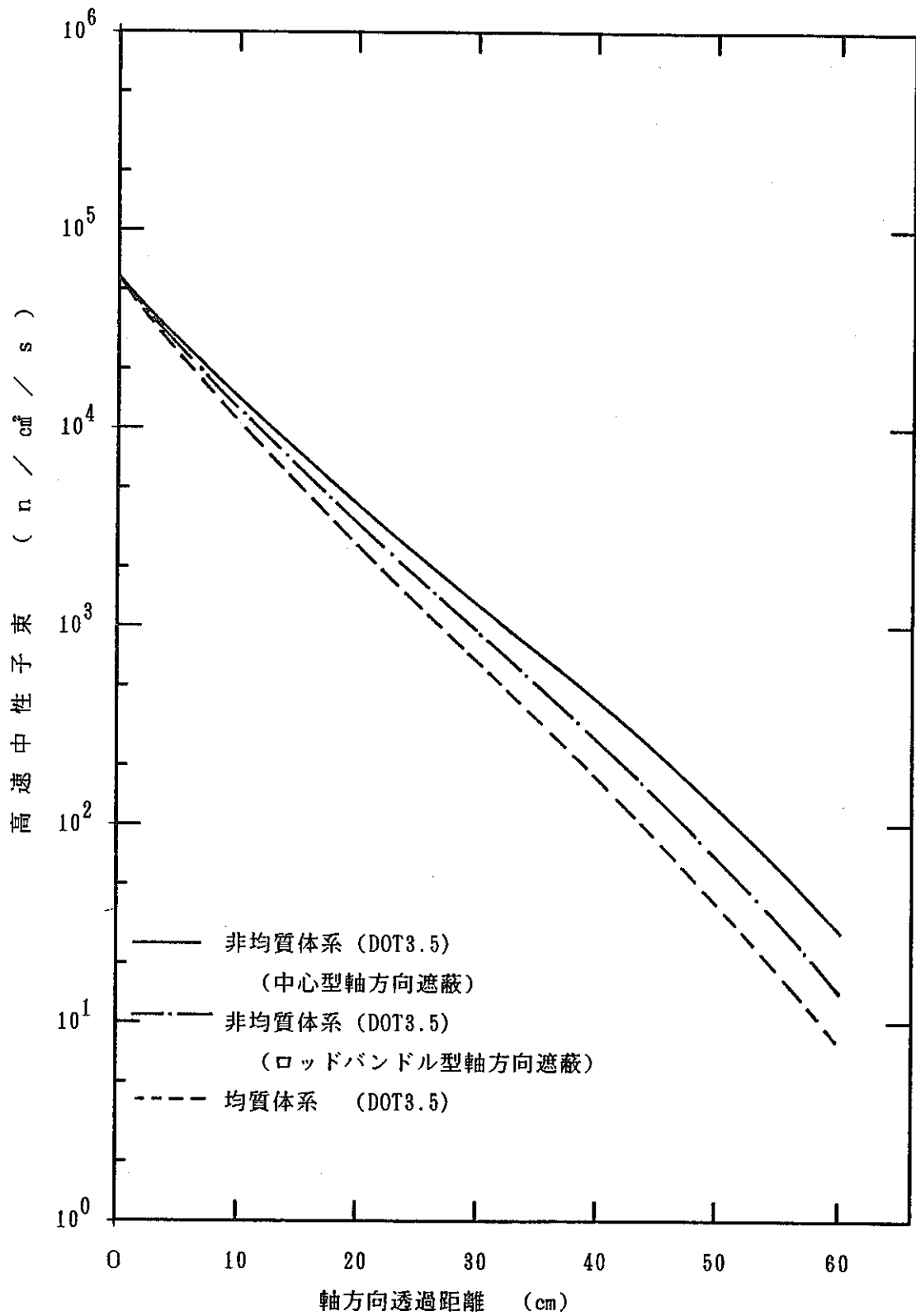


図 10.3-8 B₄C 製軸方向遮蔽における高速中性子束の減衰

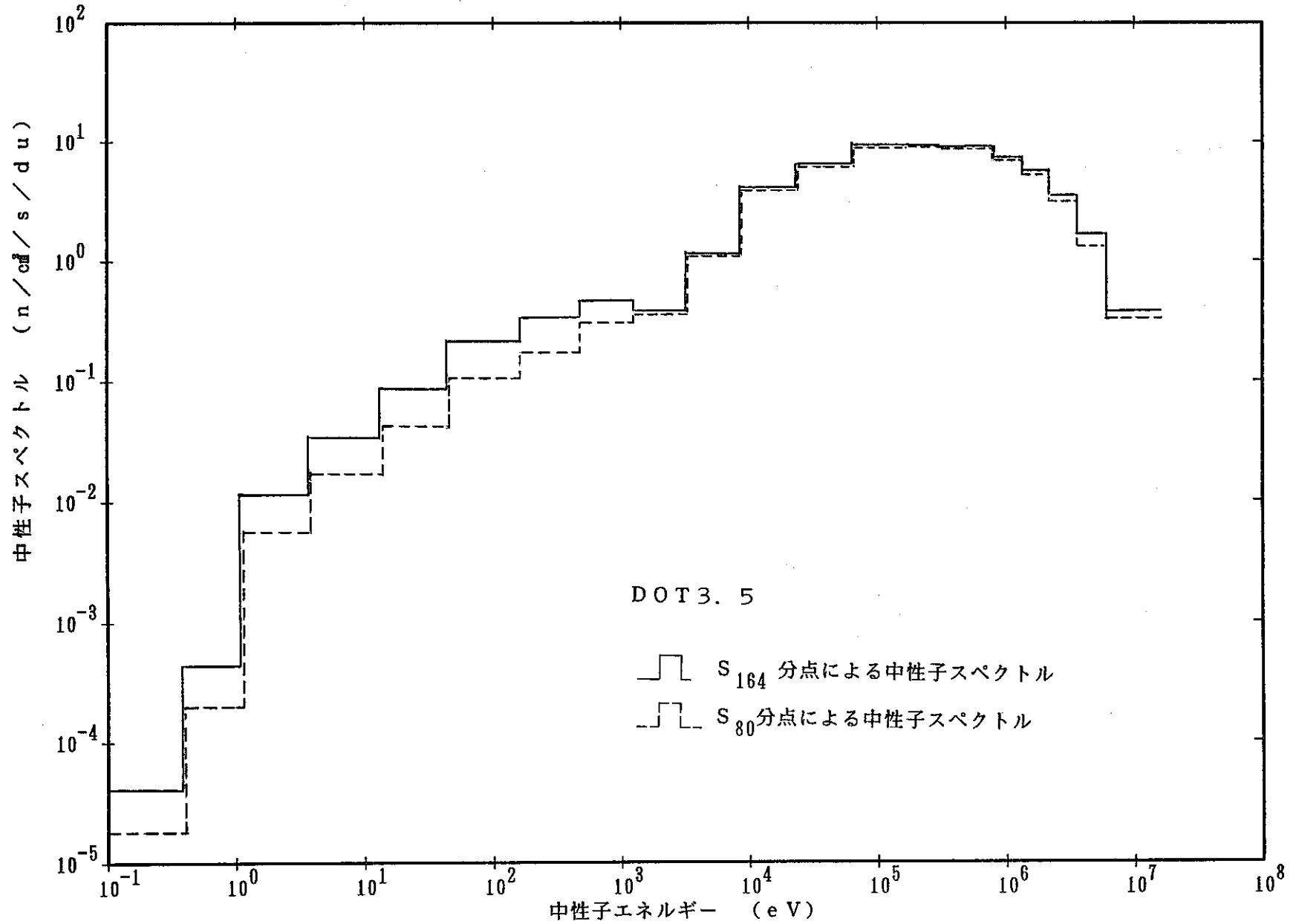


図 10.3-9 B₄C 製中心型軸方向遮蔽透過後の中性子スペクトルの S_n 分点依存性

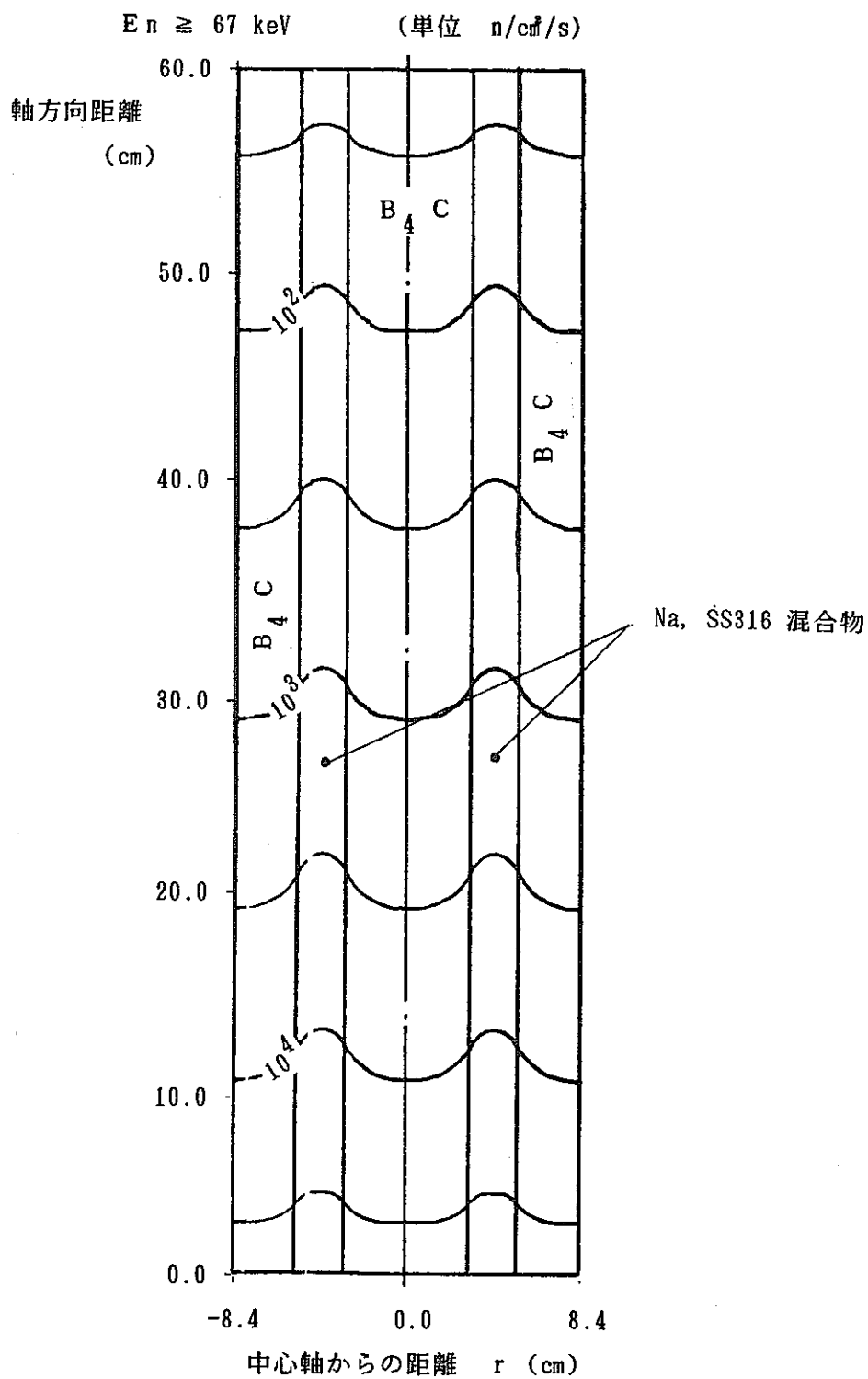


図 10.3-11 B_4C 製ロッドバンドル型軸方向遮蔽内中性子束等高線図

(a) 高速中性子束 ($E_n \geq 67 \text{ keV}$)

(実際の計算領域は $0.0 \leq r \leq . \text{ cm}$)

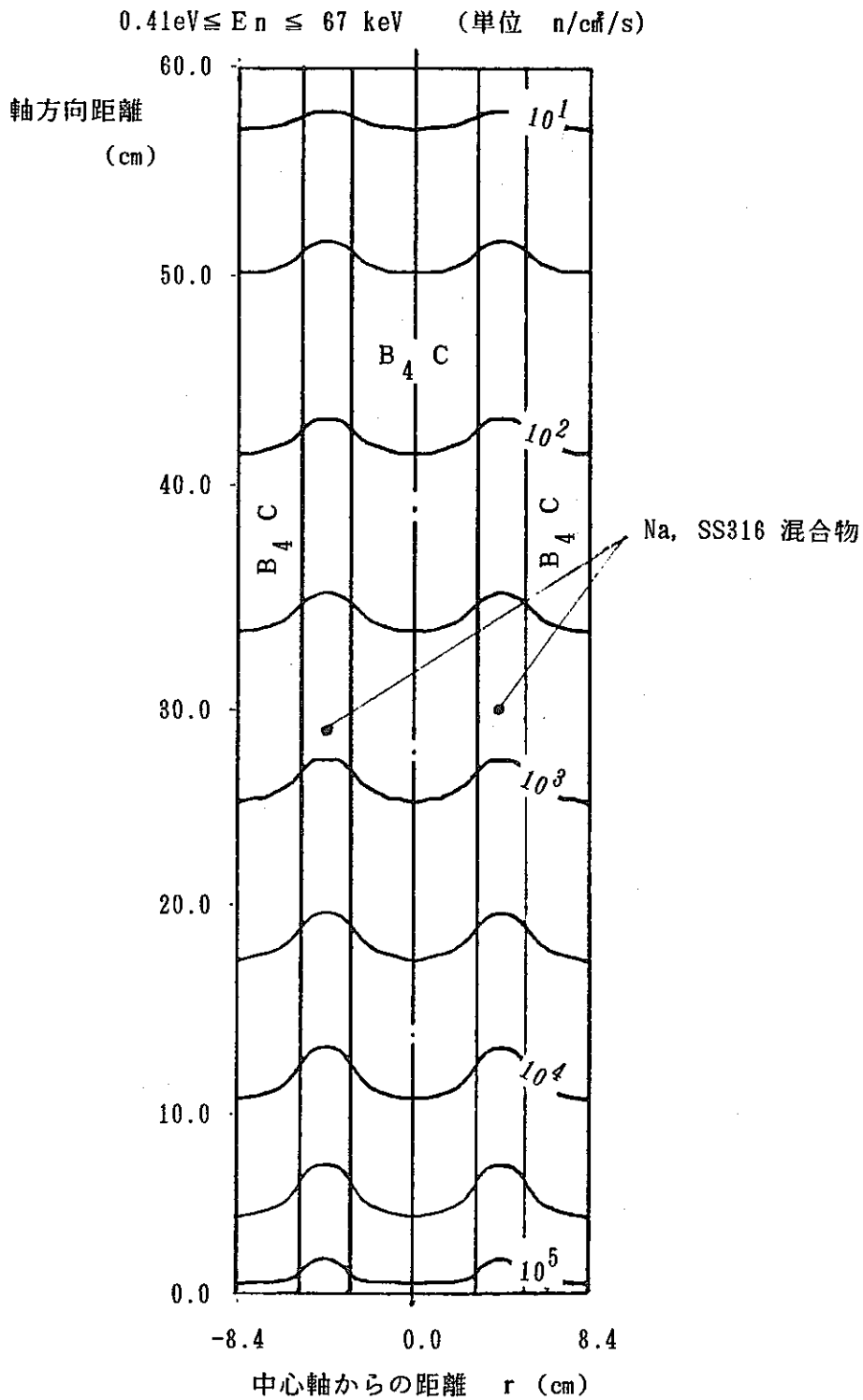


図 10.3-11 B_4C 製ロッドバンドル型軸方向遮蔽内中性子束等高線図
 (b) 中速中性子束 ($0.41\text{eV} \leq E_n \leq 67\text{keV}$)
 (実際の計算領域は $0.0 \leq r \leq 4.2\text{cm}$)

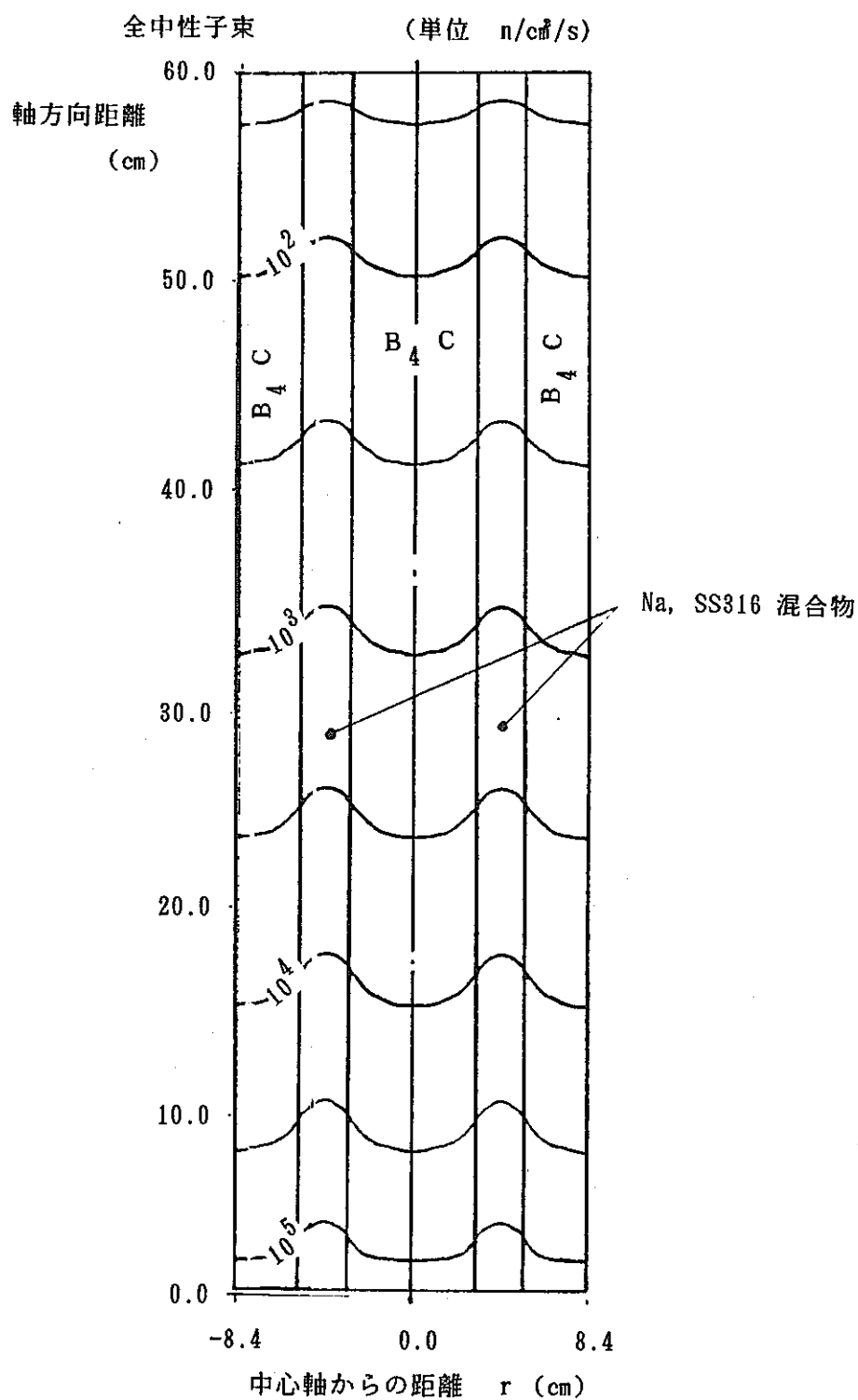


図 10.3-11 B_4C 製ロッドバンドル型軸方向遮蔽内中性子束等高線図
 (c) 全中性子束
 (実際の計算領域は $0.0 \leq r \leq 4.2$ cm)

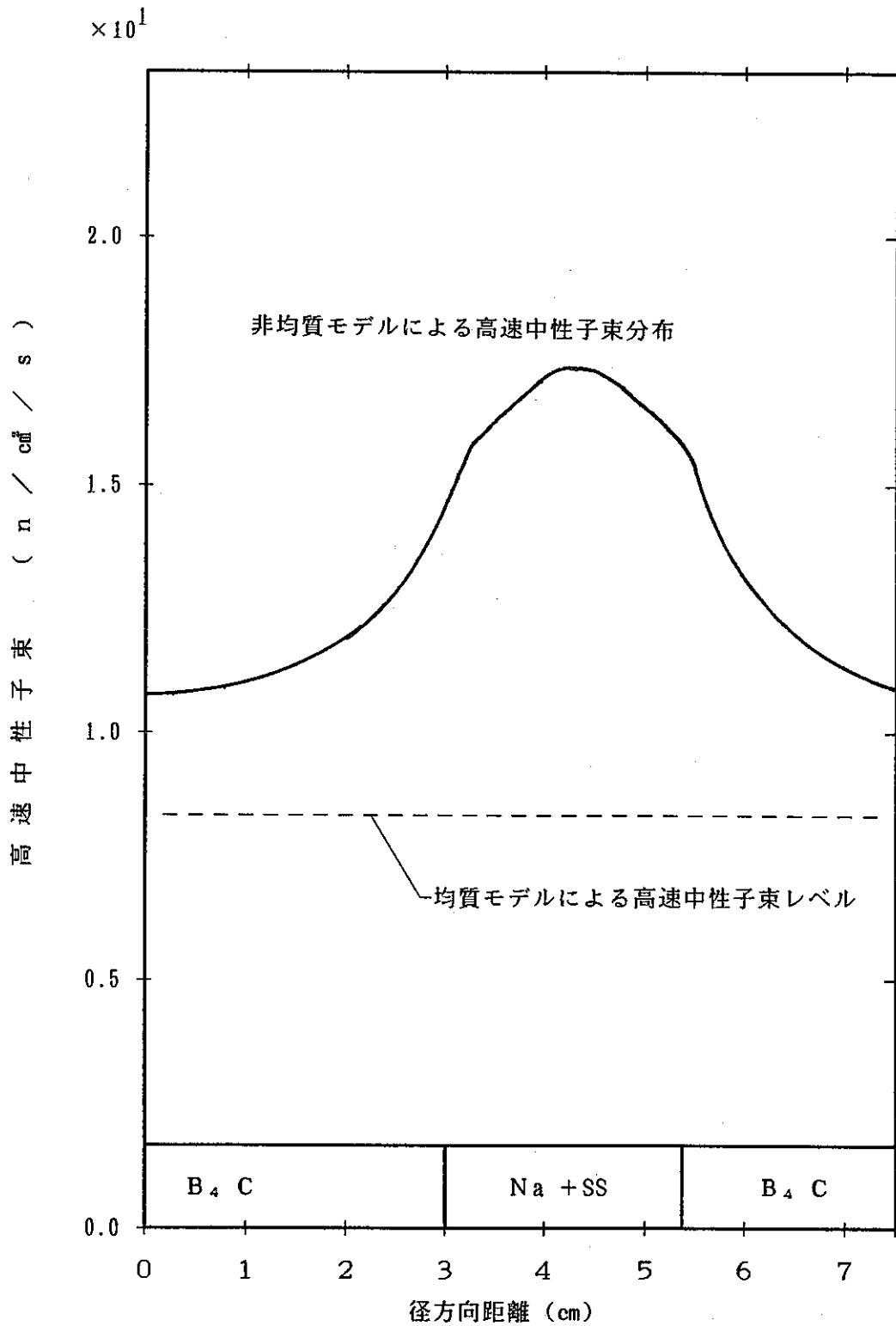


図 10.3-12 B_4C 製ロッドバンドル型軸方向遮蔽透過後の高速中性子束の空間分布

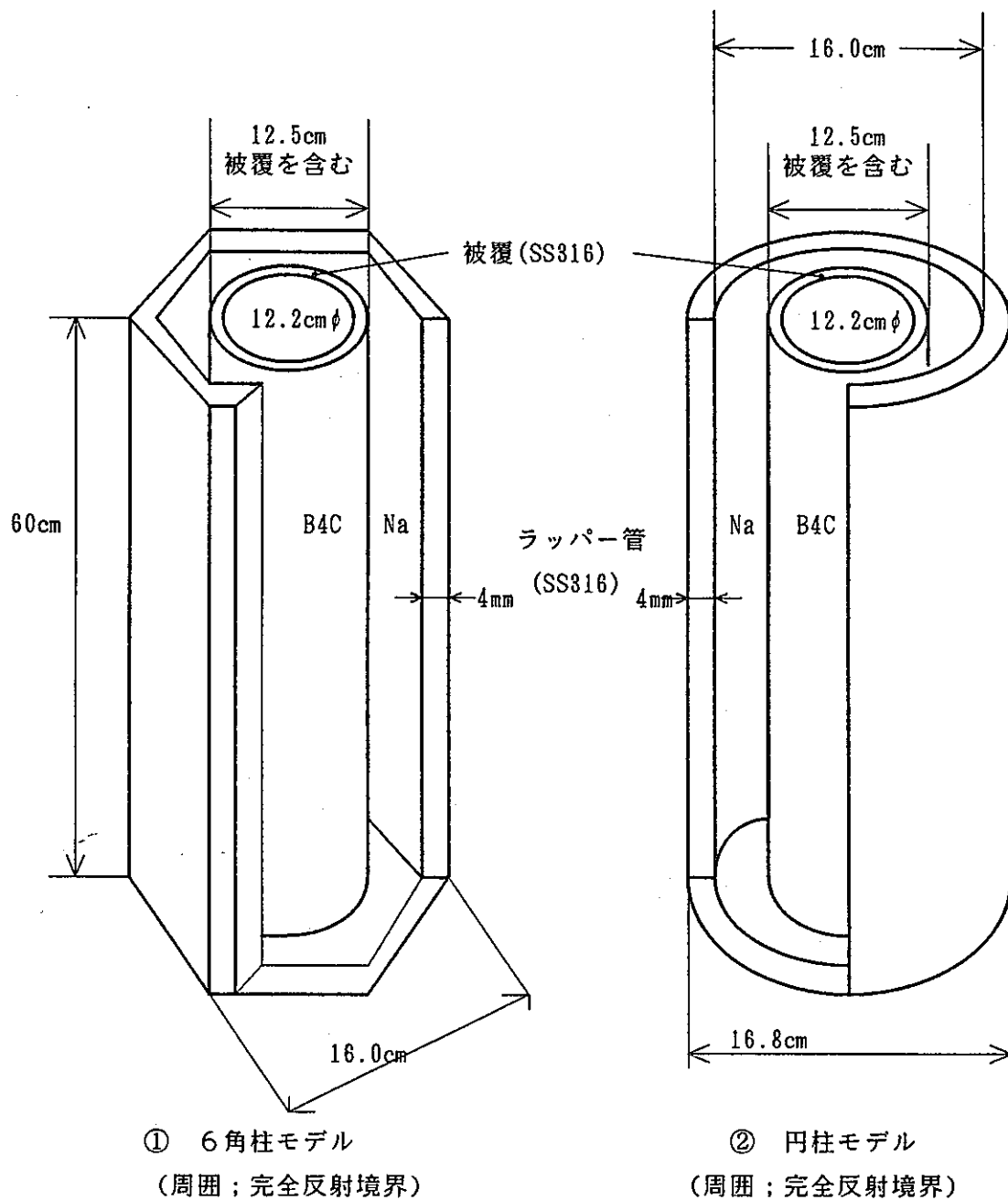
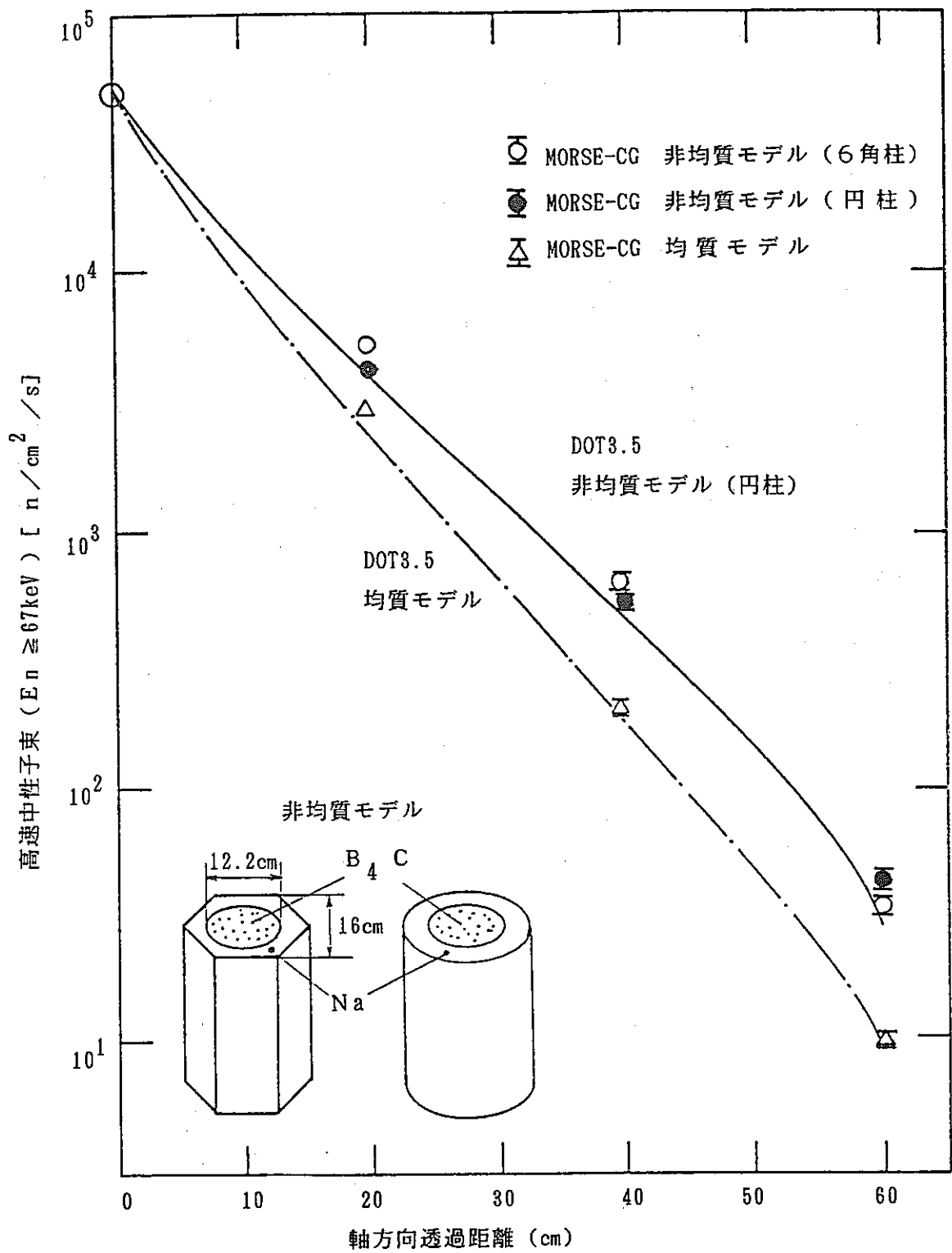
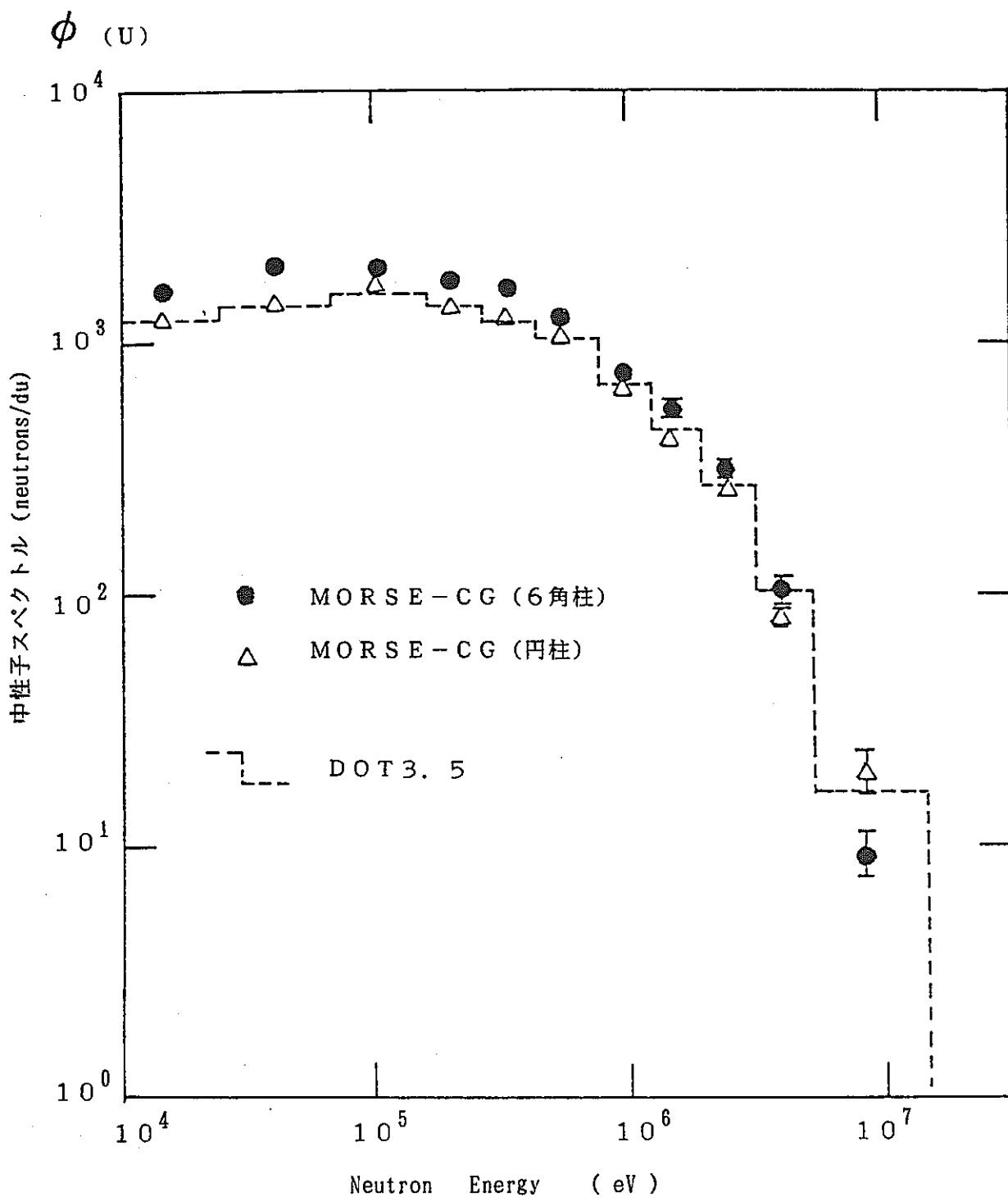


図 10.3-13 B₄C製中心型軸方向遮蔽のMORSE-CC解析モデル



注 ; Z軸に垂直な面内で平均した中性子スペクトル

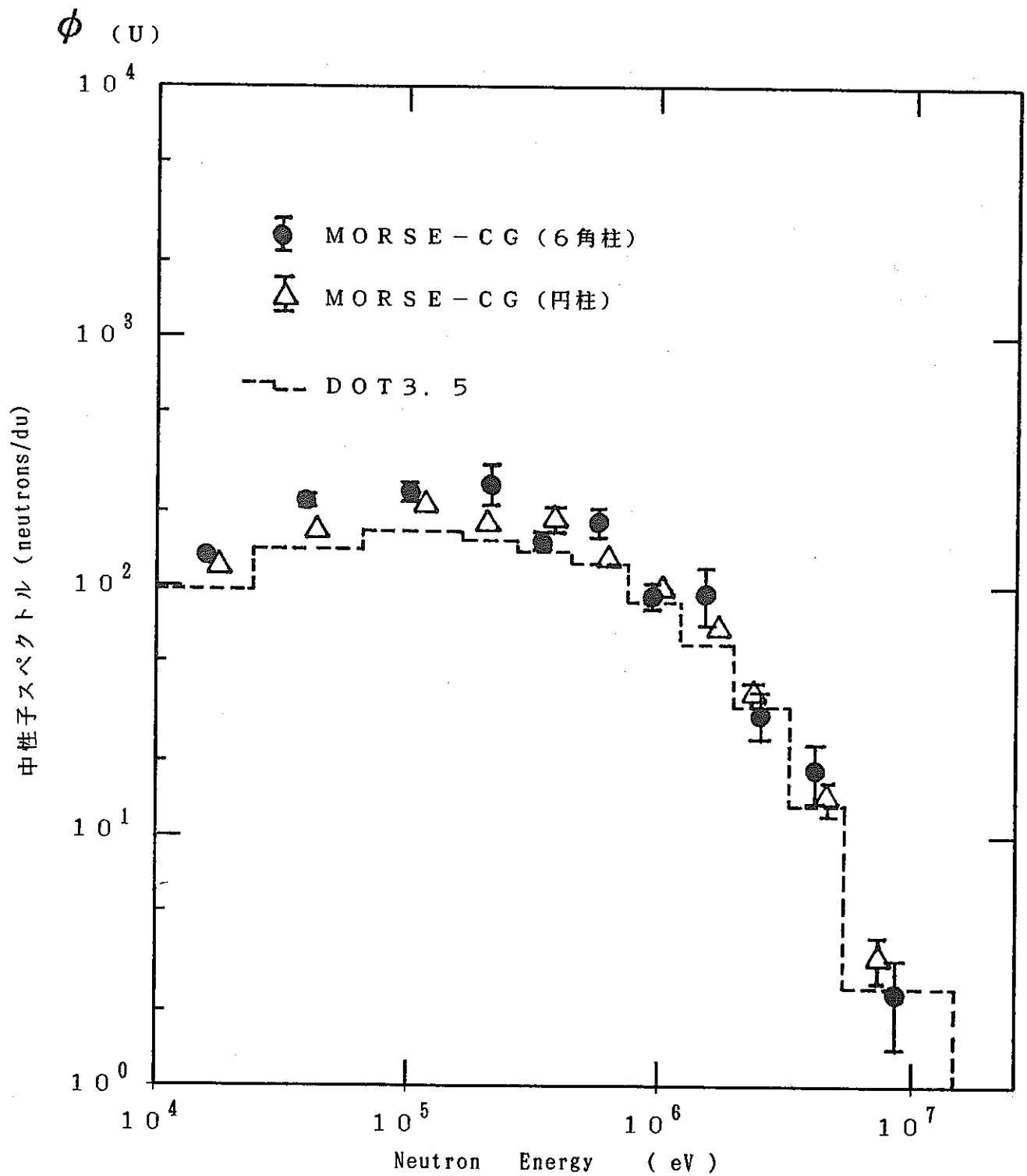
図 10.3-14 B₄C製中心型軸方向遮蔽内高速中性子束減衰 (MORSE-CG)



注 ; Z軸に垂直な面内で平均した中性子スペクトル

図 10.3-15 B₄C製軸方向遮蔽内の高速中性子スペクトル
(DOT3.5 とMORSE-CGの比較)

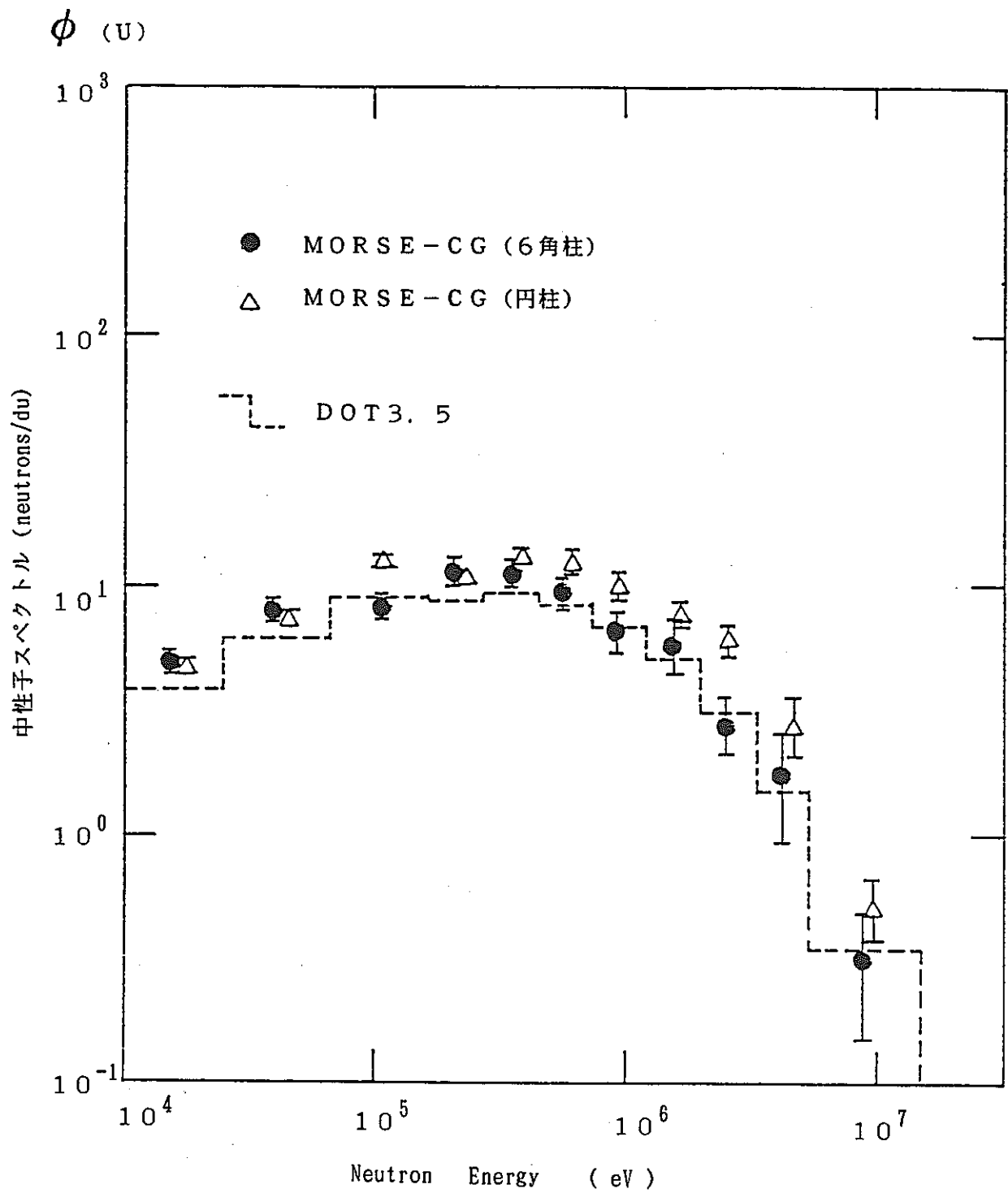
(1) 20cm透過位置



注 ; Z 軸に垂直な面内で平均した中性子スペクトル

図 10.3-15 B₄C 製軸方向遮蔽内の高速中性子スペクトル
 (DOT3.5 と MORSE-CG の比較)

(2) 40cm 透過位置



注 ; Z軸に垂直な面内で平均した中性子スペクトル

図 10.3-15 B₄C製軸方向遮蔽内の高速中性子スペクトル
(DOT3.5 と MORSE-CGの比較)

(3) 60cm透過位置

高速中性子束ストリーミング係数

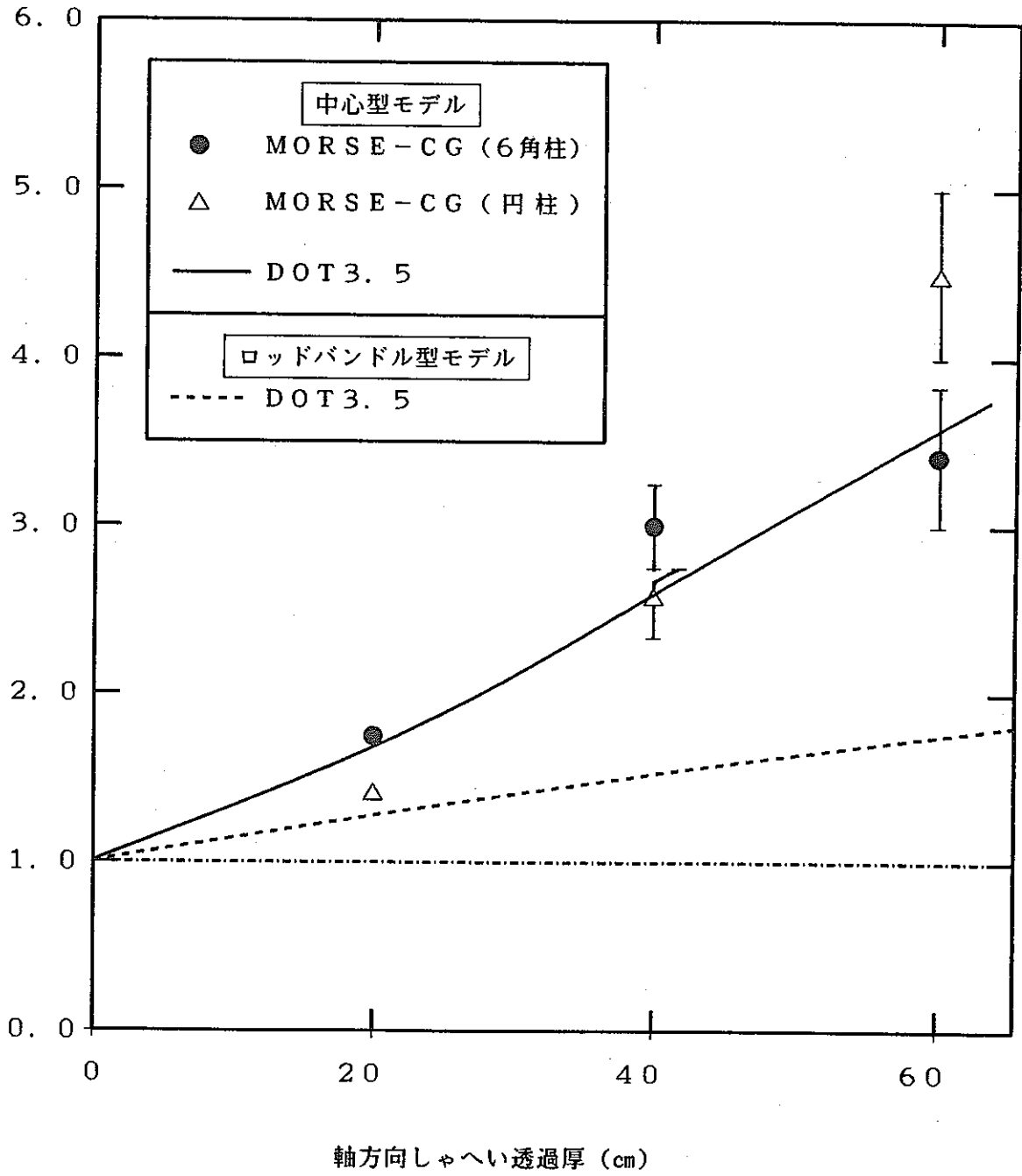


図 10.3-16 B₄C製中心型軸方向遮蔽における高速中性子束ストリーミング係数 (DOT3.5とMORSE-CGの比較)

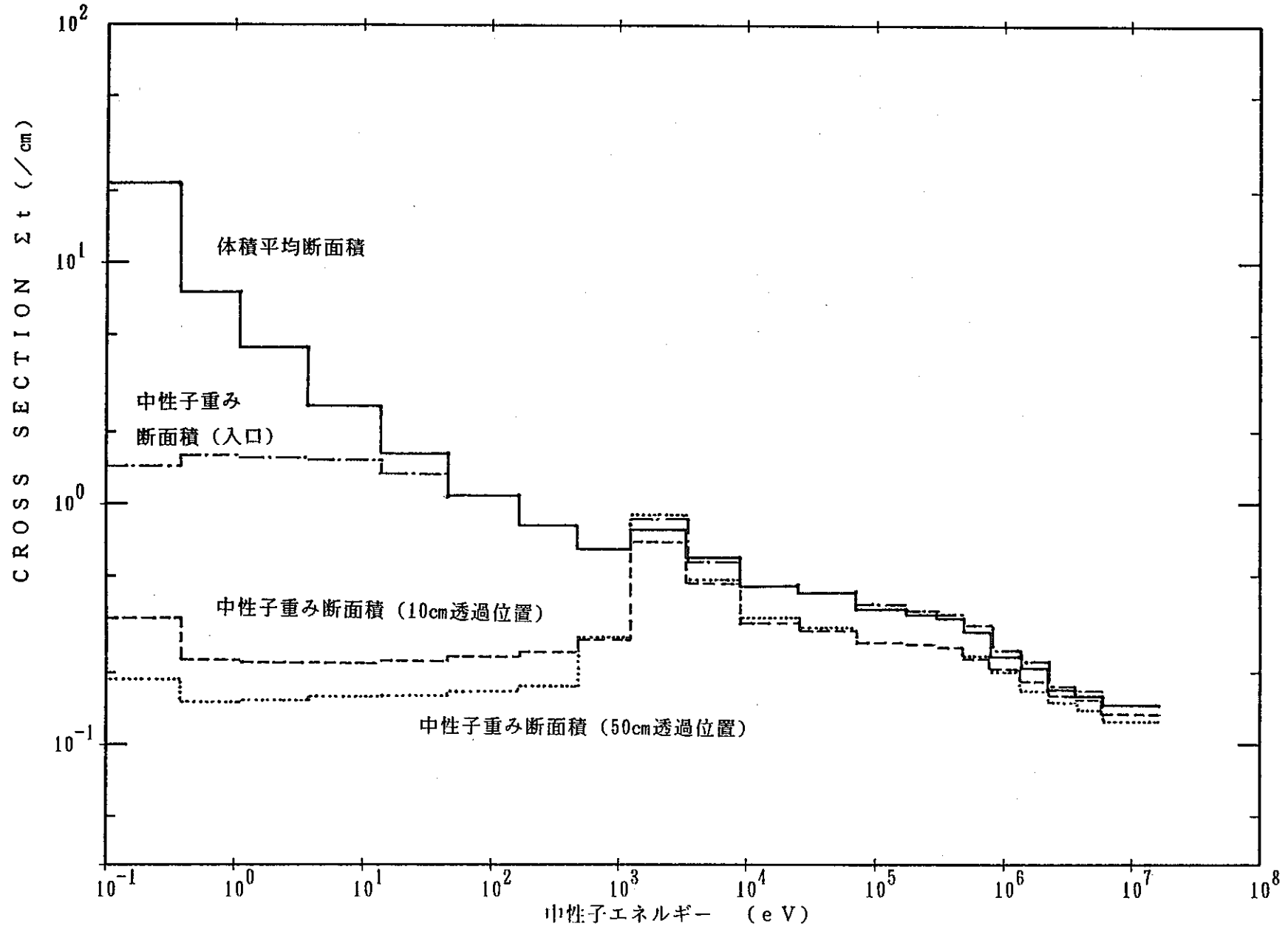


図 10.4-1 B₄C製中心型軸方向遮蔽の中性子束重み平均断面積の変化

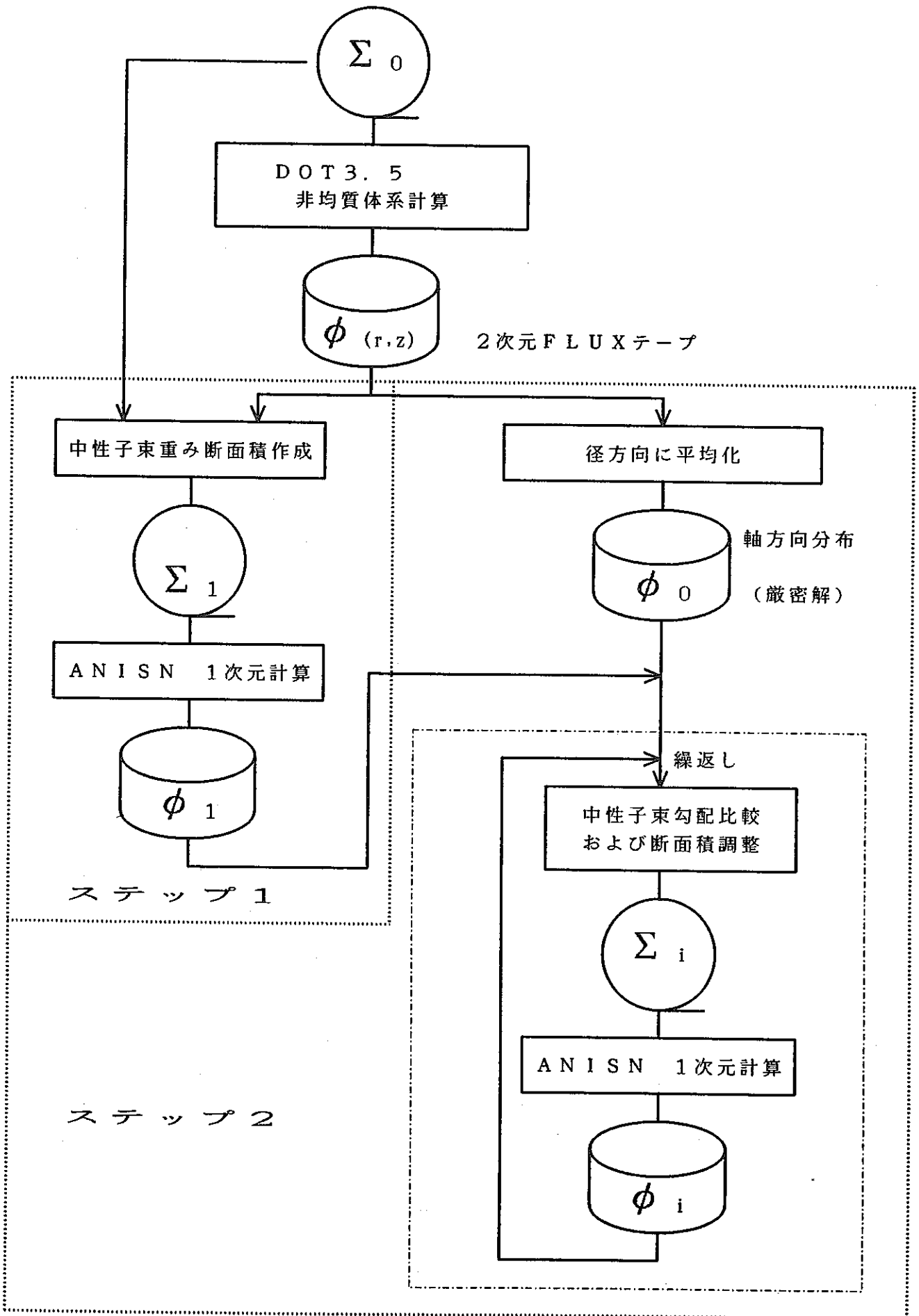


図 10.4-2 新手法における解析の流れ

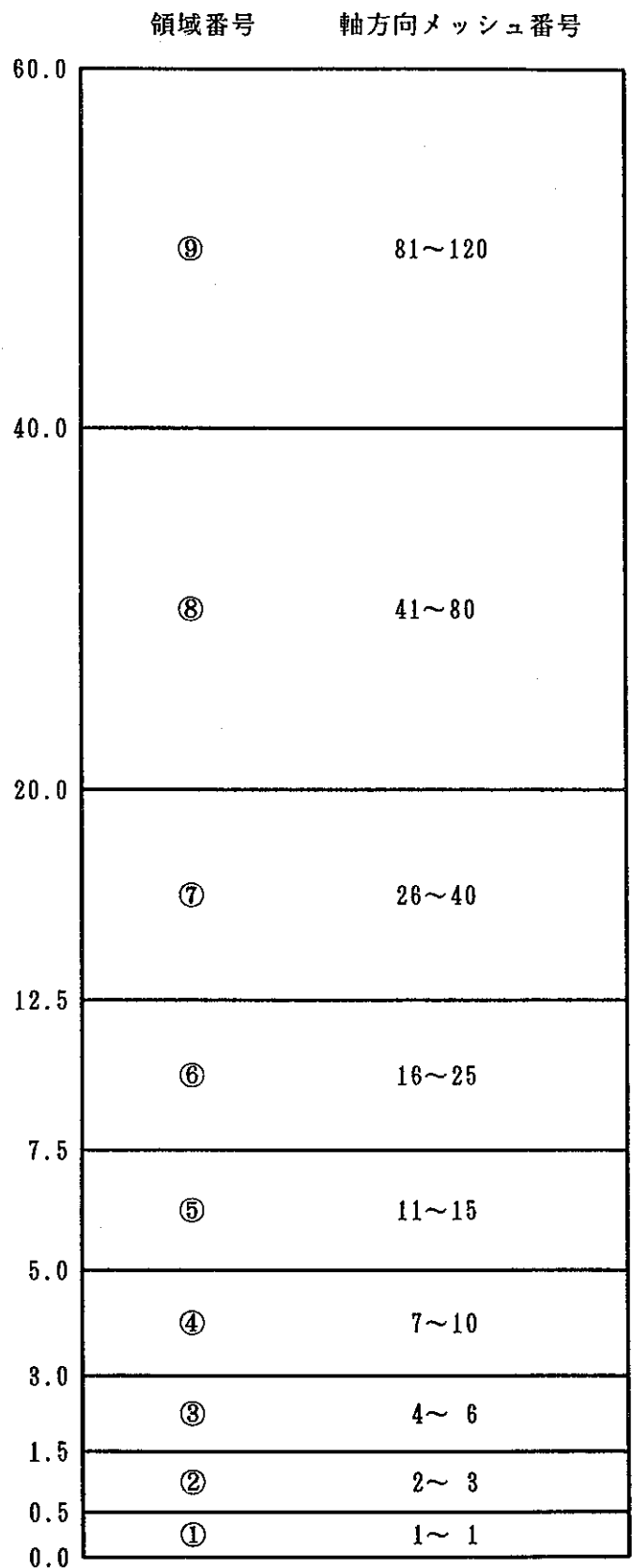
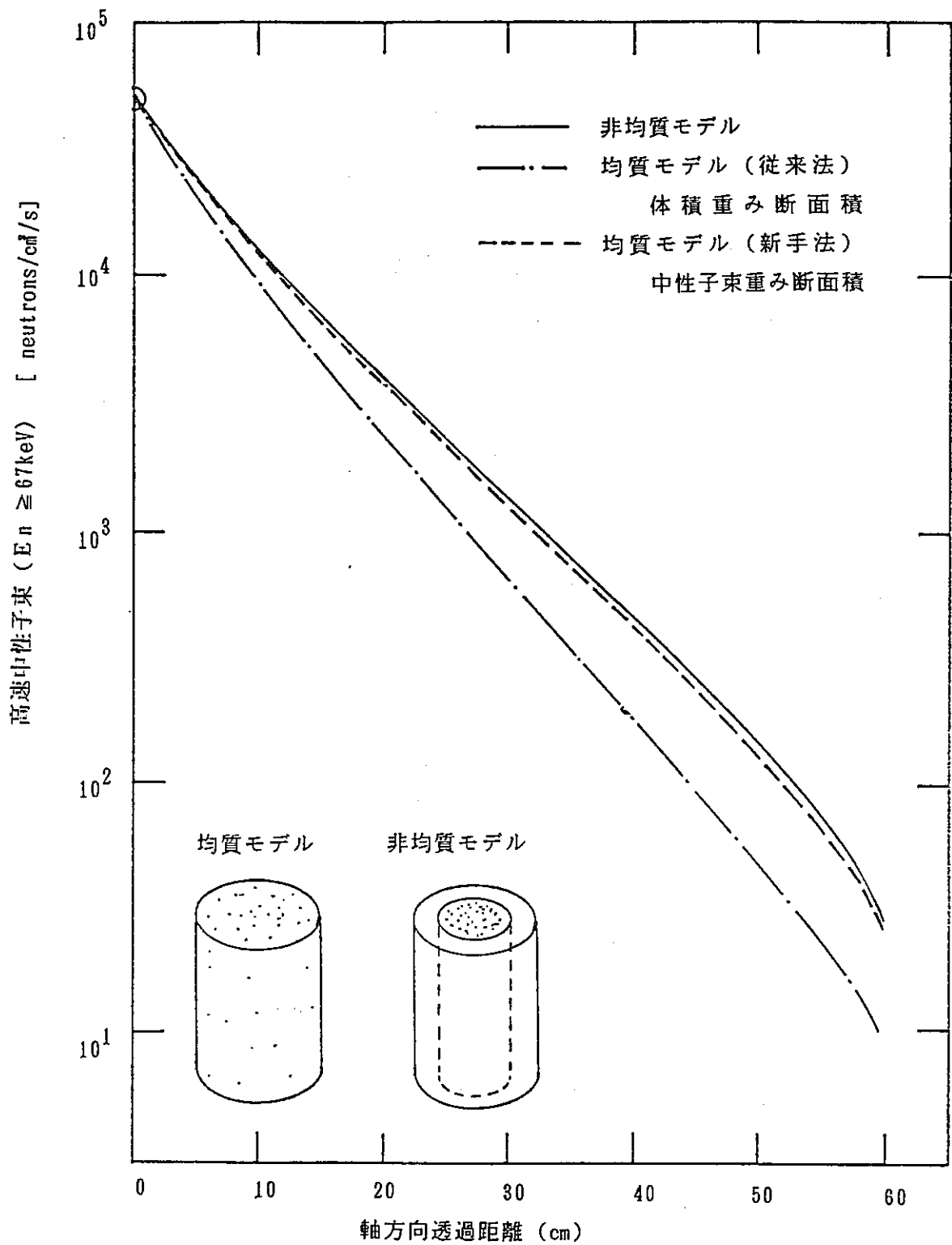


図 10.4-3 新手法における B_4 C 中心型軸遮蔽の領域分割



注 : Z軸に垂直な面内で平均した高速中性子束 ($E_n \geq 67 \text{ keV}$)

図 10.4-4 新手法に基づくB₄C製中心型軸方向遮蔽内の高速中性子束の減衰

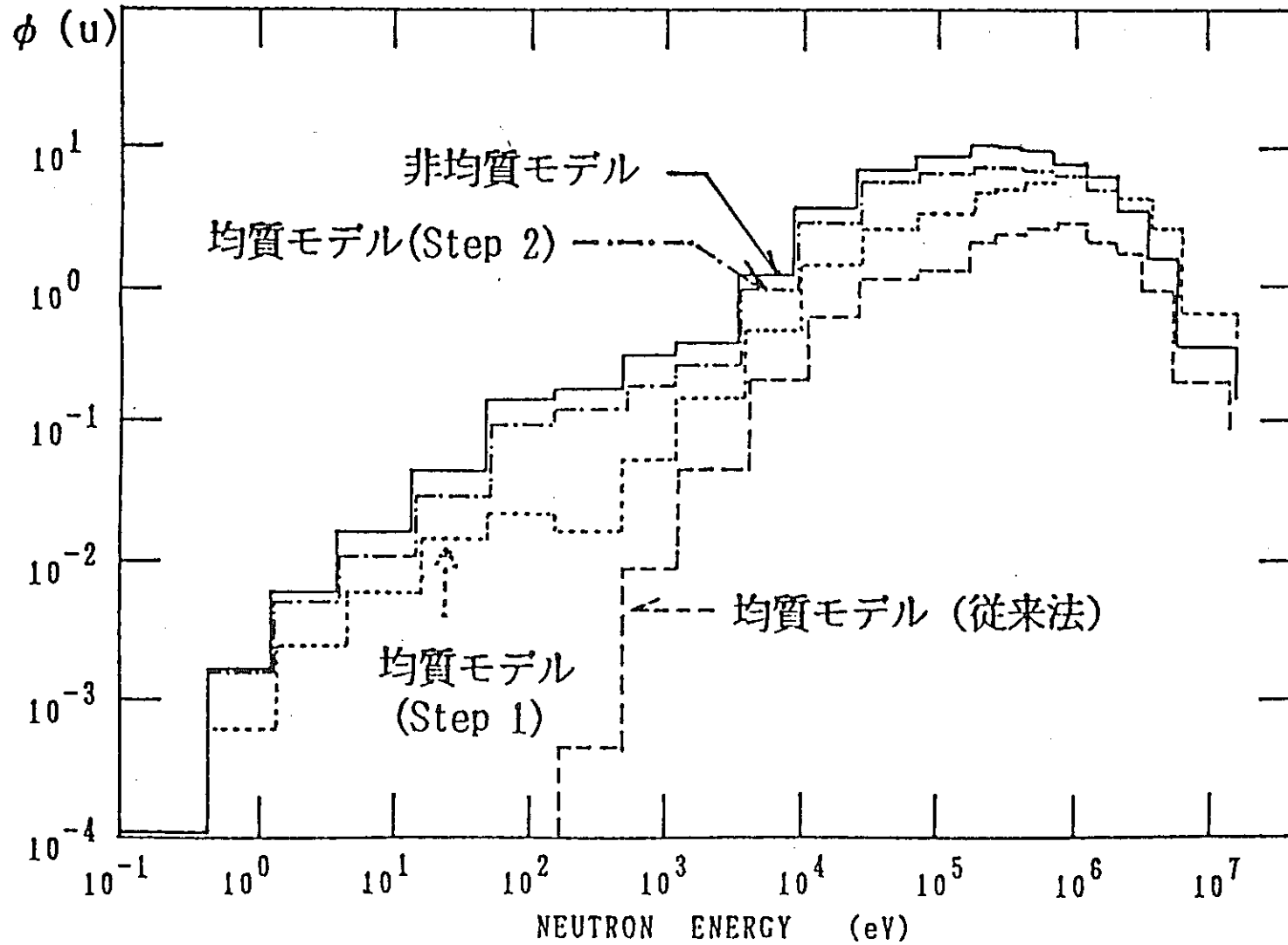


図 10.4-5 新手法に基づく B_4C 製中心型軸方向遮蔽透過後の中性子スペクトル
(新手法 ; Step 1 と Step 2)

11 2次元Snコードにおけるメッシュ効果A

大型炉半径方向遮蔽体を対象としたJASPER透過実験の実験解析における解析入力パラメータによる解析誤差の評価のひとつとして、前年度は、径方向メッシュ分割効果を取りあげた。すなわち、2次元Sn輸送計算コードDOT3.5による実験解析での径方向メッシュ基本分割に対して、メッシュ幅をさらに小さくした解析を実施し、径方向メッシュ分割の解析結果におよぼす効果を検討した。この結果、体系I、II、V、およびVIにおいて、メッシュ分割を2倍に詳細化すると、最も深い体系で各々7%、9%、30%、および20%も解析結果が増加することが明らかとなった。さらに、非現実的なメッシュ詳細分割をはかっても、解析結果は一様に増加するだけで飽和する傾向が見られなかった。この増加傾向は、全エネルギー領域にわたり、また径方向全体にもわたることが確認された。この径方向メッシュ効果は、DOT3.5コード自体のプログラム上の問題である可能性が考えられ、解析結果に及ぼす影響が大きいため、本年度も継続して検討を実施した。

11.1 Sn輸送計算コードの比較

径方向メッシュ効果が実験解析に適用した2次元Sn輸送計算コードDOT3.5自体に要因が存在するのか、あるいはSn輸送計算コード共通の問題であるのかを明らかとするため、Snコード間での比較計算を実施した。

11.1.1 適用コード

2次元Sn計算コードとして代表的なものにTWOTRANが存在する。TWOTRANは遮蔽計算にも適用さされているが、もっぱら炉心計算の分野で多用されている。DOT3.5はその1次元計算コードANISNと共にORNLで開発されたものであるがTWOTRANはLASLにおいて開発されたものである。

DOT3.5との比較のためにTWOTRANでの計算を実施するとともに、参考のために、ANISNでも計算を行った。

11.1.2 解析

a) 解析体系：第11.1.2-1図

JASPER透過実験のうちの体系IA（スペクトルモディファイア体系）の主要部、すなわちコリメータ出口からブランケット第1層出口までを、コリメータ出口径に相当する半径43.42cmの範囲でとり出した円筒体系である。ANISNは無限平板とし、遮蔽層間の空隙はモデルから除いた。

b) 線源

スペクトルモディファイア最内層の炭素鋼直前の第1メッシュに固定線源を径方向に一様分布として入力した。線源スペクトルは、体系IAのスペクトルモディファイアの中心軸上での入射スペクトルであり、透過実験解析のものと同じである。

c) 境界条件

軸方向は上、下ともに真空条件とした。径方向は1次元計算との比較を考慮し、左右ともに完全反射とした。

d) 計算条件

エネルギー範囲は高速群にのみ限定した（2次元計算用21群構造の高速8群）。基本のメッシュ分割は実験解析と同じとし2次元計算では、径方向メッシュを詳細化した計算も実施した。また、 S_n 角度分点は、ANISNは S_6 （DOT3.5の S_{30} に相当）、TWOTRANは S_{16} とし、DOT3.5では S_{30} および S_{16} を採用した。DOT3.5およびANISNでの階差式モードは、実験解析と同じweighted differenceを採用した。TWOTRANでは階差式モードはlinear zeroに固定され選択はできない。

e) 解析結果

軸方向外端中央における透過高速中性子束を比較すると第11.1.2-2図の結果が得られた。

11.1.3 比較検討

DOT3.5による透過中性子束は、 S_n 分割数により絶対値に差があるが、径方向メッシュ分割を詳細化するにつれて増加している。一方、TWOTRANの結果はメッシュ分割によらず一定値を示す結果が得られた。なお、TWOTRANではcoarse meshおよびfine meshの概念があり、この組み合わせにより透過中性子束の絶対値に差が生じたため第11.1.2-2図では基本メッシュ分割においてDOT3.5の S_1 。計算結果に規格化した)。また、ANISN計算との絶対値の比較においてDOT3.5の基本メッシュ分割計算の結果は2%程度で一致していることが確認できた。

今回の比較解析から、DOT3.5による径方向メッシュ効果は、TWOTRANにおいては生じていず、少なくとも、2次元 S_n コード一般の問題ではないことが確認された。

11.2 DOT3.5の階差式モードと径方向メッシュ効果

前年度の径方向メッシュ効果の検討のひとつとして、階差式モードの効果を検討しようとした。すなわち透過実験解析に適用されたweighted differenceモード以外に2つの階差式モードでの計算をこころみたが、目的の精度まで収束するに到らなかった。この時は、 S_{96} 分点を適用し、角度束を境界線源としていたため、今回は S_{30} 分点で固定線源の条件下で、階差式モードでの径方向メッシュ効果についての比較計算を行った。

11.2.1 階差式モード

DOT3.5で選択のできる階差式モードには次の5種類が存在している。

- ① linear (いわゆるダイヤモンド差分)
- ② step
- ③ mixed linear-step (①+②)
- ④ weighted difference
- ⑤ mixed linear-weighted (①+④)

③と⑤のモードは、①のモードを基本として計算を行い、角度束に負の値が発生した場合には、そのメッシュについて②あるいは④のモードの計算に切りかえるものである。

①のlinearモードは最も厳密な解を与えるが、角度束に負の値が発生する可能性があること、また収束性に難点があることなどのため、現在④のweighted differenceがDOT3.5の解析で最もよく適用されている。JASPER透過実験も当モードを用いて実験解析を行った。

本検討では、上記5種類の全てのモードにおいて、径方向メッシュ効果について計算を実施した。

11.2.2 解 析

解析体系，線源，境界条件は全て11.1.2と同一である。 S_n 角度分点は

S₃₀とした。各階差式モード下において基本メッシュ分割を中心として径方向メッシュを変えた計算を実施した。

軸方向外端中央における透過高速中性子束を比較すると、第11.2.2-1図のような結果を得た。

11.2.3 比較検討

weighted difference モードのほかに、stepモードにおいても径方向メッシュ効果が生じている。両モードでは中性子束の絶対値に約1桁の差はあるが径方向メッシュ効果はほぼ同様なものとなっている。これに対しlinear, mixed linear-step およびmixed linear-weightedの各モードすなわちlinearモードを主体とする計算は、相互に透過高速中性子束はよく一致しており、径方向メッシュ効果は事実上生じていない(≦1%)ことが明らかとなった。

基本メッシュにおける透過中性子束については、weighted differenceモードは各種linearモードに比べわずか1%ほど低目となっているにすぎない。

以上のことから、実験解析のDOT3.5計算に生じた径方向メッシュ効果は、階差式モードにweighted differenceを適用していることに原因があることが明らかとなった。なお、実験解析に使った基本メッシュは、linearモードでの解析と比較的よく一致した中性子束をもたらしていると推定することができる。

一方、本検討解析体系で、軸方向をモデル化した1次元ANISN計算においては、mixed linear-stepとweighted differenceとでは、有意な結果の差は見られなかった。

11.3 階差式モードと実験解析

前節の結果にもとづき、linearを主体とする階差式モードをDOT3.5で選択して、JASPER透過実験の解析を実施し、実体系での径方向メッシュ効果に影響されない結果を求めるとともに、従来の実験解析結果をこれと比較した。

11.3.1 解析条件

a) 解析体系：第11.1.2-1図

JASPER透過実験のスペクトルモディファイアである体系IAについて解析を実施した。

b) 階差式モードおよび径方向メッシュ分割

計算手法，計算入力は全て、従来の実験解析と同一である。但し、DOT3.5での階差式モードは

- ① linear
- ② mixed linear-step
- ③ mixed linear-weighted

の3ケースを選択し、実験解析での径方向メッシュすなわち基本メッシュと、各メッシュを2分割した2倍詳細メッシュとについて解析を実施した。

なお、断面積ライブラリーはJSD100を適用した。

11.3.2 解析

a) 収束性

linearモードおよびmixed linear-stepモードを選択した基本メッシュ分割でのDOT3.5計算は、収束性が悪くweighted differenceモードでの収束精度0.5%に到る見込がないため、計算を中止した。

mixed linear-weightedモードでは、実験供試体の側部コンクリート領域内で収束精度があがらなかったため、当領域を収束判定の領域

から除外することにより、0.5%の精度まで収束させることが可能となった。さらに、倍詳細メッシュにおいて、第1群の収束性が悪い
ため、当群だけ繰り返し回数を20回で打切ったが、他の全群においては
目標精度まで収束させることができた。なお、側部コンクリートと
実験供試体との間には中性子遮蔽効果の大きいリシウムパラフィン層が
存在するため、当コンクリート内での中性子束に若干の誤差が存在
しても、供試体部の透過中性子束には実質的に誤差をもたらしてい
ないと推定できる。また、倍詳細メッシュ第1群は、炉心側部コン
クリートにおいて収束が悪かったが、最終的に、1.7%の精度に達
しており、さらにここでのスペクトルを検討すると第1群が相対的
に低いことから倍詳細メッシュの透過中性子束の誤差は、やはり
充分小さいと推定される。

b) 計算結果

mixed linear-weighted モード計算での軸方向外端における径方向
中性子束分布および透過軸上における軸方向中性子束分布を第11.3.2-1
図に示す。比較のためweighted difference モードでの分布も図に
示した。

11.3.3 検 討

実験測定が行われた体系後方30cm位置でのボナーボール反応率に
ついて、従来のweighted difference モードと今回のmixed linear-
weightedモードとの比較から第11.3.3-1表の結果が得られた。weighted
differenceモードでは倍詳細メッシュとすることにより、反応率は7%
の増加が見られていたが、mixed linear-weighted モードでは反応率の
変化は生じていないことが確認された。

mixed linear-weighted モードに径方向メッシュ効果が生じていない
ことから、この結果を基準として考えると、weighted difference

モードの基本メッシュ分割での実験解析結果には5～7%低目となる径方向メッシュ効果が生じていたことが明らかとなった。

なお、体系後方30cm位置でのボナーボール反応率をSPACETRANを用いて体系外端での角度中性子束から直視法により評価した場合には、第11.3.3-2表の反応率が得られる。これらの結果は、前述の30cm後方位置もDOT3.5の接続計算で評価した反応率と1～3%の差が生じている。このSPACETRANの評価法では、基本メッシュでのweighted differenceモードによる反応率には2～3%低目の径方向メッシュ効果がある。

11.4 ま と め

前年度、JASPER透過実験解析の精度評価において問題が提起された2次元DOT3.5計算での径方向メッシュ効果について検討を行った。

同様の計算手法である2次元Sn輸送計算コードTWOTRANとの比較計算を実施した結果、TWOTRANにおいては、径方向メッシュ効果は生ぜず、当問題はSnコード共通の現象でないことが確認された。

DOT3.5に組み込まれている種々の階差式モードについて、縮小体系のもと基本メッシュと倍詳細メッシュとの比較計算を実施した。従来の実験解析に適用していたweighted differenceモード以外にstepモードにおいても径方向メッシュ効果が見られた。これに対してlinearを主体とするモードすなわちlinear, mixed linear-step, およびmixed linear-weightedにおいては、径方向メッシュ分割を基本メッシュから変えても、透過中性子束は変化せず、かつモード間の中性子束は相互によく一致していることが確認された。

JASPER透過実験のスペクトルモディファイア体系について、これらのlinearを主体とするモードを適用した解析を実施した。linearおよびmixed linear-stepモードでは収束性が悪く、mixed linear-weightedモードだけが目標精度まで収束させることができ、やはり径方向メッシュ効果が生じていないことが確認できた。従来のweighted differenceモードによる基本メッシュでの実験解析結果を、この径方向メッシュ効果の生じていないモードでの解析結果と比較すると、5～7%ほどの若干の過少傾向にあることが明らかとなった。

川崎重工業（株） 竹村

表11.3.3-1 階差式モードによる実験解析の径方向メッシュ効果

(DOT3.5/JSD100)

		BB反応率 (cpm) ¹⁾ および比			
階差式モード	径方向メッシュ	3" BB	5" BB	8" BB	10" BB
Weighted difference (FXT=3)	基本メッシュ ²⁾	8.20(+2)	3.70(+3)	2.54(+3)	1.29(+3)
	倍詳細メッシュ	8.80(+2)	3.96(+3)	2.72(+3)	1.39(+3)
	倍詳細 / 基本	1.07	1.07	1.07	1.07
mixed linear- weighted (FXT=4)	基本メッシュ	8.78(+2)	3.93(+3)	2.68(+3)	1.36(+3)
	倍詳細メッシュ	8.74(+2)	3.92(+3)	2.68(+3)	1.36(+3)
	倍詳細 / 基本	0.995	0.997	1.00	1.00
FXT=3/FXT=4	基本メッシュ	0.934	0.941	0.948	0.949

1) 体系 I A 後方 30cm 位置測定

2) 実験解析メッシュ

表11.3.3-2 階差式モードによる実験解析反応率

(基本メッシュ分割)

		E B 反応率 (c p m) ¹⁾ および比			
反応率評価 ²⁾	階差式モード ³⁾	3" B B	5" B B	8" B B	10" B B
DOT3.5	FXT=3 ⁴⁾	8.20(+2)	3.70(+3)	2.54(+3)	1.29(+3)
	FXT=4	8.78(+2)	3.93(+3)	2.68(+3)	1.36(+3)
	FXT=3 / FXT=4	0.934	0.941	0.948	0.949
SPACETRAN	FXT=3 ⁴⁾	8.31(+2)	3.77(+3)	2.57(+3)	1.33(+3)
	FXT=4	8.56(+2)	3.87(+3)	2.63(+3)	1.35(+3)
	FXT=3 / FXT=4	0.971	0.974	0.977	0.985

- 1) 体系 I A 後方 30cm 位置測定
- 2) 実験供試体後方ボイド部中性子束評価法
- 3) 実験供試体部 DOT3.5 計算
- 4) FXT=3 : Weighted difference
FXT=4 : mixed linear-weighted

領域層さ (cm) Z (cm)

メッシュ番号

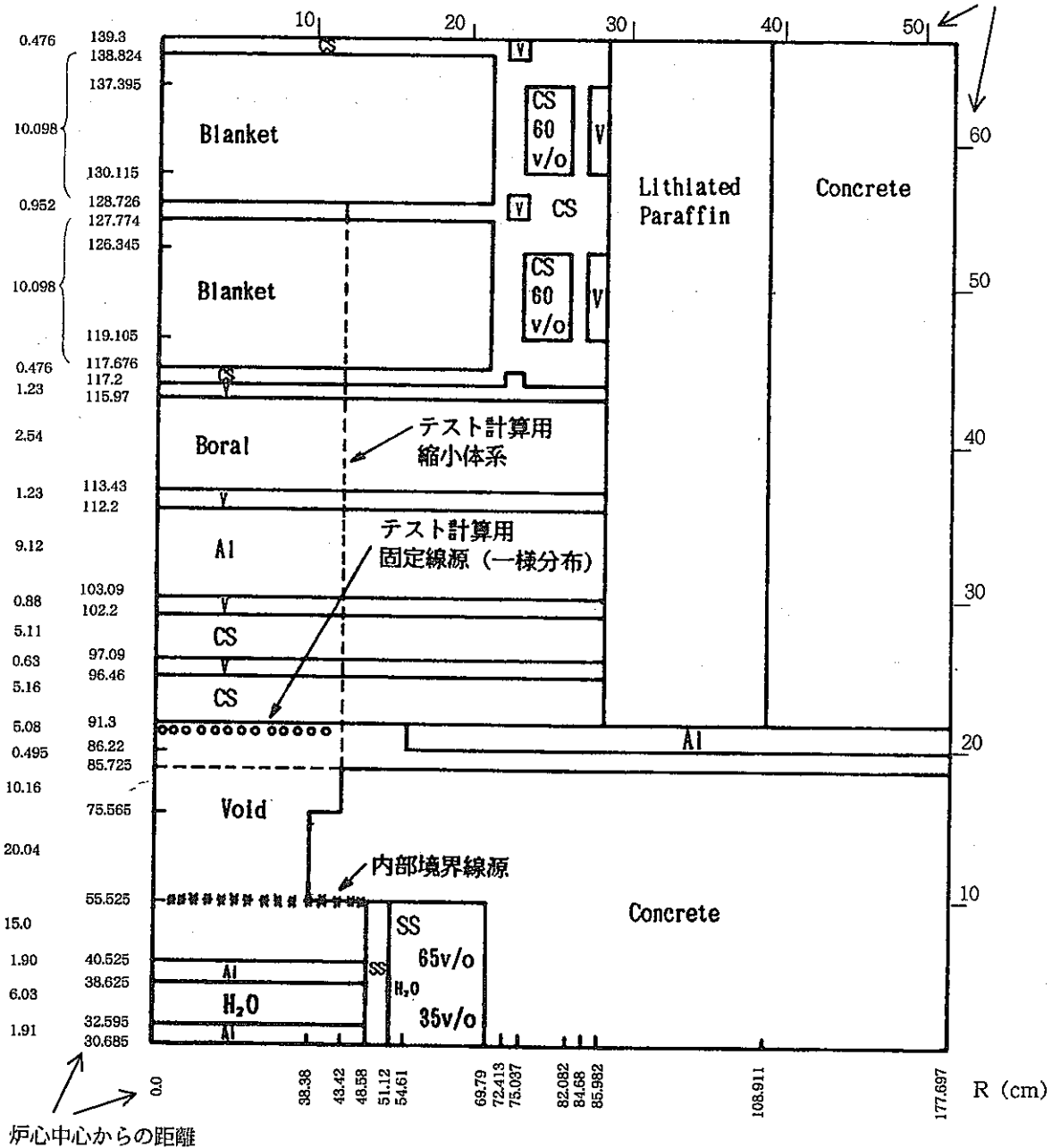


図 11.1.2 - 1 透過実験体系 IA の DOT3.5 解析モデル

軸方向透過中性子束

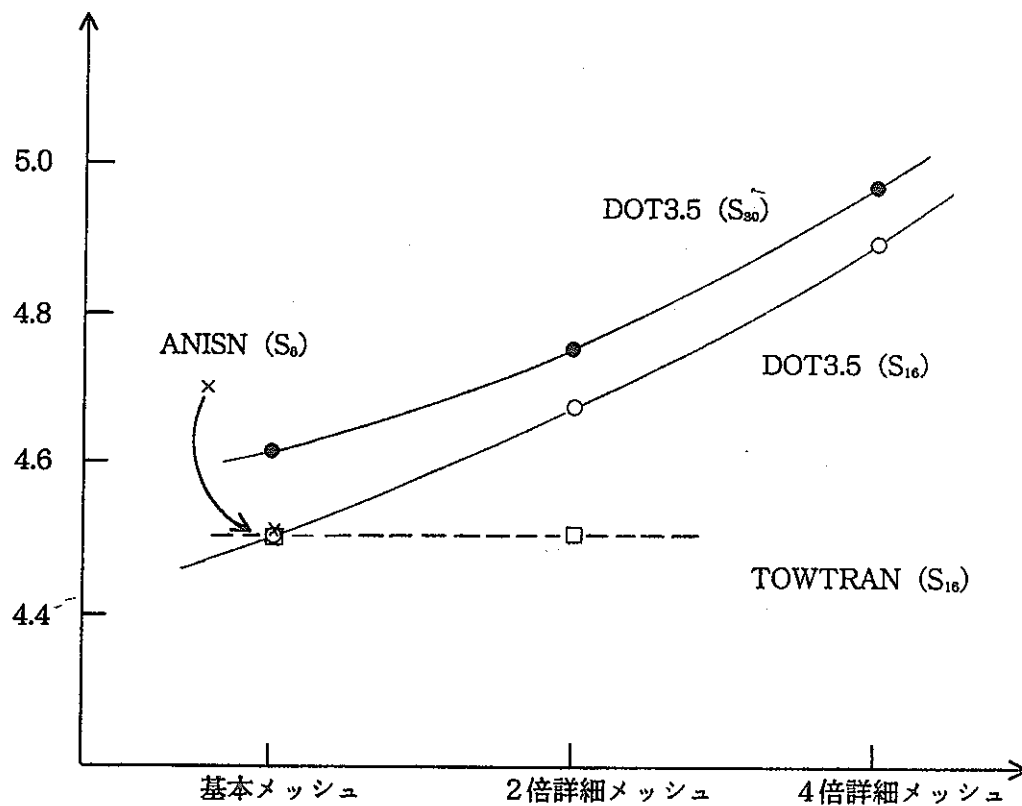


図 11.1.2 - 2 S_n 輸送計算コード間のメッシュ効果比較

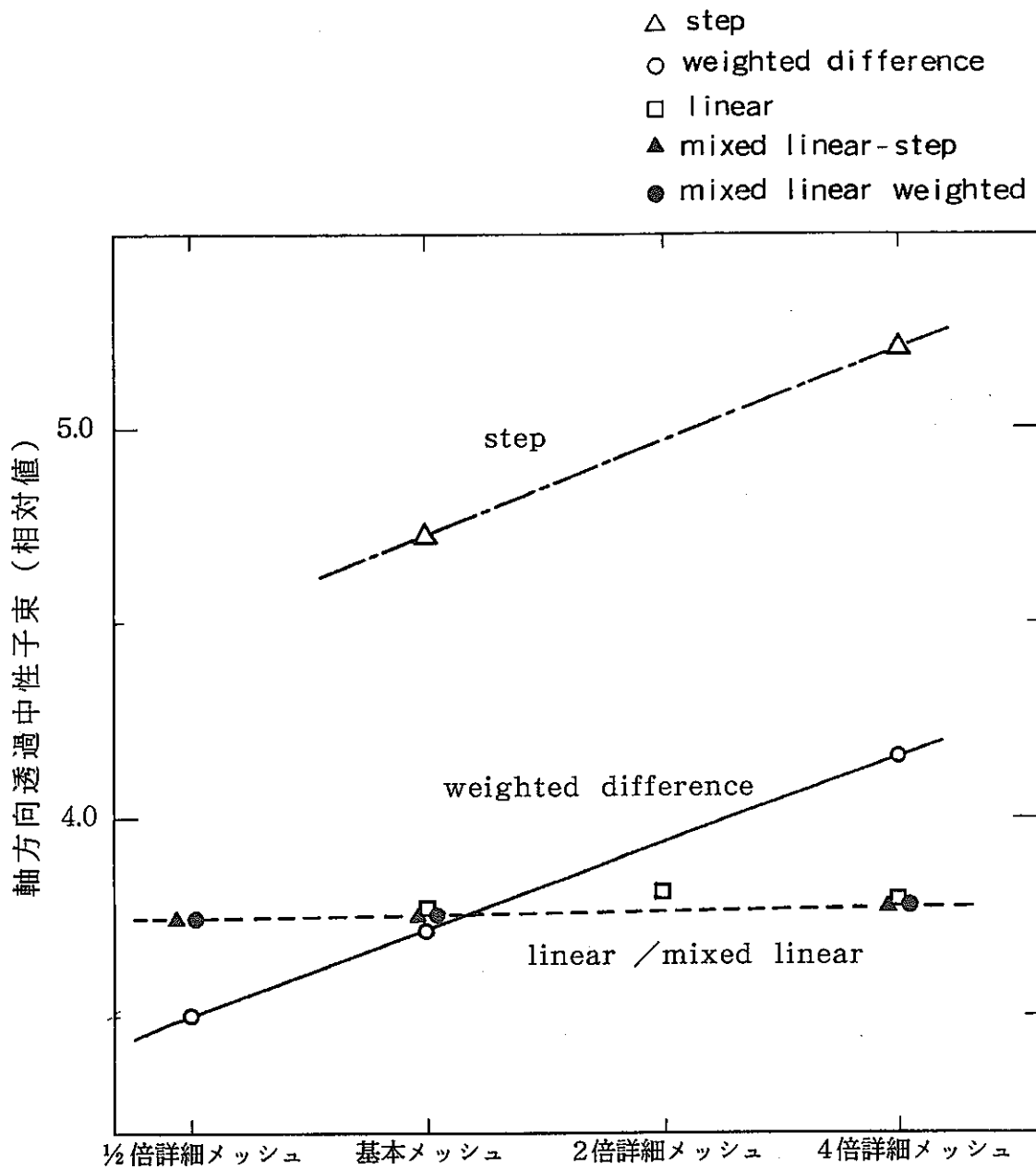


図 11.2.2 - 1 DOT3.5 計算における径方向メッシュ効果と階差式モード

FXT = 3 : weighted difference
 FXT = 4 : mixed linear weighted

NORM : 基本メッシュ
 FINE : 倍詳細メッシュ

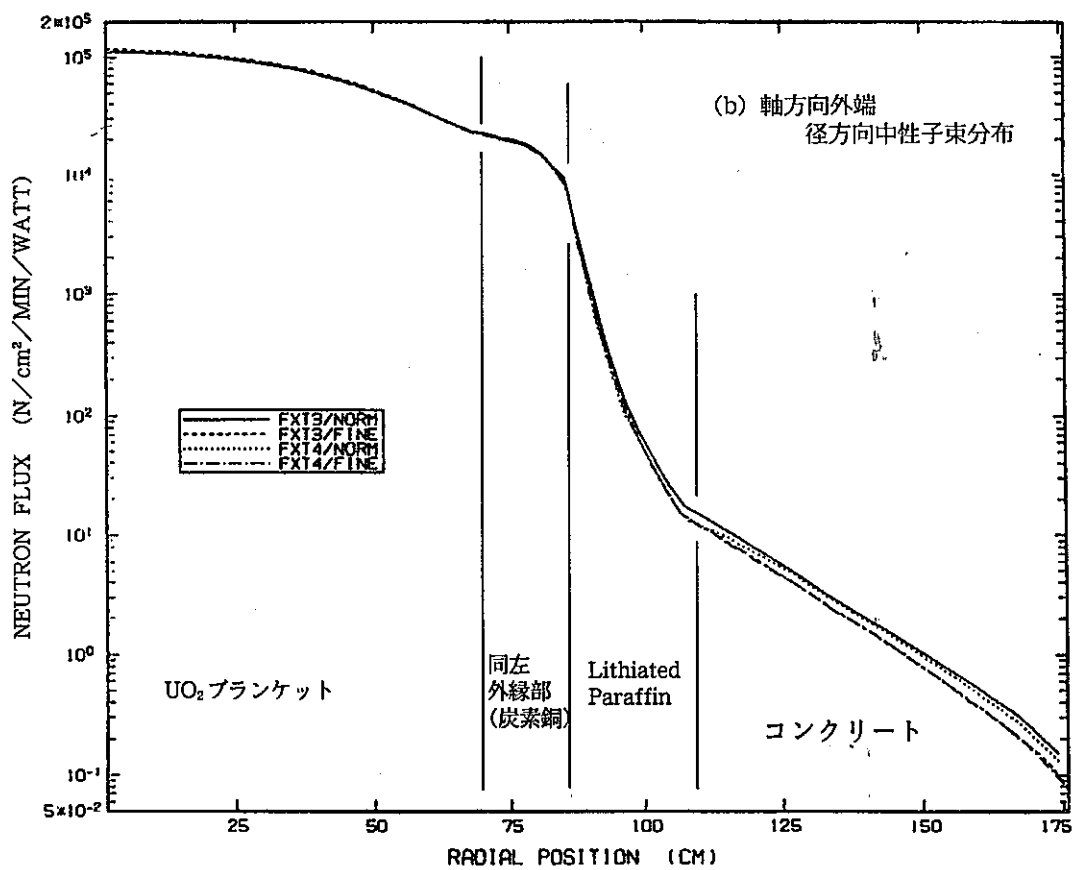
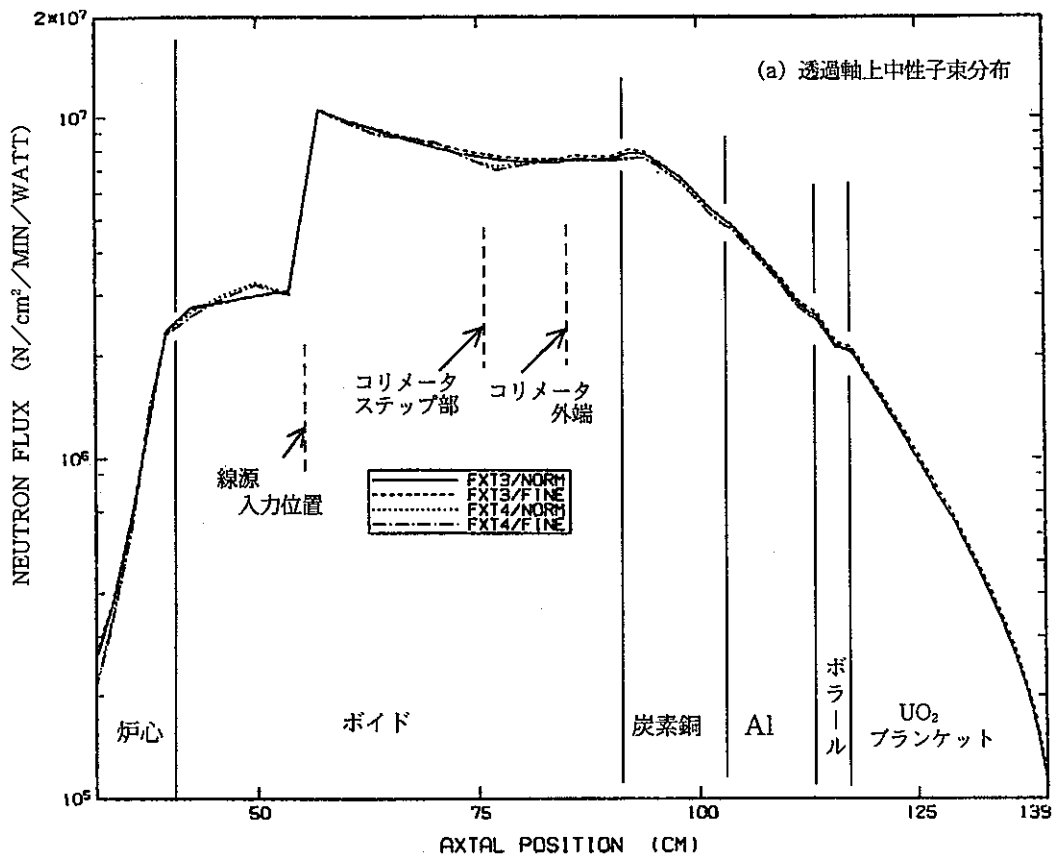


図 11.3.2 - 1 高速中性子束分布の比較 (体系 IA)

1 2 2次元 S_N 計算におけるメッシュ効果 (B)

1 2.1 序 論

JASPER計画では、高速炉遮蔽設計における標準的解析手法の解析精度評価を行うことが課題にあげられている。そのひとつに炉心計算で評価されるような差分法における有限メッシュ幅の補正、いわゆるメッシュ補正と同様な補正を遮蔽解析でも考慮する方向で検討が進められてきた。しかしながら、高速炉系遮蔽解析における2次元 S_N 計算(DOTコードを利用)では取扱体系の規模が大きく、また中性子あるいはガンマ線のエネルギー群数も炉心計算に比べ多く採られる。そのため、計算時間および計算機容量の観点から、基準計算に対しメッシュ数を2倍、4倍とした計算は実際上不可能であることが多い。そこで前年度解析の報告のように、JASPER実験解析では、当初、径方向および軸方向のメッシュを各々独立に細分化した計算を行い、その結果を利用して系全体のメッシュ効果を評価するアプローチが考えられた。

このための計算を行った所、軸方向メッシュのみを細分化した場合には評価量がメッシュ幅の小さくなるにつれて一定値に近づく傾向がみられた。しかし、径方向メッシュのみを細分化した場合に、計算される中性子束がメッシュ幅の細分化につれて一様に増大するという現象(ここでは“径方向メッシュ効果”と呼ぶ)が現れた。このような現象が生じると、計算結果の真値が不明となるため、原因を究明することが最優先の課題となった。前章では、TWO TRANコードとの比較などにより、現象的に検討を行い、DOT 3.5コードによる基準解析結果の誤差を評価しているが、本章では“径方向メッシュ効果”の原因をDOTコードの差分モデルに戻って検討した内容を述べる。また、DOTコードの最新版と考えられるDOT-IVコード⁽¹⁾が動燃に導入されたため、これを利用して数値計算を行い、定性的議論の裏付けを示すこととした。

以下の各節では、DOTコードの差分モデルの検討を行い、この差分モデルから定性的にメッシュ効果およびメッシュ分割法の影響を検討する。これに基づきDOT-IVコードで数値計算を行って検証を行う。さらに実用上の観点から、1次元計算による2次元メッシュ効果評価法についても検討する。

12.2 重み付き差分モデルの検討

DOTコードで採用している2次元 S_N 方程式は次式であらわされる。(1)

$$\begin{aligned}
 & |\mu| (A_{i+c} N_{i+c} - A_{i-c} N_{i-c}) + |\eta| B (N_{j+d} - N_{j-d}) \\
 & + \frac{1}{2} 4A \left[(\beta_m - \mu_m) N_{m+\frac{1}{2}} - (\beta_m + \mu_m) N_{m-\frac{1}{2}} \right] + V\sigma N \\
 & = VS \dots\dots\dots \textcircled{1}
 \end{aligned}$$

ここで上式にあらわされる記号は次の意味をもっている。

- c = 1/2 sign(μ)
- d = 1/2 sign(η)
- N = $N_{i,j,m}$
- N_{i+c} = $N_{i+c,j,m}$
- N_{j+d} = $N_{i,j+d,m}$
- $N_{m+1/2}$ = $N_{i,j,m+1/2}$
- V = $V_{i,j} = \int_i \int_j dAdB$
- A_{i+c} = $A_{i+c,j}$
- B_{j+d} = $B_{i,j+d}$
- W_m = $\int \int_m d\Omega$
- β_m = $(\alpha_{m+1/2} + \alpha_{m-1/2}) / W_m$
- $\alpha_{m+1/2}$ = $\alpha_{m-1/2} - W_m \mu_m$
- σ : 全断面積
- S : 線源

DOTコードでは、数値計算上、メッシュセルの既知の線束から未知の線束を求めるために、セル内の線束分布を考慮して次の外挿式を用いている。

$$N_{i+c} = \frac{1}{a} N - \frac{1-a}{a} N_{i-c} \dots\dots\dots \textcircled{2}$$

$$N_{j+d} = \frac{1}{b} N - \frac{1-b}{b} N_{j-d} \dots\dots\dots \textcircled{3}$$

$$N_{m+\frac{1}{2}} = \frac{1}{c} N - \frac{1-c}{c} N_{m-\frac{1}{2}} \dots\dots\dots \textcircled{4}$$

これらのパラメータ a, b, c をここでは重みパラメータと呼ぶこととする。このパラメータは $a = b = c = 1/2$ のとき良く知られたダイヤモンド差分近似となり、 $a = b = c = 1$ のときはステップ近似となる。図 12.1 に各差分近似の概念を示す。Lathrop⁽²⁾ が示したように、計算上のセル内での中性子束分布を考慮すると、ダイヤモンド差分近似はメッシュ幅の 2 乗のオーダーの誤差であるのに対し、一般的な重み付き差分法 (Weighted Difference) 近似ではメッシュ幅の 1 乗のオーダーの誤差を持つことから、ダイヤモンド差分近似が最も高精度であることがわかっている。但し、この方法の欠点としては、角度束が急勾配の場合において負の中性子束を算出し易く、線束の収束性に難点のあることが指摘されている。ステップ近似は②～④式において $a = b = c = 1$ とおくと同様のように、セル内の角度束が正であれば、それを次のセルの境界中性子束とおく為に負の中性子束は生じない。しかし、セル内の中性子束勾配を考慮しないために、この方法ではメッシュ幅を極端に細分化しない限り大きな誤差を生じる。Weighted Difference モデルは両モデルの間をねらい、比較的精度良く、しかも負の角度束を生じないように考案された方法である。 a, b, c の各重みパラメータは、後述の様にメッシュ幅、ソース、角度束によって決められ、 a, b, c 各々は必ずしも同一の値とはならない。以下では DOT コードで採用しているパラメータ決定式の導出を試みる。その次に、この重みパラメータがメッシュ効果に関連することを述べる。

まず輸送方程式①に②～④の関係式を導入する。

$$\begin{aligned}
 & |μ| \left[A_{i+c} \left(\frac{1}{a} N - \frac{1-a}{a} N_{i-c} \right) - A_{i-c} N_{i-c} \right] \\
 & + |η| B \left(\frac{1}{b} N - \frac{1-b}{b} N_{j-d} - N_{j-d} \right) \\
 & + \frac{1}{2} \Delta A \left[(\beta_m - \mu_m) \left(\frac{1}{c} N - \frac{1-c}{c} N_{m-\frac{1}{2}} \right) - (\beta_m + \mu_m) N_{m-\frac{1}{2}} \right] \\
 & + V \sigma N \\
 & = VS \dots \dots \dots \textcircled{5}
 \end{aligned}$$

これを整理すると、

$$N = \frac{VS + |μ| \left(A_{i+c} \frac{1-a}{a} + A_{i-c} \right) + |η| B \frac{1}{b} N_{j-d} + \frac{1}{2} \Delta A \left[(\beta_m - \mu_m) \frac{1-c}{c} + (\beta_m + \mu_m) \right] N_{m-\frac{1}{2}}}{V \sigma + |μ| A_{i+c} \frac{1}{a} + |η| B \frac{1}{b} + \frac{1}{2} \Delta A (\beta_m - \mu_m) \frac{1}{c}} \dots \dots \dots \textcircled{6}$$

となり、 N は $N_{i-c}, N_{j-d}, N_{m-1/2}$ から求めることができる。

さて、②より外挿線束を導出する。

$$N_{i+c} = \frac{1}{a} N - \frac{1-a}{a} N_{i-c} = \frac{1}{a} \frac{(*)}{(\textcircled{6} \text{の分母})}$$

$$\begin{aligned} (*) &= VS + |\mu| A_{i-c} N_{i-c} + |\eta| B \frac{1}{b} N_{j-d} \\ &\quad + \frac{1}{2} 4A \left[(\beta_m - \mu_m) \frac{1-c}{c} + (\beta_m + \mu_m) \right] N_{m-\frac{1}{2}} \\ &\quad - (1-a) \left[VS + |\eta| B \frac{1}{b} + \frac{1}{2} 4A (\beta_m - \mu_m) \frac{1}{c} \right] N_{i-c} \end{aligned}$$

であるから、 N_{i+c} が正值であるためには、パラメータ θ_s 、 θ_n を導入して、

$$\begin{aligned} &VS \theta_s + \left\{ |\eta| B \frac{1}{b} N_{j-d} + \frac{1}{2} 4A \left[(\beta_m - \mu_m) \frac{1-c}{c} + (\beta_m + \mu_m) \right] N_{m-\frac{1}{2}} \right\} \theta_n \\ &+ |\mu| A_{i-c} N_{i-c} \\ &- (1-a) \left[VS + |\eta| B \frac{1}{b} + \frac{1}{2} 4A (\beta_m - \mu_m) \frac{1}{c} \right] N_{i-c} \\ &> 0 \end{aligned}$$

である必要がある。 θ_s 、 θ_n は数値計算上の安定性に係わるもので特に物理的な意味はない。従って、

$$1-a < \frac{VS \theta_s + \left\{ |\eta| B \frac{1}{b} N_{j-d} + \frac{1}{2} 4A \left[(\beta_m - \mu_m) \frac{1-c}{c} + (\beta_m + \mu_m) \right] N_{m-\frac{1}{2}} \right\} \theta_n + |\mu| A_{i-c} N_{i-c}}{\left[VS + |\eta| B \frac{1}{b} + \frac{1}{2} 4A (\beta_m - \mu_m) \frac{1}{c} \right] N_{i-c}}$$

.....⑦

となる。これがi方向の外挿線束、 N_{i+c} の正值を保証する条件である。ただし、上式には他方向の重みパラメータ b 、 c が入っているためこれを除く。その際、右辺の最小値をとるようにする。 $1/2 \leq b \leq 1$ 、 $1/2 \leq c \leq 1$ の条件の下では、分母に対しては $b=c=1/2$ 、分子に対しては $b=c=1$ とおくことによって最小値となる。したがって重みパラメータ a は次の通りになる。

$$1-a = \frac{VS \theta_s + \left[|\eta| B N_{j-d} + \frac{1}{2} 4A (\beta_m + \mu_m) N_{m-\frac{1}{2}} \right] \theta_n + |\mu| A_{i-c} N_{i-c}}{2 \left[\frac{1}{2} VS + |\eta| B + \frac{1}{2} 4A (\beta_m - \mu_m) \right] N_{i-c}}$$

.....⑧

同様に

$$1-b = \frac{VS\theta_s + \left[|\mu|A_{i-c}N_{i-c} + \frac{1}{2}\Delta A(\beta_m + \mu_m)N_{m-\frac{1}{2}} \right] \theta_n + |\eta|B N_{j-d}}{2 \left[\frac{1}{2}VS + |\mu|A_{i+c} + \frac{1}{2}\Delta A(\beta_m - \mu_m) \right] N_{j-d}} \dots \dots \dots \textcircled{9}$$

$$1-c = \frac{VS\theta_s + \left[|\mu|A_{i-c}N_{i-c} + |\eta|B N_{j-d} \right] \theta_n + \frac{1}{2}\Delta A(\beta_m + \mu_m)N_{m-\frac{1}{2}}}{2 \left[\frac{1}{2}VS + |\mu|A_{i+c} + |\eta|B \right] N_{m-\frac{1}{2}}} \dots \dots \dots \textcircled{10}$$

が導かれる。

DOTコードでは⑨～⑩によりパラメータ a, b, c を決定しているがこれらの式中で導入された θ_s, θ_n によって値が左右される。DOT-IIIコードのWeighted Difference オプションでは $\theta_s = 1, \theta_n = 0$ としていた。すなわち、a については次式のようなになる。

$$1-a = \frac{VS + |\mu|A_{i-c}N_{i-c}}{2 \left[\frac{1}{2}VS + |\eta|B + \frac{1}{2}\Delta A(\beta_m - \mu_m) \right] N_{i-c}} \dots \dots \dots \textcircled{11}$$

DOT-IVコードのWeighted Difference モデルは、⑪とはやや異なり、次式を用いている。

$$1-a = \frac{VS + \frac{1}{2}\Delta A(\beta_m + \mu_m)N_{m-\frac{1}{2}} + |\mu|A_{i-c}N_{i-c}}{2 \left[\frac{1}{2}VS + |\eta|B + \frac{1}{2}\Delta A(\beta_m - \mu_m) \right] N_{i-c}} \dots \dots \dots \textcircled{12}$$

さらに、DOT-IVコードではWeighted Difference モデルの他に新たに θ -Weighted Difference モデル^{(1),(3)}が追加されている。このモデルでは $\theta_s = \theta_n = \theta$ (入力、一定値) を利用し、

$$1-a = \frac{[VS + |\eta|BN_{j-d} + \frac{1}{2}\Delta A(\beta_m + \mu_m)N_{m-\frac{1}{2}}]\theta + |\mu|A_{i-c}N_{i-c}}{2[\frac{1}{2}V\sigma + |\eta|B + \frac{1}{2}\Delta A(\beta_m - \mu_m)]N_{i-c}} \dots\dots\dots ⑬$$

としてaを算出している。なおθは推奨値として0.9がマニュアルに示されている。

⑪～⑬式をみると、順に右辺にはいる項が増えている。もし N_{i-c} 、 N_{j-d} 、 $N_{m-1/2}$ が正值であれば順に右辺の値が増大し、 $1/2 \leq a \leq 1$ の条件の下ではより1/2に近づくことが考慮されているものと推定される。またWeightedとθ-Weightedの違いは、⑬式ではaを決定するために N_{i-c} 、 $N_{m-1/2}$ のみを使用しているが、⑬式ではこれらに加えて N_{j-d} も使用していることである。これにより極端な外挿（ステップ近似）を防ぎ、よりダイヤモンド差分に近づけるよう工夫していると考えられる。

従って、この様な外挿法の比較から各近似の優劣をつけるとすれば、精度の観点からは、

$$\begin{matrix} \text{DOT-IV} & > & \text{DOT-IV} & \geq & \text{DOT-III} \\ \theta\text{-Weighted} & & \text{Weighted} & & \text{Weighted} \end{matrix}$$

であると考えられる。後述の数値計算側からもθ-Weightedを使用すると同じくDOT-IVコードのLinear-zeroモデル（ダイヤモンド差分+ゼロfixup）と比較的近い結果が得られている。ただし計算値の収束の速さではθ-WeightedよりもWeightedの方が優っている。

12.3 メッシュ効果の定性的検討

ここでは、まず空間メッシュの設定法により、前節で述べた重みパラメータがどう変動するか検討する。

検討の始めに、⑧、⑨式は複雑なので、対象を一般的な体系から2次元x y体系に限定し、さらに $\theta_s = \theta_n = 1$ とおくことにする。これにより、⑧、⑨は各々次の通りになる。

$$1-a = \frac{VS + |\eta|\Delta x N_{j-d} + |\mu|\Delta y N_{i-c}}{2(\frac{1}{2}V\sigma + |\eta|\Delta x)N_{i-c}} \dots\dots\dots ⑭$$

$$1-b = \frac{VS + |\eta|\Delta x N_{j-d} + |\mu|\Delta y N_{i-c}}{2(\frac{1}{2}V\sigma + |\mu|\Delta y)N_{j-d}} \dots\dots\dots ⑮$$

ここで $A = \Delta y$ 、 $B = \Delta x$ 、 $V = \Delta x \Delta y$ を用いた。

さらに $\alpha = \sigma \Delta x / |\mu|$ 、 $\beta = \sigma \Delta y / |\eta|$ 、 $Q = S / \sigma$ とあらわし、⑭および⑮式に代入すると、

$$1-a = \frac{\beta + \alpha(N_{j-d} + \beta Q)/N_{i-c}}{\alpha(\beta+2)} \dots\dots\dots ⑯$$

$$1-b = \frac{\alpha + \beta(N_{i-c} + \alpha Q)/N_{j-d}}{\beta(\alpha+2)} \dots\dots\dots ⑰$$

とあらわすことができる。

⑯、⑰式中における分子の第2項は、相対的にaもしくはbを1/2、すなわちダイヤモンド差分に近づけるための項と考えられるので、以下では無視する。すると重みパラメータは簡単に表すことができる。

$$a = \max\left(1 - \frac{\beta}{\alpha(\beta+2)}, 0.5\right) \dots\dots\dots ⑱$$

$$b = \max\left(1 - \frac{\alpha}{\beta(\alpha+2)}, 0.5\right) \dots\dots\dots ⑲$$

これを用いて重みパラメータの数値を試算する。

(1) $\Delta x \approx \Delta y$ のとき

例えば $\alpha = \beta = 2$ とおくと、 $a = b = 0.75$ となり、どちらのパラメータ共ダイヤモンド差分式を用いた場合に近くなる。また、 $\alpha = \beta = 1$ とおくと、 $a = b = 0.67$ となり、よりダイヤモンド差分近似に近づく。

(2) $\Delta x \ll \Delta y$ のとき

例えば $\alpha = 0.5$ 、 $\beta = 2$ とおくと、 $a = 0.5$ 、 $b = 0.9$ となり x 方向はダイヤモンド差分、y 方向はステップ近似を用いる場合に近くなる。

(3) $\Delta x \gg \Delta y$ のとき

例えば $\alpha = 2$ 、 $\beta = 0.5$ とおくと、 $a = 0.9$ 、 $b = 0.5$ となり、この場合(2)と逆に y 方向はダイヤモンド差分、x 方向はステップ近似に近くなる。

以上の数値例から、次のことがわかる。

- ・ (1)より $\Delta x = \Delta y$ を保ったままメッシュ幅を小さくしていくと、重みパラメータは x 方向、 y 方向共にダイヤモンド差分に近づく。すなわち、より高精度の解が得られるものと考えられる。
- ・ (2), (3)より、 $\Delta x \neq \Delta y$ が極端になると、一方向のメッシュ幅を細分化することによって、他方向の重みパラメータが1に近づき（ \sim ステップ近似）、この方向のメッシュ効果が現れる。

このような傾向は $x y$ 体系のみならず、 $R Z$ 体系についても同様である。従って、DOTコードのWeighted Difference モデルを用いた2次元輸送計算においては、一方向のメッシュのみを細分化しても、この細分化に伴うメッシュ効果を見出せず、必ず他方向のメッシュも細分化して評価する必要があることがわかる。

12.4 数値計算による検証

前節で述べたように、メッシュ効果は2次元メッシュのバランスをとりながら細分化することで評価が可能であり、メッシュがアンバランスの状態では誤差をまねくことが推定された。そこでこれを検証するために、以下の内容についてDOT-IVコードを用いてサーベイ計算を実施した。

- a) メッシュ効果
- b) メッシュ分割法効果

12.4.1 計算内容

検討を容易にするために、比較的単純な問題を設定した。計算体系は図12.2に示す通り、半径70cm、長さ70cmの円柱で、媒質はステンレス鋼である。この体系の下面に等方入射境界線束を設けた。境界条件は上部、右側が真空である。このようなRZ体系の境界線源問題は、遮蔽解析でしばしば見られるものである。計算は第1群のみ(約6MeVに相当)で行った。このエネルギーでは、平均自由行程(mfp)が約3.5cm、散乱比(σ_s/σ_t)は0.85である。散乱の異方性は基準を P_3 とし、径方向への漏洩の大きい中性子場を模擬するために、 P_0 近似でも計算することとした。中性子束の減衰は P_3S48 近似の場合、軸方向で約6桁である。

この体系に対して以下のサーベイ計算を行った。

(1) メッシュ効果サーベイ

- | | |
|-----------------|-------------|
| a) 0.25メッシュ/mfp | (5×5メッシュ) |
| b) 0.5メッシュ/mfp | (10×10メッシュ) |
| c) 1メッシュ/mfp | (20×20メッシュ) |
| d) 2メッシュ/mfp | (40×40メッシュ) |
| e) 4メッシュ/mfp | (80×80メッシュ) |

このうち、a)は通常設定されるメッシュ幅の上限を越えているが、参考のために設定したものである。

(2) メッシュ分割法効果サーベイ

- | | |
|--------------------------------|-------------|
| a) r方向1メッシュ/mfp、z方向0.5メッシュ/mfp | (20×10メッシュ) |
| b) r方向2メッシュ/mfp、z方向0.5メッシュ/mfp | (40×10メッシュ) |
| c) z方向1メッシュ/mfp、r方向0.5メッシュ/mfp | (10×20メッシュ) |
| d) z方向2メッシュ/mfp、r方向0.5メッシュ/mfp | (10×40メッシュ) |

なお以上の計算は全て等メッシュ分割である。

1 2 . 4 . 2 メッシュ効果サーベイ結果

入射線源が一定の条件であるので、体系中の吸収量、上部及び右側境界からの漏洩量に着目して比較した。

図 1 2 . 3 に $P_3S 4 8$ での結果を示す。横軸は一方向についてのメッシュ/mfpとした。この図からメッシュ数の増加と共に吸収量、漏洩量が一定値に近づく飽和傾向の見られることがわかる。このような傾向から、無限メッシュへの外挿が原則的に可能であると考えられる。

図上段の吸収量については、Linear- zeroモードと θ -Weighted モードの結果は 2 メッシュ/mfp程度で良く一致するが、Weighted モードは 4 メッシュ/mfpでも他のモードとの差が大きい。これは、中段および下段の図からわかるように、径方向漏洩量と関連がある。

図中段の上部漏洩量は、もちろん体系内での中性子吸収量と径方向漏洩の影響を受けているが、相対的に精度の良いと考えられるLinear- zeroモードでも 0.5 メッシュ/mfpで約 50%、1 メッシュ/mfpで約 26%、2 メッシュ/mfpで約 7% (いずれも 4 メッシュ/mfpからの誤差) とメッシュ幅の依存性が大きい。なお、参考のために計算した 0.25 メッシュ/mfpの結果は、0.5 メッシュ/mfp以上の結果との連続性がなく、信頼性に欠ける (Linear- zeroモードでは収束しない)。

図の中段には径方向漏洩量のメッシュ数依存性を示した。吸収量と同じく、 θ -Weighted とLinear- zeroモードとの結果は、メッシュの細分化と共に一致する傾向が見られるものの、Weighted モードの結果は他と一致する傾向が見られない。

次に $P_0S 4 8$ 近似の結果を図 1 2 . 4 に示す。図 1 2 . 3 と同様に、吸収量、漏洩量はメッシュ数の増加と共に一定値に近づく傾向が見られる。ただし、4 メッシュ/mfpを基準としたときの各メッシュの誤差は、 $P_3S 4 8$ 近似と比べて大きい。特に上部漏洩量については 0.5 メッシュ/mfpの結果が信頼性の低いものであることがわかる。

以上の結果をまとめると次の通りになる。

- ・透過問題においてもメッシュ効果の補正が必要であり、その補正量はメッシュ幅を細分化することにより着目量が一定値に近づくことを利用して評価ができる。
- ・実用上は 2 ~ 3 メッシュ/mfp程度とすれば、メッシュ効果の補正量が小さくて済む。
- ・DOT-IVコードの差分モードの比較では、ある程度メッシュ数を増やせば θ -Weightedモードの結果はLinear- zeroモードの結果とほぼ等しくなる。また Weighted モードの結果はメッシュを細分化することのみで他のモードと一致する保証はない。特にWeighted モードは漏洩量を過大評価する傾向があり、固有値問題等に適用することは避けるべきであると考えられる。

12.4.3 メッシュ分割法効果サーベイ結果

前記10×10メッシュ分割体系を基準として、径方向メッシュ数を倍および4倍としたもの、および軸方向メッシュ数を倍および4倍とした結果を述べる。これにより、メッシュアンバランスにしたときの現象を確認する。

図12.5にP₃S48近似の結果を示す。まず、図上段の吸収量については、径方向メッシュのみ増加させた場合は、基準メッシュ(10×10)の結果から大きな変化はなく、むしろやや増加している。一方、軸方向メッシュを増加させた場合は、図12.3図に示した両方向メッシュを共に増加させた結果と同様な値となる。このような結果から、まず、透過問題においては、メッシュ幅による影響の大部分は軸方向の有限メッシュ幅によるものであることがわかる。さらに、径方向メッシュ数のみを増加させても、Weighted モードでは誤差を減少させる傾向になく、かえって径方向メッシュ幅と軸方向メッシュ幅とのアンバランスからメッシュ幅による影響がより大きくなることがわかる。

この傾向は、漏洩に注目すればより明らかとなる。上部漏洩量では軸方向のみメッシュ数を増加した場合には、両方向メッシュ数増加した結果と同様な結果を示すが、径方向のみメッシュ数を増加させると著しく漏洩量を過大評価する。このような極度の過大評価は、径方向のメッシュ幅の減少に従って、軸方向のメッシュ幅の影響が相対的に増加することを示しており、径・軸両メッシュ幅のアンバランスが大きく影響しているものと考えられる。この現象がJASPERサブワーキンググループで議論されてきた”径方向メッシュ効果”に相当する。

一方、径方向漏洩量は、上記吸収量と同様な傾向を示しているものの、軸方向メッシュ数の増加のみでは、両方向メッシュ数増加の結果に近づかない。特にWeighted モードでは顕著であり、これは径方向へのメッシュ効果が軸方向のメッシュ効果を相殺する傾向にあることを示している。

以上述べたP₃S48近似の結果と同様な傾向が、P₀S48近似で計算した場合にも現れており、散乱の異方性の近似度に係わらず同様な現象の生ずることがわかる。

以上の結果をまとめると次の通りになる。

- ・JASPERサブワーキンググループの検討で議論となっていた”径方向メッシュ効果”はDOTコードのWeighted モードにおけるメッシュ幅のアンバランスによる効果(メッシュ分割法効果)である。
- ・体系内中性子束分布および上部漏洩量のメッシュ効果は、軸方向メッシュのみを細分化することである程度評価できる。

1 2. 5 1次元計算によるメッシュ効果評価法

図1 2. 2に示したような境界線源問題の2次元メッシュ効果は、体系の両方向のメッシュ幅を同時に細分化することにより評価できることがわかったが、設計解析あるいは実験解析でもこの様な取扱は現実的とは言えない。そこで、実用上の観点から1次元計算による評価が可能かどうか、その可能性を検討する。ただし、その前に1次元体系におけるメッシュ効果のメッシュ幅依存性を検討する。

(1) 1次元計算におけるメッシュ効果

炉心計算における実効増倍率については、有限メッシュ幅に伴う誤差がメッシュ幅の2乗に比例することが明らかとなっている。一方、前記1 2. 4. 2項、1 2. 4. 3項で見たように、ここで取り扱う体系ではメッシュ効果が軸方向のメッシュ幅に大きく依存し、径・軸両方向のメッシュ幅バランスをとった条件では、径方向のメッシュ幅に余り依存しないことがわかっている。そこで具体的にメッシュ幅とメッシュ効果との関係を調べた。結果を図1 2. 6に示す。ここでは80×80メッシュの値からの誤差で整理した。大まかな評価としては、無限メッシュからの誤差は軸方向メッシュ幅の1乗～1. 3乗に比例することがわかる。従って、ここで取り扱うような透過問題では1次元計算によるメッシュ効果のサーベイにより、メッシュ補正量の概略を評価することが可能と考えられる。ここでは1次元計算を実際に行い、これに基づいて検討を行った。

体系は1次元無限平板、厚さ70 cmのステンレス鋼からなり、図1 2. 2の2次元体系の軸方向を模擬している。使用コードは前記と同じくDOT-IVを用いた。計算パラメータは2次元計算と同一である。この体系に対して次の計算を実施した。

- | | |
|-----------------|-----------|
| a) 0. 5メッシュ/mfp | (10メッシュ) |
| b) 1メッシュ/mfp | (20メッシュ) |
| c) 2メッシュ/mfp | (40メッシュ) |
| d) 4メッシュ/mfp | (80メッシュ) |
| e) 8メッシュ/mfp | (160メッシュ) |

結果を図1 2. 7に示す。1次元計算においては差分式のモードによらず、ほぼ同一の値が得られた。また吸収量、右側境界からの漏洩量のメッシュ数依存性の傾向も、2次元計算結果と同一である。

この図から、吸収量は2メッシュ/mfp以上のメッシュ数では値が同一となり無限メッシュの計算結果とみなせることがわかる。すなわち、1次元計算では2～3メッシュ/mfp程

度をとれば、体系内の中性子分布は有限メッシュ幅の影響を受けない。一方、右側境界からの中性子漏洩量は、4メッシュ/mfpと8メッシュ/mfpの結果でもまだ一致が見られないものの(約3%の差)、一定値に近づく傾向は見られる。体系内の中性子束は2メッシュ/mfp程度でもメッシュ効果の影響を受けていないことから、右側境界近傍の中性子束の勾配の大きい領域において、メッシュ中心中性子束から境界上の角度束を外挿する際の誤差が残っているものと考えられる。

(2) 2次元計算メッシュ補正への1次元計算の適用可能性

以上検討してきた通り、少なくとも境界線源問題については、2次元計算のメッシュ効果と1次元計算のメッシュ効果がほぼ同一の傾向を示すことがわかった。そこで実用上の問題を考慮して、2次元計算メッシュ補正を1次元計算による補正で代用できるかどうかの検討を行う。

2次元および1次元計算の結果のうち、軸方向80メッシュのケースを基準としてそれ以下のメッシュ数の計算値との差を、メッシュ効果による誤差とみなしてあらわした結果を図12.8および図12.9に示す。

図12.8は吸収量について示したものである。P₃S₄8近似では、Linear-zeroモードの計算値がほぼ1次元計算と同じ程度の誤差であるので、1次元計算による補正量の評価値をそのまま適用できる。しかし、Weightedモード(およびここに示していないがθ-Weightedモードも)では、1次元計算は誤差を過小評価しており、適用上やや問題がある。一方、図12.9に示す上部漏洩量については、同じメッシュ幅で見ると1次元計算の方が誤差が大きいことがわかる。したがって、漏洩量のメッシュ幅依存性は大きいものの、1次元計算でその上限を予想することが可能である。

12.6 結論

2次元 S_N 遮蔽解析でしばしば取扱うRZ体系での境界線源問題について、DOT-IVコードによりメッシュ効果を検討した。得られた知見は次の通りである。

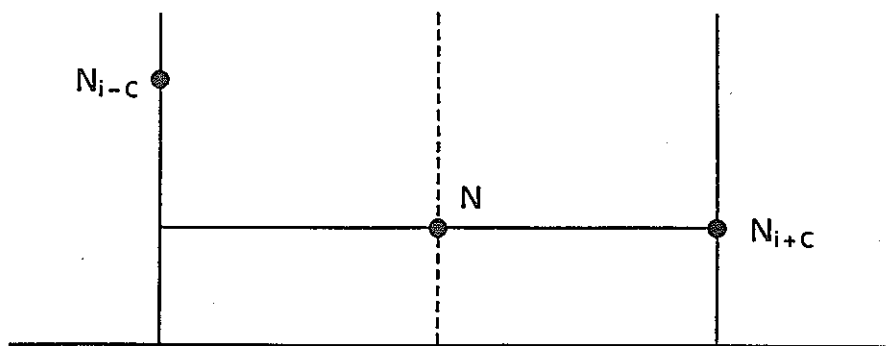
- (1) 透過問題では、系内の中性子吸収量および系からの漏洩量の誤差が、透過方向のメッシュ幅にほぼ比例し、原則的に無限メッシュへの外挿が可能である。
- (2) 一般には軸方向の中性子勾配が大きいので、その方向のメッシュ効果が系全体のメッシュ効果を支配している。したがって、軸方向メッシュのみ細分化した計算により大まかな評価が可能である。また、実用上は1次元計算によって補正量の上限を評価することができる。
- (3) JASPERサブワーキンググループで問題となっていた“径方向メッシュ効果”はWeightedモードにおける“メッシュ分割法の効果”である。
- (4) DOT-IVコードのWeightedと θ -Weightedの両モデルを比較すると、精度の点で後者が優っており、今後このモードで解析を行うことが望まれる。

なお、本検討ではDOT-IVコードによりメッシュ効果を調べたが、DOT-IVコードのWeightedモードとDOT3.5のそれとは理論上殆ど差がない。したがって、上記の結論はDOT3.5コードについても同様となる一般的なものである。

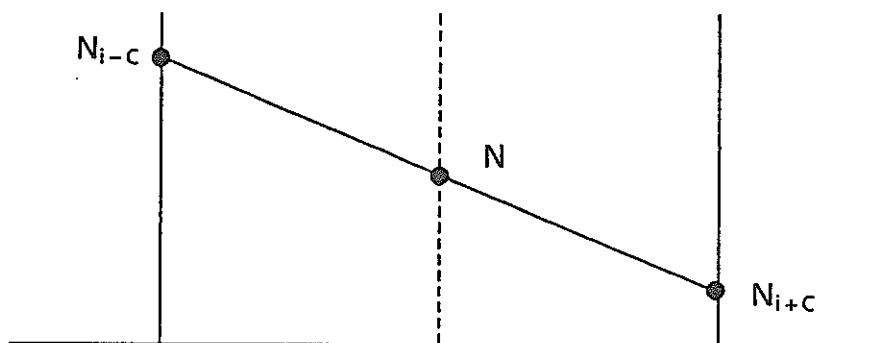
(株) 三菱総合研究所 角田

参考文献

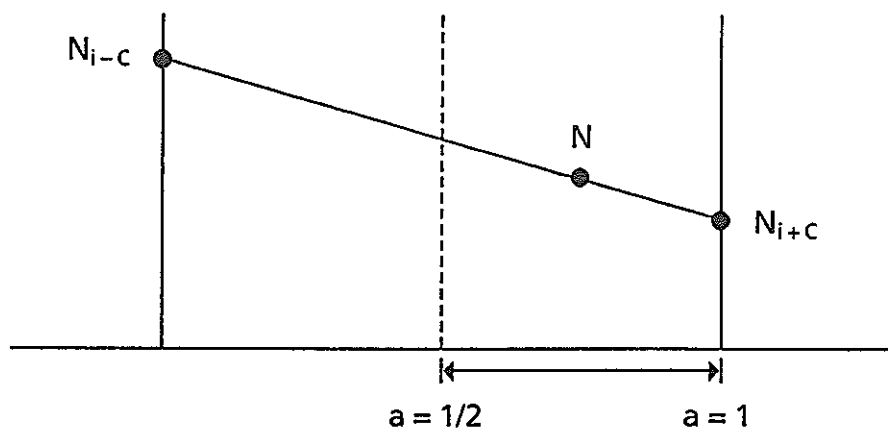
- (1) W. A. Rhoades and R. L. Childs, "DOT IV Version 4.3, One- and Two-Dimensional Transport Code System," CCC-429, ORNL-5851, (1982)
- (2) K. D. Lathrop, "Spatial Differencing of the Transport Equation: Positivity vs. Accuracy," Journal of Computational Physics, 4, 475-498, (1969)
- (3) E. T. Tomlinson, et al., "Flux Extrapolation Models used in the DOT IV Discrete Ordinates Neutron Transport Code," ORNL/TM-7033, (1980)



(1) ステップ近似

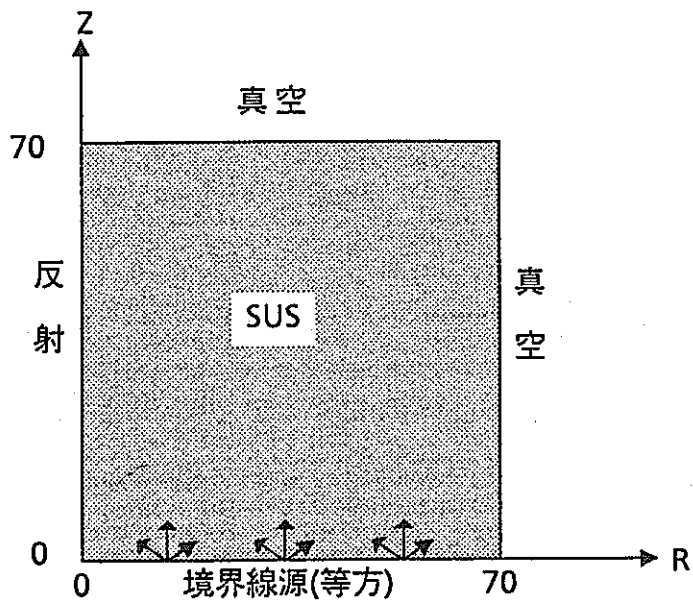


(2) ダイヤモンド差分近似



(3) 重み付き差分近似

図 1 2 . 1 各差分近似の概念図



計算パラメータ
 ・ P_3S48 および P_0S48
 ・ $\epsilon_\phi = 0.001$

図 1 2 . 2 2次元計算体系

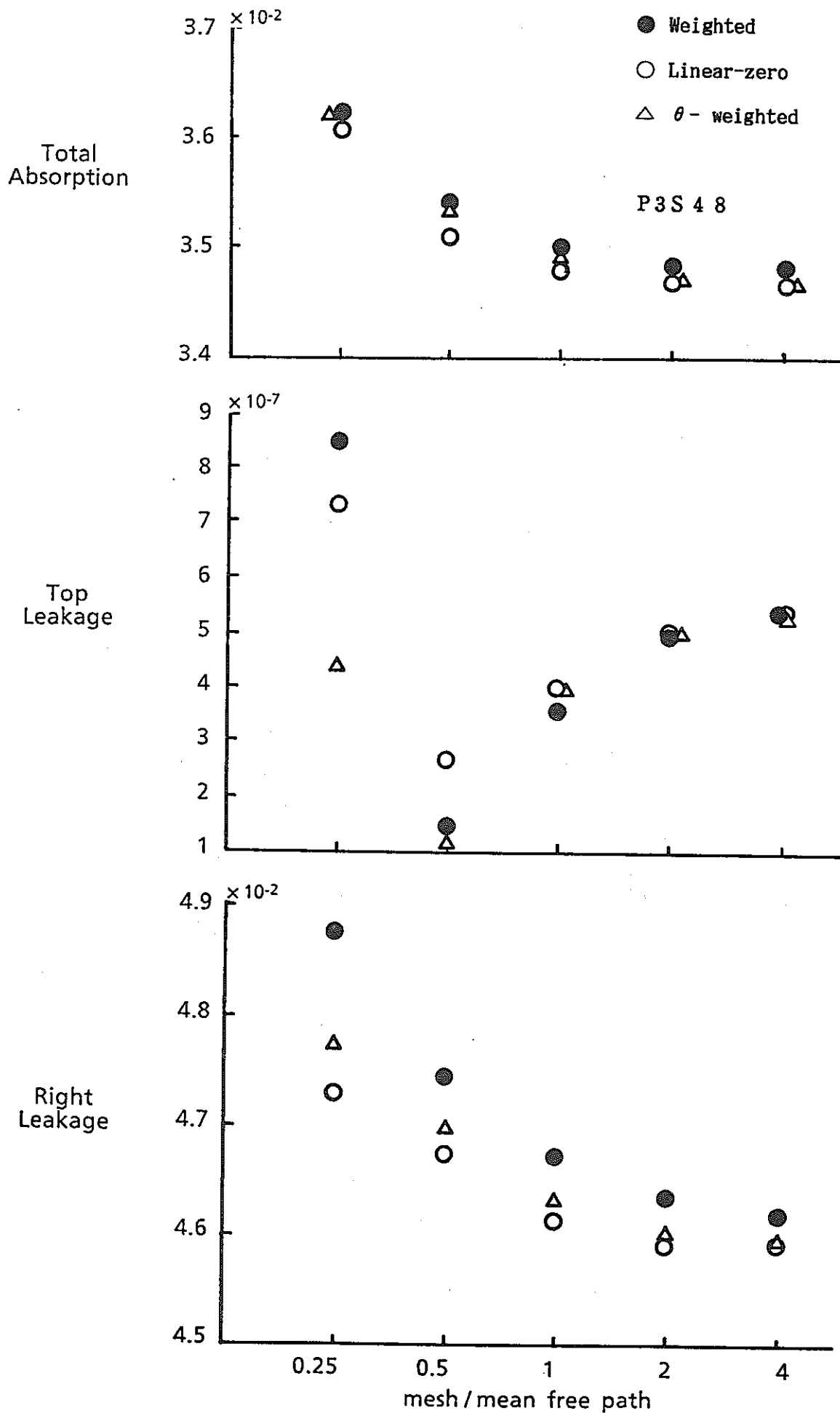


図 1 2 . 3 P₃S 4 8 近似でのメッシュ幅に依存した吸収および漏洩量

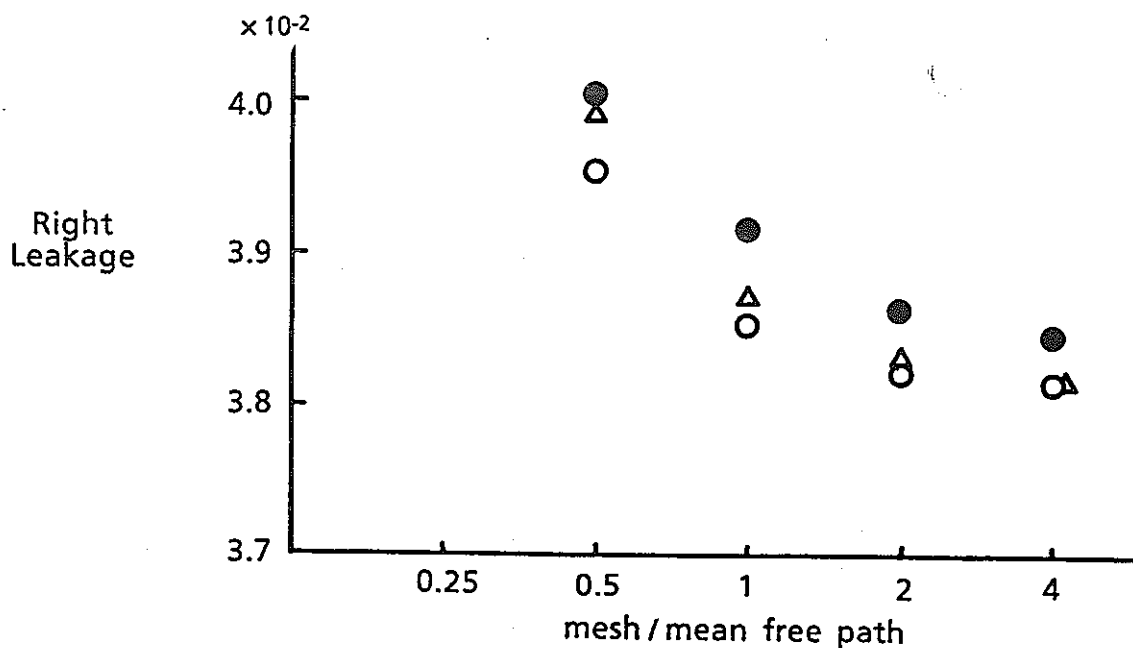
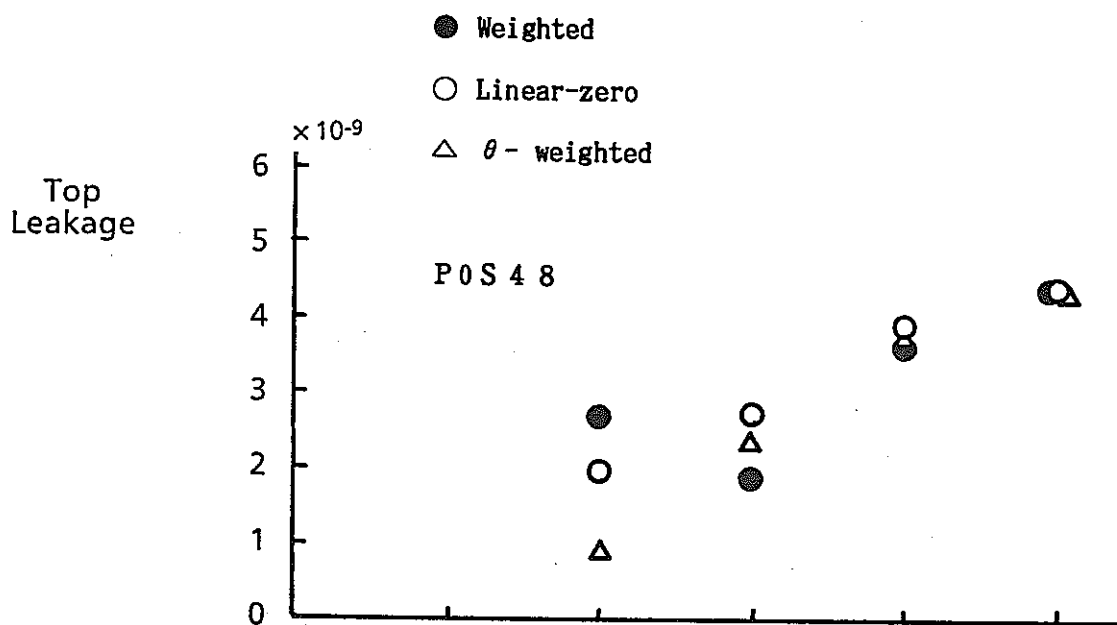
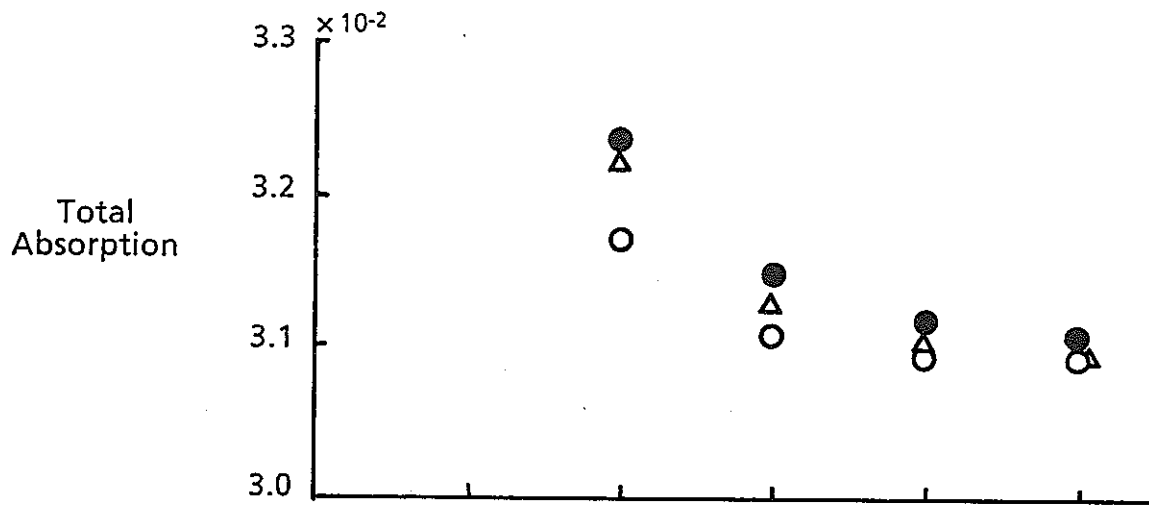


図 1 2 . 4 . P₀S 4 8 近似でのメッシュ幅に依存した吸収および漏洩量

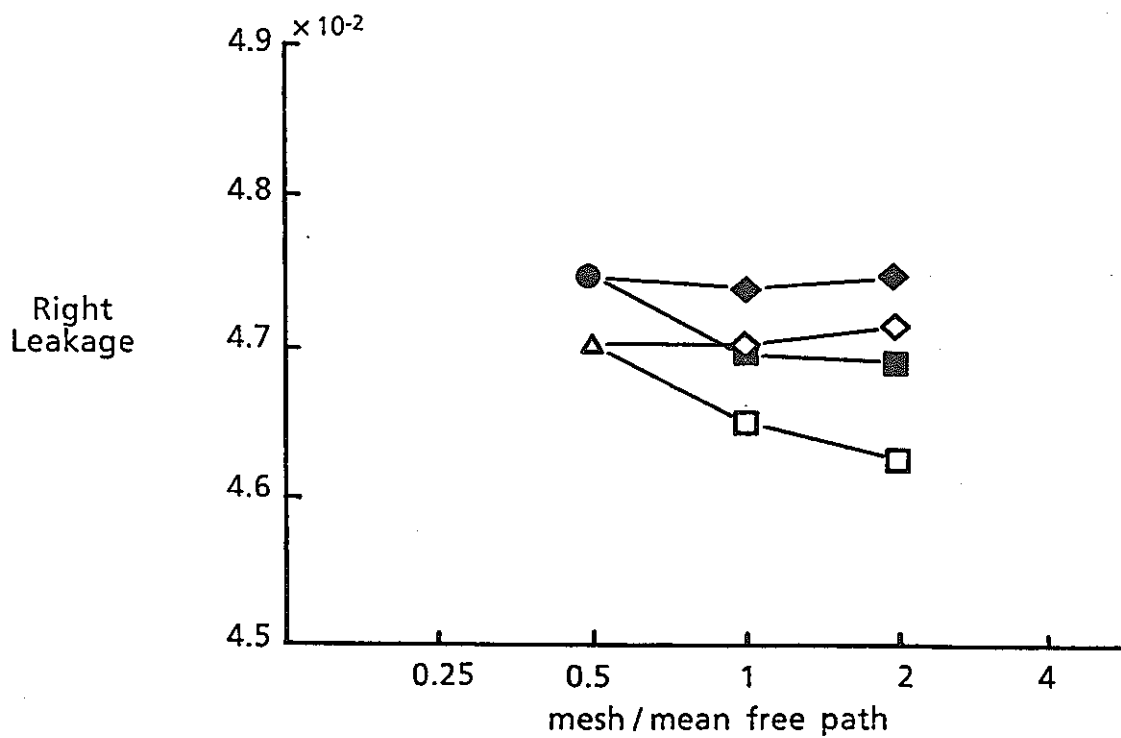
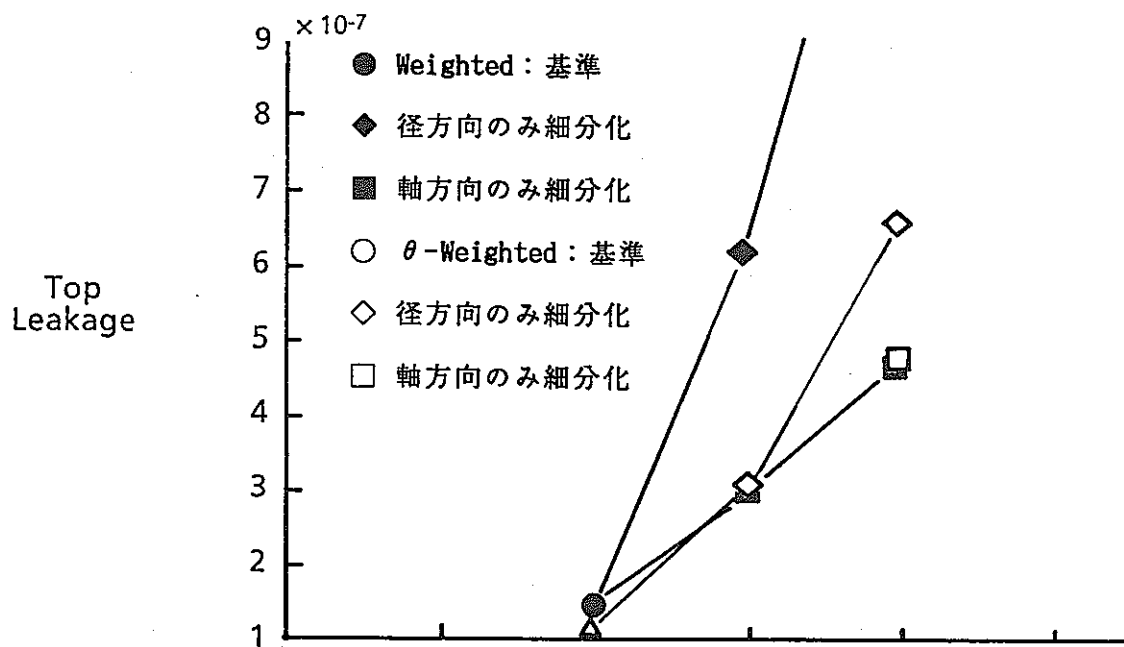
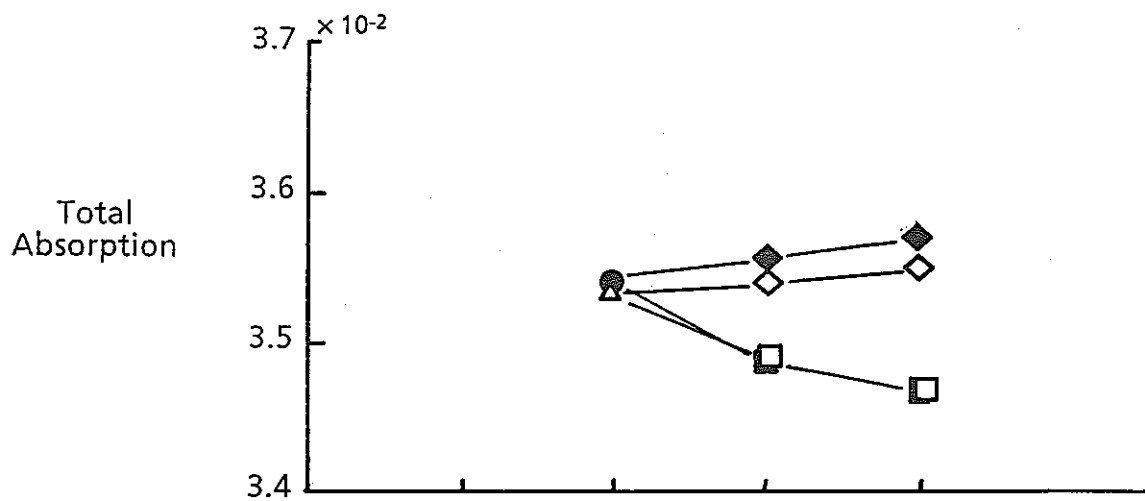


図 1 2 . 5 メッシュ分割法効果サーベイ結果

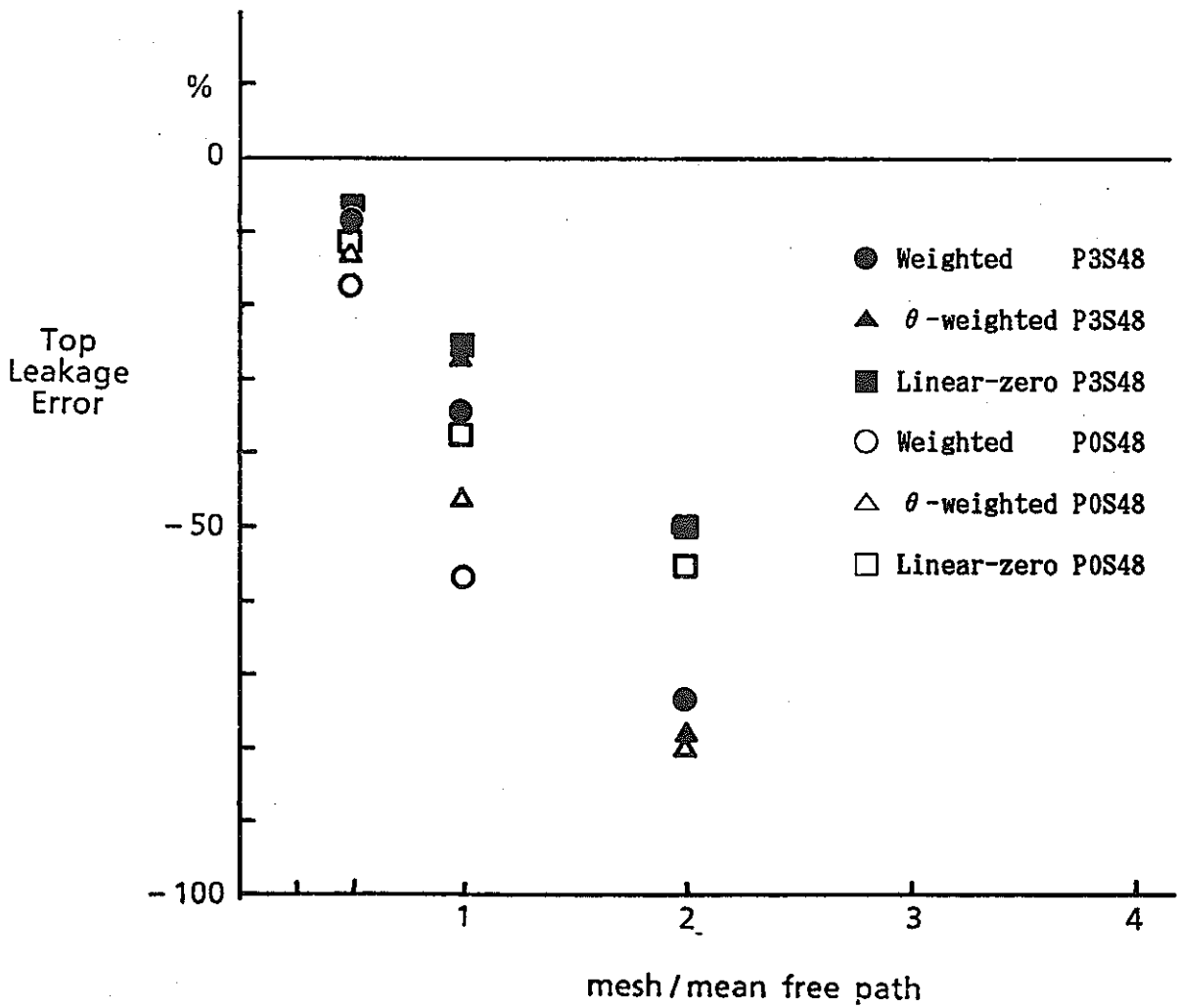
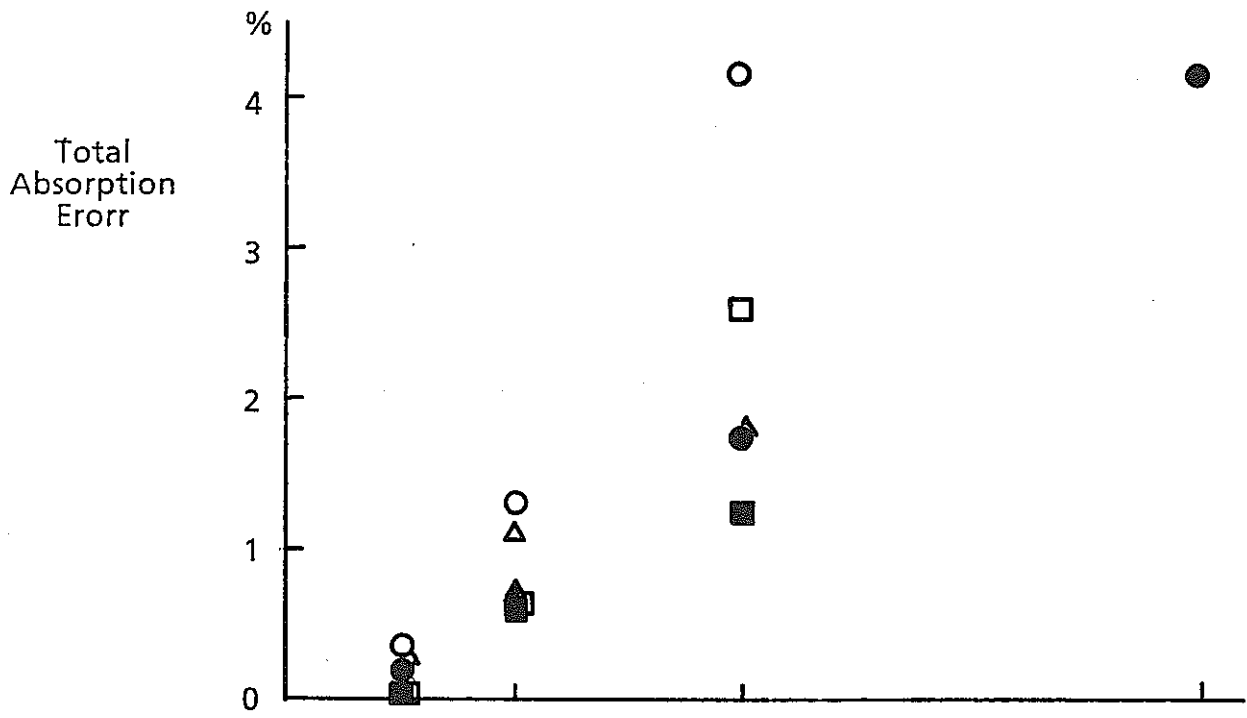


図 1 2 . 6 2次元計算におけるメッシュ幅に依存した誤差

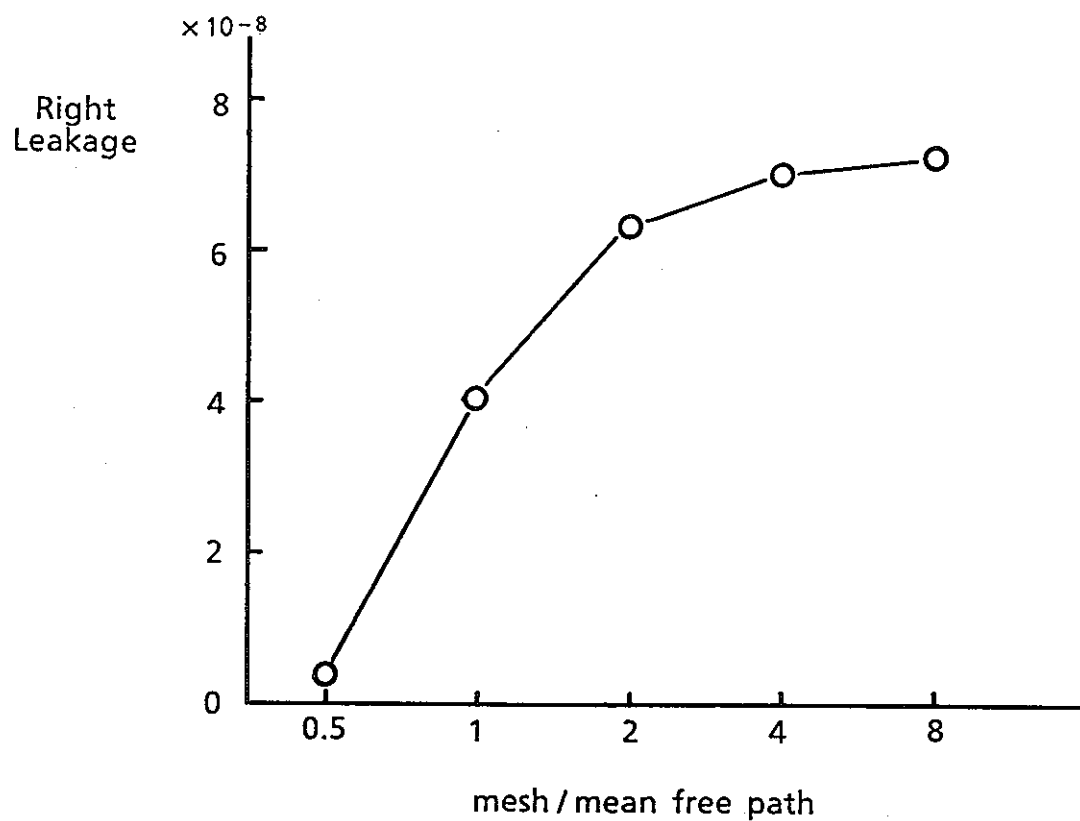
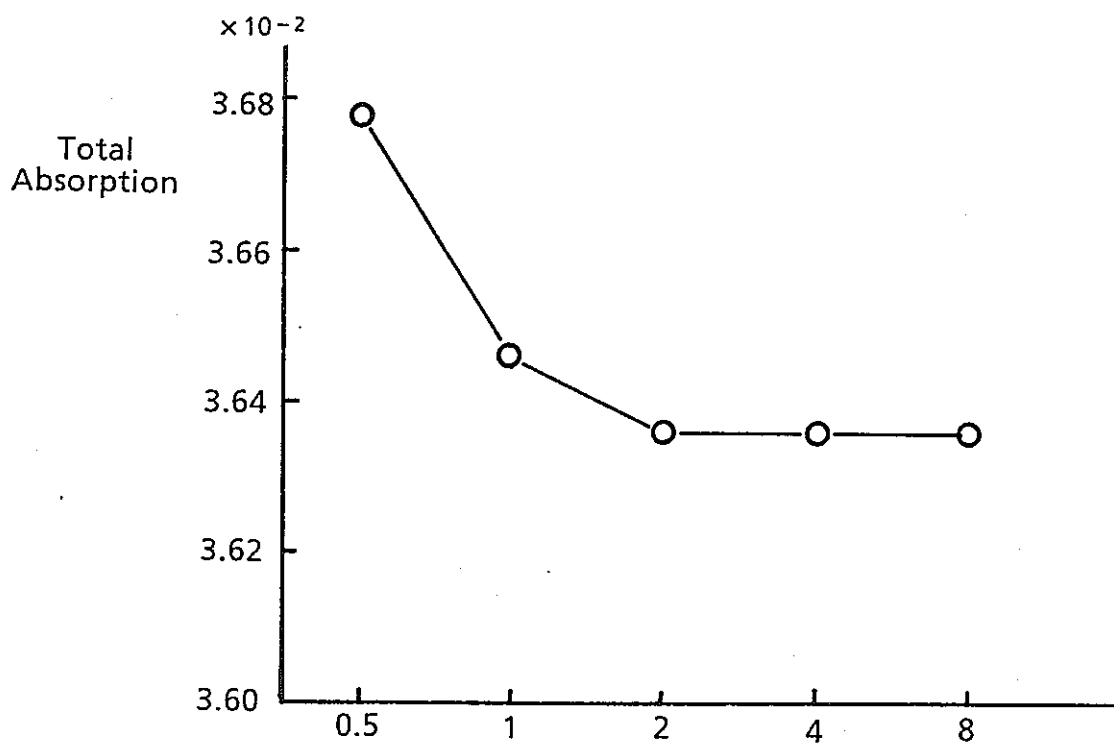


図 1 2 . 7 1次元計算におけるメッシュ幅に依存した吸収および漏洩量

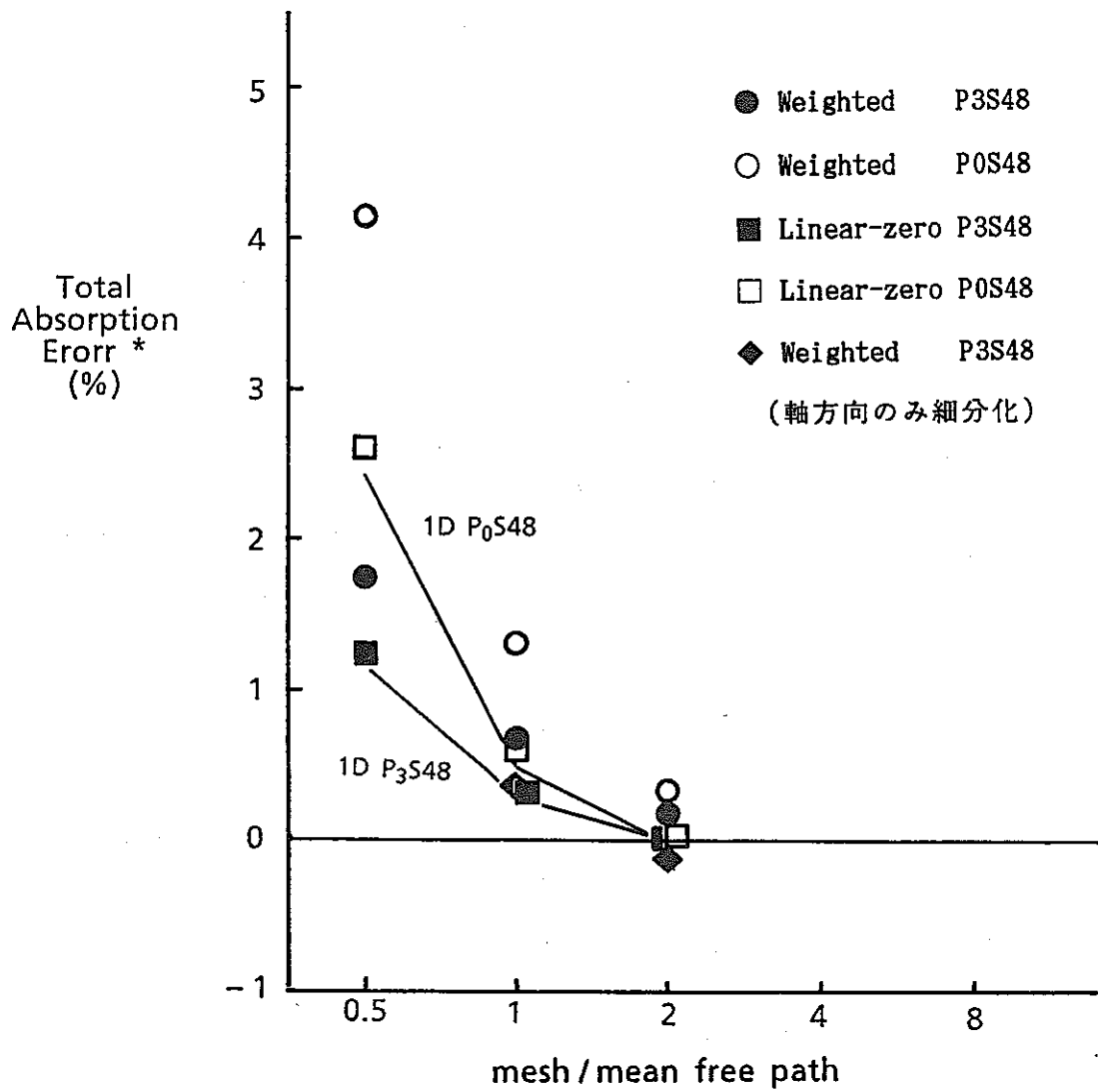


図 1 2 . 8 1次元計算と2次元計算のメッシュ効果の比較 (吸収量)

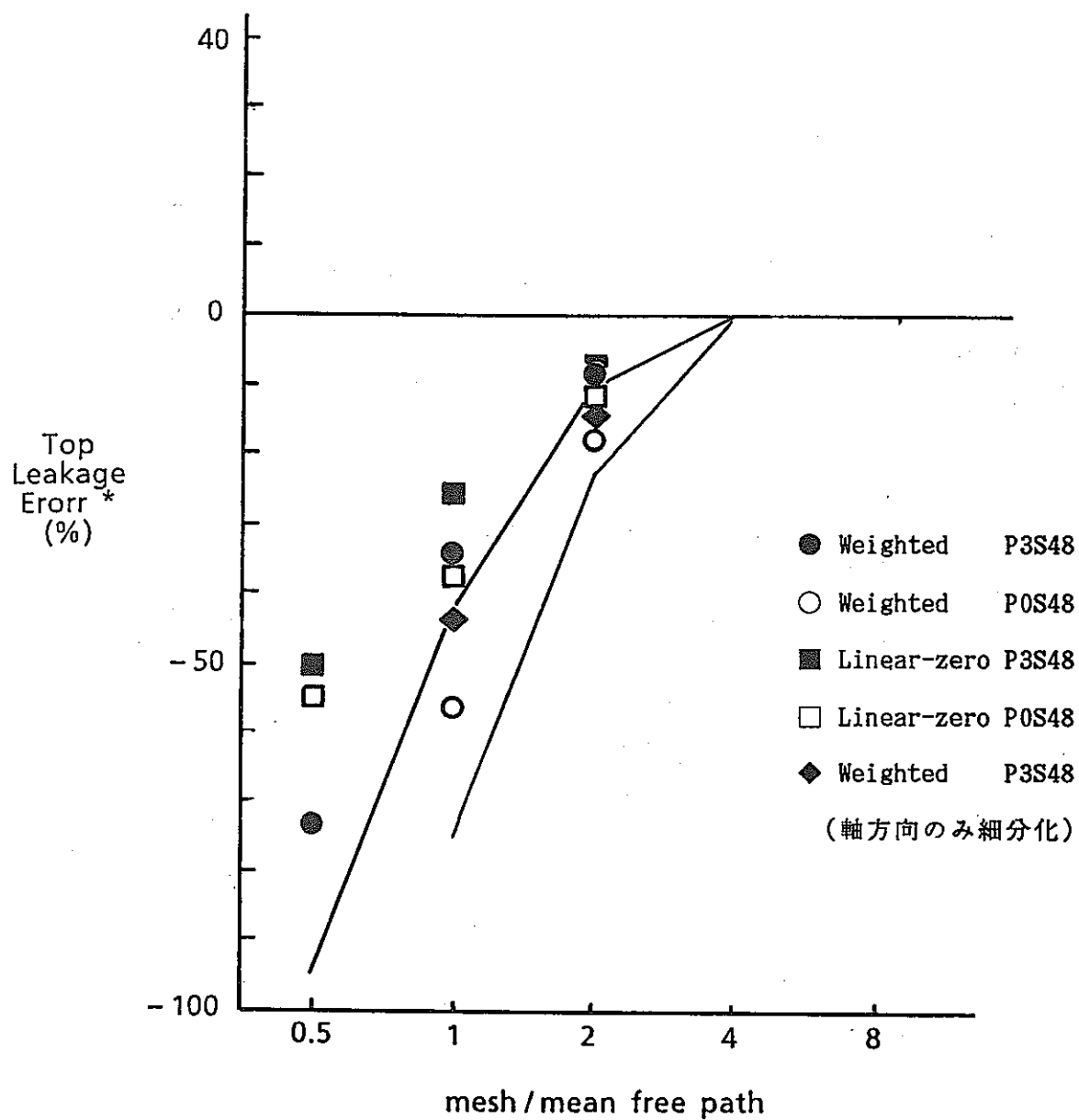


図12.9 1次元計算と2次元計算のメッシュ効果の比較 (漏洩量)

13 炉心まわり遮蔽設計解析手法の検討

高速炉において、炉内構造物の中性子累積照射量(nvt)、2次冷却系ナトリウム放射化量等が遮蔽設計計算の対象となっている。これらの設計量を評価する上でIVSにおける核分裂発生中性子の影響、および評価位置までの主要な中性子透過経路を検討することが重要である。今回ループ型高速実証炉を対象として、IVS内での核分裂中性子発生量の評価および炉心槽の中性子束最大照射位置への透過経路の評価手法についての検討を行った。

13.1 IVS内の核分裂中性子発生量の評価

13.1.1 目的

炉内構造物のnvt、2次冷却系ナトリウム放射化量を評価する際の炉内中性子束分布の2次元計算は、計算時間の節約のため第一近似としてIVSにおける核分裂発生中性子を考慮しないで行うのが一般的である。核分裂発生中性子を考慮しない炉内中性子束分布は図13.1.1に示すようになる。この場合、IVSに近い位置にある炉心槽のnvt制限値および2次冷却系ナトリウム放射化量の基準値を、IVSでの核分裂発生中性子を考慮した上で満足することを確認する必要がある。よって計算時間節約のため炉心槽およびDHXに着目した小体系において、IVS内での核分裂中性子発生量の評価を行った。

13.1.2 解析方法

図13.1.2-1に示す炉心槽およびDHXの位置する領域を含むIVS内中性子発生量検討用体系において、JSDJ2中性子100群断面積を(核分裂+1/E)スペクトルにより21群に縮約した群定数を用いた計算を行なった。使用したコードは2次元輸送計算コードDOT3.5である。左側境界条件は外部境界条件とし、図13.1.1に示したIVSの核分裂発生中性子が考慮されていない2次元計算結果の当該境界での角度束を

用いた。解析条件を表13.1.2に、メッシュ分割構成を図13.1.2-2に示す。IVS内の核分裂発生中性子の増倍計算は、Outer iterationを複数回繰り返すことにより行った。このときあるOuter iteration回において各エネルギー群のInner iterationがすべて一回で終了した場合に収束していると判断し計算を終了させた。

13.1.3 結果および検討

今回の解析条件においてはOuter iterationは7回で収束した。核分裂発生中性子を含む炉内中性子束分布を図13.1.3-1に示す。また図13.1.3-2に、核分裂を考慮していない炉内中性子束のIVS内核分裂発生中性子による増加割合を等高線で示す。IVS内核分裂発生中性子の割合が最も高いのはIVS外側の可動遮蔽体内で、全中性子束が最大2.7倍、高速中性子束が最大4.1倍となる。今回解析したループ型高速実証炉では、出力領域系中性子計装の成立を図るため燃料集合体および可動遮蔽体の下部にガスプレナム領域が設けられている。このためIVS内における核分裂発生中性子は、炉心からの漏洩中性子と同様に下部ガスプレナム領域を漏洩してくる成分が大きい。炉心槽におけるIVS内核分裂発生による中性子束の最大照射位置は炉心中心面より下方向約100cmの位置になる。この結果IVS内での核分裂を含む中性子束の最大照射位置は、核分裂を考慮しない場合と同じく炉心中心面から下方向126cmとなり、中性子束の増加は全中性子束で1.7%、高速中性子束で3.2%となる。またDHX表面に相当する位置における中性子束の最大位置もIVS内での核分裂を考慮しない場合と同じく炉心中心面から上方向226cmで、全中性子束の増加は0.5%となる。よってIVS内での核分裂による炉心槽のnvtおよび2次系ナトリウム放射化量への影響は十分小さいことを確認することができた。

13.2 炉心槽の中性子束最大照射位置への透過経路評価

13.2.1 目的

今回解析を行ったループ型高速実証炉においては、図13.1.1に示すように炉心槽の中性子束最大照射位置は炉心中心面ではなく、下部ガスプレナム領域を漏洩してくる中性子により炉心中心面から下方向126cmの位置になる。このとき炉心から炉心槽最大照射位置までの中性子透過経路を把握することにより、実験解析から得られた単位長さ当りのE/C補正係数を用いて設計量を求める場合の補正量を適切に評価することが可能になる。今回、空間感度解析を適用することにより中性子の透過経路の評価を行った。

13.2.2 方法

空間感度解析では、炉内中性子束分布計算と炉心槽最大照射位置における高速中性子を随伴源とした随伴中性子束計算結果を重ね合せ、炉心槽最大照射位置における高速中性子束照射量に対する寄与率の空間分布を求めることができる。今回の随伴計算は図13.1.2-1に示す寄与率計算用体系において、2次元輸送計算コードDOT3.5を用い行った。使用した断面積はJSDJ2である。図13.1.2-2にメッシュ分割構成を示すが、炉内中性子束分布計算時での該当領域におけるメッシュ分割構成と同一である。解析条件は左側境界条件を等角反射とし、随伴源を炉心槽最大照射位置（メッシュ（67,52））とした以外は表13.1.2と同じである。随伴源のエネルギー分布は、0.1MeV以上の高速中性子照射を考慮し1～8群を1.0、9群を0.5612とした。

炉内中性子束計算結果と随伴中性子束計算結果との重ね合せは、次式により行った。

$$C(r) = \int dE \int d\vec{\Omega} \phi(r, E, \vec{\Omega}) \cdot \phi^*(r, E, \vec{\Omega})$$

$C(r)$: 位置 r における寄与率

ϕ : 中性子角度束

ϕ^* : 随伴角度束

以上より求めた $C(r)$ は炉内の各位置における高速中性子が、炉心槽に与える寄与の相対的な分布を示しており、主要な透過経路においてピークを示す。

13.2.3 結果および検討

図13.2.3に炉心槽への寄与率の空間分布を示す。実線で示した寄与率のピーク位置が透過経路の中心となる。透過経路を保守的に評価した破線との透過距離の比較を表13.2.3に示す。ステンレス透過距離では約47%、ナトリウム透過距離では約52%短くなる。この結果、JASPER実験解析およびナトリウム深層透過実験解析に基づくE/C補正係数は保守的評価の場合2.21であったものが、今回の評価では1.71と23%小さくなった。

本方法はDHXまでの透過経路を評価する場合にも適用することが可能である。今回解析したループ型高速実証炉のように炉内構造物への透過経路が単純に炉心中心面の径方向とはならない場合、空間感度解析を行い実際の透過経路を把握することによりE/C補正係数の合理的な評価が可能になる。

今回の評価はピークを示した透過経路の中心において行ったが、すべての中性子がこの透過経路に沿って漏洩してくるわけではない。従って、透過経路の幅を考慮する等の経路に関する誤差評価が今後の課題となる。

川崎重工業(株) 清水

参考文献

- (1) W.W.Engle "The Concept of Spatial Channel Theory Applied to Reactor Shielding Analysis."
Nuclear Science and Engineering:62,92-104 (1977).
- (2) M.L.Wikkams F.B.Sladler "The Fang Angular Folding Code for Channel Theory Analysis." ORNL/TM-5228 (1977)

表13.1.2 IVS 内中性子発生量解析条件

計算コード	D O T 3 . 5
断面積ライブラリー	J S D J 2
エネルギー群数	中性子 2 1 群
P ₁ 次数	P ₃
S _n 分点数	S 3 0
収束判定条件	0 . 0 0 5
座標系	(R , Z) 座標系
境界条件	
左	外部境界線源
右	真空
上	真空
下	真空

表 13.2.3 炉心槽最大照射位置までの透過距離

透過構造物	透過距離 (cm)			
	保守的評価経路		空間感度解析による 評価経路	
	S U S	N a	S U S	N a
F/A* ¹ 支持プラグ	4 . 3	2 . 5	6 . 3	3 . 6
F/A ガスプレナム部	4 4 . 3	7 2 . 0	—	—
R/B* ² ガスプレナム部	5 . 5	8 . 2	6 . 3	9 . 4
RRS(SUS)ナトリウムプレナム	5 . 9	8 . 9	6 . 4	9 . 7
RRS(B ₄ C) ガスプレナム	1 1 . 5	1 7 . 1	1 2 . 0	1 7 . 8
I V S ガスプレナム部	4 . 6	7 . 5	4 . 8	7 . 8
側部ナトリウム部	0 . 0	2 2 . 6	0 . 0	2 2 . 9
合 計	6 8	1 2 5	3 6	7 2

*1 F/A : 燃料集合体

*2 R/B : 径方向ブランケット

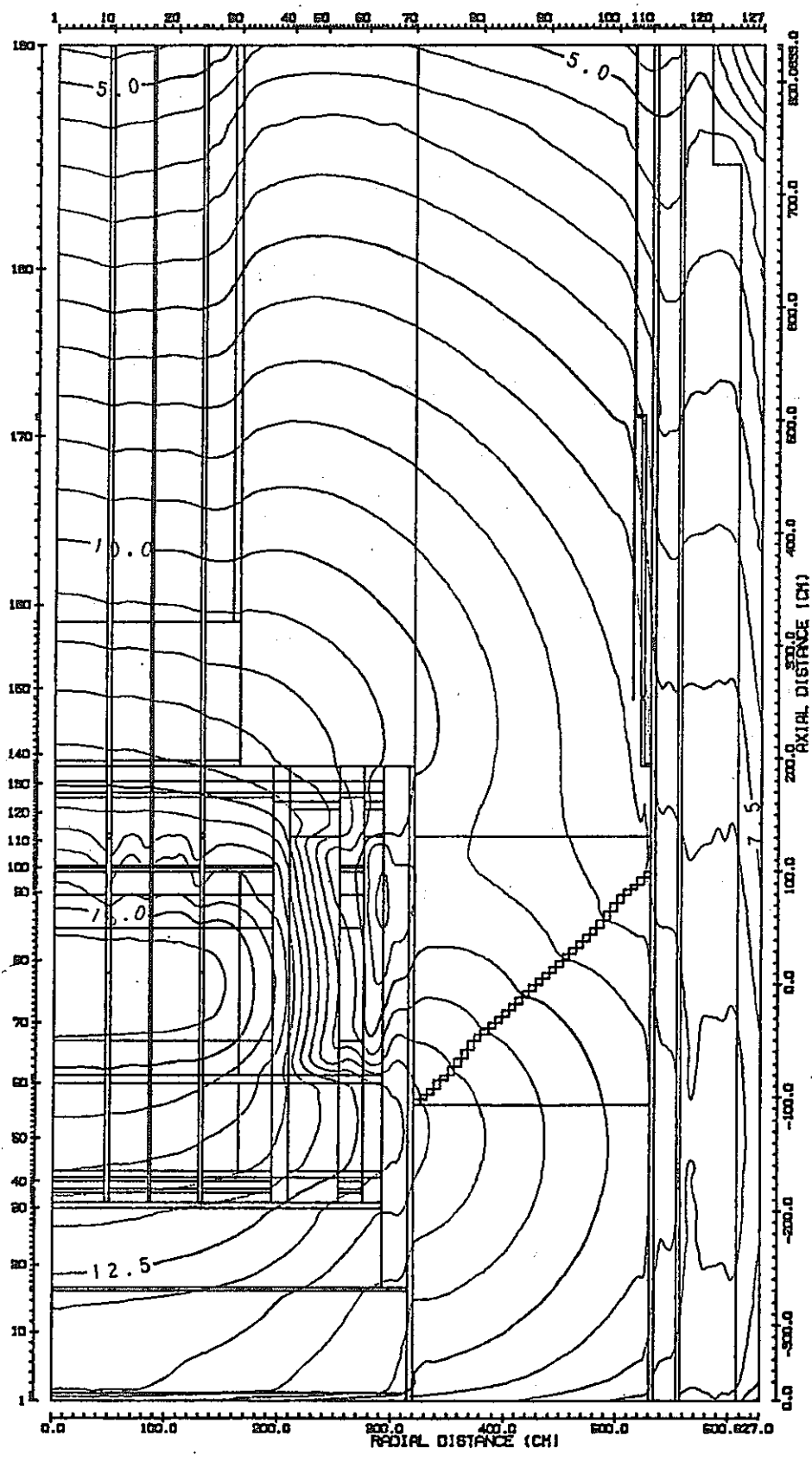


図13.1.1 ループ型高速実証炉炉内全中性子束分布

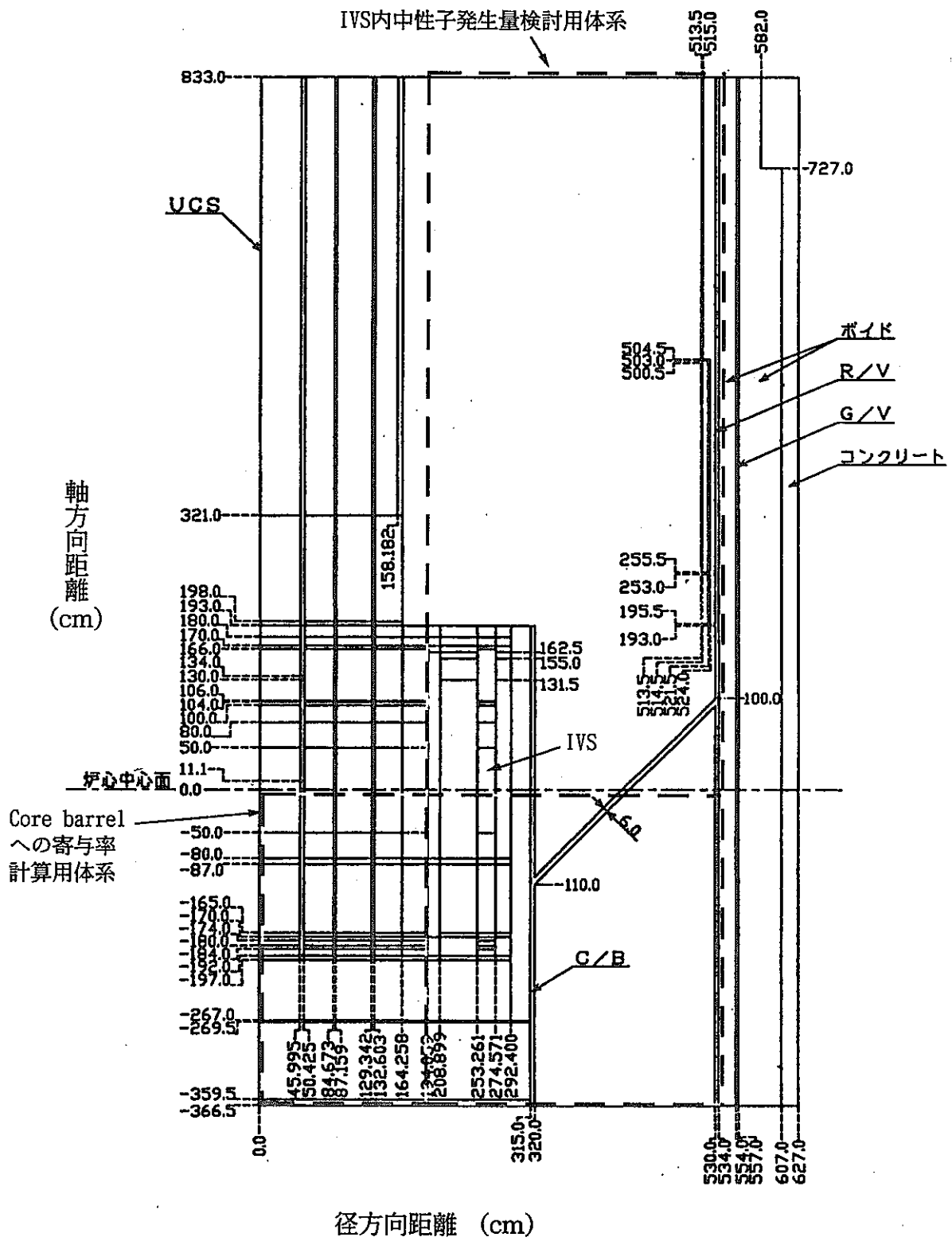


図13.1.2-1 ループ型高速実証炉2次元解析モデル

IVS効果検討用体系

寄与率計算用体系

R/V	534.0	2
	530.0	2
	524.0	1
	521.5	1
	518.0	1
ナトリウム	515.0	1
	514.5	1
	513.5	1
	512.0	1
		32
炉心槽	320.0	2
ナトリウム	315.0	4
	292.4003	5
径方向しゃへい体 (B ₄ C)	274.5707	5
IVS	253.2612	5
径方向しゃへい体 (B ₄ C)	238.495	5
	223.709	5
	208.8991	3
径方向しゃへい体 (SS)	194.0591	6
径方向ブランケット	164.2577	2
外側炉心	152.1066	2
	137.3502	1
C/R	132.6034	2
内側炉心	129.3422	6
	87.1586	2
C/R	84.6729	5
内側炉心	50.425	2
C/R	45.995	7
内側炉心	0.0	

径方向距離 (cm)

メッシュ数

図13.1.2-2 ループ型高速実証炉2次元解析モデル
メッシュ分割構成 (径方向)

IVS効果検討用体系はすべてモデル化

寄与率計算用体系は-366.5cmから0.0cm
(図における右側)をモデル化

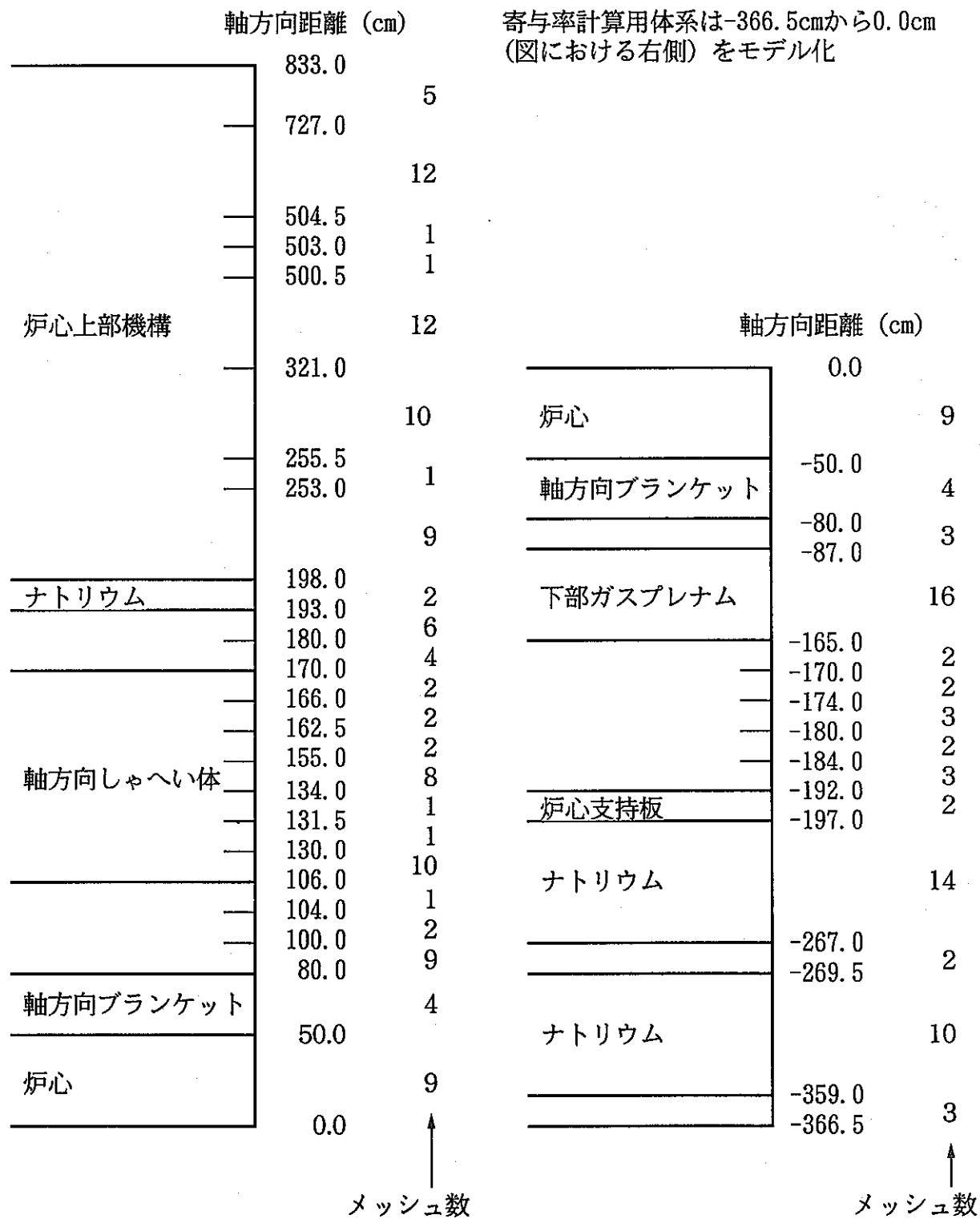
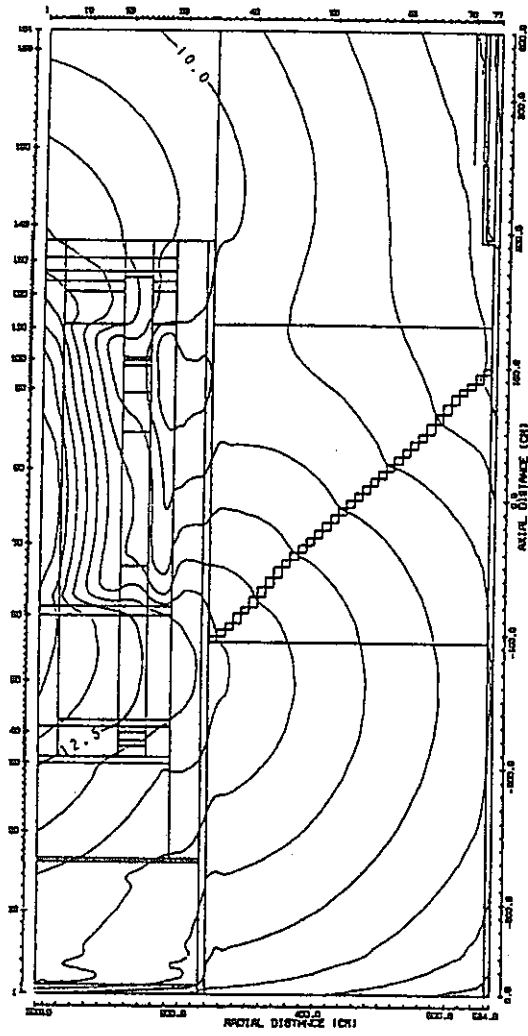
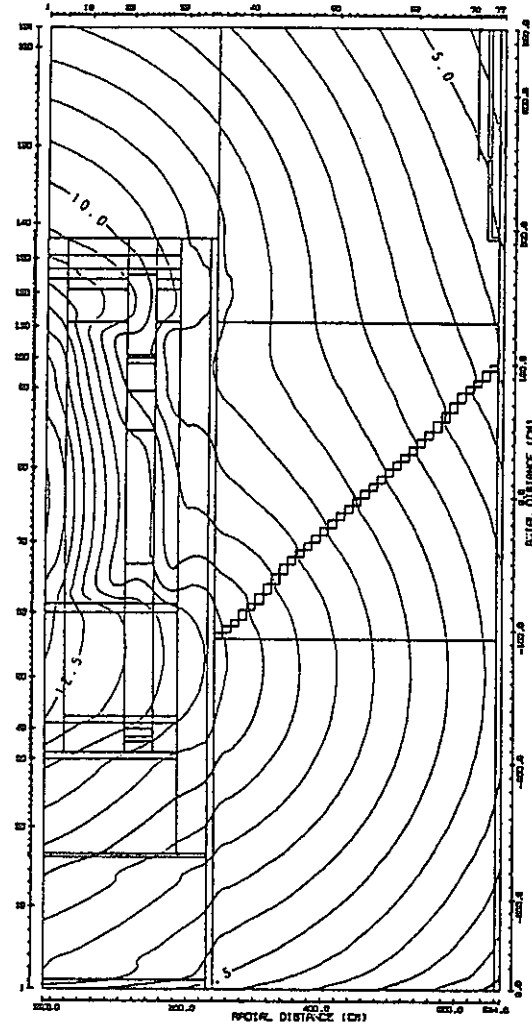


図13.1.2-2 ループ型高速実証炉2次元解析モデル
メッシュ分割構成 (軸方向)

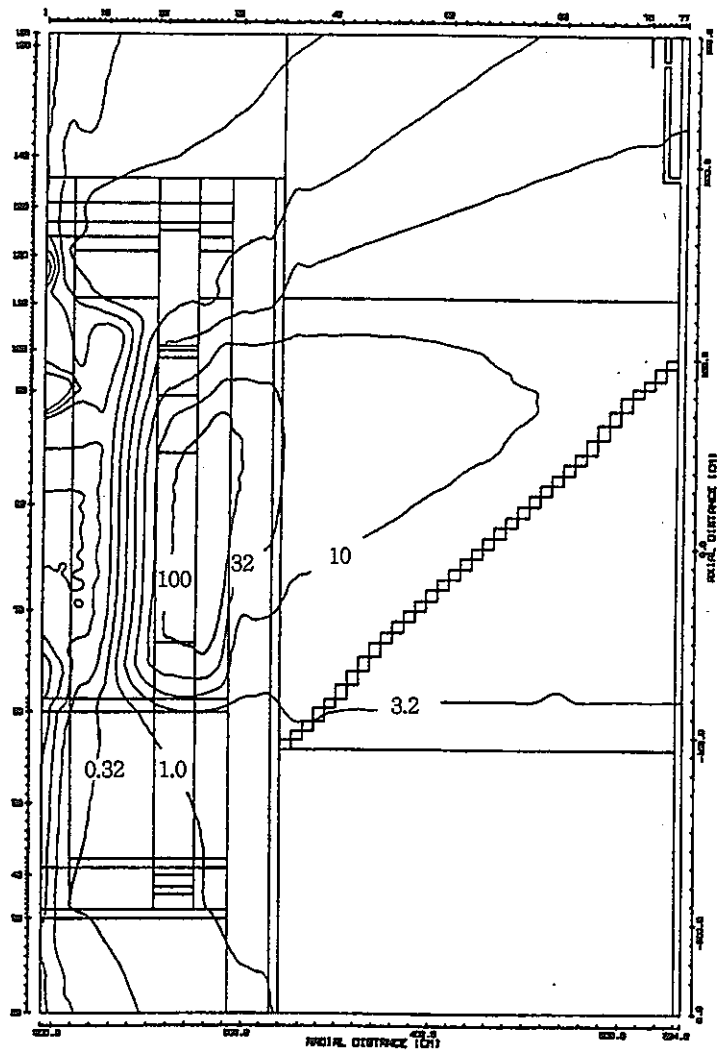


全中性子束

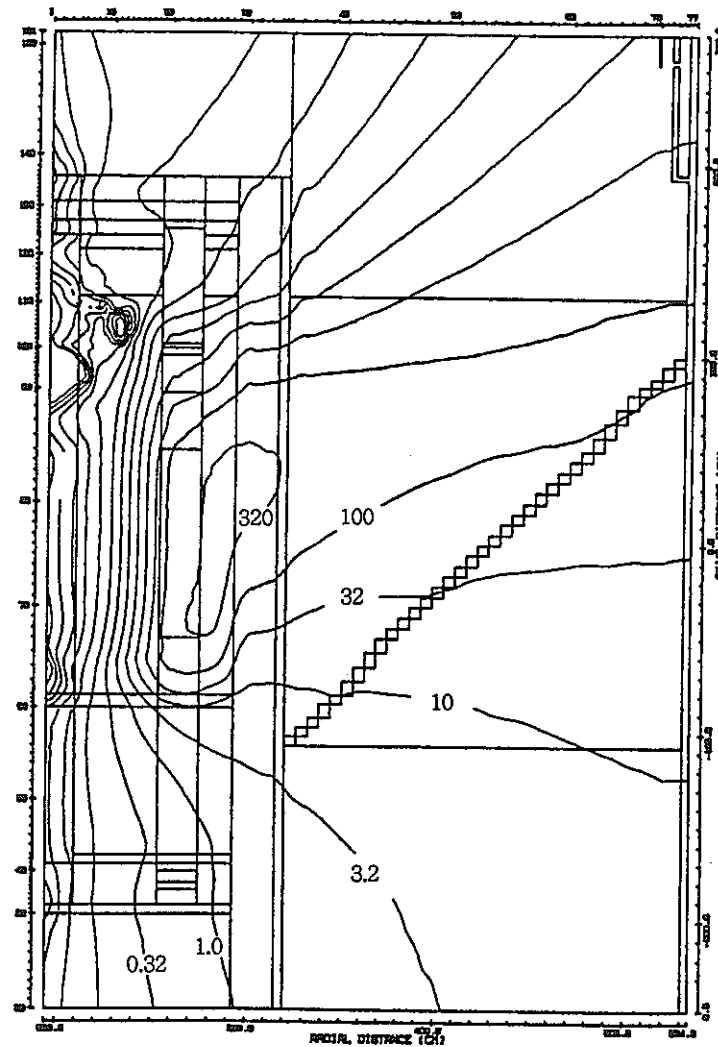


高速中性子束

図 13.1.3 - 1 核分裂発生中性子を含む炉内中性子束分布



全中性子束



高速中性子束

図 13.1.3 - 2 核分裂を考慮していない炉内中性子束の核分裂発生中性子による増加割合 (%)

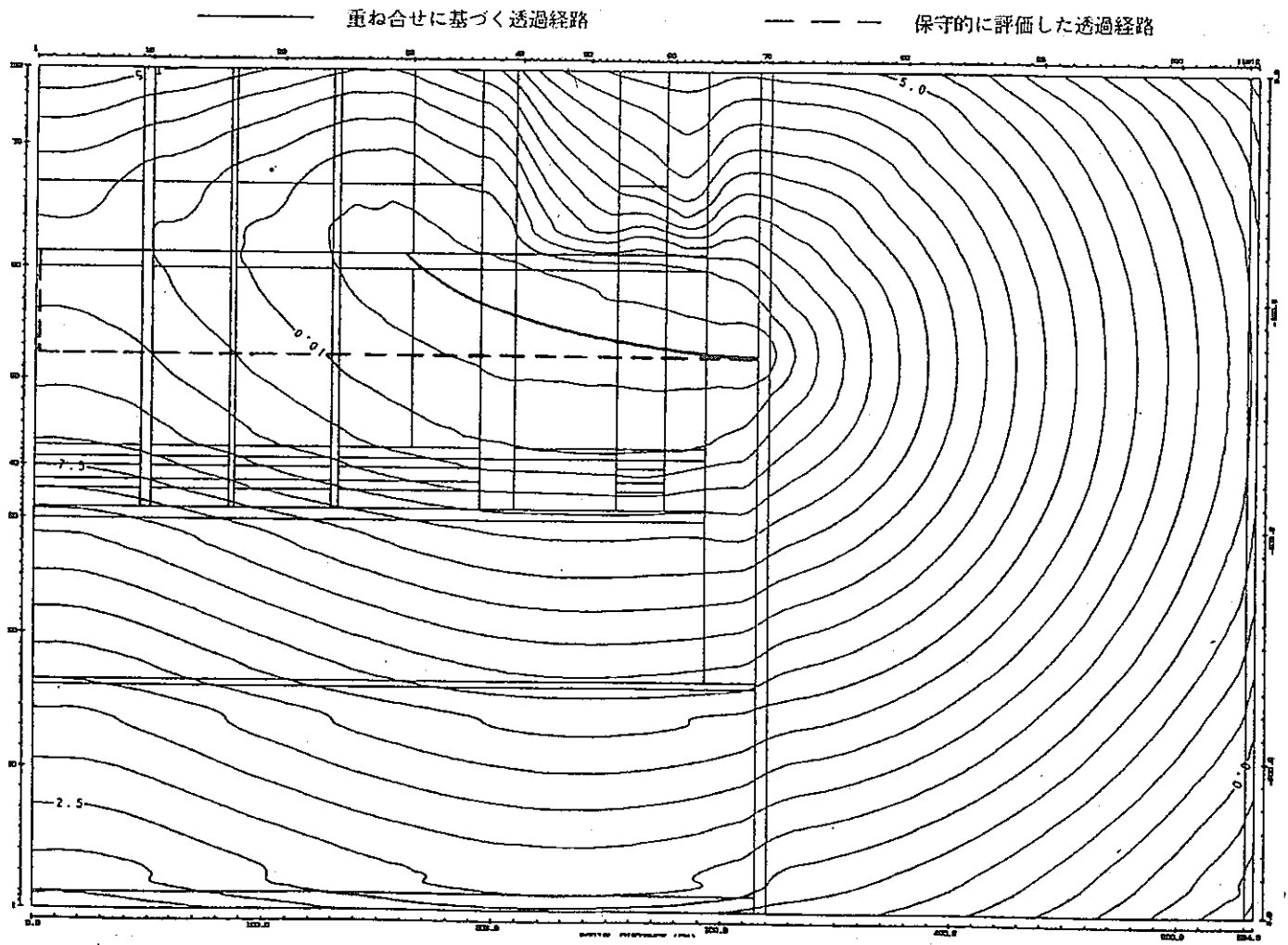


図13.2.3 炉心槽までの透過経路

14. 遮蔽ベンチマーク実験のデータベース化

14.1 実験データ集の作成

JASPER計画の第2の実験である、ガスプレナム・ストリーミング実験 (Pissoon Gas Plenum Experiment) について、実験データ集を作成した。本データ集は、実験内容を理解するのに必要なデータ、及び実験を解析するのに必要なデータを集大成することを目的に、実験体系、実験供試体、測定器データ及び測定値等についてまとめたものである。

JASPERガスプレナム・ストリーミング実験は、大型高速炉の遮蔽設計上の課題を解決するため、実機模擬体系におけるストリーミング効果を、実験的に検証することを目的として実施されたものである。実験は昭和62年1月末から同年2月末まで、5つの体系について実施された。測定は球形BF。検出器に球殻状のポリエチレン減速体を装着したボナーポール検出器、NE-213液体シンチレーション計数管、反跳陽子計数管 (ベンジャミン計数管)、ホニャックボタンおよびCR-39 固体飛跡検出器により行われ、実験体系後方の積分中性子束とスペクトルが測定された。

なお、本データ集の作成にあたっては、ORNLレポート¹⁾及び動燃団現地駐在員の派遣員メモ^{2), 3)}に記載された内容を極力加工せずに集約し、また実験内容の理解が容易に可能となる様努めた。また、本データ集は、使用に当たっての簡便性を考慮し、別冊(PNC SN2410 89-001 JASPER 実験データ集(Ⅱ)-ガスプレナム・ストリーミング実験-)として発行した。

14.2 データベースの検討

1988年9月に英国ボーンマスで開催された、第7回国際遮蔽会議において、その最初の発表として遮蔽ベンチマーク実験データベースの計画が、仏国のM. Salvatores から報告された。これは、NEACRPが後援し、NEA Data Bank で計画されているものであり、発表論文は、英国ウィンフリス研究所のDr. P. Miller , 仏国カダラッシュ研究所のDr. M. Salvatores , OECD/NEA のP. Nagel, E. Sartoriの共著となっている。

この報告の中で、透過遮蔽実験に関して、現在の実験施設は遠くない将来、いずれ解体されるであろうし、又、ここ数年の間に、経験を積んだ実験屋が第一線から引退するであろうと述べ、このとき、どのように実験が行われたかという詳細が失われてしまうであろうと警告している。これらの知識は、新たにこの分野に入る者や、将来の世代にとって非常に貴重なものであるため、この重要性に気付き、NEACRPはこの知識を維持するための最適な方法を検討するため、遮蔽ベンチマークグループを作ったと述べている。表14-1に、NEA Data Bank で現在入手可能な遮蔽ベンチマーク実験のリストを示す。

現在 NE^A Data Bankで検討しているベンチマークデータベースシステムの開発は次の4つのステップに分けられている。

① 実験の選択

NEACRP遮蔽ベンチマーク比較に用いられた10の実験から(表14-1)、3つの実験が選ばれた。

- a) ASPIS-Fe
- b) EURACOS-Fe
- c) EURACOS-Na

② データ構造の明細

使用する計算コードに依存しない一般的なデータ構造とし、インターフェイスソフトウェアによって、各計算コードに必要なデータを作成することが考えられている。

③ システムの実施

以下に示す要素の開発が必要であると述べている。

- ・ ベンチマークを記述するデータの格納
- ・ 計算コード入力ファイルを作成するため、ベンチマークを記述するデータの検

索

- ・ 計算を実行するためのジョブコントロールの作成
- ・ ジョブ実行のサブミット
- ・ 出力から計算結果の抜粋
- ・ 計算結果のデータベースへの格納
- ・ 実験と計算の比較

④ 確認への適用

図14-1に、ベンチマーク確認システムの基本的な使用を記述した。ベンチマークデータベース（ボックス1）の、あるベンチマークを選び、十分に確認されたコードセット（ボックス2）から適切なコードを選ぶ。遮蔽計算は、JEFのような中性子データライブラリ（ボックス3）から適切な群定数に処理されているデータにもとづいて実行する。出力から抜粋された計算結果（ボックス5）は、ベンチマークデータベースに再格納する。そこで、前のバージョンのデータライブラリを用いた計算と比較し、評価済中性子データファイルの品質の改良を行なう。また、同一のデータライブラリを用いることにより、同様の方法によって新しい遮蔽計算コードを確認することができる。

以上の報告内容からも明らかなように、実験結果、解析結果のデータベース化は、国際的にも重要な課題であると認識されつつあり、JASPER実験においても、この課題に対し検討を行なっておくことは意義がある。このような判断から、JASPERサブワーキンググループとして、NEA Data BankのE. Sartoriに前述のデータベースに関するより詳細な情報を問い合わせることとし、1988.12.22に問い合わせ状を送付した。これに対する返答は、1988.3月時点では届いていないが、仏国のM. Salvatoresが、遮蔽実験データベースについての会議を開催することを提案しているという非公式情報が、炉物理研究委員会第27回遮蔽専門委員会で報告された。

JASPER計画の中においても、これらの国際的な状況を考慮しつつ、長期的な視野に立って、実験データベースについて今後も検討してゆく必要がある。

(PBEC 青 木)

参考文献

- 1) R. J. Muckenthaler, "Measurement for the JASPER program Fission Gas Plenum Experiment," ORNL/ TM-10422, 1987.
- 2) JASPER 派遣員メモ-23
- 3) JASPER 派遣員メモ-24
- 4) P. Miller, et. al., "Shielding Experimental Benchmark Data Base at the Nuclear Energy Agency Data Bank," International Conference on Radiation Shielding, Bournemouth, 1988

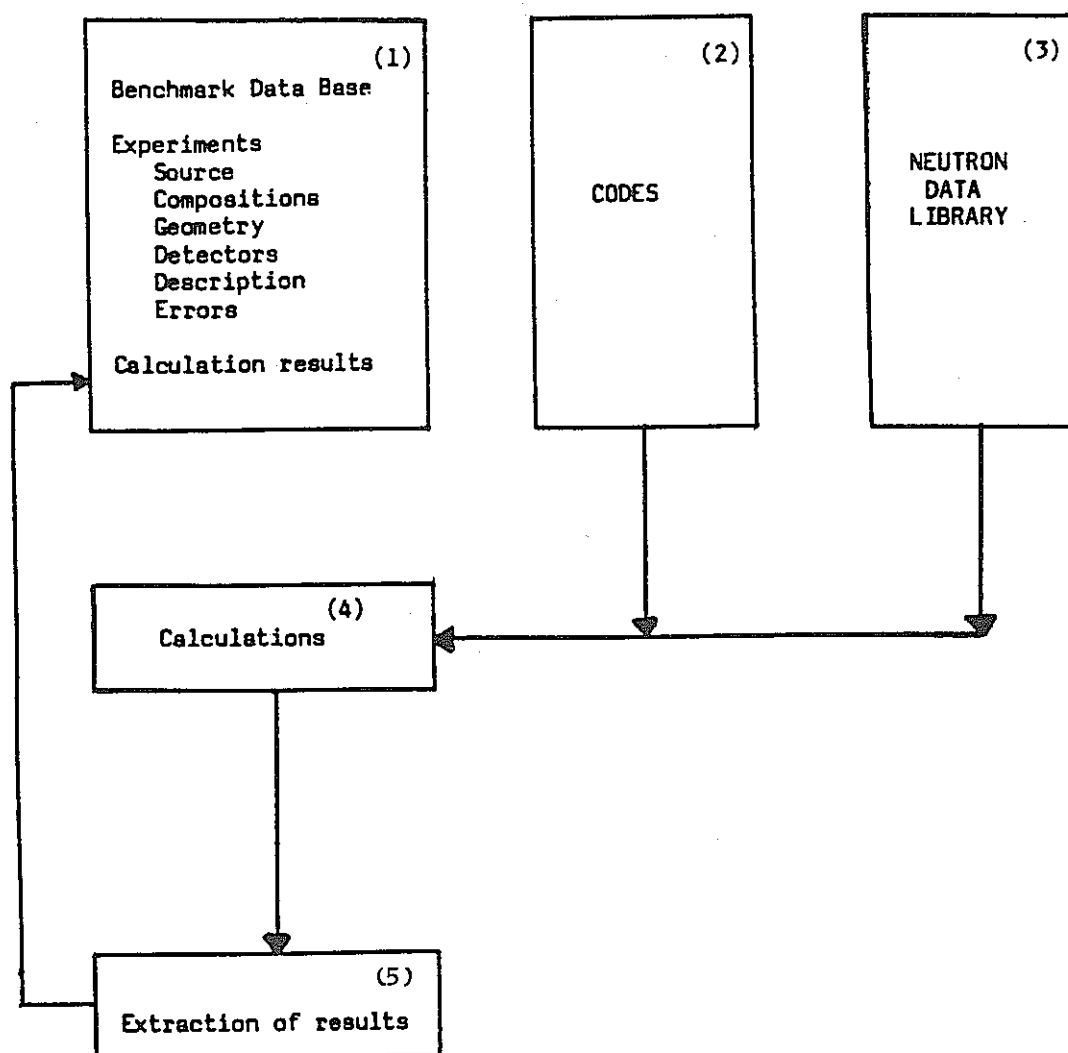
表 1 4 - 1 遮蔽ベンチマーク実験リスト

TABLE 1: SHIELDING BENCHMARK EXPERIMENTS

<u>Material</u>	<u>Laboratory</u>	<u>Facility</u>	<u>Source/Shield Configuration</u>	<u>Measurements</u>	
				<u>Spetrometers</u>	<u>Integral Detectors</u>
Fe	Wuerenlingen	PROTEUS	Axial breeder leakage spectrum with slab shield	Proportional counters	S, In, Rh
	Ispra	EURACOS	Fission plate with slab shields		S, Au/Cd
	Winfrith	ASPIS	Fission plate with slab shields	NE213 and Proportional counters	S, In, Rh; Au/Cd
	Osaka	OKTAVIAN	Pulsed d-t source within iron spheres	Time of flight	
	Karlsruhe	Cf-252	Cf source within iron spheres	Proportional counter He3	
Na	Ispra	EURACOS	Fission plate with slab shields	Proportional counters solid state He3	S
	Cadarache	HARMONIE	Simulated breeder leakage spectrum with slab shields	Proportional counters	S, Rh; Na/Cd, Mn/Cd Au/Cd
H ₂ O	Winfrith	Cf-252	Detector located at the centre of a ring of point sources	NE213	S
Graphite	Winfrith	ASPIS	Fission plate with slab shields		Al, S, In, Rh
H ₂ O/Fe	Winfrith	ASPIS	A replica of the Oak Ridge PCA experiment with the ASPIS fission-plate in place of the core source	NE213 and proportional counters	S, In, Rh, Mn, U-25

参考文献 4) より抜粋

Fig. 1 Benchmark Validation System



参考文献4)より抜粋

図14-1 ベンチマーク確認システム

15. あとがき

本報告書はJASPER計画の実験計画・データ解析を目的とするJASPERサブワーキングGr.の成果をまとめたものである。ここでは成果の概要と残された課題について述べる。

本研究の範囲は、実験データ解析と、これまでの解析作業等で明らかになった問題点の検討である。実験解析としては、JASPER計画および日米情報交換で得られた以下の7種類の実験データについて解析が実施された。実験はすべてORNLのTSFで行われたものである。実験解析の第一の項目であるナトリウムベンチマーク実験の解析には、JENDL-2ファイルから作られたJSDJ2ライブラリーと、ENDF/B-IVファイルから作られたJSD100ライブラリーの2種類の核定数が使用された。本実験の解析で従来から採用されている初回衝突線源を用い、さらに非衝突成分の計数への寄与を別に評価した結果、約 2×10^{-6} の中性子の減衰に対して、JSDJ2では $C/E=0.73 \sim 0.89$ 、JSD100では $C/E=0.91 \sim 1.07$ となった。2種類の定数による計算値の比較によって、JSD100がJSDJ2より透過後の高速中性子束を過大評価することが明らかになった。ナトリウムの核定数は、現在使用されているJSD100にもJSDJ2にも問題のある事が知られており、今後JENDL-3による定数も検討する必要がある。今回解析に使用された初回衝突線源は、コリメートされた中性子を線源とする実験解析等に採用される手法であり、TSFにおける初期の実験の解析には従来から用いられている。ORNLのレポートに記された線源条件が初回衝突線源で表現されている為、今回の解析ではそれをそのまま使用したが、プラント解析ではあまり用いられる事がなく、又、数値解析理論的にも明解でない部分がある。本実験については次年度以降、初回衝突線源を用いない、より標準的な解析を実施する予定である。

Alternate Shield Experimentと称されている B_4C 透過実験の解析は本年度で一応終了し、今年度新しく解析された B_4C の厚い層のデータについては、JSDJ2を用いた解析で $C/E=0.6 \sim 1.23$ となった。本実験については、 B_4C スラブの密度に疑問のある事がORNLの解析者から指摘されている。今回、考えられる密度の組合せで計算を行った結果、ORNLの解析者の指摘通りの傾向が確認された。全体としてはJASPER計画の透過実験で得られた B_4C のデータとほぼ整合がとれているが、JASPER計画の透過実験の C/E 値と傾向の異なる部分があり、又、測定データの極く一部に未評価のものがある為、次年度その評価を行い、最終報告をまとめる予定である。

初回核分裂実験と3次元炉内燃料貯蔵実験は、いずれも炉内貯蔵された使用済燃料の遮蔽上の効果を評価する為の実験である。貯蔵燃料から発生する中性子の $0.8MeV$ 以上の成分の評価では、JSD100を用いた場合 $C/E=0.71$ 、JSDJ2を用いた場合 $C/E=0.54$ となった。この結果は、他の実験解析と比較

してほぼ妥当なC/E値である。特に本解析では、エネルギー群数の効果が大きく、補正によってC/E値が20%程度改善される事が明らかになった。炉内貯蔵燃料は遮蔽的效果の評価が困難で、実験も容易ではない。本実験も貯蔵燃料を模擬した部分の形状が複雑すぎ、実験の有効性に疑問がないわけでもない。今回の解析は通常の2次元コードを用いたもので、複雑な3次元的效果が評価されていないが、更に詳細な、例えばモンテカルロ法を用いた解析に意味があるか否か今後検討する。

ガस्पレナムストリーミング実験は、透過実験として解析した結果のC/E値が悪く、原因の一つとして考えられたコンクリートの組成に着目して解析を実施した。計算の結果、コンクリート中の水分を変えることによってC/E値はかなり変化し、C/E値が改善される可能性のあることが明らかになったが、測定値と計算値の現在の不一致を充分説明できるほどではなく、課題を今後に残している。コンクリートの成分の影響が評価されたことは有用な結果であるが、現状ではC/E値を改善する方策の目処が立っていない。

コンクリート透過実験については、中性子データの2次元解析までが終了し、約1m、5桁程度の減衰に対してC/E=0.6~1.1という結果が得られた。コンクリートは組成があいまいで、実験の意義が問われることが多いが、今回の結果は予想外に良いC/E値を示している。今後、特に影響の大きいとされる水分の含有率の効果を評価するとともに、未評価のガンマ線データを解析する。

ギャップストリーミング実験は、鉄とナトリウム層からなるスペクトルモディファイヤーの後部に、平板または円環状のスリットを持つ鉄の試験体を設置し、中性子のストリーミングを測定したものである。前年度一部の解析が実施されC/E値が非常に悪い事が明らかになった。今回特にスペクトルモディファイヤー部についていくつかの計算が試みられたが、C/E値はほとんど改善できなかった。一般に鉄を含む体系は測定と計算の一致が悪く、核定数を含む計算法の根本的な検討が必要と思われる。本実験の解析においてストリーミング成分のC/E値が悪いのは、中性子がストリーミングするギャップの取扱いに問題があるのではなく、鉄の透過の評価に問題があるのではないかとの意見もあるが、未確認である。次年度以降、実験値と計算値の不一致の原因を究明するとともに、手のつけられていない平板スリットの実験データを解析する。

解析手法の検討として実施された第一の項目は、燃料集合体軸方向遮蔽体解析手法の開発である。本手法はB₄Cのような強い吸収材を燃料集合体の軸方向遮蔽体に採用する場合に必要な計算法である。B₄Cを用いた軸方向遮蔽体を持つ炉心をふくむ原子炉体系の遮蔽解析において、従来の手法ではファクター3.5のストリーミングの補正が必要であったが、本手法を適用すると、ステンレス鋼製の軸遮蔽体のストリーミング係数と同程度の、約1.3

の補正で済ませることができると見られる。補正を小さくする事によって、精度の高い合理的な遮蔽設計が可能になる。今後、プラント解析や実験解析に適用し、信頼性の高い手法として確立させる。

2次元コードにおけるメッシュ効果は、JASPER実験解析で明らかになった空間メッシュ分割にともなう計算値の異常なふるまいに関する問題である。本件については数値的・理論的に詳細な評価をおこない、その結果、この様なメッシュ効果は、特に大規模なプラント解析で安定な解を得るために採用される差分モード、**weighted difference mode**でのみ生ずる事、軸方向への中性子の漏洩と同程度の半径方向への漏洩がある場合にのみ起こる事、**weighted difference mode**でもR方向とZ方向のメッシュ幅を同程度にとればメッシュ効果は小さい事が確認された。即ち、半径方向メッシュ効果は、中性子束の分布が特定の条件のもとで、RZのメッシュ幅に大きなアンバランスがある場合に発生する。本効果は数学的にも確認され、今後のプラント解析で留意すべき重要な知見が得られた。与えられた体系に対して空間メッシュを設定する際、予想される中性子束分布を考慮してメッシュ分割をおこなう必要がある。

炉内貯蔵燃料内で発生する核分裂中性子の評価では、ループ型高速炉を例にとって試算を実施した。例としたプラントの炉内貯蔵燃料で発生する核分裂中性子は、炉心槽の最大照射量位置や中間熱交換器位置ではほとんど問題にならないが、炉心槽で最も影響の大きい位置では、中性子束レベルが約4倍になることが明らかになった。評価結果そのものは体系に依存するので汎用的な意義は少ないが、一般に炉内貯蔵燃料の遮蔽に対する効果の評価は、複雑な手順と多大の計算機時間を要する為ほとんど経験がなく、計算の収束状況等有益な知見が得られた。

プラントの遮蔽設計計算に透過実験解析によるC/E値をバイアスファクターとして適用するには、炉心からの中性子の漏洩経路を設定する必要がある。従来は、安全側の設計とするために最も解析誤差の大きい領域を漏洩経路として取らざるをえなかったが、空間チャンネル理論を適用することによって、より合理的なバイアスファクターが得られるようになった。例えば、炉心槽における高速中性子束に対するバイアスファクターが、従来の手法による値より約20%削減できる事が示された。今後更に信頼性を向上する事によって、より合理的な遮蔽設計が可能になるとと思われる。

遮蔽データのデータベース化は、ベンチマーク実験のデータについてはヨーロッパで計画されているが、我が国や米国では具体的な計画は持っていない。遮蔽のデータがデータベースとして適当なものか否かは議論のあるところであるが、サブワーキングGr.内には、ベンチマーク実験の実験データだけでなく、解析結果やプラントデータも含めてデータベース化するの

が良いのではないかという意見もある。現時点では、データベース化の作業を開始するという結論には至っていない。

(プラント工学室 大谷)