

分置

大型炉遮蔽研究成果報告会資料集

1994年8月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

大型炉遮蔽研究成果報告会資料集

庄野 彰*

要 旨

本資料は、平成6年(1994年)7月19日に大洗工学センターで開催した大型炉遮蔽研究成果報告会の発表資料集及び質疑応答記録をまとめたものである。

大型高速炉遮蔽設計の課題に対処するため、1986年に開始された日米共同高速炉遮蔽ベンチマーク実験(JASPER ; Japanese-American Shielding Program for Experimental Research)は、平成4年(1992年)9月に実験を完了し、基本的な実験解析を平成5年度で一通り終了した。また、高速実証炉遮蔽設計への反映を目的とした日本原子力発電(株)と動燃事業団の共同研究が平成5年度(第6回)をもって終了した。本報告会は、これらの研究成果を事業団内外の関係者に周知するために開催したものである。また、トピックスとして本年4月に臨界を達成した「もんじゅ」で計画されている遮蔽性能試験の内容を報告すると共に、事業団主催のワーキンググループでJASPER実験内容の検討に尽力していただいた岡東大教授に「今後の課題」と題する講評をいただいた。

報告会には、事業団内の関連部署及びJASPER計画の実施過程で様々な協力関係にあった諸機関から約50名の参加が得られた。現在は、従来の成果を整理し、遮蔽解析技術のさらなる高度化のために必要な検討を実施すべき時期にさしかかっている。本報告会が有益な議論の契機になれば幸いである。

* 大洗工学センター 基盤技術開発部 炉心技術開発室

目 次

プログラム

発表者リスト

座席表

1. 概要
2. 動燃の遮蔽研究とJASPER計画
3. JASPER実験解析結果
 - 3.1 JASPER実験解析結果の概要
 - 3.2 IVS実験及びNIS実験の解析結果
 - 3.3 IHX実験及び新遮蔽材透過実験の解析結果
 - 3.4 ギャップ・ストリーミング実験の解析結果及びTORT適用結果
4. 大型遮蔽設計への反映結果
 - 4.1 多重層透過実験解析結果の遮蔽設計への適用
 - 4.2 ストリーミング実験解析結果の遮蔽設計への適用
 - 4.3 大型高速炉遮蔽設計への反映結果
5. もんじゅ遮蔽性能試験計画
6. 今後の研究課題
7. 今後の課題(遮蔽関連) (岡東大教授が講評で使用)
8. 質疑応答記録

大型炉遮蔽研究成果報告会プログラム

平成6年7月19日(火) 13:30開会
 於 動燃・大洗 LIBIC多目的ルーム
 (発表者敬称略)

司会・進行 炉心技術開発室

1. 開会あいさつ(PNC 高橋) 5分(13:30~13:35)
 2. 動燃の遮蔽研究とJASPER計画(PNC 庄野) 発表20分+質疑5分(13:35~14:00)
 (遮蔽研究の流れ、JASPERの目的・実験概要、実証炉遮蔽設計への反映(共研)との関連性)
 3. JASPER実験解析結果
 - 3.1 実験解析結果の概要(PNC 庄野) 10分(14:00~14:10)
 (進捗状況、特に最近2年間の検討・評価内容の概要)
 - 3.2 IVS実験及びNIS実験の解析結果(HEC 根目沢) 発表15分+質疑5分(14:10~14:30)
 (両実験の試験後解析結果)
 - 3.3 IHX実験及び新遮蔽材透過実験の解析結果(KHI 竹村) 発表15分+質疑5分(14:30~14:50)
 (両実験の試験後解析結果)
 - 3.4 ギャップ・ストーリーミング実験の解析結果及びTORT適用結果(MRI 角田) 発表15分+質疑10分(14:50~15:15)
 (実験解析結果、非対称体系におけるTORT解析結果)
 - (休憩) 10分(15:15~15:25)
 4. 大型遮蔽設計への反映結果
 - あいさつ(原電 稲垣) 5分(15:25~15:30)
 - 4.1 多重層透過実験解析結果の遮蔽設計への適用(KHI 毛利) 発表15分+質疑5分(15:30~15:50)
 (径方向遮蔽実験、IVS実験、IHX実験解析結果の反映方法及び反映結果)
 - 4.2 ストーリーミング実験解析結果の遮蔽設計への適用(HEC 半田) 発表15分+質疑5分(15:50~16:20)
 (ガスプレナム・軸方向遮蔽実験、ギャップ・ストーリーミング実験解析結果の反映方法及び反映結果)
 - 4.3 大型高速炉遮蔽設計への反映結果(原電 保志) 発表15分+質疑5分(16:20~16:40)
 (実証炉設計への反映結果、JASPER前後での比較、遮蔽設計の現状)
 5. もんじゅ遮蔽性能試験計画(PNC 中島) 10分(16:40~16:50)
 6. 今後の研究課題(PNC 庄野) 5分(16:50~16:55)
 7. 講評(岡東大教授) 15分(16:55~17:10)
 8. 閉会あいさつ(PNC 中本) 5分(17:10~17:15)
- 懇親会 (於 動燃・旭分室1Fホール) 17:30~19:20頃

発表者リスト

氏 名	所 属	発表件名 (プログラム番号)
岡 芳明	東京大学 工学部 システム量子工学科	7.
庄野 彰	動燃・大洗工学センター 基盤技術開発部 炉心技術開発室	2. 3.1 6.
根目沢 重紀	茨城日立情報サービス(株) エネルギー技術部 REグループ	3.2
竹村 守雄	川崎重工業(株) 原子力本部 技術部 技術第一課	3.3
角田 弘和	(株)三菱総合研究所 安全工学研究センター 安全工学研究部 原子力第二室	3.4
毛利 智聡	川崎重工業(株) 原子力本部 技術部 技術第一課	4.1
半田 博之	日立エンジニアリング(株) 電力エンジニアリング第2部 原子力プラント計画グループ	4.2
保志 貴司	日本原子力発電(株) 高速炉開発部	4.3
中島 文明	動燃・もんじゅ建設所 技術課	5.

演 台

--	--

半田 (日立)	根目沢 (日立)
------------	-------------

吉田 (動燃大洗)	角田 (三菱総研)
--------------	--------------

中本 (動燃大洗)	池上 (動燃東海)
--------------	--------------

今野 (動燃大洗)	大橋 (日立)
--------------	------------

石川 (動燃大洗)	久保 (動燃大洗)
--------------	--------------

大木
(動燃大洗)

安 (東大)

白方 (原電)

中島 (動燃もんじゅ)	滝谷 (川崎重工)
----------------	--------------

鈴置 (MAPI)	多田 (MAPI)
--------------	--------------

丸山 (動燃大洗)	飯田 (東芝)
--------------	------------

茶谷
(動燃大洗)

鈴木(惣)
(動燃大洗)

古谷
(動燃本社)

岡 (東大)	柴 (動燃大洗)
-----------	-------------

鳥取 (原電)	稲垣 (原電)
------------	------------

竹村 (川崎重工)	毛利 (川崎重工)
--------------	--------------

日比 (MAPI)	白木 (MAPI)
--------------	--------------

原 (東芝)	西 (東芝)
-----------	-----------

宇都
(動燃大洗)

深野
(動燃大洗)

若林 (動燃大洗)	高橋 (動燃大洗)
--------------	--------------

日向野 (動燃大洗)	庄野 (動燃大洗)
---------------	--------------

亀井 (FBEC)	斎藤 (FBEC)
--------------	--------------

若山 (原電)	保志 (原電)
------------	------------

廣田 (MAPI)	岡林 (動燃大洗)
--------------	--------------

阿部 (動燃大洗)	大谷 (動燃大洗)
--------------	--------------

1. 概要

大型高速炉遮蔽設計の課題に対処するため、1986年に開始された日米共同高速炉遮蔽ベンチマーク実験(JASPER ; Japanese-American Shielding Program for Experimental Research)は、平成4年(1992年)9月に実験を完了し、平成5年(1993年)5月までに全実験データを入手した。実験解析については、平成5年度ですべての実験項目に関する基本的な解析を一通り終了した。また、高速実証炉遮蔽設計への反映を目的とした日本原子力発電(株)と動燃事業団の共同研究が平成5年度(第6回)をもって終了した。このような背景より、JASPERの研究成果を事業団内外の関係者に報告し、現在までに得られた成果を周知することを目的として本日の報告会を開催した。この意味から、事業団内のワーキンググループでJASPER実験内容の検討に尽力していただいた岡東大教授を初めとして、実験企画及び実験解析の過程で様々な形でご協力いただいた各機関に開催案内を配布した。現在は、従来の成果を整理し、遮蔽解析技術のさらなる高度化のために必要な検討を実施すべき時期にさしかかっている。本日の報告会が有益な議論のきっかけになれば幸いである。

2. 動燃の遮蔽研究とJASPER計画

動燃の遮蔽研究の流れ

高速炉の遮蔽解析手法は、「常陽」性能試験データを対象に高速炉炉心設計専門委員会(遮蔽計算)(朝岡主査(原研))で実施された評価作業で使用された2次元Sn計算を基本として、解析法の検討、解析精度の向上、核定数の整備等が実施されてきた。これらの成果は、「弥生」でのストリーミング実験データ及び米国FFTFの遮蔽実験データの解析結果と共に、「もんじゅ」の遮蔽設計に反映された。高速実証炉の設計にあたっては、これらの過程で得られた種々の知見が活用されたが、遮蔽体重量低減を初めとする大型高速炉遮蔽設計の課題に対処するためには、新たな実験データ取得が必要であることが上記委員会の議論を通じて認識された。この結果立案されたのが次項に示すJASPERであり、動燃内に設けられたワーキンググループ(主査;岡東大教授)で、大学・研究機関・メーカーの専門家により、具体的な実験計画が検討された。(OHP2-5)

JASPER

JASPER(日米共同高速炉遮蔽ベンチマーク実験、Japanese-American Shielding Program for Experimental Researchの略)は、上記ワーキンググループで企画された遮蔽実験を米国オークリッジ国立研究所(ORNL)の遮蔽実験施設TSF(Tower Shielding Facility)で実施したものであり、動燃と米国エネルギー省(DOE)の共同研究である。目的は、大型高速炉の遮蔽設計上の課題を解決するために有用な実験データを取得し、実験解析を通じて遮蔽評価精度の向上を図ると共にその成果を大型炉遮蔽設計に反映することにある。このため、(a)実機で想定される遮蔽体及び中性子透過経路に存在する物質構成を可能な限り模擬した多重層バルク透過特性、及び(b)燃料集合体軸方向遮蔽体や機器据付部近傍の狭小間隙部のストリーミング特性を評価する実験が主体である点が特徴となっている。遮蔽材料の面からは、軽量化の観点から有力視されている B_4C について大規模体系及び実機模擬形状での実験データを多数取得した点が最大の特徴であるが、この他に黒鉛、ステンレス鋼、ジルコニウムハイドライド等の遮蔽特性評価に資する実験データも得られている。実験実施期間は、1986年(昭和61年)3月～1992年(平成4年)9月(ただし、途中約3年半の中断期間を含む)であった。(OHP2-9) 実施された実験は下記①～⑧の8項目である。各実験の目的及び炉設計との関連性をOHP2-6～OHP2-8に示す。また、各実験体系の概念図をOHP2-14～OHP2-21に示す。

- ①半径方向遮蔽体透過実験(径方向遮蔽実験)
- ②ガスプレナム部ストリーミング実験(ガスプレナム実験)

- ③軸方向遮蔽部ストリーミング実験(軸方向遮蔽実験)
- ④炉内貯蔵燃料遮蔽評価実験(I V S 実験)
- ⑤中間熱交換器2次Na放射化実験(I H X 実験)
- ⑥ギャップ・ストリーミング実験
- ⑦中性子検出器応答実験(N I S 実験)
- ⑧新遮蔽材透過実験

実験解析及び大型遮蔽設計への反映

JASPER実験期間を通じて、計画検討、実験解析、解析手法の検討、JASPER以外の関連実験データの解析が継続して行われ、測定値の解析による再現精度及び解析手法が同精度に及ぼす影響等に関する知見が蓄積された。この結果、遮蔽解析精度が大幅に向上し、従来無かった設計用のデータが多数取得できた。また、これらの作業を通じて、高速炉遮蔽解析システムが整備されてきた。これらの成果は、「JASPER実験解析」と題する事業団内部資料にまとめられ、各年度毎に発行されてきている。(OHP2-3)

これらの作業と並行して、実験解析結果を高速実証炉の遮蔽設計に反映するための研究を、日本原子力発電(株)と動燃事業団の共同研究として実施した。(1986年(昭和61年)~1993年(平成5年)、通算6年度、OHP2-9) これは、(a)JASPER実験解析結果から設計に反映する上で適切なデータを選択、(b)設計手法と実験解析手法の違いを検討し、従来設計手法より精度の良い解析手法の適用を行う、(c)各透過経路の評価精度(E/C補正係数1)の算出、(d)E/C補正係数1を組み合わせる各評価部位の遮蔽設計評価精度(E/C補正係数2)を算出する、の4項目に分類される検討評価作業である(OHP2-4)。これを通じて、現在の高速実証炉の遮蔽設計が十分な余裕を有することが明らかになると共に、実験解析データを用いて遮蔽設計評価精度を求める手法が確立された。また、JASPER実施前後でのバルク透過計算精度の比較、物量削減効果の試算結果も得られている。

(動燃事業団 庄野彰)

2. 動燃の遮蔽研究とJASPER計画

大型炉遮蔽研究成果報告会

1994年7月19日

動燃事業団・大洗工学センター 基盤技術開発部 炉心技術開発室
庄野 彰

日米共同高速炉遮蔽ベンチマーク実験 (JASPER)

(Japanese-American Shielding Program for Experimental Research)

- 形 態 ; 動燃と米国エネルギー省の共同研究
- 米側実施主体 ; 米国オークリッジ国立研究所 (ORNL)
- 実施内容 ; ORNLの遮蔽実験炉TSF(Tower Shielding Facility)で8項目の実験を行い、その解析・評価を行う。
- 目 的 ; 高速実証炉、大型高速炉の遮蔽設計上の課題を解決するために有用な実験データを取得し、実験解析を通じて遮蔽評価精度の向上を図る。また、その成果を大型炉遮蔽設計に反映する。
- 実験実施期間 ; 1986 (昭和61) 年 3月 ~ 1992 (平成4) 年 9月
(ただし、途中約 3年半の中断期間を含む)

JASPERの解析状況と実証炉設計への反映結果(1994年7月現在) (1/2)

1. 実験

- ・ 米国ORNLのTSFにて8項目の遮蔽実験を完了。
- ・ ORNLの実験データ集(全9巻)はすべて発行・入手済み。

2. 実験解析

- ・ 各実験項目について、基本的にすべての測定データの再現性を解析により確認し、C/E値を求める。また、解析手法(解析モデル、解析パラメータ、解析コード、核定数、検出器応答評価手法等)が計算結果に及ぼす影響について検討を加える。
- ・ 標準解析手法
 - 群定数; JENDL-2ベースの100群定数(JSDJ2/JFTJ2)
 - 縮約; 1次元輸送計算(ANISN)による100群スペクトルで21群に縮約
 - 中性子束分布; 2次元輸送計算(DOT-3.5)
- ・ 個々の実験解析を'93年度で一通り終了。年度毎に成果報告書を発行(I ~ VIII)。
- ・ '94年度は、詳細検討が必要な事項の解析・評価を行う。また、従来の実験解析結果をまとめる。

JASPERの解析状況と実証炉設計への反映結果 (1994年7月現在) (2/2)

3. 大型炉遮蔽設計への反映

- 原電と動燃の共同研究として実施。'93年度で終了。('86年～'93年。ただし、'90年と'92年は休止)
- JASPER実験のうち6項目の実験解析結果を反映。
 - ・ 実験・解析結果の評価-----設計に反映する上で適切なデータを選択。
 - ・ 解析方法の検討----- 設計手法の妥当性、実験解析を設計に適用する上での課題、設計手法の精度向上方法等を検討。
 - ・ 遮蔽設計精度の評価----- 各透過経路の評価精度(E/C補正係数1)を算出する。
 - ・ 遮蔽設計への反映----- 上記E/C補正係数1を組み合わせる各評価部位の遮蔽設計評価精度(E/C補正係数2)を算出する。
- 主な評価・検討対象
 - ・ 炉心周り径方向遮蔽体(含IVS)透過特性、
 - ・ DHX/IHXの2次Na放射化量
 - ・ 燃料集合体軸方向遮蔽体及びルーフデッキ部のストリーミング特性
- 結論
 - ・ 高速実証炉の遮蔽設計が十分な余裕を有することを確認
 - ・ 実験解析データを用いて遮蔽設計評価精度を求める手法を確立

高速炉遮蔽設計関連の研究開発

「常陽」 軽水炉の遮蔽設計と運転経験
原研JRR-4での遮蔽実験

.....

「常陽」MK-I, MK-II 遮蔽性能試験とその解析
高速炉・炉心設計専門委(遮へい計算)(朝岡主査(原研))の評価活動
⇒ 大規模2次元Sn計算法の採用、使用経験蓄積

「もんじゅ」 高速中性子源炉「弥生」での遮蔽実験
⇒ 炉心支持板フルエンス・CRDM狭小ギャップ部ストリーミング評価

FFTF炉の遮蔽測定データの解析

.....

「常陽」、「もんじゅ」の経験

実証炉 黒鉛系遮蔽体の大規模モックアップ実験データとその解析による設計コードの検証結果

↓↓
JASPER計画

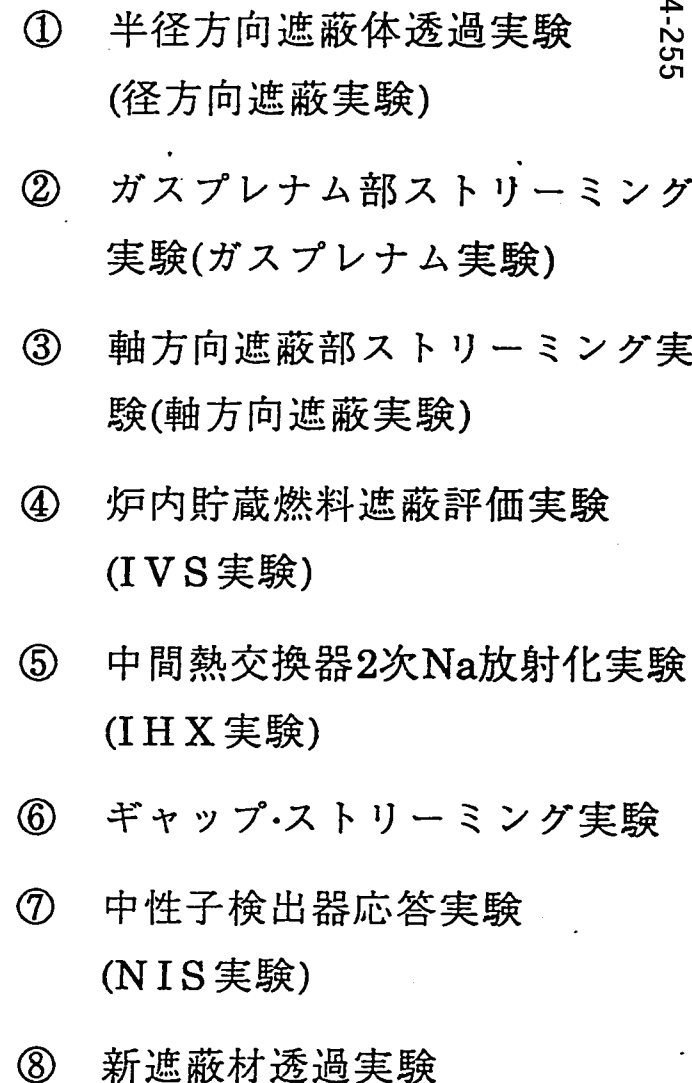
JASPER W/G (岡主査(東大))で、大学・メーカー・研究機関の専門家多数が実験内容等を協議・検討。

遮蔽用核定数の整備

放射線分布計算コードの開発整備

遮蔽解析方法の検討

OHP2-6



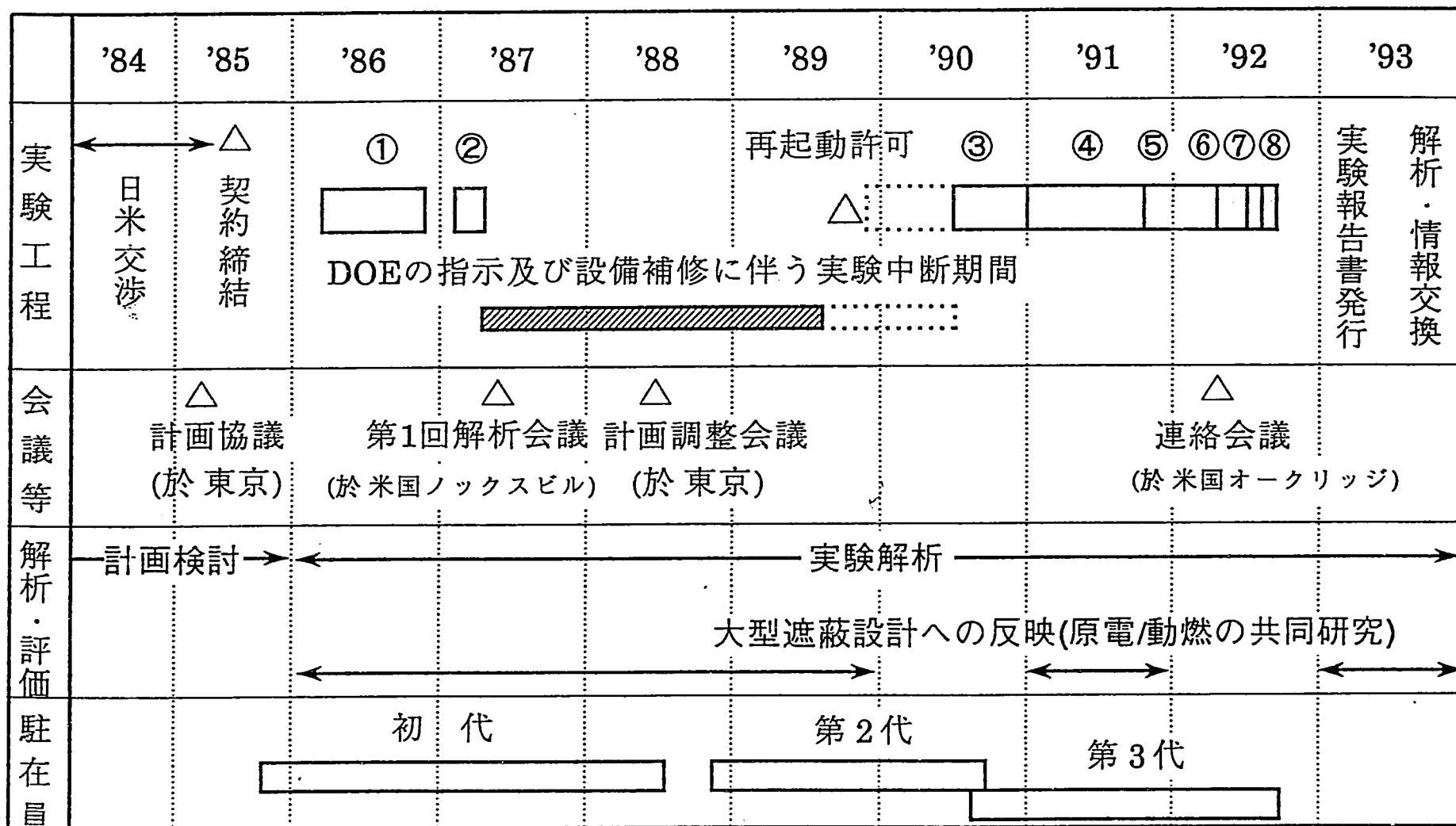
JASPER実験の概要(1/2)

No.	実験項目 (実施期間)	目的	炉設計との関連性
①	径方向遮蔽実験 (’86年3月～10月)	黒鉛系遮蔽材を含む径方向遮蔽模擬体 系における中性子束の減衰特性の評価	遮蔽体の軽量化 及びコンパクト化
②	ガスパレナム実験 (’87年1月～2月)	炉心上下方向へ漏洩する中性子スト リーミング特性の評価	燃料集合体短尺化
③	軸方向遮蔽実験 (’90年8月～12月)		
④	炉内貯蔵燃料遮蔽評 価実験(IVS実験) (’91年2月～9月)	炉内貯蔵燃料領域が、遮蔽特性に与え る影響の評価	炉体周り遮蔽の最 適化

JASPER実験の概要(2/2)

No.	実験項目 (実験期間)	目的	炉設計との関連性
⑤	2次ナトリウム放射化 実験(IHX実験) (’91年10月～’92年2月)	中間熱交換器や直接炉心冷却系の2 次系ナトリウム放射化量の評価	2次主冷却設備の非 管理区域化
⑥	ギャップストリーミン グ実験. (’92年3月～5月)	遮蔽プラグ部の間隙部におけるスト リーミング特性の評価	遮蔽プラグの物量 削減
⑦	中性子検出器応答実験 (NIS実験) (’92年5月～6月)	遮蔽体構成が炉内中性子計装応答特 性に及ぼす影響の評価	(中性子検出器配置 の最適化)
⑧	新遮蔽材透過実験 (’92年6月～7月)	将来の使用が検討されている新遮蔽 材の遮蔽特性の評価	新遮蔽材料の特性把握 (遮蔽設計の合理化)

JASPER 関連事項工程



OHP2-9

TSFでの測定状況概念図

炉出力 ; $10^0 \sim 10^6 \text{ W}$ 冷却材 ; 軽水

炉心形状 ; 球殻状 (外径/内径 約74cm/約46cm)

コリメータ ; 約77cm ϕ × 約30cm長

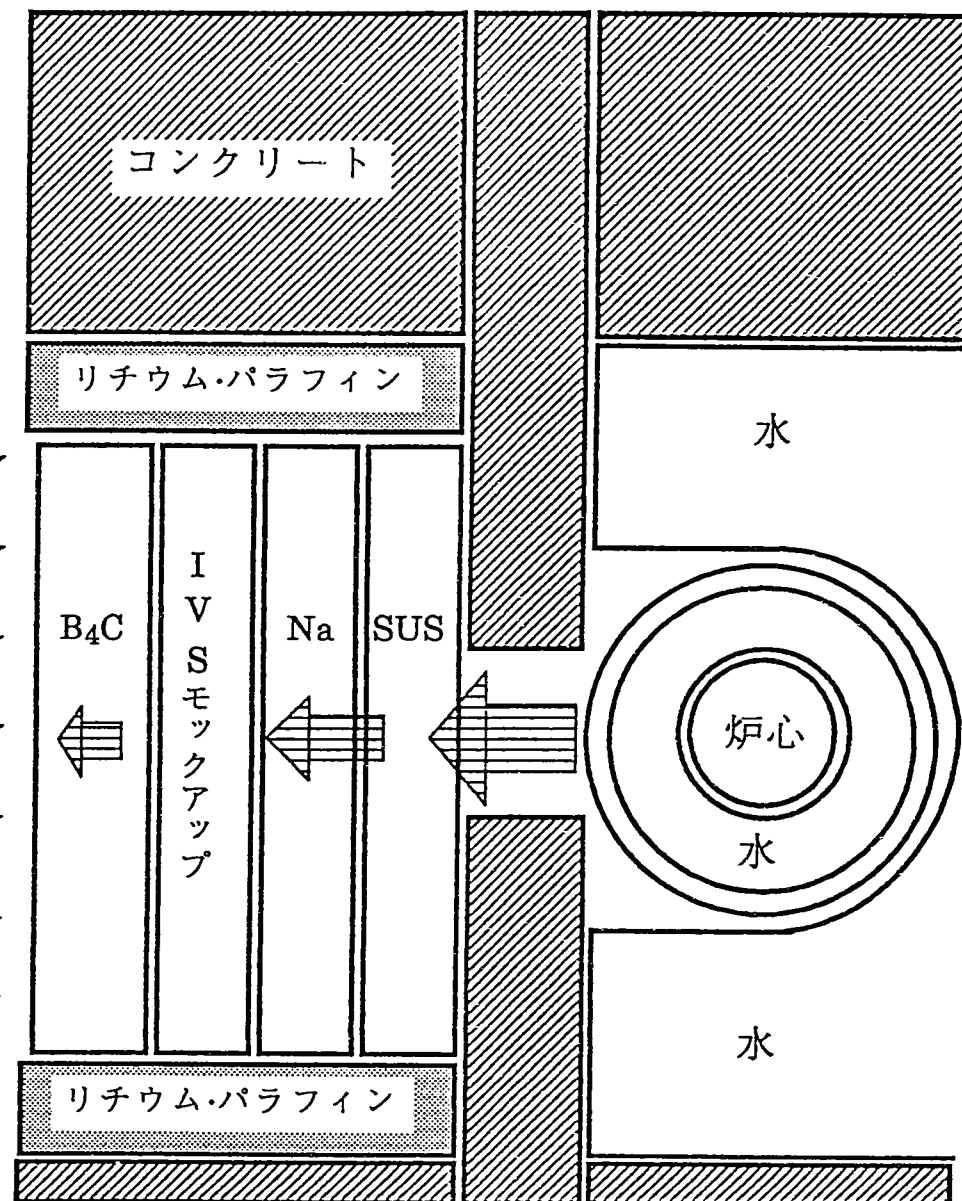
【前方から見た状況】

試験体スラブ
(約1.5m四方)

×
ビーム中心

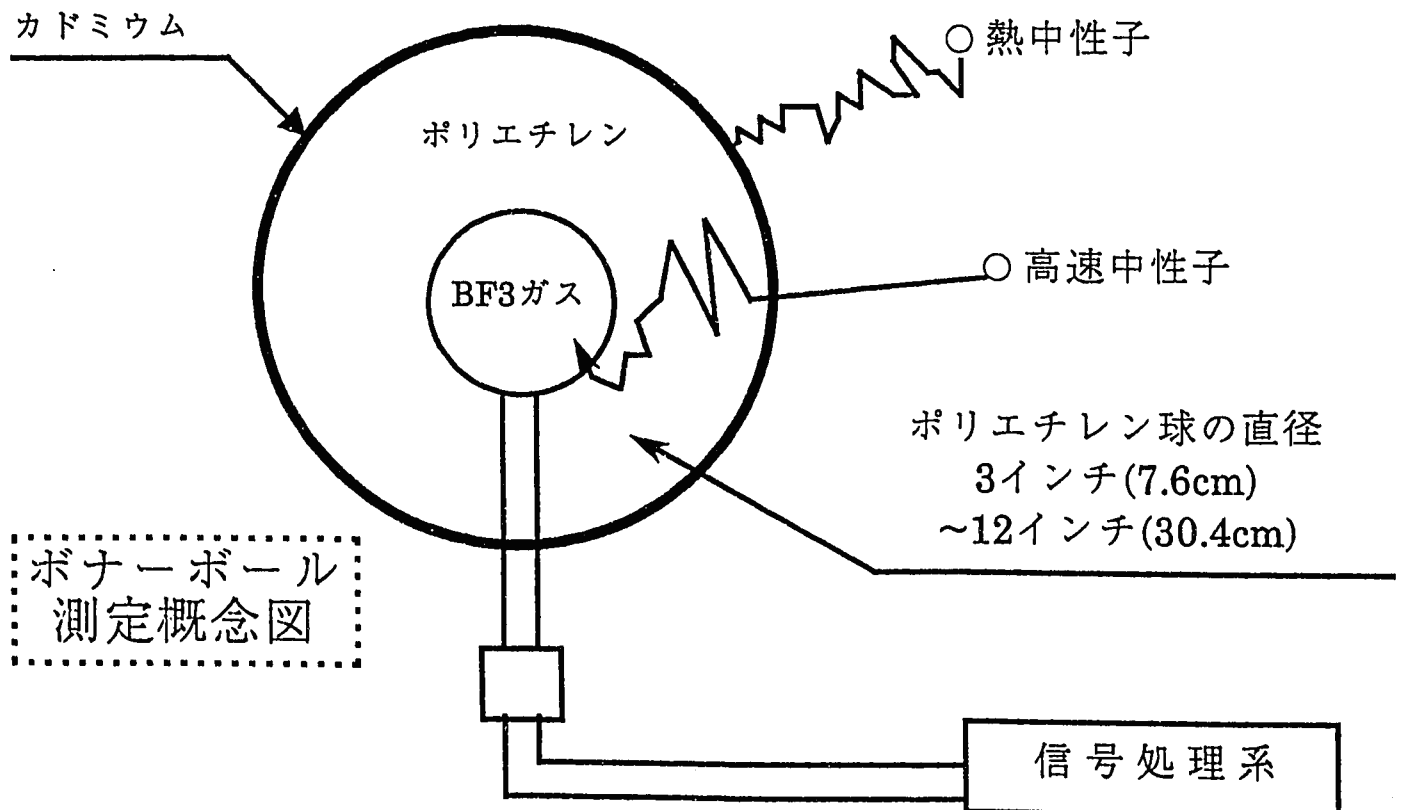
☆
↑
測定点

【水平断面図】



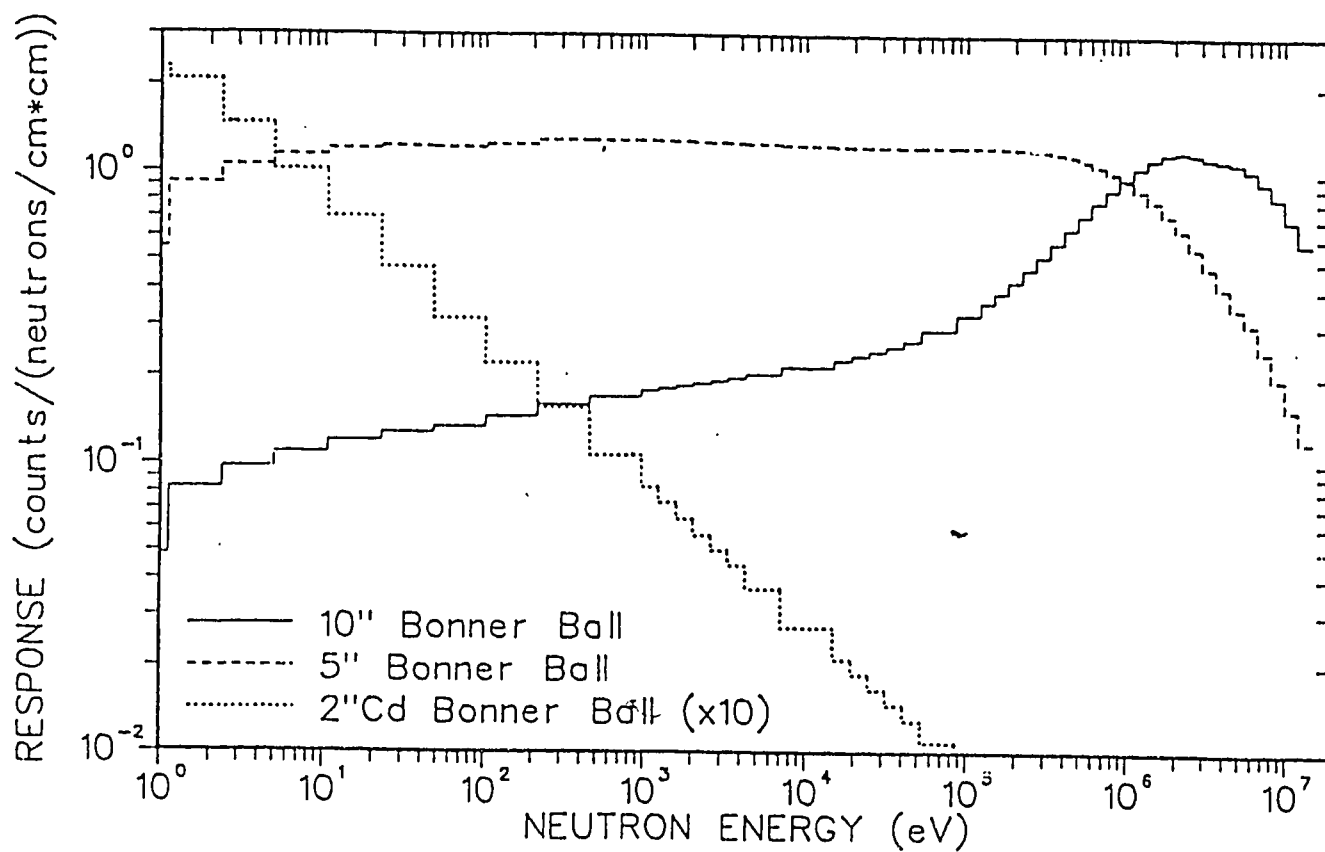
JASPERで使用した検出器

検出器	測定対象	特徴	検出原理・構造
ボナーボール	エネルギーを準分離した積分測定	8種類、高感度 使用経験豊富 熱群~数MeV	BF ₃ 比例計数管の周囲にポリエチレン球を装着
ホニャックボタン	数百keV以上の高速中性子積分測定	小型(0.6cmφ) ストリーミング測定に適す	ZnSシンチレータ
NE-213	中性子スペクトル	高感度 0.8~15MeV	液体有機シンチレータ
ベンジャミン検出器	中性子スペクトル	3種類使用 50keV~1MeV	反跳陽子計数管
炭酸ナトリウム粉末	ナトリウム放射化量	評価対象量を直接測定	数gの粉末をカプセルに入れて体系各所に配置

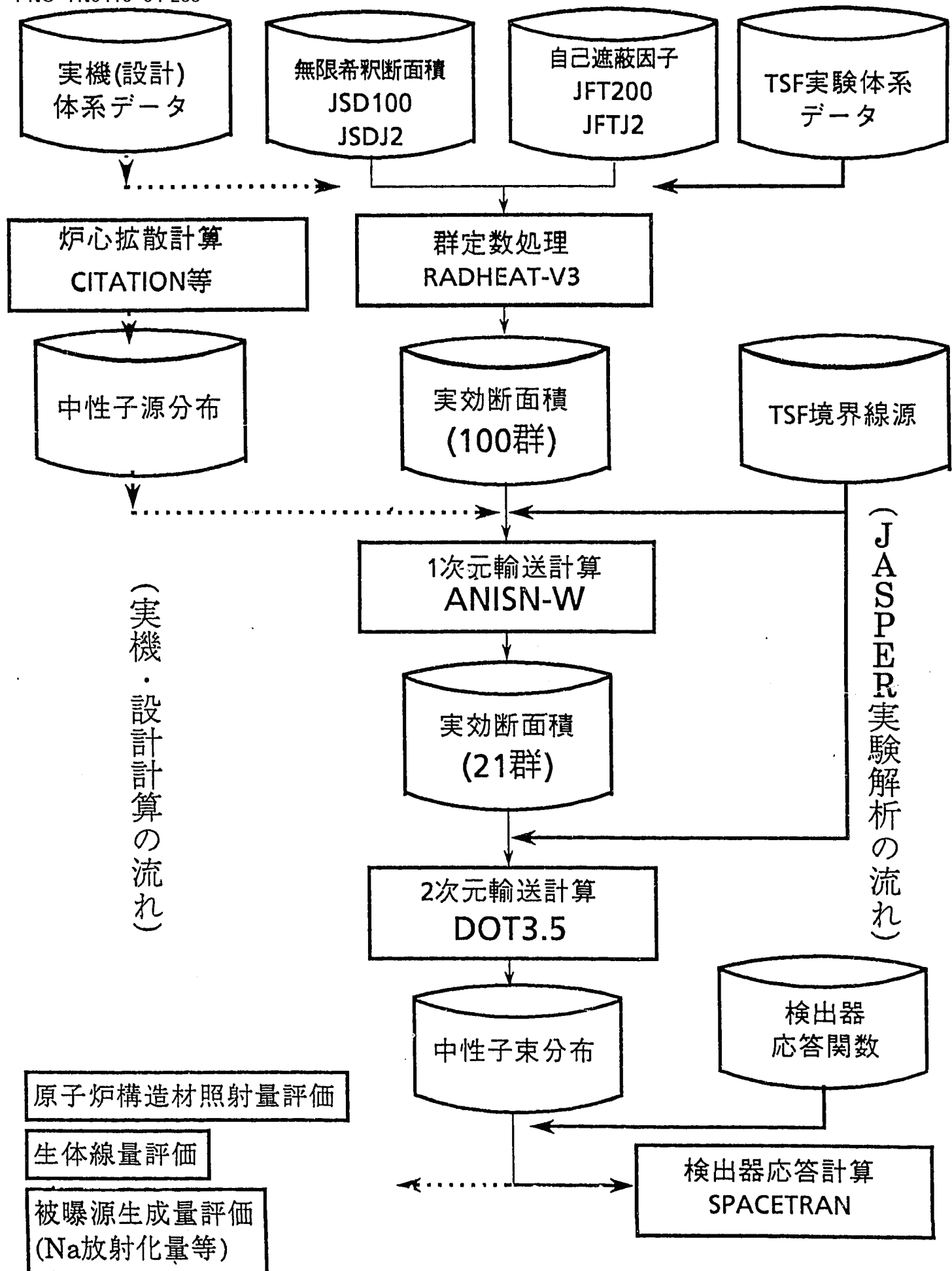


ENERGY DEPENDENCE OF BONNER BALLS

ORNL-DWG 79-12984



ボナーボール応答関数



高速炉遮蔽解析の流れとJASPER実験解析の関係(中性子評価)

径方向遮蔽実験

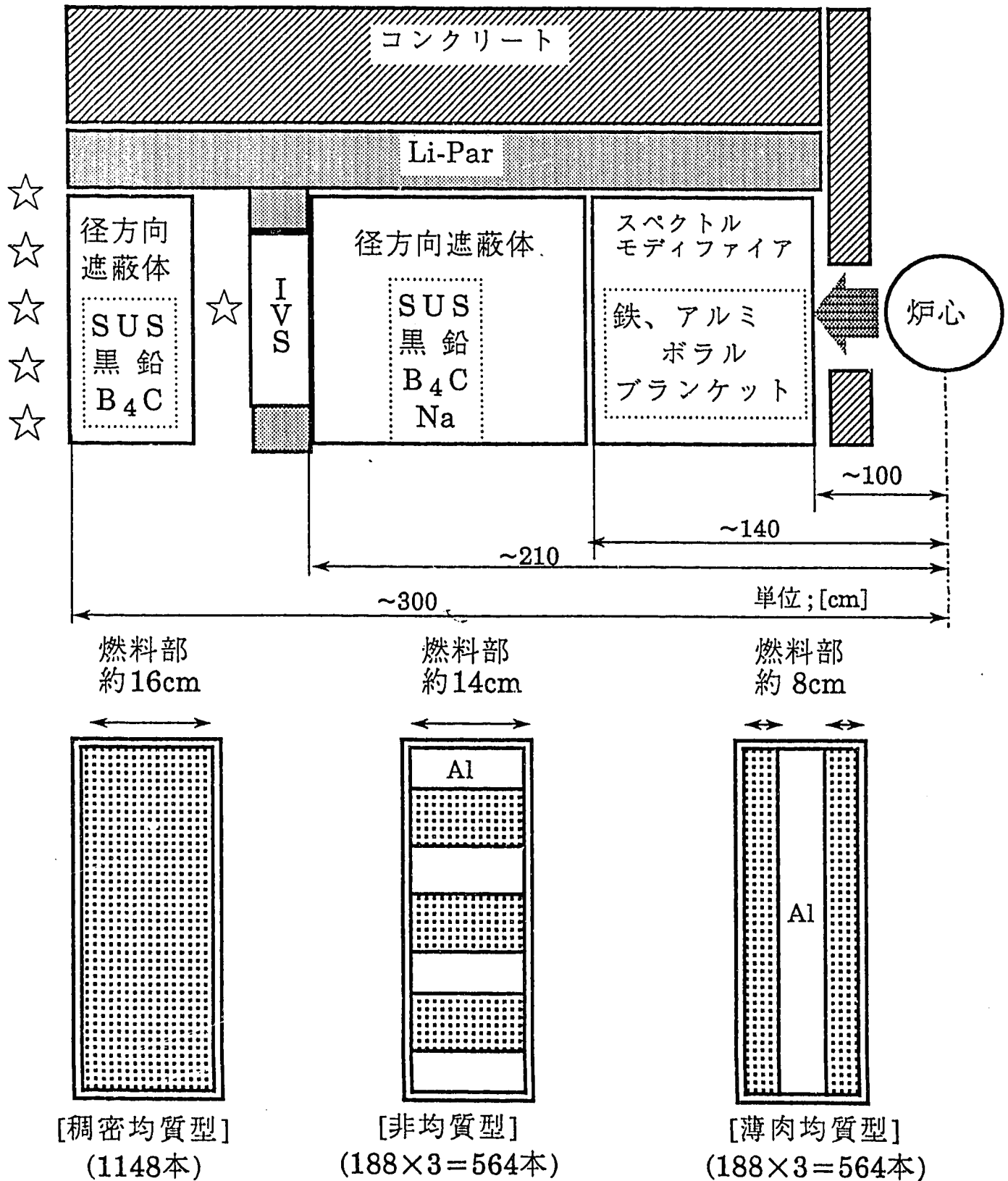
径方向遮蔽体構成を模擬した多重層透過特性

IVS実験

IVSでの中性子増倍特性と遮蔽特性

3種類のIVSモックアップを使用

4.8%濃縮ウラン燃料、約1200本



ガスプレナム実験

ガスプレナム部のストリーミング特性に着目

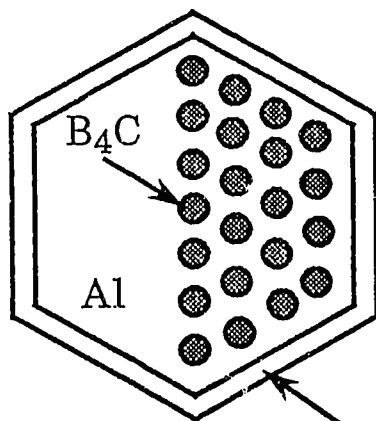
軸方向遮蔽実験

軸方向遮蔽部のストリーミング特性に着目

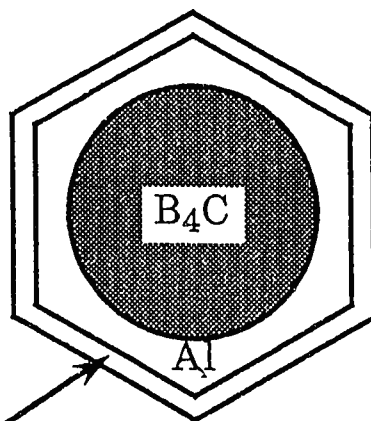
遮蔽体材料; B_4C 、ステンレス鋼

基準データとして均質型集合体も使用

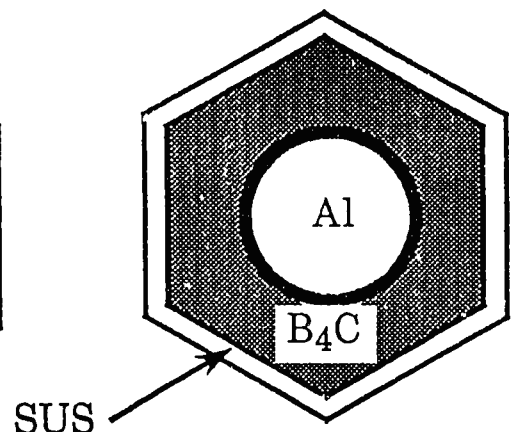
[ロッドバンドル型]



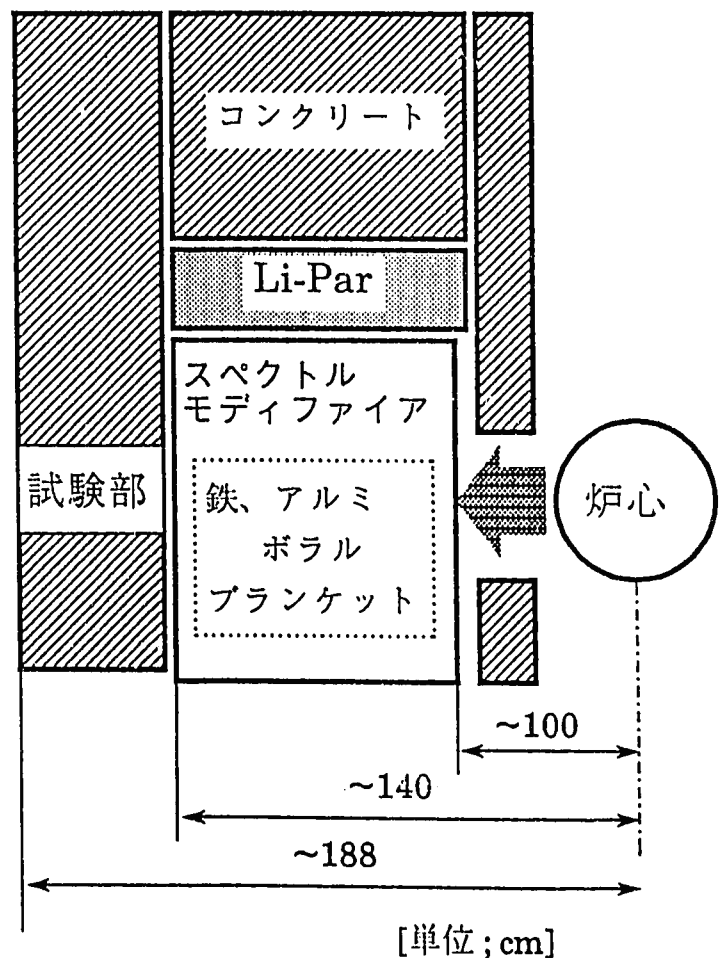
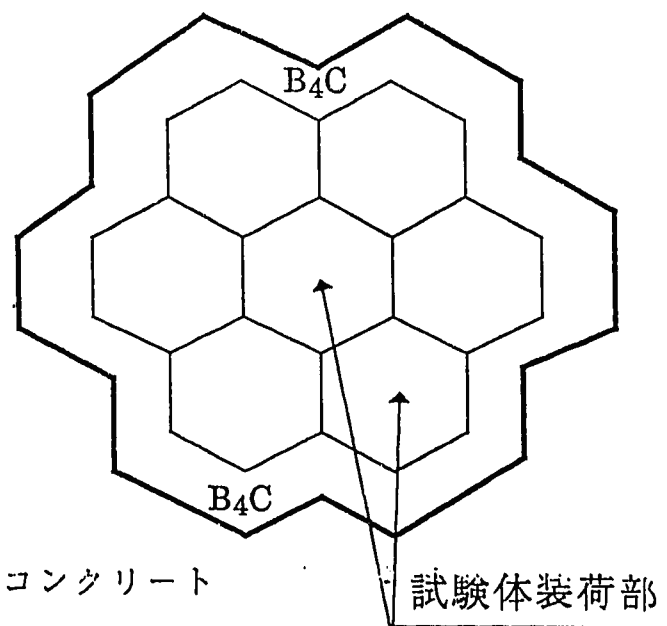
[中心遮蔽型]



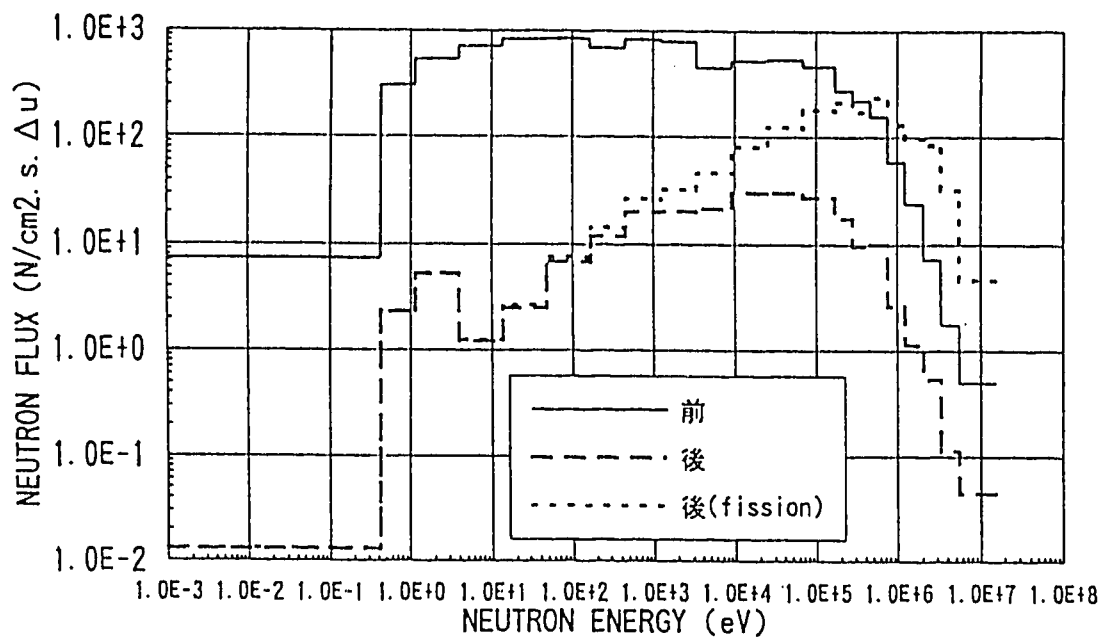
[周辺遮蔽型]



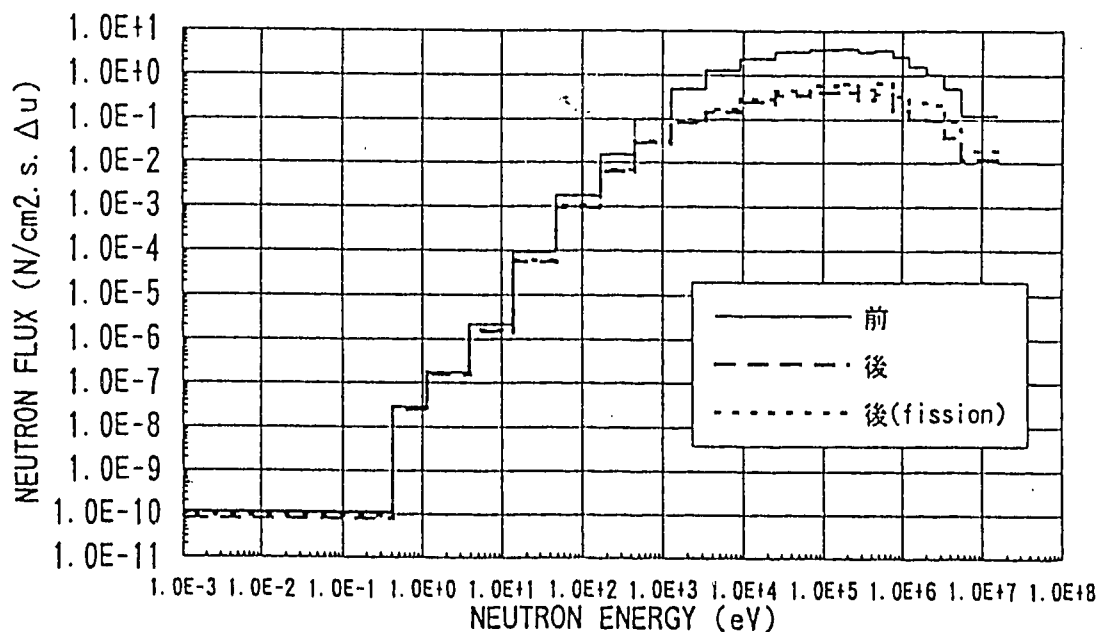
[試験部正面図]



① IVFSモックアップ前方に黒鉛遮蔽体を配置



② IVFSモックアップ前方にB₄C遮蔽体を配置



稠密型IVFSモックアップ透過前後での中性子スペクトル

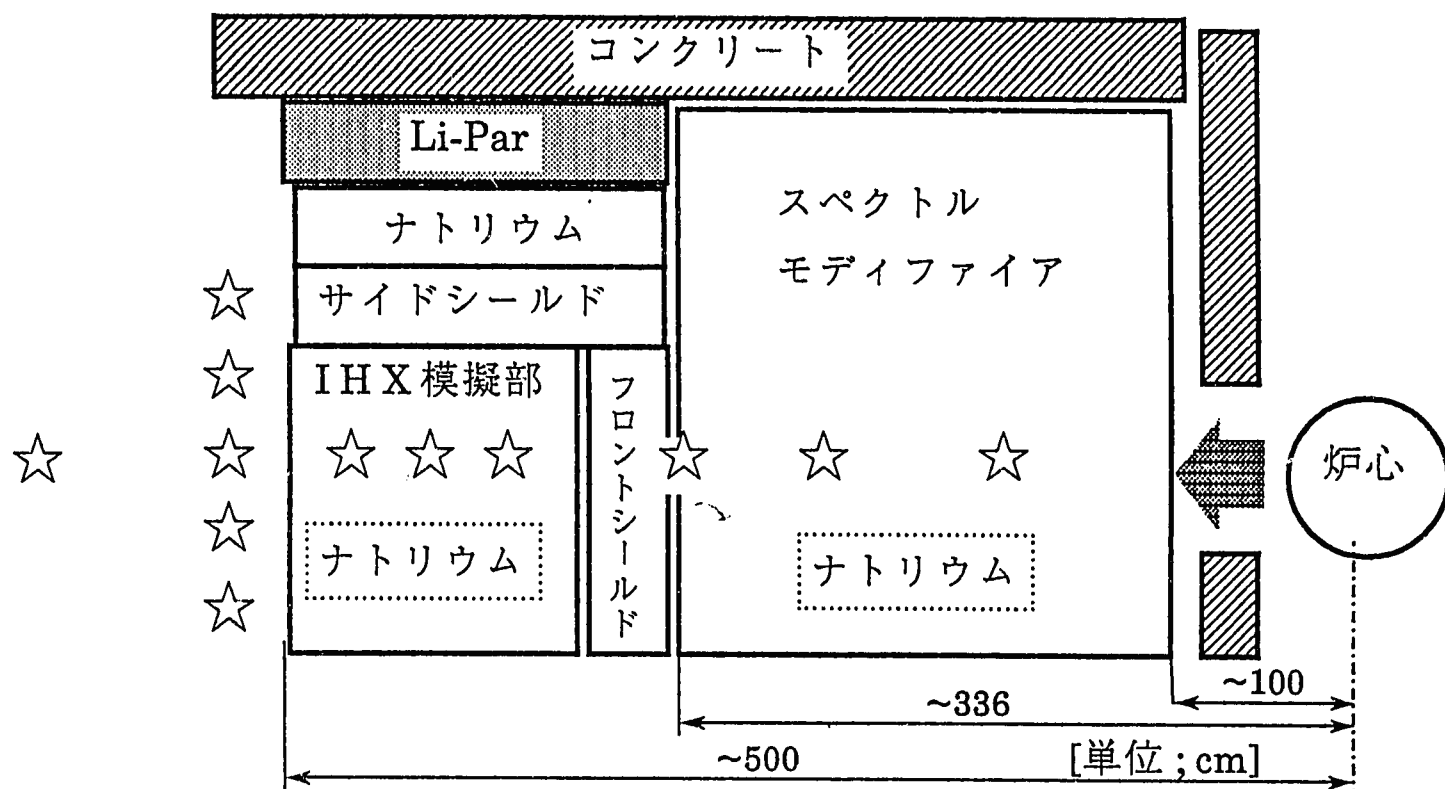
IHX 実験

IHX遮蔽体の配置が2次系ナトリウムの放射化量に及ぼす影響に着目

IHX遮蔽体のパターン 6種類

ナトリウム放射化量分布測定も実施

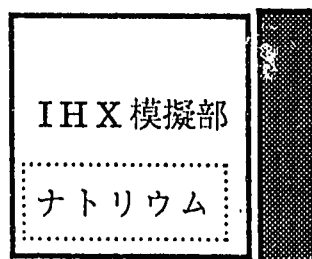
全10体系(日本6、米国3、共通1)



① 遮蔽体無し

② 原子炉方向のみ遮蔽

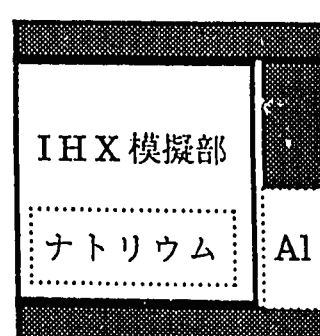
③ 原子炉方向と側部の一部を遮蔽



④ 原子炉方向と側部を遮蔽

⑤ 原子炉方向のナトリウム流入窓を模擬

⑥ 原子炉方向片側のみ遮蔽
三次元コード検証用

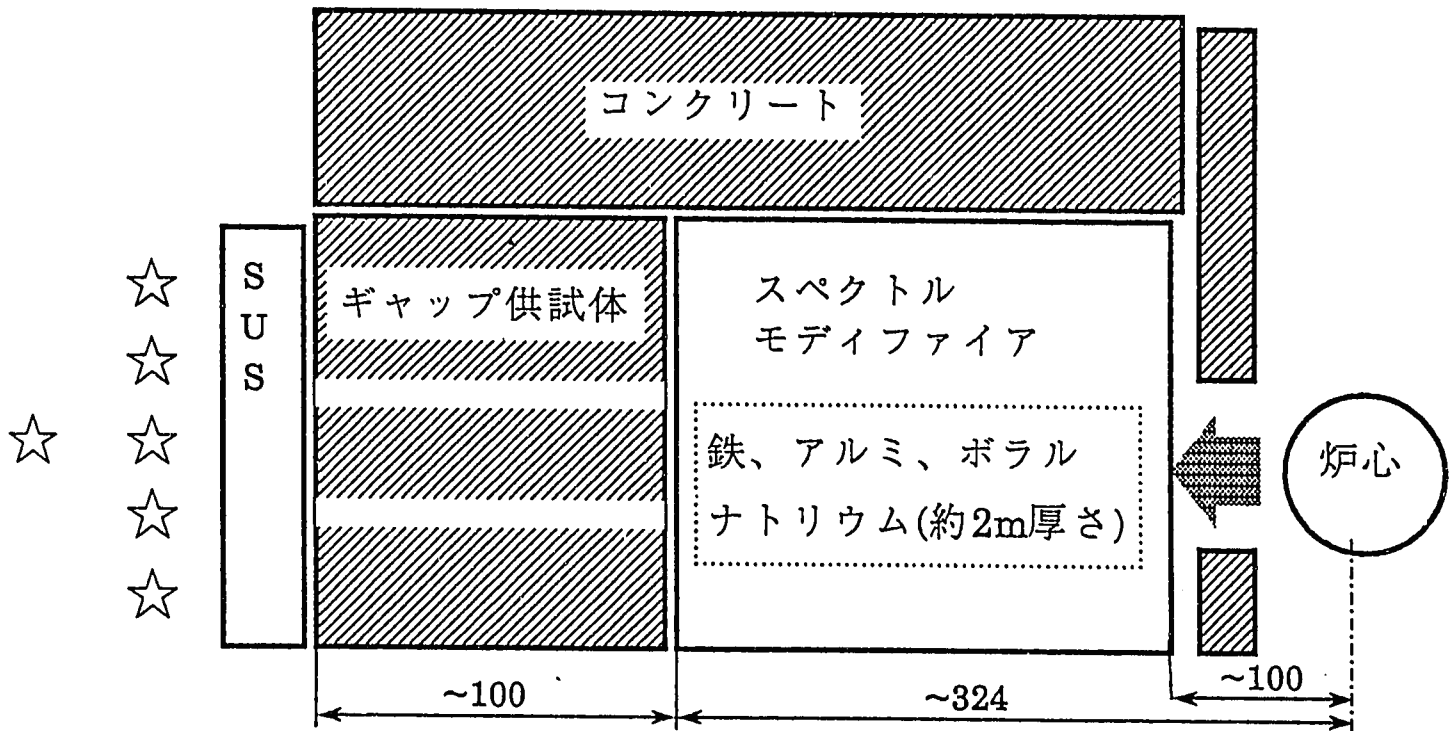


ギャップ・ストリーミング実験

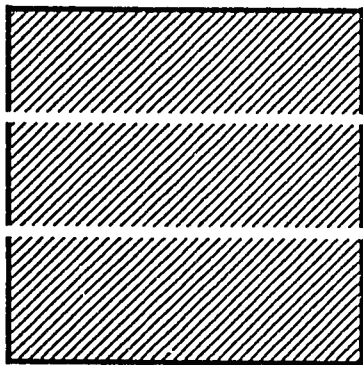
ギャップ形状(4種類)、 入射中性子スペクトル(2種類)

ギャップ後方の遮蔽体(最大10cm厚さ)

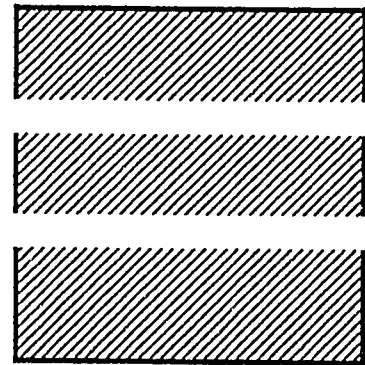
→ 全15体系



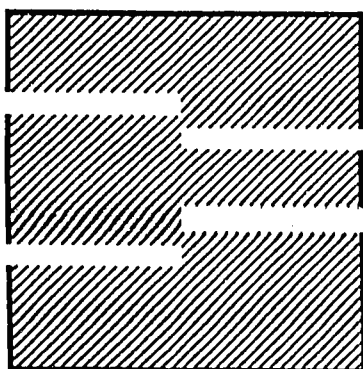
① 1cm幅、オフセット無し



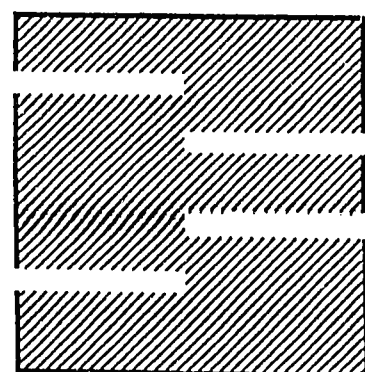
② 3cm幅、オフセット無し

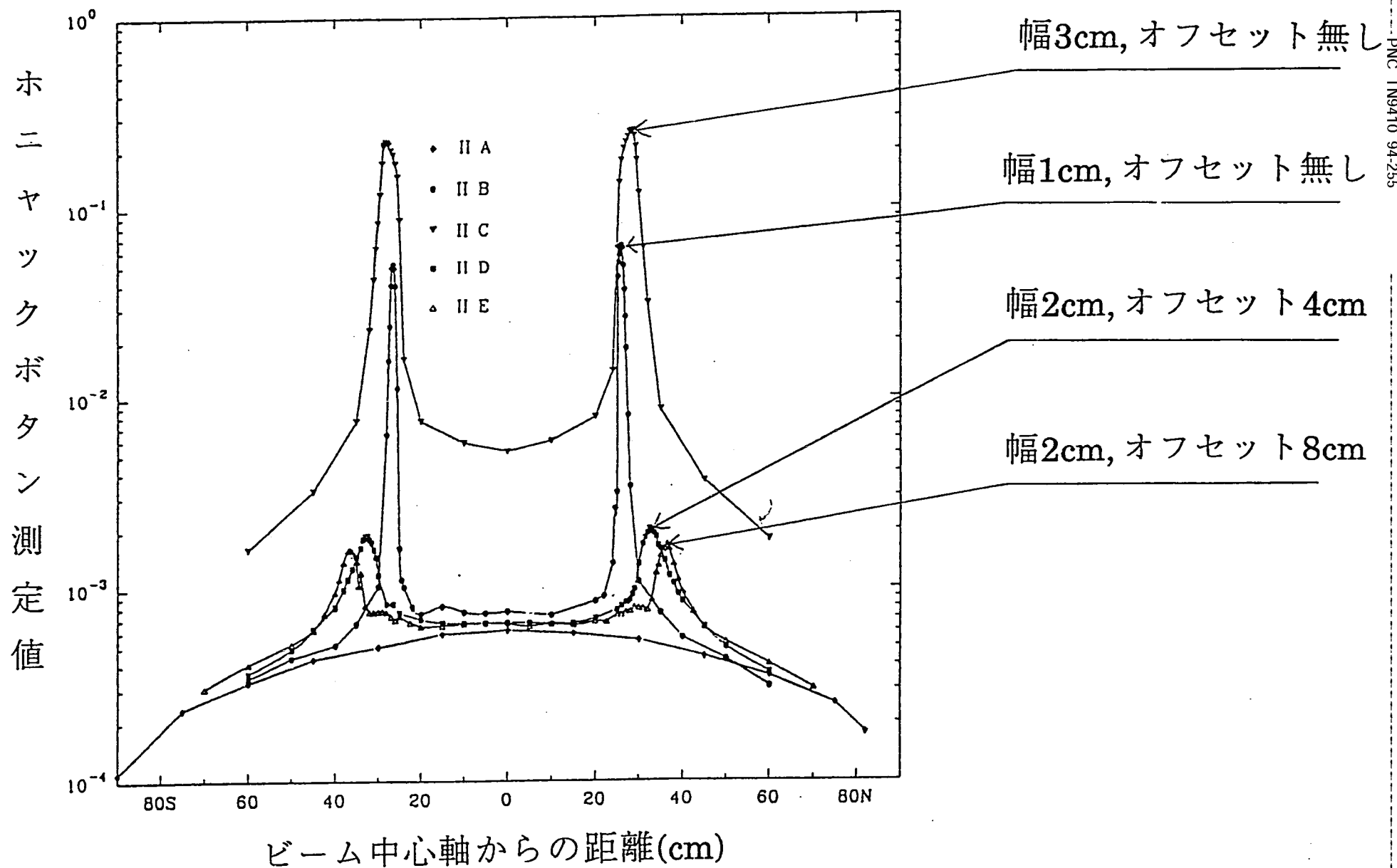


③ 2cm幅、4cmオフセット



④ 2cm幅、8cmオフセット





ギャップ・ストリーミング実験 ホニャックボタン測定値の一例

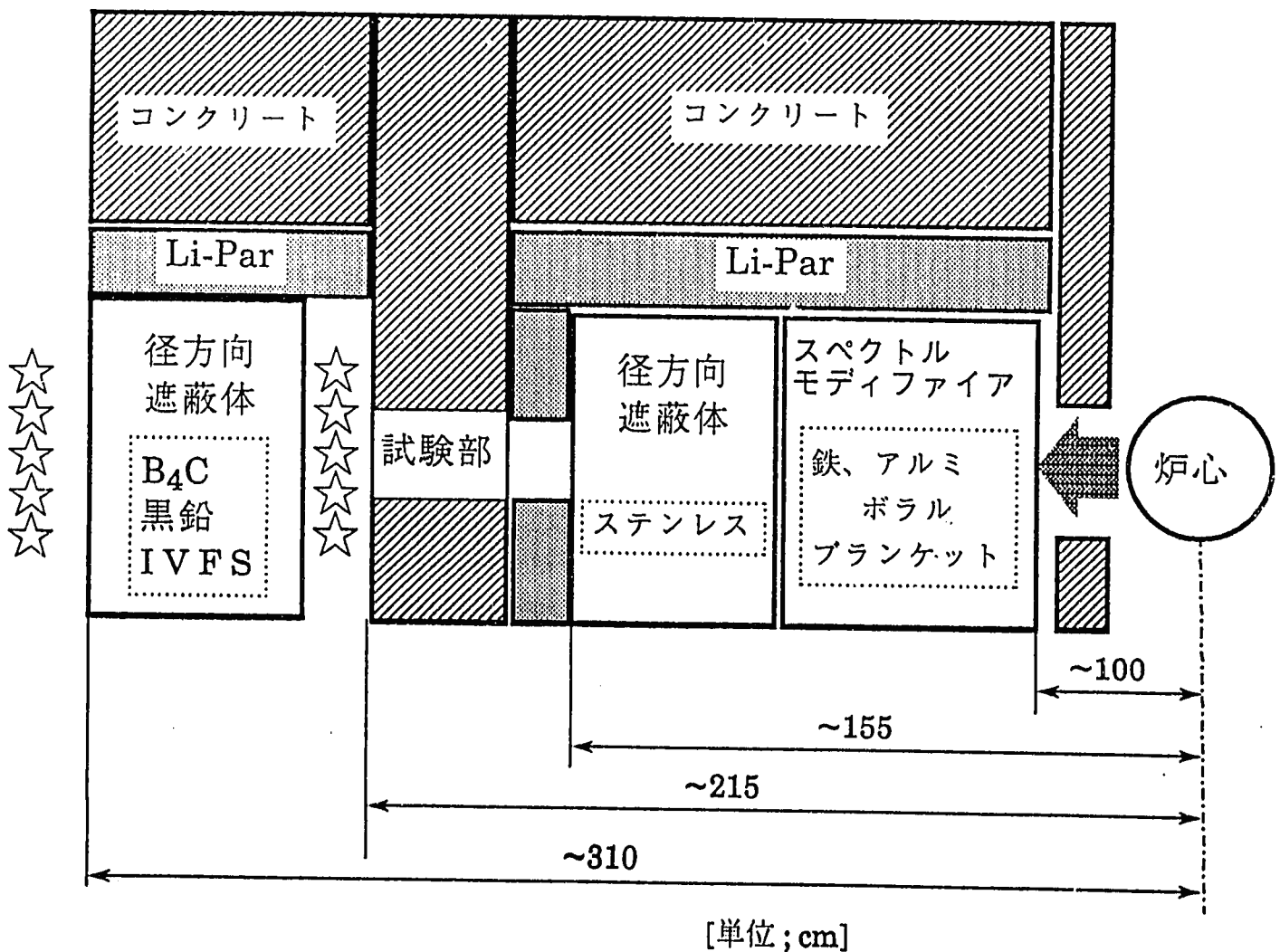
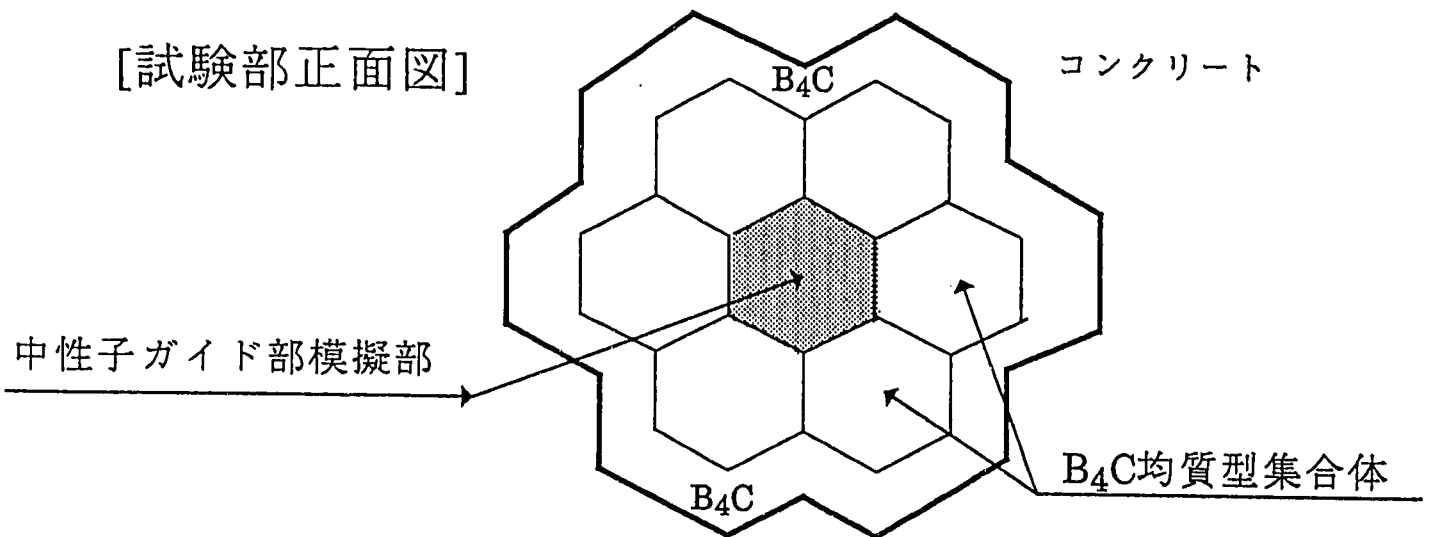
中性子検出器応答実験(NIS実験)

中性子ガイド部の中性子透過特性に着目

対面間距離16cm,長さ45cmのアルミ製六角柱

全8体系

[試験部正面図]

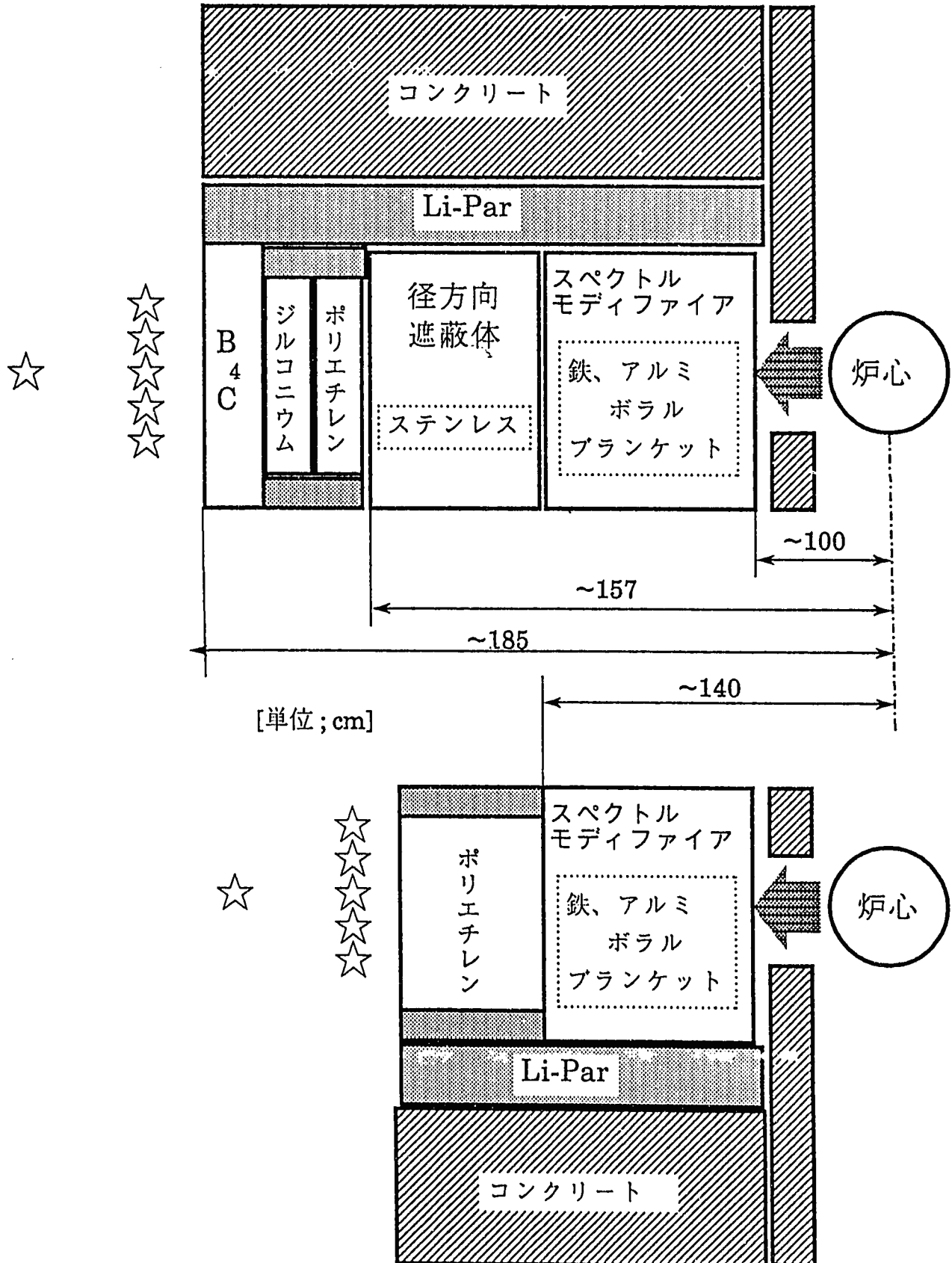


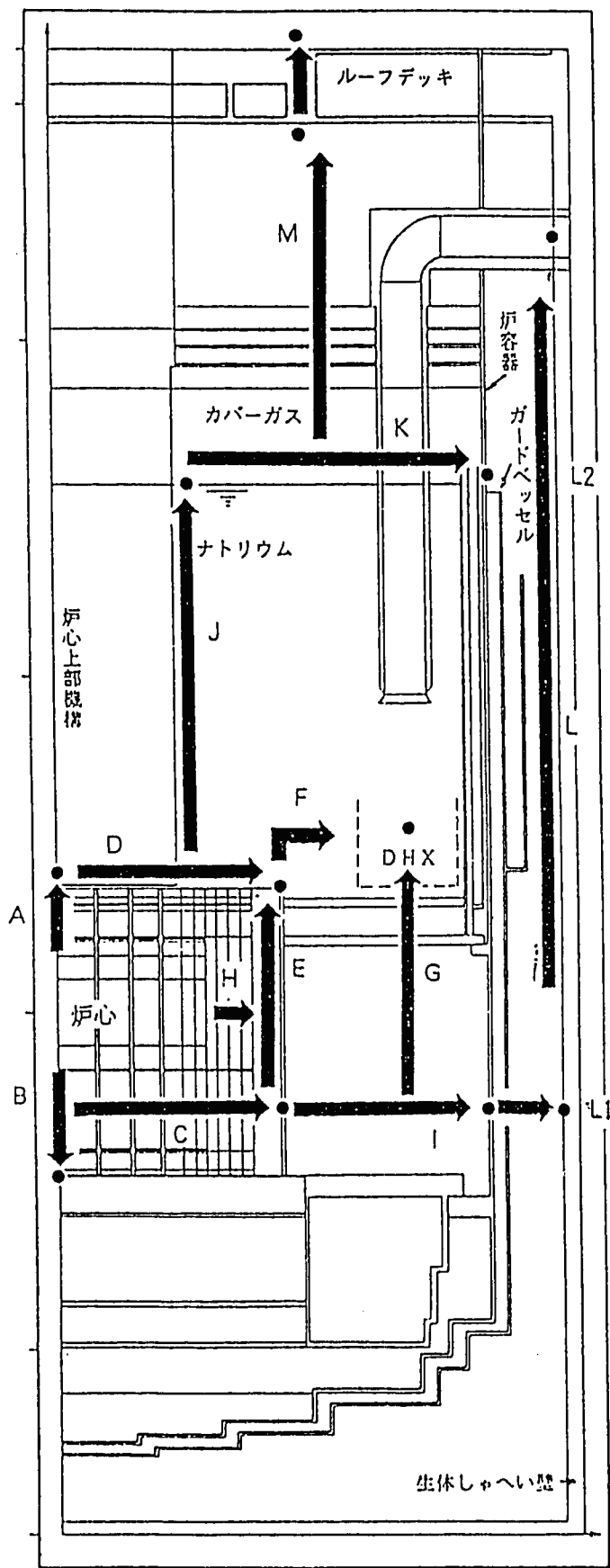
新遮蔽材透過実験

ジルコニウムハイドライドの遮蔽特性データ取得を目的

金属ジルコニウムとポリエチレンを組み合わせる模擬

全8体系



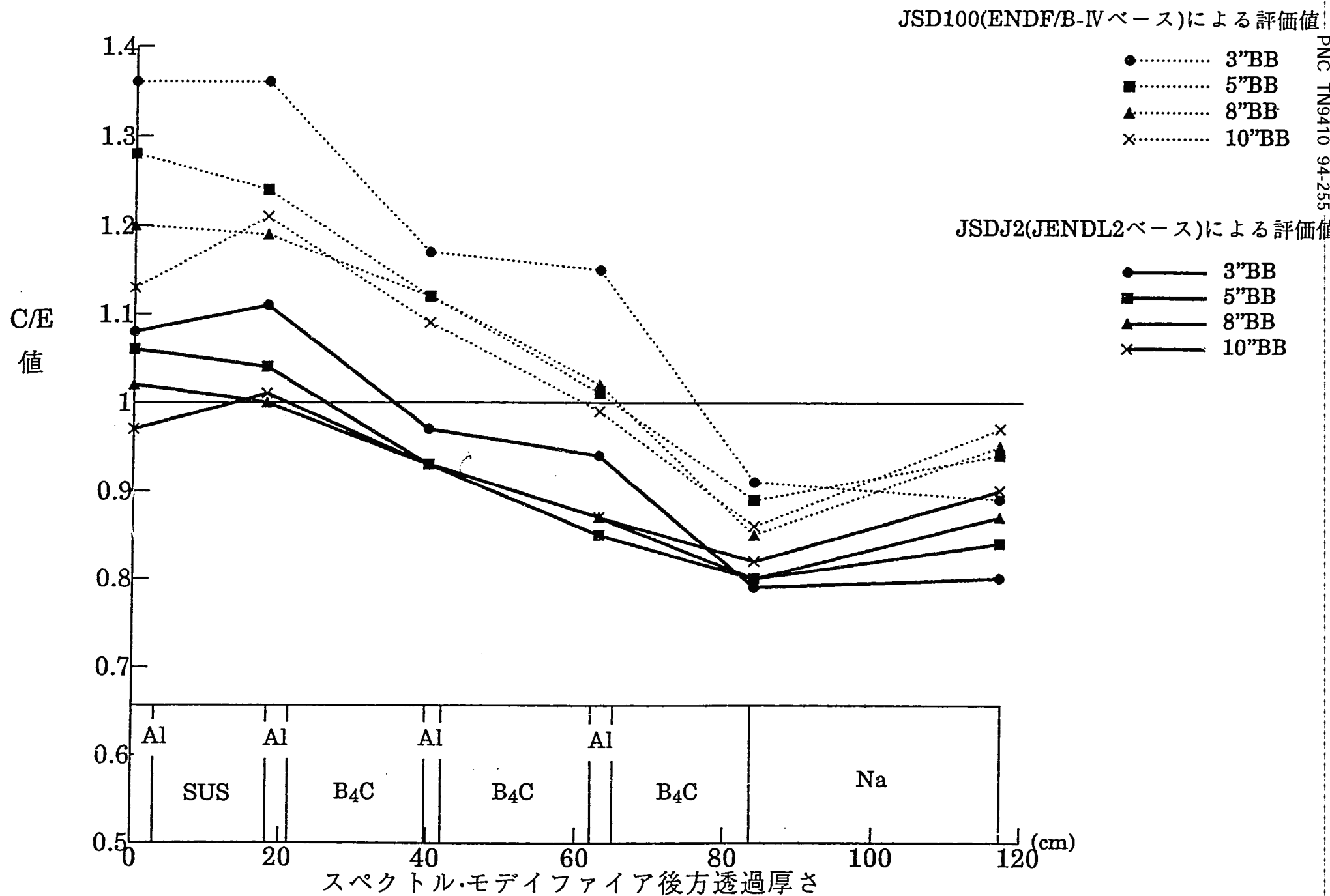


透過経路	遮蔽設計精度評価に活用された実験No.
A	①(Na,SUS)、②、③
B	①(Na,SUS)、②、③
C	①(Na,SUS)
D,E,J	①(Na)
F	①(Na)、⑤
H	①(B ₄ C,SUS,Na)
I	①(Na,SUS)
K	①(SUS)
L	-
M	①(SUS)、⑥

炉体まわり主要部への中性子透過経路

JASPER実験解析結果の大型高速炉遮蔽設計への反映

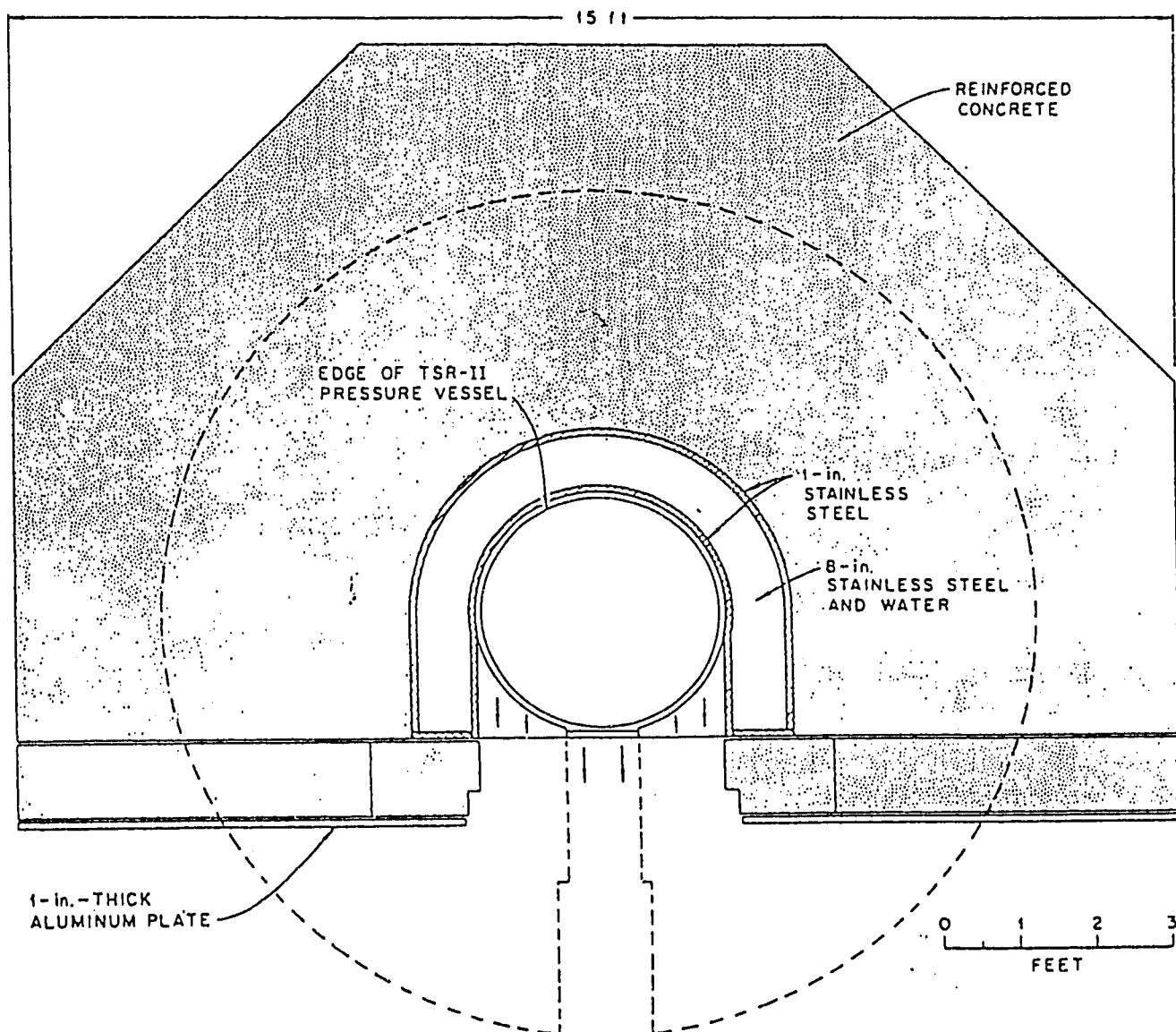
実験名称	大型高速炉遮蔽設計への反映事項
① 径方向遮蔽実験	B ₄ C、SUS、Naの多重層透過計算精度の検証結果。 JSD100/JSDJ2間の比較。⇒ JSDJ2の採用。 2次元Sn計算におけるメッシュ効果の評価。
② ガスプレナム実験 ③ 軸方向遮蔽実験	燃料集合体ガスプレナム部及びB ₄ Cロッドバンドル型軸方向遮蔽部のストリーミング係数計算精度の検証結果。
④ IVS実験	種々の形状のIVS透過計算精度の検証結果。 (透過・増倍の各成分に分離評価)
⑤ IHX実験	種々の局所遮蔽体内部のNa放射化量計算精度の検証結果。
⑥ ギャップ・ストリーミング実験	種々のギャップ中のストリーミング計算精度の検証結果。 同計算精度に及ぼす解析パラメータの影響評価。

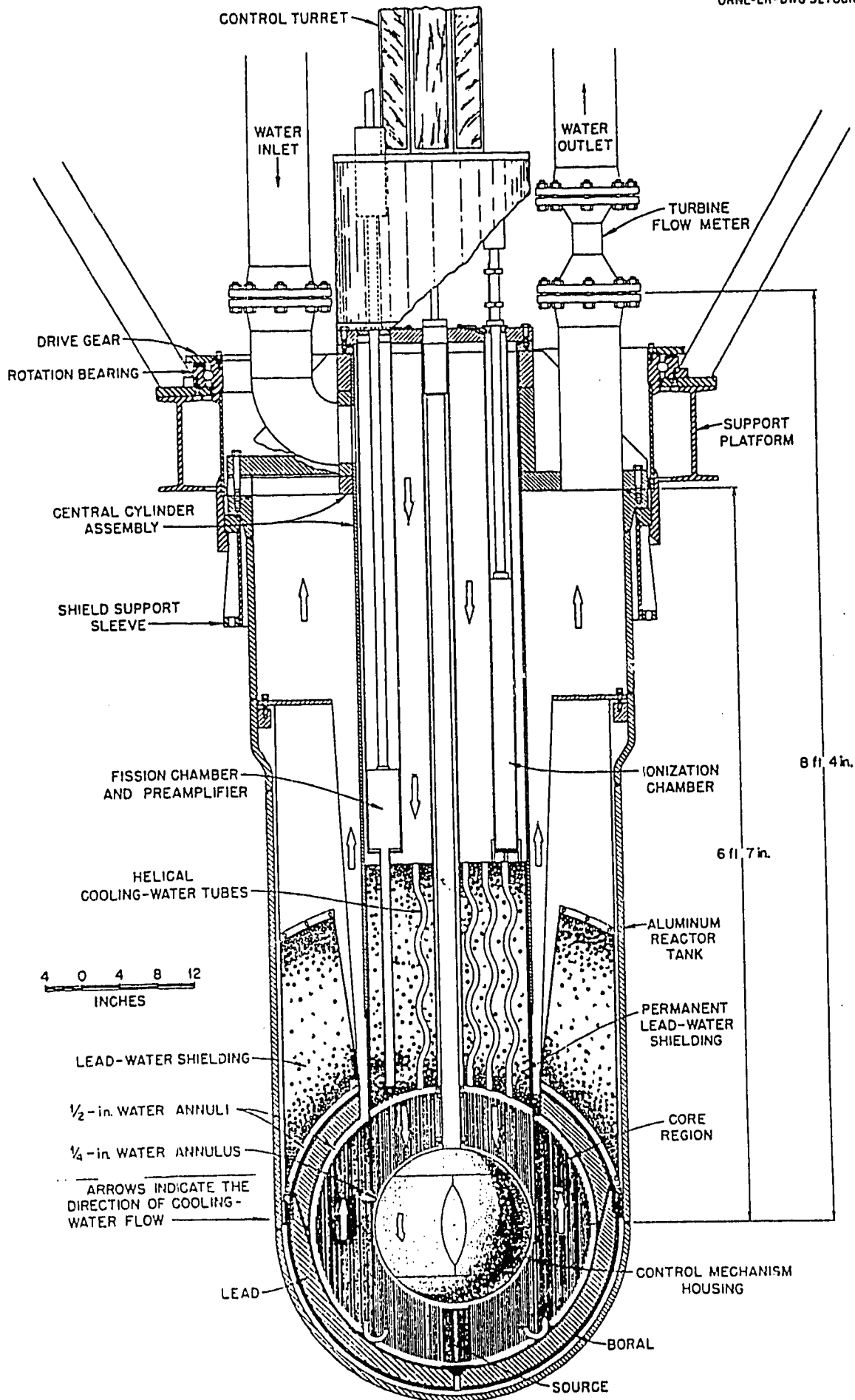


核定数によるC/E値の比較(JASPER径方向遮蔽実験体系II)

PLAN VIEW OF LARGE BEAM COLLIMATOR

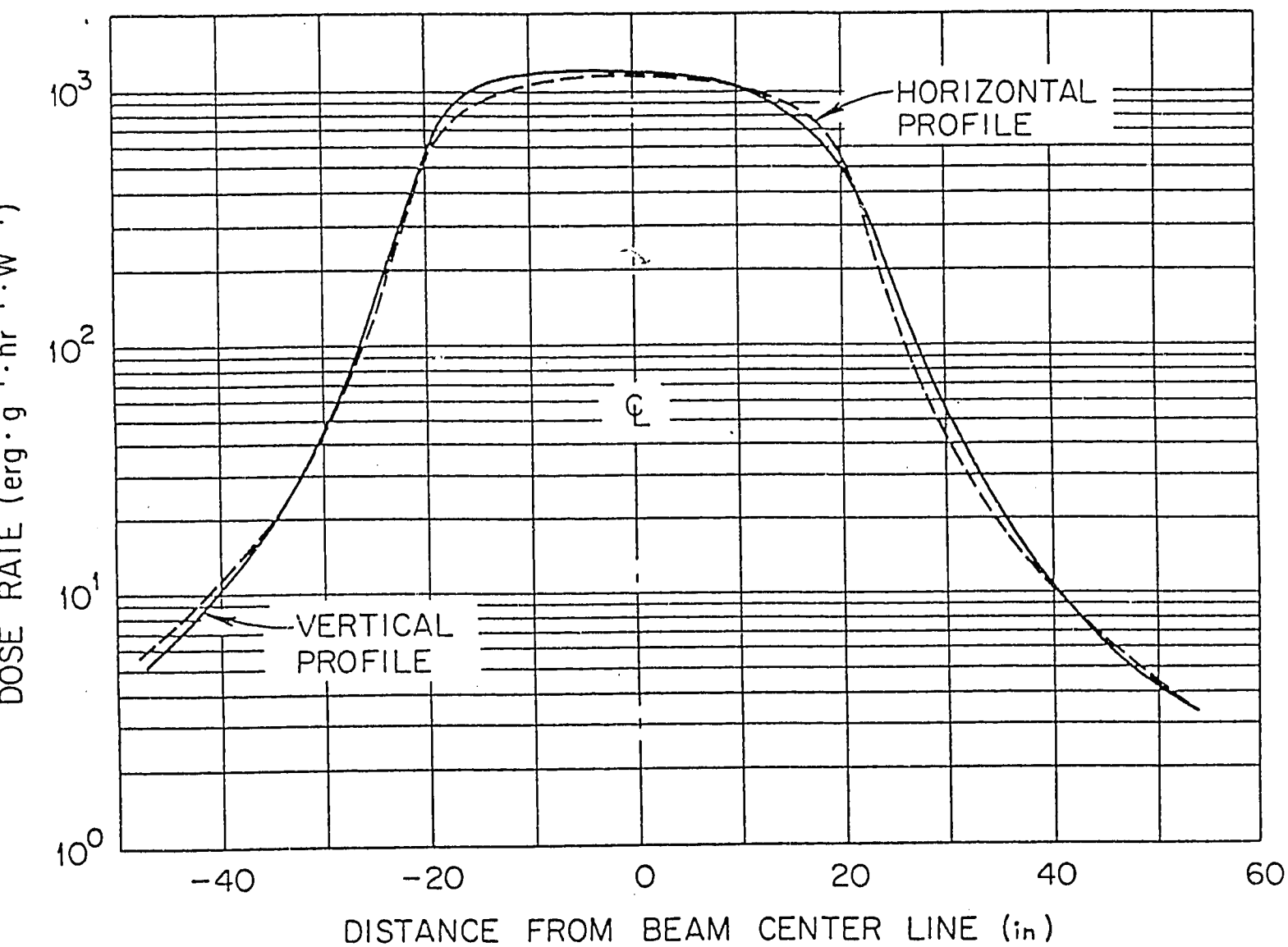
ORNL-DWG 74-2174A





TSR-II BEAM PROFILE AT 1 M

ORNL-DWG 75-14850



3. JASPER実験解析結果

3.1 実験解析結果の概要

「JASPER実験解析」をJASPER実験に関連する解析及び検討事項全般と考えれば、その開始時期は1980年前後にまでさかのぼられると思われるが、ここでは、1986年(昭和61年)以来動燃事業団資料として年度毎に発行されてきた「JASPER実験解析」の記載内容をベースにし、最近8年間の主な実施内容を簡潔に整理した。(OHP3.1-2)

JASPER実験の実施時期は、'86年～'87年にかけての径方向遮蔽実験及びガスプレナム実験が実施された第1期と、'90年から'92年にかけての軸方向遮蔽実験以降の6項目の実験が実施された第2期とに大別される。実験解析の実施項目にもその影響が現れている。すなわち、第1期の実験解析は主に'86年から'88年にかけて実施され、第2期の実験解析は'91年から93年にかけて実施された。その間の3年間は、主として第2期の実験計画の見直し及び既存TSF実験データの解析、さらには第1期の実験解析の過程で問題提起された解析手法上の検討事項への取り組み等が行われた。

ここで、「既存TSF実験」とは、JASPER実施以前にTSFで実施された遮蔽実験のことである。もんじゅ/CRBR情報交換及びJASPER協定に基づいて、FFTF,CRBR,GCFRの開発用に行われた多数の遮蔽実験に関する情報が入手された。これらの中には、JASPER実験の企画及び解析に必須の事項、参考になり得る情報、高速炉遮蔽解析手法の検討に有益な事項等が数多く含まれており、それらを活用した解析が長期間行われてきた。したがって、「JASPER実験解析」の成果には、8項目のJASPER実験に関する成果のみならず、これら既存TSF実験の解析結果も含めて考える必要がある。

ただし、軸方向遮蔽実験以前の解析結果は報告された実績があること、発表時間の制約があることから、本日は、最近2年間に実施した解析結果に焦点をあてて報告する。対象項目は以下の6点であり、解析結果の概要はOHP3.1-3に示すとおりである。

3.2～3.4で報告する実験解析項目

- ① IVS実験
- ② NIS実験
- ③ IHX実験
- ④ 新遮蔽材透過実験
- ⑤ ギャップ・ストリーミング実験
- ⑥ 3次元輸送コードTORTの適用

(動燃事業団 庄野彰)

3.1 JASPER実験解析結果の概要

大型炉遮蔽研究成果報告会

1994年7月19日

動燃事業団・大洗工学センター 基盤技術開発部 炉心技術開発室

庄野 彰

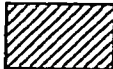
JASPER実験解析で実施した項目

実験解析項目	'86 (I)	'87 (II)	'88 (III)	'89 (IV)	'90 (V)	'91 (VI)	'92 (VII)	'93 (VIII)
① 径方向遮蔽実験	◎	◎	◎	◎				
② ガスプレナム実験	◎	◎	◎					
③ 軸方向遮蔽実験						◎	◎	◎
④ IVS実験		○			○	◎	◎	◎
⑤ IHX実験		○					◎	◎
⑥ ギャップ・ストリーミング実験	○	○					◎	◎
⑦ NIS実験					○		◎	◎
⑧ 新遮蔽材透過実験		○			○	○	◎	◎
⑨ 既存TSF実験*	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
⑩ その他の実施項目	解析手法の検討、各種3次元コードの適用、 遮蔽用定数の整備、新コードの導入・整備等							

* JASPER実施前にTSFで実施された遮蔽実験。JASPER協定締結前後で、合計32件のレポートが入手され、実験立案、実験解析、解析手法の検討等に活用された。

○ ; 実験計画検討

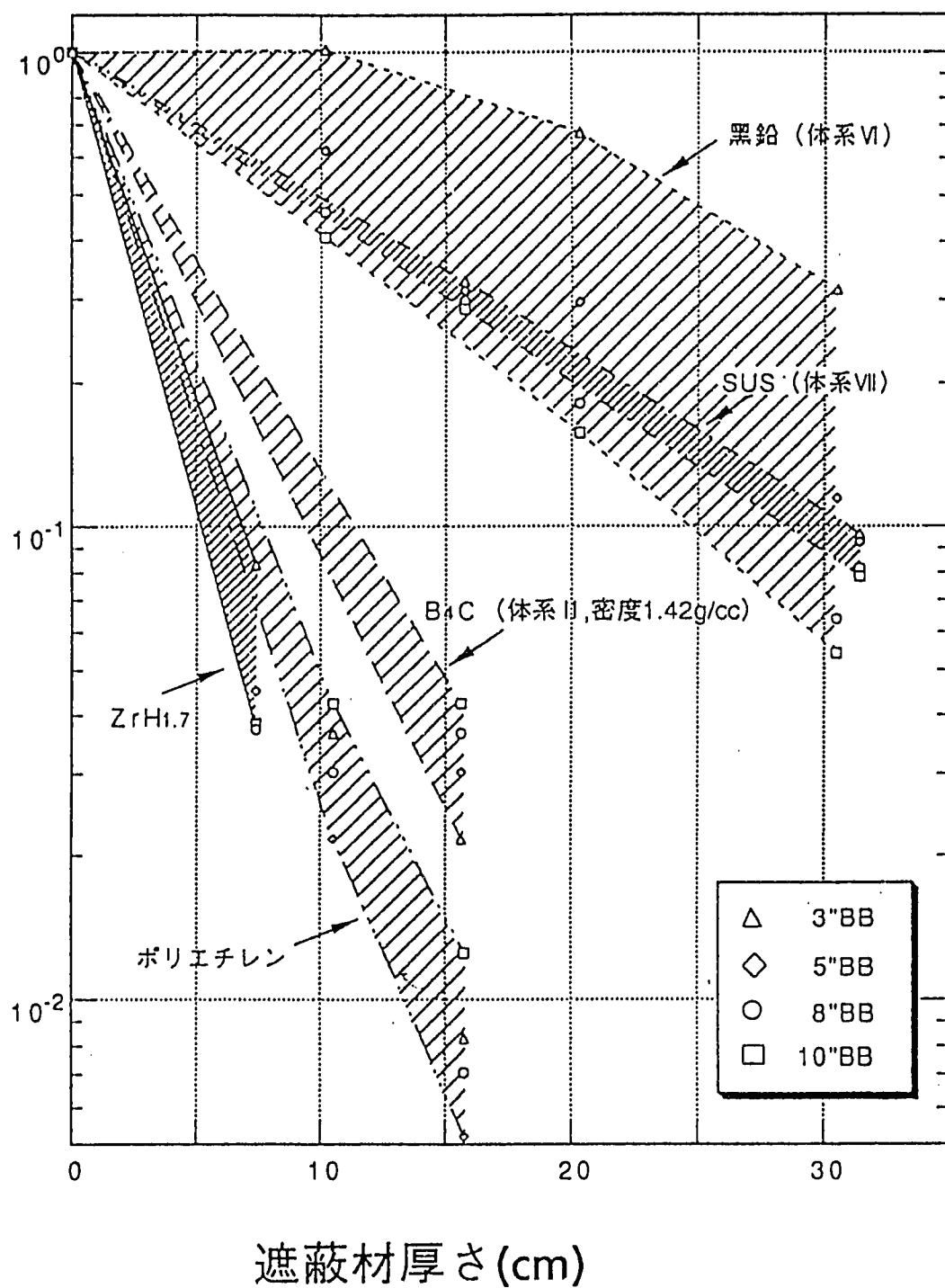
◎ ; 実験解析

 ; 本日の報告範囲

実験解析内容の概略

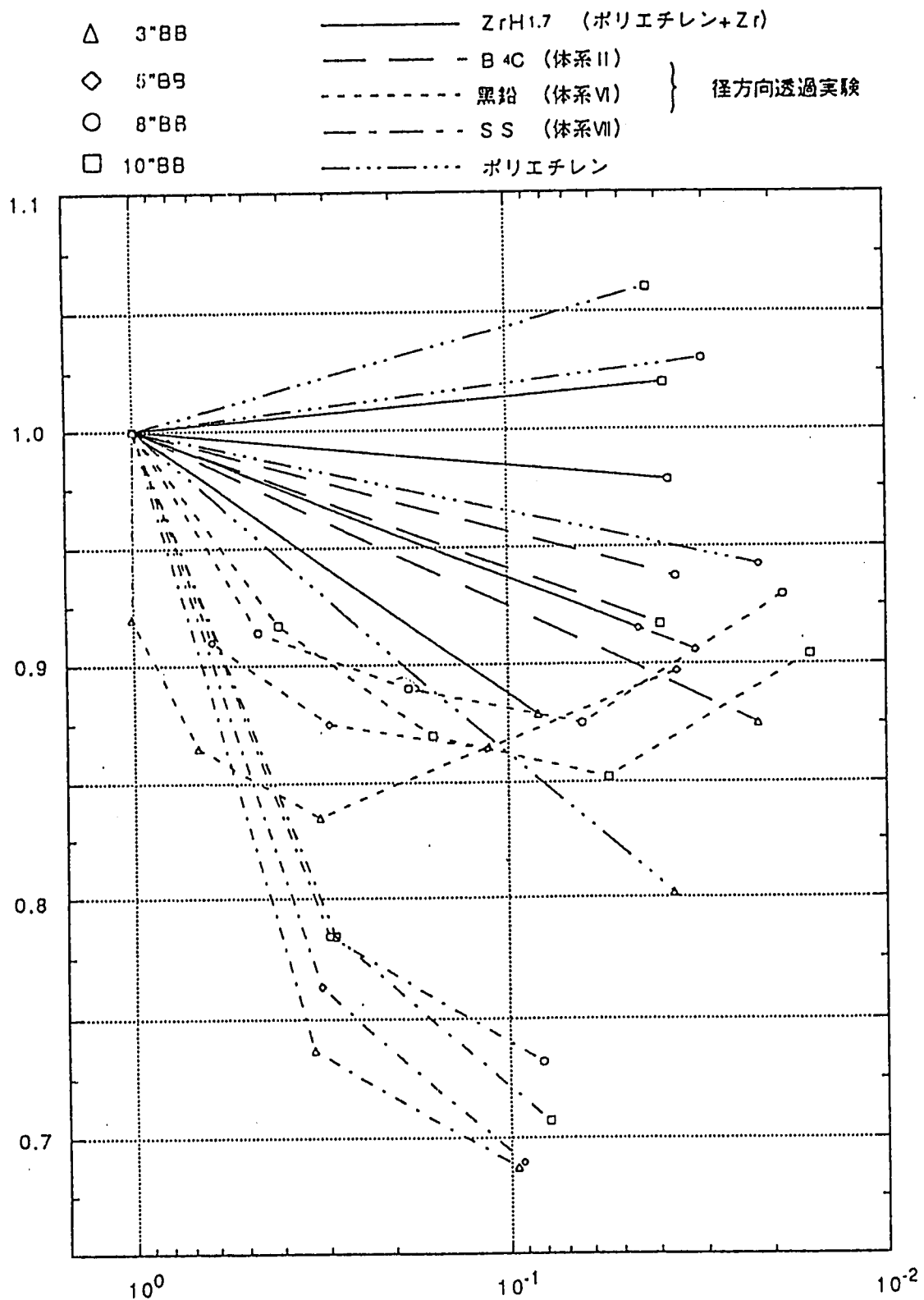
項 目	実験解析内容
IVS実験	・ IVS中での中性子発生量を求め、IVS発生成分とIVS透過成分各々の補正係数を評価 ⇒ 共研で活用。
NIS実験	・ 中性子ガイド部後方の測定値に対するC/E値の分布、解析方法の影響を評価。 ・ 密閉空間内での測定値に対する補正係数を評価し、良好なC/E値を確認。
IHX実験	・ 種々の形状の遮蔽体内部でのNa放射化量分布、ボナーボール応答に対するC/E値を評価。⇒ 共研で活用。 ・ 3次元モンテカルロ計算(MORSE)も一部実施。 ⇒ 解法、検出器設定方法の適切な設定により、当初の計算時間を大幅に短縮し、かつ良好な統計精度を得た。
新遮蔽材透過実験	・ ジルコニウム+ポリエチレン、ポリエチレンのみの体系について、C/E値を評価。 ・ ジルコニウムハイドライドの遮蔽性能及び遮蔽評価精度をB₄C、ステンレス鋼、黒鉛と比較。 ⇒ 他の遮蔽材と比べて良好な遮蔽性能。ただし、C/E値のばらつきが大。
ギャップ・ストリーミング実験	・ 実験解析の過程で、Sn分点の設定値及び検出器応答計算方法が計算値に大きく影響を及ぼすことを確認。 ⇒ 上記事項の影響を考慮した解析により、C/E値を大幅に改善。
3次元輸送コード TORTの適用	・ サンプル問題で、DORTとの接続方法、解法と計算結果の関係を確認。 ・ ビーム中心軸に対して非対称な物質配置を持つJASPER実験体系にTORTを適用。 ⇒ 2次元重ね合わせ法に比べて、測定値に見られる複雑な分布をより良く再現。

ボナーボール反応率の減衰割合



遮蔽材による遮蔽性能の比較

C/E値

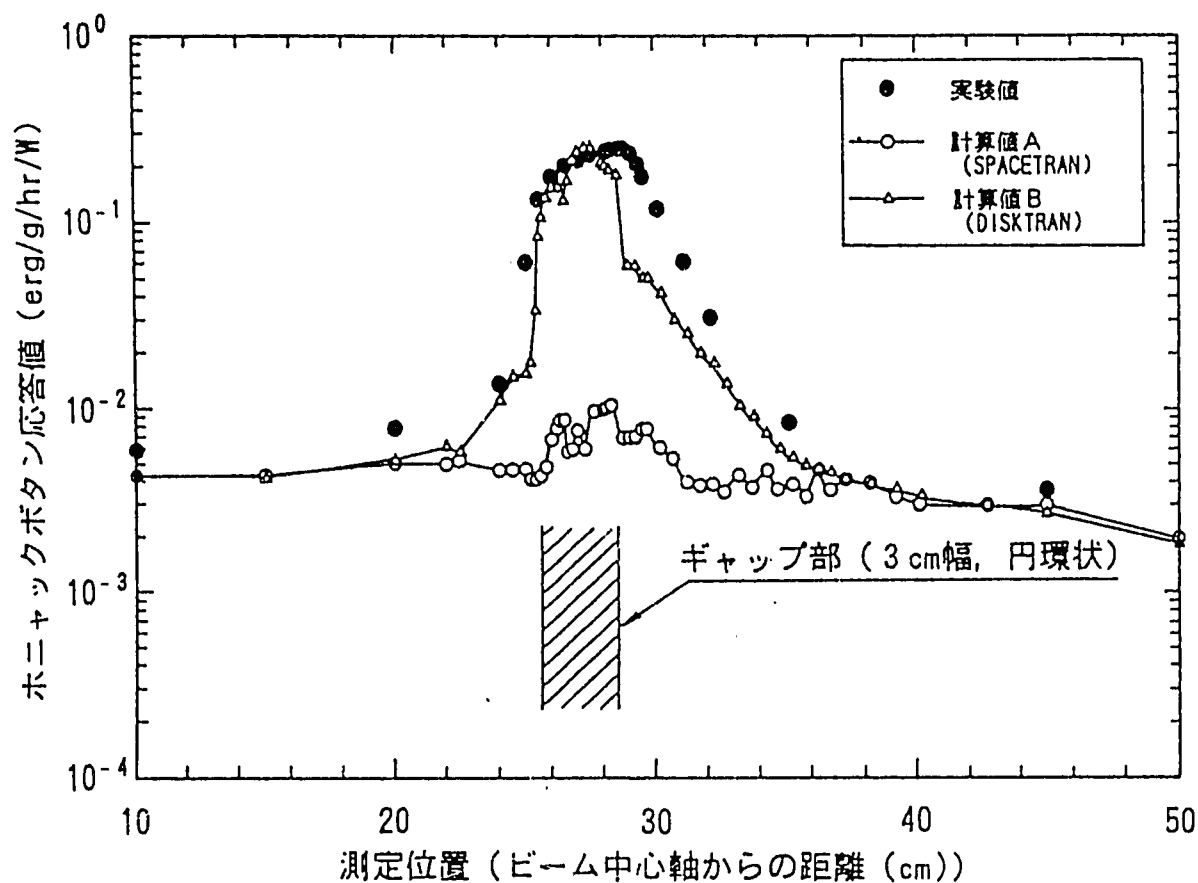


ボナーボール反応率の減衰割合

遮蔽材による実験解析精度の比較

非等方Sn分点の採用と検出器応答評価方法の変更

⇒ 評価精度向上



ギャップ後方のホニャックボタン測定
値と計算値の比較
(JASPERギャップ・ストリーミング実験)

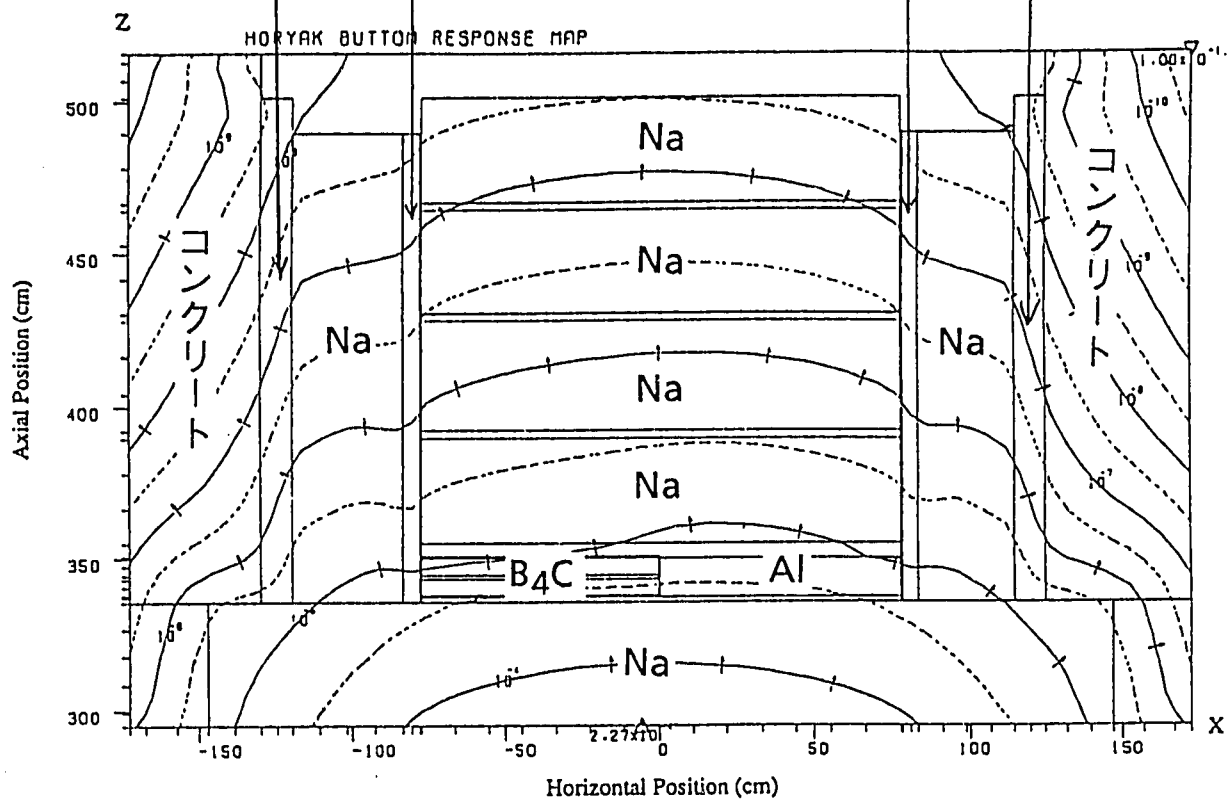


図 12. 21 X-Z平面でのホニャックボタン検出器応答分布

△ 測定ポイント

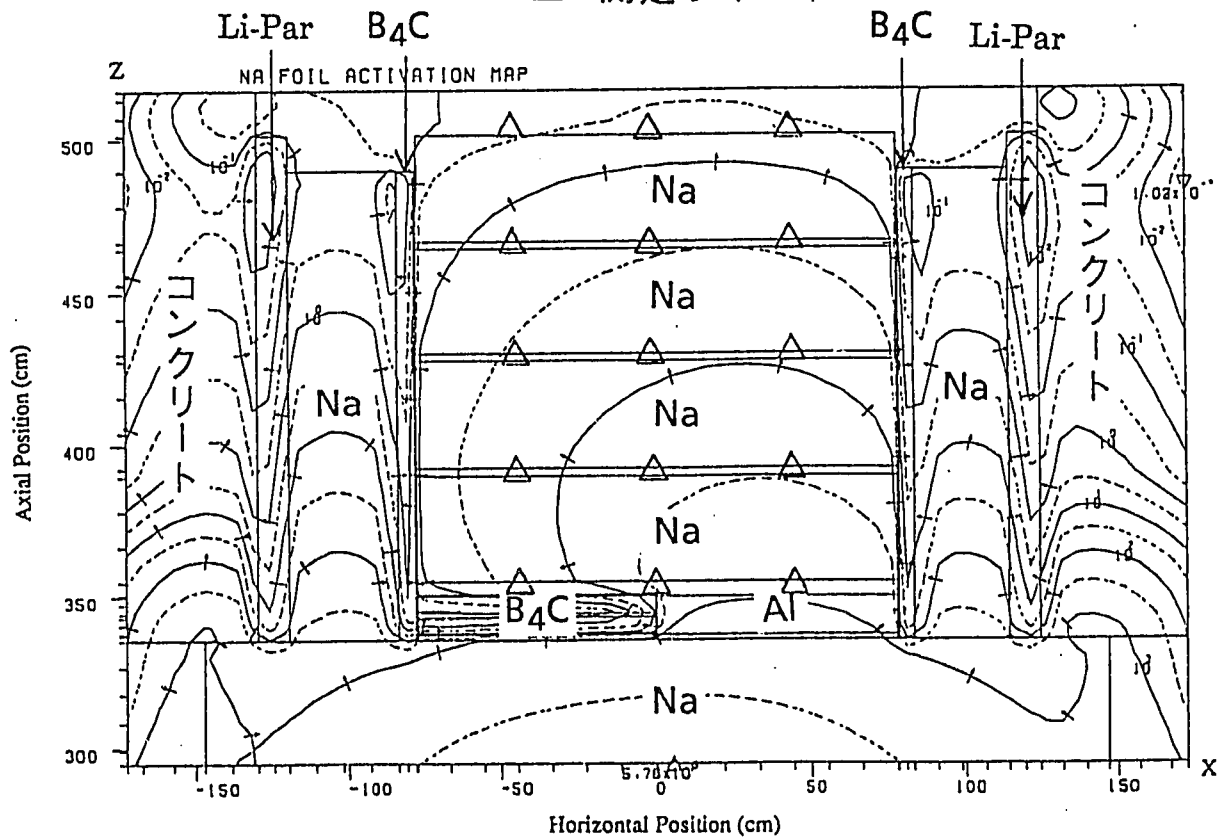


図 12. 22 X-Z平面でのナトリウムフォイル放射化量応答分布

3次元輸送計算コードTORTの解析結果

3.2 I V S 実験及び N I S 実験の解析結果

(1) I V S 実験

① 実験の目的と概要

大型高速炉の設計では、炉心の径方向遮蔽体領域に使用済燃料を貯蔵する方式（I V S）が採用されていた。I V S 実験は、中性子の減衰と増倍のある I V S での、遮蔽計算精度を評価することを目的として実施された。

I V S 実験は、径方向遮蔽体の後方に I V S を設置した体系を模擬した実験である。実験は 4 種類の径方向遮蔽体と 3 種類の I V S 供試体を用いて行われた(OHP 3.2-2)。

② 実験解析方法

実験解析は、DOT 3.5 コードにより実施し、断面積は、JSDJ 2 ライブラリから作成した実効断面積を 21 群に縮約して用いた。I V S での核分裂による中性子発生については、DOT コードで Outer Iteration を行うことで評価した。

③ 実験解析結果

解析結果の C/E 値は 0.8 ~ 1.1 の範囲にあり、I V S 後方でも過大な変化が見られず、評価精度は、他の遮蔽材料と比べて著しく劣るようなことがないことがわかった。

④ I V S 中での中性子発生量の検討

DOT コードにより、核分裂による中性子発生を無視した計算と、考慮した計算の差から、I V S 後方で計測される中性子のうち、I V S 内の核分裂によって発生した成分の割合を評価した。

この結果、I V S 直前の B₄C が厚くなるほど、I V S 中で発生した成分の寄与割合が減少していることがわかった。

計算により得られる I V S 透過成分と I V S 発生成分の比率と、実験より得られる I V S 透過前後の C/E 値の変化率を用いて、それぞれの成分に対する計算の不確かさの補正係数を求めた(OHP 3.2-7)。

この結果、I V S 前方の B₄C 厚さが変わっても、I V S 透過成分の補正係数は、ほぼ同じ範囲にあるが、I V S 発生成分の補正係数は、B₄C が厚くなるほど増大することがわかった。

このことから、スペクトル硬化により、熱中性子束が減少し、それによって発生する核分裂中性子の評価精度が劣化することがわかった。

⑤ まとめ

I V S 透過による C/E 値の変化は、± 11 % 以内であり、入射中性子スペクトルの硬化に伴って増大した。

I V S を透過してくる中性子成分と、I V S 中で発生する中性子成分の計算の不確かさの補正係数を評価したところ、入射中性子スペクトルの硬化に伴い、I V S 中の核分裂によって発生する成分の評価精度が低下した。

(2) N I S 実験

① 実験の目的と概要

大型高速炉の設計では、中性子検出器（N I S）の計数率を確保するために、遮蔽

体中に、中性子ガイド部を設けることが検討されたことがあった。N I S 実験は、中性子ガイド部を透過してくる中性子束分布の計算精度を評価することを目的として実施された。

N I S 実験は、ハニコム型供試体の中央を中性子ガイドに見たてた実験である (OHP 3.2-10)。中心の中性子ガイド領域はアルミが使われ、周辺の6体は、B₄C、ステンレス、アルミの積層構造となっている。

② 実験解析方法

実験解析は、DOT 3.5コードにより実施し、断面積は、JSDJ2ライブラリから作成した実効断面積を21群に縮約して用いた。

③ 実験解析結果

解析結果のC/E値は0.6～1.0であるが、中性子ガイド後方でのC/E値が、極端に小さくなった。

④ 中性子ガイド後方の中性子計算手法の検討

中性子ガイド供試体後方でC/E値が小さくなる原因を探るために、検出器応答評価手法と輸送計算におけるS_n分点の効果を検討した。

(i) 検出器応答手法の検討

検出器の応答値評価に、SPACETRANコードを用いた結果と、DOTコードを用いた結果を比較した。

この結果、中性子ガイド供試体後方でのDOTコードの計算結果は、SPACETRANコードの結果よりも、25%～40%大きな値となり、測定値との一致がよくなり、体系透過毎のC/E値も平坦になった (OHP 3.2-14 左)。

これは、中性子がコリメートされていることで、中性子の向きによって値が大きく異なるため、SPACETRANコードが近似的な角度束を採用する際の誤差が大きくなってくるためと考えられる。

(ii) S_n分点の効果

2次元輸送計算で用いるS_n分点に、等方S₉₆分点を採用した結果と、前方にバイアスしたS₁₆₆分点の計算結果を比較した。

この結果、S₁₆₆分点の結果は、S₉₆分点の結果よりも1～12%小さくなり、ボナーボールの種類毎のC/E値のばらつきが小さくなった。また、C/E値も1に近づく結果となった。

このことから、中性子ガイドを透過する中性子束を評価するには、透過方向に詳細な分点を有する角度分点を採用することが望ましいことがわかった。

⑤ まとめ

中性子ガイド供試体後方での中性子束の計算値は、測定値と±11%以内で一致する。

中性子ガイド後方では、中性子ストリーミングが顕著であるため、輸送計算においては、透過方向に詳細なS_n分点が必要である。また、ストリーミングが顕著な体系において、検出器の応答評価にSPACETRANコードを用いた場合、誤差が大きくなる。

(日立 根目沢 重紀)

I V S 実験解析

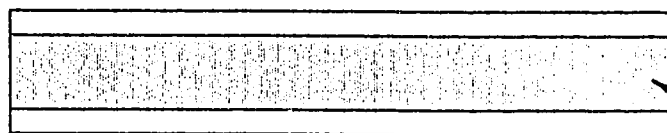
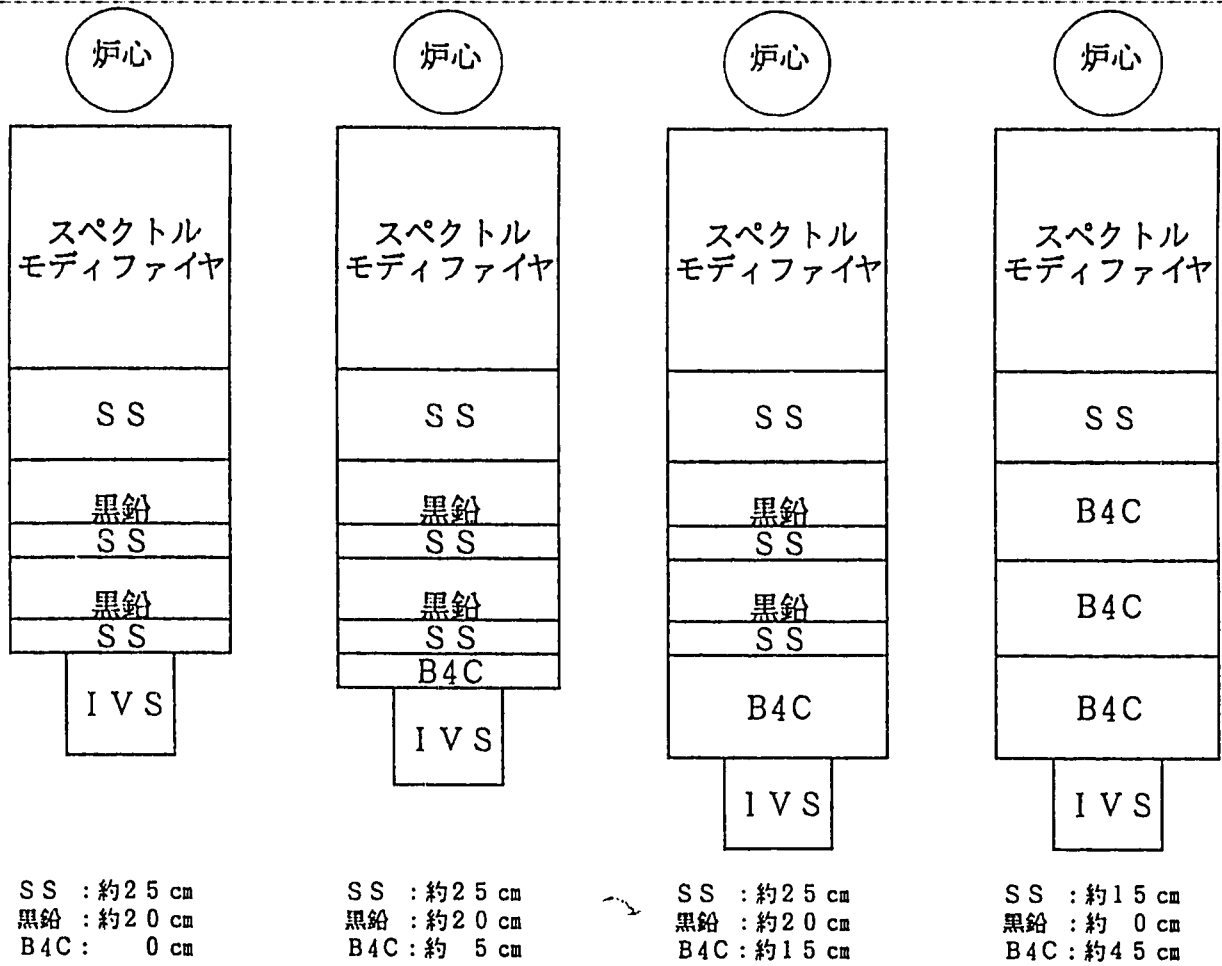
背景

大型高速炉の設計では、炉心の径方向遮蔽体領域に、使用済燃料を貯蔵する方式（I V S）が採用されていた。

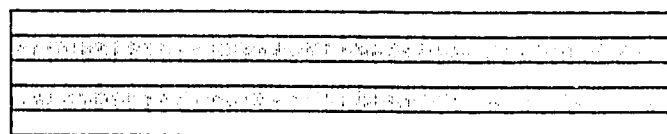
I V Sでは、炉心から到達する中性子によって核分裂がおこり中性子が発生するため、設計では、中性子減衰と中性子増倍の評価が必要。

目的

中性子の減衰と増倍がおこる I V Sでの、遮蔽計算精度を評価する。



厚い均質型 I V S 供試体

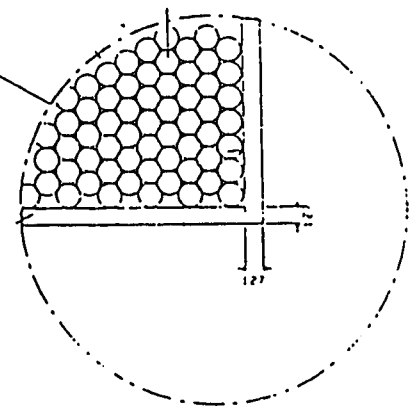


均質型 I V S 供試体

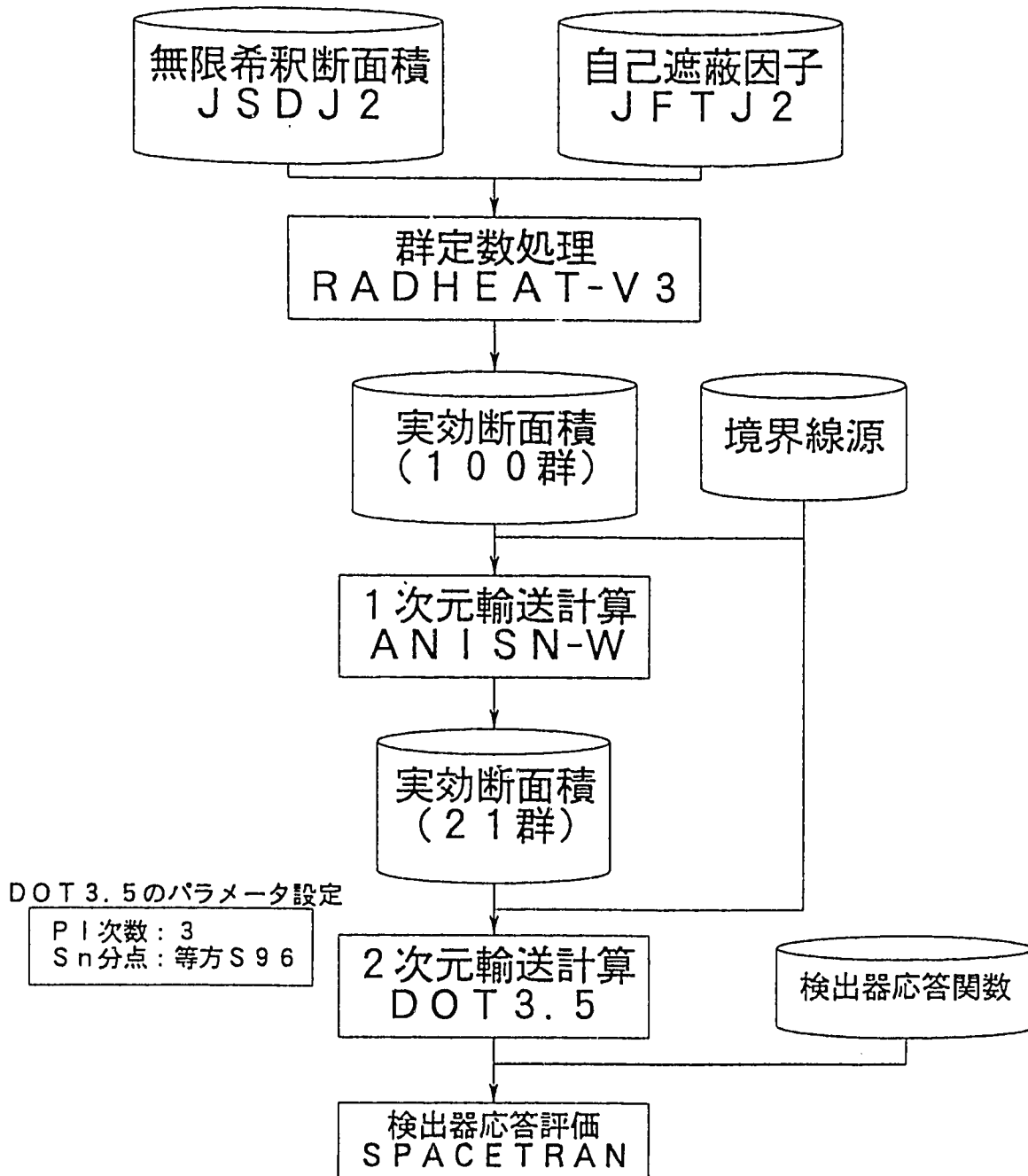


非均質型 I V S 供試体

I V S 供試体の種類



^{235}U : 4.8%



解析結果

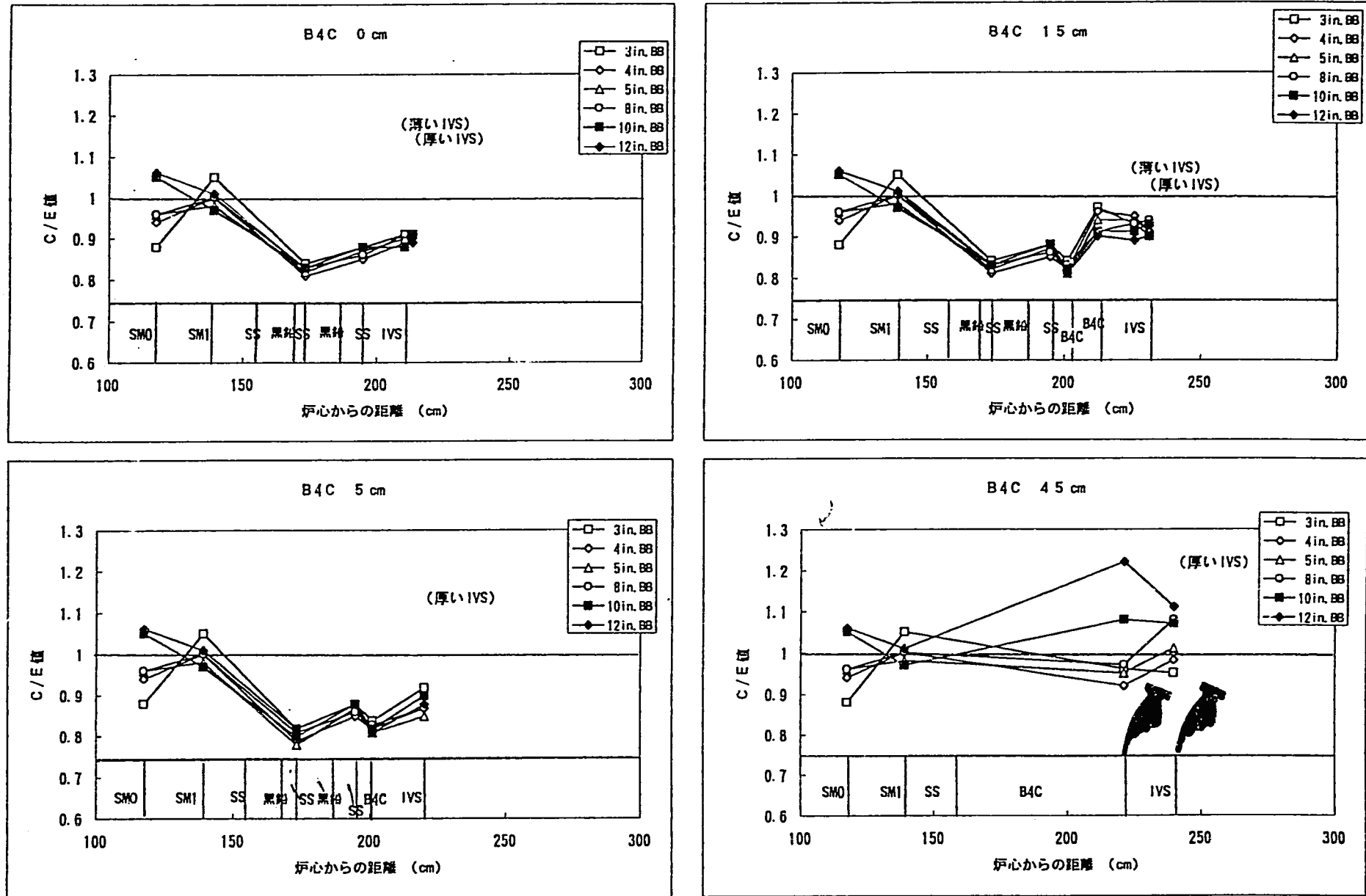


図: I V S 実験の C / E 値

I V S 後方の C / E 値を I V S 前方の C / E 値でノーマライズ

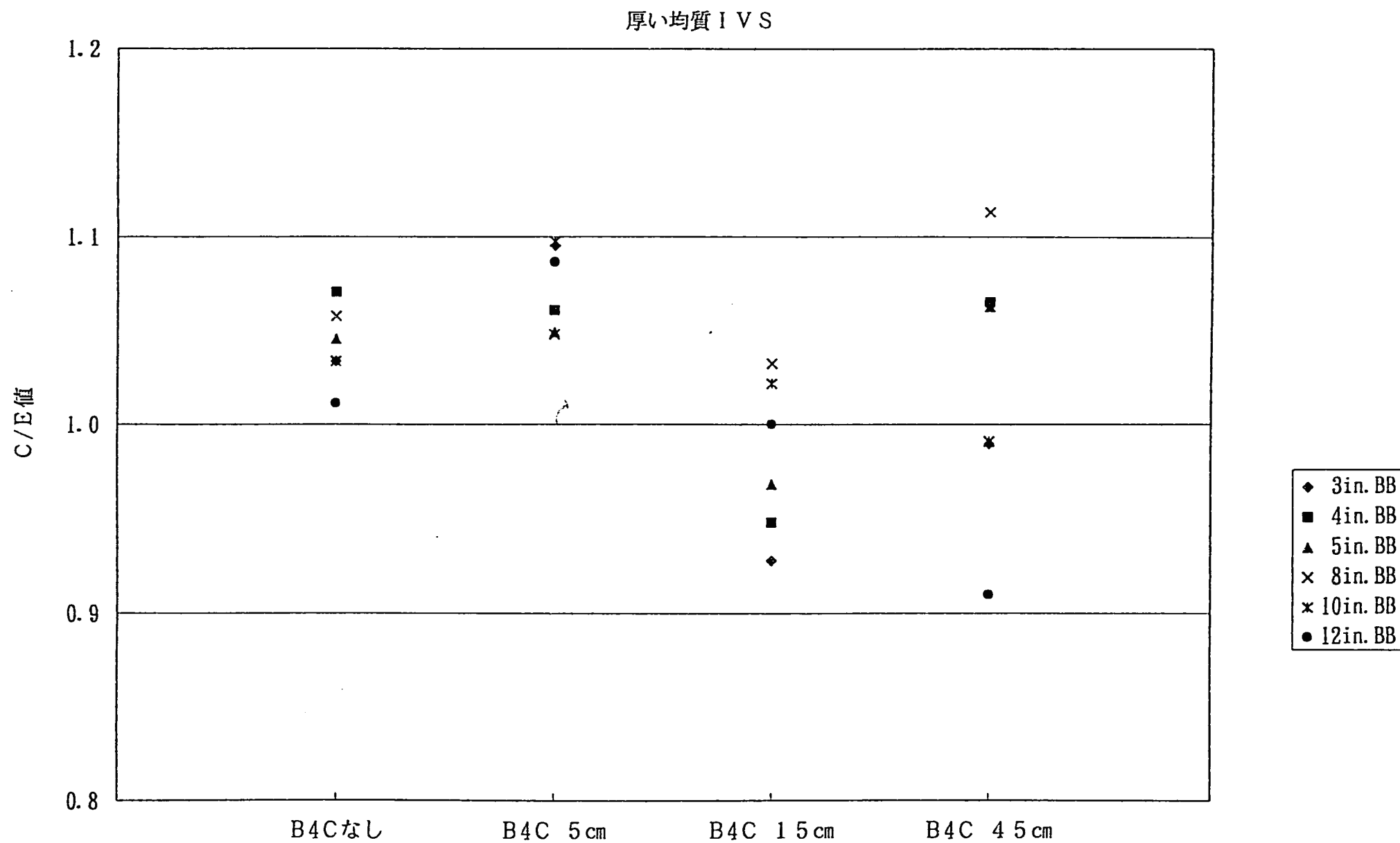
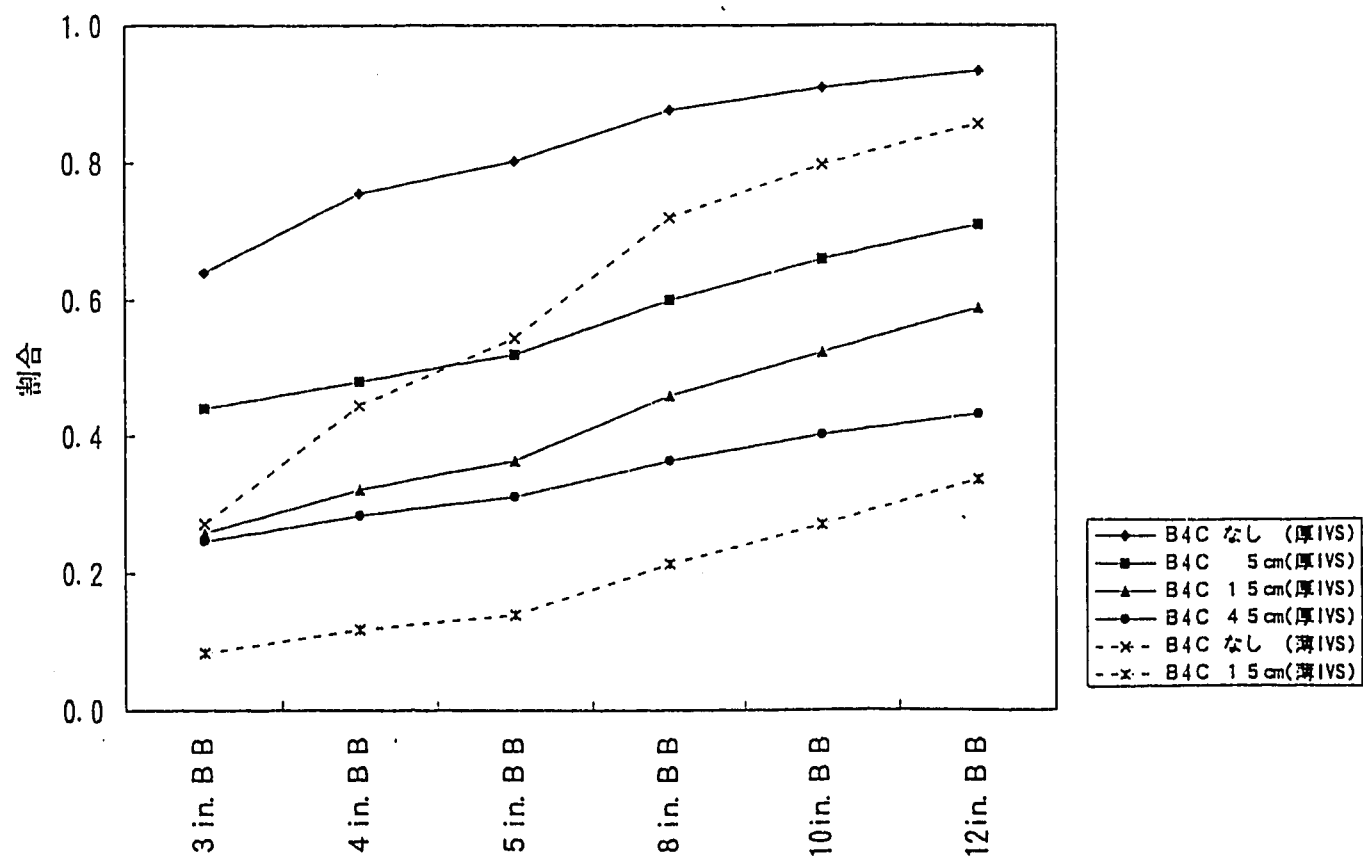
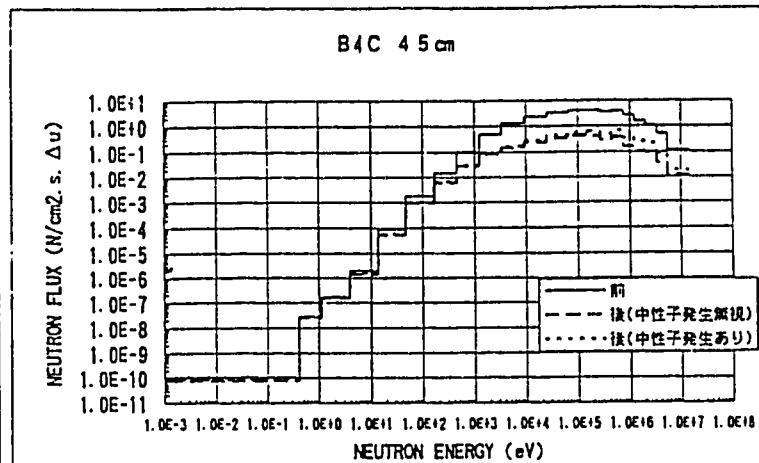
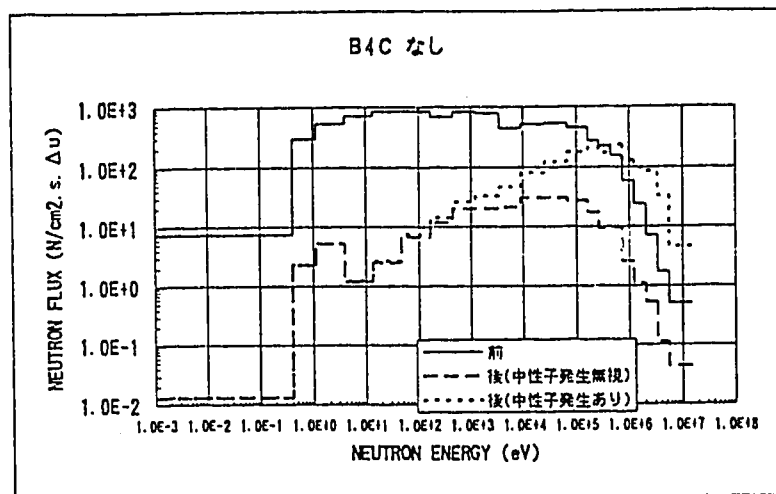
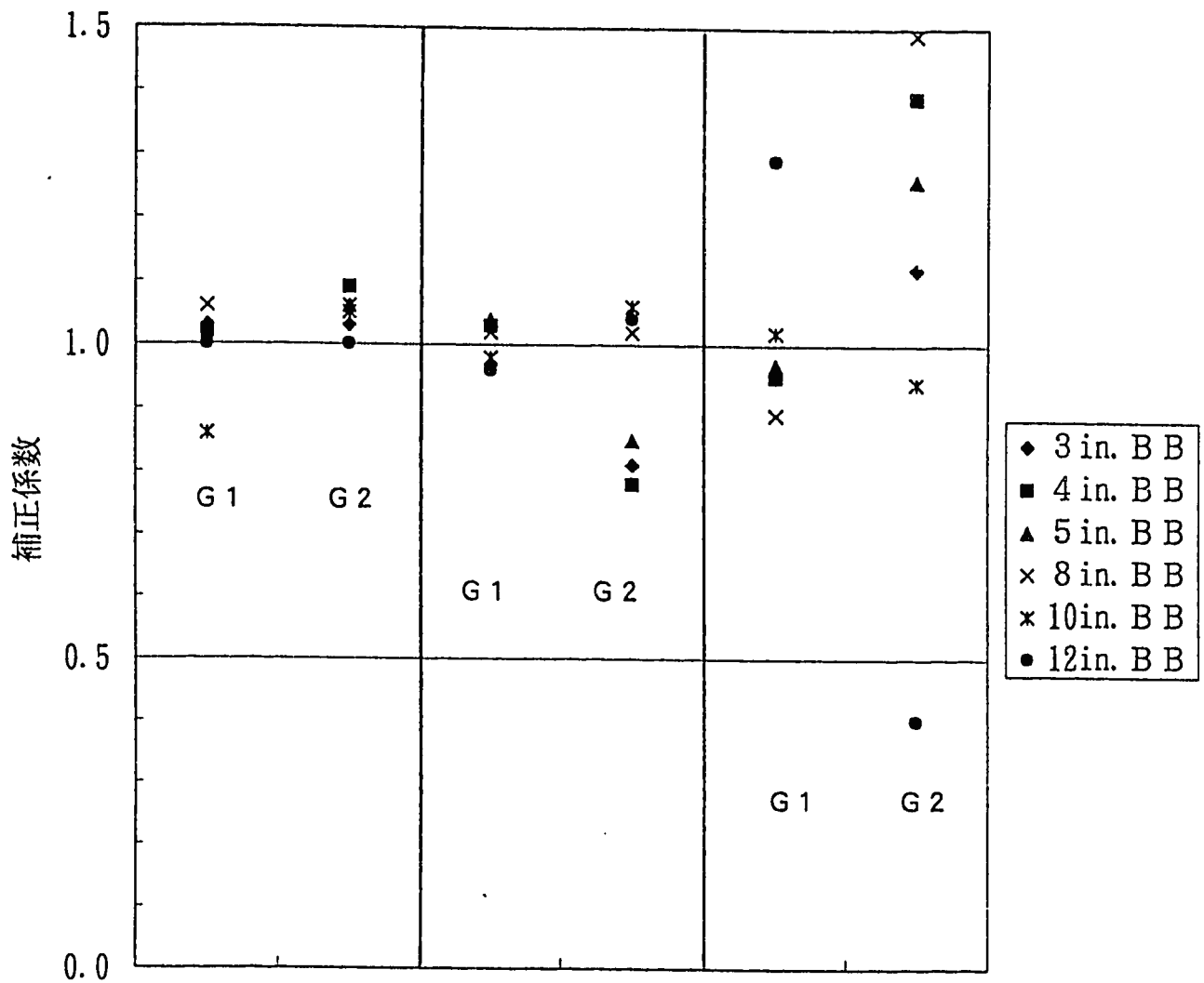


図 I V S 前後での C / E 値の変化割合

核分裂により発生した中性子の評価



I V Sで発生した中性子がボナーボール応答に占める割合



	B4Cなし	B4C 15cm	B4C 45cm
G 1	0.86~1.06	0.96~1.04	0.89~1.29
G 2	1.00~1.09	0.78~1.06	0.40~1.49

$$\begin{aligned}
 & \text{I V S 透過成分の割合} \times \text{補正係数 G 1} \\
 & + \text{I V S 発生成分の割合} \times \text{補正係数 G 2} \\
 & \quad = \text{I V S 透過前後での C/E 値の変化}
 \end{aligned}$$

I V S を透過した中性子と I V S で発生した中性子の計算の不確かさの補正係数

I V S 実験解析のまとめ

1. I V S 透過前後の C / E 値の変化 (I V S の透過計算精度) は、 $\pm 1.1\%$ 以内であり、入射中性子スペクトルの硬化に伴って増加した。
2. I V S 透過成分と I V S 発生成分の計算の不確かさの補正係数をそれぞれ評価した。入射スペクトルの硬化に伴い、I V S 中の核分裂によって発生する成分の評価精度が低下する。

N I S 実験解析

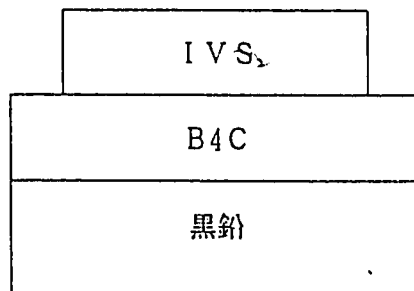
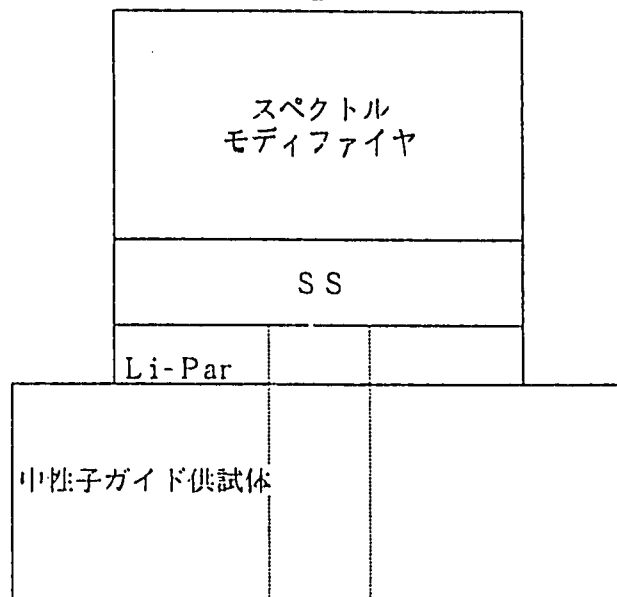
背景

大型高速炉の設計では、中性子検出器（N I S）の計数率を確保するために、遮蔽体中に中性子ガイド部を設けることが検討されたことがあった。

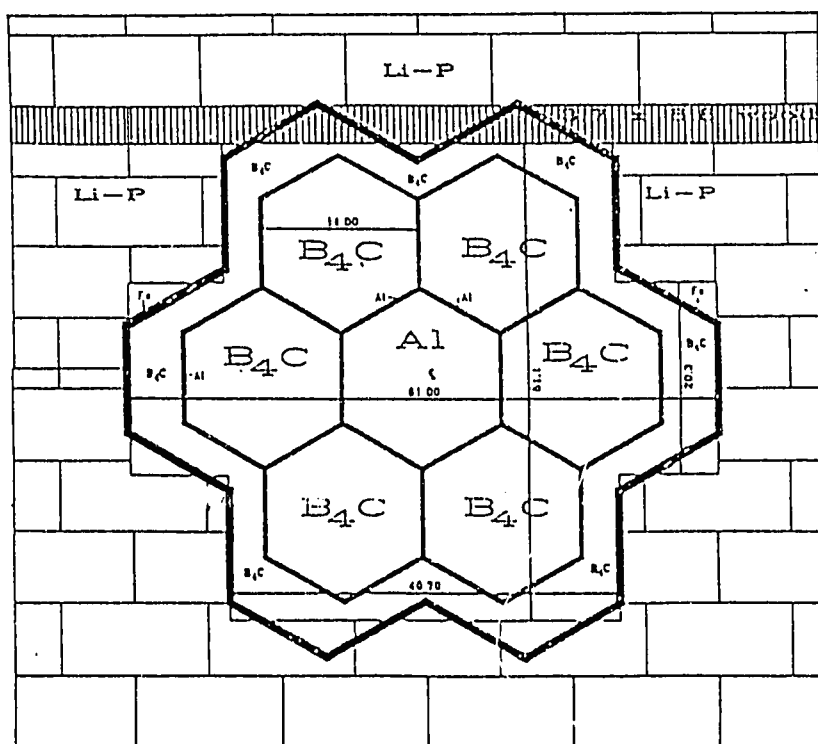
中性子ガイド部後方のN I Sの検出特性の評価が必要。

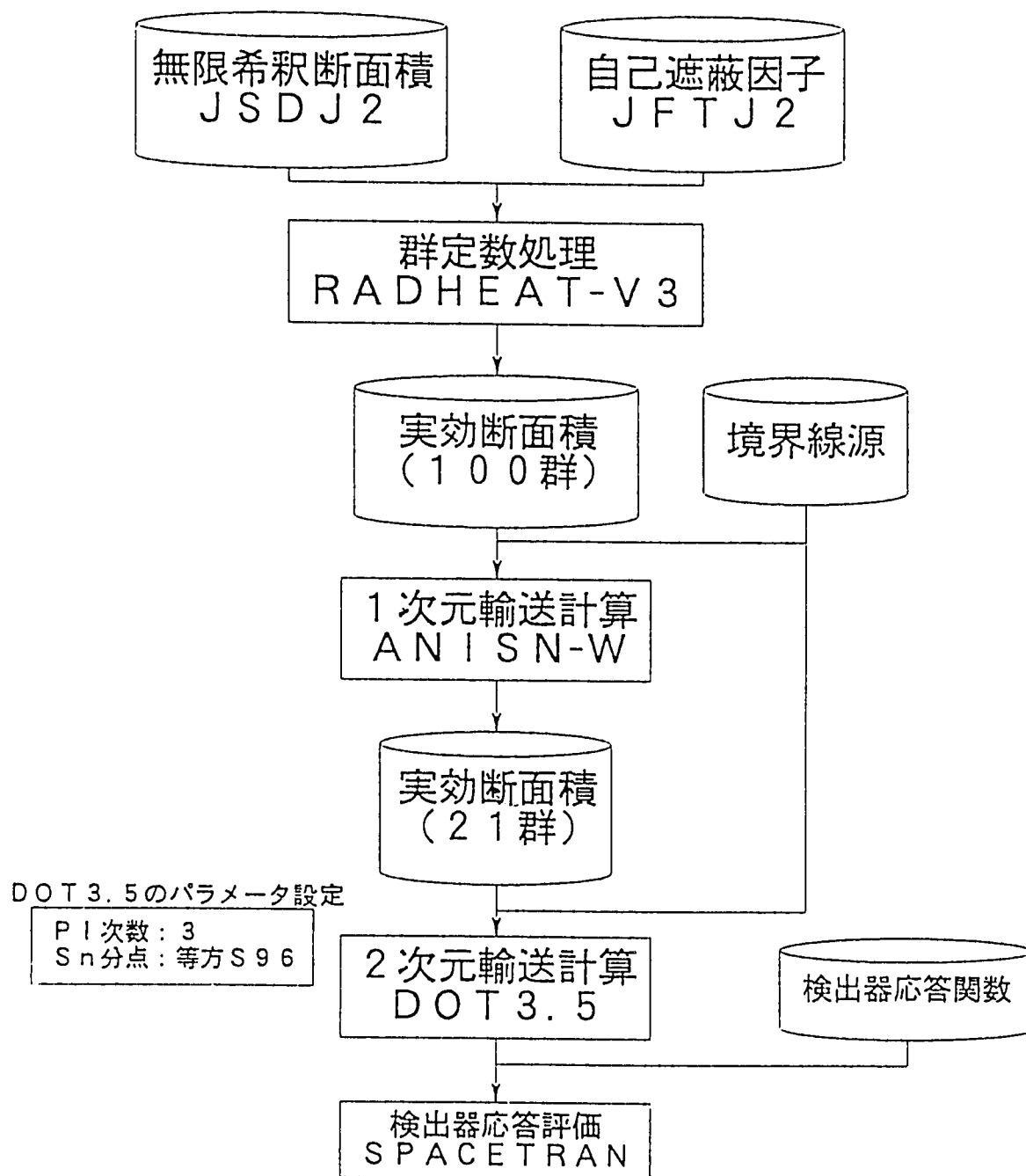
目的

中性子ガイド部を透過してくる中性子束分布の計算精度を評価する。



N I S 実験体系





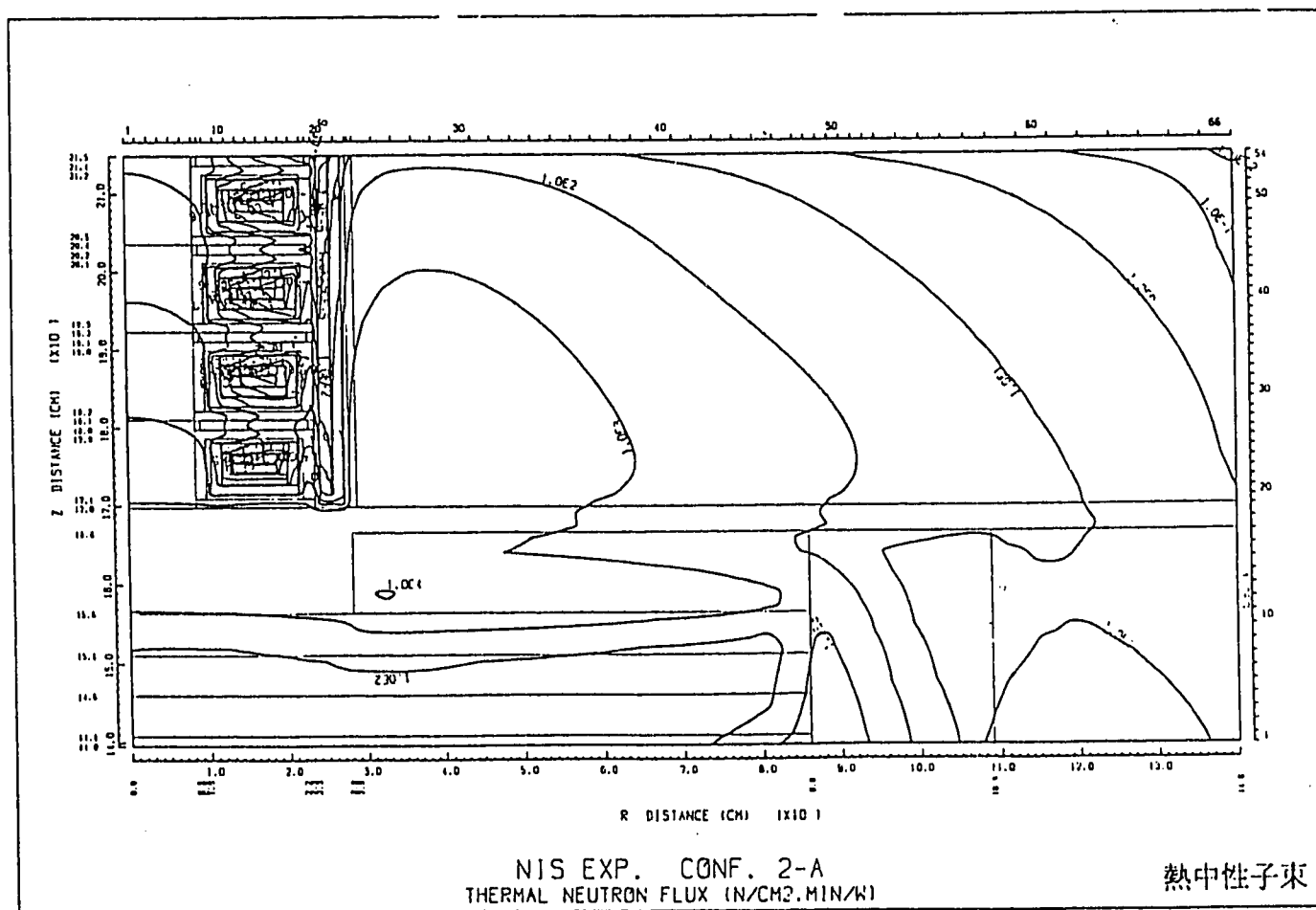
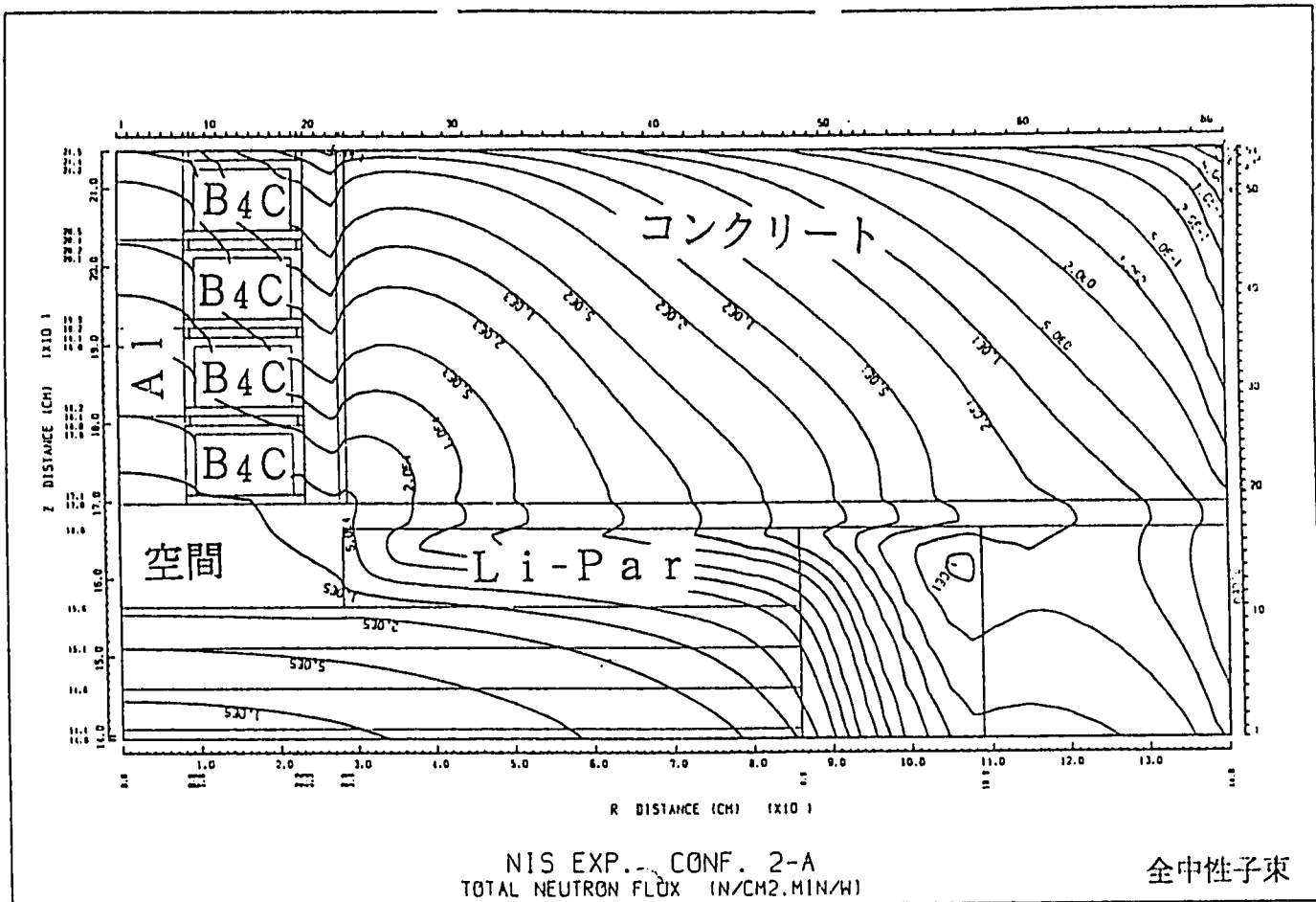
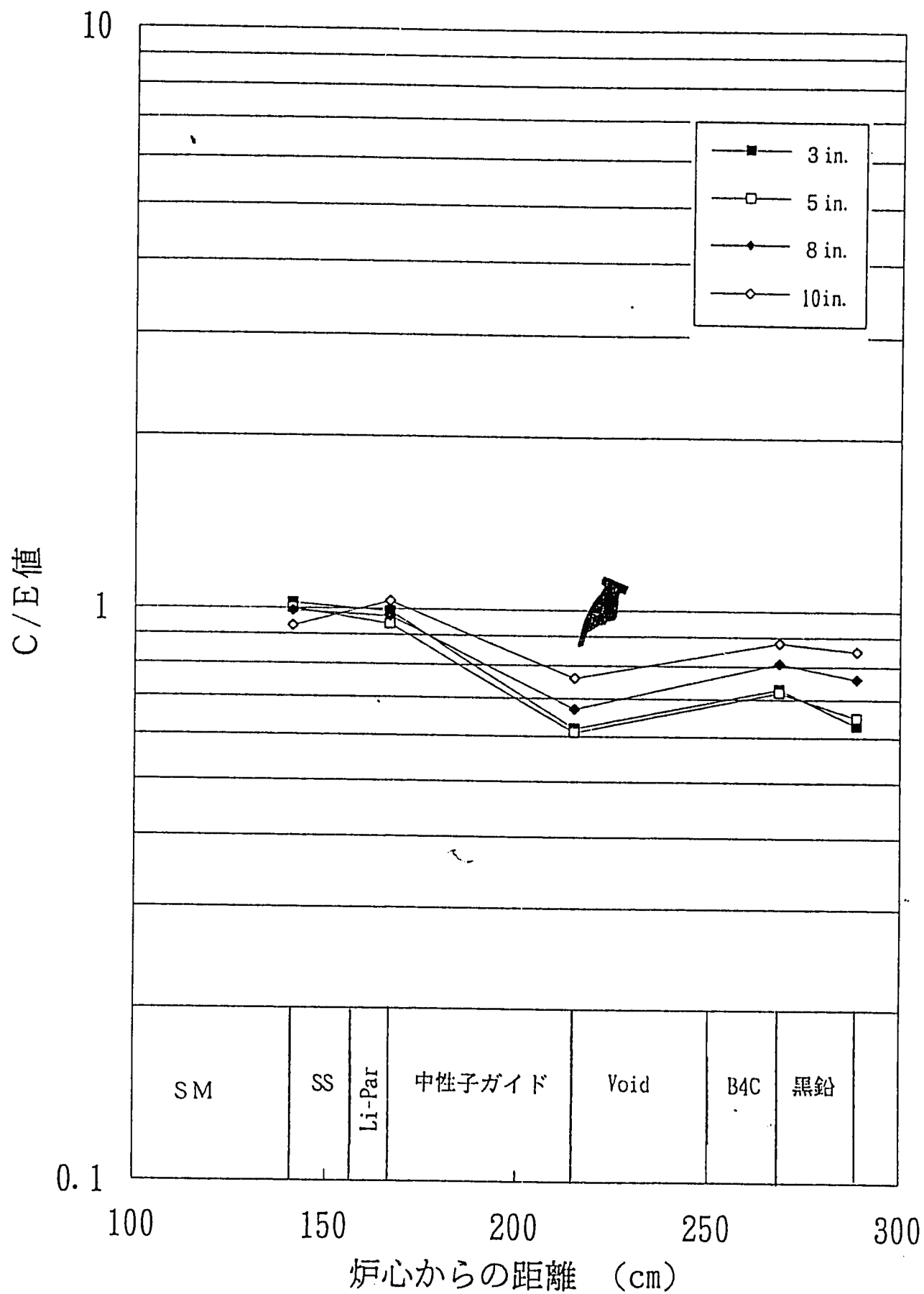


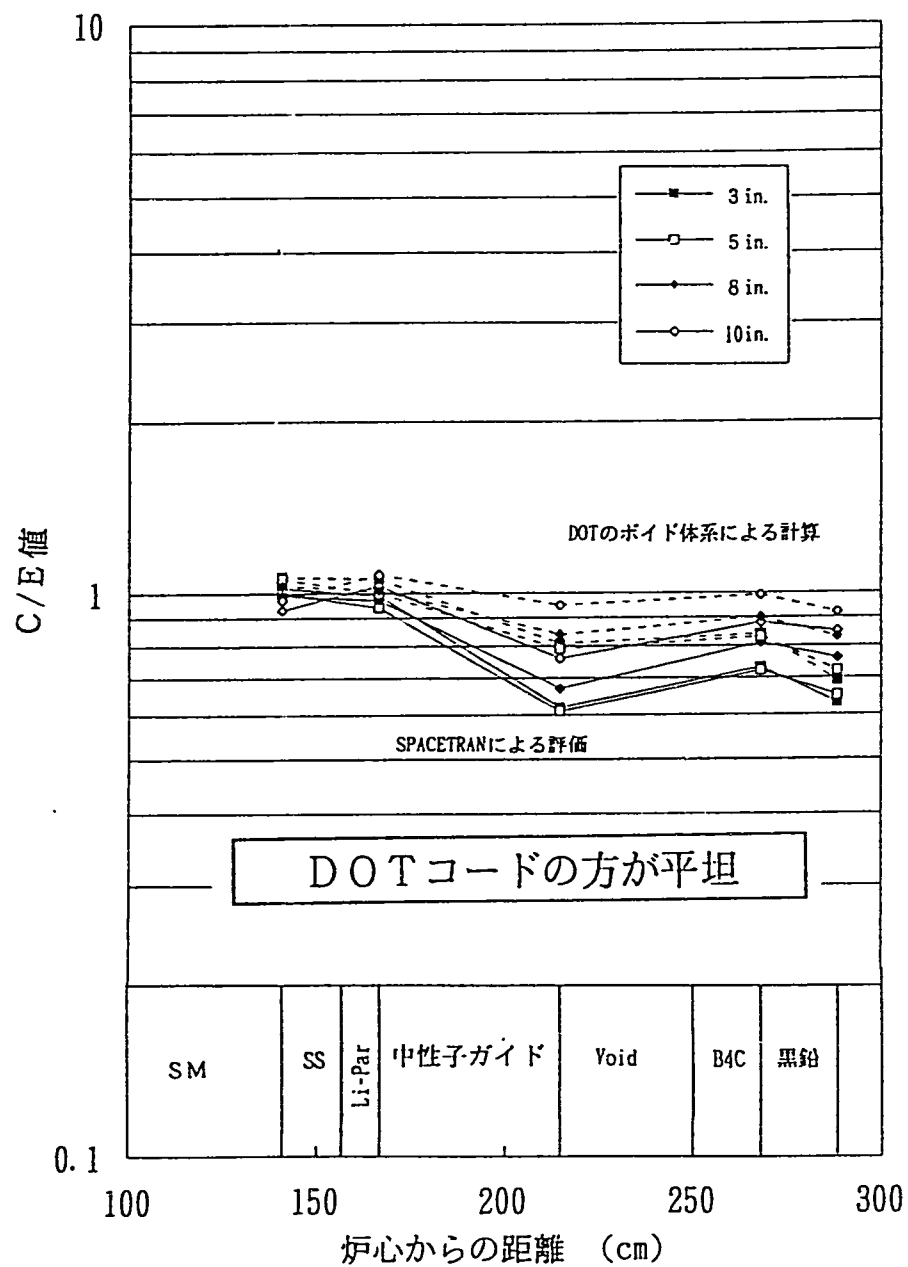
図 中性子束等高線分布



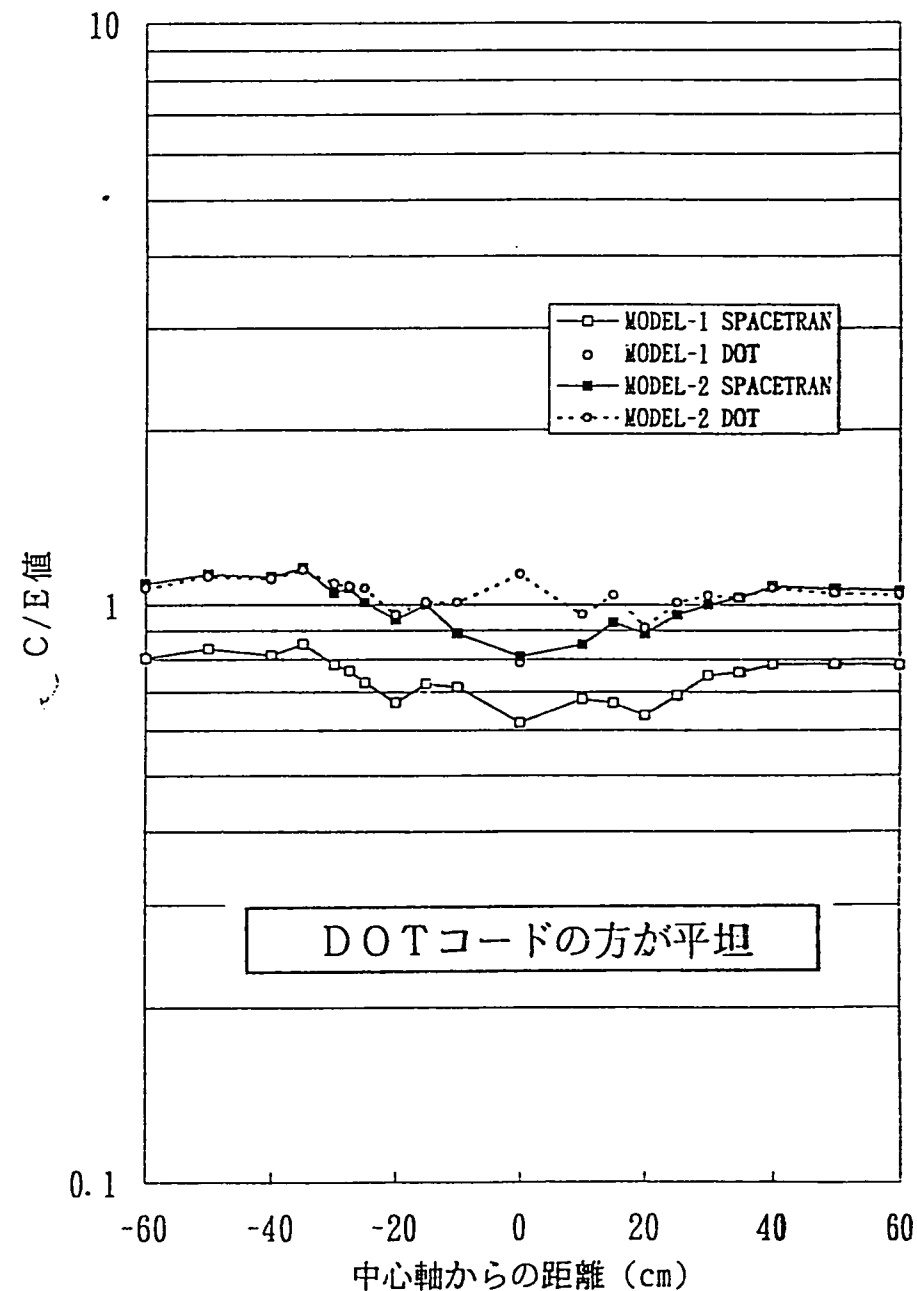
I V Sなしの体系のC/E値の例

検出器応答評価手法の検討

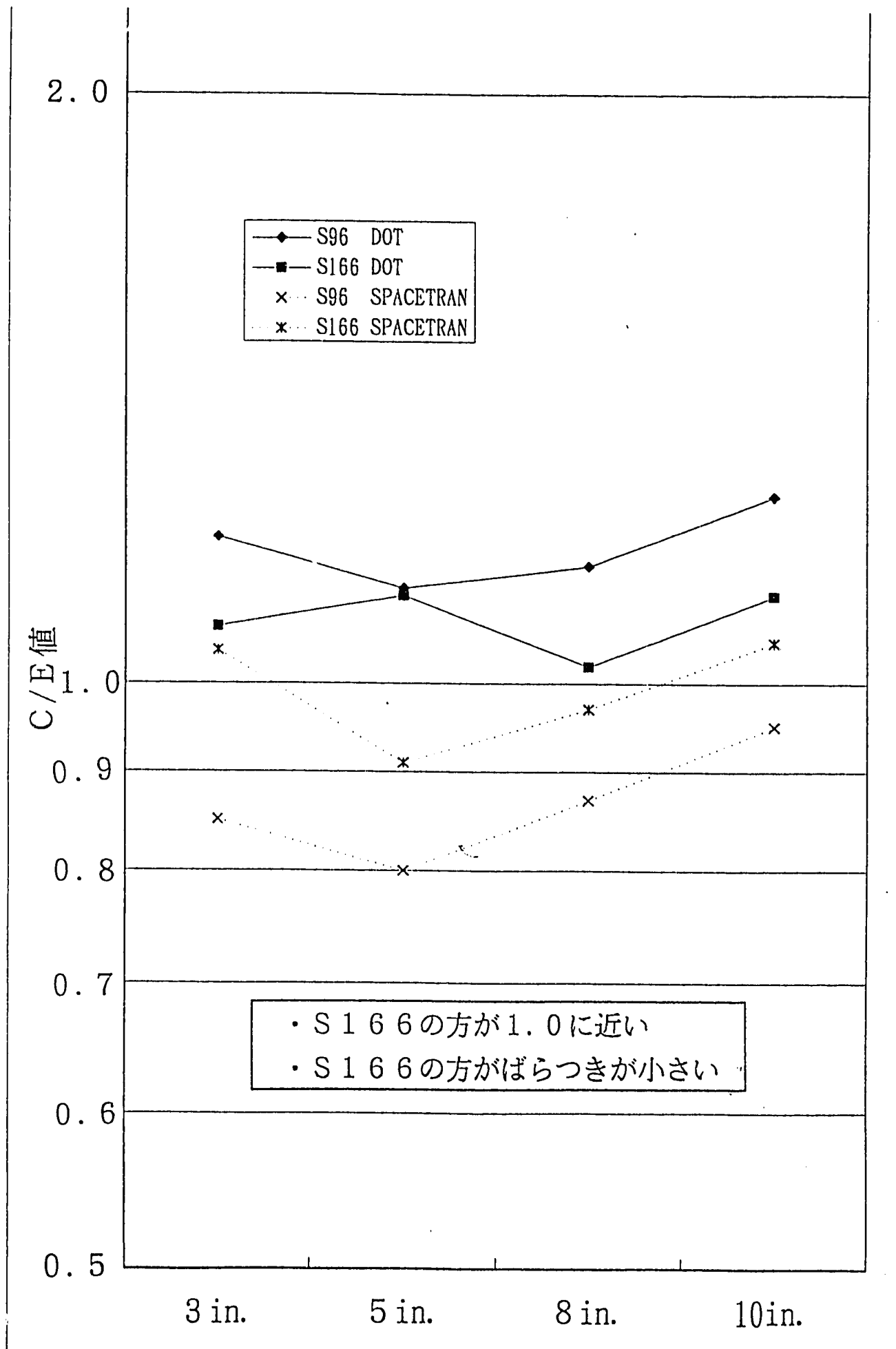
—54—



I V Sなしの体系のC/E値の例



中性子ガイド後方における径方向トラバースのC/E値



中性子ガイド供試体後方におけるボナーボールのC/E値

N I S 実験解析のまとめ

- ◎ 中性子ガイド供試体後方での中性子束の計算値は、測定値と 11 % 以内の違いで一致した。
- ◎ 中性子ガイド後方では、中性子ストリーミングが顕著であるため、輸送計算においては、前方に詳細な S_n 分点が必要である。また、ストリーミングが顕著な体系において、検出器応答の評価に SPACETRAN コードを用いた場合、誤差が大きい。

3.3 I H X 実験及び新遮蔽材透過実験の解析結果

高速炉の1次ナトリウムタンク内に設置されているI H X（中間熱交換器）内での2次ナトリウム放射化を対象としたI H X実験に対し、また高速炉に適用が検討されている新遮蔽材ジルコニウムハイドライドおよびポリエチレンの中性子透過特性を測定した新遮蔽材透過実験に対して、高速炉遮蔽解析システムを適用した実験解析を行った。

(1) I H X 実験解析

実験体系は、直径3.35mのナトリウムタンク2層からなるスペクトルモディファイアとI H X部を模擬したナトリウムスラブ最大4層およびナトリウムプールを模擬した側部のナトリウムスラブ層から構成されている(OHP3.3-3)。I H X部の前面及び側部のB₄C遮蔽体の実機模擬状況により、体系Vから体系Xまでの6体系で測定が実施されている(OHP3.3-4)。中性子束は、他実験と同様に径の異なるボナーボールを各スラブ後方に設置して測定するとともに、本実験ではナトリウム放射化量のI H X内分布の測定のために、ナトリウム放射化箔をナトリウムスラブの間に挿入して測定している(OHP3.3-5)。

実験解析は、輸送断面積ライブラリーにJSDJ2を、輸送計算コードに2次元SnコードDOT3.5およびDORTを適用した。実験体系は水平方向と垂直方向で物質構成が異なり本来3次元形状となっているため、I H X供試体の外周部から中央ナトリウムスラブ内への中性子の回り込みを適正に評価する必要があり、特に中心軸より周辺部に寄った位置での放射化量を精度よく評価するためにも、3次元モンテカルロ計算コードMORSEも適用した。

2次元RZモデル化において、側部ナトリウム、B₄Cスラブ等の矩形厚さを保存した場合と、これらの矩形断面積を保存した場合とについて、計算値を測定値と比較した結果、前者は過大評価となった。従って後者のモデル化法により、2次元解析のC/E値（計算値／測定値）を評価した。I H X部の前面の半分片側だけにB₄C層を設けた体系では、全面にB₄C層がある場合とない場合との2次元計算結果を平均化した。この結果、全体系を通じての中心軸上でのC/E値は次のように評価された。

	ボナーボール反応率	ナトリウム放射化量
中心軸上C/E値	0.64～1.14	0.52～1.06

モンテカルロ計算は3次元形状を忠実にモデル化し、代表的な体系について実施した。当初の計算での限られたCPU時間内では、モンテカルロ法固有の統計精度は解析精度を議論する上で十分とは言えるまでには至らなかった。このためリダクション技法のひとつであるsplitting & kill法を導入試行するとともに検出器設定法の変更(point detector ⇒ next event surface crossing detector)をはかった結果、最大2桁近くCPU時間を短縮することが可能となった(OHP3.3-10)。この評価法に

より統計精度の向上した結果、モンテカルロ計算のC/E値が改善され、また2次元計算との差異が縮小された (OHP3.3-11)。特に設計への反映上重要な中心軸上のナトリウム放射化量について、2次元計算のC/E値は、RZモデル化上の近似があるに拘らず、妥当であることが確認できた。

(2) 新遮蔽材透過実験解析

実験は、実証炉の径方向ブランケットから漏洩する中性子スペクトルを模擬するスペクトルモディファイアの後方に、ジルコニウムハイドライド模擬体系とポリエチレン体系との2体系が設置された (OHP3.3-14)。前者はジルコニウムハイドライドを半径方向遮蔽体とした場合を模擬しており、ジルコニウムハイドライドはジルコニウムスラブとポリエチレンスラブとの多重層で代用されている。中性子束は、径の異なるボナーボールによるエネルギー積分反応率の測定のほか、NE-213および反跳陽子検出器による高速中性子スペクトルの測定が実施されている。

実験解析は、輸送断面積ライブラリーにJSDJ2を、輸送計算コードに2次元SnコードDOT3.5を適用した。但しジルコニウムスラブを構成するZrおよびHf元素の断面積はJSDJ2に編集されていないため、JENDL-3から群定数化されているJSSTDL-100ライブラリーを利用して、マクロ断面積を準備した。中心軸上でのボナーボール反応率のC/E値は次の結果が得られた。

体系	中心軸上C/E値	
	ボナーボール反応率	高速中性子束
スペクトルモディファイア	0.93～1.03	0.84～0.89
ジルコニウムハイドライド	0.79～0.98	0.76～0.87
ポリエチレン	0.82～1.09	0.79～0.92

これらのC/E値に対する解析上の各種パラメータの効果を検討し、ポリエチレン中での中性子透過に対する断面積のルジャンドル展開次数は、従来どおり P_3 で適当であること等が確認された。ジルコニウムハイドライドは、実際はポリエチレンとジルコニウム(4.95cm²)との多重層で構成されているが、透過スペクトル、減衰率を解析上で評価比較した結果、実験供試体は7.4cm²のジルコニウムハイドライドを模擬していることが確認された。

新遮蔽材透過実験のジルコニウムハイドライドおよびポリエチレンに加え、既実験解析済である半径方向遮蔽体透過実験のB₄C(～1.4g/cc)、黒鉛、およびステンレス鋼について、透過厚さとボナーボール反応率減衰割合、またこの減衰割合と解析精度の相関を整理比較した。この比較から、ジルコニウムハイドライドが他の遮蔽材に比べ最も優れた遮蔽性能を有すること、またジルコニウムハイドライドはポリエチレンとともにC/E値が他の遮蔽材より相対的に高くボナーボール径間でのC/E値の変化が大きいこと (OHP3.3-16) 等の特徴が明らかとなった。

(川崎重工業(株) 竹村 守雄)

J A S P E R 実験解析結果

I H X 実験及び新遮蔽材透過実験の解析結果

大型炉遮蔽研究成果報告会

1994年7月19日

編集／報告

川崎重工業（株） 原子力本部技術部

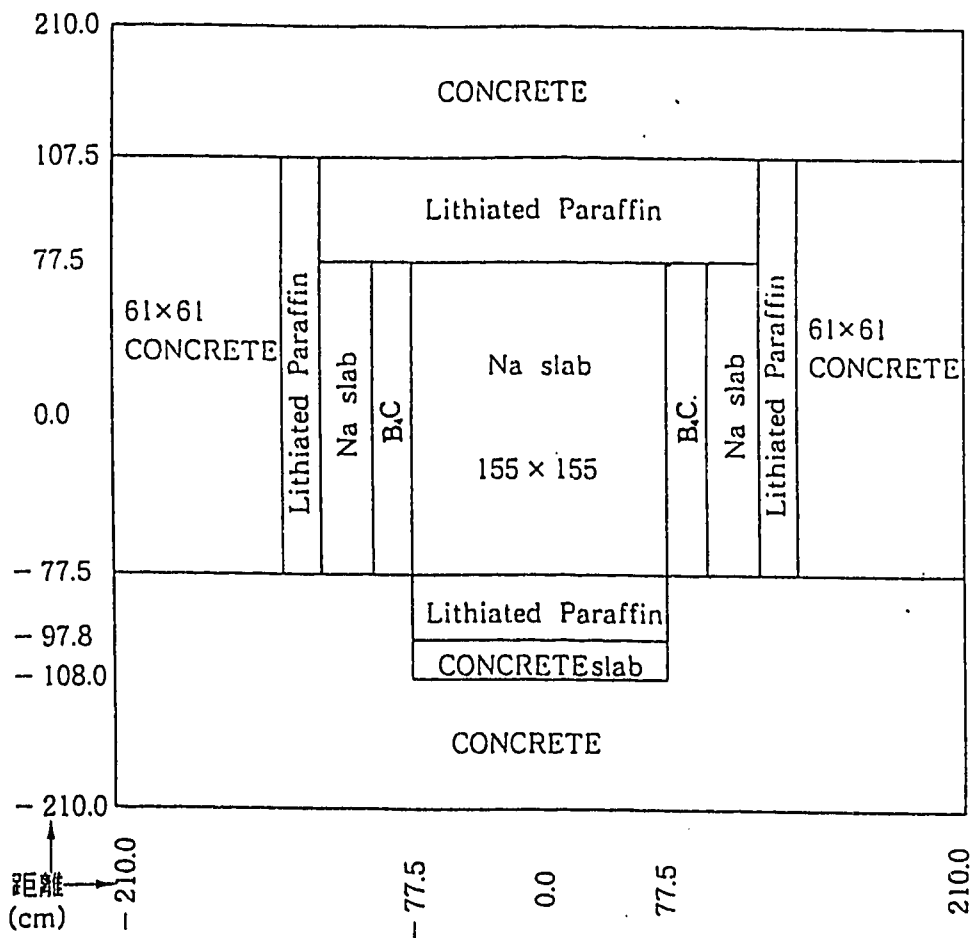
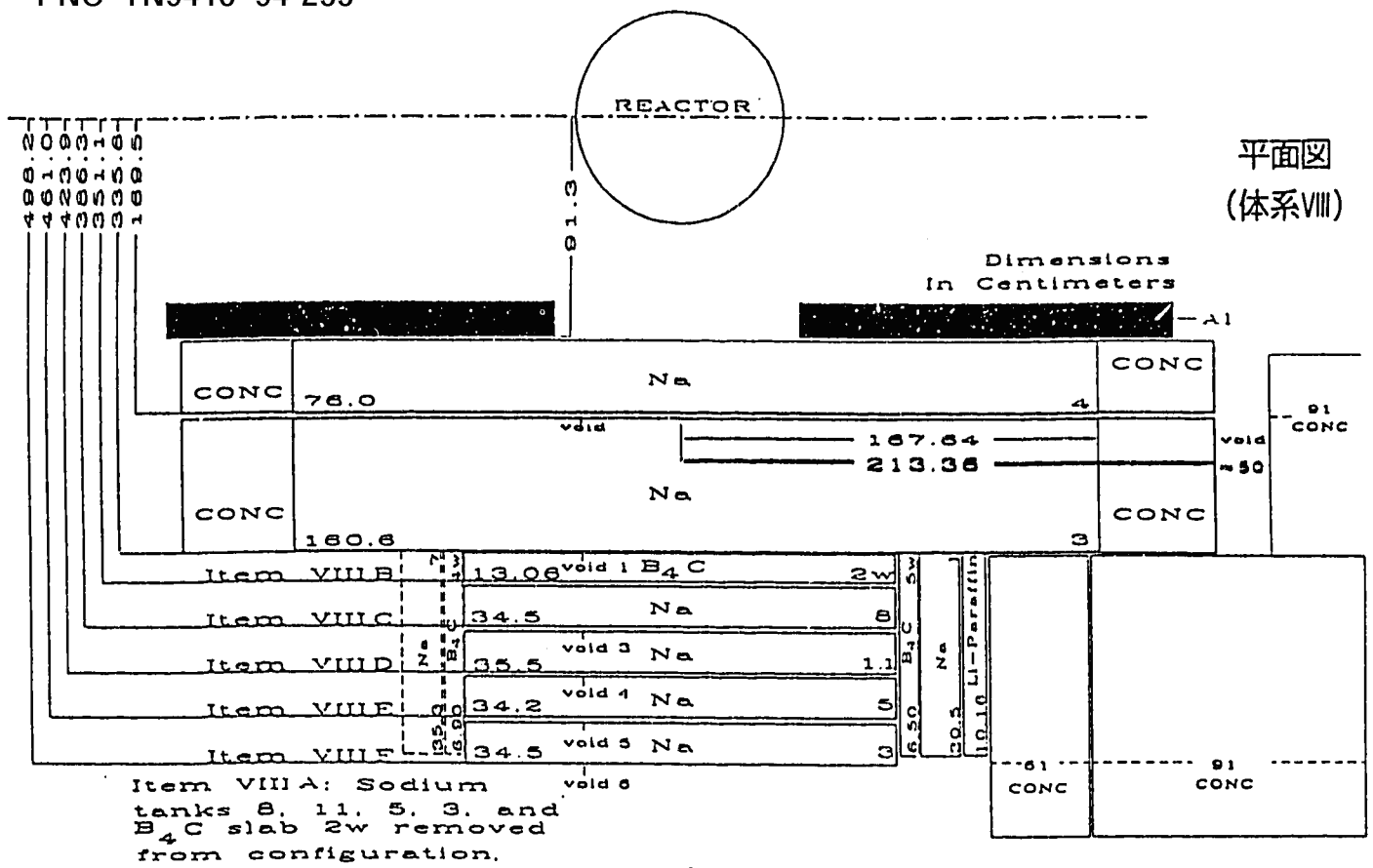
竹村 守雄

I H X 実験解析

(中間熱交換器 2 次ナトリウム放射化実験解析)

目 的

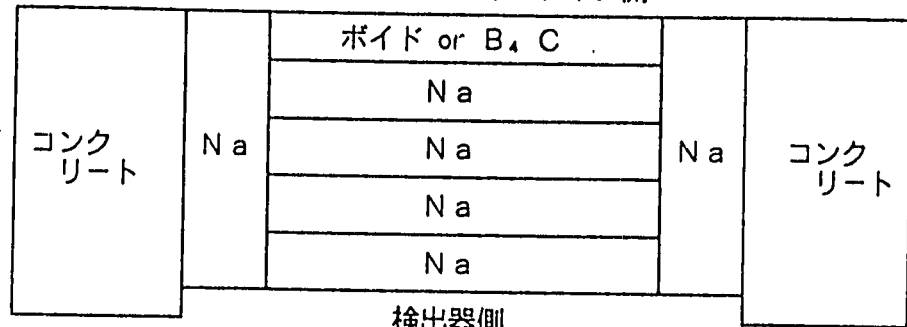
I H X 実験解析を実施し、 B_4C 局所遮蔽を設置した炉容器内熱交換器における 2 次ナトリウム放射化量評価のための解析精度を明らかにする。このなかで 3 次元的な I H X 実験体系に対する 2 次元解析法の検討および妥当性確認、および 3 次元解析法の適用技術の向上をはかる。



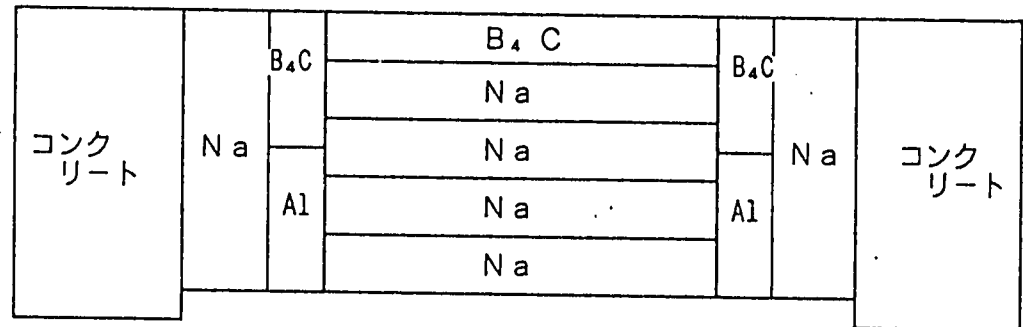
I H X実験体系配置図

スペクトルモディファイア側

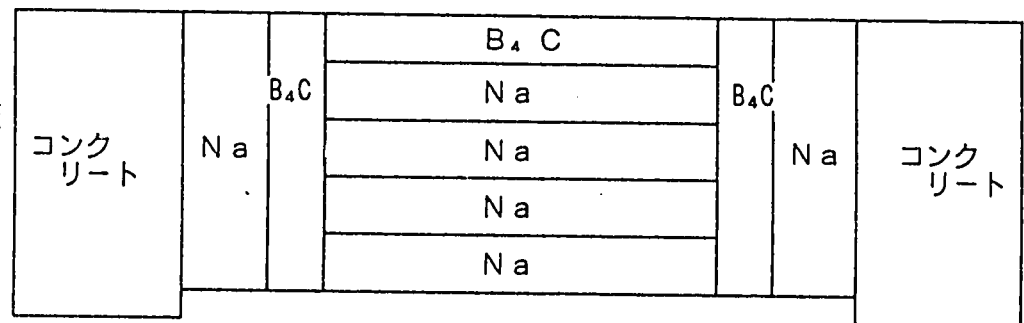
体系Ⅴ or Ⅵ

B₄C遮蔽なしor
前面のみB₄C遮蔽

体系Ⅶ

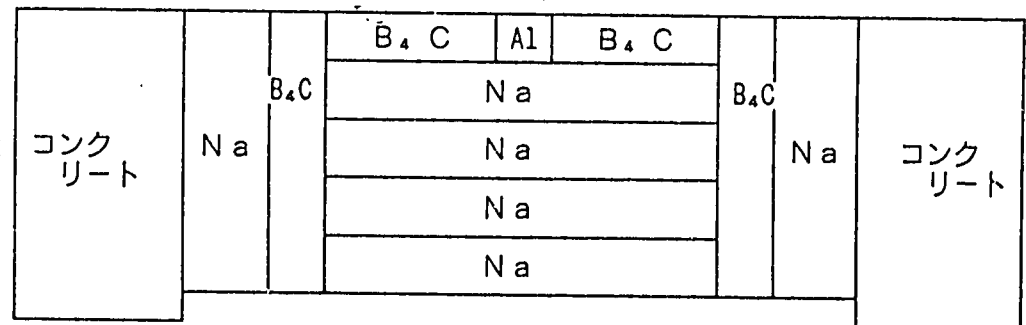
炉心側半分
B₄C遮蔽

体系Ⅷ

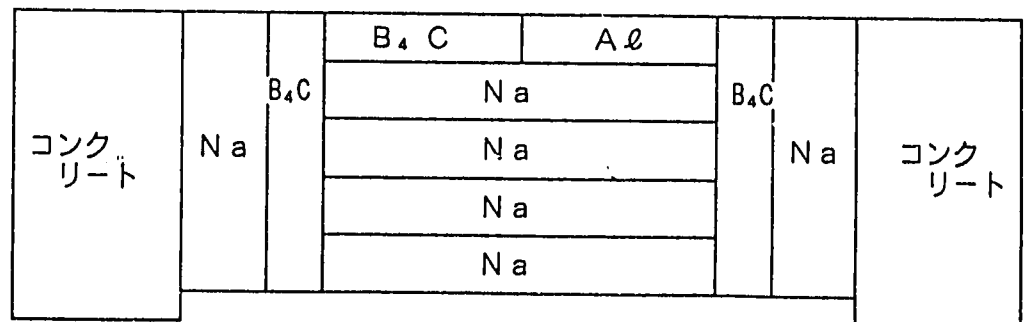
全周B₄C遮蔽

15cm径

体系Ⅸ

前面中央
Na流入窓模擬

体系Ⅹ

前面片側
B₄C遮蔽なし

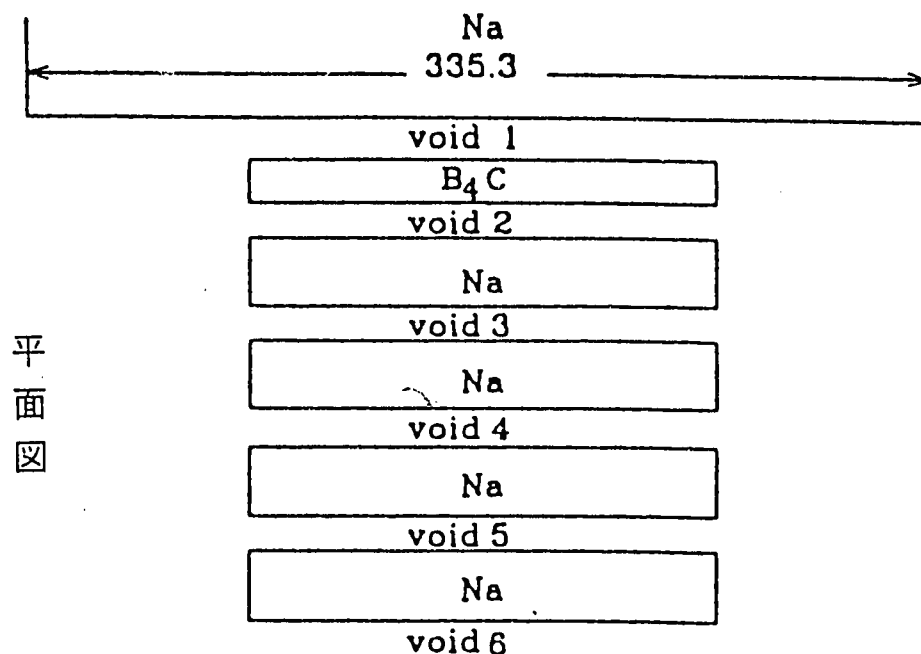
I H X 実験体系一覧

I H X 実験測定内容

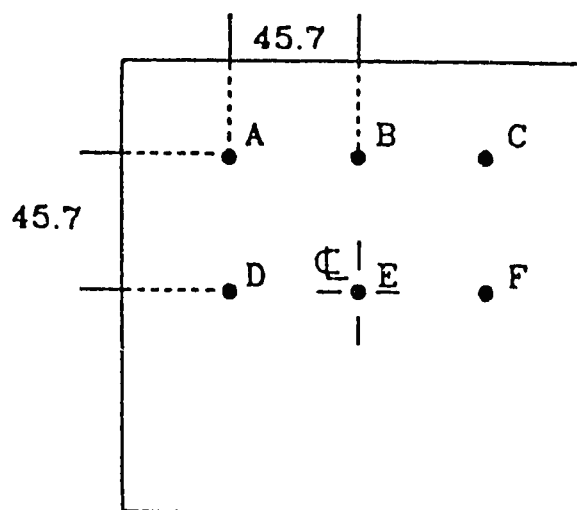
1. 中心軸上ボナボール反応率 : 各スラブ後方位置

Bonner Ball = 2 in. diam $^{10}\text{BF}_3$ + Polyethylene + 0.03 in. Cd

2. ナトリウム箔放射化量



立面図

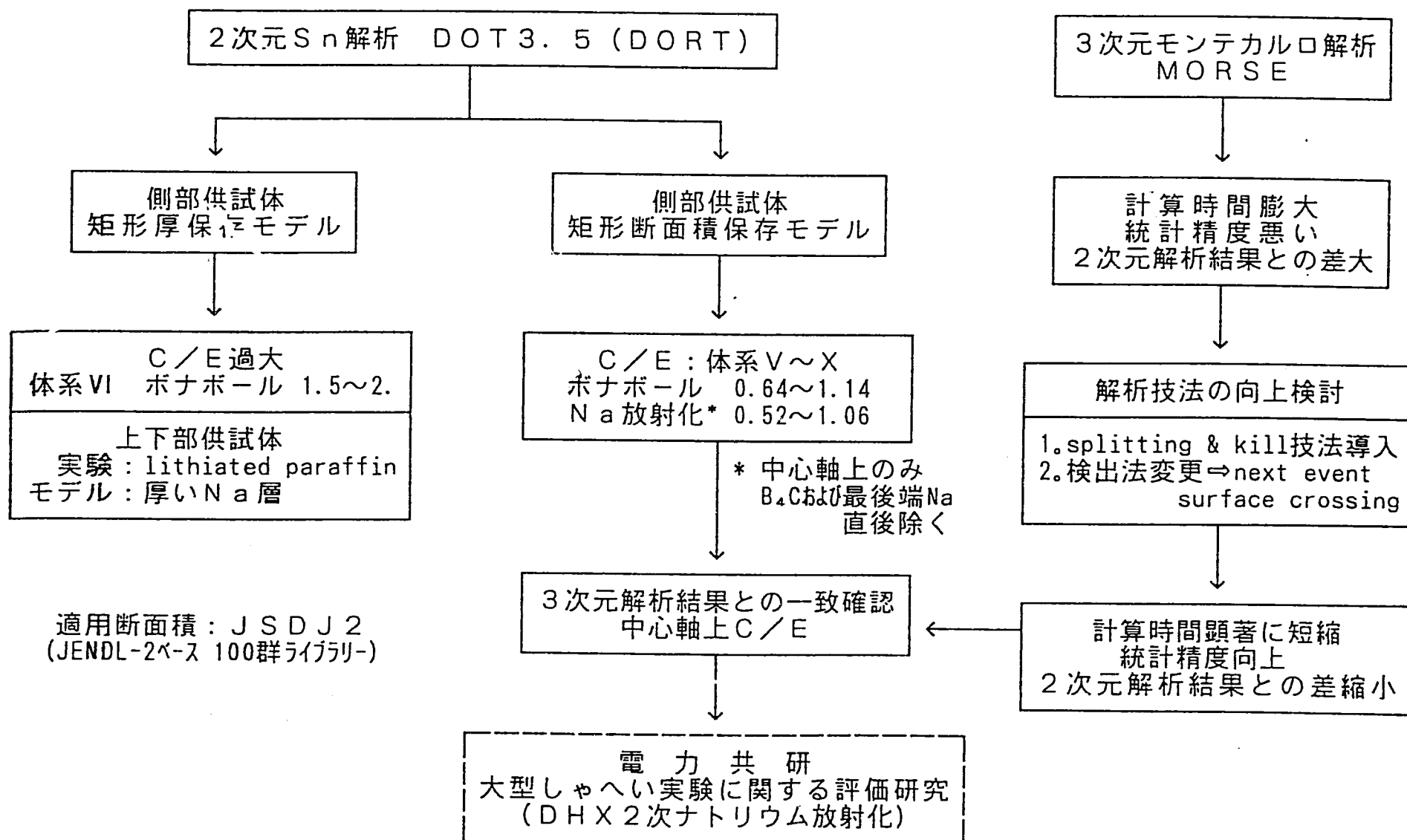


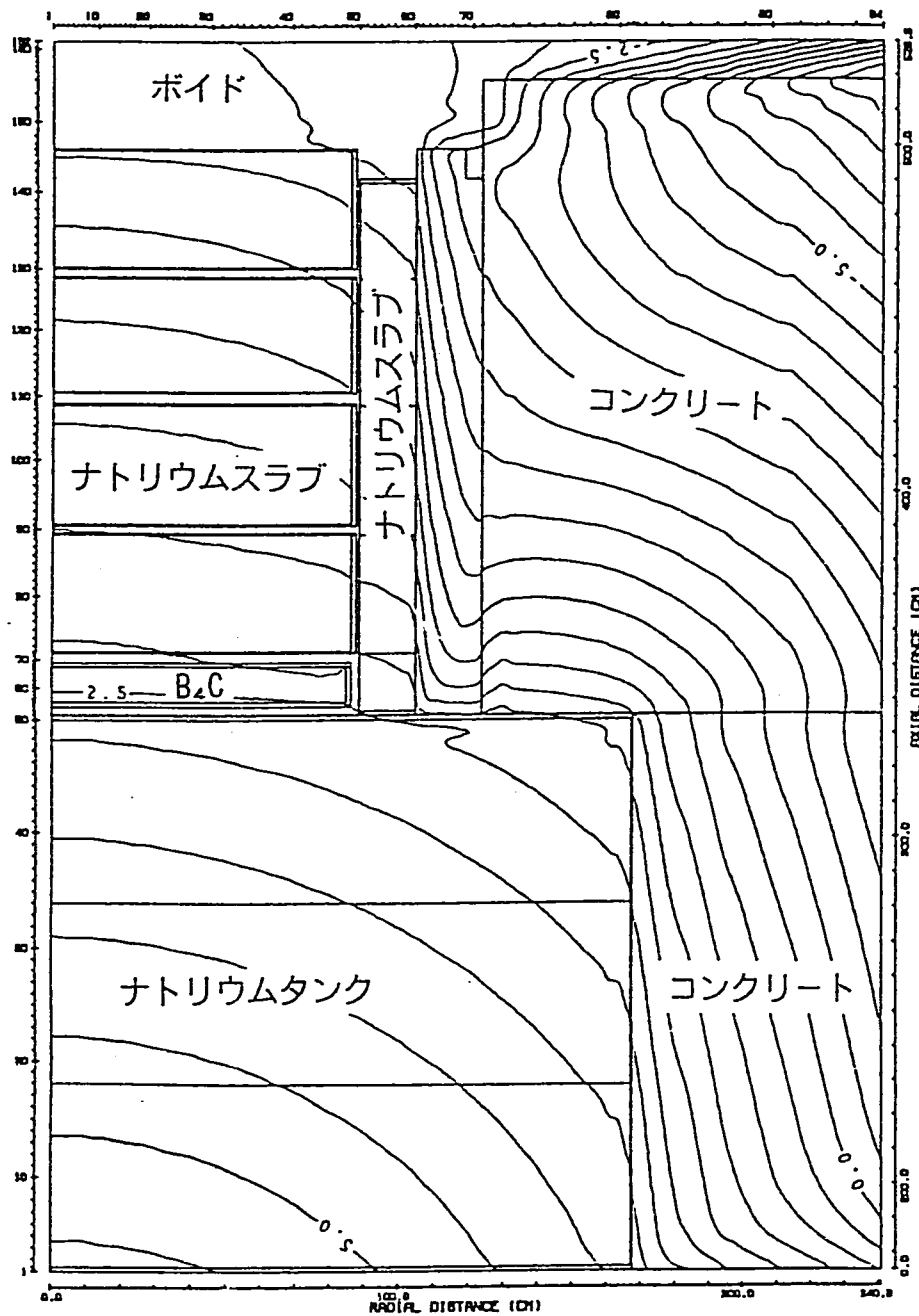
Dimensions in units
of centimeters

3. 高速中性子束スペクトル : スペクトルモディファイア (SM)

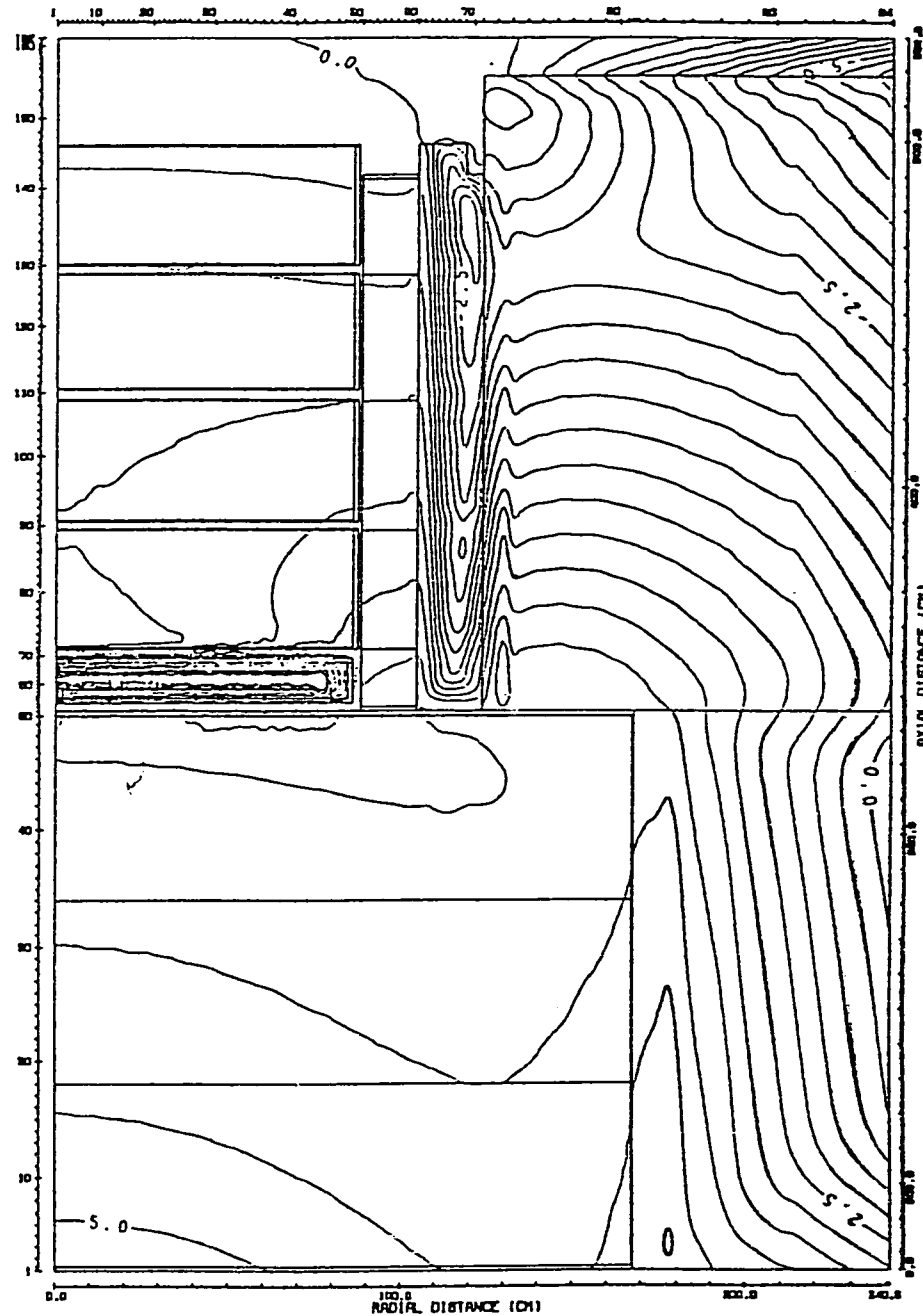
ボナボール反応率水平方向分布 : SM/体系X最外端

I H X 実験解析概要



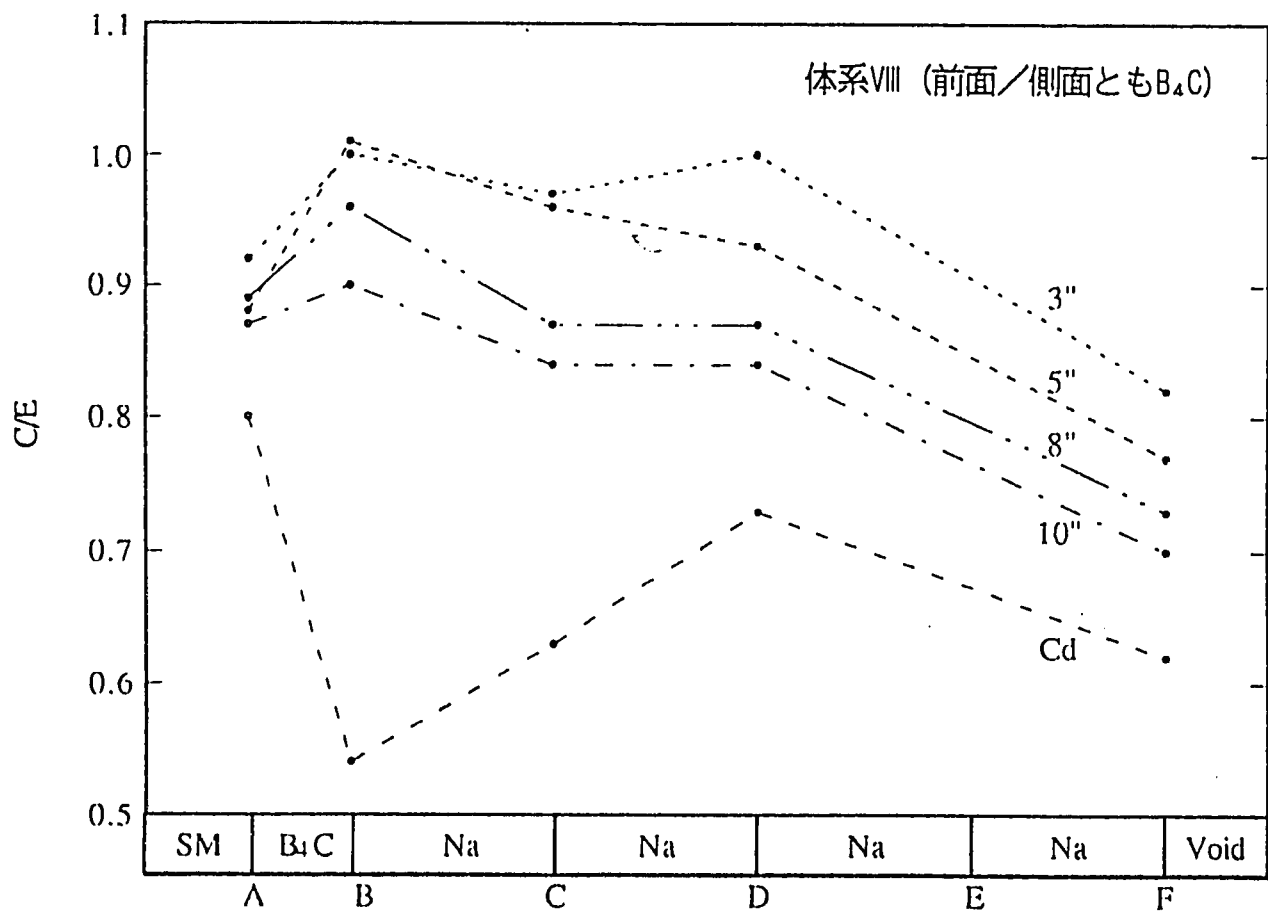
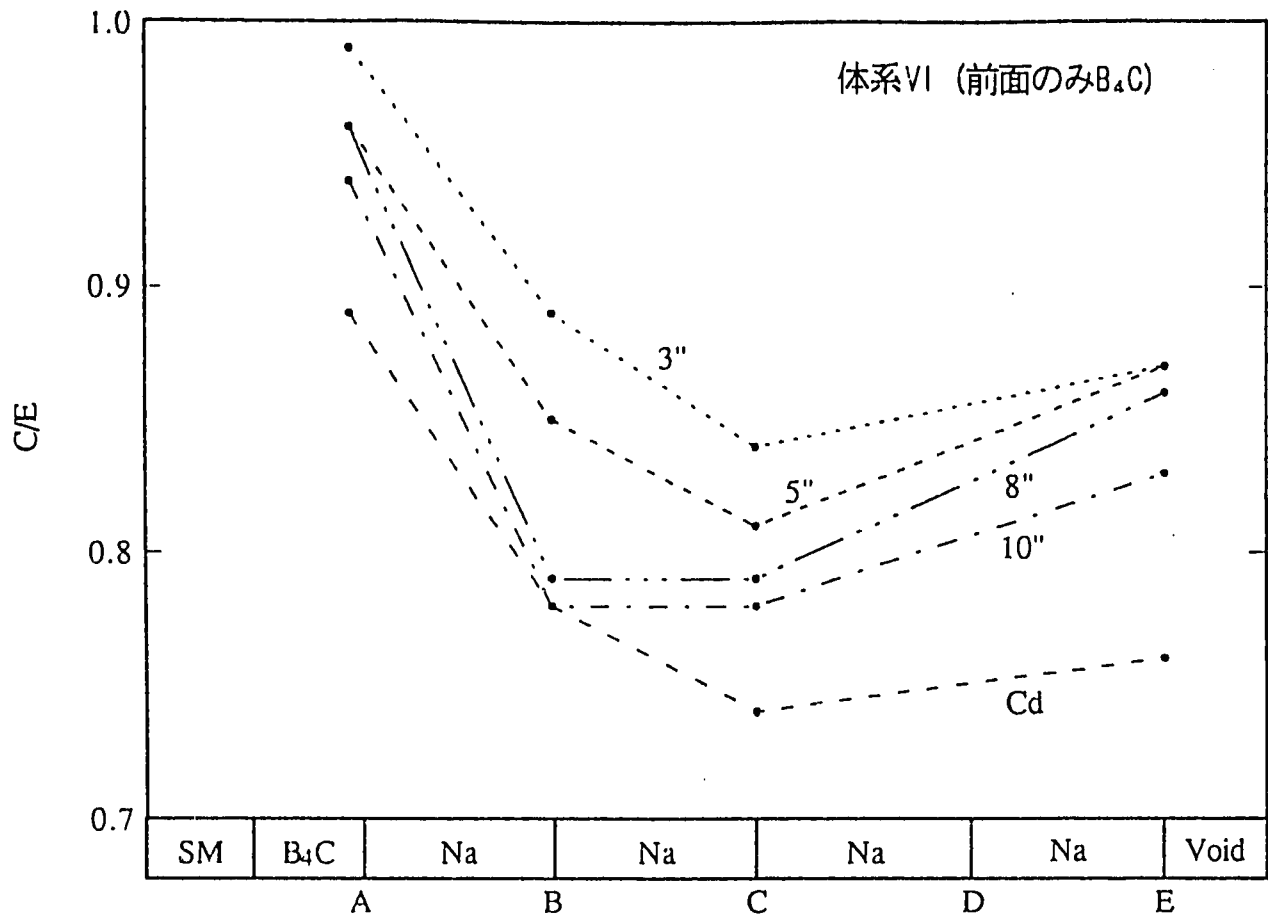


(a) 高速群

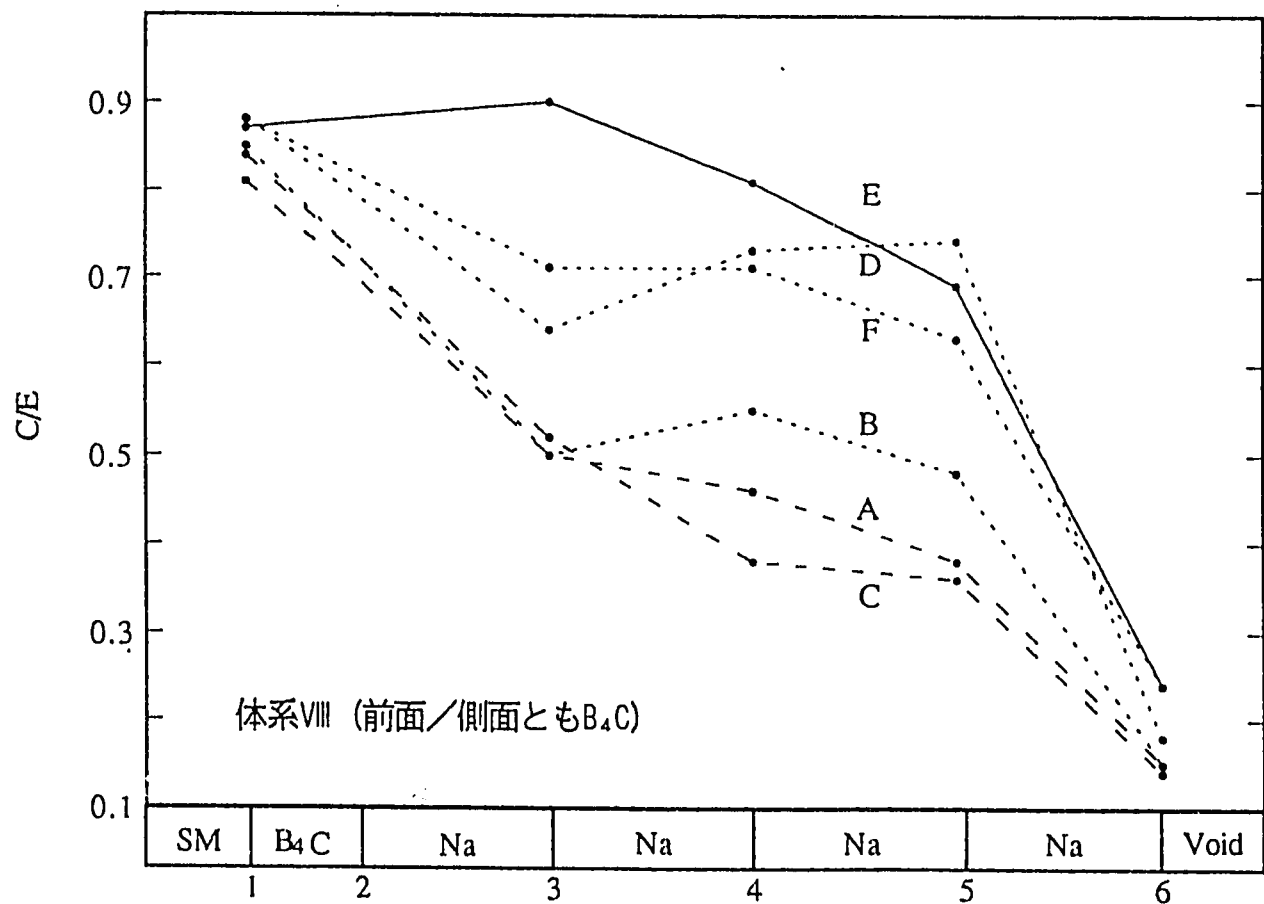
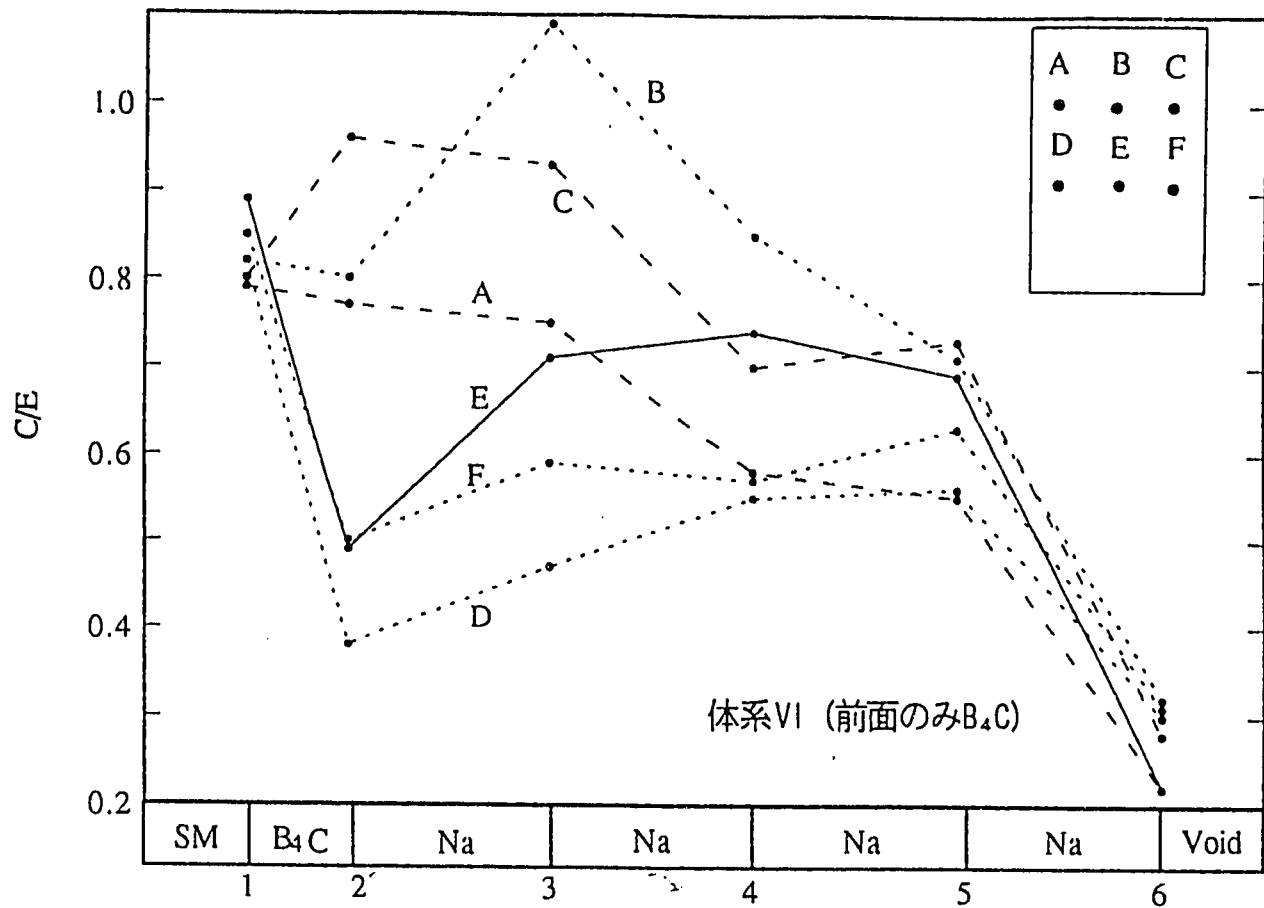


(c) 熱群

体系VI中性子束等高線分布 (2次元解析)



中心軸上ボナボール反応率 C/E 分布 (2次元解析)



ナトリウム放射化量 C/E 分布 (2次元解析)

モンテカルロ 3次元解析技法の向上検討

①リダクション技法 : splitting & kill 導入

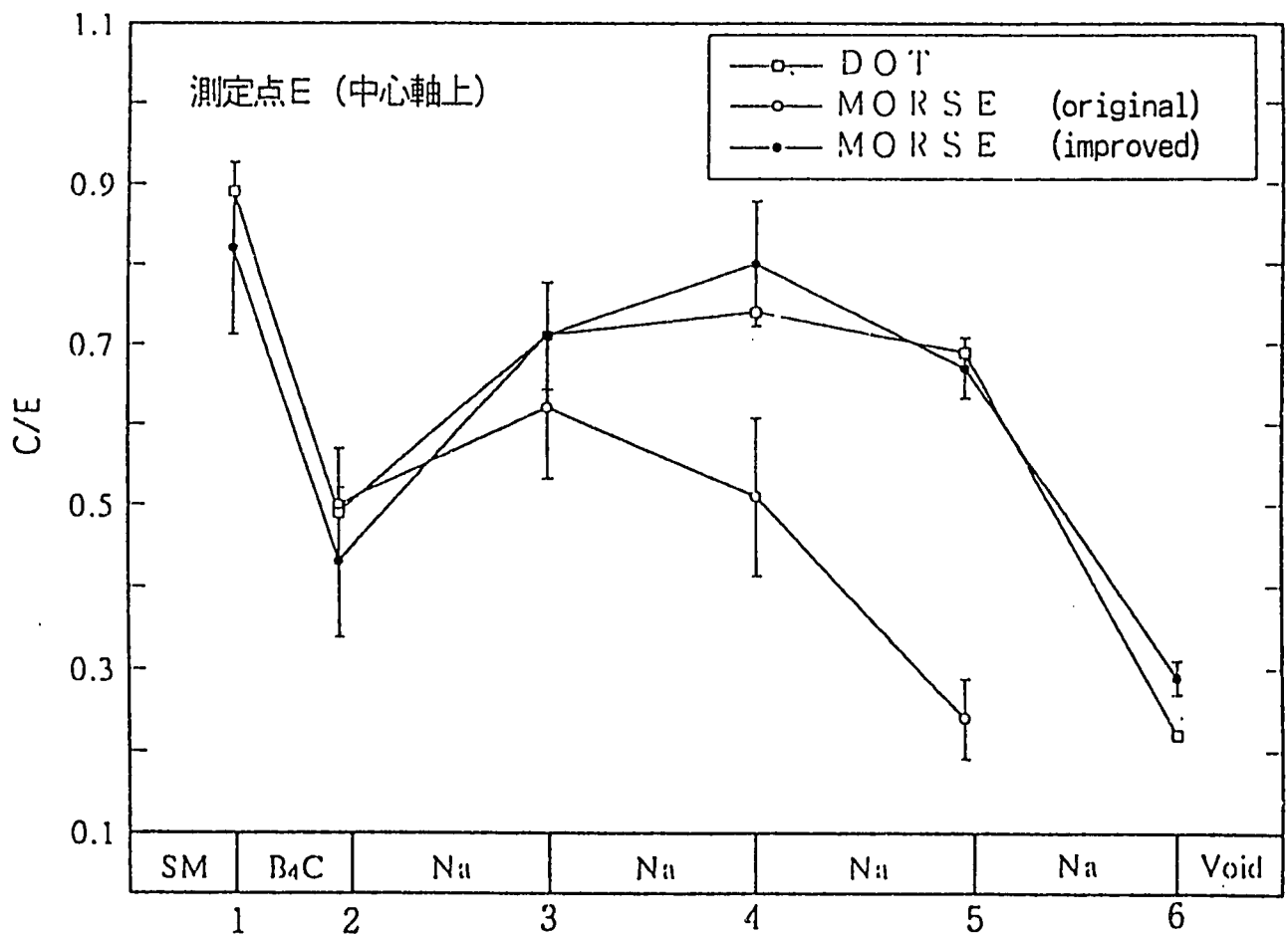
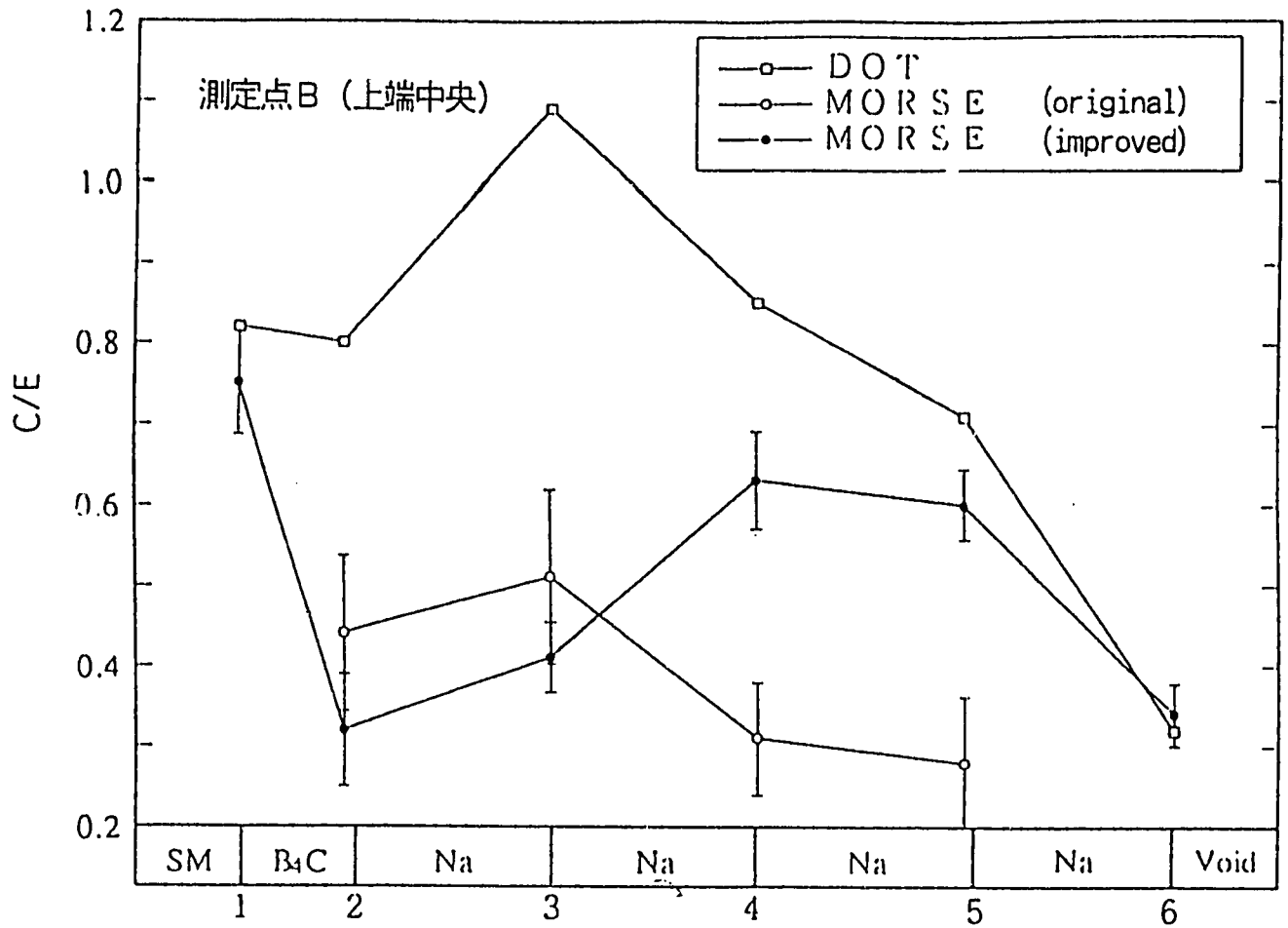
②検出法変更 : next event surface crossing detector
($\Leftarrow$ point detector)

体 系 VI	ボナボール反応率			Na放射化量		
	CPU	統計精度*1	CPU比*2	CPU	統計精度*1	CPU比*2
original	10時間	0.21~0.32	1	10時間	0.14~0.57	1
リダクション技法	1時間	0.12~0.14	$\sim 1/30$	3時間	0.13~0.55	$\sim 1/3$
同上+検出法変更	1時間	0.03~0.09	$\sim 1/10^2$	1時間	0.06~0.23	$\sim 1/50$

*1) 標準偏差相対値 *2) $CPU \propto 1 / (\text{統計精度比})^2$ にて換算

技法改善により同じ統計精度は

1 ~ 2桁短い計算時間で達成可能となる。



体系VIナトリウム放射化量C/E分布

I H X 実験解析の成果

2次元解析による解析精度を明らかとした。

体系	中心軸上C/E値	
	ボナボール反応率*1	ナトリウム放射化量*2
V (B ₄ C 遮蔽なし)	0.94～1.14	0.91～1.06
VI (前面のみB ₄ C)	0.78～0.99	0.69～0.89
VII (半周のみB ₄ C)	0.64～0.97	0.52～0.89
VIII (全周B ₄ C)	0.70～1.01	0.69～0.90
IX (Na流入窓つき)	0.73～0.94*3	0.89～0.95
X (前面半分開口)	0.82～1.10	0.84～0.94
V～X	0.64～1.14	0.52～1.06

*1) 3"～10" 体系後方30cm *2) B₄Cおよび Naスラ4層外端を除く

*3) 検出器の影響の大きいB₄Cスラ中央開口直後を除く

3次元解析により 2次元解析の妥当性を確認した。
(中心軸上C/E値)

3次元体系の2次元モデル化のための知見を得た。
透過 (非遮蔽) 領域の面積に着目したモデル化要

3次元モンテカルロ解析の技術向上をはかった。

リダクション技法 : splitting & kill 技法

検出法 : next event surface crossing detector

新遮蔽材透過実験解析

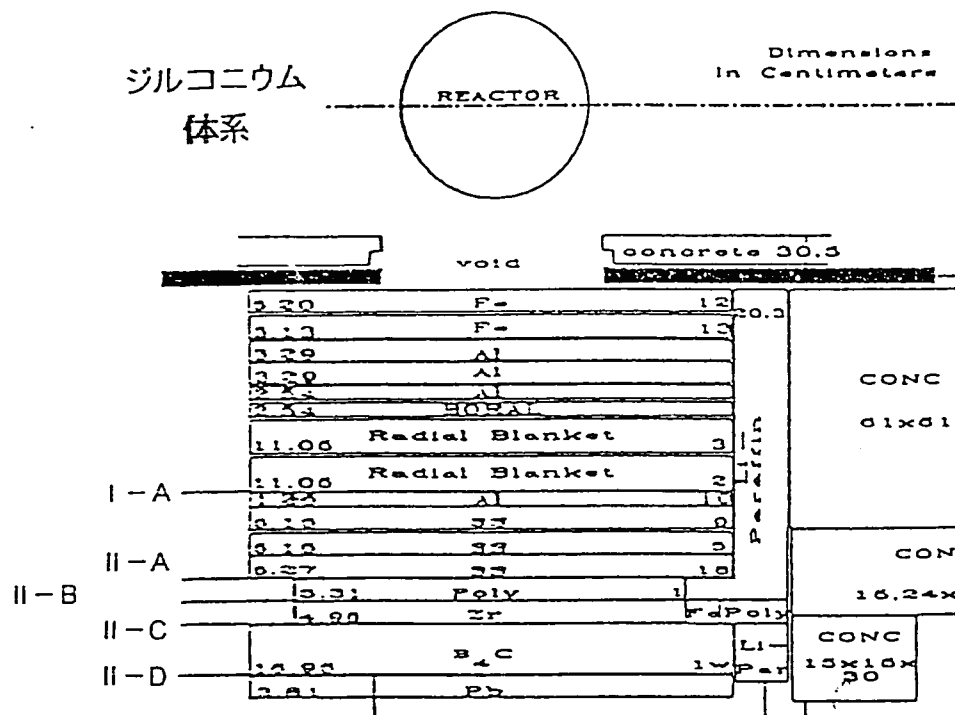
(ジルコニウムハイドライド／ポリエチレン透過実験解析)

目 的

新遮蔽材透過実験解析を実施し、高速炉の遮蔽材候補としてのジルコニウムハイドライドおよびポリエチレンの各透過解析精度を評価する。また実験体系の新遮蔽材模擬性等の検討及び径方向遮蔽実験の B_4C 等各種遮蔽材との遮蔽性能・解析精度の比較を行う。

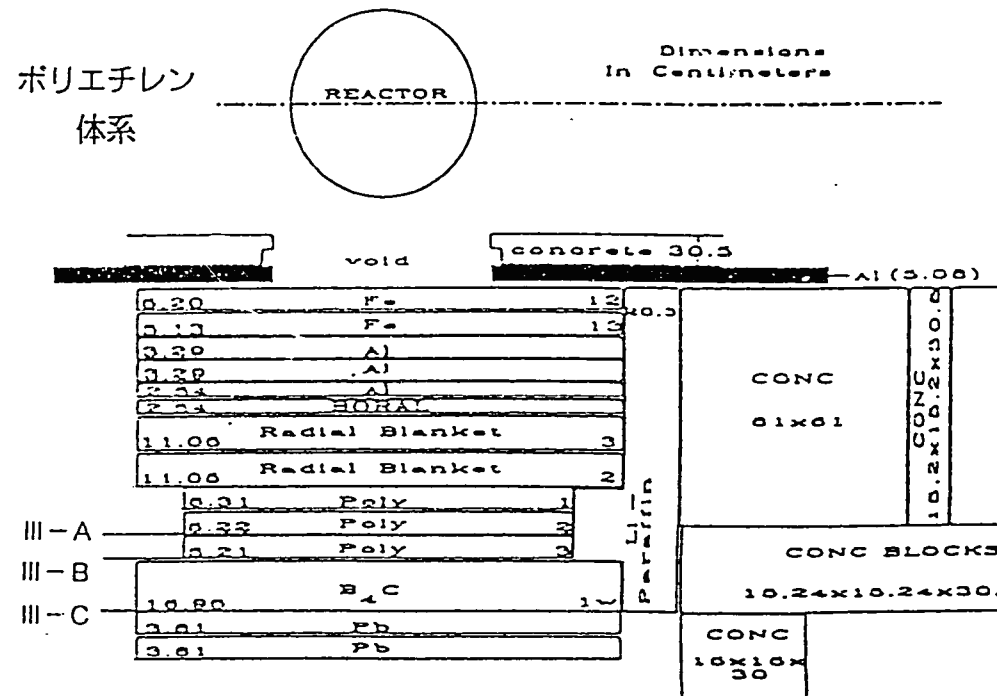
ジルコニウム
体系

Dimensions
In Centimeters

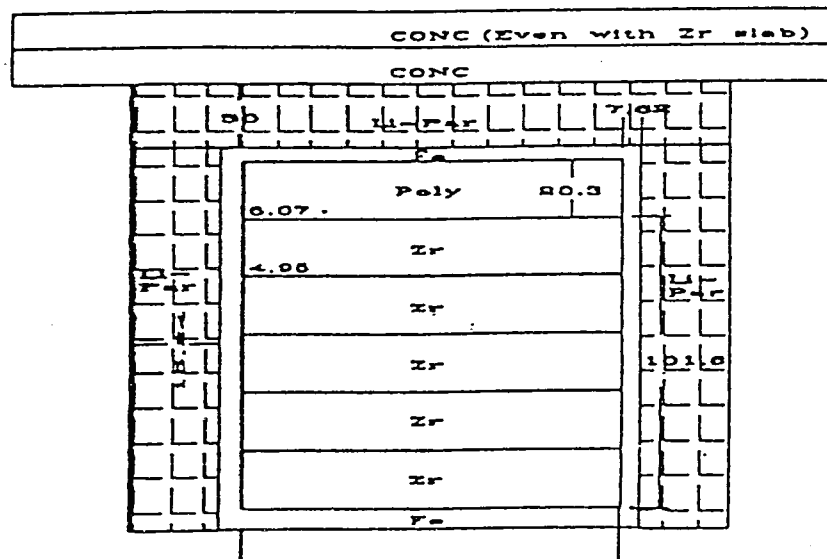


ポリエチレン
体系

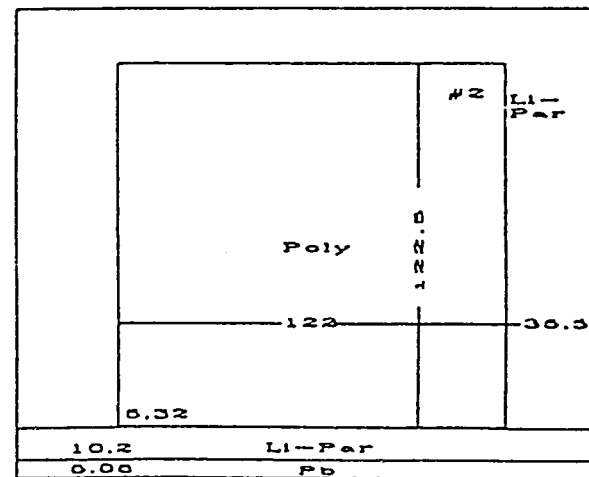
Dimensions
In Centimeters



平面図



立面図



新遮蔽材透過実験体系配置図

□ 新遮蔽材透過実験解析の解析手法

輸送計算コード : DOT 3.5 (2次元Sn法)

断面積ライブラリー :

JSDJ2* + JSSTD100**

基本核種

不足核種 Zr, Hf

*JSDJ2 : ジルコニウム関連はENDF/B-IVの

MAT1284 (zircaloy-2) を収録

ジルコニウム供試体に含まれるHfは収録なし

**JSSTD100: JENDL3.1にもとづく100群定数

□ 新遮蔽材透過実験解析の主検討内容

断面積ルジャンドル展開次数の妥当性確認

(結果) : ポリエチレン体系でも3次 (P_3) で適切

ジルコニウムハイドライド模擬性の評価

(課題) : 実験供試体は多重層から構成

ポリエチレン5.31cm + ジルコニウム4.95cm

ジルコニウムハイドライドをどのように模擬しているか?

(結果) : 透過スペクトルの再現性良

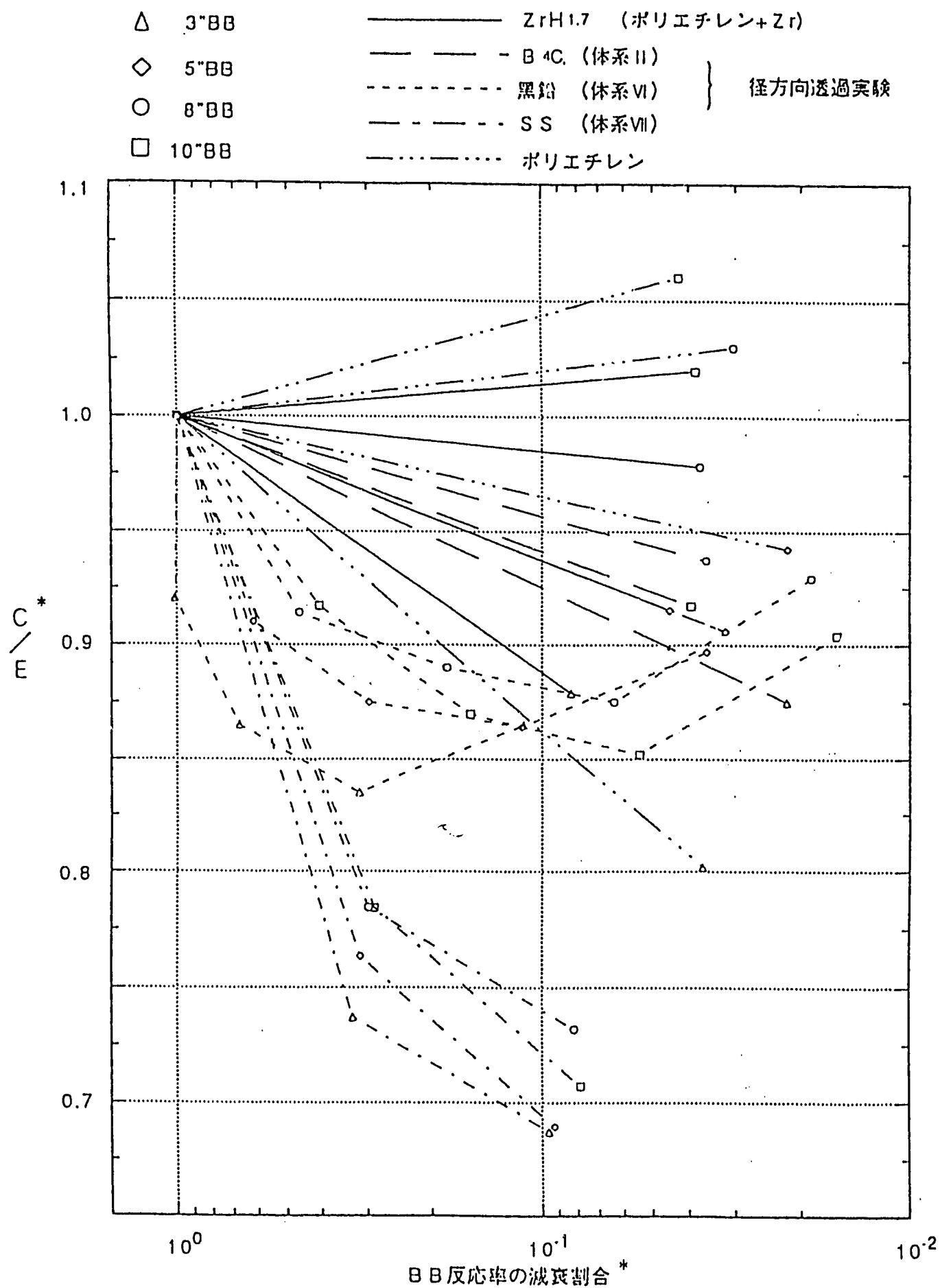
減衰率は7.4cm厚さに相当

遮蔽性能/解析精度の他遮蔽材との比較整理

(結果) : 遮蔽性能は最も優れている

C/E 相対的に高い

ボナーボール径間の差大



* 体系IIA (SM1+Al1.3cm+SS16cm) 端にて規格化。但しポリエチレンはSM1端にて

遮蔽材による解析精度の比較

新遮蔽材透過実験解析の成果

ジルコニウムハイドライド及び
ポリエチレンの透過解析精度が得られた。

体系	ボナボール反応率*	高速中性子束**
I - A (SM)	0.93～1.03	0.84～0.89
II - A (+SUS)	0.86～0.92	
II - B (+ポリエチレン)	0.79～0.85	0.79
II - C (+ジルコニウム)	0.81～0.98	0.78～0.87
II - D (+B ₄ C)	0.86～0.90	0.76
III - A (SM+ポリエチレン)	0.82～1.09	0.79
III - B (+ポリエチレン)	0.91～1.03	0.90
III - C (+B ₄ C)	0.90～1.01	0.92
I ～ III	0.79～1.09	0.78～0.92

* 3"～10"BB / 体系後方30cm

** スペクトル測定 9群以上 (>67keV)積算値

ポリエチレン/ジルコニウム多重層は
ジルコニウムハイドライドでの透過特性を
よく模擬している。

各種遮蔽材の遮蔽性能および解析精度の
データの蓄積をはかることができた。
ジルコニウムハイドライド、ポリエチレン、B₄C、黒鉛、ステンレス鋼

3. 4 ギャップストリーミング実験の解析結果及びT O R T適用結果

3. 4. 1 ギャップストリーミング実験の解析

J A S P E R計画におけるギャップストリーミング実験は、コンクリートを主媒質とし、かつ硬軟両スペクトルを入射条件としたことが特徴である。本実験を2次元輸送計算法で解析した。

実験概要

T S Rコリメータの直後に1m厚さコンクリート供試体を設けた体系（体系Ⅱ）、鉄／アルミ／ボラール／1.8m厚ナトリウムからなるスペクトルモディファイヤの直後にコンクリート供試体を設けた体系（体系Ⅲ）の測定が行われた。OHP3.4-3に実験体系と測定項目を示す。実験体系の例をOHP3.4-4とOHP3.4-5に示す。

測定値の検討

硬スペクトル体系（Ⅱ）では、1m厚さのコンクリート供試体で中性子束は約4桁減衰している。しかし、供試体後方150cmで測定されたバックグラウンド（B G）測定値はフォアグラウンド（F G）測定値に比べて十分小さく（B G／F G比で0.05～0.15）、有意な測定値になっている。一方、軟スペクトル体系（Ⅲ）は供試体前面にスペクトルモディファイヤがあるため、供試体透過後の中性子束が著しく減衰している。硬スペクトル体系と比較すると、5インチボナーボール検出器応答の測定値は約4桁低い。この程度まで測定値レベルが下がるとB Gの寄与が無視できなくなる。実際、B G／F G比は0.5～0.9となっている。それ故、計算値と測定値とを直接比較することは無意味であり、B Gを補正する検討を行った。しかし、B GとF G測定値が同程度であること、各体系毎の測定値に統一的なB Gレベルを設定することが難しいこと等が分かり、推奨できるB G補正値を得られなかった。

計算法

D O R Tコードを用いて、21群、P3、非等方S166及びS315分点の条件で計算を行った。検出器応答計算は従来から使用されてきたS P A C E T R A Nコードを用いた。これは、ボナーボール検出器の実効中心を考慮する、多数の評価点の計算値を得る、などの理由による。しかし、本実験解析に使用したところ、ギャップ部に対応する位置で中性子束のピークが現れない不合理な結果が得られた。そこで、S P A C E T R A Nコードと角度束の積分方法の異なるD I S K T R A Nコードを使用し、妥当な検出器応答計算値を得た（OHP3.4-6）。また、S N分点については、S166分点とS315分点とで特に差異はなく（OHP3.4-7）、S166分点で十分であることを確認した。

解析結果

ギャップなし体系（Ⅱ-A）の計算値は、ホニャックボタン、ボナーボール検出器応答のどちらも測定値とよく一致している（OHP3.4-8）。ギャップあり体系のボナーボール検出器応答水平方向トラバース結果は、検出器の空間分解能が劣るためピーク付近での一致が良くない（OHP3.4-9）。しかし、空間分解能の優れたホニャックボタン検出器の応答は、単純な系でよく再現できている（OHP3.4-7）。

軟スペクトル体系（Ⅲ）の結果は、上記のとおりB Gレベルを仮定して測定値を補正しないと計算値との比較ができない。参考値であるが、水平方向に一定のB Gレベルを想定して補正した測定値、補正を施さない測定値と計算値との比較をOHP3.4-10に示す。

解析の成果

- ①詳細なS N分点による検出器応答計算の場合にS P A C E T R A Nコードが適さない場合のあることが示され、このような計算にD I S K T R A Nコードを利用すると合理的な結果が得られることが分かった。
- ②硬い中性子スペクトル場（体系Ⅱ）のストリーミング解析結果は、全般的に測定値とよい一致を示した。

③軟らかい中性子スペクトル場（体系Ⅲ）のストリーミング解析結果は、測定値がバックグラウンドに埋もれているので計算値との直接の比較が困難であることが分かった。

3. 4. 2 T O R Tコードの整備とI H X実験への適用

高速炉遮蔽解析システムの高度化の一環として、米国ORNLで開発が進められている3次元計算コードT O R Tの整備を行い、I H X実験の非対称3次元体系の解析を行った。今回整備したT O R Tコードは、93年1月にRSICで公開されたもの（バージョン2.6.5）である。

コード調査

3次元輸送計算は膨大な空間メッシュと2次元計算の倍のS N分点を必要とし、2次元計算に比べて解くべき未知数が格段に増える。そのため、粗メッシュ解法や収束加速法などの計算効率を上げる工夫が行われる。T O R Tの場合には前者に対応するものとして、ノード法や可変メッシュ法などが採用されている。そこでまず例題により解法が計算結果へ及ぼす影響を調べた。D O T 3.5等で採用されている重み付き差分法とノード法とを比較すると、同一メッシュならほぼ同じ結果が得られ、解法依存性の少ないことを確認した。次に2次元問題（X Y、R θ ）を対象に、2次元計算コードD O R TとT O R Tコードの計算結果を比較した。T O R Tの結果はD O R Tの結果と一致したことから、基本的な計算機能も妥当であることが確認できた。

また、実用上は2次元コードとの接続計算機能が不可欠である。そこで、D O R T-T O R T接続用周辺コードを整備し、例題により正しく接続されることを確認した。2次元計算から3次元計算への接続処理のフローをOHP3.4-13に示す。

I H X実験解析

I H X実験のうち、B₄Cの部分遮蔽による中性子の流れ込みとこれによる中性子束分布の歪みを見ることを狙って企画された体系（X；OHP3.4-14）の解析を行った。

まず、2次元計算によりモデリング（メッシュ分割や物質配置）の検討を行い、例えばB₄C供試体についてはステンレス鋼製シース（厚さ0.69cm）のモデル化が不可欠であるが、ナトリウムスラブのアルミ製シースはナトリウムで置換しても影響が小さいこと等が分かった。これらを反映した計算モデルは、総メッシュ約5万で記述した。計算条件は等方S₈、P₃、21群とした。

中性子束分布をナトリウムフォイル放射化量に変換した結果をOHP3.4-15からOHP3.4-17に示す。OHP3.4-15からは、B₄Cとアルミスラブの物質の違いにより模擬I H X部へ流れ込む中性子によって形成される分布が把握できる。また、OHP3.4-16とOHP3.4-17からは、軸（Z）方向に進むにつれて中性子束分布の歪みが緩和されることがよく分かる。

この3次元計算結果を用いて測定値を吟味した。その結果、ナトリウムフォイル測定値は各ギャップ部の6位置で測定されているが、上部の3点の測定値は上部間隙からのストリーミングの影響が混入している可能性があり、計算値との比較の上で信頼度が乏しいことが明らかになった。

ナトリウムフォイル放射化量のC/E値をOHP3.4-18に示す。全般的にC/E値が低い理由は、スペクトルモディファイヤ部でのC/E値の悪化に起因する。B₄Cとアルミスラブのどちらか一方のみで構成される2次元計算結果を重ね合わせた結果とT O R T計算結果を比較すると、一部を除き極端な差は見られないものの、3次元計算結果の方が体系内の中性子束分布をよりよく再現していることが分かった。

解析の成果

①T O R Tコードを用いた3次元遮蔽解析手順が確立できた。

②2次元計算の重ね合わせ法による計算結果とT O R T計算結果を比較し、後者の方が体系内中性子束分布をよく再現していることが確認された。本実験解析によりT O R Tコードの有効性を示すことができた。

（三菱総合研究所 角田）

ギャップストリーミング実験の解析 結果及びTORT適用結果

三菱総合研究所 安全工学研究センター
角田 弘和

1. ギャップストリーミング実験の解析

JASPER計画におけるギャップストリーミング実験は、コンクリートを主媒質とし、かつ硬軟両スペクトルを入射条件としたことが特徴である。本実験を2次元輸送計算法で解析した。

- 実験の概要と測定値の検討
- 計算法
- 解析結果
- 解析の成果

2. TORTコードの整備とIHX実験への適用

高速炉遮蔽解析システムの高度化の一環として、米国ORNLで開発が進められている3次元輸送計算コードTORTの整備を行い、IHX実験の非対称3次元体系の解析を行った。

- コード調査
- IHX実験解析
- 解析の成果

ギャップストリーミング実験の解析 実験概要

実験目的：

大型炉遮蔽プラグの各間隙部を模擬したベンチマーク実験
体系によりストリーミング効果を測定する。

実験時期：

1992年2月～4月

実験体系：

硬スペクトル体系（II）・・・5

軟スペクトル体系（III）・・・10

ただし、スペクトルモディファイヤ体系（I）含む

測定と検出器：

ボナーボール検出器（3、5、8、10インチ径）

NE213、ベンジャミン・スペクトロメータ

ホニヤックボタン検出器

表1 ギャップストリーミング実験体系と測定項目

測 定 体 系	スペクトル 及びボ ナール	ボナーボール 中心軸	トラバース	モニタ タ	備考
(1) ベアビーム系 ① II-A (100cmコンクリート スリットなし) ② II-B (1cmスリット) ③ II-C (3cmスリット) ④ II-D (2cmスリット 4cmオフセット) ⑤ II-E (2cmスリット 8cmオフセット)	● ● ●	● ● ● ● ●	● ● ● ● ●	● ● ● ● ●	
(2) S M 2 系 ① I-A (10Fe+9Al+2.5Boral+180Na) ② III-A (100cmコンクリート スリットなし) ③ III-B (1cmスリット) ④ III-C (3cmスリット) ⑤ III-D (III-C + 5cmSS) ⑥ III-E (III-C + 10cmSS) ⑦ III-F (2cmスリット 4cmオフセット) ⑧ III-G (2cmスリット 8cmオフセット) ⑨ III-H (スリット埋め) ⑩ III-HH (III-H+15cmボナールリチレン)		● ● ● ● ● ● ● ● ●	● ● ● ● ● ● ● ● ●		

*1) スペクトル及びボナール: NE213/ベンジエミンスペクトロメータによるスペクトル測定と同位置における3, 5, 10インチボナール測定

*2) ボナール中心軸: 150cm位置における3, 5, 8インチボナール測定

*3) ボナールトラバース: 体系後方30cm位置における3, 5, 8インチボナールトラバース測定

*4) モニタ: 体系後端および30cm位置におけるモニタ測定

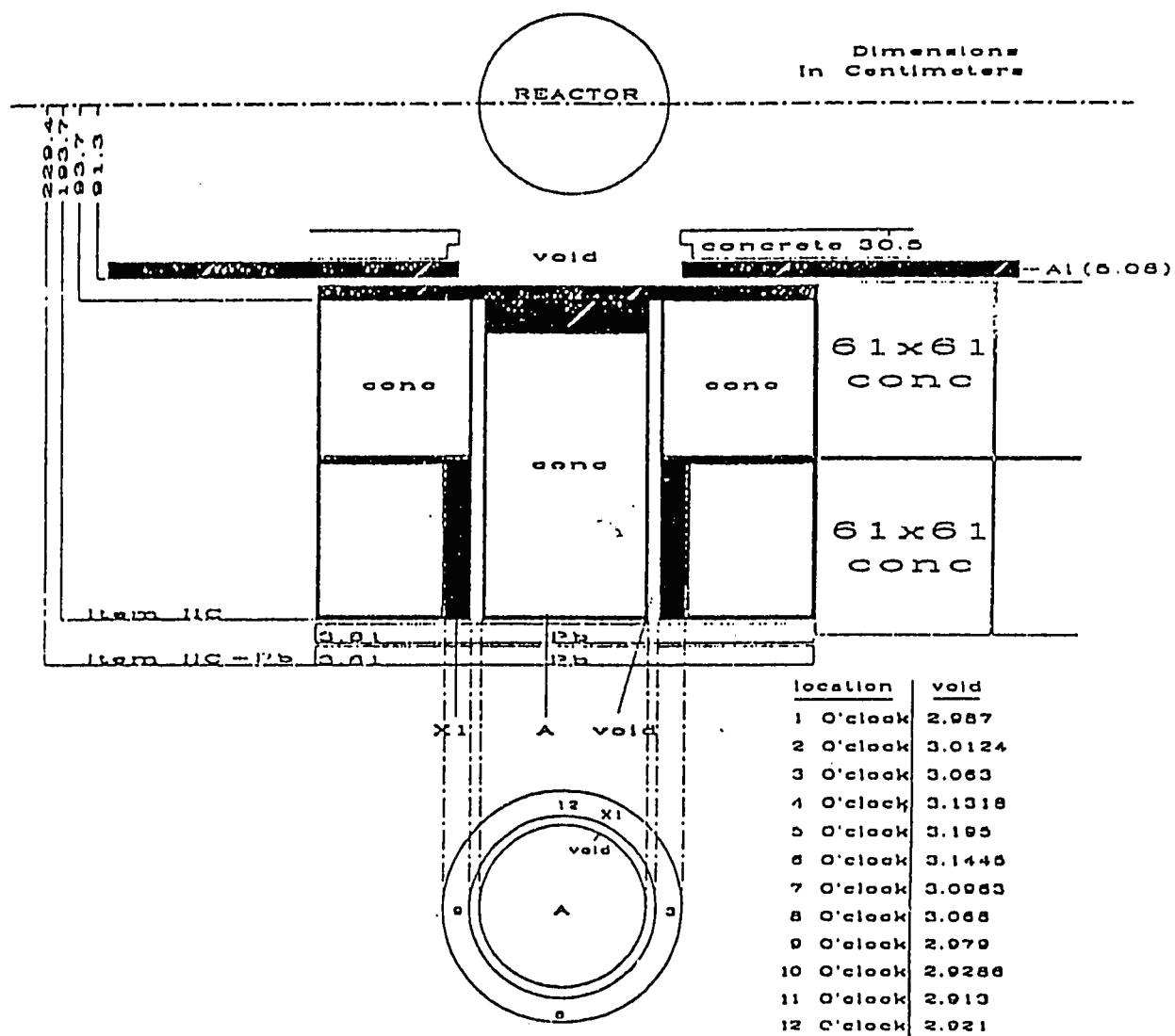
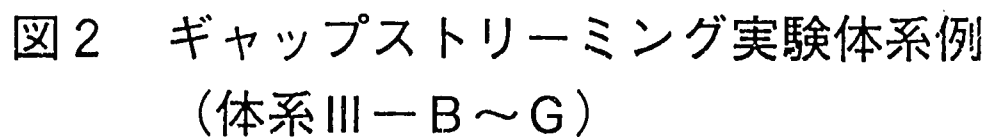


図1 ギャップストリーミング実験体系例（体系II-C）

MRI OHP3.4-4



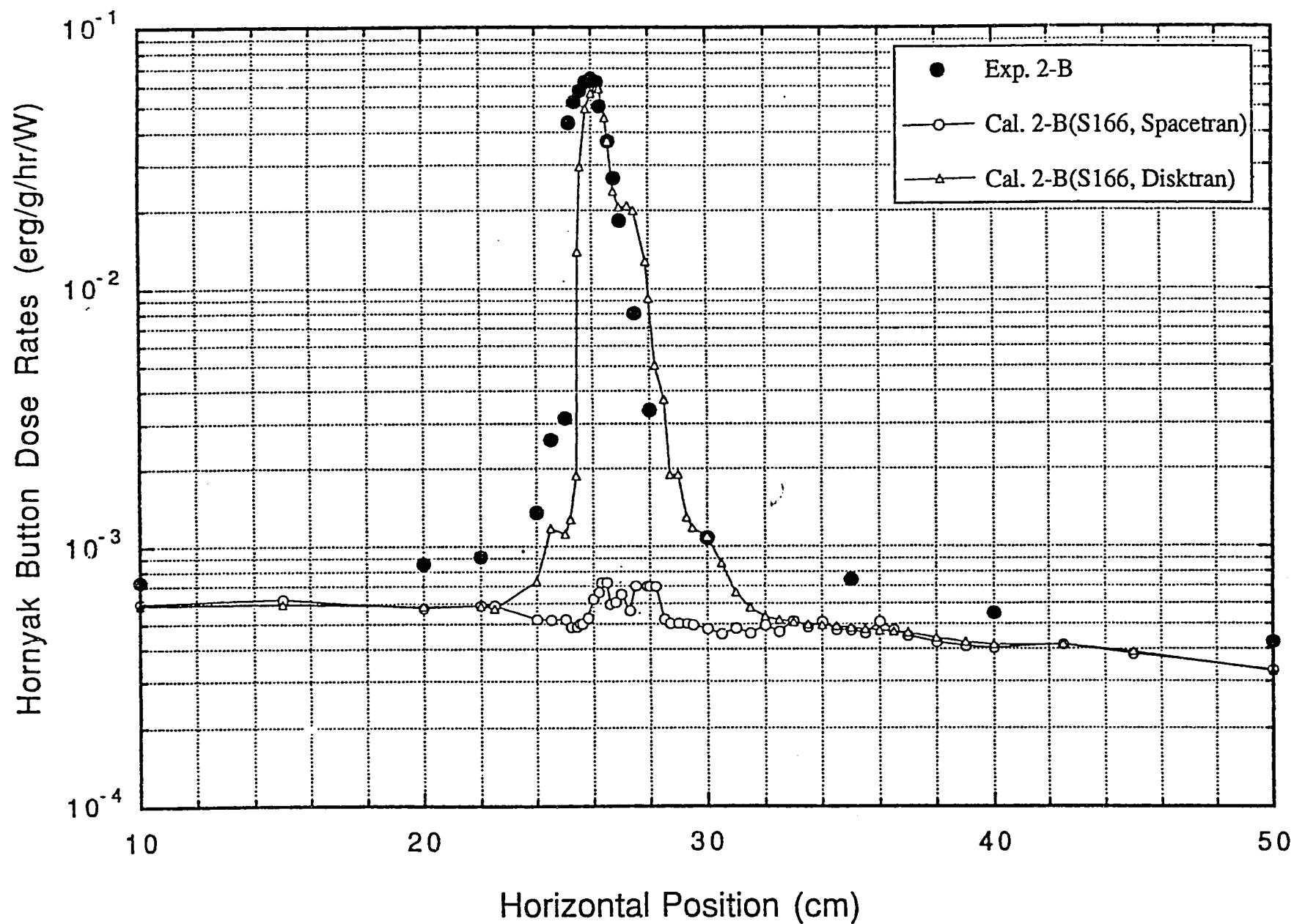


図3 SPACETRANとDISKTRANによるホニャックボタンの応答比較
(体系II-B 水平方向トラバース拡大図)

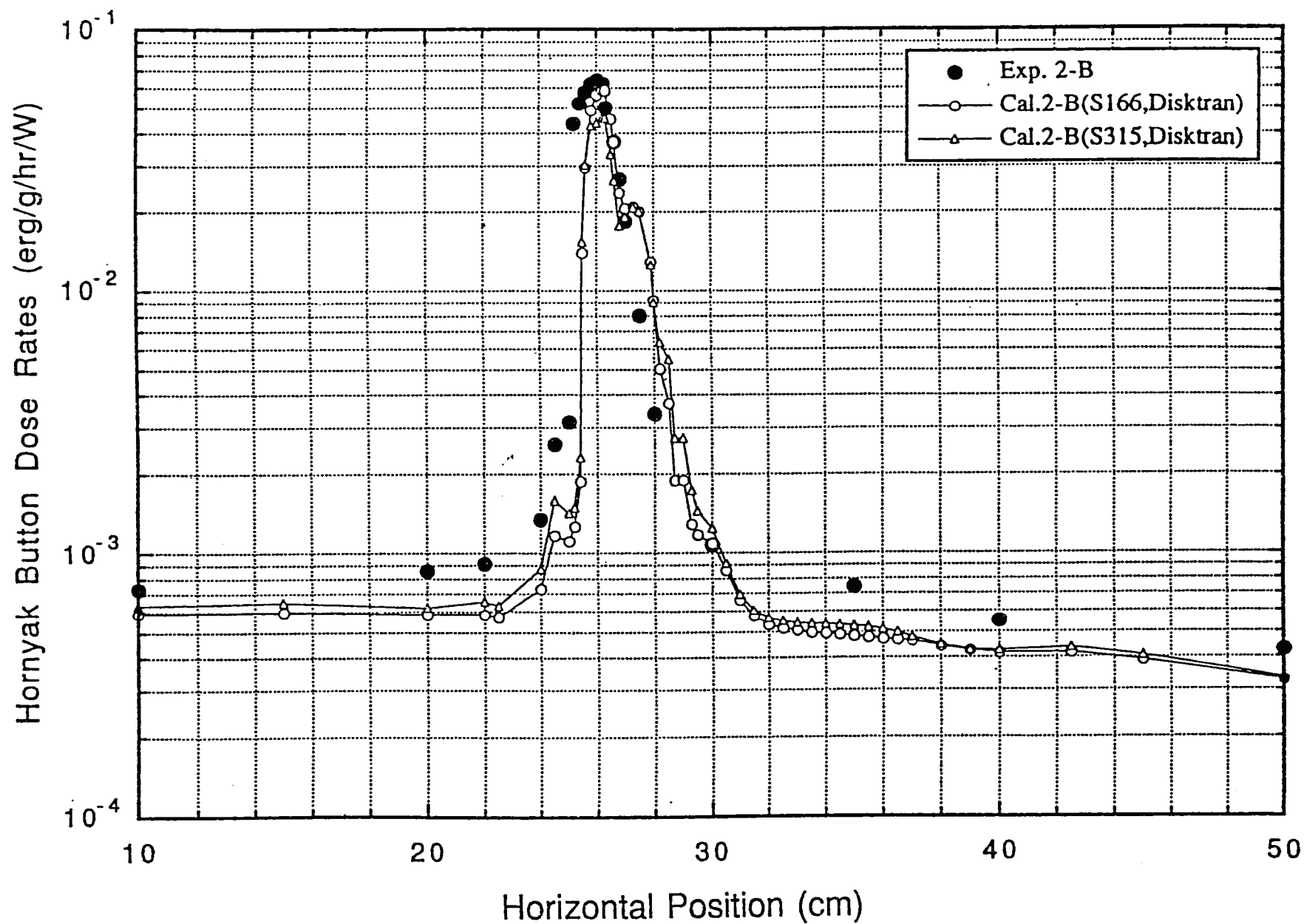


図4 S166分点とS315分点を用いた計算によるホニャックボタンの応答比較
(体系II-B 水平方向トラバース拡大図)

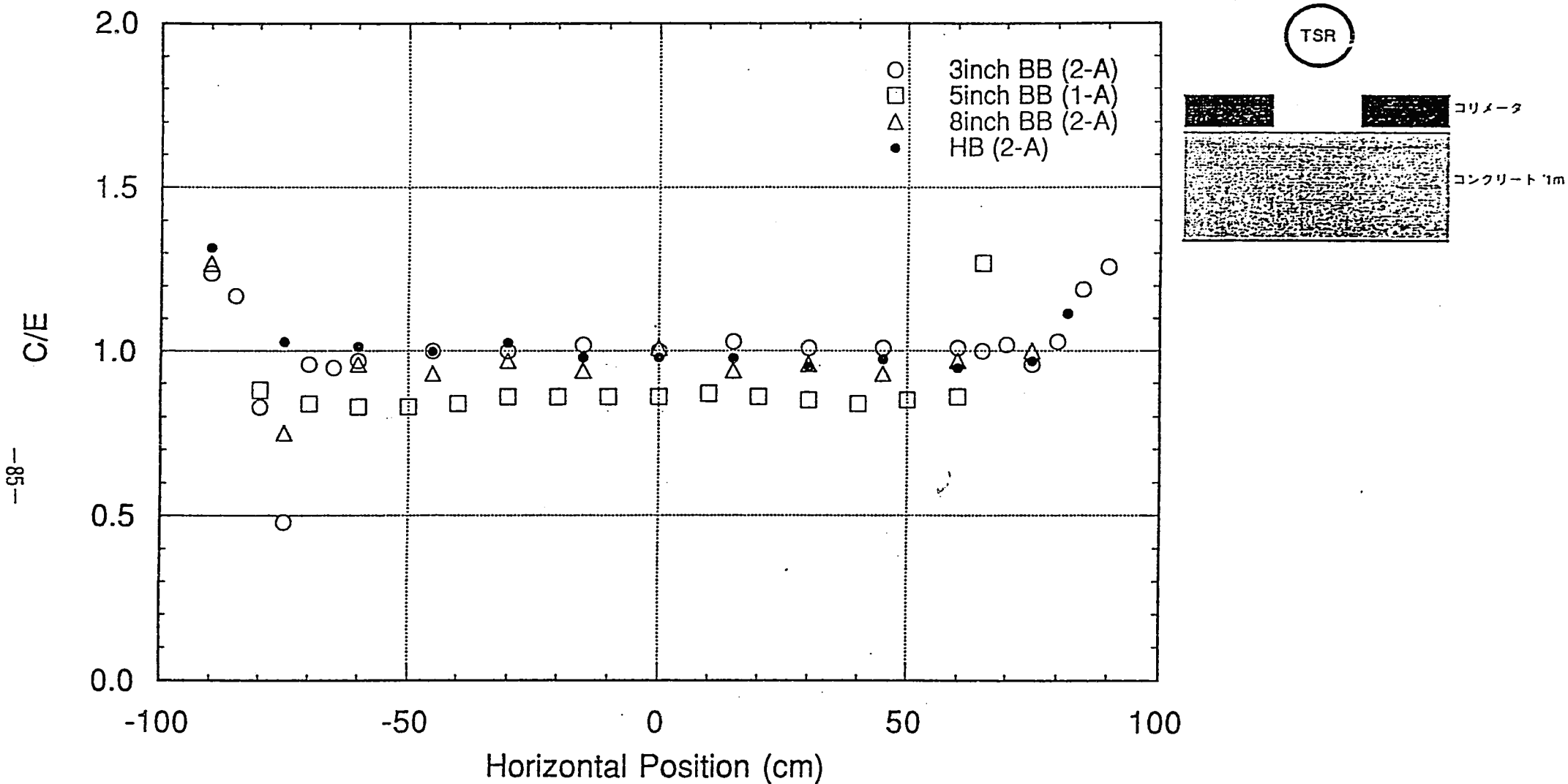


図5 ギャップなし体系（II-A）後方30cmの
各検出器応答水平方向トラバースのC/E値

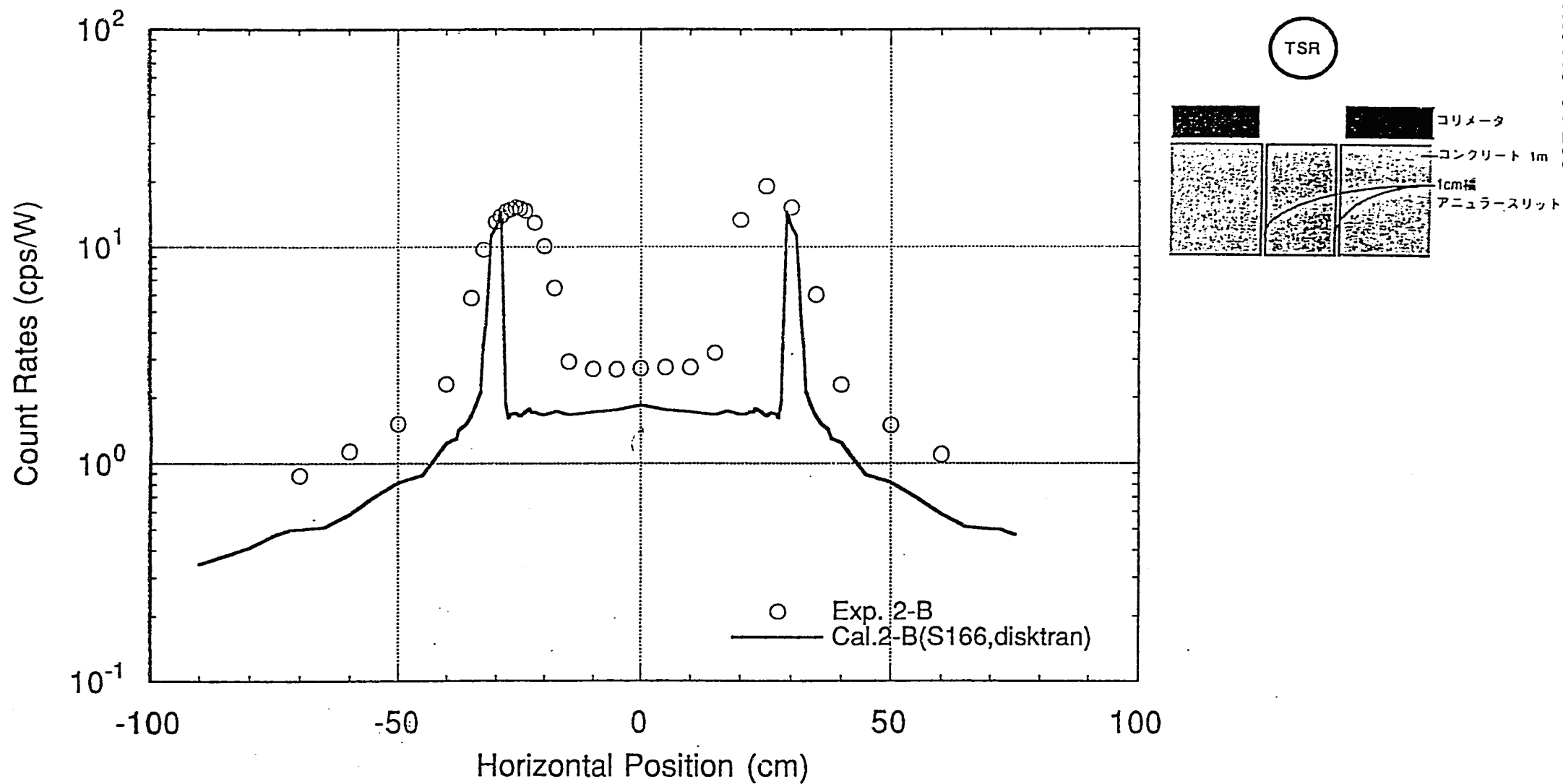


図6 体系II-Bの8インチボナーボール応答水平方向トラバースの比較

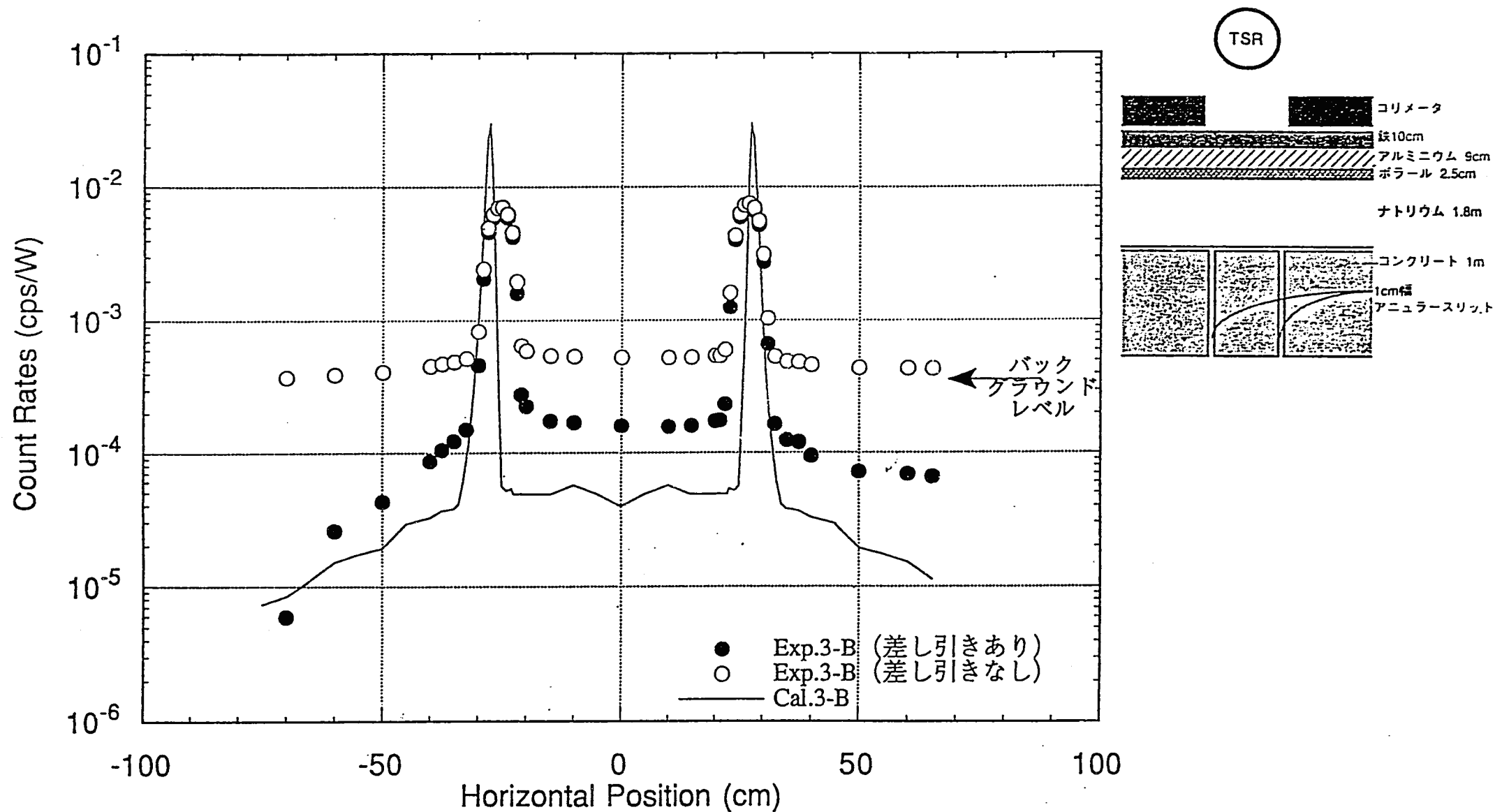


図7 体系III-Bの3インチボナーボール応答水平方向トラバーズの比較

ギャップストリーミング実験の解析 解析の成果

- ①詳細な SN 分点による検出器応答計算の場合；
SPACETRANコードは適さない場合のあることを提示
DISKTRANコードを推奨
- ②硬い中性子スペクトル場（体系II）のストリーミング解析結果は、
全般的に測定値とよい一致を示した。
- ③軟らかい中性子スペクトル場（体系III）のストリーミング解析結果は、
測定値がバックグラウンドに埋もれているので計算値との直接の比較が
困難である。

TORTコードの整備とIHX実験への適用 コード調査

TORT(Three-dimensional Oak Ridge Transport code)Version 2.6.5

特徴

- 可変メッシュ
- 群毎の S_n 、 P_1 近似
- 負線源除去
- 解法（重み付き差分、ノード法、その他）

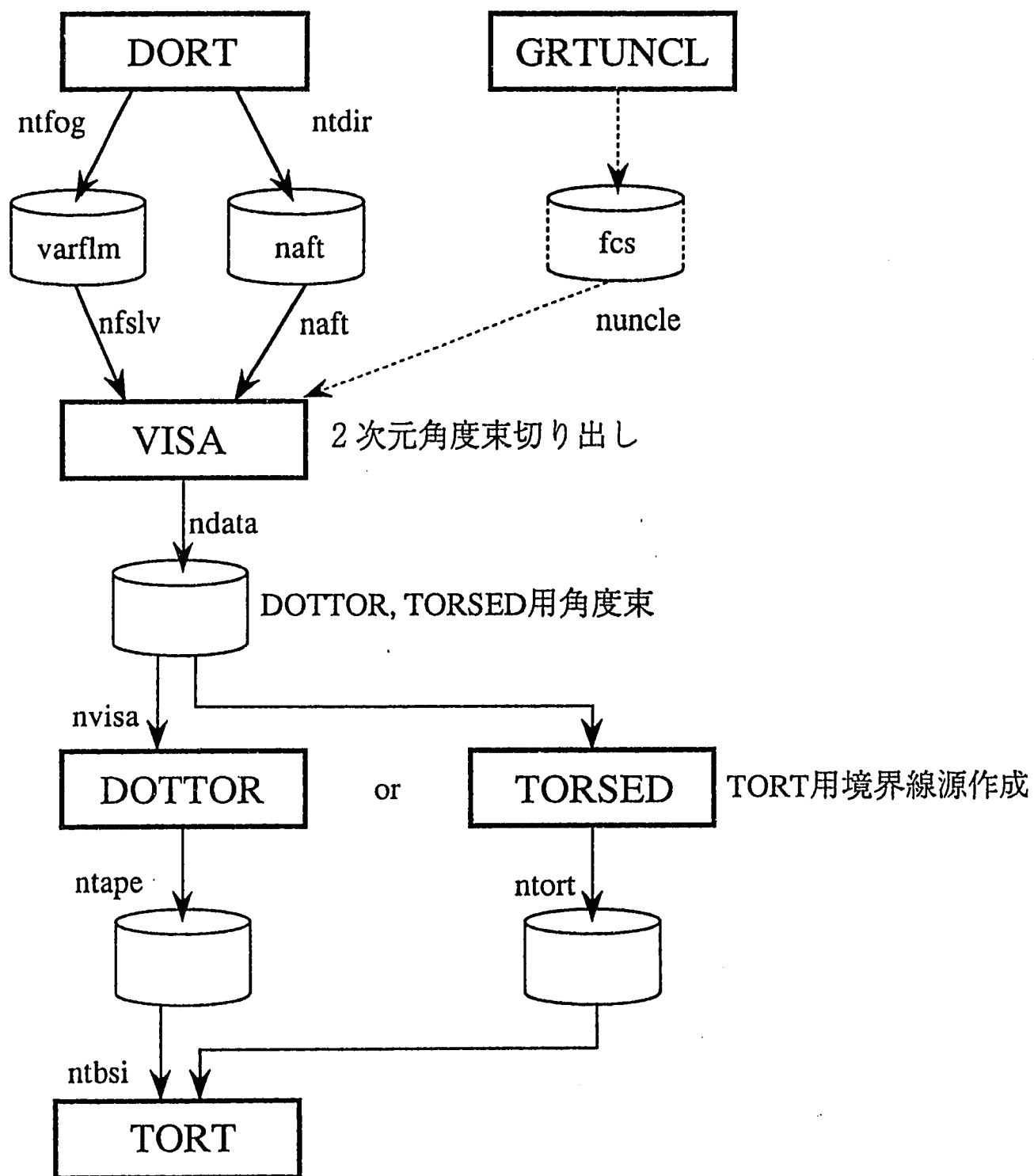


図8 DORT-TORT接続計算の処理フロー

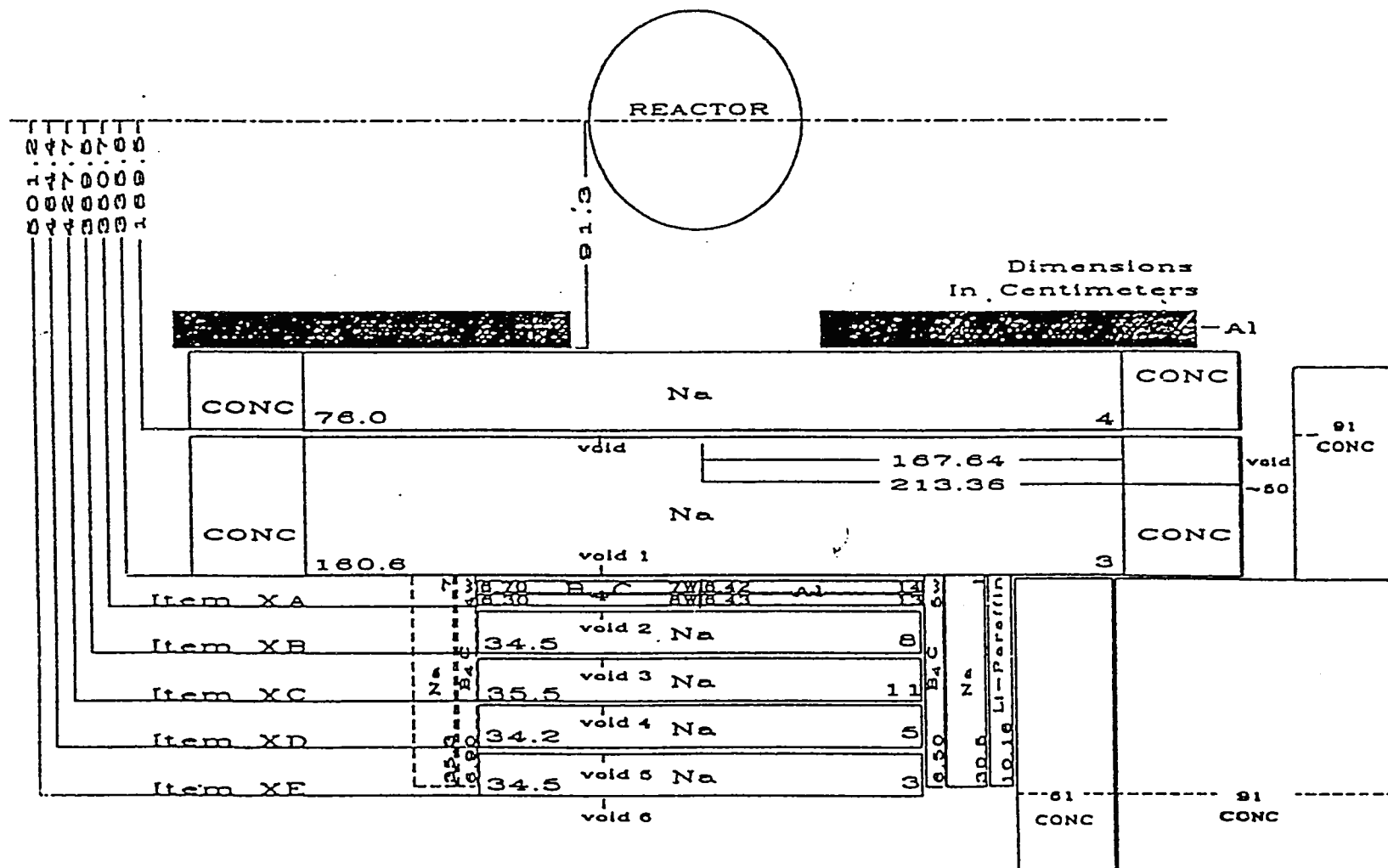
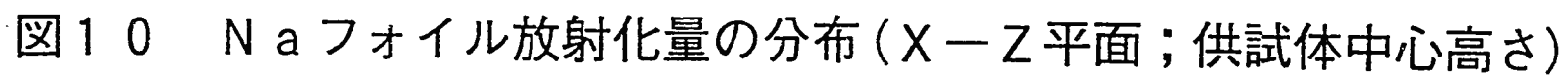


図9 I H X 実験体系 X の実験配置



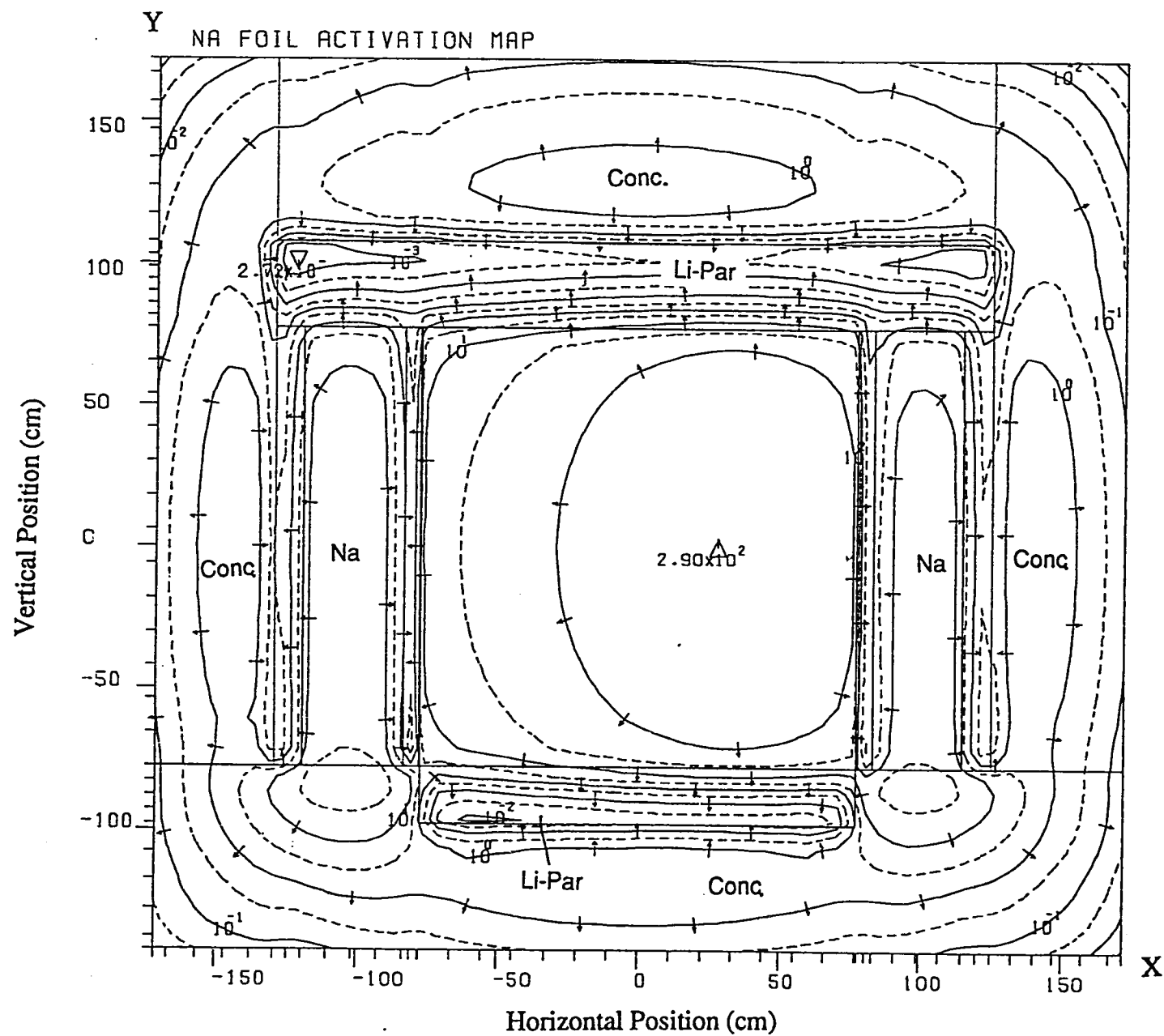


図1 1 Na フォイル放射化量の分布 (X-Y平面; ギャップ位置 # 3)

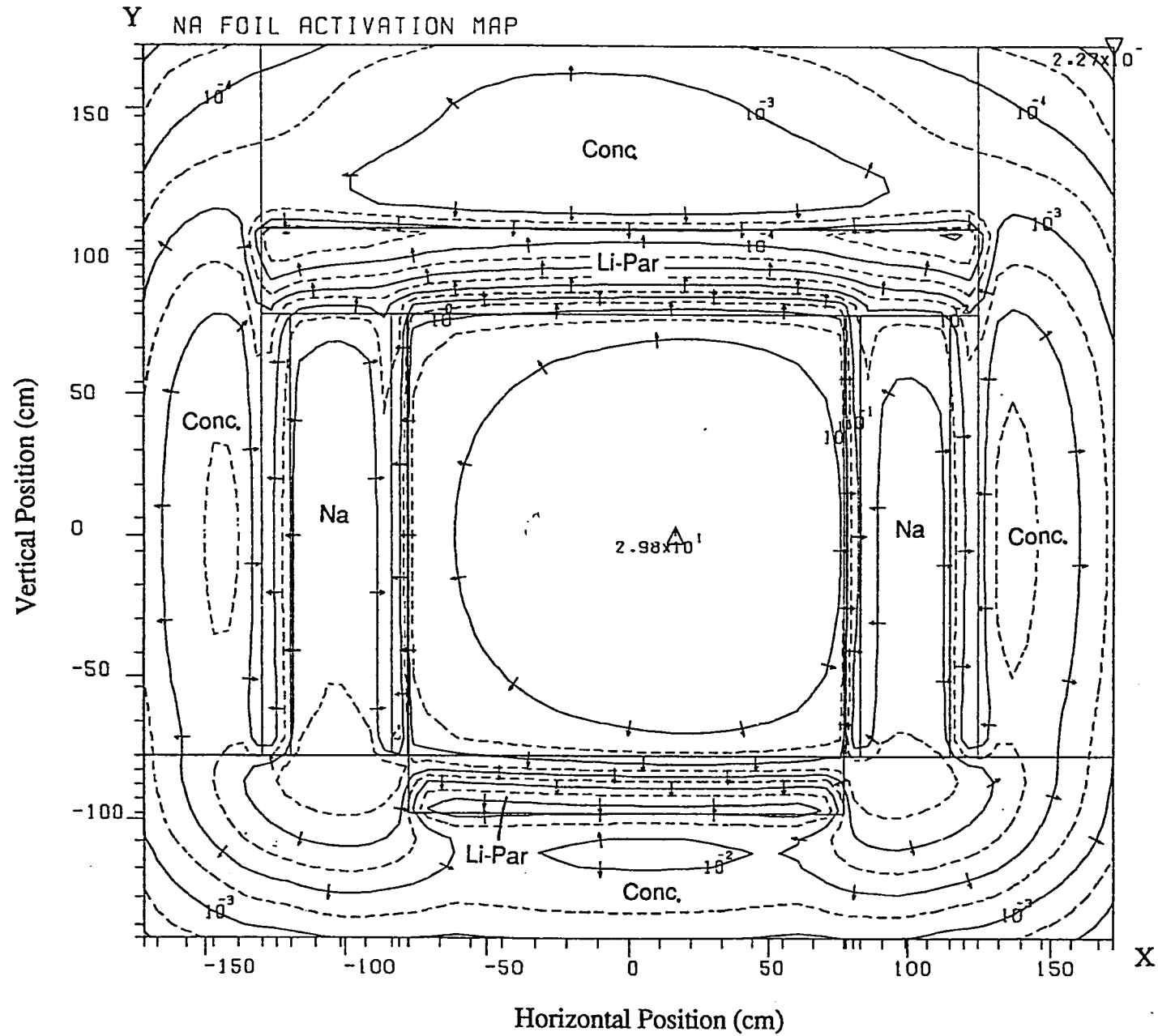


図12 Na フォイル放射化量の分布 (X-Y 平面; ギャップ位置 # 5)

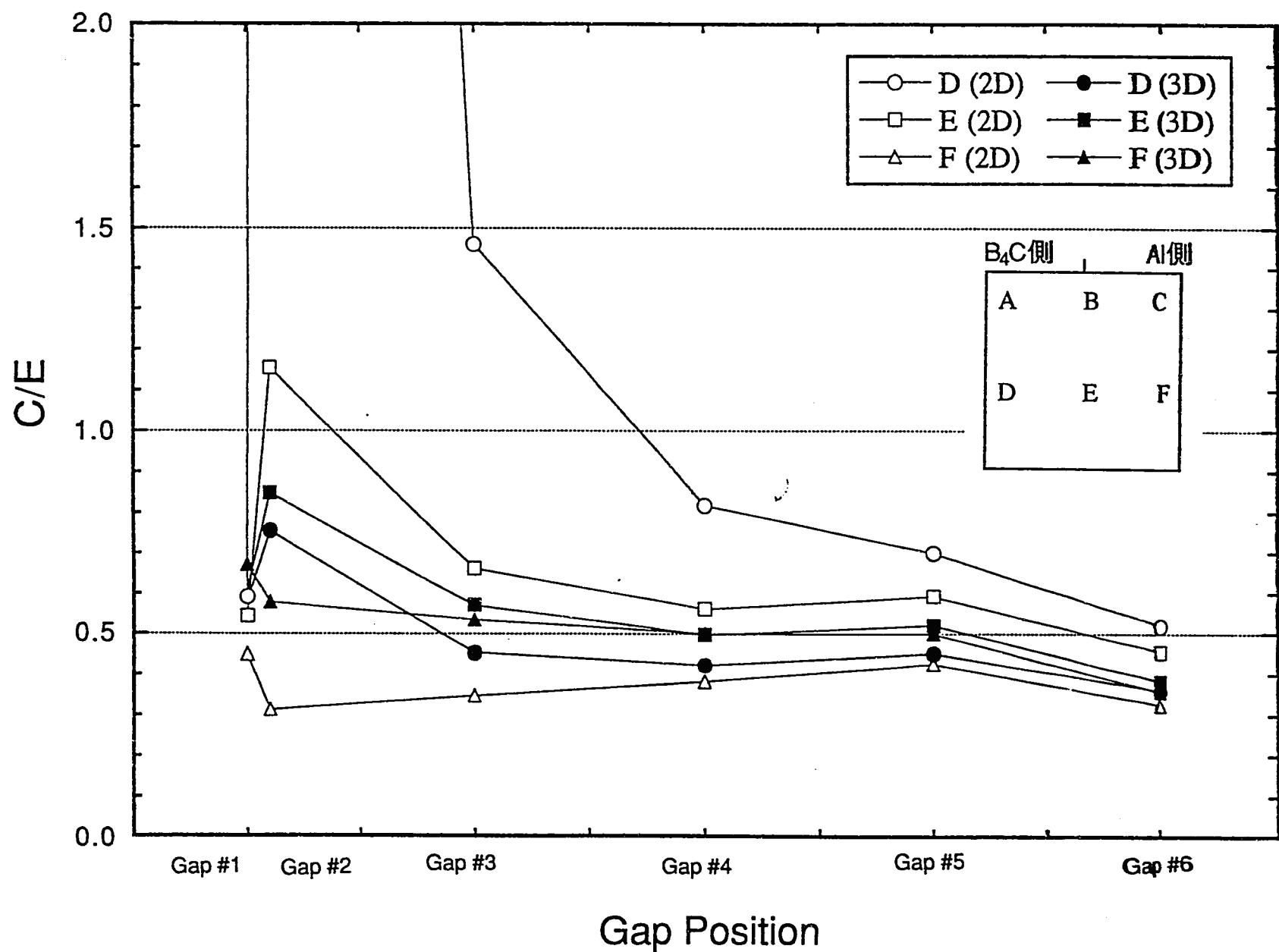
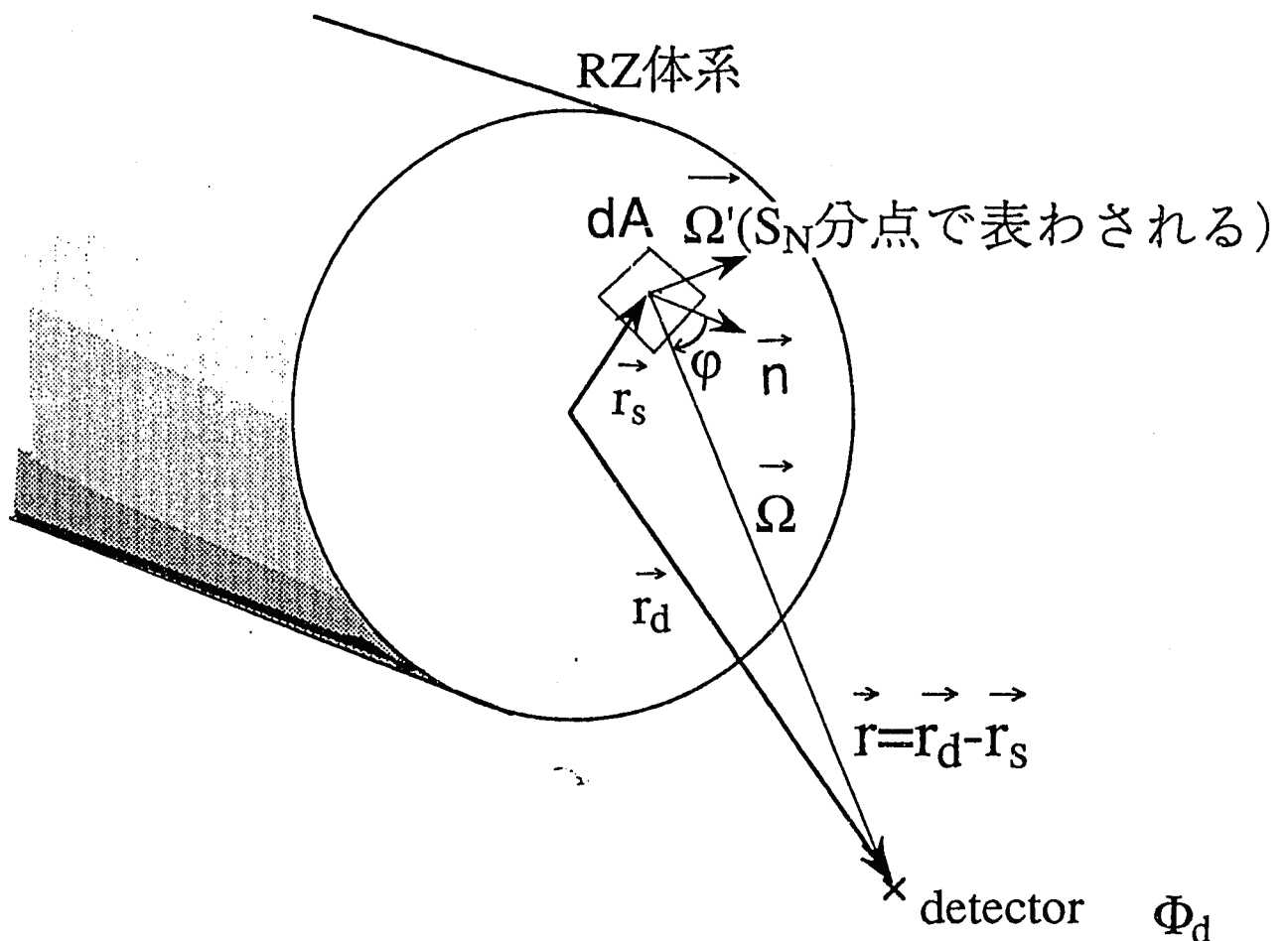


図 1 3 Na フォイル放射化量中央部測定値の C/E 値

T O R Tコードの整備と I H X 実験への適用 解析の成果

- ① T O R Tコードを用いた 3 次元遮蔽解析手順が確立できた。
- ② 2 次元計算の重ね合わせ法による計算結果と T O R T 計算結果を比較し、後者の方が体系内中性子束分布をよく再現していることが確認された。
本実験解析により T O R Tコードの有効性を示すことができた。



$$\Phi_d(\vec{r}_d, E) = \int_{\Omega', A} \psi(\vec{r}_s, E, \vec{\Omega}') \delta(\vec{\Omega}', \vec{\Omega}) \cos \varphi \frac{dA}{r^2} d\vec{\Omega}'$$

Spacetrans

$\Omega\Omega'$ が最大となる S_N 分点
 Ω' に対応する ψ を用いる

Disktran

$$\begin{array}{c} \rightarrow \rightarrow \\ \Omega \Omega' = 1 \text{ となるように } \psi \text{ を} \\ \rightarrow \\ \Omega' \text{ に関して内挿して用いる} \end{array}$$

図 SPACETRANとDISKTRANの角度積分

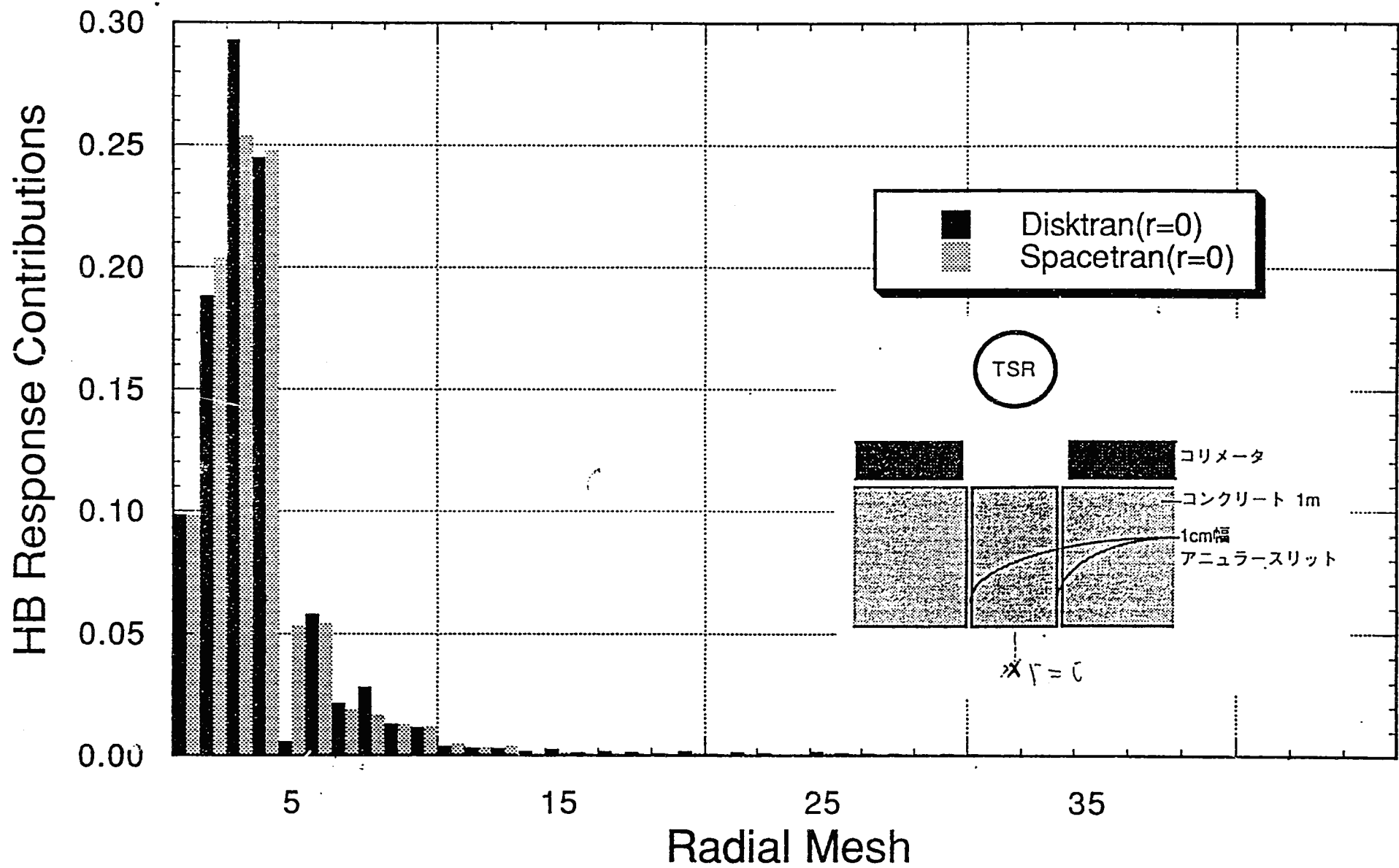


図 体系II-Bホニヤックボタン応答へのメッシュ毎寄与率

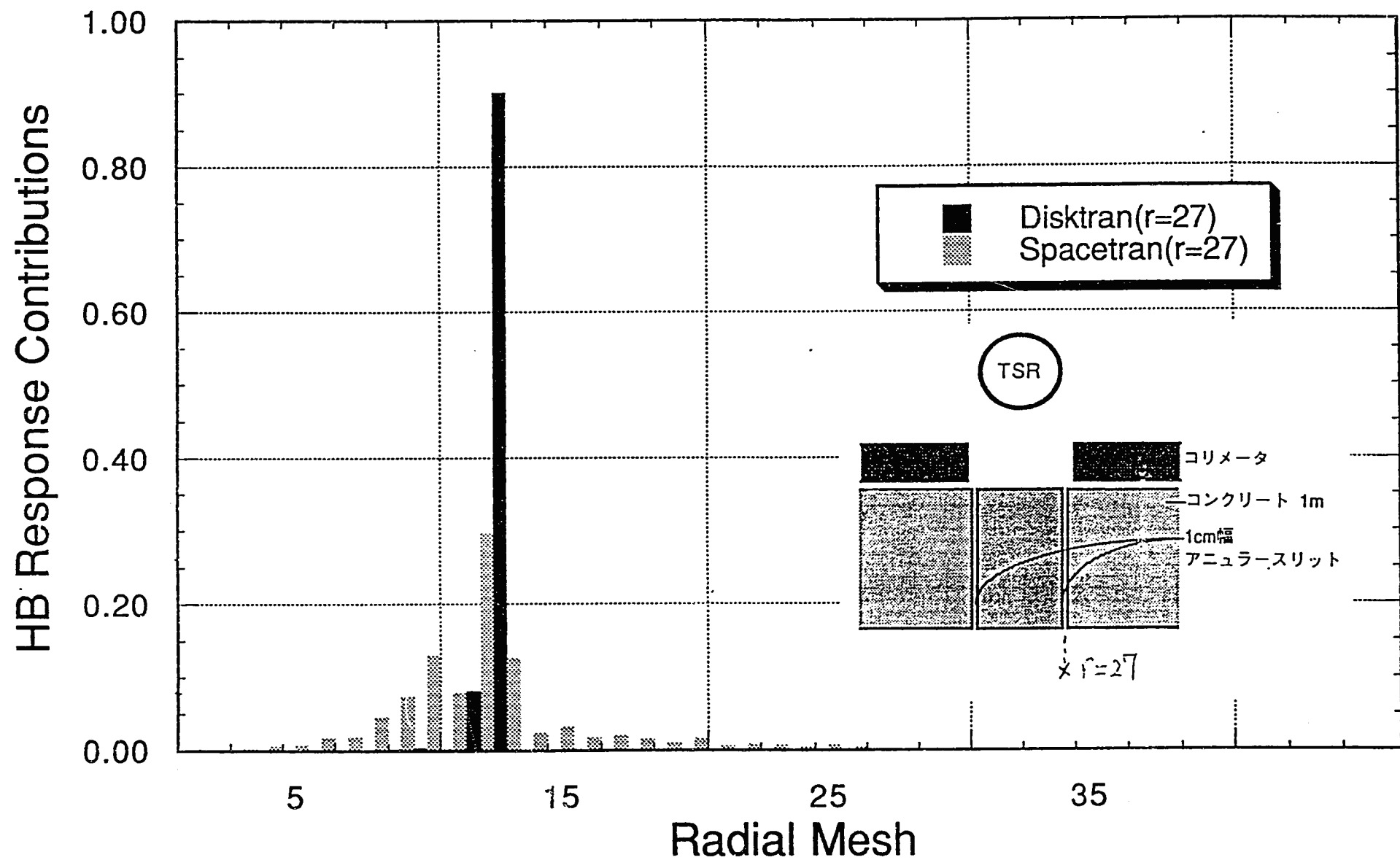


図 体系II-Bホニヤックボタン応答へのメッシュ毎寄与率

4. 大型遮蔽設計への反映結果

4.1 多重層透過実験解析結果の遮蔽設計への適用

(1) 概要

高速実証炉において、遮蔽設計解析の不確かさを適切に評価し、解析の保守性を削減することは設計合理化のため重要である。ここではJASPER実験解析結果を反映し、多重層透過解析に対する補正係数を半径方向遮蔽体、DHX廻り遮蔽、及び炉内燃料貯蔵層について評価した。

(2) 多重層透過補正係数評価法

高速炉の遮蔽設計解析には、2次元SnコードDOT3.5およびJSDJ2群定数ライブラリーを適用している。この実機での多重層透過解析の不確かさに対する補正係数は、同じ解析手法を適用したJASPER実験解析の結果から、①中性子透過経路に最も対応するモックアップ実験から評価した E/C 値（測定値／計算値）を基本とし、当実験と実機との体系の違いを、②単層透過の積み上げとして評価した $\Delta E/C$ 値で補正し、評価する方法を採用した（OHP 4.1-3）。

$\Delta E/C$ 値を評価するためのB、C層の単層透過補正係数についてはJASPER径方向遮蔽実験解析の結果を基にB、C層の等価重量厚に対して C/E 値をプロットし、その下限値の包絡線から透過厚あたりの C/E 値を算出、その逆数の E/C 値をB、C層の補正係数とした（OHP 4.1-4）。同様の方法で、ステンレス鋼は径方向遮蔽実験解析結果から、ナトリウムはJASPER実験と同じTSF施設で実施されていたナトリウム深層透過実験の解析結果から、各単層透過補正係数を求めた。この結果、B、C、ステンレス鋼、ナトリウムの各単層透過1m厚あたりの補正係数として3.3、3.2、1.07を得た（OHP 4.1-5）。

(3) 補正係数評価

① 半径方向遮蔽体

実機の半径方向遮蔽体（B、C遮蔽体4層）のモックアップ体系としてJASPER径方向遮蔽実験のうち、最も遮蔽材、遮蔽厚構成に近い体系IIDを採用し、ポナーボール反応率 C/E 値の最小値（保守的な評価）から補正係数 E/C 値1.37を評価した。実験体系と実機体系の違いを単層透過の E/C 値の積み上げから評価した $\Delta E/C$ 値で補正した。SUSの厚さ、B、C等価重量厚は実験体系の方が、それぞれ4.30cm、6.05g/cm²厚いため補正は行なわなかった。Na（実機のB、C、SUS遮蔽体

に含まれる) 厚の差は13.09cm 実機体系の方が厚いため、単層透過による補正を行なった。この結果、半径方向遮蔽体の補正係数は1.4 と評価された (OHP 4.1-6,7)。

多重層透過解析の補正係数を、従来使用していた単層透過のE/C値だけを積み上げる方法と、モックアップ実験解析に基づく本評価方法とで、半径方向遮蔽体について比較した。この結果、本評価方法は従来評価方法に比べ補正係数を3割縮小(不確かさを60%低減)できることが確認された (OHP 4.1-8)。

② DHX廻り遮蔽

IHX実験解析において、Naスラブ1層透過後(DHX表面からNa放射化量が最大となる位置までの距離と同程度の厚さ)のNa放射化量C/E値の最小値を用いて補正係数値1.25を評価した。実機体系は実験体系に比べてB₄C等価重量厚が最大5.5g/cm²、SUSの厚さが最大約1.1cm 厚いため、体系の違いを補正した。DHX廻り遮蔽の補正係数は1.3 と評価された (OHP 4.1-9,10)。

③ 炉内燃料貯蔵層 (IVS)

IVSの補正係数はIVS領域で発生する中性子成分とIVS領域を透過する中性子成分に分離して、各成分の補正係数と寄与割合から評価する (OHP 4.1-11)。

IVS実験解析において、IVS発生中性子成分の補正係数はIVS発生中性子成分の占める割合が多い10、12inボナーボールのC/E値から、IVS透過中性子成分の補正係数は炉心からの透過成分の占める割合が多い3、4in ボナーボールのC/E値から求めた。IVSを採用した旧設計においては、IVS透過直後の高速中性子束に対する補正係数を評価すると1.1を得た (OHP 4.1-12)。

(4) まとめ

- ① モックアップ実験解析より、最新の実機設計における多重層透過解析に対する補正係数が半径方向遮蔽体及びDHX廻り遮蔽について得られた。
- ② モックアップ実験解析に基づき補正係数が評価できるようになり、従来の単層透過だけの補正係数積み上げ方法に比べ補正係数は縮小し、遮蔽体の削減を図ることができるようになった。
- ③ IVS実験解析より、IVS発生中性子成分とIVS透過中性子成分に対する補正係数を総合し、IVS層に対する補正係数を評価することが可能となった。

(川崎重工業(株) 毛利 智聡)

大型遮蔽設計への反映結果

— 多重層透過実験解析結果の遮蔽設計への適用 —

川崎重工（株）
原子力本部技術部
毛利 智聡

概要

J A S P E R 実験解析結果を反映し高速実証炉の
多重層透過解析(DOT3.5/JSDJ2)の不確さに対する
補正係数を評価した

評価方法

多重層モックアップ体系での実験解析による
解析精度をもとに補正係数を評価

評価対象と適用実験解析

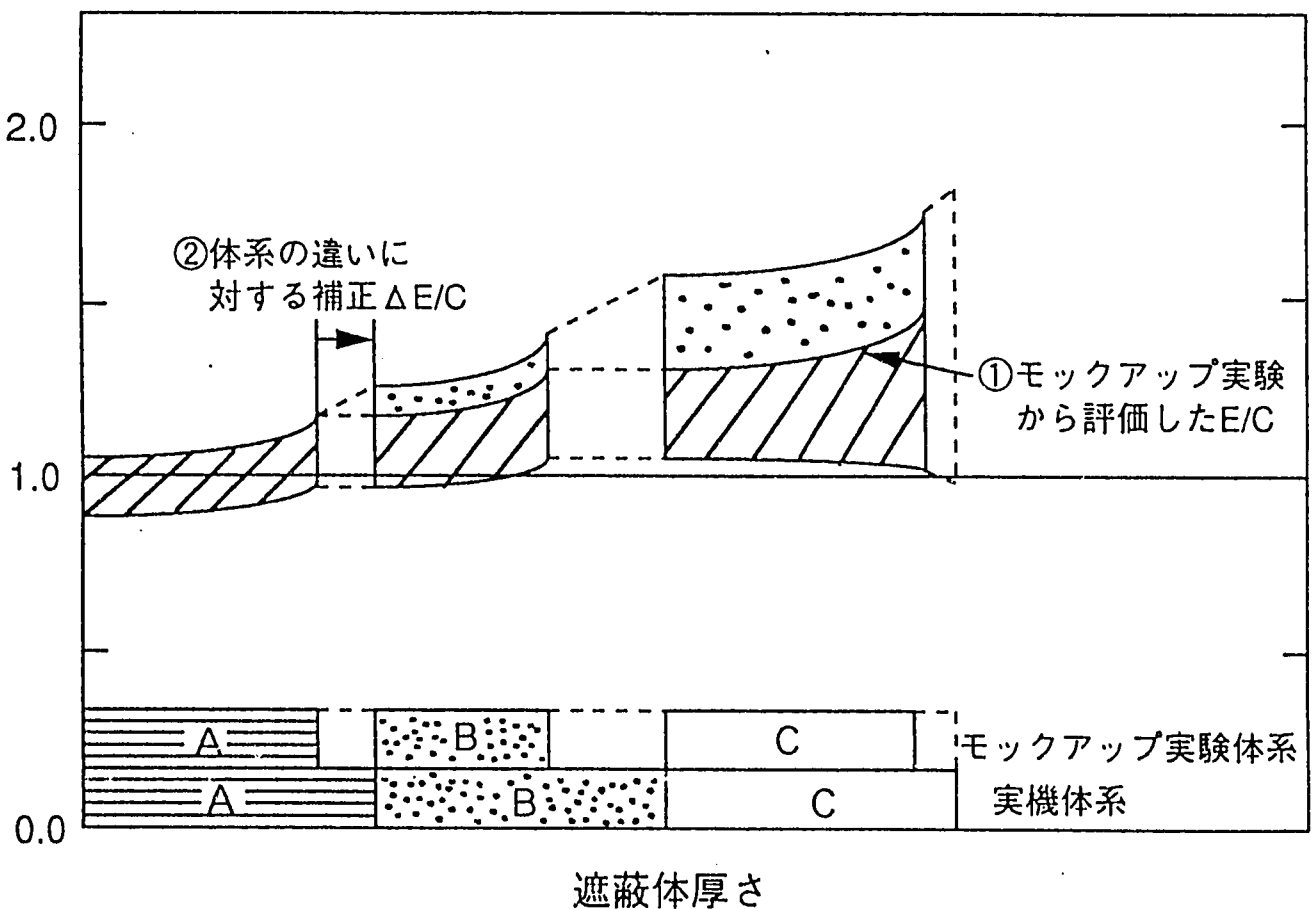
- ① 半径方向遮蔽体；径方向遮蔽実験解析
- ② D H X 廻り遮蔽；I H X 実験解析
- ③ 炉内燃料貯蔵層；I V S 実験解析

多重層透過補正係数評価法

- ① JASPER 実験で中性子透過経路に最も対応する
モックアップ実験から評価した E/C 値
- ② モックアップ実験と実機の体系の違いに関する補正
単層透過補正係数から評価した $\Delta E/C$ 値

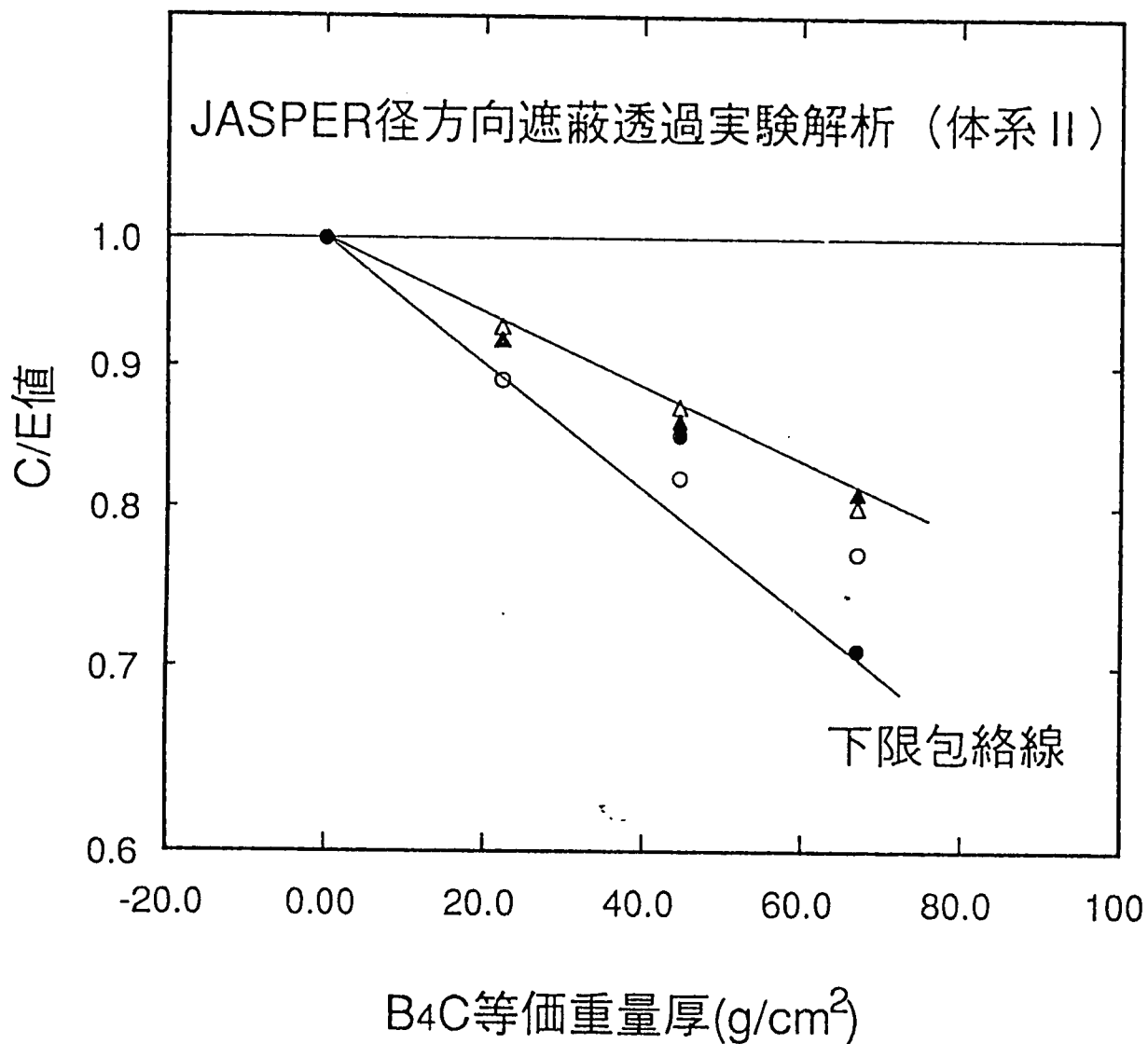
$$\text{補正係数} = \text{① (E/C値)} \times \text{② (\Delta E/C値)}$$

E/C補正
係数



単層透過補正係数の評価法

B₄C層の補正係数の場合



下限包絡線



1m(2.51g/cc)透過厚あたりのC/E値 = 0.307



単層透過補正係数
E/C値 = $1/0.307 = 3.3$

単層透過補正係数の評価結果

物質名	透過実験データ	1m透過あたりの 補正係数
ステンレス鋼 (SUS304)	JASPER径方向遮蔽透過実験解析 (体系Ⅶ,最大厚46.8cm)	3.2
B4C(2.51g/cc)	JASPER径方向遮蔽透過実験解析 (体系Ⅱ,最大厚66.9g/cm ²)	3.3
ナトリウム	*ORNLナトリウム深層透過実験解析 (ナトリウムタンク 3.35mφ,最大厚4.57m)	1.07

* Tower Shielding Facility にて実施(JASPER実験も同じ)

半径方向遮蔽体の補正係数評価

実機体系と実験体系の比較

実機体系(B₄C遮蔽体4層)

炉心中心からの距離 (cm)

(炉心中心) 0.0	149.646	178.613	193.073	236.392	250.818
炉心	ブランケット	SUS 遮蔽体	B ₄ C遮蔽体4層 B ₄ C:SUS:Na=0.6:0.2:0.2 (B ₄ C密度1.757g/cc)		

実験体系（径方向遮蔽実験；体系II-D）

それぞれの供試体厚さ (cm)

それぞれの供試体厚さ (cm)	1.26	15.53	1.26	16.95	2.59	1.26	13.05	6.9	1.26	13.6	6.50
スペクトルモディファイヤ	Al	SS	Al	B4C	SS	Al	B4C	B4C	Al	B4C	B4C
(B4C密度 1.37～1.44g/cc)											

SUS厚の差 4.30 cm (実験の方が厚い)

B₄C等価重量厚の差 6.05g/cm² (実験の方が厚い)

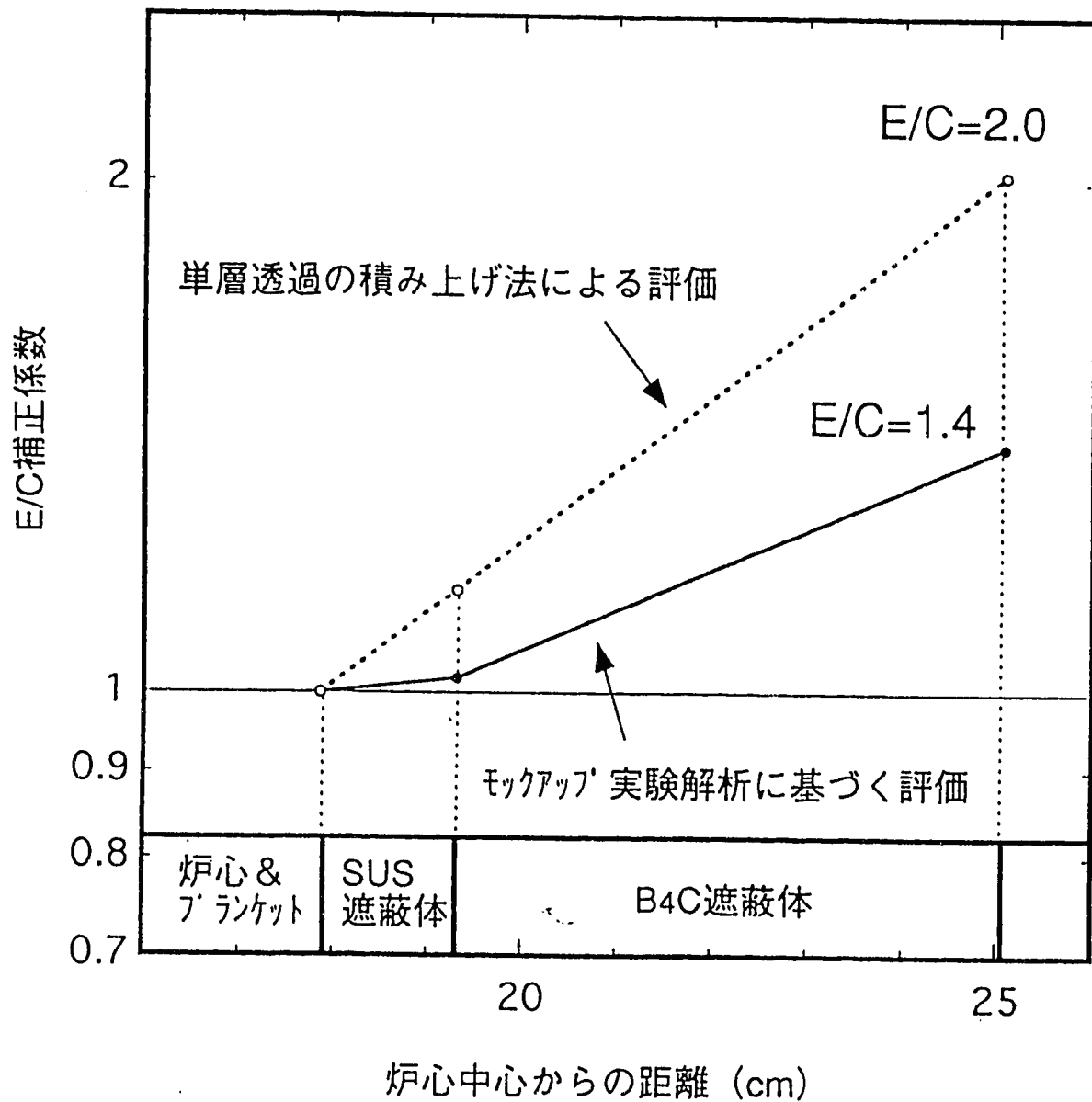
Na厚の差 13.09 cm

(実機のB₄C、SUS)
(遮蔽体に含まれる)

半径方向遮蔽体の透過補正係数

考慮する項目	評価方法	補正係数
実験解析から 評価したE/C値	径方向遮蔽実験解析（体系II-D)の ボナーボール反応率のC/E値	1.37
実験と実機の体系 の違いに関する補正 ΔE/C値	単層透過補正係数による評価 ΔE/C SUS(0.0cm) ΔE/C B ₄ C(0.0g/cm ²) ΔE/C Na(13.09cm)	1.0 1.0 1.009
総計	—————	1.4

補正係数評価方法の比較（半径方向遮蔽体）



単層透過のE/C値積み上げ法（従来手法）；E/C=2.0
 モックアップ実験解析に基づく評価法（本手法）；E/C=1.4

⇒ モックアップ実験解析に基づく評価方法は単層透過のE/C値積み上げ法に比べて補正係数を縮小でき、遮蔽体の削減を図ることができる。

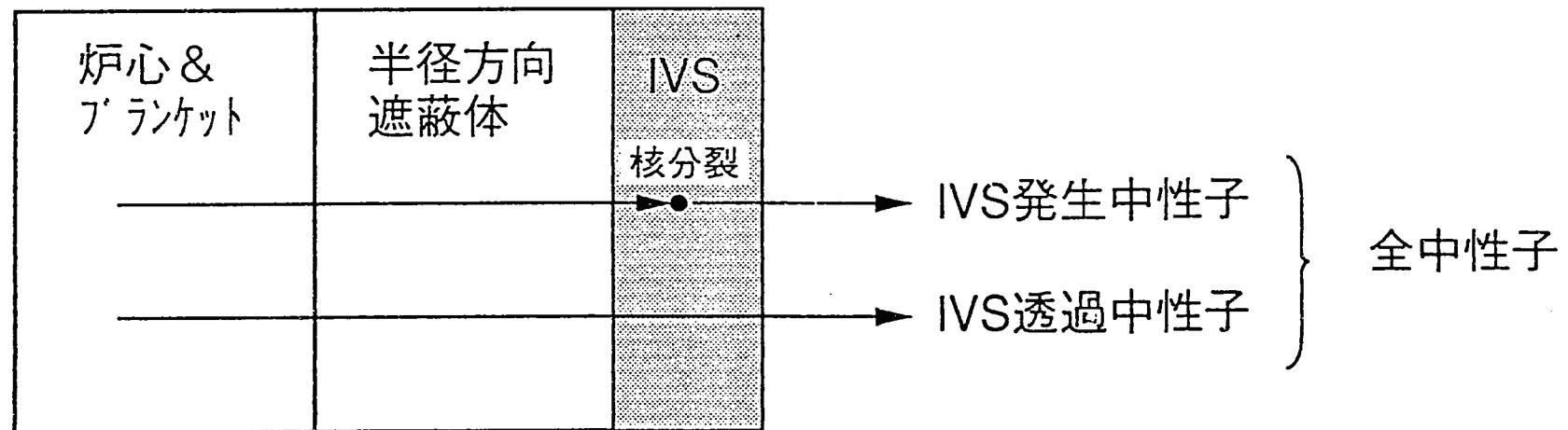
DHX廻り遮蔽の透過補正係数

考慮する項目	評価方法	補正係数
実験解析から 評価したE/C値	I H X 実験解析でNaスラフ 1層透過後 のNa放射化量C/E値の最小値(0.8) DHX表面からNa放射化量が最大となる 位置までの距離にほぼ相当する厚さ	1.25
実験と実機の体系 の違いに関する補正 ΔE/C値	単層透過補正係数による評価 ΔE/C B ₄ C(5.5g/cm ²) ΔE/C SUS(約1.1cm)	1.026 1.013
総計	—————	1.3

炉内燃料貯蔵層 (IVS)の補正係数の評価法

補正係数の評価法

$$\begin{aligned} \text{IVS補正係数} = & (\text{IVS発生中性子成分のE/C値}) \times (\text{IVS発生中性子成分の寄与割合}) \\ & + (\text{IVS透過中性子成分のE/C値}) \times (\text{IVS透過中性子成分の寄与割合}) \end{aligned}$$



炉内燃料貯蔵層(IVS)の補正係数

評価成分	IVS実験解析からの評価方法	補正係数
IVS発生中性子成分	10,12inボナーボールのC/E値 IVS発生中性子成分の占める割合が多い	1.10
IVS透過中性子成分	3, 4 inボナーボールのC/E値 炉心からの透過成分の占める割合が多い	1.08

評価例

IVS透過直後の高速中性子に対する補正係数の評価 (IVSを採用した旧設計等)

IVS増倍線源による高速中性子の増加率：6.1



IVS発生中性子成分の寄与割合 83.6%

IVS透過中性子成分の寄与割合 16.4%

$$\text{補正係数} = \frac{1.10 \times 0.836 + (1.08)^2 \times 0.164}{(\text{発生中性子成分})(\text{透過中性子成分})} = 1.11$$

*実験：燃料1層分
実機：燃料2層分

まとめ

- ① モックアップ実験解析より、最新の実機設計における多重層透過解析に対する補正係数が、半径方向遮蔽体及びDHX廻り遮蔽について得られた。

遮蔽層透過補正係数

遮蔽層	実験解析	体系補正	総計
半径方向遮蔽体	1.37	1.03	1.41
DHX廻り遮蔽	1.25	1.04	1.30

- ② モックアップ実験解析から補正係数が評価できるようになり、従来の単層透過のE/C値積み上げ方法に比べ補正係数は縮小し、遮蔽体の削減を図ることができる。
- ③ IVSモックアップ実験解析より、IVSを設計に採用した場合の補正係数を評価することが可能となった。

4.2 ストリーミング実験解析結果の遮蔽設計への適用

(1) 目的

JASPER実験解析をもとに、燃料集合体の軸方向及びルーフデッキ貫通部の遮蔽設計に必要な補正係数を評価する。

(2) 適用方法

炉心まわりの遮蔽計算では、燃料集合体ガスプレナム領域及び燃料集合体の軸方向遮蔽体領域を均質にモデル化して計算し、ストリーミングの影響は、補正係数（ストリーミング係数）を用いて評価している。そこで、ガスプレナム実験、軸方向遮蔽実験解析をもとに、領域を均質にモデル化したときの透過計算の不確かさと、ストリーミング係数を評価した。

ルーフデッキ上部の線量は、機器の貫通部のストリーミング計算から評価している。そこで、ギャップストリーミング実験解析から、ルーフデッキ貫通部のストリーミング計算の不確かさを評価した。

(3) 遮蔽設計への適用

① ガスプレナム実験 (OHP 4.2-3)

ガスプレナムを均質、非均質にモデル化した実験の測定値をもとに、ガスプレナムを均質にモデル化したときのストリーミング係数を評価した。

この結果、ガスプレナムにおいては、ストリーミングがおこらず、ストリーミング係数が必要ないことがわかった (OHP 4.2-4 上)。

また、均質にモデル化した実験の解析精度をもとに、透過計算の不確かさを評価した。

この結果、均質実験の実験解析結果は測定値よりも過大に評価するため、透過計算の不確かさの補正係数は保守的に1.0とした (OHP 4.2-4 下)。

② 軸方向遮蔽実験 (OHP 4.2-5)

軸方向遮蔽体は、設計と実験で形状が異なっているため、ストリーミング係数は、設計体系を対象にした均質、非均質の3次元モンテカルロ計算から算出し、実験解析から評価した3次元計算の不確かさを上乘せした。この際に、設計体系のパラメータ解析として、遮蔽体要素本数、B4C密度、パッド及びハンドリングヘッドの存在がストリーミング係数に与える効果の検討を実施した。

この結果、上部軸方向遮蔽体下部からハンドリングヘッド上端までのストリーミング係数として2.83が得られた (OHP 4.2-9)。

また、ストリーミングを除いた透過計算の不確かさは、均質型実験の解析精度から

評価した。

この結果、均質実験の実験解析結果は測定値よりも過大に評価するため、透過計算の不確かさの補正係数は保守的に1.0とした。

このほか、本研究の中で、ストリーミングの影響を均質化した軸方向遮蔽領域の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。これは、軸方向遮蔽領域の定数を、体積ではなく中性子束を重みとして均質化することで反応率を保存するように考慮したものである（OHP 4.2-10）。本手法は、詳細設計段階の確認計算や、炉心上部近傍に着目した計算などに有効である。

③ ギャップストリーミング実験（OHP 4.2-12）

ルーフデッキ貫通部のストリーミング計算の不確かさは、ギャップストリーミング実験解析の精度をもとに、実験解析と設計計算の評価方法の違いの影響を補正することで評価した。実験解析と設計計算では、着目する評価量、検出器の応答値評価方法、S nコードにおけるS n分点などに違いがある。

この結果、輸送計算による設計計算においても、詳細なS n分点を採用することにより、ギャップ出口のピーク値に着目した場合のストリーミング計算の不確かさの補正係数として2.4、ギャップ出口に遮蔽体がある場合の漏洩量の計算の不確かさの補正係数として2.5（ただし、ギャップ出口の遮蔽体の透過計算の不確かさは、バルク透過実験から整理した補正係数で上乘せする必要あり）が得られた（OHP 4.2-16）。

（4）まとめ

- JASPER実験解析結果を適用して、燃料集合体ガスプレナム、軸方向遮蔽体、ルーフデッキ貫通部のストリーミング評価に必要な補正係数として、下表の値が得られた。これは、実験値と測定値の比較から、遮蔽設計上最も保守的な値（C/E値の最小値の逆数）を採用したものである。
- 軸遮蔽体ストリーミングの新しい評価手法を開発した。

実験解析をもとに評価したこれらの補正係数や、研究の中で開発したストリーミング評価手法を用いることにより、遮蔽設計の信頼性向上が図れる。

（日立 根目沢 重紀）

表 補正係数評価結果

	ストリーミング係数	透過計算の不確かさ の補正係数
ガスプレナム	1.0	1.0
軸方向遮蔽体	2.8	1.0
ルーフデッキ貫通部	—	2.4* (非対称S166分点)

* ギャップ出口のピーク値評価に対する補正係数

ストリーミング実験解析結果の遮蔽設計への適用

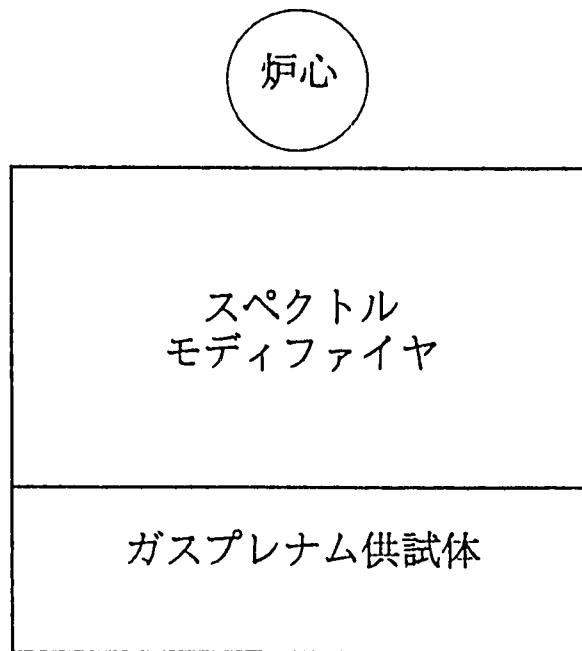
目的

JASPER実験解析をもとに、燃料集合体の軸方向、ルーフデッキ貫通部の遮蔽設計に必要な補正計数を評価する。

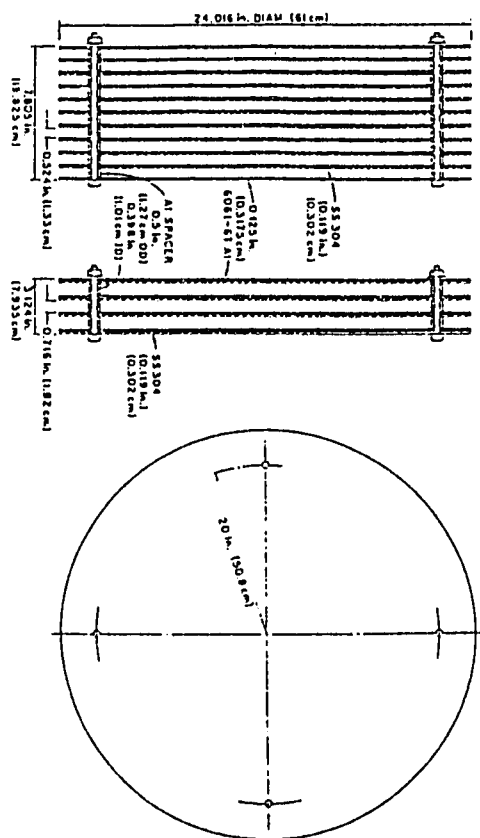
適用する実験

- | | |
|-----------------|----------------|
| ① ガスプレナム実験 | ⇒ 燃料集合体ガスプレナム |
| ② 軸方向遮蔽実験 | ⇒ 燃料集合体の軸方向遮蔽体 |
| ③ ギャップストリーミング実験 | ⇒ ルーフデッキ貫通部 |

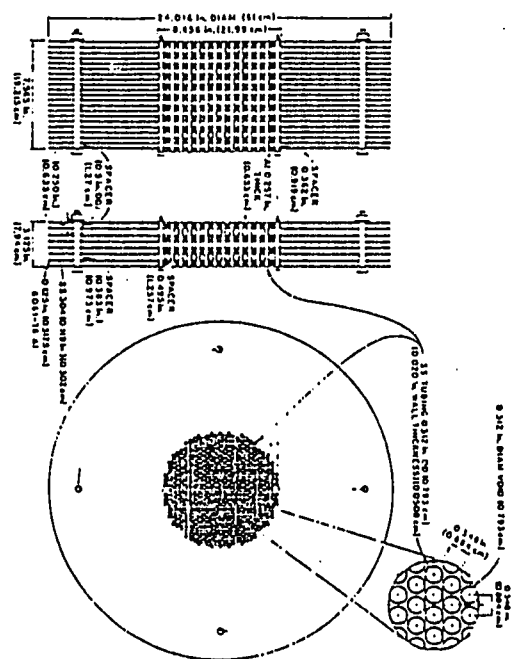
	設計計算方法	補正係数	その他
ガスプレナム	均質にモデル化	・ ストリーミング係数 ・ 透過計算の不確かさの補正係数	—
軸しゃへい	均質にモデル化	・ ストリーミング係数 ・ 透過計算の不確かさの補正係数	新しい計算方法の開発
ルーフデッキ貫通部	貫通部対象としたストリーミング計算	・ ストリーミング計算の不確かさの補正係数	—



ガスプレナム実験体系



均質体系



非均質体系

実験から得られるストリーミング係数

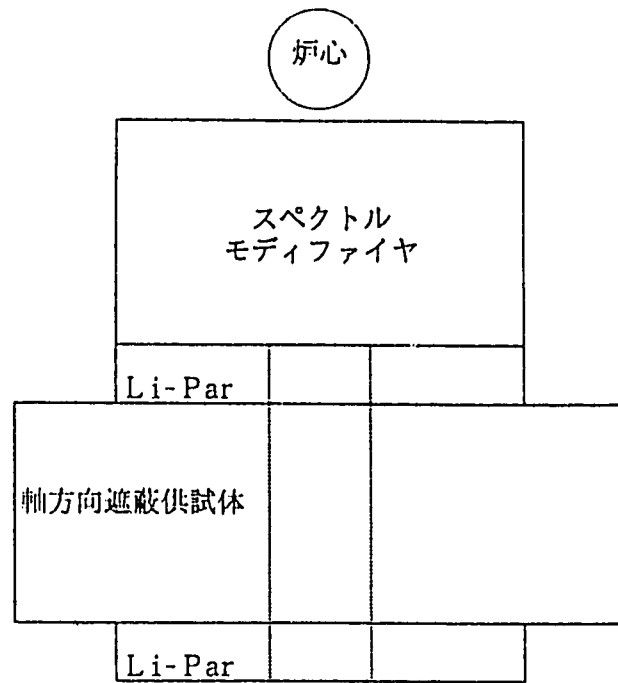
供試体厚さ	ボナーボール	非均質／均質
8 c m	3 "	1.07
	5 "	0.99
	8 "	1.06
	1 0 "	1.01
	1 2 "	0.97
2 0 c m	3 "	1.01
	5 "	1.00
	8 "	1.02
	1 0 "	1.02
	1 2 "	0.99

ストリーミング係数=1.0

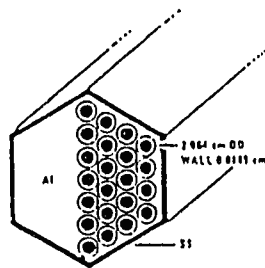
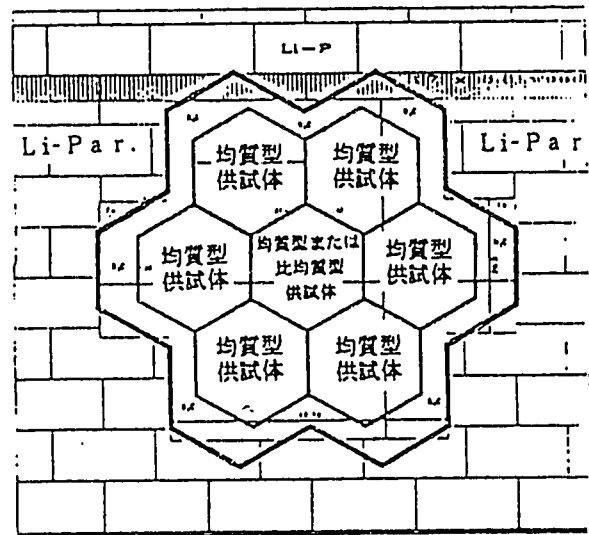
均質体系の C／E 値

体系	ボナーボール	C／E
均質 8 c m	3 "	1.08
	5 "	1.08
	8 "	1.13
	1 0 "	1.13
	1 2 "	1.06
均質 2 0 c m	3 "	1.64
	5 "	1.44
	8 "	1.42
	1 0 "	1.43
	1 2 "	1.33

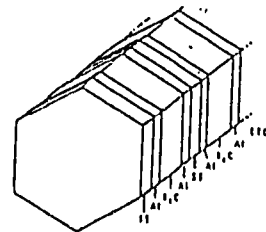
ガスプレナムの E／C 補正係数は
保守的に1.0とした。



軸方向遮蔽実験体系



非均質



均質

軸方向しゃへい体ストリーミング係数

設計体系のパラメータサーベイ解析

[目的]

- ・ 軸方向しゃへい体の諸元とストリーミング量との相関を定量的に把握する
- ・ J A S P E R 実験解析結果の設計体系への外挿法を検討する

[サーベイ内容]

- ・ しゃへい体要素本数効果
 - 1 本／7 本（設計体系）
 - 1 9 本／3 7 本（実験体系）
- ・ B₄C 密度効果
 - 2. 3 4 g/cc（設計体系）
 - 1. 3 0 g/cc（実験体系）
- ・ パッド、ハンドリングヘッド効果

当部の均等モデル計算にはストリーミング補正は必要か。

[方法]

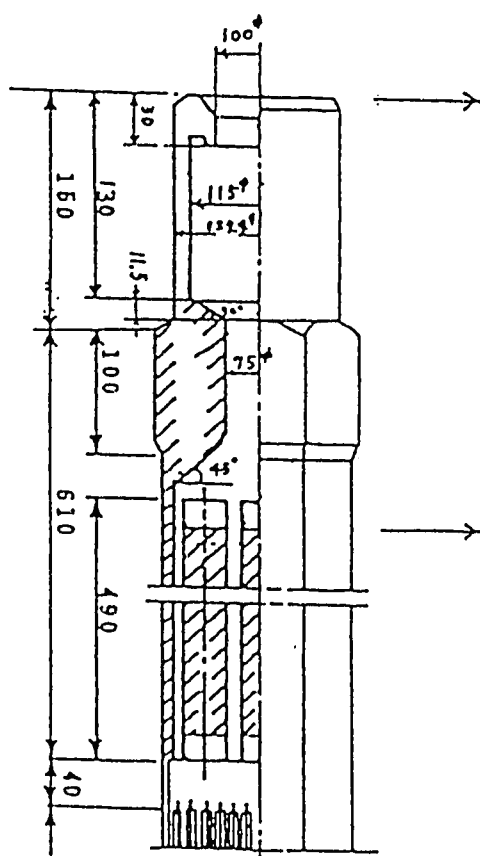
- ・ 輸送計算コード：M O R S E

ロッドバンドルを忠実に模擬できるモンテカルロ法を適用
- ・ 輸送断面積：J S D J 2

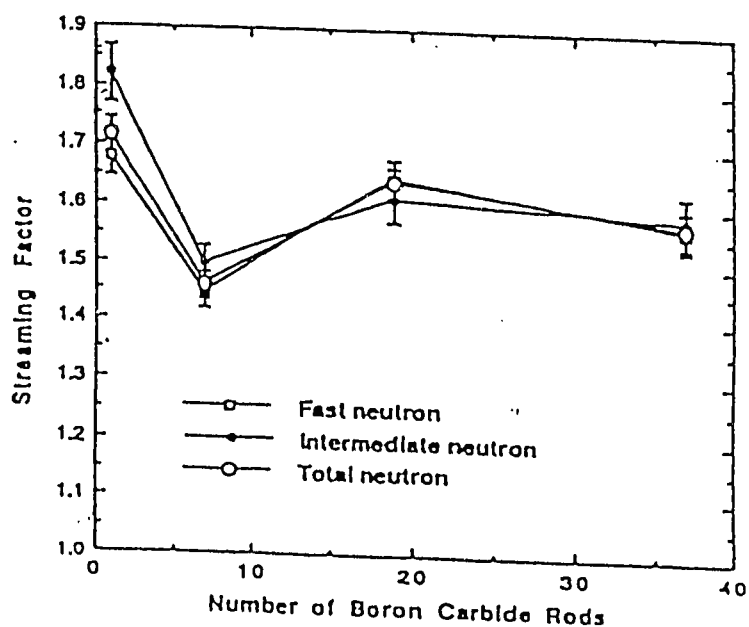
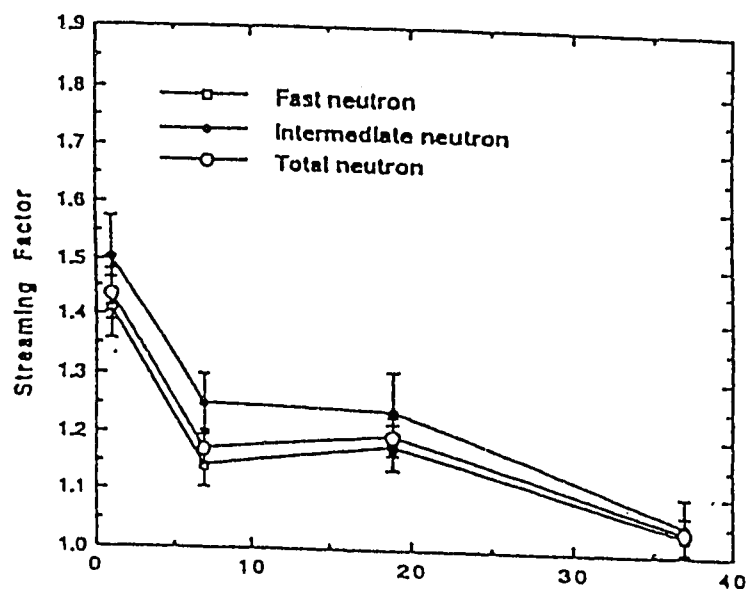
軸方向しゃへい体ストリーミング係数

パラメータサーベイ解析結果 (1)

・しゃへい体要素本数効果

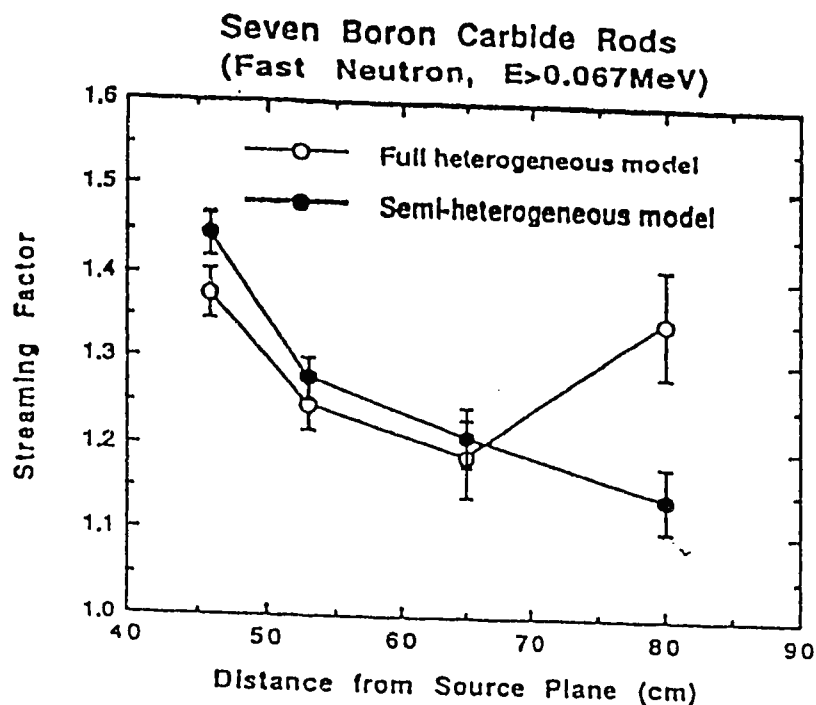


燃料集合体頂部



軸方向しゃへい体ストリーミング係数

パラメータサーベイ解析結果 (2)



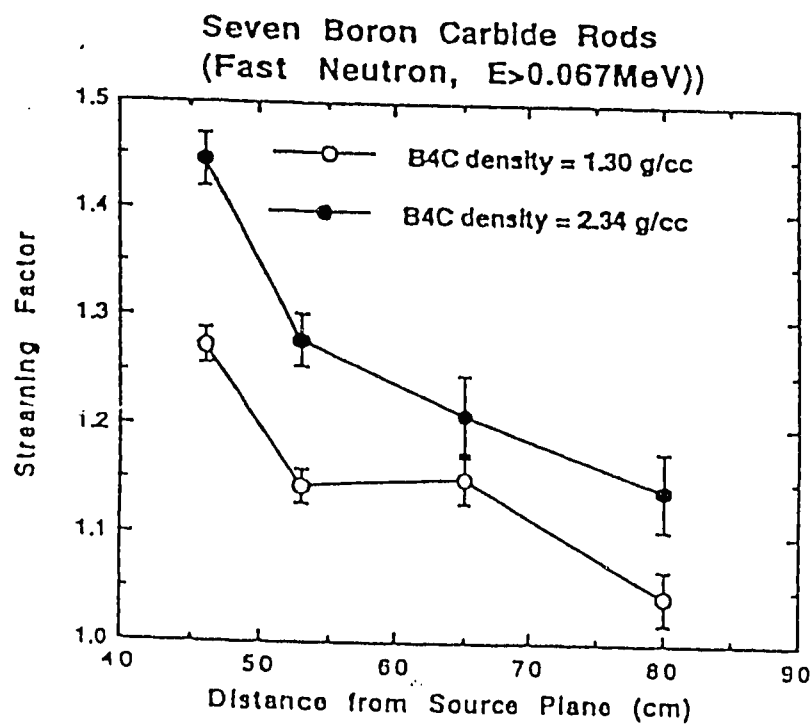
・バッド部、ハンドリングヘッド部効果

当部の非均質効果 (主に

ハンドリングヘッド部のNa流路
ストリーミング効果) を考慮しない
場合、15% 過小評価となる



軸方向しゃへい体のストリーミング
補正は、当部も含め行う必要あり



・B4 Cしゃへい材存在比効果

存在重量比低減



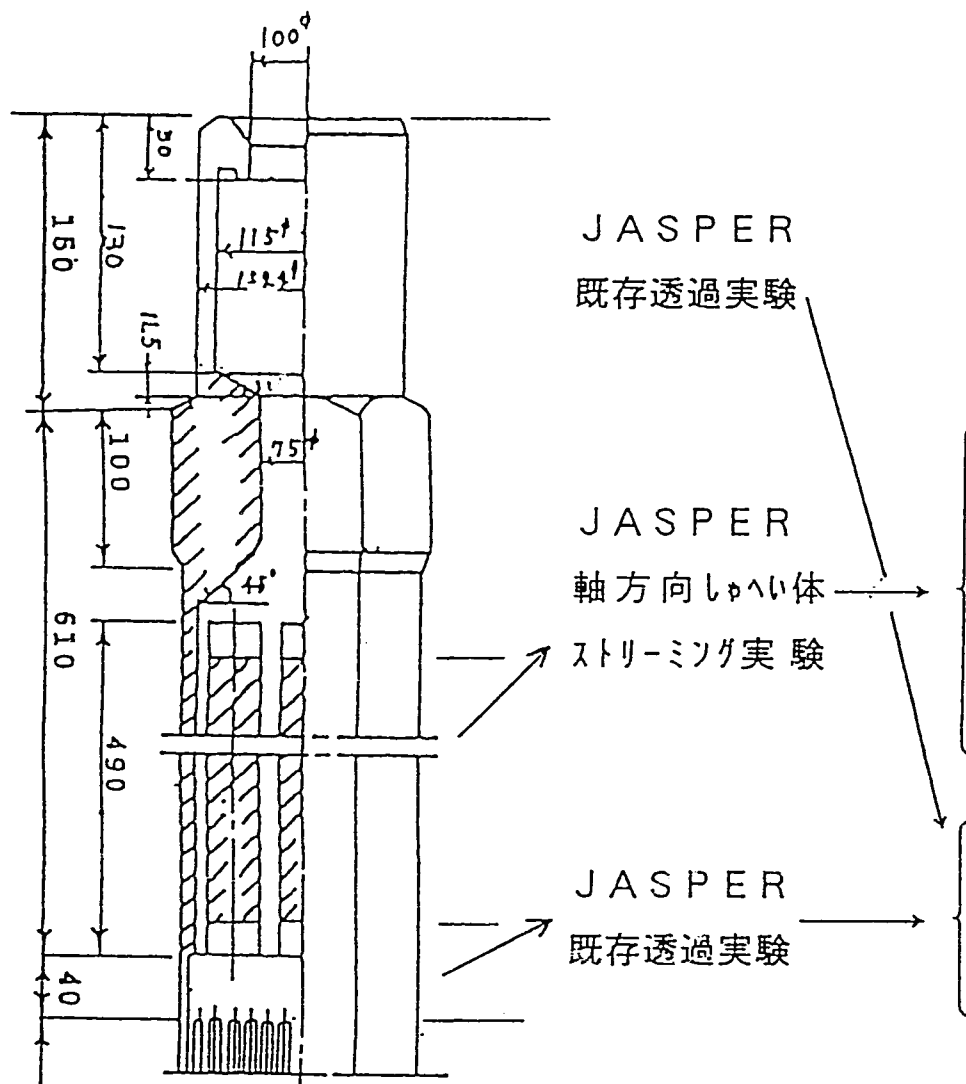
冷却材とのしゃへい性能差近接



ストリーミング補正小さくなる
1.30 g/cc 補正係数 < 1.05

(但し、ストリーミング絶対値
は、2.34 g/cc に比し3倍
以上高くなる)

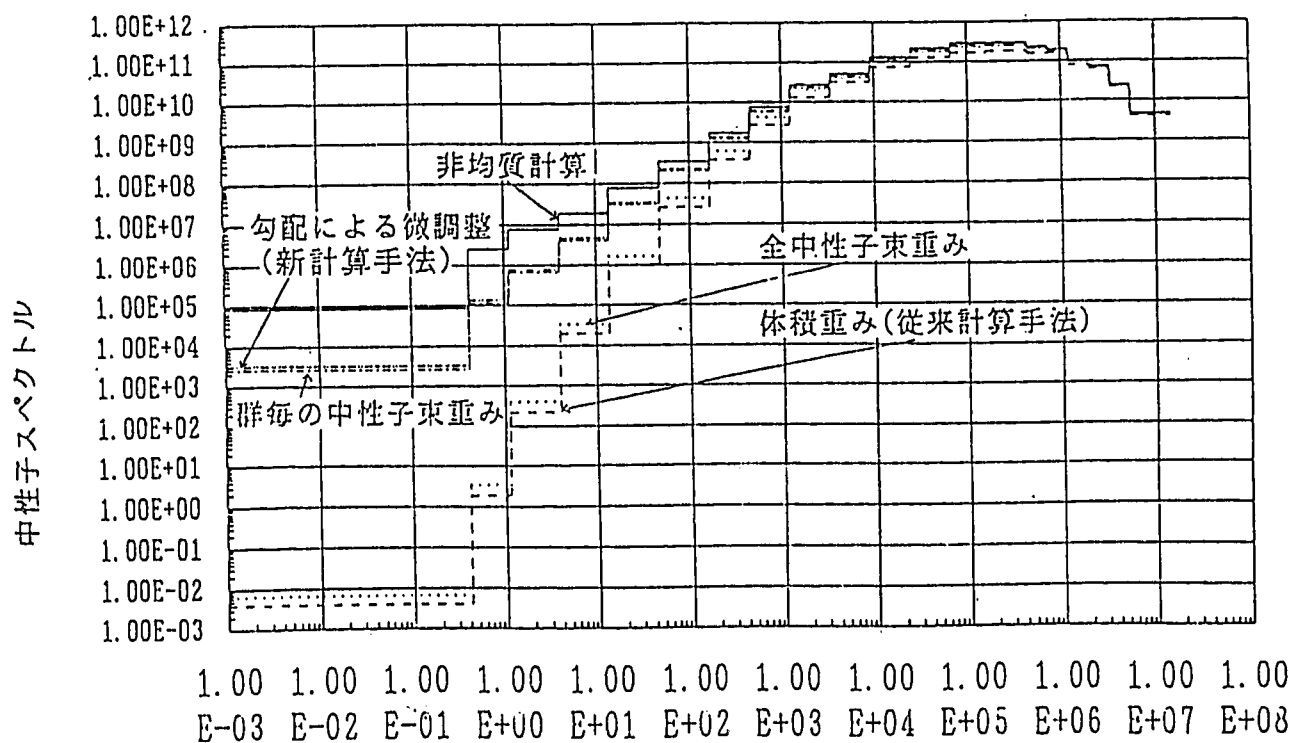
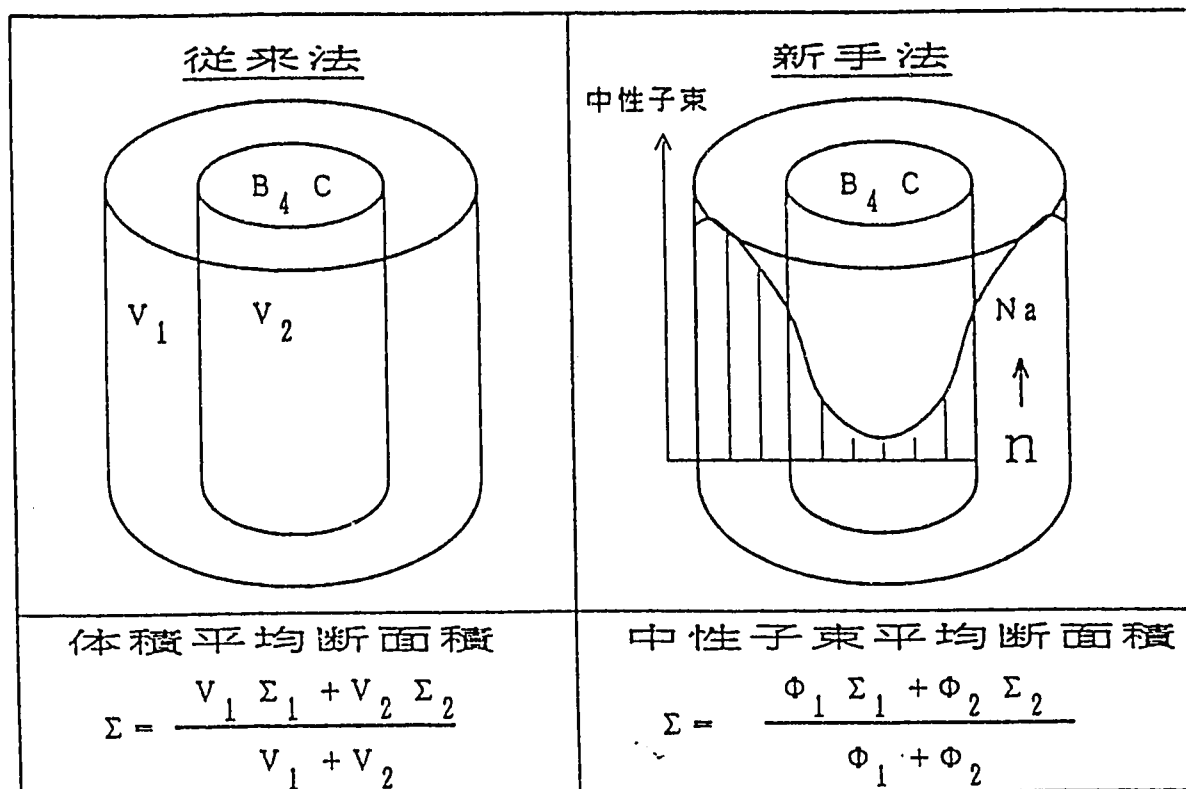
軸方向しゃへい体ストリーミング



上部軸方向しゃへい体高速群ストリーミング係数評価結果

項 目	ファクター	備 考
実証炉体系 ストリーミング係数 計 算 値	1.35 ± 0.19	完全非均質モデル/均質モデル モンテカルロ計算 3σ誤差考慮
ストリーミング係数 実験解析誤差 (ロッドバンドル部)	1.56 ± 0.44	体系IV-AのE/C値 体系II-AのE/C値 = $\frac{1/(0.81 \pm 0.228)}{1/1.26}$ IV-Aのモンテカルロ計算 3σ誤差考慮
そ の 他 領 域 透 過 計 算 誤 差 (ハンドリングヘッド等)	1.02	非均質体系誤差 (=1.02) 均質体系誤差 (=1.25) 但し、均質体系の誤差 は保守的に1.0とする。
総 計	2.83	2.15 ± 0.68 (3σ) 保守的に+3σを適用

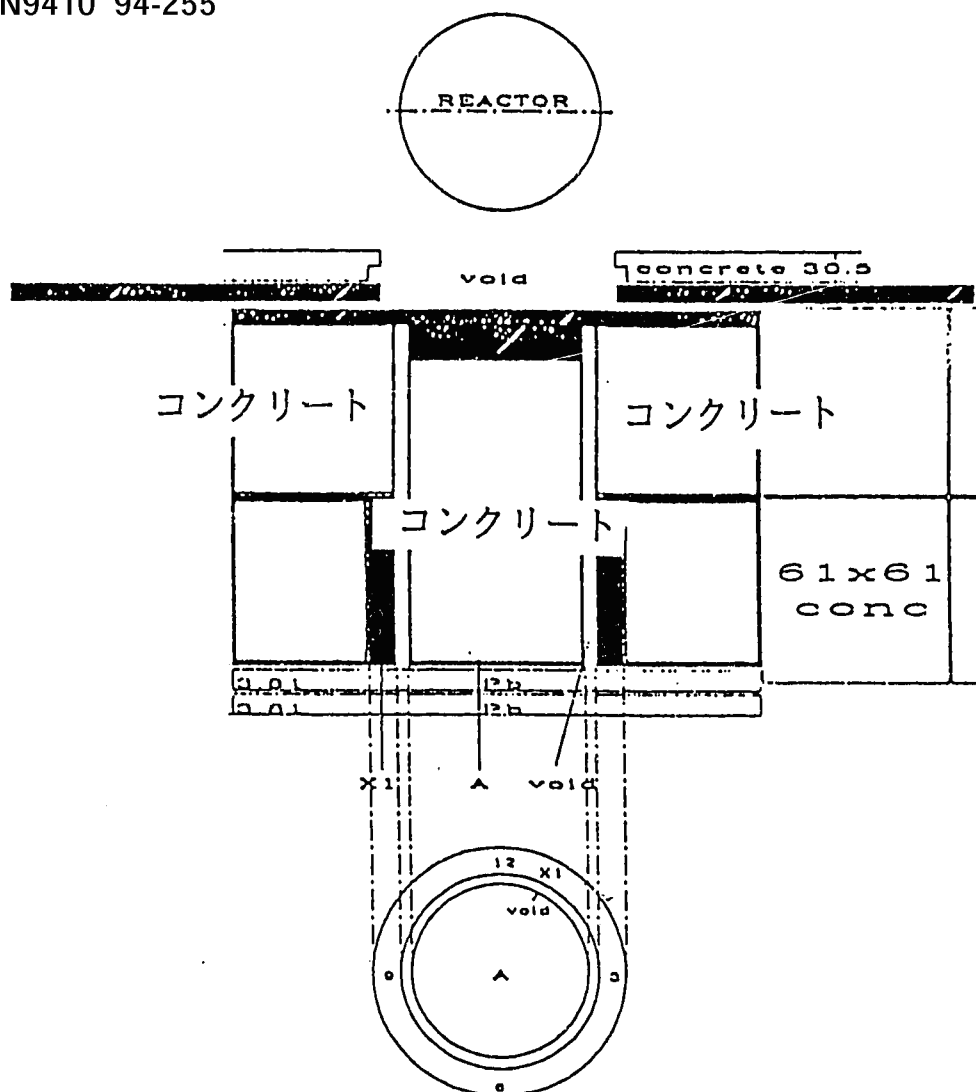
軸方向しゃへいストリーミング
新しい手法の開発



B₄C長さ38cm透過後のスペクトル

軸方向しゃへい体ストリーミング評価方法のまとめ

	解 析 手 法 の 特 徴			設計への適用性
	断面積	計 算 精 度	計算の複雑さ	
従来の手法	体積平均 均質断面積	・ ストリーミング係数 (2.83)による補正必要 ・ スペクトル（特に低エネルギーの一致が悪い）	比較的簡単	通常的设计計算に適用 $\left(\begin{array}{c} \text{スペクトル不} \\ \text{一致は実用上} \\ \text{問題なし} \end{array} \right)$
新手法	中性子束の 勾配を考慮 した均質断 面積	・ 非均質計算と10%程度 で一致 ・ スペクトルが改善	非常に複雑	詳細設計段階の確認 計算又は炉心上部近 傍に着目した問題に 適用



ギャップストリーミング実験体系

OHP 4.2-12

ルーフデッキギャップストリーミング解析

①設計に適用するE/C値

〔しゃへい体設置〕

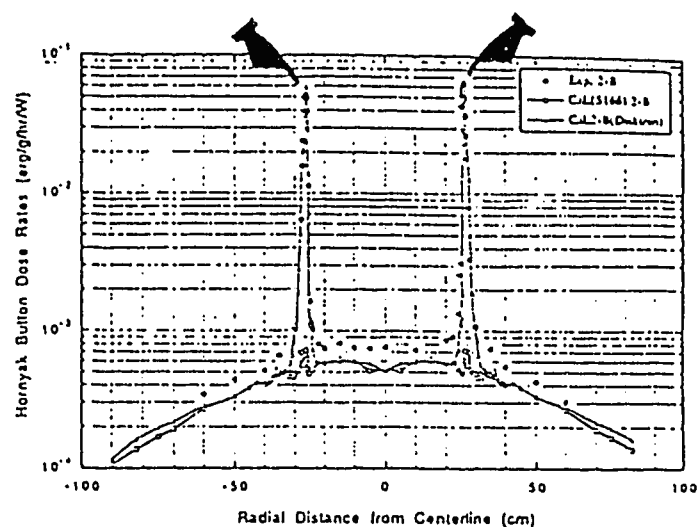
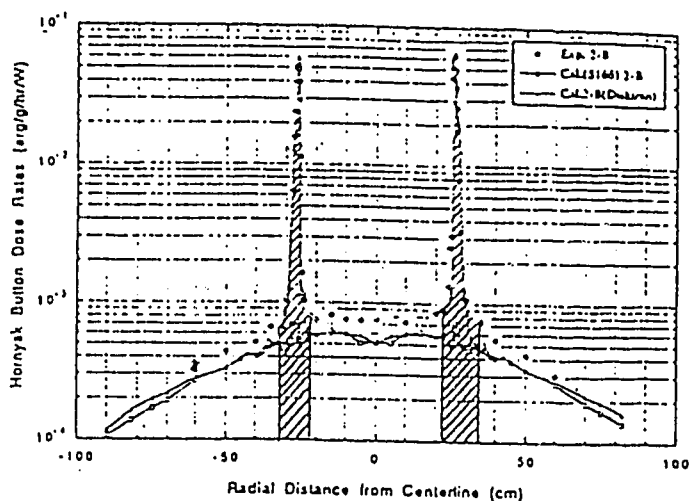


全漏洩量に着目

〔しゃへい体無〕



ピーク値に着目



$$C/E = 0.61 \sim 0.87$$



$$E/C = 1.64$$

$$C/E = 0.83 \sim 1.19$$



$$E/C = 1.20$$

②解析コードの違いの効果

〔DORT-DISKTRAN(実験)〕 / 〔DOT3.5(設計)〕

・ 〔しゃへい体設置〕 ⇒ 全漏洩量 1.50

・ 〔しゃへい体無〕 ⇒ ピーク値 2.00

③ S n 分点の違いの効果

[S n 分点]

- ・ 非対称 S 1 6 6 分点 (実験解析)
 - ・ 非対称 S 1 2 0 分点 (設計解析)
 - ・ 対称 S 9 6 分点 (簡易的解析) ……見通せる分点なし
- } ギャップ出入口を見通せる分点あり

[解析体系]

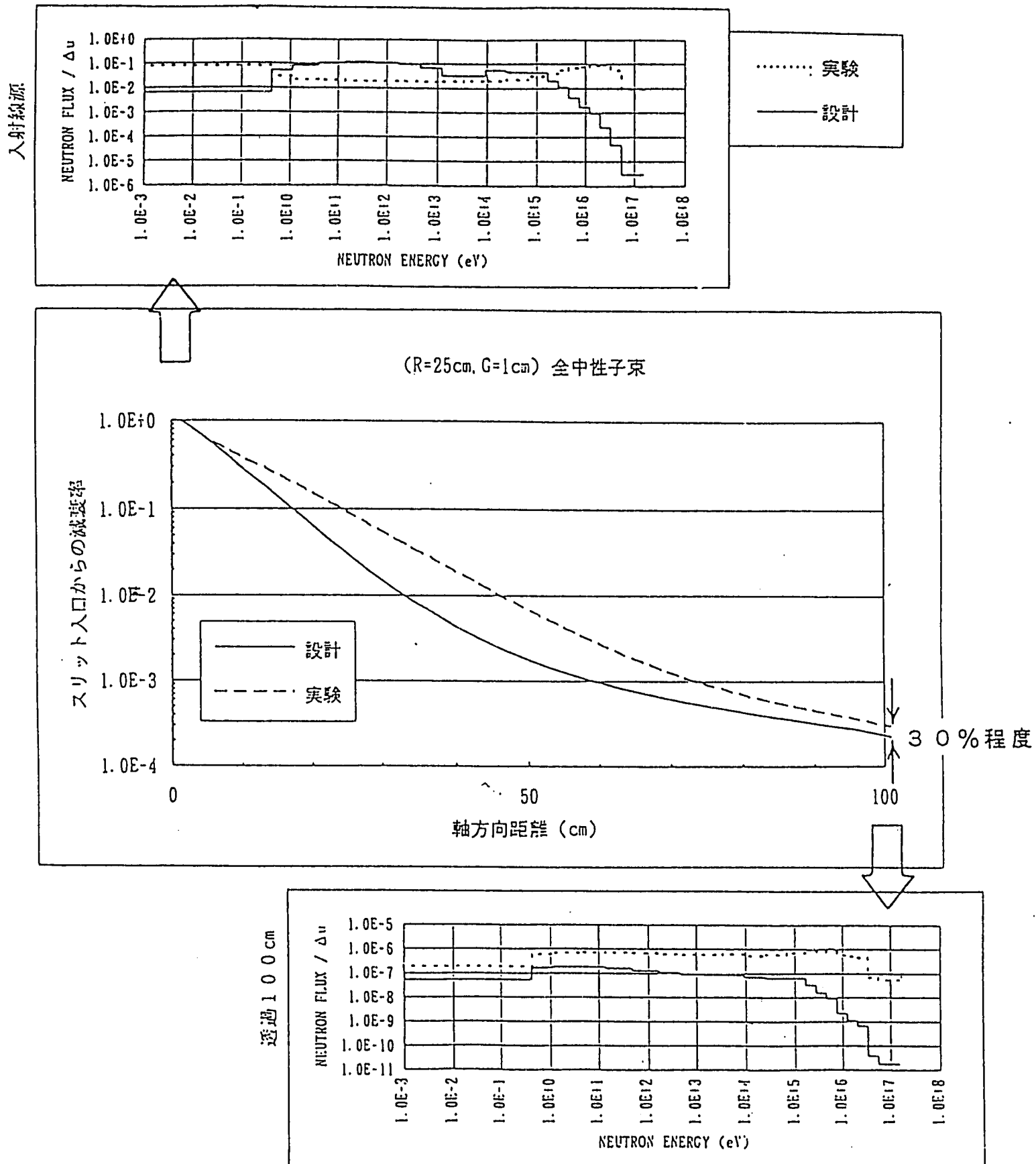
半径 ギャップ幅	7cm	25cm	70cm	310cm*
1cm	○	○	○	○
4cm	—	○	—	—

*回転プラグ用 (オフセットあり)

[解析結果]

7ニューラースリット形状 Sn分点	半径 7cm 幅 1cm	半径 25cm 幅 1cm	半径 25cm 幅 4cm	半径 70cm 幅 1cm	半径 310cm 幅 1cm
S166	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
S120	1.85	0.76	1.44	0.36	0.39
S96	—	0.00026	0.082	—	—

④入射スペクトルの違い



- ・スリット出口の値の違いは30%程度
- ・スリット出口のスペクトルは似通っている。

ルーフデッキストリーミングの解析精度

考 慮 要 因				着目量（出口しゃへい体有無）	
				漏洩量 （しゃへい有）	ピーク値 （しゃへい無）
① 実験解析から得られた E / C 値				1.64	1.20
② 設計計算 と実験解析 の違いに関 する補正	計算コード			1.5	2.0
	S ^{*1} 分点 の 効 果	スリット	r ≤ 25	1 / 0.76	同左
		半径	25 < r ≤ 70	1 / 0.36	
		(cm)	回転プラグ	1 / 0.39	
		ギャップ幅(1cm～4cm)		1.0	同左
③ 設計と実験の体系の違いに関する補正				1.0	同左

*1 S120 分点計算に対する補正係数

ルーフデッキストリーミング E / C 補正係数

	漏洩量評価			ピーク値評価		
	$r \leq 25\text{cm}$	$25 < r \leq 70$	回転プラグ	$r \leq 25\text{cm}$	$25 < r \leq 70$	回転プラグ
標準解析 (S120)	3.2	6.8	6.3	3.2	6.7	6.2
詳細解析 (S166)	2.5 *			2.4		

* ただし、ギャップ出口に設置される遮蔽体の透過計算誤差については、別途上乘せする。

まとめ

① 設計計算に用いる補正係数が得られた

	ストリーミング 係数	透過計算の不確かさ の補正係数
ガスプレナム	1.0	1.0
軸方向遮蔽体	2.8	1.0
ルーフデッキ貫通部	—	2.4 [*] (非対称 S 166 分点)

* 遮蔽体なしの場合（ピーク値の評価）

② 軸しゃへい体ストリーミングの新しい評価手法を開発した

OHP 4.2-17

4. 3 大型高速炉遮蔽設計への反映結果

(1) 概要

大型高速炉の経済性及び運転制御性を向上させるためには、炉心廻りの中性子遮蔽体のコンパクト化や2次ナトリウムの放射化の抑制などが重要である。このため、実証炉では、新遮蔽材であるB₄C遮蔽体及び実証炉の遮蔽設計の課題をJASPER計画に反映した。そして、その実験結果及び実験解析結果を用いて、新遮蔽材の有効性、遮蔽設計の裕度を評価することにより、実証炉の遮蔽概念の妥当性を確認し、遮蔽体の物量を削減した。

(2) 実証炉設計への反映結果

1. 対象プラント及び炉心

実証炉は、出力1600MWtのトップエントリー方式ループ型炉（3ループ）である。また、崩壊熱除去系は直接炉心冷却系（DRACS）を採用しており、DRACSの2次系を非管理区域とするためにDHXの廻りにB₄C製の局所遮蔽体を設置している。

炉心廻りの遮蔽体は、径方向が炉心中心よりステンレス1層、B₄C4層の構成である。また、軸方向は上部遮蔽がB₄C7本ピンバンドル型であり、下部遮蔽がステンレスである。

2. 遮蔽設計の目標

実証炉における遮蔽設計の主たる目標は以下の6つにまとめることができる。

1. 炉心廻り遮蔽体の物量削減
2. 永久構造物の中性子照射量の低減
3. DHX 2次ナトリウム放射化量低減
4. ルーフデッキ上部における放射線量率の低減
5. 炉内燃料貯蔵方式（IVS方式）の成立性確保
6. NIS（中性子計装）と遮蔽設計の整合性確保

実証炉の遮蔽設計ではこれらの目標を達成するために、JASPER計画に遮蔽設計の課題を反映し、その結果を基に、B₄C遮蔽材の有効性及び遮蔽設計の裕度を評価して実証炉の遮蔽設計の妥当性を確認することとした。

3. 炉心廻り主要部の遮蔽設計精度

JASPER実験結果及び解析結果により、実証炉の炉心廻り主要部における遮蔽設計解析法の精度を評価した。その結果、遮蔽精度は炉心から遠くなるにしたがって悪くなる傾向があるが、最大でも中性子束予測誤差が20倍であることが分かった。なお、ここでいう予測誤差とは、遮蔽設計において、着目部位での中性子束のノミナル計算値にかけあわせて設計値を導出する倍数のことである。

4. 遮蔽体の削減量

JASPER実験の成果により炉心廻りの遮蔽精度が明確になったため、遮蔽設計の目標を達成すべく遮蔽体の削減量を評価した。その結果、炉心支持板、コアバ

レル及び炉心上部機構などの永久構造物に対する高速中性子の累積照射量評価精度が向上し、B₄C製の径方向遮蔽体を0.5層分削減でき4層で十分であることが分かった。また、軸方向遮蔽体に関してはB₄C製の上部軸方向遮蔽体で7cm、下部軸方向遮蔽体で10cm削減できそれぞれ49cm、31cmで十分に遮蔽設計が成立することが分かった。このことより、B₄C遮蔽材の成立性が示されると共に遮蔽設計の要求に対して有効であることが分かった。

また、D R A C Sの2次系を非管理区域として運転保守性を向上させるために設置したD H X廻りのB₄C製の局所遮蔽体も3cm削減でき遮蔽厚が13cmで十分であることが分かり、実証炉においてD R A C S方式の崩壊熱除去系が成立することが分かった。

ルーフデッキ上面については、放射線量率を低減することが遮蔽設計の目標である。このため、中性子透過によるものの他に²⁴Naからのγ線などの影響についても検討する必要がある。これについてはこれまでの研究で十分に設計が成立していることを確認しているが、中性子バルク透過に関しては鉄遮蔽体を20cm削減できることが分かった。

(3) 遮蔽設計の現状

J A S P E R実験の成果を反映して実証炉の遮蔽設計の裕度を評価することにより、実証炉の遮蔽概念の妥当性を確認し、また遮蔽設計の物量を削減した。新しい遮蔽設計における特性の評価値（設計値）と制限値をO H P 4. 3-9に示す。永久構造物の高速中性子累積照射量、D H Xの2次ナトリウム放射化量などの設計値が十分な裕度をもってそれぞれの制限値を満足させていることが分かる。

(4) J A S P E R実験前後の比較

J A S P E R実験前後の中性子束予測誤差を比較した。その結果、J A S P E R実験以前の予測誤差は全中性子束の1桁減衰あたり1.35に包絡されていたが、J A S P E R実験以降は1.17で包絡されることが分かった。このことは、J A S P E R実験により遮蔽設計解析法の予測精度が約2倍向上したことを意味している。

(5) まとめ

J A S P E R実験の成果を実証炉の遮蔽設計に反映した。その結果、J A S P E R実験によりB₄C遮蔽材の有効性及び遮蔽設計の裕度が明らかになり、それに基づいて物量を削減する方向に遮蔽設計を変更した。

また、実証炉の現状の遮蔽設計の裕度が明らかになったことにより、その妥当性を確認することができた。

（日本原子力発電 保志 貴司）

大型高速炉遮蔽設計への反映結果

- ・ 実証炉設計への反映結果
- ・ 遮蔽設計の現状
- ・ J A S P E R 実験前後の比較

平成 6 年 7 月 1 9 日

日本原子力発電株式会社 高速炉開発部

大型炉の課題

大型炉の経済性、運転保守性向上

炉心廻り中性子遮蔽体のコンパクト化
2次ナトリウム放射化の抑制

新遮蔽材 (B_4C) の採用
等の遮蔽設計上の課題

遮蔽ベンチマーク実験 (J A S P E R 実験)

実証炉遮蔽設計

新遮蔽材の有効性評価
遮蔽設計裕度評価

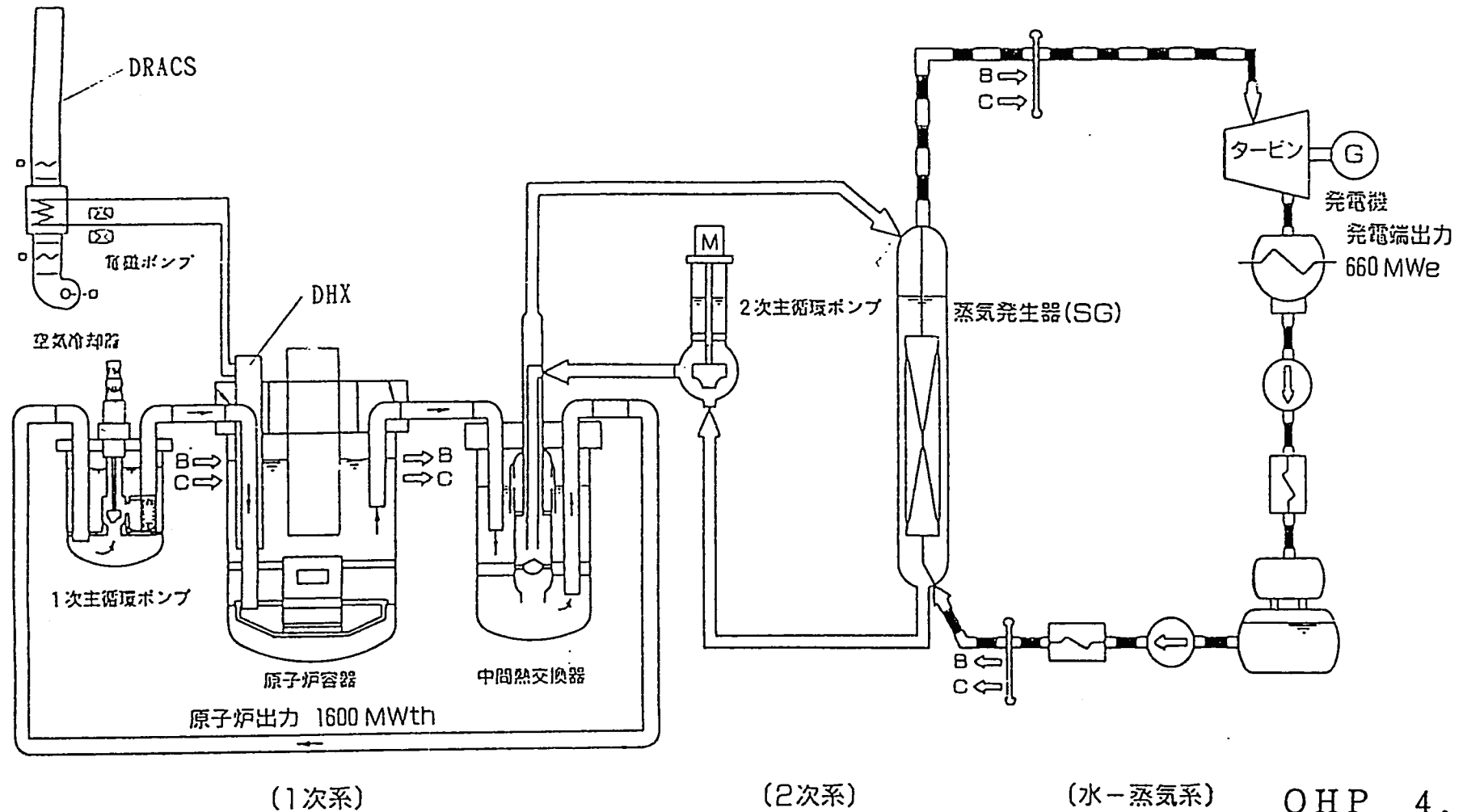
実証炉遮蔽設計の妥当性確認

対象プラント

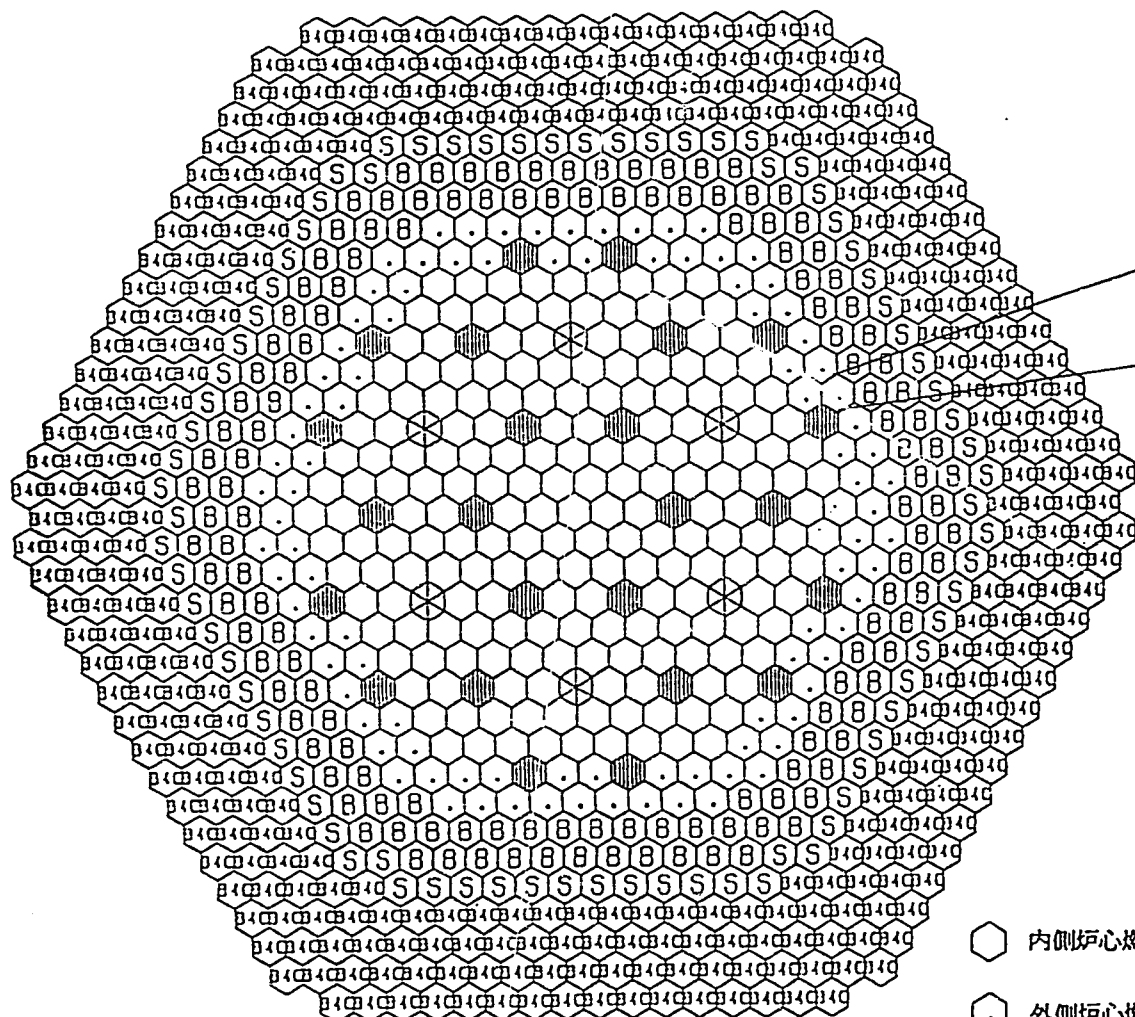
炉型：トップエントリー方式ループ型炉

熱出力：1600MW t（電気出力：約66万 kW e）

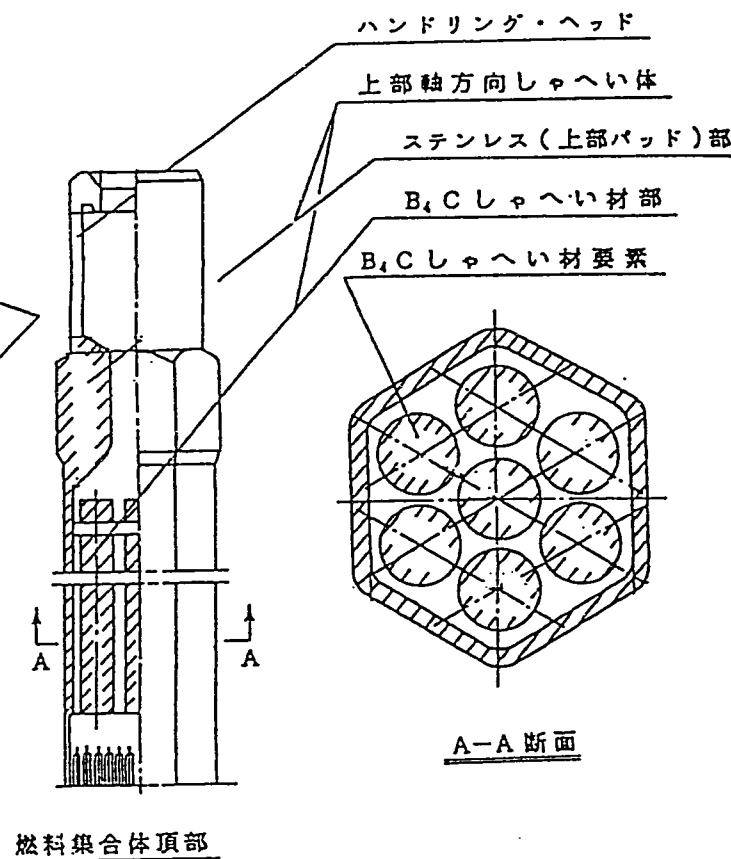
ループ数：3 ループ



対象炉心



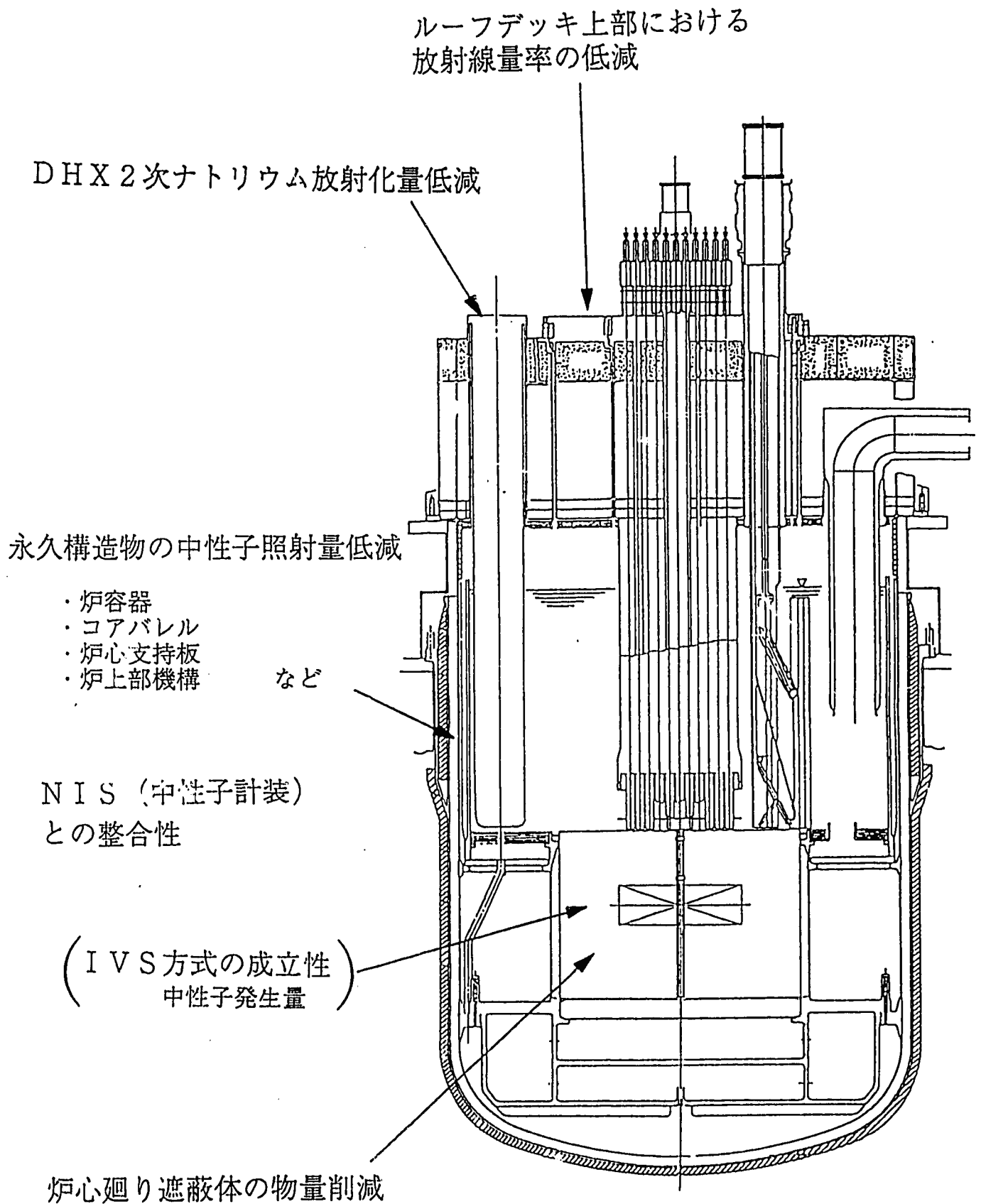
- 内側炉心燃料集合体 199
- 外側炉心燃料集合体 96
- ⊗ 径方向ブランケット (設置可能位置) 138
- 主炉停止棒 24
- ⊗ 後備炉停止棒 6



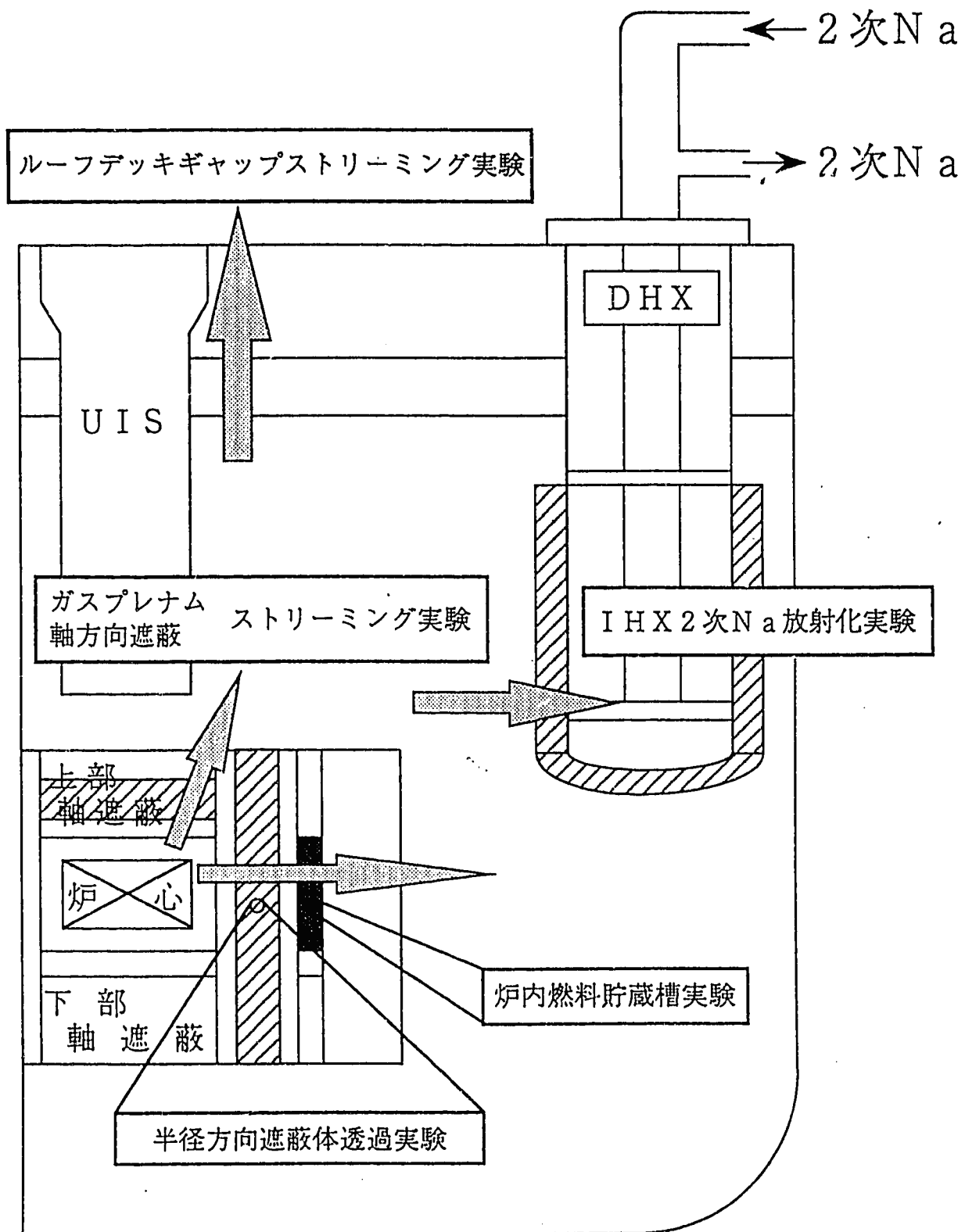
燃料集合体頂部

- Ⓢ SUS遮蔽体 78
- Ⓢ B4C遮蔽体 372

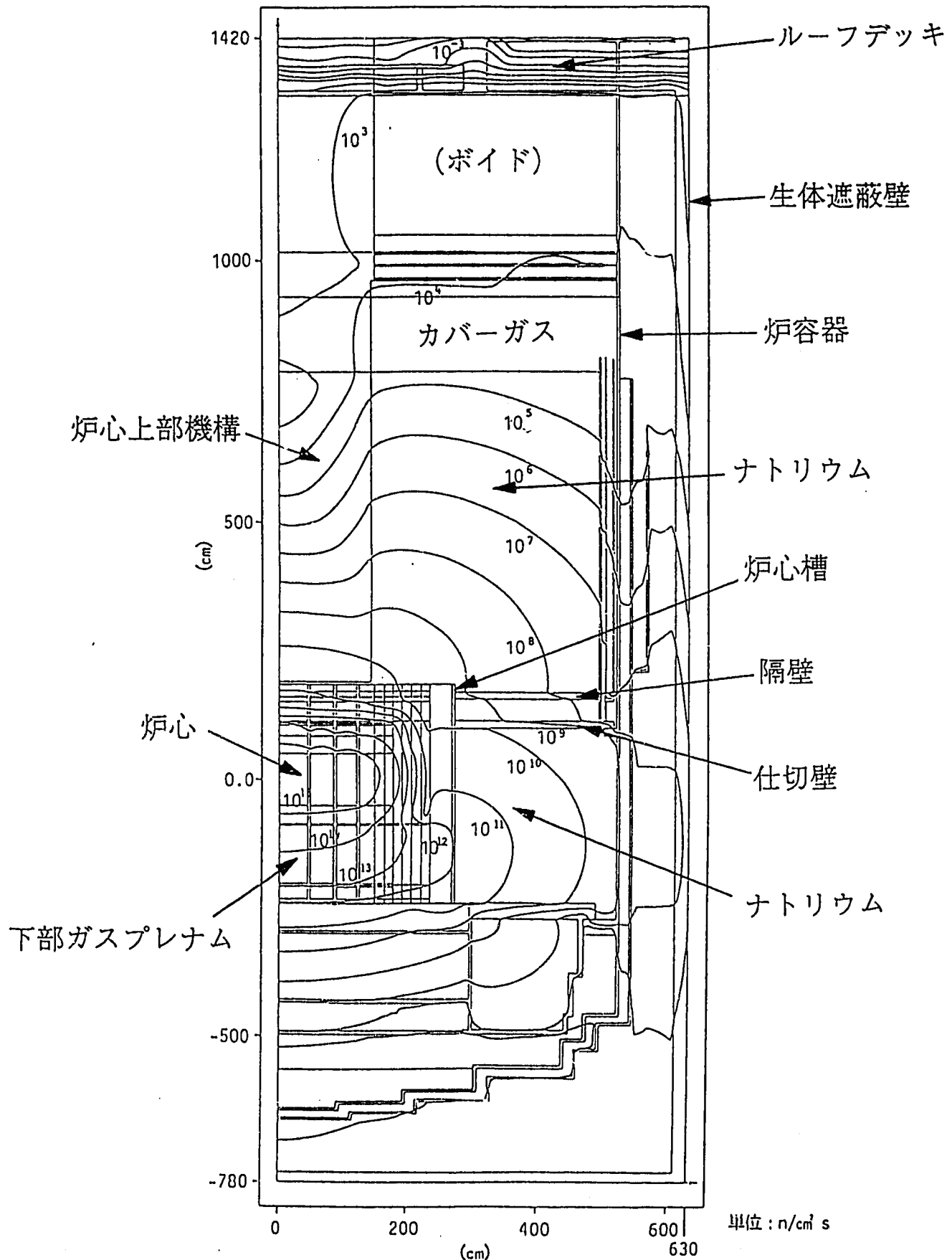
遮蔽設計の目標



J A S P E R 実験の設計への適用

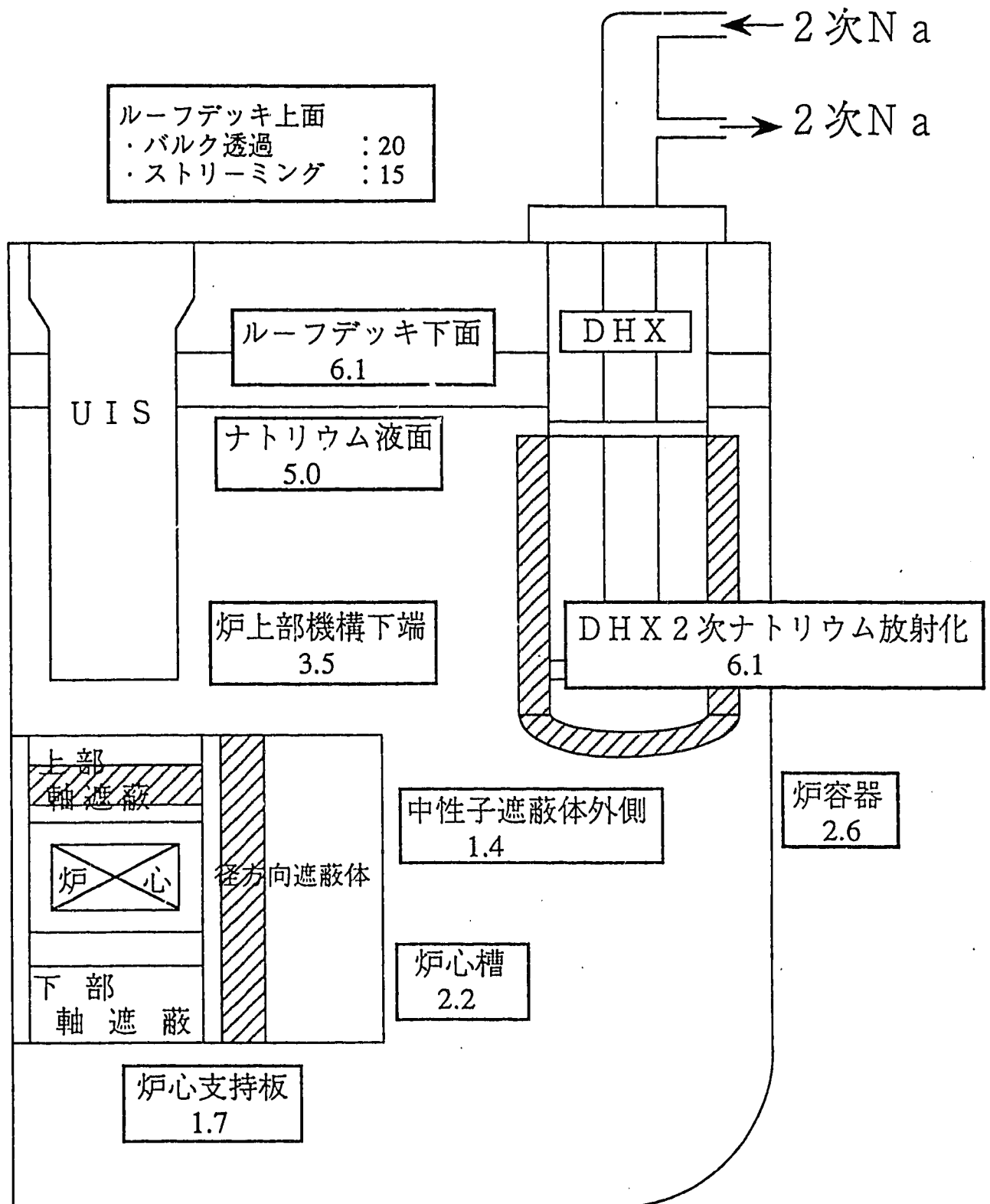


全中性子束等高線分布

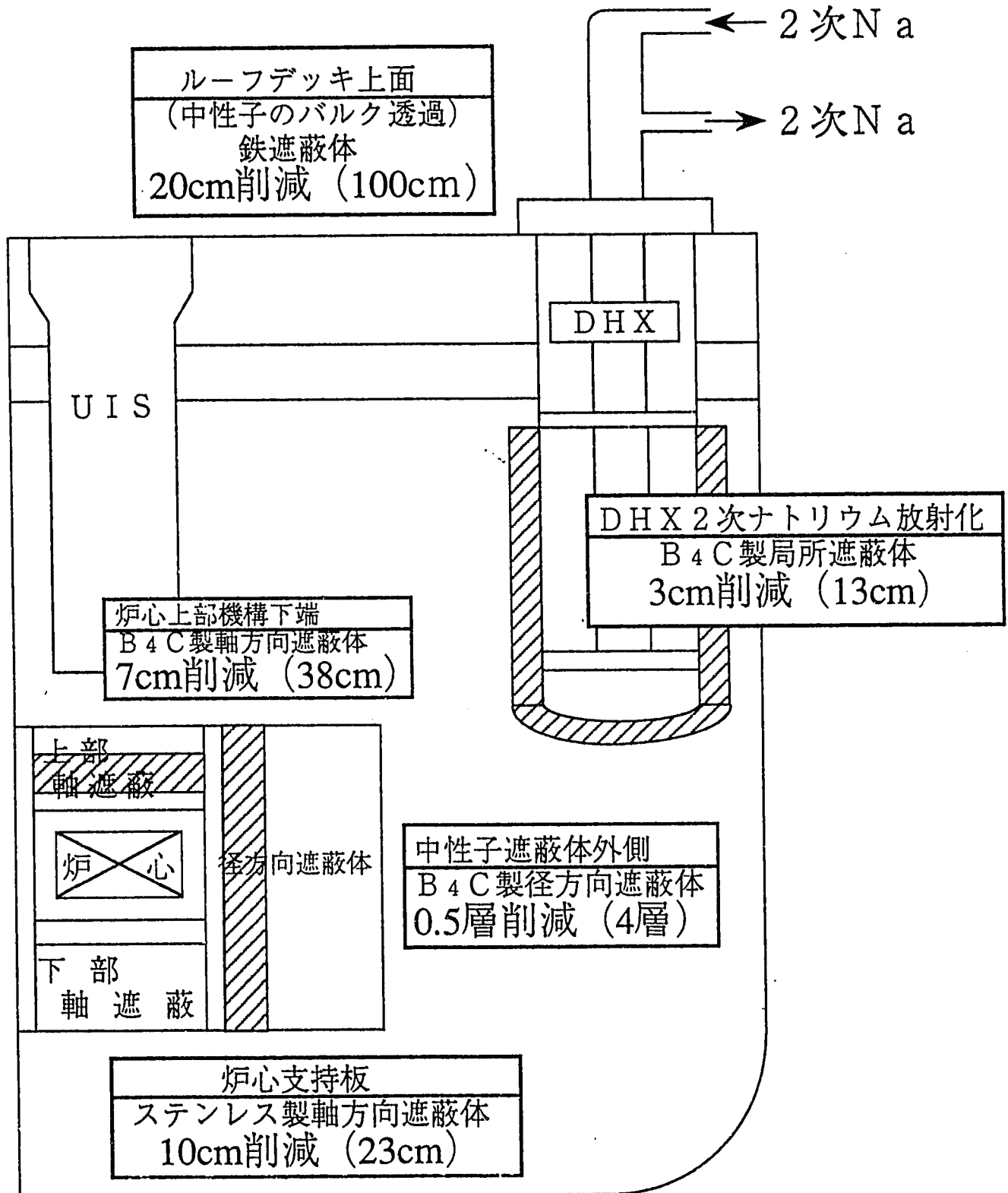


OHP 4. 3-7

炉心廻り主要部の中性子予測誤差



遮蔽体の物量削減効果



遮蔽設計の現状

評価値
制限値

ルーフデッキ上面放射線量率

$$\frac{0.1 \text{ mSv/h}}{1 \text{ mSv/h}} \quad \frac{1}{10}$$

DHX 2 次ナトリウム放射化量

$$\frac{11.7 \text{ Bq/cm}^3}{62.9 \text{ Bq/cm}^3} \quad \frac{18}{100}$$

$$\frac{2.2 \text{ } \mu\text{Sv/h}}{6 \text{ } \mu\text{Sv/h}} \quad \frac{37}{100}$$

炉上部機構高速中性子累積照射量

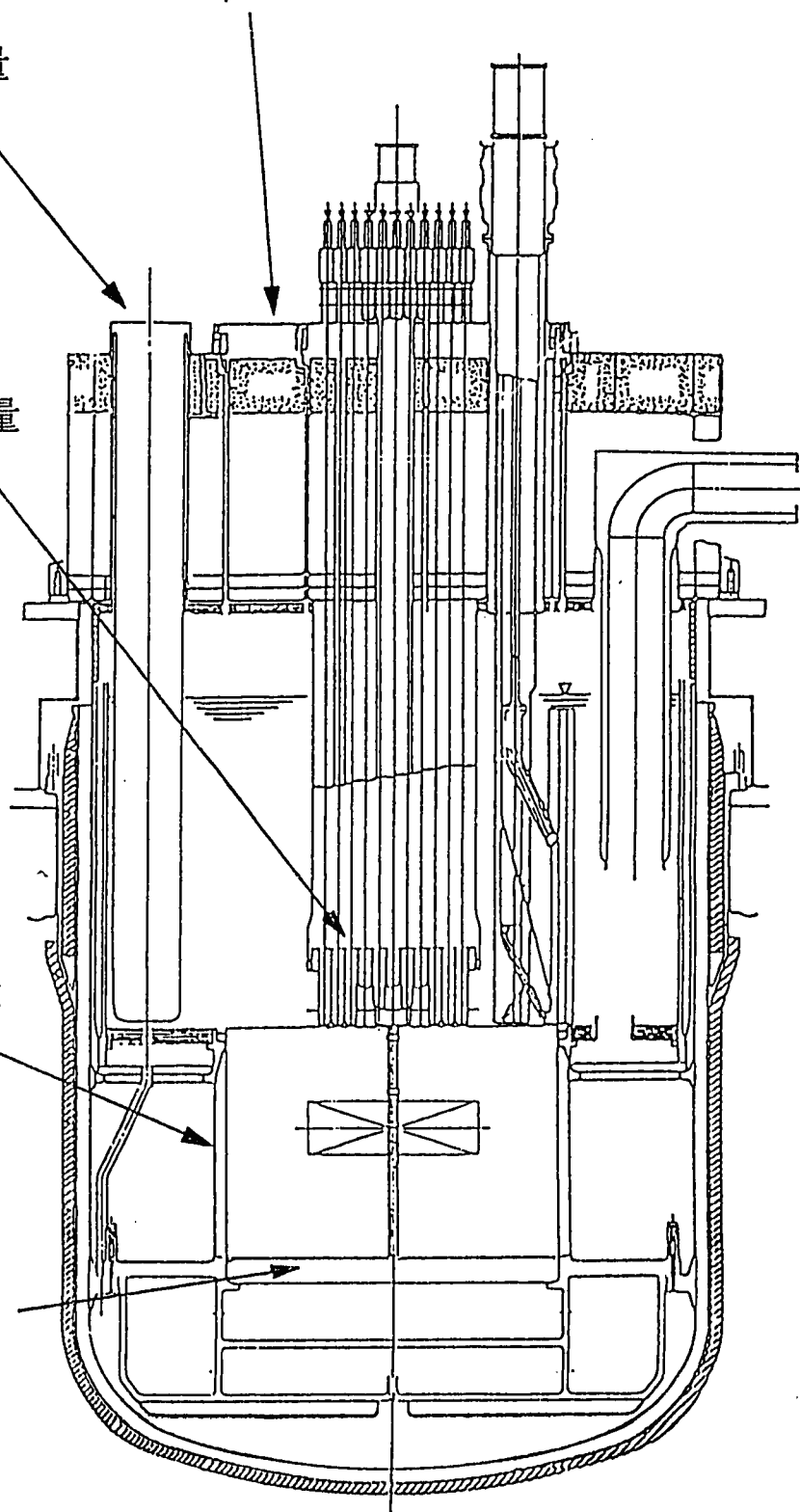
$$\frac{7.61 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2}{1 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2} \quad \frac{8}{100}$$

コアバレル高速中性子累積照射量

$$\frac{2.5 \times 10^{20} \text{ n/cm}^2}{2 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2} \quad \frac{13}{100}$$

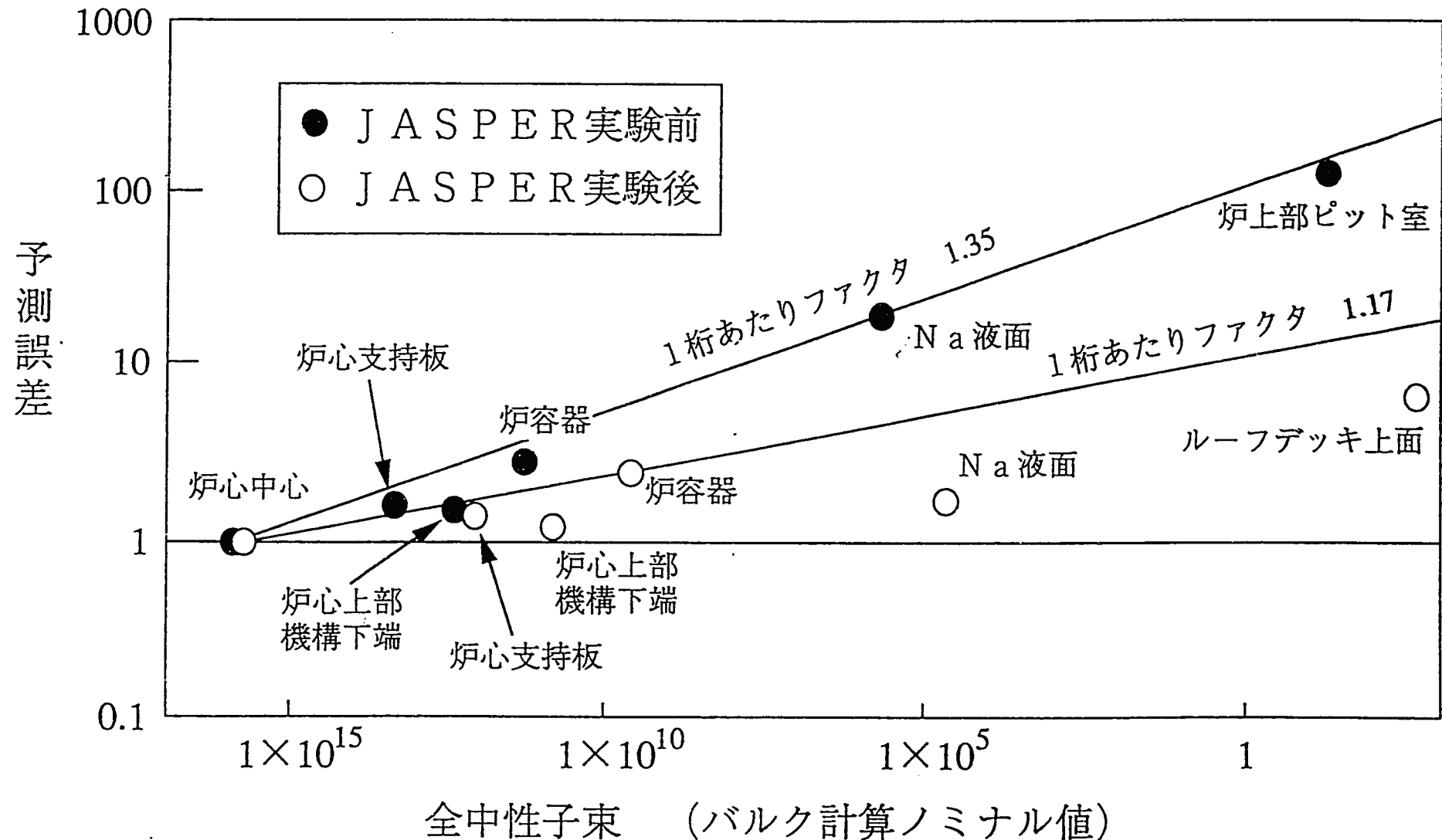
炉心支持板高速中性子累積照射量

$$\frac{3.54 \times 10^{20} \text{ n/cm}^2}{5 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2} \quad \frac{7}{100}$$



J A S P E R 実験前後の比較

全中性子束バルク計算値と予測誤差



まとめ

- ・ J A S P E R 実験結果の反映により、遮蔽設計の目標を達成することができた。

永久構造物の中性子照射量の低減

(制限値に対して十分な余裕があることが確認できた。)

炉心廻り遮蔽体の物量削減

(新遮蔽材である B₄C 遮蔽体の有効性を確認し、その採用により物量を削減することができた。)

D H X 2 次ナトリウム放射化量の低減

(2 次系を非管理区域にできることが分かった。)

ルーフデッキ上面における放射線量率の低減

(ルーフデッキ上面を D 区域(1mSv/h) とできることを確認した。)

I V S 方式の成立性

(I V S 方式による燃料貯蔵方法が可能であることが分かった。)

- ・ 現状の実証炉の遮蔽設計の妥当性を確認することができた。

5. 「もんじゅ」しゃへい性能試験計画

(動燃事業団 中島 文明)

「もんじゅ」しゃへい性能試験の目的

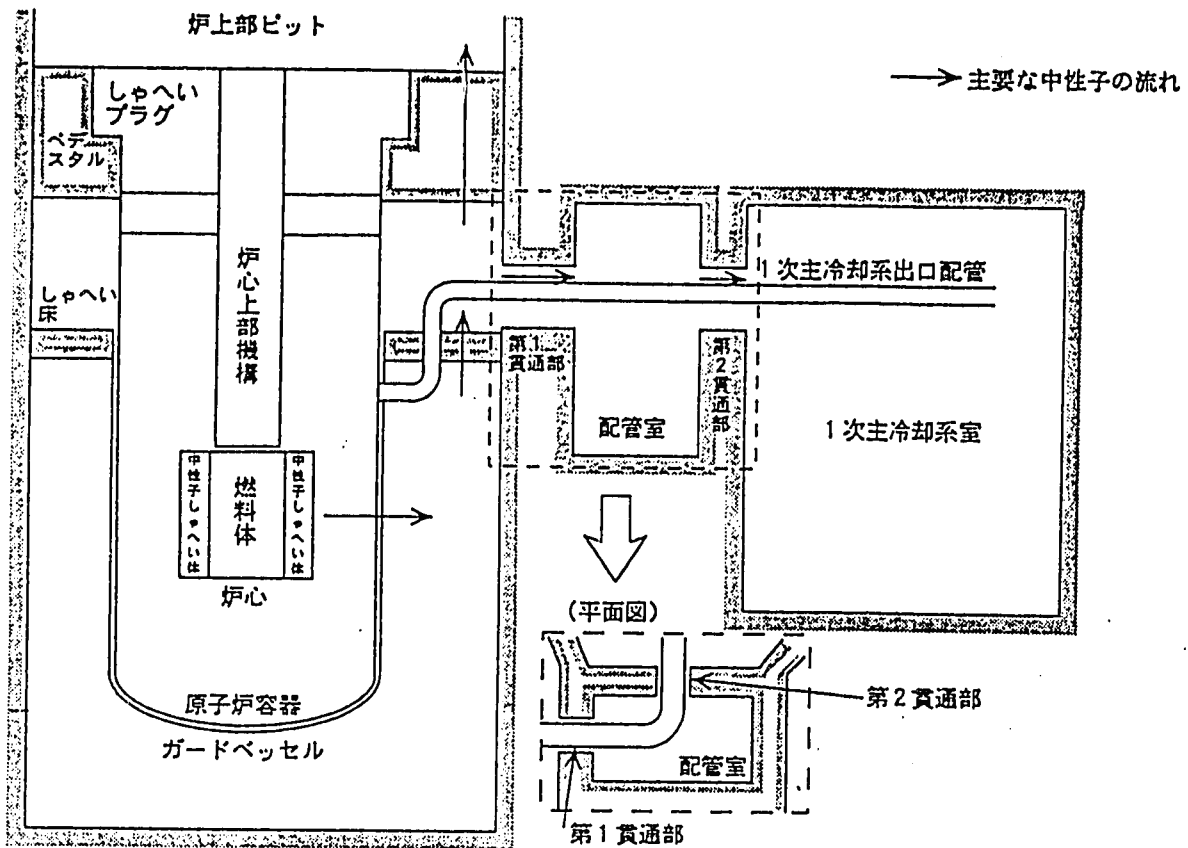
- しゃへい性能の確認
- 設計手法の妥当性及び余裕確認
- 設計基礎データの取得

OHP 5-1

しゃへい性能試験項目

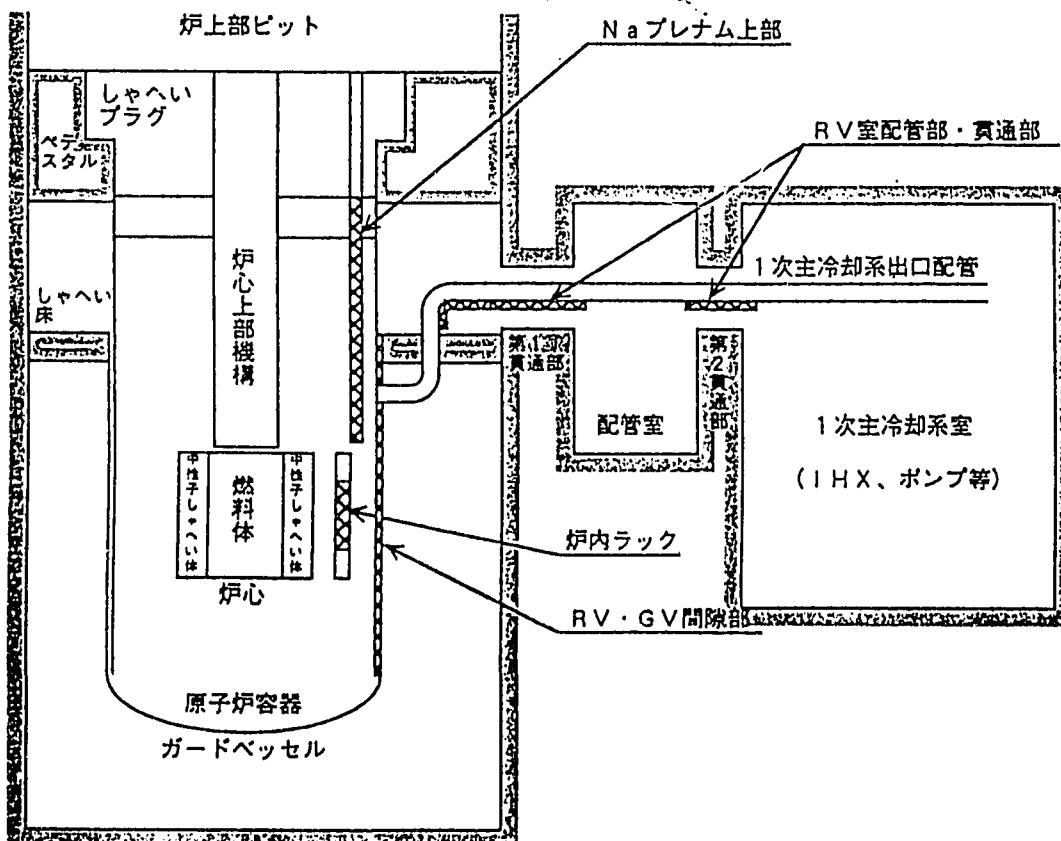
1. 原子炉まわり（炉内）測定
2. 原子炉まわり（炉外）測定
3. 炉上部ピット測定
4. 配管室測定
5. 主冷却系室測定
6. 1次冷却系機器測定
7. 燃料取り扱い系測定
8. 空間線量測定

OHP 5-2



「もんじゅ」しゃへい設計概要図

OHP 5-3



原子炉まわりしゃへい（炉内・炉外）測定

OHP 5-4

1. 原子炉まわり（炉内）測定

測定箇所

N a プレナム上部（低出力）

N a プレナム上部（高出力）

炉内ラック

測定項目

中性子（比例計数管） C d 有無

中性子（箔）、 γ 線（コハルトガラス）中性子（箔）、 γ 線（コハルトガラス） 試験用集合体

2. 原子炉まわり（炉外）測定

測定箇所

R V ・ G V 間隙部

R V 室配管部・貫通部

測定項目

中性子（箔）

中性子（箔）

OHP 5-5

3. 炉上部ピット測定

測定箇所

炉上部ピット内

測定項目

中性子（レムカウンタ）、 γ 線（電離箱）

4. 配管室測定

測定箇所

配管室内

配管貫通部

測定項目

中性子（箔） γ 線（T L D、コハルトガラス）中性子（箔） γ 線（T L D、コハルトガラス）

5. 主冷却系室測定

測定箇所

主冷却系室内

測定項目中性子（箔） γ 線（Si半導体検出器、
TLD、コハルトガラス）

6. 1次冷却系機器測定

測定箇所

中間熱交換器まわり

主循環ポンプまわり

メカスナ、電磁ポンプ

測定項目 γ 線（TLD） γ 線（TLD） γ 線（TLD）

OHP 5-7

7. 燃料取り扱い系測定

測定箇所

新燃料貯蔵ラック

燃料出し入れ機

炉内中継装置

測定項目中性子（レムカウンタ）、 γ 線（電離箱、TLD）中性子（レムカウンタ、BBC） γ 線（電離箱、TLD）中性子（レムカウンタ、BBC） γ 線（電離箱、TLD）

8. 空間線量測定

測定箇所

管理区域等

測定項目中性子（レムカウンタ）、 γ 線（電離箱、TLD）

6. 今後の研究課題

JASPER実験解析は、個々の実験の解析を一通り終了し、今年度は「総合評価」を行うこととされている。この準備作業として、平成5年度に「JASPER実験及びその解析のレビュー」を実施した。これは、8項目の実験及び解析に関する情報をOHP6-2に示す項目に従ってまとめたものである。この作業により、実験解析に関する膨大な情報の一部については整理することができたが、今後の研究課題の摘出と優先順位づけならびにその実施方法については今年度の課題として残されている。

また、平成5年度に終了した原電と動燃の共同研究「JASPER実験解析による実証炉しゃへい設計への反映」では、実証炉遮へい設計の成立性を確認した上で、さらなる解析精度の向上を図るための検討課題が摘出されている。(OHP6-3) ただし、今後の研究開発計画としてオーソライズされたものとはなっていない。

したがって、ここでは遮蔽解析技術及び遮蔽設計手法の向上の観点からさらに検討が必要と感じられる項目をリストアップしておく。(OHP6-4) これらの検討事項に関する実施方法、実施体制、優先順位等は今後議論されるべきである。

なお、大きな問題点として、遮蔽解析及び評価を行える技術者が順調に育成されていないことがあげられる。技術的検討、遮蔽解析システムの整備、JASPER実験データの公開等いずれの課題についても、高い質の成果をあげるためには、それらの作業を通じて遮蔽分野のプロフェッショナルを育成していくことが重要である。

(動燃事業団 庄野彰)

6. 今後の研究課題

大型炉遮蔽研究成果報告会

1994年7月19日

動燃事業団・大洗工学センター 基盤技術開発部 炉心技術開発室

庄野 彰

JASPER実験及びその解析のレビュー内容 (H5年度実施)

No.	項目	主な内容
1	実験名称	和文・英文名称
2	関連文献	実験レポート、関連派遣員メモ、解析レポート等
3	実験目的	同左
4	実験体系	概要、種類、使用材料等
5	体系の特徴	特徴、設計との関連、当初の狙いと最終決定内容との差異、実験条件の決定経緯
6	測定項目	内容、重要度
7	実験結果	同左
8	実験の成果	同左
9	実験情報の充足性	同左
10	解析状況	解析の視点及び重要度、解析対象項目、解析内容、解析者
11	解析詳細	解析方法・手順、解析条件、解析結果
12	解析結果の評価	解析目的との整合性、成果の評価

解析精度向上のための検討課題 (H5年度共研成果報告書より抜粋)

評価項目	検討課題	対応手段
バルク遮蔽の評価精度 及び 炉心まわり全体の評価	下部ガスプレナム透過成分の解析精度の確認 ガードベッセル外側空間のストリーミング解析精度の確認 B ₄ C遮蔽体の遮蔽特性の検証	詳細解析 実機データの解析
燃料集合体軸方向ストリーミング特性	軸方向遮蔽体の模擬性を向上した実験からの解析精度向上 軸方向遮蔽体均質体系のモンテカルロ計算の実施	新たな実験実施と解析 詳細解析
2次Na放射化量	2次元重ね合わせ法の解析精度の確認 DHXのNa流入窓の迷路構造の解析精度の確認	新たな実験実施と解析
ルーフデッキギャップ・ストリーミング特性	ガンマ線に関するストリーミング解析精度の確認	新たな実験実施と解析
IVS遮蔽特性	実機模擬性を向上した実験からの解析精度向上	新たな実験実施と解析
トップエントリー炉特有の評価	Na中の円環状ギャップのストリーミング解析精度の確認 モンテカルロ計算における計算パラメータの十分性の検討	新たな実験実施と解析 詳細解析
その他	新しい核データ、解析コードの導入 炉心・冷却系・計測制御系等との関連性を含めた遮蔽設計	

今後検討が必要と思われる遮蔽研究課題

JASPERデータの活用

- ・ 現時点までの実験解析結果のまとめ
- ・ 実験及び解析関連情報の整理 ⇒ データベース化
- ・ 統一的な手法による解析の実施
(実験解析の過程で得られた知見の反映)
- ⇒ データの公開、汎用ベンチマークデータとしての活用
- ・ 3次元解析コード(MORSE、TORT等)の適用、使用経験の蓄積
- ・ ストリーミング解析手法の検討
- ・ 最適解析モデル自動設定手法の検討
- ・ 新遮蔽用核定数の適用
- ・ 断面積エネルギー群構造の検討
- ⇒ 解析精度の向上、解析技術の高度化・一般化
- ・ 上記成果をもとにした高速炉遮蔽解析システムの整備

実機データの活用

- ・ 「もんじゅ」性能試験データ
- ⇒ 従来設計手法の保守性の確認、現在の設計手法との比較
炉体まわり等実機特有の形状での遮蔽データの取得
- ・ 「常陽」MK-III炉心性能試験データ
- ⇒ B₄C製径方向遮蔽体の遮蔽特性の検証

詳細解析による既設計法の妥当性の確認

- ・ 実証炉の下部ガスプレナム透過成分、ガードベッセル外側空間のストリーミング成分、トップエントリー配管周囲のストリーミング成分等の評価

7. 今後の課題（遮蔽関連）

1994.7.19

東大 岡 芳明

高速炉遮蔽

1. J A S P E R 実験と解析のドキュメンテーション
2. 高速炉遮蔽設計法に関するドキュメンテーションと経験の継承
解析コード、設計法の標準化
3. 「もんじゅ」での計測による遮蔽設計と精度の評価
4. 「もんじゅ」の運転と保守による経験の蓄積と改善

例、被曝低減、 ^{24}Na (15 h)、 ^{22}Na (2.6 y)、保守容易化、除染、
Na 純度管理、換気空調、高燃焼度化、材料損傷、廃棄物低減（気体、液体、
固体）

5. 大型炉遮蔽設計精度の向上

重要な視点

1. システムの理解。狭く遮蔽のみで閉じないこと。設計との関連の理解、他分野（安全、熱水力、耐震等）との関連の理解。
2. 関連分野へのチャレンジ
例、廃棄物問題、保守問題、各種輸送問題（環境、流体等）
3. コスト低減の意識
例、TRU 消滅処理は廃棄物コスト低減の点で企業化しうるか

放射線輸送の展開

1. 中性子ガンマ線輸送計算（詳細3次元、感度誤差解析、簡易的な設計法、ストリーミング）
2. イオンビーム工学（低エネルギー、高エネルギー）
例、ビームによる表面加工
3. 高エネルギー加速器遮蔽
4. 電子、光子輸送（低エネルギー、高エネルギー）
例、被曝のマイクロメカニズムの解明
5. 宇宙航空分野
例、素子の遮蔽、被曝低減
6. 加速器工学分野
例、消滅処理、慣性核融合、ガン治療、微細加工、分析

8. 質疑応答記録

報告会の席上もしくは報告会終了後書面で提出された質問・コメント及びそれらに対する回答を次ページ以降にまとめた。

質疑応答記録

大型炉遮蔽研究成果報告会(1994.7.19)

3.1 実験解析結果の概要

No.	質問又はコメント	回 答
1	ZrH _{1.7} が評価精度が劣る理由は? (原電 稲垣氏)	メッシュサイズの影響を調べるため、再解析を計画している。低エネルギー側の測定値は、体系周囲から漏洩してきた中性子の影響を受けている可能性がある。
2	JASPER実施前の検討では、水素の散乱マトリックスが不適切かもしれないという危惧があったが、その点に関する評価はどうか? (動燃 鈴木氏)	ZrH _{1.7} 後方のC/E値が他の材料の値に比べて極端に劣るわけでないこと、及びP3とP5近似それぞれによる1次元計算値で差が小さいので標準解析手法で取り扱えと判断した。
3	JASPER実験解析で使用された一連の計算コードのロードモジュール、サンプル入力データ等の所在を明らかにし、PNC内で自由に使用できるよう、マニュアルの整備を望みたい。(RADHEAT-V3-, ANISN-W, DOT3.5, DORT, TORT, SPACETRAN, DISKTRAN, MORSE) (MAPI 日比氏)	高速炉遮蔽解析システムの整備を継続する上で重要な指摘である。人材配置も含めて見直しが必要。

質疑応答記録

大型炉遮蔽研究成果報告会(1994.7.19)

3.2 IVS 実験及びNIS実験の解析結果

No.	質問又はコメント	回 答
1	IVS透過成分の計算の不確かさと、IVSで発生した成分の不確かさは、それぞれどのようにして算出したのか？ (東大 岡氏)	厚いIVSと薄いIVSの体系のC/E値と、計算から求めたそれぞれの成分の割合から算出した。IVS透過成分については3'、4'ボナボールの値を、IVA発生成分については10'、12'ボナボールの値を評価に使用した。
2	SPACETRANコードとはどのようなものか？ (東大 岡氏)	体系後方の評価点とDOTコードの計算体系後端を結んで、一番近い角度東から、検出器の応答関数を使って、検出器応答を求めるものである。
3	IVS実験で、スペクトルが硬い体系で評価精度が悪いのは、B₄C透過のスペクトルの計算精度が悪いのか？ (動燃 中島氏)	B₄C透過のスペクトルの計算精度が悪いのか、それとも硬いスペクトルの核分裂計算の精度が悪いのかは区別できていない。
4	IVSのFission部の精度が悪いのは、前方に置かれたB₄C体系の計算誤差の影響が大きい印象を受けました。竹村氏の発表でB₄Cの計算精度の話があり、それを踏まえ、IVS検討に的を絞った検討をした方がよいと思います。 (動燃 中島氏)	IVSの計算精度を求める際には、IVSまでの体系の計算誤差を含めないようにするために、IVSの透過後のC/E値を透過前(=B₄C透過後)のC/E値でノーマライズしている。しかし、ノーマライズに用いることのできるデータは、ボナーボール応答値であり、エネルギー積分した値であるため、スペクトルまできちんとノーマライズされているわけではない。このため、B₄C透過後のスペクトルの計算精度が悪いことが原因でIVSの計算精度が悪くなっていることも十分に考えられるが、現状B₄C透過の測定値は、スペクトルの計算精度まで整理できるほど多くのデータがあるわけではないので今回のような結果となった。現状のデータの中で今後検討したい。

3.3 IHX実験及び新遮蔽材透過実験の解析結果

No.	質問又はコメント	回 答
1	2次元解析における“短形断面積保存モデル”は、具体的にどのようなモデルとなっているのか。 (東大 岡氏)	中央Naスラブの左右及び上下側部のスラブ物質配置は異なっている。このためB₄C、Na等の各スラブ(断面短形)の断面積を保存するよう、RZモデル化している。中央の正方形Naスラブも断面積の等価な円にモデル化している。
2	2次元解析結果のNa放射化量のC/Eについて(OHP3.3-9)、最外端の値が悪いのが目立っているが、この原因は何か。 (東大 岡氏)	Na放射化量を測定するNaフォイルは、各スラブ間のギャップ内に設置されているが、最外端は後方にスラブがない。このため解析上モデル化されていない後方散乱(ex.地面)の効果が、低エネルギーでの核反応断面積の大きいNaフォイルの測定値に寄与していると考えられる。
3	3次元モンテカルロ解析について、2次元解析と結果が一致しないことを問題としているが、2次元解析と比較すること自体がおかしいのではないか(OHP3.3-6) (動燃 柴氏)	モンテカルロ解析の結果の妥当性は、然るべき統計精度のもとで測定値と比較議論すべきである。OHPでの3次元解析の初期結果と2次元解析結果との差異は、単なる事実の指摘である、これにより前者の解析が不適当であった判断要因とするものではない。
4	IHX実験のNaの厚さはどれ位ですか? 印象としてC/Eが悪いような気がします。 (動燃 中島氏)	IHX実験でのNa厚: スペクトルモディファイア部 2.4m IHX部 1.4m C/E: 実験体系はIHX模擬部の左右側部と上下部と供試体の構成が異なっており、2次元解析では体系のモデル化に限界があると懸念されていたが、中心軸上については3次元モンテカルロ解析との結果の一致が良い(但し中心より側部に寄った位置では差が大きい)ことが確認された。しかし、この3次元モンテカルロ解析結果自体は測定値に比較して明らかに

質疑応答記録

大型炉遮蔽研究成果報告会(1994.7.19)

3.3 IHX実験及び新遮蔽材透過実験の解析結果

No.	質問又はコメント	回 答
4	(前ページよりつづき)	過小評価となっている(3次元Sn解析の結果も然り)。これは、実験レポートに基づき再構築した解析体系と実際の実験体系との間に相違があるためと推定される。たとえばNaスラブは経年変化で中央が凸状となっており(実験レポートに記載されている中央最大厚しかモデル化上手掛かりがない)、側部Naスラブに沿って中性子の透過方向に隙間が存在していることは事前に予想されたほか、供試体とその上部にあるlithiated paraffin層との間にも透過方向の隙間があるのではないかと疑われている。 一方、スペクトルモディファイア部の2.4m厚のNaタンク透過についてのC/Eは、このNaタンクを利用した有名なORNLナトリウムベンチマーク実験に対して各所で実施されている実験解析とは大体同程度のC/Eが得られている。但し若干今回の解析結果が低めのきらいがある。1970年代前半に実施されたベンチマーク実験に対してIHX実験は20年も経過しており、実験レポートに記載されているタンク厚は、経年変化と考えられるがIHX実験の方が最大8cm程度厚くなっている。IHX実験レポートには中央最大厚しか記載されておらず、一様にこの厚さでモデル化しているため、今回の解析は低めになっていると考えられる。

質疑応答記録

大型炉遮蔽研究成果報告会(1994.7.19)

3.3 IHX実験及び新遮蔽材透過実験の解析結果

No.	質問又はコメント	回 答
5	廃棄物低減の観点からみると黒鉛は誘導放射能が小さく、ZrHxやB₄Cよりも扱い易いと思います。低放射化材料の使用という観点から私は優れていると思いますが遮蔽材としては無理でしょうか？ (動燃 丸山氏)	当初タンク型炉の設計例に黒鉛を使用したものがあったが、遮蔽設計合理化の観点から、黒鉛より遮蔽性能に優れたB₄Cがより有力な候補材として認められるようになった。 また、黒鉛はSUS被覆材破損時にNaと接触すると、スウェリングが進行することが知られている。EBR-IIでの照射試験では40%に及ぶ体積膨張が見られたことがある。また、米国ハーラム(Hallam)炉(黒鉛減速Na冷却型)でも、60年代に上記現象によるトラブルが発生した。高速炉では、PFR等で炉内で使用されているが、被覆を二重にするという対策が施されている。

質疑応答記録

大型炉遮蔽研究成果報告会(1994.7.19)

3.4 ギャップ・ストリーミング実験の解析結果及びTORT適用結果

No.	質問又はコメント	回 答
1	TORTの計算時間はどれくらいか? (MAPI 日比氏)	Sun S-10で1500分。 予想以上に時間がかかったのは、 メッシュの選択等による。
2	Spacetrانと Disktranの違い (動燃 宇都氏)	式は同じであるが、積分に用いる角 度束の選択が次の様に異なる。 Spacetrان:最近接近似 Disktran :内挿により選択したも のを直接積分 OHP集に説明資料を追加した。
3	Void 6でのC/Eの減少が3.3での報告 内容に比べて少ないが、理由は? (東大 岡氏)	体系後方のモデル化に差異があるた めと思われる。

質疑応答記録

大型炉遮蔽研究成果報告会(1994.7.19)

4.1 多重層透過実験解析結果の遮蔽設計への適用

No.	質問又はコメント	回 答
1	コメント 単層透過の補正係数評価にスペクトルの指標も考慮してみてはどうか。ただし、今回はモックアップ実験をベースにしているので問題ではないと思う。 (東大 岡氏)	
2	(1)設計補正(川重)の方法:B₄C補正の例があるが、先の発表でスペクトル依存したC/Eの紹介があったが、補正の時は考慮しないのか? 炉心の体系(Blanketの有無あるいはB₄Cの厚さ)で大分変わると思うが。 (2)C/Eを出した時の測定精度はどう反映しているのか?	(1)解析結果に対する補正は、下記の①×②により行っている。 ①モックアップ実験体系に基づく補正 ②実験と実機との体系の違いに基づく補正 ①のモックアップ性は、体系への入射スペクトルの模擬性も考慮に入れて判断している。②は横軸に単層透過厚さ、縦軸に各種径のボナボールのC/E値をプロットし、この下限の包絡線に基づき実験と実機との体系の厚さの違いに対するC/Eを評価している。 補正のベースになるのは①であり、これに対して②は通常オーダー的に小さい。従って、入射スペクトルの模擬性は①で反映されていると考えられる。 (2)測定精度はボナボール応答で10%、この内炉心出力校正誤差は5%と報告されているが、C/Eにはこれを反映していない。 C/Eに反映しなかったのは、下記の理由等による。 ・C/Eはスペクトルモディファイア出口=モックアップ体系入口でのC/Eにより規格化して最終的に補正係数評価に利用している。従って炉心出力校正誤差は一連のシリーズの実験内では一定と考えられることから、上記の規格化により校正誤差は相殺

質疑応答記録

大型炉遮蔽研究成果報告会(1994.7.19)

4.1 多重層透過実験解析結果の遮蔽設計への適用

No.	質問又はコメント	回 答
2	(3)スペクトルモディファイア部での計算が合わない(角田氏)との話があったが設計への反映をする場合どう扱っているのか? (以上、動燃 中島氏)	されることになる。 ・補正係数のもとになるC/E値は、最も保守的な値を採用することにしており、さらに測定誤差を上乗せするのは保守的すぎる結果をもたらすことになる。 (3)設計への反映は、スペクトルモディファイア出口のC/Eで規格化したC/Eを最終的に利用しているため、モディファイア部までの違いは影響しない。 なお計算値に差が見られた体系Xは、中間熱交換器のモックアップというより3次元コードのためのベンチマーク体系であるため、このC/Eは設計への反映には利用していない。
3	実証炉遮蔽体設計では、B₄Cを用いる利点が報告され、B₄Cの研究をしている者として心強く思います。設計の詳細がわかりませんので、もしも可能ならば以下の点を教えていただけたら幸いです。 (1)B₄C遮蔽体の使用環境 ①照射温度 ②寿命期間中の高速中性子の照射量など (2) B₄C遮蔽体の構造など ピン封入型(?), 焼結ペレット(?) (3) 材料側に要求する照射データなどで不足している項目。(無ければ幸いです) (動燃 丸山氏)	(1) ①設計温度 600°C ②フルエンス 約$3 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$ 上記フルエンス算定にあたっては40年の使用期間を前提としている。He蓄積量及び被覆管熱応力等の評価より、原子炉寿命中の交換は不要と評価されている。 (2) 高速実証炉の場合、 上部軸方向遮蔽体→焼結ペレットをSUS被覆管に封入 径方向遮蔽体→粉末充填 ただし、詳細設計の中で見直される可能性がある。 (3) B₄Cは制御棒等で使用実績があり、基礎的なデータの不足はないと思われる。

質疑応答記録

大型炉遮蔽研究成果報告会(1994.7.19)

4.2 ストリーミング実験解析結果の遮蔽設計への適用

No.	質問又はコメント	回 答
1	ストリーミングの解析(設計)をする場合、計算を開始するポイントの角度束が影響しますが、設計ではどう扱っていますか? この点必ずしもモックアップになっていないと思います。 (動燃 中島氏)	設計におけるルーフデッキのギャップストリーミング評価では、ルーフデッキ下面の中性子が最大となるコールドレグ配管デッキシール部位置の中性子束から接続して計算している。 ここで、ギャップストリーミング評価の対象としているのは、ルーフデッキに設けられた小径のアニュラーギャップである。この位置では、設計での入射中性子束は、平行ビームに近いものが考えられるが、実験でも、アニュラーの径が半径25cmと小さいことと、体系前方にコリメータがあることで、入射中性子束は平行ビームに近いものとなるため、模擬性が全く悪いということはない。 今回精度評価に適用した実験よりも、角度束もスペクトルも模擬性の良い体系の実験を行ったが、これは測定値にバックグラウンドノイズが多く含まれており、実験データを採用できなかった経緯がある。

質疑応答記録

大型炉遮蔽研究成果報告会(1994.7.19)

4.3 大型高速炉遮蔽設計への反映結果

No.	質問又はコメント	回 答
1	下部軸方向遮蔽体の長さがJASPER実験によりかなり削減できたという結果になっているが、JASPER実験の成果以外に何か要因があったのか。 (東大 岡氏)	JASPER実験の成果のみで、ここまで削減できた。削減の内訳としては、バルク透過特性の精度向上によるものとストリーミング透過特性の精度向上の両者が寄与している。
2	ルーフデッキのバルク透過に関する予測誤差について、炭素鋼中の中性子透過はFeの吸収断面積の特徴から評価が難しいはずである。このため、モンテカルロ計算を実施して確認してみてもどうか。 (東大 岡氏)	ルーフデッキは主にコンクリートで構成されており炭素鋼は一部分だけである。このため、バルク透過についてあえてモンテカルロ計算を実施する必要はないと考える。
3	中性子束分布に関して、炉心の中性子束(線源)に関する誤差はどのように考慮したのか。 (動燃 鈴木氏)	公称値の1.3倍として解析を行っている。これは、炉心設計における中性子束分布誤差評価の結果に基づき設定している。
4	全中性子束と予測誤差の関係で、中性子束1桁減衰あたりのファクタとはどのような誤差なのか。 (動燃 鈴木氏)	予測誤差は、実験の測定誤差や解析誤差などで全てを含んでいる。また、ファクタは各評価部位の予測誤差を包絡するように全中性子束と予測誤差の関係を示したものであり、このファクタを用いれば、中性子束は不確かさを含めてもその値以下となる。
5	遮蔽体のB₄Cは濃縮しているのか。また、実証炉ではジルコニウムハイドライドなどの新遮蔽材を適用する予定はないのか。 (動燃 丸山氏)	B₄Cは天然であり、濃縮はしていない。これは、中性子スペクトルが硬いため、濃縮してもあまり効果はないためである。 また、B₄C以外の遮蔽材については黒鉛についてタンク型炉で検討したことがある。これは、炉容器内に黒鉛を設置するスペースがあったためである。また、ジルコニウムハイドライドに関しては、その製造性に加え、高温になると水素が解離し、冷却材中に放出される可能性が問題となるため、現在は採用していない。

質疑応答記録

大型炉遮蔽研究成果報告会(1994.7.19)

4.3 大型高速炉遮蔽設計への反映結果

No.	質問又はコメント	回 答
6	UIS下端とNa液面の間で予測誤差が(3.5→5.0)となっていますが主要なパスがNa透過であるとすれば大きすぎないか、TSFでのdataを使っているのか? (動燃 中島氏)	炉心頂部からナトリウム液面での約6mのナトリウムを透過することになる。TSFで実施されたナトリウム深層透過実験の解析結果を整理すると、ナトリウム1mあたりの輸送計算の不確かさはファクター1.07となる(ただし、遮蔽設計に適用するため最も保守的な値を採用した場合の値)。これより、ナトリウム6mの透過では、ファクタ1.5を見込むものとした。
7	下部ガスプレナム部→R/V外側への漏洩がルーフデッキのストリーミングパスと思われますが、炉心槽下部あるいは中性子遮蔽体下部へ遮蔽対策をすることで中性子束を低減出来ませんか? (動燃 中島氏)	中性子遮蔽体下部の遮蔽対策をすることで、中性子束を低減することは可能。ただし、必要なNISの応答を確保するために、あえて下部ガスプレナム部より中性子を漏らす設計としている。