

TRU核種測定技術の高度化研究 (3)

(動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書)

技術資料		
開示区分	レポートNo.	受領日
X	ZJ1214 94-012	1994 8,25

この資料は技術管理室保存資料です
閲覧には技術資料閲覧票が必要です
動力炉・核燃料開発事業団 技術協力部技術管理室

1994年3月

三菱原子力工業株式会社

この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、特に限られた関係者だけに開示するものです。については複製、転載、引用等を絶対に行わないよう、また第三者への開示又は内容漏洩がないように管理して下さい。また今回の開示目的以外のことには使用しないよう特に注意して下さい。

本資料についての問合せは下記に願います。

〒319-11

茨城県那珂郡東海村大字村松 4-33

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所 技術管理室

限 定 資 料
PNC ZJ1214 94-012
1994年 3月

T R U 核 種 測 定 技 術 の 高 度 化 (3)

日比宏基*, 鈴置善郎*
竹澤一晃**, 遠藤保美***

要 旨

今年度は、動燃事業団のアクティブ中性子測定装置による均質なマトリクスの測定結果に基づき、解析手法として2次元Sn法の適用性向上と3次元モンテカルロ法の試用を行った。その結果、2次元Sn法によって求められた定常加速器線源によるマトリクス内中性子束とマトリクス内の核分裂線源による検出器計数率に1次元Sn法時間依存解析の結果を組み合わせることにより、装置測定値（検出器計数率）をファクタ1～0.5程度の範囲で再現するとともに、その内訳を把握することが出来た。また、同様に、3次元モンテカルロ法に1次元Sn法時間依存解析を組み合わせることにより、装置測定値（検出器計数率）をファクタ1.8～1.2以内で再現出来ることを確認した。なお、結果的に得られた計算精度は上記の様に2次元Sn法の方が優るが、これは過小評価と過大評価のキャンセル・アウトの結果であり、内容的には3次元モンテカルロ法の方が優れている。

今年度の作業を通じて確立された「2次元Sn法+1次元Sn法による時間依存性補正」及び「3次元モンテカルロ法+1次元Sn法による時間依存性補正」の両手法により均質なマトリクスに対して装置特性の把握・理解及び測定対象の形状、組成の最適化等の検討が可能となった。今後、可燃物焼却灰、金属焼塊、人工鉱物等の測定性を向上・最適化する観点から、「2次元Sn法+1次元Sn法による時間依存性補正」手法を主体に、適宜、「3次元モンテカルロ法+1次元Sn法による時間依存性補正」による詳細手法を活用し、解析と測定とを相互に補完し合いながら展開を図ることが望ましい。

本報告書は、三菱原子力工業株式会社が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

契約番号： 050 D0214

事業団担当部課室および担当者：

東海事業所 環境施設部 処理第二課 薄井和也

*： 三菱原子力工業（株） 新型炉統括部 新型炉第一チーム

**： 三菱原子力工業（株） 燃料サイクル統括部 第二プロジェクト

***： 三菱原子力工業（株） 大官研究所

COMMERCIAL PROPRIETARY
PNC ZJ1214 94-012
MARCH, 1994

Study on Improvement of TRU Nuclides Measurement Technique (3)

Koki Hibi*, Zenro Suzuki*
Kazuaki Takezawa**, Yasumi Endo***

Abstract

A measurement system has been developed, and studied for non-destructive assay of simulated uniform waste drums loaded with plutonium samples to improve its capabilities. This study performed in Japanese Fiscal Year 1993 includes application of analytical methods to the system to characterize it and to obtain detector responses to be compared with measurements to confirm the effectiveness of the methods. The methods applied are:

1. Two-dimensional discrete ordinates method, and
 2. Three-dimensional Monte Carlo method,
- and the both are corrected by one-dimensional time-dependent discrete ordinates method for dieaway of neutron fluxes in the pulsed system.

Comparison has shown that the two-dimensional discrete ordinates method agrees within a factor of 1 through 0.5, while the three-dimensional Monte Carlo method within a factor of 1.8 through 1.2, demonstrating the effectiveness of the methods as well as the adequacy of the time dependence correction.

On the basis of this result further study has been required for the measurement of such matrices as artificial mineral and others and analyses by the above method to improve the capability of the system.

Work performed by Mitsubishi Atomic Power Industries, Inc. under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

PNC Liaison: Kazuya Usui, Plutonium-contaminated Waste Treatment Facility

*: Advanced Reactor Division

**: Nuclear Fuel Cycle Division

***: Omiya Laboratory

TRU核種測定技術の高度化研究（その3）

目 次

1. まえがき	1
2. 2次元Sn法の適用性向上検討・適用化	3
2.1 2次元Sn法の適用性向上的検討	3
2.1.1 検出器の筐体による熱中性子束評価への影響	3
2.1.2 ANISN-ORNLコードの適用	4
2.1.3 DORTコードの適用	5
2.1.4 TDAコードの適用	6
2.2 核分裂中性子源に対する検討	16
2.2.1 解析手法	16
2.2.2 解析条件	20
2.2.3 解析結果	20
2.2.4 評価	22
2.3 加速器定常中性子源に対する検討	43
2.3.1 解析手法	43
2.3.2 解析条件	45
2.3.3 解析結果	46
2.3.4 評価	47
2.4 加速器時間依存中性子源に対する検討	60
2.4.1 解析手法	61
2.4.2 解析条件	61
2.4.3 解析結果	62
2.4.4 2次元定常解析結果の補正	63
2.5 2次元Sn法の総合評価	72
2.5.1 Pu試料の核分裂断面積等	72
2.5.2 計測時間平均の核分裂中性子放出率	72
2.5.3 検出器計数率の算出と測定値との比較	73

2.5.4 まとめ	74
3. 3次元モンテカルロ法の試用	77
3.1 核分裂中性子源を対象とした解析	77
3.1.1 解析手法	77
3.1.2 解析条件	77
3.1.3 解析結果	77
3.1.4 評価	77
3.2 加速器中性子源を対象とした解析	90
3.1.1 解析手法	90
3.1.2 解析条件	90
3.1.3 解析結果	90
3.1.4 評価	90
3.3 3次元モンテカルロ法の総合評価	93
4. まとめと今後の展開	97
5. あとがき	99
参考文献	100
Appendix 1. 動燃殿よりの御支給測定データ	101
Appendix 2. 計算コードの概要	105
Appendix 3. 2次元S _n 法解析出力図	113
Appendix 4. P _u 試料A4、A5の核分裂断面積等の算出	171
Appendix 5. これまでの開発経過と今後の展開	173

表 リ ス ト

- 表2.2.1-1 核分裂線源に対する1次元S_n計算の主要パラメータ
表2.2.1-2 核分裂線源に対する2次元S_n計算の主要パラメータ
表2.2.1-3 JSDJ2ライブラリの中性子エネルギー群構造及び核分裂スペクトル
表2.2.1-4 MGCLライブラリの中性子エネルギー群構造及び核分裂スペクトル
表2.2.1-5 計算に用いた各物質の原子数密度
表2.2.3-1 核分裂中性子源に対する2次元S_n法によるC/E値評価結果
- 表2.3.1-1 加速器定常線源に対する1次元S_n計算の主要パラメータ
表2.3.1-2 加速器定常線源に対する2次元S_n計算の主要パラメータ
- 表2.4.2-1 時間依存1次元解析の計算パラメータ
表2.4.3-1 マトリクス中心の熱中性子束の時間減衰と計測時間平均の熱中性子束
- 表3.1.2-1 エネルギー群毎の線源強度
表3.1.3-1 計算結果のまとめ ($E < 0.414 \text{ eV}$)
表3.1.4-1 JSDJ2ライブラリによるMORSE計算値と測定値によるC/E値の比較
表3.1.4-2 JSDJ2ライブラリによる2次元計算値と測定値によるC/E値の比較
- 表3.2.3-1 計算結果のまとめ ($E < 0.414 \text{ eV}$)

図 リ ス ト (1/2)

- 図2.1.1-1 2次元RZ解析でのマトリクス中心軸体系
(核分裂線源, マトリクス:人工鉱物(単体)以外のマトリクス)
- 図2.1.1-2 検出器の筐体を無視した場合の検出器中心軸体系
- 図2.1.1-3 検出器の筐体を考慮した場合の検出器中心軸体系
- 図2.1.1-4 検出器の筐体の有無に応じた検出器まわりの熱中性子束分布
- 図2.1.2-1 人工鉱物における未収束性
(加速器線源での1次元計算, 200ℓドラム缶に人工鉱物充填)
- 図2.1.2-2 ANISN-Wコードでの解析結果(前年度の加速器線源での1次元計算)
- 図2.1.2-3 ANISN-ORNLLコードでの解析結果(加速器線源での1次元計算)
- 図2.1.3-1 DOT3.5コードでの中性子上方散乱効果解析結果
(加速器線源での2次元計算)
- 図2.1.4-1 加速器からのパルス入射中性子とマトリクスからの放出中性子の時間依存性
- 図2.2.1-1 2次元Sn法の解析におけるマトリクス中心軸体系と検出器中心軸体系の接続計算の概念
- 図2.2.1-2 核分裂中性子源に対する解析の流れ(JSDJ2ライブラリ)
- 図2.2.1-3 核分裂中性子源に対する解析の流れ(MGCLライブラリ)
- 図2.2.1-4 核分裂線源での人工鉱物以外のマトリクスに対する1次元解析体系
- 図2.2.1-5 核分裂線源での人工鉱物(単体)に対する1次元解析体系
- 図2.2.1-6 2次元RZ解析でのマトリクス中心軸体系
(核分裂線源, マトリクス:人工鉱物(単体))
- 図2.2.3-1 核分裂線源に対する1次元Sn解析での径方向中性子束分布
(JSDJ2ライブラリ)
- 図2.2.3-2 核分裂線源に対する2次元Sn解析での熱中性子束分布
($E \leq 0.414\text{ eV}$, JSDJ2ライブラリ, マトリクス中心軸体系)
- 図2.2.3-3 核分裂線源に対する2次元Sn解析での熱中性子束分布
($E \leq 0.414\text{ eV}$, JSDJ2ライブラリ, 検出器中心軸体系)

図 リ ス ト (2/2)

図2.3.1-1 加速器定常線源に対する解析の流れ (JSDJ2ライブラリ)

図2.3.1-2 加速器定常線源に対する解析の流れ (MGC-Lライブラリ)

図2.3.1-3 加速器定常線源での人工鉱物以外のマトリクスに対する1次元解析体系

図2.3.1-4 加速器定常線源での人工鉱物(単体)に対する1次元解析体系

図2.3.1-5 2次元RZ解析でのマトリクス中心軸体系

(加速器定常線源, マトリクス: 人工鉱物(単体)以外のマトリクス)

図2.3.1-6 2次元RZ解析でのマトリクス中心軸体系

(加速器定常線源, マトリクス: 人工鉱物(単体))

図2.3.3-1 加速器線源における単位Pu (1g-Pu/cc)による核分裂中性子発生率分布

図2.4.3-1 マトリクス中心の高速中性子束 ($E \geq 0.1 \text{ MeV}$), 热中性子束の時間減衰

図2.4.3-2 体系内の热中性子束分布の時間変化

図2.4.3-3 線源パルス発生開始後 $650 \mu\text{s}$ と $3050 \mu\text{s}$ におけるマトリクス内の热中性子束分布

図2.4.3-4 マトリクス中心の热中性子束の時間減衰

図2.5-1 2次元S_n法による解析の全体構成 (JSDJ2ライブラリ)

図3.1.2-1 核分裂中性子源用3次元計算体系図

図3.1.2-2 検出器①計算体系図

図3.1.2-3 検出器②計算体系図

図3.1.2-4 検出器③計算体系図

図3.1.3-1 3次元計算体系図

図3.1.3-2 各検出器の热中性子束の比較

図3.2.2-1 加速器中性子源用3次元計算体系図

図3.3-1 3次元モンテカルロ法による解析の全体構成 (JSDJ2ライブラリ)

1. まえがき

昨年度の予備検討の結果を踏まえ、T R U核種測定技術において最も有力な解析手法と考えられる1次元及び2次元S n法の適用性向上と適用化を図る観点から、詳細解析を実施して、昨年度明らかになった解析上の不具合点の原因の検討を行い、1次元時間依存解析による時間依存補正の導入等による2次元S n法の有効性確認と3次元モンテカルロ法の試用を行った。

2. 2次元S n法の適用性向上検討・適用化

前年度のC f -252核分裂中性子源及び加速器定常中性子線源の場合の2次元S n法に対する検討成果を踏まえて、本年度は、

- ① 核分裂中性子源 (C f -252)
- ② 加速器定常中性子線源 (単色14MeV)
- ③ 加速器時間依存中性子線源 (単色14MeV)

の場合について、その適用性向上を検討するとともに、2次元S n法の適用化について総合評価を行った。

2.1 2次元S n法の適用性向上の検討

前年度の検討にて抽出された解析手法上の課題は以下の2点である。

- ① 検出器の筐体による熱中性子束評価への影響が考慮されていないこと
- ② 1次元S n法解析コードANSN-WによるJSDDJ2ライブラリを用いた解析では、人工鉱物に対し加速器定常中性子線源で負の中性子束が出現し、収束解が得られること
- ③ 2次元S n法解析コードDOT3.5では、熱中性子エネルギー領域を多数群化した際に上方散乱の効果を評価できること
- ④ 加速器中性子線源は時間的にパルス状であるが解析では定常線源として取扱うため時間依存の影響が考慮されていないこと

ここでは、上記に対する解析手法の改良について検討し、2次元S n法の適用性向上を図った。

2.1.1 検出器の筐体による熱中性子束評価への影響評価

前年度に実施した解析条件のうち、検出器まわりのSUS筐体(厚さ5mm)を考慮した場合と考慮しなかった場合について検出器内の熱中性子束を評価し、検出器の筐体による熱中性子束への影響を明らかにした。

〔解析条件：詳細は「2.2.1 解析手法」参照〕

解析モデル：マトリクス中心軸2次元RZ解析－検出器中心軸2次元RZ
解析の接続計算モデル

マトリクス：ポリエチレンチューブ

中性子線源 : C f -252核分裂線源 ($1 \text{ n}/\text{s}$)

中性子断面積 : J S D J 2 ライブライアリに基づく中性子21群断面積

解析体系 : 筐体なし体系 マトリクス中心軸体系 図2.1.1-1

検出器中心軸体系 図2.1.1-2

筐体あり体系 マトリクス中心軸体系 図2.1.1-1

検出器中心軸体系 図2.1.1-3

着目項目 : 検出器内平均の熱中性子束 ($E \leq 0.414 \text{ eV}$)

[解析結果]

検出器中心軸 2次元R Z解析での核分裂線源高さの熱中性子束分布

図2.1.1-4

検出器内平均の熱中性子束 筐体なし体系 $2.41 \times 10^{-5} \text{ n}/\text{s}/\text{cm}^2$

筐体あり体系 $2.40 \times 10^{-5} \text{ n}/\text{s}/\text{cm}^2$

[評価]

図2.1.1-4より、検出器筐体まわりでの熱中性子束の有意な相違はないことがわかる。また、検出器内平均の熱中性子束の相違は高々 0.4 %であり十分小さい。

したがって、検出器の筐体による同器内の熱中性子束への影響は無視でき、解析に際しては検出器の筐体の存在を無視しても問題ない。

2.1.2 ANISN-ORNLコードの適用

(1) 検討課題

前年度までの解析で使用していたANISN-Wコードでは、動燃段のTRU核種測定装置の体系に対する解析では、以下の不具合点が生じている。

① 図2.1.2-1に示すように、JSDJ2ライブライアリに基づく中性子100群解析を行った場合、マトリクスが人工鉱物で加速器線源の時、マトリクス内の熱中性子エネルギー領域の中性子束が収束計算ごとに振動し、収束解が得られない。

② 図2.1.2-2に示すように、JSDJ2ライブライアリに基づく中性子100群解析を行った場合、加速器線源の時、非等方散乱近似をP3近似とした

場合とP1近似とした場合とで、得られた中性子束レベルは一致せず、後者の中性子束レベルが一様に前者の約1.5倍となっている。（従来の解析経験ではP3近似とP1近似の解析結果はほぼ一致する。）

- ③ 同じく図2.1.2-2に示すように、JSDDJ2ライブラリを用いてポリエチレンを対象に中性子100群解析を行った場合、加速器定常線源の時に、11.0～14.9MeVの中性子エネルギー領域（中性子第2群及び第3群）において、負の中性子束となる。

(2) ANISN-ORNLコードの適用

本年度の解析では、別途三菱にて整備したANISNコードとして国内で公開されている最新版であるANISN-ORNLコードを使用し、解析結果の精度向上を図った。

ANISN-ORNLコードを解析に使用した結果、後述の解析結果と合わせて、以下のように解析上の不具合は解消され、解析精度の向上が得られた。

- ① 本年度の解析の対象とした全てのマトリクスに対し、中性子束の空間分布に対する収束判定条件 1×10^{-3} を満足する収束解が得られた。
- ② 図2.1.2-3に示すように、P3近似計算とP1近似計算とではほぼ一致する結果が得られた。
- ③ 本年度の解析の対象とした全てのマトリクスに対し、全ての中性子エネルギー領域で負の中性子束は生じなかった。

2.1.3 DORTコードの適用

(1) 検討課題

前年度までの解析で使用していたDOT3.5コードでは熱中性子エネルギー領域を多数群近似し、上方散乱の効果を評価する必要がある解析を行った場合、以下の不具合点が生じている。

- ① 図2.1.3-1に示すように、熱中性子エネルギー領域の中性子束が発散し、収束解が得られない。

(2) DORTコードの適用

本年度の解析では、別途三菱にて整備したDOTコードとして上方散乱効果の評価に実績のあるDORT(DOT4.3相当)コードを使用し、解析手法の

向上を図った。

DORTコードを解析に使用した結果、後述の解析結果で示されるように、エネルギー上方散乱の評価が可能となった。

2.1.4 TDAコードの適用

(1) 検討課題

ANISN-ORNLコード及びDORTコードの解析は定常解析である。すなわち、加速器からは無限時間にわたり 14MeV 中性子が発生している解析となっている。

動燃殿の測定装置では、図2.1.4-1に示すように、加速器線源からパルス状に中性子が発生してマトリクス内から放出される核分裂中性子は時間依存性を有している。従って、この時間依存性が検出器の計数率評価へ与える影響は考慮されていない。

(2) TDAコードの適用

本年度の解析では、ANISNコードをベースに時間依存性を考慮できるよう改変され、別途三菱にて整備したTDAコードを使用し、時間依存の効果の評価が可能となった。

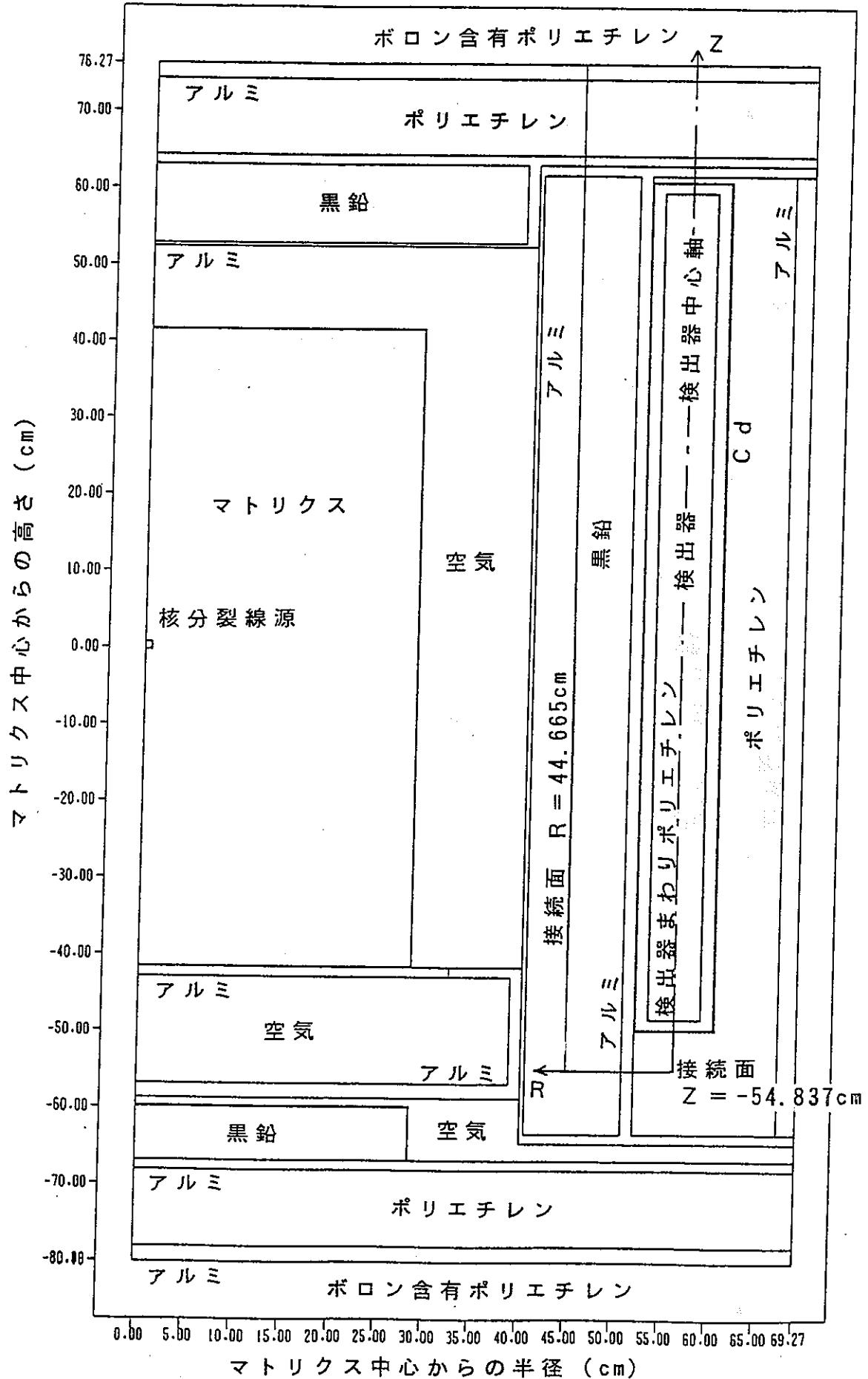


図 2.1.1-1 2次元R-Z解析でのマトリクス中心軸体系

(核分裂線源、マトリクス：人工鉱物（単体）以外のマトリクス)

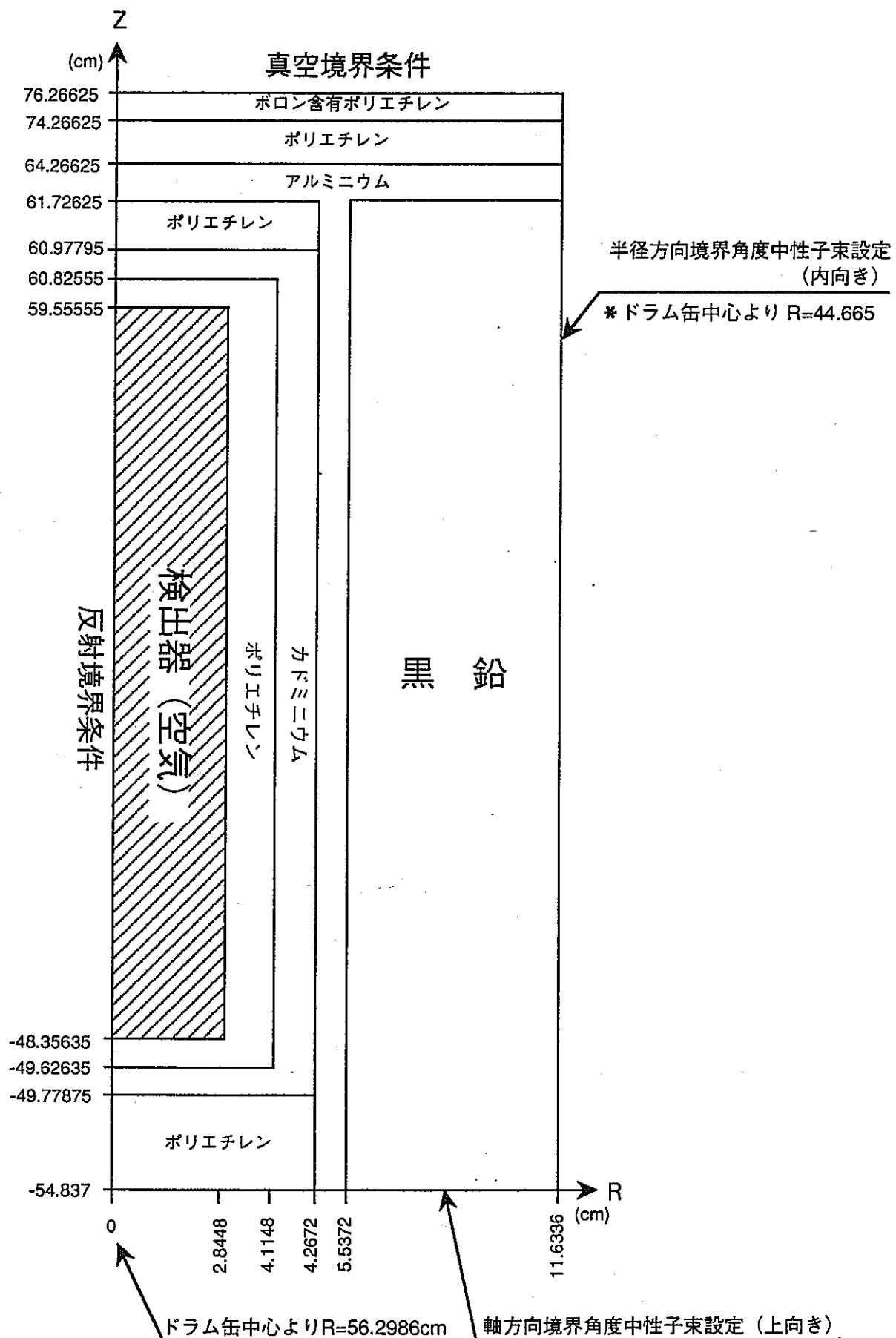


図 2.1.1-2 検出器の筐体を無視した場合の検出器中心軸体系

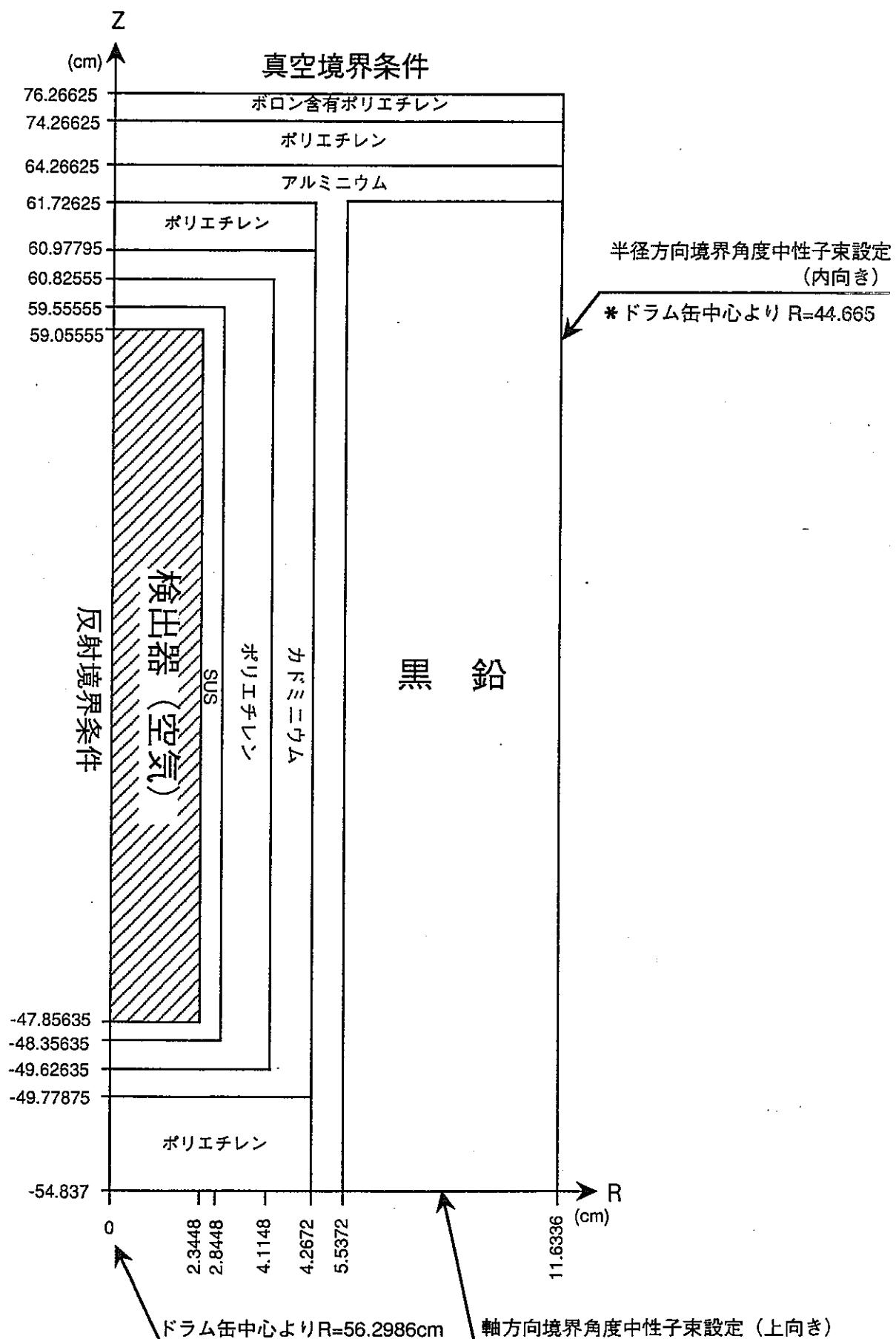


図 2.1.1-3 検出器の筐体を考慮した場合の検出器中心軸体系

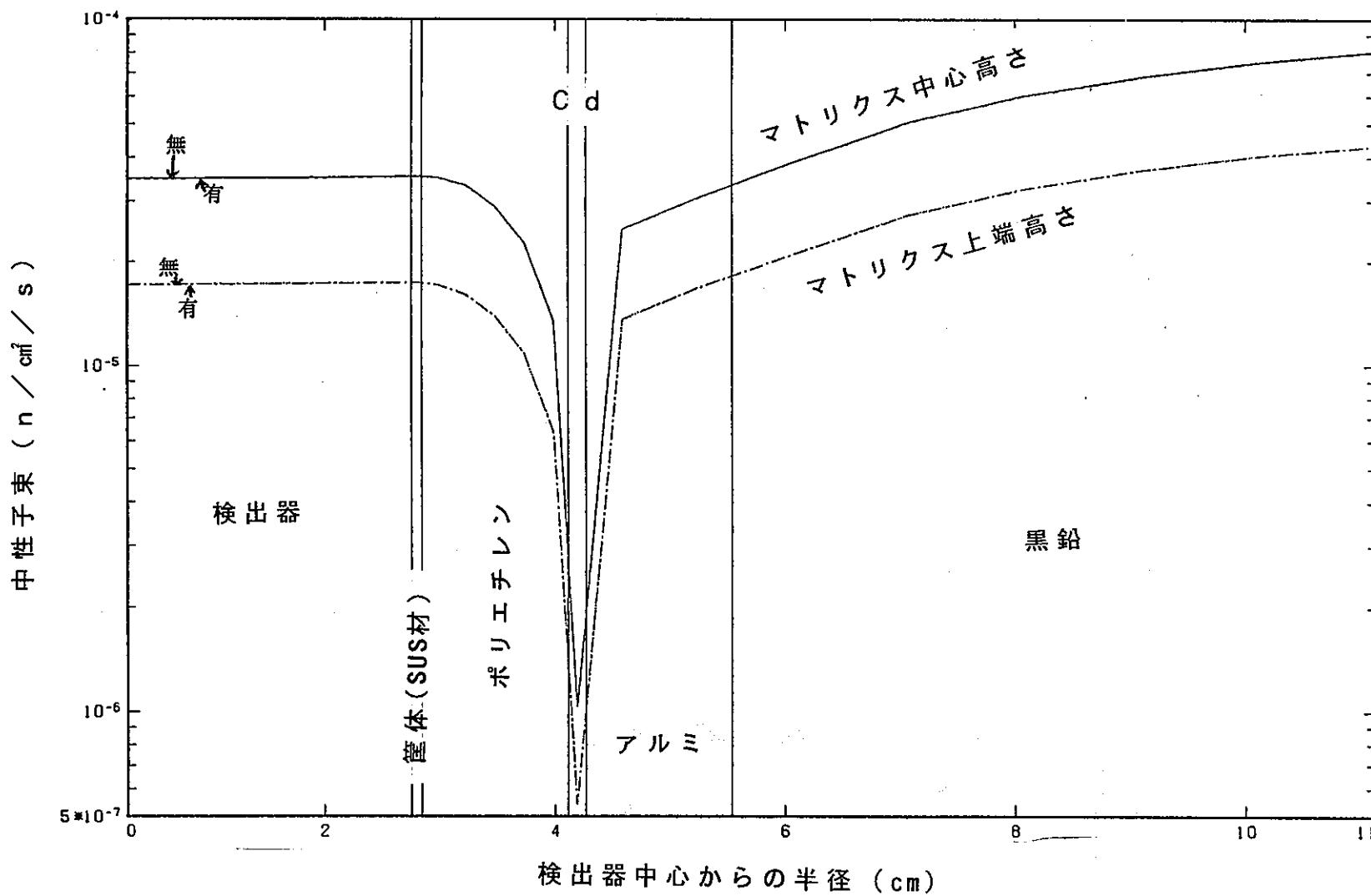
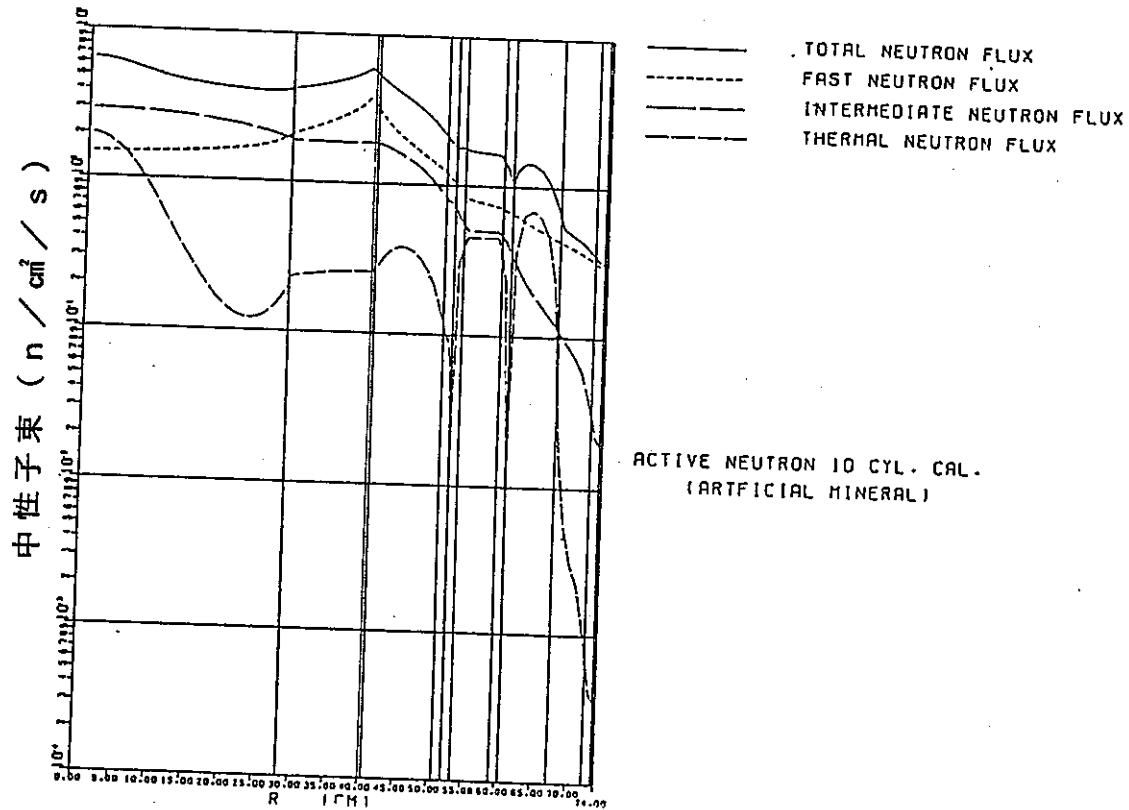
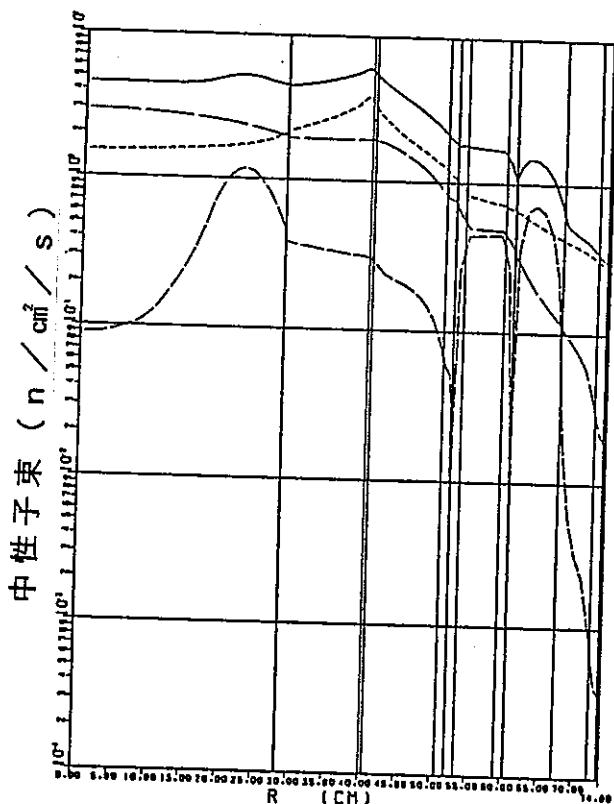


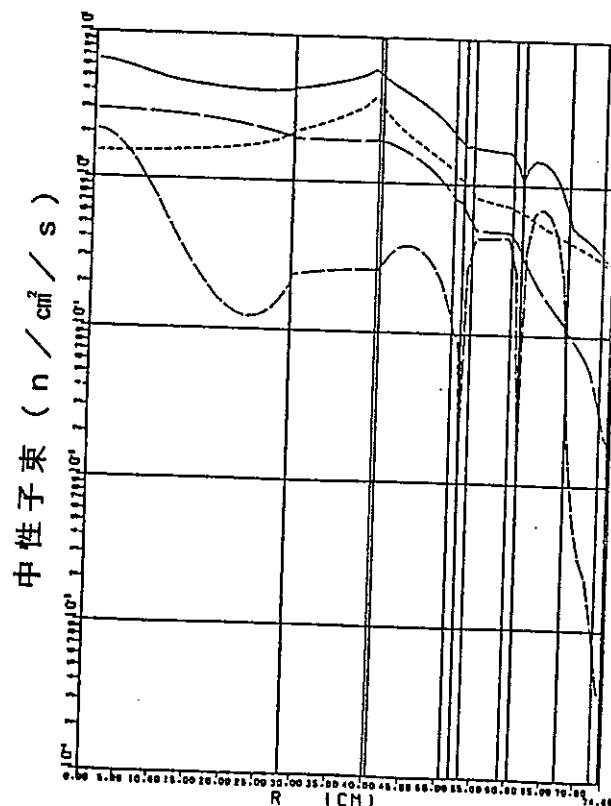
図 2.1.1-4 検出器の筐体の有無に応じた検出器まわりの熱中性子束分布



(a) 収束打切回数 50回



(b) 収束打切回数 100回



(c) 収束打切回数 200回

図 2.1.2-1 人工鉱物における未収束性

(加速器線源での1次元計算, 200ℓ ドラム缶に人工鉱物充填)

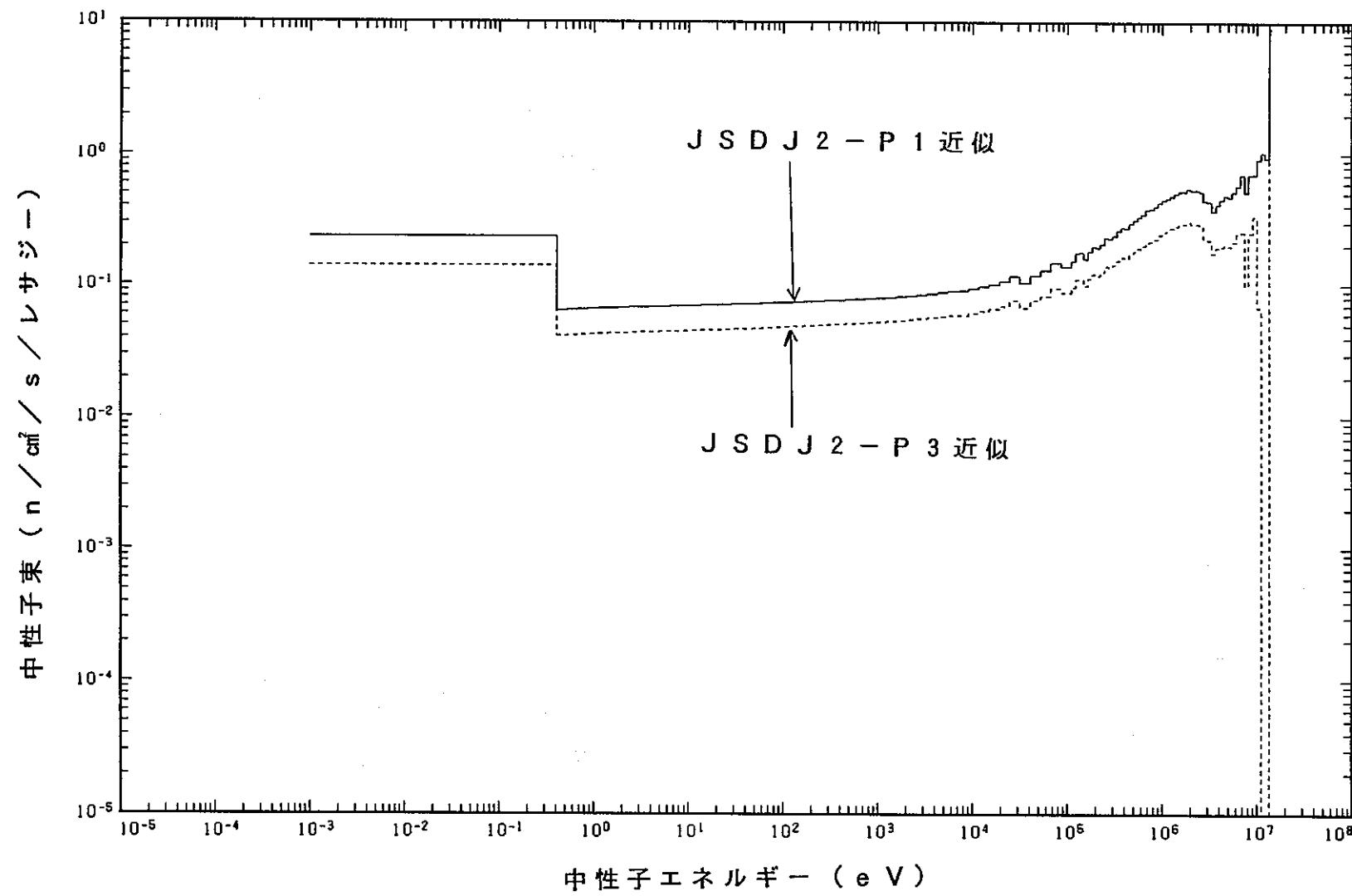


図 2.1.2-2 ANISN-W コードでの解析結果（前年度の加速器線源での 1 次元計算）

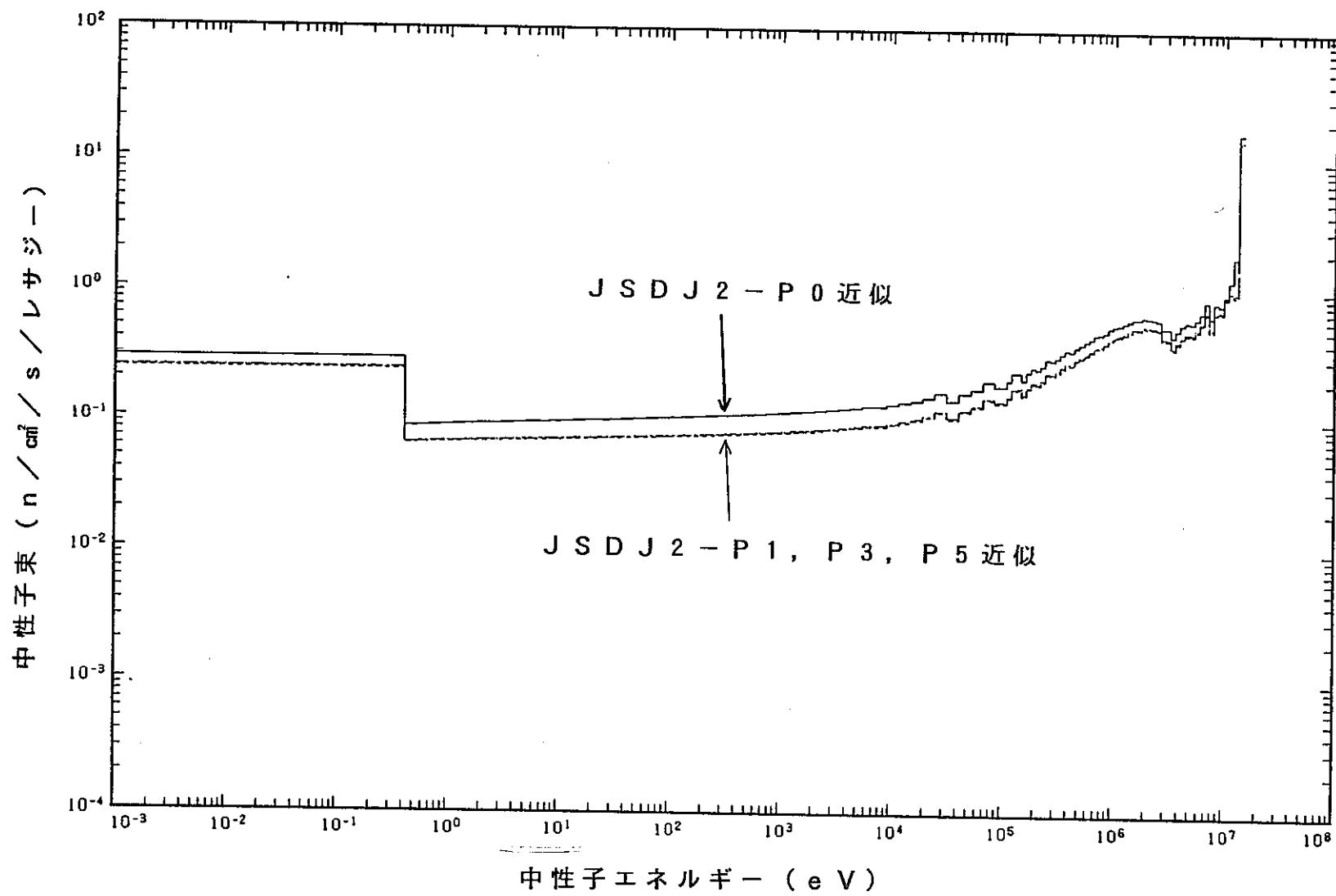


図 2.1.2-3 ANISN-ORNL コードでの解析結果（加速器線源での 1 次元計算）

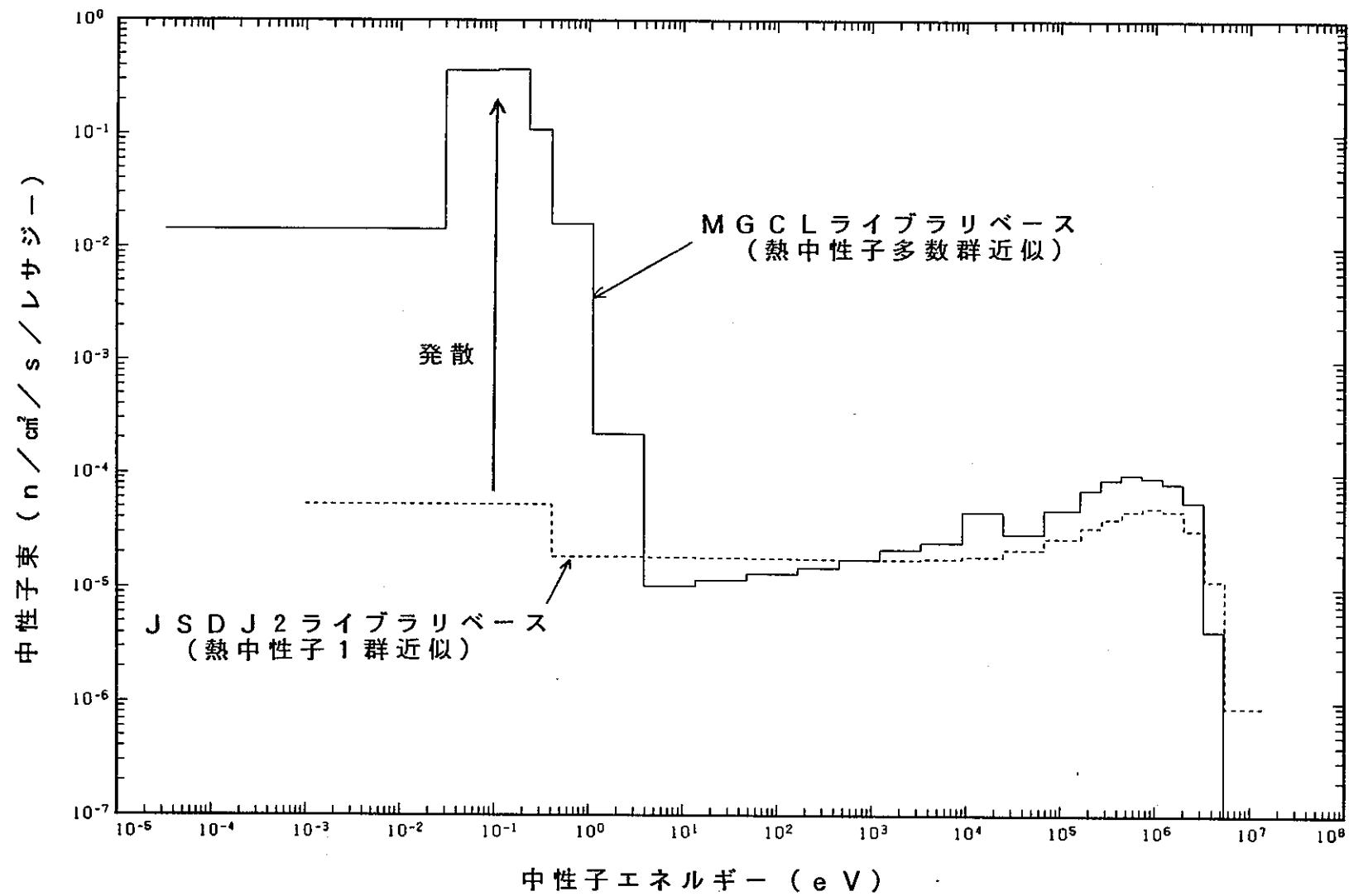


図 2.1.3-1 DOT 3.5 コードでの中性子上方散乱効果解析結果（加速器線源での 2 次元計算）

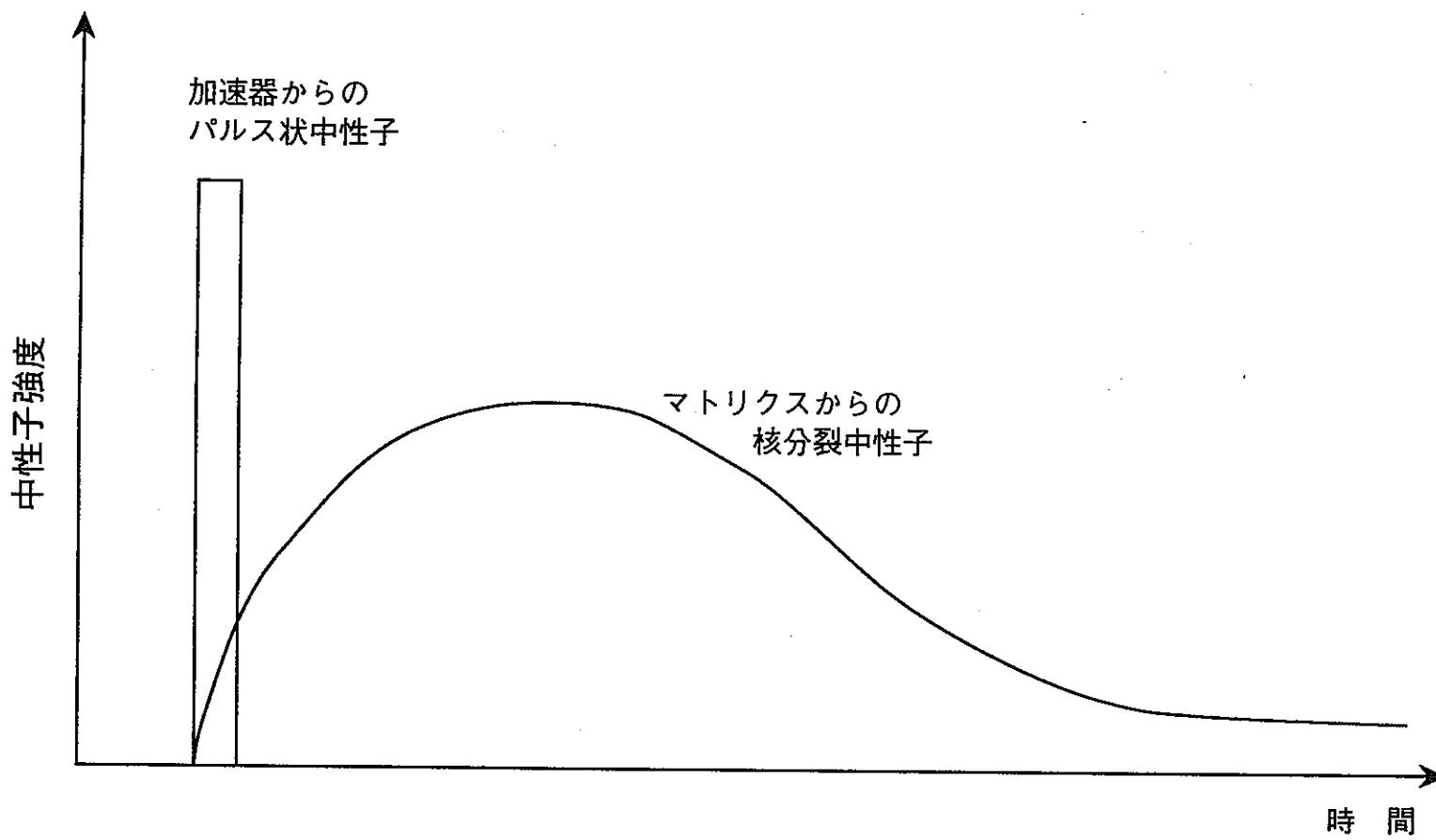


図 2.1.4-1 加速器からのパルス入射中性子とマトリクスからの放出中性子の時間依存性

2.2 核分裂中性子源に対する検討

前節での2次元S n法の適用性検討成果を踏まえ、空ドラム缶、ポリエチレンチューブ、可燃物焼却灰（模擬体）及び人工鉱物（単体）の4種のマトリクスに対し、マトリクス中心にC f -252核分裂中性子源がある場合について2次元S n法による解析を行い、計算値（C）／実験値（E）の比（以下、C／E値と称す）を評価した。

2.2.1 解析手法

検出器内の熱中性子束評価に着目した核分裂中性子源に対する解析手法を設定した。

(1) 解析モデル

解析モデルは2次元R Zモデルを基本とした。

解析にあたっては、マトリクスと検出器の3次元的な位置関係の模擬性を高めるために、図2.2.1-1にその概念を示すように、マトリクス中心軸を中心とした2次元R Z体系での解析結果を用い、検出器中心軸を中心とした2次元R Z体系での解析を行う接続計算モデルを用いた。

(2) 解析主要パラメータ

1次元S n法解析コードANISN-ORNLを用いた場合の解析主要パラメータを表2.2.1-1に示す。本解析は、主に100群程度の多数群断面積データを20～30群程度の少数群断面積データに縮約するための多数群中性子束分布を求めるために実施される。

2次元S n法解析コードDORTを用いた場合の解析主要パラメータを表2.2.1-2に示す。本解析により検出器内の熱中性束が求められる。

本年度の解析では、熱中性子エネルギー領域を1群近似しているJSDDJ2ライブラリに基づく中性子断面積と、熱中性子エネルギー領域を多数群近似しているMGCLライブラリに基づく中性子断面積の2種類を使用した。各ライブラリのエネルギー群構造等を表2.2.1-3及び4に示す。なお、両ライブラリともJENDL-2に準拠しており、熱中性子群数以外は基本的に同一であると考えられる。

注) JSDDJ2ライブラリでは非等方散乱をP3近似、MGCLライブ

ラリではP1近似となるが、解析結果には有意な差は生じない。

(3) 解析の流れ

JSDJ2ライブラリに基づく中性子断面積を用いる場合の解析の流れを図2.2.1-2に示す。

MGCLライブラリに基づく中性子断面積を用いる場合の解析の流れを図2.2.1-3に示す。

解析の流れそのものは両者のライブラリともほぼ共通であり、概要は以下の通りである。

① 多数群実効マクロ断面積の作成

解析で使用する領域分割に応じた個々の物質について、各組成の原子数密度を入力データとし、多数群実効マクロ断面積を物質ごとに作成する。各物質の原子数密度を表2.2.1-5に示す。

〔使用コード〕

JSDJ2ライブラリの場合：RADHEAT

MGCLライブラリの場合：MGCLMAIL

② 多数群実効マクロ断面積ファイル(MOT形式ファイル)の作成

上記①で作成された多数群実効マクロ断面積をCOMMAND-2コード用多数群実効マクロ断面積ファイル(MOT形式ファイル)として編集する。

〔使用コード〕

JSDJ2ライブラリの場合：TPGATHER

MGCLライブラリの場合：簡易プログラム

<<以下は、JSDJ2ライブラリとMGCLライブラリの両者に共通>>

③ 多数群実効マクロ断面積ファイル(GIT形式ファイル)の作成

GIPコードにより、MOT形式の多数群実効マクロ断面積ファイルをANISN-ORNLコード用多数群実効マクロ断面積ファイル(GIT形式ファイル)に変換する。

④ 断面積縮約用中性子束分布計算

上記③で作成されたGIT形式ファイルを用い、線源高さでの径方向体系を考慮し、ANISN-ORNLコードにより、多数群中性子輸送解析

を行い、断面積を少数群に縮約するための、領域ごとの中性子エネルギースペクトルを計算する。計算体系を図2.2.1-4に示す。

⑤ 少数群実効マクロ断面積ファイルの作成（断面積データの縮約）

2次元解析では100群等の多数群解析は計算時間が膨大になるため、20群程度の少数群解析とする必要がある。ここでは、COMMAND-2コードにより、上記③で作成されたMOT形式ファイルから、上記④での領域ごとの中性子エネルギースペクトルのエネルギー分布重みを考慮した少数群実効マクロ断面積ファイル（MOT形式ファイル）を作成する。

さらに、この断面積ファイルを、GIPコードにより、GIT形式ファイルに変換する。

⑥ マトリクス中心軸体系での中性子輸送解析

上記⑤で作成された少数群実効マクロ断面積ファイル（GIT形式ファイル）を用い、DORTコードにより、マトリクス中心軸体系での中性子輸送解析を行い、体系内の中性子束分布及び検出器中心軸体系との接続用の境界角度線束を求め、これを編集して検出器中心軸体系での解析用の外部線源角度束データファイルを作成する。

⑦ 検出器中心軸体系での中性子輸送解析

上記⑥で作成された外部線源角度束を入力データとし、上記⑤で作成された少数群実効マクロ断面積ファイル（GIT形式ファイル）を用いて、DORTコードにより、検出器中心軸体系での中性子輸送解析を行い、検出器領域平均の熱中性子束を求める。

(4) 解析上の留意点

動燃殿のTRU核種測定装置に対する前年度及び今年度の検討成果により、本解析で留意すべき事項は以下のとおりである。

① 計算時間

MGCCLライブラリを用いて上方散乱の効果を考慮した中性子束分布を求めるための計算時間は、収束計算回数が大幅に増加するため、JSDJ2ライブラリを用いた場合の約10倍になる。

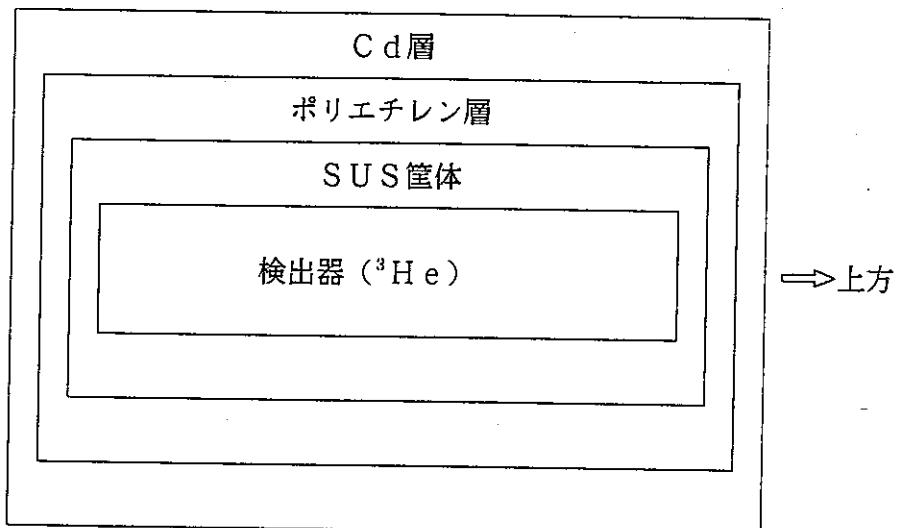
② マトリクス及び黒鉛減速体のモデル化

中性子の散乱・減速挙動を数MeV以上から熱中性子エネルギー領域ま

で精度よく解析することが必要であるため、メッシュ幅を熱中性子の平均自由行程を考慮して、1cm程度として体系を分割するのが適切である。

③ 検出器まわりの構造のモデル化

動燃殿の測定装置に設置された中性子検出器は下図のような構造となっている。



上記構造は、測定装置内の熱外中性子 ($E > 0.414 \text{ eV}$) を以下のようにして測定するためのものである。

Cd層で黒鉛減速体中の熱中性子 ($E \leq 0.414 \text{ eV}$) を吸収



ポリエチレン層で熱外中性子 ($E > 0.414 \text{ eV}$) を減速



^3He 検出器の応答がある熱中性子 ($E \leq 0.414 \text{ eV}$) を生成



^3He 検出器による熱中性子 ($E \leq 0.414 \text{ eV}$) の検出

この構造に対し、2次元RZ体系にモデル化する際には、以下のようなメッシュ分割とすることが適切である。

- Cd容器 (厚さ0.15cm) : 0.15cm / メッシュ (1メッシュ分割)

- ・ポリエチレン層（厚さ 1.3 cm）
: 0.26cm/メッシュ（5 メッシュ分割）

（ただし、1.3 cm/メッシュとしても熱中性子束計算値は数%しか変動しない。）
- ・SUS 壁体（厚さ 0.5 cm）：無視

2.2.2 解析条件

解析条件は以下のとおりである。

[マトリクス]

- ケース 1 : 空ドラム缶
- ケース 2 : ポリエチレン・チューブ
- ケース 3 : 可燃物焼却灰（模擬体）
- ケース 4 : 人工鉱物（単体）

[マトリクス中心軸体系と検出器中心軸体系との接続面]

- 径方向 : マトリクス中心軸から半径44.665cm
- 高さ方向 : マトリクス中心高さから-54.837cm

[線源]

- 種類 : Cf-252核分裂線源 (1 n/s)
- 位置 : マトリクス中心

[その他の解析パラメータ等]

表2.2.1-1 及び表2.2.1-2 参照

2.2.3 解析結果

解析結果を以下のように示す。

- ① 1次元解析での径方向中性子束分布 : 図2.2.3-1
- ② 2次元マトリクス中心軸体系での熱中性子束分布 : 図2.2.3-2
- ③ 2次元検出器中心軸体系での熱中性子束分布 : 図2.2.3-3

注) 上記の各図には JSJDJ2 ライブドライブの結果のみ示した。Appendix 3 には、上記のデータも含め、核分裂中性子源に対する解析結果をまとめた。

上図の種々のエネルギー領域での中性子束分布より、動燃殿測定装置内での中性子挙動の特徴をまとめると、以下のようなになる。

(a) マトリクス内の熱中性子束分布の形成

図2.2.3-1及び図2.2.3-2より、水素を多く含有するポリエチレンチューブ以外のマトリクスについては、マトリクス内での熱中性子束分布が空ドラム缶の場合のようにほぼ平坦であることがわかる。

これより、ポリエチレン・チューブ以外のマトリクス内の熱中性子束場は、 Cf-252 線源から放出された核分裂中性子がマトリクス自身で減速されて形成されるのではなく、黒鉛減速体に到達した核分裂中性子が黒鉛減速体内で熱中性子エネルギー領域まで減速され、その中性子がマトリクス内に「浸透」して形成されるものと考えられる。

(b) 検出器まわりの熱中性子挙動

図2.2.3-1及び図2.2.3-3より、検出器まわりのCd層外で熱中性子エネルギー領域まで減速された中性子は、検出器まわりのCd層でほぼ全て吸収されることがわかる。これより、検出器内に到達する熱中性子はCd層-検出器の間のポリエチレン層にて減速され、熱中性子になったものであることが明らかである。

このことより、検出器の応答はCd層-検出器の間のポリエチレン層の厚さの影響が大きいものと予想される。

(c) C/E値の評価

解析結果に基づき、動燃殿の測定装置にて各種マトリクス中心に Cf-252 線源を置いたときの検出器計算率の計算結果(C)と測定結果(E)と比較し、表2.2.4-1にC/E値としてまとめた。

同表より、解析モデル、マトリクスの種類及び熱中性子の取扱い(1群近似か多数群近似かの相違)に応じたC/E値の傾向を整理すると以下のようになる。

① マトリクス中心軸体系のみでのC/E値

マトリクス中心軸体系のみの解析で得られたC/E値は0.85~2.0の範囲である。

熱中性子エネルギー領域を1群近似したJSDDJ2ライブラリでの評価で

は 1.51 ± 0.41 であり、熱中性子エネルギー領域を8群近似したM G C Lライ
ブリでの評価では 1.39 ± 0.34 であり、熱中性子エネルギー領域の多数群化
によるC/E値の向上が得られている。

② マトリクス中心軸体系－検出器中心軸体系の接続計算でのC/E値

マトリクス中心軸体系－検出器中心軸体系の接続計算の解析で得られた
C/E値は2.8～6.6の範囲である。

熱中性子エネルギー領域を1群近似したJ S D J 2ライブリでの評価では
 5.00 ± 1.15 であり、熱中性子エネルギー領域を8群近似したM G C Lライ
ブリでの評価では 4.51 ± 1.05 であり、熱中性子エネルギー領域の多数群化
によるC/E値の向上が得られている。

2.2.4 評価

以上の解析結果より、核分裂中性子線源に対する2次元S n法の適用性について評価すると以下の結果となる。

(1) 解析モデル

マトリクス中心軸体系のみの解析の方が1.0に近いC/E値を与える結果とな
った。しかしながら、マトリクス中心軸体系のみの解析ではマトリクス物質
の中性子減速能により、1.0をはさんでC/E値が変化している。すなわち、
ポリエチレンチューブ等の中性子減速能が高い物質では解析値が過大評価とな
るが、可燃物焼却灰等の中性子減速能が低い物質では解析値が過小評価となる
傾向にある。

一方、マトリクス中心軸体系－検出器中心軸体系の接続計算では、マトリク
ス物質に依らず一様に解析値が過大評価になる。

いづれの解析モデルであっても、C/E値に対する相対誤差は約25%である。

以上の結果より、マトリクスの種類によって過大評価と過小評価が混在する
マトリクス中心軸体系のみの解析より、マトリクスの種類によらず常に一定の
傾向にあるマトリクス中心軸体系－検出器中心軸体系の接続計算の方がより安
定した解が得られ、T R U核種測定装置の解析に適していると判断される。

(2) 热中性子の取扱い

熱中性子エネルギー領域を多数群近似した場合、マトリクス中心軸体系－検

出器中心軸体系の接続計算では、 C/E 値は約10%改善された。

いづれの解析モデルであっても、 C/E 値に対する相対誤差は約25%である。

しかしながら、解析に要した計算時間は約10倍となった。

のことより、熱中性子エネルギー領域を多数群近似したM G C L ライブリによる解析の方が解析精度の点からは優れているが、計算時間を考慮した場合、熱中性子エネルギー領域を1群近似したJ S D J 2 ライブリによる解析でも、解析の対象とした4種類のマトリクス物質の中性子減速能の範囲では、特に問題はないものと判断される。

表2.2.1-1 核分裂線源に対する1次元S_n計算の主要パラメータ

項目	計算手法及び計算条件
計算コード	ANISN-ORNL
計算体系	1次元無限円筒体系 人工鉱物以外のマトリクス：図2.2.1-4 人工鉱物 : 図2.2.1-5
核定数ライブラリ	①JSDJ2ライブラリの100群断面積（エネルギー群構造及び核分裂スペクトルは表2.2.1-3参照） ②MGCLライブラリの100群断面積（エネルギー群構造及び核分裂スペクトルは表2.2.1-4参照）
角度分点数	S 6分点
非等方散乱近似	①JSDJ2ライブラリ P 3近似 ②MGCLライブラリ P 1近似
線源条件	マトリクス中心に Cf-252 単位線源
境界条件	左：反射 右：真空
収束判定条件	各メッシュ点の中性子束の最大誤差が0.1%以下 (収束回数が50回を超えた場合は未収束)
原子数密度	表2.2.1-5

表2.2.1-2 核分裂線源に対する2次元S_n計算の主要パラメータ

項目	マトリクス中心軸体系	検出器中心軸体系
使用計算コード	DORT	
計算体系	2次元RZ体系 人工鉱物以外のマトリクス :図2.1.1-1 人工鉱物 :図2.2.1-6	2次元RZ体系 (図2.1.1-2)
線源・境界条件 	左 側:反射 右 側:真空 下 側:真空 上 側:真空 線 源:マトリクス中心に Cf -252核分裂線源	左 側:反射 右 側:境界線束 下 側:境界線束 上 側:真空
接続面位置	径方向 マトリクス中心軸体系の半径 44.665cm 軸方向 マトリクス中心高さより-54.837cm (検出器中心軸体系では右側及び下側境界に対応)	
核定数ライブラリ	①JSDJ2ライブラリに基づく中性子21群 (エネルギー群構造及び核分裂スペクトルは表2.2.1-3参照) ②MGCLライブラリに基づく中性子30群 (エネルギー群構造及び核分裂スペクトルは表2.2.1-4参照)	
非等方散乱近似	①JSDJ2ライブラリ P3近似 ②MGCLライブラリ P1近似	
S _n 分点	対称S30	
収束判定	各メッシュ点の中性子束の最大誤差が0.1%以下 (収束回数が50回を超えた場合は未収束)	

表 2. 2. 1 - 3 J S D J 2 ライブリの中性子エネルギー群構造及び核分裂スペクトル

エネルギー群No		上限エネルギー	核分裂スペクトル	
21群	100群		21群	100群
1	1	14.918 MeV	3.78292×10^{-2}	5.06229×10^{-3}
	2	13.499		1.35050×10^{-4}
	3	12.214		3.21495×10^{-4}
	4	11.052		6.90659×10^{-4}
	5	10.000		1.35263×10^{-3}
	6	9.0484		2.43730×10^{-3}
	7	8.1873		4.07443×10^{-3}
	8	7.4082		6.36675×10^{-3}
	9	6.7032		9.36280×10^{-3}
	10	6.0653		1.30375×10^{-2}
2	11	5.4881	1.33309×10^{-1}	1.72855×10^{-2}
	12	4.9659		2.19298×10^{-2}
	13	4.4933		2.67425×10^{-2}
	14	4.0657		3.14732×10^{-2}
	15	3.6788		3.58784×10^{-2}
3	16	3.3287	2.22236×10^{-1}	3.97465×10^{-2}
	17	3.0119		4.29157×10^{-2}
	18	2.7253		4.52827×10^{-2}
	19	2.4660		4.68036×10^{-2}
	20	2.2313		4.74876×10^{-2}
4	21	2.0190	2.23564×10^{-1}	4.73876×10^{-2}
	22	1.8268		4.65881×10^{-2}
	23	1.6530		4.51938×10^{-2}
	24	1.4957		4.33183×10^{-2}
	25	1.3534		4.10760×10^{-2}
5	26	1.2246	1.65840×10^{-1}	3.85751×10^{-2}
	27	1.1080		3.59135×10^{-2}
	28	1.0026		3.31759×10^{-2}
	29	907.18 eV		3.04331×10^{-2}
	30	820.85		2.77419×10^{-2}
6	31	742.74	1.02593×10^{-1}	2.51461×10^{-2}
	32	672.06		2.26774×10^{-2}
	33	608.16		2.03577×10^{-2}
	34	550.23		1.82002×10^{-2}
	35	497.87		1.62111×10^{-2}
7	36	450.49	5.69686×10^{-2}	1.43912×10^{-2}
	37	407.62		1.27373×10^{-2}
	38	368.83		1.12429×10^{-2}
	39	333.73		9.89959×10^{-3}
	40	301.97		8.69762×10^{-3}
8	41	273.24	2.96600×10^{-2}	7.62641×10^{-3}
	42	247.24		6.67515×10^{-3}
	43	223.71		5.83311×10^{-3}
	44	202.42		5.08985×10^{-3}
	45	183.16		4.43544×10^{-3}

エネルギー群No		上限エネルギー	核分裂スペクトル	
21群	100群		21群	100群
9	46	165.73 keV	2.10630×10^{-2}	3.86058×10^{-3}
	47	149.96		3.35661×10^{-3}
	48	135.69		2.91560×10^{-3}
	49	122.77		2.53031×10^{-3}
	50	111.09		4.94852×10^{-3}
	51	86.617		3.45139×10^{-3}
	52	67.379	6.01022×10^{-3}	2.39936×10^{-3}
	53	52.475		1.66378×10^{-3}
	54	40.868		1.15144×10^{-3}
	55	31.828		7.95643×10^{-4}
11	56	24.788	9.27782×10^{-4}	5.49134×10^{-4}
	57	18.305		3.78648×10^{-4}
	58	15.034		0.0
	59	11.709		0.0
12	60	9.1188	0.0	0.0
	61	7.1017		0.0
	62	5.5308		0.0
	63	4.3074		0.0
13	64	3.3546	0.0	0.0
	65	2.6126		0.0
	66	2.0347		0.0
	67	1.5846		0.0
14	68	1.2341	0.0	0.0
	69	961.12 eV		0.0
	70	748.52		0.0
	71	582.95		0.0
15	72	454.00	0.0	0.0
	73	353.57		0.0
	74	275.36		0.0
	75	214.45		0.0
16	76	167.02	0.0	0.0
	77	130.07		0.0
	78	101.30		0.0
	79	78.893		0.0
17	80	47.851	0.0	0.0
	81	37.267		0.0
	82	29.023		0.0
	83	22.603		0.0
	84	17.603		0.0

エネルギー群No		上限エネルギー	核分裂スペクトル	
21群	100群		21群	100群
18	86	13.710 eV	0.0	0.0
	87	10.677		0.0
	88	8.3153		0.0
	89	6.4760		0.0
	90	5.0435		0.0
19	91	3.9279	0.0	0.0
	92	3.0590		0.0
	93	2.3824		0.0
	94	1.8554		0.0
	95	1.4450		0.0
20	96	1.1254	0.0	0.0
	97	0.87642		0.0
	98	0.68256		0.0
	99	0.53158		0.0
21	100	0.41399	0.0	0.0

最下限エネルギーは 0.001 eV

表 2.2.1-4 MGCLライブリの中性子エネルギー一群構造及び核分裂スペクトル

エネルギー群No 30群	上限エネルギー 137群	核分裂スペクトル	
		30群	137群
1	1	16.487MeV	5.18082×10^{-2}
	2	14.550	
	3	12.840	
	4	11.331	
	5	10.000	
	6	8.825	
	7	7.788	
	8	6.8729	
2	9	6.0653	2.14378×10^{-1}
	10	5.3526	
	11	4.7239	
	12	4.1686	
	13	3.6788	
	14	3.2465	
	15	2.8650	
3	16	2.5284	3.32380×10^{-1}
	17	2.2313	
	18	1.9691	
	19	1.7377	
	20	1.5335	
	21	1.3533	
4	22	1.1943	2.27542×10^{-1}
	23	1.0540	
	24	930.14keV	
	25	820.85	
	26	724.40	
	27	639.28	
5	28	564.16	1.09775×10^{-1}
	29	497.87	
	30	439.37	
	31	387.74	
	32	342.18	
	33	301.97	
6	34	266.49	4.13244×10^{-2}
	35	235.18	
	36	207.54	
	37	183.16	
	38	161.63	
	39	142.64	
7	40	125.88	1.53730×10^{-2}
	41	111.09	
	42	98.037	
	43	86.517	
	44	76.351	
8	45	67.379	5.25372×10^{-2}
	46	59.462	
	47	52.475	
	48	46.309	
	49	40.868	
	50	36.066	

エネルギー群No 30群	上限エネルギー 137群	核分裂スペクトル	
		30群	137群
9	51	31.828keV	1.73242×10^{-3}
	52	28.088	
	53	24.788	
	54	21.875	
	55	19.305	
	56	17.036	
10	57	15.034	3.05585×10^{-4}
	58	11.709	
	59	9.1188	
11	60	7.1017	1.01078×10^{-4}
	61	5.5308	
	62	4.3075	
12	63	3.3546	3.22039×10^{-5}
	64	2.6126	
	65	2.0347	
13	66	1.5846	0.0
	67	1.2341	
	68	961.12eV	
14	69	748.52	0.0
	70	582.95	
	71	454.00	
15	72	353.58	0.0
	73	275.36	
	74	214.45	
16	75	167.02	0.0
	76	130.07	
	77	101.30	
17	78	78.893	0.0
	79	61.442	
	80	47.851	
18	81	37.267	0.0
	82	29.023	
	83	22.603	
19	84	17.603	0.0
	85	13.710	
	86	10.677	
20	87	8.3153	0.0
	88	6.4760	
	89	5.0435	
21	90	3.9279	0.0
	91	3.0590	
	92	2.3824	

エネルギー群No 30群	上限エネルギー 137群	核分裂スペクトル	
		30群	137群
22	93	1.8554eV	0.0
	94	1.6374	
	95	1.4450	
	96	1.2752	
	97	1.1254	
	98	0.99312	
23	99	0.87642	0.0
	100	0.77344	
	101	0.68256	
	102	0.60236	
	103	0.53158	
24	104	0.46912	0.0
	105	0.41399	
	106	0.38925	
	107	0.36528	
	108	0.34206	
25	109	0.31961	0.0
	110	0.29792	
	111	0.27699	
	112	0.25683	
	113	0.23742	
	114	0.21871	
26	115	0.20090	0.0
	116	0.18378	
	117	0.16743	
	118	0.15183	
	119	0.13700	
27	120	0.12293	0.0
	121	0.10962	
	122	0.09708	0.0
	123	0.085295	
28	124	0.074274	0.0
	125	0.064015	
	126	0.054518	
	127	0.045783	0.0
29	128	0.037811	
	129	0.030600	
	130	0.024152	0.0
30	131	0.018465	
	132	0.013541	
	133	0.009379	0.0
31	134	0.005979	
	135	0.003341	
	136	0.001466	
	137	0.000352	0.0

最下限エネルギーは 0.000033eV

表2.2.1—5 計算に用いた各物質の原子数密度 (1/2)

[単位: 10^{24} atoms/cm³]

物質 核種	空 気 (0.0012g/cm ³)	発泡ポリエチレン (0.135g/cm ³)	ポリエチレンチューブ (0.231g/cm ³)	ポリエチレンベレット (0.554g/cm ³)	アスファルト固化体 (1.02 g/cm ³)	スチールワール (密度低) (0.143g/cm ³)	スチールワール (密度中) (0.214g/cm ³)	スチールワール (密度高) (0.429g/cm ³)	人工鉱物 (2.4g/cm ³)
H		8.953×10^{-3}	2.098×10^{-2}	4.780×10^{-2}	6.825×10^{-2}				
C		4.420×10^{-3}	9.775×10^{-3}	2.376×10^{-2}	4.367×10^{-2}	1.075×10^{-5}	1.609×10^{-5}	3.226×10^{-5}	
N	3.962×10^{-5}	4.063×10^{-5}			1.754×10^{-4}				
O	1.048×10^{-5}	6.504×10^{-4}							4.200×10^{-2}
Mg									1.136×10^{-2}
Al									2.732×10^{-3}
Si									1.215×10^{-2}
Ca			2.049×10^{-4}						7.429×10^{-4}
Cr									
Mn						1.536×10^{-5}	2.299×10^{-5}	4.609×10^{-5}	
Fe						1.522×10^{-3}	2.278×10^{-3}	4.566×10^{-3}	9.420×10^{-4}
Ni									
B ¹⁰									
B ¹¹									
Cd									
備考		灰分14.2W/Oは CaOで代表			S 3.8W/OはCに 加えた				

表2.2.1—5 計算に用いた各物質の原子数密度 (2/2)

(単位: 10^{24} atoms/cm³)

物質 核種	金属塊 (7.5g/cm ³)	炭素鋼 (7.84 g/cm ³)	アルミニウム (2.69 g/cm ³)	黒鉛 (1.73 g/cm ³)	ポリエチレン (0.934g/cm ³)	和含有利エチレン (1.05 g/cm ³)	Cd (8.64 g/cm ³)	検出器筐体 (SUS304) (7.93 g/cm ³)	可燃物焼却灰 (模擬体) (0.558g/cm ³)
H									
C	2.707×10^{-4}								
N									
O									
Mg									
Al									
Si	1.447×10^{-3}								
Ca									
Cr	1.485×10^{-2}								
Mn	1.480×10^{-3}								
Fe	5.819×10^{-2}								
Ni	6.234×10^{-3}								
B ¹⁰									
B ¹¹									
Cd							4.629×10^{-2}		
備考				密度は1.70～ 1.76の平均値	密度は0.918と 0.95の平均値	密度はFBR原 型炉を参考に設 定。(B-10存 在比: 19.8%)			

表2.2.3-1 核分裂中性子源に対する2次元S n法によるC/E値評価結果

(a) J S D J 2ライブラリーによる計算値と測定値によるC/E値

マトリクス	計算体系	規格化熱中性子束計算値 (n/sqcm/s/n/s)	計数管感度 (計数/nv)	計数管本数	C 規格化計数計算値 (CPS/n/s)	E 規格化計数測定値 (CPS/n/s)	C/E
空ドラム缶	ドラム缶中心軸	1.94E-05	147	12	3.41E-02	1.71E-02	1.99
	検出器中心軸	6.42E-05	147	12	1.13E-01	1.71E-02	6.60
ポリエチレン	ドラム缶中心軸	5.80E-06	147	12	1.02E-02	1.19E-02	0.86
	検出器中心軸	2.41E-05	147	12	4.25E-02	1.19E-02	3.56
人工鉱物	ドラム缶中心軸	2.20E-05	147	12	3.88E-02	2.45E-02	1.58
	検出器中心軸	6.04E-05	147	12	1.07E-01	2.45E-02	4.35
模擬焼却灰	ドラム缶中心軸	2.10E-05	147	12	3.70E-02	2.29E-02	1.61
	検出器中心軸	7.12E-05	147	12	1.26E-01	2.29E-02	5.48

(b) M G C Lライブラリーによる計算値と測定値によるC/E値

マトリクス	計算体系	規格化熱中性子束計算値 (n/sqcm/s/n/s)	計数管感度 (計数/nv)	計数管本数	C 規格化計数計算値 (CPS/n/s)	E 規格化計数測定値 (CPS/n/s)	C/E
空ドラム缶	ドラム缶中心軸	1.75E-05	147	12	3.09E-02	1.71E-02	1.81
	検出器中心軸	5.57E-05	147	12	9.83E-02	1.71E-02	5.74
ポリエチレン	ドラム缶中心軸	5.79E-06	147	12	1.02E-02	1.19E-02	0.85
	検出器中心軸	1.92E-05	147	12	3.39E-02	1.19E-02	2.84
人工鉱物	ドラム缶中心軸	2.00E-05	147	12	3.53E-02	2.45E-02	1.44
	検出器中心軸	6.49E-05	147	12	1.15E-01	2.45E-02	4.68
模擬焼却灰	ドラム缶中心軸	1.90E-05	147	12	3.36E-02	2.29E-02	1.46
	検出器中心軸	6.21E-05	147	12	1.10E-01	2.29E-02	4.78

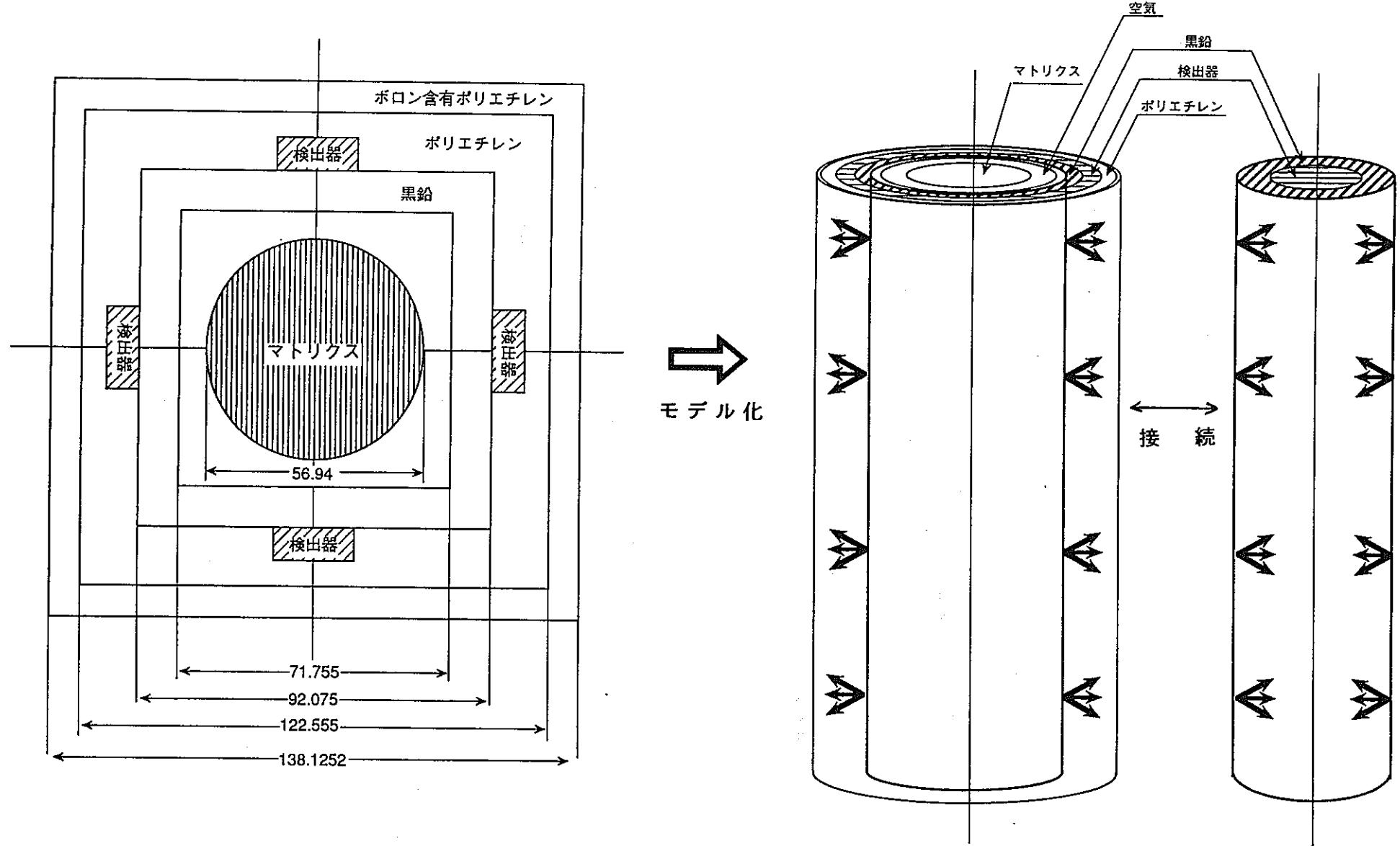


図 2.2.1-1 2次元Sn法の解析におけるマトリクス中心軸体系と検出器中心軸体系の接続計算の概念

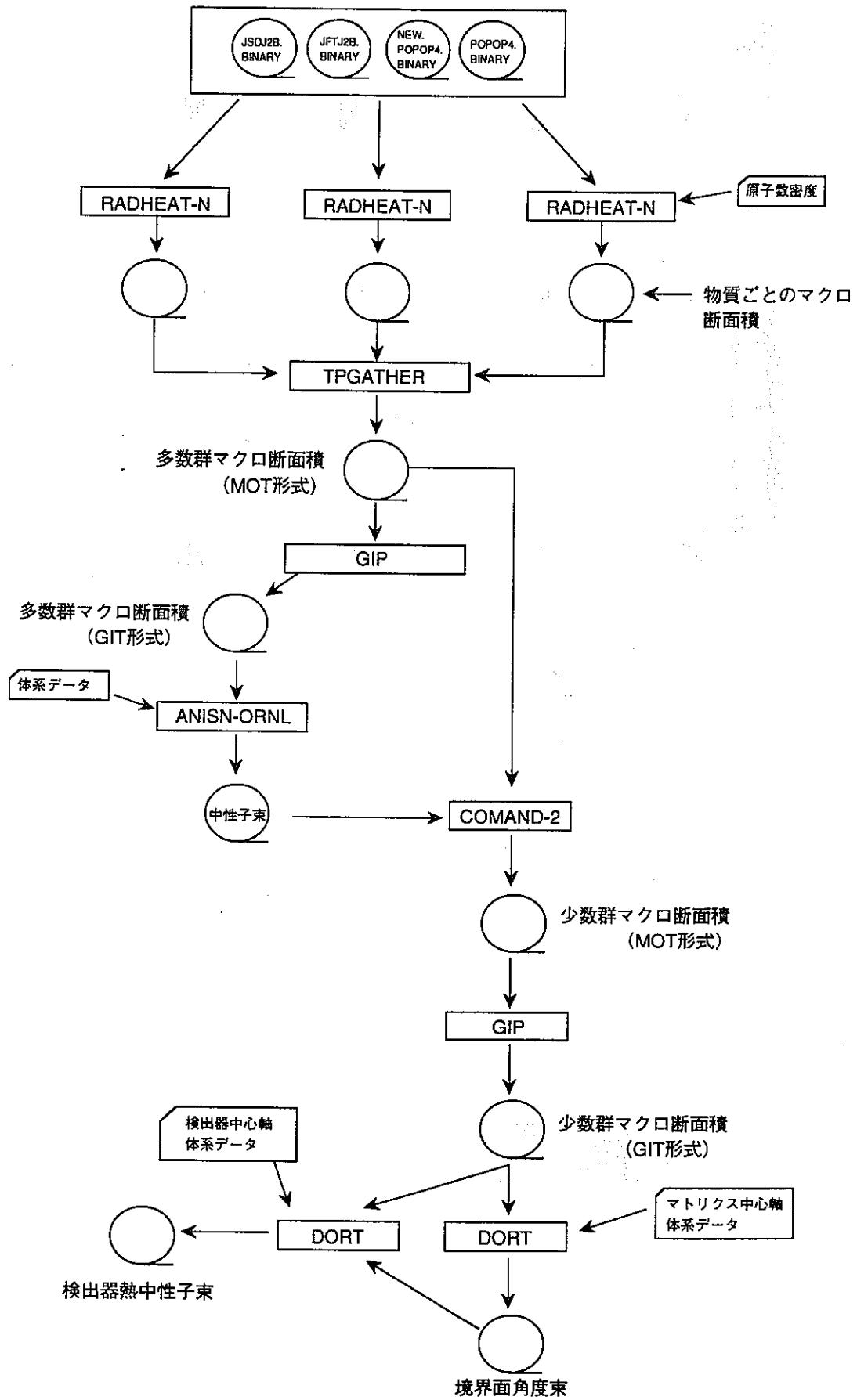


図2.2.1-2 核分裂中性子源に対する解析の流れ (J S D J 2 ライブライ)

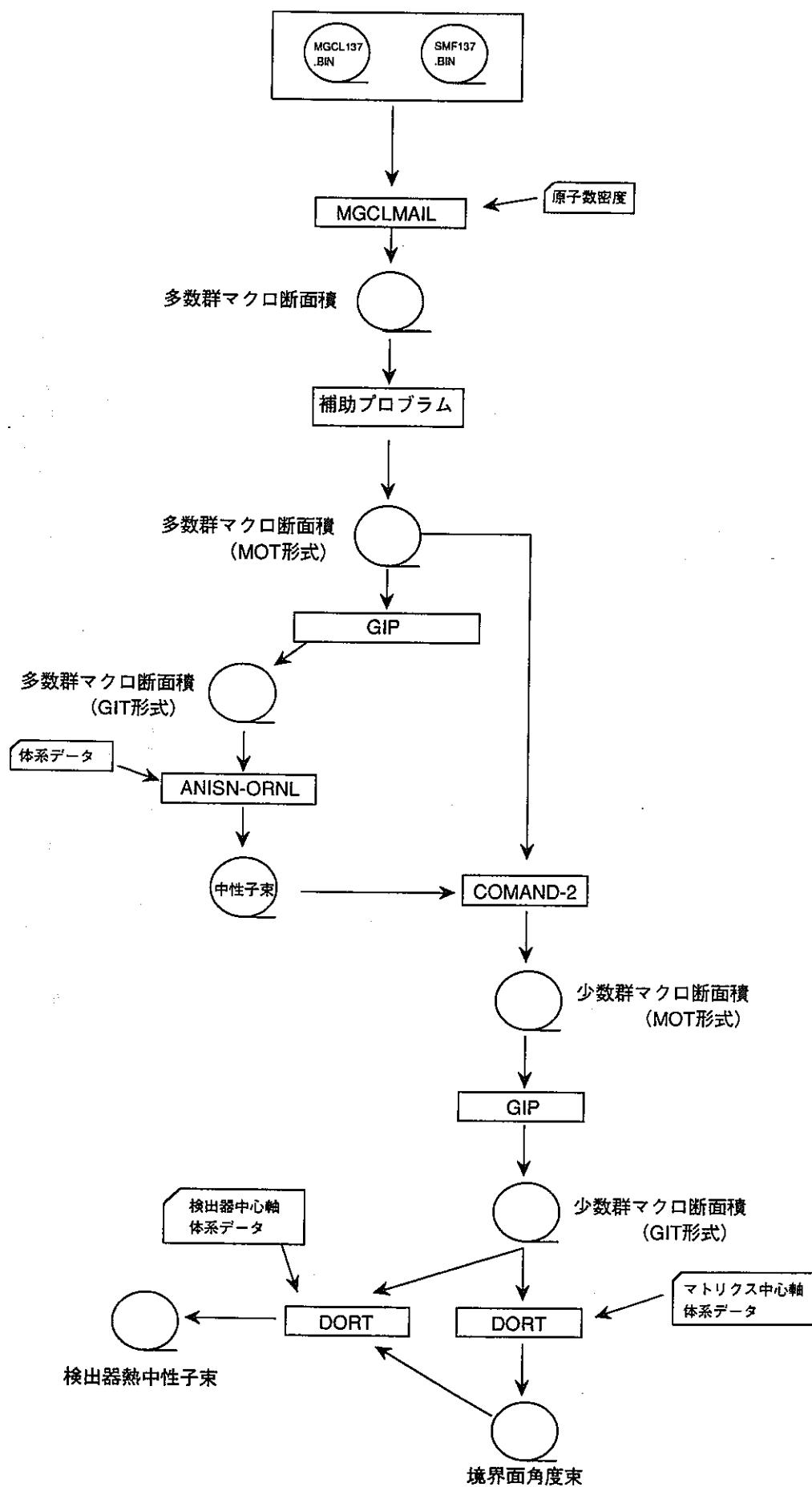


図2.2.1-3 核分裂中性子源に対する解析の流れ (MGCLライブラリ)

第1メッシュ
核分裂線源

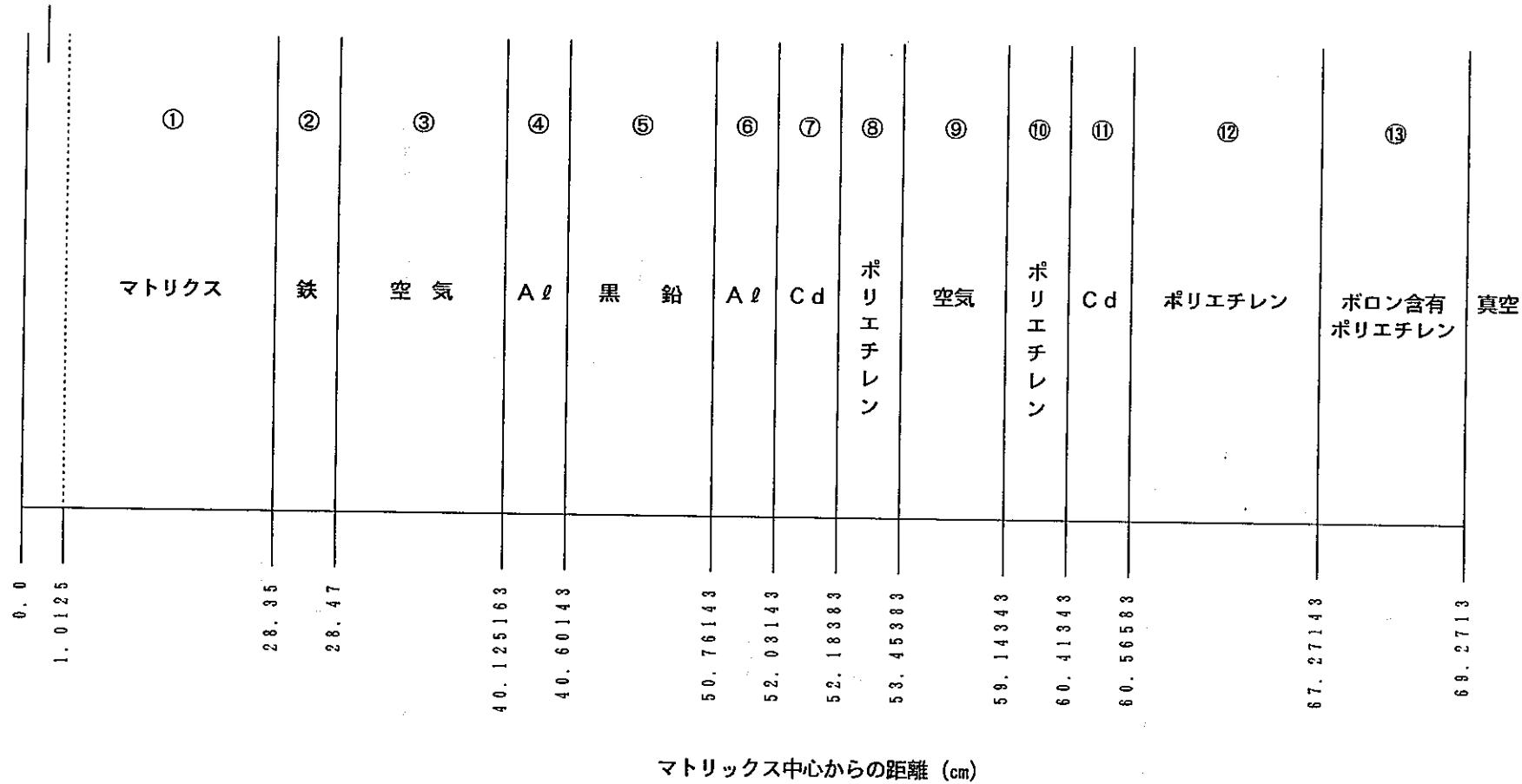


図2.2.1-4 核分裂線源での人工鉱物以外のマトリクスに対する1次元解析体系

第1メッシュ
核分裂線源

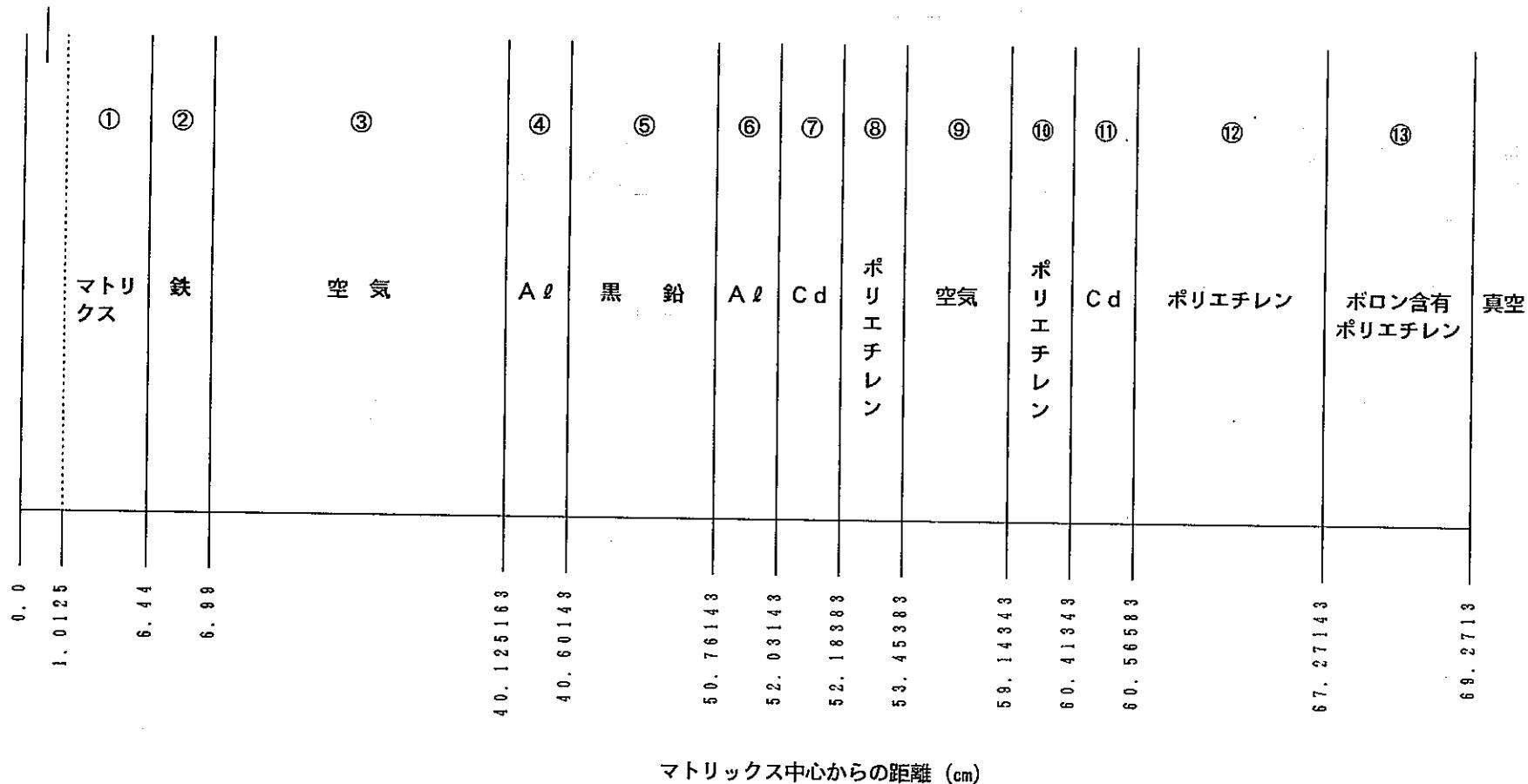


図2.2.1-5 核分裂線源での人工鉱物（単体）に対する1次元解析体系

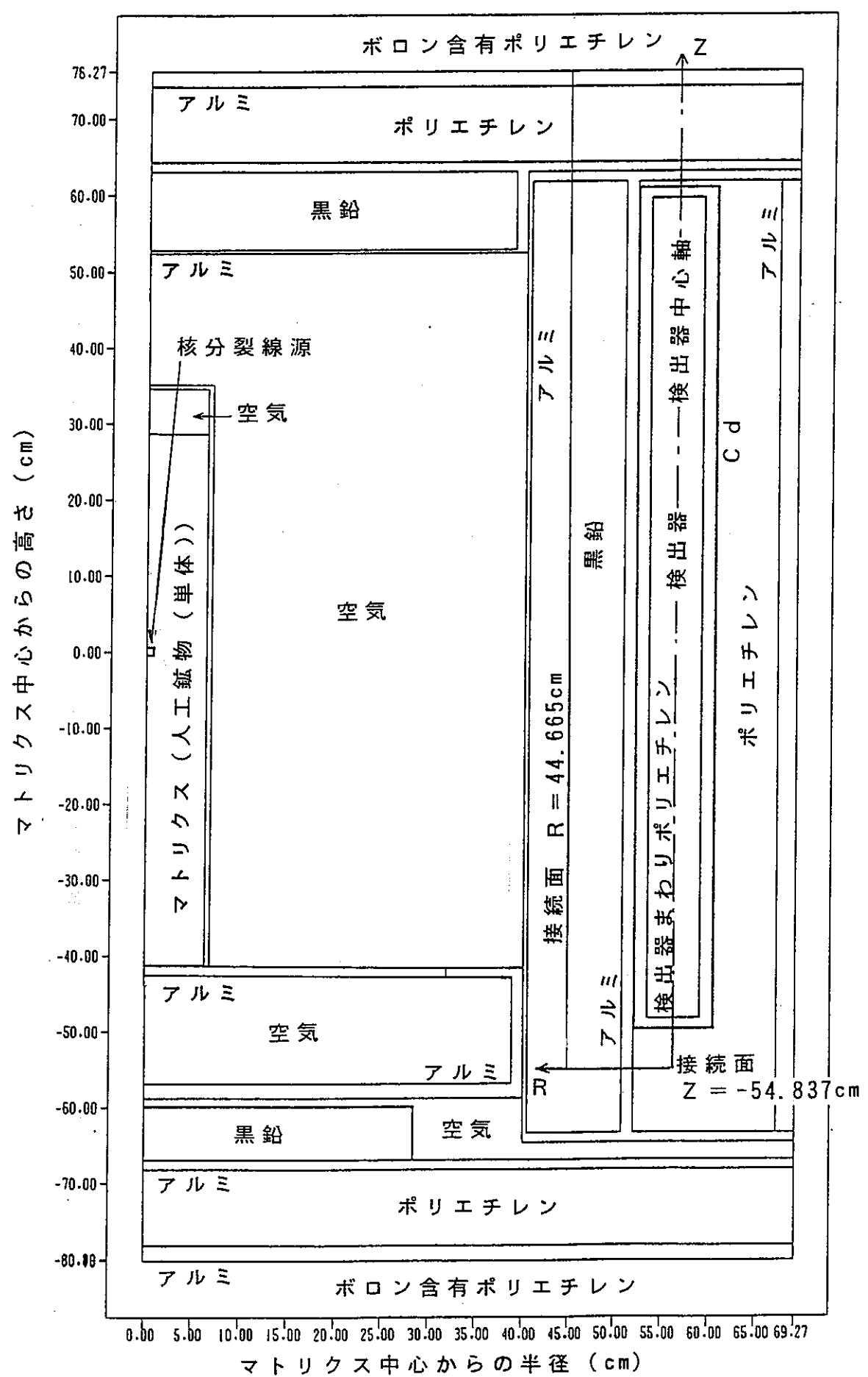
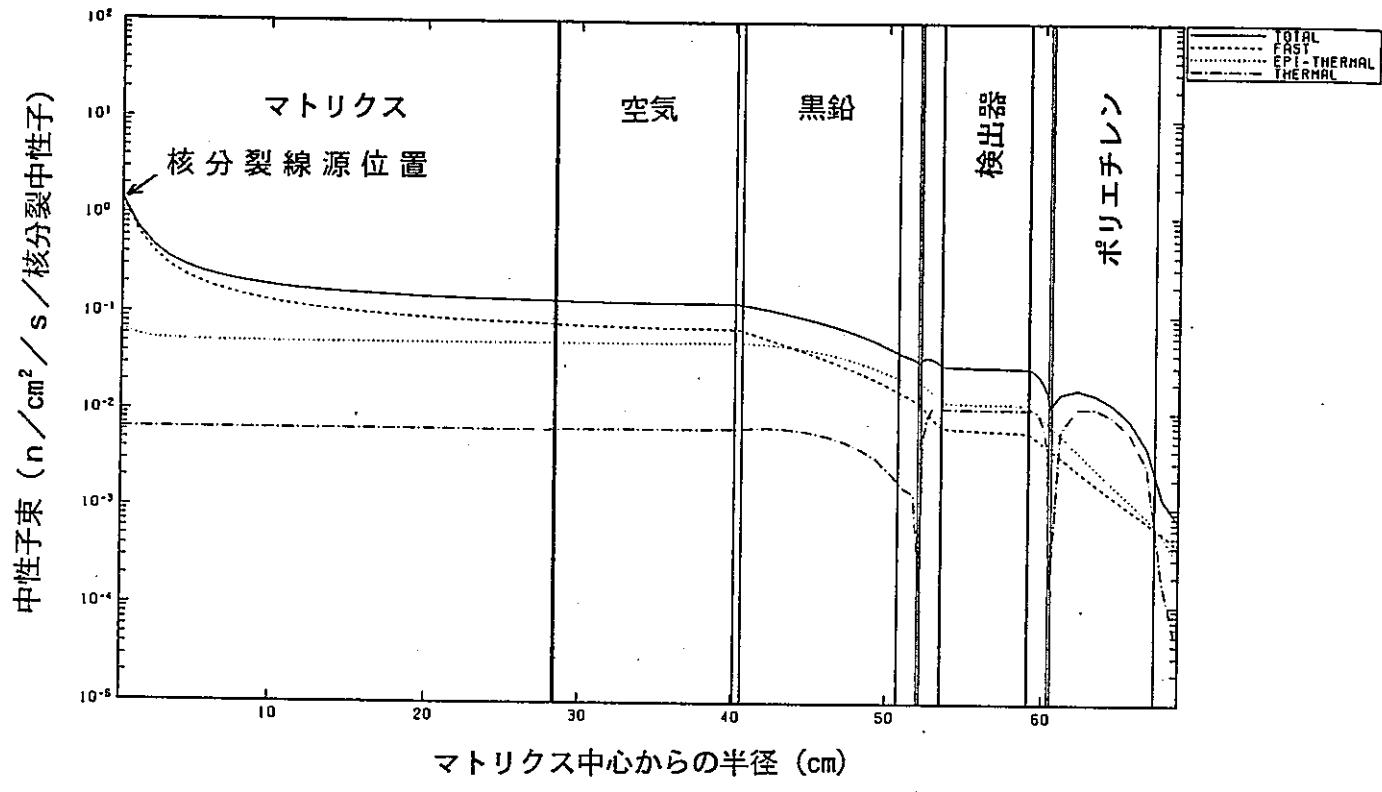
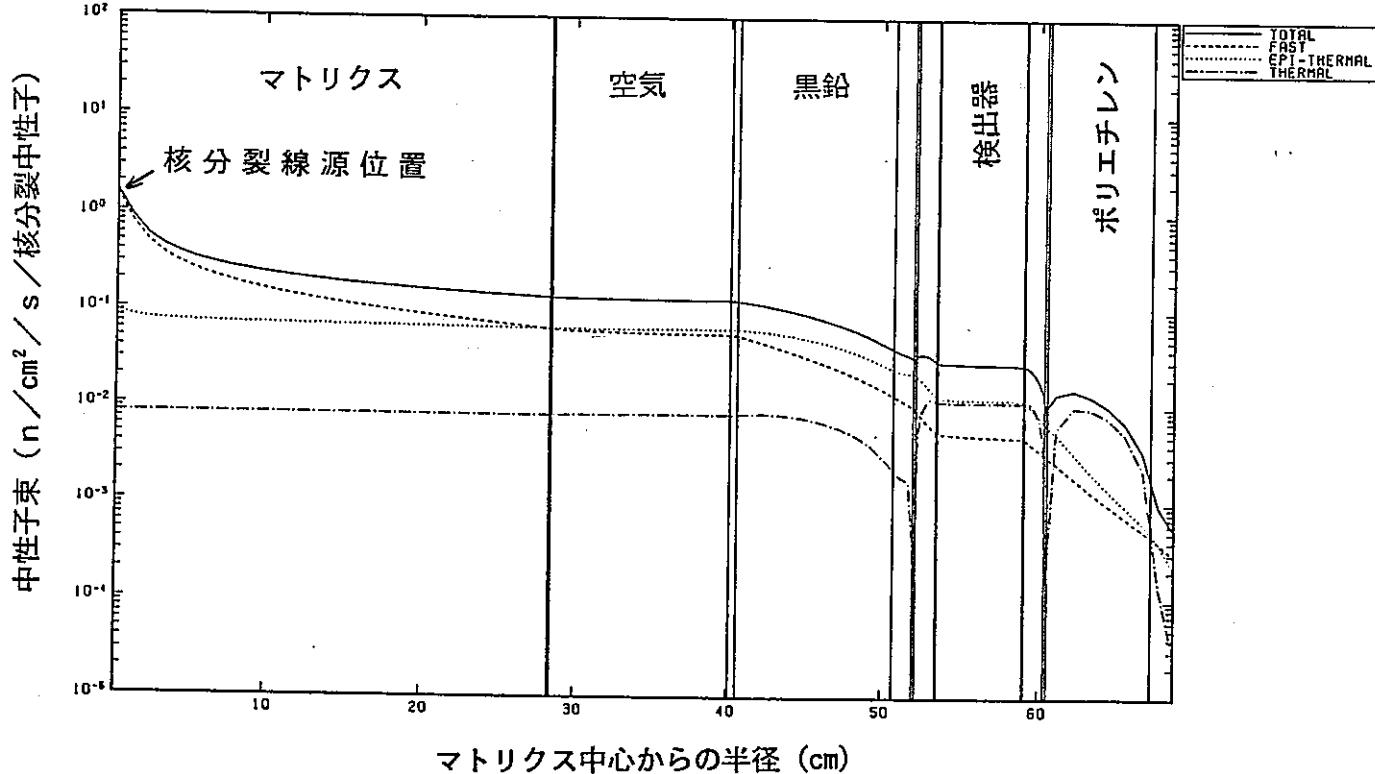


図 2.2.1-6 2次元RZ解析でのマトリクス中心軸体系

(核分裂線源, マトリクス: 人工鉱物 (単体))

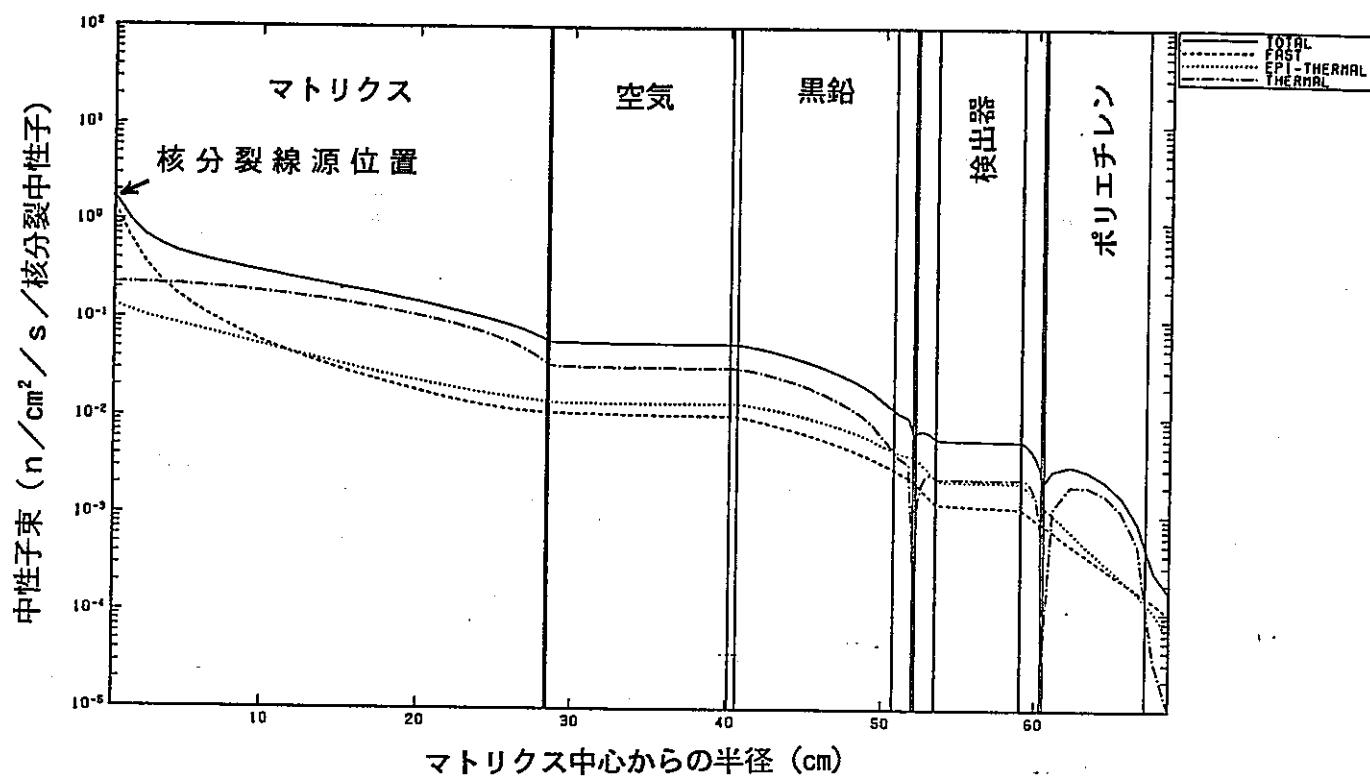


(a) 空ドラム缶

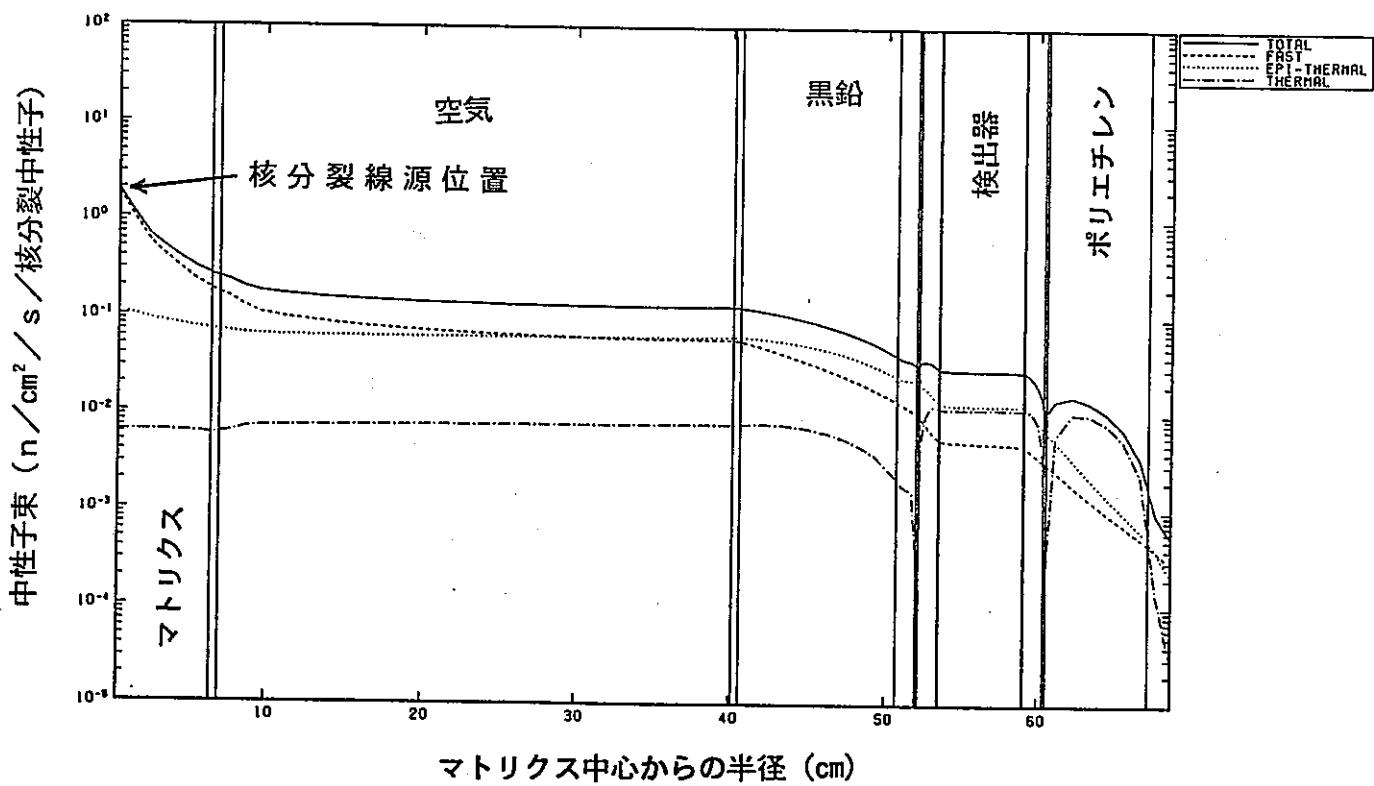


(b) 可燃物焼却灰 (模擬体)

図 2.2.3 - 1 核分裂線源に対する 1 次元 S n 解析での径方向中性子束分布



(c) ポリエチレンチューブ



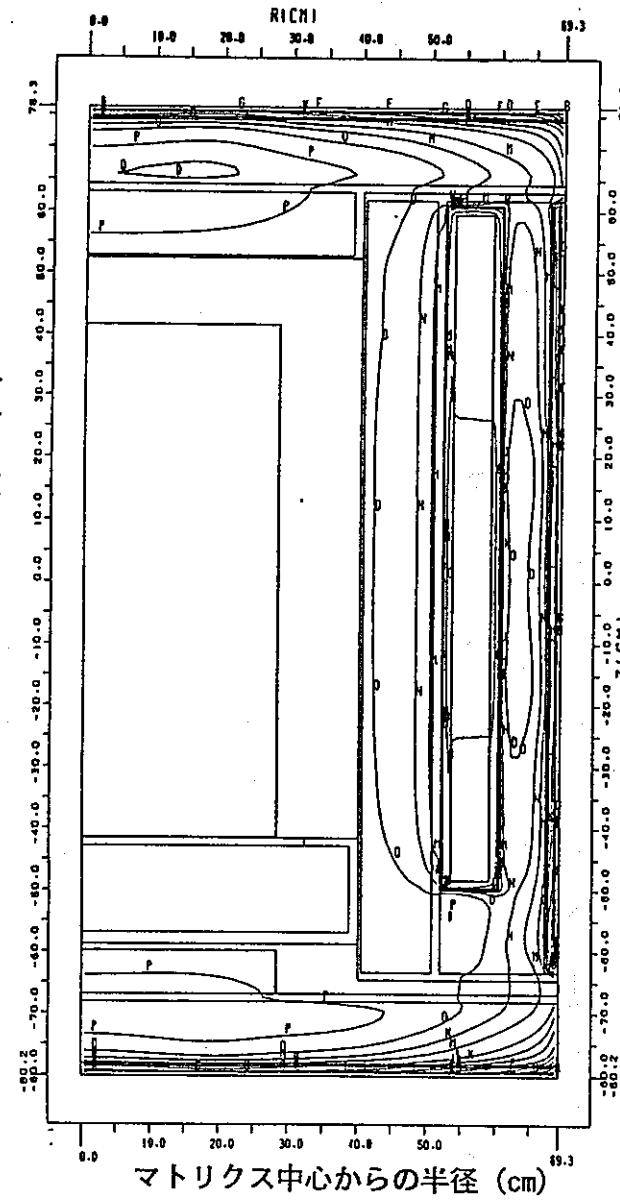
(d) 人工鉱物 (単体)

図 2.2.3 - 1 核分裂線源に対する 1 次元 S_n 解析での径方向中性子束分布

(JSDJ2 ライブラリ) (2 / 2)

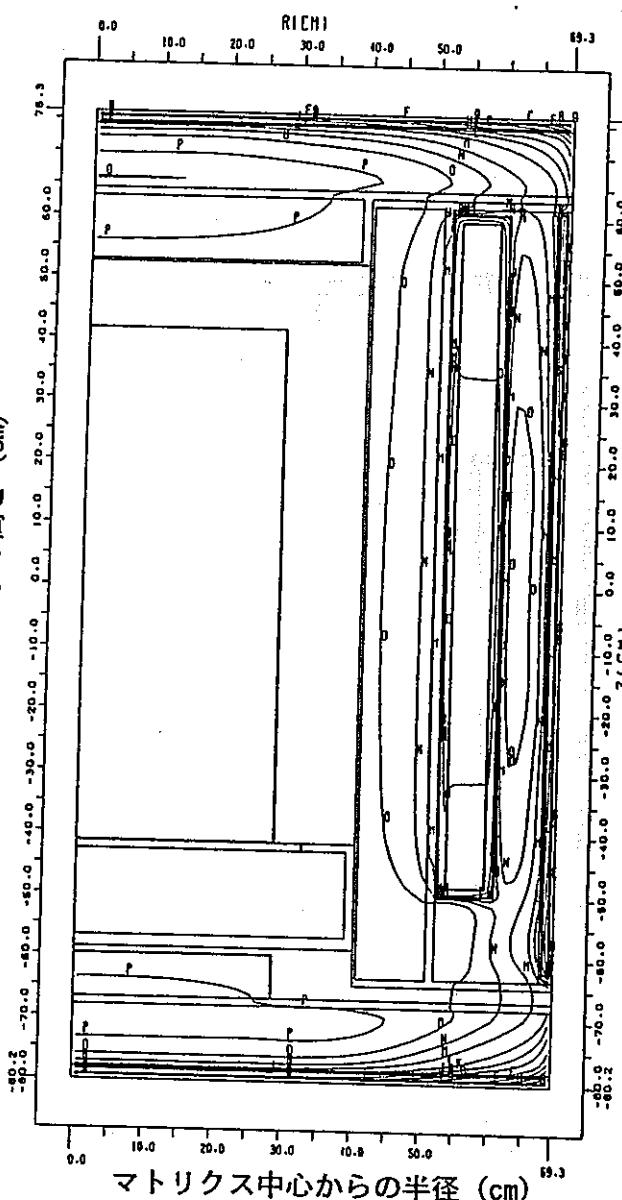
単位: $n/cm^2/s$ / 核分裂中性子

マトリクス中心からの高さ (cm)



(a) 空ドラム缶

マトリクス中心からの高さ (cm)

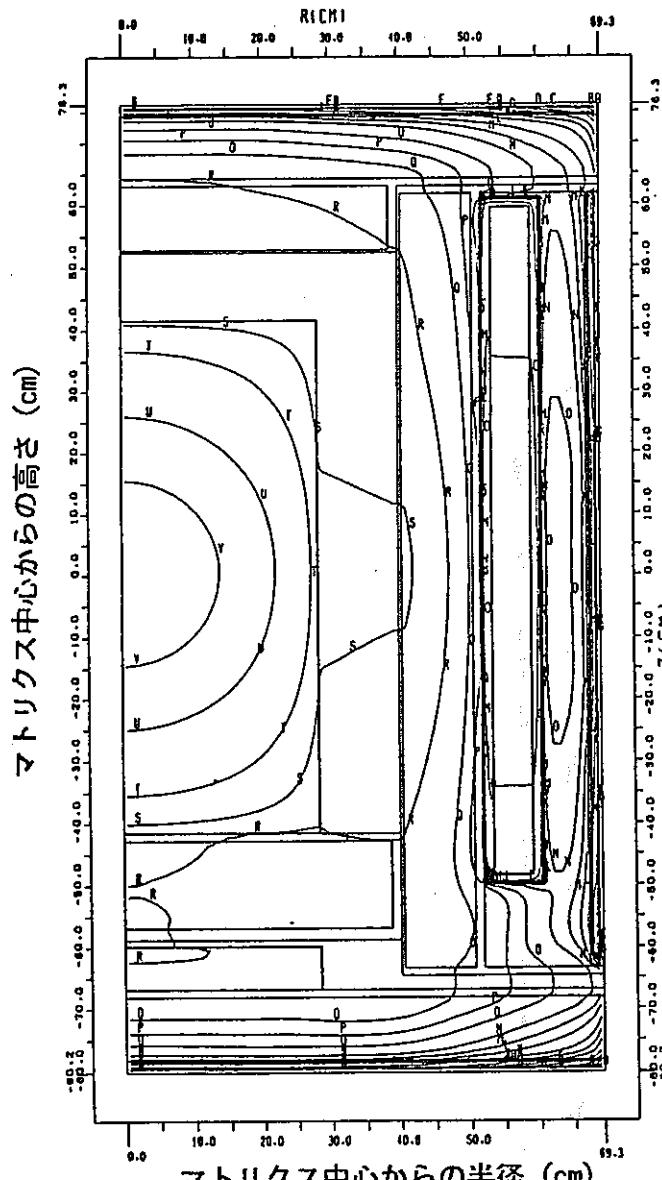


(b) 可燃物焼却灰 (模擬体)

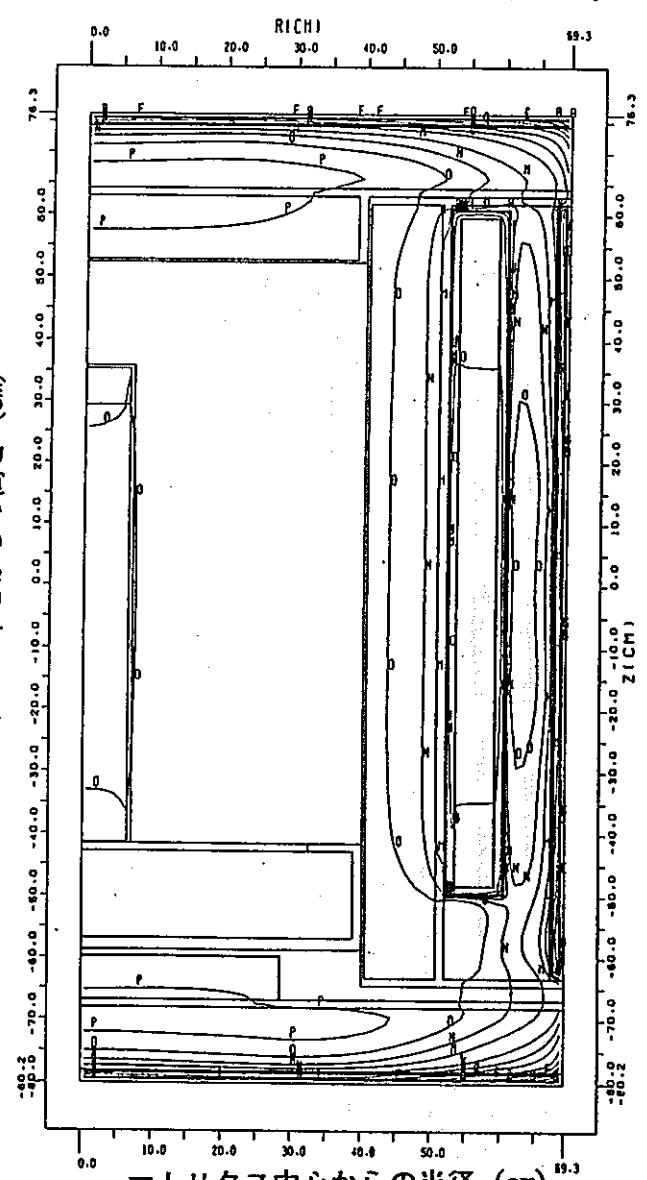
図 2.2.3-2 核分裂線源に対する 2 次元 S n 解析での熱中性子束分布 (1/2)

($E \leq 0.414 \text{ eV}$, JSDJ2 ライブライ, マトリクス中心軸体系)

単位: $n/cm^2/s$ / 核分裂中性子



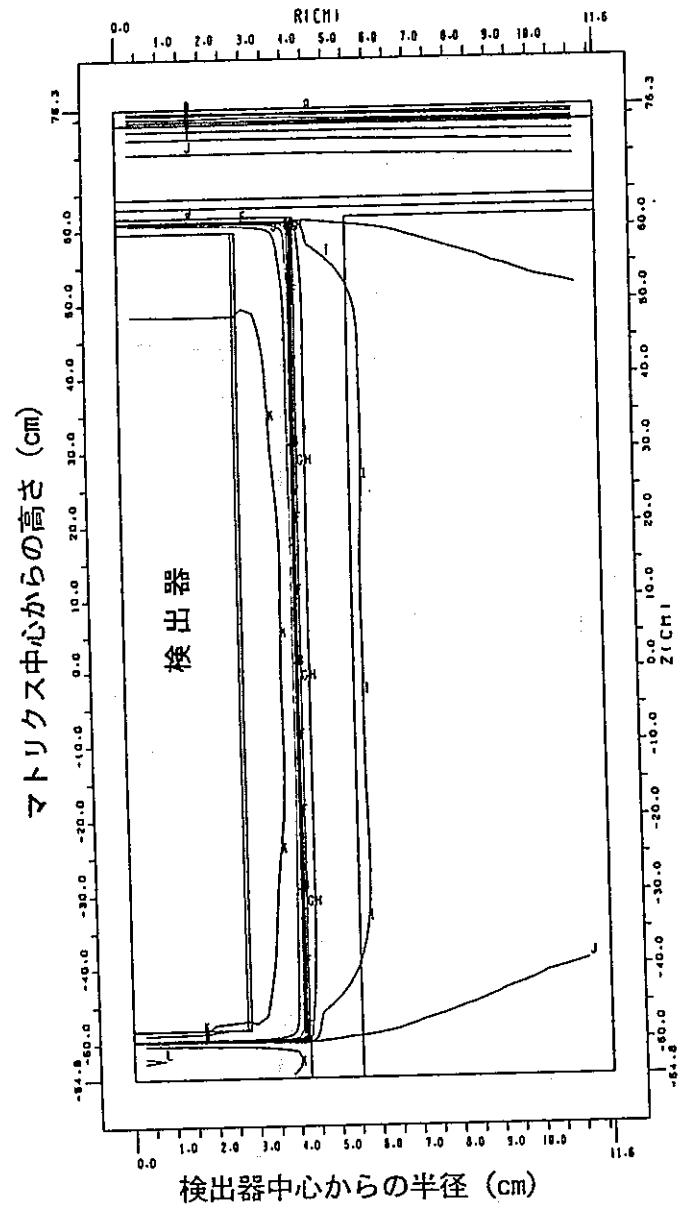
(c) ポリエチレンチューブ



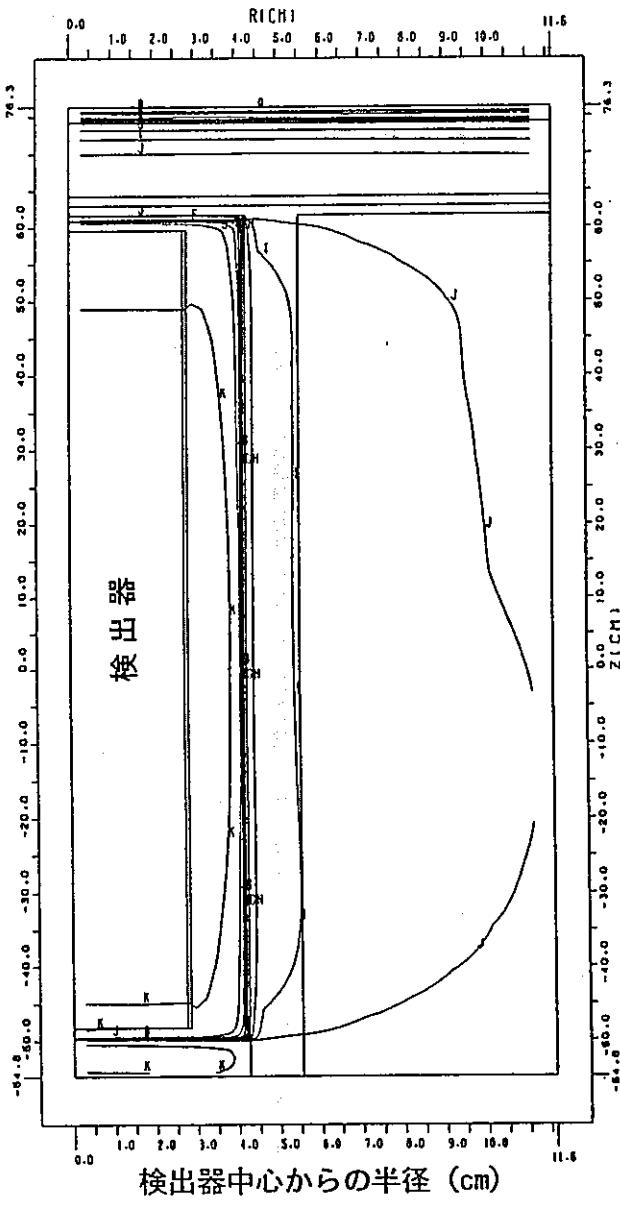
(d) 人工鉱物（単体）

図 2.2.3-2 核分裂線源に対する 2 次元 S n 解析での熱中性子束分布 (2/2)

($E \leq 0.414 \text{ eV}$, JSDJ2ライブラリ, マトリクス中心軸体系)



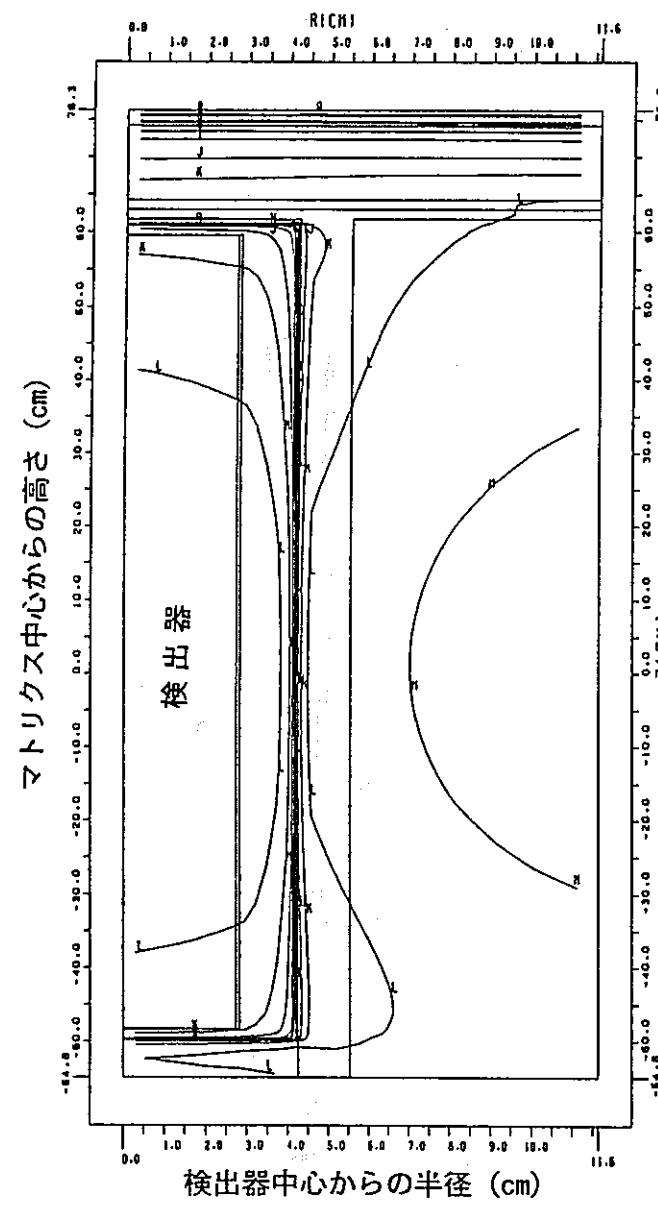
(a) 空ドラム缶



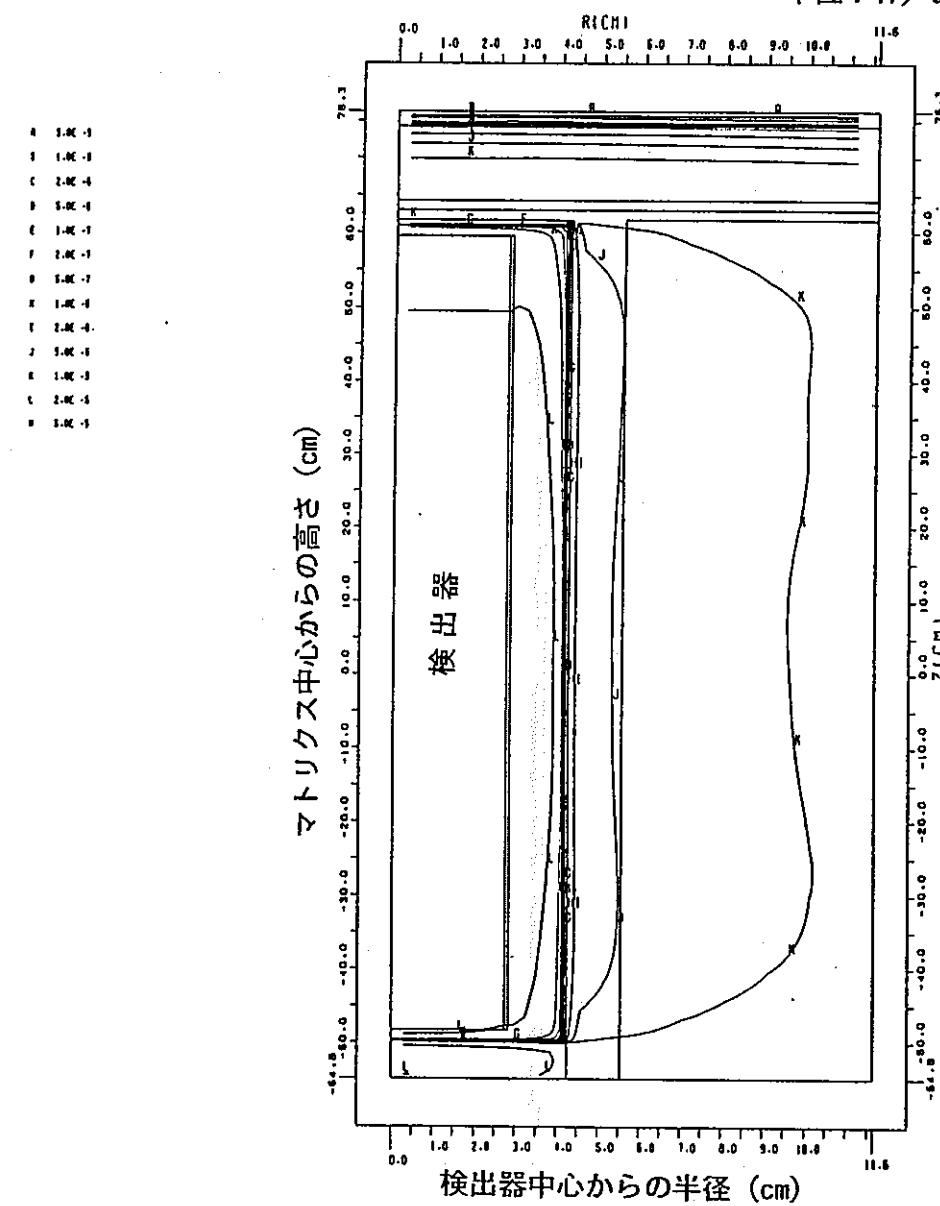
(b) 可燃物焼却灰 (模擬体)

図 2.2.3-3 核分裂線源に対する 2 次元 S_n 解析での熱中性子束分布 (1/2)
 $(E \leq 0.414 \text{ eV}, \text{ JSDJ 2 ライブライ}, \text{ 検出器中心軸体系})$

単位: $n/cm^2/s$ / 核分裂中性子



(c) ポリエチレンチューブ



(d) 人工鉱物 (単体)

図 2.2.3-3 核分裂線源に対する 2 次元 S_n 解析での熱中性子束分布 (2/2)

($E \leq 0.414 \text{ eV}$, JSDJ 2 ライブライ, 検出器中心軸体系)

2.3 加速器定常中性子源に対する検討

前々節での2次元Sn法の適用性検討成果を踏まえ、空ドラム缶、ポリエチレンチューブ、可燃物焼却灰（模擬体）及び人工鉱物（単体）の4種のマトリクスに対し、黒鉛減速体のマトリクス中心高さよりやや下の位置から14MeV単色中性子が入射する場合について2次元Sn法による解析を行い、マトリクス内の中性子束分布を求めた。1g/ccのPuがある場合のPuからの核分裂による中性子放出率分布特性を評価した。

2.3.1 解析手法

マトリクス内の中性子束分布評価に着目した核分裂中性子源に対する解析手法を設定した。

(1) 解析モデル

動燃殿の測定装置は、加速器中性子をマトリクスに入射させる際に、マトリクスを約5回/分で回転させているため、マトリクス側からみた加速器線源はマトリクスの周囲に一様に存在するリング状線源と見なすことができる。このことを踏まえ、解析モデルは2次元RZモデルとした。

(2) 解析主要パラメータ

1次元Sn法解析コードANSN-ORN Lを用いた場合の解析主要パラメータを表2.3.1-1に示す。本解析は、多数群断面積データを少数群断面積データに縮約するための多数群中性子束分布を求めるために実施される。

2次元Sn法解析コードDORTを用いた場合の解析主要パラメータを表2.3.1-2に示す。本解析によりマトリクス内の2次元の中性子束分布が求められる。

本年度の解析では、熱中性子エネルギー領域を1群近似しているJSDDJ2ライブラリに基づく中性子断面積と、熱中性子エネルギー領域を多数群近似しているMGCLライブラリに基づく中性子断面積の2種類を使用した。

注) JSDDJ2ライブラリでは非等方散乱をP3近似、MGCLライブラリではP1近似となるが、解析結果には有意な差は生じない。

(3) 解析の流れ

JSDDJ2ライブラリに基づく中性子断面積を用いる場合の解析の流れを図

2.3.1-1に示す。

MGCLライブラリに基づく中性子断面積を用いる場合の解析の流れを図2.3.1-2に示す。

解析の流れそのものは両者のライブラリともほぼ共通であり、概要は以下の通りである。

① 多数群実効マクロ断面積の作成

解析で使用する領域分割に応じた個々の物質について、各組成の原子数密度を入力データとし、多数群実効マクロ断面積を物質ごとに作成する。

〔使用コード〕

JSDJ2ライブラリの場合：RADHEAT

MGCLライブラリの場合：MGCLMAIL

② 多数群実効マクロ断面積ファイル（MOT形式ファイル）の作成

上記①で作成された多数群実効マクロ断面積をCOMMAND-2コード用多数群実効マクロ断面積ファイル（MOT形式ファイル）として編集する。

〔使用コード〕

JSDJ2ライブラリの場合：TPGATHER

MGCLライブラリの場合：簡易プログラム

<<以下は、JSDJ2ライブラリとMGCLライブラリの両者に共通>>

③ 多数群実効マクロ断面積ファイル（GIT形式ファイル）の作成

GIPコードにより、MOT形式の多数群実効マクロ断面積ファイルをANISN-ORNLコード用多数群実効マクロ断面積ファイル（GIT形式ファイル）に変換する。

④ 断面積縮約用中性子束分布計算

上記③で作成されたGIT形式ファイルを用い、線源高までの径方向体系を考慮し、ANISN-ORNLコードにより、多数群中性子輸送解析を行い、断面積を少数群に縮約するため、領域ごとの中性子エネルギースペクトルを計算する。

⑤ 少数群実効マクロ断面積ファイルの作成（断面積データの縮約）

2次元解析では100群等の多数群解析は計算時間が膨大になるため、20

群程度の少數群解析とする必要がある。ここでは、COMMAND-2 コードにより、上記③で作成されたMOT形式ファイルから、上記④での領域ごとの中性子エネルギースペクトルのエネルギー分布重みを考慮した少數群実効マクロ断面積ファイル（MOT形式ファイル）を作成する。

さらに、この断面積ファイルを、GIPコードにより、少數群実効マクロ断面積ファイル（GIT形式ファイル）に変換する。

⑥ マトリクス中心軸体系での中性子輸送解析

上記⑤で作成された少數群実効マクロ断面積ファイル（GIT形式ファイル）を用い、DORTコードにより、マトリクス内の中性子角度束分布を求める。

⑦ マトリクス内でのPu核分裂による中性子発生率の評価

上記⑥で得られたマトリクス内の中性子束分布に基づき、DOTDOS Eコードにより、マトリクス内の任意の位置に 1 g/cc の Pu がある場合の Pu からの核分裂による中性子放出率分布を評価した。

(4) 解析上の留意点

本解析は、中性子線源が加速器からの 14MeV 単色中性子線源であること以外、核分裂中性子源でのマトリクス中心軸体系の解析と同一の解析である。

2.3.2 解析条件

解析条件は以下のとおりである。

[マトリクス]

ケース 1：空ドラム缶

ケース 2：可燃物焼却灰（模擬体）

ケース 3：ポリエチレンチューブ

ケース 4：人工鉱物（単体）

[線源]

種類：14MeV 単色中性子源 (1 n/s)

位置：マトリクス中心軸より半径 39.5cm

マトリクス中心高さより - 13.66cm

[その他の解析パラメータ等]

表2.3.1-1 及び表2.3.1-2 参照

2.3.3 解析結果

解析結果を以下のように示す。

① マトリクス内でのPu核分裂中性子発生率軸方向分布 : 図2.3.3-1

注) Appendix 3に、上記でデータも含め、加速器定常中性子源に対する解析結果をまとめた。

上図のPu核分裂中性子発生率分布より、動燃殿測定装置での加速器中性子によるPu反応率分布特性は以下のようになる。

(a) Pu反応率分布特性

水素を多く含有するポリエチレンチューブ以外のマトリクスについては、マトリクス内でのPu核分裂中性子発生率が空ドラム缶の場合のようにほぼ平坦であり、マトリクス内位置に応じて発生率が極端に悪化することはないことがわかる。(注)

注) 特にマトリクス表面でPu核分裂中性子発生率分布が波うつようになっているのは、Sn法でのいわゆるレイエフェクトにより、中性子束分布が数値計算上歪むことに由来するものである。

これは、核分裂を起こす主たる中性子エネルギー領域が熱中性エネルギー領域であり、ポリエチレンチューブ以外のマトリクス内の熱中性子束場は、加速器から放出された高速中性子がマトリクス自身で減速されて形成されるのではなく、黒鉛減速体内で熱中性子エネルギー領域まで減速され、その中性子がマトリクス内に「浸透」して形成されるためであると考えられる。

ポリエチレンチューブでは、マトリクス自身での減速・遮蔽効果が大きく、マトリクス上端と下端で急激に反応率が低下する分布となっている。この時、ピーク値との比は約0.35(下端)、約0.26(上端)である。

(b) 热中性子の取扱い

熱中性子エネルギー領域を1群近似したJSDD2ライブラリの場合と熱中性子エネルギー領域を多数群近似したMGC-Lライブラリの場合とを比較すると、軸方向分布形はほぼ一致しているが、マトリクス物質に応じ、MGC-Lラ

イブライの場合との比は以下のようになる。

マトリクス	J S D J 2 / M G C L
空ドラム缶	0.96
可燃物焼却灰（模擬体）	0.93
ポリエチレンチューブ	1.34
人工鉱物（単体）	0.89

熱中性子エネルギー領域を多数群近似することの影響は、可燃物焼却灰等の減速能が小さな物質のマトリクスについては1群近似より約5～10%評価結果が大きくなり、ポリエチレンチューブ等の減速能が大きな物質のマトリクスについては1群近似より約30%評価結果が小さくなる。

2.3.4 評価

以上の解析結果より、加速器定常中性子線源に対する2次元S_n法の適用性について評価すると以下のようになる。

加速器線源から入射した高速中性子により形成されるマトリクス内の中性子束分布（特に熱中性子束分布）に対する熱中性子エネルギー領域を多数群近似することの影響はマトリクス物質の中性子減速能に応じて異なり、1群近似のみで評価するには問題があると考えられる。

すなわち、新規のマトリクス物質での評価を行う場合、熱中性子エネルギー領域を多数群近似した解析を行い、1群近似との相違を把握し、1群近似解析でパラメータ評価する等の対応が必要である。

表2.3.1-1 加速器定常線源に対する1次元S n計算の主要パラメータ

項目	計算手法及び計算条件
計算コード	A N I S N - O R N L
計算体系	1次元無限円筒体系 人工鉱物以外のマトリクス：図2.3.1-3 人工鉱物 : 図2.3.1-4
核定数ライブラリ	①J S D J 2 ライブラリの 100群断面積（エネルギー群構造及び核分裂スペクトルは表2.2.1-3 参照） ②M G C L ライブラリの 100群断面積（エネルギー群構造及び核分裂スペクトルは表2.2.1-4 参照）
角度分点数	S 6 分点
非等方散乱近似	①J S D J 2 ライブラリ P 3 近似 ②M G C L ライブラリ P 1 近似
線源条件	黒鉛減速体表面近傍に14MeV単色線源
境界条件	左：反射 右：真空
収束判定条件	各メッシュ点の中性子束の最大誤差が0.1%以下 (収束回数が50回を超えた場合は未収束)
原子数密度	表2.2.1-5

表2.3.1-2 加速器定常線源に対する2次元S n計算の主要パラメータ

使用計算コード	DORT
計算体系	2次元R Z体系 〔人工鉱物以外のマトリクス：図2.3.1-5〕 〔人工鉱物：図2.3.1-6〕
線源条件	マトリクス中心高さより約15cm下方の黒鉛減速体表面近傍に 14MeV単色線源
境界条件	<p>Z ↑ 上 左 右 ↓ 下 R</p> <p>左側 : 反射 右側 : 真空 下側 : 真空 上側 : 真空</p>
核定数ライブラリ	<p>①JSDJ2ライブラリに基づく中性子21群（エネルギー群構造及び核分裂スペクトルは表2.2.1-3参照）</p> <p>②MGC-Lライブラリに基づく中性子30群（エネルギー群構造及び核分裂スペクトルは表2.2.1-4参照）</p>
非等方散乱近似	<p>①JSDJ2ライブラリ P3近似</p> <p>②MGC-Lライブラリ P1近似</p>
S n分点	対称S30
収束判定	各メッシュ点の中性子束の最大誤差が0.1%以下 (収束回数が50回を超えた場合は未収束)

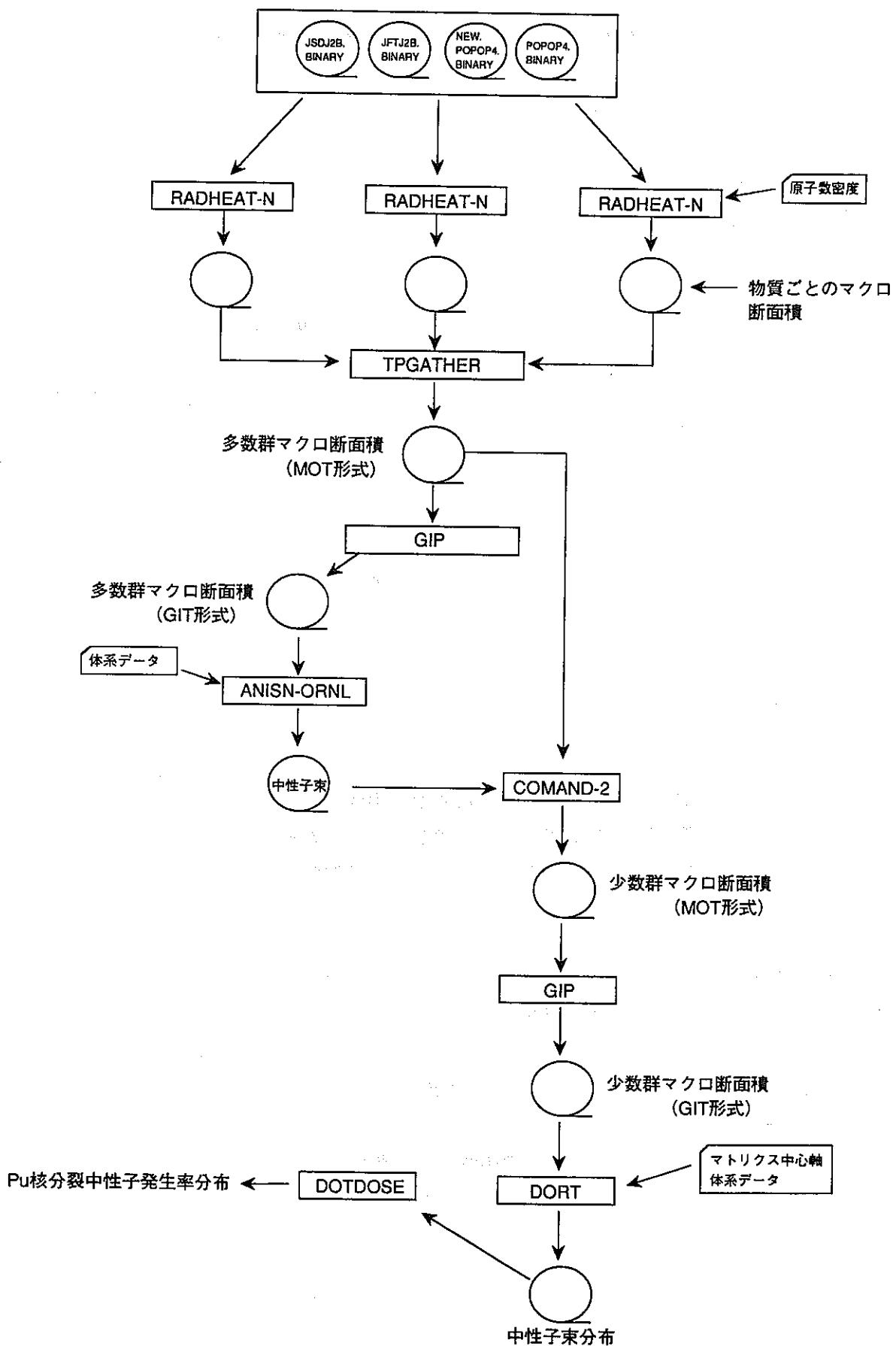


図2.3.1-1 加速器定常線源に対する解析の流れ (JSDJ2ライブラリ)

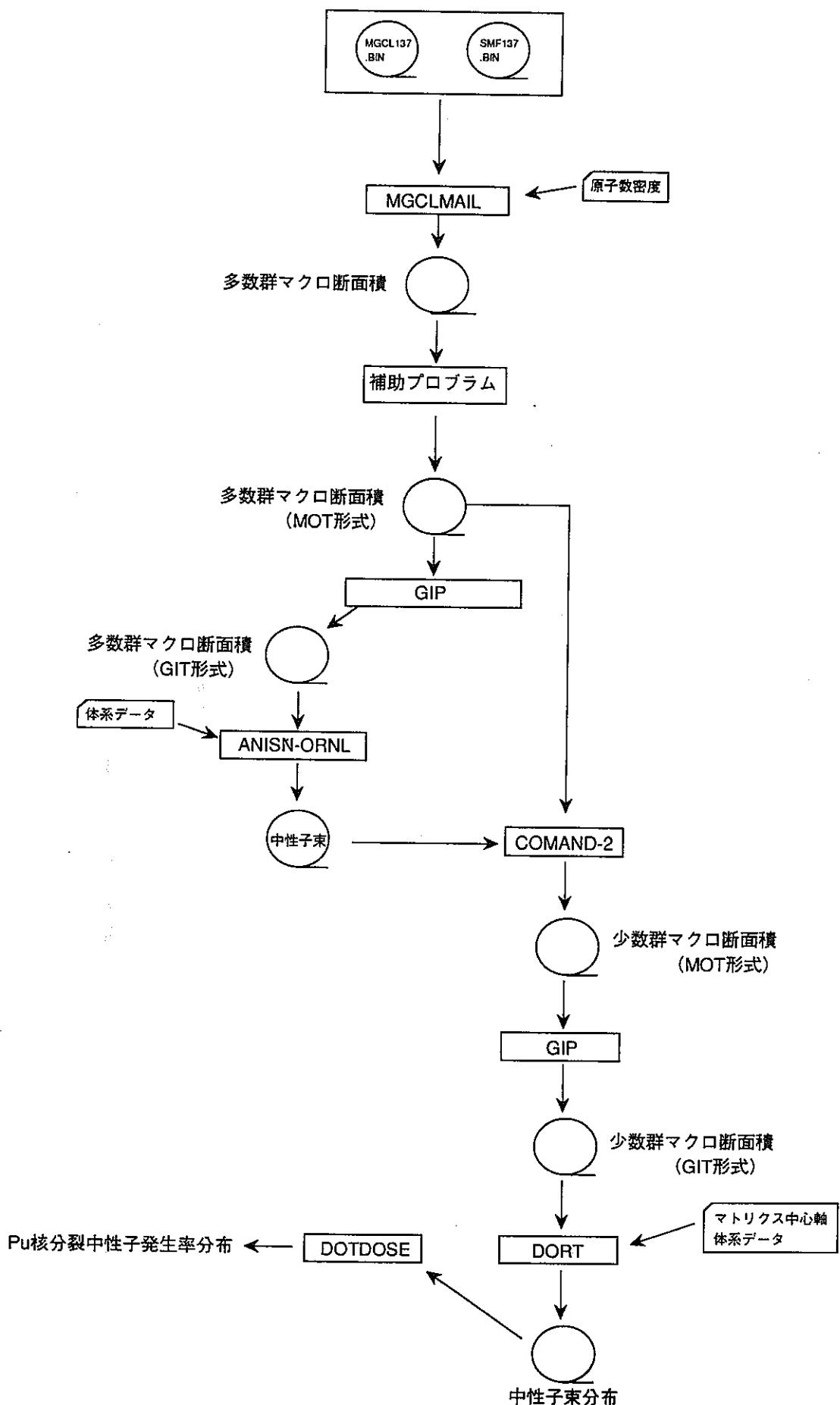


図2.3.1-2 加速器定常線源に対する解析の流れ (MGCLライブラリ)

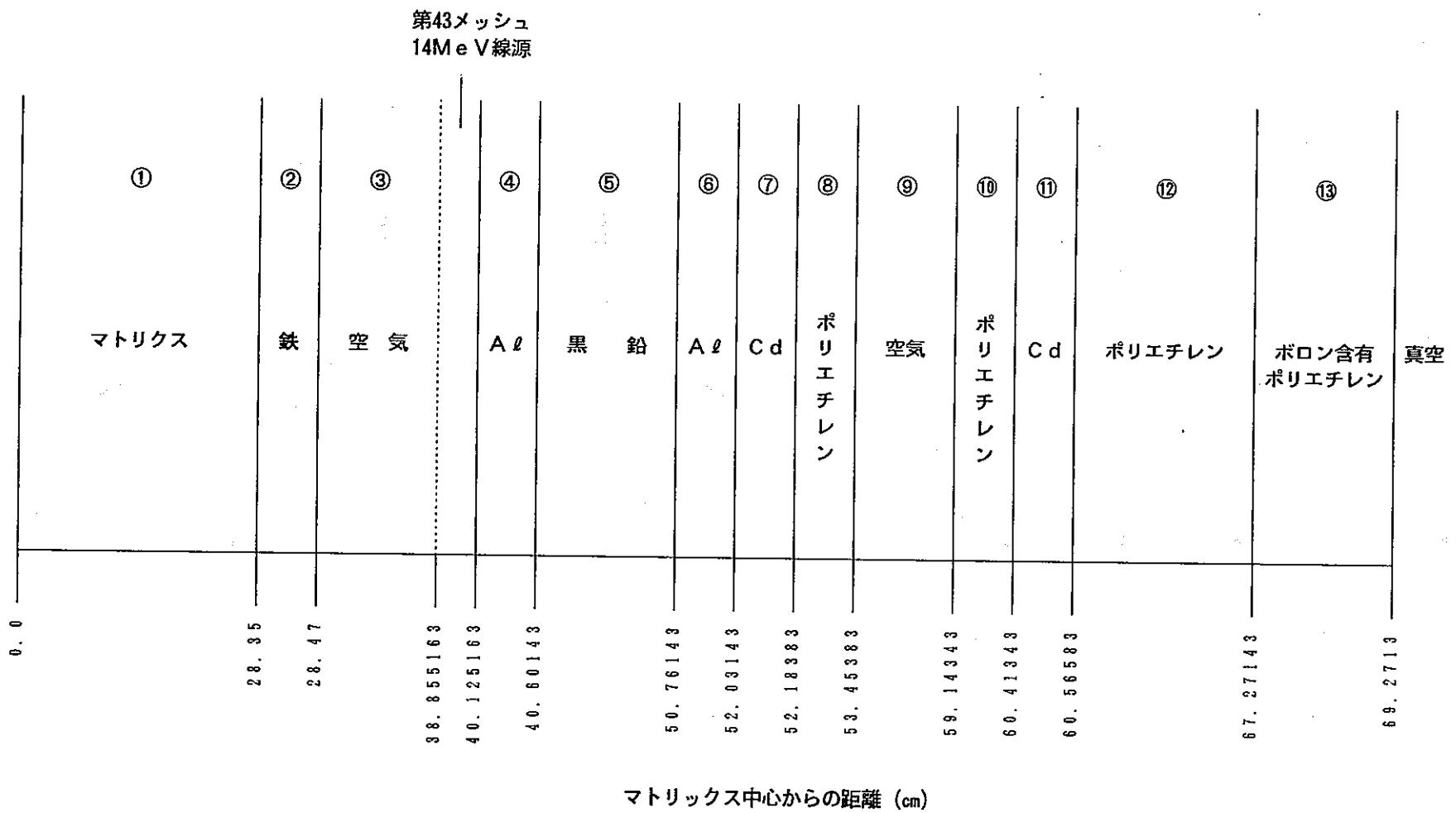


図2.3.1-3 加速器定常線源での人工鉱物以外のマトリクスに対する1次元解析体系

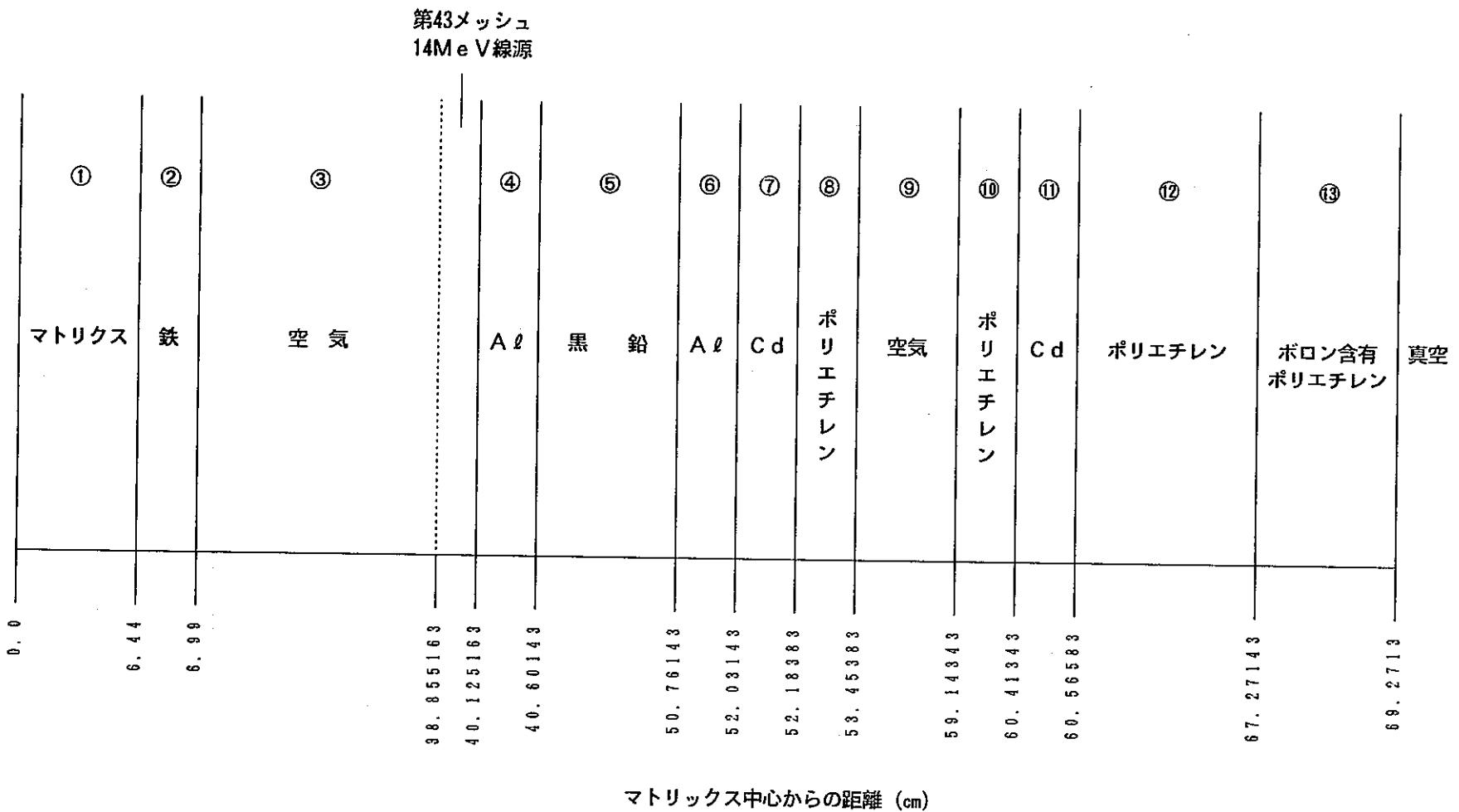


図2.3.1-4 加速器定常線源での人工鉱物（単体）に対する1次元解析体系

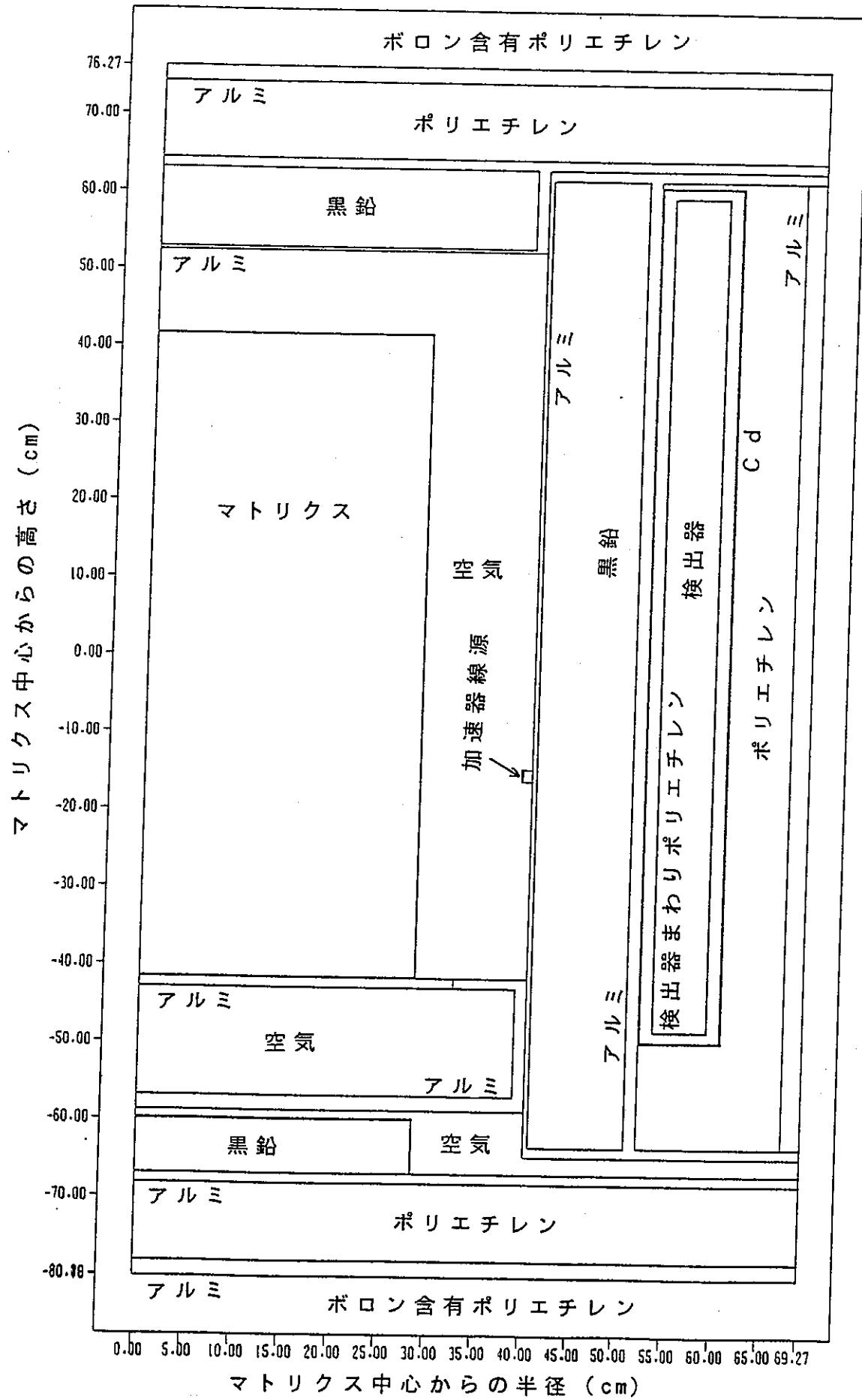


図 2.2.1-5 2次元R-Z解析でのマトリクス中心軸体系
(定常加速器線源、マトリクス：人工鉱物（単体）以外のマトリクス)

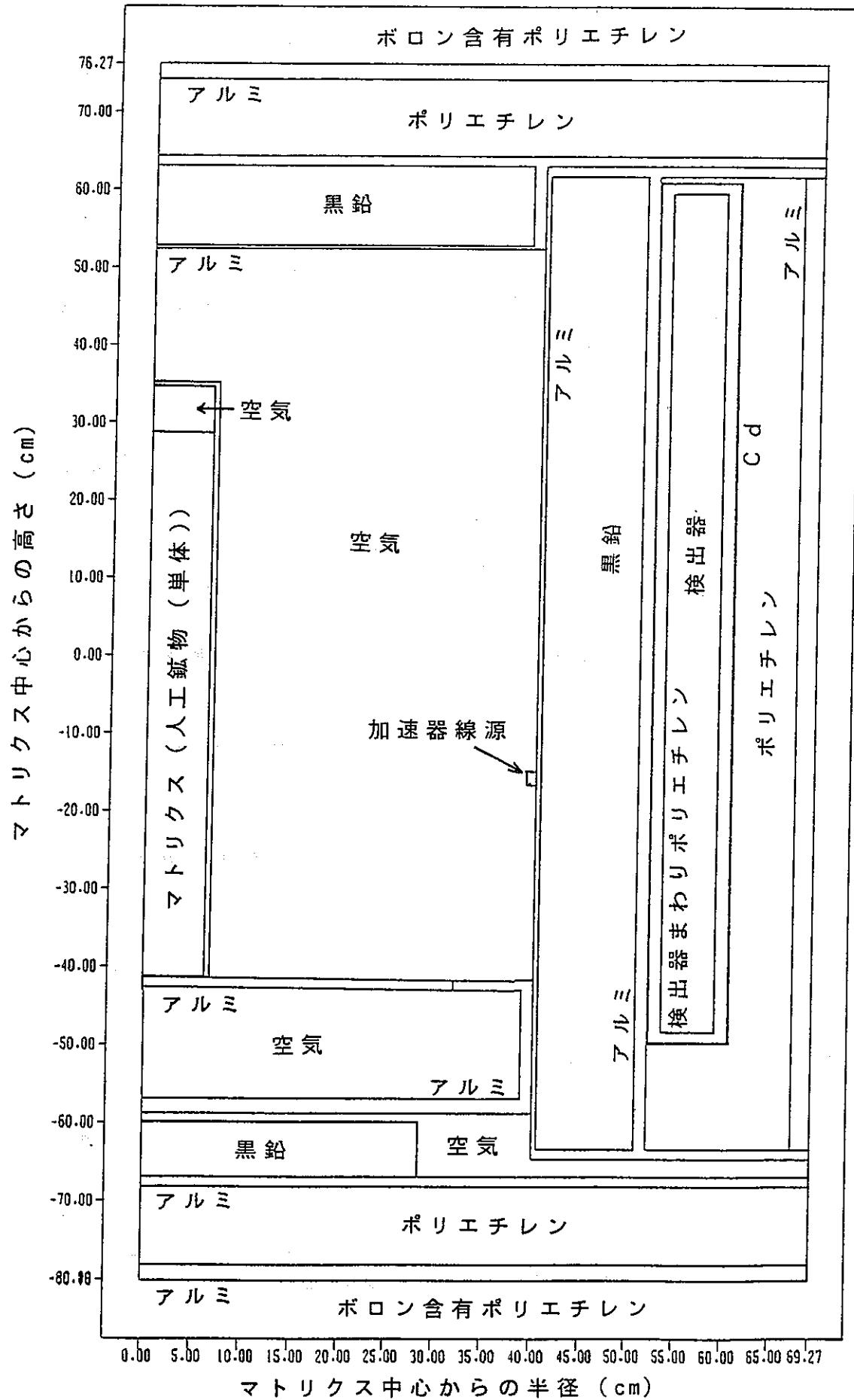
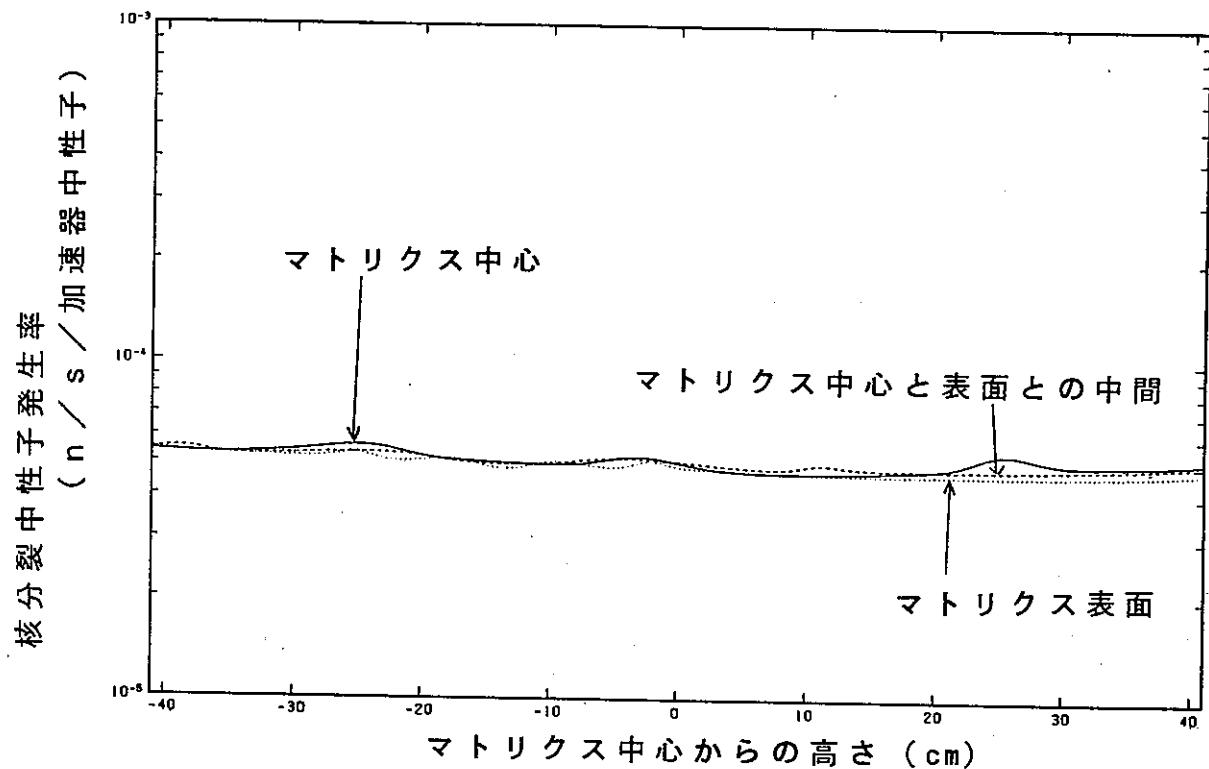
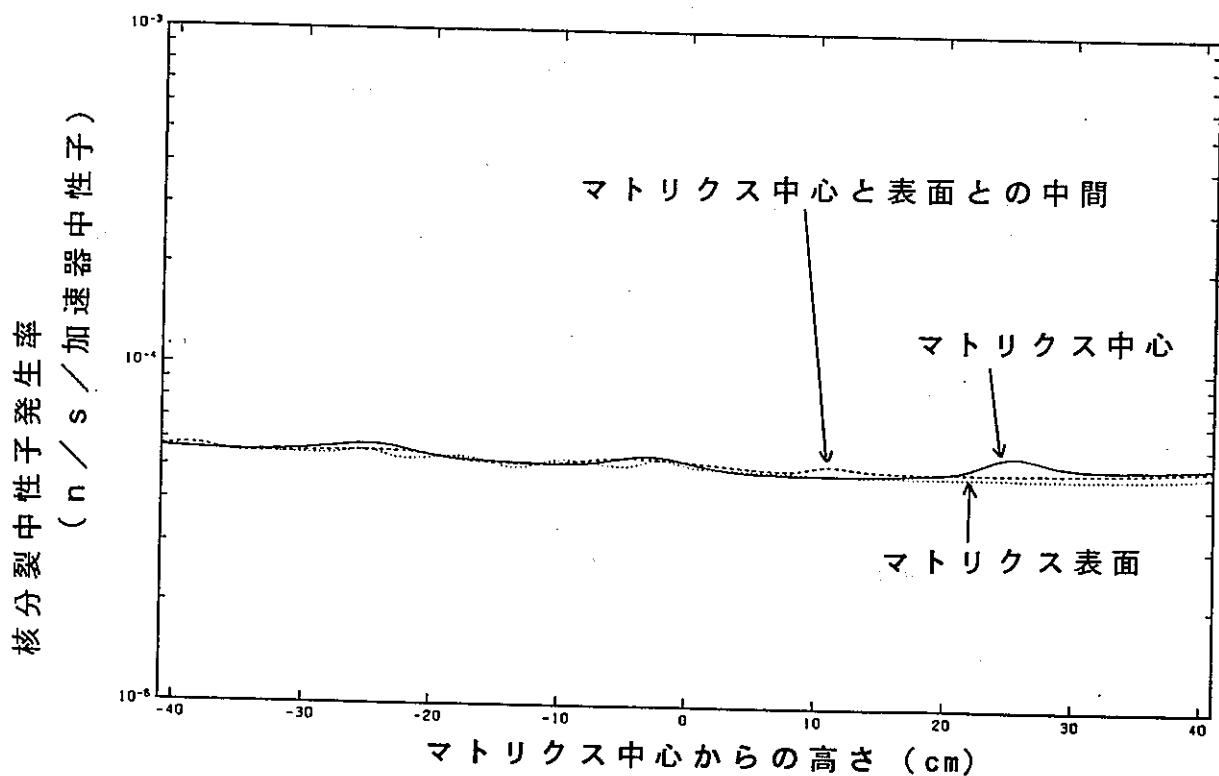


図 2.3.1-6 2次元RZ解析でのマトリクス中心軸体系
(定常加速器線源, マトリクス: 人工鉱物(単体))



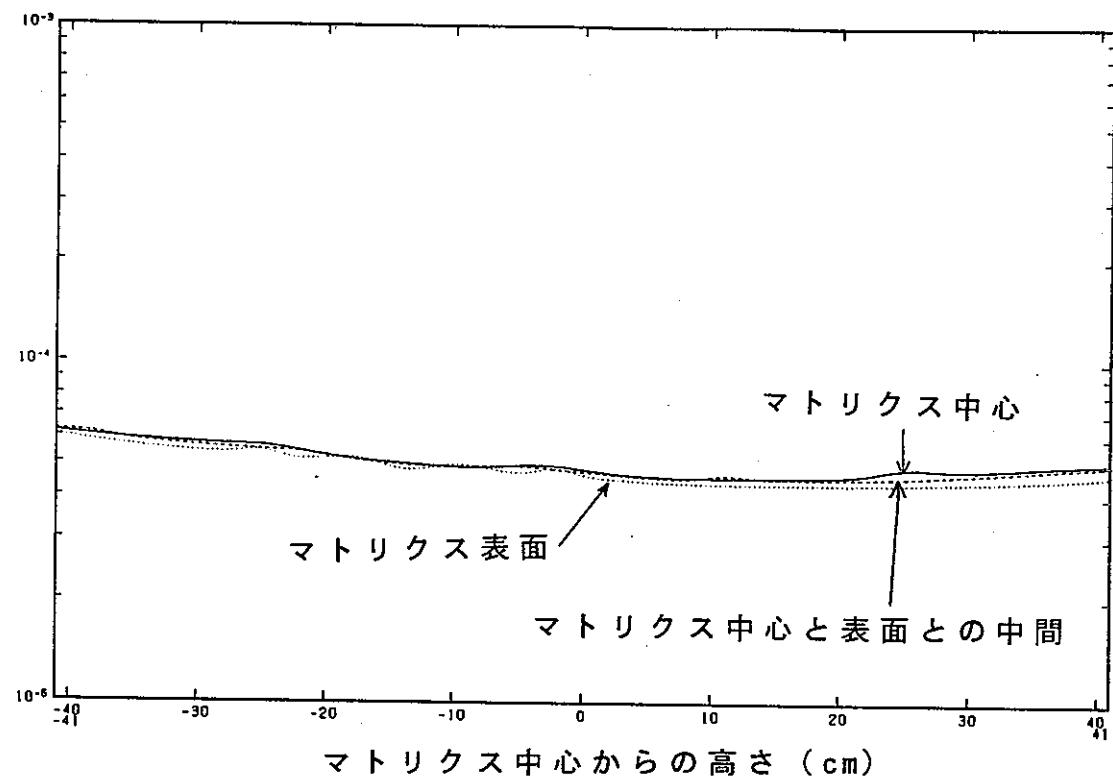
J S D J 2 ライブラリによる中性子 21 群解析



M G C L ライブラリによる中性子 30 群解析

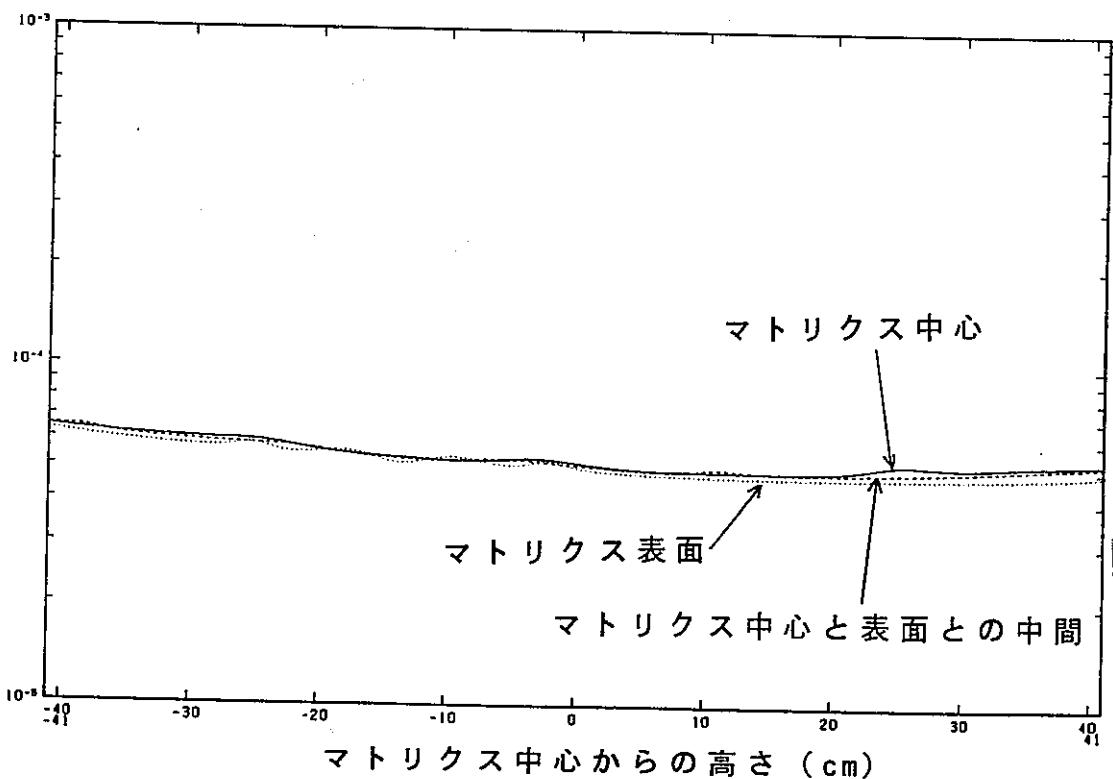
図 2.3.3 - 1 (a) 加速器線源における単位 Pu ($1\text{ g} - \text{Pu}/\text{cc}$)
による核分裂中性子発生率分布
(マトリクス : 空ドラム缶)

核分裂中性子発生率
(n / s / 加速器中性子)



J S D J 2 ライブラリによる中性子 21 群解析

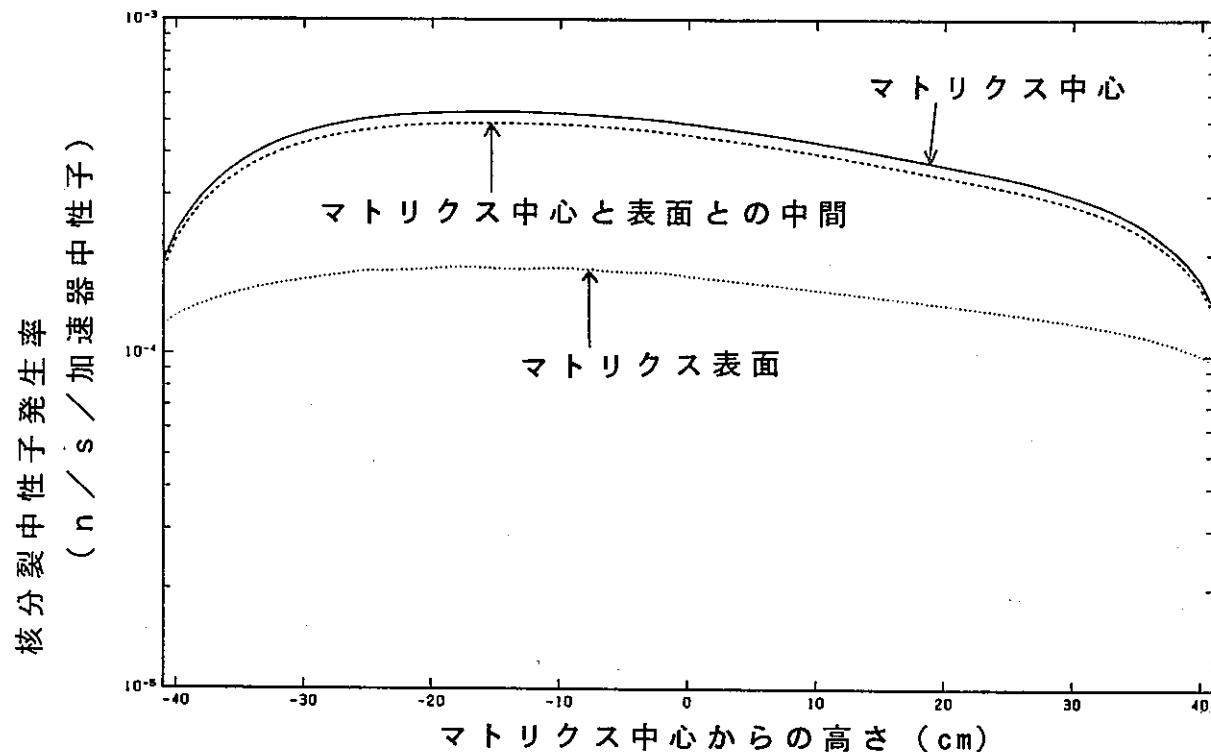
核分裂中性子発生率
(n / s / 加速器中性子)



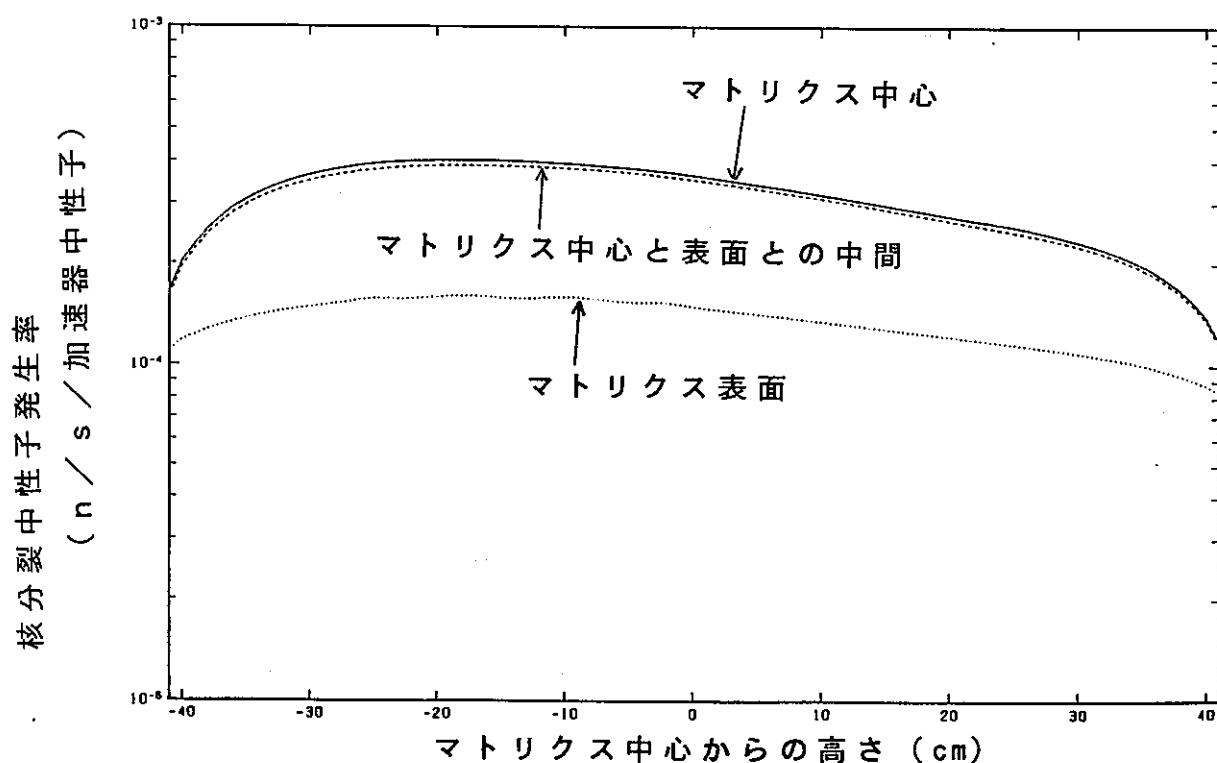
M G C L ライブラリによる中性子 30 群解析

図 2.3.3-1 (b) 加速器線源における単位 Pu (1 g - Pu / cc)
による核分裂中性子発生率分布

(マトリクス : 可燃物焼却灰 (模擬体))

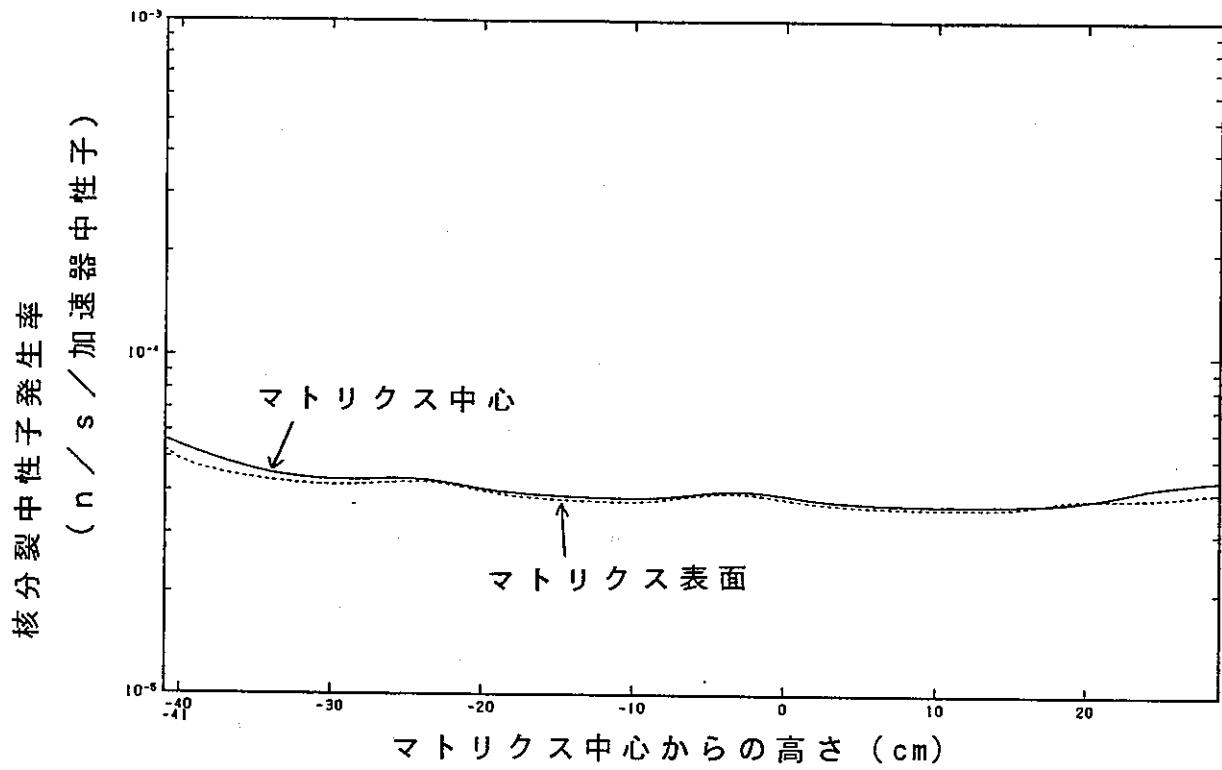


J S D J 2 ライブラリによる中性子 21 群解析

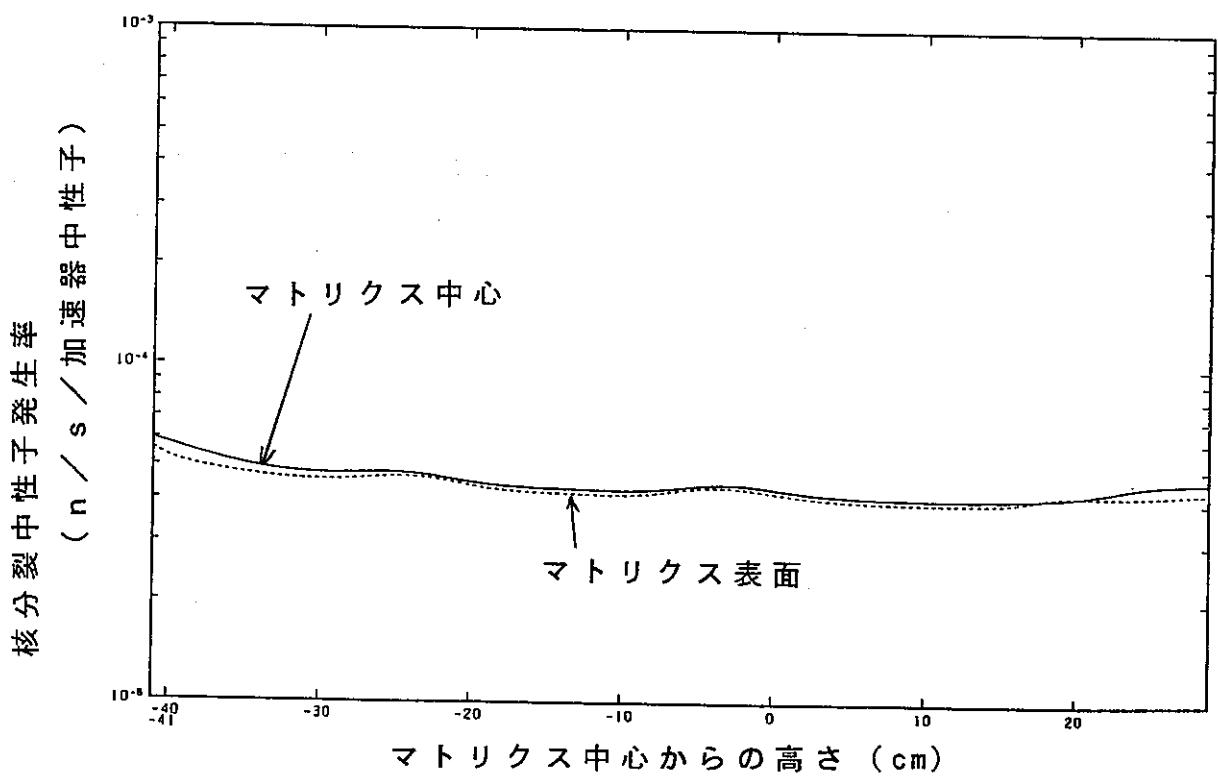


M G C L ライブラリによる中性子 30 群解析

図 2.3.3-1(c) 加速器線源における単位 Pu ($1 \text{ g} - \text{Pu} / \text{cc}$) による
核分裂中性子発生率分布
(マトリクス: ポリエチレンチューブ)



JSDJ2 ライブラリによる中性子21群解析



MGCL ライブラリによる中性子30群解析

図 2.3.3-1(d) 加速器線源における単位 Pu ($1 \text{ g} = \text{Pu}/\text{cc}$)
による核分裂中性子発生率分布
(マトリクス：人工鉱物（単体）)

2.4 加速器時間依存中性子源に対する検討

前節に述べた加速器中性子源に対する検討は、時間的に定常的な線源を仮定した2次元解析である。しかし、実際の線源は幅 $10\ \mu s$ のパルス状であり、マトリクス内の中性子束及びこれによって誘起される核分裂率は時間依存性を有している。そして、このパルスは $50\ Hz$ の周期で 40 秒間に渡って繰り返され、毎秒 7.7×10^6 個の $14\ MeV$ 中性子が放出される。マトリクス内から放出される核分裂中性子の計測は、各パルスのトリガー後、 $600\ \mu s$ から $3.1\ ms$ まで行われる。従って、マトリクス内にTRU核種が存在するときの計測系の応答を評価するには時間依存解析を行う必要がある。しかし、現状では2次元の時間依存解析の実施は困難であるので、別途、1次元の時間依存解析を実施して、時間依存性を求め、これを用いて先に実施した2次元定常解析結果を補正することとした。この補正によって計測時間内の時間平均中性子束を求め、これを用いてマトリクス内の計測時間平均の核分裂中性子放出率を算出し、マトリクス内にPu試料を置いたときの計測系の計数率を解析的に評価することが可能となる。下に考え方を示す。

計測時間平均中性子束（2次元）

$$= \boxed{\text{定常中性子束（2次元)}} \times \boxed{\text{時間依存性の補正係数（1次元）}}$$

計測時間平均核分裂中性子放出率

$$= \boxed{\text{計測時間平均中性子束（2次元)}} \times \boxed{\text{Pu試料の核分裂断面積}}$$

$$\times \boxed{\text{Pu試料の体積}} \times \boxed{\text{核分裂あたりの中性子放出数}}$$

計測系の計数率

$$= \boxed{\text{計測時間平均核分裂中性子放出率}}$$

この観点から、本節にて1次元の時間依存解析を実施してマトリクス中心の計測時間平均の熱中性子束について検討し、次節にて計測時間平均の核分裂中性子放出率を評価し、先に実施した核分裂中性子源に対する検討結果を加えて、2次元S_n法の総合的な評価を行った。以下に、時間依存解析の詳細を示す。

2.4.1 解析手法

時間依存性の検討には1次元S_n法計算コードTDA (Time Dependent ANISN) を用いた。本計算コードは、定常問題に適用される1次元S_n法計算コードANISNを時間依存化したものであり、パルス状の線源を体系内の任意の領域に印加し、その後の中性子の減速・輸送過程をS_n法によって解析して体系内の時間依存中性子束分布を求めるものである。TDAコードの概要をAppendix 2に示す。

2.4.2 解析条件

時間依存性の検討は、空ドラム缶、ポリエチレン、人工鉱物及び可燃物模擬焼却灰の各マトリクスについて実施した。計算体系は、「2.3 加速器定常中性子源に対する検討」で断面積縮約用に用いたものと同一のものであり、ドラム缶中心を中心軸とする1次元円筒体系である。断面積はそこで縮約されたJSDJ2ベースの22群のものを用いた。ここで、この22群断面積は第1群～第21群までが中性子群であり、第22群はガンマ線群である。断面積の散乱異方性はP₃項まで考慮し、S_n分点はS8とした。時間メッシュは、線源パルスの開始後から計測の終了する3100μsまでの中性子束の時間減衰挙動を勘案して、適宜、10μs～200μsの幅で分割した。線源パルスのエネルギー群は第1群(14.9MeV～5.49MeV)とし、0μsから10μsまで10⁵n/s/cmの強度で放出された。即ち、1パルスあたりの中性子放出量は1n/パルス/cmである。なお、中性子の放出される空間メッシュは、「2.2 加速器定常中性子源に対する検討」の1次元定常計算と同じr=39.49cm(第40メッシュ)である。これらの解析条件の詳細を表2.4.2-1に示す。

2.4.3 解析結果

解析結果を以下の図表にまとめた。

図 2.4.3-1 マトリクス中心の高速中性子束 ($E \geq 0.1 \text{ MeV}$)、熱中性子束の時間減衰 (空ドラム缶、ポリエチレン)

図 2.4.3-2 体系内の熱中性子束分布の時間変化 (空ドラム缶、ポリエチレン、可燃物模擬焼却灰)

図 2.4.3-3 線源パルス発生開始後 $650 \mu\text{s}$ と $3050 \mu\text{s}$ におけるマトリクス内の熱中性子束分布 (空ドラム缶、ポリエチレン、人工鉱物及び可燃物模擬焼却灰)

図 2.4.3-4 マトリクス中心の熱中性子束の時間減衰 (空ドラム缶、ポリエチレン、人工鉱物及び可燃物模擬焼却灰)

表 2.4.3-1 マトリクス中心の熱中性子束の時間減衰と計測時間平均の熱中性子束 (空ドラム缶、ポリエチレン、人工鉱物及び可燃物模擬焼却灰)

これらの図表より以下のことが判る。

- ①マトリクス中心の高速中性子束は線源パルス発生後、時間とともに急速に減衰・消滅しているが、熱中性子束の時間減衰は非常に緩やかである。 (図 2.4.3-1)
- ②マトリクス内の熱中性子束分布は、概ね、線源パルス発生開始後 $200 \mu\text{s}$ 前後で漸近な分布を形成し、それ以降は、ほぼ一定の時定数で減衰していく。 (図 2.4.3-2, 3)
- ③マトリクス中心の熱中性子束は、線源パルス発生開始後 $45 \mu\text{s}$ から $550 \mu\text{s}$ 後にピークとなり、ピークとなる時間が早い程、ピーク値が高い。 (図 2.4.3-4)
- ④マトリクス中心の熱中性子束ピーク値、ピークとなる時間、熱中性子束の減衰時定数及び計測時間内の平均値は以下の様になる。なお、線束値は、線源パルスとして $0 \mu\text{s}$ から $10 \mu\text{s}$ まで 10^5n/s/cm の強度で放出されたとしたときのものである。 (表 2.4.3-1)

マトリクス種類	熱中性子束 ピーコ値 $n/cm^2/s$	ピーコとなる時間 μs	熱中性子束 減衰時定数 μs	計測時間平均 熱中性子束 $n/cm^2/s$
空ドラム缶	1.5E-5	450	1230	5.234E-6
ポリエチレン	2.1E-4	45	630	2.796E-5
人工鉱物	3.9E-5	175	740	6.051E-6
可燃物模擬焼却灰	1.6E-5	550	740	6.057E-6

2.4.4 2次元定常解析結果の補正

以上の様に、1次元時間依存解析から線源パルスとして $0 \mu s$ から $10 \mu s$ まで $10^5 n/s/cm$ の強度で放出されたときの（1パルスあたりの中性子放出量は $1 n/s/cm$ ）マトリクス中心における計測時間内の平均熱中性子束が求められた。これを用いて「2.3 加速器定常中性子源に対する検討」の2次元定常解析結果を補正して、2次元ベースの計測時間内平均中性子束を得ることを考える。2次元定常解析結果に対する時間依存性の補正係数を下式にて作成する。

$$\text{時間依存性の補正係数} = \frac{\begin{array}{c} \boxed{1\text{次元時間依存解析による}} \\ \boxed{\text{マトリクス中心の計測時間}} \\ \boxed{\text{平均熱中性子束}} \end{array}}{\begin{array}{c} \boxed{1\text{次元定常解析による}} \\ \boxed{\text{マトリクス中心の}} \\ \boxed{\text{熱中性子束}} \end{array}}$$

ここで、各1次元解析の線源中性子の強度は、時間依存解析では単位中性子数／パルス／cm、定常解析では単位中性子数／単位時間／cmとする。従って、上式の分子は先にTDAコードから求められた計測時間平均熱中性子束を 1×10^5 倍（線源強度補正）したものである。一方、分母はTDA解析と同一の体系、同一の断面積（22群）を用いて、別途、ANISN-ORNLCODEで実施して得た熱中性

子束であり、値を下に示す。

1次元定常解析によるマトリクス中心の熱中性子束 (14MeV定常線源: 1n/s/cm)

空ドラム缶:	2.0563E-3n/cm ² /s
ポリエチレン:	1.6821E-2n/cm ² /s
人工鉱物:	1.8352E-3n/cm ² /s
可燃物模擬焼却灰:	2.3068E-3n/cm ² /s

これより、時間依存性の補正係数は下記の値となる。

時間依存の補正係数 (1n/パルス/1n/s)

空ドラム缶:	2.5459E+2
ポリエチレン:	1.6620E+2
人工鉱物:	3.2972E+2
可燃物模擬焼却灰:	2.6259E+2

一方、「2.3 加速器定常中性子源に対する検討」の2次元定常解析から14MeV定常線源強度1n/sのときのマトリクス中心の熱中性子束は下記の値である。

2次元定常解析によるマトリクス中心の熱中性子束 (14MeV定常線源: 1n/s)

空ドラム缶:	1.0823E-5n/cm ² /s
ポリエチレン:	1.1676E-4n/cm ² /s
人工鉱物:	8.1663E-6n/cm ² /s
可燃物模擬焼却灰:	1.0386E-5n/cm ² /s

これらより、測定装置の14MeV線源強度(7.7 × 10⁶n/s; 1.54 × 10⁵n/パルス)に対応する2次元ベースのマトリクス中心の計測時間平均熱中性子束は下式、

マトリクス中心の計測時間平均熱中性子束 (1.54 × 10⁵n/パルス相当)

= マトリクス中心の熱中性子束 (14MeV定常線源: 1n/s)

× 時間依存の補正係数 (1n/パルス/1n/s)

× 1.54 × 10⁵ (n/パルス)

を用いて、次の様になる。

マトリクス中心の計測時間平均の熱中性子束 (1.54 × 10⁵n/パルス相当)

空ドラム缶:	4.243E+2n/cm ² /s
ポリエチレン:	2.988E+3n/cm ² /s

人工鉱物 : $4.147E+2 n/cm^2/s$

可燃物模擬焼却灰 : $4.200E+2 n/cm^2/s$

以上の様に、測定装置の 14 MeV 線源強度に対応するマトリクス中心の計測時間平均の熱中性子束を求めた。次節にて、これを用いて計測時間平均の核分裂中性子放出率を評価し、先に実施した核分裂中性子源に対する検討結果を加えて、2 次元 Sn 法の総合的な評価を行う。

表2.4.2-1 時間依存1次元解析の計算パラメータ

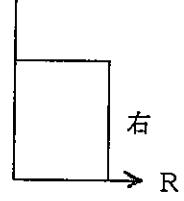
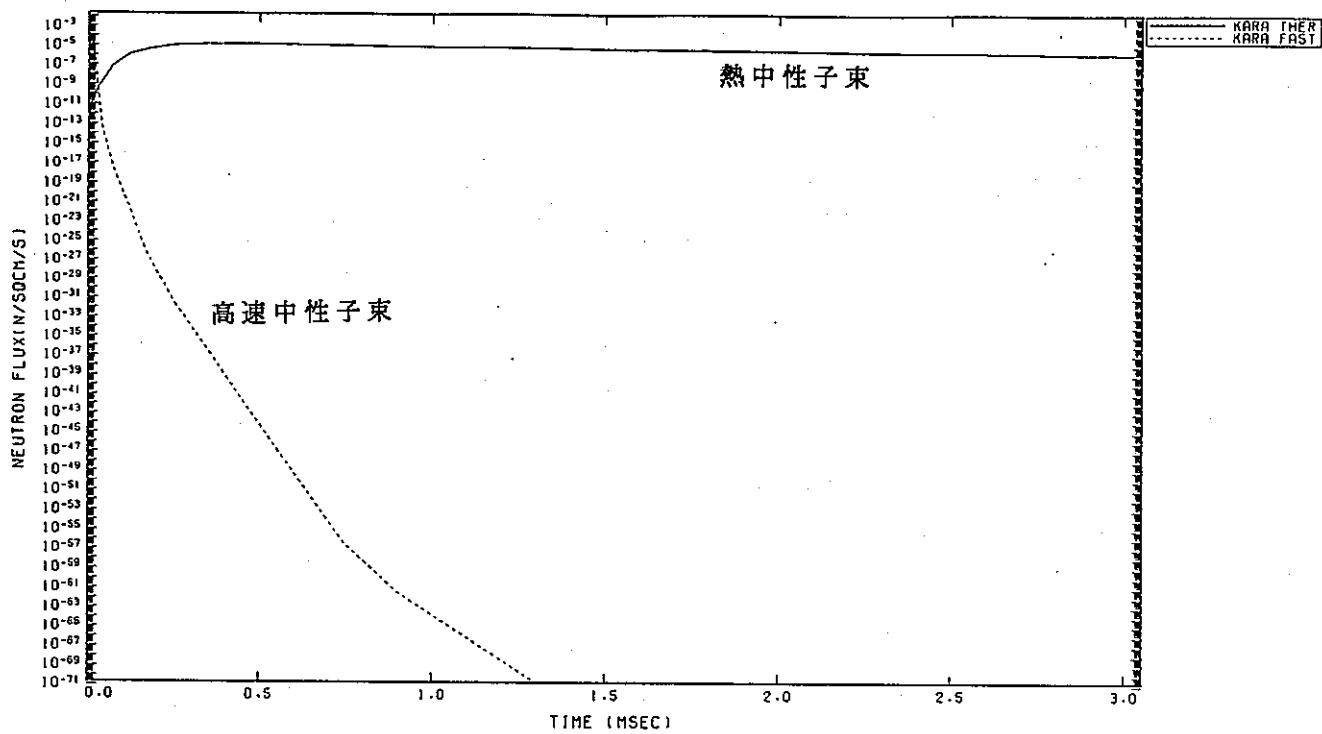
使用計算コード	TDA
計算体系	ドラム缶中心軸1次元円筒体系
線源	1.4 MeV 加速器パルス線源 ($0\mu\text{s} \sim 10\mu\text{s}$)
メッシュ数	半径方向メッシュ数 $I_M = 78$ 時間メッシュ数 ($0\mu\text{s} \sim 3100\mu\text{s}$) $D_3 = 26$
境界条件	 左：反射 右：真空
エネルギー群数	中性子21群、ガンマ線1群
散乱異方性	P3
S _n 分点	対称 S8
収束判定	メッシュごとに $1/100$

表2.4.3-1 マトリクス中心の熱中性子束の時間減衰と計測時間平均の熱中性子束

時間メッシュ (境界) μs	時間メッシュ (中点) μs	時間メッシュ幅 μs	マトリクス中心の熱中性子束 ($\text{n}/\text{sqcm}/\text{s}$)			
			空ドラム缶	ポリエチレン	人工鉱物	可燃物焼却灰
0	5	10	4.70649E-14	4.62409E-05	1.79810E-08	3.83421E-11
10	15	10	1.38429E-11	1.44933E-04	1.91993E-07	9.38859E-10
20	25	10	1.16850E-10	2.02869E-04	9.83875E-07	9.83315E-09
30	35	10	5.02807E-10	2.11536E-04	3.00969E-06	4.83847E-08
40	45	10	1.43600E-09	2.11619E-04	6.45025E-06	1.45619E-07
50	75	50	6.65635E-08	2.06397E-04	1.96477E-05	1.13955E-06
100	125	50	1.26851E-06	1.95991E-04	3.51671E-05	3.89306E-06
150	175	50	3.71734E-06	1.86199E-04	3.92129E-05	6.49770E-06
200	250	100	9.81021E-06	1.72643E-04	3.76561E-05	1.09396E-05
300	350	100	1.36762E-05	1.55257E-04	3.31397E-05	1.41774E-05
400	450	100	1.47575E-05	1.38454E-04	2.83418E-05	1.57024E-05
500	550	100	1.35123E-05	1.21678E-04	2.43000E-05	1.57934E-05
600	650	100	1.11138E-05	1.06124E-04	2.08486E-05	1.47578E-05
700	750	100	9.99982E-06	9.09892E-05	1.78627E-05	1.32944E-05
800	900	200	9.62551E-06	7.18481E-05	1.42579E-05	1.17067E-05
1000	1100	200	8.50975E-06	5.18738E-05	1.06659E-05	9.75113E-06
1200	1300	200	7.09350E-06	3.71780E-05	8.05054E-06	8.12016E-06
1400	1500	200	5.88239E-06	2.66175E-05	6.11407E-06	6.78734E-06
1600	1700	200	5.07855E-06	1.91049E-05	4.66171E-06	5.64681E-06
1800	1900	200	4.34367E-06	1.37669E-05	3.56247E-06	4.72141E-06
2000	2100	200	3.60627E-06	9.97460E-06	2.72676E-06	3.92815E-06
2200	2300	200	3.11341E-06	7.26368E-06	2.08857E-06	3.28218E-06
2400	2500	200	2.65159E-06	5.31773E-06	1.60096E-06	2.73369E-06
2600	2700	200	2.22546E-06	3.91148E-06	1.22731E-06	2.28139E-06
2800	2900	200	1.90837E-06	2.88990E-06	9.41262E-07	1.90213E-06
3000	3050	100	1.68984E-06	2.30877E-06	7.71254E-07	1.66025E-06
3100						
計測時間内 平均熱中性子束 $\text{n}/\text{sqcm}/\text{s}$			5.23522E-06	2.79566E-05	6.05110E-06	6.05739E-06
相対値			1.000	5.340	1.156	1.157

注. 計測時間 : 600 μs ~ 3100 μs

空ドラム缶(マトリクス中心)



ポリエチレン(マトリクス中心)

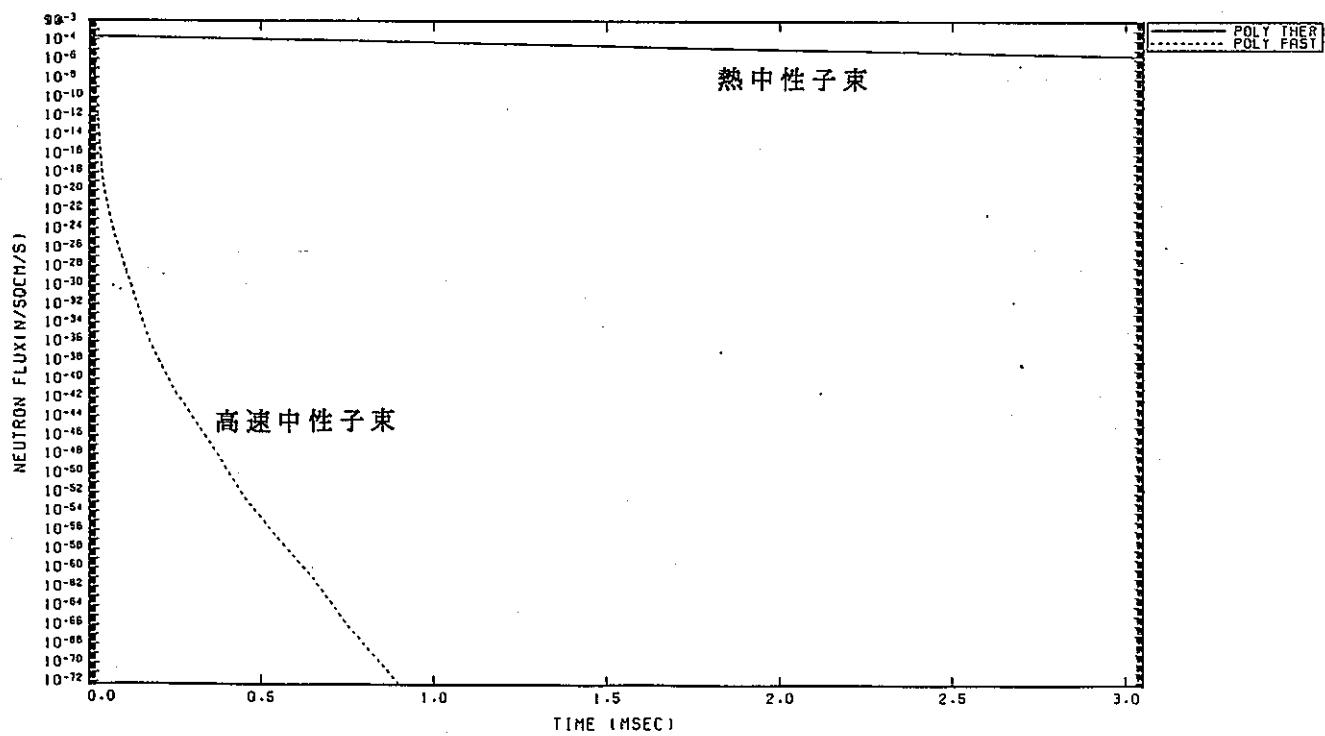
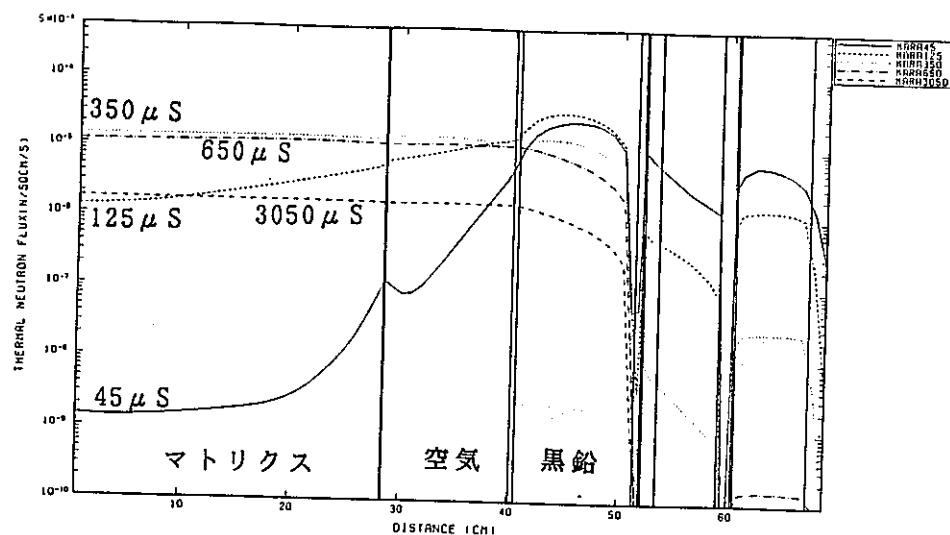
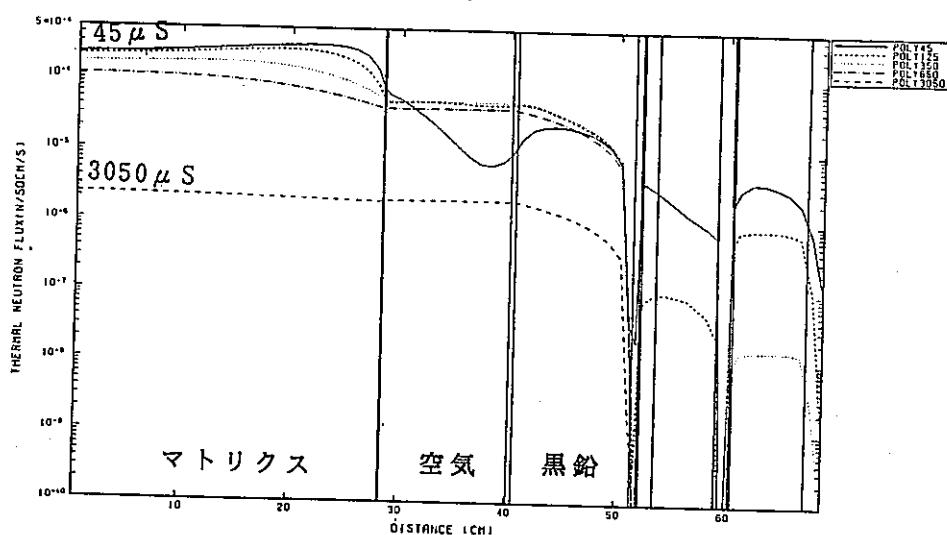


図2.4.3-1 マトリクス中心の高速中性子束 ($E \geq 0.1 \text{ MeV}$)、熱中性子束の時間減衰

空ドラム缶



ポリエチレン



可燃物模擬焼却灰

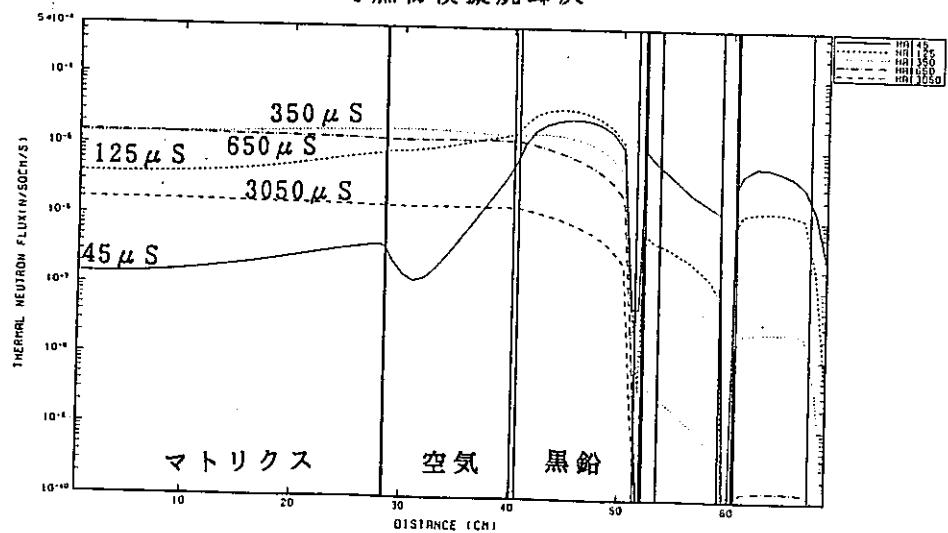
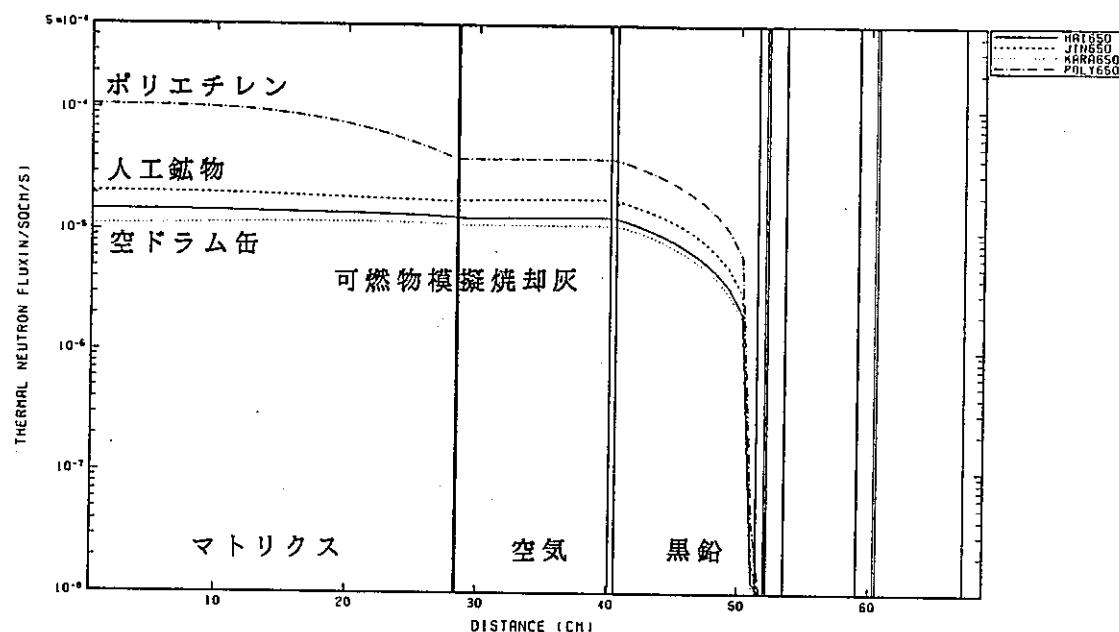


図2.4.3-2 体系内の熱中性子束分布の時間変化

線源パルス発生開始後 $650 \mu s$ (パルス終了後 $640 \mu s$)



線源パルス発生開始後 $3050 \mu s$ (パルス終了後 $3040 \mu s$)

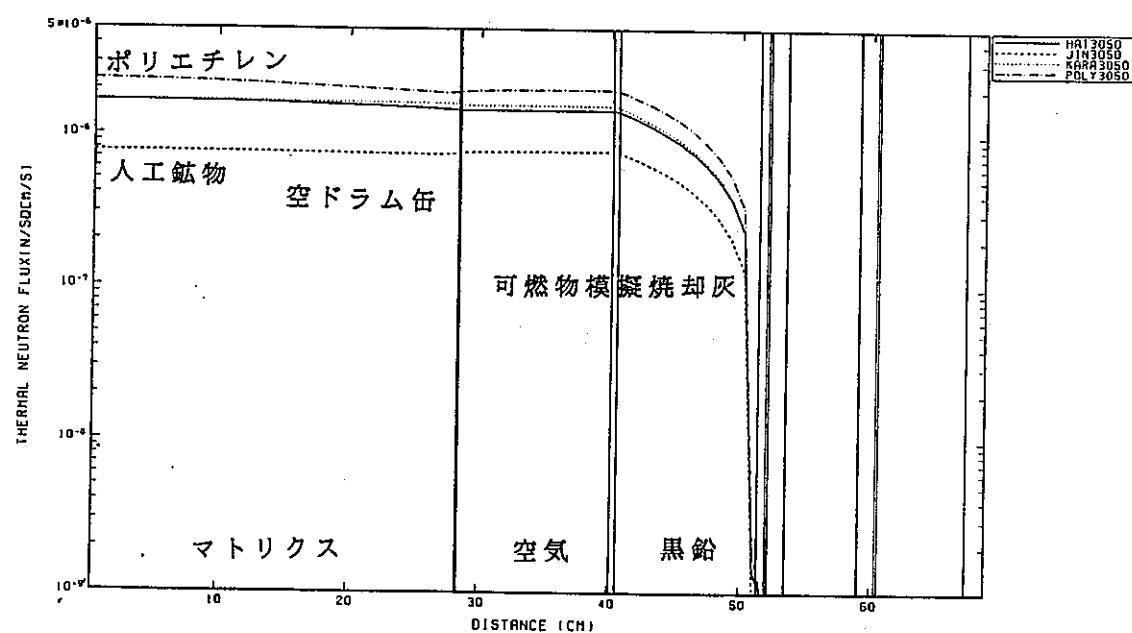


図2.4.3-3 線源パルス発生開始後 $650 \mu s$ と $3050 \mu s$ におけるマトリクス内の熱中性子束分布

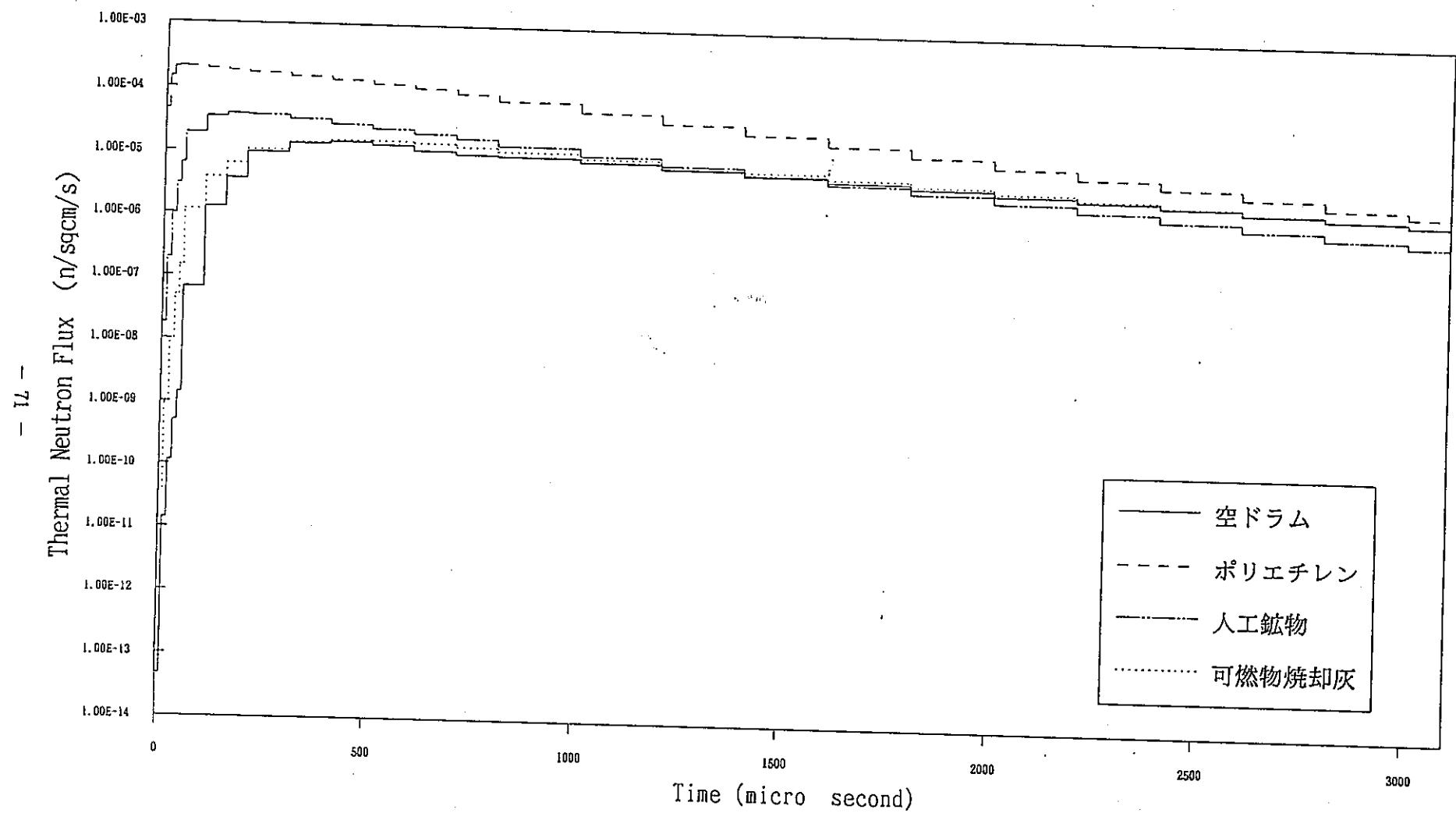


図2.4.3-4 マトリクス中心の熱中性子束の時間減衰

2.5 2次元 Sn 法の総合評価

前節では、均質マトリクス中心の計測時間平均の熱中性子束を、 J S D J 2 ライブライアリを用いて求めた。本節では、これを用いて均質マトリクス内に Pu 試料を置いたときの計測時間平均の核分裂中性子放出率を評価し、先に実施した核分裂中性子源に対する検討結果を加えて、2次元 Sn 法の総合的な評価を行った。対象とした Pu 試料は A 4 及び A 5 であり、これら試料を均質マトリクス中に置いたときの計数率測定値を（黒鉛壁中の 12 本の計数管の Shielded Totals）に Appendix 1 に示す。また、図 2.5-1 に断面積の作成から計数率評価までの流れを示す。

2.5.1 Pu 試料の核分裂断面積等

Pu 試料の核分裂断面積、核分裂あたりの中性子放出数等を下に示す。また、算出の詳細を Appendix 4 に示す。なお、核分裂断面積として Pu-239 と Pu-241 の熱中性子断面積を考慮した。

Pu 試料	Pu 重量 g	核分裂断面積 1/cm	核分裂あたりの 中性子発生数	試料体積 cm ³
A 4	0.73	7.576E-1	2.88	1.99
A 5	1.461	1.082E+0		1.99

2.5.2 計測時間平均の核分裂中性子放出率

これらの Pu 試料をマトリクス中心に置いたときの計測時間平均の核分裂中性子放出率を、測定装置の 14 MeV 線源強度を $7.7 \times 10^6 n/s$ （「共同研究報告書」； $1.54 \times 10^5 n/\text{パルス}$ ）として算出した。ここで、Appendix 1 に記載の測定値との比較を行う観点から、空ドラム缶、ポリエチレン及び可燃物模擬焼却灰については Pu 試料として A 4 と A 5 の 2 個が中心にあるとし、人工鉱物については A 4 のみがあるとした。なお、Pu 試料による中性子の自己吸収効果は「共同研究報告書」図 6.4 より、

A 4 + A 5 : ファクタ 1 / 2

A 4 : ファクタ 0.87

とした。計測時間平均の核分裂中性子放出率を下に示す。

計測時間平均の核分裂中性子放出率 (1. 54 × 10⁵ n / パルス相当)

空ドラム缶 (A 4 + A 5) : 4.475E+3 × 1/2 = 2.238E+3n/s

ポリエチレン (A 4 + A 5) : 3.151E+4 × 1/2 = 1.576E+4n/s

人工鉱物 (A 4) : 1.801E+3 × 0.87 = 1.567E+3n/s

可燃物模擬焼却灰 (A 4 + A 5) : 4.429E+3 × 1/2 = 2.215E+3n/s

2.5.3 検出器計数率の計算値の算出と測定値との比較

計測時間平均の核分裂中性子放出率に「2.2 核分裂中性子源に対する検討」から得られた単位強度の核分裂中性子源に対する検出器計数率 (cps / n / s) を乗じて各Pu試料を均質なマトリクスの中心に置いたときの検出器計数（黒鉛壁中の12本の計数管の Shielded Totals）を求めた。ここで、この単位強度の核分裂中性子源に対する検出器計数率は JSDJ2ベースのドラム缶中心軸体系／検出器中心軸体系接続計算による値を採用した。更に、参考として単位強度の核分裂中性子源に対する検出器計数率として実測値を用いた場合も評価した。評価結果を下に示す。

マトリクス種類	計測時間平均 の核分裂中性 子放出率 n/s	単位強度の核分裂中性子源 に対する検出器計数率 cps/n/s		検出器計数率(C) 計算値 cps	
		計算値①	実測値②	①	②
空ドラム缶	2.238E+3	1.13E-1	1.71E-2	2.53E+2	3.83E+1
ポリエチレン	1.576E+4	4.25E-2	1.19E-2	6.70E+2	1.88E+2
人工鉱物	1.567E+3	1.07E-1	2.45E-2	1.68E+2	3.84E+1
可燃物模擬焼却灰	2.215E+3	1.26E-1	2.29E-2	2.79E+2	5.07E+1

マトリクス種類	検出器計数率(E)		検出器計数率 C/E cps	
	測定値 cps			
	①	②		
空ドラム缶	4.68E+2	0.54	0.082	
ポリエチレン	6.35E+2	1.06	0.30	
人工鉱物	1.56E+2	1.08	0.25	
可燃物模擬焼却灰	2.79E+2	1.00	0.18	

これらより以下のことが判る。

- a. 単位強度の核分裂中性子源に対する検出器計数率として計算値を用いるとき (①) の C/E 値は概ね 1 ~ 0.5 である。
- b. 単位強度の核分裂中性子源に対する検出器計数率として実測値を用いるとき (②) の C/E 値は概ね 0.3 ~ 0.08 である。
- c. 一方、単位強度の核分裂中性子源に対する検出器計数率の計算値 (表 2.2.4-1; JSDJ2ベース) の C/E 値と比較し、
 - ・ 加速器時間依存線源に対するマトリクス内の核分裂率は過小評価傾向にある
 - ・ マトリクス内の定常核分裂線源に対する検出器計数率は過大評価傾向にある
 ことが判る。

以上をまとめると次の様になる。

マトリクス種類	加速器時間依存 線源に対するマ トリクス内核分 裂率 C/E	定常核分裂線源 に対する検出器 計数率 C/E	総合評価 加速器時間依存 線源に対する検 出器計数率 C/E
空ドラム缶	0.082	6.60	0.54
ポリエチレン	0.30	3.56	1.06
人工鉱物	0.25	4.35	1.08
可燃物模擬焼却灰	0.18	5.48	1.00

2.5.4 まとめ

2次元 S_n 法解析に 1 次元 S_n 法時間依存解析を組み合わせることにより均質マトリクス中心の P_u 試料による検出器計数率の計算精度 (C/E 値) は、概ね、ファクタ 1 ~ 0.5 となった。ただし、これは加速器時間依存線源に対するマトリクス内の核分裂率の計算精度とマトリクス内の定常核分裂線源に対する検出器計数率の計算精度がそれぞれ相反傾向にあり、結果として得られたものである。また、両者の相反傾向はファクタ 0.08 ~ 6.6 の範囲であり、後述の 3 次元モンテカルロ法の場合より精度は悪い。

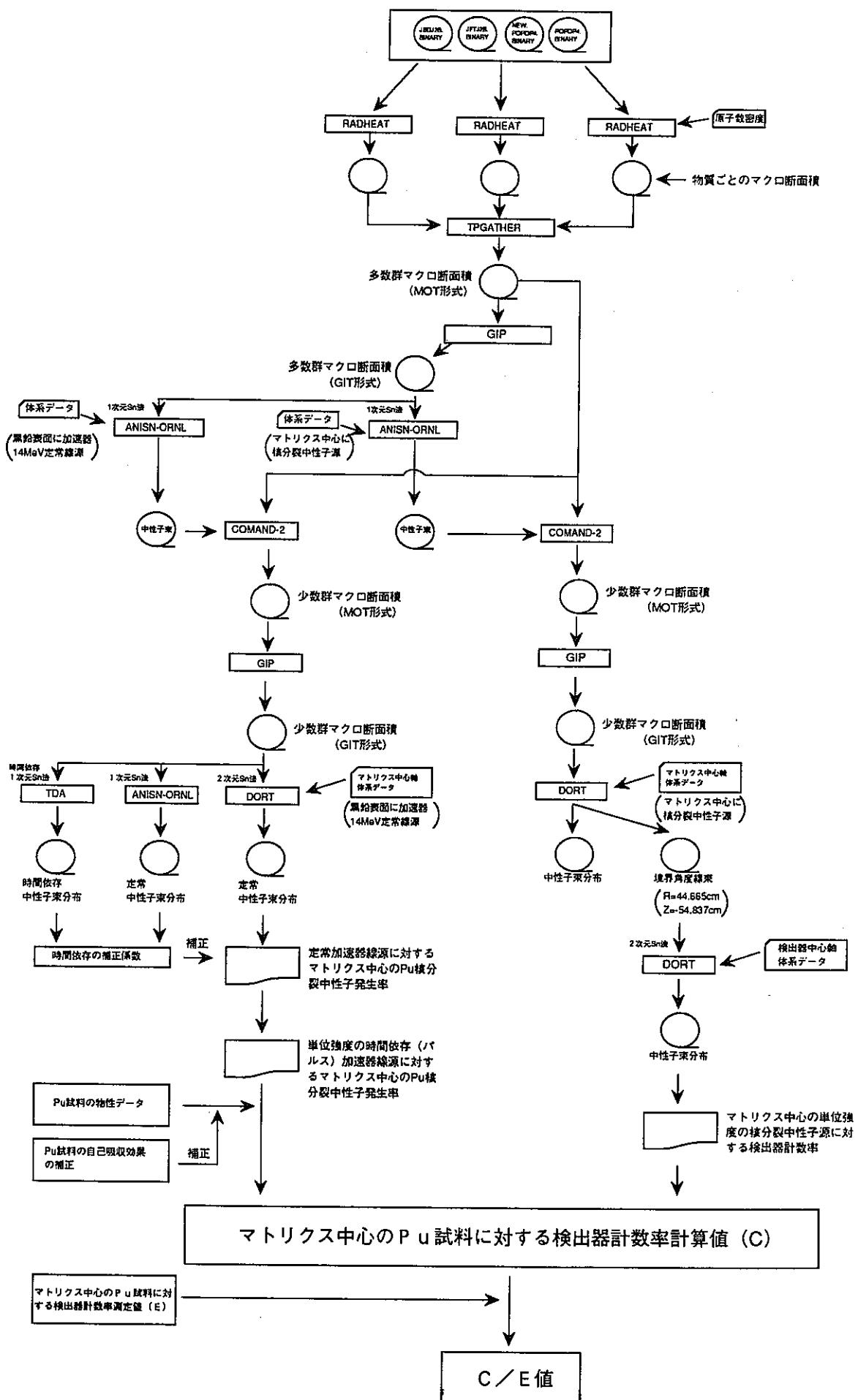


図2.5-1 2次元Sn法による解析の全体構成 (JSDD2ライブラリ)

3. 3次元モンテカルロ法の試用

3.1 核分裂中性子源を対象とした解析

3.1.1 解析手法

解析は可燃物焼却灰のマトリクスを対象とし、JSDJ2ライブラリーを用いた3次元モンテカルロコードMORSEにより実施した。計算コードは、2次元計算との比較を考慮して、2次元計算と同一の断面積が使用できるMORSEコードとした。また、2章の「2次元Sn法の適用性向上検討・適用化」における検討の結果、熱群を1群近似で取り扱っても有為な差のないことからJSDJ2ライブラリーとした。

検出器は、モデル化による違いを検討するため、部屋の3方向に以下に示す3種類の体系を配置した。

- ① 3本の計数管がバンク状に並立した実形状を正確に取り扱った体系（以後検出器①と記載する）
- ② 1本の計数管のみを取り扱った体系（以後検出器②と記載する）
- ③ 2章の2次元Sn計算と同等の体系で、1本の計数管を2次元円筒形状にモデル化した体系（以後検出器③と記載する）

3.1.2 解析条件

① 計算コード	MORSEコード
② 計算体系図	体系図を図3.1.2-1に示す。検出器部分の体系図を図3.1.2-2～図3.1.2-4に示す。
③ 核定数ライブラリー	JSDJ2ライブラリー。Cf-252の核分裂スペクトルを用いて21群に縮約した。
④ 線源条件	可燃物焼却灰中心に単位強度のCf-252中性子線源。表3.1.2-1に値を示す。
⑤ 非等方散乱近似	P3近似
⑥ 評価位置	検出器①～③
⑦ Estimator	Track Length Estimator

3.1.3 解析結果

計算結果を下記の通り図表にまとめた。

PICTUREコードで確認した計算体系

図3.1.3-1

計算結果のまとめ ($E < 0.414\text{MeV}$)

表3.1.3-1

各検出器の熱中性子束の比較

図3.1.3-2

3.1.4 評価

- ① 各検出器間の熱中性子束を比較すると、検出器①は、検出器②および検出器③に比べて25～60%大きく、検出器②と検出器③は差のない結果となっている。従って、計数管3体と1体のモデル化の影響は高々60%程度である。

これらの結果から、検出器各1体毎の相互干渉効果は少ないものと判断できる。

- ② MORSEの計算値と測定値を比較して表3.1.4-1にまとめた。検出器②と検出器③のC/E値は1.2で、検出器①のC/E値1.79より良い結果となっている。この理由については、不明である。

③ 3次元計算によるC/E値（1.79）は、2次元計算によるC/E値5.48（表2.2.4-1から抜粋して表3.1.4.2に示した）と比較してファクター3の改善になっている。即ち、3次元形状効果は（MORSE/DOT3.5)=1/3である。

2次元計算は3次元計算と比較して、ⅰ) 検出器の計数管1体をモデル化 ⅱ) 検出器中心軸体系の側面境界の中性子が全て内向きになっている ⅲ) 部屋の黒鉛壁を2次元円筒体系でモデル化している点に差がある。ⅰ)の検出器のモデル化の影響は前項の①より60%以下と考えられるので、ⅱ)とⅲ)の影響が主要と考えられる。

表3.1.2-1 エネルギー群毎の線源強度

エネルギー群		線 源	
No.	上限値(Ev)	核分裂線源	加速線源
1	1.4918E+7	3.7829E-2	1.0000E+0
2	5.4881E+6	1.3331E-1	0.0000E+0
3	3.3287E+6	2.2224E-1	0.0000E+0
4	2.0190E+6	2.2356E-1	0.0000E+0
5	1.2246E+6	1.6584E-1	0.0000E+0
6	7.4274E+5	1.0259E-1	0.0000E+0
7	4.5049E+5	5.6969E-2	0.0000E+0
8	2.7324E+5	2.9660E-2	0.0000E+0
9	1.6573E+5	2.1063E-2	0.0000E+0
10	6.7379E+4	6.0102E-3	0.0000E+0
11	2.4788E+4	9.2778E-4	0.0000E+0
合計値		1.0000E+0	1.0000E+0

表3.1.3-1 計算結果のまとめ (E < 0.414 eV)

評価位置	熱群中性子束 (n/cm ² /sec)	F.S.D. (%)	備考
検出器①-1	1.96E-5	5.8	
検出器①-2	2.62E-5	5.7	
検出器①-3	2.39E-5	5.8	
検出器②	1.56E-5	6.8	
検出器③	1.56E-5	7.4	

注) Track Length Detector Estimator 200*500バッチの結果

表3.1.4-1 JSDJ2ライブラリーによるMORSE計算値と測定値によるC/E値の比較 Track Length Estimator

マトリックス	検出器		規格化熱中性子 束計算値 (n/cm ² /s/n/s)	計数管感度 (計数/nv)	計数管本数	C	E	C/E
	形状	計数管 本数				規格化計数計算値 (CPS/n/s)	規格化計数測定値 (CPS/n/s)	
模擬焼却灰	①	3	(6.97±0.40)*10 ⁻⁵	147	12	(4.10±0.24)*10 ⁻²	2.29*10 ⁻²	1.79±0.10
模擬焼却灰	②	1	(1.56±0.11)*10 ⁻⁵	147	12	(2.75±0.19)*10 ⁻²	2.29*10 ⁻²	1.20±0.08
模擬焼却灰	③	1	(1.56±0.12)*10 ⁻⁵	147	12	(2.75±0.21)*10 ⁻²	2.29*10 ⁻²	1.20±0.09

表3.1.4-2 JSDJ2ライブラリーによる2次元計算値*と測定値によるC/E値の比較

マトリックス	計算体系	規格化熱中性子 束計算値 (n/cm ² /s/n/s)	計数管感度 (計数/nv)	計数管本数	C規格化計数計算値 (CPS/n/s)	F規格化計数測定値 (CPS/n/s)	C/E
模擬焼却灰	検出器中心 軸	7.12E-5	147	12	1.27E-1	2.29E-2	5.48

*表2.2.4-1に基づくデータ

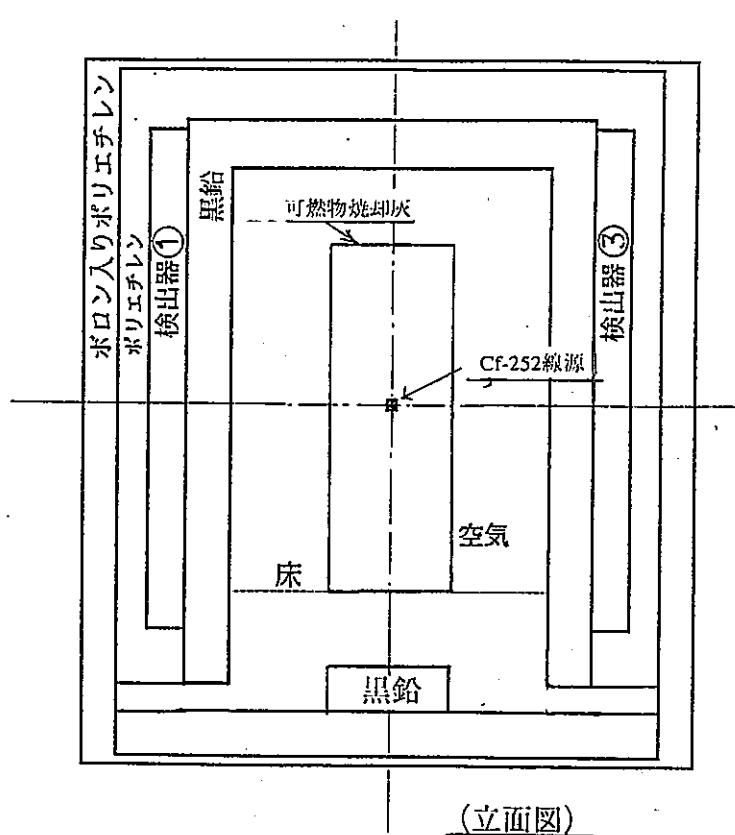
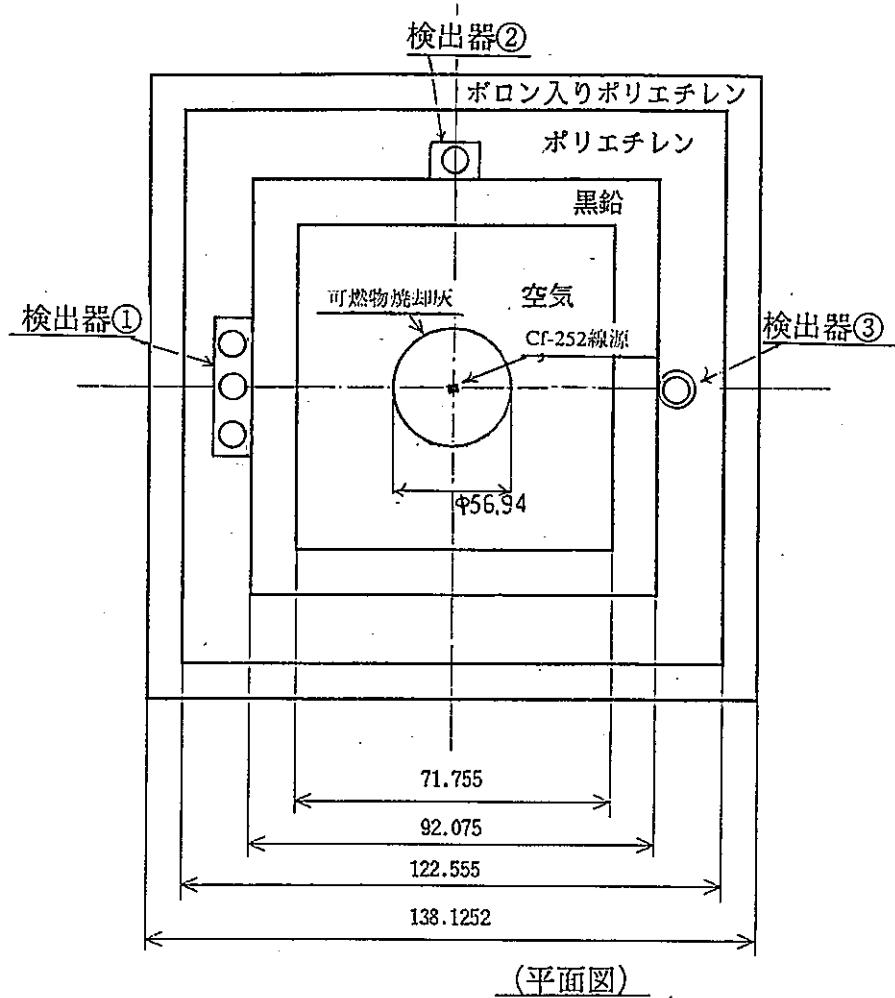


図3.1.2-1 核分裂中性子源用 3次元計算体系図

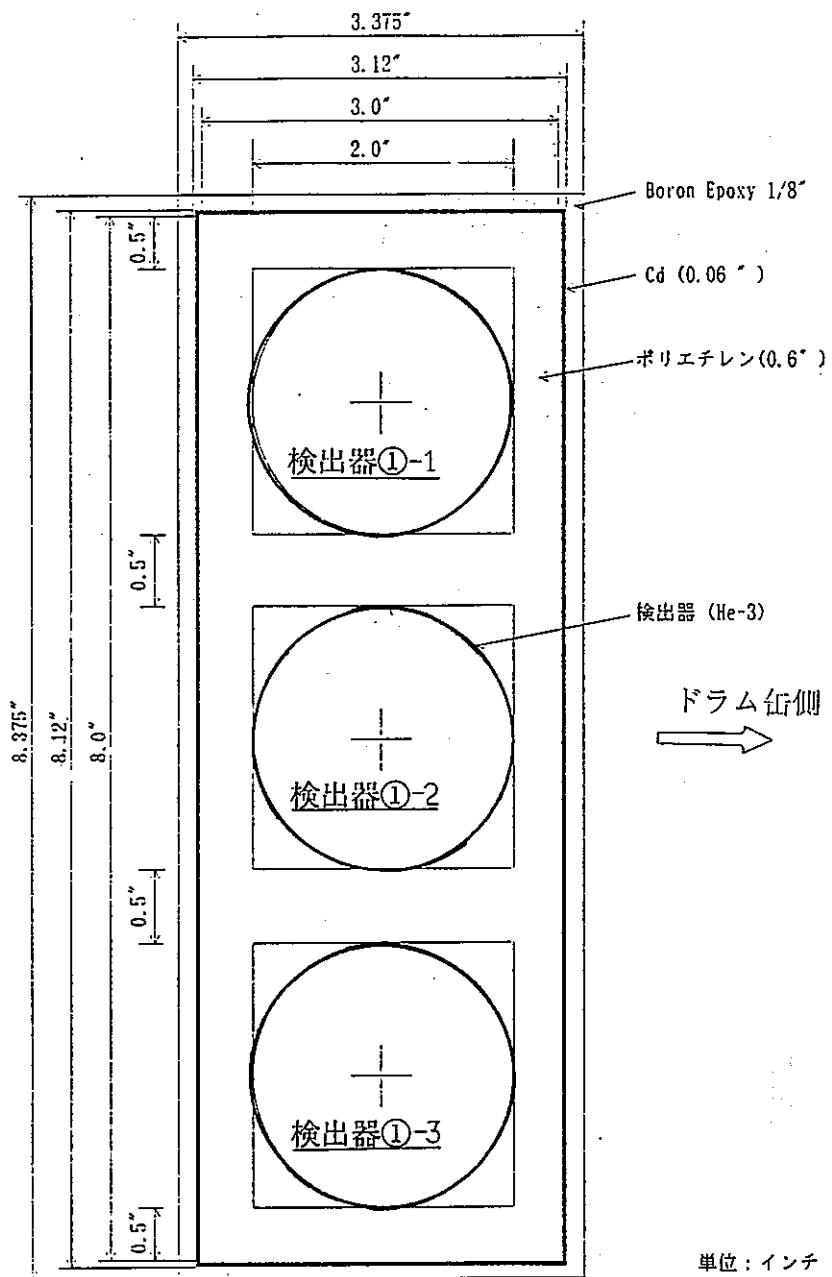


図3.1.2-2 検出器①計算体系図

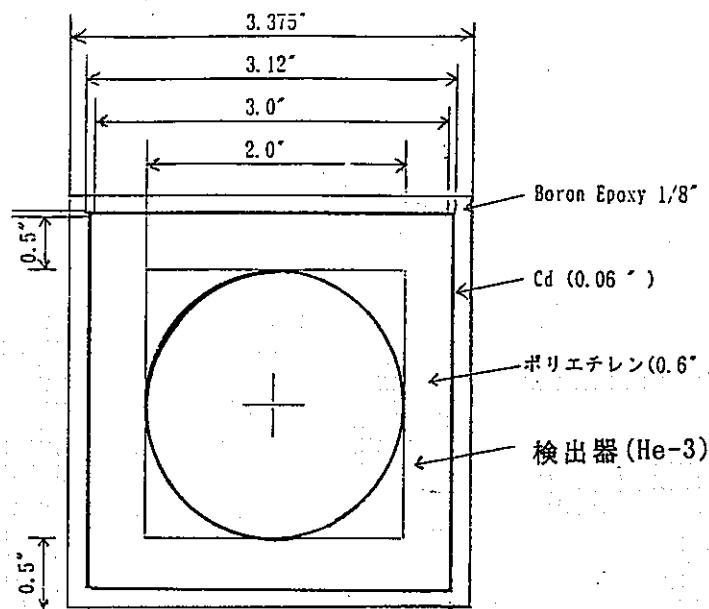


図3.1.2-3 検出器②計算体系図

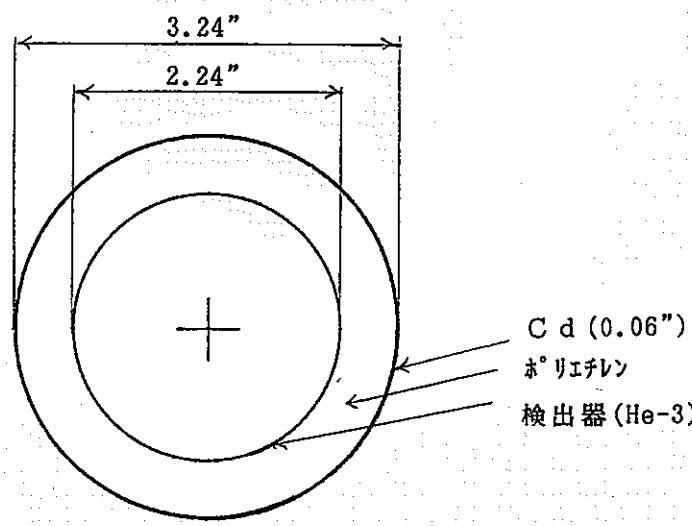


図3.1.2-4 検出器③計算体系図

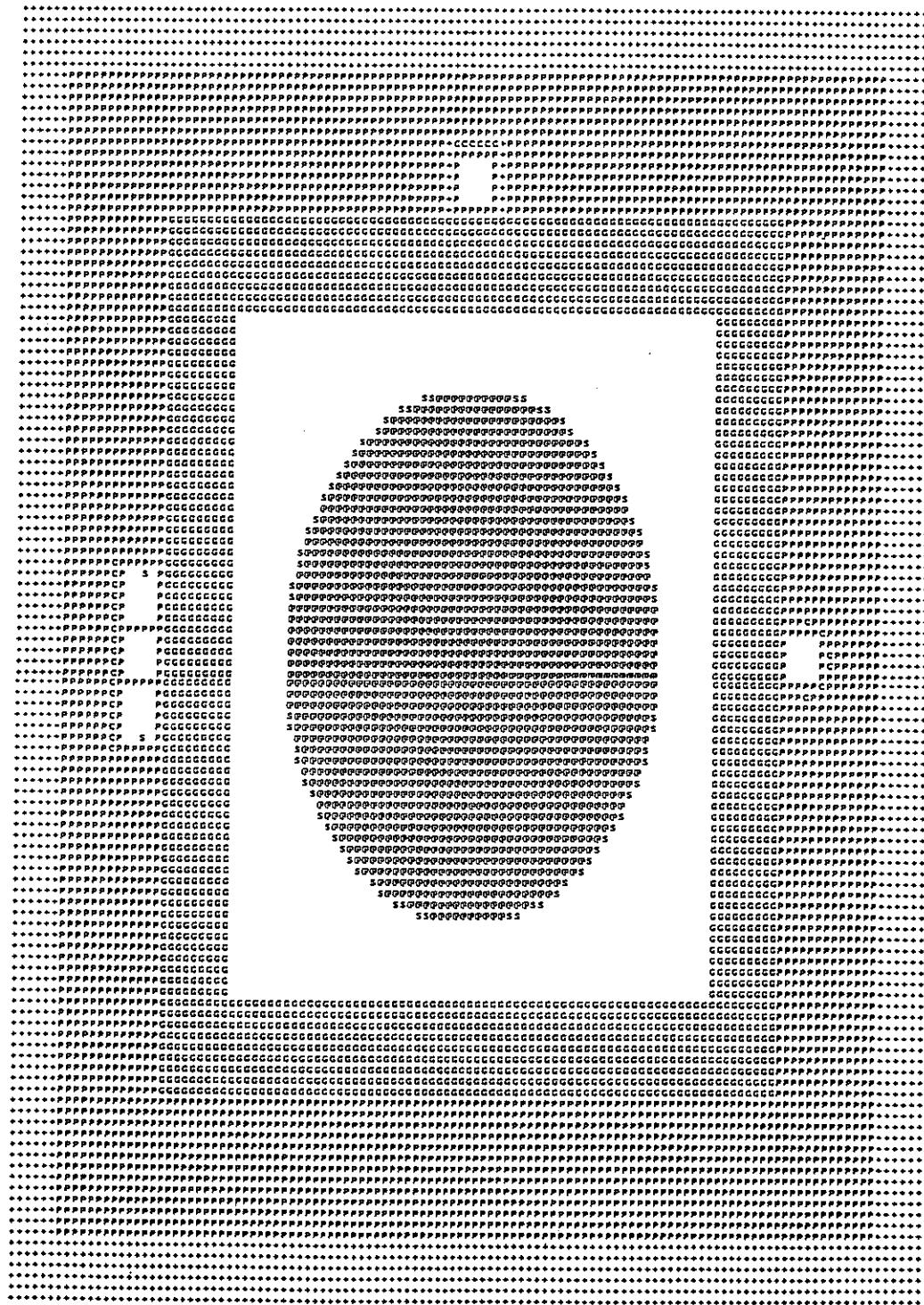


図3.1.3-1 3次元計算体系図（マトリクス中心レベルの平面図）（1／5）

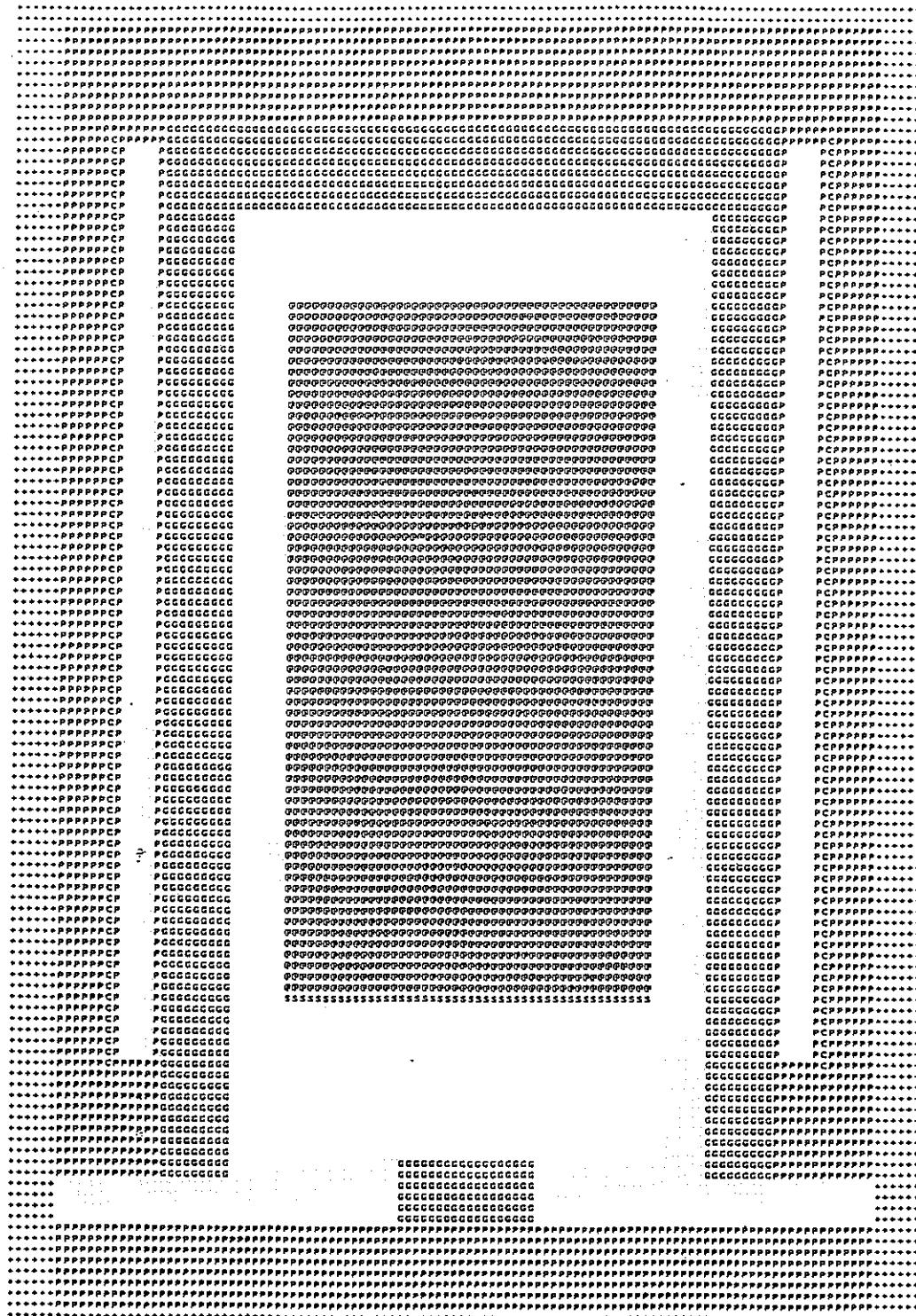


図3.1.3-1 3次元計算体系図（マトリクス中心の立面図）（2／5）

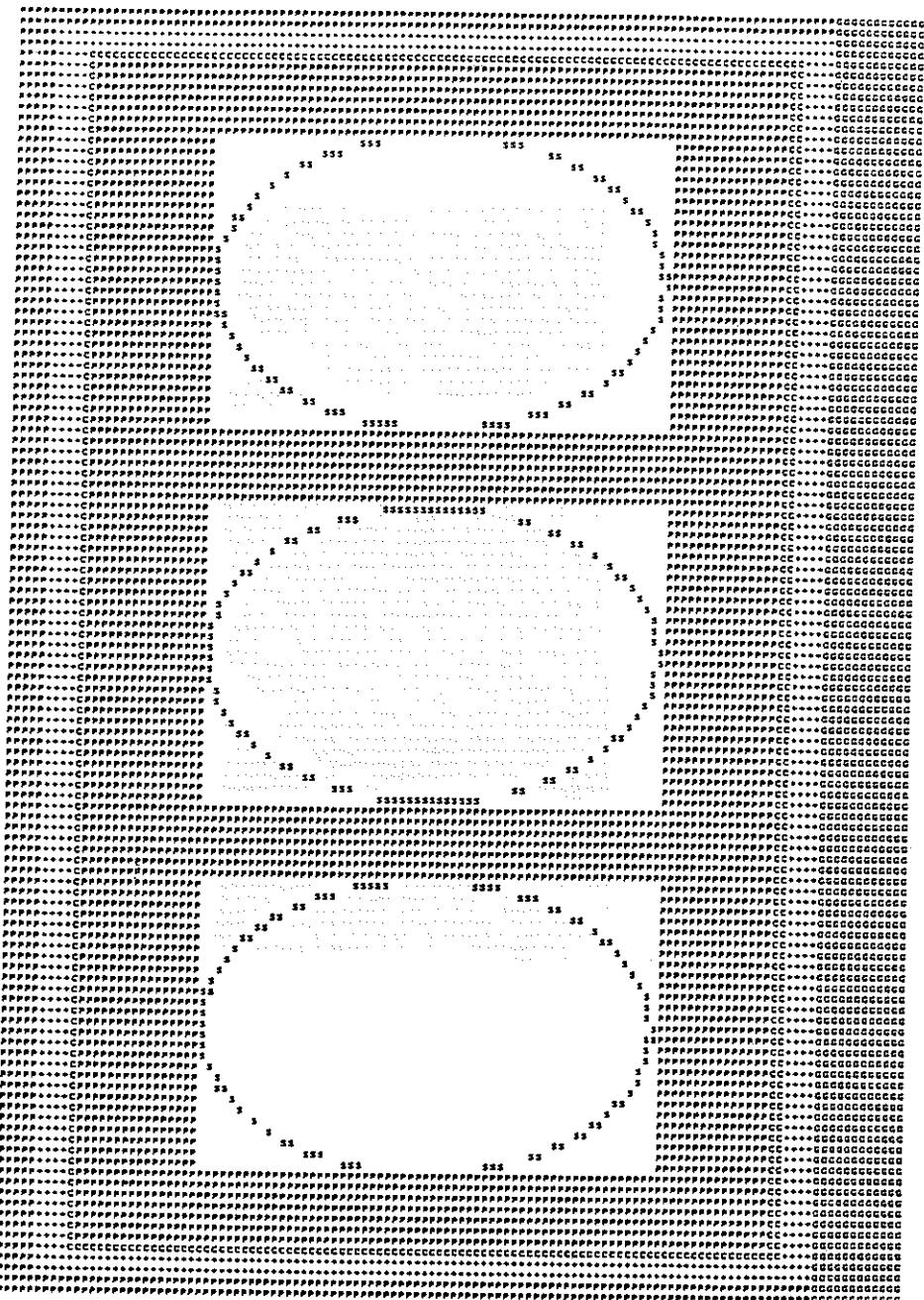


図3.1.3-1 3次元計算体系図（検出器①の拡大図）（3／5）

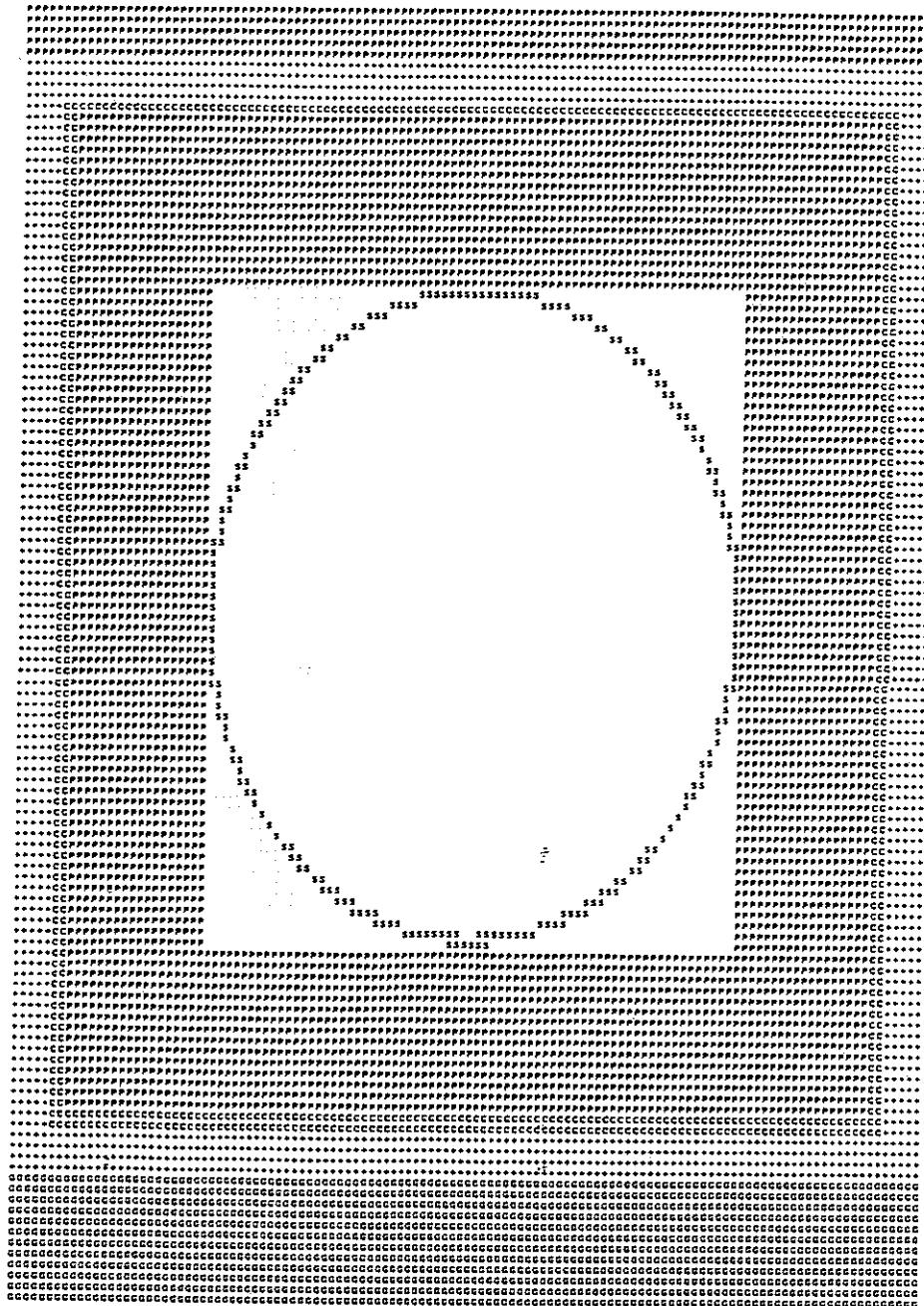


図3.1.3-1 3次元計算体系図（検出器②拡大図）（4／5）

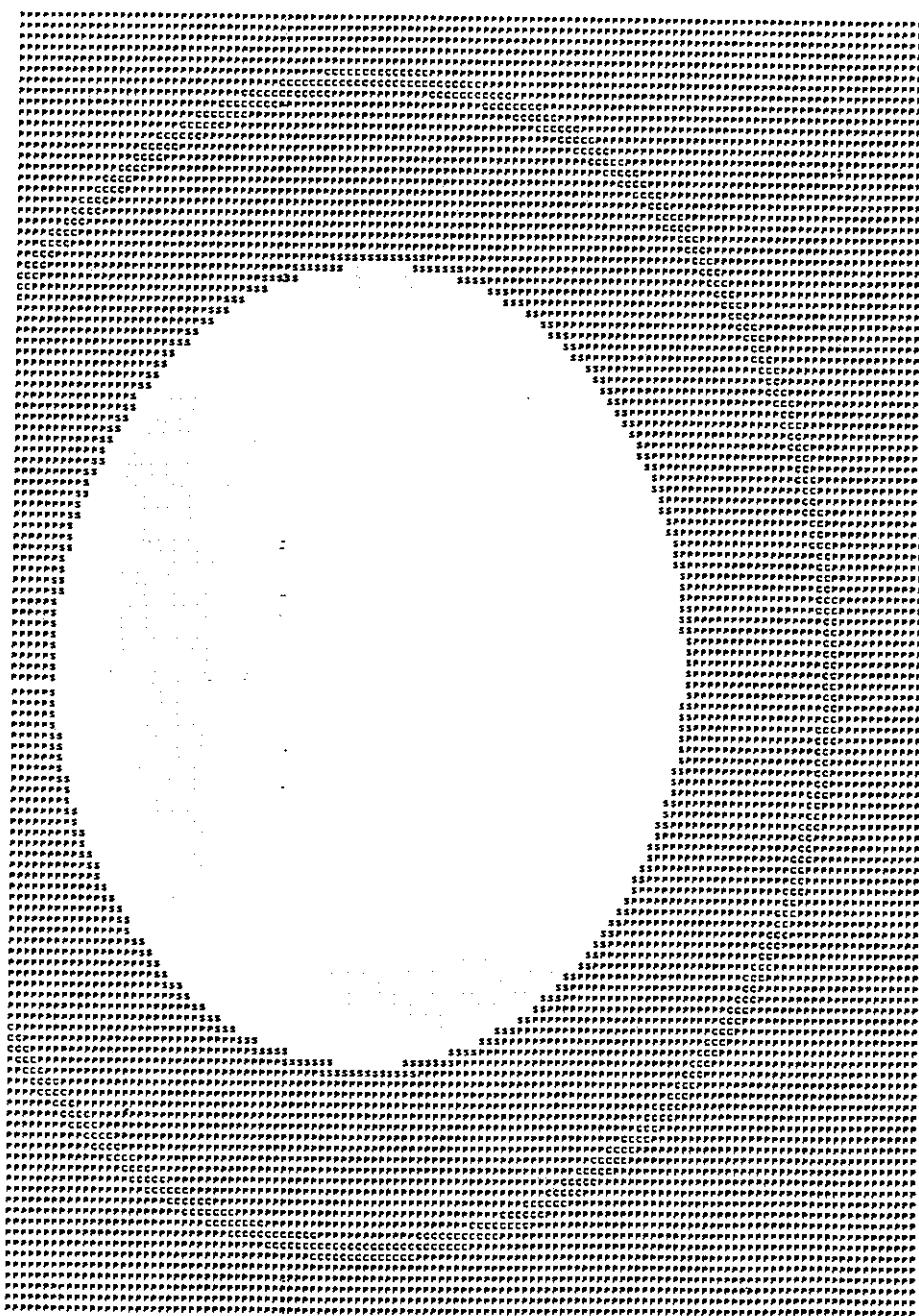


図3.1.3-1 3次元計算体系図（検出器③拡大図）（5／5）

Thermal Neutron Flux (n/cm²/sec)

1.00E-04

1.00E-05

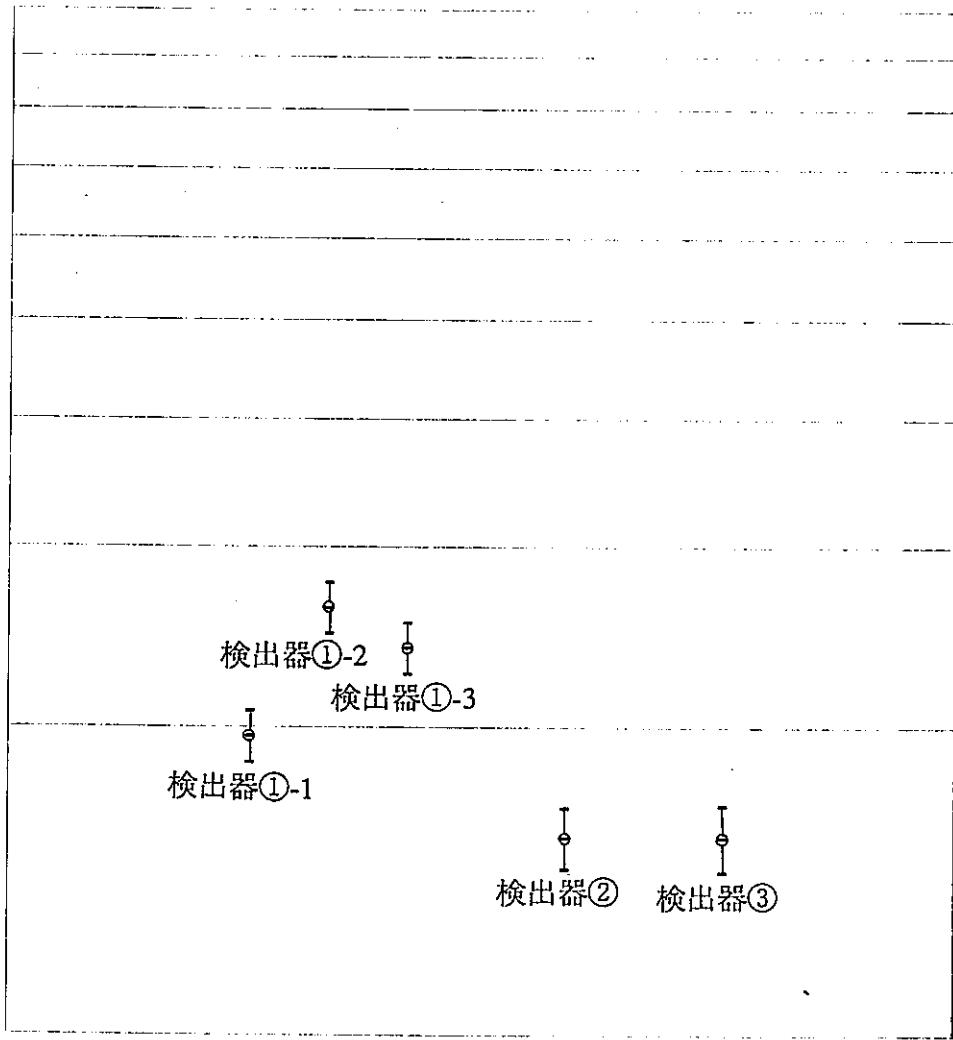


図3.1.3-2 各検出器の熱中性子束の比較

3.2 加速器中性子源を対象とした検討

3.2.1 解析手法

前項の「3.1 核分裂中性子源を対象とした解析」と同様である。ただし、線源は部屋の角隅に14MeVの単色エネルギーを配置し、評価位置はマトリクス中心とした。

3.2.2 解析条件

① 計算コード	MORSEコード
② 計算体系図	体系図を図3.2.2-1に示す。
③ 核定数ライブラリー	JSDJ2ライブラリー
④ 線源条件	14MeVエネルギーの線源。14MeV線源の中性子束を重みに21群に縮約した。
⑤ 非等方散乱近似	P3近似
⑥ 評価位置	ドラム缶の中心
⑦ Estimator	Point Detector Estimator

3.2.3 解析結果

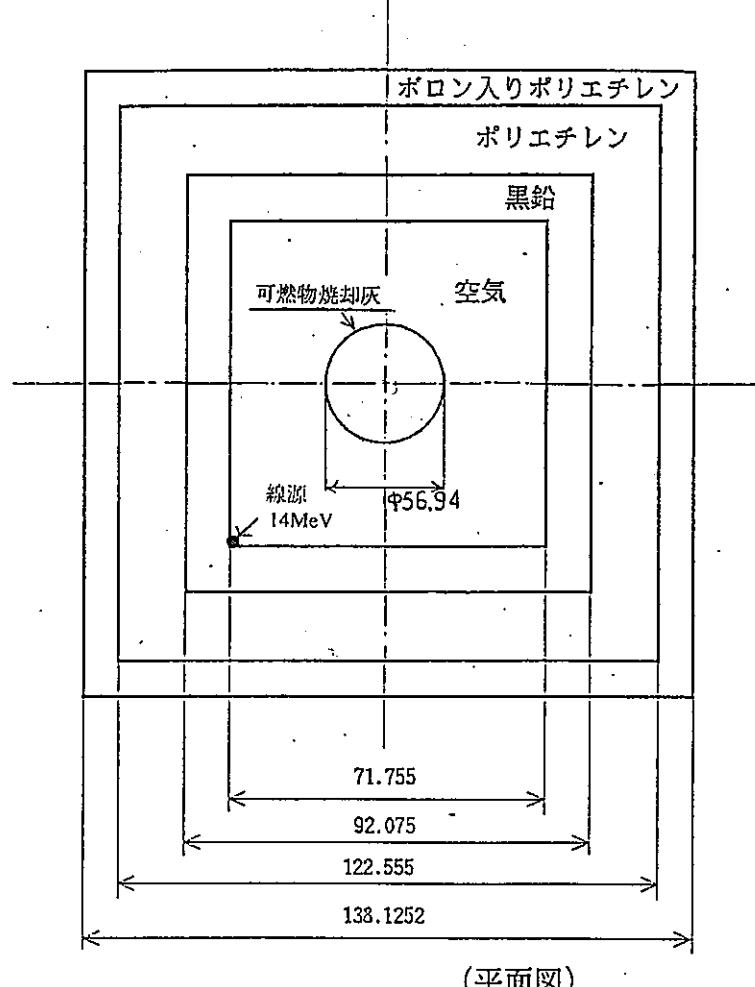
計算結果を下記の通り図表にまとめた。

計算結果のまとめ (E<0.414eV)

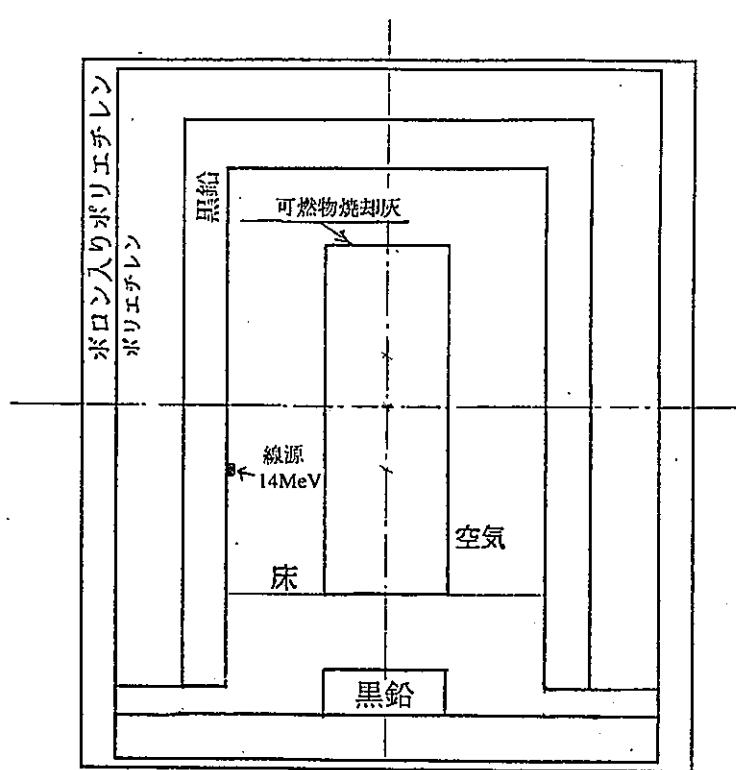
表3.2.3-1

3.2.4 評価

3次元計算から得られたドラム缶中心の熱中性子束は $2.81E-5n/cm^2/sec$ である。一方、2章の2次元計算から得られているドラム缶中心の熱中性子束は $1.04E-5n/cm^2/sec$ であるので、3次元形状効果 (MORSE/DOT3.5) =2.7となる。



(平面図)



(立面図)

(単位: cm)

図3.2.2-1 加速器中性子源用 3次元計算体系図

表3.2.3-1 計算結果のまとめ ($E < 0.414\text{eV}$)

評価位置	熱中性子束 (n/cm ² /sec)	F.S.D. (%)	備考
(0.0,0.0,-14.2)	2.53E-5	4.7	線源真横
(0.0,0.0,1.0)	2.92E-5	5.8	体系中心
(0.0,0.0,+14.2)	2.91E-5	7.8	

注) Point Detector Estimator 200*206バッチの結果

3.3 3次元モンテカルロ法の総合評価

前節及び前々節の評価に1次元S_n法時間依存コードTDAから求めた時間依存の補正係数を組み合わせて、JSJDJ2ライブラリを用いた3次元モンテカルロ法の総合評価を行った。図3.3-1に、断面積作成から計数率評価までの解析の流れを示す。即ち、「2.4 2次元S_n法の総合評価」と同様な手法によって、マトリクス中心の計測時間平均の熱中性子束 ($1.54 \times 10^5 n/\text{パルス相当}$) は、(注。FSD: 相対標準偏差)

可燃物模擬焼却灰: $1.181E+3 n/cm^2/s$ (FSD: 5.8%)

となり、計測時間平均の核分裂中性子放出率は、

可燃物模擬焼却灰 (A4+A5) : $1.245E+4 n/s$ (FSD: 5.8%)

となる。ただし、Pu試料の自己吸収効果として1/2を考慮した。これらを用いて、検出器計数率を算出し、測定値と比較すると次の様になる。

検出器 モデル	計測時間平均 の核分裂中性 子放出率		単位強度の核分裂中性子源 に対する検出器計数率		検出器計数率 (C) 計算値		
	n/s	FSD	cps/n/s		cps		
			計算値①	FSD	実測値②	①	FSD
①	1.245E+4 5.8%		4.10E-2	10%	2.29E-2	5.11E+2	12%
②			2.75E-2	6.8%		3.42E+2	8.0%
③			2.75E-2	7.4%		3.42E+2	9.4%

検出器 モデル	検出器計数率 (E) 測定値 cps	検出器計数率 C/E			
		① FSD		② FSD	
		1.83	12%	1.02	5.8%
①	2.79E+2	1.23	8.0%	1.02	5.8%
②		1.23	9.4%		
③					

これらより以下のが判る。

- a. 単位強度の核分裂中性子源に対する検出器計数率として計算値を用いるとき (①) の C/E 値は概ね 1.8 ~ 1.2 (FSD : ~ 22%) である。
- b. 単位強度の核分裂中性子源に対する検出器計数率として実測値を用いるとき (②) の C/E 値は 1.0 (FSD : 16%) である。
- c. 一方、単位強度の核分裂中性子源に対する検出器計数率の計算値 (表 3.1.4-1 ; JSDJ2 ベース) の C/E 値と比較し、
 - ・ 加速器時間依存線源に対するマトリクス内の核分裂率はほぼ正確に評価される
 - ・ マトリクス内の定常核分裂線源に対する検出器計数率は過大評価傾向にある
(ただし、過大評価の程度は 2 次元 S n 法に比べファクタ 3 以上低減している)

以上をまとめると次の様になる。

検出器モデル	加速器時間依存線源に対するマトリクス内核分裂率 C/E FSD	定常核分裂線源に対する検出器計数率 C/E FSD	総合評価
①	1.02 ± 5.8%	1.79 10%	1.83 12%
②		1.21 6.8%	1.23 8.0%
③		1.21 7.4%	1.23 9.4%

以上の様に、3 次元モンテカルロ法解析に 1 次元 S n 法時間依存解析を組み合わせることにより均質マトリクス中心の Pu 試料による検出器計数率の計算精度 (C/E 値) は、概ね、ファクタ 1.8 ~ 1.2 となり、2 次元 S n 法より精度の向上が図られた。

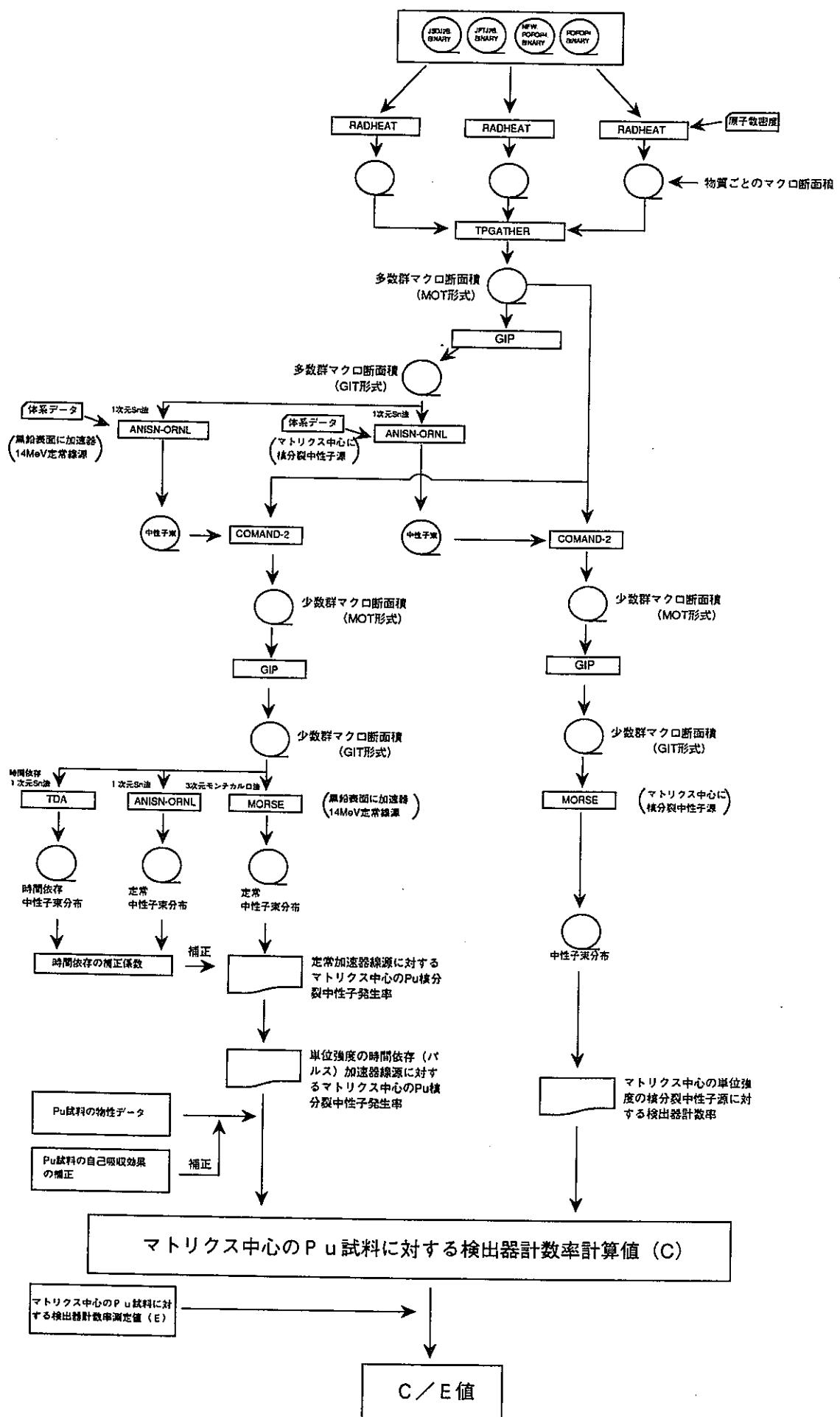


図3.3-1 3次元モンテカルロ法による解析の全体構成 (JSDDJ2ライブラリ)

4. まとめと今後の展開

今年度は、動燃事業団のアクティブ中性子測定装置による廃棄物の測定結果に基づき、解析手法として2次元S_n法の適用性向上と3次元形状効果の補正を目的とした3次元モンテカルロ法の試用を行った。その結果、最新のS_n法コード(ANISN-ORNL, DORT)の適用及び1次元S_n法時間依存解析の実施により、装置測定値(検出器計数率)をファクタ2程度の範囲で再現するとともに、その内訳を把握することが出来た。また、3次元モンテカルロ法に1次元S_n法時間依存解析を組み合わせることにより、装置測定値(検出器計数率)をファクタ1.6以内で再現出来ることを確認した。

更に、今年度までの検討から、人工鉱物、焼却灰中の熱中性子束分布は一様であり、この熱中性子束は黒鉛壁からの漏洩成分であるため時間依存性もマトリクス内で一様と思われ、また、マトリクス内で発生する核分裂中性子の遮蔽効果も少ないことが判った。従って、これらのマトリクスはTRU核種の測定に適していると考えられる。逆に、減速性の強いマトリクスでは、マトリクス内の熱中性子束はマトリクス内の減速成分の寄与が大きいため空間分布とその時間依存性は一様ではなく、また、マトリクス内で発生する核分裂中性子の遮蔽効果も大きいので、人工鉱物、焼却灰と比較してTRU核種の測定には適していないと思われる。

今年度の作業を通じて確立された「2次元S_n法+1次元S_n法による時間依存性補正」及び「3次元モンテカルロ法+1次元S_n法による時間依存性補正」の両手法により装置特性の把握・理解及び測定対象の形状、組成の最適化等の検討が可能となった。今後、可燃物焼却灰、金属鋳塊、人工鉱物等の測定性を向上・最適化する観点から、「2次元S_n法+1次元S_n法による時間依存性補正」手法を主体に、適宜、「3次元モンテカルロ法+1次元S_n法による時間依存性補正」による詳細手法を活用し、解析と測定とを相互に補完し合いながら下記の展開を図ることが望ましい。また、マトリクス内の密度、組成等の不均質性が大きい場合は、時間依存性がマトリクス内で一様ではなく空間分布を有すると考えられるため、3次元時間依存中性子束を解析的に求める必要がある。なお、Appendix 5. に、これまでの開発経過と今後の展開をまとめて示す。

測定性の向上検討

目的： TRU廃棄物フローの中で最も適した測定個所及び測定対象物の形状等について検討し、TRU核種測定装置の実用化及びカスタマイズ化を図る。

- 方策：①現状の人工鉱物、金属鋳塊の形状について解析によって問題点を検討して、装置特性により合致した形状の選定を行い、実測によって検証するとともにTRU核種の測定限界の向上を図る。
- ②人工鉱物化、金属鋳塊化の各処理フローを通じて装置特性により合致した性状・組成を解析によってサーベイし、フロー中途における装置適用の可能性を検討する。
- ③可燃物焼却灰、金属鋳塊、人工鉱物中の許容されるマトリクス不均質性及び許容される不純物量の上限等を解析によって検討するとともに実測によって検証する。

解析手法の高度化

目的：マトリクス内の3次元時間依存中性子束を直接、解析によって求め、マトリクス不均質効果に対する解析精度の大幅な向上を図る。これによって、装置検出器計数率とマトリクス内のTRU核種の存在量との関係を解析によっても担保されたものとし、信頼性の向上を図る。

- 方策：①時間依存3次元モンテカルロ法MCNPコードの適用を図るとともに「不均質試験体」を用いた測定を行い、解析精度を検証する。
- ②不均質性に対する「2次元Sn法+1次元Sn法による時間依存性補正」手法及び「3次元モンテカルロ法(MORSEコード)+1次元Sn法による時間依存性補正」手法の解析精度を検討する。

5. あとがき

昨年度の予備検討の結果を踏まえ、TRU核種測定技術において最も有力な解析手法と考えられる1次元及び2次元Sn法の適用性向上と適用化を図る観点から、詳細解析を実施して、昨年度明らかになった解析上の不具合点の原因の検討を行い、1次元時間依存解析による時間依存補正の導入等による2次元Sn法の有効性確認と3次元モンテカルロ法の試用を行った。その結果、最新のSn法コード(ANISN-ORNL, DORT)の適用及び1次元Sn法時間依存解析の実施により、装置測定値(検出器計数率)をファクタ2程度の範囲で再現するとともに、その内訳を把握することが出来た。また、3次元モンテカルロ法に1次元Sn法時間依存解析を組み合わせることにより、装置測定値(検出器計数率)をファクタ1.6以内で再現出来ることを確認した。

更に、今年度までの検討から、人工鉱物、焼却灰中の熱中性子束分布は一様であり、この熱中性子束は黒鉛壁からの漏洩成分であるため時間依存性もマトリクス内で一様と思われ、また、マトリクス内で発生する核分裂中性子の遮蔽効果も少ないことが判った。従って、これらのマトリクスはTRU核種の測定に適していると考えられる。逆に、減速性の強いマトリクスでは、マトリクス内の熱中性子束はマトリクス内の減速成分の寄与が大きいため空間分布とその時間依存性は一様ではなく、また、マトリクス内で発生する核分裂中性子の遮蔽効果も大きいので、人工鉱物、焼却灰と比較してTRU核種の測定には適していないと思われる。

今年度の作業を通じて確立された「2次元Sn法+1次元Sn法による時間依存性補正」及び「3次元モンテカルロ法+1次元Sn法による時間依存性補正」の両手法により装置特性の把握・理解及び測定対象の形状、組成の最適化等の検討が可能となった。今後、可燃物焼却灰、金属鋳塊、人工鉱物等の測定性を向上・最適化する観点から、「2次元Sn法+1次元Sn法による時間依存性補正」手法を主体に、適宜、「3次元モンテカルロ法+1次元Sn法による時間依存性補正」による詳細手法を活用し、解析と測定とを相互に補完し合いながら展開を図ることが望ましい。

参考文献

1. PNC ZY1216 91-001 「共同研究報告書 廃棄物中の T R U 核種測定技術に係わる研究」
動燃団・三菱重工（株）（1990年度）
2. PNC PJ1216 92-004 「T R U 核種測定技術の高度化研究」 三菱重工（株）
(1991年度)
3. PNC ZJ1214 93-003 「T R U 核種測定技術の高度化研究（2）」 三菱原子力工業（株）
(1992年度)
4. JAERI-M 87-092 "Neutron Cross Section Data in Multigroup Constant
Library MGCL for Criticality Safety Analysis," 日本原子力研究所
(1987年)
5. CCC-254 "ANISN: Multigroup One-Dimensional Discrete Ordinates Transport Code
with Anisotropic Scattering," Radiation Shielding Information Center
6. CCC-484 "DORT Two-Dimensional Discrete Ordinates Transport Code,"
Radiation Shielding Information Center
7. CCC-180 "TDA Time Dependent Multigroup One-Dimensional Discrete Ordinates
Transport Code," Radiation Shielding Information Center
8. CCC-203 "General Purpose Monte Carlo Multigroup Neutron and Gamma-Ray
Transport Code System," Radiation Shielding Information Center

Appendix 1. 動燃殿よりの御支給測定データ

1. アクティブ測定(40秒)

1993-10-18~22

	Pu 試 料	全 檢 出 器 (計 数)	側 面 のみ (計 数)
空 ド ラ ム 缶	A - 4	3 0 2 7. 1	2 3 4 2. 3
	A - 5		
空 ド ラ ム 缶	A - 5	1 8 7 3. 2	—
模 擬 灰 ($\rho = 0.558$)	A - 4	1 7 8 1. 1	1 3 9 6. 5
	A - 5		
ポリエチレン ($\rho = 0.23$)	A - 4	4 0 2 9. 9	3 1 7 6. 4
	A - 5		
アスファルト ($\rho = 1.02$)	A - 4	9. 3 0	7. 4 8
	A - 5		
人 工 鉱 物 (1 体)	A - 5	9 6 3. 6	7 8 1. 6

注1. アスファルトの値は20回測定の平均値、その他は5回の平均値。

注2. 計数時間は50Hz×40S×2500μS=5秒である。

2. パッシブ測定(500秒)

1993-10-18~22

	線 源	全 檢 出 器 (CPS)	側 面 のみ (CPS)
空 ド ラ ム 缶	^{252}Cf	4 4 1 4. 6 3 6	3 3 5 2. 4 4 9
模 擬 灰 ($\rho = 0.558$)	^{252}Cf	4 4 4 8. 5 6 7	3 4 1 2. 6 7 1
ポリエチレン ($\rho = 0.23$)	^{252}Cf	1 6 6 7. 0 2 9	1 2 9 7. 6 6 5
アスファルト ($\rho = 1.02$)	^{252}Cf	5 8. 4 8 4	5 0. 0 9 1
人 工 鉱 物 (1 体)	^{252}Cf	4 5 3 2. 5 6 7	3 6 8 0. 8 3 6

3. Pu 試料

Pu 試料 *	PuO ₂ (g)	Pu(g)	²³⁸ Pu(g)	PuO ₂ 体積 (cm ³)	MgO 体積 (cm ³)
A 4	0. 835	0. 730	0. 500	0. 1656	1. 8244
A 5	1. 670	1. 461	1. 000	0. 3311	1. 6589

* PuO₂ と MgO の均質混合

	²³⁸ Pu	²³⁹ Pu	²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Pu	²⁴² Pu
Pu組成	0. 54 w/o	68. 47 w/o	21. 10 w/o	7. 42 w/o	2. 47 w/o

(分析日 : 85-3-20)

4. アクティブ測定とパッシブ測定の計数効率の比較

空ドラム缶中心に ²⁵²Cf を設置し、アクティブ及びパッシブ測定を行った。

線源強度 3.18×10^5 n/s (1990-11-30)

1.37×10^5 n/s (1994-2-21)

パッシブ測定

計 数 率 4037.699 ± 2.8413 cps

計数効率 $4037.699 \div (1.37 \times 10^5) = 0.0295$

2.95%

アクティブ測定

計 数 率 4079.72 ± 17.4 cps

計数効率 $4079.72 \div (1.37 \times 10^5) = 0.0298$

2.98% cps/n/s

5. 模擬焼却灰の組成

重量 : 109.5kg (0.5475g/cm³)

組 成	w/o
S i O ₂	50.59
A l ₂ O ₃	9.64
F e ₂ O ₃	5.21
C a O	2.88
M g O	31.68

注 : 別途水分量427mg/200ℓを考慮する。

Appendix 2. 計算コードの概要

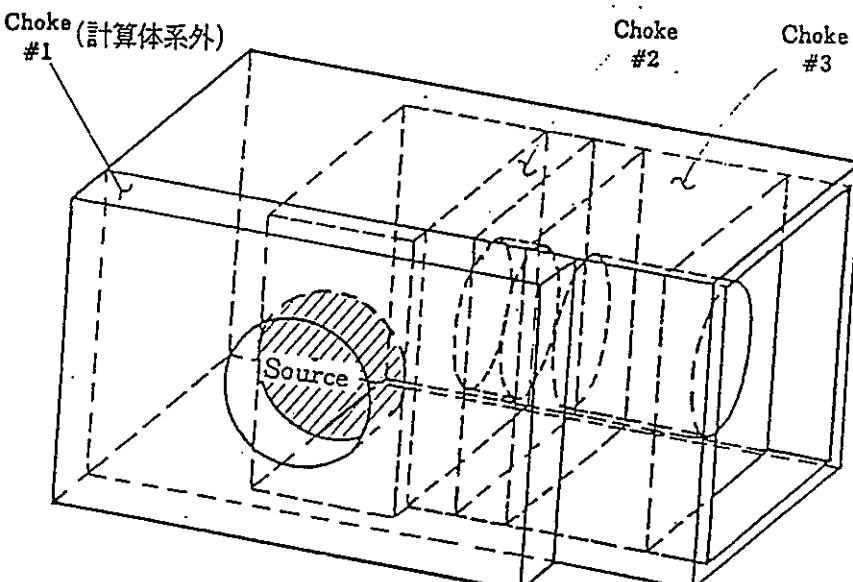
解析コード名	RADHEAT
目的	中性子とガンマ線の結合群定数（断面積）を作成する計算コード
特徴	本コード・システムはANISN-ORNL、DORT等に入力する中性子と ガンマ線の結合群定数を作成できる。
機能 及 び 解 析 モ デ ル	本コードはエネルギー群ごとの中性子・ガンマ線の断面積を作成する計算コードであり、自己遮蔽因子による実効断面積作成機能、2次ガンマ線発生データによる中性子・ガンマ線結合断面積作成等の機能を有する。
検証等	実験炉「常陽」と米国実験炉FFTFの遮蔽測定解析及び各種の遮蔽ベンチマーク実験の解析等により検証済である。この遮蔽ベンチマーク実験のなかには電力殿・動燃殿共同の大型炉向け遮蔽実験研究（JASPER）を含む。

解析コード名	A N I S N - W																																																																									
目的	定常状態における放射線の線束分布を求める計算コード																																																																									
特徴	本コードは定常状態におけるボルツマン輸送方程式を S_n 近似により解くものであり、空間座標は 1 次元（平板、円筒、球）体系を扱うことができる。																																																																									
機能	本コードの使用例を下図に示す。これは炉心中心軸から炉心半径方向を R 座標として炉心回りをモデル化したものであり、各空間座標値、放射線（中性子）の飛行の方向余弦及び中性子のエネルギーをそれぞれ離散化している。																																																																									
機能 及 び 解 析 モ デ ル	<table border="1"> <thead> <tr> <th>径方向距離 (cm)</th> <th>メッシュ数</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.0</td><td>7</td></tr> <tr><td>45.995</td><td>2</td></tr> <tr><td>50.425</td><td>5</td></tr> <tr><td>87.1585</td><td>2</td></tr> <tr><td>84.6729</td><td>2</td></tr> <tr><td>129.3422</td><td>2</td></tr> <tr><td>132.6034</td><td>1</td></tr> <tr><td>137.3502</td><td>2</td></tr> <tr><td>152.1066</td><td>2</td></tr> <tr><td>164.2577</td><td>6</td></tr> <tr><td>194.0591</td><td>3</td></tr> <tr><td>208.8991</td><td>5</td></tr> <tr><td>223.709</td><td>5</td></tr> <tr><td>238.455</td><td>5</td></tr> <tr><td>253.3612</td><td>5</td></tr> <tr><td>274.5707</td><td>5</td></tr> <tr><td>292.4003</td><td>5</td></tr> <tr><td>315.0</td><td>4</td></tr> <tr><td>320.0</td><td>2</td></tr> <tr><td>ナトリウム</td><td></td></tr> <tr><td>ガス空間</td><td></td></tr> <tr><td>ナトリウム</td><td></td></tr> <tr><td>径方向しゃへい体 (B,C)</td><td></td></tr> <tr><td>IVS</td><td></td></tr> <tr><td>径方向しゃへい体 (B,C)</td><td></td></tr> <tr><td>径方向しゃへい体 (SS)</td><td></td></tr> <tr><td>径方向ブランケット</td><td></td></tr> <tr><td>外側炉心</td><td></td></tr> <tr><td>C/R</td><td></td></tr> <tr><td>内側炉心</td><td></td></tr> <tr><td>C/R</td><td></td></tr> <tr><td>内側炉心</td><td></td></tr> <tr><td>C/R</td><td></td></tr> <tr><td>内側炉心</td><td></td></tr> <tr><td>627.0</td><td>4</td></tr> </tbody> </table>		径方向距離 (cm)	メッシュ数	0.0	7	45.995	2	50.425	5	87.1585	2	84.6729	2	129.3422	2	132.6034	1	137.3502	2	152.1066	2	164.2577	6	194.0591	3	208.8991	5	223.709	5	238.455	5	253.3612	5	274.5707	5	292.4003	5	315.0	4	320.0	2	ナトリウム		ガス空間		ナトリウム		径方向しゃへい体 (B,C)		IVS		径方向しゃへい体 (B,C)		径方向しゃへい体 (SS)		径方向ブランケット		外側炉心		C/R		内側炉心		C/R		内側炉心		C/R		内側炉心		627.0	4
径方向距離 (cm)	メッシュ数																																																																									
0.0	7																																																																									
45.995	2																																																																									
50.425	5																																																																									
87.1585	2																																																																									
84.6729	2																																																																									
129.3422	2																																																																									
132.6034	1																																																																									
137.3502	2																																																																									
152.1066	2																																																																									
164.2577	6																																																																									
194.0591	3																																																																									
208.8991	5																																																																									
223.709	5																																																																									
238.455	5																																																																									
253.3612	5																																																																									
274.5707	5																																																																									
292.4003	5																																																																									
315.0	4																																																																									
320.0	2																																																																									
ナトリウム																																																																										
ガス空間																																																																										
ナトリウム																																																																										
径方向しゃへい体 (B,C)																																																																										
IVS																																																																										
径方向しゃへい体 (B,C)																																																																										
径方向しゃへい体 (SS)																																																																										
径方向ブランケット																																																																										
外側炉心																																																																										
C/R																																																																										
内側炉心																																																																										
C/R																																																																										
内側炉心																																																																										
C/R																																																																										
内側炉心																																																																										
627.0	4																																																																									
検証等	実験炉「常陽」と米国実験炉 F F T F の遮蔽測定解析及び各種の遮蔽ベンチマーク実験の解析等により検証済である。この遮蔽ベンチマーク実験のなかには電力殿・動燃殿共同の大型炉向け遮蔽実験研究 (J A S P E R) を含む。																																																																									

解析コード名	A N I S N - O R N L
目的	定常状態における放射線の線束分布を求める計算コード
特徴	本コードは定常状態におけるボルツマン輸送方程式を S_n 近似により解くものであり、空間座標は 1 次元（平板、円筒、球）体系を扱うことができる。
機能 及 び 解 析 モ デ ル	
検証等	実験炉「常陽」と米国実験炉 F F T F の遮蔽測定解析及び各種の遮蔽ベンチマーク実験の解析等により検証済の A N I S N - W との同等性を確認済である。

解析コード名	D O T - 3.5
目的	定常状態における放射線の線束分布を求める計算コード
特徴	本コードは定常状態におけるボルツマン輸送方程式を S_n 近似により解くものであり、空間座標は 2 次元（平面、円筒、球）体系を扱うことができる。
機能及び解析モデル	<p>本コードの使用例を下図に示す。これは炉心中心軸を Z 座標、炉心半径方向を R 座標として炉心回りをモデル化したものであり、各空間座標値、放射線（中性子）の飛行の方向余弦及び中性子のエネルギーをそれぞれ離散化している。</p>
検証等	実験炉「常陽」と米国実験炉 FFTF の遮蔽測定解析及び各種の遮蔽ベンチマーク実験の解析等により検証済である。この遮蔽ベンチマーク実験のなかには電力殿・動燃殿共同の大型炉向け遮蔽実験研究（JASPER）を含む。

解析コード名	D O R T
目的	定常状態における放射線の線束分布を求める計算コード
特徴	本コードは定常状態におけるボルツマン輸送方程式を S_n 近似により解くものであり、空間座標は 2 次元（平面、円筒、球）体系を扱うことができる。
機能 及 び 解 析 モ デ ル	
検証等	実験炉「常陽」と米国実験炉 F F T F の遮蔽測定解析及び各種の遮蔽ベンチマーク実験の解析等により検証済の D O T - 3.5 との同等性を確認済である。

解析コード名	MORSE
目的	定常状態における放射線の線束分布を求める計算コード
特徴	本コードは定常状態におけるボルツマン輸送方程式をモンテカルロ法により解くものであり、3次元体系（円筒、球、その他）を扱うことができる。
解析及び解析モデル	<p>本コードの使用例を下図に示す。3次元屈曲ダクトの解析例である。</p> 
検証等	米国実験TSF遮蔽ベンチマーク実験の解析等により検証済である。

解析コード名	T D A
目的	非定常状態における放射線の線束分布を求める計算コード
特徴	本コードは非定常状態におけるボルツマン輸送方程式を S_n 近似により解くものであり、空間座標は 1 次元（平板、円筒、球）体系を扱うことができる。
機能 及 び 解 析 モ デ ル	本コードは ANISN コードを時間依存化したものであり、ANISN コードと同一の形状が取扱い可能である。線源中性子は任意の空間位置に第 1 時間ステップにパルス状に印加される。
検証等	米国ロスアラ莫斯研究所において直径 10cm の Pu 球にパルス状の中性子を印加した時の解について検討し、妥当性を検証している。

Appendix 3. 2 次元 S n 法解析出力図

Appendix 3 の図リスト (1/2)

- 図A.3-1 核分裂線源に対する1次元S n解析での径方向中性子束分布
(JSDJ2ライブラリ)
- 図A.3-2 核分裂線源に対する1次元S n解析での中性子スペクトル
(JSDJ2ライブラリ)
- 図A.3-3 核分裂線源に対する2次元S n解析での全中性子束分布
(JSDJ2ライブラリ, マトリクス中心軸体系)
- 図A.3-4 核分裂線源に対する2次元S n解析での高速中性子束分布
($E \geq 0.1 \text{ MeV}$, JSDJ2ライブラリ, マトリクス中心軸体系)
- 図A.3-5 核分裂線源に対する2次元S n解析での中速中性子束分布
($0.1 \text{ MeV} \geq E \geq 0.414 \text{ eV}$, JSDJ2ライブラリ, マトリクス中心軸体系)
- 図A.3-6 核分裂線源に対する2次元S n解析での熱中性子束分布
($E \leq 0.414 \text{ eV}$, JSDJ2ライブラリ, マトリクス中心軸体系)
- 図A.3-7 核分裂線源に対する2次元S n解析での熱中性子束分布
($E \leq 0.414 \text{ eV}$, JSDJ2ライブラリ, 検出器中心軸体系)
- 図A.3-8 核分裂線源に対する1次元S n解析での径方向中性子束分布
(MGCLライブラリ)
- 図A.3-9 核分裂線源に対する1次元S n解析での中性子スペクトル
(MGCLライブラリ)
- 図A.3-10 核分裂線源に対する2次元S n解析での全中性子束分布
(MGCLライブラリ, マトリクス中心軸体系)
- 図A.3-11 核分裂線源に対する2次元S n解析での高速中性子束分布
($E \geq 0.1 \text{ MeV}$, MGCLライブラリ, マトリクス中心軸体系)
- 図A.3-12 核分裂線源に対する2次元S n解析での中速中性子束分布
($0.1 \text{ MeV} \geq E \geq 0.414 \text{ eV}$, MGCLライブラリ, マトリクス中心軸体系)
- 図A.3-13 核分裂線源に対する2次元S n解析での熱中性子束分布
($E \leq 0.414 \text{ eV}$, MGCLライブラリ, マトリクス中心軸体系)

Appendix 3 の図リスト (2 / 2)

- 図A.3-14 核分裂線源に対する2次元S_n解析での熱中性子束分布
(E ≤ 0.414 eV, MGCLライブラリ, 検出器中心軸体系)
- 図A.3-15 加速器定常線源に対する1次元S_n解析での径方向中性子束分布
(JSDJ2ライブラリ)
- 図A.3-16 加速器定常線源に対する1次元S_n解析での中性子スペクトル
(JSDJ2ライブラリ)
- 図A.3-17 加速器定常線源に対する2次元S_n解析での全中性子束分布
(JSDJ2ライブラリ, マトリクス中心軸体系)
- 図A.3-18 加速器定常線源に対する2次元S_n解析での高速中性子束分布
(E ≥ 0.1 MeV, JSDJ2ライブラリ, マトリクス中心軸体系)
- 図A.3-19 加速器定常線源に対する2次元S_n解析での中速中性子束分布
(0.1 MeV ≥ E ≥ 0.414 eV, JSDJ2ライブラリ, マトリクス中心軸体系)
- 図A.3-20 加速器定常線源に対する2次元S_n解析での熱中性子束分布
(E ≤ 0.414 eV, JSDJ2ライブラリ, マトリクス中心軸体系)
- 図A.3-21 加速器定常線源に対する1次元S_n解析での径方向中性子束分布
(MGCLライブラリ)
- 図A.3-22 加速器定常線源に対する1次元S_n解析での中性子スペクトル
(MGCLライブラリ)
- 図A.3-23 加速器定常線源に対する2次元S_n解析での全中性子束分布
(MGCLライブラリ, マトリクス中心軸体系)
- 図A.3-24 加速器定常線源に対する2次元S_n解析での高速中性子束分布 (2 / 2)
(E ≥ 0.1 MeV, MGCLライブラリ, マトリクス中心軸体系)
- 図A.3-25 加速器定常線源に対する2次元S_n解析での中速中性子束分布 (1 / 2)
(0.1 MeV ≥ E ≥ 0.414 eV, MGCLライブラリ, マトリクス中心軸体系)
- 図A.3-26 加速器定常線源に対する2次元S_n解析での熱中性子束分布 (2 / 2)
(E ≤ 0.414 eV, MGCLライブラリ, マトリクス中心軸体系)

動燃殿のTRU核種測定装置内での中性子束分布挙動を把握するうえで参考となる下記の中性子束分布を2次元Sn法解析出力図としてまとめた。

(1) 解析パラメータ

① 中性子線源

- Cf-252核分裂線源
- 14MeV単色の加速器定常線源

② 核定数ライブラリ

- JSDJ2ライブラリ (熱中性子エネルギー領域: 1群近似)
- MGCLライブラリ [热中性子エネルギー領域: 多数群近似]
1次元解析: 33群近似, 2次元解析: 7群近似

③ マトリクス

- 空ドラム缶
- 可燃物焼却灰 (模擬体)
- ポリエチレンチューブ
- 人工鉱物 (単体)

(2) 核分裂線源に対する2次元Sn法解析出力図

(a) JSDJ2ライブラリに基づく解析

図A.3-1 核分裂線源に対する1次元Sn解析での径方向中性子束分布

図A.3-2 核分裂線源に対する1次元Sn解析での中性子スペクトル

図A.3-3 核分裂線源に対する2次元Sn解析での全中性子束分布

図A.3-4 核分裂線源に対する2次元Sn解析での高速中性子束分布

($E \geq 0.1 \text{ MeV}$, マトリクス中心軸体系)

図A.3-5 核分裂線源に対する2次元Sn解析での中速中性子束分布

($0.1 \text{ MeV} \geq E \geq 0.414 \text{ eV}$, マトリクス中心軸体系)

図A.3-6 核分裂線源に対する2次元Sn解析での熱中性子束分布

($E \leq 0.414 \text{ eV}$, マトリクス中心軸体系)

図A.3-7 核分裂線源に対する2次元S_n解析での熱中性子束分布

(E ≤ 0.414 eV, 検出器中心軸体系)

(b) MGCLライブラリに基づく解析

図A.3-8 核分裂線源に対する1次元S_n解析での径方向中性子束分布

図A.3-9 核分裂線源に対する1次元S_n解析での中性子スペクトル

図A.3-10 核分裂線源に対する2次元S_n解析での全中性子束分布

図A.3-11 核分裂線源に対する2次元S_n解析での高速中性子束分布

(E ≥ 0.1 MeV, マトリクス中心軸体系)

図A.3-12 核分裂線源に対する2次元S_n解析での中速中性子束分布

(0.1 MeV ≥ E ≥ 0.414 eV, マトリクス中心軸体系)

図A.3-13 核分裂線源に対する2次元S_n解析での熱中性子束分布

(E ≤ 0.414 eV, マトリクス中心軸体系)

図A.3-14 核分裂線源に対する2次元S_n解析での熱中性子束分布

(E ≤ 0.414 eV, 検出器中心軸体系)

(3) 定常加速器線源に対する2次元S_n法解析出力図

(a) JSDJ2ライブラリに基づく解析

図A.3-15 定常加速器線源に対する1次元S_n解析での径方向中性子束分布

図A.3-16 定常加速器線源に対する1次元S_n解析での中性子スペクトル

図A.3-17 定常加速器線源に対する2次元S_n解析での全中性子束分布

図A.3-18 定常加速器線源に対する2次元S_n解析での高速中性子束分布

(E ≥ 0.1 MeV, マトリクス中心軸体系)

図A.3-19 定常加速器線源に対する2次元S_n解析での中速中性子束分布

(0.1 MeV ≥ E ≥ 0.414 eV, マトリクス中心軸体系)

図A.3-20 定常加速器線源に対する2次元S_n解析での熱中性子束分布

(E ≤ 0.414 eV, マトリクス中心軸体系)

(b) MGCLライブラリに基づく解析 (熱中性子エネルギー領域: 多数群近似)

図A.3-21 定常加速器線源に対する1次元S_n解析での径方向中性子束分布

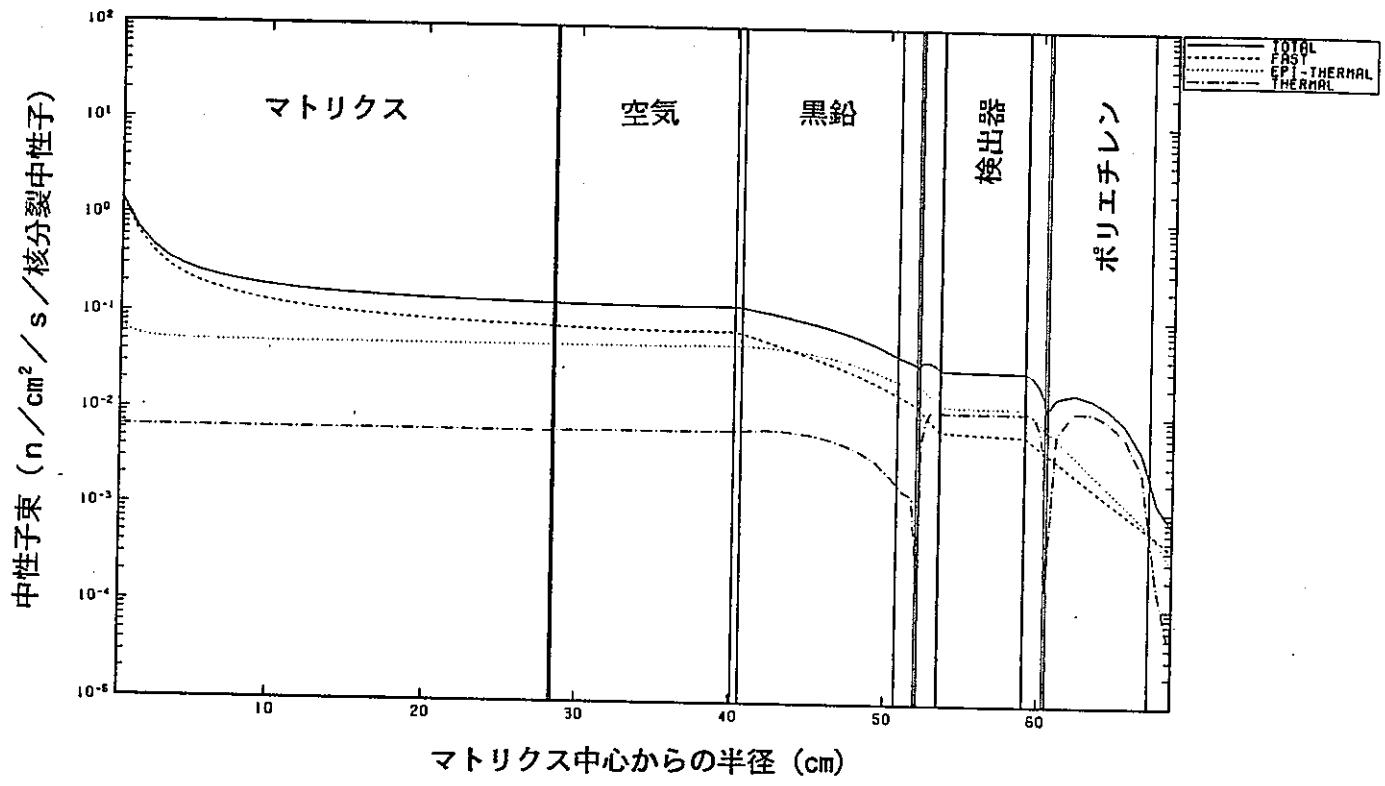
図A.3-22 定常加速器線源に対する1次元S_n解析での中性子スペクトル

図A.3-23 定常加速器線源に対する2次元S_n解析での全中性子束分布

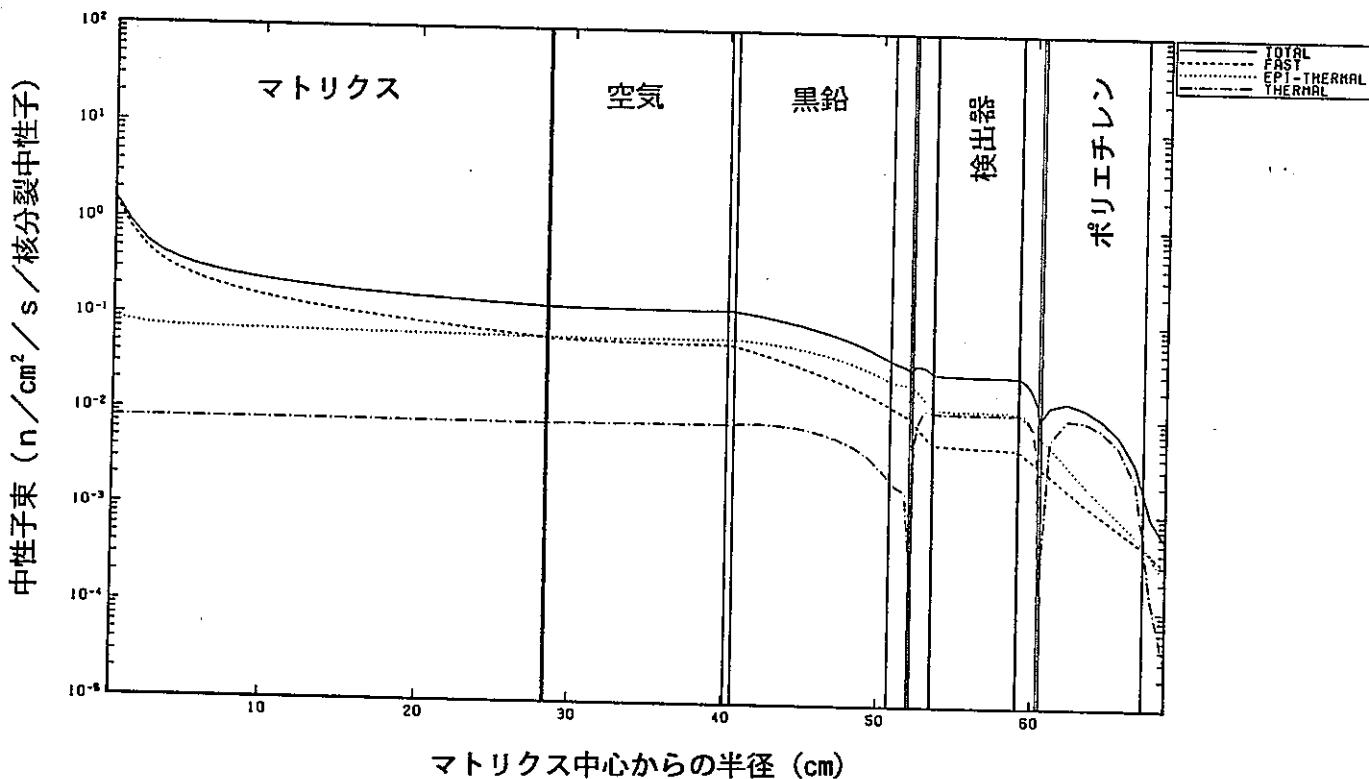
図A.3-24 定常加速器線源に対する2次元S n解析での高速中性子束分布
($E \geq 0.1 \text{ MeV}$, マトリクス中心軸体系)

図A.3-25 定常加速器線源に対する2次元S n解析での中速中性子束分布
($0.1 \text{ MeV} \geq E \geq 0.414 \text{ eV}$, マトリクス中心軸体系)

図A.3-26 定常加速器線源に対する2次元S n解析での熱中性子束分布
($E \leq 0.414 \text{ eV}$, マトリクス中心軸体系)

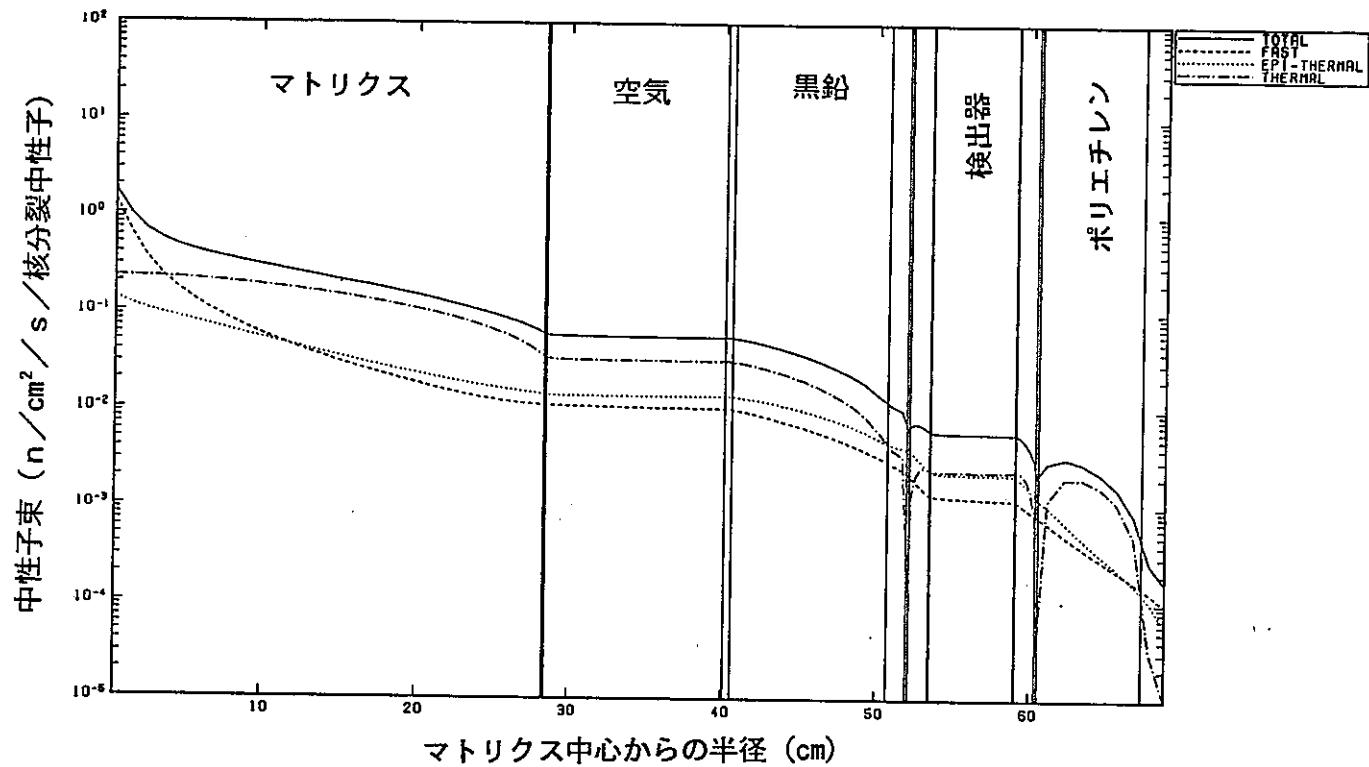


(a) 空ドラム缶

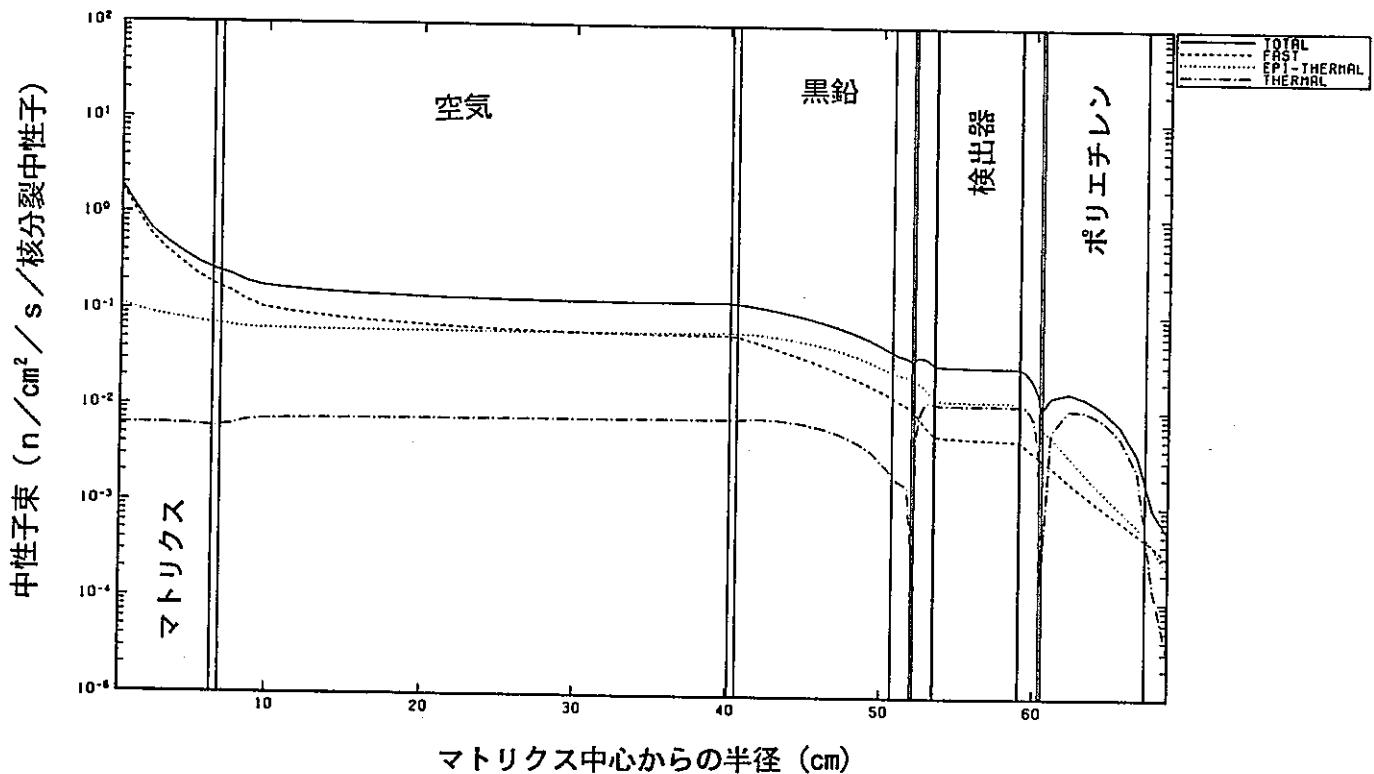


(b) 可燃物焼却灰 (模擬体)

図A.3-1 核分裂線源に対する1次元S_n解析での径方向中性子束分布



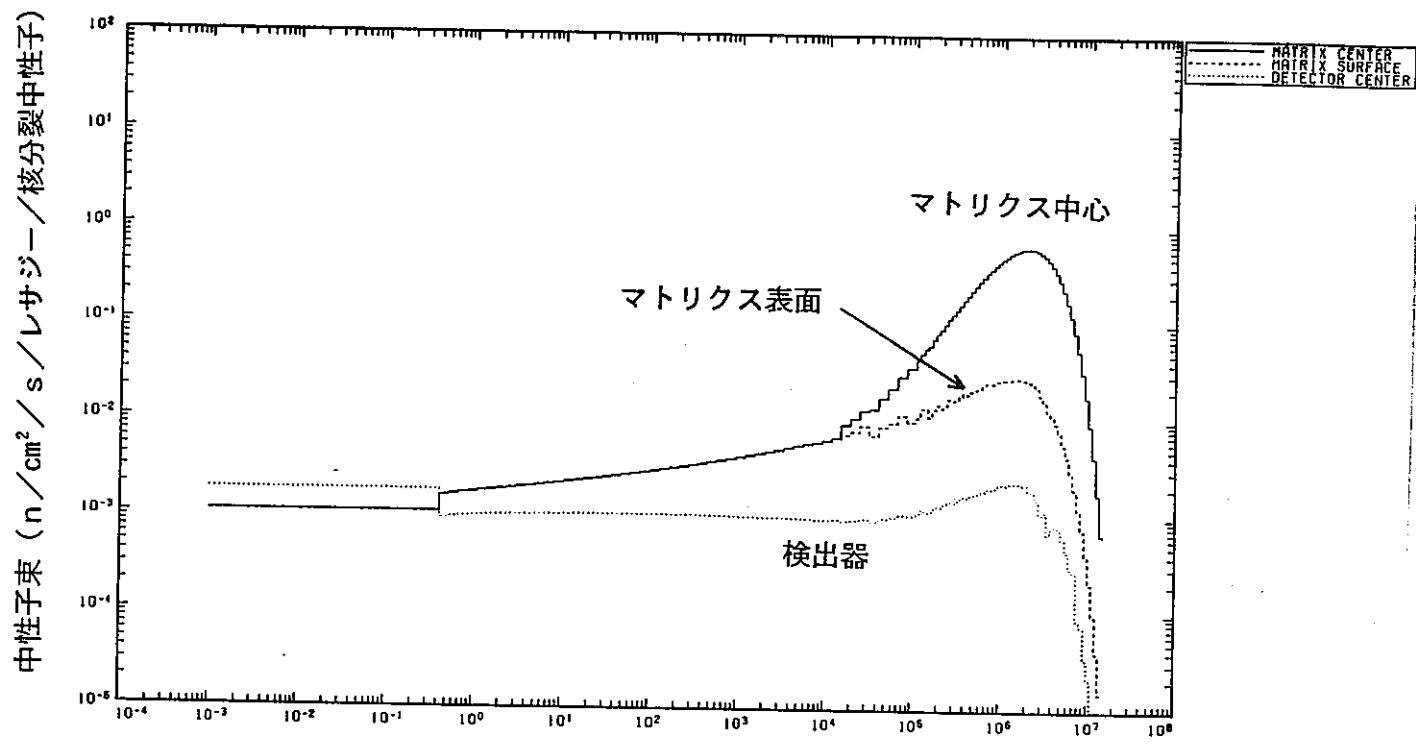
(c) ポリエチレンチューブ



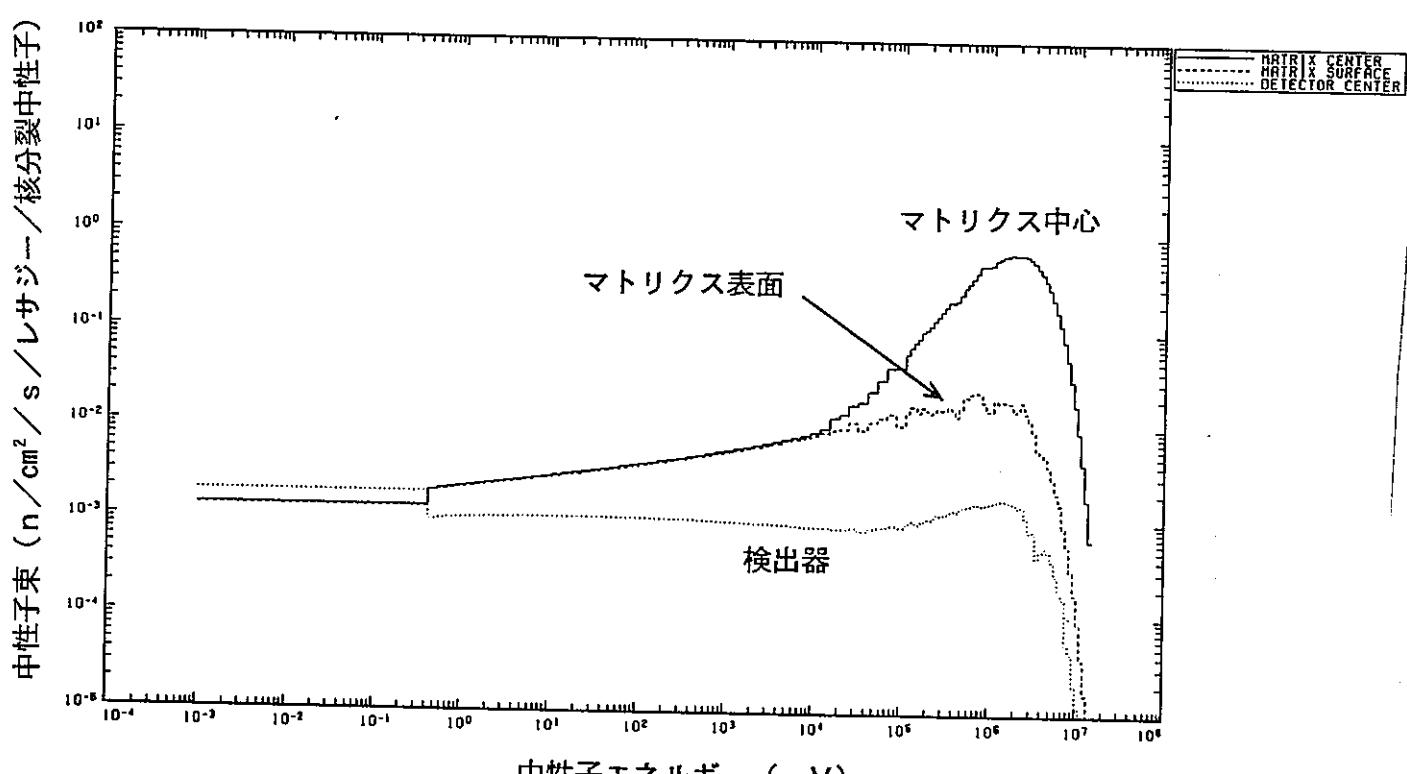
(d) 人工鉱物（単体）

図A.3-1 核分裂線源に対する1次元S n 解析での径方向中性子束分布

(JSDJ2ライブラリ) (2/2)



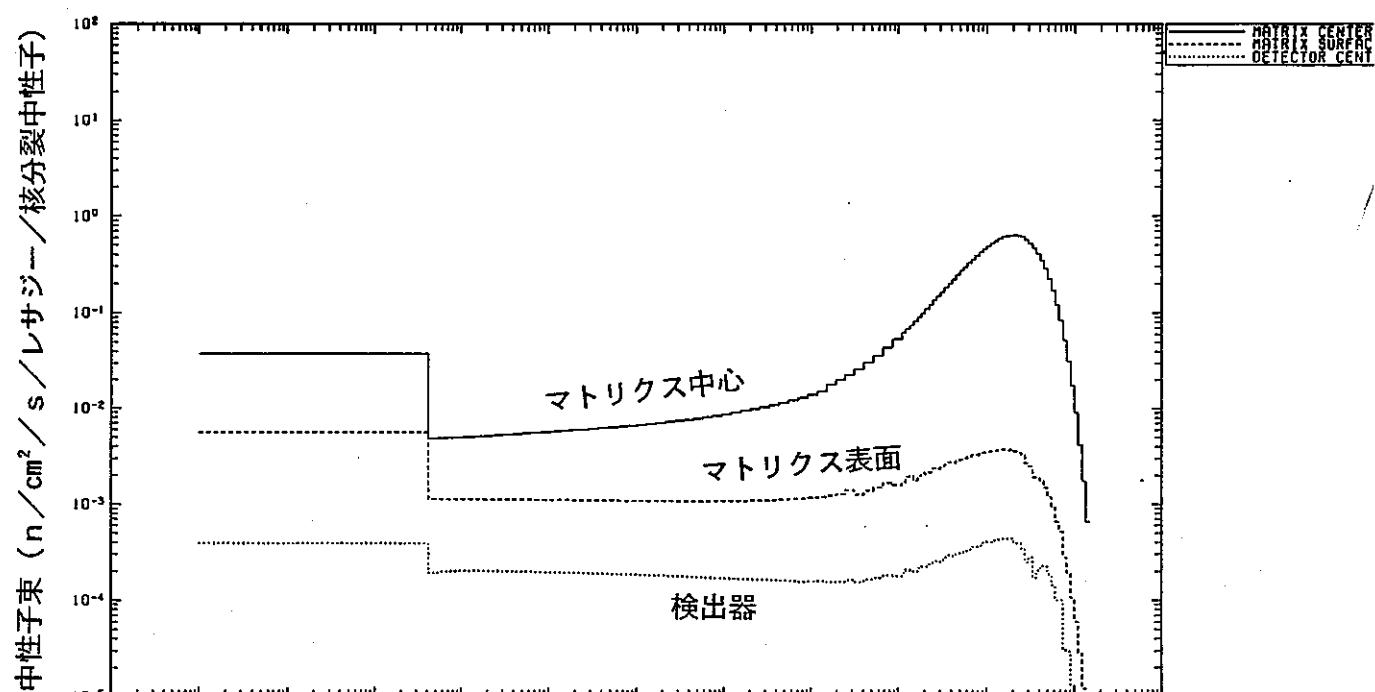
(a) 空ドラム缶



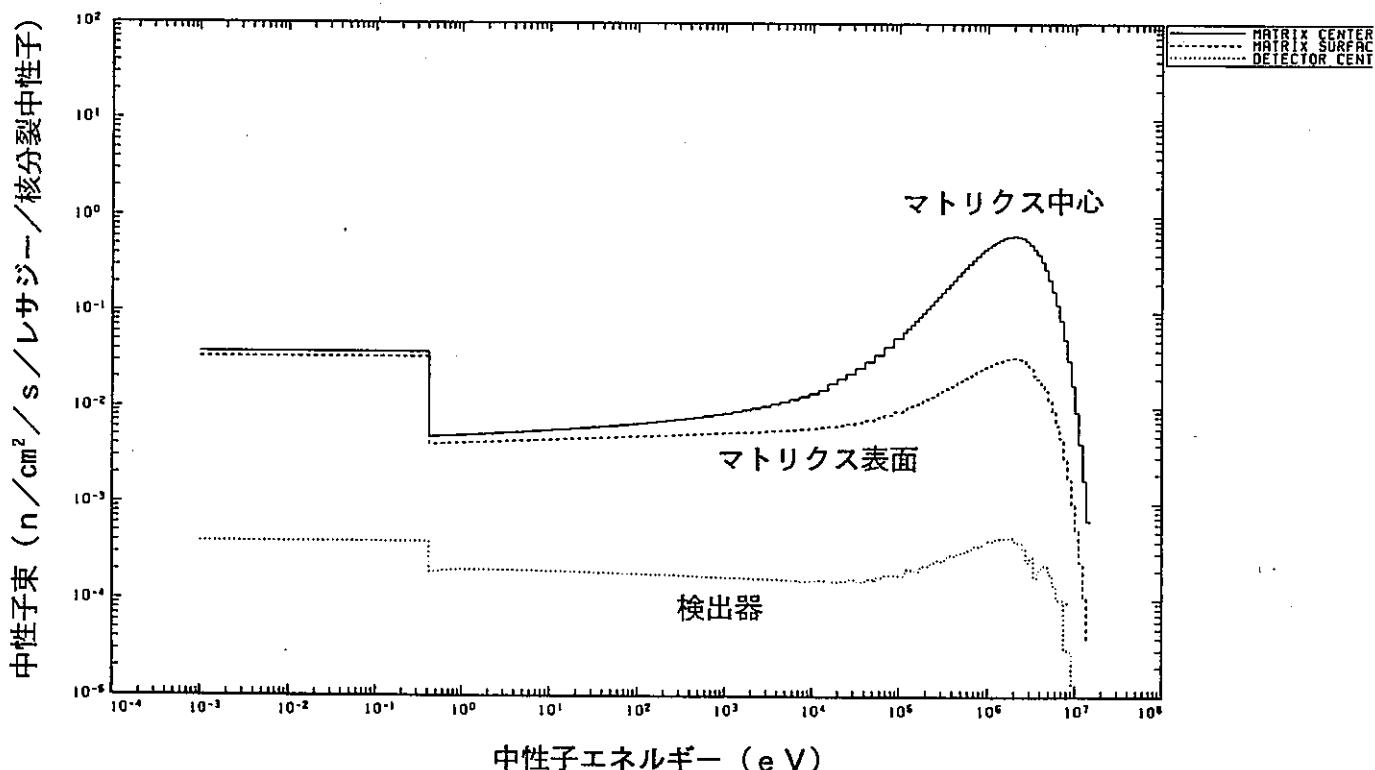
(b) 可燃物焼却灰 (模擬体)

図A.3-2 核分裂線源に対する1次元S_n解析での中性子スペクトル

(JSDJ2ライブラリ) (1/2)



(c) ポリエチレンチューブ

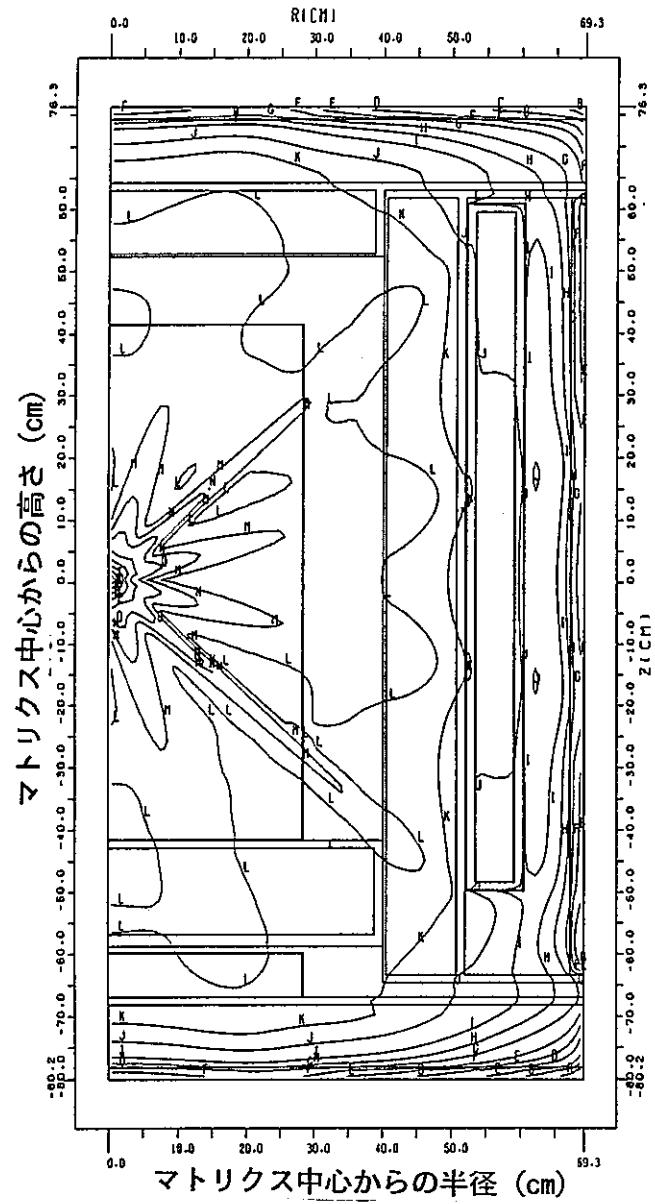


(d) 人工鉱物（単体）

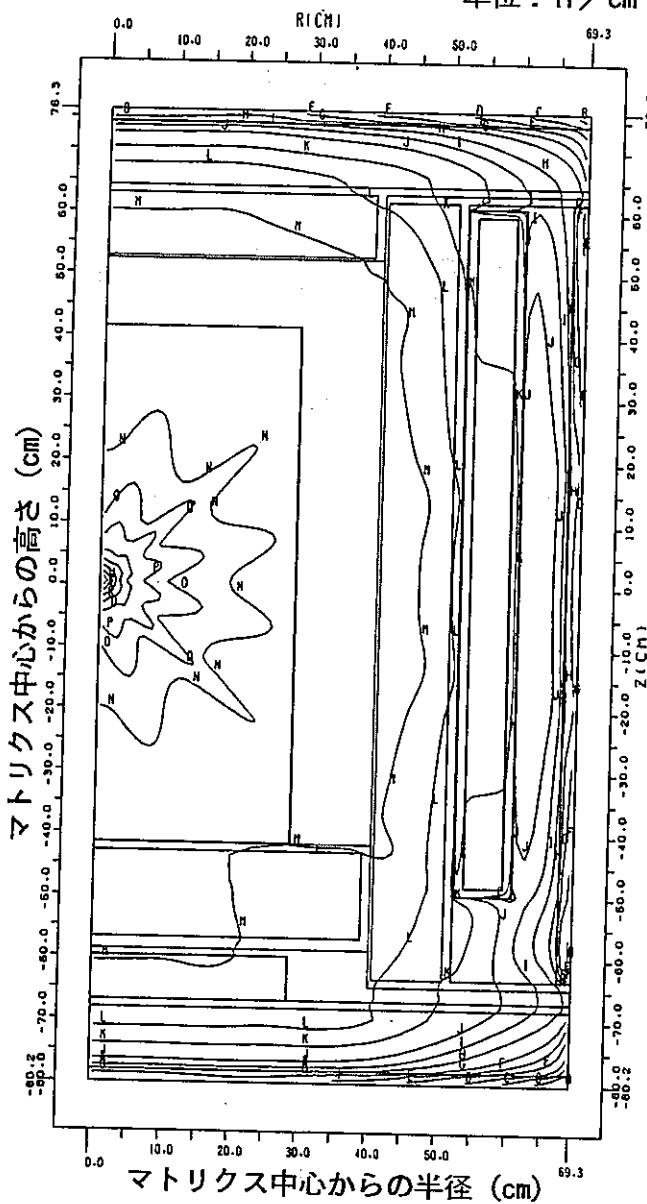
図A.3-2 核分裂線源に対する1次元S n解析での中性子スペクトル

(JSDDJ2ライブラリ) (2/2)

単位: $n/cm^2/s$ / 核分裂中性子



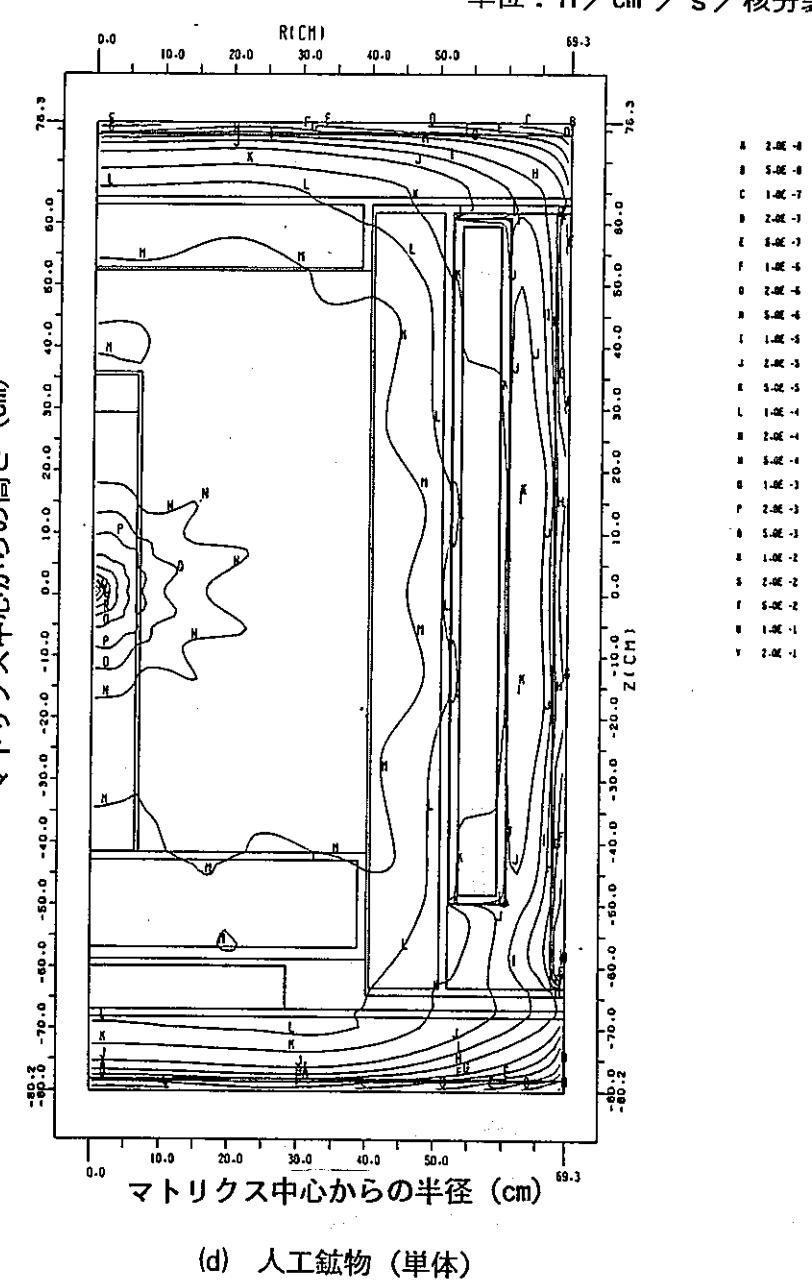
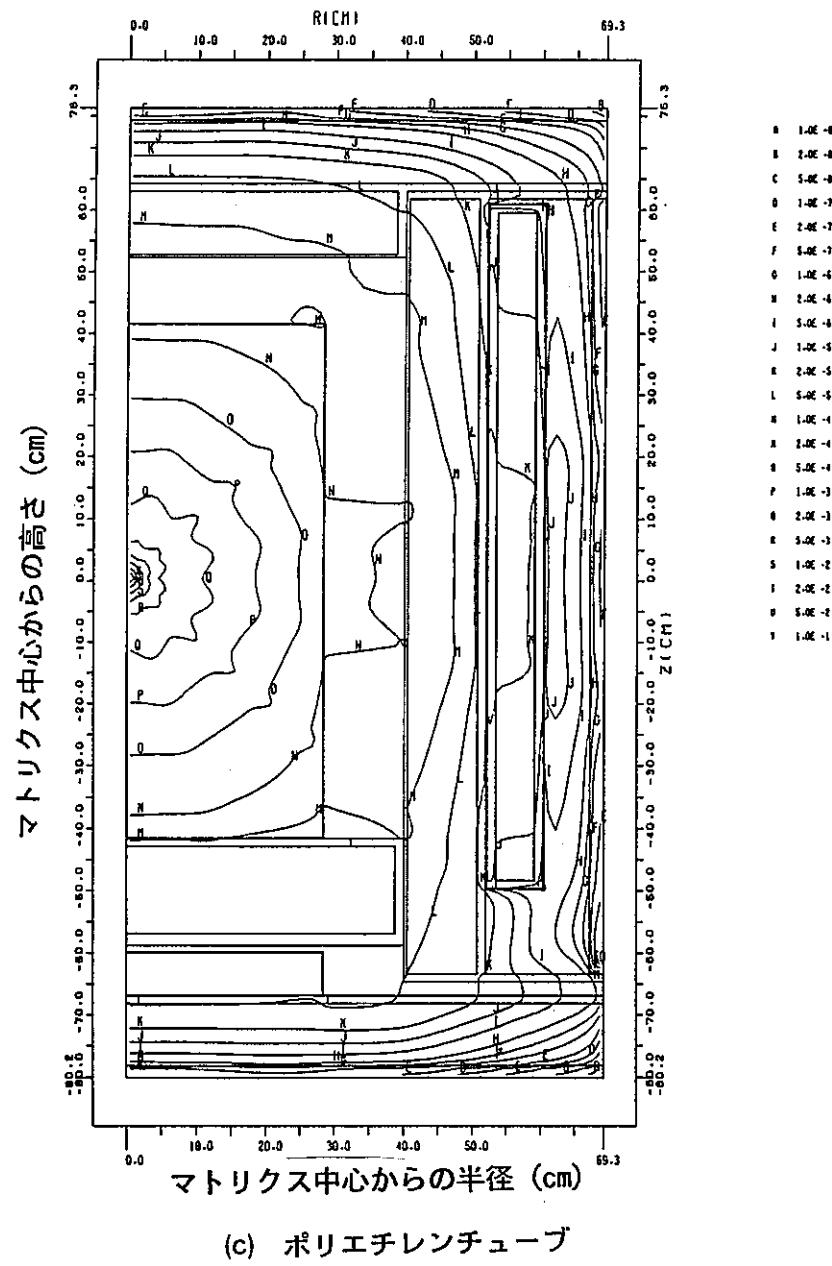
(a) 空ドラム缶



(b) 可燃物焼却灰 (模擬体)

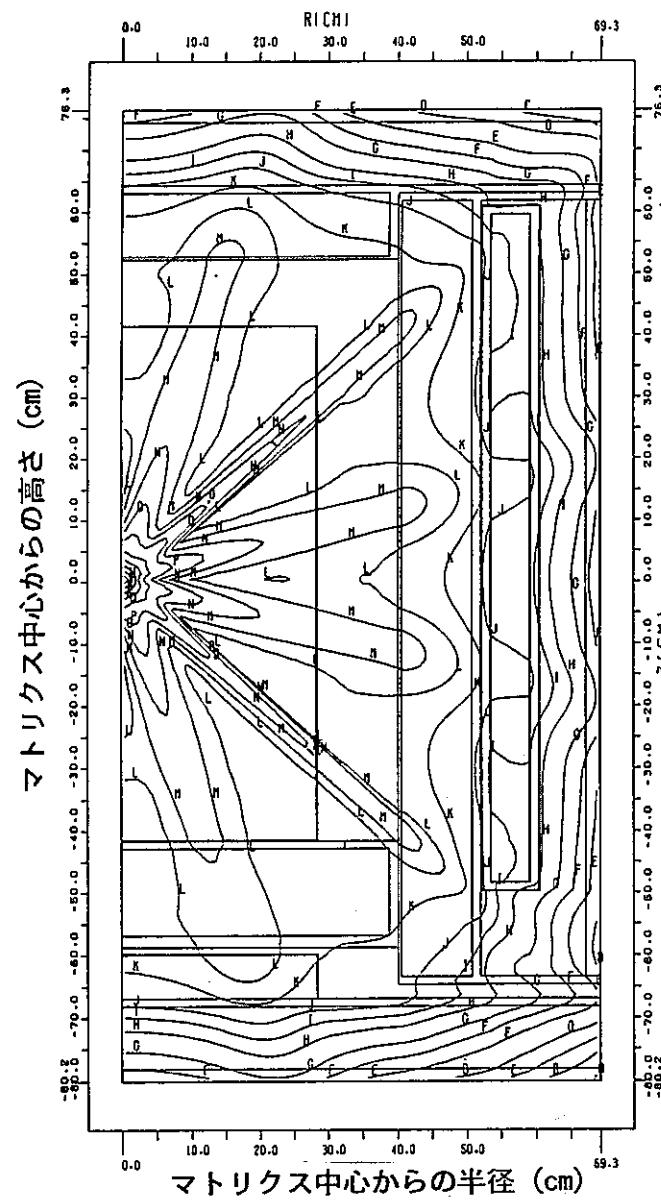
図A.3-3 核分裂線源に対する2次元S n 解析での全中性子束分布 (JSDDJ2ライブラリ, マトリクス中心軸体系) (1/2)

単位: $n/cm^2/s$ / 核分裂中性子

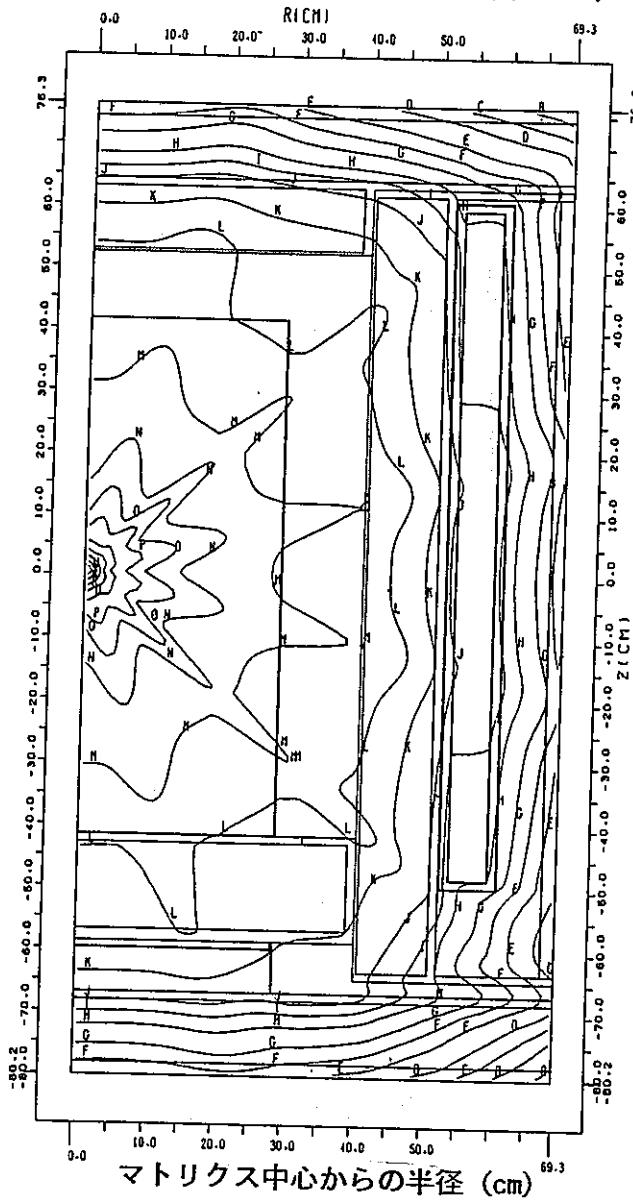


図A.3-3 核分裂線源に対する2次元S n解析での全中性子束分布 (JSDJ2ライブラリ, マトリクス中心軸体系) (2/2)

単位: $n/cm^2/s$ / 核分裂中性子



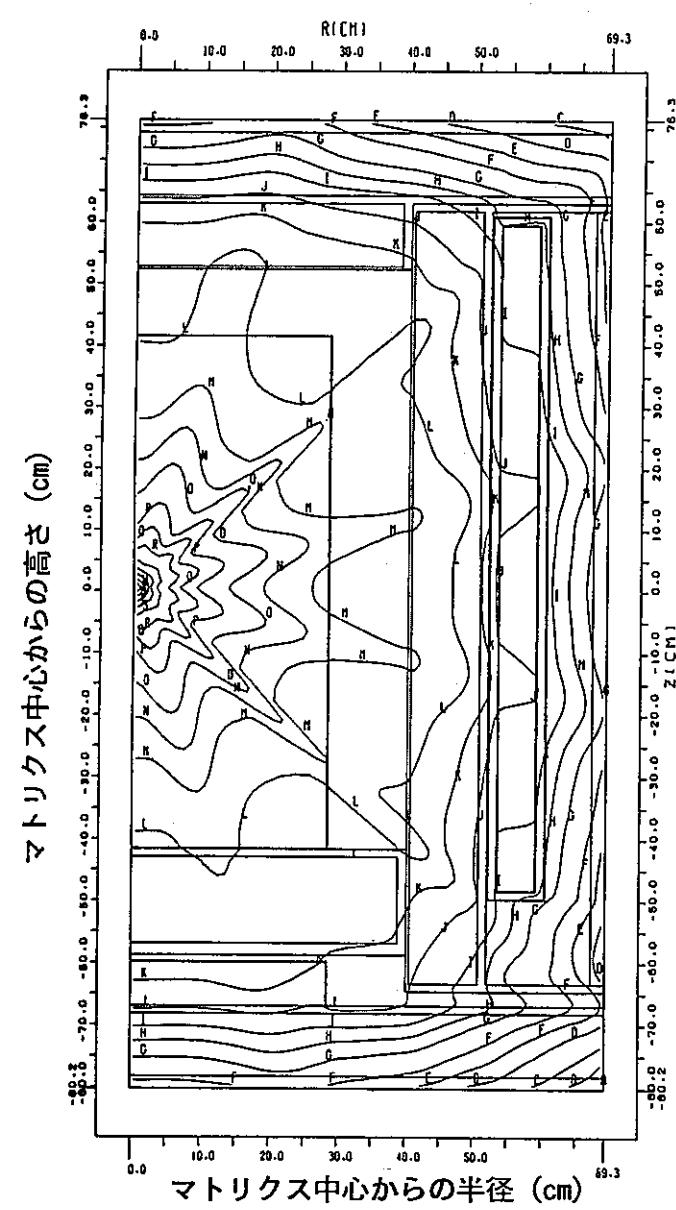
(a) 空ドラム缶



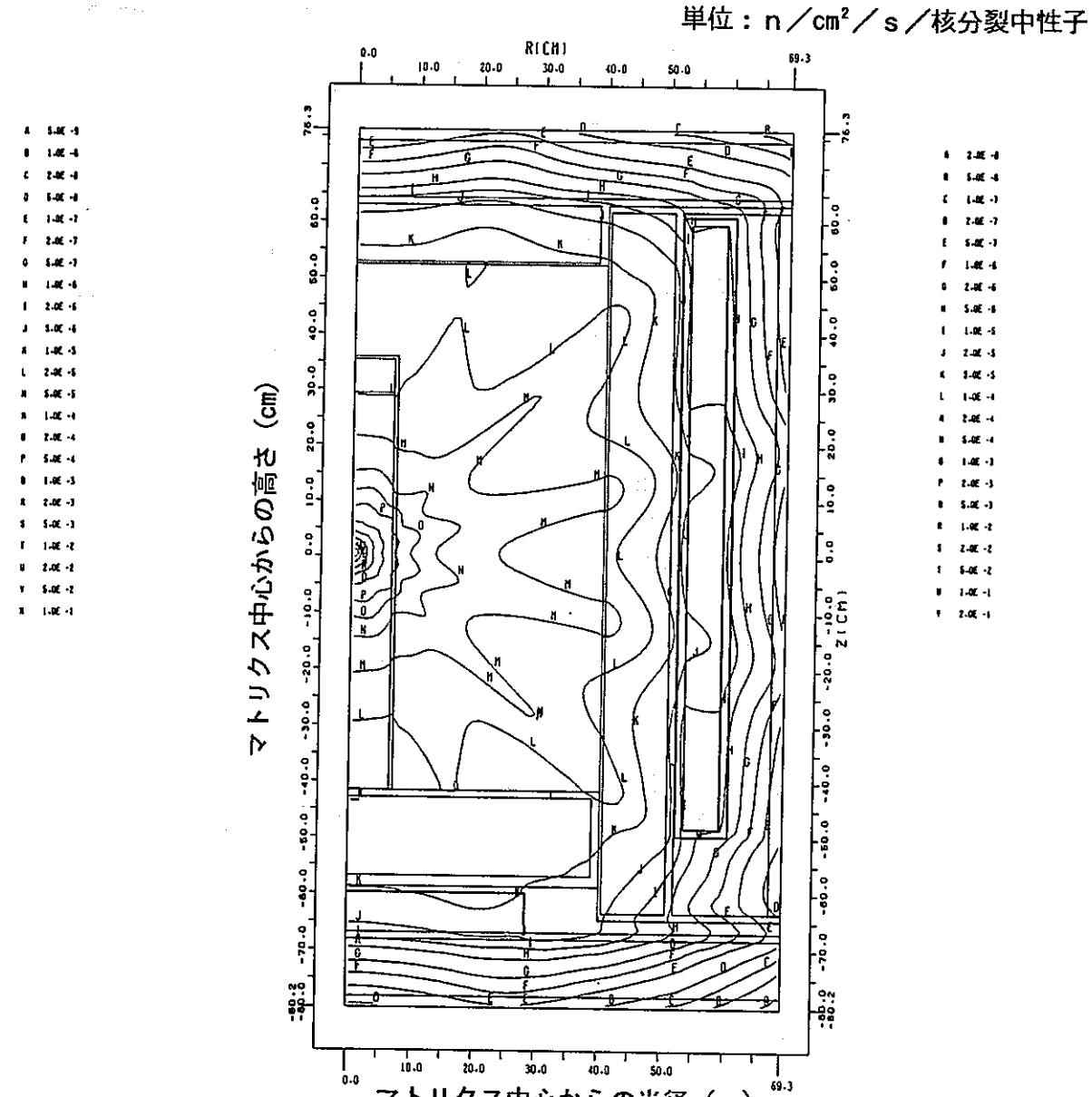
(b) 可燃物焼却灰 (模擬体)

図A.3-4 核分裂線源に対する2次元S n 解析での高速中性子束分布 (1/2)

($E \geq 0.1 \text{ MeV}$, JSDJ2ライブラリ, マトリクス中心軸体系)



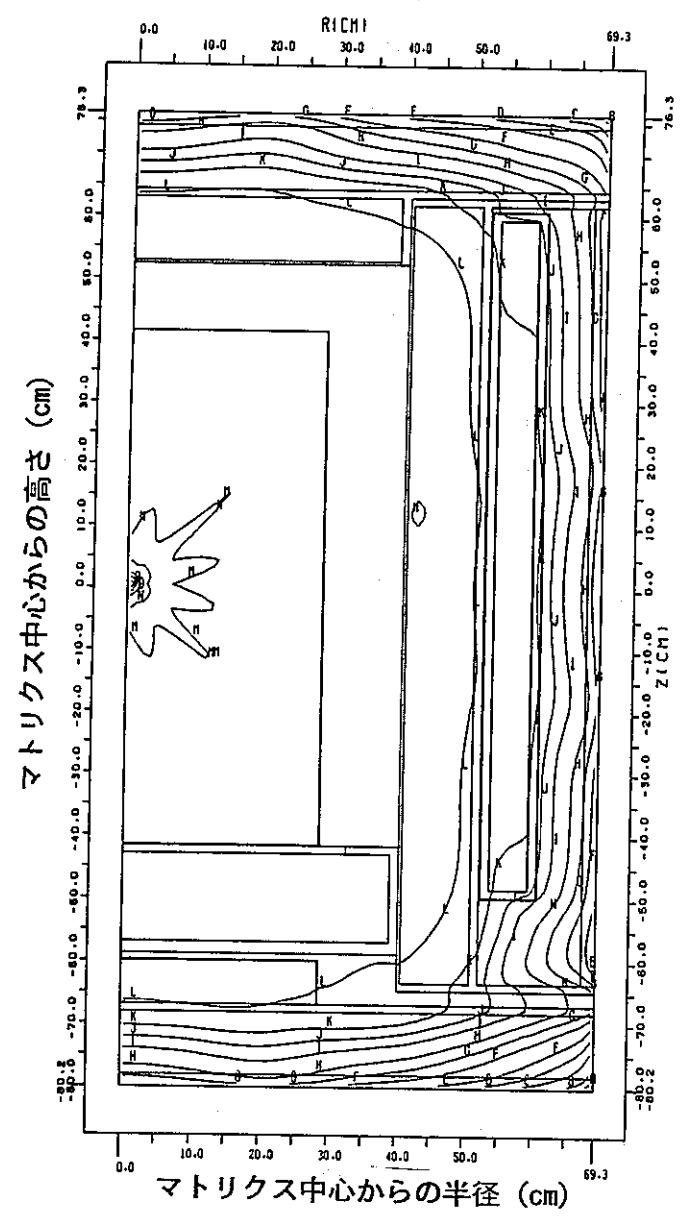
(c) ポリエチレンチューブ



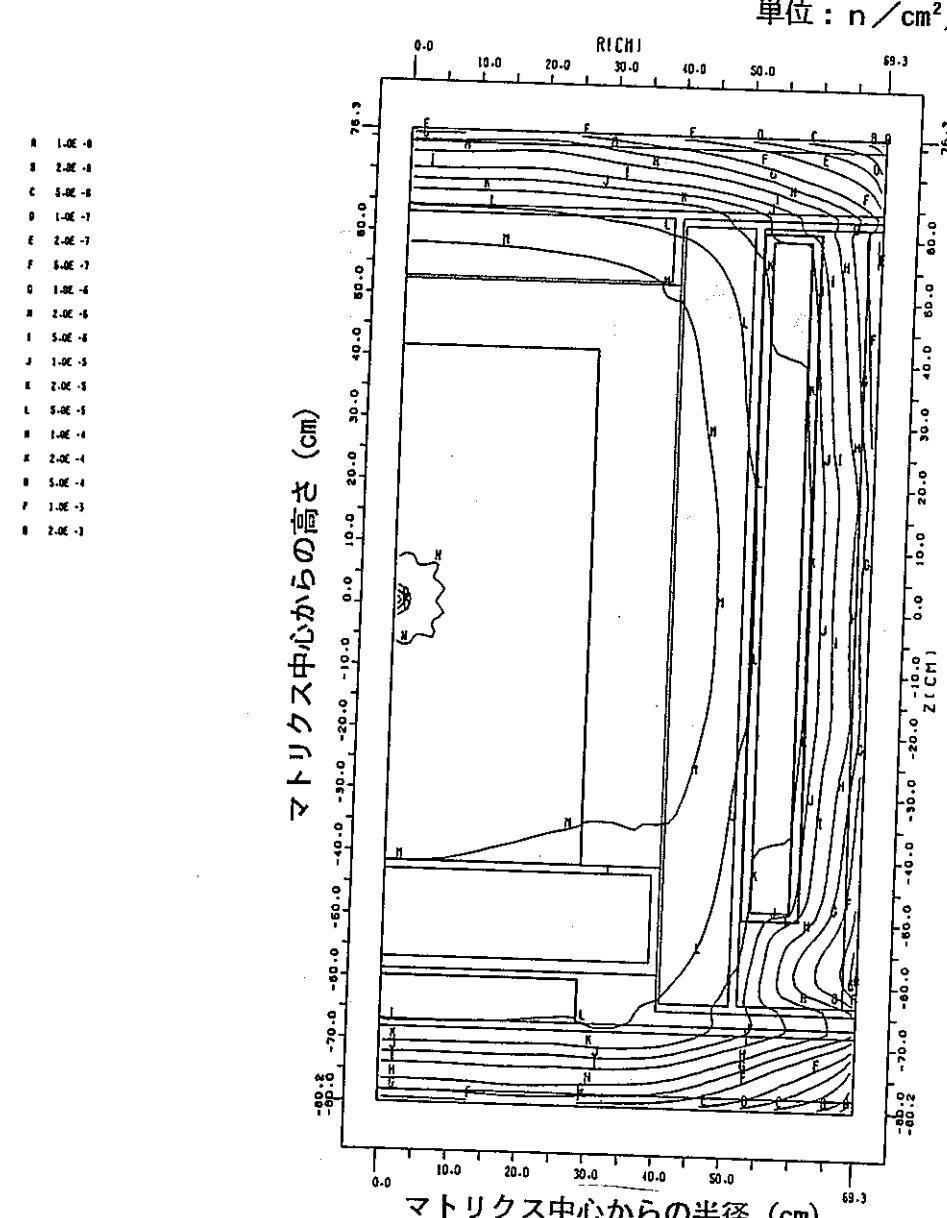
(d) 人工鉱物 (単体)

図A.3-4 核分裂線源に対する2次元S n解析での高速中性子束分布 (2/2)

($F \geq 0.1 \text{ MeV}$ ISO 12ライブリ → リリカ→ホルムル)



(a) 空ドラム缶

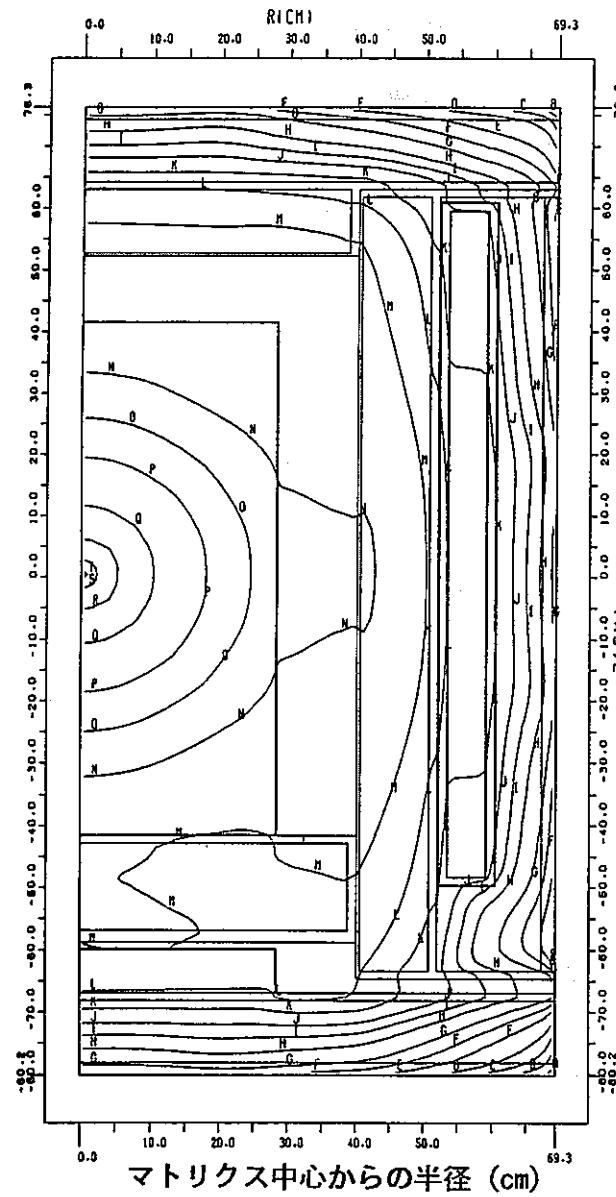


(b) 可燃物焼却灰 (模擬体)

図A.3-5 核分裂線源に対する2次元S n解析での中速中性子束分布 (1/2)

($0.1 \text{ MeV} \geq E \geq 0.414 \text{ eV}$, JSDJ2ライブラリ, マトリクス中心軸体系)

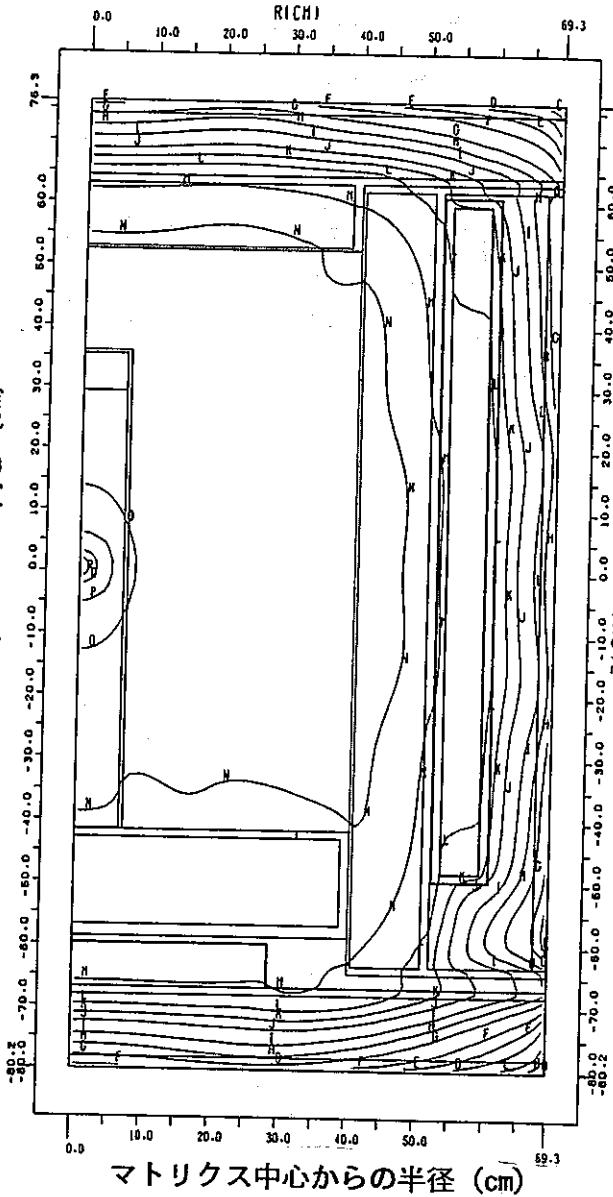
マトリクス中心からの高さ (cm)



(c) ポリエチレンチューブ

単位: $n/cm^2/s$ / 核分裂中性子

マトリクス中心からの高さ (cm)

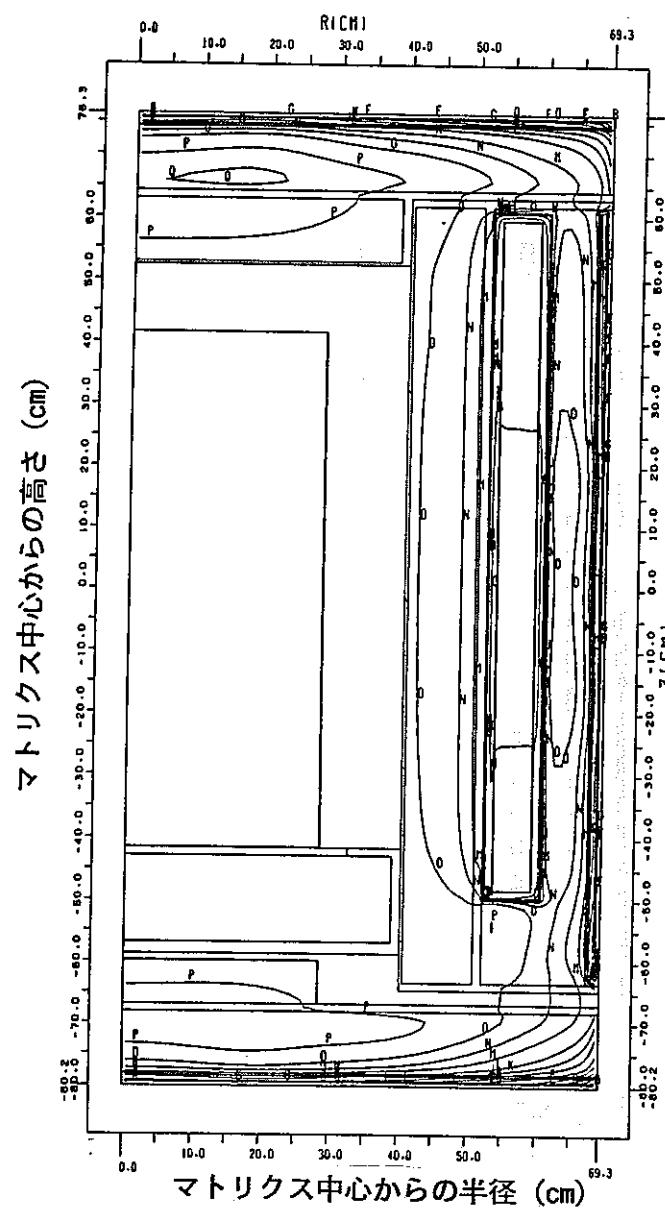


(d) 人工鉱物 (単体)

図A.3-5 核分裂線源に対する2次元S n 解析での中速中性子束分布 (2/2)

($0.1 \text{ MeV} \geq E \geq 0.414 \text{ eV}$. J S D . I 2 ライブライ . マトリクス中心軸)

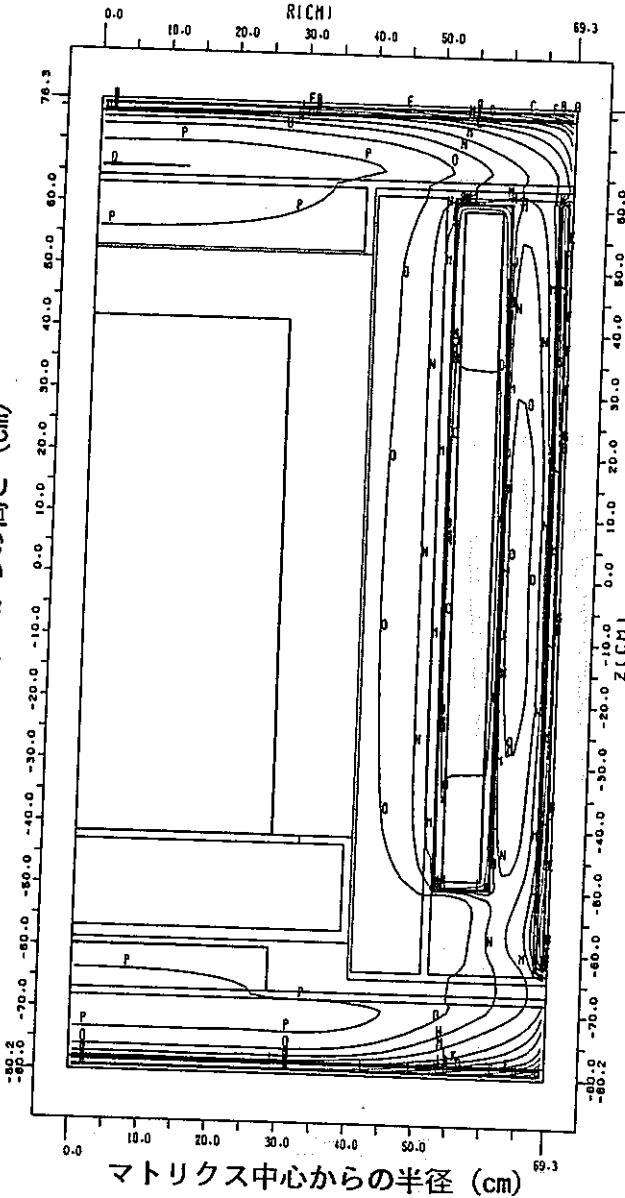
単位: $n/cm^2/s$ / 核分裂中性子



(a) 空ドラム缶

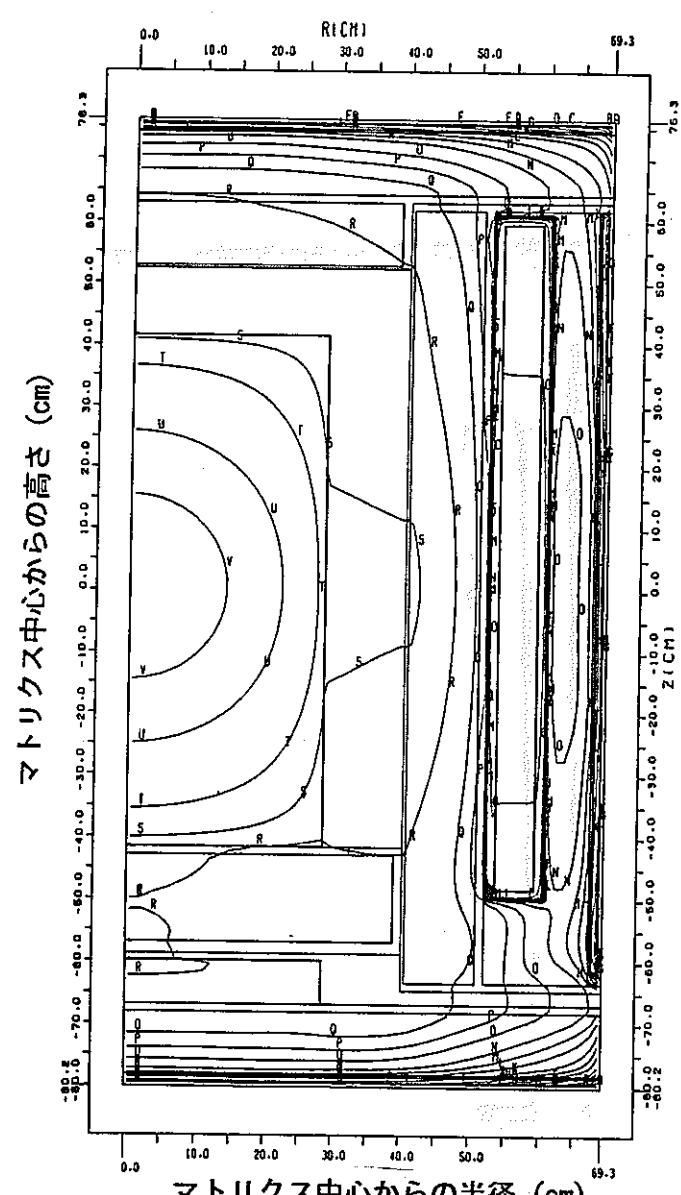
■ 5.0E-10
□ 1.0E-9
△ 2.0E-9
○ 5.0E-9
× 1.0E-8
△ 2.0E-8
○ 5.0E-8
× 1.0E-7
△ 2.0E-7
○ 5.0E-7
× 1.0E-6
△ 2.0E-6
○ 5.0E-6
× 1.0E-5
△ 2.0E-5
○ 5.0E-5
× 1.0E-4

マトリクス中心からの高さ (cm)

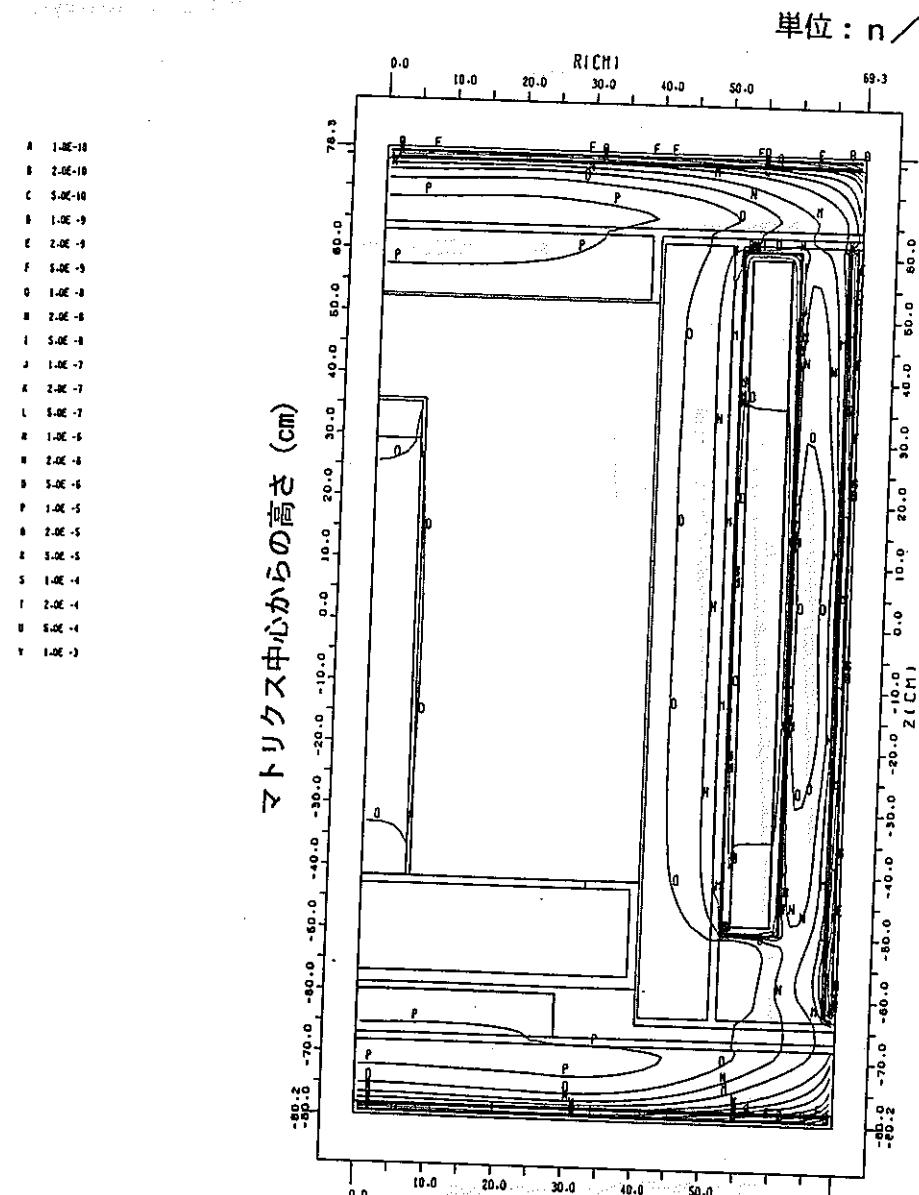


(b) 可燃物焼却灰 (模擬体)

図A.3-6 核分裂線源に対する2次元S n 解析での熱中性子束分布 (1/2)
($E \leq 0.414 eV$, JSDJ2ライブラリ; マトリクス中心軸体系)



(c) ポリエチレンチューブ

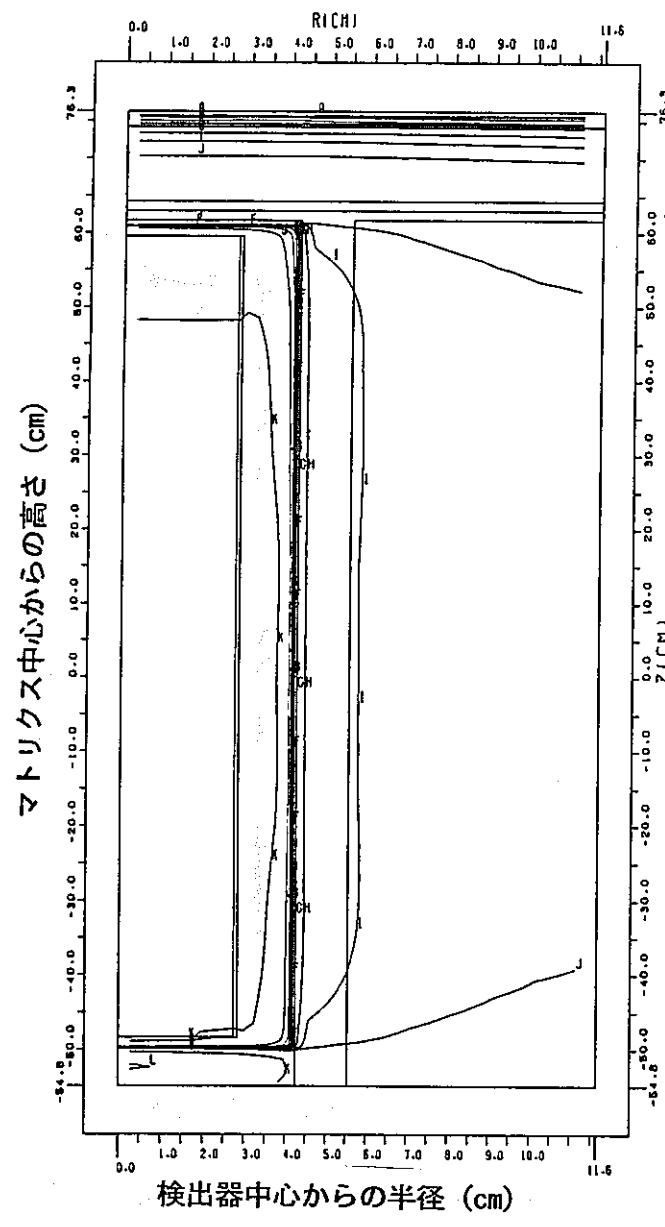


(d) 人工鉱物 (単体)

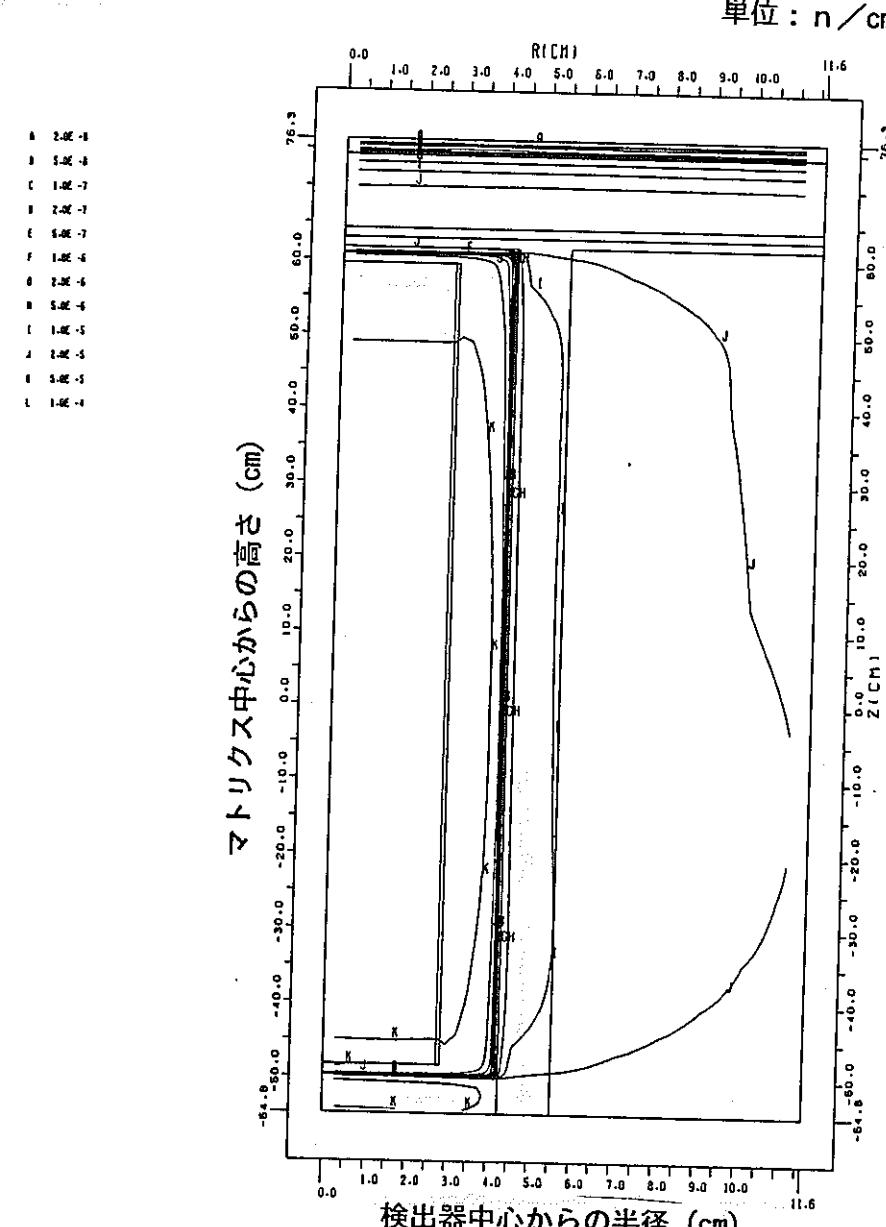
図A.3-6 核分裂線源に対する2次元S n解析での熱中性子束分布 (2/2)

(E $\leq 0.414 \text{ eV}$, JSDDJ2ライブラリ, マトリクス中心軸体系)

単位: $n/cm^2/s$ / 核分裂中性子



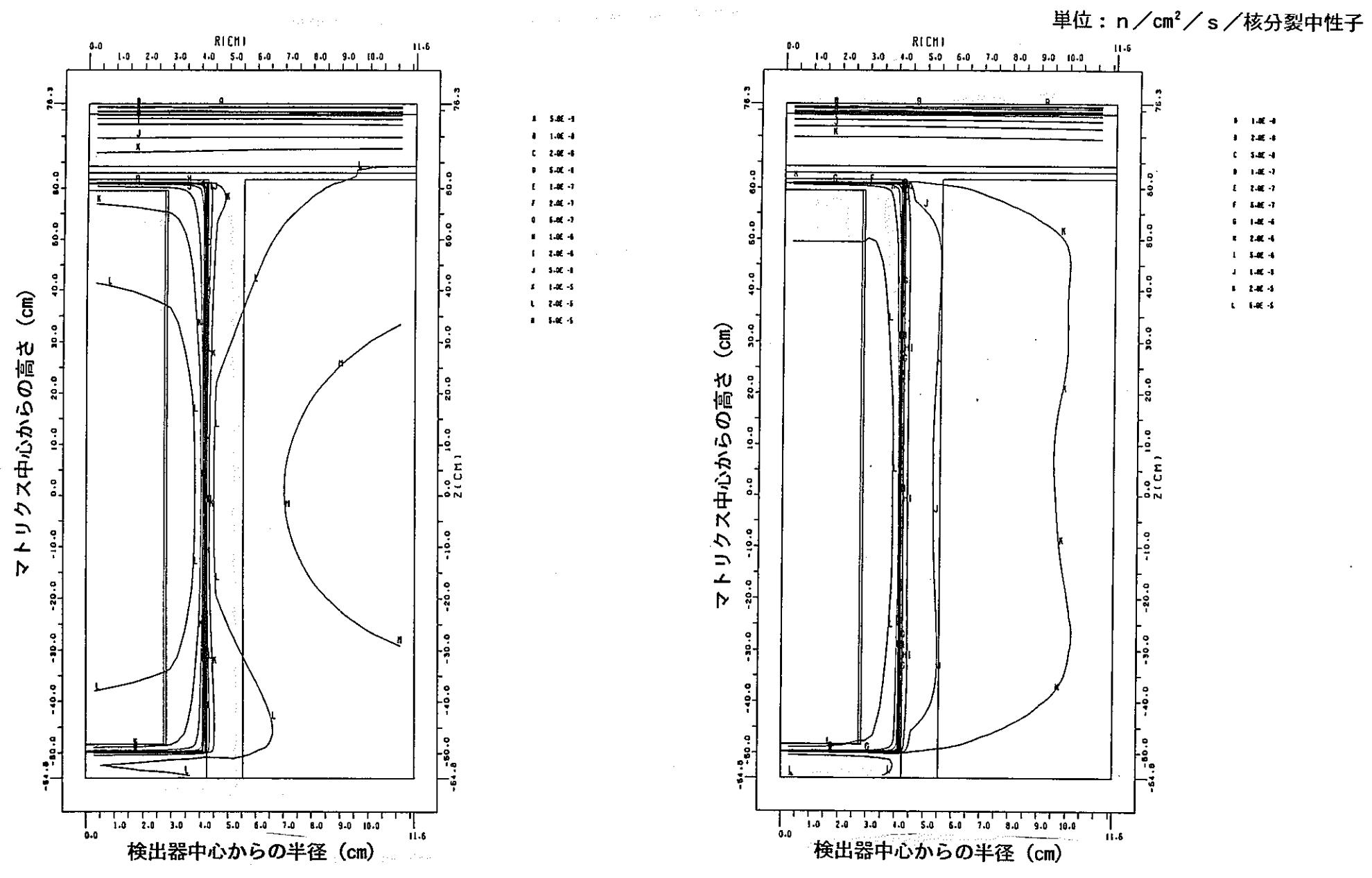
(a) 空ドラム缶



(b) 可燃物焼却灰 (模擬体)

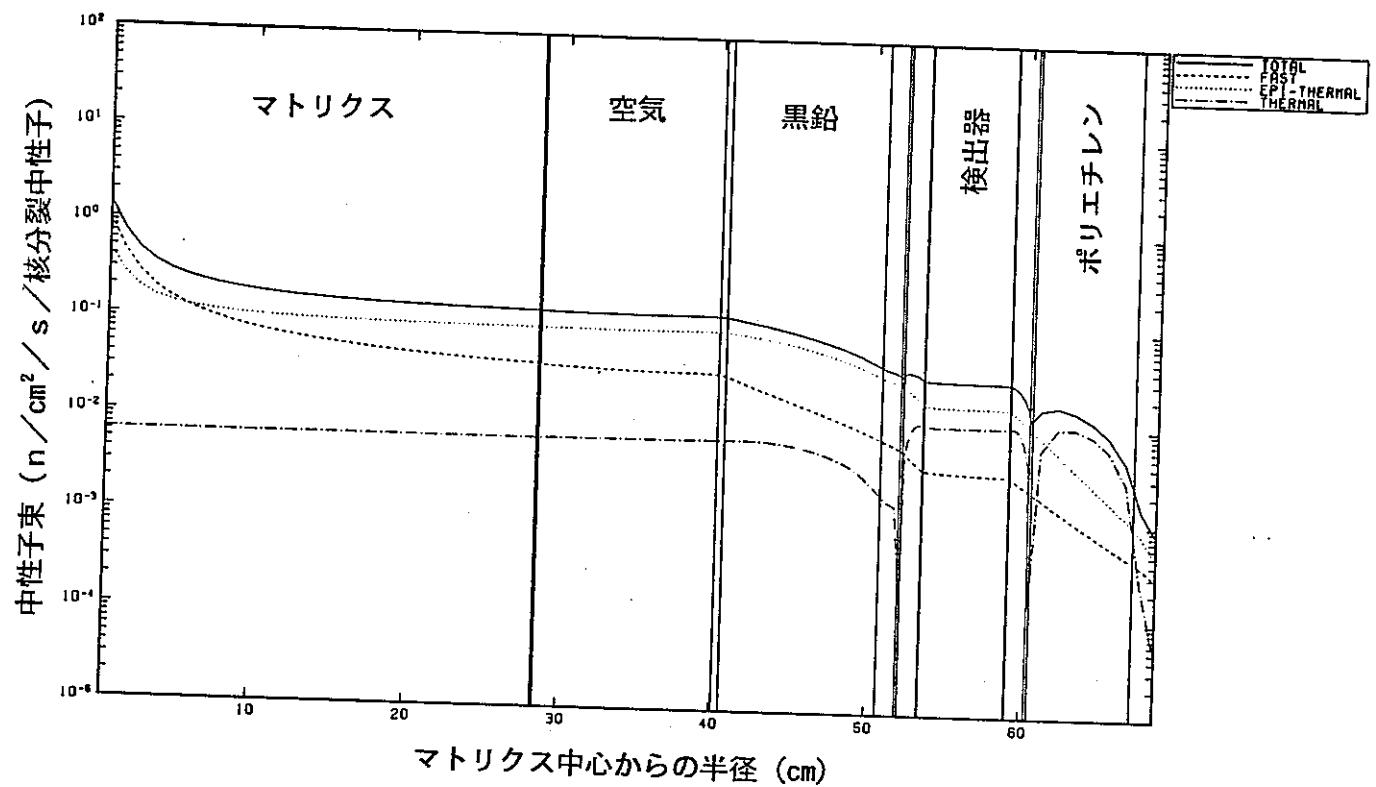
図A.3-7 核分裂線源に対する2次元 S_n 解析での熱中性子束分布 (1/2)

($E \leq 0.414 eV$, JSDJ2ライブラリ, 検出器中心軸体系)

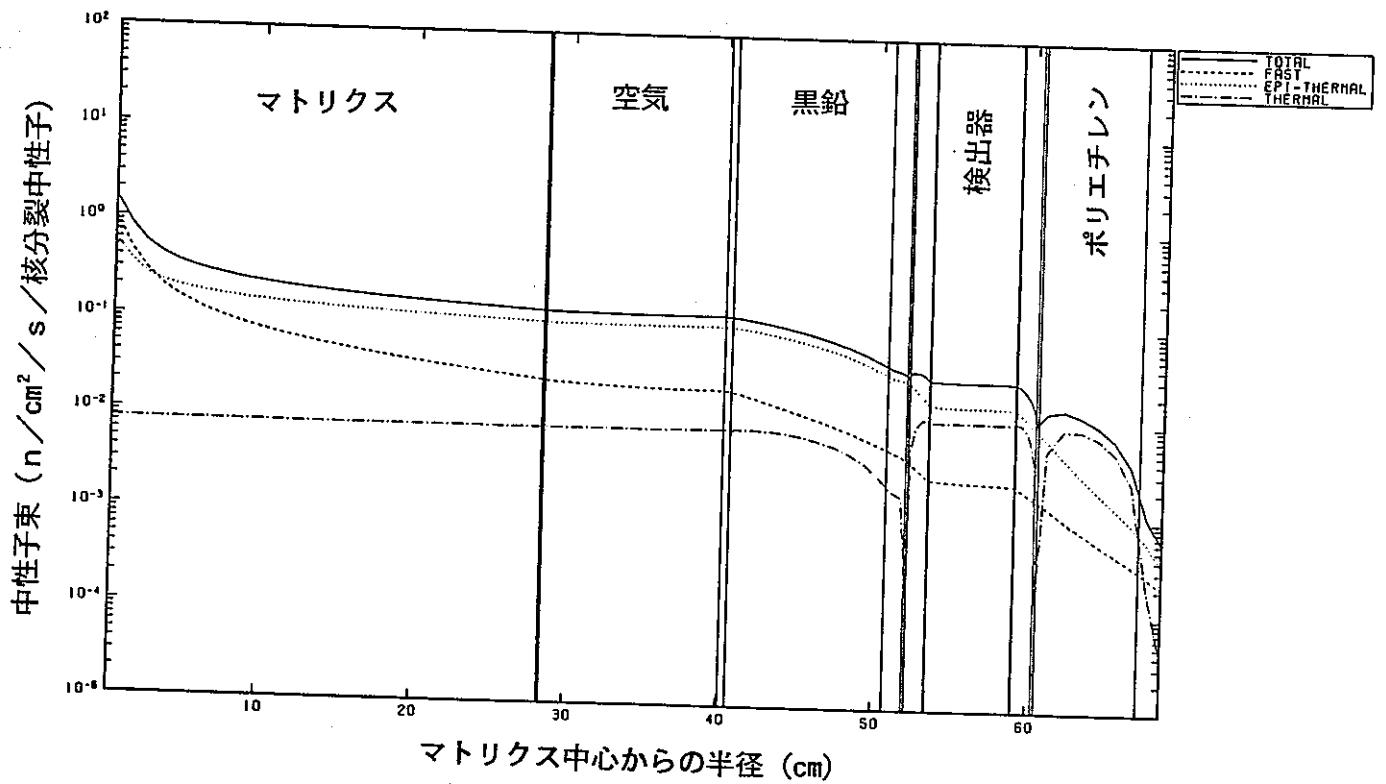


図A.3-7 核分裂線源に対する2次元S_n解析での熱中性子束分布 (2/2)

($E \leq 0.414\text{ eV}$ LSD12ライブラリ 検出器中心軸付近)



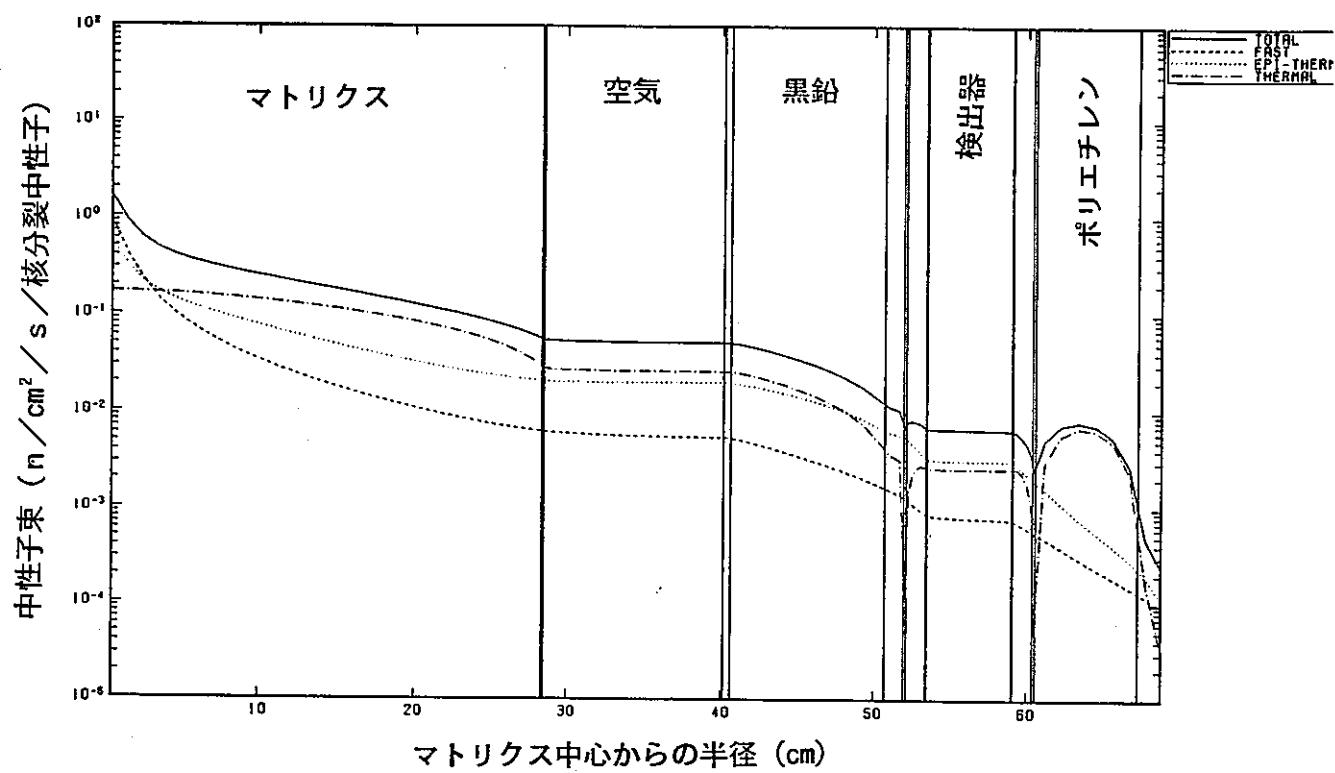
(a) 空ドラム缶



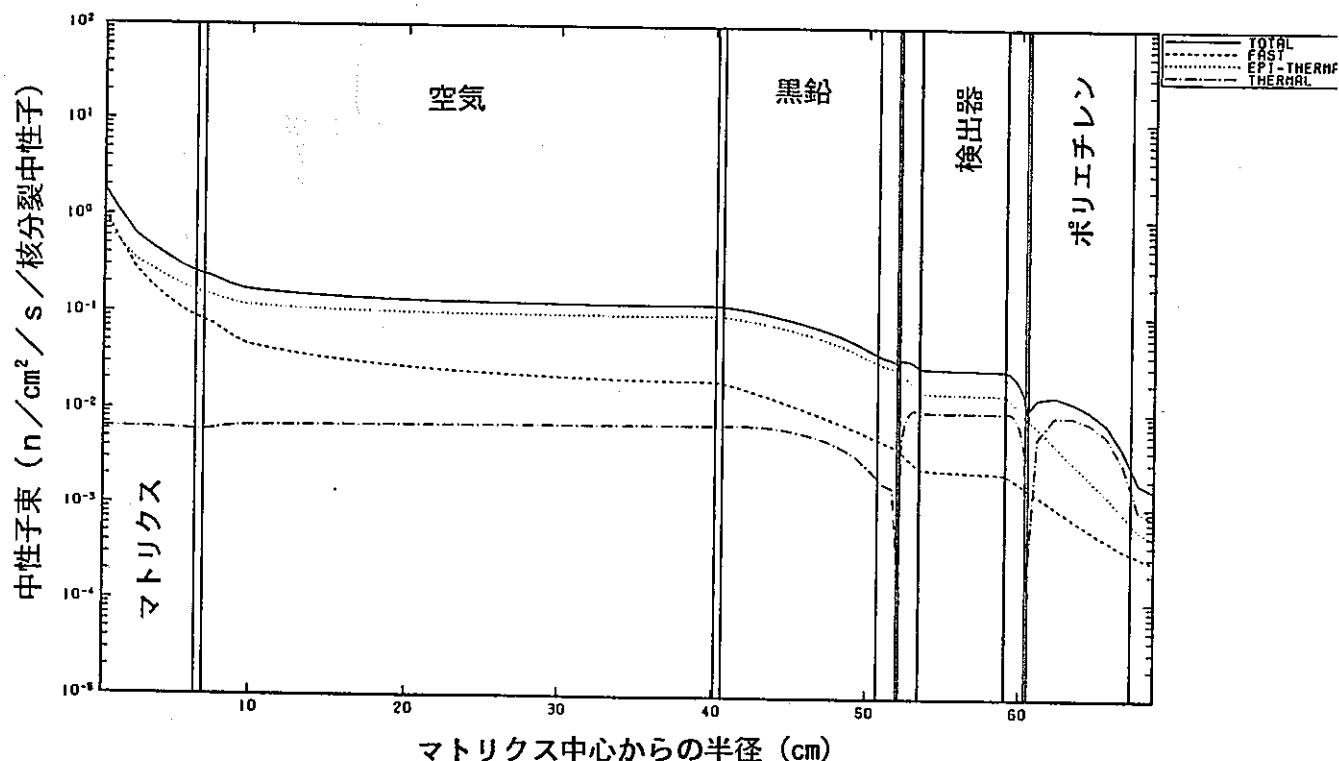
(b) 可燃物焼却灰 (模擬体)

図A.3-8 核分裂線源に対する1次元S_n解析での径方向中性子束分布

(M G C Lライブラリ) (1/2)



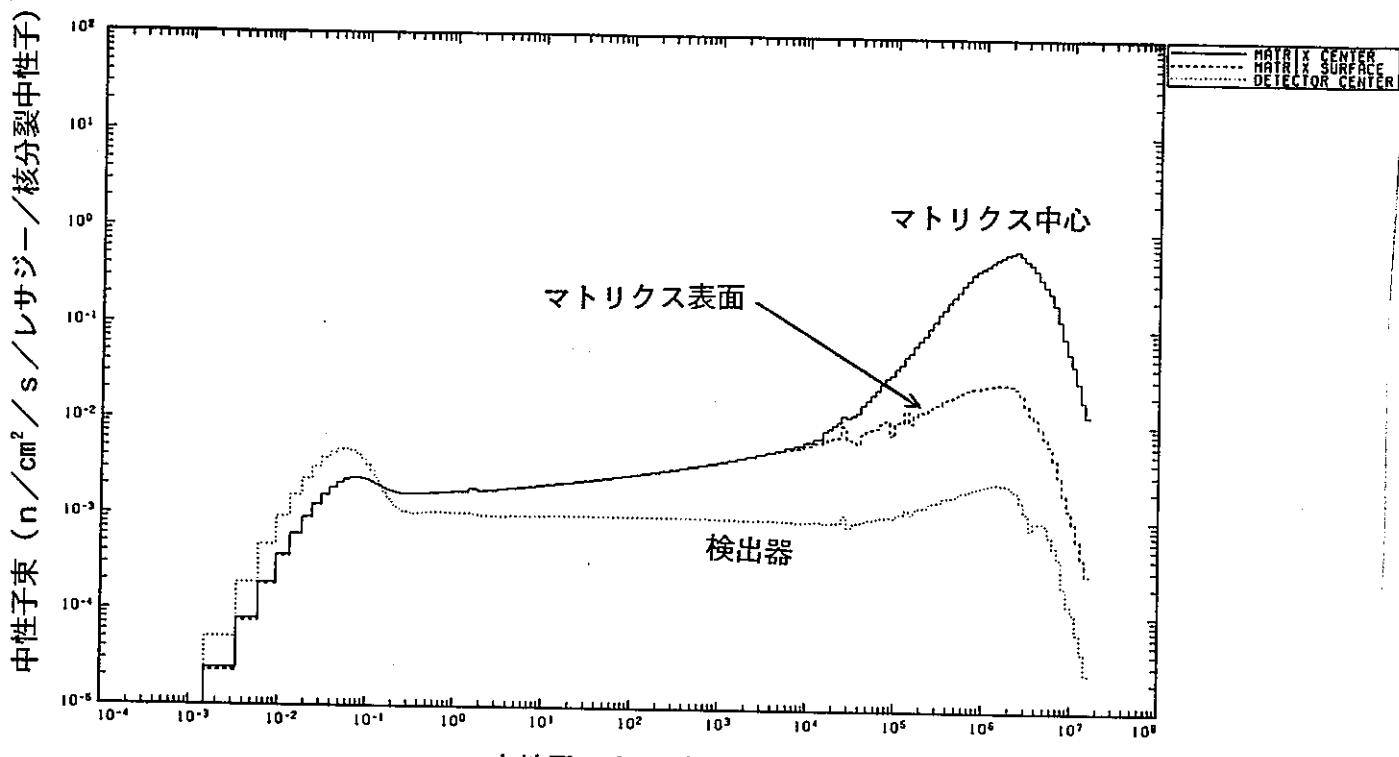
(c) ポリエチレンチューブ



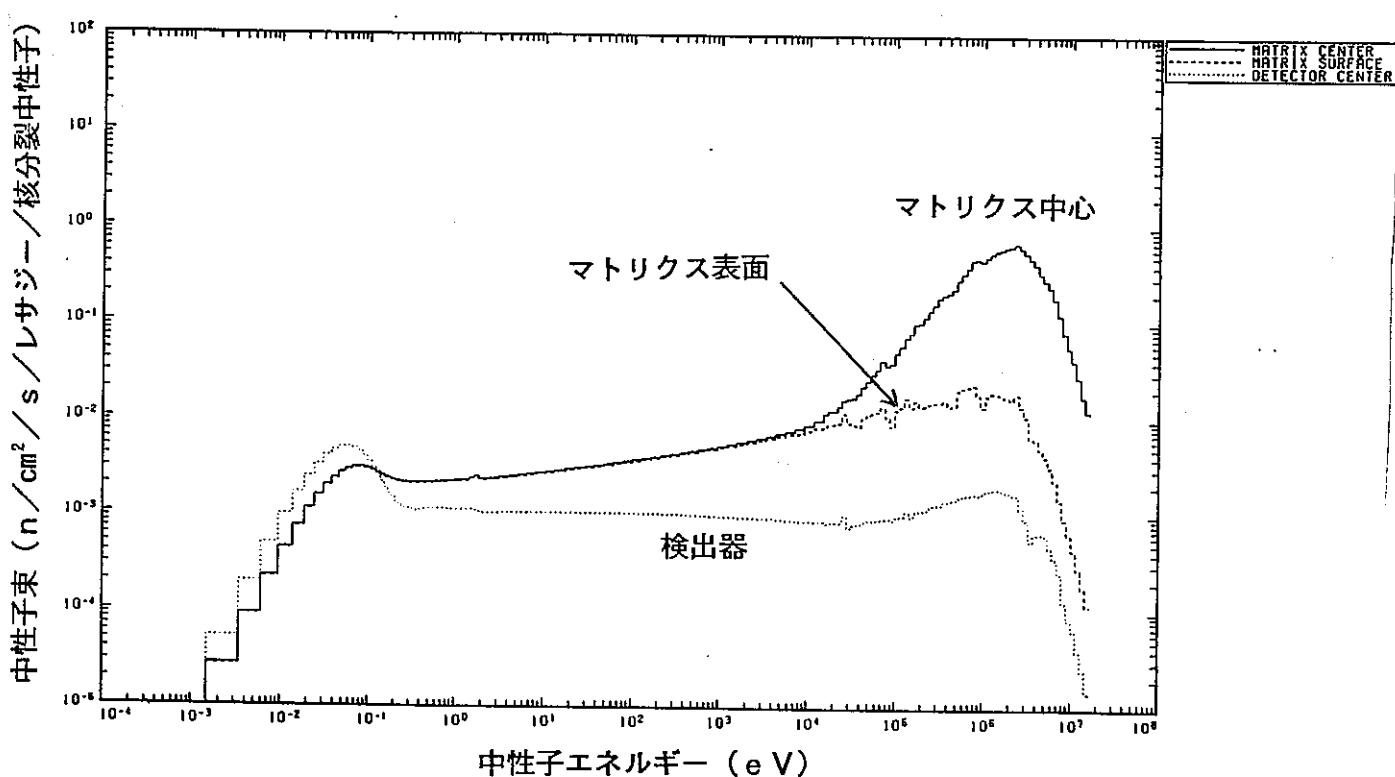
(d) 人工鉱物（単体）

図A.3-8 核分裂線源に対する1次元S_n解析での径方向中性子束分布

(MGCLライブラリ) (2/2)



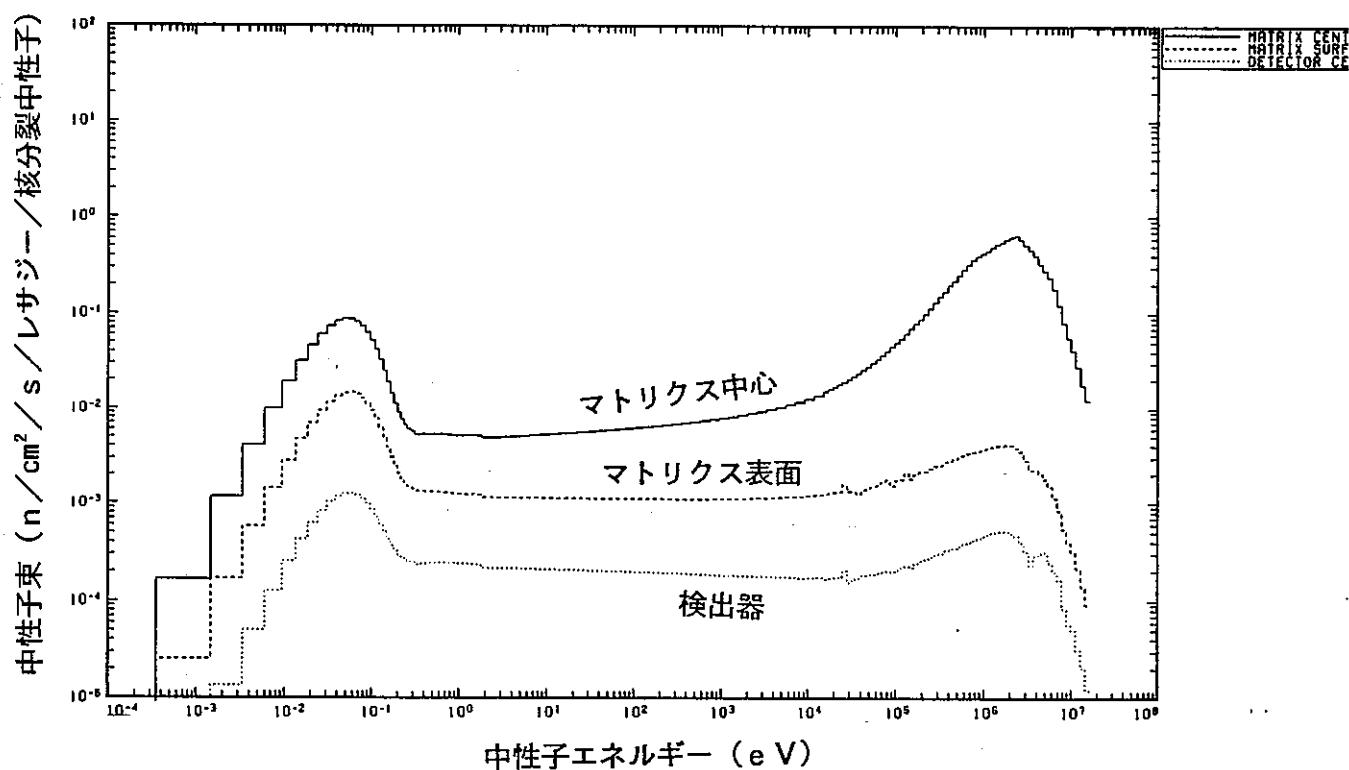
(a) 空ドラム缶



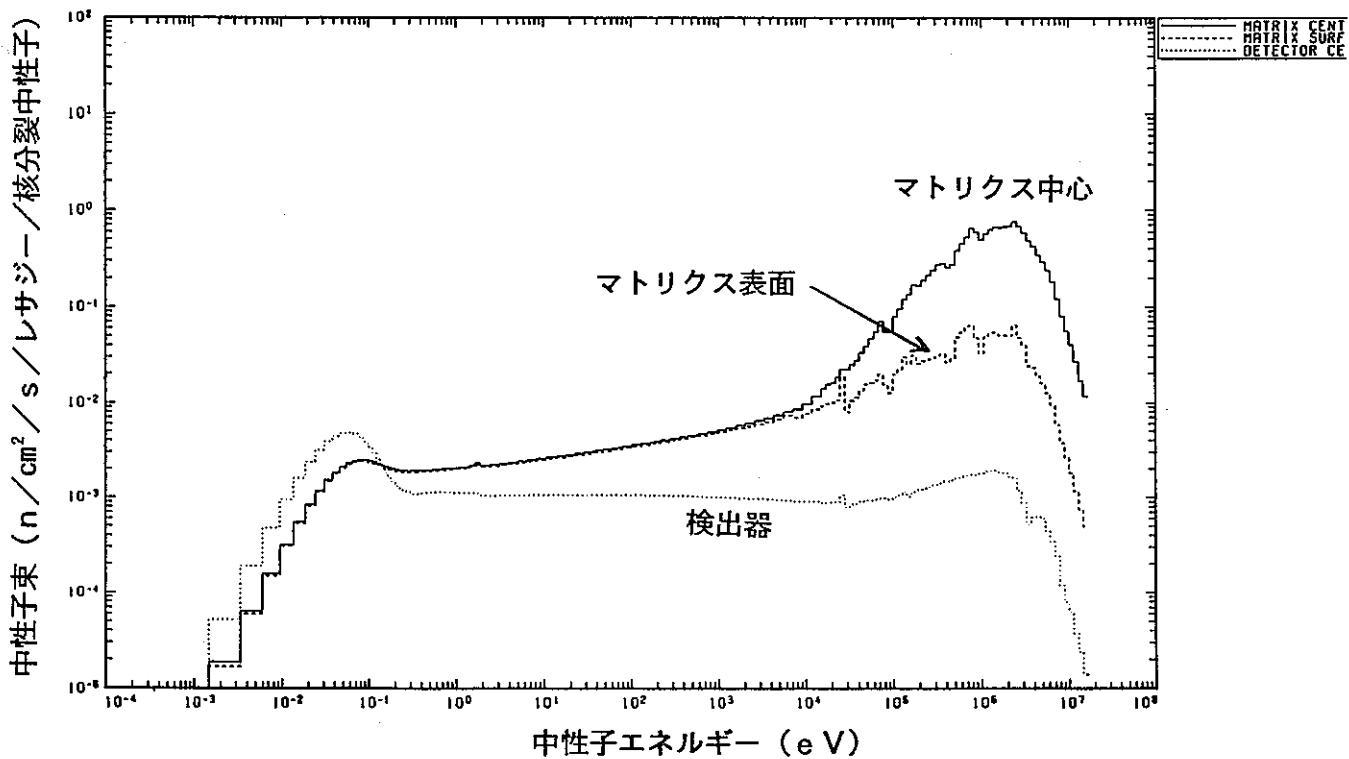
(b) 可燃物焼却灰（模擬体）

図A.3-9 核分裂線源に対する1次元S n 解析での中性子スペクトル

(M G C L ライブラリ) (1 / 2)



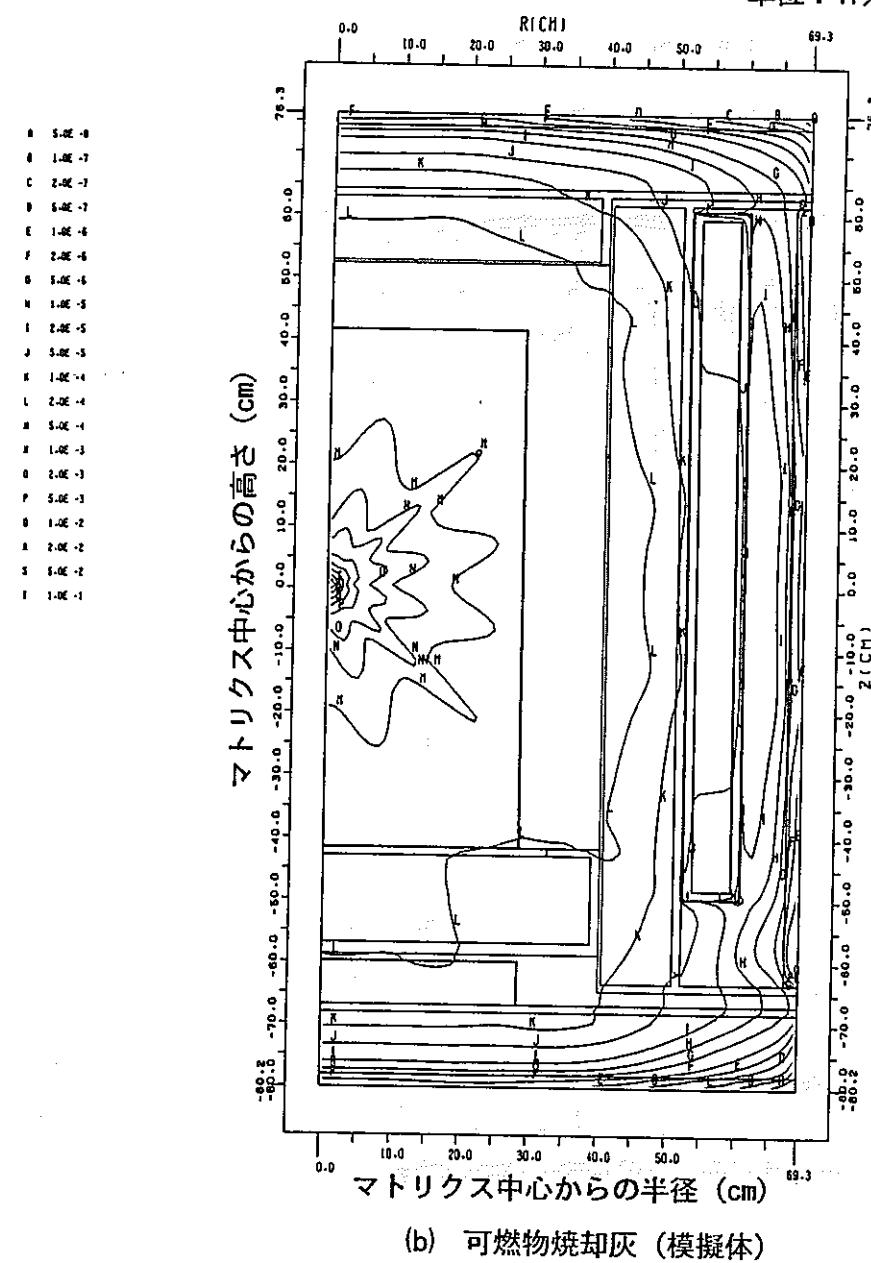
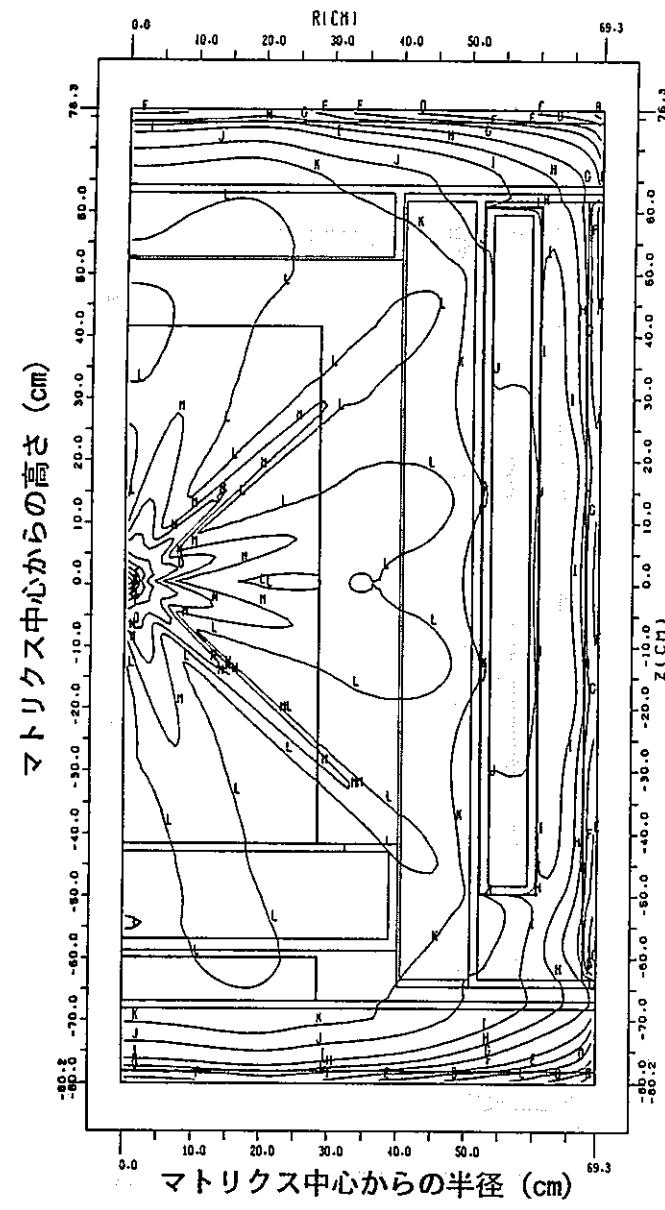
(c) ポリエチレンチューブ



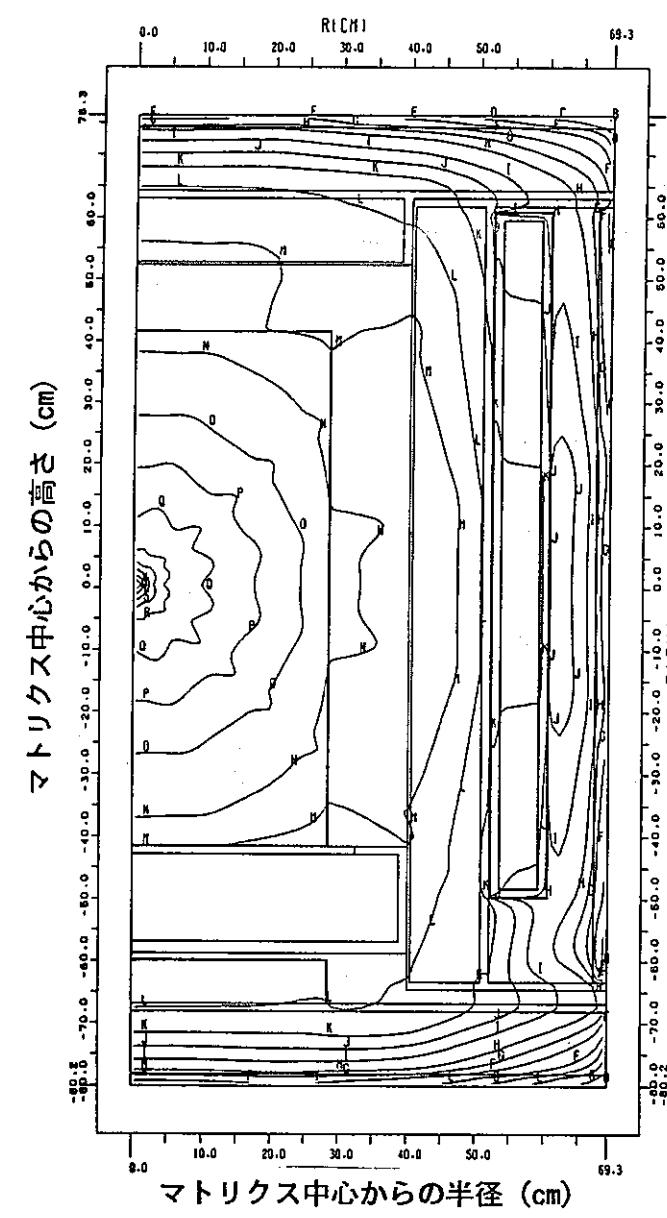
(d) 人工鉱物 (単体)

図A.3-9 核分裂線源に対する1次元S n解析での中性子スペクトル
(M G C Lライブラリ) (2 / 2)

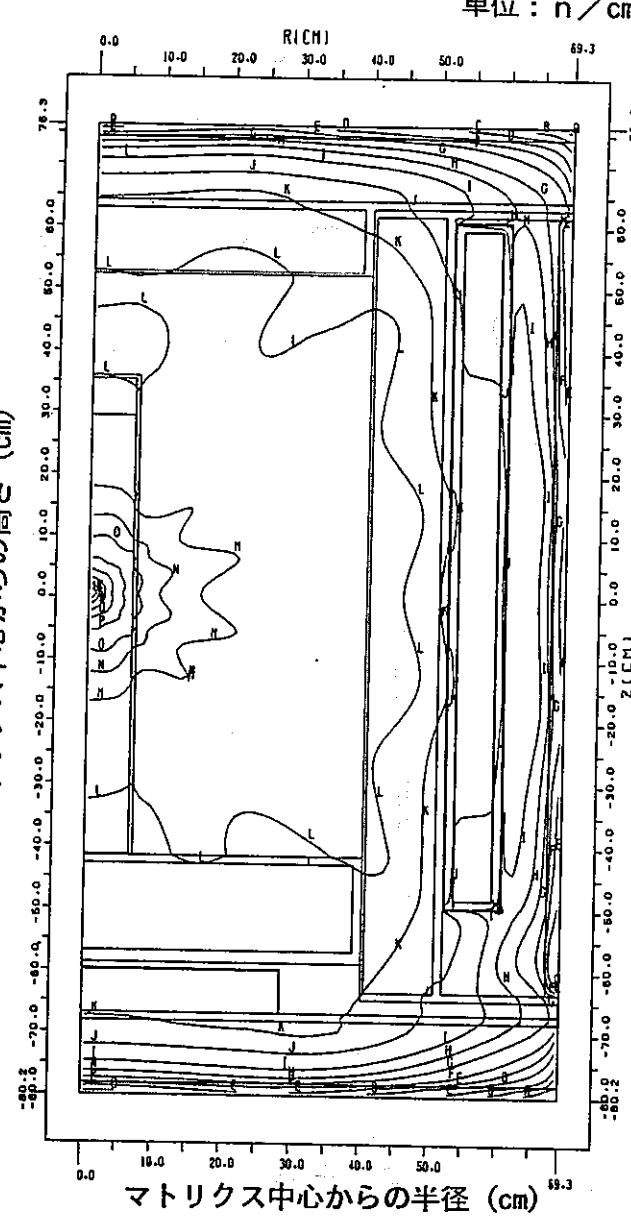
単位: $n/cm^2/s$ / 核分裂中性子



図A.3-10 核分裂線源に対する2次元S_n解析での全中性子束分布 (M G C Lライブラリ, マトリクス中心軸体系) (1/2)



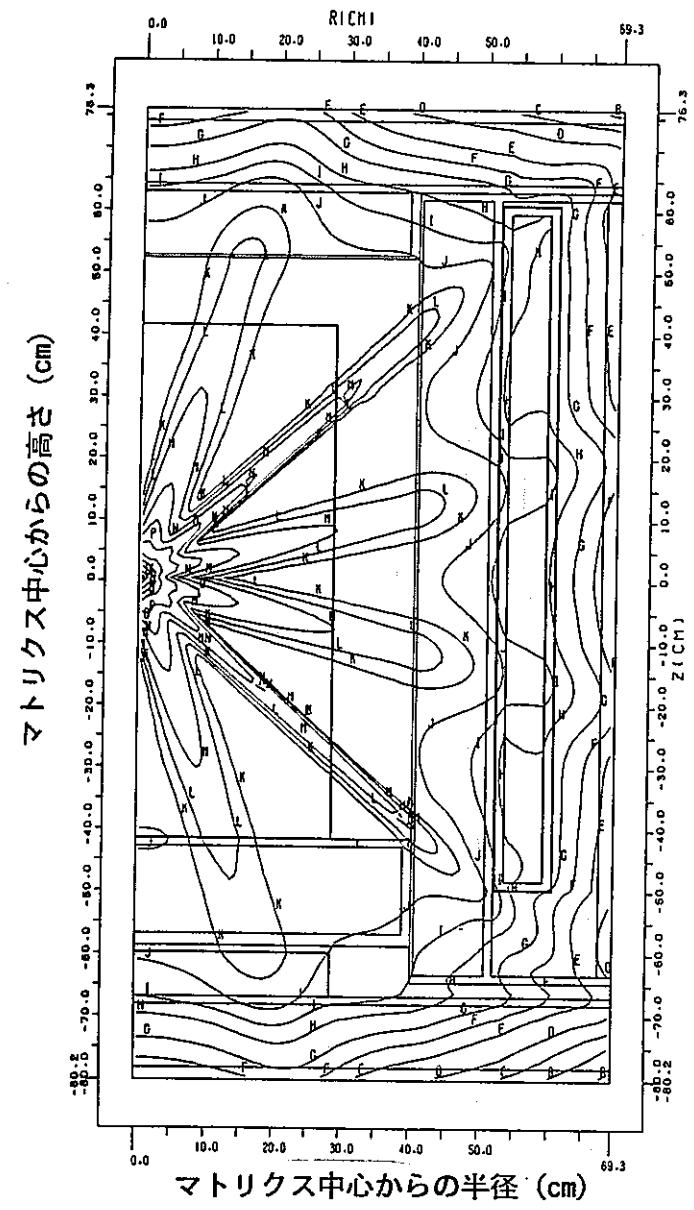
(c) ポリエチレンチューブ



(d) 人工鉱物 (単体)

図A.3-10 核分裂線源に対する2次元S_n解析での全中性子束分布 (MGC-Lライブライ, マトリクス中心軸体系) (2/2)

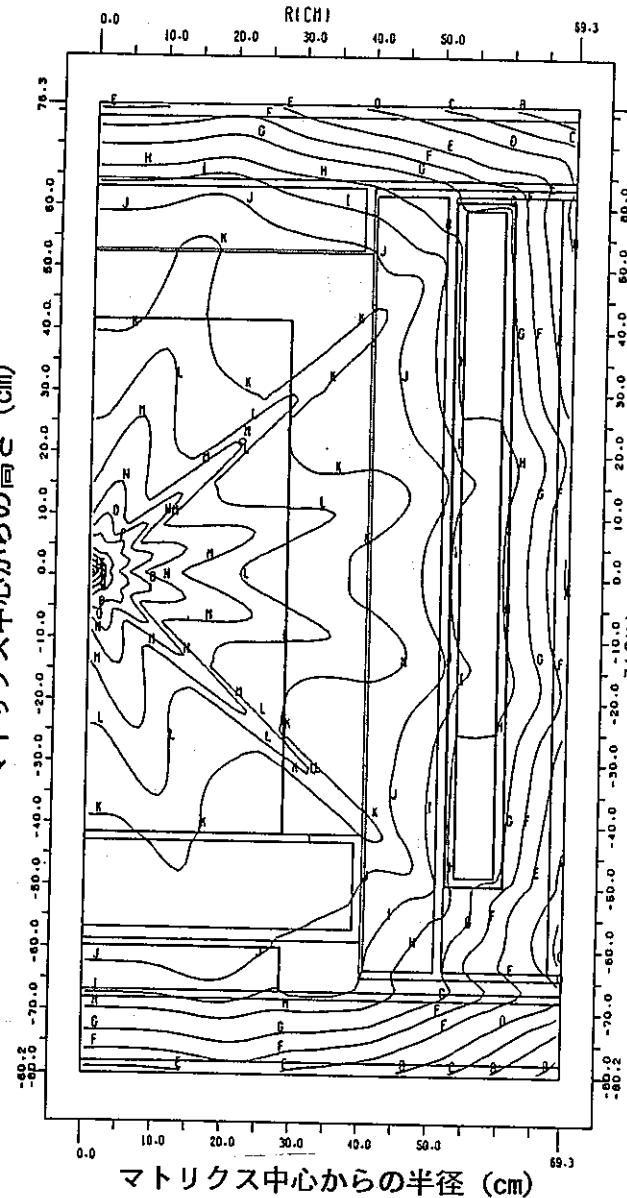
単位: $n/cm^2/s$ / 核分裂中性子



(a) 空ドラム缶

A
B
C
D
E
F
G
H
I
J
K
L
M
N
O
P
Q
R
S
T

マトリクス中心からの高さ (cm)

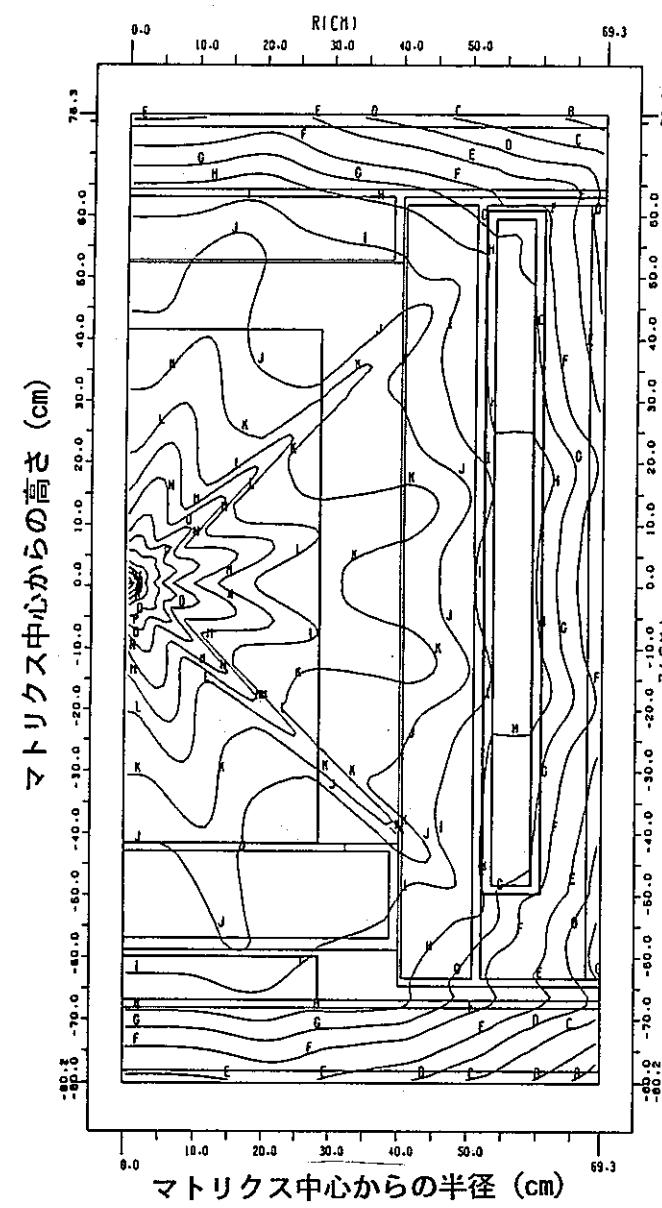


(b) 可燃物焼却灰 (模擬体)

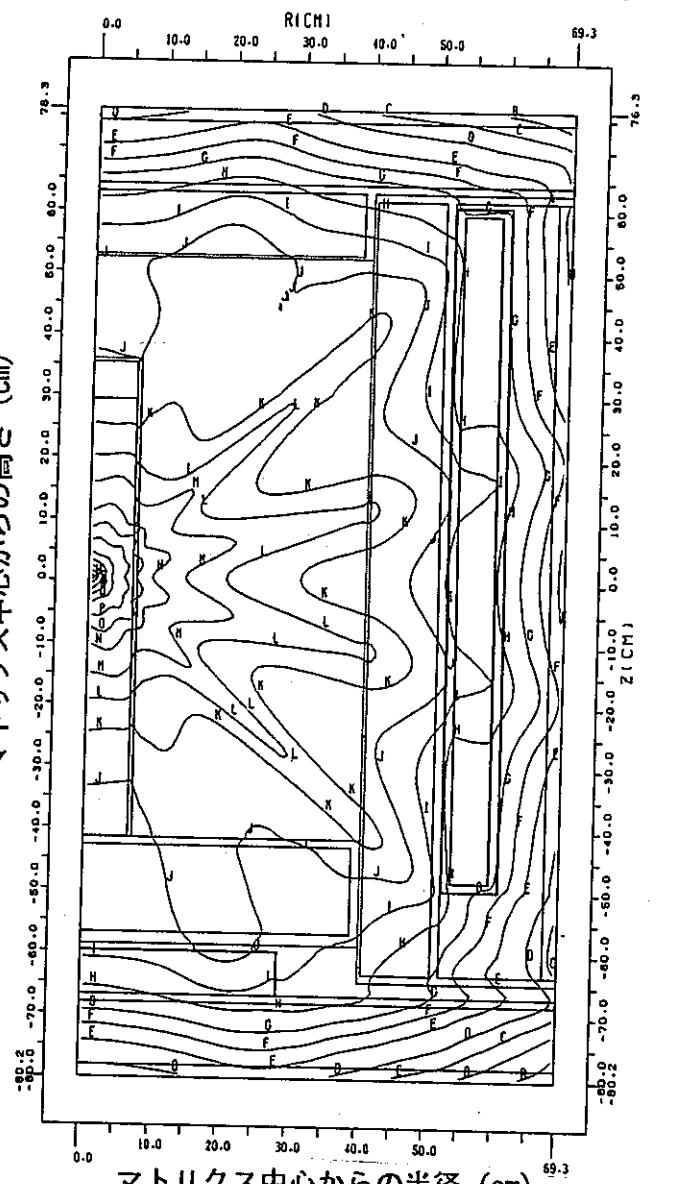
$E \geq 0.1 \text{ MeV}$, MGCLライブラリ, マトリクス中心軸体系)

図A.3-11 核分裂線源に対する2次元S_n解析での高速中性子束分布 (1/2)

単位: $n/cm^2/s$ / 核分裂中性子



(c) ポリエチレンチューブ

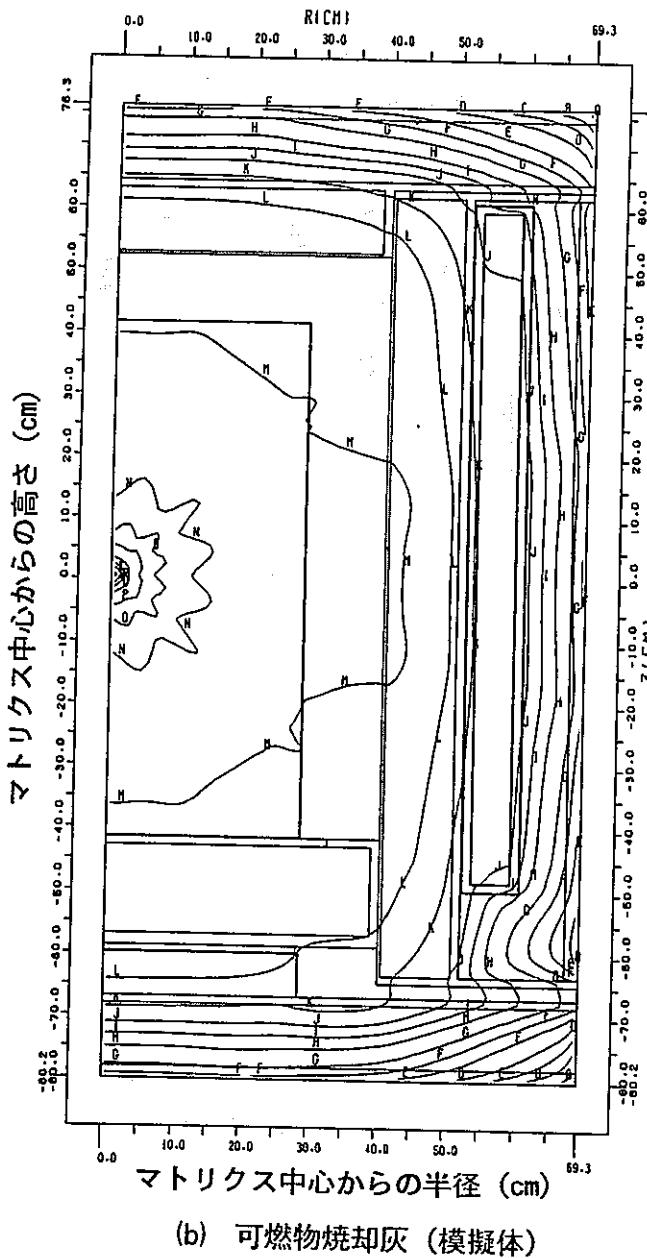
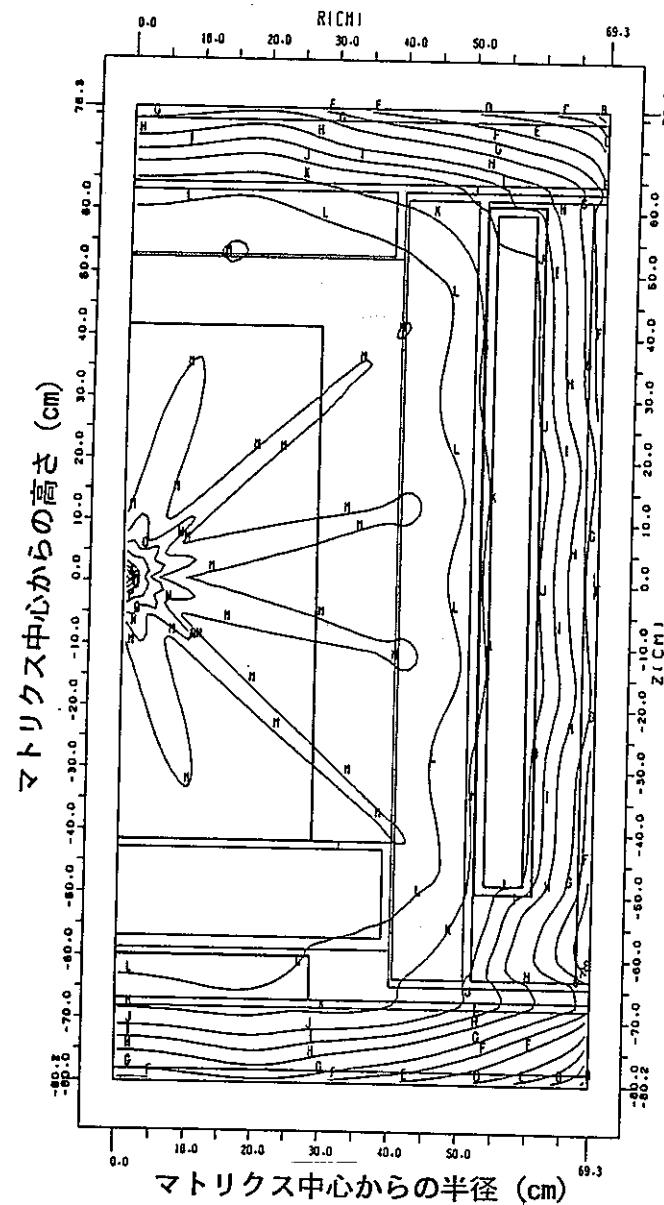


(d) 人工鉱物 (単体)

図A.3-11 核分裂線源に対する2次元S_n解析での高速中性子束分布(2/2)

($E \geq 0.1 \text{ MeV}$, MGCLライブラリ, マトリクス中心軸体系)

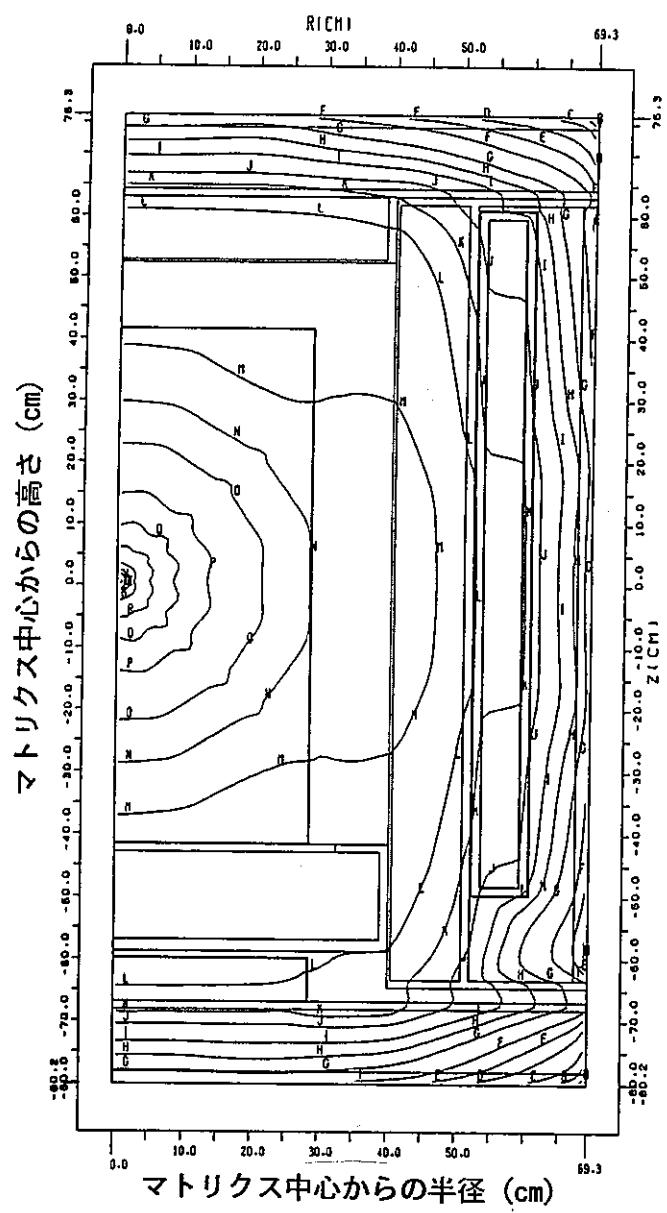
単位: $n/cm^2/s$ / 核分裂中性子



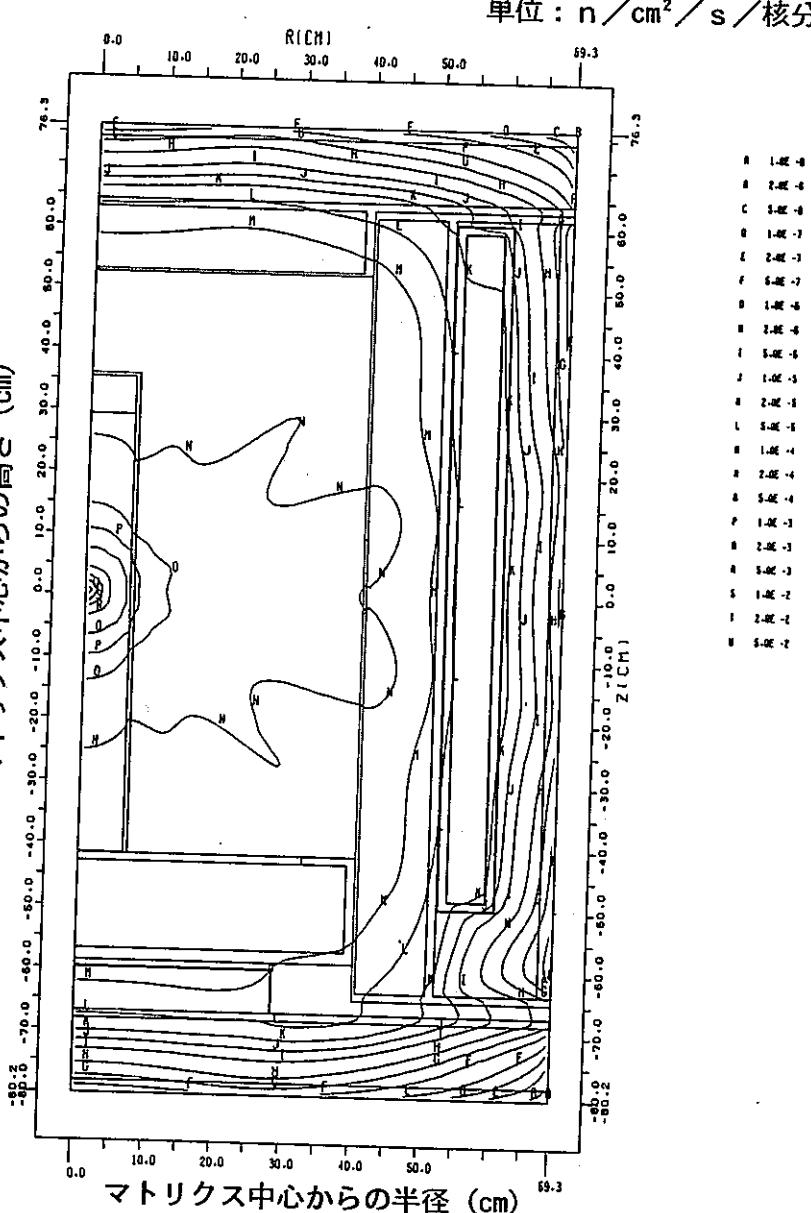
図A.3-12 核分裂線源に対する2次元S n解析での中速中性子束分布 (1/2)

($0.1 \text{ MeV} \geq E \geq 0.414 \text{ eV}$, MGCLライブラリ, マトリクス中心軸体系)

単位: $n/cm^2/s$ / 核分裂中性子



(c) ポリエチレンチューブ

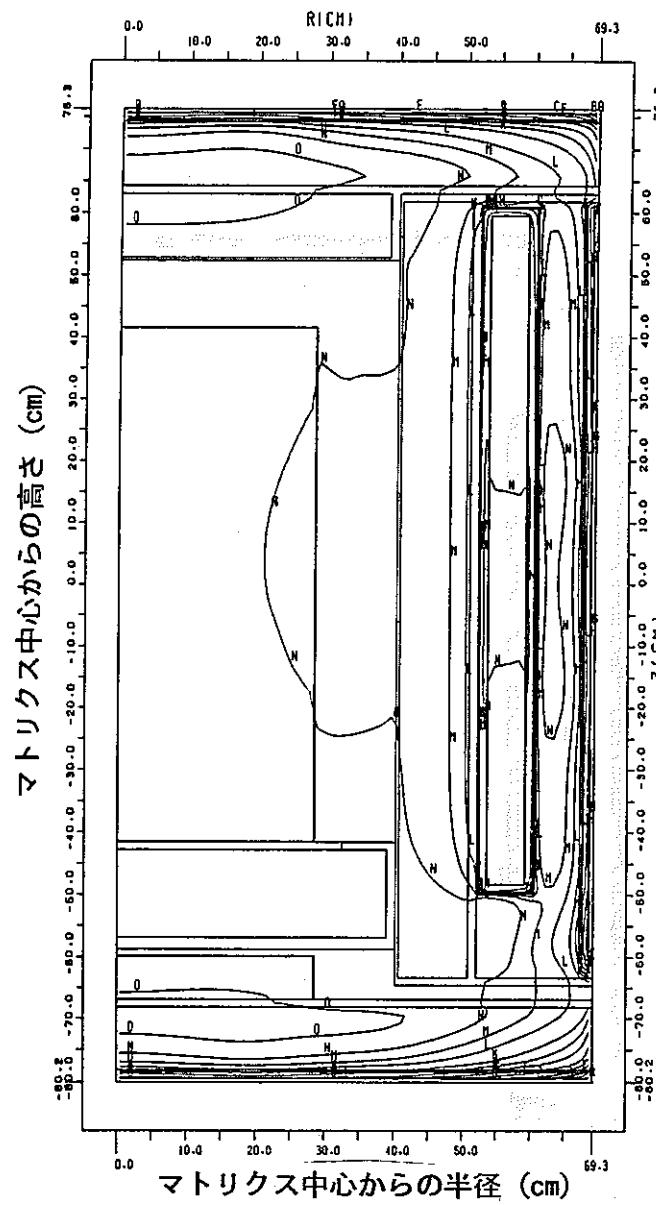


(d) 人工鉱物 (単体)

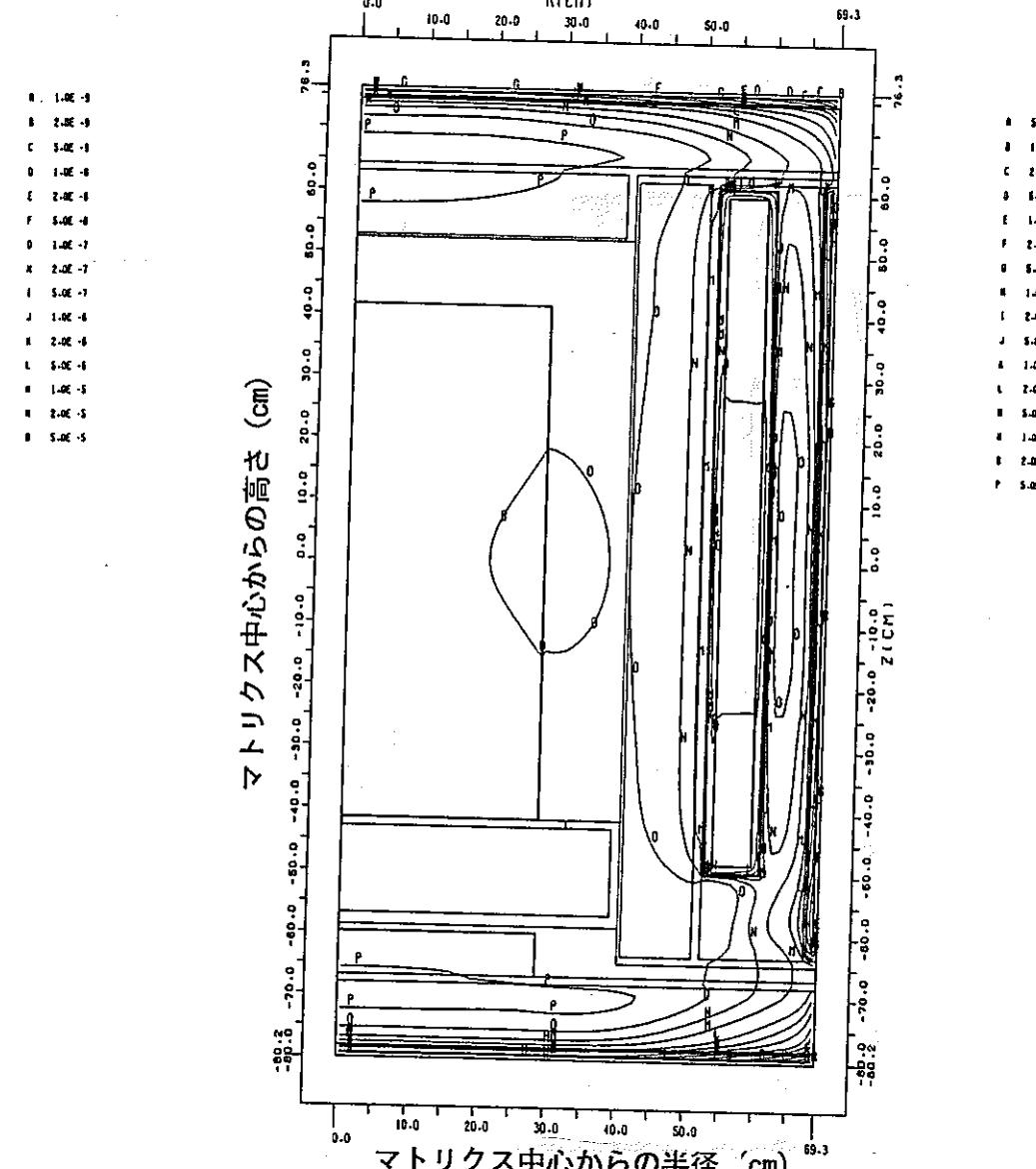
図A.3-12 核分裂線源に対する2次元S n 解析での中速中性子束分布 (2/2)

($0.1 \text{ MeV} \geq E \geq 0.414 \text{ eV}$, MGC1 ライブラリ, マトリクス中心触体玉)

単位: $n/cm^2/s$ / 核分裂中性子



(a) 空ドラム缶

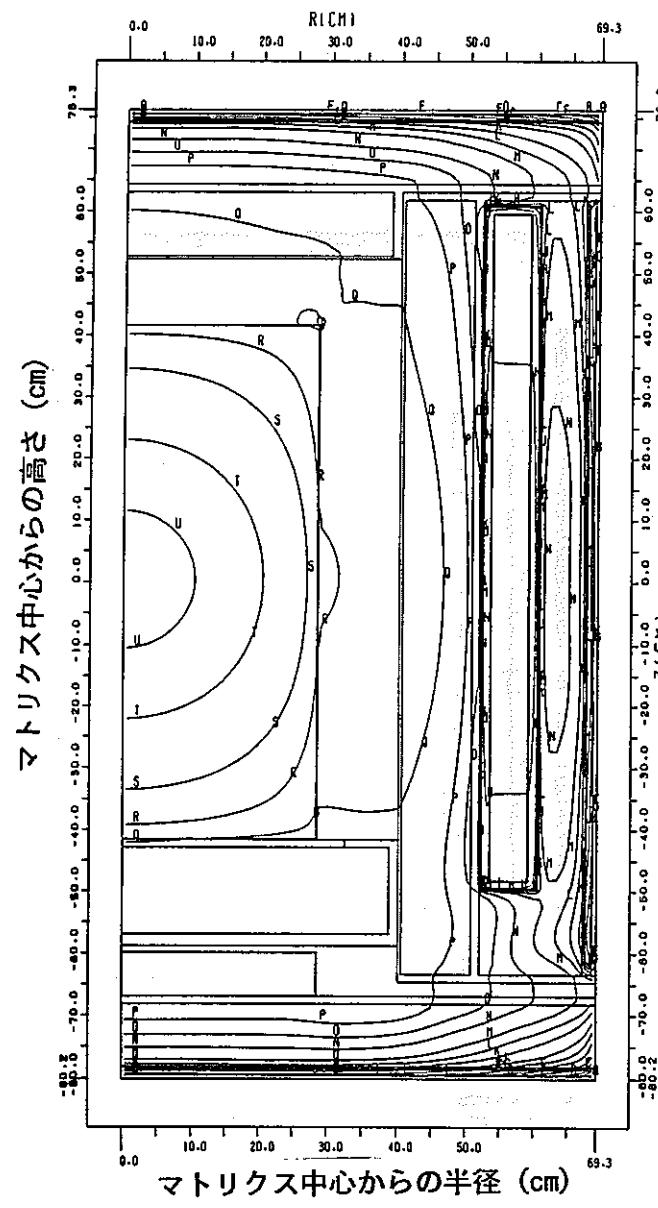


(b) 可燃物焼却灰 (模擬体)

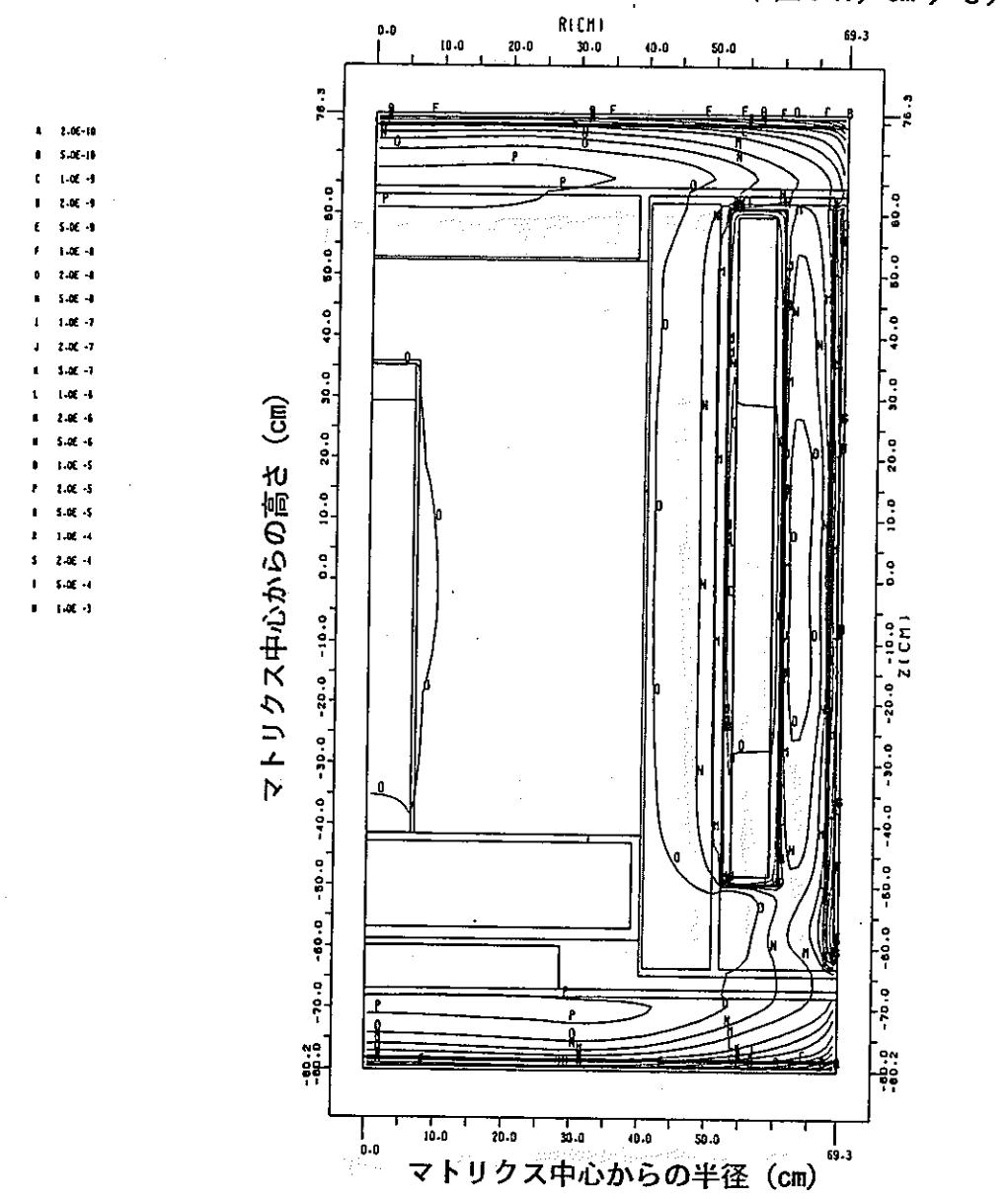
図A.3-13 核分裂線源に対する2次元S n解析での熱中性子束分布 (1/2)

($E \leq 0.414 \text{ eV}$, MGCLライブラリ, マトリクス中心軸体系)

单位： $n/cm^2/s$ / 核分裂中性子



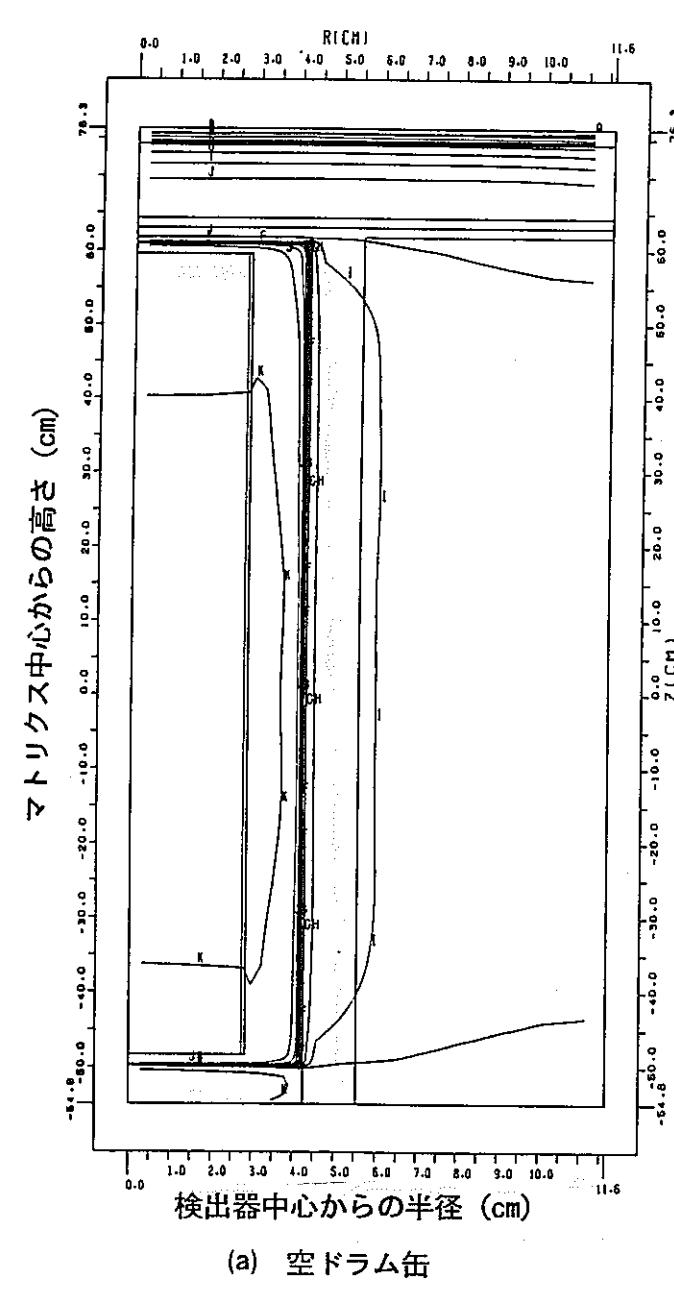
(c) ポリエチレンチューブ



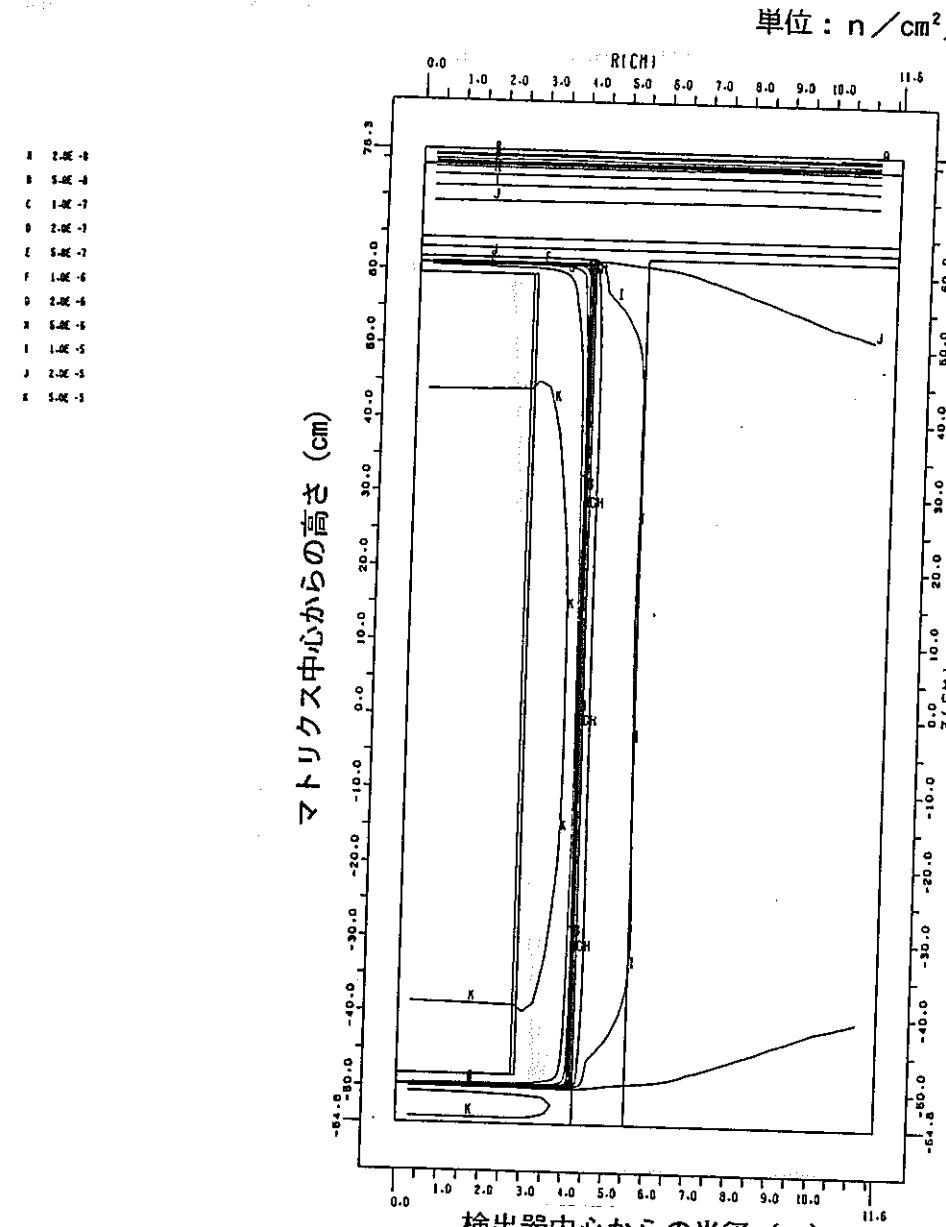
(d) 人工鉱物 (单体)

図A.3-13 核分裂線源に対する2次元Sn解析での熱中性子束分布(2/2)

($E \leq 0.414$ eV, MGCLライブラリ, マトリクス中心軸体系)



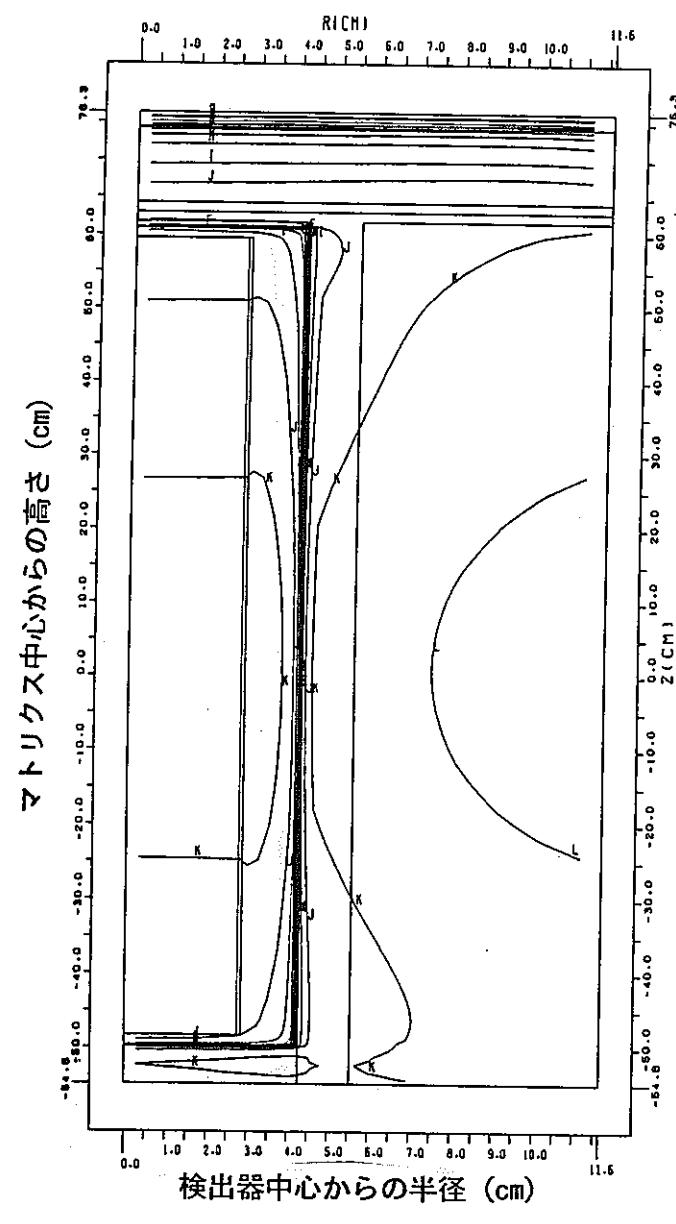
(a) 空ドラム缶



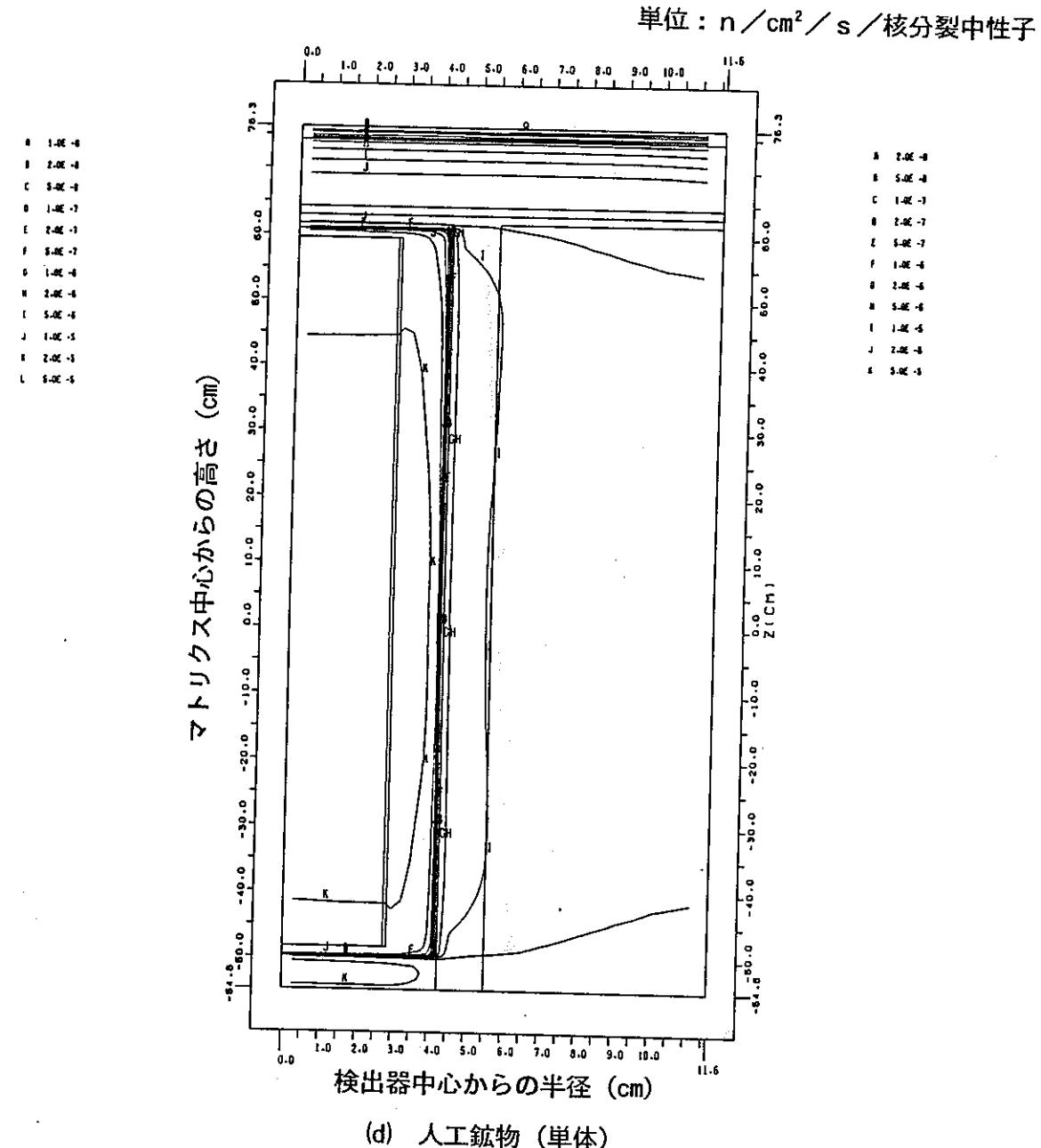
(b) 可燃物焼却灰 (模擬体)

図A.3-14 核分裂線源に対する2次元S n解析での熱中性子束分布 (1/2)

($E \leq 0.414 \text{ eV}$, MGCLライブリ, 検出器中心軸体系)



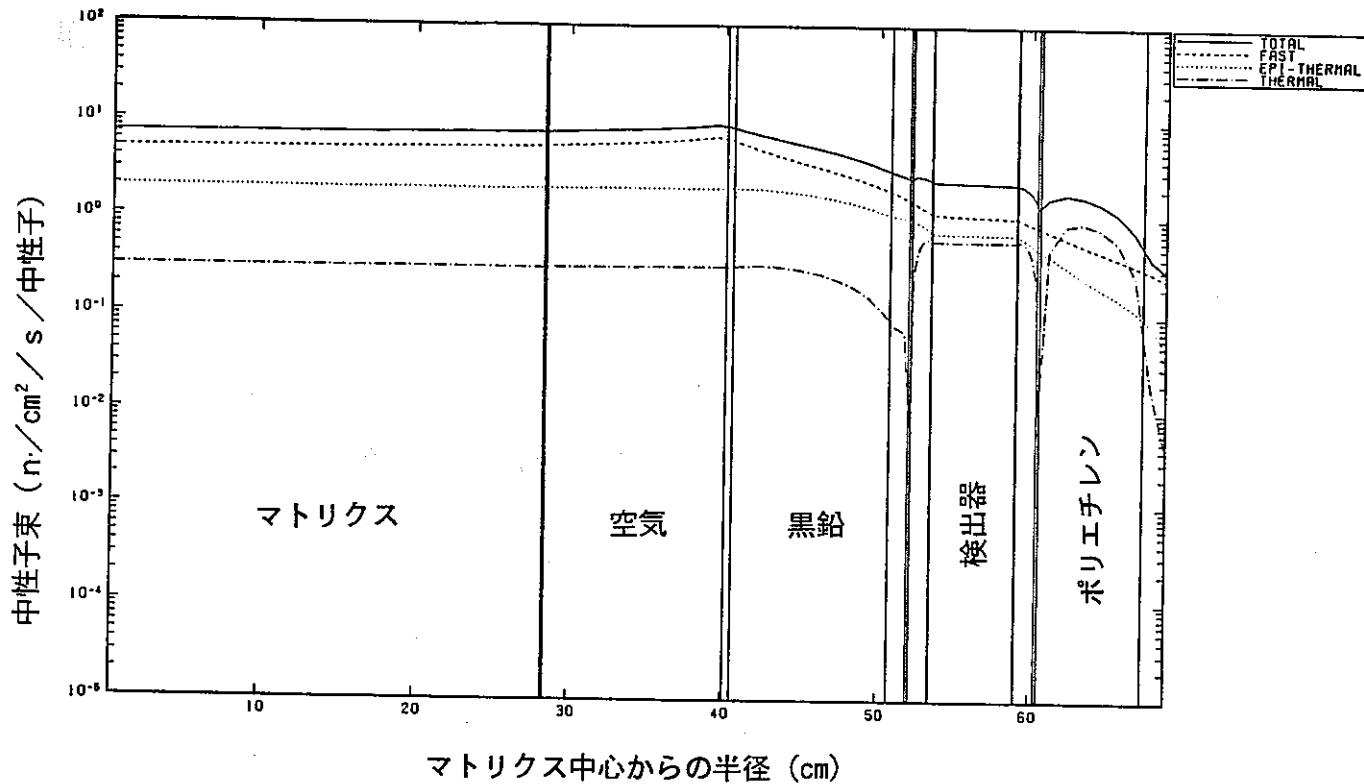
(c) ポリエチレンチューブ



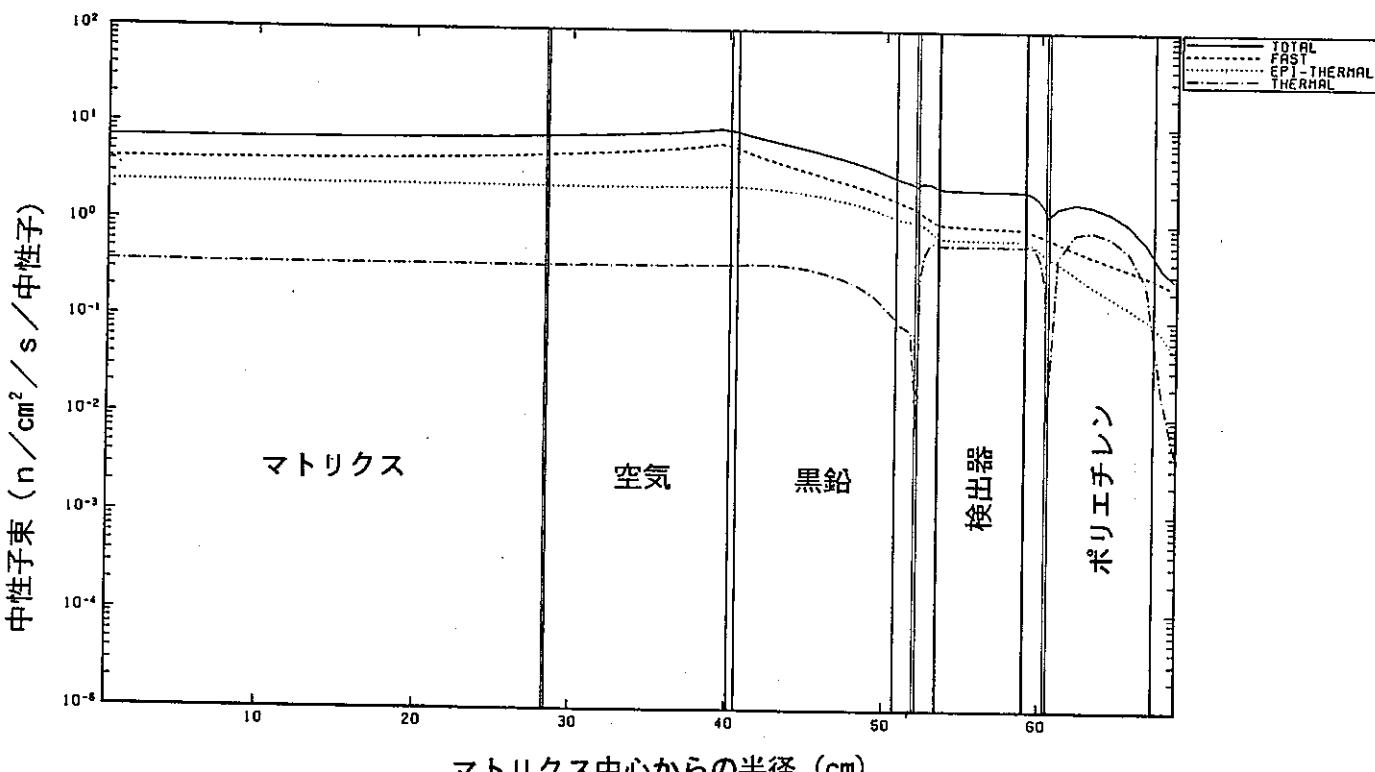
(d) 人工鉱物 (単体)

図A.3-14 核分裂線源に対する2次元S n解析での熱中性子束分布 (2/2)

($E \leq 0.414 \text{ eV}$, MGCLライブラリ, 検出器中心軸体系)

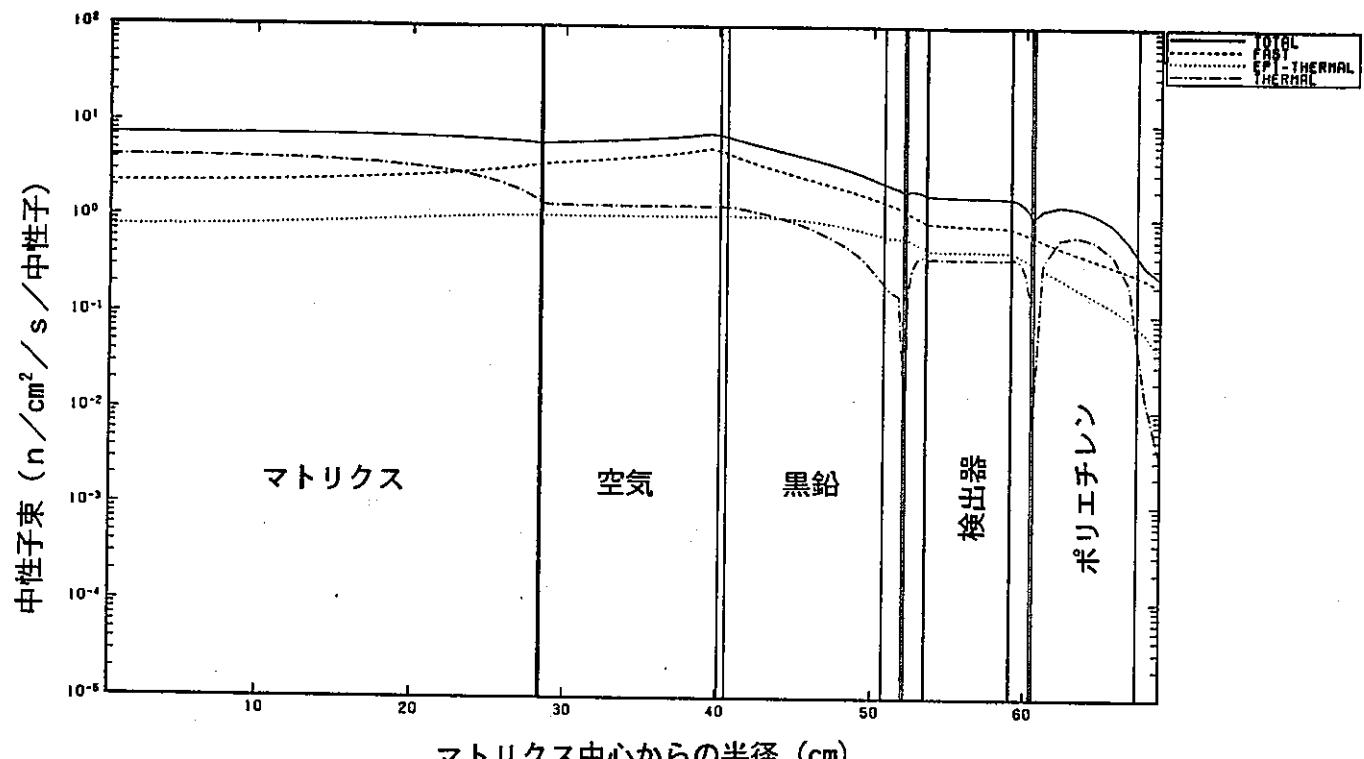


(a) 空ドラム缶

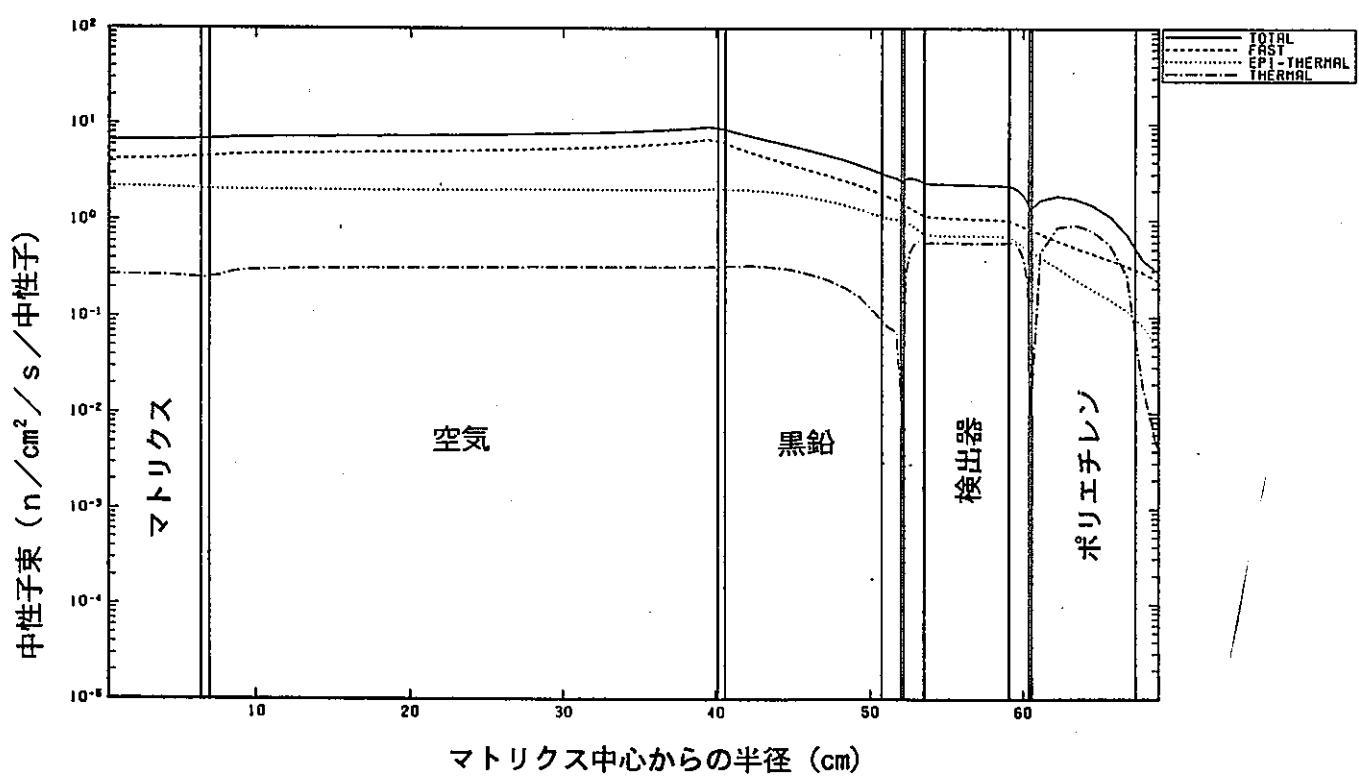


(b) 可燃物焼却灰（模擬体）

図A.3-15 定常加速器線源に対する1次元S n解析での径方向中性子束分布
(JSDJ2ライブラリ) (1/2)

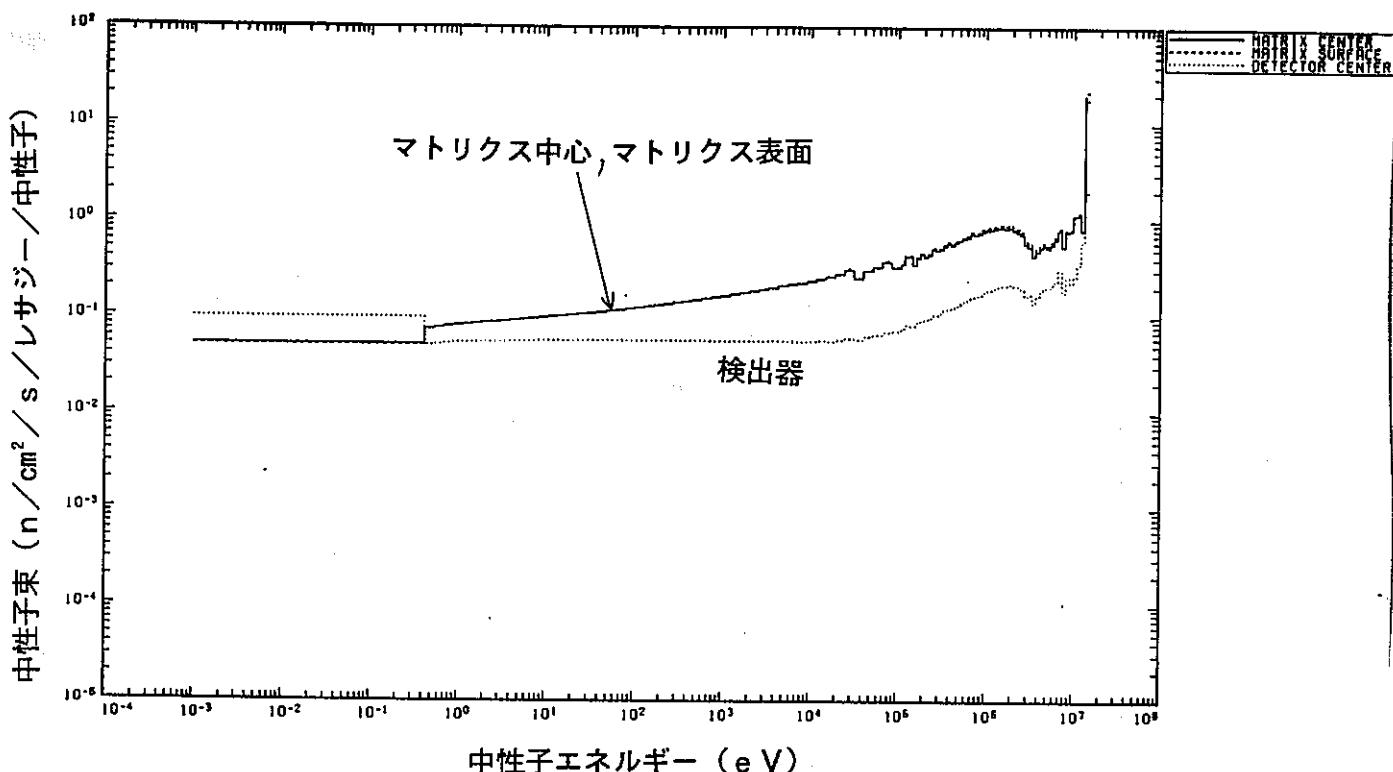


(c) ポリエチレンチューブ

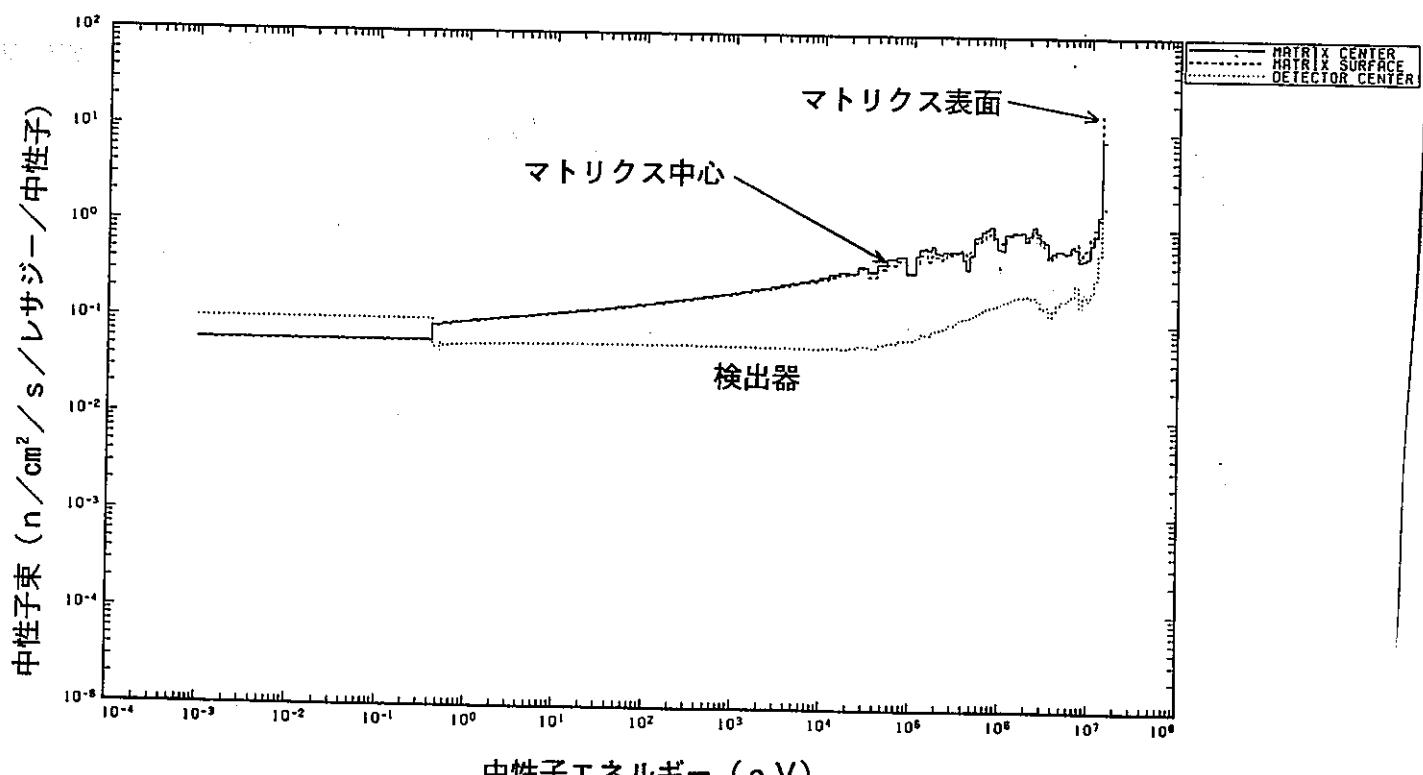


(d) 人工鉱物（単体）

図A.3-15 定常加速器線源に対する1次元S n解析での径方向中性子束分布
(JSDJ2ライブラリ) (2/2)

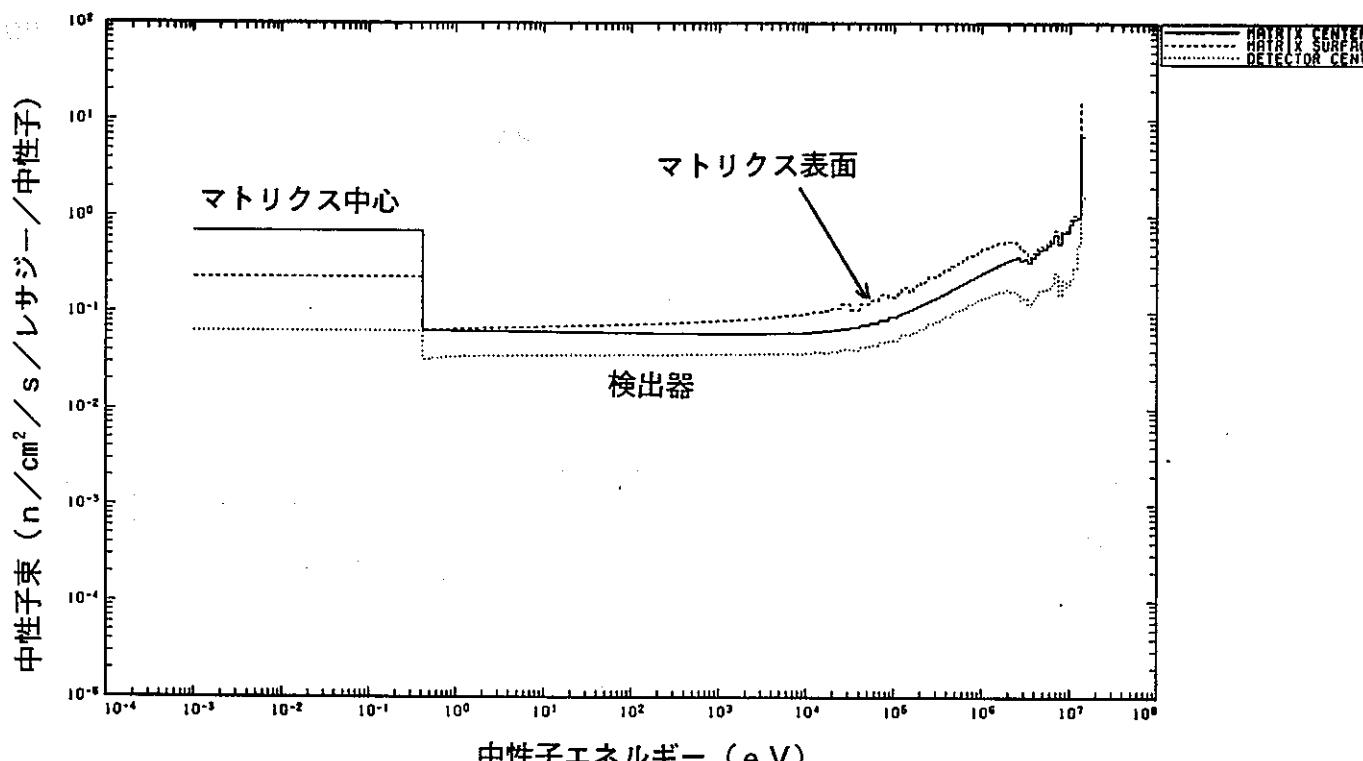


(a) 空ドラム缶

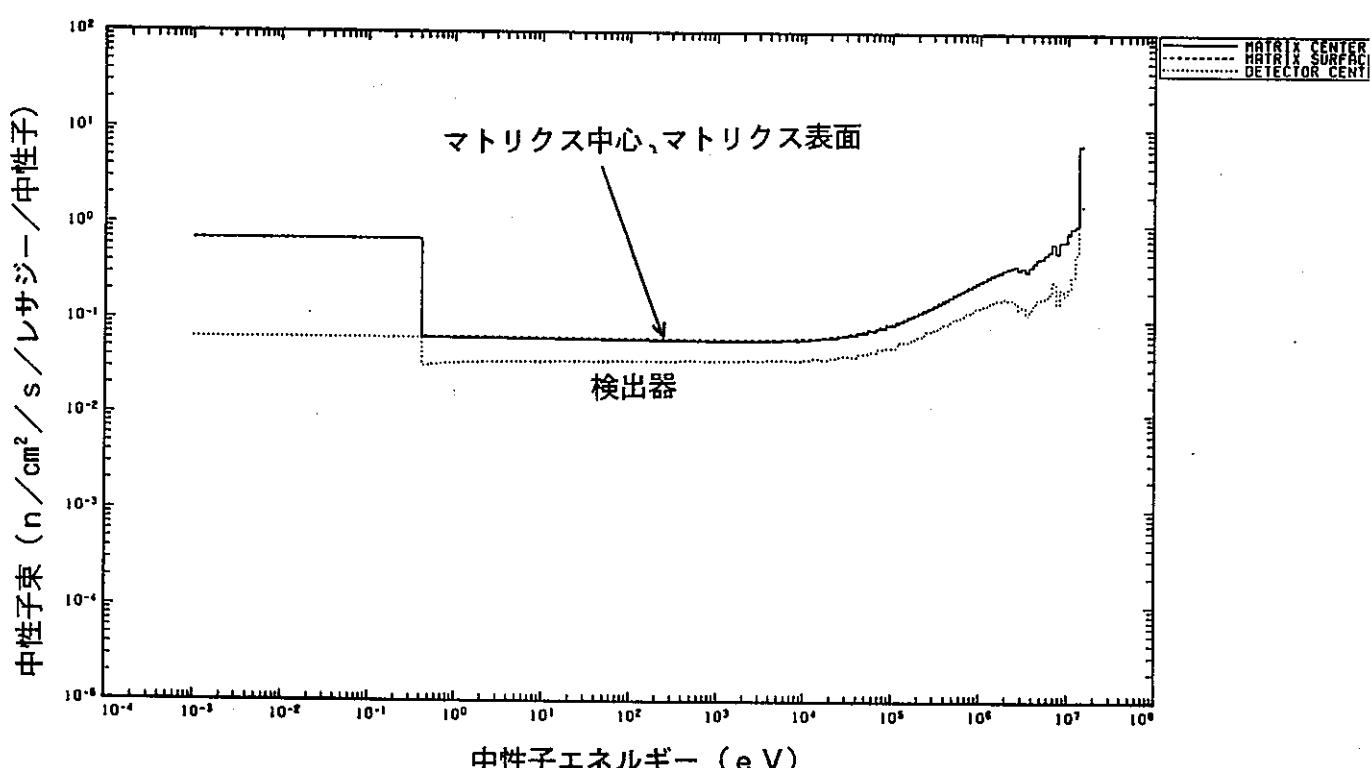


(b) 可燃物焼却灰（模擬体）

図A.3-16 定常加速器線源に対する1次元S n 解析での中性子スペクトル
(JSDJ2ライブラリ) (1/2)

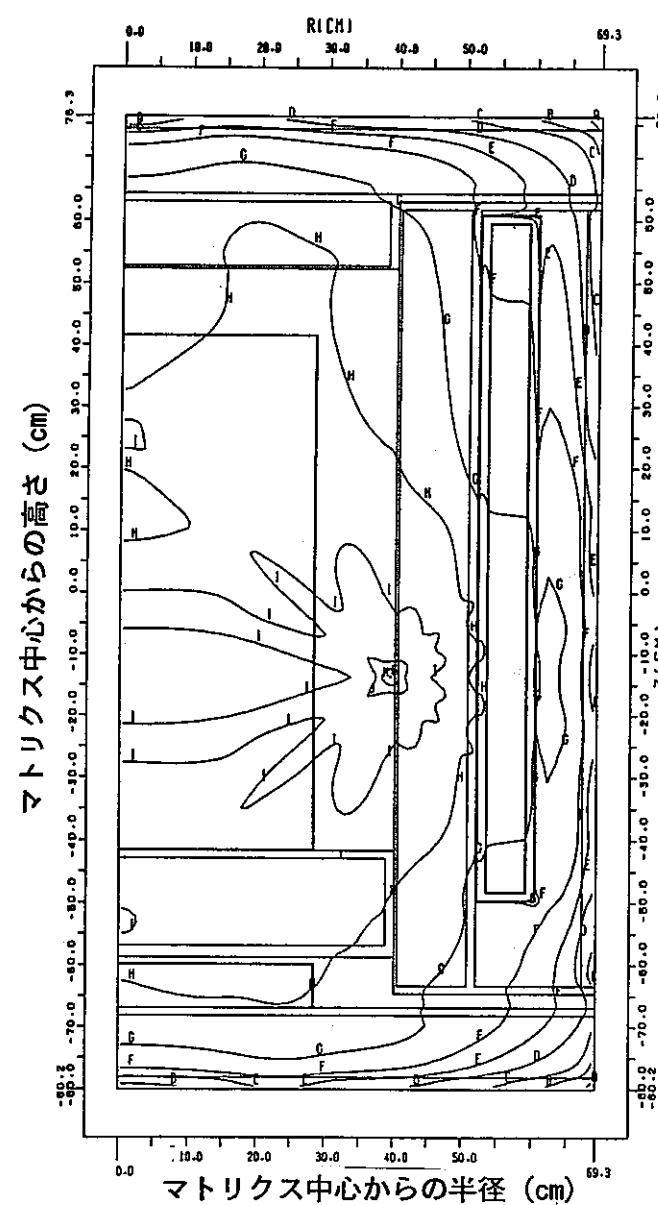


(c) ポリエチレンチューブ

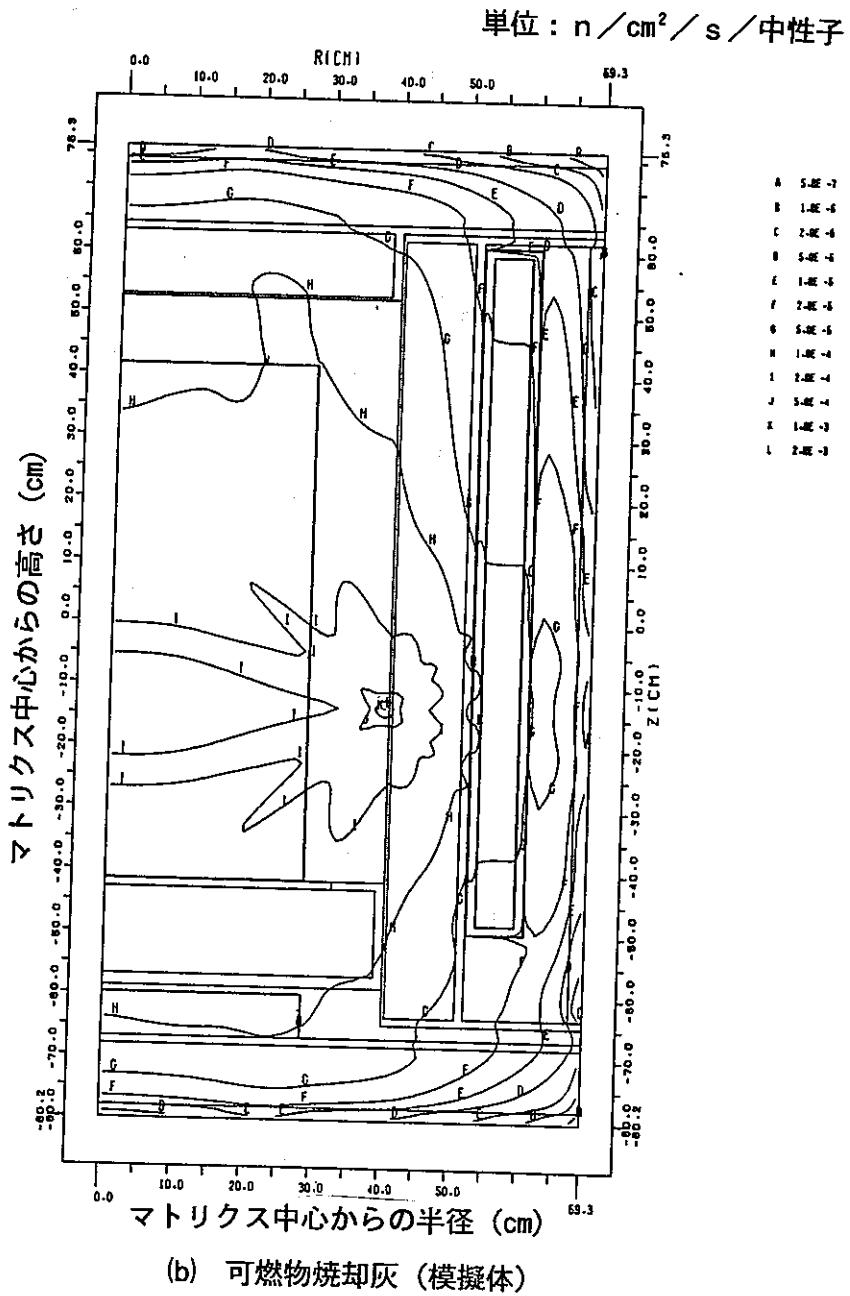


(d) 人工鉱物 (単体)

図A.3-16 定常加速器線源に対する1次元S n解析での中性子スペクトル
(JSDJ2ライブラリ) (2/2)



(a) 空ドラム缶

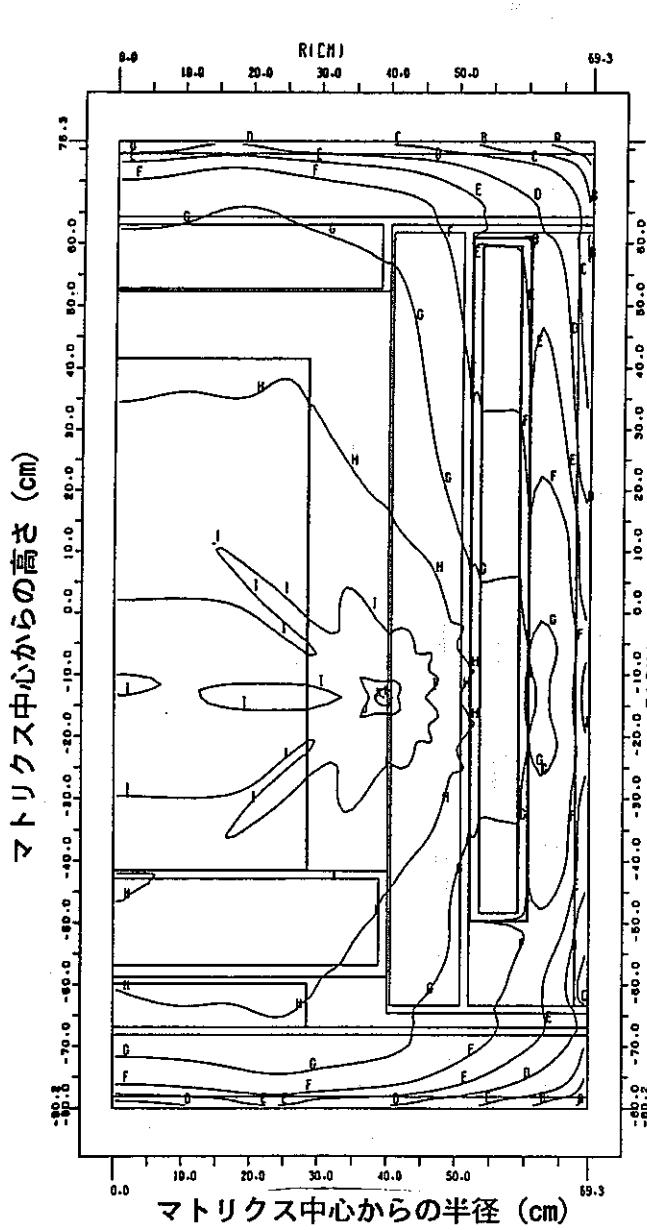


(b) 可燃物焼却灰（模擬体）

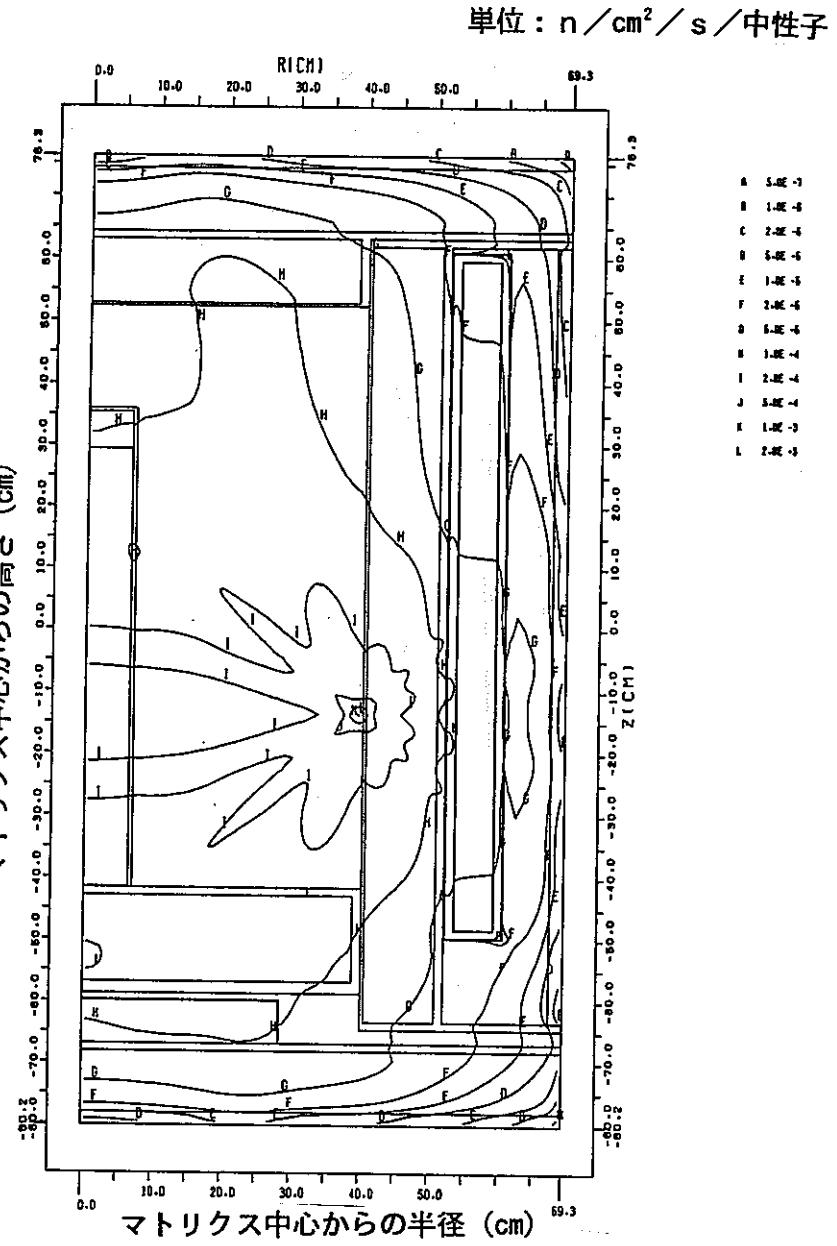
図A.3-17 定常加速器線源に対する2次元S_n解析での全中性子束分布

(JSDJ2ライブラリ, マトリクス中心軸体系) (1/2)

単位: n/cm²/s 中性子



(c) ポリエチレンチューブ

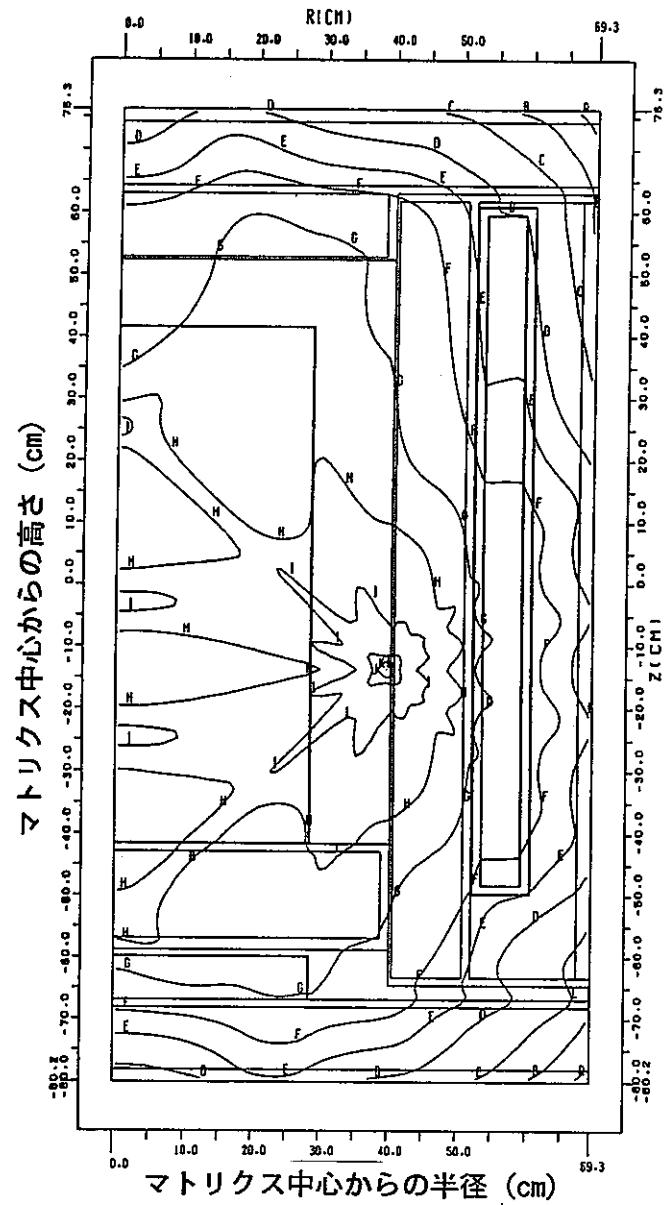


(d) 人工鉱物 (単体)

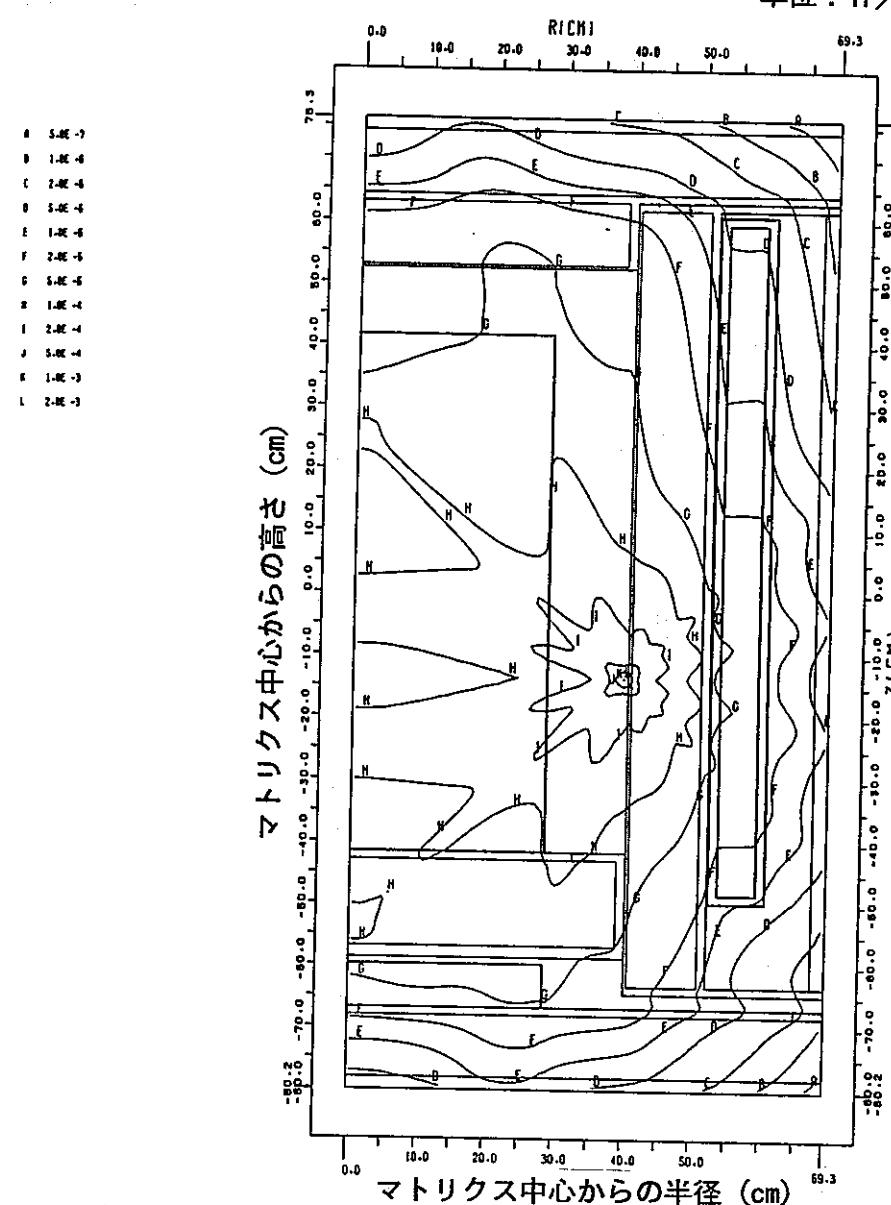
図A.3-17 定常加速器線源に対する2次元S n解析での全中性子束分布

(JSDJ2ライブラリ, マトリクス中心軸体系) (2 / 2)

単位: $n/cm^2/s$ 中性子



(a) 空ドラム缶

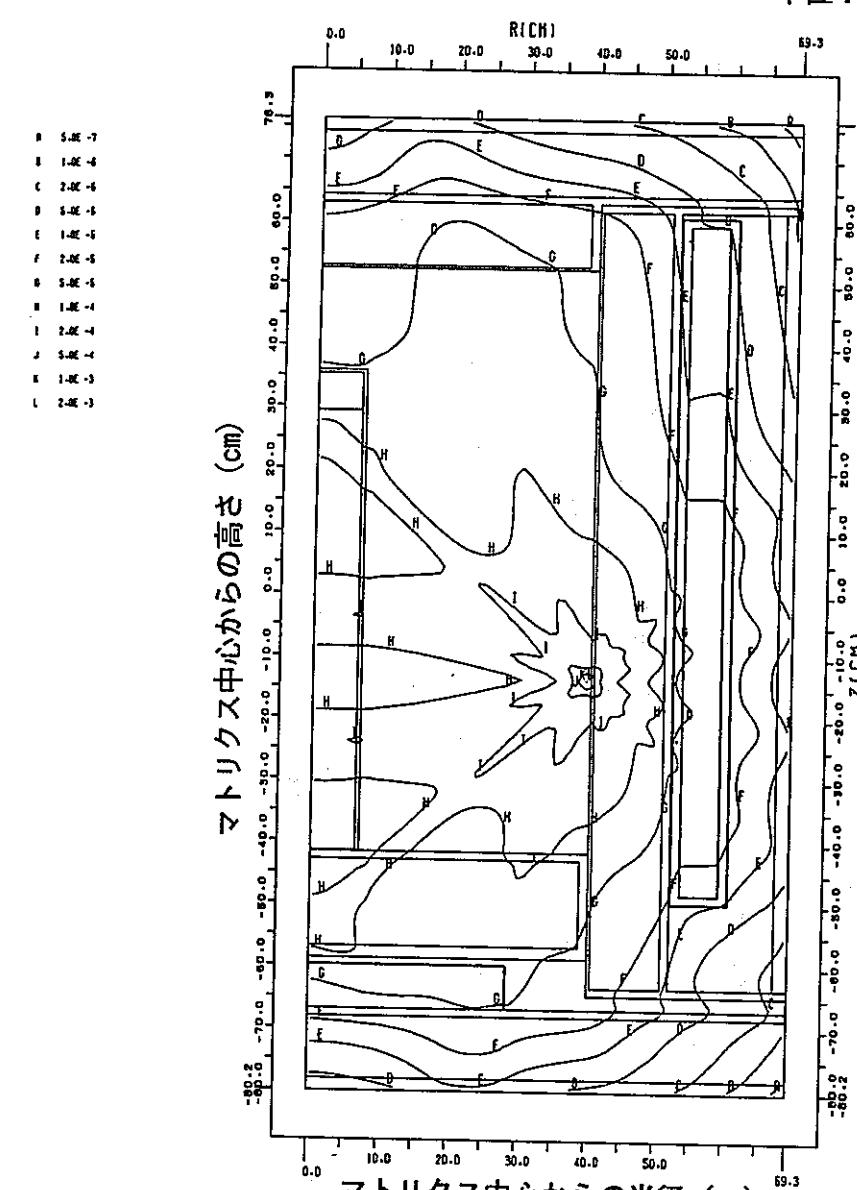
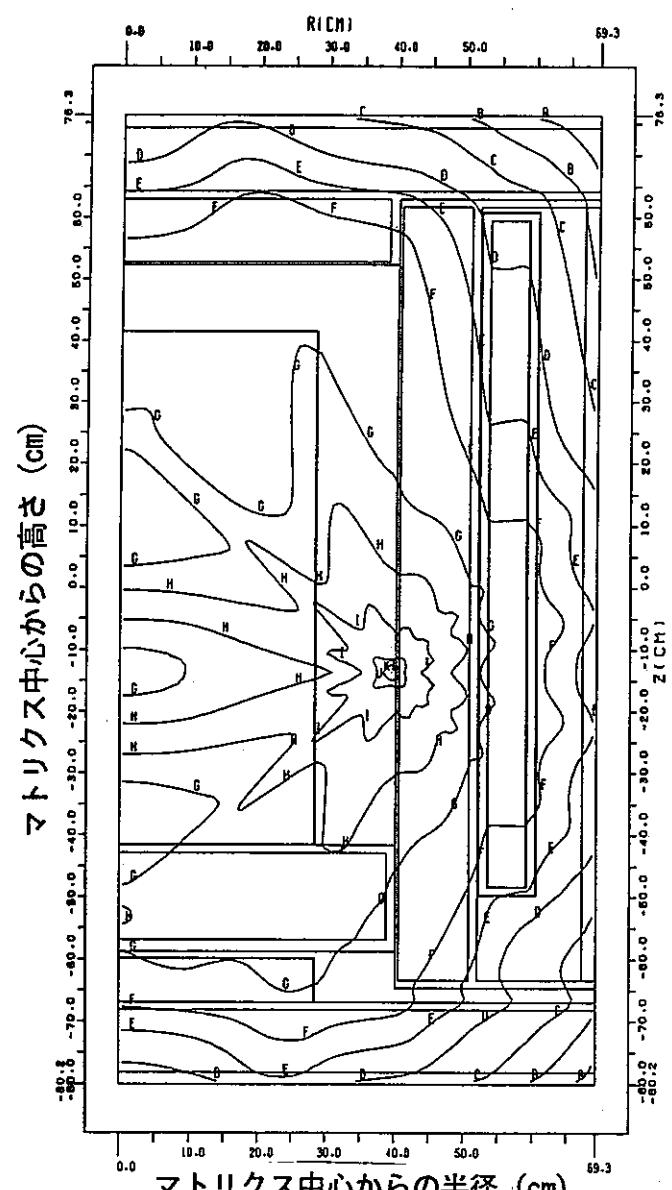


(b) 可燃物焼却灰 (模擬体)

図A.3-18 定常加速器線源に対する2次元S n 解析での高速中性子束分布 (1/2)

($E \geq 0.1$ MeV, JSDD2ライブラリ, マトリクス中心軸体系)

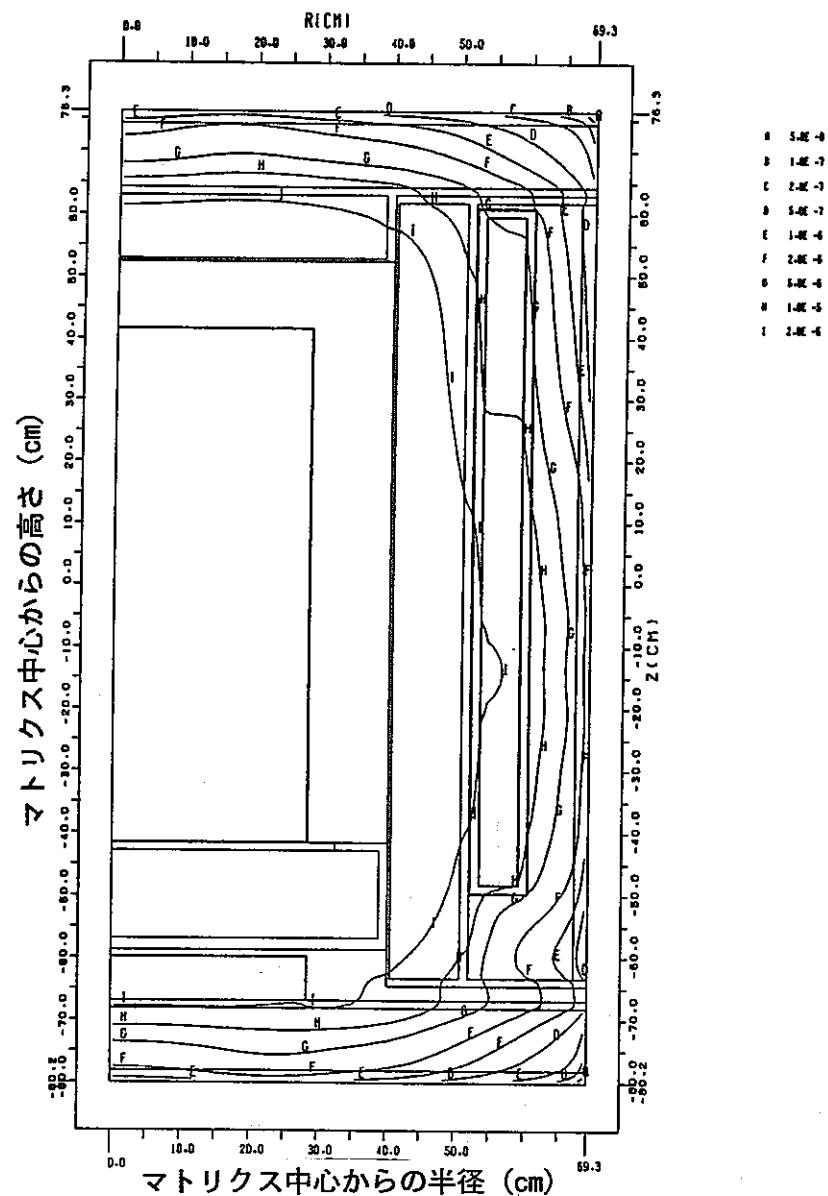
単位: $n/cm^2/s$ 中性子



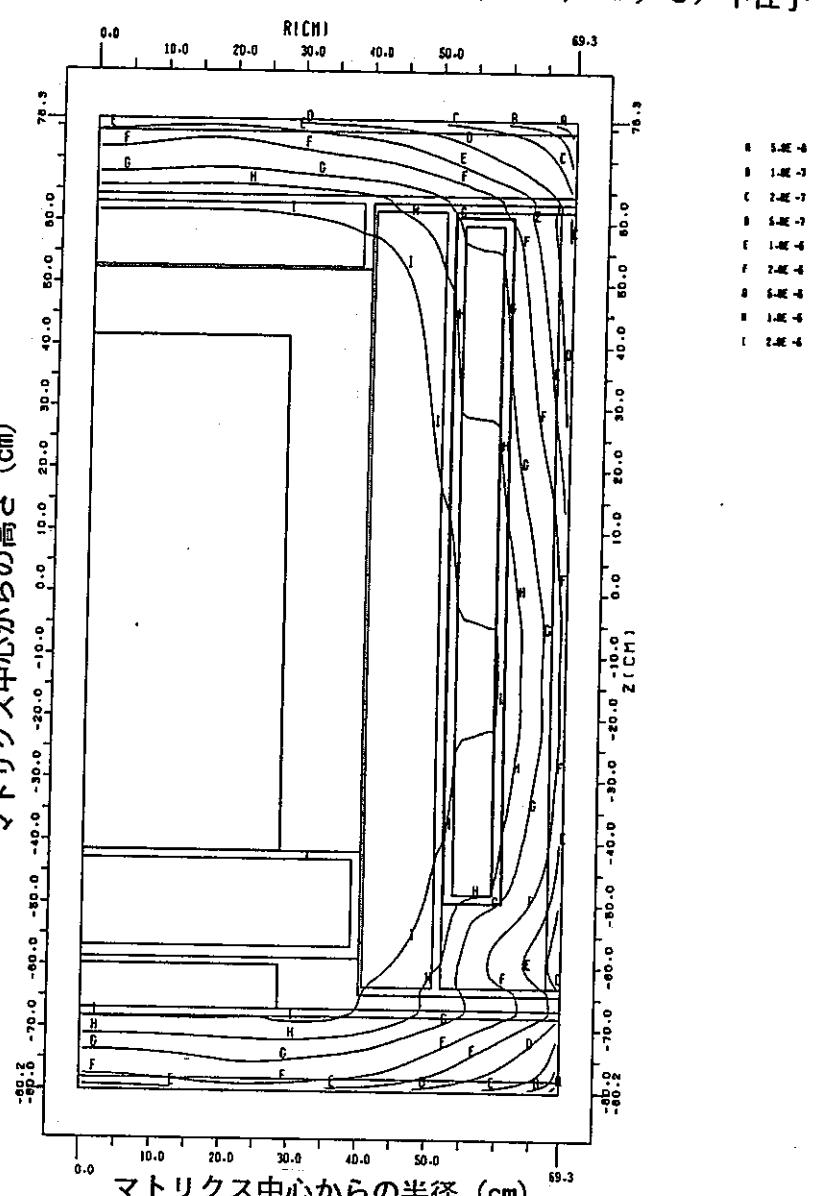
図A.3-18 定常加速器線源に対する2次元S n 解析での高速中性子束分布 (2/2)

($E \geq 0.1 \text{ MeV}$, JSDJ 2ライブラリ, マトリクス中心軸体系)

単位: $n/cm^2/s$ / 中性子



(a) 空ドラム缶

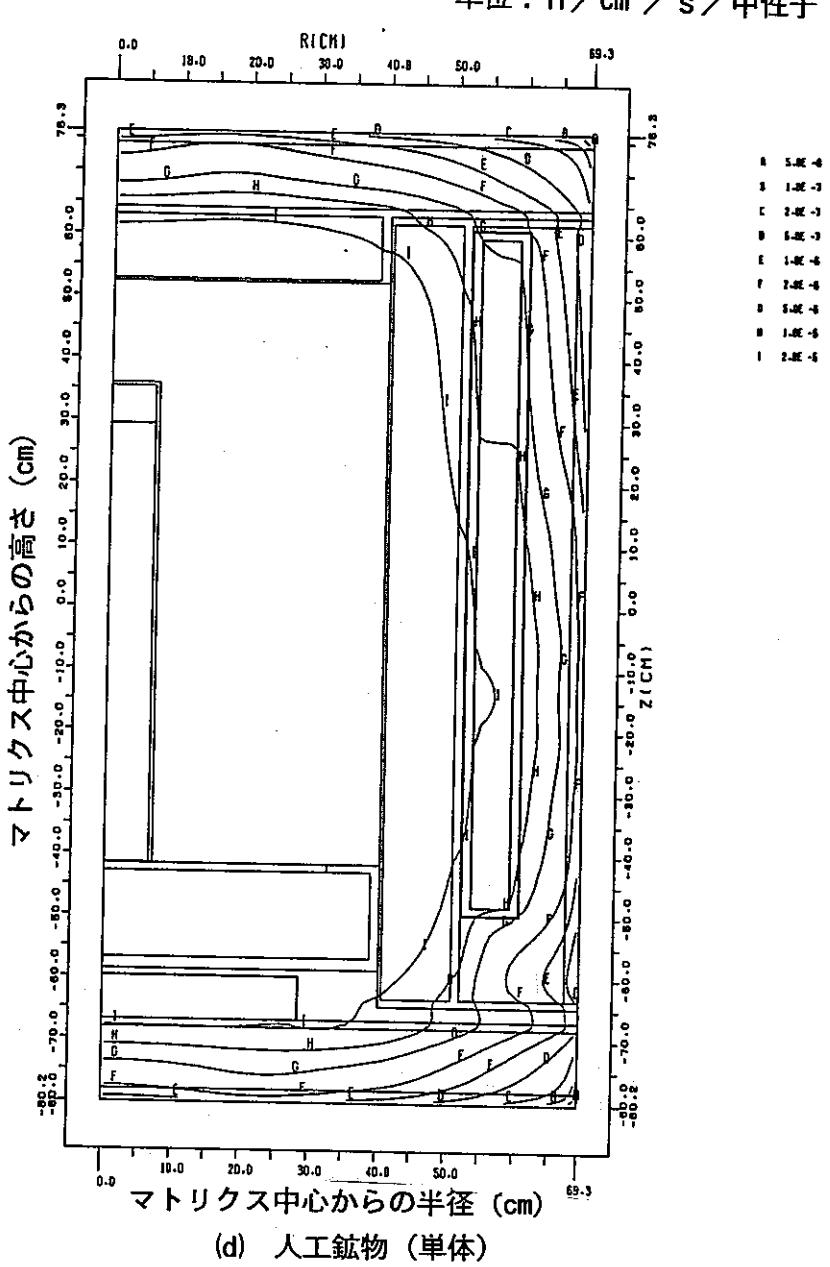
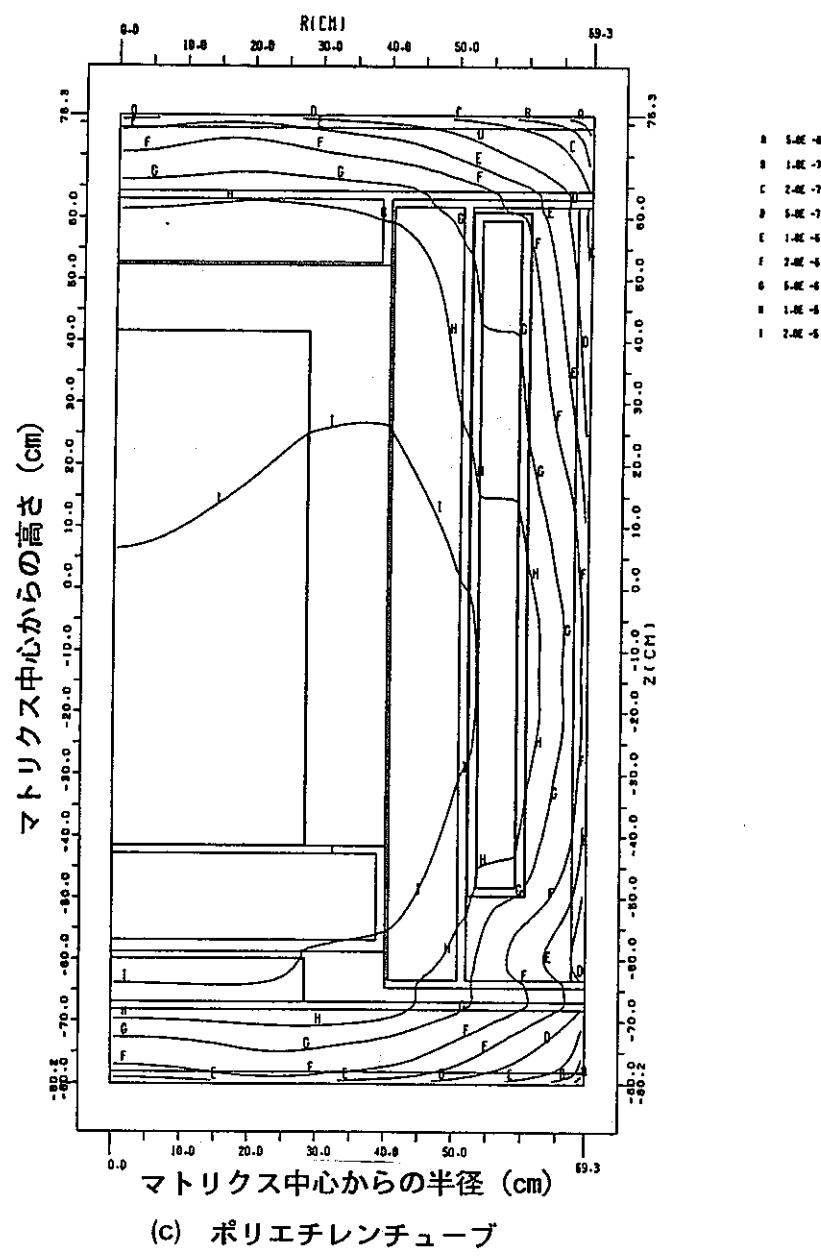


(b) 可燃物焼却灰 (模擬体)

図A.3-19 定常加速器線源に対する2次元 S_n 解析での中速中性子束分布 (1/2)

($0.1 \text{ MeV} \geq E \geq 0.414 \text{ eV}$, JSDJ 2ライブラリ, マトリクス中心軸体系)

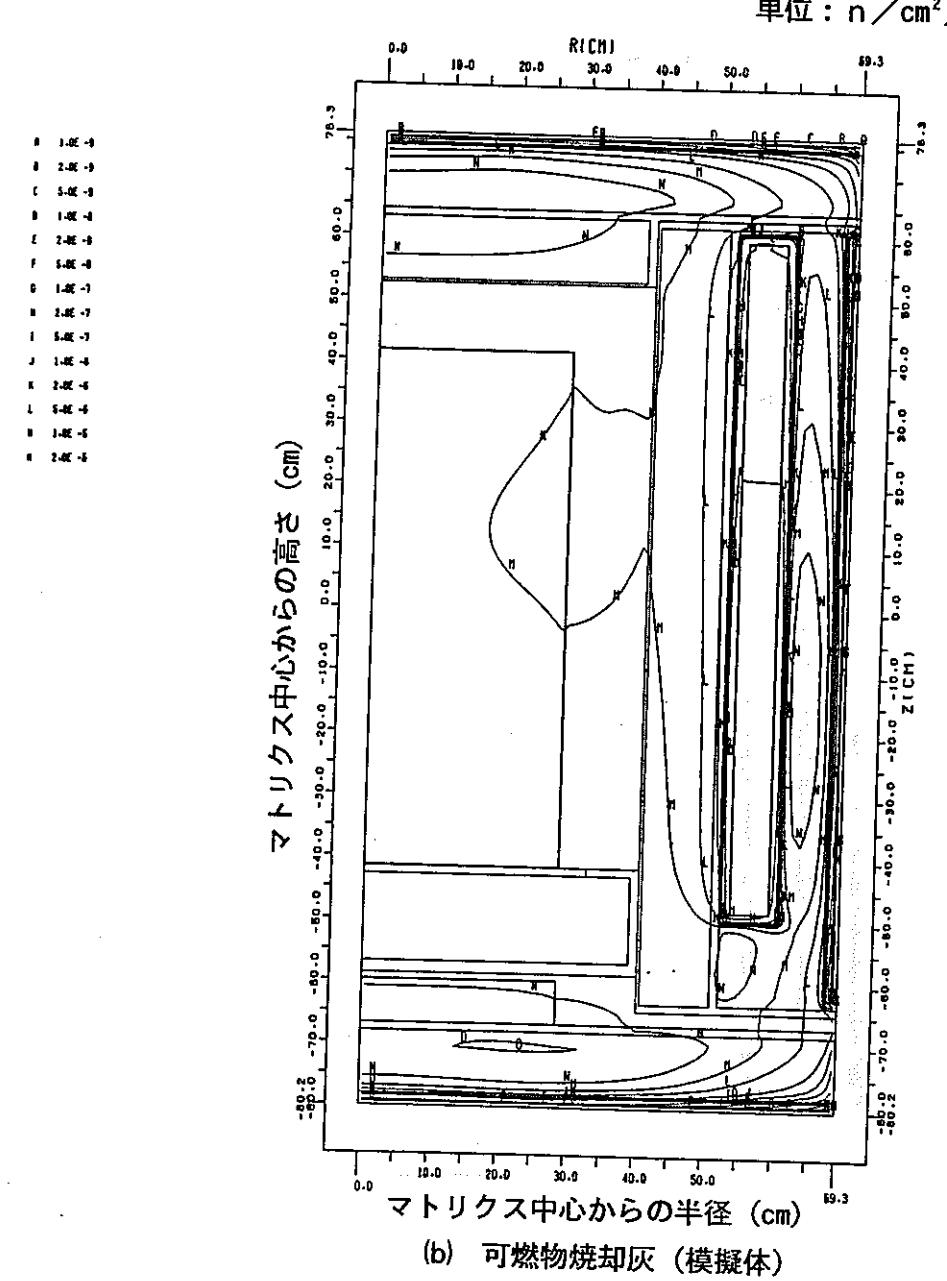
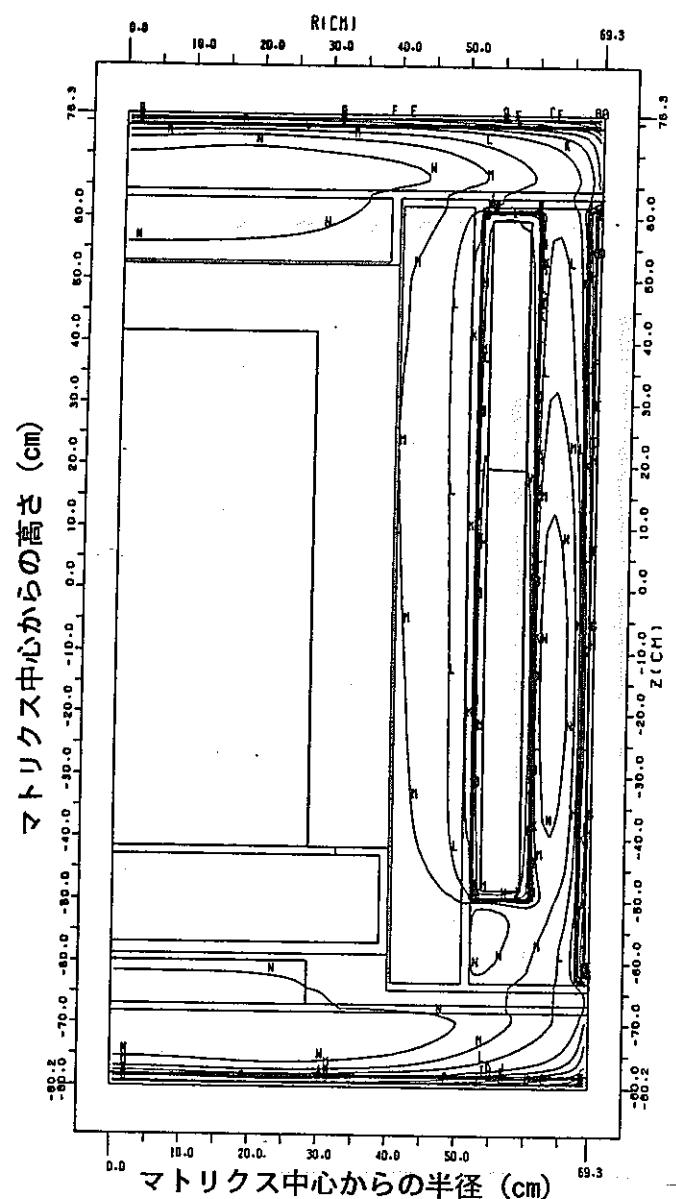
単位: $n/cm^2/s$ 中性子



図A.3-19 定常加速器線源に対する2次元S n解析での中速中性子束分布 (2/2)

($0.1 \text{ MeV} \geq E \geq 0.414 \text{ eV}$, J.S.D.12ライブラリ, マトリクス中心軸体積)

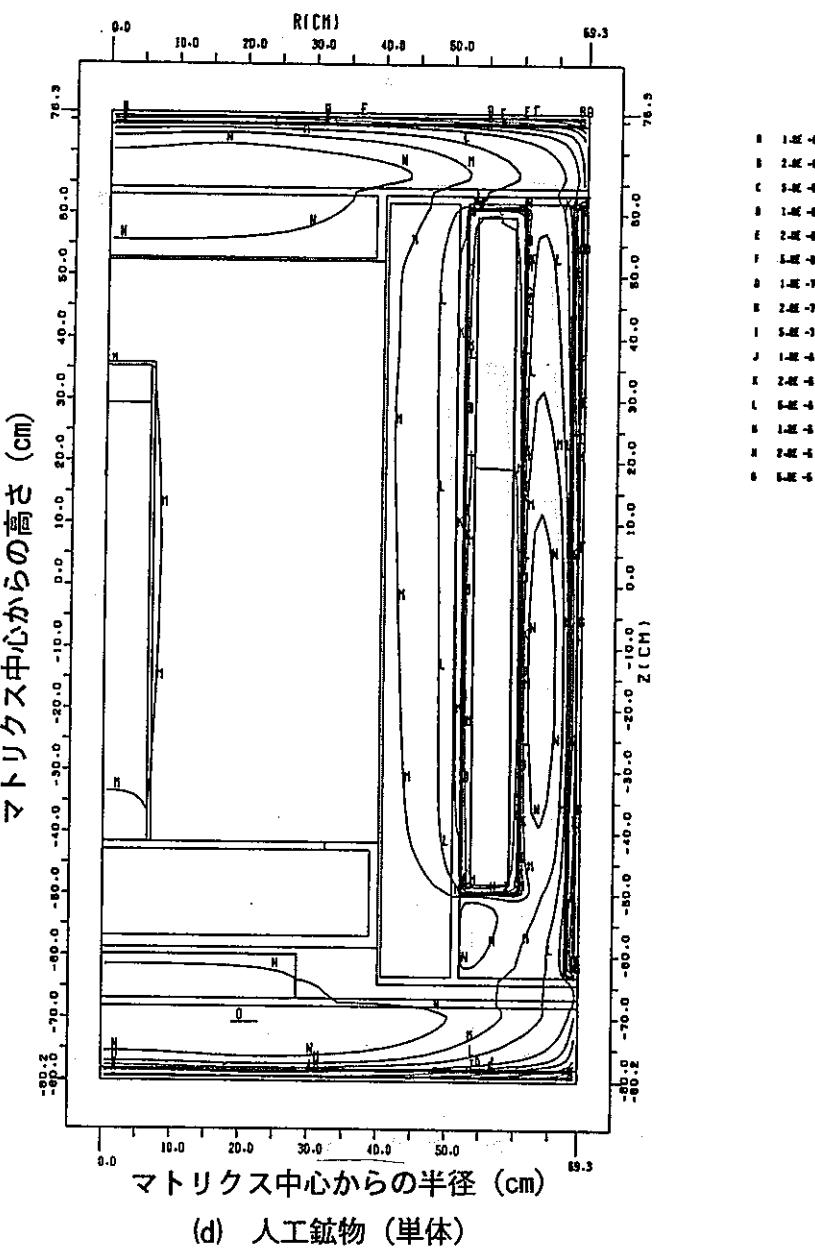
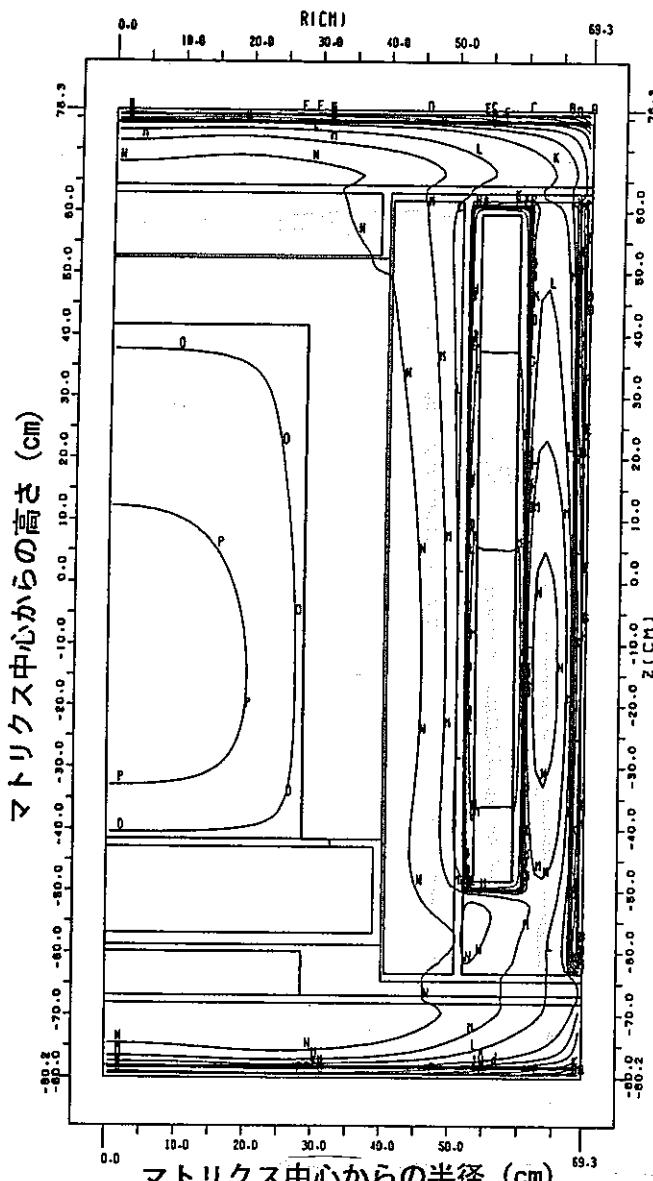
単位: $n/cm^2/s$ 中性子



図A.3-20 定常加速器線源に対する2次元S n 解析での熱中性子束分布 (1/2)

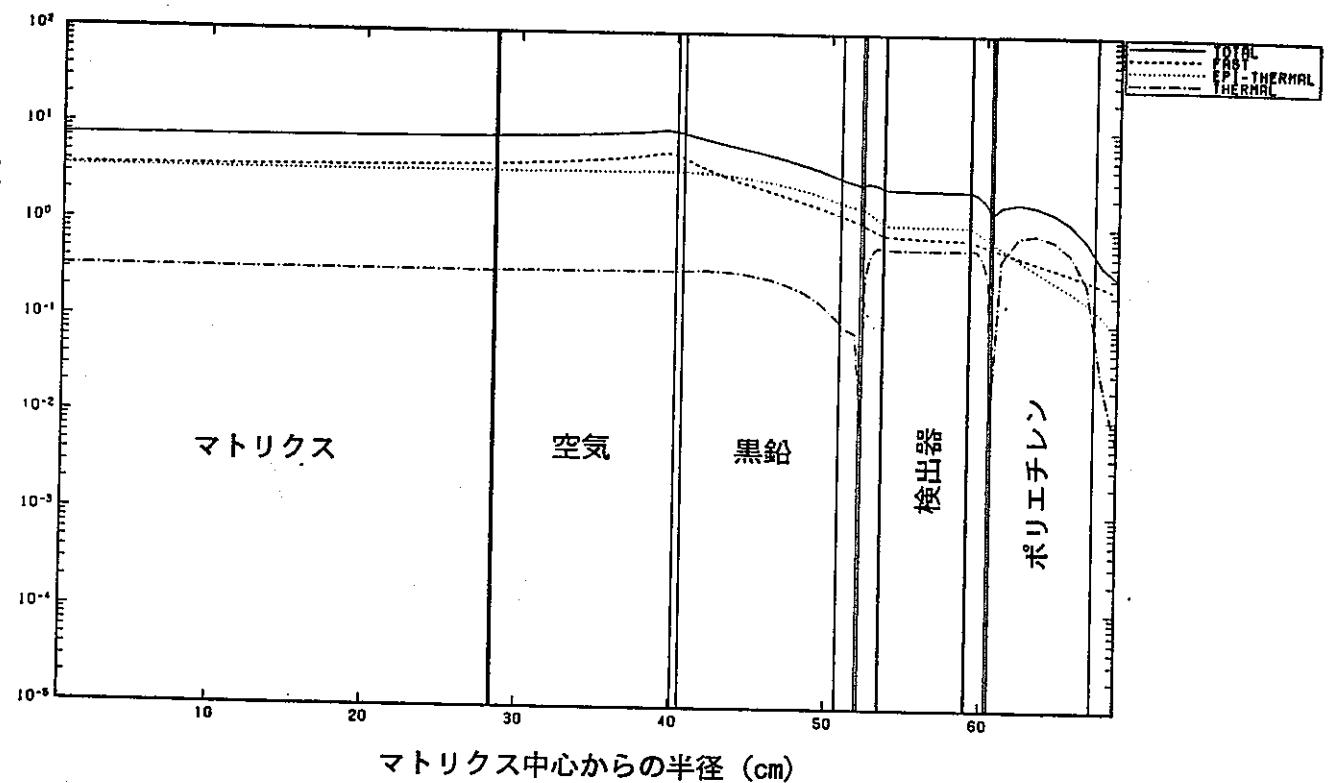
($E \leq 0.414 eV$, JSDJ 2ライブラリ, マトリクス中心軸体系)

単位: $n/cm^2/s$ / 中性子

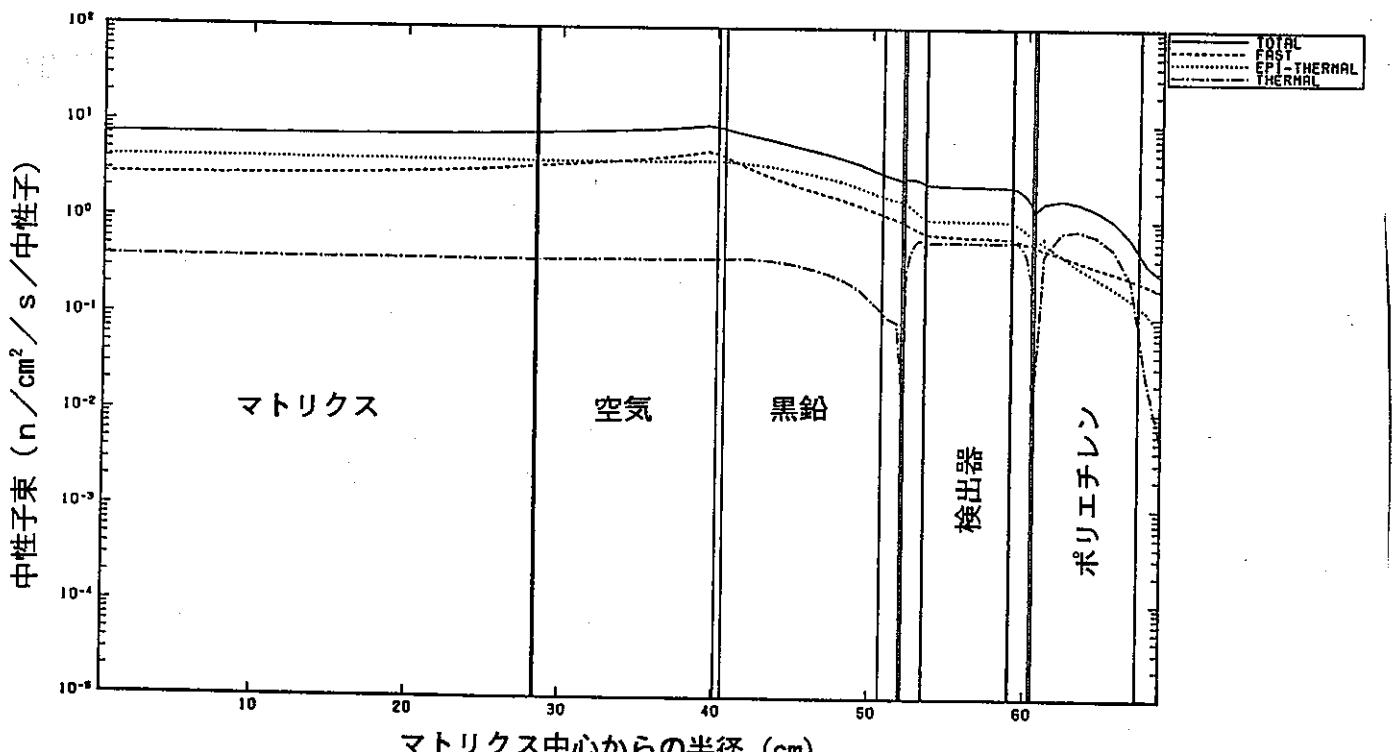


図A.3-20 定常加速器線源に対する2次元S n解析での熱中性子束分布 (2/2)

($E \leq 0.414 \text{ eV}$, JSDJ2ライブラリ, マトリクス中心軸体玄)

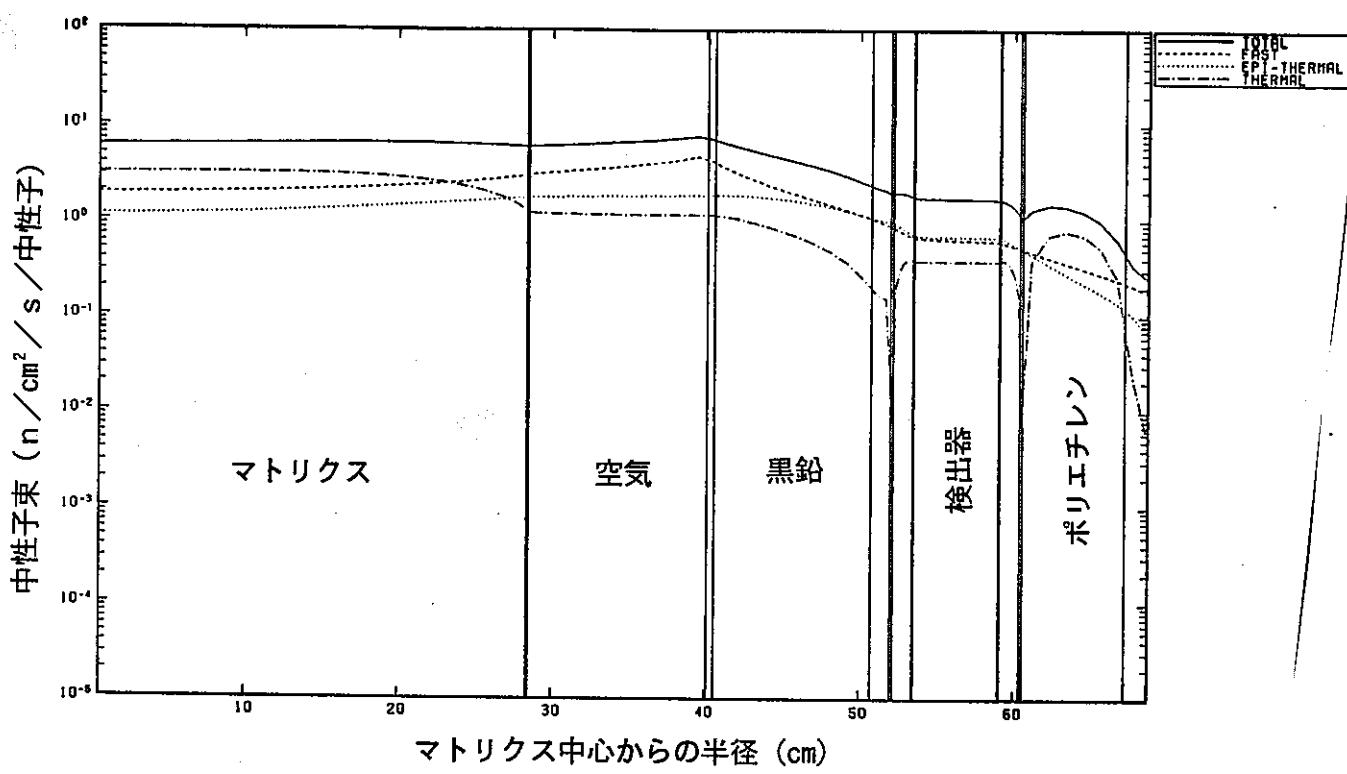


(a) 空ドラム缶

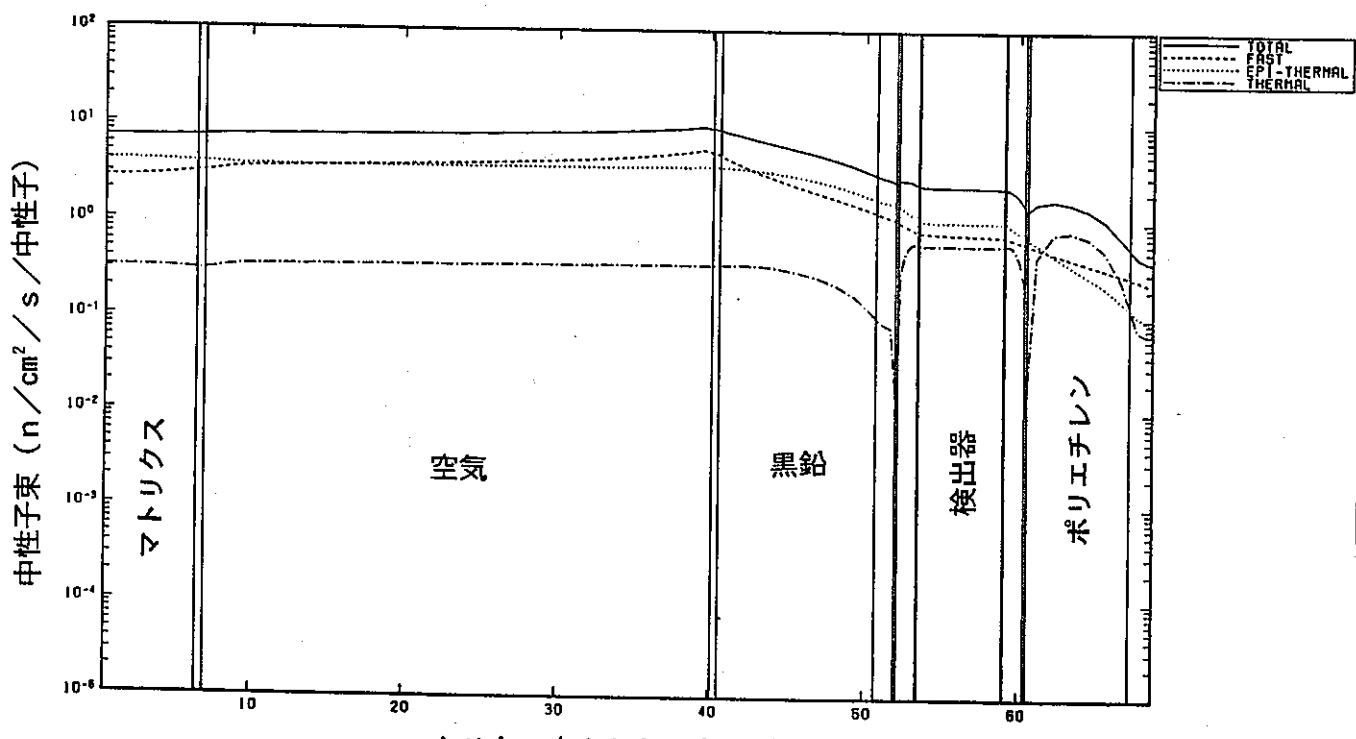


(b) 可燃物焼却灰 (模擬体)

図A.3-21 定常加速器線源に対する1次元S n解析での径方向中性子束分布
(M G C Lライブラリ) (1/2)

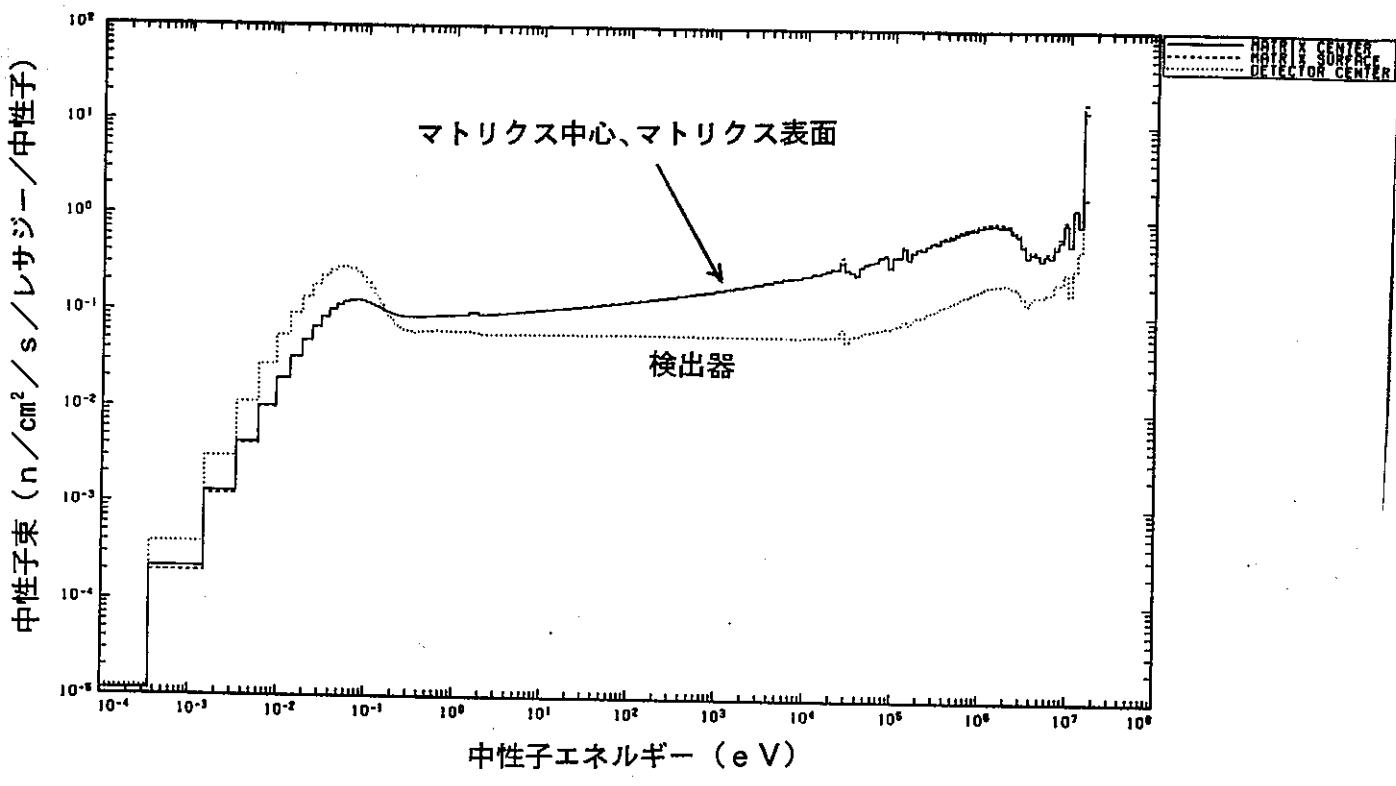


(c) ポリエチレンチューブ

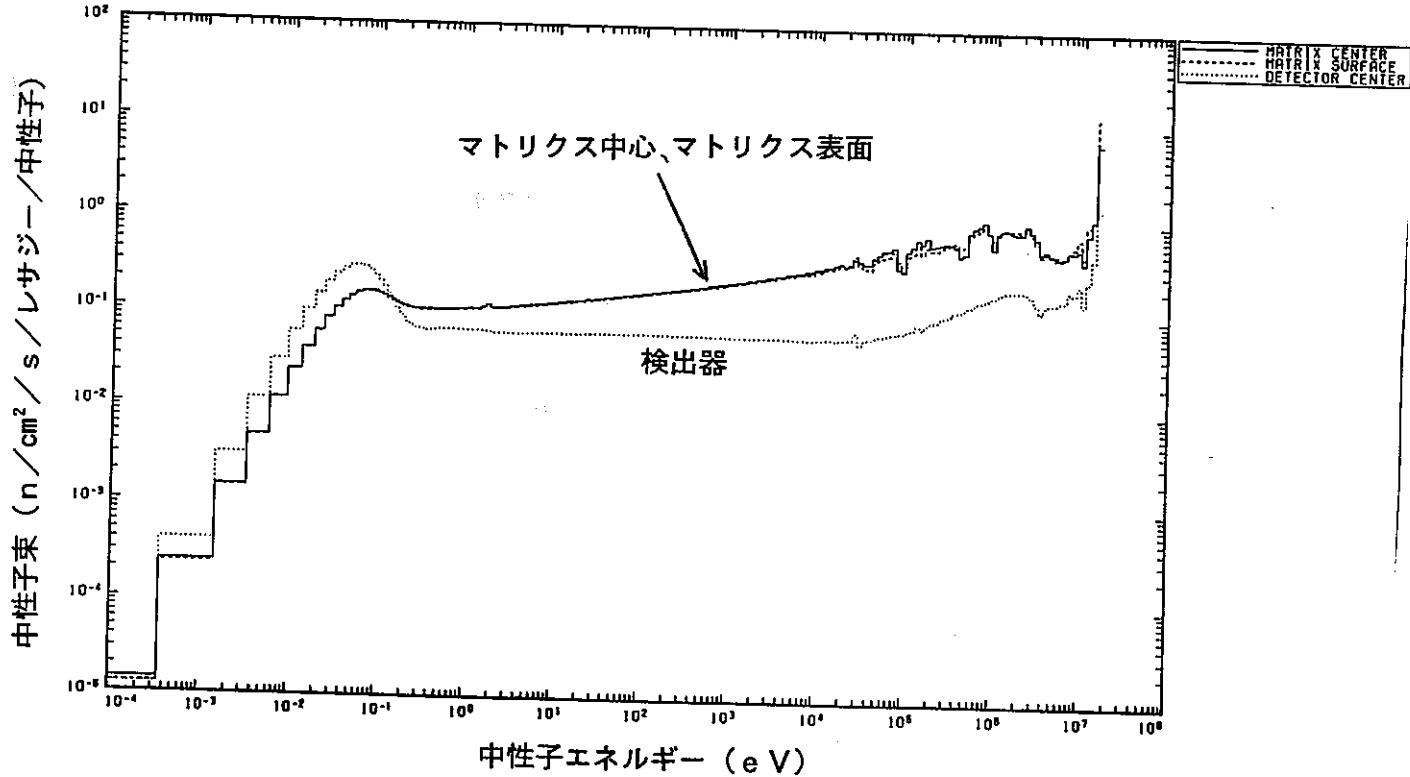


(d) 人工鉱物（単体）

図A.3-21 定常加速器線源に対する1次元S n 解析での径方向中性子束分布
(MGC Lライブラリ) (2/2)

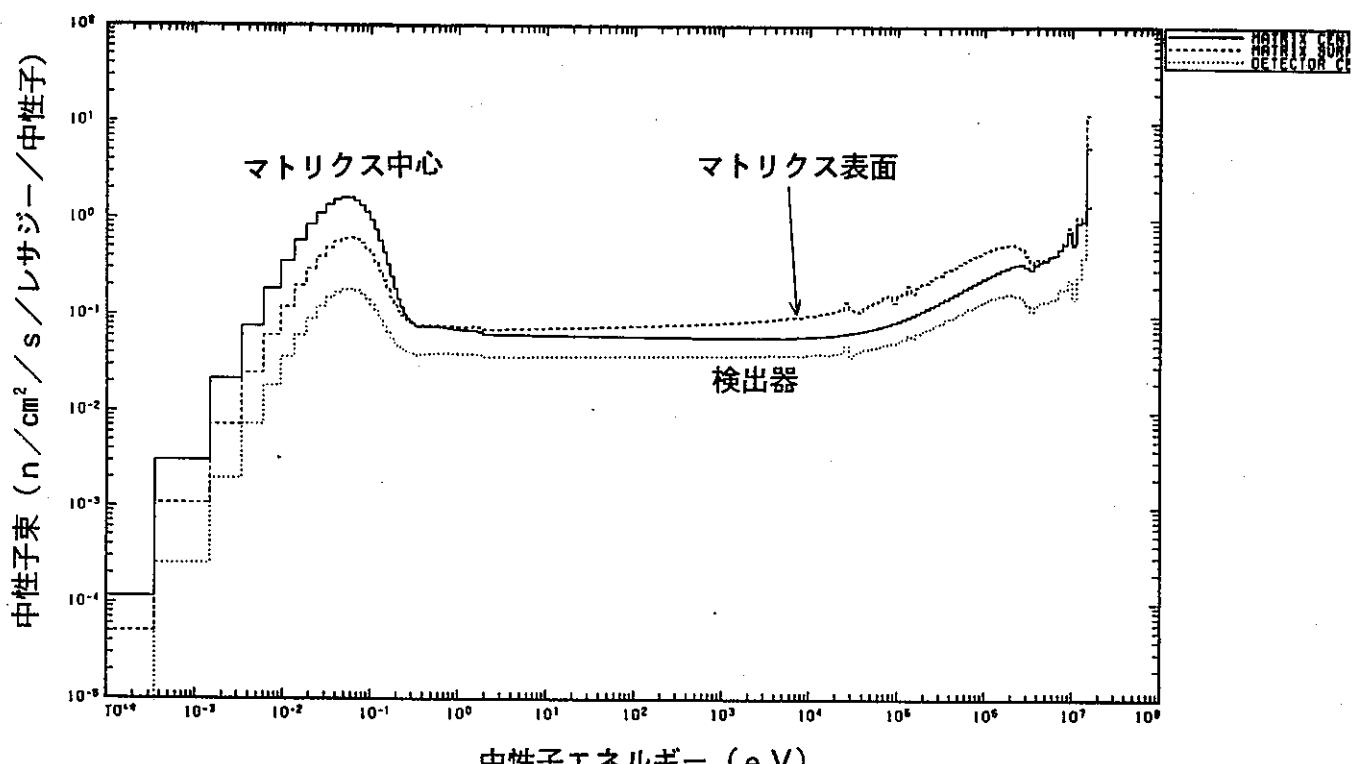


(a) 空ドラム缶

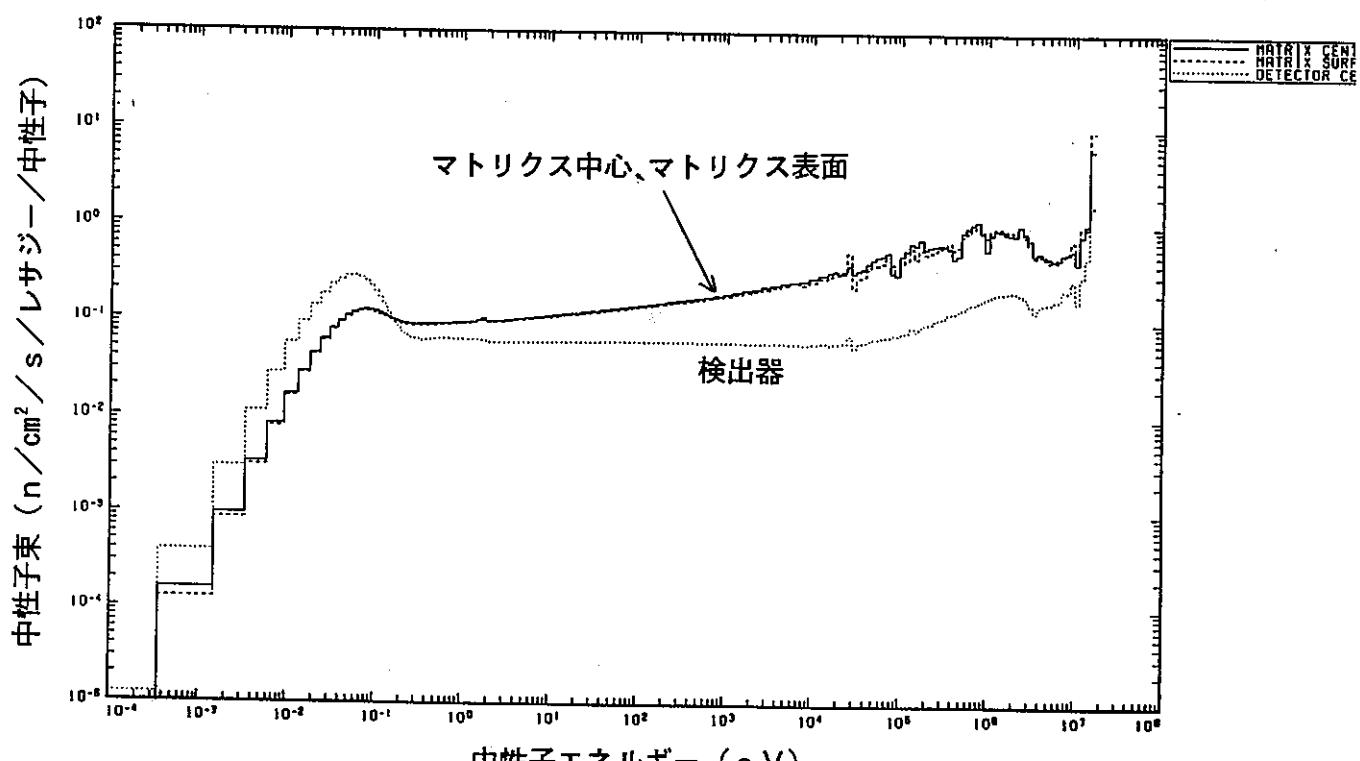


(b) 可燃物焼却灰 (模擬体)

図A.3-22 定常加速器線源に対する1次元S n解析での中性子スペクトル
(MGCLライブラリ) (1/2)



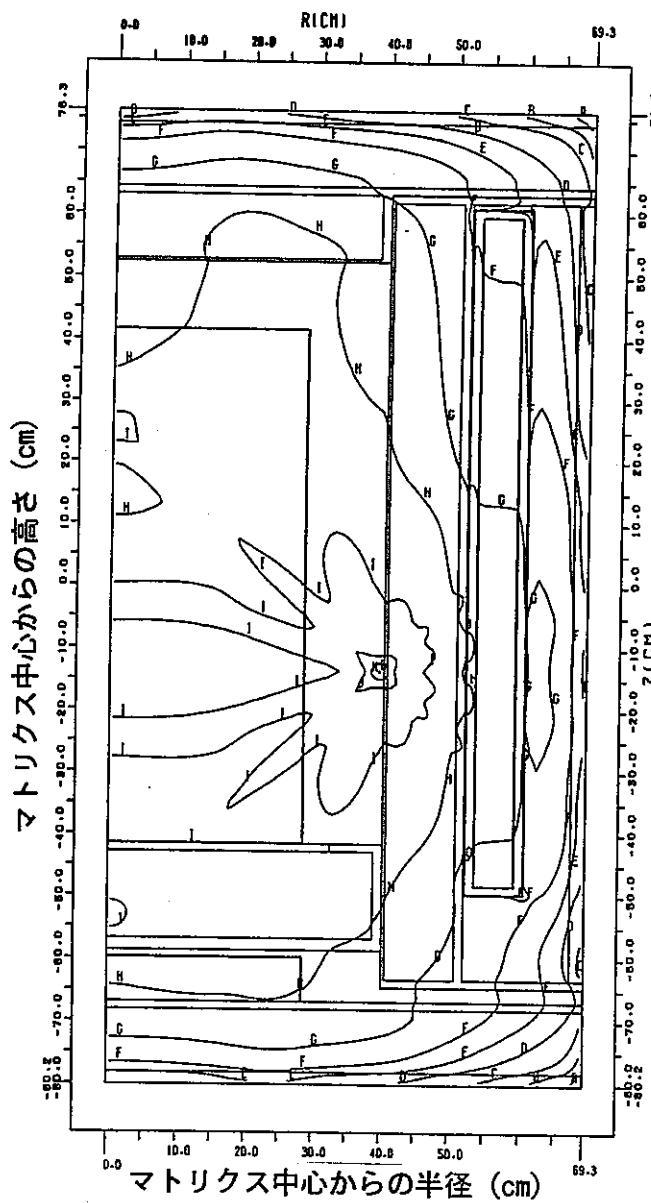
(c) ポリエチレンチューブ



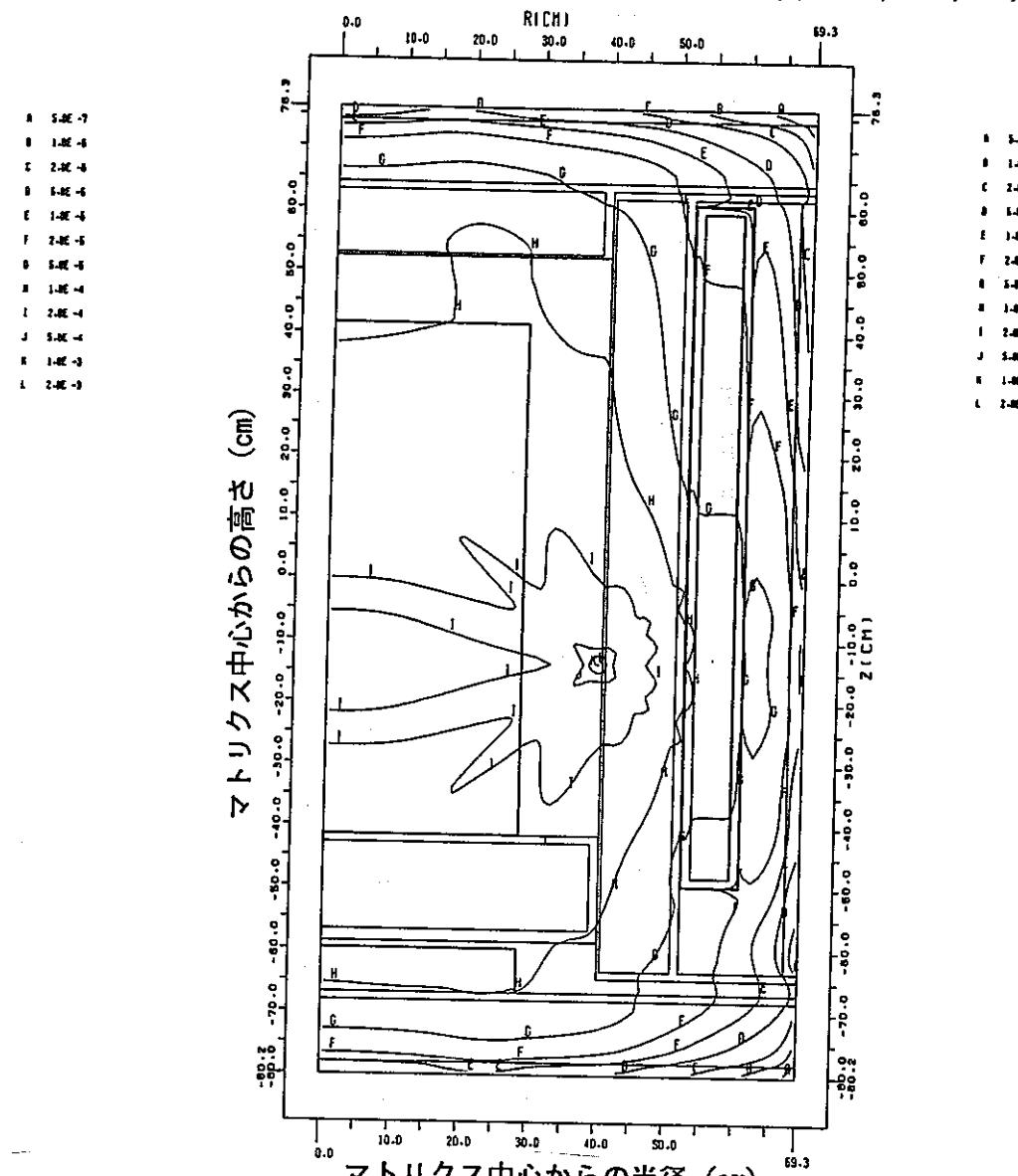
(d) 人工鉱物 (単体)

図A.3-22 定常加速器線源に対する1次元S n解析での中性子スペクトル
(M G C Lライブラリ) (2/2)

単位: $n/cm^2/s$ / 中性子



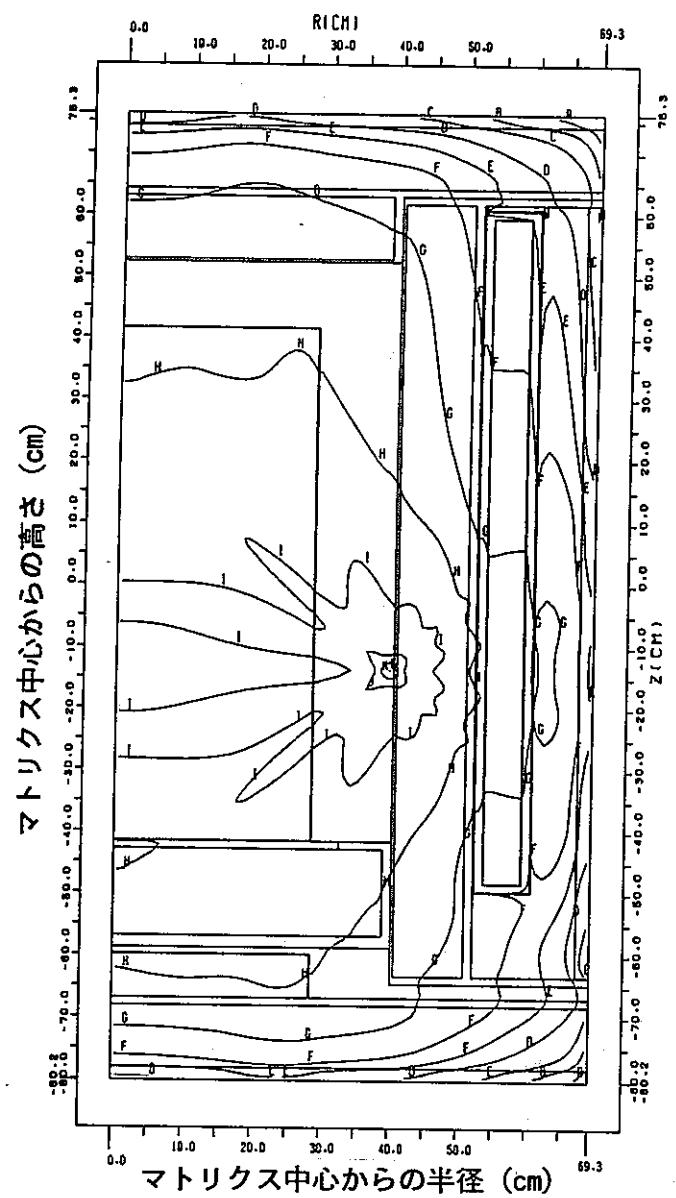
(a) 空ドラム缶



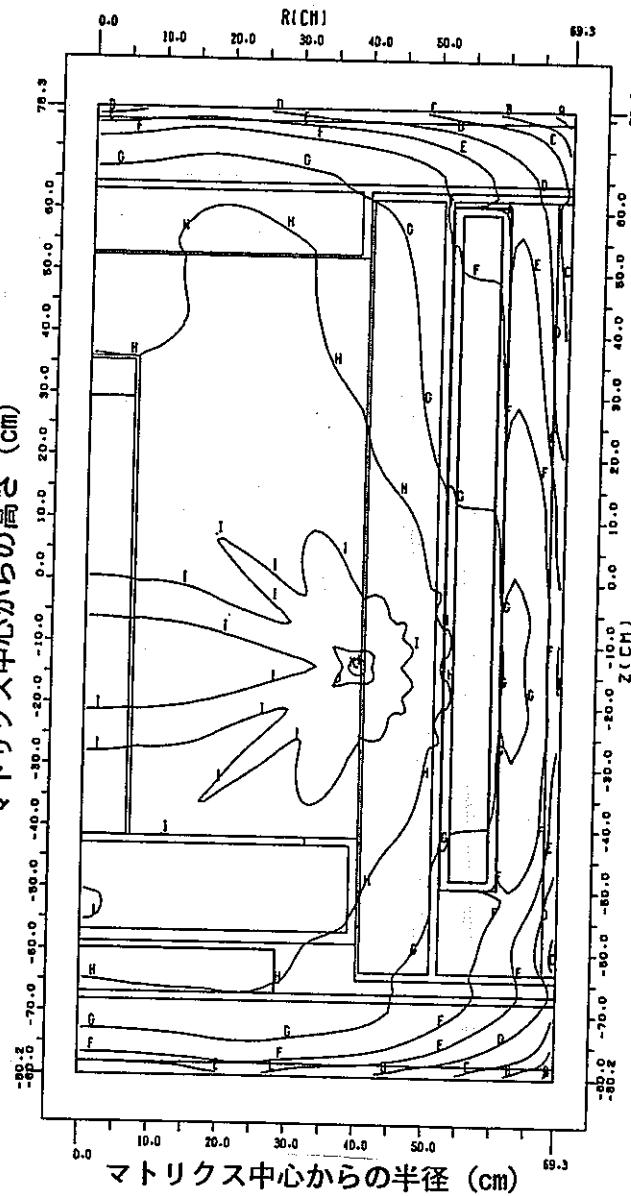
(b) 可燃物焼却灰 (模擬体)

図A.3-23 定常加速器線源に対する2次元S n解析での全中性子束分布
(MGCライブラリ, マトリクス中心軸体系) (1/2)

単位: $n/cm^2/s$ / 中性子



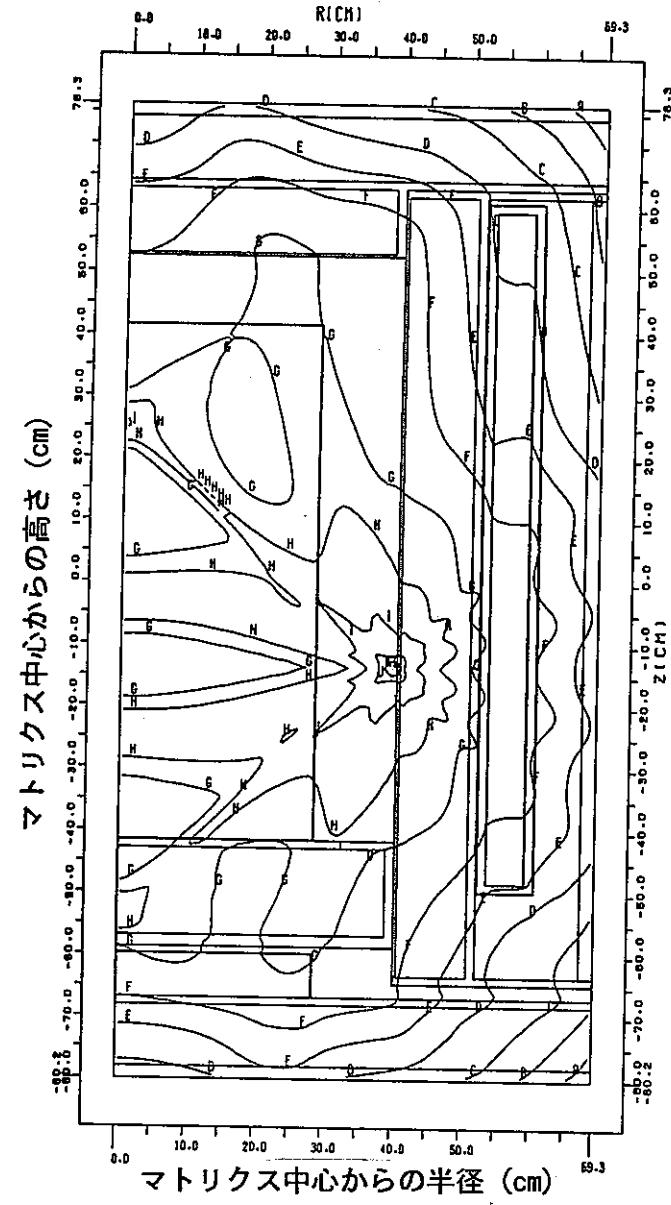
(c) ポリエチレンチューブ



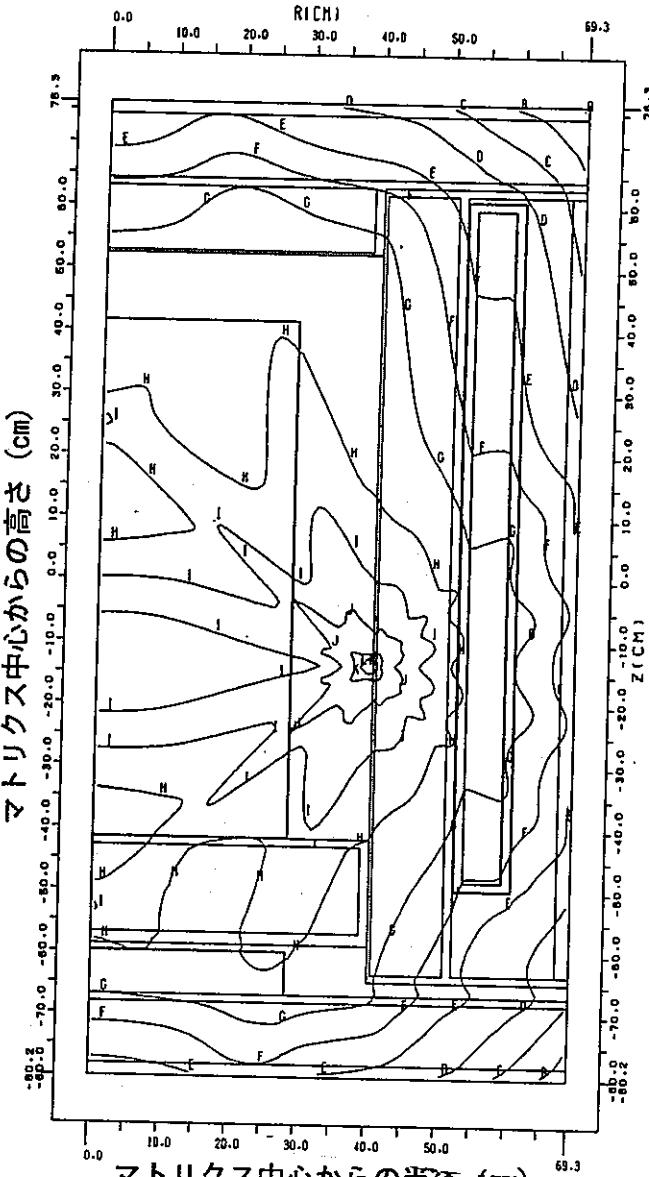
(d) 人工鉱物 (単体)

図A.3-23 定常加速器線源に対する2次元S n解析での全中性子束分布
(MCNPライブリ → リンカーンシティ)

单位： $n/cm^2/s$ / 中性子



(a) 空ドラム缶

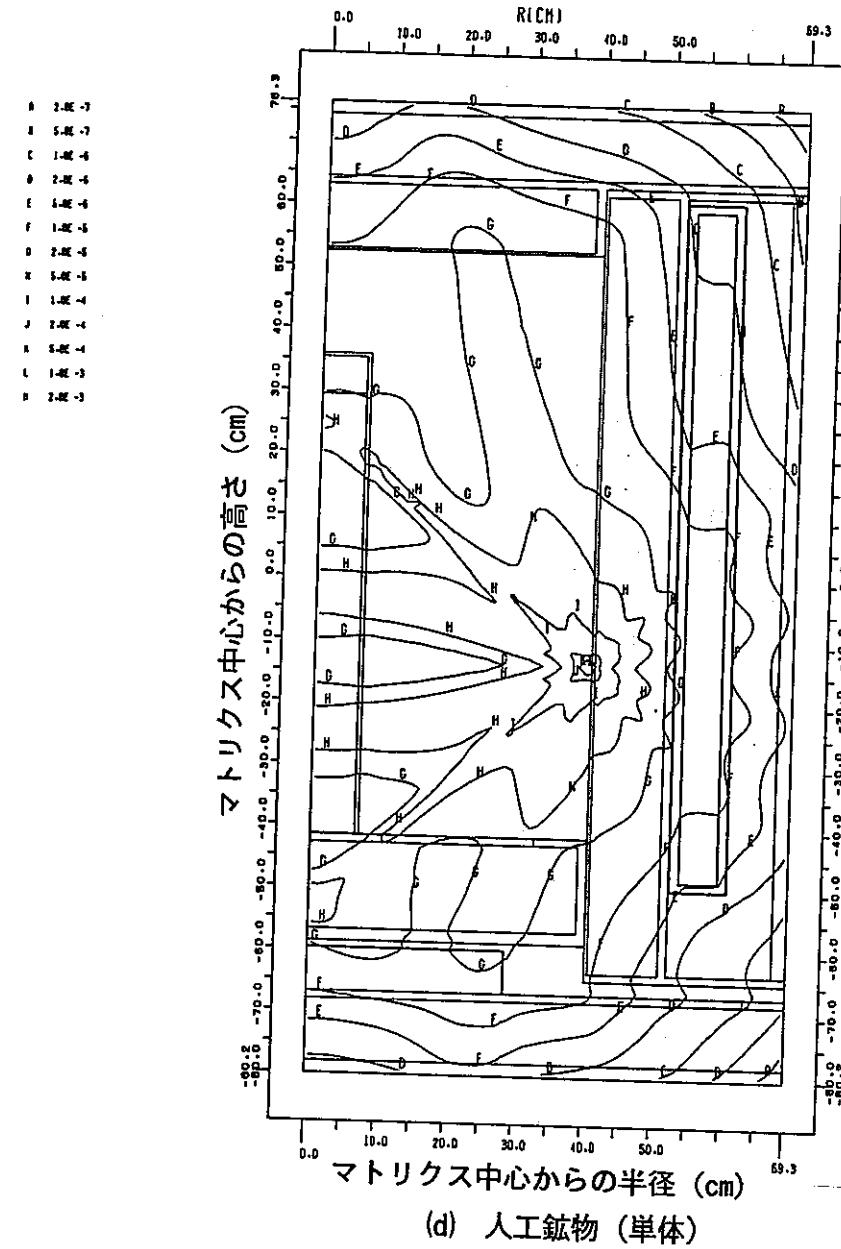
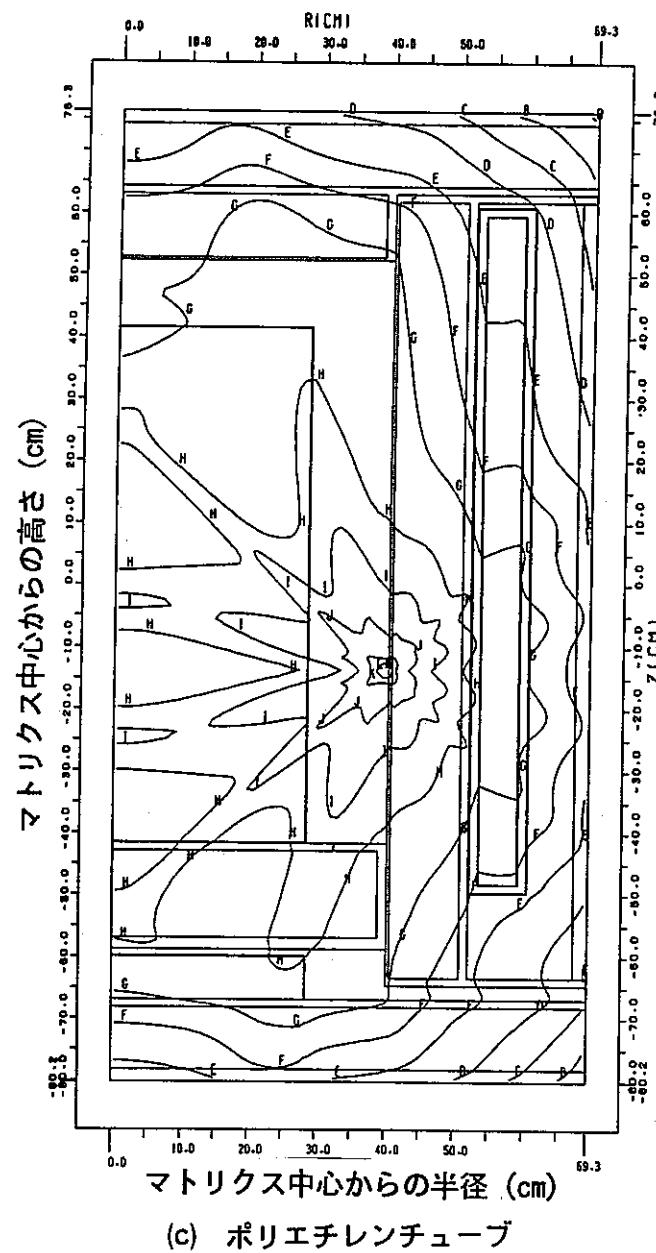


(b) 可燃物焼却灰（模擬体）

図A.3-24 定常加速器線源に対する2次元S n解析での高速中性子束分布 (1/2)

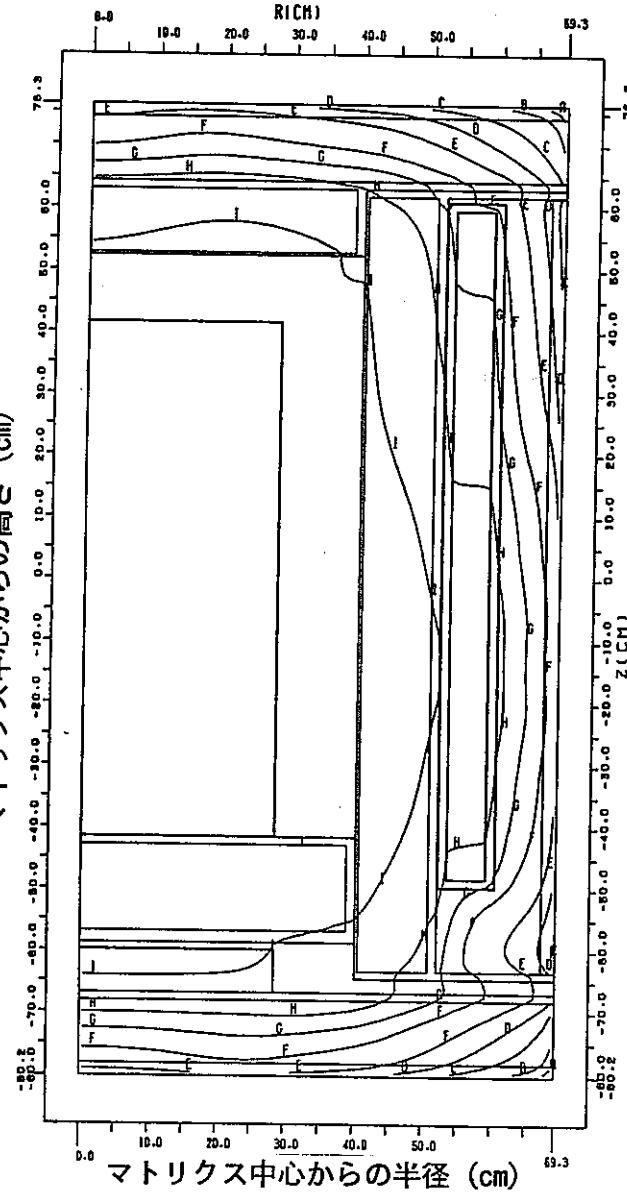
($E \geq 0.1$ MeV, MGCLライブラリ, マトリクス中心軸体系)

単位: $n/cm^2/s$ / 中性子



図A.3-24 定常加速器線源に対する2次元 S_n 解析での高速中性子束分布 (2/2)
($E \geq 0.1$ MeV, MGCLライブラリ, マトリクス中心軸体玄)

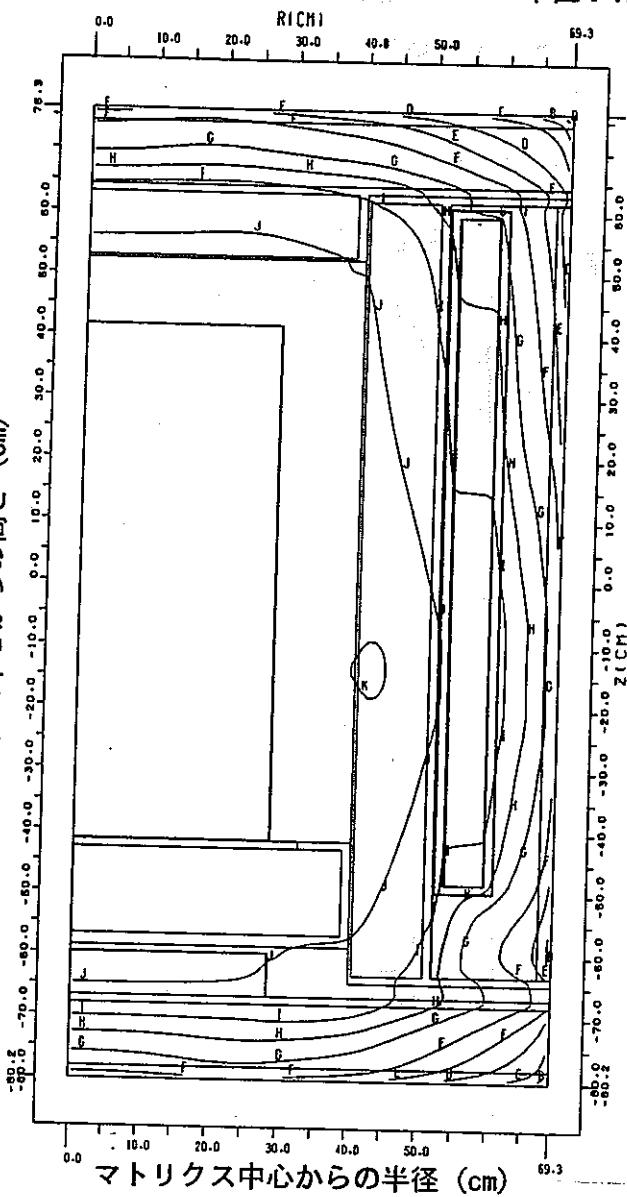
マトリクス中心からの高さ (cm)



(a) 空ドラム缶

単位: n / cm² / s / 中性子

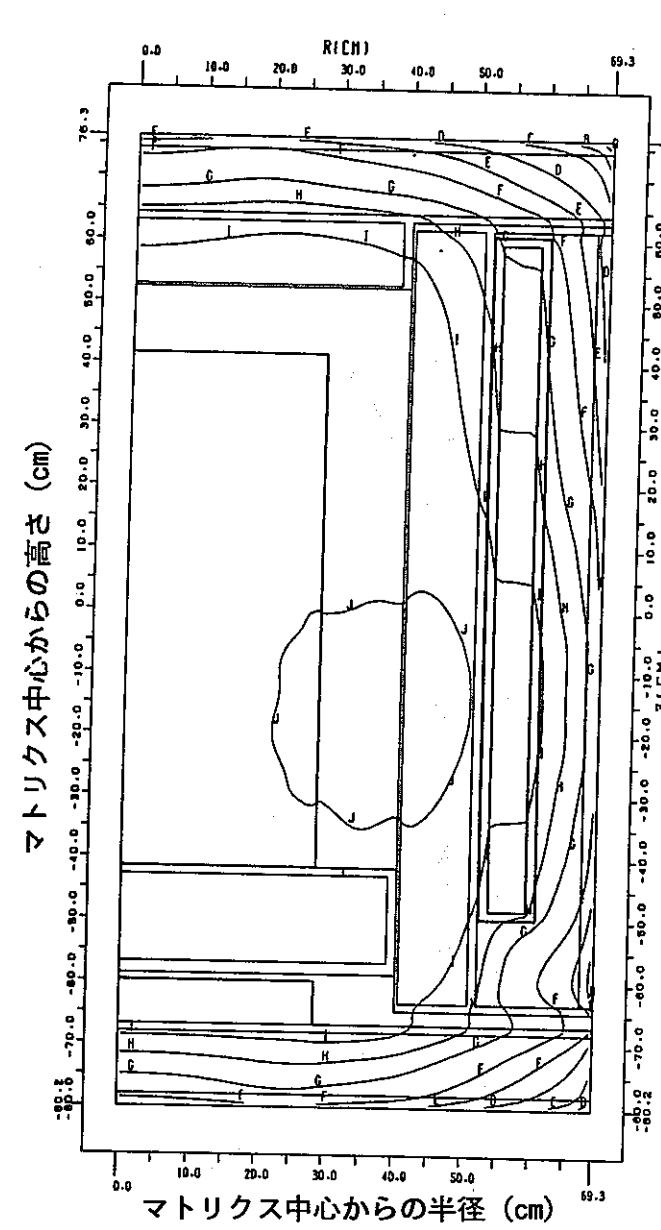
マトリクス中心からの高さ (cm)



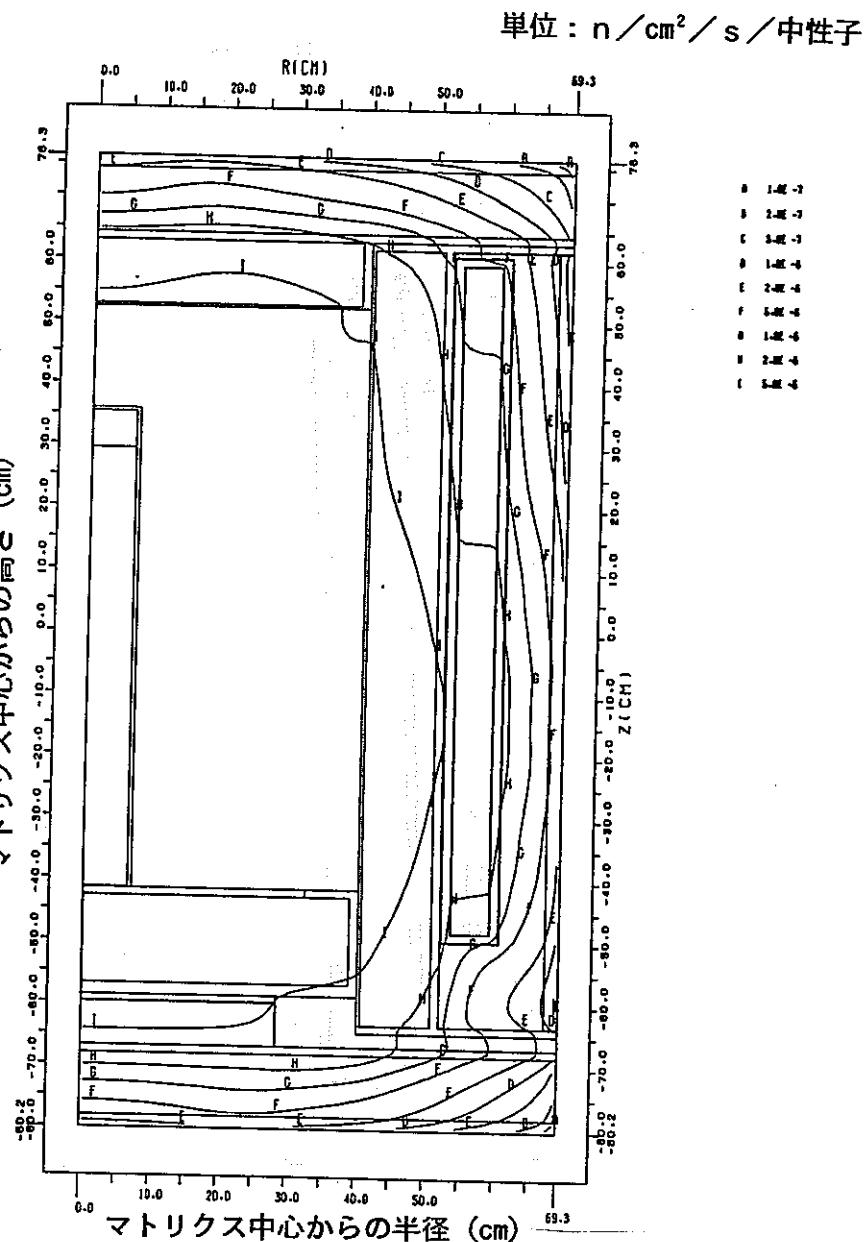
(b) 可燃物焼却灰 (模擬体)

図A.3-25 定常加速器線源に対する2次元S n 解析での中速中性子束分布 (1 / 2)

(0.1 MeV ≥ E ≥ 0.414 eV, MGCLライブラリ, マトリクス中心軸体系)



(c) ポリエチレンチューブ



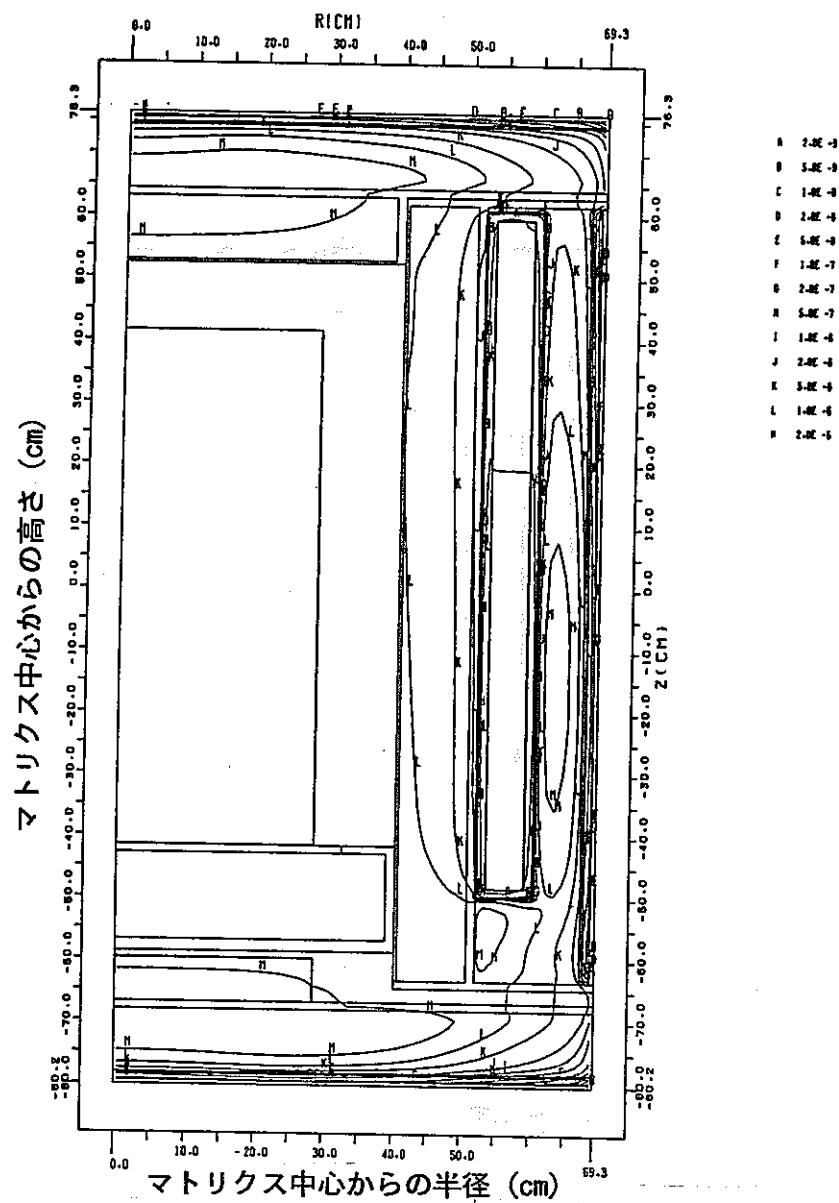
(d) 人工鉱物 (単体)

図A.3-25 定常加速器線源に対する2次元S n解析での中速中性子束分布 (2/2)

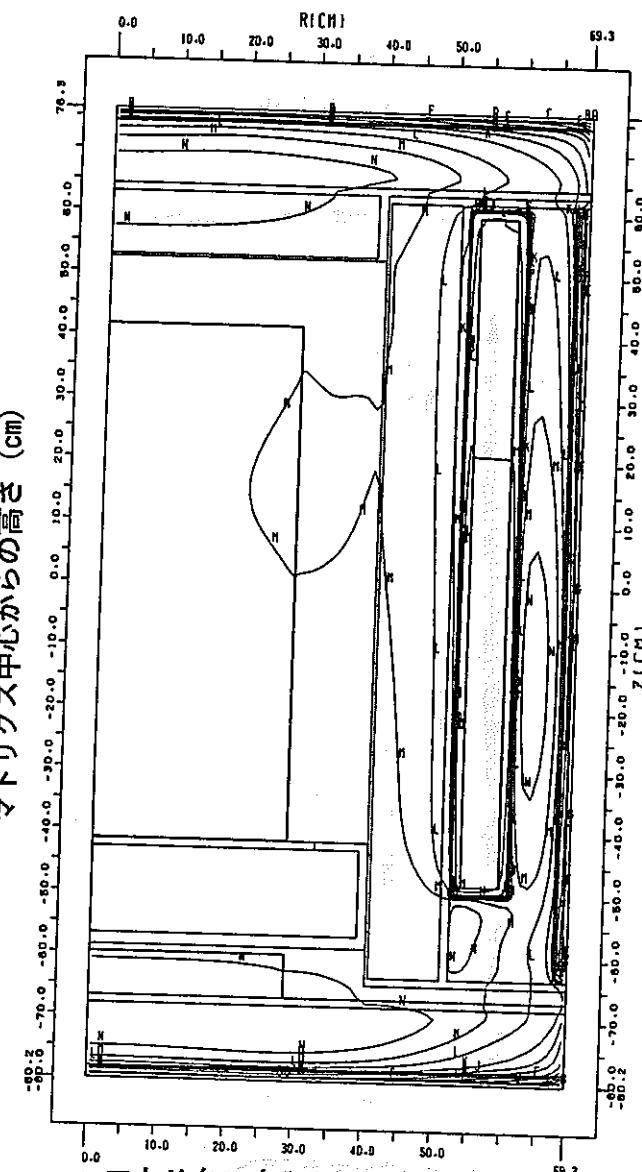
(0.1 MeV $\geq E \geq 0.414$ eV. MGCI ライブラリ フトロクラフ中心軸)

単位: $n/cm^2/s$ 中性子

単位: $n/cm^2/s$ 中性子



(a) 空ドラム缶

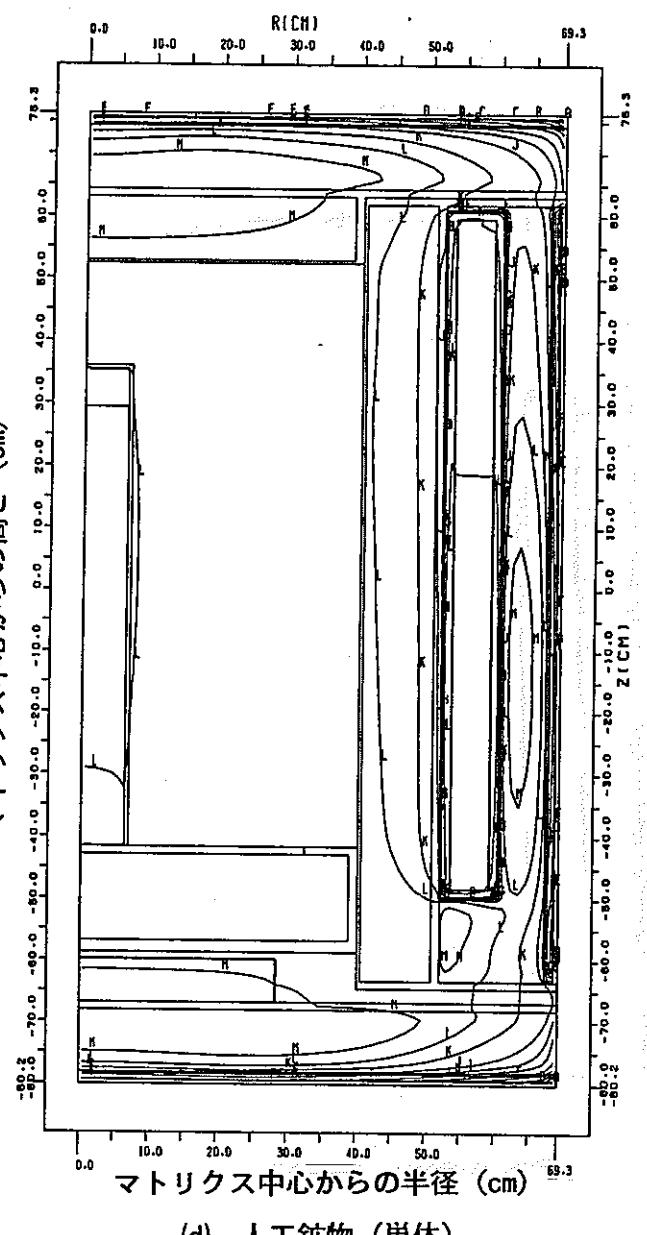
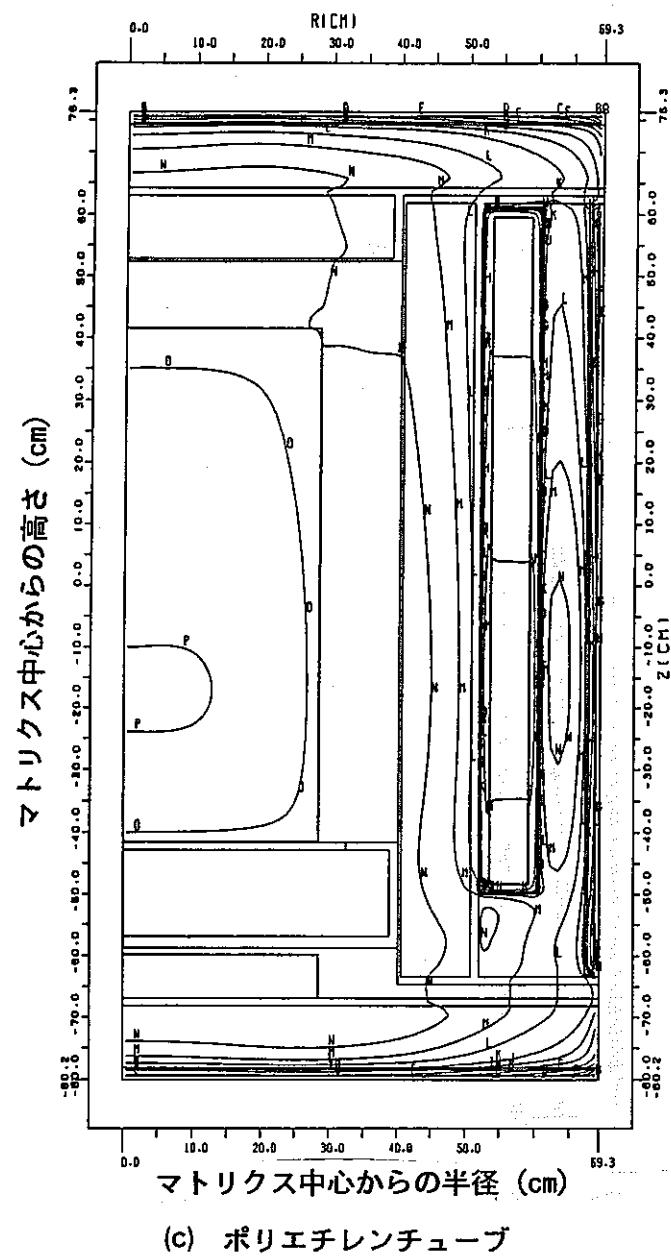


(b) 可燃物焼却灰 (模擬体)

図A.3-26 定常加速器線源に対する2次元S n 解析での熱中性子束分布 (1/2)

($E \leq 0.414 eV$, MGCLライブラリ, マトリクス中心軸体系)

単位: $n/cm^2/s$ / 中性子



図A.3-26 定常加速器線源に対する2次元S n 解析での熱中性子束分布 (2/2)
($E \leq 0.414 \text{ eV}$, MGCLライブラリ, マトリクス中心軸体系)

Appendix 4. Pu 試料 A 4、A 5 の核分裂断面積等の算出

Pu核種	Pu-238	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	Pu
原子量	238.04956	239.05216	240.05381	241.05685	242.05874	239.48110
同位元素比	0.54	68.47	21.10	7.42	2.47	100.00

線源 ID	線源 体積 cu cm	Pu重量 g	アボガドロ数 x1E24	原子量	Pu-239				
					同位元素比 %	原子数密度 1/barn/cm	ν	σf barn	$\nu \Sigma f$ 1/cm
A4	1.99	0.73	0.6022	239.48110	68.47	9.224E-4	2.88	746.7	1.982E+0
A5	1.99	1.461	0.6022	239.48110	68.47	1.264E-3	2.88	746.7	2.717E+0

核データの出典

①核分裂断面積

JENDL-3 (JAERI 1319)

②核分裂あたりの中性子発生数

JENDL-3 (JAERI 1319)

ただし、Pu-241については記載がないためPu-239と同じとした。

同位元素比 %	原子数密度 1/barn/cm	Pu-241			Pu-239 Pu-241 合計 1/cm
		ν	σf barn	$\nu \Sigma f$ 1/cm	
7.42	6.845E-5	2.88	1015	1.999E-1	2.182E+0
7.42	1.370E-4	2.88	1015	4.002E-1	3.117E+0

Appendix 5. これまでの開発経過と今後の展開

項 目	H 2 年度	H 3 年度	H 4 年度	H 5 年度	今 後 の 展 開
	共同研究	高度化研究(1)	高度化研究(2)	高度化研究(3)	
開 発 要 素 (課 題)	マトリクス要素（種類、密度、水分量、吸収含有量、偏在・分布）が装置特性に及ぼす影響把握	<ul style="list-style-type: none"> ○現象の理論的解析 ○概略改良方策の立案 	<ul style="list-style-type: none"> ○2次元S_N法の適用性向上検討 ○3次元モンテカルロ法の予備検討 	<ul style="list-style-type: none"> ○2次元S_N法、3次元モンテカルロ法の均質マトリクスへの適用 ○1次元時間依存S_N法による時間依存効果の補正 	<ul style="list-style-type: none"> ○測定性の向上検討 ○解析手法の高度化 ○非均質マトリクスへの適用
P N C 装 置	<p>PNC装置特性把握試験 標準廃棄物による装置特性の取得を行なう。</p> <pre> graph TD A[PNC装置特性把握試験 標準廃棄物による 装置特性の取得を行なう。] --> B[現象の理論的解析 解析による各種 マトリクスに対する 装置特性の解明] B --> C[補完試験 重要物理量をパラメータとした補完 試験] C --> D[概略改良方策の検討] D --> E[2次元S_N法の適用性 向上検討・適用化 ○2次元S_N法の有効性確認] E --> F[3次元モンテカルロ法導入 のための予備検討 ○先行機関の解析例の調査、試計算] F --> G[2次元S_N法の適用性向上検討 ○定常核分裂中性子源 ○定常加速器中性子源 ○時間依存加速器中性子源(1次元) ○総合評価] G --> H[測定性の向上検討 (解析・測定) ○最適形状 ○最適組成] H --> I[非均質マトリクスに対する 測定性の向上 ○許容される非均質度] I --> J[解析手法の高度化 ○3次元時間依存解析法の適用] </pre>				
比較試験装置 (三菱装置)	<p>PNC装置と同じ模擬廃棄物による特性把握試験を行い、PNC装置高度化のためのパラメータとする。</p> <pre> graph TD A[PNC装置と同じ模擬 廃棄物による特性把 握試験を行い、PNC装 置高度化のためのパ ラメータとする。] --> B[補完試験 重要物理量をパラ メータとした補完 試験] B --> C[強減速系マトリクス等に 対する検出感度向上 方法の検討] </pre>		<p>注. 均質マトリックス体系の解析方法</p> <ul style="list-style-type: none"> ○2次元S_N法により定常状態における装置内の中性子束分布を求め、これに時間依存1次元S_N法より得た時間依存性の補正を行って、測定状態の中性子束分布と検出器計数率を求める。 ○3次元モンテカルロ法により定常状態における装置内着目点の中性子束を求め、2次元S_N法による定常状態の値と比較して、3次元形状効果を評価する。なお、3次元モンテカルロ法によって中性子束の分布情報を得ることは計算コストの観点から現実的ではないため、分布情報は2次元S_N法により求めるものとする。 		