

JAERI-Tech
99-002



JP9950015



JRR-3シリサイド燃料炉心近傍の
遮へいに関する安全解析

1999年1月

木名瀬政美

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

入手の間合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越してください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 〒319-1195, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1999

編集兼発行 日本原子力研究所

JRR-3 シリサイド燃料炉心近傍の遮へいに関する安全解析

日本原子力研究所東海研究所研究炉部
木名瀬政美

(1999年1月5日受理)

JRR-3は、低濃縮板状燃料を使用した軽水減速・冷却、ベリリウム及び重水反射体付プール型炉であり、熱出力は20MWである。JRR-3では、使用済燃料発生本数の低減等を図るために、現在のウランアルミニウム(UAl_x-Al)分散型燃料(アルミナイド燃料)に代って、ウラン含有量が多いウランシリコンアルミニウム(U₃Si₂-Al)分散型燃料(シリサイド燃料)を使用する計画が進められている。この計画では、炉心近傍機器を含むその他の機器及び設備の変更は行わない。

シリサイド燃料化に伴い、原子炉施設の安全性確認の観点から、通常運転時におけるJRR-3シリサイド燃料炉心近傍での線量当量率及び放射線分布の計算を実施した。本報告書は、その計算結果を述べるとともに、計算結果とJRR-3遮へい設計基準線量率を比較することにより、シリサイド燃料炉心に対する炉心近傍の既設設備の遮へい性能についても述べる。

その結果、アルミナイド燃料炉心からシリサイド燃料炉心に変更した後も、原子炉プール近傍の線量当量率は現状の遮へい体で十分に基準線量率を満足することが分かった。

Safety Analysis for the Shielding around JRR-3 Silicide Fuel Core

Masami KINASE

Department of Research Reactor
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 5, 1999)

JRR-3 is a light water moderated and cooled swimming pool type research reactor with 20MW using 20% enriched uranium plate-type fuels. The core conversion program from uranium-aluminum (UAl_x-Al) dispersion type fuel (aluminide fuel) to uranium-silicon-aluminum (U_3Si_2-Al) dispersion type fuel (silicide fuel) is currently conducted for the JRR-3. The major goal for the program is to reduce the amount of spent fuel. This program will not be attended with any change of facilities excluding the fuel element.

From the standpoint of safety verification of reactor facilities, the dose equivalent rates and the radiation distribution for JRR-3 silicide fuel core during normal operation are calculated. In this paper, the calculation results are discussed. Furthermore, going through comparison between the calculated and the maximum permissible design dose equivalent rates, it is discussed whether the shielding is suitable or not.

The results show that the existing shielding is suitable for JRR-3 silicide fuel core.

Keywords : JRR-3, Silicide Fuel, Research Reactor, Dose Equivalent Rate, Shielding

目 次

1. 緒言	1
2. JRR-3 の概要	1
3. 遮へい設計の考え方	2
4. 線量当量率及び放射線分布計算	2
4.1 計算方法	2
4.2 計算結果	6
5. 結言	6
謝辞	6
参考文献	7
付録A 炉心有効半径の算出方法	46
付録B アルミナイド燃料炉心の線量率分布計算	47

Contents

1. Introduction	1
2. General Description of JRR-3	1
3. Shielding Design Principles	2
4. Calculation of Dose Equivalent Rate and Radiation Distribution	2
4.1 Method of Calculation	2
4.2 Results of Calculation	6
5. Conclusions	6
Acknowledgements	6
References	7
Appendix A Calculation Method of Effective Radius for Core	46
Appendix B Calculation of Dose Rate for Aluminide Fuel Core	47

This is a blank page.

1. 緒言

現在 JRR-3 は、約 20%濃縮のウランアルミニウム(UAl₃-Al)分散型燃料要素（アルミナイド燃料）を使用する軽水減速・冷却のスィミングプール型研究炉で、最高熱出力 20MW で運転している。本原子炉は、1990 年 3 月に改造後の初臨界到達、その年の 11 月より共同利用運転を開始した。その後、26 日の連続運転を 1 運転サイクルとして年間 7 または 8 サイクル実施し、1998 年 12 月現在での累積運転出力は約 637,100MWH となっている。この運転に当っては、毎サイクル 5 体ないし 6 体の標準燃料要素と 5 サイクルで合計 6 体のフォロー型燃料要素を交換する 5 バッチ分散方式の燃料交換方式を取っていることから、燃料消費が比較的多く、従って使用済燃料の発生も多い。一方、国内外の試験・研究用原子炉で使用されている燃料要素は、近年アルミナイド燃料から、よりウラン密度を高めたウランシリコンアルミニウム(U₃Si₂-Al)分散型燃料要素（シリサイド燃料）への変更が進められており、今後もアルミナイド燃料を継続して使用する場合、燃料の安定調達や製作コスト等に問題が生じることが懸念された。このため JRR-3 では、アルミナイド燃料からシリサイド燃料に変更し、燃料の安定調達の確保と使用済燃料の発生量の低減を図ることとした。

JRR-3 の炉心燃料の変更は、現在の中性子束及び熱出力を維持しつつ、燃料要素を 20%濃縮のアルミナイド燃料から 20%濃縮のシリサイド燃料へ変更し、燃料要素平均の最高燃焼度を 50%から 60%へ変更するものである。JRR-3 アルミナイド燃料の主な仕様を Table 1.1 に、シリサイド燃料の主な仕様を Table 1.2 に示す。また、JRR-3 シリサイド燃料の標準型燃料要素の構造を Fig.1.1 に、JRR-3 シリサイド燃料のフォロー型燃料要素の構造を Fig.1.2 に示す。JRR-3 シリサイド燃料の特徴は、高燃焼度化を図るため、アルミナイド燃料に比べウラン密度が高いこと、過剰反応度の変化を小さくし、炉心出力分布を平坦化するために可燃性毒物としてカドミウムワイヤを側板に埋め込んでいることである。炉心近傍機器を含むその他の機器及び設備の変更は行わない。

装荷燃料の変更は、炉心の各巨視的断面積を変化させ、炉心近傍における中性子束分布や線量当量率分布等に影響を与える。このため、シリサイド燃料化に伴い、原子炉施設の安全性確認の観点から、それらを評価する必要性が出てきた。本報告書は、通常運転時における JRR-3 シリサイド燃料炉心の上半分近傍（炉上部）での線量当量率及び放射線分布を求めるとともに、求めた線量当量率と JRR-3 遮へい設計基準線量率を比較し、シリサイド燃料炉心に対する炉心近傍の既設設備の遮へい性能について述べたものである。

2. JRR-3 の概要

JRR-3 は、最高出力 20MW の軽水減速・冷却、ベリリウム及び重水反射体付きスィミングプール型研究炉である。原子炉建家は全高約 37m、内径約 32m の円筒形状をしており、

原子炉プール等が格納されている。原子炉プールは内径約 4.5m (円筒部)、全高約 8.5m (水深約 8m) の円筒形状をしており、炉心部等を收容して軽水で満たしている。原子炉プールの近傍には、炉心から取出した使用済燃料を約一年間貯蔵しておく全高約 7.5m の使用済燃料プール及び原子炉プール・使用済燃料プール間をつなぐ全高約 7.5m のカナルが設置されている。原子炉プール、カナル及び使用済燃料プールは、一体となった鋼板製の内張りの外側に一部重コンクリートを含む鉄筋コンクリートを有する構造となっており、各プールとカナル間はゲートで仕切られている。原子炉の主要諸元を Table 2.1 に、原子炉プールの主要諸元を Table 2.2 に示す。また、原子炉建家概略図を Fig.2.1 に、原子炉プール概略図を Fig.2.2 に、原子炉プール構造図を Fig.2.3 に示す。

原子炉プール上面には放射線遮へいのために、開閉可能な約 25cm 厚さの鉄製上部遮へい体が設置されている。上部遮へい体の主要諸元を Table 2.3 に示す。

炉心は、標準型燃料要素 26 体、制御棒と接続するフォロー型燃料要素 6 体、照射筒 5 基及びこれらの周囲を取り囲むベリリウム反射体 12 体等によって構成され、全体として円形断面となっている。さらに、これを取り囲むように、内径 0.6m、外径 2m、高さ 1.6m の円環状の重水タンクが設置されている。この重水タンクは、反射体の役目とともに高速中性子を減速させ、最大の熱中性子束を利用できる場を提供している。この特徴を生かして重水タンク内には、水平、垂直方向から多数の実験孔、照射孔が設けられている。Fig.2.4 に炉心断面図を示す。

3. 遮へい設計の考え方

遮へい設計においては、JRR-3 原子炉建家内を立入り頻度に応じた区画に分割し、法令⁽¹⁾に示されている許容被ばく線量に基づいて、各々の区画に対して目安となる遮へい設計基準線量率を定め、この基準を満足するように遮へい厚さを決定した。

基準線量率は、立入る場所における従事者等の放射線被ばくを十分安全に管理するために、一週間につき $300 \mu\text{Sv}$ 以下となるように、各関係場所への立入り頻度及び滞在時間などを考慮して定められたものである。Table 3.1 に遮へい設計の基準線量率を示し、Fig.3.1 に原子炉建家内の基準線量率区分を示す。

4. 線量当量率及び放射線分布計算

4.1 計算方法

計算は、Fig.4.1 に示すフローに従って行った。まず、中性子・ガンマ線の微細エネルギー群の評価済核データファイル JENDLE-3⁽²⁾を基にした群定数セット JSSTD⁽³⁾ (中性子 295 群、ガンマ線 104 群) を、断面積処理コード CONDNSJ、CONDNSJG コードを用いて、中性子 171 群、ガンマ線 36 群に縮約した。次に、MACROJG コードを用いて、Sn 計算コー

ド用の領域依存の巨視的断面積ファイルを作成した。

一次元輸送計算コード ANISN-JR⁽⁴⁾に上記の巨視的断面積ファイルを用いて、炉心周りの中性子・ガンマ線の空間依存スペクトルを求め、それを重み関数として、中性子 8 群、ガンマ線 7 群のエネルギー構造を持つ縮約巨視的断面積ファイルを各領域毎に作成した。

次に、炉心近傍が円筒近似できることから、二次元輸送計算コード DOT3.5⁽⁵⁾に縮約巨視的断面積ファイルを用いて、炉上部の線量当量率及び放射線分布を計算した。

4.1.1 計算コード

以下に、今回の計算に用いたコードの概要について示す。

- ①CONDNSJ コード：JSSTD L-295 ライブラリー（中性子微細群構造ライブラリー）などの JSSTD L 形式の群定数を、要求した群構造に縮約するためのプログラム。
- ②CONDNSJG コード：JSSTD L-295 G-104 ライブラリー（ガンマ線微細群構造ライブラリー）などの JSSTD L 形式の群定数を、要求した群構造に縮約するためのプログラム。
- ③MACROJG コード：JSSTD L-295 を CONDNSJ コードで縮約したものと JSSTD L-295 G-104 を CONDNSJG コードで縮約したものとを結合させることにより、中性子・ガンマ線結合巨視的多群断面積ライブラリーを作成するためのプログラム。
- ④ANISN-JR コード：ANISN-JR コードは、米国オークリッジ(ORNL)研究所で開発された一次元のボルツマン輸送方程式をディスクリット・オーディネイト法 (Sn 法) で計算する輸送計算コードである ANISN コードを改良したものである。その改良点は、(i) 検出器のレスポンスから反応率の空間分布を計算する (ii) 中性子及びガンマ線のエネルギースペクトルの空間依存性を考慮し、任意の領域の平均断面積を作成する (iii) エネルギースペクトル、反応率の空間分布作図等の機能を追加する、というものである。また、本計算コード⁽⁶⁾は、(i) 群定数 (ii) 角度分点 (iii) 線源分布 (iv) 形状データ (v) 計算条件（繰返し計算の収束判定条件等）を入力データとして、平板、円柱または球形状の一次元形状の放射線束分布を計算するものである。
- ⑤DOT3.5 コード：米国 ORNL 研究所で開発された DOT3.5 は、散乱断面積のルジャンドル展開により散乱の異方性を考慮して、二次元のボルツマン輸送方程式を Sn 法で解き、放射線束及び固有値を求めるもので、一次元 Sn コード ANISN の二次元版に相当する。また、本計算コードの入力データとしては、(i) 群定数 (ii) 角度分点 (iii) 線源分布 (iv) 形状データ (v) 計算条件が必要である。そのうち、線源分布は (a) 体積分布線源 (b) 境界線源 (c) 初回衝突線源の 3 種類の形式で入力可能である。

4.1.2 群定数

本計算に使用した JSSTD L は、評価済核データファイル JENDL-3 を基に作成された群定数セットであり、格納している 64 核種に対して中性子 295 群、ガンマ線 104 群の計 399 群の詳細な群構造を有している。縮約プログラム (CONDNSJ、CONDNSJG 及び MACROJG

コード) を用いて、この群定数セットを中性子 171 群、ガンマ線 36 群の巨視的断面積ファイルを作成した。更に、ANISN-JR コードを用いて炉心周りの中性子・ガンマ線の空間依存スペクトルを求め、それを重み関数として、中性子 8 群、ガンマ線 7 群のエネルギー構造を持つ縮約巨視的断面積ファイルを作成した。この計算は、炉心周りを球形状、散乱断面積のルジャンドル展開次数を P_5 、角度分点数は S_{16} を用いて、炉心中心から上方向、径方向及び上斜め方向に対して次元輸送計算を実施した。計算モデルを Table 4.1~Table 4.3 に、JRR-3 構造材組成を Table 4.4 に示す。材料の組成は以下の方法で決定した。

成分組成規制値あるいは実測値： a のとき、 $a/2$

成分組成規制値あるいは実測値： $c < d$ ($c < d$) のとき、 c

鉄・アルミニウム合金の母材の重量比は、 $1 - \sum_i (\text{各構成元素重量比 } i \text{ の最大値})$

注： a, c, d は構成元素の重量比

なお、炉心部は、標準型燃料要素、フォロワ型燃料要素、照射筒、制御棒案内管及びそれらを取り巻く冷却水から構成され、制御棒が全引抜の位置にあるものとした。これらは燃料芯材約 120kg、A5052 約 140kg、A6063 約 13kg、軽水約 70kg が主材料となっており、炉心にこれらの材料が均質に分布するものとして炉心の物質組成を決定した。

4.1.3 線源強度

(1) エネルギースペクトル

原子炉運転時の線源は、炉心燃料の核分裂によって発生する中性子及びガンマ線である。核分裂は ^{235}U によるものとして考えると、炉心から発生する中性子及びガンマ線の線源強度⁽⁷⁾は、以下のように示される。

エネルギー群 g の中性子線源強度 S_g^n (neutrons/sec/炉心) は、次式で与えられる。

$$S_g^n = F \cdot \nu \cdot I \cdot N_g$$

ここで、

F : 核分裂数 (= 3.1×10^{10} fission/W/sec)

ν : 核分裂による中性子発生数 (= 2.43)

I : 炉出力 (= 20MW)

N_g : 核分裂の即発中性子スペクトルでエネルギー群 g は、次式で近似される

$$N_g = \int_{\Delta E_g} 0.453 e^{-E/0.965} \cdot \sinh \sqrt{2.29E} dE \text{ (MeV in E)}$$

ガンマ線源は、核分裂と同時に放出される即発ガンマ線と短寿命の核分裂生成物から放

出されるガンマ線とに分類される。

即発ガンマ線スペクトル γ_p (photons/fission/MeV)は、次式で近似される。

$$\gamma_p(E) = \begin{cases} 7.2e^{-1.09E} & (E \geq 1.5 \text{ MeV}) \\ 20.2e^{-1.78E} & (1.5 \text{ MeV} > E \geq 0.6 \text{ MeV}) \\ 6.6 & (0.6 \text{ MeV} > E \geq 0.1 \text{ MeV}) \end{cases}$$

短寿命の核分裂生成物からのガンマ線スペクトル γ_s (photons/fission/MeV)は、次式で近似される。

$$\gamma_s(E) = 6.0e^{-1.10E} \quad (\text{MeV in } E)$$

従って、ガンマ線源強度 S_g^{γ} (photons/sec/炉心)は、次式で近似される。

$$S_g^{\gamma} = F \cdot I \cdot \int_{\Delta E_g} \{\gamma_p(E) + \gamma_s(E)\} dE$$

ANISN-JR コードに入力するための中性子 171 群、ガンマ線 36 群の線源強度計算結果を Table 4.5、Table 4.6 に示す。また、ANISN-JR コードによって縮約された中性子 8 群、ガンマ線 7 群の DOT 3.5 コードに入力するエネルギー構造及び線源強度を Table 4.7 に示す。

(2)線源分布

核分裂によって生じる炉心内での中性子及びガンマ線の発生数分布、すなわち線源分布は炉心燃料領域の出力分布に従う。ここでは、炉心燃料領域を円柱形状で近似し、三次元中性子拡散コード CITATION[®]による核計算の結果を、径方向及び軸方向の出力分布に採用した。Fig.4.2 に径方向及び軸方向の出力分布を示す。

4.1.4 計算条件

炉心回りを RZ 体系で近似し、核分裂によって生まれた中性子及びガンマ線を線源とすることにより、炉上部の線量当量率及び放射線分布を DOT3.5 コードにより計算した。

Fig.4.3 に炉上部の二次元計算モデルを示す。重水タンク中はヘリウムカバーガス領域を考慮し、炉心燃料部及びベリリウム反射体部は各々均質化したものを用いた。径方向の半径の長さは、同一面積比とした。図中のゾーン番号は、Table 4.1～Table 4.3 の ANISN-JR コードの計算条件に示したゾーン番号に対応している。

DOT3.5 コードの計算ではルジャンドル展開次数 P_5 、角度分点 S_{160} を用いた。

縮約群（中性子 8 群、ガンマ線 7 群）に対する線量当量率変換係数は、縮約群定数作成時に求めたスペクトルを重み関数にし、各エネルギー群毎（中性子 171 群、ガンマ線 36 群）の換算係数を ICRP 勧告に基づいて求めた。Table 4.7 に線量当量率換算係数を示す。

4.2 計算結果

シリサイド燃料炉心の炉上部での線量当量率及び放射線分布の計算結果を Fig.4.4～Fig.4.18 に示す。そのうち、Fig.4.15～Fig.4.18 の中性子束分布は、Table 4.7 に示す 3 群構造である。

計算結果から、人が立入る場所である上部遮へい体上面及び原子炉プール側壁近傍の最大線量当量率は、それぞれ約 $23 \mu\text{Sv/h}$ (Fig.4.8 参照)、約 $2.1 \mu\text{Sv/h}$ (Fig.4.10 参照) である。これらの位置における基準線量率は各々 $60 \mu\text{Sv/h}$ 、 $6 \mu\text{Sv/h}$ であり、計算結果の方が小さいことから、シリサイド燃料炉心に変更しても、原子炉プール近傍の線量当量率は現状の遮へい体により十分に基準線量率を満足することが分かった。

5. 結言

シリサイド燃料炉心の上半分における線量当量率及び放射線分布の計算を行った。

この計算により、アルミナイド燃料炉心からシリサイド燃料炉心に変更した後も、原子炉プール近傍の線量当量率は現状の遮へい体により十分に基準線量率を満足することが分かった。

謝辞

研究炉部海江田圭右部長、研究炉部高橋秀武次長、JRR-4 管理課中島照夫課長、JRR-3 管理課掛札和弘課長及び JRR-3 管理課村山洋二課長代理には終始御鞭撻を戴いた。新型燃料燃焼研究室中野佳洋研究員には三次元中性子拡散コード CITATION の計算結果を頂いた。また、株式会社 CRC 総合研究所川崎弘光氏には計算の実行、データの整理等に協力を戴いた。ここに深い感謝の意を表す。

参考文献

- (1) 科学技術庁原子力安全局監修："昭和 58 年原子力規制関係法令集", 大成出版(1983)
- (2) Shibata K., et al., : "Japanese Evaluated Nuclear Data Library, Version-3", JAERI-1319(1990)
- (3) Akira Hasegawa, et al., : "Development of a Common Nuclear Group Contents Library System : JSSTD-295N-104GAMMA Based on JENDLE-3 Nuclear Data Library", INTERNATIONAL CONFERENCE ON NUCLEAR DATA FOR SCIENCE AND TECHNOLOGY JUELICH(GERMANY) 13-17 MAY 1991
- (4) Kinji Koyama, et al., : "ANISN-JR, A One-Dimension Discrete Ordinates Code for Neutron and Gamma-ray Transport Calculations", JAERI-M 6954(1977)
- (5) Rhodes, W.A., : "DOT3.5, Two-Dimensional Discrete Ordinates Radiation Transport Code", RSIC CCC-276(1975)
- (6) 「中性子遮蔽設計ハンドブック」日本原子力学会 (1993 年 4 月)
- (7) 伊勢武治、他："JRR-3 改造炉の設計のための遮蔽解析・1—原子炉本体の遮蔽—", JAERI-M 85-050(1985)
- (8) 奥村啓介、他："SRAC95 ; 汎用核計算コードシステム", JAERI-Data/Code 96-015(1996)

Table 1.1 アルミナイド燃料の主な仕様

燃料要素		標準型燃料要素	フロー型燃料要素
項 目			
外形(mm)		約 76.2x76.2x1150	約 64x64x880
U-235 濃縮度(w%)		約 20	約 20
U-235 含有量(g)		約 300	約 190
ウラン密度(g/cm ³)		約 2.2	約 2.2
芯材	厚さ(mm)	約 0.76	約 0.76
	幅(mm)	約 62	約 49
	長さ(mm)	約 750	約 750
被覆	厚さ(mm)	約 0.38	約 0.38
燃料板	厚さ(mm)	約 1.52	約 1.52
	幅(mm)	約 71	約 60
	長さ(mm)	約 770	約 770
冷却材流路数		19	15
冷却材流路厚さ(mm)		約 2.28	約 2.38
燃料芯材		ウラン・アルミニウム分散型合金(UAl _x -Al)	
被覆材		アルミニウム合金 AG3NE 又は相当品	
最大燃焼度		要素平均 50%	

Table 1.2 シリサイド燃料の主な仕様

燃料要素		標準型燃料要素	フォロー型燃料要素
項 目			
外形(mm)		約 76.2x76.2x1150	約 64x64x880
U-235 濃縮度(w%)		約 20	約 20
U-235 含有量(g)		約 472	約 302
ウラン密度(g/cm ³)		約 4.8	約 4.8
芯材	厚さ(mm)	約 0.51	約 0.51
	幅(mm)	約 62	約 49
	長さ(mm)	約 750	約 750
被覆	厚さ(mm)	約 0.38	約 0.38
燃料板	厚さ(mm)	約 1.27	約 1.27
	幅(mm)	約 71	約 60
	長さ(mm)	約 770	約 770
冷却材流路数		20	16
冷却材流路厚さ(mm)		約 2.35	約 2.40
燃料芯材		ウランシリコンアルミニウム分散型合金(U ₃ Si ₂ -Al)	
被覆材		アルミニウム合金 A6061,AG3NE 又は相当品	
可燃性吸収 体	種類	カドミウム	カドミウム
	線径(mm)	約 0.4	約 0.4
	長さ(mm)	約 750	約 750
	被覆材種類	アルミニウム合金	アルミニウム合金
	被覆材厚さ (mm)	約 0.20	約 0.20
	本数	42	34
最大燃焼度		燃料要素平均 60%	

Table 2.1 JRR-3 の主要諸元

炉型式	低濃縮ウラン軽水減速・冷却プール型
熱出力	定格出力 20MW
炉心	等価直径約 60cm 有効高さ約 75cm
燃料	燃料要素数 標準型 26 体 フォロワ型 6 体
制御棒	吸収材 ハフニウム(箱型) 本数 6 体(フォロワ型と一体)
原子炉 プール	スイミングプール型 円形 直径 約 4.5m 深さ 約 8.5m
実験設備	水平実験孔 9 本 垂直実験孔 17 本 冷中性子源装置 1 基

Table 2.2 原子炉プールの主要諸元

構造			鉄筋コンクリート造 ステンレスクラッド鋼(一部ステンレス鋼)内張りプール形		
概要 寸法	駆体厚さ (mm)	側壁	880~1830		
		底部	1480		
	ライ ニン グ	内寸法 (mm)	幅・長さ	幅:4500(円筒部)、長さ:6250	
			高さ	8500	
		厚さ (mm)	側壁	20	
			底部	20、100	
主要 材料	駆体	鉄筋	JIS G3112(鉄筋コンクリート用棒鋼)に定める SD30		
		コンクリート	重量コンクリート(設計基準強度 210kg/cm ²) (気乾密度 3.4g/cm ³ 、5.0g/cm ³)		
	ライニング	普通コンクリート(設計基準強度 210kg/cm ²) (気乾密度 2.2g/cm ³)			
			SM41B+SUS316L、SUS316L		

Table 2.3 上部遮へい体の主要諸元

(1) 主要寸法	
最大幅	約 1.2m
最大長さ	約 5.1m
厚さ	約 0.25m
(2) 主要材料	
炭素鋼、ステンレスクラッド鋼	

Table 3.1 遮へい設計の基準線量率

区 画	立入り時間	基準線量率
I	週 48 時間以内の立入り	$\leq 6 \mu \text{ Sv/h}$ (0.6 mrem/h)
II	週 10 時間以内の立入り	$\leq 30 \mu \text{ Sv/h}$ (3 mrem/h)
III	週 5 時間以内の立入り	$\leq 60 \mu \text{ Sv/h}$ (6 mrem/h)
IV	立入り制限(高線量率区域)	$> 60 \mu \text{ Sv/h}$ (6 mrem/h)

Table 4.1 ANISN-JR計算モデル(上部上方向)

No.	構造材	材料組成	寸法(cm)	厚さ(cm)	メッシュ数	ゾーンNo. (DOT コード計算に対して)
1	燃料	UO ₂	0.0~33.51	33.51	15	
2	軽水	H ₂ O	~87.51	54.00	24	12
3	軽水	H ₂ O	~576.01	488.50	174	13
4	空気	空気	~626.01	50.00	10	14
5	上部遮へい体	SS304L	~626.61	0.60	1	15
6	上部遮へい体	SM41B	~650.41	23.80	13	16
7	上部遮へい体	SS304L	~651.01	0.60	1	17
8	空気	空気	~652.01	1.00	1	

Table 4.2 ANISN-JR計算モデル(上部径方向)

No.	構造材	材料組成	寸法(cm)	厚さ(cm)	メッシュ数	ゾーンNo. (DOT コード計算に対して)
1	燃料	UO ₂	0.0~33.51	33.51	15	1
2	軽水	H ₂ O	~34.04	0.53	1	2
3	Be反射体	Be	~37.35	3.31	3	3
4	軽水	H ₂ O	~37.65	0.30	1	4
5	重水タンク	A5052	~38.65	1.00	2	5
6	重水	D ₂ O	~105.65	67.00	35	6
7	重水タンク	A5052	~107.65	2.00	2	7
8	軽水	H ₂ O	~232.65	125.00	40	8
9	ライニング	SS316L	~233.15	0.50	1	9
10	ライニング	SM41B	~234.65	1.50	1	10
11	重コンクリート	重コンクリート	~417.65	183.00	100	11、24
12	空気	空気	~418.65	1.00	1	

Table 4.3 ANISN-JR計算モデル(上部斜め方向)

No.	構造材	材料組成	寸法(cm)	厚さ(cm)	メッシュ数	ゾーンNo. (DOT コード計算に対して)
1	燃料	UO ₂	0.0~33.51	33.51	15	
2	軽水	H ₂ O	~34.04	0.53	1	
3	Be反射体	Be	~37.35	3.31	3	
4	反射体抑え	H ₂ O	~38.35	1.00	2	18
5	重水	A5052	~86.35	48.00	24	
6	ヘリウム	D ₂ O	~92.35	6.00	3	19
7	重水タンク	A5052	~96.35	4.00	3	20
8	軽水	H ₂ O	~246.35	150.00	50	21
9	ライニング	SS316L	~246.85	0.50	1	22
10	ライニング	SM41B	~248.35	1.50	1	23
11	普通コンクリート	普通コンクリート	~336.35	88.00	40	25
12	空気	空気	~337.35	1.00	1	26

Table 4.4 JRR-3構造材組成

No.	構造材	核種	JSSTD Lの対応No.		原子個数密度 (atoms/(barns·cm))
			中性子	ガンマ線	
110	燃料(UO ₂) (1~6)	H-1	117	117	2.92E-02
		O-16	808	808	1.46E-02
		Mg	1207	1207	5.50E-04
		Al	1307	1307	2.68E-02
		Si	1407	1407	2.74E-05
		Cr	2407	2407	1.68E-05
		Cu	2907	2907	3.98E-06
		Cd	4808	4802	1.59E-05
		U-235	9258	9257	2.29E-04
		U-238	9287	9287	9.20E-04
120	SS316L (7~12)	Ni	2808	2808	9.82E-03
		Cr	2407	2407	1.48E-02
		Mo	4208	4207	1.00E-03
		Fe	2607	2607	5.24E-02
130	SM41B (13~18)	Mn	2557	2557	5.16E-04
		Fe	2607	2607	8.31E-02
140	A5052 (19~24)	Mg	1207	1207	1.48E-03
		Cr	2407	2407	4.71E-05
		Al	1307	1307	5.79E-02
150	SS304L (25~30)	Ni	2808	2808	7.32E-03
		Cr	2407	2407	1.65E-02
		Fe	2607	2607	5.67E-02
160	Be (31~36)	Be	498	497	1.21E-01
170	普通コンク リート (37~42)	H-1	117	117	1.34E-02
		O-16	808	808	4.49E-02
		C-12	607	607	1.13E-04
		Na	1107	1107	9.43E-04
		Mg	1207	1207	1.21E-04
		Al	1307	1307	1.70E-03
		Si	1407	1407	1.63E-02
		K	1907	1907	4.50E-04
		Ca	2008	2007	1.47E-03
		Ni	2808	2808	3.21E-04
180	重コンク リート(43~ 48)	H-1	117	117	6.33E-03
		O-16	808	808	4.23E-02
		Si	1407	1407	1.88E-02
		Ca	2008	2007	3.63E-03
		Mg	1207	1207	7.87E-04
		Al	1307	1307	1.78E-03
		S	1607	-	9.04E-05
		Fe	2607	2607	1.74E-02
		Ti	2208	2208	2.33E-03
		Cr	2407	2407	6.69E-05
		Mn	2557	2557	7.39E-05
V	2307	-	1.25E-04		
190	ヘリウム (49~54)	He-3	237	-	3.23E-11
		He-4	247	-	2.34E-05
		N-14	708	708	2.65E-07
		O-16	808	808	7.06E-08
200	軽水 (55~60)	H-1	117	117	6.62E-02
		O-16	808	808	3.31E-02
210	重水 (61~66)	H-2	128	124	6.66E-02
		O-16	808	808	3.33E-02
220	空気 (67~72)	N-14	708	707	3.91E-05
		O-16	808	808	1.04E-05

Table 4.5 ANISN-JRコード用線源強度(中性子) (1)

群	上限エネルギー (MeV)	下限エネルギー (MeV)	線源強度 (neutrons/sec)
1	1.733E+01	1.649E+01	3.645E+12
2	1.649E+01	1.568E+01	6.969E+12
3	1.568E+01	1.492E+01	1.284E+13
4	1.492E+01	1.455E+01	9.818E+12
5	1.455E+01	1.419E+01	1.303E+13
6	1.419E+01	1.384E+01	1.703E+13
7	1.384E+01	1.350E+01	2.213E+13
8	1.350E+01	1.284E+01	6.532E+13
9	1.284E+01	1.221E+01	1.053E+14
10	1.221E+01	1.162E+01	1.652E+14
11	1.162E+01	1.105E+01	2.516E+14
12	1.105E+01	1.051E+01	3.742E+14
13	1.051E+01	1.000E+01	5.429E+14
14	1.000E+01	9.512E+00	7.684E+14
15	9.512E+00	9.048E+00	1.064E+15
16	9.048E+00	8.607E+00	1.443E+15
17	8.607E+00	8.187E+00	1.918E+15
18	8.187E+00	7.788E+00	2.502E+15
19	7.788E+00	7.408E+00	3.205E+15
20	7.408E+00	7.047E+00	4.036E+15
21	7.047E+00	6.703E+00	5.001E+15
22	6.703E+00	6.592E+00	1.905E+15
23	6.592E+00	6.376E+00	4.197E+15
24	6.376E+00	6.065E+00	7.341E+15
25	6.065E+00	5.770E+00	8.707E+15
26	5.770E+00	5.488E+00	1.020E+16
27	5.488E+00	5.221E+00	1.179E+16
28	5.221E+00	4.966E+00	1.348E+16
29	4.966E+00	4.724E+00	1.524E+16
30	4.724E+00	4.493E+00	1.705E+16
31	4.493E+00	4.066E+00	3.962E+16
32	4.066E+00	3.679E+00	4.686E+16
33	3.679E+00	3.329E+00	5.365E+16
34	3.329E+00	3.166E+00	2.912E+16
35	3.166E+00	3.012E+00	3.052E+16
36	3.012E+00	2.865E+00	3.174E+16
37	2.865E+00	2.725E+00	3.282E+16
38	2.725E+00	2.592E+00	3.375E+16
39	2.592E+00	2.466E+00	3.451E+16
40	2.466E+00	2.385E+00	2.335E+16
41	2.385E+00	2.365E+00	5.908E+15
42	2.365E+00	2.346E+00	5.880E+15
43	2.346E+00	2.307E+00	1.182E+16
44	2.307E+00	2.231E+00	2.374E+16
45	2.231E+00	2.123E+00	3.584E+16
46	2.123E+00	2.019E+00	3.597E+16
47	2.019E+00	1.921E+00	3.596E+16
48	1.921E+00	1.827E+00	3.580E+16
49	1.827E+00	1.738E+00	3.550E+16
50	1.738E+00	1.653E+00	3.506E+16
51	1.653E+00	1.572E+00	3.456E+16
52	1.572E+00	1.496E+00	3.395E+16

Table 4.5 ANISN-JRコード用線源強度(中性子) (2)

群	上限エネルギー (MeV)	下限エネルギー (MeV)	線源強度 (neutrons/sec)
53	1.496E+00	1.423E+00	3.326E+16
54	1.423E+00	1.353E+00	3.241E+16
55	1.353E+00	1.287E+00	3.164E+16
56	1.287E+00	1.225E+00	3.065E+16
57	1.225E+00	1.165E+00	2.978E+16
58	1.165E+00	1.108E+00	2.875E+16
59	1.108E+00	1.003E+00	5.444E+16
60	1.003E+00	9.616E-01	2.149E+16
61	9.616E-01	9.072E-01	2.882E+16
62	9.072E-01	8.629E-01	2.358E+16
63	8.629E-01	8.209E-01	2.255E+16
64	8.209E-01	7.808E-01	2.152E+16
65	7.808E-01	7.427E-01	2.052E+16
66	7.427E-01	7.065E-01	1.953E+16
67	7.065E-01	6.721E-01	1.856E+16
68	6.721E-01	6.393E-01	1.763E+16
69	6.393E-01	6.081E-01	1.672E+16
70	6.081E-01	5.784E-01	1.584E+16
71	5.784E-01	5.502E-01	1.499E+16
72	5.502E-01	5.234E-01	1.417E+16
73	5.234E-01	4.979E-01	1.338E+16
74	4.979E-01	4.505E-01	2.453E+16
75	4.505E-01	4.076E-01	2.177E+16
76	4.076E-01	3.877E-01	9.930E+15
77	3.877E-01	3.688E-01	9.334E+15
78	3.688E-01	3.337E-01	1.700E+16
79	3.337E-01	3.020E-01	1.496E+16
80	3.020E-01	2.987E-01	1.516E+15
81	2.987E-01	2.972E-01	6.936E+14
82	2.972E-01	2.945E-01	1.237E+15
83	2.945E-01	2.873E-01	3.337E+15
84	2.873E-01	2.732E-01	6.358E+15
85	2.732E-01	2.472E-01	1.152E+16
86	2.472E-01	2.352E-01	5.212E+15
87	2.352E-01	2.237E-01	4.872E+15
88	2.237E-01	2.128E-01	4.554E+15
89	2.128E-01	2.024E-01	4.256E+15
90	2.024E-01	1.926E-01	3.973E+15
91	1.926E-01	1.832E-01	3.711E+15
92	1.832E-01	1.742E-01	3.467E+15
93	1.742E-01	1.657E-01	3.229E+15
94	1.657E-01	1.576E-01	3.018E+15
95	1.576E-01	1.500E-01	2.809E+15
96	1.500E-01	1.426E-01	2.624E+15
97	1.426E-01	1.357E-01	2.442E+15
98	1.357E-01	1.291E-01	2.278E+15
99	1.291E-01	1.228E-01	2.124E+15
100	1.228E-01	1.168E-01	1.974E+15
101	1.168E-01	1.111E-01	1.842E+15
102	1.111E-01	9.804E-02	4.066E+15
103	9.804E-02	8.652E-02	3.399E+15
104	8.652E-02	8.250E-02	1.140E+15

Table 4.5 ANISN-JRコード用線源強度(中性子) (3)

群	上限エネルギー (MeV)	下限エネルギー (MeV)	線源強度 (neutrons/sec)
105	8.250E-02	7.950E-02	8.355E+14
106	7.950E-02	7.200E-02	2.027E+15
107	7.200E-02	6.738E-02	1.203E+15
108	6.738E-02	5.656E-02	2.667E+15
109	5.656E-02	5.248E-02	9.502E+14
110	5.248E-02	4.631E-02	1.369E+15
111	4.631E-02	4.087E-02	1.139E+15
112	4.087E-02	3.431E-02	1.280E+15
113	3.431E-02	3.183E-02	4.553E+14
114	3.183E-02	2.850E-02	5.848E+14
115	2.850E-02	2.700E-02	2.532E+14
116	2.700E-02	2.606E-02	1.556E+14
117	2.606E-02	2.479E-02	2.055E+14
118	2.479E-02	2.418E-02	9.726E+13
119	2.418E-02	2.358E-02	9.373E+13
120	2.358E-02	2.188E-02	2.612E+14
121	2.188E-02	1.931E-02	3.755E+14
122	1.931E-02	1.503E-02	5.708E+14
123	1.503E-02	1.171E-02	3.931E+14
124	1.171E-02	9.119E-03	2.708E+14
125	9.119E-03	7.102E-03	1.864E+14
126	7.102E-03	5.531E-03	1.282E+14
127	5.531E-03	4.307E-03	8.822E+13
128	4.307E-03	3.707E-03	3.909E+13
129	3.707E-03	3.355E-03	2.159E+13
130	3.355E-03	3.035E-03	1.858E+13
131	3.035E-03	2.747E-03	1.600E+13
132	2.747E-03	2.613E-03	7.141E+12
133	2.613E-03	2.485E-03	6.627E+12
134	2.485E-03	2.249E-03	1.186E+13
135	2.249E-03	2.035E-03	1.021E+13
136	2.035E-03	1.585E-03	1.973E+13
137	1.585E-03	1.234E-03	1.356E+13
138	1.234E-03	9.611E-04	9.322E+12
139	9.611E-04	7.485E-04	6.408E+12
140	7.485E-04	5.830E-04	4.404E+12
141	5.830E-04	4.540E-04	3.027E+12
142	4.540E-04	3.536E-04	2.081E+12
143	3.536E-04	2.754E-04	1.430E+12
144	2.754E-04	2.145E-04	9.830E+11
145	2.145E-04	1.670E-04	6.756E+11
146	1.670E-04	1.301E-04	4.645E+11
147	1.301E-04	1.013E-04	3.191E+11
148	1.013E-04	7.889E-05	2.194E+11
149	7.889E-05	6.144E-05	1.508E+11
150	6.144E-05	4.785E-05	1.036E+11
151	4.785E-05	3.727E-05	7.122E+10
152	3.727E-05	2.902E-05	4.895E+10
153	2.902E-05	2.260E-05	3.364E+10
154	2.260E-05	1.760E-05	2.312E+10
155	1.760E-05	1.371E-05	1.589E+10
156	1.371E-05	1.068E-05	1.092E+10

Table 4.5 ANISN-JRコード用線源強度(中性子) (4)

群	上限エネルギー (MeV)	下限エネルギー (MeV)	線源強度 (neutrons/sec)
157	1.068E-05	8.315E-06	7.507E+09
158	8.315E-06	6.476E-06	5.159E+09
159	6.476E-06	5.044E-06	3.546E+09
160	5.044E-06	3.928E-06	2.437E+09
161	3.928E-06	3.059E-06	1.675E+09
162	3.059E-06	2.382E-06	1.151E+09
163	2.382E-06	1.855E-06	7.912E+08
164	1.855E-06	1.445E-06	5.438E+08
165	1.445E-06	1.125E-06	3.737E+08
166	1.125E-06	8.764E-07	2.569E+08
167	8.764E-07	6.826E-07	1.765E+08
168	6.826E-07	5.316E-07	1.213E+08
169	5.316E-07	4.140E-07	8.338E+07
170	4.140E-07	1.000E-07	1.615E+08
171	1.000E-07	1.000E-09	2.174E+07

Table 4.6 ANISN-JRコード用線源強度(ガンマ線)

群	上限エネルギー (MeV)	下限エネルギー (MeV)	線源強度 (photons/sec)
1	1.400E+01	1.200E+01	1.314E+13
2	1.200E+01	1.000E+01	1.173E+14
3	1.000E+01	8.000E+00	1.046E+15
4	8.000E+00	7.500E+00	8.583E+14
5	7.500E+00	7.000E+00	1.484E+15
6	7.000E+00	6.500E+00	2.564E+15
7	6.500E+00	6.000E+00	4.432E+15
8	6.000E+00	5.500E+00	7.660E+15
9	5.500E+00	5.000E+00	1.324E+16
10	5.000E+00	4.500E+00	2.288E+16
11	4.500E+00	4.000E+00	3.955E+16
12	4.000E+00	3.500E+00	6.837E+16
13	3.500E+00	3.000E+00	1.182E+17
14	3.000E+00	2.500E+00	2.042E+17
15	2.500E+00	2.000E+00	3.530E+17
16	2.000E+00	1.660E+00	3.776E+17
17	1.660E+00	1.500E+00	2.326E+17
18	1.500E+00	1.330E+00	3.057E+17
19	1.330E+00	1.000E+00	8.698E+17
20	1.000E+00	8.000E-01	7.844E+17
21	8.000E-01	7.000E-01	4.931E+17
22	7.000E-01	6.000E-01	5.764E+17
23	6.000E-01	5.120E-01	5.378E+17
24	5.120E-01	5.100E-01	1.243E+16
25	5.100E-01	4.500E-01	3.772E+17
26	4.500E-01	4.000E-01	3.212E+17
27	4.000E-01	3.000E-01	6.625E+17
28	3.000E-01	2.000E-01	6.919E+17
29	2.000E-01	1.500E-01	3.580E+17
30	1.500E-01	1.000E-01	3.667E+17
31	1.000E-01	7.500E-02	8.447E+16
32	7.500E-02	6.000E-02	5.181E+16
33	6.000E-02	4.500E-02	5.267E+16
34	4.500E-02	3.000E-02	5.355E+16
35	3.000E-02	2.000E-02	3.619E+16
36	2.000E-02	1.000E-02	3.659E+16

Table 4.7 DOT 3.5コード計算の線源強度及び線量率換算係数

(a) 中性子

群	上限エネルギー(eV)	線源強度(n/cm ² /sec)	線量当量率換算係数 ((Sv/h)/(n/cm ² /sec))	DOTコード計算に 対する群設定	3群にする 際の群構造
1	1.733E+07	1.635E+16	1.564E-06	1~21	Fast
2	7.047E+06	5.340E+17	1.385E-06	22~46	
3	2.123E+06	7.145E+17	1.214E-06	47~71	
4	5.784E+05	2.286E+17	5.652E-07	72~107	Res.
5	7.200E+04	1.277E+16	6.649E-08	108~129	
6	3.707E+03	1.549E+14	2.454E-08	130~151	
7	4.785E+01	2.275E+11	3.506E-08	152~169	
8	4.140E-01	1.809E+08	3.284E-08	170~171	Therm.

下限値:1.0E-05

(b) ガンマ線

群	上限エネルギー(MeV)	線源強度 (photons/cm ² /sec)	線量当量率換算係数 ((Sv/h)/(photons/cm ² /sec))	DOTコード計算に 対する群設定
1	14.00	2.035E+15	7.724E-08	1~4
2	7.50	2.783E+17	5.294E-08	5~13
3	3.00	1.473E+18	3.068E-08	14~18
4	1.33	2.724E+18	1.706E-08	19~22
5	0.60	5.502E+17	1.146E-08	23~24
6	0.51	2.778E+18	4.732E-09	25~30
7	0.10	6.836E+17	2.024E-09	31~36

下限値:0.01

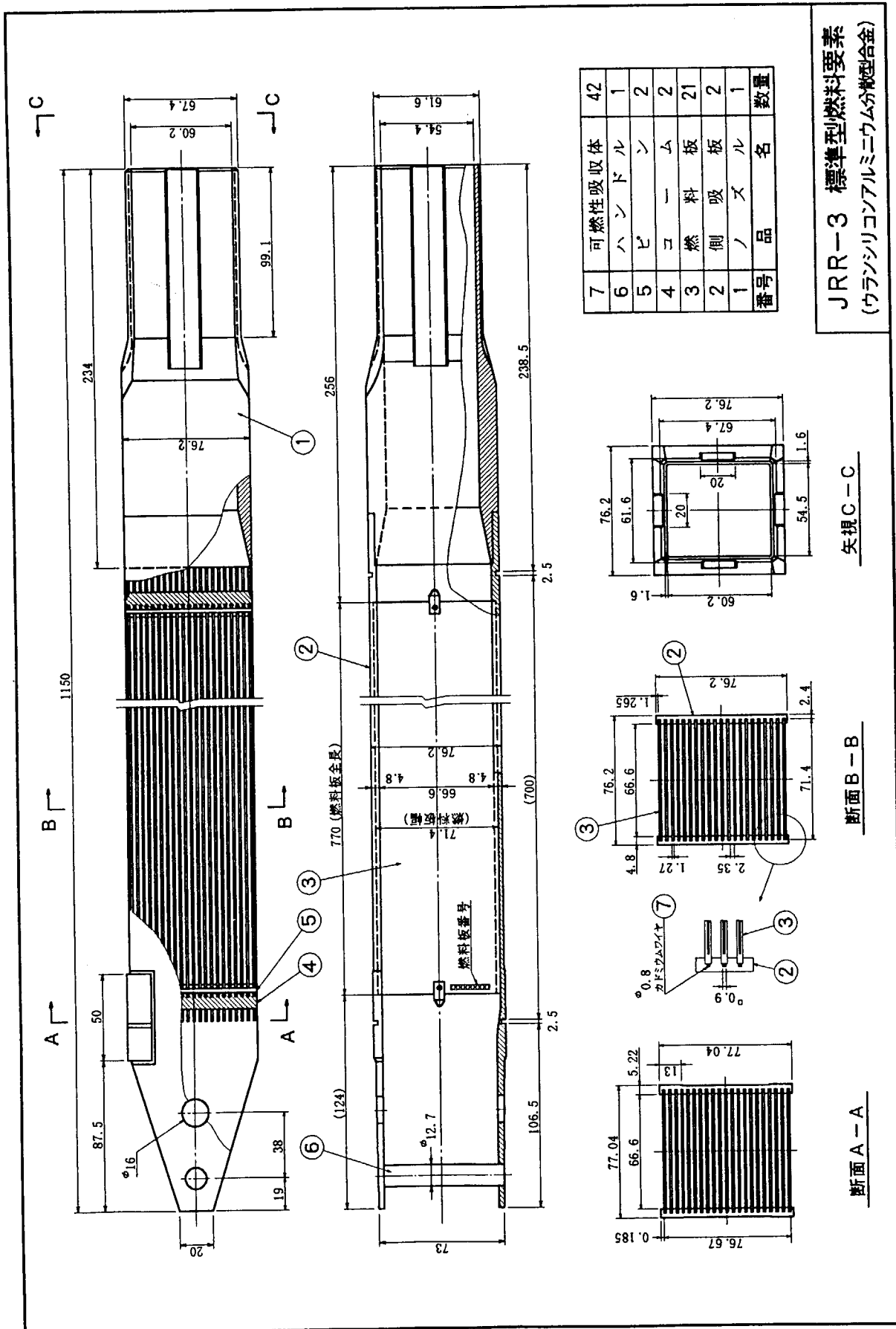


Fig.1.1 JRR-3 シリサイド燃料の標準型燃料要素

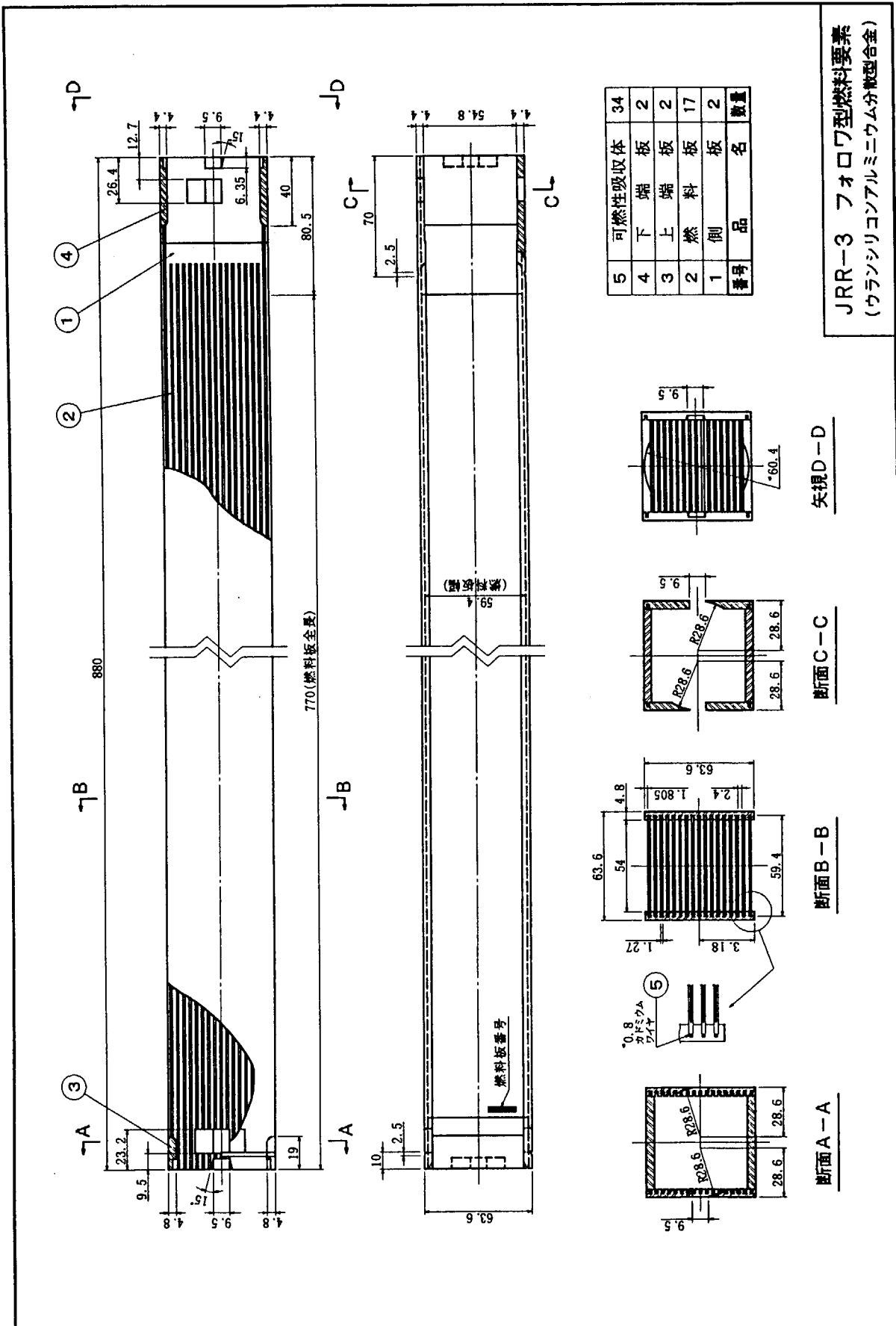


Fig.1.2 JRR-3 シリサイド燃料のフォロワ型燃料要素

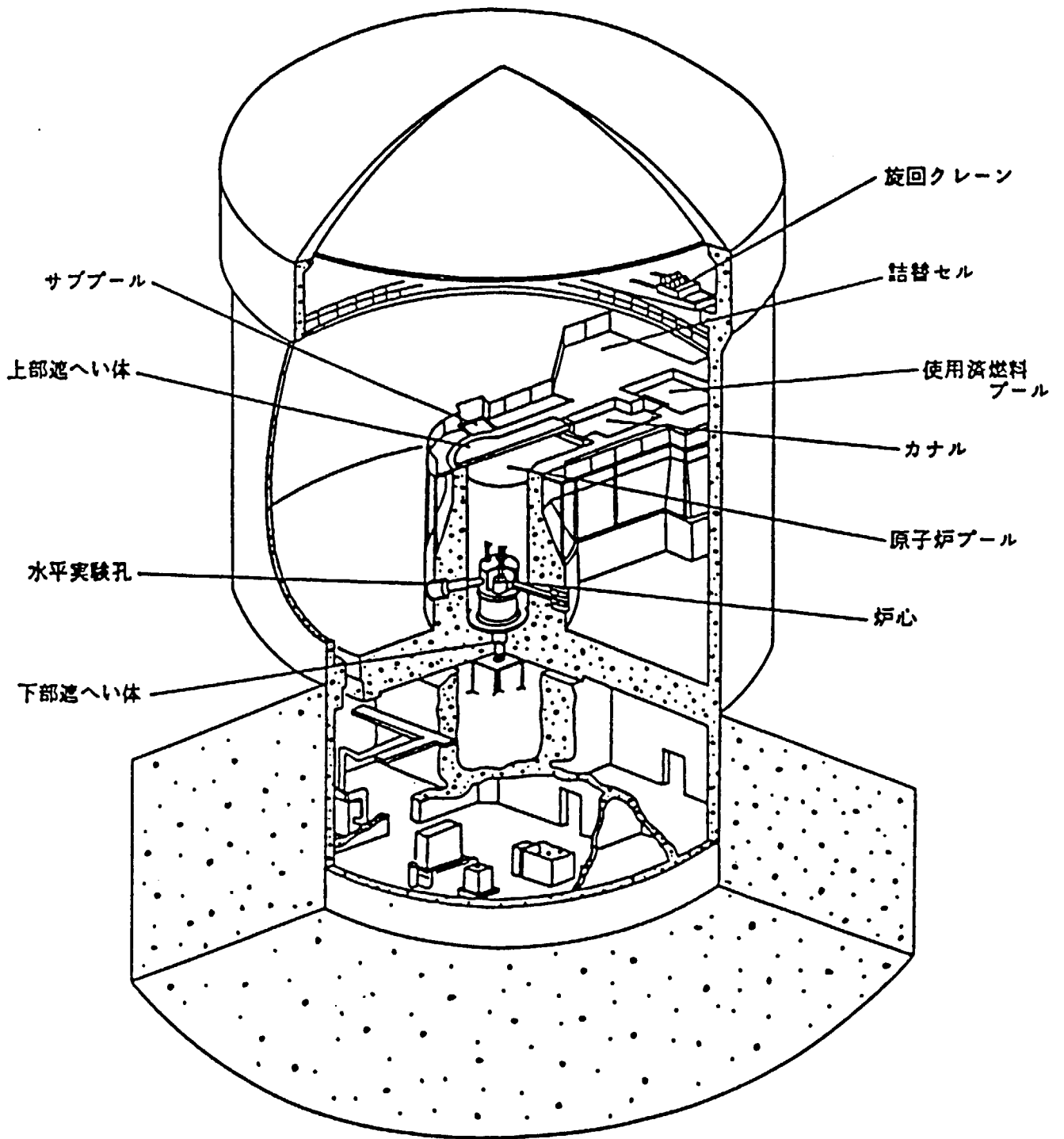


Fig.2.1 JRR-3 原子炉建家概略図

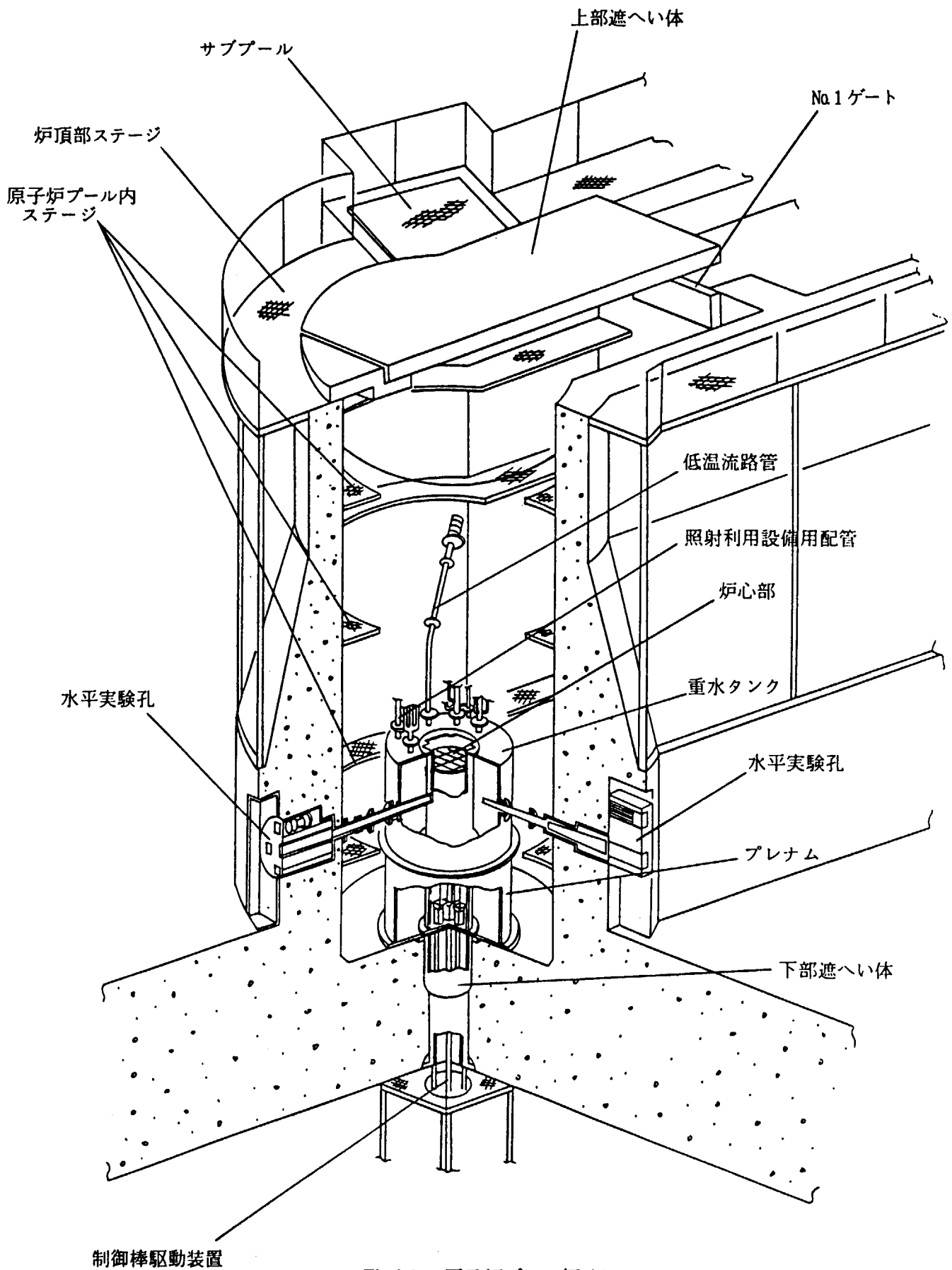


Fig.2.2 原子炉プール概略図

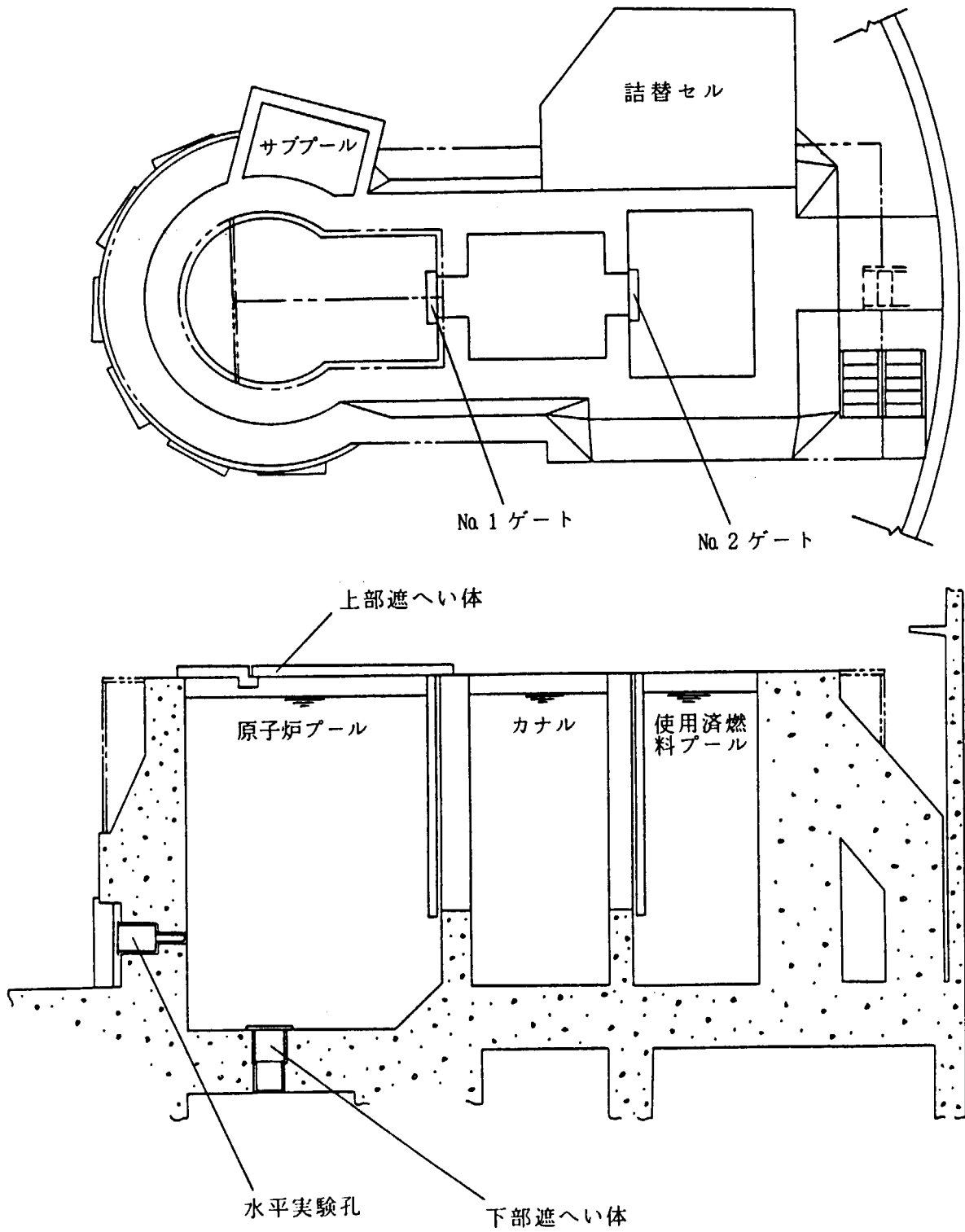


Fig 2.3 原子炉プール構造図

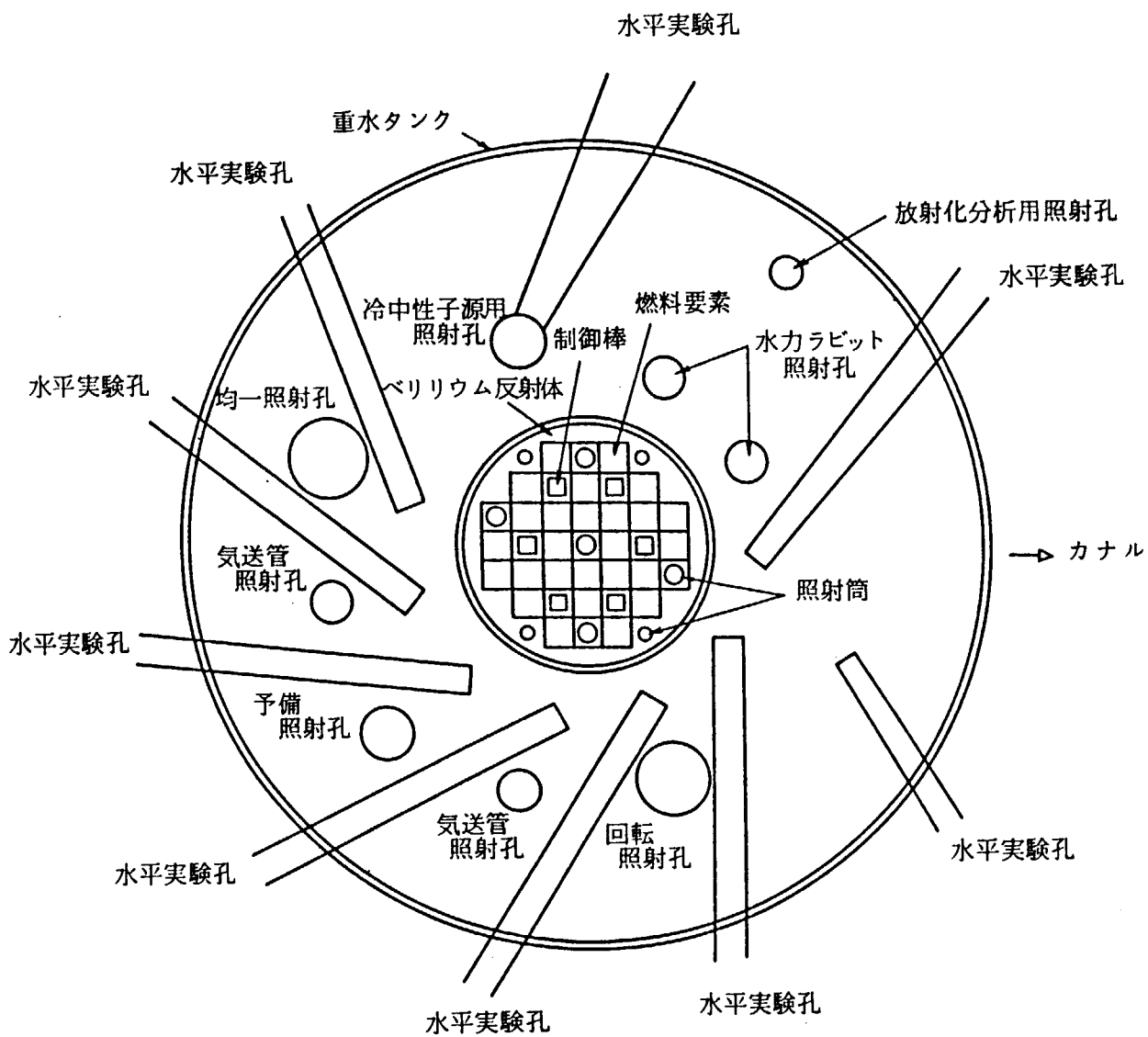


Fig 2.4 炉心断面図

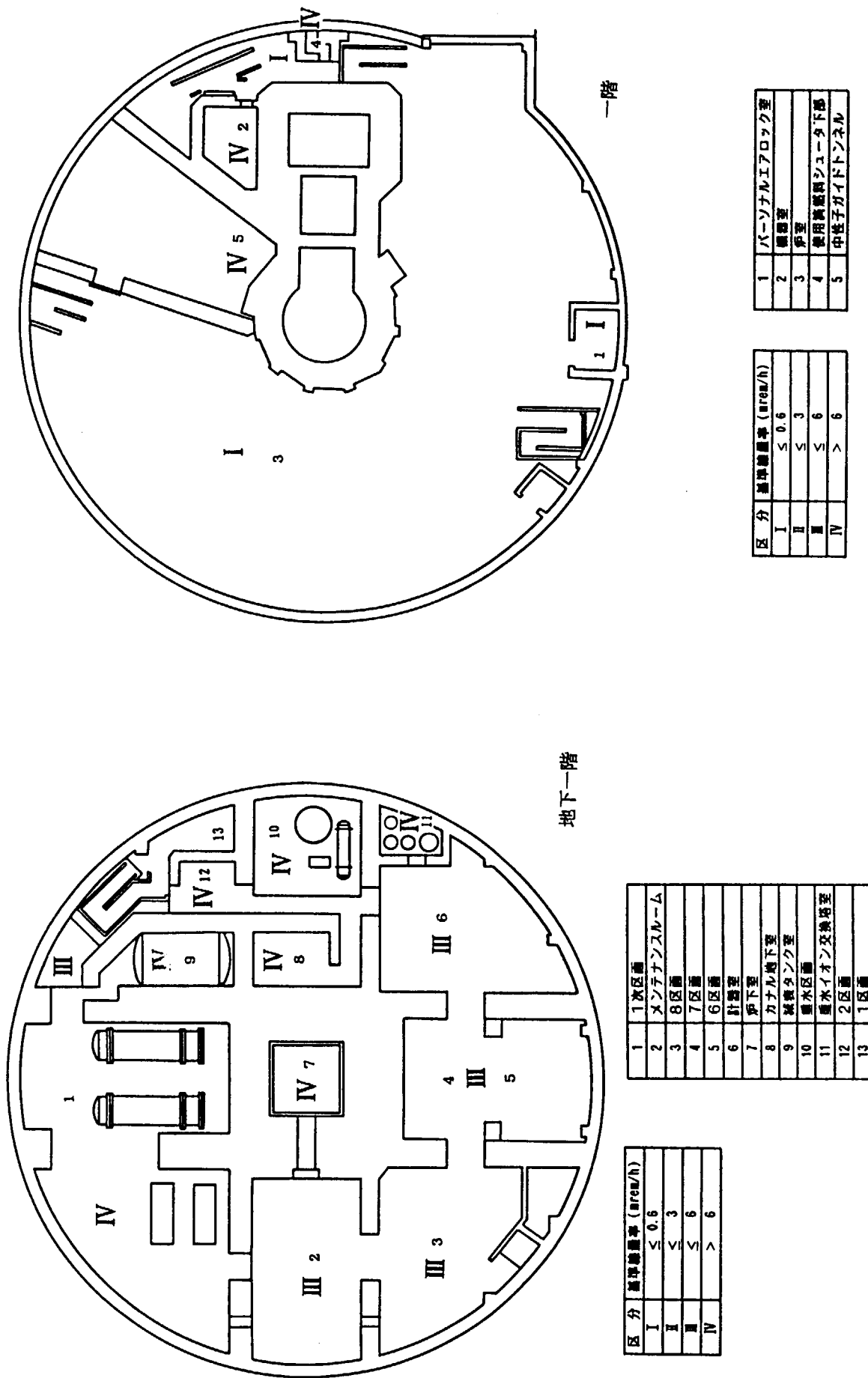
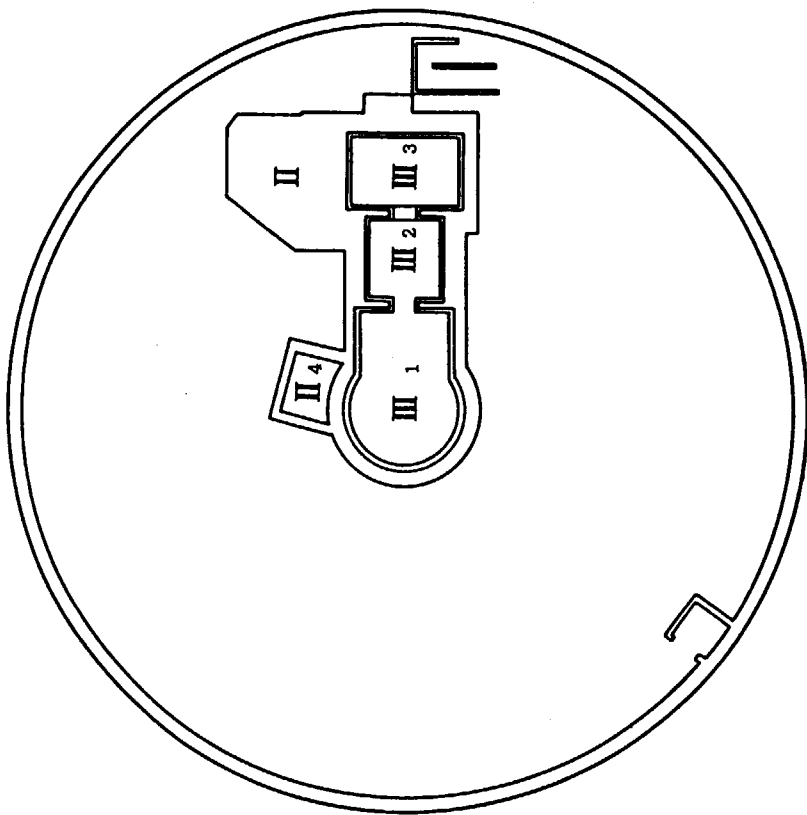


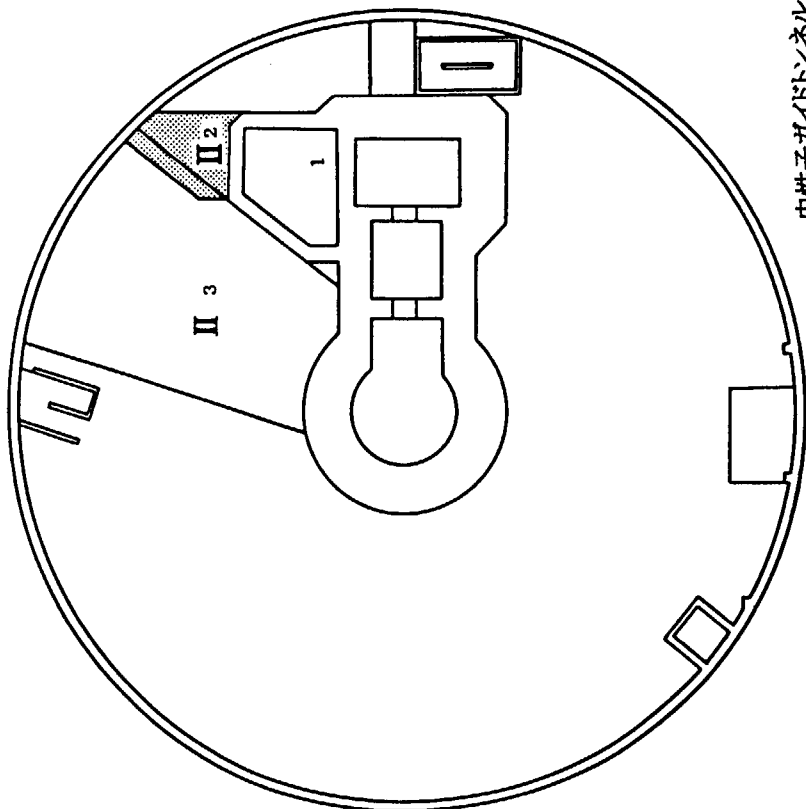
Fig.3.1 原子炉建家内の基準線量率区分 (1)



原子炉プール上面

1	原子炉プール
2	カナル
3	使用済燃料プール
4	サブプール

区分	基準線量率 (nrem/h)
I	≤ 0.6
II	≤ 3
III	≤ 6
IV	> 6



中性子ガイドトンネル上面

1	炉室給排セル
2	炉室給排セル用ステージ
3	中性子ガイドトンネル上面

区分	基準線量率 (nrem/h)
I	≤ 0.6
II	≤ 3
III	≤ 6
IV	> 6

Fig.3.1 原子炉建家内の基準線量率区分 (2)

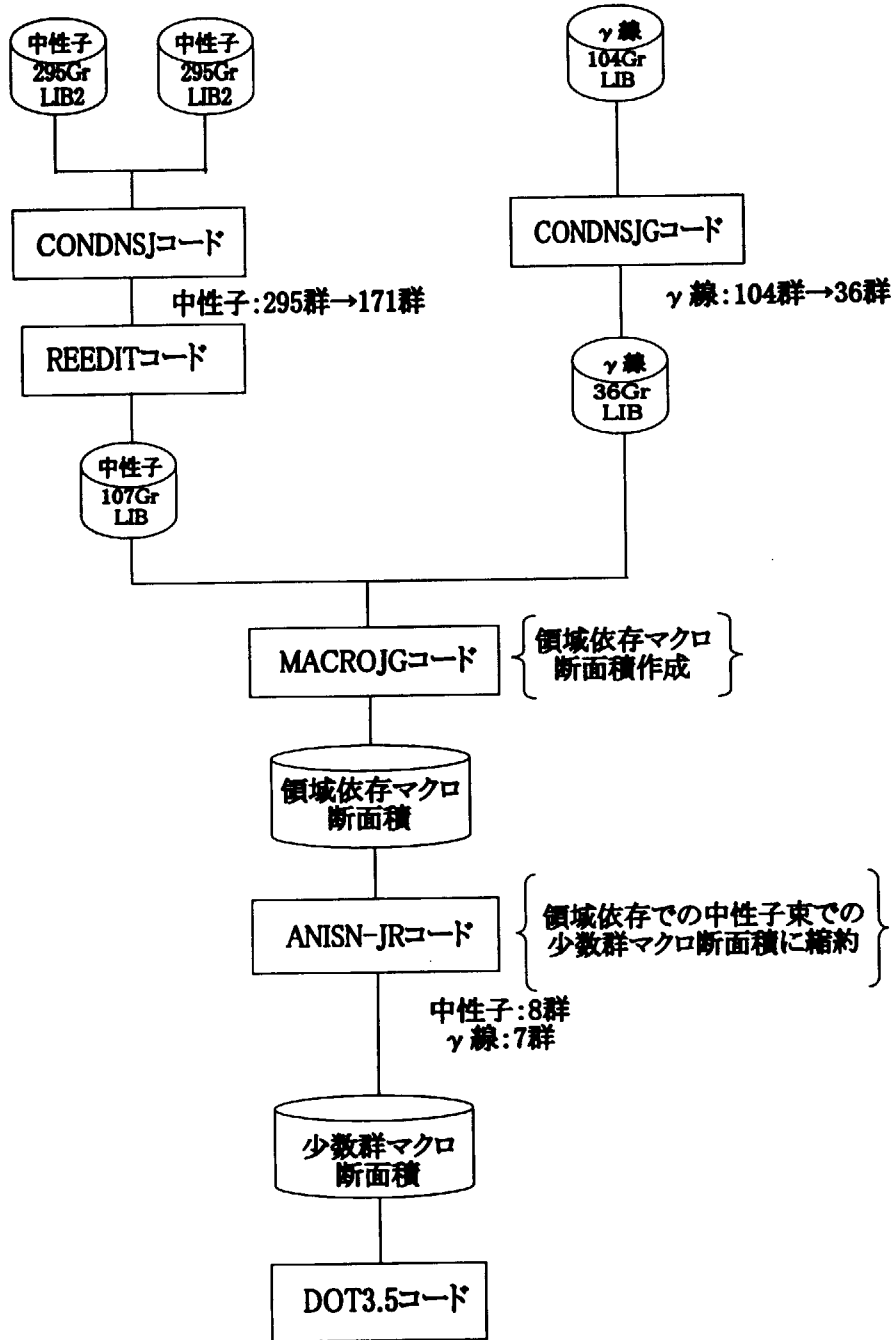


Fig.4.1 計算のフロー

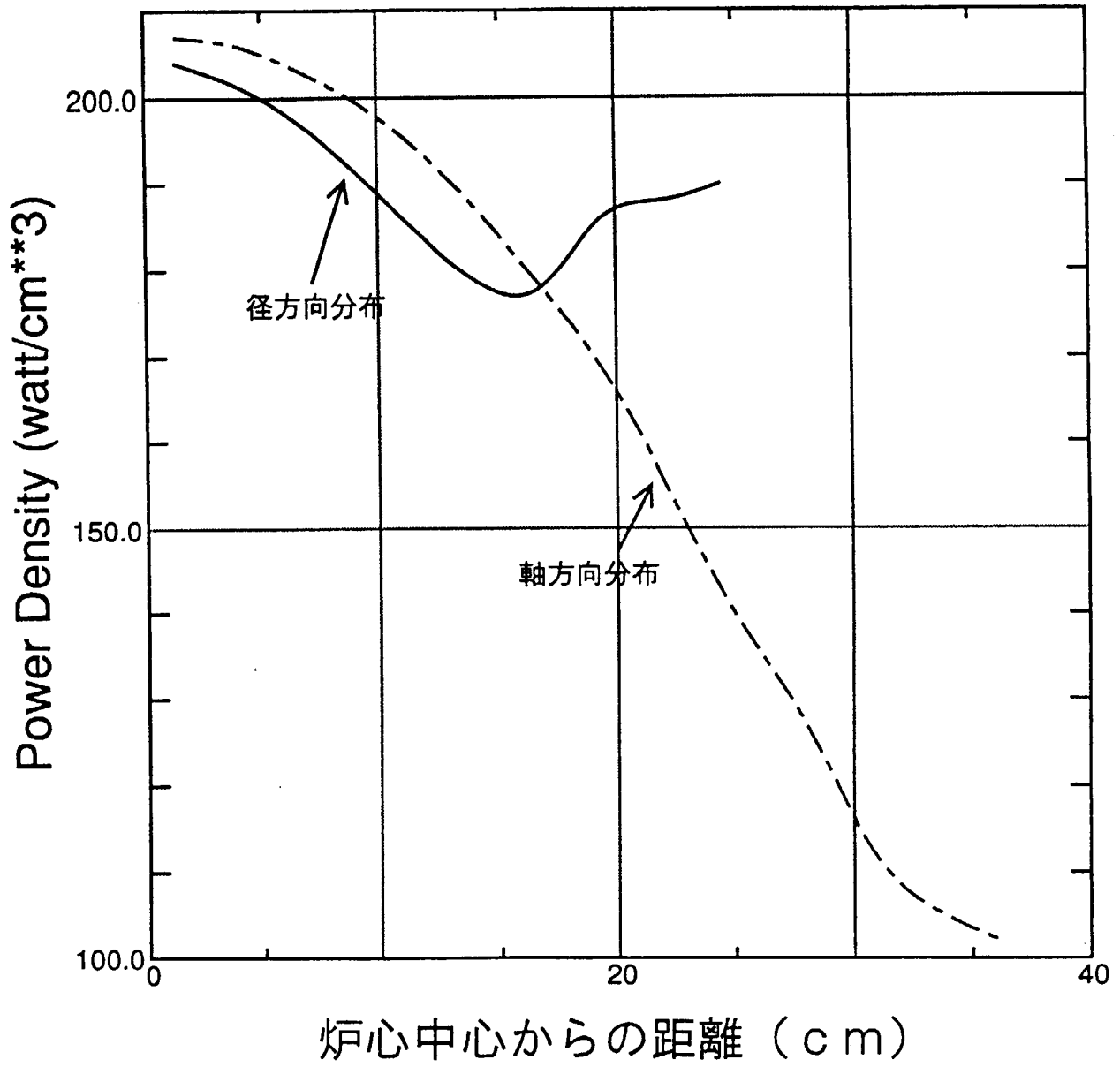


Fig.4.2 径方向及び軸方向の出力分布

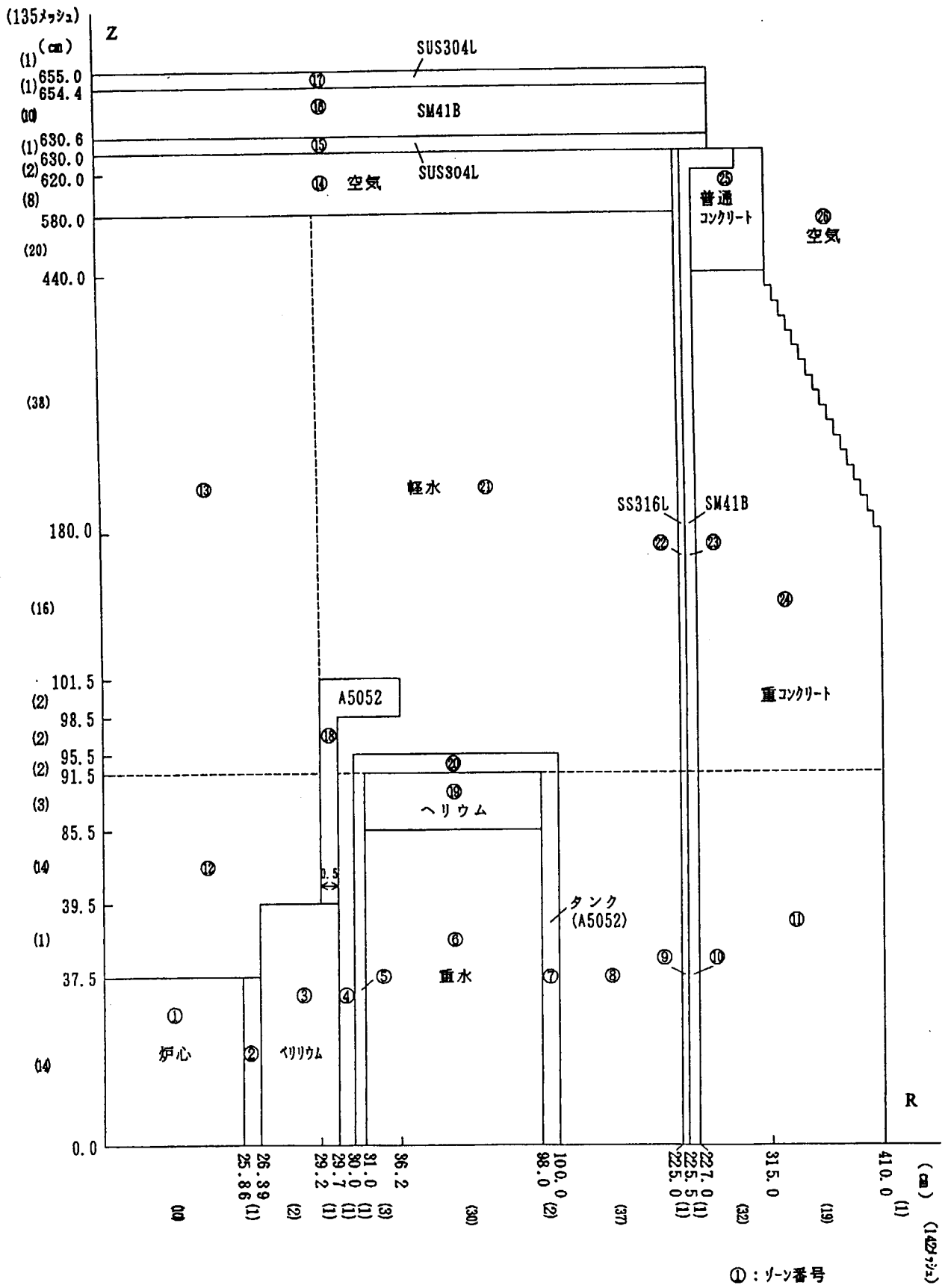


Fig.4.3 二次元計算モデル

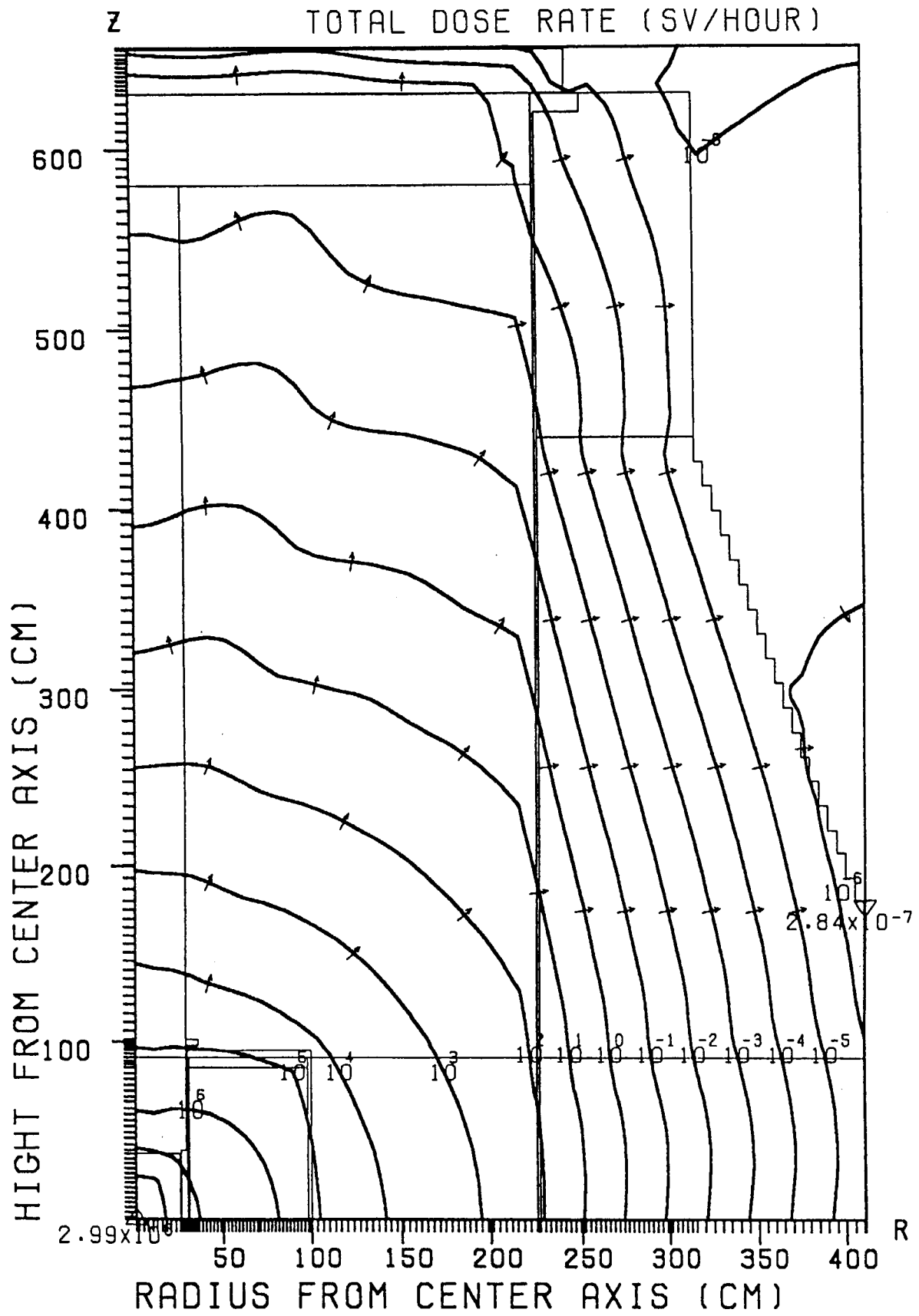


Fig.4.4 全線量当量率等高線分布

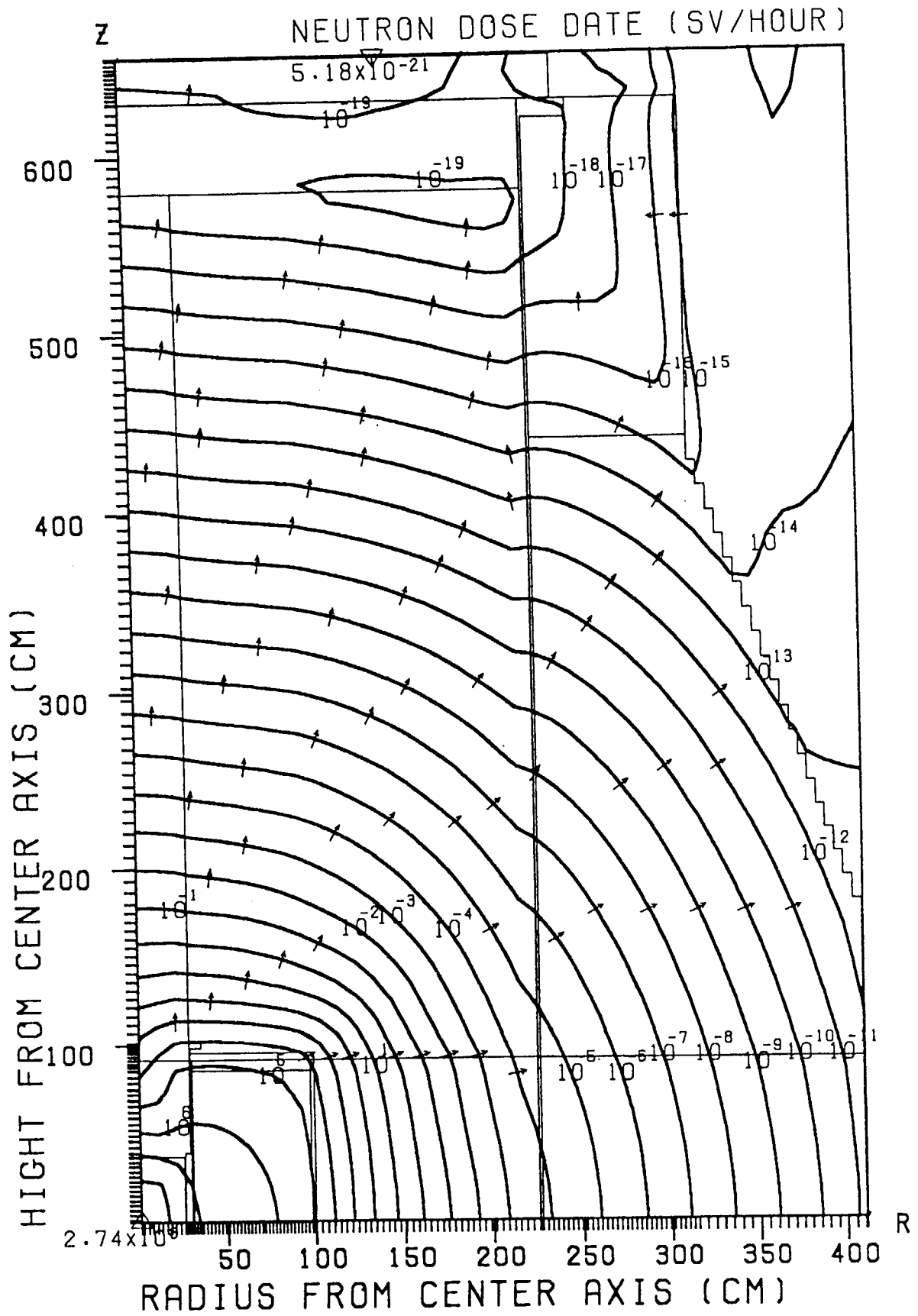


Fig.4.5 中性子線量当量率等高線分布

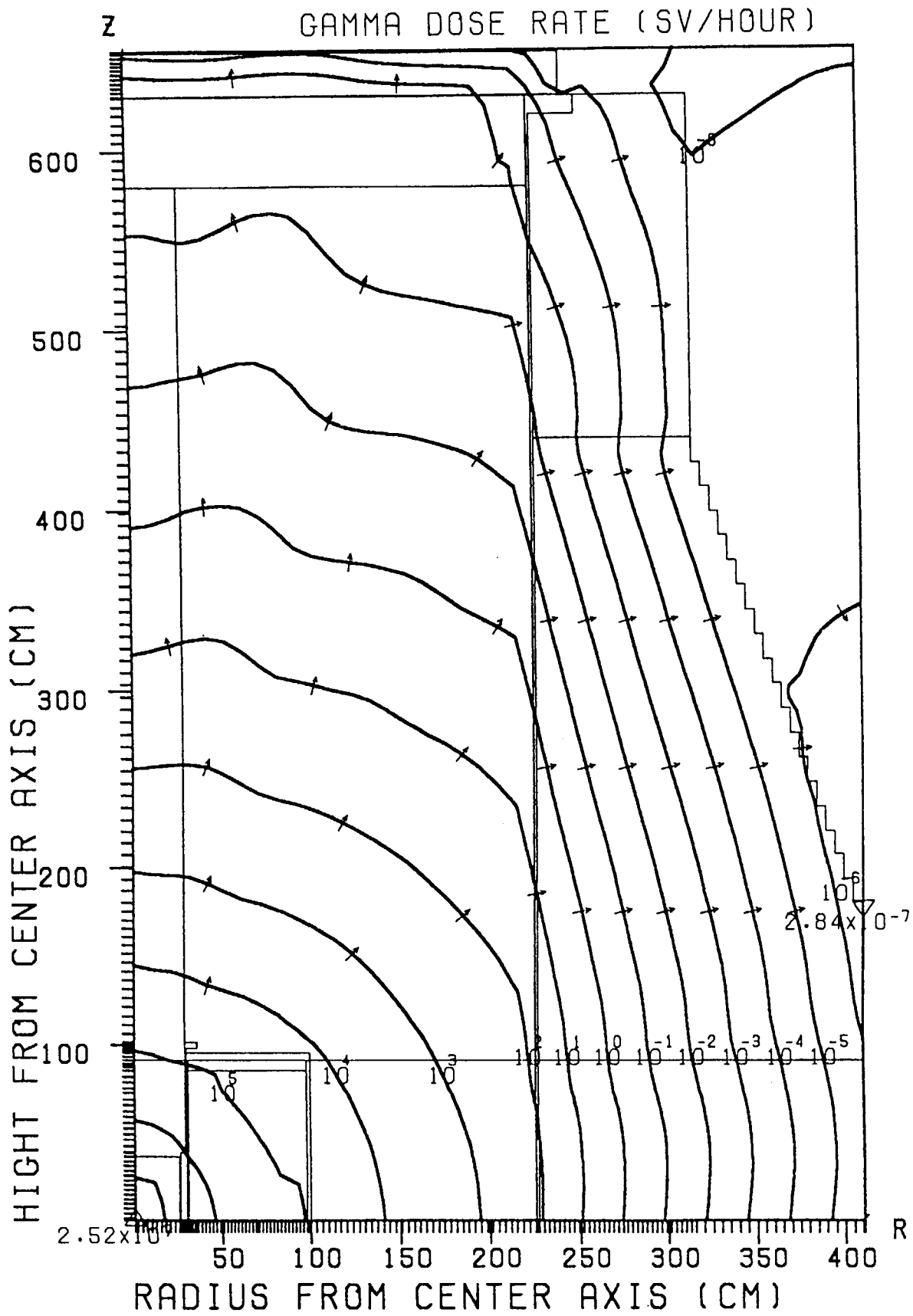


Fig.4.6 ガンマ線量当量率等高線分布

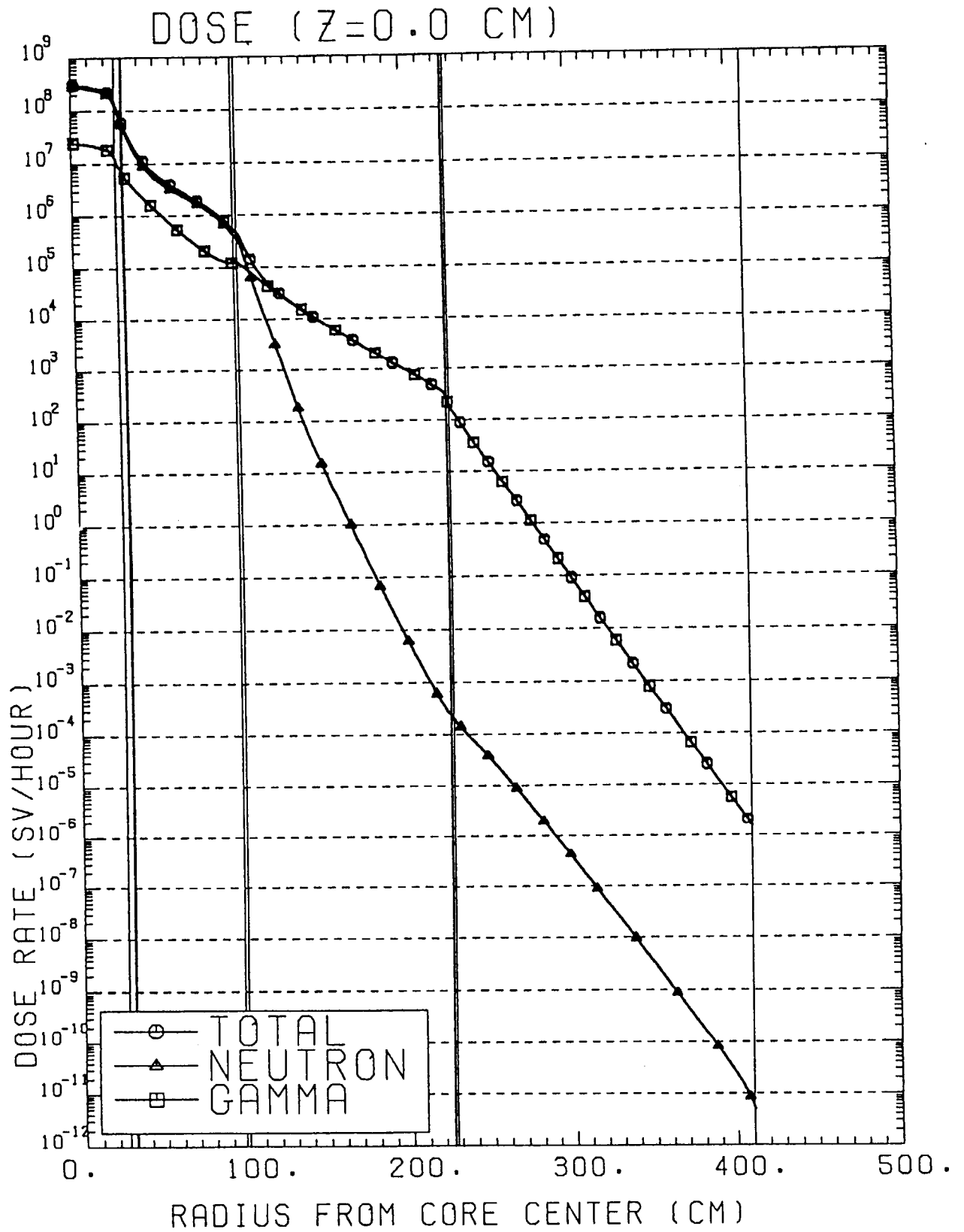


Fig.4.7 線量当量率径方向分布(炉心中心線上)

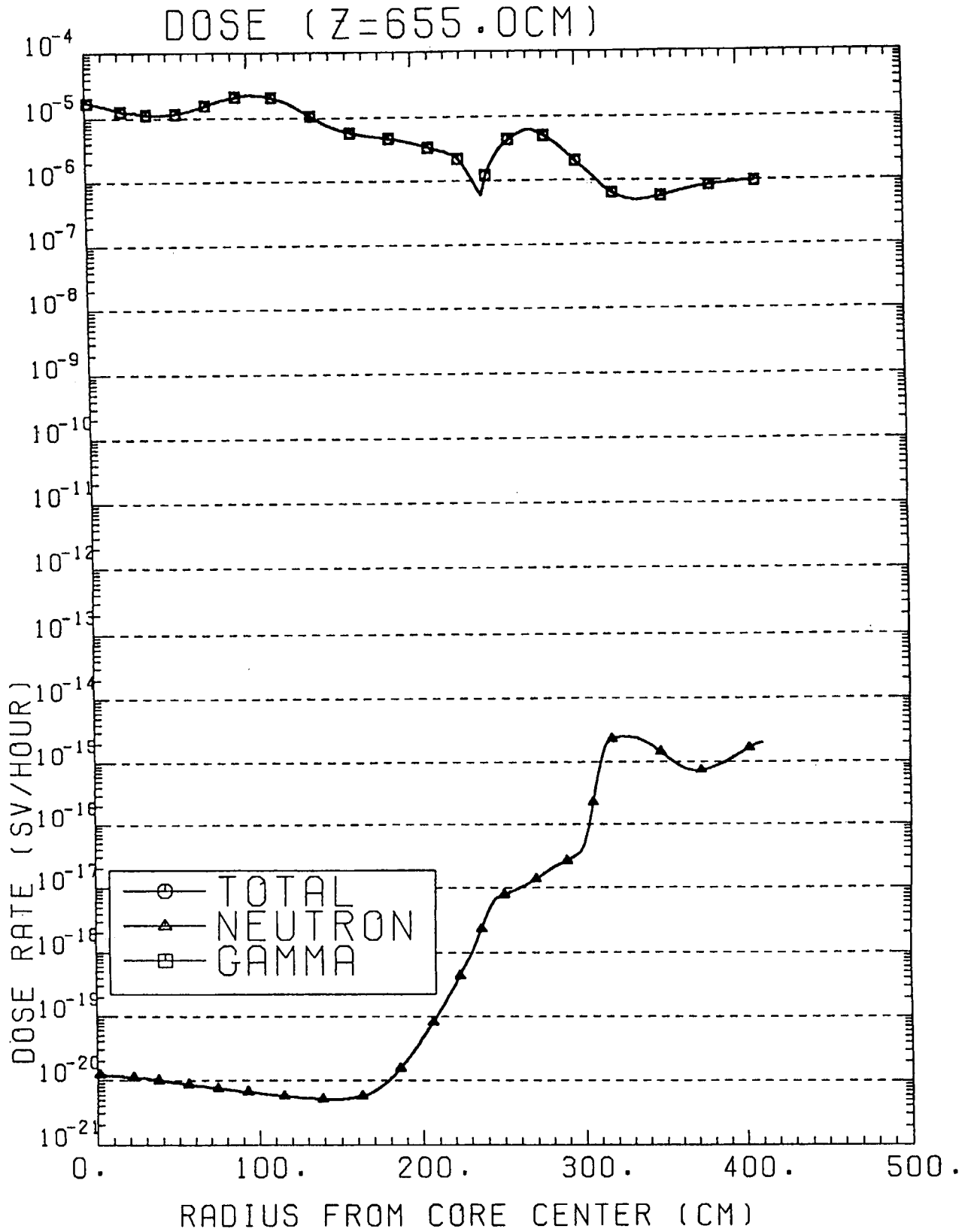


Fig.4.8 線量当量率径方向分布(天井面)

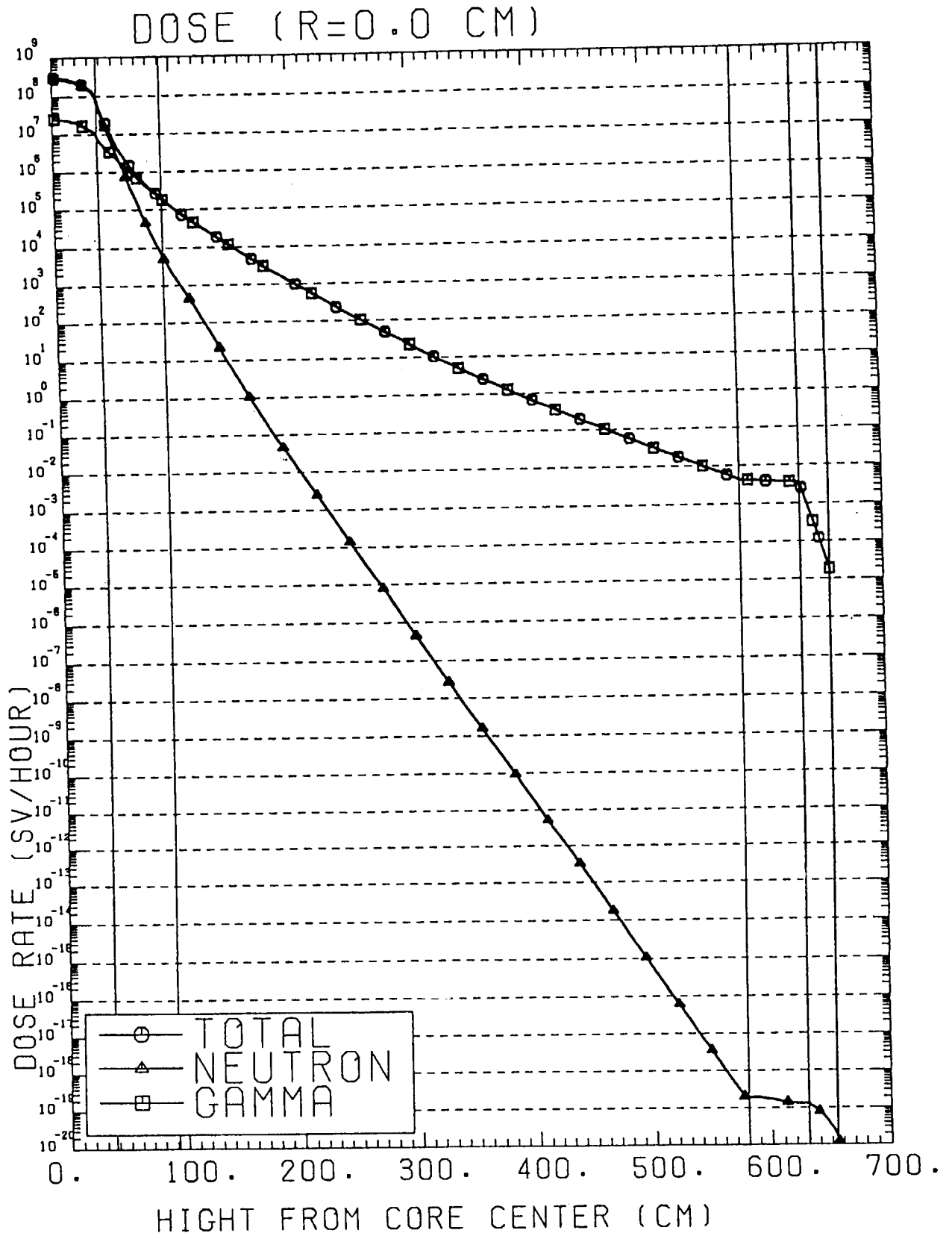


Fig.4.9 線量当量率軸方向分布(炉心中心線上)

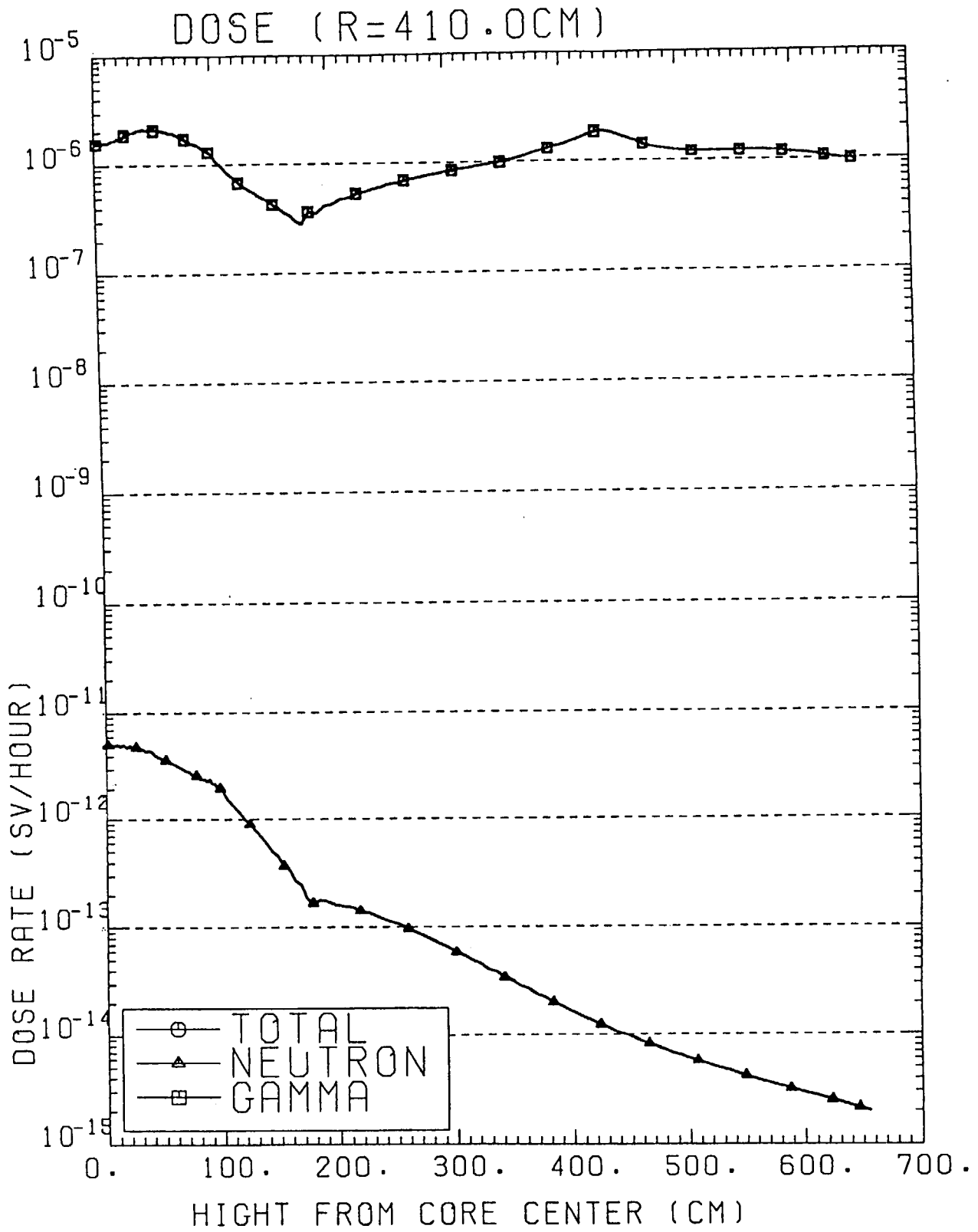


Fig.4.10 線量当量率軸方向分布(側面)

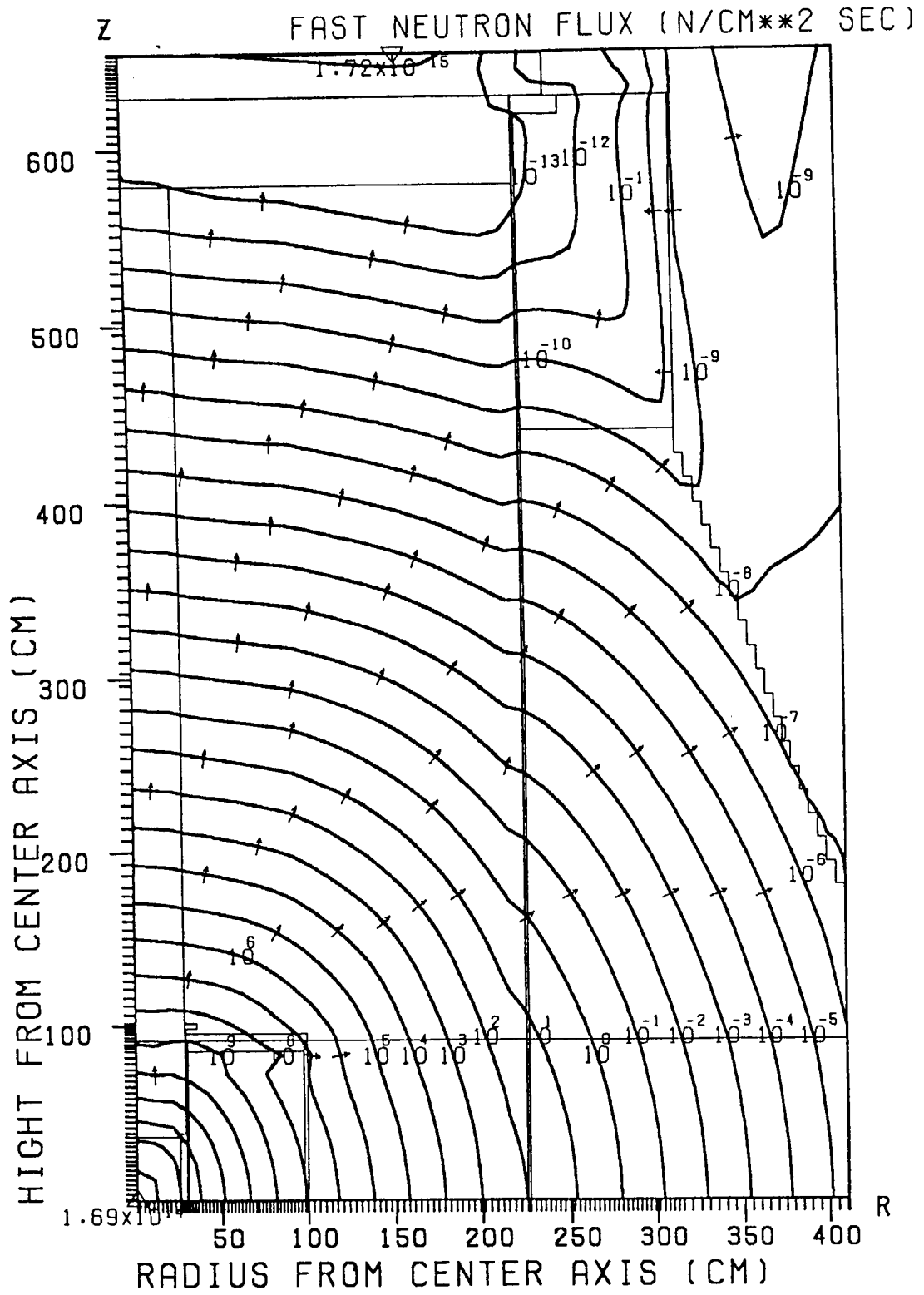


Fig.4.11 高速中性子束等高線分布

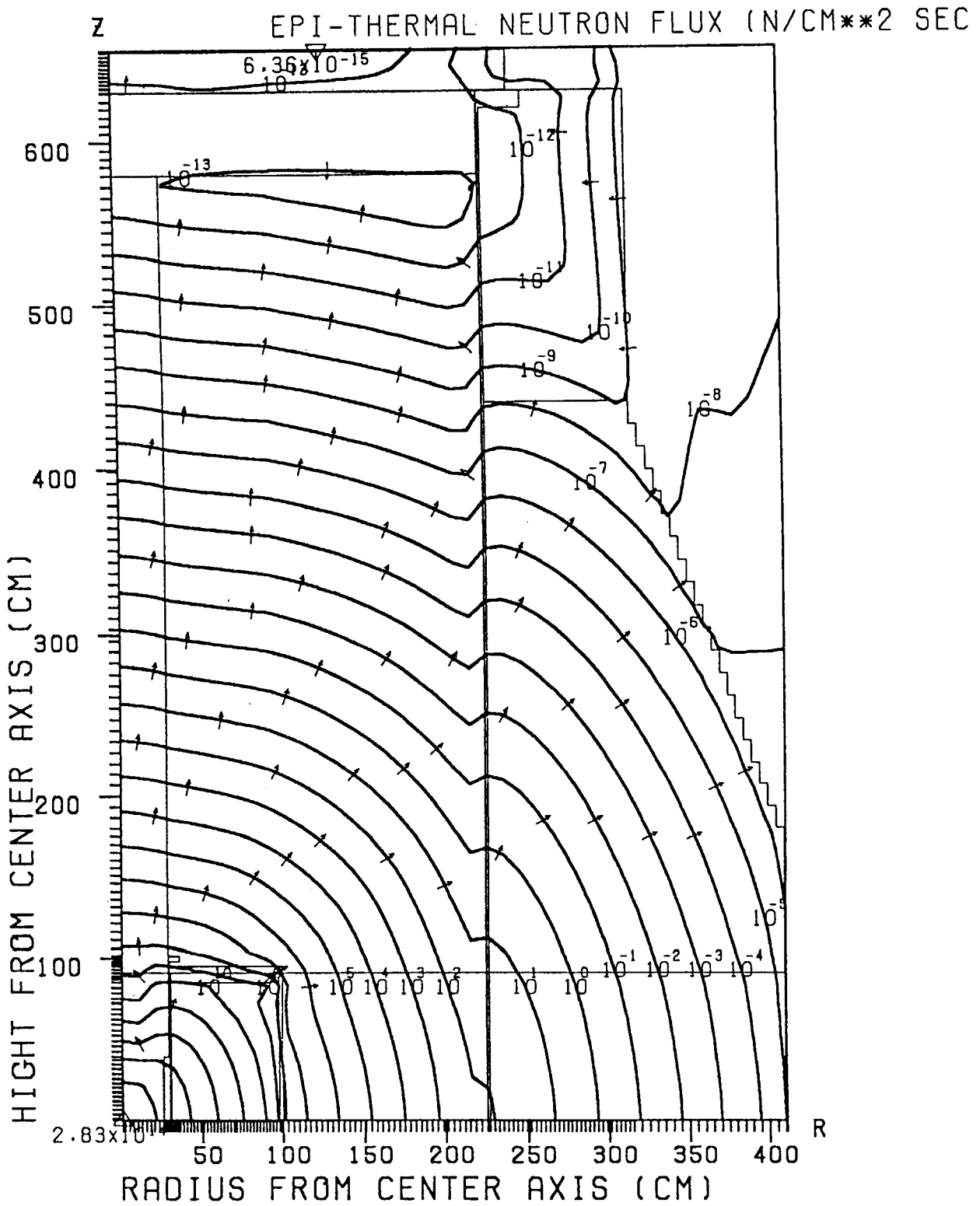


Fig.4.12 熱外中性子束等高線分布

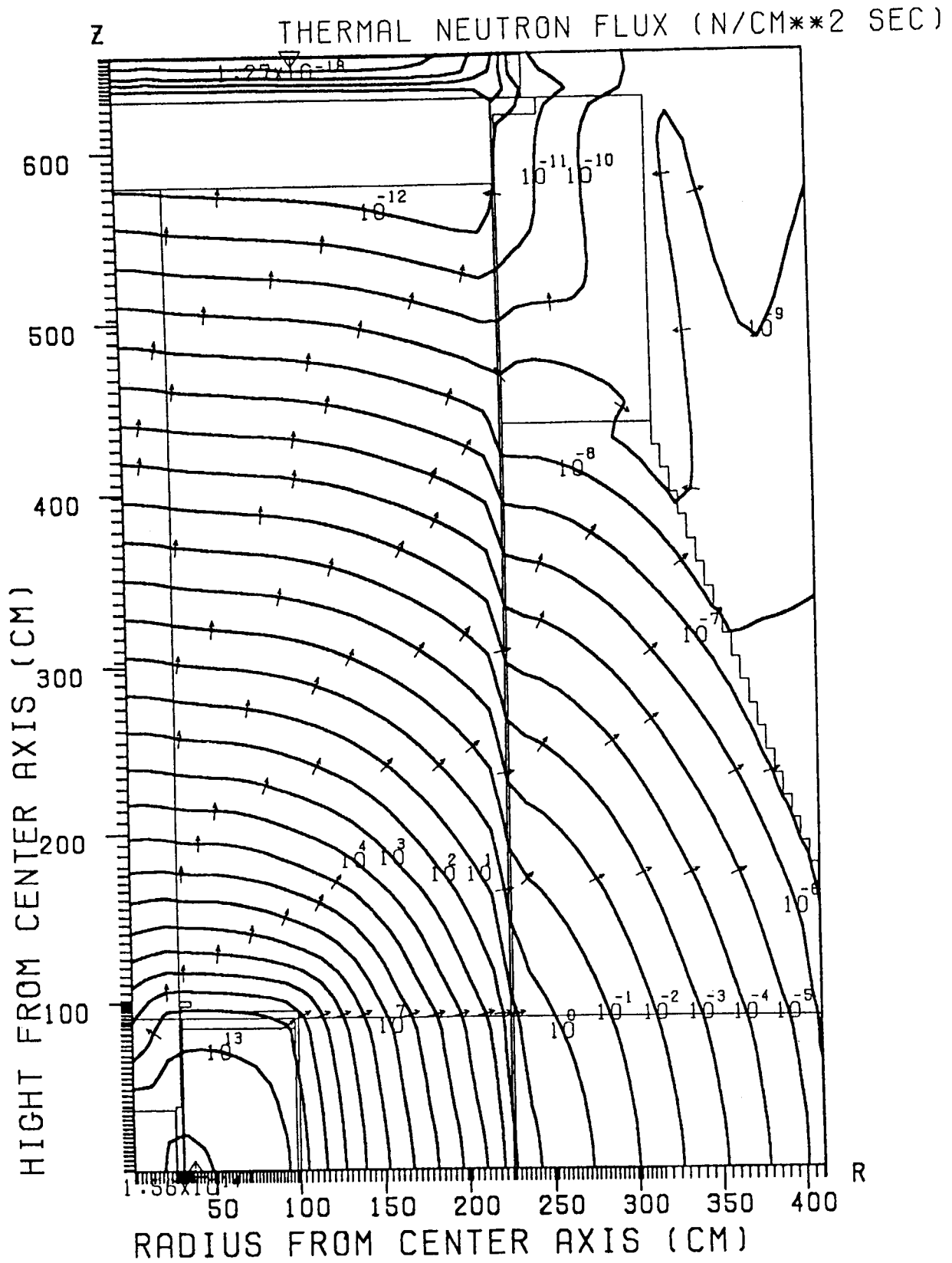


Fig.4.13 熱中性子束等高線分布

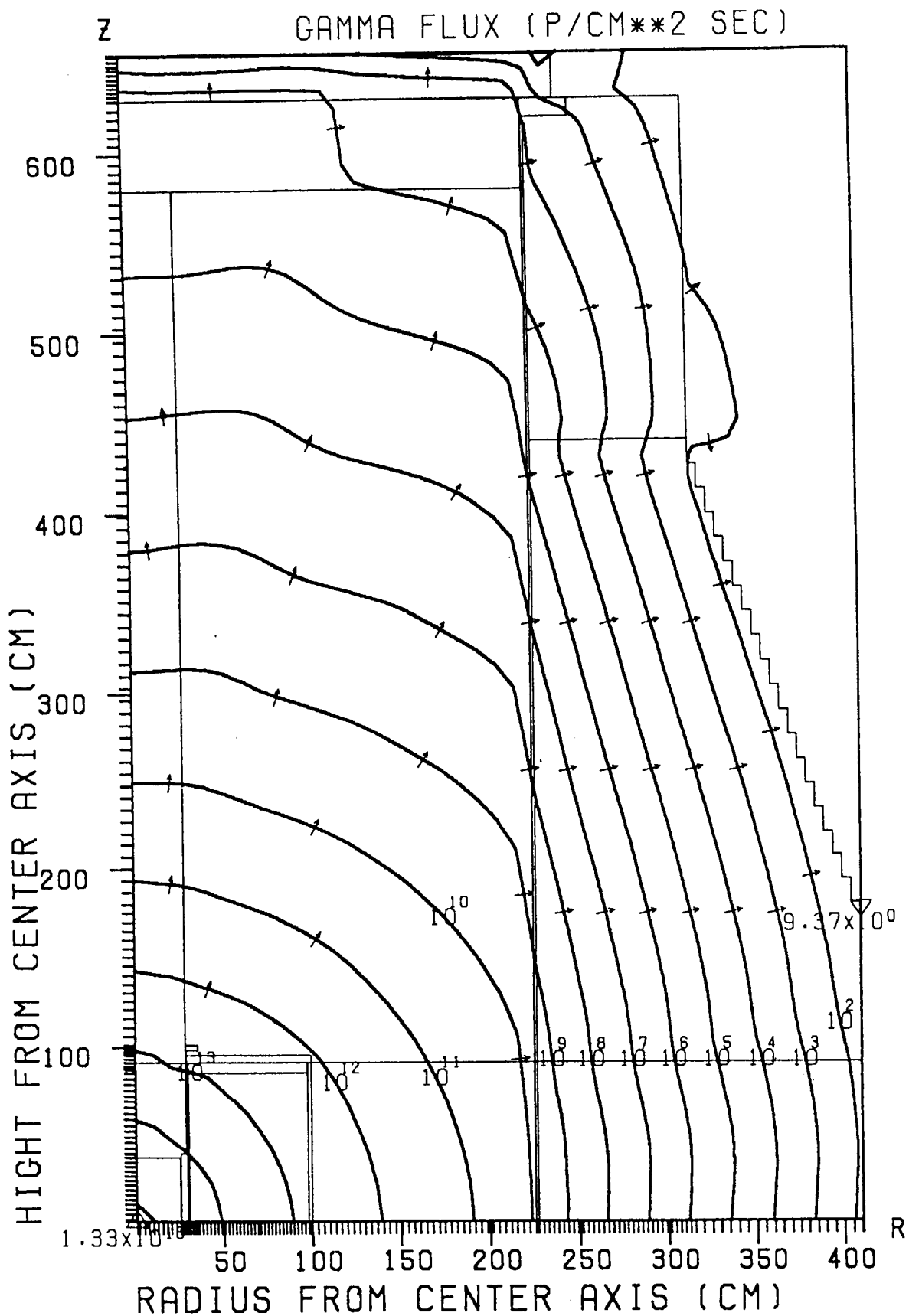


Fig.4.14 ガンマ線束等高線分布

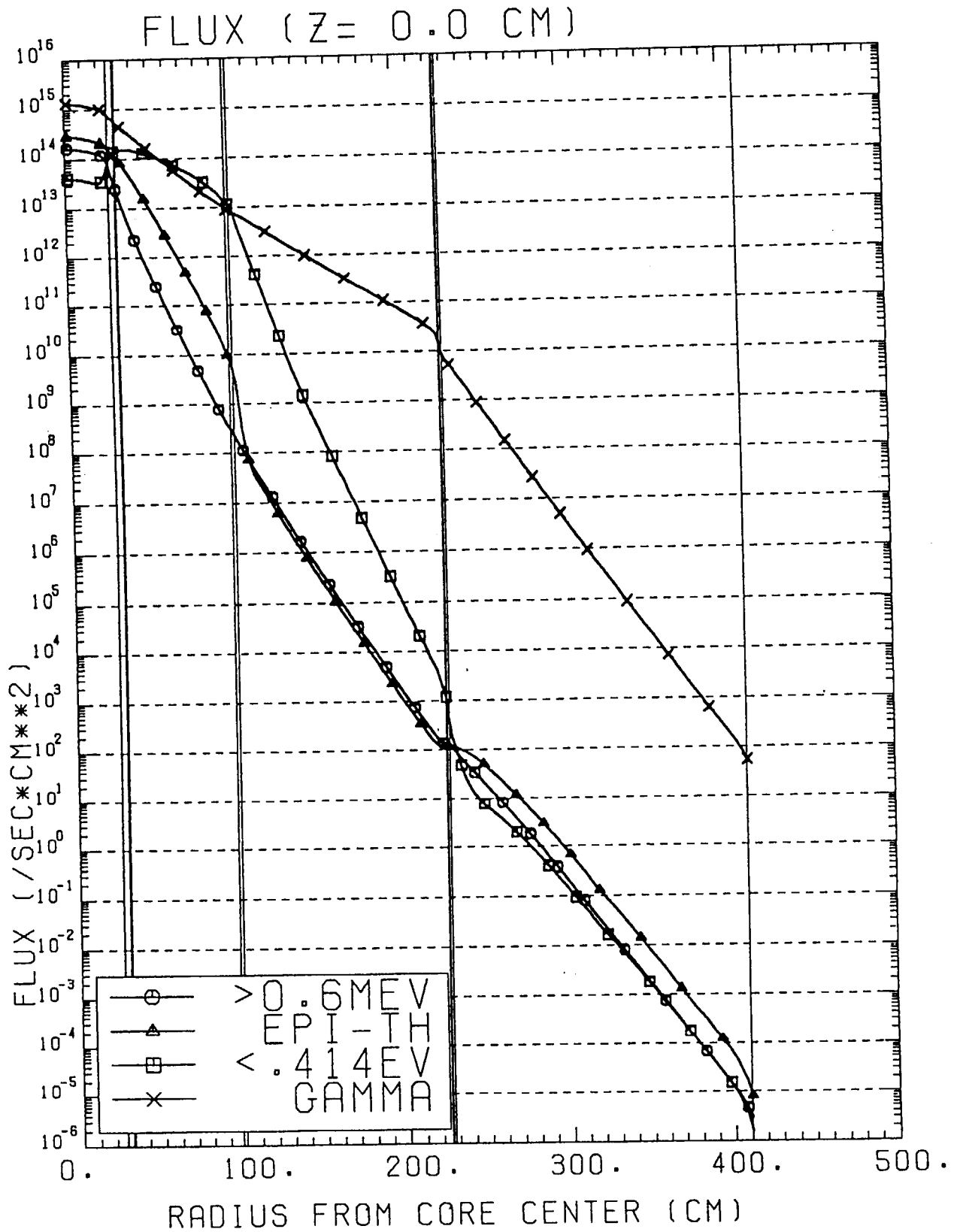


Fig.4.15 中性子、ガンマ線束径方向分布(炉心中心線上)

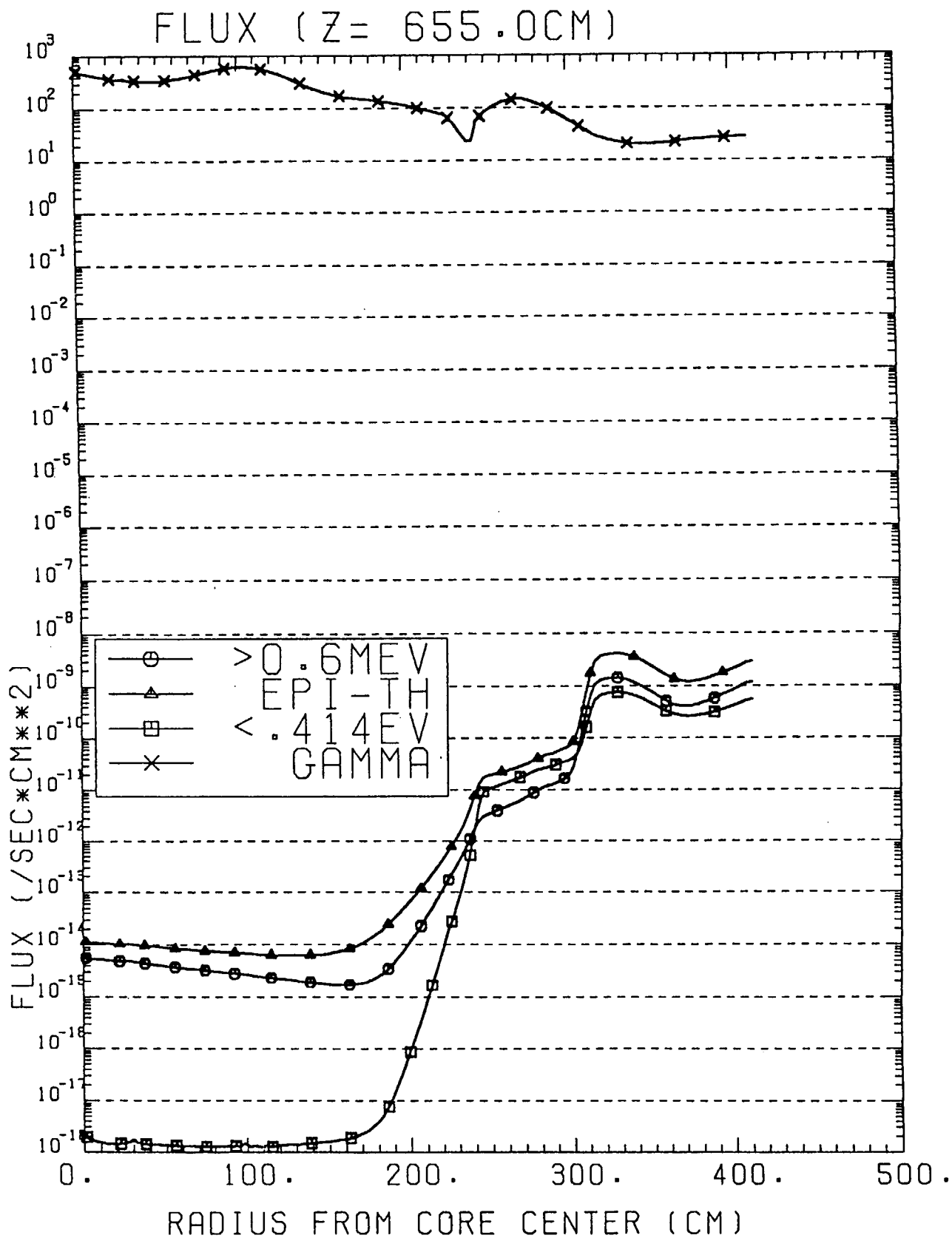


Fig.4.16 中性子、ガンマ線束径方向分布(天井面)

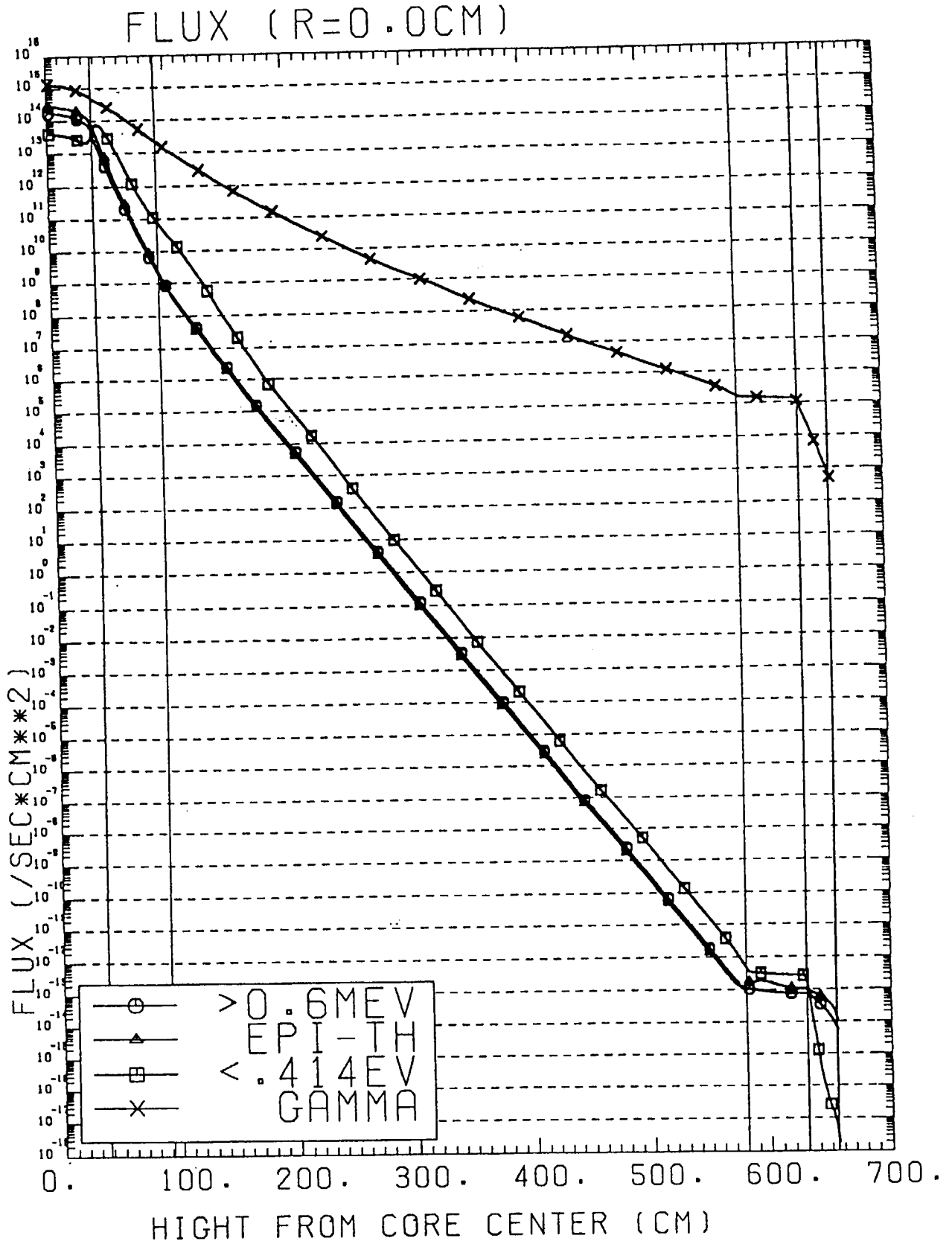


Fig.4.17 中性子、ガンマ線束軸方向分布(炉心中心線上)

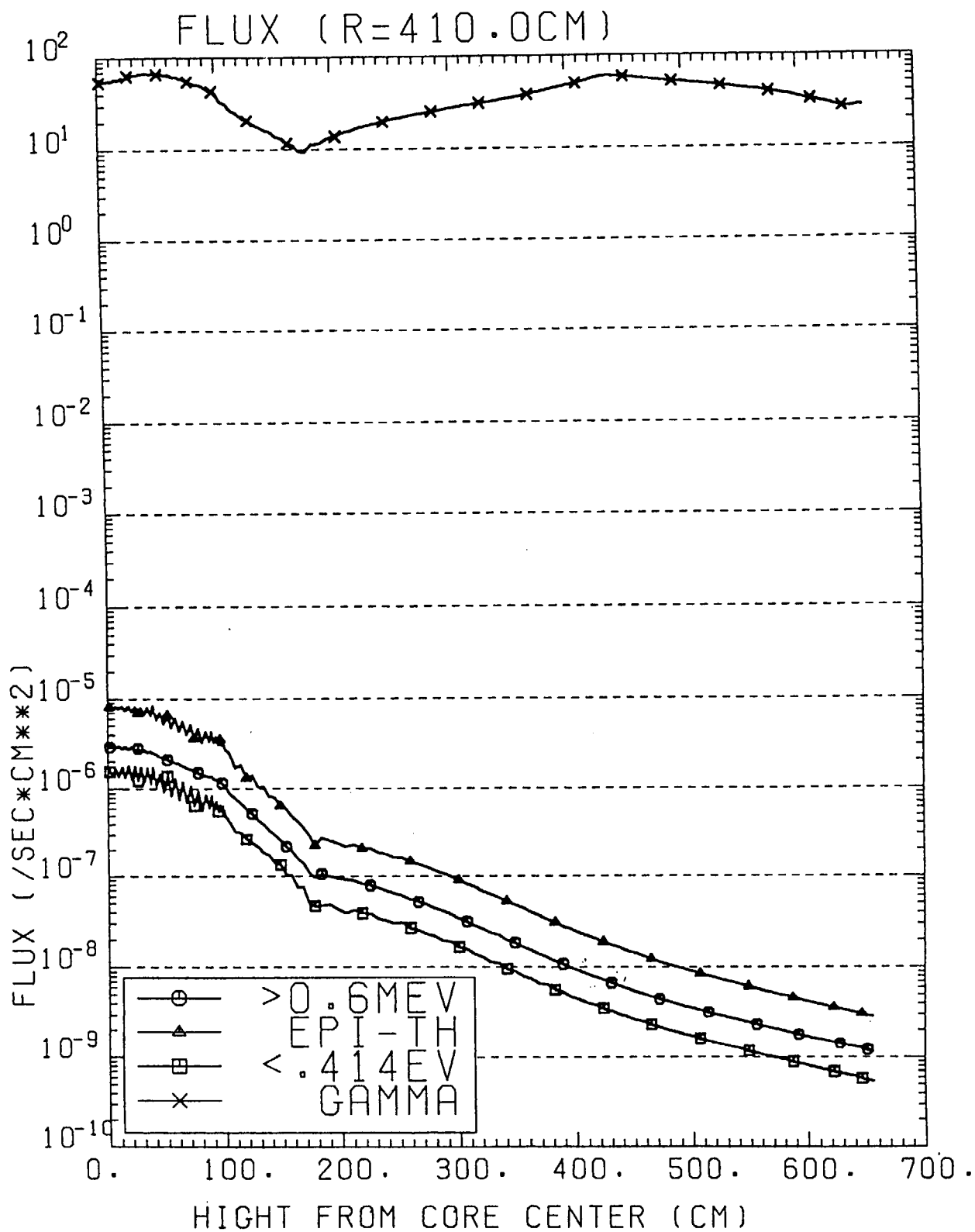


Fig.4.18 中性子、ガンマ線束軸方向分布(側面)

付録 A 炉心有効半径の算出方法

(1) 炉心領域の定義

標準燃料要素(26 体)、フォロー型燃料要素(6 体)、照射筒(5 体)、合計 37 体を含む領域を炉心領域と考える。つまり、Fig.A.1 の斜線部分を炉心領域とする。

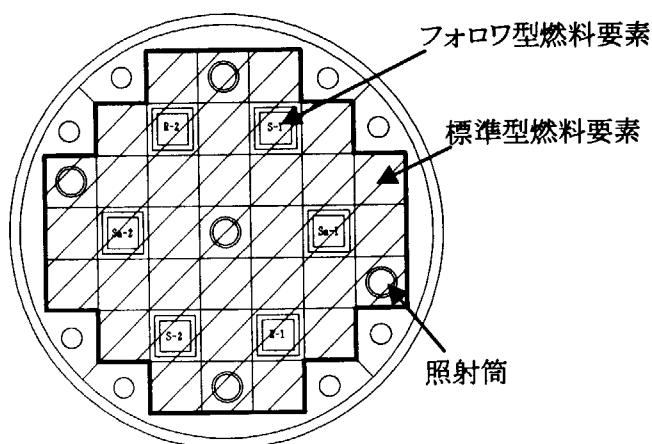


Fig.A-1 炉心領域の定義図

(2) 炉心有効半径の算出

上記で定義した炉心部は底面が一辺 7.72cm の正方形、高さ 75.0cm の四角柱からなるとすると、全断面積は、

$$(7.72)^2 \times 37 = 2205.1408(\text{cm}^2)$$

となる。ここで、炉心領域とベリリウム反射体との距離が少し大きくなる(水領域が増加する)可能性があるために、この部分の面積(27 面)を全断面積から引くと、2100.9208cm²となる。これと等価な円の半径を炉心有効半径(R)とすると

$$R = \sqrt{\frac{2100.9208}{\pi}} = 25.86(\text{cm})$$

となる。

付録 B アルミナイド燃料炉心の線量率分布計算

原子炉プール近傍の遮へいに関する計算をアルミナイド燃料炉心時とシリサイド燃料炉心時で比較するために、以前に実施したアルミナイド燃料炉心時の全線量率分布計算^(B1)の入力データ及び計算結果を Table B-1、Fig.B-1 に示す。また、Fig.B-2 に示す位置における両燃料炉心の計算結果を Table B-2 に示す。これらから、アルミナイド燃料炉心時とシリサイド燃料炉心時の計算結果は全体的にほぼ等しくなることが分る。このようになった理由は、JRR-3 の変更が、原子炉出力、遮へい材あるいは遮へい形状等の変更を伴わずに行うためである。

Table B-1 アルミナイド燃料炉心及びシリサイド燃料炉心の計算条件

		アルミナイド燃料炉心	シリサイド燃料炉心
評価済核データファイル		ENDF/B-IV	JENDL-3
群定数セット		DLC-41/VITAMIN-C	JSSTD
炉心部の主要な物質組成		燃料芯材:約 90kg A5052:約 140kg A6063:約 13kg 軽水:約 70kg	燃料芯材:約 120kg A5052:約 140kg A6063:約 13kg 軽水:約 70kg
ANISN 計算	モデル形状	炉心上方向:球 炉心径・斜め上方向:円筒	球
	P ₀	3	5
	S _n	12	16
	群数	中性子:171 群 ガンマ線:36 群	中性子:171 群 ガンマ線:36 群
DOT3.5 計算	モデル形状	円筒	円筒
	P ₀	3	5
	S _n	96	160
	群数	中性子:8 群 ガンマ線:7 群	中性子:8 群 ガンマ線:7 群

Table B-2 アルミナイド燃料炉心とシリサイド燃料炉心の計算結果の比較

(単位:Sv/h)

	アルミナイド燃料炉心 ^(B2)	シリサイド燃料炉心
P1	約 2.9E-05	約 1.7E-05
P2	約 1.4E-06	約 1.6E-06

[参考文献]

- (B1) 伊勢武治、他: "JRR-3 改造炉の設計のための遮蔽解析・1－原子炉本体の遮蔽－",
JAERI-M 85-050(1985)
- (B2) 日本原子力研究所、"JRR-3 の設計及び工事の方法の認可申請書[JRR-3 の改造(その2)]"

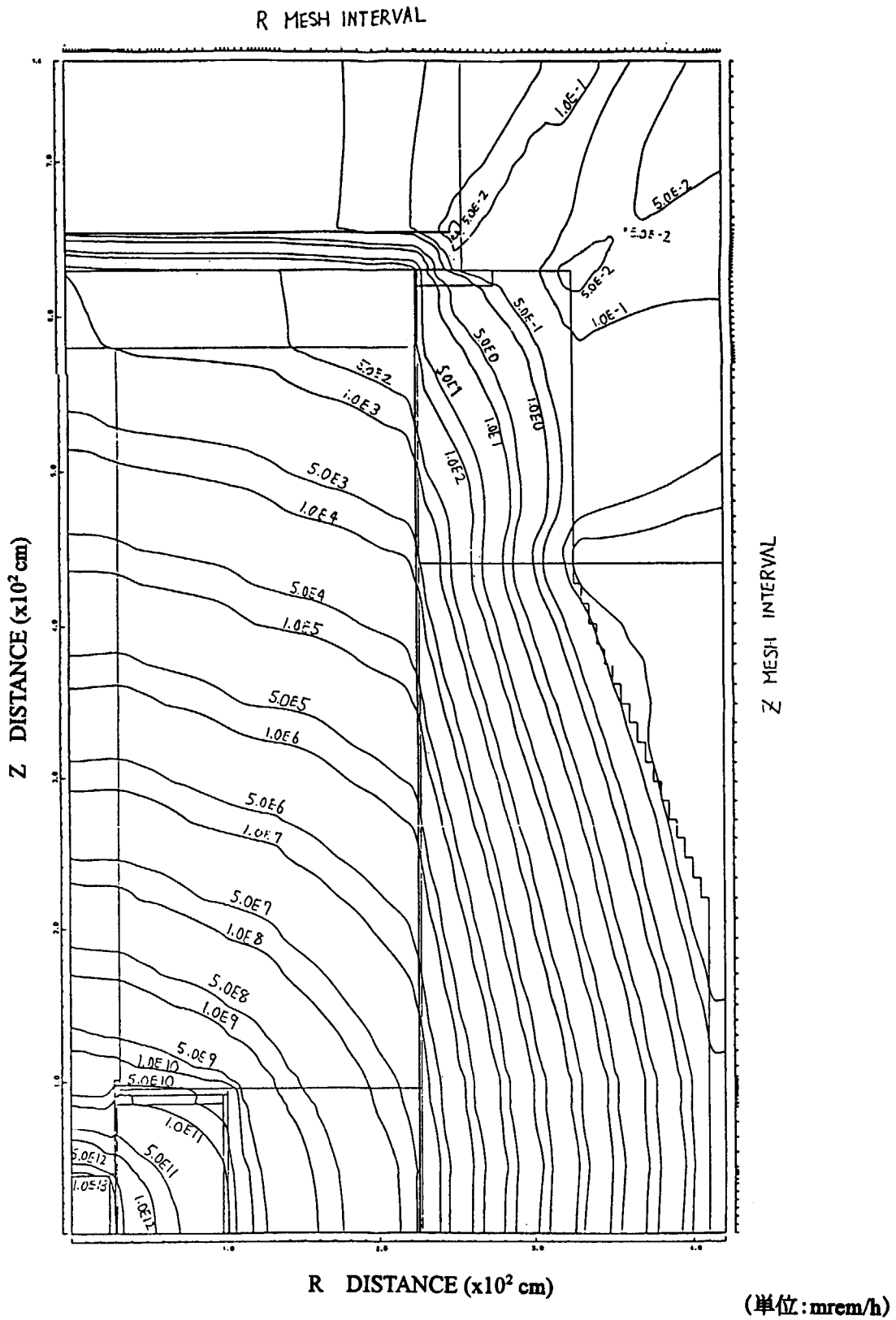


Fig.B-1 アルミナド燃料炉心の全線量率分布

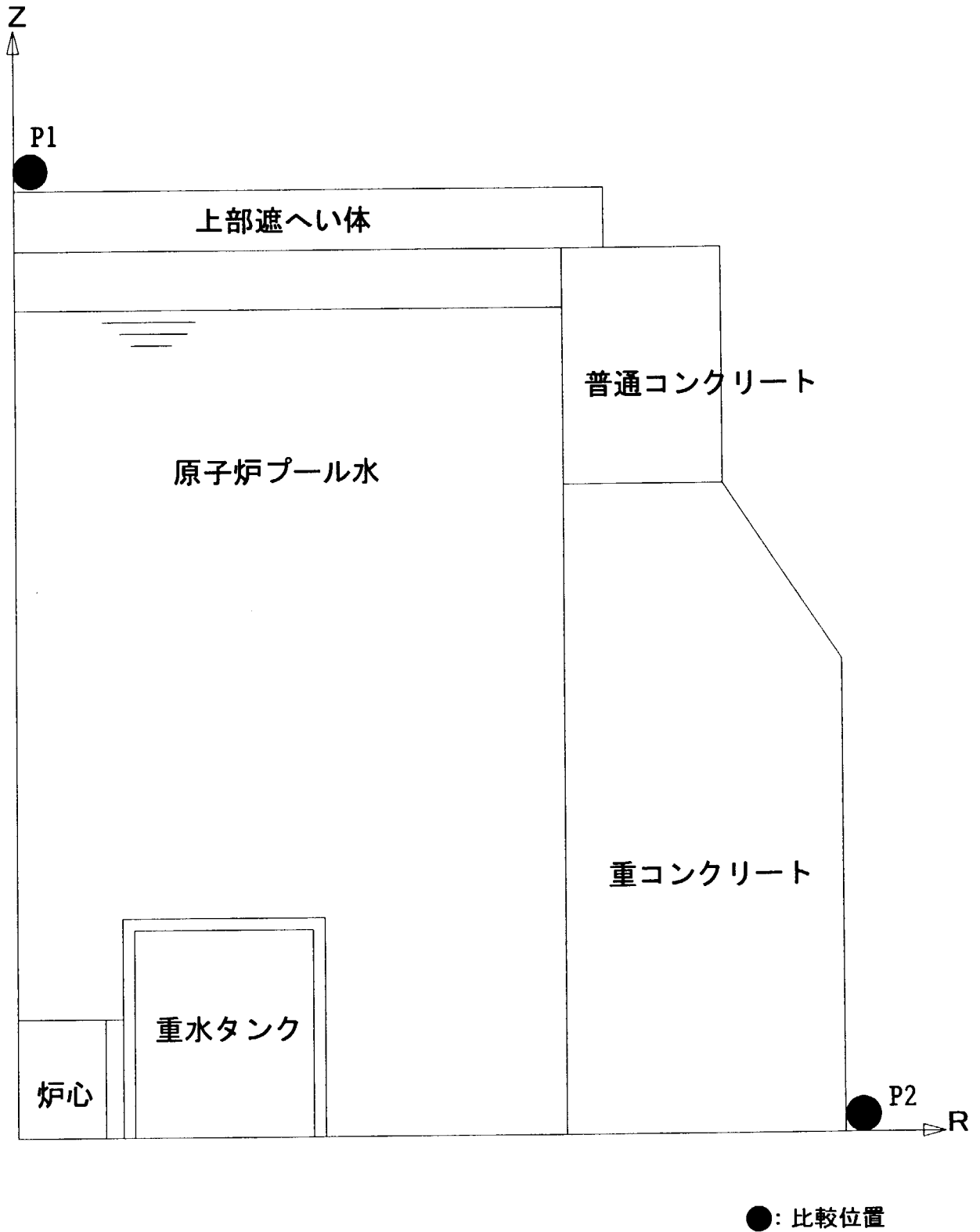


Fig. B-2 両燃料炉心計算結果の比較位置

国際単位系 (SI) と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m·kg/s ²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N·m
工率, 放射束	ワット	W	J/s
電気量, 電荷	クーロン	C	A·s
電位, 電圧, 起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光強度	ルーメン	lm	cd·sr
照射線量	ルクス	lx	lm/m ²
放射線量当量	ベクレル	Bq	s ⁻¹
	グレイ	Gy	J/kg
	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分, 時, 日	min, h, d
度, 分, 秒	°, ', "
リットル	l, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

1 eV = 1.60218 × 10⁻¹⁹ J
1 u = 1.66054 × 10⁻²⁷ kg

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バ	b
バル	bar
ガリ	Gal
キュリー	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

1 Å = 0.1 nm = 10⁻¹⁰ m
1 b = 100 fm = 10⁻²⁸ m²
1 bar = 0.1 MPa = 10⁵ Pa
1 Gal = 1 cm/s² = 10⁻² m/s²
1 Ci = 3.7 × 10¹⁰ Bq
1 R = 2.58 × 10⁻⁴ C/kg
1 rad = 1 cGy = 10⁻² Gy
1 rem = 1 cSv = 10⁻² Sv

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10 ¹⁸	エクサ	E
10 ¹⁵	ペタ	P
10 ¹²	テラ	T
10 ⁹	ギガ	G
10 ⁶	メガ	M
10 ³	キロ	k
10 ²	ヘクト	h
10 ¹	デカ	da
10 ⁻¹	デシ	d
10 ⁻²	センチ	c
10 ⁻³	ミリ	m
10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ⁻¹⁸	アト	a

(注)

- 表1～5は「国際単位系」第5版, 国際度量衡局 1985年刊行による。ただし, 1 eV および 1 uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里, ノット, アール, ヘクトールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは, JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- EC閣僚理事会指令では bar, barn および「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

換算表

力	N (=10 ⁵ dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
	9.80665	1	2.20462
	4.44822	0.453592	1

粘度 1 Pa·s(N·s/m²) = 10 P(ポアズ)(g/(cm·s))

動粘度 1 m²/s = 10⁴ St(ストークス)(cm²/s)

圧	MPa (=10 bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg(Torr)	lbf/in ² (psi)
	1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 ³	145.038
力	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322 × 10 ⁻⁴	1.35951 × 10 ⁻³	1.31579 × 10 ⁻³	1	1.93368 × 10 ⁻²
	6.89476 × 10 ⁻³	7.03070 × 10 ⁻²	6.80460 × 10 ⁻²	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J (=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal(計量法)	Btu	ft·lbf	eV	1 cal = 4.18605 J(計量法) = 4.184 J(熱化学) = 4.1855 J(15°C) = 4.1868 J(国際蒸気表)
	1	0.101972	2.77778 × 10 ⁻⁷	0.238889	9.47813 × 10 ⁻⁴	0.737562	6.24150 × 10 ¹⁸	
	9.80665	1	2.72407 × 10 ⁻⁶	2.34270	9.29487 × 10 ⁻³	7.23301	6.12082 × 10 ¹⁹	
	3.6 × 10 ⁶	3.67098 × 10 ⁵	1	8.59999 × 10 ⁵	3412.13	2.65522 × 10 ⁶	2.24694 × 10 ²⁵	
	4.18605	0.426858	1.16279 × 10 ⁻⁶	1	3.96759 × 10 ⁻³	3.08747	2.61272 × 10 ¹⁹	仕事率 1 PS(仏馬力)
	1055.06	107.586	2.93072 × 10 ⁻⁴	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 ²¹	= 75 kgf·m/s
	1.35582	0.138255	3.76616 × 10 ⁻⁷	0.323890	1.28506 × 10 ⁻³	1	8.46233 × 10 ¹⁸	= 735.499 W
	1.60218 × 10 ⁻¹⁹	1.63377 × 10 ⁻²⁰	4.45050 × 10 ⁻²⁶	3.82743 × 10 ⁻²⁰	1.51857 × 10 ⁻²²	1.18171 × 10 ⁻¹⁹	1	

放射能	Bq	Ci
	1	2.70270 × 10 ⁻¹¹
	3.7 × 10 ¹⁰	1

吸収線量	Gy	rad
	1	100
	0.01	1

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	2.58 × 10 ⁻⁴	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

CCRCのサイト燃料炉心近傍の遮へいに関する安全解析