

分置

PNC-TN9410 89-145

## 可搬型炉小型炉心の検討

1989年10月

電力技術 - 核火炉開発センター

大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

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

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

1989年10月

## 可搬型炉 小型炉心の検討

大谷暢夫<sup>1)</sup>、神戸 満<sup>2)</sup>、羽賀一男<sup>2)</sup>

### 要 旨

可搬型炉の一応用である宇宙用のものにつき、その小型炉心の核特性に係わる検討を行った。

本炉心は、窒化物燃料を用いた高速炉で、冷却材としてリチウムを採用する。

まず、簡単な球モデルの1次元計算によって、典型的なウラン炉心およびプルトニウム炉心の核特性を検討した。炉心サイズを等しく取った組成での計算結果の比較から、つぎのことが明らかになった。

- (1) 炉心寿命の観点からは、ウラン炉心の方がプルトニウム炉心よりも同一燃焼期間(10年)での反応度欠損が小さく、優れている。
- (2) プルトニウム炉心の反応度欠損が大きい理由は、Pu-241のβ崩壊による減少によるものである。したがって、プルトニウムを燃料とする炉心は、比較的大きな燃焼反応度欠損をカバーし得る炉心構成をとる必要がある。
- (3) 炉心寿命を延ばす方法としては、炉心と反射体との間に熱中性子吸収体を設置することが、ある程度有効である。

つぎに、設定された濃縮ウランを燃料とする炉心設計案を基とし、反応度調整のための炉心構成および炉心組成、さらに炉心サイズの変更等を行い、この解析範囲で適当な炉心を提示した。基本的な核特性量としては、クリーン炉心の臨界性、燃焼反応度欠損量、水没時の未臨界性確保、炉停止マージン等を取り上げた。その結果、水没時の未臨界性確保と炉停止マージンについては、当初設定した目標値に到達したかったものの、ある程度の安全余裕が確保できる見通しが得られた。

以上の解析では3次元モンテカルロコードを一部使用したが、この過程でより形状模擬性の優れた計算コードが必要なことが明らかとなった。

1) 大洗工学センター 技術開発部 プラント工学室

2) 大洗工学センター 技術開発部 フロンティア研究グループ

October 1989

## Characteristics of Small Reactor Core for Transportable Reactor

Nobuo Ohtani <sup>1)</sup>, Mitsuru Kambe <sup>2)</sup>  
Kazuo Haga <sup>2)</sup>

### Abstract

Core physics of small reactor was examined as a part of conceptual design study of space reactor which is an application of transportable reactor.

The design requirements were a fast spectrum reactor using nitride fuel and lithium coolant.

Firstly, characteristics of typical uranium core and plutonium core was compared by means of one-dimensional calculation using simple sphere model. Followings were revealed from the comparison of both calculation results.

- (1) Reactivity loss of uranium core in ten years is smaller than that of plutonium core.
- (2) Shorter lifetime of plutonium core is due to  $\beta$  decay of Pu-241. Hence, plutonium core must be designed to compensate higher fuel degradation.
- (3) Installation of thermal neutron absorber between core and reflector region is effective to extend lifetime of plutonium core.

Secondly, study to optimize the design of enriched uranium core was performed as a parameter of core configuration, fuel composition and core size from the point of reactivity adjustment. Attention was focused on criticality of fresh core, reactivity degradation, sub-criticality and reactor shut down margin. The results showed that some safety margin can be obtained although it was less than that objected.

A 3-dimensional Monte Carlo code was partly used in the analysis. It was revealed that a more superior code in simulating core configuration is necessary.

- 
- 1) Plant Engineering Section, Engineering Development Division, Oarai Engineering Center, PNC.
  - 2) Frontier Research Group, Engineering Development Division, Oarai Engineering Center, PNC.

## 目次

### プルトニウム炉心の検討 図表リスト

### ウラン炉心の核特性に係わる検討 図表リスト

1はじめに .....	1
2. プルトニウム炉心の検討 .....	2
2.1 目的 .....	2
2.2 検討内容 .....	2
2.3 計算手法および計算モデル .....	2
2.3.1 計算手法 .....	2
2.3.2 計算条件 .....	3
2.4 計算結果 .....	5
2.4.1 臨界寸法サーチ .....	5
2.4.2 燃焼計算 .....	6
2.5 検討 .....	6
2.5.1 燃焼反応度欠損の低減化 .....	6
2.5.2 出力分布の比較 .....	7
2.5.3 燃焼反応度欠損の差異の原因 .....	7
2.6 まとめ .....	9
3. ウラン炉心の核特性に係わる検討 .....	29
3.1 目的 .....	29
3.2 検討内容 .....	30
3.3 計算手法および計算モデル .....	31
3.3.1 計算手法 .....	31
3.3.2 計算モデル .....	32
3.3.3 計算条件 .....	33

3.4 計算結果 .....	35
3.4.1 ケース1炉心 .....	35
3.4.2 ケース2炉心 .....	36
3.4.3 ケース3炉心 .....	37
3.5 検討 .....	38
3.5.1 炉心構成の見直し .....	38
3.5.2 出力分布 .....	38
3.5.3 炉心部体積比の影響 .....	39
3.5.4 解析手法の課題 .....	39
3.6 まとめ .....	40

付録A 解析に使用した断面積図 ..... A-1

## プルトニウム炉心の検討 図表リスト

(表)

第2.1表 27 GROUP SHLDライブラリのエネルギー群構造	10
第2.2表 窒化物燃料炉心の原子数密度データ	11
第2.3表 1次元計算臨界サーチ結果	14
第2.4表 代表的な大きさ及び組成の炉心に対する1次元燃焼計算結果	15
第2.5表 吸収体付き炉心の1次元燃焼計算結果	16
第2.6表 燃料物質の燃焼による変化	17
第2.7表 ウラン炉心とプルトニウム炉心の密度係数	18
第2.8表 密度係数から求めた核種毎の反応度寄与分	19
第2.9表 炉心内のPu-241の組成変化と核種崩壊による組成変化	20

(図)

第2.1図 プルトニウム炉心の検討用計算の流れ	21
第2.2図 1次元球形状モデル	22
第2.3図 吸収体付き1次元球形状モデル	22
第2.4図 炉心中心スペクトル（基準プルトニウム炉心）	23
第2.5図 炉心中心スペクトル（ウラン炉心）	23
第2.6図 炉心中心スペクトル（プルトニウム炉心：天然ウラン使用）	24
第2.7図 炉心中心スペクトル（プルトニウム炉心：ウラン濃縮）	24
第2.8図 全中性子束の空間分布	25
第2.9図 高速中性子束の空間分布	25
第2.10図 中速中性子束の空間分布	26
第2.11図 热中性子束の空間分布	26
第2.12図 燃料組成による臨界寸法の変化	27
第2.13図 出力密度の分布	28

## ウラン炉心の核特性に係る検討 図表リスト

(表)

第3.1表 ケース1炉心の通常時核種数密度 .....	41
第3.2表 ケース1炉心の冠水時核種数密度 .....	43
第3.3表 3次元計算結果 .....	45
第3.4表 2次元燃焼計算結果と3次元補正結果 .....	46
第3.5表 ケース2炉心の通常時核種数密度 .....	47
第3.6表 ケース2炉心の冠水時核種数密度 .....	49
第3.7表 ケース3炉心の通常時核種数密度 .....	51
第3.8表 ケース3炉心の冠水時核種数密度 .....	53

(図)

第3.1図 設計案の炉心構成：縦方向断面 .....	55
第3.2図 設計案の炉心構成：横方向断面 .....	56
第3.3図 ウラン炉心核特性評価用計算の流れ .....	57
第3.4図 解析モデルの炉心構成：縦方向断面 .....	58
第3.5図 解析モデルの炉心構成：横方向断面 .....	59
第3.6図 炉停止マージン評価用吸収体外向きモデル .....	62
第3.7図 炉停止マージン評価用吸収体内向きモデル .....	63
第3.8図 2次元R Z燃焼計算体系 .....	64
第3.9図 径方向出力分布 .....	65
第3.10図 軸方向出力分布 .....	66

## 1 はじめに

宇宙用小型炉心の核特性に係わる検討を行った。

まず、燃料としてプルトニウムを採用したときの基本的な核的特性を、ウラン炉心との比較から明らかにし、核的に最適な燃料組成を検討するための一連の計算を行った。この計算では、塗化物燃料のプルトニウム富化度を上げた場合と、ウラン濃縮度を上げた場合の計算を行い、主として炉心寿命の観点からウラン炉心の優位性を示した。

つぎに、1989年2月に設定された濃縮ウランを燃料とする炉心設計案を基とし、反応度調整のための炉心構成および炉心組成、さらに炉心サイズの変更等を行い、この解析範囲で最適な炉心を提示した。 基本的な核特性量としては、クリーン炉心の臨界性、燃焼反応度欠損量、水没時の未臨界性確保、炉停止マージン等を取り上げた。その結果、水没時の未臨界性確保と炉停止マージンについては、当初設定した目標値に到達しなかったものの、ある程度の安全余裕が確保できる見通しが得られた。

以上の解析では3次元モンテカルロコードを一部使用したが、その過程でより形状模擬性の優れた計算コードが必要なことが明かとなった。

## 2 プルトニウム炉心の検討

### 2.1 目的

宇宙用小型炉心の燃料として、プルトニウムを考慮したときの基本的な核的特性を明らかにし、核的に最適な燃料組成を検討することを目的とする。

このために、窒化物燃料のプルトニウム富化度を上げた場合と、ウラン濃縮度を上げた場合の計算を行い、その結果を比較検討する。

### 2.2 検討内容

以下の手順で解析を行い、その結果を検討した。

- (1) 典型的と考えられる燃料のプルトニウム富化度範囲およびウラン濃縮度範囲を決定し、プルトニウム炉心とウラン炉心との核的特性の比較が可能な炉心を設定する。
- (2) 典型的な炉心について、プルトニウムを含む組成とウランのみの組成とで炉物理的なパラメータがどのような差があるか調査する。
- (3) プルトニウム炉心およびウラン炉心の燃焼反応度欠損量について調べ、その差の原因を検討する。

### 2.3 計算手法および計算モデル

#### 2.3.1 計算手法

第2.1図にプルトニウム炉心の検討用計算の流れを示す。

群定数ライブラリーは、SCALE-3システム付属ライブラリーから27 GROUPS HLDを選定した。これは、ENDF/B-IVから作成され、数多くのFP核種の断面積データを含んでいる。本ライブラリーのエネルギー群構造を第2.1表に示す。このライブラリーを用いてCSAS1Xモジュールにて実効断面積を作成すると共に1次元輸送計算を行なう。ここでは、実効断面積を作成し、これをマスター形式からワーキング形式ライブラリーへと変更する。次に、このライブラリーを用いて1次元輸送計算(XSDRNPM)により縮約(27群から19群へ)し、ウェイティッド形式ライブラリーを作成する。この縮約はスペクトルが硬いことを念

頭におき、熱群 ( $1 \text{ eV} \sim 10^{-5} \text{ eV}$ ) を 1 群にまとめたものである。この縮約計算の別の目的としては、次段の OCTAGN モジュールがウェイテッド形式しか受けつけないことから、ここでライブラリー形式を変換することにある。OCTAGN モジュールは、AMGX 2 コードシステムに含まれるライブラリー形式変更モジュールであり、ウェイテッド形式から CITATION ミクロ形式へと変更する。

以上の処理により燃焼計算に使用する断面積ライブラリーを用意した。

### 2.3.2 計算条件

#### (1) 典型的な炉心の組成

本解析では、以下の窒化物燃料炉心を設定し、炉物理的な情報をまとめることとした。

a) ウラン炉心—濃縮度をパラメータ

U 濃縮度 : 90, 80, 70 %

b) プルトニウム炉心—プルトニウム富化度をパラメータ

U 濃縮度 : 天然

Pu 富化度: 30, 40, 50, 60 %

c) プルトニウム炉心—濃縮度をパラメータ

Pu 富化度: 30 %

U 濃縮度 : 25, 30, 35, 40 %

これらの仕様に基づき決定した組成（均質、原子数密度データ）を第 2.2 表に示す。

#### (2) 燃焼計算の条件

CITATION コードによって燃焼計算を行うこととした。この条件を以下に述べる。

a) 燃焼期間: 10 年、1 年/cycle 燃焼

実効増倍率は各サイクル開始時のみ計算する。

b) 燃焼チェイン

核分裂核種については次のチェインを考慮した。

•  $^{235}\text{U} - ^{236}\text{U}$

•  $^{238}\text{U} - ^{239}\text{Pu} - ^{240}\text{Pu} - ^{241}\text{Pu} - ^{242}\text{Pu}$

| (ペータ崩壊)

$^{241}\text{Am}$

F Pについては次の核種を考慮した。

$^{135}\text{Xe}, ^{136}\text{Xe}, ^{135}\text{I}, ^{153}\text{Sm}, ^{158}\text{Nd}$

以上から、本解析で取扱う核種は次の20核種とした。

1	U-235	1 1	Li-7
2	U-236	1 2	C
3	U-238	1 3	Nb
4	Pu-239	1 4	Zr
5	Pu-240	1 5	Be
6	Pu-241	1 6	Xe-135
7	Pu-242	1 7	Xe-136
8	Am-241	1 8	I-135
9	N	1 9	Sm-153
10	Li-6	2 0	Nd-150

なお、炉出力は各炉心とも2MWtとし、拡散計算の中性子束収束条件は、1.0E-5としている。

### (3) 計算モデル

本解析では、ブルトニウム炉心およびウラン炉心の基本的な特性比較を行うために、炉心形状は、1次元モデルで表現した。第2.2図および第2.3図に計算モデルを示す。炉心部は一様な組成であり、その外側にベリリウムの反射体が10cmの厚さで巻いてある。第2.3図は、この炉心と反射体の間に中性子吸收体(Cd)を設置し、反射体領域で生成する熱中性子を炉心に戻さない場合の効果を見るためのモデルである。

## 2.4 計算結果

### 2.4.1 臨界寸法サーチ

1次元輸送計算により、各炉心組成に対応した臨界寸法をサーチした結果を第2.3表に示す。目標とした実効増倍率は、燃焼反応度欠損を考慮して約1.04とした。ケース2は、前回の解析で標準的な組成としたものである。このケース2からの反応度差( $\% \Delta \rho$ )を表中に示してあるが、この反応度量として $0.5\% \Delta \rho$ 以下であることを臨界サーチの判定基準とした。

表中に示されているように、今回の計算では燃料物質の温度を1250Kに設定し、前回の解析で設定した室温(300K)との反応度の違いも検討した(ケース1とケース2)。プルトニウム富化度30%、ウラン濃縮度20%の炉心では、両温度間の実効増倍率から得られるドップラー反応度は約 $0.5\% \Delta \rho$ 程度であることが分かった。

各炉心の中心部における規格化した中性子スペクトルを第2.4図～第2.7図に示す。参考のために示した核分裂スペクトルと比較すると、炉心内でのスペクトルが非常に硬いことがわかる。また、プルトニウム炉心とウラン炉心とを比較すると、後者では1MeV以上と10eV付近で盛り上がっている。

次に、炉心内の中性子束については代表的なものとしてプルトニウム炉心の中性子束分布を第2.8図～第2.11図に示す。これらの図では全中性子束、高速中性子束(0.1MeV以上)、中速中性子束(1eV～0.1MeV)、さらに1eV以下の熱中性子束の空間分布を示した。

ケース2～13の各炉心に対し、プルトニウム炉心とウラン炉心の比較を行うために、炉心サイズを3つのグループに分けることとした。燃料組成による臨界寸法の変化を見るために、第2.12図に各ケースに対応する高さ30cmの円柱の直径を示す。この図から、設定したパラメータの範囲では、次の3つのグループに分けることが可能である。

- a) ケース2、ケース7 ..... 半径18cm炉心
- b) ケース5、ケース13、ケース8 ..... 半径15cm炉心
- c) ケース3、ケース9 ..... 半径13cm炉心

これらのグループの各炉心について1次元燃焼計算を実施した。

#### 2.4.2 燃焼計算

前項で選定した3グループの炉心について実施した1次元拡散燃焼計算の結果を第2.4表に示す。

同一サイズの炉心毎の初装荷時の実効増倍率がケース毎にやや異なっているものの、9年間燃焼による反応度欠損量を相対比較することはできる。各サイズの結果共、プルトニウム富化度を減らした方が反応度欠損が小さく、炉心寿命の観点からは有利であることがわかる。

#### 2.5 検討

ここでは、燃焼反応度欠損の低減化およびプルトニウム炉心とウラン炉心の反応度欠損の違いの原因を検討する。

##### 2.5.1 燃焼反応度欠損の低減化

各炉心のスペクトルおよび中性子束分布から、本解析で設定した炉心構成では、炉中心でのスペクトルは非常に硬いが、反射体近傍では反射体内で減速された中性子が炉心にもどって来ており相当軟化していることがわかる。この低エネルギー側中性子の増大によって、fertile物質の高遠核分裂が減少し、逆にfissileの減少が大きくなっていることが予想される。これにより、fissile物質の減少が反応度低下にどの程度寄与しているかを調べるために、中性子吸收体を設けることにより、低エネルギー側の中性子が反射体から炉心に戻る量を変えた計算を行った。

第2.4表に示した半径15cmの炉心のうち、ウラン炉心（濃縮度70%）とプルトニウム炉心（ウラン濃縮度は天然、プルトニウム富化度50%）について第2.3図に示したように、炉心と反射体の間に0.25cm厚の中性子吸收体（Cd）を設置して燃焼計算を行った。結果を第2.5表に示す。炉心サイズは若干増大させたが、燃焼反応度欠損量の相対評価には大きく影響しない。まとめると次の通りになる。

	<u>吸收体なし</u>	<u>吸收体あり</u>
U炉心	6.2%	5.2%
Pu炉心	15.0%	12.6%

このように、吸收体設置により反応度欠損を低下させることが期待できる。

### 2.5.2 出力分布の比較

拡散燃焼計算で得られた出力密度の分布を第2.13図に示す。プルトニウム炉心（ケース8：点線）とウラン炉心（ケース5：実線）では分布が異なり、後者の方が中心部で低くなっている。これは、ベリリウム反射体から戻る中性子のエネルギーが低く、炉心領域の核分裂性物質量に応じて出力分布が大きく変わることを示している。ウラン炉心では、炉心外側の出力密度が上がる分、炉心中央部の出力密度が相対的に低下し、炉中心部のfissileの消耗が少なくなっていると考えられる。

### 2.5.3 燃焼反応度欠損の差異の原因

第2.4表に示したように、今回の解析ではウラン炉心の方がプルトニウム炉心に比べて燃焼反応度欠損が小さく、小型炉心の炉心寿命の観点からはより優れているような傾向が見られた。この原因を検討する。

第2.6表に、9年の燃焼による燃料物質の数密度変化を示す。数値は、炉心平均の組成（個/barn・cm）であり、炉心内の局所的な組成変化は考慮していない。この数密度の変化から反応度変化量を説明するために、CITATIONコードの一次摂動計算によって燃料核種の密度係数を求めた。結果を第2.7表に示す。この密度係数をもちいて主要な核種の数密度変化による反応度変化を求めた。結果を第2.8表に示す。前出の第2.5表に示した燃焼反応度欠損の値とほぼ等しく、この密度係数による説明が可能であることが分かる。

ウラン炉心では、U-235の減少によって全反応度変化の約99%が支配されている。一方、プルトニウム炉心では、当然予想されるPu-239の寄与分が約44%であるのに対し、元々量的には少ないPu-241の寄与分が54%もあることがわかる。興味深いことに、ウラン炉

心の U-235 寄与分 ( $5.3\% \Delta K/KK'$ ) と、プルトニウム炉心の Pu-239 寄与分 ( $5.5\% \Delta K/KK'$ ) が値としてほぼ等しく、両炉心の燃焼反応度欠損の差は主としてノルトニウム炉心の Pu-241 によっていることがわかる。

そこで、次に Pu-241 の減少量に着目して検討した。

Pu-241 の組成変化は、Pu-240 からの生成による増加と中性子吸収による減少の他、 $\beta$ 崩壊（半減期 14.4 年）して Am-241 に変化する減少分によって定まる。そこで、燃焼による炉心内の平均組成と、Am-241 の組成の変化とを比較した。結果を第 2.9 表に示す。初装荷時の組成から 9 年経過後には、生成および核分裂、吸収、崩壊によって正味に失われる割合が 4.4 % 程度となる。一方、Am-241 は 9 年経過後で残存 Pu-241 の 54 % にも達している。9 年燃焼後の Am-241 と Pu-241 の合計は、Pu-239 と同じ程度の 8.6 % 程度となっている。従って、長期間の燃焼により、 $\beta$ 崩壊によって失われる Pu-241 が組成変化に大きく効いていることがわかる。

以上の検討から、ウラン炉心とプルトニウム炉心の燃焼特性の違いは、主として、プルトニウム炉心における Pu-241 の  $\beta$ 崩壊によるものであることが明らかである。この点を考慮すると、10 年間程度の寿命を要求される宇宙用小型炉としては、プルトニウム炉心よりもウラン炉心の方が優れていると結論付けられる。

## 2.6 まとめ

簡単な球モデルの1次元計算によって、典型的なウラン炉心およびプルトニウム炉心の核特性を検討した。炉心サイズを等しく取った組成での計算結果の比較から、つぎのことが明らかとなつた。

- (1) 炉心寿命の観点からは、ウラン炉心の方がプルトニウム炉心よりも同一燃焼期間での反応度欠損が小さく、優れている。
- (2) プルトニウム炉心の反応度欠損の大きい理由は、 $Pu-241$ の $\beta$ 崩壊による減少によるものである。したがって、プルトニウムを燃料とする炉心は、比較的大きな燃焼反応度欠損をカバーし得る炉心構成をとる必要がある。
- (3) 炉心寿命を延ばす方法としては、炉心と反射体との間に熱中性子吸收体を設置することができる程度有効である。

以上の結論を導いた燃焼計算は、1次元でしかも炉心全体をひとつの燃焼領域で取り扱うなど、かなり粗い計算である。今後は、次章で示す様な炉心構成が与えられたときに、再度詳細な比較計算を行って核特性パラメータを評価し、プルトニウム炉心の長所・短所を明らかにすることが望まれる。

第2.1表 27GROUPSHLDライブライのエネルギー群不等式

GP	ENERGY BOUNDARIES	LETHARGY BOUNDARIES	MID PT VELOCITIES
1	2.00000E+07	-6.93147E-01	4.60581E+09
2	6.43400E+06	4.40988E-01	2.88737E+09
3	3.00000E+06	1.20397E+00	2.12202E+09
4	1.85000E+06	1.68740E+00	1.75673E+09
5	1.40000E+06	1.96611E+00	1.46535E+09
6	9.00000E+05	2.40795E+00	1.06619E+09
7	4.00000E+05	5.21888E+00	6.07557E+08
8	1.00000E+05	4.60517E+00	2.72415E+08
9	1.70000E+04	6.37713E+00	1.15526E+08
10	3.00000E+03	8.11173E+00	4.82126E+07
11	5.50000E+02	9.80818E+00	2.05946E+07
12	1.00000E+02	1.15129E+01	1.01036E+07
13	3.00000E+01	1.27169E+01	5.69594E+06
14	1.00000E+01	1.38155E+01	3.20957E+06
15	3.04999E+00	1.50030E+01	2.10601E+06
16	1.77000E+00	1.55471E+01	1.70521E+06
17	1.29999E+00	1.58557E+01	1.52544E+06
18	1.12999E+00	1.59959E+01	1.42867E+06
19	1.00000E+00	1.61181E+01	1.31002E+06
20	8.00000E-01	1.63412E+01	9.05898E+05
21	4.00000E-01	1.70344E+01	8.15518E+05
22	3.25000E-01	1.72420E+01	6.90069E+05
23	2.25000E-01	1.76097E+01	4.26933E+05
24	9.99999E-02	1.84207E+01	3.57766E+05
25	5.00000E-02	1.91138E+01	2.71895E+05
26	3.00000E-02	1.96246E+01	1.87223E+05
27	1.00000E-02	2.07233E+01	6.88202E+04
28	1.00000E-05	2.76310E+01	

第2.2表 硝化物燃料炉心の原子数密度データ

## (1) ウラン燃料炉心

テータ	参照値	濃縮度90%	濃縮度80%	濃縮度70%
Pu富化度 (wt%)	30.00	0.00	0.00	0.00
Pu239重量比 (wt%)	58.00	58.00	58.00	58.00
Pu240重量比 (wt%)	24.00	24.00	24.00	24.00
Pu241重量比 (wt%)	14.00	14.00	14.00	14.00
Pu242重量比 (wt%)	4.00	4.00	4.00	4.00
U 235重量比 (wt%)	20.00	90.00	80.00	70.00
U 238重量比 (wt%)	80.00	10.00	20.00	30.00
燃料理論密度 (g/cc)	14.32	14.32	14.32	14.32
燃料体積比 (-) *込み	0.49	0.49	0.49	0.49
*スマヤ密度比 (-)	1.00	1.00	1.00	1.00
(Pu, U) 存在比 (-)	0.94	0.94	0.94	0.94
減速材体積比 (-)	0.35	0.35	0.35	0.35
構造材体積比 (-)	0.16	0.16	0.16	0.16
空隙部体積比 (-)	0.00	0.00	0.00	0.00
燃料実効密度 (g/cc)	6.6273	6.6273	6.6273	6.6273
Pu実効密度 (g/cc)	1.9882	0.0000	0.0000	0.0000
U 実効密度 (g/cc)	4.6391	6.6273	6.6273	6.6273
Pu239 数密度 (個/cc/b)	2.9050E-03	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
Pu240 数密度 (個/cc/b)	1.1971E-03	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
Pu241 数密度 (個/cc/b)	6.9536E-04	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
Pu242 数密度 (個/cc/b)	1.9785E-04	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
U 235 数密度 (個/cc/b)	2.3772E-03	1.5282E-02	1.3584E-02	1.1886E-02
U 238 数密度 (個/cc/b)	9.3887E-03	1.6766E-03	3.3531E-03	5.0297E-03
N 数密度 (個/cc/b)	1.6748E-02	1.6748E-02	1.6748E-02	1.6748E-02
Li-6 数密度 (個/cc/b)	1.2162E-03	1.2162E-03	1.2162E-03	1.2162E-03
Li-7 数密度 (個/cc/b)	1.5000E-02	1.5000E-02	1.5000E-02	1.5000E-02
Nb 数密度 (個/cc/b)	8.7800E-03	8.7800E-03	8.7800E-03	8.7800E-03
Zr 数密度 (個/cc/b)	9.0414E-05	9.0414E-05	9.0414E-05	9.0414E-05
C 数密度 (個/cc/b)	6.8670E-05	6.8670E-05	6.8670E-05	6.8670E-05
Be 数密度 (個/cc/b)	1.2295E-01	1.2295E-01	1.2295E-01	1.2295E-01
実効原子量 (Pu, U) N	252.2	252.2	252.2	252.2

\* 設定値 Pu富化度 0 実効原子量 251.99

リチウム 密 度	0.534	構造材 密 度	8.56 (Nb)
Li-6存在比	7.50%		
Li-7存在比	92.50%		
ペリリウム 密 度	1.84		

## (2) プルトニウム燃料炉心: 天然ウラン &amp; Pu富化度変更

テータ	富化度30%	富化度40%	富化度50%	富化度60%
Pu富化度 (wt%)	30.00	40.00	50.00	60.00
Pu239重量比 (wt%)	58.00	58.00	58.00	58.00
Pu240重量比 (wt%)	24.00	24.00	24.00	24.00
Pu241重量比 (wt%)	14.00	14.00	14.00	14.00
Pu242重量比 (wt%)	4.00	4.00	4.00	4.00
U 235重量比 (wt%)	0.71	0.71	0.71	0.71
U 238重量比 (wt%)	99.29	99.29	99.29	99.29
燃料理論密度 (g/cc)	14.32	14.32	14.32	14.32
燃料体積比 (-) = 込み	0.49	0.49	0.49	0.49
*スミヤ密度比 (-)	1.00	1.00	1.00	1.00
(Pu, U) 存在比 (-)	0.94	0.94	0.94	0.94
減速材体積比 (-)	0.35	0.35	0.35	0.35
構造材体積比 (-)	0.16	0.16	0.16	0.16
空隙部体積比 (-)	0.00	0.00	0.00	0.00
燃料実効密度 (g/cc)	6.6285	6.6285	6.6285	6.6285
Pu実効密度 (g/cc)	1.9886	2.6514	3.3143	3.9771
U 実効密度 (g/cc)	4.6400	3.9771	3.3143	2.6514
Pu239 数密度 (個/cc/b)	2.9055E-03	3.8741E-03	4.8426E-03	5.8111E-03
Pu240 数密度 (個/cc/b)	1.1973E-03	1.5964E-03	1.9955E-03	2.3946E-03
Pu241 数密度 (個/cc/b)	6.9549E-04	9.2732E-04	1.1592E-03	1.3910E-03
Pu242 数密度 (個/cc/b)	1.9789E-04	2.6385E-04	3.2982E-04	3.9578E-04
U 235 数密度 (個/cc/b)	8.4408E-05	7.2349E-05	6.0291E-05	4.8233E-05
U 238 数密度 (個/cc/b)	1.1655E-02	9.9898E-03	8.3248E-03	6.6598E-03
N 数密度 (個/cc/b)	1.6695E-02	1.6695E-02	1.6695E-02	1.6695E-02
Li-6 数密度 (個/cc/b)	1.2162E-03	1.2162E-03	1.2162E-03	1.2162E-03
Li-7 数密度 (個/cc/b)	1.5000E-02	1.5000E-02	1.5000E-02	1.5000E-02
Nb 数密度 (個/cc/b)	8.7800E-03	8.7800E-03	8.7800E-03	8.7800E-03
Zr 数密度 (個/cc/b)	9.0414E-05	9.0414E-05	9.0414E-05	9.0414E-05
C 数密度 (個/cc/b)	6.8670E-05	6.8670E-05	6.8670E-05	6.8670E-05
Be 数密度 (個/cc/b)	1.2295E-01	1.2295E-01	1.2295E-01	1.2295E-01
実効原子量 (Pu, U) N	253	253	253	253

\* 設定値

Pu富化度

0.4 實効原子量

252.65

リチウム

密 度

構造材

密 度

8.56 (Nb)

Li-6存在比

0.534

密 度

7.50%

Li-7存在比

92.50%

ヘリリウム

密 度

1.84

## (3) プルトニウム燃料炉心:Pu富化度固定 &amp; ウラン濃縮度 変更

データ	濃縮度25%	濃縮度30%	濃縮度35%	濃縮度40%
Pu富化度 (wt%)	30.00	30.00	30.00	30.00
Pu239重量比 (wt%)	58.00	58.00	58.00	58.00
Pu240重量比 (wt%)	24.00	24.00	24.00	24.00
Pu241重量比 (wt%)	14.00	14.00	14.00	14.00
Pu242重量比 (wt%)	4.00	4.00	4.00	4.00
U 235重量比 (wt%)	25.00	30.00	35.00	40.00
U 238重量比 (wt%)	75.00	70.00	65.00	60.00
燃料理論密度 (g/cc)	14.32	14.32	14.32	14.32
燃料体積比 (-) = 込み	0.49	0.49	0.49	0.49
*スミヤ密度比 (-)	1.00	1.00	1.00	1.00
(Pu, U)存在比 (-)	0.94	0.94	0.94	0.94
減速材体積比 (-)	0.35	0.35	0.35	0.35
構造材体積比 (-)	0.16	0.16	0.16	0.16
空隙部体積比 (-)	0.00	0.00	0.00	0.00
燃料実効密度 (g/cc)	6.6277	6.6277	6.6277	6.6277
Pu実効密度 (g/cc)	1.9883	1.9883	1.9883	1.9883
U 実効密度 (g/cc)	4.6394	4.6394	4.6394	4.6394
Pu239 数密度 (個/cc/b)	2.9052E-03	2.9052E-03	2.9052E-03	2.9052E-03
Pu240 数密度 (個/cc/b)	1.1971E-03	1.1971E-03	1.1971E-03	1.1971E-03
Pu241 数密度 (個/cc/b)	6.9541E-04	6.9541E-04	6.9541E-04	6.9541E-04
Pu242 数密度 (個/cc/b)	1.9787E-04	1.9787E-04	1.9787E-04	1.9787E-04
U 235 数密度 (個/cc/b)	2.9718E-03	3.5661E-03	4.1605E-03	4.7548E-03
U 238 数密度 (個/cc/b)	8.8025E-03	8.2157E-03	7.6289E-03	7.0420E-03
N 数密度 (個/cc/b)	1.6728E-02	1.6728E-02	1.6728E-02	1.6728E-02
Li-6 数密度 (個/cc/b)	1.2162E-03	1.2162E-03	1.2162E-03	1.2162E-03
Li-7 数密度 (個/cc/b)	1.5000E-02	1.5000E-02	1.5000E-02	1.5000E-02
Nb 数密度 (個/cc/b)	8.7800E-03	8.7800E-03	8.7800E-03	8.7800E-03
Zr 数密度 (個/cc/b)	9.0414E-05	9.0414E-05	9.0414E-05	9.0414E-05
C 数密度 (個/cc/b)	6.8670E-05	6.8670E-05	6.8670E-05	6.8670E-05
Be 数密度 (個/cc/b)	1.2295E-01	1.2295E-01	1.2295E-01	1.2295E-01
実効原子量 (Pu, U)N	252.5	252.5	252.5	252.5

\* 設定値 Pu富化度 0.3 実効原子量 252.485

リチウム 密 度	0.534	構造材 密 度	8.56 (Nb)
Li-6存在比	7.50%		
Li-7存在比	92.50%		
ペリリウム 密 度	1.84		

第2.3表 一次元計算臨界サーチ結果

番号	炉心仕様の概要					k-effective	%△ρ	備考	炉心体積 (cm <sup>3</sup> )	円柱直徑 (高さ30cm)	燃焼計算 実施ケース
	炉心半径 (cm)	反射体厚 (cm)	U濃縮度 (wt %)	Pu富化度 (wt %)	燃料領域 温度						
1	18.0	10	20	30	温度 300K	1.04444			2.443E+04	32.20	
2	18.0	10	20	30	温度 1250K	1.03871	-0.5%	温度効果	2.443E+04	32.20	*
3	12.7	10	90	0	温度 1250K	1.03458	-0.4%	2をRef.	8.580E+03	19.08	*
4	13.7	10	80	0	温度 1250K	1.03349	-0.5%	同	1.077E+04	21.38	
5	15.0	10	70	0	温度 1250K	1.03332	-0.5%	同	1.414E+04	24.49	*
6	23.8	10	天然	30	温度 1250K	1.03673	-0.2%	同	5.647E+04	48.96	
7	18.2	10	天然	40	温度 1250K	1.04000	0.1%	同	2.525E+04	32.74	*
8	15.0	10	天然	50	温度 1250K	1.03624	-0.2%	同	1.414E+04	24.49	*
9	13.0	10	天然	60	温度 1250K	1.03555	-0.3%	同	9.203E+03	19.76	*
10	17.0	10	25	30	温度 1250K	1.03604	-0.2%	同	2.058E+04	29.55	
11	16.2	10	30	30	温度 1250K	1.03560	-0.3%	同	1.781E+04	27.49	
12	15.5	10	35	30	温度 1250K	1.03500	-0.3%	同	1.560E+04	25.73	
13	15.0	10	40	30	温度 1250K	1.03950	0.1%	同	1.414E+04	(24.49)	*

第2.4表 代表的な大きさおよび組成の炉心に対する1次元燃焼計算結果

半径 18 cm 炉心

	U 20%/Pu 30%		U 天然/Pu 40%	
	実効増倍率	反応度欠損	実効増倍率	反応度欠損
初装荷	0.99268		0.98396	
1年	0.98348	-0.94%	0.97232	-1.22%
2年	0.97444	-0.94%	0.96096	-1.22%
3年	0.96554	-0.95%	0.94986	-1.22%
4年	0.95679	-0.95%	0.93902	-1.22%
5年	0.94817	-0.95%	0.92841	-1.22%
6年	0.93967	-0.95%	0.91803	-1.22%
7年	0.93129	-0.96%	0.90786	-1.22%
8年	0.92302	-0.96%	0.89790	-1.22%
9年	0.91485	-0.97%	0.88814	-1.22%
合計		-8.57%		-10.96%

半径 15 cm 炉心

	U 70%/Pu 0%		U 40%/Pu 30%		U 天然/Pu 50%	
	実効増倍率	反応度欠損	実効増倍率	反応度欠損	実効増倍率	反応度欠損
初装荷	0.99073		0.98625		0.97829	
1年	0.98458	-0.63%	0.97581	-1.08%	0.96359	-1.56%
2年	0.97838	-0.64%	0.96543	-1.10%	0.94914	-1.58%
3年	0.97211	-0.66%	0.95511	-1.12%	0.93490	-1.60%
4年	0.96579	-0.67%	0.94483	-1.14%	0.92087	-1.63%
5年	0.95940	-0.69%	0.93460	-1.16%	0.90704	-1.66%
6年	0.95296	-0.71%	0.92440	-1.18%	0.89339	-1.68%
7年	0.94645	-0.72%	0.91422	-1.20%	0.87992	-1.71%
8年	0.93987	-0.74%	0.90407	-1.23%	0.86662	-1.74%
9年	0.93323	-0.76%	0.89399	-1.25%	0.85348	-1.78%
合計		-6.22%		-10.46%		-14.95%

半径 13 cm 炉心

	U 90%/Pu 0%		U 天然/Pu 60%	
	実効増倍率	反応度欠損	実効増倍率	反応度欠損
初装荷	0.99987		0.96932	
1年	0.99188	-0.81%	0.95147	-1.94%
2年	0.98380	-0.83%	0.93378	-1.99%
3年	0.97562	-0.85%	0.91624	-2.05%
4年	0.96734	-0.88%	0.89883	-2.11%
5年	0.95897	-0.90%	0.88156	-2.18%
6年	0.95049	-0.93%	0.86440	-2.25%
7年	0.94192	-0.96%	0.84735	-2.33%
8年	0.93323	-0.99%	0.83046	-2.40%
9年	0.92444	-1.02%	0.81357	-2.50%
合計		-8.16%		-19.75%

第2.5表 代表的な組成の炉心に対する1次元燃焼計算結果  
炉心とベリリウム反射体との間に吸収体(Cd 0.25 cm)を設けた場合

半径 1.5.5 cm 炉心

	U 70% / Pu 0%		U 天然 / Pu 50%	
	実効増倍率	反応度欠損	実効増倍率	反応度欠損
初装荷	0.99852		1.00277	
1年	0.99324	-0.53%	0.98946	-1.34%
2年	0.98791	-0.54%	0.97638	-1.35%
3年	0.98255	-0.55%	0.96351	-1.37%
4年	0.97714	-0.56%	0.95086	-1.38%
5年	0.97169	-0.57%	0.93840	-1.40%
6年	0.96620	-0.58%	0.92613	-1.41%
7年	0.96066	-0.60%	0.91404	-1.43%
8年	0.95508	-0.61%	0.90212	-1.45%
9年	0.94945	-0.62%	0.89036	-1.46%
合計		-5.18%		-12.59%

第2.6表 燃料物質の燃焼による変化

炉心とベリリウム反射体との間に吸収体( Cd 0.25 cm )を設けた場合

半径 15.5 cm 炉心 U 70% / Pu 0% 組成 (個 / barn/cm)

	U-235	U-236	U-238	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	Am-241
初装荷	1.19E-02	0.00E+00	5.03E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1年	1.17E-02	2.46E-05	5.02E-03	5.68E-06	7.01E-09	2.21E-11	1.19E-14	2.66E-13
2年	1.16E-02	4.90E-05	5.01E-03	1.13E-05	2.82E-08	1.77E-10	1.92E-13	4.25E-12
3年	1.15E-02	7.34E-05	5.00E-03	1.70E-05	6.36E-08	5.98E-10	9.80E-13	2.15E-11
4年	1.13E-02	9.76E-05	4.99E-03	2.26E-05	1.14E-07	1.42E-09	3.13E-12	6.77E-11
5年	1.12E-02	1.22E-04	4.98E-03	2.82E-05	1.78E-07	2.78E-09	7.70E-12	1.65E-10
6年	1.11E-02	1.46E-04	4.97E-03	3.37E-05	2.57E-07	4.82E-09	1.61E-11	3.42E-10
7年	1.09E-02	1.70E-04	4.96E-03	3.93E-05	3.52E-07	7.66E-09	3.01E-11	6.33E-10
8年	1.08E-02	1.94E-04	4.95E-03	4.48E-05	4.61E-07	1.15E-08	4.19E-11	1.08E-09
9年	1.07E-02	2.17E-04	4.95E-03	5.02E-05	5.86E-07	1.64E-08	8.40E-11	1.73E-09

半径 15.5 cm 炉心 U 天然 / Pu 50% 組成 (個 / barn/cm)

	U-235	U-236	U-238	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	Am-241
初装荷	6.03E-05	0.00E+00	8.32E-03	4.84E-03	2.00E-03	1.16E-03	3.30E-04	0.00E+00
1年	5.92E-05	2.36E-07	8.30E-03	4.77E-03	1.99E-03	1.09E-03	3.30E-04	5.36E-05
2年	5.81E-05	4.71E-07	8.28E-03	4.70E-03	1.99E-03	1.02E-03	3.31E-04	1.03E-04
3年	5.70E-05	7.06E-07	8.26E-03	4.63E-03	1.99E-03	9.55E-04	3.31E-04	1.48E-04
4年	5.59E-05	9.40E-07	8.24E-03	4.56E-03	1.98E-03	8.95E-04	3.31E-04	1.90E-04
5年	5.48E-05	1.17E-06	8.22E-03	4.49E-03	1.98E-03	8.40E-04	3.31E-04	2.28E-04
6年	5.37E-05	1.41E-06	8.20E-03	4.42E-03	1.98E-03	7.87E-04	3.31E-04	2.62E-04
7年	5.26E-05	1.64E-06	8.18E-03	4.34E-03	1.97E-03	7.38E-04	3.31E-04	2.94E-04
8年	5.14E-05	1.87E-06	8.15E-03	4.27E-03	1.97E-03	6.93E-04	3.30E-04	3.22E-04
9年	5.03E-05	2.10E-06	8.13E-03	4.20E-03	1.97E-03	6.50E-04	3.29E-04	3.48E-04

第2.7表 ウラン炉心とプルトニウム炉心の密度係数

	ウラン炉心	プルトニウム炉心
U -235	4.873E-03	3.164E-03
U -236		
U -238	2.003E-02	2.167E-02
Pu-239		3.930E-01
Pu-240		5.928E-02
Pu-241		1.208E-01
Pu-242		7.482E-03

単位 :  $(N \cdot \Delta K) / (K \cdot \Delta N)$

第2.8表 密度係数から求めた核種毎の反応度寄与分

半径 15.5 cm 炉心 U 70% / Pu 0% 組成

	U-235	U-236	U-238	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	Am-241
初装荷								
1年	5.63E-03		3.61E-05					
2年	5.69E-03	0.00E+00	3.65E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	
3年	5.76E-03	0.00E+00	3.68E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	
4年	5.82E-03	0.00E+00	3.72E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	
5年	5.88E-03	0.00E+00	3.76E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	
6年	5.96E-03	0.00E+00	3.80E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	
7年	6.03E-03	0.00E+00	3.84E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	
8年	6.09E-03	0.00E+00	3.88E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	
9年	6.17E-03	0.00E+00	3.92E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	
合計	5.30E-02	0.00E+00	3.39E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.34%
比率	99.4%	0.0%	0.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.00%

半径 15.5 cm 炉心 U 天然 / Pu 50% 組成

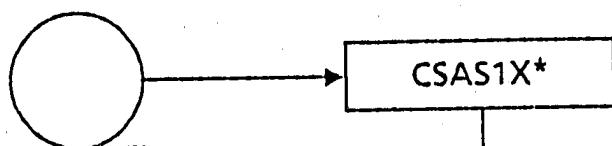
	U-235	U-236	U-238	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	Am-241
初装荷								
1年	5.74E-05		5.25E-05	5.72E-03	8.25E-05	7.56E-03	-1.40E-05	
2年	5.87E-05	0.00E+00	5.36E-05	5.83E-03	8.68E-05	7.56E-03	-1.01E-05	0.00E+00
3年	6.01E-05	0.00E+00	5.48E-05	5.93E-03	8.90E-05	7.55E-03	-6.11E-06	0.00E+00
4年	6.14E-05	0.00E+00	5.59E-05	6.04E-03	9.39E-05	7.55E-03	-2.37E-06	0.00E+00
5年	6.28E-05	0.00E+00	5.74E-05	6.15E-03	9.85E-05	7.54E-03	1.31E-06	0.00E+00
6年	6.42E-05	0.00E+00	5.81E-05	6.25E-03	1.03E-04	7.52E-03	4.88E-06	0.00E+00
7年	6.57E-05	0.00E+00	5.95E-05	6.37E-03	1.08E-04	7.49E-03	8.39E-06	0.00E+00
8年	6.72E-05	0.00E+00	6.08E-05	6.48E-03	1.14E-04	7.46E-03	1.20E-05	0.00E+00
9年	6.87E-05	0.00E+00	6.19E-05	6.59E-03	1.20E-04	7.43E-03	1.50E-05	0.00E+00
合計	5.66E-04	0.00E+00	5.15E-04	5.54E-02	8.96E-04	6.77E-02	9.03E-06	0.00E+00
比率	0.5%	0.0%	0.4%	44.3%	0.7%	54.1%	0.0%	0.0%
								100.00%

第2.9表 炉心内の組成変化と核種崩壊による組成変化

	Pu-241の組成		Am-241の組成		Pu241とAm241の合計	
	数密度	相対値	数密度	Am241/Pu241	数密度	相対値
初装荷	1.159E-03	1.000	0.000E+00	0.000	1.159E-03	1.000
1年	1.087E-03	0.937	5.358E-05	0.049	1.140E-03	0.984
2年	1.019E-03	0.879	1.029E-04	0.101	1.122E-03	0.968
3年	9.550E-04	0.824	1.482E-04	0.155	1.103E-03	0.952
4年	8.954E-04	0.772	1.897E-04	0.212	1.085E-03	0.936
5年	8.395E-04	0.724	2.276E-04	0.271	1.067E-03	0.921
6年	7.873E-04	0.679	2.622E-04	0.333	1.050E-03	0.905
7年	7.385E-04	0.637	2.937E-04	0.398	1.032E-03	0.890
8年	6.928E-04	0.598	3.221E-04	0.465	1.015E-03	0.876
9年	6.502E-04	0.561	3.478E-04	0.535	9.980E-04	0.861

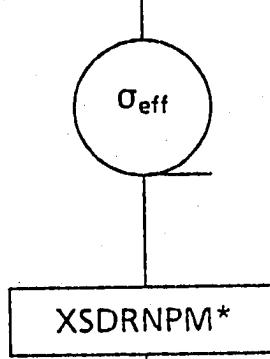
AMPX Master Lib\*

27G

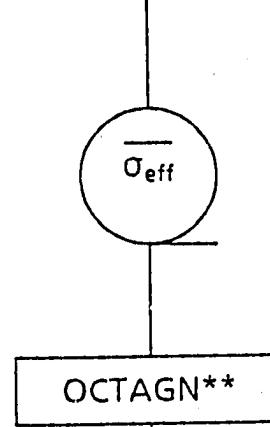


実効断面積作成、1次元輸送計算 ( $P_3S_8$ )  
(臨界寸法サーチ)

AMPX Work Lib  
27G

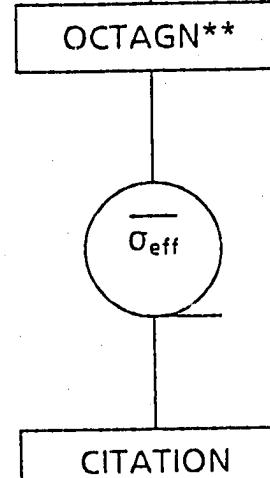


1次元輸送計算 ( $P_1S_8$ )、縮約  
(1eV以下→1G)

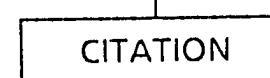


Weighted Lib  
19G

ライブラリー形式変換



CITXS  
19G



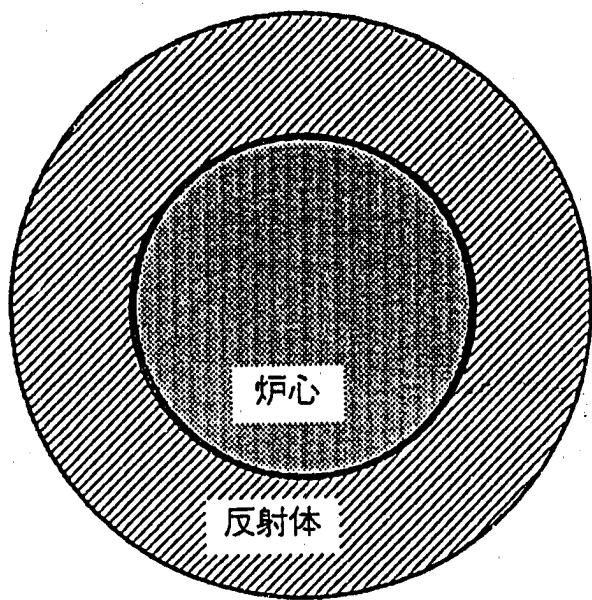
1次元燃焼計算  
(燃焼反応度欠損サーチ)

\* SCALE3 コードシステム

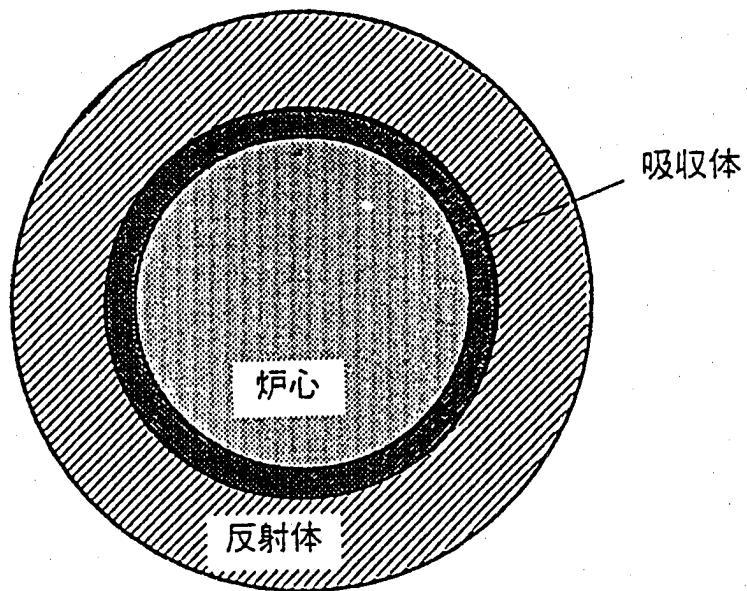
\*\* AMPX2 コードシステム

第2.1 図

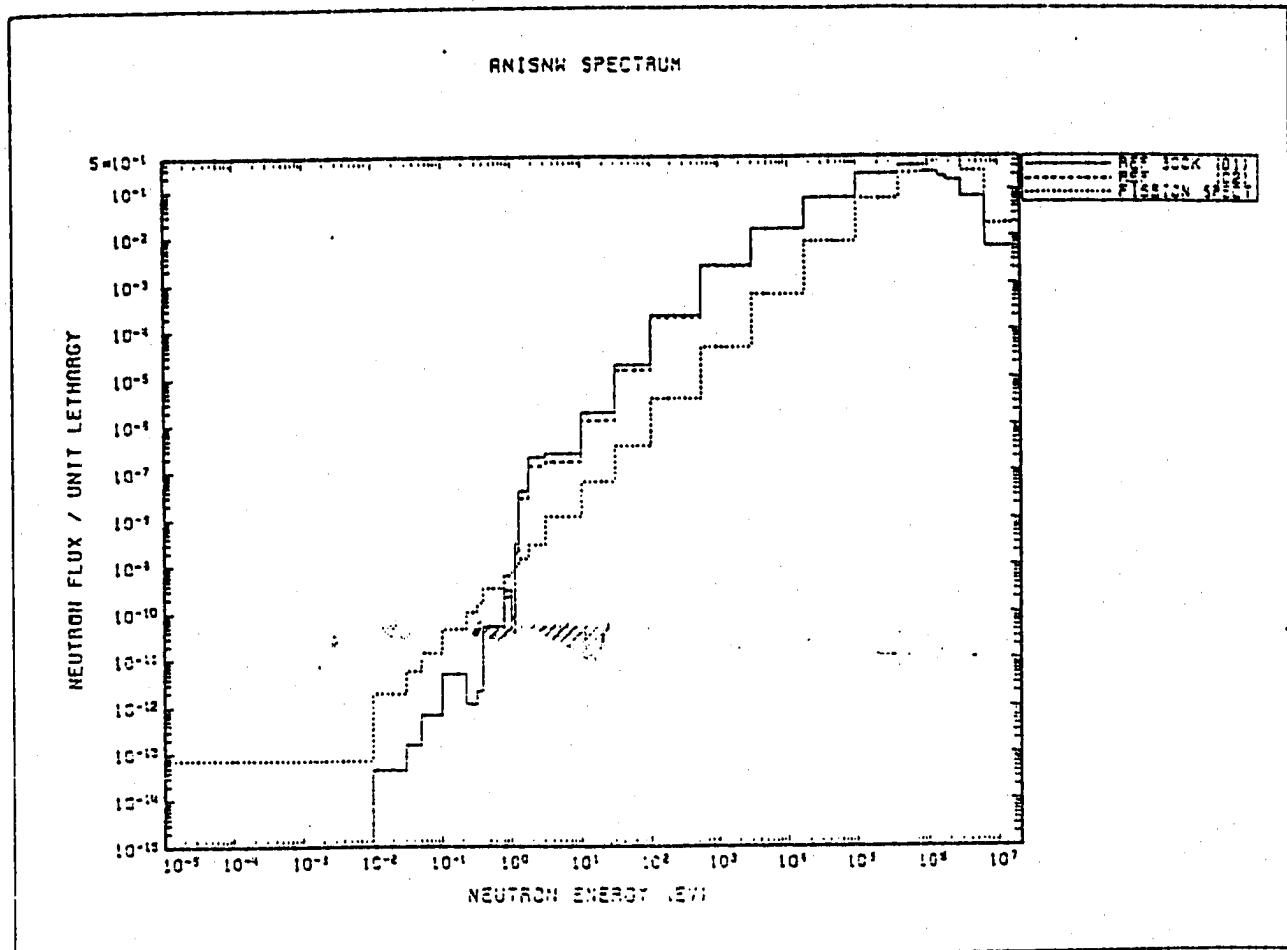
プルトニウム炉心の検討用計算の流れ



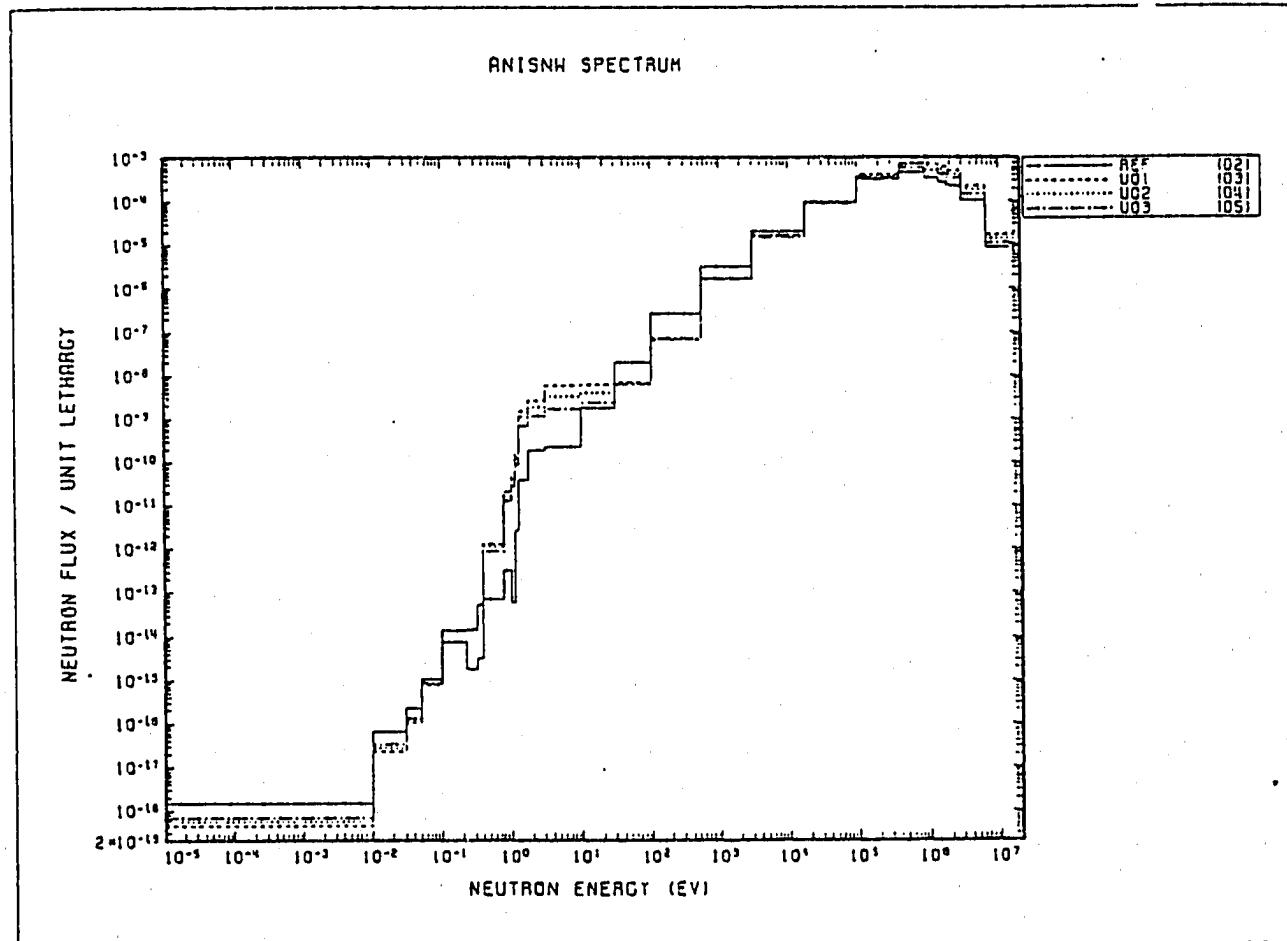
第2.2図 1次元球形状モデル



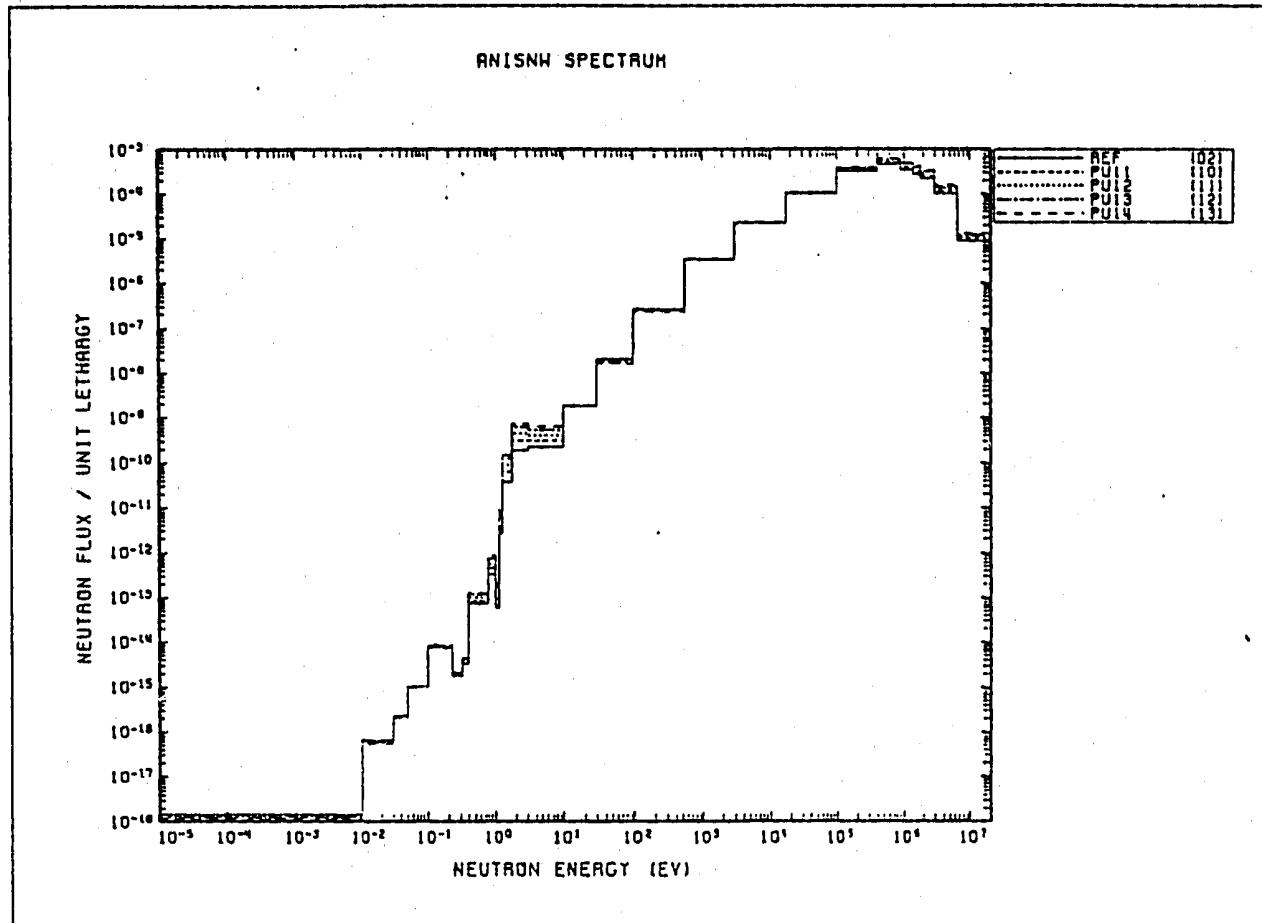
第2.3図 吸収体付き1次元球形状モデル



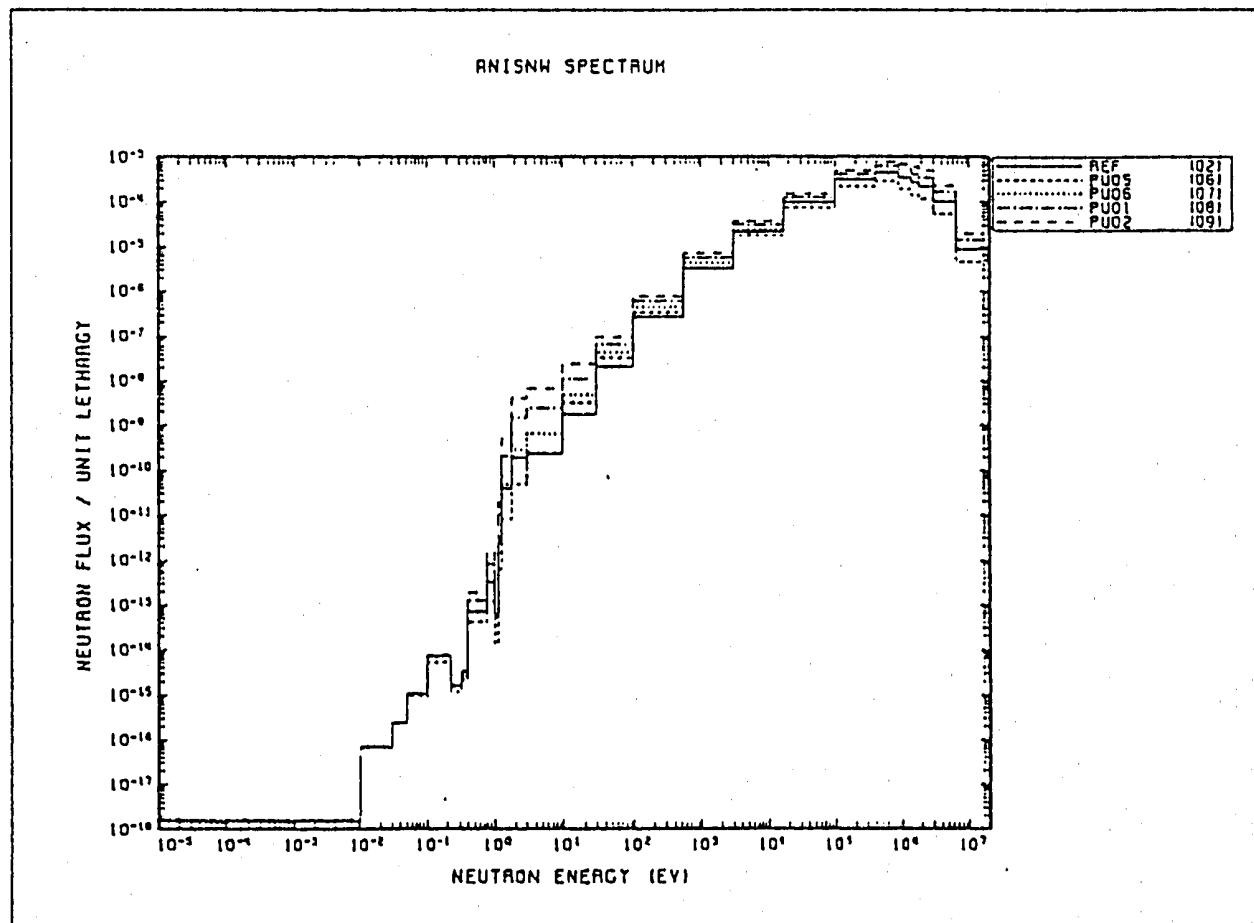
第2.4図 炉心中心スペクトル（基準ブルトニウム炉心）



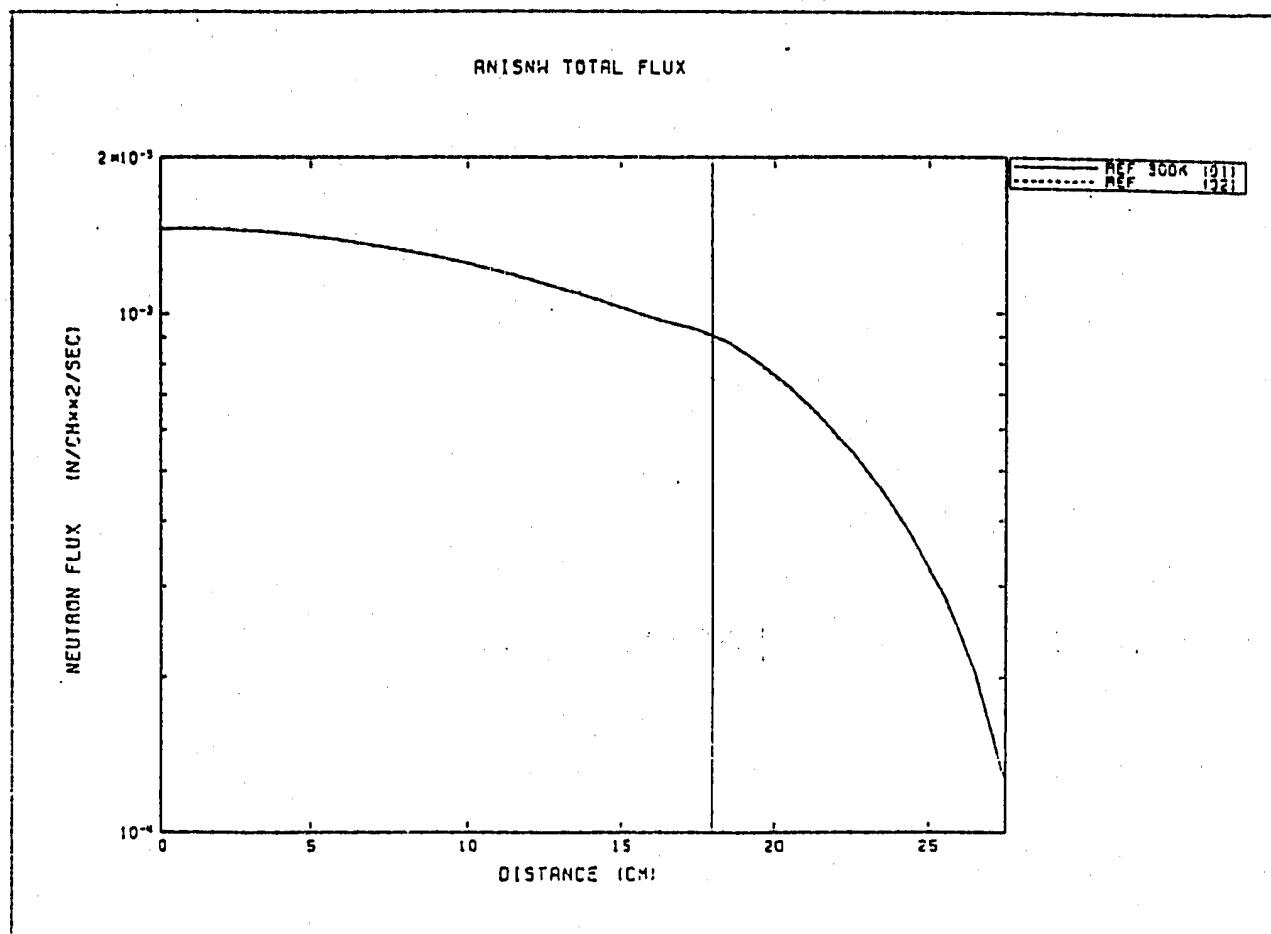
第2.5図 炉心中心スペクトル（ウラン炉心）



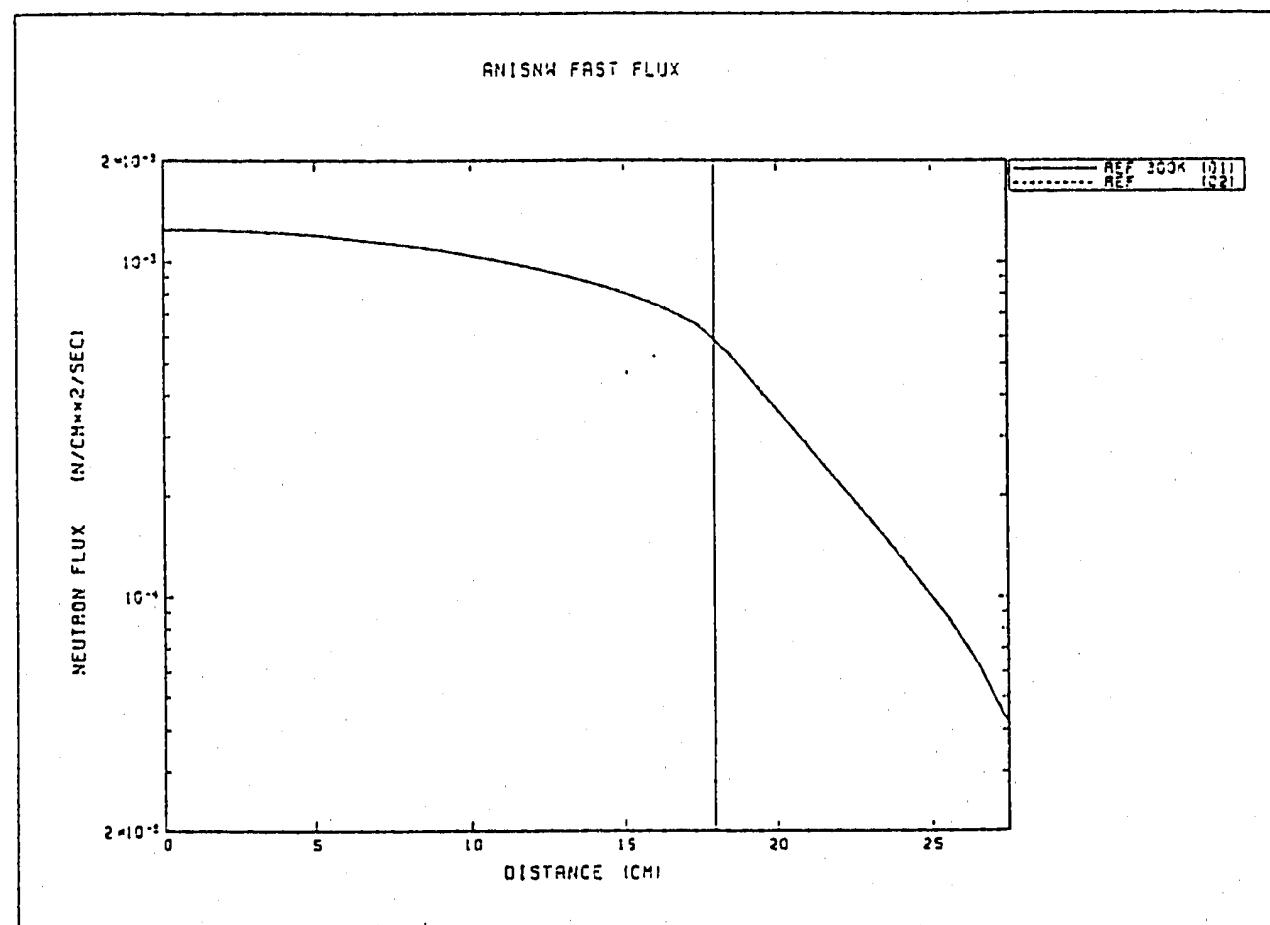
第2.6図 炉心中心スペクトル（プルトニウム炉心：天然ウラン使用）



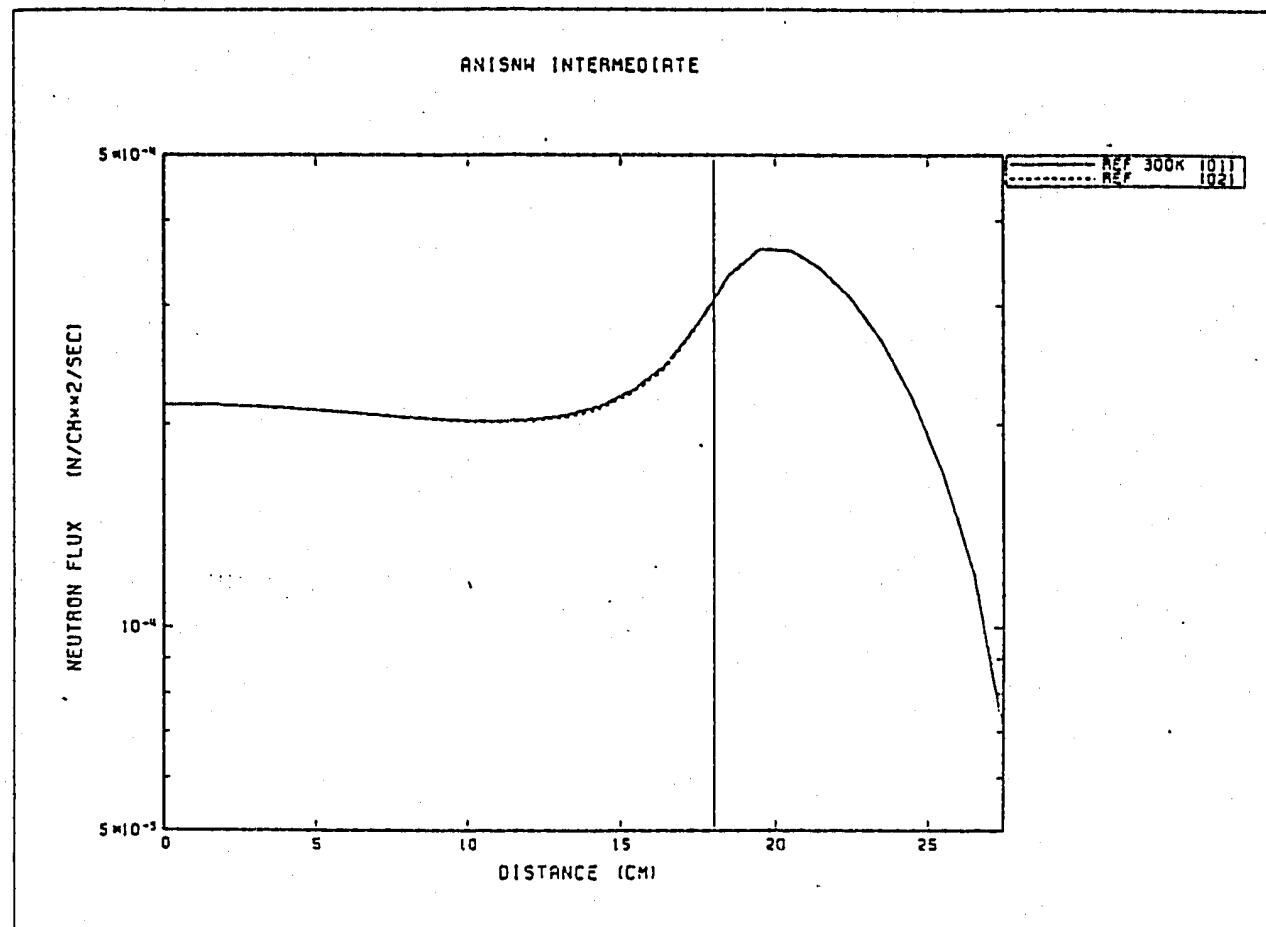
第2.7図 炉心中心スペクトル（プルトニウム炉心：ウラン濃縮）



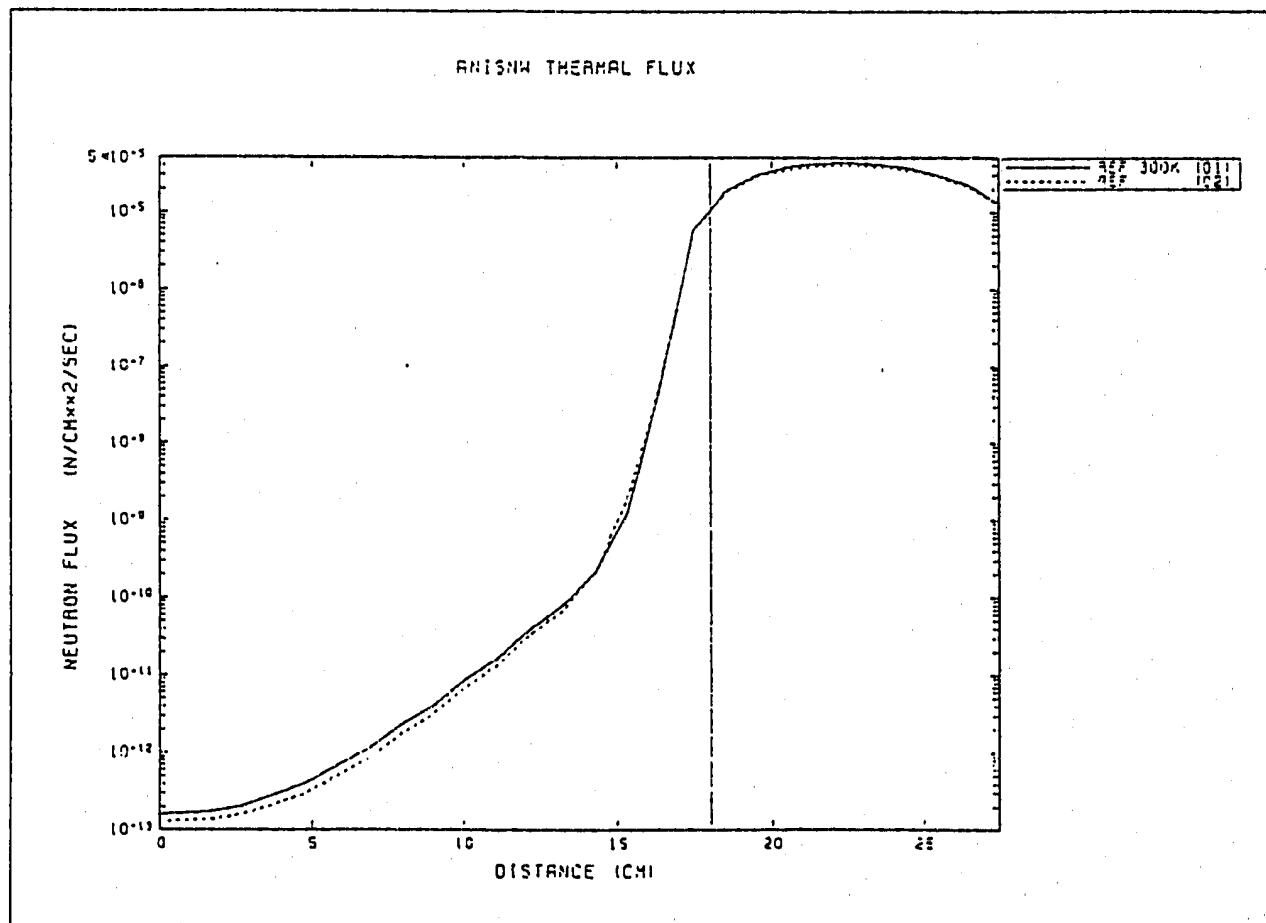
第2.8図 全中性子束の空間分布



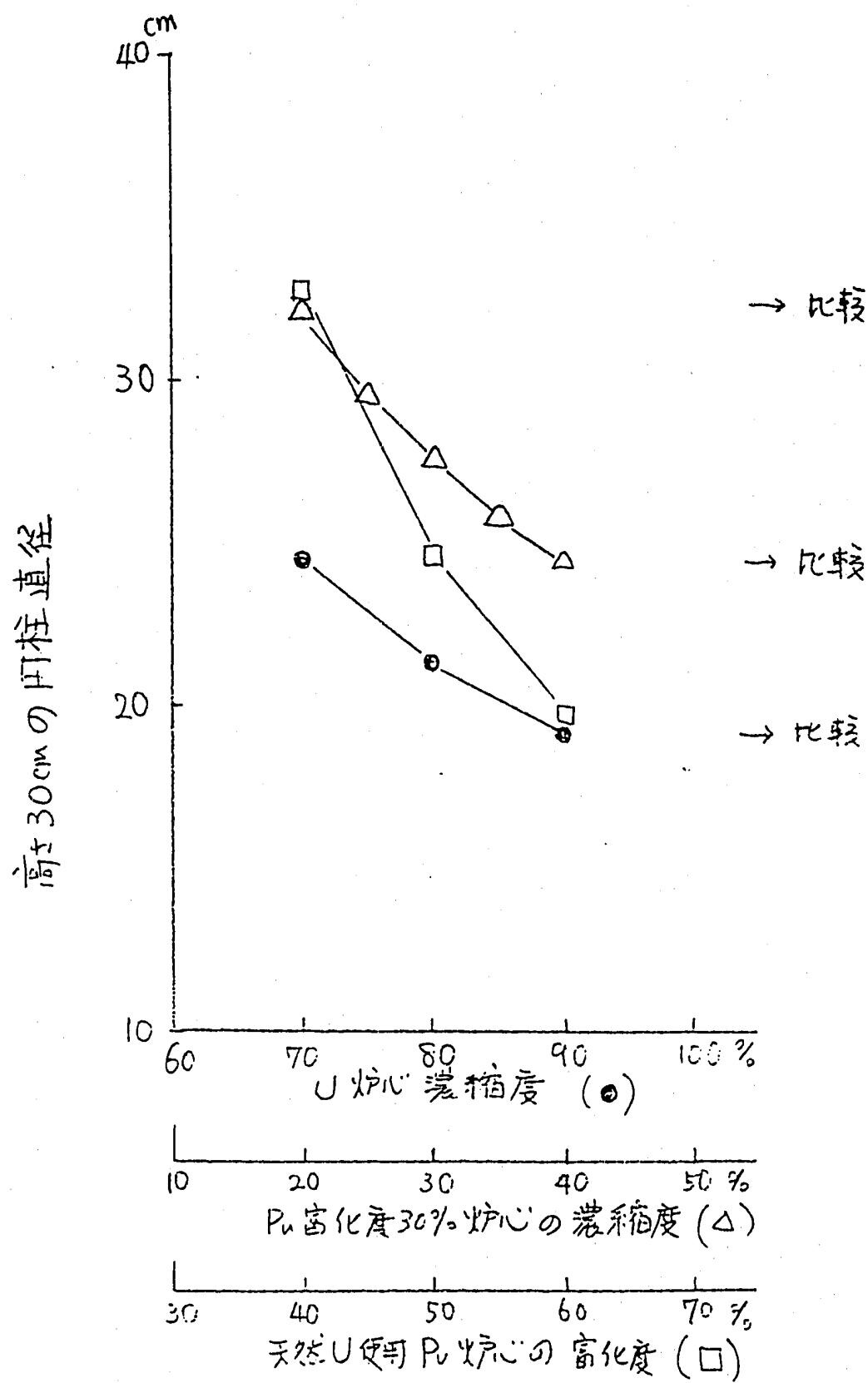
第2.9図 高速中性子束の空間分布



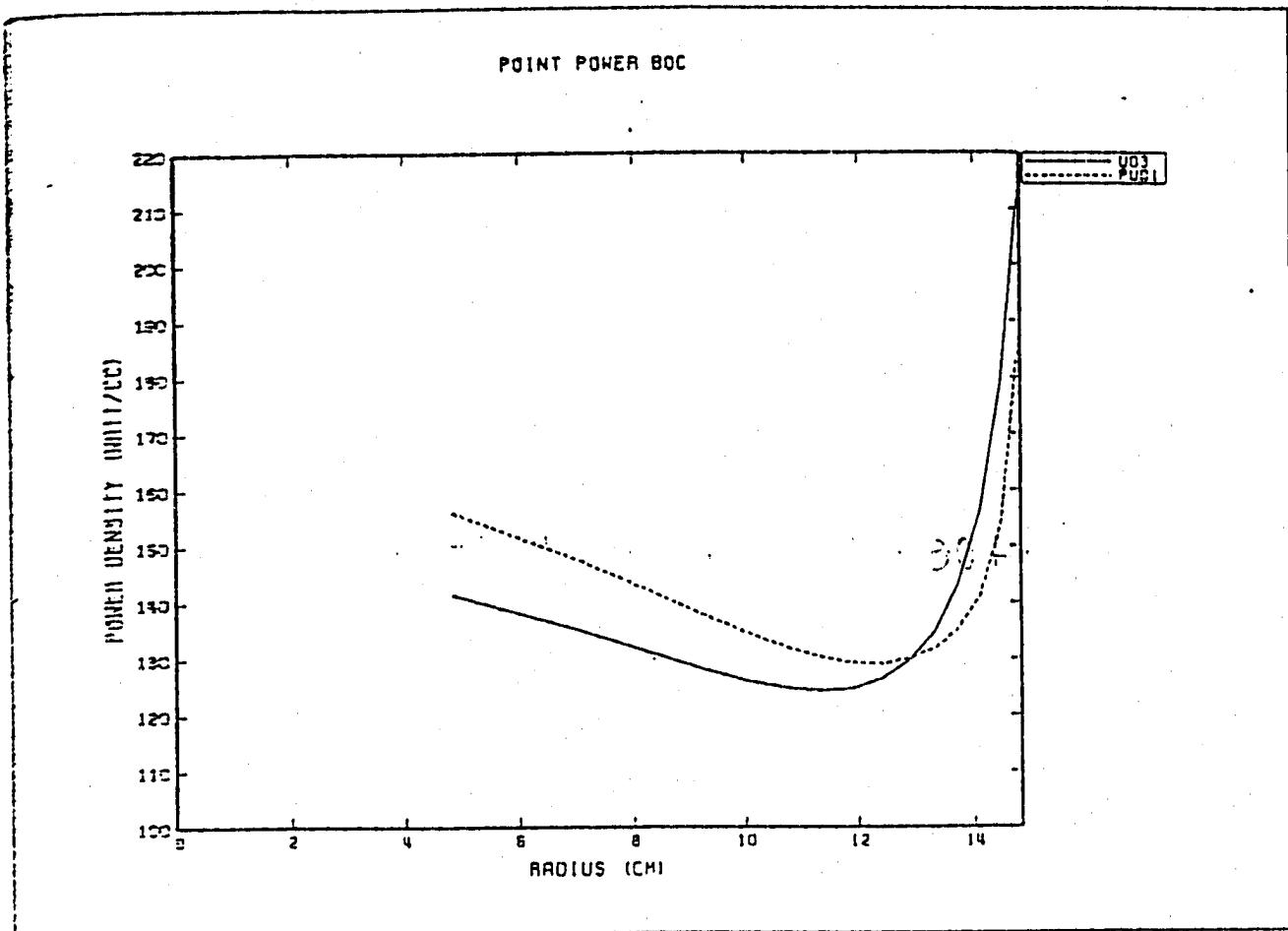
第2.10図 中速中性子束の空間分布



第2.11図 热中性子束の空間分布



第2.12図 燃料組成による臨界寸法の変化



第 2.13 図 出力密度の分布

### 3 ウラン炉心の核特性に係る検討

今回の解析を進めていた過程で、打上げ時の失敗もしくは大気圏再突入時に考え得るプルトニウム飛散に対する安全上の問題から、当面プルトニウム炉心は考慮せずウラン炉心の核特性をより詳細に検討することになった。ここでは、1989年2月上旬時に設定された炉心構成についていくつかの核特性を検討する。

#### 3.1 目的

提示された構造の炉心（第3.1図、第3.2図）について、以下の核特性量を検討することを目的とする。

- 1) 臨界性
- 2) 燃焼反応度欠損量
- 3) 水沈時未臨界性
- 4) 炉停止マージン

このうち、1)、2)については出力運転寿命を10年程度保証するものであり、特に余剰反応度に制限を設けないこととした。3)は海中落下時の反応度制御の観点から、冷却材（リチウム）が水に置換された場合の実効増倍率を評価し、未臨界性が確保し得る炉であることを要求するものである。今回の解析では、未臨界性の保証として実効増倍率が0.96未満を満たすこととした。4)は適切な炉停止の余裕をもっているかを判定するための評価項目であり、反応度制御を担う吸收体が12体のうちの1/3(4体)によって5%△k/kk'程度の反応度効果をもつものであることを確認する。

以上の核特性量について、炉心サイズあるいは燃料組成、さらに水沈時の中性子吸收体としての機能を要求されているレニウム材の量をパラメータとして各種のサーベイ計算を行い、今回の解析範囲で最適な炉心を提示する。

### 3.2 検討内容

以下の手順で解析を行い、その結果を検討した。

- (1) 設計案の反応度が明らかでないため、臨界性および燃焼特性について当り計算を行う。
- (2) これに基づき、組成、炉心サイズ等を変更し、妥当と考えられる炉心を設定する。
- (3) この炉心について、臨界性、燃焼反応度欠損量、水没時の未臨界性および炉停止マージンを評価する。
- (4) 各々の核特性評価項目で要求レベルに達しない場合には、炉心構成等の見直しを行い、再度(3)の評価を実施する。
- (5) 解析した範囲の中で、最も優れている炉心を本解析での最終設計案として提示する。

### 3.3 計算手法および計算モデル

#### 3.3.1 計算手法

このウラン炉心の解析では、評価対象の形状が指定されているため、計算手法も前章のものに比べてより詳細な方法を取ることとした。特に、臨界性等の絶対値が評価項目となる場合には、通常の高速炉を対象とした炉心計算に比べて形状の効果が大きいことが予想される。すなわち、計算対象が小型炉心である上に、配管あるいは制御棒案内管が貫通し、また臨界性に重要な影響を及ぼすと考えられる反射体が12本の円柱形状をしていることなど、通常の拡散計算手法では計算結果の精度が保証できない体系であると考えられる。。そこで前記評価項目の内、燃焼反応度欠損評価以外は3次元モンテカルロ計算コード( KENO-V.a )によることとした。燃焼反応度欠損評価についても、形状の効果が影響を及ぼしている可能性があるが、現在の所3次元コードに燃焼計算の機能が用意されておらず、従来の拡散コード( CITATION )を用いた2次元モデルで扱うこととした。ただし、第2.12図のように、反射体近傍では出力分布が大きく歪み、そのため燃焼による組成変化の領域依存性が大きいことが予想される。そこで、燃焼領域を細分化して計算を行うこととした。第3.3図に、ウラン炉心核特性評価用計算の流れを示す。前出の第2.1図と異なる部分は、3次元モンテカルロ臨界計算コード KENO-V.a による実効増倍率評価が追加されていることである。

KENO-V.aは、KENO-Nと比べて散乱の異方性をPL近似で扱えることおよび形状表現が拡張されていることが特徴である。これに用いる断面積データは、エネルギー群数が計算時間に効かないため、特に縮約せずに27群のままで使用することとした。

計算に使用した断面積データを付録Aに示す。

### 3.3.2 計算モデル

#### (1) 3次元計算体系

第3.1図および第3.2図に示された設計案に基づいて計算を始めたものの、当り計算の結果からこの炉心では反応度が高すぎることが分かった。そこで、炉心組成の変更の他、CRPを4本から6本に変更することとした。これによって過大な反応度を抑制する。

設計案を基に計算体系を設定する際に、使用コード（KENO-V.a）の制約による変更を行った。主要な変更点を以下にまとめる。

- ・ 6本のCRPはウラン濃縮度の低い領域（炉心B）の内側に設定する。
- ・ 径方向反射体の一部に張り込まれたB4C吸收体領域は、そのままの形状を表現できないため、弦を張った形で模擬する。
- ・ 径方向反射体の上部は円錐台の形状であるが、簡単に模擬できないため、円柱状のまとめる。

このような設定法によるモデル図を第3.4図および第3.5図に示す。ただし、径方向反射体の吸收体領域は、反射体領域と吸收体領域との境界線がxおよびy軸と水平あるいは垂直の配置のみが許されているため、全12体のうち4体のみ模擬している。この吸收体の取扱をKENOコードのジオメトリ表示結果を利用して第3.6図（吸收体外向き）、第3.7図（吸收体内向き）に示す。また炉心部を貫通しているCRP領域に炉心高さのB4Cが1本挿入されたときの計算モデルも用意した。

\* k-effective = 1.145

\*\* Control Rod Position

#### (2) 2次元計算体系

燃焼計算を行うための2次元計算体系は、第3.1図および第3.2図に示された3次元計算モデルに基づいて、径方向の各領域の断面積を保存してモデル化した。

炉心部の燃焼ゾーンは、第3.8図に示すように15ゾーンに分割し、1次元計算で示した、炉心内出力分布とそれに影響される組成変化の空間依存性を考慮することとした。

計算体系の内、径方向反射体のモデル化については、反射体の占める断面積を保存する考え方方が妥当かどうか、議論の余地がある。実際、炉心から漏洩する中性子は円柱形状の反射体の隙間を通って系外へ逃げていくものが多く、断面積保存でこのような逃げ道をなくすこ

とは問題であると考えられる。そこで、断面積保存はやめて、反射体のおかれる空間範囲全体（炉容器壁～反射体をすべて含む範囲）で均質化し、密度を薄める方法を採用した（約0.73倍）。第3.8図の径方向反射体領域は、このような設定法によるものである。

### 3.3.3 計算条件

#### (1) 各領域の組成

本解析では、以下の方針で各領域の組成を設定した。

##### a) 炉心部体積比率

基本とした炉心部体積比率は以下の通りである。

燃料体積比 : ~~49%~~  
47%

ただし、スミヤ密度比は 88 % とする。

減速材体積比 : 35 %

構造材体積比 : 18 %

ただし、冠水時の反応度を低下させるために、レニウム材の割合を増加させる場合には、その分構造材比率をあげて燃料体積比を下げるここととした。領域は次の通り 10 領域に分けて扱った。

- ・ 炉心 A (97% 濃縮度) 領域
- ・ 炉心 B (80% 濃縮度) 領域
- ・ 軸方向反射体領域
- ・ ガスプレナム領域
- ・ 径方向反射体領域
- ・ 出口配管部領域
- ・ C R P 領域
- ・ 炉容器壁領域
- ・ 中性子吸收体 (B4C) 領域
- ・ 出口配管部領域

##### b) その他

以下の通り設定した。

- ・冷却材のリチウム：100% Li-7
- ・吸収体のB4C：100% B-10、スミヤ密度比は80%

この方針で設定された数密度データは、次節に示す。

#### (2) 3次元モンテカルロ計算の条件

KENO-V.aによるモンテカルロ計算は、中性子散乱の異方性をP3近似で扱った。また、ヒストリー数に関しては、300中性子/世代とし、60世代分すなわち、18000ヒストリーで実効増倍率を評価した。

#### (3) 燃焼計算の条件

燃焼計算は、前章と同じくCITATIONコードを用いた。ただし、2次元RZモデルである。計算条件も特に変わっていないが、燃焼ゾーンは15へと増やし、組成変化の空間依存性をより厳密に扱うこととした。

### 3.4 計算結果

以下では、数ケースの当たり計算の結果によってほぼ最終決定された炉心についての核特性量の計算結果を示す。ケース1炉心は、基本とした炉心部燃料体積比から2%分をレニウム金属に置き換えたものであり、この解析での基準ケースとして位置付ける。また、ケース2炉心は、レニウム金属を基準ケースから1%増加させ、3%としたものである。更に、ケース1と異なり、基本とした炉心部減速材体積比から2%分をレニウム金属に置き換えたケース3炉心についても計算した。

#### 3.4.1 ケース1炉心

##### (1) 炉心サイズ

設計案に対して、反応度を調整するために、その径方向と軸方向サイズを9.2%まで縮小したモデルである。上下軸方向反射体領域およびガスプレナム領域の軸方向長さは縮小せず、各々10cmと30cmのままである。

主要なサイズは以下の通りである。

- ・炉心領域高さ : 36.80 cm
- ・炉心A領域半径 : 19.32 cm
- ・炉心B領域半径 : 13.80 cm
- ・出口配管領域半径 : 3.45 cm
- ・C R P領域半径 : 2.484cm
- ・炉容器壁領域厚さ : 1.1 cm
- ・径方向反射体領域半径 : 6.97 cm
- ・径方向反射体中心半径 : 27.89 cm

##### (2) 各領域の核種数密度

上記炉心サイズで設定した各領域の核種数密度を第3.1表(通常時)、第3.2表(冠水時)に示す。

このケース1炉心では、構造材の他、構造材のライナーとして炉心体積比率2%のレニウム金属を含むものとして組成を決定している。

### (3) 核特性量計算結果

第3.3表の(1)にモンテカルロ計算結果を示す。また、第3.4表に2次元燃焼計算結果とクリーン炉心の3次元計算結果を反映した燃焼計算結果を示す。

第3.4表から、初装荷炉心の臨界性が約2%の過剰反応度程度でも、炉心寿命は約7～9年程度確保できることが分かる。

しかしながら、第3.3表に示す通り、径方向反射体12体の内の4体の吸收体領域が内向きとなった場合の反応度低下は、約 $3.5\% \Delta\rho$ となり、目標とした5%には到達していない。また、冠水時の実効増倍率も0.9877であり、目標とした実効増倍率0.96以下には達していない。

この炉心のCRP領域にポイズンプラグの様な、吸收体が入ったときの実行増倍率は、1.0を下回り、一本当たりの反応度価値が約2.7%  $\Delta\rho$ 程度あることが分かった。

### 3.4.2 ケース2炉心

#### (1) 炉心サイズ

ケース1炉心と同じである。

#### (2) 各領域の核種数密度

上記炉心サイズで設定した各領域の核種数密度を第3.4表（通常時）、第3.5表（冠水時）に示す。

このケース2炉心では、構造材の他、構造材のライナーとして炉心体積比率3%のレニウム金属を含むものとして組成を決定している。

#### (3) 核特性量計算結果

第3.3表の(2)にモンテカルロ計算結果を示す。第3.3表に示す通り、径方向反射体12体の内の4体の吸收体領域が内向きとなった場合の反応度低下は、約 $4.5\% \Delta\rho$ となり、ケース1炉心の約 $3.5\% \Delta\rho$ に比べれば増加しているものの、依然目標とした5%には到達していない。また、冠水時の実効増倍率も0.9717であり、やはり目標とした実効増倍率0.96以下には到達していない。

### 3.4.3 ケース3炉心

#### (1) 炉心サイズ

ケース1炉心と同じである。

#### (2) 各領域の核種数密度

上記炉心サイズで設定した各領域の核種数密度を第3.7表(通常時)、第3.8表(冠水時)に示す。

このケース3炉心では、ケース1と同じく構造材のライナーとして炉心体積比率2%のレニウム金属を含むものとして組成を決定している。ただし、ケース1ではレニウムの体積比分だけ燃料体積比を減らしたが、このケースでは減速材体積比を2%減少させている。

#### (3) 核特性量計算結果

第3.3表の(3)にモンテカルロ計算結果を示す。第3.3表に示す通り、径方向反射体12体の内の4体の吸収体領域が内向きとなつた場合の反応度低下は、約3.7% $\Delta\rho$ となり、ケース1炉心の約3.5% $\Delta\rho$ とほぼ等しい。また、冠水時の反応度低下も約3.8% $\Delta\rho$ 程度であり、これもケース1炉心と大差がない。

### 3.5 検討

ここでは更に炉心を小型化し、炉心の重量削減が可能であることと解析手法の課題を示す。

#### 3.5.1 炉心構成の見直し

今回の解析では、まず炉心等のサイズが与えられたため、これを余り逸脱しない範囲で計算を行った。そのため、2領域に分けた炉心の内、濃縮度の低い領域では80%としている。この領域の濃縮度を上げれば、更に炉心の小型化が可能である。また、径方向のみでなく軸方向も反射体近傍の濃縮度を上げることもアイデアとして検討されても良い。

#### 3.5.2 出力分布

2次元拡散計算結果から炉心内出力密度を見ると、ピーク値は炉心最外部の炉心高さ中央部に見られる。値は次の通りである。

初装荷時 : 70.99 Watt/cc

10年燃焼時 : 71.38 Watt/cc

この値は、通常の高速炉と比べてかなり低い値と考えられる。この面からも更に小型の炉心を設定できる可能性がある。

また、ピーリング係数は各々次の通りである。

初装荷時 : 径方向=1.170 軸方向=1.177

10年燃焼時 : 径方向=1.181 軸方向=1.172

これらの出力ピーリングを生じているメッシュに沿った径方向および軸方向の出力分布を第3.9図、第3.10図に示す。

### 3.5.3 炉心部体積比の影響

第3.3表から、おおまかではあるが、レニウム金属と燃料の置換反応度および減速材と燃料の置換反応度が計算できる。これは、燃料ピッチの最適化のためのデータとなるので以下にまとめておく。

- ・ レニウム金属と燃料の置換反応度（体積比2%）

径方向吸收体外向き :  $2.6\% \Delta \rho$

径方向吸收体内向き :  $2.5\% \Delta \rho$

冠水時 :  $2.2\% \Delta \rho$

- ・ 減速材と燃料の置換反応度（体積比1%）

径方向吸收体外向き :  $1.1\% \Delta \rho$

径方向吸收体内向き :  $2.2\% \Delta \rho$

冠水時 :  $1.7\% \Delta \rho$

### 3.5.4 解析手法の課題

今回の解析では、3次元コードとしてKENO-V.aを用いたが、より一般的な形状表現が可能な3次元コードが必要である。これにより、径方向反射体領域に設けられる中性子吸収体の反応度価値評価がより現実的なものとなる。その候補としては、米国でこの種の解析に利用されることが多いMCNPを上げることができる。

また、燃焼に伴う反応度欠損の評価についても少なくとも2次元輸送計算コードの利用が望まれる。このためには、2次元計算コードへの断面積データの受渡しを可能とし、まず初装荷時と10年燃焼時の両組成により、輸送効果がどの程度のものかを把握することが必要である。

### 3.6 まとめ

3次元モンテカルロ計算と2次元拡散燃焼計算により、1989年2月に設定されたウラン炉心の核特性量評価を行った。その結果、次のことが明かとなった。

- (1) 当初設定された炉心サイズ、構成では反応度が高すぎるため、解析モデルのケース1炉心またはケース2炉心のように、サイズを92%程度まで縮小することとCRPを4本から6本へと増加する必要がある。
- (2) ケース1炉心では、炉心寿命に関しては7~9年程度確保できるものの、炉停止マージンが約3.5%Δρであること、また冠水時の実効増倍率が0.98±7程度であり、各々の目標値、5%Δρおよび0.96以下に到達しなかった。
- (3) ケース1炉心とケース2炉心との比較から、炉停止マージンと冠水時未臨界性マージンは、~~はるか~~多くの金属の量を増加することにより目標値に近づけることができる。ただし、燃料体積比がその分減少するため、濃縮度もしくは炉心サイズの変更がさらに必要となる。

今後の課題としては以下の項目が挙げられる。

- (1) 解析手法、特に3次元計算コードの選択と輸送効果の検討が必要である。
- (2) 今回の解析では燃料の濃縮度にまだ余裕があり、さらに炉心の小型化が期待できる。その場合、炉停止マージンと冠水時の未臨界性の評価に関してパラメトリックなサイペイ計算が必要である。また、炉心の小型化によって出力密度が上昇すれば、今回は問題とならなかった炉心寿命が短くなる可能性があり、再度一連の計算が必要となる。

### 謝 辞

本研究の実施に当たっては、(株)三菱総合研究所の角田弘和氏の助力を得た。ここに謝意を表します。

第3.1表 ケース1炉心の通常時核種数密度(1/2)

Re 2 vol. %

ア - タ	炉心A 濃縮度97%	炉心B 濃縮度80%	軸方向反射体 領域	ガスブレナム 領域	径方向反射体 領域
U 235重量比 (wt%)	97.00	80.00	0.00	0.00	0.00
U 238重量比 (wt%)	3.00	20.00	100.00	100.00	100.00
燃料理論密度 (g/cc)	14.31	14.31	0.00	0.00	0.00
燃料体積比 (-)	0.47	0.47	0.47	0.00	1.00
スミヤ密度比(-)	0.88	0.88	0.88	0.88	1.00
ウラン存在比(-)	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
減速材体積比 (-)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.00
構造材体積比 (-)	0.18	0.18	0.18	0.18	0.00
空隙部体積比 (-)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
構造材密度 (g/cc)	14.02	14.02	14.02	14.02	0.00
C (wt%)					
Zr (wt%)					
Nb (wt%)					
Mo (wt%)	48.49	48.49	48.49	48.49	49.00
Hf (wt%)	-	-	-	-	-
Ta (wt%)					
W (wt%)					
Re (wt%)	53.49	53.49	53.49	53.49	51.00
燃料実効密度 (g/cc)	5.9186	5.9186	0.0000	0.0000	0.0000
U 実効密度 (g/cc)	5.5860	5.5867	0.0000	0.0000	0.0000
燃U 235 数密度 (個/cc/b)	1.3883E-02	1.1451E-02	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
燃U 238 数密度 (個/cc/b)	4.2394E-04	2.8266E-03	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
燃N 数密度 (個/cc/b)	1.4307E-02	1.4278E-02	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
減Li-6 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
遠Li-7 数密度 (個/cc/b)	1.6042E-02	1.6042E-02	1.6042E-02	1.6042E-02	0.0000E+00
材					
C 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
Zr(Nat) 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
Nb(Nat) 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
Mo(Nat) 数密度 (個/cc/b)	7.6791E-03	7.6791E-03	7.6791E-03	7.6791E-03	0.0000E+00
Hf(Nat) 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
造Ta-181 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
材W -182 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
W -183 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
W -184 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
W -186 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
Re-185 数密度 (個/cc/b)	1.6324E-03	1.6324E-03	1.6324E-03	1.6324E-03	0.0000E+00
Re-187 数密度 (個/cc/b)	2.7324E-03	2.7324E-03	2.7324E-03	2.7324E-03	0.0000E+00
Be 数密度 (個/cc/b)			5.0853E-02	0.0000E+00	1.2295E-01
実効原子量	249.14	249.65	252.06	252.06	252.06

## \* 設定値

リチウム	構造材		
密度	0.534	密度	14.017
Li-6存在	0.00%	Re 体積比	33.4% Re:21.2g/cc
Li-7存在	100.00%	Mo 体積比	66.6% Mo:10.2g/cc
ペリリウム		ライナ-部 Re 体積比	2.0% Max 3.2%
密度	1.84	修正 Re wt%	53.5
		修正 Mo wt%	48.5

第3.1表 ケース1炉心の通常時核種数密度(2/2)  
C R P および出口配管等の領域

Re 2 vol. %

領域	出口配管部	C R P 領域	炉容器壁領域	吸収体領域
減速材体積比	88.74%	84.64%	44.77%	
構造材体積比	11.26%	15.36%	55.23%	
減Li-6 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
速Li-7 数密度 (個/cc/b)	4.0674E-02	3.8795E-02	2.0520E-02	
材				
C 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
Zr(Nat) 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
Nb(Nat) 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
構Mo(Nat) 数密度 (個/cc/b)	4.8037E-03	6.5528E-03	2.3563E-02	
造Hf(Nat) 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
W -181 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
材W -182 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
W -183 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
W -184 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
W -186 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
Re-185 数密度 (個/cc/b)	1.0212E-03	1.3930E-03	5.0091E-03	
Re-187 数密度 (個/cc/b)	1.7093E-03	2.3316E-03	8.3841E-03	
吸C 数密度 (個/cc/b)				密度 2.52
收B -10 数密度 (個/cc/b)				9.3297E-02
材B -11 数密度 (個/cc/b)				スミア密度比 0.8 100% B-10

第3.2表 ケース1 炉心の冠水時核種数密度(1/2)

Re 2 vol. %

データ	炉心A 濃縮度97%	炉心B 濃縮度80%	軸方向反射体 領域	ガスブレナム 領域	径方向反射体 領域
U 235重量比 (wt%)	97.00	80.00	0.00	0.00	0.00
U 238重量比 (wt%)	3.00	20.00	100.00	100.00	100.00
燃料理論密度 (g/cc)	14.31	14.31	0.00	0.00	0.00
燃料体積比 (-)	0.47	0.47	0.47	0.00	1.00
スマヤ密度比(-)	0.88	0.88	0.88	0.88	1.00
ウラン存在比(-)	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
減速材体積比(-)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.00
構造材体積比(-)	0.18	0.18	0.18	0.18	0.00
空隙部体積比(-)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
構造材密度 (g/cc)	14.02	14.02	14.02	14.02	0.00
C (wt%)					
Zr (wt%)					
Nb (wt%)					
Mo (wt%)	48.49	48.49	48.49	48.49	49.00
Hf (wt%)					
Ta (wt%)					
W (wt%)					
Re (wt%)	53.49	53.49	53.49	53.49	51.00
燃料実効密度 (g/cc)	5.9186	5.9186	0.0000	0.0000	0.0000
U 実効密度 (g/cc)	5.5860	5.5867	0.0000	0.0000	0.0000
燃料 U 235 数密度 (個/cc/b)	1.3883E-02	1.1451E-02	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
U 238 数密度 (個/cc/b)	4.2394E-04	2.8266E-03	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
料 N 数密度 (個/cc/b)	1.4307E-02	1.4278E-02	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
減 H 数密度 (個/cc/b)	2.3419E-02	2.3419E-02	2.3419E-02	2.3419E-02	0.0000E+00
遠 O 数密度 (個/cc/b)	1.1710E-02	1.1710E-02	1.1710E-02	1.1710E-02	0.0000E+00
材 C 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
構 Zr(Nat) 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
造 Nb(Nat) 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
材 Mo(Nat) 数密度 (個/cc/b)	7.6791E-03	7.6791E-03	7.6791E-03	7.6791E-03	0.0000E+00
造 Hf(Nat) 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
造 Ta-181 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
材 W-182 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
W-183 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
W-184 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
W-186 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
Re-185 数密度 (個/cc/b)	1.6324E-03	1.6324E-03	1.6324E-03	1.6324E-03	0.0000E+00
Re-187 数密度 (個/cc/b)	2.7324E-03	2.7324E-03	2.7324E-03	2.7324E-03	0.0000E+00
Be 数密度 (個/cc/b)			5.0853E-02	0.0000E+00	1.2295E-01
実効原子量	249.14	249.65	252.06	252.06	252.06

## \* 設定値

水 密 度	1.00	構造材 密 度	14.017
ペリリウム 密 度	1.84	鉛被材 Re 体積比	33.4% Re:21.2g/cc
		鉛被材 Mo 体積比	66.6% Mo:10.2g/cc
		ライ-部 Re 体積比	2.0% Max %
		修正 Re wt%	53.5
		修正 Mo wt%	48.5

第3.2表 ケース1炉心の冠水時核種数密度(2/2)  
C R P および出口配管等の領域

Re 2 vol. %

領域	出口配管部	C R P 領域	炉容器壁領域	吸収体領域	
減速材体積比	88.74%	84.64%	44.77%		
構造材体積比	11.26%	15.36%	55.23%		
鉄 鋼 材 材 材 材 材 材 材 吸 吸 吸	数密度 (個/cc/b)	5.9378E-02	5.6635E-02	2.9957E-02	
鐵 鋼 材 材 材 材 材 材 材 吸 吸 吸	数密度 (個/cc/b)	2.9689E-02	2.8317E-02	1.4978E-02	
C Zr(Nat) Nb(Nat) Mo(Nat) Hf(Nat) Ta-181 W-182 W-183 W-184 W-186 Re-185 Re-187 C B-10 B-11	数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 4.8037E-03 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 -0.0000E+00 1.0212E-03 1.7093E-03	0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 6.5528E-03 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 1.3930E-03 2.3316E-03	0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 2.3562E-02 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 5.0089E-03 8.3839E-03	2.3324E-02 9.3297E-02 100% B-10
				密度 2.52 スミ7 密度比 0.8	

第3.3表 3次元計算結果

(1) ケース1 炉心: Re内張り 2 vol.% 燃料置換

番号	計算内容	実効増倍率	モンテカルロ誤差	% Δρ	備考
1	B4C外側 RO=3.9cm 0.92	1.02231	± 0.00378	-	
2	B4C内側 RO=3.9cm 0.92	0.98702	± 0.00533	-3.50%	炉停止マージン
3	B4C外側 RO=3.9cm 0.92 冠水	0.98768	± 0.00455	-3.43%	冠水時反応度
4	B4C外側 RO=3.9cm 0.92 BCR IN	0.99503	± 0.00410	-2.68%	BCR 1本ワース

(2) ケース2 炉心: Re内張り 3 vol.% 燃料置換

番号	計算内容	実効増倍率	モンテカルロ誤差	% Δρ	備考
1	B4C外側 RO=3.9cm 0.92	1.01078	± 0.00415	-	
2	B4C内側 RO=3.9cm 0.92	0.96630	± 0.00432	-4.55%	炉停止マージン
3	B4C外側 RO=3.9cm 0.92 冠水	0.97172	± 0.00396	-3.98%	冠水時反応度

(3) ケース3 炉心: Re内張り 2 vol.% 減速材置換

番号	計算内容	実効増倍率	モンテカルロ誤差	% Δρ	備考
1	B4C外側 RO=3.9cm 0.92	1.05071	± 0.00399	-	
2	B4C内側 RO=3.9cm 0.92	1.01186	± 0.00450	-3.65%	炉停止マージン
3	B4C外側 RO=3.9cm 0.92 冠水	1.01046	± 0.00425	-3.79%	冠水時反応度

第2, 4表 2次元燃焼計算結果と3次元補正結果

	2次元計算 実効増倍	反応度欠損量(% $\Delta \rho$ ) 1年間燃焼 積算値	3次元補正後 実効増倍率	3次元補正後 実効増倍率	3次元補正後 実効増倍率
初運行	1.01504		1.02231	1.01853	1.02609
1年	1.01245	-0.25%	1.01968	1.01592	1.02344
2年	1.00985	-0.25%	1.01705	1.01331	1.02079
3年	1.00725	-0.26%	1.01441	1.01069	1.01813
4年	1.00463	-0.26%	1.01176	1.00806	1.01546
5年	1.00201	-0.26%	1.00910	1.00542	1.01278
6年	0.99938	-0.26%	1.00643	1.00277	1.01009
7年	0.99674	-0.26%	1.00375	1.00011	1.00740
8年	0.99410	-0.27%	1.00107	0.99744	1.00469
9年	0.99144	-0.27%	0.99838	0.99477	1.00198
10年	0.98877	-0.27%	0.99567	0.99209	0.99926
合計		-2.62%	中央値使用	1σ下限値使用	1σ上限値使用

注 3次元モンテカルロ計算結果 (P3近似)  
 $k\text{-effective: } 1.02231 \pm 0.00378 \text{ (1σ)}$

第3.5表 ケース2炉心の通常時数密度(1/2)

Re 3 vol.-%

データ	炉心A 濃縮度97%	炉心B 濃縮度80%	軸方向反射体 領域	ガスブレナム 領域	径方向反射体 領域
U 235重量比 (wt%)	97.00	80.00	0.00	0.00	0.00
U 238重量比 (wt%)	3.00	20.00	100.00	100.00	100.00
燃料理論密度 (g/cc)	14.31	14.31	0.00	0.00	0.00
燃料体積比 (-)	0.46	0.46	0.46	0.00	1.00
スミヤ密度比(-)	0.88	0.88	0.88	0.88	1.00
ウラン存在比(-)	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
減速材体積比 (-)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.00
構造材体積比 (-)	0.19	0.19	0.19	0.19	0.00
空隙部体積比 (-)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
構造材密度 (g/cc)	14.09	14.09	14.09	14.09	0.00
C (wt %)					
Zr (wt %)					
Nb (wt %)					
Mo (wt %)	48.24	48.24	48.24	48.24	49.00
Hf (wt %)					
Ta (wt %)					
W (wt %)					
Re (wt %)	54.72	54.72	54.72	54.72	51.00
燃料実効密度 (g/cc)	5.7927	5.7927	0.0000	0.0000	0.0000
U 実効密度 (g/cc)	5.4672	5.4678	0.0000	0.0000	0.0000
燃U 235 数密度 (個/cc/b)	1.3587E-02	1.1207E-02	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
U 238 数密度 (個/cc/b)	4.1492E-04	2.7665E-03	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
料N 数密度 (個/cc/b)	1.4002E-02	1.3974E-02	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
減Li-6 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
遠Li-7 数密度 (個/cc/b)	1.6042E-02	1.6042E-02	1.6042E-02	1.6042E-02	0.0000E+00
材C 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
構Zr(Nat) 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
造Nb(Nat) 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
材Mo(Nat) 数密度 (個/cc/b)	8.1057E-03	8.1057E-03	8.1057E-03	8.1057E-03	0.0000E+00
Zr(Nat) 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
Ta-181 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
W -182 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
W -183 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
W -184 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
W -186 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
Re-185 数密度 (個/cc/b)	1.7719E-03	1.7719E-03	1.7719E-03	1.7719E-03	0.0000E+00
Re-187 数密度 (個/cc/b)	2.9657E-03	2.9657E-03	2.9657E-03	2.9657E-03	0.0000E+00
Be 数密度 (個/cc/b)			4.9771E-02	0.0000E+00	1.2295E-01
実効原子量	249.14	249.65	252.06	252.06	252.06

\* 設定値

リチウム	構造材		
密 度	0.534	密 度	14.090
Li-6 存在	0.00%	被覆材 Re 体積比	33.4% Re:21.2g/cc
Li-7 存在	100.00%	被覆材 Mo 体積比	66.6% Mo:10.2g/cc
ペリリウム		ライナ一部 Re 体積比	3.0% Max 3.2%
密 度	1.84	修正 Re wt%	54.7
		修正 Mo wt%	48.2

第3.5段 ケース2炉心の通常時数密度(2/3)  
C R P および出口配管等の領域

Re 3 vol.%

領域	出口配管部	C R P 領域	炉容器壁領域	吸収体領域
減速材体積比	88.74%	84.64%	44.77%	
構造材体積比	11.26%	15.36%	55.23%	
Li-6 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
Li-7 数密度 (個/cc/b)	4.0674E-02	3.8795E-02	2.0520E-02	
材				
C 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
Zr(Nat) 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
Nb(Nat) 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
Mo(Nat) 数密度 (個/cc/b)	4.8037E-03	6.5528E-03	2.3563E-02	
Hf(Nat) 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
Ta-181 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
W-182 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
W-183 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
W-184 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
W-186 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
Re-185 数密度 (個/cc/b)	1.0501E-03	1.4324E-03	5.1507E-03	
Re-187 数密度 (個/cc/b)	1.7576E-03	2.3976E-03	8.6212E-03	
吸C 数密度 (個/cc/b)				2.3324E-02
吸B-10 数密度 (個/cc/b)				9.3297E-02
吸B-11 数密度 (個/cc/b)				100% B-10

密度2.52  
スミア密度比0.8  
100% B-10

第3.6表 ケース2炉心の冠水時核種数密度(1/2)

Re 3 vol. %

ア - タ	炉 心 A 濃縮度 97%	炉 心 B 濃縮度 80%	軸方向反射体 領域	ガスブレナム 領域	径方向反射体 領域
U 235重量比 (wt%)	97.00	80.00	0.00	0.00	0.00
U 238重量比 (wt%)	3.00	20.00	100.00	100.00	100.00
燃料理論密度 (g/cc)	14.31	14.31	0.00	0.00	0.00
燃料体積比 (-)	0.46	0.46	0.46	0.00	1.00
スマヤ密度比(-)	0.88	0.88	0.88	0.88	1.00
ウラン存在比(-)	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
減速材体積比(-)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.00
構造材体積比(-)	0.19	0.19	0.19	0.19	0.00
空隙部体積比(-)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
構造材密度 (g/cc)	14.09	14.09	14.09	14.09	0.00
C (wt%)					
Zr (wt%)			+		
Nb (wt%)					
Mo (wt%)	48.24	48.24	48.24	48.24	49.00
Hf (wt%)					
Ta (wt%)					
W (wt%)					
Re (wt%)	54.72	54.72	54.72	54.72	51.00
燃料実効密度 (g/cc)	5.7927	5.7927	0.0000	0.0000	0.0000
U 実効密度 (g/cc)	5.4672	5.4678	0.0000	0.0000	0.0000
U 235 数密度 (個/cc/b)	1.3587E-02	1.1207E-02	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
U 238 数密度 (個/cc/b)	4.1492E-04	2.7665E-03	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
N 数密度 (個/cc/b)	1.4002E-02	1.3974E-02	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
H 数密度 (個/cc/b)	2.3419E-02	2.3419E-02	2.3419E-02	2.3419E-02	0.0000E+00
O 数密度 (個/cc/b)	1.1710E-02	1.1710E-02	1.1710E-02	1.1710E-02	0.0000E+00
構造材					
C 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
Zr(Nat) 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
Nb(Nat) 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
Mo(Nat) 数密度 (個/cc/b)	8.1057E-03	8.1057E-03	8.1057E-03	8.1057E-03	0.0000E+00
Hf(Nat) 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
Ta-181 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
W-182 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
W-183 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
W-184 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
W-186 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
Re-185 数密度 (個/cc/b)	1.7719E-03	1.7719E-03	1.7719E-03	1.7719E-03	0.0000E+00
Re-187 数密度 (個/cc/b)	2.9657E-03	2.9657E-03	2.9657E-03	2.9657E-03	0.0000E+00
Be 数密度 (個/cc/b)			4.9771E-02	0.0000E+00	1.2295E-01
実効原子量	249.14	249.65	252.06	252.06	252.06

## \* 設定値

水 密 度	1.00	構造材 密 度	14.090
ペリリウム 密 度	1.84	茲復材 Re 体積比	33.4% Re:21.2g/cc
		茲復材 Mo 体積比	66.6% Mo:10.2g/cc
		ライテ一部 Re 体積比	3.0% Max %
		修正 Re wt%	54.7
		修正 Mo wt%	48.2

第3.6表 ケース2炉心の冠水時核種数密度(2/2)  
CRPおよび出口配管等の領域

Re 3 vol. %

領域	出口配管部	CRP領域	炉容器壁領域	吸収体領域
減速材体積比	88.74%	84.64%	44.77%	
構造材体積比	11.26%	15.36%	55.23%	
減速材 数密度 (個/cc/b)	5.9378E-02	5.6635E-02	2.9957E-02	
速材 数密度 (個/cc/b)	2.9689E-02	2.8317E-02	1.4978E-02	
C 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
Zr(Nat) 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
Nb(Nat) 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
Mo(Nat) 数密度 (個/cc/b)	4.8037E-03	6.5528E-03	2.3562E-02	
Hf(Nat) 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
Ta-181 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
W-182 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
W-183 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
W-184 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
W-186 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
Re-185 数密度 (個/cc/b)	1.0501E-03	1.4324E-03	5.1505E-03	
Re-187 数密度 (個/cc/b)	1.7576E-03	2.3976E-03	8.6209E-03	
吸C 数密度 (個/cc/b)				2.3324E-02
吸B-10 数密度 (個/cc/b)				9.3297E-02
吸B-11 数密度 (個/cc/b)				100% B-10

密度 2.52  
スミア密度比 0.8  
100% B-10

第3.7表 ケース3炉心の通常時核種数密度(1/2)

Re 2 vol. %

デ - タ	炉 心 A 濃縮度97%	炉 心 B 濃縮度80%	軸方向反射体 領 城 領	ガスブレナム 領 城 領	径方向反射体 領 城
U 235重量比 (wt%)	97.00	80.00	0.00	0.00	0.00
U 238重量比 (wt%)	3.00	20.00	100.00	100.00	100.00
燃料理論密度 (g/cc)	14.31	14.31	0.00	0.00	0.00
燃料体積比 (-)	0.49	0.49	0.49	0.00	1.00
スマヤ密度比 (-)	0.88	0.88	0.88	0.88	1.00
ウラン存在比 (-)	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
減速材体積比 (-)	0.33	0.33	0.33	0.33	0.00
構造材体積比 (-)	0.18	0.18	0.18	0.18	0.00
空隙部体積比 (-)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
構造材密度 (g/cc)	14.02	14.02	14.02	14.02	0.00
C (wt %)					
Zr (wt %)					
Nb (wt %)					
Mo (wt %)	48.49	48.49	48.49	48.49	49.00
Hf (wt %)					
Ta (wt %)					
W (wt %)					
Re (wt %)	53.49	53.49	53.49	53.49	51.00
燃料実効密度 (g/cc)	6.1705	6.1705	0.0000	0.0000	0.0000
U 実効密度 (g/cc)	5.8237	5.8244	0.0000	0.0000	0.0000
燃 U 235 数密度 (個/cc/b)	1.4474E-02	1.1938E-02	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
料 U 238 数密度 (個/cc/b)	4.4198E-04	2.9469E-03	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
N 数密度 (個/cc/b)	1.4916E-02	1.4885E-02	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
減 Li-6 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
速 Li-7 数密度 (個/cc/b)	1.5126E-02	1.5126E-02	1.5126E-02	1.5126E-02	0.0000E+00
材					
C 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
Zr(Nat) 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
Nb(Nat) 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
構 Mo(Nat) 数密度 (個/cc/b)	7.6791E-03	7.6791E-03	7.6791E-03	7.6791E-03	0.0000E+00
造 Hf(Nat) 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
材 Ta-181 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
W-182 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
W-183 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
W-184 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
W-186 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
Re-185 数密度 (個/cc/b)	1.6324E-03	1.6324E-03	1.6324E-03	1.6324E-03	0.0000E+00
Re-187 数密度 (個/cc/b)	2.7324E-03	2.7324E-03	2.7324E-03	2.7324E-03	0.0000E+00
Be 数密度 (個/cc/b)			5.3017E-02	0.0000E+00	1.2295E-01
実効原子量	249.14	249.65	252.06	252.06	252.06

## \* 設定値

リチウム	構造材	リチウム	構造材
密 度 0.534	密 度 14.017	密 度 33.4%	Re: 21.2g/cc
Li-6 存在 0.00%	笠覆材 Re 体積比	Li-6 存在 66.6%	Mo: 10.2g/cc
Li-7 存在 100.00%	笠覆材 Mo 体積比	Li-7 存在 2.0%	Re 体積比 Max 3.2%
ペリリウム 密 度 1.84	ライ-部 Re 体積比	修正 Re wt% 53.5	修正 Mo wt% 48.5

第3.7表 ケース3炉心の通常時核種数密度(2/2)  
CRPおよび出口配管等の領域

Re 2 vol. %

領域	出口配管部	CRP領域	炉容器壁領域	吸収体領域
減速材体積比	88.74%	84.64%	44.77%	
構造材体積比	11.26%	15.36%	55.23%	
減Li-6 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
速Li-7 数密度 (個/cc/b)	4.0674E-02	3.8795E-02	2.0520E-02	
材C 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
材Zr(Nat) 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
材Nb(Nat) 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
材Mo(Nat) 数密度 (個/cc/b)	4.8037E-03	6.5528E-03	2.3563E-02	
材Hf(Nat) 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
造Ta-181 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
W -182 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
材W -183 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
材W -184 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
W -186 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
Re-185 数密度 (個/cc/b)	1.0212E-03	1.3930E-03	5.0091E-03	
Re-187. 数密度 (個/cc/b)	1.7093E-03	2.3316E-03	8.3841E-03	
吸C 数密度 (個/cc/b)				2.3324E-02 密度 2.52
吸B -10 数密度 (個/cc/b)				9.3297E-02 ミア密度比 0.8
吸B -11 数密度 (個/cc/b)				100% B-10

第3.8表 ケース3炉心の冠水時核種数密度(1/2)

Re 2 vol. %

テータ	炉心A 濃縮度97%	炉心B 濃縮度80%	軸方向反射体 領域	ガスブレーメン 領域	径方向反射体 領域
U 235重量比 (wt%)	97.00	80.00	0.00	0.00	0.00
U 238重量比 (wt%)	3.00	20.00	100.00	100.00	100.00
燃料理論密度 (g/cc)	14.31	14.31	0.00	0.00	0.00
燃料体積比 (-)	0.49	0.49	0.49	0.00	1.00
スミヤ密度比 (-)	0.88	0.88	0.88	0.88	1.00
ウラン存在比 (-)	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
減速材体積比 (-)	0.33	0.33	0.33	0.33	0.00
構造材体積比 (-)	0.18	0.18	0.18	0.18	0.00
空隙部体積比 (-)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
構造材密度 (g/cc)	14.02	14.02	14.02	14.02	0.00
C (wt%)					
Zr (wt%)					
Nb (wt%)					
Mo (wt%)	48.49	48.49	48.49	48.49	49.00
Hf (wt%)					
Ta (wt%)					
W (wt%)					
Re (wt%)	53.49	53.49	53.49	53.49	51.00
燃料実効密度 (g/cc)	6.1705	6.1705	0.0000	0.0000	0.0000
U 実効密度 (g/cc)	5.8237	5.8244	0.0000	0.0000	0.0000
燃U 235 数密度 (個/cc/b)	1.4474E-02	1.1938E-02	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
燃U 238 数密度 (個/cc/b)	4.4198E-04	2.9469E-03	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
料N 数密度 (個/cc/b)	1.4916E-02	1.4885E-02	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
減H 数密度 (個/cc/b)	2.2081E-02	2.2081E-02	2.2081E-02	2.2081E-02	0.0000E+00
速O 数密度 (個/cc/b)	1.1041E-02	1.1041E-02	1.1041E-02	1.1041E-02	0.0000E+00
材C 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
構Zr(Nat) 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
造Nb(Nat) 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
Mo(Nat) 数密度 (個/cc/b)	7.6791E-03	7.6791E-03	7.6791E-03	7.6791E-03	0.0000E+00
造Hf(Nat) 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
材Ta-181 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
W-182 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
W-183 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
W-184 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
W-186 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
Re-185 数密度 (個/cc/b)	1.6324E-03	1.6324E-03	1.6324E-03	1.6324E-03	0.0000E+00
Re-187 数密度 (個/cc/b)	2.7324E-03	2.7324E-03	2.7324E-03	2.7324E-03	0.0000E+00
Be 数密度 (個/cc/b)			5.3017E-02	0.0000E+00	1.2295E-01
実効原子量	249.14	249.65	252.06	252.06	252.06

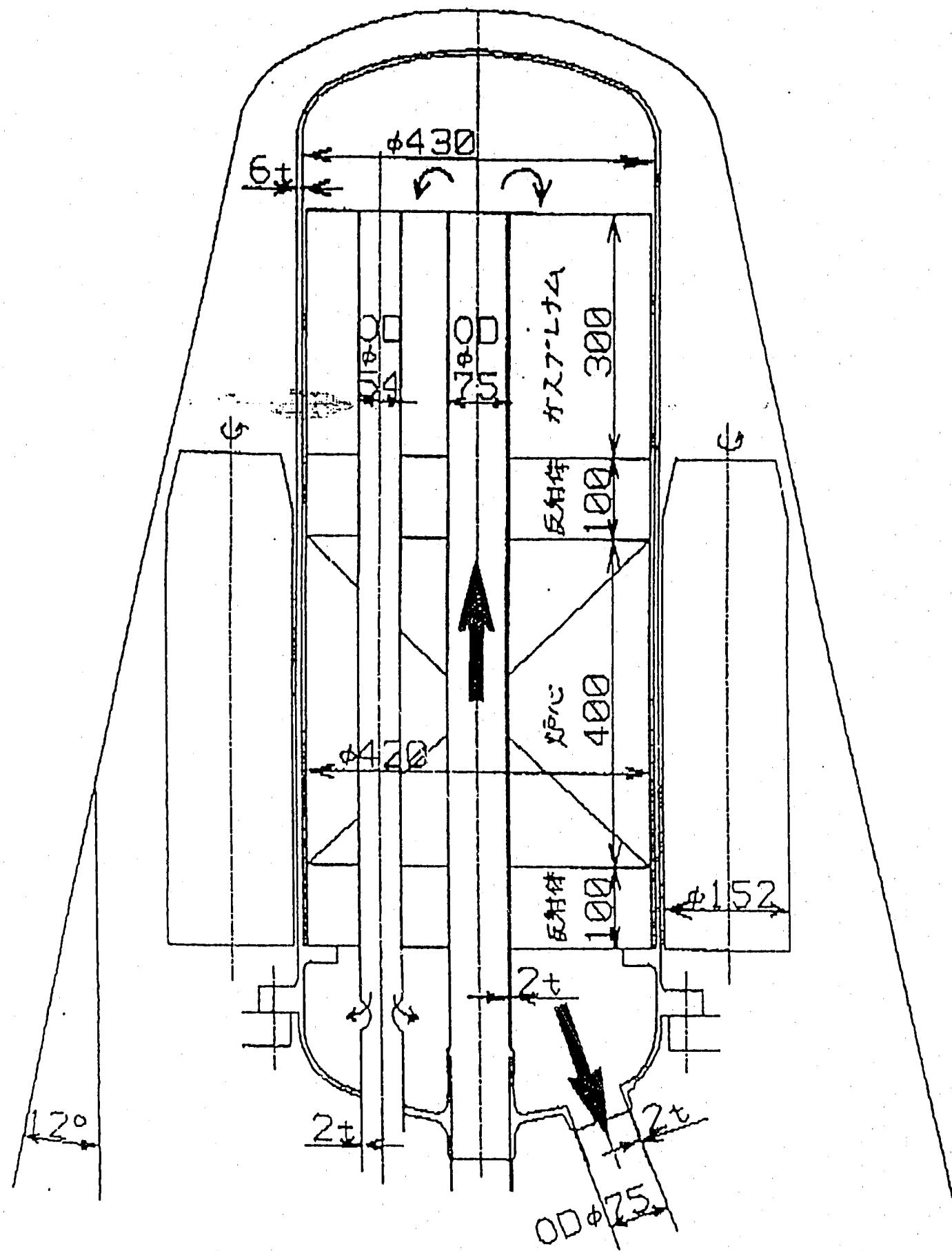
## \* 設定値

水密度	1.00	構造材密度	14.017
ベリリウム密度	1.84	被覆材 Re 体積比	33.4% Re:21.2g/cc
		被覆材 Mo 体積比	66.6% Mo:10.2g/cc
		ライ-部 Re 体積比	2.0% Max %
		修正 Re wt%	53.5
		修正 Mo wt%	48.5

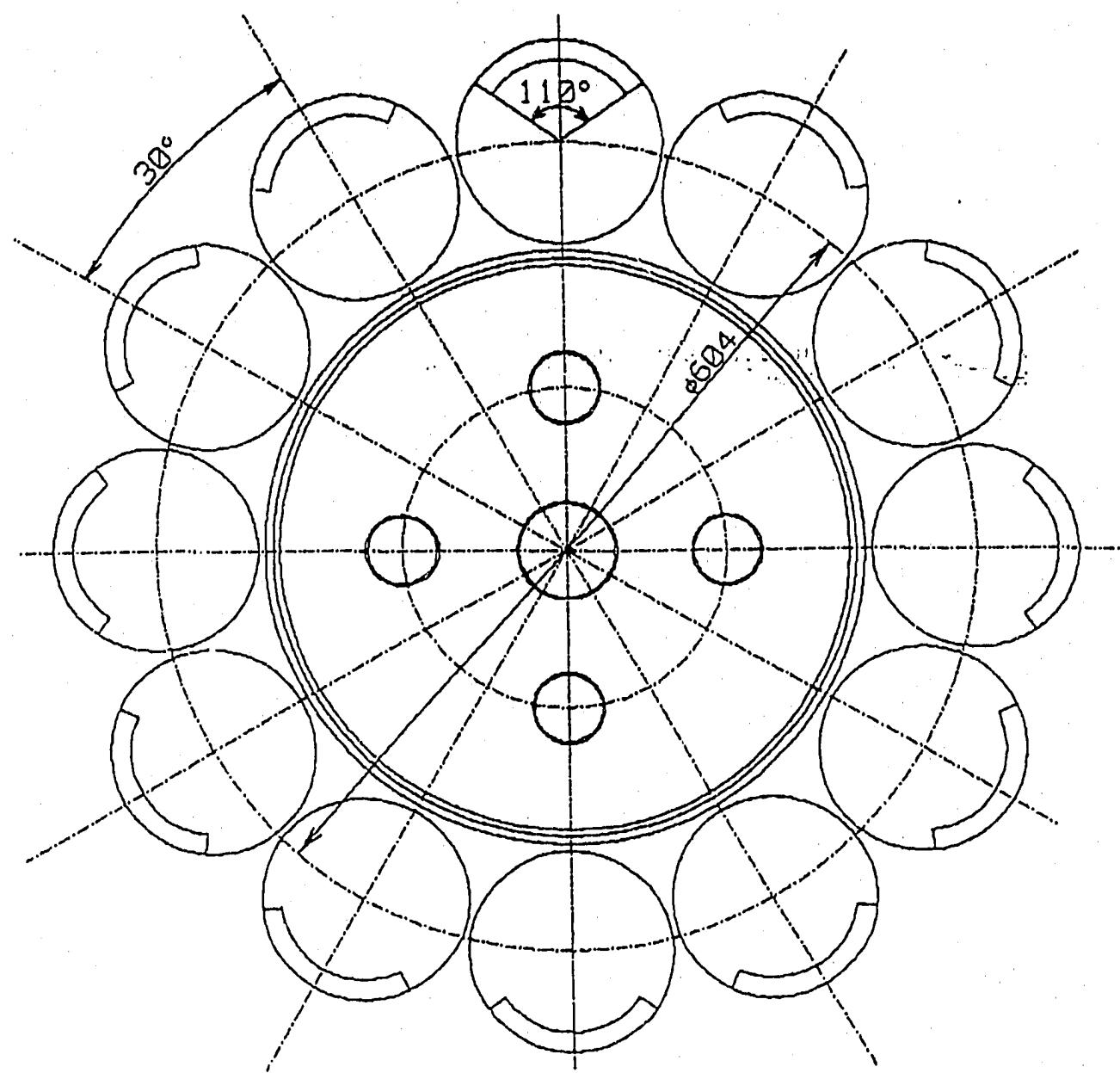
第3.8表 ケース3炉心の冠水時核種数密度(2/2)  
CRPおよび出口配管等の領域

Re 2 vol. %

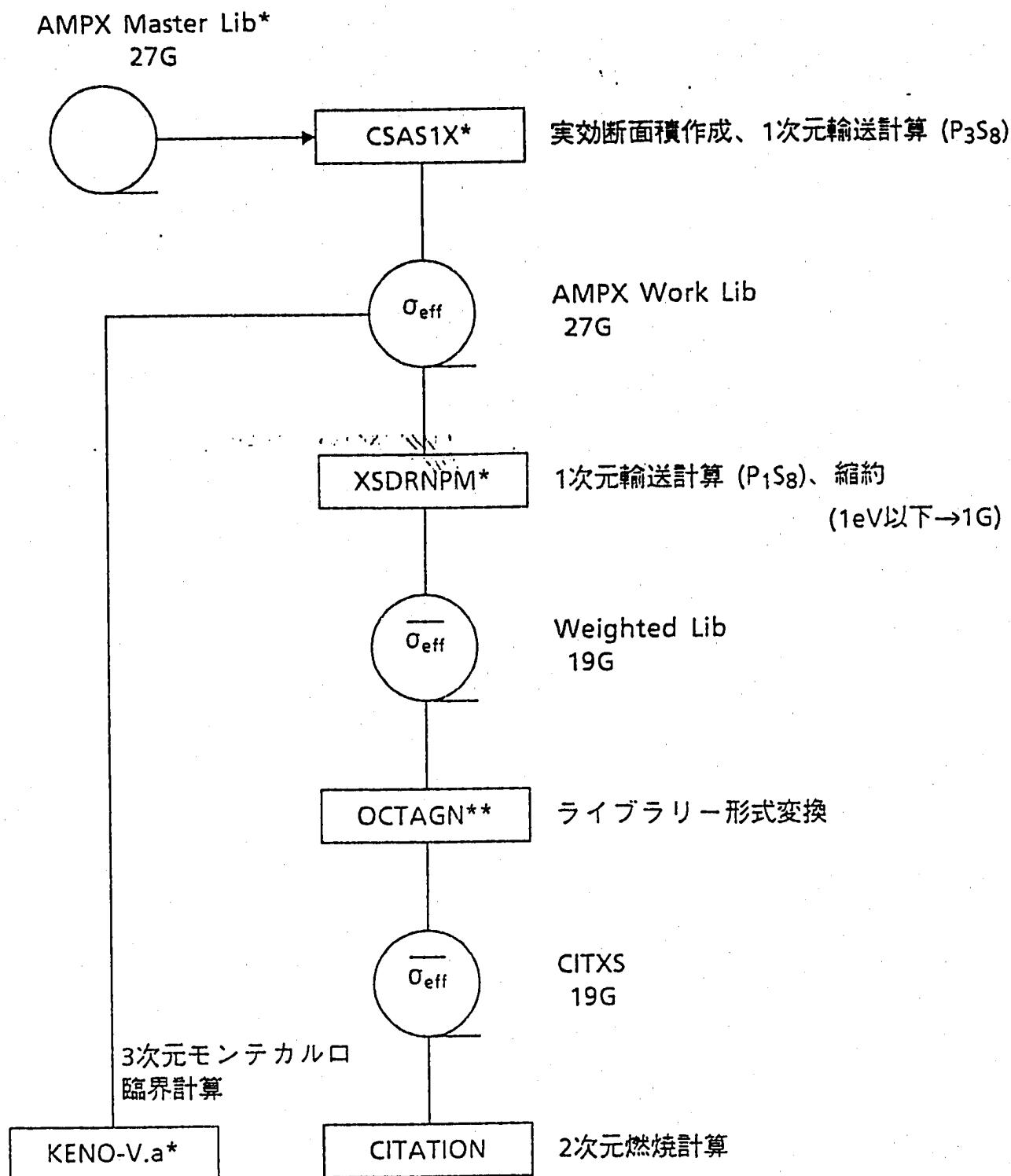
領域	出口配管部	CRP領域	炉容器壁領域	吸収体領域
減速材体積比	88.74%	84.64%	44.77%	
構造材体積比	11.26%	15.36%	55.23%	
減速材 数密度 (個/cc/b)	5.9378E-02	5.6635E-02	2.9957E-02	
構造材 数密度 (個/cc/b)	2.9689E-02	2.8317E-02	1.4978E-02	
C 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
Zr(Nat) 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
Nb(Nat) 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
Mo(Nat) 数密度 (個/cc/b)	4.8037E-03	6.5528E-03	2.3562E-02	
Hf(Nat) 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
Ta-181 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
W-182 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
W-183 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
W-184 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
W-186 数密度 (個/cc/b)	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	
Re-185 数密度 (個/cc/b)	1.0212E-03	1.3930E-03	5.0089E-03	
Re-187 数密度 (個/cc/b)	1.7093E-03	2.3316E-03	8.3839E-03	
吸収材 C 数密度 (個/cc/b)				2.3324E-02 密度 2.52
B-10 数密度 (個/cc/b)				9.3297E-02 スミア密度比 0.8
B-11 数密度 (個/cc/b)				100% B-10



第3.1図 設計案の炉心構成: 縦方向断面



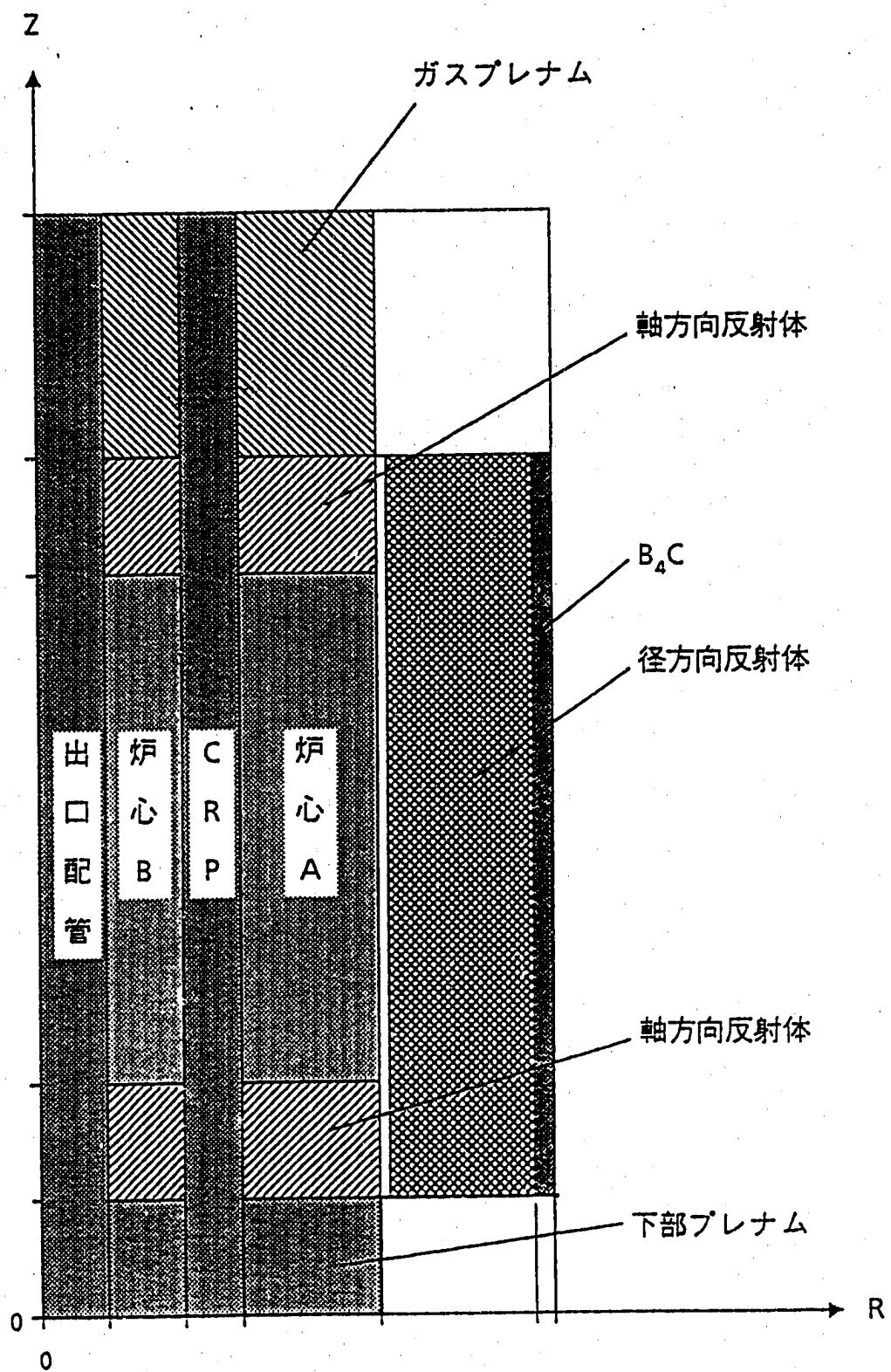
第3.2図 設計案の炉心構成：横方向断面



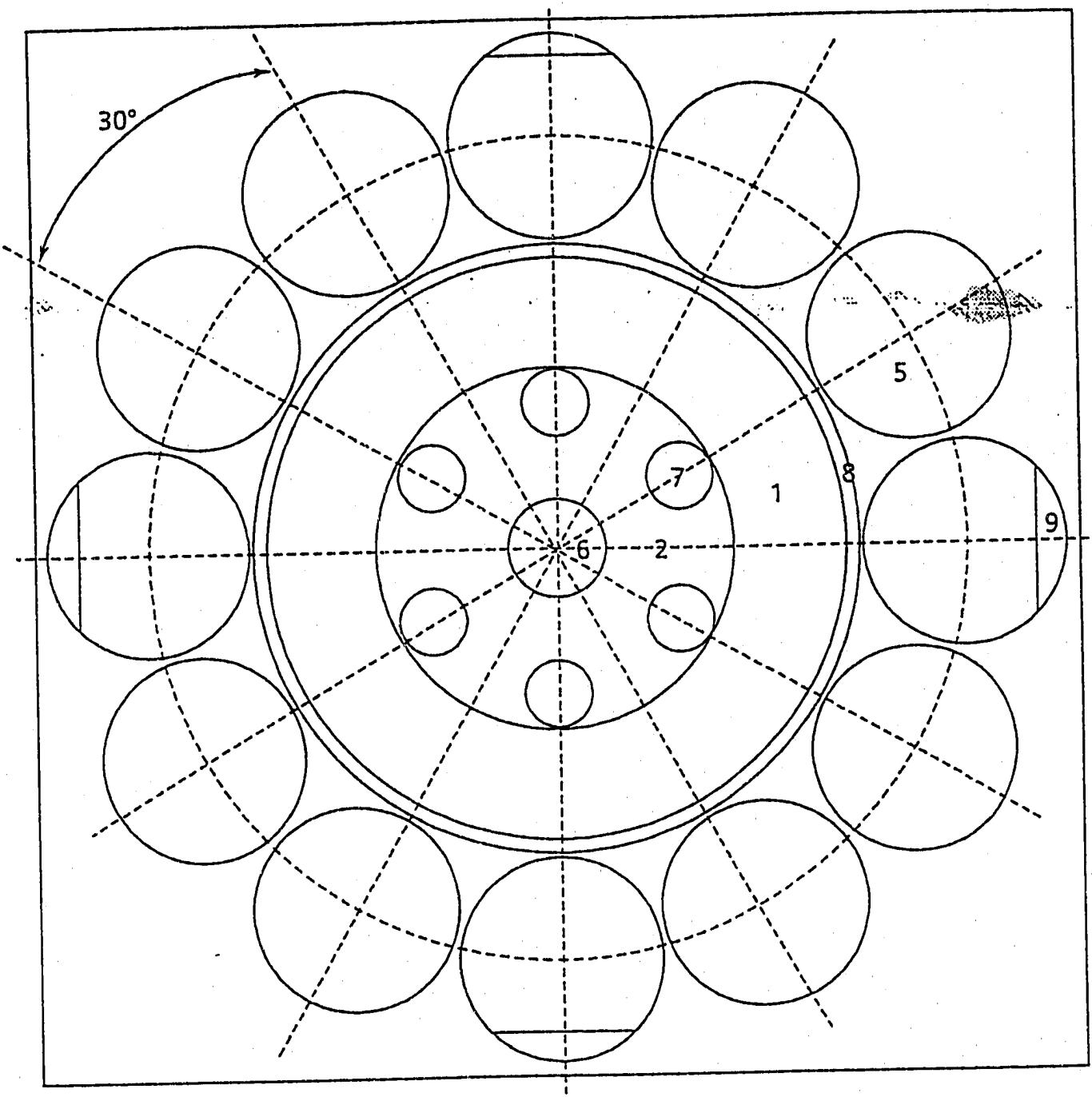
\* SCALE3 コードシステム

\*\* AMPX2 コードシステム

第3.3 図 ウラン炉心核特性評価用計算の流れ

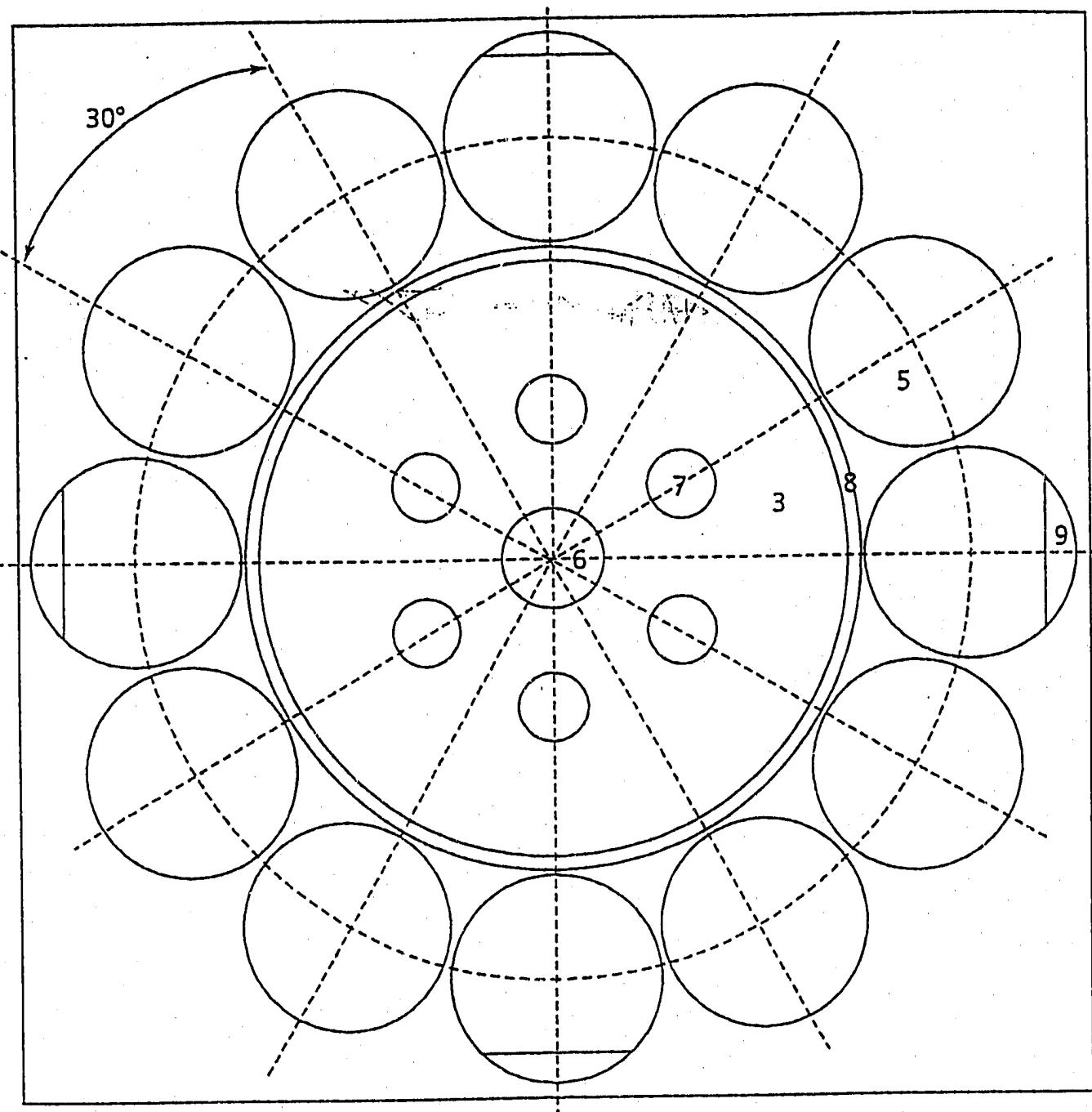


第3.4図 解析モデルの炉心構成：縦方向断面



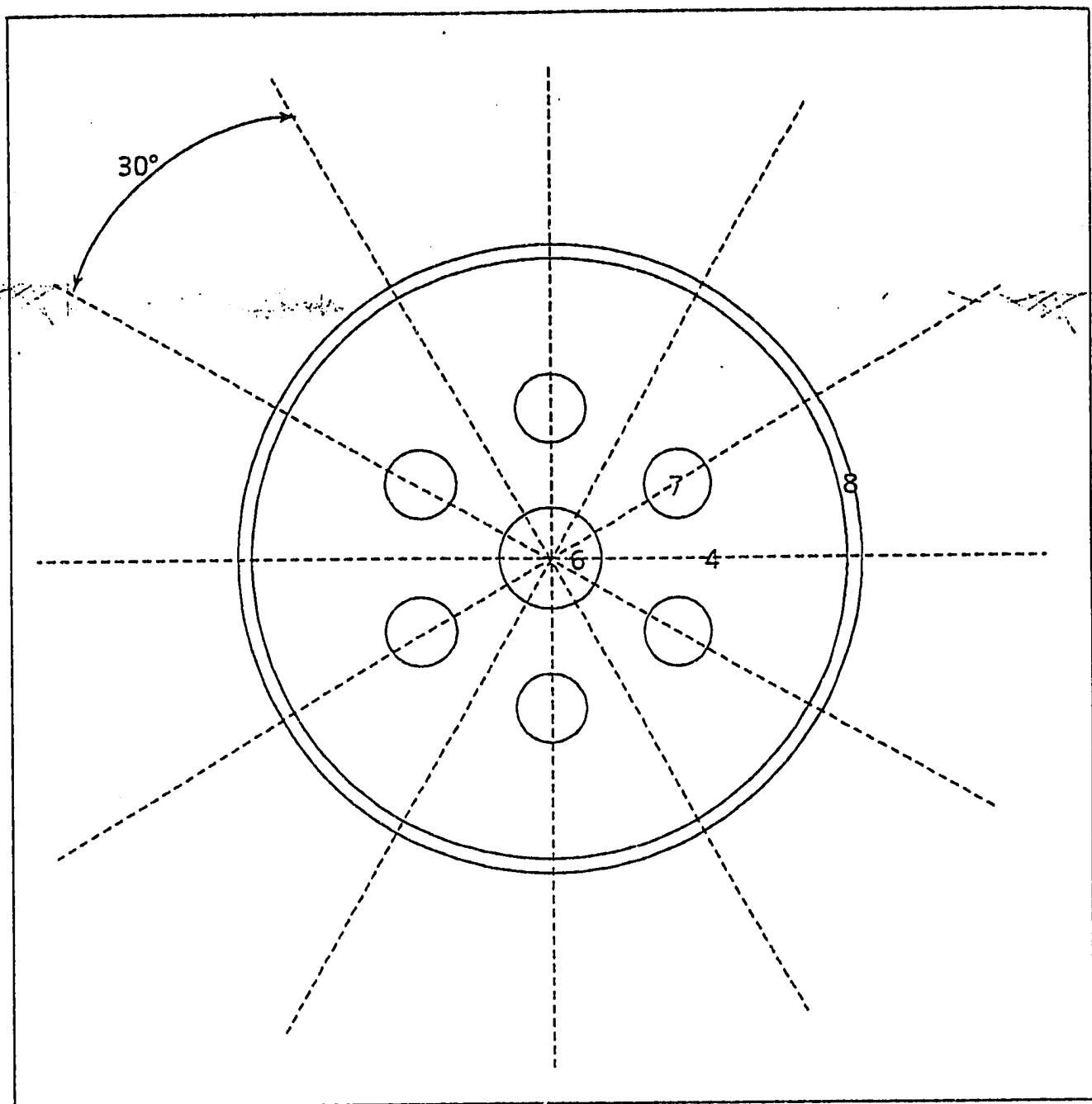
第3.5図 解析モデルの炉心構成：横方向断面 (1/3)

炉心部断面図



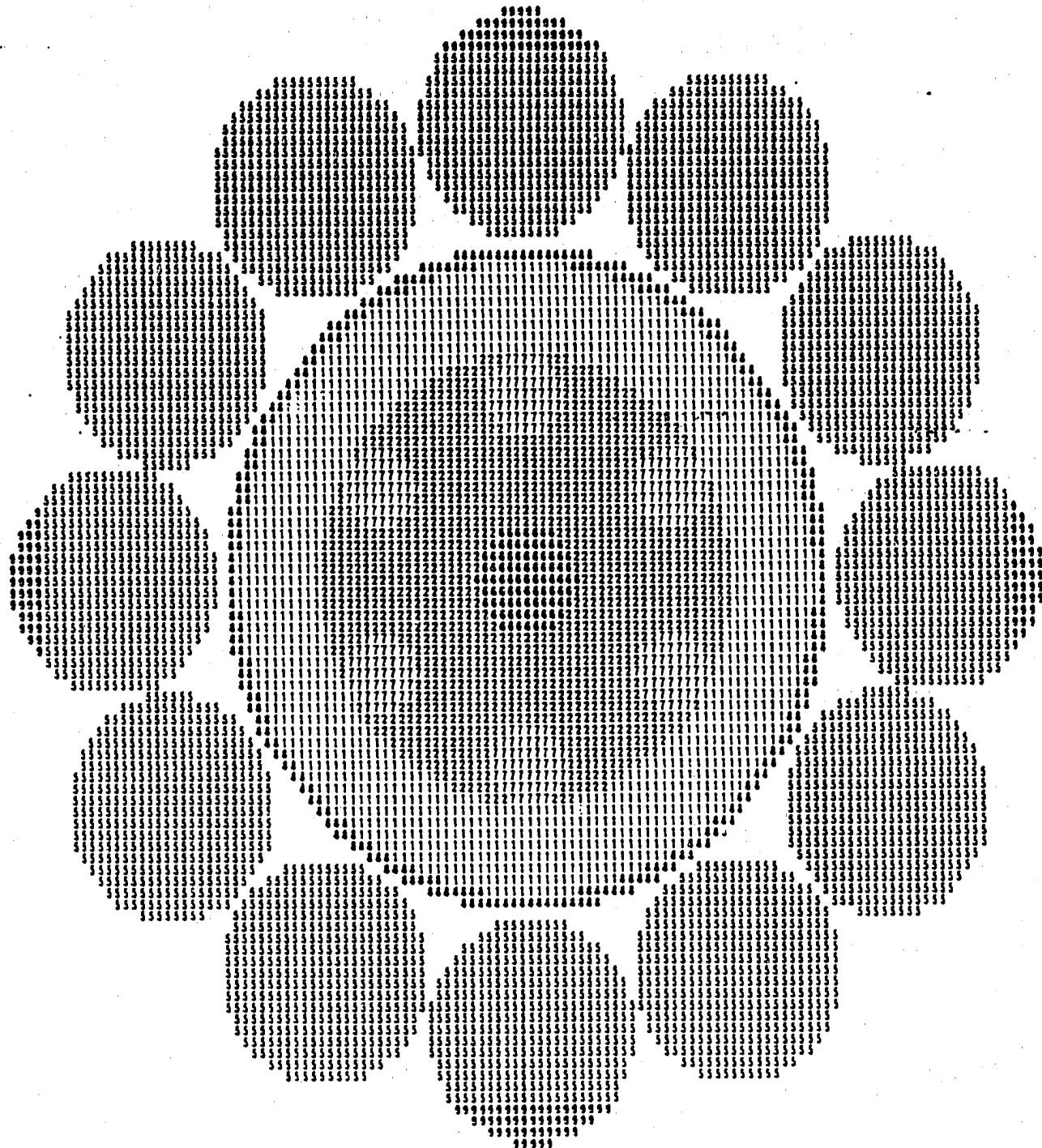
第3.5図 解析モデルの炉心構成：横方向断面 (2/3)

### 上下反射体部断面図

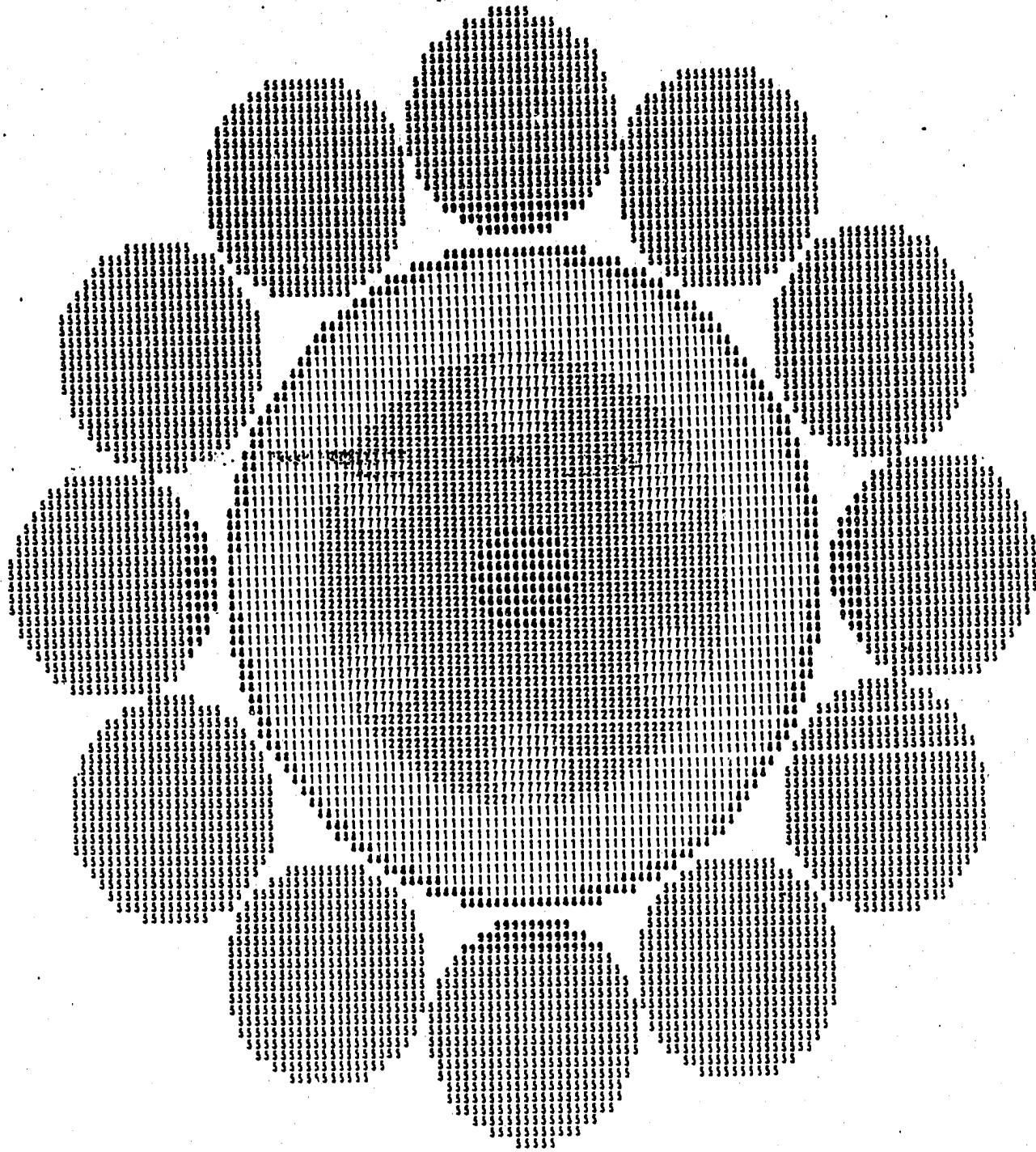


第3.5図 解析モデルの炉心構成：横方向断面 (3/3)

上部ガスプレナム部断面図

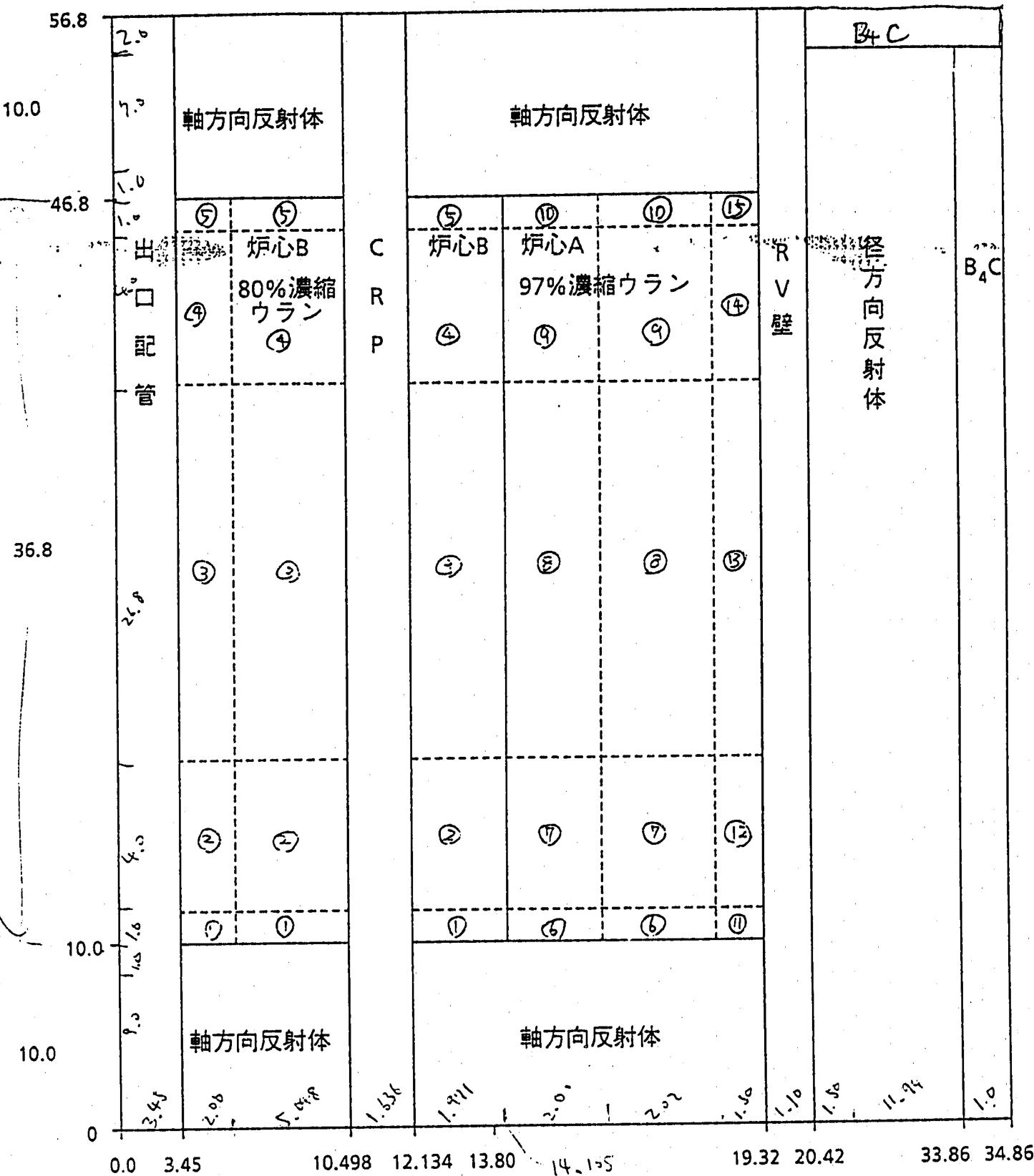


第3.6図 炉停止マージン評価用吸収体外向きモデル



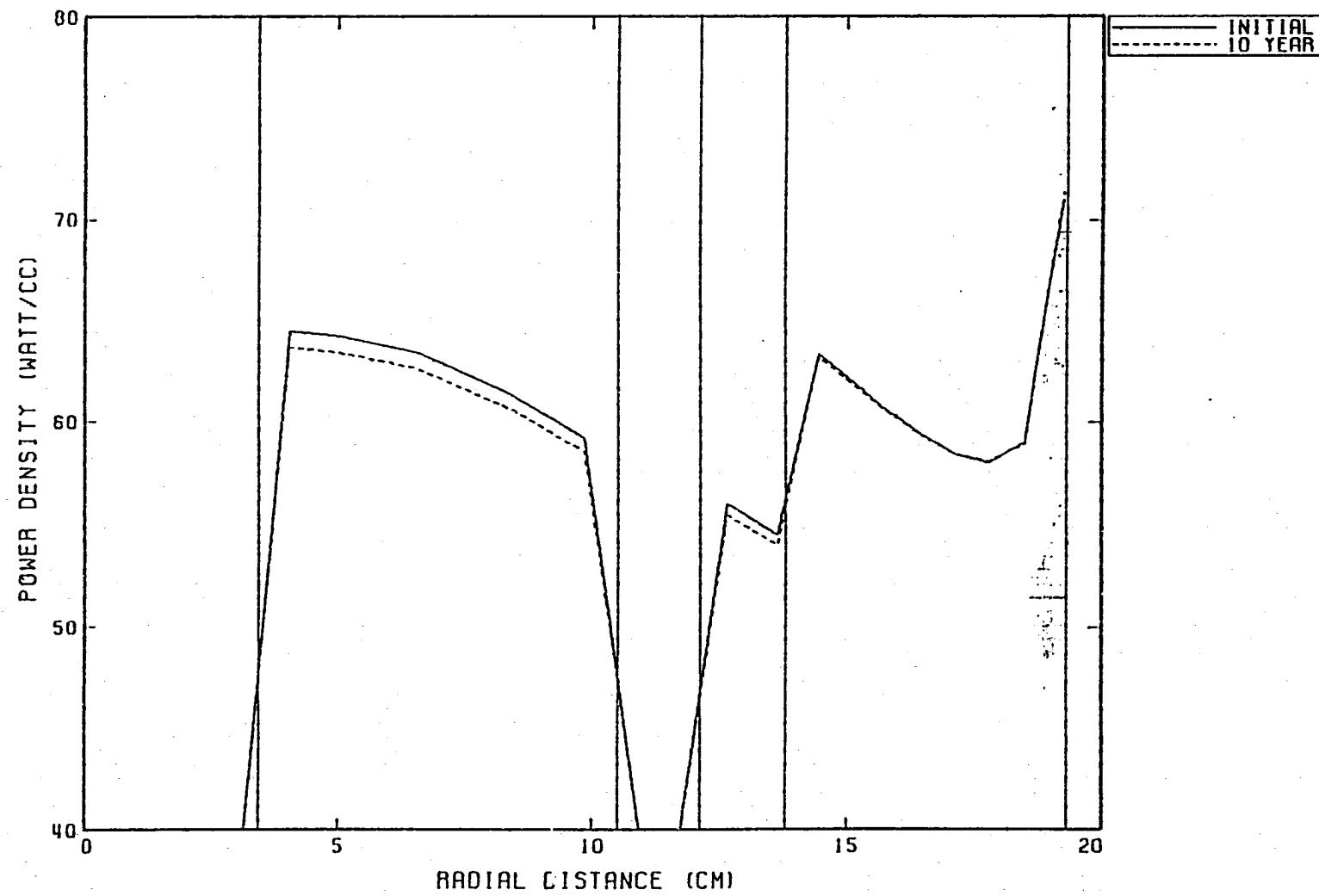
第3.7図 炉停止マージン評価用吸収体内向きモデル

① はね延年号

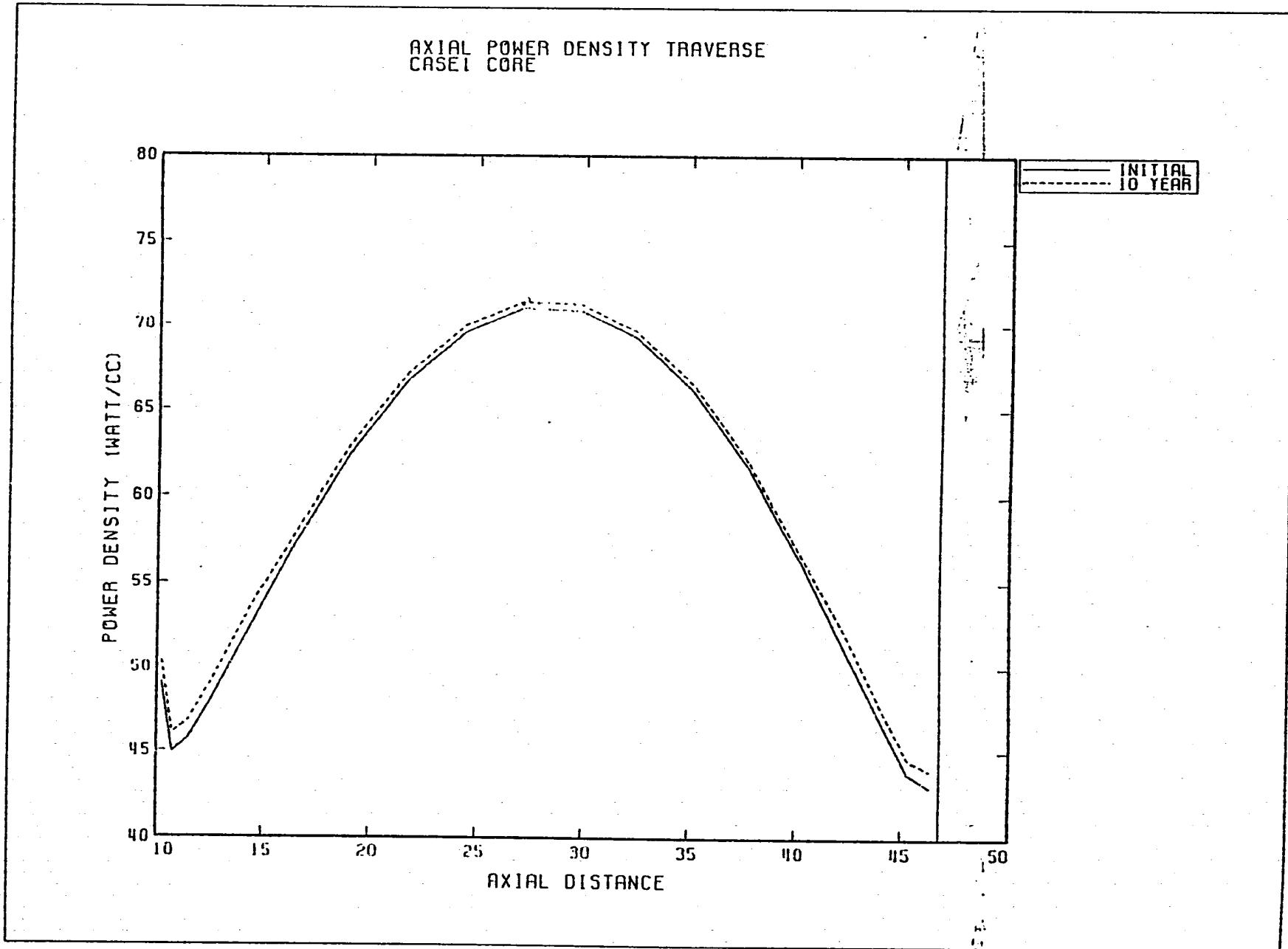


第38図 2次元RZ燃焼計算体系

RADIAL POWER DENSITY TRAVERSE  
CASEI CORE



第3.9図 径方向出力分布



第3.10図 練方向出力分布

## 付録A 解析に使用した断面積データ図

以下の断面積データ図は、SCALE-3コードシステム付属の27 GROUP SHLDライブラリーをもとに、NITAWLコード(Nordheim法)により実効断面積としたものである。

図中に示された反応断面積は、以下のものである。

TOTAL

ELASTIC SCATTERING

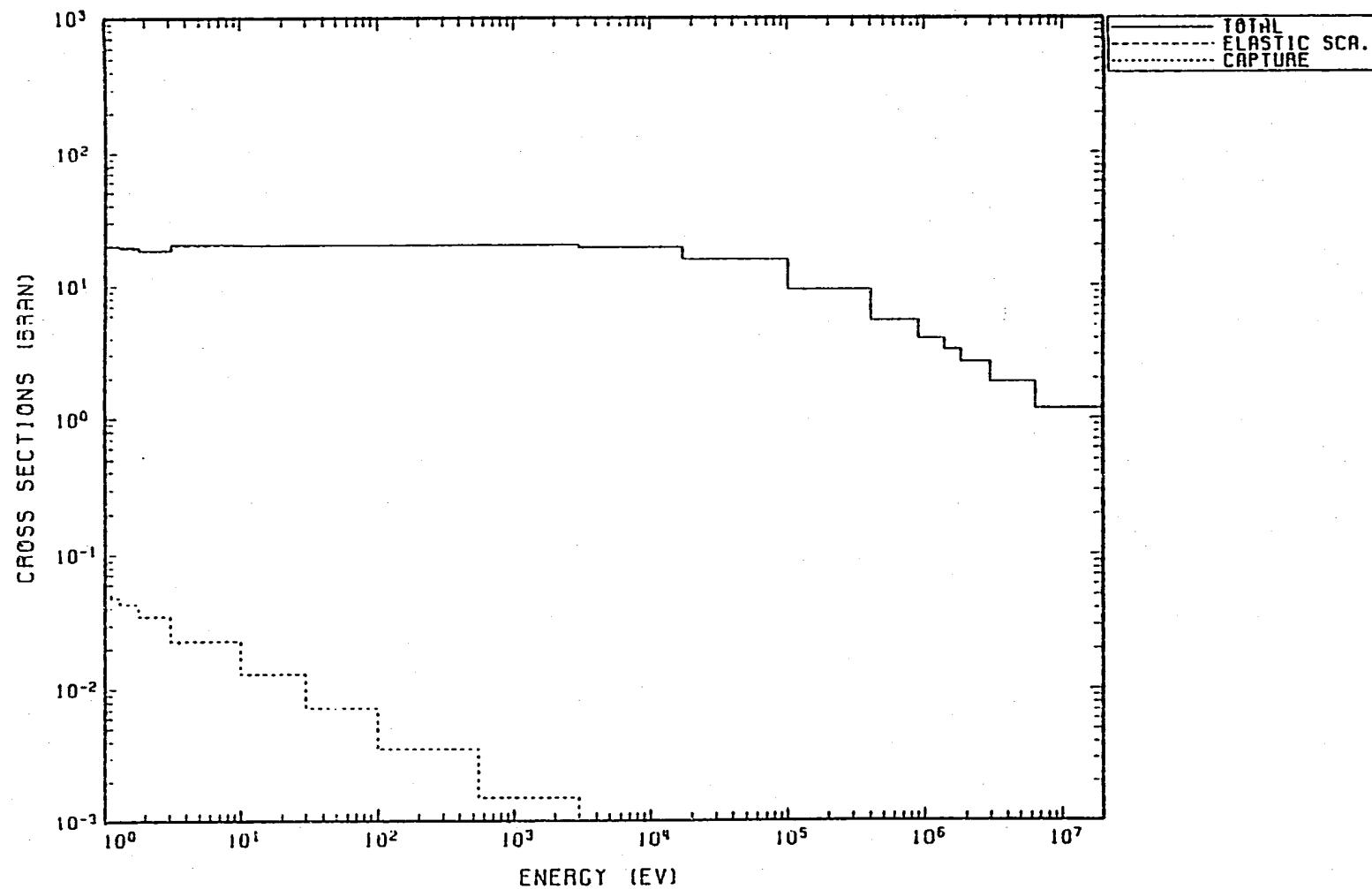
INELASTIC SCATTERING

(N, 2N)

CAPTURE ( ABSORPTION )

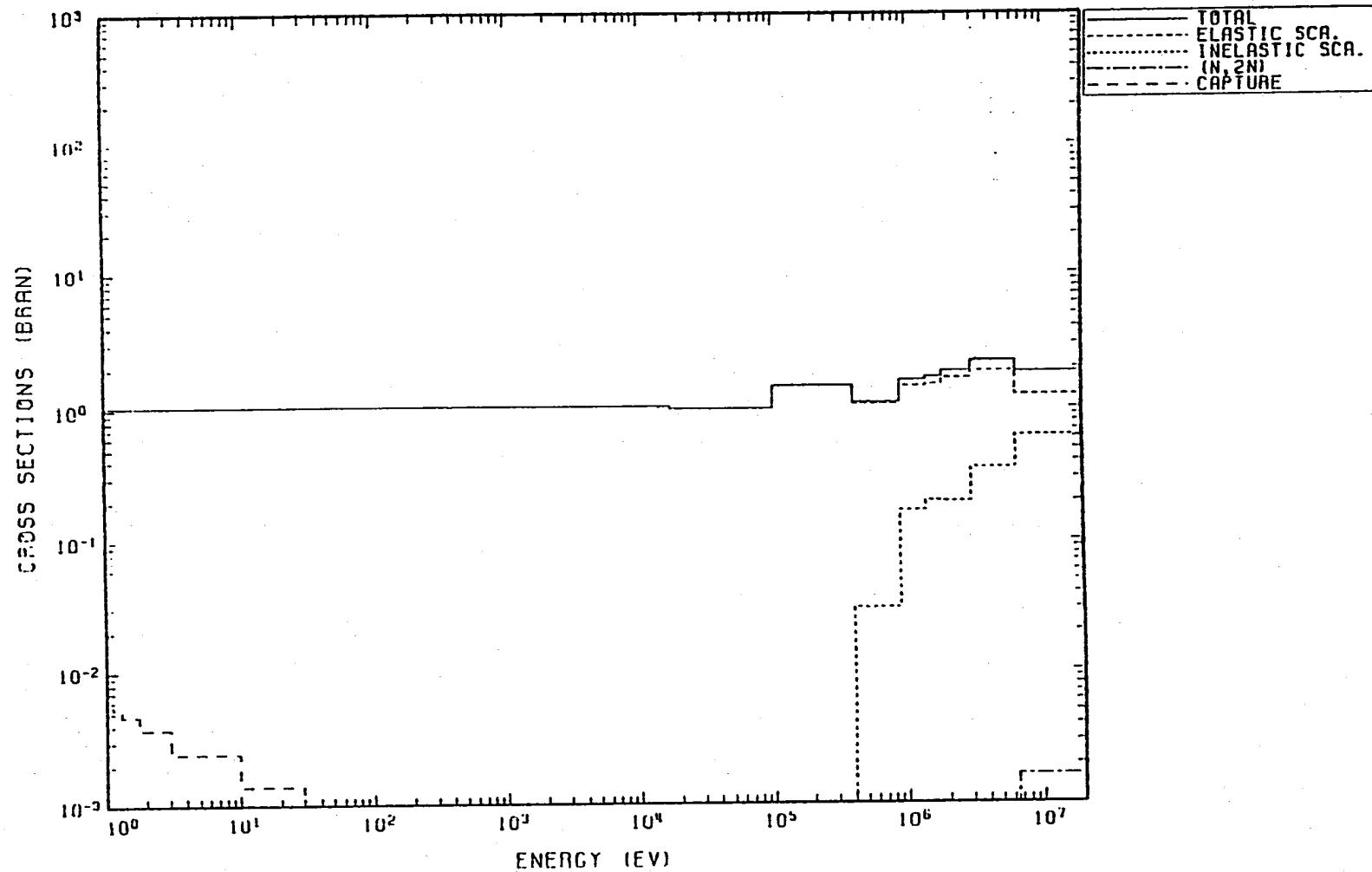
FISSION

2708103 S-10 ID=1001 END/E3-171. 8



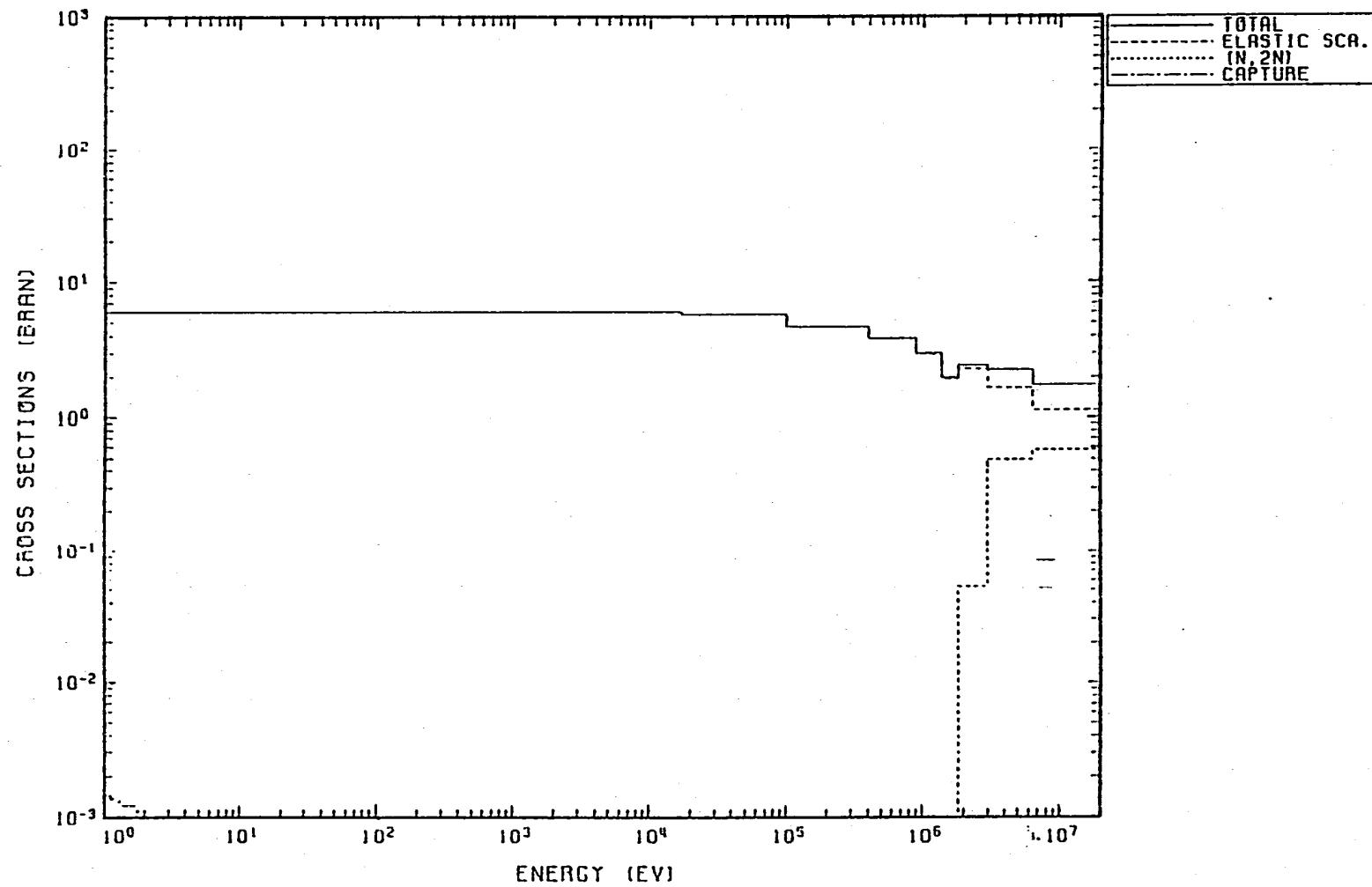
Hの実効断面積データ

27GROUP SHLD ID=3007 (ENDF/B-[VI], Li-7)



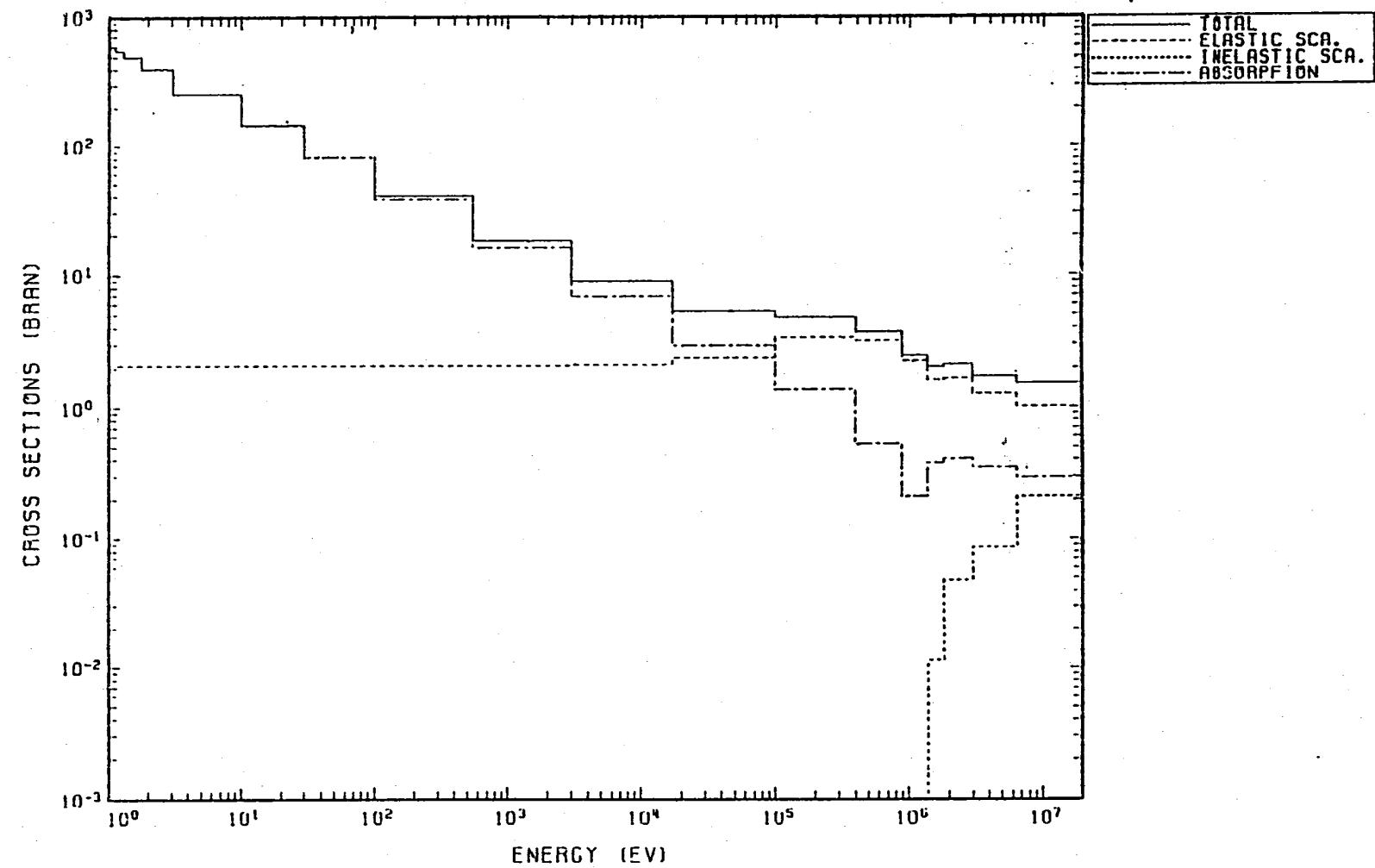
Li-7の実効断面積データ

27 GROUP SHLD ID=4009 (ENDF/B-IV). BE-9



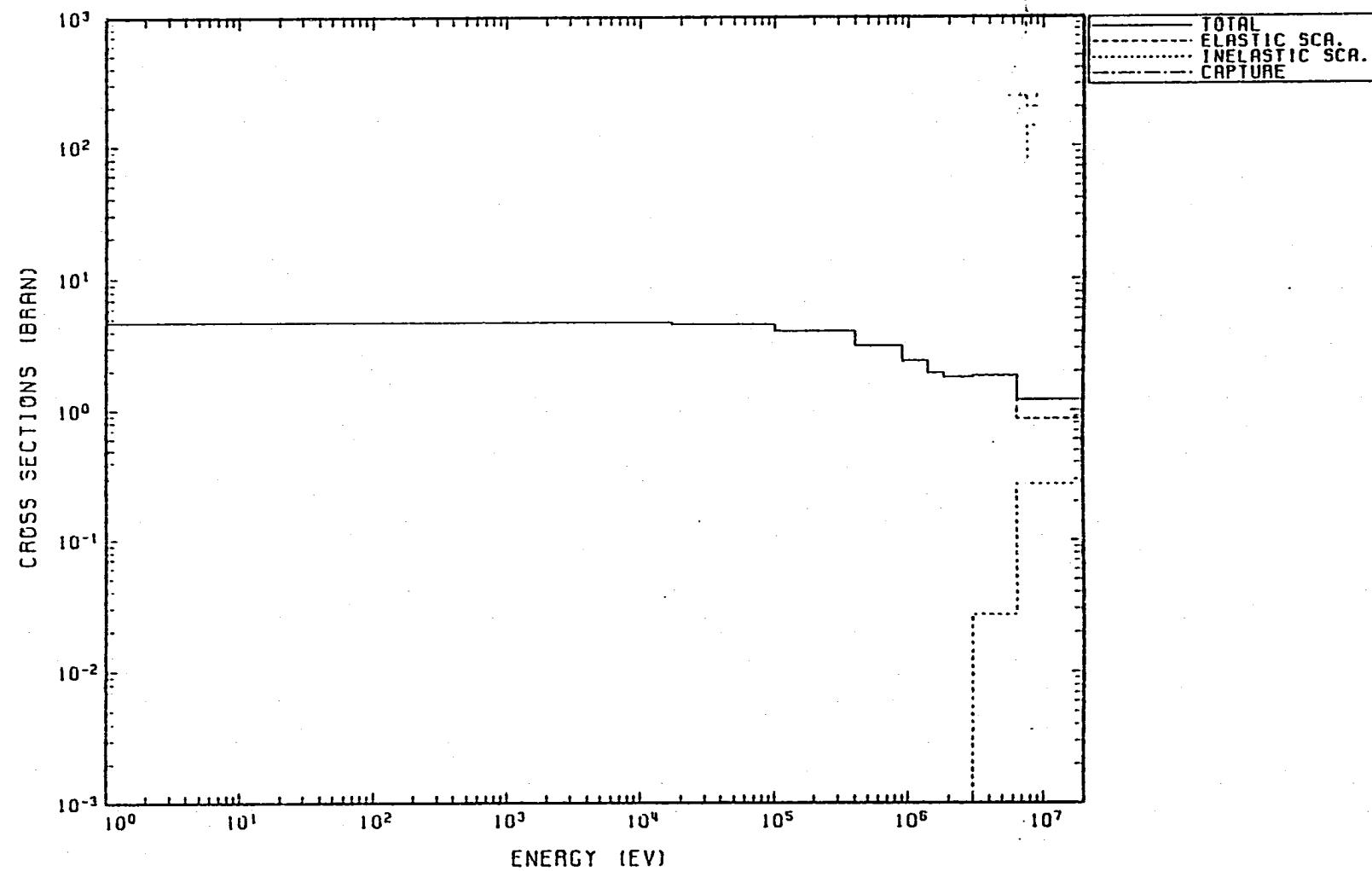
Be-9の実効断面積データ

27GROUP SHLD 1D=5010 (ENDF/B-IV). B-10



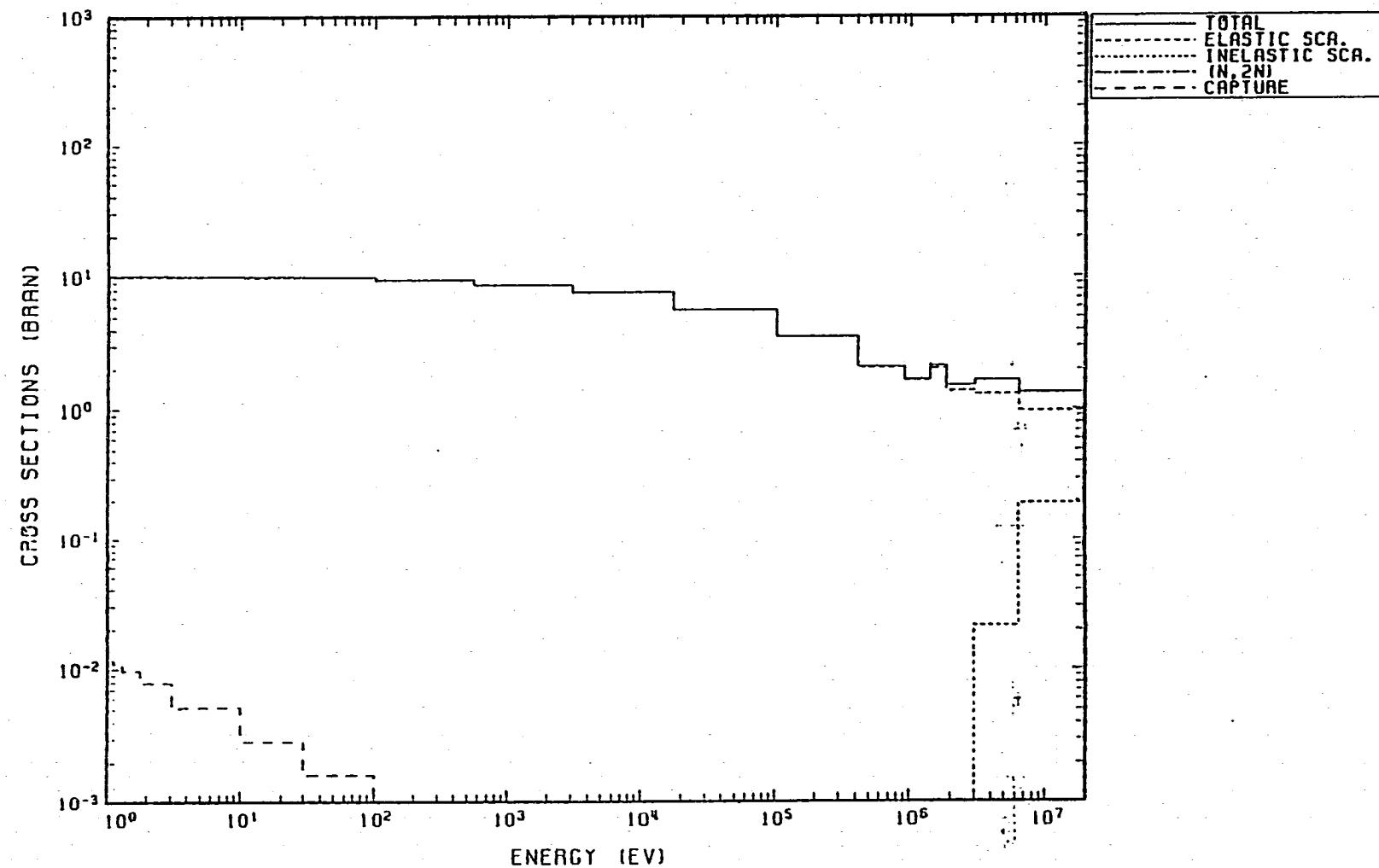
B-10の実効断面積データ

27GROUP SHLD ID=6012 (ENDF/B-[VI]) . C-12



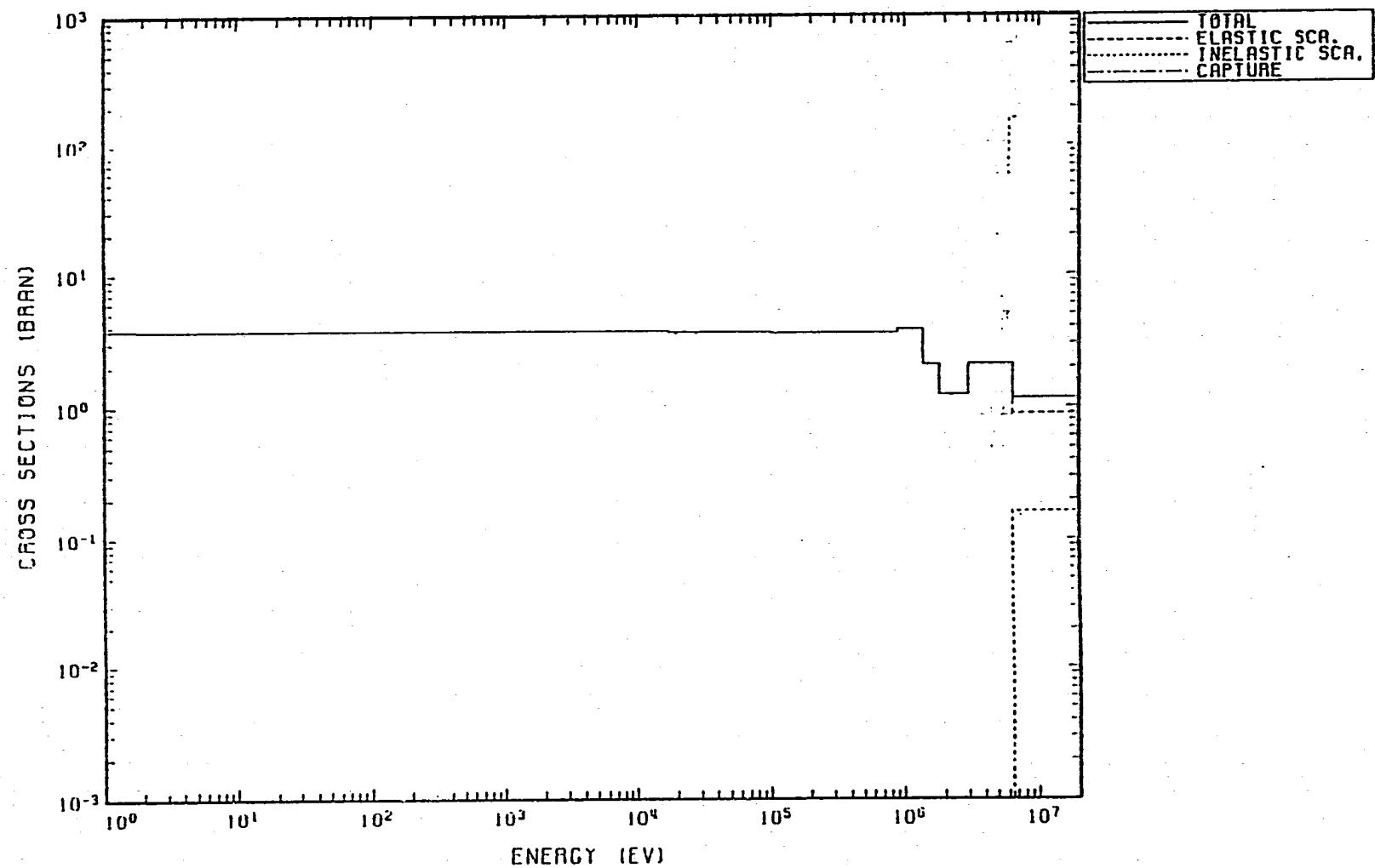
C-12の実効断面積データ

27GROUP SHLD ID=7014 (ENDF/B-[V]. N-14



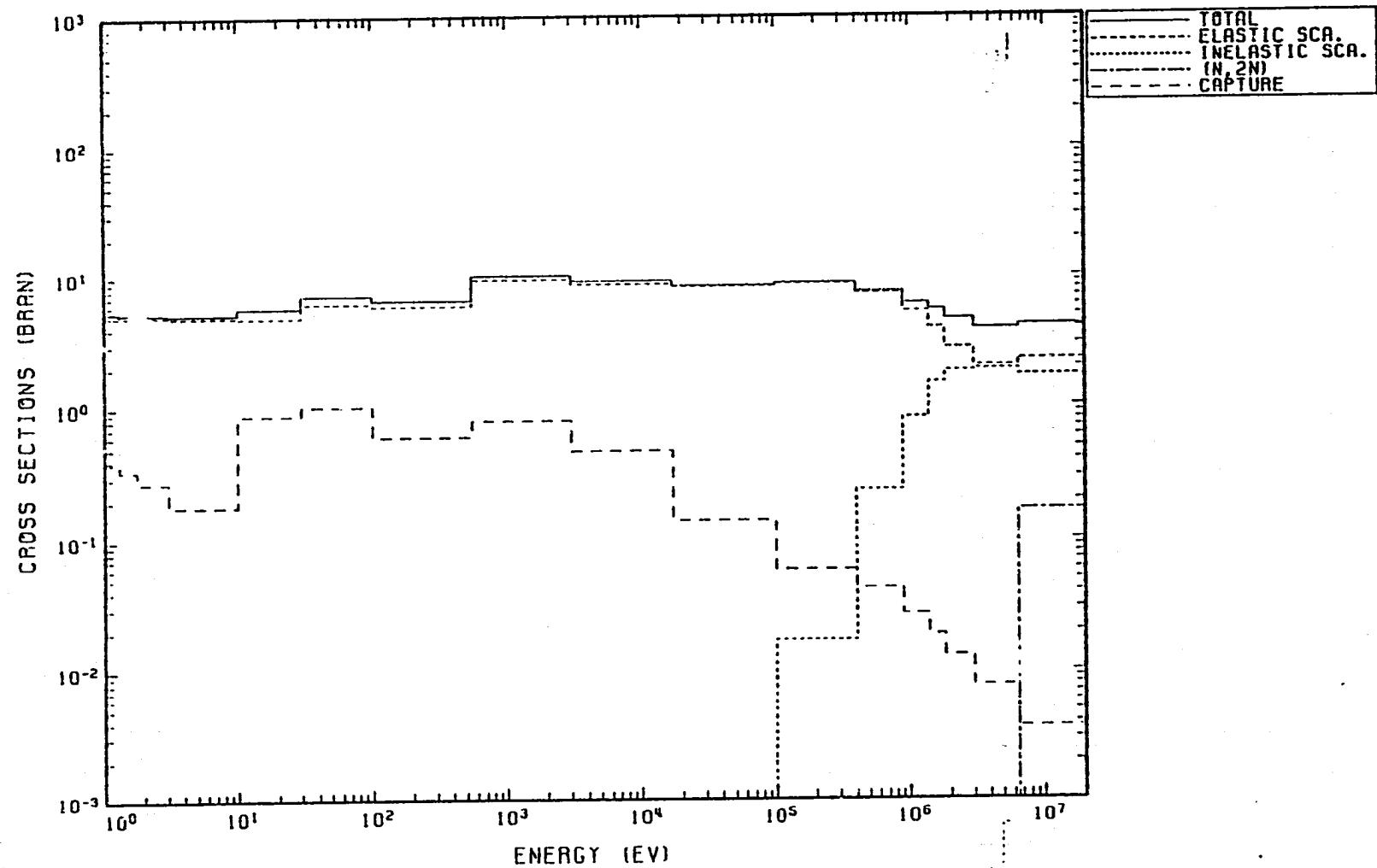
N-14の実効断面積データ

27GROUP SHLD ID=8016 (ENDF/B-V). O-16



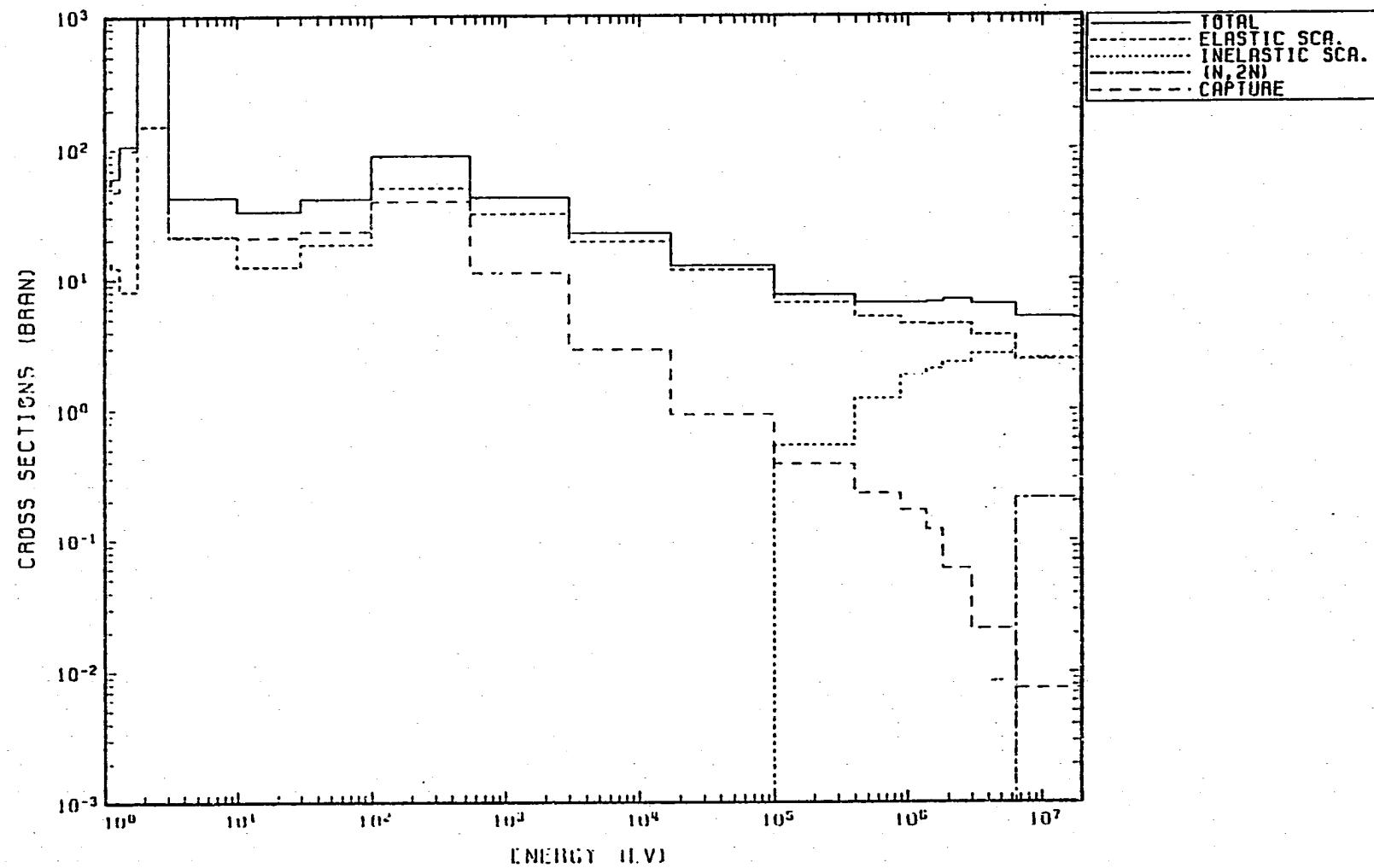
O-16の実効断面積データ

27GROUP SHLD ID=12000 (C'IDF/B-IV)、Mo



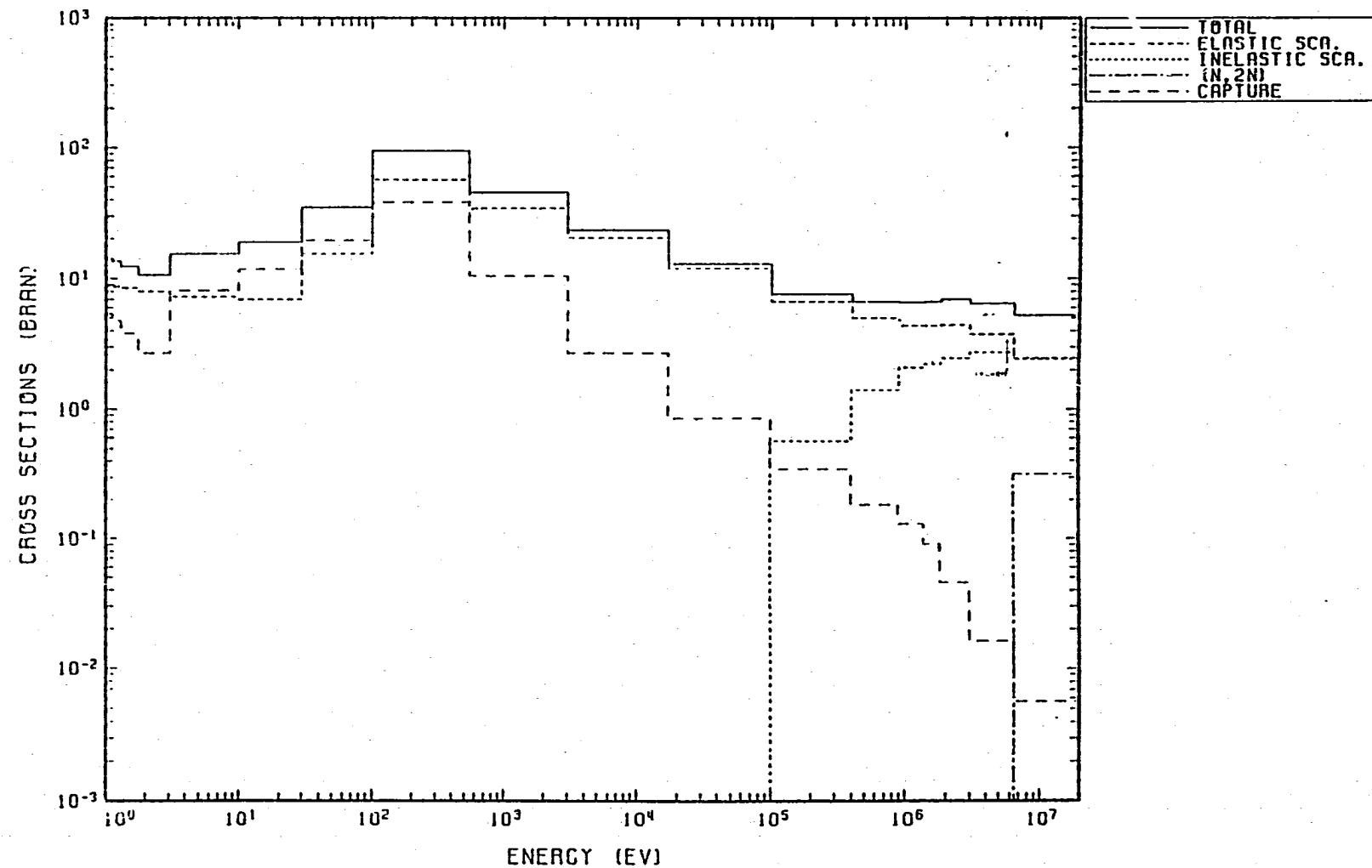
Mo(Natural)の実効断面積データ

27GROUP SHLD ID=75105 (ENDF/B-IV). RE-185



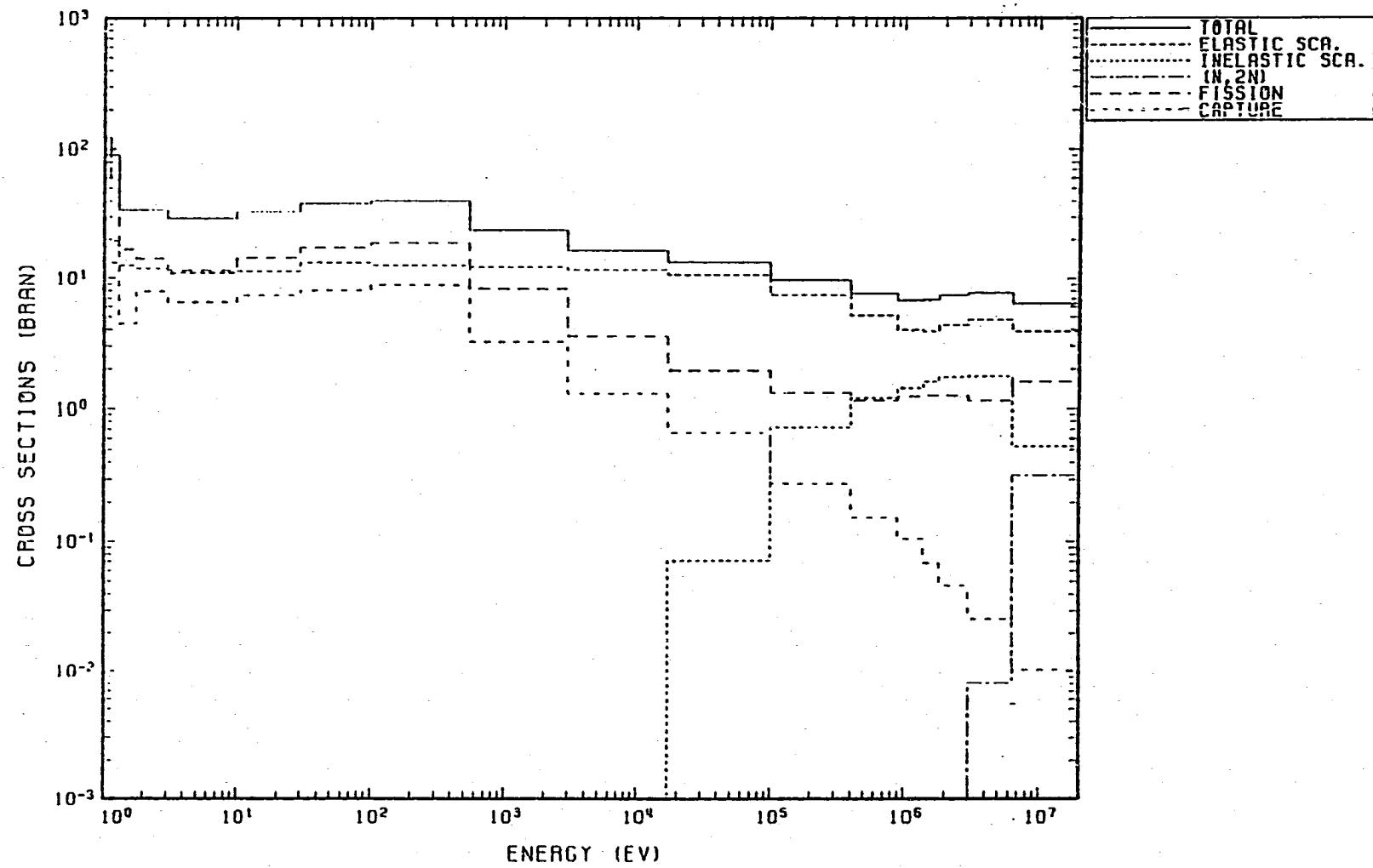
Re-185の実効断面積データ

27 GROUP SHLD ID=75187 (ENDF/B-IV). RE-187



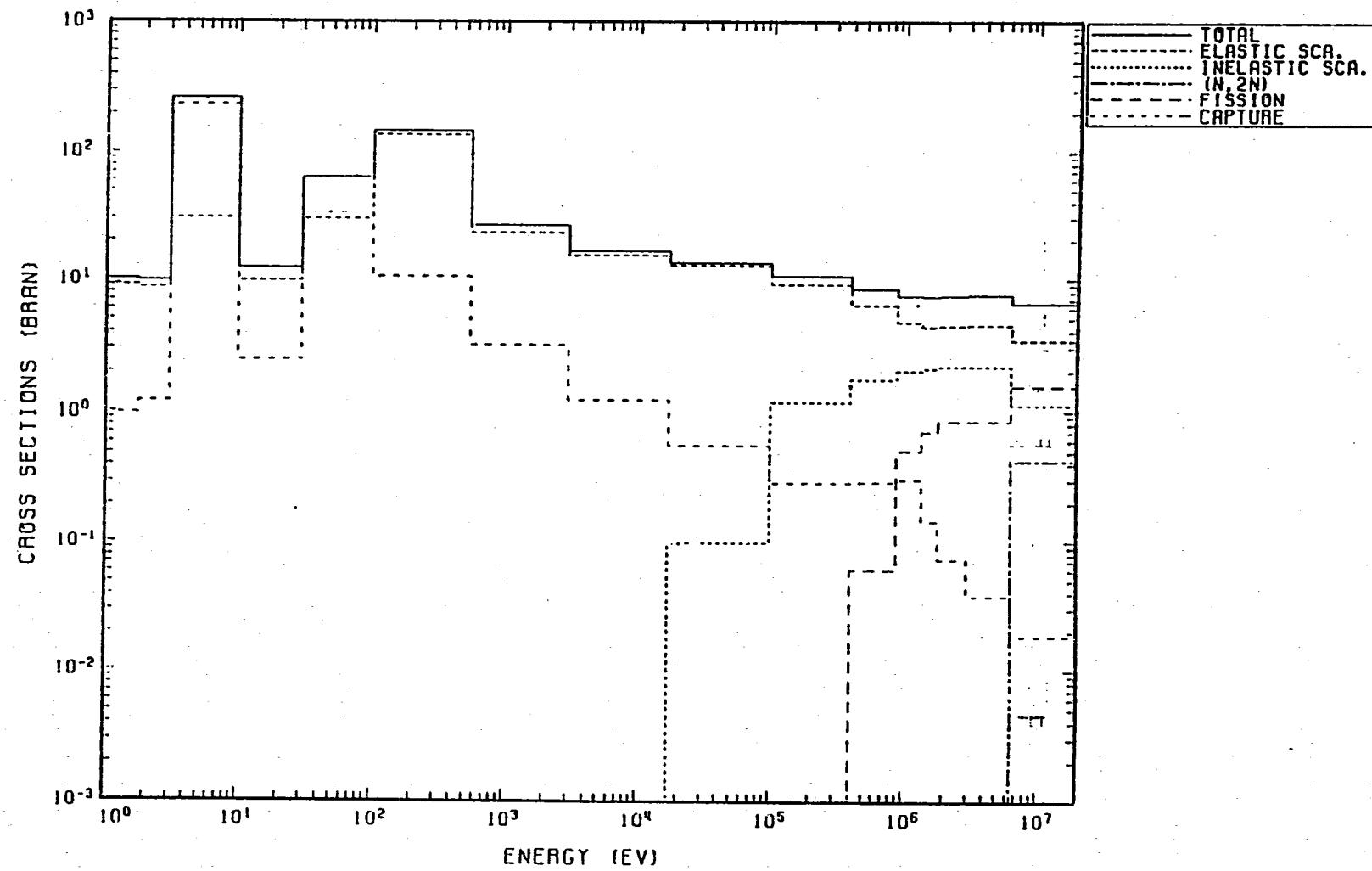
Re-187の実効断面積データ

27GROUP SHLD ID=92235 (ENDF/B-IV). U-235



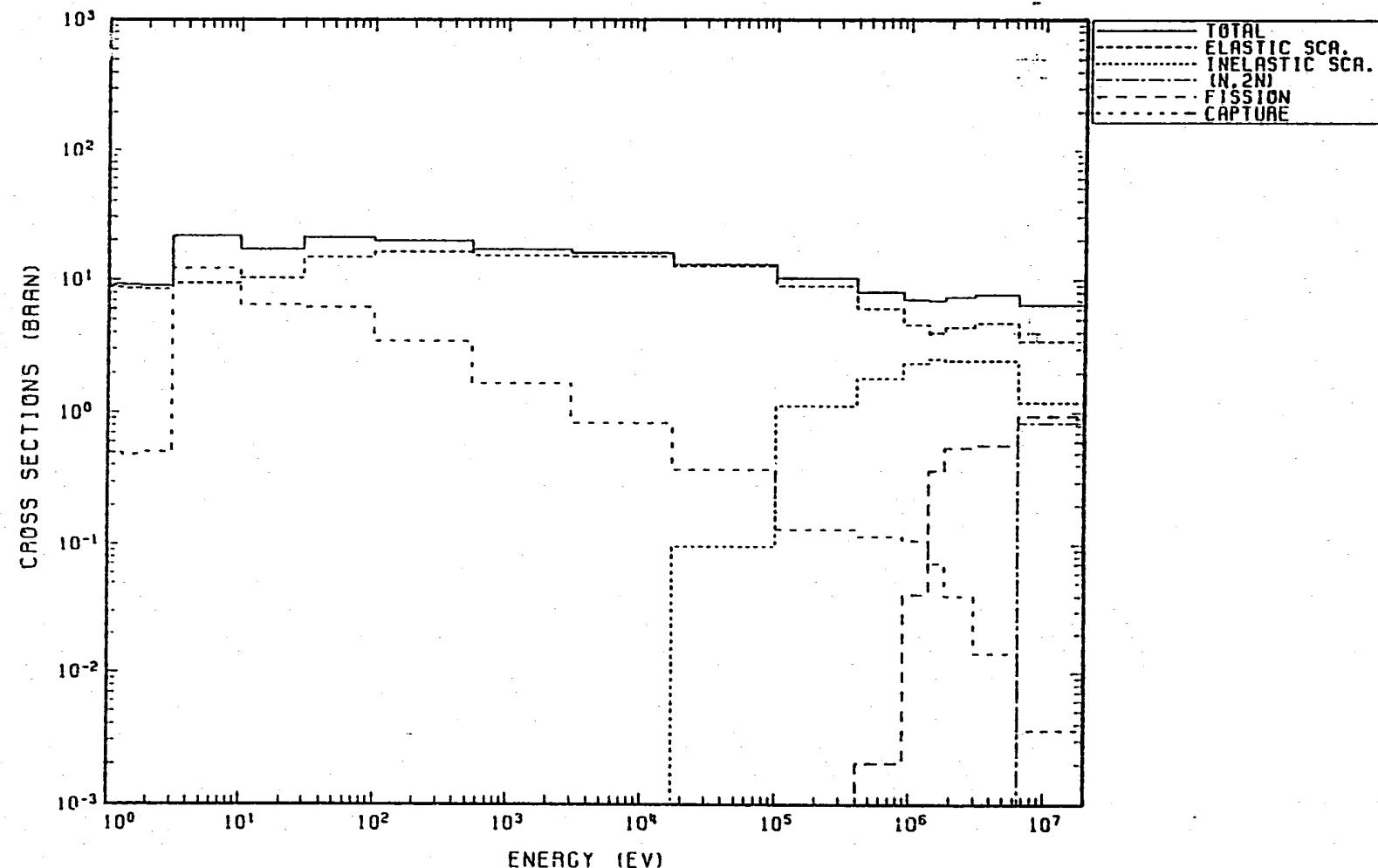
U-235の実効断面積データ

27GROUP SHLD ID=92236 (ENDF/B-IV). U-236



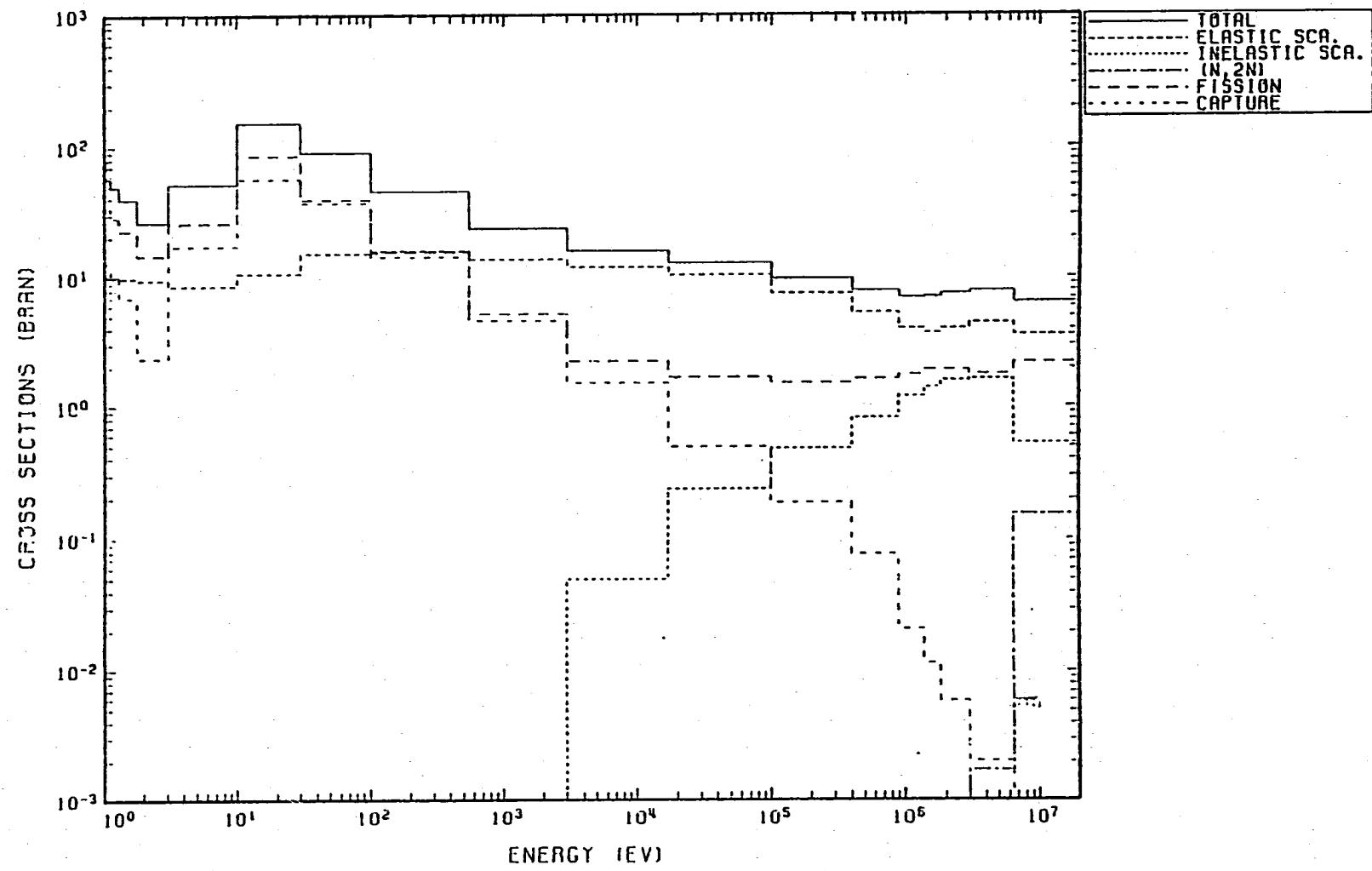
U-236の実効断面積データ

27 GROUP SHLD ID=92238 (ENDF/B-IV). U-238



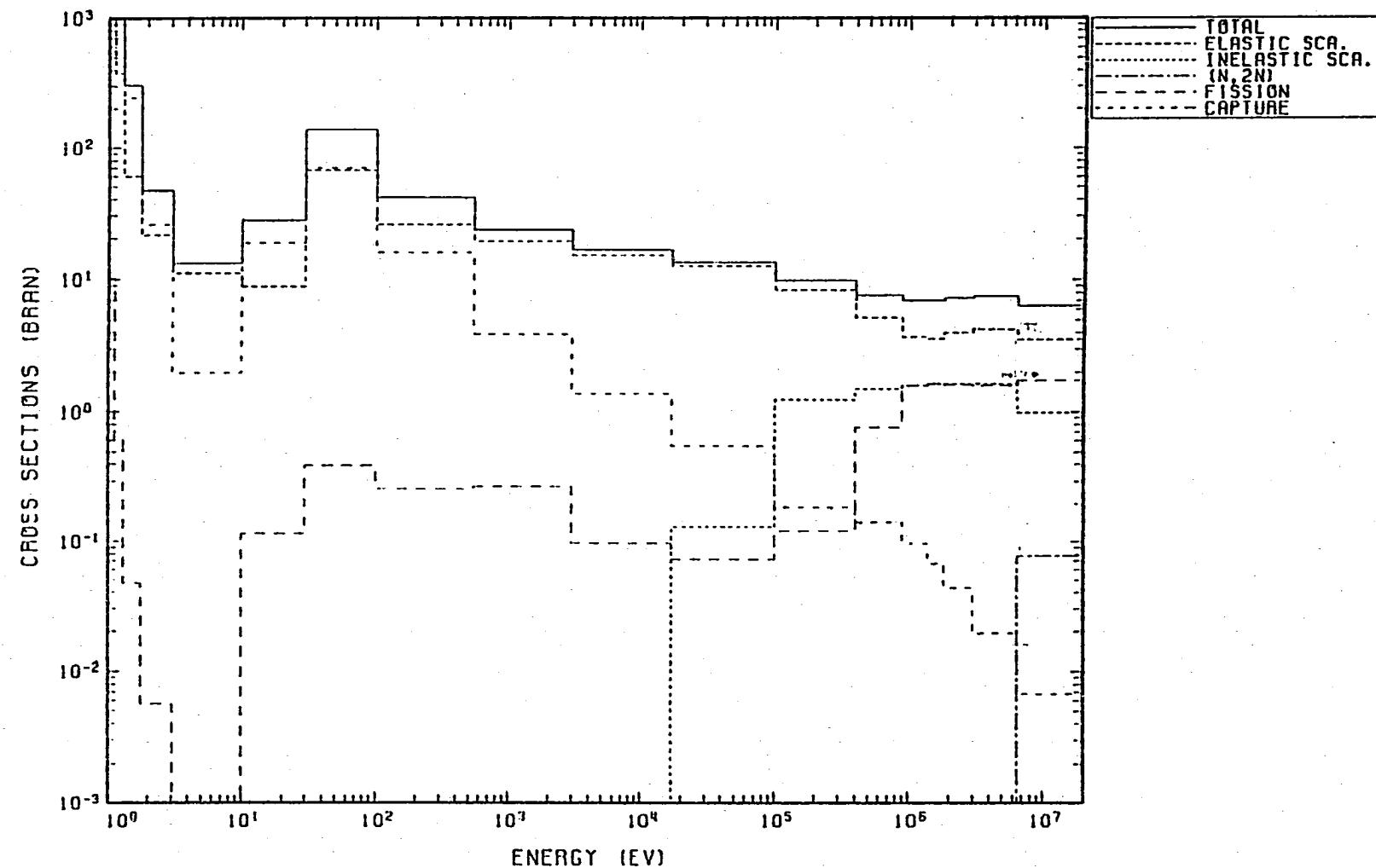
U-238の実効断面積データ

27 GROUP SHLD ID=94239 (ENDF/B-V), PU-239



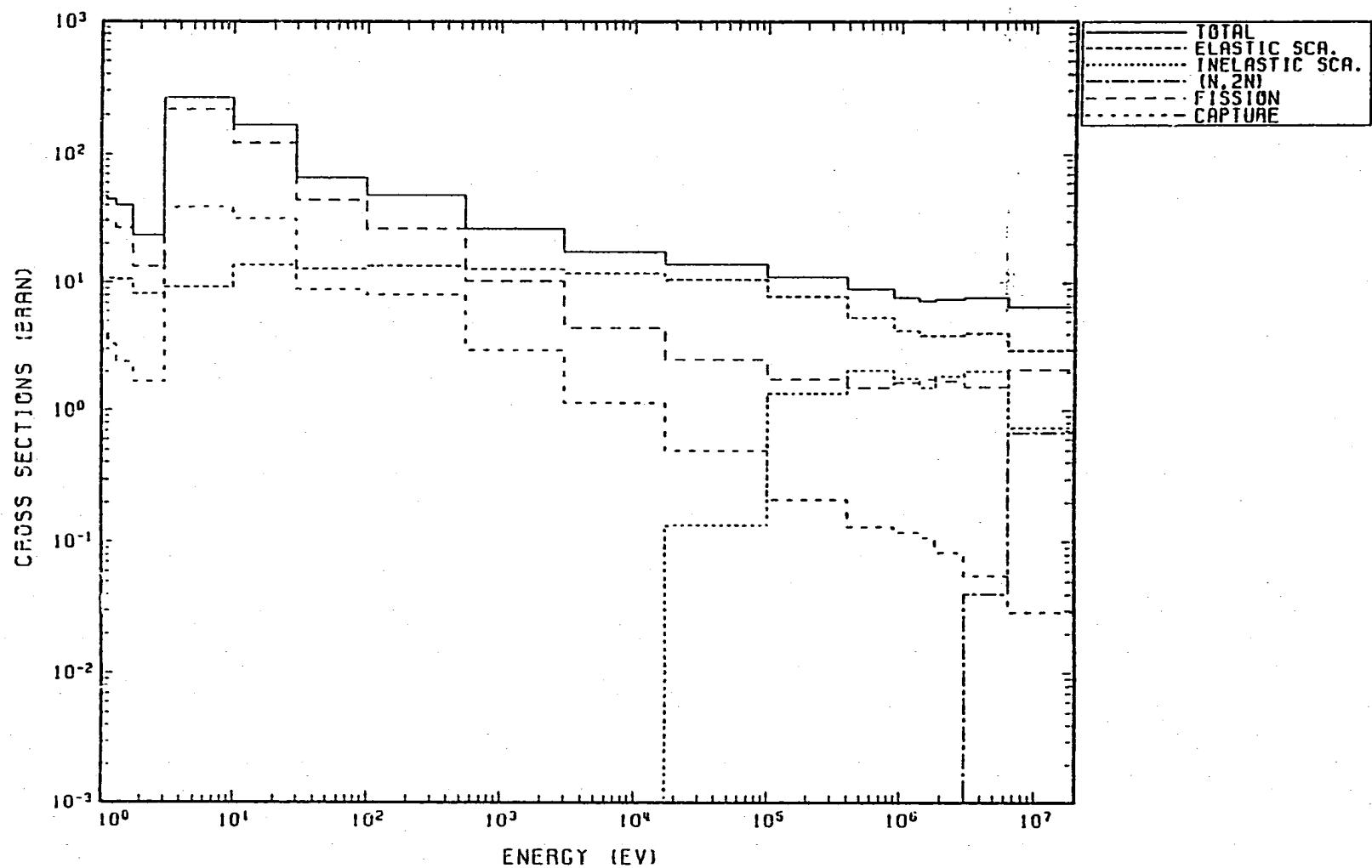
Pu-239の実効断面積データ

27GROUP SHLD ID=94240 (ENDF/B-IV). PU-240



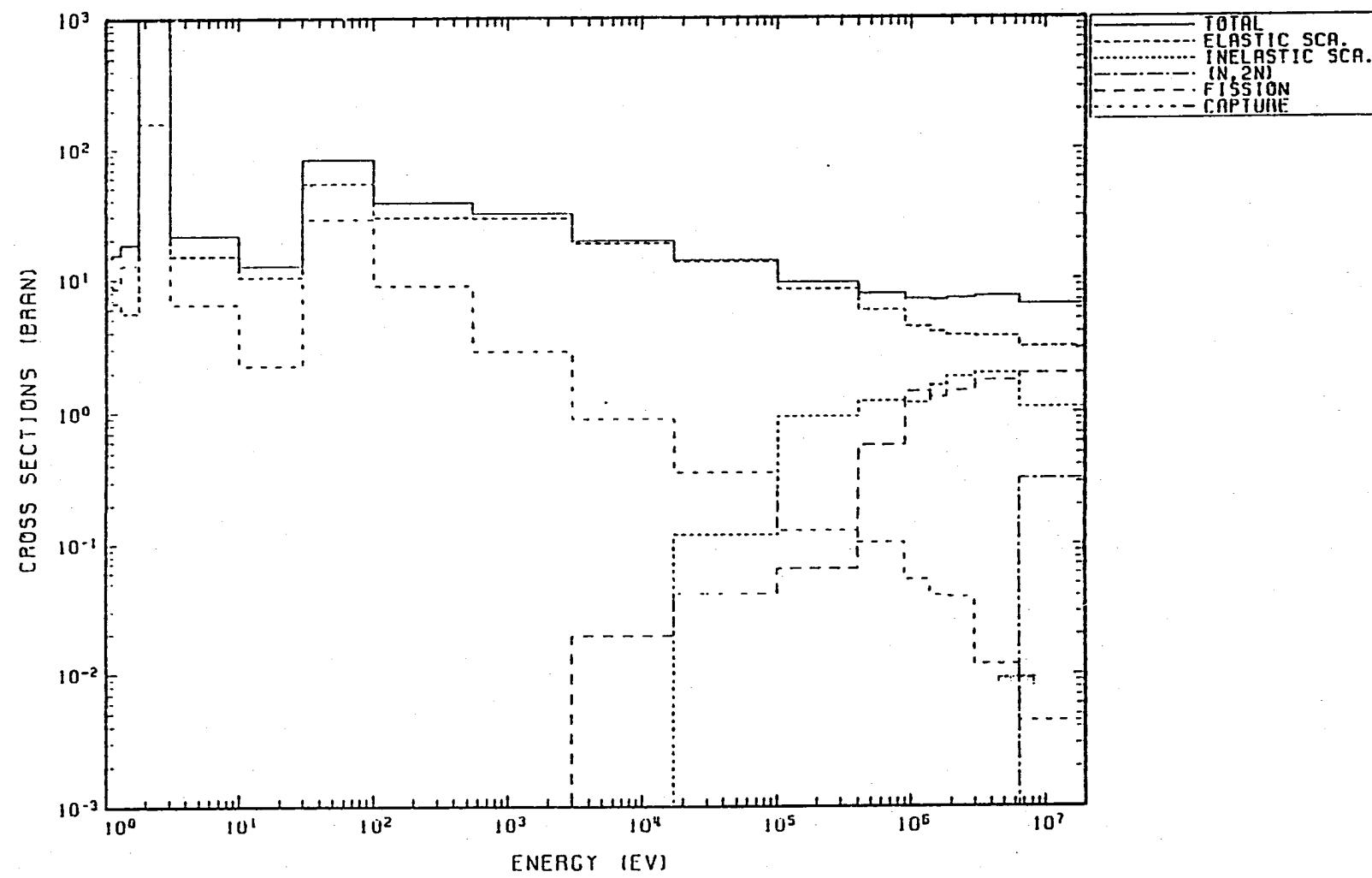
Pu-240の実効断面積データ

27GROUP SHLD ID=944241 (ENDF/B-IV). PU-241



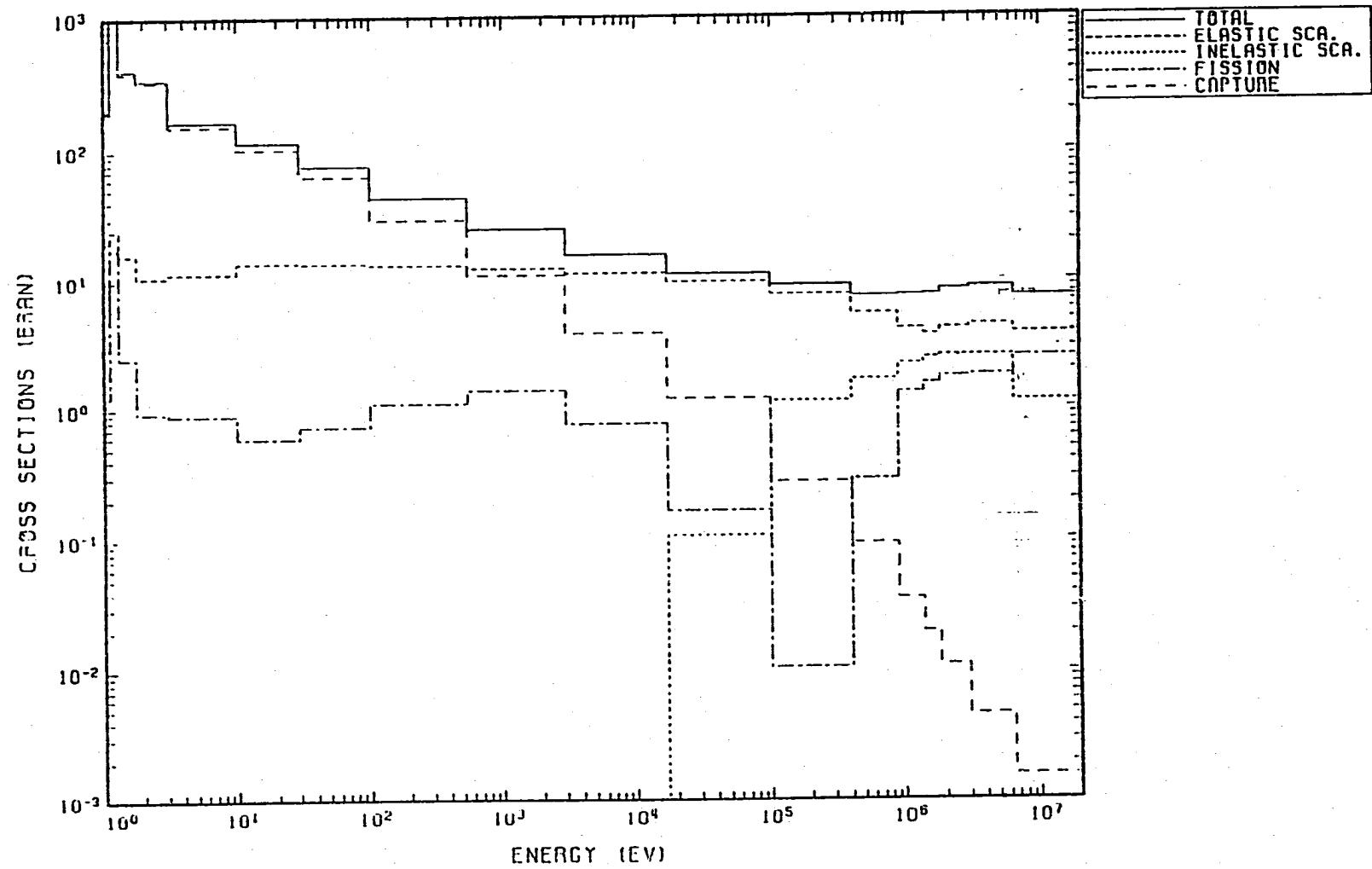
Pu-241の実効断面積データ

27GROUP SHLD ID=94242 (ENDF/B-IV). PU-242



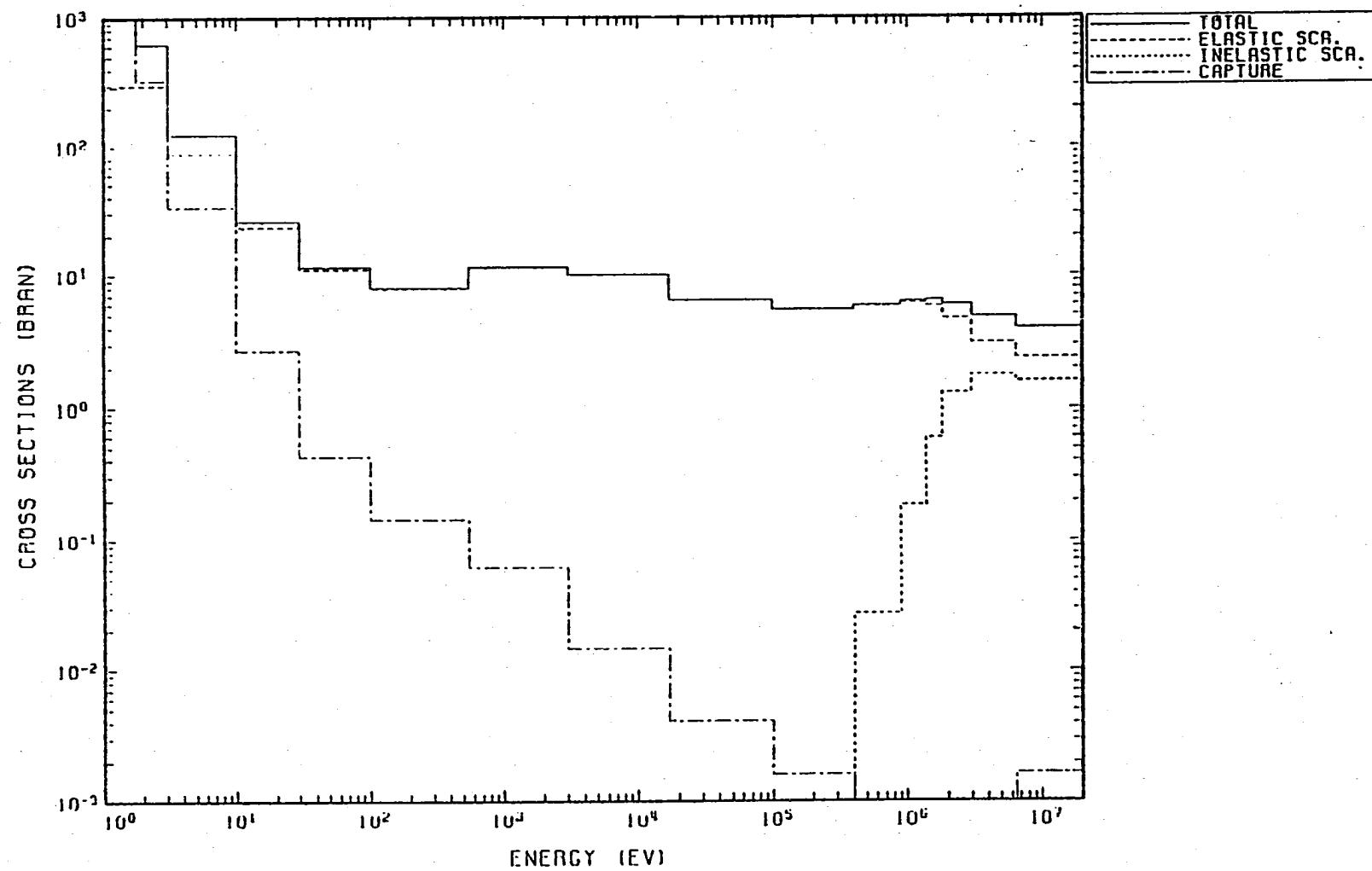
Pu-242の実効断面積データ

27GROUP SHLD ID=95241 (ENDF/B-IV). AM-241



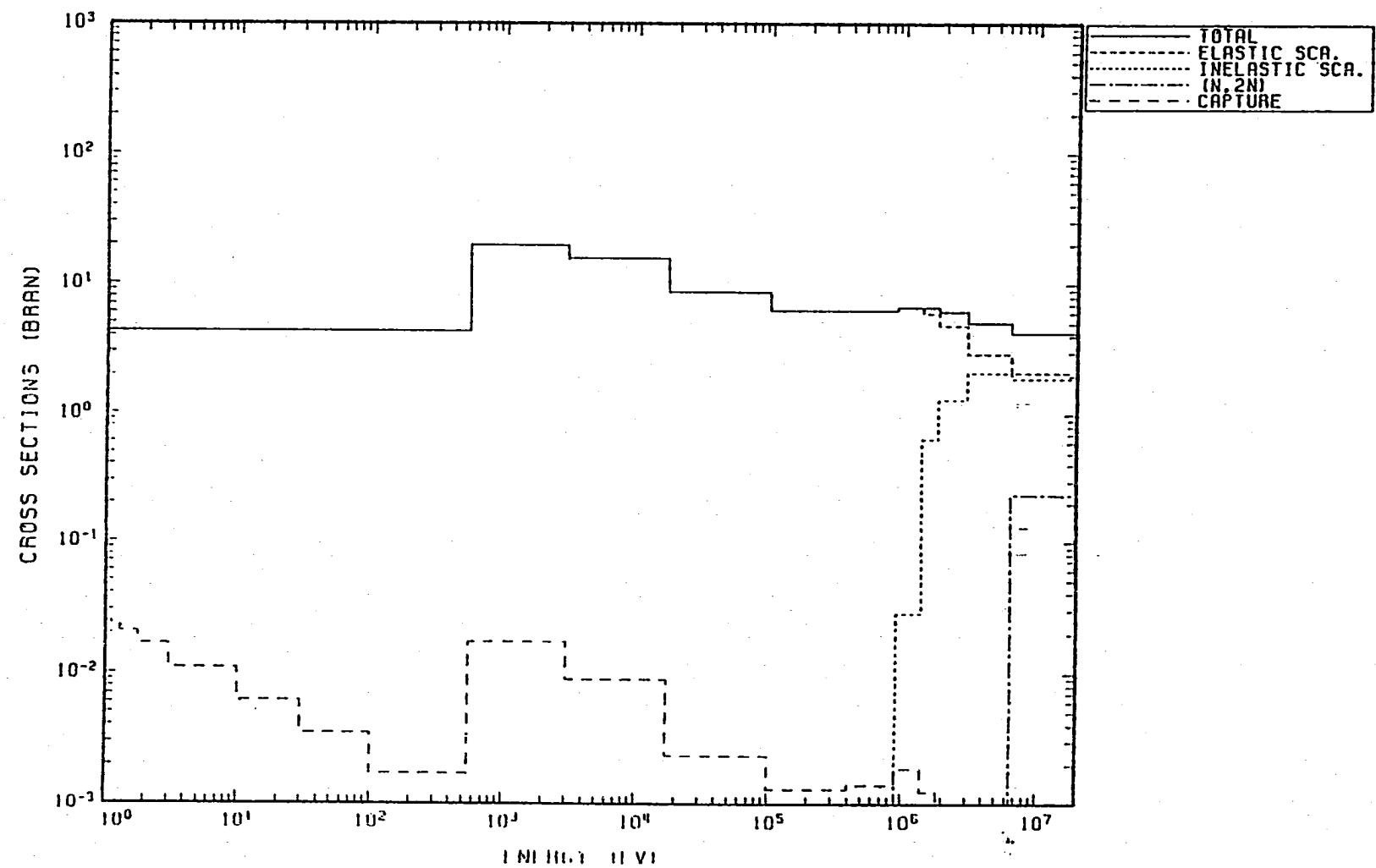
Am-241の実効断面積データ

27GROUP SHLD ID=54135 (ENDF/B-IV). XE-135



Xe-135の実効断面積データ

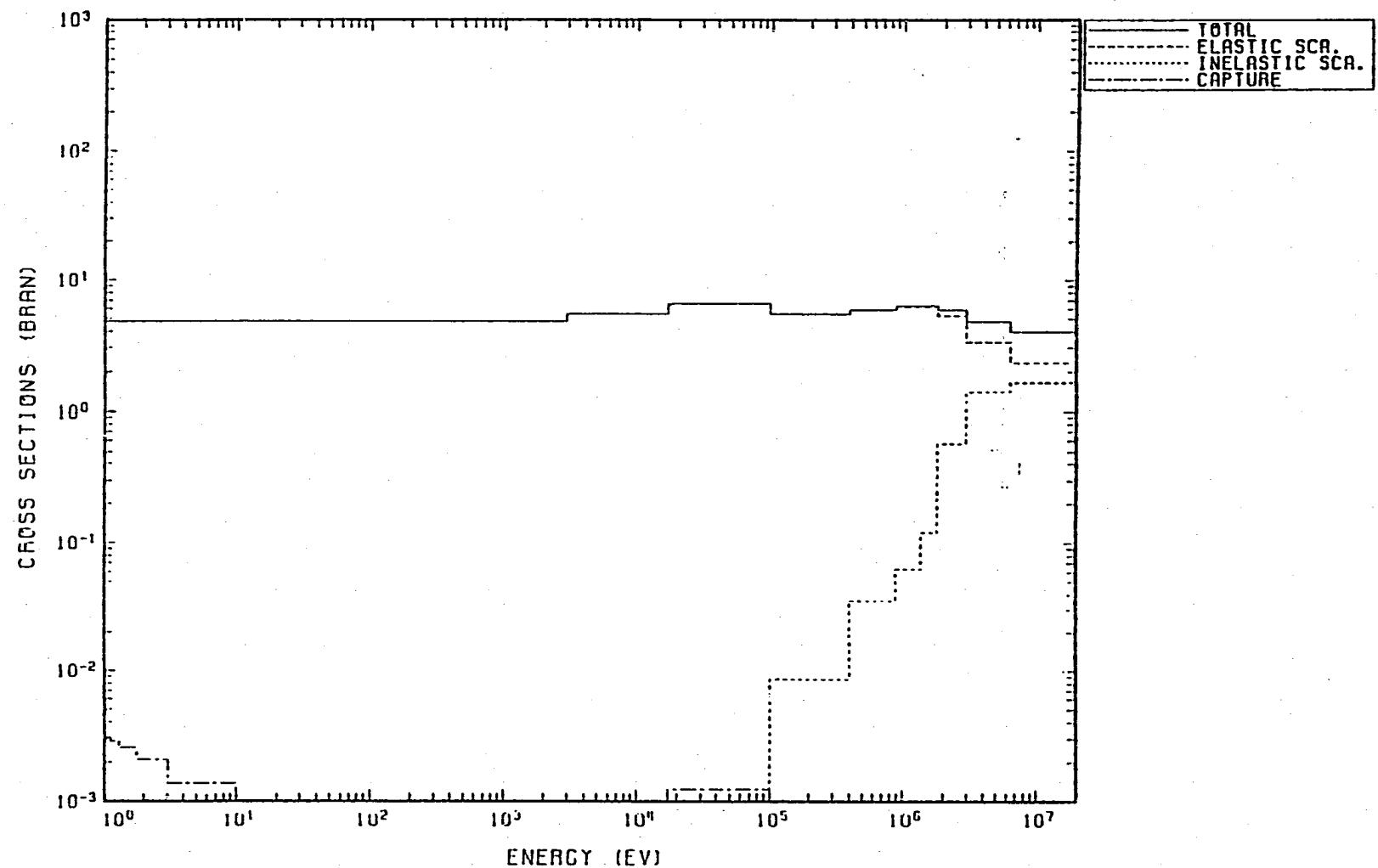
27 GROUP SHLD ID=54136 (ENDF/B-IV). XE-136



Xe-136の実効断面積データ

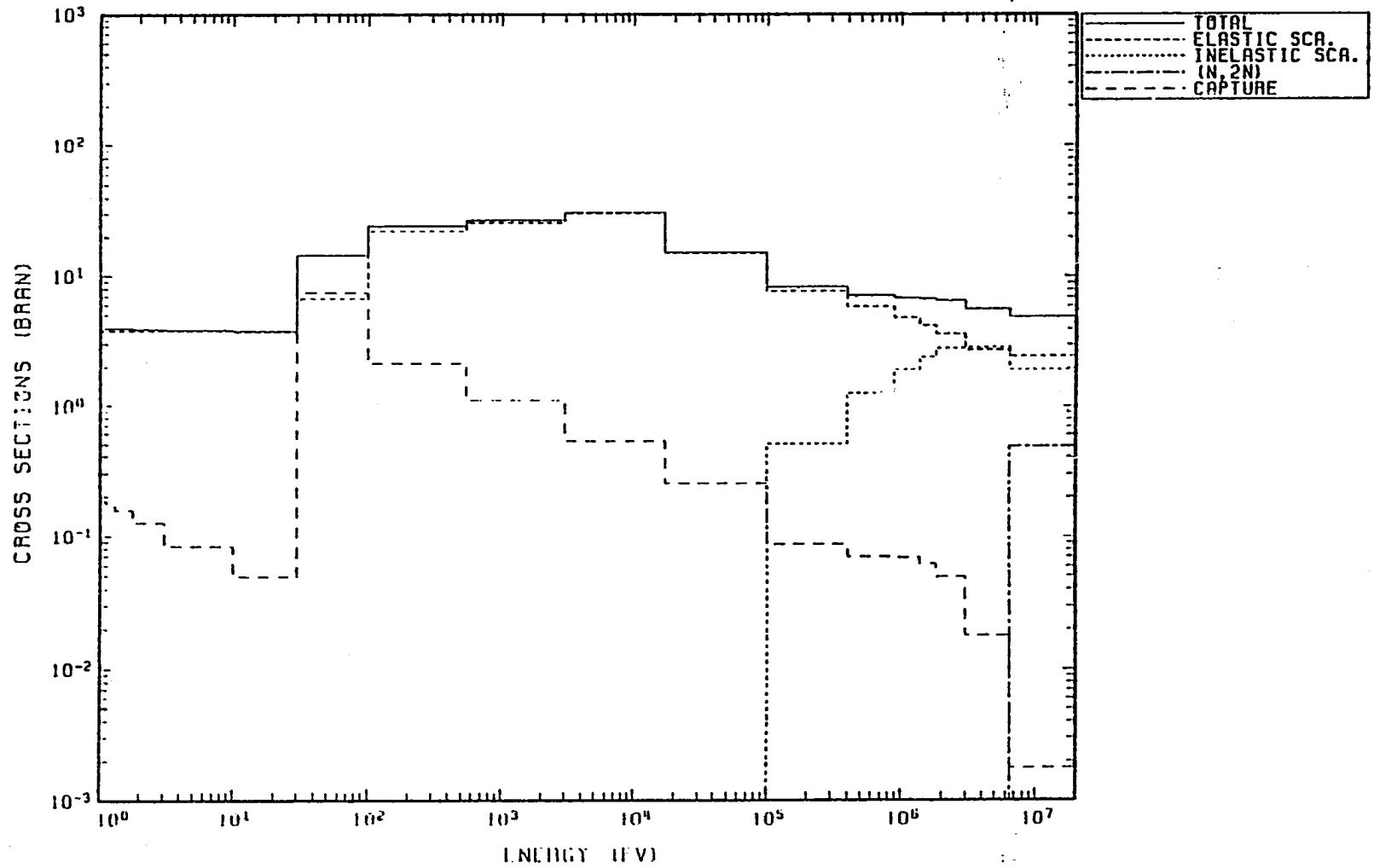
A-21  
1/2

27 GROUP SHLD ID=53135 (ENDF/B-IV). I-135



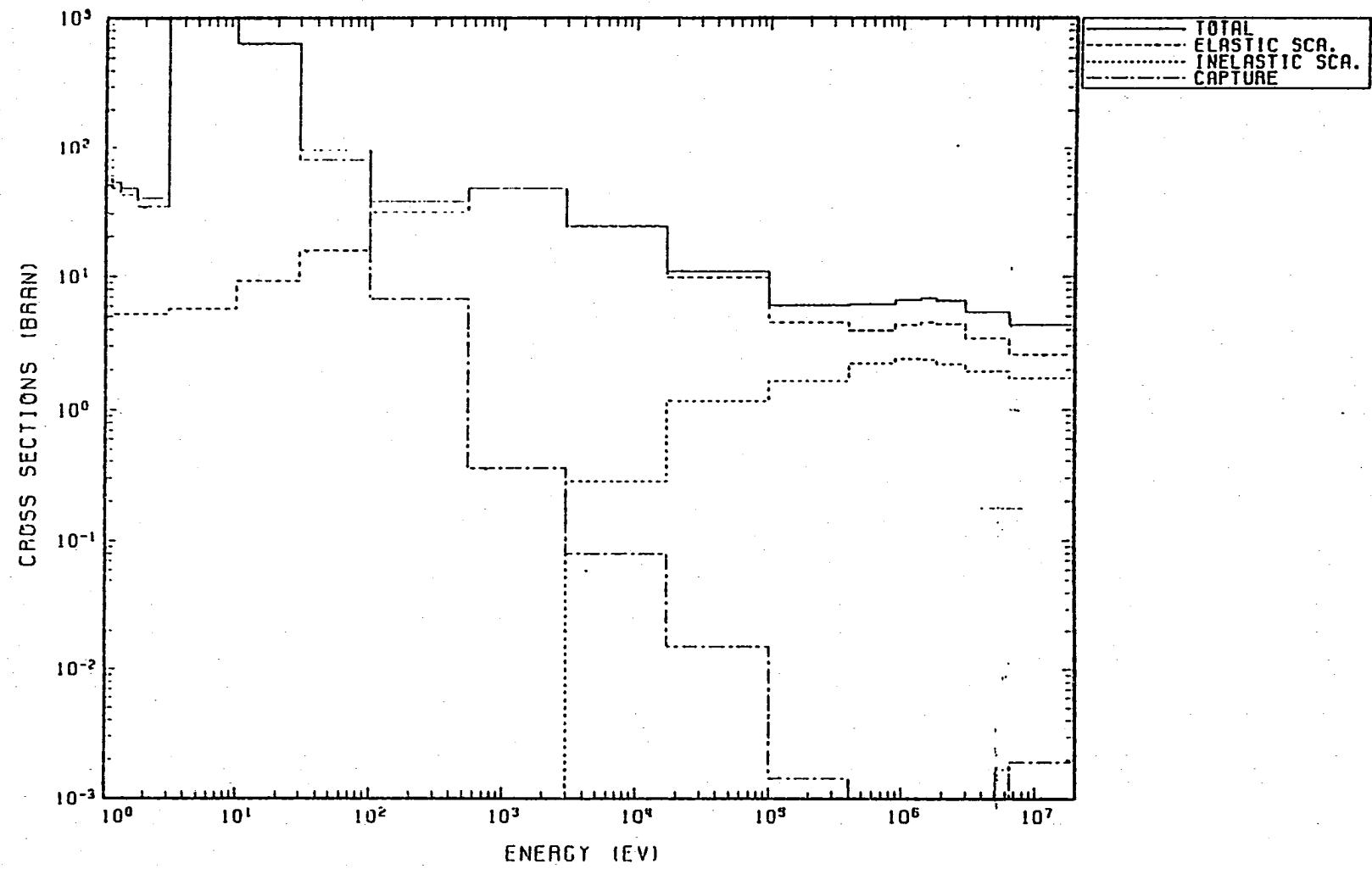
I-135の実効断面積データ

27GROUP SHLD ID=60150 (ENDF/B-IV). ND-150



Nd-150の実効断面積データ

27GROUP SHLD ID=62153 (ENDF/B-IV). SM-153



Sm-153の実効断面積データ