

JAERI-M

6 2 3 4

動力炉の燃焼度解析・3

(JPDR-1燃料のU, Pu, 超プルトニウム元素の生成量の解析)

1975年9月

江連秀夫

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

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

動力炉の燃焼度解析 3.

(JPDR-1 燃料の U, Pu, 超プルトニウム  
元素の生成量の解析)

日本原子力研究所東海研究所動力炉試験炉部

江 連 秀 夫

(1975年8月15日受理)

JPDR-1 燃料の U, Pu の原子個数密度, 燃焼度の測定が42年に計画され, ホット  
ラボ, 分析センター, 燃開室の協力のもして測定がなされたのを機会に, これらの解析を  
おこなった。

三次元核熱水計算コード FLORA によるボイド率, 燃焼度分布を計算し, Exponential  
matrix 法を用いて, 核種の原子数密度を求めるプログラム TRANSURA を作り, U,  
Pu, 超プルトニウムの空間分布を計算した。また, 核種の個数密度, 燃焼度の測定値か  
ら実効断面積, セル定数コードの評価もおこなった。

Burnup Analysis of the Power Reactor • 3  
( Analysis of the JPDR-1 fuels for U, Pu and  
transplutonium )

Hideo EZURE

Division of JPDR, Tokai, JAERI

( Received August 15, 1975 )

The atomic number densities of uranium and transuranium were measured for JPDR-1. For the purpose of the study, the program has been prepared. It solves the burnup equation by the exponential matrix method. The void fraction and exposure distribution of the required data were calculated by three-dimensional nuclear-thermal-hydro-dynamic program FLORA under the operating conditions. The distribution of each atomic number density was obtained. The results agree with the measured values. The programs calculating nuclear constants in the cell were evaluated by obtaining the effective cross sections from the atomic number densities and the burnup.

## 目 次

1. まえがき .....	1
2. Exponential matrix 法によるU, Pu, 超プルトニウム元素の計算 .....	2
3. 中性子束と核定数の計算 .....	6
4. U, Pu, 超プルトニウム元素の原子個数密度計算コード .....	11
5. 燃料集合体中央の燃料棒内のU, Pu, 超プルトニウム元素の分布の解析 .....	13
6. 燃焼にともなう核種の生成 .....	20
7. 断面積の評価 .....	26
8. 燃料集合体の周辺燃料棒の破壊試験の解析 .....	31
9. 考 察 .....	34
10. あとがき .....	34
文 献	
付 録	

## 1. ま え が き

燃料が燃焼すると、U, Pu, 超プルトニウムが蓄積される。この蓄積にともなって、炉心の反応度が減って、燃料交換、シャフリングが必要となる。BWRのように炉心の軸方向でボイド率がことなる炉心では、燃焼度が同じであっても、U, Pu, 超プルトニウムの生成、消滅量がことなる。JPDR-1のように、実験目的のために色々のモードで原子炉の運転がされると、それらの元素の生成、消滅過程が複雑になる。これらの元素の蓄積量を測定し、解析結果と比較し、どの程度一致するかを調べておくことは、動力炉が多く運転され、今後、何千年もの間、地球上の放射性物質の蓄積量を正しく評価する上から重要である。また再処理工場からのウエストの投棄計画の立案、再利用の開発にかくべからざるものである。

PWRではR. J. Nodvik<sup>1)</sup>によって、YANKEE炉心において、U, 超ウラン元素の蓄積量が精力的に実測されたが、BWRでは実測値が少なく、わずかに、VBWR<sup>2)</sup>, JPDR-1についてあるだけである。データも少ない。JPDR-1では幸いにして、42年に測定が計画され、ホットラボ、分析センター、燃開室の協力によって、U, 超ウランの定量、燃焼度分布の測定がされた。

一方、解析では、燃焼度、出力分布について三次元核熱水力の計算の計画がされて、測定値との対比がなされているが、U, Pu, 超プルトニウムの蓄積量の三次元分布が計算され、計算システムの総合的な検討がなされていない。従って、その解析システムを開発して、その問題点を把握することが必要である。そこで、JPDR-1のU, Pu, 超プルトニウムの蓄積量の解析を運転履歴に従っておこなった。

核種の生成、消滅過程が複雑になると、燃焼方程式を直接とき、解析解をえることは困難になる。そこで、その解決方法としてRunge-Kutta法で数値解をえることが考えられる。この方法は原子炉の運転歴が多様な場合は、時間メッシュの区切り方および冷却時間が大きいことなどの理由から計算時間がかかりすぎる。その解決手法として、Exponential matrix法<sup>10)</sup>を用いた。核種の生成、消滅過程が複雑で何世代もの前の親核種を持っていても、簡単にプログラムができ、計算時間が少なくてすむ。

U, Puの原子数の変化から、実効断面積を求める方法や、それによる計算結果について、未だ検討された例がない。燃焼方程式を級数展開によって求めると、核種の原子数変化と燃焼度および断面積との関係がきれいに整理され、実効断面積が求められる。

そこで、U, Pu, 超プルトニウム元素の生成量の解析の基礎となるJPDR-1炉心の出力、燃焼度分布の解析は別報にまとめ、本報はそれらの結果を用いて主に次の事項を実施した。

- (1) Exponential matrix法を用いて、U, Pu, 超プルトニウム元素の生成の計算プログラムTRANSURAの作成
  - (2) FLORAによる三次元核熱水力特性の計算結果を用いて、核種の生成量を解析した結果と測定値との対比
  - (3) セル定数の計算コードによるU, Puの生成量の計算値と測定値との対比
  - (4) 燃焼度対U, Puの原子数の変化から実効断面積を求める方法とその結果
- 以下、これらの主要項目について報告する。

## 2. Exponential matrix 法によるU,Pu, 超プルトニウム元素の計算

中性子束が一定であるとする、U, Pu, 超プルトニウムの生成消滅を表わす方程式は

$$\frac{dN^i}{dt} = -(\lambda^i + \sigma^i \phi) N^i + \sum_j \lambda^{j \rightarrow i} N^j + \sum_k \sigma^{k \rightarrow i} \phi N^k \quad (1)$$

$N^i$  :  $i$  核種の個数       $\lambda^i$  :  $i$  核種の崩壊係数

$\lambda^{j \rightarrow i}$  :  $j$  核種が崩壊して  $i$  核種になる崩壊係数

$\sigma^{k \rightarrow i}$  :  $k$  核種が核反応して  $i$  核種になる確率

定係数の一階の連立微分方程式で表わすことができる。簡単に、(1)式をベクトル表示すると

$$\frac{dN}{dt} = -AN \quad (2)$$

$$N = \begin{pmatrix} n^1 \\ n^2 \\ \vdots \\ n^i \end{pmatrix} \quad A = A_1 - A_2 - A_3$$

$$A_1 = \{ \lambda^i + \sigma^i \phi \} \quad A_2 = \{ \lambda^{j \rightarrow i} \} \quad A_3 = \{ \sigma^{k \rightarrow i} \phi \}$$

と書くことができる。(2)の解は、形式的に

$$N = e^{-At} N_0 \quad (3-1)$$

$$= \left\{ 1 - At + \frac{(At)^2}{2!} - \frac{(At)^3}{3!} + \dots \right\} N_0 \quad (3-2)$$

$N_0$  :  $N$  の初期値

と求められる。(3-2)式で

$$N_n = \frac{At}{n} N_{n-1} \quad (3-3)$$

とおくと、

$$N = N_0 - N_1 + N_2 - N_3 + \dots \quad (4)$$

と表わすことができる。従って、(3-3)式の循環式によって、核種の個数を求めることができる。

方程式(2)の解を(4)のような形であらわすと、核種の連鎖がどのようになっているても、簡単に求めることができる。例えば  $^{235}\text{U} \rightarrow ^{239}\text{Pu} \rightarrow ^{240}\text{Pu} \rightarrow ^{241}\text{Pu} \rightarrow ^{242}\text{Pu}$  と連鎖している場合は解析

的に解を容易に求めることができるが、しかし、Fig. 1のようなモデルでは全部の核種について容易に解析解をえることができない。また、解析解をえたとしても、その形式は

$$\frac{e^{-\sigma^i \phi t} - e^{-\sigma^l \phi t}}{\sigma^l - \sigma^i} \tag{5}$$

と表わされるので  $\sigma^l \phi t \rightarrow 0$  のとき、 $e^{-\sigma^i \phi t}$  と  $e^{-\sigma^l \phi t}$  は 1.0 に近く、(5)式の分子は計算機で有効数字がえられないので、計算誤差が大きくなる。これに対し(4)式による解析は(5)式の指数関数を展開して、分母子の共通因子を省略して整理した式と同じであるので、有効数字が多く、計算誤差が少ない。A の要素は対角以外の大部分が零であるので(3-3)式の計算は簡単で、計算時間が少ない。これに対して、(1)式の解析解は多くの指数関数があるため、計算時間が大きい。

(3-2)式で展開項数によって、その誤差が決まる。(3-3)式は、

$$N_n = \frac{(A t)^n}{n!} N_0 = \frac{t^n}{n!} A^n N_0 \tag{6}$$

と表わすこともできるので、 $n-1$ 項までとったときの誤差は  $N_n$  と近似できる。その大きさを求めてみる。

A の固有値と固有ベクトルをそれぞれ  $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \dots$  および  $X_1, X_2, X_3, \dots$  とすると、初期値<sup>2)</sup>は

$$N_0 = \sum_{i=1}^m C_i X_i \tag{7}$$

$C_i$ : 定数     $m$ : A のデメンション

と表わすことができる。(7)式にAを作用させると

$$A N_0 = \sum_{i=1}^m C_i \rho_i X_i \tag{8}$$

となる。従って、 $A^n$ を(7)式に作用させると

$$A^n N_0 = \sum_{i=1}^m C_i \rho_i^n X_i \tag{9-1}$$

$$= \rho_1^n \left\{ C_1 X_1 + \sum_{i=2}^m C_i \left( \frac{\rho_i}{\rho_1} \right)^n X_i \right\} \tag{9-2}$$

となる。A の最大固有値を  $\rho_1$  とすると(6)式は(9-2)式を用いて、

$$N_n \rightarrow \frac{t^n}{n!} C_1 \rho_1^n X_1 \quad n \gg 1 \tag{10}$$

となる。 $i$ 核種の崩壊と核反応を  $\lambda^i + \sigma^i \phi$  とすると、A の最大固有値は、核種の崩壊、核反応の性質から、それらの最大値に等しいか、それ以下である。従って、



$$\max \{ N_n \} \leq \max \{ \lambda^i + \sigma^i \phi \}^n \frac{t^n}{n!} C_1 \max \{ X_1 \} \quad (11)$$

と導びかれるので、展開項数の打ち切り数と、それによって生ずる誤差を評価することができる。Fig. 1 のモデルでは、 $\phi \sigma \ll 1 \text{ sec}^{-1}$  で、 $^{242}\text{Am}$  のみが 16.0h の半減期で、小さく、崩壊係数は最大となり、他の核種はすべて、小さい。その値は、

$$\max \{ \lambda^i + \sigma^i \phi \} \simeq \frac{0.693}{16.0 \times 3600} \simeq 1.2 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1} \quad (12)$$

と求められる。容易に(11)式によって誤差が評価できる。

具体的に  $N_n$  がどのように計算されるかを、導びいてみる。Fig. 1 のような崩壊や核反応スキームで、○印の中の数字で核種を定義すると、次のように (3-3) 式は表わされる。

$$\begin{aligned} n_n^1 &= \frac{\sigma_a^1 \phi}{n} t n_{n-1}^1 \\ n_n^2 &= \frac{\sigma_a^2 \phi}{n} t n_{n-1}^2 - \frac{\sigma_a^1 \phi}{n} t n_{n-1}^1 \\ &\vdots \\ n_n^{18} &= \frac{(\lambda^{18} + \sigma_a^{18} \phi) n_{n-1}^{18} t}{n} - \frac{\sigma_c^{12} \phi t}{n} n_{n-1}^{12} - \frac{0.995 \lambda^{13} n_{n-1}^{13} t}{n} \\ n_n^{19} &= \frac{\lambda^{19} + \sigma_a^{19} \phi}{n} n_{n-1}^{19} t - \frac{\sigma_c^{17} \phi t}{n} n_{n-1}^{17} \end{aligned} \quad (13)$$

$$\sigma_c : \text{捕獲断面積} \quad \sigma_a = \sigma_c + \sigma_f \quad (\text{核分裂断面積})$$

このように、核反応、崩壊のスキームから、容易に  $N_n$  を導びくことができる。従って、(3-1) 式の数値解をえることができる。

一次微分方程式を (3-1) 式のように解く方法は核反応、崩壊のスキームが複雑であっても容易にプログラミングができる特徴がある。従って、すべての超ウラン元素について、計算式をたてて、解をえることができる。ただ、(13)式で半減期が短い元素があると、減衰係数が大きくなり  $A^n/n!$  の収斂がわるくなるので、半減期が短い元素は短時間で飽和する条件を入れて、解を求めなければならない。Fig. 1 ではそのような元素は省略したので、(13)式によって、核種の原子数を求めることができる。すなわち、Fig. 1 で  $\rightarrow^{238}\text{U} \rightarrow^{239}\text{U} \rightarrow^{239}\text{Np} \rightarrow^{239}\text{Pu} \rightarrow$  および  $\rightarrow^{242}\text{Pu} \rightarrow^{243}\text{Pu} \rightarrow^{243}\text{Am} \rightarrow$  はそれぞれ  $\rightarrow^{238}\text{U} \rightarrow^{239}\text{Pu} \rightarrow$  および  $\rightarrow^{242}\text{Pu} \rightarrow^{243}\text{Am} \rightarrow$  として計算した。

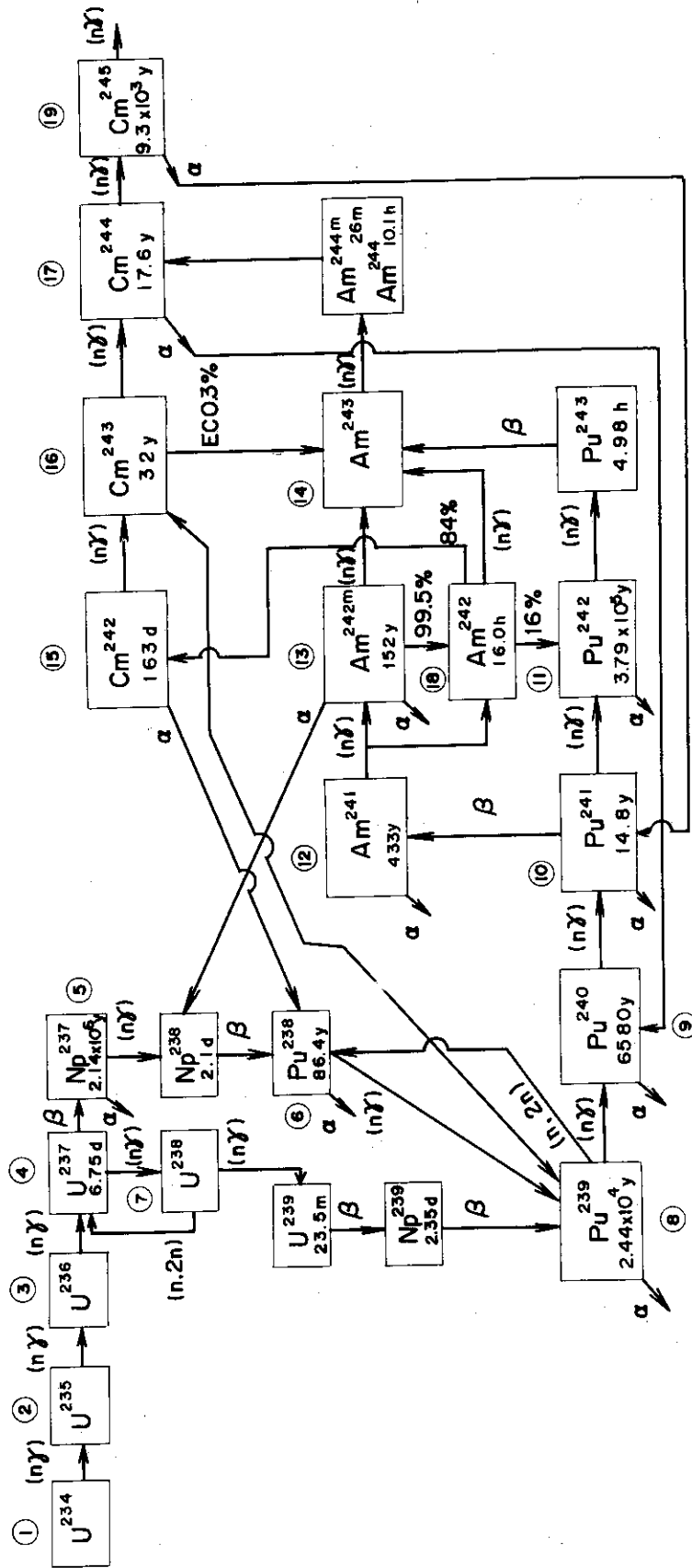


Fig. 1 計算モデル

### 3. 中性子束と核定数の計算

核種の原子が燃焼によって、生成、消滅する原子数は式(1)によって求められる。燃焼した燃料で生成、消滅される核種の原子数を計算するには、燃焼度、ボイド率、原子数の変化を求め、それに応じて断面積を求めなければならない。燃焼度およびボイド率の経歴はFig2で示すようにFLORA<sup>5)</sup>で計算し、運転時間、冷却時間は運転日誌から求められ、U, Pu, 超ウランの原子数の計算ができるようなプログラムを作成した。

中性子束は運転時間とその期間の燃焼度から

$$\phi = \frac{C_0 B}{T \sum_i \sigma_f^i N^i k^i} \quad (14)$$

$C_0$  : 換算係数,  $B$  : 燃焼度 (MWD/T)  $T$  : 運転時間 (Days)

$N^i$  : 原子数,  $\sigma_f^i$  :  $i$ 核種の核分裂断面積

$k^i$  :  $i$ 核種が核分裂によって発生するエネルギー

と求めることができる。

$^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  を親核種として生成される核種によって発生するエネルギーは $^{235}\text{U}$ ,  $^{236}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$ ,  $^{242}\text{Pu}$  等の核種である。燃焼度が $10^4$  MWD/T の範囲では、これらの核種によって大部分が発生する。従って、これらの核種によって、中性子束が定まるとした。この計算に必要な核種の核定数はセル核定数計算コードMUSE<sup>7)</sup>, LASER<sup>8)</sup>によって計算できる。U, Pu, 超プルトニウムを計算に用いる核定数はボイド率、燃焼度によって変化するので、

$$\sigma = \sum_{i=0, j=0}^2 a_{ij} V^i E^j \quad (15)$$

$V^i$  : ボイド率,  $E$  : 燃焼度,  $a_{ij}$  : 係数

と表わした。

核定数はMUSEによって、ボイド率を0, 20, 40, 60%にとり、それぞれのボイド率で、0, 2000, 4000, 6000, 8000 MWD/T まで、燃焼させて燃料集合体内の三群の中性子束分布を求めて、実効断面積 $\langle\sigma\rangle = \sigma_3 + \sigma_2 \phi_2 / \phi_3 + \sigma_1 \phi_1 / \phi_2$  (サフィッス 1.高速群, 2.熱外中性子群, 3.熱群) と定義して、fitting code 4DFITによって、(15)式の係数 $a_{ij}$ を計算した。これらの結果の一例を付録のTRANSURAのサンプル計算の入力に示す。燃料集合体内では場所、中性子群によって中性子束がことなるので実効断面積もそれらによって変化する。従って、U, Pu, 超プルトニウム元素が測定された場所で、中性子束のスペクトルを重みとして実効断面積はMUSEによって計算された二群の中性子束を用いてえられた。

超プルトニウムの核定数はMUSEやLASERの核定数ライブラリーに編集されていないので、次のようにして求めた。MUSEでJPDR-1燃料の核定数を計算した際、求められる熱中性子速度のエネルギーに対する平均値をボイド率と燃焼度をパラメータにして

$$\langle V \rangle = \alpha + \beta v + \gamma v^2 + (\alpha' + \beta' v + \gamma' v^2) E \quad (16)$$

$\alpha, \beta, \gamma, \alpha', \beta', \gamma'$  : 定数

$E$  : 燃焼度,  $v$  : ボイド率

$\langle V \rangle$  : 平均中性子速度

と表わした。熱中性子速度は燃焼度 (0~6000 MWD/T) によってほとんど変化しない (Fig. 3 参照) ので, U, Pu, 超プルトニウムの解析に使用した (16) 式はボイド率のみのパラメーターを使用した。(16) 式を用いて超プルトニウム元素の熱群の核数は

$$\langle \sigma_a^t \rangle = \frac{\sigma_a^t}{\langle V \rangle} \quad (17)$$

$\langle V \rangle$  : 0.025 eV の熱中性子速度を 1.0 とする平均中性子速度

$\sigma_a^t$  : 超プルトニウム元素の吸収断面積

と仮定した。捕獲断面積も (17) と同様な形とした。熱外および高速群の断面積の代表値は,

$$\langle RI_a^t \rangle = \frac{RI_a^t}{L} \quad (18)$$

$L$  : レサージ (0.625~10<sup>7</sup> eV 相当)

$RI_a^t$  : 吸収共鳴積分,  $\langle RI_a^t \rangle$  : 吸収共鳴積分の実効値

と仮定した。

熱中性子束と熱外および高速中性子束との比は JPDR-1 燃料について二次元燃焼度計算コード MUSE によって計算すると燃焼度によって大きく変化しない (Fig. 4 参照) ので, ボイド率によってのみ大きく変わるとして,

$$R = a + bv + cv^2 + (a' + b'v + c'v^2)E \quad (19)$$

$a, b, c, a', b', c'$  : 定数

$v$  : ボイド率,  $E$  : 燃焼度

$R$  : 熱外および高速中性子束 / 熱中性子束

と表わした。燃料集合体内の中性子束の分布は場所によって異なる (Fig. 4 参照) ので, 熱外および高速中性子束対熱中性子束比と一群の実効断面積は場所によって異なる。

超ウラン元素の吸収断面積の代表値は (17), (18), (19) を用いて,

$$\sigma_a = \langle \sigma_a^t \rangle + R \cdot \langle RI_a^t \rangle \quad (20)$$

と表わすことができる。捕獲断面積も (20) と同様に表わすことができる。(1) 式の  $\sigma^i, \sigma^{k \rightarrow i}$  は  $(n, r)$  反応のみを仮定すると, (20) 式によって計算される。これらの計算に用いた核データを Table 1<sup>6)</sup> に示す。

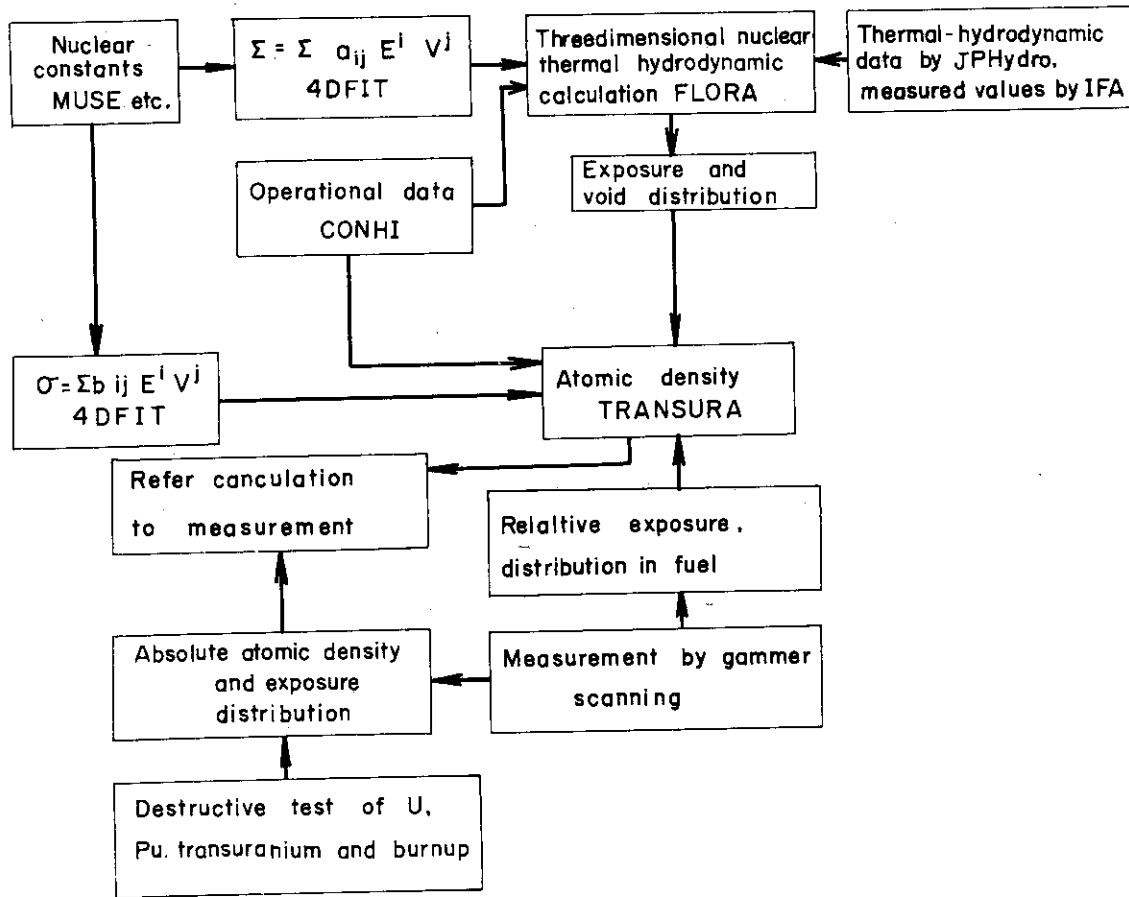


Fig. 2 Flow of burnup analysis of atomic number

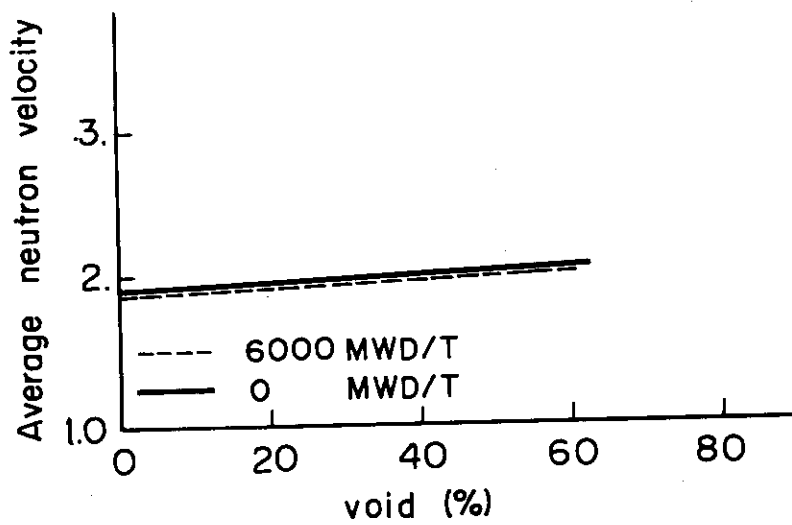


Fig. 3 Average neutron velocity

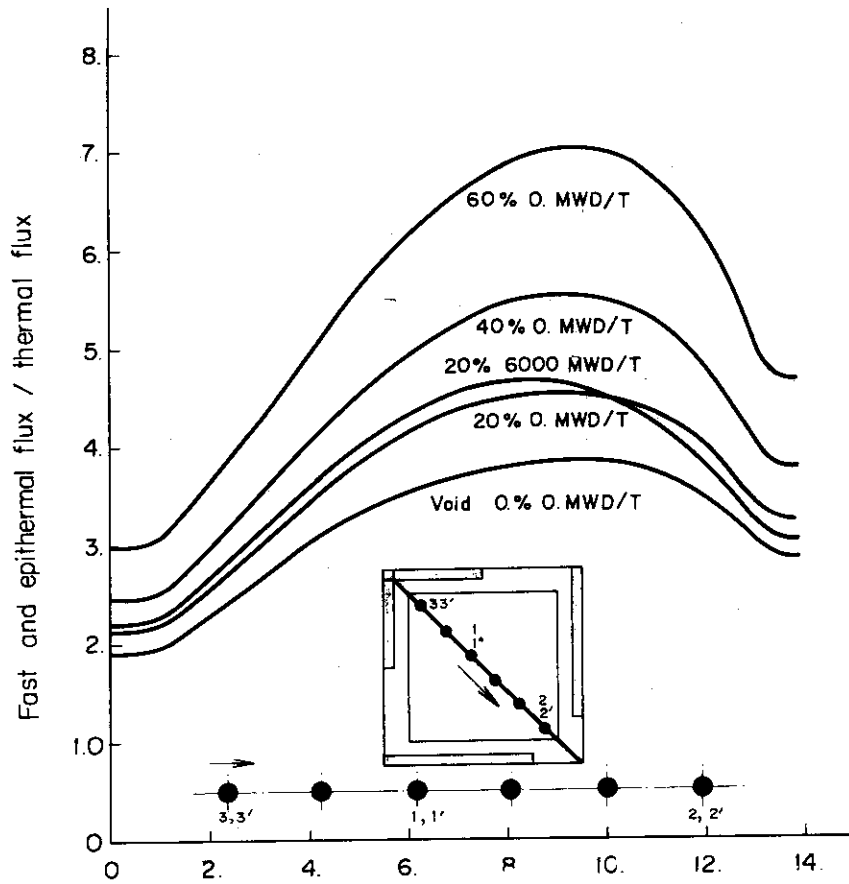


Fig. 4 燃料集合体内の熱外および高速中性子束対熱中性子束比

Table 1 Cross section

Nuclide	(n, r)		(n, f)		Reference
	$\sigma_a$	RI	$\sigma_f$	RI	
U <sup>234</sup>	95 (100.2±15)	(630±70)	0 (<0.65)		
U <sup>237</sup>	(411 ±138)	(290)	(<0.35)		
N <sup>237</sup> <sub>P</sub>	170 (169 ± 3)	(660 ± 50)	0.019 (0.019±0.003)		
Pu <sup>238</sup>	604.3±25 (564 ± 20)	150.4 (165 ± 15)	16.3 (16.5±0.5)	2.4 (24 ± 4)	(1)
Am <sup>241</sup> to Am <sup>242m</sup>	83.8±2.6 (83.8±2.6)	208 ± 18 (202 ± 20)	3.15 } (3.15±0.1)	(21±2)	(1)
Am <sup>241</sup> to Am <sup>242</sup>	748 ± 20 (748 ± 20)	1330±117 (1275±120)			(1)
Am <sup>242</sup>	2100±200 (2900±1000)	< 300	2100 ± 200	< 300	(1)
Am <sup>242m</sup>	9200±900 (8000±800)	3570±110 (7000±2000)	7200±300 (6600±300)	1570±110 (1570±110)	(1)
	20 ± 10 (16 ± 5)	150 ± 40 (150 ± 40)	< 5 ( < 5)	0	(1)
Cm <sup>243m</sup>	950 <sup>(3)</sup> 1072(825±125)	2345±470 (2345±470)	700 <sup>(3)</sup> (780)(800±50)	(1860±400)	(2)
Cm <sup>244</sup>	23 ± 3 (13.9 ± 1)	605 ± 40 (850 ± 50)	(1.2 ± 0.1)	(12.5±2.5)	(2)
Am <sup>241</sup>	680 <sup>(3)</sup> (832 ± 20)	900 <sup>(3)</sup>	3.15 (3.15±0.1)	21	(1)
Am <sup>243</sup>	73 ± 6 (79.3 ± 2)	2300±200 (1820 ± 10)	< 0.075 ( < 0.07)	0	(1)
Pu <sup>242</sup>	18.6±0.8	1280	< 0.2	0	(1)
Cm <sup>245</sup>	2900 ± 450 (2375±100)	897 ± 180 (851 ± 160)	(2040±40)	750±150	(2)

(1) NSE 50, 364 ~ 369 (1973)      (2) NSE 49, 145 ~ 152 (1972)

(3) BNL 325 pile data (1974) 1.128

U<sup>238</sup> (n,2n) 4.7 × 10<sup>-3</sup> b for fission spectrum

#### 4. U, Pu, 超プルトニウム元素の原子個数密度 計算コード

原子炉は運転と停止の繰返しであるので核種は燃焼, 生成, 減衰の繰返しとなる。従って, ウランおよび超ウラン元素の原子個数密度の計算プログラムは原子炉の運転, 停止による生成, 消滅の過程が計算できるようにしなければならない。月単位で計算するとき, 月始めは原子炉の運転が停止して月半で運転して月末で停止の場合があるので, 原子炉の停止による減衰, 運転による生成, 停止による減衰の過程が計算できるようにした。

ボイド率が一定で燃焼する場合や与えられた燃焼度で燃焼する場合があるので, これらの条件でU, Pu, 超プルトニウムの個数密度が計算できるようにし, パラメータ計算に便宜をはかった。これらの条件をふまえて, FLORAによって計算されたボイド分布, 燃焼度分布を用いて(15), (20)式で断面積を計算し, その値とU, Puの原子数とで(14)式で中性子束を求め, Exponential matrix法でU, Pu, 超プルトニウム元素の原子個数密度を求めるプログラムTRANSURAを作った。そのフローをFig. 5に示す。入力形式, プログラムのソースリスト, サンプルデータを付録に示す。



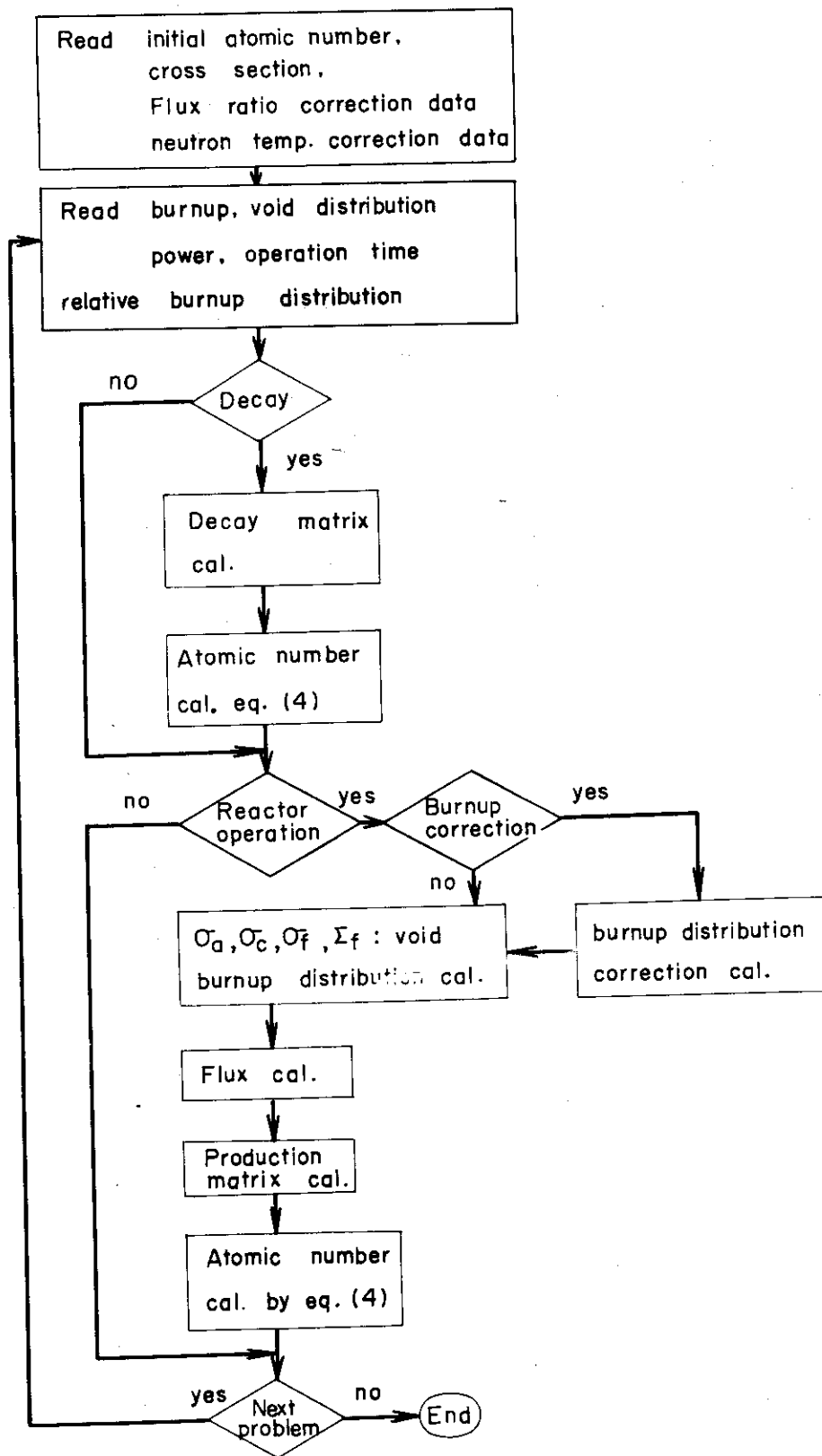


Fig. 5 Flow chart of TRANSURA

## 5. 燃料集合体中央の燃料棒内のU,Pu, 超プルトニウム元素の分布の解析

U, Puおよび超プルトニウム元素の生成, 消滅は原子炉の運転状況によって異なる。BWRでは炉心のボイド分布によっても各種の元素の生成量は異なるので, 三次元核熱水力計算コードFLORAによって, 運転された月毎に, ボイド分布, 燃焼度分布を求めた。それらの計算のフローを前述のFig. 2に示す。三次元核熱水力計算によって求められるボイド分布, 燃焼度分布等は燃料集合体を12分割したノードについてのみ計算されているので, 破壊試験された点のU, 超ウランおよび燃焼度の測定値とは直接対応しない。そこで次の仮定をおいて, TRANSURAでU, 超ウラン元素の燃料棒内の測定点での計算をおこなった。

- (1) 測定点のボイド率はFLORAで計算されたノードのボイド率と同じであるとする。
- (2) 測定点の出力は燃料集合体についてFLORAで求めた値に測定でえられたノードでの平均相対燃焼度比をかけて求める。
- (3) (2)の平均相対燃焼度比は燃料棒のガンマースキャンニングによってえられた燃焼度分布をノード内で平均が1.0になるように規格化して求める。その値をFig. 6<sup>11)</sup>に示す。

FLORAによって計算された燃焼度に測定点があるノード内の相対出力比をかけると, その点での燃焼度の計算値がえられる。冷却時間は運転日誌から求められる(Fig. 7参照)。原子炉の運転, 停止時間, 超ウラン元素の存在量<sup>3)</sup>は測定された日時によって異なるので, すべて1973年8月10日に測定されたものとして冷却時間による減衰を補正した。

FLORAによって計算された燃焼度分布は燃料集合体を12等分したノード毎に求められた。これに相対出力分布(Fig. 5参照)をかけることによって, 燃料棒の燃焼度分布の計算値がえられる。これらの結果をFig. 8, 9<sup>5)</sup>に示す。また, 測定値も合せて示す。

TRANSURAによるウランおよび超ウラン元素の原子数はFig. 2に示すようなフローに従って, FLORAで運転された月毎に計算された燃焼度分布, ボイド分布を用いて運転時間, 冷却時間, 炉出力, 制御棒引抜き位置を運転日誌から求め, TRANSURAで3体の燃料集合体のうち, それぞれほぼ中央の燃料棒の核種の原子数をUの全原子数で割った割合をFig. 10~17に示す。これらから, 計算値と測定値とはよい一致をしていることがわかる。

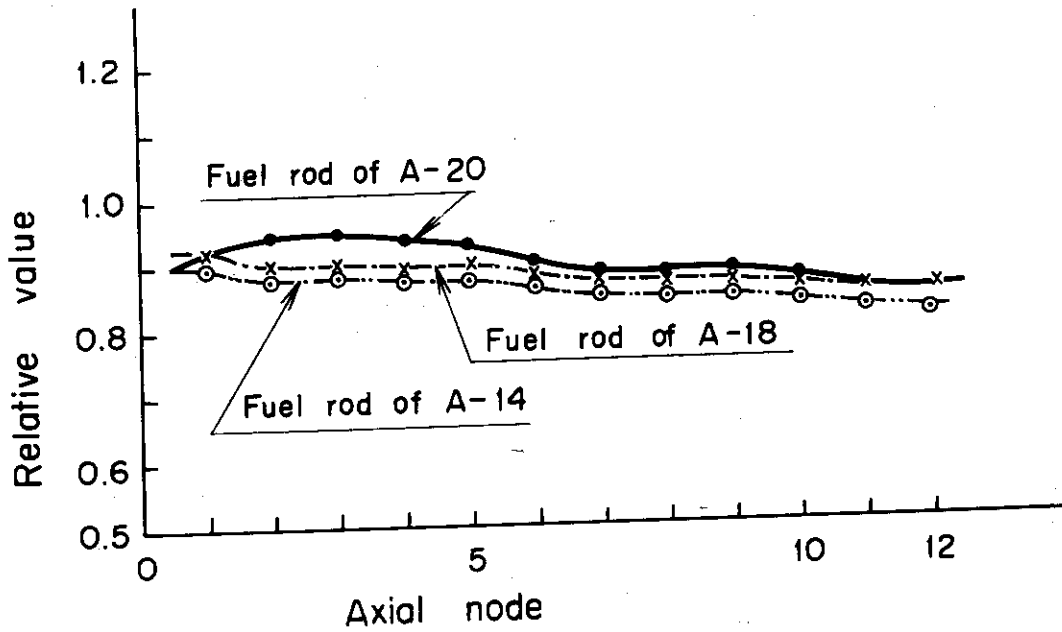


Fig. 6 Relative power of fuel rod  
( measured by gammer scanning )

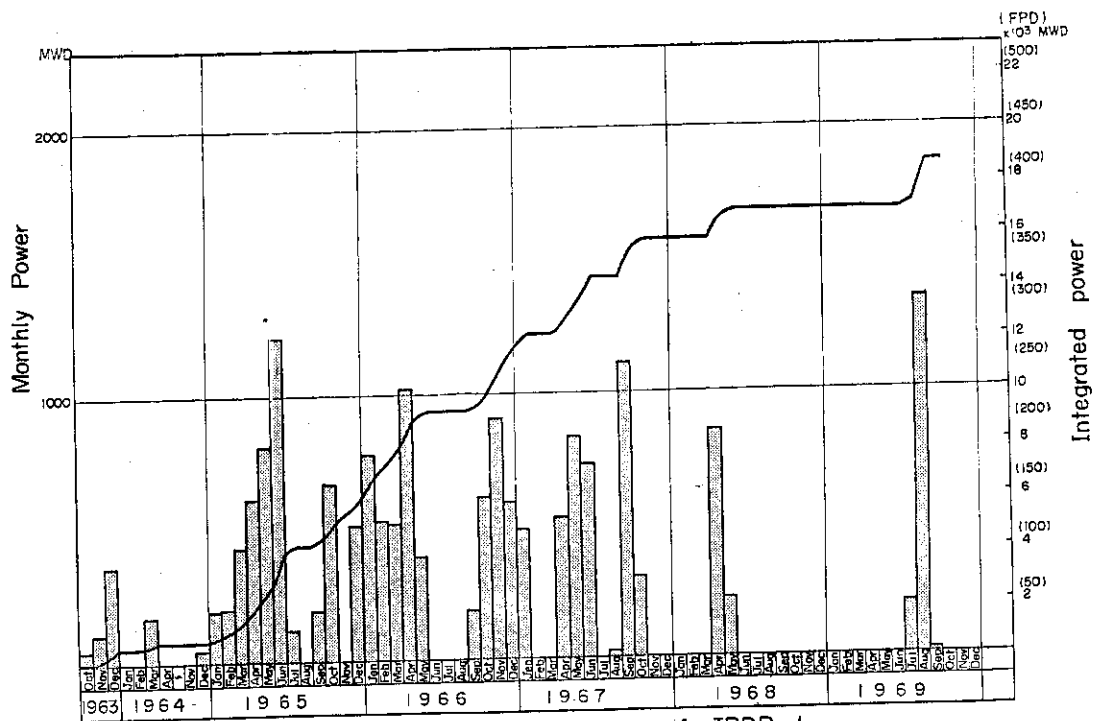


Fig. 7 Operational power of JPDR-1

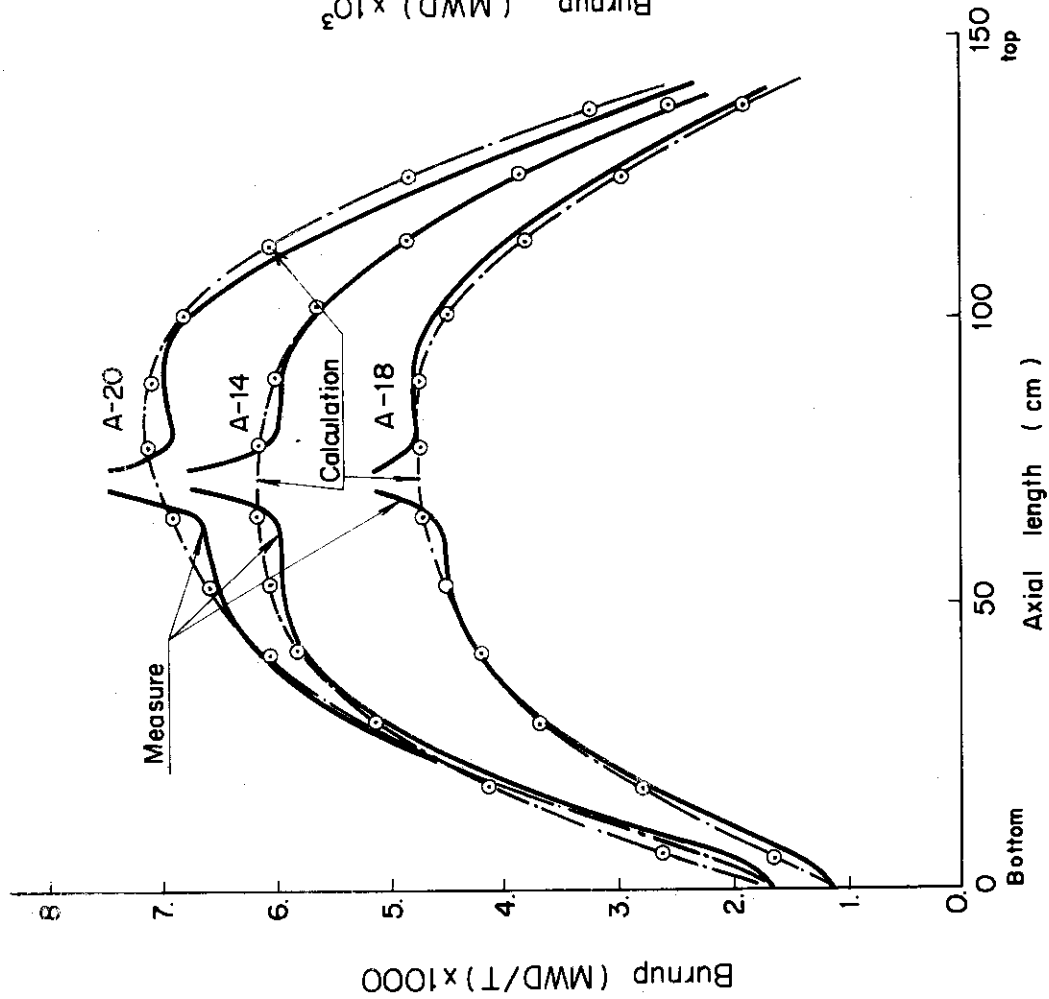


Fig. 8 Burnup distribution of fuel assembly

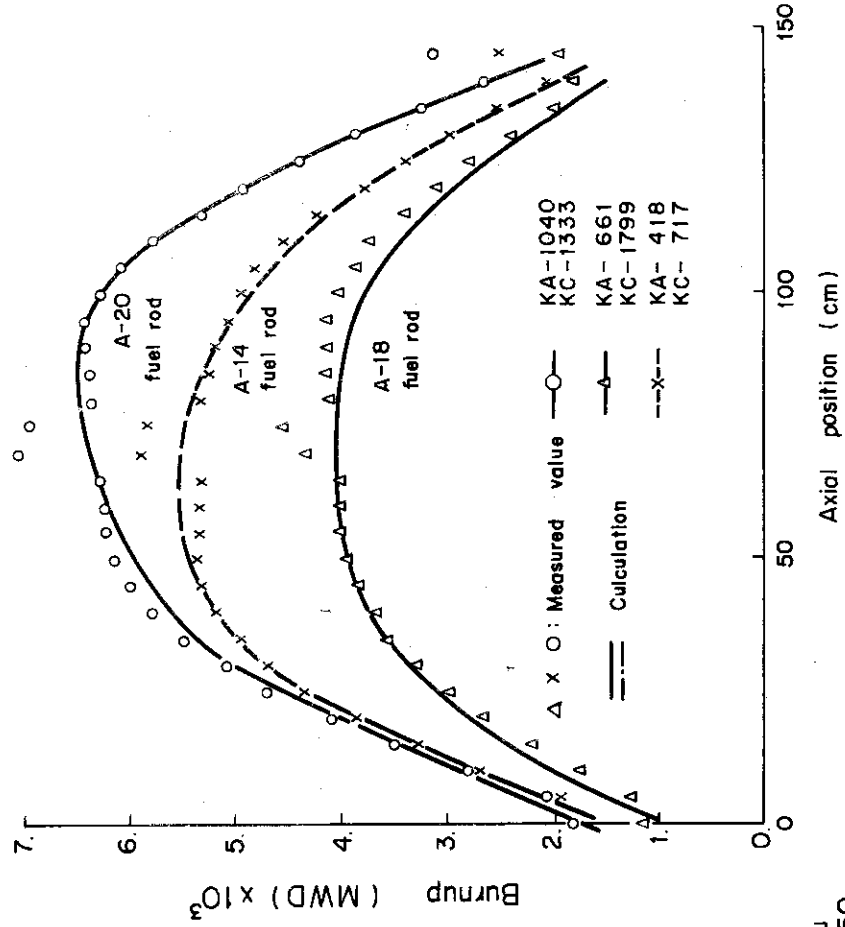


Fig. 9 Burnup of fuel rod

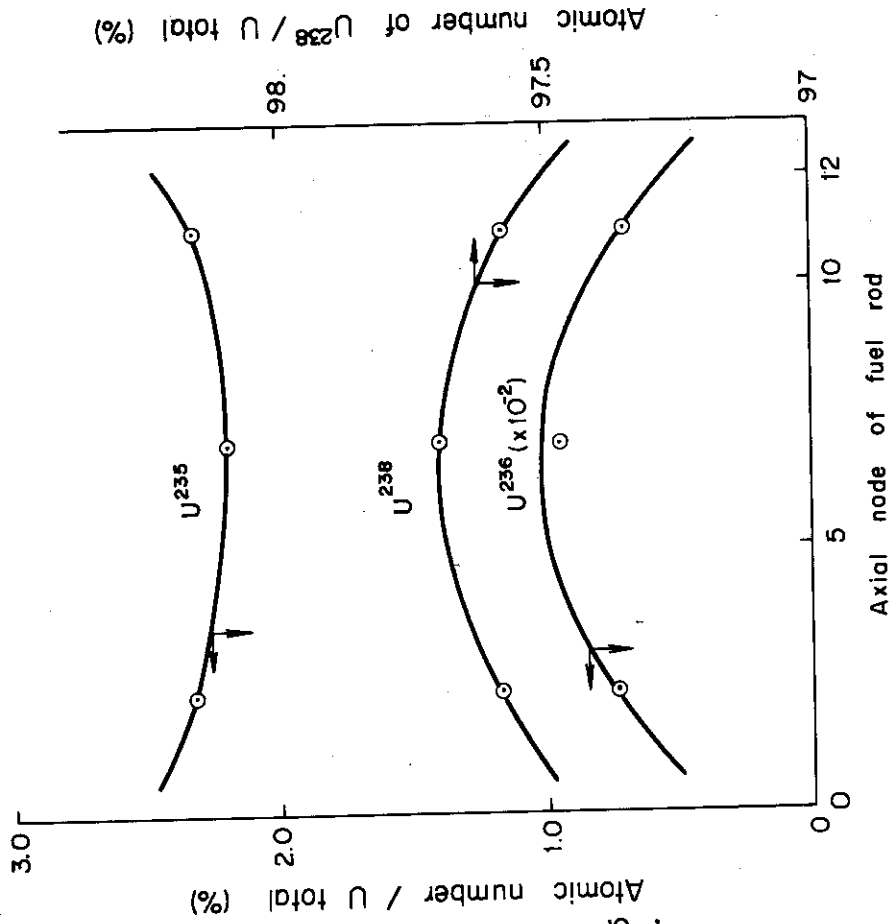


Fig. 11 Atomic number density of A-18

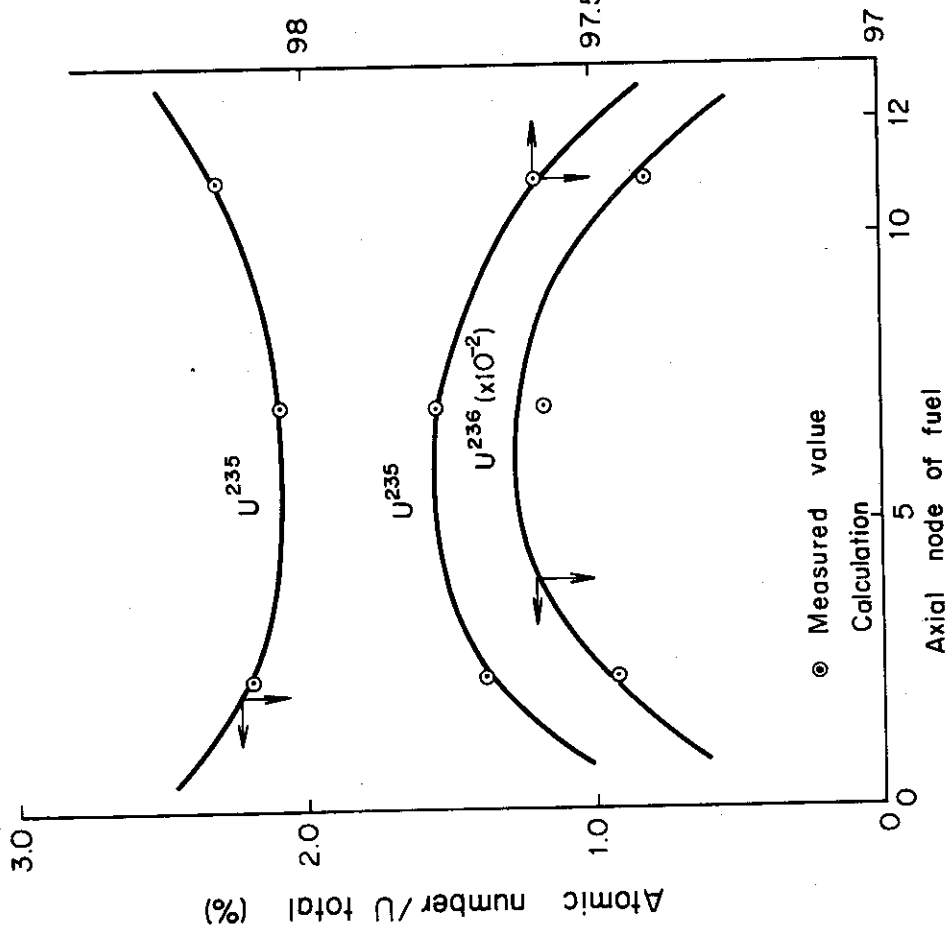


Fig. 10 Atomic number density

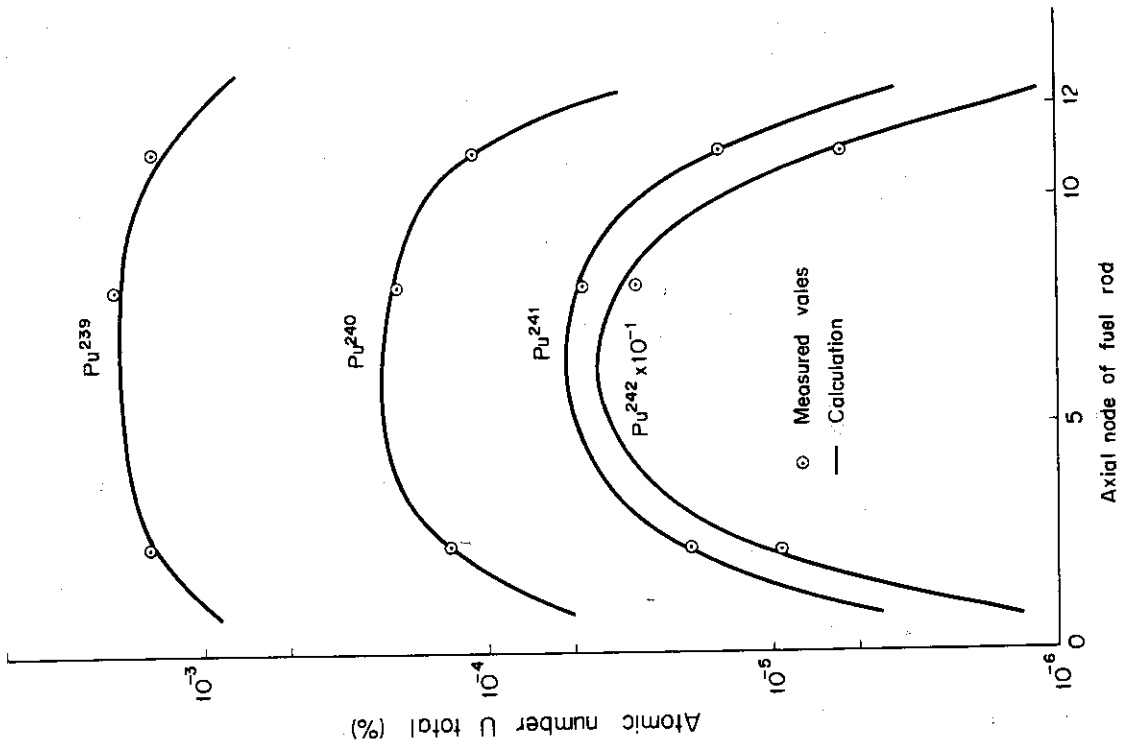


Fig. 13 Atomic number density of A-14

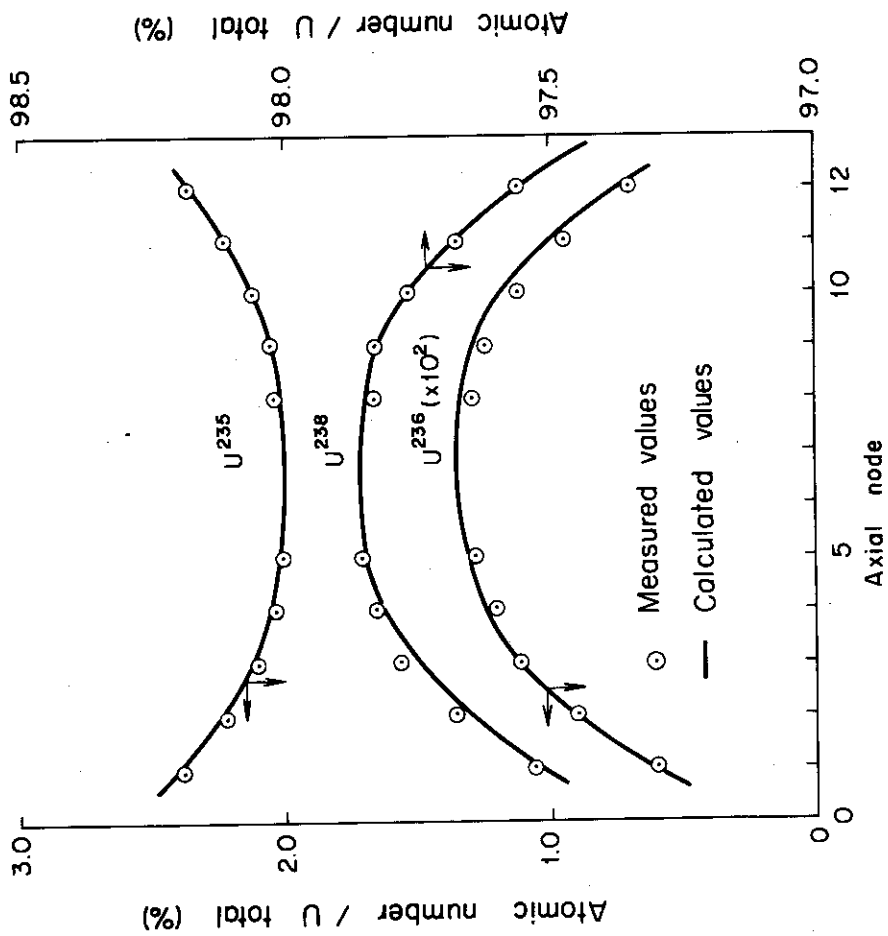


Fig. 12 Atomic number density of A-20

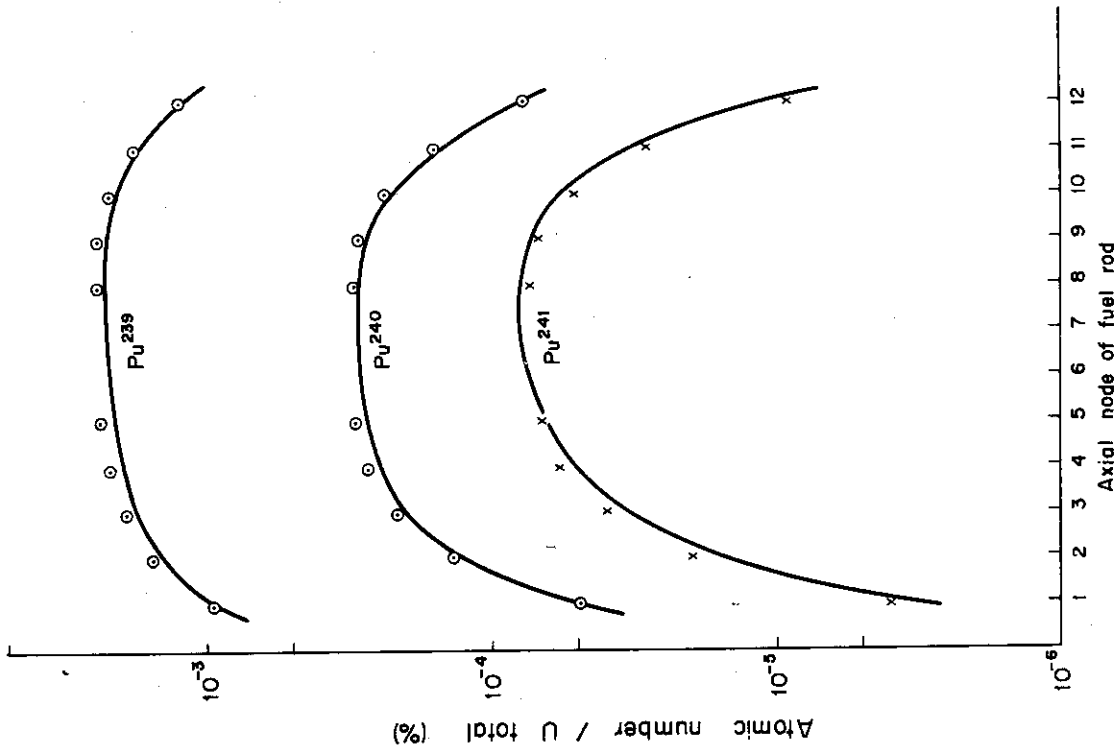


Fig. 15 Atomic number density of A-20 (1)

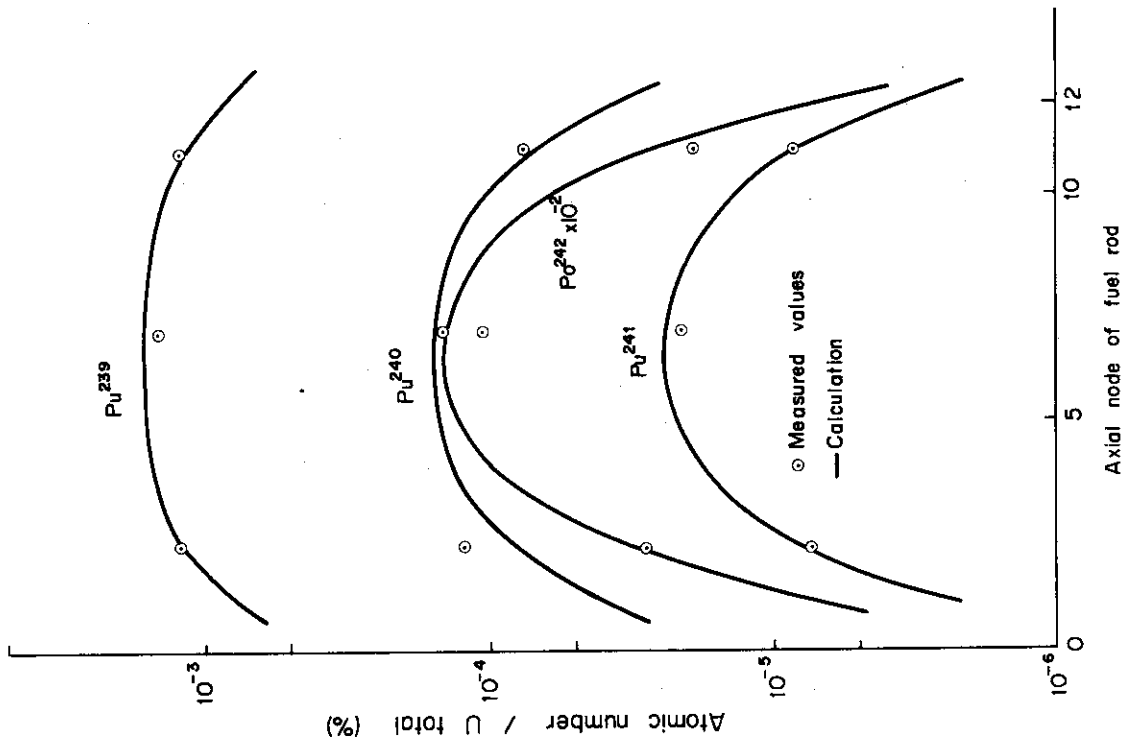
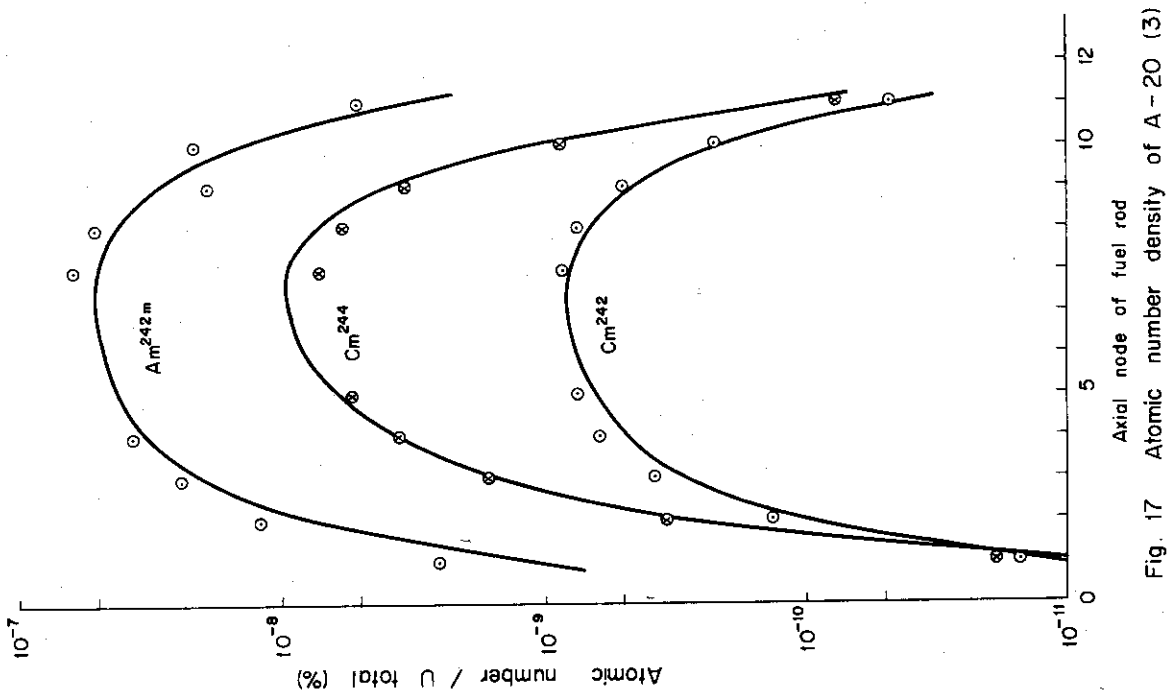
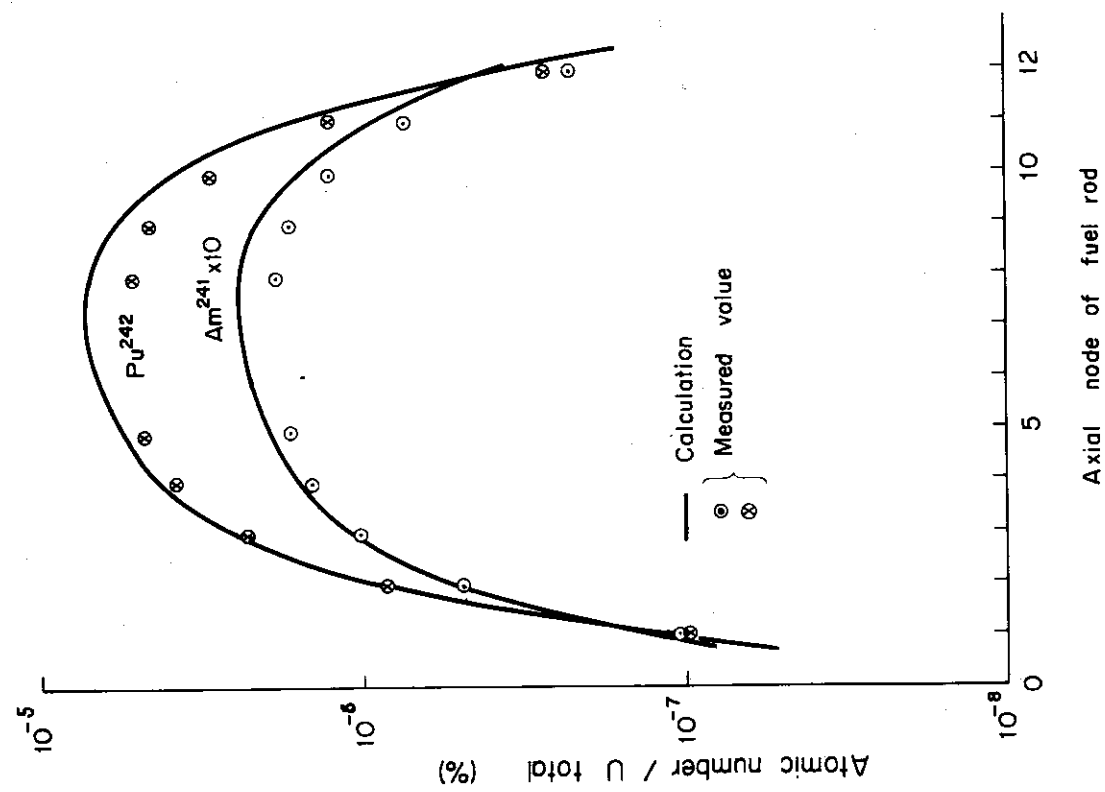


Fig. 14 Atomic number density of A-18



Axial node of fuel rod

Fig. 17 Atomic number density of A-20 (3)



Axial node of fuel rod

Fig. 16 Atomic number density of A-20 (2)



## 6. 燃焼にともなう核種の生成

炉定数が燃焼によってどう変化するかは炉心設計、炉心管理の上から重要である。そのため LASER, MUSE 等のセル定数計算コードが開発された。そこで、これらのコードで計算された値と測定値との対比をおこなった。

燃焼度依存のセル定数を計算するコードはセル境界で中性子流が零でボイド率が一定であると仮定している。この仮定を満足する U, Pu の生成量の測定値を計算値との対比データとして採用することが最良である。それには燃料集合体の平均出力分布の変化が少なく破壊試験された燃料棒が燃料集合体の中央にあり、バックリングおよび局所的な中性子束スペクトルの変化の影響が少ない破壊試験の結果がよい。また、セル定数計算コードはボイド率が一定の条件のもとで計算しているため、出力密度が一定であるような燃料集合体の破壊試験のデータが望ましい。しかし JPDR-1 は様々な出力で運転されたので、ボイド率、運転停止による減衰、中性子スペクトルによる断面積等の補正をしなければならない。

二次元拡散燃焼コード MUSE では燃焼による U, Pu の原子数の変化は燃料集合体の燃料領域 (Fig. 18 の図中の④, ⑤, ⑥領域) の中性子束時間に対して求めているので破壊試験 (Fig. 18 の図中の Assembly の・印) がおこなわれた位置と燃料領域で、燃焼した U, Pu の原子数の変化の対応づけをしなければならない。

先にも述べたように、U, Pu の断面積は中性子スペクトルによってかわる。そのスペクトルは Fig. 18 からわかるようにボイド率で大きくかわる。燃焼度の依存性は小さい (Fig. 4 参照)。U, Pu の断面積はボイド率と燃焼度の関数として表わせればよい。この場合に、破壊された燃料棒のセルの断面積と燃料領域の平均断面積とはボイド率と燃焼度の依存度がことなるので原理的にはそれぞれのライブラリを作らなければならない。今回の計算では、燃料領域を代表する平均中性子スペクトルに対する断面積の関数をつくり、これと異なるスペクトルで燃料領域の中性子スペクトルと対応する断面積を求める方法をとった。例えば Fig. 18 でボイド率が 25% で照射された燃料位置の中性子スペクトル (Fig. 18 の A 点) に対する断面積は燃料領域の中性子スペクトル (Fig. 18 の B 点) に対する断面積に等しい。

破壊試験された燃料棒のスペクトルに対する断面積を用いて原子炉の運転、停止時間によって FLORA で計算したボイド率、出力分布を用いて TRANSURA によって U, Pu の原子数を求めた値を  $N_1^i$  とする。次に同じ FLORA によって計算された出力分布と原子炉の運転時間、燃料領域のスペクトルに対する断面積でボイド率が一定 (20% を採用) である場合の値とを用いて TRANSURA によって計算された原子数を  $N_2^i$  とする。ボイド率が 20% で出力密度が一定で、燃料領域のスペクトルのもとで燃焼したときの実測値の補正係数は  $N_2^i / N_1^i$  と近似できるので、実測値の補正值  $N_c^i$  を次のように表わした。

$$N_c^i = N_m^i \frac{N_2^i}{N_1^i} \quad (2)$$

TRANSURA による計算結果では  $^{235}\text{U}$  および  $^{238}\text{U}$  の補正值  $N_2^i / N_1^i$  は 1% 以内である。 $^{236}\text{U}$ , Pu はそれぞれ 4 および 35% 以内である。これらの補正係数と核種の U 全量に対する割合の

実測値の補正值を Table 2 に示す。LASER および MUSE による計算結果と測定値の補正值とを Fig. 19, 20, 21, 22 に示す。ここで Fig. 19 と 20 には国産照射燃料 TA No.1 の  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$  と  $^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$  の測定データ<sup>4)</sup> が記載されている。また、LASER による結果はボイド率が 0% で燃焼したと仮定した計算値が記載されている。その理由は Fig. 18 で、破壊試験された燃料棒の中性子スペクトルは燃料集合体のボイド率が零のとき、20% の燃料領域の中性子スペクトルに等しいことおよび LASER は燃料棒セルに対する一次元燃焼コードであることによる。また Fig. 18 で破壊された燃料棒は集合体の中央にあるので、LASER で中性子束の境界条件を近似的に満足する。熱外および高速中性子束は MUSE の計算結果によると燃料集合体内では平坦である。従って中性子束の炉心の三次元分布によってのみ燃料棒の中性子束の境界条件が変わる。その大きさはバックリングが  $10^{-4} \text{ cm}^{-2}$  で、中子のもれの割合は高々  $10^{-2}$  で、中性子スペクトルに及ぼす効果は少ない。従って、燃料集合体のほぼ中央にある燃料棒の破壊試験のデータは LASER の計算値との対比データとして採用することができる。

Table 2 Measured values and correction

Position	U <sup>235</sup>	U <sup>236</sup>	U <sup>238</sup>	<sup>239</sup> Pu	<sup>240</sup> Pu	<sup>241</sup> Pu	<sup>242</sup> Pu	Burnup MWD/T
KC-1333 -660	2.391	0.0591	97.534	0.9542x10 <sup>-3</sup>	0.48965x10 <sup>-4</sup>	4.0300x10 <sup>-6</sup>	9.767x10 <sup>-8</sup>	2209
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.2856	1.0254	
	2.391	0.0591	97.534	0.9542x10 <sup>-3</sup>	0.48965x10 <sup>-4</sup>	5.181x10 <sup>-6</sup>	1.002x10 <sup>-8</sup>	
KC-1333 -538	2.218	0.0906	97.676	1.5825x10 <sup>-3</sup>	1.3873x10 <sup>-4</sup>	1.9694x10 <sup>-5</sup>	8.472x10 <sup>-7</sup>	3842
	0.99970	0.9985	1.000	0.99142	0.9888	1.2543	0.9999	
	2.2173	0.09047	97.676	1.5689x10 <sup>-3</sup>	1.3717x10 <sup>-4</sup>	2.4702x10 <sup>-5</sup>	8.471x10 <sup>-7</sup>	
KC-1333 -415	2.096	0.1111	97.777	1.9508x10 <sup>-3</sup>	2.1671x10 <sup>-4</sup>	3.9362x10 <sup>-5</sup>	2.3397x10 <sup>-6</sup>	4995
	0.99843	0.9947	1.0001	0.96853	0.96879	1.177	0.9433	
	2.0927	0.1105	97.831	1.8894x10 <sup>-3</sup>	2.0994x10 <sup>-4</sup>	4.6329x10 <sup>-5</sup>	2.2069x10 <sup>-6</sup>	
KC-1333 -293	2.044	0.1214	97.821	2.2107x10 <sup>-3</sup>	2.7538x10 <sup>-4</sup>	5.7117x10 <sup>-5</sup>	3.8403x10 <sup>-6</sup>	5663
	0.99658	0.9903	1.0002	0.94279	0.9528	1.0956	0.88697	
	2.0370	0.1202	97.841	2.0842x10 <sup>-3</sup>	2.6289x10 <sup>-4</sup>	6.2577x10 <sup>-5</sup>	3.4062x10 <sup>-6</sup>	
KC-1333 -171	2.004	0.1282	97.853	2.3644x10 <sup>-3</sup>	3.0391x10 <sup>-4</sup>	6.6378x10 <sup>-5</sup>	4.7979x10 <sup>-6</sup>	5956
	0.99481	0.9860	1.0003	0.91886	0.9406	1.0246	0.83912	
	1.9936	0.1264	97.882	2.1726x10 <sup>-3</sup>	2.8587x10 <sup>-4</sup>	6.8011x10 <sup>-5</sup>	4.0260x10 <sup>-6</sup>	
KA-1040 +171	2.032	0.1288	97.826	2.4836x10 <sup>-3</sup>	3.1448x10 <sup>-4</sup>	7.2859x10 <sup>-5</sup>	5.1122x10 <sup>-6</sup>	6052
	0.99051	0.9817	1.0006	0.85515	0.9140	0.85767	0.72424	
	2.0127	0.1264	97.885	2.1239x10 <sup>-3</sup>	2.8745x10 <sup>-4</sup>	6.2489x10 <sup>-5</sup>	3.70246x10 <sup>-6</sup>	
KA-1040 +293	2.041	0.1242	97.820	2.4675x10 <sup>-3</sup>	2.9913x10 <sup>-4</sup>	6.8527x10 <sup>-5</sup>	4.5230x10 <sup>-6</sup>	5955
	0.98986	0.9692	1.0006	0.83783	0.9039	0.81567	0.69313	
	2.0203	0.1204	97.879	2.0673x10 <sup>-3</sup>	2.7039x10 <sup>-4</sup>	5.5895x10 <sup>-5</sup>	3.1350x10 <sup>-6</sup>	
KA-1040 +415	2.112	0.1115	97.762	2.2479x10 <sup>-3</sup>	2.4021x10 <sup>-4</sup>	5.0891x10 <sup>-5</sup>	2.9612x10 <sup>-6</sup>	5091
	0.99141	0.9631	1.0006	0.82064	0.87948	0.76757	0.65320	
	2.0939	0.1074	97.821	1.8447x10 <sup>-3</sup>	2.1126x10 <sup>-4</sup>	3.9062x10 <sup>-5</sup>	1.9342x10 <sup>-6</sup>	
KA-1040 +538	2.219	0.0949	97.671	1.8230x10 <sup>-3</sup>	1.6102x10 <sup>-4</sup>	2.8617x10 <sup>-5</sup>	1.2720x10 <sup>-6</sup>	4034
	0.99366	0.9568	1.0005	0.80498	0.84846	0.72093	0.61277	
	2.2049	0.09080	97.720	1.4675x10 <sup>-3</sup>	1.3662x10 <sup>-4</sup>	2.1489x10 <sup>-5</sup>	7.794x10 <sup>-7</sup>	
KA-1040 +660	2.357	0.0699	97.558	1.2602x10 <sup>-3</sup>	0.7762x10 <sup>-4</sup>	9.029x10 <sup>-6</sup>	2.6125x10 <sup>-7</sup>	2594
	0.99664	0.9512	1.0004	0.7905	0.80622	0.6722	0.56888	
	2.3491	0.06649	97.597	0.9962x10 <sup>-3</sup>	0.6258x10 <sup>-4</sup>	6.069x10 <sup>-6</sup>	1.4862x10 <sup>-7</sup>	
-----	Atomic number (percent)							
-----	Correction of void dependence							
-----	Corrected atomic number (percent)							

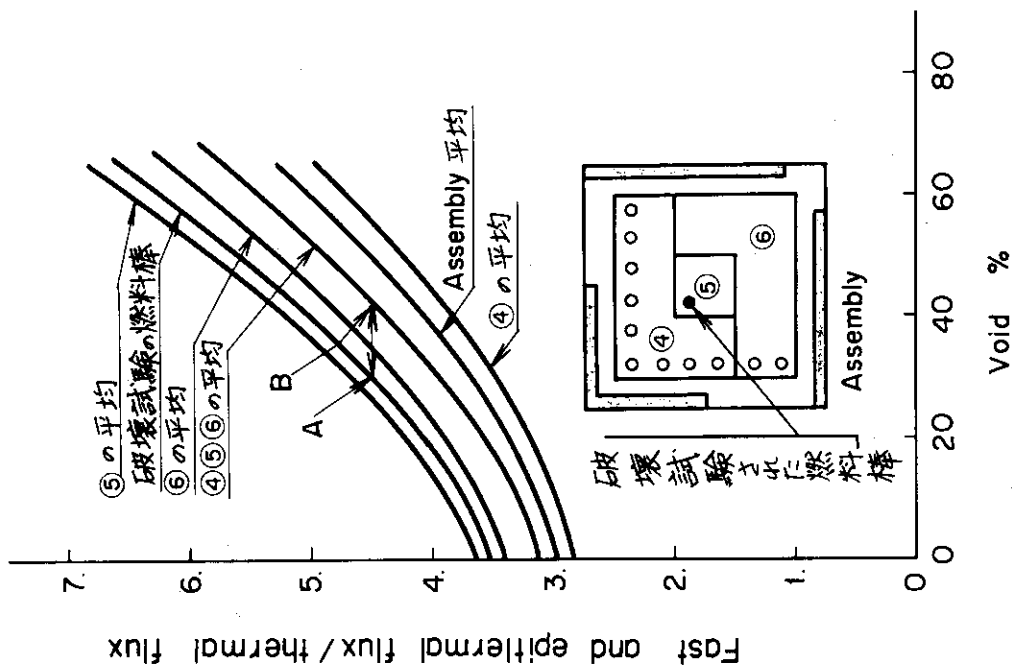


Fig. 18 燃料集合体内の中性子束比

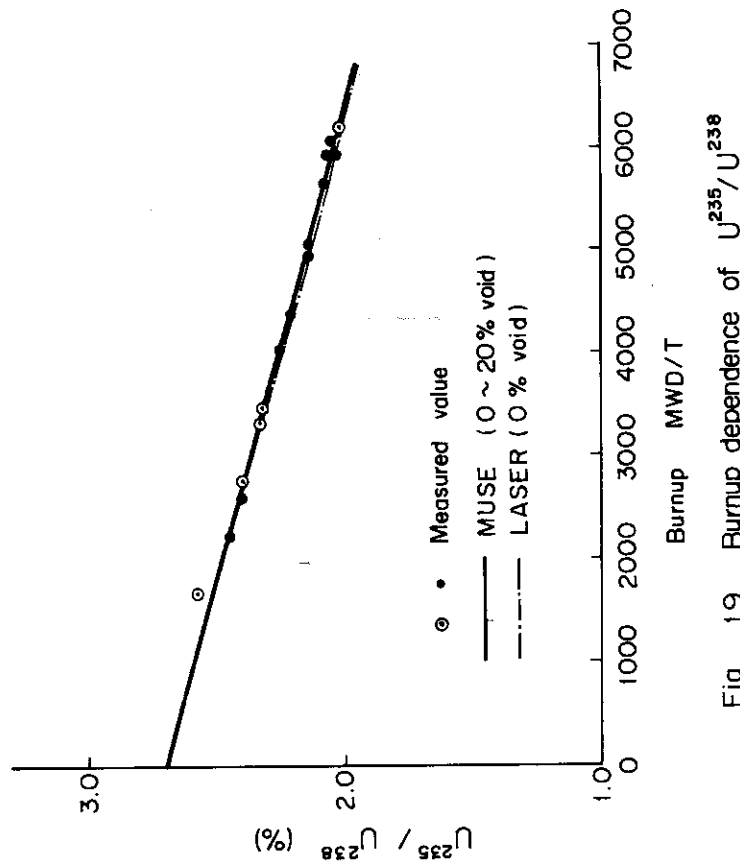


Fig. 19 Burnup dependence of  $U^{235}/U^{238}$

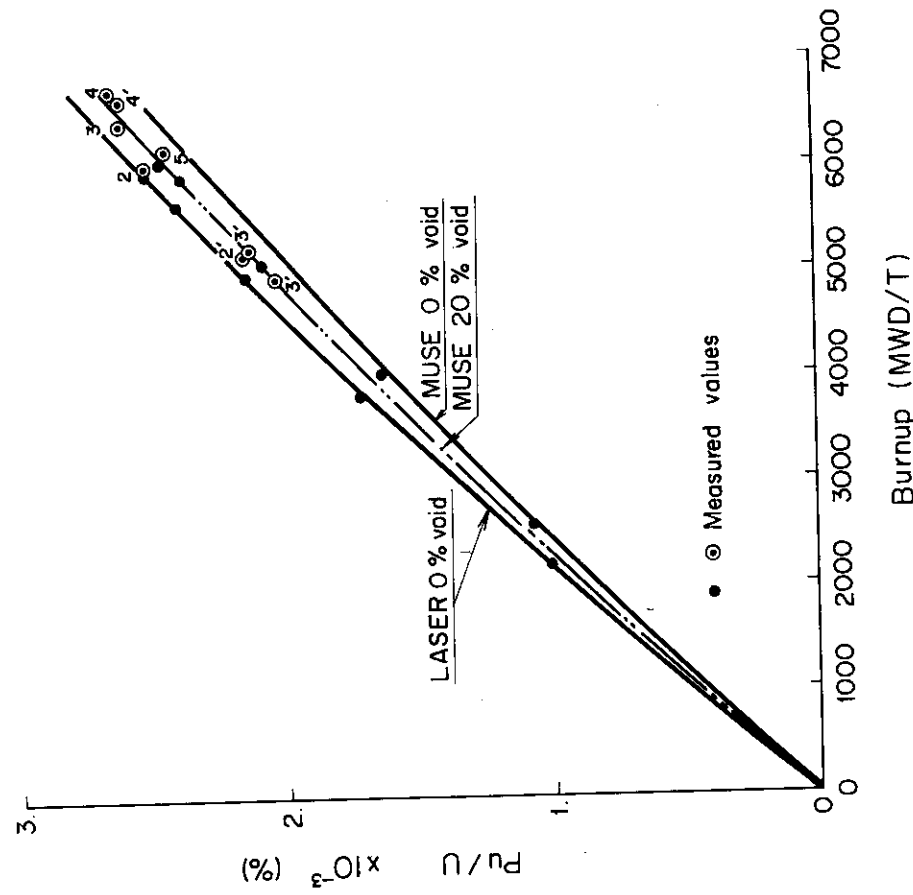


Fig. 21 Burnup dependence of Pu/U

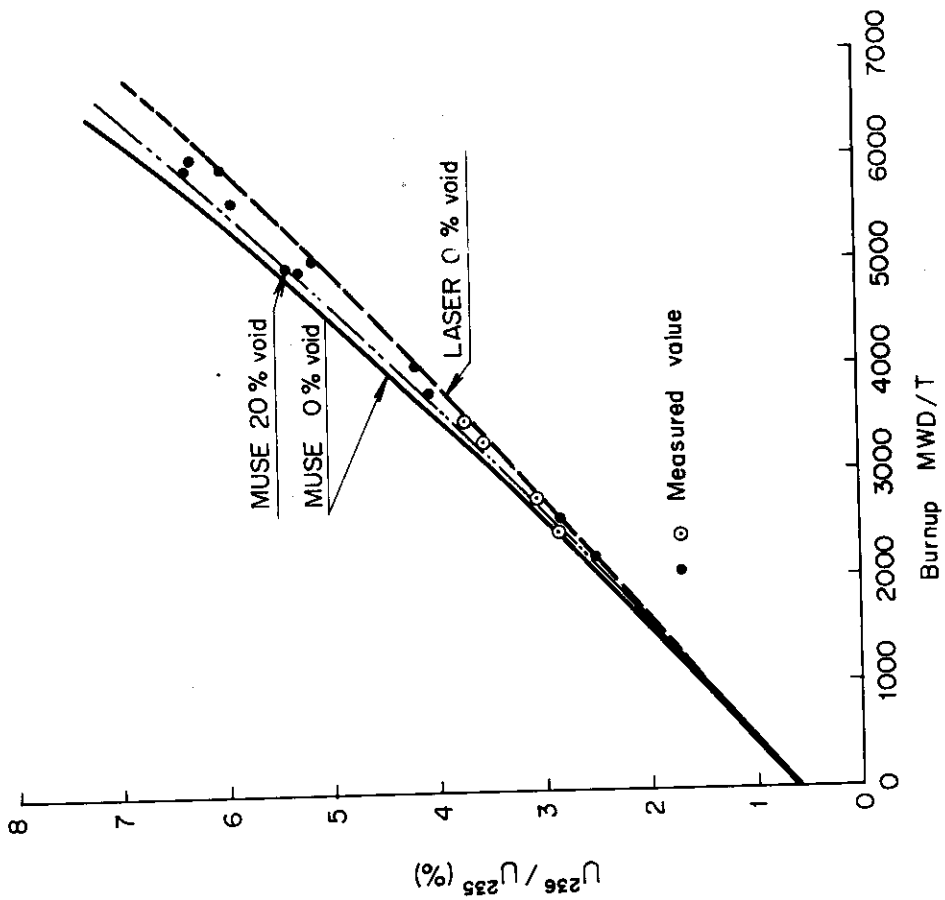


Fig. 20 Burnup dependence of U<sup>236</sup> / U<sup>235</sup>

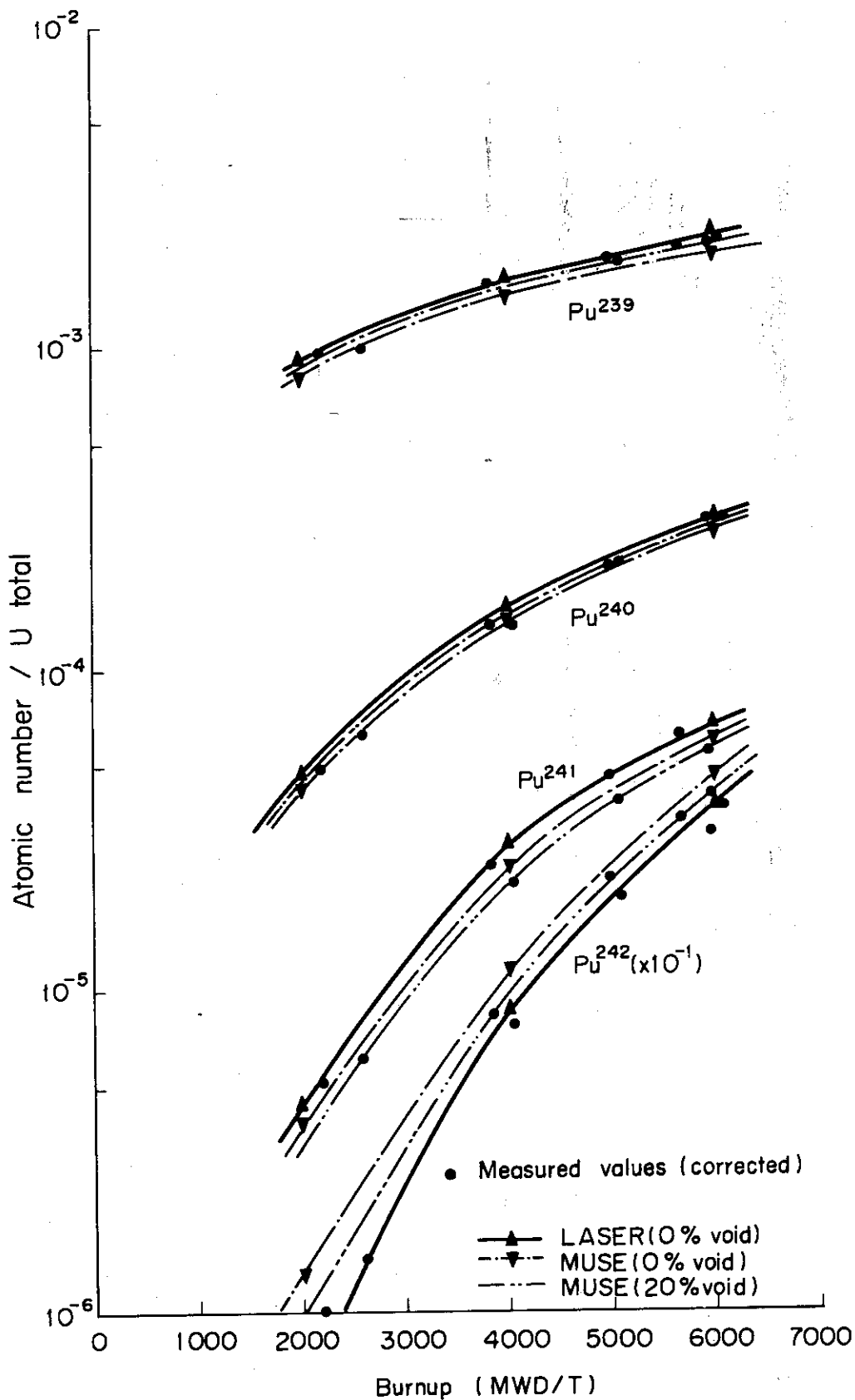


Fig. 22 Number density fraction to U total amount

### 7. 断面積の評価

燃焼によって、U, 超ウラン元素が生成される。これらの測定値から、各核種の実効断面積が評価できるかどうかは興味深い。

U, Pu の生成、消滅と表わす式は中性子束が時間的に一定であるとし、Fig. 1 で  $\alpha$  崩壊、 $(n, 2n)$ ,  $(n, p)$ ,  $(n, \alpha)$  反応は少ないので省略すると (13) 式を忠実に実行すると次のような展開式<sup>9)</sup>が導びかれる。

$$\begin{aligned}
 N^{235} &= N_0^{235} e^{-a^{25} t} \\
 N^{236} &= N_0^{235} \sigma_c^{235} \phi t \cdot F(a^{25}, a^{26}) \\
 N^{28} &= N_0^{28} e^{-a^{28} t} \\
 N^{49} &= N_0^{28} \sigma_c^{28} \phi t F(a^{28}, a^{49}) \\
 N^{40} &= N_0^{28} \sigma_c^{28} \phi t \sigma_c^{49} \phi t F(a^{28}, a^{49}, a^{40}) \\
 N^{41} &= N_0^{28} \sigma_c^{28} \phi t \sigma_c^{49} \phi t \sigma_c^{40} \phi t F(a^{28}, a^{49}, a^{40}, a^{41}) \\
 N^{42} &= N_0^{28} \sigma_c^{28} \phi t \sigma_c^{49} \phi t \sigma_c^{40} \phi t \sigma_c^{41} \phi t F(a^{28}, a^{49}, a^{40}, a^{41}, a^{42}) \\
 a^{25} &= \sigma_a^{235} \phi t \quad a^{26} = \sigma_a^{236} \phi t \quad a^{28} = \sigma_a^{238} \phi t \\
 a^{49} &= \sigma_a^{49} \phi t \quad a^{40} = \sigma_a^{40} \phi t \quad a^{41} = \left( \sigma_a^{41} + \frac{\lambda^{41}}{\phi} \right) \phi t \\
 a^{42} &= \sigma_a^{42} \phi t
 \end{aligned}
 \tag{22}$$

$$F(x, y) = 1 - \frac{x+y}{2} + \frac{x^2+xy+y^2}{3!} - \frac{x^3+y^3+x^2y+xy^2}{4!} + \frac{x^4+x^3y+x^2y^2+xy^2+y^4}{5!} + \dots$$

$$F(x, y, z) = \frac{1}{2} \frac{x+y+z}{3!} + \frac{x^2+y^2+z^2+xy+yz+zx}{4!} + \dots$$

$$\frac{x^3+y^3+z^3+x^2y+x^2z+y^2z+y^2x+z^2x+z^2y+xyz}{5!} + \dots$$

$$F(r, x, y, z) = \frac{1}{3!} \frac{r+x+y+z}{4!} + \frac{r^2+x^2+y^2+z^2+rx+ry+rz+xy+xz+yz}{5!}$$

$$- \frac{x^3+x^2y+y^3+y^2z+z^3+r^2(x+y+z)+x^2(x+y+z)+y^2(x+x+z)}{6!}$$

$$+ \frac{z^2(r+x+y)+rxy+rxz+ryz+xyx}{6!} + \dots$$

(23)

$$\begin{aligned}
 F(r, x, y, z, w) = & \frac{1}{4!} \frac{r+x+y+z+w}{5!} + \frac{r^2+x^2+y^2+z^2+w^2+rx+ry+rz+rw}{6!} \\
 & \frac{+xy+xz+xw+yz+yw+zw}{7!} \frac{r^3+x^3+y^3+z^3+w^3+r^2(x+y+z+w)}{7!} \\
 & \frac{+x^2(r+z+z+w)+y^2(r+x+z+w)+z^2(r+x+y+w)}{7!} \\
 & \frac{w^2(r+x+y+z)+rx(y+z+w)+ry(z+w)+rzw}{7!} \\
 & \frac{+xy(z+w)+xzw+yzw}{7!} + \dots\dots\dots
 \end{aligned}$$

ここで、 $\sigma_a^{25}, \sigma_a^{26}, \sigma_a^{28}, \dots\dots \phi, t-$  は一般に用いられている参考文献の定義と同じであるので省略する。

(22)式を用いて、次式が導びかれる。

$$\begin{aligned}
 \frac{\ln \frac{N_0^{25}}{N^{25}}}{\frac{N^{26}}{N_0^{25}}} &= \frac{\ln \left( \frac{N_0^{25}}{N_0^{28}} e^{a^{28}} \frac{N^{28}}{N^{25}} \right)}{\frac{N^{26}}{N^{28}} \frac{N_0^{28}}{N_0^{25}} e^{-a^{28}}} = \frac{\sigma_a^{25}}{\sigma_c^{25}} F(a^{25}, a^{26}) \\
 \frac{N^{49}}{N^{26}} &= \frac{\sigma_c^{28} F(a^{28}, a^{49})}{\sigma_c^{25} F(a^{25}, a^{26})} \tag{24} \\
 \frac{N^{49} N^{26}}{N^{40} N^{25}} &= \frac{F(a^{25}, a^{26}) \sigma_c^{25}}{F(a^{28}, a^{49}, a^{40}) e^{-a^{25}} \sigma_c^{49}} \\
 \frac{N^{40} N^{26}}{N^{41} N^{25}} &= \frac{F(a^{25}, a^{26}) \sigma_c^{25}}{F(a^{28}, a^{49}, a^{40}, a^{41}) e^{-a^{25}} \sigma_c^{40}} \\
 \frac{N^{41} N^{26}}{N^{42} N^{25}} &= \frac{F(a^{25}, a^{26}) \sigma_c^{25}}{F(a^{28}, a^{49}, a^{40}, a^{41}, a^{42}) e^{-a^{25}} \sigma_c^{41}}
 \end{aligned}$$

これらの式を用いて  $N^{25}, N^{26}, N^{28}, N^{49}, N^{40}, N^{41}, N^{42}$  の測定値から  $\sigma_c^{28}, \sigma_c^{49}, \sigma_c^{40}, \sigma_c^{41}$  が求められる。 (24)式で、  $F(x_1, x_2, \dots)$  は (23)式からわかるように燃焼度が 6000MWD/T の範囲では Flux time が約  $10^{20}$  で  $\sigma \phi t \ll 1$  であるので、燃焼度に大きく依存しない。従って、  $a^{25}, a^{26}, a^{28}, a^{49}, a^{41}, a^{42}, a^{42}$  の値は与えられた炉出力、燃焼度 (測定値) をもとに計算された Flux time を採用しても (24)式から求められる断面積の比が  $F(x_1, x_2, \dots)$  に及ぼす効果は少ない ( Fig. 23 参照 )。

核種の生成はボイド率と放射能の減衰によってことなるので、ボイド率が 20% で連続運転されたとして測定値を補正した Table 2 の U 全量に対する核種の割合 (パーセント表示) を用いて (24)式から、核種の捕獲断面積、 $^{235}\text{U}$  の吸収断面積を求めた。これらの結果を Fig. 24



に示す。 $\sigma_c^{42}$  は  $^{243}\text{Pu} \rightarrow ^{243}\text{Am}$  の原子数が測定されていないので求めることができない。この他超ウラン元素の断面積も原理的には求められるが核設計や燃料管理ではU, Puの断面積が重要であるので省略した。

測定値から実効断面積を求めた結果 ( Fig. 24 参照 ) はLASERやMUSE で計算された結果とよい一致をしている。 $^{240}\text{Pu}$  の測定データから評価した実効断面積のみが、データがばらついている。上部と下部セグメントでの測定値が同じような燃焼度でも大きくはなれている。その一つの理由は実効断面積に対するボイド率および燃焼度の依存が大きく ( Fig. 25 ), その補正が十分でないことが推定されるが十分な検討をしなかった。

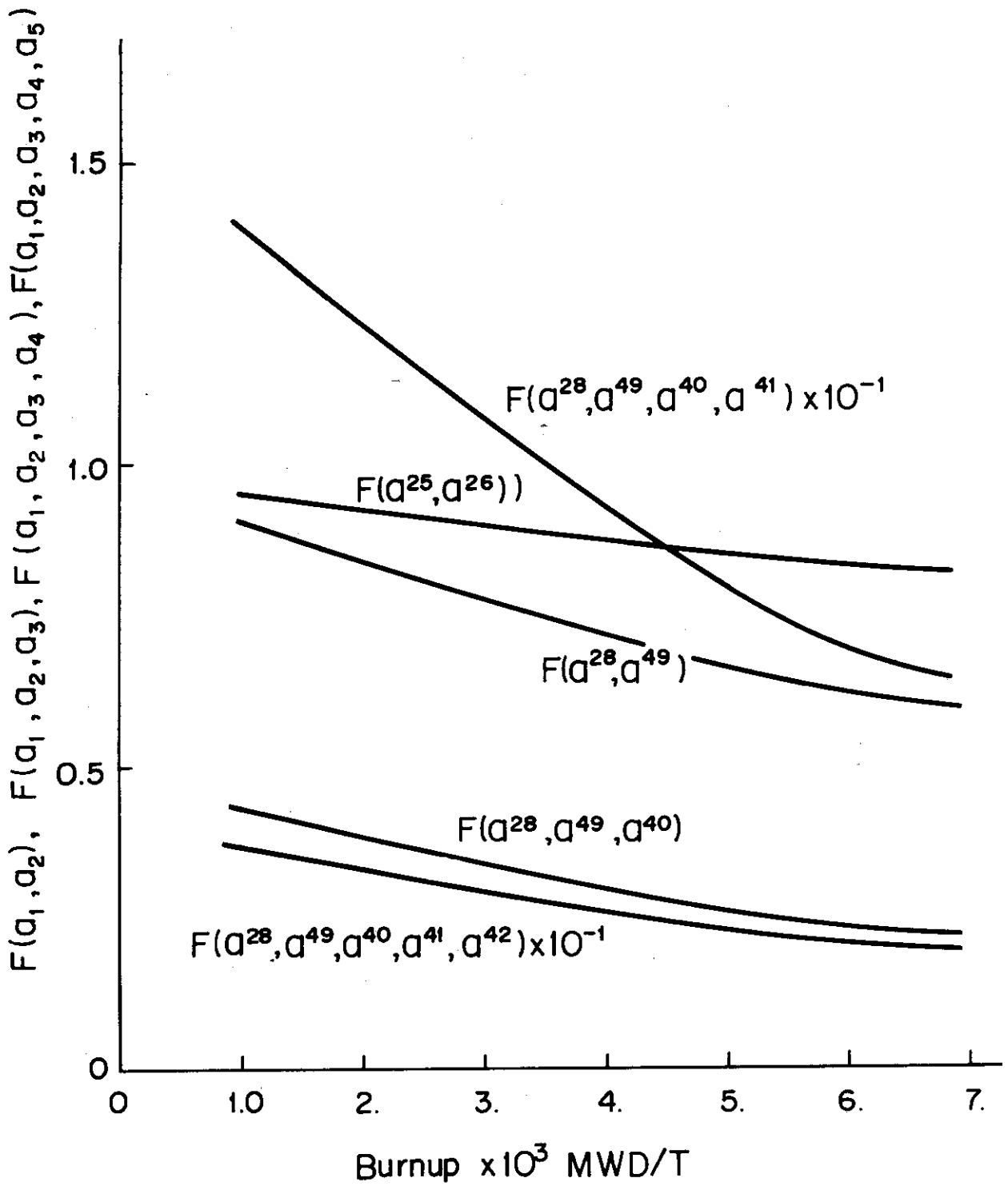


Fig. 23 Burnup dependence of expansion function

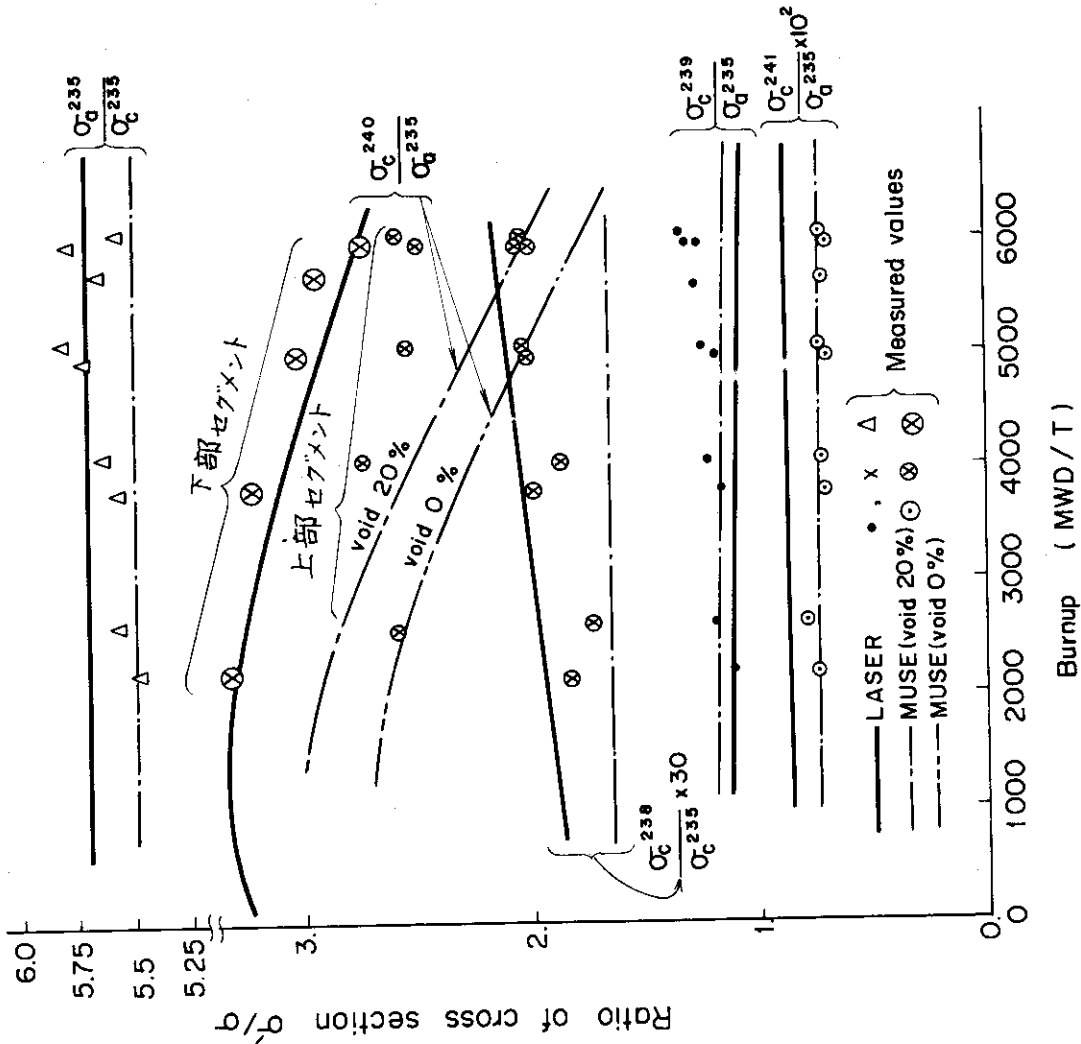


Fig. 24 Burnup dependence of cross section

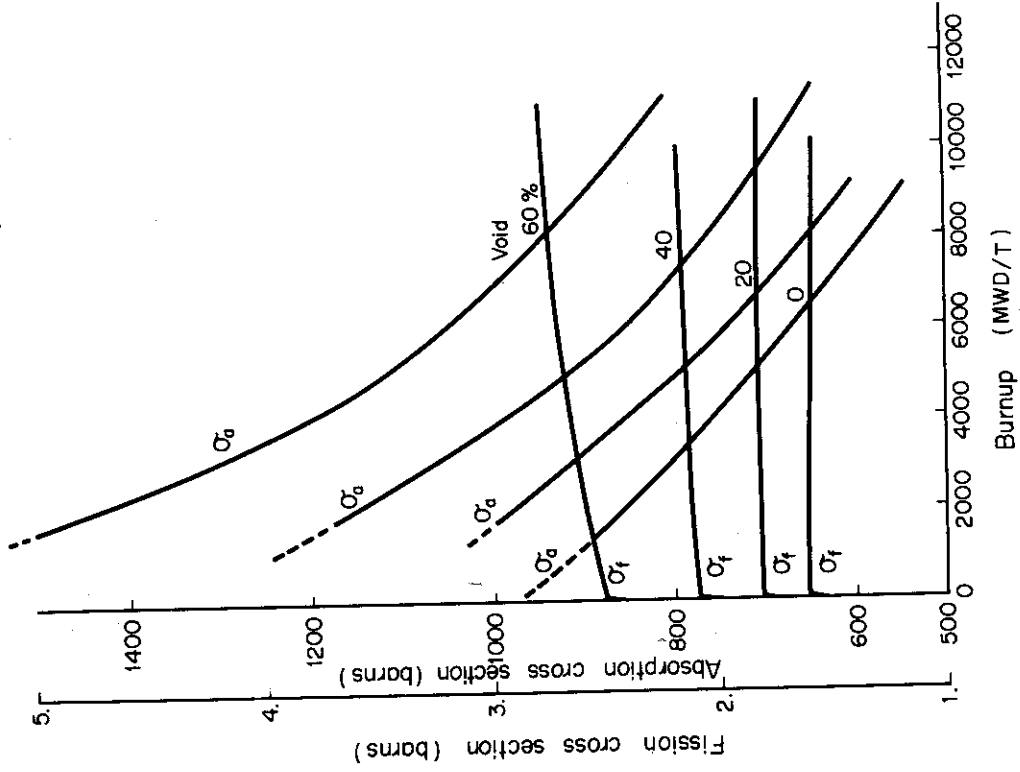


Fig.25 Burnup dependence of cross section of  $Pu^{240}$

## 8. 燃料集合体の周辺燃料棒の破壊試験の解析

中性子スペクトルの変化によって、U, Pu の生成が異なる。勿論、ボイド率によってもスペクトルが異なるので生成量が異なる。そこで、燃料集合体の各部の Pu/U の測定値と燃焼度とを Fig. 26-1 に図示する。Fig. 26-1 で 1, 1' の測定点を除いて、2, 2', 3, 3', 4, 4', 5, 5' は炉心の上下中央より +41.5 cm, -41.5 cm はなれた、燃料集合体の周辺燃料棒の測定値である。

1, 1' の燃料棒の破壊試験の結果は第 4 節でのべた補正の方法で、Fig. 21 のようにえられた。2, 2' …… 5, 5' の測定値についても同様な方法で補正することができるがここでは別の方法で補正した。

二次元拡散燃焼度コード MUSE でボイド率を一定にして燃焼度計算をすると、Pu/U と熱外および高速中性子束対熱中性子束比との関係が燃焼度をパラメータにして Fig. 26-2 のように得られる。

FLORA の三次元核熱水力計算から 1, 2, 3, 4, 5, (炉心中央より +41.5 cm の位置) と 1', 2', 3', 4', 5' (炉心中央より -41.5 cm の位置) のボイド率はそれぞれ約 40%\* と 20%\* である。これらのボイド率に対する燃料中の中性子束比は Fig. 18 に示されるように約 4.4 および 2.6 である。2' の燃料棒が 20% ボイド率のときの中性子束比は Fig. 4 から約 2.7 である。2' の燃焼度は Fig. 25 から 0.557% (5220 MWD/T) であるので、Fig. 26-2 図から 5220 MWD/T 中性子束比が 2.6 と 2.7 に対する Pu/U を求め、2' の補正係数  $(Pu/U)_{2.6} / (Pu/U)_{2.7}$  を計算すればよい。この補正係数は約 0.95 である。他の測定値についても同様に補正係数を求めることができる。これら補正をした値を Fig. 21 に ⊙ 印と数字で示した。MUSE や LASER の計算結果とよい一致をしていることがわかる。

$$* \bar{V} = \frac{\sum V^i \Delta B^i}{\sum \Delta B^i} \quad \Delta B^i: i \text{ 月の燃焼度} \quad V^i: i \text{ 月のノードのボイド率}$$

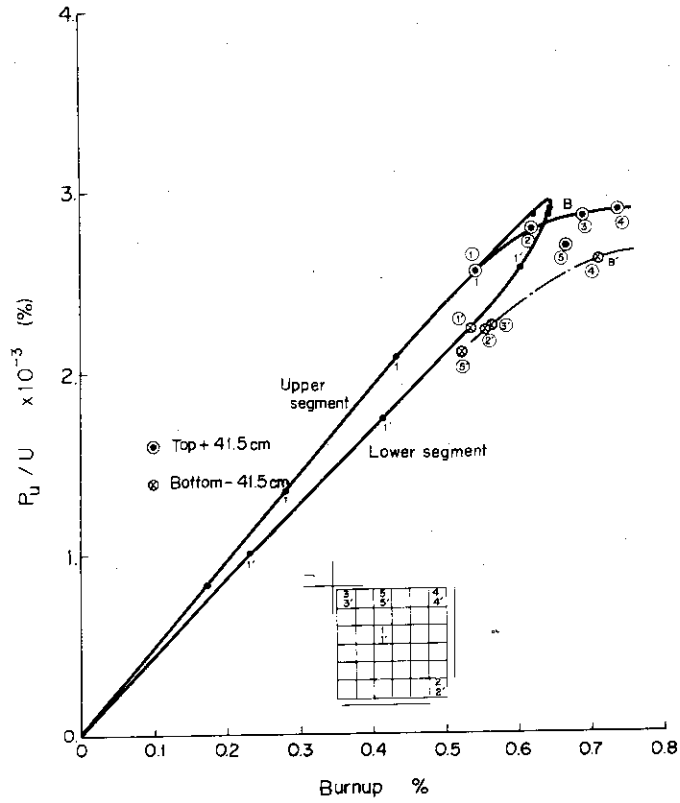


Fig. 26-1 Pu/U 空間依存

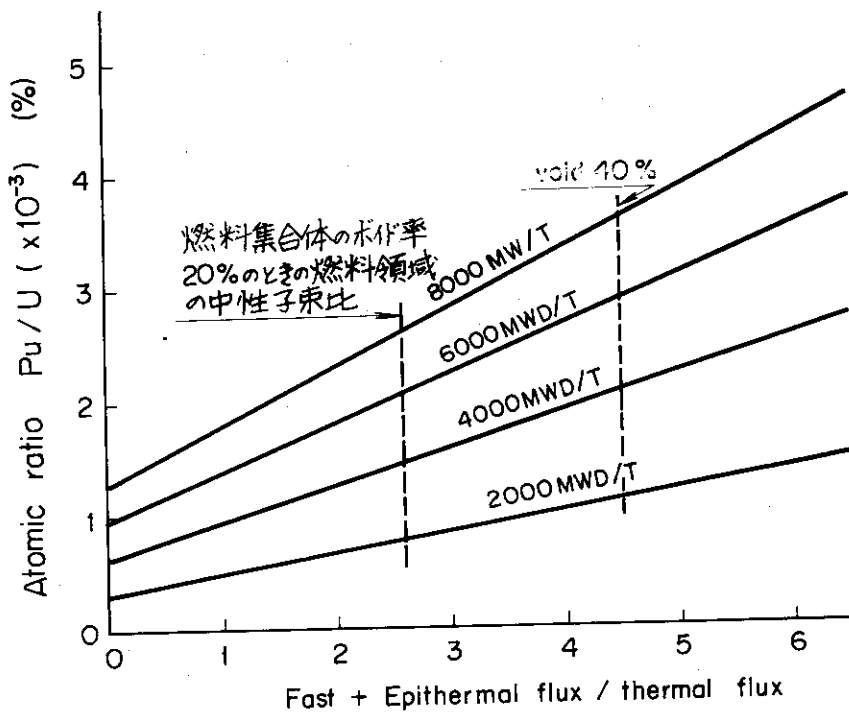


Fig. 26-2 Pu/U dependence of flux ratio by MUSE

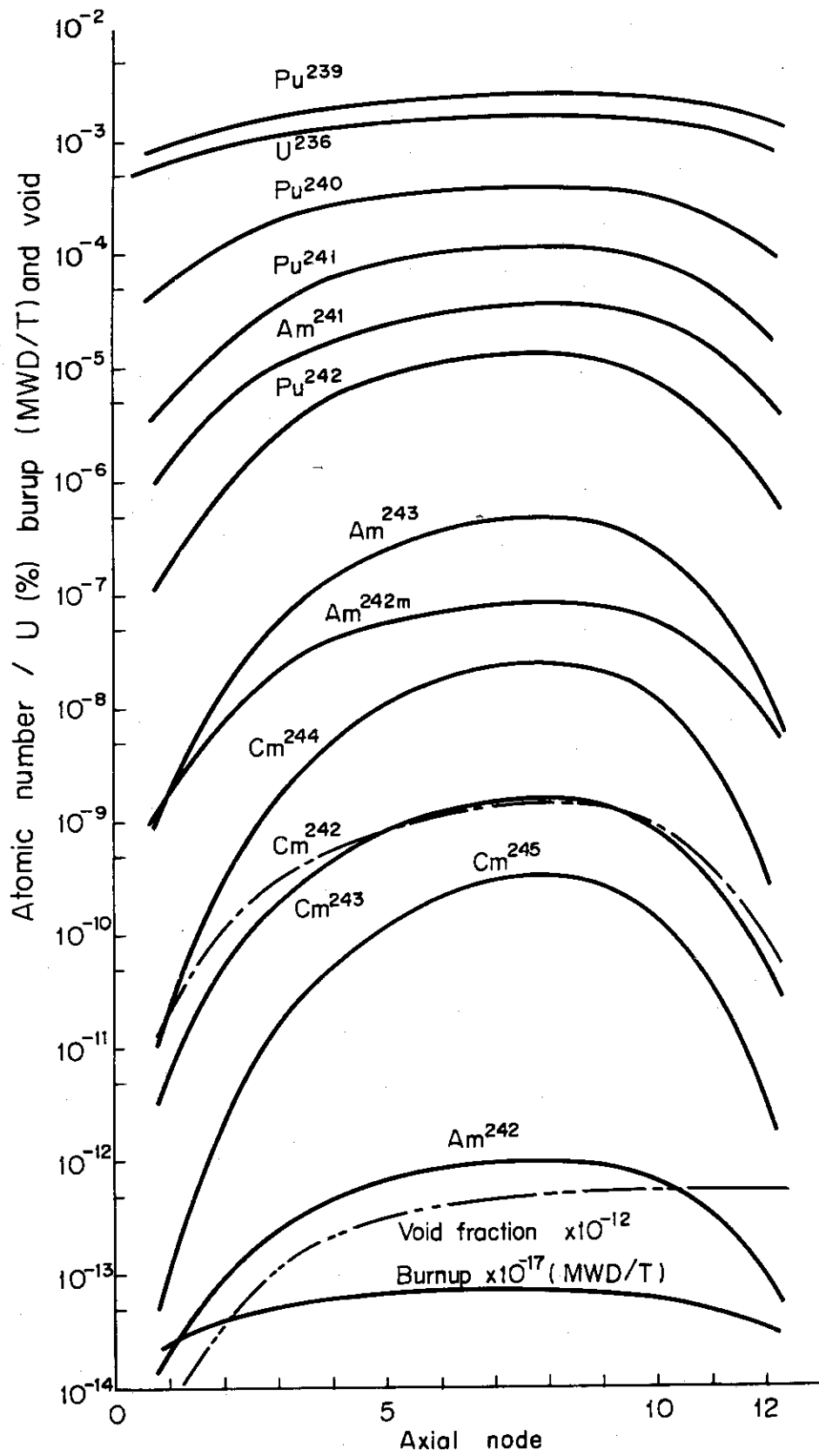


Fig. 27 Production of nuclide

## 9. 考 察

U および超ウラン元素の生成量、蓄積量を三次元核熱水力の計算をして、求めた過程において、燃焼度分布を正確に求めることが重量である。これらの核種のうち、 $^{238}\text{U}$ を親核種として、 $n$ 代の子孫は近似的に燃焼度の $n$ 乗に比例して生成される。従って、それらの生成量は燃焼度の空間分布に大きく依存する。この様子はFig. 10~17からもわかるが、JPDR-1の運転に従ってFig. 1に示される核種が生成されるものとして計算した例Fig. 27からもわかる。この計算は運転停止後、約3年の冷却をした条件でおこなったので、 $^{242}\text{Cm}$ が減衰して $^{243}\text{Cm}$ より少ない分布を示している。

Fig. 10~17からわかるように核種の生成量の計算値と測定値とがよい一致をしているのは、別報でJPDR-1の燃焼度の測定と計算の対比がFLORAおよびFLAREを使用して、パラメトリックに十分な検討がなされたことが要因<sup>5)</sup>である。JPDR-1はガンマースキャンニングやワイヤー照射による出力分布の測定が数多くおこなわれ、三次元核熱水力計算の定数値やFLORAのオプションの訂正がなされ、解析手法の実績を積んだためである。これらは別報を参照されたい<sup>5)</sup>。

Pu、超プルトニウムは同じ燃焼度でもボイド率が大きい程、大きいことがFig. 21からわかる。 $^{238}\text{U}$ 、 $^{240}\text{Pu}$ 、 $^{241}\text{Pu}$ 、 $^{242}\text{Pu}$ 等の断面積がボイド率が大きい程、大きい理由による。従って超ウラン元素の生成にはボイド率の大きい原子炉程適している。

U、Pu、超プルトニウム元素の空間分布の測定値と計算値の差は大きいところで約50%の差がある。これはFig. 9からもわかるように破壊試験された燃料棒の燃焼度の測定と計算とが約7%の範囲で一致しているためである。燃焼度分布は出力分布の時間積分であるので、出力分布を正確に求めることは一向に燃焼度分布を正確に求めることになる。出力分布を約7%の精度で三次元核熱水力計算で求めることはガンマプローブ試験による出力分布の測定結果を参考にしない限り困難である。その大きな理由の一つは、JPDR-1炉心を完全にプログラムのモデルに類似できないためである。例えば反射体中のプラグや炉心上下の構造材の核定数や幾何学的形状をモデル化できない。また、燃料集合体の中性子束の微細構造が計算できないのも一つの理由として考えられる。燃料集合体を等分割したノードは平均核定数で代表しているので、燃料集合体の構造による核定数の違いを三次元核熱水力計算に反映することは困難である。

## 10. あとがき

超プルトニウムの測定や解析は十分におこなわれていないようである。これらは燃料の再処理の廃液中の超ウランの再利用や処理方法についての基礎となるので期待が大きい。超ウラン元素の中には半減期が長いものも多く、核分裂を起すものも毒性のものがあるので動力炉が稼動するにしたがって生産量も多くなり、処理計画を子孫代々までにわたって立てなければならぬ。今後、十分な研究が必要である。本報に示した解析手法はその解決の一助になれば幸である。

## 9. 考 察

Uおよび超ウラン元素の生成量、蓄積量を三次元核熱水力の計算をして、求めた過程において、燃焼度分布を正確に求めることが重量である。これらの核種のうち、 $^{238}\text{U}$ を親核種として、 $n$ 代の子孫は近似的に燃焼度の $n$ 乗に比例して生成される。従って、それらの生成量は燃焼度の空間分布に大きく依存する。この様子はFig. 10~17からもわかるが、JPDR-1の運転に従ってFig. 1に示される核種が生成されるものとして計算した例Fig. 27からもわかる。この計算は運転停止後、約3年の冷却をした条件でおこなったので、 $^{242}\text{Cm}$ が減衰して $^{243}\text{Cm}$ より少ない分布を示している。

Fig. 10~17からわかるように核種の生成量の計算値と測定値とがよい一致をしているのは、別報でJPDR-1の燃焼度の測定と計算の対比がFLORAおよびFLAREを使用して、パラメトリックに十分な検討がなされたことが要因<sup>5)</sup>である。JPDR-1はガンマースキャンニングやワイヤー照射による出力分布の測定が数多くおこなわれ、三次元核熱水力計算の定数値やFLORAのオプションの訂正がなされ、解析手法の実績を積んだためである。これらは別報を参照されたい<sup>5)</sup>。

Pu、超プルトニウム元素の生成は同じ燃焼度でもボイド率が大きい程、大きいことがFig. 21からわかる。 $^{238}\text{U}$ 、 $^{240}\text{Pu}$ 、 $^{241}\text{Pu}$ 、 $^{242}\text{Pu}$ 等の断面積がボイド率が大きい程、大きい理由による。従って超ウラン元素の生成にはボイド率の大きい原子炉程適している。

U、Pu、超プルトニウム元素の空間分布の測定値と計算値の差は大きいところで約50%の差がある。これはFig. 9からもわかるように破壊試験された燃料棒の燃焼度の測定と計算とが約7%の範囲で一致しているためである。燃焼度分布は出力分布の時間積分であるので、出力分布を正確に求めることは一向に燃焼度分布を正確に求めることになる。出力分布を約7%の精度で三次元核熱水力計算で求めることはガンマプローブ試験による出力分布の測定結果を参考にしない限り困難である。その大きな理由の一つは、JPDR-1炉心を完全にプログラムのモデルに類似できないためである。例えば反射体中のプラグや炉心上下の構造材の核定数や幾何学的形状をモデル化できない。また、燃料集合体の中性子束の微細構造が計算できないのも一つの理由として考えられる。燃料集合体を等分割したノードは平均核定数で代表しているので、燃料集合体の構造による核定数の違いを三次元核熱水力計算に反映することは困難である。

## 10. あとがき

超プルトニウム元素の測定や解析は十分におこなわれていないようである。これらは燃料の再処理の廃液中の超ウランの再利用や処理方法についての基礎となるので期待が大きい。超ウラン元素の中には半減期が長いものが多く、核分裂を起すものも毒性のものがあるので動力炉が稼動するにしたがって生産量も多くなり、処理計画を子孫代々までにわたって立てなければならぬ。今後、十分な研究が必要である。本報に示した解析手法はその解決の一助になれば幸である。



ある。また、本報に示す超ウランの解析手法はあらゆる超ウラン元素の解析に拡張することができるのでその具体化を望んでやまない。

最後に超ウランの元素の生成量の測定をされたホットラボ、燃開室の方々ならびに御協力下さった動力試験炉部開発室の方々に深謝します。

## 文 献

- 1) R.J. Nodvik : WCAP-1966 (march 1966)
- 2) M.R. Hackney : GEAP-4107 (1962. Dec.)
- 3) H. Natsume et al : Chemical analyses of the JPDR fuel (1973)
- 4) 小森卓二他 : JPDR照射済燃料の燃焼度測定
- 5) 江連 : FLORAによるJPDR-1炉心の解析 ( to be published)
- 6) Table 1の脚注に文献が示されている。参照されたし。
- 7) 江連, 北本 : Revised SUBURV (MUSE)
- 8) C.G. Poncelet : LASER WCAP-6073
- 9) 江連, 他 : JPDR-1の燃料管理
- 10) H. Ezure : Application of exponential matrix method ( to be published)
- 11) 江連, 山下 : JPDR-1燃料の燃焼度の測定 ( to be published)

付録 TRANSURA

入力データのフォーマット、その例、プログラムソースリスト、計算結果の例をします。

INPUT DATA SHEET

PAGE OF

氏名	日付	プログラム名	JOB NO.		カード色指定		PUNCH					
			IBJOB	DECKNAME	備考							
所属	電話	研究テーマ番号	4		6		73-80					
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	(TIT(I), I=1, 18), CONH FINAL(18A4) タイトル											
2	KMAX NMAX NORDER (3I6) ↑ Exponential matrix の展開する次数											
	↑ 核種の数											
	↑ 燃焼計算するデータ数											
3	(R(I), I=1, 6) (6E10.4) 中性子束の比を表わすポイドおよび燃焼度依存関数 (19) 式参照											
4	(TEMP(I), I=1, 6) (6E10.4) 中性子温度を表わす関数 (16) 式参照											
5	(PEAK(I), I=1, KMAX) (12F6.2) 燃焼計算するデータの相対出力比											
6	FASTE ALIM BURNUP VOIDF (4E12.4) ↑ ポイド率を固定して計算したいときは正数を入力する。零に等しいかそれ以下のときはカードタイプ40で入力データが優先する。 ↑ 一定燃焼度中で計算するときには零以上の数を入力する (MWD/T) 零に等しいかそれ以下のときはカードタイプで入力するデータが優先する。 ↑ φ <sub>eff</sub> がALIMのn倍のとき Exponential matrix method を1時間をn等分して、n回使用して計算精度をあげる因数。 ↑ 熱外および高速群の中性子束のレサジー巾											
8	U234, U235, U236, U238 (4E10.4) ウランの Atomic weight											
9	(OU4(I), I=1, 6) <sup>234</sup> U の捕獲断面積 (barns)											
10	(FU4(I), I=1, 6) <sup>234</sup> U の核分裂断面積											
11	<sup>237</sup> U のσ。以下入力形式9, 10と同じ											

\*73-75: DATA U.76-80: SEQUENTIAL NUMBER  
共通E.173



INPUT DATA SHEET

PAGE OF

氏名	日付 / /		プログラム名		JOB NO.		カード色指定		PUNCH										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0									
所属	電話		研究テーマ番号		IBJOB DECKNAME		備考		YES <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
237 U の σ <sub>r</sub>																			
237 NP の σ <sub>c</sub>																			
237 NP の σ <sub>r</sub>																			
241 Am の σ <sub>c</sub>																			
241 Am の σ <sub>r</sub>																			
241 <sup>241</sup> Am の σ <sub>c</sub>																			
241 <sup>241</sup> Am の σ <sub>r</sub>																			
241 Am の σ <sub>c</sub>																			
241 Am の σ <sub>r</sub>																			
243 Am の σ <sub>c</sub>																			
243 Am の σ <sub>r</sub>																			
243 Cm の σ <sub>c</sub>																			
243 Cm の σ <sub>r</sub>																			
243 Cm の σ <sub>c</sub>																			
243 Cm の σ <sub>r</sub>																			
249 Am の σ <sub>c</sub>																			
249 Am の σ <sub>r</sub>																			
249 U ( a, 2n )																			
249 Cm の σ <sub>c</sub>																			
249 Cm の σ <sub>r</sub>																			



氏名		日付		プログラム名		JOB NO.		カード色指定		PUNCH									
所属		電話		研究テーマ番号		IBJOB DECKNAME		備考		YES NO									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
245	Cmのσ <sub>a</sub>																		
32	(CHOSUA(LJ) J=1, 9) (20X 5E124) (15)式のU, Puのポイド率, 燃焼度の依存係数																		
33	235 U, 238 U, 239 Pu, 240 Pu, 241 Pu, 242 Puの順に吸収断面積を入力する。ただし, 核種がかわればカードイメージをかえる																		
34	235 U, 238 U, 239 Pu, 240 Pu, 241 Pu, 242 Puの核分裂断面積 33と同様な入力																		
35	"																		
36	"																		
37	TIE, NF, FINAL(18A4, 6X 12) タイトル, NF, FINAL > 0のとき最後のケース																		
38	(Time(I), I=1, 3)(3E124) 冷却, 運転, 冷却時間を入力(時間), CONH(EI24)制御棒の引抜き(ノード長さを単位として表わす)。																		
39	(DEXPO(I), I=1, KMAX)(6E124) 運転された月の燃焼度 (MWD/T×10 <sup>3</sup> の値)																		
	(VOLD(I), I=1, KMAX)(12F6.4) 相対密度燃焼度のノードに対応するノード KMAX+1-I である要留意																		
	以下37, 38, 39, 40を組んで入力する。ただし最終計算のときは37のケースの80カラムに正数を入れる。																		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0

共通E173 \*73-75: DATAID/75-80: SEQUENTIAL NUMBER

Sample input of TRANSURA

TRANSPLUTONIUM CAL.				EF	A-20							
12	19	80										
2.4047539	-2.3442935	0.9341307										
2.0407410	-0.4829287	0.1939381										
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
9.588	15.											
0.0142	2.63	0.015	97.341									
95.												
0.												
500.												
300.												
170.												
0.019												
748.			1330.									
3.15			21.									
83.8			208.									
0.												
20.			150.									
0.												
73.			2300.									
0.075												
20.			150.									
5.												
1072.			2345.									
700.												
9200.			3570.									
7200.			1570.									
0.			0.0047									
604.3			150.									
23.			605.									
0.2												
2900.			897.									
33 EF 1 A 925	1	3.27939E 02	-2.50487E 00	2.38928E 00	1.27480E-04	-1.18892E-03						
33 EF 1 A 925	1	8.69517E-04	1.66360E-08	7.82725E-08	-4.20725E-08							
33 EF 1 A 928	1	7.63560E 00	-6.90632E 00	2.92934E 00	1.68510E-04	-3.53563E-04						
33 EF 1 A 928	1	1.81305E-04	-5.37020E-09	1.05214E-08	-5.32736E-09							
33 EF 1 A 926	1	1.06802E 02	-1.28124E 02	5.51148E 01	-4.16625E-03	3.18414E-03						
33 EF 1 A 926	1	-5.99700E-04	1.70387E-07	-9.41555E-08	-1.37618E-08							
33 EF 1 A 949	1	1.11864E 03	-1.53564E 02	4.11527E 01	-4.53878E-02	6.33350E-02						
33 EF 1 A 949	1	-2.91871E-02	2.17088E-06	-3.05060E-06	1.42530E-06							
33 EF 1 A 940	1	2.95647E 03	-3.59000E 03	1.60672E 03	-2.39164E-01	3.46404E-01						
33 EF 1 A 940	1	-1.60132E-01	8.61676E-06	-1.47277E-05	7.15024E-06							
33 EF 1 A 941	1	1.02344E 03	-7.32493E 01	2.54815E 01	-2.33018E-02	4.07239E-02						
33 EF 1 A 941	1	-1.73160E-02	1.12613E-06	-2.13096E-06	9.05359E-07							
33 EF 1 A 942	1	3.89357E 02	-4.84727E 02	2.15738E 02	1.04910E-02	-2.20288E-02						
33 EF 1 A 942	1	1.14259E-02	-6.99469E-07	1.31733E-06	-6.70461E-07							
33 EF 1 F 925	1	2.46561E 02	3.59422E 01	-1.45458E 01	-7.06470E-04	6.42904E-04						
33 EF 1 F 925	1	-1.05413E-04	3.35288E-08	2.77046E-08	-1.55859E-08							
33 EF 1 F 928	1	7.75959E-01	-7.38026E-01	3.00354E-01	2.73175E-05	-5.52330E-05						
33 EF 1 F 928	1	2.78003E-05	-7.50850E-10	1.39841E-09	-7.03081E-10							
33 EF 1 F 926	1	1.53984E 00	-1.49560E 00	6.11793E-01	5.37974E-05	-1.09042E-04						
33 EF 1 F 926	1	5.50185E-05	-1.48125E-09	2.76764E-09	-1.39412E-09							
33 EF 1 F 949	1	6.80307E 02	-4.79936E 01	6.24701E 00	-2.69606E-02	3.79173E-02						
33 EF 1 F 949	1	-1.74127E-02	1.27623E-06	-1.77873E-06	8.25725E-07							
33 EF 1 F 940	1	4.05718E 00	-4.03670E 00	1.65352E 00	1.32742E-04	-2.71485E-04						

33 EF	1 F	940	1	1.37469E-04	-3.83101E-09	7.14477E-09	-3.59816E-09			
33 EF	1 F	941	1	7.50485E-02	-1.30289E-02	5.23333E-01	-2.20432E-02	5.01974E-02		
33 EF	1 F	941	1	-2.12563E-02	1.24964E-06	-3.18517E-06	1.35252E-06			
33 EF	1 F	942	1	3.98843E-00	-4.06954E-00	1.68789E-00	1.36808E-04	-2.78927E-04		
33 EF	1 F	942	1	1.41557E-04	-3.78365E-02	7.12620E-09	-3.60677E-09			
36 EF	1 A	925	1	4.93008E-02	-1.97818E-02	9.93213E-01	3.86376E-03	-1.25418E-02		
36 EF	1 A	925	1	7.14605E-03	-6.95708E-09	3.11332E-07	-1.74259E-07			
36 EF	1 A	926	1	1.80552E-01	-2.30344E-01	1.06397E-01	6.40294E-04	-1.37296E-03		
36 EF	1 A	926	1	7.24467E-04	-1.43704E-08	3.40360E-08	-1.86051E-08			
36 EF	1 A	926	1	2.17214E-02	-3.03854E-02	1.41378E-02	-8.51887E-03	1.03339E-02		
36 EF	1 A	926	1	-4.73625E-03	4.66953E-07	-6.27304E-07	3.00795E-07			
36 EF	1 A	949	1	1.50407E-03	-4.82258E-02	1.92309E-02	-7.39814E-02	1.03829E-01		
36 EF	1 A	949	1	-4.81685E-02	3.63313E-06	-5.19463E-06	2.45093E-06			
36 EF	1 A	940	1	5.76443E-03	-8.03084E-03	3.76227E-03	-5.23520E-01	8.35985E-01		
36 EF	1 A	940	1	-4.07753E-01	2.27397E-05	-4.09038E-05	2.07887E-05			
36 EF	1 A	941	1	1.36106E-03	-4.30794E-02	2.04174E-02	-3.52706E-02	5.93474E-02		
36 EF	1 A	941	1	-2.60592E-02	1.90329E-06	-3.69719E-06	1.71111E-06			
36 EF	1 A	942	1	7.84766E-02	-1.16818E-03	5.81729E-02	2.59238E-02	-3.12225E-02		
36 EF	1 A	942	1	3.15071E-03	-1.26899E-06	6.28271E-07	5.55536E-07			
36 EF	1 F	925	1	3.49763E-02	-7.33733E-01	4.11586E-01	7.54497E-04	-5.43053E-03		
36 EF	1 F	925	1	3.34954E-03	4.33393E-04	1.45990E-07	-8.22019E-08			
36 EF	1 F	928	1	2.65347E-00	-3.75310E-00	1.75060E-00	1.21492E-04	-2.56685E-04		
36 EF	1 F	928	1	1.35609E-04	-2.37638E-09	5.49319E-09	-3.01207E-09			
36 EF	1 F	926	1	5.29740E-00	-7.56753E-00	3.53435E-00	2.41020E-04	-5.10239E-04		
36 EF	1 F	926	1	2.70039E-04	-4.70462E-09	1.08972E-08	-3.98383E-09			
36 EF	1 F	949	1	8.82560E-02	-1.92392E-02	7.37097E-01	-4.48251E-02	6.41387E-02		
36 EF	1 F	949	1	-3.02738E-02	2.14187E-06	-3.09321E-06	1.49398E-06			
36 EF	1 F	940	1	1.36487E-01	-1.96484E-01	9.20267E-00	5.99787E-04	-1.27583E-03		
36 EF	1 F	940	1	6.76857E-04	-1.20159E-08	2.77822E-08	-1.52716E-08			
36 EF	1 F	941	1	1.03296E-03	-4.61665E-02	2.18294E-02	-3.42837E-02	7.93952E-02		
36 EF	1 F	941	1	-3.55865E-02	2.14094E-06	-5.61473E-06	2.59436E-06			
36 EF	1 F	942	1	1.38021E-01	-2.01663E-01	9.49417E-00	6.18831E-04	-1.31603E-03		
36 EF	1 F	942	1	6.99297E-04	-1.20769E-08	2.80064E-08	-1.54326E-08			
44-07-24 A-20				26.1		184.01			0	
9.480 E+03	1.840 E+02	0.000 E+00								
3.2062	-2 4.8129	-2 5.9844	-2 6.7956	-2 7.4688	-2 7.9967	-2				
8.2658	-2 8.1358	-2 7.5152	-2 6.5492	-2 5.3273	-2 3.4602	-2				
1,	0.93540,84090,76160,69770,64570,60230,56490,53230,50400,48040,4630									
44-08-01 A-20				43.47		756.17			1	
0,000 E+00	7.56 E+02	3.432 E+04								
2,3060	-1 3,5716	-1 4,6435	-1 5,4435	-1 5,8704	-1 5,8642	-1				
5,5592	-1 5,0817	-1 4,4162	-1 3,5329	-1 2,6433	-1 1,6119	-1				
1,	0.97410,89250,81360,74460,68680,63740,59400,55590,52360,49790,4797									

Line	Code	Description	Column
	C	TRANSPLUTONIUM CALCULATION CODE REVISED AT 1975-2-2 BY H.EZURE(JAERI)	MAIN 1
1		DIMENSION YIEL(8),AND(15),UTO(15)	MAIN 2
2		DIMENSION FU4(6),FU7(6),FNP7(6),U282N(6),FAM41M(6),FAM41(6),FAM42	MAIN 3
		1(6),FM2(6),FM5(6),FM4(6),AC(7),FC(7),A(20),F(20)	MAIN 4
3		EQUIVALENCE (A(1),A1),(A(2),A2),(A(3),A3),(A(4),A4),(A(5),A5),(A(6),A6),	MAIN 5
		(A(7),A7),(A(8),A8),(A(9),A9),(A(10),A10),(A(11),A11),(A(12),A12),	MAIN 6
		(A(13),A13),(A(14),A14),(A(15),A15),(A(16),A16),(A(17),A17),(A(18),A18),	MAIN 7
		(A(19),A19),(A(20),A20)	MAIN 8
4		EQUIVALENCE (F(1),F1),(F(2),F2),(F(3),F3),(F(4),F4),(F(5),F5),(F(6),F6),	MAIN 9
		(F(7),F7),(F(8),F8),(F(9),F9),(F(10),F10),(F(11),F11),(F(12),F12),	MAIN 10
		(F(13),F13),(F(14),F14),(F(15),F15),(F(16),F16),(F(17),F17),(F(18),F18),	MAIN 11
		(F(19),F19),(F(20),F20)	MAIN 12
5		DIMENSION TIT(18),ATO(20,15),CU4(6),CU7(6),CNP7(6),CPU8(6),CAM41(6),CAM42(6),	MAIN 13
		CAM43(6),CM2(6),CM3(6),CM4(6),CROSSA( 9,7),CROSSC( 9,7),EXPO(15),TIME(3),VOID(	MAIN 14
		3 15),DEXPO(15),W(7),DECAY(20,20),FLS(15)	MAIN 15
6		DIMENSION AU(7),FU(7),CAM42M(6),FAM42M(6),PEAK(15)	MAIN 16
7		DIMENSION R(6),AT1(20),AT2(20),FAM43(6),CM5(6),AVERV(15),FLXT(15)	MAIN 17
8		DATA YIEL/1.691013,2.115925,2.115925,1.658966,2.115925,1.871209	MAIN 18
		1 .2,115925,1.658966 /	MAIN 19
9		COMMON/FNE/FASTE,CT,TEMP(6)	MAIN 20
10		COMMON /NUNAME/ NUCLA(20),NUCLB(20)	MAIN 21
11	72	FORMAT(1P10E12.4)	MAIN 22
12	11	FORMAT(8E10.4)	MAIN 23
13	1	FORMAT(18A4,6X,12)	MAIN 24
14		DO 70 I=1,20	MAIN 25
15	70	NUCLB(I)=4H	MAIN 26
16		NUCLA( 1)= 4HU234	MAIN 27
17		NUCLA( 2)= 4HU235	MAIN 28
18		NUCLA( 3)= 4HU236	MAIN 29
19		NUCLA( 4)= 4HU237	MAIN 30
20		NUCLA( 5)= 4HNP23	MAIN 31
21		NUCLA( 6)= 4HPU23	MAIN 32
22		NUCLA( 7)= 4HU238	MAIN 33
23		NUCLA( 8)= 4HPU23	MAIN 34
24		NUCLA( 9)= 4HPU24	MAIN 35
25		NUCLA(10)= 4HPU24	MAIN 36
26		NUCLA(11)= 4HPU24	MAIN 37
27		NUCLA(12)= 4HAM24	MAIN 38
28		NUCLA(13)= 4HAM24	MAIN 39
29		NUCLA(14)= 4HAM24	MAIN 40
30		NUCLA(15)= 4HCM24	MAIN 41
31		NUCLA(16)= 4HCM24	MAIN 42
32		NUCLA(17)= 4HCM24	MAIN 43
33		NUCLA(18)= 4HAM24	MAIN 44
34		NUCLA(19)= 4HCM24	MAIN 45
35		NUCLB( 5)=4H7	MAIN 46
36		NUCLB( 6)=4H8	MAIN 47
37		NUCLB( 8)=4H9	MAIN 48
38		NUCLB( 9)=4H0	MAIN 49
39		NUCLB(10)=4H1	MAIN 50
40		NUCLB(11)=4H2	MAIN 51
41		NUCLB(12)=4H1	MAIN 52
42		NUCLB(13)=4H2M	MAIN 53
43		NUCLB(14)=4H3	MAIN 54
44		NUCLB(15)=4H2	MAIN 55
45		NUCLB(16)=4H3	MAIN 56
46		NUCLB(17)=4H4	MAIN 57
47		NUCLB(18)=4H2	MAIN 58
48		NUCLB(19)=4H5	MAIN 59
49	1000	CONTINUE	MAIN 60
50		DO 33 I=1,15	MAIN 61
			MAIN 62

51	UTO(I)=0.	MAIN 63
52	33 AND(I)=0.	MAIN 64
53	MATRIX=0	MAIN 65
54	READ(5,1) TIT,NFINAL	MAIN 66
55	READ(5,13) KMAX,NMAX,NORDER	MAIN 67
56	READ(5,3)(K(I),I=1,6)	MAIN 68
57	READ(5,3)(TEMP(I),I=1,6)	MAIN 69
58	READ(5,6)(PEAK(I),I=1,KMAX)	MAIN 70
59	READ(5,3) FASTE,ALIM,BURNUP,VOIDF	MAIN 71
60	WRITE(6,2) TIT	MAIN 72
61	WRITE(6,7) KMAX,NMAX,NORDER	MAIN 73
62	7 FORMAT(/ ' KMAX ',15,' NMAX ',15,' NORDER ',15 )	MAIN 74
63	WRITE(6,211) (R(I),I=1,6)	MAIN 75
64	211 FORMAT(/ ' FLUX RATIO ',1P7E12.4)	MAIN 76
65	WRITE(6,212) (TEMP(I),I=1,6)	MAIN 77
66	212 FORMAT(/ ' NEUTRON VELOCITY ',1P7E12.4)	MAIN 78
67	WRITE(6,213) (PEAK(I),I=1,KMAX)	MAIN 79
68	213 FORMAT(/ ' PEAKING FACTOR ',(1P10E12.4))	MAIN 80
69	WRITE(6,210) FASTE,ALIM,BURNUP,VOIDF	MAIN 81
70	210 FORMAT(/ ' FASTE ',1PE12.4,' ALIM ',E12.4,' BURNUP ',E12.4, 1 ' VOIDF ',E12.4)	MAIN 82
71	READ(5,3) U234,U235,U236,U238	MAIN 83
72	3 FORMAT(8E10.4)	MAIN 84
73	WRITE(6,214) U234,U235,U236,U238	MAIN 85
74	214 FORMAT(/ ' U234 ',1PE12.4,' U235 ',E12.4,' U236 ',E12.4, 1 ' U238 ',E12.4)	MAIN 86
75	U234=U234/2.5740	MAIN 87
76	U235=U235/2.5631	MAIN 88
77	U236=U236/2.5524	MAIN 89
78	U238=U238/2.5308	MAIN 90
79	Z=(U234+U235+U236+U238)*1.E-6	MAIN 91
80	U234=U234/Z	MAIN 92
81	U235=U235/Z	MAIN 93
82	U236=U236/Z	MAIN 94
83	U238=U238/Z	MAIN 95
84	13 FORMAT(10I6)	MAIN 96
85	2 FORMAT(1H1, //2X,18A4)	MAIN 97
86	DU7=6.75	MAIN 98
87	DPU8=86.4	MAIN 99
88	DPU41=14.8	MAIN 100
89	DAM1=433.	MAIN 101
90	DAM2=152.	MAIN 102
91	DCM2=163.	MAIN 103
92	DCM3=32.	MAIN 104
93	DCM4=17.6	MAIN 105
94	DAM2M=16.	MAIN 106
95	DU7=0.69317/(DU7*86400.)	MAIN 107
96	DCM5=9300.	MAIN 108
97	DPU8=0.69317/(DPU8*86400.*365.)	MAIN 109
98	DCM5=0.69317/(DCM5*365.*86400.)	MAIN 110
99	DPU41=0.69317/(DPU41*86400.*365.)	MAIN 111
100	DAM1=0.69317/(DAM1*86400.*365.)	MAIN 112
101	DAM2=0.69317/(DAM2*86400.*365.)	MAIN 113
102	DCM2=0.69317/(DCM2*86400.)	MAIN 114
103	DCM3=0.69317/(DCM3*86400.*365.)	MAIN 115
104	DCM4=0.69317/(DCM4*86400.*365.)	MAIN 116
105	DAM2M=0.69317/(DAM2M*3600.)	MAIN 117
106	READ(5,4) (CU4(I),I=1,6)	MAIN 118
107	READ(5,4) (FU4(I),I=1,6)	MAIN 119
108	READ(5,4) (CU7(I),I=1,6)	MAIN 120
109	READ(5,4) (FU7(I),I=1,6)	MAIN 121
110	READ(5,4) (CNP7(I),I=1,6)	MAIN 122
		MAIN 123
		MAIN 124



111	READ(5,4) (FNP7(I),I=1,6)	MAIN 125
112	READ(5,4) (CAM41(I),I=1,6)	MAIN 126
113	READ(5,4) (FAM41(I),I=1,6)	MAIN 127
114	READ(5,4) (CAM41M(I),I=1,6)	MAIN 128
115	READ(5,4) (FAM41M(I),I=1,6)	MAIN 129
116	READ(5,4) (CAM42(I),I=1,6)	MAIN 130
117	READ(5,4) (FAM42(I),I=1,6)	MAIN 131
118	READ(5,4) (CAM43(I),I=1,6)	MAIN 132
119	READ(5,4) (FAM43(I),I=1,6)	MAIN 133
120	READ(5,4) (CM2(I),I=1,6)	MAIN 134
121	READ(5,4) (FM2(I),I=1,6)	MAIN 135
122	READ(5,4) (CM3(I),I=1,6)	MAIN 136
123	READ(5,4) (FM3(I),I=1,6)	MAIN 137
124	READ(5,4) (CAM42M(I),I=1,6)	MAIN 138
125	READ(5,4) (FAM42M(I),I=1,6)	MAIN 139
126	READ(5,4) (U282N(I),I=1,6)	MAIN 140
127	READ(5,4) (CPU8(I),I=1,6)	MAIN 141
128	READ(5,4) (CM4(I),I=1,6)	MAIN 142
129	READ(5,4) (FM4(I),I=1,6)	MAIN 143
130	READ(5,4) (CM5(I),I=1,6)	MAIN 144
131	215 FORMAT(/ ' CROS SECTION')	MAIN 145
132	WRITE(6,215)	MAIN 146
133	WRITE(6,230) CU4,FU4	MAIN 147
134	WRITE(6,231) CU7,FU7	MAIN 148
135	WRITE(6,232) CNP7,FNP7	MAIN 149
136	WRITE(6,233) CAM41,FAM41	MAIN 150
137	WRITE(6,234) CAM41M,FAM41M	MAIN 151
138	WRITE(6,235) CAM42,FAM42	MAIN 152
139	WRITE(6,236) CAM43,FAM43	MAIN 153
140	WRITE(6,237) CM2,FM2	MAIN 154
141	WRITE(6,238) CM3,FM3	MAIN 155
142	WRITE(6,239) CAM42M,FAM42M	MAIN 156
143	WRITE(6,240) U282N	MAIN 157
144	WRITE(6,241) CPU8	MAIN 158
145	WRITE(6,242) CM4,FM4	MAIN 159
146	WRITE(6,243) CM5	MAIN 160
147	230 FORMAT(' U234 ' ,1P6E12.4/(8X,6E12.4))	MAIN 161
148	231 FORMAT(' U237 ' ,1P6E12.4/(8X,6E12.4))	MAIN 162
149	232 FORMAT(' NP237 ' ,1P6E12.4/(8X,6E12.4))	MAIN 163
150	234 FORMAT(' AM241 ' ,1P6E12.4 ,3X,'FROM AM241 TO AM242M'/(8X,6E12.4))	MAIN 164
151	235 FORMAT(' AM241 ' ,1P6E12.4,3X,'FROM AM241 TO AM242'/(8X,6E12.4))	MAIN 165
152	235 FORMAT(' AM242 ' ,1P6E12.4/(8X,6E12.4))	MAIN 166
153	236 FORMAT(' AM243 ' ,1P6E12.4/(8X,6E12.4))	MAIN 167
154	237 FORMAT(' CM242 ' ,1P6E12.4/(8X,6E12.4))	MAIN 168
155	238 FORMAT(' CM243 ' ,1P6E12.4/(8X,6E12.4))	MAIN 169
156	239 FORMAT(' CM242M ' ,1P6E12.4/(8X,6E12.4))	MAIN 170
157	240 FORMAT(' U238N ' ,1P6E12.4/(8X,6E12.4))	MAIN 171
158	241 FORMAT(' PU238 ' ,1P6E12.4/(8X,6E12.4))	MAIN 172
159	242 FORMAT(' CM244 ' ,1P6E12.4/(8X,6E12.4))	MAIN 173
160	243 FORMAT(' CM245 ' ,1P6E12.4/(8X,6E12.4))	MAIN 174
161	DO 60 J=1,7	MAIN 175
162	READ(5,5) (CROSUA(I,J),I=1,9)	MAIN 176
163	60 CONTINUE	MAIN 177
164	DO 62 J=1,7	MAIN 178
165	READ(5,5) (CROSUF(I,J),I=1,9)	MAIN 179
166	62 CONTINUE	MAIN 180
167	DO 61 J=1,7	MAIN 181
168	READ(5,5) (CROSCA(I,J),I=1,9)	MAIN 182
169	61 CONTINUE	MAIN 183
170	DO 63 J=1,7	MAIN 184

171	READ(5,5) (CROSCF(1,J),I=1,9)	MAIN 187
172	63 CONTINUE	MAIN 188
173	5 FORMAT(20X,5E12.4)	MAIN 189
174	DO 9 I=1,KMAX	MAIN 190
175	DO 9 J=1,NMAX	MAIN 191
176	9 ATO(J,I)=0.	MAIN 192
177	DO 14 I=1,KMAX	MAIN 193
178	AVERY(I)=0.	MAIN 194
179	FLXT(I)=0.	MAIN 195
180	14 EXPO(I)=0.	MAIN 196
181	DO 10 I=1,KMAX	MAIN 197
182	ATO(1,I)=U234*2.5740E+21	MAIN 198
183	ATO(2,I)=U235*2.5631E+21	MAIN 199
184	ATO(3,I)=U236*2.5522E+21	MAIN 200
185	ATO(7,I)=U238*2.5308E+21	MAIN 201
186	10 CONTINUE	MAIN 202
187	SUMU=ATO(2,I)+ATO(3,I)+ATO(7,I)	MAIN 203
188	WRITE(6,64)	MAIN 204
189	DO 65 I=1,NMAX	MAIN 205
190	65 WRITE(6,72) (ATO(I,K),K=1,KMAX)	MAIN 206
191	64 FORMAT(// ' INITIAL WEIGHT(ATOMIC NUMBER)')	MAIN 207
192	4 FORMAT(8E10.4)	MAIN 208
193	100 CONTINUE	MAIN 209
194	READ(5,1) TIT,NFINAL	MAIN 210
195	IF(NFINAL.NE.0) WRITE(6,2) TIT	MAIN 211
196	READ(5,12) (TIME(I),I=1,3),CONH	MAIN 212
197	6 FORMAT(12F6.4)	MAIN 213
198	12 FORMAT(6E12.4)	MAIN 214
199	READ(5,12) (DEXPO(I),I=1,KMAX)	MAIN 215
200	N=KMAX/2	MAIN 216
201	DO 203 I=1,N	MAIN 217
202	J=KMAX+1-I	MAIN 218
203	Z=DEXPO(J)	MAIN 219
204	DEXPO(J)=DEXPO(I)	MAIN 220
205	203 DEXPO(I)=Z	MAIN 221
206	READ(5,6) (VOID(I),I=1,KMAX)	MAIN 222
207	IF(BURNUP)200,200,201	MAIN 223
208	201 TIME(1)=0.	MAIN 224
209	TIME(2)=1.E+20	MAIN 225
210	TIME(3)=0	MAIN 226
211	200 CONTINUE	MAIN 227
212	DO 40 IT=1,3	MAIN 228
213	T=TIME(IT)*3600.	MAIN 229
214	IF(T.LE.0) GO TO 39	MAIN 230
215	DO 50 K=1,KMAX	MAIN 231
216	DO 20 I=1,NMAX	MAIN 232
217	DO 20 J=1,NMAX	MAIN 233
218	20 DECAY(I,J)=0.	MAIN 234
219	DECAY(4,4)=-DU7	MAIN 235
220	DECAY(6,6)=-DPU8	MAIN 236
221	DECAY(10,10)=-DPU41	MAIN 237
222	DECAY(12,12)=-DAM1	MAIN 238
223	DECAY(13,13)=-DAM2	MAIN 239
224	DECAY(15,15)=-DCM2	MAIN 240
225	DECAY(16,16)=-DCM3	MAIN 241
226	DECAY(17,17)=-DCM4	MAIN 242
227	DECAY(18,18)=-DAM2M	MAIN 243
228	DECAY(19,19)=-DCM5	MAIN 244
229	DECAY(5,4)=-DECAY(4,4)	MAIN 245
230	DECAY(11,18)=-DECAY(18,18)*0.16	MAIN 246
231	DECAY(12,10)=-DECAY(10,10)	MAIN 247
232	DECAY(15,18)=-DECAY(18,18)*0.84	MAIN 248

233	DECAY(14,16)=-DECAY(16,16)*0.003	MAIN 249
234	DECAY(18,13)=-DECAY(13,13)*0.995	MAIN 250
235	DECAY(6,15)=-DECAY(15,15)	MAIN 251
236	DECAY(8,16)=-DECAY(16,16)*0.997	MAIN 252
237	DECAY(9,17)=-DECAY(17,17)	MAIN 253
238	DECAY(10,19)=-DECAY(19,19)	MAIN 254
239	IF(IT,NE,2) GO TO 25	MAIN 255
240	CT=CONH=FLOAT(K-1)	MAIN 256
241	IF(CT,GT,1) CT=1.	MAIN 257
242	IF(CT,LT,0.) CT=0.	MAIN 258
243	VOI=VOID(K)	MAIN 259
244	IF(PEAK(K),LE,0.) PEAK(K)=1.	MAIN 260
245	DEXPO(K)=DEXPO(K)*PEAK(K)	MAIN 261
246	EXPO(K)=EXPO(K)+DEXPO(K)	MAIN 262
247	BURN=EXPO(K)-DEXPO(K)/2.	MAIN 263
248	IF(VOIDF,GT,0.) VOI=VOIDF	MAIN 264
249	IF(BURNUP,LE,0.) GO TO 6123	MAIN 265
250	T=DEXPO(K)*8.64E+7/BURNUP	MAIN 266
251	TIME(2)=T	MAIN 267
252	VOID(K)=VOI	MAIN 268
253	6123 CONTINUE	MAIN 269
254	W(1)=ATO(2,K)	MAIN 270
255	W(2)=ATO(3,K)	MAIN 271
256	W(3)=ATO(7,K)	MAIN 272
257	W(4)=ATO(8,K)	MAIN 273
258	W(5)=ATO(9,K)	MAIN 274
259	W(6)=ATO(10,K)	MAIN 275
260	W(7)=ATO(11,K)	MAIN 276
261	CALL CROS(CROSUA,AU,VOI,BURN,1)	MAIN 277
262	CALL CROS(CROSCA,AC,VOI,BURN,1)	MAIN 278
263	CALL CROS(CROSUF,FU,VOI,BURN,1)	MAIN 279
264	CALL CROS(CROSCF,FC,VOI,BURN,1)	MAIN 280
265	DO 21 I=1,7	MAIN 281
266	AC(I)=(AU(I)*(1.-CT)+AC(I)*CT)	MAIN 282
267	FC(I)=(FU(I)*(1.-CT)+FC(I)*CT)	MAIN 283
268	21 CONTINUE	MAIN 284
269	POWER=DEXPO(K)*1000.	MAIN 285
270	CALL FLUX(FLX,FC,w,POWER,T)	MAIN 286
271	FLS(K)=FLX	MAIN 287
272	R1=R(1)+VOI*R(2)+VOI**2*R(3)	MAIN 288
273	AVERV(K)=AVERV(K)+VOI*DEXPO(K)	MAIN 289
274	FLXT(K)=FLXT(K)+FLX*T	MAIN 290
275	R2=R(4)+VOI*R(5)+VOI**2*R(6)	MAIN 291
276	FLF=FLX*(R1*(1.-CT)+R2*CT)	MAIN 292
277	DO 22 I=1,NMAX	MAIN 293
278	AC(I)=0.	MAIN 294
279	22 F(I)=0.	MAIN 295
280	CALL AVER(VOI,A1,FLX,FLF,CU4)	MAIN 296
281	CALL AVER(VOI,F1,FLX,FLF,FU4)	MAIN 297
282	CALL AVER(VOI,A4,FLX,FLF,CU7)	MAIN 298
283	CALL AVER(VOI,F4,FLX,FLF,FU7)	MAIN 299
284	CALL AVER(VOI,A5,FLX,FLF,CNP7)	MAIN 300
285	CALL AVER(VOI,F5,FLX,FLF,FNP7)	MAIN 301
286	CALL AVER(VOI,A6,FLX,FLF,CPU6)	MAIN 302
287	CALL AVER(VOI,A2N,FLX,FLF,U282N)	MAIN 303
288	CALL AVER(VOI,A12M,FLX,FLF,CAM41M)	MAIN 304
289	CALL AVER(VOI,F12M,FLX,FLF,FAM41M)	MAIN 305
290	CALL AVER(VOI,A12,FLX,FLF,CAM41)	MAIN 306
291	CALL AVER(VOI,F12,FLX,FLF,FAM41)	MAIN 307
292	CALL AVER(VOI,A13,FLX,FLF,CAM42M)	MAIN 308
293	CALL AVER(VOI,F13,FLX,FLF,FAM42M)	MAIN 309
294	CALL AVER(VOI,A14,FLX,FLF,CAM43)	MAIN 310

295	CALL AVER(VOI,F14,FLX,FLF,FAM43)	MAIN 311
296	CALL AVER(VOI,A15,FLX,FLF,CM2)	MAIN 312
297	CALL AVER(VOI,F15,FLX,FLF,FM2)	MAIN 313
298	CALL AVER(VOI,A16,FLX,FLF,CM3)	MAIN 314
299	CALL AVER(VOI,F16,FLX,FLF,FM3)	MAIN 315
300	CALL AVER(VOI,A17,FLX,FLF,CM4)	MAIN 316
301	CALL AVER(VOI,F17,FLX,FLF,FM4)	MAIN 317
302	CALL AVER(VOI,F18,FLX,FLF,FAM42)	MAIN 318
303	CALL AVER(VOI,A18,FLX,FLF,CM42)	MAIN 319
304	CALL AVER(VOI,A19,FLX,FLF,CM5)	MAIN 320
305	DO 2* I=1,7	MAIN 321
306	AC(I)=AC(I)*FLX	MAIN 322
307	24 FC(I)=FC(I)*FLX	MAIN 323
308	A2=AC(1)	MAIN 324
309	A3=AC(3)	MAIN 325
310	A7=AC(2)	MAIN 326
311	A8=AC(4)	MAIN 327
312	A9=AC(5)	MAIN 328
313	A10=AC(6)	MAIN 329
314	A11=AC(7)	MAIN 330
315	F2=FC(1)	MAIN 331
316	F3=FC(3)	MAIN 332
317	F7=FC(2)	MAIN 333
318	F8=FC(4)	MAIN 334
319	F9=FC(5)	MAIN 335
320	F10=FC(6)	MAIN 336
321	F11=FC(7)	MAIN 337
322	IF(MATRIX.GT,0) GO TO 204	MAIN 338
323	IF(K.GT,1) GO TO 204	MAIN 339
324	WRITE(6,205)	MAIN 340
325	205 FORMAT( / ' DECAY MATRIX ' )	MAIN 341
326	DO 206 I=1,NMAX	MAIN 342
327	206 WRITE(6,2345)(DECAY(I,J),J=1,NMAX)	MAIN 343
328	MATRIX=1	MAIN 344
329	204 CONTINUE	MAIN 345
330	DO 36 I=1,NMAX	MAIN 346
331	36 DECAY(1,1)=DECAY(1,1)-A(1)	MAIN 347
332	DECAY(2,1)=A(1)-F(1)	MAIN 348
333	DECAY(3,2)=A(2)-F(2)	MAIN 349
334	DECAY(4,3)=A(3)-F(3)	MAIN 350
335	DECAY(4,7)=A2N	MAIN 351
336	DECAY(6,5)=A(5)-F(5)	MAIN 352
337	DECAY(7,4)=A(4)-F(4)	MAIN 353
338	DECAY(8,7)=A(7)-F(7)	MAIN 354
339	DECAY(9,8)=A(8)-F(8)	MAIN 355
340	DECAY(10,9)=A(9)-F(9)	MAIN 356
341	DECAY(11,10)=A(10)-F(10)	MAIN 357
342	DECAY(13,12)=A12M-F12M	MAIN 358
343	DECAY(14,13)=A(13)-F(13)	MAIN 359
344	DECAY(14,11)=A(11)-F(11)	MAIN 360
345	DECAY(18,12)=A(12)-F(12)	MAIN 361
346	DECAY(14,18)=A(18)-F(18)	MAIN 362
347	DECAY(16,15)=A(15)-F(15)	MAIN 363
348	DECAY(17,16)=A(16)-F(16)	MAIN 364
349	DECAY(18,12)=A(12)-F(12)	MAIN 365
350	DECAY(17,14)=A(14)-F(14)	MAIN 366
351	DECAY(19,17)=A(17)-F(17)	MAIN 367
352	DECAY(7,7)=DECAY(7,7)-A2N	MAIN 368
353	DECAY(12,12)=DECAY(12,12)-A12M	MAIN 369
354	IF(NFINAL.EB,0) GO TO 3456	MAIN 370
355	IF(K.GT,1) GO TO 3456	MAIN 371
356	DO 302 I=1,NMAX	MAIN 372

357		AT1(I)=A(I)/FLX	MAIN 373
358		AT2(I)=F(I)/FLX	MAIN 374
359	302	CONTINUE	MAIN 375
360		WRITE(6,300) (AT1(I),I=1,NMAX)	MAIN 376
361		WRITE(6,301) (AT2(I),I=1,NMAX)	MAIN 377
362	300	FORMAT(/ ' ABSORPTION CROSS SECTION '/(1P10E12,4))	MAIN 378
363	301	FORMAT(/ ' FISSION CROSS SECTION '/(1P10E12,4))	MAIN 379
364		WRITE(6,1235)	MAIN 380
365	1235	FORMAT(/ ' DESTRUCTIVE MATRIX ')	MAIN 381
366		DO 1234 I=1,NMAX	MAIN 382
367	1234	WRITE(6,2345) (DECAY(I,J),J=1,NMAX)	MAIN 383
368	2345	FORMAT(1P10E12,4)	MAIN 384
369	3456	CONTINUE	MAIN 385
370	25	CONTINUE	MAIN 386
371		Z=0.	MAIN 387
372		DO 700 I=1,NMAX	MAIN 388
373		Y=ABS(DECAY(I,I))	MAIN 389
374	700	IF(Y.GT.Z) Z=Y	MAIN 390
375		NTIME=1.+Z/ALIM*T	MAIN 391
376		IF(NTIME.LE.0) NTIME=1 -	MAIN 392
377		TT=T/FLOAT(NTIME)	MAIN 393
378		DO 17 I=1,NMAX	MAIN 394
379		DO 17 J=1,NMAX	MAIN 395
380	17	DECAY(I,J)=DECAY(I,J)*TT	MAIN 396
381		DO 620 JUK=1,NTIME	MAIN 397
382		DO 31 I=1,NMAX	MAIN 398
383	31	AT1(I)=ATO(I,K)	MAIN 399
384		IF(IT.NE.2) GO TO 32	MAIN 400
385		UTO(K)=UTO(K)+ATO(2,K)*FC(1)*TT	MAIN 401
	1	+ATO(3,K)*FC(2)*TT	MAIN 402
	2	+ATO(7,K)*FC(3)*TT	MAIN 403
	3	+ATO(8,K)*FC(4)*TT	MAIN 404
	4	+ATO(9,K)*FC(5)*TT	MAIN 405
	5	+ATO(10,K)*FC(6)*TT	MAIN 406
	6	+ATO(11,K)*FC(7)*TT	MAIN 407
386		AND(K)=AND(K)+ATO(2,K)*YIEL(1)*FC(1)*TT	MAIN 408
	1	+ATO(3,K)*YIEL(2)*FC(2)*TT	MAIN 409
	2	+ATO(7,K)*YIEL(3)*FC(3)*TT	MAIN 410
	3	+ATO(8,K)*YIEL(4)*FC(4)*TT	MAIN 411
	4	+ATO(9,K)*YIEL(5)*FC(5)*TT	MAIN 412
	5	+ATO(10,K)*YIEL(6)*FC(6)*TT	MAIN 413
	6	+ATO(11,K)*YIEL(7)*FC(7)*TT	MAIN 414
	7	+ATO(12,K)*YIEL(8)*(F12+F12M)*TT	MAIN 415
387	32	CONTINUE	MAIN 416
388		AT2(7)=0.	MAIN 417
389		DO 37 L=1,NORDER	MAIN 418
390		IF(IT-2) 631,630,631	MAIN 419
391	631	AT2(4) = DECAY(4,4)*AT1(4)	MAIN 420
392		AT2(5) = DECAY(5,4)*AT1(4)	MAIN 421
393		AT2(6) = DECAY(6,6)*AT1(6)+DECAY(6,15)*AT1(15)	MAIN 422
394		AT2(8) = DECAY(8,16)*AT1(16)	MAIN 423
395		AT2(9) = DECAY(9,17)*AT1(17)	MAIN 424
396		AT2(10) = DECAY(10,10)*AT1(10)+DECAY(10,19)*AT1(19)	MAIN 425
397		AT2(11) = DECAY(11,18)*AT1(18)	MAIN 426
398		AT2(12) = DECAY(12,10)*AT1(10)+DECAY(12,12)*AT1(12)	MAIN 427
399		AT2(13) = DECAY(13,13)*AT1(13)	MAIN 428
400		AT2(14) = DECAY(14,16)*AT1(16)	MAIN 429
401		AT2(15) = DECAY(15,15)*AT1(15)+DECAY(15,18)*AT1(18)	MAIN 430
402		AT2(16) = DECAY(16,16)*AT1(16)	MAIN 431
403		AT2(17) = DECAY(17,17)*AT1(17)	MAIN 432
404		AT2(18) = DECAY(18,13)*AT1(13)+DECAY(18,18)*AT1(18)	MAIN 433
405		AT2(19) = DECAY(19,19)*AT1(19)	MAIN 434

406	DO 632 I=4,NMAX	MAIN 435
407	Z=AT2(I)/FLOAT(L)	MAIN 436
408	ATO(I,K)=ATO(I,K)+Z	MAIN 437
409	632 AT1(I)=Z	MAIN 438
410	GO TO 37	MAIN 439
411	630 CONTINUE	MAIN 440
412	AT2(1)=DECAY(1,1)*AT1(1)	MAIN 441
413	AT2(2)=DECAY(2,2)*AT1(2)+DECAY(2,1)*AT1(1)	MAIN 442
414	AT2(3)=DECAY(3,3)*AT1(3)+DECAY(3,2)*AT1(2)	MAIN 443
415	AT2(4)=DECAY(4,4)*AT1(4)+DECAY(4,3)*AT1(3)+DECAY(4,7)*AT1(7)	MAIN 444
416	AT2(5)=DECAY(5,5)*AT1(5)+DECAY(5,4)*AT1(4)	MAIN 445
417	AT2(6)=DECAY(6,6)*AT1(6)+DECAY(6,5)*AT1(5)+DECAY(6,8)*AT1(8)	MAIN 446
	1 +DECAY(6,15)*AT1(15)	MAIN 447
418	AT2(7)=DECAY(7,7)*AT1(7)+DECAY(7,4)*AT1(4)	MAIN 448
419	AT2(8)=DECAY(8,8)*AT1(8)+DECAY(8,7)*AT1(7)+DECAY(8,16)*AT1(16)	MAIN 449
420	AT2(9)=DECAY(9,9)*AT1(9)+DECAY(9,8)*AT1(8)+DECAY(9,17)*AT1(17)	MAIN 450
421	AT2(10)=DECAY(10,10)*AT1(10)+DECAY(10,9)*AT1(9)+DECAY(10,19)*AT1(19)	MAIN 451
	1 9)	MAIN 452
422	AT2(11)=DECAY(11,11)*AT1(11)+DECAY(11,10)*AT1(10)+DECAY(11,18)*AT1(18)	MAIN 453
	1(18)	MAIN 454
423	AT2(12)=DECAY(12,12)*AT1(12)+DECAY(12,10)*AT1(10)	MAIN 455
424	AT2(13)=DECAY(13,13)*AT1(13)+DECAY(13,12)*AT1(12)	MAIN 456
425	AT2(14)=DECAY(14,14)*AT1(14)+DECAY(14,11)*AT1(11)+DECAY(14,16)*AT1(16)	MAIN 457
	1(16)+DECAY(14,13)*AT1(13)+DECAY(14,18)*AT1(18)	MAIN 458
426	AT2(15)=DECAY(15,15)*AT1(15)+DECAY(15,18)*AT1(18)	MAIN 459
427	AT2(16)=DECAY(16,16)*AT1(16)+DECAY(16,15)*AT1(15)	MAIN 460
428	AT2(17)=DECAY(17,17)*AT1(17)+DECAY(17,16)*AT1(16)+DECAY(17,14)*AT1(14)	MAIN 461
	1(14)	MAIN 462
429	AT2(18)=DECAY(18,18)*AT1(18)+DECAY(18,12)*AT1(12)+DECAY(18,13)*AT1(13)	MAIN 463
	1(13)	MAIN 464
430	AT2(19)=DECAY(19,19)*AT1(19)+DECAY(19,17)*AT1(17)	MAIN 465
431	DO 35 I=1,NMAX	MAIN 466
432	Z=AT2(I)/FLOAT(L)	MAIN 467
433	ATO(I,K)=ATO(I,K)+Z	MAIN 468
434	35 AT1(I)=Z	MAIN 469
435	37 CONTINUE	MAIN 470
436	620 CONTINUE	MAIN 471
437	50 CONTINUE	MAIN 472
438	39 CONTINUE	MAIN 473
439	IF(NFINAL.EQ.0) GO TO 40	MAIN 474
440	WRITE(6,41) IT	MAIN 475
441	41 FORMAT(/ ' TIME STEP ' ,I6)	MAIN 476
442	DO 43 I=1,NMAX	MAIN 477
443	43 WRITE(6,42) NUCLA(I),NUCLB(I),(ATO(I,K),K=1,KMAX)	MAIN 478
444	42 FORMAT(1X,2A4,1P10E12.4/(9X,10E12.4))	MAIN 479
445	40 CONTINUE	MAIN 480
446	IF(NFINAL.EQ.0) GO TO 601	MAIN 481
447	WRITE(6,55)(TIME(I),I=1,3)	MAIN 482
448	55 FORMAT(/ ' TIME ' ,1P7E12.4)	MAIN 483
449	53 FORMAT(/ ' FLUX ' ,7(1P10E12.4))	MAIN 484
450	54 FORMAT(/ ' BURN UP ' ,/(1P10E12.4))	MAIN 485
451	WRITE(6,53) (FLS(K),K=1,KMAX)	MAIN 486
452	WRITE(6,54) (EXPO(K),K=1,KMAX)	MAIN 487
453	DO 403 K=1,KMAX	MAIN 488
454	UTO(K)=UTO(K)+SUMU	MAIN 489
455	AT2(K)=AND(K)/(ATO(1,K)+ATO(2,K)+ATO(3,K)+ATO(7,K))	MAIN 490
456	403 AND(K)=AND(K)/SUMU	MAIN 491
457	WRITE(6,404) (AT2(K),K=1,KMAX)	MAIN 492
458	404 FORMAT(/ 10X, ' ND=148 BUILD UP PER U TOTAL AT END ' /(1P10E12.4))	MAIN 493
459	WRITE(6,400) (UTO(K),K=1,KMAX)	MAIN 494
460	400 FORMAT(/10X, ' U PERCENT BURNUP ' ,/(1P10E12.4))	MAIN 495
461	WRITE(6,401) (AND(K),K=1,KMAX)	MAIN 496

462	401	FORMAT(/10X' ND=148 BUILD UP PER U TOTAL AT BEGINNING ' 1 / (1P10E12,4))	MAIN 497
			MAIN 498
463		CALL PERCE(ATO,NMAX,KMAX)	MAIN 499
464		DO 602 K=1,KMAX	MAIN 500
465	602	AVERV(K)=AVERV(K)/EXPO(K)	MAIN 501
466		WRITE(6,603) (AVERV(K),K=1,KMAX)	MAIN 502
467		WRITE(6,604) (FLXT(K),K=1,KMAX)	MAIN 503
468	604	FORMAT(/ ' FLUX TIME ' / (1P10E12,4))	MAIN 504
469	603	FORMAT(/ ' AVERAGE VOID ' / (1P10E12,4))	MAIN 505
470		GO TO 1000	MAIN 506
471	601	CONTINUE	MAIN 507
472		GO TO 100	MAIN 508
473		END	MAIN 509

1		SUBROUTINE CROS(CROSUA,AL,VOID,BURN,K1)	CROS 1
2		DIMENSION CROSUA( 7,7),AL(7)	CROS 2
3		DO 2 K=1,7	CROS 3
4		AL(K) =CROSUA( 1,K)+(CROSUA( 2,K)+VOID*CROSUA( 3,K))*VOID	CROS 4
		1+((CROSUA( 4,K)+(CROSUA( 5,K)+VOID*CROSUA( 6,K))*VOID)	CROS 5
		2+(CROSUA( 7,K)+(CROSUA( 8,K)+VOID*CROSUA( 9,K))*VOID)*BURN)	CROS 6
		3BURN	CROS 7
5		AL(K)=AL(K)*1.E-24	CROS 8
6	2	CONTINUE	CROS 9
7		RETURN	CROS 10
8		END	CROS 11

1		SUBROUTINE AVER(VOID, A, FLX,FLF, B)	AVER 1
2		COMMON/FNE/FASTE,CT,TEMP(6)	AVER 2
3		DIMENSION B(6)	AVER 3
4		Z=TEMP(1)+VOID*(TEMP(2)+VOID*TEMP(3))	AVER 4
5		W=TEMP(3)+VOID*(TEMP(5)+VOID*TEMP(6))	AVER 5
6		Z=Z*(1.-CT)+W*CT	AVER 6
7		X=(B(1)+VOID*(B(2)+VOID*B(3)))/Z	AVER 7
8		Y=(B(4)+VOID*(B(5)+VOID*B(6)))/FASTE	AVER 8
9		A=(X*FLX+Y*FLF)*1.E-24	AVER 9
10		RETURN	AVER 10
11		END	AVER 11

1		SUBROUTINE FLUX(FLX,AC,W,POWER,T)	FLUX 1
2		DIMENSION AC(7),W(7),FACMPF(7)	FLUX 2
3		DATA FACMPF /196.234 ,200.0 ,193.846 ,203.502	FLUX 3
	1	,200.0 ,205.579 ,200.0 /	FLUX 4
4		DATA FACCO /1.602E-19/	FLUX 5
5		SUM=0.	FLUX 6
6		DO 12 I=1,7	FLUX 7
7	12	SUM=SUM+FACMPF(I)*W(I)*AC(I)	FLUX 8
8		PO=POWER*86400./T	FLUX 9
9		FLX=PO/(FACCO*SUM)	FLUX 10
10		RETURN	FLUX 11
11		END	FLUX 12

1		SUBROUTINE PERCE(ATO,NMAX,KMAX)	PERC 1
2		DIMENSION ATO(20,15),U(5,15),PU(5,15)	PERC 2
3		COMMON /NUNAME/ NUCLA(20),NUCLB(20)	PERC 3

4	DO 1 K=1,KMAX	PERC 4
5	Z=ATO(1,K)+ATO(2,K)+ATO(3,K)+ATO(7,K)	PERC 5
6	Y=ATO(8,K)+ATO(9,K)+ATO(10,K)+ATO(6,K)+ATO(11,K)	PERC 6
7	Z=0.01*Z	PERC 7
8	Y=0.01*Y	PERC 8
9	U(1,K)=ATO(1,K)/Z	PERC 9
10	U(2,K)=ATO(2,K)/Z	PERC 10
11	U(3,K)=ATO(3,K)/Z	PERC 11
12	U(4,K)=ATO(7,K)/Z	PERC 12
13	PU(1,K)=ATO(6,K)/Y	PERC 13
14	PU(2,K)=ATO(8,K)/Y	PERC 14
15	PU(3,K)=ATO(9,K)/Y	PERC 15
16	PU(4,K)=ATO(10,K)/Y	PERC 16
17	PU(5,K)=ATO(11,K)/Y	PERC 17
18	Z=Z*100.	PERC 18
19	DO 2 I=1,NMAX	PERC 19
20	2 ATO(I,K)=ATO(I,K)/Z	PERC 20
21	1 CONTINUE	PERC 21
22	WRITE(6,10)	PERC 22
23	10 FORMAT(/ 30X ' PERCENT OF U AND PU ' POSITION U-234	PERC 23
	1 U-235 U-236 U-238 PU238 PU239 PU244	PERC 24
	20 PU241 PU242 ')	PERC 25
24	DO 7 K=1,KMAX	PERC 26
25	16 FORMAT(1X,2A4,1P10E12.4/(9X,10E12.4))	PERC 27
26	7 WRITE(6,5) K,(U(I,K),I=1,4), (PU(I,K), I=1,5)	PERC 28
27	5 FORMAT( 2X,15,2X,1P10E12.4)	PERC 29
28	WRITE(6,17)	PERC 30
29	17 FORMAT(/' PERCENT TO TOTAL U ')	PERC 31
30	DO 15 I=1,NMAX	PERC 32
31	15 WRITE(6,16) NUCLA(I),NUCLB(I),(ATO(I,K),K=1,KMAX)	PERC 33
32	RETURN	PERC 34
33	END	PERC 35



TRANSPLUTONIUM CAL. EF A=20  
 KMAX 12 NMAX 19 NORDEN 80

FLUX RATIO 2.4048E 00 -2.3443E 00 9.3413E-01 0.0 0.0 0.0  
 NEUTRON VELOCITY 2.0407E 00 -4.8293E-01 1.9394E-01 0.0 0.0 0.0  
 PEAKING FACTOR  
 1.0000E 00 1.0000E 00 1.0000E 00 1.0000E 00 1.0000E 00 1.0000E 00 1.0000E 00 1.0000E 00  
 1.0000E 00 1.0000E 00

FASTE 9.5880E 00 ALIM 1.5000E 01 BURNUP 0.0 VOIDF 0.0  
 U234 1.4200E-02 U235 2.6300E 00 U236 1.5000E-02 U238 9.7341E 01

CRUS SECTION	U234	U235	U236	U238	VOIDF	U238
U234	9.5000E 01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
U237	5.0000E 02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NP237	1.7000E 02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM241	1.9000E-02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM241	7.4800E 02	0.0	1.3300E 03	0.0	0.0	0.0
AM241	3.1500E 00	0.0	2.1000E 01	0.0	0.0	0.0
AM242	8.3800E 01	0.0	2.6800E 02	0.0	0.0	0.0
AM242	2.0000E 01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AM243	7.3000E 01	0.0	1.5000E 02	0.0	0.0	0.0
CM242	2.0000E 01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM243	5.0000E 00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CM242M	1.0720E 02	0.0	2.3450E 03	0.0	0.0	0.0
U238N	7.2000E 03	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PU238	6.0450E 02	0.0	1.5000E 02	0.0	0.0	0.0
CM244	2.3000E 01	0.0	6.0500E 02	0.0	0.0	0.0
CM245	2.9000E 03	0.0	8.9700E 02	0.0	0.0	0.0

INITIAL WEIGHT (ATOMIC NUMBER)	3.5949E 23	3.5949E 23	3.5949E 23	3.5949E 23	3.5949E 23	3.5949E 23	3.5949E 23	3.5949E 23
3.5949E 23	3.5949E 23	3.5949E 23	3.5949E 23	3.5949E 23	3.5949E 23	3.5949E 23	3.5949E 23	3.5949E 23
3.5949E 23	3.5949E 23	3.5949E 23	3.5949E 23	3.5949E 23	3.5949E 23	3.5949E 23	3.5949E 23	3.5949E 23
6.6582E 25	6.6582E 25	6.6582E 25	6.6582E 25	6.6582E 25	6.6582E 25	6.6582E 25	6.6582E 25	6.6582E 25
3.7975E 23	3.7975E 23	3.7975E 23	3.7975E 23	3.7975E 23	3.7975E 23	3.7975E 23	3.7975E 23	3.7975E 23
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.4643E 27	2.4643E 27	2.4643E 27	2.4643E 27	2.4643E 27	2.4643E 27	2.4643E 27	2.4643E 27	2.4643E 27
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0



44-08-01 A-20 43.47 756.17

TIME STEP	1																			
	3.5940E 23	3.5932E 23	3.5929E 23	3.5928E 23	3.5927E 23	3.5928E 23	3.5930E 23	3.5932E 23	3.5934E 23	3.5937E 23	6.6381E 25	6.6332E 25	6.6330E 25	6.6339E 25	6.6355E 25	6.6376E 25	6.6400E 25	6.6436E 25	6.6483E 25	6.6525E 25
U234	3.5940E 23	3.5932E 23	3.5929E 23	3.5928E 23	3.5927E 23	3.5928E 23	3.5930E 23	3.5932E 23	3.5934E 23	3.5937E 23	6.6381E 25	6.6332E 25	6.6330E 25	6.6339E 25	6.6355E 25	6.6376E 25	6.6400E 25	6.6436E 25	6.6483E 25	6.6525E 25
U235	6.6476E 25	6.6518E 25	6.6532E 25	6.6534E 25	6.6530E 25	6.6539E 25	6.6555E 25	6.6576E 25	6.6600E 25	6.6636E 25	9.1706E 23	4.2513E 23	4.2838E 23	4.2748E 23	4.2476E 23	4.2106E 23	4.1642E 23	4.0945E 23	3.9965E 23	3.8238E 19
U236	3.9917E 23	4.0979E 23	4.2513E 23	4.2838E 23	4.2748E 23	4.2476E 23	4.2106E 23	4.1642E 23	4.0945E 23	3.9965E 23	1.0399E 20	1.2982E 20	1.5136E 20	1.6343E 20	1.6618E 20	1.6181E 20	1.5249E 20	1.3823E 20	1.1344E 20	7.6238E 19
U237	4.7882E 19	7.7710E 19	1.2982E 20	1.5136E 20	1.6343E 20	1.6618E 20	1.6181E 20	1.5249E 20	1.3823E 20	1.1344E 20	4.5419E 19	5.6553E 19	6.5793E 19	7.0996E 19	7.2226E 19	7.0412E 19	6.6468E 19	6.0383E 19	4.9719E 19	3.5059E 19
NP237	3.4039E 19	3.5059E 19	3.5793E 19	3.6553E 19	3.7096E 19	3.7226E 19	3.6468E 19	3.5793E 19	3.5059E 19	3.4039E 19	1.4123E 16	1.9963E 16	2.4900E 16	2.7077E 16	2.6467E 16	2.3938E 16	2.0474E 16	1.6309E 16	1.0768E 16	8.7074E 15
PU238	3.5280E 15	8.7074E 15	1.0768E 16	1.6309E 16	2.0474E 16	2.3938E 16	2.6467E 16	2.7077E 16	2.7226E 16	2.6467E 16	2.4642E 17	2.4642E 17	2.4642E 17	2.4642E 17	2.4642E 17	2.4642E 17	2.4642E 17	2.4642E 17	2.4642E 17	2.4642E 17
U239	2.4642E 17	2.4642E 17	2.4642E 17	2.4642E 17	2.4642E 17	2.4642E 17	2.4642E 17	2.4642E 17	2.4642E 17	2.4642E 17	7.9985E 22	9.5588E 22	1.0745E 23	1.1289E 23	1.1254E 23	1.0799E 23	1.0069E 23	9.0634E 22	7.4285E 22	5.0218E 22
PU239	3.9908E 22	6.2603E 22	7.9985E 22	9.5588E 22	1.0745E 23	1.1289E 23	1.1254E 23	1.0799E 23	1.0069E 23	9.0634E 22	1.3802E 20	1.9082E 20	2.3390E 20	2.5123E 20	2.4362E 20	2.1945E 20	1.8703E 20	1.4888E 20	9.8511E 19	4.4509E 19
PU240	3.5866E 19	8.7086E 19	1.0768E 16	1.6309E 16	2.0474E 16	2.3938E 16	2.6467E 16	2.7077E 16	2.7226E 16	2.6467E 16	1.3802E 20	1.9082E 20	2.3390E 20	2.5123E 20	2.4362E 20	2.1945E 20	1.8703E 20	1.4888E 20	9.8511E 19	4.4509E 19
U241	6.6767E 16	2.1446E 17	2.4642E 17	2.4642E 17	2.4642E 17	2.4642E 17	2.4642E 17	2.4642E 17	2.4642E 17	2.4642E 17	4.5519E 17	7.7509E 17	1.0976E 18	1.2682E 18	1.2508E 18	1.1001E 18	8.8742E 17	6.4405E 17	3.5291E 17	1.0552E 17
U242	2.1070E 13	1.2482E 14	1.7457E 14	3.2667E 13	3.7903E 10	1.8777E 11	3.3271E 11	4.0700E 11	3.2597E 11	2.2597E 11	3.1781E 14	6.1778E 14	9.4208E 14	1.1004E 15	1.0449E 15	8.5448E 14	6.2448E 14	3.9734E 14	1.7457E 14	3.2667E 13
AN241	1.3968E 13	5.3834E 13	1.7457E 14	3.2667E 13	3.7903E 10	1.8777E 11	3.3271E 11	4.0700E 11	3.2597E 11	2.2597E 11	1.1198E 14	1.9069E 14	2.7004E 14	3.1205E 14	3.0777E 14	2.7088E 14	2.1835E 14	1.5846E 14	8.6825E 13	2.6703E 13
AM242M	9.4497E 04	5.6360E 09	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.4587E 10	2.8865E 10	4.4783E 10	5.3184E 10	5.1255E 10	4.2515E 10	3.1487E 10	2.0292E 10	9.0106E 09	1.5384E 09
AM243	2.4502E 09	2.5139E 10	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	7.7903E 10	1.8777E 11	3.3271E 11	4.0700E 11	3.2597E 11	2.2597E 11	1.3142E 11	7.9373E 10	4.7861E 10	6.6639E 09
CM242	3.8163E 09	2.2759E 10	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	5.8716E 10	1.1577E 11	1.7896E 11	2.1184E 11	2.0326E 11	1.6793E 11	1.2392E 11	7.9373E 10	3.5203E 10	7.2326E 09
CM243	6.9484E 04	6.5270E 03	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	2.1464E 06	5.0350E 06	8.7038E 06	1.0739E 07	1.0249E 07	8.0875E 06	5.5591E 06	3.1883E 06	1.1516E 06	1.5940E 03
CM244	2.5997E 05	8.5732E 06	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	3.6433E 07	1.0585E 08	2.1210E 08	2.8242E 08	2.7363E 08	2.1085E 08	1.3637E 08	7.1445E 07	2.1329E 07	2.0065E 06
AM242	3.1058E 09	1.8517E 10	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	4.7762E 10	9.4135E 10	1.4553E 11	1.7210E 11	1.6528E 11	1.3658E 11	1.0078E 11	6.4725E 10	2.8440E 10	5.8857E 09
CM245	2.9432E 01	7.0054E 02	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	3.9321E 03	1.3747E 04	3.1106E 04	4.3634E 04	4.2247E 04	3.1234E 04	1.8882E 04	8.9090E 03	2.9432E 01	7.0054E 02
1.1861E 03	1.3853E 02	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04	1.5940E 04										

ABSORPTION CROSS SECTION

5.4231E-23	3.2782E-24	3.3793E-23	2.8543E-22	9.7046E-23	3.6053E-22	3.6564E-24	1.0042E-21	9.7318E-22	9.7567E-22
1.2037E-22	5.6497E-22	5.6222E-21	2.8026E-22	2.6477E-23	8.5321E-22	7.5888E-23	2.6977E-23	1.7485E-21	

FISSION CROSS SECTION

1.8068E-24	3.9766E-24	4.2730E-21	4.2814E-26	2.8543E-24	3.9960E-22	1.1417E-25	0.0	1.6740E-24	6.7235E-22
0.0	2.6796E-22	6.5603E-25	1.7126E-22	1.0846E-26	0.0	3.3829E-25	6.3856E-22	1.6740E-24	6.7235E-22

DESTRUCTIVE MATRIX

-4.5418E-10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.2418E-10	-2.7435E-09	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	5.0137E-10	-2.8301E-10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	2.7722E-10	-1.1910E-06	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1886E-06	-8.1275E-10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0



U234	3.5895E 23	3.5862E 23	3.5835E 23	3.5810E 23	3.5791E 23	3.5780E 23	3.5774E 23	3.5776E 23	3.5790E 23	3.5814E 23
U235	6.5981E 25	6.5961E 25	6.5936E 25	6.5914E 25	6.4800E 25	6.4657E 25	6.4578E 25	6.4594E 25	6.4743E 25	6.5006E 25
U236	6.5362E 25	6.5716E 25	6.7446E 25	7.1490E 25	7.4855E 25	7.6839E 25	7.6961E 25	7.4400E 25	6.9933E 25	6.9933E 25
U237	6.282E 23	5.410E 23	5.3414E-44	7.6605E-44	9.9322E-44	1.1966E-43	1.3622E-43	1.4356E-43	1.3566E-43	1.1407E-43
NP237	6.3096E 20	7.6235E 20	1.1264E 21	1.9933E 21	2.5603E 21	2.6480E 21	2.7696E 21	2.6278E 21	2.2448E 21	2.2448E 21
PU238	3.3007E 17	9.4046E 17	1.7405E 18	2.8978E 18	4.0871E 18	5.1230E 18	5.8826E 18	6.0334E 18	5.2941E 18	3.9139E 18
U238	2.4841E 27	2.4639E 27	2.4638E 27	2.4636E 27	2.4635E 27	2.4634E 27	2.4633E 27	2.4633E 27	2.4633E 27	2.4633E 27
PU239	2.2326E 23	3.6244E 23	4.8913E 23	6.2168E 23	7.3224E 23	8.1809E 23	8.7934E 23	8.9943E 23	8.5797E 23	7.5688E 23
PU240	1.1314E 21	2.4833E 21	5.3394E 21	8.4130E 21	1.1345E 22	1.3768E 22	1.5483E 22	1.5777E 22	1.3995E 22	1.0641E 22
PU241	6.4143E 14	3.6397E 19	9.0021E 19	1.8605E 20	3.0512E 20	4.2580E 20	5.2774E 20	5.6138E 20	4.8253E 20	3.2685E 20
PU242	2.1295E 16	1.5990E 17	4.8881E 17	1.2438E 18	2.3181E 18	3.4885E 18	4.9901E 18	4.7197E 18	3.7307E 18	2.1503E 18
AM241	1.7016E 18	7.3598E 18	1.8202E 19	3.7615E 19	6.1685E 19	8.6077E 19	1.0668E 20	1.1351E 20	9.7530E 19	6.6065E 19
AM242M	4.5870E 12	3.1610E 13	1.0189E 14	2.5725E 14	4.7956E 14	7.2245E 14	9.3151E 14	9.8656E 14	7.9394E 14	4.7007E 14
AM243	1.4056E 15	1.5290E 14	7.3941E 14	2.4871E 15	5.6751E 15	9.8725E 15	1.4063E 16	1.5483E 16	1.1877E 16	6.1092E 15
CM242	6.3935E 10	5.8544E 11	1.9078E 12	4.8422E 12	9.0738E 12	1.3710E 13	1.7664E 13	1.8612E 13	1.4850E 13	8.6745E 12
CM243	2.817E 09	3.2226E 10	1.4209E 11	4.6038E 11	1.0146E 12	1.7057E 12	2.9522E 12	2.5216E 12	1.9018E 12	9.7028E 11
CM244	1.5397E 10	2.3718E 11	1.8328E 12	4.0527E 12	2.1921E 13	4.3003E 13	6.8268E 13	7.4845E 13	5.4690E 13	2.4667E 13
AM242	2.4844E 07	3.7794E 08	1.2182E 09	3.0757E 09	5.7338E 09	8.6379E 09	1.1138E 10	1.1796E 10	9.4927E 09	5.6203E 09
CM245	5.4284E 06	1.6932E 08	1.4437E 09	8.0722E 09	2.6124E 10	5.7643E 10	9.5929E 10	1.1108E 11	7.7379E 10	3.0690E 10
TIME	0.0	7.5600E 02	3.4320E 04							
FLUX	8.3749E 12	1.3730E 13	1.8328E 13	2.2873E 13	2.8696E 13	3.0224E 13	3.0213E 13	2.7979E 13	2.3861E 13	
	1.8322E 13	1.1823E 13								
BURN UP	1.9379E-01	3.1176E-01	4.1878E-01	5.1677E-01	5.8955E-01	6.3888E-01	6.6639E-01	6.8173E-01	6.1231E-01	5.2419E-01
	6.0329E-01	2.6266E-01								
	NO-148 BUILT UP PER U TOTAL AT END									
	3.6731E-04	3.9601E-04	7.8673E-04	9.7214E-04	1.1106E-03	1.2048E-03	1.2590E-03	1.2518E-03	1.1595E-03	9.9342E-04
	7.6841E-04	4.9803E-04								
	U PERCENT BURNUP									
	2.1275E-02	3.4906E-02	4.5500E-02	5.6156E-02	6.4079E-02	6.9434E-02	7.2484E-02	7.2002E-02	6.6441E-02	5.7036E-02
	4.4110E-02	2.8580E-02								
	NO-148 BUILT UP PER U TOTAL AT BEGINNING									
	3.6735E-04	2.9511E-04	7.8634E-04	9.7151E-04	1.1098E-03	1.2038E-03	1.2579E-03	1.2507E-03	1.1386E-03	9.9273E-04
	7.802E-04	4.9789E-04								
POSITION	U-234	U-235	U-236	U-238	PU238	PU239	PU240	PU241	PU242	PU242
1	1.4183E-02	2.8070E 00	1.9329E-02	9.7359E 01	1.4709E-04	9.4691E 01	3.0418E-01	3.7897E-03	7.4095E-05	7.4095E-05
2	1.4172E-02	2.5926E 00	2.2018E-02	9.7371E 01	2.3186E-04	9.4173E 01	9.1831E-01	9.9391E-03	4.1016E-03	4.1016E-03
	PERCENT OF U AND PU									

3	1.4164E-02	2.5814E 00	2.4309E-02	9.7380E 01	3.5193E-04	9.8902E 01	1.0796E 00	1.8202E-02	9.8837E-03	
4	1.4156E-02	2.5701E 00	2.6583E-02	9.7389E 01	4.5975E-04	9.8633E 01	1.3348E 00	2.9519E-02	1.9734E-04	
5	1.4150E-02	2.5619E 00	2.8343E-02	9.7396E 01	5.4943E-04	9.8433E 01	1.5250E 00	4.1017E-02	3.1162E-04	
6	1.4147E-02	2.5565E 00	2.9597E-02	9.7400E 01	6.1594E-04	9.8294E 01	1.6542E 00	5.1160E-02	4.1914E-04	
7	1.4145E-02	2.5535E 00	3.0383E-02	9.7402E 01	6.5701E-04	9.8211E 01	1.7292E 00	5.8942E-02	5.0149E-04	
8	1.4144E-02	2.5541E 00	3.0431E-02	9.7401E 01	6.5903E-04	9.8215E 01	1.7228E 00	6.1322E-02	5.1537E-04	
9	1.4131E-02	2.5595E 00	2.9432E-02	9.7397E 01	6.0681E-04	9.8340E 01	1.6041E 00	5.5307E-02	4.2762E-04	
10	1.4158E-02	2.5699E 00	2.7489E-02	9.7388E 01	5.0972E-04	9.8571E 01	1.3858E 00	4.2567E-02	2.8007E-04	
11	1.4168E-02	2.5835E 00	2.4754E-02	9.7378E 01	3.8111E-04	9.8889E 01	1.0837E 00	2.6583E-02	1.5448E-04	
12	1.4179E-02	2.5998E 00	2.1379E-02	9.7365E 01	2.3533E-04	9.9277E 01	7.1163E-01	1.1581E-02	3.7766E-05	
	PERCENT	TO TOTAL								
U234	1.4183E-04	1.4172E-04	1.4164E-04	1.4156E-04	1.4150E-04	1.4147E-04	1.4145E-04	1.4146E-04	1.4151E-04	1.4158E-04
	1.4168E-04	1.4179E-04	2.5812E-02	2.5701E-02	2.5619E-02	2.5597E-02	2.5535E-02	2.5541E-02	2.5595E-02	2.5699E-02
U235	2.6070E-02	2.5928E-02	2.5998E-02	2.6018E-04	2.6343E-04	2.9597E-04	3.0383E-04	3.0431E-04	3.0431E-04	2.9432E-04
U236	1.9329E-04	2.4018E-04	2.4754E-04	2.4378E-04	2.4754E-04	2.4754E-04	2.4754E-04	2.4754E-04	2.4754E-04	2.4754E-04
U237	7.5560E-72	1.3852E-71	2.1112E-71	3.0283E-71	3.9267E-71	4.7313E-71	5.3862E-71	5.6765E-71	5.3637E-71	4.5094E-71
NP237	2.2986E-71	1.5464E-71	4.4521E-07	6.2035E-07	7.8808E-07	9.3325E-07	1.0470E-06	1.0951E-06	1.0390E-06	8.8745E-07
PU238	1.3042E-10	3.6375E-10	6.8794E-10	1.1455E-09	1.6159E-09	2.0256E-09	2.3240E-09	2.3863E-09	2.0932E-09	1.5473E-09
U238	9.1677E-10	3.7445E-10	9.7380E-01	9.7389E-01	9.7396E-01	9.7400E-01	9.7402E-01	9.7401E-01	9.7397E-01	9.7388E-01
PU239	8.8244E-05	1.4323E-04	1.9333E-04	2.4576E-04	2.8950E-04	3.2346E-04	3.4770E-04	3.5565E-04	3.3923E-04	2.9922E-04
PU240	2.3788E-04	1.5796E-04	2.1104E-06	3.3257E-06	4.4852E-06	5.4437E-06	6.1221E-06	6.2383E-06	5.5334E-06	4.2066E-06
PU241	6.6070E-06	1.1323E-06	3.5581E-06	7.3544E-06	1.2063E-07	1.6836E-07	2.0868E-07	2.2206E-07	1.9079E-07	1.2921E-07
PU242	8.4138E-12	5.8237E-11	1.9320E-10	4.9169E-10	9.1649E-10	1.3793E-09	1.7755E-09	1.8662E-09	1.4751E-09	8.5017E-10
AM241	6.7232E-10	2.9085E-09	7.1942E-09	1.4870E-08	2.4388E-08	3.4034E-08	4.2181E-08	4.4883E-08	3.8562E-08	2.6118E-08
AM242M	1.8124E-15	1.7492E-14	4.0270E-14	1.0169E-13	1.8960E-13	2.8565E-13	3.6833E-13	3.9010E-13	3.1391E-13	1.8593E-13
AM243	7.2846E-14	1.5924E-14	2.9225E-13	9.8516E-13	2.2437E-12	3.9035E-12	5.5607E-12	6.1220E-12	4.8961E-12	2.4136E-12
CM242	7.3342E-13	9.0337E-14	7.5406E-16	1.9142E-15	3.5874E-15	5.4208E-15	6.9844E-15	7.3593E-15	5.8715E-15	3.4293E-15
CM243	1.3277E-15	2.4926E-16	5.6162E-17	1.8199E-16	4.0112E-16	6.7441E-16	9.3009E-16	9.9709E-16	7.5196E-16	3.8358E-16
CM244	1.1629E-16	1.4300E-17	7.3233E-16	3.1833E-15	8.6668E-15	1.7003E-14	2.6203E-14	2.9595E-14	2.1623E-14	9.7519E-15
AM242	2.1670E-20	1.4936E-19	4.8149E-19	1.2159E-18	2.2669E-18	3.4133E-18	4.4039E-18	4.6642E-18	3.7533E-18	2.2219E-18
CM245	8.7098E-19	1.8848E-19	5.7062E-19	3.1910E-18	1.0328E-17	2.2792E-17	3.7932E-17	4.3923E-17	3.0593E-17	1.2133E-17
	2.2987E-18	1.2263E-19								
	AVERAGE	VOID								
	1.0000E 00	9.6761E-01	8.6443E-01	7.3813E-01	6.8148E-01	6.3319E-01	5.9072E-01	5.5328E-01	5.2136E-01	
	4.9582E-01	4.7766E-01								
	FLUX	TIME								
	2.7686E 19	4.4893E 19	5.9116E 19	7.2834E 19	8.2947E 19	8.9703E 19	9.3466E 19	9.2686E 19	8.5654E 19	7.3247E 19
	5.0584E 19	3.6652E 19								