

FP - S

核分裂生成物生成量計算コード

---

1971年12月

---

日本原子力研究所

Japan Atomic Energy Research Institute

日本原子力研究所は、研究成果、調査結果などを JAERI レポートとして、つぎの 4 種に分けそれぞれの通し番号を付し、不定期に刊行しております。

- |         |                                |             |
|---------|--------------------------------|-------------|
| 1. 研究報告 | まとまった研究の成果あるいはその一部における重要な結果の報告 | JAERI 1001- |
| 2. 調査報告 | 総説・展望・調査の結果などをまとめたもの           | JAERI 4001- |
| 3. 年報   | 研究・開発その他の活動状況などの報告             | JAERI 5001- |
| 4. 資料   | 施設の概要や手引きなど                    | JAERI 6001- |

このうち既刊分については「JAERI レポート一覧」にタイトル・要旨をまとめて掲載し、また新刊レポートは「研究成果要旨集」(隔月刊)で逐次紹介しています。

これらのリスト・研究報告書の入手および複写・翻訳などのご要求は、日本原子力研究所技術情報部(茨城県那珂郡東海村)に申しこんでください。

---

Japan Atomic Energy Research Institute publishes the nonperiodical reports with the following classification numbers:

1. JAERI 1001- Research reports
2. JAERI 4001- Survey reports and reviews
3. JAERI 5001- Annual reports
4. JAERI 6001- Manuals etc.

Requests for the above publications, and reproduction and translation should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan

## FP-S: 核分裂生成物生成量計算コード

日本原子力研究所 東海研究所

田坂完二・笹本宣雄

1970年12月11日 受理

### 要 旨

FPの生成量を照射時間および冷却時間の関数として各核種毎に計算するコード「FP-S」を開発した。取り扱った核種は放射性核種が199核種、安定核種が78核種である。生成量の計算は冷却挙動を示すBatemanの式およびその積分形をくり返し使用して解析的に行なった。

計算上行なった主な仮定は、燃焼が進行しても核分裂収率は変化しないということと、FPの中性子捕獲による崩壊の無視という二点である。FPの中性子捕獲の考慮や燃焼の進行にともなう核分裂収率の取り扱い等、各種の目的に応じたプログラムはこの基本プログラムをわずかに修正することによって作ることができる。

FPの生成量が求められるとこれを使って各時点における放射能強度、 $\gamma$ 線および $\beta$ 線のエネルギースペクトル、FP全体の崩壊熱、気体状FPによる燃料ピン内ガス溜の内圧などを計算することができる。

## FP-S: Program for Calculation of Atomic Density for Each Fission Product Nuclide

Kanji TASAKA and Nobuo SASAMOTO

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

Received December 11, 1970

### Abstract

The program FP-S has been developed for the calculation of atomic density for each FP nuclide. Irradiation and cooling time may be chosen arbitrarily.

199 radioactive nuclides and 78 stable nuclides are treated in the program. Calculations of atomic densities are performed analytically, using BATEMAN's equation, which describes the cooling behavior of radioactive nuclide in a decay chain, and its integrated form repeatedly. Two assumptions are used in the calculation; (1) fission yield does not change through the irradiation time, and (2) decay of FP through the capture of neutron is not taken into account. The above assumptions may be removed with the slight modification of the program FP-S.

If atomic densities of FP nuclides are computed by the program FP-S, we can calculate the total radioactivity of FP, energy spectrum of  $\beta$ - or  $\gamma$ - ray, and the overall decay heat of FP, etc.

## 目 次

1. 序 論 .....	1
2. 解 法 .....	1
3. 核データ .....	4
4. 入力, 出力形式 .....	4
5. 計算例およびチェック .....	6
6. 考察および結語 .....	9
謝 辞 .....	10
文 献 .....	10
Appendix 1 取扱い FP 核種リスト .....	11
1.1 同位元素毎のリスト .....	11
1.2 核種指定番号順のリスト .....	12
Appendix 2 崩壊系列の分類 .....	13
Appendix 3 インプット例 .....	14
Appendix 4 アウトプット例 .....	17

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Method of calculation.....	1
3. Nuclear data necessary for calculation .....	4
4. Description of input and output data.....	4
5. Sample calculation and examination of results .....	6
6. Discussion and conclusion .....	9
Acknowledgement .....	10
References .....	10
Appendix 1 List of FP nuclides treated in the program .....	11
1.1 Nuclide list arranged in accordance with atomic numbers .....	11
1.2 List of nuclides arranged by the program.....	12
Appendix 2 17 Decay chains available in the program .....	13
Appendix 3 Input data list of sample calculation.....	14
Appendix 4 Output data list of sample calculation .....	17

## 1. 序 論

現在まで多くの人々によって核分裂生成物の生成量の計算がなされてきた。代表的なものとして J. O. BLOMEKE<sup>5)</sup> らによるものと, LESLIE BURRIS JR.<sup>6)</sup> らによる計算をあげることができる。これらはいずれも照射時間および冷却時間の関数として核分裂生成物の生成量を求めているが, 生成量計算の出発点になる生成崩壊方程式において崩壊の項と核分裂による生成の項を同時に表現し, 崩壊系列の最初の核種から出発し順次系列中の核種の生成量を計算したり, Runge-Kutta 法により直接微分方程式を数値解法によって解いている。したがって系列が長かったり, 分岐, 合流が複雑な崩壊系列に対しては一般解を求めることが大変煩雑かつ困難なことになり, 特に Runge-Kutta 法を使った場合は誤差も蓄積される。事実 BLOMEKE らは複雑な系列については解の煩雑さをさけるため, 適当な近似を使って崩壊系列を簡素化している。そこで我々はできるだけ近似を使わず解析的にしかも誤差を少なく FP の生成量を計算する方法はないかと考えたわけであり, 以下の章にその概要を示す。

2. の解法が本稿の主要部であり, まず 2.1 では  $n$  段の

逐次崩壊方程式における第  $n$  番目の核種の冷却挙動が Bateman 関数<sup>\*</sup>) の重ね合わせとして, 冷却時間と  $n$  個の核種の崩壊定数および初期値を使って表わされることが示される。

2.2 では FP の核分裂による生成項の取扱いについて述べられる。ある時点でできた FP がさらにある時点まで冷却されて残存している量を照射時間にわたって加え合わせたのが核分裂による FP の生成量であることに着目し, 生成挙動を積分 Bateman 関数の重ね合わせとして与える。続く 2.3 および 2.4 では分岐, 合流の取扱いおよび安定核種の取扱いについて述べてあり, それらも結局は Bateman 関数およびその積分形の重ね合わせとして表現される。3. では, コードの入力として使用されている半減期, 核分裂収率等の核データの出所が明らかにされる。4. ではコードの入出力形式について述べられ, 5. では本コードによる計算例が示され, その結果を筆算による解析解と比較して本コードの手法の正しさを確認している。

\* (4-3)式および(10-1)式参照

## 2. 解 法

核分裂生成物の生成挙動を記述する生成崩壊微分方程式は線型一次微分方程式であり, したがって解の重ね合わせを行なうことができる。そこでこの方程式を解く際に, 初期値のみを考慮する場合と, 核分裂による生成のみを考慮する場合について別々に取り扱う。初期値のみによる崩壊方程式の解は Bateman の一般解<sup>1)</sup>によって与えられる。また核分裂による生成の項は Bateman の一般解を照射時間にわたって時間積分した形として求められる。これら二つの解を加え合わせたものが生成崩壊方程式の一般解となる。

Bateman の式が任意の長さの崩壊系列に対して解析解として表わされるので, どんなに  $\beta$  崩壊系列が長くてもまたどんなに複雑な分岐をしていても, それを適当に単純な崩壊系列に分解し, それぞれ独立に計算した後解を重ね合わせることによって容易に一般解を求めることができる。

### 2.1 逐次崩壊方程式と Bateman の一般解

つぎのような  $n$  段の逐次崩壊系列を考える。

$$\begin{array}{ccccccc} \lambda_1 & & \lambda_2 & & & \lambda_i & & \lambda_n \\ X_1 \longrightarrow & X_2 \longrightarrow & \cdots \longrightarrow & X_i \longrightarrow & \cdots \longrightarrow & X_n \end{array}$$

ここで  $X_i$  は放射性核種であり,  $\lambda_i$  はその崩壊定数である。  $X_i$  に対する崩壊方程式は次式で与えられる。

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \quad (i=1) \quad (1)$$

$$\frac{dN_i}{dt} = -\lambda_i N_i + \lambda_{i-1} N_{i-1} \quad (i=2, 3, \dots, n) \quad (2)$$

(1)式より  $N_1$  の初期値を  $N_1^0$  とすれば  $N_1$  は冷却時間  $t$  に対して次式で与えられる。

$$N_1 = N_1^0 e^{-\lambda_1 t} \quad (3)$$

(3)式の  $N_1$  を(2)式に代入して  $i=2$  とすれば  $N_2$  が求まり, さらにそれを(2)式の  $N_{i-1}$  に代入して  $i=3$  とおくことにより  $N_3$  が求まる。同様に  $N_4, N_5, \dots$  と逐次求めていけば, 第  $n$  番目に  $N_n$  が求められる。この方程式の一般解を与えたのが Bateman でありつぎのように表現される。

$X_1$  の初期値を  $N_1^0$  とし, 他の核種の初期値はすべて 0 であるとする。すなわち

$$N_1^0 \neq 0, \quad N_2^0 = N_3^0 = \dots = N_n^0 = 0$$

この時, 方程式(1), (2)の一般解は Bateman によってつぎのように与えられた。

$$N_1 = N_1^0 e^{-\lambda_1 t}$$

$$N_n = C_1 e^{-\lambda_1 t} + C_2 e^{-\lambda_2 t} + \dots + C_n e^{-\lambda_n t} \quad (n \geq 2) \tag{4-1}$$

$$C_1 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_{n-1}}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1) \dots (\lambda_n - \lambda_1)} N_1^0 \tag{4-2}$$

$$C_2 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_{n-1}}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2) \dots (\lambda_n - \lambda_2)} N_1^0$$

$$C_n = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_{n-1}}{(\lambda_1 - \lambda_n)(\lambda_2 - \lambda_n) \dots (\lambda_{n-1} - \lambda_n)} N_1^0$$

これをもう少し簡潔に表現すれば次のようになる。

$$N_n = N_1^0 \cdot B_n(t; \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) \tag{4-3}$$

$$B_n(t; \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) = \sum_{i=1}^n d_i e^{-\lambda_i t}$$

$$d_i = \frac{\prod_{k=1}^{n-1} \lambda_k}{\prod_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n (\lambda_k - \lambda_i)} \quad (n \geq 2)$$

$$B_1(t; \lambda_1) = e^{-\lambda_1 t} \quad (n=1)$$

上式  $B_n$  において、 $t$  は冷却時間、 $n$  は崩壊系列の長さ、 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  は崩壊系列の先頭から順に  $n$  個の核種の崩壊定数をあらわしている。Bateman 関数  $B_n$  は Bateman にちなんで命名した。

したがって (4-3) 式によって  $X_1$  のみに初期値  $N_1^0$  が存在する時、 $t$  時間経過した時の  $X_n$  の存在量が求められることになる。それでは  $X_i (i=1, 2, \dots, n)$  がすべて初期値をもっていた時はどうなるであろうか。その場合には、 $X_1$  のみが初期値  $N_1^0$  をもつ時、 $X_2$  のみが初期値  $N_2^0$  をもつ時などをそれぞれ別個に計算し、そのあとでそれらの解を加えあわせればよい。つまり崩壊系列をつぎのように分解するわけである。

$$\begin{aligned} X_1 \rightarrow \boxed{X_2} \rightarrow X_3 \rightarrow \dots \rightarrow X_{n-1} \rightarrow X_n \rightarrow ; \\ N_1^0 \neq 0, N_i^0 = 0 \quad (i \neq 1) \\ X_2 \rightarrow \boxed{X_3} \rightarrow X_4 \rightarrow \dots \rightarrow X_{n-1} \rightarrow X_n \rightarrow ; \\ N_2^0 \neq 0, N_i^0 = 0 \quad (i \neq 2) \\ \dots \dots \dots \\ X_n \rightarrow ; N_n^0 \neq 0, N_i^0 = 0 \quad (i \neq n) \end{aligned}$$

$X_1$  のみに初期値  $N_1^0$  がある場合の第 1 式においては、 $X_2, X_3, \dots, X_{n-1}$  には初期値はなく、それらは  $X_1$  から  $X_n$  を作る際通らなければならない通路とのみ考えるわけである。したがってすべての  $X_i$  が初期値  $N_i^0$  をもつ時はこれらの部分系列により作られる  $X_n$  を全部加え合わせればよいことは明らかである。結局、 $X_n$  は Bateman 関数を使ってつぎのように表現される。

$$\begin{aligned} N_n(t) = & N_1^0 B_n(t; \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) \\ & + N_2^0 B_{n-1}(t; \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n) \\ & \dots \dots \dots \\ & + N_n^0 B_1(t; \lambda_n) \end{aligned}$$

$$N_n(t) = \sum_{i=1}^n N_i^0 B_i(t; \lambda_{n-i+1}, \lambda_{n-i+2}, \dots, \lambda_n) \tag{4-4}$$

したがってこの式が  $n$  段の逐次崩壊系列のそれぞれが初期値をもっている時の  $n$  番目の核種の  $t$  時間の冷却時

間における存在量をあらわすことになる。

## 2.2 核分裂生成物の生成量の計算

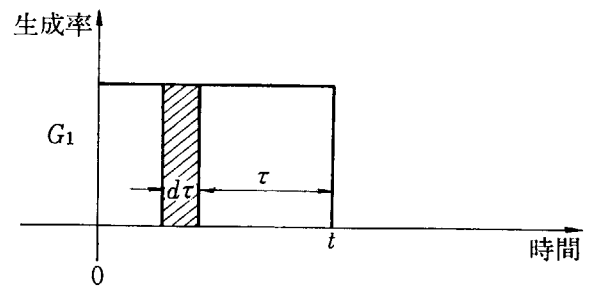
原子炉の中における核分裂生成物の生成量を考える際には崩壊のみならず核分裂による生成項を考えなければならない。したがって (2) 式の崩壊方程式に生成項が加わって崩壊系列中の  $i$  番目の核種に対する方程式はつぎのようになる。

$$\frac{dN_i}{dt} = -\lambda_i N_i + \lambda_{i-1} N_{i-1} + G_i \tag{5}$$

ここで  $G_i$  は核分裂によって単位時間あたり  $i$  番目の核種が直接生成される量をあらわす。この式は線型一次微分方程式であり、 $i=1$  から崩壊系列の最後の核種まで順次一段前の解を代入して方程式の解を求めることができる。しかしながらこの解法では段数の大きい系列や分岐、合流の存在する系列に対しては解の形が非常に複雑となり、事実上解を求めるのが困難となる。そこで  $N_1$  から  $N_2, N_3, \dots, N_n$  を逐次求めるといったことをせず、Bateman 関数  $B_n$  をたくみにくり返し使って解を統一的に求めるのが本コード「FP-S」の特長である。「FP-S」は初期値のみを考慮した式と、生成率のみを考慮した式とを別個に取り扱いかい、あとでそれぞれの解を重ね合わせる。

まず生成項がなく、 $X_i$  の初期値  $N_i^0 (i=1, 2, \dots, n)$  の時の  $t$  時間冷却した後の  $X_n$  の存在量は (4-4) 式ですてに与えられている。

それでは生成項はどう考えたらよいであろうか。



まず  $X_1$  のみに生成項が存在する場合を考える。単位時間に核分裂によって生成される  $X_1$  の量を  $G_1$  とすれば、上図の  $d\tau$  時間に生成される  $X_1$  の量は  $G_1 d\tau$  である。したがってこれによって上図の時間  $t$  において存在する  $X_n$  の量は Bateman 関数  $B_n$  において初期値を  $G_1 d\tau$  とし冷却時間を  $\tau$  とすることによって求められる。

$$N_n = G_1 d\tau \cdot B_n(\tau; \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) \tag{6-1}$$

したがって時刻 0 から時刻  $t$  まで照射した時  $X_1$  の核分裂収率による  $X_n$  の時刻  $t$  における存在量は (6-1) 式を  $\tau=0$  から  $\tau=t$  まで積分することにより求められる。すなわち

$$N_n = G_1 \int_0^t B_n(\tau; \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) d\tau \tag{6-2}$$

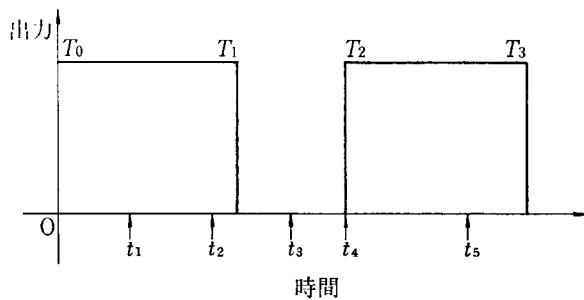
初期値の崩壊の場合に行なったのと同様の手法により、 $X_1$  のみならず  $X_2, X_3, \dots, X_n$  が単位時間あたり  $G_2,$

$G_3, \dots, G_n$  の生成量がある時はそれぞれを別個にとりあつかって、あとで重ね合わせればよく、結局時刻  $t$  における生成項による  $X_n$  の生成量は次式で与えられる。

$$N_n(t) = \sum_{i=1}^n G_i \int_0^t d\tau \cdot B_{n-i+1}(\tau; \lambda_i, \lambda_{i+1}, \dots, \lambda_n) \quad (6-3)$$

したがって長さが  $n$  段の崩壊系列において  $X_i (i=1, 2, \dots, n)$  が初期値  $N_i^0$  および単位時間あたりの生成量  $G_i$  をもっている時、時刻 0 から時刻  $t$  まで照射した時、 $X_n$  の存在量は (4-4) 式と (6-3) 式を加え合わせることでつぎのように表わすことができる。

$$N_n(t) = \sum_{i=1}^n \left( N_i^0 + G_i \int_0^t d\tau \right) \times B_{n-i+1}(t; \lambda_i, \lambda_{i+1}, \dots, \lambda_n) \quad (7)$$

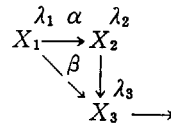


「FP-S」では照射と冷却を交互にくり返してあつかえるようになっており、その境界を示すのが上図の例の場合、 $T_1, T_2, T_3$  であり、後述のインプットに際しては照射時間および冷却時間として  $(T_1 - T_0), (T_2 - T_1), (T_3 - T_2)$  がインプットされる。原子炉の出力は現在のところ照射時間を通じて一定として取り扱われている。また核分裂生成物の生成量を計算しアウトプットする時刻は照射時間、冷却時間とは完全に別個にインプットされ、上図の例においては、 $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5$  がアウトプット時刻である。照射と冷却の入れかわる  $T_1, T_2, T_3$  の時刻においてはアウトプットの有無に関係なく核種毎の生成量が計算され、それぞれの照射期間または冷却期間中の核種の生成量を計算する際の初期値とされる。上図の例においては、時刻  $t_1, t_2$  における生成量は時刻 0 における値 (0) を初期値として計算される。また、アウトプット時刻  $t_3$  における生成量は照射が終了する時刻  $T_1$  における生成量を計算してそれを初期値として置きかえ、 $(t_3 - T_1)$  の冷却時間に対して生成量が計算される。同様に  $t_5$  における生成量は再照射開始の時刻  $T_2$  における値を初期値とし、照射時間を  $(t_5 - T_2)$  として計算される。時刻  $T_2$  における値は時刻  $T_1$  における値を初期値とし、冷却時間  $(T_2 - T_1)$  に対して求められる。

2.3 分岐および合流のとりあつかい

核分裂生成物に対する崩壊系列はいつも単純な一列の系列というわけではなく、分岐、合流が存在する場合が多くある。このような場合にも崩壊系列をいくつかの単純な一列の崩壊系列に分解してそれぞれの解を求め、の

ちにそれらの解を重ね合わせることで生成量を計算することができることをつぎの例によって示す。



上図の崩壊系列において  $\alpha, \beta$  は核種  $X_1$  が崩壊する時それぞれ  $X_2$  および  $X_3$  になる割合を示し、 $\alpha + \beta = 1$  の関係がある。上例の崩壊系列において  $X_3$  の生成量は崩壊系列を次ぎに示す 2 通りに分解することによって求められる。

	$X_1 \rightarrow X_2 \rightarrow X_3 \rightarrow$
崩壊定数	$\lambda_1 \quad \lambda_2 \quad \lambda_3$
初期値	$\alpha N_1^0 \quad N_2^0 \quad N_3^0$
生成率	$\alpha G_1 \quad G_2 \quad G_3$
	$X_1 \rightarrow X_3 \rightarrow$
崩壊定数	$\lambda_1 \quad \lambda_3$
初期値	$\beta N_1^0 \quad N_3^0 = 0$
生成率	$\beta G_1 \quad G_3 = 0$

$X_1$  の初期値  $N_1^0$  のうち結局  $\alpha N_1^0$  が  $X_2$  へと崩壊し、 $\beta N_1^0$  が  $X_3$  へと崩壊するから、一番目の崩壊系列における  $X_1$  の初期値は  $\alpha N_1^0$  となっており、二番目については  $\beta N_1^0$  となる。同様に生成項についても一番目の崩壊系列の  $X_1$  の生成項は  $\alpha G_1$ 、二番目の系列に対しては  $\beta G_1$  となる。

また二番目の系列において  $X_3$  の初期値および生成項が 0 となっているのは既に一番目の系列でそれらが取り扱われているからである。結局、上例の崩壊系列において  $t$  時間照射した時の  $X_3$  の存在量  $N_3$  は Bateman 関数を使って次式で表わされる。

$$N_3(t) = \alpha \left( N_1^0 + G_1 \int_0^t dt \right) \cdot B_3(t; \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) + \left( N_2^0 + G_2 \int_0^t dt \right) \cdot B_2(t; \lambda_2, \lambda_3) + \left( N_3^0 + G_3 \int_0^t dt \right) \cdot B_1(t; \lambda_3) + \beta \left( N_1^0 + G_1 \int_0^t dt \right) \cdot B_2(t; \lambda_1, \lambda_3) \quad (8)$$

最初の 3 項が第 1 の崩壊系列による寄与であり、最後の項が第 2 の系列からの寄与である。

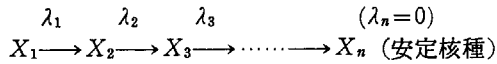
2.4 安定核種の取扱い

現在「FP-S」で取扱われている崩壊系列は Appendix 2 に示す 17 型式であり、それに含まれる安定核種はその崩壊系列において崩壊定数  $\lambda$  を  $1.0 \times 10^{-20} (1/\text{sec})$  以下におくことにより計算される。

現在含まれている 17 の型式は放射性核種を計算するために作られたものであり、この方法で安定核種を全部とり扱うためにはさらに段数を一つづつふやした 17 の新たな崩壊系列が必要である。そこでその手間ははぶく



ため「FP-S」では一段少ない崩壊系列を使って安定核種を計算する手法をとっている。



の崩壊系列を考えた時、 $X_n$  に対する方程式は  $X_n$  が安定核種で  $\lambda_n=0$  なので次のようになる。

$$\frac{dN_n}{dt} = \lambda_{n-1} N_{n-1} + G_n \quad (9-1)$$

これを時間  $t$  で積分すると、

$$N_n(t) = \lambda_{n-1} \int_0^t N_{n-1} dt + G_n t + N_n^0 \quad (9-2)$$

$N_{n-1}$  は(7)式で段数を  $(n-1)$  として与えられ、これを(9-2)式に代入すると、

$$N_n(t) = \lambda_{n-1} \int_0^t dt \sum_{i=1}^{n-1} \left( N_i^0 + G_i \int_0^t dt \right) \\ \times B_i(t; \lambda_{n-i}, \lambda_{n-i+1}, \dots, \lambda_{n-1}) \\ + (G_n t + N_n^0) \\ = \lambda_{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \left( N_i^0 \int_0^t dt + G_i \int_0^t dt \int_0^t dt \right) \\ \times B_i(t; \lambda_{n-i}, \lambda_{n-i+1}, \dots, \lambda_{n-1}) \\ + (G_n t + N_n^0) \quad (9-3)$$

$n$  次の Bateman 関数を  $B_n^0$  としそれを時刻 0 から時刻  $t$  まで定積分した関数を  $n$  次の積分 Bateman 関数  $B_n^1$ 、2 回積分したものを  $n$  次の 2 回積分 Bateman 関数  $B_n^2$  と定義すれば(9-3)式は次のように表現される。

$$N_n(t) = \lambda_{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \{ N_i^0 B_i^1(t; \lambda_{n-i}, \lambda_{n-i+1}, \dots, \lambda_{n-1}) \\ + G_i B_i^2(t; \lambda_{n-i}, \lambda_{n-i+1}, \dots, \lambda_{n-1}) \} \\ + (G_n t + N_n^0) \quad (9-4)$$

したがって(9-4)式の最後の項を別にとり扱えば安定

核種の存在量  $N_n(t)$  は  $(n-1)$  次までの積分ならびに 2 回積分 Bateman 関数を使って計算される。

「FP-S」においては安定核種  $X_n$  の一段前の  $X_{n-1}$  を計算するときに同時に  $X_n$  を求めるようになっていいる。また安定核種の親核種が二つある時にはそれぞれを完全に別個に計算し、アウトプットの時点で加えあわせている。積分 Bateman 関数を使って放射性核種の生成量  $N_n(t)$  を表わす(7)式を書きなおすと次式のごとくなる。

$$N_n(t) = \sum_{i=1}^n \{ N_i^0 B_i^0(t; \lambda_{n-i+1}, \lambda_{n-i+2}, \dots, \lambda_n) \\ + G_i B_i^1(t; \lambda_{n-i+1}, \lambda_{n-i+2}, \dots, \lambda_n) \} \quad (7-2)$$

基本 Bateman 関数は指数関数なのでその積分はたやすく、積分 Bateman 関数および 2 回積分 Bateman 関数は以下の如く表示される。

$n$  次の基本 Bateman 関数

$$B_n^0(t; \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) = \sum_{i=1}^n d_i e^{-\lambda_i t}, \\ d_i = \frac{\prod_{k=1}^{n-1} \lambda_k}{\prod_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n (\lambda_k - \lambda_i)} \quad (10-1)$$

$n$  次の積分 Bateman 関数

$$B_n^1(t; \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} (1 - e^{-\lambda_i t}) \quad (10-2)$$

$n$  次の 2 回積分 Bateman 関数

$$B_n^2(t; \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) \\ = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} \left[ t - \frac{1}{\lambda_i} (1 - e^{-\lambda_i t}) \right] \quad (10-3)$$

### 3. 核 デ ー タ

FP の生成量を計算するためには各核種の半減期、崩壊系列、核分裂収率等のデータが必要である。半減期は D. STROMINGER 等によるデータ<sup>2)</sup>を使用し、崩壊系列に関しては S. KATCOFF の図<sup>3)</sup>を用いた。核分裂収率は、本コードでは <sup>235</sup>U (熱中中性子)、<sup>235</sup>U (高速中中性子)、<sup>238</sup>U (高速中中性子)、<sup>239</sup>Pu (熱中中性子)、<sup>239</sup>Pu (高速中中性子)をあつかっている。これらのデータは、主として S. KAT-

COFF<sup>3)</sup> による mass chain yield を使用して、C. A. ANDERSON<sup>4)</sup> の手法により求めたものである。

実際に使用している核データのリストを Appendix 3 に示す。核分裂収率の計算方法およびその詳細な結果については「FP データ」として別の機会にのべる予定である。

### 4. 入 力, 出 力 形 式

#### 4.1 入力形式

本コードに必要なインプットは核データに関する部分

と計算条件をあらわす部分の二つに大別される。前者の核データは本来組込みデータの性格を有するものであり、常にプログラムの直後につけられている。一方核デ

ータの修正を必要としない場合には計算条件を指定する後者のインプットのみが必要である。ただし核分裂収率については計算条件のインプットとしても読み込めるようになっている。

## (A) 核データ

## (1) Card type 1 (12I6) KMAX, NMAX, NADD, MMX

KMAX: 取り扱いかい核種数

NMAX: 取り扱いかい核種数

NADD: 合流型の核種数

MMX: 分岐比データの読み込みカード枚数

## (2) Card type 2 (10E8.3)

(GAMMA 1(N), N=1, KMAX)

(GAMMA 2(N), N=1, KMAX)

(GAMMA 3(N), N=1, KMAX)

(GAMMA 4(N), N=1, KMAX)

(GAMMA 5(N), N=1, KMAX)

GAMMA 1:  $^{235}\text{U}$  の熱中性子による核分裂収率(%)GAMMA 2:  $^{235}\text{U}$  の高速中性子による核分裂収率

(%)

GAMMA 3:  $^{239}\text{Pu}$  の熱中性子による核分裂収率

(%)

GAMMA 4:  $^{239}\text{Pu}$  の高速中性子による核分裂収率

(%)

GAMMA 5:  $^{238}\text{U}$  の高速中性子による核分裂収率

(%)

GAMMA 1~GAMMA 5 はそれぞれ核種の配列順序にしたがってインプットし、核種の配列順序は Appendix 1.2 に示されている。合流型の安定核種を計算するためのダミーの核種が  $N=201$  および  $N=279\sim 288$  にあるがこれらにはインプットは不要で、全部 0 としなければならない。

## (3) Card type 3 (10E8.3)

(RAMDA(N), N=1, KMAX)

RAMDA(N): 第  $N$  番目の核種の崩壊定数 (1/hour)

## (4) Card type 4 (5(2I4, F8.4))(5(N, J, PHAI(N, J))

MMX 枚カードを読み込む。

PHAI(N, J): 第  $N$  番目の核種を計算するのに必要な  $J$  番目の分岐比。

分岐比が 1.0 以外のものについてのみ与えればよく、 $J$  の順序は Appendix 2 の崩壊系列の分類中の  $\alpha_i$  の添字  $J$  にしたがう。

## (5) Card type 5 (20I4)

(NTYPE(N), N=1, KMAX)

NTYPE(N): 第  $N$  番目の核種の計算に使う崩壊パターン指定番号。Appendix 2 で扱っている 17 の Type に相当するものはその番号を与えればよい。

安定核種でその核種の前に崩壊系列が

なく核分裂収率のみで生成量が決まる時には  $\text{NTYPE}(N)=2000$ 。

安定核種の計算を崩壊系列のその一つ前にある親核種の計算を行なうと同時にに行ないたい時は、親核種の指定番号に 1000 を加えた数字を  $\text{NTYPE}(N)$  としてインプットする。たとえば、 $\text{NTYPE}(N)=1024$  の時には第  $N$  番目の核種は安定核種であり、その親核種は第 24 番目の核種であり、第 24 番目の核種の生成量を計算する時、同時に第  $N$  番目の安定核種の生成量も計算することを示している。

## (6) Card type 6 (20I4) (I1(N), N=1, KMAX)

(I2(N), N=1, KMAX)

(I3(N), N=1, KMAX)

((N, I4(N)), K=1, 50)

((N, I5(N)), K=1, 20)

((N, I6(N)), K=1, 4)

N: 核種指定番号

$I_m(N)$ : 第  $N$  番目の核種の計算に使う崩壊系列中の第  $m$  番目の核種の核種指定番号。

分岐、合流がある崩壊系列における核種の配列順序については Appendix 2 の崩壊系列の分類中の核種  $X_i$  の添字  $i$  が  $I_m(N)$  の  $m$  と一致する。

相当する場所に核種がない場合は、どんな値を入れても効果はないが Appendix 3 のインプット例では一応 220 が入っている。また、崩壊パターンの指定番号  $\text{NTYPE}(N)$  が 1000 番または 2000 である核種については  $I_m(N)$  のデータは不要である。なお、I1, I2, I3 と I4, I5, I6 とで必要なデータの違いにより、読み込み方式が異なっている。

## (7) Card type 7 (10A6) (ELM(N), N=1, KMAX)

ELM(N): 第  $N$  番目の核種の核種名

## (8) Card type 8 (20I4)

((N, KADD(N)), K=1, NADD)

N: 合流型の核種指定番号

KADD(N): 第  $N$  番目の核種と物理的には同一の核種で計算上別々の核種として取り扱われている核種の指定番号であり、 $N < \text{KADD}(N)$  であることが必要である。中性子放出をとともう崩壊および合流型の安定核種の計算の時のみ問題となり、核種  $N$  と  $\text{KADD}(N)$  は完全に別個に取り扱われ、アウトプットの時にのみ加え合わされる\*。

## (B) 計算条件指定データ

## (1) Card type 9 (20A4) (THEME(I), I=1, 20)

タイトルカード

\* 2.3 章参照のこと。

## (2) Card type 10 (16I5) KTYPE, ITB, IT, IDATA

KTYPE : 1.  $^{235}\text{U}$  の熱中性子による核分裂収率を使う。

2.  $^{239}\text{Pu}$  の熱中性子による核分裂収率を使う。

3.  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  の高速中性子による核分裂収率を一定の割合で混ぜ合わせて使う。

ITB : 照射と冷却の通算回数 ( $\leq 50$ )

IT : FP の生成量を計算しアウトプットする回数 ( $\leq 50$ )

IDATA : 1. 組み込み核分裂収率データ (GAMMA 1~GAMMA 5) を使用する。

2. 核分裂収率データを新たに読み込んで使用する。

3. 前ケースのデータを使用する。

## (3) Card type 11 (8E10.5) SA, SB, SC, WATT

SA :  $^{235}\text{U}$  の核分裂の割合

SB :  $^{238}\text{U}$  の核分裂の割合

SC :  $^{239}\text{Pu}$  の核分裂の割合

WATT : 原子炉出力 (Watt)

ただし  $SA+SB+SC=1.0$  でなければならない。

また  $KTYPE \neq 3$  の時は, SA, SB, SC の値は計算には無関係となる。

## (4) Card type 12 (8E10.5) (TBIN(I, J), J=1, 4)

TBIN(I, J) : 照射時間, 冷却時間を交互に全部で ITB 枚インプットする

TBIN(I, 1) : 単位 (day)

TBIN(I, 2) : 単位 (hour)

TBIN(I, 3) : 単位 (minute)

TBIN(I, 4) : 単位 (second)

TBND(I) =  $\{ \{ \text{TBIN}(I, 1) \times 24 + \text{TBIN}(I, 2) \} \times 60 + \text{TBIN}(I, 3) \} \times 60 + \text{TBIN}(I, 4)$  (秒)

## (5) Card type 13 (8E10.5) (TMIN(I, J), J=1, 4)

TMIN(I, J) : FP の生成量を計算しアウトプットする時刻.  $J=1, 2, 3, 4$  に対する単位は Card type 12 の場合と同様それぞれ順に day, hour, minute, second である。

TIME(I) =  $\{ \{ \text{TMIN}(I, 1) \times 24 + \text{TMIN}(I, 2) \} \times 60 + \text{TMIN}(I, 3) \} \times 60 + \text{TMIN}(I, 4)$  (秒)

普通必要となるのは (B) の計算条件を指定するインプットだけであるが, 核データも加えた全インプットのリスト例を Appendix 3 に示す。

## 4.2 出力形式

「FP-S」からアウトプットされるデータを以下に列挙する。なおアウトプットの実例を Appendix 4 に示す。

## (1) インプットデータのリスト

インプットデータのうち, (B) の計算条件を指定するデータに対応するものがアウトプットされる。

## (2) 崩壊定数, 核分裂収率, 崩壊パターンが各核種毎に核種名とともにアウトプットされる。

## (3) 各核種の原子数および放射能強度 (dps とキュリー数) が核種名と共にアウトプットされる。

## (4) 核分裂生成物の全原子数および全放射能。

(3), (4) はアウトプット指定時刻毎に IT 回くり返してアウトプットされる。

## 5. 計算例およびチェック

「FP-S」の計算手法の正しさを証明するため行なったチェック計算の結果を以下に示す。計算条件は次のようになっている。

- |      |     |       |                 |
|------|-----|-------|-----------------|
| 計算条件 | (1) | 運転出力  | 1 kW            |
|      | (2) | 核分裂収率 | U-235 熱中性子核分裂収率 |
|      | (3) | 照射時間  | 100 日           |
|      | (4) | 冷却時間  | 100 日           |

インプットおよびアウトプットをそれぞれ Appendix 3 および Appendix 4 に示す。

「FP-S」でとり扱っているのは  $\beta$  崩壊が主で他のチャンネルへ崩壊, 例えば中性子崩壊等はごく部分的に取扱っているにすぎない。したがって中性子崩壊により他の質量数の系列に崩壊する割合を補正すれば各質量数毎の核種の存在量の和は Mass Chain Yield から与えられるはずである。そこで 100 日間の照射が終了し, 100 日間

冷却した時点で各質量数毎の核種の存在量の和が Mass Chain Yield から計算される値と一致するかどうかをまずチェックした。結果を TABLE 1 に示す。出力 1W は  $3.1 \times 10^{10}$  fission/sec に相当するから, 運転出力が  $P$ , 運転時間が  $t$ , Mass Chain Yield が  $\gamma_A$  の時, 質量数  $A$  の核種の存在量の和は次式で与えられる。

$$\sum_i N_i^A = P \times t \times 3.10 \times 10^{10} \times \gamma_A \quad (11-1)$$

計算例においては出力  $P$  は  $10^3$  W, 照射時間  $t$  は 100 日 ( $8.64 \times 10^6$  秒) だから,

$$\sum_i N_i^A = 2.6784 \times 10^{20} \times \gamma_A \quad (11-2)$$

TABLE 1 から明らかごとく「FP-S」の計算結果は Mass Chain Yield から (11-2) 式にしたがって求めた値と非常によく一致している。

つぎに時間と共に正しく生成量が計算されているかどうかをチェックするため「FP-S」により計算された核種の量を各時間毎に全部加え合わせ, 全核分裂収率から

TABLE 1 崩壊系列毎の FP 生成量の「FP-S」による計算結果と理論値の比較

質量数	収 率	$\sum_i N_i$	理 論 値	質量数	収 率	$\sum_i N_i$	理 論 値
77	0.00009	$0.24106 \times 10^{17}$	$0.24106 \times 10^{17}$	121	0.00015	$0.40176 \times 10^{17}$	$0.40176 \times 10^{17}$
79	0.00051	$0.13660 \times 10^{18}$	$0.13659 \times 10^{18}$	123	0.00017	$0.45533 \times 10^{17}$	$0.45533 \times 10^{17}$
81	0.00199	$0.53300 \times 10^{18}$	$0.53300 \times 10^{18}$	125	0.00018	$0.48211 \times 10^{17}$	$0.48211 \times 10^{17}$
83	0.00601	$0.16097 \times 10^{19}$	$0.16097 \times 10^{19}$	126	0.00029	$0.77674 \times 10^{17}$	$0.77674 \times 10^{17}$
84	0.00959	$0.25686 \times 10^{19}$	$0.25686 \times 10^{19}$	127	0.00109	$0.29195 \times 10^{18}$	$0.29195 \times 10^{18}$
85	0.01189	$0.31849 \times 10^{19}$	$0.31849 \times 10^{19}$	128	0.0031	$0.83030 \times 10^{18}$	$0.83030 \times 10^{18}$
86	0.0008648	$0.23163 \times 10^{18}$	$0.23162 \times 10^{18}$	129	0.00929	$0.24883 \times 10^{19}$	$0.24882 \times 10^{19}$
87	0.027475	$0.73590 \times 10^{19}$	$0.73590 \times 10^{19}$	130	0.01898	$0.50836 \times 10^{19}$	$0.50836 \times 10^{19}$
88	0.03685	$0.98712 \times 10^{19}$	$0.98699 \times 10^{19}$	131	0.032	$0.85709 \times 10^{19}$	$0.85709 \times 10^{19}$
89	0.05103	$0.13663 \times 10^{20}$	$0.13668 \times 10^{20}$	132	0.04	$0.10714 \times 10^{20}$	$0.10714 \times 10^{20}$
90	0.0550	$0.14731 \times 10^{20}$	$0.14731 \times 10^{20}$	133	0.057	$0.15267 \times 10^{20}$	$0.15267 \times 10^{20}$
91	0.0595	$0.15936 \times 10^{20}$	$0.15936 \times 10^{20}$	134	0.07999	$0.21425 \times 10^{20}$	$0.21425 \times 10^{20}$
92	0.0620	$0.16606 \times 10^{20}$	$0.16606 \times 10^{20}$	135	0.06899	$0.18479 \times 10^{20}$	$0.18478 \times 10^{20}$
93	0.02733	$0.73201 \times 10^{19}$	$0.73201 \times 10^{19}$	136	0.06284	$0.16831 \times 10^{20}$	$0.16831 \times 10^{20}$
94	0.039	$0.10446 \times 10^{20}$	$0.10446 \times 10^{20}$	137	0.063	$0.16881 \times 10^{20}$	$0.16874 \times 10^{20}$
95	0.062	$0.16606 \times 10^{20}$	$0.16606 \times 10^{20}$	138	0.05899	$0.15800 \times 10^{20}$	$0.15800 \times 10^{20}$
96	0.00254	$0.68031 \times 10^{18}$	$0.68031 \times 10^{18}$	139	0.06201	$0.16609 \times 10^{20}$	$0.16609 \times 10^{20}$
97	0.058	$0.15535 \times 10^{20}$	$0.15535 \times 10^{20}$	140	0.06299	$0.16871 \times 10^{20}$	$0.16871 \times 10^{20}$
98	0.00001	$0.26784 \times 10^{16}$	$0.26784 \times 10^{16}$	141	0.02499	$0.66933 \times 10^{19}$	$0.66933 \times 10^{19}$
99	0.059	$0.15803 \times 10^{20}$	$0.15803 \times 10^{20}$	142	0.06199	$0.16603 \times 10^{20}$	$0.16603 \times 10^{20}$
100	0.00078	$0.20892 \times 10^{18}$	$0.20892 \times 10^{18}$	143	0.04479	$0.11997 \times 10^{20}$	$0.11997 \times 10^{20}$
101	0.05201	$0.13930 \times 10^{20}$	$0.13930 \times 10^{20}$	144	0.05799	$0.15532 \times 10^{20}$	$0.15532 \times 10^{20}$
102	0.02959	$0.79254 \times 10^{19}$	$0.79254 \times 10^{19}$	145	0.04699	$0.12586 \times 10^{20}$	$0.12586 \times 10^{20}$
103	0.02764	$0.74031 \times 10^{19}$	$0.74031 \times 10^{19}$	146	0.034	$0.91066 \times 10^{19}$	$0.91066 \times 10^{19}$
104	0.02222	$0.59514 \times 10^{19}$	$0.59514 \times 10^{19}$	147	0.025	$0.66960 \times 10^{19}$	$0.66960 \times 10^{19}$
105	0.01588	$0.42533 \times 10^{19}$	$0.42533 \times 10^{19}$	148	0.00011	$0.29462 \times 10^{17}$	$0.29462 \times 10^{17}$
106	0.01048	$0.28070 \times 10^{19}$	$0.28070 \times 10^{19}$	149	0.01098	$0.29409 \times 10^{19}$	$0.29409 \times 10^{19}$
107	0.0019	$0.50889 \times 10^{18}$	$0.50889 \times 10^{18}$	150	0.00103	$0.27588 \times 10^{18}$	$0.27588 \times 10^{18}$
108	0.0003	$0.80352 \times 10^{17}$	$0.80352 \times 10^{17}$	151	0.00459	$0.12294 \times 10^{19}$	$0.12294 \times 10^{19}$
109	0.00036	$0.96422 \times 10^{17}$	$0.96422 \times 10^{17}$	152	0.0	0.0	0.0
111	0.00014	$0.37498 \times 10^{17}$	$0.37498 \times 10^{17}$	153	0.00149	$0.39908 \times 10^{18}$	$0.39908 \times 10^{18}$
112	0.00009	$0.24106 \times 10^{17}$	$0.24106 \times 10^{17}$	154	0.00006	$0.16070 \times 10^{17}$	$0.16070 \times 10^{17}$
113	0.0001	$0.26784 \times 10^{17}$	$0.26784 \times 10^{17}$	155	0.00045	$0.12053 \times 10^{18}$	$0.12053 \times 10^{18}$
114	0.0001	$0.26784 \times 10^{17}$	$0.26784 \times 10^{17}$	156	0.00021	$0.56246 \times 10^{17}$	$0.56246 \times 10^{17}$
115	0.00009	$0.24106 \times 10^{17}$	$0.24106 \times 10^{17}$	157	0.0002	$0.53568 \times 10^{17}$	$0.53568 \times 10^{17}$
116	0.0001	$0.26784 \times 10^{17}$	$0.26784 \times 10^{17}$	158	0.001	$0.26784 \times 10^{17}$	$0.26784 \times 10^{17}$
117	0.00009	$0.24106 \times 10^{17}$	$0.24106 \times 10^{17}$	159	0.0	0.0	0.0
119	0.00011	$0.29462 \times 10^{17}$	$0.29462 \times 10^{17}$	161	0.0	0.0	0.0

上の Table において、 $N_i$  は「FP-S」による計算値であり、 $\sum_i$  は質量数の等しい FP 核種についての和を表わす。理論値は、 $N_A = P \times t \times 3.10 \times 10^{10} \times \gamma_A$  より求めた。ここで  $P$  は炉出力 ( $10^3$  watt),  $t$  は照射時間 ( $8.64 \times 10^6$  sec),  $\gamma_A$  は質量数  $A$  の系列に含まれる核種の independent yield の総和である。

TABLE 2 全 FP 生成量の「FP-S」による計算と筆算による結果との比較

時 間 (day)	全 F P 生 成 量	
	FP-S ( $\times 10^{20}$ )	筆 算 ( $\times 10^{20}$ )
0	0.0	0.0
25	1.1183	1.1188
50	2.2366	2.2376
75	3.3548	3.3564
100	4.4731	4.4752
125	4.4731	4.4752
150	4.4731	4.4752
175	4.4731	4.4752
200	4.4731	4.4752

計算される値と一致するかどうかをしらべた。その結果を TABLE 2 に示す。本来全核分裂率は核分裂毎に2つの FP が生成されるから 200% になるべきであるが、「FP-S」でとりあつかっている 277 核種の核分裂率の和は U-235 の熱中性子核分裂の場合 167.084% となっている。したがって(11-1)式より FP の全存在量は照射時間中は次式で表わされる。

$$\sum_A \sum_i N_i^A = P \times t \times 3.10 \times 10^{10} \times 1.67084 \quad (11-3)$$

TABLE 2 において照射終了時における「FP-S」による全 FP の生成量の和は理論値と 0.05% の差で一致している。また冷却中は「FP-S」の計算結果から求められる FP の全存在量が一定であることから冷却挙動が正しく計算されていると推定される。

つぎに質量数が 95 の崩壊系列について「FP-S」の生成挙動ならびに冷却挙動の計算結果を Fig. 1 および

TABLE 3 質量数 95 の系列における FP の生成量の、筆算と「FP-S」による結果の比較

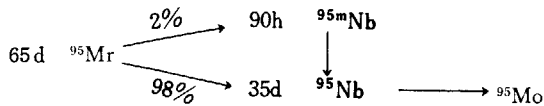
アウトプット時点	核種	筆算データ	「FP-S」による値
50 日	<sup>95</sup> Zr	0.64371 × 10 <sup>19</sup>	0.64367 × 10 <sup>19</sup>
	<sup>95m</sup> Nb	0.67778 × 10 <sup>16</sup>	0.67778 × 10 <sup>16</sup>
	<sup>95</sup> Nb	0.13489 × 10 <sup>19</sup>	0.13547 × 10 <sup>19</sup>
	<sup>95a</sup> Mo	0.50432 × 10 <sup>18</sup>	0.50481 × 10 <sup>18</sup>
100 日	<sup>95</sup> Zr	0.10215 × 10 <sup>20</sup>	0.10215 × 10 <sup>20</sup>
	<sup>95m</sup> Nb	0.11401 × 10 <sup>17</sup>	0.11401 × 10 <sup>17</sup>
	<sup>95</sup> Nb	0.34747 × 10 <sup>19</sup>	0.34752 × 10 <sup>19</sup>
	<sup>95a</sup> Mo	0.29046 × 10 <sup>19</sup>	0.29046 × 10 <sup>19</sup>
150 日	<sup>95</sup> Zr	0.59957 × 10 <sup>19</sup>	0.59957 × 10 <sup>19</sup>
	<sup>95m</sup> Nb	0.73375 × 10 <sup>16</sup>	0.73375 × 10 <sup>16</sup>
	<sup>95</sup> Nb	0.38578 × 10 <sup>19</sup>	0.38579 × 10 <sup>19</sup>
	<sup>95a</sup> Mo	0.67445 × 10 <sup>19</sup>	0.67452 × 10 <sup>19</sup>
200 日	<sup>95</sup> Zr	0.35194 × 10 <sup>19</sup>	0.35192 × 10 <sup>19</sup>
	<sup>95m</sup> Nb	0.43069 × 10 <sup>16</sup>	0.43069 × 10 <sup>16</sup>
	<sup>95</sup> Nb	0.29404 × 10 <sup>19</sup>	0.29402 × 10 <sup>19</sup>
	<sup>95a</sup> Mo	0.10134 × 10 <sup>20</sup>	0.10142 × 10 <sup>20</sup>

計算条件 ○照射時間: 100 日  
 ○炉出力: 1 kwatt  
 ○<sup>235</sup>U 熱中性核分裂

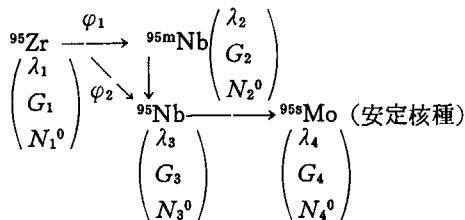
使用核定数

	崩壊定数 (sec <sup>-1</sup> )	核分裂収率
<sup>95</sup> Zr	0.12333 × 10 <sup>-6</sup>	0.0620
<sup>95m</sup> Nb	0.21389 × 10 <sup>-5</sup>	0.0
<sup>95</sup> Nb	0.22917 × 10 <sup>-6</sup>	0.0
<sup>95a</sup> Mo	0.0	0.0

TABLE 3 に示す。質量数 95 の崩壊系列は次のようになっている。



Bateman の式を繰返し使う「FP-S」の計算方式が正しいことを確認するため、質量数 95 の崩壊系列について系列の最初の核種から逐次、崩壊方程式を解いて生成量を筆算により求めた結果を Fig. 1 および TABLE 3 に併記する。その結果「FP-S」の計算結果と筆算による結果とは筆算の精度の範囲で完全に一致し、「FP-S」の計算方式が正しいことが確認された。なお、筆算で求めた質量数 95 の各 FP の生成量の計算式を以下に示す。



$$^{95}\text{Zr} = G_1 \frac{1}{\lambda_1} (1 - e^{-\lambda_1 t}) + N_1^0 e^{-\lambda_1 t}$$

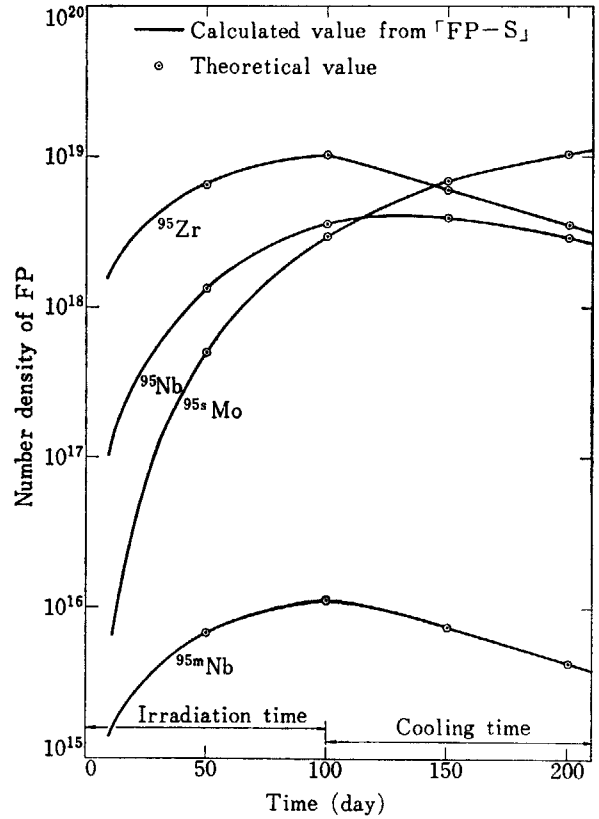


Fig. 1

$$\begin{aligned}
 ^{95m}\text{Nb} = & \varphi_1 G_1 \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \left[ \frac{1}{\lambda_1} (1 - e^{-\lambda_1 t}) - \frac{1}{\lambda_2} (1 - e^{-\lambda_2 t}) \right] \\
 & + \varphi_1 N_1^0 \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \\
 & + G_2 \frac{1}{\lambda_2} (1 - e^{-\lambda_2 t}) + N_2^0 e^{-\lambda_2 t}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ^{95}\text{Nb} = & \varphi_1 G_1 \lambda_1 \lambda_2 \left[ \frac{1 - e^{-\lambda_1 t}}{\lambda_1 (\lambda_2 - \lambda_1) (\lambda_3 - \lambda_1)} \right. \\
 & + \left. \frac{1 - e^{-\lambda_2 t}}{\lambda_2 (\lambda_1 - \lambda_2) (\lambda_3 - \lambda_2)} + \frac{1 - e^{-\lambda_3 t}}{\lambda_3 (\lambda_1 - \lambda_3) (\lambda_2 - \lambda_3)} \right] \\
 & + \varphi_1 N_1^0 \lambda_1 \lambda_2 \left[ \frac{e^{-\lambda_1 t}}{(\lambda_2 - \lambda_1) (\lambda_3 - \lambda_1)} \right. \\
 & + \left. \frac{e^{-\lambda_2 t}}{(\lambda_1 - \lambda_2) (\lambda_3 - \lambda_2)} + \frac{e^{-\lambda_3 t}}{(\lambda_1 - \lambda_3) (\lambda_2 - \lambda_3)} \right] \\
 & + G_2 \frac{\lambda_2}{\lambda_3 - \lambda_2} \left[ \frac{1}{\lambda_2} (1 - e^{-\lambda_2 t}) - \frac{1}{\lambda_3} (1 - e^{-\lambda_3 t}) \right] \\
 & + N_2^0 \frac{\lambda_2}{\lambda_3 - \lambda_2} (e^{-\lambda_2 t} - e^{-\lambda_3 t}) \\
 & + \varphi_2 G_1 \frac{\lambda_1}{\lambda_3 - \lambda_1} \left[ \frac{1}{\lambda_1} (1 - e^{-\lambda_1 t}) - \frac{1}{\lambda_3} (1 - e^{-\lambda_3 t}) \right] \\
 & + \varphi_2 N_1^0 \frac{\lambda_1}{\lambda_3 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_3 t}) \\
 & + G_3 \frac{1}{\lambda_3} (1 - e^{-\lambda_3 t}) + N_3^0 e^{-\lambda_3 t}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ^{95a}\text{Mo} = & \varphi_1 G_1 \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \left[ \frac{1}{\lambda_1 (\lambda_2 - \lambda_1) (\lambda_3 - \lambda_1)} \right. \\
 & \times \left. \left\{ t - \frac{1}{\lambda_1} (1 - e^{-\lambda_1 t}) \right\} \right]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{1}{\lambda_2(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2)} \left\{ t - \frac{1}{\lambda_2} (1 - e^{-\lambda_2 t}) \right\} \\
& + \frac{1}{\lambda_3(\lambda_1 - \lambda_3)(\lambda_2 - \lambda_3)} \left\{ t - \frac{1}{\lambda_3} (1 - e^{-\lambda_3 t}) \right\} \\
& + \varphi_1 N_1^0 \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \left[ \frac{1 - e^{-\lambda_1 t}}{\lambda_1(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1)} \right. \\
& \left. + \frac{1 - e^{-\lambda_2 t}}{\lambda_2(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2)} + \frac{1 - e^{-\lambda_3 t}}{\lambda_3(\lambda_1 - \lambda_3)(\lambda_2 - \lambda_3)} \right] \\
& + G_2 \frac{\lambda_2 \lambda_3}{\lambda_3 - \lambda_2} \left[ \frac{1}{\lambda_2} \left\{ t - \frac{1}{\lambda_2} (1 - e^{-\lambda_2 t}) \right\} \right. \\
& \left. - \frac{1}{\lambda_3} \left\{ t - \frac{1}{\lambda_3} (1 - e^{-\lambda_3 t}) \right\} \right] \\
& + N_2^0 \frac{\lambda_2 \lambda_3}{\lambda_3 - \lambda_2} \left[ \frac{1}{\lambda_2} (1 - e^{-\lambda_2 t}) - \frac{1}{\lambda_3} (1 - e^{-\lambda_3 t}) \right] \\
& + \varphi_2 G_1 \frac{\lambda_1 \lambda_3}{\lambda_3 - \lambda_1} \left[ \frac{1}{\lambda_1} \left\{ t - \frac{1}{\lambda_1} (1 - e^{-\lambda_1 t}) \right\} \right. \\
& \left. - \frac{1}{\lambda_3} \left\{ t - \frac{1}{\lambda_3} (1 - e^{-\lambda_3 t}) \right\} \right] \\
& + \varphi_2 N_1^0 \frac{\lambda_1 \lambda_3}{\lambda_3 - \lambda_1} \left[ \frac{1}{\lambda_1} (1 - e^{-\lambda_1 t}) - \frac{1}{\lambda_3} (1 - e^{-\lambda_3 t}) \right] \\
& + G_3 \frac{\lambda_3}{\lambda_3} \left[ t - \frac{1}{\lambda_3} (1 - e^{-\lambda_3 t}) \right] \\
& + N_3^0 \frac{\lambda_3}{\lambda_3} (1 - e^{-\lambda_3 t}) + G_4 t + N_4^0
\end{aligned}$$

## 6. 考察および結語

核分裂生成物の生成崩壊の方程式が線型一次微分方程式であることに着目し、解の重ね合わせの原理を使い核分裂生成物の生成量を計算するコード「FP-S」を開発した。崩壊系列がいかにか長く、また複雑な分岐、合流をしていても核分裂生成物の生成量は本コードにより Bateman 関数およびその時間積分形の重ね合わせとして求められる。崩壊系列の複雑さによって式の上で本質的煩雑さは何も生ぜず、単に機械的に加え合わせる回数が多くなるだけである。「FP-S」の手法の正しさは筆算による解析解との比較によって確かめられている。

また計算結果を信頼性の高いものとするためには核分裂収率、崩壊定数、崩壊系列等のデータの精度の高いものを使うことが必要であり、最新のデータを順次「FP-S」に組み込んでいく予定である。

核分裂生成物の生成量が正確に「FP-S」により求められると、それをもとにして次のような応用が考えられる。

### 6.1 核分裂生成物の放射能強度の計算

安全性の面から原子炉の事故時に原子炉燃料から放出される核分裂生成核種、特に  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$  などの量が問題となるが、そのためにはまず燃料中に生成されている FP の量を正確に知る必要があり、「FP-S」により各核種毎の放射能強度が dps 単位ならびにキュリー数でアウトプットされる。

### 6.2 核分裂生成物からの $\gamma$ 線および $\beta$ 線のエネルギースペクトル

FP の  $\gamma$  線から非破壊法により燃料の燃焼度を測定しようという試みがあるが、その際着目している核種からのある  $\gamma$  線ピークを測定するために必要な冷却時間を知るためにも全核分裂生成物による  $\gamma$  線スペクトルを知る必要がある。また原子炉による商用発電が軌道にのりつれて多量の使用済燃料がでてくるがそれを取扱うためには崩壊熱の除去および  $\beta$  線、 $\gamma$  線の遮蔽が必要とな

る。物質による  $\gamma$  線ならびに  $\beta$  線の吸収割合はエネルギーによって大きく異なるので、 $\beta$  線および  $\gamma$  線のエネルギースペクトルが当然その際必要となる。「FP-S」をもとに核分裂生成物からの  $\gamma$  線エネルギースペクトルを計算するコード「FP- $\gamma$ 」<sup>7)</sup> が整備されている。核分裂生成物からの一次  $\gamma$  線はコンプトン散乱等の過程により電子と相互作用して二次  $\gamma$  線を放出する。そこでコンプトン散乱を考慮して  $\gamma$  線のエネルギースペクトルを計算するコードを作成することを計画している。

### 6.3 核分裂生成物の崩壊熱の計算

原子炉停止後の核分裂生成物の崩壊熱の値が冷却系の設計また安全性の面からは事故解析に際して必要となるが、各核種の  $\beta$  崩壊あたりの発熱量を「FP-S」による単位時間あたりの崩壊数に掛ければ核分裂生成物の崩壊熱を求めることができる<sup>9)</sup>。

$\beta$  崩壊あたりの発熱量を求めるに際しては  $\beta$  線のエネルギースペクトルを考慮して平均  $\beta$  線エネルギーを求め、それに  $\beta$  崩壊にひきつづいて放出される  $\gamma$  線エネルギーを加え合わせなければならない。

この方法により核分裂生成物の崩壊熱を計算することによって、今まで冷却時間の範囲毎に使い分けられていた崩壊熱の計算式をより統一的に取扱うことができる。

また既存の計算式たとえば Way-Wigner の式<sup>11)</sup>、Shure の式<sup>12)</sup>、Dillon-Burriss の式<sup>6)</sup> 等の妥当性をも検討することができる。

### 6.4 核分裂生成物の断面積の計算

燃料を長時間燃やす商用炉においては FP の反応度効果が問題となり、そのためにはまず各時間における FP の核種毎の生成量にそれぞれのマイクロ吸収断面積をかけ、FP の全マクロ吸収断面積を計算することが必要である。熱中性子炉においては  $^{135}\text{Xe}$ ,  $^{149}\text{Sm}$  等の非常に熱中性子断面積の大きい核種があり、それらの生成量を計

算するに際しては核分裂生成物の中性子吸収による崩壊過程を考慮することが必要であり、熱中性子吸収による

吸収過程を考慮したコード「FP-C」<sup>8)</sup>として整備されている。

## 謝 辞

本稿の内容について懇切に御討論下さった動力炉開発管理室の能沢正雄主任研究員に心から感謝いたします。

また本稿をまとめるにあたって御指導下さった高炉設計班の平田実穂班長に御礼申し上げます。

## 文 献

- 1) FRIEDLANDER G. and KENNEDY J. W.: "NUCLEAR and RADIOCHEMISTRY", John Wiley & Sons, Inc., 1955.
- 2) STROMINGER D., *et al.*: "Table of Isotopes", *Rev. Modern Phys.* **30**, 585-904
- 3) KATCOFF S.: *Nucleonics* **16**, No. 4 (1958)
- 4) CARL A. ANDERSON: "Fission Product Yields from Fast (~1 MeV) Neutron Fission of Pu-239", LA-3383 (1965)
- 5) BLOMEKE J. O. *et al.*: "Uranium-235 Fission Product Production as a Function of Thermal Neutron Flux, Irradiation Time and Decay Time," ORNL-2127, Oak Ridge National Laboratory (1957-1958)
- 6) BURRIS L. JR. *et al.*: "Estimation of Fission Product Spectra in Discharged Fuel from Fast Reactors," ANL-5742, Argonne National Laboratory (1957)
- 7) 笹本, 田坂, 小山, 「核分裂生成物による $\gamma$ 線スペクトル計算コード FP- $\gamma$ 」, JAERI-memo 3776 (1970)
- 8) To be published.
- 9) 笹本, 田坂, 「核分裂生成物の崩壊熱の計算について」 JAERI-memo 4205 (1970)
- 10) 小山, 田坂, 笹本, 「核分裂生成物からの $\gamma$ 線エネルギースペクトルによる燃焼度の推定」
- 11) WAY K. and WIGNER E. P.: "Rates of Decay of Fission Products", in "Radiochemical Studies: The Fission Products," edited by CORYELL C. D. and SUGARMAN N., McGraw-Hill, New York, 1951. paper 43.
- 12) SHURE K.: "Fission Product Decay Energy," in USAEC Report WAPD-BT-24, pp. 1-17, Westinghouse Electric Corp., Bettis Atomic Power Laboratory, Dec. 1961.

## Appendix 1 取り扱いFP核種のリスト

## 1.1 同位元素毎のリスト

Ge	Ge(77), Ge(78)	Sn	Sn <sup>m</sup> (115), Sn <sup>m</sup> (117), Sn <sup>s</sup> (117), Sn <sup>s</sup> (119), Sn(121), Sn(123), Sn(125), Sn(126), Sn(127), Sn(128), Sn(130), Sn(131), Sn(132)
As	As(77), As(78), As(79)	Sb	Sb <sup>s</sup> (121), Sb <sup>s</sup> (123), Sb(125), Sb(126), Sb(127), Sb(128), Sb(129), Sb(130), Sb(131), Sb(132), Sb(133), Sb(134)
Se	Se <sup>s</sup> (77), Se <sup>s</sup> (78), Se <sup>m</sup> (79), Se(79), Se(81), Se(83), Se(84), Se(85), Se(87)	Te	Te <sup>m</sup> (125), Te <sup>s</sup> (125), Te <sup>s</sup> (127), Te <sup>m</sup> (127), Te(127), Te <sup>s</sup> (128), Te <sup>m</sup> (129), Te(129), Te <sup>s</sup> (130), Te <sup>m</sup> (131), Te(131), Te(132), Te <sup>m</sup> (133), Te(133), Te(134), Te(135)
Br	Br <sup>s</sup> (79), Br <sup>s</sup> (81), Br(83), Br(84), Br(85), Br(87), Br(88), Br(89), Br(90)	I	I <sup>s</sup> (127), I(129), I(131), I(132), I(133), I(134), I(135), I(136), I(137), I(138), I(139)
Kr	Kr <sup>m</sup> (83), Kr <sup>s</sup> (83), Kr <sup>s</sup> (84), Kr <sup>m</sup> (85), Kr(85), Kr <sup>s</sup> (86), Kr(87), Kr(88), Kr(89), Kr(90), Kr(91), Kr(92), Kr(93), Kr(94)	Xe	Xe <sup>s</sup> (129), Xe <sup>m</sup> (131), Xe <sup>s</sup> (131), Xe <sup>s</sup> (132), Xe <sup>m</sup> (133), Xe(133), Xe <sup>s</sup> (134), Xe <sup>m</sup> (135), Xe(135), Xe <sup>s</sup> (136), Xe(137), Xe(138), Xe(139), Xe(140), Xe(141), Xe(143)
Rb	Rb <sup>s</sup> (85), Rb <sup>s</sup> (87), Rb(88), Rb(89), Rb(90), Rb(91), Rb(92)	Cs	Cs <sup>s</sup> (133), Cs(135), Cs(137), Cs(138), Cs(139), Cs(140)
Sr	Sr <sup>s</sup> (88), Sr(89), Sr(90), Sr(91), Sr(92), Sr(93), Sr(94)	Ba	Ba <sup>s</sup> (135), Ba <sup>m</sup> (137), Ba <sup>s</sup> (137), Ba <sup>s</sup> (138), Ba(139), Ba(140), Ba(141), Ba(142), Ba(143)
Y	Y <sup>m</sup> (89), Y <sup>s</sup> (89), Y(90), Y <sup>m</sup> (91), Y(91), Y(92), Y(93), Y(94)	La	La <sup>s</sup> (139), La(140), La(141), La(142), La(143)
Zr	Zr <sup>s</sup> (90), Zr <sup>s</sup> (91), Zr <sup>s</sup> (92), Zr(93), Zr <sup>s</sup> (94), Zr(95), Zr <sup>s</sup> (96), Zr(97), Zr(99)	Ce	Ce <sup>s</sup> (140), Ce(141), Ce <sup>s</sup> (142), Ce(143), Ce(144), Ce(145), Ce(146)
Nb	Nb <sup>m</sup> (93), Nb <sup>s</sup> (93), Nb <sup>m</sup> (95), Nb(95), Nb <sup>s</sup> (97), Nb(97), Nb(99)	Pr	Pr <sup>s</sup> (141), Pr(143), Pr(144), Pr(145), Pr(146)
Mo	Mo <sup>s</sup> (95), Mo <sup>s</sup> (97), Mo <sup>s</sup> (98), Mo(99), Mo <sup>s</sup> (100), Mo(101), Mo(102), Mo(105)	Nd	Nd <sup>s</sup> (143), Nd <sup>s</sup> (144), Nd <sup>s</sup> (145), Nd <sup>s</sup> (146), Nd(147), Nd <sup>s</sup> (148), Nd(149), Nd <sup>s</sup> (150), Nd(151)
Tc	Tc <sup>m</sup> (99), Tc(99), Tc(101), Tc(102), Tc(103), Tc(104), Tc(105), Tc(107)	Pm	Pm(147), Pm(149), Pm(151)
Ru	Ru <sup>s</sup> (99), Ru <sup>s</sup> (101), Ru <sup>s</sup> (102), Ru(103), Ru <sup>s</sup> (104), Ru(105), Ru(106), Ru(107), Ru(108)	Sm	Sm <sup>s</sup> (147), Sm <sup>s</sup> (149), Sm(151), Sm <sup>s</sup> (152), Sm(153), Sm <sup>s</sup> (154), Sm(155), Sm(156)
Rh	Rh <sup>m</sup> (103), Rh <sup>s</sup> (103), Rh <sup>m</sup> (105), Rh(105), Rh(106), Rh(107), Rh(108)	Eu	Eu <sup>s</sup> (151), Eu <sup>s</sup> (153), Eu(155), Eu(156), Eu(157), Eu(158)
Pd	Pd <sup>s</sup> (105), Pd <sup>s</sup> (106), Pd(107), Pd <sup>s</sup> (108), Pd(109), Pd(111), Pd(112), Pd(113), Pd(114), Pd(115)	Gd	Gd <sup>s</sup> (155), Gd <sup>s</sup> (156), Gd <sup>s</sup> (157), Gd <sup>s</sup> (158), Gd(159), Gd(161)
Ag	Ag <sup>s</sup> (107), Ag <sup>m</sup> (109), Ag <sup>s</sup> (109), Ag(111), Ag(112), Ag <sup>m</sup> (113), Ag(113), Ag(114), Ag(115), Ag(116), Ag(117)	Tb	Tb(161)
Cd	Cd <sup>s</sup> (111), Cd <sup>s</sup> (112), Cd <sup>s</sup> (113), Cd <sup>s</sup> (114), Cd <sup>m</sup> (115), Cd(115), Cd <sup>s</sup> (116), Cd(117), Cd(119)	Dy	Dy <sup>s</sup> (161)
In	In <sup>m</sup> (115), In <sup>s</sup> (115), In <sup>m</sup> (117), In(117), In(119)		

なお上記の記号の中で、添字mは準安定核種を、添字sは安定核種、添字無しは放射性核種をあらわす。

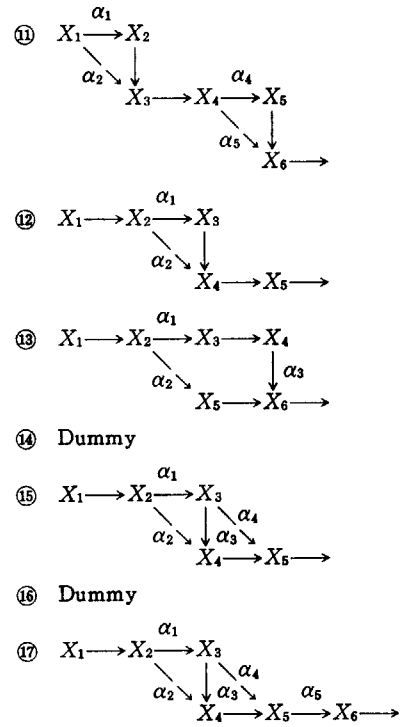
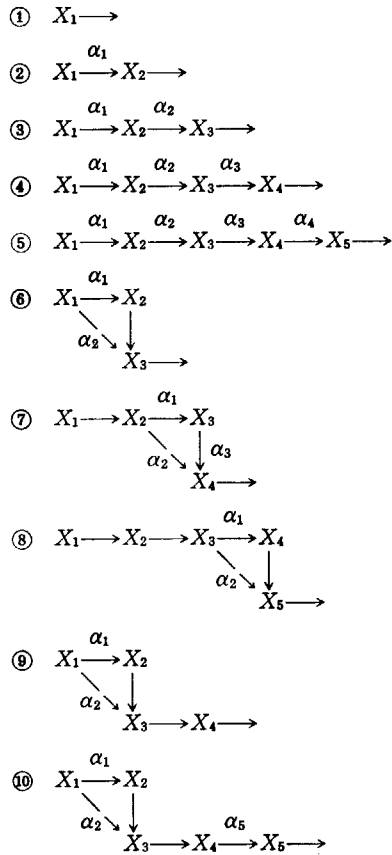


## 1.2 核種指定番号順のリスト

番号	核種	番号	核種	番号	核種	番号	核種	番号	核種	番号	核種
1	Ge(77)	49	Zr(93)	97	Ag(117)	145	I(136)	193	Sm(156)	241	Sb*(121)
2	Ge(78)	50	Zr(95)	98	Cd <sup>m</sup> (115)	146	I(137)	194	Eu(155)	242	Sb*(123)
3	As(77)	51	Zr(97)	99	Cd(115)	147	I(138)	195	Eu(156)	243	Te*(125)
4	As(78)	52	Zr(99)	100	Cd(117)	148	I(139)	196	Eu(157)	244	Te*(126)
5	As(79)	53	Nb <sup>m</sup> (93)	101	Cd(119)	149	Xe <sup>m</sup> (131)	197	Eu(158)	245	I*(127)
6	Se <sup>m</sup> (79)	54	Nb <sup>m</sup> (95)	102	In <sup>m</sup> (115)	150	Xe <sup>m</sup> (133)	198	Gd(159)	246	Te*(128)
7	Se(79)	55	Nb(95)	103	In*(115)	151	Xe(133)	199	Gd(161)	247	Xe*(128)
8	Se(81)	56	Nb <sup>m</sup> (97)	104	In <sup>m</sup> (117)	152	Xe <sup>m</sup> (135)	200	Tb(161)	248	Xe*(129)
9	Se(83)	57	Nb(97)	105	In(117)	153	Xe(135)	201	Kr <sup>d</sup> (87)	249	Xe*(131)
10	Se(84)	58	Nb(99)	106	In(119)	154	Xe(137)	202	Se*(77)	250	Xe*(132)
11	Se(85)	59	Mo(99)	107	Sn <sup>m</sup> (117)	155	Xe(138)	203	Se*(78)	251	Cs*(133)
12	Se(87)	60	Mo(101)	108	Sn(121)	156	Xe(139)	204	Br*(79)	252	Xe*(134)
13	Br(83)	61	Mo(102)	109	Sn(123)	157	Xe(140)	205	Br*(81)	253	Ba*(135)
14	Br(84)	62	Mo(105)	110	Sn(125)	158	Xe(141)	206	Kr*(83)	254	Xe*(136)
15	Br(85)	63	Tc <sup>m</sup> (99)	111	Sn(126)	159	Xe(143)	207	Kr*(84)	255	Ba*(137)
16	Br(87)	64	Tc(99)	112	Sn(127)	160	Cs(135)	208	Rb*(85)	256	Ba*(138)
17	Br(88)	65	Tc(101)	113	Sn(128)	161	Cs(137)	209	Kr*(86)	257	La*(139)
18	Br(89)	66	Tc(102)	114	Sn(130)	162	Cs(138)	210	Rb*(87)	258	Ce*(140)
19	Br(90)	67	Tc(103)	115	Sn(131)	163	Cs(139)	211	Sr*(88)	259	Pr*(141)
20	Kr <sup>m</sup> (83)	68	Tc(104)	116	Sn(132)	164	Cs(140)	212	Y*(89)	260	Ce*(142)
21	Kr <sup>m</sup> (85)	69	Tc(105)	117	Sb(125)	165	Ba <sup>m</sup> (137)	213	Zr*(90)	261	Nd*(143)
22	Kr(85)	70	Tc(107)	118	Sb(126)	166	Ba(139)	214	Zr*(91)	262	Nd*(144)
23	Kr(87)	71	Ru(103)	119	Sb(127)	167	Ba(140)	215	Zr*(92)	263	Nd*(145)
24	Kr(88)	72	Ru(105)	120	Sb(128)	168	Ba(141)	216	Nb*(93)	264	Nd*(146)
25	Kr(89)	73	Ru(106)	121	Sb(129)	169	Ba(142)	217	Zr*(94)	265	Sm*(147)
26	Kr(90)	74	Ru(107)	122	Sb(130)	170	Ba(143)	218	Mo*(95)	266	Nd*(148)
27	Kr(91)	75	Ru(108)	123	Sb(131)	171	La(140)	219	Zr*(96)	267	Sm*(149)
28	Kr(92)	76	Rh <sup>m</sup> (103)	124	Sb(132)	172	La(141)	220	Mo*(97)	268	Nd*(150)
29	Kr(93)	77	Rh <sup>m</sup> (105)	125	Sb(133)	173	La(142)	221	Mo*(98)	269	Eu*(151)
30	Kr(94)	78	Rh(105)	126	Sb(134)	174	La(143)	222	Ru*(99)	270	Sm*(152)
31	Rb(88)	79	Rh(106)	127	Te <sup>m</sup> (125)	175	Ce(141)	223	Mo*(100)	271	Eu*(153)
32	Rb(89)	80	Rh(107)	128	Te <sup>m</sup> (127)	176	Ce(143)	224	Ru*(101)	272	Sm*(154)
33	Rb(90)	81	Rh(108)	129	Te(127)	177	Ce(144)	225	Ru*(102)	273	Gd*(155)
34	Rb(91)	82	Pd(107)	130	Te <sup>m</sup> (129)	178	Ce(145)	226	Rh*(103)	274	Gd*(156)
35	Rb(92)	83	Pd(109)	131	Te(129)	179	Ce(146)	227	Ru*(104)	275	Gd*(157)
36	Sr(89)	84	Pd(111)	132	Te <sup>m</sup> (131)	180	Pr(143)	228	Pd*(105)	276	Gd*(158)
37	Sr(90)	85	Pd(112)	133	Te(131)	181	Pr(144)	229	Pd*(106)	277	Tb*(159)
38	Sr(91)	86	Pd(113)	134	Te(132)	182	Pr(145)	230	Ag*(107)	278	Dy*(161)
39	Sr(92)	87	Pd(114)	135	Te <sup>m</sup> (133)	183	Pr(146)	231	Pd*(108)	279	Rb <sup>d</sup> (85)
40	Sr(93)	88	Pd(115)	136	Te(133)	184	Nd(147)	232	Ag*(109)	280	Nb <sup>d</sup> (93)
41	Sr(94)	89	Ag <sup>m</sup> (109)	137	Te(134)	185	Nd(144)	233	Cd*(111)	281	Sn <sup>d</sup> (117)
42	Y <sup>m</sup> (89)	90	Ag(111)	138	Te(135)	186	Nd(151)	234	Cd*(112)	282	Te <sup>d</sup> (125)
43	Y(90)	91	Ag(112)	139	I(129)	187	Pm(147)	235	Cd*(113)	283	I <sup>d</sup> (127)
44	Y(91)	92	Ag <sup>m</sup> (113)	140	I(131)	188	Pm(149)	236	Cd*(114)	284	Xe <sup>d</sup> (131)
45	Y <sup>m</sup> (91)	93	Ag(113)	141	I(132)	189	Pm(151)	237	Sn*(115)	285	Ba <sup>d</sup> (137)
46	Y(92)	94	Ag(114)	142	I(133)	190	Sm(151)	238	Cd*(116)	286	Y <sup>d</sup> (89)
47	Y(93)	95	Ag(115)	143	I(134)	191	Sm(153)	239	Sn*(117)	287	Rh <sup>d</sup> (103)
48	Y(94)	96	Ag(116)	144	I(135)	192	Sm(155)	240	Sn*(119)	288	Kr <sup>d</sup> (86)

上表において添字 s, m は安定および準安定核種を示し, 添字 d は合流型核種を計算するためのダミー核種をあらわす。

Appendix 2 崩壊系列の分類



上に示した系列図中の $\alpha_j$ は分岐比のインプット PHAI(N, J) に対応しており、分岐比データは上の崩壊系列において $\alpha_j$ の記入されている崩壊経路にしか与えることはできない。

Appendix 3 インプット例

288	288	11	17							
0.009	0.027	0.000	0.000	0.051	0.000	0.000	0.199	0.598	0.929	
1.136	1.078	0.003	0.030	0.161	1.496	2.863	2.484	1.245	0.000	
0.000	0.003	0.222	0.904	2.371	3.306	3.507	1.930	0.724	0.168	
0.033	0.244	0.926	2.280	3.560	0.002	0.023	0.162	0.698	1.916	
3.279	0.000	0.000	0.001	0.000	0.012	0.093	0.448	0.000	6.200	
5.780	5.288	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020	0.603	0.009	5.199	
2.947	1.323	0.000	0.000	0.002	0.012	2.764	2.221	0.759	0.177	
0.000	0.006	1.048	0.013	0.030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
0.000	0.000	0.036	0.014	0.009	0.010	0.010	0.009	0.000	0.000	
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.009	0.000	0.000	0.000	
0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015	0.017	0.018	
0.028	0.102	0.234	0.744	0.618	0.289	0.000	0.001	0.007	0.055	
0.909	1.008	1.930	2.084	2.056	1.371	0.000	0.000	0.000	0.000	
0.020	0.000	0.633	1.320	0.000	3.129	4.807	3.875	0.000	0.019	
0.106	0.508	1.763	2.803	5.467	4.086	2.137	0.860	0.000	0.000	
0.007	0.000	0.220	2.094	3.233	3.658	2.835	1.228	0.060	0.001	
0.119	0.522	1.617	3.098	0.000	0.066	0.363	1.235	5.975	3.555	
0.003	0.036	0.223	0.847	0.000	0.017	5.798	4.692	3.360	0.000	
0.001	0.007	0.040	2.500	1.098	0.448	0.000	0.000	0.011	0.000	
0.149	0.045	0.020	0.000	0.001	0.020	0.010	0.000	0.000	0.000	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.035	0.003	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.005	0.0	0.254	0.0	
0.001	0.0	0.078	0.0	0.0	0.0	0.001	0.0	0.0	0.0	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.001	0.0	0.146	0.0	0.001	
0.0	0.058	0.0	0.817	0.001	0.007	0.0	0.0	0.0	0.001	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.011	0.0	0.103	0.0	0.0	
0.0	0.006	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
0.110	0.187	0.000	0.003	0.250	0.000	0.000	0.481	0.985	1.298	
1.268	0.515	0.024	0.150	0.509	1.688	1.964	1.095	0.374	0.000	
0.140	0.601	1.494	2.406	2.883	0.013	0.091	0.439	1.299	2.456	
3.077	0.000	0.000	0.006	0.000	0.054	0.288	0.976	0.003	5.099	
4.908	3.639	0.000	0.000	0.001	0.000	0.092	1.214	0.046	4.586	
0.000	0.023	0.579	1.595	2.492	2.341	1.649	0.664	0.172	0.028	
3.935	1.764	0.000	0.000	0.014	0.065	3.397	2.390	0.610	1.131	
0.002	0.035	1.498	0.261	1.269	0.000	0.000	0.000	0.001	0.007	
0.031	0.000	1.100	1.009	0.988	0.972	0.936	0.861	0.000	0.000	
0.001	0.000	0.008	0.034	0.106	0.970	0.949	0.000	0.002	0.041	
1.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.000	1.060	1.399	1.569	
1.677	1.629	1.608	0.697	0.280	0.092	0.030	0.122	0.362	0.933	
3.035	2.231	2.067	1.610	0.869	0.322	0.000	0.000	0.010	0.000	
0.261	0.000	1.541	2.651	0.000	3.120	2.674	1.723	0.003	0.110	
0.440	1.170	2.224	3.009	3.540	2.051	0.824	0.216	0.000	0.000	
0.040	0.000	0.559	2.594	2.941	2.184	1.065	0.320	0.006	0.009	
0.351	1.097	2.184	2.761	0.000	0.214	0.736	1.723	3.530	2.157	
0.018	0.122	0.462	1.175	0.001	0.060	2.997	2.676	1.994	0.000	
0.003	0.024	0.105	1.399	0.768	0.384	0.000	0.002	0.036	0.000	
0.160	0.088	0.058	0.003	0.009	0.027	0.017	0.012	0.000	0.000	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.002	0.0	0.129	0.018	
0.001	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.028	0.0	0.666	0.0	
0.005	0.0	0.246	0.0	0.0	0.0	0.010	0.0	0.0	0.0	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.010	0.0	0.0	
0.0	0.001	0.0	0.001	0.0	0.059	0.0	0.749	0.001	0.006	
0.0	0.179	0.0	1.490	0.004	0.037	0.002	0.0	0.0	0.008	
0.0	0.0	0.0	0.001	0.0	0.030	0.0	0.212	0.0	0.003	
0.003	0.019	0.0	0.0	0.001	0.002	0.0	0.0	0.0	0.0	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
0.000	0.020	0.000	0.000	0.041	0.000	0.000	0.130	0.276	0.361	
0.384	0.231	0.004	0.028	0.112	0.575	0.789	0.574	0.281	0.000	
0.000	0.004	0.151	0.478	0.991	1.334	1.192	0.639	0.225	0.048	
0.032	0.182	0.635	1.424	2.109	0.003	0.030	0.182	0.729	1.861	
2.949	0.000	0.000	0.002	0.000	0.023	0.145	0.721	0.001	5.200	
5.735	4.890	0.000	0.000	0.001	0.000	0.065	1.176	0.033	6.089	
5.843	3.843	0.000	0.000	0.010	0.057	5.849	5.982	1.491	3.172	
0.002	0.065	4.598	0.517	2.561	0.000	0.000	0.000	0.002	0.011	
0.039	0.000	1.050	0.250	0.119	0.074	0.050	0.036	0.000	0.000	
0.000	0.000	0.000	0.001	0.003	0.036	0.036	0.000	0.000	0.001	
0.036	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.037	0.049	0.088	
0.195	0.336	0.621	0.713	0.382	0.146	0.001	0.006	0.053	0.266	
1.985	1.732	2.131	1.916	1.546	0.641	0.000	0.000	0.001	0.000	
0.114	0.000	1.222	2.428	0.000	4.213	4.026	2.826	0.001	0.066	
0.306	1.210	2.576	3.738	5.085	3.170	1.399	0.395	0.000	0.000	
0.031	0.000	0.529	3.018	3.791	3.013	1.623	0.528	0.014	0.006	
0.310	1.083	2.319	3.196	0.000	0.172	0.668	1.660	4.400	2.674	
0.012	0.089	0.395	1.118	0.000	0.043	3.896	3.183	2.514	0.000	
0.002	0.016	0.085	2.099	1.398	0.836	0.000	0.002	0.053	0.001	
0.540	0.264	0.126	0.006	0.014	0.070	0.035	0.019	0.000	0.000	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.030	0.003	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.015	0.0	0.518	0.0	
0.003	0.0	0.237	0.0	0.0	0.0	0.033	0.0	0.0	0.0	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.013	0.0	0.445	0.0	0.003	
0.0	0.156	0.0	1.559	0.003	0.027	0.001	0.0	0.0	0.005	
0.0	0.0	0.0	0.001	0.0	0.033	0.0	0.291	0.0	0.004	
0.0	0.056	0.0	0.0	0.001	0.002	0.0	0.0	0.0	0.0	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
0.019	0.039	0.000	0.000	0.071	0.000	0.000	0.177	0.373	0.479	
0.526	0.265	0.006	0.040	0.162	0.691	0.848	0.567	0.244	0.000	
0.000	0.006	0.191	0.546	1.030	1.218	1.070	0.546	0.185	0.040	
0.038	0.199	0.627	1.346	1.894	0.003	0.030	0.181	0.687	1.687	
2.746	0.000	0.000	0.002	0.000	0.022	0.157	0.700	0.001	5.298	
5.136	4.592	0.000	0.000	0.001	0.000	0.064	1.173	0.035	5.988	
5.935	3.707	0.000	0.000	0.011	0.064	5.846	5.586	1.523	3.142	
0.002	0.070	4.697	0.546	2.656	0.000	0.000	0.000	0.002	0.012	
0.044	0.000	1.669	0.500	0.150	0.109	0.097	0.087	0.000	0.000	
0.000	0.000	0.001	0.002	0.008	0.089	0.084	0.000	0.000	0.003	
0.085	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.130	0.164	
0.266	0.403	0.481	0.551	0.320	0.128	0.002	0.014	0.062	0.218	
1.129	1.409	1.883	1.763	1.199	0.523	0.000	0.000	0.001	0.000	
0.070	0.000	1.133	2.344	0.000	3.437	3.457	2.633	0.001	0.064	
0.311	1.036	2.321	3.664	5.196	3.243	1.290	0.330	0.000	0.000	
0.028	0.000	0.545	3.253	3.677	2.656	1.443	0.510	0.031	0.007	
0.351	1.103	2.145	2.988	0.000	0.167	0.656	1.770	4.920	2.894	
0.012	0.099	0.473	1.270	0.000	0.051	4.297	3.530	2.747	0.000	
0.002	0.020	0.101	2.250	1.402	0.832	0.000	0.002	0.057	0.001	
0.480	0.253	0.161	0.006	0.019	0.118	0.065	0.044	0.011	0.002	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.042	0.005	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.016	0.0	0.526	0.0	

RMAX, NMAX, NADD, MNX

GAMMA1 ; U-235 thermal fission yield

GAMMA2 ; U-235 fast fission yield

GAMMA3 ; Pu-239 thermal fission yield

GAMMA4 ; Pu-239 fast fission yield

0.003	0.0	0.219	0.0	0.0	0.0	0.014	0.0	0.0	0.0	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.001	0.0	0.0	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.011	0.0	0.380	0.0	0.003	
0.0	0.148	0.0	1.690	0.003	0.029	0.001	0.0	0.0	0.006	
0.0	0.0	0.0	0.001	0.0	0.037	0.0	0.317	0.0	0.005	
0.0	0.055	0.0	0.0	0.002	0.005	0.0	0.0	0.0	0.0	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
0.003	0.010	0.000	0.000	0.021	0.000	0.000	0.095	0.500	0.758	
0.641	1.309	0.000	0.001	0.010	0.378	2.296	2.345	1.830	0.000	
0.000	0.000	0.013	0.103	0.436	1.098	3.403	2.889	2.013	0.903	
0.001	0.010	0.072	0.391	1.139	0.000	0.000	0.006	0.052	0.302	
1.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.031	0.000	1.398	
5.901	6.330	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.070	0.000	6.600	
6.600	3.800	0.000	0.000	0.000	0.001	6.601	5.100	0.086	1.690	
0.000	0.000	2.701	0.010	0.570	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
0.000	0.000	0.299	0.070	0.045	0.043	0.040	0.038	0.000	0.000	
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.037	0.039	0.000	0.000	0.000	
0.038	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.039	0.047	0.060	
0.076	0.099	0.418	1.317	1.694	1.502	0.000	0.000	0.001	0.011	
0.948	0.370	1.211	2.535	4.049	3.355	0.000	0.000	0.000	0.000	
0.001	0.000	0.094	0.456	0.000	1.303	2.708	5.027	0.000	0.001	
0.007	0.048	0.237	0.661	5.708	5.525	4.356	2.674	0.000	0.000	
0.000	0.000	0.011	0.468	1.393	2.643	4.494	3.064	4.909	0.000	
0.006	0.051	0.281	0.980	0.000	0.002	0.026	0.167	5.287	1.637	
0.000	0.001	0.012	0.091	0.000	0.000	4.800	4.300	3.897	0.000	
0.000	0.000	0.002	3.300	2.001	1.298	0.000	0.000	0.002	0.000	
0.429	0.139	0.066	0.000	0.000	0.037	0.010	0.000	0.000	0.000	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.001	0.000	
0.0	0.0	0.004	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.017	0.0	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.012	0.0	0.0	
0.0	0.007	0.0	0.097	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.001	0.0	0.035	0.0	0.0	
0.0	0.002	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
6.13	-2 4.84	-1 1.79	-2 4.57	-1 4.62	+0 1.06	+1 1.22	-9 2.29	+0 1.66	+0 1.26	+1
6.24	+1 1.47	+2 3.01	-1 1.31	+0 1.39	+1 4.49	+1 1.61	+2 5.53	+2 1.78	+3 3.64	-1
1.58	-1 7.68	-6 5.33	-1 2.50	-1 1.31	+1 7.56	+1 2.55	+2 8.32	+2 1.25	+3 1.78	+3
2.34	+0 2.70	+0 1.52	+1 2.97	+0 3.12	+1 5.72	-4 2.86	-6 7.17	-2 2.67	-1 5.07	+0
3.20	+1 1.56	+2 1.08	-2 5.02	-4 8.17	-1 1.93	-1 8.66	-2 2.52	+0 7.19	-11 4.44	-4
4.08	-2 8.32	+1 1.32	-5 7.70	-3 8.25	-4 4.18	+1 5.77	-1 1.09	+1 1.05	-2 2.85	+0
3.62	+0 2.08	+1 1.16	-1 3.73	-10 2.97	+0 9.24	+0 3.47	+1 2.31	+0 4.16	+0 2.77	+1
7.26	-4 1.34	-1 7.91	-5 1.04	+1 1.04	+1 7.31	-1 6.55	+1 1.90	-2 8.31	+1 1.73	+0
1.19	+2 1.13	-11 7.13	-2 1.88	+0 3.30	-2 2.97	+1 1.73	+1 5.55	+1 6.37	+1 3.80	-3
2.17	-1 3.47	+1 1.31	+1 2.08	+1 1.97	+0 1.66	+1 3.78	+1 6.73	-4 1.31	-2 8.32	-1
2.50	+2 1.54	-1 1.0	-20 3.47	-1 6.30	-1 2.38	+0 2.06	-3 2.52	-2 2.12	-4 3.07	-3
8.32	-1 3.30	-1 7.30	+1 1.60	+1 1.22	+1 1.89	+1 3.96	-5 7.70	-2 7.88	-3 4.04	+0
1.65	-1 5.86	+0 1.80	+0 1.98	+1 9.45	+0 4.99	+1 4.97	-4 2.75	-4 7.37	-2 7.81	-4
5.78	-1 2.31	-2 1.68	+0 8.92	-3 6.59	-1 2.08	+1 9.45	-1 2.08	+1 4.60	-12 3.57	-3
3.07	-1 3.33	-2 7.92	-1 1.04	-1 2.90	+1 1.13	+2 4.23	+2 9.24	+2 2.40	-3 1.26	-2
5.48	-3 2.72	+0 7.59	-2 1.07	+1 2.45	+0 6.09	+1 1.56	+2 1.47	+3 2.50	+3 2.64	+11
2.97	-6 1.29	+0 4.38	+0 3.78	+1 1.62	+1 4.95	-1 2.26	-3 2.31	+0 6.93	+0 8.32	+1
1.72	-2 1.82	-1 5.40	+1 2.19	+0 8.73	-4 2.10	-2 1.01	-4 1.39	+1 2.99	+0 2.10	-3
2.41	+0 1.16	-1 1.70	+0 2.61	-3 3.47	-1 2.77	+0 3.00	-5 1.28	-2 2.52	-2 8.51	-7

GAMMA5 ; U-238 fast fission yield

RAMDA(1/hour) ; decay constant

1.47	-2 1.77	+0 7.70	-2 4.65	-5 1.88	-3 4.50	-2 6.93	-1 3.85	-2 1.16	+1 4.20	-3
5.33	-1 0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.

W,J,PHAI(N,J) ; branching ratio

22	3 0.225	23	2 0.98	201	1 0.04	24	1 0.96	31	1 0.96
42	4 0.0002	44	2 0.40	45	3 0.60	53	4 0.50	54	1 0.02
55	1 0.02	55	2 0.98	56	1 0.98	57	1 0.98	57	2 0.02
63	3 0.87	64	1 0.87	64	2 0.13	76	2 0.95	98	2 0.09
99	2 0.91	102	2 0.91	103	1 0.91	103	2 0.09	103	3 0.95
105	3 0.22	107	3 0.001	127	2 0.25	128	2 0.22	129	1 0.22
129	2 0.78	129	3 0.98	130	1 0.36	131	1 0.36	131	2 0.64
152	2 0.15	153	2 0.85	155	1 0.72	156	1 0.72	156	2 0.28
159	1 0.36	159	2 0.64	140	1 0.15	140	2 0.85	140	3 0.2
140	4 0.8	142	1 0.72	142	2 0.28	149	4 0.008	150	1 0.72
150	2 0.28	150	5 0.024	151	1 0.72	151	2 0.28	151	4 0.024
151	5 0.976	152	2 0.30	153	1 0.30	153	2 0.70	160	1 0.30
160	2 0.70	165	3 0.92	44	1 0.60	133	1 0.15	133	3 0.20
208	1 0.775	216	1 0.50	281	1 0.78			280	1 0.50
243	1 0.75	249	1 0.992	285	1 0.08	212	1 0.9998	283	1 0.02
287	1 0.05	288	1 0.02	237	1 0.05				
149	1 0.15	149	2 0.85	149	3 0.20	149	4 0.80	149	5 0.008

NTYPE

1	1	2	2	1	2	3	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	3
3	4	3	2	2	2	1	1	1	1	3	3	3	2	2	2	4	4	3	3	2	2
2	5	5	8	4	4	3	3	4	1	1	1	5	2	6	2	6	2	3	1	1	1
1	1	4	8	2	2	1	1	2	1	2	3	1	2	1	3	4	5	2	3	2	3
2	4	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	2	2	1	1	3	3	2	2	2
1	4	13	3	4	2	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
1	2	2	2	1	1	3	3	7	2	6	3	7	3	2	6	2	1	1	9	15	15
4	9	3	2	1	1	1	17	10	11	3	7	2	2	2	1	1	1	1	12	12	12
3	3	3	2	4	4	3	2	1	2	4	3	2	3	4	4	1	1	1	5	5	5
2	2	2	1	1	1	2	2	3	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1
21003100410071008102010141021200010231031103610431044104610491048105520001057																					
2000106420001065106610761064107810791082108110810910910910941102109411051106																					
11081109111711811291120113911221140114115111411611611651162116611711711751173																					
1180118118211831187200011882000119020001191200011941195119611971198120010221053																					
110411271128114911611104210711016																					
1	2	1	2	5	5	5	8	9	10	11	12	9	10	11	12	17	18	19	9	9	9
11	11	12	17	18	19	27	28	29	30	17	18	19	27	28	18	19	27	28	29	29	29
30	18	19	27	27	28	29	30	29	30	51	52	29	50	50	51	51	52	52	60	60	60
61	62	52	52	60	61	67	68	62	70	67	62	73	70	73	67	62	62	73	70	70	70
75	70	83	84	85	86	87	88	83	84	85	86	86	87	88	96	97	88	88	97	97	97
101	88	88	97	97	101	97	108	109	110	111	112	113	114	115	116	110	111	112	115	115	115
121	114	115	116	125	126	110	112	112	121	121	115	115	116	125	125	126	138	121	115	115	115
116	125	126	138	145	146	147	148	115	125	125	138	138	146	147	148	157	158	159	138	138	138
146	147	148	157	146	148	157	158	169	159	157	158	169	159	158	159	177	178	179	159	159	159
177	178	179	184	185	186	184	185	186	186	191											



Appendix 4 アウトプット例

\*\*\* F.P. DECAY SERIES \*\*\*  
 \*\*\* U-235 THERMAL FISSION / 1 KW POWER / \*\*\*

INPUT DATA

```
*REACTOR TYPE          U-235  THERMAL
*OPERATION POWER       0.10000E 04 WATT
*IRRADIATION AND COOLING TIME
  IRRADIATION          1.000E 02-DAY 0.0  -HOUR 0.0  -MIN 0.0  -SEC
  COOLING              1.000E 02-DAY 0.0  -HOUR 0.0  -MIN 0.0  -SEC
*OUTPUT TIME
  2.500E 01-DAY 0.0  -HOUR 0.0  -MIN 0.0  -SEC
  5.000E 01-DAY 0.0  -HOUR 0.0  -MIN 0.0  -SEC
  7.500E 01-DAY 0.0  -HOUR 0.0  -MIN 0.0  -SEC
  1.000E 02-DAY 0.0  -HOUR 0.0  -MIN 0.0  -SEC
  1.250E 02-DAY 0.0  -HOUR 0.0  -MIN 0.0  -SEC
  1.500E 02-DAY 0.0  -HOUR 0.0  -MIN 0.0  -SEC
  1.750E 02-DAY 0.0  -HOUR 0.0  -MIN 0.0  -SEC
  2.000E 02-DAY 0.0  -HOUR 0.0  -MIN 0.0  -SEC
```

\*\*\* F.P. DECAY SERIES \*\*\*  
 \*\*\* U-235 THERMAL FISSION / 1 KW POWER / \*\*\*

BUILD-IN DATA

\* TABLE OF DECAY-CONSTANT AND FISSION-YIELD

ELEMENT	DECAY CONST. (1/SECOND)	YIELD	TYPE	ELEMENT	DECAY CONST. (1/SECOND)	YIELD	TYPE
GE 77	0.17028E-04	0.90000E-04	1	95M	0.21389E-05	0.0	2
78	0.13444E-03	0.27000E-03	1	95	0.22917E-06	0.0	6
AS 77	0.49722E-05	0.0	2	97M	0.11611E-01	0.0	2
78	0.12694E-03	0.0	2	97	0.16028E-03	0.20000E-03	6
79	0.12833E-02	0.51000E-03	1	99	0.30278E-02	0.60300E-02	2
SE 79M	0.29444E-02	0.0	2	MO 99	0.29167E-05	0.90000E-04	3
79	0.33889E-12	0.0	3	101	0.79167E-03	0.51990E-01	1
81	0.63611E-03	0.19900E-02	1	102	0.10056E-02	0.29470E-01	1
83	0.46111E-03	0.59800E-02	1	105	0.57778E-02	0.13230E-01	1
84	0.35000E-02	0.92900E-02	1	TC 99M	0.32222E-04	0.0	4
85	0.17333E-01	0.11360E-01	1	99	0.10361E-12	0.0	8
87	0.40833E-01	0.10780E-01	1	101	0.82500E-03	0.20000E-04	2
RR 83	0.83611E-04	0.30000E-04	2	102	0.25667E-02	0.12000E-03	2
84	0.36389E-02	0.30000E-03	2	103	0.96389E-02	0.27640E-01	1
85	0.38611E-03	0.16100E-02	2	104	0.64167E-03	0.22210E-01	1
87	0.12472E-01	0.14960E-01	2	105	0.11556E-02	0.25900E-02	2
88	0.44722E-01	0.28630E-01	1	107	0.76944E-02	0.17700E-02	1
89	0.15361E 00	0.24840E-01	1	RU103	0.20167E-06	0.0	2
90	0.49444E 00	0.12450E-01	1	103	0.42778E-04	0.60000E-04	3
KR 83M	0.10111E-03	0.0	3	106	0.21972E-07	0.10480E-01	1
85M	0.43889E-04	0.0	3	107	0.28889E-02	0.13000E-03	2
85	0.21333E-08	0.30000E-04	4	108	0.28889E-02	0.30000E-03	1
87	0.14806E-03	0.22200E-02	3	RH103M	0.20306E-03	0.0	3
88	0.69444E-04	0.90400E-02	2	103M	0.18194E-01	0.0	4
89	0.36389E-02	0.23710E-01	2	105	0.52778E-05	0.0	5
90	0.21000E-01	0.33060E-01	2	106	0.23106E-01	0.0	2
91	0.70833E-01	0.35070E-01	1	107	0.48056E-03	0.0	3
92	0.23111E 00	0.19300E-01	1	108	0.38611E-01	0.0	2
93	0.34722E 00	0.72400E-02	1	PD107	0.31389E-14	0.0	4
94	0.49444E 00	0.16800E-02	1	109	0.14250E-04	0.36000E-03	1
RB 88	0.65000E-03	0.33000E-03	3	111	0.52500E-03	0.14000E-03	1
89	0.75000E-03	0.24400E-02	3	112	0.91667E-05	0.90000E-04	1
90	0.42222E-02	0.92600E-02	3	113	0.82500E-02	0.10000E-03	1
92	0.82500E-03	0.22800E-01	2	114	0.48056E-02	0.10000E-03	1
92	0.86667E-02	0.35600E-01	2	115	0.15417E-01	0.90000E-04	1
SR 89	0.15889E-06	0.20000E-04	4	AG109M	0.17694E-01	0.0	2
90	0.79444E-09	0.23000E-03	4	111	0.10556E-05	0.0	2
91	0.19917E-04	0.16200E-02	3	112	0.60278E-04	0.0	2
92	0.74167E-04	0.69800E-02	3	113M	0.96389E-02	0.0	2
93	0.14083E-02	0.19160E-01	2	113	0.36389E-04	0.0	3
94	0.88889E-02	0.32790E-01	2	114	0.57778E-02	0.0	2
Y 89M	0.43333E-01	0.0	5	115	0.54722E-03	0.0	2
90	0.30000E-05	0.0	5	116	0.46111E-02	0.10000E-03	1
91	0.13944E-06	0.10000E-04	8	117	0.10500E-01	0.90000E-04	1
91M	0.22694E-03	0.0	4	CD115M	0.18694E-06	0.0	3
92	0.53611E-04	0.12000E-03	4	115	0.36389E-05	0.0	3
93	0.18500E-04	0.93000E-03	3	117	0.23111E-03	0.0	2
94	0.70000E-03	0.44800E-02	3	119	0.69444E-01	0.11000E-03	1
Zr 93	0.19972E-13	0.0	4	IN115M	0.42778E-04	0.0	4
95	0.12333E-06	0.62000E-01	1	115S	0.27778E-23	0.0	13
97	0.11333E-04	0.57800E-01	1	117M	0.96389E-04	0.0	3
99	0.23111E-01	0.52880E-01	1	117	0.17500E-03	0.0	4
NB 93M	0.36667E-08	0.0	5	119	0.66111E-03	0.0	2

\*\*\* F.P. DECAY SERIES  
\*\*\* U-235 THERMAL FISSION / 1 KW POWER /

\*\*\*  
\*\*\*

BUILD-IN DATA

\* TABLE OF DECAY-CONSTANT AND FISSION-YIELD

ELEMENT	DECAY CONST. (1/SECOND)	YIELD	TYPE	ELEMENT	DECAY CONST. (1/SECOND)	YIELD	TYPE
SN117M	0.57222E-06	0.0	4	143	0.69444E 00	0.60000E-03	1
121	0.70000E-05	0.15000E-03	1	CS135	0.73333E-14	0.10000E-04	12
123	0.58889E-07	0.17000E-03	1	137	0.82500E-09	0.11900E-02	3
125	0.85278E-06	0.18000E-03	1	138	0.35833E-03	0.52200E-02	3
126	0.23111E-03	0.28000E-03	1	139	0.12167E-02	0.16170E-01	3
127	0.91667E-04	0.10200E-02	1	140	0.10500E-01	0.30980E-01	2
128	0.20278E-03	0.25400E-02	1	BA137M	0.45000E-02	0.0	4
130	0.44444E-02	0.74400E-02	1	139	0.13750E-03	0.66000E-03	4
131	0.33889E-02	0.61800E-02	1	140	0.62778E-06	0.36300E-02	3
132	0.52500E-02	0.28900E-02	1	141	0.64167E-03	0.12350E-01	2
SB125	0.11000E-07	0.0	2	142	0.19250E-02	0.59750E-01	1
126	0.21389E-04	0.10000E-04	2	143	0.23111E-01	0.35550E-01	2
127	0.21889E-05	0.70000E-04	2	LA140	0.47778E-05	0.30000E-04	4
128	0.11222E-02	0.55000E-03	2	141	0.50556E-04	0.36000E-03	3
129	0.45833E-04	0.90900E-02	1	142	0.15000E-03	0.22300E-02	2
130	0.16278E-02	0.10080E-01	2	143	0.60833E-03	0.84700E-02	3
131	0.50000E-03	0.19300E-01	2	CE141	0.24250E-06	0.0	4
132	0.55000E-02	0.20840E-01	2	143	0.58333E-05	0.17000E-03	4
133	0.26250E-02	0.20560E-01	1	144	0.28056E-07	0.37980E-01	1
134	0.13861E-01	0.13710E-01	1	145	0.38611E-02	0.46920E-01	1
TE125M	0.13806E-06	0.0	3	146	0.83056E-03	0.33600E-01	1
127M	0.76389E-07	0.0	3	PR143	0.58333E-06	0.0	5
127	0.20472E-04	0.0	7	144	0.66944E-03	0.10000E-04	2
129M	0.21694E-06	0.0	2	145	0.32222E-04	0.70000E-04	2
129	0.16056E-03	0.20000E-03	6	146	0.47222E-03	0.40000E-03	2
131M	0.64167E-05	0.0	3	ND147	0.72500E-06	0.25000E-01	1
131	0.46667E-03	0.63300E-02	7	149	0.96389E-04	0.10980E-01	1
132	0.24778E-05	0.15200E-01	3	151	0.76944E-03	0.44800E-02	1
133M	0.18306E-03	0.0	2	PM147	0.83333E-08	0.0	2
133	0.57778E-02	0.31290E-01	6	149	0.35556E-05	0.0	2
134	0.26250E-03	0.48070E-01	2	151	0.70000E-05	0.11000E-03	2
135	0.57778E-02	0.38750E-01	1	SM151	0.23639E-09	0.0	3
I 129	0.12778E-14	0.0	9	153	0.40833E-05	0.14900E-02	1
131	0.99167E-06	0.19000E-03	15	155	0.17207E-03	0.45000E-03	1
132	0.85278E-04	0.10600E-02	4	156	3.23389E-04	0.20000E-03	1
133	0.92500E-05	0.50800E-02	9	EM155	0.12917E-07	0.0	2
134	0.22000E-03	0.17630E-01	3	156	0.52222E-06	0.10000E-04	2
135	0.28889E-04	0.28030E-01	2	157	0.12500E-04	0.20000E-03	1
136	0.80556E-02	0.54670E-01	1	158	0.19250E-03	0.10000E-03	1
137	0.31389E-01	0.40860E-01	1	GD159	0.10694E-04	0.0	1
138	0.11750E 00	0.21370E-01	1	161	0.32222E-02	0.0	1
139	0.25667E 00	0.86000E-02	1	TB161	0.11667E-05	0.0	2
XE131M	0.66667E-06	0.0	17	0.14806E-03	0.0	2	
133M	0.35000E-05	0.0	10	SE 77S	0.0	0.0	1003
133	0.15222E-05	0.70000E-04	11	78S	0.0	0.0	1004
135M	0.75556E-03	0.0	3	BR 79S	0.0	0.0	1007
135	0.21083E-04	0.22000E-02	7	81S	0.0	0.0	1008
137	0.29722E-02	0.20940E-01	2	KR 83S	0.0	0.0	1020
138	0.68056E-03	0.32330E-01	2	84S	0.0	0.0	1014
139	0.16917E-01	0.36980E-01	1	RB 85S	0.0	0.0	1021
140	0.43333E-01	0.28350E-01	1	KR 86S	0.0	0.35000E-03	2000
141	0.40833E 00	0.12280E-01	1	RB 87S	0.0	0.30000E-04	1023

\*\*\* F.P. DECAY SERIES  
\*\*\* U-235 THERMAL FISSION / 1 KW POWER /

\*\*\*  
\*\*\*

BUILD-IN DATA

\* TABLE OF DECAY-CONSTANT AND FISSION-YIELD

ELEMENT	DECAY CONST. (1/SECOND)	YIELD	TYPE	ELEMENT	DECAY CONST. (1/SECOND)	YIELD	TYPE
SR 88S	0.0	0.0	1031	132S	0.0	0.10000E-04	1141
Y 89S	0.0	0.0	1036	CS135S	0.0	0.0	1151
ZR 90S	0.0	0.0	1043	XE134S	0.0	0.58000E-03	1143
91S	0.0	0.0	1044	BA135S	0.0	0.0	1160
92S	0.0	0.0	1046	XE136S	0.0	0.81700E-02	1145
NB 93S	0.0	0.0	1049	BA137S	0.0	0.10000E-04	1165
ZR 94S	0.0	0.50000E-04	1048	138S	0.0	0.70000E-04	1162
MO 95S	0.0	0.0	1055	LA139S	0.0	0.0	1166
ZR 96S	0.0	0.25400E-02	2000	CE140S	0.0	0.0	1171
MO 97S	0.0	0.0	1057	PR141S	0.0	0.0	1175
98S	0.0	0.10000E-04	2000	CE142S	0.0	0.10000E-04	1173
RU 99S	0.0	0.0	1064	ND143S	0.0	0.0	1180
MO100S	0.0	0.78000E-03	2000	144S	0.0	0.0	1181
RU101S	0.0	0.0	1065	145S	0.0	0.0	1182
102S	0.0	0.0	1066	146S	0.0	0.0	1183
RM103S	0.0	0.0	1076	SM147S	0.0	0.0	1187
RU104S	0.0	0.10000E-04	1068	ND148S	0.0	0.11000E-03	2000
PD105S	0.0	0.0	1078	SM149S	0.0	0.0	1188
106S	0.0	0.0	1079	ND150S	0.0	0.10300E-02	2000
AG107S	0.0	0.0	1082	EM151S	0.0	0.0	1190
PD108S	0.0	0.0	1081	SM152S	0.0	0.0	2000
AG109S	0.0	0.0	1089	EM153S	0.0	0.0	1191
CD111S	0.0	0.0	1090	SM154S	0.0	0.60000E-04	2000
112S	0.0	0.0	1091	GD155S	0.0	0.0	1194
113S	0.0	0.0	1093	156S	0.0	0.0	1195
114S	0.0	0.0	1094	157S	0.0	0.0	1196
SN115S	0.0	0.0	1102	158S	0.0	0.0	1197
CD116S	0.0	0.0	1096	TB159S	0.0	0.0	1198
SN117S	0.0	0.0	1105	DY161S	0.0	0.0	1200
119S	0.0	0.0	1106	0.0	0.0	0.0	1022
SB121S	0.0	0.0	1108	0.0	0.0	0.0	1053
123S	0.0	0.0	1109	0.0	0.0	0.0	1104
TE125S	0.0	0.0	1117	0.0	0.0	0.0	1127
126S	0.0	0.0	1118	0.0	0.0	0.0	1128
I 127S	0.0	0.0	1129	0.0	0.0	0.0	1149
TE128S	0.0	0.10000E-04	1120	0.0	0.0	0.0	1161
XE129S	0.0	0.0	1139	0.0	0.0	0.0	1042
TE130S	0.0	0.14600E-02	1122	0.0	0.0	0.0	1071
XE131S	0.0	0.0	1140	0.0	0.0	0.0	1016

\*\*\* F.P. DECAY SERIES  
 \*\*\* U-235 THERMAL FISSION / 1 KW POWER /

\*\*\*  
 \*\*\*

\*\*OUTPUT TIME --- 1.000E 02-DAY 0.0      -HOUR 0.0      -MIN 0.0      -SEC

\*TABLE OF DENSITY AND ACTIVITY (UNSTABLE AND META-STABLE)

ELEMENT	NUMBER DENSITY	ACTIVITY (DPS)	ACTIVITY (CURIE)
GE 77	0.16385E 15	0.27900E 10	0.75405E-01
78	0.62256E 14	0.83700E 10	0.22622E 00
AS 77	0.56112E 15	0.27900E 10	0.75405E-01
78	0.65934E 14	0.83700E 10	0.22622E 00
79	0.12319E 14	0.15810E 11	0.42730E 00
SE 79M	0.53694E 13	0.15810E 11	0.42730E 00
79	0.13658E 18	0.46288E 05	0.12510E-05
81	0.96980E 14	0.61690E 11	0.16673E 01
83	0.40205E 15	0.18538E 12	0.50103E 01
84	0.82283E 14	0.28799E 12	0.77835E 01
85	0.20317E 14	0.32166E 12	0.94786E 01
87	0.81840E 13	0.33418E 12	0.90319E 01
BR 83	0.22283E 16	0.18631E 12	0.50354E 01
84	0.81698E 15	0.29729E 12	0.80349E 01
85	0.10413E 15	0.40207E 12	0.10867E 02
87	0.63977E 14	0.79794E 12	0.21566E 02
88	0.19845E 14	0.88753E 12	0.23987E 02
89	0.50129E 13	0.77004E 12	0.20812E 02
90	0.78057E 12	0.38595E 12	0.10431E 02
KR 83M	0.18426E 16	0.18631E 12	0.50354E 01
85M	0.91611E 16	0.40207E 12	0.10867E 02
85	0.78038E 18	0.16648E 10	0.44995E-01
87	0.58222E 16	0.86201E 12	0.23298E 02
88	0.16305E 17	0.11323E 13	0.30602E 02
89	0.41360E 15	0.13051E 13	0.40677E 02
90	0.67184E 14	0.14408E 13	0.38130E 02
91	0.15388E 14	0.10875E 13	0.29383E 02
92	0.25888E 13	0.59830E 12	0.16170E 02
93	0.64639E 12	0.22444E 12	0.60659E 01
94	0.10533E 12	0.52080E 11	0.14076E 01
RB 88	0.17577E 16	0.11425E 13	0.30878E 02
89	0.21076E 16	0.15807E 13	0.42721E 02
90	0.40213E 15	0.16979E 13	0.45888E 02
91	0.21745E 16	0.17940E 13	0.48486E 02
92	0.19637E 15	0.17019E 13	0.45997E 02
SR 89	0.74298E 19	0.11805E 13	0.31906E 02
90	0.14680E 20	0.11663E 11	0.31521E 00
91	0.92595E 17	0.18442E 13	0.49843E 02
92	0.25864E 17	0.19183E 13	0.51845E 02
93	0.58111E 15	0.81840E 12	0.22119E 02
94	0.12021E 15	0.10686E 13	0.28880E 02
Y 89M	0.54485E 10	0.23610E 09	0.63841E-02
90	0.37380E 16	0.11274E 11	0.30308E 00
91	0.92324E 19	0.12874E 13	0.34795E 02
91M	0.48757E 16	0.10652E 13	0.29906E 02
92	0.35851E 17	0.19220E 13	0.51946E 02
93	0.45796E 17	0.84723E 12	0.22898E 02
94	0.17249E 16	0.12075E 13	0.32634E 02
ZR 93	0.72737E 19	0.14527E 06	0.39263E-05
95	0.10215E 20	0.12598E 13	0.34049E 02

\*\*\* F.P. DECAY SERIES  
 \*\*\* U-235 THERMAL FISSION / 1 KW POWER /

\*\*\*  
 \*\*\*

\*\*OUTPUT TIME --- 1.000E 02-DAY 0.0      -HOUR 0.0      -MIN 0.0      -SEC

\*TABLE OF DENSITY AND ACTIVITY (UNSTABLE AND META-STABLE)

ELEMENT	NUMBER DENSITY	ACTIVITY (DPS)	ACTIVITY (CURIE)
97	0.15810E 18	0.17918E 13	0.48427E 02
98	0.70930E 14	0.16393E 13	0.44305E 02
NB 93M	0.30887E 12	0.11314E-04	0.30579E-07
95M	0.11401E 17	0.24386E 11	0.63909E 00
95	0.34752E 19	0.79640E 12	0.21824E 02
97M	0.15123E 15	0.17560E 13	0.47458E 02
97	0.11218E 17	0.17980E 13	0.48595E 02
99	0.60315E 15	0.18262E 13	0.49357E 02
MO 99	0.62709E 18	0.18290E 13	0.49432E 02
101	0.20398E 16	0.16117E 13	0.43559E 02
102	0.90852E 15	0.91357E 12	0.24691E 02
105	0.70984E 14	0.41013E 12	0.11085E 02
TC 99M	0.49383E 17	0.15912E 13	0.43006E 02
99	0.15125E 20	0.15672E 07	0.42356E-04
101	0.19543E 16	0.16123E 13	0.43576E 02
102	0.35739E 15	0.91729E 12	0.24792E 02
103	0.88894E 24	0.85684E 12	0.23158E 02
104	0.10730E 16	0.68851E 12	0.18608E 02
105	0.42440E 15	0.49042E 12	0.13255E 02
107	0.71311E 13	0.54870E 11	0.14830E 01
RU103	0.35048E 19	0.70680E 12	0.19103E 02
105	0.11508E 17	0.49228E 12	0.13305E 02
106	0.25566E 19	0.56175E 11	0.15182E 01
107	0.20388E 14	0.58900E 11	0.15919E 01
108	0.32192E 13	0.93000E 10	0.25135E 00
RM103M	0.33061E 16	0.67132E 12	0.18144E 02
105M	0.27057E 14	0.49228E 12	0.13305E 02
105	0.93274E 17	0.49228E 12	0.13305E 02
106	0.24312E 13	0.56174E 11	0.15182E 01
107	0.12257E 15	0.58900E 11	0.15919E 01
108	0.24086E 12	0.93000E 10	0.25135E 00
PD107	0.50875E 18	0.15969E 04	0.43159E-07
109	0.78316E 15	0.11160E 11	0.30162E 00
111	0.82667E 13	0.43400E 10	0.11730E 00
112	0.30436E 15	0.27900E 10	0.75405E-01
113	0.37976E 12	0.31000E 10	0.83784E-01
114	0.64509E 12	0.31000E 10	0.83784E-01
115	0.18097E 12	0.27900E 10	0.75405E-01
AG109M	0.63071E 12	0.11160E 11	0.30162E 00
111	0.41111E 16	0.43394E 10	0.11728E 00
112	0.46286E 14	0.27900E 10	0.75405E-01
113M	0.32161E 12	0.31000E 10	0.83784E-01
113	0.85191E 14	0.31000E 10	0.83784E-01
114	0.53654E 12	0.31000E 10	0.83784E-01
115	0.50985E 13	0.27900E 10	0.75405E-01
116	0.67229E 12	0.31000E 10	0.83784E-01
117	0.26571E 12	0.27900E 10	0.75405E-01
CD115M	0.10760E 16	0.20115E 09	0.54365E-02
115	0.69771E 15	0.25389E 10	0.68619E-01
117	0.12072E 14	0.27900E 10	0.75405E-01



\*\*\* F.P. DECAY SERIES  
 \*\*\* U-235 THERMAL FISSION / 1 KW POWER /

\*\*\*  
 \*\*\*

\*\*OUTPUT TIME --- 1.000E 02-DAY 0.0 -HOOR 0.0 -MIN 0.0 -SEC

\*TABLE OF DENSITY AND ACTIVITY (UNSTABLE AND META-STABLE)

ELEMENT	NUMBER DENSITY	ACTIVITY (DPS)	ACTIVITY (CURIE)
119	0.49104E 11	0.34100E 10	0.92162E-01
IN115M	0.59351E 14	0.25389E 10	0.68619E-01
115S	0.21209E 17	0.58913E-07	0.15922E-17
117M	0.28945E 14	0.27900E 10	0.75405E-01
117	0.35074E 13	0.61380E 09	0.16589E-01
119	0.51580E 13	0.34100E 10	0.92162E-01
SN117M	0.48407E 13	0.27699E 07	0.74863E-04
121	0.66429E 15	0.46500E 10	0.12568E 00
123	0.35647E 17	0.21016E 10	0.56800E-01
125	0.65392E 16	0.55765E 10	0.15072E 00
126	0.37558E 14	0.86800E 10	0.23459E 00
127	0.34495E 15	0.31620E 11	0.85459E 00
128	0.38831E 15	0.78740E 11	0.21281E 01
130	0.51899E 14	0.23064E 12	0.62335E 01
131	0.56532E 14	0.19158E 12	0.51778E 01
132	0.17065E 14	0.89590E 11	0.24214E 01
SB125	0.39967E 17	0.43964E 09	0.11882E-01
126	0.42031E 15	0.89900E 10	0.24297E 00
127	0.15437E 17	0.33790E 11	0.91324E 00
128	0.85357E 14	0.95790E 11	0.25889E 01
129	0.61441E 16	0.28179E 12	0.76159E 01
130	0.53366E 15	0.54312E 12	0.14679E 02
131	0.15798E 16	0.78988E 12	0.21348E 02
132	0.13375E 15	0.73563E 12	0.19882E 02
133	0.24280E 15	0.63736E 12	0.17226E 02
134	0.30662E 14	0.42501E 12	0.11487E 02
TE125M	0.30679E 15	0.42354E 08	0.11447E-02
127M	0.45158E 17	0.34496E 10	0.93232E-01
127	0.14518E 16	0.29722E 11	0.80530E 00
129M	0.39551E 18	0.85804E 11	0.23190E 01
129	0.16965E 16	0.27233E 12	0.73602E 01
131M	0.18465E 17	0.11848E 12	0.32022E 01
131	0.19100E 16	0.89132E 12	0.24090E 02
132	0.48706E 18	0.12068E 13	0.32617E 02
133M	0.25069E 16	0.45890E 12	0.12403E 02
133	0.27820E 15	0.16074E 13	0.43442E 02
134	0.72959E 16	0.19152E 13	0.51762E 02
135	0.20791E 15	0.12013E 13	0.32466E 02
I 129	0.20849E 19	0.26640E 04	0.72000E-07
131	0.10001E 19	0.99181E 12	0.26806E 02
132	0.14537E 17	0.12397E 13	0.33505E 02
133	0.19079E 18	0.17648E 13	0.47698E 02
134	0.11190E 17	0.24617E 13	0.66533E 02
135	0.71660E 17	0.20702E 13	0.55951E 02
136	0.21039E 15	0.16948E 13	0.45805E 02
137	0.40354E 14	0.12667E 13	0.34234E 02
138	0.56380E 13	0.56247E 12	0.17905E 02
139	0.10397E 13	0.26600E 12	0.72054E 01
XE131M	0.11792E 17	0.78616E 10	0.21248E 00
133M	0.12102E 17	0.42356E 11	0.11448E 01

\*\*\* F.P. DECAY SERIES  
 \*\*\* U-235 THERMAL FISSION / 1 KW POWER /

\*\*\*  
 \*\*\*

\*\*OUTPUT TIME --- 1.000E 02-DAY 0.0 -HOOR 0.0 -MIN 0.0 -SEC

\*TABLE OF DENSITY AND ACTIVITY (UNSTABLE AND META-STABLE)

ELEMENT	NUMBER DENSITY	ACTIVITY (DPS)	ACTIVITY (CURIE)
133	0.11608E 19	0.17670E 13	0.47757E 02
135M	0.82198E 15	0.62105E 12	0.16785E 02
135	0.10143E 18	0.21384E 13	0.57794E 02
137	0.64457E 15	0.19158E 13	0.51778E 02
138	0.24461E 16	0.16647E 13	0.44992E 02
139	0.82793E 14	0.14006E 13	0.37854E 02
140	0.20281E 14	0.87885E 12	0.23753E 02
141	0.93228E 12	0.38068E 12	0.10289E 02
143	0.267A4E 11	0.18600E 11	0.50270E 00
CS135	0.18304E 20	0.13423E 06	0.36279E-05
137	0.16811E 20	0.13869E 11	0.37483E 00
138	0.50973E 16	0.18265E 13	0.49365E 02
139	0.15632E 16	0.19019E 13	0.51401E 02
140	0.17516E 15	0.18392E 13	0.49709E 02
BA137M	0.16215E 14	0.13377E 11	0.36155E 00
139	0.13980E 17	0.19223E 13	0.51954E 02
140	0.30953E 19	0.19432E 13	0.52518E 02
141	0.11899E 16	0.76353E 12	0.20636E 02
142	0.96221E 15	0.18522E 13	0.50061E 02
143	0.48490E 14	0.11207E 13	0.30288E 02
LA140	0.40663E 18	0.19428E 13	0.52508E 02
141	0.15324E 17	0.77469E 12	0.20938E 02
142	0.12809E 17	0.19214E 13	0.51929E 02
143	0.22738E 16	0.13832E 13	0.37384E 02
CE141	0.27995E 19	0.67887E 12	0.18348E 02
143	0.23803E 18	0.13885E 13	0.37527E 02
144	0.13790E 20	0.38690E 12	0.10457E 02
145	0.37671E 15	0.14545E 13	0.39311E 02
146	0.12541E 16	0.10416E 13	0.28151E 02
PR143	0.23631E 19	0.13785E 13	0.37257E 02
144	0.57832E 15	0.38715E 12	0.10494E 02
145	0.45208E 17	0.14567E 13	0.39370E 02
146	0.22320E 16	0.10540E 13	0.28486E 02
ND147	0.10669E 19	0.77352E 12	0.20906E 02
149	0.33133E 19	0.34034E 12	0.91995E 01
151	0.18049E 19	0.13888E 12	0.37535E 01
PM147	0.54564E 19	0.45470E 11	0.12289E 01
149	0.95732E 17	0.34038E 12	0.91995E 01
151	0.20327E 17	0.14229E 12	0.38457E 01
SM151	0.12077E 19	0.28348E 09	0.77156E-02
153	0.11312E 17	0.46190E 11	0.12484E 01
155	0.28373E 14	0.13950E 11	0.37703E 00
156	0.28987E 15	0.62000E 10	0.16757E 00
EU155	0.11402E 18	0.14728E 10	0.39804E-01
156	0.12326E 17	0.64368E 10	0.17397E 00
157	0.49600E 15	0.62000E 10	0.16757E 00
158	0.16104E 14	0.31000E 10	0.83784E-01
GD159	0.0	0.0	0.0
161	0.0	0.0	0.0
TB161	0.0	0.0	0.0

\*\*\* F.P. DECAY SERIES  
 \*\*\* U-235 THERMAL FISSION / 1 KW POWER /

\*\*\*  
 \*\*\*

\*\*OUTPUT TIME --- 1.000E 02-DAY 0.0    -HOUR 0.0    -MIN 0.0    -SEC

\* TABLE OF DENSITY AND ACTIVITY (STABLE)

ELEMENT	NUMBER DENSITY	ACTIVITY (DPS)	ACTIVITY (CURIE)
	0.75712E 14	0.11210E 11	0.30296E 00
SE 77S	0.23381E 17	0.0	0.0
78S	0.72189E 17	0.0	0.0
BR 79S	0.19838E 12	0.0	0.0
81S	0.53290E 18	0.0	0.0
KR 83S	0.16052E 19	0.0	0.0
84S	0.25677E 19	0.0	0.0
RB 85S	0.26923E 19	0.0	0.0
KR 86S	0.23163E 18	0.0	0.0
RB 87S	0.73531E 19	0.0	0.0
SR 88S	0.98531E 19	0.0	0.0
Y 89S	0.62302E 19	0.0	0.0
ZR 90S	0.46701E 17	0.0	0.0
91S	0.66044E 19	0.0	0.0
92S	0.16544E 20	0.0	0.0
NB 93S	-0.14827E 12	0.0	0.0
ZR 94S	0.10444E 20	0.0	0.0
MO 95S	0.29046E 19	0.0	0.0
ZR 96S	0.68031E 18	0.0	0.0
MO 97S	0.15365E 20	0.0	0.0
98S	0.26784E 16	0.0	0.0
RU 99S	-0.67432E 12	0.0	0.0
MO100S	0.20892E 18	0.0	0.0
RU101S	0.13926E 20	0.0	0.0
102S	0.79241E 19	0.0	0.0
RM103S	0.38949E 19	0.0	0.0
RU104S	0.59503E 19	0.0	0.0
PD105S	0.41480E 19	0.0	0.0
106S	0.25035E 18	0.0	0.0
AG107S	-0.19541E 10	0.0	0.0
PD108S	0.80349E 17	0.0	0.0
AG109S	0.95639E 17	0.0	0.0
CD111S	0.33378E 17	0.0	0.0
112S	0.23755E 17	0.0	0.0
113S	0.26698E 17	0.0	0.0
114S	0.26783E 17	0.0	0.0
SN115S	0.10587E 16	0.0	0.0
CD116S	0.26783E 17	0.0	0.0
SN117S	0.24061E 17	0.0	0.0
119S	0.29457E 17	0.0	0.0
SB121S	0.39512E 17	0.0	0.0
123S	0.98454E 16	0.0	0.0
TE125S	0.13978E 16	0.0	0.0
126S	0.77216E 17	0.0	0.0
I 127S	0.22955E 18	0.0	0.0
TE128S	0.82983E 18	0.0	0.0
XE129S	-0.20475E 11	0.0	0.0
TE130S	0.50832E 19	0.0	0.0
XE131S	0.75369E 19	0.0	0.0
132S	0.10212E 20	0.0	0.0

\*\*\* F.P. DECAY SERIES  
 \*\*\* U-235 THERMAL FISSION / 1 KW POWER /

\*\*\*  
 \*\*\*

\*\*OUTPUT TIME --- 1.000E 02-DAY 0.0    -HOUR 0.0    -MIN 0.0    -SEC

\* TABLE OF DENSITY AND ACTIVITY (STABLE)

ELEMENT	NUMBER DENSITY	ACTIVITY (DPS)	ACTIVITY (CURIE)
CS133S	0.13900E 20	0.0	0.0
XE134S	0.21406E 20	0.0	0.0
BA135S	0.10804E 12	0.0	0.0
XE136S	0.16831E 20	0.0	0.0
BA137S	0.68001E 17	0.0	0.0
138S	0.15792E 20	0.0	0.0
LA139S	0.16593E 20	0.0	0.0
CE140S	0.13369E 20	0.0	0.0
PR141S	0.38773E 19	0.0	0.0
CE142S	0.16590E 20	0.0	0.0
ND143S	0.93931E 19	0.0	0.0
144S	0.17410E 19	0.0	0.0
145S	0.12540E 20	0.0	0.0
146S	0.91031E 19	0.0	0.0
SM147S	0.17266E 18	0.0	0.0
ND148S	0.29462E 17	0.0	0.0
SM149S	0.28416E 19	0.0	0.0
ND150S	0.27588E 18	0.0	0.0
EU151S	0.12134E 16	0.0	0.0
SM152S	0.0	0.0	0.0
EU153S	0.38777E 18	0.0	0.0
SM154S	0.16070E 17	0.0	0.0
GD155S	0.64791E 16	0.0	0.0
156S	0.43631E 17	0.0	0.0
157S	0.53072E 17	0.0	0.0
158S	0.26768E 17	0.0	0.0
TB159S	0.0	0.0	0.0
DY161S	0.0	0.0	0.0
	0.71949E 16	0.0	0.0
	-0.15228E 12	0.0	0.0
	0.18770E 17	0.0	0.0
	0.11935E 15	0.0	0.0
	0.31195E 15	0.0	0.0
	0.48597E 17	0.0	0.0
	0.47985E 16	0.0	0.0
	0.12460E 16	0.0	0.0
	0.19491E 18	0.0	0.0
	0.13788E 18	0.0	0.0

\* ATOMIC DENSITY (TOTAL)            0.44731E 21  
 \* SUMMATION OF ACTIVITY            0.33570E 04 CURIE