

JAERI-M  
91-128

高温ガス炉の事故時における燃料からの  
核分裂生成物放出割合解析コード  
— R A C P A C —

1991年8月

沢 和弘・田沢勇次郎・板倉 洋文\*

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の問合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）  
あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城  
県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.  
Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division, Department  
of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun,  
Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1991

---

編集兼発行 日本原子力研究所  
印刷 日立高速印刷株式会社

高温ガス炉の事故時における燃料からの  
核分裂生成物放出割合解析コード  
- R A C P A C -

日本原子力研究所大洗研究所高温工学試験研究炉開発部  
沢 和弘・田沢勇次郎・板倉 洋文\*

(1991年7月10日受理)

高温ガス炉 (HTGR) の事故時における, 炉心からの核分裂生成物 (FP) の放出量を解析するために, 計算コード RACPAC を開発した。本コードは, 以下のような特徴を有している。

- (1) 原子炉停止後の被覆燃料粒子からの FP 放出割合を, 換元拡散係数を用いた解析解に基づき計算する。
- (2) 核種毎の換元拡散係数は, 通常運転時における FP の放出速度と生成速度の比 ( $R/B$ ) のデータから計算することが出来る。
- (3) 事故後の炉心温度挙動に伴う放出割合の変化を計算することができる。

本報告書は, RACPAC で扱っている被覆燃料粒子からの FP 放出モデル, 換元拡散係数の計算方法, 使用方法及び計算例を述べたものである。

Fission Product Release Analysis Code during  
Accident Conditions of HTGR  
- RACPAC -

Kazuhiro SAWA, Yujiro TAZAWA and Hirofumi ITAKURA\*

Department of HTTR Project  
Oarai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received July 10, 1991)

Fission product release analysis code, RACPAC (Fission Product Release Analysis Code from Fuel Particle in Accident Condition), was developed to calculate fractional release from the core during accident conditions of High Temperature Gas-cooled Reactor. RACPAC code has following features.

- (1) Fission product release fraction after the reactor scram is calculated based on the analytical solution with reduced diffusion coefficient.
- (2) The reduced diffusion coefficient for each nuclide is calculated from the (R/B) value, which is defined as release rate to birth rate of fission product.
- (3) The temperature transient after the accident can be taken into consideration in fractional release calculation with RACPAC.

This paper describes calculation model of fission product release from fuel particle, calculation model of the reduced diffusion coefficient, users' manual and calculation examples.

Keywords: RACPAC, Fission product, HTGR, Accident, Reduced Diffusion Coefficient, (R/B), Calculation Model, Manual

---

\* CSK Corporation

## 目 次

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 1. まえがき .....                | 1  |
| 2. 解析モデル .....               | 2  |
| 2.1 原子炉停止後の核分裂生成物の放出割合 ..... | 2  |
| 2.2 換元拡散係数の計算 .....          | 4  |
| 2.3 炉心モデル .....              | 6  |
| 3. 計算プログラム .....             | 10 |
| 3.1 放出割合ライブラリ作成コード .....     | 10 |
| 3.2 核分裂生成物放出割合計算コード .....    | 11 |
| 4. 計算データベース .....            | 15 |
| 5. 計算例 .....                 | 17 |
| 5.1 照射後加熱実験の解析 .....         | 17 |
| 5.2 H T T R の減圧事故の解析 .....   | 17 |
| 6. 結言 .....                  | 21 |
| 謝 辞 .....                    | 21 |
| 参考文献 .....                   | 22 |
| 付録1 入力及び出力 .....             | 24 |
| 付録2 プロットプログラム .....          | 32 |

## Contents

|   |    |
|---|----|
| 1. Introduction .....   | 1  |
| 2. Analytical Model .....   | 2  |
| 2.1 Fractional Release of Fission Product after Reactor Scram ..... | 2  |
| 2.2 Reduced Diffusion Coefficient .....                             | 4  |
| 2.3 Core Model .....  | 6  |
| 3. Program .....  | 10 |
| 3.1 Library of Fractional Release Calculation Code .....            | 10 |
| 3.2 Fractional Release Calculation Code .....                       | 11 |
| 4. Data Base .....  | 15 |
| 5. Examples .....   | 17 |
| 5.1 Calculation of Post Irradiation Experiment .....                | 17 |
| 5.2 Depressurization Accident of HTTR .....                         | 17 |
| 6. Afterwords .....   | 21 |
| Acknowledgement .....   | 21 |
| References .....  | 22 |
| Appendix 1 Code Manual .....  | 24 |
| Appendix 2 Plot Program .....                                       | 32 |

## 1. ま え が き

高温ガス炉 (HTGR) は、燃料として被覆燃料粒子を用いていること、炉心構成要素として黒鉛を使用していること、等の理由から、炉心の熱容量が大きく、事故状態においても燃料温度は緩慢な挙動を示し、燃料体からの核分裂生成物 (FP) の瞬時大量放出は生じない。<sup>(1)</sup> 従って、事故時の被ばく評価に必要なソースタームの一つである、燃料体から事故後放出される FP の量は、時間依存で評価することができる。炉心からの核分裂生成物の放出量を解析するために、HTCOREコードが開発されており、高温工学試験研究炉 (HTTR) の安全評価に用いられた<sup>(2),(3)</sup>。しかしながら、HTCOREコードで用いている FP 放出割合評価方法及びデータベースは、米国における照射後加熱試験データから定められたものであり<sup>(4)</sup>、設計に用いるに当たって保守的であることは確認している<sup>(5)</sup>が、現実的評価の観点からは必ずしも妥当なものとは言えない。また、このデータベースを整備して行くとしても、照射後加熱試験データから定められた FP 放出率として与える必要があり、理論的に導かれたものではないため、解析に当たって膨大な FP 放出率データを必要とする。そこで、これらの欠点を補うために、HTCOREコードの燃料粒子からの放出率データを、多くの照射データが存在する定常照射中の放出率データを基に、理論的にコード内で求めることができる RACPAC (Fission Product Release Analysis Code from Fuel Particle in Accident Conditions)を開発した。本コードは、以下のような特徴を有している。

- (1) 原子炉停止後の被覆燃料粒子からの FP 放出割合を、換元拡散係数を用いた解析に基づき計算する。
- (2) 核種毎の換元拡散係数は、通常運転時における FP の放出速度と生成速度の比 (R/B) のデータから計算することが出来る。
- (3) 事故後の炉心温度挙動に伴う放出割合の変化を計算することができる。

本報は、RACPACの内容について述べたもので、以下、2章では被覆燃料粒子からの FP 放出モデル及び換元拡散係数の計算方法を示す。3章では、計算プログラムについて、4章では現在計算に用いているデータベースについて、5章では本コードを用いた計算例を示す。また、コードの使用方法を付録に示した。

## 2. 解析モデル

高温ガス炉は、熱容量が大きく、事故時においても燃料温度が短時間に急激に上昇することは無い。<sup>(6)</sup> 一方、このことは逆に一旦燃料温度が高い状態にいたると、その冷却に比較的長時間要することも意味している。一例として、H T T R の減圧事故では、強制循環冷却が失われるため、原子炉は短時間でスクラムして未臨界状態になっても、残留熱により燃料温度は数十時間から数百時間に渡って比較的高い温度に保持される。そのため、炉心内に蓄積された F P が事故後長時間に渡って燃料核から外へ徐々に拡散放出される可能性がある。この拡散放出される F P 量を時間依存で定量的に評価するために、以下に示す計算モデルに基づき、計算コードを作成した。

### 2.1 原子炉停止後の核分裂生成物の放出割合

原子炉停止後の燃料からの F P 放出は、反跳等による放出も無く、被覆層が破損している燃料粒子の燃料核からの拡散放出で表すことができ、以下に示す Booth 型の拡散方程式<sup>(7)</sup>で記述できると仮定する。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \nabla^2 C - \lambda C(r, t) \quad (1)$$

ここで、 $C$  : 燃料核中の F P 濃度 (atom/m<sup>3</sup>)  
 $D$  : 燃料核中の F P の拡散係数 (m<sup>2</sup>/s)  
 $\lambda$  : F P の崩壊定数 (s<sup>-1</sup>)  
 $r$  : 空間座標軸 (m)  
 $t$  : 時間座標軸 (s) である。

(1)式を、初期条件  $C(r, 0) = C_0$  ( $C_0$  は、原子炉停止時の F P 濃度)、境界条件  $C(a, t) = 0$  ( $a$  は、粒界又は燃料核の半径) で解くと、以下の解析解を得る。

$$C(r, t) = \frac{2 a C_0}{\pi r} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{n} \sin \left( \frac{n \pi}{a} r \right) \times \exp \left\{ - \left( \lambda + \frac{n^2 \pi^2 D}{a^2} \right) t \right\} \quad (2)$$

時刻  $t$  における境界の F P 流束  $J$  (atom/s) は、

$$J(t) = -4 \pi r^2 D \left. \frac{\partial C}{\partial r} \right|_{r=a} = 8 D C_0 a \pi \sum_{n=1}^{\infty} \exp \left\{ - \left( \lambda + \frac{n^2 \pi^2 D}{a^2} \right) t \right\} \quad (3)$$



となる。

任意の時刻  $t$  までの積分放出量  $R(\text{atom})$  は、(3) 式を時間に対して積分し、以下のようにになる。

$$\begin{aligned}
 R(t) &= \int_0^t J(t) dt \\
 &= 8\pi a^3 D C_0 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1 - \exp\left\{-\left(\lambda + \frac{n^2 \pi^2 D}{a^2}\right)t\right\}}{\lambda a^2 + n^2 \pi^2 D} \quad (4)
 \end{aligned}$$

従って、任意の時刻  $t$  までの放出割合 (Fractional Release), すなわち初期 FP 量に対する時刻  $t$  までの積分放出割合  $FR(t)$  は、(5) 式のようにになる。

$$\begin{aligned}
 FR(t) &= \frac{R(t)}{\frac{4}{3}\pi a^3 C_0} \\
 &= 3 \sqrt{\frac{D}{\lambda a^2}} \coth\left(\sqrt{\frac{\lambda a^2}{D}} - \sqrt{\frac{D}{\lambda a^2}}\right) \\
 &\quad - 6 \frac{D}{a^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\exp\left\{-\left(\lambda + \frac{n^2 \pi^2 D}{a^2}\right)t\right\}}{\lambda + \frac{n^2 \pi^2 D}{a^2}} \quad (5)
 \end{aligned}$$

いま、崩壊を無視し、かつ FP の換元拡散係数  $D'(s-1)$  を ( $D' = D/a^2$ ) と定義すると、(5) 式は以下のようにになる。

$$FR(t) = 6 D' \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1 - \exp(-n^2 \pi^2 D' t)}{n^2 \pi^2 D'} \quad (6)$$

(6) 式より、換元拡散係数  $D'$  が定めれば、任意の時間における FP 放出割合を求めることが出来る。2.2 節で述べるように、換元拡散係数は、FP の種類及び燃料温度に依存する量である。

実際に事故条件または照射後加熱試験条件下におけるある FP の放出割合を計算する場合、燃料温度は時間に対して一定であるとは限らず、むしろ時間と共に変化する。この変化に基づき放出割合を計算する方法を以下に述べる。

Fig. 2.1 に時間に対する放出割合の変化のモデル図を示す。ある一定の換元拡散係数 (即ちある一定温度) について、時間点に対し一つの放出割合が定まる。今、温度が時間と共に  $T_1 \rightarrow T_2 \rightarrow T_1$  と変化していく場合を想定する。図中の  $\Delta t_1$  における放出割合  $f_1$  は、以下のようにになる。

$$1 - \exp(-f_1 \cdot \Delta t_1) = \frac{FR(T_1, \Delta t_1) - FR(T_1, 0)}{1 - FR(T_1, 0)} \quad (7)$$

$\Delta t_2$ における放出率 $f_2$ は、 $FR(T_1, \Delta t_2) = FR(T_2, t_x)$ となる $t_x$ を設定し、以下の式より $f_2$ を計算する。

$$1 - \exp(-f_2 \cdot \Delta t_2) = \frac{FR(T_2, t_x + \Delta t_2) - FR(T_2, t_x)}{1 - FR(T_2, t_x)} \quad (8)$$

$\Delta t_3$ における放出率 $f_3$ は、 $FR(T_2, t_x + \Delta t_2) = FR(T_1, t_y)$ となる $t_y$ を設定し、以下の式より $f_3$ を計算する。

$$1 - \exp(-f_3 \cdot \Delta t_3) = \frac{FR(T_1, t_y + \Delta t_3) - FR(T_1, t_y)}{1 - FR(T_1, t_y)} \quad (9)$$

$n$ ステップにおける放出率 $f_n$ は、以下のように一般化できる。

$$1 - \exp(-f_n \cdot \Delta t_n) = \frac{FR_n - FR_{n-1}}{1 - FR_{n-1}} \quad (10)$$

## 2.2 換元拡散係数の計算

前節の(6)式より、換元拡散係数 $D'$ を定めることによりFPの放出割合を解析的に求めることが出来ることが分かった。換元拡散係数は、ある物質中の拡散係数を( $s^{-1}$ )の単位で表したものである。FPの拡散係数は、温度に強く依存し、一般に核種毎に以下のようなアレニウス型の式で記述される。

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{T}\right) \quad (11)$$

ここで、 $D_0$  : 頻度因子 ( $m^2/s$ )

$Q$  : 活性化エネルギー ( $K^{-1}$ ) である。

拡散係数を求めるためには、多くの照射試験が必要であり、評価に必要な全ての核種について信頼度の高い拡散係数を得ることは困難である。しかし、拡散係数の概念は、通常運転時における燃料からの放出率( $R/B$ ) (Release rate/Birth rate)においても用いており、希ガス、よう素に対するデータが得られている。<sup>(8)</sup>ここでは、この( $R/B$ )データから換元拡散係数を導出する方法について述べる。

( $R/B$ )値は、以下の基礎方程式を基に計算する。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \nabla^2 C - \lambda C(r, t) + B \quad (12)$$

ここで、 $B$  : FPの生成率 ( $atom/m^3 \cdot s$ ) である。

(12) 式を、初期条件  $C(r, 0) = 0$ 、境界条件  $C(a, t) = 0$  で解くと、以下の解析解を得る。

$$C(r, t) = \frac{B}{\lambda r} \left[ r - \frac{a \sinh r \sqrt{\lambda/D}}{\sinh a \sqrt{\lambda/D}} + \frac{2a^3 \lambda}{\pi D} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n \sinh(n\pi r/a)}{n(n^2 \pi^2 + \lambda a^2/D)} \times e^{-(\lambda + \frac{n^2 \pi^2 D}{a^2})t} \right] \quad (13)$$

時刻  $t$  における境界の FP 流束  $J$  (atom/s) は、

$$J(t) = -\frac{4\pi a B}{\lambda} + 4\pi a^2 B \sqrt{\frac{D}{\lambda}} \coth \sqrt{\frac{\lambda}{D}} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{8\pi a^3 e^{-(\lambda + n^2 \pi^2 D/a^2)t}}{n^2 \pi^2 + (a^2 \lambda/D)} \quad (14)$$

となる。

任意の時刻  $t$  における放出率 ( $R/B$ ) は、以下のようになる。

$$\begin{aligned} (R/B) &= \frac{J}{\frac{4}{3}\pi a^3 B} \\ &= 3 \sqrt{\frac{D}{a^2 \lambda}} \left( \coth \sqrt{\frac{\lambda a^2}{D}} - \sqrt{\frac{D}{\lambda a^2}} \right) - 6 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\exp\{-(\lambda + n^2 \pi^2 D/a^2)t\}}{n^2 \pi^2 + \lambda a^2/D} \end{aligned} \quad (15)$$

( $R/B$ ) 値は一般に短半減期の FP に対して適用され、短半減期 FP の放出率は、(15) 式で  $t \rightarrow \infty$  として、(16) 式のようになる。

$$(R/B) = 3 \sqrt{\frac{D'}{\lambda}} \left( \coth \sqrt{\frac{\lambda}{D'}} - \sqrt{\frac{D'}{\lambda}} \right) \quad (16)$$

ここで、還元拡散係数  $D' = D/a^2$  とした。

短半減期 FP に対する破損粒子からの ( $R/B$ ) データは、これまで原研において、スィープガスキャプセル照射試験で得られており、HTTR の設計のために、温度の関数として定式化されている。<sup>(8),(9)</sup> Kr-88 の ( $R/B$ ) 評価式 (50%信頼度値) を以下に示す。

$$(R/B) = 1.56 \times 10^3 \exp\left(-\frac{17750}{T}\right) + 1.29 \times 10^{-2} \quad (17)$$

この式が実炉体系に近い状態においても妥当であることは、OGL-1 燃料体照射試験結果を用いて検証計算を行うことにより、示している。<sup>(9),(10)</sup>

(16) 式から、ある温度における還元拡散係数は、その温度に対して (17) 式から求まる ( $R/B$ ) 値から定めることが出来る。ここで問題となるのは、( $R/B$ ) 値から求めた還元拡散係数を、そのまま原子炉停止後の核分裂の起こっていない状態下における燃料からの FP 放出割合評価に用いることが出来るかどうかという点である。この点について以下に考察を試みる。

一般に、照射損傷の無い物質中の拡散係数 ( $D$ )、照射によりトラップが生じた物質中の炉内拡散係数 ( $D_{in-pile}$ ) 及び照射によるトラップが生じた物質中の炉外拡散係数 ( $D_{lab}$ ) の間には、以下のような関係がある。

$$D > D_{in-pile} > D_{lab} \quad (18)$$

これは、トラップの発生により F P の拡散が遅れること、及び照射下では照射再溶融拡散の効果があるためと解釈される。<sup>(11)</sup> ( $R/B$ ) 値から求められる拡散係数は、運転中の値であり、上記の照射によりトラップが生じた物質の炉内拡散係数 ( $D_{in-pile}$ ) に対応する。一方、ここで事故時における燃料からの E P 放出割合として求めようとしているのは、原子炉停止後の F P 放出割合であり、上記の照射によりトラップが生じた物質の炉外拡散係数 ( $D_{lab}$ ) に対応する。前述のように、原子炉停止後は照射再溶融による拡散の効果がないため、(18) 式に示したように ( $R/B$ ) 値から求めた拡散係数よりも小さな拡散係数となると考えられる。これを言い換えると、( $R/B$ ) 値から求めた拡散係数に基づき原子炉停止後の F P の放出割合を計算すると、その値は過大評価される。従って、安全評価上の保守性を特に考慮しなくても、この方法で計算した F P 放出割合は安全側になる。TURNBULL 等の測定<sup>(11)</sup>によると、二酸化ウラン中の希ガスの炉内拡散係数は、炉外拡散係数よりも 2 桁から 3 桁大きい ( $D_{in-pile}/D_{lab} = 10^2 \sim 10^3$ )。

(17) 式に示した ( $R/B$ ) の式で、第 1 項は拡散による放出を表す形の温度の関数となっている。一方、第 2 項は温度に依存しない項となっており、反跳による放出を表していると仮定する。原子炉停止後の F P の放出割合の評価に当たっては、この状態において核分裂が生じていないことから、反跳による放出の効果を検討する必要はないと近似的に考え、換元拡散係数を ( $R/B$ ) 値から求める際には、(17) 式の第 1 項のみを考慮することとした。

また、Kr-88 以外の Kr 同位体、Xe 及び I については、(17) 式を基にそれぞれの核種の先行核の効果等を補正した ( $R/B$ ) 値の評価式に基づき計算することとした。この評価方法の詳細については、参考文献 (8) 及び (9) に示されている。

### 2.3 炉心モデル

RACPAC コードは、2.1 及び 2.2 節で述べたモデルに基づき作成した被覆燃料粒子からの F P 放出率解析プログラムを、高温ガス炉の炉心からの F P 放出量解析コード HTCORE<sup>(2)</sup> に組み込んだものである。HTTR の燃料体は燃料棒を六角柱状の黒鉛ブロックに挿入したピン・イン・ブロック型であり、燃料棒は被覆燃料粒子を黒鉛マトリクス中に分散して成形焼結した燃料コンパクトを黒鉛スリーブに挿入したものである。被覆燃料粒子は燃料核を四重に被覆し、F P 放出を抑制する。

ガス状 F P の燃料領域及び冷却材流路における存在量は、黒鉛領域の保持機能を期待しないため、以下の方程式で記述できる。

$$\frac{dN_{i,e}(t)}{dt} = -(\lambda_i + f_i(t)) N_{i,e}(t) \quad (19)$$

$$\frac{dN_{i,c}(t)}{dt} = -\lambda_i N_{i,c}(t) \cdot \text{IOPT}(3) + f_i(t) N_{i,e}(t) \quad (20)$$

ここで、 $N_{i,e}(t)$  : 時刻  $t$  における核種  $i$  の燃料領域中の存在量 (moles)  
 $N_{i,c}(t)$  : 時刻  $t$  における核種  $i$  の冷却材流路中の存在量 (moles)  
 $\lambda_i$  : 核種  $i$  の崩壊定数 ( $\text{hr}^{-1}$ )  
 $f_i(t)$  : 時刻  $t$  における核種  $i$  の燃料領域からの放出率 ( $\text{hr}^{-1}$ )  
 $\text{IOPT}(3)$  : 冷却材中の崩壊を考慮するか否かのオプション  
(考慮する場合 = 1, 考慮しない場合 = 0)

である。

また各領域の初期値を、 $N_{i^0,e}$ 、 $N_{i^0,c}$  とすると、初期条件は次のようになる。

$$N_{i,e}(t=0) = N_{i^0,e} \quad (21)$$

$$N_{i,c}(t=0) = N_{i^0,c} \quad (22)$$

本コードでは、これらの常微分方程式を Runge-Kutta-Gill法及び Hamming 法を用いて解き、タイムステップごとに各領域の FP 存在量を計算する。

5.2節で述べる減圧事故の解析を行った HTTR の炉心は、六角柱状の黒鉛ブロックである燃料体、制御案内ブロック、可動反射体ブロックから構成され、これらの炉心構成要素を円柱状に積み上げたものである。炉心の断面図を Fig. 2.2 に示す。本コードでは、燃料領域を Fig. 2.3 に示す如く円柱状で近似し、軸方向と半径方向に分割し、分割された各セグメントに対して計算対象となる燃料棒を各 1 本設定する。燃料棒モデルは、Fig. 2.4 のように内径  $a$ 、外径  $b$ 、長さ  $L$  の円柱とする。入力として与える事故後の炉心温度変化は、TAC-NCコード<sup>(12)</sup>による解析結果を使用できるように入出力を整備してある。

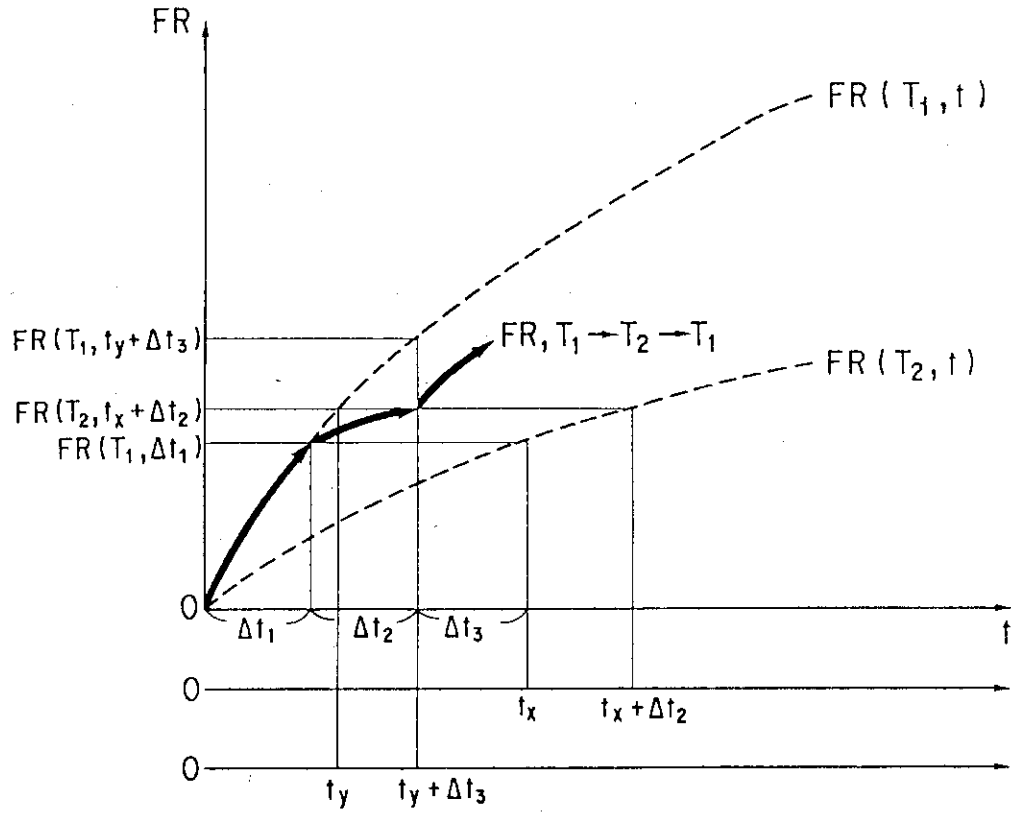


Fig. 2.1 Schematic diagram of fractional release calculation model

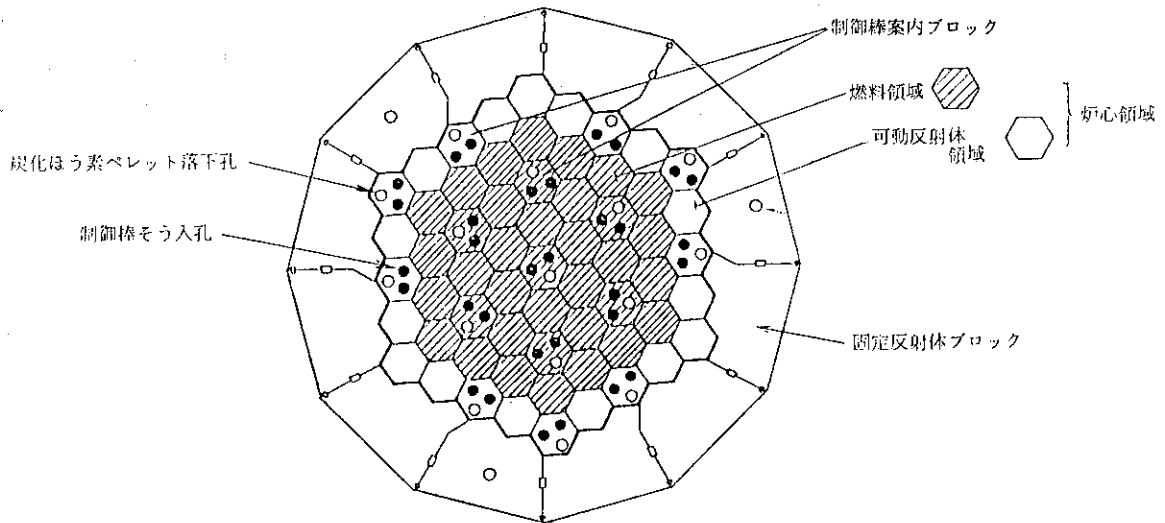


Fig. 2.2 Core cross section of HTTR

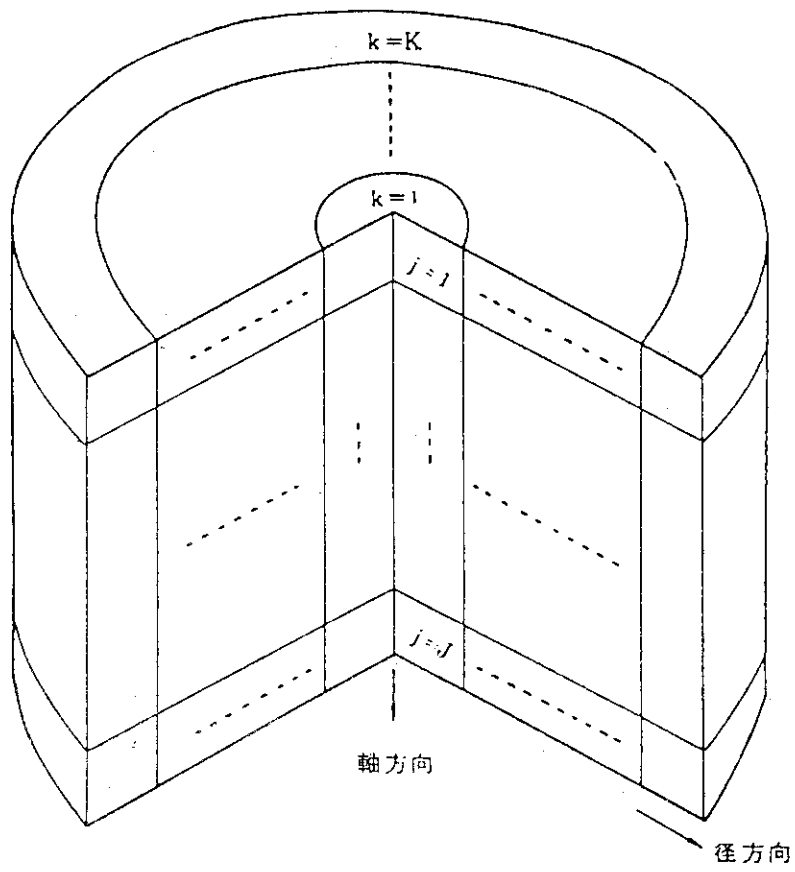


Fig. 2.3 Core calculation model

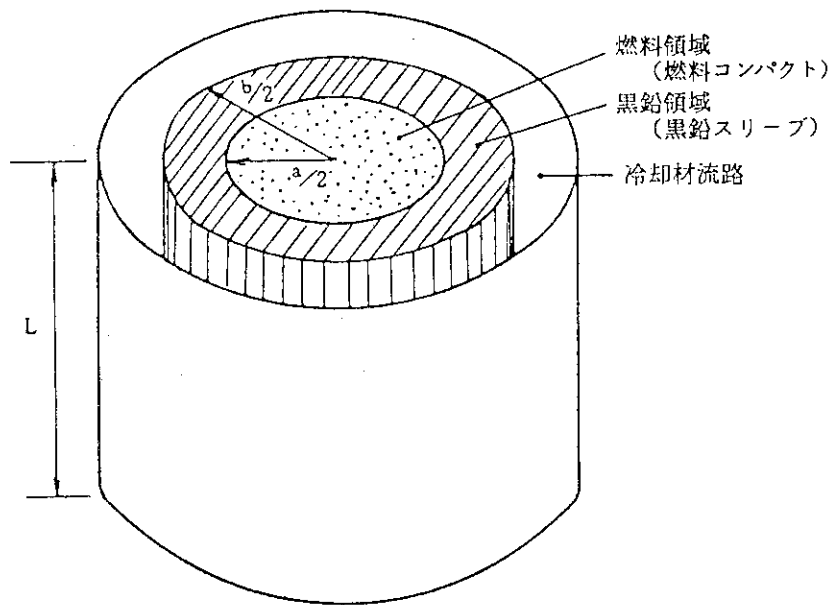


Fig. 2.4 Fuel rod calculation model

### 3. 計算プログラム

本章では、2節で述べた解析モデルに基づき作成した計算プログラム（RACPACコード）について説明する。計算フローチャートをFig.3.1に示す。RACPACコードでは、(17)式に示したように温度の関数として（R/B）評価式を用いて放出率を計算するが、（R/B）値は核種により異なるため放出率の計算処理も核種ごとに行う必要がある。そこで、多種類の核種に対する計算を合理的に行うため、核種に関わらず共通な計算部分を、あらかじめ汎用ライブラリとして用意しておく方法を採用している。

#### 3.1 放出割合ライブラリ作成コード

2.2節で述べたとおり、核種*i*に対する放出割合（以下「FR値」という）は、核種*i*の（R/B）評価式をもとに温度に対する換元拡散係数を計算した後、着目する時間点に対応するFR値として評価される。本来、計算タイムステップごと、また炉心モデルの各セグメントごとにこの計算を繰り返して放出量を算出する必要がある。しかし、Fig.3.2に示すように「換元拡散係数ごとのFR値と時間の関係」は核種、温度には直接依存しないため、これをあらかじめ計算しライブラリ化する。以下にライブラリの作成コードについて述べる。

ライブラリ作成のために(6)式を次式に変形する。

$$FR(t) = 1 - \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\exp(-n^2 \cdot A)}{n^2} \quad (23)$$

ここで、

$$A = \pi^2 \times D' \times t \quad (24)$$

である。(6)式を(23)式に変形したのは、演算回数を極力少なくし計算時間を短縮するためと、(23)式は大きい側から真値に近付くことから、過小評価を避けるためである。

ライブラリ作成コードでは、 $D'$ の計算範囲及び刻み巾、(23)式中の繰り返し計算回数等を設定することで、 $D'$ ごとに0.01から0.99まで0.01間隔のFR値と時間の関係を計算しテーブル化し、ファイルに出力する。詳細な使用方法については付録1にまとめた。

5章で述べる計算例で使用した放出割合ライブラリは、繰り返し計算回数を1万回とし、

$$D' = 10^{\frac{I-661}{20}} \quad (I = 1,821) \quad (25)$$

で得られる $10^{-33}$ から $10^8$ までの $D'$ に対して作成した放出割合ライブラリを使用した。



### 3.2 核分裂生成物放出割合計算コード

本コードは、3.1節で述べたコードにより作成した放出割合ライブラリを使用して被覆燃料粒子からの放出率を計算し、冷却材流路への放出量を計算するコードである。

放出率を計算するために、まず放出割合ライブラリを計算対象とする核種に対するFR値テーブルに次の順序で変換する。

① 対象核種について、必要な温度範囲の上限温度、下限温度を指定し、これに対応する上限、下限換元拡散係数を計算する。Kr-88を例にすると、(16)式=(17)式から得られる次式(但し、(17)式の右辺第2項は考慮しない)を2分法により解き換元拡散係数を求める。

$$3 \sqrt{\frac{D'}{\lambda}} \left( \coth \sqrt{\frac{\lambda}{D'}} - \sqrt{\frac{D'}{\lambda}} \right) = 1.56 \times 10^3 \exp \left( -\frac{17750}{T} \right) \quad (26)$$

② 放出割合ライブラリから、①で得られた上限・下限換元拡散係数の範囲の時間とFR値の関係を読み込む。

③ 対象核種について、読み込んだ各換元拡散係数に対応する温度を計算する。

(①と同様にKr-88については(26)式を解く)

④ 温度ごとに時間とFR値のテーブルを作成する。

5章で述べる計算例では、減圧事故後の炉心温度挙動解析結果を参考に、300°Cから1900°Cの範囲についてテーブルを作成した。

減圧事故のように炉心温度が変化する場合はFP放出割合を計算するためには、計算タイムステップごとに温度変化に伴い変化するFR値を正しく模擬する必要がある。対象核種用に作成したFR値テーブルから当該タイムステップの温度に対応するFR値は以下のように求める。

あるタイムステップでの温度を $T_n$ 、前タイムステップでのFR値を $FR_{n-1}$ とするとき、テーブル上に存在するデータとの間に次の関係があるものとする (Fig. 3.3 参照)。

$$T_{i-1} < T_n \leq T_i \quad (27)$$

$$FR(t_{j1-1}, T_{i-1}) < FR_{n-1} \leq FR(t_{j1}, T_{i-1}) \quad (28)$$

$$FR(t_{j2-1}, T_i) < FR_{n-1} \leq FR(t_{j2}, T_i) \quad (29)$$

また、ある温度での時間とFR値の関係は次式で近似する。

$$FR(t) = 1 - \exp(-B\sqrt{t}) \quad (30)$$

(28)式のFR値の関係及び対応する時間から(30)式の係数Bを求めた後、得られた係数を用い(30)式により、温度 $T_{i-1}$ において $FR(t) = FR_{n-1}$ となる $t = TX1$ を求める。同様に温度 $T_i$ についても $t = TX2$ を求める。

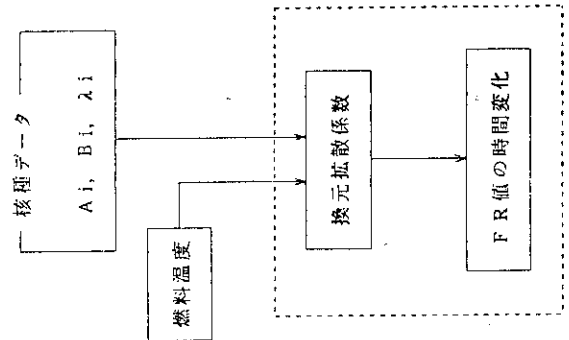
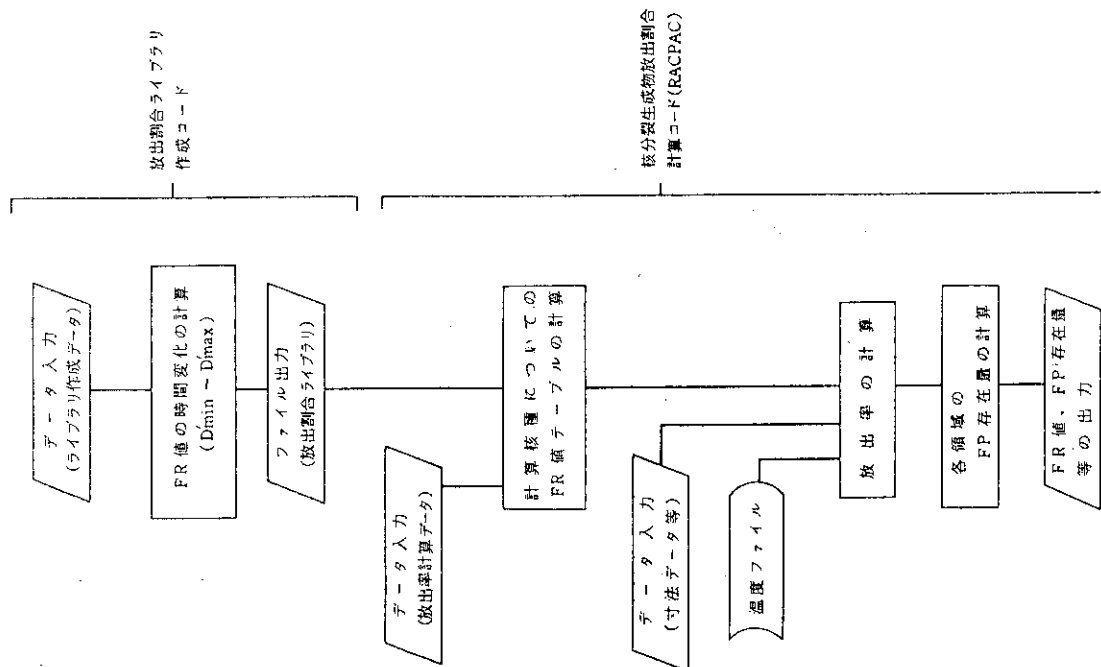
続いて、当該タイムステップでのFR値を得るために、タイムステップ幅( $\Delta t$ )進んだ時間を $TX1 + \Delta t$ 、 $TX2 + \Delta t$ と設定する。これらの時間点は直接はテーブル上にはないが、その前後の時間点に対応するFR値から、再び(30)式の係数Bを求め、 $TX1 + \Delta t$ 及び $TX2 + \Delta t$ に対応するFR値を計算する。これら温度 $T_{i-1}$ 、 $T_i$ におけるFR値を直線内挿

し当該タイムステップの温度  $T_n$  での  $FR_n$  を求める (Fig.3.4 参照)。

次に,  $FR_n$ ,  $FR_{n-1}$  及び  $\Delta t$  を (10) 式に代入し放出率  $f_n$  を得た後, 2.3 節で述べた方法で各領域の FP 存在量を計算する。

尚, 温度が急激に上昇し, 放出率が非常に大きくなる場合には,  $FR_n = 0.999$  とし, 瞬時放出を模擬する。

コード使用方法の詳細は付録 2 にまとめた。



注1) [ ] は共通計算部  
 注2)  $A_i, B_i$  は、 $(R/B) = A_i \times \exp(-B_i/T)$  の各係数、 $\lambda_i$  は崩壊定数

Fig. 3.2 Calculational procedure of fractional release

Fig. 3.1 Calculation flow

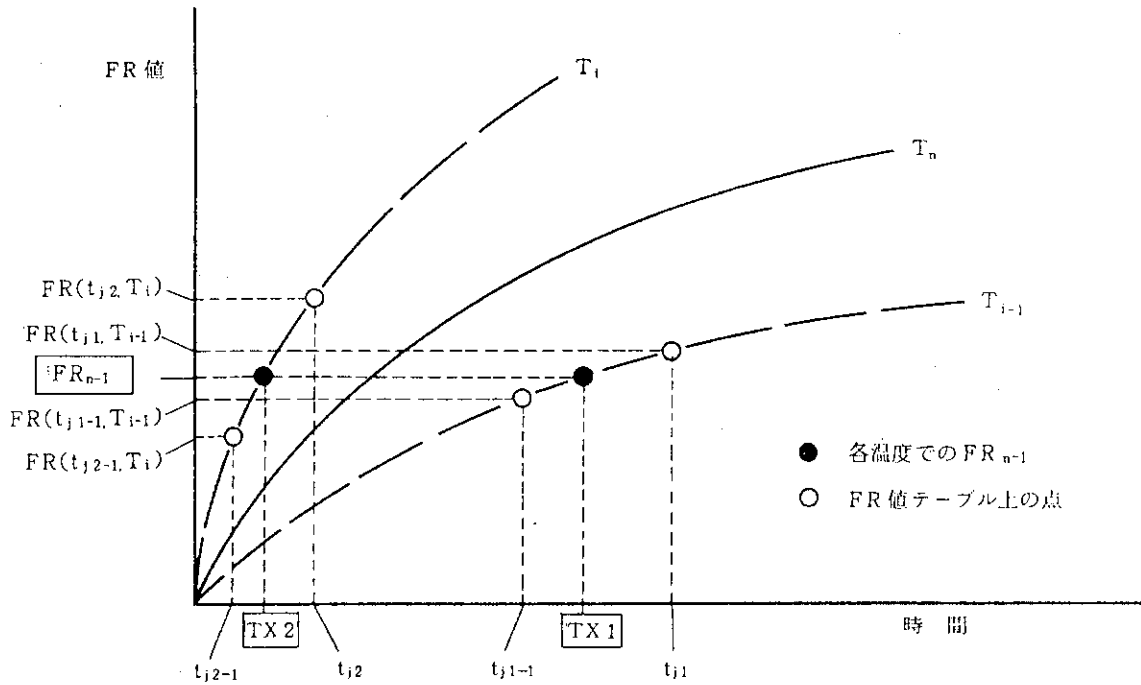


Fig. 3.3 Schematic diagram of fractional release calculation in time-step (1)

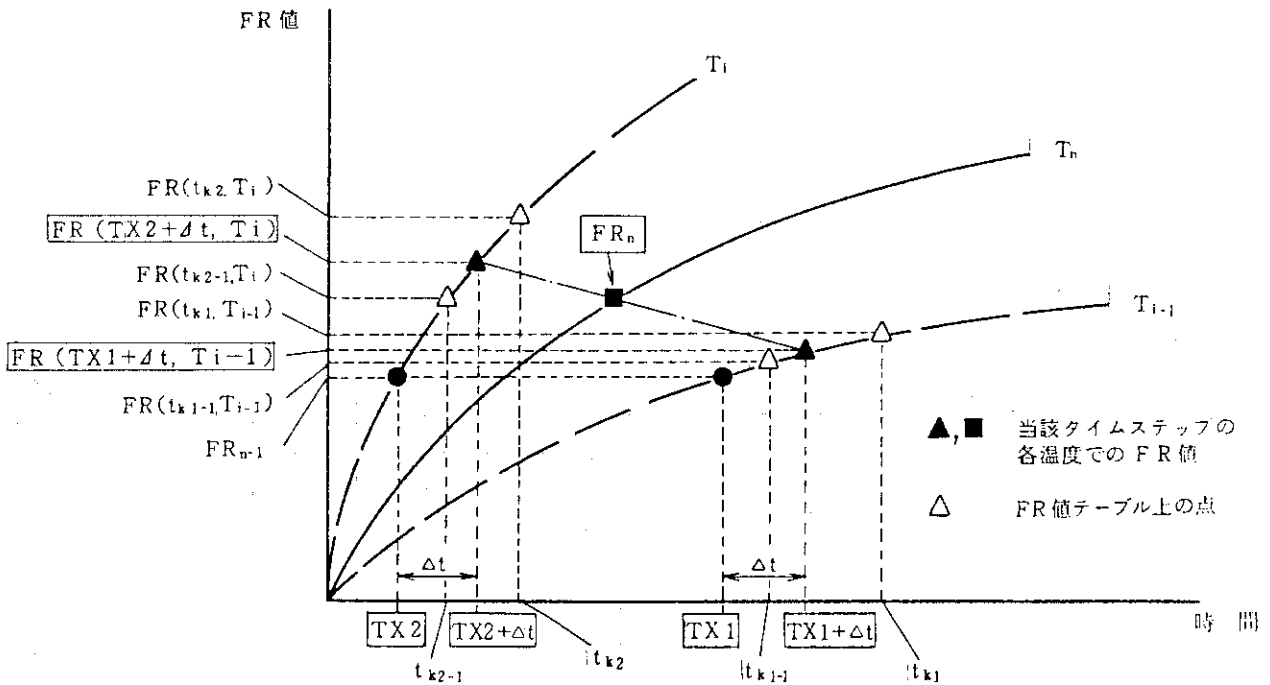


Fig. 3.4 Schematic diagram of fractional release calculation in time-step (2)

#### 4. 計算データベース

2.2節で述べたように、RACPACコードでは、核分裂生成物の拡散係数を求めるためのデータベースとして破損粒子を含む燃料コンパクトからの放出速度と生成速度の比、 $(R/B)$ を用いている。

一般に、多数の被覆燃料粒子を含む燃料コンパクトからの $(R/B)$ 値は、

$$(R/B) = \phi \cdot (R/B)_f + (1 - \phi) \cdot (R/B)_i \quad (19)$$

と表すことが出来る。ここで $\phi$ は、燃料コンパクトの露出ウラン率であり、被覆層が貫通破損している粒子の個数の、全被覆燃料粒子の個数に対する比率である。但し、露出ウラン率の測定において、燃料コンパクトのマトリックス中や被覆燃料粒子の最外被覆層表面に存在する汚染ウラン量も同時に測定されるため、厳密には「露出ウラン率」=「貫通破損率」+「汚染ウラン率」となるが、貫通破損率が特に低くない限り、汚染ウラン率からの核分裂生成物放出の寄与が顕著になることはないため、特に問題がない限り $\phi$ を近似的に貫通破損率と見なす。

$(R/B)_f$ 、 $(R/B)_i$ は、それぞれ、貫通破損粒子、健全な被覆燃料粒子からの $(R/B)$ 値である。破損粒子からの $(R/B)$ 値は同一温度条件における健全粒子からの $(R/B)$ 値に比べて5桁以上大きい<sup>(13)</sup>ため、通常想定される破損率の範囲では、(19)式は一般に、

$$(R/B) = \phi \cdot (R/B)_f \quad (20)$$

と表すことが出来る。

JMTRのガススweep照射試験で得たKr-88の $(R/B)$ 値をFig. 4.1に示す。このデータは、最高燃焼度5%FIMA、最高照射温度1520°C、露出ウラン率 $10^{-5} \sim 2 \times 10^{-2}$ の範囲で測定されたもので、温度の関数として表されている((17)式)。その他のKr、Xe及びIの $(R/B)$ 値は、(17)式を基に、燃料核中における先行核の拡散遅れ効果を考慮した拡散モデルを用いて計算している。<sup>(8),(13)</sup>

(20)式から、(17)式に示した $(R/B)$ の式から換元拡散係数を求めるということは、基本的に燃料核中における核分裂生成物の拡散を解くことに対応していることが分かる。また、その際に第1項のみを用いる根拠は2.2節で述べた。Kr-88以外のKr同位体、Xe及びIについては、(17)式の第1項の係数(Kr-88の場合は $2.7 \times 10^3$ )を変えることとなる。言い替えると、Kr同位体、Xe及びIの放出に関する活性化エネルギーは等しいというモデルとなっている。

このデータベース及びモデルは、OGL-1燃料体照射試験結果を用いて検証計算を行うことにより、妥当性を示している。<sup>(9)</sup>

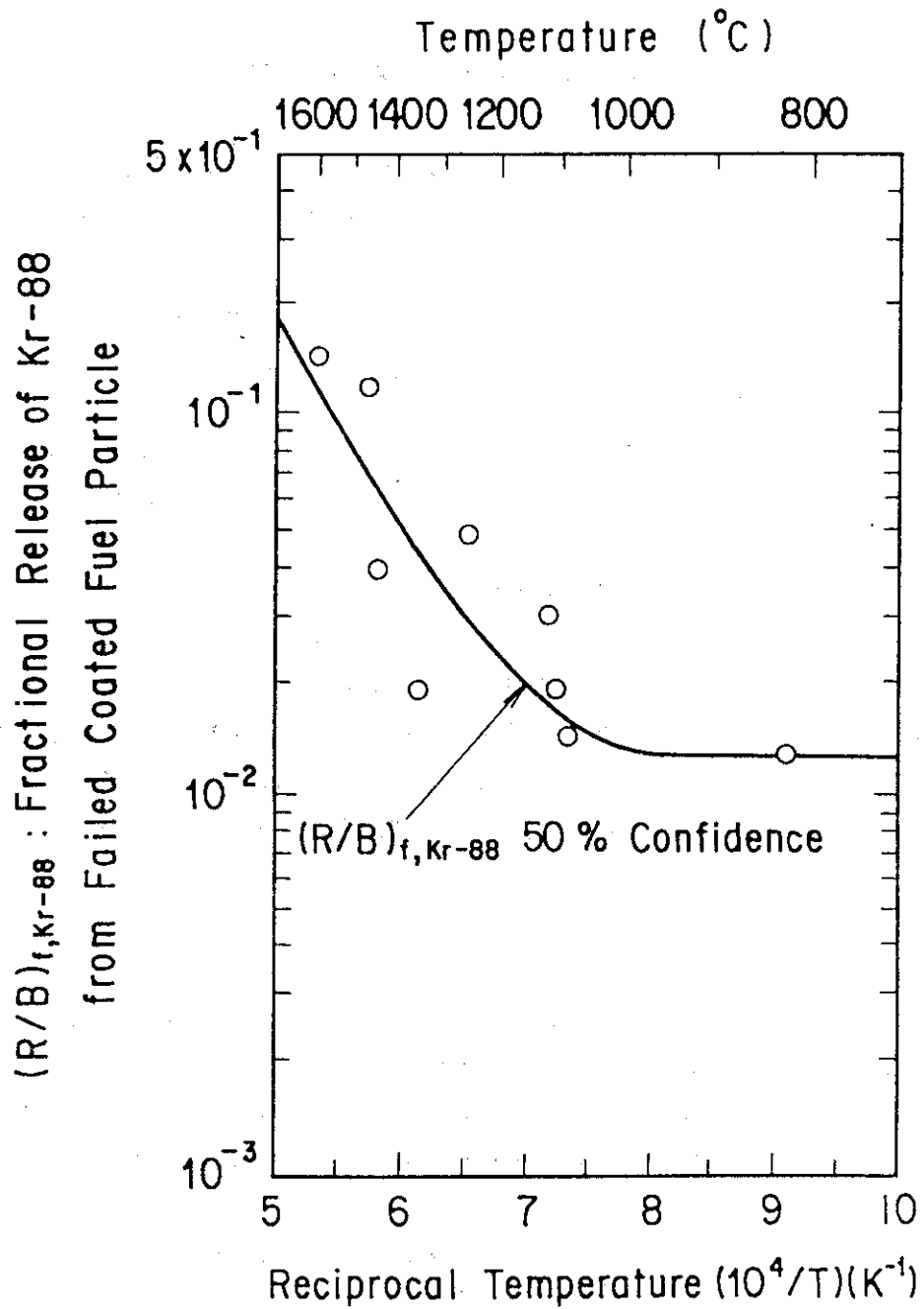


Fig. 4.1 (R/B) data of <sup>88</sup>Kr

## 5. 計算例

本章では、RACPACを用いて行って2つの計算例を示す。一つは照射後加熱試験<sup>(15)</sup>で得られたKr-85の放出割合の計算で、もう一つはHTTRの安全評価で行った、1次冷却設備二重管破断事故時のFPの時間遅れ放出割合の計算である。

### 5.1 照射後加熱実験の解析

照射後加熱試験では、半減期の長い希ガスである、Kr-85の被覆燃料粒子からの放出割合を、燃料温度の関数として測定している。<sup>(15)</sup> 解析に用いた試験は、燃料粒子被覆層が健全な粒子(健全粒子)を約100粒等温加熱したものである。試験及び計算条件をTable 5.1に示す。

4章で述べたように、現在RACPACコードでは換元拡散係数を破損粒子からの(R/B)値(17式)に基づき計算している。一方、ここでは、健全粒子からの放出割合を計算することとなるため、(17)式をそのまま用いることは出来ない。従って、ここでは健全粒子からの放出割合も拡散律速であると仮定し、実験結果からRACPACコードを用いて、健全粒子からの(R/B)値、即ち実効的な拡散係数を求めてみることにした。具体的には、以下の式で表される健全粒子からの(R/B)値の係数a及びbをパラメータとして放出割合を計算し、実験で温度の関数として得られた放出割合に近くなるようなa、bを求めることにした。

$$(R/B) = a \cdot \exp(-b/T) \quad (21)$$

結果をFig. 5.1に示す。パラメータ計算の結果、 $a = 2.8 \times 10^6$ 、 $b = 3.55 \times 10^4$ で計算値と測定値に近い値を示すことが分かった。

RACPACコードをこの例のように用いることにより、照射後加熱試験データから換元拡散係数に相当する計算パラメータ(21式のa、b)を容易に求めることができ、安全評価を行う上で少ない実験からデータベースを作成することが可能となる。

### 5.2 HTTRの減圧事故の解析

HTTRの安全評価において、1次冷却設備二重管破断事故(減圧事故)時における炉心内蓄積FPの放出割合を評価している。<sup>(3),(5)</sup> ここでは、減圧事故時におけるKr-88及びI-131の時間遅れ放出割合を、RACPACコードを用いて計算した結果を示す。計算条件は、参考文献(5)に示されたものと同じであり、事故後の温度変化は2.3節で述べたように、TAC-NCコードにより計算されたものを用いる。<sup>(6)</sup>

換元拡散係数の計算に用いたデータベースは、50%信頼度に相当する(R/B)値であり、Kr-88及びI-131についてそれぞれ以下の式とした。

Kr-88 について,

$$(R/B) = 1.56 \times 10^3 \exp\left(-\frac{17750}{T}\right) \quad (22)$$

I-131 について,

$$(R/B) = 1.52 \times 10^4 \exp\left(-\frac{17750}{T}\right) \quad (23)$$

減圧事故後の経過時間に対する Kr-88 の放出割合を Fig.5.2 に, I-131 の放出割合を Fig.5.3 に示す。図中の実線が RACPAC コードによる計算結果である。点線は, HTCORE コードによる計算結果を示している。両核種とも, 最終的な放出割合は RACPAC コードによる値が HTCORE コードによる値の  $1/3 \sim 1/4$  となっている。また, RACPAC コードによる I-131 の放出割合が事故後約 20 時間まで HTCORE コードによる値を上回っている。これは, 以下の理由によるものである。すなわち, HTCORE コードでは, 放出割合を, 入力として与えられている単位時間当たりの FP 放出割合 (fraction/s) に基づき計算しており,<sup>(2)</sup> この単位時間当たりの FP 放出割合は, 照射後試験による加熱時間に対する FP 放出割合プロフィールの長時間経過後の値から求めている。<sup>(4)</sup> 従って, この放出割合を用いた計算結果はその絶対値の大きい長時間経過後の放出割合は正しく評価するが, 時間に対する FP の放出割合プロフィールは上に凸であるため, 放出割合が少ない短時間における放出割合を過小評価することになる。こうした点から, RACPAC コードは, 従来の HTCORE コードよりも妥当な FP 放出モデルとなっていることが分かる。



Table 5.1 Results of post irradiation experiments (15)

| Test No. | Irradiation temperature(°C) | Fractional release    |
|----------|-----------------------------|-----------------------|
| 1        | 1900                        | $2.32 \times 10^{-3}$ |
| 2        | 1800                        | $3.19 \times 10^{-3}$ |
| 3        | 1800                        | $1.75 \times 10^{-3}$ |
| 4        | 1700                        | $6.65 \times 10^{-4}$ |
| 5        | 1600                        | $1.39 \times 10^{-4}$ |

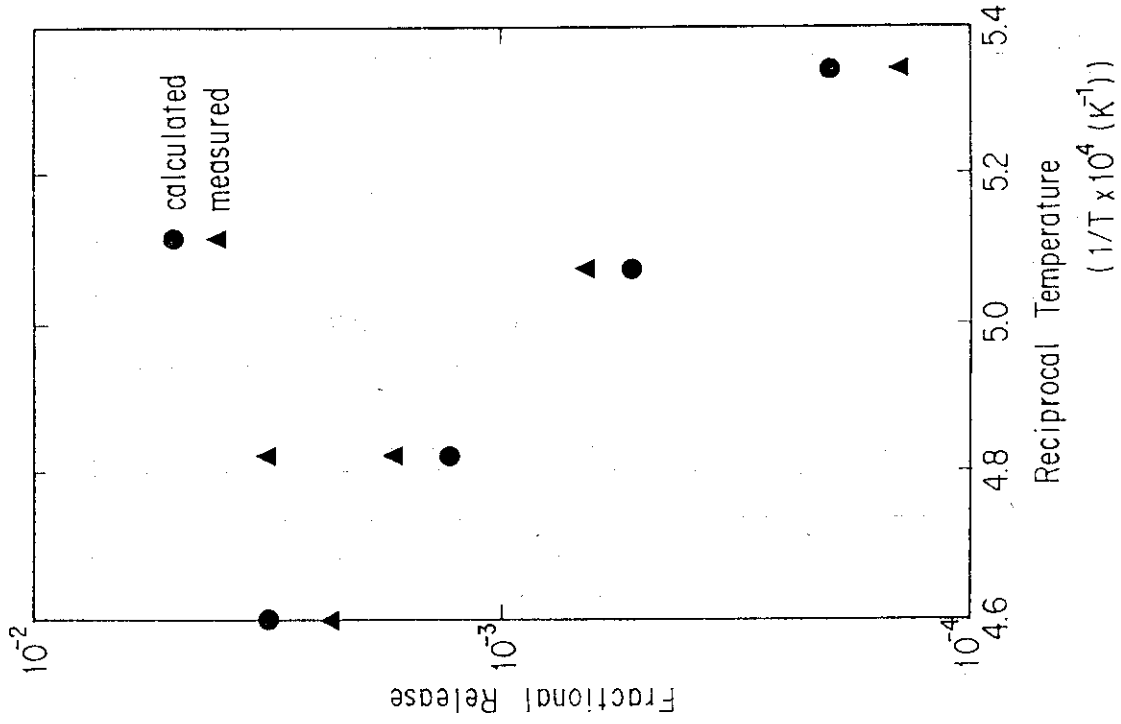


Fig. 5.1 Fractional release of Kr-85. (Measured and calculated by RACPAC)

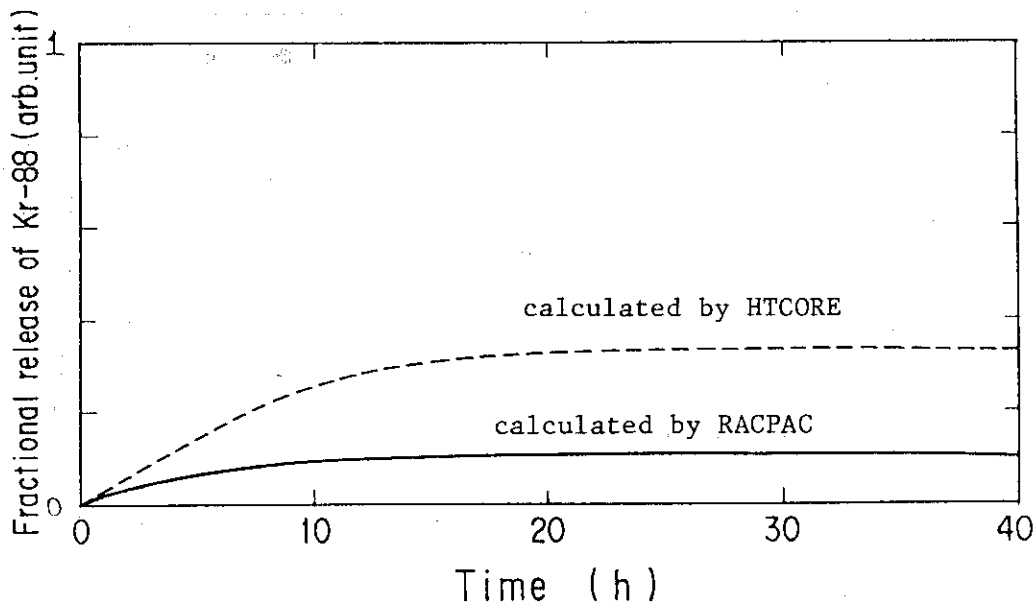


Fig. 5.2 Fractional release of Kr-88 in depressurization accident of HTTR

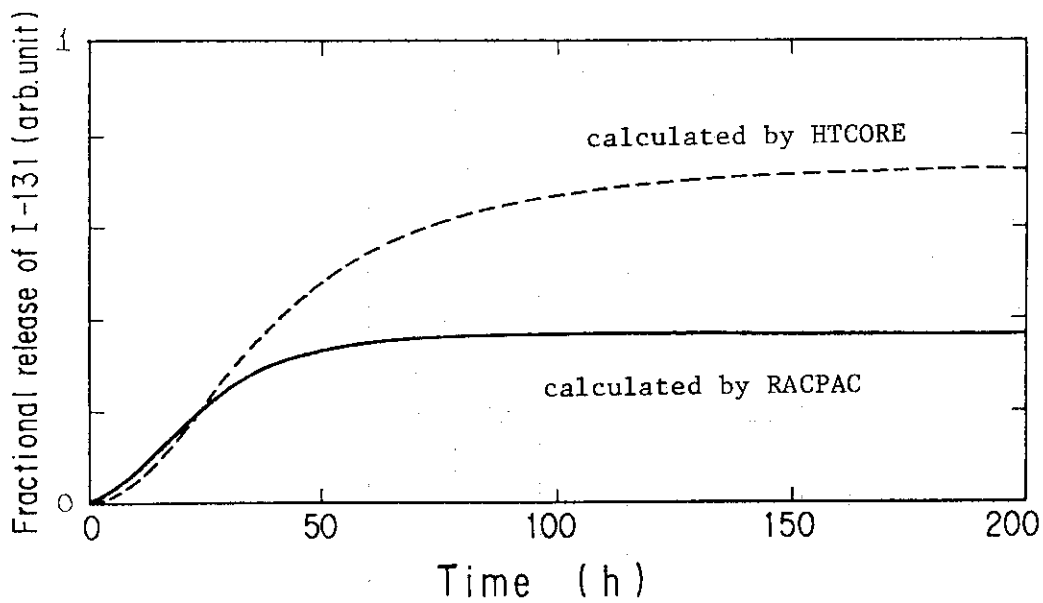


Fig. 5.3 Fractional release of I-131 in depressurization accident of HTTR

## 6. 結 言

高温ガス炉の事故時における、炉心からのF P放出量を解析するために、計算コードR A C P A Cを開発した。本コードは、以下のような特徴を有している。

- (1) 原子炉停止後の被覆燃料粒子からのF P放出割合を、換元拡散係数を用いた解析解に基づき計算する。
- (2) 核種毎の換元拡散係数は、通常運転時におけるF Pの放出速度と生成速度の比 ( $R/B$ ) のデータから計算する。
- (3) 事故後の炉心温度挙動に伴う放出割合の変化を計算する。

本コードを用いることにより、高温ガス炉の特徴である事故後の緩慢な温度挙動に対応したF P放出量をより現実的に求めることが出来るものと期待できる。また、H T T Rで予定されている各種照射試験等の解析あるいは試験検査等の計画に役立つと期待できる。さらに、照射後加熱試験で得られるF P放出データを本コードを用いて解析することにより、評価に用いる計算パラメータを簡単に求めることができる。

## 謝 辞

本作業を行うに当たっては、富士電機（株）の見上寿氏と計算モデルの検討を行った。また、照射後加熱実験の解析のために、燃料照射研究室の小川徹氏から貴重なデータの提供を受けた。深く感謝いたします。また、本報告書をまとめるに当たり、種々のご指導を頂いた斎藤伸三高温工学試験研究炉開発部次長、田中利幸H T T R原子炉開発室長、塩沢周策H T T R原子炉開発室長代理に深く感謝します。

## 6. 結 言

高温ガス炉の事故時における、炉心からのFP放出量を解析するために、計算コードRAC PACを開発した。本コードは、以下のような特徴を有している。

- (1) 原子炉停止後の被覆燃料粒子からのFP放出割合を、換元拡散係数を用いた解析解に基づき計算する。
- (2) 核種毎の換元拡散係数は、通常運転時におけるFPの放出速度と生成速度の比 ( $R/B$ ) のデータから計算する。
- (3) 事故後の炉心温度挙動に伴う放出割合の変化を計算する。

本コードを用いることにより、高温ガス炉の特徴である事故後の緩慢な温度挙動に対応したFP放出量をより現実的に求めることが出来るものと期待できる。また、HTTRで予定されている各種照射試験等の解析あるいは試験検査等の計画に役立つと期待できる。さらに、照射後加熱試験で得られるFP放出データを本コードを用いて解析することにより、評価に用いる計算パラメータを簡単に求めることができる。

## 謝 辞

本作業を行うに当たっては、富士電機（株）の見上寿氏と計算モデルの検討を行った。また、照射後加熱実験の解析のために、燃料照射研究室の小川徹氏から貴重なデータの提供を受けた。深く感謝いたします。また、本報告書をまとめるに当たり、種々のご指導を頂いた斎藤伸三高温工学試験研究炉開発部次長、田中利幸HTTR原子炉開発室長、塩沢周策HTTR原子炉開発室長代理に深く感謝します。

## 参 考 文 献

- (1) 佐野川 好母, 斎藤 伸三, 「高温ガス炉開発の現状」, 日本原子力学会誌29巻7号 (1987)
- (2) 見上 寿, 他, 「高温ガス炉の事故時における炉心からの核分裂生成物放出量解析コード "HTCORE"」, JAERI-M 88-256 (1988)
- (3) K. Sawa, et. al., "Analytical Method and Result of Radiation Exposure for Depressurization Accident of HTTR", ANS International Topical Meeting, Boise, USA (1990)
- (4) M. H. Schwartz, et. al., "SORS Computer Programs for Analyzing Fission Product Release from HTGR Cores during Transient Temperature Excursions", GA-A 12462 (1974)
- (5) K. Sawa, et. al., "Analytical Method and Result of Fission Products Release from Core during Depressurization Accident of HTTR", IAEA Specialists' Meeting, Oak Ridge, USA (1990)
- (6) K. Kunitomi, et. al., "Depressurization Accident Analysis for the HTTR by the YAC-NC", Energy, Vol. 16, No. 1/2 (1991)
- (7) A. H. Booth, et. al., "Determination of the Diffusion Constant of Fission Xenon in  $UO_2$  Crystals and Sintered Compacts", AECL-692(1958)
- (8) 小川 徹, 他, 「貫通破損粒子を含む燃料コンパクトからの短半減期希ガス・ヨウ素の放出率」, JAERI-M 86-146 (1986)
- (9) 沢 和弘, 他, 「高温工学試験研究炉における被覆燃料粒子の破損率及びFP放出率の評価法」, JAERI-M 88-258 (1988)
- (10) K. Sawa, et. al., "Analytical Method and Result of Off-site Exposure during Normal Operation of High Temperature Engineering Test Reactor (HTTR)", Energy, Vol. 16, No. 1/2 (1991)
- (11) J. R. Turnbull, et. al., "The Diffusion Coefficients of Gaseous and Volatile Species during the Irradiation of Uranium Dioxide", J. of Nucl. Mater. 107 (1982)
- (12) 国富 一彦, 他, 「高温工学試験研究炉の炉内2次元温度分布解析コードTAC-NCとその検証」, JAERI-M 89-001 (1989)
- (13) 林 君夫, 沢 和弘, 他, 「高温工学試験研究炉用燃料の健全性の評価と許容設計限界」, JAERI-M 89-162 (1989)

- (14) C. A. Friskney, et. al., "A calculation on the In-pile Diffusional Release of Fission Products Forming a General Decay chain", J. of Nucl. Mater., 62 (1976)
- (15) 小川 徹, 私信

## 付録1 入力及び出力

### 1. 放出割合ライブラリ作成コード

本コードを使用するためのサンプルJCLをFig.A 1.1に示す。次の3ファイルでデータの入出力を行う。

#### (1) ソースプログラム

ライブラリ化する換元拡散係数の上限値，下限値，刻み幅，FR値の刻み幅及び繰り返し計算回数（(23)式）は，ソースプログラム内で設定する。

#### (2) 入力データ（機番50）

入力フォーマットをTable A 1.1に示す。

#### (3) 出力ファイル（機番1）

固定長形式または固定長ブロック化形式のファイルを指定する。出力フォーマットをTable A 1.2に示す。

### 2. 核分裂生成物放出割合計算コード

本コードを使用するためのサンプルJCLをFig.A 1.2に示す。ベースとしたHTCOREコードを使用するに必要なファイル<sup>(A1.1)</sup>に加え，次のファイルが必要である。

#### (1) 放出率計算プログラム

放出率を計算するために作成，改良したサブルーチンをコンパイルし，既にあるロードモジュールと置き換える。読み込むFR値ライブラリの時間データ数，温度データ数，上限・下限温度，2分法の初期下端点・初期上端点はこれらのサブルーチン内で指定する。

#### (2) 入力データ（機番45）

入力フォーマットをTable A 1.3に示す。

#### (3) 放出割合ライブラリ（機番70）

放出割合ライブラリ計算コードの計算結果である出力ファイルを指定する。

リスト出力形式をTable A 1.4に示す。ベースとしたHTCOREコードの出力内容に加え，対象核種用のFR値テーブルへの変換過程，結果及び計算時間ごとのタイムステップ，セグメントごとの放出率，FR値，セグメント合計のFR値を出力する。

### 参考文献

A 1.1) 見上 寿，他「高温ガス炉の事故時における炉心からの核分裂生成物放出量解析コード“HTCORE”」1988年12月 JAERI-M 88-256

Table A1.1 Input data format of library calculation code (FT50)

| カード<br>No | 変 数 名                              | Format   | 内 容              |
|-----------|------------------------------------|----------|------------------|
| 1         | ITIM (ININ-1)                      | I 5      | 時間データ数(TPR(k)の数) |
| 2         | TPR(k)<br>(k=0,<br>ITIM(IMIN-1)-1) | 6 E 12.5 | 時間データ(s)         |

注1) 掃き出される時間データをTIM(K, I)とすると,  
TPR(k) > TIM(K, IMIN)となるようなTPR(k)を入力する事。

注2) 例えば,  $D' = 10^{\frac{I-661}{20}}$ ; IMIN = 100, IX = 150の計算をしたとし,  
その後, 151以降のテーブルを作る計算をする時, 最初の計算の掃き出し  
Fileの最後の部分 (I = 150) をそのまま 151以降の計算の入力データとす  
る事が可能

Table A1.2 Output data format of library calculation code (FT01)

| カード<br>No | 変 数 名                 | Format          | 内 容         |
|-----------|-----------------------|-----------------|-------------|
| 1         | ITIM(I)               | I 5, 1 P E 12.5 | データ数        |
|           | DD(I)                 |                 | D' (換元拡散係数) |
| 2         | TIM(K, I)<br>k=0, J X | 1 P 6 E 12.5    | 時間データ       |
| 3         | FR(K, I)<br>k=0, J X  | 1 P 6 E 12.5    | FR値データ      |

カード1~3を指定したD'の数だけ繰り返す



Table A1.3 Input data format of fractional release calculation code (FT45)

| カード<br>No. | 変数名  | Format   | 内<br>容   |
|------------|------|----------|--|
| 1          | EXX1 | 6 E 12.0 | 2分法の精度   |
|            | EXX2 |          | 2分法で得られた値の判定, (2.2)式と(2.4)式の差の絶対値がEXX2を越えた時, (2.5)式が解けていないとみて, 以降外挿による |
| 2          | SNAM | A 8      | 核種名の指定   |
| 3          | FA1  | 6 E 12.0 | $(R/B) = A \cdot \exp\left(\frac{B}{T}\right) + C$ とした時のA              |
|            | FA2  |          | 同 B  |
|            | FA3  |          | 同 C  |
|            | FA4  |          | 崩壊定数   |

Table A1.4 Sample Output of fractional release calculation code

|        |                |                 |                 |                 |                   |
|--------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| I= 1   | T= 3.00000D+02 | D= 9.63672D-26  | A1= 9.33686D-10 | A3= 9.33629D-10 | AEX2= 5.66439D-14 |
| I= 2   | T= 3.01000D+02 | D= 1.07348D-25  | A1= 9.85431D-10 | A3= 9.85388D-10 | AEX2= 4.36033D-14 |
| I= 3   | T= 3.02000D+02 | D= 1.19541D-25  | A1= 1.03985D-09 | A3= 1.03984D-09 | AEX2= 6.00060D-15 |
| I= 4   | T= 3.03000D+02 | D= 1.33071D-25  | A1= 1.09707D-09 | A3= 1.09711D-09 | AEX2= 4.71504D-14 |
| I= 5   | T= 3.04000D+02 | D= 1.48053D-25  | A1= 1.15722D-09 | A3= 1.15723D-09 | AEX2= 8.43980D-15 |
| I= 6   | T= 3.05000D+02 | D= 1.64664D-25  | A1= 1.22044D-09 | A3= 1.22042D-09 | AEX2= 2.62942D-14 |
| I= 7   | T= 3.06000D+02 | D= 1.83091D-25  | A1= 1.28689D-09 | A3= 1.28690D-09 | AEX2= 9.97695D-15 |
| I= 8   | T= 3.07000D+02 | D= 2.03488D-25  | A1= 1.35670D-09 | A3= 1.35669D-09 | AEX2= 1.27131D-14 |
| I= 9   | T= 3.08000D+02 | D= 2.26106D-25  | A1= 1.43004D-09 | A3= 1.43010D-09 | AEX2= 6.14311D-14 |
| I= 10  | T= 3.09000D+02 | D= 2.51098D-25  | A1= 1.50707D-09 | A3= 1.50706D-09 | AEX2= 7.36614D-15 |
| I= 11  | T= 3.10000D+02 | D= 2.78765D-25  | A1= 1.58796D-09 | A3= 1.58792D-09 | AEX2= 1.27131D-14 |
| I= 12  | T= 3.11000D+02 | D= 3.09410D-25  | A1= 1.67290D-09 | A3= 1.67293D-09 | AEX2= 2.63804D-14 |
| I= 13  | T= 3.12000D+02 | D= 3.43287D-25  | A1= 1.76207D-09 | A3= 1.76213D-09 | AEX2= 6.46337D-14 |
| I= 14  | T= 3.13000D+02 | D= 3.80698D-25  | A1= 1.85566D-09 | A3= 1.85567D-09 | AEX2= 9.19188D-15 |
| I= 15  | T= 3.14000D+02 | D= 4.22047D-25  | A1= 1.95387D-09 | A3= 1.95384D-09 | AEX2= 2.95764D-14 |
| I= 16  | T= 3.15000D+02 | D= 4.67738D-25  | A1= 2.05693D-09 | A3= 2.05689D-09 | AEX2= 3.96402D-14 |
| I= 17  | T= 3.16000D+02 | D= 5.18225D-25  | A1= 2.16504D-09 | A3= 2.16505D-09 | AEX2= 1.33551D-14 |
| I= 18  | T= 3.17000D+02 | D= 5.73912D-25  | A1= 2.27844D-09 | A3= 2.27841D-09 | AEX2= 2.72983D-14 |
| I= 19  | T= 3.18000D+02 | D= 6.35380D-25  | A1= 2.39736D-09 | A3= 2.39732D-09 | AEX2= 4.15542D-14 |
| I= 20  | T= 3.19000D+02 | D= 7.03235D-25  | A1= 2.52206D-09 | A3= 2.52209D-09 | AEX2= 2.32859D-14 |
|        |                |                 |                 |                 |                   |
| I=371  | T= 1.30000D+03 | D= 1.58619D-08  | A1= 3.30956D-01 | A3= 3.30956D-01 | AEX2= 2.94348D-14 |
| I=372  | T= 1.31000D+03 | D= 1.87642D-08  | A1= 3.55404D-01 | A3= 3.55404D-01 | AEX2= 3.96350D-14 |
| I=373  | T= 1.32000D+03 | D= 2.22196D-08  | A1= 3.81317D-01 | A3= 3.81317D-01 | AEX2= 1.24067D-14 |
| I=374  | T= 1.33000D+03 | D= 2.63500D-08  | A1= 4.08760D-01 | A3= 4.08760D-01 | AEX2= 5.52752D-14 |
| I=375  | T= 1.34000D+03 | D= 3.13132D-08  | A1= 4.37800D-01 | A3= 4.37800D-01 | AEX2= 3.93713D-14 |
| I=376  | T= 1.35000D+03 | D= 3.73172D-08  | A1= 4.68508D-01 | A3= 4.68508D-01 | AEX2= 6.33521D-14 |
| I=377  | T= 1.36000D+03 | D= 4.46423D-08  | A1= 5.00953D-01 | A3= 5.00953D-01 | AEX2= 5.26384D-14 |
| I=378  | T= 1.37000D+03 | D= 5.36777D-08  | A1= 5.35209D-01 | A3= 5.35209D-01 | AEX2= 5.50948D-15 |
| I=379  | T= 1.38000D+03 | D= 6.49810D-08  | A1= 5.71350D-01 | A3= 5.71350D-01 | AEX2= 5.10425D-14 |
| I=380  | T= 1.39000D+03 | D= 7.93832D-08  | A1= 6.09452D-01 | A3= 6.09452D-01 | AEX2= 3.33344D-14 |
| I=381  | T= 1.40000D+03 | D= 9.81811D-08  | A1= 6.49594D-01 | A3= 6.49594D-01 | AEX2= 2.00118D-14 |
| I=382  | T= 1.41000D+03 | D= 1.23521D-07  | A1= 6.91855D-01 | A3= 6.91855D-01 | AEX2= 7.71466D-14 |
| I=383  | T= 1.42000D+03 | D= 1.59234D-07  | A1= 7.36317D-01 | A3= 7.36317D-01 | AEX2= 1.71391D-14 |
| I=384  | T= 1.43000D+03 | D= 2.12895D-07  | A1= 7.83064D-01 | A3= 7.83064D-01 | AEX2= 7.50372D-14 |
| I=385  | T= 1.44000D+03 | D= 3.01874D-07  | A1= 8.32180D-01 | A3= 8.32180D-01 | AEX2= 2.81580D-14 |
| I=386  | T= 1.45000D+03 | D= 4.27653D-07  | A1= 8.83753D-01 | A3= 8.83753D-01 | AEX2= 8.76799D-14 |
| I=387  | T= 1.46000D+03 | D= 5.973346D-07 | A1= 9.37870D-01 | A3= 9.37870D-01 | AEX2= 7.14706D-15 |
| I=388  | T= 1.47000D+03 | D= 8.122430D-05 | A1= 9.94624D-01 | A3= 9.94624D-01 | AEX2= 5.19307D-14 |
| IP=371 | T= 1.30000D+03 | D= 1.58579D-08  |                 |                 |                   |
| IP=372 | T= 1.31000D+03 | D= 1.87435D-08  |                 |                 |                   |
| IP=373 | T= 1.32000D+03 | D= 2.21543D-08  |                 |                 |                   |
| IP=374 | T= 1.33000D+03 | D= 2.61857D-08  |                 |                 |                   |
| IP=375 | T= 1.34000D+03 | D= 3.09507D-08  |                 |                 |                   |
| IP=376 | T= 1.35000D+03 | D= 3.65829D-08  |                 |                 |                   |
| IP=377 | T= 1.36000D+03 | D= 4.32399D-08  |                 |                 |                   |
| IP=378 | T= 1.37000D+03 | D= 5.11083D-08  |                 |                 |                   |
| IP=379 | T= 1.38000D+03 | D= 6.04085D-08  |                 |                 |                   |
| IP=380 | T= 1.39000D+03 | D= 7.14010D-08  |                 |                 |                   |
| IP=381 | T= 1.40000D+03 | D= 8.43939D-08  |                 |                 |                   |
| IP=382 | T= 1.41000D+03 | D= 9.97511D-08  |                 |                 |                   |
| IP=383 | T= 1.42000D+03 | D= 1.17903D-07  |                 |                 |                   |
| IP=384 | T= 1.43000D+03 | D= 1.39358D-07  |                 |                 |                   |
| IP=385 | T= 1.44000D+03 | D= 1.64717D-07  |                 |                 |                   |
| IP=386 | T= 1.45000D+03 | D= 1.94690D-07  |                 |                 |                   |
| IP=387 | T= 1.46000D+03 | D= 2.30118D-07  |                 |                 |                   |
| IP=388 | T= 1.47000D+03 | D= 2.71993D-07  |                 |                 |                   |
| IP=389 | T= 1.48000D+03 | D= 3.21488D-07  |                 |                 |                   |
| IP=390 | T= 1.49000D+03 | D= 3.79989D-07  |                 |                 |                   |
|        |                |                 |                 |                 |                   |

Table A1.4 (Continued)

111MAX=434 IP02=345

TEMPERATURE (C)

|             |             |             |             |             |             |             |             |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 2.99277D+02 | 3.00341D+02 | 3.01410D+02 | 3.02483D+02 | 3.03559D+02 | 3.04640D+02 | 3.05725D+02 | 3.06813D+02 |
| 3.07906D+02 | 3.09003D+02 | 3.10105D+02 | 3.11210D+02 | 3.12319D+02 | 3.13433D+02 | 3.14551D+02 | 3.15673D+02 |
| 3.16800D+02 | 3.17931D+02 | 3.19066D+02 | 3.20206D+02 | 3.21350D+02 | 3.22498D+02 | 3.23651D+02 | 3.24808D+02 |
| 3.25970D+02 | 3.27137D+02 | 3.28307D+02 | 3.29483D+02 | 3.30663D+02 | 3.31848D+02 | 3.33037D+02 | 3.34231D+02 |
| 3.35430D+02 | 3.36633D+02 | 3.37842D+02 | 3.39055D+02 | 3.40273D+02 | 3.41495D+02 | 3.42723D+02 | 3.43954D+02 |
| 3.45193D+02 | 3.46436D+02 | 3.47683D+02 | 3.48936D+02 | 3.50193D+02 | 3.51456D+02 | 3.52724D+02 | 3.53997D+02 |
| 3.55275D+02 | 3.56558D+02 | 3.57847D+02 | 3.59141D+02 | 3.60440D+02 | 3.61744D+02 | 3.63054D+02 | 3.64370D+02 |
| 3.65691D+02 | 3.67017D+02 | 3.68349D+02 | 3.69686D+02 | 3.71029D+02 | 3.72378D+02 | 3.73732D+02 | 3.75092D+02 |
| 3.76458D+02 | 3.77829D+02 | 3.79206D+02 | 3.80589D+02 | 3.81978D+02 | 3.83373D+02 | 3.84774D+02 | 3.86181D+02 |
| 3.87594D+02 | 3.89012D+02 | 3.90437D+02 | 3.91869D+02 | 3.93306D+02 | 3.94750D+02 | 3.96199D+02 | 3.97656D+02 |
| 3.99118D+02 | 4.00587D+02 | 4.02062D+02 | 4.03544D+02 | 4.05032D+02 | 4.06527D+02 | 4.08029D+02 | 4.09537D+02 |
| 4.11052D+02 | 4.12530D+02 | 4.14102D+02 | 4.15637D+02 | 4.17179D+02 | 4.18728D+02 | 4.20284D+02 | 4.21847D+02 |
| 4.23417D+02 | 4.24994D+02 | 4.26578D+02 | 4.28170D+02 | 4.29768D+02 | 4.31374D+02 | 4.32988D+02 | 4.34609D+02 |
| 4.36237D+02 | 4.37873D+02 | 4.39516D+02 | 4.41167D+02 | 4.42826D+02 | 4.44492D+02 | 4.46166D+02 | 4.47848D+02 |
| 4.49538D+02 | 4.51236D+02 | 4.52941D+02 | 4.54655D+02 | 4.56377D+02 | 4.58107D+02 | 4.59845D+02 | 4.61592D+02 |
| 4.63347D+02 | 4.65110D+02 | 4.66882D+02 | 4.68663D+02 | 4.70451D+02 | 4.72249D+02 | 4.74055D+02 | 4.75870D+02 |
| 4.77694D+02 | 4.79527D+02 | 4.81369D+02 | 4.83220D+02 | 4.85079D+02 | 4.86949D+02 | 4.88827D+02 | 4.90715D+02 |
| 4.92612D+02 | 4.94518D+02 | 4.96434D+02 | 4.98359D+02 | 5.00295D+02 | 5.02240D+02 | 5.04194D+02 | 5.06159D+02 |
| 5.08134D+02 | 5.10118D+02 | 5.12113D+02 | 5.14118D+02 | 5.16133D+02 | 5.18159D+02 | 5.20194D+02 | 5.22241D+02 |
| 5.24298D+02 | 5.26366D+02 | 5.28444D+02 | 5.30533D+02 | 5.32634D+02 | 5.34745D+02 | 5.36867D+02 | 5.39000D+02 |
| 5.41145D+02 | 5.43301D+02 | 5.45469D+02 | 5.47648D+02 | 5.49839D+02 | 5.52041D+02 | 5.54255D+02 | 5.56482D+02 |
| 5.58720D+02 | 5.60970D+02 | 5.63232D+02 | 5.65507D+02 | 5.67795D+02 | 5.70094D+02 | 5.72407D+02 | 5.74732D+02 |
| 5.77069D+02 | 5.79420D+02 | 5.81784D+02 | 5.84161D+02 | 5.86551D+02 | 5.88955D+02 | 5.91372D+02 | 5.93802D+02 |
| 5.96247D+02 | 5.98705D+02 | 6.01177D+02 | 6.03663D+02 | 6.06164D+02 | 6.08679D+02 | 6.11208D+02 | 6.13751D+02 |
| 6.16309D+02 | 6.18830D+02 | 6.21471D+02 | 6.24074D+02 | 6.26692D+02 | 6.29326D+02 | 6.31975D+02 | 6.34639D+02 |
| 6.37320D+02 | 6.40016D+02 | 6.42728D+02 | 6.45457D+02 | 6.48201D+02 | 6.50962D+02 | 6.53740D+02 | 6.56535D+02 |
| 6.59346D+02 | 6.62174D+02 | 6.65020D+02 | 6.67883D+02 | 6.70764D+02 | 6.73662D+02 | 6.76578D+02 | 6.79512D+02 |
| 6.82464D+02 | 6.85435D+02 | 6.88424D+02 | 6.91431D+02 | 6.94458D+02 | 6.97504D+02 | 7.00569D+02 | 7.03653D+02 |
| 7.06757D+02 | 7.09880D+02 | 7.13024D+02 | 7.16187D+02 | 7.19371D+02 | 7.22576D+02 | 7.25801D+02 | 7.29048D+02 |
| 7.32315D+02 | 7.35604D+02 | 7.38914D+02 | 7.42246D+02 | 7.45600D+02 | 7.48976D+02 | 7.52375D+02 | 7.55796D+02 |
| 7.59240D+02 | 7.62707D+02 | 7.66197D+02 | 7.69711D+02 | 7.73249D+02 | 7.76811D+02 | 7.80397D+02 | 7.84007D+02 |
| 7.87642D+02 | 7.91303D+02 | 7.94988D+02 | 7.98699D+02 | 8.02435D+02 | 8.06198D+02 | 8.09987D+02 | 8.13800D+02 |
| 8.17645D+02 | 8.21514D+02 | 8.25411D+02 | 8.29336D+02 | 8.33288D+02 | 8.37269D+02 | 8.41278D+02 | 8.45316D+02 |
| 8.49383D+02 | 8.53479D+02 | 8.57605D+02 | 8.61761D+02 | 8.65948D+02 | 8.70165D+02 | 8.74413D+02 | 8.78692D+02 |
| 8.83003D+02 | 8.87346D+02 | 8.91721D+02 | 8.96128D+02 | 9.00569D+02 | 9.05043D+02 | 9.09550D+02 | 9.14091D+02 |
| 9.18667D+02 | 9.23277D+02 | 9.27922D+02 | 9.32602D+02 | 9.37318D+02 | 9.42070D+02 | 9.46858D+02 | 9.51683D+02 |
| 9.56545D+02 | 9.61445D+02 | 9.66382D+02 | 9.71357D+02 | 9.76371D+02 | 9.81423D+02 | 9.86515D+02 | 9.91646D+02 |
| 9.96817D+02 | 1.00203D+03 | 1.00726D+03 | 1.01257D+03 | 1.01790D+03 | 1.02328D+03 | 1.02870D+03 | 1.03415D+03 |
| 1.03966D+03 | 1.04520D+03 | 1.05078D+03 | 1.05641D+03 | 1.06209D+03 | 1.06780D+03 | 1.07356D+03 | 1.07936D+03 |
| 1.08521D+03 | 1.09110D+03 | 1.09704D+03 | 1.10301D+03 | 1.10904D+03 | 1.11510D+03 | 1.12121D+03 | 1.12737D+03 |
| 1.13357D+03 | 1.13981D+03 | 1.14609D+03 | 1.15242D+03 | 1.15879D+03 | 1.16520D+03 | 1.17165D+03 | 1.17814D+03 |
| 1.18467D+03 | 1.19124D+03 | 1.19784D+03 | 1.20448D+03 | 1.21116D+03 | 1.21786D+03 | 1.22460D+03 | 1.23137D+03 |
| 1.23816D+03 | 1.24498D+03 | 1.25182D+03 | 1.25867D+03 | 1.26554D+03 | 1.27242D+03 | 1.27931D+03 | 1.28619D+03 |
| 1.29308D+03 | 1.29997D+03 | 1.30685D+03 | 1.31374D+03 | 1.32063D+03 | 1.32751D+03 | 1.33440D+03 | 1.34128D+03 |
| 1.34817D+03 | 1.35506D+03 | 1.36194D+03 | 1.36883D+03 | 1.37572D+03 | 1.38260D+03 | 1.38949D+03 | 1.39638D+03 |
| 1.40326D+03 | 1.41015D+03 | 1.41704D+03 | 1.42392D+03 | 1.43081D+03 | 1.43769D+03 | 1.44458D+03 | 1.45147D+03 |
| 1.45835D+03 | 1.46524D+03 | 1.47213D+03 | 1.47901D+03 | 1.48590D+03 | 1.49279D+03 | 1.49967D+03 | 1.50656D+03 |
| 1.51345D+03 | 1.52033D+03 | 1.52722D+03 | 1.53410D+03 | 1.54099D+03 | 1.54788D+03 | 1.55476D+03 | 1.56165D+03 |
| 1.56854D+03 | 1.57542D+03 | 1.58231D+03 | 1.58920D+03 | 1.59608D+03 | 1.60297D+03 | 1.60986D+03 | 1.61674D+03 |
| 1.62363D+03 | 1.63051D+03 | 1.63740D+03 | 1.64429D+03 | 1.65117D+03 | 1.65806D+03 | 1.66495D+03 | 1.67183D+03 |
| 1.67872D+03 | 1.68561D+03 | 1.69249D+03 | 1.69938D+03 | 1.70627D+03 | 1.71315D+03 | 1.72004D+03 | 1.72692D+03 |
| 1.73381D+03 | 1.74070D+03 | 1.74758D+03 | 1.75447D+03 | 1.76136D+03 | 1.76824D+03 | 1.77513D+03 | 1.78202D+03 |
| 1.78890D+03 | 1.79579D+03 | 1.80268D+03 | 1.80956D+03 | 1.81645D+03 | 1.82333D+03 | 1.83022D+03 | 1.83711D+03 |
| 1.84399D+03 | 1.85088D+03 | 1.85777D+03 | 1.86465D+03 | 1.87154D+03 | 1.87843D+03 | 1.88531D+03 | 1.89220D+03 |
| 1.89908D+03 | 1.90597D+03 |             |             |             |             |             |             |



Table A1.4 (Continued)

現在時刻  
タイムステップ (hr)  
放出率 (hr<sup>-1</sup>)

TIME = 1.800000-02 DTIME = 3.000000-03

|                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Gf(1,1)= 1.390970-06  | Gf(1,2)= 1.382470-06  | Gf(1,3)= 8.352480-07  | Gf(1,4)= 8.015620-07  | Gf(1,5)= 7.004780-07  | Gf(1,6)= 6.853000-07  |
| Gf(2,1)= 1.264000-05  | Gf(2,2)= 1.215490-05  | Gf(2,3)= 8.533070-06  | Gf(2,4)= 8.105250-06  | Gf(2,5)= 6.543170-06  | Gf(2,6)= 6.284800-06  |
| Gf(3,1)= 6.753930-05  | Gf(3,2)= 6.181960-05  | Gf(3,3)= 4.641310-05  | Gf(3,4)= 4.378040-05  | Gf(3,5)= 3.511100-05  | Gf(3,6)= 3.355160-05  |
| Gf(4,1)= 2.627450-04  | Gf(4,2)= 2.256720-04  | Gf(4,3)= 1.772400-04  | Gf(4,4)= 1.661870-04  | Gf(4,5)= 1.358810-04  | Gf(4,6)= 1.278670-04  |
| Gf(5,1)= 8.411670-04  | Gf(5,2)= 7.013920-04  | Gf(5,3)= 5.752670-04  | Gf(5,4)= 5.380560-04  | Gf(5,5)= 4.484060-04  | Gf(5,6)= 4.177540-04  |
| Gf(6,1)= 1.875100-03  | Gf(6,2)= 1.552060-03  | Gf(6,3)= 1.302250-03  | Gf(6,4)= 1.214320-03  | Gf(6,5)= 1.041920-03  | Gf(6,6)= 9.834270-04  |
| Gf(7,1)= 3.341100-03  | Gf(7,2)= 2.747610-03  | Gf(7,3)= 2.351690-03  | Gf(7,4)= 2.183930-03  | Gf(7,5)= 1.921120-03  | Gf(7,6)= 1.759350-03  |
| Gf(8,1)= 4.661490-03  | Gf(8,2)= 3.804650-03  | Gf(8,3)= 3.306600-03  | Gf(8,4)= 3.062730-03  | Gf(8,5)= 2.731310-03  | Gf(8,6)= 2.477750-03  |
| Gf(9,1)= 6.813850-03  | Gf(9,2)= 5.534390-03  | Gf(9,3)= 4.870330-03  | Gf(9,4)= 4.508410-03  | Gf(9,5)= 4.044930-03  | Gf(9,6)= 3.633710-03  |
| Gf(10,1)= 8.986910-03 | Gf(10,2)= 7.285370-03 | Gf(10,3)= 6.415690-03 | Gf(10,4)= 5.930890-03 | Gf(10,5)= 5.383690-03 | Gf(10,6)= 4.808250-03 |
| F2(1,1)= 3.416210-08  | F2(1,2)= 5.390060-08  | F2(1,3)= 3.280170-08  | F2(1,4)= 3.155390-08  | F2(1,5)= 2.7420010-08 | F2(1,6)= 2.686640-08  |
| F2(2,1)= 4.888020-07  | F2(2,2)= 4.717950-07  | F2(2,3)= 3.347900-07  | F2(2,4)= 3.188720-07  | F2(2,5)= 2.547480-07  | F2(2,6)= 2.468630-07  |
| F2(3,1)= 2.599600-06  | F2(3,2)= 2.405110-06  | F2(3,3)= 1.827080-06  | F2(3,4)= 1.727070-06  | F2(3,5)= 1.371420-06  | F2(3,6)= 1.315000-06  |
| F2(4,1)= 1.011900-05  | F2(4,2)= 8.808200-06  | F2(4,3)= 6.994410-06  | F2(4,4)= 6.573500-06  | F2(4,5)= 5.326450-06  | F2(4,6)= 5.062130-06  |
| F2(5,1)= 3.268620-05  | F2(5,2)= 2.756140-05  | F2(5,3)= 2.281570-05  | F2(5,4)= 2.137240-05  | F2(5,5)= 1.767910-05  | F2(5,6)= 1.666350-05  |
| F2(6,1)= 7.368980-05  | F2(6,2)= 6.147790-05  | F2(6,3)= 5.195480-05  | F2(6,4)= 4.850640-05  | F2(6,5)= 4.141630-05  | F2(6,6)= 3.872400-05  |
| F2(7,1)= 1.322960-04  | F2(7,2)= 1.093650-04  | F2(7,3)= 9.406550-05  | F2(7,4)= 8.753890-05  | F2(7,5)= 7.669790-05  | F2(7,6)= 7.102800-05  |
| F2(8,1)= 1.855400-04  | F2(8,2)= 1.518560-04  | F2(8,3)= 1.324950-04  | F2(8,4)= 1.229390-04  | F2(8,5)= 1.093860-04  | F2(8,6)= 1.003370-04  |
| F2(9,1)= 2.725990-04  | F2(9,2)= 2.216920-04  | F2(9,3)= 1.958350-04  | F2(9,4)= 1.814250-04  | F2(9,5)= 1.625390-04  | F2(9,6)= 1.476440-04  |
| F2(10,1)= 3.612700-04 | F2(10,2)= 2.933260-04 | F2(10,3)= 2.590460-04 | F2(10,4)= 2.396770-04 | F2(10,5)= 2.173400-04 | F2(10,6)= 1.961700-04 |

FP1 = 5.780100-05

燃料体全体からのFR値 CORE F, FUEL BLEAK EXP. < DRIVER > 各セグメントごとのFR値

TIME : 0 DAYS 0 HR 1 MIN 4.8 SEC ( 0HR)

( CORE TOTAL FOR EACH NUCLIDE )

| CHAIN | NAME   | ELE. | FISSION PRODUCT INVENTORY |               |                  |                  | ABUNDANCE |               | CORE AVERAGED RLSE |                 |           |           |
|-------|--------|------|---------------------------|---------------|------------------|------------------|-----------|---------------|--------------------|-----------------|-----------|-----------|
|       |        |      | FUEL (MOLES)              | FUEL (CURIES) | GRAPHITE (MOLES) | COOLANT (CURIES) | FUEL (%)  | GR. COOL. (%) | RATE (1/HR)        | FRACTION (1/HR) |           |           |
| 131   |        |      |                           |               |                  |                  |           |               |                    |                 |           |           |
| 1     | SN131  | 13   | 6.4280-09                 | 1.1510+03     | 0.0              | 0.0              | 6.1070-15 | 1.0930-03     | 0.0                | 0.0             | 4.1840-02 | 3.6360-05 |
| 2     | SB131  | 14   | 8.3950-07                 | 6.8600+03     | 0.0              | 0.0              | 7.1010-13 | 5.8030-03     | 0.0                | 0.0             | 3.1980-01 | 4.6610-05 |
| 3     | TE131M | 23   | 1.6220-05                 | 1.6930+03     | 0.0              | 0.0              | 1.3550-11 | 1.4150-03     | 0.0                | 0.0             | 7.8930-02 | 4.6610-05 |
| 4     | TE131  | 23   | 9.8330-07                 | 7.3960+03     | 0.0              | 0.0              | 8.2230-13 | 6.1850-03     | 0.0                | 0.0             | 3.4470-01 | 4.6610-05 |
| 5     | I131   | 25   | 5.3080-04                 | 8.5890+03     | 0.0              | 0.0              | 2.9830-08 | 4.8270-01     | 0.0                | 0.0             | 1.2370+01 | 1.4400-03 |
| 6     | XE131M | 27   | 8.6200-06                 | 9.4680+01     | 0.0              | 0.0              | 7.1990-12 | 7.9070-05     | 0.0                | 0.0             | 4.4130-03 | 4.6610-05 |

( CORE TOTAL FOR EACH ELEMENT )

| ELE. | FISSION PRODUCT INVENTORY |               |                  |                  | ABUNDANCE |               | CORE AVERAGED RLSE |                 |
|------|---------------------------|---------------|------------------|------------------|-----------|---------------|--------------------|-----------------|
|      | FUEL (MOLES)              | FUEL (CURIES) | GRAPHITE (MOLES) | COOLANT (CURIES) | FUEL (%)  | GR. COOL. (%) | RATE (1/HR)        | FRACTION (1/HR) |
| 13   | 6.4280-09                 | 1.1510+03     | 0.0              | 0.0              | 6.1070-15 | 1.0930-03     | 0.0                | 0.0             |
| 14   | 8.3950-07                 | 6.8600+03     | 0.0              | 0.0              | 7.1010-13 | 5.8030-03     | 0.0                | 0.0             |
| 23   | 1.7200-05                 | 9.0890+03     | 0.0              | 0.0              | 1.4370-11 | 7.6000-03     | 0.0                | 0.0             |
| 25   | 5.3080-04                 | 8.5890+03     | 0.0              | 0.0              | 2.9830-08 | 4.8270-01     | 0.0                | 0.0             |
| 27   | 8.6200-06                 | 9.4680+01     | 0.0              | 0.0              | 7.1990-12 | 7.9070-05     | 0.0                | 0.0             |

( CORE TOTAL FOR EACH GROUP )

| GROUP | FISSION PRODUCT INVENTORY |               |                  |                  | ABUNDANCE |               | CORE AVERAGED RLSE |                 |
|-------|---------------------------|---------------|------------------|------------------|-----------|---------------|--------------------|-----------------|
|       | FUEL (MOLES)              | FUEL (CURIES) | GRAPHITE (MOLES) | COOLANT (CURIES) | FUEL (%)  | GR. COOL. (%) | RATE (1/HR)        | FRACTION (1/HR) |
| 1     | 1.8050-05                 | 1.7100+04     | 0.0              | 0.0              | 1.5090-11 | 1.4500-02     | 0.0                | 0.0             |
| 2     | 5.3080-04                 | 8.5890+03     | 0.0              | 0.0              | 2.9830-08 | 4.8270-01     | 0.0                | 0.0             |
| 3     | 8.6200-06                 | 9.4680+01     | 0.0              | 0.0              | 7.1990-12 | 7.9070-05     | 0.0                | 0.0             |

( MOLECULAR CONSERVATION CHECK LIST )

| DECAY CHAIN | CURRENT INVENTORY (MOLES) | INITIAL INVENTORY (MOLES) | FRACTION |
|-------------|---------------------------|---------------------------|----------|
| 131         | 5.5750-04                 | 5.5760-04                 | 1.000    |

```

-INC JCH3917
T.7 W.6 I.1 C.3
OPTP PASSWORD=
// EXEC FORT77,SO=J3917.HTX,Q='.FORT77(FRDEC1E)'
// EXEC LKED
// EXEC GO,PNM=TEMPNAME,A='ERRCUT=0',GOSYSIN='DDNAME=SYSIN'
//*FT01 --- WRITE
//*FT50 --- READ
//FT01F001 DD DSN=J3917.FRT2.DATA,DISP=MOD
//FT50F001 DD DSN=J3917.FRT3.DATA,DISP=SHR
++
//

```

Fig. A1.1 JCL of library calculation code

```

//JCLG JOB
//JCLG EXEC JCLG
//SYSIN DD DATA,DLM='++'
// JUSER 24783917,KA.SAWA,0842.01
T.6 W.4 I.3 C.3
OPTP PASSWORD=
/*
//***** THIS JCL IS J3917.HTX.FORT77(V2KR88F1) *****
//*DF1 (J3917.HTCORE90.DATA(DRIVEF),J3917.DRIVER.TEMP.DATA(AG1003)*
// EXEC FORT77,SO=J3917.HTCORE89,A='ELM(DATAIN4),AUTODBL(DBLPAD4)',
// DISP=MOD
// EXEC FORT77,SO=J3917.HTCORE89,A='ELM(FRPRO1D),AUTODBL(DBLPAD4)',
// DISP=MOD
// EXEC FORT77,SO=J3917.HTCORE89,A='ELM(F4),AUTODBL(DBLPAD4)',
// DISP=MOD
// EXEC FORT77,SO=J3917.HTCORE89,A='ELM(OUTPUT3),AUTODBL(DBLPAD4)',
// DISP=MOD
// EXEC FORT77,SO=J3917.HTCORE89,A='ELM(TDTABL3),AUTODBL(DBLPAD4)',
// DISP=MOD
// EXEC LKEDIT,LM='J3917.PHTORG1'
// EXEC GO
//FT05F001 DD DISP=SHR,DSN=J3917.HTCORE90.DATA(HEADDFN1)
//FT45F001 DD *
1.00000E-14 1.00000E-02
KR 88
2.70E+03 -17750.0 0.0 6.88E-05
1 <--- KAISEKI TAISHOU CHAIN NO. INPUT
88
//FT20F001 DD DSN=J3917.V2KR88F1.DATA,DISP=(NEW,CATLG),UNIT=TSSWK,
// SPACE=(TRK,(10,5),RLSE)
//FT03F001 DD DISP=SHR,DSN=J3917.HTCORE90.DATA(DRIVEF)
//FT04F001 DD DISP=SHR,DSN=J3386.HTCORE4.DATA(MATINP)
// EXPAND DISKTO,DDN=FT50F001,DSN='J3917.DRIVER.TEMP',
// Q='.DATA(AG1003)'
// EXPAND DISK,DDN=FT60F001
// EXPAND DISK,DDN=FT10F001
// EXPAND DISK,DDN=FT09F001
// EXPAND DISK,DDN=FT90F001
// EXPAND DISK,DDN=FT91F001
//FT70F001 DD DISP=SHR,DSN=J3917.HANTAB1.DATA(TABLE2)
// EXEC TSSCMD
COPY V2KR88F1.DATA KENSYOU1.DATA(V2KR88F1)
++

```

Fig. A1.2 JCL of fractional release calculation code

## 付録2 プロットプログラム

RACPACコードの解析結果である冷却材流路へのFP放出量の時刻歴変化を作図するプロットプログラムを作成した。本プロットプログラムの特徴は次の点である。

- 複数の解析結果を比較してプロット出来る。
- 複数の解析結果をグループ分けして、グループごとの合計をプロット出来る。

本プロットプログラムを使用するサンプルJCLをFig.A 2.1に示す。RACPACの解析結果は機番10から49に指定する（最大40解析結果）。この際、各解析結果の時間データは同一であること、グループ分けする場合はグループごとにまとめて機番に指定することが必要である。入力データ（機番50）の入力フォーマットをTable A 2.1に示す。

Table A2.1 Input data format of plot program (FT50)

| カード<br>No  | 変数名      | Format   | 内 容                              |
|--|----------|----------|----------------------------------|
| 1  | INUM     | I 6      | 総事象数                             |
| 以下に示すカード2を事象数だけくり返す (INUM=J×J) カード3は(グループ数-1)回となる。 |          |          |                                  |
| 2  | IG(I, J) | A 8      | プロットする核種名。Iは各グループのメンバー数, Jはグループ数 |
| 3  | ダミー      | A 8      | 各グループの最後に"0"を入力。最終グループには不必要      |
| 4  | XMIN     | 4 E 12.0 | x軸最小値                            |
|  | XMAX     |          | x軸最大値                            |
|  | YMIN     |          | y軸最小値                            |
|  | YMAX     |          | y軸最大値                            |

```

-INC JCH3917
T.O W.2 I.3 C.2
OPTP PASSWORD= ,NOTIFY=J3917
++
// DD DSN=J3386.ARGUS.CNTL,DISP=SHR
// DD DATA,DLM='¥¥'
// EXEC ANY
// EXEC ARGUS,SO='J3917.HTX',Q=' .FORT77',
// A='ELM(PLOT1),SOURCE'
// EXPAND DISKTO,DDN=FT10F001,DSN='J3917.KENSYOU1',Q=' .DATA(V2I131F1)',
// DISP=SHR
// EXPAND DISKTO,DDN=FT11F001,DSN='J3917.KENSYOU1',Q=' .DATA(V2I131S1)',
// DISP=SHR
// EXPAND DISKTO,DDN=FT12F001,DSN='J3917.KENSYOU1',Q=' .DATA(V2I131F2)',
// DISP=SHR
// EXPAND DISKTO,DDN=FT13F001,DSN='J3917.KENSYOU1',Q=' .DATA(V2I131S2)',
// DISP=SHR
// EXPAND DISKTO,DDN=FT50F001,DSN='J3917.HTX',Q=' .FORT77(I131PD1)',
// DISP=SHR
++
//

```

Fig. A2.1 JCL of plot program