

JAERI-Data/Code

JP9950418

99-034



高温ガス炉運転中の被覆燃料粒子挙動 及び核分裂生成物ガス挙動解析コード

1999年6月

沢 和弘・角田淳弥・渡部 隆*

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

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

入手の問合せは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越し下さい。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費領布を行っております。

This report is issued irregularly.

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

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1999

編集兼発行 日本原子力研究所

高温ガス炉運転中の被覆燃料粒子挙動及び核分裂生成物ガス挙動解析コード

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・角田 淳弥・渡部 隆*

(1999年5月17日受理)

高温工学試験研究炉（HTTR）の燃料に対する設計方針では多少の燃料破損は許容しており、「運転中の追加破損は十分許容しうる小さな値（0.2%）に制限する」とこととしている。そのため、HTTR の運転に当たっては、破損率を定量的に推定し異常の有無を判断する必要がある。そのため、これまでに運転中の被覆燃料粒子の破損モデル、希ガス放出率評価モデル、1 次冷却材中の希ガス濃度評価モデルを開発してきた。本報は、これらのモデルを併せてコード化した、FIGHT (Fuel Failure and Eission Gas Release Analysis Code in HTGR) について述べたものである。

Fuel Failure and Fission Gas Release Analysis Code in HTGR

Kazuhiro SAWA, Junya SUMITA and Takashi WATANABE*

Department of HTTR Project

Oarai Research Establishment

Japan Atomic Energy Research Institute

Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received May 17, 1999)

In the safety design requirements for the High Temperature Engineering Test Reactor (HTTR) fuel, the additional failure fraction in the coating layers of the coated fuel particles is allowed up to 0.2% through the full service period. Then failure fraction should be evaluated during the HTTR operation to decide the integrity of the fuel. The analytical models of fuel failure, fission gas release from fuel and fission gas concentration in primary coolant have been developed. This report describes FIGHT code (Fuel Failure and Fission Gas Release Analysis Code in HTGR), which was coded based on the models.

Keywords: HTTR, Fuel Failure, Operation, Model, Fission Gas Release, Primary Coolant

* Kawasaki Heavy Industries, Co. Ltd.

目 次

1.はじめに	1
2.基礎式	3
2.1 被覆燃料粒子の破損モデル	3
2.1.1 各被覆層の破損確率	4
2.1.2 被覆燃料粒子の破損確率及び破損率	5
2.1.3 被覆層内圧計算モデル	5
2.2 希ガス放出率評価モデル	8
2.3 1次冷却材中希ガス濃度評価モデル	12
3.計算コード	13
3.1 計算コードアルゴリズム	13
3.2 サブルーチン	13
4.解析例	56
4.1 テストラン	56
4.2 HTTR 出力上昇試験の解析	56
4.3 HTTR 定格運転時の評価	57
5.まとめ	71
謝辞	71
参考文献	72
付録-A 出力フォーマット	74
付録-B プログラムリスト	80

Contents

1.	Introduction	1
2.	Basic Equations	3
2.1	Failure Model of Coated Fuel Particle	3
2.1.1	Failure Probability of Coating Layer	4
2.1.2	Failure Probability and Fraction of Coated Fuel Particles	5
2.1.3	Calculation of Internal Pressure	5
2.2	Fission Gas Release Fraction from Fuel	8
2.3	Fission Gas Concentration in Primary Coolant	12
3.	Analytical Code	13
3.1	Algorithm of the Code	13
3.2	Subroutines	13
4.	Examples of Analysis	56
4.1	Test Calculation	56
4.2	Analysis of Startup Test of the HTTR	56
4.3	Analysis of HTTR Operation	57
5.	Summary	71
	Acknowledgements	71
	References	72
	Appendix-A Output Format	74
	Appendix-B Program List	80

1. はじめに

高温工学試験研究炉 (High Temperature Engineering Test Reactor : HTTR) の初装荷燃料体をFig. 1.1に示す。HTTR燃料はピン・イン・ブロック型であり、燃料棒と六角柱黒鉛ブロックから構成される。被覆燃料粒子は四重被覆のいわゆるTRISO型で、燃料核は直径600 μm の低濃縮（平均6%）二酸化ウランである。被覆燃料粒子は黒鉛粉末およびフェノール樹脂バインダとともに焼結し燃料コンパクトとする。燃料棒は、この燃料コンパクトと黒鉛スリーブから成り、六角柱黒鉛ブロックに空けた穴に挿入される。ヘリウムガスは燃料コンパクトを封入している黒鉛スリーブと黒鉛ブロック間の環状流路を流れる。燃料粒子の被覆層は短半減期の希ガスをほぼ完全に閉込めることができるために、短半減期希ガスは、主に被覆層（PyC層及びSiC層）が破損した燃料粒子（すなわち貫通破損粒子）から放出される⁽¹⁾。希ガスには短半減期のものが多く、放射平衡が成り立つため、通常時の放出割合は放出速度と生成速度の比である（R/B）値で表すことができる。希ガスは1次冷却設備の内壁面等に沈着しないため、1次冷却材中の希ガス濃度は炉心内の貫通破損率を反映する⁽¹⁻³⁾。

軽水炉燃料の設計方針では、初期破損は許容しておらず、また運転中に破損が生じた場合には、異常又は事故として取り扱うことになるが、高温ガス炉燃料では、炉心内の膨大な数の被覆燃料粒子（HTTR では約 10^9 個）を全く破損させないことは不可能である。このため、HTTR の燃料に対する設計方針では多少の燃料破損は許容しており、「初期破損率は 0.2%以下」、「運転中の追加破損は十分許容しうる小さな値に制限する」と定めている^(4,5)。すなわち、HTTR 燃料は運転中の微小な追加破損が許容されている。そのため、HTTR の運転に当っては、破損率を定量的に推定し、異常の有無を判断する必要がある。

HTTR の出力上昇試験及び運転中の燃料及び核分裂生成物挙動監視に備えることを目的とし、これまで原研が開発してきた被覆燃料粒子の破損モデル、希ガス放出率評価モデル及び一次冷却材中濃度評価モデルをまとめてコード化した。

本報では、2 章で各破損モデルの基礎式を、3 章で計算コードの内容について、4 章で解析例について述べている。入力フォーマット、出力フォーマット及びプログラムリストは、付録に示した。

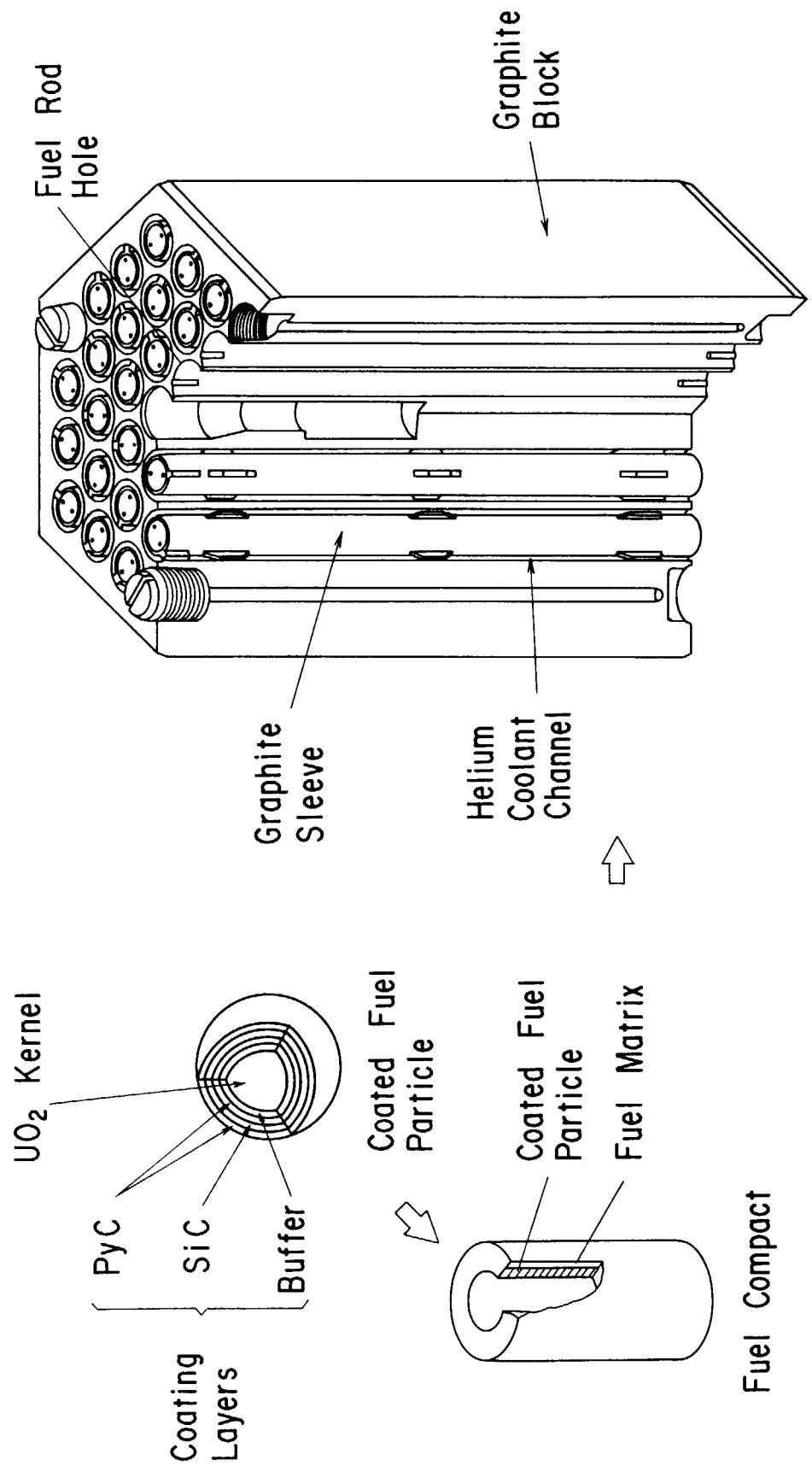


Fig. 1.1 Fuel assembly of the HTTR fuel.

2. 基 础 式

2.1 被覆燃料粒子の破損モデル

運転中の破損挙動を予測するために、破損機構について多くの研究が行われてきた。その結果、比較的高温で照射される場合には、被覆層はいわゆるアメーバ効果といわれる燃料核の移動及びパラジウムによる SiC 層の腐食が重要となる^(3,6-9)。しかしながら、高燃焼度下においては、気体状核分裂生成物、遊離酸素との反応により生成する CO ガス等による内圧上昇のため被覆層に高い応力が作用し、これにより破損が生じるいわゆる圧力容器破損が重要な破損機構となる^(2,10)。

照射中の被覆層の応力を評価するために、これまでにいくつかの計算モデルが開発されてきている⁽¹⁰⁻¹²⁾。最近では、被覆層内の詳細な応力分布を評価するために、有限要素法も用いられているようになってきているが、これらのモデルでは、TRISO 被覆粒子の破損を単純に SiC 層の健全性の問題としてのみ取扱っており、被覆燃料粒子の破損率予測モデルというよりも被覆燃料粒子の設計における補助的な役割しか担っていないのが現状である。これに対し、本計算コードで用いたモデルでは、粒子破損は SiC 層の内圧による破損だけではなく、PyC 層の破損にも依存すると仮定している。具体的には、各被覆層の破損確率を算出し、貫通破損率及び SiC 層破損率を評価する。さらに、SiC 層強度への高速中性子照射効果もモデルに取入れた。本破損率解析モデルは以下の特徴を有する⁽¹⁰⁾。

- (1) 破損粒子として貫通破損粒子と SiC 破損粒子を考慮する。貫通破損粒子は、内側 PyC (IPyC) 、SiC、外側 PyC (OPyC) 層全てが破損している粒子として定義する。SiC 破損粒子は SiC 層が破損しているが OPyC 層は健全な粒子と定義する。短半減期希ガスは貫通破損粒子からは放出されるが、OPyC 層はこれに対して閉込め能力を有するため、SiC 破損粒子からは放出されない。
- (2) 各被覆層の破損確率をワイブル分布で表す。各被覆層の破損条件は、これまでの照射試験における観察結果等に基づき定めている⁽³⁾。
- (3) 被覆層に加わる応力は、核分裂により発生する希ガス及び遊離酸素による CO ガス内圧及び高速中性子による PyC 層の照射収縮によるものと仮定する。応力の最大値は、簡単な「rigid SiC model」で計算する⁽¹³⁾。

2.1.1 各被覆層の破損確率

被覆層の破損確率は、表面の微小欠陥が破損の発生原因となるという考え方に基づき、ワイブル分布で表す。本モデルでは、各被覆層の破損確率を以下の式で表す。

$$f_i(t) = 1 - \exp\left(-\ln 2 \times \left(\frac{\sigma_i(t)}{\sigma_{0,i}}\right)^{-m_i}\right) \quad (1)$$

ここで、
 f_i : 照射時刻 t における被覆層 i の破損確率、
 σ_i : 照射時刻 t に被覆層 i に加わる応力 (MPa) 、
 $\sigma_{0,i}$: 被覆層 i の強度 (MPa) 、
 m_i : 被覆層 i のワイブル係数
である。

IPyC 及び OPyC 層は高速中性子照射により収縮する。その結果、OPyC 層は SiC 層を締付け、内圧によって SiC 層に加わる応力を緩和する。同様に、IPyC 層も SiC 内面を引っ張り、内圧による SiC 層応力を緩和する。収縮により PyC 層自身には引張応力が加わる。上述の挙動に基づき各被覆層の破損確率を以下のようにモデル化する。

(1) IPyC 層

IPyC 層は SiC 層が破損している粒子において、引張応力で破損すると仮定する。すなわち、SiC 層が健全ならば、IPyC 層はより強い SiC 層により支持されるため引張応力による IPyC 層の単独の破損は生じない ($f_{IPyC}=0$)。SiC 破損粒子については SiC 層が IPyC 層を支持できないので内圧で生じる引張応力によって破損が生じる (f_{IPyC})。

(2) SiC 層

高燃焼度下において、SiC 層は内圧により破損する。IPyC 及び OPyC 層の照射収縮による圧縮応力は SiC 層応力を緩和するため、SiC 層の破損確率は OPyC 層が健全であるかどうかにより異なる。OPyC 層が健全な場合の SiC 層破損確率 (f_{SiC}) は、内圧と IPyC 及び OPyC による圧縮応力の差に基づき評価する。一方、OPyC 層が破損している粒子では、OPyC 層の圧縮応力が期待できないため、SiC 層の破損確率 (f_{SiC}) は OPyC が健全な粒子よりも大きくなる。

(3) OPyC 層

OPyC 層は内圧により破損する。OPyC 層の内側にある SiC 層が健全ならば、これに保持されるために OPyC 層の破損は生じないと仮定する ($f_{OPyC}=0$)。SiC 層破損粒子では内圧によって OPyC 層の破損が生じる (f_{OPyC})。

2.1.2 被覆燃料粒子の破損確率及び破損率

上述した各被覆層の破損確率を用いて、健全粒子が貫通破損粒子に至る確率 (F_{TC}) は以下のように表す。

$$F_{TC} = f_{IPyC} \times f_{SiC} \times f_{OPyC} \quad (2)$$

健全粒子が SiC 層破損粒子に至る確率は以下のように書ける。

$$F_{SiC} = f_{SiC} \quad (3)$$

被覆燃料粒子の製造工程中に IPyC 層及び SiC 層が破損し OPyC 層が健全な、いわゆる製造時の SiC 層破損粒子が存在することがある。この製造時 SiC 層破損粒子が貫通破損粒子に至る確率 (F'_{TC}) は、以下の式で表す。

$$F'_{TC} = f'_{OPyC} \quad (4)$$

2.1.3 被覆層内圧計算モデル

(1) 応力計算

被覆層に作用する引張応力は、薄肉球殻モデルで計算する。応力の最大値は以下のように書ける。

$$\sigma_{1,j} = \frac{t_j^3 + 3r_j t_j^2 + 3r_j^2 t_j + 3r_j^3}{2t_j(t_j^2 + 3r_j t_j + 3r_j^2)} \times P \quad (5)$$

ここで、
 σ_j : 被覆層 j の厚さ (m) 、
 r_j : 燃料核中心から被覆層 j 内面までの距離 (m) 、
 P : 内圧 (MPa)
 である。

(2) 圧縮応力

j 番目の被覆層に加わる圧縮応力は、PyC 層の非等方性収縮によってモデル化する。

$$\sigma_{2,j} = \frac{2}{3C} \times \frac{(W_j - 1)(S_r + 2S_t) + 3G_j(S_r - S_t)}{2W_j(2\nu - 1) - (1 + \nu)} \quad (6)$$

$$W_j = \left(\frac{r_{2,j}}{r_{1,j}}\right)^3 \quad (7)$$

$$G_j = \ln\left(\frac{r_{1,j}}{r_{2,j}}\right) \quad (8)$$

ここで、
 C :クリープ係数 ($=2.9 \times 10^{-16} \text{ m}^2/\text{Pa}$) ,
 S_r :径方向の PyC の寸法変化、
 S_t :周方向の PyC の寸法変化、
 ν :クリープに関するポアソン比 ($=0.5$) ,
 $r_{1,j}$:燃料核中心から j 番目の被覆層内面までの距離 (m) ,
 $r_{2,j}$:燃料核中心から j 番目の被覆層外側までの距離 (m) である。

この PyC 収縮量 S_r 及び S_t は、以下の方法で評価する。まず、高速中性子照射量 Φ の刻み幅 $\Delta\Phi$ を 0.1 (10^{25} m^{-2}) とし、 Φ が $0.1 \sim 8.0$ の範囲で以下の計算を行う。

$$S_r' = 0.005(\Phi - 2)^2 - 0.02 \quad (9)$$

$$S_t' = -0.0125\Phi \quad (10)$$

この結果を用いて、(6) 式の S_r 及び S_t を以下の式で計算する。

$$S_r = S_r'(\Phi) - S_r'(\Phi - 0.1) \quad (12)$$

$$S_t = S_t'(\Phi) - S_t'(\Phi - 0.1) \quad (13)$$

高速中性子照射量が 100 分の 1 の桁の場合、内外挿して求める。

(3) 被覆層強度

被覆層の強度についてはいくつかのデータが得られている。本モデルでは、未照射の SiC 層の平均値として 834 MPa を採用している⁽¹⁰⁾。一方、照射を行った SiC 層については、平均強度として 480 MPa という値を用いている⁽¹⁰⁾。本モデルでは、SiC 層の強度として高速中性子フルエンス依存性を仮定し以下の式で強度を表す。

$$\sigma_{0,\text{SiC}} = 834 - 88\Phi \quad (14)$$

ここで、 Φ :高速中性子照射量 (10^{25} m^{-2}) である。

ワイブル係数は高速中性子照射量に依存しないものと仮定し、SiC 層については 8 を用い

る。PyC層については、平均強度及びワイブル係数としてそれぞれ 160MPa、4 とする。

(4) 被覆層内圧

核分裂により発生する被覆燃料粒子の内圧は二酸化ウラン燃料核の核分裂により発生する安定希ガス及び遊離酸素との反応により生成する CO ガスを考慮する。内圧は以下の式で計算する。

$$P = \frac{nRT}{V} \quad (15)$$

$$n = n_{FP} + n_O \quad (16)$$

$$n_{FP} = 0.31 \times F \times FR \quad (17)$$

$$FR = 1 - \frac{6}{D' t_i} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1 - \exp(-n^2 \pi^2 D' / t_i)}{n^4 \pi^4} \quad (18)$$

$$\log_{10}(n_O / F t_i^2) = -0.21 - 8500/T^{(14)} \quad (19)$$

ここで、
 n : 安定希ガス及び酸素原子のモル数 (mole) 、
 R : 気体定数 (J/mol・K) 、
 T : 照射温度 (K) 、
 V : バッファ層の自由体積 (m³) 、
 n_{FP} : 安定希ガスのモル数 (mole) 、
 n_O : 酸素原子のモル数 (mole) 、
 FR : 安定希ガスの燃料核からの放出割合、
 F : 核分裂数、
 D' : 希ガスの燃料核中の換元拡散係数 (s⁻¹) 、
 t_i : 照射時間 (days) である。

換元拡散係数としては以下のものを用いる⁽¹⁵⁾。

$$D' = 2.1 \times 10^{-5} \exp(-15200/T) \quad (20)$$

バッファ層中の自由体積は以下の式で定義する。

$$V = \left(1 - \frac{\rho_{\text{buffer}}}{\rho_{\text{PyC,Th}}}\right) \cdot V_{\text{buffer}} \quad (21)$$

ここで、 ρ_{buffer} : バッファ層の密度 (g/cm³)

$\rho_{\text{PyC,Th}}$: PyC の理論密度 (g/cm³) である。

なお、より詳細な放出割合の評価のため、コードでは以下の方式をオプションで準備した。

$$FR = F_r + (1 - F_r)F_d \quad (22)$$

$$F_r = 0.75\left(\frac{R}{a}\right) - \frac{1}{16}\left(\frac{R}{a}\right)^3 \quad (23)$$

FR は拡散については Booth モデルを用い以下の差分解で解く⁽⁹⁾。

$$F = 1 - \left\{ \sum_{i=1}^{k-1} \left[b_i (1 - F_r) (\tau_i g_i - \tau_{i+1} g_{i+1}) / D_i' \right] + b_k \Delta t_k \right\} / \sum_{i=1}^k b_i \Delta t_i \quad (24)$$

ここで、 Δt_i : ステップ i の時間、

R : 反跳距離 (10 μm) 、

a : 燃料核半径 である。

$$\tau_i = \sum_{j=1}^k D_j' \Delta t_j \quad (25)$$

$$g_i = g(\tau_i) = 1 - 4\sqrt{\frac{\tau_i}{\pi}} + 3\tau_i/2 \quad \tau \leq 0.1 \quad (26)$$

$$g_i = \frac{1}{15\tau_i} - \frac{6}{\tau_i} \sum_{n=1}^3 \frac{\exp(-n^2 \pi^2 \tau_i)}{n^4 \pi^4} \quad \tau \geq 0.1 \quad (27)$$

また、(19) 式により、酸素の放出割合を計算する場合、照射時間が長くなると核分裂数よりも多くの酸素が放出されることになるので、その量を制限できるようにプログラムを作成した。具体的には放出割合はウランの核分裂割合 × UO₂ からの遊離酸素生成率 (デフォルト値 0.4) + プルトニウム核分裂割合 × PuO₂ からの遊離酸素生成率 (デフォルト値 0.85) 以下に制限するようにしてある。

2.2 希ガス放出率評価モデル

燃料粒子の被覆層は短半減期の希ガスをほぼ完全に閉込めることができるために、短半減

希ガスは、主に被覆層（PyC 層及び SiC 層）が全て破損した燃料粒子（貫通破損粒子）及び燃料コンパクトの黒鉛素地部（マトリックス部）の汚染ウランから放出される。希ガスには短半減期のものが多く、放射平衡が成り立つため、通常時の放出割合は放出速度と生成速度の比である（R/B）値で表すことができる。希ガスは 1 次冷却設備の内壁面等に沈着しないため、1 次冷却材中の希ガス濃度は炉心内の貫通破損率を反映する。言い換えれば、運転中の燃料の貫通破損率は、希ガス濃度の測定値から推定することができる。そこで、核分裂生成物の放出モデルを開発してきた^(1,2,16)。

希ガス放出率評価モデルは、（1）貫通破損粒子からの放出とマトリックス部の汚染ウランからの放出を分離して取扱うこと、及び（2）燃料核からの放出率に燃焼依存性を、燃料コンパクトマトリックス部における放出率に高速中性子照射依存性を考慮することに特徴がある。具体的には、以下のような放出経路をモデル化している。

- ① 貫通破損粒子内で発生した核分裂生成物のうち、反跳放出されたものは、黒鉛粒及び黒鉛粒間（総称してマトリックス部）に打ち込まれ、それぞれの部分を拡散した後、燃料コンパクトから 1 次冷却材中へ放出される。
- ② 貫通破損粒子内で発生し、燃料核から拡散により放出された核分裂生成物は、黒鉛粒間を経由して燃料コンパクトから放出される。
- ③ 汚染ウランから発生する核分裂生成物のうち、燃料コンパクト表面近傍で発生したものは、反跳により直接放出される。
- ④ マトリックス部の汚染ウランから発生した核分裂生成物は、マトリックス部を拡散した後、燃料コンパクトから 1 次冷却材中へ放出される。

この過程を式で表すと、以下のようになる。

$$(R/B) = ((f_{k,r} \times f_{m,d}) + (f_{k,d} \times f_{m,ad})) \times \phi_k + (f_{m,r} + f_{m,d}) \times \phi_c \quad (28)$$

ここで、
 $f_{k,r}$: 燃料核からの反跳放出率、

$f_{k,d}$: 燃料核からの拡散放出率、

$f_{m,ad}$: 燃料コンパクトマトリックス部の黒鉛粒間部における拡散放出率、

$f_{m,r}$: 燃料コンパクトマトリックスからの反跳拡散放出率、

$f_{m,d}$: 燃料コンパクトマトリックスからの拡散放出率、

ϕ_k : 貫通破損率、

ϕ_c : 燃料コンパクトの汚染ウラン率 である。

燃料核からの拡散放出率は、先行核の効果を考慮した以下の式で計算する⁽¹⁷⁾。

$$f_{k,d} = 3 \left[\frac{1}{\Gamma_1} \left(\frac{\coth \sqrt{\mu_1}}{\sqrt{\mu_1}} - \frac{1}{\mu_1} \right) + \frac{1}{\Gamma_2} \left(\frac{\coth \sqrt{\mu_2}}{\sqrt{\mu_2}} - \frac{1}{\mu_2} \right) \right] \times f_{BU} \quad (29)$$

$$\begin{aligned} \Gamma_1 &= 1 - \frac{\mu_1}{\mu_2} \\ \Gamma_2 &= 1 - \frac{\mu_2}{\mu_1} \\ \mu_i &= \frac{\lambda_i}{D'_i} \end{aligned} \quad (30)$$

ここで、 f_{BU} : 燃焼による補正因子、

λ_i : 崩壊定数 (s^{-1}) (i=1:先行核種、i=2:当該核種) 、

D'_i : 燃料核中の換元拡散係数 (s^{-1}) (i=1:先行核種、i=2:当該核種) である。

Kr 及び Xe とその先行核種の換元拡散係数の関係は、キャブセル照射試験結果⁽¹⁸⁾に基づき定めたもので、

$$D' = 55 \exp(-38000/T) \quad (31)$$

により求める。また、燃料核中の換元拡散係数は、キャブセル照射試験で得られた拡散放出率に基づき定める。燃焼度補正因子は、照射による格子欠陥の増加に伴う照射促進拡散による効果を考慮したものであるが、日本では、これまでこの種のデータは得られていないため、Myers 等による米国の設計式⁽¹⁹⁾を参考に以下の式を仮定する。

$$f_{BU} = 0.2Bu + 1 \quad (32)$$

ここで、 Bu は燃焼度 (%FIMA) である。

燃料核からの反跳放出率は、(23) 式で計算できる。燃料コンバクトマトリックス部からの放出経路としては、黒鉛粒内及び黒鉛粒間の拡散放出を仮定する。

$$f_{m,d} = \alpha \times f_{m,gd} + (1 - \alpha) \times f_{m,ad} \quad (33)$$

ここで、 $f_{m,gd}$: 黒鉛粒内拡散による放出率、

$f_{m,ad}$: 黒鉛粒間拡散による放出率、
 α : マトリックス部に占める黒鉛粒の体積割合 である。

拡散放出率は、以下に示す拡散方程式の解を用いて計算する⁽²⁰⁾。

$$f_{m,d} = 3\sqrt{\frac{D'}{\lambda}} \left[\coth(\sqrt{\frac{\lambda}{D'}}) - \sqrt{\frac{D'}{\lambda}} \right] \quad (34)$$

ここで、 D' : 換元拡散係数 (s^{-1}) である。

黒鉛粒内の換元拡散係数は、PyC 内の拡散係数に等しいと仮定したが、結果として粒間拡散に比べて極めて小さい放出率となるので、この拡散係数がマトリックス部からの放出率の結果に与える影響はほとんど無い。黒鉛粒間の拡散係数は未知であるが、粒間拡散の温度依存性は小さいと考えられることから活性化エネルギーとして黒鉛粒内の活性化エネルギーの $1/5$ を仮定する。

マトリックス部に占める黒鉛粒の体積割合は、高速中性子照射による燃料コンパクトマトリックス部の収縮データに基づき定める。すなわち、高速中性子照射により黒鉛粒の間隔が小さくなることにより黒鉛粒間部の体積割合が小さくなると考えた。初期の黒鉛粒間部（空隙率）は、以下のように表すことができる。

$$1 - \alpha = 1 - \frac{\rho_0}{\rho_g} = 1 - \frac{m}{\rho_g V_0} \quad (35)$$

ここで、 ρ_0 : 未照射時のマトリックス密度 (g/m^3) 、
 ρ_g : 黒鉛粒の密度 (g/m^3) 、
 m : マトリックス部重量 (g) 、
 V_0 : 未照射時の燃料コンパクト体積 (m^3) である。

照射に伴う体積変化は、寸法収縮の実験式を用いると以下のようになる⁽³⁾。

$$V(\Phi (= V_0(1 + \frac{1.006\Phi - 0.174\Phi^2}{100})) \quad (36)$$

ここで、 Φ : 高速中性子照射量 ($10^{25} m^{-2}$) である。

(35) 式に (36) 式を代入することにより、照射量に対する空隙率、すなわちマトリックス部に占める黒鉛粒の体積割合を求めることができる。

燃料コンパクトのマトリックス部の汚染ウランの反跳放出割合は、無限長さの中空円筒の燃料コンパクトの形状から、以下の式で計算する。

$$f_{m,r} = \frac{R(3(r_i + r_0) - 2R)}{6(r_0^2 - r_i^2)} \quad (37)$$

ここで、
 r_0 : 燃料コンパクトの外径、
 r_i : 燃料コンパクトの内径
である。
マトリックスからの反跳距離 R は $10\mu\text{m}$ を用いる。

2.3 1次冷却材中希ガス濃度評価モデル⁽²¹⁾

希ガスは1次冷却設備の機器・配管等に沈着しないため、冷却材中の濃度 (Bq/cm^3) は、燃料コンパクトからの放出率である (R/B) 値、1次ヘリウム純化設備による除去、循環中の崩壊により決まる。1次冷却材中の放射能量 A_i (Bq) は、以下のように表すことができる。

$$\frac{dA_i}{dt} = S_i - (\lambda_i + \frac{W_p}{W_m} \eta_p) A_i(t) \quad (38)$$

ここで、
 $A_i(t)$: 時刻 t における1次冷却材中の希ガス i の放射能量 (Bq) 、
 S_i : 炉心からの希ガス i の放出速度 (Bq/s) 、
 λ_i : 希ガス i の崩壊定数 (s^{-1}) 、
 W_p : 1次ヘリウム純化設備流量 (kg/s) 、
 W_m : 1次冷却材ヘリウム量 (kg) 、
 η_p : 1次ヘリウム純化設備による除去効率
である。

放出速度 S_i と放出率 (R/B) $_i$ 値の関係は以下の式で表すことができる。

$$(R/B)_i = \frac{S_i}{3.2 \times 10^{10} \lambda_i P Y_i} \quad (39)$$

ここで、
 P : 出力 (W) 、
 Y_i : 核種 i の核分裂収率
である。

3. 計算コード

3.1 計算コードアルゴリズム

本計算プログラムでは、炉心全体について被覆燃料粒子の破損率と希ガス放出率を求め、1次冷却材中の希ガス濃度を評価する。第2章で説明したのは、各評価点での解析方法であり、プログラムでは炉心全体について解析結果を積分平均し、各時間ステップを進める。

原子炉は燃料体カラム（HTTRで30）で構成し、各カラムは積層ブロック（HTTRで5段）で構成する。ブロック内には燃料棒（HTTRで31又は33）が挿入されている。軸方向の照射条件（燃料温度等）は、軸方向の変化が大きいため、燃料棒を何点かに分割して評価する。燃料棒内の径方向の照射条件は、軸方向に比べて大きく異ならないため、現在のところ一点で代表させている。計算結果の積分方法は、以下のとおりである。

評価点での計算 → 燃料棒の平均 → ブロック単位の平均
→ カラム単位の平均 → 炉心平均

各段階の結果は、オプションにより印刷できる。平均化する際の重み付けは、①体積または②体積と出力（燃焼度）の積で行うことができる。1次冷却材中への核分裂生成物放出計算には②用いる。

出力分布、高速中性子束、燃料温度分布は、空間分布については同一ファイルから入力する。時間ステップについては、別ファイルで入力することとし、リスタート計算を行う。すなわち、ある時点の計算結果を RESTART FILE に記憶し、次の計算ジョブで次の時間ステップの入力データを読み込み、計算を実施する構成である。従って、プログラム内の計算の流れは一時点での炉心平均を行うことが主となっている。フローチャートを Fig. 3.1 に示す。主要部分の計算は MAIN プログラムで、各評価点の被覆燃料粒子の破損評価はサブルーチン CPFAIL で、希ガス放出率はサブルーチン FPRLSE で行う。これらについては、詳細なフローを Fig. 3.1 に示す。

3.2 サブルーチン

サブルーチンの機能の概要について Table 3.1 に、プログラム中で使用している変数の意味について Table 3.2 に示す。

入力データの単位は特に断らない限り m, t, sec である。入力順序、入力に際してのフ

オーマットを **Table 3.3** に示す。入力データの単位は特に断らない限り m、t、sec である。なお、パソコンで使用する場合には制御用のデータは DOS 画面から入力するが、大型計算機で使用する場合にはファイル 5 で入力する。また、同じくファイルデータはパソコンで使用する場合には DOS 画面で入力するが、大型計算機で使用する場合には JCL データで入力する。燃料棒形状データはファイル 5 からでも、ファイル 3 からでもオプションにより入力可能である。出力について、実際のプリント内容との対応を付録-A に示す。付録では、パソコンを利用した場合の出力について説明している。大型計算機を利用する場合は使用するファイルのデータは JCL で入力されるため、プリントされない点が異なるのみで、他は同じである。また、プログラムリストを付録-B に示す。

Table 3.1 Subroutine of the FIGHT code.

SUBROUTINE名	分類	機能内容	呼び出すSUBROUTINE
ALPHA	F	α を計算する。 1または2重みの平均計算	
AVRAG1	S	file関係の初期データ設定 リストファイルから燃焼度、照射量データを入力する。	
BLKDATA	S	新たに各ガラム毎に燃料粒子データを読み込む。	
BUPFFT	S	各FILEをCLOSEする。	CLSKEP
CLCFPD	S	FILEをCLOSEを制御する。	
CLSKEP	S	被覆層圧縮応力計算	
CLUNIT	S	一次系中のFPガス濃度の計算	
CMPST	F	被覆燃料粒子の破損評価	
CONCRG	S		
CPFAIL	S		
CPFDIN	S	FP並びにCPFデータを入力。リストファイルに出力する。	
DIFCN	F	拡散係数計算	
DIFFPG	S	FPガス放出割合をPDSICの方法で評価	
FPKER	F	FPガス放出割合簡易評価	
FPRlse	S	FP放出量を各評価点毎に計算する。	
GPREs	S	ガス内圧計算	
HISTRY	S	燃料棒各一点の挙動履歴を記憶すると 共にプリントする。	
INPRST	S	前STEPのリストファイルから入力。 データ入力するとともに、入力データをプリントする。	
INPUT	S	主として流れを管理する。	
OPREWN	S	FILE OPENするとともにREWINDする。 FILE OPENする。そのためには必要なデータをDOS画面からOPREWN	
OPUNIT	S	入力する。	
OUTCOL	S	ブロック、ガラム毎の破損率、R/Bをプリントする。	
OUTCOR	S	炉心平均の破損率、R/Bをプリントする。	
OUTPIN	S	評価点、燃料棒毎の破損率、R/B計算結果の プリント管理及び必要に応じ新リストファイルを作成する	
PINDAT	S	ガラム毎に燃料棒データを読み込む	
S:SUBROUTINR F:FUNCTION			
			TENSS
			SYURD
			CMPST
			GPREs
			SMPNFR
			RLBBIR DIFFPG
			SMPNRB
			ALPHA FPKER PRNHIS
			RDRST RODDIN TPFIN
			CPFDIN PRTTPF
			INPRST
			PRTVOL
			WRETSL
			CLCFPD

Table 3.1 Subroutine of the FIGHT code (cont.).

SUBROUTINE名	分類	機能内容	呼び出すSUBROUTINE		
PRINTP	S	評価点毎の破損率または、R/Bのアソート			
PRNHIS	S	挙動履歴をプリントする。			
PRTCPF	S	カラム毎にFP並びにCPFデータをプリント。			
PRTTPF	S	温度、出力分布、燃焼度、高速中性子照射量のプリント			
PRTVOL	F	燃料棒の形状データのプリント。			
RBDIF1	F	1核種拡散放出によるR/B計算			
RBDIF2	F	先行核のある場合の拡散放出によるR/B計算			
RBRCPY	F	反跳による燃料棒からの放出計算			
RBCRD	F	反跳による燃料棒からの放出計算			
RLBBIR	S	各評価点毎にR/Bを計算する。			
RODDIN	S	燃料棒データの入力。			
RODRST	S	燃料棒データのリストファイルに出力。			
RRESCL	S	前ステップRESTART FILE から燃料粒子データを読み込む。			
SMPNFR	S	被覆層破損率の燃料棒毎の平均を計算			
SMPNRB	S	R/Bの燃料棒毎の平均を計算			
SUMCOL	S	燃料棒毎の破損率、R/Bをブロック、カラム毎の平均をする。	AVRAG1		
SUMCOR	S	炉心平均の破損率、R/Bを計算する。	AVRAG1		
SYURD	F	径方向PYC形状変化			
SYUTN	F	周方向PYC形状変化			
TAVERG	S	燃料温度の径方向平均計算管理	AVRAG1		
TENSS	F	被覆層引張り応力計算			
TPFIN	S	温度、出力分布、高速中性子束分布の入力。	TAVERG		
VOLUME	S	燃料棒の面積、体積の計算。			
WRETSL	S	カラム単位データの新リストファイルを書きだす。 画面から読み込む。			

Table 3.2 Symbols employed in the FIGHT code.

COMMON	変数名	変数形式	制限	意味
/TKEEP/	1 LKEP(12) 11 LFOR(12) 21 MTN(12)			>0:Keep >0:FORMATTED Unit No. 1:INPUT 2:OUTPUT 3:FP-DATA 4:CPF DATA 5:FUEL PIN DATA 6:TEMP. DATA 7:POWER DATA 8:FAST-FLUX DATA 9:RESTART TO NEXT STEP 10:PREVIOUS STEP RESTART 11:UNIT=5 12:UNIT=6 13:UNIT=1 14:UNIT=2 15:UNIT=3 16:UNIT=21 17:UNIT=31 18:UNIT=41 19:UNIT=11 20:UNIT=12 21:UNIT=13 22:UNIT=14 23:UNIT=15 24:UNIT=16 25:UNIT=17 26:UNIT=18 27:UNIT=19 28:UNIT=20 29:UNIT=21 30:UNIT=22
	31 MNUM			使用しているUnit数(現在10としてある)
/UNINAM/	1 MNAME(12) 11 NAMD(12)	CHARACTER*30 CHARACTER*8		DefaultのUnit名 Unitの機能
/CONTL/	1 TITLE	CHARACTER*72		タイトル
	19 NREST 20 LFLCN 21 LIGEM 22 NEWRT 23 LPVOL 24 LPCPD 25 LPTPF 26 LPRSL 27 NLPCCL 28 LGASC 29 LTFPS 30 IDCOL(20)			>0: Restart step 数。 >0: DOS画面上の計算中のカラム、燃料棒を出力。計算制御をする。 >0: 形状データをunit3から入力する。 >0: Restart Tape作成する。 >0: 体積データをプリントする。 >0: 粒子データをプリントする。 >0:T,P,F,B,Uで一たびをプリントする。 >0: 毎の結果をプリントする。 >0: 出力するカラム数

(注) 変数形式が通常のFORTRANのルールに従つており、変数名の筆頭文字から判断できる場合は省略している。

Table 3.2 Symbols employed in the FIGHT code (cont.).

COMMON		変数名	変数形式	制限	意味
/RODTI/	1	KCOL		KCOL<200	ガラム数 < 200
	2	KBMX			軸方向評価点数 < 100
	3	KBLK			軸方向ブロック数 < 20
	4	MPIN			ガラム内最大ピン数
	5	NDIV			燃料棒内分割数
	6	NPIN(200)			ガラム内ピン数
	206	LIDP(200)			ガラム内ピンの燃料形式指定
	406	NFTP			燃料形式数 < 10
	407	NR(10)			燃料温度計算におけるコントロール内最小メッシュNo.
	417	NR2(10)			燃料温度計算におけるコントロール内最大メッシュNo.
	427	KB(20,10)			軸方向ブロック内最小メッシュNo.
	627	KB2(20,10)			軸方向ブロック内最大メッシュNo.
	827	LTYP(10)			燃料形式指定
/RODTR/	1	DR(40,10)			燃料温度計算におけるコントロール内半径
	401	DZ(100,10)			燃料温度計算における軸方向メッシュ幅
	1401	AREA(40,10)			燃料温度計算におけるコントロール内メッシュ毎の面積
	1801	WPIN(3000)			燃料ピンのガラム内量
	4801	WCOL(200)			燃料ガラムの量
	5001	PCF(10)			燃料充填率(ペブルの場合必要)
	5011	V0(100,10)			
	6011	V1(20,10)			
	6211	V2(10)			
	6221	VPIN(3000)			燃料ピン体積
	9221	VBLK(2000)			燃料ブロック体積
	11021	VCOL(200)			ガラム燃料体積
	11221	VCOR			炉心内燃料体積

Table 3.2 Symbols employed in the FLIGHT code (cont.).

COMMON	変数名	変数形式	制限	意味
/CPDTR/	1 15001 30001	RCP(5,3000) RWC(5,3000) LINP	KBMX*MPIN<3000 KBMX*MPIN<3000	燃料粒子半径 各被覆層の密度 入力モード指定データ
/TEMPD/	1 101 4101 24101 44101	TA(100) TT(40,100) TTA(20000) FFT(20000) BUP(20000)	KBMX*MPIN*KCOL<20000 KBMX*MPIN*KCOL<20000 KBMX*MPIN*KCOL<20000	燃料温度(°C) 高速中性子照射量(nvt:10E+25n/m**3) 燃焼度(%FIMA)
/PREVD/	1 2 3 4 5 6 7 8	KC NP LT LP LI DTIME TIME DDAY		COLUMN INDEX PIN INDEX IN THE COLUMN TEM.DAT INDEX POWER & FLUX INDEX CHANNEL TYPE INDEX FOR NP,KC D-TIME(S) OF THIS STEP TIME(S)
/CONTD/	1 2 3 3003	MTTN MTPW LTEM(3000) LPOW(3000)	MPIN*KCOL<3000 MPIN*KCOL<3000	温度データのセット数 出力、高速中性子束データセット数 各カラム、燃料棒の温度データの指定 各カラム、燃料棒の出力、中性子照射量データの指定
/HSTRY/	1 101 201 30201 40201 70201 70202 70203	DAY(100) TEM(100) TTST(3000) FPST(10000) RBST(10000) PRES(20000) NSTP NSPX		履歴として保存されている照射日数 履歴として保存されている温度 DIFFPGで計算するために記憶された温度データ 履歴として保存されている破損データ 履歴として保存されているR/Bデータ 各評価時点の詳細データ(内圧、各層収縮応力等) 現在の積算ステップ数 NSPX=1000/KBMXこの数を超える燃料棒のデータは保存しない。

Table 3.2 Symbols employed in the FIGHT code (cont.).

COMMON /RESLT/	変数名	変数形式	制限	意味
1	FRCM(3000,3)		KBMX*MPIN<3000	評加点毎の粒子状況 1:真通破損率 2:SIC+i-PYC 3:SIC 4:汚染(燃焼により変化しないものとする) 燃料比*毎の体積平均貫通破損率(コラム毎に書き出す) 燃料比*毎の体積*出力平均貫通破損率 フロック毎体積平均貫通破損率 フロック毎体積*出力平均貫通破損率 コラム毎体積平均貫通破損率 コラム毎体積*出力平均貫通破損率 全炉心体積平均貫通破損率 全炉心体積*出力平均貫通破損率 平均操作の量み
9001 17001 19001 21001 23001 23201 23401 23402 23403 25403 27403 29403 31403 31603 31803 51803 61803 71803 73803 73833	FRCP(2000,4) FPPV(2000) FRCB(2000) FPCB(2000) FRCL(200) FPCL(200) FRCR FPCOR WFRT(2000) WWPV(2000) WWBK(2000) WVBK(2000) WWCL(200) WVCL(200) RBBM(20000) RBPP(10000) RBBC(10000) RBCL(200) RBCR(30) FPIN(3000,4)		KBLK*MPIN<2000 KBLK*MPIN<2000 KBLK*KCOL<2000 KBLK*KCOL<2000 KCOL<200 KCOL<200	評価点毎のR/B(NUCL<30) ヒン毎のR/B(重みはPOW*VOL) フロック毎のR/B コラム平均のR/B 炉心平均のR/B 初期破損率 1:真通破損率 2:SIC+i-PYC 3:SIC 4:汚染(燃焼により変化しないものとする) 破損確率1、2、3はFPINと同じ 全ステップの破損確率
85833 94833 103833			FPRB(3000,3) FPRO(3000,3)	

Table 3.2 Symbols employed in the FLIGHT code (cont.).

COMMON /FPDATA/	変数名	変数形式	CHARACTER*8	意味
1	NMFP(30)			FP核種名
31	RAMD(30)			崩壊定数(1/s)
61	QKER(30)			燃料核内拡散データ
91	AKER(30)			燃料核内拡散データ
121	QMAT(30)			マトリックス粒内拡散データ
151	AMAT(30)			マトリックス粒内拡散データ
181	QMAI(30)			マトリックス粒間拡散データ
211	AMA(30)			マトリックス粒間拡散データ
241	YILD(30,2)			一次系He装荷量
301	HEIV			一次系純化系流量
302	FHEP			純化系効率
303	EFPJU(30)			TOTLA POWER
333	POWE			一次系内FP濃度
334	ACON(30)			一次系内FP初期濃度
364	ACN0(30)			マトリックスの反跳距離
394	RRDAT			
395	RGGDT			
396	WMATX			
397	ROWTH			
398	CVFIS			
399	AFPGS			
400	QFPGS			
401	ACOXY			
402	QCOXY			
403	RGASC			
404	PKYD1			
405	PKYD2			
406	SKYD1			
407	SKYD2			
408	VNUPC			
409	CRPCN			
410	WKER			
411	UFRAC			
412	OXRLT(1)			ウランの核分裂による酸素放出限界割合
413	OXRLT(2)			ブルトニウムの核分裂による酸素放出限界割合

Table 3.2 Symbols employed in the FIGHT code (cont.).

COMMON	変数名	変数形式	制限	意味
/FPDAT/ 続き	414 FPYIL(1) 415 FPYIL(2) 416 LPRE(30) 446 NOFP 447 NUCL 448 IDFP(30)			フラン核分裂によるFP-ガスの分製取率 ブルトニウム核分裂によるFP-ガスの分製取率 >0:先行核有り。そのデータ指定をかねる。 ライブリー内核種数<30 計算するFP核種数 NUCL数の核種指定

Table 3.3 Input format of the FIGHT code.

カードIDが5-1から5-5まではパソコンではMSDOS画面から入力するか、
 大型計算機では5(SYSIN)から入力する。
 注)file5はシステムの入力ファイルと解釈すること。DEC-FORTRANでは*とその他のfileが共用できないので、
 5-->4, 6-->8としている。

カードID	フォーマット	変数名	意味	備考
5-1	A72	TITLE	タイトル	
5-2	7/3	NREST LFLCN LIGEM NEWRT LPVOL LPCPD LPTPF LPRSL NLPSL LGASC LTFPS	>0 RESTART FILEを入力する。 >0 DOS画面でJOBを制御する。 >0 形状データを入力する基盤制御。0なら5とする。 >0 新RESTART FILEを作成する。 >0 体積データをプリントする。 >0 複粒子データをプリントする。 >0 温度、出力、中性子束をプリントする。 >0 カラム毎ヒン、位置毎の結果をプリントする。 プリントするカラム数。 >0 詳細内圧FP放出計算をする。 >0 複粒子挙動、FP放出挙動の時間履歴をプリントする。	通常燃料棒ロック内一点 LTFPS個目のプリント
5-3	8/3	IDCOL() =1,NLPSL	プリントするカラム指定。	
5-4	Free	DTIME	本計算ステップの時間幅(日)。内部で秒に変換する。	
5-5	A30	FILEN	JOB終了後保存指定してあるFILEの名前。 必要なFILE数だけ繰り返す。	大型計算機ではJCLで指定。不要。

Table 3.3 Input format of the FIGHT code (cont.).

燃料棒形状データをfile5から入力する場合(5-2カードの3番目のデータLIGEM=<0の場合)
 5-6データの前に燃料棒形状データ(file3のデータとして、3-1～3-11の説明する)を入力する。
 リスタートjobの場合、5-7以降のみ入力すること。

カードID	フォーマット	変数名	意味	備考
5-6	1015	LINP NUCL IDFP() l=1,NUCL	>0燃料の各評価点毎にデータを入力する。 <=0燃料棒毎にデータを入力する。 放出率を評価するFP核種数 評価する核種指定(1～NOFPを指定する)	
5-7	1015	MTTN MTPW	温度分布の入力数 出力分布＝高速中性子分布の入力数	以下の5-7,8,9のみrestart job時入力
5-8,5-9(はKCOL回繰り返す。 5-8	1015	LTEM(N,K) N=1,NPIN(K)	温度データとカラム、ピンとの対応表	
5-9	1015	LPOW(N,K) N=1,NPIN(K)	出力分布、高速中性子束分布とカラム、ピンとの対応表	

Table 3.3 Input format of the FIGHT code (cont.).

燃料棒形状データをfile3から入力するが、5-2カードの3番目のデータLIGEM=<0の場合には
5-6データの前に3-1～3-11を入力する。

カードID	フォーマット	変数名	意味	備考
3-1	10 5	NFTP KBLK KBMX KCOL MPIN NDIV	燃料形式数<10 軸方向ブロック段数<20 軸方向評加点数<100 評価するカラム数<200 カラム内燃料ピン数 温度入力する燃料棒径方向分割点数<40	
3-2	10 5	NR1(1) NR2(1)	1-th形式燃料の燃料コンバクト内径のメッシュ番号 1-th形式燃料の燃料コンバクト外径のメッシュ番号 NR1,NR2の組みをNFTP数だけ入力する。	
3-3	10 5	LTYPE(1)	NFTP個入力する。燃料タイプを示す。 1:中空、2:MH、3:画面、4:ペブル	
3-4	5E12.4	PCF(1)	NFTP個入力、充填率、ペブル以外1.0	
3-5	10 5	KB1(1,LP) KB2(1,LP)	以下の3-5から3-7までのデータはNFTP回繰り返し入力する。 LP型燃料の1段目ブロック最初の評加点番号 LP型燃料の1段目ブロック最後の評加点番号 KB1,KB2の組みをKBLK数だけ入力する。	
3-6	5E12.4	DR(1,LP)	燃料棒分割半径。NDIV+1個入力する。NDIV+1>NR2	
3-7	5E12.4	DZ(1,LP)	燃料棒軸方向分割高さ。KBMX個入力する。	

Table 3.3 Input format of the FIGHT code (cont.).

カードID	フォーマット	変数名	意味	備考
3-8	10I5	LIDP(1)	各カラムの燃料棒指定。<=NFTP。KCOL個入力する。	
3-9	10I5	NPIN(1)	各カラムの燃料棒数。<=MPIN。KCOL個入力する。	
3-10	5E12.4	WCOL(1)	全炉心平均に際しての各カラムの重み。KCOL個入力する。	
3-11	5E12.4	以下3-11のデータはKCOL回繰り返し入力する。 WPIN(1,KC)	ブロック、カラム平均に際しての各燃料棒の重み。NPIN(KC)個入力する。	

Table 3.3 Input format of the FIGHT code (cont.).

1-1～1-16データはfile1から入力する。

カードID	フォーマット	変数名	意味	備考
1-1	I5	NOFP	FPライアリに含まれる核種数	
1-2	10I5	LPRE(I) I=1,NOFP	各ライアリFP核種の先行核指定。なければ0を指定する。	
1-3	8A8	NMFPI() I=1,NOFP	各ライアリFP核種の名称。	
1-4	6E12.4	RAMD(I) I=1,NOFP	各ライアリFP核種の崩壊定数。	
1-5	6E12.4	QKER(I) I=1,NOFP	燃料核中の各FPの拡散係数のQ値	
1-6	6E12.4	AKER(I) I=1,NOFP	燃料核中の各FPの拡散係数のA値	
1-7	6E12.4	QMAT(I) I=1,NOFP	マトリックス中の各FPの拡散係数のQ値	
1-8	6E12.4	AMAT(I) I=1,NOFP	マトリックス中の各FPの拡散係数のA値	
1-9	6E12.4	QMAI(I) I=1,NOFP	マトリックス間隙の各FPの拡散係数のQ値	

Table 3.3 Input format of the FLIGHT code (cont.).

カードID	フォーマット	変数名	意味	備考
1-10	6E12.4	AMAI(<i>i</i>) <i>i</i> =1,NOFP	マトリックス間隙の各FPの拡散係数のA値	
1-11	6E12.4	YILD(<i>i,j</i>) <i>i</i> =1,NOFP <i>j</i> =1,2	各FP核分裂収率 (<i>j</i> =1:U-235, <i>j</i> =2:Pu-239)	
1-12	6E12.4	HEIV FHEP POWE RRDAT RGDT	系統中のHe装荷量(FHEPと同じ単位) 一次純化系流量 全出力(W) マトリックスの反跳距離 黒鉛粒の密度	
1-13	6E12.4	WMATX ROWTH CVFIS AFPGS QFPGS	マトリックスの密度 PyCの理論密度 出力一核分裂数変換係数(3.2×10^{12}) 燃料核中の希ガスの換元拡散係数の係数A($=2.1 \times 10^{-5}$) 燃料核中の希ガスの換元拡散係数の係数Q($=15200$)	
1-14	6E12.4	ACOXY QCQXY RGASC PKYD1 PKYD2	燃料核中の酸素の換元拡散係数の係数A($=-2.1$) 燃料核中の希ガスの換元拡散係数の係数Q($=8500$) 気体定数(8.314 J/mol.K) PyCの強度($=160 \text{ MPa}$) PyCの強度(現在=0MPa)アルエンスの係数	

Table 3.3 Input format of the FLIGHT code (cont.).

カードID	フォーマット	変数名	意味	備考
1-15	6E12.4	SKYD1 SKYD2 VNUPC CRPCN WKER	SiCの強度 (=834MPa) SiCの強度(現在ニ-88MPa)フルエンスの係数 クリープに関するボアソン比 (=0.5) クリープ係数 (=2.9X10-16m2/Pa) 燃料のモル重量 (t)	
1-16	6E12.4	UFRAC OXRLT(1) OXRLT(2) FPYL(1) FPYL(2)	ウラン核分裂割合 プルトニウムの割合はUFRAC ウラン核分裂により放出される酸素の限界割合(Default:t=0.4) プルトニウム核分裂により放出される酸素の限界割合 (0.85) ウラン核分裂によるFPガス收率 プルトニウム核分裂によるFPガス收率	
1-17	6E12.4	EFPUI() I=1,NOFP	純化効率	

Table 3.3 Input format of the FLIGHT code (cont.).

2-1～2-3データはfile2から入力する。

カードID	フォーマット	変数名	意味	備考
2-1	6F12.4	RC(I) =1,5	被覆層の半径	
2-2	6F12.4	RW(I) =1,5	被覆燃料粒子各層の密度	
2-3	6F12.4	FC(I) =1,3 FC(4)	初期破損率(FC) =1:貫通破損率 =2:SIC+PyC破損率 =3:SIC破損率 =4:汚染率	

21-1～21-2データはfile21から入力する。

カードID	フォーマット	変数名	意味	備考
21-1	10I5	LTP NDIV	NR1, NR2のINDEX指定 径方向入力温度データの数	
21-2	6E12.4	TT(I,K) =1,NDIV K=1,KBMX	21-2はMTTN回繰り返す。入力と同時にNDIV個の平均を行い記憶する。 温度(°C)	

Table 3.3 Input format of the FLIGHT code (cont.).

31-1～31-2データはfile31から入力する。

カードID	フォーマット	変数名	意味	備考
31-1	E12.4	CVFIM	燃焼度(%FIMA)への変換係数(=CVFIM*POW*DTIME)	
31-2	31-2MTPW回繰り返す。 6E12.4	POW(K,N) K=1,KBMX	出力分布	

41-1データはfile41から入力する。

カードID	フォーマット	変数名	意味	備考
41-3	6E12.4	FFX(K) K=1,KBMX	高速中性子束	

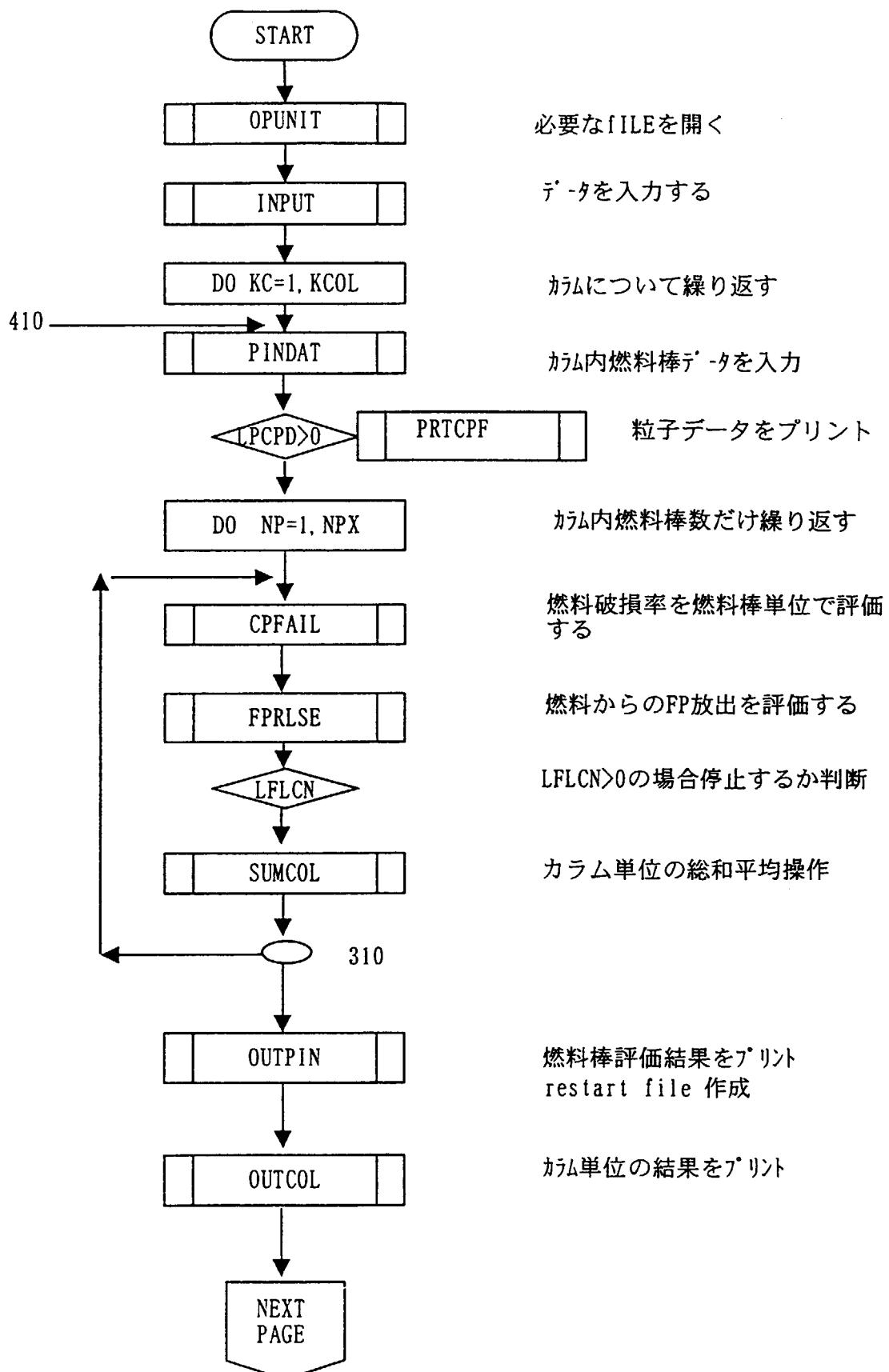


Fig. 3.1 Flow Chart of the FIGHT Code.

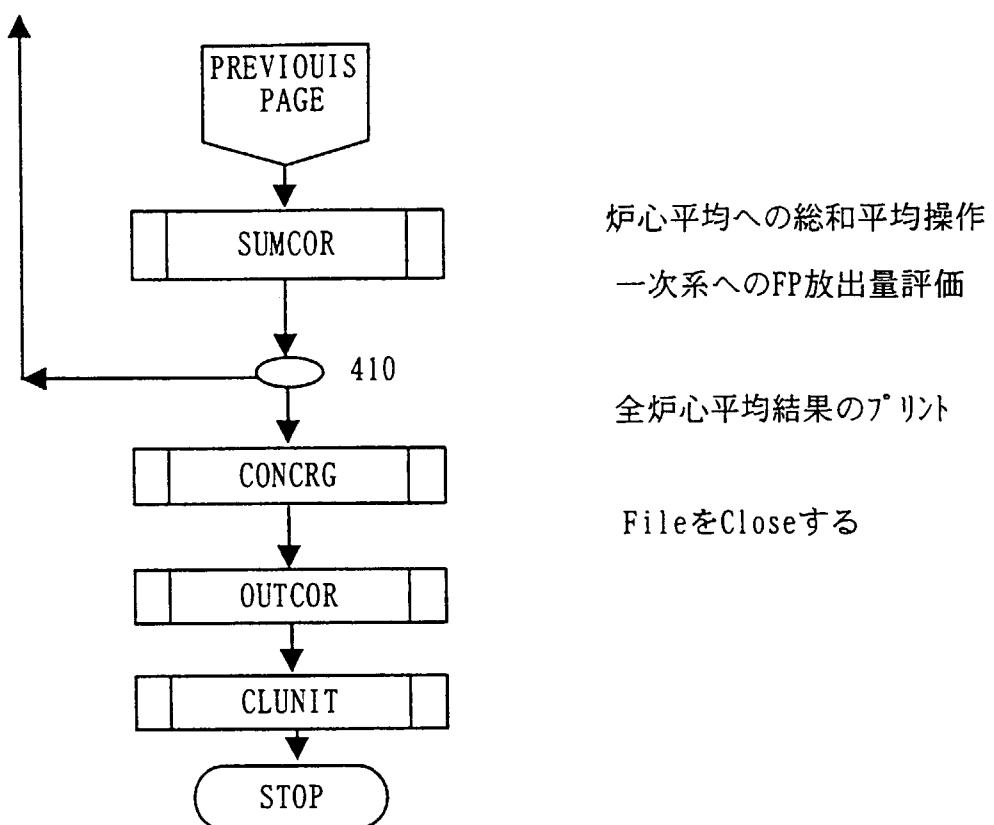


Fig. 3.1 Flow Chart of the FIGHT Code (cont.)

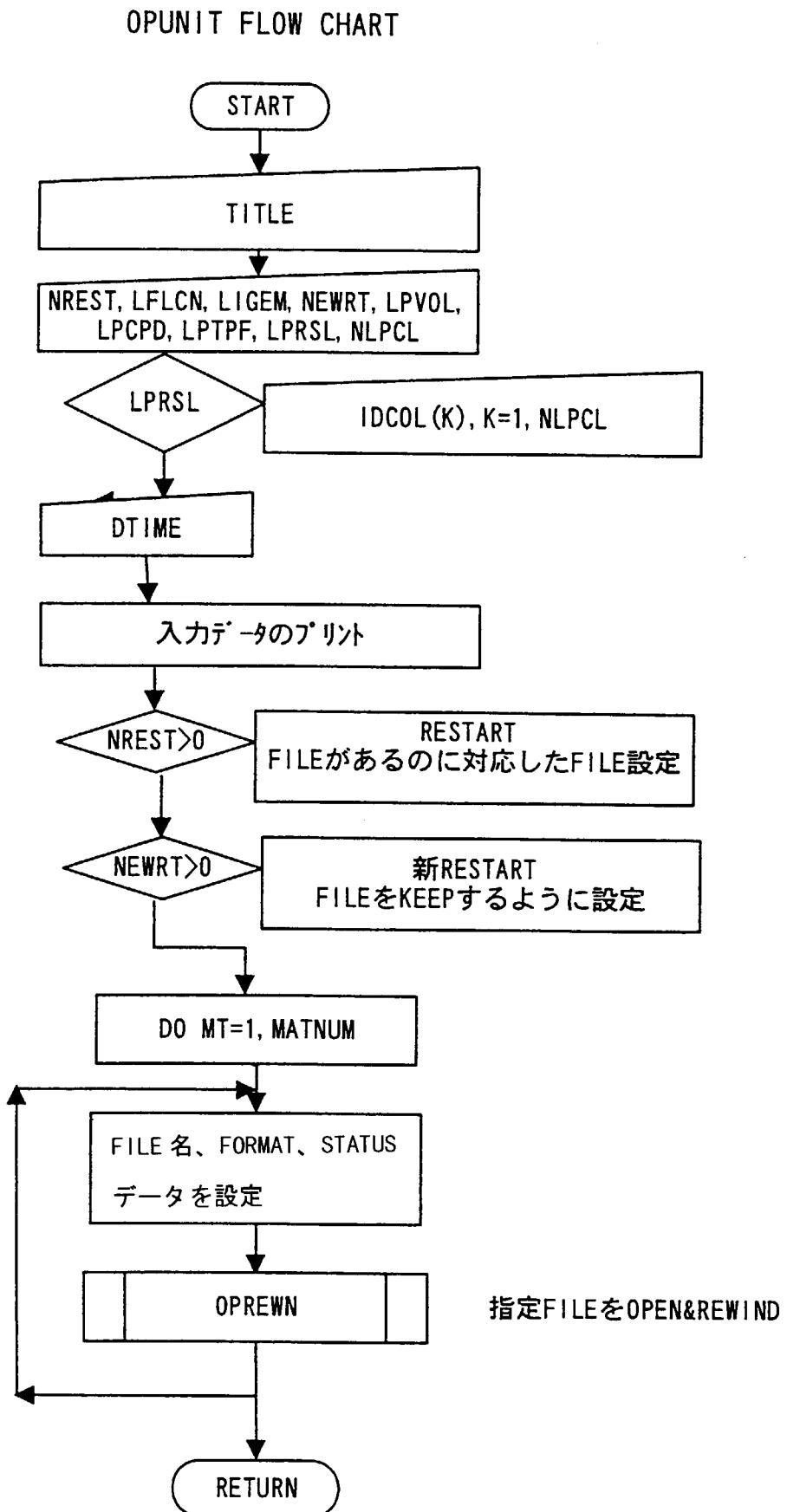


Fig. 3.1 Flow Chart of the FIGHT Code (cont.)

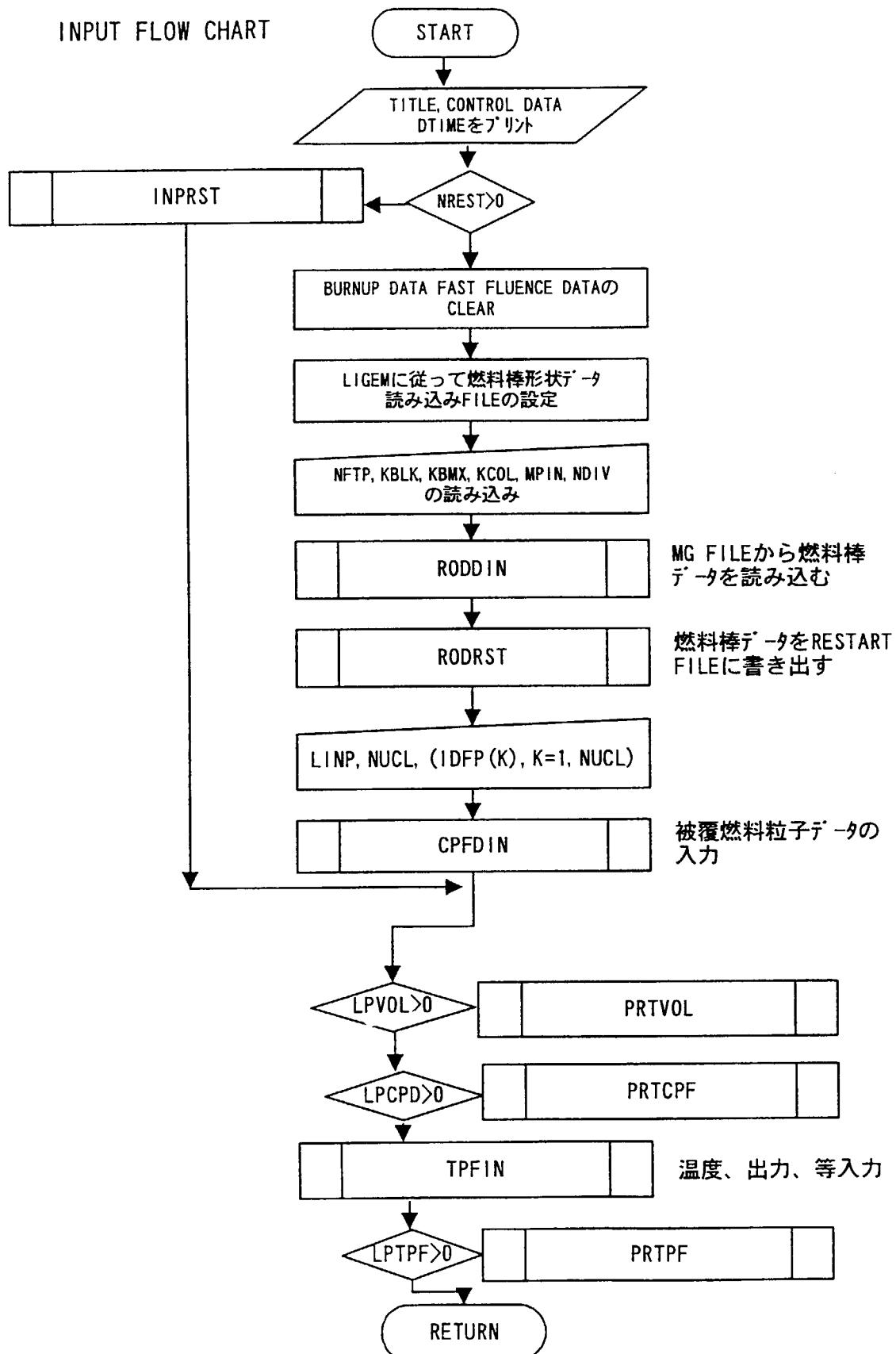


Fig. 3.1 Flow Chart of the FIGHT Code (cont.)

RODDIN FLOW CHART

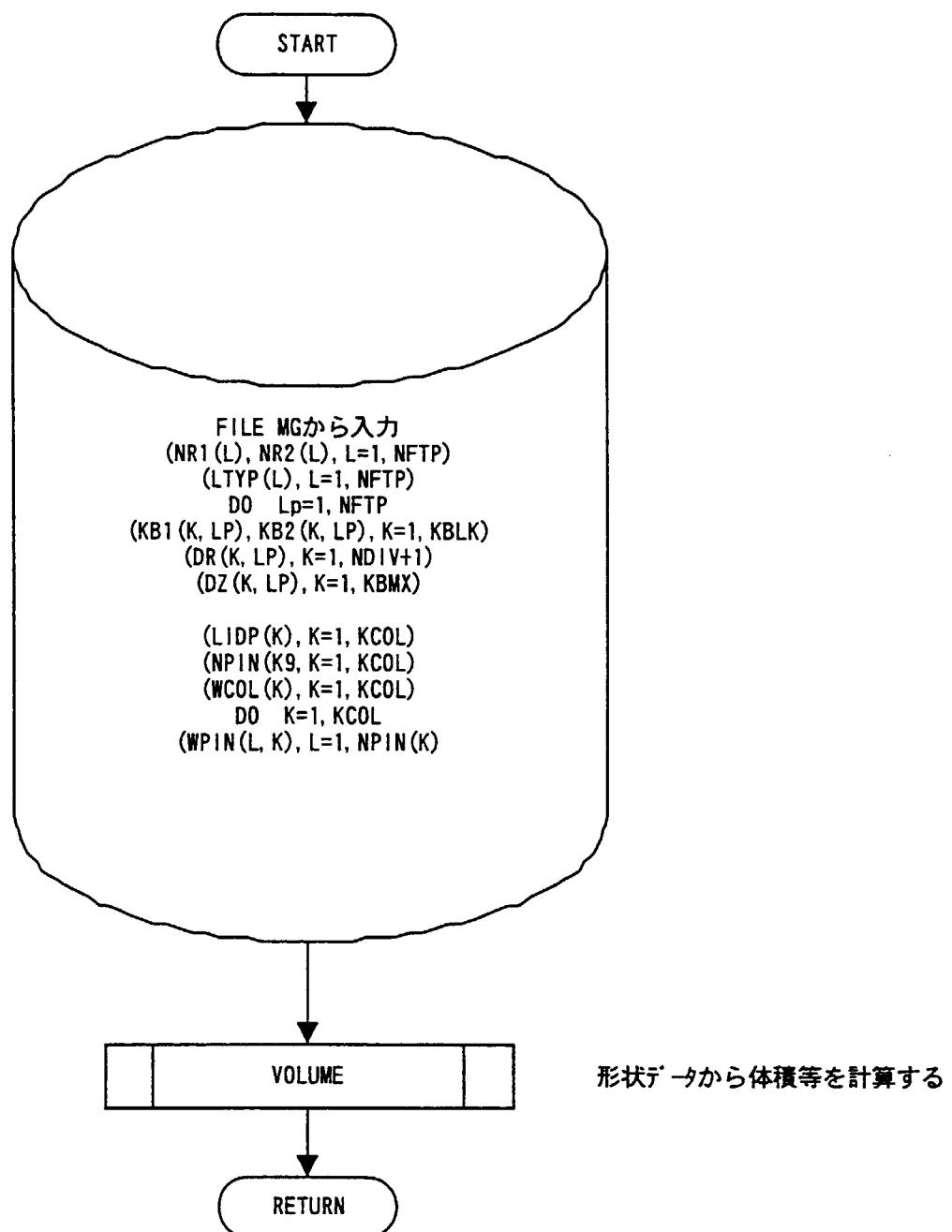


Fig. 3.1 Flow Chart of the FIGHT Code (cont.)

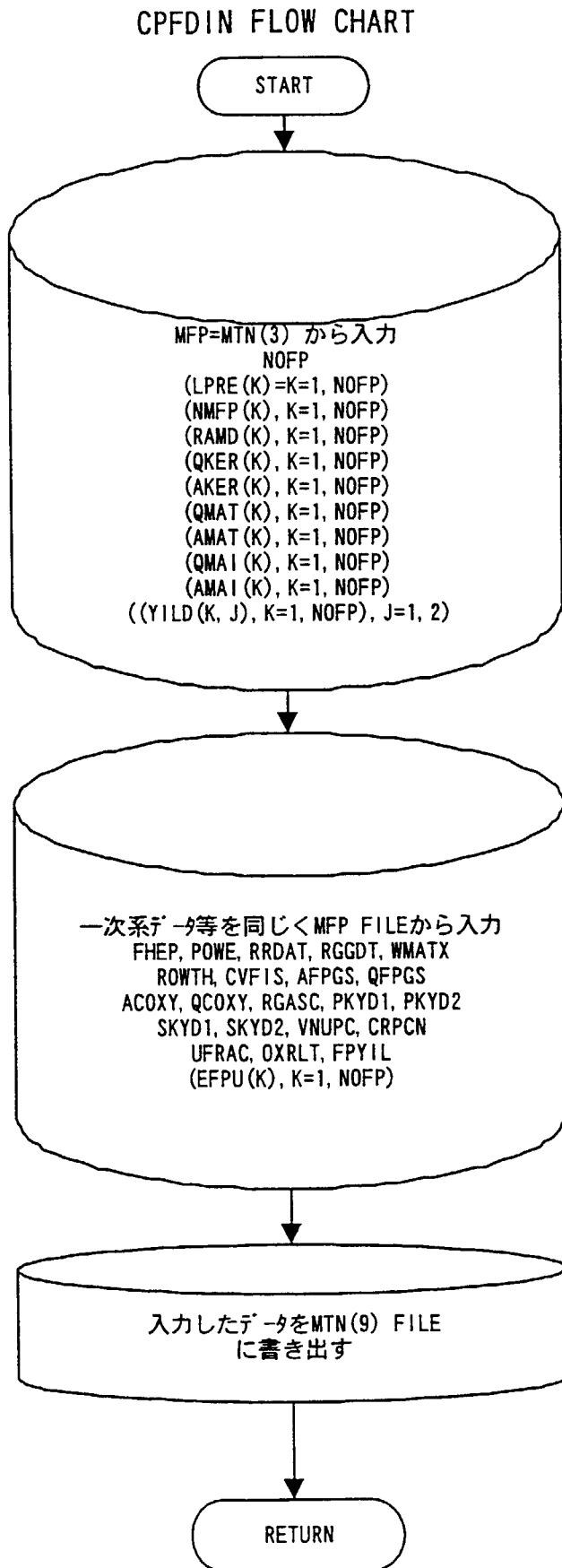


Fig. 3.1 Flow Chart of the FIGHT Code (cont.)

CLCFPD FLOW CHART
 (MAIN プログラムのカラムループからCALLされる)

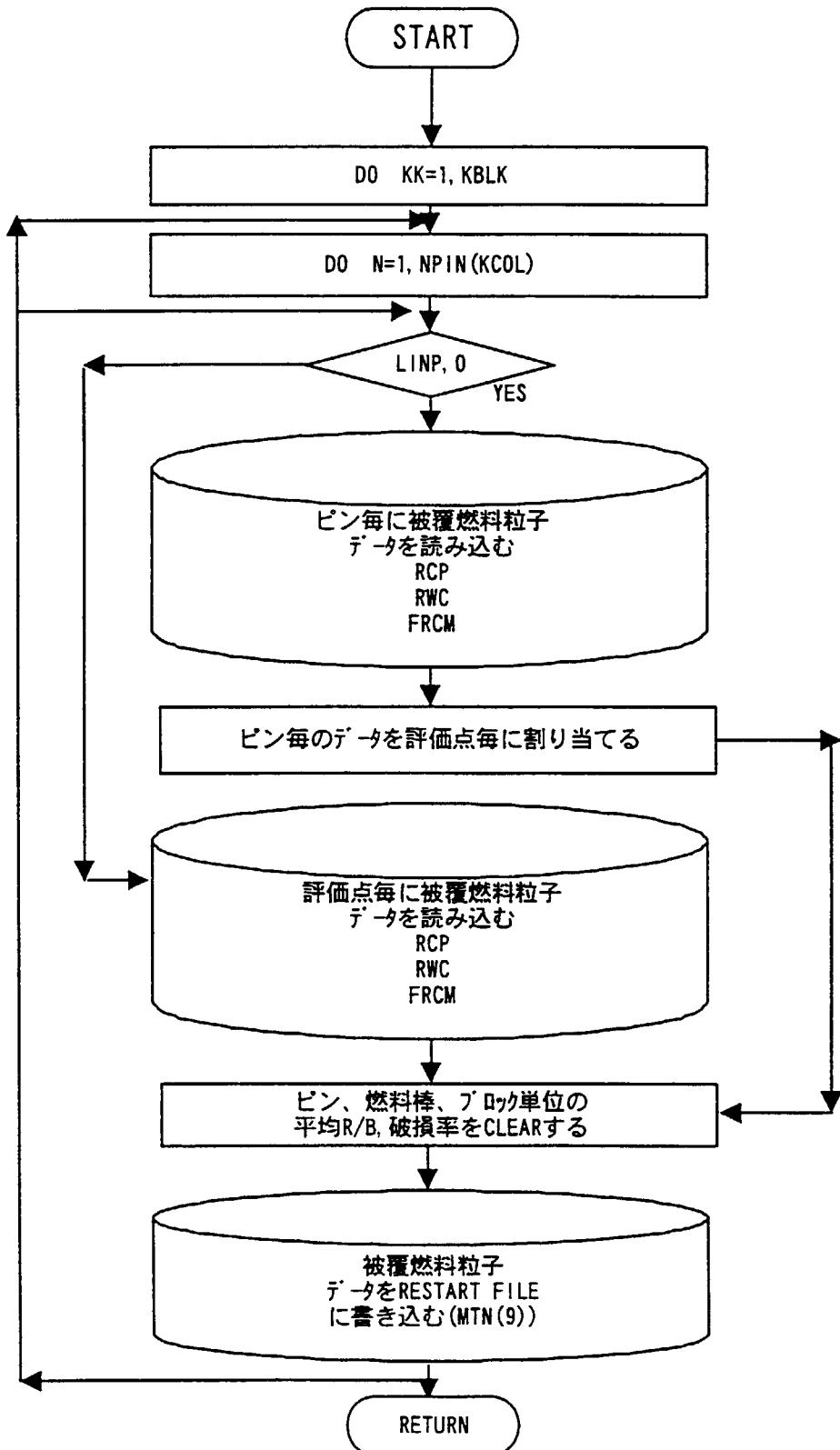


Fig. 3.1 Flow Chart of the FIGHT Code (cont.)

TPFIN FLOWCHART

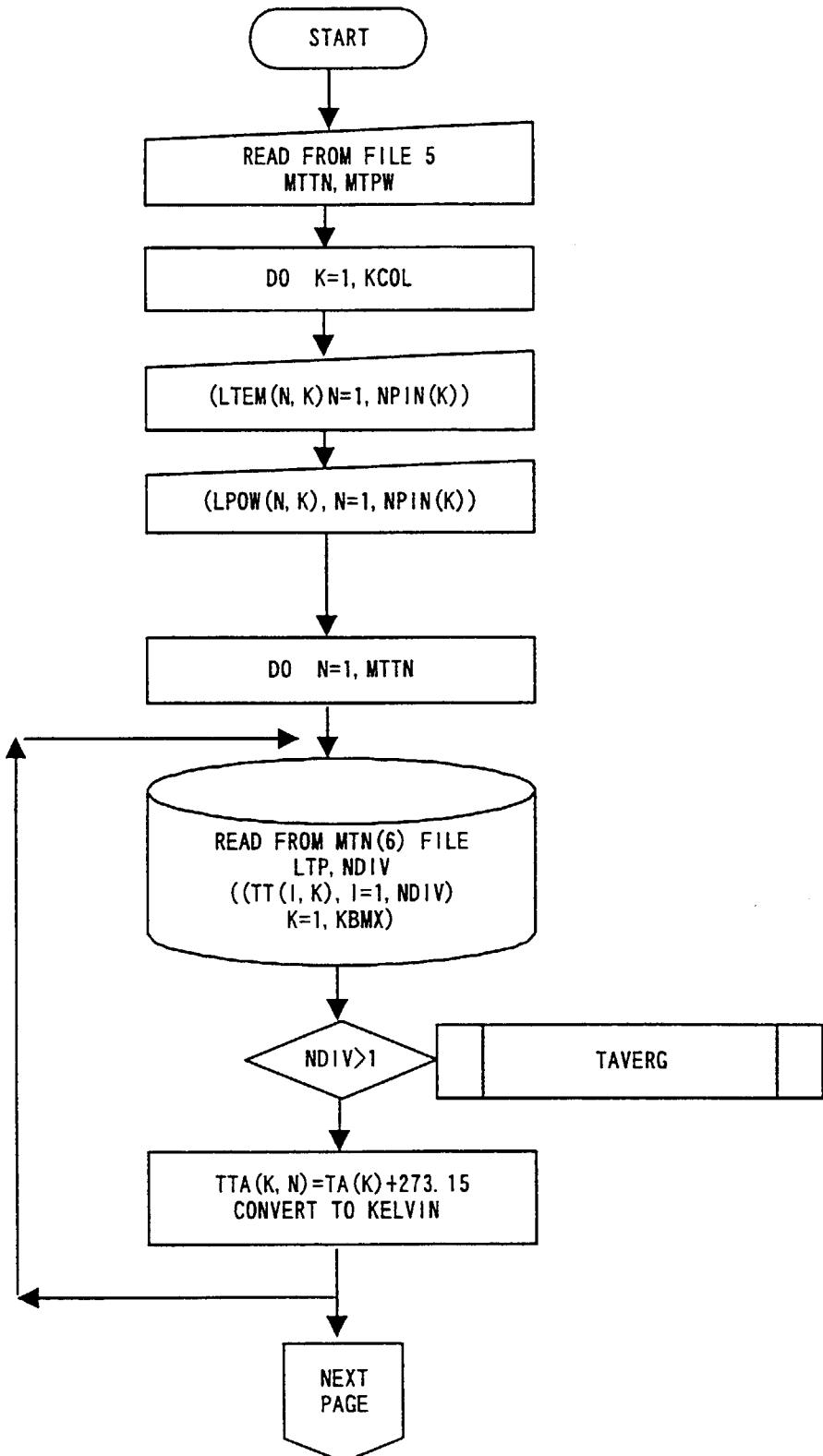


Fig. 3.1 Flow Chart of the FIGHT Code (cont.)

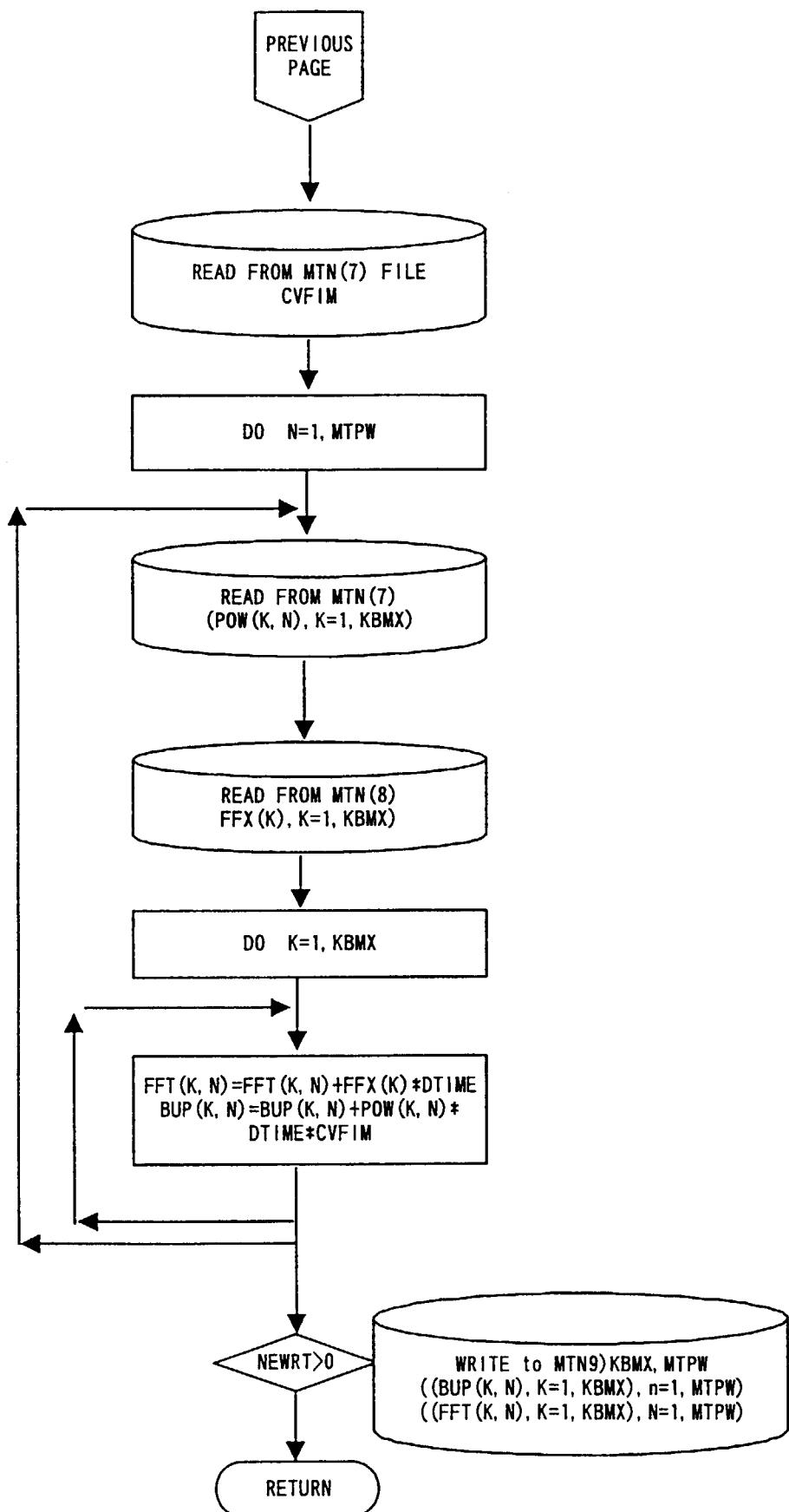


Fig. 3.1 Flow Chart of the FIGHT Code (cont.)

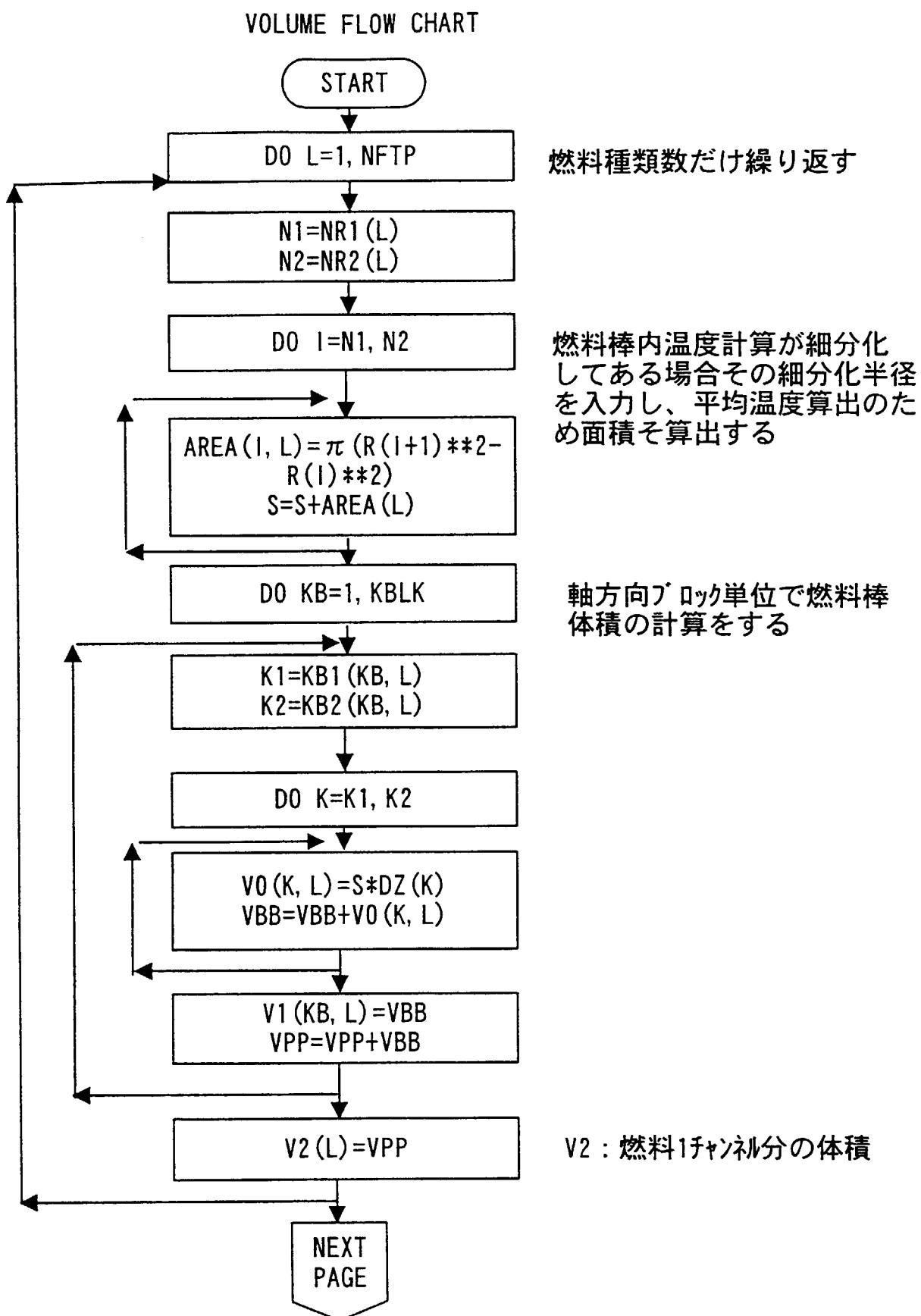


Fig. 3.1 Flow Chart of the FIGHT Code (cont.)

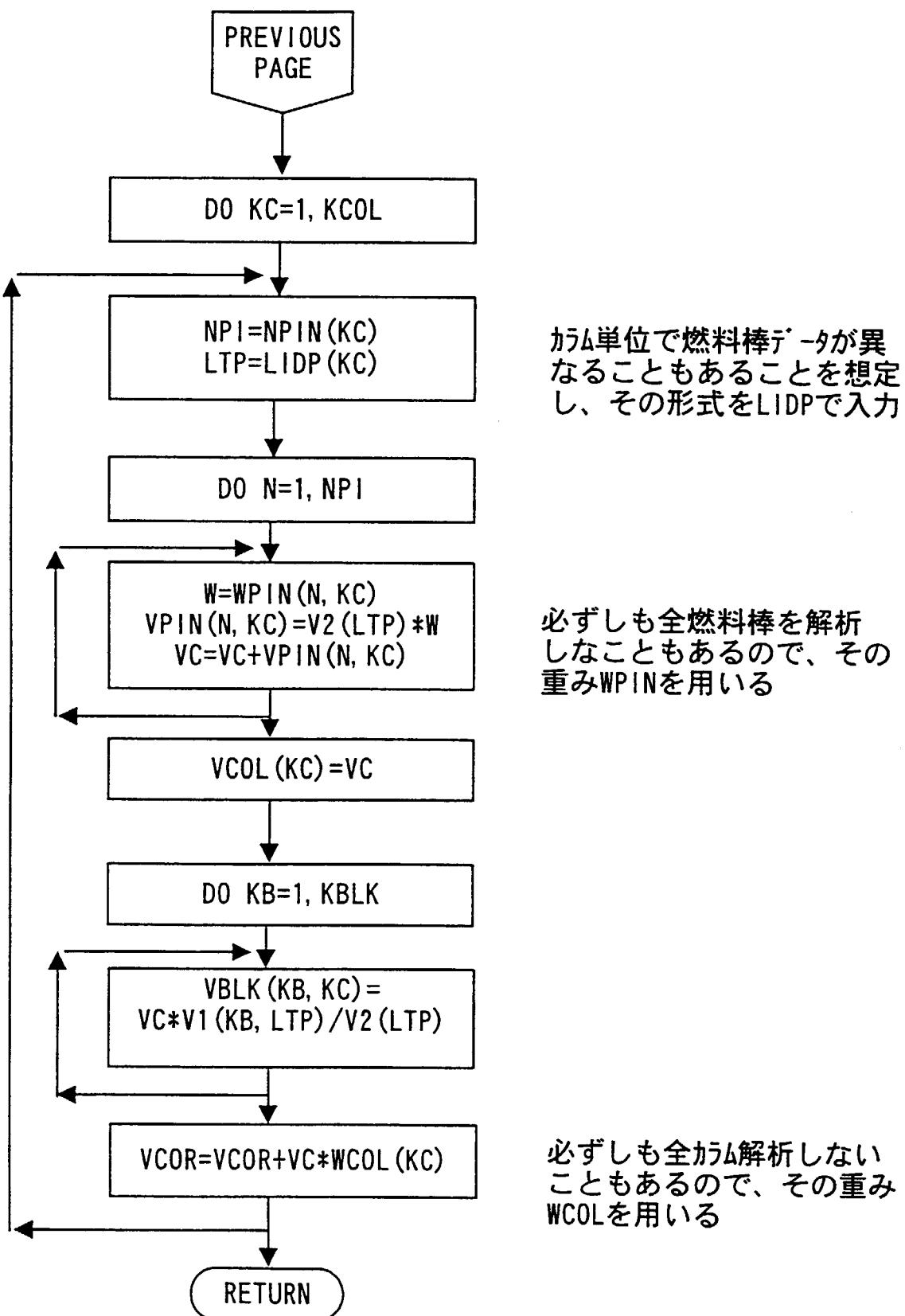


Fig. 3.1 Flow Chart of the FIGHT Code (cont.)

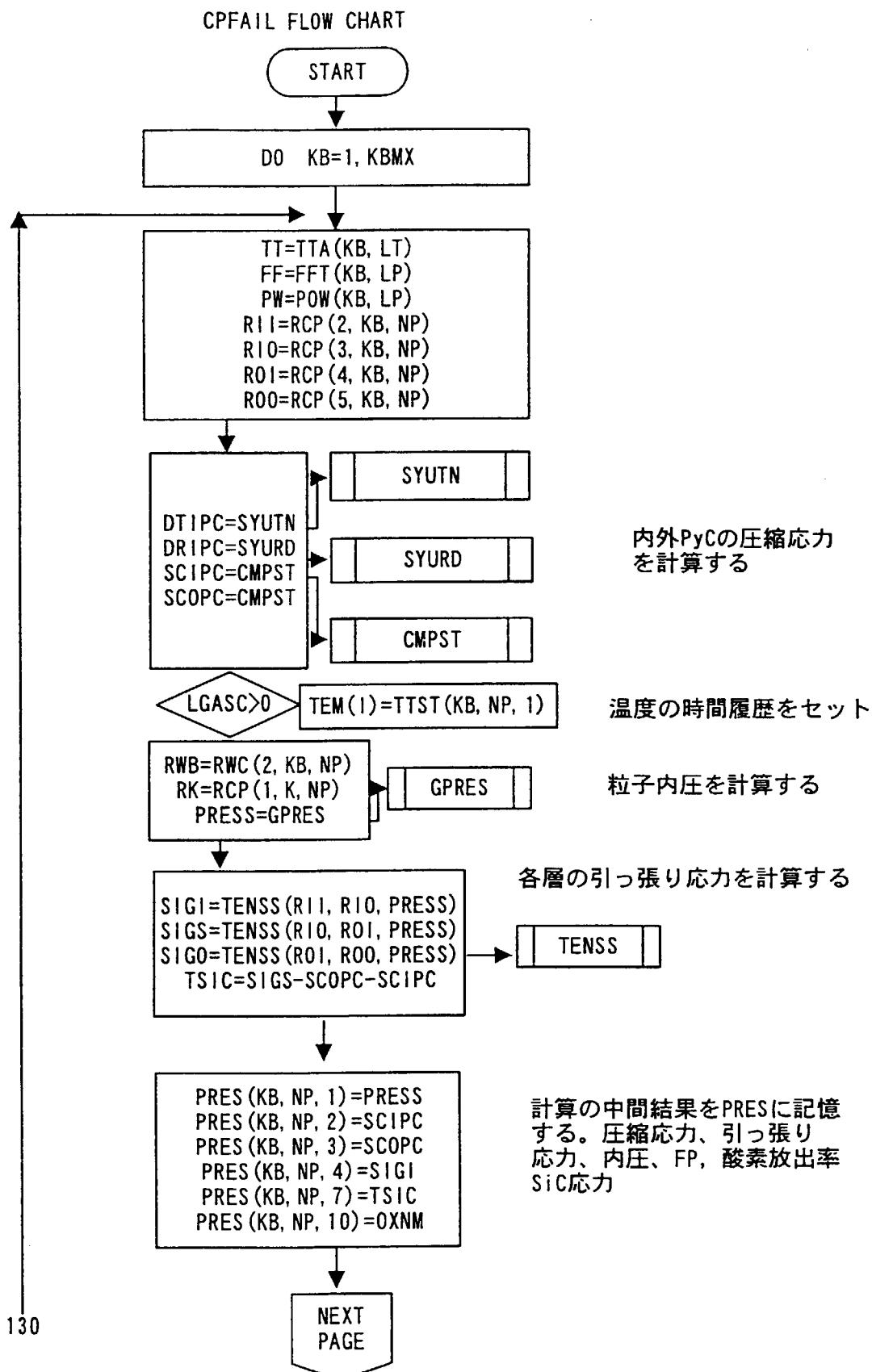


Fig. 3.1 Flow Chart of the FIGHT Code (cont.)

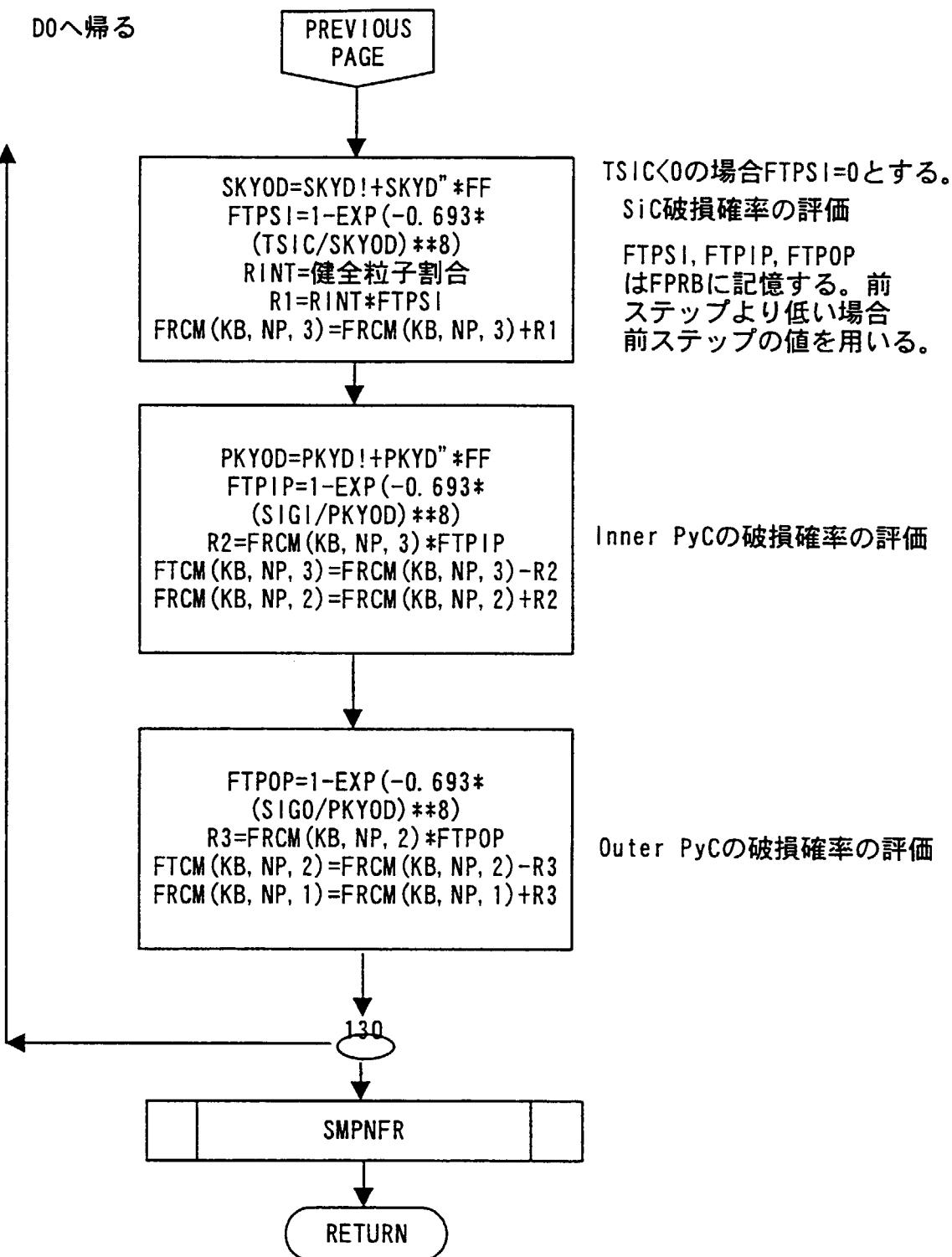


Fig. 3.1 Flow Chart of the FIGHT Code (cont.)

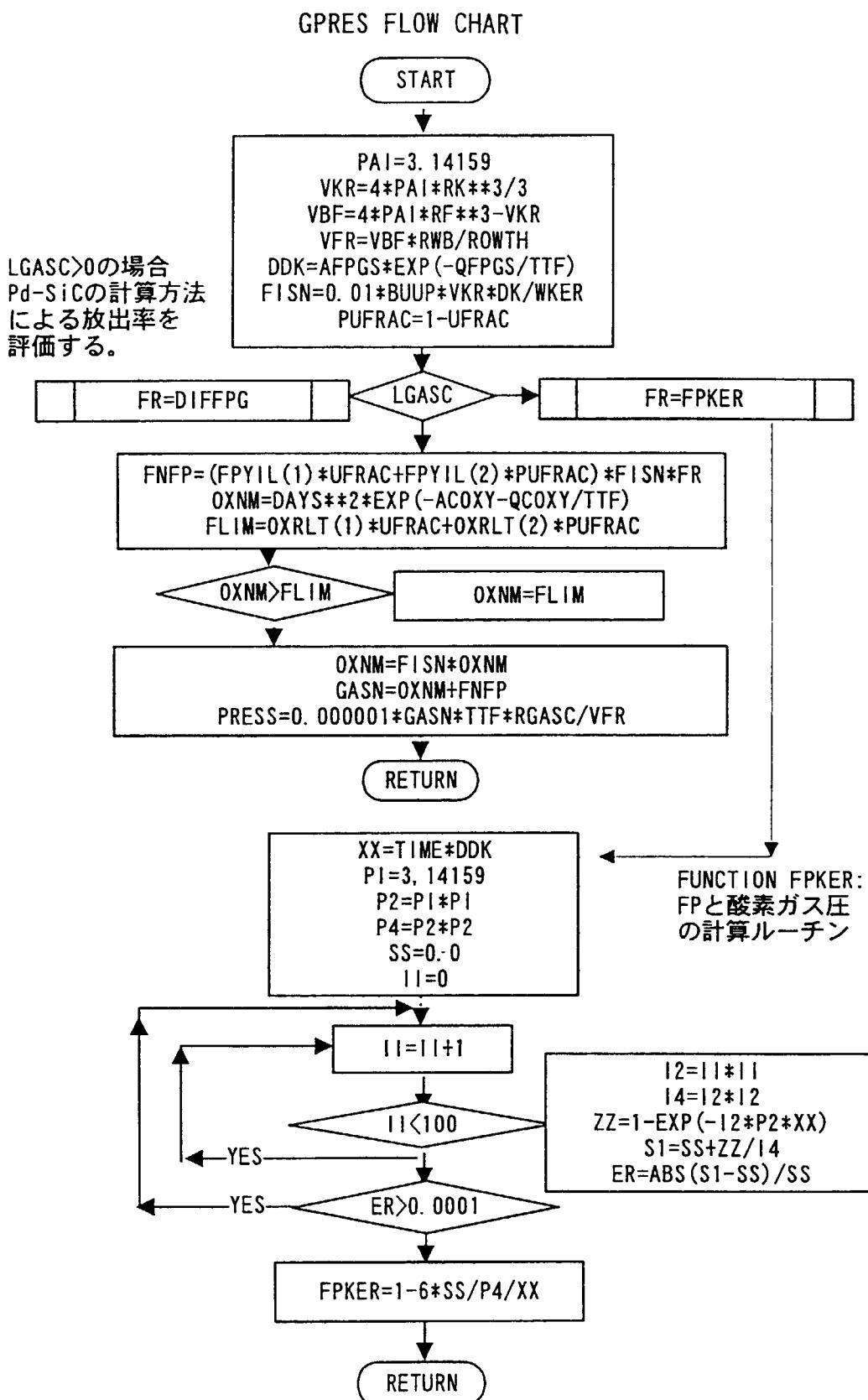


Fig. 3.1 Flow Chart of the FIGHT Code (cont.)

SMPNFR FLOW CHART

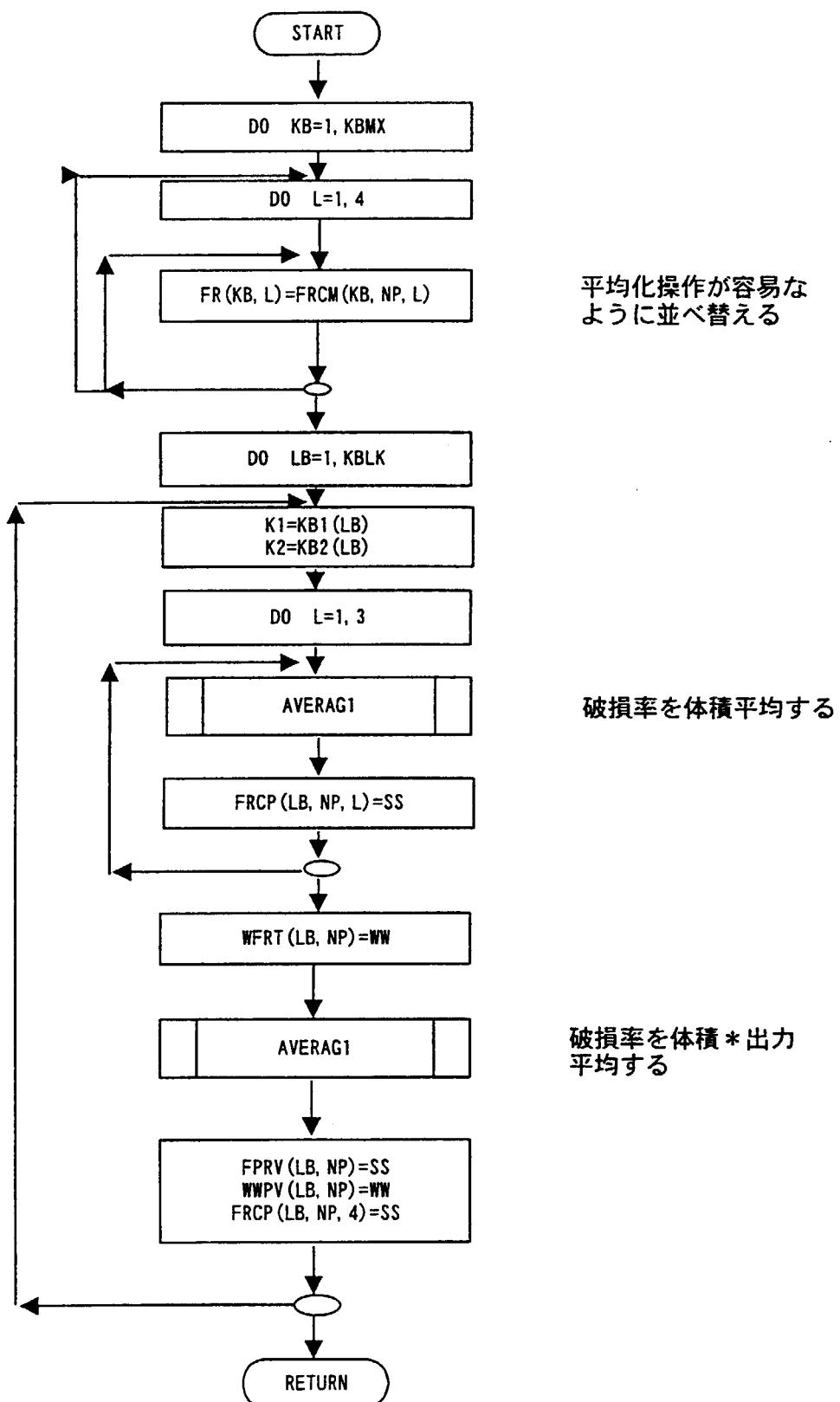


Fig. 3.1 Flow Chart of the FIGHT Code (cont.)

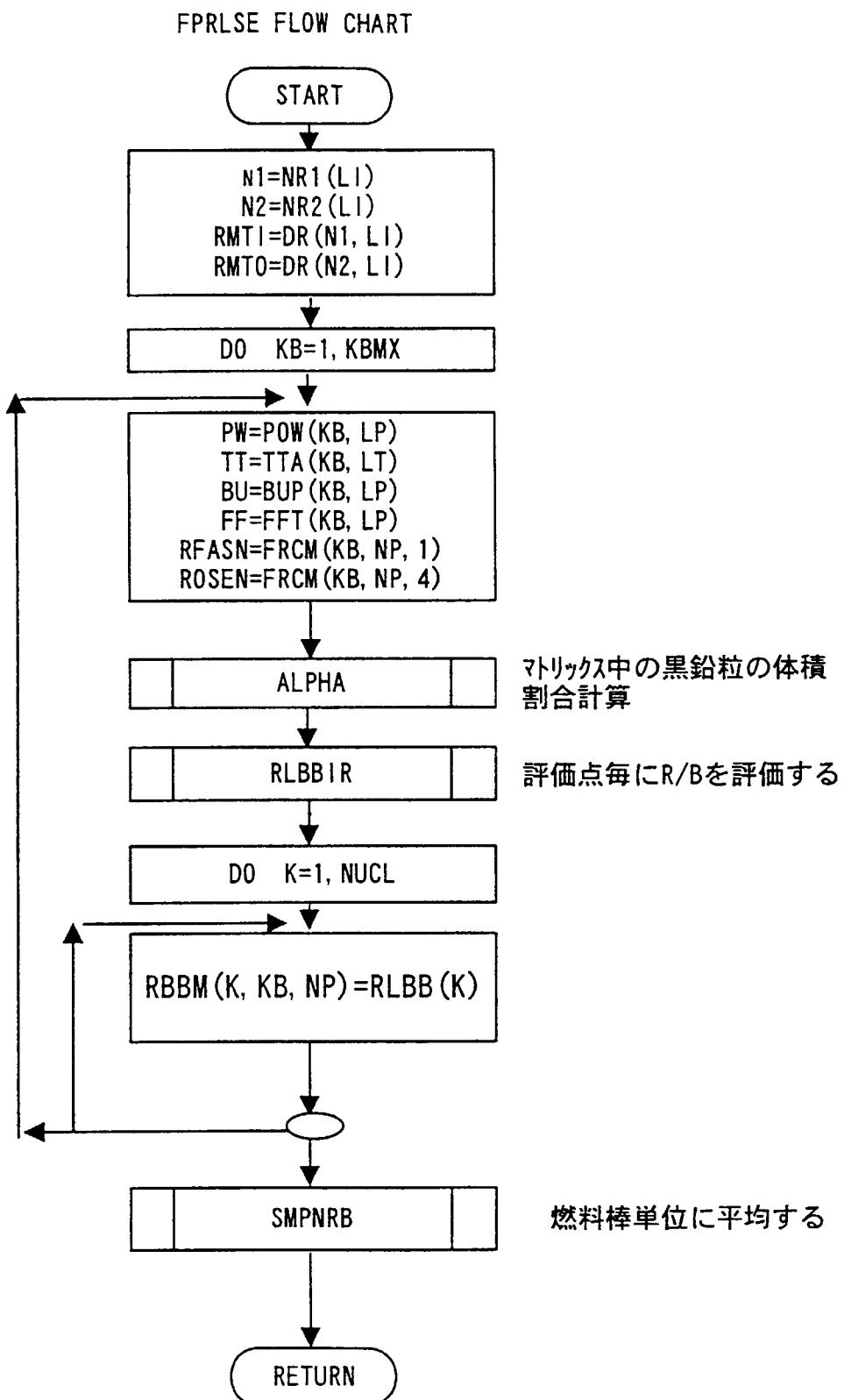


Fig. 3.1 Flow Chart of the FIGHT Code (cont.)

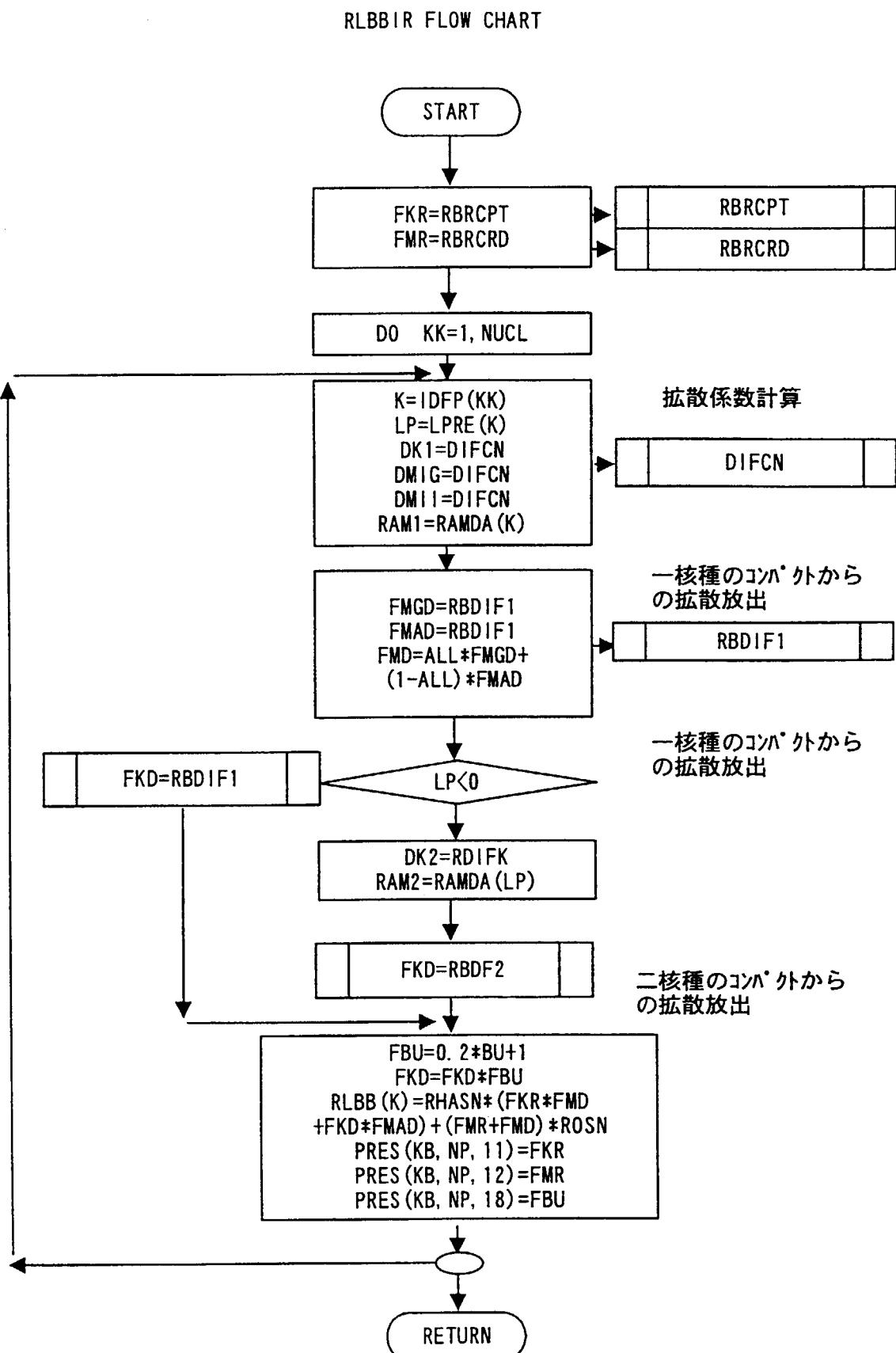


Fig. 3.1 Flow Chart of the FIGHT Code (cont.)

SMPNRB FLOW CHART

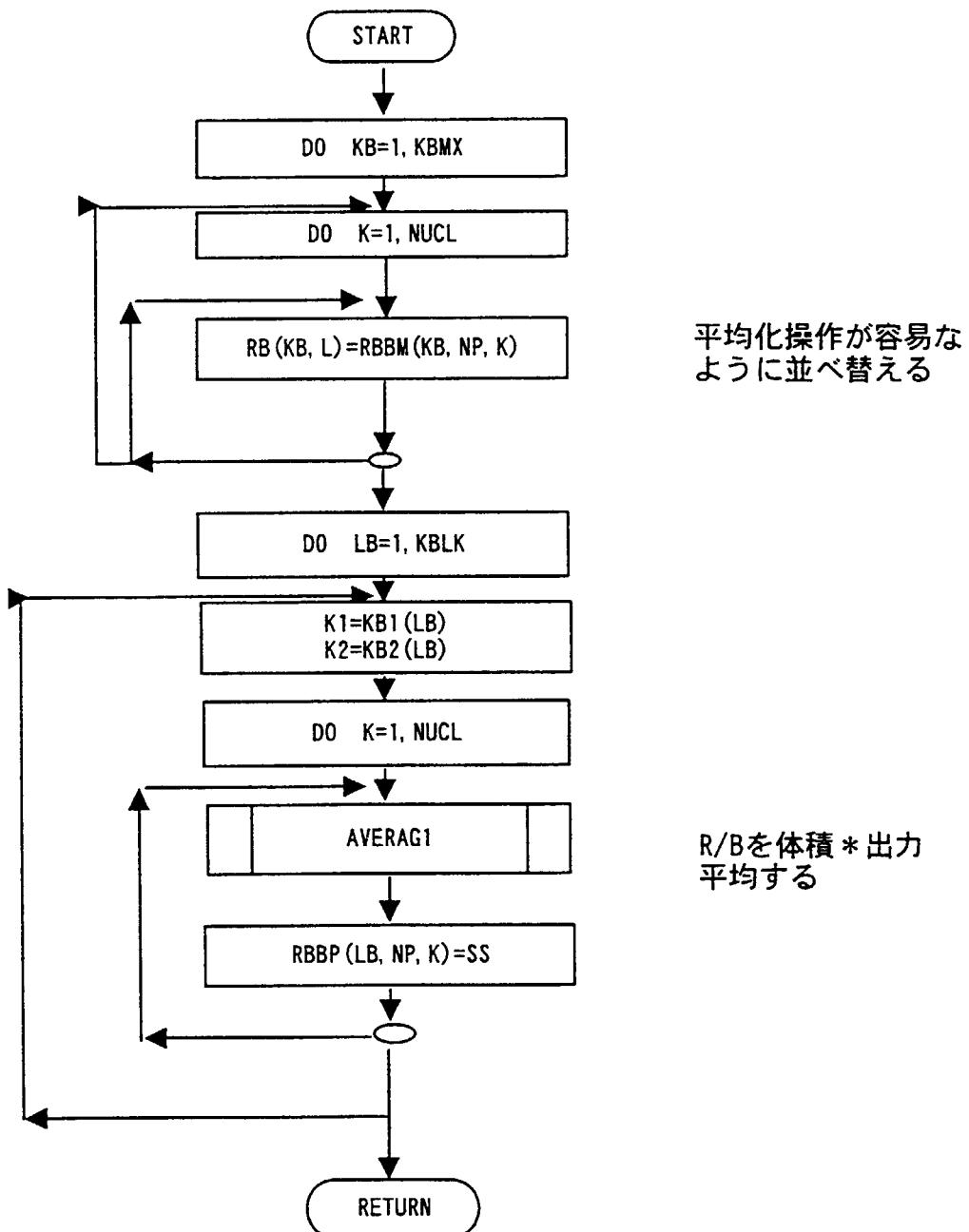


Fig. 3.1 Flow Chart of the FIGHT Code (cont.)

CONCRG FLOW CHART

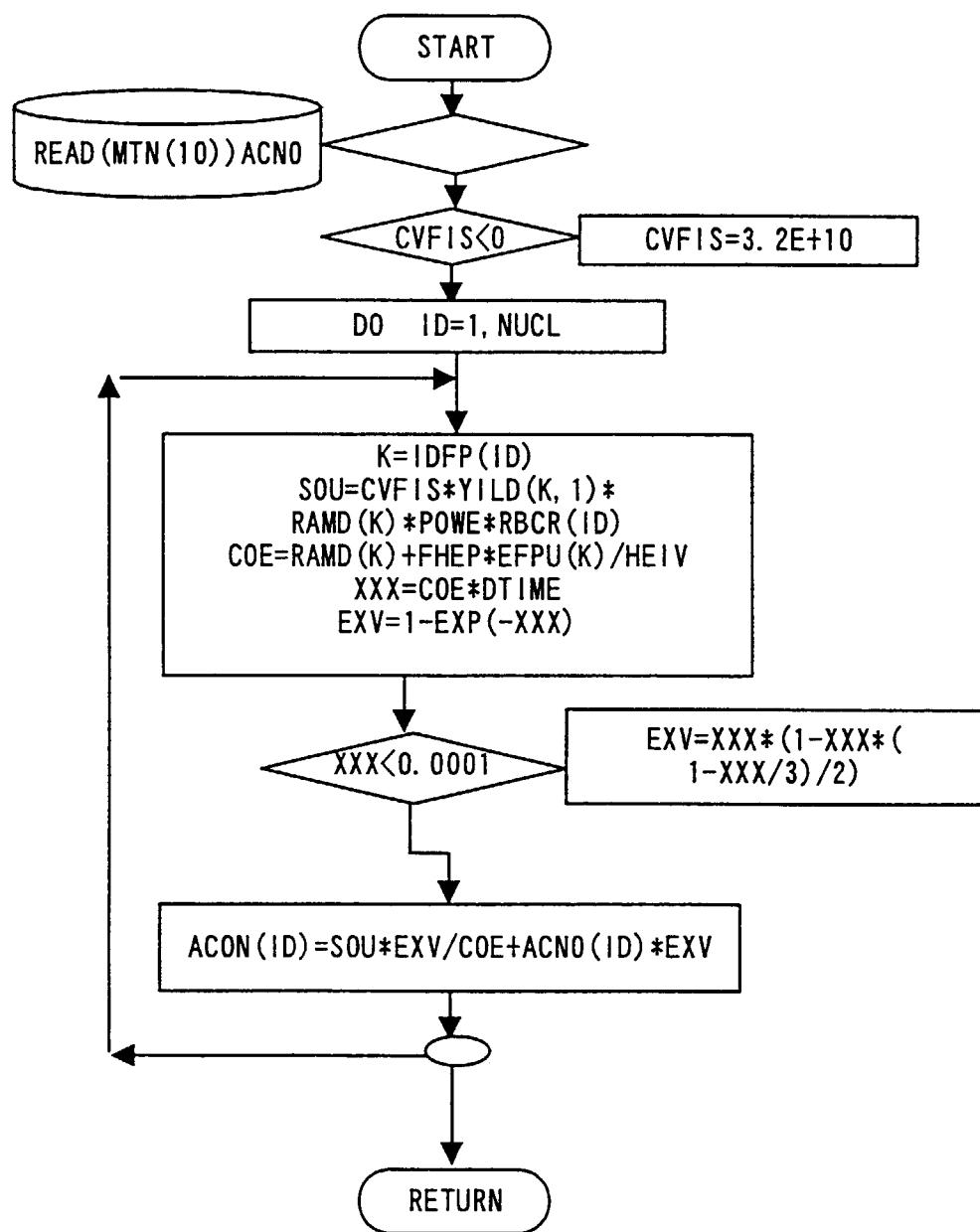


Fig. 3.1 Flow Chart of the FIGHT Code (cont.)

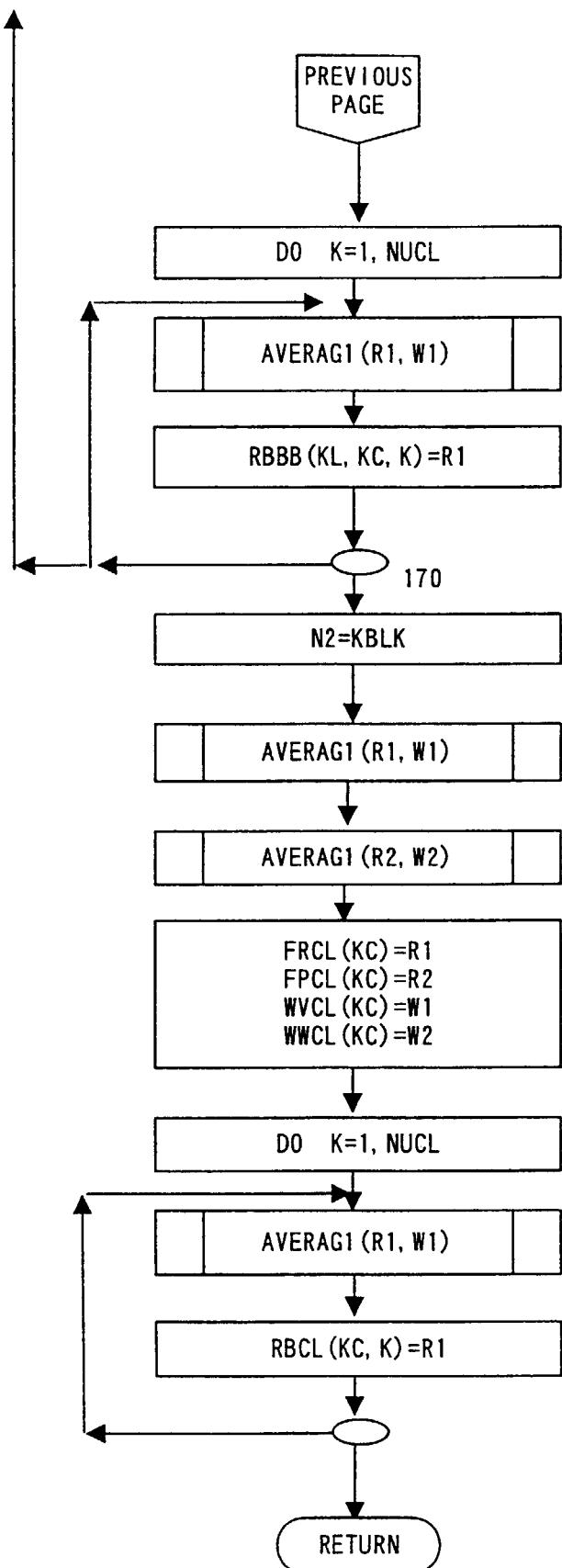


Fig. 3.1 Flow Chart of the FIGHT Code (cont.)

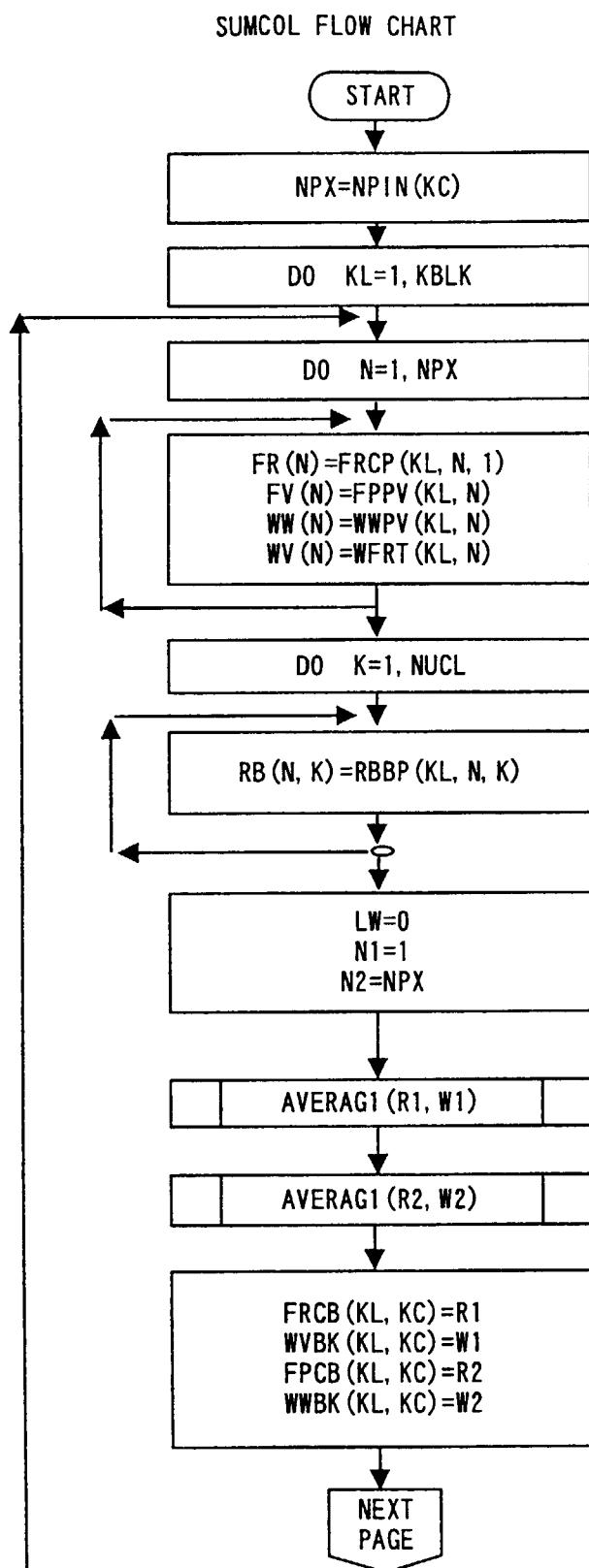


Fig. 3.1 Flow Chart of the FIGHT Code (cont.)

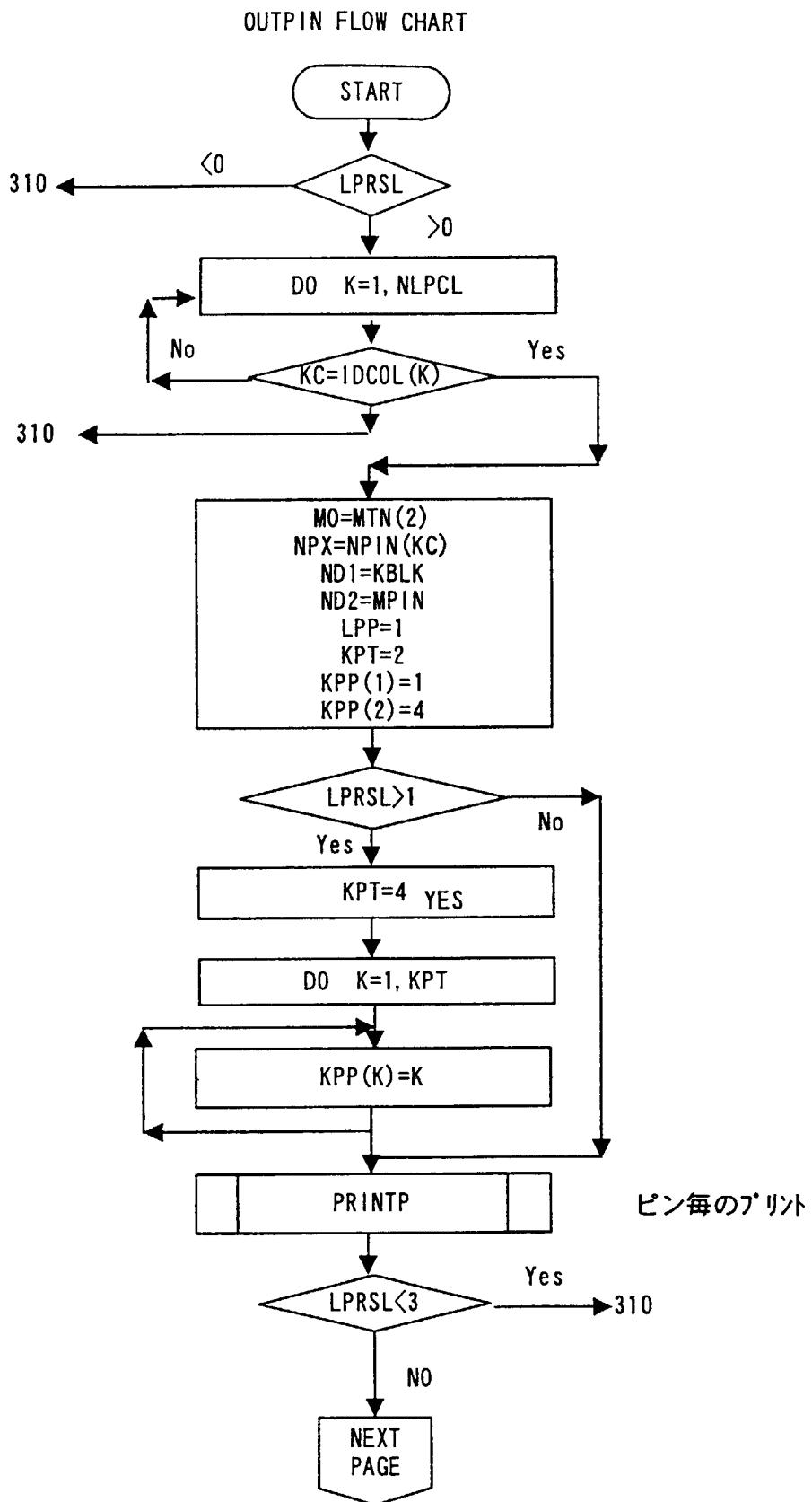


Fig. 3.1 Flow Chart of the FIGHT Code (cont.)

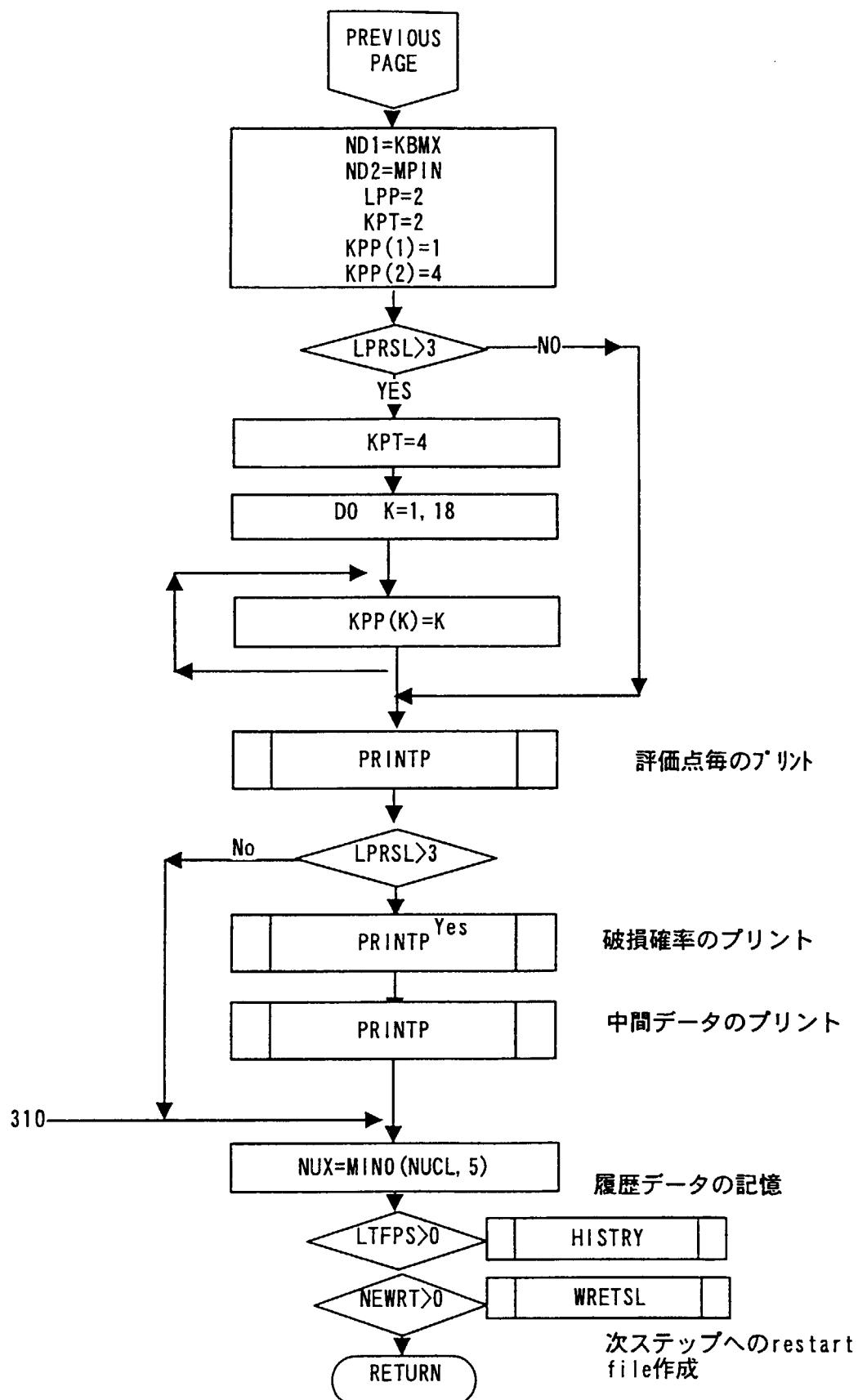


Fig. 3.1 Flow Chart of the FIGHT Code (cont.)

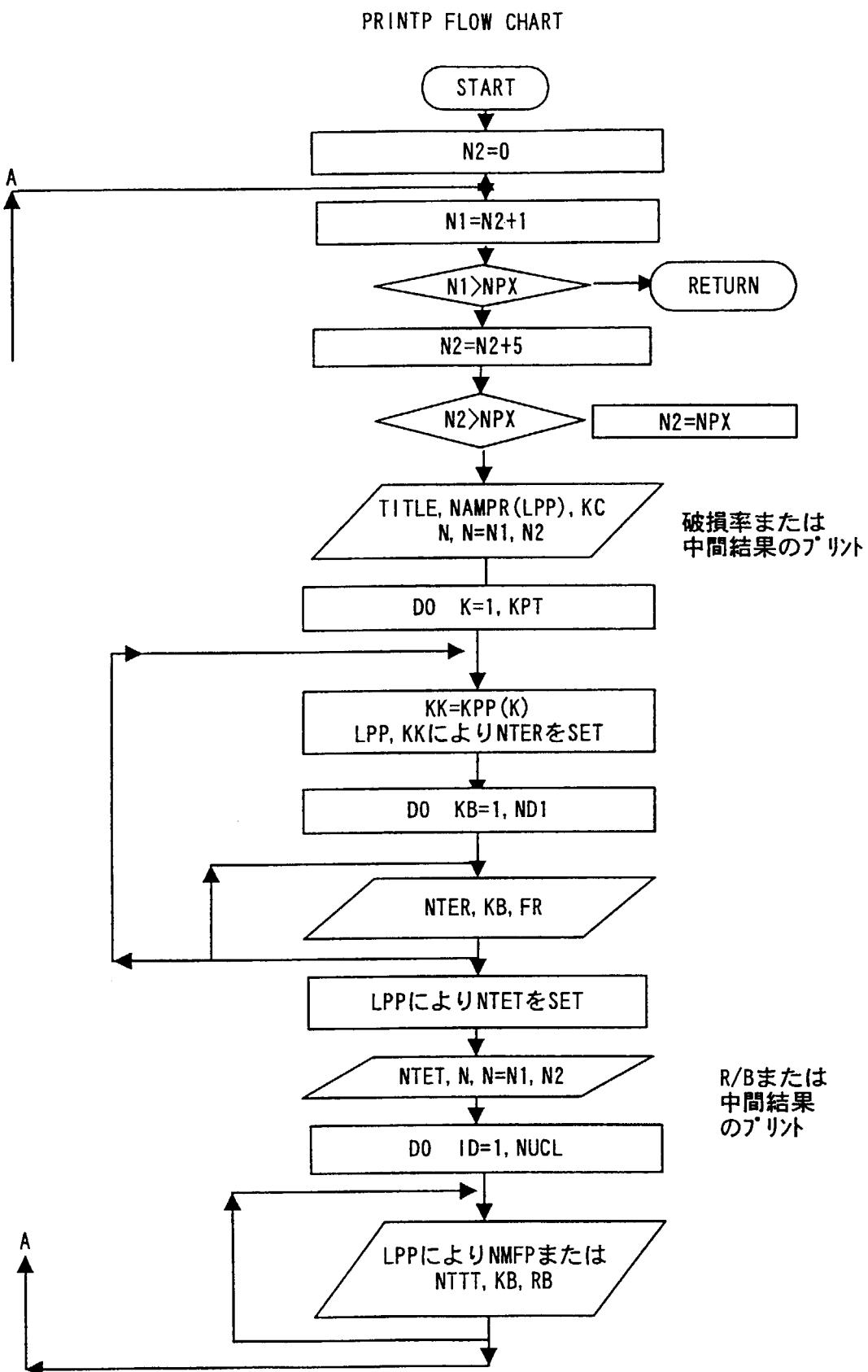


Fig. 3.1 Flow Chart of the FIGHT Code (cont.)

4. 解析例

4.1 テストラン

テ스트ランは参考文献（10）中の一点解析モデルの再現を確認することで行った。計算条件は以下のとおりである。

・粒子温度	1300°C
・出力	5 mW/粒子
・高速中性子照射量	$2.6 \times 10^{17} \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$
・燃料核直径	600 μm
・バッファ層厚さ	60 μm
・IPyC 層厚さ	30 μm
・SiC 層厚さ	25 μm
・O-PyC 層厚さ	45 μm

参考文献（10）では時間ステップを 55 日毎として計算を実施しているが、本プログラムの計算は 1 ステップ 660 日計算と 330 日毎 2 回の restart 計算の両方を実施した。計算結果を Fig. 4.1 に示す。計算結果の比較は、高速中性子照射量の関数として表した SiC 層応力を比較することで行った。ここで、正の値が引張応力を、負の値が圧縮応力を示している。

図中の点線が参考文献（10）の計算結果で、本プログラムの結果は実線で示した。実線の計算では、燃料核からの安定希ガスの放出率は（24）式を用いて計算し、遊離酸素原子数を制限した。安定希ガスの放出率を簡易式（18）で求めた場合、結果は○で示すようになり、応力値はほとんど変わらない。遊離酸素原子数を制限しない場合は、結果は●となる。参考文献（10）と本プログラムの結果の違いは、遊離酸素原子数の評価モデルの違いによるものである。

4.2 HTTR 出力上昇試験の解析

HTTR の 1、30、50、90%出力時を対象とした出力上昇試験中の燃料破損率、希ガス放出率及び 1 次冷却材中の希ガス濃度の解析を行った。燃料温度は HTTR 設計での基準炉心運転パターン 10 日の結果に基づいて出力 0% の時に 200°C として評価設定した。燃料温度は燃料コンパクト内径方向の体積平均値であり、炉心全体を 4 燃料棒で代表させ、軸方向には 5 段ブロック、かつ各ブロック内燃料棒は 4 評価点とした。平均出力分布は同じく

10日の出力分布に出力割合を乗じて設定した。高速中性子束データは、燃焼末期（660日）の高速中性子照射量を基に設定した。入力した照射条件を **Tables 4.1～4.3** に、燃料温度分布を **Figs. 4.2～4.5** に示す。被覆燃料粒子の初期破損率としては、平均と F 分布による 95%信頼度の上下限を用いた⁽²²⁾。貫通破損率評価にあたっては、汚染ウラン率は平均値を採用し、露出ウラン率との差を当該信頼限界の貫通破損率とした。初期破損率の入力データを **Table 4.4** に示す。粒子形状は 4.1 節に示したものと同じである。出力上昇試験中の特性は高速中性子照射量、燃焼度への依存はほとんどないことから、試験にかかる時間設定は 10 日とした。

結果を **Table 4.5** に示す。また、出力の変化に伴う Kr-88 の放出率 (R/B) 値の変化を **Fig. 4.6** に示す。

4.3 HTTR 定格運転時の評価

燃焼 55、110、220、275、330、440、550、660EFPD における定格運転中の炉心平均の燃料破損率、希ガス放出率及び 1 次冷却材中の希ガス濃度を評価した。運転パターンは、出口冷却材温度は 0-220 日は 850°C、220-330 日は 950°C、残り 660 日までは 850°C とした。入力データを **Tables 4.6** 及び **4.7** に示す。また、燃料温度分布を **Figs 4.7～4.9** に示す。

評価結果を **Table 4.8** に示す。また、運転に伴う貫通破損率及び Kr-88 の放出率 (R/B) 値の変化を **Fig. 4.10** に示す。

Table 4.1 Fuel temperature distribution during startup test.

軸方向位置		90%出力				50%出力			
段	点No.	領域1	領域2	領域3	領域4	領域1	領域2	領域3	領域4
1	1	522	521	547	538	379	379	393	388
	2	595	594	619	611	419	419	433	428
	3	722	721	746	738	490	490	504	499
	4	829	828	853	845	549	549	563	558
2	5	840	839	864	856	555	555	569	564
	6	903	902	928	920	591	590	604	600
	7	955	954	979	971	619	619	633	628
	8	996	995	1020	1012	642	642	656	651
3	9	977	976	1002	993	632	631	645	641
	10	999	998	1023	1015	644	643	657	653
	11	1015	1014	1039	1031	653	652	666	662
4	12	1027	1026	1051	1043	659	659	673	668
	13	984	983	1009	1001	636	635	649	645
	14	991	990	1015	1007	639	639	653	648
5	15	995	994	1020	1012	642	641	655	651
	16	997	996	1022	1013	643	642	656	652
	17	997	996	1022	1013	643	642	656	652
	18	1001	1000	1025	1017	645	645	659	654
6	19	999	998	1023	1015	644	643	657	653
	20	1005	1004	1029	1021	647	647	661	656
軸方向位置		30%出力				1%出力			
段	点No.	領域1	領域2	領域3	領域4	領域1	領域2	領域3	領域4
1	1	307	307	316	313	204	204	204	204
	2	332	331	340	337	204	204	205	205
	3	374	374	382	379	206	206	206	206
	4	410	409	418	415	207	207	207	207
2	5	413	413	421	419	207	207	207	207
	6	434	434	443	440	208	208	208	208
	7	452	451	460	457	208	208	209	209
	8	465	465	473	471	209	209	209	209
3	9	459	459	467	464	209	209	209	209
	10	466	466	474	472	209	209	209	209
	11	472	471	480	477	209	209	209	209
4	12	476	475	484	481	209	209	209	209
	13	461	461	470	467	209	209	209	209
	14	464	463	472	469	209	209	209	209
5	15	465	465	473	471	209	209	209	209
	16	466	465	474	471	209	209	209	209
	17	466	465	474	471	209	209	209	209
	18	467	467	475	472	209	209	209	209
6	19	466	466	474	472	209	209	209	209
	20	468	468	476	474	209	209	209	209

Table 4.2 Fast neutron flux distribution during startup test.

軸方向位置		90%出力				50%出力			
段	点No.	領域1	領域2	領域3	領域4	領域1	領域2	領域3	領域4
1	1	1.3E+17	1.3E+17	1.2E+17	1.0E+17	7.3E+16	7.5E+16	6.4E+16	5.8E+16
	2	1.3E+17	1.3E+17	1.2E+17	1.0E+17	7.3E+16	7.5E+16	6.4E+16	5.8E+16
	3	1.9E+17	1.9E+17	1.6E+17	1.5E+17	1.1E+17	1.1E+17	8.8E+16	8.1E+16
	4	1.9E+17	1.9E+17	1.6E+17	1.5E+17	1.1E+17	1.1E+17	8.8E+16	8.1E+16
2	5	2.1E+17	2.1E+17	1.7E+17	1.5E+17	1.1E+17	1.1E+17	9.6E+16	8.3E+16
	6	2.1E+17	2.1E+17	1.7E+17	1.5E+17	1.1E+17	1.1E+17	9.6E+16	8.3E+16
	7	2.1E+17	2.1E+17	1.6E+17	1.5E+17	1.1E+17	1.1E+17	8.8E+16	8.2E+16
	8	2.1E+17	2.1E+17	1.6E+17	1.5E+17	1.1E+17	1.1E+17	8.8E+16	8.2E+16
3	9	1.6E+17	1.6E+17	1.4E+17	1.2E+17	8.8E+16	8.8E+16	7.8E+16	6.9E+16
	10	1.6E+17	1.6E+17	1.4E+17	1.2E+17	8.8E+16	8.8E+16	7.8E+16	6.9E+16
	11	1.4E+17	1.4E+17	1.2E+17	1.1E+17	7.5E+16	7.8E+16	6.7E+16	6.0E+16
	12	1.4E+17	1.4E+17	1.2E+17	1.1E+17	7.5E+16	7.8E+16	6.7E+16	6.0E+16
4	13	1.0E+17	1.0E+17	8.8E+16	7.9E+16	5.7E+16	5.8E+16	4.9E+16	4.4E+16
	14	1.0E+17	1.0E+17	8.8E+16	7.9E+16	5.7E+16	5.8E+16	4.9E+16	4.4E+16
	15	8.0E+16	8.2E+16	6.9E+16	6.3E+16	4.5E+16	4.6E+16	3.9E+16	3.5E+16
	16	8.0E+16	8.2E+16	6.9E+16	6.3E+16	4.5E+16	4.6E+16	3.9E+16	3.5E+16
5	17	6.3E+16	6.3E+16	5.4E+16	4.9E+16	3.5E+16	3.5E+16	3.0E+16	2.7E+16
	18	6.3E+16	6.3E+16	5.4E+16	4.9E+16	3.5E+16	3.5E+16	3.0E+16	2.7E+16
	19	4.4E+16	4.4E+16	3.8E+16	3.5E+16	2.5E+16	2.5E+16	2.1E+16	1.9E+16
	20	4.4E+16	4.4E+16	3.8E+16	3.5E+16	2.5E+16	2.5E+16	2.1E+16	1.9E+16
軸方向位置		30%出力				1%出力			
段	点No.	領域1	領域2	領域3	領域4	領域1	領域2	領域3	領域4
1	1	4.4E+16	4.5E+16	3.8E+16	3.5E+16	1.5E+15	1.5E+15	1.3E+15	1.2E+15
	2	4.4E+16	4.5E+16	3.8E+16	3.5E+16	1.5E+15	1.5E+15	1.3E+15	1.2E+15
	3	6.3E+16	6.3E+16	5.3E+16	4.8E+16	2.1E+15	2.1E+15	1.8E+15	1.6E+15
	4	6.3E+16	6.3E+16	5.3E+16	4.8E+16	2.1E+15	2.1E+15	1.8E+15	1.6E+15
2	5	6.8E+16	6.8E+16	5.8E+16	5.0E+16	2.3E+15	2.3E+15	1.9E+15	1.7E+15
	6	6.8E+16	6.8E+16	5.8E+16	5.0E+16	2.3E+15	2.3E+15	1.9E+15	1.7E+15
	7	6.8E+16	6.8E+16	5.3E+16	4.9E+16	2.3E+15	2.3E+15	1.8E+15	1.6E+15
	8	6.8E+16	6.8E+16	5.3E+16	4.9E+16	2.3E+15	2.3E+15	1.8E+15	1.6E+15
3	9	5.3E+16	5.3E+16	4.7E+16	4.2E+16	1.8E+15	1.8E+15	1.6E+15	1.4E+15
	10	5.3E+16	5.3E+16	4.7E+16	4.2E+16	1.8E+15	1.8E+15	1.6E+15	1.4E+15
	11	4.5E+16	4.7E+16	4.0E+16	3.6E+16	1.5E+15	1.6E+15	1.3E+15	1.2E+15
	12	4.5E+16	4.7E+16	4.0E+16	3.6E+16	1.5E+15	1.6E+15	1.3E+15	1.2E+15
4	13	3.4E+16	3.5E+16	2.9E+16	2.6E+16	1.1E+15	1.2E+15	9.8E+14	8.8E+14
	14	3.4E+16	3.5E+16	2.9E+16	2.6E+16	1.1E+15	1.2E+15	9.8E+14	8.8E+14
	15	2.7E+16	2.7E+16	2.3E+16	2.1E+16	8.9E+14	9.1E+14	7.7E+14	7.0E+14
	16	2.7E+16	2.7E+16	2.3E+16	2.1E+16	8.9E+14	9.1E+14	7.7E+14	7.0E+14
5	17	2.1E+16	2.1E+16	1.8E+16	1.6E+16	7.0E+14	7.0E+14	6.0E+14	5.4E+14
	18	2.1E+16	2.1E+16	1.8E+16	1.6E+16	7.0E+14	7.0E+14	6.0E+14	5.4E+14
	19	1.5E+16	1.5E+16	1.3E+16	1.2E+16	4.9E+14	4.9E+14	4.2E+14	3.9E+14
	20	1.5E+16	1.5E+16	1.3E+16	1.2E+16	4.9E+14	4.9E+14	4.2E+14	3.9E+14

Table 4.3 Power density distribution during startup test.

軸方向位置		90%出力				50%出力			
段	点No.	領域1	領域2	領域3	領域4	領域1	領域2	領域3	領域4
1	1	2.817	2.889	2.874	2.951	1.565	1.605	1.597	1.639
	2	2.817	2.889	2.874	2.951	1.565	1.605	1.597	1.639
	3	4.284	4.392	4.369	4.273	2.380	2.440	2.427	2.374
	4	4.284	4.392	4.369	4.273	2.380	2.440	2.427	2.374
2	5	4.194	4.428	4.292	4.302	2.330	2.460	2.385	2.390
	6	4.194	4.428	4.292	4.302	2.330	2.460	2.385	2.390
	7	4.329	4.563	4.445	4.445	2.405	2.535	2.470	2.470
	8	4.329	4.563	4.445	4.445	2.405	2.535	2.470	2.470
3	9	3.420	3.627	3.526	3.478	1.900	2.015	1.959	1.932
	10	3.420	3.627	3.526	3.478	1.900	2.015	1.959	1.932
	11	2.988	3.177	3.095	3.056	1.660	1.765	1.719	1.698
	12	2.988	3.177	3.095	3.056	1.660	1.765	1.719	1.698
4	13	2.007	2.070	1.974	2.022	1.115	1.150	1.096	1.123
	14	2.007	2.070	1.974	2.022	1.115	1.150	1.096	1.123
	15	1.602	1.647	1.581	1.610	0.890	0.915	0.878	0.894
	16	1.602	1.647	1.581	1.610	0.890	0.915	0.878	0.894
5	17	1.233	1.269	1.217	1.236	0.685	0.705	0.676	0.687
	18	1.233	1.269	1.217	1.236	0.685	0.705	0.676	0.687
	19	0.981	1.008	0.948	0.958	0.545	0.560	0.527	0.532
	20	0.981	1.008	0.948	0.958	0.545	0.560	0.527	0.532
軸方向位置		30%出力				1%出力			
段	点No.	領域1	領域2	領域3	領域4	領域1	領域2	領域3	領域4
1	1	0.939	0.963	0.958	0.984	0.031	0.032	0.032	0.033
	2	0.939	0.963	0.958	0.984	0.031	0.032	0.032	0.033
	3	1.428	1.464	1.456	1.424	0.048	0.049	0.049	0.047
	4	1.428	1.464	1.456	1.424	0.048	0.049	0.049	0.047
2	5	1.398	1.476	1.431	1.434	0.047	0.049	0.048	0.048
	6	1.398	1.476	1.431	1.434	0.047	0.049	0.048	0.048
	7	1.443	1.521	1.482	1.482	0.048	0.051	0.049	0.049
	8	1.443	1.521	1.482	1.482	0.048	0.051	0.049	0.049
3	9	1.140	1.209	1.175	1.159	0.038	0.040	0.039	0.039
	10	1.140	1.209	1.175	1.159	0.038	0.040	0.039	0.039
	11	0.996	1.059	1.032	1.019	0.033	0.035	0.034	0.034
	12	0.996	1.059	1.032	1.019	0.033	0.035	0.034	0.034
4	13	0.669	0.690	0.658	0.674	0.022	0.023	0.022	0.022
	14	0.669	0.690	0.658	0.674	0.022	0.023	0.022	0.022
	15	0.534	0.549	0.527	0.537	0.018	0.018	0.018	0.018
	16	0.534	0.549	0.527	0.537	0.018	0.018	0.018	0.018
5	17	0.411	0.423	0.406	0.412	0.014	0.014	0.014	0.014
	18	0.411	0.423	0.406	0.412	0.014	0.014	0.014	0.014
	19	0.327	0.336	0.316	0.319	0.011	0.011	0.011	0.011
	20	0.327	0.336	0.316	0.319	0.011	0.011	0.011	0.011

Table 4.4 Fuel failure fractions for calculation.

段	汚染ウラン率 領域1	SIC破損率				領域4	貫通破損率 領域1	領域2	領域3	領域4
		領域2	領域3	領域4	領域1					
平均値	1	2.85E-06	1.61E-06	2.51E-06	2.80E-06	9.15E-05	8.57E-05	1.11E-04	2.12E-04	3.05E-06
	2	2.47E-06	2.57E-06	2.34E-06	1.61E-06	6.01E-05	1.02E-04	5.08E-05	8.57E-05	1.94E-06
	3	2.34E-06	2.47E-06	2.38E-06	2.57E-06	3.43E-05	6.01E-05	2.65E-05	1.02E-04	7.80E-07
	4	2.87E-06	2.06E-06	2.34E-06	3.29E-06	9.93E-05	8.24E-05	3.43E-05	7.18E-05	3.81E-06
	5	2.87E-06	2.06E-06	2.34E-06	3.29E-06	9.93E-05	8.24E-05	3.43E-05	7.18E-05	3.81E-06
95%上限値	1	2.85E-06	1.61E-06	2.51E-06	2.80E-06	1.32E-04	1.11E-04	1.34E-04	2.55E-04	1.51E-05
	2	2.47E-06	2.57E-06	2.34E-06	1.61E-06	8.50E-05	1.26E-04	7.45E-05	1.11E-04	8.23E-06
	3	2.34E-06	2.47E-06	2.38E-06	2.57E-06	4.63E-05	8.50E-05	4.55E-05	1.26E-04	2.13E-06
	4	2.87E-06	2.06E-06	2.34E-06	3.29E-06	1.23E-04	1.11E-04	4.63E-05	1.03E-04	9.73E-06
	5	2.87E-06	2.06E-06	2.34E-06	3.29E-06	1.23E-04	1.11E-04	4.63E-05	1.03E-04	9.73E-06
95%下限値	1	2.85E-06	1.61E-06	2.51E-06	2.80E-06	7.12E-05	7.12E-05	1.02E-04	1.83E-04	0.00E+00
	2	2.47E-06	2.57E-06	2.34E-06	1.61E-06	4.68E-05	8.76E-05	3.97E-05	7.12E-05	0.00E+00
	3	2.34E-06	2.47E-06	2.38E-06	2.57E-06	2.97E-05	4.68E-05	1.96E-05	8.76E-05	0.00E+00
	4	2.87E-06	2.06E-06	2.34E-06	3.29E-06	9.39E-06	7.74E-05	2.97E-05	6.21E-05	0.00E+00
	5	2.87E-06	2.06E-06	2.34E-06	3.29E-06	9.39E-06	7.74E-05	2.97E-05	6.21E-05	0.00E+00

Table 4.5 Calculation results of failure fraction, (R/B) and concentration
in primary coolant during startup test.

出力 (%)	被覆燃料粒子 製造時破損率	貫通破損率	炉心平均R/B		冷却材中濃度(Bq) ⁸⁸ Kr	¹³³ Xe
			⁸⁸ Kr	¹³³ Xe		
1	平均値	2.3373E-06	1.6362E-09	1.6371E-09	2.3981E+05	1.5465E+04
30	平均値	2.3373E-06	1.8009E-09	2.7281E-09	7.9172E+06	7.7313E+05
50	平均値	2.3373E-06	3.8538E-09	1.6227E-08	2.8242E+07	7.6644E+06
90	平均値	2.3373E-06	4.6833E-08	2.4576E-07	6.1777E+08	2.0894E+08
1	信頼度95%高	8.8543E-06	1.6362E-09	1.6371E-09	2.3981E+05	1.5465E+04
30	信頼度95%高	8.8548E-06	1.8081E-09	2.7780E-09	7.9530E+06	7.8728E+05
50	信頼度95%高	8.8548E-06	3.9534E-09	1.6884E-08	2.8972E+07	7.9748E+06
90	信頼度95%高	8.8548E-06	4.9133E-08	2.6694E-08	6.4812E+08	2.2695E+08
1	信頼度95%低	0.0000E+00	1.6362E-09	1.6371E-09	2.3981E+05	1.5465E+04
30	信頼度95%低	0.0000E+00	1.7972E-09	2.7057E-09	7.9024E+06	7.6678E+05
50	信頼度95%低	0.0000E+00	3.8089E-09	1.5928E-08	2.7910E+07	7.5231E+06
90	信頼度95%低	9.9276E-37	4.5776E-08	2.3570E-07	6.0384E+08	2.0039E+08

Table 4.6 Fuel temperature distribution during normal operation.

軸方向位置 段 点No.	0-220日(850°C)				220-30日(950°C)				330-660日(850°C)			
	領域1	領域2	領域3	領域4	領域1	領域2	領域3	領域4	領域1	領域2	領域3	領域4
1	558	557	585	576	584	559	552	535	806	818	840	837
	639	638	666	657	670	645	638	621	866	878	900	897
	780	779	807	798	819	794	787	770	939	951	973	970
	899	898	926	917	937	912	905	888	1014	1026	1048	1045
2	911	910	938	929	972	947	940	923	994	1006	1028	1025
	981	980	1008	999	1053	1028	1021	1004	1052	1064	1086	1083
	1039	1038	1066	1057	1118	1093	1086	1069	1087	1099	1121	1118
	1084	1083	1111	1102	1176	1151	1144	1127	1124	1136	1158	1155
3	1064	1063	1091	1082	1162	1137	1130	1113	1125	1147	1144	
	1088	1087	1115	1106	1200	1175	1168	1151	1133	1145	1167	1164
	1105	1104	1132	1123	1232	1207	1200	1183	1158	1170	1192	1189
	1119	1118	1146	1137	1262	1237	1230	1213	1170	1182	1204	1201
4	1072	1071	1099	1090	1224	1199	1192	1175	1137	1149	1171	1168
	1079	1078	1106	1097	1246	1221	1214	1197	1145	1157	1179	1176
	1084	1083	1111	1102	1256	1231	1224	1207	1157	1169	1191	1188
	1086	1085	1113	1104	1263	1238	1231	1214	1159	1171	1193	1190
5	1086	1085	1113	1104	1270	1245	1238	1221	1161	1173	1195	1192
	1090	1089	1117	1108	1275	1250	1243	1226	1163	1175	1197	1194
	1087	1086	1114	1105	1277	1252	1245	1228	1163	1175	1197	1194
	1094	1093	1121	1112	1292	1267	1260	1243	1168	1180	1202	1199
20												

Table 4.7 Fast neutron fluence and power density distribution during normal operation.

高速中性子照射[at EOL (660EFPD)]					出力分布 段数	0-220EFP (850°C)			
領域1		領域2		領域3		領域4			
1	0.83	0.85	0.73	0.66	1	3.13	3.21	3.00	3.08
	1.20	1.20	1.00	0.92	2	4.76	4.88	4.56	4.46
2	1.30	1.30	1.10	0.95		4.66	4.92	4.48	4.49
	1.30	1.30	1.00	0.94		4.81	5.07	4.64	4.64
3	1.00	1.00	0.89	0.79	3	3.80	4.03	3.68	3.63
	0.86	0.89	0.76	0.68		3.32	3.53	3.23	3.19
4	0.65	0.66	0.56	0.50	4	2.23	2.30	2.06	2.11
	0.51	0.52	0.44	0.40		1.78	1.83	1.65	1.68
5	0.40	0.40	0.34	0.31	5	1.37	1.41	1.27	1.29
	0.28	0.28	0.24	0.22		1.09	1.12	0.99	1.00

$\times 10^{25} \text{n}_{\text{th}}^{-2}$

出力分布 領域1 220-330E (950°C)					出力分布 段数	330-660E (850°C)			
領域1		領域2		領域3		領域4			
1	2.76	2.82	2.63	2.71	1	4.53	4.70	4.36	4.19
	4.20	4.28	4.00	3.94	2	4.75	4.92	4.63	4.52
2	4.29	4.45	4.03	4.05		4.15	4.43	4.09	4.09
	4.59	4.76	4.31	4.33		4.17	4.42	4.06	4.03
3	3.87	4.01	3.60	3.55	3	3.63	3.77	3.36	3.23
	3.61	3.74	3.36	3.31		3.38	3.49	3.08	2.96
4	2.73	2.73	2.39	2.41	4	2.69	2.63	2.21	2.21
	2.31	2.31	2.02	2.03		2.32	2.26	1.90	1.91
5	1.85	1.85	1.62	1.63	5	1.87	1.82	1.54	1.56
	1.52	1.52	1.30	1.30		1.52	1.49	1.25	1.26

(W/cm³)

Table 4.8 Calculation results of failure fraction, (R/B) and concentration
in primary coolant during normal operation.

運転 日数	原子炉出口 He温度 (°C)	貫通破損率	炉心平均R/B		冷却材中濃度(Bq) ^{133}Xe	
			^{88}Kr	^{133}Xe	^{88}Kr	^{133}Xe
55	850	2.3373E-06	7.6011E-08	3.4981E-07	1.1141E+09	3.3045E+08
110	850	2.3373E-06	7.6194E-08	3.5118E-07	1.1168E+09	3.3174E+08
220	850	2.3373E-06	7.6545E-08	3.5385E-07	1.1219E+09	3.3427E+08
275	950	2.3484E-06	1.1789E-07	4.6047E-07	1.7279E+09	4.3498E+08
330	950	2.3558E-06	1.1959E-07	4.6800E-07	1.7528E+09	4.4210E+08
440	850	2.3828E-06	1.1610E-07	4.9147E-07	1.7016E+09	4.6427E+08
550	850	2.3998E-06	1.1616E-07	4.9465E-07	1.7026E+09	4.6728E+08
660	850	2.4499E-06	1.1649E-07	5.0043E-07	1.7073E+09	4.7274E+08

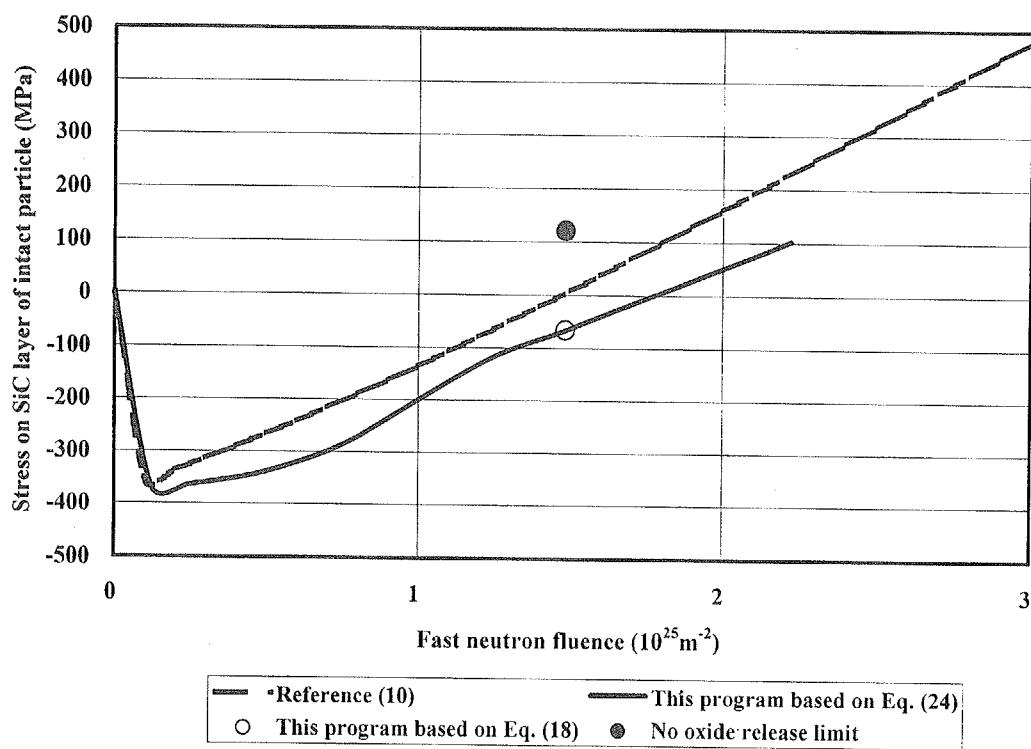


Fig. 4.1 Calculated stress on SiC layer.

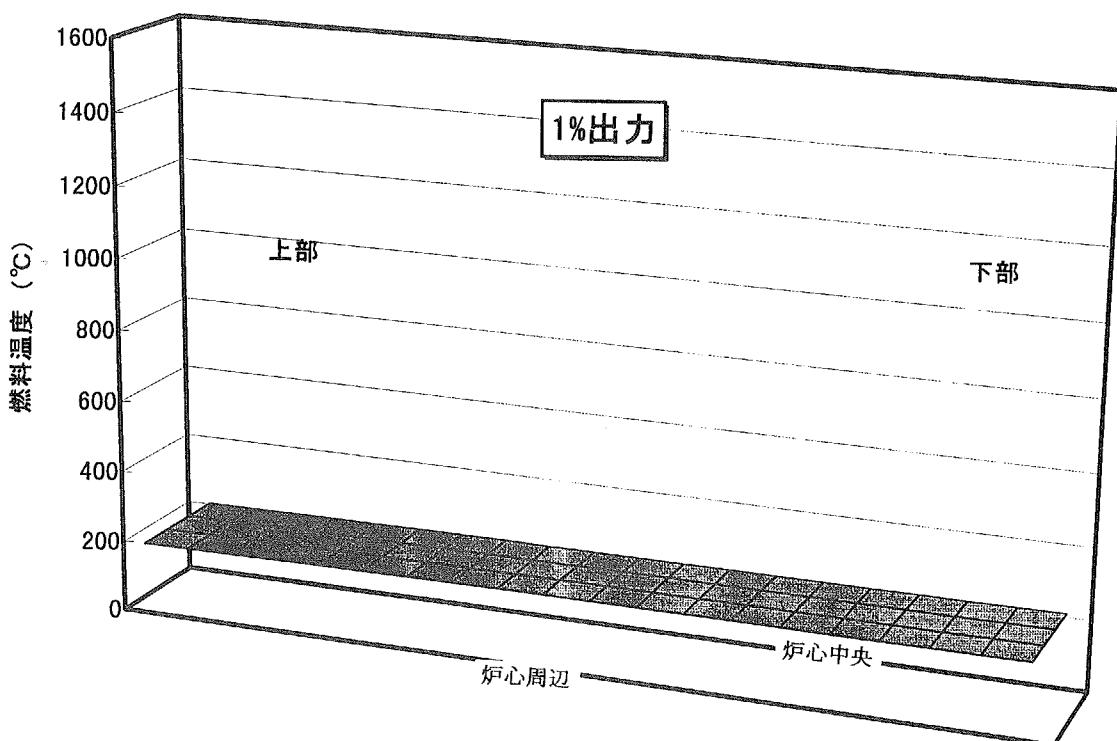


Fig. 4.2 Fuel temperature distribution during startup test (1% of full power).

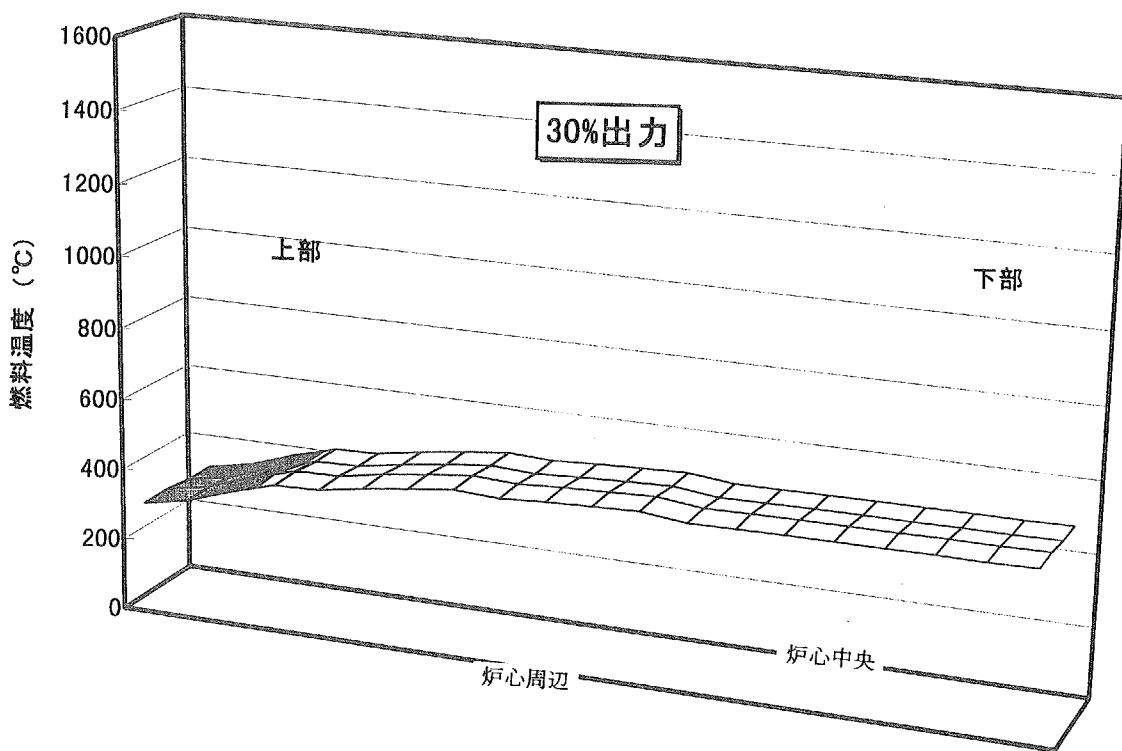


Fig. 4.3 Fuel temperature distribution during startup test (30% of full power).

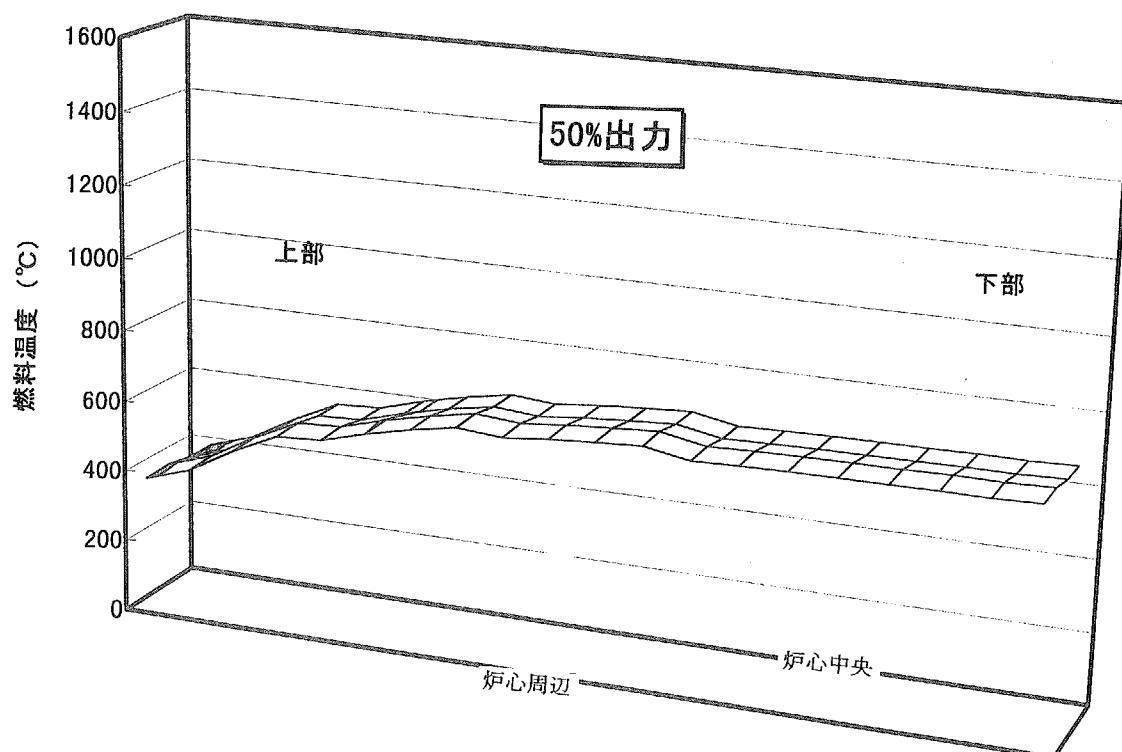


Fig. 4.4 Fuel temperature distribution during startup test (50% of full power).

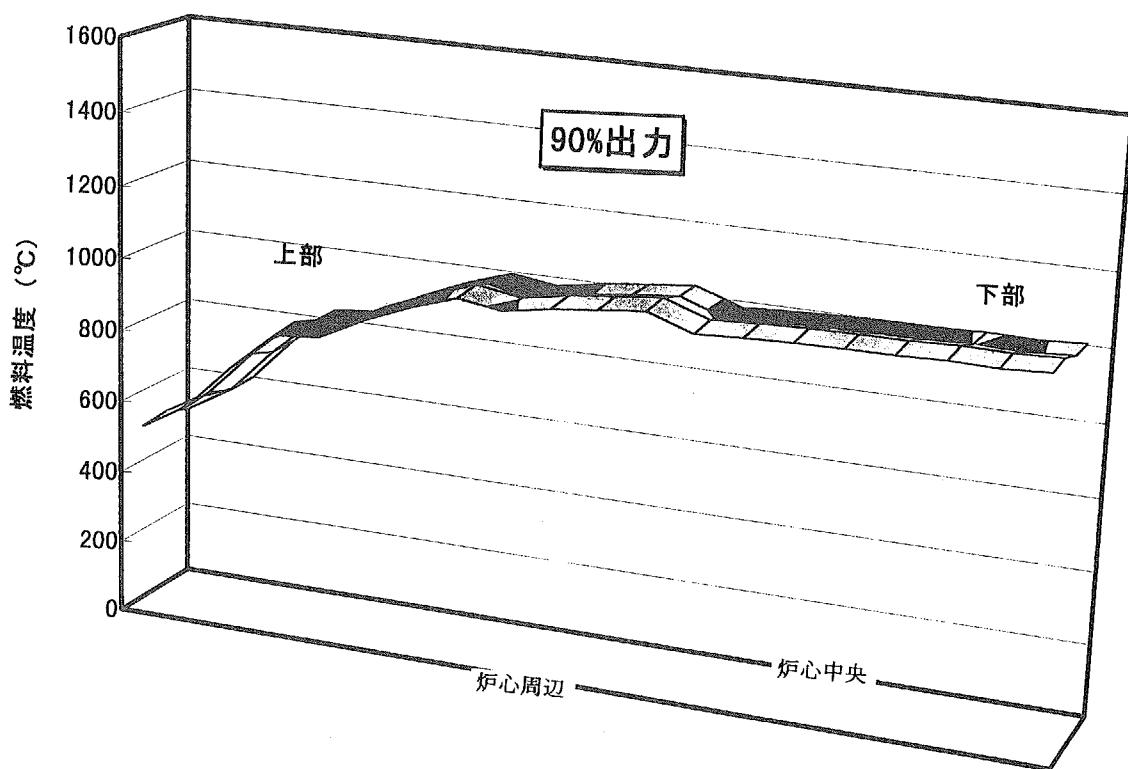


Fig. 4.5 Fuel temperature distribution during startup test (90% of full power).

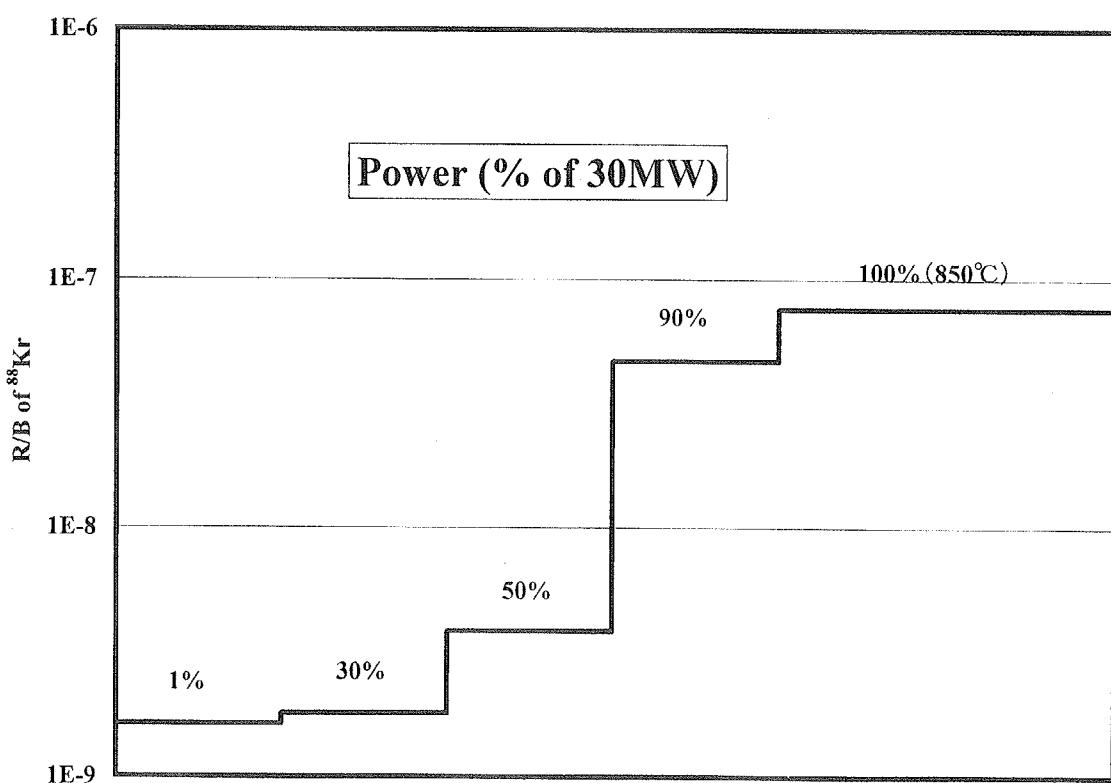


Fig. 4.6 Calculated fractional release of ^{88}Kr during startup test.

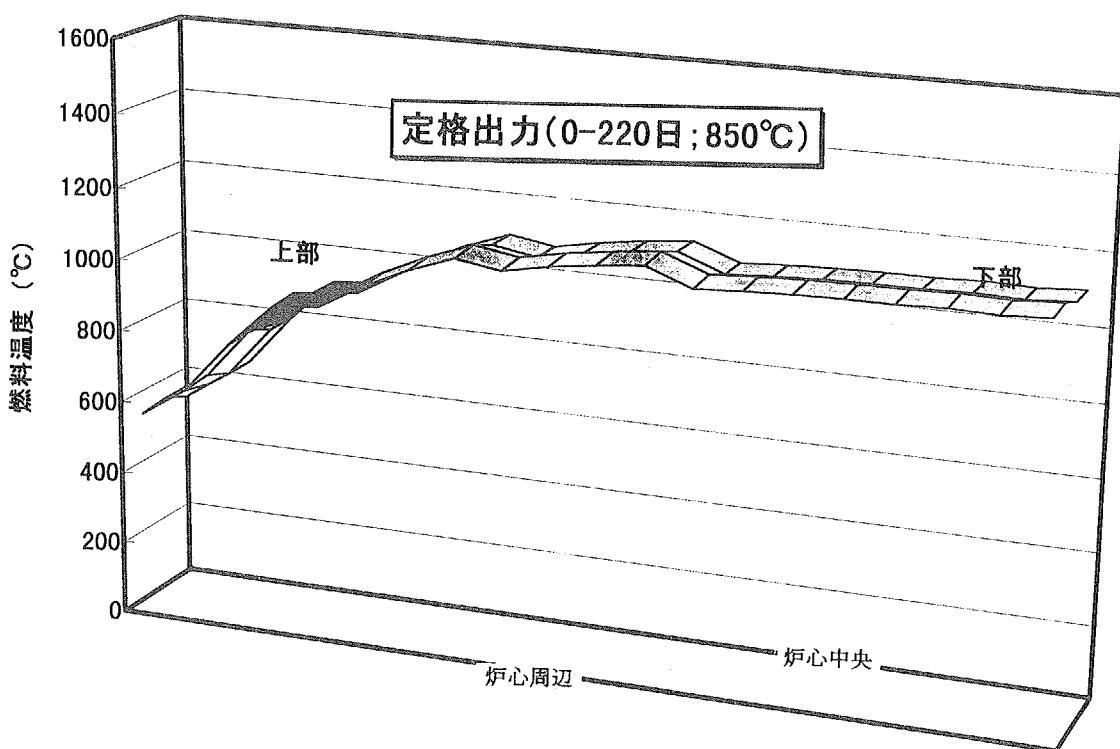


Fig. 4.7 Fuel temperature distribution during normal operation (0-220 EFPD).

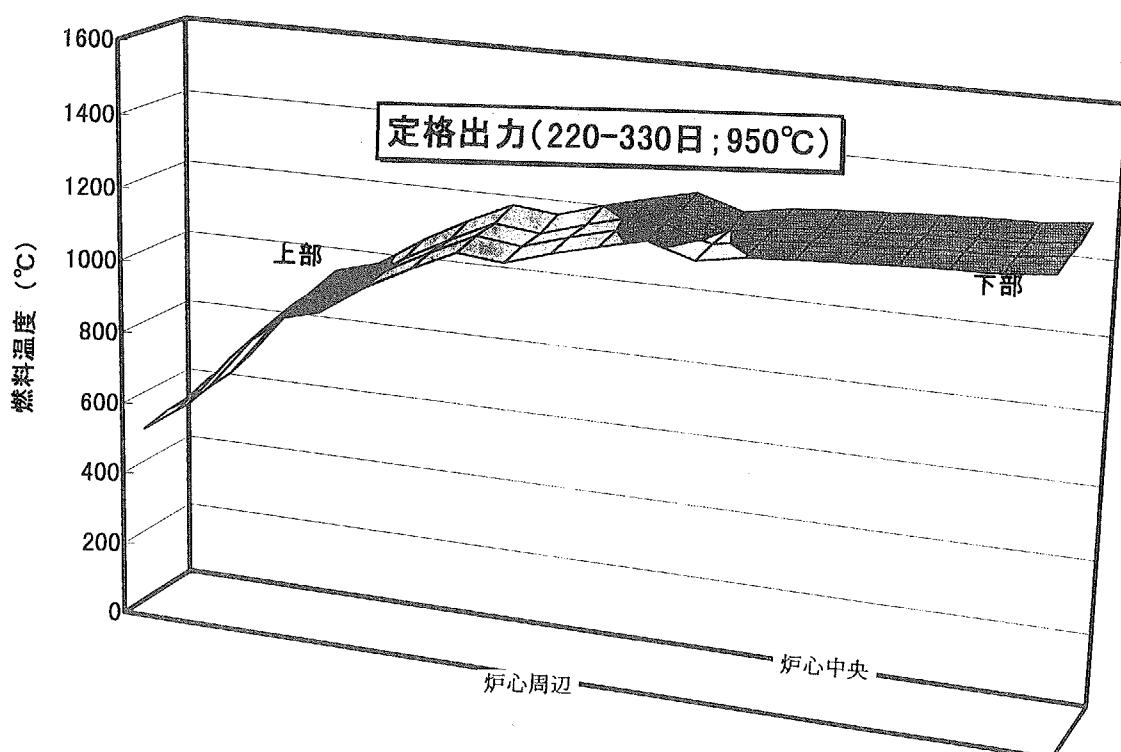


Fig. 4.8 Fuel temperature distribution during normal operation (220-330 EFPD).

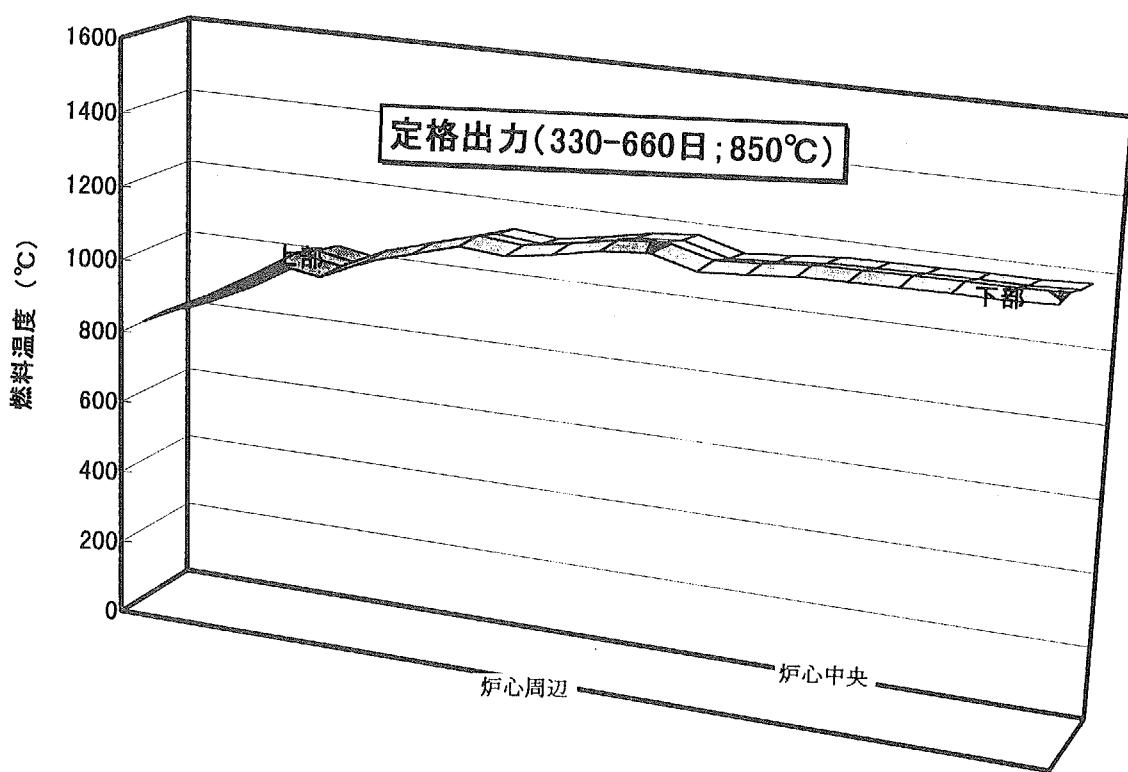


Fig. 4.9 Fuel temperature distribution during normal operation (330-660 EFPD).

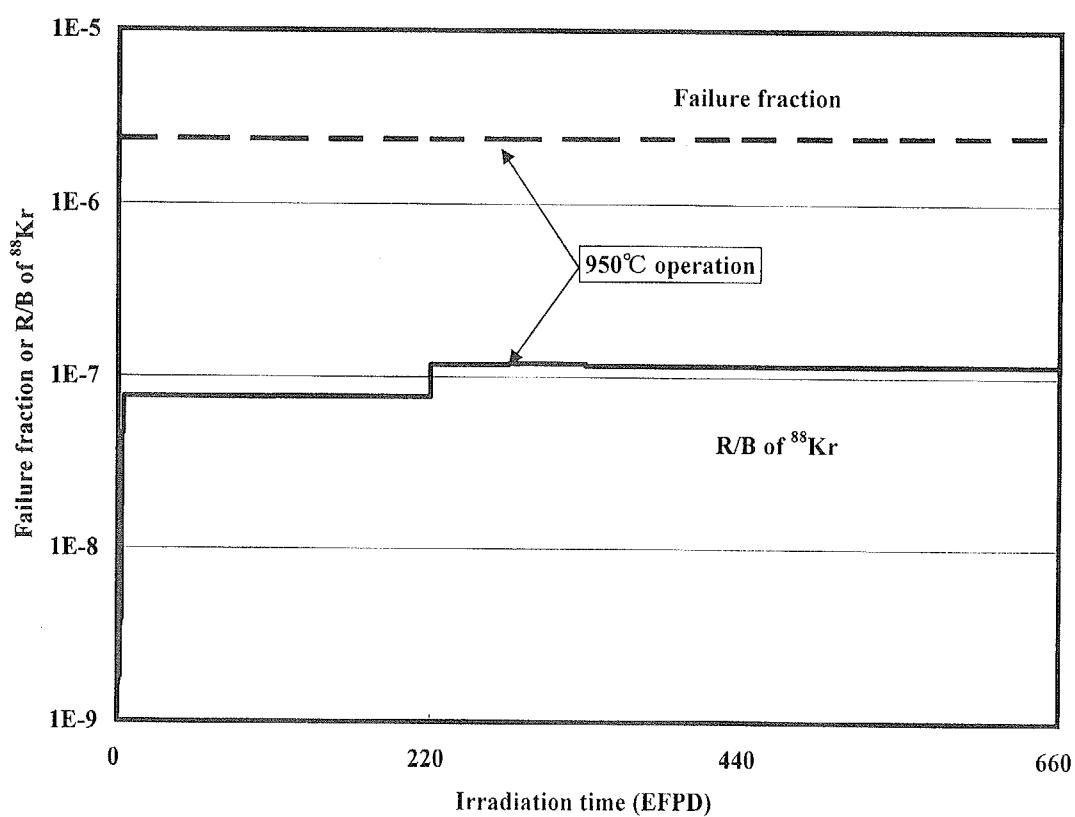


Fig. 4.10 Calculated failure fraction and fractional release of ^{88}Kr during normal operation.

5. まとめ

HTTR の出力上昇試験及び運転中の燃料及び核分裂生成物挙動監視に備えることを目的とし、これまで原研が開発してきた被覆燃料粒子の破損モデル、希ガス放出率評価モデル及び一次冷却材中濃度評価モデルをまとめてパソコン及び大型計算機で使用することができるコード FIGHT (Fuel Failure and Fission Gas Release Analysis Code in HTGR) を作成した。

本コードを用いて、HTTR の出力上昇試験及び運転監視計画の策定、試験及び運転中のデータ解析等を行っていく。

謝 辞

本検討を行うに当たり、御指導、御助言いただいた田中利幸 HTTR 開発部長、国富一彦 HTTR 技術開発室長をはじめとする同部の皆様方に感謝いたします。有益なコメントを頂いた物質科学研究部湊和生氏に感謝いたします。

参考文献

1. K. SAWA, S. SHIOZAWA, K. FUKUDA, Y. ICHIHASHI, "Validation of Fission Product Release from Fuel Element of HTTR", *J. Nucl. Sci. Technol.*, 29, 842-850 (1992).
2. 沢和弘、吉牟田秀治、飛田勉、佐藤政四「高温工学試験研究炉運転中の燃料破損率推定法の開発」、JAERI-Research 97-036 (1997).
3. 福田幸朔、小川徹、鹿志村悟、林君夫、他「高温ガス炉用燃料に関する試験研究」、JAERI-M 89-007 (1989).
4. 林君夫、塙沢周策、沢和弘、佐藤貞夫、他「高温工学試験研究炉用燃料の設計方針、製作性及び総合的健全性評価」、JAERI-M 89-161 (1989).
5. S. SAITO, T. TANAKA, Y. SUDO, O. BABA, et.al., "Design of High Temperature Engineering Test Reactor (HTTR)", JAERI-1332 (1994).
6. 林君夫、沢和弘、塙沢周策、福田幸朔「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).
7. K. VERFONDERN (Ed.), "Fuel Performance and Fission Product Behaviour in Gas Cooled Reactors", IAEA-TECDOC-978 (1997).
8. W. WAGNER-KOEFFLER, "Amoeba Behavior of UO₂ Coated Particle Fuel", *Nucl. Technol.*, 35, 392 (1977).
9. K. MINATO, T. OGAWA, S. KASHIMURA, K. FUKUDA, "Fission Product Palladium-Silicon Carbide Interaction in HTGR Fuel Particles", *J. Nucl. Mater.*, 172, 184 (1990).
10. K. SAWA, S. SHIOZAWA, K. MINATO, K. FUKUDA, "Development of a Coated Fuel Particle Failure Model under High Burnup Irradiation", *J. Nucl. Sci. Technol.*, 33, 712, (1996).
11. J. L. KAAE, "A Mathematical Model for Calculating Stresses in a Pyrocarbon- and Silicon Carbide-Coated Fuel Particle", *J. Nucl. Mater.*, 29 (1969).
12. W. J. KOVACS, K. BONGARTZ, D. T. GOODIN, "High-Temperature Gas-Cooled Reactor Fuel Pressure Vessel Performance Models", *Nucl. Technol.*, 68 (1985).
13. K. BONGARTZ, "Status of the Fuel Stress and Failure Rate Calculations at KFA", Jul-1686 (1980).
14. E. PROKSCH, A. STRIGL, "Production of Carbon Monoxide during Burn-up of UO₂ Kerneled HTR Fuel Particles", *J. Nucl. Mater.*, 107 (1982).
15. K. VERFONDERN, R. C. MARTIN, R. MOORMANN, "Methods and Data for HTGR Fuel Performance and Radionuclide Release Modeling during Normal Operation and Accidents for Safety Analysis", Jul-2721 (1993).
16. 沢和弘、湊和生、福田幸朔「高温ガス炉燃料からの核分裂生成物放出率推定法の開発」、JAERI-Research 96-063 (1996).

17. C. A. FRISKNEY, M. V. SPEIGHT, "A Calculation on the In-pile Diffusional Release of Fission Products Forming a General Decay Chain", J. Nucl. Mater., 62 (1976).
18. 小川徹、福田幸朔、小林紀昭、菊池輝男、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).
19. B.F.MYERS, "The Fuel Design Data Manual", GA-901866/F (1987).
20. S. D. BECK, "The Diffusion of Radioactive Fission Products from Porous Fuel Elements", BMI-1433 (1960).
21. K. SAWA, H. MIKAMI, S. SAITO, "Analytical Method and Result of Off-site Exposure during Normal Operation of HTTR", Energy, 16 (1991).
22. 沢和弘、吉牟田秀治、佐藤政四、斎藤賢司、他:「高温工学試験研究炉運転中における燃料挙動の評価方法と予測結果」、JAERI-Research 98-016 (1998).

付録-A 出力フォーマット

出力の説明はパソコンを利用した場合について説明する。大型計算機を利用する場合は使用するファイルのデータはJCLで入力されるため、プリントされないことが異なるのみである。

出力に際しては全体的な配慮として、A4横書きの一ページに問題なく入ること、解析式と変数名を一読しておけば、追加の説明がなくても理解可能なことに留意してフォーマットを作成した。

出力について、実際のプリント内容との対応例を **Table A.1** に示す。各内容は以下のとおりである。

(1) 利用ファイル

使用したファイルの種類—機番—ファイル名称の順に印刷される。

(2) ケースタイトル、制御変数の印刷

NRRST から LTFPS、本ステップの時間巾(秒)が印刷される。

(3) LPVOL>0 の場合に燃料棒の形状データ、特に体積データが印刷される。

(4) LPTPF>0 の場合には使用した温度、高速中性子照射量、燃焼度 (%fima) が印刷される。

(5) LPCPD>0 の場合使用した FP 放出データ、被覆燃料粒子のデータが印刷される。FP 放出データは最初のカラムデータの前に印刷される。

(6) LPRSL>0 の場合、燃料棒単位の破損率、R/B 結果がプリントされる。LPRSL=1 ならば、貫通破損のデータと汚染率のみ印刷されるが、LPRSL=2 ならば、全ての破損率が印刷される。LPRSL>2 の場合には評価点毎の結果が印刷される。この場合、LPRSL=3 では評価点毎の破損率のみであるが、LPRSL>3 の場合には、評価点毎の破損確率、初期破損率、評価に用いられた中間データ(各層の圧縮応力、引っ張り応力、粒子内核分裂数、放出ガス FP 量、放出酸素量 (モル、冷却材中の R/B) 評価用データ) が印刷される。

(7) 燃料棒毎の結果を平均 (燃焼度×体積を重みとする) し、カラム毎、全炉心について印刷する。

(8) LTFPS>0 の場合には、各カラムの燃料棒評価点単位の出力のあとに、時間履歴がプリントされる。

プリント項目は貫通破損率、SiC の破損率、SiC の破損確率、被覆粒子内圧、評価 FP 核種の (R/B) (最大 5 核種まで) であり、各ブロック内 LTFPS 番目の評価点についてプリントする。

Table A.1 Example of output list.

```

INPUT   -UNIT= 4 FILE NAME=file5.dat      (KEEP FORMATED)
OUTPUT  -UNIT= 8 FILE NAME=file8.out 3    (KEEP FORMATED)
FP-DATA -UNIT= 1 FILE NAME=file1.dat    (KEEP FORMATED)
CPF-DATA -UNIT= 2 FILE NAME=file2.dat    (KEEP FORMATED)
PIN-DATA -UNIT= 0 FILE NAME=FUELROD.DAT (DELETE FORMATED)
TEMPERATURE -UNIT= 21 FILE NAME=fuelrod.dat (KEEP FORMATED)
POWER   -UNIT= 31 FILE NAME=file31.dat  (KEEP FORMATED)
FAST-FLUX -UNIT= 41 FILE NAME=file41.dat (KEEP FORMATED)
RESTART-NEXT-UNIT= 0 FILE NAME=RESTNEW.DAT (DELETE UNFORMAT)
RESTART-PREV-UNIT= 0 FILE NAME=RESTOLD.DAT (DELETE UNFORMAT)

-- test run of FPCPF 1-FP-DIFFPG 0-release limit 1998. 7. 1--
-- JOB CONTROL DATA PRINT
-- RESTART OPTION (NREST>0 THEN RESTART) ----- 0
-- CONTROL FROM DOS-V DISPLAY (LFLEN>0: YES) ----- 1
-- FUEL ROD GEOMETRY INPUT UNIT (LIGEM<=0: 5) ----- 0
-- NEW RESTART FILE OPTION (NEWRT>0: MAKE) ----- 0
-- VOLUME DATA PRINT OPTION (LPVOL>0: PRINT) ----- 2
-- CPF DATA PRINT OPTION (LPCPD>0: PRINT) ----- 1
-- TEMP., POWER & FLUX PRINT (LPTPF>0: PRINT) ----- 1
-- PINWISE RESULTS PRINT (LPRSL>0: YES) ----- 4
-- =1:PIN TOTAL
-- =2:PPIN ALL
-- =3:PPPOINT TOTAL
-- =4:PPPOINT ALL
-- NO. OF COLUMN TO BE PRINTED (NLPCL) ----- 1
-- FP GAS RELEASE ANALYSIS (LGASC<=0:ORDINARY) ----- 1
-- >0:ANSI/ANS-5.4
-- CPF BEHAVIOR HISTORY PRINT (LTFPSO: YES) ----- 0
-- DTIME(S) ----- 5.7024E+07

-- FUEL VOLUME IN THE CORE( 2.6239E-04) -----
  1-COL
  TYPE PIN
  COLUMN WEIGHT (No.) ----- 1
  COLUMN VOLUME (M**3) ----- 1.0000B+00
  - 1TH PIN VOL (M**3) ----- 1
  - 1TH BLK VOL (M**3) ----- 1
  PIN DATA (TYPE= 1 , VOL= 2.6239E-04) -----
  PIN IN. DATA( 1 , RAD= 5.0000E-03) -----
  PIN OU. DATA( 2 , RAD= 1.3000E-02) -----
  AREA OF PIN DIVISION IN TEMP. CAL-----
```

ケースタイトル、制御変数
燃料棒形状データ

Table A.1 Example of output list (cont.).

```

4. 5239E-04 0.0000E+00          1. 3119E-04
1-BLK 1   2. 6239E-04 0.290      1. 3119E-04
2   1. 5732E+03

--- TEMP. ID DATA ---
- 1TH-COLUMN---(1FIN; 1) (
--- TEMP. DISTRIBUTION---
 1-TEM
 1   1. 6172E+03
 2   1. 5732E+03

---FAST-FLUX ID DATA---
- 1TH-COLUMN---(1FIN; 1) (
--- FAST-FLUX DISTRIBUTION---
 1-F_F
 1   1. 4836E+25
 2   1. 4836E+25
--- BURNUP (%FIMA) DISTRIBUTION---
 1-BUP
 1   3. 6039E+00
 2   3. 6039E+00

---FP NUCLIDES IN LIBRARY (NUCL)---
---FP NUCLIDES TO BE EVALUATED (NOFP)---
---DATA TO BE USED IN RELEASE EVALUATION---
---PRECURSOR DECAY (/S) -RED. DIF. COEF (KERNEL) -
---RECOIL DISTANCE IN MATRIX (0) -RED. DIF. COEF (KERNEL) -
---MATRIX WEIGHT (T) -RED. DIF. COEF (KERNEL) -
ROWTH:THEORETICAL DENSITY OF PYC(T/M3) -
CVFIS:FISSION TO POWER CONV.F.(3.2E+10) --
AFPGS:RARE GAS FPS RED. DIF. COEF(A) IN KERNEL --
QFPGS:RARE GAS FPS RED. DIF. COEF(Q) IN KERNEL --
RGASC:GAS CONSTANT (J/MO-K) --
ACOXY:OXYGENS REDUCED D.F. COEF(A) IN KERNEL --
QCOXY:OXYGENS REDUCED D.F. COEF(Q) IN KERNEL --
VNUPC:PYC POISSON RATIO FOR CREEP --
CRCPN:PYC CREEP CONSTANT --
WKER :FUEL MOL WEIGHT(T) --
PKYD:PYC STRENGTH DATA(MPa) --

```

燃料粒子破損、FP 放出評価に用いるデータ

燃焼度(%fima)

高速中性子照射量

Table A.1 Example of output list (cont.).

1-TH COLUMN CPF DATA PRINT-----			
COL.	PIN	BLOCK	MESH
1	1	1	RADIUS(M)
			DENSITY(T/M3)
			INITIAL CPF DATA
			FAIL. RATE

 --- test run of FPCPF 1-FP-DIFFPG 0-release limit 1998. 7. 1---
 ---POINTWISE FAILURE RATE AND R/B ----- (COL. : 1)-----
 ---FAILURE RATE-----
 PENETRATION F. (V. AV.) ---- 1--
 SiC+I-PYC FAILURE----- 1--
 SiC FAILURE----- 1--
 PENETRATION F. (BU*V AV) -- 1--
 ---R/B RATE-----
 FP NUCLIDE=KR-88 ----- 1--
 KERNEL
 BUFFER
 0.000300
 1.00000
 TOTAL F.
 0.000000
 1-PYC
 0.000360
 1.750000
 SiC+I-PYC
 SIC
 0.000415
 2.000000
 CONTAM
 0.000460
 1.750000
 0.000000
 0.000100
 0.000000

 --- test run of FPCPF 1-FP-DIFFPG 0-release limit 1998. 7. 1---
 ---POINTWISE FAILURE RATE AND R/B ----- (COL. : 1)-----
 ---FAILURE RATE-----
 PENETRATION F. (V. AV.) ---- 1--
 SiC+I-PYC FAILURE----- 1--
 SiC FAILURE----- 1--
 CONTAMINATION----- 1--
 PENETRATION F. (V. AV.) ---- 2--
 SiC+I-PYC FAILURE----- 2--
 SiC FAILURE----- 2--
 CONTAMINATION----- 2--
 ---R/B RATE-----
 FP NUCLIDE=KR-88 ----- 1--
 FP NUCLIDE=KR-88 ----- 2--
 1-PIN
 6.0320E-05
 3.3964E-05
 5.7157E-05
 6.0320E-05
 1-PIN
 1.0183E-06
 6.4735E-05
 3.1132E-05
 4.1330E-06
 0.0000E+00
 5.5905E-05
 3.6797E-05
 7.2984E-06
 0.0000E+00
 1-PIN
 1.2945E-06
 7.4206E-07

第一カラム、第一燃料棒、第一ブロック平均燃料粒子破損率、被覆燃料粒子データ

評価点1、2の燃料粒子破損率、R/B

Table A1 Example of output list (cont.).

-- test run of FPCPF 1-FP-DIFFPG 0-release limit 1998.7.1--			
--POINTWISE FAILURE PROB.			(COL. : 1)---
--FAILURE PROBABILITY(MX)		1-PIN	
0-PyC FAILURE	1--	6.7625E-01	
1-PyC FAILURE	1--	9.5857E-01	
SiC FAILURE	1--	0.0000E+00	
CONTAMINATION	1--	0.0000E+00	
0-PyC FAILURE	2--	6.0306E-01	
1-PyC FAILURE	2--	9.2702E-01	
SiC FAILURE	2--	0.0000E+00	
CONTAMINATION	2--	0.0000E+00	
--FAILURE RATE(INITIAL:T=0)		1-PIN	
PENETRATION F.(V. AV.)	1--	0.0000E+00	
SiC+1-PyC FAILURE	1--	0.0000E+00	
SiC FAILURE	1--	1.0000E-04	
CONTAMINATION	1--	0.0000E+00	
PENETRATION F.(V. AV.)	2--	0.0000E+00	
SiC+1-PyC FAILURE	2--	0.0000E+00	
SiC FAILURE	2--	1.0000E-04	
CONTAMINATION	2--	0.0000E+00	
-- test run of FPCPF 1-FP-DIFFPG 0-release limit 1998.7.1--			
--POINTWISE PRESSURE, STRESS & ETC			(COL. : 1)---
--PRESSURE & STRESS		1-PIN	
PRESSURE IN BUF. (MPa)	1--	3.8874E+01	
1-PyC COMP. STRESS (MPa)	1--	1.5263E+02	
0-PyC COMP. STRESS (MPa)	1--	2.0227E+02	
1-PyC TENSIL STRESS (MPa)	1--	2.3428E+02	
SiC TENSIL STRESS (MPa)	1--	3.0402E+02	
0-PyC TENSIL STRESS (MPa)	1--	1.8058E+02	
SiC STRESS (MPa)	1--	-5.0883E+01	
FISSION NUMBER FISN (MOL)	1--	1.5726E-07	
FP GAS RELEASED FNFP (MOL)	1--	2.7818E-08	
OXYGEN RELEASED OXNM (MOL)	1--	9.1210E-08	
RECOIL FROM KERNEL:FKR	1--	2.4998E-02	
RECOIL FROM MATRIX:FMR	1--	6.2477E-04	
DIFFUSION IN GRAIN:FGGD	1--	1.36228E-07	
DIFFUSION IN INT-GAP:FMAD	1--	4.7048E-01	
DIF. RELEASE COMPACT:FMID	1--	1.1091E-01	
DIF. RELEASE KERNEL:FKD	1--	3.6609E-02	
VOL. FRACTION OF GRAIN:ALL	1--	7.6425E-01	
BURNUP CORRECT. TO FKD:FBU	1--	1.7220E+00	
PRESSURE IN BUF. (MPa)	2--	3.7009E+01	
1-PyC COMP. STRESS (MPa)	2--	1.52633E+02	

評価点1, 2 の燃料粒子破損確率、初期破損率

評価点1, 2 の燃料粒子破損率、R/B 計算のための中間結果

Table A.1 Example of output list (cont.).

```

0-PyC COMP, STRESS (MPa) --- 2-- 2. 0227E+02
1-PyC TENSIL STRESS (MPa) - 2-- 2. 2304E+02
Sic TENSIL STRESS (MPa) --- 2-- 2. 8944E+02
0-PyC TENSIL STRESS (MPa) - 2-- 1. 7192E+02
Sic STRESS (MPa) --- 2-- -6. 5463E+01
FISSION NUMBER:FLSN (MOL) - 2-- 1. 5726E-07
FP GAS RELEASED:FNFP (MOL) 2-- 2. 5279E-08
OXYGEN RELEASED:OXNM (MOL) 2-- 9. 1210E-08
RECOIL FROM KERNEL: FKR --- 2-- 2. 4998E-02
RECOIL FROM MATRIX: FMR --- 2-- 6. 2477E-04
DIFFUSION IN GRAIN: FMGD --- 2-- 9. 9653E-08
DIFFUSION IN INT-GAP: FMAD 2-- 4. 1093E-01
DIF. RELEASE COMPACT: FMD- 2-- 9. 6875E-02
DIF. RELEASE KERNEL: FKD --- 2-- 2. 6409E-02
VOL. FRACTION OF GRAIN: ALL 2-- 7. 6425E-01
BURNUP CORRECT. TO FKD:FBU- 2-- 1. 7220E+00

---- COLUMNWISE AVERAGED RESULT PRINT( 1-COLUMN) ----
1-BLK
---- FAILURE RATE (VOL. WEIGHT) ---- 6. 0320E-05
---- FAILURE RATE (BU*VOL. WEIGHT) - 6. 0320E-05
---- 1-FP (KR=88 ) R/B RATIO--- 1. 0183E-06

---- WHOLE CORE AVERAGED RESULT PRINT ----
---- FAILURE RATE (VOL. WEIGHT) ---- 6. 0320E-05
---- FAILURE RATE (BU*VOL. WEIGHT) - 6. 0320E-05
---- COLUMNWISE AVERAGED FAILURE - 1-COLUMN
---- FAILURE RATE (VOL. WEIGHT) ---- 6. 0320E-05
---- FAILURE RATE (BU*VOL. WEIGHT) - 6. 0320E-05

---- WHOLE CORE AVERAGED FP RELEASE RESULTS ----
R/B CONCENTRATION
IN COOLANT
---- 1-FP (KR=88 ) ----- 1. 0183E-06 1. 4924E+10
---- COLUMNWISE AVERAGED R/B DATA--- 1-COL.
---- 1-FP (KR=88 ) ----- 1. 0183E-06

```

炉心平均、カラム平均の破損率

第一カラム、第一ブロック平均破損率、R/B

付録-B プログラムリスト

プログラムのソースリストを次ページ以降に示す。

```

C
C---- PROGRAM FPCFP : FUEL PERFORMANCE & RA
DIOACTIVE
C                               RARE GAS DECAY RATE
EVALUATION
C                               ... MAIN PROGRAM ...
C
C          REFERENCE:
C          1998. 7. 1   DR. K. SAWA
C
CHARACTER*30    MNAME
CHARACTER*8     NMFP
CHARACTER*12    NAMD
CHARACTER*2     YNO
CHARACTER*72    TITLE
COMMON /CONTL/
1   TITLE, NREST, LFLCN, LIGEM, NEWRT, LPVO
L, LPCPD, LPTPF,
2   LPRSL, NLPCP, LGASC, LTFPS, IDCOL(200)

COMMON /TKEEP/
1   LKEP(12), LFOR(12), MTN(12), MTNUM
COMMON /UNNAM/
1   MNAME(12), NAMD(12)
COMMON /RODTI/
1   KCOL, KBMX, KBLK, MPIN, NDIV, NPIN(200),
LIDP(200),
2   NFTP, NR1(10), NR2(10), KB1(20, 10), KB2
(20, 10), LTYP(10)
COMMON /PREVD/
1   KC, NP, LT, LP, LI, DTIME, TIME, DDAY
COMMON /CONTD/
1   MTTN, MTPW, LTEM(3000), LPOW(3000)
COMMON /CPDTR/
1   RCP(15000), RWC(15000), LINP
COMMON /TEMPD/
1   TA(100), TT(40, 100), TTA(20000), FFT(2
0000), BUP(20000)
COMMON /RESLT/
1   FRCM(3000, 4), FRCP(2000, 4), FPPV(200
0), FRCB(2000),
2   FPCB(2000), FRCL(200), FPCL(200), FRCO
R, FPCOR,
3   WFRT(2000), WWPV(2000), WWBK(2000), WV
BK(2000),
4   WWCL(200), WVCL(200), RBBM(20000), RBB
P(10000),
5   RBBC(10000), RBCL(2000), RBCR(30),
6   FPIN(12000), FPRB(9000), FPRO(9000)

COMMON /FPDAT/
1   NMFP(30), RAMD(30), QKER(30), AKER(3
0), QMAT(30), AMAT(30),

```

	2 QMAI(30), AMAI(30), YILD(30, 2), HEIV,
	3 FHEP, EFPU(30), POWE, ACON(30), ACNO(3 0), FPNW, RGGDT, WMATX,
	4 ROWTH, CVFIS, AFPGS, QFPGS, ACOXY, QCQX Y, RGASC, RKYD1, RKYD2,
	5 SKYD1, SKYD2, VNUPC, CRPCN, WKER, UFRAC, OXRLT(2), FPYIL(2),
	6 LPRE(30), NOFP, NUCL, IDFP(30)
	COMMON /HSTRY/
1	DAY(100), TEM(100),
2	TTST(30000), FPST(10000), RBST(1000 0), PRES(20000),
3	NSTP, NSPX

C
C---- FILE DATA FROM DOS DISPLAY/JCL AND REWI
ND
C
CALL OPUNIT
C
C---- CONTROL OF DATA INPUT IF RESTART THEN R
EAD RESTART TAPE
C
CALL INPUT
C
C---- CONTROL OF CPF FAILURE, FP RELEASE & RA
RE GAS FP CONC. IN COOLANT
C
DO 410 KC=1, KCOL
NPX = NPIN(KC)
C
C---- COLUMNWISE DATA READ FROM RESTART/SCRAT
CH FILE
C
CALL PINDAT
IF((LPCPD.GT.0)) THEN
CALL PRTCPL(
1 KBMX, MPIN, RCP, RWC,
2 FPIN, FPRO
*)
ENDIF
C
DO 310 NP=1, NPX
C
C---- SET PIN DATA THEN EVALUATE FAILURE RATE
AND FP RELEASE
C
CALL CPFAIL(
1 KBMX, KBLK, MPIN, NSPX, LPOW, LTEM, TTA, F
FT, BUP, RCP, RWC,
2 FRCM, FPPV, FPIN, FPRB, FPRO, WFRT, WWPV,
3 FRCP, TTST, PRES
*)

```

        CALL      FPRlse(
1   MPIN, KBLK, NUCL,
2   BUP, FFT, TTA, FRCM, RBBM, RBBP, RCP,
3   FPIN
*  )

C
IF( LFLCN .GT. 0 ) THEN
WRITE(*,600) KC, NP
READ(*,610) YNO
600 FORMAT( 5X, 'NOW BLOCK NO.=', 12, 3X, 'PIN
NO.=', 12,
1           ' IF YOU WANT TO STOP THIS JOB
THEN ENTER NO'/
2           ' OTHERWISE CONTINUE THIS JOB
')
610 FORMAT( A2 )
IF( YNO .EQ. 'NO' ) GO TO 410
ENDIF

C
CALL      SUMCOL(
1   KC, KBLK, NUCL, MPIN, KCOL, NPIN,
2   FRCP, FPPV, RBBP, WWPV, WFRT,
3   WWBK, WWCL, WVBK, WVCL, FRCB, FRCL,
4   FPCB, FPCL, RBBB, RBCL
*  )

C
310 CONTINUE
C
C---- PRINT PINWISE RESULTS
C
CALL      OUTPIN
C
C---- OUTPUT BLOCKWISE RESULTS AND SUMMATION
TO ALL CORE
C
CALL      OUTCOL(
1   KC, KBLK, NUCL, KCOL,
2   FPCB, FRCB, RBBB
*  )
CALL      SUMCOR(
1   KCOL, NUCL,
2   WWCL, WVCL, FRCL, FPCL, RBCL,
3   FPCOR, FRCOR, RBCR
*  )

410 CONTINUE
C
C---- FP GAS CONCENTRATION IN THE PRIMARY COO
LANT
C
CALL      CONCRG
C
C---- OUTPUT ALL CORE RESULTS AND CLOSE UNIT
C

```

```

        CALL      OUTCOR(
1   KCOL, NUCL,
2   FRCL, FPCL, RBCL,
3   FPCOR, FRCOR, RBCR
*  )
CALL      CLUNIT
C
STOP
END
C-----
-----  

BLOCK DATA
COMMON /TKEEP/ LKEP(12), LFOR(12), MTN(1
2), MTNUM
COMMON /UNNAME/ MNAME(12), NAMD(12)
CHARACTER*12    NAMD
CHARACTER*30    MNAME
DATA MTNUM/ 10/
DATA MTN/ 4, 8, 1, 2, 3, 21, 31, 41, 1
1, 12, 13, 0 /
C   MTN(1) : INPUT
      UNIT=4
C   2 : OUTPUT
      UNIT=8
C   3 : FP RADIOACTIVE GAS DATA
      UNIT=1
C   4 : CPF DATA
      UNIT=2
C   5 : FUEL PIN DATA
      UNIT=3
C   6 : TEMPERATURE DATA
      UNIT=21
C   7 : POWER
      UNIT=31
C   8 : FAST FLUX
      UNIT=41
C   9 : RESTART FILE TO NEXT TIME STEP
      UNIT=11
C   10 : PREVIOUS STEP RESTART TAPE
      UNIT=12
C   11 : SCRATCH TAPE
      UNIT=13
C
C   LFOR : IF FILE DATA IS FORMATTED THEN
SET >0 OTHERWISE 0
C   LKEP : IF KEPP AFTER THIS RUN THEN SE
T>0 OTHERWISE 0
C
DATA LFOR/ 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0
/
DATA LKEP/ 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0
/
DATA NAMD/ ' INPUT      ', ' OUTPUT

```

```

      ', 'FP-DATA      ', 'PIN-DATA
      1      'CPF-DATA      ', 'PIN-DATA
      ', 'TEMPERATURE ', 'POWER      ', 'FAST-FLUX
      ', 'RESTART-NEXT', 'RESTART-PREV', 'SCRATCH
      ', '          /
      DATA MNAME/
      1      'INPUT.DAT
      ,
      2      'OUTPUT.DAT
      ,
      3      'FPGAS.DAT
      ,
      4      'CPF.DAT
      ,
      5      'FUELROD.DAT
      ,
      6      'TEMP.DAT
      ,
      7      'POWER.DAT
      ,
      8      'FLUX.DAT
      ,
      9      'RESTNEW.DAT
      ,
      A      'RESTOLD.DAT
      ,
      B      '
      C      '
      /          /
      END

C-----  

      SUBROUTINE      PINDAT
C
      CHARACTER*8 NMFP
      CHARACTER*72 TITLE
      COMMON /CONTL/
      1      TITLE, NREST, LFLCN, LIGEM, NEWRT, LPVO
      L, LPCPD, LPTPF,
      2      LPRSL, NLPCP, LGASC, LTFPS, IDCOL(200)

      COMMON /TKEEP/
      1      LKEP(12), LFOR(12), MTN(12), MTNUM
      COMMON /PREVD/
      1      KC, NP, LT, LP, LI, DTIME, TIME, DDAY
      COMMON /RODTI/
      1      KCOL, KBMX, KBLK, MPIN, NDIV, NPIN(200),
      LIDP(200),
      2      NFTP, NR1(10), NR2(10), KB1(20, 10), KB2
      (20, 10), LTYP(10)

      COMMON /CPDTR/
      1      RCP(5, 3000), RWC(5, 3000), LINP
      COMMON /RESLT/
      1      FRCM(3000, 4), FRCP(2000, 4), FPPV(200
      0), FRCB(2000),
      2      FPCB(2000), FRCL(200), FPCL(200), FRCO
      R, FPCOR,
      3      WFRT(2000), WWPV(2000), WWBK(2000), WV
      BK(2000),
      4      WWCL(200), WVCL(200), RBBM(20000), RBB
      P(10000),
      5      RBBB(10000), RBCL(2000), RBCR(30),
      6      FPIN(12000), FPRB(9000), FPRO(9000)

      COMMON /HSTRY/
      1      DAY(100), TEM(100),
      2      TTST(30000), FPST(10000), RBST(1000
      0), PRES(20000),
      3      NSTP, NSPX
      COMMON /FPDAT/
      1      NMFP(30), RAMD(30), QKER(30), AKER(3
      0), QMAT(30), AMAT(30),
      2      QMA1(30), AMA1(30), YILD(30, 2), HEIV,
      3      FHEP, EFPU(30), POWE, ACON(30), ACNO(3
      0), RRDAT, RGGDT, WMATX,
      4      ROWTH, CVFIS, AFPGS, QFPGS, ACOXY, QCQX
      Y, RGASC, RKYD1, RKYD2,
      5      SKYD1, SKYD2, VNUPC, CRPCN, WKER, UFRAC,
      OXRLT(2), FPYIL(2),
      6      LPRE(30), NOFP, NUCL, IDFP(30)
      C
      C---- PINWISE DATA SET FROM FILE
      C
      LI = LIDP(KC)
      MTP=MTN(10)
      NUX = NUCL
      NSTT = NSTP - 1
      IF( NUX.GT.5 ) NUX = 5
      C
      IF( NREST.GT.0 ) THEN
      CALL      RRESCL(
      1      KBMX, KBLK, MPIN, NSTT, NUX, LGASC, LTFP
      S,
      2      RCP, RWC, FPIN, FPRO, TTST, FPST, RBST
      *      )
      ENDIF
      IF( NREST.LE.0 ) THEN
      CALL      CLCFPD(
      1      KBMX, MPIN, LINP,
      2      RCP, RWC, FPIN, FPRO
      *      )
      ENDIF
      C

```

```

      RETURN
      END
      SUBROUTINE      CLUNIT
      COMMON /TKEEP/ LKEP(12), LFOR(12), MTN(1
2), MTNUM
C
C---- CLOSE UNIT
C
      DO 100 MT=1, MTNUM
         MI=MTN(MT)
         IF( MI.GT.0 ) THEN
            LK=LKEP(MT)
            CALL      CLSKEP( MI, LK )
         ENDIF
100 CONTINUE
      RETURN
      END
      SUBROUTINE      CLSKEP( MT,
LK )
         IF( MT.GT.0 ) THEN
            IF( LK.GT.0 ) THEN
               CLOSE( MT, STATUS='KEEP' )
            ELSE
               CLOSE( MT, STATUS='DELETE' )
            ENDIF
         ENDIF
         RETURN
         END
      SUBROUTINE      OPUNIT
C
      CHARACTER*8   MKEP(2), MFOR(2)
      CHARACTER*12  NAMD, NAME
      CHARACTER*30  MNAME, MFILE
      CHARACTER*72  TITLE
C
      COMMON /UNNAM/
1     MNAME(12), NAMD(12)
      COMMON /TKEEP/
1     LKEP(12), LFOR(12), MTN(12), MTNUM
      COMMON /CONTL/
1     TITLE, NREST, LFLCN, LIGEM, NEWRT, LPVO
L, LPCPD, LPTPF,
2     LPRSL, NLPCP, LGASC, LTFPS, IDCOL(200)

      COMMON /PREVD/
1     KC, NP, LT, LP, LI, DTIME, TIME, DDAY
      DATA  MKEP/ 'DELETE ', 'KEEP' /
      DATA  MFOR/ 'UNFORMAT', 'FORMATED' /
C
C          OPENING UNIT
C
      WRITE(*, 601)
      READ(*, 501)  TITLE
      WRITE(*, 602)
      READ(*, 502)  NREST, LFLCN, LIGEM, NEWRT, LP
VOL, LPCPD, LPTPF
      READ(*, 502)  LPRSL, NLPCP, LGASC, LTFPS
      IF( LPRSL.GT.0 ) THEN
         WRITE(*, 606) NLPCP
      READ(*, 502)  (IDCOL(K), K=1, NLPCP)
      ENDIF
      WRITE(*, 603)
      READ(*, * )  DTIME
      WRITE(*, 604) TITLE, DTIME
      WRITE(*, 605) NREST, LFLCN, LIGEM, NEWRT, LP
VOL, LPCPD, LPTPF
      WRITE(*, 605) LPRSL, NLPCP, LGASC, LTFPS
      IF( LPRSL.GT.0 )
         WRITE(*, 605) (IDCOL(K), K=1, NLPCP)
C
      501 FORMAT( A72 )
      502 FORMAT( 813 )
      601 FORMAT( 'ENTER JOB TITLE---' / )
      602 FORMAT( 'ENTER JOB CONTROL DATA----' /1
X,
      1           'NREST LFLCN LIGEM NEWRT LPVOL
LOCPCP LPTPF' / )
      603 FORMAT( 'ENTER D-TIME(DAYS) OF THIS STE
P---' / )
      604 FORMAT( 5X, A72/5X, 'DTIME(DAYS)=', F6.1 )
      605 FORMAT( 4X, 10I3 )
      606 FORMAT( 'ENTER IDCOL(K), K=1, NLPCP=', I3
)
C
      IF( NREST.LE.0 ) THEN
         MTN(10) = 0
         LKEP(10) = 0
      ENDIF
      IF( NEWRT.LE.0 ) THEN
         MTN(9) = 0
         LKEP(9) = 0
      ENDIF
      IF( LIGEM.LE.0 ) THEN
         MTN(5) = 0
         LKEP(5) = 0
      ENDIF
C
      DO 130 MT=1, MTNUM
         MI=MTN(MT)
         IF( MI.GT.0 ) THEN
            LF=LFOR(MT)
            LK=LKEP(MT)
            NAME=NAMD(MT)
            MFILE=MNAME(MT)
         ENDIF
         CALL      OPREWN( MI, LF, LK, NAME, MFI

```

```

LE )
C
      MNAME(MT) = MFILE
      ENDIF
130 CONTINUE
      MO=MTN(2)
      DO 150 MT=1, MTNUM
         LF=LFOR(MT)+1
         LK=LKEP(MT)+1
         WRITE(MO, 801) NAMD(MT), MTN(MT), MNAME(MT),
T), MKEP(LK), MFOR(LF)
         801 FORMAT(1H , 3X, A12, '-UNIT=' , I3, 2X, ' FILE
NAME=' , A30, ' (' , A8
         1       ', ', A8, ' )' )
150 CONTINUE
C
      RETURN
      END
      SUBROUTINE      OPREWN( MT,
IUF, LK, NAME, MFILE )
      CHARACTER*30 FILEN, MFILE
      CHARACTER*12 NAME
4900 FORMAT(1H )
5000 FORMAT( ' INPUT FILE NAME OF ' , A12, ' U
NIT=' , I3 )
5100 FORMAT( A30 )
5200 FORMAT( ' UNIT NAME=' , A12, '--UNIT=' ,
3, '--FILE NAME=' , A30 )
C
      WRITE(*, 4900)
      IF( LK.GT.0 ) THEN
         WRITE(*, 5000) NAME, MT
         READ(*, 5100) FILEN
         MFILE = FILEN
         ELSE
            FILEN=MFILE
         ENDIF
         WRITE(*, 5200) NAME, MT, FILEN
         IF( IUF.EQ.1 ) THEN
            OPEN( MT, FILE=FILEN, STATUS=' UNK
NOWN', FORM=' FORMATTED' )
         ELSE
            OPEN( MT, FILE=FILEN, STATUS=' UNK
NOWN', FORM=' UNFORMATTED' )
         ENDIF
         REWIND MT
         RETURN
         END
      SUBROUTINE      CLCFPD(
1   KBMM, MPMX, LINP,
2   RCP, RWC, FPIN, FPRB
*   )
C

```

```

DIMENSION
1   RCP(5, KBMM, MPMX), RWC(5, KBMM, MPMX),
2   FPIN(KBMM, MPMX, 4), FPRB(KBMM, MPMX,
3),
3   RC(5), RW(5), FC(4)
COMMON /TKEEP/
1   LKEP(12), LFOR(12), MTN(12), MTNUM
COMMON /PREVD/
1   KC, NP, LT, LP, LI, DTIME, TIME, DDAY
COMMON /RODTI/
1   KCOL, KBVX, KBLK, MPIN, NDIV, NPIN(200),
LIDP(200),
2   NFTP, NR1(10), NR2(10), KB1(20, 10), KB2
(20, 10), LTYP(10)
C
      505 FORMAT( 6F12.4 )
C
C---- COATED PARTICLE DATA READ
C
      MC = MTN(4)
      NPX = NPIN(KC)
      LL = LIDP(KC)
      DO 310 KK=1, KBLK
         K1 = KB1(KK, LL)
         K2 = KB2(KK, LL)
         DO 230 N=1, NPX
            IF( LINP.LE.1 ) THEN
               IF( LINP.EQ.1 .OR. N.LE.1 ) THEN
                  READ(MC, 505) (RC(I), I=1, 5)
                  READ(MC, 505) (RW(I), I=1, 5)
                  READ(MC, 505) (FC(I), I=1, 4)
               ENDIF
            DO 170 K=K1, K2
               DO 110 I=1, 5
                  RCP(I, K, N) = RC(I)
                  RWC(I, K, N) = RW(I)
110 CONTINUE
            DO 130 I=1, 4
               FPIN(K, N, I) = FC(I)
130 CONTINUE
170 CONTINUE
            ELSE
               DO 190 K=K1, K2
                  READ(MC, 505) (RCP(I, K, N), I=1, 5)
                  READ(MC, 505) (RWC(I, K, N), I=1, 5)
                  READ(MC, 505) (FPIN(K, N, I), I=1, 4)
190 CONTINUE
            ENDIF
            DO 230 L=1, 3
               DO 210 K=K1, K2
                  FPRB(K, N, L) = 0.0
210
230 CONTINUE
310 CONTINUE

```

RETURN END SUBROUTINE INPUT CHARACTER*30 MNAME CHARACTER*8 NMFP CHARACTER*12 NAMD CHARACTER*72 TITLE C COMMON /RODTR/ 1 DR(40, 10), DZ(100, 10), AREA(40, 10), WP IN(3000), WCOL(200), PCF(10), 2 VO(100, 10), V1(20, 10), V2(10), 3 VPIN(3000), VBLK(2000), VC0L(200), VCO R COMMON /RODTI/ 1 KCOL, KBMX, KBLK, MPIN, NDIV, NPIN(200), LIDP(200), 2 NFTP, NR1(10), NR2(10), KB1(20, 10), KB2 (20, 10), LTYP(10) COMMON /CONTL/ 1 TITLE, NREST, LFLCN, LIGEM, NEWRT, LPVO L, LPCPD, LPTPF, 2 LPRSL, NLPCl, LGASC, LTFPS, IDC0L(200) COMMON /TKEEP/ 1 LKEP(12), LF0R(12), MTN(12), MTNUM COMMON /UNNAM/ 1 MNAME(12), NAMD(12) COMMON /PREVD/ 1 KC, NP, LT, LP, LI, DTIME, TIME, DDAY COMMON /CPDTR/ 1 RCP(5, 3000), RWC(5, 3000), LINP COMMON /CONTD/ 1 MTTN, MTPW, LTEM(3000), LPOW(3000) COMMON /TEMPD/ 1 TA(100), TT(40, 100), TTA(20000), FFT(2 0000), BUP(20000) COMMON /RESLT/ 1 FRCM(3000, 4), FRCP(2000, 4), FPPV(200 0), FRCB(2000), 2 FPCB(2000), FRCL(200), FPCL(200), FRC0 R, FPCOR, 3 WFRT(2000), WWPV(2000), WWBK(2000), WV BK(2000), 4 WWCL(200), WVCL(200), RBBM(20000), RBB P(10000), 5 RBBB(10000), RBCL(2000), RBCR(30), 6 FPIN(3000, 4), FPRB(3000, 3), FPRO(300 0, 3) COMMON /HSTRY/ 1 DAY(100), TEM(100), 2 TTST(30000), FPST(10000), RBST(1000 0), PRES(20000),	3 NSTP, NSPX COMMON /FPDAT/ 1 NMFP(30), RAMD(30), QKER(30), AKER(3 0), QMAT(30), AMAT(30), 2 QMA1(30), AMA1(30), YILD(30, 2), HEIV, 3 FHEP, EFPU(30), POWE, ACON(30), ACNO(3 0), FPNW, RGGDT, WMATX, 4 ROWTH, CVFIS, AFPGS, QFPGS, ACOXY, QC0X Y, RGASC, RKYD1, RKYD2, 5 SKYD1, SKYD2, VNUPC, CRPCN, WKER, UFRAC, OXRLT(2), FPYIL(2), 6 LPRE(30), NOFP, NUCL, IDFP(30) C C---- INPUT CONTROL DATA C MI = MTN(1) MO = MTN(2) NSTP = NREST + 1 DDAY = DTIME DTIME = DTIME*86400.0 WRITE(MO, 600) TITLE WRITE(MO, 601) NREST, LFLCN, LIGEM, NEWRT, LPVOL, LPCPD WRITE(MO, 602) LPTPF, LPRSL, NLPCl, LGASC, LTFPS WRITE(MO, 603) DTIME C 501 FORMAT(1015) 600 FORMAT(//4X, A72) 601 FORMAT(1H , 3X, '--- JOB CONTROL DATA PRI NT -----' /4X, 1 '---RESTART OPTION(NREST>0 THEN RESTART)-----', 14/4X, 2 '---CONTROL FROM DOS-V DISPLAY (LFLCN>0: YES)---', 14/4X, 3 '---FUEL ROD GEOMETRY INPUT UNI T(LIGEM<=0.5)---', 14/4X, 4 '---NEW RESTART FILE OPTION(NEW RT>0:MAKE)-----', 14/4X, 5 '---VOLUME DATA PRINT OPTION(LP VOL>0:PRINT)---', 14/4X, 6 '---CPF DATA PRINT OPTION(LPCPD >0:PRINT)-----', 14) 602 FORMAT(1H , 3X, 1 '---TEMP., POWER & FLUX PRINT(LP TPF>0:PRINT)---', 14/4X, 2 '---PINWISE RESULTS PRINT (LPRS L>0:YES)-----', 14/4X, 3 '--- =1:PIN TOTAL' /4X, 4 '--- =2:+PIN ALL' /4X, 5 '---'
--	---

```

=3:+POINT TOTAL' /4X,
       6      '---
=4:+POINT ALL' /4X,
       7      '---NO. OF COLUMN TO BE PRINTED
(NLPCL)-----', 14/4X,
       8      '---FP GAS RELEASE ANALYSIS(LGA
SCK<0:ORDINARY)', 14/4X,
       9      '---
>0:ANSI/ANS-5.4' /4X,
       A      '---CPF BEHAVIER HISTRY PRINT(L
TFPS>0:YES)----', 14   )
603 FORMAT(1H , 3X,
       1      '---DTIME(S)-----
-----', 1PE13. 4 )

C
C---- FUEL PIN GEOMETRICAL DATA READ
C
IF( NREST.LE. 0 )  THEN
  TIME = DTIME
  DAY (NSTP) = DDAY
DO 110 K=1, 20000
  BUP (K) = 0. 0
  FFT (K) = 0. 0
110 CONTINUE
  MG = MTN(1)
  IF( LIGEM.GT. 0 )  MG = MTN(5)
  READ(MG, 501)  NFTP, KBLK, KBMX, KCOL, MPIN,
NDIV
C
CALL      RODDIN( MG, MPIN, WPIN )
IF( NEWRT.GT. 0 )
  1  CALL      RODRST
C
C---- COATED PARTICLE AND FP RARE GAS DATA IN
PUT
C
READ(MI, 501)  LINP, NUCL, (IDFP(K), K=1, NU
CL)
C
CALL      CPFDIN
ELSE
  CALL      INPRST
ENDIF
C
C---- PRINT CALCULATED VOLUME AND COATED PART
ICLE DATA
C
IF( LPVOL.GT. 0 )
  *  CALL      PRTVOL(
  1  LPVOL, MPIN, KBLK, VPIN, VBLK
  *  )
C
C---- TEMPERATURE, POWER & FAST FLUX DATA INPU
T
C
CALL      TPFIN(
  1  KBMX, MPIN, KCOL,
  2  LTEM, LPOW, TTA, FFT, BUP
  *  )
  IF( LPTPF.GT. 0 )
    *  CALL      PRTPF(
    1  KBMX, MPIN, KCOL, LTEM, LPOW,
    2  TTA, FFT, BUP
    *  )
C
NSPX = 2000/KBMX
IF( NSPX.GT. MPIN )  NSPX=MPIN
C
RETURN
END
SUBROUTINE      RODDIN( MG, MPM
X, WPIN )
C
COMMON /RODTR/
  1  DR(40, 10), DZ(100, 10), AREA(40, 10), WP
PP(3000), WCOL(200), PCF(10),
  2  VO(100, 10), V1(20, 10), V2(10),
  3  VPIN(3000), VBLK(2000), VCOL(200), VCO
R
COMMON /RODTI/
  1  KCOL, KBMX, KBLK, MPIN, NDIV, NPIN(200),
LIDP(200),
  2  NFTP, NR1(10), NR2(10), KB1(20, 10), KB2
(20, 10), LTYP(10)
C
DIMENSION      WPIN(MPMX, 1)
C
501 FORMAT( 10I5 )
502 FORMAT( 5E12. 4 )
C
READ(MG, 501)  (NR1(L), NR2(L), L=1, NFTP)
  ND1 = NDIV + 1
DO 110 L=1, NFTP
  N2 = NR1(L)+NDIV
  IF( N2.NE. NR2(L) )  THEN
    WRITE(8, 901)  L, NR1(L), NR2(L), NDIV
  901 FORMAT(1H , '***** ERROR STOP FUEL TYPE=
', 12, ' NR1, NR2, NDIV', 315 )
    STOP
  ENDIF
  ND1 = MAX0( ND1, NR2(L) )
110 CONTINUE
C
READ(MG, 501)  (LTYP(L), L=1, NFTP)
READ(MG, 502)  (PCF(L), L=1, NFTP)
DO 130 LP=1, NFTP

```

```

      IF( LTYP(LP). EQ. 3 . AND. PCF(LP). LE. 0.
0 )  PCF(LP) = 0.6
         IF( PCF(LP). LE. 0.0 )  PCF(LP) = 1.0
         READ(MG, 501)  (KB1(K, LP), KB2(K, LP), K=1,
KBLK)
            READ(MG, 502)  (DR(K, LP), K=1, ND1)
            READ(MG, 502)  (DZ(K, LP), K=1, KBMX)
130 CONTINUE
C
C---- CORE GEOMETRY DATA READ
C
      READ(MG, 501)  (LIDP(K), K=1, KCOL)
      READ(MG, 501)  (NPIN(K), K=1, KCOL)
      READ(MG, 502)  (WCOL(K), K=1, KCOL)
      DO 150 K=1, KCOL
         NP = NPIN(K)
         READ(MG, 502)  (WPIN(L, K), L=1, NP)
150 CONTINUE
C
C---- VOLUME CALCULATION OF EACH CHANNEL/BLOC
K/COLUMN/CORE
C
      CALL      VOLUME(
1     MPMX, KBLK, KCOL, WPIN, VPIN, VBLK
*   )
C
      RETURN
      END
      SUBROUTINE      CPFDIN
C
      CHARACTER*8 NMFP
      CHARACTER*72 TITLE
C
      COMMON /FPDAT/
1     NMFP(30), RAMD(30), QKER(30), AKER(3
0), QMAT(30), AMAT(30),
2     QMAI(30), AMAI(30), YILD(30, 2), HEIV,
3     FHEP, EFPU(30), POWE, ACON(30), ACNO(3
0), RRDAT, RGGDT, WMATX,
4     ROWTH, CVFIS, AFPGS, QFPGS, ACOXY, QCQX
Y, RGASC, PKYD1, PKYD2,
5     SKYD1, SKYD2, VNUPC, CRPCN, WKER, UFRAC,
OXRLT(2), FPYIL(2),
6     LPRE(30), NOFP, NUCL, IDFP(30)
      COMMON /TKEEP/
1     LKEP(12), LFOR(12), MTN(12), MTNUM
      COMMON /CONTL/
1     TITLE, NREST, LFLCN, LIGEM, NEWRT, LPVO
L, LPCPD, LPTPF,
2     LPRSL, NLPCPL, LGASC, LTFPS, IDCOL(200)
C
      501 FORMAT( 10I5 )
      502 FORMAT( 6E12.4 )
      503 FORMAT( 8A8 )
C
C---- FP DATA
C
      MR = MTN(9)
      MS = MTN(11)
      MFP= MTN(3)
      READ(MFP, 501)  NOFP
      READ(MFP, 501)  (LPRE(K), K=1, NOFP)
      READ(MFP, 503)  (NMFP(K), K=1, NOFP)
      READ(MFP, 502)  (RAMD(K), K=1, NOFP)
      READ(MFP, 502)  (QKER(K), K=1, NOFP)
      READ(MFP, 502)  (AKER(K), K=1, NOFP)
      READ(MFP, 502)  (QMAT(K), K=1, NOFP)
      READ(MFP, 502)  (AMAT(K), K=1, NOFP)
      READ(MFP, 502)  (QMAI(K), K=1, NOFP)
      READ(MFP, 502)  (AMAI(K), K=1, NOFP)
      READ(MFP, 502)  ((YILD(K, J), K=1, NOFP), J=
1, 2)
C
C---- INPUT OF DATA FOR FP GAS IN THE PRIMARY
COOLANT
C
      READ(MFP, 502)  HEIV, FHEP, POWE, RRDAT, RGGD
T
      READ(MFP, 502)  WMATX, ROWTH, CVFIS, AFPGS, Q
FPGS
      READ(MFP, 502)  ACOXY, QCQXY, RGASC, PKYD1, P
KYD2
      READ(MFP, 502)  SKYD1, SKYD2, VNUPC, CRPCN, W
KER
      READ(MFP, 502)  UFRAC, OXRLT, FPYIL
      READ(MFP, 502)  (EFPU(K), K=1, NOFP)
C
C---- OUTPUT TO RESTART FILE
C
      IF( NEWRT. GT. 0 )  THEN
         WRITE(MR)
1     NMFP, RAMD, QKER, AKER, QMAT, AMAT,
2     QMAI, AMAI, YILD, HEIV,
3     FHEP, EFPU, POWE, RRDAT, RGGDT, WMATX,
4     ROWTH, CVFIS, AFPGS, QFPGS, ACOXY, QCQX
Y, RGASC, PKYD1, PKYD2,
5     SKYD1, SKYD2, VNUPC, CRPCN, WKER, UFRAC,
OXRLT, FPYIL,
6     LPRE, NOFP, NUCL, IDFP
      ENDIF
C
      RETURN
      END
      SUBROUTINE      TPFIN(

```

```

1   KBMX, MPIN, KCOL,
2   LTEM, LPOW, TTA, FFT, BUP
*   )
C
DIMENSION
1   TTA(KBMX, 1), FFT(KBMX, 1), BUP(KBMX,
1),
2   LTEM(MPIN, KCOL), LPOW(MPIN, KCOL),
3   FFX(100), TA(100), TT(40, 100), POW(100
0)
C
CHARACTER*72 TITLE
COMMON /TKEEP/
1   LKEP(12), LFOR(12), MTN(12), MTNUM
COMMON /RODTR/
1   DR(40, 10), DZ(100, 10), AREA(40, 10), WP
IN(3000), WCOL(200), PCF(10),
2   VO(100, 10), V1(20, 10), V2(10),
3   VPIN(3000), VBLK(2000), VCOL(200), VCO
R
COMMON /RODTI/
1   KCLL, KBVX, KBLK, MPPP, NDIV, NPIN(200),
LIDP(200),
2   NFTP, NR1(10), NR2(10), KB1(20, 10), KB2
(20, 10), LTYP(10)
COMMON /CONTD/
1   MTTN, MTPW, LTET(3000), LPWW(3000)
COMMON /CONTL/
1   TITLE, NREST, LFLCN, LIGEM, NEWRT, LPVO
L, LPCPD, LPTPF,
2   LPRSL, NLPCPL, LGASC, LTFPS, IDCOL(200)

COMMON /PREVD/
1   KC, NP, LT, LP, LI, DTIME, TIME, DDAY
C
C---- TEMPERATURE, POWER, & FAST FLUX
C
M1 = MTN(1)
MTT = MTN(6)
MTP = MTN(7)
MTF = MTN(8)
READ(M1, 501) MTTN, MTPW
DO 310 K=1, KCOL
NP = NPIN(K)
READ(M1, 501) (LTEM(N, K), N=1, NP)
READ(M1, 501) (LPOW(N, K), N=1, NP)
310 CONTINUE
C
DO 370 N=1, MTTN
READ(MTT, 501) LTP, NDIV
IF( LTP.LE.0 ) LTP = 1
IF( NDIV.LE.0 ) NDIV = 1
READ(MTT, 502) ((TT(I, K), I=1, NDIV), K=1,
KBMX)
IF( NDIV.GT.1 ) THEN
N1 = NR1(LTP)
N2 = NR2(LTP)
NE = N2 - 1
IF( N2.NE.N1+NDIV ) THEN
WRITE(8, 901) N1, N2, NDIV
901 FORMAT(1H , '***** ERROR IN NR1 AND
NR2 AND NDIV*****', 315 )
STOP
ENDIF
NRD = 40
C
CALL TAVERG( N1, NE, NRD, KBMX, T
T, AREA, TA )
C
ELSE
DO 330 K=1, KBMX
TA(K) = TT(1, K)
330 CONTINUE
ENDIF
DO 350 K=1, KBMX
TTA(K, N) = TA(K)+273.15
350 CONTINUE
370 CONTINUE
C
C---- POWER DATA READ
C   CVFIM : CONVERSION FACTOR INPUT POWER
TO FIMA(%)
C   BUP:%FIMA
C
READ(MTP, 502) CVFIM
IF( CVFIM.LE.0.0 ) CVFIM = 1.0
DO 410 N=1, MTPW
READ(MTP, 502) (POW(K), K=1, KBMX)
READ(MTF, 502) (FFX(K), K=1, KBMX)
DO 390 K=1, KBMX
FFT(K, N) = FFT(K, N) + FFX(K)*DTIME
BUP(K, N) = POW(K)*DDAY*CVFIM + BUP
(K, N)
390 CONTINUE
410 CONTINUE
IF( NEWRT.GT.0 ) THEN
MT = MTN(9)
WRITE(MT) KBMX, MTPW, ((BUP(K, N), K=1, KBM
X), N=1, MTPW),
1           ((FFT(K, N), K=1, KBMX), N=1, MTP
W)
ENDIF
RETURN
C
500 FORMAT( 18A4 )
501 FORMAT( 10I5 )

```

<pre> 502 FORMAT(5E12. 4) C END SUBROUTINE AVRAG1(K1, K2, L T, WT, W2, FN, RSLT, WE) C C---- WEIGHTED AVERAGE FOR 1-DIMENSION ARRAY C FN : VALUE TO BE AVERAGED FROM K 1 TO K2 C WT : WEIGHT USED IN AVERAGE C LT : IF LT.GT.0 WEIGHT TO BE CHA NGED TO WT*W2 C RSLT : AVERAGED RESULTS C DIMENSION 1 WT(1), W2(1), FN(1) C WE = 0.0 RSLT = 0.0 DO 110 K=K1, K2 W = WT(K) IF(LT.GT.0) W = W*W2(K) RSLT = RSLT + FN(K)*W WE = WE+ W 110 CONTINUE RSLT = RSLT / WE RETURN END SUBROUTINE TAVERG(1 NR1, NR2, IFEL, KBMX, 2 TI, SS, TA *) C C---- RADIAL AVERAGE OF FUEL TEMPERATURE WITH IN COMPACT C DIMENSION 1 SS(1), TI(IFEL, 1), TA(1) C C TI : INPUT FUEL TEMPERATURE MESH NR1 TO NR2 ARE FUEL C TA : AVERAGED FUEL TEMPERASTUR i n AXIAL POSITION K C IFEL : RADIAL MESH No. TI WERE EVA LUATED C SS : AREA USED IN AVERAGE C LT = 0 </pre>	<pre> DO 110 KB=1, KBMX C CALL AVRAG1(NR1, NR2, LT, SS, SS, TI (1, KB), RS, WE) C TA (KB) = RS 110 CONTINUE RETURN END SUBROUTINE VOLUME(1 MPIN, KBLK, KCOL, WPIN, VPIN, VBLK *) C C---- VOLUME DATA CALCULATION C DR : RADIAL DIVISION FOR TEMP ERATURE CALCULATION C DZ : AXIAL DIVISION FOR TEMPE RATURE CALCULATION C WPIN : WEIGHT FOR FUEL PIN C WCOL : WEIGHT FOR COLUMN C PCF : PACKING FRACTION FOR PEB BLE BED FUEL (LTPP=4) C KCOL : COLUMN NUMBER C KBVX : AXIAL MESH NUMBER C KBLK : AXIAL BLOCK NUMBER C NPIN : FUEL PIN NUMBER IN THE C OLUMN C LIDP : FUEL PIN TYPE IN THE COL UMN 1=HOLLOW C 2=MULTIHOLE C 3=PEBBLE C NFTP : FUEL PIN TYPE NUMBER C NR1, NR2 : RADIAL MESH NUMBER NR1-N R2 ARE FUEL C KB1, KB2 : AXIAL MESH NUMBER KB1-KB 2 BELONGS TO ONE AXIAL BLOCK C DIMENSION 1 WPIN(MPIN, KCOL), VPIN(MPIN, KCOL), VBL K(KBLK, KCOL) C COMMON /RODTR/ 1 DR(40, 10), DZ(100, 10), AREA(40, 10), WP PP(3000), WCOL(200), PCF(10), 2 VO(100, 10), V1(20, 10), V2(10), 3 VPPP(3000), VBBB(2000), VCOL(200), VC0 R COMMON /RODTI/ 1 KCLL, KBMX, KBBB, MPPP, NDIV, NPIN(200), LIDP(200), 2 NFTP, NR1(10), NR2(10), KB1(20, 10), KB2 </pre>
--	---

```

(20, 10), LTYP(10)
C
C---- VOLUME OF EACH DIVISION OF FUEL PIN
C
      PAI = 3.14159265
      DO 170 L=1, NFTP
      MTP = LTYP(L)
      N1 = NR1(L)
      N2 = NR2(L)
      NE = N2 - 1
      X2 = DR(N1, L)*DR(N1, L)
      C1 = PAI
      IF( MTP.GT. 2 ) THEN
          X2 = X2*DR(N1, L)
          C1 = C1 * 1.33333333
      ENDIF
      TARE = 0.0
      DO 110 I=N1, NE
          X1 = X2
          X2 = DR(I+1, L)*DR(I+1, L)
          IF( MTP.GT. 2 ) X2 = X2*DR(I+1, L)
          S = C1 * ( X2 - X1 )
          AREA(I, L) = S
          TARE = TARE + S
      110 CONTINUE
      VPP = 0.0
      PF = PCF(L)*S
      DO 150 KB=1, KBLK
          K1 = KB1(KB, L)
          K2 = KB2(KB, L)
          VBB = 0.0
      DO 130 K=K1, K2
          VO(K, L) = PF * DZ(K, L)
          VBB = VBB + VO(K, L)
      130 CONTINUE
      V1(KB, L) = VBB
      VPP = VPP + VBB
      150 CONTINUE
      V2(L) = VPP
      170 CONTINUE
C
C---- VOLUME OF BLOCK AND CHANNEL
C
      VCOR = 0.0
      DO 250 KC=1, KCOL
          NP1 = NPIN(KC)
          LTP = LIDP(KC)
          VC = 0.0
      DO 210 N=1, NP1
          W = WPIN(N, KC)
          VPIN(N, KC) = V2(LTP) * W
          VC = VC + VPIN(N, KC)
      210 CONTINUE
      230 CONTINUE
      VCOL(KC) = VC
      DO 230 KB=1, KBLK
          VBLK(KB, KC) = VC * V1(KB, LTP) / V2(LT
P)
      230 CONTINUE
      VCOR = VCOR + VC * VCOL(KC)
      250 CONTINUE
C
      RETURN
      END
      SUBROUTINE PRTVOL(
      1   LPVOL, MPMX, KBLK, VPIN, VBLK
      *   )
C
      COMMON /RODTR/
      1   DR(40, 10), DZ(100, 10), AREA(40, 10), WP
PP(3000), VCOL(200), PCF(10),
      2   VO(100, 10), V1(20, 10), V2(10),
      3   VPPP(3000), VBBB(2000), VCOL(200), VCO
R
      COMMON /RODT1/
      1   KCOL, KBVX, KBXX, MPIN, NDIV, NPIN(200),
LIDP(200),
      2   NFTP, NR1(10), NR2(10), KB1(20, 10), KB2
(20, 10), LTYP(10)
      COMMON /TKEEP/
      1   LKEP(12), LFOR(12), MTN(12), MTNUM
C
      DIMENSION
      1   VPIN(MPMX, 1), VBLK(KBLK, 1)
      CHARACTER*12 COLN
      DATA COLN/ 'TYPE PIN' /
C
      MO = MTN(2)
      KC2 = 0
      110 KC1 = KC2 + 1
      KC2 = KC1 + 4
      IF( KC2.GT. KCOL ) KC2 = KCOL
      WRITE(MO, 600) VCOR, (KC, KC=KC1, KC2)
      WRITE(MO, 606) (COLN, KC=KC1, KC2)
      WRITE(MO, 601) (LIDP(KC), NPIN(KC), KC=K
C1, KC2)
      WRITE(MO, 602) (VCOL(KC), KC=KC1, KC2)

      WRITE(MO, 603) (VCOL(KC), KC=KC1, KC2)
      DO 130 NP=1, MPIN
      WRITE(MO, 604) NP, (VPIN(NP, KC), KC=KC1,
KC2)
      130 CONTINUE
      DO 150 KB=1, KBLK
      WRITE(MO, 605) KB, (VBLK(KB, KC), KC=KC1,
KC2)
      150 CONTINUE

```

```

IF( KC2.LT.KCOL ) GO TO 110
C
C---- PRINT VOLUME OF PINWISE DATA
C
IF( LPVOL.GT.1 ) THEN
DO 310 NP=1,NFTP
N1 = NR1(NP)
N2 = NR2(NP)
WRITE(MO,611) NP, V2(NP), N1, DR(N1,NP),
N2, DR(N2,NP)
WRITE(MO,612) (AREA(I,NP), I=N1,N2)

DO 250 KBL=1,KBLK
KBMI = KB1(KBL,NP)
KBMX = KB2(KBL,NP)
DO 230 KB=KBMI,KBMX
IF( KB.EQ.KBMI )
1WRITE(MO,614) KBL, KB, V1(KBL,NP), DZ(KB,N
P), VO(KB,NP)
IF( KB.NE.KBMI )
1WRITE(MO,615) KB, DZ(KB,NP), VO(KB,NP)
230 CONTINUE
250 CONTINUE
310 CONTINUE
ENDIF
C
600 FORMAT(1H //4X, '--- FUEL VOLUME IN THE
CORE', 1PE12.4, '---'
1      /26X, 12, '-COL', 6X, 12, '-COL', 6X,
12, '-COL', 6X, 12, '-COL', 6X,
2      12, '-COL' )
601 FORMAT(1H , 23X, 5(13,16,3X) )
602 FORMAT(1H , 3X, 'COLUMN WEIGHT(No.)--', 1P
5E12.4 )
603 FORMAT(1H , 3X, 'COLUMN VOLUME(M**3)--', 1P
5E12.4 )
604 FORMAT(1H , 3X, ' - ', 12, ' TH PIN VOL(M**3)-
', 1P5E12.4 )
605 FORMAT(1H , 3X, ' - ', 12, ' TH BLK VOL(M**3)-
', 1P5E12.4 )
606 FORMAT(1H , 25X, 5A12 )

C
611 FORMAT(1H , 3X, '--- PIN DATA(TYPE=', 12,
', VOL=', 1PE12.4, ')---' /
1      4X, '--- PIN IN. DATA( ', 12,
', RAD=', E12.4, ')---' /
2      4X, '--- PIN OU. DATA( ', 12,
', RAD=', E12.4, ')---' )
612 FORMAT(1H , 3X, '--- AREA OF PIN DIVISIO
N IN TEMP. CAL---'
1      /7X, 1P5E12.4/7X, 5E12.4/7X, 5E
12.4/7X, 5E12.4/7X, 5E12.4/7X, 5E1
2      /7X, 5E12.4/7X, 5E12.4/7X, 5E1

2.4   )
613 FORMAT(1H , 3X, '--- BLOCK DATA ---' /16
X, 'BLOCK VOL.', 2X, 'DZ(M)',

1      7X, 'POINT VOL.' )
614 FORMAT(1H , 3X, 12, '-BLK', 12, 2X, 1PE12.4, 0
PF8.3, 4X, 1PE12.4 )
615 FORMAT(1H , 9X, 12, 14X, F8.3, 4X, 1PE12.4 )

C
RETURN
END
SUBROUTINE RODRST
COMMON /RODTR/
1      DR(40,10), DZ(100,10), AREA(40,10), WP
IN(3000), WCOL(200), PCF(10),
2      VO(100,10), V1(20,10), V2(10),
3      VPIN(3000), VBLK(2000), VCOL(200), VCO

R
COMMON /RODTI/
1      KCOL, KBVX, KBLK, MPIN, NDIV, NPIN(200),
LIDP(200),
2      NFTP, NR1(10), NR2(10), KB1(20,10), KB2
(20,10), LTYP(10)
COMMON /TKEEP/
1      LKEP(12), LFOR(12), MTN(12), MTNUM
COMMON /HSTRY/
1      DAY(100), TEM(100),
2      TTST(30000), FPST(10000), RBST(1000
0), PRES(20000),
3      NSTP, NSPX
COMMON /PREVD/
1      KC, NP, LT, LP, LI, DTIME, TIME, DDAY

C
C---- WRITE DATA TO NEW RESTART TAPE
C
MTP=MTN(9)
WRITE(MTP) KCOL, KBVX, KBLK, MPIN, NDIV,
1      NPIN, LIDP, NFTP, NR1, NR2, KB1,
KB2, LTYP,
2      NSTP, DAY, TIME
WRITE(MTP) DR, DZ, AREA, WPIN, WCOL, PCF,
1      VO, V1, V2, VPIN, VBLK, VCOL, VCO

R
C
RETURN
END
SUBROUTINE INPRST
COMMON /RODTR/
CHARACTER*72 TITLE
CHARACTER*8 NMFP
COMMON /RODTR/
1      DR(40,10), DZ(100,10), AREA(40,10), WP
IN(3000), WCOL(200), PCF(10),

```

```

2   VO(100, 10), V1(20, 10), V2(10),
3   VPIN(3000), VBLK(2000), VCOL(200), VCO
R
    COMMON /RODTI/
    1   KCOL, KBMX, KBLK, MPIN, NDIV, NPIN(200),
L1DP(200),
    2   NFTP, NR1(10), NR2(10), KB1(20, 10), KB2
(20, 10), LTYP(10)
    COMMON /TKEEP/
    1   LKEP(12), LFOR(12), MTN(12), MTNUM
    COMMON /CONTL/
    1   TITLE, NREST, LFLCN, LIGEM, NEWRT, LPVO
L, LPCPD, LPTPF,
    2   LPRSL, NLPCPL, LGASC, LTFPS, IDCOL(200)

    COMMON /FPDAT/
    1   NMFP(30), RAMD(30), QKER(30), AKER(3
0), QMAT(30), AMAT(30),
    2   QMA1(30), AMA1(30), YILD(30, 2), HEIV,
    3   FHEP, EFPU(30), POWE, ACON(30), ACNO(3
0), RRDAT, RGGDT, WMATX,
    4   ROWTH, CVFIS, AFPGS, QFPGS, ACOXY, QCOX
Y, RGASC, RKYD1, RKYD2,
    5   SKYD1, SKYD2, VNUPC, CRPCN, WKER, UFRAC,
OXRLT(2), FPYIL(2),
    6   LPRE(30), NOFP, NULL, IDFP(30)
    COMMON /TEMPD/
    1   TA(100), TT(40, 100), TTA(20000), FFT(2
0000), BUP(20000)
    COMMON /PREVD/
    1   KC, NP, LT, LP, LI, DTIME, TIME, DDAY
    COMMON /HSTRY/
    1   DAY(100), TEM(100),
    2   TTST(30000), FPST(10000), RBST(1000
0), PRES(20000),
    3   NSTP, NSPX
C
C---- READ DATA FROM RESTART TAPE
C
    MTP=MTN(10)
    MS =MTN(11)
    READ(MTP)  KCOL, KBMX, KBLK, MPIN, NDIV,
1       NPIN, LIDP, NFTP, NR1, NR2, KB1, K
B2, LTYP,
    2       NSTR, DAY, TIME
    READ(MTP)  DR, DZ, AREA, WPIN, WCOL, PCF,
1       VO, V1, V2, VPIN, VBLK, VCOL, VCOR
C
    READ(MTP)
    1   NMFP, RAMD, QKER, AKER, QMAT, AMAT,
    2   QMA1, AMA1, YILD, HEIV,
    3   FHEP, EFPU, POWE, RRDAT, RGGDT, WMATX,
    4   ROWTH, CVFIS, AFPGS, QFPGS, ACOXY, QCOX
Y, RGASC, RKYD1, RKYD2,
    5   SKYD1, SKYD2, VNUPC, CRPCN, WKER, UFRAC,
OXRLT, FPYIL,
    6   LPRE, NOFP, NULL, IDFP
    ENDIF
C
    RETURN
END
SUBROUTINE      BUPFFT(
1   KBMX, MTP, BUP, FFT
*   )
C
    DIMENSION
1   BUP(KBMX, 1), FFT(KBMX, 1)
C
    READ(MTP)  KK, NN, ((BUP(K, N), K=1, KK), N=1,
NN),
1           ((FFT(K, N), K=1, KK), N=1, NN)
C

```

```

      RETURN
      END
      SUBROUTINE PRTTPF(
1      KBMX, MPIN, KCOL, LTEM, LPOW,
2      TTA, FLT, BUP
*   )
C
      DIMENSION
1      TTA(KBMX, 1), FLT(KBMX, 1), BUP(KBMX,
1),
2      LTEM(MPIN, KCOL), LPOW(MPIN, KCOL)
C
      COMMON /TKEEP/
1      LKEP(12), LFOR(12), MTN(12), MTNUM
      COMMON /RODTR/
1      DR(40, 10), DZ(100, 10), AREA(40, 10), WP
IN(3000), WCOL(200), PCF(10),
2      VO(100, 10), V1(20, 10), V2(10),
3      VPIN(3000), VBLK(2000), VC0L(200), VC0
R
      COMMON /RODTI/
1      KCLL, KBVX, KBLK, MPPP, NDIV, NPIN(200),
LIDP(200),
2      NFTP, NR1(10), NR2(10), KB1(20, 10), KB2
(20, 10), LTYP(10)
      COMMON /CONTD/
1      MTN, MTPW, LTET(3000), LPWW(3000)
      COMMON /TEMPD/
1      TA(100), TT(40, 100), TTAX(20000), FLXX
(20000), BUPX(20000)
      COMMON /CONTL/
1      TITLE, NREST, LFLCN, LIGEM, NEWRT, LPVO
L, LPCPD, LPTPF,
2      LPRSL, NLPCP, LGASC, LTFPS, IDCOL(200)

C
      CHARACTER*72 TITLE
C
      C---- IDENTIFICATION OF TEMPERATURE-(PIN, COL)
C
      MO = MTN(2)
      WRITE(MO, 600)
      DO 110 K=1, KCOL
         NP = NPIN(K)
         WRITE(MO, 601) K, (N, LTEM(N, K), N=1, NP)
110 CONTINUE
C
      C---- TEMPERATURE DISTRIBUTION( RADIAL AVERAGE
D )
C
      N2 = 0
130     N1 = N2 + 1
      IF( N1.GT. MTN )      GO TO 210
      N2 = N2 + 8
      IF( N2.GT. MTTN )      N2 = MTTN
      WRITE(MO, 602) (N, N=N1, N2)
      DO 150 K=1, KBMX
      WRITE(MO, 603) K, (TTA(K, N), N=N1, N2)
150 CONTINUE
      GO TO 130
C
      C---- IDENTIFICATION OF POWER, FAST FLUX-(PIN,
COL)
C
      210 WRITE(MO, 604)
      DO 230 K=1, KCOL
         NP = NPIN(K)
         WRITE(MO, 601) K, (N, LPOW(N, K), N=1, NP)
230 CONTINUE
C
      C---- POWER & FAST FLUX FLUENCE DISTRIBUTION
C
      N2 = 0
250     N1 = N2 + 1
      IF( N1.GT. MTPW )      GO TO 310
         N2 = N2 + 5
      IF( N2.GT. MTPW )      N2 = MTPW
      WRITE(MO, 605) (N, N=N1, N2)
      DO 270 K=1, KBMX
      WRITE(MO, 603) K, (FLT(K, N), N=N1, N2)
270 CONTINUE
      GO TO 250
C
      C---- BURNUP DISTRIBUTION
C
      310     N2 = 0
350     N1 = N2 + 1
      IF( N1.GT. MTPW )      GO TO 410
         N2 = N2 + 5
      IF( N2.GT. MTPW )      N2 = MTPW
      WRITE(MO, 606) (N, N=N1, N2)
      DO 330 K=1, KBMX
      WRITE(MO, 603) K, (BUP(K, N), N=N1, N2)
330 CONTINUE
      GO TO 350
C
      410     RETURN
C
      600 FORMAT(1H , /4X, '----- TEMP. ID DATA-
---' )
      601 FORMAT(1H , 3X, '-' , 12, ' TH-COLUMN-----
',
1      5(' ', 12, 'PIN:', 12, ')', 2X)/24X,
2      5(' ', 12, 'PIN:', 12, ')', 2X)/24X,
3      5(' ', 12, 'PIN:', 12, ')', 2X)/24X,
4      5(' ', 12, 'PIN:', 12, ')', 2X)/24X,

```

```

5      5(' ', I2, 'PIN:', I2, ')', 2X)/24X,
6      5(' ', I2, 'PIN:', I2, ')', 2X)/24X,
7      5(' ', I2, 'PIN:', I2, ')', 2X)/24X,
8      5(' ', I2, 'PIN:', I2, ')', 2X)/24X,
9      5(' ', I2, 'PIN:', I2, ')', 2X)/24X,
A      5(' ', I2, 'PIN:', I2, ')', 2X)/24X,
B      5(' ', I2, 'PIN:', I2, ')', 2X)/24X,
C      5(' ', I2, 'PIN:', I2, ')', 2X)/24X,
D      5(' ', I2, 'PIN:', I2, ')', 2X)/24X,
E      5(' ', I2, 'PIN:', I2, ')', 2X)/24X,
F      5(' ', I2, 'PIN:', I2, ')', 2X)/24X,
G      5(' ', I2, 'PIN:', I2, ')', 2X)/24X,
H      5(' ', I2, 'PIN:', I2, ')', 2X)/24X,
I      5(' ', I2, 'PIN:', I2, ')', 2X)/24X,
J      5(' ', I2, 'PIN:', I2, ')', 2X)/24X,
K      5(' ', I2, 'PIN:', I2, ')', 2X)
)
602 FORMAT(1H , 3X, '----- TEMP. DISTRIBUTION-----'
           1           /22X, 14, '-TEM', 4(18, '-TEM' )
)
603 FORMAT(1H , 12X, I3, 5X, 1P5E12. 4 )
604 FORMAT(1H , /4X, '---FAST-FLUX ID DATA---'
           1           )
605 FORMAT(1H , 3X, '----- FAST-FLUX DISTRIBUTION---'
           1           /22X, 14, '-F. F', 4(18, '-F. F' )
)
606 FORMAT(1H , 3X, '----- BURNUP (%FIM A) DISTRIBUTION---'
           1           /22X, 14, '-BUP', 4(18, '-BUP' )
)
C
END
SUBROUTINE      PRTCPF(
1   KBMM, MPMX, RCP, RWC,
2   FPIN, FPRB
*   )
C
DIMENSION
1   RCP(5, KBMM, MPMX), RWC(5, KBMM, MPMX),
2   FPIN(KBMM, MPMX, 4), FPRB(KBMM, MPMX, 3)
C
CHARACTER*72 TITLE
CHARACTER*8 NMFP
C
COMMON /FPDAT/
1   NMFP(30), RAMD(30), QKER(30), AKER(3
0), QMAT(30), AMAT(30),
2   QMA1(30), AMA1(30), YILD(30, 2), HEIV,
3   FHEP, EFPU(30), POWE, ACON(30), ACNO(3
0), RRDAT, RGGDT, WMATX,
4   ROWTH, CVFIS, AFPGS, QFPGS, ACOXY, QCQX
Y, RGASC, PKYD1, PKYD2,
5   SKYD1, SKYD2, VNUPC, CRPCN, WKER, UFRAC,
OXRLT(2), FPYIL(2),
6   LPRE(30), NOFP, NUCL, IDFP(30)
COMMON /TKEEP/
1   LKEP(12), LFOR(12), MTN(12), MTNUM
COMMON /CONTL/
1   TITLE, NREST, LFLCN, LIGEM, NEWRT, LPVO
L, LPCPD, LPTPF,
2   LPRSL, NLPCCL, LGASC, LTFPS, IDCOL(200)
COMMON /PREVD/
1   KC, NP, LT, LP, LI, DTIME, TIME, DDAY
COMMON /RODTI/
1   KCOL, KBVX, KBLK, MPIN, NDIV, NPIN(200),
LIDP(200),
2   NFTP, NR1(10), NR2(10), KB1(20, 10), KB2
(20, 10), LTYP(10)
C
C---- FP-GAS DATA PRINT
C
MO = MTN(2)
IF( KC.LE. 1 ) THEN
  WRITE(MO, 600) NOFP, NUCL
  DO 110 K=1, NUCL
    N = IDFP(K)
    WRITE(MO, 601) K, N, NMFP(N), LPRE(N), RAMD
(N), QKER(N), AKER(N),
    1           QMAT(N), AMAT(N), YILD(N, 1)
    IF( LPRE(N). GT. 0 ) THEN
      L = LPRE(N)
      WRITE(MO, 602) L, NMFP(L), LPRE(L), RAMD
(L), QKER(L), AKER(L),
      1           QMAT(L), AMAT(L), YILD(L, 1)
    ENDIF
  110 CONTINUE
  WRITE(MO, 661) HEIV, FHEP, POWE, RRDAT, WMAT
X
  WRITE(MO, 662) ROWTH, CVFIS, AFPGS, QFPGS, R
GASC
  WRITE(MO, 663) ACOXY, QCQXY, VNUPC, CRPCN, W
KER
  WRITE(MO, 664) PKYD1, PKYD2, SKYD1, SKYD2
  IF( UFRAC.LE. 0.0 ) UFRAC = 1.0
  IF( OXRLT(1). LE. 0.0 ) OXRLT(1) = 0.4
  IF( OXRLT(2). LE. 0.0 ) OXRLT(2) = 0.85
  IF( FPYIL(1). LE. 0.0 ) FPYIL(1) = 0.31
  IF( FPYIL(2). LE. 0.0 ) FPYIL(2) = 0.31
  WRITE(MO, 665) UFRAC, OXRLT, FPYIL
  WRITE(MO, 666) (K, EFPU(K), K=1, NOFP)
  ENDIF
C
C---- COATED PARTICLE FUEL DATA PRINT

```

```

C      ( ONLY FIRST POINT DATA IN THE BLOCK ARE
      PRINTED )
C
      NPX = NPIN(KC)
C
      WRITE(M0,603) KC
      DO 230 NP=1,NPX
      DO 210 KB=1,KBLK
      K=KB1(KB,L1)
      WRITE(M0,604) KC, NP, KB, K, (RCP(I,K,NP), I
      =1,5)
      WRITE(M0,605) (RWC(I,K,NP), I=1,5)
      WRITE(M0,606) (FPIN(K,NP,L), L=1,4)
      IF( NREST.GT.0 )
      1WRITE(M0,607) (FPRB(K,NP,L), L=1,3)
210 CONTINUE
230 CONTINUE
      RETURN
C
      600 FORMAT(1H , /4X, '---FP NUCLIDES IN LIBRA
RY      (NOFP)-----', 12/4X,
      1      '---FP NUCLIDES TO BE EVALUATED
(NUCL)-----', 12/4X,
      2      '---DATA TO BE USED IN RELEASE E
VALUATION---' /18X,
      3      'PRECURSOR    DECAY(1/S)  -RED. DI
F. COEF(KERNEL)-',
      4      '-RED. DIF. COEF(MATRIX)-', 2X, 'Y
ILD(U)' /42X,
      5      '-A-', 9X, '-Q-', 9X, '-A-', 9X, '-Q-
')
      601 FORMAT(1H , 3X, 12, '- ', 12, '- ', A8, 14, 6X, 1P
6E12. 4 )
      602 FORMAT(1H , 6X, 12, '- ', A8, 14, 6X, 1P6E12. 4
)
      603 FORMAT(1H , /4X, '----', 13, '-TH COLUMN C
PF DATA PRINT----' /4X,
      1      'COL. PIN BLOCK MESH', 19X, 'KE
RNEL', 4X, 'BUFFER', 4X,
      2      '1-PYC', 5X, 'SIC', 7X, '0-PYC'
)
      604 FORMAT(1H , 3X, 13, 215, 17, 4X, 'RADIUS(M)', 6X, 5F10. 6
)
      605 FORMAT(1H , 27X, 'DENSITY(T/M3)', 2X, 5F10.
6/28X,
      1      ' INITIAL CPF DATA', 11X, 'TOTAL F.
',
      1      2X, 'SIC+IPYC', 2X, 'SIC', 7X, 'C
ONTAMI' )
      606 FORMAT(1H , 27X, 'FAIL. RATE', 16X, 4F10. 6
)
      607 FORMAT(1H , 27X, 'PREV. F-P.', 16X, 4F10. 6
)
      661 FORMAT(1H ,
      1      /4X, 'HEIV :HE INVENTORY IN 1-SYSTEM
      (T)-----', 1PE12. 4
      2      /4X, 'FHEP :HE FLOW RATE OF PURIFICAT
ION SYSTEM(T/S)--', E12. 4
      3      /4X, 'POWE :TOTAL POWER(W)-----
-----', E12. 4
      4      /4X, 'RRDAT:RECOIL DISTANCE IN MATRIX
(M)-----', E12. 4
      5      /4X, 'WMATX:MATRIX WEIGHT(T)-----
-----', E12. 4 )
      662 FORMAT(1H ,
      1      3X, 'ROWTH:THEORETICAL DENSITY OF PY
C(T/M3)-----', 1PE12. 4
      2      /4X, 'CVFIS:FISSION TO POWER CONV. F.
(3.2E+10)-----', E12. 4
      3      /4X, 'APPGS:RARE GAS FPS RED. DIF. CO
EF(A) IN KERNEL--', E12. 4
      4      /4X, 'QPGS:RARE GAS FPS RED. DIF. CO
EF(Q) IN KERNEL--', E12. 4
      5      /4X, 'RGASC:GAS CONSTANT(J/MO-K)-----
-----', E12. 4 )
      663 FORMAT(1H ,
      1      3X, 'ACOXY:OXYGENS REDUCED DIF. COEF
(A) IN KERNEL--- ', 1PE12. 4
      2      /4X, 'QCOXY:OXYGENS REDUCED DIF. COEF
(Q) IN KERNEL--- ', E12. 4
      3      /4X, 'VNUPC:PYC POISSON RATIO FOR CRE
EP-----', E12. 4
      4      /4X, 'CRPCN:PYC CREEP CONSTANT-----
-----', E12. 4
      5      /4X, 'WKER :FUEL MOL WEIGHT(T)-----
-----', E12. 4 )
      664 FORMAT(1H ,
      1      3X, 'PKYD1:PYC STRENGTH DATA(MPa)-----
-----', 1PE12. 4
      2      /4X, 'PKYD2:PYC STRENGTH DATA(MPa) LI
NEAR TERM TO FT--', E12. 4
      3      /4X, 'SKYD1:SIC STRENGTH DATA(MPa)-----
-----', E12. 4
      4      /4X, 'SKYD2:SIC STRENGTH DATA(MPa) LI
NEAR TERM TO FT--', E12. 4 )
      665 FORMAT(1H ,
      1      3X, 'UFRAC:URANIUM FISSION RATIO-----
-----', 1PE12. 4
      2      /4X, 'OXRLT(1):OXYGEN RELEASE RATIO F
ROM U FISSION--- ', E12. 4
      3      /4X, 'OXRLT(2):OXYGEN RELEASE RATIO F
ROM PU FISSION--- ', E12. 4
      4      /4X, 'FPYL(1):FP GAS RELEASE RATIO F
ROM U FISSION--- ', E12. 4
      5      /4X, 'FPYL(2):FP GAS RELEASE RATIO F
ROM PU FISSION--- ', E12. 4 )
      666 FORMAT(1H ,
      1      3X, 'EFPU(K):PURIFICATION EFFICIENCY

```

```

FOR K=' , 12, '-FP-----',
 2 1PE12. 4 )
C
  END
  SUBROUTINE      CPFAIL(
 1  KBMX, KBLK, MPIN, NSPX, LPOW, LTEM, TTA, F
FT, BUP, RCP, RWC,
 2  FRCM, FPPV, FPIN, FPRB, FPRO, WFRT, WWPV,
 3  FRCP, TTST, PRES
  *  )

C
C---- COATED PARTICLE FAILURE EVALUATION
C      INITIALLY SIC FAILURE WILL BE EVALU
ATED
C      FRDM(KB, N, L)  L=1: TOAL FAILURE
C                           2: SIC+I-PYC FAILUR
ED
C                           3: ONLY SIC FAILURE
D
C                           4: CONTAMINATION
C      FFT               : FAST FLUX FLUENC
E
C      TTA               : TEMPERATURE OF F
UEL (RAD. AVERAGE)
C      POW               : POWER DISTRIBUTI
ON
C
C      SYURD             : RADIAL DIR. PYC
DIMENSIONAL CHANGE
C      SYUTN             : TANGENTIAL DIR.
PYC DIEMNSIONAL CHANGE
C      GPRES             : GAS PRESSURE IN
THE BUFFER LAYER
C
COMMON /CONTL/
 1  TITLE, NREST, LFLCN, LIGEM, NEWRT, LPVO
L, LPCPD, LPTPF,
 2  LPRSL, NLPCCL, LGASC, LTFPS, IDCOL(200)

COMMON /PREVD/
 1  KC, NP, LT, LP, LI, DTIME, TIME, DDAY
COMMON /RODTI/
 1  KCXX, KBMM, KBLX, MPMM, NDIV, NPIN(200),
LIDP(200),
 2  NFTP, NR1(10), NR2(10), KB1(20, 10), KB2
(20, 10), LTYP(10)
COMMON /RODTR/
 1  DR(40, 10), DZ(100, 10), AREA(40, 10), WP
IN(3000), WCOL(200), PCF(10),
 2  VO(100, 10), VI(20, 10), V2(10),
 3  VPIN(3000), VBLK(2000), VCOL(200), VCO
R
COMMON /FPDAT/
 1  NMFP(30), RAMD(30), QKER(30), AKER(3
0), QMAT(30), AMAT(30),
 2  QMA1(30), AMA1(30), YILD(30, 2), HEIV,
 3  FHEP, EFPU(30), POWE, ACON(30), ACNO(3
0), RRDAT, RGDDT, WMATX,
 4  ROWTH, CVFIS, AFPGS, QFPGS, ACOXY, QCQX
Y, RGASC, PKYD1, PKYD2,
 5  SKYD1, SKYD2, VNUPC, CRPCN, WKER, UFRAC,
OXRLT(2), FPYIL(2),
 6  LPRE(30), NOFP, NULL, IDFP(30)
COMMON /HSTRY/
 1  DAY(100), TEM(100),
 2  TTSX(30000), FPST(10000), RBST(1000
0), PREX(20000),
 3  NSTP, NSPY
C
CHARACTER*72 TITLE
CHARACTER*8 NMFP
DIMENSION
 1  LPOW(MPIN, 1), LTEM(MPIN, 1), TTA(KBMX,
1), FFT(KBMX, 1), BUP(KBMX, 1),
 2  RCP(5, KBMX, 1), RWC(5, KBMX, 1), TTST(KB
MX, MPIN, 1),
 3  FRCM(KBMX, MPIN, 1), WFRT(KBLK, 1), WWPV
(KBLK, 1),
 4  FPIN(KBMX, MPIN, 4), FPRB(KBMX, MPIN,
3), FPRO(KBMX, MPIN, 3),
 5  PRES(KBMX, NSPX, 1), FRCP(1), FPPV(1)
C
LP = LPOW(NP, KC)
LT = LTEM(NP, KC)
DO 130 KB=1, KBMX
FRCM(KB, NP, 4) = FPIN(KB, NP, 4)
TT = TTA(KB, LT)
FF = FFT(KB, LP)*1.0E-25
RK = RCP(1, KB, NP)
RWK = RWC(1, KB, NP)
RWB = RWC(2, KB, NP)
RII = RCP(2, KB, NP)
RIO = RCP(3, KB, NP)
R01 = RCP(4, KB, NP)
R00 = RCP(5, KB, NP)
BUUP = BUP(KB, NP)
IF( LGASC.GT. 0 ) THEN
  IF( NSTP.GT. 1 ) THEN
    DO 110 I=1, NSTP-1
      TEM(I) = TTST(KB, NP, I)
    110 CONTINUE
    ENDIF
    TEM(NSTP) = TT
    TTST(KB, NP, NSTP) = TEM(NSTP)
  ENDIF
C

```

<p>C---- EVALUATION OF COMPRESSION STRESS FOR INNER/OUTER PYC LAYER</p> <p>C</p> <pre> DTIPC = SYUTN(FF) DRIPC = SYURD(FF) SCIIPC = CMPST(DRIPC, DTIPC, RII, RIO, VNUPC, CRPCN) SCOPC = CMPST(DRIPC, DTIPC, ROI, ROO, VNUPC, CRPCN) </pre> <p>C---- EVALUATION OF INNER PRESSURE</p> <p>C</p> <pre> CALL GPRES(1 LGASC, RK, RII, RWK, RWB, ROWTH, TT, BUUP, WKER, 2 RGASC, AFPGS, QFPGS, ACOXY, QCOXY, TIME, 3 UFRAC, OXRLT, FPYIL, 3 PRESS, FISN, FNFP, OXNM, FR *) </pre> <p>C---- EVALUATION OF TENNSILE STRESS FOR EACH LAYERS</p> <p>C</p> <pre> SIGI = TENSS(RII, RIO, PRESS) SIGS = TENSS(RIO, ROI, PRESS) SIGO = TENSS(ROI, ROO, PRESS) TSIC = SIGS-SCOPC-SCIIPC IF(NP, LE, NSPX) THEN PRES(KB, NP, 1) = PRESS PRES(KB, NP, 2) = SCIIPC PRES(KB, NP, 3) = SCOPC PRES(KB, NP, 4) = SIGI PRES(KB, NP, 5) = SIGS PRES(KB, NP, 6) = SIGO PRES(KB, NP, 7) = TSIC PRES(KB, NP, 8) = FISN PRES(KB, NP, 9) = FNFP PRES(KB, NP, 10) = OXNM ENDIF </pre> <p>C---- EVALUATION OF FAILURE PROBABILITIES FOR SIC LAYER</p> <p>C</p> <pre> SKYOD = SKYD1 + SKYD2*FF FTPSI = 0.0 IF(TSIC, GT, 0.0) * FTPSI = 1.0 - EXP(-0.6931471*(TSIC /SKYOD)**8) FPRB(KB, NP, 3) = AMAX1(FTPSI, FPRO(K B, NP, 3)) RINT = 1.0 - FPIN(KB, NP, 1)-FPIN(KB, NP, 2)-FPIN(KB, NP, 3) </pre>	<p>C---- DIFFERENCE OF FAILURE FRACTION BETWEEN PREVIOUS STEP</p> <p>C</p> <pre> R1 = RINT*FPRB(KB, NP, 3) RINT = RINT - R1 FRCM(KB, NP, 3) = FPIN(KB, NP, 3) + R1 </pre> <p>C---- EVALUATION OF FAILURE PROBABILITIES FOR INNER-PYC LAYER</p> <p>C</p> <pre> PKYOD = 160.0 PKYOD = PKYD1 + PKYD2*FF FTPPIP = 1.0 - EXP(-0.6931471*(SIGI /PKYOD)**4) FPRB(KB, NP, 2) = AMAX1(FTPPIP, FPRO(K B, NP, 2)) R2 = FRCM(KB, NP, 3)*FPRB(KB, NP, 2) FRCM(KB, NP, 3) = FRCM(KB, NP, 3) - R2 FRCM(KB, NP, 2) = FPIN(KB, NP, 2) + R2 </pre> <p>C---- EVALUATION OF FAILURE PROBABILITIES FOR OUTER-PYC LAYER</p> <p>C</p> <pre> FTPOP = 1.0 - EXP(-0.6931471*(SIGO /PKYOD)**4) FPRB(KB, NP, 1) = AMAX1(FTPOP, FPRO(K B, NP, 1)) R3 = FRCM(KB, NP, 2)*FTPOP FRCM(KB, NP, 2) = FRCM(KB, NP, 2) - R3 FRCM(KB, NP, 1) = FPIN(KB, NP, 1) + R3 130 CONTINUE </pre> <p>C---- PINWISE SUMMATION/AVERAGE OF CPF FAILURE RATE</p> <p>C</p> <pre> CALL SMPNFR(1 KBMX, KBLK, MPIN, LP, LI, NP, 2 KB1, KB2, VO, FRCM, FRCP, BUP, WFRT, WWPV, FPPV) </pre> <p>C</p> <pre> RETURN END FUNCTION SYUTN(FF) </pre> <p>C---- DEFORMATION OF PyC FOR TANGENTIAL DIRECTION</p> <p>C---- INDEPENDENT ON TEMPERATURE?</p> <p>C</p> <pre> IF(FF, GT, 8.0 .OR. FF, LT, 0.0) THEN WRITE(8, 999) FF 999 FORMAT(1H , '**** ERROR STOP IN SYUTN FOR FLUENCE IS OUT OF' 1 ' RANGE ****', 2X, 1PE12. 4) </pre>
--	--

```

STOP
ENDIF
SYUTN = -0.00125
RETURN
END
FUNCTION SYURD( FF )
C
C---- DEFORMATION OF PyC FOR RADIAL DIRECTIO
N
C---- INDEPENDENT ON TEMPERATURE?
C
ND = INT( FF/0.1 )
N1 = ND + 1
SD = 0.00005*(ND-20.0)**2-0.02
S1 = 0.00005*(N1-20.0)**2-0.02
SYURD = S1-SD
RETURN
END
FUNCTION CMPST( DRIPC, DT
IPC, RI, RO, VNUPC, CRPCN )
C
C---- UNIT CHANGED TO MPA
C
WJ = ( RO/RI )**3
GJ = ALOG( RI/RO )
CMPST = 2.0*( ( WJ-1.0)*( DRIPC +
2.0*DTIPC ) +
1      3.0*GJ*( DRIPC-DTIPC ) )/(
2.0*WJ*( 2.0*VNUPC-1.0)
2      -(1.0+VNUPC) )/( 3.0*CRPCN
)
RETURN
END
SUBROUTINE GPRES(
1 LGASC, RK, RF, DK, RWB, ROWTH, TTF, BUUP, W
KER,
2 RGASC, AFPGS, QFPGS, ACOXY, QCOXY, TIME,
4 UFRAC, OXRLT, FPYIL,
3 PRESS, FISN, FNFP, OXNM, FR
* )
C
C---- GAS PRESSURE IN THE BUFFER LAYER
C      ROWTH : THEORETICAL DENSITY OF P
YC
C      AFPGS : DATA FOR FP GAS DIFFUSION
CONSTANT IN THE KERNEL
C      2.1E-5
C      QFPGS : 15200.0
C      ACOXY : DIFFUSION DATA OF O IN T
HE KERNEL ( 0.21 )
C      QCOXY :
( 8500.0 )
C      RGASC : GAS CONSTANT
C
C      BUUP : %FIMA
C      WKER : MOL WEIGHT OF FUEL (270G=
0.00027T)
C
COMMON /HSTRY/
1 DAY(100), TEM(100),
2 TTST(30000), FPST(10000), RBST(1000
0), PRES(20000),
3 NSTP, NSPX
C
DIMENSION
1 OXRLT(2), FPYIL(2)
C
PAI = 3.14159265
VKR = 4.0*PAI*RK**3/3.0
VBF = 4.0*PAI*RF**3/3.0 - VKR
VFR = VBF*(1.0-RWB/ROWTH)
DDK = AFPGS*EXP( -QFPGS/TTF )
FISN = 0.01*BUUP*VKR*DK/WKER
IF( UFRAC.LE.0.0 ) UFRAC = 1.0
PUFRAC = 1.0-UFRAC
IF( LGASC.LE.0 ) THEN
C
FR = FRKER( TIME, DDK )
ELSE
C
CALL DIFFPG(
1 NSTP, RK, DK, BUUP, AFPGS, QFPGS, UFRAC,
2 DAY, TEM, FPYIL, FNFP, FR
* )
C
ENDIF
FNFP = (FPYIL(1)*UFRAC+FPYIL(2)*PUF
RAC)*FISN*FR
DAYS = TIME/86400.0
FLIM = OXRLT(1) * UFRAC + OXRLT(2)
* PUFRAC
OXNM = DAYS**2*10.0**(-ACOXY-QCOXY
/TTF )
IF( OXNM.GT. FLIM ) OXNM = FLIM
OXNM = OXNM * FISN
GASN = OXNM + FNFP
PRESS = 0.00001*GASN*TTF*RGASC/VFR
RETURN
END
FUNCTION FRKER( TIME, DDK
)
C
C---- FP RARE GAS RELEASE FROM FUEL KERNEL
C
XX = TIME*DDK
PI = 3.14159265
P2 = PI * PI

```

```

P4 = P2 * P2
SS = 0.0
II = 0
110 II = II + 1
IF( II.LE.100 )      THEN
  I2 = II*II
  I4 = I2*I2
  YY = I2*P2*XX
  IF( YY.LE.0.0001 )  THEN
    YY = -YY
    ZZ = -YY*(1.0+YY*(1.0+YY*(1.0+YY/4.
0)/3.0)/2.0)
  ELSE
    IF( YY.LE.100.0 )  THEN
      ZZ = 1.0 - EXP( -YY )
    ELSE
      YY = -YY
      ZZ = 1.0
    ENDIF
  ENDIF
  S1 = SS + ZZ / FLOAT( I4 )

  ER = ABS( SS - S1 ) / S1
  SS = S1
  IF( ER.GT.0.0001 )  THEN
    IIT = 0
  ELSE
    IIT = 1
  ENDIF
  ENDIF
  IF( IIT.LE.0 )        GO TO 110
  FRKER = 1.0 - 6.0*SS/P4/XX
  RETURN
  END
  FUNCTION          TENSS( RI, RO, P
PRES )
C
C---- TENSIL STRESS FOR EACH LSYER WITH THIN
SCHELL ODEL
C
  TH = RO - RI
  TENSS = ( TH**3+3.0*RI*TH**2+3.0*RI
**2*TH+3.0*RI**3 )/
  1           ( 2.0*TH*(TH*TH+3.0*RI*TH+
3.0*RI*RI ))*PPRES
  RETURN
  END
  SUBROUTINE          SMPNFR(
  1   KBMX, KBLK, MPIN, LP, LI, NP,
  2   KB1, KB2, VO, FRCM, FRCP, POW, WFRT, WWPV,
FPPV
  *   )
C
DIMENSION
  1   FRCM(KBMX, MPIN, 1), KB1(1), KB2(1), VO
(100, 10), FRCP(KBLK, MPIN, 4),
  2   POW(KBMX, 1), FR(100, 4), WFRT(KBLK, 1),
WWPV(KBLK, 1), FPPV(KBLK, 1)
C
C---- VOLUME*POWER AVERAGE OF FAILURE RATE
C
  DO 230 KB=1, KBMX
  DO 210 L=1, 4
    FR(KB, L) = FRCM(KB, NP, L)
  210 CONTINUE
  230 CONTINUE
C
  DO 270 LB=1, KBLK
    K1 = KB1(LB)
    K2 = KB2(LB)
C
C---- VOLUME AVERAGED FAILURE FRACTION
C
  LW = 0
  DO 250 L=1, 3
C
    CALL     AVRAG1(
  1   K1, K2, LW, VO(1, LI), VO(1, LI), FR(1, L),
SS, WW
  *   )
C
    FRCP(LB, NP, L) = SS
  250 CONTINUE
    WFRT(LB, NP) = WW
C
C---- VOLUME*POWER AVERAGED FAILURE FRACTION
C
  LW = 1
  CALL     AVRAG1(
  1   K1, K2, LW, VO(1, LI), POW(1, LP), FR(1,
1), SS, WW
  *   )
C
    FPPV(LB, NP) = SS
    FRCP(LB, NP, 4) = SS
    WWPV(LB, NP) = WW
  270 CONTINUE
C
  RETURN
  END
  SUBROUTINE          DIFFPG(
  1   NSTP, RK, DK, BURNUP, A, Q, UFRAC,
  2   DAY, TEM, PDYIL, SIGPF, FKF
  *   )
C*****
C*****
```

```

C      ADOPTED FROM PDSIC TO EVALUATE FP R
ARE GAS RELEASE FROM
C      FUEL KERNEL 1998. 2. 10
C
C      "A" IS PRE-EXPONENTIAL CONSTANT OF D
D.
C      "Q" IS ACTIVATION ENERGY(J/MOL) OF D
D.
C      "K" IS NUMBER OF ORIGINAL STEPS OF TE
MPERATURE.
C      "DK" IS DENSITY OF FUEL KERNEL(G/CM**3).
C      "RK" IS RADIUS(UM) OF FUEL KERNEL.
C
C      "RSIC" IS INNER RADIUS(UM) OF SIC LAY
ER.
C      "WK" IS MOLECULAR WEIGHT OF FUEL KERN
EL(G). SET TO 270.0 G
C      "BURNUP" IS BURNUP(MWD/T) OF FUEL.
C
C      "DAY(I)" IS DAY(DAY) OF THE IRRADIATI
ON.
C      "TEM(I)" IS IRRADIATION TEMPERATURE
(C).
C      "RADIUS" IS RADIUS(M) OF FUEL KERNEL.
C
C      "RS" IS INNER RADIUS(M) OF SIC LAYER.
C
C      "DKK" IS DENSITY OF FUEL KERNEL(G/M**3).
C      "TIME" IS TIME(S) OF THE STEP.
C
C      "UINI" IS INITIAL URANIUM ATOMS(N) IN
A FUEL KERNEL.
C      "KT(I)" IS NUMBER OF CREATED STEPS UP
TO THE I-TH STEP.
C      "KK" IS NUMBER OF CREATED STEPS.
C
C      "SIGMAT(I)" IS INTEGRATED TIME(S) UP
TO THE I-TH STEP.
C      "TEMP(I)" IS TEMPERATURE(K) OF THE I-
TH STEP. (K)
C      FPGY    FP GAS YIELD FOR U AND PU F
ISSION
C      "BRATE" IS MEAN BURNUP RATE(%FIMA/S).
C
C      "PURATE" IS PU-239 BURNUP RATE(%FIMA/
S) IN THE I-THSTEP.
C      "URATE" IS U-235 BURNUP RATE(%FIMA/S)
IN THE I-TH STEP.
C      "PU239B" IS PU-239 BURNUP(%FIMA) OF F
UEL.
C      "U235B" IS U-235 BURNUP(%FIMA) OF FUE
L.
C      "PU" IS PU-239 FISSION RATIO(%).
C
C      "B(I)" IS FPGAS BIRTH RATE(N/S) IN TH
E I-TH STEP.
C
C*****
C***** IMPLICIT REAL*8 (A-H, O-Z)
REAL*4
1     TEM(100), DAY(100), PDYIL(2),
2     RK, DK, BURNUP, A, Q, UFRAC, SIGPF, FKF
DIMENSION
1     KT(100)
REAL*8
1     SIGMAT(10000), TEMP(10000), FCD(1000
0), FBD(10000), DFA(10000),
2     B(10000), DD(10000), TAU(10000), G(100
00), FAD(10000)
C      DATA UNIT/ 1.094E-4/
DATA WK/ 270.0 /
C*****
C      DATA TRANSFORMATION *
*
*      MWD/T---->%FIMA
C*****
C      FIMA= UNIT * BURNUP
RADIUS=RK
DKK=DK*10**6.0
TIME=0.1*24.0*60.0*60.0
UINI=(4.0*3.14159*RADIUS**3.0/3.0)*
(DK*10.0**6.0/WK)
1     *6.02*10.0**23.0
NSTP1 = NSTP + 1
TEM(NSTP1) = TEM(NSTP)
C
DO 110 I=1, NSTP
KT(I)=10*INT( DAY(I)+0.1 )
110 CONTINUE
C
KK=KT(NSTP)
TT=0.0

```

```

DO 130 I=1, KK
      TT=TT+TIME
      SIGMAT(I)=TT
130 CONTINUE
C
      TEMP(1)=(TEM(2)-TEM(1))/SIGMAT(KT
(1))
      1   *(SIGMAT(1)/2.0-SIGMAT(KT(1)))+TEM
(2)
C
      DO 150 I=2, KT(1)
      TEMP(I)=(TEM(2)-TEM(1))/SIGMAT(KT
(1))
      1   *((SIGMAT(I-1)+SIGMAT(I))/2.0-SIGMA
T(KT(1)))+TEM(2)
150 CONTINUE
C
      IF( NSTP.GT. 1 ) THEN
      DO 190 J=2, NSTP
      DO 170 I=KT(J-1)+1, KT(J)
      TEMP(I)=(TEM(J+1)-TEM(J))/(SIGMAT(K
T(J))-SIGMAT(KT(J-1)))
      1   *((SIGMAT(I-1)+SIGMAT(I))/2.0-SIGMA
T(KT(J)))+TEM(J+1)
170 CONTINUE
      190 CONTINUE
      ENDIF
C*****
C     BIRTH RATE CALCULATION *
C*****
C
      BRATE=BURNUP/SIGMAT(KK)
      URATE = BRATE*UFRAC
      PURATE = BRATE-URATE
C
      DO 330 I=1, KK
      PU239B=PURATE*TIME*KK
      U235B=URATE*TIME*KK
      C 330 CONTINUE
C
      PU=PU239B/(PU239B+U235B)*100.0
C
      DO 340 I=1, KK
      B(I)=(PURATE*PDYIL(2)+URATE*PDYIL
(1))*UINI/100.0
340 CONTINUE
C
C*****
C     DD(I) CALCULATION *
C*****
C
      INPUT A&Q CORESPOND TO REDUCED DIF.
COEF. (1998. 5. 29)
C
      DO 350 I=1, KK
      DD(I)=A*EXP(-Q/TEMP(I))
      C DD(I)=(A/(BRATE*SIGMAT(I)))*EXP(-Q/TEMP
(I))
      C 1 /RADIUS**2.0
      350 CONTINUE
C
      00035000
C*****
C     TAU(I) CALCULATION *
C*****
C
      00035100
      C 00035200
C*****
C
      00035300
C
      00035400
      DO 360 I=1, KK
      TAU(I)=0.0
      360 CONTINUE
C
      00035800
      DO 370 I=1, KK

```

```

TAU(1)=TAU(1)+DD(1)*TIME
370 CONTINUE
C
DO 380 I=2, KK
      TAU(I)=TAU(I-1)-DD(I-1)*TIME
380 CONTINUE
C
C*****G(I) CALCULATION *****
C
DO 420 I=1, KK
      C1=3.1415927**2
      C2=4.0*C1
      C3=9.0*C1
      DO 420 I=1, KK
      IF(TAU(I).LE.0.1) THEN
      G(I)=1.0-4.0*(TAU(I)/3.14159)**0.5+
      3.0*TAU(I)/2.0
      ELSE
      G(I)=1.0/(15.0*TAU(I))-(6.0/TAU(I))
      *
      1      ( EXP(-C1*TAU(I))/(C1*C1)+EXP(-
      C2*TAU(I))/(C2*C2)
      2      + EXP(-C3*TAU(I))/(C3*C3))
      ENDIF
420 CONTINUE
C
C*****FR CALCULATION *****
C
C "FR" IS FRACTIONAL RELEASE BY RECOIL *
C
C "RR" IS RECOIL RANGE(UM).      *
C
C
      RR=0.000008
      FR=3.0*RR/(4.0*RK)
C
C*****FK CALCULATION *****
      DO 450 I=2, KK
      FA = 0.0
      DO 440 I=1, KK-1
      DA = B(I)*(1.0-FR)*(TAU(I)*G(I)-TAU
      (I+1)*G(I+1))/DD(I)
      DFA(I) = DA
      FA = FA+DA
      FAD(I) = FA
440 CONTINUE
      FC = B(I)*TIME
      FCD(I) = FC
      DO 450 I=2, KK
      FC = FC + B(I)*TIME
      FB = B(I)*(1.0-FR)*TIME*G(I)
      FCD(I) = FC
      FBD(I) = FB
450 CONTINUE
      FK = 1.0-(FA+FB)/FC
      SIGPD = FK*FC
      SIGPF = SIGPD
      KFK = FK
      FD = FK-FR
      PDD = FD*FC
      PDR = FR*FC
C
C "FC" IS RARE GAS YIELD
C
C "FK" IS FRACTIONAL RELEASE.
C
C "FD" IS FRACTIONAL RELEASE BY DIFFUSION.
C
C "FR" IS FRACTIONAL RELEASE BY RECOIL.
C
C "SIGPD" IS RELEASED RARE FP GAS(AT0M).
C
C "PDD" IS RELEASED GAS BY DIFFUSION(AT0M).
C
C "PDR" IS RELEASED GAS BY RECOIL(AT0M).
C
C
      RETURN
      END
      SUBROUTINE FPRlse(
      1      MPIN, KBMX, KBLK, NUCL,
      2      BUP, FFT, TTA, FRCM, RBBM, RBBP, RCP,
      3      FPIN
      *   )
C

```

```

DIMENSION
 1 BUP (KBMX, 1), RCP (5, KBMX, 1),
 2 FFT (KBMX, 1), TTA (KBMX, 1), RLBB (30), FP
IN (KBMX, MPIN, 4),
 3 FRCM (KBMX, MPIN, 1), RBBM (KBMX, MPIN,
1), RBBP (KBLK, MPIN, 1)
C
  COMMON /PREVD/
 1 KC, NP, LT, LP, LI, DTIME, TIME, DDAY
  COMMON /CPDTR/
 1 RCPX (5, 3000), RWC (5, 3000), LINP
  COMMON /RESLT/
 1 FRCX (3000, 4), FRCP (2000, 4), FPPV (200
0), FRCB (2000),
 2 FPCB (2000), FRCL (200), FPCL (200), FRCO
R, FPCOR,
 3 WFRT (2000), WWPV (2000), WWBK (2000), WV
BK (2000),
 4 WVCL (200), WVCL (200), RBBX (20000), RBP
X (10000),
 5 RBBB (10000), RBCL (2000), RBCR (30),
 6 FPIX (3000, 4), FPRB (3000, 3), FPRO (30
0, 3)
  COMMON /RODTR/
 1 DR (40, 10), DZ (100, 10), AREA (40, 10), WP
IN (3000), WCOL (200), PCF (10),
 2 VO (100, 10), V1 (20, 10), V2 (10),
 3 VPIN (3000), VBLK (2000), VC0L (200), VC0
R
  COMMON /RODTI/
 1 KC0L, KBVX, KBKK, MPPP, NDIV, NPIN (200),
LIDP (200),
 2 NFTP, NR1 (10), NR2 (10), KB1 (20, 10), KB2
(20, 10), LTYP (10)
  COMMON /FPDAT/
 1 NMFP (30), RAMD (30), QKER (30), AKER (3
0), QMAT (30), AMAT (30),
 2 QMA1 (30), AMA1 (30), YILD (30, 2), HEIV,
 3 FHEP, EFPU (30), POWE, AC0N (30), ACNO (3
0), RRDAT, RGDDT, WMATX,
 4 ROWTH, CVFIS, AFPGS, QFPGS, ACOXY, QC0X
Y, RGASC, RKYD1, RKYD2,
 5 SKYD1, SKYD2, VNUPC, CRPCN, WKER, UFRAC,
OXRLT (2), FPY1L (2),
 6 LPRE (30), NOFP, NULL, IDFP (30)
  COMMON /HSTRY/
 1 DAY (100), TEM (100),
 2 TTST (30000), FPST (10000), RBST (1000
0), PRES (20000),
 3 NSTP, NSPX
  CHARACTER*8 NMFP
C
C---- FP RELEASE CALCULATION IN A FUEL CHANNE
L
C
  N1 = NR1 (LI)
  N2 = NR2 (LI)
  RMTI = DR (N1, LI)
  RMTO = DR (N2, LI)
C
  DO 150 KB=1, KBMX
    TT = TTA (KB, LT)
    BU = BUP (KB, LP)
    FF = FFT (KB, LP)*1.0E-25
    RHASN = FRCM (KB, NP, 1)
    ROSEN = FPIN (KB, NP, 4)
    RDKER = RCP (1, KB, NP)
C
  ALPH = ALPHA ( FF, RGGDT, WMATX, VO (KB,
LI) )
C
  CALL RLBBIR (
    1 NUCL, NP, KB, NSPX, KBMX, BU, TT, TT, ALPH,
PRES,
    2 RDKER, RMTI, RMTO, RRDAT, RHASN, ROSEN, R
LBB
    * )
C
  DO 110 K=1, NUCL
    RBBM (KB, NP, K) = RLBB (K)
  110 CONTINUE
  150 CONTINUE
C
  CALL SMPNRB (
    1 KBMX, KBLK, MPIN, NUCL, LP, NP, LI,
    2 KB1, KB2, VO, RBBM, RBBP, BUP
    * )
C
  RETURN
  END
  FUNCTION RBDIF1 ( DD1, RAM
1 )
C
C---- RELEASE/ BIRTH RATE WITHOUT PRECURSER
C      RAM1 : DECAY CONSTANT (1/S)
C      DD1 : REDUCED DIFFUSION CONSTA
NT (1/S)
C
  REAL*8 XX, XS, VAL
C
  XX = RAM1 / DD1
  XS = DSQRT ( XX )
  IF ( XS .GT. 0.0001 ) THEN
    VAL = 3.0 * ( COTH ( XS ) / XS - 1.0
/ XX )

```

```

ELSE
  VAL = 1.0 - XX/15.0 + 2.0*XX*XX/31
5.0
ENDIF
RBDIF1 = VAL
RETURN
END
      DOUBLE PRECISION FUNCTIO
N   COTH( X )
C
C---- HYPABOLIC COTANGENT FUNCTION
C
REAL*8 X, XX, YY
C
  XX = 2.0*X
  IF( XX.LE.20.0 ) THEN
    YY = DEXP( -XX )
    IF( X.GT.0.0001 ) THEN
      COTH = ( 1.0 + YY ) / ( 1.0 - YY
    )
    ELSE
      COTH = ( 1.0 + YY ) / ( XX * ( 1.
0 - XX * ( 1.0 - XX *
      1           ( 1.0 - XX / 4.0 ) / 3.0
) / 2.0 ) )
    ENDIF
  ELSE
    COTH = 1.0
  ENDIF
  RETURN
END
      FUNCTION          RBDIF2( DD1, DD
2, RAM1, RAM2 )
C
C---- RELEASE/ BIRTH RATE WITH PRECURSER
C     RAM1, 2 : DECAY CONSTANT(1/S)
C     DD1, 2 : REDUCED DIFFUSION CONSTA
NT(1/S)
C
  XX1 = RAM1/DD1
  XS1 = SQRT( XX1 )
  XX2 = RAM2/DD2
  XS2 = SQRT( XX2 )
  GM1 = 1.0 - XX1/XX2
  GM2 = 1.0 - XX2/XX1
  IF( XS1.GT.0.001 ) THEN
    RB1 = 3.0*( COTH( XS1 )/XS1 - 1.0/X
X1 )/GM1
  ELSE
    RB1 = ( 1.0 - XX1/15.0 + 2.0*XX1*XX
) / 315.0 )/GM1
  ENDIF
  IF( XS2.GT.0.001 ) THEN
    RB2 = 3.0*( COTH( XS2 )/XS2 - 1.0/X
X2 )/GM2
  ELSE
    RB2 = ( 1.0 - XX2/15.0 + 2.0*XX2*XX
) / 315.0 )/GM2
  ENDIF
  RBDIF2 = RB1 + RB2
  RETURN
END
      FUNCTION          RBRCPT( RKER )
C
C---- RELEASE RATE WITH RECOIL FROM FUEL KERN
EL
C     RCPFK : RADIUS OF COATED FUEL PA
TICLE KERNEL( MICRO METER )
C
  RCPFK = RKER*1000000.0
  XX = 10.0 / RCPFK
  RBRCPT = XX*( 0.75 - XX*XX/16.0 )
  RETURN
END
      FUNCTION          RBRCRD( RMT1, RM
TO, RR )
C
C---- RELEASE RATE WITH RECOIL FROM FUEL MATR
IX
C     RMT1 : INNER RADIUS OF MATRIX
( ? )
C     RMTO : OUTER RADIUS OF MATRIX
( ? )
C     RR : ?
C
  XX = RMT1 + RMTO
  XY = XX*( RMTO - RMT1 )
  RBRCRD = RR*( 3.0*XX - 2.0*RR )/(6.
0*XY )
  RETURN
END
      FUNCTION          ALPHA( FF, RGG, W
MT, VOLM )
C
C---- VOLUME RATIO OF GRAPHITE GRAIN IN MATRI
X
C     FF : FAST NEUTRON FLUENCE(10*
*25/M**2)
C     RGG : DENSITY OF GRAPHITE GRAI
N(G/M**3)
C     WMT : WEIGHT OF MATRIX(G)/UNIT
VOLUME
C     VOLM : VOLUME OF MARIX(M**3)
C
  VVF = 1.0+0.01006*FF-0.00174*FF*FF
  VVV = VVF*VOLM

```

```

ALPHA = WMT/(RGG*VVF)
RETURN
END
SUBROUTINE RLBBIR(
1   NUCL, NP, KB, NSPX, KBMX, BU, TTK, TTM, AL
L, PRES,
2   RCPFK, RMTI, RMTO, RR, RHASN, ROSEN, RLBB
*   )
C
DIMENSION
1   RLBB(30), PRES(KBMX, NSPX, 1)
C
COMMON /FPDAT/
1   NMFP(30), RAMD(30), QKER(30), AKER(3
0), QMAT(30), AMAT(30),
2   QMAI(30), AMAI(30), YILD(30, 2), HEIV,
3   FHEP, EFPU(30), POWE, ACON(30), ACNO(3
0), RRDAT, RGDDT, WMATX,
4   ROWTH, CVFIS, AFPGS, QFPGS, ACOXY, QC0X
Y, RGASC, RKYD1, RKYD2,
5   SKYD1, SKYD2, VNUPC, CRPCN, WKER, UFRAC,
OXRLT(2), FPYIL(2),
6   LPRE(30), NOFP, NULL, IDFP(30)
CHARACTER*8 NMFP
C
C---- RELEASE / BIRTH RATE FROM A LOCAL VOLU
ME ELEMENT
C     TTK      : KERNEL TEMPERATURE (K)
C     TTM      : MATRIX TEMPERATURE (K)
C     BU       : BURNUP (%FIMA)
C     FF       : FAST NEUTRON FLUENCE (10*
*25/M**2)
C     RGG      : DENSITY OF GRAPHITE GRAI
N (G/M**3)
C     WMT      : WEIGHT OF MATRIX(G)
C     VOLM     : VOLUME OF MATRIX(M**3)
C     RMTI     : INNER RADIUS OF MATRIX
( ? )
C     RMTO     : OUTER RADIUS OF MATRIX
( ? )
C     RR       : ?
C     RCPFK    : RADIUS OF COATED FUEL PA
TICLE KERNEL ( MICRO METER )
C     RHASN    : ALL LAYER FAILURE FRACTI
ON
C     ROSEN    : CONTAMINATION OF MATRIX
(EFFECTIVE FISSION RATE)
C
C     DIFCN(A, Q, T) = A*EXP(-Q/T/RGASC)
C     DIFCN(A, Q, T) = A*EXP(-Q/T)
C
FKR = RBRCPT( RCPFK )
FMR = RBRCRD( RMTI, RMTO, RR )
DO 100 KK=1, NUCL
K = IDFP(KK)
LP = LPRE(K)
C
C---- DIFFUSION CONSTANT FOR KERNEL, MATRIX GRA
IN, INTERGAP
C
DK1 = DIFCN( AKER(K), QKER(K), TTK )
DMIG = DIFCN( AMAT(K), QMAT(K), TTM )
DMII = DIFCN( AMAI(K), QMAI(K), TTM )
RAM1 = RAMD(K)
C
C---- RELEASE/BIRTH RATE
C
FMGD = RBDIF1( DMIG, RAM1 )
FMAD = RBDIF1( DMII, RAM1 )
FMD = ALL*FMGD+(1.0-ALL)*FMAD
IF( LP.LE.0 ) THEN
FKD = RBDIF1( DK1, RAM1 )
ELSE
DK2 = DIFCN( AKER(LP), QKER(LP), TTK
)
RAM2 = RAMD(LP)
FKD = RBDIF2( DK1, DK2, RAM1, RAM2 )
ENDIF
C
C---- BURNUP CORRECTION FOR R/B RATE FROM KER
NEL
C
FBU = 0.2*BU + 1.0
FKD = FKD * FBU
RLBB(KK) = RHASN*( FKR*FMD + FKD*FM
AD ) + ( FMR + FMD )*ROSEN
IF( NP.LE.NSPX .AND. KK.EQ.1 ) THEN
PRES(KB, NP, 11) = FKR
PRES(KB, NP, 12) = FMR
PRES(KB, NP, 13) = FMGD
PRES(KB, NP, 14) = FMAD
PRES(KB, NP, 15) = FMD
PRES(KB, NP, 16) = FKD
PRES(KB, NP, 17) = ALL
PRES(KB, NP, 18) = FBU
ENDIF
100 CONTINUE
RETURN
END
SUBROUTINE SMPNRB(
1   KBMX, KBLK, MPIN, NUCL, LP, NP, LI,
2   KB1, KB2, VO, RBBM, RBBP, POW
*   )
C
DIMENSION
1   RBBM(KBMX, MPIN, 1), KB1(1), KB2(1), VO

```

```

(100, 10), RBBP (KBLK, MPIN, 1),
      2 POW (KBMX, 1), RB (100, 30)
C
C---- VOLUME*POWER AVERAGE OF FAILURE RATE
C
      DO 130 KB=1, KBMX
      DO 110 K=1, NUCL
      RB (KB, K) = RBBM (KB, NP, K)
110 CONTINUE
130 CONTINUE
C
      DO 270 LB=1, KBLK
      K1 = KB1 (LB)
      K2 = KB2 (LB)
C
C---- VOLUME*POWER AVERAGED R/B RATE FOR EACH
FP NUCLIDES
C
      LW = 1
      DO 170 K=1, NUCL
C
      CALL     AVRAG1 (
      1 K1, K2, LW, VO (1, LI), POW (1, LP), RB (1,
      K), SS, WW
      *   )
C
      RBBP (LB, NP, K) = SS
170 CONTINUE
270 CONTINUE
C
      RETURN
      END
      SUBROUTINE      CONCRG
C
      COMMON /RESLT/
      1 FRCM (3000, 4), FRCP (2000, 4), FPPV (200
0), FRCB (2000),
      2 FPCB (2000), FRCL (200), FPCL (200), FRCO
R, FPCOR,
      3 WFRT (2000), WWPV (2000), WWBK (2000), WV
BK (2000),
      4 WWCL (200), WVCL (200), RBBM (20000), RBB
P (10000),
      5 RBBB (10000), RBCL (2000), RBCR (30),
      6 FPIN (3000, 4), FPRB (3000, 3), FPRO (30
0, 3)
      COMMON /FPDAT/
      1 NMFP (30), RAMD (30), QKER (30), AKER (3
0), QMAT (30), AMAT (30),
      2 QMAI (30), AMAI (30), YILD (30, 2), HEIV,
      3 FHEP, EFPU (30), POWE, ACON (30), ACNO (3
0), RRDT, RGGDT, WMATX,
      4 ROWTH, CVFIS, AFPGS, QFPGS, ACOXY, QCX
Y, RGASC, RKYD1, RKYD2,
      5 SKYD1, SKYD2, VNUPC, CRPCN, WKER, UFRAC,
OXRLT (2), FPYIL (2),
      6 LPRE (30), NOFP, NUCL, IDFP (30)
      COMMON /CONTL/
      1 TITLE, NREST, LFLCN, LIGEM, NEWRT, LPVO
L, LPCPD, LPTPF,
      2 LPRSL, NLPCL, LGASC, LTFPS, IDCOL (200)
      COMMON /TKEEP/
      1 LKEP (12), LFOR (12), MTN (12), MTNUM
      COMMON /PREVD/
      1 KC, NP, LT, LP, LI, DTIME, TIME, DDAY
C
      CHARACTER*8 NMFP
      CHARACTER*72 TITLE
C
C---- RADIOACTIVE RARE GAS DECAY RATE IN PRIM
ARY
C---- COOLANT (BQ)
C      FHEP : FLOW RATE THROUGH PRIMARY H
E
C      PURIFICATION SYSTEM (Kg/S)
C      HEIV : PRIMARY COOLANT SYSTEM HE I
NVENTRY (Kg)
C      EFPU : PURIFICATION EFFICIENCY FOR
K-TH NUCLIDE
C      POWE : TOTAL POWER IN THE CORE (W)
C      ACON : DECAY RATE (BQ)
C      ACNO : INITIAL VALUE OF ACON
C
      IF ( NREST .GT. 0 ) THEN
      MT = MTN (10)
      READ (MT) ACNO
      ENDIF
      IF ( CVFIS .LE. 0.0 ) CVFIS = 3.2E+10
      DO 210 ID=1, NUCL
      K = IDFP (ID)
      SOU = CVFIS * RAMD (K) * POWE * YILD (K, 1) *
RBCR (ID)
      COE = RAMD (K) + FHEP * EFPU (K) / HEIV
      XXX = COE * DTIME
      EXX = EXP ( -XXX )
      EXV = 1.0 - EXX
      IF ( XXX .LE. 0.0001 )
      1 EXV = XXX * ( 1.0 - XXX * ( 1.0 - X
XX / 3.0 ) / 2.0 )
      ACON (ID) = SOU * EXV / COE + ACNO (I
D) * EXX
      210 CONTINUE
      IF ( NEWRT .GT. 0 ) THEN
      MT = MTN (9)
      WRITE (MT) ACON

```

```

ENDIF
      RETURN
      END
      SUBROUTINE      SUMCOL(
1       KC, KBLK, NUCL, MPIN, KCOL, NPIN,
2       FRCP, FPPV, RBBP, WWPV, WFRT,
3       WWBK, WWCL, WVBK, WVCL, FRCB, FRCL,
4       FPCB, FPCL, RBBB, RBCL
*     )
C
      DIMENSION
1       FRCP(KBLK, MPIN, 1), FPPV(KBLK, 1), RBBP
(KBLK, MPIN, 1),
2       WWPV(KBLK, 1), WFRT(KBLK, 200),
3       WWBK(KBLK, 1), WWCL(200), WVBK(KBLK,
1), WVCL(200),
4       FRCB(KBLK, 1), FRCL(200), FPCB(KBLK,
1), FPCL(200),
5       RBBB(KBLK, KCOL, 1), RBCL(KCOL, 1), NPIN
(200),
6       WV(100), WW(100), FR(100), FV(100), RB
(100, 30)
C
      C---- SUMMATION AND AVERAGE TO COLUMN
C
      NPX = NPIN(KC)
      DO 170 KL=1, KBLK
      DO 130 N=1, NPX
         FR(N) = FRCP(KL, N, 1)
         FV(N) = FPPV(KL, N)
         WW(N) = WWPV(KL, N)
         WV(N) = WFRT(KL, N)
      DO 110 K=1, NUCL
         RB(N, K) = RBBP(KL, N, K)
110 CONTINUE
130 CONTINUE
      LW = 0
      N1 = 1
      N2 = NPX
C
      CALL      AVRAG1( N1, N2, LW, WV, FW
R, R1, W1 )
      CALL      AVRAG1( N1, N2, LW, WW, FW, F
V, R2, W2 )
C
      FRCB(KL, KC) = R1
      WVBK(KL, KC) = W1
      FPCB(KL, KC) = R2
      WWBK(KL, KC) = W2
      DO 150 K=1, NUCL
C
      CALL      AVRAG1( N1, N2, LW, WW, FW, RB
(1, K), R1, W1 )
C
      C
      RBBB(KL, KC, K) = R1
      150 CONTINUE
      170 CONTINUE
C
      C---- SUMMATION OF COLUMN
C
      N2 = KBLK
C
      CALL      AVRAG1(
1       N1, N2, LW, WVBK(1, KC), WVBK(1, KC), FRCB
(1, KC), R1, W1
*     )
      CALL      AVRAG1(
1       N1, N2, LW, WWBK(1, KC), WWBK(1, KC), FPCB
(1, KC), R2, W2
*     )
C
      FRCL(KC) = R1
      FPCL(KC) = R2
      WVCL(KC) = W1
      WWCL(KC) = W2
      DO 210 K=1, NUCL
C
      CALL      AVRAG1(
1       N1, N2, LW, WWBK(1, KC), WVBK(1, KC), RBBB
(1, KC, K), R1, W1
*     )
C
      RBCL(KC, K) = R1
      210 CONTINUE
C
      RETURN
      END
      SUBROUTINE      SUMCOR(
1       KCOL, NUCL,
2       WWCL, WVCL, FRCL, FPCL, RBCL,
3       FPCOR, FRCOR, RBCR
*     )
C
      DIMENSION
1       WWCL(200), WVCL(200), FRCL(200), FPCL
(200), RBCL(KCOL, 1),
2       RBCR(NUCL)
C
      C---- SUMMATION AND AVERAGE TO COLUMN
C
      LW = 0
      N1 = 1
      N2 = KCOL
C
      CALL      AVRAG1( N1, N2, LW, WVCL, WVC

```

```

L, FRCL, R1, W1 )
      CALL      AVRAG1( N1, N2, LW, WWCL, WWC
L, FPCL, R2, W2 )
C
      FRCOR = R1
      FPCOR = R2
      DO 150 K=1, NUCL
C
      CALL      AVRAG1( N1, N2, LW, WWCL, WWC
L, RBCL(1, K), R1, W1 )
C
      RBCR(K) = R1
150 CONTINUE
C
      RETURN
      END
      SUBROUTINE      OUTCOL(
1   KC, KBLK, NUCL, KCOL,
2   FPCB, FRCB, RBBB
*   )
C
      CHARACTER*72 TITLE
      CHARACTER*8 NMFP
      DIMENSION
1   FRCB(KBLK, 1), FPCB(KBLK, 1), RBBB(KBL
K, KCOL, 1)
C
      COMMON /CONTL/
1   TITLE, NREST, LFLCN, LIGEM, NEWRT, LPVO
L, LPCPD, LPTPF,
2   LPRSL, NLPCP, LGASC, LTFPS, IDCOL(200)

      COMMON /TKEEP/
1   LKEP(12), LFOR(12), MTN(12), MTNUM
      COMMON /FPDAT/
1   NMFP(30), RAMD(30), QKER(30), AKER(3
0), QMAT(30), AMAT(30),
2   QMA1(30), AMA1(30), YILD(30, 2), HEIV,
3   FHEP, EFPU(30), POWE, ACON(30), ACNO(3
0), FPNW, RGGDT, WMATX,
4   ROWTH, CVFIS, AFPGS, QFPGS, ACOXY, QCX
Y, RGASC, RKYD1, RKYD2,
5   SKYD1, SKYD2, VNUPC, CRPCN, WKER, UFRAC,
OXRLT(2), FPYIL(2),
6   LPRE(30), NOFP, NULL, IDFP(30)
C
C---- PRINT COLUMNWISE RESULT
C
      MO = MTN(2)
      K2 = 0
      K1 = K2 + 1
      IF( K1.GT. KBLK )      GO TO 210
      K2 = K2 + 5
C
      IF( K2.GT. KBLK ) K2 = KBLK
      WRITE(MO, 600) KC, (K, K=K1, K2)
      WRITE(MO, 601) (FRCB(K, KC), K=K1, K2)
      WRITE(MO, 602) (FPCB(K, KC), K=K1, K2)
      DO 110 K=1, NUCL
      IP = IDFP(K)
      WRITE(MO, 603) K, NMFP(IP), (RBBB(KB, KC,
K), KB=K1, K2)
110 CONTINUE
C
      210      RETURN
C
      600 FORMAT(1H , /4X, ' --- COLUMNWISE AVERAGED
RESULT PRINT(',
1           12, '-COLUMN')----' /34X, 5(14, '-BLK
', 4X) )
      601 FORMAT(1H , 3X, '--FAILURE RATE(VOL. WEIGH
T)---', 1P5E12. 4 )
      602 FORMAT(1H , 3X, '--FAILURE RATE(BU*VOL. WE
IGHT)---', 1P5E12. 4 )
      603 FORMAT(1H , 3X, '--', 12, '-FP(' , A8, ') R/B
RATIO---', 1P5E12. 4 )
      END
      SUBROUTINE      OUTCOR(
1   KCOL, NUCL,
2   FRCL, FPCL, RBCL,
3   FPCOR, FRCOR, RBCR
*   )
C
C
      DIMENSION
1   FRCL(100), FPCL(100), RBCL(KCOL, 1),
2   RBCR(NUCL)
C
      COMMON /CONTL/
1   TITLE, NREST, LFLCN, LIGEM, NEWRT, LPVO
L, LPCPD, LPTPF,
2   LPRSL, NLPCP, LGASC, LTFPS, IDCOL(200)

      COMMON /TKEEP/
1   LKEP(12), LFOR(12), MTN(12), MTNUM
      COMMON /FPDAT/
1   NMFP(30), RAMD(30), QKER(30), AKER(3
0), QMAT(30), AMAT(30),
2   QMA1(30), AMA1(30), YILD(30, 2), HEIV,
3   FHEP, EFPU(30), POWE, ACON(30), ACNO(3
0), RRDAT, RGGDT, WMATX,
4   ROWTH, CVFIS, AFPGS, QFPGS, ACOXY, QCX
Y, RGASC, RKYD1, RKYD2,
5   SKYD1, SKYD2, VNUPC, CRPCN, WKER, UFRAC,
OXRLT(2), FPYIL(2),
6   LPRE(30), NOFP, NULL, IDFP(30)
C

```

```

CHARACTER*72 TITLE
CHARACTER*8 NMFP, NAME(30)
C
C---- PRINT COLUMNWISE RESULT
C
      MO = MTN(2)
      K2 = 0
110    K1 = K2 + 1
      IF( K1.GT.KCOL ) GO TO 150
      K2 = K2 + 5
      IF( K2.GT.KCOL ) K2 = KCOL
      WRITE(MO,600) FRCOR, FPCOR, (K, K=K1, K2)
      WRITE(MO,601) (FRCL(K), K=K1, K2)
      WRITE(MO,602) (FPCL(K), K=K1, K2)
      GO TO 110
C
150  WRITE(MO,603)
      DO 170 K=1,NUCL
      IP = IDFP(K)
      NAME(K) = NMFP(IP)
      WRITE(MO,604) K, NAME(K), RBCR(K), ACON(K)

170  CONTINUE
C
      K2 = 0
190    K1 = K2 + 1
      IF( K1.GT.KCOL ) GO TO 250
      K2 = K2 + 5
      IF( K2.GT.KCOL ) K2 = KCOL
      WRITE(MO,605) (K, K=K1, K2)
      DO 210 K=1,NUCL
      WRITE(MO,606) K, NAME(K), (RBCL(KC, K), KC=
      K1, K2)
      210 CONTINUE
      GO TO 190
250    RETURN
C
      600 FORMAT(1H , //4X, '--- WHOLE CORE AVERAGE
D RESULT PRINT ---'
      1   /4X, '--FAILURE RATE(VOL. WEIGHT)---'
      ', 1PE12. 4
      2   /4X, '--FAILURE RATE(BU*VOL. WEIGHT)-
      ', E12. 4
      3   /4X, '--COLUMNWISE AVERAGED FAILURE-
      ', 1X, 5(13, '-COLUMN', 2X) )
      601 FORMAT(1H , 3X, '--FAILURE RATE(VOL. WEIGH
T)---', 1P5E12. 4 )
      602 FORMAT(1H , 3X, '--FAILURE RATE(BU*VOL. WE
IGHT)---', 1P5E12. 4 )
      603 FORMAT(1H , /4X, '--WHOLE CORE AVERAGED F
P RELEASE RESULTS---'
      1   /37X, 'R/B', 9X, ' CONCENTRATION' /49X, '
IN COOLANT' )

      604 FORMAT(1H , 3X, '--', 12, '-FP(' , A8, ')---'
      ', 1P2E12. 4 )
      605 FORMAT(1H , 3X, '-- COLUMNWISE AVERAGED R
/B DATA---'
      1   /36X, 5(12, '-COL.', 5X) )
      606 FORMAT(1H , 3X, '--', 12, '-FP(' , A8, ')---'
      ', 1P5E12. 4 )
      END
      SUBROUTINE          OUTPIN
C
      CHARACTER*72 TITLE
      CHARACTER*8 NMFP
      COMMON /CONTL/
      1   TITLE, NREST, LFLCN, LIGEM, NEWRT, LPVO
L, LPCPD, LPTPF,
      2   LPRSL, NLPCPL, LGASC, LTFPS, IDCOL(200)

      COMMON /TKEEP/
      1   LKEP(12), LF0R(12), MTN(12), MTNUM
      COMMON /PREVD/
      1   KC, NP, LT, LP, LI, DTIME, TIME, DDAY
      COMMON /CPDTR/
      1   RCP(5, 3000), RWC(5, 3000), LINP
      COMMON /RODTI/
      1   KCOL, KBMX, KBLK, MPIN, NDIV, NPIN(200),
LIDP(200),
      2   NFTP, NR1(10), NR2(10), KB1(20, 10), KB2
(20, 10), LTYP(10)
      COMMON /RESLT/
      1   FRCM(3000, 4), FRCP(2000, 4), FPPV(200
0), FRCB(2000),
      2   FPCB(2000), FRCL(200), FPCL(200), FRC0
R, FPCOR,
      3   WFRT(2000), WWPV(2000), WWBK(2000), WV
BK(2000),
      4   WWCL(200), WVCL(200), RBBM(20000), RBB
P(10000),
      5   RBBB(10000), RBCL(2000), RBCR(30),
      6   FPIN(3000, 4), FPRB(3000, 3), FPRO(300
0, 3)
      COMMON /HSTRY/
      1   DAY(100), TEM(100),
      2   TTST(30000), FPST(10000), RBST(1000
0), PRES(20000),
      3   NSTP, NSPX
      COMMON /FPDAT/
      1   NMFP(30), RAMD(30), QKER(30), AKER(3
0), QMAT(30), AMAT(30),
      2   QMA1(30), AMA1(30), YILD(30, 2), HEIV,
      3   FHEP, EFPU(30), POWE, ACON(30), ACNO(3
0), RRDAT, RGDDT, WMATX,
      4   ROWTH, CVFIS, AFPGS, QFPGS, ACOXY, QC0X
Y, RGASC, RKYD1, RKYD2,

```

```

      5   SKYD1, SKYD2, VNUPC, CRPCN, WKER, UFRAC,
OXRLT(2), FPYIL(2),
      6   LPRE(30), NOFP, NUCL, IDFP(30)
      DIMENSION
      1   KPP(20)
C
C---- PINWISE RESULTS PRINT
C       LPRSL    1:ONLY PINWISE TOTAL FR &
R/B PRINTED
C       2:ONLY PINWISE ALL FR & R
/B PRINTED
C       3:POINTWISE TOTAL FR & R/
B PRINTED
C       4:POINTWISE ALL FR & R/B
PRINTED
C       NLPCL    :NUMBER OF COL. RPINTED
C       IDCOL(200) :COLUMN INDEX TO BE PRIN
TED
C
C---- CHECK IF KC-TH COLUMN TO BE PRINTED?
C
      LOKC = 0
      IF( LPRSL.GT.0 ) THEN
      DO 110 K=1,NLPCL
      IF( KC.EQ.IDCOL(K) ) GO TO 130
110 CONTINUE
      GO TO 310
      ELSE
      GO TO 310
      ENDIF
C
C---- PINWISE RESULTS PRINTED
C
      130  MO = MTN(2)
            NPX = NPIN(KC)
            ND1 = KBLK
            ND2 = MPIN
            LOKC = 1
            LPP = 1
            KPT = 2
            KPP(1) = 1
            KPP(2) = 4
            IF( LPRSL.GT.1 ) THEN
            KPT = 4
            DO 150 K=1,KPT
            KPP(K) = K
150 CONTINUE
            ENDIF
C
            CALL    PRINTP(
1     MO, KPT, KPP, KC, NPX, NUCL, ND1, ND2, LPP,
IDFP,
2     NMFP, TITLE, FRCM, RBBM
*   )
      *
      *   )
      IF( LPRSL.GT.3 ) THEN
      KPT = 4
      NUX1 = 0
      DO 170 K=1,20
      KPP(K) = K
170 CONTINUE
      ENDIF
C
      CALL    PRINTP(
1     MO, KPT, KPP, KC, NPX, NUCL, ND1, ND2, LPP,
IDFP,
2     NMFP, TITLE, FRCM, RBBM
*   )
C
      IF( LPRSL.GT.3 ) THEN
      LPP = 3
      NUX1 = 3
      LP1 = 4
      KP1 = 18
      ND3 = NSPX
      NUX2 = 0
C
      CALL    PRINTP(
1     MO, KPT, KPP, KC, NPX, NUX1, ND1, ND2, LP
P, IDFP,
2     NMFP, TITLE, FPRB, FPIN
*   )
      CALL    PRINTP(
1     MO, KP1, KPP, KC, NPX, NUX2, ND1, ND3, LP
1, IDFP,
2     NMFP, TITLE, PRES, FPIN
*   )
      ENDIF
      ENDIF
C
C---- WRITE TO NEW RESTART TAPE
C
      310  NUX = NUCL
            IF( NUX.GT.5 ) NUX = 5
            IF( LTFPS.GT.0 )
*   CALL    HISTRY(
1     KBMX, KBLK, MPIN, NUX, NSTP, LTFPS, LOKC,

```

```

2 DAY, TITLE, FRCM, RBBM, FPRB, PRES, FPST,
RBST
* )
IF( NEWRT, GT, 0 )
* CALL WRETS(L
1 KBMX, KBLK, MPIN, NSTP, NUX, LGASC, LTFP
S,
2 RCP, RWC, FPIN, FPRB, TTST, FPST, RBST
* )
C
      RETURN
      END
      SUBROUTINE PRINTP(
1 MO, KPT, KPP, KC, NPX, NUCL, ND1, ND2, LPP,
IDFP,
2 NMFP, TITLE, FR, RB
* )
C
      DIMENSION
1 KPP(5), FR(ND1, ND2, 1), RB(ND1, ND2, NUC
L), IDFP(30)
C
      CHARACTER*40 NAMPR(4)
      CHARACTER*72 TITLE
      CHARACTER*25 NTTT(7), NSTR(18), NTER
      CHARACTER*25 NTEM(5), NTET
      CHARACTER*8 NMFP(30)
C
      DATA NAMPR/
1 '---PINWISE FAILURE RATE AND R/B --'
2 '---POINTWISE FAILURE RATE AND R/B--'
3 '---POINTWISE FAILURE PROB. -----'
4 '---POINTWISE PRESSURE, STRESS & ETC
-----'
      /
      DATA NTTT/
1 'PENETRATION F. (V. AV.)---', 'SiC+I
-PyC FAILURE-----',
2 'SiC FAILURE-----', 'CONTAMINATION-----',
3 'PENETRATION F. (BU*V AV)---', 'O-PyC
FAILURE-----',
4 'I-PyC FAILURE-----' /
      DATA NSTR/
1 'PRESSURE IN BUF. (MPa)----', 'I-PyC
COMP. STRESS (MPa)----',
2 'O-PyC COMP. STRESS (MPa)----', 'I-PyC
TENSIL STRESS (MPa)---',
3 'SiC TENSIL STRESS (MPa)---', 'O-PyC
TENSIL STRESS (MPa)---',
4 'SiC STRESS (MPa)-----', 'FISSI
ON NUMBER: FISN(MOL)---',
5 'FP GAS RELEASED: FNFP(MOL)', 'OXYGE
N RELEASED: OXNM(MOL)',
6 'RECOIL FROM KERNEL: FKR---', 'RECOI
L FROM MATRIX: FMR---',
7 'DIFFUSION IN GRAIN: FMGD---', 'DIFFU
SION IN INT-GAP: FMAD',
8 'DIF. RELEASE COMPACT: FMD---', 'DIF.
RELEASE KERNEL: FKD---',
9 'VOL. FRACTION OF GRAIN: ALL', 'BURNU
P CORECT. TO FKD: FBU' /
      DATA NTEM/
1 'FAILURE RATE-----', 'R/B R
ATE-----',
2 'FAILURE PROBABILITY(MX)---', 'FAILU
RE RATE(INITIAL:T=0)',
3 'PRERSSURE & STRESS-----' /
C
C---- FAILURE RATE PRINT
C
      N2 = 0
110 N1 = N2 + 1
      IF ( N1, GT, NPX ) GO TO 310
      N2 = N2 + 5
      IF ( N2, GT, NPX ) N2 = NPX
      WRITE(MO, 600) TITLE, NAMPR(LPP), KC
      NTET = NTEM(1)
      IF ( LPP, EQ, 3 ) NTET = NTEM(3)
      IF ( LPP, GT, 3 ) NTET = NTEM(5)
      WRITE(MO, 601) NTET, (N, N=N1, N2)
      DO 150 KB=1, ND1
      DO 130 K=1, KPT
      KK = KPP(K)
      NTER=NTTT(KK)
      IF ( LPP, GT, 3 ) NTER=NSTR(KK)
      IF ( LPP, EQ, 1 . AND. KK, EQ, 4 ) NTER = N
TTT(5)
      IF ( LPP, EQ, 3 . AND. KK, EQ, 1 ) NTER = N
TTT(6)
      IF ( LPP, EQ, 3 . AND. KK, EQ, 2 ) NTER = N
TTT(7)
      WRITE(MO, 602) NTER, KB, (FR(KB, N, KK), N=N
1, N2)
      130 CONTINUE
      150 CONTINUE
C
C---- R/B RATE PRINT
C
      IF ( LPP, LE, 2 ) THEN
      NTET = NTEM(2)
      WRITE(MO, 601) NTET, (N, N=N1, N2)
      DO 230 ID=1, NUCL
      K = IDFP(ID)

```

```

DO 210 KB=1, ND1
  WRITE(MO, 603) NMFP(K), KB, (RB(KB, N, ID), N
=N1, N2)
  210 CONTINUE
  230 CONTINUE
    ENDIF
    IF( LPP, EQ, 3 ) THEN
      NTET = NTEM(4)
      WRITE(MO, 601) NTET, (N, N=N1, N2)
      DO 270 KB=1, ND1
      DO 250 K=1, KPT
        WRITE(MO, 602) NTTT(K), KB, (RB(KB, N, K), N=
N1, N2)
        250 CONTINUE
        270 CONTINUE
      ENDIF
      GO TO 110
  310  CONTINUE
  RETURN
C
  600 FORMAT(1H ,//4X, A72, /4X, A40, ' (COL. :', 12
, ')----' )
  601 FORMAT(1H ,3X, '---', A25, '---', 2X, 5(I2, '-'
PIN', 6X) )
  602 FORMAT(1H ,3X, A25, I3, '---', 1P5E12. 4 )
  603 FORMAT(1H ,3X, ' FP NUCLIDE=', A8, '-----'
, I3, '---', 1P5E12. 4 )
  END
  SUBROUTINE HISTRY(
  1   KBMX, KBLK, MPIN, NUX, NSTP, LTFPS, LOKC,
  2   DAY, TITLE, FRCM, RBBM, FPRB, PRES, FPST,
RBST
  *  )
C
  COMMON /TKEEP/
  1   LKEP(12), LFOR(12), MTN(12), MTNUM
  COMMON /PREVD/
  1   KC, NP, LT, LP, LI, DTIME, TIME, DDAY
  COMMON /RODTI/
  1   KCOL, KBVX, KBKK, MPPP, NDIV, NPIN(200),
LIDP(200),
  2   NFTP, NR1(10), NR2(10), KB1(20, 10), KB2
(20, 10), LTYP(10)
  COMMON /FPDAT/
  1   NMFP(30), RAMD(30), QKER(30), AKER(3
0), QMAT(30), AMAT(30),
  2   QMA1(30), AMA1(30), YILD(30, 2), HEIV,
  3   FHEP, EFPU(30), POWE, ACON(30), ACNO(3
0), RRDAT, RGDDT, WMATX,
  4   ROWTH, CVFIS, AFPGS, QFPGS, ACOXY, QCQX
Y, RGASC, RKYD1, RKYD2,
  5   SKYD1, SKYD2, VNUPC, CRPCN, WKER, UFRAC,
OXRLT(2), FPYIL(2),

```

<pre> C 6 LPRE(30), NOFP, NULL, IDFP(30) CHARACTER*72 TITLE CHARACTER*8 NMFP DIMENSION 1 FRCM(KBMX, MPIN, 4), RBBM(KBMX, MPIN, 1), FPRB(KBMX, MPIN, 3), 2 FPST(KBLK, MPIN, 4, 1), RBST(KBLK, MPIN, NUX, 1), 3 PRES(KBMX, MPIN), DAY(100) MO = MTN(2) NPX = NPIN(KC) DO 190 KL=1, KBLK K1 = KB1(KL, LI) K2 = KB2(KL, LI) KD = K2-K1 + 1 KP = LTFPS IF(LTFPS, GT, KD) KP = KD KS = K1 + KP - 1 DO 170 NP=1, NPX FPST(KL, NP, 1, NSTP) = FRCM(KS, NP, 1) FPST(KL, NP, 2, NSTP) = FRCM(KS, NP, 3) FPST(KL, NP, 3, NSTP) = FPRB(KS, NP, 3) FPST(KL, NP, 4, NSTP) = PRES(KS, NP) DO 150 K=1, NUX RBST(KL, NP, K, NSTP) = RBBM(KS, NP, K) 150 CONTINUE 170 CONTINUE 190 CONTINUE C C---- PRINT TIME HISTORY OF RESULTS C IF(LOKC, GT, 0) * CALL PRNHIS(1 MO, KC, NPX, KBLK, NUX, MPIN, NSTP, 2 DAY, TITLE, FPST, RBST *) RETURN END SUBROUTINE PRNHIS(1 MO, KC, NPX, KBLK, NUX, MPIN, NSTP, 2 DAY, TITLE, FR, RB *) CHARACTER*50 NAMPR CHARACTER*72 TITLE CHARACTER*8 NMFP, NAME(5), NTEM(4) CHARACTER*35 NTTT(4) COMMON /FPDAT/ 1 NMFP(30), RAMD(30), QKER(30), AKER(3 0), </pre>	
---	--

```

0) , QMAT (30) , AMAT (30) ,
2      QMA1 (30) , AMA1 (30) , YILD (30, 2) , HEIV,
3      FHEP, EFPY (30) , POWE, ACON (30) , ACNO (3
0) , RRDAT, RGGDT, WMATX,
4      ROWTH, CVFIS, AFPGS, QFPGS, ACOXY, QC0X
Y, RGASC, RKYD1, RKYD2,
5      SKYD1, SKYD2, VNUPC, CRPCN, WKER, UFRAC,
OXRLT (2) , FPYIL (2),
6      LPRE (30) , NOFP, NUCL, IDFP (30)
C
DIMENSION
1      FR (KBLK, MPIN, 4, 1) , RB (KBLK, MPIN, NUX,
1), DAY (100)
C
DATA NAMPR/
1      '----HISTORY OF SELECTED POINT FR A
ND R/B PRINT----' /
DATA NTTT/
1      'PENETRATION F. (V. AV.)---:PENE. (V)
',
2      'SIC FAILURE RATE(TOTAL)---:SIC FR
',
3      'SIC FAILURE PROB. (T)-----:SIC FPRB
',
4      'PRESSURE IN BUF. (MPa)----:GAS PRES
'
DATA NTEM/
1      'PENE. (V)' , 'SIC FR' , 'SIC FPRB',
'GAS PRES' /
C
C---- FAILURE RATE PRINT
C
NUY = NUCL
IF( NUCL .GT. 5 ) NUY = 5
DO 110 K=1, NUY
KK = IDFP (K)
NAME (K) = NMFP (KK)
110 CONTINUE
C
DO 190 NP=1, NPX
DO 170 KB=1, KBLK
WRITE (MO, 600) TITLE, NAMPR, KC, NP, KB, NTTT
WRITE (MO, 601) (NTEM (I) , I=1, 4) , (NAME (I),
I=1, NUY)
DO 150 IS=1, NSTP
WRITE (MO, 602) IS, DAY (IS) , (FR (KB, NP, K, I
S) , K=1, 4),
1      (RB (KB, NP, K, IS) , K=1, NUCL)
150 CONTINUE
170 CONTINUE
190 CONTINUE
RETURN
C
600 FORMAT (1H , //4X, A72, /4X, '----' , A50, '---
- ' , I3, 'COL--' , I3,
1      'PIN--' , I3, 'BLOCK--' /4X, A35/4X, A
35/4X, A35/4X, A35 )
601 FORMAT (1H , 3X, 'STEP(DAY)' , 5X, 9(A8, 3X)
)
602 FORMAT (1H , 3X, I3, F6. 0, 3X, 1P9E11. 3 )
END
SUBROUTINE WRETS (L
1      KBMX, KBLK, MPIN, NSTP, NUX, LGASC, LTFP
S,
2      RCP, RWC, FPIN, FPRO, TTST, FPST, RBST
*)
COMMON /TKEEP/
1      LKEP (12) , LFOR (12) , MTN (12) , MTNUM
COMMON /PREVD/
1      KC, NP, LT, LP, LI, DTIME, TIME, DDAY
DIMENSION
1      RCP (5, KBMX, MPIN) , RWC (5, KBMX, MPIN) ,
2      FPIN (KBMX, MPIN, 4) , FPRO (KBMX, MPIN,
3),
3      TTST (KBMX, MPIN, NSTP) , FPST (KBLK, MP
N, 4, NSTP),
3      RBST (KBLK, MPIN, NUX, NSTP)
C
C---- WRITE TO NEW RESTART TAPE
C
MT = MTN (9)
WRITE (MT) KC, RCP, RWC, FPIN, FPRO
IF( LGASC .GT. 0 )
1WRITE (MT) TTST
IF( LTFPS .GT. 0 )
1WRITE (MT) FPST, RBST
C
RETURN
END
SUBROUTINE RRESCL (
1      KBMX, KBLK, MPIN, NSTP, NUX, LGASC, LTFP
S,
2      RCP, RWC, FPIN, FPRO, TTST, FPST, RBST
*)
COMMON /TKEEP/
1      LKEP (12) , LFOR (12) , MTN (12) , MTNUM
DIMENSION
1      RCP (5, KBMX, MPIN) , RWC (5, KBMX, MPIN) ,
2      FPIN (KBMX, MPIN, 4) , FPRO (KBMX, MPIN,
3),
3      TTST (KBMX, MPIN, NSTP) , FPST (KBLK, MP
N, 4, NSTP),
3      RBST (KBLK, MPIN, NUX, NSTP)
C
C---- WRITE TO NEW RESTART TAPE
C

```

```
MT = MTN(10)
READ(MT) KK, RCP, RWC, FPIN, FPRO
IF( LGASC, GT, 0 )
1READ(MT) TTST
IF( LTFPS, GT, 0 )
1READ(MT) FPST, RBST
C
RETURN
END
```

This is a blank page.

国際単位系(SI)と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

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

表3 固有の名称をもつSI組立単位

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

表2 SIと併用される単位

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

$$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

表5 SI接頭語

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

(注)

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

換算表

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

粘度 1 Pa·s(N·s/m²)=10 P(ポアズ)(g/(cm·s))

動粘度 1 m²/s=10⁴St(ストークス)(cm²/s)

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

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

放射能	Bq	Ci	吸収線量	Gy	rad
	1	2.70270 × 10 ⁻¹¹		1	100
	3.7 × 10 ¹⁰	1	0.01	1	

照 射 線 量	C/kg	R	線量当量	Sv	rem
	1	3876		1	100
	2.58 × 10 ⁻⁴	1			

(86年12月26日現在)

