

JAERI-M
7 1 8 3

準静的多次元空間依存炉心動特性解析コード

EUREKA-SPACE

1977年8月

稲辺輝雄・大西信秋

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

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

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

準静的多次元空間依存炉心動特性解析コード
EUREKA-SPACE

日本原子力研究所東海研究所安全工学部
稲辺 輝雄・大西 信秋

(1977年6月30日受理)

本計算プログラムは、軽水炉において反応度の外乱が生じた場合の炉心の核・熱水学的過渡応答を解析するために開発されたものである。筆者らが先に開発した1点近似・多チャンネル熱水力結合動特性解析コードEUREKAを基本として、核的特性を空間-時間依存で取扱えるようにしたもので、以下のような特徴を有している。

- (1) 炉出力および反応度フィードバック量の時間変化は十分小さな時間巾で計算し、炉心内の中性子束分布および出力分布の時間変化は準静的に取扱い、比較的大きな時間巾で計算する。中性子束分布および出力分布の時間変化は制御棒移動による構成物質の変化ならびに核常数の温度変化等を考慮して多次元中性子拡散計算により求める。
- (2) 熱水力計算は炉心を半径方向に最大5領域に分割すると共に、それぞれの領域を平均的な燃料で代表して各々の燃料およびそれをとりまく冷却材について行なう。
- (3) 反応度フィードバック効果はトップラ-効果、減速材温度効果、ボイド効果および被覆材の熱膨張による効果が考慮されている。

本計算プログラムはFORTRAN-Mによって書かれており、FACOM-230/75およびCDC-6600で使用することができる。

JAERI-M 7183

Quasi Steady State Multi-Dimensional Space-Dependent
Kinetic Code EUREKA-SPACE

Teruo INABE, Nobuaki OHNISHI

Division of Reactor Safety, Tokai Research Establishment, JAERI

(Received June 30, 1977)

A quasi steady state, multi-dimensional, space-dependent, kinetic code EUREKA-SPACE which is coupled with multi-region thermal-hydraulic model has been developed to analyze a water cooled, power reactor during a reactivity accident.

The code includes the following features:

- (1) Multi-dimensional power and flux distributions are calculated for several fuel enthalpy increments, and the transient reactor power behavior is determined by use of point kinetics equation. The power and flux distributions of the core are calculated with multi-group multi-dimensional diffusion equations, using temperature dependent cross section data.
- (2) Thermal-hydraulic calculation for up to maximum of five regions is performed to provide the details for feedback reactivity.
- (3) Feedback reactivity from doppler effect, moderator effect, void formation and cladding thermal expansion effects is taken into account.

The code is written in FORTRAN IV language for FACOM-230/75 and CDC-6600. This report presents detailed descriptions of the code, including basic equations, lists of input and output and test calculation results.

Keywords: Quasi Steady State Kinetics, Reactivity Accident, Multi-Dimensional Space Kinetics, Kinetic Computer Code, Feedback Reactivity, Power and Flux Distribution

目 次

1. 序	1
2. プログラムの概要	1
3. 核的動特性計算	4
3.1 基礎方程式	4
3.2 準静的近似による空間依存性	5
3.3 反応度のフィードバック計算	11
4. 熱・水力的動特性計算	14
4.1 燃料要素の温度計算	14
4.2 冷却材の温度計算	15
4.3 冷却材の流動計算	17
4.4 主な物性値および熱的諸定数の取り扱い	19
5. 幾何学的計算体系	24
5.1 中性子拡散計算における幾何学的体系	24
5.2 熱・水力計算における幾何学的体系	26
6. プログラムの構成	30
7. 入力データの説明	32
7.1 入力データの説明	32
7.2 データの入力例	54
8. 結言	59
謝辞	59
参考文献	59
付録 サンプル計算結果	60

1. 序

本計算プログラムは、軽水炉において制御棒の異常引き抜き、冷水流入等の反応度の外乱が生じた場合の、炉心の核・熱・水力的過渡応答を解析するための多次元（2次元および3次元）空間依存動特性計算コードである。従来の炉心動特性解析コードは、炉心の核的特性の空間依存性を時間的には不変として取り扱う、いわゆる1点炉近似に基いて熱・水力計算を実行するものであったり、あるいは、熱・水力計算を簡略化し、断熱的な取り扱いによって核的空間依存動特性計算を主体的に実行するものが、大部分であった。しかし、1点炉近似は、しばしば空間依存性を考慮した解に比べて、炉出力等を不安全側に評価する場合のあることが指摘されている^{1), 2)} また、断熱モデルは、燃料のドプラー現象による核的フィードバック効果は評価しえても、減速材の加熱によるフィードバック効果や詳細な燃料温度の過度変化を評価することは難しい。したがって、炉心が大型になるほど、核的な空間依存性を考慮しつつ、詳細な熱・水力計算を行う動特性解析コードが必要となってくる。

筆者らは、先に、核的には1点炉近似に基く多チャンネル熱・水力過渡特性解析コード EUREKA^{3), 4)}を開発したが、上に述べた理由から、これを核的にも多次元空間依存形で取り扱うように改良したものが、本計算プログラムである。解法上、核的空間依存性については、準静的取り扱いを行い、反応度の外乱あるいは炉心温度の変化に基く巨視的反應断面積の変化が、所定以上の中性子束分布の変動を引き起こす度毎に、新たな中性子束分布を拡散計算によって求め、熱出力分布およびフィードバック重み関数の再評価を行うようにした。中性子の拡散計算に当っては、反応度の外乱が、炉内の対称性および非対称性を有する位置のいずれにおいて生ずる場合にも対処しうるように、2次元および3次元体系を対称とする。熱・水力計算においては、従来の EUREKA 通り、炉心を半径方向あるいは X-Y 平面方向に最大5チャンネル、軸方向に最大21ノードまで分割し、また、燃料要素を半径方向に最大24領域まで分割して、燃料温度、冷却材温度、冷却材圧力・流量の変化を計算することができる。

2. プログラムの概要

本プログラムは、原子炉に反応度の外乱が加わった場合の多次元空間依存炉心動特性を解析することを目的としており、次のような特徴を有する。

- (1) 核的には準静的空間依存性の取り扱いを行い、炉出力および反応度フィードバック量の各絶対値の変動については、十分に細かな時間幅毎に計算するとともに、炉出力およびフィードバック重み関数（中性子束と随伴中性子束の積）の各空間的分布形状については、ゆるやかな時間ステップ毎に、2次元（R-Z）あるいは3次元（X-Y-Z）体系での定常分布を計算する。

1. 序

本計算プログラムは、軽水炉において制御棒の異常引き抜き、冷水流入等の反応度の外乱が生じた場合の、炉心の核・熱・水力的過渡応答を解析するための多次元（2次元および3次元）空間依存動特性計算コードである。従来の炉心動特性解析コードは、炉心の核的特性の空間依存性を時間的には不変として取り扱う、いわゆる1点炉近似に基いて熱・水力計算を実行するものであったり、あるいは、熱・水力計算を簡略化し、断熱的な取り扱いによって核的空間依存動特性計算を主体的に実行するものが、大部分であった。しかし、1点炉近似は、しばしば空間依存性を考慮した解に比べて、炉出力等を不安全側に評価する場合のあることが指摘されている^{1), 2)} また、断熱モデルは、燃料のドプラー現象による核的フィードバック効果は評価しえても、減速材の加熱によるフィードバック効果や詳細な燃料温度の過度変化を評価することは難しい。したがって、炉心が大型になるほど、核的な空間依存性を考慮しつつ、詳細な熱・水力計算を行う動特性解析コードが必要となってくる。

筆者らは、先に、核的には1点炉近似に基く多チャンネル熱・水力過渡特性解析コード EUREKA^{3), 4)}を開発したが、上に述べた理由から、これを核的にも多次元空間依存形で取り扱うように改良したものが、本計算プログラムである。解法上、核的空間依存性については、準静的取り扱いを行い、反応度の外乱あるいは炉心温度の変化に基く巨視的反應断面積の変化が、所定以上の中性子束分布の変動を引き起こす度毎に、新たな中性子束分布を拡散計算によって求め、熱出力分布およびフィードバック重み関数の再評価を行うようにした。中性子の拡散計算に当っては、反応度の外乱が、炉内の対称性および非対称性を有する位置のいずれにおいて生ずる場合にも対処しうるように、2次元および3次元体系を対称とする。熱・水力計算においては、従来の EUREKA 通り、炉心を半径方向あるいは X-Y 平面方向に最大5チャンネル、軸方向に最大21ノードまで分割し、また、燃料要素を半径方向に最大24領域まで分割して、燃料温度、冷却材温度、冷却材圧力・流量の変化を計算することができる。

2. プログラムの概要

本プログラムは、原子炉に反応度の外乱が加わった場合の多次元空間依存炉心動特性を解析することを目的としており、次のような特徴を有する。

- (1) 核的には準静的空間依存性の取り扱いを行い、炉出力および反応度フィードバック量の各絶対値の変動については、十分に細かな時間幅毎に計算するとともに、炉出力およびフィードバック重み関数（中性子束と随伴中性子束の積）の各空間的分布形状については、ゆるやかな時間ステップ毎に、2次元（R-Z）あるいは3次元（X-Y-Z）体系での定常分布を計算する。

(2) 熱・水力計算においては、炉心を半径方向（あるいはX-Y平面方向）および軸方向に多領域に分割し、また燃料要素を半径方向に多領域に分割して、定常時および非定常時の燃料温度、冷却材温度、冷却材圧力損失および冷却材流量等の計算を行う。

(3) 反応度フィードバック現象については、炉内各領域毎の燃料温度、減速材（冷却材）温度、ポイド率および被覆材熱膨張量に起因する効果を計算する。

(1)に示した核的特性の準静的空間依存性の取り扱い、本プログラムの特徴の主要な点であるが、これは、炉出力絶対値の変動計算と、比較的計算時間を要する出力分布の計算（すなわち、これの基となる多次元中性子束分布の計算）とを分離して取り扱うことによって、全体的な計算時間の緩和を図るための近似法である。詳細については次章に述べるが、この場合、炉出力の絶対値の変動は、1点炉動特性方程式によって表現することができ、この解は十分に細かな時間幅 Δt_n 毎に算出される。また、炉出力の空間分布については、主要な時間ステップ毎に、その時点における炉内の物質配置状態および炉心温度に対応する定常分布を、多次元多群の中性子拡散計算によって求める。中性子拡散計算の実行のための時間ステップは、任意の時刻および燃料温度増分の値によって指定することができ、時刻あるいは燃料温度の増分が指定の値に達する度に、その時点における反応度外乱の起因たる物質配置状態の変更を行い、また温度依存の巨視的反応断面積を用いて、中性子束分布および炉出力分布の再計算を行う。

また、拡散計算の結果得られた中性子束および随伴中性子の積は、炉内各領域の反応度フィードバック効果に寄与する位置的重みを表す関数として用いられる。炉心全体のフィードバック発生量については、次章に述べるように、燃料温度、減速材温度、ポイド率および被覆材熱膨張量の関数として入力したフィードバック係数と、熱・水力特性の計算結果とに基いて、炉内各領域毎のフィードバック発生量を求め、これに上記各領域の有する重み関数を乗じて、細かな熱・水力計算時間幅 Δt_k 毎に絶対値を算出する。したがって、拡散計算においては、計算時間を要する中性子増倍係数（ k_{eff} ）あるいは反応度量（ $\Delta k_{eff}/k_{eff}$ ）を直接求める必要はなく、比較的ゆるやかな固有値の収束条件を用いることが許容される。

以上の拡散計算に当っては、多次元多群拡散計算コードCITATION⁵⁾を修正したものをサブプログラムとして適用している。CITATIONの適用に当っては、燃料計算部分およびその他の本計算プログラムの目的上不要な部分を削除し、記憶容量の最小化に努めるとともに、温度依存の巨視的反応断面積および時間依存の物質ゾーンの置き換えが適用しうるようにコードの修正を行った。拡散計算で取り扱う計算体系は、R-Z 2次元体系あるいはX-Y-Z 3次元体系である。

熱・水力計算に当っては、第4章に述べるように、炉心を半径方向あるいはX-Y平面方向に最大5領域、軸方向に最大21領域まで分割するとともに、燃料要素を半径方向に最大24領域まで分割して、温度依存の物性値を用い、定常時および非定常時の燃料温度、冷却材温度、冷却材圧力損失および冷却材流量等を計算する。この計算に当っては、1点炉近似に基く多領域熱・水力過渡特性解析コードEUREKAを1部修正したものを、サブプログラムとして適用している。熱・水力計算用時間幅 Δt_k の大きさは、先に述べた炉出力絶対値計算用時間幅 Δt_n の任意の整数倍とする（ $\Delta t_k = m \Delta t_n$ ； m は1以上の整数）。 Δt_n および整数値 m の大きさは、全計算時間帯を適当に分割した各時間領域において、任意に設定しうる。

なお、中性子拡散計算においては、炉心を細かなメッシュ領域に分割するが、一方、熱・水力計算においては、炉心をこれよりも大きな領域に分割する。このため、拡散計算用メッシュ領域に関する情報と、熱・水力計算用領域に関する情報は、サブプログラムによって連結している。両幾何学的体系間の対応付けに当っては、第5章に示す注意事項を参照されたい。

以上に述べた各計算部分相互間の関係の概要を Fig. 1.1 に示す。なお、本計算プログラムは、FORTRAN-IV を使用言語としている。

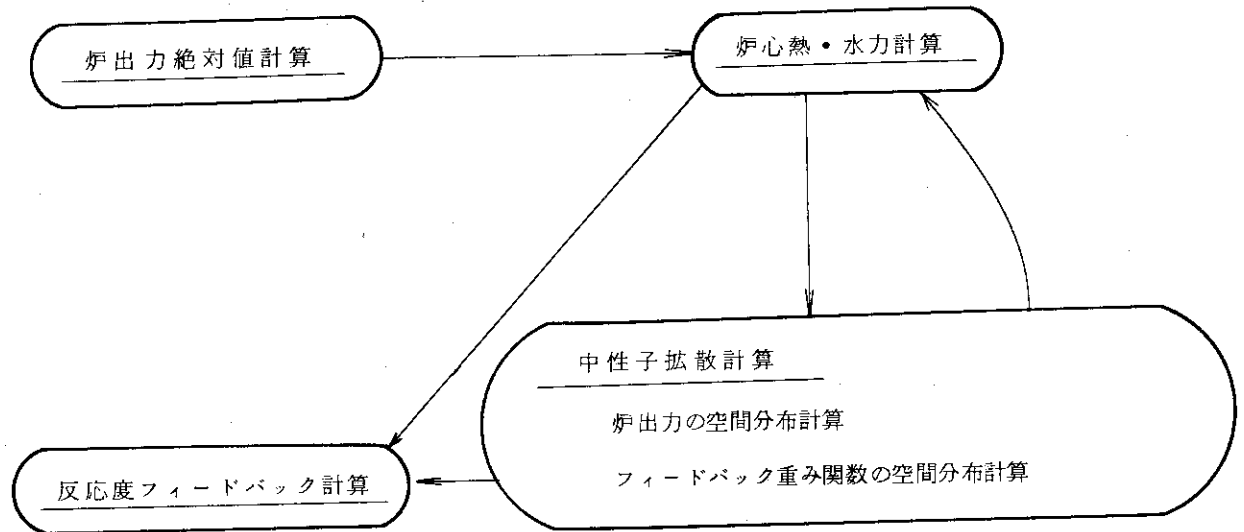


Fig. 1.1 EUREKA - SPACE 計算プログラムの構成

3. 核的動特性計算

3.1 基礎方程式

原子炉における熱中性子の空間的および時間的ふるまいを記述する拡散方程式は、一般的に次のように表わされる。

$$\begin{aligned} \frac{1}{v} \frac{\partial \phi(\vec{r}, t)}{\partial t} = & \nabla \cdot D(\vec{r}, t) \nabla \phi(\vec{r}, t) - \Sigma_a(\vec{r}, t) \phi(\vec{r}, t) \\ & + \zeta(\vec{r}, t) \{ (1-\beta) \nu \Sigma_f(\vec{r}, t) \phi(\vec{r}, t) \\ & + \sum_{i=1}^M \lambda_i C_i(\vec{r}, t) \} + Q(\vec{r}, t) \quad (3.1) \end{aligned}$$

ここに、 \vec{r} および t は、それぞれ空間ベクトルおよび時間を表わし、その他の記号は次の諸量を表わしている。

- v : 熱中性子の平均速度
- ϕ : 熱中性子束
- D : 拡散係数
- Σ_a : 巨視的吸収断面積
- ζ : 高速中性子が減速の過程で消滅せず熱中性子となる確率
- β : 全分裂中性子数のうち遅発中性子の占める割合
- ν : 1分裂当りに放出される中性子数の平均値
- Σ_f : 巨視的分裂断面積
- λ_i : 遅発中性子先行核を崩壊定数に従って M 組に分割したときの、第 i 組を代表する崩壊定数
- C_i : 第 i 組の遅発中性子先行核密度
- Q : 外部の熱中性子源によって付与される単位時間当りの熱中性子密度

上式中の遅発中性子先行核密度のつりあいについては、次のように表わされる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial C_i(\vec{r}, t)}{\partial t} = & \beta_i \nu \Sigma_f(\vec{r}, t) \phi(\vec{r}, t) - \lambda_i C_i(\vec{r}, t) \\ & i = 1, 2, \dots, M \quad (3.2) \end{aligned}$$

ここに、 β_i は全分裂中性子数のうち第 i 組の遅発中性子が占める割合を表わす ($\sum_{i=1}^M \beta_i = \beta$)。

以上の式を解いて未知数 $\phi(\vec{r}, t)$ を求めれば、炉出力の空間的および時間的変化が分るわけであるが、(3.1) 式および (3.2) 式に含まれる炉心の特性量 $\Sigma_a(\vec{r}, t)$, $\Sigma_f(\vec{r}, t)$, $\zeta(\vec{r}, t)$ 等は炉心の温度等に依存して変化する量であり、かつ、炉心温

度は出力に依存して変化するため、上式は炉心の熱・水力計算と結合した形で解いてゆかなければならず、これを厳密に取り扱おうとすると、膨大な計算時間を必要とする。したがって、この問題に出来る限り現実的な範囲で対処するため、核的動特性計算に当っては、以下に述べる準静的空間依存性の取り扱いを行う。

3.2 準静的近似による空間依存性

3.2.1 振幅関数の取り扱い

(3.1)式および(3.2)式で取り扱う熱中性子束 $\phi(\vec{r}, t)$ および遅発中性子先行核密度 $C_i(\vec{r}, t)$ を、次の形式に表現する。

$$\begin{aligned}\phi(\vec{r}, t) &= \psi(\vec{r}, t) \cdot F(t) \\ C_i(\vec{r}, t) &= \varphi_i(\vec{r}, t) \cdot G_i(t)\end{aligned}\quad (3.3)$$

$\psi(\vec{r}, t)$ および $\varphi_i(\vec{r}, t)$ は、それぞれ熱中性子束および遅発中性子先行核密度の空間分布を表す形状関数であり、これらは後述するように、ある重み関数を乗じた後、体積積分値が1となるように規格化する。また、 $F(t)$ および $G_i(t)$ は、これらの絶対値を表す振幅関数である。

中性子束分布および遅発中性子先行核密度分布は、炉心の温度変化等に追従して時間的に異った形状をとるため、上記形状関数 $\psi(\vec{r}, t)$ および $\varphi_i(\vec{r}, t)$ は、空間ベクトル \vec{r} の関数であるとともに時間 t の関数ともなっている。しかし、一般的に振幅関数の変化にくらべれば、形状関数の時間的変化はゆるやかなものと見なせる。したがって、形状関数の計算は、振幅関数の計算時間幅 Δt_n よりも大きな時間幅 Δt_j ($\Delta t_j = t_{j+1} - t_j$; $\Delta t_j \gg \Delta t$) について行うものとし、この時間幅 Δt_j においては、形状関数を一定と見なす近似を行う。この場合、(3.3)式で表した熱中性子束および遅発中性子先行核密度は、次のように、空間依存項および時間依存項に変数分離される。

$$\begin{aligned}\phi(\vec{r}, t) &= \psi(\vec{r}, t_j) \cdot F(t) \\ C_i(\vec{r}, t) &= \varphi_i(\vec{r}, t_j) \cdot G_i(t) \\ t_j \leq t < t_{j+1}\end{aligned}\quad (3.4)$$

上記の時間幅 Δt_j における振幅関数の変化は、(3.4)式を(3.1)式および(3.2)式に代入し、空間積分することによって、次に示す1点炉動特性方程式の形に表わされる。

$$\frac{dN(t)}{dt} = \frac{\rho(t) - \beta}{\ell} \cdot N(t) + \sum_{i=1}^M \lambda_i C_i(t) + S(t) \quad (3.5)$$

$$\frac{dC_i(t)}{dt} = \frac{\beta_i}{\ell} \cdot N(t) - \lambda_i C_i(t) \quad (3.6)$$

$i = 1, 2, \dots, M$

ここに、上式中の各記号は以下の諸量を表す。

$$N = \frac{F}{v} \int \psi \, d\vec{r} : \text{炉心全体の熱中性子数}$$

$$C_i = G_i \int \zeta \varphi_i \, d\vec{r} : \text{炉心全体の等価先行核数}$$

$$S = \int Q \, d\vec{r} : \text{外部的な中性子源から供給される炉心全体の熱中性子数}$$

$$\ell = \frac{\frac{1}{v} F \int \psi \, d\vec{r}}{\nu F \int \zeta \Sigma_f \psi \, d\vec{r}} : \text{中性子寿命}$$

$$\rho = \frac{k_{\text{eff}} - 1}{k_{\text{eff}}} : \text{反応度}$$

$$k_{\text{eff}} = \frac{\nu F \int \zeta \Sigma_f \psi \, d\vec{r}}{-F \int \nabla \cdot D \nabla \psi \, d\vec{r} + F \int \Sigma_a \psi \, d\vec{r}} : \text{実効増倍係数}$$

(3.5)式および(3.6)式を解いて得られる $N(t)$ は炉心全体の熱中性子数の時間的变化を表すが、これは形状関数 $\psi(\vec{r}, t_j)$ が一定である時間幅(すなわち、炉心の核分裂断面積も $\Sigma_f(\vec{r}, t_j)$ と一定であると見なしている時間幅)においては、ある適当な変換係数を介して、炉出力の絶対値の時間的变化を表している量である。

上式における ℓ , β , β_i , λ_i および $S(t)$ は、入力データとして与えられ、また $\rho(t)$ は、時間の関数として入力した印加反応度と次節に述べる反応度のフィードバック計算に基いて求められる。なお、フィードバック計算を行うには、フィードバックの起因たる炉心の熱・水力特性の変化が知られていなければならず、炉心の熱・水力特性の変化が分るためには、あらかじめ、炉心の出力変動が知られていなければならない。したがって、フィードバックを含めた反応度量は、炉心の熱・水力計算に先立って、あらかじめ時刻 t における値を予想しておき、これを用いて(3.5)式および(3.6)式の計算を行う。なお、(3.5)式および(3.6)式における炉出力変動計算は、比較的細かな時間幅 Δt_n について行い、炉心の熱・水力計算は、一般にこれよりも大きな時間幅 Δt_k について行う($\Delta t_k = m \Delta t_n \geq \Delta t_n$; m は任意の整数)。フィードバック反応度の予想値としては、出力変動の計算時刻 t に先行する熱・水力計算時刻 t_k ($t_{k-1} < t \leq t_k$)において、それ以前の熱・水力計算から得られたフィードバック量を外挿して得られる値を用いる。したがって、(3.5)式は、実際の計算上次の形で取り扱ってゆく。

$$\frac{dN(t)}{dt} = \frac{\rho(t_k) - \beta}{\ell} \cdot N(t) + \sum_{i=1}^M \lambda_i C_i(t) + S(t) \quad (3.7)$$

$$t_{k-1} < t \leq t_k$$

(3.7)式および(3.6)式に基く炉出力計算を行い、これに基く熱・水力計算を行って、時刻 t_k におけるフィードバック反応度量 $\rho_{\text{FB}}(t_k)$ を述べた結果が、初めの予想したフィードバック量と一定の許容誤差範囲内で一致していれば、初めのフィードバック量の予想は良好であったと見なして、今算出したフィードバック量 $\rho_{\text{FB}}(t_k)$ を用い、次の熱・水力計算時刻 t_{k+1} に対するフィードバック量を外挿して、 $t_k < t \leq t_{k+1}$ の間の炉出力変動計算を続行する。もし、時刻 t_k において算出したフィードバック量 $\rho_{\text{FB}}(t_k)$ と、この時刻に対して予想したフィードバ

ック量が、許容誤差の範囲内で一致していない場合には、今求めた $\rho_{FB}(t_k)$ を、新たに時刻 t_k に対するフィードバック量の予想値として用い、 $t_{k-1} < t \leq t_k$ の間の炉出力変動および熱・水力計算を繰り返す。

3.2.2 形状関数の取り扱い

次に、形状関数の時間的変化の取り扱いについて述べよう。炉内の物質移動あるいは温度変化によって、核定数 ($D, \Sigma_a, \Sigma_f, \zeta$ 等で、以下これらを一括して A と表わす) が、時間 Δt_{j-1} 後に $A(\vec{r}, t_{j-1})$ の状態から $A(\vec{r}, t_j)$ の状態に変わったとしよう。この変更された $A(\vec{r}, t_j)$ の状態における熱中性子束分布は、その高調波成分が極めて急速に消滅するために、ある短い時間後には基本波のみの形状を取るようになる。したがって、ここでは、高調波成分に対して即発跳躍近似を用い、熱中性子束は、次の形状関数を計算するまでの時間幅 Δt_j において、 $A(\vec{r}, t_j)$ の状態に対する基本波のみから成る定常分布をとるものと近似する。この形状関数を表わす式は、定常状態の拡散方程式で、(3.1)式に対応し次のように表わされる。

$$\begin{aligned} \nabla \cdot D(\vec{r}, t_j) \nabla \psi(\vec{r}, t_j) - \Sigma_a(\vec{r}, t_j) \psi(\vec{r}, t_j) \\ + \zeta(\vec{r}, t_j) \nu \Sigma_f(\vec{r}, t_j) \psi(\vec{r}, t_j) + Q(\vec{r}, t_j) \\ = 0 \end{aligned} \quad (3.8)$$

(3.8)式は、熱中性子束分布に関する式であり、さらに高いエネルギーを有する中性子が、物質との反応や炉心からの洩れの過程を通して最終的に熱中性子となる効果については、 ζ という項で表わしてきた。実際にこの式を解いてゆく場合には、高速中性子の反応や洩れの過程を取り扱う高速中性子束の拡散方程式を組み合わせ、いわゆる多群拡散方程式として解いてゆく。ここで扱う多群拡散方程式は、次の形に表わされる。

$$\begin{aligned} -D_g(\vec{r}, t_j) \nabla^2 \psi_g(\vec{r}, t_j) + \Sigma_{a,g}(\vec{r}, t_j) \psi_g(\vec{r}, t_j) \\ + \sum \Sigma_{s,g \rightarrow n}(\vec{r}, t_j) \psi_g(\vec{r}, t_j) \\ - \sum \Sigma_{s,n \rightarrow g}(\vec{r}, t_j) \psi_n(\vec{r}, t_j) \\ = \omega \chi_g \sum_n \nu_n \Sigma_{f,n}(\vec{r}, t_j) \psi_n(\vec{r}, t_j) \end{aligned} \quad (3.9)$$

$g = 1, 2, \dots, G$

ここに、上式中の各記号は、それぞれ以下の諸量を表す。

ψ_g : 中性子のエネルギーを G 群に分割したときの、第 g 群のエネルギーを有する中性子束

D_g : 第 g 群の拡散係数

$\Sigma_{a,g}$: 第 g 群の巨視的吸収断面積

$\Sigma_{s,g \rightarrow n}$: 中性子が第 g 群から第 n 群になる巨視的散乱断面積

$\Sigma_{f,g}$: 第 g 群の巨視的分裂断面積

ν_g : 第 g 群の中性子によって生じた核分裂 1 回当りに放出される中性子数

χ_g : 核分裂によって生まれた中性子が、第 g 群のエネルギーを有する確率

ω : 固有値

なお、(3.9)式は、後の説明のために、次のようなマトリックス表示による一般形に表わしておく。

$$\vec{M}\vec{\psi} = \omega\vec{F}\vec{\psi} \quad (3.10)$$

ここに、 $\vec{\psi}$ は ψ_g を要素とするG次のベクトルであり、 \vec{M} および \vec{F} は ψ_g の作用素から成るG×G行列である。(3.9)式あるいは(3.10)式では、外部中性子源による中性子の供給は微小なものと考え、形状関数の計算に当っては、外部中性子源の項を無視している。

この式は、 $D_g(\vec{r}, t_j)$ 、 $\Sigma_{a,g}(\vec{r}, t_j)$ 、 $\Sigma_{s,g \rightarrow n}(\vec{r}, t_g)$ 、 $\nu_g \Sigma_{f,g}(\vec{r}, t_j)$ および χ_g 等を入力データとして与え、有限差分法に基く多次元多群拡散計算コードCITATIONを用いて解いてゆく。

入力データとして与える核定数 D 、 Σ_a 、 Σ_s 、 $\nu\Sigma_f$ 等は時間依存の形をとっているが、これは前述したように、炉心内の物質移動あるいは温度変化に伴って、これらの値が切り換えることを意味している。これを、たとえばFig. 3.1に示す制御棒の引き抜け時の例について考えてみると、制御棒は時刻0から t_2 の間に、Aの形からCの形へと引き抜かれ、引き抜かれた制御棒のあとには、これと異った核定数を有する他の物質が置き換えられる。この間にも炉心各領域の温度は変化し、このため、制御棒領域以外の核定数も温度依存の形で変化する。時刻 t_2 以降は、核定数は炉心の温度変化のみに依存して変化する。

こうした使用核定数値の切り換えを可能とするため、本プログラムでは次の2つの方法を併用している。まず、核定数の温度依存性については、炉心の各構成物質の温度と、その温度のときにとるべき核定数値の組を、必要数入力する。任意の温度に対する核定数値は、この与えた組の値の間を線形内挿して定める。拡散計算の実行は、ある指定した熱・水力計算用チャンネルにおける平均燃料温度の増分が指定された値を越える度に、繰り返す行う。

また、物質の移動の問題については、まず初期条件として炉心を細かなメッシュ領域に分割し、各メッシュ領域を占める物質の配置を定めておき、次いで、幾つかの時刻について、その時刻にとるべき新たな物質の配置パターンを指定し、メッシュ空間における物質の置き換えを図る。この物質置換の指定に当っては、これを容易にするため、物質置換の生ずるメッシュ領域のみについて、指定時刻以前に占める物質の上に新たな物質を繰り返し重ね合わせてゆく、いわゆるMesh Overlayの手法を適用している。拡散計算は、指定された時刻になる度に、指定されたMesh Overlayを行って、実行を繰り返す。この場合にも、炉心の温度計算に基き、指定された時刻における炉心各領域の温度に対応する核定数値を求めて、計算に使用してゆく。

以上の拡散計算の結果、各時間ステップにおけるメッシュ空間の出力分布 $P(\vec{r}, t_j)$ が(3.11)式の形で求められる。

$$P(\vec{r}, t_j) = \sum \nu_g \Sigma_{f,g}(\vec{r}, t_j) \psi_g(\vec{r}, t_j) \quad (3.11)$$

厳密な出力の定義としては、(3.11)式における ν_g が不要であるが、入力データとして与える際に ν_g と $\Sigma_{f,g}$ を分離せずに $\nu_g \Sigma_{f,g}$ を1ケのデータとして与えるため、ここでは(3.11)式のように出力を定義する。なお、 ν_g は、一般的にどのエネルギー群についてもほぼ一様な値をとるので、今の場合(3.11)式の定義で実際上問題はない。

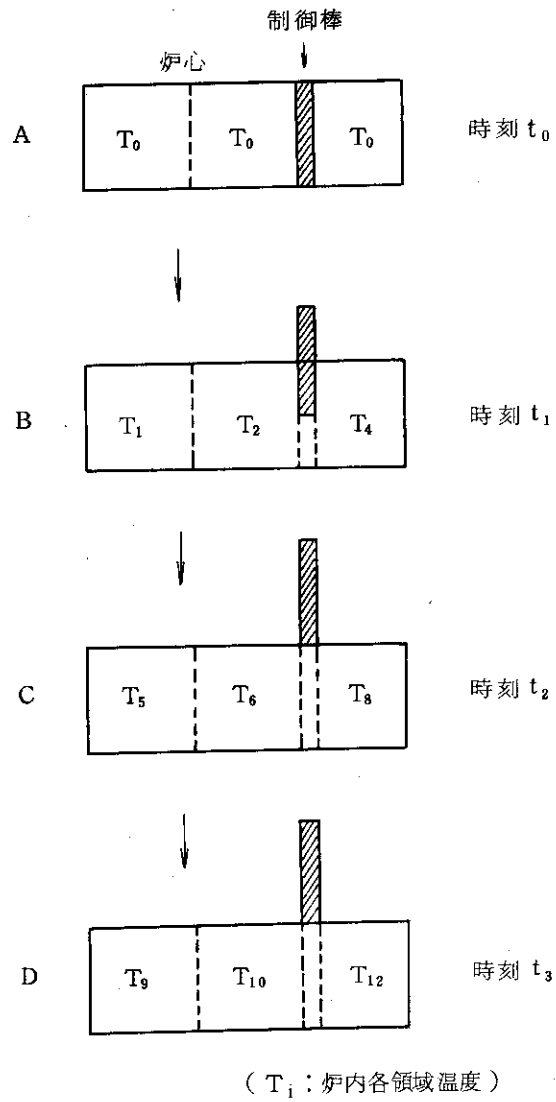


Fig. 3.1 制御棒引き抜け時の炉内状態の1例

この出力分布は、炉心の温度計算のための発熱源分布として用いられる。温度計算は、炉心を半径方向に最大5チャンネル、軸方向に最大21ノードまで分割した領域について行う。したがって、温度計算用に分割した領域と、これよりもさらに細かな分割を施して定めた上記拡散計算用メッシュ領域の対応づけを指定し、(3.11)式で定めたメッシュ空間の出力分布を、(3.12)式に示すように、温度計算用チャンネル、ノード領域に分配する。

$$P_{J,K}(t_j) = \int_{J,K} P(\vec{r}, t_j) d\vec{r} / \int_{J,K} d\vec{r}$$

ここに、JおよびKは、それぞれノード番号およびチャンネル番号を表し、また積分記号は、ノードJおよびチャンネルKに分配されたメッシュ空間にわたる積分を表す。各チャンネル、ノード領域に分配された出力分布は、炉心全体にわたる体積積分値が1となるように規格化する。すなわち、

$$\sum_{J,K} P_{J,K}(t_j) \Delta V_{J,K} = 1 \quad (3.13)$$

ここに、 $\Delta V_{J,K}$ はチャンネルKに含まれるノードJの領域の体積を表す。

なお、拡散計算の結果得られた中性子束分布は、次節に述べる反応度のフィードバック計算のための、空間的な重み関数としても用いられる。すなわち、炉内の各チャンネルおよびノード領域の熱・水力特性の変化が、炉心全体の反応度のフィードバック効果に寄与する割合を、各領域における中性子束および随伴中性子束の積を用いて評価する。随伴中性子束を求めるための方程式は、(3.10)式の拡散方程式に対応して、次のように表わされる。

$$\vec{M}^T \vec{\psi}^* = \omega \vec{F}^T \vec{\psi}^* \quad (3.14)$$

ここに、 $\vec{\psi}^*$ は各エネルギー群の随伴中性子束 $\psi_g^*(\vec{r}, t_j)$ を要素とするG次のベクトルであり、 \vec{M}^T および \vec{F}^T は(3.10)式における作用素行列 \vec{M} および \vec{F} の転置行列である。(3.14)式を解いて随伴中性子束を求める計算は、CITATIONを用いて、拡散計算を行う各時間ステップ毎に実行する。

以上の計算を通して得られたメッシュ空間における各群の中性子束および随伴中性子束のうち、フィードバック現象に関与するエネルギー群に属するもののみを選択して両者の積をとり、これを、出力分布の場合と同様にし、チャンネル、ノード領域に分配する。

$$\begin{aligned} & \psi_{gX,J,K}(t_j) \psi_{gX,J,K}^*(t_j) \\ &= \int_{J,K} \psi_{gX}(\vec{r}, t_j) \psi_{gX}^*(\vec{r}, t_j) d\vec{r} / \int_{J,K} d\vec{r} \quad (3.15) \end{aligned}$$

ここに、指標gXは、次節に述べる4種類のフィードバック現象のうち、タイプXのフィードバックに関与する中性子のエネルギー群を表し、また積分記号は、チャンネルKに含まれるノードJの領域に分配されたメッシュ空間にわたる積分を表す。(3.15)式で与えられた関数が、時間幅 Δt_j の間の時刻 t ($t_j \leq t < t_{j+1}$) における反応度フィードバック計算のための、各チャンネル、ノード領域に対する重み関数である。なお、これは、炉心全領域にわたる体積積分値が1となるように、規格しておく。すなわち、規格化された重み関数 $W_{X,J,K}(t_j)$ は、次の

ように表わされる。

$$W_{X,J,K}(t_j) = \frac{\psi_{gX,J,K}(t_j)\psi_{gX,J,K}^*(t_j)}{\sum_{J,K} \psi_{gX,J,K}(t_j)\psi_{gX,J,K}^*(t_j)\Delta V_{J,K}} \quad (3.16)$$

$$\sum_{J,K} W_{X,J,K}(t_j)\Delta V_{J,K} = 1 \quad (3.17)$$

なお、(3.14)式で示した随伴計算を行なわない場合には、随伴中性子束の代わりに通常の中性子束を用い、上に述べた重み関数として、フィードバックに關与する中性子束の2乗したものをを用いることもできる。

3.3 反応度のフィードバック計算

(3.7)式の動特性計算に用いる反応度 $\rho(t_k)$ は、外乱として炉心に印加される反応度 $\rho_{IN}(t_k)$ から、炉心の熱・水力特性の変化に起因して生ずる反応度のフィードバック量 $\rho_{FB}(t_k)$ を差し引いたものとして定義される。

$$\rho(t_k) = \rho_{IN}(t_k) - \rho_{FB}(t_k) \quad (3.18)$$

ここに、 t_k は炉心の熱・水力計算時刻を表す。反応度のフィードバック現象の要因としては、次の4種類のを考える。

- (1) 燃料温度 T_F の変化に起因するもの： ρ_D
- (2) 減速材温度 T_W の変化に起因するもの： ρ_M
- (3) 減速材中のボイド量 α の変化に起因するもの： ρ_V
- (4) 燃料被覆材の熱膨張に起因するもの： ρ_E

これらのフィードバック量の算出に当っては、先ず熱・水力計算の結果得られた炉内の各チャンネル、ノード領域における燃料温度、減速材温度、ボイド量および被覆材温度をもとに、次式に示す各領域のフィードバック発生量 $\Delta\rho$ を求める。

$$\begin{aligned} \Delta\rho_{D,J,K}(t_k) &= a_{D0} + a_{D1}T_{F,J,K}(t_k) + a_{D2}T_{F,J,K}^2(t_k) \\ &+ a_{D3}T_{F,J,K}^3(t_k) + a_{D4}T_{F,J,K}^n(t_k) \end{aligned} \quad (3.19)$$

$$\begin{aligned} \Delta\rho_{M,J,K}(t_k) &= a_{M1}T_{W,J,K}(t_k) + a_{M2}T_{M,J,K}^2(t_k) \\ &+ a_{M3}T_{M,J,K}^3(t_k) \end{aligned} \quad (3.20)$$

$$\begin{aligned} \Delta\rho_{V,J,K}(t_k) &= a_{V1}\alpha_{J,K}(t_k) + a_{V2}\alpha_{J,K}^2(t_k) \end{aligned} \quad (3.21)$$

$$\begin{aligned} \Delta \rho_{E, J, K} (t_k) \\ = 2 \lambda_C (V_F / V_W) a_E T_{CA, J, K} (t_k) \end{aligned} \quad (3.22)$$

ここに、

$\Delta \rho_{X, J, K} (t_k)$: 本節の冒頭に述べた4種類のフィードバックのうち、タイプXのフィードバックの、チャンネルK、ノードJにおける時刻 t_k での発生量

$T_{F, J, K} (t_k)$: 時刻 t_k におけるチャンネルK、ノードJの燃料温度

$T_{W, J, K} (t_k)$: 時刻 t_k におけるチャンネルK、ノードJの減速材温度

$\alpha_{J, K} (t_k)$: 時刻 t_k におけるチャンネルK、ノードJのボイド率

$T_{CA, J, K} (t_k)$: 時刻 t_k におけるチャンネルK、ノードJの被覆材平均温度

λ_C : 被覆材線膨張係数

V_F / V_W : 燃料棒単位セルにおける減速材対燃料の体積比

をそれぞれ表し、また a_{X1} , a_{X2} , …… , および n は、上式の形でタイプXのフィードバック発生量を温度あるいはボイド率のべき級数の展開形で表わした場合の、展開係数である。

以上の式から求めた各領域のフィードバック発生量に対し、これに各領域の有するフィードバック効果への寄与の重さを表わす重み関数 $W_{X, J, K} (t_j)$ (ただし、 $t_j \leq t_k < t_{j+1}$) を乗じ、炉内全領域にわたる体積積分を行って炉心全体のタイプXに属するフィードバック反応度量 $\rho_X (t_k)$ を求める。すなわち、

$$\rho_X (t_k) = \sum_{J, K} W_{X, J, K} (t_j) \Delta \rho_{X, J, K} (t_k) \Delta V_{J, K} \quad (3.23)$$

$t_j \leq t_k < t_{j+1}$

ここに、 $W_{X, J, K} (t_j)$ は、前節で述べたように、時刻 t_j で計算した、チャンネルKおよびノードJの領域における、タイプXのフィードバックに關与するエネルギー群の中性子束と随伴中性子束の積であり、これを、炉心全体にわたる体積積分値が1となるように規格化したものである。なお、特に随伴中性子束を求めない場合には、中性子束の2乗したものをを用いて、フィードバックの重み関数とすることもできる。

(3.19) ~ (3.23) 式に基いて求めた各タイプのフィードバック量の合計値が、炉心の全フィードバック反応度量 ρ_{FB} である。

$$\begin{aligned} \rho_{FB} (t_k) = \rho_D (t_k) + \rho_M (t_k) \\ + \rho_V (t_k) + \rho_E (t_k) \end{aligned} \quad (3.24)$$

なお、炉心に外部的に印加される反応度量については、これを9点以内の時刻に関する値として入力し、線形内挿によって、任意の熱・水力計算時刻 t_k における印加量 $\rho_{IN} (t_k)$ を得る。

以上の計算によって求めた反応度の印加量およびフィードバック量をもとに、(3.18) 式に示す減算を行って炉心の反応度量 $\rho (t_k)$ を求め、これを(3.7) 式に示す炉出力変化の計算に適用するわけであるが、3.2節で述べたように、炉出力変化の計算に当っては、炉出力の計算時刻 t における炉心の反応度量 $\rho (t)$ が既知のものとして与えられていなければならない、一方、 $\rho (t)$ の値を知るには上に述べたように、時刻 t における炉出力とこれに基く熱・水力計算およびフィードバック計算の結果が得られていなければならない。したがって、この問題を解決する

ために、炉出力の計算時刻 t に先行する熱・水力計算時刻 t_k ($t_{k-1} < t \leq t_k$) における反応度のフィードバック量を、これ以前の近接する2つの熱・水力計算時刻 t_{k-2} , t_{k-1} において算出したフィードバック量 $\rho_{FB}(t_{k-2})$, $\rho_{FB}(t_{k-1})$ から線形外挿して求め、これを用いて、(3.7)式に示す炉出力変化の計算のための $\rho(t)$ を与える。すなわち、

$$\rho_{FBG}(t_k) = \frac{(t_k - t_{k-1})}{(t_{k-1} - t_{k-2})} \cdot [\rho_{FB}(t_{k-1}) - \rho_{FB}(t_{k-2})] + \rho_{FB}(t_{k-1}) \quad (3.25)$$

$$\begin{aligned} \rho(t) &= \rho(t_k) \\ &= \rho_{IN}(t_k) - \rho_{FBG}(t_k) \\ &\quad t_{k-1} < t \leq t_k \end{aligned} \quad (3.26)$$

ここに、 $\rho_{FBG}(t_k)$ は、(3.25)式に示すように、時刻 t_k 以前の熱・水力計算に基づいて求めたフィードバック量からの、時刻 t_k に対する外挿値である。(3.26)式によって与えた $\rho(t)$ を用いて炉出力変化の計算を行い、これに基づく熱・水力計算および(3.19)~(3.23)式に示すフィードバック計算を行った結果得られた、時刻 t_k における反応度のフィードバック量 $\rho_{FB}(t_k)$ が、(3.25)式に示す外挿によって予想した値 $\rho_{FBG}(t_k)$ と一定の許容誤差の範囲内で一致していれば、(3.25)式に基づくフィードバック量の予想は良好であったと見なしうる。この場合には、今算出したフィードバック量 $\rho_{FB}(t_k)$ を用いて、次の熱・水力計算時刻 t_{k+1} に対するフィードバック量を外挿し、時間 $t_k < t \leq t_{k+1}$ の間の炉出力計算を続行する。もし、時刻 t_k において算出したフィードバック量 $\rho_{FB}(t_k)$ と、この時刻に対する予想値 $\rho_{FBG}(t_k)$ の間の誤差が、許容誤差の範囲を越えるものであった場合には、今算出した $\rho_{FB}(t_k)$ を時刻 t_k に対するフィードバック量の予想値として用い、新たに時間 $t_{k-1} < t \leq t_k$ の間の炉出力変化および熱・水力特性を再計算する。

4. 熱・水力的動特性計算

炉心の定常状態および非定常状態における熱・水力計算に当っては、すでに開発された、核的には1点炉動特性計算モデルに基づく多チャンネル熱・水力動特性計算コードEUREKAを一部修正したものを、サブプログラムとして適用している。本章では、このEUREKAで取り扱う熱・水力計算の概要を述べるが、計算手法等の詳細については、文献3), (4)を参照されたい。

4.1 燃料要素の温度計算

炉心の各領域における発熱密度は、第3章に述べた中性子拡散計算の結果の出力分布と、1点炉動特性方程式の解をもとに、次のように表わされる。

$$E_{J,K}(t) = c \cdot N(t) \cdot P_{J,K}(t_j) \quad (4.1)$$

$$t_j \leq t < t_{j+1}$$

ここに、

- $E_{J,K}(t)$: 時刻 t におけるチャンネル K , ノード J の領域における平均発熱密度
- $N(t)$: (3.7) 式に示す1点炉動特性方程式の解で、時刻 t における炉心の全熱中性子数
- $P_{J,K}(t_j)$: (3.12) 式で表わされる、時刻 t_j において実行された中性子拡散計算の結果得られた炉心出力分布の、チャンネル K , ノード J における平均値
- c : 炉心全体の熱中性子を炉心の熱出力値に変換するための係数

時刻 t における炉心の全熱出力 $P_T(t)$ は、チャンネル K , ノード J の領域の体積を $\Delta V_{J,K}$ とすると、次式のように表わされる。

$$P_T(t) = \sum_{J,K} E_{J,K}(t) \cdot \Delta V_{J,K} \quad (4.2)$$

なお、(4.1) 式における変換係数 c については、与えられた炉心初期熱出力を P_{T0} とし、(3.7) 式の1点炉動特性方程式の解の初期値を N_0 とすると、(3.13) 式に示す出力分布の規格化によって、

$$P_{T0} = c \cdot N_0 \quad (4.3)$$

と表わされる。

さて、定常時および非定常時の燃料要素内温度分布を求めるための熱伝導方程式は、上記(4.1)式に示した発熱密度を熱源項として、次のように表わされる。

$$\rho C_p(r, T) \cdot \frac{\partial}{\partial t} T(r, t)$$

$$= \nabla k(r, T) \nabla T(r, t) + S(r, t) \quad (4.4)$$

ここに、 t 、 r 、 T はそれぞれ時刻、位置（半径）、温度を表わし、 ρC_p は体積熱容量、 k は熱伝導率を表わす。また、 S は燃料要素内の単位体積当りの発熱密度を表わし、これは次式に示すように、(4.1)式で与えられたチャンネル、ノード領域の平均発熱密度 $E_{J,K}(t)$ に、燃料要素内の半径方向発熱分布を表わす関数 $\eta(r)$ を乗じたものとして表わされる。

$$S(r, t) = \eta(r) \cdot E_{J,K}(t) \quad (4.5)$$

また、(4.4)式における物性値 ρC_p および k は、4.4節に述べるように物質の温度の関数として与えられる。(4.4)式に示した方程式は、燃料の長さが直径に比較して十分に大きいという仮定のもとに、半径方向のみの熱伝導を取り扱い、軸方向の熱伝導についてはこれを無視して、1次元円筒体系について解いてゆく。この方程式を解くに当っては、燃料ペレット-被覆材間ギャップ部および被覆材表面において、次の熱伝達方程式を境界条件として満たすようにする。

(1) $r = r_G$ (燃料ペレット表面) において:

$$\begin{aligned} -k(r, T) \cdot \frac{\partial}{\partial r} T(r, t) \Big|_{r=r_G} \\ = H_G \cdot [T(r_G, t) - T(r_{G+1}, t)] \end{aligned} \quad (4.6)$$

(2) $r = r_c$ (被覆材表面) において:

$$\begin{aligned} -k(r, T) \cdot \frac{\partial}{\partial r} T(r, t) \Big|_{r=r_c} \\ = H_c \cdot [T(r_c, t) - T_W(t)] \end{aligned} \quad (4.7)$$

ここに、 r_G 、 r_{G+1} 、 r_c は、それぞれ燃料ペレット表面、被覆材内面、および被覆材表面の位置を表わし、また、 T_W は冷却材温度を表わす。 H_G および H_c は、ギャップ部および被覆材表面の熱伝達係数である。熱伝達係数については、4.4節に述べるように、 H_G をギャップの平均温度およびギャップ幅の関数として算出し、また、 H_c を次節に述べる冷却材のエンタルピ計算結果に基づいて算出し用いる。また、冷却材温度 T_W については、次節に述べる計算によって求めた値を用いる。

4.2 冷却材の温度計算

冷却材が受ける発熱量は、燃料要素からの伝熱量が支配的であるが、このほかに、冷却材中での中性子の減速およびガンマ線の減衰によって生ずる発熱量がある。すなわち、時刻 t_k におけるチャンネル K 、ノード J の領域の冷却材が受ける発熱を $Q_{J,K}(t_k)$ とすると、

$$Q_{J,K}(t_k) = Q_{H,J,K}(t_k) + Q_{PMH,J,K}(t_k) \quad (4.8)$$

と表わされる。ここに、 $Q_{H,J,K}$ は燃料要素からの伝熱量であり、 $Q_{PMH,J,K}$ は冷却材自身の

中で生ずる発熱量である。計算の便宜上、燃料要素からの伝熱量 $Q_{H, J, K}$ については、前節で述べた燃料温度の計算から得られる熱流束 q の、1 計算時間ステップ前 (t_{k-1}) における値を使用して求める。すなわち、

$$Q_{J, K}(t_k) = 2\pi r_c \cdot \Delta Z \cdot \left[\frac{q_{J, K}(t_{k-1}) + q_{J+1, K}(t_{k-1})}{2} \right] \cdot \Delta t \quad (4.9)$$

r_c : 燃料要素の半径

ΔZ : 軸方向メッシュ幅

q : 熱流束

Δt : 熱・水力計算時間幅 ($\Delta t = t_k - t_{k-1}$)

(4.9) 式における熱流束として、1 ステップ前の計算時刻における値を使用することについては、燃料の時定数が大きいために、微小な計算時間幅における熱流束の変化量が差程大きなものではないということを、仮定している。また、中性子の減速およびガンマ線の減衰による冷却材中の発熱量 $Q_{PMH, J, K}$ については、その熱源の性質から、発熱がほぼ瞬間的に生じ、かつ、中性子の減速による発熱効果の方がガンマ線の減衰による発熱に比べて大きいために、炉心の出力分布に比例した発熱を行うものと仮定する。

$$Q_{PMH, J, K}(t_k) = \eta_{PMH} \cdot \Delta Z \cdot \int_{t_{k-1}}^{t_k} \left[\frac{E_{J, K}(t) + E_{J+1, K}(t)}{2} \right] dt \quad (4.10)$$

ここに、 $E_{J, K}(t)$ は、(4.1) 式に示したように時刻 t におけるチャンネル K 、ノード J の領域の平均出力密度であり、 η_{PMH} は冷却材中における発熱の比率を表す係数である。(4.8) 式に示すように、以上の各発熱項の和として求められる冷却材の発熱量 $Q_{J, K}$ をもとに、各チャンネル内冷却材の軸方向にわたるエンタルピ増加が、次式のように表わされる。

$$h_{J+1, K}(t_k) = \frac{1}{\left[1 + \frac{v_{J, K}(t_k) \cdot \Delta t}{\Delta Z} \right]} \times \left[h_{J, K}(t_k) \cdot \left(\frac{v_{J, K}(t_k) \cdot \Delta t}{\Delta Z} \right) + h_{J+1, K}(t_{k-1}) + \left(\frac{Q_{J, K}(t_k)}{\rho_{J, K} \cdot \Delta Z \cdot A_W} \right) \right] \quad (4.11)$$

ここに、 K, J および t_k は、それぞれチャンネル番号、ノード番号および時刻を表わし、また、 $h_{J, K}$ は冷却材エンタルピ、 $v_{J, K}$ は冷却材流速を表わす。(4.11) 式における冷却材流速 $v_{J, K}$ については、次節に述べる冷却材流動計算から求められる。なお、冷却材の流動計算に当っては、

冷却材の密度を使用し、密度は冷却材のエンタルピに依存するので、(4.11)式のエンタルピ計算と冷却材流動計算の間では、繰り返し計算を行う。

チャンネル内各点での冷却材エンタルピが得られると、蒸気表をもとに作成したエンタルピと温度の関数形から、各点の冷却材温度が求められる。また、得られたエンタルピをもとに、前節で用いた熱伝達係数や、次節に述べる流動計算のための冷却材物性値、圧力損失係数等が算出される。

なお、定常状態については、(4.11)式において $h_{J+1,K}(t_{k-1}) = h_{J+1,K}(t_k)$ とおくことによって、チャンネル内各点での冷却材エンタルピが求められる。

4.3 冷却材の流動計算

冷却材の流動状態は、連続の方程式および運動量保存則に基づいて算出する。各チャンネル内の単位燃料セルにおける流路断面積を一定とすると、チャンネル内での連続の式は以下のように表わされる。

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho v)}{\partial Z} = 0 \quad (4.12)$$

また、運動量保存則より、

$$\frac{\partial p}{\partial Z} + \rho \cdot q + \frac{\lambda}{2 D_e} \cdot \rho \cdot v^2 + \rho \cdot \left[\frac{\partial v}{\partial t} + v \cdot \frac{\partial v}{\partial Z} \right] = 0 \quad (4.13)$$

ここに、

ρ : 冷却材密度

v : 冷却材流速

p : 冷却材圧力

q : 重力加速度

λ : 摩擦係数

D_e : 等価水力直径

t : 時刻

Z : チャンネル軸方向長さ

(4.13)式を、チャンネルの全長 l にわたって積分し、チャンネル内の任意の位置の冷却材流速を

$$v(Z, t) = v_{in}(t) + \int_0^Z \left(\frac{\partial v}{\partial Z} \right) dZ \quad (4.14)$$

と表わし、また、(4.12)式の連続の式より

$$\frac{\partial v}{\partial Z} = -\frac{1}{\rho} \left[v \cdot \frac{\partial \rho}{\partial Z} + \frac{\partial \rho}{\partial t} \right] \quad (4.15)$$

と表わして整理すると、

$$\begin{aligned}
 \Delta p(t) &= p_{in}(t) - p_{out}(t) \\
 &= \frac{\partial v_{in}}{\partial t} \cdot \int_0^L \rho \, dZ + \int_0^L (\rho \cdot g) \, dZ \\
 &+ \frac{\lambda}{2 D_e} \cdot \int_0^L (\rho \cdot v^2) \, dZ + \left[\int_0^L \rho \cdot v \cdot \left(\frac{\partial v}{\partial Z} \right) \, dZ \right. \\
 &\left. + \int_0^L \rho \cdot \left(\int_0^Z \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial v}{\partial Z} \right) \, dZ \right) \, dZ \right] \quad (4.16)
 \end{aligned}$$

と表わされる。ここに Δp はチャンネルの圧力損失であり、 p_{in} 、 p_{out} はそれぞれチャンネルの入口および出口における冷却材圧力であり、また v_{in} はチャンネル入口における冷却材流量である。(4.16)式で表わされる Δp は、各チャンネルについての量であるので、以後これを Δp_K と表わしてゆく。(4.16)式は、定常および非定常の状態の双方を含めた、一般的な場合のチャンネル圧力損失を表わす式であり、この式において時間微分項を0と置けば、これは、定常時の圧力損失を失す。

さて、定常時および非定常時において、炉心内流路チャンネルの冷却材流量は、各チャンネルの圧力損失が一定となるように配分される。すなわち、

$$\Delta p_1(t) = \Delta p_2(t) = \dots = \Delta p_K(t) = \dots = \Delta p_{KMAX}(t) \quad (4.17)$$

さらに、定常時においては、冷却材の全質量流量が一定値という条件を拘束条件として与える。すなわち、

$$\begin{aligned}
 G_{Total} &= \sum_K G_K \\
 &= \sum \rho_{in} \cdot A_W \cdot v_{in,K} \quad (4.18)
 \end{aligned}$$

ここに、 G_K はチャンネルKにおける冷却材質量流量であり、 G_{Total} は炉心全体の冷却材質量流量（ポンプ吐出量）である。また、 ρ_{in} はチャンネル入口の初期冷却材密度、 $v_{in,K}$ はチャンネルKの冷却材初期流速、 A_W はチャンネルの流路断面積である。定常時の各チャンネル内冷却材流速は、前節で述べた冷却材エンタルピ計算結果の冷却材密度をもとに、(4.16)式で表わされる各チャンネル圧力損失が、(4.17)式および(4.18)式を満たすように求められる。

非定常時においては、(4.17)式の条件に加えて、過渡的な冷却材の温度変化による圧力変動が最も小さいと想定されるチャンネル（普通には炉心外周部のチャンネル）を標準チャンネルとして選び、このチャンネルの入口流速変化は過渡時において0と仮定する。すなわち、

$$v_{in,REF}(t) = v_{in,REF} \quad (4.19)$$

ここに、 $v_{in,REF}(t)$ は時刻 t における標準チャンネルの入口流速を表わし、 $v_{in,REF}$ は同チャンネルの初期入口流速を表わす。(4.16)式の右辺第2項以下を Δp_K^* と表わすと、

(4.17)式および(4.19)式の条件のもとに、各チャンネルの入口流速変化は次のように表わされる。

$$\frac{\partial v_{in,K}(t)}{\partial t} = \frac{\Delta p_{REF}^*(t) - \Delta p_K^*(t)}{\int_0^L \rho_K(t, Z) dZ} \quad (4.20)$$

ここに、 Δp_{REF}^* は標準チャンネルについての(4.16)式における右辺第2項以下の量であり、 Δp_K^* は、チャンネルKについての量である。(4.20)式における Δp_{REF}^* および Δp_K^* の値は、前節で述べた冷却材エンタルピ計算の結果得られた現時刻での冷却材密度および1ステップ前の時刻に計算された冷却材流速を用いて算出する。(4.20)式によって算出した冷却材入口流速変化をもとに、現時点での各チャンネル入口流速が次式から求められる。

$$v_{in,K}(t_k) = v_{in,K}(t_{k-1}) + \Delta t \cdot \left. \frac{\partial v_{in,K}}{\partial t} \right|_{t=t_{k-1}} \quad (4.21)$$

現時点での入口流速が得られれば、チャンネル内各点における冷却材流速が、(4.14)式に基づいて次のように求められる。

$$v_K(Z, t_k) = v_{in,K}(t_k) + \int_0^Z \left(\left. \frac{\partial v_K}{\partial Z} \right|_{t=t_{k-1}} \right) dZ \quad (4.22)$$

ここに、右辺第2項の流速の微分値については、計算の便宜上、1ステップ前の時刻において得られた流速をもとに算出する。

4.4 主な物性値および熱的諸定数の取り扱い

本節では、熱・水力計算に使用する燃料および冷却材の主な物性値および熱的諸定数の取り扱い方について述べる。

4.4.1 燃料物質の物性値

熱計算上必要な燃料および被覆材の物性値は、熱伝導率、熱容量および線膨張係数等であり、これらはすべてMKH単位で与えられる。燃料体熱伝導率およびギャップ熱伝達係数を除くこれらの量は、すべて温度の2次関数の形で与えられる。

燃料体熱伝導率 k_{UO_2} およびギャップ熱伝達係数 H_{GAP} については、それぞれ次のような形式で与える。

$$k_{UO_2} = a_0 + a_1 T_F + a_2 T_F^2 + \frac{a_3}{a_4 + T_F} \quad (4.23)$$

$$H_{GAP} = \frac{a_0 + a_1 T_G + a_2 T_G^2}{a_3 + \Delta x} \quad (4.24)$$

ここに、 a_0, a_1, \dots, a_4 は入力データとして与える係数であり、 T_F は燃料体温度、 T_G はギャップ部の平均温度、 Δx はギャップ幅である。

4.4.2 冷却材の温度および物性値

(1) 冷却材温度

冷却材のエンタルピ h が、飽和エンタルピ h_{sat} より小さい場合には、冷却材温度を蒸気表に基づくエンタルピの関数形で表わす。また、飽和蒸気のエンタルピ h_{gas} を越えて、冷却材が完全な蒸気となった場合には、冷却材温度をすべて飽和蒸気温度とする。すなわち、

$$\begin{aligned} h < h_{sat} \text{ の場合} & \quad T_W = f(h) \\ h_{sat} \leq h < h_{gas} \text{ の場合} & \quad T_W = T_{sat} \\ h \geq h_{gas} \text{ の場合} & \quad T_W = T_{gas} = T_{sat} \end{aligned} \quad (4.25)$$

ここに、 T_W は冷却材温度、 T_{sat} は飽和温度、 T_{gas} は飽和蒸気温度をそれぞれ表わす。

(2) 乾き度、ボイド体積率および密度

冷却材の乾き度 (クオリティ) X およびボイド体積率 α は、それぞれ以下のように定義される。

$$X = \frac{h - h_{sat}}{h_{gas} - h_{sat}} \quad (4.26)$$

$$\alpha = \frac{X/\rho_{gas}}{(1-X)/\rho_{sat} + X/\rho_{gas}} \quad (4.27)$$

ここに、 ρ_{sat} および ρ_{gas} はそれぞれ飽和液および飽和蒸気の密度を表わす。ただし、サブクール沸騰の場合には、乾き度 X は 0 とし、ボイド体積率 α は、次式によって求める。

$$\alpha = \frac{1}{1 + (1/\beta)} \quad (4.28)$$

$$\beta = 1 - 1.20 (dt_{sub}/q)^{0.25} \cdot p^{-0.07} \quad (4.29)$$

ここに、 dt_{sub} はサブクール温度、 q は熱流束、 p は圧力である。

沸騰状態における冷却材密度 ρ は、次式によって求める。

$$\rho = X \cdot \rho_g + (1-X) \cdot \rho_f \quad (4.30)$$

ここに、 ρ_g は気相の密度であり、 ρ_f は液相の密度である。

(3) 熱伝導率

冷却材の熱伝導率 h_W は、被覆材表面における熱伝達係数の算出に用いる目的でのみ使用されるので、沸騰状態に応じて次のような形で与える。

$$\begin{aligned} \text{単相流領域} & : k_W = f(h) \\ \text{核沸騰領域} & : k_W = k_{sat} \\ \text{膜沸騰領域} & : k_W = k_{gas} \\ \text{ガス領域} & : k_W = k_{gas} \end{aligned} \quad (4.31)$$

すなわち、冷却材の熱伝導率は、蒸気表のデータをもとに、単相流領域では冷却材エンタルピの関数形で表わし、核沸騰領域では飽和エンタルピに対応する値とし、また膜沸騰領域およびガス領域では飽和蒸気のエンタルピに対応する値として表わす。

(4) 粘性係数

冷却材の粘性係数 ν は、単相流領域およびガス領域では、それぞれのエンタルピに対応する値として与え、2相流領域では液相および気相における値をボイド体積率 α にしたがって比例配分し、次の形で与える。

$$\begin{aligned} \text{単相流領域} &: \nu = f(h) \\ \text{2相流領域} &: \nu = \alpha \cdot \nu_{\text{gas}} + (1 - \alpha) \cdot \nu_{\text{sat}} \\ \text{ガス領域} &: \nu = \nu_{\text{gas}} \end{aligned} \quad (4.32)$$

(5) 摩擦係数

摩擦係数 λ の値は、単相流領域においては、次式に示す Blasius の式によって算出する。

$$\lambda = 0.3164 \text{Re}^{-0.25} \quad (4.33)$$

ここに、Re はレイノルズ数である。また、2相流領域においては、レイノルズ数の計算に当って、冷却材の飽和条件時の物性値を用いる。2相流状態の摩擦係数の算出に当っては、(4.34)式に示すス波 - 山崎の式から求めた Multinelli - Nelson の係数 K_{MN} を、(4.33)式に乗じて求める。

$$K_{MN} = (1 - a)^{-0.875} \quad (4.34)$$

$$a = \frac{1}{2} \left[2 + \frac{1}{b} - \sqrt{\left(2 + \frac{1}{b}\right)^2 - 4} \right] \quad (4.35)$$

$$b = \frac{\rho_{\text{sat}} \cdot X}{\rho_{\text{gas}} \cdot (1 - X)} \quad (4.36)$$

ただし、サブクール領域においては、 $a = \alpha$ (ボイド体積率) とおいて、(4.34)式に示す K_{MN} を求める。

4.4.3 被覆材 - 冷却材間熱伝達係数

被覆材 - 冷却材間の熱伝達係数 H_W は、冷却材の状態を次の5種類に分類して算出する。

乱流状態 ($\text{Re} \geq 2000$) の場合

$$H_W = 0.023 \text{Re}^{0.8} \cdot \text{Pr}^{0.4} \cdot k_W / De \quad (4.37)$$

層流状態 ($200 \leq \text{Re} < 2000$) の場合

$$H_W = 1.02 \text{Re}^{0.45} \cdot \text{Pr}^{0.33} \cdot (De/L)^{0.4} \cdot [\nu(T_c) / \nu(T_W)]^{0.14} \cdot k_W / De \quad (4.38)$$

自然対流の場合

$$H_W = \eta \cdot H_W(\text{Laminar}) \cdot (T_c - T_W)^n \quad (4.39)$$

ここに、

Re : レイノルズ数

Pr : プラントル数

k_W : 冷却材熱伝導率

De : 等価水力直径

L : チャンネル長さ

$\nu(T_c)$: 被覆材表面温度 T_c に対応する粘性係数

$\nu(T_w)$: 冷却材温度 T_w に対応する粘性係数

η : 定数

$H_w(\text{Laminar})$: (4.38) 式で定義される層流状態の熱伝達係数

n : $1/3$ あるいは $1/4$

(2) 核沸騰 (含サブクール沸騰) 領域

核沸騰を開始する条件は、被覆材表面温度が、いわゆる Jens - Lottes 温度⁶⁾ に達したときとし、遷移沸騰への移行は、熱流束が DNB (Departure from Nucleate Boiling) 点を越えた場合とする。Jens - Lottes 温度 T_{JL} は次式によって定義される。

$$T_{JL} = T_{sat} + \gamma \cdot q^{1/4} \quad (4.40)$$

$$\gamma = 0.819 \exp(-p/63.3) \quad (4.41)$$

ここに、 p は冷却材圧力であり、 q は熱流束である。また、DNB 熱流束 q_{DNB} ⁷⁾ は次式によって算出する。

$$\begin{aligned} q_{DNB} = & 2.8 \times (0.236 \times 10^6 + 0.0188 G_K) \\ & \times [3.0 + 0.018 (T_{sat} - T_w)] \\ & \times [0.435 + 1.23 \exp(-0.0093 L/De)] \\ & \times [1.7 - 1.4 \exp(-0.532 \rho_f^{1/8} / \rho_g^{1/8})] \end{aligned} \quad (4.42)$$

ここに、 G_K はチャンネル K における冷却材の質量流量であり、 L はチャンネル長さである。核沸騰領域における熱伝達係数は、熱伝達係数の定義式に基づいて算出する。一般に被覆材表面の熱伝達係数 H_w は、次式によって定義される。

$$H_w = q / (T_c - T_w) \quad (4.43)$$

また、核沸騰領域における被覆材表面温度 T_c および熱流束 q の間には、次の Jens - Lottes の関係式が成立する。

$$T_c - T_{sat} = \gamma \cdot q^{1/4} \quad (4.44)$$

いま、時刻 t_k および t_{k+1} ($t_{k+1} = t_k + \Delta t$) における熱流束を $q(t_k)$ および $q(t_{k+1})$ とし、 $q(t_{k+1})$ を Taylor 展開すると、

$$q(t_{k+1}) = q(t_k) + \Delta t \cdot q'(t_k) \quad (4.45)$$

と近似的に表わされる。ここに $q'(t_k)$ は、熱流束の時間微分値の時刻 t_k における値である。(4.45) 式を用いて、(4.44) 式の関係式から時刻 t_{k+1} における被覆材表面温度を表わすと、次式のようになる。

$$T_c(t_{k+1}) = T_c(t_k) + \frac{\Delta t \cdot q'(t_k)}{4q(t_k)} \cdot [T_c(t_k) - T_{sat}] \quad (4.46)$$

熱流束および冷却材温度は、比較的ゆるやかな変化を示す量であるので、これらについては時刻 t_k における値を用い、また、(4.46) 式から予知される時刻 t_{k+1} における被覆材表面温度を用いて、(4.43) 式を解けば、これは次回の計算ステップ t_{k+1} に対する熱伝達係数を与える。

(3) 遷移沸騰領域は、熱流束が DNB 点を越えてから、膜沸騰が開始するまでの領域とし、膜沸騰の開始は、被覆材表面温度が冷却材の飽和温度を 60°C 以上越えた場合とした。遷移沸騰領域の熱伝達係数は、次式によって与える。

$$H_W = \frac{q_{DNB} - q_{FB}}{T_{FB} - T_{DNB}} \quad (4.47)$$

ここに、

- q_{DNB} : DNB 熱流束
- q_{FB} : 膜沸騰開始時点の熱流束
- T_{FB} : 膜沸騰開始時点の被覆材表面温度
($T_{FB} = T_{sat} + 60^\circ\text{C}$)

T_{DNB} : DNB 点の被覆材表面温度

なお、膜沸騰開始時の熱流束 (q_{FB}) としては、 $1.44 \times 10^5 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{hr}$ の値とした。

(4) 膜沸騰領域

膜沸騰領域は、被覆材表面温度が前記 T_{FB} の値を越えてから、冷却材のエンタルピが飽和蒸気のエンタルピに達するまでの間とした。この領域の熱伝達係数は、次式によって算出する。

$$H_W = 0.023 \text{ Re}^{0.8} \cdot \text{Pr}_{\text{gas}}^{0.4} \cdot k_{\text{gas}} / \text{De} \quad (4.48)$$

ここに、

- Pr_{gas} : 蒸気のプラントル数
- k_{gas} : 蒸気の熱伝導率

(5) ガス冷却領域

ガス冷却領域は、冷却材エンタルピが飽和蒸気のエンタルピ以上になった領域で、この場合の熱伝達係数は、上記 (4.48) 式によって与える。

5. 幾何学的計算体系

本章では、中性子拡散計算および熱・水力計算における幾何学的体系の取り扱い方ならびに両者の対応関係上注意すべき事項について述べる。

5.1 中性子拡散計算における幾何学的体系

5.1.1 幾何学的格子系

本プログラムにおいて、中性子拡散計算は、第3章に述べたように炉心出力分布およびフィードバック重み関数(中性子束と随伴中性子束の積)を求める目的で行う。中性子拡散計算で取り扱う体系は、実質的な3次元形状である円筒形(R-Z 2次元体系)あるいは直方体(X-Y-Z 3次元体系)であり、これらは適当な大きさのメッシュ(格子)によって分割する。中性子束および出力密度は、各メッシュ領域毎に算出される。各方向のメッシュ領域は、Figs. 5.1および5.2に示すように、上方から下方への並びを「行」と呼び、左方から右方への並びを「列」と呼び、また、前方から後方への並びを「平面」と呼ぶことにする。2次元円筒体系の場合には、半径方向のメッシュ領域の並びを「列」と呼ぶ。

行、列および平面に分割した各メッシュ領域には、その領域を占めるべき物質の「ゾーン」を指定する。ゾーンは、核定数値が同一であるメッシュ領域の全体を指す。通常の拡散計算の場合には、ある1つの物質領域に対しては、1つのゾーンを指定すれば足りるが、本プログラムの場合には、1つの物質領域に対して、複数個のゾーンを指定する必要も出てくる。なぜならば、ある1つの物質領域が複数個の熱・水力計算用チャンネルに分配された場合には各チャンネルにおいて温度場が異なり、したがって、各チャンネルにおける核定数値も異ってくるからである。すなわち、チャンネル間の物質が同一であっても、各チャンネル毎の核定数値は異なるものとして、それぞれ別個のゾーンを指定してやる必要がある。

5.1.2 ゾーンの重ね合わせ

上に述べたゾーンの指定に当っては、炉心に反応度の外乱が加えられる前の初期状態および反応度外乱印加後の状態の双方に対する計算において、「ゾーンの重ね合わせ」(いわゆる, Mesh Overlay)を行うことができる。ゾーンの重ね合わせは、メッシュ領域に対して一担ゾーン配置を定めた後、改めて特定の領域あるいは全領域に対して別のゾーン配置を指定し、先に指定したゾーンを、後で指定したゾーンに置き換えるものである。この方法により、初期状態に対する計算では、ゾーン配置が複雑なパターンを取る場合に、ゾーン指定を簡略化することができる。また、データの記憶容量を最小化することが期待できる。

炉内で反応度外乱の起因たる物質移動(たとえば制御棒の引き抜け等)が開始してからの状態に対する計算においては、物質移動の様子をゾーンの重ね合わせによって表すことができる。たとえば、Fig. 3.1に例示した制御棒の引き抜けの場合を、もう一度見てみよう。制御棒は、時刻0において炉内に完全挿入されており(状態A)、時刻 t_1 においては中間的な引き抜き状態

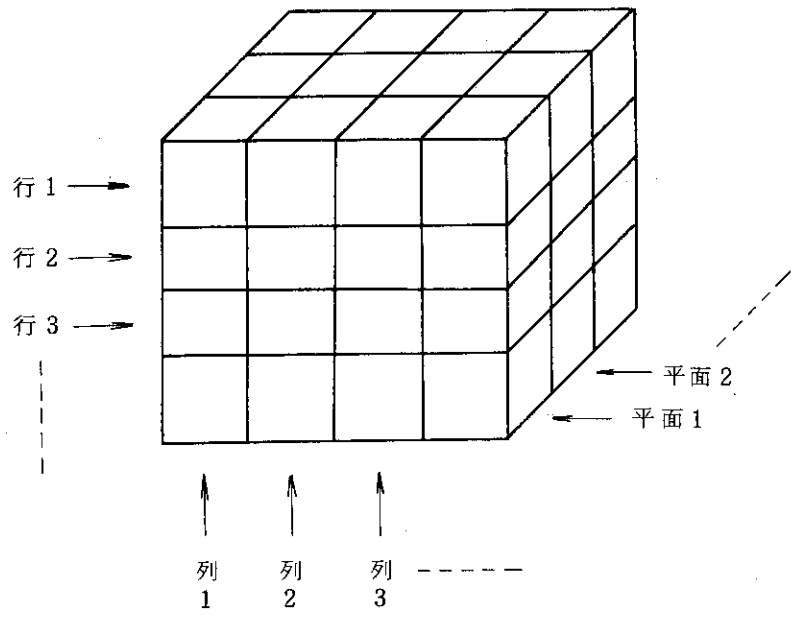


Fig. 5.1 3次元(X-Y-Z)体系における
幾何学的格子系

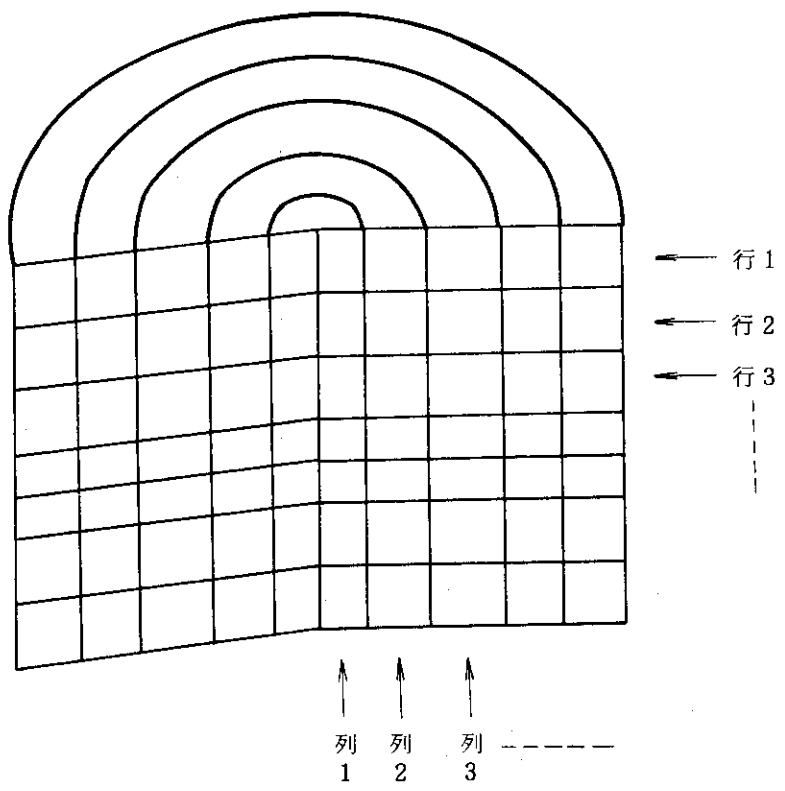


Fig. 5.2 2次元(R-Z)体系における
幾何学的格子系

を取り（状態B），時刻 t_2 においては炉心から完全に引き抜かれる（状態C）ものとする。引き抜かれた制御棒の後には，その領域が他の物質によって置き換えられる。これらA, B, Cの各炉心状態に対する中性子拡散計算を実行する場合には，Fig. 5.3に例示するように，制御棒のゾーンの上に，制御棒が引き抜かれた後にその領域を占めるべき物質のゾーンを，重ね合わせてやる。本プログラムにおいては，このゾーンの重ね合わせを，時間依存の形で行うことができる。すなわち，適当な複数個の時刻と，それぞれの時刻において取るべきゾーンの重ね合わせを，入力データによって指定すれば，時刻を判定条件として，指定された時刻毎にゾーンの重ね合わせを行い，中性子拡散計算を実行する。なお，各指定時刻において中性子拡散計算を実行する場合には，第3章で述べたように，ゾーンの重ね合わせを行うばかりではなく，その時刻に算出された炉内各領域の温度に基いて，各ゾーンの核定数値も更新される。

5.2 熱・水力計算における幾何学的体系

5.2.1 燃料セルの幾何学的格子系

熱・水力計算で取り扱う燃料セルの形状は，第4章に述べたように円筒形状であり，これを半径方向に最大26の節点によって25領域まで分割することができる。このうちの最外周領域は，冷却材に当てられる。節点によって分割された領域に対しては，4種類の物質（燃料体，ギャップ，被覆材，冷却材）を指定する。ただし，Fig. 5.4に例示するように，ギャップの部分（領域2）についてはこの領域内に節点を有することはできない。燃料要素の軸方向の分割については，後述するように21領域まで分割することができる。

5.2.2 炉心のチャンネル分けおよびノード分け

熱・水力計算においては，炉心を半径方向あるいはX-Y平面に関して最大5つの領域（チャンネル）に分割し，また，軸方向に関して最大21の領域（ノード）に分割して取り扱うことができる。

チャンネルの設定に当たっては，各チャンネルに含まれる燃料本数を与えるとともに，中性子拡散計算用格子系の「列」および「平面」によって定められるメッシュ領域とチャンネルとの対応づけを指定する。また，軸方向ノード領域の設定に当たっては，各ノード（節点）位置を与えるとともに，中性子拡散計算用格子系の「行」によって定められる軸方向メッシュ領域とノード領域との対応づけを指定する（Fig. 5.5参照）。このようにして各チャンネル，ノード領域に分配された拡散計算用メッシュ領域の出力密度および中性子束（随伴中性子束）は，第3章に述べたようにチャンネル，ノード内で体積平均され，各チャンネル，ノード領域の出力密度およびフィードバック重み関数として用いられる。

なお，拡散計算用メッシュ領域とチャンネル，ノード領域との対応づけに当たっては，全てのメッシュ領域を対象とする必要はなく，いずれのチャンネル，ノード領域にも分配されないメッシュ領域（たとえば反射体領域等）があっても差しつかえない。

また，炉心の熱・水力計算においては，中性子拡散計算に基く出力分布のほか，種々の工学的因子を含んだ高温点係数を考慮する必要性が生ずる場合も考えられる。このために，拡散計算

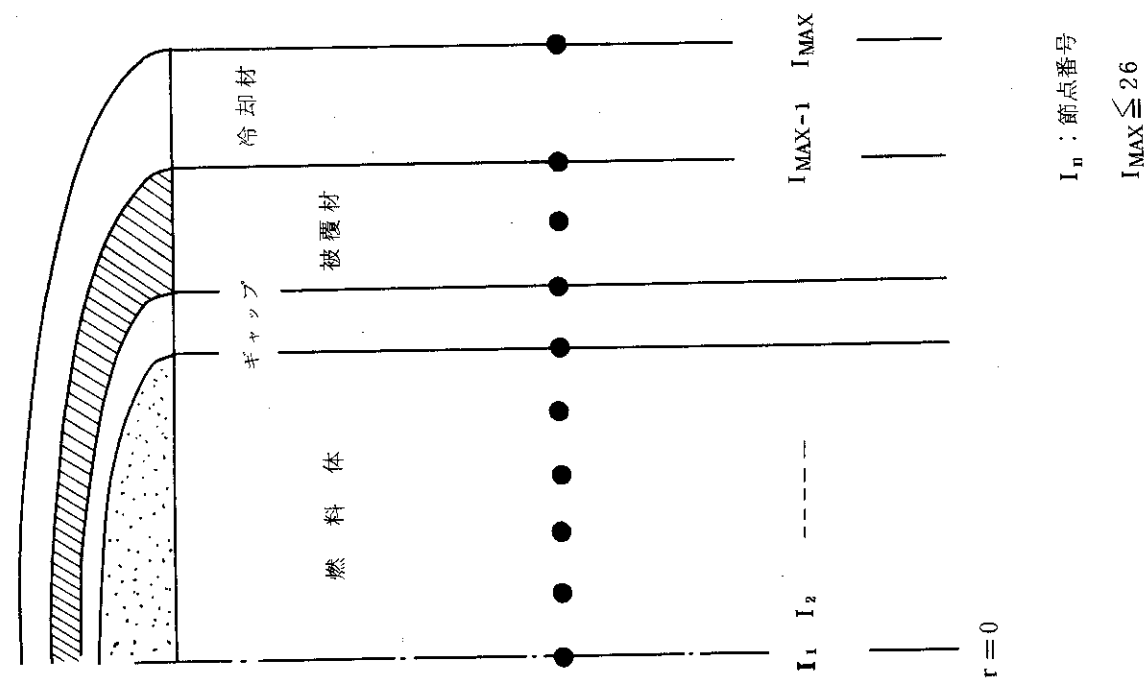


Fig. 5.4 燃料セルの幾何学的格子系

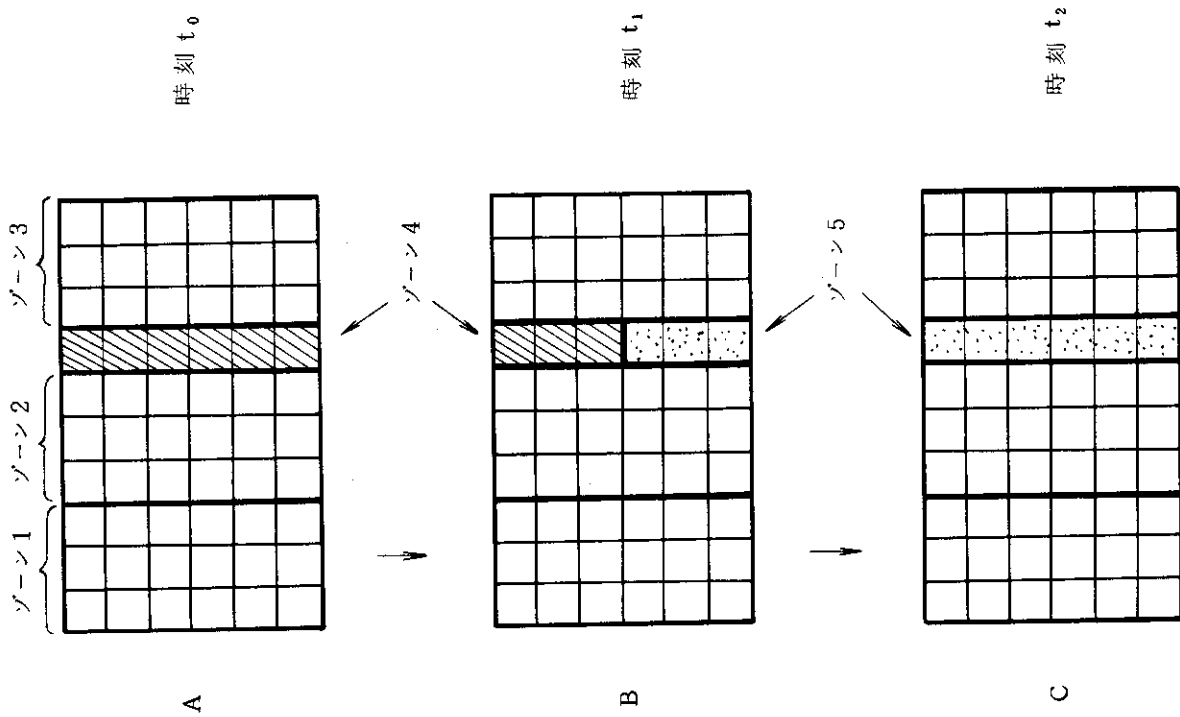
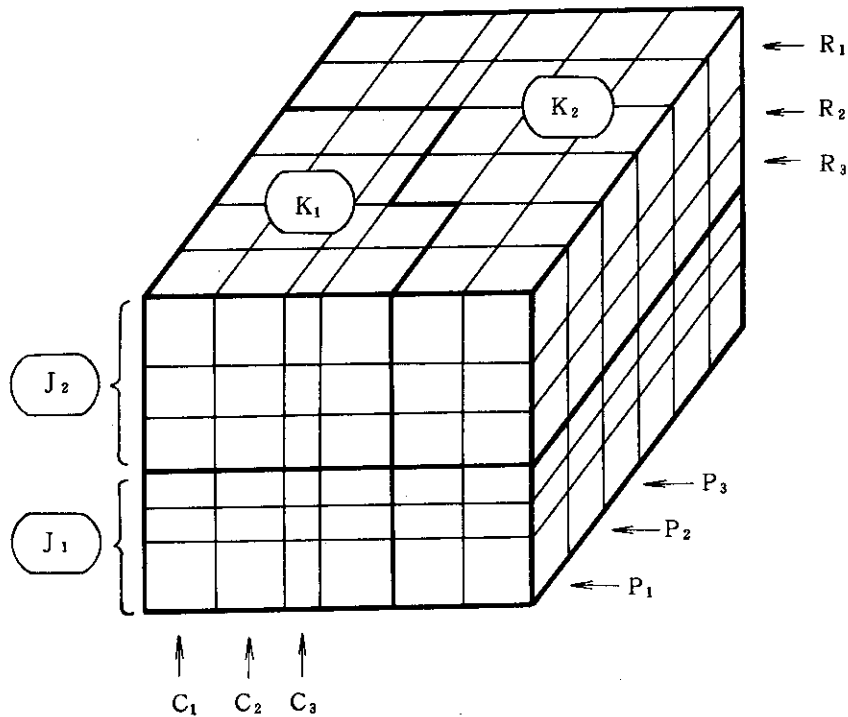


Fig. 5.3 物質移動に対するゾーンの重ね合わせ

から得られた出力分布に任意の定数を乗じた出力密度を有する、いわゆるホット・チャンネルを別途設定することも可能である。この場合には、拡散計算用メッシュ領域の出力密度は、最大4つまでのチャンネルに分配され、他の1チャンネルを任意の出力密度を有するホット・チャンネルとして設定する。

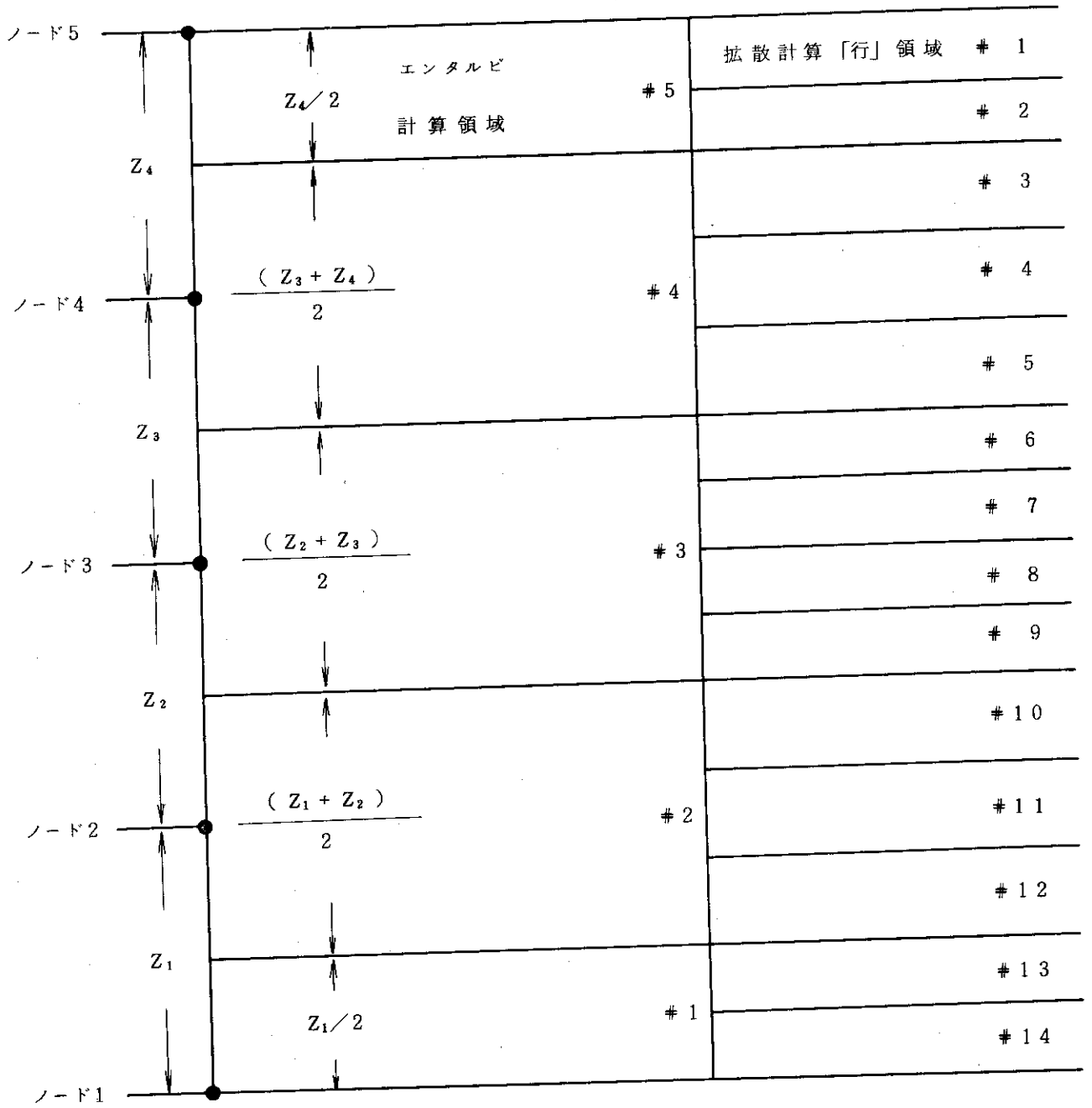
炉心の軸方向のノード分割に当っては、特に次の事柄に注意する必要がある。すなわち、Fig. 5.6に示すように、ノード（節点）は軸方向の温度を与える点であり、各ノードを含むエンタルピ計算用領域は、各ノード間の1/2の高さに領域の境界を有する。したがって、中性子拡散計算用軸方向メッシュ領域（「行」）の整数個の境界と、エンタルピ計算用領域の軸方向の境界は一致していなければならない。



K_n, J_n : 熱・水力計算用領域のチャンネル番号, ノード番号

R_n, C_n, P_n : 中性子拡散計算用格子系の行番号, 列番号, 平面番号

Fig. 5.5 中性子拡散計算用メッシュ領域の熱・水力計算用チャンネル、ノード領域への分配例



Z_n : 軸方向ノード間距離

Fig. 5.6 軸方向ノード, エンタルピ計算領域境界および拡散計算用「行」領域境界の位置的關係

6. プログラムの構成

本計算プログラムは、これまで述べてきたように、次の6つの主要な演算部分から成る。

- (1) 計算全体の制御
- (2) 中性子拡散計算
- (3) 中性子拡散計算結果の領域的処理
- (4) 炉出力絶対値計算
- (5) 熱・水力計算
- (6) 反応度フィードバック計算

(1)の計算制御プログラムにおいては、読み込んだ入力データに基づいて、(2)以降の各計算条件を設定するとともに、本プログラムにおける計算全体の流れを制御する。また、時刻および燃料温度増分が中性子束再計算条件に達すれば、中性子束計算のための物質ゾーンの置き換えを行い、また、炉心温度計算の結果に基づいて、中性子束計算に使用すべき各ゾーンの核定数値を決定する。

(2)の中性子拡散計算部分においては、(1)の計算制御プログラムにおいて決定された物質ゾーンの置き換え（ゾーンの重ね合わせ）条件および核定数値を用いて、R-Z 2次元体系あるいはX-Y-Z 3次元体系についての多群拡散計算を実行し、中性子束分布、随伴中性子束分布および核分裂密度を求める。

(3)の中性子拡散結果の領域的処理部分においては、(2)で求められた拡散計算用メッシュ領域毎の中性子束および随伴中性子束をもとにフィードバック重み関数を作成し、これを熱・水力計算用領域に分配して、各領域毎に体積平均する。また、(2)で得られた各メッシュ領域毎の核分裂密度についても同様に、熱・水力計算領域に分配して、各領域毎に体積平均し、これを温度計算のための熱出力分布とする。

(4)の炉出力絶対値計算部分においては、1点炉近似に基づいて、与えられた印加反応度およびフィードバック計算の結果得られた反応度量を用い、炉出力の絶対値を微小時間 Δt_n 毎に計算する。

(5)の熱・水力計算部分においては、(3)で求められた炉出力分布および(4)で求められた炉出力の絶対値に基づいて、炉内各チャンネル、ノード領域における燃料温度、冷却材温度、冷却材圧力損失および冷却材流量を、 Δt_n の任意の整数倍の時間幅 Δt_k 毎に計算する。

(6)の反応度フィードバック計算部分においては、(5)の計算で得られた燃料温度、冷却材（減速材）温度、ボイド率および被覆材熱膨張量に基づいて、各熱・水力計算領域毎のフィードバック発生量を時間 Δt_k 毎に計算し、これに(3)で求められたフィードバック重み関数を乗じて、(4)の炉出力絶対値計算に適用すべき反応度量を評価する。もし、1ステップ前の時刻において外挿されたフィードバック量と、実際に現時点で算出されたフィードバック量との誤差が許容範囲を越えていれば、全体の計算時刻は1ステップ前にもどされ、改めて(4)から(6)の計算が繰り返される。

以上の計算の流れをまとめて、Fig. 6.1に示す。

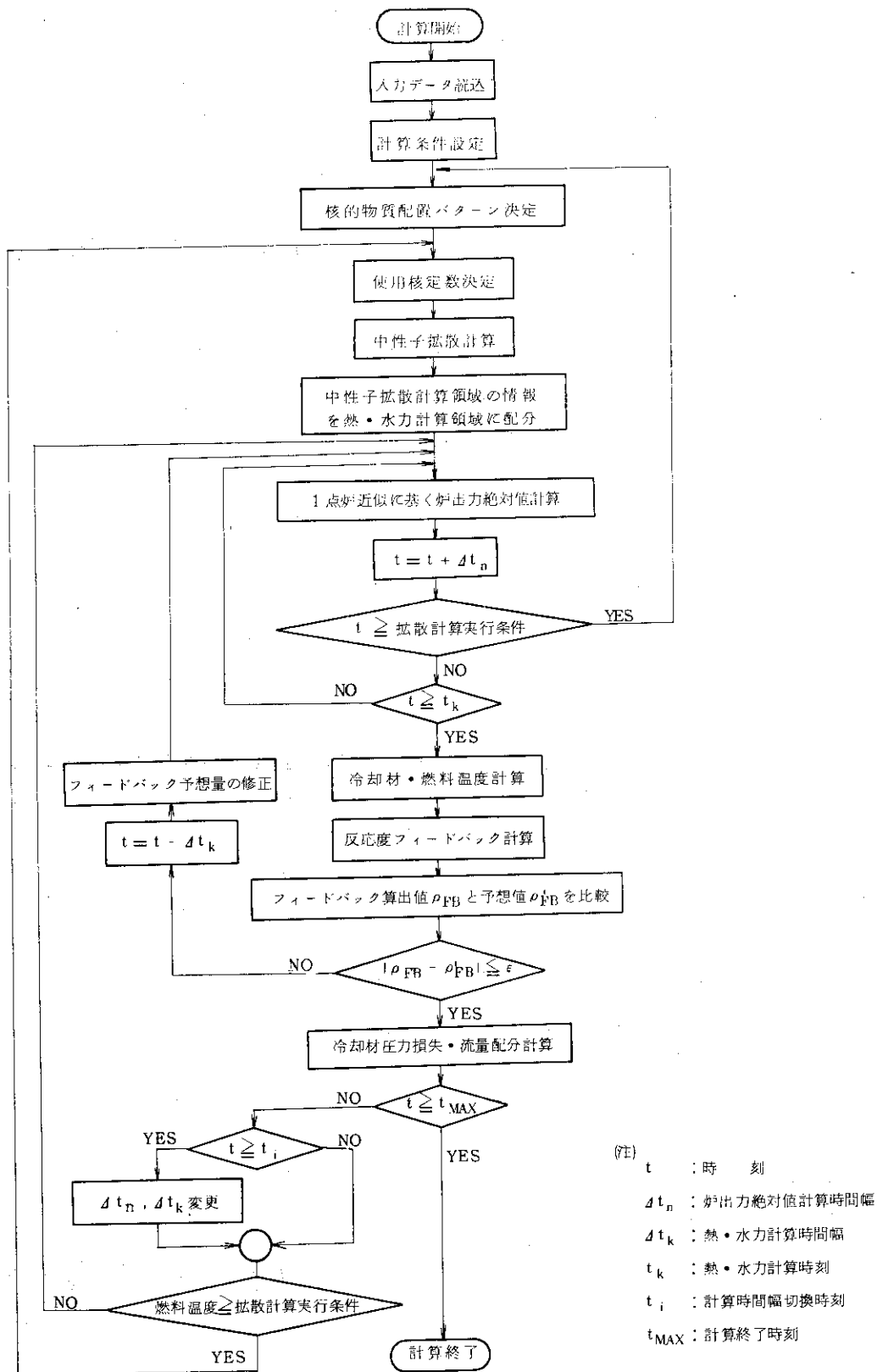


Fig. 6.1 EUREKA-SPACE計算プログラム・フローチャートの概要

7. 入力データの説明

7.1 入力データの説明

入力データは、次の4つのデータのブロックから成り、この順序に従って入力カードを与えてゆく。

- (1) 核・熱・水力動特性計算用データ
- (2) 中性子拡散計算用データ
- (3) 中性子拡散計算と熱・水力計算の結合用データ
- (4) 温度依存の巨視的反應断面積および時間依存のゾーンの重ね合わせ用データ

以下には、各ブロック毎にカードの入力形式および入力データの意味について述べてゆく。入力データの説明に当っては、データの変数名の後に、カード上でそのデータの占めるべきカラム番号を括弧によって示した。

ブロック1 核・熱・水力動特性計算用データ

カード1：テープ制御用データ (3I 12)

LPOINT (1-12)：この値が0の場合には、問題が初期計算から始まる一般的な場合を表す。この値が1の場合には、問題がリスタート計算であることを表す (TAPE 18 使用)。

MPOINT (13-24)：この値が0の場合には、リスタート用テープを作成しない。1の場合には、リスタート用テープ (TAPE17)を作成する。

IPLOT (25-36)：この値が0の場合には、プロッタ用テープを作成しない。1の場合には、プロッタ用テープ (TAPE 15)を作成する。

カード2：タイトル・カード (17 A4)

CASE NO (1-8) : 計算ケース番号

DATE (9-20) : 計算月日

NAME (21-68) : 計算タイトル

カード3：計算制御用データ (6I 12)

KDOP (1-12) : 時間依存の印加反應度入力数 ($1 \leq KDOP \leq 9$)。外乱として炉心に加えられる反應度は、9点以内の時刻における値として入力することができ、任意の時刻における印加反應度は、その時刻に前後する2つの与えられた時刻における値を線形内挿して定める。(カード33 参照。)

KFLOW (13-24) : 時間依存の入口流量入力数 ($0 \leq KFLOW \leq 20$)。炉心の入口流量を時間依存形で扱う場合には、20点以内の時刻におけ

る入口流量を入力することができる。任意の時刻における入口流量は、その時刻に前後する2つの与えられた時刻における値を線形内挿して定める。入口流量が常に一定の場合には、この値を0とする。(カード38参照。)

KTEMP (25-36) : 時間依存の冷却材入口エンタルピ入力数 ($0 \leq KTEMP \leq 20$)。この取り扱いは、上記KFLOWの場合と同様である。(カード39参照。)

KFRE (37-48) : この値が >0 の場合には、燃料破損しきい値を越える温度計算結果が得られれば、その旨の表示を行い、0の場合には、この表示を行なわない。(カード40参照。)

NOVLY (49-60) : 中性子拡散計算のためのゾーンの重ね合わせを行う時刻の点数(入力データのブロック4参照)。ゾーンの重ね合わせは、ここで指定した数の時刻において行われ、その度に拡散計算が実行される。初回の拡散計算においてもゾーンの重ね合わせを行う場合には、これを時刻の点数に加える。

IFDB (61-72) : 燃料温度に起因する反応度フィードバック量の算出に当って、燃料ペレットの平均温度を用いる場合にはこの値を0とし、燃料ペレットの表面温度と燃料ペレットの平均温度の和の $1/2$ の値を用いる場合にはこの値を >0 とする。

カード4 : 熱・水力計算領域数の指定 (6 I 12)

IMAX (1-12) : 燃料セル内半径方向メッシュ点数 ($5 \leq IMAX \leq 26$)。
(第5章5.2節参照。)

JMAX (13-24) : 燃料要素の軸方向ノード数 ($2 \leq JMAX \leq 21$)。

KMAX (25-36) : チャンネル数 ($1 \leq KMAX \leq 5$)。

LMAX (37-48) : 燃料セル内の物質領域数で4と定める。

LGAP (49-60) : 燃料セル内物質領域を内側から順番に番号付けしたときの、ギャップ領域の番号で2と定める。

MESH (61-72) : 燃料セル内の各メッシュ点の半径をコード内で計算する場合には、この値を0とする。この場合には、各物質領域毎に等間幅の半径でメッシュ点を算出する。また、各メッシュ点の半径を任意に与える場合には、この値を >0 とする。

カード5 : 炉内全燃料本数 (I 12)

NFUEL (1-12) : 炉内の全燃料本数

カード6 : 燃料セルの幾何学的寸法 (6 E 12.5)

RCELL (1-12) : 燃料セルの等価半径 (m)

SRA (12-24) : 燃料ペレットの半径 (m)

SRB (25-36) : 被覆管内面の半径 (m)

SRC (37-48) : 被覆管表面の半径 (m)

ELIN (49-60) : 燃料要素の非発熱部長さ (冷却材入口側) (m)

ELOUT (61-72) : 燃料要素の非発熱部長さ (冷却材出口側) (m)

カード7: チャンネル内燃料本数 (6E 12.5)

各チャンネルに含まれる燃料本数を、第1チャンネルから第KMAXチャンネルについて与える。各チャンネルに分配される燃料本数の比率と、ブロック3において与える拡散計算用格子空間の体積比率とは、必ずしも一致しなくてもよい。熱・水力計算は、このチャンネル内燃料本数に基づいて行われる。

カード8: チャンネル入口側拡大縮少係数 (6E 12.5)

チャンネルの圧力損失計算において入口損失項 P_{in} を次式で表わしたときの、拡大縮少係数 K_{in} の値を、各チャンネル毎に与える。(第4章(4.16)式参照。)

$$P_{in} = \frac{1}{2} \rho_{in} v_{in} \left(K_{in} + \lambda_{in} \frac{l_{in}}{De} \right)$$

ここに、 ρ_{in} 、 v_{in} 、 λ_{in} および l_{in} は、それぞれチャンネル入口側における冷却材密度、冷却材流速、摩擦係数および燃料要素非発熱部長さを表わし、 De は等価水力直径を表わす。

カード9: チャンネル出口側拡大縮少係数 (6E 12.5)

チャンネルの圧力損失計算において出口損失項 P_{out} を次式で表わしたときの、拡大縮少係数 K_{out} の値を、各チャンネル毎に与える。(第4章(4.16)式参照。)

$$P_{out} = \frac{1}{2} \rho_{out} v_{out} \left(K_{out} + \lambda_{out} \frac{l_{out}}{De} \right)$$

ここに各記号の意味は、上記チャンネル入口圧力損失項の場合に準じ、添字 out は、各記号がチャンネル出口側に関する量であることを表わす。

カード10: 軸方向ノード位置 (6E 12.5)

軸方向ノード点の高さ (m) を下から順に JMAX 個まで与える (第5章 Fig. 5.6 参照)。熱・水力計算用軸方向ノードの下限の点は、必ずしも中性子拡散計算用格子空間の下限の点と一致するとは限らない (すなわち、拡散計算に用いられる下部反射体等の非発熱領域は、熱・水力計算用ノード領域から除外するのが計算上有利である)。この場合であっても、第1ノードの高さは必ず 0.0 (m) と入力する。

カード11: 燃料セル領域内分割数 (6I 12) あるいはメッシュ点半径 (6E 12.5)

- (1) カード4で与えた MESH の値が 0 の場合には、燃料セル内各物質領域の分割数を、内側の領域から順に、4 領域分与える (6I 12)。ただし、内側から2番目の領域 (ギャップ領域) および4番目の領域 (冷却材領域) については、これらの分割数をそれぞれ 1 とする。(第5章および Fig. 5.4 参照。)
- (2) カード4で与えた MESH の値が > 0 の場合には、中心から各メッシュ点までの距離 (m) を、内側から順に、IMAX 個まで与える (6E 12.5)。一番内側のメッシュ点の半径は 0.0 (m) とし、一番目外側のメッシュ点の半径は RCELL (m) とする。冷

却材領域中のメッシュ点は半径 RCELL (m) の 1 点のみとし、また、ギャップ領域中にはメッシュ点を設けることはできない。(第 5 章および Fig. 5.4 参照。)

カード 12 : 炉心の初期条件 (6 E 12.5)

PP (1-12) : 炉内圧力 (kg/cm²)
 HIN (13-24) : 冷却材入口エンタルピ (cal/g)
 GTOT (25-36) : 冷却材全流量 (m³/hr)
 TOTPW (37-48) : 炉出力 (MW)
 TIN (49-60) : 冷却材温度 (°C)

カード 13 : 熱伝達計算用パラメータ等 (6 E 12.5)

ETA (1-12) : 強制対流 (層流状態) の場合の被覆材-冷却材間熱伝達係数を
 基に、自然対流の場合の熱伝達係数を算出するための係数で、
 第 4 章 (4.39) 式における定数 η 。強制対流の場合には、こ
 の値を 1 にする。

ENU (13-24) : 第 4 章 (4.39) 式における定数 n で、強制対流の場合には、
 この値を 0 にする。また、自然対流の場合には、グラスホフ数
 Gr の値に従って、この値を 1/4 (= 0.25) あるいは 1/3
 (= 0.333) とする。

$10^4 \leq Gr < 10^8$ の場合 : $n = 1/4$

$Gr \geq 10^8$ の場合 : $n = 1/3$

ETADNB (25-36) : DNB 熱流束の算出のための係数で、第 4 章 (4.42) 式で定義
 される DNB 熱流束に任意の定数 ETADNB を乗じて使用する
 ことができる。

ETAPMH (37-48) : 即発中性子による冷却材中の発熱割合で、第 4 章 (4.10) 式
 における定数 η_{PMH} 。

カード 14 : 燃料ペレット密度 (E 12.5)

RHOP (1-12) : 燃料ペレットの密度 (kg/m³)

カード 15 : 被覆材密度 (E 12.5)

RHOK (1-12) : 被覆材の密度 (kg/m³)

カード 16 : 燃料ペレットの比熱 (3 E 12.5)

燃料ペレットの比熱を、 $C_{PF} = a_{0F} + a_{1F} T_F + a_{2F} T_F^2$ と表わしたときの各係数
 値を与える (ここに T_F は燃料ペレットの温度)。

CPF0 (1-12) : 定数項の値 (a_{0F})

CPF1 (13-24) : 温度の 1 次の項の係数値 (a_{1F})

CPF2 (25-36) : 温度の 2 次の項の係数値 (a_{2F})

カード 17 : 被覆材の比熱 (3 E 12.5)

被覆材の比熱を、 $C_{PC} = a_{0C} + a_{1C} T_C + a_{2C} T_C^2$ と表わしたときの各係数値を与え
 る (ここに T_C は被覆材の温度)。

CPC0 (1-12) : 定数項の値 (a_{0C})

CPC 1 (13-24) : 温度の1次の項の係数值 (a_{1C})

CPC 2 (25-36) : 温度の2次の項の係数值 (a_{2C})

カード18: 燃料ペレットの熱膨張係数 (3E12.5)

燃料ペレットの熱膨張係数を, $\alpha_F = b_{0F} + b_{1F} T_F + b_{2F} T_F^2$ と表わしたときの各係数值を与える。

ALF 0 (1-12) : 定数項の値 (b_{0F})

ALF 1 (13-24) : 温度の1次の項の係数值 (b_{1F})

ALF 2 (25-36) : 温度の2次の項の係数值 (b_{2F})

カード19: 被覆材の熱膨張係数 (3E12.5)

被覆材の熱膨張係数を, $\alpha_C = b_{0C} + b_{1C} T_C + b_{2C} T_C^2$ と表わしたときの各係数值を与える。

ALC 0 (1-12) : 定数項の値 (b_{0C})

ALC 1 (13-24) : 温度の1次の項の係数值 (b_{1C})

ALC 2 (25-36) : 温度の2次の項の係数值 (b_{2C})

カード20: 燃料ペレットの熱伝導率 (5E12.5)

燃料ペレットの熱伝導率を,

$$k_F = c_{0F} + c_{1F} T_F + c_{2F} T_F^2 + c_{3F} / (c_{4F} + T_F)$$

と表わしたときの各係数值を与える。

RAMF 0 (1-12) : 定数項の値 (c_{0F})

RAMF 1 (13-24) : 温度の1次の項の係数值 (c_{1F})

RAMF 2 (25-36) : 温度の2次の項の係数值 (c_{2F})

RAMF 3 (37-48) : 温度の-1次の項の係数值 (c_{3F})

RAMF 4 (49-60) : 温度の-1次の項の定値 (c_{4F})

カード21: ギャップ熱伝達係数 (4E12.5)

ギャップの熱伝達係数を,

$$k_G = \frac{c_{0G} + c_{1G} T_G + c_{2G} T_G^2}{c_{3G} + \Delta x \times 10^{-6}}$$

と表わしたときの各係数值を与える (ここに, T_G はギャップ温度, Δx はギャップ幅 (m).)

RAMG 0 (1-12) : 定数 (c_{0G})

RAMG 1 (13-24) : 温度の1次の項の係数值 (c_{1G})

RAMG 2 (25-36) : 温度の2次の項の係数值 (c_{2G})

RAMG 3 (37-48) : 定数 (c_{3G})

カード22: 被覆材の熱伝導率 (3E12.5)

被覆材の熱伝導率を, $k_C = c_{0C} + c_{1C} T_C + c_{2C} T_C^2$ と表わしたときの各係数值を与える。

RAMC 0 (1-12) : 定数項の値 (c_{0C})

- RAMC 1 (13-24) : 温度の1次の項の係数値 (c_{10})
- RAMC 2 (25-36) : 温度の2次の項の係数値 (c_{20})
- カード23 : 核的データ (2I 12, 2E 12.5)
- NDLY (1-12) : 遅発中性子の組数で、6と定める。
- KSCRAM(13-24) : 時間依存のスクラム反応度入力数 ($0 \leq KSCRAM \leq 20$)。
スクラム反応度は、20点以内の時刻における値として入力することができ、スクラム開始後の任意の時刻における投入反応度は、その時刻に前後する2つの与えられた時刻における値を線形内挿して定める。(カード41参照。)
- PROT (25-36) : 即発中性子寿命 (sec)
- EFDLYD (37-48) : 全分裂中性子数のなかの遅発中性子数が占める割合。
- カード24 : 計算時間帯の分割数および Minor Edit 用変数の数 (2I 12)
- NCARD (1-12) : 全計算時間帯の分割数 ($1 \leq NCARD \leq 10$)。全計算時間帯は、10個以下の小時間帯に分割して扱うことができ、各小時間帯毎に適当な大きさの炉出力絶対値計算用時間幅および熱・水力計算用時間幅を設定することができる。(カード25参照。)
- NMINOR (13-24) : Minor Edit を行う変数の個数 ($1 \leq NMINOR \leq 18$)。
Minor Edit については、カード25およびカード26を参照されたい。
- カード25 : 計算時間幅およびプリント制御用データ (3I 12, 3E 12.5)
- JMINOR (1-12) : Minor Edit を行う頻度。以下に与える計算時間幅 (DTHYD (sec)) 毎の熱・水力計算を JMINOR 回行う度に、カード26に示す情報をプリントする。このプリントは、次に示す Major Edit 行う直前にまとめて行なわれる。すなわち、Minor Edit とは、(DTHYD (sec)) × (JMINOR) の時間毎のカード26に示す情報を、一括してプリントするものである。
- NEX (13-24) : Major Edit を行う頻度で、上記 Minor Edit を NEX 回行う度に Major Edit を行う。Major Edit とは、(DTHYD (sec)) × (JMINOR) × (NEX) の時間毎の1点炉動特性計算結果、フィードバック計算結果および各チャンネル、ノード毎の熱・水力計算結果をプリントするものである。そのほかに、カード36~カード37で指定する特定のチャンネル、ノードにおける燃料セル内の半径方向温度分布のプリントも行う。また、各炉出力絶対値計算時間幅 (以下に示す DTNUC (sec)) 毎の1点炉動特性計算結果およびフィードバック計算結果については、自動的に各 Major Edit の直前にプリントする。
- NEY (25-36) : 炉内各燃料セル内温度分布のプリントを行う頻度。上記 Major

Edit をNEY 回行う度に、各チャンネルの各軸方向ノードにおける燃料セル内の温度分布をプリントする。なお、時刻0においては、このプリントが自動的に行われる。

DTNUC (37-48) : 炉出力絶対値の変動計算用時間幅 (sec)

DTHYD (49-60) : 熱・水力計算用時間幅 (sec)。DTHYD は上記 DTNUC の整数倍の値でなければならない ($DTHYD = n \cdot DTNUC$; n は 1 以上の任意の整数)。また、熱・水力計算時間幅 DTHYD の大きさは、軸方向ノード間隔を ΔZ_j 、ノード j における冷却材流速を v_j とすると、

$$DTHYD (\text{sec}) \leq \Delta Z_j (\text{m}) / v_j (\text{m/sec})$$

の関係を満たすように設定する必要がある。もし、計算途中でこの関係が満足されなくなった場合には、コード内で自動的に DTHYD の設定値を $1/2$ の大きさに修正しなおして、計算を続行する。

TLAST (61-72) : 小時間帯の終わりの時刻 (sec)

カード 25 は、カード 24 で指定した小時間帯の数 (NCARD) だけ与える。

カード 26 : Minor Edit 用変数の指定 (6(A3, 3I3))

Table 7.1 に示す熱・水力特性量のうち、Minor Edit として書き出すべきものを指定する。この指定の仕方は、(1)特性量の記号 (Table 7.1 参照) (A3)、(2)チャンネル番号 (I3)、(3)軸方向ノード番号 (I3)、および(4)燃料セル内半径方向メッシュ番号 (I3) を、この順に次々と与える。1枚のカードには、6個の特性量に関するデータが与えられる。これを、カード 24 で指定した NCARD 個の特性量分与える。以上の入力により、指定したチャンネル、ノードおよび燃料セル内半径方向における、指定した特性量の ($DTHYD (\text{sec}) \times (JMINOR)$) 毎の各時刻における計算値が、Minor Edit として一括してプリントされる。なお、特性量の種類によっては、チャンネル番号、ノード番号および燃料セル内半径方向ノード番号のいずれかあるいは全てを、特に指定する必要のないものもある。この場合には、入力する必要のない欄を空白とする。また、特性量の記号の入力に当っては、A3 の入力形式をとるので、必ず該当する欄に右づめで入力する。

カード 27 : 遅発中性子割合 (6E12.5)

全遅発中性子数のうち、各組の遅発中性子数が占める割合を、6組分与える。(6組分のデータの合計値は 1.0。)

カード 28 : 遅発中性子先行核の崩壊定数 (6E12.5)

各組の遅発中性子先行核の崩壊定数を、6組分与える。

カード 29 : 燃料要素内半径方向発熱密度分布 (6E12.5)

燃料要素内半径方向各メッシュ点の相対的な発熱密度を、中心から被覆材表面まで順に与える。与えるデータの数は (IMAX-1) 個である (カード 4 参照)。なお、入力した発熱密度の相対値は、コード内で自動的に体積平均値が 1 となるように規格化する。

Table 7.1 Minor Edit用熱・水力特性量の記号(ブロック1, カード26
入力データ)

入 力 デ ー タ				記 号 の 意 味
特性量の 記 号 (A3)	チャンネル 番 号 (I3)	ノ ー ド 番 号 (I3)	セル内 メッシュ番号 (I3)	
CV	K	J	—	(K, J)における冷却材流速
CT	K	J	—	(K, J)における冷却材温度
CE	K	J	—	(K, J)における冷却材エンタルピ
CD	K	J	—	(K, J)における冷却材密度
SQ	K	J	—	(K, J)における冷却材の乾き度(クオリティ)
VF	K	J	—	(K, J)におけるボイド率
PD	K	J	—	(K, J)における圧力損失
FAT	K	J	—	(K, J)における燃料ペレット平均温度
FT	K	J	I	(K, J, I)における燃料セル内温度
SF	K	J	—	(K, J)における被覆材表面熱流束
EG	K	J	—	(K, J)における燃料ペレット内蓄積エネルギー
IV	K	—	—	(K)における冷却材入口流束
IVC	K	—	—	(K)における冷却材入口流束の時間微分値
CFT	K	—	—	(K)における燃料ペレット温度のチャンネル平均値
CCT	K	—	—	(K)における冷却材温度のチャンネル平均値
TPD	K	—	—	(K)における全圧力損失
IPD	K	—	—	(K)における入口圧力損失
FD	K	—	—	(K)における摩擦損失
AD	K	—	—	(K)における加速損失
HD	K	—	—	(K)における水頭圧力損失
OPD	K	—	—	(K)における出口圧力損失
JLT	K	J	—	(K, J)における Jens - Lottes 温度
DHF	K	J	—	(K, J)における DNB熱流束
HTC	K	J	—	(K, J)における被覆材 - 冷却材間熱伝達係数
GC	K	J	—	(K, J)におけるギャップ熱伝達係数
GD	K	J	—	(K, J)における燃料ペレット - 被覆材間ギャップ幅
ITH	K	J	—	(K, J)における燃料から冷却材に与えられた熱量

(注) K, J, Iには, それぞれ任意のチャンネル番号, 軸方向ノード番号および燃料セル内半径方向メッシュ番号を与える。これらが—になっているものについては, その欄を空白として入力する。

カード30：ドップラー・フィードバック係数（6E12.5）

U-238のドップラー効果による反応度フィードバック量 $\Delta\rho_D$ を、

$$\Delta\rho_D = a_{D0} + a_{D1} T_F + a_{D2} T_F^2 + a_{D3} T_F^3 + a_{D4} T_F^n$$

と表わしたときの各係数値を与える。ここに T_F は燃料温度（°K）で、カード3に示した変数IFDBのオプションにより、燃料ペレットの平均温度か、あるいは、燃料ペレットの表面温度と燃料ペレットの平均温度の和の1/2の値のいずれかが用いられる。また、 $\Delta\rho_D$ は反応度（ $\Delta k/k$ ）である。

- DOPC 0 (1-12) : 定数項の値 (a_{D0})
 DOPC 1 (13-24) : 温度の1次の項の係数値 (a_{D1})
 DOPC 2 (25-36) : 温度の2次の項の係数値 (a_{D2})
 DOPC 3 (37-48) : 温度の3次の項の係数値 (a_{D3})
 DOPC 4 (49-60) : 温度のn次の項の係数値 (a_{D4})
 DOPC 5 (61-72) : 温度のn次の指数 (n)

カード31：ボイド・フィードバック係数および被覆材熱膨張フィードバック係数
(3E12.5)

冷却材中のボイドに起因する反応度フィードバック量 $\Delta\rho_V$ および被覆材の熱膨張に起因する反応度フィードバック量 $\Delta\rho_E$ を、それぞれ次のように表わしたときの各係数値を与える。

$$\Delta\rho_V = a_{V1} \alpha + a_{V2} \alpha^2$$

$$\Delta\rho_E = 2\lambda_C (V_F/V_W) a_E T_{CA}$$

ここに α はボイド率(%), λ_C は被覆材の線膨張係数, V_F/V_W は燃料棒単位セルにおける減速材対燃料の体積比, T_{CA} は被覆材の平均温度(°C)であり、また、 $\Delta\rho_V$ および $\Delta\rho_E$ は反応度（ $\Delta k/k$ ）である。

- VOIC 1 (1-12) : ボイド率の1次の項の係数値 (a_{V1})
 VOIC 2 (13-24) : ボイド率の2次の項の係数値 (a_{V2})
 EXPC (25-36) 被覆材熱膨張の項の係数値 (a_E)

カード32：減速材温度フィードバック係数（3E12.5）

減速材（冷却材）温度に起因する反応度フィードバック量 $\Delta\rho_M$ を、

$$\Delta\rho_M = a_{M1} T_W + a_{M2} T_W^2 + a_{M3} T_W^3$$

と表わしたときの各係数値を与える。ここに、 T_W は冷却材温度(°C)であり、また、 $\Delta\rho_M$ は反応度（ $\Delta k/k$ ）である。

- TEMC 1 (1-12) : 冷却材温度の1次の項の係数値 (a_{M1})
 TEMC 2 (13-24) : 冷却材温度の2次の項の係数値 (a_{M2})
 TEMC 3 (25-36) : 冷却材温度の3次の項の係数値 (a_{M3})

カード33：時間依存の印加反応度入力値（6E12.5）

外乱として炉心に印加される反応度を、(1)印加反応度（ $\Delta k/k$ ）（E12.5）、(2)時刻(sec）（E12.5）の順に、カード3で定めたKDOP個の時刻分入力する。1枚のカー

ドには、3個の時刻に関するデータが入力できる。任意の時刻における印加反応度は、その時刻に前後する2つの与えられた時刻における値をコード内で線形内挿して計算に用いる。なお、時刻0における印加反応度は、コード内で自動的に0（臨界状態）とおかれるので入力する必要はない。

カード34：計算の収束条件等の制御用データ（5E12.5）

EPI 1 (1-12) : 被覆材表面の熱伝達係数を、単層流状態における値から沸騰状態における値に切り換えるための制御パラメータで、以下の条件が満たされている間は、単層流における熱伝達係数が適用される。

$$T_{JL} - T_C > \text{EPI 1 (C)}$$

ここに、 T_{JL} はJens - Lottes 温度、 T_C は被覆材表面温度をそれぞれ表わす。（第4章4.4.3節参照。）

EPI 2 (13-24) : 空欄

EPI 3 (25-36) : 反応度フィードバック量の予想値と実際の計算値との間の差に関する許容誤差。時刻 t_k における熱・水力計算の結果得られた反応度フィードバック量 ρ_{FB} の値と、1ステップ前の時刻 t_{k-1} までに得られたフィードバック量から外挿した時刻 t_k におけるフィードバック量の予想値 ρ_{FBG} を比較し、

$$|\rho_{FB} - \rho_{FBG}| \leq \text{EPI 3 ()}$$

であれば、フィードバック量の予想は良好であったと見なして、次の熱・水力計算時間ステップまでの間の1点炉動特性計算を続行する。上の条件が満足されない場合には、時刻 t_k に対するフィードバック量を修正し、1ステップ前の時刻から再計算する。（第3章3.3節参照。）

EPI 4 (37-48) : 定常時（初期状態）の被覆材温度計算のための収束条件。定常時においては、はじめに、燃料要素の温度を冷却材初期温度に等しいと仮定して、計算を開始する。この初期温度に対応する熱伝達係数および物性値を用い、また与えられた炉出力密度を用いて算出した被覆材表面温度 T_C と、はじめに仮定した被覆材表面温度の値 T'_C との差が、以下のように許容誤差EPI 4の範囲内にあれば、定常時の燃料温度の計算は良好であったと見なす。

$$|T_C - T'_C| \leq \text{EPI 4 (C)}$$

この関係が満足されない場合には、被覆材表面温度の値が上記の許容誤差範囲内に収束するまで繰り返し計算を行う。

EPI 5 (49-60) : 定常時（初期状態）の圧力損失計算のための収束条件。炉心内流路チャンネルの冷却材流量は、各チャンネルの圧力損失が一定となるように配分されるが、各チャンネルの圧力損失 ΔP_K は

全チャンネルの平均圧力損失 $\Delta\bar{P}$ との間に次の関係を有するとき、一定値に収束したと見なして繰り返し計算を終了する。

$$\left| \Delta\bar{P} - \Delta P_K \right| / \Delta\bar{P} \leq \text{EPI} 5$$

ここに、添字 K は任意のチャンネル番号を表わす。(なお、非定常時の計算に当っては、各チャンネルの圧力損失が一定となるように計算式を導びいている。)(第4章4.3節参照。)

カード35~37:プロッタ出力データおよび Selected Node Information プリント出力データの制御

(1) カード1で与えた IPLOT が1の場合には、カード35~37の3枚のカードによって、10点以内の指定したチャンネル、軸方向ノードおよび燃料セル内半径方向メッシュ点における、各熱・水力計算時刻毎の温度が、プロッタ用テープ (TAPE 15) に書き出される。この場合、

カード35によって、IPP(1), IPP(2), ………, IPP (IEDIT) の燃料セル内半径方向メッシュ点番号を、

カード36によって、JPP(1), JPP(2), ………, JPP (IEDIT) の軸方向ノード番号を、

カード37によって、KPP(1), KPP(2), ………, KPP (IEDIT) のチャンネル番号をそれぞれ与えた場合には、

[IPP(1), JPP(1), KPP(1)], [IPP(2), JPP(2), KPP(2)], ………, [IPP (IEDIT), JPP (IEDIT), KPP (IEDIT)] の各座標における温度が書き出される。

(2) カード1で与えた IPLOT が0の場合には、カード36~37の2枚のカードによって、10点以内の指定したチャンネルおよび軸方向ノードにおける燃料セル内の全半径方向メッシュ点における温度が、Major Edit (カード25参照) の度毎に Selected Node Information としてプリントされる。この場合、

カード36によって、JPP(1), JPP(2), ………, JPP (IEDIT) の軸方向ノード番号を、

カード37によって、KPP(1), KPP(2), ………, KPP (IEDIT) のチャンネル番号をそれぞれ与えた場合には、

[JPP(1), KPP(1)], [JPP(2), KPP(2)], ………, [JPP (IEDIT), KPP (IEDIT)] の各座標における燃料セル内の全メッシュ点における温度がプリントされる。

カード35:燃料セル内半径方向メッシュ点選択数および選択メッシュ番号 (6I 12)

以下のデータは、カード1で与えた IPLOT が1の場合にのみ数値を与え、IPLOT が0の場合には空白とする。

IEDIT (1-12) : 燃料セル内半径方向メッシュ点の選択数 ($1 \leq \text{IEDIT} \leq 10$)。

IPP (1) (13-24) }
 |
 IPP (5) (61-72) } : 燃料セル内半径方向の選択メッシュ番号。

選択するメッシュ番号は IEDIT 個だけ与える。IEDIT ≥ 6 の場合には、2枚目のカードのカラム 1~12以降に、引き続き選択するメッシュ番号を与える。

カード36：軸方向ノード選択数および選択ノード番号 (6I 12)

IEDIT (1-12) : 軸方向ノードの選択数 ($1 \leq \text{IEDIT} \leq 10$)。カード35で IEDIT に値を与えた場合には、これと同値とする。

JPP (1) (13-24) }
 |
 JPP (5) (61-72) } : 軸方向の選択ノード番号

選択するノード番号は IEDIT 個だけ与える。IEDIT ≥ 6 の場合には、2枚目のカードのカラム 1~12以降に、引き続き選択するノード番号を与える。

カード37：チャンネル選択数および選択チャンネル番号 (6I 12)

IEDIT (1-12) : チャンネル選択数で、カード36の IEDIT と同値とする。

KPP (1) (13-24) }
 |
 KPP (5) (61-72) } : 選択チャンネル番号

選択するチャンネル番号は IEDIT 個だけ与え、IEDIT ≥ 6 の場合には、カード36の場合と同様に2枚目のカードに引き続き選択するチャンネル番号を与える。

カード38：時間依存の入口流量入力値 (6 E 12.5)

このカードは、カード3における KFLOW が1以上の値を有する場合にのみ与え、KFLOW = 0 の場合には削除する。

KFLOW ≥ 1 の場合には、時間依存形の炉心入口流量を、(1)時刻 (sec) (E 12.5), (2)入口流量 (m^3/hr) (E 12.5) の順に、KFLOW 個の時刻分入力する。1枚のカードには、3個の時刻に関するデータが入力できる。任意の時刻における炉心入口流量は、その時刻に前後する2つの与えられた時刻における値をコード内で線形内挿して、計算に用いる。

カード39：時間依存の冷却材入口エンタルピ入力値 (6 E 12.5)

このカードは、カード3における KTEMP の値が1以上の値を有する場合にのみ与え、KTEMP = 0 の場合には削除する。

KTEMP ≥ 1 の場合には、時間依存形の冷却材入口エンタルピを、(1)時刻 (sec) (E 12.5), (2)入口エンタルピ (cal/g) (E 12.5) の順に、KTEMP 個の時刻分入力する。1枚のカードには、3個の時刻に関するデータが入力できる。任意の時刻における入口エンタルピの値は、カード38のデータの場合と同様に線形内挿する。

カード40：燃料破損しきい値に関する表示 (5 E 12.5)

このカードは、カード3における KFRE の値が > 0 の場合にのみ与え、KFRE = 0 の場合には削除する。KFRE > 0 の場合には、コード内で実際の熱計算に用いられている値

とは独立に、以下のデータを参考値として与える。熱計算の結果、このカードで与えた参考値を越える結果が得られれば、その旨の表示がプリントされる。

- FRE 1 (1-12) : DNB 熱流束 ($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$)
 FRE 2 (13-24) : 被覆材溶融温度 ($^{\circ}\text{C}$)
 FRE 3 (25-36) : 燃料ペレット溶融温度 ($^{\circ}\text{C}$)
 FRE 4 (37-48) : 燃料ペレット溶融エンタルピ (cal/g)
 FRE 5 (49-60) : 燃料ペレット沸騰エンタルピ (cal/g)

カード 41 : 時間依存のスクラム反応度入力値 (6E 12.5)

このカードは、カード 23 における KSCRAM の値が 1 以上の値を有する場合にのみ与え、KSCRAM = 0 の場合には削除する。

UPPER (1-12) : 初期炉出力に対する、スクラム・トリップ開始時の炉出力の比。

TRIP (13-24) : スクラムの遅れ時間 (sec)

カラム 25 以降には、時間依存形のスクラム反応度を、(1)時刻 (sec) (E 12.5), (2)スクラム反応度の絶対値 ($d k/k$) (E 12.5) の順に、KSCRAM 個の時刻分を入力する。1枚目のカードには、2個の時刻に関するデータが入力できる。KSCRAM ≥ 3 の場合には、新しいカードのカラム 1~12 以降に、引き続き時刻およびスクラム反応度の絶対値を与える。スクラム反応度挿入開始後の任意の時刻におけるスクラム反応度は、その時刻に前後する2つの与えられた時刻における値をコード内で線形内挿して、計算に用いる。

ブロック2 中性子拡散計算用データ

中性子拡散計算用データは、データの性質に応じて幾つかのセクションに分類され、問題上必要のないセクションは入力から除くことができる。したがって、入力する各セクションの初めのカードには、セクションの標識番号を第1カラムから第4カラムに与える。なお、初回の拡散計算のための巨視的反応断面積は、このブロックで与えるが、温度依存の反応断面積についてはブロック4で与える。また、初回計算用および時間依存の「ゾーンの重ね合わせ」(Mesh Overlay)のためのデータもブロック4で与える。

(1) 拡散計算用タイトル・カード (18A4/18A4)

拡散計算用のタイトルを記述するカードで、2枚与える。

(2) セクション1: 拡散計算制御用データ

カード1: セクション番号 (I 3, A 1)

セクション番号を、カラム1~4に001Sと入力する。

カード2: 制御オプション (19I 3)

次のカラムの変数にのみデータを与え、その他のカラムは空白とする。

NGC 12 (34-36): 随伴計算の実行オプションで、随伴中性子束を計算する場合には1、計算しない場合には0と入力する。

NGC 18 (52-54): 残差計算オプション。この値が ≥ 0 の場合には、固有値問題を解いた後に、各メッシュ点の中性子バランスの残差の2乗和を最小にする増倍係数および相対的な巨視的断面積が算出される。以上の計算を実行しない場合には、この値を < 0 とする。

NGC 19 (55-57): 使用断面積のオプションで、巨視的反応断面積を用いるため、1と入力する。

カード3: 出力オプション (14I 3)

次の各項目は、特記なき限り、入力データが > 0 の場合にプリントされる。

IEDG 1 (1-3) : 各繰り返し毎の反復データ

IEDG 3 (7-9) : 各エネルギー群間の巨視的散乱断面積

IEDG 4 (10-12) : 巨視的反応断面積

IEDG 5 (13-15) : 系全体におけるエネルギー群毎の中性子バランス

IEDG 6 (16-18) : 各ゾーンにおけるエネルギー群毎の中性子バランス

IEDG 8 (22-24) : ゾーン毎の反応率

IEDG 9 (25-27) : ゾーン平均の各群中性子束

IEDG 10 (28-30) : メッシュ点毎の各群中性子束。この値は必ず > 0 とする。この値が1の場合には、メッシュ点毎の各群中性子束がプリントされ、2以上の場合には、このプリントを行なわない。

IEDG 12 (34-36) : ゾーン平均の出力密度

IEDG 13 (37-39) : ピーク値に対する相対的出力密度

IEDG14 (40-42) : メッシュ点毎の出力密度。この値は必ず >0 とする。この値が1の場合には、メッシュ点毎の出力密度がプリントされ、2以上の場合には、このプリントを行なわない。

カード4 : 反復回数と計算時間の制限 (1913)

拡散計算は、次の反復回数あるいは計算時間の指定値に達すればその回の計算を終了する。もし、これらの値を指定しない場合には、自動的に括弧の中の数値が適用される。

ITX1 (1-3) : 反復回数 (200回)

ITX19 (55-57) : 計算所要時間 (60min)

カード5 : 増倍係数の制限値 (2E12.5)

計算中に、中性子増倍係数が以下の上限值あるいは下限値に達すれば、その回の拡散計算は終了する。したがって、これらの値は十分に余裕をもって設定するのが望ましい。もし、これらの値を指定しない場合には、自動的に括弧の中の数値が適用される。

GLIM1 (1-12) : 増倍係数の上限値 (1.5)

GLIM2 (13-24) : 増倍係数の下限値 (0.5)

(3) セクション3 : 中性子束問題の記述

カード1 : セクション番号 (I3, A1)

セクション番号を、カラム1~4に003Sと入力する。

カード2 : 一般的記述 (20I3)

NUAC5 (13-15) : 幾何学的標系のオプションで、拡散計算で扱う座標が2次元筒(R-Z)座標の場合にはこの値を7とし、3次元直角(X-Y-Z)座標の場合にはこの値を11とする。

NUAC11 (31-33) : 左方境界条件のオプション。3次元(X-Y-Z)計算の場合には、この値を0とする(外挿境界)。2次元(R-Z)計算の場合には、この値を1とする(反射境界)。その他の方向(右方, 上方, 下方, 3次元計算の場合にはさらに前方, 後方)の境界条件は常に外挿境界として扱われる。

NUAC17 (49-51) : 内部完全吸収体のゾーン番号。このゾーンの境界では、非反射の境界条件が適用される。(ブロック2, カード4のXMIS2の項参照。)

NUAC19 (55-57) : 加速因子の調整にChebychev多項式を使用しない場合には >1 と入力する。

NUAC20 (58-60) : メッシュ・スイープ法のオプションで、通常はこの値を0とする。この場合には、コード自身が上方散乱に依存した緩和法を決定する。特にこの値を以下のような0以外の値とした場合には、各値に対応する緩和法がとられる。

>0 : 行についてのみ線緩和する。

-1 : 行および列について、さらに3次元体系の場合には前方から後方へも、交互に線緩和する。

- 2 : 3次元の場合にも、行と列のみについて線緩和する。

カード3 : 繰り返し計算の収束条件 (2 E 12.5)

繰り返し計算中に、中性子束あるいは固有値の相対的变化が以下の収束条件を満足すれば、その回の拡散計算を終了する。

EPI 1 (1-12) : 最終繰り返し回に対する、中性子束の相対的变化の最大値

EPI 2 (13-24) : 最終繰り返し回に対する、固有値の相対的变化

カード4 : その他のデータ (3 E 12.5)

XMIS 1 (1-12) : 外部外挿境界定数 $(-D/\phi) \cdot (\partial\phi/\partial X)$ に関するオプション。ここに、 D は拡散係数、 ϕ は中性子束、 X は位置をそれぞれ表わす。この場合、

(1) 全ての外挿境界および全てのエネルギー群に対して、コードに組み込みの値 (0.4692) を用いる場合には、ここに0.0と入力する。

(2) 全ての外挿境界および全てのエネルギー群に対して、一定の入力値を適用する場合には、ここにその定数値を正数で入力する。

(3) 各外挿境界および各エネルギー群に対して、それぞれ異った定数を適用する場合には、ここに負数でエネルギー群数を入力する (小数タイプに注意)。この場合には、各定数値を与えるカードを、このカードの直後に続けて入力する。定数の与え方は、先ず左方外挿境界における各群の定数値を与え、続いて、上方、右方、下方、前面および後面の順に各境界における各群の定数値を与える (6 E 12.5)。

XMIS 2 (13-24) : 内部完全吸収体の境界定数 $(-D/\phi) \cdot (\partial\phi/\partial X)$ に関するオプションで、上記XMIS 1の場合と同様に、次のように与える。

(1) ゾーン NUAC 17 の境界において、コードに組み込みの値 (0.4692) を適用する場合には、ここに0.0と入力する。

(2) ゾーン NUAC 17 の境界において、全てのエネルギー群に対し一定の入力値を適用する場合には、ここにその定数値を正数で入力する。

(3) ゾーン NUAC 17 の境界において、各エネルギー群に対し異った定数を適用する場合には、ここに負数でエネルギー群数を入力する (小数タイプ)。この場合には、各群の定数値を与えるカード (6 E 12.5) をこのカードの後に続ける。各群の定数値のうち、0の値を与えたものについては、その群に関し、完全吸収体の取り扱いを行わない。

XMIS 3 (25-36) : 炉出力レベルの参考値 (MWt h) で、本計算の場合には特に

意味はなく、任意の数値を与えておく。

(1) セクション4：幾何学的格子系の記述

カード1：セクション番号 (I 3, A 1)

セクション番号を、カラム1～4に004Sと入力する。

カード2：格子系の記述 (6 (I 3, E 9.5))

垂直方向の各格子区域*の格子点数 (I 3) と区域幅 (E 9.5) を、左方から右方にわたって与える。次に、水平方向の各格子区域の格子点数と区域幅を、上方から下方にわたって与える。さらに3次元体系の場合には、もうひとつの方向の格子点数と区域幅を、前方から後方にわたって与える。各方向に対する入力データは新しいカードで始める。もし、各方向に対するカードの最後のものに空欄が残されていない場合には、空白カード1枚を追加する。なお、幾何学的座標での格子点の「行」は上方から下方へ、格子点の「列」は左方から右方へ、格子点の「平面」は前方から後方へと並ぶ。

(5) セクション5：ゾーンの設定

カード1：セクション番号 (I 3, A 1)

セクション番号を、カラム1～4に005Sと入力する。

カード2：ゾーンの設定 (24 I 3)

垂直方向の各格子区域に対するゾーン**の番号 (I 3) を、第1番目の格子区域の行について、左方から右方にわたって与える。次に、新しいカードで始まる、第2番目の格子区域の行についての左方から右方にわたるゾーン番号の指定を行う。以下、同様の指定を最下行まで行う。3次元体系の場合には、この2次元のゾーン番号の指定を、各格子区域の平面について、前面から後面にわたって与える。

(6) セクション8：巨視的反応断面積の初期値

初回の拡散計算に必要な巨視的反応断面積を、このセクションにおいて全て与える。

カード1：セクション番号 (I 3, A 1)

セクション番号を、カラム1～4に008Sと入力する。

カード2：エネルギー群数と散乱の範囲 (3 I 3)

KGMAX (1-3) : 全エネルギー群数

IX 28 (4-6) : 下方散乱のエネルギー群数

IX 29 (7-9) : 上方散乱のエネルギー群数

カード3：巨視的反応断面積 (2 I 6, 3 E 12.5)

MZ (1-6) : ゾーン番号

KG (7-12) : エネルギー群番号

* 格子点間隔が等しい格子空間の全体を、特に「格子区域」とよぶことにする。

** 「ゾーン」とは、巨視的反応断面積が等しい領域をさす。第5章に述べたように、同一物質領域であっても、それが複数個の熱・水力計算用チャンネルに分配される場合には、温度場が異なるので、各チャンネル毎に異ったゾーン番号を指定するよう注意しなければならない。

- SIG1 (13-24) : 拡散係数
 SIG3 (25-36) : 巨視的吸収断面積
 SIG4 (37-48) : $\nu \times$ 巨視的分裂断面積。ここに、 ν は 1 分裂当りに放出される中性子数の平均値である。

カード4：散乱断面積 (6E12.5)

上記第KG群の中性子が他の群(第1群~第KGMAX群)に散乱する巨視的断面積。

コードは、ゾーン番号MZが0になるまで、カード3およびカード4の読み込みを繰り返す。

カード5：分裂中性子割合 (6E12.5)

分裂中性子が第1群~第KGMAX群のエネルギー群を有する割合。

(7) セクション40：随伴中性子束の出力オプション

カード1：セクション番号 (I3, A1)

セクション番号を、カラム1~4に040Sと入力する。

カード2：随伴中性子束の出力オプション (I3)

メッシュ点毎の随伴中性子束をプリントする場合には、カラム22に1と入力する。このプリントを行わない場合には、カラム22~24に2以上の値を入力する。

(8) セクション99：ブロック2の終了カード (I3/A3)

ブロック2で与えるデータの終了を表わすカードを2枚与える。はじめのカードには、カラム1~3に999と入力する。2枚目のカードには、カラム1~3にENDと入力する。

ブロック3 中性子拡散計算と熱・水力計算の結合用データ

カード1：フィードバックに関与する群番号とホット・チャンネルの設定 (4 I 12, 2 E1 2.5)

MGRP 1 (1-12) : U-238のドップラー効果に関与する中性子の群番号。ドップラー効果に起因する反応度フィードバックの重み関数としては、MGRP 1群の中性子束および随伴中性子束の積（あるいは、MGRP 1群の中性子束の2乗）が用いられる。

MGRP 2 (13-24) : 熱中性子の群番号。減速材温度、ボイド率および被覆材熱膨張に起因する反応度フィードバックの重み関数としては、MGRP 2群の中性子束および随伴中性子束の積（あるいは、MGRP 2群の中性子束の2乗）が用いられる。

IHOT (25-36) : ホット・チャンネルの設定のための基準となるチャンネル番号。ホット・チャンネルを設定する場合には、(KMAX-1)番目までのチャンネルの中から、チャンネルIHOTを選ぶ。ホット・チャンネルの出力密度は、このチャンネルIHOTに以下の定数HOTを乗じたものとして与えられる。なお、この場合ホット・チャンネルの番号は、自動的にKMAXの値とされる。ホット・チャンネルを特に設定しない場合には、IHOTの値を0とする。(第5章, 5.2節参照。)

JHOT (37-48) : 中性子束分布（および出力分布）再計算のための熱的判定を行うチャンネル番号。すなわち、中性子拡散計算を実行した後、チャンネルJHOTの平均燃料温度が以下の指定値ENGJ(°C)だけ増加する度に、温度依存の巨視的反応断面積の変更を行って計算を実行し、新たな中性子束分布（および出力分布）を求める。

HOT (49-60) : チャンネルIHOTの出力密度に対するホット・チャンネルの出力密度の比。

ENGJ (61-72) : 中性子束分布（および出力分布）再計算のため、燃料温度増分値(°C)。

カード2：拡散計算用メッシュ領域の軸方向ノード領域に対する分配 (18 I 4)

J (1-4) : ノード番号

IROWT (5-8) : ノードJのエンタルピ計算用領域に含まれる中性子拡散計算用格子行の上限番号。

IROWB (9-12) : ノードJのエンタルピ計算用領域に含まれる中性子拡散計算用格子行の下限番号。

以上のデータを第13カラム以降も同様に繰り返す。1枚のカードには6ノード分のデータが与えられる。全てのノードに関するデータを与えた後、最後のカードに空欄が残され

ていない場合には、次に空白カード1枚を追加して、このデータの入力を終える。なお、ノードJのエンタルピ計算用領域に含まれる拡散計算用格子行が1個の場合には、IROWTおよびIROWBに同一番号を与える。拡散計算用格子領域のうち、いずれの熱・水力計算用ノード領域にも分配されないものがある場合でもかまわない（たとえば反射体領域等）。

（第5章参照。）

カード3：拡散計算用メッシュ領域のチャンネルに対する分配（1814）

K（1-4）：チャンネル番号

JCOLML（5-8）：チャンネルKに含まれるR方向あるいはX方向の中性子拡散計算用格子列の左限番号。

JCOLMR（8-12）：チャンネルKに含まれるR方向あるいはX方向の中性子拡散計算用格子列の右限番号。

KPLANF（13-16）：チャンネルKに含まれるY方向の中性子拡散計算用格子平面の前方番号。

KPLANB（17-20）：チャンネルKに含まれるY方向の中性子拡散計算用格子平面の後方番号。

中性子拡散計算で取り扱う体系が2次元（R-Z座標）の場合には、第13カラム以降に、他のチャンネルに関するK、JCOLML、JCOLMRのデータを繰り返し与える。この場合、1枚のカードに最大5チャンネルまでのデータを全て与える。また、拡散計算で取り扱う体系が3次元（X-Y-Z座標）の場合には、第21カラム以降に、他のチャンネルに関する上記のデータの全てを繰り返し与える。この場合には、1枚のカードに3チャンネル分のデータが与えられる。全てのチャンネルに関するデータを与えた後、最後のカードに空欄が残されていない場合には、次に空白カード1枚を追加して、このデータの入力を終える。

なお、この格子の列および平面に対するチャンネル番号の指定に当っては、いわゆるMesh Overlayの方法を適用することができる。すなわち、一担格子空間に対してチャンネル番号を指定した後、改めてその空間の全部あるいは一部に別のチャンネル番号を重ねて指定することによって、その部分のチャンネルを後で指定したものに変更することができる。この方法によって、チャンネル設定のパターンが複雑な場合には、これを簡略化することができる。なお、拡散計算用格子領域のうち、いずれの熱・水力計算用チャンネルにも分配されないものがある場合でもかまわない（たとえば反射体領域等）。カード1によってホット・チャンネルを設定する場合には、拡散計算用格子領域に対して、（KMAX-1）個のチャンネルを割り当てる。

ブロック4 温度依存の巨視的反応断面積および時間依存のゾーンの重ね合わせ用データ

中性子拡散計算用の巨視的反応断面積が、温度に依存して変化するゾーンがある場合には、そのゾーンの温度と反応断面積の組を、カード1からカード3によって必要数入力する。任意の温度における断面積の値は、その温度をはさむ2つの与えられた温度に対する断面積の値を線形内

挿して求める。また、カード4およびカード5には、中性子拡散計算のためのゾーンの重ね合わせを行う時刻と方法を与える。コードは、指定の時刻になれば指定されたゾーンの重ね合わせを行って、拡散計算を実行する。この場合、その時点における各チャンネル内のゾーンの平均温度に対応する巨視的反應断面積の変更も同時に行われる。

カード1：温度依存の巨視的反應断面積を有するゾーン番号、群番号および入力温度点数

(313)

MOOG 1 (1-3) : ゾーン番号

MOOG 2 (4-6) : エネルギー群番号

NTEMP (7-9) : 温度点数

カード2：ゾーンの温度 (E12.5)

TEMP (1-12) : ゾーンの温度 (°C)

カード3：温度 TEMP (°C) における巨視的反應断面積 (6E12.5)

VNE SH 1 (1-12) : 拡散係数

VNE SH 2 (13-24) : 巨視的吸収断面積

VNE SH 3 (25-36) : $\nu \times$ 巨視的分裂断面積

VNE SH 4 (35-48/49-60/61-72) : 上記 MOOG 2 群の中性子が他の群 (第1群~第KMAX群) に散乱する巨視的断面積。さらに、不足の場合には、新しいカードによって散乱断面積のデータを続ける

(6E12.0)

カード1で指定したゾーン番号および群番号に関するカード2およびカード3のデータを、温度点数 (NTEMP) 分与える。他のエネルギー群および他のゾーンに関しても、同様にカード1からカード3のデータを必要数与える。巨視的反應断面積が温度に依存せず、初回の拡散計算用データから変更されない場合には、そのエネルギー群あるいはゾーンに関する入力を行う必要がない。

カード4：ゾーンの重ね合わせ用データ・カード枚数および重ね合わせ実行時刻 (I3,E12.5)

JOVLY (1-3) : 時刻 TIME において実行するゾーンの重ね合わせのための、下記カード5および6の合計入力枚数。

TIME (4-15) : ゾーンの重ね合わせの実行時刻 (sec)。初回の拡散計算においてゾーンの重ね合わせを行う場合には、この値を0.0とする。

カード5：ゾーン番号の指定 (I4)

MOV (1-4) : ゾーン番号

カード6：ゾーンの重ね合わせ領域の指定 (3(6I4))

中性子拡散計算用格子空間において、ゾーン MOV が占めるべき格子列の左限番号と右限番号、格子行の上限番号と下限番号および格子平面の前方番号と後方番号を、この順に与える。2次元計算の場合には、格子平面に関するデータは不要である。たとえば、000600060005001500020002と入力することによって、格子平面2の格子列6における格子行5から15までの領域に、新しいゾーンを指定することができる。この指定によって、すでに定義されていたこの領域のゾーンは、新しいゾーンに置き換えられ

る。ゾーンを重ね合わせは何重にわたって行ってもよく、常に先行するゾーンが、後で指定されたゾーンに置き換えられる。カード5およびカード6は、カード4で指定した数だけ与える。カード4からカード6のデータは、ブロック1のカード3で与えたNOVLY回だけ与える。

7.2 データの入力例

Table 7.2にサンプル計算の入力データを例示する。この計算対象とした炉心は、Fig. 7.1に示す平断面を有するX-Y-Z 3次元体系であり、同図のI-2の位置で制御棒の引き抜けが生ずると仮定した。この入力データを用いたサンプル計算の結果は、付録に示す。

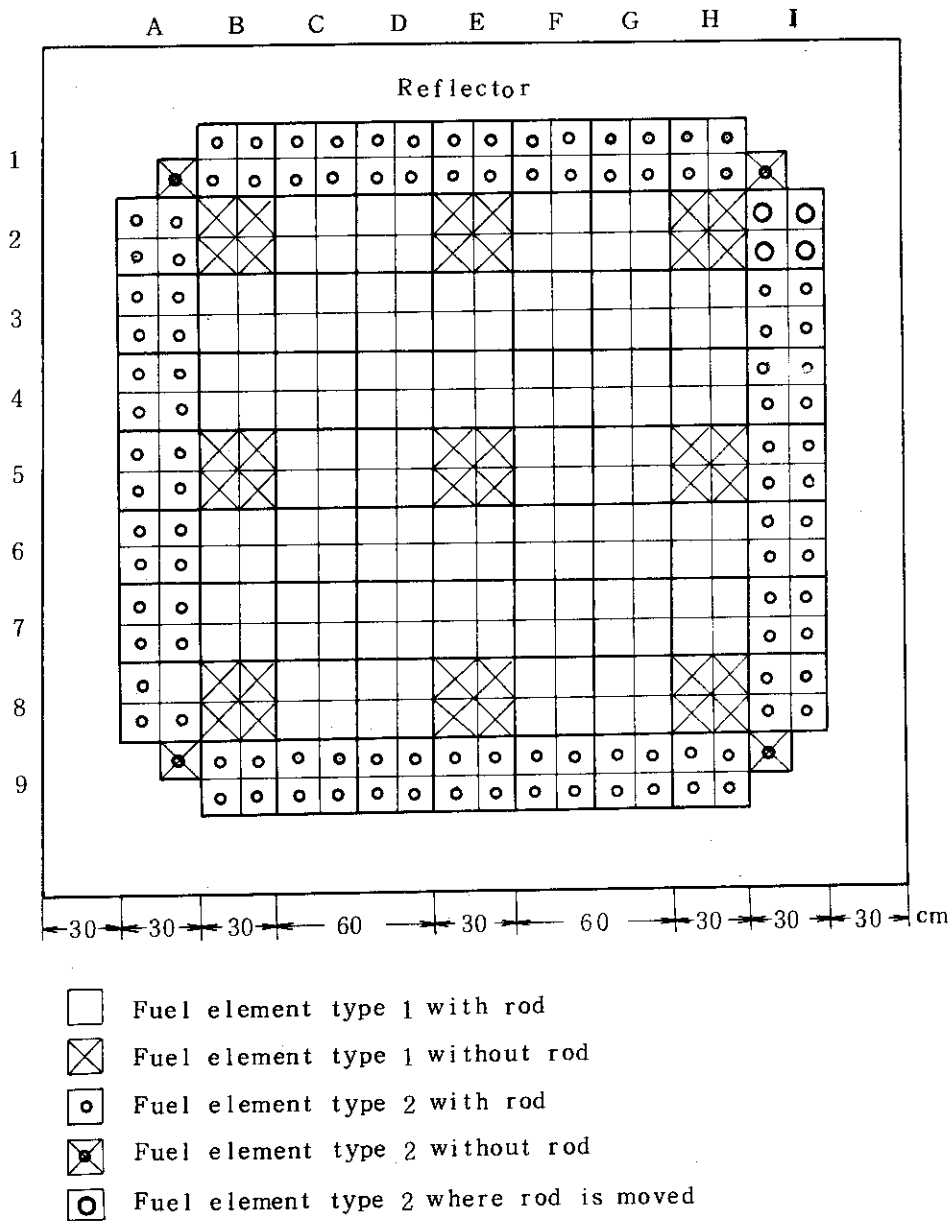


Fig. 7.1 サンプル計算の対象炉心平面図

Table 7.2 Sample input for EUREKA-space

CARD,NO.	A	B	C	D	E	F	G
1							DAT00100
2	1	05/13/77	SAMPLE CALCULATION FOR BWR ROD WITHDRAWAL				DAT00120
3		6	0	0	1	3	DAT00140
4		16	10	4	4	2	DAT00160
5		15238					DAT00180
6		.1057	.00620	.00634	.00724	.3	.3DAT00200
7		9408.	195.	5488.	196.		DAT00220
8		312.	54.21	54.21	54.21		DAT00240
9		.533	.583	.583	.583		DAT00260
10	0.	.3	.6	.9	1.2	1.5	DAT00280
11	1.8	2.1	2.4	2.7			DAT00300
12		10	1	3	1		DAT00320
13		71.7	290.2	4360.	1.38E-3	275.9	DAT00340
14		1.49	0.333	1.0	0.026		DAT00360
15		10302.					DAT00380
16		6550.					DAT00400
17		.0657	-.9556E-6	.8123E-8			DAT00420
18		.07	.25E-3				DAT00440
19		1.0E-5	0.0	0.0			DAT00460
20		.56E-6	.32E-8				DAT00480
21		3.9255	-0.3352E-2	0.1135 E-5	877.63	200.0	DAT00500
22		6.35	0.0344	-0.79E-5	22.56		DAT00520
23		10.5452	.010952				DAT00540
24		6		4.9E-5	.0072		DAT00560
25		2	15				DAT00580
26		1	25	1000	.0010	.005	2.DAT00600
27		1	25	1000	.0002	.002	5.DAT00620
28	CV	1 1 0 CT	2 10 0 CE	3 6 0 CD	4 3 0 FT	4 9 1 EG	1 10 0DAT00640
29	IVC	3 0 OCFT	2 0 UCCT	4 0 0 SF	1 6 UFAT	4 3 UTPD	3 0 0DAT00660
30	TH	1 0 OHTC	4 3 0 DR	0 0 0			DAT00680
31		.0329	.2190	.1962	.3949	.1152	.0418DAT00700
32		.0124	.0305	.1111	.3010	1.14	3.01DAT00720
33		.9496	.9537	.9592	.9661	.9746	.98465DAT00740
34		.9956	1.01085	1.0279	1.0484	0.0	0.0DAT00760
35		0.0	0.0				DAT00780
36		-0.05618	0.0	0.0	0.0	1.924E-3	0.50DAT00800
37		.1	.26				DAT00820
38		2.5E-5	7.625E-7				DAT00840
39		.00167	.25	.00333	.5	.005	.75DAT00860
40		.00667	1.0	.008	1.2	.008	10.DAT00880
41		.01	.001	.005	.1	.005	.01DAT00900
42		5	4	4	4	4	4DAT00920
43		5	3	4	5	4	4DAT00940
44		5	4	4	4	3	2DAT00960
45		1850.	2880.	200.	233.	500.	DAT00980
46	NEUTRON FLUX AND ADJOINT FLUX CALCULATION ,						DAT01000
47	X-Y-Z 3 DIMENSION , 2 GROUPS						DAT01020
48	001S						DAT01040
49	0	0	0	0	1	0	-1 1 6
50	1	0	1	1	0	0	0 0 0 2
51	100	50					DAT01080
52	10.0	0.1	1.0	+111.0			DAT01100
53	003S						DAT01120
54	0	0	11	0	0	0	0 0 0 0
55	0.01	0.001		0.001			DAT01160
56	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0		DAT01180
							DAT01200

Table 7.2 Continued

CARD,NO.	.....*	.....A.....*	.....B.....*	.....C.....*	.....D.....*	.....E.....*	.....F.....*	.....G
57	004S							DAT01220
58	130.0	115.0	115.0	230.0	460.0	230.0		DAT01240
59	460.0	230.0	115.0	115.0	130.0			DAT01260
60	145.	115.	8240.	115.	145.			DAT01280
61	130.0	115.0	115.0	230.0	460.0	230.0		DAT01300
62	460.0	230.0	115.0	115.0	130.0			DAT01320
63	005S							DAT01340
64	5	5	5	5	5	5	5	DAT01360
65	5	5	5	5	5	5	5	DAT01380
66	5	5	5	5	5	5	5	DAT01400
67	5	5	5	5	5	5	5	DAT01420
68	5	5	5	5	5	5	5	DAT01440
69	5	5	5	5	5	5	5	DAT01460
70	5	5	5	3	3	3	3	DAT01480
71	5	5	5	3	3	3	3	DAT01500
72	5	5	5	3	3	3	3	DAT01520
73	5	5	5	5	5	5	5	DAT01540
74	5	5	5	5	5	5	5	DAT01560
75	5	5	4	3	3	3	4	DAT01580
76	5	5	4	3	3	3	4	DAT01600
77	5	5	4	3	3	3	4	DAT01620
78	5	5	5	5	5	5	5	DAT01640
79	5	5	5	5	5	5	5	DAT01660
80	5	3	3	2	1	2	3	DAT01680
81	5	3	3	2	1	2	3	DAT01700
82	5	3	3	2	1	2	3	DAT01720
83	5	5	5	5	5	5	5	DAT01740
84	5	5	5	5	5	5	5	DAT01760
85	5	3	3	1	1	1	3	DAT01780
86	5	3	3	1	1	1	3	DAT01800
87	5	3	3	1	1	1	3	DAT01820
88	5	5	5	5	5	5	5	DAT01840
89	5	5	5	5	5	5	5	DAT01860
90	5	3	3	2	1	2	3	DAT01880
91	5	3	3	2	1	2	3	DAT01900
92	5	3	3	2	1	2	3	DAT01920
93	5	5	5	5	5	5	5	DAT01940
94	5	5	5	5	5	5	5	DAT01960
95	5	3	3	1	1	1	3	DAT01980
96	5	3	3	1	1	1	3	DAT02000
97	5	3	3	1	1	1	3	DAT02020
98	5	5	5	5	5	5	5	DAT02040
99	5	5	5	5	5	5	5	DAT02060
100	5	3	3	2	1	2	7	DAT02080
101	5	3	3	2	1	2	7	DAT02100
102	5	3	3	2	1	2	7	DAT02120
103	5	5	5	5	5	5	5	DAT02140
104	5	5	5	5	5	5	5	DAT02160
105	5	5	4	3	3	3	4	DAT02180
106	5	5	4	3	3	3	4	DAT02200
107	5	5	4	3	3	3	4	DAT02220
108	5	5	5	5	5	5	5	DAT02240
109	5	5	5	5	5	5	5	DAT02260
110	5	5	5	3	3	3	5	DAT02280
111	5	5	5	3	3	3	5	DAT02300
112	5	5	5	3	3	3	5	DAT02320
CARD,NO.	.....*	.....A.....*	.....B.....*	.....C.....*	.....D.....*	.....E.....*	.....F.....*	.....G

Table 7.2 Continued

CARD.NO.	.....*	.....A.....*	.....B.....*	.....C.....*	.....D.....*	.....E.....*	.....F.....*	.....G			
113	5	5	5	5	5	5	5	DAT02340											
114	5	5	5	5	5	5	5	DAT02360											
115	5	5	5	5	5	5	5	DAT02380											
116	5	5	5	5	5	5	5	DAT02400											
117	5	5	5	5	5	5	5	DAT02420											
118	5	5	5	5	5	5	5	DAT02440											
119	0085							DAT02460											
120	2	1	0					DAT02480											
121		1		11.255	0.008252	0.004602		DAT02500											
122	0.0			0.02533				DAT02520											
123		1		20.211	0.1003	0.1091		DAT02540											
124	0.0			0.0				DAT02560											
125		2		11.266	0.007181	0.004609		DAT02580											
126	0.0			0.02767				DAT02600											
127		2		20.1902	0.007047	0.08675		DAT02620											
128	0.0			0.0				DAT02640											
129		3		11.259	0.008002	0.004663		DAT02660											
130	0.0			0.02617				DAT02680											
131		3		20.2091	0.08344	0.1021		DAT02700											
132	0.0			0.0				DAT02720											
133		4		11.234	0.007122	0.004668		DAT02740											
134	0.0			0.02805				DAT02760											
135		4		20.1935	0.06552	0.08792		DAT02780											
136	0.0			0.0				DAT02800											
137		5		11.257	0.0006034	0.0		DAT02820											
138	0.0			0.04754				DAT02840											
139		5		20.1592	0.01911	0.0		DAT02860											
140	0.0			0.0				DAT02880											
141		6		11.259	0.008002	0.004663		DAT02900											
142	0.0			0.02617				DAT02920											
143		6		20.2091	0.08344	0.1021		DAT02940											
144	0.0			0.0				DAT02960											
145		7		11.234	0.007122	0.004668		DAT02980											
146	0.0			0.02805				DAT03000											
147		7		20.1935	0.06552	0.08792		DAT03020											
148	0.0			0.0				DAT03040											
149		8		11.266	0.007181	0.004609		DAT03042											
150	0.0			0.02767				DAT03044											
151		8		20.1902	0.007047	0.08675		DAT03046											
152	0.0			0.0				DAT03048											
153								DAT03060											
154	1.0			0.0				DAT03080											
155	040S							DAT03100											
156					2			DAT03120											
157	999							DAT03140											
158	END							DAT03160											
159							300.0	DAT03180											
160		1	11	11	2	10	10	3	9	9	4	8	8	5	7	7	6	6	DAT03200
161		7	5	5	8	4	4	9	3	3	10	2	2						DAT03220
162		3	4	17	2	3	3	3	3	3	3	3	18	18	3	3			DAT03240
163		3	2	3	4	17	3	3	3	18	18	3	4	17	18	19			DAT03260
164		3	18	13	18	18	3	18	19	4	17	1	4	17	4	17			DAT03280
165		2	18	19	16	17	4	10	11	10	11								DAT03300
166		1	1	4															DAT03320
167	23.0																		DAT03340
168	1.255			8.252	E-03	4.602	E-03	0.0				2.533	E-02						DAT03360
CARD.NO.	.....*	.....A.....*	.....B.....*	.....C.....*	.....D.....*	.....E.....*	.....F.....*	.....G			

Table 7.2 Continued

CARD.NO.	.....*	.....A.....*	.....B.....*	.....C.....*	.....D.....*	.....E.....*	.....F.....*	.....G	
169	1000.0							DAT03380	
170	1.255	8.712	E-03	4.602	E-03	0.0	2.533	E-02	DAT03400
171	2000.0								DAT03420
172	1.255	9.012	E-03	4.602	E-03	0.0	2.533	E-02	DAT03440
173	3000.0								DAT03460
174	1.255	9.250	E-03	4.602	E-03	0.0	2.533	E-02	DAT03480
175	2 1 4								DAT03500
176	23.0								DAT03520
177	1.268	7.181	E-03	4.609	E-03	0.0	2.767	E-02	DAT03540
178	1000.0								DAT03560
179	1.268	7.581	E-03	4.609	E-03	0.0	2.767	E-02	DAT03580
180	2000.0								DAT03600
181	1.268	7.842	E-03	4.609	E-03	0.0	2.767	E-02	DAT03620
182	3000.0								DAT03640
183	1.268	8.050	E-03	4.609	E-03	0.0	2.767	E-02	DAT03660
184	3 1 4								DAT03680
185	23.0								DAT03700
186	1.259	8.002	E-03	4.663	E-03	0.0	2.617	E-02	DAT03720
187	1000.0								DAT03740
188	1.259	8.448	E-03	4.663	E-03	0.0	2.617	E-02	DAT03760
189	2000.0								DAT03780
190	1.259	8.739	E-03	4.663	E-03	0.0	2.617	E-02	DAT03800
191	3000.0								DAT03820
192	1.259	8.970	E-03	4.663	E-03	0.0	2.617	E-02	DAT03840
193	4 1 4								DAT03860
194	23.0								DAT03880
195	1.234	7.122	E-03	4.668	E-03	0.0	2.805	E-02	DAT03900
196	1000.0								DAT03920
197	1.234	7.519	E-03	4.668	E-03	0.0	2.805	E-02	DAT03940
198	2000.0								DAT03960
199	1.234	7.778	E-03	4.668	E-03	0.0	2.805	E-02	DAT03980
200	3000.0								DAT04000
201	1.234	7.984	E-03	4.668	E-03	0.0	2.805	E-02	DAT04020
202	6 1 4								DAT04040
203	23.0								DAT04060
204	1.259	8.002	E-03	4.663	E-03	0.0	2.617	E-02	DAT04080
205	1000.0								DAT04100
206	1.259	8.448	E-03	4.663	E-03	0.0	2.617	E-02	DAT04120
207	2000.0								DAT04140
208	1.259	8.739	E-03	4.663	E-03	0.0	2.617	E-02	DAT04160
209	3000.0								DAT04180
210	1.259	8.970	E-03	4.663	E-03	0.0	2.617	E-02	DAT04200
211	7 1 4								DAT04220
212	23.0								DAT04240
213	1.234	7.122	E-03	4.668	E-03	0.0	2.805	E-02	DAT04260
214	1000.0								DAT04280
215	1.234	7.519	E-03	4.668	E-03	0.0	2.805	E-02	DAT04300
216	2000.0								DAT04320
217	1.234	7.778	E-03	4.668	E-03	0.0	2.805	E-02	DAT04340
218	3000.0								DAT04360
219	1.234	7.984	E-03	4.668	E-03	0.0	2.805	E-02	DAT04380
220	8 1 4								DAT04384
221	23.0								DAT04384
222	1.268	7.181	E-03	4.609	E-03	0.0	2.767	E-02	DAT04386
223	1000.0								DAT04388
224	1.268	7.581	E-03	4.609	E-03	0.0	2.767	E-02	DAT04390

CARD.NO.*.....A.....*.....B.....*.....C.....*.....D.....*.....E.....*.....F.....*.....G

CARD.NO.	.....*	.....A.....*	.....B.....*	.....C.....*	.....D.....*	.....E.....*	.....F.....*	.....G	
225	2000.0							DAT04392	
226	1.268	7.842	E-03	4.609	E-03	0.0	2.767	E-02	DAT04394
227	3000.0								DAT04396
228	1.268	8.050	E-03	4.609	E-03	0.0	2.767	E-02	DAT04398
229									DAT04400
230	2 0.0								DAT04420
231	6								DAT04440
232	18 19	2 11 16 17							DAT04460
233	2 1.0								DAT04480
234	7								DAT04500
235	18 19	2 6 16 17							DAT04520
236	2 2.0								DAT04540
237	7								DAT04560
238	18 19	2 11 16 17							DAT04580

CARD.NO.*.....A.....*.....B.....*.....C.....*.....D.....*.....E.....*.....F.....*.....G

***** INPUT CARD END *****

8. 結 言

準静的多次元空間依存炉心動特性解析コード EUREKA-SPACE を開発した。これにより、炉内の対称性あるいは非対称性を有する位置に生じた反応度の外乱に起因する炉心の核・熱・水力的空間依存動特性を、現実的な計算時間の範囲内で解析しうるものとする。なお、本プログラムを動力炉の反応度事故解析に適用した結果については、今後別報として報告する予定である。

謝 辞

本コードの開発に当っては、その基となった動特性コード EUREKA の作成者の一人である安全工学部反応度安全研究室長石川迪夫氏に有益なる御指導を賜った。また、プログラムの作成に当っては、センチュリ・リサーチ・センタ株式会社の富合一夫氏に技術的な御協力を頂いた。富士通株式会社の奈良岡賢一氏には、本コードを FACOM 230/75 にファイルする作業に当って御協力願った。さらに中部電力株式会社の竹内栄次氏および電力中央研究所の八田 洋氏には、両氏が行った 2 次元体系の準静的空間動特性の解析結果を参照させていただいた。

以上の諸氏に対し、ここに深甚の謝意を表わします。

参 考 文 献

- (1) W. M. Stacey, Jr. : "Space - Time Nuclear Reactor Kinetics ", Nuclear Science and Technology, Vol. 5, Academic Press, 1969.
- (2) 竹内栄次, 八田 洋, 石川迪夫: "動特性解析における空間依存性の効果", JAERI - memo 4352 (公開), 1971.
- (3) 石川迪夫他: "軽水動力炉の動特性コード EUREKA", JAERI - memo 3592 (公開), 1969.
- (4) M. Ishikawa et al. : "EUREKA: A Computer Code for Uranium-Oxide Fueled, Water Cooled Reactor Kinetic Analysis", JAERI - 1235, 1974.
- (5) T. B. Fowler, D. R. Vondy : "Nuclear Reactor Analysis Code: CITATION", ORNL - TM - 2496, Rev. 1, 1969.
- (6) W. H. Jens, P. A. Lottes : "Analysis of Heat Transfer, Burnout, Pressure Drop and Density Data for High Pressure Water", ANL - 4627, 1951.
- (7) L. S. Tong, H. B. Currin, A. G. Thorp : "New DNB (Burnout) Correlations", WCAP - 1997, Rev. 2, 1963.

8. 結 言

準静的多次元空間依存炉心動特性解析コード EUREKA-SPACE を開発した。これにより、炉内の対称性あるいは非対称性を有する位置に生じた反応度の外乱に起因する炉心の核・熱・水力的空間依存動特性を、現実的な計算時間の範囲内で解析しうるものとする。なお、本プログラムを動力炉の反応度事故解析に適用した結果については、今後別報として報告する予定である。

謝 辞

本コードの開発に当っては、その基となった動特性コード EUREKA の作成者の一人である安全工学部反応度安全研究室長石川迪夫氏に有益なる御指導を賜った。また、プログラムの作成に当っては、センチュリ・リサーチ・センタ株式会社の富合一夫氏に技術的な御協力を頂いた。富士通株式会社の奈良岡賢一氏には、本コードを FACOM 230/75 にファイルする作業に当って御協力願った。さらに中部電力株式会社の竹内栄次氏および電力中央研究所の八田 洋氏には、両氏が行った 2 次元体系の準静的空間動特性の解析結果を参照させていただいた。

以上の諸氏に対し、ここに深甚の謝意を表わします。

参 考 文 献

- (1) W. M. Stacey, Jr. : "Space - Time Nuclear Reactor Kinetics ", Nuclear Science and Technology, Vol. 5, Academic Press, 1969.
- (2) 竹内栄次, 八田 洋, 石川迪夫: "動特性解析における空間依存性の効果", JAERI - memo 4352 (公開), 1971.
- (3) 石川迪夫他: "軽水動力炉の動特性コード EUREKA", JAERI - memo 3592 (公開), 1969.
- (4) M. Ishikawa et al. : " EUREKA: A Computer Code for Uranium - Oxide Fueled, Water Cooled Reactor Kinetic Analysis ", JAERI - 1235, 1974.
- (5) T. B. Fowler, D. R. Vondy : " Nuclear Reactor Analysis Code : CITATION ", ORNL - TM - 2496, Rev. 1, 1969.
- (6) W. H. Jens, P. A. Lottes : " Analysis of Heat Transfer, Burnout, Pressure Drop and Density Data for High Pressure Water ", ANL - 4627, 1951.
- (7) L. S. Tong, H. B. Currin, A. G. Thorp : " New DNB (Burnout) Correlations ", WCAP - 1997, Rev. 2, 1963.

8. 結 言

準静的多次元空間依存炉心動特性解析コード EUREKA-SPACE を開発した。これにより、炉内の対称性あるいは非対称性を有する位置に生じた反応度の外乱に起因する炉心の核・熱・水力的空間依存動特性を、現実的な計算時間の範囲内で解析しうるものとする。なお、本プログラムを動力炉の反応度事故解析に適用した結果については、今後別報として報告する予定である。

謝 辞

本コードの開発に当っては、その基となった動特性コード EUREKA の作成者の一人である安全工学部反応度安全研究室長石川迪夫氏に有益なる御指導を賜った。また、プログラムの作成に当っては、センチュリ・リサーチ・センタ株式会社の富合一夫氏に技術的な御協力を頂いた。富士通株式会社の奈良岡賢一氏には、本コードを FACOM 230/75 にファイルする作業に当って御協力願った。さらに中部電力株式会社の竹内栄次氏および電力中央研究所の八田 洋氏には、両氏が行った 2 次元体系の準静的空間動特性の解析結果を参照させていただいた。

以上の諸氏に対し、ここに深甚の謝意を表わします。

参 考 文 献

- (1) W. M. Stacey, Jr. : "Space - Time Nuclear Reactor Kinetics ", Nuclear Science and Technology, Vol. 5, Academic Press, 1969.
- (2) 竹内栄次, 八田 洋, 石川迪夫: "動特性解析における空間依存性の効果", JAERI - memo 4352 (公開), 1971.
- (3) 石川迪夫他: "軽水動力炉の動特性コード EUREKA", JAERI - memo 3592 (公開), 1969.
- (4) M. Ishikawa et al. : " EUREKA: A Computer Code for Uranium - Oxide Fueled, Water Cooled Reactor Kinetic Analysis ", JAERI - 1235, 1974.
- (5) T. B. Fowler, D. R. Vondy : " Nuclear Reactor Analysis Code : CITATION ", ORNL - TM - 2496, Rev. 1, 1969.
- (6) W. H. Jens, P. A. Lottes : " Analysis of Heat Transfer, Burnout, Pressure Drop and Density Data for High Pressure Water ", ANL - 4627, 1951.
- (7) L. S. Tong, H. B. Currin, A. G. Thorp : " New DNB (Burnout) Correlations ", WCAP - 1997, Rev. 2, 1963.

付録 サンプル計算結果

EUREKA-SPACE

A QUASISTATIC SPACE-DEPENDENT MODEL
FOR ANALYZING REACTOR KINETICS
WITH FEEDBACK

CASE NO. 1
DATE 05/13/77
NAME SAMPLE CALCULATION FOR BWR ROD WITHDRAWAL

PAGE 1

INPUT DATA EDIT

DATA FOR 2 TIME STEP SETS.

SET NUM	THYD PER MINH	MINH PER MAJR	MAJR PER TPRT	TSTP OF NUCL (SEC)	TSTP OF HYDR (SEC)	END TIME OF INTERVAL (SEC)
1	1	25	1000	0.00100	0.00500	2.00000
2	1	25	1000	0.00020	0.00200	5.00000

EDIT IDENTIFICATION NUMBERS.

1	2	3	4	5	6
CV(1 1 0)	CT(2 10 0)	CE(3 6 0)	CD(4 3 0)	FT(4 9 1)	EG(1 10 0)
7	8	9	10	11	12
IV(3 0 0)	CFT(2 0 0)	CCT(4 0 0)	SF(1 6 0)	FAT(4 3 0)	TPD(3 0 0)
13	14	15			
TH(1 0 0)	HTC(4 3 0)	DR(0 0 0)			

PAGE 2

INPUT DATA EDIT

---- GENERAL INFORMATION ----

FUEL RADIAL NODES	=	16	AXIAL NODES	=	10
NO. OF REG. IN FUEL CANNEL	=	4	REG. NO. OF GAP	=	2
	=	4	NO. OF FUEL ELEMENT	=	15288
PELLET RADIUS	=	0.62000E-02 (M)	CLAD RADIUS (INNER)	=	0.63400E-02 (M)
CLAD RADIUS (OUTER)	=	0.72400E-02 (M)	EQ. CELL RADIUS	=	0.10570E+00 (M)
FUEL IN. DEAD LENGTH	=	0.30000E+00 (M)	FUEL OUT. DEAD LENGTH	=	0.30000E+00 (M)
FUEL DENSITY	=	0.10302E+05 (KG/M**3)	CLAD DENSITY	=	0.65500E+04 (KG/M**3)
REACTOR POWER	=	0.13800E-02 (MW)	OPERATING PRESSURE	=	0.71700E+02 (KG/CM**2)
COOLANT FLOW RATE	=	0.43600E+04 (M**3/HR)	COOLANT INLET TEMP.	=	0.27590E+03 (DEG. C)
PROMPT NEUT. TIME	=	0.49000E-04 (SEC)	EFF. DLYD. NEUT. FRACT.	=	0.72000E-02
NO. DLYD. NEUT. GROUP	=	0.60000E+01	WATER HEAT SOURCE	=	0.26000E-01
NUC. BOIL. TEMP. ERROR (C)	=	0.10000E-01	HEAT FLUX TEST VALUE	=	0.10000E-02
PRESS. DROP TEST VALUE	=	0.50000E-02	CLAD TEMP. TEST VALUE	=	0.10000E+00
OPT. FOR DNB. FLUX	=	0.10000E+01	FDBK. COMP. TEST VALUE	=	0.50000E-02
MLT. FOR POOL BOIL=2	=	0.33300E+00	MLT. FOR POOL BOIL=1	=	0.14900E+01
HEAT TRNS. CO. TEST VALUE	=	0.10000E-01			
TOTAL FUEL VOLUME	=	0.49848E+01 (M**3)	TOTAL FLOW AREA	=	0.53408E+03 (M**2)
CELL FLOW AREA	=	0.34935E-01 (M**2)	EQUI. DIA. OF CEL	=	0.30718E-01 (M)
EFFECTIVE FUEL LENGTH	=	0.27000E+01 (M)	REF. COOLANT VELOCITY	=	0.22676E-02 (M/SEC)
COOLANT INLET TEMP.	=	0.23611E+03 (DEG. C)	COOLANT INLET ENTHALPY	=	0.29020E+03 (KCAL/KG)
COOLANT SAT. TEMP.	=	0.28611E+03 (DEG. C)	COOLANT SAT. ENTHALPY	=	0.30292E+03 (KCAL/KG)
VAPOUR SAT. ENTHALPY	=	0.66187E+03 (KCAL/KG)	LIQUID SAT. DENSITY	=	0.73985E+03 (KG/M**3)
VAPOUR SAT. DENSITY	=	0.36735E+02 (KG/M**3)	POWER CONV. FACTOR	=	0.57852E-02 (KCAL/M)
FLOW TRANSIENT	=	0	INLET TEMP. TRANSIENT	=	0
NO FUEL RUPTURE	=	1	INTERVAL VOLUME CALC.	=	0

---- TEMPERATURE DEPENDENT MATERIAL CONSTANTS ----

FUEL

THERMAL CONDUCTIVITY (KCAL/M*HR*DC) RAMF = 0.39265E+01 + -0.33520E-02 * T + 0.11350E-05 * T ** 2
 HEAT CAPACITY (KCAL/KG) CAP = 0.65700E-01 + -0.95560E-06 * T + 0.81230E-08 * T ** 2
 EXPANSION COEFFICIENT ALF = 0.10000E-04 + 0.0 * T + 0.0 * T ** 2

GAP

THERMAL CONDUCTANCE (KCAL/M**2*HR*DC) RAMG = (0.63500E+01 + 0.34400E-01 * T + -0.79000E-05 * T ** 2) /
 (0.22360E+02 + DELH*10E6)

CLAD

THERMAL CONDUCTIVITY (KCAL/M*HR*DC) RAMC = 0.10546E+02 + 0.10962E-01 * T + 0.0 * T ** 2
 HEAT CAPACITY (KCAL/KG) CAP = 0.70000E-01 + 0.25000E-03 * T + 0.0 * T ** 2
 EXPANSION COEFFICIENT ALC = 0.56000E-06 + 0.32000E-08 * T + 0.0 * T ** 2

COOLANT

TEMPERATURE (DEG.C) TW = -0.41929E+02 + 0.13851E+01 * H + -0.99737E-03 * H ** 2
 DENSITY (KG/M*3) RO = 0.94193E+03 + 0.22912E+00 * H + -0.29574E-02 * H ** 2
 THERMAL CONDUCTIVITY (KCAL/M*HR*DC) SKE1 = 0.49088E+00 + 0.14291E-02 * H + -0.51164E-05 * H ** 2
 KINETIC VISCOSITY (M**2/SEC) SNU = 0.10267E-05 + -0.88380E-08 * H + 0.20290E-10 * H ** 2
 VAPOR KINETIC VISCOSITY (M**2/SEC)
 PRNTLD NUMBER PRTL = 0.71296E+01 + -0.65710E-01 * H + 0.15669E-03 * H ** 2

PARAMETER T IS COOLANT TEMPERATURE
 PARAMETER H IS COOLANT ENTHALPY

---- KINETIC INFORMATION ----

GROUP NO.	DELAYED NEUTRON FRACTION	DECAY CONSTANT
1	0.32900E+01	0.12400E-01
2	0.21900E+00	0.30500E-01
3	0.19620E+00	0.11110E+00
4	0.39490E+00	0.30100E+00
5	0.11520E+00	0.11400E+01
6	0.41800E-01	0.30100E+01

DOPPLER COEFFICIENT

DKDDP = -0.36180E-01 + 0.0 * TFA + 0.0 * TFA ** 2 + 0.0 * TFA ** 3 /
 + 0.19240E-02 * TFA ** 0.50000E+00

VOID COEFFICIENT

DKVOID = 0.10000E+00 * PHAI + 0.28000E+00 * PHAI ** 2

TEMPERATURE COEFFICIENT

DKTEM = 0.25000E-04 * TW + 0.76250E-06 * TW ** 2 + 0.0 * TW ** 3

KINETIC PARAMETER

TIME (SEC)	REACTIVITY (DK/K)	TIME (SEC)	FLOW (M**3/HR)	TIME(SEC)	TEMPERATURE(DC)
0.0	0.0				
0.25000E+00	0.16700E-02				
0.50000E+00	0.33300E-02				
0.75000E+00	0.50000E-02				
0.10000E+01	0.66700E-02				
0.12000E+01	0.80000E-02				
0.10000E+02	0.80000E-02	*****	*****		

---- ERROR MESSAGE ----

DIFFERENT CHANNELS FOR TEMPERATURE CALCULATION ARE SPECIFIED AGAINST THE SAME MATERIAL ZONE FOR NEUTRON FLUX CALCULATION.

 ** ZONE NO. 5: CHANNEL NO. 1
 ** ZONE NO. 5: CHANNEL NO. 2
 ** ZONE NO. 5: CHANNEL NO. 3
 ** ZONE NO. 5: CHANNEL NO. 4

JAERI-M 7183

---- NEUTRON DIFFUSION CALCULATION ----

TIME = 0.0 (SEC)

THIS JOB IS DONE SUBJECT TO CRITERION 1

(1 = INITIAL CALCULATION /
2 = SPECIFIED TIME /
3 = FULL TEMPERATURE INCREMENT)

NEUTRON FLUX AND ADJOINT FLUX CALCULATION
X=Y=Z 3 DIMENSION , 2 GROUPS

GENERAL CONTROL INPUT - SECTION 001

0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 -1 1 0 6 0 0 0
1 0 1 1 0
100 0 10 2 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 60 30 60 30 60 120
1.000000E+01 1.000000E+01 1.000000E+11 1.000000E+00 0.0 1.000000E+00

NEUTRON FLUX PROBLEM DESCRIPTION - SECTION 003

0 0 0 0 11 0
1.000000E+02 1.000000E-03 1.000000E-04 1.000000E-03 1.000000E-04 0.0
0.0 0.0 1.000000E+00 1.000000E+00 1.000000E+00 0.0

LEFT-TOP-RIGHT-BOTTOM-FRONT-BACK BOUNDARY CONDITIONS ARE

4.692000E-01 4.692000E-01 4.692000E-01 4.692000E-01 4.692000E-01 4.692000E-01

THREE DIMENSIONAL SLAB GEOMETRY (X,Y,Z) WIDTH 3.300000E+02 HEIGHT 3.600000E+02 DEPTH 3.300000E+02

REGION SPECIFICATIONS

PTS REGION WIDTH
1 3.000000E+01 1 1.500000E+01 1 1.500000E+01 2 3.000000E+01 4 6.000000E+01 2 3.000000E+01
4 6.000000E+01 2 3.000000E+01 1 1.500000E+01 1 1.500000E+01 1 3.000000E+01
PTS REGION HEIGHT
1 4.500000E+01 1 1.500000E+01 8 2.400000E+02 1 1.500000E+01 1 4.500000E+01
PTS REGION DEPTH
1 3.000000E+01 1 1.500000E+01 1 1.500000E+01 2 3.000000E+01 4 6.000000E+01 2 3.000000E+01
4 6.000000E+01 2 3.000000E+01 1 1.500000E+01 1 1.500000E+01 1 3.000000E+01

X-DIR, POINTS 20 Y-DIR, POINTS 12 Z-DIR, POINTS 20

DISTANCES TO MESH INTERVAL INTERFACES

J DIST, 2 30,000 3 45,000 4 60,000 5 75,000 6 90,000 7 105,000 8 120,000 9 135,000 10 150,000
11 165,000 12 180,000 13 195,000 14 210,000 15 225,000 16 240,000 17 255,000 18 270,000 19 285,000
20 300,000 21 330,000

I DIST, 2 45,000 3 60,000 4 90,000 5 120,000 6 150,000 7 180,000 8 210,000 9 240,000 10 270,000
11 300,000 12 315,000 13 360,000

KB DIST 2 30,000 3 45,000 4 60,000 5 75,000 6 90,000 7 105,000 8 120,000 9 135,000 10 150,000
11 165,000 12 180,000 13 195,000 14 210,000 15 225,000 16 240,000 17 255,000 18 270,000 19 285,000
20 300,000 21 330,000

DISTANCES TO FLUX POINTS

J DIST, 1 15,000 2 37,500 3 52,500 4 67,500 5 82,500 6 97,500 7 112,500 8 127,500 9 142,500
10 157,500 11 172,500 12 187,500 13 202,500 14 217,500 15 232,500 16 247,500 17 262,500 18 277,500
19 292,500 20 315,000

I DIST, 1 22,500 2 52,500 3 75,000 4 105,000 5 135,000 6 165,000 7 195,000 8 225,000 9 255,000
10 285,000 11 307,500 12 337,500

KB DIST 1 15,000 2 37,500 3 52,500 4 67,500 5 82,500 6 97,500 7 112,500 8 127,500 9 142,500
10 157,500 11 172,500 12 187,500 13 202,500 14 217,500 15 232,500 16 247,500 17 262,500 18 277,500
19 292,500 20 315,000

ZONE INPUT BY REGION

PLANE NUMBER 1

5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5

PLANE NUMBER 2

5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
5 5 5 3 3 3 3 3 3 3 3 3
5 5 5 3 3 3 3 3 3 3 3 3
5 5 5 3 3 3 3 3 3 3 3 3
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5

PLANE NUMBER 3

5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
5 5 4 3 3 3 3 3 4 5 5 5
5 5 4 3 3 3 3 3 4 5 5 5
5 5 4 3 3 3 3 3 4 5 5 5
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5

PLANE NUMBER 4

5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
5 3 3 2 1 2 1 2 3 3 3 3
5 3 3 2 1 2 1 2 3 3 3 3
5 3 3 2 1 2 1 2 3 3 3 3
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5

PLANE NUMBER 5

5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
5 3 3 1 1 1 1 1 3 3 3 3
5 3 3 1 1 1 1 1 3 3 3 3
5 3 3 1 1 1 1 1 3 3 3 3
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5

PLANE NUMBER 6

5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
5 3 3 2 1 2 1 2 3 3 3 3
5 3 3 2 1 2 1 2 3 3 3 3
5 3 3 2 1 2 1 2 3 3 3 3
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5

PLANE NUMBER 7

5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5


```

4 5 5 5 3 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
6 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
7 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
8 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
9 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
10 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
11 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
12 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
    
```

FISSION SOURCE DISTRIBUTION AND SUM 1.00000 0.0 1.00000

PERTURBATION INPUT - SECTION 040
0 0 0 0 0 0 0 2 0 0 0 0 0,0 0,0 0,0

CORE STORAGE DIFFERENCE (WORDS) EQUATION CONSTANTS (/O INSTEAD OF STORED 20080

EQUATION CONSTANTS WILL BE STORED IN CORE

NUMBER OF---COLUMNS, ROWS, PLANES, GROUPS, UPSCAT, DOWNSCAT, REGIONS, AND ZONES 20 12 20 2 0 1 607 8

MEMORY LOCATIONS RESERVED FOR DATA STORAGE--- 80000
MEMORY LOCATIONS USED FOR THIS PROBLEM----- 72706
MEMORY LOCATIONS NOT USED----- 7294

ZONE MACROSCOPIC CROSS SECTIONS

ZONE	NAME	GRP	D	SIGR	SIGA	NUSIGF	BSS	POWER/FLUX
1		1	1,25500E+00	2,53300E-02	8,25200E-03	4,60200E-03	0,0	4,60200E+03
		2	2,11000E+01	0,0	1,00300E-01	1,09100E-01	0,0	1,09100E+03
2		1	1,26800E+00	2,76700E-02	7,18100E-03	4,60900E-03	0,0	4,60900E+03
		2	1,90200E-01	0,0	7,04700E-03	8,67500E-02	0,0	8,67500E+04
3		1	1,25900E+00	2,61700E-02	8,00200E-03	4,66300E-03	0,0	4,66300E+03
		2	2,09100E-01	0,0	8,34400E-02	1,02100E-01	0,0	1,02100E+03
4		1	1,23400E+00	2,80500E-02	7,12200E-03	4,66800E-03	0,0	4,66800E+03
		2	1,93500E-01	0,0	6,55200E-02	8,79200E-02	0,0	8,79200E+04
5		1	1,25700E+00	4,75400E-02	6,03400E-04	0,0	0,0	0,0
		2	1,59200E-01	0,0	1,91100E-02	0,0	0,0	0,0
6		1	1,25900E+00	2,61700E-02	8,00200E-03	4,66300E-03	0,0	4,66300E+03
		2	2,09100E-01	0,0	8,34400E-02	1,02100E-01	0,0	1,02100E+03
7		1	1,23400E+00	2,80500E-02	7,12200E-03	4,66800E-03	0,0	4,66800E+03
		2	1,93500E-01	0,0	6,55200E-02	8,79200E-02	0,0	8,79200E+04
8		1	1,26800E+00	2,76700E-02	7,18100E-03	4,60900E-03	0,0	4,60900E+03
		2	1,90200E-01	0,0	7,04700E-03	8,67500E-02	0,0	8,67500E+04

SCATTERING MATRIX

ZONE	GRP	TO GRP	1	2
1	1		0,0	2,53300E-02
	2		0,0	0,0
2	1		0,0	2,76700E-02
	2		0,0	0,0
3	1		0,0	2,61700E-02
	2		0,0	0,0
4	1		0,0	2,80500E-02
	2		0,0	0,0
5	1		0,0	4,75400E-02
	2		0,0	0,0
6	1		0,0	2,61700E-02
	2		0,0	0,0
7	1		0,0	2,80500E-02
	2		0,0	0,0
8	1		0,0	2,76700E-02
	2		0,0	0,0

NEUTRON FLUX AND ADJOINT FLUX CALCULATION

X-Y-Z 3 DIMENSION, 2 GROUPS

LINE RELAXATION WILL BE DONE ON ROWS - 3 INNER ITERATION(S)

Table with columns: ITERATION, FLUX CHANGE, BETA, MU=1, MU=2, MU=3, K. Rows 1-28 showing iteration results.

END OF EIGENVALUE CALCULATION - ITERATION TIME 1.808 MINUTES

LEAKAGE 3.34941E-05 TOTAL LOSSES 1.60891E-01 TOTAL PRODUCTIONS 1.00000E+00 REACTOR POWER(WATTS) 1.00000E+06

ADJOINT PROBLEM FOLLOWS

Table with columns: ITERATION, FLUX CHANGE, BETA, MU=1, MU=2, MU=3, K. Rows 1-18 showing adjoint problem iteration results.

END OF ADJOINT CALCULATION - ITERATION TIME 3.154 MINUTES

NEUTRON FLUX AND ADJOINT FLUX CALCULATION

X-Y-Z 3 DIMENSION, 2 GROUPS

PERTURBATION RESULTS---DELTA-K/(K*DELTA-S) WHERE S REPRESENTS MACRO, CROSS SECTIONS,

LAMBDA(PHI* M PHI) = 2.570763E-07

Table with columns: COMP, NAME, GRP, SIGMA, SIGR, DB, NU, SIGF, DIFF, COEF, B**2. Rows 1-8 showing perturbation results.

COMP NAME GRP, K --- SIGS(FROM ALL GRPS, KK TO GRP, K)

Table with columns: COMP, NAME, GRP, K, SIGS. Rows 1-8 showing perturbation results for different components.

END OF CASE - TOTAL CPU TIME *AS 3.19 MINUTES TOTAL CLOCK TIME *AS 10.56 MINUTES

JOB ENDED NORMALLY

---- FUEL AXIAL INFORMATION ----

AXIAL NODE NO.	HEIGHT OF EACH NODE (CM)	NODE INTERVAL (CM)	HEIGHT OF REGION BOUNDARY (CM)	ROW NUMBER SPECIFIED FOR EACH REGION
1	0.0		0.0	11 TO 11
2	0.30000E+00	0.30000E+00	0.15000E+00	10 TO 10
3	0.60000E+00	0.30000E+00	0.45000E+00	9 TO 9
4	0.90000E+00	0.30000E+00	0.75000E+00	8 TO 8
5	0.12000E+01	0.30000E+00	0.10500E+01	7 TO 7
6	0.15000E+01	0.30000E+00	0.13500E+01	6 TO 6
7	0.18000E+01	0.30000E+00	0.16500E+01	5 TO 5
8	0.21000E+01	0.30000E+00	0.19500E+01	4 TO 4
9	0.24000E+01	0.30000E+00	0.22500E+01	3 TO 3
10	0.27000E+01	0.30000E+00	0.25500E+01	2 TO 2
			0.27000E+01	

---- CHANNEL SPECIFICATION FOR MESH REGION ----

CHANNEL NUMBER ASSIGNED FOR EACH MESH REGION EMPLOYED IN NEUTRON FLUX CALCULATION

COLUMN NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
PLANE NO.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	0
	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	0
	0	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	0
	0	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	0
	0	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	0
	0	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	0
	0	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	0
	0	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	0
	0	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	0
	0	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	0
	0	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	0
	0	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	0
	0	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	0
	0	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	0
	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	0	0
	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

---- CHANNEL INFORMATION ----

CHANNEL 1
 CHANNEL AREA = 0.32867E+03 (M²) NO. OF FUEL IN CHANNEL = 9408
 INLET PRESS. COEFF. = 0.31200E+03 OUTLET PRESS. COEFF. = 0.58300E+00

AXIAL NODE	HEAT SOURCE	DOPPLER FEEDBACK WEIGHTING FACTOR	MODERATOR FEEDBACK WEIGHTING FACTOR	FRACTIONAL VOLUME
1	0.61486E+00	0.24436E+00	0.24860E+00	0.34188E-01
2	0.10234E+01	0.67863E+00	0.68609E+00	0.66376E-01
3	0.14874E+01	0.14197E+01	0.14339E+01	0.68376E-01
4	0.17919E+01	0.20718E+01	0.20929E+01	0.68376E-01
5	0.19137E+01	0.23959E+01	0.24217E+01	0.68376E-01
6	0.18809E+01	0.23311E+01	0.23563E+01	0.68376E-01
7	0.17119E+01	0.19247E+01	0.19448E+01	0.68376E-01
8	0.14053E+01	0.12892E+01	0.13024E+01	0.68376E-01
9	0.97268E+00	0.61665E+00	0.62312E+00	0.68376E-01
10	0.58543E+00	0.22218E+00	0.22588E+00	0.34188E-01

--- CHANNEL INFORMATION ---

CHANNEL 2

CHANNEL AREA = 0.68472E+01 (M**2) NO. OF FUEL IN CHANNEL = 196
 INLET PRESS. COEFF. = 0.54210E+02 OUTLET PRESS. COEFF. = 0.58300E+00

AXIAL NODE	HEAT SOURCE	DOPPLER FEEDBACK WEIGHTING FACTOR	MODERATOR FEEDBACK WEIGHTING FACTOR	FRACTIONAL VOLUME
1	0.58793E-01	0.14712E-01	0.50182E-03	0.71225E-03
2	0.98034E-01	0.40987E-01	0.13896E-02	0.14245E-02
3	0.14240E+00	0.85639E-01	0.29016E-02	0.14245E-02
4	0.17145E+00	0.12489E+00	0.42319E-02	0.14245E-02
5	0.18306E+00	0.14441E+00	0.48943E-02	0.14245E-02
6	0.17993E+00	0.14051E+00	0.47614E-02	0.14245E-02
7	0.16978E+00	0.11601E+00	0.39302E-02	0.14245E-02
8	0.13447E+00	0.77700E-01	0.26322E-02	0.14245E-02
9	0.93084E-01	0.37164E-01	0.12593E-02	0.14245E-02
10	0.55904E-01	0.13337E-01	0.45463E-03	0.71225E-03

--- CHANNEL INFORMATION ---

CHANNEL 3

CHANNEL AREA = 0.19172E+03 (M**2) NO. OF FUEL IN CHANNEL = 5488
 INLET PRESS. COEFF. = 0.54210E+02 OUTLET PRESS. COEFF. = 0.58300E+00

AXIAL NODE	HEAT SOURCE	DOPPLER FEEDBACK WEIGHTING FACTOR	MODERATOR FEEDBACK WEIGHTING FACTOR	FRACTIONAL VOLUME
1	0.27039E-01	0.59644E-02	0.19852E-03	0.19943E-01
2	0.45118E-01	0.16627E-01	0.55006E-03	0.39886E-01
3	0.65557E-01	0.34764E-01	0.11495E-02	0.39886E-01
4	0.78959E-01	0.50722E-01	0.16773E-02	0.39886E-01
5	0.84337E-01	0.58676E-01	0.19404E-02	0.39886E-01
6	0.82902E-01	0.57100E-01	0.18880E-02	0.39886E-01
7	0.75452E-01	0.47142E-01	0.15584E-02	0.39886E-01
8	0.61935E-01	0.31571E-01	0.10436E-02	0.39886E-01
9	0.42865E-01	0.15099E-01	0.49926E-03	0.39886E-01
10	0.25735E-01	0.54186E-02	0.18024E-03	0.19943E-01

--- CHANNEL INFORMATION ---

CHANNEL 4

CHANNEL AREA = 0.68472E+01 (M**2) NO. OF FUEL IN CHANNEL = 196
 INLET PRESS. COEFF. = 0.54210E+02 OUTLET PRESS. COEFF. = 0.58300E+00

AXIAL NODE	HEAT SOURCE	DOPPLER FEEDBACK WEIGHTING FACTOR	MODERATOR FEEDBACK WEIGHTING FACTOR	FRACTIONAL VOLUME
1	0.34096E+01	0.13132E+01	0.13736E+01	0.71225E-03
2	0.56402E+01	0.36528E+01	0.37976E+01	0.14245E-02
3	0.82720E+01	0.76693E+01	0.79605E+01	0.14245E-02
4	0.99809E+01	0.11215E+02	0.11650E+02	0.14245E-02
5	0.10668E+02	0.12990E+02	0.13502E+02	0.14245E-02
6	0.10487E+02	0.12647E+02	0.13146E+02	0.14245E-02
7	0.95416E+01	0.10442E+02	0.10850E+02	0.14245E-02
8	0.78279E+01	0.69905E+01	0.72621E+01	0.14245E-02
9	0.54148E+01	0.33423E+01	0.34732E+01	0.14245E-02
10	0.32599E+01	0.12052E+01	0.12599E+01	0.71225E-03

---- FUEL PIN INFORMATION ----

RADIAL NODE	RADIAL LENGTH (M)	INTERVAL LENGTH (M)	HEAT SOURCE	COMPOSITION
1	0.0		0.13776E+01	1
2	0.62000E-03	0.62000E-03	0.13835E+01	1
3	0.12400E-02	0.62000E-03	0.13915E+01	1
4	0.18600E-02	0.62000E-03	0.14016E+01	1
5	0.24800E-02	0.62000E-03	0.14138E+01	1
6	0.31000E-02	0.62000E-03	0.14284E+01	1
7	0.37200E-02	0.62000E-03	0.14457E+01	1
8	0.43400E-02	0.62000E-03	0.14664E+01	1
9	0.49600E-02	0.62000E-03	0.14912E+01	1
10	0.55800E-02	0.62000E-03	0.15209E+01	1
11	0.62000E-02	0.14000E-03	0.0	2
12	0.63400E-02	0.30000E-03	0.0	3
13	0.66400E-02	0.30000E-03	0.0	3
14	0.69400E-02	0.30000E-03	0.0	3
15	0.72400E-02	0.30000E-03	0.0	3
16	0.10570E+00	0.98460E-01	0.0	4

---- CRITERIA FOR RECALCULATION OF NEUTRON FLUX ----

FUEL TEMPERATURE INCREMENT AT CHANNEL 4 = 300.00 (DEG.C)

----- ERROR MESSAGE -----

DIFFERENT CHANNELS FOR TEMPERATURE CALCULATION ARE SPECIFIED AGAINST THE SAME MATERIAL ZONE FOR NEUTRON FLUX CALCULATION.

```

-----
** ZONE NO. 3, CHANNEL NO. 1
** ZONE NO. 5, CHANNEL NO. 2
** ZONE NO. 5, CHANNEL NO. 3
** ZONE NO. 5, CHANNEL NO. 4
-----

```

GEOMETRICAL MESH-OVERLAY

----- ERROR MESSAGE -----

DIFFERENT CHANNELS FOR TEMPERATURE CALCULATION ARE SPECIFIED AGAINST THE SAME MATERIAL ZONE FOR NEUTRON FLUX CALCULATION.

```

-----
** ZONE NO. 5, CHANNEL NO. 1
** ZONE NO. 5, CHANNEL NO. 2
** ZONE NO. 5, CHANNEL NO. 3
** ZONE NO. 5, CHANNEL NO. 4
-----

```

TIME = 1.0000(SEC)

SPECIFICATION FOR LAYER NUMBER 16

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
2	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	7	7	5
3	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	7	7	5
4	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	7	7	5
5	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	7	7	5
6	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	6	6	5
7	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	6	6	5
8	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	6	6	5
9	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	6	6	5
10	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	6	6	5
11	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	6	6	5
12	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	

SPECIFICATION FOR LAYER NUMBER 17

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
2	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	7	7	5
3	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	7	7	5
4	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	7	7	5
5	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	7	7	5
6	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	6	6	5
7	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	6	6	5
8	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	6	6	5
9	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	6	6	5
10	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	6	6	5
11	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	6	6	5
12	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	

---- ERROR MESSAGE ----

DIFFERENT CHANNELS FOR TEMPERATURE CALCULATION ARE SPECIFIED AGAINST THE SAME MATERIAL ZONE FOR NEUTRON FLUX CALCULATION.

 ** ZONE NO. 5: CHANNEL NO.: 1
 ** ZONE NO. 5: CHANNEL NO.: 2
 ** ZONE NO. 5: CHANNEL NO.: 3
 ** ZONE NO. 5: CHANNEL NO.: 4

TIME = 2.0000(SEC)

SPECIFICATION FOR LAYER NUMBER 16

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
2	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	7	7	5
3	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	7	7	5
4	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	7	7	5
5	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	7	7	5
6	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	7	7	5
7	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	7	7	5
8	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	7	7	5
9	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	7	7	5
10	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	7	7	5
11	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	7	7	5
12	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

SPECIFICATION FOR LAYER NUMBER 17

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
2	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	7	7	5
3	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	7	7	5
4	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	7	7	5
5	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	7	7	5
6	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	7	7	5
7	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	7	7	5
8	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	7	7	5
9	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	7	7	5
10	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	7	7	5
11	5	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	7	7	5
12	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

TRANSIENT OUTPUT

TIME STEP NUMBER 0

ELAPSED REACTOR TIME (SEC)	0.0	DOPPLER (DOLLARS)	0.0
TIME INCREMENT (SEC)	0.0050	CLAD EXPANSION (DOLLARS)	0.0
REACTOR POWER (MW)	0.13800E-02	TEMPERATURE (DOLLARS)	0.0
EXCURSION POWER (MW*SEC)	0.0	VOID (DOLLARS)	0.0
INSERTED REACTIVITY (DOLLARS)	0.0	AVERAGE FUEL TEMP. (DEG. C)	276.0280
COMPENSATED REACTIVITY (DOLLARS)	0.0	AVERAGE CLAD TEMP. (DEG. C)	276.0273
INVERSE PERIOD (1/SEC)	0.0	AVERAGE COOLANT TEMP. (DEG. C)	276.0249
SCRAM REACTIVITY (DOLLARS)	0.0		

PRESSURE DROP INFORMATION

CHANNEL NO.	1	2	3	4
INLET VELOCITY (M/SEC)	0.002	0.002	0.002	0.002
INLET VELOCITY CHANGE (M/SEC**2)	0.0	0.0	0.0	0.0
CHAN. AVE. FUEL TEMP. (DEG. C)	276.040	275.998	276.000	276.268
CHAN. AVE. COOLANT TEMP. (DEG. C)	276.025	276.025	276.025	276.026
INTEGRATED TRANSFERRED HEAT (KCAL)	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL PRESSURE DROP (KG/CM**2)	0.25059E+00	0.25059E+00	0.25059E+00	0.25059E+00
INLET PRESSURE DROP (KG/CM**2)	0.22787E-01	0.22782E-01	0.22782E-01	0.22782E-01
FRICTION DROP (KG/CM**2)	0.38981E-09	0.38981E-09	0.38981E-09	0.38981E-09
ACCELERATION DROP (KG/CM**2)	0.40033E-13	0.40033E-14	0.0	0.22178E-12
HEAD DROP (KG/CM**2)	0.20503E+00	0.20503E+00	0.20503E+00	0.20503E+00
OUTLET PRESSURE DROP (KG/CM**2)	0.22781E-01	0.22781E-01	0.22781E-01	0.22781E-01

CHANNEL 1

AXIAL NODE	COOLANT VELOCITY (M/SEC)	COOLANT TEMPERATURE (DEG. C)	COOLANT ENTHALPY (KCAL/KG)	COOLANT DENSITY (KG/M**3)	STEAM QUALITY	VOID FRACTION	COOLANT PATTERN
1	0.002	276.025	290.200	759.359	0.0	0.0	LIQID
2	0.002	276.025	290.200	759.359	0.0	0.0	LIQID
3	0.002	276.025	290.200	759.359	0.0	0.0	LIQID
4	0.002	276.025	290.200	759.359	0.0	0.0	LIQID
5	0.002	276.025	290.200	759.359	0.0	0.0	LIQID
6	0.002	276.025	290.200	759.359	0.0	0.0	LIQID
7	0.002	276.025	290.200	759.358	0.0	0.0	LIQID
8	0.002	276.025	290.200	759.358	0.0	0.0	LIQID
9	0.002	276.025	290.200	759.358	0.0	0.0	LIQID
10	0.002	276.025	290.201	759.358	0.0	0.0	LIQID

AXIAL NODE	PRESSURE DROP (KG/CM**2)	FUEL AVERAGE TEMPERATURE (DEG. C)	FUEL CENTR TEMPERATURE (DEG. C)	FUEL SURFACE TEMPERATURE (DEG. C)	CLAD SURFACE TEMPERATURE (DEG. C)	SURFACE HEAT FLUX (KCAL/M**2/HR)	ENERGY ACCUMULATED (CAL/GM-FUEL)
1	0.023	276.003	276.003	276.003	276.003	0.359	18.154
2	0.046	276.055	276.056	276.055	276.055	0.597	18.157
3	0.068	276.033	276.033	276.032	276.032	0.868	18.156
4	0.091	276.081	276.082	276.081	276.080	1.046	18.159
5	0.114	276.037	276.038	276.037	276.036	1.117	18.156
6	0.137	276.086	276.086	276.085	276.084	1.098	18.157
7	0.159	276.040	276.040	276.039	276.039	0.999	18.156
8	0.182	276.049	276.049	276.048	276.047	0.820	18.157
9	0.205	276.015	276.015	276.014	276.014	0.568	18.155
10	0.228	276.001	276.001	276.001	276.001	0.342	18.154

CHANNEL 2

AXIAL NODE	COOLANT VELOCITY (M/SEC)	COOLANT TEMPERATURE (DEG. C)	COOLANT ENTHALPY (KCAL/KG)	COOLANT DENSITY (KG/M**3)	STEAM QUALITY	VOID FRACTION	COOLANT PATTERN
1	0.002	276.025	290.200	759.359	0.0	0.0	LIQID
2	0.002	276.025	290.200	759.359	0.0	0.0	LIQID
3	0.002	276.025	290.200	759.359	0.0	0.0	LIQID
4	0.002	276.025	290.200	759.359	0.0	0.0	LIQID
5	0.002	276.025	290.200	759.359	0.0	0.0	LIQID
6	0.002	276.025	290.200	759.359	0.0	0.0	LIQID
7	0.002	276.025	290.200	759.359	0.0	0.0	LIQID
8	0.002	276.025	290.200	759.359	0.0	0.0	LIQID
9	0.002	276.025	290.200	759.359	0.0	0.0	LIQID
10	0.002	276.025	290.200	759.359	0.0	0.0	LIQID

AXIAL NODE	PRESSURE DROP (KG/CM**2)	FUEL AVERAGE TEMPERATURE (DEG. C)	FUEL CENTR TEMPERATURE (DEG. C)	FUEL SURFACE TEMPERATURE (DEG. C)	CLAD SURFACE TEMPERATURE (DEG. C)	SURFACE HEAT FLUX (KCAL/M**2/HR)	ENERGY ACCUMULATED (CAL/GM-FUEL)
1	0.023	275.984	275.984	275.984	275.984	0.034	18.153
2	0.046	275.986	275.986	275.986	275.986	0.057	18.153
3	0.068	276.006	276.006	276.006	276.006	0.083	18.154
4	0.091	275.988	275.988	275.988	275.988	0.100	18.153
5	0.114	275.989	275.989	275.989	275.988	0.107	18.153
6	0.137	275.988	275.988	275.988	275.988	0.105	18.153
7	0.159	276.007	276.007	276.007	276.007	0.096	18.154
8	0.182	276.006	276.006	276.006	276.006	0.079	18.154
9	0.205	276.024	276.024	276.024	276.024	0.054	18.155
10	0.228	275.984	275.984	275.984	275.984	0.033	18.153

CHANNEL 3

AXIAL NODE	COOLANT VELOCITY (M/SEC)	COOLANT TEMPERATURE (DEG. C)	COOLANT ENTHALPY (KCAL/KG)	COOLANT DENSITY (KG/M**3)	STEAM QUALITY	VOID FRACTION	COOLANT PATTERN
1	0.002	276.025	290.200	759.359	0.0	0.0	LIQID
2	0.002	276.025	290.200	759.359	0.0	0.0	LIQID
3	0.002	276.025	290.200	759.359	0.0	0.0	LIQID
4	0.002	276.025	290.200	759.359	0.0	0.0	LIQID
5	0.002	276.025	290.200	759.359	0.0	0.0	LIQID
6	0.002	276.025	290.200	759.359	0.0	0.0	LIQID
7	0.002	276.025	290.200	759.359	0.0	0.0	LIQID
8	0.002	276.025	290.200	759.359	0.0	0.0	LIQID
9	0.002	276.025	290.200	759.359	0.0	0.0	LIQID
10	0.002	276.025	290.200	759.359	0.0	0.0	LIQID

AXIAL NODE	PRESSURE DROP (KG/CM**2)	FUEL AVERAGE TEMPERATURE (DEG. C)	FUEL CENTR TEMPERATURE (DEG. C)	FUEL SURFACE TEMPERATURE (DEG. C)	CLAD SURFACE TEMPERATURE (DEG. C)	SURFACE HEAT FLUX (KCAL/M**2/HR)	ENERGY ACCUMULATED (CAL/GM-FUEL)
1	0.023	276.002	276.002	276.002	276.003	0.016	18.154
2	0.046	276.003	276.003	276.003	276.003	0.026	18.154
3	0.068	275.985	275.985	275.985	275.985	0.038	18.153
4	0.091	275.985	275.985	275.985	275.985	0.046	18.153
5	0.114	276.004	276.004	276.004	276.004	0.049	18.154
6	0.137	276.023	276.023	276.023	276.024	0.048	18.155
7	0.159	276.004	276.004	276.004	276.004	0.044	18.154
8	0.182	275.984	275.984	275.984	275.984	0.036	18.153
9	0.205	276.003	276.003	276.003	276.003	0.025	18.154
10	0.228	276.022	276.022	276.022	276.022	0.015	18.155

CHANNEL 4

AXIAL NODE	COOLANT VELOCITY (M/SEC)	COOLANT TEMPERATURE (DEG. C)	COOLANT ENTHALPY (KCAL/KG)	COOLANT DENSITY (KG/M**3)	STEAM QUALITY	VOID FRACTION	COOLANT PATTERN
1	0.002	276.025	290.200	759.359	0.0	0.0	LIQID
2	0.002	276.025	290.200	759.359	0.0	0.0	LIQID
3	0.002	276.025	290.200	759.359	0.0	0.0	LIQID
4	0.002	276.025	290.201	759.358	0.0	0.0	LIQID
5	0.002	276.026	290.201	759.357	0.0	0.0	LIQID
6	0.002	276.026	290.202	759.357	0.0	0.0	LIQID
7	0.002	276.026	290.202	759.356	0.0	0.0	LIQID
8	0.002	276.027	290.202	759.355	0.0	0.0	LIQID
9	0.002	276.027	290.203	759.355	0.0	0.0	LIQID
10	0.002	276.027	290.203	759.355	0.0	0.0	LIQID

AXIAL NODE	PRESSURE DROP (KG/CM**2)	FUEL AVERAGE TEMPERATURE (DEG. C)	FUEL CENTR TEMPERATURE (DEG. C)	FUEL SURFACE TEMPERATURE (DEG. C)	CLAD SURFACE TEMPERATURE (DEG. C)	SURFACE HEAT FLUX (KCAL/M**2/HR)	ENERGY ACCUMULATED (CAL/GM-FUEL)
1	0.023	276.117	276.118	276.116	276.114	1.990	18.161
2	0.046	276.213	276.215	276.212	276.209	3.316	18.168
3	0.088	276.301	276.303	276.299	276.294	4.829	18.174
4	0.091	276.358	276.360	276.356	276.350	5.827	18.177
5	0.114	276.342	276.345	276.340	276.333	6.228	18.176
6	0.137	276.335	276.338	276.333	276.327	6.122	18.176
7	0.159	276.320	276.322	276.317	276.312	5.570	18.175
8	0.182	276.261	276.263	276.259	276.255	4.570	18.171
9	0.205	276.169	276.170	276.168	276.165	3.161	18.165
10	0.228	276.105	276.106	276.105	276.103	1.903	18.161

SELECTED NODE INFORMATION

CHANNEL	4	4	4	3	2
NODE	3	4	5	4	4
J.L. TEMP. (DEG. C)	286.54	286.56	286.57	286.24	286.27
DNB, HEAT, FLUX. (KC/HR*M**2)	0.15473E+07	0.15472E+07	0.15472E+07	0.15473E+07	0.15473E+07
HEAT, TRNS. COE. (KC/HR*M**2=C)	0.19011E+02	0.19011E+02	0.19011E+02	0.19012E+02	0.19012E+02
GAP, CONDUCTANCE (KC/HR*M**2=C)	0.13255E+04	0.13256E+04	0.13257E+04	0.13250E+04	0.13250E+04
GAP, DISTANCE. (MM)	0.1265	0.1265	0.1265	0.1265	0.1265
INTG. TRNSFD. HEAT. (CAL)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

TEMPERATURE MAP IN FUEL

NODE	RADIUS (MM)	276.303	276.360	276.345	275.985	275.988
1	0.0	276.303	276.360	276.345	275.985	275.988
2	0.6200	276.303	276.360	276.345	275.985	275.988
3	1.2400	276.303	276.360	276.345	275.985	275.988
4	1.8600	276.302	276.360	276.344	275.985	275.988
5	2.4800	276.302	276.360	276.344	275.985	275.988
6	3.1000	276.302	276.359	276.344	275.985	275.988
7	3.7200	276.301	276.359	276.344	275.985	275.988
8	4.3400	276.301	276.358	276.342	275.985	275.988
9	4.9600	276.300	276.357	276.342	275.985	275.988
10	5.5800	276.299	276.357	276.341	275.985	275.988
11	6.2000	276.299	276.356	276.340	275.985	275.988
12	6.8400	276.294	276.350	276.334	275.985	275.988
13	6.6400	276.294	276.350	276.334	275.985	275.988
14	6.9400	276.294	276.350	276.334	275.985	275.988
15	7.2400	276.294	276.350	276.333	275.985	275.988
16	105.7000	276.025	276.025	276.026	276.025	276.025

SPECIAL INDEX FOR FUEL BURNOUT AND FUEL RAPTURE. (J.K) YOUR INPUT

EXCEEDED DNB F (* * * * *)
 LUX (0.18300E+04)
 EXCD. CLAD MELT (0.28800E+04)
 TEMP. (DEG. C) (0.20000E+03)
 FUEL CENTER ME (0.23300E+03)
 LTED (DEG. C) (0.50000E+03)
 RUPTURED

