

JAERI-M
84-074

軽水炉の反応度投入事象解析コード
EUREKA-2

1984年5月

大西 信秋・原見 太幹・広瀬 大久*
植村 睦**

JAERI-M レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

入手の問合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村 日本原子力研究所内）で複写による実費領布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

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

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1984

編集兼発行 日本原子力研究所

印刷 日立高速印刷株式会社

軽水炉の反応度投入事象解析コード
EUREKA-2

日本原子力研究所東海研究所研究炉管理部
大西 信秋・原見 太幹・広瀬 大久*・植村 睦**

(1984年3月31日受理)

本報告は、軽水炉の反応度投入事象時における核熱水力学の挙動を解析するために開発した1点動特性多領域熱水力結合の動特性解析コードEUREKA-2について説明したものである。

EUREKA-2コードでは制御棒の異常な引抜き、冷却材流量変化あるいは冷却材温度変化などによって誘起される反応度変化による原子炉の過渡応答を計算することができる。とりわけ反応度事故のような苛酷な事故現象を取扱うのに適している。

EUREKA-2コードは、EUREKAコードの冷却材流動モデルを改良したもので、急激な冷却材温度上昇やボイド発生がある反応度投入事象の解析も可能にしたものである。

* センチュリーリサーチセンタ(株)

** コンピュータサービス(株)

EUREKA-2 : A Computer Code for the Reactivity Accident
Analysis in a Water Cooled Reactor

Nobuaki Ohnishi, Taikan Harami, Hirohisa Hirose,^{*}
and Mutsumi Uemura^{**}

Department of Research Reactor Operation
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received March 31, 1984)

EUREKA-2, a computer code for the reactivity accident analysis, has been developed in order to analyze neutronic, thermal and hydrodynamic transient behaviors in a water cooled reactor.

EUREKA-2 can analyze the transient response of the core against the reactivity change caused by control rod withdrawal, coolant flow change and/or coolant temperature change. Especially, it can well simulate fast transient behaviors in serious reactivity accidents.

This code calculates coupled neutronic and thermal-hydrodynamic responses for multi-regions in the core.

EUREKA-2 has been developed by improving the fluid flow model of EUREKA and can analyze the reactivity accidents in which coolant temperature rises quickly and vapor is produced.

Keywords: Reactivity Accident, Water Cooled Reactor
EUREKA-2, EUREKA, Transient Response,
Reactor Core

*) On leave from Century Research Center Corp.

***) On leave from Computer Services Corp.

目 次

1. はじめに	1
2. EUREKA-2の概要	2
3. 計算モデル	4
3.1 動特性モデル	4
3.2 フィードバックモデル	6
3.3 伝熱モデル	7
3.4 ギャップ熱伝達モデル	9
3.5 被覆表面熱伝達モデル	10
3.6 DNBモデル	13
3.7 冷却材熱流動モデル	15
4. 数値計算法	20
4.1 動特性方程式	20
4.2 熱伝導方程式	21
4.3 熱流動方程式	22
5. 結 言	27
謝 辞	27
参考文献	27
附 録 1 入力データの説明	28
1. 概 要	28
2. 入力データの説明	28
附 録 2 フローチャート	45
附 録 3 入力データ例	54
1. SPERT-III・E型炉心	54
2. SPERT-III・C型炉心	58

Content

1.	Introduction	1
2.	Program Summary Description of EUREKA-2	2
3.	Model Description	4
3.1	Reactor Kinetics	4
3.2	Feedback Effects	6
3.3	Heat Transfer	7
3.4	Gap Heat Transfer	9
3.5	Clad Surface Heat Transfer	10
3.6	DNB	13
3.7	Coolant Thermohydrodynamics	15
4.	Numerical Method	20
4.1	Reactor Kinetics Equation	20
4.2	Heat Conduction Equation	21
4.3	Thermohydrodynamic Equation	22
5.	Conclusion	27
	Acknowledgement	27
	References	27
	Appendix 1. User's Guides for Input Data	28
1.	Summary	28
2.	Input Data Description	28
	Appendix 2. Flow Chart	45
	Appendix 3. Samples of Input Lists	54
1.	SPERT-III E-core	54
2.	SPERT-III C-core	58

1. はじめに

反応度投入事象は、原子炉の安全評価において想定される重要な事象の1つである。何らかの原因によって、原子炉に異常な反応度が添加されて原子炉の出力が急激に上昇し、その結果燃料温度が異常に上昇して、極端な場合には、燃料が破損したり、燃料破損によって誘起される破壊力によって、1次冷却系が損傷を受ける可能性がある。

反応度投入事象に関する代表的な実験的研究としては、動力炉の開発が開始された時期と同じ時期に実施された一連のBORAX実験やSPERT実験があり、これら実験により即発臨界以上での暴走出力挙動や自己制御性の存在等が確かめられた。SL-1炉で起った反応度事故を契機にして原子炉破壊実験が行われ、原子炉を破壊するエネルギーが、燃料破損によって放出される高温の燃料物質と冷却水との相互作用によって発生する衝撃圧力および膨張圧力の機械的エネルギーに起因することが明らかにされた。この事故の解析に基づき、NSRRやPBFにおいて燃料破壊実験が行われるようになり、燃料破損機構や破壊力の発生機構についての研究が行われた。

これら実験的研究と共に、解析コードの開発が米国を中心に進められた。動特性解析コードとしては、電子計算機の開発に伴い、1点近似動特性コードから、より詳細なモデルをとり入れた核熱水力結合動特性コードの開発が進められ、さらに熱水力計算やフィードバック計算に空間分布を考慮した解析コードが開発された。これに属する計算コードとしては、核熱水力結合点状動特性コードEUREKA¹⁾やPARET²⁾がある。

軽水動力炉の炉心の大型化あるいは局所的な中性子束の時間変化を考慮した厳密な解析の必要性に伴い、これまでの1点近似動特性解析コードにかわる空間依存動特性解析コードの開発も進められてきた。しかしながら空間依存・核熱水力結合動特性解析コードは、膨大な計算時間と大容量の記憶装置を必要とすることから、実用的にはやゝ難点がある。これを改善するために数値解法としてquasi-static法を採用したEUREKA-SPACE³⁾がある。このコードは、EUREKAに2次元および3次元の拡散コードを結合したものである。EUREKA-SPACEは拡散コードにより制御棒の高さの移動に伴う中性子束および出力分布の変化を間接的に求めると共に、フィードバック・インポートランスの空間分布の時間変化も計算し、より実際の解析ができるよう考慮したものである。このコードを用いたBWRの制御棒落下事故の解析はEUREKAの結果と異なったものとなっており興味のある結果を導びいている。

EUREKAは、我国で開発された反応度事故解析用コードで、数多くの実験解析を通してモデルの妥当性が検証されている。このコードでは、炉心を発熱密度に応じていくつかのグループに分割し、各グループについてそれぞれ代表的な1本の燃料棒およびそれを取巻く冷却材チャンネルで表わすことにより、より実際に炉心の空間分布を考慮するようにしたものである。フィードバック反応度をより厳密に取扱うため、空間分布の重み因子も考慮されている。核的には分割された各領域で1点近似動特性方程式を用い計算し、炉心出力を得る。フィードバック反応度は、燃料棒や冷却材の非定常温度挙動ならびに冷却材の水力挙動を計算して求める。各

燃料中の温度分布は、1次元熱伝導方程式を用いて得、また冷却材の熱水力計算は、質量、運動量、エネルギーの1次元保存式を解いて行う。燃料と冷却材との接触面での熱伝達相関式は、対流、核沸騰、遷移沸騰、膜沸騰のようないろいろな熱伝達モードを使用している。こうして計算した燃料棒の温度変化からドプラ効果によるフィードバック反応度が、冷却材の温度変化から減速材温度効果によるフィードバック反応度が計算される。ボイド発生によるフィードバック反応度も考慮されている。

以上のように、EUREKAやPARETは、熱水力モデルやフィードバック反応度の計算モデルに空間依存性を考慮することによって解析精度を向上させてきた。しかしながら、これらの解析コードは、短時間に過大な熱量が冷却材に与えられる場合、温度上昇やボイド発生によって、圧力アンバランスが生じ数値解析上の不安定性が生じるという問題がある。このような数値解析上の不安定は、反応度事故のように局所的に高いピーキング係数をもち、かつ急激な熱発生があるような苛酷な状態にある炉心の過渡解析を行う場合生じる。EUREKAの過渡時の冷却材流動計算は、各チャンネルの圧力損失が各時間毎に一定となるように、各時刻のチャンネル入口流量を定めている。このため冷却チャンネルでボイドが発生して局部的に圧力変動が生じると、この圧力変動が十分に解析できないために数値解法上で不安定性が生じるという欠点がある。

本報告では、EUREKAによる数値解析上生じる不安定の問題を解決するために、RELAP-4コード⁴⁾の冷却材熱流動モデルを導入して改良したEUREKA-2コードについて述べる。したがって、このコードにおいては冷却材の熱水力挙動を1次元均質流熱平衡流動の仮定に基づいた質量・運動量・エネルギーの保存式をノード・ジャンクション法で解く。EUREKA-2は、板状燃料のように燃料板で発生した大量の熱が短時間に冷却材に与えられ、局所的なボイド発生があるような場合でも、安定した数値解析が可能である。

以下、第2章でEUREKA-2の概要、第3章で使用している計算モデルを述べ、第4章にその数値計算法を示す。

2. EUREKA-2の概要

EUREKA-2は、多領域核熱水力結合動特性解析コードである。核的には、中性子束の空間分布が時間的に一定とした1点近似動特性方程式を解いて、原子炉出力を得る。原子炉出力は、核分裂によって発生する出力と γ 線による崩壊熱の和で与えられる。崩壊熱はShureの式を用いている。

動特性方程式の反応度の寄与としては、スクラムや外乱による時間依存反応度及び各炉心領域におけるフィードバック効果による反応度からなる。フィードバック効果は、ドプラ効果、ボイド効果、冷却材温度効果および被覆材膨張効果から構成される。フィードバック反応度の計算には、炉心での中性子束分布、温度変化やボイド発生の空間依存性を考慮し、空間の重み関数をかけて空間積分することによりフィードバック反応度の空間依存性を考慮することができ

燃料中の温度分布は、1次元熱伝導方程式を用いて得、また冷却材の熱水力計算は、質量、運動量、エネルギーの1次元保存式を解いて行う。燃料と冷却材との接触面での熱伝達相関式は、対流、核沸騰、遷移沸騰、膜沸騰のようないろいろな熱伝達モードを使用している。こうして計算した燃料棒の温度変化からドプラ効果によるフィードバック反応度が、冷却材の温度変化から減速材温度効果によるフィードバック反応度が計算される。ボイド発生によるフィードバック反応度も考慮されている。

以上のように、EUREKAやPARETは、熱水力モデルやフィードバック反応度の計算モデルに空間依存性を考慮することによって解析精度を向上させてきた。しかしながら、これらの解析コードは、短時間に過大な熱量が冷却材に与えられる場合、温度上昇やボイド発生によって、圧力アンバランスが生じ数値解析上の不安定性が生じるという問題がある。このような数値解析上の不安定は、反応度事故のように局所的に高いピーキング係数を持ち、かつ急激な熱発生があるような苛酷な状態にある炉心の過渡解析を行う場合生じる。EUREKAの過渡時の冷却材流動計算は、各チャンネルの圧力損失が各時間毎に一定となるように、各時刻のチャンネル入口流量を定めている。このため冷却チャンネルでボイドが発生して局部的に圧力変動が生じると、この圧力変動が十分に解析できないために数値解法上で不安定性が生じるという欠点がある。

本報告では、EUREKAによる数値解析上生じる不安定の問題を解決するために、RELAP-4コードの冷却材熱流動モデル⁴⁾を導入して改良したEUREKA-2コードについて述べる。したがって、このコードにおいては冷却材の熱水力挙動を1次元均質流熱平衡流動の仮定に基づいた質量・運動量・エネルギーの保存式をノード・ジャンクション法で解く。EUREKA-2は、板状燃料のように燃料板で発生した大量の熱が短時間に冷却材に与えられ、局所的なボイド発生があるような場合でも、安定した数値解析が可能である。

以下、第2章でEUREKA-2の概要、第3章で使用している計算モデルを述べ、第4章にその数値計算法を示す。

2. EUREKA-2の概要

EUREKA-2は、多領域核熱水力結合動特性解析コードである。核的には、中性子束の空間分布が時間的に一定とした1点近似動特性方程式を解いて、原子炉出力を得る。原子炉出力は、核分裂によって発生する出力と γ 線による崩壊熱の和で与えられる。崩壊熱はShureの式を用いている。

動特性方程式の反応度の寄与としては、スクラムや外乱による時間依存反応度及び各炉心領域におけるフィードバック効果による反応度からなる。フィードバック効果は、ドプラ効果、ボイド効果、冷却材温度効果および被覆材膨張効果から構成される。フィードバック反応度の計算には、炉心での中性子束分布、温度変化やボイド発生の空間依存性を考慮し、空間の重み関数をかけて空間積分することによりフィードバック反応度の空間依存性を考慮することができ

る。ここで重み関数として、中性子束と随伴中性子束の積（インポートランス）を用い、ドブラ効果には共鳴中性子束の重み関数を、減速材温度効果、膨張効果およびボイド効果に対して熱中性子束の重み関数を用いる。

内部熱発生のある燃料および被覆材からなる熱伝導体形状としては、円柱及び平板について計算可能である。熱伝導モデルは、半径方向1次元時間依存の熱伝導方程式を基本としている。この式を解くことによって、燃料内温度分布を得る。ギャップが存在する場合、ギャップ熱伝達率は、ギャップ内ガスによる伝熱と輻射伝熱効果の和で示される。

熱伝導体と冷却材の界面での表面熱流束は、冷却材流動、表面温度によって使い分ける熱伝達相関式で与えられる。

冷却材流動は、質量、エネルギー、運動量の保存式を軸方向1次元均質熱平衡流の仮定に基づいて解く。

その他のモデルとして、即発性減速材加熱（PMH）効果、サブクールボイドモデル、垂直スリップモデル並びにエンタルピー輸送モデルを考慮している。

数値計算法としては、動特性方程式は、5段階のRunge-Kutta法で解く。燃料温度分布は、熱伝導体をメッシュ分割し、過渡状態での境界条件、つまり熱伝導体の中心では熱伝達は起こらないことと表面温度は表面熱流束と沸騰曲線との交点を反復計算により求め、三角行列式を解くことによって得られる。数値解法に用いる熱流動方程式は、分割された体系（ノード）毎に保存式を体積積分して得られる。摩擦損失係数は、乱流に対するKarman-Nikuradse方程式と層流域における式を区別して求める。

3. 計算モデル

3.1 動特性モデル

規格化出力は、反応度のフィードバックを考慮した、一点炉近似動時性方程式を解いて得られる。動特性方程式は次式で示される。

$$\frac{dn}{dt} = \frac{\beta}{\ell} (R-1) n + \sum_{i=1}^6 \lambda_i C_i + s \quad (3.1-1)$$

$$\frac{dC_i}{dt} + \lambda_i C_i = \frac{\beta_i}{\ell} n \quad (3.1-2)$$

$$\beta = \sum_{i=1}^6 \beta_i \quad (3.1-3)$$

ここで使用した各記号は、

- n : 規格化炉心出力
- β : 有効遅発中性子割合
- ℓ : 即発中性子寿命 (sec^{-1})
- R : 遅発中性子割合で規格化した全反応度(β)
- λ_i : 遅発中性子第 i 群の崩壊定数 (sec^{-1})
- C_i : 遅発中性子第 i 群の先行核密度
- s : 中性子源
- β_i : 第 i 群の有効遅発中性子割合

遅発中性子割合及び崩壊定数を表 3.1-1 に示す。

又、核分裂生成物からの崩壊熱を考慮した動特性を選択する事ができ、放射崩壊を次式で解く。

$$\frac{dr_j}{dt} + \lambda_j r_j = E_j n \quad (3.1-4)$$

ここで使用した各記号は、

- r_j : 崩壊熱第 j 群の密度
- λ_j : 崩壊熱第 j 群の崩壊定数 (sec^{-1})
- E_j : 崩壊熱第 j 群の熱発生割合

表 3.1-2 に放射崩壊式中使用される定数を示す。これらの定数は、Shureにより公開されたデータに対し、式(3.1-4)をフィッティングして得た。

領域内の全出力は、核分裂による出力と放射崩壊熱の和である。崩壊熱の項を考慮する事によって、より現実的な Shutdown による出力の計算ができる。ここで全出力は燃料集合体で発生

するものと仮定している。被覆材、冷却材及び構造物に対する、 γ 線による直接加熱効果については、3.7節で述べる。全出力、 P 、は、次式で計算される。

$$P = nE_f + \sum_{j=1}^{11} \lambda_j r_j \quad (3.1-5)$$

ここで E_f は平衡状態条件の時、核分裂によって発生する出力の割合である。 γ 線による加熱の計算を選択していない時は、 $E_f = 1$ であり、選択している時は、 $E_f = 0.93$ 及び $\sum E_j = 0.07$ である。

この選択指定は、即時加熱割合を修正したい時、即ち、全出力の中で即時に加熱源となり得る割合を修正できるという意味で有用である。この選択は、動特性定数入力データのPROMPTで可能である。即時加熱割合 E_f は、 $\text{NODEL} \leq 1$ の時、 $E_f = 1.0$ であり、 $\text{NODEL} \geq 2$ の時、 $E_f = 0.93001$ 及び $\text{PROMPT} = 0.0$ と与えられる。ここでは、PROMPTの値の与え方次第で出力計算のバランスが崩れる事があり得るという事に留意しなければならない。

表 3.1 - 1 遅発中性子定数

群	β_i/β	$\lambda_i (\text{sec}^{-1})$
1	0.038	0.0127
2	0.213	0.0317
3	0.188	0.115
4	0.407	0.311
5	0.128	1.40
6	0.026	3.87

表 3.1 - 2 放射崩壊定数

群	E_j	$\lambda_j (\text{sec}^{-1})$
1	0.00299	1.772×10^0
2	0.00825	5.774×10^{-1}
3	0.01550	6.743×10^{-2}
4	0.01935	6.214×10^{-3}
5	0.01165	4.739×10^{-4}
6	0.00645	4.810×10^{-5}
7	0.00231	5.344×10^{-6}
8	0.00164	5.726×10^{-7}
9	0.00085	1.036×10^{-8}
10	0.00043	2.959×10^{-9}
11	0.00057	7.585×10^{-10}

3.2 フィードバックモデル

反応度は、動特性方程式のための導出関数である。反応度の寄与としては、時間依存（スクラム）反応度及びそれぞれの炉心領域におけるフィードバック効果による、各々独立した反応度から成る。フィードバック効果は、ドップラー効果、ボイド効果、冷却材温度効果及び被覆材膨張効果より構成される。フィードバック反応度は次式で計算される。

$$R(t) = R_0 + \{ R_{exp}(t) - R_{exp}(0) \} + \left\{ \sum_i R^i(t) - \sum_i R^i(0) \right\} \quad (3.2-1)$$

$$R^i(t) = W_D^i R_D(\bar{T}_F^i(t)) + W_V^i R_V(\alpha_V^i(t)) \\ + W_{WT}^i R_{WT}(\bar{T}_W^i(t) + W_E^i \cdot \lambda_C^i \left(\frac{V_F}{V_M} \right)^i \cdot \bar{T}_C^i(t)) \quad (3.2-2)$$

ここで使用した各記号は、

- R_D : 平均燃料温度の関数として与えられる反応度（テーブルで与える）(\$)
- R_V : ボイド率の関数として与えられる反応度（テーブルで与える）(\$)
- R_{WT} : 平均冷却材温度の関数として与えられる反応度（テーブルで与える）(\$)
- W_D^i : 共鳴吸収領域の中性子束と随伴中性子束の積に炉心領域 i の燃料体積要素を掛けて規格化した重み因子
- W_V^i, W_{WT}^i : 熱領域の中性子束と随伴中性子束の積に炉心領域 i の燃料体積要素を掛けて規格化した重み因子
- \bar{T}_F^i : 炉心領域 i での平均燃料温度(C)
- α_V^i : 炉心領域 i でのボイド率
- \bar{T}_W^i : 炉心領域 i での平均冷却材温度(C)
- \bar{T}_C^i : 炉心領域 i での平均被覆材温度(C)
- λ_C^i : 時刻 t での被覆材の線膨張率 ($1/^\circ\text{C}$)
- $(V_F/V_M)^i$: 炉心領域 i での燃料体積と減速材体積比
- W_E^i : W_V^i 又は W_{WT}^i の重み因子にフィッティング係数を掛けた因子
- R_0 : 初期反応度(\$)
- R_{exp} : 時間依存反応度（テーブルで与える）(\$)

入力データにおいて、動特性方程式を用いて出力計算を行うよう指定した場合（即ち動特性定数入力データで $\text{NODEL} \geq 1$ の時）炉心領域数 NSLB は 1 以上であり、又以下のデータを入力しなければならない。

- 1) 動特性定数
- 2) 時間依存（スクラム）反応度テーブル
- 3) ドップラー効果による反応度テーブル
- 4) ボイド効果による反応度テーブル
- 5) 冷却材温度効果による反応度テーブル
- 6) 各フィードバック反応度に対する重み因子

3.3 伝熱モデル

3.3.1 伝熱モデル

熱伝導体は、内部熱発生のある燃料及び被覆材から成る。発生熱の一部は直接減速材加熱に利用され、熱伝導で使われる内部熱発生量は、全熱発生量から、直接減速材加熱量を差し引いたものである。(3.7節参照)

熱伝導体形状としては、円柱及び平板について計算可能である。各形状の領域及びメッシュ点の取り方は図3.3-1に示す。入力データとしては、各領域の幅、各領域内メッシュ数(領域内メッシュは、等分割である。)及び構成物質の指定が必要である。内部発熱のある物質で構成される領域では、領域内メッシュ点での出力分布も入力しなければならない。

典型的な領域分割例は次である。

1) 円柱形状熱伝導体

領域1 = 燃料

領域2 = ギャップ

領域3 = 被覆材

2) 板形状熱伝導体

領域1 = 燃料

領域2 = 被覆材

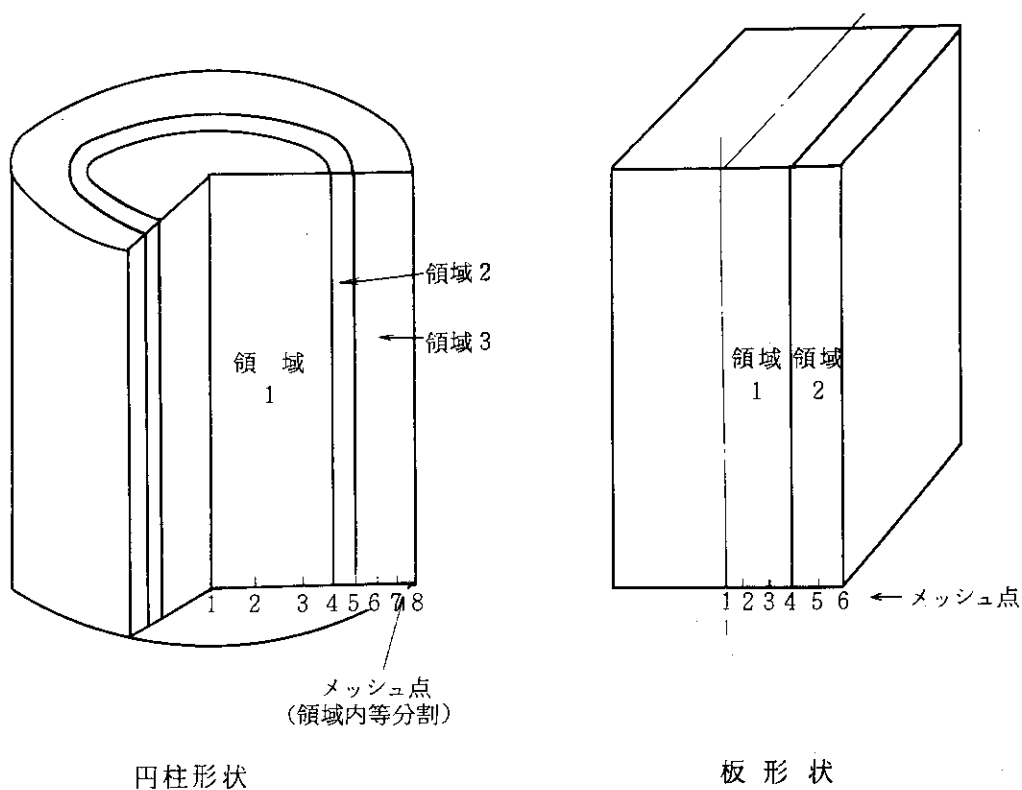


図3.3-1 メッシュ分割例

熱伝導計算では、温度依存の物性値が用いられる。実際には、物性値はテーブルで入力し、各伝導体形状における各領域で指定される物質数と同じテーブル数が要求される。物性値としては、熱伝導率 (kcal/m·hr·°C)、容積比熱 (kcal/m³·°C) 及び線膨張率 (1/°C) が必要である。

熱伝導モデルは、一次元時間依存の安定状態熱伝導計算コード、HEAT-1を基本としている。基本熱伝導方程式は、一次元時間依存であり、求めようとしている熱伝導体分割領域を、添字 n で表わすと、下式で表わされる。

$$V_n C_n \frac{dT_n}{dt} = Q_n + (Ak \frac{dT}{dX})_r - (Ak \frac{dT}{dX})_l \quad (3.3-1)$$

ここで各記号は、

- V_n : 領域 n の体積 (m³)
- C_n : 容積比熱 (kcal/m³·°C)
- T_n : 領域 n の平均温度 (°C)
- t : 時間 (sec)
- Q_n : 領域 n での内部熱発生割合 (kcal/sec)
- r, l : 領域 n の右側, 左側を示す添字
- A : 熱伝達面積 (m²)
- k : 熱伝導率 (kcal/m·sec·°C)
- X : 径方向距離 (m)

Q_n は、先に述べたように、各メッシュ領域に対応して入力できる。この場合、入力データは、そのメッシュ領域内での熱発生量にメッシュ体積を掛けて規格化しなければならない。

3.3.2 境界条件

1) 初期状態での境界条件

初期状態では、熱伝導体及び流体温度共に入力した温度であり、一定と設定される。

$$T = \text{一定} \quad (3.3-2)$$

2) 過渡状態での境界条件

まず、熱伝導体の中心では熱伝達は起こらないとする。即ち

$$\left. \frac{\partial T}{\partial X} \right|_{\text{center}} = 0 \quad (3.3-3)$$

次に熱伝導体の表面では、表面熱流束、 q 、を、表面温度、 T_w 、の関数として表わし、沸騰曲線との交点を反復計算により求め、 T_w を決定する。

表面熱流束は次式で決定される。

$$q = A T_w + B \quad (3.3-4)$$

即ち、飽和温度を T_{sat} として (3.3-4) 式から

$$\begin{aligned} \Delta T_{sat} &= T_w - T_{sat} \\ &= (q - B) / A - T_{sat} \end{aligned} \quad (3.3-5)$$

T_w を決定するために (従って ΔT_{sat} を決定するために)、関数、 f 、を下式で定義する。

$$f(\Delta T_{sat}) = q_c(\Delta T_{sat}) - q_b(\Delta T_{sat}) \quad (3.3-6)$$

ここで、 q_c 、 q_b は各々、(3.3-4)式で決められる熱流束及び沸騰曲線で定義される熱流束である。(3.3-6)式についてNewton-Raphson法により、 $X_1 < \Delta T_{sat} < X_2$ の範囲で、 $f(\Delta T_{sat}) \approx 0$ になるまで反復計算を行う。ここで、 X_1 、 X_2 は、DNB熱流束を q_{DNB} として、

$$X_1 = (q_{DNB} - B) / A - T_{sat} \quad (3.3-7)$$

$$X_2 = -B / A - T_{sat} \quad (3.3-8)$$

また、幾つかの場合については、 X_1 又は X_2 は下式で置き換えられる。

$$X = T_f - T_{sat} \quad (3.3-9)$$

ここで、 T_f は流体(液体もしくは蒸気)温度を指す。

3.4 ギャップ熱伝達モデル

ギャップ熱伝達率は、ギャップ内ガスによる伝熱と輻射伝熱効果の和で示される。即ち、

$$h = h_{gas} + h_{rad} \quad (3.4-1)$$

ここで

h : ギャップ熱伝達率 ($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}$)

h_{gas} : ギャップ内ガスによる熱伝達率 ($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}$)

h_{rad} : 輻射による熱伝達率 ($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}$)

ギャップ内ガスによる熱伝達率は、その時刻でのギャップ幅から次式により計算される。

$\Delta x(t) > R_o$ の時

$$h_{gas} = k (\bar{T}_g(t)) / \Delta x(t) \quad (3.4-2)$$

$\Delta x(t) \leq R_o$ の時

$$h_{gas} = k (\bar{T}_g(t)) / R_o \quad (3.4-3)$$

ここで、

$\Delta x(t)$: 時刻 t でのギャップ幅(m)

R_o : Roughness Factor (m)

\bar{T}_g : 平均ギャップ温度($^\circ\text{C}$)

k : ギャップ内ガスの熱伝導率 ($\text{kcal}/\text{m} \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}$)

Roughness Factor及びガスの熱伝導率は、入力データとして与える事ができる。

次に、輻射による伝熱について述べる。伝熱は典型的な二黒体間の輻射伝熱式を使って求めている。

$$q = A_F F_{12} (E_1 - E_2) \quad (3.4-4)$$

但し

$$F_{12} = \left[\frac{1}{\epsilon_F} + \frac{A_F}{A_G} \left(\frac{1}{\epsilon_G} - 1 \right) \right]^{-1} \quad (3.4-5)$$

$$E_1 = 4.88 (T_F/100)^4 \quad (3.4-6)$$

$$E_2 = 4.88 (T_G/100)^4 \quad (3.4-7)$$

ここで使用した各記号は、

- F, C : 燃料ペレット外側表面及び被覆材内側表面を表わす添字
 ϵ : 輻射率
A : 輻射面積 (m²)
T : 黒体面の絶対温度 (°K)
q : 輻射伝熱量 (kcal/hr)

燃料ペレット及び被覆材の輻射率は入力データとして与えることができる。

計算されたギャップ熱伝達率, h , に対しては, 簡単なギャップ膨張モデルが適用される。このモデルでは, ギャップ及びその両側の熱伝導体の体積や表面積には何らの影響も及ぼさず, 単に, 両側の熱伝導体の膨張によるギャップ内ガスの熱伝達率の補正計算のみを行う。補正式を次に示す。

$$k(\bar{T}_g(t)) = k_0(\bar{T}_g(t)) \frac{\Delta x(0)}{\Delta x(t)} \quad (3.4-8)$$

ここで,

- $k_0(\bar{T}_g(t))$: ガスの熱伝達率の入力データにおいて温度, $\bar{T}_g(t)$, に対応する値
 $\Delta x(t)$: 時刻, t , でのギャップ幅

式 (3.4-2) 及び (3.4-3) で使用する k の値は, (3.4-8) の値が使用されている。

3.5 被覆表面熱伝達モデル

本コードでは, プール状態及び流動状態でのブローダウン計算のために最適と考えられる熱伝達相関式を使用している。低流量及び高流量の判定は質量束より以下の如く行っている。

- $g > 271 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{sec}$: 高流量
 $g \leq 14 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{sec}$: 低流量

使用している熱伝達相関式を表 3.5-1 及び表 3.5-2 に示す。以下に, 各々の熱伝達相関式に連続性を持たせているかを高流量の場合を例にとり説明する。低流量の場合も基本的考えは同一である。

1) 飽和領域

核沸騰領域では Chen の相関式が用いられている。核沸騰領域からの離脱には 4 つの境界条件が錯綜して適用される。先ずクオリティが減少して行きサブクール核沸騰領域に到達する ($X \leq 0$)。壁面温度が下がり流体温度がそれを上回る ($\Delta T_{sat} < 0$)。ボイド率が 0.96 を越えると Dryout が起こり分散流となる ($\alpha > 0.96$)。DNBにより過渡沸騰へ移行する。

次式で表わされる温度を壁面温度が上回る時に, DNB に到達したとみなされる。

$$\Delta T_{DNB} = \Delta T_{sat} \Big|_{q_{chen} = q_{DNB}} \quad (3.5-1)$$

CHF を越えると, 全熱流束は次式より導かれる。

$$q = q \Big|_{\text{過渡沸騰}} + q \Big|_{\text{膜沸騰}} \quad (3.5-2)$$

過渡沸騰での熱流束は修正 Tong-Young の式より導出され, 膜沸騰では Condie-Bengston の式より導かれる。

Dryout が生ずると、膜沸騰相関式のみが適用される。即ち核沸騰及び過渡沸騰からの完全な Dryout である。この時には Condie-Beugston の相関式より導かれる熱流束のみで表わす。

先に述べたように相関（式）が変化する際に生ずる不連続性を排除する工夫がこらされている。DNB では ΔT_{DNB} を連続して通過するよう、過渡沸騰相関に対して適宜な修正が施されている。しかし修正は Tong-Young の式については、弱冠の不連続が残されている。また、高流量と低流量の間 ($14 < g \leq 271 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{sec}$) では、大きい方の熱流束を採用する事により連続性を持たせている。この場合、現在の相関式では質量束に関しては、連続的な熱流束を与えることが確認されている。Dryout では、高流量、低流量の場合共に、DNB 前後の遷移領域に幾分かの不連続性は存在している。

2) サブクール領域

強制対流条件下では Dittus-Boelter の相関式が使われている。この式から導出される値は、修正 Chen の式から導出される熱流束より小さい時に採用される。修正 Chen の式から導出される熱流束が Dittus-Boelter の値を越える時サブクール核沸騰とみなされ、修正 Chen の式の値が採用される。

サブクール領域で唯一確認されている不連続性は ΔT_{DNB} における修正 Tong-Young に対してである。

3) 過熱領域

過熱領域は飽和領域の Dryout の場合の延長である。従って膜沸騰相関が引き続き使われる。この領域には不整合性は存在しない。

表 3.5 - 1 使用熱伝達相関式名称

適用範囲	高流量	低流量
強制対流 (サブクール水)	Dittus-Boelter の式	—
自然対流 (サブクール水)	—	Ostrache の式
サブクール核沸騰	修正 Chen の式	—
核沸騰	Chen の式	西川, 山島の式
過渡沸騰	修正 Tong-Young の式	—
膜沸騰	Condie-Bengston の式	—
自然対流 (Dryout 領域)	—	NSRR の実験式

表 3.5 - 2 熱伝達相関式

モード番号	熱伝達相関式	モード番号	熱伝達相関式
1	Dittus-Boelter の式 $h = 0.023 \frac{k}{D_e} Pr^{0.4} Re^{0.8}$	1	Ostrache の式 $h = \frac{k}{L} Nu$
2	Chen の式 $h = h_{mic} + h_{mac}$ $h_{mic} = 0.00122 \left(\frac{k_f^{0.79} C_{pf}^{0.45} \rho_f^{0.49} g_c^{0.25}}{\sigma^{0.5} \mu_f^{0.29} h_{fg}^{0.24} \rho_g^{0.24}} \right) \times \Delta T_{sat}^{0.24} \Delta P^{0.75} \cdot S$ $h_{mac} = 0.023 \frac{k_f}{D_e} Pr_f^{0.4} Re_f^{0.8} F$	2	西川, 山本の式 $q_{NB} = 19550 P_{sat}^{12} \Delta T_{sat}^3$
3	修正 Tong-Young の式 $q = q_{TB} + q_{FB}$ $q_{TB} = q_{DNB} e^{-\phi}$ $\phi = \frac{0.001 \cdot Xe^{0.66}}{\left(\frac{q}{G \cdot h_{fg}}\right) \left(\frac{4}{D_e}\right)} \cdot \left(\frac{\Delta T_{sat}}{100}\right)^{1+0.0016 \Delta T_{sat}}$	6	NSRR の実験式 $h = h_0 (1 + f(v) \Delta T_{sub})$ $h_0 = 0.62 \left[\frac{k_g^3 h_{fg} \rho_g (\rho_f - \rho_g) g_c}{\mu_g \cdot 2\pi \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_f - \rho_g} \Delta T_{sat}}} \right]^{0.25}$ $f(v) = 0.025 + 0.01(v - 1.0), v > 1.0$ $f(v) = 0.025, v \leq 1.0$
6	Condie-Bengston の式 $q = q_{TB} + q_{FB}$ $q_{FB} = h \Delta T_{sat}$ $h = \left[0.04487 k_g^{0.4376} Pr_g^{2.3070} \times Re_g^{0.6004 + 0.2456 \ln(1 + Xe)} \right] / \left[D_e^{0.7842} (1 + Xe)^{2.59028} \right]$	2	修正 Chen の式 $F = 1$ 及び $q = h_{mic} \Delta T_{sat} + h_{mac} (T_w - T_f)$

(注) ここでモード番号とは、プリント出力されるモード番号を指す。

使用記号一覧表

記号	内 容	記号	内 容
C_p	容積比熱 (Btu/ft ³ -hr)	g_c	重力換算係数 (lb _m -ft/lb _f -sec ²)
D_e	等価直径 (ft)	h	熱伝達係数 (Btu/ft ² -hr ⁻¹ -F)
F	レイノルズ数係数 ^(注1) (—)	h_{fg}	蒸発潜熱 (Btu/lb _m)
G	質量束 (lb _m /ft ² -hr)	S	抑制係数 ^(注2) (—)

記号	内 容	記号	内 容
T_f	流体温度 ($^{\circ}\text{F}$)	q	熱流束 ($\text{Btu}/\text{ft}^2\text{-hr}$)
T_w	壁面温度 ($^{\circ}\text{F}$)	Re	レイノルズ数 (—)
ΔT_{sat}	壁面温度と飽和温度の差 ($^{\circ}\text{F}$)	ρ	密度 (lb_m/ft^3)
ΔT_{sub}	飽和温度とサブクール水温度との差 ($^{\circ}\text{F}$)	σ	表面張力 (lb_f/ft)
X_e	平衡クオリティ (—)	(添字)	
μ	粘性係数 ($\text{lb}_m/\text{ft-hr}$)	DNB	Departure from Nucleate Boilingの略
k	熱伝導率 ($\text{Btu}/\text{ft-hr-}^{\circ}\text{F}$)	f	飽和水
L	熱伝達面の長さ (ft)	FB	膜沸騰
Nu	ヌッセルト数 (—)	g	飽和蒸気
Pr	プラントル数 (—)	NB	核沸騰
P_{sat}	飽和圧力 (lb_f/ft^2)	TB	遷移沸騰
ΔP	ΔT_{sat} に対応する蒸気圧力差 (lb_f/ft^2)		

(注1) $\left(\frac{X_e}{1-X_e}\right)^{0.9} \left(\frac{\rho_f}{\rho_g}\right)^{0.5} \left(\frac{\mu_g}{\mu_f}\right)^{0.1}$ に対応して決まる係数

(注2) $\text{Re}_f \cdot F^{1.25}$ に対応して決まる係数

3.6 DNBモデル

DNB熱流束は表 3.6 - 1 に従い導出している。ここではサブクール核沸騰及び飽和核沸騰からの DNB 熱流束を算出している。

1) 飽和核沸騰

$g > 1360 \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{sec}$ の質量束の場合 Hsu and Beckner の修正 W-3 相関式を適用している。 $g \leq 271 \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{sec}$ では Smith and Griffith の修正 Zuber 相関式を用いている。 $271 < g \leq 1360 \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{sec}$ では、質量束に関する直線内挿を行い導出している。

表 3.6 - 1 よりわかるように、ボイド率が 0.96 を上回ると Dryout する条件が Hsu and Beckner 相関式に含まれている。この条件は修正 Zuber 相関式適用の際にも用いられる。

2) サブクール核沸騰

$g > 1360 \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{sec}$ では Tong の W-3 相関が使われている。この相関式は飽和領域に対して連続性を持つよう設定されている。 $g \leq 271 \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{sec}$ では Zuber の相関式を用いている。これは修正 Zuber の式において $\alpha = 0.0$ としたものである。

更にサブクール度の大きい時の補正として、サブクール度を考慮した Kutateladze の補正式を適用している。但し質量束が $g \leq 271 \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{sec}$ の時だけである。

$271 < g \leq 1360 \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{sec}$ の領域では飽和核沸騰と同様な内挿が行われる。

表 3.6 - 1 DNB 熱流束

I. $g > 1360 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{sec}$ の場合

1. サブクール DNB 相関: Tong の W-3 相関式

$$q_{w-3} \times 10^{-6} = \prod_{i=1}^5 C_i$$

$$C_1 = (2.002 - 0.0004302 P) + (0.1722 - 0.0000984 P) \times \exp\{(18.177 - 0.004129 P) Xe\}$$

$$C_2 = (0.1484 - 1.596 Xe + 0.1729 Xe |Xe|) G \times 10^{-6} + 1.037$$

$$C_3 = 1.157 - 0.869 Xe$$

$$C_4 = 0.2664 + 0.8357 e^{-37.81 De}$$

$$C_5 = 0.8258 + 0.000794 (h_f - h_{in})$$

2. 飽和 DNB 相関: Hsu and Beckener の修正 W-3 相関式

1) $\alpha \geq 0.96$

Dryout 状態となる。

2) $\alpha < 0.96$

$$q_{DNB} = q_{dry} + \sqrt{1.76(0.96 - \alpha)} \cdot q_{w-3} \left| \begin{array}{l} Xe = 0 \\ C_5 = 0.8258 \end{array} \right.$$

a) $Re > 2000$ の時

q_{dry} = 蒸気に対する Dittus-Boelter の式から算出する熱流束。

b) $Re \leq 2000$ の時

q_{dry} = Rohsenow-choi 及び NSRR の実験式の熱流束の最大値。

(註1) Rohsenow-choi の式

$$q = \frac{4K}{D_e} (T_w - T_f)$$

(註2) $q_{w-3} \left| \begin{array}{l} Xe = 0 \\ C_5 = 0.8258 \end{array} \right.$ は Tong の W-3 相関式でクオリティ及びサブクール度共に零とした結果である。

II. $g \leq 271 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{sec}$ の場合

1. サブクール DNB 相関: Zuber 相関式及び Kutateladze の補正

$$q_{DNB} = q_{Zuber} \Big|_{\alpha=0} \times \left\{ 1.0 + 0.065 \left(\frac{\rho_f}{\rho_g} \right)^{0.8} \frac{C_{Pf} \cdot \Delta T_{sub}}{h_{fg}} \right\}$$

$q_{Zuber} \Big|_{\alpha=0}$ は修正 Zuber の式でボイド率が零の時の値。

2. 飽和 DNB 相関: 修正 Zuber 相関式

$$q_{Zuber} = 0.13 h_{fg} \cdot \rho_g^{0.5} \left[\sigma (\rho_f - \rho_g) g \cdot g_c \right]^{0.25} \left[\frac{\rho_f}{\rho_f + \rho_g} \right]^{0.5} \times (0.96 - \alpha)$$

使用記号一覧表（主な記号は表 3.5-2 参照）

g = 重力加速度 (ft/sec²)

h_{in} = サブクール水流入側エンタルピー (Btu/lb_m)

P = ノード圧力 (lb_f/ft²)

α = ボイド率 (—)

3.7 冷却材熱流動モデル

3.7.1 冷却材熱流動モデル

流体質量、エネルギー及び流量の保存式が流体流動現象に対し完全な解を与えている。ここでは、一次元均質熱平衡流の仮定に基づいた、一組の円筒流に対する流体方程式を解いている。これは一般に使われている保存式より導かれる。

1) 質量保存式

$$A \frac{\partial \rho}{\partial t} = - \frac{\partial W}{\partial X} \quad (3.7-1)$$

2) エネルギー保存式

$$A \frac{\partial (\rho \cdot e)}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial X} \left[W \left(h + \frac{1}{2} V^2 + \Phi \right) \right] + q_w \frac{\partial A_w}{\partial X} \quad (3.7-2)$$

3) 流動方程式

$$A \frac{\partial (\rho \cdot V)}{\partial t} = - \frac{\partial (V \cdot W)}{\partial X} + A \frac{\partial P}{\partial X} - \rho g A \frac{\partial Z}{\partial X} - \frac{\partial F_K}{\partial X} \quad (3.7-3)$$

ここで使用した記号は

A = 流路面積 (m²)

A_w = 熱伝達が行われる壁面積 (m²)

e = 流体の全特性エネルギー (m²/sec²)

($e = u + \frac{1}{2} V^2 + \Phi$)

F_K = 摩擦力 (kg-m/sec²)

g = 重力加速度 (m/sec²)

h = 流体の特性エンタルピー (m²/sec²)

($h = u + P/\rho$)

P = 熱力学的圧力 (kg/m-sec²)

q_w = 熱伝達面での熱流束 (kg/sec³)

t = 時間 (sec)

u = 流体の特性内部エネルギー (m²/sec²)

V = 流体速度 (m/sec)

W = 流体質量速度 (kg/sec)

X = 流路長 (m)

Z = 流体の相対的高さ (m)

ρ = 流体密度 (kg/m³)

Φ = ポテンシャルエネルギー (m²/sec²)

$$\left(g = \frac{\partial \Phi}{\partial Z} \right)$$

流体の質量、エネルギー及び流量値を得るために (3.7-1) ~ (3.7-3) 式の積分を、計算するノードに対して行う。熱力学的圧力は、特性内部エネルギーと流体密度の状態量の関数として定義できる。同時刻についての一連の方程式は線型化され Implicit 数値解法を利用して解く。

質量とエネルギーの保存式を、ある Time Step にわたって積分し得られる、あるノード内の状態量は流体の全質量と内部エネルギーである。そのノード内の熱力学的状態は、この状態量を使って導く。状態決定のために、Newton-Raphson 法を使って、前述の内部エネルギー量と繰り返し計算で得られる値とが一致するまで、流体温度に関し繰り返し計算を行う。この時流体物性値は、温度及び比体積の関数として表わされている蒸気表を使って導く。

次に入力データにおいて内部計算するよう指定した場合の算出式について、主要なもののみ説明する。

1) 等価直径

$$D_e = 2 \sqrt{\frac{4 A}{\pi}} \quad (3.7-4)$$

D_e = 等価直径 (m)

2) 摩擦損失係数

a) 流路が拡大する時

$$K_f = \left(1 - \frac{A_I}{A_O} \right)^2 \quad (3.7-5)$$

b) 流路が縮小する時

$$K_f = 0.45 \left(1 - \frac{A_O}{A_I} \right) \quad (3.7-6)$$

K_f = 摩擦損失係数 (—)

A_I = 流入側流路面積 (m²)

A_O = 流出側流路面積 (m²)

3) 慣性

$$I = 0.5 \left(\frac{V_K}{A_K^2} + \frac{V_L}{A_L^2} \right) \quad (3.7-7)$$

I = 慣性 (1/m)

V = ノード体積 (m³)

A = ノード内流路面積 (m²)

K, L = 流路両側のノードを示す添字

全ての流路における冷却水量は、初期は安定状態にあるものと仮定される。初期状態で不均衡である時は自動的に残滓摩擦係数は過渡計算時にも適用される。

初期状態で残滓摩擦係数が計算された後に、全体での前進及び逆進流摩擦係数が計算される。そのどちらかが負の時には計算は停止する。

3.7.2 PMH 効果

オプションとして、炉心熱伝導体と隣り合うノード内冷却水に対し、(熱伝達ではなく)直接にエネルギーを賦与することができる。このオプションは炉動特性方程式が解かれる時のみ利用することができる。PMH (Prompt Moderator Heating) 効果は熱伝導現象とは相異なるので、炉心で発生する総エネルギーのある割合分を差し引いたエネルギーが熱伝導体に残るとして伝導方程式を解いている。

PMH は次式で示される。

$$Q_{PMH} = Q_{frac} \times P_t \times Q_{PMH\ frac} \times P_o \times \frac{\rho}{\rho_o} \quad (3.7-8)$$

Q_{PMH} = 冷却水即時加熱エネルギー (MW)

Q_{frac} = 動特性計算を行った炉心部分の熱発生割合 (—)

P_t = 動特性計算より得られる規格化出力 (—)

$Q_{PMHfrac}$ = その炉心部分の全熱発生量の中での PMH に利用される場合 (—)

P_o = 初期全炉心出力 (MW)

ρ/ρ_o = その時刻での冷却水密度と初期冷却水密度との比 (—)

従って熱伝導方程式で用いられる熱発生量は下式で求められる。

$$Q = Q_{frac} \times P_t \times P_o - Q_{PMH} \quad (3.7-9)$$

3.7.3 サブクールボイドモデル

減速材に起因する反応度補償のなかに、サブクール沸騰で発生するボイドによるものが挙げられる。サブクールボイド率は下式で算出している。しかし、このモデルは流体方程式には何らの影響も及ぼさない。サブクールボイド率は下式で導かれる。

$$\frac{dR}{dt} + \frac{R}{\tau} = \lambda Kq' \quad (3.7-10)$$

ここで

R = ボイド率 (—)

τ = ボイド寿命 (sec)

λ = ボイド発生に利用される表面熱流束の割合 (—)

q' = 表面熱流束 (kcal/m²·sec)

K = 換算係数 (m²/kcal)

t = 時間 (sec)

パラメータ、 τ 及び λ はデータ入力しなければならない。

実際には (3.7-10) 式の積分解が使用されていて、

$$R(t + \Delta t) = R(t)e^{-\Delta t/\tau} + \lambda Kq'\tau(1 - e^{-\Delta t/\tau}) \quad (3.7-11)$$

但し Δt は Time Step 幅である。

3.7.4 垂直スリップモデル

このモデルは垂直計算体系における流路で、流体速度成分を分離計算する。ここでは重力が、各々の相の間のスリップを支配していると仮定している。従って、慣性効果が無視できる程度の、相対的にゆっくりとした過渡変化に対して本質的に採用されるものである。本モデルでは流路における液相流及び蒸気流速を計算している。これらは、流路両側のノード間のエネルギー輸送量を導出する。しかし、スリップモデルを付加することで、質量及び運動量保存式の修正は行われぬ。スリップモデルはエネルギー方程式にのみ、その効果を波及するので、流路における正味の流体速度と逆方向にエネルギーが輸送される可能性が残されている。

重力支配の流動の仮定に立った流路では、以下のような流動の組み合わせが考えられる。

- 1) 液相，蒸気相共に下降流
- 2) 液相，蒸気相共に上昇流
- 3) 液相は下降流，蒸気相が上昇流の対向流

スリップモデルにおけるスリップ速度はボイド率のみの関数で表わしている。垂直な流路でのスリップモデルの適用は次のように行う。流路における正味の質量流量及び流路両側ノードの熱力学的物性値は既知と仮定する。

流路での正味の質量流量， W_{NET} は、液相流， W_ℓ ，及び蒸気流， W_g ，を用い下式で表わされる。

$$W_{NET} = W_\ell + W_g \quad (3.7-12)$$

ここで各相流は下降流を正としている。また各相流は下式で表わされる。

$$W_\ell = (1 - \alpha) \rho_\ell V_\ell A \quad (3.7-13)$$

$$W_g = \alpha \rho_g V_g A \quad (3.7-14)$$

ここで使用した記号は、

ℓ, g = 液相，蒸気相を示す添字

ρ = 密度 (kg/m^3)

V = 速度 (m/sec)

A = 流路面積 (m^2)

α = 流路でのボイド率

流路でのスリップ速度は次式で示される。

$$V_{SLIP} = V_\ell - V_g \quad (3.7-15)$$

流路における流量が正の下降流の場合は V_{SLIP} は正になり、正の上昇流に対しては負となる。

仮定より W_{NET} 、 V_{SLIP} 及びノード物性値が既知であるので各相流は次式で表わされることになる。

$$W_g = \alpha \rho_g \frac{W_{NET} - (1 - \alpha) \rho_\ell A V_{SLIP}}{(1 - \alpha) \rho_\ell + \alpha \rho_g} \quad (3.7-16)$$

$$W_\ell = (1 - \alpha) \rho_\ell \frac{W_{NET} + \alpha \rho_g A V_{SLIP}}{(1 - \alpha) \rho_\ell + \alpha \rho_g} \quad (3.7-17)$$

本プログラムでは、水-蒸気対向流の時（即ち、 W_g と W_l の付号が逆の時）スリップモデルの適用をしない。これは、対向流速の導出が未だ充分確立されているとは言えないので適用を避けた。また反応度事故解析上では、対向流の起こる可能性は小さく重要性も薄い。

3.7.5 エンタルピー輸送モデル

流路におけるエンタルピーは、通常上流側ノードの平均エンタルピーとして導かれる。しかし、発熱体と隣り合うノードでは熱が付加される。従ってそのノード出口でのエンタルピーは平均エンタルピーよりも大きい。そこでエンタルピー輸送モデルでは、ノードに加えられた熱量に比例して流路のエンタルピーを増加させる。

流路でのエンタルピー及び速度は上流側ノードの量として見積もられる。定義により流路でのエンタルピー及び運動エネルギーは流入流体物性により決定される。即ち

$$h_{ij} = \bar{h}_i + \frac{1}{2g_c J_c} (\bar{V}_i^2 - V_{ij}^2) + (\Delta h_i)_q + (\Delta h_{ij})_s \quad (3.7-18)$$

ここで

h_{ij} = ノード V_i から流入（流出）する流体についての流路 j での局所エンタルピー
(kcal/kg)

V_{ij} = ノード V_i から流入（流出）する液体についての流路 j での局所速度 (m/sec)

\bar{h}_i = ノード V_i の平均エンタルピー (kcal/kg)

g_c = 重力換算係数 ($kg_m \cdot m / kg_f \cdot sec^2$)

J_c = 熱-運動平衡係数 ($kg \cdot m / kcal$)

$(\Delta h_i)_q$ = ノード平均からノード V_i に付加された熱を考慮した際の流路エンタルピー変化 (kcal/kg)

$(\Delta h_{ij})_s$ = 相分離に伴うエンタルピーの変化 (kcal/kg)

ノード V_i で加熱されたための、流路 j でのエンタルピー増加は次式でモデル化している。

$$Q_i = M_i \frac{dh_{ij}}{dt} + (\Delta h_i)_q | \bar{W}_i + W_j | \quad (3.7-19)$$

ここで、

M_i = ノード V_i での質量 (kg)

\bar{W}_i = ノード V_i での平均質量流量 (kg/sec)

W_j = 流路 j での質量流量 (kg/sec)

Q_i = ノード V_i への熱エネルギー伝達率 (kcal/sec)

(3.7-18)式で表わされるエンタルピー輸送モデルは、相分離のない均質流体である。唯一つの流路で結合されているノードに対してのみ適用できる。このモデルは質量及びエネルギーの積分された保存式より得ることができる。また運動及びポテンシャルエネルギーの変化は無視され、圧力は時間に対して独立であると仮定している。

4. 数 値 計 算 法

4.1 動特性方程式

動特性方程式の数値解析法は IREKIN コードで採用されている方法と、ほぼ同一である。即ち (3.1-1) 式で表わされる方程式を一階微分方程式とみなすことにより、 $n(t+\Delta t)$ は $n(t)$ の関係式として解くことができる。それを 5 段階の Runge-Kutta 法で解く。

まず (3.1-1) 式は、次式で表わされる。

$$\frac{dn}{dt} = \alpha n + R(n, t) \quad (4.1-1)$$

但し

$$\alpha = -\frac{\beta}{\ell} (R(t) - 1) \quad (4.1-2)$$

$$R(n, t) = \left[-\frac{\beta}{\ell} (R(t+\Delta t) - R(t)) n + \sum_{i=1}^6 C_i \lambda_i + S \right] \quad (4.1-3)$$

(4.1-3) 式で表わされる $R(n, t)$ を Runge-Kutta 法における R-factor と呼称し、 $R(n, t)$ をパラメータとして 5 段階の Runge-Kutta 法で解く。解法の概略を以下に説明する。

1 Time Step 経過後、時刻が t から $t + \Delta t$ になる時 (4.1-1) 式より

$$n(t+\Delta t) = n(t) + \int_0^1 \{ \alpha n(t) + R(n, t + \zeta \Delta t) \} e^{\alpha \Delta t (1-\zeta)} \Delta t d\zeta \quad (4.1-4)$$

第 1 段階では

$$R = R(n(t), t) = R^{(0)} = \text{const} \quad (4.1-5)$$

として $n^{(1)} = n(t + \frac{1}{2} \Delta t)$ を計算する。第 2 段階では、

$$R^{(1)} = R(n^{(1)}, t + \frac{1}{2} \Delta t) \quad (4.1-6)$$

と仮定し、(4.1-5) 式より R を直線内挿し $n^{(2)} = n(t + \frac{1}{2} \Delta t)$ を求める。第 3 段階では、

$$R^{(2)} = R(n^{(2)}, t + \frac{1}{2} \Delta t) \quad (4.1-7)$$

と仮定し、(4.1-5) 式より R を直線外挿し、 $n^{(3)} = n(t + \Delta t)$ を求める。第 4 段階では、

$$R^{(3)} = R(n^{(3)}, t + \Delta t) \quad (4.1-8)$$

と仮定し、(4.1-5)、(4.1-7)、(4.1-8) 式より R を 2 次曲線内挿し、 $n^{(4)} = n(t + \Delta t)$ を求める。更に第 5 段階では

$$R^{(4)} = R(n^{(4)}, t + \Delta t) \quad (4.1-9)$$

と仮定し，(4.1-5)，(4.1-7)，(4.1-9) 式より R を 2 次曲線内挿し， $n^{(5)} = n(t + \Delta t)$ を求める。 $n^{(5)}$ が，次の Time Step での解である。詳細については，参考文献を参照して欲しい。

4.2 熱伝導方程式

熱伝導体のメッシュ分割例を図 3.3-1 に示したとおりである。ここでは更に，分割の詳細内容を図 4.2-1 に示す。この図中で， n はメッシュ番号， A_n はメッシュ中央での熱伝達面積， V_n は A_{n-1} と A_n ではさまれた熱伝導体体積である。

新しい Time Step での値をダッシュ付きで表わすと，(3.3-1) 式は下式で表わされる。

$$\begin{aligned} V_n C_n \frac{T'_n - T_n}{\Delta t} = Q'_n & \\ & + \frac{A_n}{2\Delta X_n} \left[\bar{k}_{n,n+1} (T_{n+1} - T_n) + \bar{k}'_{n,n+1} (T'_{n+1} - T'_n) \right] \\ & - \frac{A_{n-1}}{2\Delta X_{n-1}} \left[\bar{k}_{n-1,n} (T_n - T_{n-1}) + \bar{k}'_{n-1,n} (T'_n - T'_{n-1}) \right] \end{aligned} \quad (4.2-1)$$

ここで，

$$\bar{k}_{n,n+1} = \frac{1}{2} (k_n + k_{n+1}) \quad (4.2-2)$$

を，各々意味する。実際には (4.2-1) 式を下式に直す。

$$a_n T'_{n-1} + b_n T'_n + g_n T'_{n+1} = d_n \quad (4.2-3)$$

但し，

$$\begin{aligned} a_n &= -\frac{A_{n-1}}{2\Delta X_{n-1}} \bar{k}'_{n-1,n} \\ b_n &= \frac{V_n C_n}{\Delta t} + \frac{1}{2} \left(\frac{A_n}{\Delta X_n} \bar{k}'_{n,n+1} + \frac{A_{n-1}}{\Delta X_{n-1}} \bar{k}'_{n-1,n} \right) \\ g_n &= -\frac{A_n}{2\Delta X_n} \bar{k}'_{n,n+1} \\ d_n &= Q'_n + \frac{V_n C_n}{\Delta t} T_n \\ & \quad + \frac{A_n}{2\Delta X_n} \bar{k}_{n,n+1} (T_{n+1} - T_n) \\ & \quad - \frac{A_{n-1}}{2\Delta X_{n-1}} \bar{k}_{n-1,n} (T_n - T_{n-1}) \end{aligned}$$

境界条件は T_1 ，及び T_N で決定される。境界条件については 3.3.2 節で述べたとおりである。また，熱伝導方程式は (4.2-3) 式で示されるものが，合計 N 式になり， N 次の三角行列式を解くことにより，新しい Time Step での温度分布が得られる。

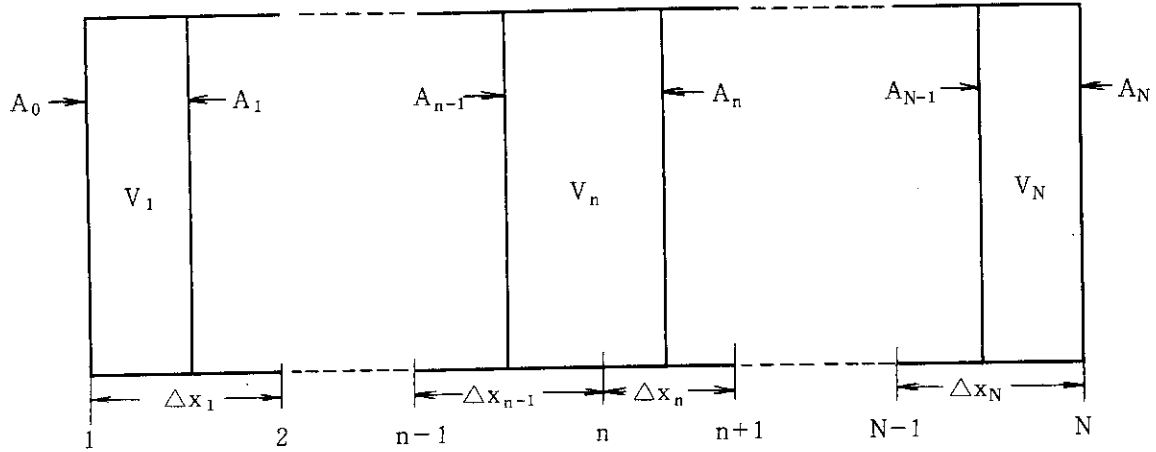
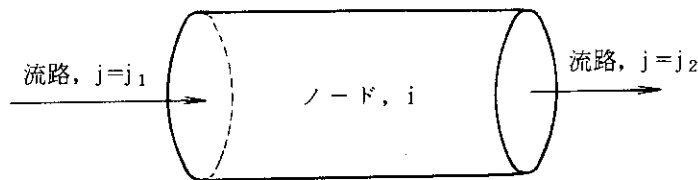


図 4.2 - 1 熱伝導のメッシュ分割

4.3 熱流動方程式

プログラムで使われている熱流動方程式は (3.7-1) ~ (3.7-3) 式を、着目しているノードの体積で積分したものである。以下の数値解法で使用する添字 i, j は、次の典型的体系に対して適用される。



また流路 j から (若しくは流路 j へ) ノード i へ (から) 流入 (流出) する諸量は X_{ij} で示すことにする。

1) 質量保存式

(3.7-1) 式を X で積分すると、

$$\frac{dM_i}{dt} = \sum_j W_{ij} \quad (4.3-1)$$

ここで使用した記号は、

M = 質量 (kg)

W = 流量 (kg/sec)

2) エネルギー保存式

(3.7-2) 式を X で積分すると、

$$\frac{d}{dt} \left\{ U_i + \frac{\ell_i}{2A_i} \left(\frac{\bar{W}_i^2}{\rho_i} \right) \right\} = \sum_j W_{ij} \left(h_{ij} + \frac{V_{ij}^2}{2} + Z_{ij} - \bar{Z}_i \right) + Q_i \quad (4.3-2)$$

ここで使用した記号は、

U = 全内部エネルギー (kg-m²/sec²)

ℓ = 流路長 (m)

$\bar{\rho}$ = 平均流体密度 (kg/m³)

\bar{W} = 平均流量 (kg/sec)

Q = 熱伝達率 (kg-m²/sec³)

$Z_{ij} - \bar{Z}_i$ = ノード i の質量中心ポテンシャル, \bar{Z}_i , から流路 j のポテンシャル, Z_{ij} , への変化 (m²/sec²)

(3.7-2) 式で示した特性内部エネルギー, u , は定義により, 全内部エネルギー, U , と全質量, M , との比で表わされる。

$$u = \frac{U}{M} \quad (4.3-3)$$

また, ノード体積を V とすると, 平均流体密度は次式で表わされる。

$$\bar{\rho} = \frac{M}{V} \quad (4.3-4)$$

ノード平均流量, \bar{W}_i , の項を含む運動エネルギー量 (4.3-2) 式左辺の第 2 項) を導くために, ノード出入口において, 一定の流路面積, A_i , を仮定する。この形状仮定に基づいて次式が導出される。即ちノード平均流量は, 流入量と流出量の平均で表わされて,

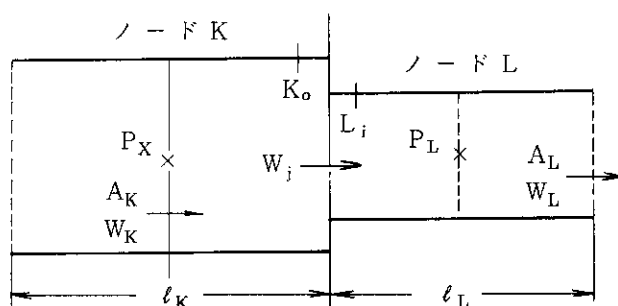
$$\bar{W}_i = \frac{(\sum_{j, in} W_{ij})(\sum_{j, in} v_j A_j) - (\sum_{j, out} W_{ij})(\sum_{j, out} v_j A_j)}{\sum_{j, in} v_j A_j - \sum_{j, out} v_j A_j + \left\{ \sum_{j, in} W_{ij} - \sum_{j, out} W_{ij} \right\} \sqrt{\rho_i}} \quad (4.3-5)$$

ここで, 流入に対して $W_{ij} \geq 0$, 流出に対して $W_{ij} < 0$ であり, W_{ij} は流路面積 A_j を速度 v_j で流れる。

流路におけるエンタルピー, h_{ij} , 及び速度, V_{ij} , は, 流入側についてはすぐに導かれる。定義により流路でのエンタルピー及び運動エネルギーは流量 W_{ij} に基づく流体物性より決定される。例えば, $W_{ij} \geq 0$ ならば (即ちノード i への流入), h_{ij} 及び V_{ij} は, ノード i の下流のノード (若しくは流入源) の物性により決定され, $W_{ij} < 0$ ならば (即ちノード i からの流出), ノード i の物性により決定される。従って h_{ij} は (3.7-18) 式より導かれる。

3) 流動方程式

先ず (3.7-3) 式を X で積分する。記号及び添字は下図に従う。



流路 j に対する流動方程式はノード K の中心からノード L の中心の間で規定される。またノード K, L は質量及びエネルギー保存則で定義されている。従って熱力学的圧力 P_K, P_L 及び平均流量 W_K, W_L は既知であり, これらは, ノード中心で規定されるものと仮定する。この圧力及び流量が, 流路 j の境界条件となる。ここでノード K, L の流路面積を A_K, A_L , 流路長を

l_K, l_L とする。流路面積は流路 j で変化することが許されている。流れ方向は、流量 W_j の符号の設定都合上 Implicit である。初期設定においては、ノード K からノード L へ $W_j (\geq 0)$ 流れるというようにしなければならない。この時、ノード K からノード L への、流路 j を介しての流動方程式は下式となる。

$$I_j \frac{dW_j}{dt} = (P_K + P_{K_{gj}}) - (P_L + P_{L_{gj}}) - (F_{f_K} + F_{f_L} + F_{fr}) - \int_{K_0}^{L_i} dF - \int_K^L \frac{d(VW)}{A} \quad (4.3-6)$$

ここで使用した記号は、

K_0 = 流路面積 A_j に隣り合うノード K の出口側

L_i = 流路面積 A_j に隣り合うノード L の入口側

P_K, P_L = ノード中央での熱力学的圧力 (kg/m-sec^2)

$P_{K_{gj}}$ = ノード K の中心から流路 j までの重力差圧 (kg/m-sec^2)

$P_{L_{gj}}$ = 流路 j からノード L の中心までの重力差圧 (kg/m-sec^2)

F_{f_K}, F_{f_L} = ノード半分での摩擦圧力損失

$$= 4f \cdot \left(\frac{l}{2D_h} \right) \left(\frac{\rho \bar{V} |\bar{V}|}{2} \right) \phi_{2P} \quad (\text{kg/m-sec}^2)$$

F_{fr} = 残滓摩擦係数により生ずる圧力損失 (3.7.1 節参照) (kg/m-sec^2)

$\int_{K_0}^{L_i} dF$ = ノード K, L 間の流路拡大 (縮小) により生ずる圧力損失 (kg/m-sec^2)

$\int_K^L \frac{d(VW)}{A}$ = ノード K, L 間の流路面積及び密度変化により生ずる運動量束の変化

f = Fanning の摩擦損失係数(-)

D_h = 等価直径 (m)

ϕ_{2P} = 流れが 2 相流になる場合の摩擦損失の補正(-)

I_j = 流路 j での形状変化による慣性

$$= \frac{1}{2} \left(\frac{l_K}{A_K} + \frac{l_L}{A_L} \right) \quad (1/m)$$

W_j = 流路 j での質量流量 (kg/sec)

摩擦損失係数は次式で求めている。滑らかな円管内での乱流に対する Karman-Nikuradse 方程式は、

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.4 + 4 \log(\text{Re}\sqrt{f}) \quad (4.3-7)$$

但し $0.002 \leq f \leq f_e$

層流域においては

$$f = \frac{16}{\text{Re}} \quad (4.3-8)$$

但し $f > f_e$

ここで fe は (4.3-7) と (4.3-8) 式との交点での値である。両式の交差は $Re \approx 1000$, $fe \approx 0.012$ の点である。2相流における Re の算出においては、飽和水と飽和蒸気に対する粘度にクオリティの重みを付けて行っている。

2相流に対する摩擦損失の補正係数、 ϕ_{2P} は、壁面摩擦損失の増大に起因する。係数は、Baroczy の関係式に修正を施し、質量束、圧力及びクオリティの関数で表わされる。修正により、単相流の場合の摩擦損失よりも常に大きくなる。($\phi_{2P} \geq 1.0$)

また、ここで、流路における流量、 W_j は、ノード K, L の中心間の慣性重みを考慮したノード平均流量より、次式で定義されている。

$$W_j = \frac{\int_K^j \frac{W}{A_K} dX + \int_j^L \frac{W}{A_L} dX}{I_j} \quad (4.3-9)$$

本プログラムでは圧縮流体に対する運動量保存式を適用している。即ち一般式 (4.3-6) において、右辺の摩擦損失項と運動量項を以下の式を使用している。

$$\int_{K_0}^{L_i} dF = K_f \frac{\rho_j V_j V_j}{2} \quad (4.3-10)$$

$$\int_K^L \frac{d(VW)}{A} = - \left(\frac{\bar{V}_K \bar{W}_K}{A_K} - \frac{\bar{V}_L \bar{W}_L}{A_L} \right) + \rho_{K_0} (V_{K_0}^2 + C_j^2) - \rho_{L_i} (V_{L_i}^2 + C_j^2) \quad (4.3-11)$$

ここで、 K_f はノード間の形状変化による摩擦損失係数であり、(3.7-6) 式、若しくは入力データで与えられる。(4.3-10) 式で見られるように、 K_f は Darcy-Weisbach の摩擦係数であることに注意しなければならない。また実際には、(4.3-6) 式の F_{fr} の項は、 K_f の項で考慮される。即ち

$$F_{fr} + \int_{K_0}^{L_i} dF \equiv K_f \frac{\rho_j V_j V_j}{2} \quad (4.3-12)$$

また (4.3-11) 式で C_j は音速を示し下式から求める。

$$C_j = \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial \rho} \right)_{\text{等エントロピー}}} \quad (4.3-13)$$

ここで、 C_j は流路内で一定であると仮定している。

従って (4.3-6) 式は次式で表わすことができる。

$$I_j \frac{dW_j}{dt} = (P_K + P_{K_{e1}}) - (P_L + P_{L_{e1}}) - (F_{f_K} + F_{f_L} + K_f \frac{\rho_j V_j |V_j|}{2}) + \left(\frac{\bar{V}_K \bar{W}_K}{A_K} - \frac{\bar{V}_L \bar{W}_L}{A_L} \right) - \{ \rho_{K_0} (V_{K_0}^2 + C_j^2) - \rho_{L_i} (V_{L_i}^2 + C_j^2) \} \quad (4.3-14)$$

前述のように、流路での物性は、流路の上流側（即ちここではノード K ）で決定されるように、 C_j も同様に決定する。

流路の下流側（ここでは L_i ）での流体密度及び速度は，等エントロピー（一定音速）の式より導く。

$$\frac{\rho_{Li}}{\rho_{K_0}} = e^{-\frac{1}{2}(M_{Li}^2 - M_{K_0}^2)} \quad (4.3-15)$$

ここで， M はマッハ数を示し， V/C_j で表わされる。

5. 結 言

反応度投入によって苛酷な状態にある炉心をも解析できるコードを開発するため、従来開発されてきた EUREKA の冷却材流動モデルに改良を加え、新しく EUREKA-2 を作成した。

本報告では、軽水炉の反応度投入事象解析コードであり、核熱水力結合コードである EUREKA-2 の説明をした。

EUREKA-2 コードによって、局所的に高いピーキング係数をもち、かつ反応度投入によって急激に熱が発生し、冷却材温度が急上昇しボイドが発生するような苛酷な状態にある炉心をも解析できるようになった。

EUREKA-2 コードは板状燃料をもつ炉心をも解析することができる。

今後さらに反応度投入による急激な過渡現象の実験解析を行うことによって、EUREKA-2 コードの検証を行うとともに、解析結果と実験を対比させることによって、出力、冷却材温度、流量およびボイドが持つ過渡出力への影響をさらに詳細に説明していく。

謝 辞

本報告作成に際して、安全解析部部長 石川迪夫氏に深く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) M. Ishikawa et al. "EUREKA-A Computer Code for Uranium-Oxide Fueled, Water Cooled Reactor Kinetic Analysis", JAERI 1235 (Sep.1974).
- 2) C.F. Obenchain, "PARET-A Program for the Analysis of Reactor Transients", IDO-17282 (Jan.1969).
- 3) 稲辺輝雄, 大西信秋, "準静的多次元空間依存炉心動特性解析コード EUREKA-SPACE, JAERI-M-7183 (1977).
- 4) S.R. Fisher et al. "RELAP 4/MOD 6-A Computer Program for Transient Thermal-Hydraulic Analysis of Nuclear Reactors and Related Systems-User's Manual", CDAP-TR-003, EG & G IDAHO Inc. (Jan. 1978).

5. 結 言

反応度投入によって苛酷な状態にある炉心をも解析できるコードを開発するため、従来開発されてきた EUREKA の冷却材流動モデルに改良を加え、新しく EUREKA-2 を作成した。

本報告では、軽水炉の反応度投入事象解析コードであり、核熱水力結合コードである EUREKA-2 の説明をした。

EUREKA-2 コードによって、局所的に高いピーキング係数をもち、かつ反応度投入によって急激に熱が発生し、冷却材温度が急上昇しボイドが発生するような苛酷な状態にある炉心をも解析できるようになった。

EUREKA-2 コードは板状燃料をもつ炉心をも解析することができる。

今後さらに反応度投入による急激な過渡現象の実験解析を行うことによって、EUREKA-2 コードの検証を行うとともに、解析結果と実験を対比させることによって、出力、冷却材温度、流量およびボイドが持つ過渡出力への影響をさらに詳細に説明していく。

謝 辞

本報告作成に際して、安全解析部部長 石川迪夫氏に深く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) M. Ishikawa et al., "EUREKA-A Computer Code for Uranium-Oxide Fueled, Water Cooled Reactor Kinetic Analysis", JAERI 1235 (Sep.1974).
- 2) C.F. Obenchain, "PARET-A Program for the Analysis of Reactor Transients", IDO-17282 (Jan.1969).
- 3) 稲辺輝雄, 大西信秋, "準静的多次元空間依存炉心動特性解析コード EUREKA-SPACE, JAERI-M-7183 (1977).
- 4) S.R. Fisher et al., "RELAP 4/MOD 6-A Computer Program for Transient Thermal-Hydraulic Analysis of Nuclear Reactors and Related Systems-User's Manual", CDAP-TR-003, EG & G IDAHO Inc. (Jan.1978).

5. 結 言

反応度投入によって苛酷な状態にある炉心をも解析できるコードを開発するため、従来開発されてきた EUREKA の冷却材流動モデルに改良を加え、新しく EUREKA-2 を作成した。

本報告では、軽水炉の反応度投入事象解析コードであり、核熱水力結合コードである EUREKA-2 の説明をした。

EUREKA-2 コードによって、局所的に高いピーキング係数をもち、かつ反応度投入によって急激に熱が発生し、冷却材温度が急上昇しボイドが発生するような苛酷な状態にある炉心をも解析できるようになった。

EUREKA-2 コードは板状燃料をもつ炉心をも解析することができる。

今後さらに反応度投入による急激な過渡現象の実験解析を行うことによって、EUREKA-2 コードの検証を行うとともに、解析結果と実験を対比させることによって、出力、冷却材温度、流量およびボイドが持つ過渡出力への影響をさらに詳細に説明していく。

謝 辞

本報告作成に際して、安全解析部部長 石川迪夫氏に深く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) M. Ishikawa et al., "EUREKA-A Computer Code for Uranium-Oxide Fueled, Water Cooled Reactor Kinetic Analysis", JAERI 1235 (Sep.1974).
- 2) C.F. Obenchain, "PARET-A Program for the Analysis of Reactor Transients", IDO-17282 (Jan.1969).
- 3) 稲辺輝雄, 大西信秋, "準静的多次元空間依存炉心動特性解析コード EUREKA-SPACE, JAERI-M-7183 (1977).
- 4) S.R. Fisher et al., "RELAP 4/MOD 6-A Computer Program for Transient Thermal-Hydraulic Analysis of Nuclear Reactors and Related Systems-User's Manual", CDAP-TR-003, EG & G IDAHO Inc. (Jan.1978).

附録1 入力データの説明

1. 概要

入力データは、標題カード、注釈カード（取捨選択可能）、データカード及び入力完了カードより構成されている。以上の入力データはそのまま先頭ページにプリントされる。各入力カードの順序は不同ではあるが、同一データ群番号での重複入力の場合には、最後のデータの方が優先される。

Slash カードは各計算ケースの区切りとして使う。多数ケースについて計算を行う時に利用するカードであるが、前回入力データ（即ち Slash カード以前のデータ）がそのまま保存されている事に注意しなければならない。従って保存されている入力データについての追加または置換データを入力する。

Period カードは、次の計算ケースへ進む前に、先に入力したデータ内容を記憶から除去する。従って Slash 及び Period カードを併用すれば、連続して全く異なる計算を行う事ができる。

実行できる計算ケース及び入力データ数はセットされる磁気テープ利用面で制限される。多数ケース計算処理は入力データのチェックに利用する事を主眼としているからである。

2. 入力データの説明

以下の入力データ説明では、先ず各データ群の概要とデータ群番号が記されている。データ群番号の中で番号が変化する場合の説明が次に続く。（例えば“××はノード番号を指す。”等々）次にデータの入力順序（ W_1, W_2, \dots ）、形式（実数型、整数型等）、変数名、入力データ内容、単位、その他を説明する。入力データ形式記号は以下で示してある。

I = 整数型

R = 実数型若しくは浮動小数点型

A = 文字型

データ群番号に続く記号“RST”は Restat 計算において有効であり、Restart では“RST”カードの変更の無い時は Restart 前と同一入力データ値となる。また“RST”の印の無いカードの変更は許されない。

1) 標題

標題カードには 1～72 カラムの中に最低限 1 つの文字または数字が必要である。

2) システムの大きさの指定：010001

W1 I LDMP テープ制御カード（1 JOB に対しテープ 1 本のみが用意される。）

（ $-3 \leq LDMP \leq 999$ ）

0 = テープを使わない場合。

- 1 = FORTRAN, UNIT 4 にて "RST" 情報を収納。
- 2 = FORTRAN, UNIT 4 にて "RST" 及び Plot 情報を収納。
- 3 = FORTRAN, UNIT 3 にて, テープに Edit する。
- N = FORTRAN, UNIT 3 で書かれているテープについて, 再計算番号 N にて, 再計算を行う。

- W 2 I NEDI 要求する Minor Edit 変数の数。
($0 \leq \text{NEDI} \leq 9$)
- W 3 I NTC Time Step データ群のカード枚数
($1 \leq \text{NTC} \leq 9$)
- W 4 I NTRP Trip 制御カード枚数
($1 \leq \text{NTRP} \leq 20$)
- W 5 I NVOL 制御する Node 数
($1 \leq \text{NVOL} \leq 75$)
- W 6 I NTDV 時間依存 Node 数
($0 \leq \text{NTDV} \leq 5$)
- W 7 I NJUN Junction (即ち, 流路) の数
($1 \leq \text{NJUN} \leq 100$)
- W 8 I NCKV 開閉用バルブ数
($0 \leq \text{NCKV} \leq 10$)
* 1つのデータ・セットを幾つかの Junction に適用する事が許される。
- W 9 I NFLL Filling システムに適用するデータ曲線の数。
($0 \leq \text{NFLL} \leq 20$)
- W 10 I NSLB Heat Slab の数。
($0 \leq \text{NSLB} \leq 50$)
- W 11 I NGOM Heat Slab 形状の数
(^(*) $M \leq \text{NGOM} \leq 20$)
- W 12 I NMAT Heat Slab 構成物質の数
(^(*) $M \leq \text{NMAT} \leq 7$)
(* 1) ... $\left(\begin{array}{ll} M=1 & \text{for } \text{NSLB} \geq 1 \\ M=0 & \text{for } \text{NSLB} = 0 \end{array} \right)$

3) 原子炉初期出力データ : 010002 : "RST"

W 1 R Power 初期出力 [MW]

4) Minor 出力変数データ : 020000 : "RST"

010001 カード内の変数, NEDI > 0 の時に, 1 枚入力が必要である。ここで指定した変数の値が Minor 出力される。出力を要求する各々の変数に対して次の様に指定する。

$\left. \begin{array}{ll} \text{W 1} & \text{A} \quad \text{変数名} \\ \text{W 2} & \text{I} \quad \text{出力したい場所の番号指定} \end{array} \right\} \text{セット数} = \text{NEDI}$

Minor 出力で許される変数名は, 以下の通りである。

i) Node について出力出来る変数名と内容

(1 ≤ W 2 ≤ 75)

AP	平均圧力 [kg/cm ² A]
TM	全質量 [kg]
TE	全エネルギー [kcal]
AT	平均温度 [°C]
AR	平均密度 [kg/m ³]
AH	平均エンタルピー [kcal/kg]
AX	平均クオリティ [—]
VF	飽和水の比体積 [m ³ /kg]
VG	飽和蒸気の比体積 [m ³ /kg]
HF	飽和水のエンタルピー [kcal/kg]
HG	飽和蒸気のエンタルピー [kcal/kg]
TS	飽和温度 [°C]
PS	飽和圧力 [kg/cm ²]
WM	液質量 [kg]
WQ	冷却材に伝達される出力 [kcal/hr]
WV	平均流量 [ton/hr]
AV	平均ボイド率 [—]

ii) Junction について出力出来る変数名と内容

(1 ≤ W 2 ≤ 100)

JW	Junction 流量 [ton/hr]
JH	Junction エンタルピー [kcal/kg]
JX	Junction クオリティ [—]
JV	Junction での比体積 [m ³ /kg]
TD	Junction 内での全体の圧力差 [kg/cm ²]
FD	摩擦による圧力差 [kg/cm ²]
ED	高さによる圧力差 [kg/cm ²]
AD	加速により生ずる圧力差 [kg/cm ²]
JF	体積流量 [m ³ /hr]
FV	Junction での速度 [m/sec]
JK	運動エネルギー量 [kcal/kg]

iii) Heat Slab について出力出来る変数名と内容

(1 ≤ W 2 ≤ 50)

SR	表面温度 [°C]
CR	熱伝達係数 [kcal/m ² -hr-°C]
FR	熱流速 [kcal/m ² -hr]
WR	冷却材への熱伝達割合 [kcal/hr]

KR	熱伝達状態のモードNo. [—]
DR	限界熱流速 [kcal/m ² -hr]
ST	Slabの平均温度 [°C]
GC	ギャップコンダクタンス [kcal/m ² -hr-°C]
MP	減速材の加熱割合 [kcal/hr]
SV	サブクールボイド体積 [m ³]
SE	蓄積エネルギー [cal/g-UO ₂]

IV) 炉体系について出力出来る変数名と内容
(W 2 = 0)

AE	Transient の間に加えられるエネルギー量 [MW-S]
FE	総てのHeat Slabに蓄積されるエネルギー量 [kcal]
NQ	規格化された出力 [—]
EB	エネルギーバランス量 [kcal]
RC	制御棒挿入(引抜き)による反応度 [β]
MB	質量バランス量 [kg]
TR	全反応度 [β]
RV	冷却材中のボイドによる反応度 [β]
RW	冷却材温度変化による反応度 [β]
RX	被覆管膨張による反応度 [β]
RD	ドップラー効果による反応度 [β]
PO	全出力 [MW]
RP	炉心のPeriod [sec]
WT	総てのHeat Slabから冷却材へ伝達される熱の割合 [W]

5) タイムステップ: 03 XXX0 : " RST "

XXX = 001, 002, …… , NTC

(010001 データ群のW 3での入力値)

注) XXXの1つに, カード1枚が対応する。

以下同様である。

- W1 I NMIN Minor 出力当たりのTime Stepの数, 且つ, Plot Tape 出力当たりのTime Step数を兼ねる。
* 入力値=0, は1と見なされる。
- W2 I NMAJ Major^(*2)出力当たりのMinor出力の数。
* 入力値=0, は50と見なされる。
(*2) Major出力においては, 興味のある主要変数についてPrintoutされる。
Minor出力と異なり, Userが, その変数を取替える事は, 出来ない。
- W3 I NDMP Restart Tape 出力当たりのMajor出力の数。
* 入力値=0, は20と見なされる。

- W4 R DELTM 最大時間変化量 [sec]
 ($0 < \text{DELTM}$)
- W5 R DTMIN 時間変化量を調整する際の最小許容時間変化量 [sec]
 ($0 < \text{DTMIN} < \text{DELTM}$)
- W6 R TLAST 制御する最終経過時刻 [sec]
- W7 R ENDCPU CPU時間の指定。この値は、Restartする毎に、再初期化される。
 又、入力は、XXX = 001 (即ち 030010 カード) のみ許される。
 [sec]

* 初期値 = 1.0×10^6 sec

(注) 即ち、Minor Edit 時間幅 = $\text{NMIN} \times \text{DELTM}$

Major Edit 時間幅 = $\text{NMIN} \times \text{NMAJ} \times \text{DELTM}$

6) トリップ制御 : 04XXX0

XXX = 001, 002, …… , NTRP (010001 データ群の W4 での入力値)

* NTRP は、必ず正数でなければならない。

- W1 I IDTRP トリップ回路の指定^{(*)3}
 ($1 \leq \text{IDTRP} \leq 20$)

* 040010 カードには、IDTRP = IDSIG = 1 を必ず入力しなければならない。
 IDTRP = 1 は計算の Time Step の終了を示し、IDSIG = 1 で終了時刻を示す。

(*)3 NTRP > 0 の時のみ、必要である。

- W2 I IDSIG トリップ回路作動の対象となる信号。但し、Restart Job については、IDSIG = 0 が許される^{(*)4}。なお信号として、以下のものが許されている。

(*)4 IDSIG = 0 とすれば、Restart において、同一の Trip 信号が保存される。Restart において、Trip 信号の一部を変える場合でも、前回の NTRP 枚の Trip カードを再入力しなければならない。

1 = 経過時刻^{(*)5}

(*)5 正、負どちらでも、SETPT 時間に Trip 信号が発せられる。

2 = 規格化された炉心出力

3 = 炉心 period^{(*)6}

(*)6 正の数のみ入力が許される。判定は、SETPT より小さい正の period についてのみ下される。

4 = Node IX1 の圧力

7 = Node IX1 の水温

8 = Node IX1 の金属温度

9 = Junction IX1 の流量

10 = Node IX1 の被覆材表面温度

* 注釈がないものについては、下記が許される。

$\left\{ \begin{array}{l} + \text{符号} = \text{SETPTを越えた時信号発生} \\ - \text{符号} = \text{SETPTを下回った時信号発生} \end{array} \right.$

- W3 I IX1 Node 又は Junction の指定
- 1) IDSIG = 4, 6, 7, 8, 10 の時
 $1 \leq IX1 \leq NVOL$ (010001, W5)
- 2) IDSIG = 9 の時
 $1 \leq IX1 \leq NJUN$ (010001, W7)
- 3) IDSIG = 1, 2, 3 の時
 $IX1 = 0$
- W4 I IX2 選択可能 Node 番号。IDSIG = $\pm 4, \pm 7$ の時, かつ $IX2 > 0$ の時 ΔP 又は ΔT のチェックが成される。SETPT を越える時, IX2 の Node にてもトリップ回路が働く。
- W5 R SETPT Trip の働く上(下)限の設定値
- W6 R DELAY SETPT に達してから, 実際に Trip 回路が作動し始める迄に, 間隔がある場合, その遅れ時間を入力する [sec]

7) Node データ : 05XXXXY

XXX = 001, 002, …… NVOL (01001, W5) Y は XXX について 1 枚のカードに入力出来ない場合の継続数を示す。但し $1 \leq Y \leq 9$ 又継続数については, Y = 1 から順に入力しなければならない。(以下, Y 又は YY の説明は, 同様である。)

- W1 I IREAD 時間依存データセットの指定
 0 = 時間依存のデータを使用しない。
 正数 = 時間依存 Node の条件を指定するデータセット番号 IRIN を使用する。(07XXYY 参照)
- W2 R P 圧力 [kg/cm²]
 $(0.0 \leq P \leq 255.0)$
- W3 R TEMP 温度 [°C]
 $(0.01 < TEMP < 800)$
- W4 R HORK クオリティ又は温度 [—]
- W5 R V 体積 [m³]
 $(0.0 < V)$
- W6 R ZVOL Node の高さ [m]
 $(0.0 < ZVOL)$
- W7 R FLOWA Node の流路断面積 [m²]
- W8 R DIAMV 水力等価直径 [m]
 * 入力値 = 0 の時

$$DIAMN = 2 \sqrt{\frac{FLOWA}{\pi}}$$
 として初期化される。
- W9 R ELEV 基準位置から Node 底までの高さ [m]

*基準位置は、どこを0.0に取っても良い。

8) 時間依存Node データ : 07XXYY : "RST"

XX = 01, 02, …… , NTDV (010001 カード, W6), YYの入力順序については制限は無い。但し, $00 \leq YY \leq 99$ データ点は時刻, 圧力, 温度, クオリティから成る。

先頭の入力データは IRIN = データセット数である。注意を要する事は, 時刻 = 0 の時のNode データは, 05XXXY カードから既に, 読み込まれているので, ここで入力するデータセットの総数は, IRIN-1 でなければならないことである。又, IRIN = 0 又は 1 の場合は Transient の間中, 時刻 = 0 のNode データが利用される。クオリティが正の数で入力される場合は, 圧力が読み込まれ, 温度は無視される。サブ・クールの場合には, 圧力, 温度の入力及びクオリティ = 0.0 として読み込まれる。

W1 I IRIN データ・セット数
($0 \leq IRIN \leq 20$)

W2 R TIMBL (2) 時刻 [sec]

W3 R PTABL (2) 圧力 [kg/cm²]

W4 R TTABL (2) 温度 [°C]

W5 R XTABL (2) クオリティ [—]

以下 (TIMBL, PTABL, TTABL, XTABL) を IRIN まで入力する。

9) Junction データ・カード : 08XXXY : "RST"

XXX = 001, 002, …… , NJUN (010001 カード, W7)

$1 \leq Y \leq 9$, 入力順序は守られねばならない。

Normal Junction 及び Fill Junction の入力順序に制限はない。

W1 I IW1 Junction 入口の Node 番号。^(*7)
($0 \leq IW1 \leq NVOL$)

W2 I IW2 Junction 出口の Node 番号。
($1 \leq IW2 \leq NVOL$)

(注7) IW1 = 0 は, 空の Node を意味する。

W3 I NORF Normal, Fill の指定。

0 = Normal Junction 指定。この時, IW1, IW2 > 0 でなければならない。

X = Fill Junction 指定。この時 IW1 = 0, IW2 > 0 でなければならない。又, X の値は, 13XXYY カードの XX を指定している。

W4 I IVALVE バルブ指定。
($0 \leq IVALVE \leq NCKV$ (01001 カードの W8))

0 = Junction には, バルブが取付られていない事を意味する。

X = バルブ指定。 $1 \leq X \leq NCKV$ この時, X は, 11XXX0 カードの XXX を指定している。

W5 R WP 流量 [Ton/hr]

- W6 R AJUN 流路面積 [m²]
(0 < AJUN)
- W7 R ZJUN Junction の基準位置からの高さ [m]
(基準位置は、Node と同一である。)
i) IW1, IW2 > 0 時
ZJUN は、IW1 又は IW2 の底から IW1 又は IW2 の頂の間に存在しなければならない。
ii) IW1 > 0, IW2 = 0 の時
ZJUN は IW1 の底から IW1 の頂までに存在しなければならない。
- W8 R INTERTA Junction の有効慣性: L/A [m⁻¹]
0. = 計算機内部で計算される。
X = 入力値として認められる。
(X ≧ 0.)
* 計算値は、Junction 両側の Node の慣性力の算術平均を採用している。
- W9 R FJUNF 順流時の損失係数 [-]
* ここで、FJUNF は、形状変化に依存する正の係数であり、エネルギー損失を、次式により計算する。
$$\Delta E = K \frac{V^2}{2}$$

V : 流速
- W10 R FJUNR 逆流時の損失係数 [-]
* FJUNR = 0.0 を入力しても、FJUNF ≧ 0.0 ならば、FJUNR ≡ FJUNF と初期化する。
- W11 I IHQCOR エンタルピー輸送指定。
0 = エンタルピー授受は行われない。
1 = Junction 入口側のみ授受が行われる。(加熱される Node からの Junction)
2 = Junction 出口側でのみ授受が行われる。(加熱される Node への Junction)
3 = 両側にてエンタルピーの授受が行われる。(両側の Node 共に加熱する時)

10) 限界熱流束増倍係数: 082030

このカードは Option (取捨選択可能) である。

W1 R DCHF 限界熱流束, q_{CHF} に対する増倍係数。(設定しない場合, 1.0)

11) 熱流束増倍係数：082031

このカードはOptionである。通常は1.0が望まれる。本カードを使用する場合には、熱伝達のロジックを十分に検討した上で使用しなければならない。また熱伝達係数に対する増倍係数でなく、表面熱流束に対する係数であることを、注意を払う必要がある。

- W1 R DHTC1 モード=1に対する増倍係数。
(Dittus-Boelter及びOstrache 相関)
- W2 R DHTC2 モード=2に対する増倍係数。
(Chen, 修正Chen及び西川, 山本の相関)
- W3 R DHTC3 将来用のデータ(1.0を入力)
- W4 R DHTC5 将来用のデータ(1.0を入力)
- W5 R DHTC6 モード=6に対する増倍係数。
(Condie-Bengston 相関)
- W6 R DHTC7 モード=6に対する増倍係数。
- W7 R DHTC8 将来用のデータ(1.0を入力)
- W8 R DHTC9 将来用のデータ(1.0を入力)

12) バルブデータ：11XXX0：“RST”

XXX = 001, 002, …… , NCKV (010001 カード, W8)

ここでは、取付けられているバルブの作動タイプについてのデータを入力する。

- W1 I ITCV バルブタイプ
- i) $-20 \leq \text{ITCV} \leq -2$ の時：IDTRP = |ITCV| の Trip 制御にて、閉じているバルブが開けられる。
(IDTRPについては04XXX0カード, W1参照)
- ii) $2 \leq \text{ITCV} \leq 20$ の時：IDTRP = ITCV の Trip 制御にて、開いているバルブが閉じられる。

13) Fill データ：13XXYY：“RST”

XX = 01, 02, …… , 99。XXは08XXX0カード, W3, NORFを示す。但し連続的に並ぶ必要はない。YYの条件も全く同じである。

YY = 00 の入力データ

- W1 I ITEILL Trip 開始信号。ITFILL = IDTRP
($2 \leq \text{ITFILL} \leq 20$)
- W2 I NPTS 時間依存の流入量テーブルのデータ セット数。
($\text{NPTS} \geq 2$)

YY = 01, 02, …… , 99 の入力データ

- W1 R FILTBL (1) 時刻 [sec]
- W2 R FILTBL (2) FILTBL (1) での流入流量 [ton/hr·m²]
* 流入 Junction の単位面積、単位時間当たりの流入質量流量。
- W3 R FILTBL (3) エンタルピー [kcal/kg]
- W4 R FILTBL (4) 時刻 [sec]

WN R FILTBL (N) エンタルピー
但し, $N = 3 \times NPTS$

14) 動特性定数データ: 140000

NSLB > 0 の時入力しなければならない。(010001 カード, W 10)

入力を要求されるデータ数は, W 1 ~ WN までである。但し, $3 \leq N \leq 6$ (即ち, 最小限, W 1 ~ W 3 ; 最大限, W 1 ~ W 6)

W1 I NODEL 出力計算の指定。

1 = 即発中性子, 1 群及び遅発中性子, 6 群

2 = 上記, 1, 及び遅発 γ 放射, 11 群

3 = 上記, 2, 及び ^{239}U , ^{239}Np

W2 R BETA 有効遅発中性子割合 (β_{eff})

W3 R PRLIFE 即発中性子寿命 [s]

W4 R PROMPT 核分裂と同時に解放される全出力の割合。(即ち, 即時有効出力割合) [-]

W5 R LAMBDA サブクールボイドを発生させるに利用される熱流束の, 燃料表面熱流束に対する割合。

W6 R TAU サブクールボイドの平均寿命 [sec]

* W 4 ~ W 6 未入力の場合, 初期値は, 次の如くである。

$$\begin{cases} \text{PROMPT} = 1.0 \\ \text{LAMBDA} = 0.0 \\ \text{TAU} = 0.0 \end{cases}$$

15) 印加反応度データ: 141XYY: "RST"

このカードは, NSLB > 0 の時必要である。(010001, W 10 参照)

最大 10 個のデータテーブルが入力可能である。各々のデータテーブルは, NSCR 個 (141XYY, W1) のデータ・セット (反応度, 時間の組合わせ) から構成される。

印加反応度起動時刻は, Trip 制御カードにより指定される。このデータセットにおける時刻は, 印加反応度起動時刻 = 0 とした時点からの経過時刻を意味する。また最初のデータセットは, (0.0, 0.0) でなければならないことに注意して欲しい。これは, Trip した時点での反応度の階段状変化をさけるためである。

X は, (データテーブルの数 - 1) を示す。($0 \leq X < 9$)

YY は, データセットの継続数を示す。($00 \leq YY \leq 99$)

カードは, XX により順序づけられ, YY の順序づけは不必要である。

W1 I NSCR データセット数。($INSCRI \leq 20$)

正数 = 外挿する事が許されない。

負数 = 外挿する事が許される。

* NSCR = 1 の時は, 挿入 (引抜き) 反応度は, 一定である。

(外挿されない。)

W2 I ITSCRM Trip 識別信号。(IDTRP = ITSCRM)
($2 \leq \text{ITSCRM} \leq 20$)

W3 R TSCR (1) 時間 [s]

W4 R TSCR (2) 投入反応度 [$\Delta K/K$]

W5 R TSCR (3) 時間

}

WN R TSCR (N) 投入反応度

$$N = 2 \times \text{NSCR}$$

16) Void 反応度データ: 1420 XX: "RST"

このデータは, NSLB > 0 の時必要とされる。

00 ≤ XX ≤ 99 は, カード継続数を示す。カードは, XX の順に記憶されるが, 入力
の順序は, どうでも良い。

W1 I NVOID データセット数。(|NVOLD| ≤ 20)

正数 = 外挿は許されない。

負数 = 外挿は許される。

1 = 一定値 (外挿はしない)

0 = Feedback 反応度は 0.0 とされる。

W2 R VOIDRO (1) ボイド率 [-]

W3 R VOIDRO (2) 反応度 [$\Delta K/K$]

}

WN R VOIDRO (N) 反応度

$$N = 2 \times \text{NVOID}$$

17) ドップラー反応度データ: 1430 XX: "RST"

このデータは, NSLB > 0 の時, 必要とされる。

00 ≤ XX ≤ 99 は, カードの継続数を示す。カードは, XX の順に記憶されるが, 入力
の順序は, どうでも良い。

W1 I NDOP データセット数。(|NDOP| ≤ 20)

正数 = 外挿は許されない。

負数 = 外挿は許される。

1 = 一定値 (外挿はしない)

0 = Feedback 反応度は 0.0 とされる。

W2 R DOPRO (1) 燃料平均温度 [°C]

W3 R DOPRO (2) 反応度 [$\Delta K/K$]

}

WN R DOPRO (N) 反応度

$$N = 2 \times \text{NDOP}$$

18) 減速材温度変化による反応度効果: 1450 XX: "RST"

このデータは, NSLB > 0 の時必要とされる。

00 ≤ XX ≤ 99 は、カードの継続数を示す。カードはXXの順に記憶されるが、入力
の順序は、どうでも良い。

W1 I NMODT データセット数。(|NMODT| ≤ 20)

正数 = 外挿は許されない。

負数 = 外挿は許される。

1 = 一定値 (外挿はしない)

0 = 反応度効果は無いとされる。

W2 R TMOD (1) 減速材平均温度 [°C]

W3 R TMOD (2) 反応度 [ΔK/K]

{

WN R TMOD (N) 反応度

N = 2 × NMODT

19) 反応度効果に対する重み因子: 140XX0

NSLB > 0 の時必要である。

XX = 01, 02, …, NCOR

W1 R WTVOID ボイドによる反応度効果に対する重み因子

W2 R WTDOP ドップラー効果による反応度効果に対する重み因子

W3 R WTEXP 被覆材膨張による反応度効果に対する重み因子

W4 R WTMOD 減速材温度変化による反応度効果に対する重み因子

20) Heat Slab データ: 15XXX Y

XXX = 001, 002, …, NSLB (010001 カード, W10)

Y は継続数を示す。

W1 I IVS Heat Slab のある Node の番号。

(05XXX Y 参照)

(1 ≤ IVS ≤ NVOL)

W2 I IGOM Slab 形状の指定。(0 < IGOM ≤ NGON)

{ (17XXX Y 参照)

{ (010001, W11 参照)

W3 I ISB Slab の積み重ね指定。

{ 0 = 1 番下の Slab を意味する。

{ 1 = XXX-1 のカードの上に積み重ねられる事を意味する。

W4 I IMC 現在使用していない。(0 を入すること。)

W5 R AHT 熱伝達面積 [m²] (AHT > 0.0)

W6 R VOLS Slab の全体積 [m³] (VOLS > 0.0)

W7 R HDM 水力学的等価直径 [m] (HDM ≥ 0.0)

* HDM = 0.0 ならば, HDM = DIAMV と初期化される。(05XXX Y カード参照)

W8 R DHE 熱的等価直径 [m] (DHE ≥ 0)

* DHE = 0.0 ならば, DHE = HDM と初期化される。

- W9 R ZBOT Node 番号 IVS の底から, Slab の底までの長さ。〔m〕
($0 \leq ZBOT < ZTOP \leq ZVOL$)
- W10 R ZTOP Node 番号 IVS の底から, Slab の頂までの長さ。〔m〕
- 21) 炉心 Slab データ : 16XXX0
XXX = 001, 002, …… , NSLB
- W1 I ISLB Slab 番号 ($1 \leq ISLB \leq NSLB$)
- W2 I ITOPT 詳細温度出力 $\left(\begin{array}{l} = 0 \text{ 出力しない} \\ = 1 \text{ 出力する} \end{array} \right)$
- W3 R QFRAC ISLB の Slab で発生する出力の割合。
($0. \leq QFRAC \leq 1.0$)
* $\sum_{j=1}^{NSLB} QFRAC_j = 1.0$ でなければならない。
- W4 R QPMOD 減速材が即時加熱される出力の割合。
(その Slab の燃料側で発生する出力に対する割合)
($0. \leq QPMOD \leq 1.0$)
- 22) Slab 形状データ : 17XXYY
XX = 01, 02, …… , NGOM (010001, W 11 参照)
YY は領域番号を指す。
YY = 01
- W1 I IG 形状指定
1 = 平板
2 = 円筒
- W2 I NR 領域数 ($1 \leq NR \leq 6$)
- W3 I IM 物質区分指定 ($1 \leq IM \leq NMAT \leq 7$) (010001, W 12 参照)
- W4 I NDX 1 領域中の空間メッシュ数
* $NDX \geq 1$ 及び $\sum_{j=1}^{NR} NDX_j \leq 21$
(即ち, 1つの Slab に対する計算メッシュの最大数は, 21である。)
- W5 R XO 径方向, Rod 表面までの距離。(半径値) 〔m〕
* One Solid Rod 又は平板に対しては,
XO = 0.
- W6 R XR 領域の幅 〔m〕
- W7 R PF^(注1) 領域で発生する出力の, 当該 Slab 全出力に対する割合。
YY = 02, 03, …… , NR
- W1 I IGP ギャップ指定
0 = この領域はギャップではない。
1 = 領域がギャップであり, ギャップ膨張モデルが適用される。
- W2 I IM }
W3 I NDX }
W4 R XR }
W5 R PF^(注1) } YY = 01 の変数内容と同一。

(注1) 領域内の出力分布が一定の時には、PFで領域での出力分布を指定し、22XXYYカードは不要。
領域内の出力分布が変化する時はPFは入力せずに22XXYYカードで入力する。

23) 熱伝導度：18XXYY：“RST”

XX = 01, 02, …… , NMAT (01001, W12)

YY = 00, 01, …… , 99 (継続カード番号)

カードは、YYの順で順序づけられるが、入力する際の順序は問われない。最小限、1組のデータセットは入力されなければならない。

W1 I NKP データセットの数 ($1 \leq |NKP| \leq 20$)

正数 = 外挿は許されない。

負数 = 外挿が許される。

1 = 一定値 (外挿されない)

W2 R TPK (1) 温度 [°C]

W3 R TPK (2) 熱伝導率 [kcal/m-hr-°C]

}

WN R TPK (N) 熱伝導率

N = 2 × NPK

24) 比熱：19XXYY：“RST”

XX = 01, 02, …… , NMAT (010001, W12)

YY = 00, 01, …… , 99 (継続カード番号)

カードは、YYの順で順序づけられるが、入力する時の順序は問われない。最低限、1組のデータセットは、入力されなければならない。

W1 I NCP データセット数 ($1 \leq |NCP| \leq 20$)

正数 = 外挿は許されない。

負数 = 外挿が許される。

1 = 一定値 (外挿されない)

W2 R TPC (1) 温度 [°C]

W3 R TPC (2) 容積比熱 [kcal/m³-°C]

}

WN R TPC (N) 容積比熱

N = 2 × NCP

25) 線膨張係数：20XXYY：“RST”

XX = 01, 02, …… , NMAT (010001, W12), YY = 00, 01, …… , 99 (カードの継続番号) カードはYYの順で記憶されるが、入力順序については問われない。

W1 I NXP データセットの数 ($1 \leq |NXP| \leq 20$)

正数 = 外挿が許されない。

負数 = 外挿が許される。

1 = 一定値 (外挿されない)

W2 R TPK (1) 温度 [°C]

W3 R TPK (2) 線膨張係数 [1/C]

(

WH R TPK (N) 線膨張係数

N = 2 × NXP

26) 径方向出力分布データ : 22XXYY : "RST"

XX = 01, 02, …, NR (17XX01, W2) YY = 01, 02, …, 99

このデータは領域内出力分布が一定でない時、径方向出力分布を各メッシュ点に対して与える。このカードを使用する時は、17XXYYカードのPFには、データ入力してはならない。(PF = 0.も許されず、PF = Blank でなければならない。)

27) ギャップコンダクタンス : 300000 : "RST"

このカードは17XXYYカードにおけるIGP = 1の時、必ず必要である。

W1 R FEMIS 燃料の輻射率 [-]

W2 R CEMIS 被覆材の輻射率 [-]

W3 R ROUGH Roughness [m]

28) 物質密度データ : 400000 : "RST"

このデータは必ず入力しなければならない。

W1 R FDENS 燃料密度 [kg/m³]

W2 R CDENS 被覆材密度 [kg/m³]

3. テープ出力のための入力データ一覧表

Old Plot Tape は、FORTRAN UNIT 3 にMount されなければならない。本コードでは、以下の入力データが必要である。

1) 標題

最後の標題カードとして入力した、先頭から12カラムは、Tape Edit される標題カードの最初から12カラム迄と同一でなければならない。

2) データ群の大きさ指定 : 010001

W1 I LDMP - 3

W2 I NEDI Minor Edit 変数の数
(0 ≤ NEDI ≤ 9)

W3 I NTC 出力頻度制御カード (03XX0 参照)
(1 ≤ NTC ≤ 20)

W4 I NTRP 0

W5 I IUNITS 単位指定
1 = MKS 単位
2 = SI 単位

* 以上の説明は、Tape 出力させるために要求されるデータであり、§2の01001カードとは、異なる。

3) Minor 出力変数データ：020000

NEDI > 0 の時のみ，1枚のカードが要求される。(010001 カード参照) 入力方法，内容は，2章と同一である。ここで入力するデータは，計算時の020000 カードの内容と一致する事は要求されない。(増減，変更が可能である。)

4) タイムステップ：03XXX0

XXX = 001, 002, …… , NTC

W1 I NMIN Minor Edit 当たり記憶される Plot の数。(NMIN = 0 は，NMIN = 1 と初期化される。)

W2 I NMAJ Major Edit 当たりの Minor Edit の数。(NMAJ = 0 は，NMAJ = 50 と初期化される。)

W3 R DELTM Plot 記録間の時間間隔 [sec]
(0 < DELTM)

* 2章の04XXX0 カードの IDTRP = 1 の時の SETPT に対する時間間隔である。

W4 R TLAST 経過出力頻度制御の完了時刻。[sec]
(TLAST_{xxx-1} < TLAST_{xxx})

4. Restart のための入力データ

Old Restart Data Tape を，FORTRAN . UNIT 3 に Mount し，Restart Tape を UNIT 4 に Mount しなければならない。

1) 標題

最後の標題カードとして入力した標題の最初の 12 カラム迄は，Restart される標題カードの最初の 12 カラム迄と一致していなければならない。

2) データ群の大きさ指定：010001

W1 I LDMP N = Restart させる古い計算ケースの Restart 番号。
(2章，010001，W1 参照)

W2 I NEDI Minor Edit の変数の数。
(0 ≤ NEDI ≤ 9)

W3 I NTC Time Step カード枚数。
(1 ≤ NTC ≤ 20)

W4 I NTRP Trip 制御カード枚数。
(0 ≤ NTRP ≤ 20)

* NTRP = 0 の時，使用される Restart Tape からの Trip 制御データが，Restart で使用される。5) の Trip 制御データの項目で，NTRP の利用について，述べている。

W5 I IUNITS 単位系指定
1 = MKS 単位
2 = SI 単位

3) Minor 出力変数データ：020000

3章, 3) の項目と同一内容である。

4) タイムステップデータ：03XXX0

XXX = 001, 002, …… , NTC 入力方法, 内容は, 2章と同一である。Restart 時の Time Step は, 前回の計算時とは無関係である。Restart 時点に先立つ計算時間を参照するカードは, 利用されないが, それらは, 入力する必要がある。TLAST の値が Restart される古い Run に利用されない限り, Restart 時の過渡時間に等しいその TLAST は, 異なるものとなる。

5) Trip 制御データカード：04XX0

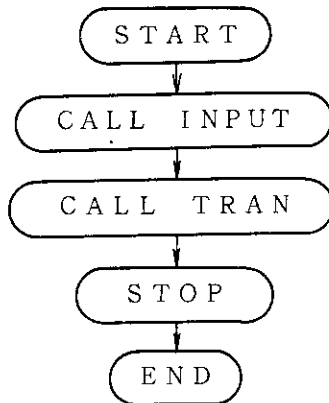
XXX = 001, 002, …… , NTRP Trip カードが入力されないならば, (即ち NTRP = 0), Trip 情報は, 古い Tape から, そっくり写し取られる。しかし, 幾枚かの Trip カードが, Restart で利用される時は, 同一継続番号を有する Trip カードの, 完全な set と, IDTRP の値を入力せねばならない。IDSIG が 0 でない新しいカードの入力により, Trip off され, 新しい Trip データが入力される。Trip を起こして残存している Trip の為に, 元のカードと一致するカードが, IDSIG = 0 として入力されなければならない。

Restart 時の Trip カードの利用は, しばしば User の混乱の源となっているので, 出来る限り利用しない方が安全である。これは, 時間変化が大きい場合に利用したり (入力データのチェック), ENDCPU データによって計算を中止させたり, 入力した時間変化幅以降の状態を知りたい時に利用されるべきものであると思われる。

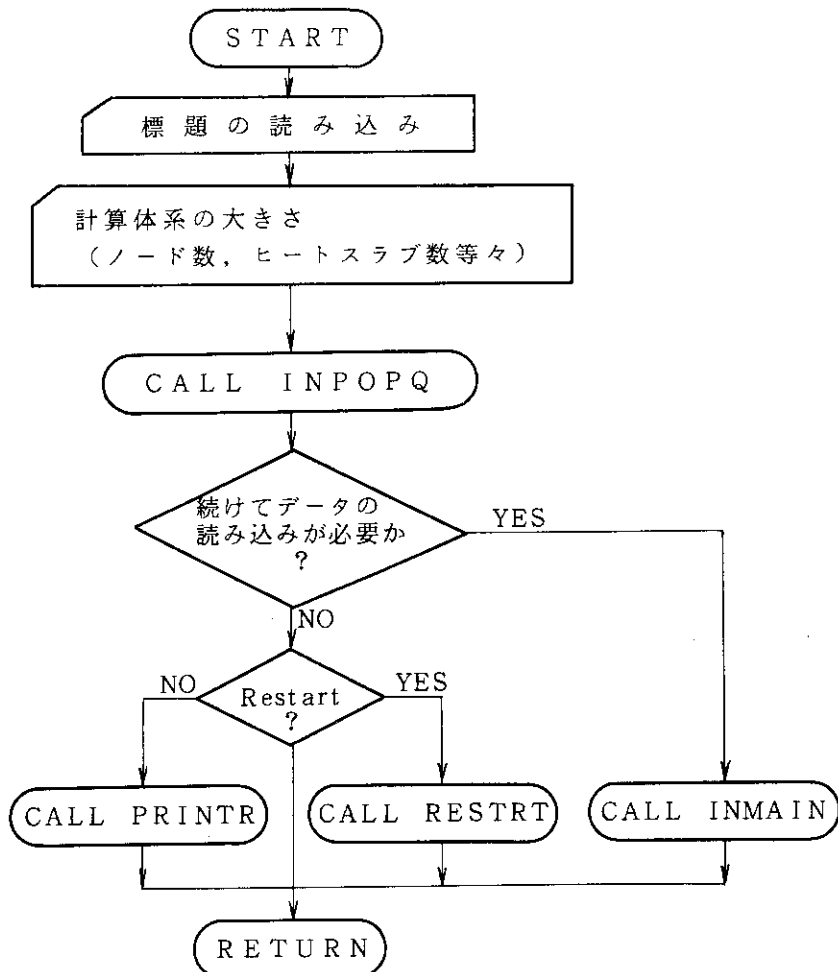
附録2 フローチャート

ここでは、EUREKA-2 コードの概要フローについて説明する。

1. MAIN



2. INPUT

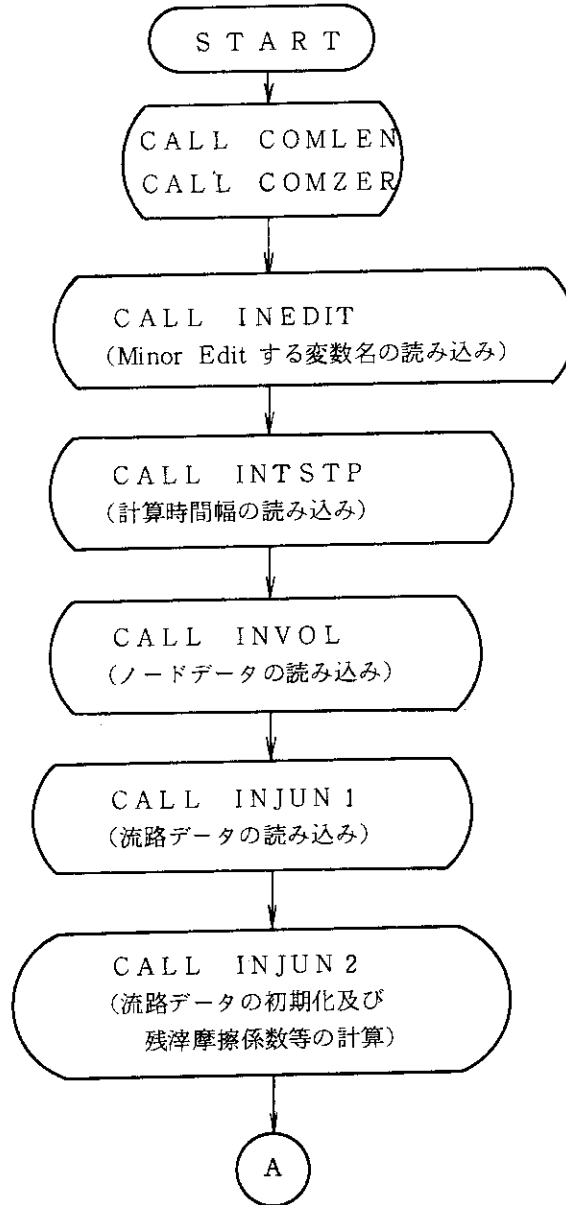


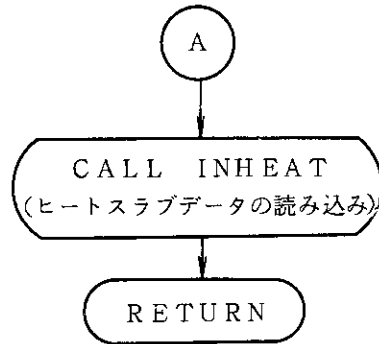
(註1) INPOPQでは, 初期出力が読み込まれる。

(註2) PRINTRでは, Plot Tape 又は Restart Tape からのデータをプリント出力する。

(註3) RESTRTでは, Tape に保持されている, Restart 以前の過渡変化状態を再現する。

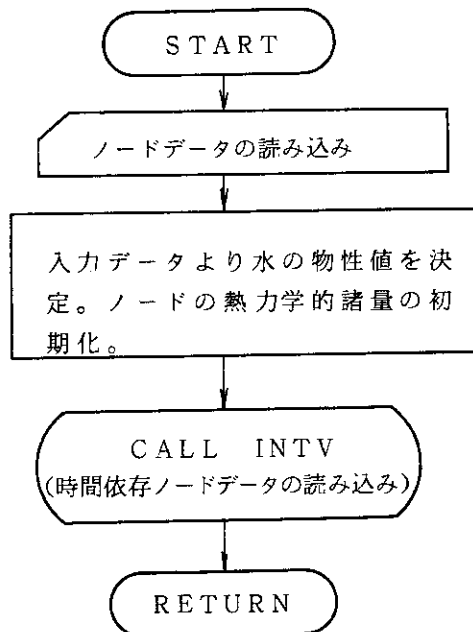
3. INMAIN



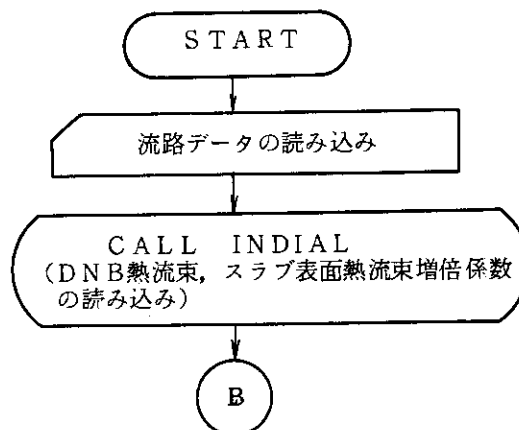


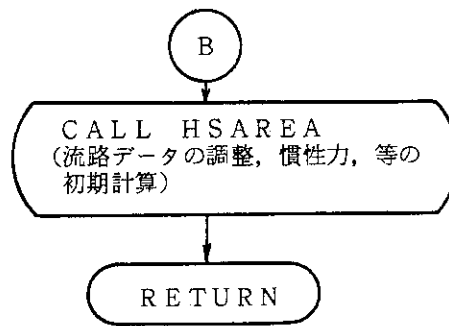
(註) COMLEN, COMZER では、コモンブロック長を決定し
エリアを確保する。

4. INVOL

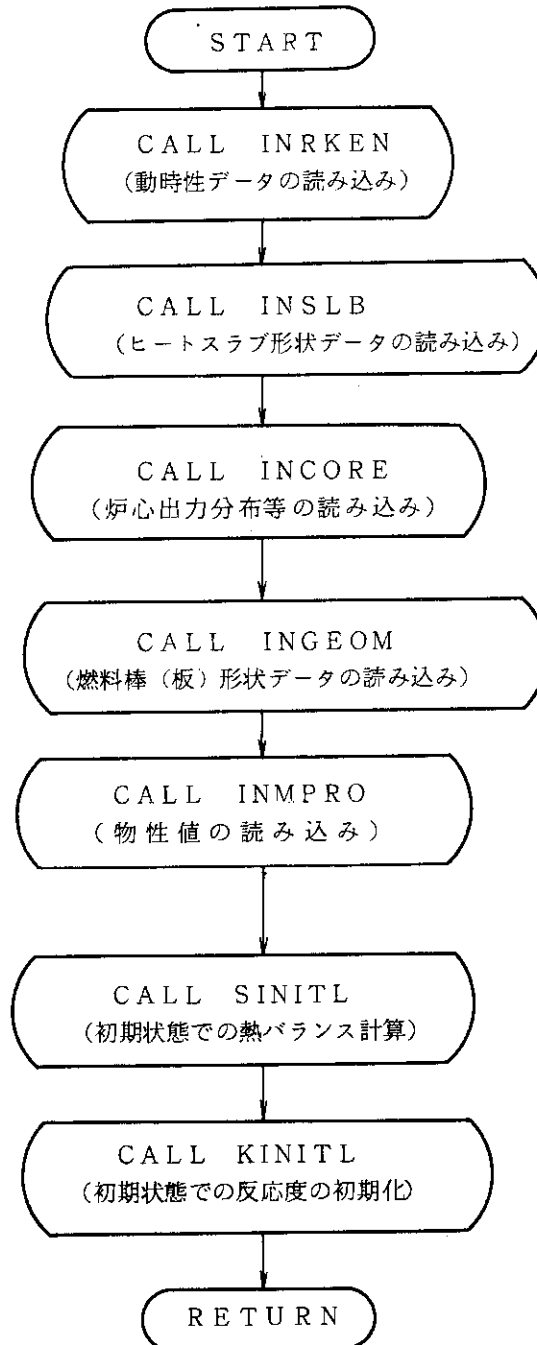


5. INJUN1

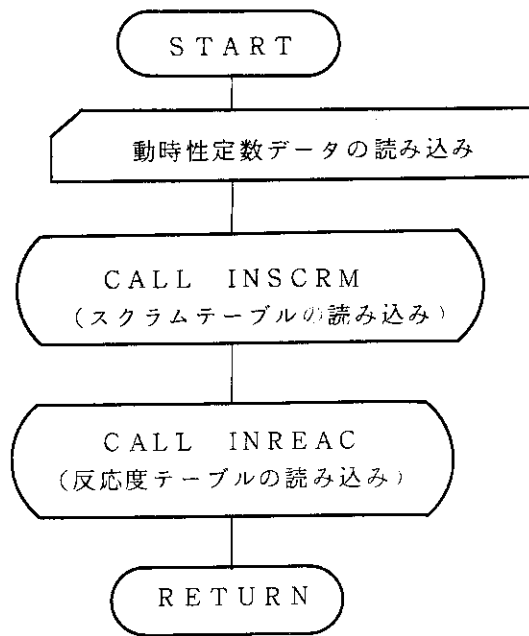




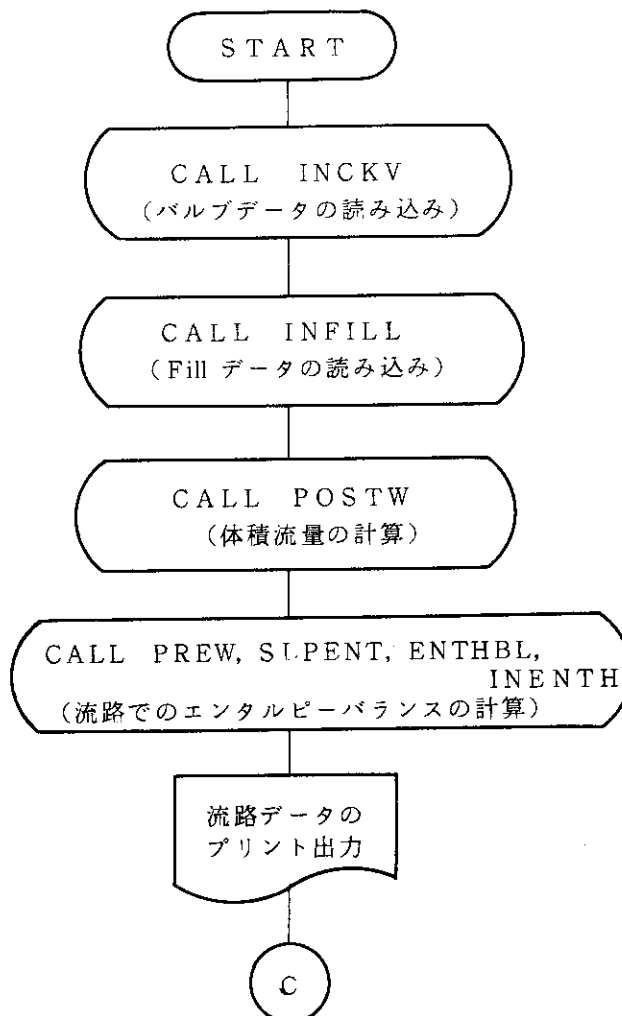
6. INHEAT

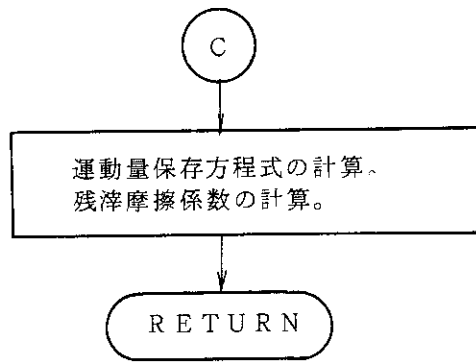


7. INREAC

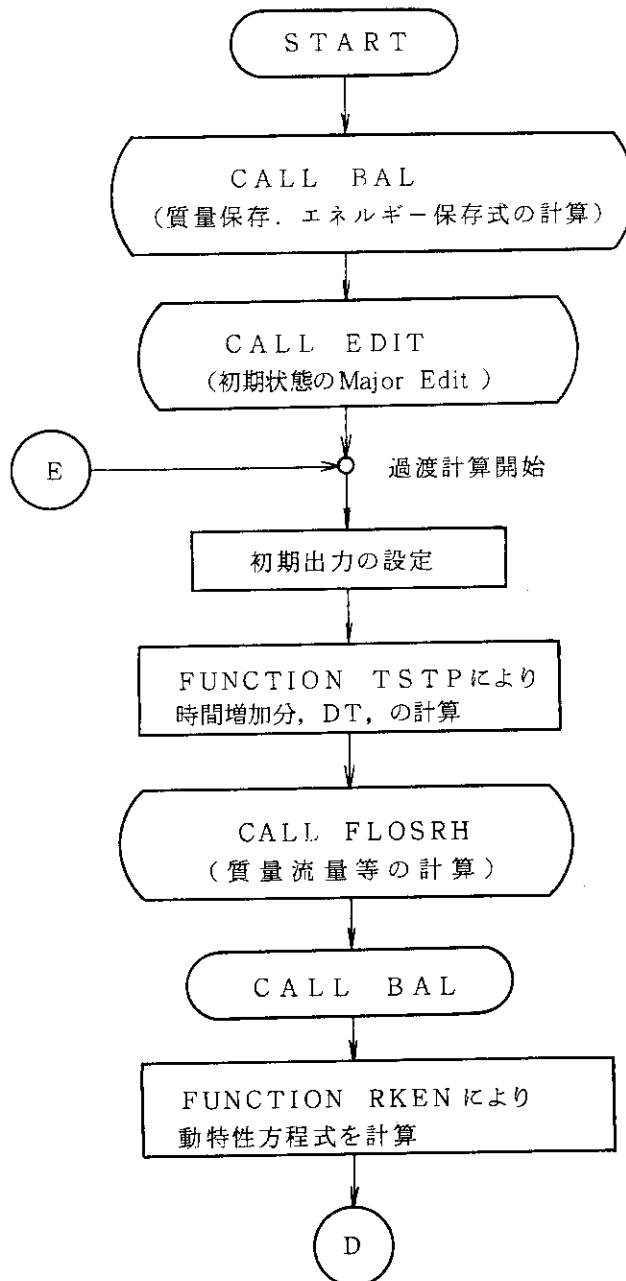


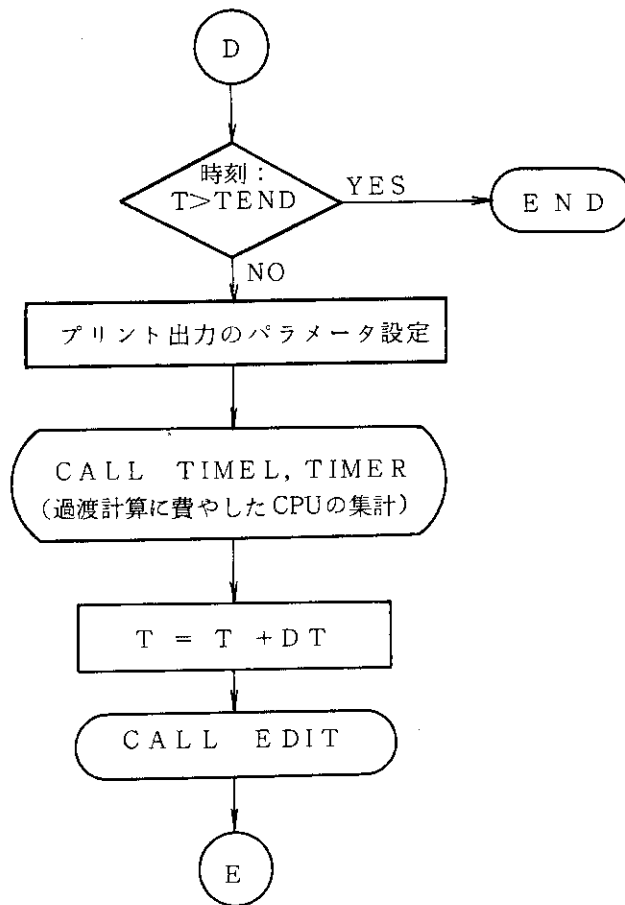
8. INJUN2



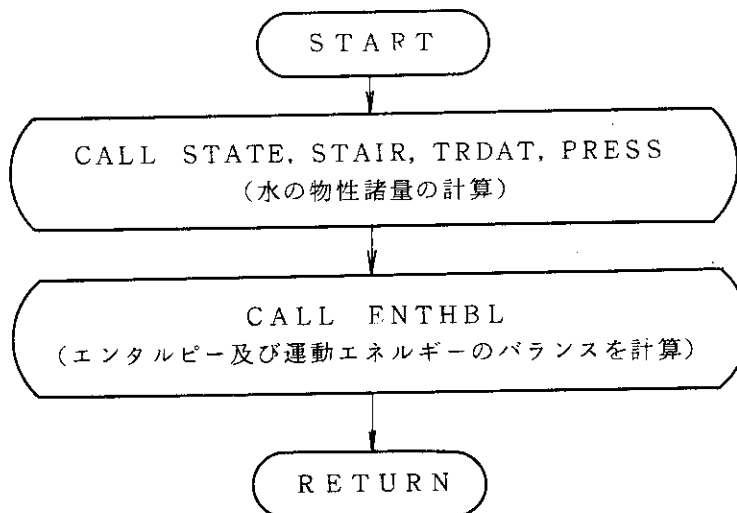


9. TRAN

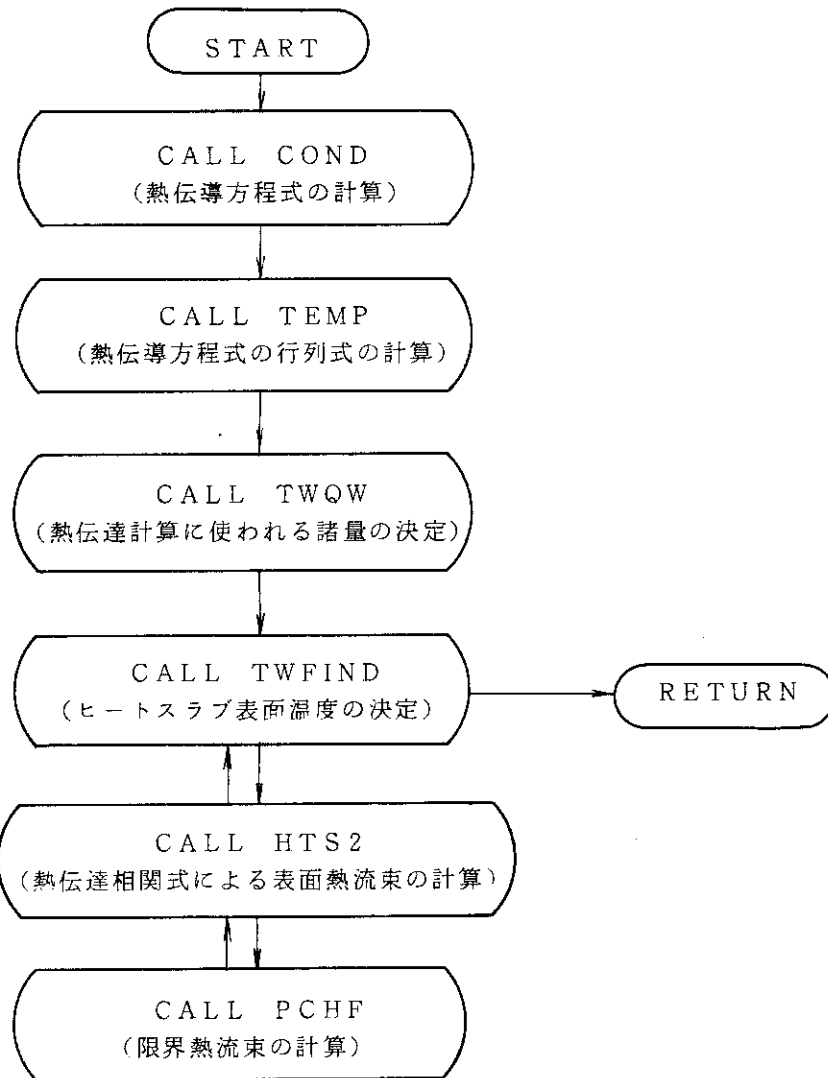




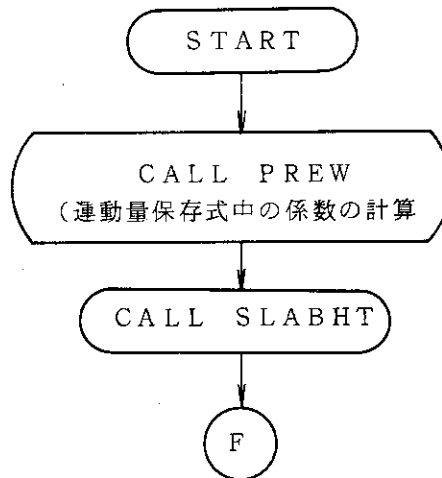
10. BAL

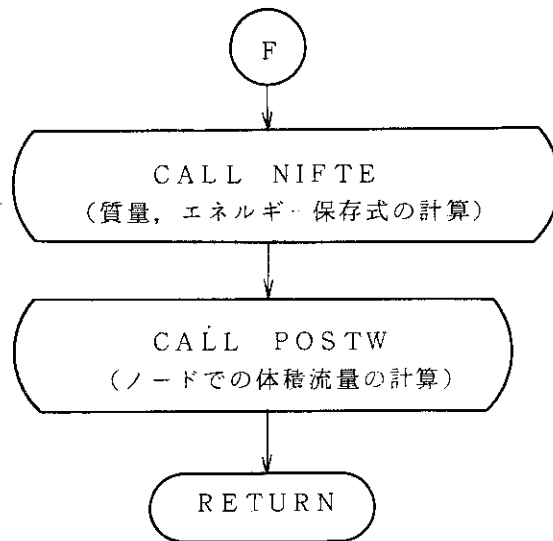


11. SLABHT



12. FROSRH





附録3 入力データ例

1. SPERT-III. E型炉心

LISTING OF INPUT DATA FOR CASE 1

```

1  = SPERT-3E RIA ANALYSIS (RUN NO. 60)
2  * PROBLEM DIMENSION DATA
3  * LDP NE NT NTR NV NTD NJ NC NF NSB NGM NMT
4  010001 -2 9 3 3 6 2 10 0 2 36 1 3
5  * PROBLEM CONSTANTS DATA
6  * POWER
7  010002 5.E-5
8  * EDIT VARIABLE DATA
9  020000 PO 0 AE 0 TR 0 RD 0 RW 0 SE 31 ST 31 SR 31 AT 4
10 * TIME STEP DATA
11 * MIN MAJ DMP DELTM DTMIN TLAST ENDCPU
12 030010 1 10 20 0.20 0.05 1.0 300.
13 *U0010 1 10 20 0.20 0.05 1.0 1200.
14 030020 2 200 20 0.001 0.0005 1.21600
15 030030 10 100 2 0.001 0.0005 20.0
16 * TRIP CONTRDL DATA
17 * IDTRP IDSIG IX1 IX2 SETPT DELAY
18 040010 1 1 0 0 1.3 0. * END OF PROBLEM, SEC
19 *U0010 1 1 0 0 20.0 0. * END OF PROBLEM, SEC
20 040020 2 1 0 0 1. 0. * KINETICS CALC.
21 040030 5 1 0 0 0. 0. * FILL JUNCTION ACTIVE
22 *
23 * NODE DATA
24 * READ P T X V ZVOL
25 050011 0 99.390 260. -1. 0.05378 0.9710
26 050021 0 99.390 260. -1. 0.05378 0.9710
27 050031 0 99.390 260. -1. 0.03551 0.9710
28 050041 0 99.390 260. -1. 0.00688 0.9710
29 050051 1 100. 260. -1. 0.2 1.0
30 050061 2 98.917 260. -1. 0.3 1.5
31 *
32 * FLOWA DIAMV ELEV
33 050012 0.05536 0.01192 0.
34 050022 0.05536 0.01192 0.
35 050032 0.03631 0.01192 0.
36 050042 0.00700 0.01192 0.
37 050052 0.3 0.01192 -1.0 * LOWER VOL
38 050062 0.3 0.01192 0.9710 * UPPER VOL
39 *
40 * TIME DEPENDENT VOLUME DATA ( CONSTANT CONDITION )
41 *
42 070100 0
43 070200 0
44 *
45 * FLOW PATH DATA
46 *
47 * FROM TO HORF VL WP AJUN ZJUN INERTA FJUNF FJUNR
48 080011 5 1 0 0 786.3 0.05536 0. 0 2.61 2.61
49 080021 1 6 0 0 786.3 0.05536 0.9710 0 2.08 2.08
50 080031 5 2 0 0 786.3 0.05536 0. 0 2.61 2.61
51 080041 2 6 0 0 786.3 0.05536 0.9710 0 2.08 2.08
52 080051 5 3 0 0 515.8 0.03631 0. 0 2.61 2.61
53 080061 3 6 0 0 515.8 0.03631 0.9710 0 2.08 2.08
54 080071 5 4 0 0 100.6 0.00700 0. 0 3.83 3.83
55 080081 4 6 0 0 100.6 0.00700 0.9710 0 3.42 3.42
56 080091 0 5 1 0 2189.0 0.09290 -1.0 0 0.0 0.0
57 080101 0 6 2 0 -2189.0 0.09290 2.4710 0 0.0 0.0
58 *
59 * IHQCOR
60 080012 2
61 080022 1
62 080032 2
63 080042 1
64 080052 2
65 080062 1
66 080072 2
67 080082 1
68 080092 0
69 080102 0
70 *
71 * FILL DATA
72 * ITF NPT
73 130100 5 2
74 130200 5 2
75 *
76 * TIME FLOW ENTHALPY TIME FLOW ENTHALPY
77 130101 0.0 2189.0 270.94 100.0 2189.0 270.94
78 130201 0.0 -2189.0 270.95 100.0 -2189.0 270.95
79 *
80 * KINETICS CONSTANTS DATA
81 * 6-D.N. BETA N-LIFE
82 140000 1 0.00725 1.63125E-5 0.0 0.0 0.0
83 *

```

* REACTIVITY COEFFICIENT DATA										
		VOIDWT			DOPWT	EXPWT		MODWT		
84	*									
85	*									
86	140010	0.011930	0.010146	0.010146	0.010146	0.007635	0.011930			
87	140020	0.024812	0.020850	0.020850	0.020850	0.015880	0.024812			
88	140030	0.035626	0.029972	0.029972	0.029972	0.022801	0.035626			
89	140040	0.036565	0.030762	0.030762	0.030762	0.023402	0.036565			
90	140050	0.027001	0.022715	0.022715	0.022715	0.017281	0.027001			
91	140060	0.013131	0.011082	0.011082	0.011082	0.008404	0.013131			
92	140070	0.003776	0.003225	0.003225	0.003225	0.002417	0.003776			
93	140080	0.000740	0.000637	0.000637	0.000637	0.000474	0.000740			
94	140090	0.000185	0.000158	0.000158	0.000158	0.000118	0.000185			
95	*									
96	140100	0.024487	0.026659	0.026659	0.026659	0.015672	0.024487			
97	140110	0.050926	0.054784	0.054784	0.054784	0.032593	0.050926			
98	140120	0.073120	0.078663	0.078663	0.078663	0.046797	0.073120			
99	140130	0.075048	0.080741	0.080741	0.080741	0.048031	0.075048			
100	140140	0.055418	0.059685	0.059685	0.059685	0.035468	0.055418			
101	140150	0.026950	0.029118	0.029118	0.029118	0.017248	0.026950			
102	140160	0.007750	0.008474	0.008474	0.008474	0.004960	0.007750			
103	140170	0.001519	0.001675	0.001675	0.001675	0.000972	0.001519			
104	140180	0.000380	0.000416	0.000416	0.000416	0.000243	0.000380			
105	*									
106	140190	0.032327	0.033435	0.033435	0.033435	0.020689	0.032327			
107	140200	0.067233	0.068706	0.068706	0.068706	0.043029	0.067233			
108	140210	0.096534	0.098762	0.098762	0.098762	0.061782	0.096534			
109	140220	0.099079	0.101368	0.101368	0.101368	0.063411	0.099079			
110	140230	0.073164	0.074851	0.074851	0.074851	0.046825	0.073164			
111	140240	0.035580	0.036516	0.036516	0.036516	0.022771	0.035580			
112	140250	0.010232	0.010627	0.010627	0.010627	0.006548	0.010232			
113	140260	0.002005	0.002100	0.002100	0.002100	0.001283	0.002005			
114	140270	0.000502	0.000522	0.000522	0.000522	0.000321	0.000502			
115	*									
116	140280	0.008844	0.008094	0.008094	0.008094	0.005660	0.008844			
117	140290	0.018393	0.016634	0.016634	0.016634	0.011772	0.018393			
118	140300	0.026408	0.023911	0.023911	0.023911	0.016901	0.026408			
119	140310	0.027104	0.024542	0.024542	0.024542	0.017347	0.027104			
120	140320	0.020015	0.018122	0.018122	0.018122	0.012810	0.020015			
121	140330	0.009733	0.008841	0.008841	0.008841	0.006229	0.009733			
122	140340	0.002799	0.002573	0.002573	0.002573	0.001791	0.002799			
123	140350	0.000549	0.000508	0.000508	0.000508	0.000351	0.000549			
124	140360	0.000135	0.000126	0.000126	0.000126	0.000086	0.000135			
125	*									
126	* INSERTION REACTIVITY DATA									
127	141001	-3	2	0.0	0.0	0.08	8.917E-3	10.	8.917E-3	
128	*									
129	* VOID REACTIVITY TABLE									
130	142001	-2	0.0	0.0	1.0	-0.320				
131	*									
132	* DOPPLER TABLE									
133	143000	-11	260.	0.01720	315.6	0.01566	371.1	0.01420	426.7	0.01280
134	143001		482.2	0.01146	537.8	0.01016	648.9	0.00769	760.0	0.00537
135	143002		871.1	0.00317	982.2	0.00107	1093.3	-0.00094		
136	*									
137	* MODERATOR TEMP REACTIVITY									
138	145001	-2	250.	-0.1302	500.	-0.2604				
139	*									
140	* HEAT SLAB DIMENSION DATA									
141	*	IVS	GOM	ISB	IMC	AHT	VLDS	HDM	DHE	ZBOT ZTOP
142	150011	1	1	0	1	1.860	5.505E-3	0	0	0.0 0.1
143	150021	1	1	1	1	1.860	5.505E-3	0	0	0.1 0.2
144	150031	1	1	1	1	1.860	5.505E-3	0	0	0.2 0.3
145	150041	1	1	1	1	1.860	5.505E-3	0	0	0.3 0.4
146	150051	1	1	1	1	1.860	5.505E-3	0	0	0.4 0.5
147	150061	1	1	1	1	1.860	5.505E-3	0	0	0.5 0.6
148	150071	1	1	1	1	1.860	5.505E-3	0	0	0.6 0.7
149	150081	1	1	1	1	1.860	5.505E-3	0	0	0.7 0.8
150	150091	1	1	1	1	3.180	9.414E-3	0	0	0.8 0.9710
151	*									
152	150101	2	1	0	1	1.860	5.505E-3	0	0	0.0 0.1
153	150111	2	1	1	1	1.860	5.505E-3	0	0	0.1 0.2
154	150121	2	1	1	1	1.860	5.505E-3	0	0	0.2 0.3
155	150131	2	1	1	1	1.860	5.505E-3	0	0	0.3 0.4
156	150141	2	1	1	1	1.860	5.505E-3	0	0	0.4 0.5
157	150151	2	1	1	1	1.860	5.505E-3	0	0	0.5 0.6
158	150161	2	1	1	1	1.860	5.505E-3	0	0	0.6 0.7
159	150171	2	1	1	1	1.860	5.505E-3	0	0	0.7 0.8
160	150181	2	1	1	1	3.180	9.414E-3	0	0	0.8 0.9710
161	*									

162	150191	3	1	0	1	1.220	3.611E-3	0	0	0.0	0.1
163	150201	3	1	1	1	1.220	3.611E-3	0	0	0.1	0.2
164	150211	3	1	1	1	1.220	3.611E-3	0	0	0.2	0.3
165	150221	3	1	1	1	1.220	3.611E-3	0	0	0.3	0.4
166	150231	3	1	1	1	1.220	3.611E-3	0	0	0.4	0.5
167	150241	3	1	1	1	1.220	3.611E-3	0	0	0.5	0.6
168	150251	3	1	1	1	1.220	3.611E-3	0	0	0.6	0.7
169	150261	3	1	1	1	1.220	3.611E-3	0	0	0.7	0.8
170	150271	3	1	1	1	2.086	6.175E-3	0	0	0.8	0.9710
171	*										
172	150281	4	1	0	1	0.2381	7.046E-4	0	0	0.0	0.1
173	150291	4	1	1	1	0.2381	7.046E-4	0	0	0.1	0.2
174	150301	4	1	1	1	0.2381	7.046E-4	0	0	0.2	0.3
175	150311	4	1	1	1	0.2381	7.046E-4	0	0	0.3	0.4
176	150321	4	1	1	1	0.2381	7.046E-4	0	0	0.4	0.5
177	150331	4	1	1	1	0.2381	7.046E-4	0	0	0.5	0.6
178	150341	4	1	1	1	0.2381	7.046E-4	0	0	0.6	0.7
179	150351	4	1	1	1	0.2381	7.046E-4	0	0	0.7	0.8
180	150361	4	1	1	1	0.4071	1.205E-3	0	0	0.8	0.9710

181 *
182 * AXIAL POWER DISTRIBUTION FOR HEAT SLAB

183	* ISLB	ITOPT	QFRAC	QPMOD	
184	160010	1	1	0.027213	0.026
185	160020	2	1	0.039585	0.026
186	160030	3	1	0.048077	0.026
187	160040	4	1	0.048746	0.026
188	160050	5	1	0.041430	0.026
189	160060	6	1	0.027806	0.026
190	160070	7	1	0.014366	0.026
191	160080	8	1	0.006169	0.026
192	160090	9	1	0.003923	0.026
193	*				
194	160100	10	1	0.035164	0.026
195	160110	11	1	0.042885	0.026
196	160120	12	1	0.053862	0.026
197	160130	13	1	0.066646	0.026
198	160140	14	1	0.068170	0.026
199	160150	15	1	0.046912	0.026
200	160160	16	1	0.018572	0.026
201	160170	17	1	0.006015	0.026
202	160180	18	1	0.001713	0.026
203	*				
204	160190	19	1	0.034275	0.026
205	160200	20	1	0.049849	0.026
206	160210	21	1	0.060546	0.026
207	160220	22	1	0.061389	0.026
208	160230	23	1	0.052257	0.026
209	160240	24	1	0.035103	0.026
210	160250	25	1	0.018098	0.026
211	160260	26	1	0.007774	0.026
212	160270	27	1	0.004941	0.026
213	*				
214	160280	28	1	0.008305	0.026
215	160290	29	1	0.012078	0.026
216	160300	30	1	0.014669	0.026
217	160310	31	1	0.014874	0.026
218	160320	32	1	0.012641	0.026
219	160330	33	1	0.008484	0.026
220	160340	34	1	0.004384	0.026
221	160350	35	1	0.001883	0.026
222	160360	36	1	0.001196	0.026

223 *
224 * AXIAL POWER REF: FSAR FIG 4.3-14 CURVE B, AMMEND 13, MAY 74

225	HEAT SLAB GEOMETRY DATA						
226	* IG	NR	IM	NDX	KD	XR	
227							
228	170101	2	3	1	14	0	5.390E-3 *FUEL
229	170102			1	2	1	7.000E-5 *GAP
230	170103			3	3		4.600E-4 *CLADDING

231	THERMAL CONDUCTIVITY DATA									
232										
233	180100	-12	37.8	3.802	260.0	3.132	704.4	2.129	815.6	1.948
234	180101		926.7	1.796	982.2	1.729	1037.8	1.671	1093.3	1.619
235	180102		1148.9	1.574	1260.0	1.506	1482.2	1.453	1648.9	1.487

236	* FROM ANDERSON-LECHLITER EQ.									
237	180200	-11	200.	0.131		300.	0.143		400.	0.153
238	180201		500.	0.160		600.	0.164		700.	0.165
239	180202		800.	0.161		900.	0.151		1000.	0.135
240	180203		1100.	0.108		1200.	0.066			

241	*									
242	180300	-2	10.	13.006		2760.	23.857			
243	*									

```

244 * VOLUMETRIC HEAT CAPACITY DATA
245 190100 -14 260. 692.94 315.6 695.12 426.7 701.03 537.8 709.06
246 190101 704.4 725.04 815.6 738.33 926.7 753.73 1093.3 780.78
247 190102 1426.7 849.07 1648.9 905.13 1926.7 987.04 2204.4 1082.11
248 190103 2537.8 1213.6 2760.0 1311.76
249 *
250 190200 -2 0.0 0.0012 1000.0 0.0012
251 *
252 190300 -2 10.0 956.08 2760.0 1392.26
253 *
254 * LINEAR EXPANSION COEFFICIENT DATA
255 200101 -2 0. 1.0E-5 2760. 1.0E-5
256 *
257 200301 -2 0. 1.8E-5 2760. 1.8E-5
258 *
259 * RADIAL POWER DISTRIBUTION
260 220101 1.1298 1.1307 1.1324 1.1344 1.1370 1.1403
261 220102 1.1463 1.1532 1.1612 1.1752 1.1833 1.2023
262 220103 1.2137 1.2381 1.2678
263 *
264 220201 0.0084
265 *
266 220301 0.0084 0.0084 0.0084
267 *
268 * EMISSIVITY AND ROUGHNESS
269 * FUEL CLAD ROUGHNESS
270 300000 0.8 0.9 1.0E-5
271 *
272 * MATERIAL DENSITY
273 * FUEL CLAD
274 400000 10500. 7910.
275 *
276 .

```

2. SPERT-III. C型炉心

LISTING OF INPUT DATA FOR CASE 1

```

1  * SPERT-3C RIA ANALYSIS (RUN NO. 2246 : MKS)
2  * PROBLEM DIMENSION DATA (NO FILL,FILL,FINE MESH)
3  * LDP NE NT NTR NV NTD NJ NC NF NSB NGM NMT
4  010001 -2  9  3  3  38  1  42  0  2  36  1  2
5  * PROBLEM CONSTANTS DATA
6  * POWER
7  010002  1.0E-6
8  * EDIT VARIABLE DATA
9  020000  SR 12  TS 12  AT 12  FR 12  CR 12  KR 12  DR 12  PO  0  AP 12
10 020000  PO  0  AE  0  TR  0  RW  0  RX  0  DR  2  SR 12  AT 12  SV 12
    CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
11 *
12 * TIME STEP DATA
13 * MIN MAJ DMP DELTM DTMIN TLAST ENDCPU
14 030010  2  2  20  1.000  0.001  4.0  200. **CPU TIME LIMIT
15 030020  2 200  20  0.001  0.0001  5.0
16 030030  1 50  20  0.04  0.0005  70.0
17 *U0020 10 200  20  0.0002  0.0001  4.27
18 *U0030  2 50  20  0.001  0.0005  70.0
19 * TRIP CONTROL DATA
20 * IDTRP IDSIG IX1 IX2 SETPT DELAY
21 040010  1  1  0  0  4.3  0.  * END OF PROBLEM, SEC
22 040020  2  1  0  0  4.0  0.  * KINETICS CALC.
23 040030  5  1  0  0  0.  0.  * RECYCLE LINE ACTIVE
24 *
25 * RUN NO. 2246 P=14.2 PSI, T=82.4 DEGF
26 *
27 * THESE DATA ARE MODIFIED FOR RELAP-RIA (MKS UNIT)
28 * VOL-----FINE MESH : USE TIME DEPENDENT VOLUME
29 * JFL-----0 GAL/MIN
30 *
31 * VOLUME DATA
32 * READ P T HORX V ZVOL
33 050011  1  1.1660  28.0 -1.0  4.4197E-3  6.0957E-2
34 050021  1  1.1568  28.0 -1.0  8.8394E-3  1.2191E-1
35 050031  1  1.1448  28.0 -1.0  4.4197E-3  6.0957E-2
36 050041  1  1.1377  28.0 -1.0  4.4197E-3  6.0957E-2
37 050051  1  1.1276  28.0 -1.0  8.8394E-3  1.2191E-1
38 050061  1  1.1144  28.0 -1.0  8.8394E-3  1.2191E-1
39 050071  1  1.1012  28.0 -1.0  8.8394E-3  1.2191E-1
40 050081  1  1.0881  28.0 -1.0  8.8394E-3  1.2191E-1
41 050091  1  1.0749  28.0 -1.0  8.8394E-3  1.2191E-1
42 *
43 050101  1  1.1651  28.0 -1.0  6.2226E-4  6.0957E-2
44 050111  1  1.1550  28.0 -1.0  1.2445E-3  1.2191E-1
45 050121  1  1.1447  28.0 -1.0  6.2226E-4  6.0957E-2
46 050131  1  1.1377  28.0 -1.0  6.2226E-4  6.0957E-2
47 050141  1  1.1276  28.0 -1.0  1.2445E-3  1.2191E-1
48 050151  1  1.1144  28.0 -1.0  1.2445E-3  1.2191E-1
49 050161  1  1.1012  28.0 -1.0  1.2445E-3  1.2191E-1
50 050171  1  1.0881  28.0 -1.0  1.2445E-3  1.2191E-1
51 050181  1  1.0749  28.0 -1.0  1.2445E-3  1.2191E-1
52 *
53 050191  1  1.1651  28.0 -1.0  2.3901E-3  6.0957E-2
54 050201  1  1.1550  28.0 -1.0  4.7802E-3  1.2191E-1
55 050211  1  1.1448  28.0 -1.0  2.3901E-3  6.0957E-2
56 050221  1  1.1377  28.0 -1.0  2.3901E-3  6.0957E-2
57 050231  1  1.1276  28.0 -1.0  4.7802E-3  1.2191E-1
58 050241  1  1.1144  28.0 -1.0  4.7802E-3  1.2191E-1
59 050251  1  1.1012  28.0 -1.0  4.7802E-3  1.2191E-1
60 050261  1  1.0881  28.0 -1.0  4.7802E-3  1.2191E-1
61 050271  1  1.0749  28.0 -1.0  4.7802E-3  1.2191E-1
62 *
63 050281  1  1.1651  28.0 -1.0  3.2741E-3  6.0957E-2
64 050291  1  1.1550  28.0 -1.0  6.5483E-3  1.2191E-1
65 050301  1  1.1448  28.0 -1.0  3.2741E-3  6.0957E-2
66 050311  1  1.1377  28.0 -1.0  3.2741E-3  6.0957E-2
67 050321  1  1.1276  28.0 -1.0  6.5483E-3  1.2191E-1
68 050331  1  1.1144  28.0 -1.0  6.5483E-3  1.2191E-1
69 050341  1  1.1012  28.0 -1.0  6.5483E-3  1.2191E-1
70 050351  1  1.0881  28.0 -1.0  6.5483E-3  1.2191E-1
71 050361  1  1.0749  28.0 -1.0  6.5483E-3  1.2191E-1
72 * PLENUM VOLUME
73 050371  1  1.2189  28.0 -1.0  0.2  1.0
74 050381  1  0.9940  28.0 -1.0  0.3  1.5
75 *
76 * FLOWA DIAMV ELEV
77 050012  7.2537E-2  6.4919E-3  0.0
78 050022  7.2537E-2  6.4919E-3  6.0957E-2
79 050032  7.2537E-2  6.4919E-3  1.8287E-1
80 050042  7.2537E-2  6.4919E-3  2.4382E-1
81 050052  7.2537E-2  6.4919E-3  3.0478E-1
82 050062  7.2537E-2  6.4919E-3  4.2669E-1
    
```

JAERI-M 84-074

83	050072	7.2537E-2	6.4919E-3	5.4860E-1							
84	050082	7.2537E-2	6.4919E-3	6.7051E-1							
85	050092	7.2537E-2	6.4919E-3	7.9242E-1							
86	*										
87	050102	1.0214E-2	6.4919E-3	0.0							
88	050112	1.0214E-2	6.4919E-3	6.0957E-2							
89	050122	1.0214E-2	6.4919E-3	1.8287E-1							
90	050132	1.0214E-2	6.4919E-3	2.4382E-1							
91	050142	1.0214E-2	6.4919E-3	3.0478E-1							
92	050152	1.0214E-2	6.4919E-3	4.2669E-1							
93	050162	1.0214E-2	6.4919E-3	5.4860E-1							
94	050172	1.0214E-2	6.4919E-3	6.7051E-1							
95	050182	1.0214E-2	6.4919E-3	7.9242E-1							
96	*										
97	050192	3.9229E-2	6.4919E-3	0.							
98	050202	3.9229E-2	6.4919E-3	6.0957E-2							
99	050212	3.9229E-2	6.4919E-3	1.8287E-1							
100	050222	3.9229E-2	6.4919E-3	2.4382E-1							
101	050232	3.9229E-2	6.4919E-3	3.0478E-1							
102	050242	3.9229E-2	6.4919E-3	4.2669E-1							
103	050252	3.9229E-2	6.4919E-3	5.4860E-1							
104	050262	3.9229E-2	6.4919E-3	6.7051E-1							
105	050272	3.9229E-2	6.4919E-3	7.9242E-1							
106	*										
107	050282	5.3736E-2	6.4919E-3	0.							
108	050292	5.3736E-2	6.4919E-3	6.0957E-2							
109	050302	5.3736E-2	6.4919E-3	1.8287E-1							
110	050312	5.3736E-2	6.4919E-3	2.4382E-1							
111	050322	5.3736E-2	6.4919E-3	3.0478E-1							
112	050332	5.3736E-2	6.4919E-3	4.2669E-1							
113	050342	5.3736E-2	6.4919E-3	5.4860E-1							
114	050352	5.3736E-2	6.4919E-3	6.7051E-1							
115	050362	5.3736E-2	6.4919E-3	7.9242E-1							
116	*										
117	050372	0.3	6.4919E-3	-1.0							
118	050382	0.3	6.4919E-3	9.1433E-1							
119	*										
120	* TIME DEPENDENT VOLUME DATA										
121	070100	0									
122	*										
123	* JUNCTION DATA										
124	*	HORF VLV WP			AJUN	ZJUN	INERTA	FJUNF	FJUNR		
125	080011	37	1	0	0	0.41281	7.2537E-2	0.	0	0.55	0.0
126	080021	1	2	0	0	0.41281	7.2537E-2	6.0957E-2	0	0.0	0.0
127	080031	2	3	0	0	0.41281	7.2537E-2	1.8287E-1	0	0.0	0.0
128	080041	3	4	0	0	0.41281	7.2537E-2	2.4382E-1	0	0.0	0.0
129	080051	4	5	0	0	0.41281	7.2537E-2	3.0478E-1	0	0.0	0.0
130	080061	5	6	0	0	0.41281	7.2537E-2	4.2669E-1	0	0.0	0.0
131	080071	6	7	0	0	0.41281	7.2537E-2	5.4860E-1	0	0.0	0.0
132	080081	7	8	0	0	0.41281	7.2537E-2	6.7051E-1	0	0.0	0.0
133	080091	8	9	0	0	0.41281	7.2537E-2	7.9242E-1	0	0.0	0.0
134	080101	9	38	0	0	0.41281	7.2537E-2	9.1433E-1	0	0.65	0.0
135	*										
136	080111	37	10	0	0	0.05813	1.0214E-2	0.	0	0.65	0.0
137	080121	10	11	0	0	0.05813	1.0214E-2	6.0957E-2	0	0.0	0.0
138	080131	11	12	0	0	0.05813	1.0214E-2	1.8287E-1	0	0.0	0.0
139	080141	12	13	0	0	0.05813	1.0214E-2	2.4382E-1	0	0.0	0.0
140	080151	13	14	0	0	0.05813	1.0214E-2	3.0478E-1	0	0.0	0.0
141	080161	14	15	0	0	0.05813	1.0214E-2	4.2669E-1	0	0.0	0.0
142	080171	15	16	0	0	0.05813	1.0214E-2	5.4860E-1	0	0.0	0.0
143	080181	16	17	0	0	0.05813	1.0214E-2	6.7051E-1	0	0.0	0.0
144	080191	17	18	0	0	0.05813	1.0214E-2	7.9242E-1	0	0.0	0.0
145	080201	18	38	0	0	0.05813	1.0214E-2	9.1433E-1	0	0.65	0.0
146	*										
147	080211	37	19	0	0	0.22323	3.9229E-2	0.	0	0.55	0.0
148	080221	19	20	0	0	0.22323	3.9229E-2	6.0957E-2	0	0.0	0.0
149	080231	20	21	0	0	0.22323	3.9229E-2	1.8287E-1	0	0.0	0.0
150	080241	21	22	0	0	0.22323	3.9229E-2	2.4382E-1	0	0.0	0.0
151	080251	22	23	0	0	0.22323	3.9229E-2	3.0478E-1	0	0.0	0.0
152	080261	23	24	0	0	0.22323	3.9229E-2	4.2669E-1	0	0.0	0.0
153	080271	24	25	0	0	0.22323	3.9229E-2	5.4860E-1	0	0.0	0.0
154	080281	25	26	0	0	0.22323	3.9229E-2	6.7051E-1	0	0.0	0.0
155	080291	26	27	0	0	0.22323	3.9229E-2	7.9242E-1	0	0.0	0.0
156	080301	27	38	0	0	0.22323	3.9229E-2	9.1433E-1	0	0.65	0.0
157	*										
158	080311	37	28	0	0	0.30585	5.3736E-2	0.	0	0.55	0.0
159	080321	28	29	0	0	0.30585	5.3736E-2	6.0957E-2	0	0.0	0.0
160	080331	29	30	0	0	0.30585	5.3736E-2	1.8287E-1	0	0.0	0.0
161	080341	30	31	0	0	0.30585	5.3736E-2	2.4382E-1	0	0.0	0.0
162	080351	31	32	0	0	0.30585	5.3736E-2	3.0478E-1	0	0.0	0.0
163	080361	32	33	0	0	0.30585	5.3736E-2	4.2669E-1	0	0.0	0.0
164	080371	33	34	0	0	0.30585	5.3736E-2	5.4860E-1	0	0.0	0.0
165	080381	34	35	0	0	0.30585	5.3736E-2	6.7051E-1	0	0.0	0.0
166	080391	35	36	0	0	0.30585	5.3736E-2	7.9242E-1	0	0.0	0.0
167	080401	36	38	0	0	0.30585	5.3736E-2	9.1433E-1	0	0.65	0.0

```

168 *
169 *      FILL JUNCTION
170 080411  0 37  1  0      0.0   9.2937E-2 -1.0   0      0.0   0.0
171 080421  0 38  2  0      0.0   9.2937E-2  2.4143  0      0.0   0.0
172 *
173 *      IHOCOR
174 080012      2
175 080022      3
176 080032      3
177 080042      3
178 080052      3
179 080062      3
180 080072      3
181 080082      3
182 080092      3
183 080102      1
184 *
185 080112      2
186 080122      3
187 080132      3
188 080142      3
189 080152      3
190 080162      3
191 080172      3
192 080182      3
193 080192      3
194 080202      1
195 *
196 080212      2
197 080222      3
198 080232      3
199 080242      3
200 080252      3
201 080262      3
202 080272      3
203 080282      3
204 080292      3
205 080302      1
206 *
207 080312      2
208 080322      3
209 080332      3
210 080342      3
211 080352      3
212 080362      3
213 080372      3
214 080382      3
215 080392      3
216 080402      1
217 *
218 *      ADDED DATA FOR FILLING SYSTEM
219 080412      0
220 080422      0
221 *
222 *      CHF DIAL CARD
223 082030      1.0
224 082030      10.0
      CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
225 *
226 *      FILL DATA TABLE
227 *      ITF  NPT
228 130100      5      3
229 130200      5      3
230 130101      0.0    1.0    28.043
231 130102      1.     0.0    28.043
232 130103      100.   0.0    28.043
233 *
234 130201      0.0   -1.0    28.041
235 130202      1.    -0.0    28.041
236 130203      100.  -0.0    28.041
237 *
238 *      KINETICS CONSTANTS DATA
239 *      =====HEAT FLUX UTILIZATION
240 140000      1  0.00729  0.1825E-4  0.0   0.20  0.001
241 *      =====

```

JAERI-M 84-074

* REACTIVITY COEFFICIENT DATA											
		WTV0ID	WTD0PT	WTEXP	WTM0D						
242	*										
243	*										
244	140010	0.02120	0.0	0.01433	0.02120						
245	140020	0.07018	0.0	0.04744	0.07018						
246	140030	0.05144	0.0	0.03478	0.05144						
247	140040	0.04041	0.0	0.02732	0.04041						
248	140050	0.05367	0.0	0.03628	0.05367						
249	140060	0.02634	0.0	0.01780	0.02634						
250	140070	0.01237	0.0	0.00836	0.01237						
251	140080	0.00645	0.0	0.00436	0.00645						
252	140090	0.00294	0.0	0.00198	0.00294						
253	*										
254	140100	0.01232	0.0	0.00832	0.01232						
255	140110	0.03913	0.0	0.02646	0.03913						
256	140120	0.02571	0.0	0.01738	0.02571						
257	140130	0.01980	0.0	0.01338	0.01980						
258	140140	0.02606	0.0	0.01762	0.02606						
259	140150	0.01458	0.0	0.00986	0.01458						
260	140160	0.00780	0.0	0.00528	0.00780						
261	140170	0.00405	0.0	0.00274	0.00405						
262	140180	0.00151	0.0	0.00102	0.00151						
263	*										
264	140190	0.01556	0.0	0.01058	0.01556						
265	140200	0.04717	0.0	0.03188	0.04717						
266	140210	0.03156	0.0	0.02134	0.03156						
267	140220	0.02256	0.0	0.01526	0.02256						
268	140230	0.02903	0.0	0.01962	0.02903						
269	140240	0.01638	0.0	0.01108	0.01638						
270	140250	0.00874	0.0	0.00590	0.00874						
271	140260	0.00432	0.0	0.00292	0.00432						
272	140270	0.00171	0.0	0.00116	0.00171						
273	*										
274	140280	0.03670	0.0	0.02480	0.03670						
275	140290	0.10886	0.0	0.07358	0.10886						
276	140300	0.07568	0.0	0.05116	0.07568						
277	140310	0.05328	0.0	0.03602	0.05328						
278	140320	0.06398	0.0	0.04326	0.06398						
279	140330	0.02856	0.0	0.01930	0.02856						
280	140340	0.01138	0.0	0.00770	0.01138						
281	140350	0.00577	0.0	0.00390	0.00577						
282	140360	0.00278	0.0	0.00188	0.00278						
283	*										
284	*	INSERTION REACTIVITY DATA									
285	141001	-3	2	0.0	0.0	0.07 8.9667E-3 10. 8.9667E-3					
286	*										
287	*	VOID REACTIVITY TABLE DATA									
288	142001	-2	0.0	0.0	1.0	-0.338					
289	*										
290	*	DOPPLER REACTIVITY TABLE DATA									
291	143001	0									
292	*										
293	*	MODERATOR TEMP. REACTIVITY TABLE DATA									
294	145001	-3	26.67	-0.003113	100.0	-0.014591 204.44 -0.045848					
295	*										
296	*	HEAT SLAB DATA									
297	*	IVS	GOM	ISB	IMC	AHT	VOLS	HDM	DHE	ZBOT	ZTOP
298	150011	1	1	0	1	2.7193	1.036E-3	6.4919E-3	0	0.0	6.0957E-2
299	150021	2	1	1	1	5.4387	2.072E-3	6.4919E-3	0	0.0	1.2191E-1
300	150031	3	1	1	1	2.7193	1.036E-3	6.4919E-3	0	0.0	6.0957E-2
301	150041	4	1	1	1	2.7193	1.036E-3	6.4919E-3	0	0.0	6.0957E-2
302	150051	5	1	1	1	5.4387	2.072E-3	6.4919E-3	0	0.0	1.2191E-1
303	150061	6	1	1	1	5.4387	2.072E-3	6.4919E-3	0	0.0	1.2191E-1
304	150071	7	1	1	1	5.4387	2.072E-3	6.4919E-3	0	0.0	1.2191E-1
305	150081	8	1	1	1	5.4387	2.072E-3	6.4919E-3	0	0.0	1.2191E-1
306	150091	9	1	1	1	5.4387	2.072E-3	6.4919E-3	0	0.0	1.2191E-1
307	*										
308	150101	10	1	0	1	0.38290	1.4585E-4	6.4919E-3	0	0.0	6.0957E-2
309	150111	11	1	1	1	0.76580	2.9170E-4	6.4919E-3	0	0.0	1.2191E-1
310	150121	12	1	1	1	0.38290	1.4585E-4	6.4919E-3	0	0.0	6.0957E-2
311	150131	13	1	1	1	0.38290	1.4585E-4	6.4919E-3	0	0.0	6.0957E-2
312	150141	14	1	1	1	0.76580	2.9170E-4	6.4919E-3	0	0.0	1.2191E-1
313	150151	15	1	1	1	0.76580	2.9170E-4	6.4919E-3	0	0.0	1.2191E-1
314	150161	16	1	1	1	0.76580	2.9170E-4	6.4919E-3	0	0.0	1.2191E-1
315	150171	17	1	1	1	0.76580	2.9170E-4	6.4919E-3	0	0.0	1.2191E-1
316	150181	18	1	1	1	0.76580	2.9170E-4	6.4919E-3	0	0.0	1.2191E-1
317	*										
318	150191	19	1	0	1	1.4712	5.6018E-4	6.4919E-3	0	0.0	6.0957E-2
319	150201	20	1	1	1	2.9424	1.1204E-3	6.4919E-3	0	0.0	1.2191E-1
320	150211	21	1	1	1	1.4712	5.6018E-4	6.4919E-3	0	0.0	6.0957E-2
321	150221	22	1	1	1	1.4712	5.6018E-4	6.4919E-3	0	0.0	6.0957E-2
322	150231	23	1	1	1	2.9424	1.1204E-3	6.4919E-3	0	0.0	1.2191E-1
323	150241	24	1	1	1	2.9424	1.1204E-3	6.4919E-3	0	0.0	1.2191E-1
324	150251	25	1	1	1	2.9424	1.1204E-3	6.4919E-3	0	0.0	1.2191E-1
325	150261	26	1	1	1	2.9424	1.1204E-3	6.4919E-3	0	0.0	1.2191E-1
326	150271	27	1	1	1	2.9424	1.1204E-3	6.4919E-3	0	0.0	1.2191E-1
327	*										

```

328 150281 28 1 0 1 2.0149 7.6749E-4 6.4919E-3 0 0.0 6.0957E-2
329 150291 29 1 1 1 4.0297 1.5350E-3 6.4919E-3 0 0.0 1.2191E-1
330 150301 30 1 1 1 2.0149 7.6749E-4 6.4919E-3 0 0.0 6.0957E-2
331 150311 31 1 1 1 2.0149 7.6749E-4 6.4919E-3 0 0.0 6.0957E-2
332 150321 32 1 1 1 4.0297 1.5350E-3 6.4919E-3 0 0.0 1.2191E-1
333 150331 33 1 1 1 4.0297 1.5350E-3 6.4919E-3 0 0.0 1.2191E-1
334 150341 34 1 1 1 4.0297 1.5350E-3 6.4919E-3 0 0.0 1.2191E-1
335 150351 35 1 1 1 4.0297 1.5350E-3 6.4919E-3 0 0.0 1.2191E-1
336 150361 36 1 1 1 4.0297 1.5350E-3 6.4919E-3 0 0.0 1.2191E-1
337 *
338 * CORE SECTION DATA
339 * ISLB ITOPT QFRAC QPMOD
340 160010 1 1 0.02836 0.045
341 160020 2 1 0.06964 0.045
342 160030 3 1 0.03887 0.045
343 160040 4 1 0.03461 0.045
344 160050 5 1 0.05230 0.045
345 160060 6 1 0.03184 0.045
346 160070 7 1 0.01905 0.045
347 160080 8 1 0.01208 0.045
348 160090 9 1 0.00810 0.045
349 *
350 160100 10 1 0.00826 0.045
351 160110 11 1 0.01941 0.045
352 160120 12 1 0.01062 0.045
353 160130 13 1 0.00910 0.045
354 160140 14 1 0.01369 0.045
355 160150 15 1 0.00896 0.045
356 160160 16 1 0.00574 0.045
357 160170 17 1 0.00360 0.045
358 160180 18 1 0.00240 0.045
359 *
360 160190 19 1 0.03109 0.045
361 160200 20 1 0.06995 0.045
362 160210 21 1 0.03905 0.045
363 160220 22 1 0.03340 0.045
364 160230 23 1 0.04789 0.045
365 160240 24 1 0.03059 0.045
366 160250 25 1 0.01960 0.045
367 160260 26 1 0.01230 0.045
368 160270 27 1 0.00815 0.045
369 *
370 160280 28 1 0.03643 0.045
371 160290 29 1 0.08192 0.045
372 160300 30 1 0.04643 0.045
373 160310 31 1 0.03843 0.045
374 160320 32 1 0.05391 0.045
375 160330 33 1 0.03327 0.045
376 160340 34 1 0.01979 0.045
377 160350 35 1 0.01242 0.045
378 160360 36 1 0.00874 0.045
379 *
380 * HEAT SLAB GEOMETRY DATA
381 * IG NR IM NDX XO XR PF *FUEL
382 170101 1 2 1 6 0 2.5389E-4 1. *FUEL
383 170102 0 2 2 1.2710E-4 0 *CLAD
384 *
385 * THERMAL CONDUCTIVITY DATA
386 180100 -5 26.67 18.302 98.89 19.027 154.44 19.606
387 180101 204.44 20.143 537.78 24.119
388 180200 -2 26.67 19.780 204.44 22.757
389 *
390 * VOLUMETRIC HEAT CAPACITY DATA
391 190100 -5 26.67 897.168 76.67 914.502 160.0 942.152
392 190101 204.44 956.226 537.78 1047.948
393 190200 -2 26.67 962.353 204.44 1013.121
394 *
395 * LINEAR EXPANSION COEFFICIENT DATA
396 200101 -2 26.67 1.7217E-5 204.44 1.7509E-5
397 200201 -2 26.67 1.7217E-5 204.44 1.7509E-5
398 *
399 * MATERIAL DENSITY
400 * FUEL CLADDIDNG
401 400000 10.5E+3 7.81E+3
402 *****
403 ***** HEAT FLUX DIAL CARD *****
404 *****
405 082031 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 *
406 *****
407

```