

JAERI-M

8 9 7 2

多並列チャンネルモデルによる高温
ガス炉炉心の非定常熱流動解析コード：
TRANTHAC-1

1980年8月

佐藤 貞夫・宮本 喜晟

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.

多並列チャンネルモデルによる高温ガス炉炉心の
非定常熱流動解析コード：TRANTHAC-1

日本原子力研究所動力炉開発・安全性研究管理部

佐藤貞夫・宮本喜晟

(1980年6月30日受理)

計算コードTRANTHAC-1は、ピン・イン・ブロック型燃料体を用いた多目的高温ガス実験炉の炉心内過渡時の熱流動挙動を、炉内の流量分布に注目して解析するものである。

本コードの計算モデルは、多並列チャンネルであり、燃料体を積み重ねた燃料カラムごとに1つのチャンネルを考慮する。炉心内燃料カラムは流量調節領域ごとにまとめられ、それぞれの領域に流量調節用オリフィスが設けられる。チャンネルはすべて同一形状であるが、さらに各領域内にこれと異なる寸法のチャンネル1つが考慮できる。炉心内の熱はチャンネルを流れる下向き流れの冷却材によって除去される。過渡時には、炉心出力、炉心全流量、炉心入口温度と入口圧力を時間変化で与えて、炉心内の熱応答を求める。各チャンネルの熱伝導は半径方向と軸方向とが考慮され、温度分布はチャンネルを構成する各構造物ごとに計算される。

本報告書は、TRANTHAC-1コードの計算モデルと使用法について述べたものである。このコードは、FACOM 230-75用FORTRAN-IVで書かれ、カード枚数約4000枚、記憶容量として約75K語を要している。

TRANTHAC-1 : Transient Thermal-Hydraulic Analysis Code
for HTGR Core of Multi-Channel Model

Sadao SATO and Yoshiaki MIYAMOTO

Division of Power Reactor Projects, JAERI

(Received June 30, 1980)

The computer program TRANTHAC-1 is for predicting thermal-hydraulic transient behavior in HTGR's core of pin-in-block type fuel elements, taking into consideration of the core flow distribution.

The program treats a multi-channel model, each single channel representing the respective column composed of fuel elements. The fuel columns are grouped in flow control regions; each region is provided with an orifice assembly. In the region, all channels are of the same shape except one channel. Core heat is removed by downward flow of the control through the channel. In any transients, for given time-dependent power, total core flow, inlet coolant temperature and coolant pressure, the thermal response of the core can be determined. In the respective channels, the heat conduction in radial and axial direction are represented. And the temperature distribution in each channel with the components is calculated.

The model and usage of the program are described. The program is written in FORTRAN-IV for computer FACOM 230-75 and it is composed of about 4,000 cards. The required core memory is about 75 kilowards.

Key words; VHTR Reactor, Multi-channel, Transient, Flow Distribution, Temperature Distribution, Pressure Drop, Orifice Coefficient, Computer Program

目 次

1. まえがき	1
2. 計算モデル	2
2.1 実験炉の炉心構成とその特徴	2
2.2 計算体系とチャンネル構造	3
3. 計算法	11
3.1 流量分布	11
3.2 冷却材圧力損失	17
3.3 固体温度分布	19
3.4 冷却材温度分布	25
3.5 その他	26
3.5.1 圧力損失係数	26
3.5.2 熱伝達率	27
3.5.3 ヘリウムの物性値	28
3.5.4 カラムのメッシュ当たり分担出力	29
3.5.5 過渡条件	30
3.5.6 計算時間幅	31
4. 計算コード	32
4.1 TRANSHAC-1の構成	32
4.2 入力データ	34
4.3 出力データ	34
4.4 計算例	34
5. あとがき	38
記号表	53
参考文献	56
計算例の入力データリスト	57
計算例の出力データリスト	59

Contents

1. Introduction	1
2. Calculation model	2
2.1 Core configuration and its feature	2
2.2 Calculation system and channel structure	3
3. Calculation method	11
3.1 Flow distribution	11
3.2 Coolant pressure drop	17
3.3 Structure temperature distribution	19
3.4 Coolant temperature distribution	25
3.5 Other calculation data	26
3.5.1 Pressure loss coefficients	26
3.5.2 Heat transfer correlations	27
3.5.3 Helium properties	28
3.5.4 Power distribution	29
3.5.5 Transient conditions	30
3.5.6 Execution time interval	31
4. Computer code	32
4.1 Organization of TRANSHAC-1 code	32
4.2 Input data	34
4.3 Output data	34
4.4 Example problem	38
5. Afterword	38
Nomenclature	53
References	56
Sample input list	57
Sample output list	59

1. まえがき

多目的高温ガス実験炉は、原子炉出口冷却材温度 1000°C の達成を目的とした 50MWT のヘリウム冷却黒鉛減速熱中性子炉である。¹⁾ 現在、建設を目指した検討が進められている。炉心の大半は黒鉛で構成されており、黒鉛の熱容量が大きいためその熱的な過渡変化は緩慢である。したがって炉心の非定常な熱的挙動を解析する場合には近似的に準定常で取扱われるが、詳細な解析とか非常に早い流体の過渡挙動を伴う熱流動解析では、非定常として解析することが必要である。

詳細な固体内の非定常熱伝導計算には、TAC²⁾など汎用な計算コードが開発されているが、実験炉炉心の詳細な冷却材の非定常流動挙動を解析するコードは見当らない。このような詳細な解析を行なうためには、出来るだけ実験炉炉心に合わせた体系、すなわち、冷却材のチャンネル数を実験炉炉心に近づけ、流動特性に影響を与える冷却材の温度上昇を考慮した計算コードの開発が必要である。このコードと上記の汎用熱伝導計算コードとを組合せて使用すれば、炉心全体の非定常熱流動挙動を詳細に解析することが可能となる。非定常流動挙動解析を目的としたコードとして FLODIS³⁾がある。このコードは GA 社が開発しているマルチホール型燃料体を対象とした固体と流体という組合せのチャンネルであるため、実験炉の燃料体のような複数の固体と流路の組合せのチャンネルは解析できない。さらに、1 流量調節単位を 1 チャンネルとして取扱い、種類の異なったチャンネルを含む体系に向かないため、実験炉への適用には無理がある。また、実験炉の核熱結合動特性解析コードとして SCOTCH⁴⁾が熱特性解析部分に多並列チャンネルの取扱いを行なっているが、1 流量調節単位による取扱いや計算メッシュ制限などから詳細な非定常熱流動解析には難点がある。

以上の考察を踏まえピン・イン・ブロック型燃料体を用いた実験炉炉心体系の詳細な非定常熱流動解析を行なうために、計算コード TRANSHAC-1 を開発した。このコードは定常時を含めた非定常時の炉内の流動挙動解析を主とするもので、炉心内を流量調節領域ごとにまとめ、この領域の入口にオリフィスを設け、さらに各領域に複数個のチャンネルを設けて上下をプレナムに連絡した多並列チャンネルモデルとする。冷却材の流れは全て同一方向に流れるものとし、各流路間の熱の移動を無視する。本コードの計算体系、計算方法、コードの構成、I/O などについて次章以下に述べる。

2. 計算モデル

計算コード TRANTHAC-1 の計算モデルの理解を容易にするために、本章では、まず多目的高温ガス実験炉¹⁾の炉心構成について説明し、次いで本コードにおける計算体系とチャンネル形状とについて記述する。

2.1 実験炉の炉心構成とその特徴

多目的高温ガス実験炉の炉体構造概念図を Fig. 1 に、炉心断面を Fig. 2 に示す。炉心部は 73 の燃料カラム（軸方向に 7 段積みされた燃料体柱）からなっている。この燃料体には Fig. 3 に示すように 2 種類あって、一方は燃料棒と可燃性毒物細棒を挿入したもの（標準燃料体）、他方は燃料棒と制御棒挿入孔および後備停止系ボロン球の挿入孔がついたもの（制御棒挿入用燃料体）で、いずれも平径 299 mm、長さ 570 mm の六角柱状ブロックである。標準燃料体には直径 50 mm の孔が 12 個設けられ、その中に外径 46 mm の中空型燃料棒が挿入されている。冷却材はブロックの孔と燃料棒との円環流路を流れる。これに対して、制御棒挿入用燃料体（以下では略して制御燃料体と呼ぶ）には標準燃料体に挿入される燃料棒と同一の燃料棒が 3 本挿入される他、外径 104 mm の制御棒挿入孔 2 個と後備停止用ボロン球落下孔 1 個が設けられる。炉心部の上下方向には燃料体の冷却流路に対応する冷却孔を設けた可動反射体黒鉛ブロックを配置し、さらに、上方の可動反射体上部には熱遮蔽体を兼ね備えたオリフィス装置が、また下方の可動反射体の下部には高温プレナム部（下部プレナム）をはさんでプレナムブロックと断熱層を配置している。炉心下部の構造を Fig. 4 に示す。

炉心部の冷却材は、Fig. 2 に示すように、7 燃料カラムを単位とした流量調節領域ごとに冷却材の流量調節を行うようになっている。標準的な流量調節領域は、炉心中央の流量調節単位に見られるように、制御燃料体を積重ねた制御燃料カラムの周囲を 6 個の標準燃料体を積重ねた標準燃料カラムが取囲む構成となっている。しかし、炉心の境界では 3 個および 1 個の標準燃料カラムの構成である。なお、実験炉炉心は径方向について 60 度対称であり、この対称最小単位の 60 度断面における流量調節領域数は計 4 個である。後に述べるように、本コードではこの 1/6 炉心を一応の解析対象範囲として考えている。

冷却材ヘリウムは 2 重配管の外側から炉内に入り、原子炉下部構造物、圧力容器、コアバレルなどの炉心周辺構造物を冷却しながら原子炉上部のプレナムに至る。そして、その後大部分の冷却材は 19 個の流量調節領域に配分される。これは上部プレナム内に位置する Fig. 5 に示すような反射体上部に設けられたオリフィスを通して行われる。このオリフィスは二重円筒の相対変位による流路開口面積の変化によって行われるものである。オリフィス装置による流量調節を受けた冷却材は、炉心燃料体内の冷却チャンネルに分流されて下降しながら炉心を冷却する。炉心を出した高温ヘリウムは下部反射体を通過する途中で 7 カラムごとに集められ、下部プレナムに至る。また、一部の冷却材は制御棒チャンネル、可動反射体間のブロック間隙を通り下降して下部プレ

ナムに至る。これらの冷却材はここで混合され、平均 1000°C の高温となり、冷却材出口管の内側を通して冷却系の一次系へと導かれる。

2.2 計算体系とチャンネル構造

本計算コードの対象とするチャンネルは Fig. 6 に示すような配列構成であり、上部プレナムと下部プレナムの間に最大 4 流量調節領域、各領域内に最大 7 チャンネルを考慮できるものである。この数値解析モデルは第 2.1 節で述べた多目的高温ガス実験炉の炉心を模擬したもので、カラムごとにひとつのチャンネルを考えている。すなわち、1 つの流量調節領域に最大 7 個の燃料カラムまたは標準燃料カラム（燃料チャンネルまたは標準燃料チャンネル）があって、その中で最大 1 個の制御燃料カラム（制御燃料チャンネル）を取ることができ、この流量調節領域を炉心全体で最大 4 個としたものである。^{*}したがって、チャンネルの種類としては、標準カラムのチャンネルと制御カラムのチャンネルの 2 種類があるが、これらはすべて同一の幾何学的形状であり、寸法のみ異なるものである。これは標準カラムと制御カラムとで燃料棒本数に相違のあることに基づくモデル上の配慮である（第 2.1 節参照）。なお、上記流量調節領域数は、炉心の対称性とともに特に計算機の使用語数を配慮して設定したものである。

炉心軸方向は、上方より、上部反射体、燃料領域の炉心部、下部反射体およびプレナムブロックの合計 4 種の要素構成であり、上部反射体の上方すなわちチャンネルの入口に流量調節用オリフィスを配置する構成である。このうち炉心部のみが加熱部分である。冷却材は上部プレナムにおける全流量がオリフィスを通して各カラム（各チャンネル）に分配され、再び下部プレナムに集められて体系から流出するというものであり、冷却材の流れ方向がすべてのチャンネルで同じ多並列チャンネルモデルである。炉心軸方向の座標軸は冷却材の流れ方向に一致させている。本計算モデルでは上記各構成要素ごとに許容できるセグメント数を、実験炉の炉心構成と計算機の使用語数を配慮して次のように設定している。なお、ここでいうセグメントとは、カラム（チャンネル）の構成単位である燃料体 1 ブロックあるいは反射体 1 ブロックに対して呼称しているものである。ただし、各要素の最小セグメント数はいずれも 1 個である。

上部反射体セグメント数	2 (最大)
炉心部セグメント数	7 (最大)
下部反射体セグメント数	2 (最大)
プレナムブロックセグメント数	2 (最大)

上記のカラム構成要素のうち炉心部を除く上部反射体とプレナムブロックの冷却材チャンネルは円管型流路で、その周囲を黒鉛ブロック等の固体が取囲むチャンネル構造である。加熱部分である炉心部は径方向に多重な円筒型固体層から成るモデルで、冷却材チャンネルは多層内のギャップのうち最内側（円管型流路）かあるいは最外側を除く他の任意ギャップ（環状型流路）のいず

*) 以下の記述で、単にチャンネルと言えば標準燃料チャンネル、制御燃料チャンネルのいずれかを指すものとする。また、標準燃料カラム、制御燃料カラムを単に標準カラム、制御カラムと略記する。さらにまた、本文ではカラムとチャンネルとは同意語として取扱う。

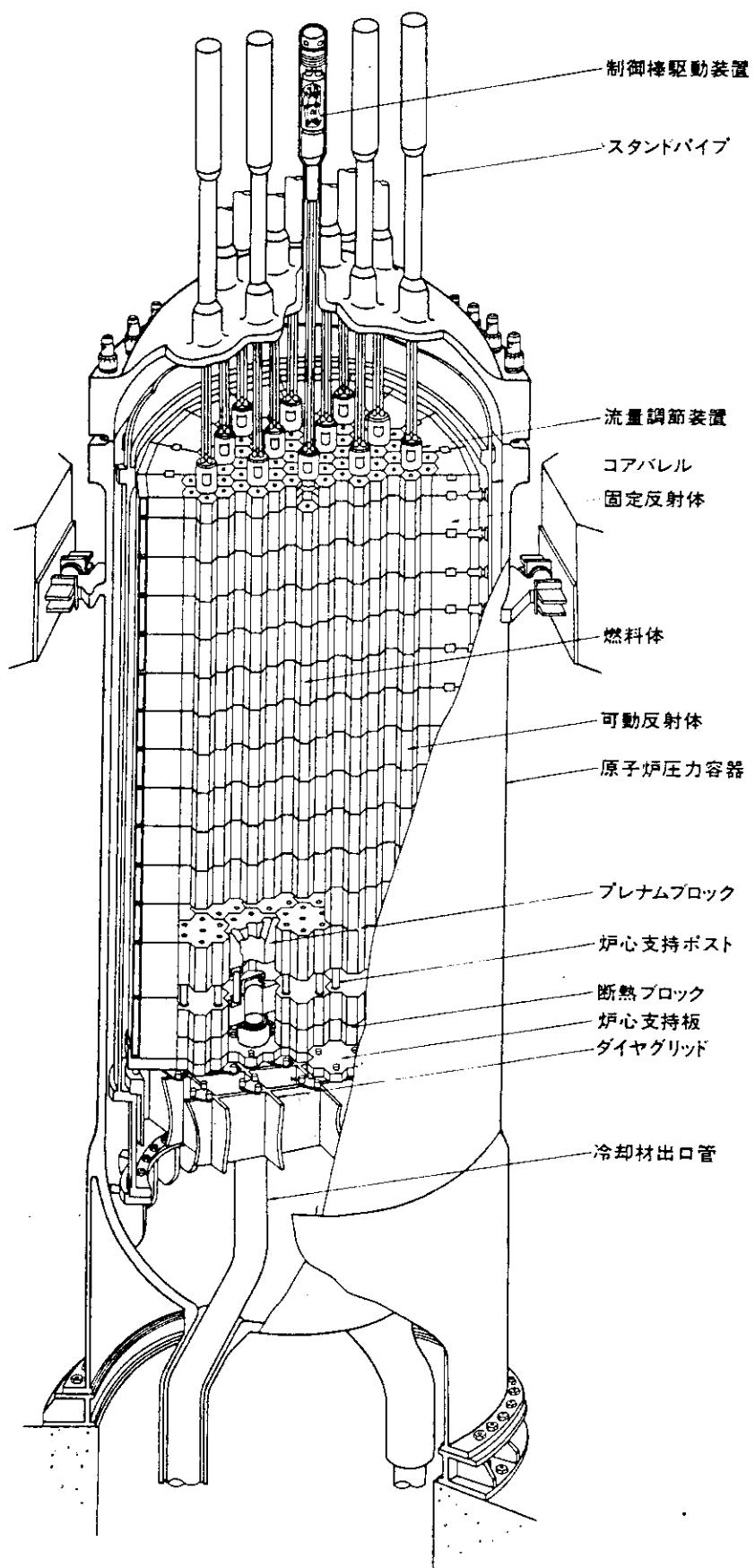


Fig. 1 Reactor view of Experimental VHTR (the conceptual design)

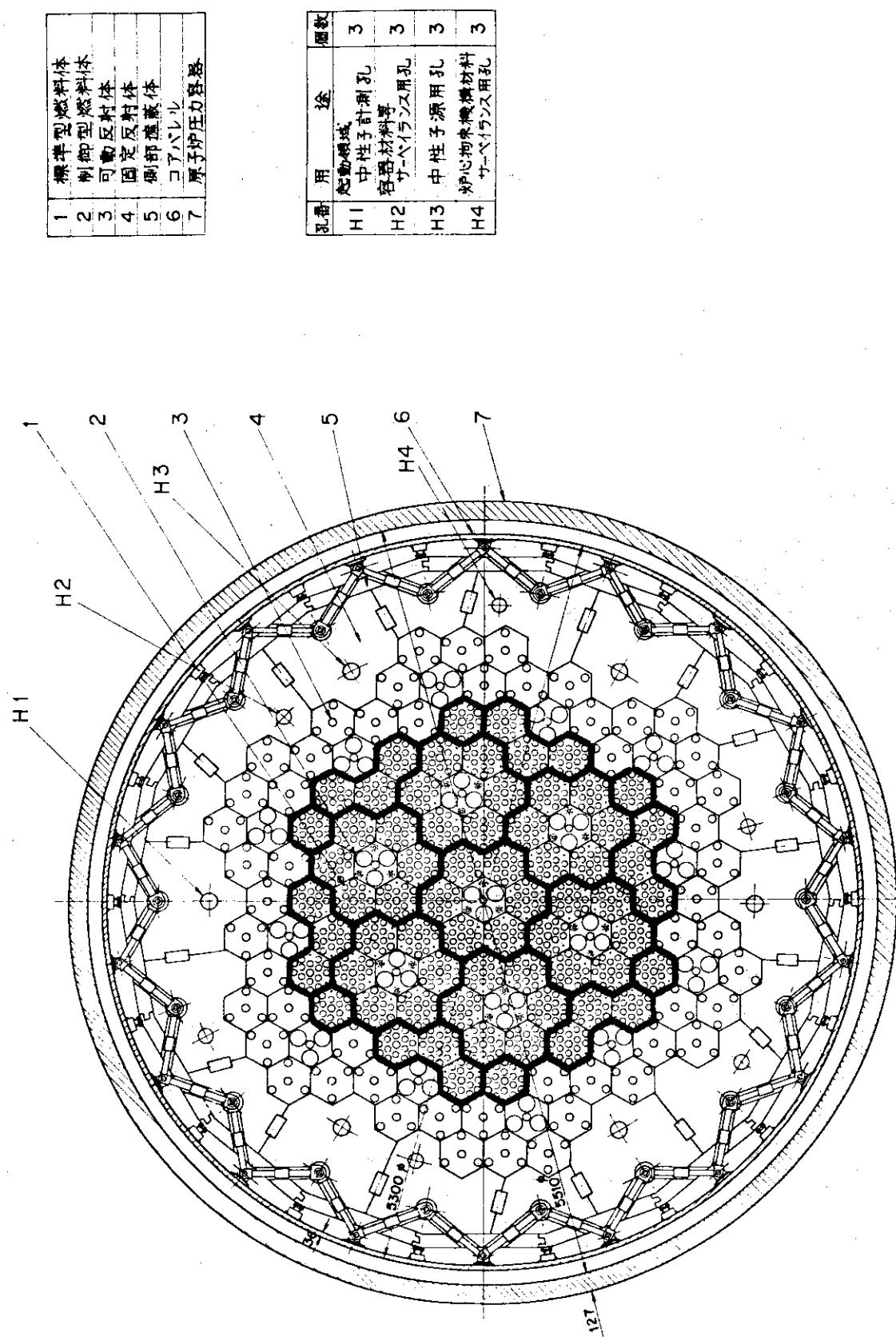


Fig. 2 Horizontal cross section of Experimental VHTR (core arrangement)

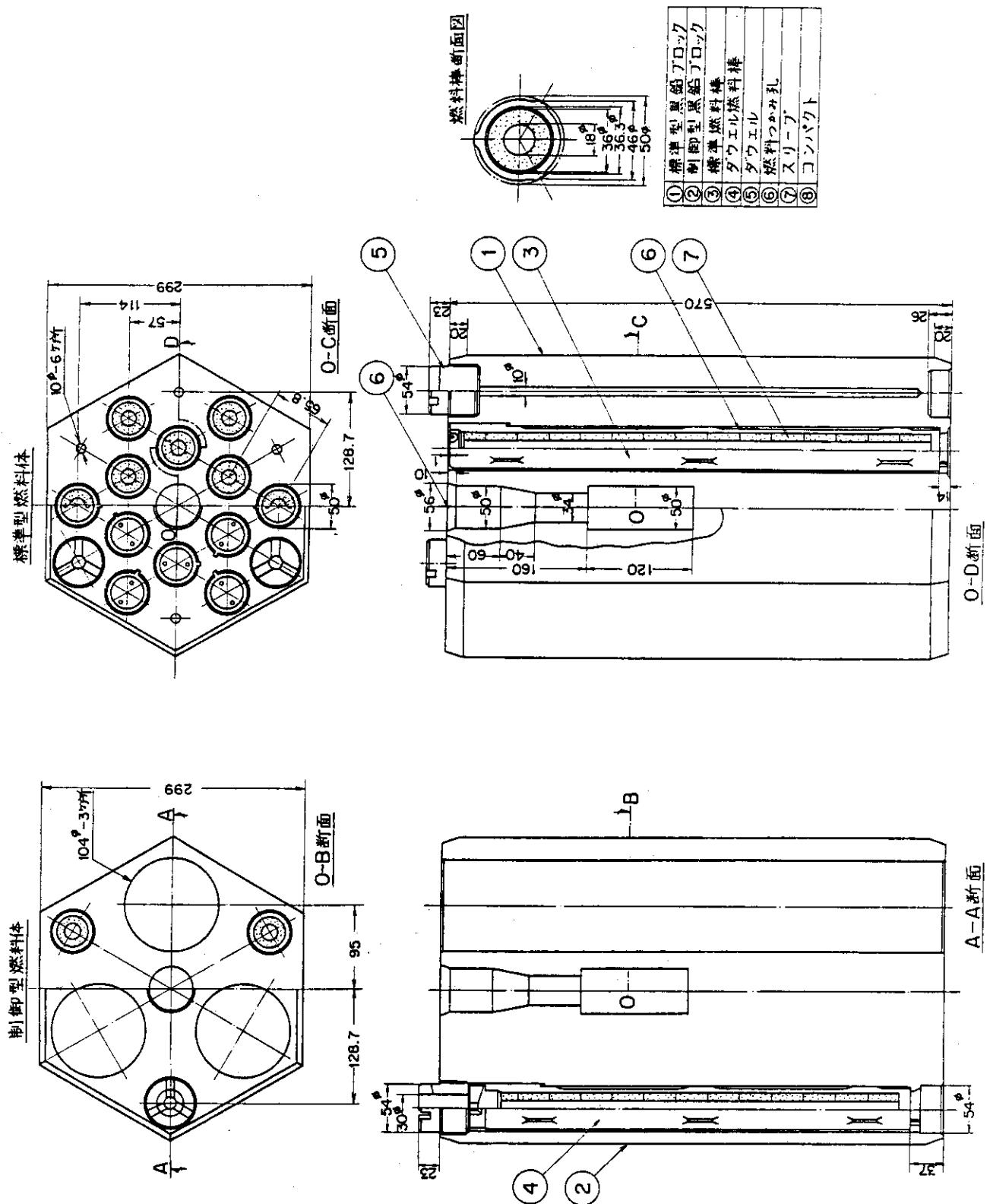
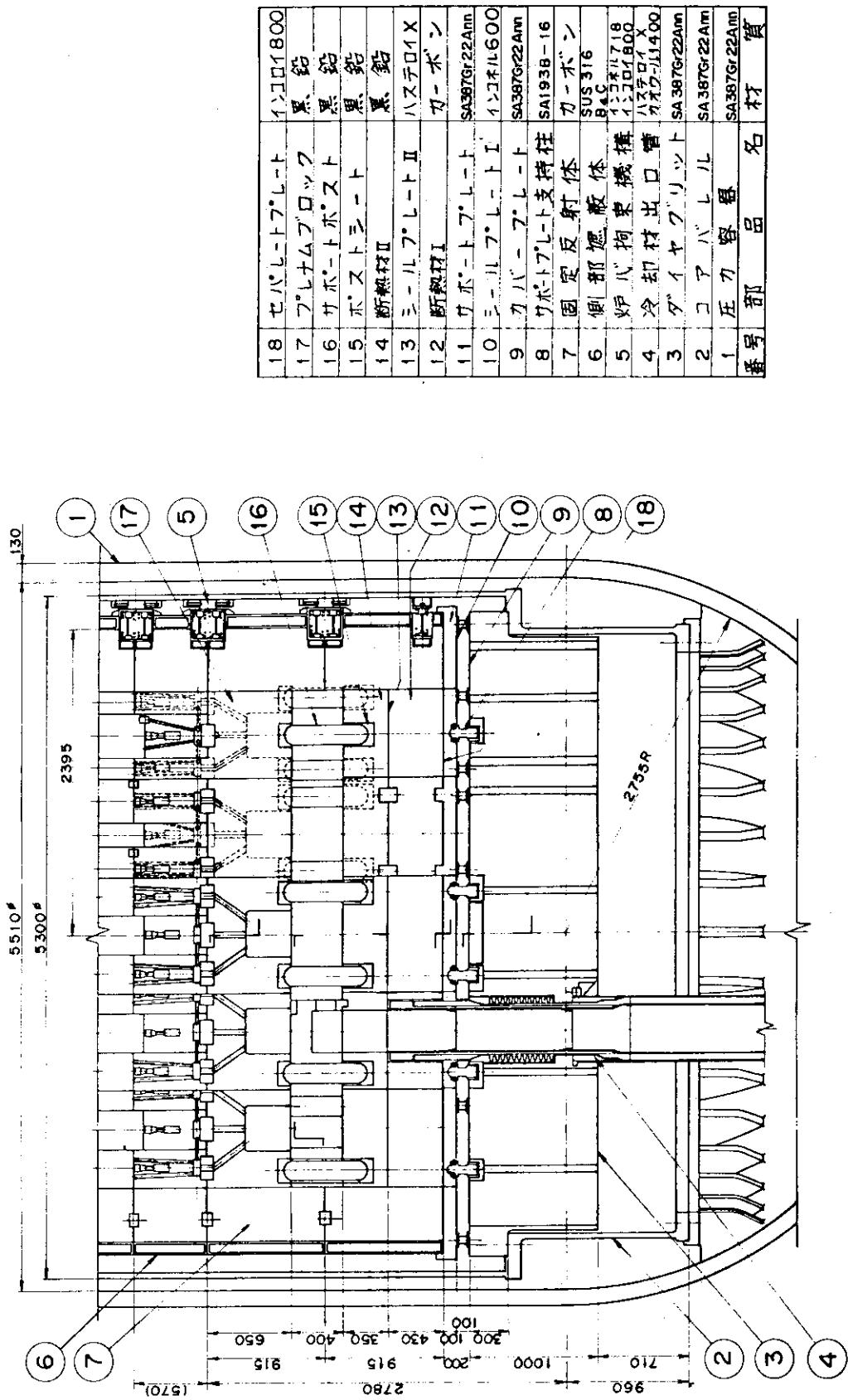


Fig. 3 Fuel element of Experimental VHTR (the conceptual design)



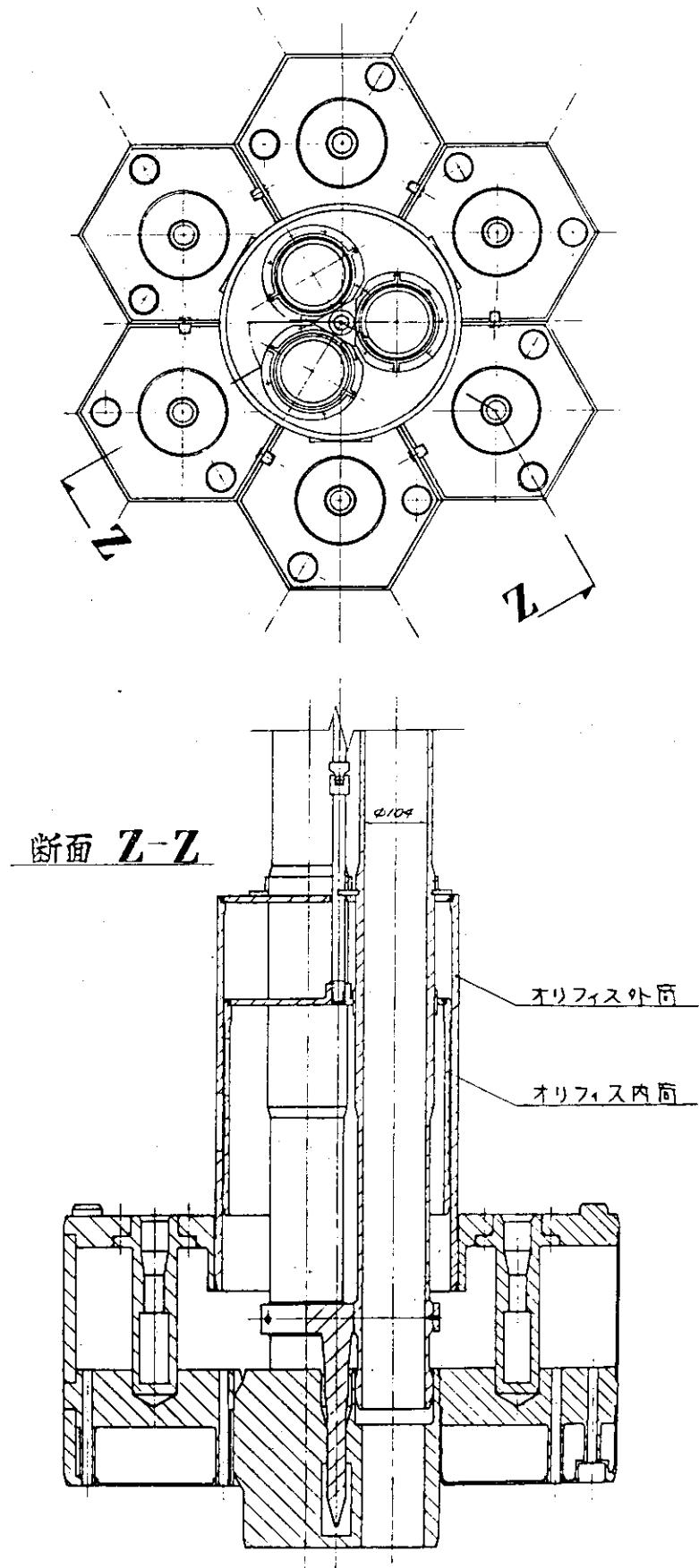


Fig. 5 Orifice arrangement of Experimental VHTR

れかとし、最大4層の固体層が考慮できる構造である。なお、炉心部の各層の材質は任意に指定できるが、このうち発熱層は1層に限られる。ただし、発熱層の指定は任意にできることになっている。実験炉の場合を例として、Fig. 7にチャンネルのモデル例を示す。

計算メッシュとして、半径方向については、チャンネルの径方向構成要素（固体層）ごとに1点とそれらの内側と外側の境界条件相当の各1点の合計3点（1個体層あたり）である。軸方向については各セグメントを一様に最大5分割できるものとし、それぞれに1点をとる。したがって、セグメント当たりのメッシュ数は最大5点である。

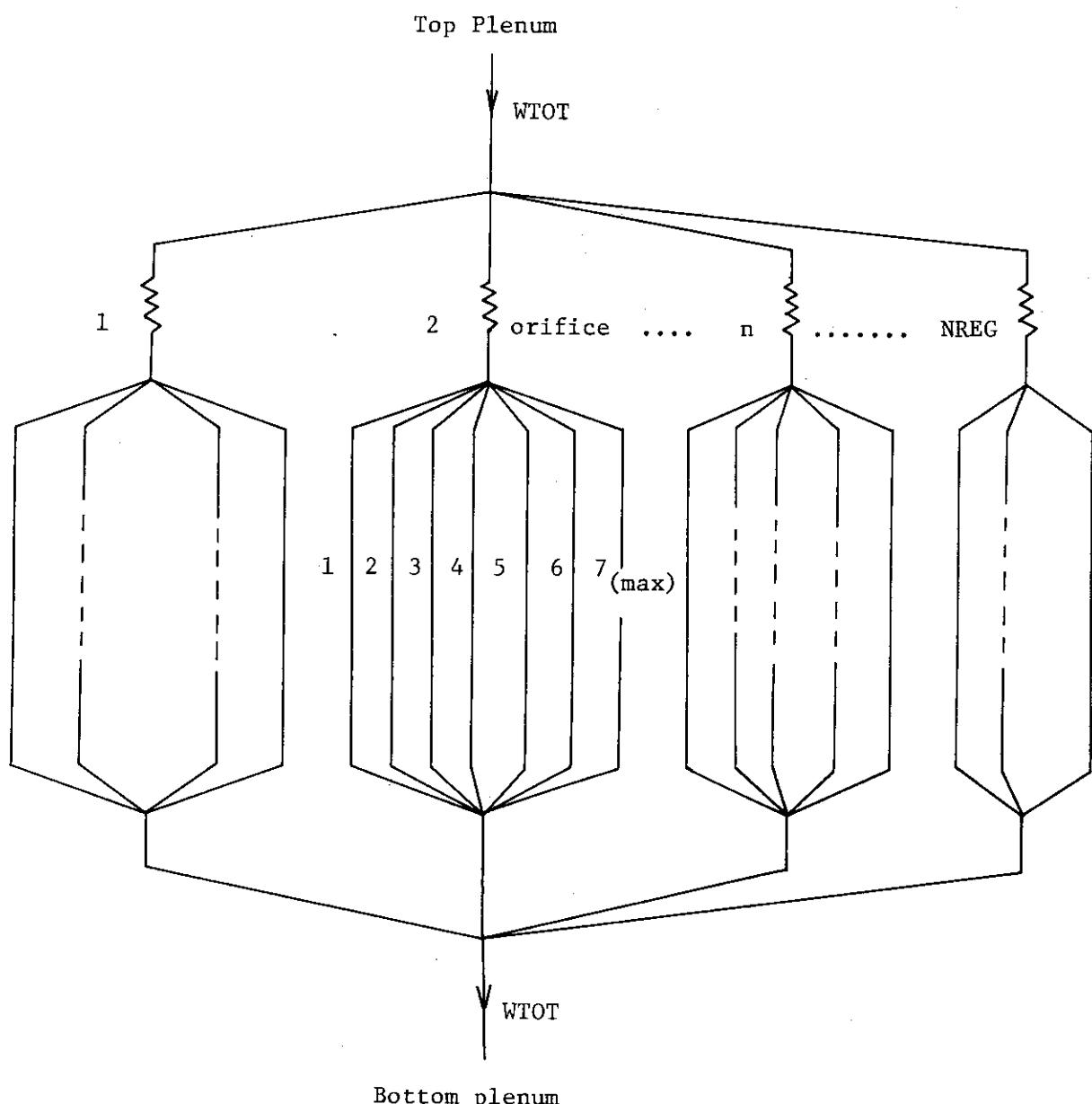


Fig. 6 Multi-channel layout

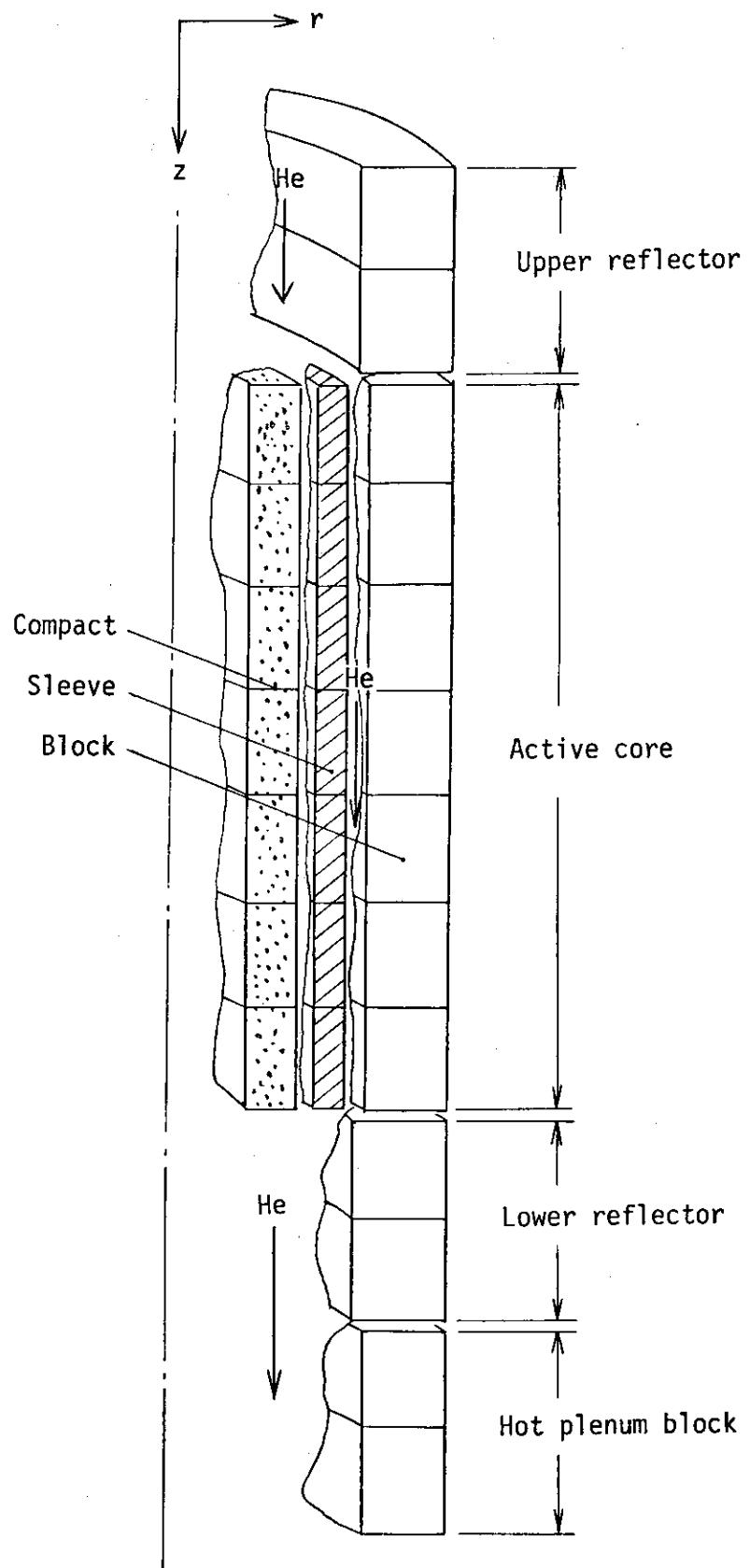


Fig. 7 Single channel layout of TRANTHAC-1 code model

3. 計 算 法

本章では、計算コードTRANTHAC-1の数値解析手法を中心に述べる。

本計算コードTRANTHAC-1は定常解析と非定常解析の2つの基本ルーチンから構成されており、これらの計算はいずれも(i)全流量一定で(ii)全チャンネルに共通な上下プレナム間の圧力損失がすべて等しいことを解析の基本条件としている。したがって、まず、定常解析により流量調節領域ごとに各チャンネルの温度分布および圧力損失を計算して流量分布を求め、この計算を流量調節領域全体について行い、各領域のオリフィスをセットする。次いでオリフィスセットを固定した状態で非定常解析に入ることになっている。計算の主要な流れは、非定常の場合も定常解析の場合と同じである。なお、定常解析におけるオリフィスセットは各流量調節領域の流量が与えられている状態で全チャンネルの圧力損失が一定を条件にオリフィス部の圧力降下を求めて行うものである。

全体的な計算の流れはFig. 8に示されているが、以下に流量分布、圧力損失計算、温度計算等の解析法について記述する。

3.1 流量分布

定常解析においては入力で与える全流量とともにあらかじめ各流量調節領域の流量を定めておかなければならない。この方法として次の2通りの流量配分を考える。

- ① 各流量調節領域の冷却材エンタルピー上昇を一定とする方式
- ② 各領域流量を入力で任意に与える方式

上記①は核計算の結果与えられるカラム（チャンネル）出力比に比例した流量配分であり、次式にて求める。

$$W(n) = \frac{\sum_{\text{ori}} P_{\text{col}}}{\sum_{\text{core}} P_{\text{col}}} \cdot W_t \quad (1)$$

または

$$W(n) = \frac{\sum_{\text{ori}} N_{\text{ch}}}{\sum_{\text{core}} N_{\text{ch}}} \cdot P_1(n) \cdot W_t \quad (2)$$

ただし

$$P_1(n) = \frac{\text{領域内平均出力}}{\text{炉心平均出力}} = \frac{\sum_{\text{ori}} P_{\text{col}} / \sum_{\text{ori}} N_{\text{ch}}}{\sum_{\text{core}} P_{\text{col}} / \sum_{\text{core}} N_{\text{ch}}} \quad (3)$$

ここで

$W(n)$: 領域流量 (g/s)
W_t	: 全流量 (g/s)
P_{col}	: カラム積分出力 (cal/s)
N_{ch}	: 燃料棒本数
$P_1(n)$: 領域出力分担係数
添字 n	: 領域番号
core	: 炉心 (解析対象範囲)
ori	: 領域
col	: カラム

上記①, ②のいずれの方法をとるかは入力データによって指定する。なお、このとき最高出力領域以外の領域のチャンネルは最高出力チャンネルの圧力損失よりも小さいのでこの分岐りが与えられる。この量が後に述べるオリフィス部の圧力損失に相当し、定常時の場合のそれである。この際入力で上下プレナム間の圧力損失が与えられていて、かつ、最高出力チャンネルの圧力損失よりも大なるときは、この差の圧力損失の分だけ余分に絞られる。つまり、この差圧分（これがこの場合定義される定常時のオリフィス部圧力損失である）を加えた形でオリフィスセットされる。オリフィス係数の定義は第3.2節の(14)および(15)式の K_{ori} または C_{ori} である。

領域内各カラム（各チャンネル）の流量配分は領域内の各チャンネルの圧力損失が等しくなるようにコード内で繰返し計算によって流量を修正し求める。このときの定常時の初期値は各カラムのチャンネル数に比例して配分を推定する。Fig. 8 に示すように、本コードではこの計算ループを流量計算に対する内側の計算ループ (inner iteration loop) と呼ぶ。これに対し外側の繰返しループ (outer iteration loop) は、非定常解析において前述の内側の繰返しループとともに形成される計算ループであり、定常解析によって得られた各領域のオリフィス係数を固定して各領域間の圧力損失が等しくなるように領域流量を定めるためのものである。なお、本コードではオリフィス係数を入力で与えることができるよう考慮されている。この場合には、定常解析であっても内側ループの他に外側ループの繰返し計算が必要であり、したがって、この場合には領域流量も各チャンネルの流量と同じように繰返し計算の結果定められることになる。

上述の繰返し計算、すなわち、上下プレナム間の圧力損失を等しくする流量配分は下記の手順により求める。なお、ここでは流量調節領域内における各チャンネル（最大7チャンネル）の圧力損失を等しくする場合の例を示しているが、流量調節領域間であってもこれと全く同様であり、下記の計算式で添字の内容が領域内から領域間を示すものに変更されるだけである。

- (i) まず、領域内各チャンネルの流量分布 W_i を仮定する。
- (ii) 仮定した流量分布 W_i に基づき各チャンネルの全圧力損失 $\Delta P_{t,i}$ を計算する。
- (iii) (i)と(ii)により新しい流量分布 W'_i を次式より求める。

$$W'_i = \sqrt{\Delta P_{TOT} / C_i} \quad (4)$$

ここで

$$C_i = \Delta P_{t,i} / W_i^2 \quad (5)$$

$$\overline{AP}_{TOT} = \left(\sum_{i=1}^7 W_i / \sqrt{\sum_{i=1}^7 1/C_i} \right)^2 \quad (6)$$

(IV) 上記(iii)で求めた流量分布(W'_i)と仮定したそれ(W_i)との差の相対誤差が所定の範囲内であれば収束とみなす。すなわち

$$\text{Max.} \left(\left| \frac{W'_i - W_i}{W_i} \right| \right) \leq \epsilon_w \quad (i = 1, 2, \dots, 7) \quad (7)$$

(V) もしもIVが満されないときは新しく計算された流量 W'_i と仮定した W_i から再び流量分布を

$$W_i = \alpha_w W'_i + (1 - \alpha_w) W_i \quad (8)$$

と仮定し (II) に戻る。

以上の繰返しを収束するまで繰返す。なお、上記の α_w は流量分布計算の収束を早めるための加速因子である。

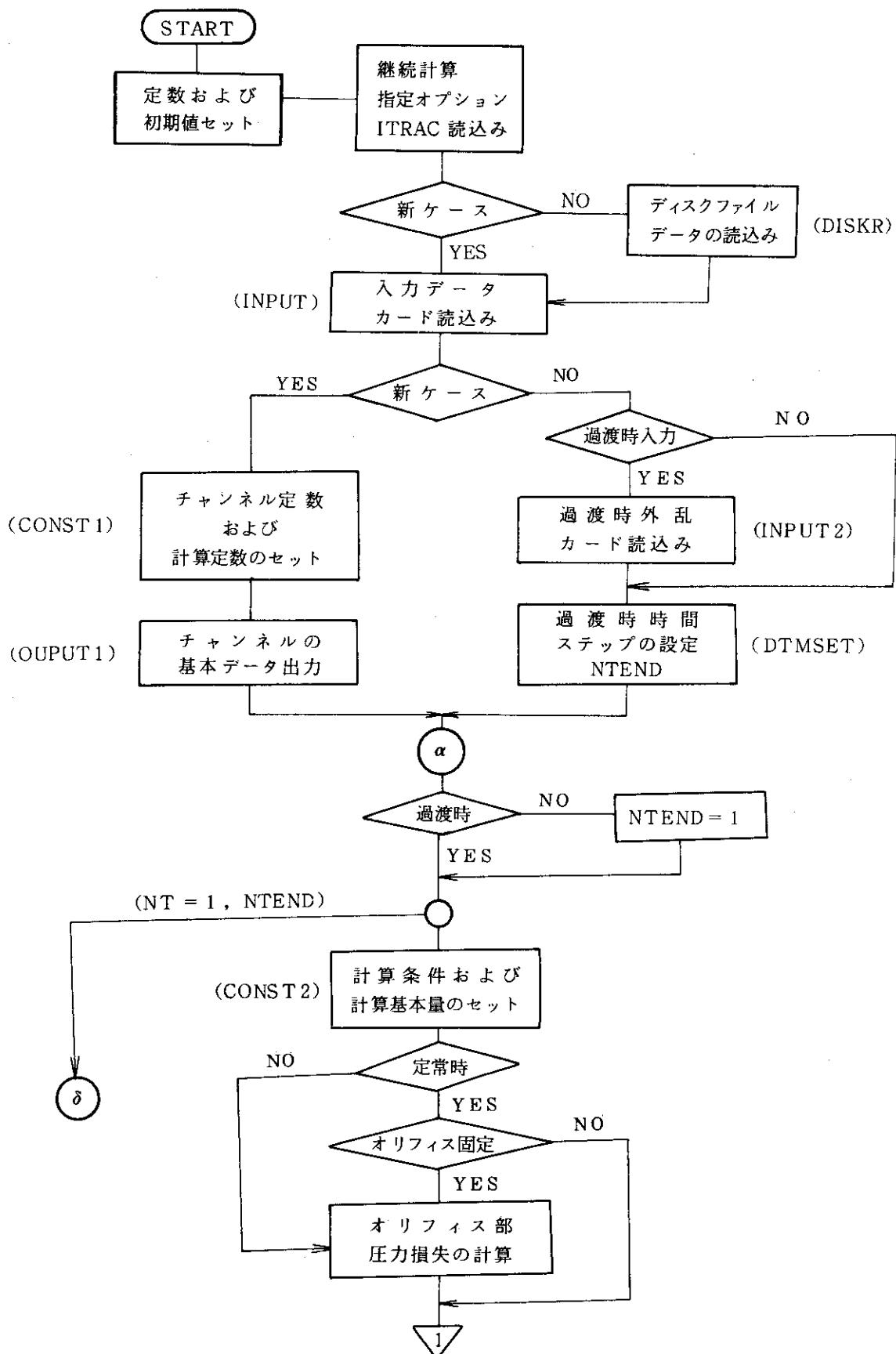


Fig. 8 Calculation flow chart of TRANTHAC - 1 (1)

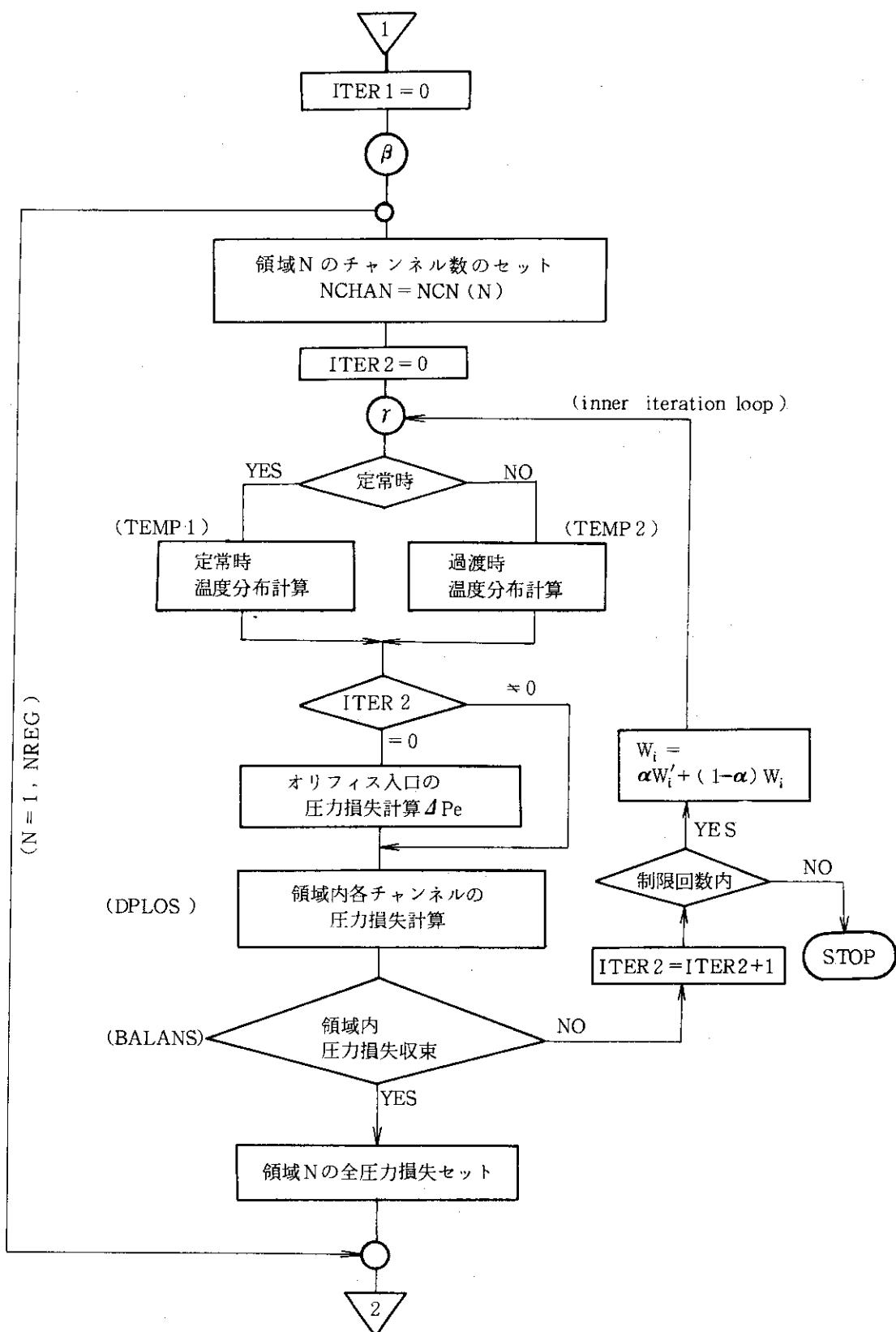


Fig. 8 Calculation flow chart of TRANSHAC - 1 (2)

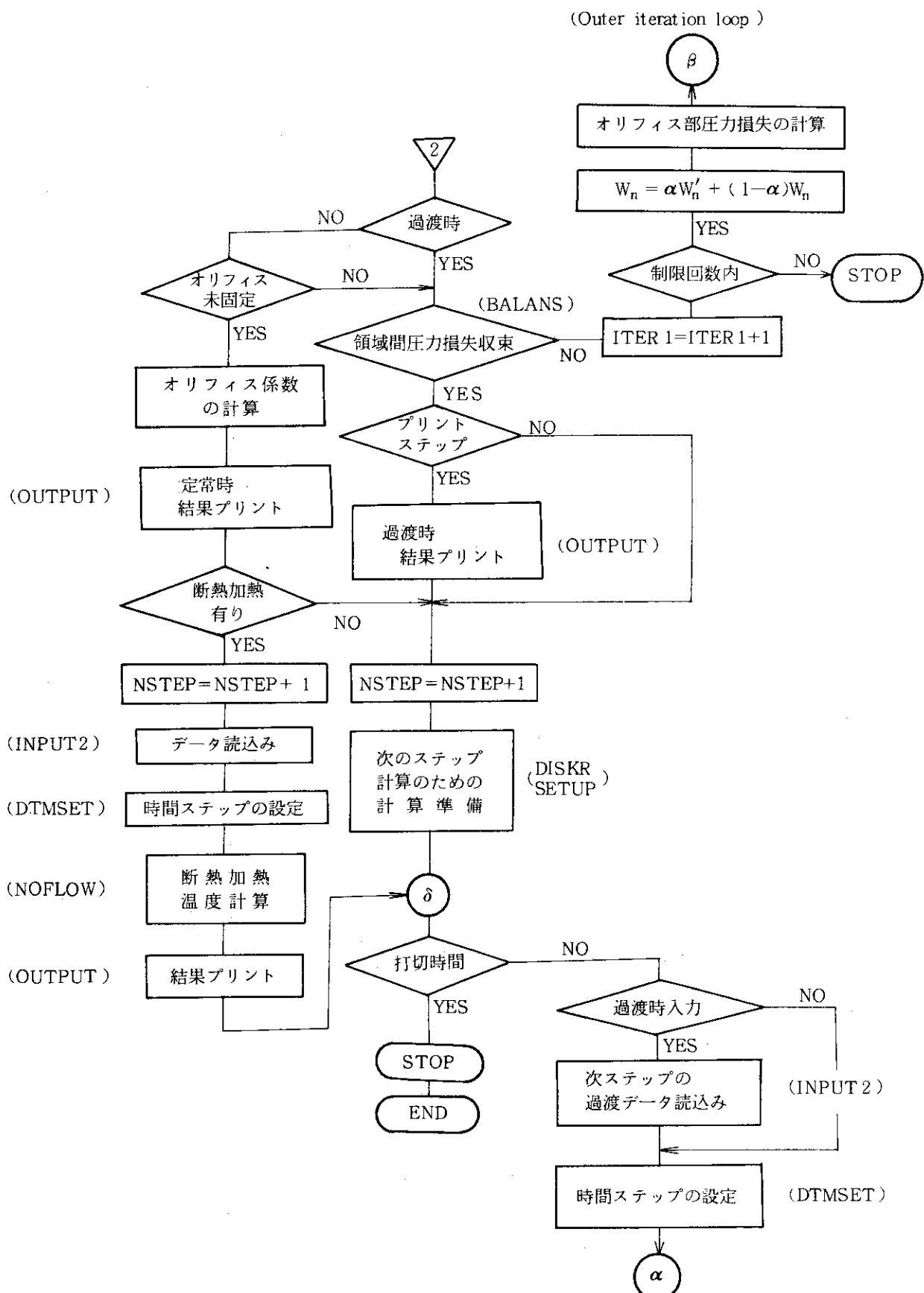


Fig. 8 Calculation flow chart of TRANTHAC-1 (3)

3.2 冷却材圧力損失

流れ方向（軸方向）の冷却材圧力損失の基本計算は流れの連続の式と一次元の運動方程式により求めた次式により行う。

$$\Delta P_{1-2} \equiv \Delta P_1 - \Delta P_2 \quad (9)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{L}{gA} \cdot \frac{\partial W}{\partial t} + \frac{1}{g} \left(\frac{W}{A} \right)^2 \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right) + \bar{r} (Z_2 - Z_1) \\ &+ \frac{\lambda}{2g \bar{r}} \frac{L}{D_e} \left(\frac{W}{A} \right)^2 \end{aligned} \quad (10)$$

上式で右辺第1項は流量変化に基づく加速による損失 (ΔP_m)、同第2項は温度変化に伴う加速による損失 (ΔP_a)、同第3項は静圧による損失 (ΔP_h)^{*}、同第4項は摩擦による損失 (ΔP_f) である。また、添字1、2は計算メッシュの入口と出口を表わし、 \bar{r} は計算メッシュ内の冷却材の平均比重である。上式では記述を簡明にするためにチャンネル番号_iなる添字を省略している。以下の記述でも区別が必要となる以外はこの添字を付けないことにする。なお、定常時におけるチャンネルの圧力損失では式(10)の右辺第1項はゼロである。

流量分布を求めるのに必要な各カラム（各チャンネル）の冷却材圧力損失は各カラムを構成しているセグメントごとに計算される。各セグメントで、上式に示すように、加速損失、摩擦損失および位置水頭を分割メッシュごとに求めこれを加算し、最後に、セグメント出口で下位のセグメントのチャンネル形状を考慮した形状損失 (ΔP_s) を加えて1セグメントに対する圧力損失を求めている。非定常のときはこれに流量変化に基づく損失も加算される。これらを軸方向全セグメントについて合計したものがチャンネルの圧力損失であるが、これには各カラムの入口部すなわち第1のセグメントである上部反射体入口損失も考慮される。上部反射体入口部を含めたこれら各セグメント出口の流路形状の変化に伴う損失は、入力で与えるこの部分の損失係数に基づいて計算される。ただし、軸方向各カラム構成要素のうち、炉心部を除く他のセグメント出口の損失係数はコード内で縮流あるいは拡流として、また、炉心部のそれはコード内であらかじめ決められた過渡変化に応じ、それぞれ自動的に計算可能である。特に、炉心部の各セグメント出口の損失係数は入力で与える場合であっても過渡変化に応じた対応ができるよう配慮されている。

上下プレナム間の圧力損失すなわち全圧力損失 (ΔP_t) は上記のチャンネル圧力損失にオリフィス入口とオリフィス部の損失を加えた

$$\Delta P_t = \Delta P_c + \Delta P_e + \Delta P_{ori} \quad (11)$$

で定義する。本コードではこれら3種の損失を上下プレナム間の圧力損失成分として、それぞれ

ΔP_e : 入口損失 (entrance drop)

ΔP_c : チャンネル損失 (channel drop)

ΔP_{ori} : オリフィス損失 (orifice drop)

と呼んで区別している。上式の入口損失およびオリフィス損失は入力で与えるこの部分の損失係

*) 下降流の場合を示している。上向流の場合は $\Delta P_h = -\bar{r} (Z_2 - Z_1)$ となる。

数と定常時においてセットされたオリフィス係数に基づいて計算される。なお、定常時のオリフィス損失（オリフィス部圧力損失）は3.1節で述べられている。

本コードでは冷却材ヘリウムを完全ガスとして取扱い、物性値に対する圧力としてチャンネル入口の値を用いる。(11)式の圧力損失の各成分は以下の計算式によって求める。

$$\Delta P_c = \Delta P_{in} + \sum_{j=1}^{NSEG} \left\{ \sum_{k=1}^{NSUB} (\Delta P_m + \Delta P_a + \Delta P_h + \Delta P_t)_{k,j} + \Delta P_{Sj} \right\} \quad (12)$$

$$\Delta P_e = K_e \left(\frac{W}{A} \right)_{ori}^2 \frac{\theta_{in}^*}{P} \frac{R}{2g} \quad (13)$$

$$\Delta P_{ori} = K_{ori} \left(\frac{W}{A} \right)_{ori}^2 \frac{\theta_{in}^*}{P} \frac{R}{2g} \quad (14)$$

$$= C_{ori} W_{ori}^2 \frac{\theta_{in}^*}{P} \frac{R}{2g} \quad (15)$$

ただし

$$\Delta P_{in} = K_{cl} \left(\frac{W}{A} \right)^2 \frac{\theta_{in}^*}{P} \frac{R}{2g} \quad (16)$$

$$\Delta P_m = \frac{L}{g A} \frac{\Delta W}{\Delta t} \quad (17)$$

$$\Delta P_a = 2 \frac{\theta_2 - \theta_1}{\bar{\theta}} \left(\frac{W}{A} \right)^2 \frac{\theta^*}{P} \frac{R}{2g} \quad (18)$$

$$\Delta P_h = \frac{1}{R} \frac{P}{\theta^*} L \quad (19)$$

$$\Delta P_s = \lambda \frac{L}{D_e} \left(\frac{W}{A} \right)^2 \frac{\theta^*}{P} \frac{R}{2g} \quad (20)$$

$$\Delta P_s = K_s \left(\frac{W}{A} \right)^2 \frac{\theta^*}{P} \frac{R}{2g} \quad (21)$$

ここで

ΔP_{in} : 上部反射体入口部圧力損失 (kg/cm^2)

ΔP_s : セグメント出口部圧力損失 (kg/cm^2)

K_e : オリフィス入口部損失係数 (-)

K_{ori}, C_{ori} : オリフィス部損失係数またはオリフィス係数 (-, cm^{-4})

K_{cl} : 上部反射体入口部損失係数 (-)

K_s : セグメント出口の損失係数 (-)

$\bar{\theta}, \theta^*$: メッシュ間の冷却材平均温度 ($^\circ\text{C}, ^\circ\text{K}$)

θ_1, θ_2 : メッシュ入口、出口冷却材温度 ($^\circ\text{C}$)

θ_{in}^* : チャンネル入口冷却材温度 ($^\circ\text{K}$)

P : 冷却材圧力 (kg/cm^2)
 R : ガス定数 ($21181.7 \text{ cmg/g}^\circ\text{K}$)
 g : 重力加速度 (980.665 cm/s^2)
 L : メッシュ間のチャンネル長さ (cm)
 D_e : 流路の等価直径 (cm)
 A : 流路の面積 (cm^2)
 λ : 摩擦係数 (-)
 ΔW : 時間増分による流量変化量 (g/s)
 Δt : 時間増分幅 (sec)
 NSEG : チャンネルの全セグメント数
 NSUB : セグメント内分割数

3.3 固体温度分布

流量分布すなわち各チャンネルの圧力損失を求めるのに必要な温度計算のうち、チャンネル構成物である固体領域の温度分布は、エネルギー方程式、

$$\rho(T)C_p(T)\frac{\partial}{\partial t}T(r,t) = -\vec{\nabla} \cdot \vec{q}(r,t) + J(r,t) \quad (22)$$

を基本式としているが、その前提となる基本的仮定と温度計算全般にかかる基本条件について、以下にまとめて列挙する。

- ① 温度計算はエネルギーバランスのみ考慮し、冷却材を非圧縮性流体として扱う。
- ② 円筒形モデルを想定したセグメント内の各構造物（2.2節で詳述している）に対して、温度はそれらの各体積要素（計算メッシュ要素）についての体積平均温度とする。Fig. 9に温度計算の際の体積モデル例を示す。
- ③ チャンネル構造物内部の固体の熱の移動は軸方向および半径方向の熱伝導を考慮する。ただし、炉心部以外のチャンネル構成要素（たとえば上部反射体等）については軸方向の熱伝導のみとする。
- ④ カラム（チャンネル）間の熱の移動はないものとする。また、カラムの最上下端すなわち上部反射体上面とプレナムブロックの下面是断熱とする。
- ⑤ チャンネル（燃料カラム）の定常時出力分布は核計算の結果を入力とし、非定常時においてもこれらの分布形状は不変とする。
- ⑥ 非定常時の過渡状態値として(i)出力変化、(ii)流量変化、(iii)冷却材入口温度変化、(iv)冷却材入口圧力変化の各外乱を考慮できる。なお、これらは時間ステップごとに任意に与える方式とコード内で予め定めておいた過渡変化条件に従って与えられる方式の2通りの方法が考慮される（3.5.5節参照）。
- ⑦ 非定常時の出力変化を、最も一般的な原子炉停止後の出力変化として崩壊熱によるものとした場合の崩壊熱の軸方向分布は定常時のそれと同一とする。
- ⑧ 固体の密度および比熱は解析的には体積要素について一定で、体積平均温度のみの関数とする。

る。ただし、コード内ではこれらの物性値をすべて定数として取扱う。

- ⑨ カラム内のチャンネルは1流路であり、冷却材をヘリウムとする。また、炉心部の固体層間における冷却材流路ギャップ以外の間隙部の充填物質もヘリウムとする。そして、このヘリウムの物性値は、冷却材についてはメッシュ内の冷却材混合平均温度と入口圧力、間隙部についてはメッシュ内の間隙の平均温度と入口圧力を考慮して定めるものとする。
- ⑩ 固体の温度分布は、エネルギー保存式をCrank-Nicholson形の階差式に変換し、これをGauss-Seidel法を基礎とした繰返し計算によって解く。なお、定常解の初期推定値には軸方向の熱伝導を無視して解いた数値解を使用する。つまり、炉心部の初期推定温度は一次元エネルギー方程式を3点差分方程式に変換し、これをマトリックス法で解く。
- 上記計算条件を基に、エネルギーの基本式²²から導かれる最終的なエネルギー保存関係式は次式で与えられる。

$$m C_p \frac{\partial \langle T \rangle}{\partial t} = K_z V \frac{\partial^2 \langle T \rangle}{\partial z^2} - H_C A \zeta \Big|_{i,o} (\langle T \rangle - \theta_{in} \Big|_{i,o}) \\ - H_R A \Big|_{i,o} (\langle T \rangle - \langle T \rangle_{i,o}) - H_K A \Big|_{i,o} (\langle T \rangle - \langle T \rangle_{i,o}) + Q \quad (23)$$

ここで

- $\langle T \rangle$: 固体要素の体積平均温度 (°C)
 $\langle T \rangle_{i,o}$: 固体要素の内側または外側にある固体の温度 (°C)
 θ_{in} : メッシュ入口の冷却材混合平均温度 (°C)
 $A_{i,o}$: 固体要素の内側または外側の伝熱面積 (cm^2)
 H_C : 冷却材による対流熱伝達率 ($\text{cal}/\text{cm}^2 \text{s } ^\circ\text{C}$)
 H_R : ふく射による熱伝達率 ($\text{cal}/\text{cm}^2 \text{s } ^\circ\text{C}$)
 H_K : 充填ガスの伝導による熱伝達率 ($\text{cal}/\text{cm}^2 \text{s } ^\circ\text{C}$)
 m : 固体要素の質量 (g)
 C_p : 固体要素の比熱 ($\text{cal}/\text{g } ^\circ\text{C}$)
 K_z : 固体要素の軸方向熱伝導率 ($\text{cal}/\text{cm s } ^\circ\text{C}$)
 V : 固体要素の体積 (cm^3)
 Q : 固体要素の発熱量 (cal/s)
 ζ : 固体要素の軸方向の冷却材温度変化を考慮した平均化係数 (次節参照)

添字 i,o : 固体要素の内側および外側を示す記号

炉心部を除くカラム（チャンネル）構成要素では、2.2節で述べたように、冷却チャンネルの周囲を固体要素が取囲む構成であるので、上式の右辺第3項および第4項ではなく、第2項の熱伝達項も内側についての特性値だけとなるが、まず、²³式で与えられる非定常のより一般的なものとして、固体領域が多層（層数M）より成る炉心部の温度計算式について記述する。任意の固体層m層の軸方向計算点 ℓ に対する階差式は次式で与えられる。なお、簡略化のため、以下の記述では体積平均温度 $\langle T \rangle$ およびメッシュ入口冷却材温度 θ_{in} を単にTおよび θ と書き、当該領域（固体要素）m層の内側固体層をm-1層、外側固体層をm+1層と表示する。また、当該領域の内側、外側の間隙領域（ギャップ層）についても内側間隙層をm、外側間隙層をm+1で表わ

することにする。ただし、当該領域の内表面、外表面の区別は i と o で行う (Fig. 9 参照)。 Δt 時間後の温度を T' として、

$$\begin{aligned}
 & \left(\frac{m C_p}{\Delta t} \right)_{m,\ell} (T'_{m,\ell} - T_{m,\ell}) = \\
 & \left. \begin{aligned}
 & \frac{1}{2} \left(\frac{K_z A_z}{\Delta Z} \right)_{m,\ell-1} (T'_{m,\ell-1} + T_{m,\ell-1} - T'_{m,\ell} - T_{m,\ell}) \\
 & + \frac{1}{2} \left(\frac{K_z A_z}{\Delta Z} \right)_{m,\ell+1} (T'_{m,\ell+1} + T_{m,\ell+1} - T'_{m,\ell} - T_{m,\ell}) \end{aligned} \right\} \text{軸方向} \\
 & \left. \begin{aligned}
 & - \frac{1}{2} (H_C A_i \zeta)_{m,\ell} (T'_{m,\ell} + T_{m,\ell} - \theta'_{m,\ell} - \theta_{m,\ell}) \\
 & - \frac{1}{2} (H_K A_i)_{m,\ell} (T'_{m,\ell} + T_{m,\ell} - T'_{m-1,\ell} - T_{m-1,\ell}) \end{aligned} \right\} \text{固体の内側} \\
 & \left. \begin{aligned}
 & - \frac{1}{2} (H_R A_i)_{m,\ell} (T'_{m,\ell} + T_{m,\ell} - T'_{m-1,\ell} - T_{m-1,\ell}) \\
 & - \frac{1}{2} (H_C A_o \zeta)_{m+1,\ell} (T'_{m,\ell} + T_{m,\ell} - \theta'_{m+1,\ell} - \theta_{m+1,\ell}) \\
 & - \frac{1}{2} (H_K A_o)_{m+1,\ell} (T'_{m,\ell} + T_{m,\ell} - T'_{m+1,\ell} - T_{m+1,\ell}) \\
 & - \frac{1}{2} (H_R A_o)_{m+1,\ell} (T'_{m,\ell} + T_{m,\ell} - T'_{m+1,\ell} - T_{m+1,\ell}) \end{aligned} \right\} \text{固体の外側} \\
 & + Q_{m,\ell} \quad (24)
 \end{aligned}$$

上式を当該領域の Δt 時間後の温度 $T'_{m,\ell}$ について整理すると次のようになる。

$$\begin{aligned}
 T'_{m,\ell} = & \{ (B_{m-1,\ell} + C_{m-1,\ell}) T'_{m-1,\ell} + (B_{m,\ell} + C_{m,\ell}) T'_{m+1,\ell} \\
 & + D_{m,\ell-1} T'_{m,\ell-1} + D_{m,\ell+1} T'_{m,\ell+1} + (B_{m-1,\ell} + C_{m-1,\ell}) T_{m-1,\ell} \\
 & - (A_{m-1,\ell} + B_{m-1,\ell} + C_{m-1,\ell} + A_{m,\ell} + B_{m,\ell} + C_{m,\ell} + D_{m,\ell-1} + D_{m,\ell+1} - E_{m,\ell}) T_{m,\ell} \\
 & + (B_{m,\ell} + C_{m,\ell}) T_{m+1,\ell} + D_{m,\ell-1} T_{m,\ell-1} + D_{m,\ell+1} T_{m,\ell+1} \\
 & + A_{m-1,\ell} (\theta'_{m,\ell} + \theta_{m,\ell}) + A_{m,\ell} (\theta'_{m+1,\ell} + \theta_{m+1,\ell}) + Q_{m,\ell} \} \\
 & / (A_{m-1,\ell} + B_{m-1,\ell} + C_{m-1,\ell} + A_{m,\ell} + B_{m,\ell} + C_{m,\ell} + D_{m,\ell-1} + D_{m,\ell+1} + E_{m,\ell}) \quad (25)
 \end{aligned}$$

ここで、

$$\begin{aligned}
 A_{m-1,\ell} &= \varphi (H_C A_i \zeta)_{m,\ell} \\
 B_{m-1,\ell} &= \varphi (H_K A_i)_{m,\ell} \\
 C_{m-1,\ell} &= \varphi (H_R A_i)_{m,\ell} \quad \left. \right\} \text{内表面}
 \end{aligned}$$

$$\left. \begin{array}{l}
 A_{m,\ell} = \varphi (H_C A_0 \zeta)_{m+1,\ell} \\
 B_{m,\ell} = \varphi (H_K A_0)_{m+1,\ell} \\
 C_{m,\ell} = \varphi (H_R A_0)_{m+1,\ell} \\
 D_{m,\ell-1} = \varphi (K_z A_z / \Delta Z)_{m,\ell-1} \\
 D_{m,\ell+1} = \varphi (K_z A_z / \Delta Z)_{m,\ell+1} \\
 E_{m,\ell} = (m C_p / \Delta t)_{m,\ell}
 \end{array} \right\} \quad \left. \begin{array}{l}
 \text{外表面} \\
 \text{軸方向}
 \end{array} \right\} \quad (26)$$

ただし, $\varphi = 1/2$

なお, 炉心の入口および出口の計算メッシュでは, 各層の温度はどれも炉心の上下に連続した構成要素の温度すなわち反射体の温度に等しくなる。また, 上式における温度の係数は固体層の内側および外側の伝熱モデルによって次のように異なる。

	内側ギャップ	外側ギャップ
冷却材が流れている場合	$B_{m-1} = C_{m-1} = 0$	$B_m = C_m = 0$
冷却材が流れていない場合	$A_{m-1} = 0$	$A_m = 0$

ただし, 最内層 $m=1$ および最外層 $m=M$ の場合は, それらの内側ギャップおよび外側ギャップ $m=1, m=M+1$ が冷却材流路でない場合は断熱とする。つまり, A, B, C の各温度の係数は断熱の場合いずれもゼロで, 冷却流路の場合のみ $A \neq 0$ となる。

炉心部以外のカラム構成要素の Δt 時間後の温度 T'_{ℓ} は, (25) 式で, 前に指摘したように $B=C=0$ でかつ発熱は考えないので $Q=0$ となり, また, 層数も $M=1$ で伝熱も固体の内側を想定しているのでこれらの記号 m, i を省略した次式,

$$\begin{aligned}
 T'_{\ell} = & \{ D_{\ell-1} T'_{\ell-1} + D_{\ell+1} T'_{\ell+1} + D_{\ell-1} T_{\ell-1} + D_{\ell+1} T_{\ell+1} \\
 & - (A_{\ell} + D_{\ell-1} + D_{\ell+1} - E_{\ell}) T_{\ell} + A_{\ell} (\theta'_{\ell} + \theta_{\ell}) \} \\
 & / (A_{\ell} + D_{\ell-1} + D_{\ell+1} + E_{\ell}) \quad (27)
 \end{aligned}$$

で与えられる。温度の係数は(26)式の内表面のものと同じである。ただし, カラム構成要素の入口と出口のメッシュすなわち上部反射体の第1セグメントの入口メッシュとプレナムブロックの最終セグメントの終端メッシュでは, 断熱条件の適用により次のようになる。

$$\begin{aligned}
 T'_{\ell=1} = & \{ 2 D_{\ell+1} T'_{\ell+1} + 2 D_{\ell+1} T_{\ell+1} - (A_{\ell} + 2 D_{\ell+1} - E_{\ell}) T_{\ell} + A_{\ell} (\theta'_{\ell} + \theta_{\ell}) \} \\
 & / (A_{\ell} + 2 D_{\ell+1} + E_{\ell}) \quad (28)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T'_{\ell=L} = & \{ 2 D_{\ell-1} T'_{\ell-1} + 2 D_{\ell-1} T_{\ell-1} - (A_{\ell} + 2 D_{\ell-1} - E_{\ell}) T_{\ell} + A_{\ell} (\theta'_{\ell} + \theta_{\ell}) \} \\
 & / (A_{\ell} + 2 D_{\ell-1} + E_{\ell}) \quad (29)
 \end{aligned}$$

また, 上部反射体の最終セグメントの終端メッシュおよび下部反射体の第1セグメントの第1メッシュでは, 軸方向 $\ell+1$ および $\ell-1$ が炉心部の温度であるので, これらの点の温度 $T_{\ell+1}, T_{\ell-1}$ については炉心部各固体層の温度を $T_{m,\ell}$, 热伝導率を K_m , 軸方向断面積を A_m として, その平均温度 \bar{T}_{ℓ} を次のように定める。

$$\bar{T}_{\ell} = \sum_{m=1}^M K_m A_m T_m / \sum_{m=1}^M K_m A_m \quad (30)$$

なお、炉心部以外のカラム構成要素（上下反射体およびプレナムブロック）の温度 T_ℓ はそのまま $T_\ell = \bar{T}_\ell$ である。

上記平均温度の取扱いと同様に、温度の係数 D (KA/Z) に対する注意が必要である。それは軸方向カラム構成要素ごとに軸方向の熱抵抗が異なるからで、本コードでは各要素の熱伝導率 K_j を、それに続く要素の熱伝導率 K_{j+1} を用いて

$$K_j = (K_j A_j + K_{j+1} A_{j+1})_z / (A_j + A_{j+1})_z \quad (31)$$

とし、さらに、各要素の終端メッシュ長さ ΔZ_j を、熱伝導率の場合と同様に、それに続く要素のメッシュ長さ ΔZ_{j+1} との算術平均値として各カラム要素の終端メッシュのDを定義している。多層の固体層からなる炉心部の平均熱伝導率も上記と同様に面積平均している。

次に、定常時の温度計算式について示す。定常の場合(23)式の左辺はゼロであり、非定常の場合と同様に、M層よりなる炉心部の任意の固体層m、軸方向計算点 ℓ の階差式は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} & D_{m,\ell-1} (T_{m,\ell-1} - T_{m,\ell}) + D_{m,\ell+1} (T_{m,\ell+1} - T_{m,\ell}) \\ & - A_{m-1,\ell} (T_{m,\ell} - \theta_{m,\ell}) - B_{m-1,\ell} (T_{m,\ell} - T_{m-1,\ell}) - C_{m-1,\ell} (T_{m,\ell} - T_{m-1,\ell}) \\ & - A_{m,\ell} (T_{m,\ell} - \theta_{m+1,\ell}) - B_{m,\ell} (T_{m,\ell} - T_{m+1,\ell}) - C_{m,\ell} (T_{m,\ell} - T_{m+1,\ell}) \\ & + Q_{m,\ell} = 0 \end{aligned} \quad (32)$$

これを非定常の場合と同様に当該領域m層の温度 $T_{m,\ell}$ について解いた次式が炉心部の最終的温度計算式である。

$$\begin{aligned} T_{m,\ell} = & \{ D_{m,\ell-1} T_{m,\ell-1} + D_{m,\ell+1} T_{m,\ell+1} + (B_{m-1,\ell} + C_{m-1,\ell}) T_{m-1,\ell} \\ & + (B_{m,\ell} + C_{m,\ell}) T_{m+1,\ell} + A_{m-1,\ell} \theta_{m,\ell} + A_{m,\ell} \theta_{m+1,\ell} + Q_{m,\ell} \} \\ & / (D_{m,\ell-1} + D_{m,\ell+1} + A_{m-1,\ell} + B_{m-1,\ell} + C_{m-1,\ell} + A_{m,\ell} + B_{m,\ell} + C_{m,\ell}) \end{aligned} \quad (33)$$

なお、上式の温度の各係数A～Dは、(20)式の中で $\varphi = 1.0$ である以外は全く同様である。また、これらの各係数の注意内容も非定常の場合と同じである。

定常時における炉心部以外のカラム構成要素の温度についても非定常の場合と同様に求めることができる、それは下記の計算式で与えられる。

$$T_\ell = (D_{\ell-1} T_{\ell-1} + D_{\ell+1} T_{\ell+1} + A_\ell \theta_\ell) / (D_{\ell-1} + D_{\ell+1} + A_\ell) \quad (34)$$

$$T_{\ell=1} = (2 D_{\ell+1} T_{\ell+1} + A_\ell \theta_\ell) / (2 D_{\ell+1} + A_\ell) \quad (35)$$

$$T_{\ell=L} = (2 D_{\ell-1} T_{\ell-1} + A_\ell \theta_\ell) / (2 D_{\ell-1} + A_\ell) \quad (36)$$

以上が非定常時と定常時の固体温度分布の計算式であるが、これらの式を用いた温度繰返し計算では、チャンネルの軸方向全計算点の温度が所定の誤差範囲内であれば収束したとしている。なお、前に述べたように定常時の温度の繰返し計算では、最初未知の温度に対する初期推定値を必要としているが、この具体的な計算法は次のものである。軸方向の熱伝導を無視し、炉心部以外の固体の温度は冷却材の温度に等しいとする。そして、炉心部各層の固体の温度は(32)式の軸方向熱伝導項を無視した次式を解く。この式は係数マトリックスが3項バンド型であり、マトリックス法によって容易に解くことができる。すなわち、

$$\alpha_{m,\ell} T_{m-1,\ell} + \beta_{m,\ell} T_{m,\ell} + r_{m,\ell} T_{m+1,\ell} = \delta_{m,\ell} \quad (m=1 \sim M) \quad (37)$$

ここに、

$$a_{m,\ell} = -B_{m-1,\ell} - C_{m-1,\ell}$$

$$\beta_{m,\ell} = A_{m-1,\ell} + B_{m-1,\ell} + C_{m-1,\ell} + A_{m,\ell} + B_{m,\ell} + C_{m,\ell}$$

$$r_{m,\ell} = -B_{m,\ell} - C_{m,\ell}$$

$$\delta_{m,\ell} = A_{m-1} \theta_{m,\ell} + A_m \theta_{m+1,\ell} + Q_{m,\ell}$$

ただし、係数マトリックスの値は定常時の場合の値、すなわち式の係数で $\varphi = 1.0$ の値である。

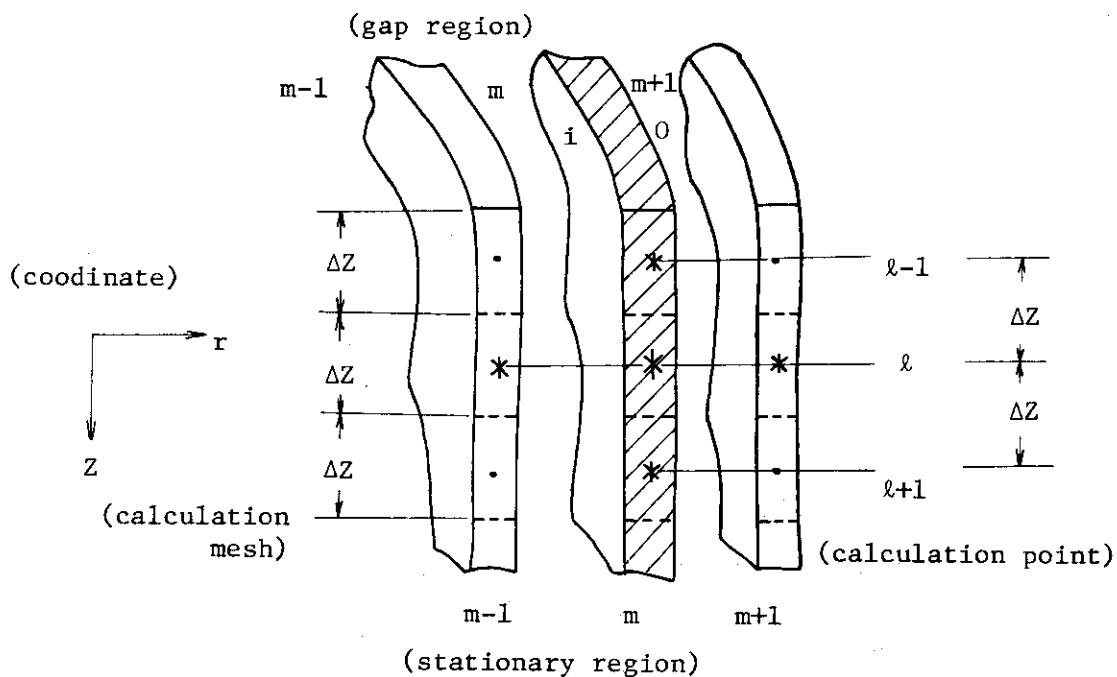


Fig. 9 Model for calculating the temperature
of the ℓ -th point in the m -th stationary region

3.4 冷却材温度分布

流体のエネルギーバランス式は次式で与えられる。

$$WC_p \frac{d\theta}{dZ} = HP (\langle T \rangle - \theta) \quad (38)$$

ここで、

θ : 冷却材混合平均温度 (°C)

$\langle T \rangle$: 3.3 節より求められる要素の体積平均温度 (°C)

H : 冷却材による局所熱伝達係数 (Cal/cm² s °C)

W : 冷却材流量 (g/s)

C_p : 冷却材比熱 (Cal/g °C)

P : チャンネルのねれ縁長さ (cm)

Z : 軸方向座標 (cm)

炉心部を除くカラム構成要素の各メッシュ出口の冷却材温度は(38)式を体積要素のメッシュ長さ (L) で積分して得られる次式により求められる。

$$\theta_{out} = \langle T \rangle - (\langle T \rangle - \theta_{in}) e^{-\alpha L} \quad (39)$$

ただし、

$$\alpha = HP / WC_p \quad (40)$$

なお、最初のメッシュ入口の冷却材温度 θ_{in} は入力で指定され、以後冷却材温度は冷却材の流れ方向に沿ってメッシュごと順次計算される。したがって、メッシュ入口冷却材温度は常に既知量として与えられるものである。

炉心部における固体間の冷却材温度は次のようにして求める。メッシュ間の対流による伝熱量 dQ_c は、

$$dQ_c = HP (\langle T \rangle - \theta) dZ \\ = HP (\langle T \rangle - \theta_{in}) e^{-\alpha Z} dZ \quad (41)$$

この式を体積要素のメッシュ長さ (L) で積分して得られる

$$Q_c = HA \zeta (\langle T \rangle - \theta_{in}) \quad (42)$$

$$\zeta = (1 - e^{-\alpha L}) / \alpha L \quad (43)$$

から、当該メッシュ (ℓ) における冷却材 (ギャップ層 m) の内側 (m-1 層) と外側 (m 層) の固体層からの流入熱量の合計 $Q_{m,\ell}$ を求め、メッシュ内の温度上昇 $Q_{m,\ell} / WC_p$ を算出する。これにメッシュ入口の温度 θ_{in} 加えてメッシュ出口の冷却材温度 θ_{out} を求める。以上の過程を整理したメッシュ出口の最終的な温度計算式は次のものである。

$$\theta_{out} = \theta_{in} + (1 - e^{-\alpha_0 L}) (\langle T \rangle_{m-1,\ell} - \theta_{in}) \\ + (1 - e^{-\alpha_i L}) (\langle T \rangle_{m,\ell} - \theta_{in}) \quad (44)$$

ただし、

$$\left. \begin{aligned} \alpha_0 L &= H_{m,\ell} P_{m-1,\ell}^0 L / WC_p = H_{m,\ell} A_{m-1,\ell}^0 / WC_p \\ \alpha_i L &= H_{m,\ell} P_{m,\ell}^i L / WC_p = H_{m,\ell} A_{m,\ell}^i / WC_p \end{aligned} \right\} \quad (45)$$

3.5 その他

3.5.1 圧力損失係数

コード内で用意されている圧力損失係数としては摩擦係数と縮拡流による損失係数の2種がある。これらの各計算式は次のものである。

(1) 摩擦係数計算式

層流域 ($R_e \leq 2000$)

$$\text{円管型流路} \quad \lambda = 64/R_e \quad (46)$$

$$\text{環状型流路} \quad \lambda = 96/R_e \quad (47)$$

$$\text{乱流域 } (R_e \geq 4000) \quad \lambda = 0.3164/R_e^{0.25} \quad (48)$$

遷移域 ($2000 < R_e < 4000$)

層流域の上限値と乱流域の下限値との間で $y = a \log x + b$ 形式による線形補間。

(2) 縮・拡流損失係数計算式^{3), 5)}

$$K_e = 1 - 2 \beta_s \sigma + \sigma^2 (2 \beta_L - 1) \quad (49)$$

$$K_c = \frac{1 - \lambda_L \sigma^2 C^2 - 2C + 2 \beta_s C^2}{C^2} - (1 - \sigma^2) \quad (50)$$

ここで、

K_e : 拡流による損失係数

K_c : 縮流による損失係数

σ : 流路面積比 (S_1/S_2)

β_s, β_L : 小口径管, 大口径管に対する運動量の補正係数

λ_L : 大口径管の運動エネルギー補正係数

C : 縮流係数, $C = f(\sigma)$

なお, 上式で $\beta_s, \beta_L, \lambda_L$ の値を次のようにおく。

$$R_e \leq 2000 \quad \beta_s = 1.33, \quad \beta_L = 1.00, \quad \lambda_L = 1.00$$

$$R_e > 2000 \quad \beta_s = 1.00, \quad \beta_L = 1.00, \quad \lambda_L = 1.00$$

また, 縮流係数 C は次のものである。

面積比 σ	縮流係数 C
0.0	0.611
0.1	0.612
0.2	0.616
0.3	0.622
0.4	0.631
0.5	0.644
0.6	0.662
0.7	0.687
0.8	0.722
0.9	0.781
1.0	1.000

3.5.2 热伝達率

(1) 冷却材ヘリウムによる対流熱伝達計算式

$$H_c = \frac{KN_u}{D_e} \left(\frac{T_b}{T_w} \right)^\phi \quad (51)$$

ここで、

H_c : 対流熱伝達率 ($\text{Cal}/\text{cm}^2 \text{s}^\circ\text{C}$)

K : 冷却材ヘリウムの熱伝導率 ($\text{Cal}/\text{cm s}^\circ\text{C}$)

D_e : 流路の等価直径 (cm)

N_u : ヌッセルト数

T_b : 冷却材混合平均温度 ($^\circ\text{K}$)

T_w : 固体の壁面温度 (体積平均温度, $^\circ\text{K}$)

ϕ : 溫度効果補正係数 ($\phi = 0.5$)

ただし、円管および環状流路のヌッセルト数を次式にて求める。

円管流路

$R_e > 6000$ の流れに対して

$$N_u = 0.02 R_e^{0.8} P_r^{0.4} \quad (52)$$

$R_e \leq 6000$ の流れに対して

$$N_u = \varphi \cdot N_{uH}(R_e) \quad (53)$$

ここで、

$$\varphi = N_{uT}(R_e = 6000) / N_{uH}(R_e = 6000) \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \quad (54)$$

$$N_{uT}(R_e) = 0.02 R_e^{0.8} P_r^{0.4}$$

$$N_{uH}(R_e) = 0.116 (R_e^{2/3} - 125) P_r^{1/3}$$

ただし、

$$N_u < 4.36 \text{ のとき}$$

$$N_u = 4.36 \quad (55)$$

とする。

環状流路

$R_e > 5000$ の流れに対して

$$N_u = 0.018 (1/\alpha)^{0.1} R_e^{0.8} P_r^{0.4} \quad (56)$$

ただし、 $\alpha = d_i/d_o$ (流路の内外直徑比)

$R_e \leq 5000$ の流れに対して

$$N_u = \varphi \cdot N_{uH}(R_e) \quad (57)$$

ここで、

$$\varphi = N_{uT}(R_e = 5000) / N_{uH}(R_e = 5000) \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \quad (58)$$

$$N_{uT}(R_e) = 0.018 (1/\alpha)^{0.1} R_e^{0.8} P_r^{0.4}$$

$$N_{uH}(R_e) = 0.116 (R_e^{2/3} - 125) P_r^{1/3}$$

ただし、

$$N_u < N_{uL} \text{ のとき}$$

$$N_u = N_{uL}$$

とする。 Nu_L は層流に対するもので、Dwyer による理論解析の値を流路の内外径比 α の 3 次式でフィッティングした次式を使用する。⁷⁾

$$Nu_L = -4.827 \alpha^3 + 12.75 \alpha^2 - 12.25 \alpha + 9.71 \quad (59)$$

(2) 充填ガスの熱伝導による熱伝達計算式

$$H_k = \frac{K}{r_1 \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (60)$$

ここで、

H_k : ガスの伝導による熱伝達率 ($\text{Cal}/\text{cm}^2 \text{s}^\circ\text{C}$)

K : 充填ガス (ヘリウム) の熱伝導率 ($\text{Cal}/\text{cm s}^\circ\text{C}$)

r_1, r_2 : 充填層 (ギャップ) の内側および外側固体表面の半径 (cm)

(3) ふく射による熱伝達計算式

$$H_R = \sigma \frac{(\langle T_1^* \rangle + \langle T_2^* \rangle)(\langle T_1^* \rangle^2 + \langle T_2^* \rangle^2)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{A_1}{A_2} \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)} \quad (61)$$

ここで、

H_R : ふく射による伝熱達率 ($\text{Cal}/\text{cm}^2 \text{s}^\circ\text{C}$)

σ : ステファン・ボルツマン定数 ($1.354 \times 10^{-12} \text{ Cal}/\text{cm}^2 \text{s}^\circ\text{K}^4$)

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$: ギャップの内側および外側固体層のふく射率

A_1, A_2 : ギャップの内側および外側固体層の伝熱面積 (cm^2)

$\langle T_1^* \rangle, \langle T_2^* \rangle$: ギャップの内側および外側固体層の体積平均温度 ($^\circ\text{K}$)

3.5.3 ヘリウムの物性値⁷⁾

主として温度計算に関連して用いるヘリウムの物性値計算は次のものである。ただし、適用範囲は 0.2 ~ 200 bar (圧力) の 0 ~ 3000 $^\circ\text{C}$ (温度) である。

比重 (r)

$$r = 0.001 r' (\text{g}/\text{cm}^3) \quad (62)$$

ここで、

$$\begin{aligned} r' &= P/RT - B(T) (r')^2 - C(T) (r')^3 \\ B(T) &= 4.5 \times 10^{-4} + 5.42/(1890 + T) \\ C(T) &= 1.7 \times 10^{-7} + 4.2 \times 10^{-3}/(1890 + T) + 25.3/(1890 + T)^2 \end{aligned} \quad \left. \right\} \quad (63)$$

r' : 比重量 (kg/m^3)

R : 気体定数 ($0.0207723 \text{ bar} \cdot \text{m}^3/\text{kg}^\circ\text{K}$)

P : 圧力 (bar)

T : 温度 ($^\circ\text{K}$)

なお、コード内では $C(T)=0$ とおいて比重を求めており、参考までにこのときの両者の相対誤差を記せば次の通りである。

$$P = 40 \text{ kg}/\text{cm}^2, T > 400^\circ\text{C} \text{ で } 0.004 \% \text{ 以下}$$

$$P = 100 \text{ kg}/\text{cm}^2, T > 400^\circ\text{C} \text{ で } 0.03 \% \text{ 以下}$$

比熱 (C_p)

$$C_p = 1.240 \quad (\text{Cal/g } ^\circ\text{C}) \quad (64)$$

熱伝導率 (K)

$$K = 0.002389 K' \quad (\text{Cal/cm s } ^\circ\text{C}) \quad (65)$$

ここで,

$$\left. \begin{aligned} K' &= K'_0 + 2.33 \times 10^{-4} \gamma' + 2.39 \times 10^{-6} (\gamma')^2 \\ K'_0 &= 2.97 \times 10^{-3} T^{0.69} + \frac{9.23 \times 10^9 \times (T-273.16)}{(T-273.15)^5 + 4.29 \times 10^{14}} \end{aligned} \right\} \quad (66)$$

K' , K'_0 : 热伝導率 ($\text{W/m } ^\circ\text{C}$)

γ' : 比重 (kg/m³)

T : 温度 ($^\circ\text{K}$)

ただし, $P \leq 1 \text{ bar}$ のとき $K' = K_0$

粘性係数 (μ)

$$\mu = 10 \mu' \quad (\text{g/cm s}) \quad (67)$$

ここで,

$$\left. \begin{aligned} \mu' &= \mu'_0 + 2.67 \times 10^{-10} (\gamma')^2 \\ \mu'_0 &= 3.78 \times 10^{-7} T^{0.69} + \frac{5 \times 10^{-7}}{0.52 + T / 569.6} \end{aligned} \right\} \quad (68)$$

μ' , μ'_0 : 粘性係数 (Ns/m^2)

γ' : 比重 (kg/m³)

T : 温度 ($^\circ\text{K}$)

P : 圧力 (bar)

ただし, $P \leq 1 \text{ bar}$ のとき $\mu' = \mu'_0$

3.5.4 カラムのメッシュ当り分担出力

各カラム (各チャンネル) のメッシュ当りの定常時分担出力 P_0 は次式により求める。

$$P_0 = \frac{\left(\frac{1}{\text{計算対象全カラム数}} \right) \times \left(\frac{\text{半径方向カラム}}{\text{出力分担率}} \right) \times \left(\frac{\text{軸方向相対}}{\text{出力分布}} \right) \times \left(\frac{\text{計算対象}}{\text{全カラム}} \right)}{(\text{炉心部全計算メッシュ数})} \quad (69)$$

ここで,

$$\left(\frac{\text{半径方向カラム}}{\text{出力分担率}} \right) \equiv \left(\frac{\text{領域出力分担係数}}{P_1} \right) \times \left(\frac{\text{領域内出力歪係数}}{P_2} \right) \quad (70)$$

$$P_1 = (3.1 \text{ 節の(3)式})$$

$$P_2 = \frac{\text{カラム平均出力}}{\text{領域内平均出力}} \equiv \frac{P_{\text{col}} / \sum_{\text{ch}} N_{\text{ch}}}{\sum_{\text{ori}} P_{\text{col}} / \sum_{\text{ori}} N_{\text{ch}}} \quad (71)$$

P_{col} : カラム積分出力 (cal/s)
 N_{ch} : 燃料棒本数
 添字 ori : 領域
 col : カラム

3.5.5 過渡条件

3.3節で述べたように本コードでは過渡時の変化として出力変化、流量変化、入口温度および入口圧力の計4種を考えている。このうち、出力変化を崩壊熱によるものとしてこれをコード内で定める場合の計算式と、これらのすべての変化をコード内で設定する場合の計算式について以下に記述する。

崩壊熱による場合の過渡時の出力 P は定常時のそれを P_0 として下記の計算式で与える。

$$P = P_0 \times f(t) \quad (72)$$

ただし、

$$f(t) = A t^{-a} + B (U^{239} + Pu^{239})^{\frac{8}{3}} \quad (73)$$

なお、定数 A 、 a および B は下表の通りである。⁸⁾

t (sec)	A	a	B
$10^{-1} \sim 10$	0.07236	0.0639	0.003
$10 \sim 1.5 \times 10^2$	0.09192	0.181	0.003
$1.5 \times 10^2 \sim 10^3$	0.156	0.283	0.003
$10^3 \sim 10^4$	"	"	0.0025
$10^4 \sim 10^5$	"	"	0.0015
$(1 \sim 2) \times 10^5$	"	"	0.0012
$(2 \sim 3) \times 10^5$	"	"	0.0008
$(3 \sim 4) \times 10^5$	"	"	0.00052
$(4 \sim 5) \times 10^5$	"	"	0.00040
$(5 \sim 6) \times 10^5$	"	"	0.00030
$(6 \sim 7) \times 10^5$	"	"	0.00020
$(7 \sim 8) \times 10^5$	"	"	0.00012
$(8 \sim 9) \times 10^5$	"	"	0.00010
$9 \times 10^5 \sim 4 \times 10^6$	"	"	0.00010
$4 \times 10^6 \sim 2 \times 10^8$	0.319	0.335	—

すべての変化をコード内で設定する場合の計算式は次のものである。今、ある過渡条件を U 、定常時のそれを U_0 として過渡時の条件を次のように定義する。

$$U = U_0 \times f(t) \quad (74)$$

ただし、 $f(t)$ は次式で与える。

$$\left. \begin{aligned} f(t) &= a e^{-b_1 t} & (0 < t < t') \\ f(t) &= a e^{-b_2 t} & (t \geq t') \end{aligned} \right\} \quad (75)$$

ここで、 a , b_1 , b_2 および t' は入力値である。

なお、過渡条件が入力で与えられている場合、すなわち時間間隔 Δt 後の条件を入力で指定した場合には、次節に述べる計算実行時の時間間隔 Δt^* にて、この間の条件を線形内挿して求めることにしている。この場合の入力データの詳細は 4 章に示す。

3.5.6 計算時間幅

本コードでは過渡時の計算時間幅をコード内で自動的に設定するよう考慮されている。これは温度計算の安定化のための条件で、非定常問題の数値解析上必要なものである。具体的には次のようにしている。入力データでは一応計算時間間隔 Δt (DELTM) と粗い時間間隔 $\Delta t'$ を求めたための Δt 内の分割数 n (NCALC) を与えることになっている (4.2 節参照)。この $\Delta t'$ ($= \Delta t / n$) が熱量のバランス式から定まる時間間隔 $\Delta t''$ 。

$$\Delta t'' = \varepsilon_0 \left(\frac{m C_p}{F} \right)_{\text{min}} \quad (76)$$

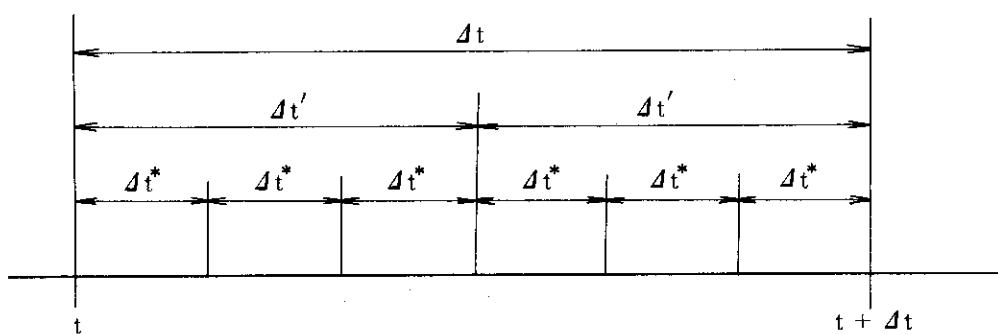
よりも小さくなるように計算実行時の時間間隔 $4t^*$ を設定するものである。ここで、

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_0 &= \text{時間間隔 (許容最大値) の修正係数} \\ F &= (A_{m-1,\ell} + B_{m-1,\ell} + C_{m-1,\ell} \\ &\quad + A_{m,\ell} + B_{m,\ell} + C_{m,\ell} + D_{m,\ell-1} + D_{m,\ell+1})_{\max} \end{aligned} \right\} (77)$$

(76)式の(mC_p/F)の最小値は、解析を想定している実験炉炉心の場合、炉心部に生ずることが明らかなので、Fの最大値を炉心部すなわち多層固体部について求めている。上記条件は(25)式の右辺 $T_{m,e}$ 項の全体が正でなければならない条件から得られるものである。参考までに記せば、炉心部以外の安定化条件は(27)式の右辺 T_e 項の全体が正でなければならない条件から得られる。なお、入力で与えられた時間間隔 Δt と計算実行時の時間間隔 $\Delta t'$ との関係式は次のものである($\Delta t' = \Delta t/n$)。

$$\Delta t^* = \left(\frac{\Delta t}{n} \right) / \{ \text{truncate } (\Delta t' / \Delta t'') + 1 \} \quad (78)$$

例として、 $n = 2$ 、 $2 < (At' / At'') < 3$ の場合を参考として下図に示す。



Δt : 入力した時間間隔

$\Delta t'$: Δt を二分割 ($n = 2$) した場合の時間間隔

Δt^* : 熱バランス関係式から定まる計算実行時の時間間隔

Fig. 10 Example of calculation time interval

4. 計算コード

前章までに計算モデルをはじめとする数値解析上の手法を中心に述べてきた。ここでは計算コードTRANTHAC-1について、その使用法に重点を置いた説明を行う。この計算コードは、FACOM 230-75を使用機種とし、現在カード枚数4000枚、記憶容量として75K語を要している。

4.1 TRANHAC-1の構成

本計算コードTRANHAC-1は以下のようないくつかの主要部分から構成されている。これらの主要部分は下記に示すようにさらにサブプログラム化されており、メインプログラムの他総計24個のサブプログラムと5個の関数プログラムから成っている。これらはいずれも全体の計算流れに沿ったそれぞれの計算機能を効果的に分担するよう配慮されているものである。

(1) 主指令部分

これは本コードの主プログラム(MAIN)であり、入力データの読み込みから出力データの書き出しまで一切の計算の流れをコントロールする。Fig. 8に示した全体の計算の流れはこの主プログラムが担当している。

(2) 計算定数設定部分

この部分は、主指令部分の指令に基づき入力データの読み込みと書き出し、さらに計算条件や計算定数など、計算に必要な基本的諸量の設定を行う。この部分を担当するサブプログラムとしては次のものが用意されている。

INPUT	: 入力データの読み込み
OUTPUT1	: 入力データに基づいたチャンネル基本量の出力
INPUT2	: 過渡条件入力データの読み込み
DISKR	: 繙続計算を配慮したディスクファイルの読み込みと書き込み
SETUP	: 次ステップ計算の準備のためのデータセット
DTMSET	: 過渡時時間ステップ、時間間隔の設定
CONST1	: チャンネル定数、計算定数のセット
CONST2	: 流量分布の推定や出力分布などの計算条件のセット
CONDTN	: 過渡条件の線形内挿
PWFRAC	: 崩壊熱のセット(関数プログラム)
SUMPWR	: 領域積分出力の計算

(3) 温度計算部分

この部分は伝熱条件の設定など、固体および冷却材温度計算に対する全体の流れ(繰返し計算を含む)をコントロールすると同時に、それらの温度計算を行う。この部分を担当するサブプログラムとしては次のものがある。

TEMP 1 : 定常時温度計算とこれに関連した流れの制御
 TEMP 2 : 過渡時温度計算とこれに関連した流れの制御
 SSTMP 1 : 定常時繰返し温度計算のための初期推定温度の計算
 SSTMP 2 : 定常時の炉心部温度計算（多層固体）
 TSTEMP : 過渡時の炉心部温度計算（多層固体）
 TRANSC : 炉心部の伝熱条件のセット
 TRANSR : 炉心部以外の伝熱条件のセット
 HELIUM : ヘリウムの物性値計算

(4) 圧力損失計算部分

この部分は圧力計算に必要な損失係数の設定など圧力計算全体のコントロールと計算を行う。
この部分は次のサブプログラムから構成されている。

DPLOS : 圧力損失計算とこの部分の全体のコントロール
 COEFIS : 摩擦および加速による損失項の計算
 SEGCOF : セグメント出口の圧力損失係数の計算
 FRICTN : 摩擦損失係数の計算（関数プログラム）
 EXPANS : 拡流による損失係数の計算（関数プログラム）
 CONTRC : 縮流による損失係数の計算（関数プログラム）
 FAORI : オリフィス開口面積の計算（関数プログラム）

(5) 圧力損失収束判定部分

この部分は主指令部分の指令に基づいて、領域内各チャンネルおよび領域間チャンネルの圧力損失がすべて等しいか否かの判定と修正計算のための指令などを行う。これはサブプログラム BALANS が担当する。

(6) 無流量時の温度計算部分

冷却材喪失事故時のように原子炉の過渡時にはしばしば冷却材のない場合が想定される。この部分はこのような場合を想定して冷却材のない場合の固体の温度計算を行うもので、具体的には冷却材による強制対流熱伝達の代りに充填ガスの熱伝導とふく射による熱移動を考慮したものである。この場合、出力される冷却材温度は間隙の内側と外側固体の平均温度に等しく置いている。

現在、この部分の計算は定常時に引き続いてのみ実行されることになっている。実行の有無は主指令部分の指令に基づいてなされ、サブプログラム NOFLOW がこれを担当している。なお、このサブプログラムの他に、(2)の計算定数設定部分の CONDTN と PWFRAC および(3)の温度計算部分の TRANSC と TSTEMP が機能の一部を分担している。

(7) 出力部分

この部分は主指令部分の指令に基づいて冷却材のない場合の結果も含めたすべての出力データの書き出しを行う。これはサブプログラム OUTPUT が担当している。出力データの詳細は 4.3 節で述べる。なお、入力データの出力は FACOM 230-75 用内蔵プログラムの 1 つである基本ルーチン DATAON を使用して、カードで読み込んだものをそのまま出力している。これは入力データのチェック用として用意したものである。

4.2 入力データ

本計算コードでは、入力データを合計25個のカードグループに分類して連続計算および継続計算の際の入力データが必要最小限になるよう配慮してある。このうち最初の3つのカードグループ（#00, #01, #02）は必ず入力する必要のあるもので、このカードグループによってすべての入力がコントロールされることになっている。ここで言う継続計算は非定常計算の場合の再スタート（継続）を言うが、これを可能ならしめるため、最終データを常にディスク上にファイルすることにしている。

本計算コードの入力データは(i)計算制御データ (ii)カラム（チャンネル）構成データ (iii)解析条件 (iv)数値計算パラメータ (v)物性データの5種類に分類できる。まず、継続計算指定パラメータ（#00）とタイトルカード（#01）を読み込み、引き続いてデータオプションカード（#02）で入力する必要のあるカードグループ番号（#1～#21）を指定し、この番号順に入力データをセットする。最後に過渡時入力が必要であれば、この後に過渡条件を指定する入力データを所定の量だけセットする。これで1セット分の入力データとなる。連続計算および継続計算の際もこの方式は同じである。これらを含めてTable 1に入力データの詳細を示す。

4.3 出力データ

本コードでは各時間ステップ毎に次の諸量が出力される。具体的には巻末に示した計算例の出力リストを参照されたい。

- (i) 流量分布、圧力損失分布およびオリフィス係数
- (ii) 全チャンネルのチャンネル各構造物の最高温度と最高温度点、および冷却材出口温度
- (iii) 最高温度チャンネルの構造物と冷却材の軸方向温度分布

この他に、入力データの指定によって全チャンネルの軸方向温度分布の出力が可能である。

本計算コードでは定常計算に引続いて非定常計算を行うことになっているが、この定常解のリストの前に、チャンネルの熱流動計算上基本となる2, 3の出力が考慮されている。この中には各領域、各チャンネルの出力分担率をはじめ、定常時の各チャンネルの軸方向出力分布が含まれている。

4.4 計算例

ここでは、前節で述べてきた入力データと出力データの説明を補足する意味で計算コードTRANTHAC-1を用いて行った計算の一例を示す。ここに示す計算例は2章に記した多目的高温ガス実験炉の第1次概念設計のベースとなった参考炉心Mark-III⁹⁾を対象として行ったものである。過渡状態値としては第1次概念設計でのプラント動特性解析の成果に基づいて設定された設計用プラント過渡状態値の中から炉外電源喪失事象を選択した。¹⁰⁾

本計算例における炉心部計算モデルとチャンネル縮約をFig. 11に、また、上記過渡状態値をFig. 12に示す。ただし、出力は事故後直ちに崩壊熱レベルに低下するとした。

また、上記過渡状態の初期流量は、本コードの制約条件から事故後直ちにゼロとした。すなわち、過渡時の流量はゼロからスタートし、2.5分以降定常時の流量の10%相当量が流れるものである。なお、炉心部計算モデルで、炉心中央部の領域(I)は本来7カラムで1領域であるが、本解析では省略して中心の制御カラムとその周囲の1つの標準カラムの計2個で代表させている。

ここで、入力データの作成に関連して、定常時の発熱量(SSQT)と冷却材流量(SSWT)について若干説明する。本計算例における解析カラムおよび解析上想定しているチャンネルとこれらの炉心全体との関係は次の通りである(2.1節およびFig. 11参照)。

領域 No.	解析カラム		解析想定チャンネル		炉心全カラム		炉心全チャンネル	
	S	C	S	C	S	C	S	C
I	1	1	12	3	6	1	72	3
II	6	1	72	3	36	6	432	18
III	3	0	36	0	18	0	216	0
IV	1	0	12	0	6	0	72	0
合計	11	2	132	6	66	7	792	21
総合計	13		138		73		813	

S : 標準カラム

C : 制御カラム

上記関係からSSQT, SSWTを次のように定めている。

$$SSQT = (\text{原子炉熱出力}) \times \left(\frac{\text{解析カラム数}}{\text{炉心全カラム数}} \right)^{9)} \quad (79)$$

$$= (50 \text{ MW}) \times \left(\frac{13}{73} \right) = 8.9041 \text{ MW}$$

$$SSWT = (\text{冷却材全流量}) \times \left(\frac{\text{解析想定チャンネル数}}{\text{炉心全チャンネル数}} \right)^{9)} \quad (80)$$

$$= (15.92 \text{ kg/s}) \times \left(\frac{138}{813} \right) = 2.702 \text{ kg/s}$$

以上の計算例についての入力データと計算結果の出力の一部をまとめて巻末の付録1, 2に、解析結果の一例をFig. 13に示す。なお、この種の問題で数値解析上の困難(未収束)が発生することがあるが、これは主に流量配分の繰返し計算(内側および外側ループ)において生ずることが多く、この場合には計算精度上許容できる範囲で収束判定因子を甘くするとか、加速因子を変えてやることで概ね解決できる。本コードでは確めてはないが、これと同じ繰返し計算法を使った他のコードでの経験によれば、たとえば内側(領域内)および外側(領域間)ループの判定因子を 1×10^{-5} とした場合、全チャンネルの圧力損失はだいたい5桁程度一致している。¹¹⁾

TRANTHAC-1の計算時間は個々のケースによって異なるが、例えば、本計算例の場合、流量配分計算のない(流量なし)計算で1秒/ステップ、定常時も含めた普通の過渡条件下で約12秒/ステップである。なお、領域(I)を7カラムとして計算した場合には約20秒/ステップとなる。流量配分計算のない計算は領域(I)を2カラムに省略したものと同じである(温度計算のみ)。

以上の計算はFACOM 230-75電子計算機システムによるものであるが、近く本格的使用に具されるM200計算機システムを使用すれば計算時間は上記の約1/3と大幅に短縮されることが予想される。

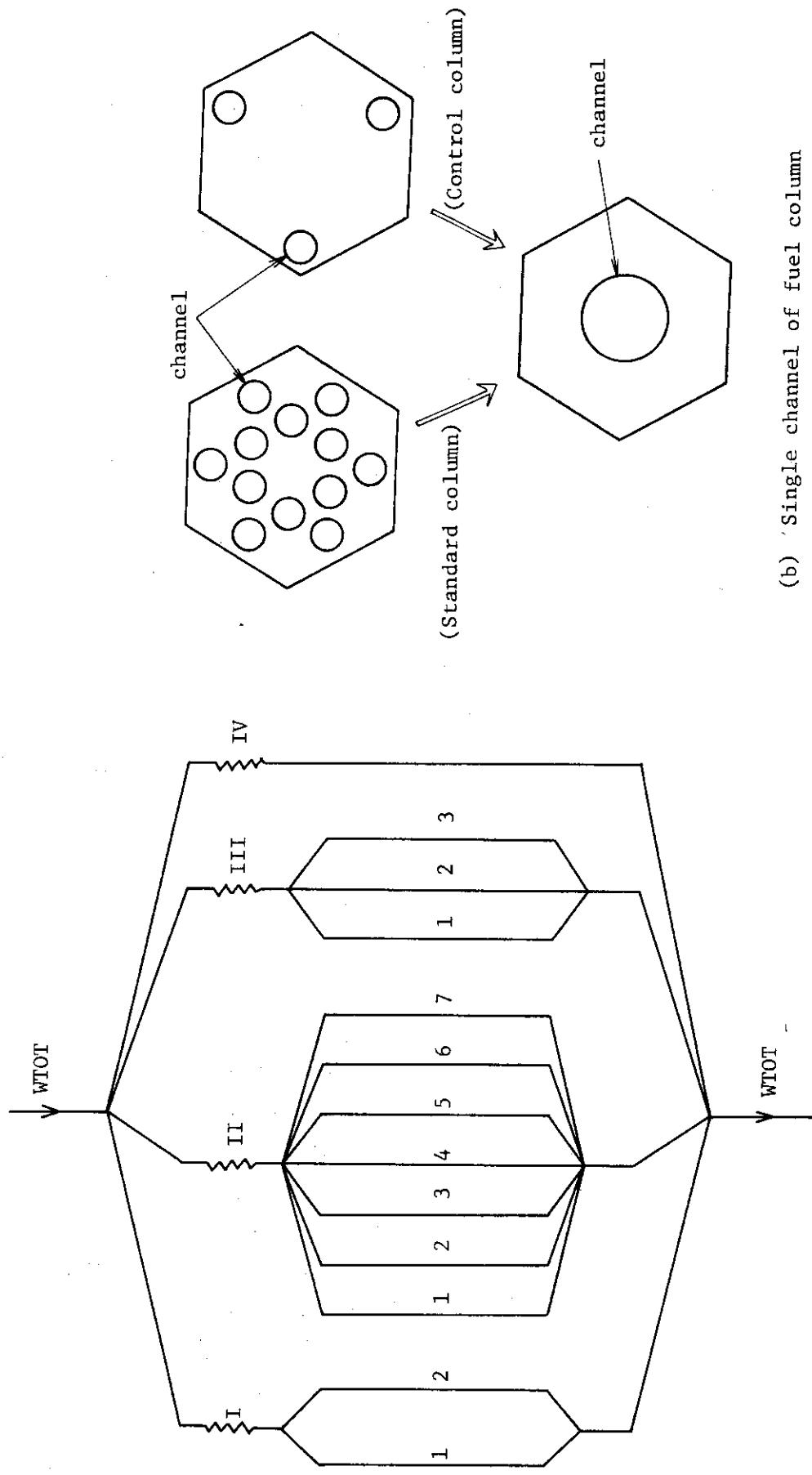


Fig. 11 Sample calculation model of TRANTHAC-1 code

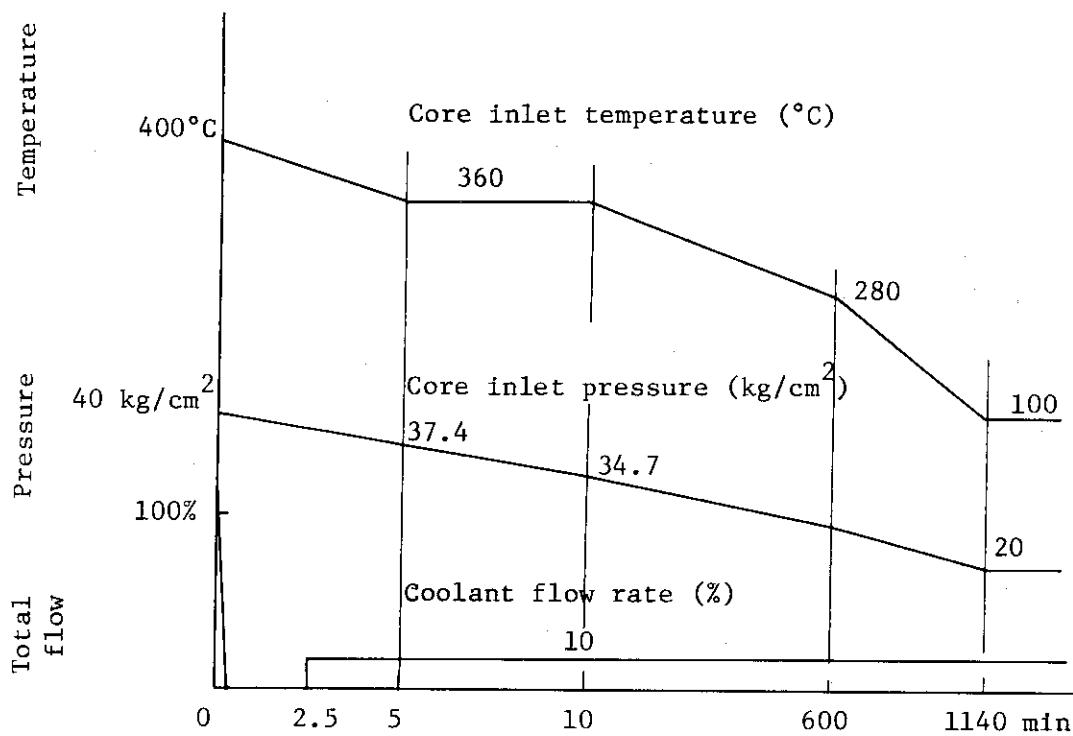


Fig. 12 Transient conditions of sample analysis
(loss off-site power)

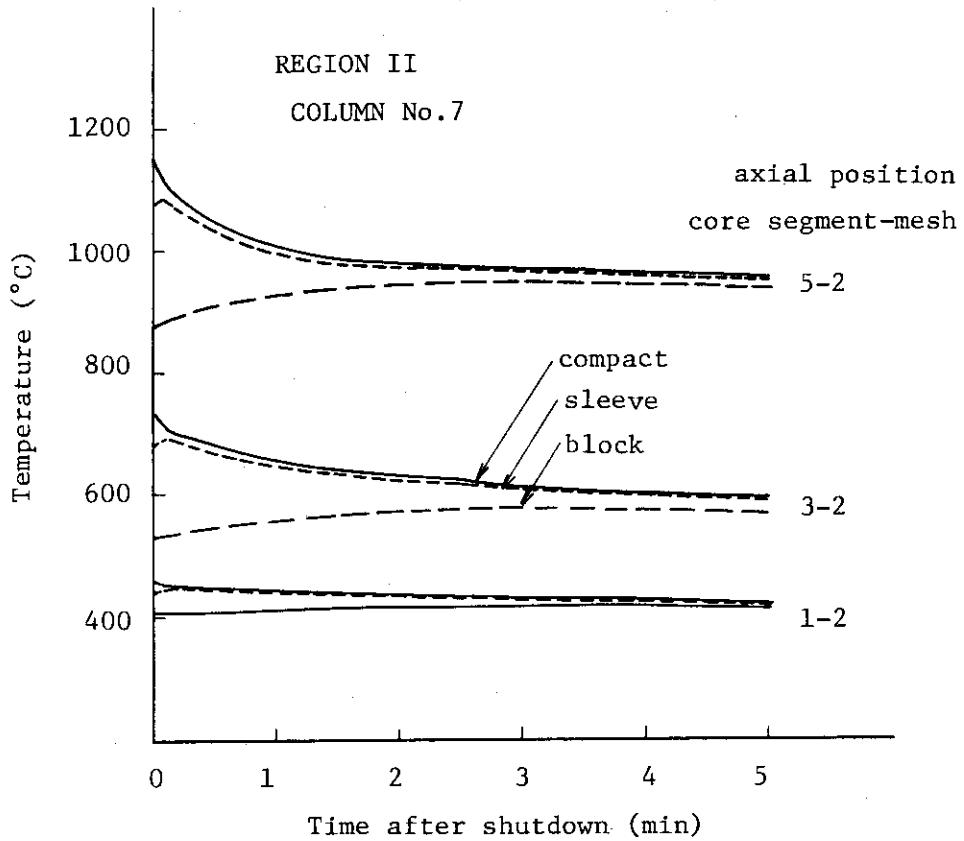


Fig. 13 Temperature transient of sample analysis

5. あとがき

本報告の開発コード TRANTHAC-1 によって、原子炉の炉心入口温度、炉心入口圧力、炉心全流量および炉心出力の変化を考慮して、ピン・イン・ブロック型燃料を用いた高温ガス炉炉心の過渡時における詳細な熱流動特性を解析できるようになった。

なお、本計算コードの計算モデルでは定常計算に引続いて事故時を含めた過渡時の解析を行うことになっている。この時、流量のない状態も考えられるが、これは定常計算の直後であれば可能であるよう配慮されている。しかし、任意の過渡時ではこのような状態の計算が現在のところできない。

TRANTHAC-1 コードは、今後、多目的高温ガス実験炉のより詳細な炉心の熱流動設計計算に利用してゆく考えであるが、このために、種々の過渡条件に対して計算できるよう上述の改良を行うとともに、制御棒チャンネル等の異種チャンネルを含めた解析もできるよう改良する予定である。

なお、本コードの作成に当り、多目的高温ガス実験炉設計室の荒井長利氏には開発当初から有益なるコメントを頂き、また、同研究室の江崎正弘氏には本コードの検証に際し色々と御援助を賜わった。ここに記して深甚なる謝意を表します。

Table 1. Input data for TRANTHAC-1

[CARD]	FORTRAN DATA	(FORMAT)
# 00	(ディスクファイルデータの読み込みオプション)	
[1]	ITRAC	
	ディスク上のデータファイルの読み込みを要するときのみ ITRAC ≠ 0 とする。これは 再スタート（継続計算）の場合で、これ以外のときはゼロとする。	
# 01	(入力データ選択パラメータ)	
[1]	ITRAC, ITDATA, TITLE(1)~TITLE(18)	(2I3, 2X, 18A4)
	ITRAC : #00と同じ。継続計算のときのみ ITRAC ≠ 0 とする。 ITDATA : 過渡条件のカード読み込みの有無	
	ITDATA { = 0 入力無し (過渡条件コード内で設定) ≠ 0 入力有り { = 1 過渡条件すべて入力 = 2 出力のみコード内で設定	
	TITLE : タイトル	
# 02	(入力データ指定パラメータ)	
[1]	IDC(1)~IDC(21)	(26 I 3)
	IDC(i) は以下に入力するデータの分類番号 (# 1 ~ # 21)。 計算に必要な入力データの分類番号を順次書き、この順にデータを並べる。	

〔CARD〕

FORTRAN DATA

(FORMAT)

1 (チャンネル基本構成データ(1))

〔1〕 NREG, NCN(1)~NCN(NREG)

(16 I 5)

NREG : 領域数 (最大 4)

NCN : 領域内カラム (チャンネル) 数 (最大 7)

2 (チャンネル基本構成データ(2))

〔1〕 NCB(1)~NCB(NREG)

(16 I 5)

NCB : 領域内制御カラムの番号指定。ただし、領域内に制御カラムのないときはゼロまたはブランクとする。

3 (チャンネル基本構成データ(3))

〔1〕 NREF 1, NCORE, NREF 2, NHPLB, NSUB, MLAYER, MFLOW,
MPOWR, IFDIV, NCLS, NCLC, NFLS, NFLC (16 I 5)NREF 1 : 上部反射体セグメント数 ($1 \leq NREF 1 \leq 2$)NCORE : 炉心部セグメント数 ($1 \leq NCORE \leq 7$)NREF 2 : 下部反射体セグメント数 ($1 \leq NREF 2 \leq 2$)NHPLB : 高温プレナムブロックセグメント数 ($1 \leq NHPLB \leq 2$)NSUB : セグメント内分割数 ($1 \leq NSUB \leq 5$)MLAYER : 炉心部固体層数 ($1 \leq MLAYER \leq 4$)MFLOW : 炉心部流路層の番号指定 ($1 \leq MFLOW \leq 5$)MPOWR : 炉心部発熱層の番号指定 ($1 \leq MPOWR \leq 4$)

IFDIV : 領域の流量配分方式の指定パラメータ

$$IFDIV \begin{cases} = 0 & \text{領域流量を入力で与える方式} \\ = 1 & \text{各領域のエンタルピー上昇一定方式} \\ < 0 & \text{入力で与えた領域出力分担率により定める方式} \end{cases}$$

NCLS : 標準カラム内冷却孔数

NCLC : 制御カラム内冷却孔数

NFLS : 標準カラム内燃料孔数

NFLC : 制御カラム内燃料孔数

(CARD)	FORTRAN DATA	(FORMAT)
--------	--------------	----------

4 (セグメント出口圧力損失係数計算指示パラメータ他)

[1] ICOEF 1(1)~ICOEF 1 (NREF1), ICOEF 2,
 ICOEF 3(1)~ICOEF 3 (NREF 2), ICOEF 4(1)~ICOEF 4 (NHPLB),
 IRAD, IKORI, KORI, IMAXR, ICIRCU (16 I 5)

ICOEF_i : セグメント出口圧力損失係数計算指示パラメータ

(ただし, i はカラム構成要素番号で, i = 1 は上部反射体セグメント,
 i = 2 は炉心部最下端セグメント, i = 3 は下部反射体セグメント,
 i = 4 は高温プレナムブロックセグメント)

$$\text{ICOEF}_i \begin{cases} < 0 & \text{CKMに等しくとる*} \\ = 0 & \text{入力で与える} \\ \neq 0 & \text{コード内で計算} \end{cases}$$

IRAD : 炉心部多層固体間のふく射熱伝達の考慮

$$\text{IRAD} = \begin{cases} 0 & \text{考慮せず} \\ 1 & \text{考慮する} \end{cases}$$

ただし, 流量無しの計算の場合で, ふく射とともに
 ギャップ層のヘリウム熱伝導も考慮するときは
 IRAD = 2 とする。

IKORI : オリフィス係数の入力指定

$$\text{IKORI} \begin{cases} = 0 & \text{コード内で計算} \\ \neq 0 & \text{入力で与える} \end{cases}$$

KORI : オリフィス面積の計算有無**

$$\text{KORI} \begin{cases} = 0 & \text{無し} \\ \neq 0 & \text{有り} \end{cases}$$

IMAXR : 最大出力領域の指定 (未使用, ブランク)

ICIRCU : 断熱的計算 (流量無し計算) の有無***

$$\text{ICIRCU} \begin{cases} = 0 & \text{無し} \\ \neq 0 & \text{有り} \end{cases}$$

注 *) CKMは炉心部のブロック (セグメント) 水平面間の損失係数で, 入力値の場合の定常時のそれはSSCKM (#5) で与えられる。

**) KORI = 0 の場合のオリフィス係数は面積項の含まれた形のCori (本文参)で与えられ, これに対してKORI \neq 0 のそれは面積項の含まれないKori (本文参)で与えられる。

***) これは定常時に継続した炉停止状態で, 循環機の起動の遅れから冷却材のない場合の温度計算を想定した過渡状態である。

[CARD]

FORTRAN DATA

(FORMAT)

5 (運転条件)

(1) SSQT, SSWT, SSTIN, PSS, QEF, WEF, SSCKM, DELAY (8E10.3)

SSQT : 原子炉定常時出力 (MW)

SSWT : 定常時全流量 (g/s)

SSTIN : 定常時原子炉入口温度 (°C)

PSS : 定常時原子炉入口圧力 (kg/cm²)

QEF : 炉心内有効発熱係数

WEF : 炉心内有効流量係数

SSCKM : 定常時ブロック水平面間の圧力損失係数

DELAY : 循環機運転開始遅延時間 (min)

(2) WR(1)~WR (NREG)

(8E10.3)

WR : 領域流量 (g/s), ただし, IFDIV = 0 のときのみ

6 (過渡状態値設定データ, ITDATA = 0 のときのみ)

(1) NCALC, DELTM

(I5, 5X, E10.3)

NCALC : 与えられた時間間隔 (DELT M) 内分割数

DELT M : 非定常計算の時間間隔 (hr)

(2) AAQQ 0, TRAQ(1), TRAQ(2), TAUQ

(8E10.3)

AAQQ 0 : 過渡時出力変化係数, $f = ae^{-bt}$ の a (本文参)TRAQ : 過渡時出力変化係数, $f = ae^{-bt}$ の b (1/sec)

TAUQ : 出力変化率の変化時間, 上式の t (hr)

この値がゼロまたはブランクのときは 10^{15} (hr) にセットされる。

なお, TAUQ 時間以降は TRAQ(1)に変って TRAQ(2)が使用される。

(3) AAWW 0, TRAW(1), TRAW(2), TAUW

(8E10.3)

AAWW 0, TRAW, TAUW : 過渡時の流量変化条件を与える係数で, 個々の内容は
上の [2] に同じ。

(4) AATT 0, TRAT(1), TRAT(2), TAUT

(8E10.3)

AATT 0, TRAT, TAUT : 過渡時の炉心入口温度変化条件を与える係数で, 個々
の内容は [2] に同じ。

[CARD]	FORTRAN DATA	(FORMAT)
[5] AAPP0, TRAP(1), TRAP(2), TAUP		(8 E 10.3)
AAPP0, TRAP, TAUP : 過渡時の炉心入口圧力変化条件を与える係数で、個々の内容は [2] に同じ。		
[6] AAKK0, TRAK(1), TRAK(2), TAUk		
AAKK0, TRAK, TAUk : 炉心部のブロック水平面間圧力損失係数の過渡条件下の変化を考慮するためのもので、個々の内容は [2] に同じである。 すなわち、過渡時の損失係数CKMは定常時のそれに対して、 $CKM = SSCKM \cdot f (= a e^{-bt})$		
# 7	(数値計算パラメータ(1))	
[1] NADBAT, KITER 1, KITER 2, KITER 3, KITER 4, KITER 5, KITER 6, IPRINT, IPMAX 1		(16 I 5)
NADBAT : 断熱的温度計算の場合のステップ数 (時間DELAY内の分割ステップ数) KITER 1 : 領域間流量配分計算のための最大繰返し数 (外側ループ) KITER 2 : 領域内流量配分計算のための最大繰返し数 (内側ループ) KITER 3 : 定常時温度計算のための最大繰返し数 (固体) KITER 4 : 定常時温度計算のための最大繰返し数 (冷却材) KITER 5 : 過渡時温度計算のための最大繰返し数 (固体) KITER 6 : 過渡時温度計算のための最大繰返し数 (冷却材) IPRINT : 計算結果出力の時間ステップ間隔 IPRINT=10とすれば10計算ステップごとに計算結果が出力される。 ステップごとに出力する場合にはブランクでも可。 IPMAX 1 : 過渡時の軸方向温度分布の出力指定パラメータ		
IPMAX 1	$\begin{cases} = 0 & \text{温度分布の出力無し} \\ > 0 & \text{全チャンネル (全カラム) の出力有り} \\ < 0 & \text{最高温度チャンネルのみ出力} \end{cases}$	

[CARD]

FORTRAN DATA

(FORMAT)

8 (数値計算パラメータ(2))

[1] TAUMXS, EPS 0, EPS 1, EPS 2, EPS 3, EPS 4, EPS 5,
 EPS 6 (8 E 10.3)

TAUMXS : 計算打切り時間 (hr)

EPS 0 : 時間間隔 (最大許容値) の修正係数 (本文 (76) 式の ϵ_0)
 EPS 1 : 領域間流量配分計算 (外側ループ) の収束判定因子
 EPS 2 : 領域内流量配分計算 (内側ループ) の収束判定因子
 EPS 3 : 定常時温度計算における収束判定因子 (固体)
 EPS 4 : 定常時温度計算における収束判定因子 (冷却材)
 EPS 5 : 過渡時温度計算における収束判定因子 (固体)
 EPS 6 : 過渡時温度計算における収束判定因子 (冷却材)

[2] ALP 1, ALP 2, ALP 3, ALP 4, ALP 5, ALP 6 (8 E 10.3)

ALP 1 : 繰返し計算における収束加速因子 (領域間流量配分計算)
 ALP 2 : 繰返し計算における収束加速因子 (領域内流量配分計算)
 ALP 3 : 繰返し計算における収束加速因子 (定常時固体温度計算)
 ALP 4 : 繰返し計算における収束加速因子 (定常時冷却材温度計算)
 ALP 5 : 繰返し計算における収束加速因子 (過渡時固体温度計算)
 ALP 6 : 繰返し計算における収束加速因子 (過渡時冷却材温度計算)

[CARD]	FORTRAN DATA	(FORMAT)
--------	--------------	----------

9 (圧力損失係数とオリフィスデータ)

(1) AKOX 1, AKOX 2, SCD, SP, OMIN, SSDPT (8 E 10.3)

AKOX 1 : オリフィス入口部損失係数

AKOX 2 : 上部反射体入口部損失係数(標準カラム)

AKOX 3 : 上部反射体入口部損失係数(制御カラム)

SCD : オリフィスの流量係数

SP : オリフィスの開口面積(cm²)OMIN : オリフィスの最小面積, ただし $SP > OMIN$ (cm²)SSDPT : 定常時における上下プレナム間の圧力損失 (kg/cm²)^{注)}

注) 定常時のオリフィス部圧力損失は、定常時におけるチャンネルの全圧力損失 $\Delta P_{(e+c)}$ とこのSSDPTとの差から求められるが、もしもSSDPTがチャンネルの全圧力損失の最大値よりも小なるときは、このチャンネルつまりこの領域のオリフィス部圧力損失は零にセットされる(本文参)。

(2) AKO(1)~AKO(NREG) (8 E 10.3)

AKO : 各領域のオリフィス係数(IKORI ≠ 0 のときのみ入力要)

(3) AORI(1)~AORI(NREG) (8 E 10.3)

AORI : 各領域のオリフィス面積(cm²)

ただし、面積を含めた形で〔2〕のオリフィス係数AKOを入力した場合にはこのカードはブランクでよい。

(IKORI ≠ 0 のときのみ入力要)

(4) AKS 1(1)~AKS 1(NREF 1), AKS 2, AKS 3(1)~AKS 3(NREF 2),
AKS 4(1)~AKS 4(NHPLB) (8 E 10.3)

AKS 1 : 上部反射体セグメント出口の圧力損失係数(標準カラム)

AKS 2 : 炉心最下部セグメント出口の圧力損失係数(〃)

AKS 3 : 下部反射体セグメント出口の圧力損失係数(〃)

AKS 4 : プレナム部セグメント出口の圧力損失係数(〃)

ただし、ICOEFI ≠ 0 のときはブランクで可。

[CARD]

FORTRAN DATA

(FORMAT)

9 (続き)

[5] AKC1(1)~AKC1(NREF1), AKC2, AKC3(1)~AKC3(NREF2),
AKC4(1)~AKC4(NHPLB)

AKC 1 : 上部反射体セグメント出口の圧力損失係数(制御カラム)

AKC 2 : 炉心最下部セグメント出口の圧力損失係数(")

AKC 3 : 下部反射体セグメント出口の圧力損失係数(")

AKC 4 : プレナム部セグメント出口の圧力損失係数(")

ただし, ICOEFi ≠ 0 のときはブランクで可。

10 (チャネル構成データ(1), セグメント重量)

[1] GWRFS 1(1)~GWRFS 1(NREF1), GWRFS 2(1)~GWRFS 2(NREF2),
GWHPS(1)~GWHPS(NHPLB) (8 E 10.3)

GWRFS 1: 標準カラム上部反射体セグメント重量(g)

GWRFS 2: 標準カラム下部反射体セグメント重量(g)

GWHPS : 標準カラム高温プレナム部セグメント重量(g)

[2] GWCRS(1)~GWCRS(MLAYER) (8 E 10.3)

GWCRS : 標準カラム炉心部セグメント重量(g)

[3] GWRFC 1(1)~GWRFC 1(NREF 1), GWRFC 2(1)~GWRFC 2(NREF 2),
GWHPC(1)~GWHPC(NHPLB) (8 E 10.3)

GWRFC 1: 制御カラム上部反射体セグメント重量(g)

GWRFC 2: 制御カラム下部反射体セグメント重量(g)

GWHPC : 制御カラム高温プレナム部セグメント重量(g)

[4] GWCRC(1)~GWCRC(MLAYER) (8 E 10.3)

GWCRC : 制御カラム炉心部セグメント重量(g)

[CARD]	FORTRAN DATA	(FORMAT)
--------	--------------	----------

11 (チャンネル構成データ(2), セグメント長さ)

[1] Z LS (1)~Z LS (NSEG) (8 E 10.3)

Z LS : 標準カラムセグメント長さ (cm)

ただし, NSEG = NREF 1 + NCORE + NREF 2 + NHPLB (以下同様)

[2] Z LC (1)~Z LC (NSEG) (8 E 10.3)

Z LC : 制御カラムセグメント長さ (cm)

12 (チャンネル構成データ(3), チャンネル寸法)

[1] 未使用 (ブランクカード)

[2] 未使用 (ブランクカード)

[3] RI 0 (1), RO 0 (1)~RI 0 (MLAYER), RO 0 (MLAYER) (8 E 10.3)

RI 0 : 炉心部燃料チャンネルの基本寸法, 内側半径 (cm)

RO 0 : 炉心部燃料チャンネルの基本寸法, 外側半径 (cm)

注) これは, カラム (標準カラム, 制御カラム) 内でのチャンネルが, 実際に何本かのチャンネルを 1 つにしたものである場合でも, もとの 1 チャンネルの寸法を入力するものである。

13 (チャンネル構成データ(4), 流路面積)

[1] AWRFS 1 (1)~AWRFS 1 (NREF 1), AWCRS, AWRFS 2 (1)~AWRFS 2 (NREF 2), AWHPS (1)~AWHPS (NHPLB + 1) (8 E 10.3)

AWRFS 1 : 標準カラム上部反射体流路面積 (cm^2)

AWCRS : 標準カラム炉心部流路面積 (cm^2)

AWRFS 2 : 標準カラム下部反射体流路面積 (cm^2)

AWHPS : 標準カラムプレナムブロック部流路面積および下部プレナム入口流路面積 (cm^2)

[CARD]	FORTRAN DATA	(FORMAT)
--------	--------------	----------

13 (続き)

[2] AWRFC 1(1)~AWRFC 1 (NREF1), AWCRC, AWRFC2(1)~AWRFC2 (NREF2),
 AWHPC (1)~AWHPC (NHPLB + 1) (8 E 10.3)

AWRFC1 : 制御カラム上部反射体流路面積 (cm²)AWCRC : 制御カラム炉心部流路面積 (cm²)AWRFC2 : 制御カラム下部反射体流路面積 (cm²)AWHPC : 制御カラムプレナムブロック部流路面積および下部プレナム入口流路
 面積 (cm²)

注) AWHPS および AWHPC (NHPLB + 1), 即ち下部プレナム入口流路(相当)面積
 は, 縮拡流による圧力損失係数の計算のみ使用されるものである。従って, これを入
 力で与える場合には, この値は必要ない。なお, 0 の場合には 1×10^8 にセットされる
 ようになっている。

14 (チャンネル構成データ(5), 流路等価直径)

[1] DERFS 1(1)~DERFS 1 (NREF1), DECRS, DERFS 2(1)~
 DERFS2 (NREF2), DEHPS(1)~DE HPS (NHPLB) (8 E 10.3)

DERFS 1 : 標準カラム上部反射体流路等価直径 (cm)

DECRS : 標準カラム炉心部流路等価直径 (cm)

DERFS 2 : 標準カラム下部反射体流路等価直径 (cm)

DEHPS : 標準カラムプレナムブロック部流路等価直径 (cm)

[2] DERFC 1(1)~DERFC 1 (NREF1), DECRC, DERFC2(1)~
 DERFC2 (NREF2), DEHPC(1)~DE HPC (NHPLB) (8 E 10.3)

DERFC 1 : 制御カラム上部反射体流路等価直径 (cm)

DECRC : 制御カラム炉心部流路等価直径 (cm)

DERFC 2 : 制御カラム下部反射体流路等価直径 (cm)

DEHPC : 制御カラムプレナムブロック部流路等価直径 (cm)

(CARD)	FORTRAN DATA	(FORMAT)
--------	--------------	----------

15 (チャンネル構成データ(6), 半径方向伝熱面積)

[1] AHRFS 1(1)~AHRFS 1 (NREF1), AHRFS 2(1)~AHRFS 2 (NREF2),
AHHPS (1)~AHHPS (NHPLB) (8 E 10.3)

AHRFS 1 : 標準カラム上部反射体径方向伝熱面積 (cm²)

AHRFS 2 : 標準カラム下部反射体径方向伝熱面積 (cm²)

AHHPS : 標準カラムプレナムブロック径方向伝熱面積 (cm²)

[2] AHCRSI (1), AHCRSO(1)~AHCRSI (MLAYER), AHCRSO (MLAYER)
(8 E 10.3)

AHCRSI : 標準カラム炉心部径方向内側伝熱面積 (cm²)

AHCRSO : 標準カラム炉心部径方向外側伝熱面積 (cm²)

[3] AHRFC 1(1)~AHRFC 1 (NREF1), AHRFC 2(1)~AHRFC 2 (NREF2),
AHHPC (1)~AHHPC (NHPLB) (8 E 10.3)

AHRFC 1 : 制御カラム上部反射体径方向伝熱面積 (cm²)

AHRFC 2 : 制御カラム下部反射体径方向伝熱面積 (cm²)

AHHPC : 制御カラムプレナムブロック径方向伝熱面積 (cm²)

[4] AHCRCI (1), AHCRCO(1)~AHCRCI (MLAYER), AHCRCO (MLAYER)
(8 E 10.3)

AHCRCI : 制御カラム炉心部径方向内側伝熱面積 (cm²)

AHCRCO : 制御カラム炉心部径方向外側伝熱面積 (cm²)

〔CARD〕

FORTRAN DATA

(FORMAT)

16 (チャンネル構成データ(7), 軸方向伝熱面積)

(1) SKRFS 1(1)~SKRFS 1 (NREF 1), SKRFS 2(1)~SKRFS 2 (NREF 2),
 SKHPS (1)~SKHPS (NHPLB) (8 E 10.3)

SKRFS 1 : 標準カラム上部反射体軸方向伝熱面積 (cm^2)SKRFS 2 : 標準カラム下部反射体軸方向伝熱面積 (cm^2)SKHPS : 標準カラムプレナムブロック軸方向伝熱面積 (cm^2)

(2) SKCRS (1)~SKCRS (MLAYER) (8 E 10.3)

SKCRS : 標準カラム炉心部軸方向伝熱面積 (cm^2)

(3) SKRFC 1(1)~SKRFC 1 (NREF 1), SKRFC 2(1)~SKRFC 2 (NREF 2),
 SKHPC (1)~SKHPC (NHPLB) (8 E 10.3)

SKRFC 1 : 制御カラム上部反射体軸方向伝熱面積 (cm^2)SKRFC 2 : 制御カラム下部反射体軸方向伝熱面積 (cm^2)SKHPC : 制御カラムプレナムブロック軸方向伝熱面積 (cm^2)

(4) SKCRC (1)~SKCRC (MLAYER) (8 E 10.3)

SKCRC : 制御カラム炉心部軸方向伝熱面積 (cm^2)

17 (チャンネル構造物の物性データ(1), 熱伝導率)

(1) CONDRF, CONDHP, CONDCR (1)~CONDCR (MLAYER) (8 E 10.3)

CONDHF : 反射体部熱伝導率 ($\text{cal}/\text{cm s }^\circ\text{C}$)CONDHP : 高温プレナムブロック部熱伝導率 ($\text{cal}/\text{cm s }^\circ\text{C}$)CONDHR : 炉心部熱伝導率 ($\text{cal}/\text{cm s }^\circ\text{C}$)

〔CARD〕

FORTRAN DATA

(FORMAT)

18 (チャンネル構造物の物性データ(2), 比熱)

(1) CPRF, CPHP, CPCR(1)~CPCR (MLAYER) (8 E 10.3)

CPRF : 反射体部比熱 (cal/g °C)

CPHP : 高温プレナムブロック部比熱 (cal/g °C)

CPCR : 炉心部比熱 (cal/g °C)

19 (チャンネル構造物の物性データ(3), ふく射率)

(1) EM(1)~EM (MLAYER) (8 E 10.3)

EM : 炉心部構造物のふく射率

20 (チャンネルの軸方向出力分布)

(1) ~ PAF (1, 1, 1, 1), ……, PAF (n, i, j, k), ……
……, PAF (NREG, NCN (NREG), NCORE, NSUB) (8 E 10.3)PAF : 炉心部軸方向計算メッシュ点の出力 (W/cm³)

[1] (1, 1, 1, 1) …… (1, 1, j, k) …… (1, 1, NCORE, NSUB)

⋮ ⋮ ⋮ ⋮

[] (1, i, 1, 1) …… (1, i, j, k) …… (1, i, NCORE, NSUB)

⋮ ⋮ ⋮ ⋮

[] (n, NCN(n), 1, 1) …… (n, NCN(n), j, k) …… (n, NCN(n), NCORE, NSUB)

⋮ ⋮ ⋮ ⋮

[CARD]

FORTRAN DATA

(FORMAT)

21 (出力分担係数：ただし、IFDIV<0 のときのみ)

〔1〕 P1(1)～P1(NREG) (8 E 10.3)

P1 : 領域出力分担係数（本文 3.1 参照）

〔2〕 P2(1,1), ……, P2(n,i), ……, P2(NREG, NCN(NREG)) (8 E 10.3)

P2 : 領域内出力歪係数（本文 3.5.4 参照）

〔1〕 (1,1) …… (1,i) …… (1,NCN(1))

⋮ ⋮ ⋮ ⋮ ⋮

〔n〕 (n,1) …… (n,i) …… (n,NCN(n))

⋮ ⋮ ⋮ ⋮ ⋮

(過渡時入力データ：ITDATA ≠ 0 のとき)

〔1〕 NCALC, DELTM, FWTOT, FTIN, FPIN, FCKM, FPFRAC
(I5, 5X, 7E 10.3)NCALC : 時間増分(Δt) 内分割数DELT M : 時間増分, Δt (hr)FWTOT : ($t + \Delta t$) 時の炉心全流量 (g/s)FTIN : ($t + \Delta t$) 時の炉心入口温度 (°C)FPIN : ($t + \Delta t$) 時の炉心入口圧力 (kg/cm²)FCKM : ($t + \Delta t$) 時のブロック水平面間の圧力損失係数FPFRAC : ($t + \Delta t$) 時の炉心出力割合, P/P_0 (P : 過渡時出力, P_0 : 定常時出力)

ただし, ITDATA = 1 のとき

注) 断熱的(流量ゼロの)計算を行うことになっている場合, すなわち ICIRCU ≠ 0 のとき, このカードの読み込み(条件データ)が必要である。

ただし, 上記のデータのうち NCALC, DELTM, FWTOT はこの場合, ブランクとする。

記 号 表

A, a	: 定数	
A	: 温度の係数, 式(26)	(cal/s °C)
A	: 面積	(cm ²)
B	: 定数	
B	: 温度の係数, 式(26)	(cal/s °C)
b	: 式(75)の係数	(sec ⁻¹)
C	: 温度の係数, 式(26)	(cal/s °C)
C _p	: 固体および冷却材の比熱	(cal/g °C)
C _{ori}	: オリフィス係数	(cm ⁻⁴)
C	: 縮流係数	
D	: 温度の係数, 式(26)	(cal/s °C)
D _e	: 流路の等価直径	(cm)
E, F	: 温度の係数, 式(26)	(cal/s °C)
F	: 固体の内外表面の伝熱状態和, 式(77)	
f	: 関数	
g	: 重力加速度	(cm/s ²)
H	: 热伝達率	(cal/cm ² s °C)
K	: 圧力損失係数	
K, K'	: 热伝導率	(cal/cm s °C, W/m°C)
K _e	: オリフィス入口部圧損係数	
K _{c1}	: 上部反射体入口部圧損係数	
K _{ori}	: オリフィス部圧損係数またはオリフィス係数	
L	: 軸方向計算メッシュ長さ	(cm)
m	: 固体の質量	(g)
n	: 領域番号, 時間間隔内分割数	
Nu	: ヌッセルト数	
NSEG	: チャンネルの全セグメント数	
NSUB	: セグメント当たりの分割数	
P	: 出力	(cal/s)
P	: チャンネルのぬれ縁長さ	(cm)
P, ΔP	: 冷却材圧力, 圧力損失	(kg/cm ²)
P ₁ , P ₂	: 出力分担係数, 式(3)および式(71)	
P _{in}	: チャンネル入口冷却材圧力	(kg/cm ²)
P _r	: プラントル数	

Q	: 発熱量	(cal/s)
R	: ガス定数	(cmg/g °K)
r	: チャンネル寸法, 半径方向座標	(cm)
$T, <T>$: 温度, 体積平均温度	(°C)
T_b	: 冷却材混合平均温度	(°K)
T_w	: 固体の壁面温度	(°K)
t	: 時間	(sec)
U	: 任意の過渡状態値, 式(74)	
V	: 体積	(cm³)
W, W'	: 流量	(g/s)
z	: 軸方向座標	(cm)
α	: 温度の係数, 式(37)	(cal/s °C)
α	: 加速因子, 流路の内外直徑比	
α	: 係数, 式(40)	(cm⁻¹)
β, γ	: 温度の係数, 式(37)	(cal/s °C)
β_s, β_L	: 小口径管, 大口径管の運動エネルギー補正係数, 式(49)	
γ, γ'	: ヘリウムの比重	(g/cm³, kg/m³)
δ	: 温度の係数, 式(37)	(cal/s °C)
ε	: 収束判定因子, ふく射率	
ε_0	: 時間間隔の修正係数, 式(76)	
ξ	: メッシュ間の冷却材温度の平均化係数, 式(43)	
θ, θ^*	: 冷却材温度	(°C, °K)
θ_{in}	: メッシュ入口冷却材温度	(°C)
λ	: 摩擦係数	
λ_L	: 運動量の補正係数, 式(50)	
μ, μ'	: ヘリウムの粘性係数	(g/cm s, Ns/m²)
ρ	: 密度	(g/cm³)
σ	: ステファン・ボルツマン定数	(cal/cm² s °K⁴)
σ	: 入出流路面積比 (s_1/s_2)	
φ	: 状態係数 (定常 := 1, 非定常 := ½)	

添字

C	: 対流によるもの
c	: チャンネル
ch	: チャンネル当り
col	: カラム当り
e	: 入口部

- i : チャンネル番号, 固体の内表面
- j : セグメント番号
- K : 伝導によるもの
- k : 計算メッシュ番号
- l : 計算メッシュ点
- m : 層の番号, ギャップの番号
- n : 領域番号
- o : 初期(定常時), 固体の外表面
- ori : 領域当り
- R : ふく射によるもの
- t : 合計
- z : 軸方向

参考文献

- 1) 青地, 他: "多目的高温ガス実験炉・第1次概念設計", JAERI-M 6845 (1976)
- 2) S.S. Crank and J.F. Peterson : "TAC 2D, A General Purpose Two-Dimensional Heat Transfer Computer Code - Mathematical Formulations and Programmer's Guide", GA-9262 (1969)
- 3) D.D. Paul : "FLODIS-A Computer model to Determine the FLOW Distribution and Thermal Response of the Fort St. Vrain Reactor", ORNL/TM-5365 (1976)
- 4) 江崎, 小沢, 三竹: "SCOTCH-高温ガス冷却炉の核・熱流動特性結合炉心動特性解析プログラム", JAERI-M 8292 (1979)
- 5) W.M. Kays : "Loss Coefficients for Abrupt Changes in Flow Cross Section with Low Reynolds Number Flow in Single and Multiple-Tube Systems", Trans. ASME, 72, 1067 - 1074 (1950)
- 6) 青地, 他: "多目的高温ガス実験炉バックアップ炉心設計-炉心諸元の検討と選定-", JAERI-M 8064 (1979)
- 7) 安野, 他: "多目的高温ガス実験炉・Mark-III炉心の検討", JAERI-M 8399 (1979)
- 8) 三竹, 他: "多目的高温ガス実験炉の安全解析-基本概念設計に基づく平常時動特性ならびに事故時挙動の解析-", JAERI-M 6400 (1976)
- 9) 青地, 他: "多目的高温ガス実験炉の炉心参考設計 Mark-III", JAERI-M 6895 (1976)
- 10) 青地, 江崎, 武藤, 三竹: "多目的高温ガス実験炉の機器設計用プラント過渡状態値-第1次概念設計に基づく-", 未公開資料 (1977)
- 11) 佐藤, 宮本: "モンテカルロ法による高温ガス炉炉心の流量誤差評価コード:DREAM-FLOW", JAERI-M 7059 (1977)

付録 1 計算例の入力データリスト

SAMPLE ANALYSIS (1979-11-20)												
0	2	3	4	5	0	7	8	9	10	11	12	13
1	2	3	4	5	0	7	3	1	10	11	12	13
4	2	7	1	0	0	0	0	0	14	15	16	17
1	1	0	0	0	0	0	0	0	15	16	17	18
2	-1	2	2	3	3	3	3	1	1	12	3	12
1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	3
8.9041	40	2702.	400.	400.	40.	40.	40.	0.95	0.95	0.90	0.90	1
0.0433333	0.8	10	40	15	15	15	15	1	-1	0.0	0.0	2.5
0.1	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	-6	1.	-4	1.	-4
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	1.	1.	1.	1.	0.8
7.557	+4	7.557	+4	7.557	+4	7.509	+4	7.113	+4	2.808	+4	1.
1.264	+4	7.720	+3	5.526	+4	7.847	+4	4.113	+4	2.808	+5	
5.232	+4	5.232	+4	5.232	+4	7.847	+4	4.113	+4	2.808	+5	
3.159	+3	1.930	+3	4.125	+4	57.	57.	57.	57.	57.	57.	57.
57.	57.	57.	57.	57.	57.	30.	30.	35.	35.	35.	35.	35.
57.	57.	57.	57.	57.	57.	30.	30.	35.	35.	35.	35.	35.
0.9	1.8	1.815	2.3	2.5								
37.699	37.699	36.191	37.699	42.412	12.566	962.113	1.					
9.425	9.425	9.048	9.425	9.425	12.566	962.113	1.	+8				
2.	2.	0.4	2.	2.	4.	4.	4.	35.	35.			
4279.70	4279.70	4279.70	3223.27	376.99	3848.45							
3867.93	7735.86	1800.32	9884.71	10744.25	10744.25							
1074.42	1074.42	1074.42	1074.42	1074.42	1074.42							
966.98	1933.96	1950.08	2471.18	2686.07	2686.07							
735.536	736.536	736.536	731.824	761.669	4457.53							
91.609	75.239	538.616	509.965	509.965	509.965	764.811	761.669	4457.53				
209.965	229.902	18.810	460.485	460.485	460.485	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.35	0.37	0.37	0.30	0.30	0.30	0.03	0.03	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37
0.07751	0.1062	0.1439	0.1657	0.2200	0.2934	0.2625	0.3483					
0.5293	1.170	1.452	1.570	1.578	1.500	1.369	0.5919					
0.5022	0.4144	0.3354	0.2686	0.2164								
0.5837	0.7927	1.073	1.278	1.712	2.331	2.212	2.860					
3.624	4.675	5.351	5.657	5.634	5.331	4.855	2.271					
1.924	1.954	1.280	1.023	0.8195								
0.09148	0.1223	0.1618	0.1838	0.2517	0.4209	0.6794	0.9145					
1.086	1.213	1.293	1.320	1.292	1.214	1.101	0.4752					
0.4040	0.3334	0.2700	0.2166	0.1745								
0.6316	0.3393	1.128	1.338	1.813	2.577	2.674	3.460					
4.136	4.704	5.088	5.244	5.159	4.853	4.407	2.060					
1.749	1.437	1.162	0.9292	0.7452								
0.7404	0.9744	1.278	1.471	1.919	2.613	2.609	3.278					
3.411	4.212	4.461	4.537	4.430	4.150	3.763	1.759					
1.495	1.231	0.9972	0.7984	0.6406								

	1	2	3	4	5	6	7	8
0.7983	1.042	1.349	1.520	1.934	2.554	2.678	3.059	
3.510	3.840	4.037	4.085	3.976	3.720	3.370	3.569	
1.335	1.101	0.8931	0.7157	0.5728				
0.7739	1.008	1.307	1.482	1.852	2.521	2.472	3.063	
3.524	3.864	4.068	4.121	4.013	3.756	3.405	3.592	
1.355	1.117	0.9063	0.7264	0.5830				
0.6936	0.9201	1.217	1.418	1.880	2.615	2.663	3.388	
3.976	4.430	4.719	4.818	4.714	4.422	4.010	4.874	
1.592	1.310	1.060	0.8482	0.6006				
0.6052	0.8189	1.104	1.315	1.784	2.536	2.628	3.415	
4.124	4.757	5.193	5.380	5.308	5.000	4.543	2.125	
1.804	1.482	1.198	0.9576	0.7679				
1.004	1.302	1.663	1.832	2.242	2.726	2.275	2.634	
2.931	3.154	3.282	3.301	3.202	2.993	2.713	1.261	
1.075	0.8904	0.7251	0.5525	0.4662				
0.9521	1.240	1.603	1.804	2.265	2.864	2.514	3.000	
3.403	3.706	3.889	3.931	3.824	3.577	3.243	1.518	
1.293	1.066	0.8655	0.6941	0.5574				
1.011	1.318	1.694	1.892	2.332	2.890	2.464	2.896	
3.254	3.522	3.680	3.709	3.602	3.368	3.050	1.415	
1.205	0.9936	0.8033	0.6992	0.5188				
0.9592	1.243	1.589	1.753	2.155	2.645	2.239	2.613	
2.919	3.147	3.277	3.297	3.199	2.989	2.709	1.258	
1.073	0.8880	0.7230	0.5808	0.4776				
1	0.0016667	243.18	380.	36.7	0.	0.	0.	
			379.	38.6	0.			

付録 2 計算例の出力データリスト

* LISTING OF INPUT DATA SUMMARY *

REFUELING REGION FLOW AND HEAT TRANSFER DATA PER MESH

*** ORIFICE		STANDARD COLUMN		CONTROL COLUMN	
* WIDE OPEN AREA (S0.CM)	0.0	C 12	0.0	C 12	0.0
* NARROW OPEN AREA (S0.CM)	0.0	C 22	0.0	C 22	0.0
* DISCHARGE COEFFICIENT	0.0	C 12	3.76990E+01	C 12	9.42500E+00
* ENTRANCE LOSS COEFFICIENT	0.0	C 22	3.76990E+01	C 12	9.42500E+00
*** UPPER REFLECTOR		C 12	2.00000E+00	C 12	2.00000E+00
* AXIAL CONDUCTION AREA (S0.CM)	C 12	1.42657E+03	C 12	3.58140E+02	
* RADIAL CONDUCTION AREA (S0.CM)	C 22	1.42657E+03	C 22	3.58140E+02	
* HYDRAULIC DIAMETER (CM)	C 12	7.36536E+02	C 12	5.09963E+02	
* FLOW AREA (S0.CM)	C 22	7.36536E+02	C 22	5.09963E+02	
* EXIT LOSS COEFFICIENT	0.0	C 12	1.28931E+03	C 12	3.22327E+02
* MESH LENGTH (CM)	C 12	2.60011E+03	C 12	6.44653E+02	
* SPECIFIC HEAT (CAL/G.C)	C 22	3.29490E+03	C 22	6.50027E+02	
* MESH WEIGHT (G)	C 12	3.58142E+03	C 12	8.23727E+02	
* MESH LENGTH (CM)	C 22	2.51900E+04	C 12	1.74400E+04	
* MESH WEIGHT (G)	C 12	1.90000E+01	C 22	1.74400E+04	
* MESH LENGTH (CM)	C 22	1.90000E+01	C 12	1.90000E+01	
*** ACTIVE CORE		STANDARD COLUMN		CONTROL COLUMN	
* AXIAL HEAT CONDUCTION AREA (S0.CM)	C 12	9.16090E+01	C 12	0.0	0.0
* RADIAL CONDUCTION AREA (S0.CM)	C OUT	2.57862E+03	C IN	3.61910E+01	4.00000E+01
* HYDRAULIC DIAMETER (CM)	C IN	2.60011E+03	C OUT	1.28931E+03	3.22327E+02
* FLOW AREA (S0.CM)	C OUT	3.29490E+03	C IN	2.57862E+03	6.44653E+02
* EXIT LOSS COEFFICIENT	0.0	C IN	3.58142E+03	C OUT	6.50027E+02
* MESH LENGTH (CM)	C 12	2.60011E+03	C 22	3.29490E+03	8.23727E+02
* SPECIFIC HEAT (CAL/G.C)	C 12	3.58142E+03	C 12	3.58142E+03	8.95357E+02
* MESH WEIGHT (G)	C 22	2.51900E+04	C 22	2.51900E+04	2.90205E+02
* MESH LENGTH (CM)	C 12	1.90000E+01	C 22	7.52390E+01	1.88100E+01
* THERMAL CONDUCTIVITY (CAL/CM.S.C)	C 12	3.00000E+02	C 32	5.38616E+02	4.60485E+02
* MESH WEIGHT (G)	C 22	6.00000E+02	C 12	3.00000E+02	3.00000E+02
* MESH LENGTH (CM)	C 32	6.00000E+02	C 12	6.00000E+02	6.00000E+02
* SPECIFIC HEAT (CAL/G.C)	C 12	3.00000E+01	C 22	3.00000E+01	3.00000E+01
* MESH LENGTH (CM)	C 22	3.70000E+01	C 32	3.70000E+01	3.70000E+01
* MESH WEIGHT (G)	C 12	4.21333E+03	C 12	4.21333E+03	4.21333E+03
* MESH LENGTH (CM)	C 22	2.57333E+03	C 32	2.57333E+03	2.57333E+03
* MESH LENGTH (CM)	C 32	1.84200E+04	C 12	1.90000E+01	1.90000E+01

		STANDARD COLUMN		CONTROL COLUMN	
* EXIT LOSS COEFFICIENT	(1)	0.0	0.0	0.0	0.0
* FLOW AREA (SQ.CM)	(2)	0.0	0.0	0.0	0.0
* HYDRAULIC DIAMETER (CM)	(1)	3.76990E+01	4.24120E+01	9.42500E+00	9.42500E+00
* RADIAL CONDUCTION AREA (SQ.CM)	(2)	2.00000E+00	3.00000E+00	2.00000E+00	2.00000E+00
* AXIAL CONDUCTION AREA (SQ.CM)	(1)	1.42657E+03	1.07442E+03	3.58140E+02	3.58140E+02
* THERMAL CONDUCTIVITY (CAL/CM.S.C)	(2)	7.36536E-02	7.31824E-02	5.09967E+02	5.09967E+02
* SPECIFIC HEAT (CAL/G.C)	(1)	1.00000E-01	1.00000E-01	1.00000E-01	1.00000E-01
* MESH WEIGHT (G)	(2)	3.50000E-01	2.51900E-04	3.50000E-01	3.50000E-01
* MESH LENGTH (CM)	(1)	1.74400E+04	2.50300E+04	2.61567E+04	2.61567E+04
	(2)	1.90000E-01	1.90000E+01	1.90000E+01	1.90000E+01
*** HOT PLenum BLOCK					
* EXIT LOSS COEFFICIENT	(1)	0.0	0.0	0.0	0.0
* FLOW AREA (SQ.CM)	(2)	1.00000E+00	1.25660E+01	1.25660E+01	1.25660E+01
* HYDRAULIC DIAMETER (CM)	(1)	9.62213E+02	4.00000E+00	9.62213E+02	4.00000E+00
* RADIAL CONDUCTION AREA (SQ.CM)	(2)	3.50000E+01	1.2563E+02	3.50000E+01	1.2563E+02
* AXIAL CONDUCTION AREA (SQ.CM)	(1)	1.25663E+02	1.28222E+03	1.25663E+02	1.28222E+03
* THERMAL CONDUCTIVITY (CAL/CM.S.C)	(2)	7.61669E+02	7.61669E+02	7.61669E+02	7.61669E+02
* SPECIFIC HEAT (CAL/G.C)	(1)	1.00000E+03	1.00000E+03	1.00000E+03	1.00000E+03
* MESH WEIGHT (G)	(2)	3.70000E-01	1.3100E+04	3.70000E-01	1.3100E+04
* MESH LENGTH (CM)	(1)	1.36000E+04	1.00000E+01	9.36000E+04	1.00000E+01
	(2)	1.16667E+01	1.16667E+01	1.16667E+01	1.16667E+01

AXIAL PEAKING FACTOR IN ACTIVE CORE (CAVERAGE = 1.0)

REGION - CHANNEL		CORE (CAVERAGE = 1.0)									
1 - 1	0.124099	0.170034	0.230394	0.265229	0.352236	0.469755	0.420281	0.357653	0.848248	1.873255	2.324757
1 - 2	0.2526492	2.401608	2.191868	0.947675	0.805660	0.663484	0.537000	0.430048	0.346472	2.513683	
1 - 3	0.215517	0.396685	0.471869	0.632113	0.860663	0.816726	1.055983	1.338071	1.726126	1.975723	2.088705
2 - 1	0.145335	0.194399	0.27053	0.292005	0.399878	0.668688	1.079369	1.452874	0.377717	0.472608	0.725338
2 - 2	0.152612	1.92893	1.749169	0.754954	0.641838	0.529199	0.428954	0.344114	0.277230	2.054201	2.097096
2 - 3	0.236212	0.314194	0.421968	0.700526	0.678217	0.964018	1.000305	1.294336	1.547966	1.759698	1.961704
2 - 4	0.1929907	1.815437	1.648595	0.770616	0.654276	0.537561	0.434687	0.347600	0.278769	1.364083	1.830851
2 - 5	0.303810	0.399906	0.52450	0.03717	0.787582	1.072408	1.070767	1.345333	1.362043	1.728659	1.862043
2 - 6	1.818128	1.703213	1.544383	0.721916	0.613567	0.505218	0.492664	0.327674	0.262910	1.553133	1.699154
2 - 7	0.355328	0.461073	0.566916	0.62582	0.855772	1.130115	1.096486	1.395171	1.294336	1.786325	1.807564
2 - 8	1.759333	1.644056	1.491185	0.694264	0.590722	0.487179	0.316689	0.253457	0.316689	1.903347	
2 - 9	0.341767	0.445149	0.571192	0.654475	0.836663	1.113315	1.091675	1.352671	1.556256	1.706405	1.819901
2 - 10	1.772206	1.658111	1.103703	0.703053	0.598390	0.493285	0.400237	0.320790	0.257462	1.361297	1.747091
2 - 11	0.273340	0.362867	0.479957	0.59227	0.741429	1.031297	1.050227	1.361150	1.568044	1.861066	1.900110
2 - 12	1.859055	1.743936	1.181453	0.739063	0.627849	0.516334	0.418040	0.334511	0.268413	1.747091	1.726680
2 - 13	0.223578	0.302192	0.407848	0.485797	0.659059	0.936868	0.970856	1.261595	1.523519	1.757367	1.987520
2 - 14	1.960122	1.841338	1.678309	0.785034	0.666447	0.547492	0.442574	0.353764	0.283683	1.492074	1.700108
3 - 1	0.499980	0.647084	0.826499	0.910489	1.114256	1.354800	1.106557	1.309077	1.456684	1.567513	1.640571
3 - 2	1.591368	1.484497	1.383339	0.626707	0.534266	0.442522	0.360369	0.289498	0.231698	0.371093	0.423789
3 - 3	0.418207	0.544666	0.704113	0.792401	0.994894	1.258003	1.104267	1.317741	1.494757	1.627849	1.708231
3 - 4	1.679680	1.571186	1.24478	0.666777	0.567946	0.468237	0.380168	0.304881	0.244836	1.614962	1.687411
3 - 5	0.463579	0.604350	0.776759	0.669305	1.069304	1.325168	1.129831	1.327919	1.492074	1.614962	1.700108
3 - 6	1.651145	1.543438	1.98533	0.648828	0.552335	0.456518	0.371093	0.297681	0.231698	0.371093	0.423789
4 - 1	0.482661	0.625467	0.799572	0.882095	1.084378	1.330942	1.126646	1.314840	1.468816	1.583544	1.648959
4 - 2	1.85145E+06	2.26070E+05	1.63706E+05	4.23642E+04	1.63706E+05	4.2693E+04	1.61319E+05	1.65270E+05	1.53290E+05	1.53592E+05	1.71990E+05
4 - 3	1.05176E+06	1.41319E+05	1.24421E+05	4.38824E+05	1.36479E+05	1.34791E+05	1.34791E+05	1.34791E+05	1.34791E+05	1.34791E+05	2.96933E+02
4 - 4	1.38144E+03	5.76377E+02	1.77050E+02	1.38144E+03	5.76377E+02	1.77050E+02	1.38144E+03	5.76377E+02	1.77050E+02	1.38144E+03	5.76377E+02

RADIAL PEAKING FACTOR (P1 * P2)

REGION NO. (CN)	P1		P2 (N/I)		5	6	7
	1	2	3	4			
1	0.99930	0.27254	1.181863	1.012942	0.941370	1.054128	1.125320
2	1.049597	0.266671	1.111308	0.939515	0.941370	1.054128	1.125320
3	0.940986	0.933030	1.056889	1.011281			
4	0.867150	1.000000					

STEDY STATE POWER DISTRIBUTION (KCAL/S)

REGION - CHANNEL	1 - 1	0.250350	0.343016	0.464784	0.535196	0.710580	0.947655	0.847851	1.124277	1.711205	3.778993	4.689827	5.070956
1 - 2	5.096795	4.844863	4.421744	1.911783	1.625290	1.338474	1.083311	0.867553	0.698952	0.698952	3.778993	4.689827	5.070956
1 - 3	1.885318	2.560376	3.427668	5.329663	7.528996	7.144635	9.237638	11.705315	15.099986	17.283427	18.271790		
1 - 4	18.197501	17.218829	15.681376	7.335202	6.230561	5.116230	4.134328	3.304332	2.666939				
2 - 1	0.295472	0.395018	0.522599	0.593657	0.812968	1.359466	2.194400	2.953751	3.501680	3.917879	4.176271	4.263479	
2 - 2	4.173042	3.921109	3.556129	1.534852	1.304883	1.075882	0.872015	0.699986	0.563619				
2 - 3	2.040032	2.712830	3.643376	4.321665	5.855888	8.323565	8.636669	11.175605	13.36507	15.193655	16.433953	16.937624	
2 - 4	16.663279	15.674917	14.234361	6.653684	5.649171	4.641429	3.753394	3.001264	2.406954				
2 - 5	2.391450	3.147257	4.127868	4.751247	6.198262	8.439863	8.429823	10.58755	13.604522	14.406778	14.654254		
2 - 6	14.308650	13.404266	12.154278	5.681471	4.828766	3.976061	3.220900	2.58787	2.069102				
2 - 7	2.578464	3.365601	4.357194	4.909514	6.24611	8.249276	8.003800	9.880398	11.337102	12.402983	13.039282	13.194320	
2 - 8	12.842256	12.015390	10.884910	5.067791	4.311973	3.556118	2.888663	2.331671	1.850112				
2 - 9	2.499653	3.255783	4.221536	4.786776	6.120443	8.146688	7.94421	9.893317	11.382321	12.480502	13.139411	13.310598	
2 - 10	12.961764	12.131668	10.997958	5.142070	4.376573	3.607647	2.921298	2.446231	1.883027				
2 - 11	12.240289	2.971871	3.930841	5.930841	6.072960	6.072960	6.44302	8.601340	10.43049	12.842256	14.308650	15.561869	
2 - 12	15.225954	14.282811	12.952074	6.052934	5.142070	4.234226	3.43740	2.39638	2.198300				
2 - 13	1.954762	2.642094	3.565858	4.247316	5.762119	8.191137	8.488292	11.030257	13.320287	15.364842	16.773097	17.377096	
3 - 1	17.144540	16.149718	14.673634	6.863630	5.826118	4.786776	3.89472	3.92994	2.480274				
3 - 2	3.242863	4.205386	5.371396	5.917246	7.24133	8.808926	7.348121	8.507671	9.466965	10.187242	10.600675	10.662044	
3 - 3	10.342279	9.667221	8.762637	4.072939	3.472389	2.895942	2.342032	1.881442	1.505800				
3 - 4	3.075229	4.005130	5.177599	5.826818	7.315822	9.50558	8.120078	9.689831	10.991498	11.970171	12.561250	12.696908	
3 - 5	12.351304	11.535308	10.474707	4.90304	4.176317	3.443120	2.795516	2.241904	1.800371				
3 - 6	3.265473	4.257066	5.471525	6.078754	7.53229	9.34537	7.958581	9.353917	10.510237	11.375862	11.886193	11.979861	
4 - 1	3.098162	4.014820	5.132300	5.662091	6.966528	8.143200	7.231843	8.439842	2.096879	0.167569			
4 - 2	10.332589	9.654301	8.749317	4.063269	3.465729	2.868190	2.335249	1.875951	1.542621				

SAMPLE ANALYSIS (1979-11-20)

* CALCULATION RESULTS *

FLOWS AND PRESSURE DROPS SUMMARY

TIME = 0.0 (HR) TOTAL FLOW = 2431.80 (G/S) INLET COOLANT TEMP. = 400.0 (C) INLET COOLANT PRESS. = 40.00 (KG/CM2)
PLENUM TO PLENUM PRESSURE DROP = 0.600000 (KG/SQ.CM)

FLOW INFORMATION

REGION =	RADIAL CHANNEL NO.	PEAKING FACTOR	FLOW RATE (G/S)	RATIO TO AVERAGE FLOW	PERCENT OF TOTAL FLOW	ORIFICE DROP (KG/CM2)	PERCENT OF TOTAL DROP	ENTRANCE DROP (KG/CM2)	PERCENT OF TOTAL DROP	CHANNEL DROP (KG/CM2)	PERCENT OF TOTAL DROP
1 - 1	0.272529	68.05	1.287321	22.92	0.19715	24.64	0.0	0.0	0.0	0.60286	75.36
1 - 2	1.181780	228.88	1.082369	77.08							
1		296.93	1.123360	12.21							
2 - 1	0.274649	63.15	1.194600	4.57	0.24496	30.62	0.0	0.0	0.0	0.55504	69.38
2 - 2	1.166425	215.37	1.018474	15.59							
2 - 3	1.063180	220.48	1.042641	15.96							
2 - 4	0.986112	224.67	1.062487	16.26							
2 - 5	0.988059	224.72	1.062714	16.27							
2 - 6	1.10609	218.26	1.032152	15.80							
2 - 7	1.181132	214.79	1.015722	15.55							
2		1381.44	1.045254	56.81							
3 - 1	0.877967	195.92	0.926055	33.98	0.35919	44.90	0.0	0.0	0.0	0.44062	55.10
3 - 2	0.993388	189.39	0.895625	32.86							
3 - 3	0.951601	191.16	0.904009	33.17							
3		576.38	0.908563	23.70							
4 - 1	0.867150	177.05	0.837272	100.00	0.41962	52.45	0.0	0.0	0.0	0.38038	47.55
4				7.28							

* ORIFICE COEFFICIENT $1.23028E-02$ $7.06270E-04$ $5.94698E-03$ $7.36552E-02$

FLOW AND TEMPERATURE DISTRIBUTIONS

TIME = 0.0 (HR)	TOTAL FLOW = 2431.80 (G/S)	INLET COOLANT TEMP. = 400.0 (C)	MIXD MEAN OUTLET COOLANT = 1018.28 (C)				
REGION - CHANNEL NO.	MAXIMUM POWER (KCAL/S) (LOCATION)	UPPER REFLECTOR (C) (LOCATION)	LOWER REFLECTOR (C) (LOCATION)	HOT PLUMIN BLOCK (C) (LOCATION)	ACTIVE CORE (C) (LOCATION)	OUTLET COOLANT (C)	FLOW RATE (G/S)
1 - 1	5.09680 (5- 1)	400.2 (2- 3)	905.7 (2- 3)	906.3 (2- 2)	1033.7 (1- 2- 3)	905.7	68.05
1 - 2	18.27179 (4- 3)	400.6 (2- 3)	1052.2 (1- 1)	1052.2 (1- 1)	1149.4 (1- 5- 3)	1052.2	228.88
1 *	MIXD MEAN OUTLET COOLANT TEMP.					1018.6	
2 - 1	4.26348 (4- 3)	400.3 (2- 3)	949.1 (2- 3)	949.6 (2- 2)	1049.6 (1- 5- 3)	949.0	63.15
2 - 2	16.93782 (4- 3)	400.8 (2- 3)	1084.0 (1- 1)	1084.0 (1- 1)	1174.1 (1- 5- 3)	1084.0	215.37
2 - 3	14.65425 (4- 3)	400.9 (2- 3)	1006.9 (1- 1)	1006.9 (1- 1)	1086.5 (1- 5- 3)	1006.9	220.48
2 - 4	13.19432 (4- 3)	400.9 (2- 3)	954.1 (1- 1)	954.3 (2- 2)	1025.3 (1- 5- 3)	954.1	224.67
2 - 5	13.31060 (4- 3)	400.9 (2- 3)	955.1 (1- 1)	955.3 (2- 2)	1026.6 (1- 5- 3)	955.1	224.72
2 - 6	15.56187 (4- 3)	400.8 (2- 3)	1040.2 (1- 1)	1040.1 (1- 1)	1122.5 (1- 5- 3)	1040.1	218.26
2 - 7	17.37710 (4- 3)	400.7 (2- 3)	1094.6 (1- 1)	1094.5 (1- 1)	1187.2 (1- 5- 3)	1094.5	214.79
2 *	MIXD MEAN OUTLET COOLANT TEMP.					1018.5	
3 - 1	10.66204 (4- 3)	401.3 (2- 3)	965.7 (1- 1)	965.8 (2- 2)	1026.0 (1- 5- 3)	965.7	195.82
3 - 2	12.69691 (4- 3)	401.3 (2- 3)	1061.9 (1- 1)	1061.9 (1- 1)	1134.1 (1- 5- 3)	1061.9	189.39
3 - 3	11.97916 (4- 3)	401.4 (2- 3)	1028.1 (1- 2)	1028.1 (1- 1)	1102.8 (1- 5- 3)	1028.1	191.16
3 *	MIXD MEAN OUTLET COOLANT TEMP.					1018.0	
4 - 1	10.64912 (4- 3)	401.3 (2- 3)	1017.4 (1- 1)	1017.1 (1- 1)	1081.2 (1- 5- 3)	1017.3	
4 *	MIXD MEAN OUTLET COOLANT TEMP.					1017.3	

TEMPERATURE DISTRIBUTION FOR HOT REFUELING REGION

TIME = 0.0 (HR) REGION = 2 CHANNEL(COLUMN) = 7 REGION FLOW = 1381.44 (G/S) CHANNEL FLOW = 214.7855 (G/S)

LOCATION- (SEGMENT- POSITION)	DISTANCE FROM CHANNEL ENTRANCE (CM)	COOLANT TEMPERATURE (C)	STRUCTURAL MEAN TEMPERATURE (C)	ACTIVE CORE TEMPERATURE (C)	
				STRUCTURAL POSITION	LOCATION- (SEGMENT- POSITION)
(1, 1)	19,000	400.00	400.00	(1, 1)	437.72
(1, 2)	38,000	400.00	400.00	(1, 2)	461.40
(1, 3)	57,000	400.00	400.00	(1, 3)	489.72
(2, 1)	76,000	400.00	400.00	(2, 1)	516.38
(2, 2)	95,000	400.01	400.01	(2, 2)	561.47
(2, 3)	114,000	400.09	400.72	(1, 1)	422.20
(3, 1)	133,000	406.90	408.75	(1, 2)	439.67
(3, 2)	152,000	416.93	419.40	(1, 3)	461.12
(3, 3)	171,000	430.45	433.66	(2, 1)	483.10
(4, 1)	190,000	446.57	473.15	(2, 2)	518.00
(4, 2)	209,000	468.45	505.65	(2, 3)	628.37
(4, 3)	228,000	499.48	537.58	(3, 1)	663.28
(5, 1)	247,000	531.68	580.50	(3, 2)	740.04
(5, 2)	266,000	573.51	631.52	(3, 3)	819.97
(5, 3)	285,000	624.00	689.81	(4, 1)	902.41
(6, 1)	304,000	682.21	752.89	(4, 2)	980.16
(6, 2)	323,000	745.74	817.83	(4, 3)	1048.82
(6, 3)	342,000	811.53	881.89	(5, 1)	1106.59
(7, 1)	361,000	876.42	942.48	(5, 2)	1152.77
(7, 2)	380,000	937.52	997.30	(5, 3)	1187.18
(7, 3)	399,000	992.90	1020.72	(6, 1)	1110.98
(8, 1)	418,000	1018.79	1042.61	(6, 2)	1118.64
(8, 2)	437,000	1040.82	1060.38	(6, 3)	1122.80
(8, 3)					

(9, 1)	456,000	1058,91	1074,72	(7, 1)	1125,17	1105,75	1058,85
(9, 2)	475,000	1073,54	1086,17	(7, 2)	1126,49	1111,00	1073,48
(9, 3)	494,000	1085,22	1095,32	(7, 3)	1127,33	1115,00	1085,25
(10, 1)	513,000	1094,53	1094,57				
(10, 2)	532,000	1094,54	1094,54				
(10, 3)	551,000	1094,54	1094,54				
(11, 1)	570,000	1094,54	1094,54				
(11, 2)	589,000	1094,54	1094,54				
(11, 3)	608,000	1094,54	1094,54				
(12, 1)	627,000	1094,54	1094,54				
(12, 2)	637,000	1094,53	1094,53				
(12, 3)	647,000	1094,53	1094,53				
(13, 1)	657,000	1094,53	1094,53				
(13, 2)	668,667	1094,53	1094,35				
(13, 3)	680,333	1094,53	1094,35				
	692,000	1094,53	1094,35				

TEMPERATURE DISTRIBUTION OF EACH REFUELING REGION

STEP	0	TIME	0.0 (HR)	TOTAL FLOW	2431.80 (G/S)	INLET COOLANT TEMP	400.0 (C)	INLET COOLANT PRES	40.00 (KG/CM2)
REGION NO.	1	---	CHANNEL NO.	1	---	REGION FLOW	296.9332 (G/S)	CHANNEL NO.	1
REGION FLOW	296.9332 (G/S)	CHANNEL FLOW	68.0545 (G/S)	REGION FLOW	296.9332 (G/S)	CHANNEL NO.	2	CHANNEL FLOW	228.8787 (G/S)
LOCATION (SEGMENT-POSITION)	COOLANT TEMP. (C)	STRUCTURAL TEMP. (C)	ACTIVE CORE TEMPERATURE (C) STRUCTURAL NO. (FROM INSIDE)	1	2	3	LOCATION (SEGMENT-POSITION)	COOLANT TEMP. (C)	STRUCTURAL TEMP. (C)
(1, 1)	400.00	400.00	408.20	400.17	415.67	408.20	(1, 1)	400.00	400.00
(1, 2)	400.00	400.00	416.41	402.57	428.04	416.41	(1, 2)	400.00	400.00
(1, 3)	400.00	400.00	425.47	406.69	441.04	425.47	(1, 3)	400.00	400.00
(2, 1)	400.00	400.00	433.93	412.24	451.69	433.93	(2, 1)	400.00	400.00
(2, 2)	400.01	400.04	447.46	418.72	470.64	447.46	(2, 2)	400.01	400.01
(2, 3)	400.03	400.22	465.54	427.28	495.75	465.54	(2, 3)	400.08	400.08
(3, 1)	402.48	401.40	499.80	472.86	529.08	499.80	(3, 1)	406.26	408.15
(3, 2)	406.61	404.62	529.33	494.22	545.33	529.33	(3, 2)	415.38	417.94
(4, 1)	412.19	409.45	548.21	512.71	562.15	548.21	(4, 1)	427.71	442.41
(4, 2)	418.60	415.42	562.71	531.81	582.82	562.71	(4, 2)	446.25	508.80
(4, 3)	427.14	422.91	582.38	551.57	593.39	582.38	(4, 3)	462.10	467.01
(5, 1)	438.49	432.82	593.40	563.10	616.34	593.40	(5, 1)	549.53	549.53
(5, 2)	448.63	443.42	611.98	589.71	645.75	611.98	(5, 2)	567.20	572.00
(5, 3)	462.15	455.33	627.15	606.07	653.52	627.15	(5, 3)	585.26	622.08
(6, 1)	482.82	472.38	642.57	613.71	670.93	642.57	(6, 1)	595.57	595.57
(6, 2)	528.34	505.07	657.91	637.32	682.71	657.91	(6, 2)	614.54	651.64
(6, 3)	584.55	554.52	686.40	656.08	719.55	686.40	(6, 3)	664.41	589.04
(7, 1)	645.20	611.98	710.01	689.71	754.79	710.01	(7, 1)	703.98	713.16
(7, 2)	706.09	672.15	765.93	749.52	804.52	765.93	(7, 2)	766.90	777.40
(7, 3)	763.92	731.35	806.07	789.52	849.52	806.07	(7, 3)	833.53	840.92
(8, 1)	816.53	786.35	1033.71	937.68	763.59	1033.71	(8, 1)	894.67	900.79
(8, 2)	838.98	825.08	934.49	890.87	815.08	934.49	(8, 2)	950.23	955.13
(8, 3)	858.33	847.11	938.58	901.74	838.76	938.58	(8, 3)	955.13	1149.40
(9, 1)	874.26	865.00	940.11	909.87	858.15	940.11	(9, 1)	970.20	978.36
(9, 2)	887.15	879.64	940.31	915.88	874.10	940.31	(9, 2)	986.31	1000.27
(9, 3)	897.48	891.45	939.96	920.42	887.02	939.96	(9, 3)	1016.46	1018.05
(10, 1)	905.75	900.99	939.64	924.01	897.47	939.64	(10, 1)	1088.86	1088.86
(10, 2)	905.68	905.13	945.20	915.08	905.67	945.20	(10, 2)	1070.64	1072.29
(10, 3)	905.67	905.58	950.79	920.58	905.67	950.79	(10, 3)	1096.66	1104.03
(11, 1)	905.67	905.65	955.67	925.47	905.67	955.67	(11, 1)	1073.03	976.51
(11, 2)	905.67	905.67	960.67	930.47	905.67	960.67	(11, 2)	1028.45	833.47
(11, 3)	905.67	905.70	965.67	935.47	905.67	965.67	(11, 3)	1149.40	1070.51
(12, 1)	905.68	905.68	970.72	940.52	905.68	970.72	(12, 1)	1070.64	1072.17
(12, 2)	905.67	905.68	975.72	945.52	905.67	975.72	(12, 2)	1095.17	1095.17
(12, 3)	905.69	906.02	980.72	950.52	905.69	980.72	(12, 3)	1052.17	1052.17
(13, 1)	905.69	906.25	985.72	955.52	905.69	985.72	(13, 1)	1052.17	1052.17
(13, 2)	905.70	906.27	990.72	960.52	905.70	990.72	(13, 2)	1052.16	1051.96
(13, 3)	905.70	906.27	995.72	965.52	905.70	995.72	(13, 3)	1052.16	1051.96

*** SAMPLE ANALYSIS (1979-11-20)

* CALCULATION RESULTS *

FLOWS AND PRESSURE DROPS SUMMARY

TIME = 0.0433334 (HR) TOTAL FLOW = 243.18 (G/S) INLET COOLANT TEMP. = 379.0 (C) INLET COOLANT PRESS. = 38.60 (KG/CM2)
PLENUM TO PLENUM PRESSURE DROP = 0.021739 (KG/S0.CM)

*** FLOW INFORMATION ***

REGION = CHANNEL NO.	RADIAL PEAKING FACTOR	FLOW RATE (G/S)	RATIO TO AVERAGE FLOW	PERCENT OF TOTAL FLOW	ORIFICE DROP (KG/CM2)	PERCENT OF TOTAL DROP	ENTRANCE DROP (KG/CM2)	PERCENT OF TOTAL DROP	CHANNEL DROP (KG/CM2)	PERCENT OF TOTAL DROP
1 - 1	0.272529	6.96	1.317214	24.11	0.00167	8.62	0.0	0.0	0.01987	91.38
1 - 2	1.161780	21.92	1.036801	75.59						
		28.89	1.092883	11.88						
2 - 1	0.274649	6.36	1.202304	4.67	0.00239	10.98	0.0	0.0	0.01935	89.02
2 - 2	1.166425	20.68	0.978064	15.19						
2 - 3	1.063180	21.78	1.029865	16.00						
2 - 4	0.986112	22.71	1.073909	16.69						
2 - 5	0.988059	22.73	1.074940	16.70						
2 - 6	1.106409	21.30	1.007088	15.65						
2 - 7	1.181132	20.57	0.972622	15.11						
2		136.12	1.029930	55.97						
3 - 1	0.877967	20.67	0.977332	34.84	0.00382	17.57	0.0	0.0	0.01792	82.43
3 - 2	0.993388	19.14	0.905173	32.27						
3 - 3	0.951601	19.52	0.922905	32.90						
3		59.32	0.935137	24.39						
4 - 1	0.867150	18.85	0.891422	100.00	0.00478	21.97	0.0	0.0	0.01696	78.04
4		18.85	0.891422	7.75						

* ORIFICE COEFFICIENT

¹ 1.23028E-02 ² 7.06270E-04 ³ 5.94898E-03 ⁴ 7.36552E-02

FLOW AND TEMPERATURE DISTRIBUTIONS

	TOTAL FLOW = 243.18 (G/S)	INLET COOLANT TEMP. = 379.0 (C)	MIXD MEAN OUTLET COOLANT = 1018.96 (C)				
REGION = CHANNEL NO.	MAXIMUM POWER (KCAL/S)	UPPER REFLECTOR (C) (LOCATION)	LOWER REFLECTOR (C) (LOCATION)	HOT PLENUM BLOCK (C) (LOCATION)	ACTIVE CORE (C) (LOCATION)	OUTLET COOLANT (C)	FLOW RATE (G/S)
1 - 1	0.20547 (5- 1)	400.3 (2- 3)	905.7 (2- 3)	906.3 (2- 3)	907.0 (1- 7- 3)	905.7	6.96
1 - 2	0.73661 (4- 3)	401.0 (2- 3)	1052.3 (1- 1)	1052.2 (1- 1)	1056.6 (1- 7- 3)	1054.7	21.92
1 * *	MIXD MEAN OUTLET COOLANT TEMP.					1018.8	
2 - 1	0.17188 (4- 3)	400.3 (2- 3)	949.1 (2- 3)	949.6 (2- 3)	949.3 (1- 7- 3)	949.0	6.36
2 - 2	0.68283 (4- 3)	401.1 (2- 3)	1084.1 (1- 1)	1084.0 (1- 1)	1087.8 (1- 7- 3)	1086.5	20.68
2 - 3	0.59077 (4- 3)	401.3 (2- 3)	1009.0 (1- 1)	1008.9 (1- 1)	1012.5 (1- 7- 3)	1010.9	21.78
2 - 4	0.53192 (4- 3)	401.4 (2- 3)	954.2 (1- 1)	954.3 (2- 2)	957.7 (1- 7- 3)	955.9	22.71
2 - 5	0.53660 (4- 3)	401.3 (2- 3)	955.2 (1- 1)	955.3 (2- 2)	958.7 (1- 7- 3)	956.9	22.73
2 - 6	0.62736 (4- 3)	401.2 (2- 3)	1040.1 (1- 1)	1040.1 (1- 1)	1043.8 (1- 7- 3)	1042.4	21.30
2 - 7	0.70054 (4- 3)	401.1 (2- 3)	1094.7 (1- 1)	1094.5 (1- 1)	1098.4 (1- 7- 3)	1097.2	20.57
2 * *	MIXD MEAN OUTLET COOLANT TEMP.					1019.3	
3 - 1	0.42983 (4- 3)	402.0 (2- 3)	965.7 (1- 1)	965.8 (2- 2)	968.5 (1- 7- 3)	967.3	20.67
3 - 2	0.51186 (4- 3)	401.9 (2- 3)	1062.0 (1- 1)	1061.9 (1- 1)	1064.9 (1- 7- 3)	1064.2	19.14
3 - 3	0.48296 (4- 3)	402.0 (2- 3)	1028.1 (1- 1)	1028.1 (1- 1)	1031.4 (1- 7- 2)	1027.0	19.52
3 * *	MIXD MEAN OUTLET COOLANT TEMP.					1018.2	
4 - 1	0.42931 (4- 3)	402.1 (2- 3)	1017.5 (1- 1)	1017.1 (1- 1)	1020.2 (1- 7- 3)	1019.3	18.85
4 * *	MIXD MEAN OUTLET COOLANT TEMP.					1019.3	

TEMPERATURE DISTRIBUTION FOR HOT REFUELING REGION

TIME = 0.0433334 (HR) REGION = 2 CHANNEL (COLUMN) = 7 REGION FLOW = 136.12 (G/S) CHANNEL FLOW = 20,5672 (G/S)

LOCATION (SEGMENT- POSITION)	DISTANCE FROM CHANNEL (CM)	COOLANT TEMPERATURE (C)	MEAN TEMPERATURE (C)	STRUCTURAL POSITION)	LOCATION (SEGMENT- POSITION)			ACTIVE CORE TEMPERATURE (C) STRUCTURAL NUMBER (FROM INSIDE)
					1	2	3	
(1, 1)	19.000	381.83	399.97					
(1, 2)	38.000	384.28	399.98					
(1, 3)	57.000	386.40	399.99					
(2, 1)	76.000	388.24	400.11					
(2, 2)	95.000	389.84	401.08					
(2, 3)	114.000	391.36						
(3, 1)	133.000	418.05	408.90	(1, 1)	414.47	406.46		
(3, 2)	152.000	427.01	421.25	(1, 2)	433.38	432.09	416.96	
(3, 3)	171.000	445.10	435.88	(1, 3)	451.67	449.38	430.39	
(4, 1)	190.000	463.29	453.18	(2, 1)	471.24	469.10	446.82	
(4, 2)	209.000	491.34	477.01	(2, 2)	499.99	496.69	469.00	
(4, 3)	228.000	510.87	500.87	(2, 3)	500.43	536.42	500.34	
(5, 1)	247.000	560.17	543.40	(3, 1)	571.92	568.12	533.42	
(5, 2)	266.000	614.00	587.77	(3, 2)	620.46	615.48	576.42	
(5, 3)	285.000	667.58	640.38	(3, 3)	674.65	669.50	628.48	
(6, 1)	304.000	730.86	699.88	(4, 1)	733.58	727.96	688.25	
(6, 2)	323.000	795.28	763.90	(4, 2)	794.91	789.53	753.23	
(6, 3)	342.000	860.17	829.14	(4, 3)	856.18	850.95	819.91	
(7, 1)	361.000	922.51	893.04	(5, 1)	919.67	911.02	885.36	
(7, 2)	380.000	979.55	952.86	(5, 2)	971.23	967.05	946.68	
(7, 3)	399.000	1029.06	1005.92	(5, 3)	1020.60	1017.15	1001.00	
(8, 1)	418.000	1025.84	1025.47	(6, 1)	1032.16	1031.30	1023.12	
(8, 2)	437.000	1061.54	1046.06	(6, 2)	1051.44	1049.52	1044.35	
(8, 3)			1063.61	(6, 3)	1067.83	1067.24	1062.14	

(9, 1)	456,000	1066.84	1077.00	(7, 1)	1080.32	1079.07	1075.95
(9, 2)	475,000	1084.98	1088.27	(7, 2)	1090.86	1090.54	1087.37
(9, 3)	494,000	1091.72	1096.43	(7, 3)	1098.44	1097.61	1095.80
(10, 1)	513,000	1100.23	1094.68				
(10, 2)	532,000	1099.56	1094.56				
(10, 3)	551,000	1098.96	1094.55				
(11, 1)	570,000	1098.43	1094.54				
(11, 2)	589,000	1098.11	1094.54				
(11, 3)	608,000	1097.83	1094.54				
(12, 1)	627,000	1097.56	1094.52				
(12, 2)	637,000	1097.45	1094.50				
(12, 3)	647,000	1097.33	1094.45				
(13, 1)	657,000	1097.22	1094.36				
(13, 2)	668,667	1097.20	1094.35				
(13, 3)	680,333	1097.18	1094.35				
	692,000	1097.16					

** CALCULATION TIME ** 99 (SEC)