

J A E R I - M
89-187

SATCAP-B：飽和温度キャプセル
熱設計用プログラム

1989年11月

原山 泰雄・染谷 博之・新見 素二

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。

入手の問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費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 Division Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokaimura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1989

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 ニッセイエプロ株式会社

SATCAP-B : 飽和温度キャプセル熱設計用プログラム

日本原子力研究所大洗研究所材料試験炉部

原山 泰雄・染谷 博之・新見 素二

(1 9 8 9 年10月17日受理)

JMTR では照射技術向上の一つとして, " 飽和温度キャプセル" の開発を進めている。これは, キャプセル内に水を注入しその供給水を沸騰させる型式のキャプセルである。供給水圧力を一定に保持すると, キャプセル内の供給水温度は飽和温度以上にならない。この水の特性を試料の照射温度制御に利用しようという構想に基づく。

内部に水を注入する型式のキャプセルの設計に当たっては, 内部の熱挙動を可能な限り正確に把握することが必要である。そこで, この型のキャプセルの熱挙動を把握する設計用プログラム (SATCAP) が作成された。

一方, 飽和温度型式のキャプセルが製作され, 照射試験に供された。そこで得られた測定温度データは, 初期のプログラムに組み込みの熱伝達係数の評価モデルを自然対流によるモデルとした方が良いことを示した。そこで, 熱伝達係数の評価法に自然対流によるモデルを加え, 先に作成されたプログラムが修正された。

この報告書は, 修正された計算機プログラム SATCAP-B についての報告である。

SATCAP-B; A Program for Thermal-Hydraulic Design of
"Saturated Temperature Capsule"

Yasuo HARAYAMA, Hiroyuki SOMEYA and Motoji NIIMI

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

(Received October 17, 1989)

As an advanced irradiation technique, the JMTR (Japan Materials Testing Reactor) project is developing a "Saturated Temperature Capsule" which water is injected in and boiled. When the water is kept at a constant pressure, the water temperature does not become higher than the saturated temperature. This type capsule is based on the conception of keeping the coolant to the saturated temperature and using the temperature control.

In designing the capsule in which the inner coolant is injected, thermal performances have to be understood as exactly as possible. Then, a program (named SATCAP) was compiled to grasp the thermal performances within the capsule.

On the other hand, a "Saturated Temperature Capsule" was made and irradiated in the JMTR core. It was indicated from supplied water temperatures recorded by thermo-couples attached in the capsule that heat transfer coefficients preferred models due to natural convection to models incorporated in the initial version of the program. Then, the program was revised by adding mainly heat transfer model based on natural convection.

The present report describes the calculation procedure and guides of input and output for the revised program (SATCAP version-B).

Keywords: SATCAP, JMTR, Program, Saturated Temperature Capsule,
Design, Temperature control

目 次

1. はじめに	1
2. "飽和温度キャプセル"の構造と機能	3
2.1 "飽和温度キャプセル"とは	3
2.2 計算対象としての"飽和温度キャプセル"の構造と機能	3
3. 計算手法	6
3.1 プログラムにおけるキャプセルの取扱い	6
3.2 計算手法	6
3.2.1 計算手法の概略	6
3.2.2 供給水の温度および状態変化	7
3.2.3 キャプセル外筒の温度分布	11
3.2.4 仕切板, 導水管および試料温度について	13
3.2.5 熱伝達係数の評価	15
4. プログラム構成	27
4.1 構成サブルーチン	27
4.1.1 水の物性値について	27
4.1.2 ガンマ加熱率について	28
4.2 プログラム上の処理の流れ	28
5. 入力について	36
5.1 入力方法	36
5.2 入力変数の説明	36
6. 出力について	47
6.1 第3グループ出力	47
6.2 第4および第5グループ出力	48
6.3 第6グループ出力	48
謝 辞	60
参考文献	60

Contents

1. Introduction	1
2. Structure and Functions of "Saturated Temperature Capsule"	3
2.1 Conception of "Saturated Temperature Capsule"	3
2.2 Structure and Functions of "Saturated Temperature Capsule"	3
3. Calculation Method	6
3.1 Basic Assumptions	6
3.2 Calculation Method	6
3.2.1 Outline of Calculation Procedure	6
3.2.2 Temperature and Steam Quality of Capsule Inner Coolant	7
3.2.3 Temperature Distribution of Capsule Outer Tube	11
3.2.4 Temperature of Baffle Plate, Coolant Supply Tube and Specimen	13
3.2.5 Heat Transfer Coefficient Evaluation	15
4. Constructure of Program	27
4.1 Incorporated Subroutines	27
4.1.1 Properties of Water and Steam	27
4.1.2 Gamma Heating Rate	28
4.2 Flow of Calculations	28
5. Guide to Input	36
5.1 Input Method of Data	36
5.2 Explanation of Input Variables	36
6. Guide to Output	47
6.1 Third Group Output	47
6.2 Fourth and Fifth Group Output	48
6.3 Sixth Group Output	48
Acknowledgments	60
References	60

1. はじめに

JMTRを利用した照射技術向上の一つとして、“飽和温度キャプセル(Saturated Temperature Capsule)”の開発が進められている。これはキャプセル内に水を注入する型式のキャプセルである。注入した供給水はキャプセル内で沸騰することが許される。キャプセル内への供給水の圧力を一定に保つとき、供給水は一定の飽和温度に保たれる。試料等の発熱は主として供給水の潜熱で吸収されるが、そのときの試料表面温度は一定に維持される。すなわち、試料の照射中の温度は圧力を調整することにより制御される。供給水にかかる圧力は、キャプセル強度設計から制約されるが、軽水炉(LWR)の条件、約75気圧、300℃程度までは充分実現可能である。このキャプセルは、軽水炉条件の材料照射に有力な手段を提供できる。

この型式の内部に水を注入するキャプセルは外筒表面の原子炉冷却水と内部の供給水の二つのヒート・シンクを持ち、その熱挙動はかなり複雑である。キャプセルの設計に際しては、キャプセル内の熱挙動を可能な限り正確に把握することが必要である。例えば、供給水をキャプセル下部より上方へ一方向(one through)で流し、かつ照射試料部を飽和温度に保とうとすると、

- 1) 必要な供給水の流量が、これに対応する排水処理の点で施設の能力を越える。
- 2) キャプセル下部部分に装荷する試料の温度は軽水炉条件の温度以下となる。

等のことが予想された。

プログラムSATCAPは、飽和温度型式のキャプセルの熱挙動を評価する設計用として作成された¹⁾。プログラムの計算目的は、飽和温度キャプセル内部の供給水の状態、温度等の熱的な状態を算出し、キャプセルの全体的な状態を把握し、キャプセルの設計に利用することである。

この型式のキャプセルの一体がJMTR第83サイクル(昭和63年10月12日より出力上昇開始)に装荷され、照射された。この照射試験により、キャプセル内温度分布に関するデータが得られた。そのデータは、キャプセル内供給水温度が未飽和温度状態で試料温度は十分に照射目標温度を達成すること。内部状態も安定であることを示した。炉内で照射した実機キャプセルの測定温度のプログラムによる熱解析の結果、プログラムの基本計算手法等については、誤りがないことが確認されたが、キャプセル各部の熱伝達係数の評価は実際の係数より高めになる場合があることが分かった²⁾。すなわち、測定温度とプログラム組込みの熱伝達係数評価モデルを使用した熱解析結果の比較は、JMTRの低出力(～10MW)までは、きわめて良い一致を示すが、高出力状態になると、熱伝達係数を高めに評価する傾向をもつことが分かった。この理由は、供給水流量が小さいことから、キャプセル内の流速も小さく、キャプセル内の熱伝達は自然対流によるためと考えられた。もちろん、先のモデルを修正して使用することも可能であるが、自然対流熱伝達係数を評価するモデルを追加することが必要であると判断された。

そこで、主として熱伝達係数の評価法にモデルの追加等プログラムの修正を行った。主要な追加、修正点は次のような点である。

- 1) 熱伝達係数の算出として、自然対流による熱伝達、また蒸気の凝縮による熱伝達の評価モデルを追加した。

- 2) 試料表面温度が飽和温度に達したら、沸騰熱伝達モデルにより温度を評価する。
- 3) 試料ホルダーの上下の支持具等、発熱に寄与する部材をも計算の考慮範囲内とし、かつ、プログラム出力に、計算対象キャプセル各部の重量、発熱率のリストを追加した。
- 4) プログラムの原バージョンでは、供給水流量、供給水入口温度は、一定値として与えることにしていたが、使用性能の向上を目的に、照射履歴に応じて入力履歴データで与えられるようにした。

今回のプログラム修正は、主として仕切板を有するタイプのキャプセルについて実施した。他のタイプのキャプセルについて同様に取扱う場合には、プログラムの再見直しが必要と考えられる。

なお、照射データの解析は、キャプセル下部端栓の発熱が上昇流供給水の温度に影響を与えているのではないかと想定される事象があるが、この件に関する修正等は実施していない。今後の課題としたい。

この報告書は、修正した計算機プログラムSATCAP-Bについての報告である。

2. “飽和温度キャプセル”の構造と機能

2.1 “飽和温度キャプセル”とは

“飽和温度キャプセル”とはキャプセル内に水を供給するタイプのキャプセルである。キャプセル内の試料等の発熱の大部分を供給水の沸騰潜熱で吸収し、その際沸騰中は供給水の温度が飽和温度に保たれることから、これを試料の照射温度の制御に利用しようとの構想に基づいている。飽和温度は、キャプセル内の供給水圧力を変化させることにより制御可能である。この結果、試料の照射温度を制御することができる。なお、試料の照射温度をある範囲に保持しなければならない照射装置としてのキャプセルでは、試料を装荷した部分の温度を軸方向に可能な限り広い範囲にわたって同一に維持することも必要である。

2.2 計算対象としての“飽和温度キャプセル”の構造と機能

計算対象として考えているキャプセルの内部構造をFig. 1 (a), 1 (b)に示す。計算上考えている構造の要点は以下の通りである。

- (1) キャプセルの外筒構造は、一重管タイプと二重管タイプのどちらでもよい。また、部分的に一重ないし二重管の箇所があってもよい。二重管タイプの場合には、外管と内管の間にギャップ(gap: 間隙)があるとする。このギャップは、ヘリウム・ガスで満たされている。このガスが封入された空間は、真空温度制御装置に接続されており、真空に引くことも可能である。すなわち、ギャップにおける熱伝達を低下させキャプセル内を高温に保持することができる。
- (2) このキャプセルの熱挙動上の特徴の1つは、温度分布によっては外筒で発生した熱の一部が供給水の加熱に使われる場合があることにある。そこで、二重管タイプの場合には、内外管間のギャップに熱媒体を挿入し、可能な限り熱を原子炉冷却水に逃がすような機能をも想定する。
- (3) キャプセル中に供給される水の流れとして、i) キャプセル下方から一方的に上方へ流れる単流(single flow), ii) 供給水が上方から下方へ供給管で送水されるもの、iii) キャプセル中に仕切り板を持ち上方から下方に一旦流れた後、下端で上方に折返す復流(return flow), を考える (Fig. 1 (b)参照)。
- (4) キャプセルの内部の発熱体として、照射試料およびヒータを考える。ヒータは供給水を加熱し温度制御に利用できるとする。実機の飽和温度キャプセルでヒータを利用する可能性は少ないが、ヒート・バランス上どの程度の発熱体が必要か等を知るためプログラムではヒータをも考慮した。

試料の照射に際しては、キャプセル内の試料はガンマ発熱する。全く同様にキャプセル外筒の構造材もガンマ発熱する。これ等の発熱は供給水の加熱に使われ温度にきわめて大き

な影響を与えることが予想される。特に、キャプセル内の装荷物の発熱は供給水の加熱に使われる。そこで、照射試料用のスぺーサならびにホルダーの発熱をも計算対象の一部として考慮する。

(5) キャプセルの熱設計を目的としたこのプログラムでは、供給水の流量を算定することは重要な事項である。そこで、この流量制御に関しキャプセルは次のような機能を持つとしている。

- ① キャプセル内への供給水流量を一定とする。
- ② キャプセル内への供給水流量を一定とするが、上部の蒸気含有率を考慮して最適流量とする。また、下部装荷の試料温度が低い場合下端側のヒータの出力を調整する。
- ③ キャプセル下方より上方へ一方に供給水が流れる単流の場合、蒸気含有率を考慮して供給水を軸方向に多段に配分供給する。

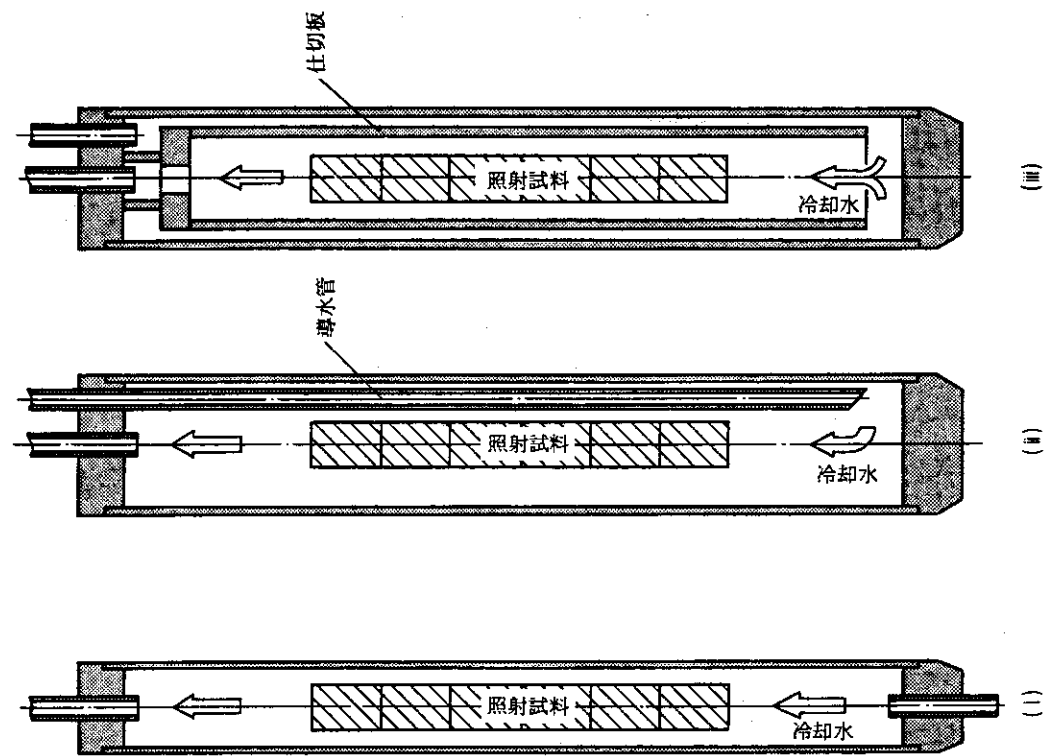


Fig. 1 (b) Schematic diagram of saturated temperature capsule (2)

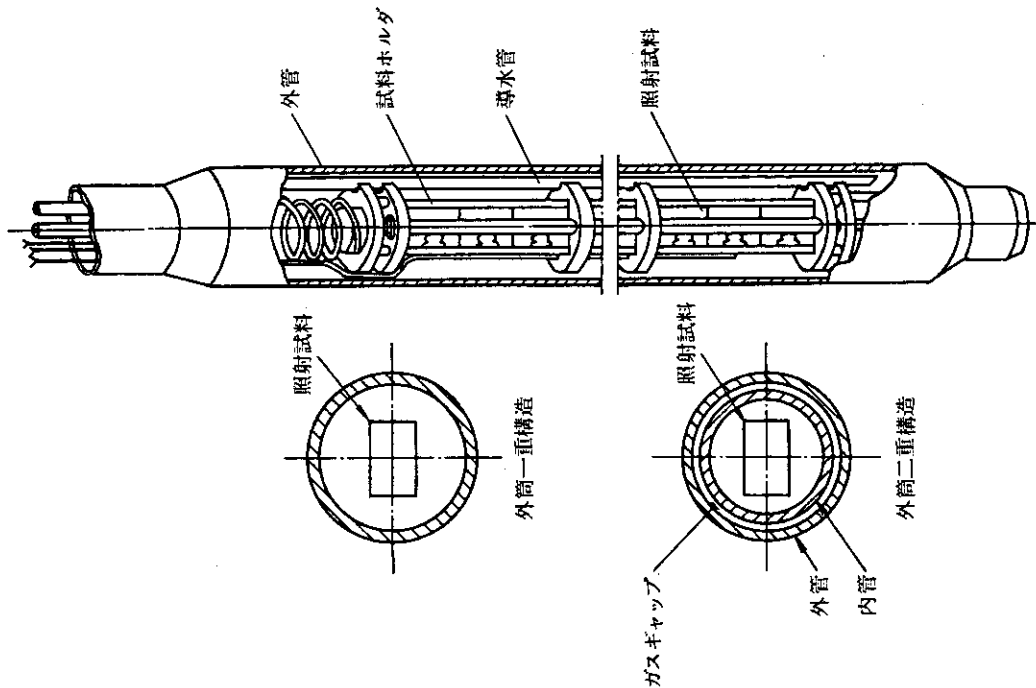


Fig. 1 (a) Schematic diagram of saturated temperature capsule (1)

3. 計算手法

3.1 プログラムにおけるキャプセルの取扱い

計算対象として考えているキャプセルの構造は、第2.1節および第2.2節で述べた通りであるので省略する。

- (1) プログラムは、Fig. 2に示す如くキャプセルを軸方向に任意の個数に分割する。分割点をプログラムでは節点(node)と言い、分割した節点間のキャプセルの部分をセクション(section)と呼ぶ。プログラムではセクション番号として、上側の節点番号を採用する。今、あるセクションLを考えた時、下側の節点番号はL-1、上側の節点番号はLとなる。このプログラムでは、セクション番号1は欠番とする。
- (2) プログラムは、原子炉の出力履歴に従ってキャプセルの状態の変化を計算する。すなわち、原子炉の出力の上昇、定常、下降等の状態変化を含む時刻の進行をタイム・ステップ(time step)に切って計算を進める。
- (3) プログラムは、原子炉の出力履歴に従って計算するが、計算は常にその時刻点で熱平衡が成立しているとの仮定にたっている。具体的に言うと、プログラム内の計算は、飽和温度キャプセルを計算上分割したセクション内のヒート・バランスに基づいて温度を計算する。
- (4) キャプセル熱挙動の特徴は、i) 冷却部が外筒外表面を流れる原子炉冷却水とキャプセル内部を流れる供給水の二面にある、ii) キャプセル外筒材自身で発生した熱が内側に流れ込み供給水の加熱に使われることがあるため、外筒の熱発生および温度分布を無視できないことである。そのため、外筒の温度分布から熱の流れを計算し、この熱量をヒート・バランスにおいて考慮する。
- (5) 供給水温度は、分割した節点における評価値とする。

3.2 計算手法

3.2.1 計算手法の概要

このプログラムでは供給水の流れについて、供給水が下部から上方に一方向的に(one through)流れる単流(single flow)、供給水を導水管によって上方から下方に導き下方で注水するもの、および上側から仕切板(baffle plate)の外側を通過して一旦下方に流れ、下部で折返し仕切板の内側を上向きに流れる復流(return flow)の三つのタイプを扱うことができる。しかし、復流などの計算は単流の計算法に基礎をおいている。そこで、ここでの計算手法の概要の説明は、まず単流について行い、その後、復流などの取扱いについて簡単に補足説明を加える。

単流についての主要な計算手順は次の通りである。

- 1) セクションLの下側の節点温度 T_{L-1} は既知とする。なお、ここで、セクション2の下端、すなわち節点1の供給水温度は供給水の供給時温度として入力値で与える。

- 2) 上側の節点の供給水温度 T_i^* を仮定する。
- 3) セクションの内に含まれる試料、ヒータ等の発熱を算出する。このときガンマ加熱率の算出には、上、下節点のガンマ線相対強度の中間値をとる。
- 4) 上、下節点温度（上側は2)の仮定値）の中間値を

$$T_{iic} = (T_i^* + T_{L-1}) / 2 \quad (1)$$

と定める（脚注参照）。これをそのセクションのキャプセル内の供給水温度とする。外筒表面での原子炉冷却水温度と、上式で与えられる内部の供給水温度を境界条件とし、外筒の温度分布を求める。これから、外筒で発生した熱のうち供給水の加熱に寄与する熱量が算出される。（詳細は、第3.2.3節に述べる）。

5) 供給水に加えらるる熱量が3), 4)により計算されるので、供給水のエンタルピー上昇から温度 T_L を求める。飽和温度に達していれば、蒸気発生量、そしてその蒸気含有率等などが求められる。

6) 先の5)で求めた温度と2)で仮定した温度との比較を行う。すなわち、

$$|(T_L - T_i^*) / T_i^*| < \epsilon \quad (2)$$

誤差範囲内であれば、次のセクション ($L+1$) に進む。誤差範囲外であれば、新たな L 節点の温度仮定値を設定し、先の2)からの計算を収束するまでくりかえす。収束法は修正 Newton - Raphson 法による。

3.2.2 供給水の温度および状態変化

(1) 仕切板 (baffle plate) がなく供給水は単流 (single flow) の上向流の場合

1) 計算モデル

この場合の計算モデルは次の通りである。キャプセル内のセクション L を考える。キャプセル内を流れる冷却水流量 f (g/s) のエンタルピー上昇を与える熱量は、

a) そのセクション内に含まれる試料等のガンマ加熱量およびヒータの出力の和 Q_s (W) と

b) そのセクションの外筒で発生したガンマ加熱量のうち、内側に流入する熱量、 Q_c (W), である。

上記の b) は、次のようにして求められる。下側の節点 $L-1$ における温度 T_{L-1} は既知である。今、上側の節点における供給水の温度 T_i^* が第3.2.1節で述べたように仮定される。この仮定から、第3.2.3節に述べる方法によりキャプセル外筒に関する内、外面温度が求められ、その結果に基づき内部に流入し供給水の加熱に寄与する熱量が算出される。

(注) 軸方向の分割には留意する必要がある。例えば、キャプセル内の発熱量 Q が0等の場合、キャプセルよりの流出熱量の方が大きくなり、全体のヒート・バランスが破れることがある。いずれにしても、(1)式の近似が十分成立しうる範囲に分割点を設定するように留意すること。

2) 供給水の温度, 蒸気含有率の変化の評価法

供給水の温度, 蒸気含有率の変化の評価法の基本は次の通りである。

a) 供給水の温度変化

節点L-1からLに至るまでの供給水の温度変化 ΔT は,

$$Q = C_p \cdot f \cdot \Delta T \quad (3)$$

より,

$$\Delta T = Q / (C_p \cdot f) \quad (4)$$

で与えられる。ここで, $Q = Q_s + Q_c (W)$, C_p 比熱 ($W \cdot s / g \cdot ^\circ C$)とする。もし, 飽和温度以上ならば, C_p (液相の比熱)の代わりに C_g (気相の比熱)とする。

b) 蒸気含有率の変化

節点L-1における蒸気含有率を X_{L-1} とする。節点L-1, L間で蒸気が発生すると, その発生蒸気量 g は

$$g = Q / q_{lat} \quad (g)$$

である。ここに, q_{lat} : 潜熱 ($W \cdot s / g$)とする。

節点Lにおける蒸気含有率 x_L は

$$x_L = \frac{f \cdot X_{L-1} + g}{f} = X_{L-1} + g/f \quad (5)$$

で与えられたことになる。

3) プログラムにおける温度, 蒸気含有率の変化の評価

プログラム内の計算においては, セクション下端(下側の節点)の温度状態, 温度が既に飽和温度に達し蒸気が存在する等の状態, および熱量がそのセクションにおいて供給水に関し加熱になのか, 除熱になのかによっていくつかの場合に分れる。

下側節点における温度 T_{L-1} , 蒸気含有率 x_{L-1} および加熱量 Q (≥ 0 , or < 0)に対するキャプセル内の供給水の温度, 蒸気含有率の変化の評価はTable 1の如くなる。ただし, Table 1では, 計算を統一的に扱うため蒸気含有率 x を変数として含んだ計算式で表している。また, 計算は下側節点における温度, 蒸気含有率の状態によってTableで区分しているケース(A), (B), (C)に分れる。各ケースで計算は, その上段から出発し, 右欄で()に示す状態となったら, 次の段の計算に移る。

プログラムでは, 供給水の状態を知るため, 蒸気体積率(ボイド・フラクション)をも計算している。蒸気含有率 x と蒸気体積率 f_g との間の関係式は,

$$s = \frac{v_g}{v_l} = \frac{x}{1-x} \cdot \frac{1-f_g}{f_g} \cdot \frac{\gamma_l}{\gamma_g}$$

である。ここに、 s はスリップ比で液相の流体の速度 v_l に対する気泡の速度 v_g の比、 r は比重量とし、suffix g は蒸気、 l は液体とする。

ただし、プログラムは、スリップ比を1として蒸気体積率を評価する。

(2) 仕切板(baffle plate)がある場合

仕切板により、供給水が下降流と上昇流に分れ復流になる場合、下降流は仕切板の外側を上昇流は内側を流れるとする。プログラムでの取扱いは本質的に単流の場合と変わらない。計算は既知の温度である下降流の入口(節点 LMAX)の次の下側節点 LMAX-1 から始める。

1) 下降流について

下降流の温度変化に関係するエンタルピーは内側の仕切板の外側から流入する熱量とキャプセル外筒へ流出あるいは流入する熱量のみである。この熱量の相違を除き、先の単流の場合と同じ方法で、各セクション内の供給水温度等の状態が評価される。ただし、この場合は、セクション上側の節点の温度が既知で、下側節点の温度を求める。

2) 仕切板下端

仕切板の外側を下降流として流れてきた供給水の最下端の温度は、下降流として上記1)の方法で求める。この供給水の状態、温度、蒸気含有率を仕切板内側の上昇流最下端の供給水の状態とする。

3) 上昇流について

上昇流における供給水の温度等の状態の変化の評価は単流の場合と同様な取扱いとする。相違点は単流ではキャプセル外筒への熱の流出あるいは流入としていたものが仕切板からの熱の流出あるいは流入に代わるだけである。

4) 収束法について

上記1)から3)までの計算において下降流のときに使用した仕切板から供給水に加えられる流入熱量と上昇流に関し計算した仕切板の外側からの流出熱量は等しくなければならない。これらを等しくするための収束法として、現段階のプログラムでは、単純なくりかえし計算法を採用している。計算の初期値には、そのタイム・ステップの一つ前の仕切板の内外面における流入、流出熱量を使用している。くりかえし計算回数は、5回に制限している。これは計算結果を検討して決定した。

(3) 下向き導水管による給水の場合

キャプセル内に上方から下方へ導水管が設けられ、下方で注水される場合、供給水はキャプセル上方から下方に流れる間に予備加熱される。この計算上の取扱いは上記(2)仕切板がある場合と同じにしている。

(4) 最適流量算出

現実のキャプセルでは供給水はほぼ一定の流量で流す状態で運転することになると予想される。プログラムでも一定流量の供給水を流すときのキャプセルの状態を計算することに重点をおいている。しかし、このプログラムの主要な目的はキャプセルの設計に利用することであり、必要な供給水流量が与えられた条件下でどれだけかを算出することは最も重要な事項の一つである。そこで、このプログラムでは計算上流量制御が可能になるようなオプション(option)を設けた。

供給水流量を制御する制御目標は、試料の温度、キャプセル上部における供給水の状態（特にキャプセル上部の蒸気含有率）を選んだ。この制御目標を達成するための制御変数として供給水流量のほか、キャプセル下部のヒータ出力をも含めた。このオプションはKCNTTRとしている。オプション選択の詳細は第5章を参照されたい。

1) 最適流量等の設定方法

- a) キャプセルの上部の供給水の出口で、供給水の蒸気含有率が制限値XSQULをこえたときは供給水流量 f を増加させる。すなわち、 f を

$$f = f_0 \cdot \frac{C_p (T_{\text{sat}} - T_{\text{iff}}) + x_{\text{max}} \cdot q_{\text{lat}}}{C_p (T_{\text{sat}} - T_{\text{iff}}) + \text{XSQUL} \cdot q_{\text{lat}}} \quad (6)$$

とする。ここで、 f_0 は、先行のタイム・ステップにおける供給水の注入流量である。また、 T_{sat} : 飽和温度、 T_{iff} : 供給水の供給温度、 q_{lat} : 蒸気の潜熱、 x_{max} : 計算において得られた最高蒸気含有率、 C_p : 供給水の比熱とする。

- b) 試料部における供給水の最高温度が制限値 (TEMPLL) を下回る場合、供給水の流量を減少させる。すなわち、

$$f = f_0 \cdot \frac{C_p (T_{\text{max}} - T_{\text{iff}})}{C_p (T_{\text{sat}} - T_{\text{iff}})} \quad (7)$$

とする。ここで、 T_{max} は、計算において得られた最高温度である。

- c) 試料部下端にヒータを考え、試料部入口における供給水の温度が制限値の最低温度 (TEMPLL) 以下になったら、試料部直下のヒータの出力を増加させ、最低保持温度となるようにヒータの出力を調整する。すなわち、ヒータの出力を

$$Q_{\text{heater}} = C_p (\text{TEMPLL} - T_{\text{LHTN-1}}) f \quad (8)$$

とする。ここで、LHTNは、試料部下端の節点番号とする。

なお、上記 a) から c) までの流量などの設定は、原子炉の出力が50%以下、また原子炉の出力が下降中になったら実行しないようにしている。なお、プログラムの現バージョンは、原子炉の出力が下降する場合の供給水流量の制御について未だ充分な考慮を配っていない。

2) 供給水の分流供給について

このキャプセルに関する種々の設計条件を勘案すると供給水流量は可能な限り小さいことが重要だと考えられた。そこで、プログラムでは第2.2節の(5)でも述べたように供給水を試料部の節点において分流供給する機能も有するキャプセルについて取扱えるようにしている。ただし、プログラムでこの分流供給の機能は、供給水が単流の場合にのみに限定している。

分流供給は、各節点における蒸気含有率が制限値をこえるとき、その下方の節点で未飽和温度(subcool)状態にある供給水を供給することにより、蒸気含有率を制限値内に保持することを可能とする。分流供給水の温度は供給水の入口温度と等しいとしている。分流供給された供給水は、そのセクション内で完全に混合すると仮定した。理由はキャプセル内の供給

水の流速はきわめて低速になると予想されるためである。

ある節点Lで蒸気含有率が制限値を越えたとしたとき、そのセクションLの下側の節点L-1より供給水が追加されるとする。この分流が加わったときの供給水の状態変化の評価は、そのセクションの下側の節点L-1の供給水の温度、蒸気含有率を修正することによって行う。その修正の詳細は、Table 2に示す通りである。

3.2.3 キャプセル外筒の温度分布

外筒材も試料と同様にガンマ加熱のため、その内部で熱の発生がある。しかし、これがキャプセル内の供給水の加熱に寄与するかどうかは、外筒内の温度分布による。例えば、分布がFig. 3の如き場合、 $R_i < r < R_o$ 間の発熱は内側に流れることになり、供給水の加熱に寄与することとなる。このことは、このプログラムで考えるキャプセルにおいて必要供給水流量の決定にきわめて重要である。

キャプセル外筒の内、外管について二次元軸対称の定常熱伝導方程式を適用する。境界条件は外筒外の原子炉冷却水温度 T_{oof} 、と内管内の供給水温度 T_{iic} とする。

キャプセルの外筒が二重管構造の場合でも内、外管とガス・ギャップ層の三層なので、温度分布を解析式で与えることも不可能ではないが、プログラムに組込む計算なのでくりかえし計算法を用いる。

計算の出発点としては、外筒表面を起点とする外側からと内面を起点とする内側からとの二つが考えられるが、照射条件として確実な境界条件は、外筒表面の原子炉冷却水温度なので、外筒表面の温度を出発点にして計算を開始する。すなわち、外筒表面を流れる原子炉冷却水温度 T_{oof} を常に一定と仮定する。また、内管内を流れる供給水の温度 T_{iic} は、第3.2.1節の4)の仮定で与えられている。

(1) 外筒二重管構造の場合

ガス・ギャップ層内のガスはガンマ加熱しないとすれば、ギャップ内では、 $\nabla^2 T = 0$ が成立する。従って、内部には極点はなく、熱は内面から外面あるいは外面から内面へと一方的に流れるのみである。そこで、ガス層を通る熱量を収束計算の変数に使用する。

計算手順は次の通りである。

- 1) ガス層を通る単位長さ当り熱量 Q_g (W/cm)を仮定する。
- 2) 外管の温度を最初に求める。内側から熱量 Q_g が流れ込み、 q''' の自己発熱がある円筒の温度分布 $T(r)$ は、

$$T(r) = T_{oo} + \frac{q'''}{4k} (R_{oo}^2 - r^2) - \frac{R_{oi}}{k} (q''' R_{oi} / 2 - \phi_i) \ln (R_{oo} / r) \quad (9)$$

で与えられる。ここで、 ϕ_i は内面での熱流束で $\phi_i = Q_g / (2\pi R_{oi})$ である。kは熱伝導率、rは半径座標、 R_{oo} 等はFig. 3に示すところに従う。

外表面での熱流束は

$$\phi_{oo} = q'' R_{oo} / 2 - R_{oi} / R_{oo} (q'' R_{oi} / 2 - \phi_i) \quad (10)$$

となる。この熱流束と熱伝達係数 h_f を用いて、外管外表面温度を

$$T_{oo} = T_{oof} + \phi_{oo} R_{oo} / h_f \quad (11)$$

と定める。

外管内面温度 T_{oi} は、

$$T_{oi} = T_{oo} + \frac{q''}{4k} (R_{oo}^2 - R_{oi}^2) - \frac{R_{oi}}{k} (q'' R_{oi} / 2 - \phi_i) \ln (R_{oo} / R_{oi}) \quad (12)$$

で与えられる。

3) 内管の温度を求める。外側に熱量 Q_g が流出し、 q'' の自己発熱がある円筒の温度分布 $T(r)$ は、

$$T(r) = T_{io} + \frac{q''}{4k} (R_{io}^2 - r^2) - \frac{R_{io}}{k} (q'' R_{io} / 2 - \phi_o) \ln (R_{io} / r) \quad (13)$$

で与えられる。ここで、 $\phi_o = Q_g / 2\pi R_{io}$ であり、外管外表面における熱流束とする。内管外面温度は、ガス層を通る熱量が Q_g なので、

$$T_{io} = T_{oi} + \frac{Q_g}{2\pi k_g} \ln (R_{oi} / R_{io}) \quad (14)$$

より定める。内管内面温度は、

$$T_{ii} = T_{io} + \frac{q''}{4k} (R_{io}^2 - R_{ii}^2) - \frac{R_{io}}{k} (q'' R_{io} / 2 - \phi_o) \ln (R_{io} / R_{ii}) \quad (15)$$

から求める。

内管内面における熱流束 ϕ_{ii} は

$$\phi_{ii} = \frac{q''}{2} R_{ii} - \left(\frac{q''}{2} R_{io} - \phi_o \right) R_{io} / R_{ii} \quad (16)$$

である。内管内を流れる供給水温度は内管内面の熱伝達率 h_i を使用し、

$$T'' = T_{ii} + \phi_{ii} / h_i \quad (17)$$

- 4) ここで求めた T'' が与えられた供給水温度 T_{iic} に等しくなるまで、 Q_g を修正して計算をくりかえす。収束法は修正 Newton-Raphson法による。
- 5) 内管内面からの熱の流出量は上記(16)式で算出される熱流束に表面面積を乗じて計算される。この値が負の場合は、熱流束が内側に向かっているため供給水を加熱する熱量である。
- (2) キャプセル外筒が一重管の場合

キャプセル外筒が一重管の場合は外筒が二重管の場合の内管でも外管でもどちらの計算式を用いても同じであるが、プログラムでは内管と同じ計算式を用いて温度評価を行っている。ただし、外表面温度は熱伝達係数を使用して推定する。

- (3) ガス・ギャップ層に熱媒体がある場合の取扱い

第2.2節でも述べたようにプログラムで考えている計算対象のキャプセルの外筒が二重管の場合は、そのギャップに熱媒体があることをも想定する。

二重管内のギャップ寸法は現実のキャプセルでは小さいので、ギャップ層をFig. 4 に示すような平行二平板内のギャップと考える。また、熱媒体もガンマ加熱により熱が発生すると考える。熱媒体の熱発生を考慮すると、その発生熱が外側にのみ流れるとは必ずしも言えず、ギャップ内外の温度の条件によって変化する。しかし、熱媒体で発生した熱を含み、ここでのギャップ挿入熱媒体モデルでは内側から外側へ一方的に流出すると仮定した。

熱媒体がある場合のギャップにおける温度差(ΔT)は

$$\Delta T = \left\{ \phi_i + fh_{g2}q''t \left(\frac{g_o}{k_g} + \frac{t}{2k_m} \right) \right\} / \left\{ (1-f)h_{g1} + fh_{g2} \right\} \quad (18)$$

で評価する。ここで、

ϕ_i : ギャップ層を通過する熱量による熱流束, ($= Q_g / 2\pi R_{i0}$),

f : 熱媒体がある長手方向の存在割合, ($= h_2 / h$)

h_2 : 熱媒体の長手方向長さ

h : そのセクションの長さ,

q'' : 熱媒体の発熱率

k_g, k_m : ギャップ内のガス, および熱媒体の熱伝導率

t : 熱媒体の厚さ

である。なお、

$$h_{g1} = k_g / L, \quad h_{g2} = 1 / \left\{ g_i / k_g + t / k_m + g_o / k_g \right\}$$

とする。ここで、

g_i, g_o は熱媒体内外の半径ギャップ寸法

L : 外管内径と内管外径との半径の差

である。

3.2.4 仕切板, 導水管および試料温度について

- (1) 仕切板

復流の場合仕切板内外面温度ならびに熱流束が必要になる。この計算法には、先に第3.2.3節で述べたキャプセル外筒に関する計算で外筒が一重管のときの評価式を用いる。外筒の計算で扱う形状は円筒形である。しかしながら、仕切板の断面が四角の枠であることも想定し、これも扱うことができるようにしている。しかし、計算上は四角の枠を等価な円筒形に変換する。変換はFig. 5に示す如き四角枠の場合、まず内周長さに等しい円筒内半径、

$$R_i = 2 D_i / \pi \quad (19)$$

とする。計算上の円筒外半径は

$$R_o = (R_i^2 + S/\pi)^{1/2} \quad (20)$$

とする。ここで、 S は四角枠の断面積 ($S = D_o^2 - D_i^2$) である。

この変換で、内周長を等しくするのは、内面における熱流束を等しくおくためであり、断面積を変換前後で等しくするのは、発熱量を等価にするためである。

(2) 導水管

導水管に関する内外面温度などの計算は、仕切板の場合と同様な方法で行われる。

(3) 試料温度

このプログラムではキャプセル内の試料は四角断面の試料を想定している。試料温度も計算するが、試料形状を無限平板と仮定して、温度計算を行う。*すなわち、

$$T_c - T_s = \frac{q'''}{8 k_s} \cdot t^2 \quad (21)$$

で評価する。ここで、 T_c : 試料中心線温度

T_s : 試料表面温度

q''' : 試料発熱率

k_s : 熱伝導率

t : 試料厚さ

とする。表面温度 T_s は、表面での熱伝達係数 h_s を用いて

$$T_s = T_{iic} + \phi_s / h_s \quad (22)$$

で定める。ここに、 ϕ_s は表面熱流束 ($= q''' \cdot t/2$) で、 T_{iic} は試料が接する供給水温度である。熱伝達係数に、第3.2.5節(1)~(3)に述べる係数を使用し、試料表面温度を計算すると、試料表面は飽和温度以上になる場合が多い。試料表面温度が飽和温度以上になった場合、次のJens-Lottesの相関式は、単位変換し

$$\Delta T_{sat} = 7.921 \cdot \phi_s^{1/4} \cdot \exp(-P/63.28) \quad (23)$$

と表される。ここで、

$$\Delta T_{sat} = T_s - T_{sat}$$

であり、

T_{sat} : 水の飽和温度 (°C), P : 圧力 (kg/cm²a)

である。

* : 有限平板 [a (厚) × b (幅) × c (高)] とし、すべての表面温度が等しいとすると、平板内部の位置 (x, y, z) [x (厚さ方向), y (幅方向), z (高さ方向)] における表面との温度差 ΔT は

$$\Delta T = \frac{64}{\pi^5} \cdot \frac{q'''}{k_s} \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} (1/lmn) \times \frac{\sin(l\pi x/a) \sin(m\pi y/b) \sin(n\pi z/c)}{(l/a)^2 + (m/b)^2 + (n/c)^2}$$

で与えられる³⁾。ここに、 l, m, n は正の整数 ($l, m, n = 1, 3, 5, 7, \dots$) とする。

3.2.5 熱伝達係数の評価

このプログラムは、キャプセル外筒の内外面、仕切板の内外面の温度等を定めるに際し、熱伝達係数を使用する。プログラムはキャプセルの熱設計への利用を目的としており、計算は可能な限り単純な手法によろうと考え、当初これら熱伝達係数は一定値として入力を与えることにしていた。しかし、例えば、キャプセル外筒表面での熱伝達係数はこれまで多くのキャプセルの照射経験等より、おおよそ 20000 kcal/h · m² · °C (2.33 W/cm²°C) 程度と推定される。また、試料表面で供給水が沸騰する場合は少なく見積もっても 10000 BTU/h · ft² · °F (5.68 W/cm²°C) と考えられる。しかし、その他のキャプセル内面等については、類推、確定できる係数は少なかった。そのため、プログラム内で熱伝達係数を評価し、使用する機能を組込んだ。

(1) Dittus-Boelterの相関式

Dittus-Boelterの相関式は、ヌセルト数 Nu を使用して次のように表される⁴⁾。

$$Nu = (\alpha D / \lambda) = 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.4} \quad (24)$$

ここに、
 α : 熱伝達係数
 λ : 熱伝導率
 D : 相当直径
 G : 単位面積当りの質量流量 (= ρV)
 V : 流速
 μ : 流体の粘性係数
 Re : レイノルズ数 (= DG / μ)
 Pr : 流体のプラントル数

である。Dittus-Boelterの相関式の適用範囲は、

Pr数: 0.7 ~ 120

Re数: 10,000 ~ 120,000

L/D: 60 以上 (L: 管路長さ)

である。このキャプセルでは、注入する供給水流量が少なく、キャプセル内の流速が低いこと

からレイノルズ数が小さく、この相関式を外筒内面等に適用すると、適用範囲外となる場合が出てくる。

(2) Dittus-Boelterの相関式の修正モデル

組みの熱伝達係数の推定の一つは、Dittus-Boelterの相関式をもとにモデル化したFREG-4使用の計算式である⁵⁾。先に述べたように、このキャプセルでは、注入する供給水流量が少ないことからレイノルズ数が小さく、相関式の適用範囲を外れる。しかし、このモデルを使用した炉外実験装置の実験による検証結果は、大きな食違いが発生しないことを示した⁶⁾。

組みのモデルは、式(24)を次のように変形する。

$$\alpha = \left(\frac{V^{0.8}}{D^{0.2}} \right) \cdot 0.023 \cdot \frac{\lambda \rho^{0.8} \cdot \text{Pr}^{0.4}}{\mu^{0.8}}$$

ここで、右辺の0.023以下の項は物性値のみによって決定される。本来は温度と圧力の関数であるが、温度のみによって決定されたと考え、

$$\alpha = \left(\frac{V^{0.8}}{D^{0.2}} \right) \cdot F(T) \quad (25)$$

と変形する。温度による修正係数 $F(T)$ はTable 3に示す値とする。

Dittus-Boelterの相関式は、本来管内流について得られたものである。したがって、(24)式で、レイノルズ数を算出するのに使用する相当直径 D と (λ/D) の項に使用する D は、等しい。しかし、このキャプセルで必要とする熱伝達係数は、キャプセルの仕切板の内外面等についての係数である。そこで、それ等の係数の評価に当たっては、相当直径を求める場合の濡れ縁長さには、その伝達係数を評価すべき面の周長を使って評価している⁷⁾。

(3) 自然対流熱伝達係数

炉内で照射した実機キャプセルの測定温度と先のDittus-Boelter修正モデルを使用した熱解析結果の比較は、JMTRの低出力($\sim 10\text{MW}$)までは、きわめて良い一致を示した。しかし、高出力状態(20MW 以上)になると、熱伝達係数を高めに評価する傾向をもつことが分かった。この理由は、供給水流量が小さいことから、キャプセル内の流速が小さく、キャプセル内の熱伝達は自然対流によるためと考えられた。もちろん、先のモデルを修正して使用することも可能であるが、自然対流熱伝達係数を評価するモデルを追加した。

自然対流熱伝達係数を次のように評価する⁸⁾。

a) 自然対流が乱流域($\text{Gr} \cdot \text{Pr} > 1 \times 10^8$)にある場合、

$$\text{Nu}_x = 0.0295 (\text{Gr}_x \text{Pr})^{2/5} \left(\frac{\text{Pr}^{1/6}}{1 + 0.494 \text{Pr}^{2/3}} \right) \quad (26)$$

とする。

自然対流が層流域($\text{Gr} \cdot \text{Pr} < 1 \times 10^8$)にある場合、

$$\text{Nu}_x = \frac{0.508 \text{Pr}^{1/2}}{(0.952 + \text{Pr})^{1/4}} (\text{Gr}_x)^{1/4} \quad (27)$$

とする。ここで、 Nu_x , Gr_x は境界層開始よりの高さ x における値のヌセルト数, グラスホフ数で,

$$Gr_x = \frac{g \beta \Delta T x^3}{\nu^2}, \quad Nu_x = \frac{\alpha_x x}{\lambda} \quad (28)$$

とする。なお、算出のヌセルト数が0.4以下になったら、0.4に固定する。

b) 境界層開始点よりの高さ x の値は次による。

仕切板外側の下降流についての外筒内面, 仕切板外面に関する熱伝達係数の評価の場合は、 x はキャプセル最上端から、計算対象のセクションの中央までの距離とする。

仕切板内側の上昇流についての仕切板内面, 試料表面に関する熱伝達係数の評価の場合は計算対象のセクションの間隔の長さの1/2の距離を代表長さとする。

これら x の選定法は、プログラムのテスト・ランから決定した。すなわち、仕切板外面と下降流の間の温度差, 下降流と外筒内面の温度差は、常に正であることから、境界層は上方から発達すると考えられることより下降流については先のように x を設定した。上昇流の場合は、仕切板の下部は冷却側とは限らず加熱側に作用する場合があり、境界層がどのように発達するか予測が困難であるため、各セクションの半値幅を以て代表長さとした。ただ、この長さを仮に変更しても、最終的に得られる熱伝達係数の値に大きな差は発生しない。

(4) 蒸気の凝縮による熱伝達係数

仕切板内側の上昇流は、蒸気体積率が50%を越えることがある。そのような状態では、仕切板内面には蒸気が接触することになり、仕切板内面は蒸気の凝縮面として作用すると考えられる。

凝縮による熱伝達係数を次式で評価する^{8),9)}。

$$Nu = \frac{\alpha \cdot x}{\lambda} = \frac{x}{\delta} = \left(\frac{grx^3}{4 \nu \lambda (T_s - T_o)} \right)^{1/4} \quad (29)$$

$T_o > T_s$ の場合 (仕切板内面温度が供給水の飽和温度以上となった場合), 仕切板内面は蒸気膜で覆われるので、次の膜沸騰に関するBromleyの式により熱伝達係数を評価する^{8),10)}。

$$Nu = \frac{\alpha \cdot D}{\lambda_v} = 0.62 \left(\frac{g (r_g - r_v) r D^3}{\nu_v \lambda_v (T_o - T_s)} \right)^{1/4} \quad (30)$$

仕切板内部の上昇流は、蒸気体積率が大きくなることはあるが、100%となることはほとんどない。プログラム内では、この気水混合流に対し、(3)で求めた熱伝達係数を α_n 、ここで評価される熱伝達係数を α_b とし、蒸気体積率 f に関し、比例配分した熱伝達係数 α を使用している。すなわち、

$$\begin{aligned} f \leq f_f, & \quad \alpha = \alpha_n \\ f > f_f, & \quad \alpha = \alpha_n + \frac{f - f_f}{1 - f_f} (\alpha_b - \alpha_n) \end{aligned} \quad (31)$$

とすることになっている。なお、 f_r は0.1に設定している。

(5) 記号

この小節に使用した記号の定義は次の通りである。

g : 重力の加速度 ($g = 980 \text{ cm/s}^2$)

r : 潜熱 ($W \cdot s/g$)

T_o : 壁面温度 ($^{\circ}\text{C}$)

T_s : 飽和温度 ($^{\circ}\text{C}$)

ΔT : 境界層を横切る温度差

x : 境界層発生開始点からの高さ (cm)

Greeks :

α : 熱伝達係数 ($W/\text{cm}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$)

β : 膨脹係数 ($1/^{\circ}\text{C}$)

γ : 比重量 (g/cc)

δ : 境界層厚さ (cm)

λ : 熱伝導率 ($W/\text{cm} \cdot ^{\circ}\text{C}$)

μ : 静粘性係数 ($g \cdot s/\text{cm}^2$)

ν : 動粘性係数 (cm^2/s)

suffix :

v : 蒸気, l : 液

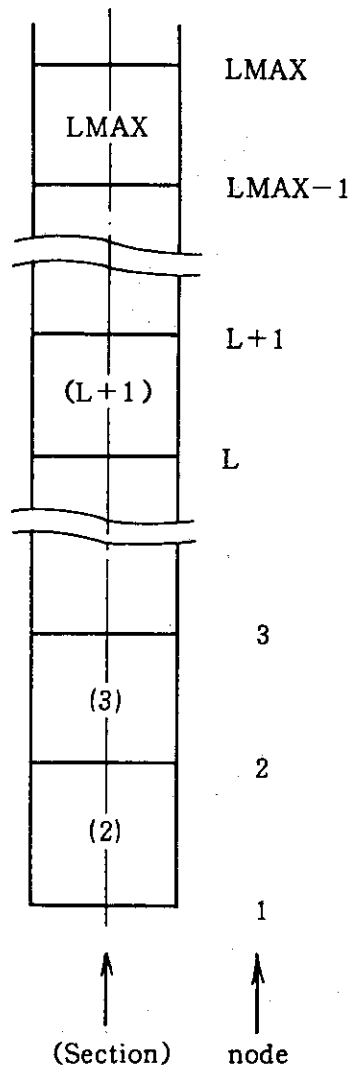


Fig. 2 Node and Section used in program

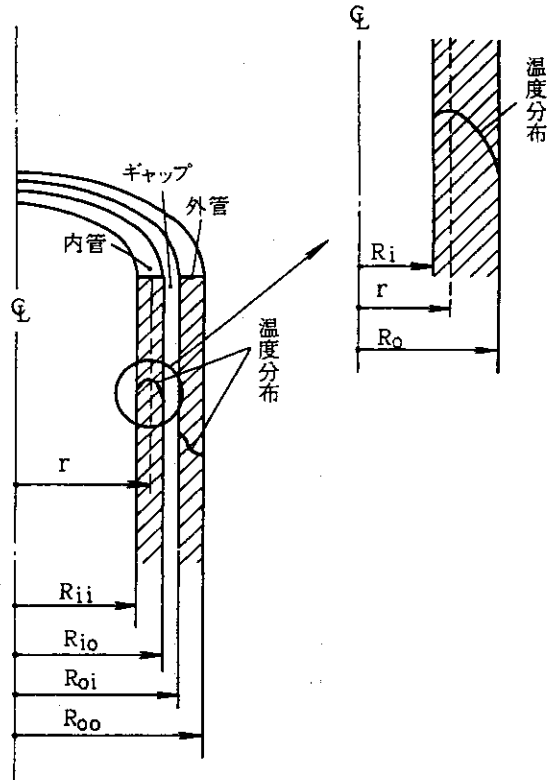


Fig. 3 Temperature distribution of capsule outer tube

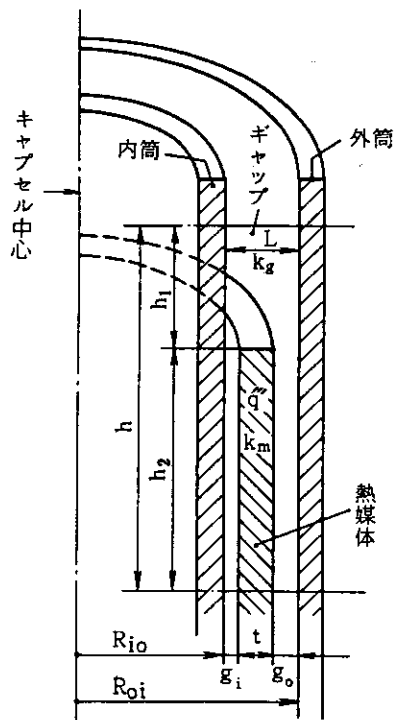


Fig. 4 Model of spacer block in gas gap layer in capsule outer tube

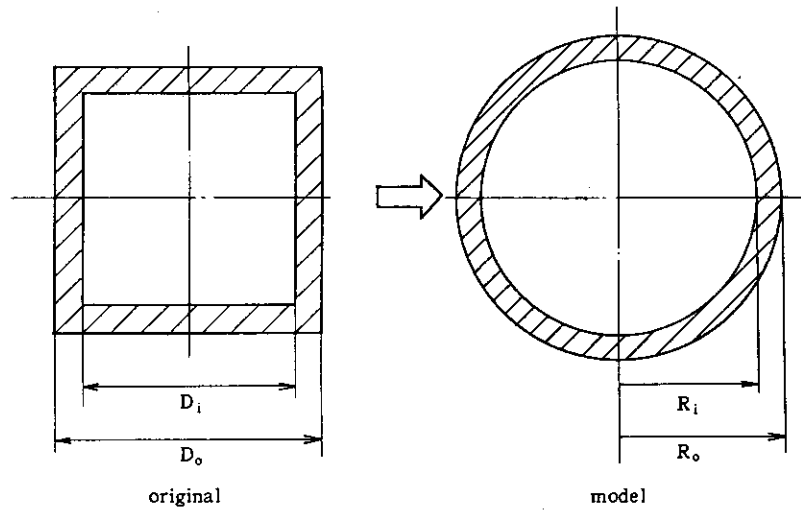


Fig. 5 Model of baffle plate in calculation

Table 1 Formula of supply water temperature and steam quality (1/2)

	L-1		加熱量, Q		L			
	T_{L-1}	x_{L-1}	$Q \geq 0$	$Q < 0$	T_L	x_L		
(A)	$\leq T_{sat}$	< 1	$Q = C_p f (1-x_{L-1}) \cdot \Delta T$ $\Delta T = Q / (C_p f (1-x_{L-1}))$		$\leq T_{sat}$	≤ 1		
			$Q_1 = C_p f (1-x_{L-1}) \cdot T_{sat} - T_{L-1}$ $Q_2 = Q - Q_1$ $\Delta x = Q_2 / q_{1sat} / f$				$(> T_{sat})$ $= T_{sat}$	≤ 1
			$Q_3 = q_{1sat} \cdot f \cdot (1-x_{L-1})$ $Q_4 = Q - Q_3 - Q_2$ $Q_4 = C_{pg} f \cdot \Delta T_s$ $\Delta T_s = Q_4 / C_{pg} / f$					
(B)	$= T_{sat}$	≤ 1	$\Delta x = Q / q_{1sat} / f$		$(< T_{sat})$ $= T_{sat}$	$0 \leq x_L < 1$		
			$Q_1 = q_{1sat} \cdot f \cdot x_{L-1}$ $Q_2 = Q + Q_1 (Q < 0 \text{ の時})$ $\Delta T = Q_2 / C_p / f$				$< T_{sat}$	$= 0$

Table 1 Formula of supply water temperature and steam quality (2/2)

(C)	$\geq T_{sat}$	$= 1$	$Q = C_{pg} \cdot f \cdot \Delta T$ $\Delta T = Q / C_{pg} / f$	$> T_{sat}$	$= 1$
				$Q_1 = C_{pg} \cdot f \cdot (T_{L-1} - T_{sat})$ $Q_2 = Q + Q_1$ $\Delta x = Q_2 / q_{1at} / f$	$\geq T_{sat}$
			$Q_3 = q_{1at} \cdot f \cdot 1$ $Q_4 = Q + Q_1 + Q_3$ $(Q_4 < 0 \text{ でなければならぬ})$ $\Delta T = Q_4 / C_p / f$	$(< T_{sat})$	
				$= T_{sat}$	$0 \leq x_L < 1$
				$< T_{sat}$	(< 0) $= 0$
	記号等		C_p : 供給水の比熱 (W-sec/gr °C) f : 流量 (gr/sec) C_{pg} : steamの比熱 (W-sec/gr °C) T : 温度 (°C) q_{1at} : 蒸気の潜熱 (W-sec/gr °C) x : 蒸気含有率 T_{sat} : 飽和温度 (°C) $T_{L-1} = T_{sat}, x_{L-1} = 1$ の場合は (C)condition に含まれる。 Q : セクションで供給水に加えられる熱量 (W-sec) suffix : L-1, L セクション番号	() : 直前の段で発生する状態	

Table 2 Correction factor of temperature (T_{L-1}) and steam quality (X_{L-1}) (1/2)

	下端流入		修正式	修正	
	T_{L-1}	x_{L-1}		T'_{L-1}	x'_{L-1}
A	$\leq T_{sat}$	≤ 0.0	$QD = f_1 C_p (T_{L-1} - T_b)$ $\langle QD = QU \rangle$ $T_b = (f_1 T_{L-1} + f_d T_{i,ir}) / f_e$	$= T_b$	$= 0$
			$QD = f_1 \Delta x_{L-1} \cdot q_{1sat}$ $QU = f_d C_p (T_{sat} - T_{i,ir})$ $\langle QD = QU \rangle$ $\Delta x_{L-1} = QU / (f_1 q_{1sat})$ $x'_{L-1} = x_{L-1} - \Delta x_{L-1}$, $x'_{L-1} = f_1 x'_{L-1} / f_e$	$= T_{sat}$	
B	$= T_{sat}$	$\langle x_{L-1} \leq 1$	$QD_1 = f_1 \cdot q_{1sat} x_{L-1}$ $QU = f_d C_p (T_b - T_{i,ir})$ $QD_2 = f_1 C_p (T_{sat} - T_b)$ $\langle QD_1 + QD_2 = QU \rangle$ $T_b = \frac{f_d}{f_e} T_{i,ir} + \frac{QD_1 + f_1 C_p T_{sat}}{f_e \cdot C_p}$		$(x'_{L-1} < 0)$
				$= T_b$	

Table 2 Correction factor of temperature (T_{L-1}) and steam quality (X_{L-1}) (2/2)

<p>C</p>	<p>$x = 1$</p>	<p> $QD_1 = f_1 C_g (T_{L-1} - T_{sat})$ $QD_2 = f_1 \cdot q_{lat}$ $QD_3 = f_1 C_p (T_{sat} - T_b)$ $< QD_1 + QD_2 + QD_3 = QU_1 + QU_2 + QU_3 >$ $T_b = (f_1 C_g T_{L-1} + f_d C_g T_{sat} - QU_1 - QU_2) / C_g f_e$ $< QU_1 = QD_1 + f_1 q_{lat} \Delta x_{L-1} >$ $\Delta x_{L-1} = \frac{QU_1 - QD_1}{f_1 q_{lat}}$ $x'_{L-1} = 1 - \Delta x_{L-1}, x'_{L-1} = f_1 x'_{L-1} / f_e$ $< QD_1 + QD_2 + QD_3 = QU_3 >$ $T_b = (f_d C_p T_{iir} + f_1 C_p T_{sat} + QD_1 + QD_2) / f_e C_p$ </p>	<p>$= T_b$</p>	<p>$= 1$</p>
<p>記号等</p>		<p> f_1 : 増加前(下段の)流量, f_e : 増加後(L段の)流量, f_d : 増加分流量(= $f_e - f_1$), T_{sat} : saturated temp T_{iir} = coolant 供給 temp, T_b : 平衡に達する温度 C_p : 水の比熱, C_{pg} : 蒸気の比熱 q_{lat} : 潜熱 $< >$ heat balance equation, 右欄の () は上段の評価において () 内の事象が発生した場合 </p>		
		<p>($T_b \leq T_{sat}$)</p>	<p>$= T_{sat}$</p>	<p>($x'_{L-1} < 0$) $x_{L-1} = 0$</p>

Table 3 Correction factor for calculation of heat transfer coefficient

温度 (°C)	修正係数 (Wsec ^{0.8} /cm ^{2.6} °C)	温度 (°C)	修正係数 (Wsec ^{0.8} /cm ^{2.6} °C)	温度 (°C)	修正係数 (Wsec ^{0.8} /cm ^{2.6} °C)
0	0.375	150	0.972	300	1.032
10	0.428	160	0.989	310	1.024
20	0.471	170	1.004	320	1.021
30	0.533	180	1.016	330	1.026
40	0.582	190	1.028	340	1.046
50	0.631	200	1.038	350	1.107
60	0.678	210	1.044	360	1.255
70	0.720	220	1.049		
80	0.760	230	1.052		
90	0.797	240	1.055		
100	0.831	250	1.056		
110	0.864	260	1.054		
120	0.896	270	1.051		
130	0.935	280	1.047		
140	0.950	290	1.040		

4. プログラム構成

4.1 構成サブルーチン

プログラムSATCAPに含まれる全サブルーチンおよびその主要な機能をTable.4に示す。主たる機能はTableに記載の通りであるが、追加説明が必要と考えられる事項について以下に述べる。

4.1.1 水の物性値について

水に関する物性値はサブルーチンSTEAM, STEAMMおよびVEXPCにおいて算出される。STEAMは飽和温度における水の物性値を与えられた圧力に基づいて設定する。すなわち、圧力を基準とした時の飽和温度等の各物性値が組込まれており、計算に必要な物性値は、与えられた圧力をもとに組込み物性値から直線内挿により評価する。

STEAMMは水の物性値を第一に圧力、次に温度を基準に算出する。すなわち、圧力と温度を基準とした各物性値が組込まれており、計算に必要な物性値は、与えられた圧力と温度をもとに組込んだ物性値から直線内挿により評価する。その際、飽和温度以上の物性値は、蒸気に関する物性値となるが、その判定に必要な飽和温度、飽和温度における物性値は、STEAMにおいて算出した値を使用する。

液相の水の膨脹係数はVEXPCにおいて算出される。

(1) 飽和温度状態の物性値

飽和温度状態の物性値を求める場合の圧力定点としては、単位MPaで

0.0006112, 0.0035341, 0.010537, 0.027164, 0.062136, 0.12873
0.24555, 0.43691, 0.73300, 1.1698, 1.7888, 2.6370
7.1030, 12.337, 20.277

の全15点としてある。これらの圧力に対応する飽和温度、潜熱、密度（液相、気相）、比熱（液相、気相）、動粘性係数（液相、気相）、熱伝導率とプラントル数（液相、気相）を組込んだものである。飽和温度状態にある場合の物性値は、これらの値が使用される。

第3.2.2節に述べた供給水の温度変化の計算における比熱には、飽和温度状態の値を使用している。この理由は、このキャプセルはほぼ飽和温度付近で運転されること、ならびに比熱は温度によりあまり大きな変化がないためである。

(2) 温度が飽和温度でない場合

温度が飽和温度でない場合には、別の組込みデータを使用して求められる。このときの圧力の範囲は0.1～17.5 MPa（約1～175 kg/cm²a）とし、全12点で、

0.1, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 7.5, 10.0, 12.5, 15.0, 17.5

としてある。

温度については273.15～650 Kの範囲の全点15点とし、

273.15, 300.0, 320.0, 340.0, 360.0, 380.0, 400.0, 420.0, 440.0, 460.0

480.0, 500.0, 550.0, 600.0, 650.0

としてある。

計算に必要な物性値は、これらの圧力と温度について組込んでいる。定点間の値は、これら組込み値をもとに与えられた圧力と温度で直線内挿により評価する。

(3) 液相の水の膨脹係数 (β)

液相の水の膨脹係数 (β) は、温度として10～250℃の範囲の次の温度に対する値を組込んでいる。

10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 250 (°C)

温度が10℃以下、250℃以上の場合、それぞれ10℃の値 0.0009, 250℃の値 0.00299 とする。

この膨脹係数は、自然対流熱伝達係数の評価に際し必要なグラスホフ数の算出に使用される。この値はその値を必要とする箇所の壁面温度に対し、直線内挿により求める。

(4) 組込みの物性値

組込みの物性値は、日本機械学会による技術資料¹⁰⁾より編集した。ただし、液相の水の膨脹係数 (β) の値は、伝熱工学資料¹¹⁾をもとに他の文献をも参考に編集した。

4.1.2 ガンマ加熱率について

(1) ガンマ線による発熱率

このキャプセルの使用材料は、大部分ステンレス鋼と考えられる。そのため、ステンレス鋼の熱伝導率、最大ガンマ加熱率、密度はBlock dataで与えている。それらの値は、それぞれ 0.14 (W/cm·°C), 10 (W/g), 7.8 (g/cc)としている。変更する必要がなければ、第5.2節で述べるように入力を省略できる。

(2) ガンマ線の軸方向分布

次の第5.2節で述べる様にガンマ線の軸方向分布は入力値で与えることもできるが、内部に組込んだ値でよければ、それを使用することもできる。組込みのガンマ線の分布は、Fig. 6 に示す値を使用している。すなわち、軸方向の位置の表示として炉心中心を原点にとり (単位cm),

-45.0, -40.0, -35.0, -30.0, -25.0, -20.0, -15.0, -10.0, -5.0, 5.0
10.0, 15.0, 20.0, 25.0, 30.0, 35.0, 40.0, 50.0

とする。これに対応するガンマ線相対強度を

0.27, 0.43, 0.58, 0.71, 0.82, 0.91, 0.97, 0.99, 1.00,
0.93, 0.87, 0.78, 0.68, 0.56, 0.46, 0.35, 0.25, 0.08

としてある。

4.2 プログラム上の処理の流れ

このプログラムの全体的な流れを、サブルーチン単位で、Fig. 7 に示す。

このプログラムは、第3.1節でも述べたように照射履歴に追従した計算を行う。照射履歴は、入力で履歴データとして与えられねばならない。

入力履歴データは、照射時刻とその時刻に対応する原子炉出力比、システム圧力、速中性子束、熱中性子束等である。なお、キャプセルへの供給水流量とキャプセル入口温度も履歴データとすることが可能である。

プログラムでは原則としてタイム・ステップ（計算を進める時刻幅）を15分として計算を進行させる。この関係を原子炉出力比について示すと、Fig. 8の如くなる。なお、次に述べる計算結果の出力の関係で、計算開始の初期状態の出力が必要なら、T 1にT 2より小さな時刻を与え、他の照射履歴データはT 2と全く同じデータを与えなければならない。

計算結果の出力は与えた照射履歴時刻データの節目毎に出力される。もし、例えば、Fig. 8の出力上昇中の結果を見たければ、この間に履歴データを挿入する必要がある。

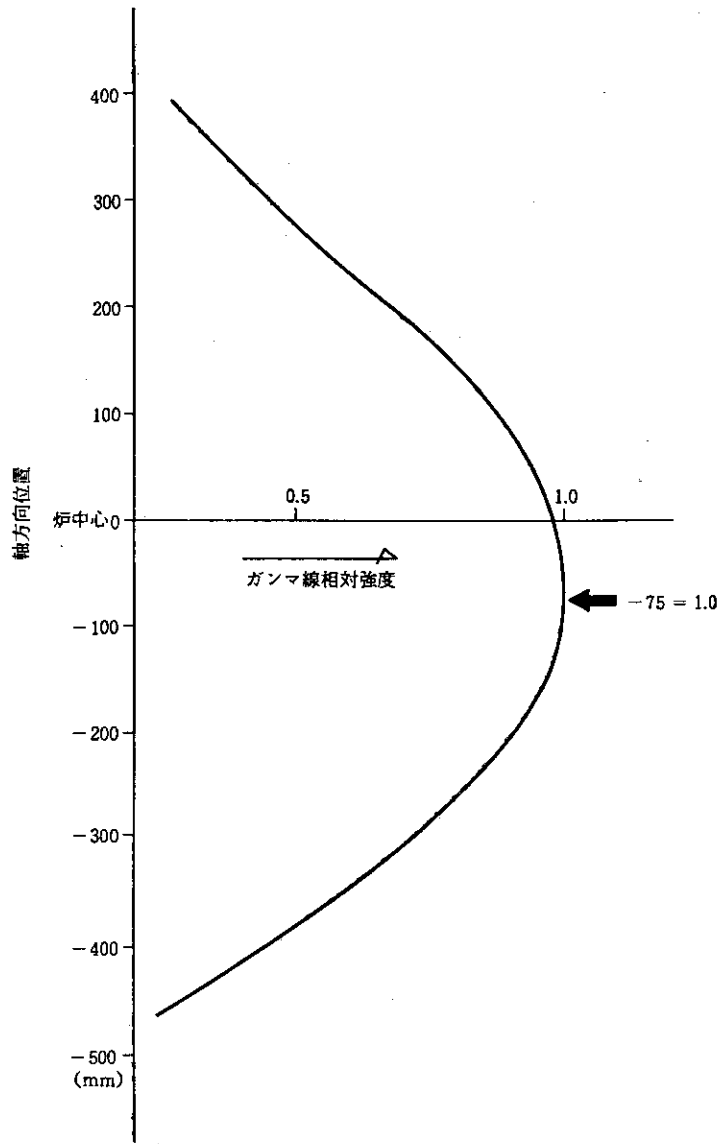


Fig. 6 Distribution of gamma rate

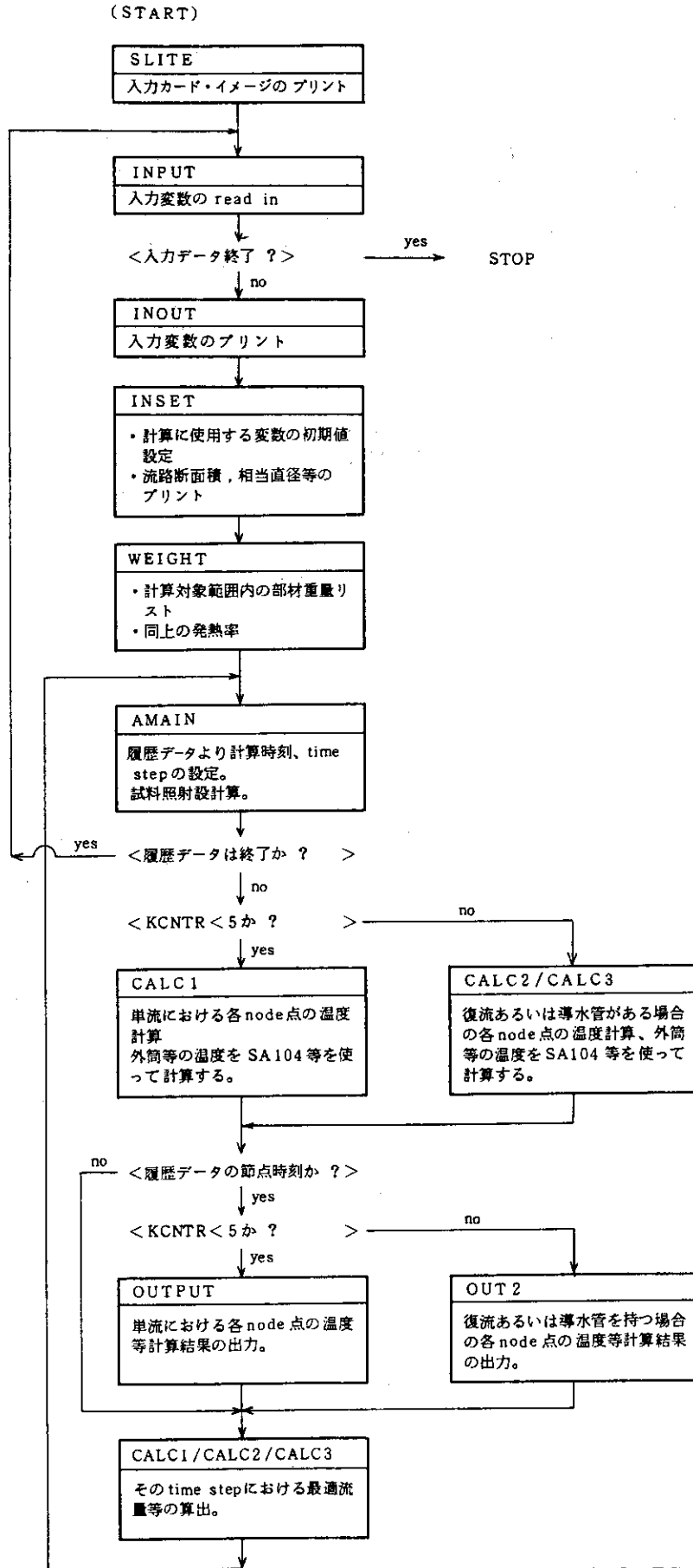


Fig. 7 Outline flow of SATCAP-B

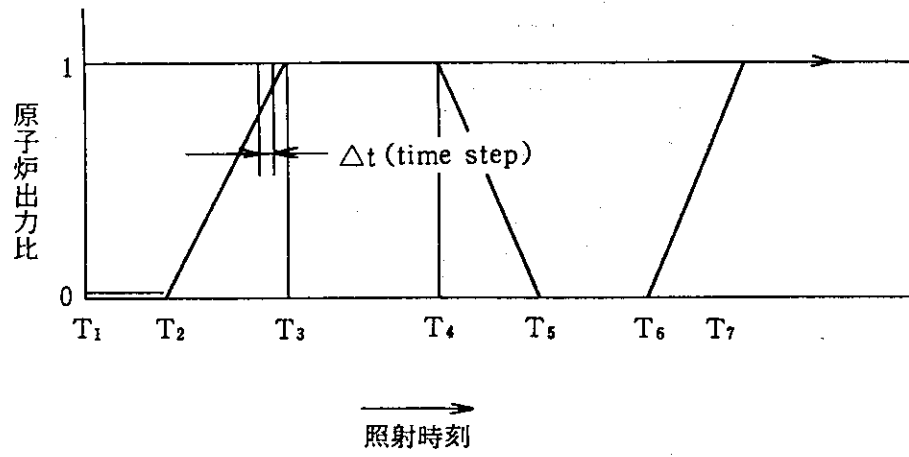


Fig. 8 Irradiation history (Reactor power ratio)

Table 4 Subroutines contained in SATCAP and their functions.(1/3)

Name	Function
AMAIN	main routine, 全 routine の制御。 照射履歴データに基づく, 時刻, time step (計算を進める時刻幅) の設定, および試料についての照射量の計算
BLDATA	ブロック・データ。初期組込みデータの設定。
CALC1 (JSW)	このルーチンは供給水が単流の場合にのみ使用される。 JSW = 0 : 照射履歴より AMAIN で与えられた時刻におけるキャプセル内の供給水の温度, 蒸気含有率等を計算する。 JSW = 1 : 最適流量制御をする場合, その time step における供給水の温度, 蒸気含有率が制限値を越えているならば, 供給水量, ヒータ容量を制御値内になるように設定し, 次の time step の流量等とする。
CALC2 (JSW)	このルーチンは仕切板があり, 供給水がキャプセル上方から供給される復流の場合に使用される。 計算内容は, CALC1 と同じである。
CALC3 (JSW)	このルーチンは供給水が導水管によりキャプセル下方に注水される場合に使用される。 計算内容は, CALC1 と同じである。
HEAD	各出力グループのヘッド・ラインをプリントする。
HTRAN	キャプセル内部の仕切板等の内外面の熱伝達係数が入力値で与えられない場合, Dittus - Boelter 相関式の修正モデルにより, 熱伝達係数を評価する (第 3. 2. 5 節参照)。
HTRANG	キャプセル内部の仕切板等の内外面の熱伝達係数が入力値で与えられない場合, 自然対流モデルによる熱伝達係数を評価する (第 3. 2. 5 節参照)。
HTRNDB	キャプセル内部の仕切板等の内外面の熱伝達係数が入力値で与えられない場合, Dittus - Boetler の相関式により, 熱伝達係数を評価する (第 3. 2. 5 節参照)

Table 4 Subroutines contained in SATCAP and their functions. (2/3)

Name	Function
INOUT	入力データを入力番号順に簡単な説明を付してプリントする (第2出力グループ)。
INPUT	入力番号に従った入力変数のread in.
INSET	計算に必要な初期値の設定。なお、設定した流路相当直径については出力する (第3出力グループ)。
OUTPUT	供給水が単流の場合の計算結果を出力する (第6出力グループ)。
OUT2	供給水が復流の場合および導水管を持つキャプセルについての計算結果を出力する (第6出力グループ)。
SA104	キャプセル外筒が二重管構造の場合について、外筒の内外面温度、および内外面からの流出熱量を計算する。
SB104	キャプセル外筒が一重管構造の場合について、外筒の内外面温度、および内外面からの流出熱量を計算する。
SC104	照射試料を無限平板と考え、その表面、中心温度および、外表面からの放出熱量を計算する。
SD104	供給水が復流の場合、仕切板に関する内外面温度および、内、外表面から流出する熱量を計算する。
SE104	供給水が導水管によって供給される場合、導水管に関する内外面温度および、内、外表面から流出する熱量を計算する。
SLITE	入力データのカード・イメージのプリント (第1出力グループ)。

Table 4 Subroutines contained in SATCAP and their functions. (3/3)

Name	Function
STEAM	与えられた水の圧力における飽和温度，潜熱，密度（液相，気相），比熱（液相，気相），動粘性係数（液相，気相），熱伝導率とプラントル数（液相，気相）の飽和温度状態における物性値を算出する。
STEAMM	与えられた圧力と温度をもとに液相あるいは気相の密度，比熱，動粘性係数，熱伝導率およびプラントル数を算出する。
VEXPC	液相の水の膨脹係数を与えられた温度をもとに算出する。
WEIGHT	(1) プログラムの計算対象に含まれるキャプセル各部材の重量を計算しプリントする（第4出力グループ）。 (2) 上記重量をもとに，最高出力時の発熱率をプリントする（第5出力グループ）

5. 入力について

5.1 入力方法

- (1) 入力はカード形式である。入力データ例のイメージを Fig. 9 に示す。タイトル・カードを除き、入力はすべて同じ形式の FORMAT である。

一組の入力カード群の先頭カード(一枚)は、タイトル・カードであり、FORMAT(20 A 4)で読込まれる。このカードの先頭4 wordsが「STOP」の時、計算は終了する。したがって、入力カードの最後は、「STOP」カードで終わらねばならない。

一組の入力カード群で、数セットの計算を行うことが出来る。各セットの最後は、カード先頭の数字(=入力番号:整数INT1)を999として区切られねばならない。

入力変数の読み込み形式は、入力番号、入力補助整数(INT2)とそれに続く5つの変数の組で構成されており、FORMAT(2I3, 5E10.3)である。各変数の識別は、入力番号と第何番目の入力(フィールド, field 順)かによっている。入力変数には、計算のコントロールに使用される整数型のものもあるが、これらもすべてfloating形として入力されねばならない。具体的には、すべての入力変数は少数点(.)を持って入力する必要がある。整数変数のものは入力後ただちに整数に変換される。

- (2) 配列変数の入力には、入力補助変数INT2を使用する。すなわち、例えば、入力番号21のガンマ加熱率の入力、(PDIS(J), J=1, LMAX)は次のように入力する。

```
021bb1b0.632bbbb.....b0.992bbbb
```

```
021bb2b0.986bbbb.....b0.620bbbb
```

入力は配列の小さいほうから5個に区切って5E10.3で入力し、入力補助変数INT2を順次1, 2, 3としてゆく。

5.2 入力変数の説明

計算に使われる入力変数はすべてプリントされる。この出力は、出力の第二グループ — INPUT VARIABLES USED IN CALCULATIONS — にリスト・アップされる。ただし、第二グループ出力では、入力のフィールド順は入力番号(—*(No)*:で示される—)に続く入力変数の概略説明の下段に原則として縦の順にプリントされる。したがって、ここでは特に説明を要する事項に重点をおいて説明を加える。

このキャプセルに使用を予定される材料は、ステンレス鋼(SUS-304)が主体となると考えられるため、SUS-304の熱伝導率、密度、最大ガンマ加熱率として0.14(W/cm·°C), 7.8(g/cc), 10(W/g)をblock dataで与えている。これらの値を変更する必要がある場合は、入力番号101, 201, 221, 251, 261, 271, 281, 301, 401による入力は省略可能である。以下、入力変数に関し入力番号順に説明する。

入力番号 001, — 計算制御のための KEY WORDS —

第1フィールド, KSW: キャプセル外筒のタイプの指定。KSW=1: 外筒が一重管タイプのキャプセル。KSW=2: 外筒が二重管タイプのキャプセル。

KSW=3: 外筒が部分的に一重管と二重管で構成される混合タイプのキャプセル。

この場合, 各部分の外筒形状を入力番号 312 で指定しなければならない。

第2フィールド, KCNTR: このキーワードKCNTRは, 供給水の供給方法(単流, 復流の仕切板方式あるいは導水管方式)および最適流量を算出する方法を指定する。KCNTR=5~7は, 復流(return flow)の仕切板(baffle plate)方式に関し使用する。

プログラムの現バージョンは, 原子炉の出力が降下する場合の供給水流量の制御について未だ充分な考慮を払っていない。

KCNTR=10~11は, 復流の導水管方式に関し使用する。

KCNTR=0: この場合, 供給水流量の変更はしない。供給水は下方より上方への単流である。

KCNTR=1: この場合も, 供給水は単流である。しかし, 試料部下部, 上部の供給水の温度, 蒸気含有率等の状態により, 最適流量の計算を行う。制限値としての温度, 蒸気含有率等は, 入力番号 003 で指定されねばならない。

KCNTR=2: 供給水は制限値を満足するように, キャプセル軸方向に分配供給されると考え, 供給水流量の最適値計算を行う。

KCNTR=5: この場合, 供給水は復流の仕切板方式である。しかし, 供給水流量についての最適値計算は行わない。

KCNTR=6: 供給水は復流の仕切板方式の場合について, 試料部下部, 上部の供給水の温度, 蒸気含有率等の状態により, 最適流量の計算を行う。計算に際し, 上部蒸気含有率が制限値内になるように, また下部ヒータ出力の調整を行う。ただし, 下部ヒータの調整計算は省略することができる。制限値としての温度, 蒸気含有率等は, 入力番号 003 で指定されねばならない。

KCNTR=7: 供給水が復流の場合について, 試料部下部の供給水の温度が制限値内になるように, 供給水流量計算を行う。

KCNTR=10: この場合, 供給水は復流の導水管方式である。

しかし, 供給水流量についての最適値計算は行わない。

KCNTR=11: この場合, 供給水は復流の導水管方式である。ただし, 供給水の温度, 蒸気含有率等の状態により, 最適流量の計算を行う。計算に際し, 上部蒸気含有率が制限値内になるように, また下部ヒータ出力の調整をおこなう。ただし, 上部蒸気含有率等は, 入力番号 003 で指定されねばならない。

注) ここで言う最適流量計算は, あくまで計算上の流量を意味し, 必ずしも現実のキャプセルでそのように制限すると言うことを意味しているのではない。

第3フィールド, ISW: このキーワードISWは, プログラム開発途中で計算結果のチェッ

クに使用したものである。したがって、 $ISW=0$ で入力のこと。

入力番号002 — 計算基本パラメータ —

- 第1フィールド, LMAX : 計算上分割するキャプセルの節点数。LMAX \leq 25
 第2フィールド, MIH : 照射履歴データとして与える履歴節点数。MIH \leq 15

入力番号003 — 計算制御に使用する制御条件とする値等 —

- 第1フィールド, XSQUL : キャプセル内の許される最大蒸気含有率。
 第2フィールド, TEMPLL : 試料につき最低の照射温度。
 第3フィールド, FLRLL : 供給水の最低流量。
 第4フィールド, LHTN : 試料についての最低の照射温度を保つために制御すべきヒータの節点番号。
 第5フィールド, LCNN : キャプセル内の許される最大蒸気含有率を維持することが必要な範囲の最大節点番号。LCNN $>$ 1 でなければならない。

入力番号011, 012

この番号の入力は、入力の必要はない。出力の第2グループでプリントされているものは、入力変数ではない。履歴データ、入力番号603で入力されたシステム圧力の先頭の値をもとにプログラム内で計算した物性値をプリントしているだけである。

プログラム内には、簡単な蒸気表を組込んである。ただし、飽和温度付近の値としている。密度などの物性値は温度依存性をもつが、それ等の値については、圧力を基準としている。詳細は、第4.1節を参照されたい。

入力番号013 — 境界条件の値など —

- 第1フィールド, FLRM : 供給水流量の初期値 (g/min)
 第2フィールド, TIIF : 供給水の供給温度 ($^{\circ}$ C)
 第3フィールド, TOOF : キャプセル外筒を流れる原子炉冷却水温度 ($^{\circ}$ C)
 第4フィールド, SLR : キャプセル内の蒸気泡のスリップ比 (slip ratio)
 第1フィールド, 第2フィールドの値は、もし照射履歴データとして入力番号607, 608で与えられる場合は無視される。しかし、FLRM, TIIF $>$ 0 な値を入力しておくことが好ましい。

入力番号014

- 第1フィールド, HGS : キャプセル外筒表面での熱伝達率 ($W/cm^2 \cdot ^{\circ}$ C)
 第2フィールド, HGIF : キャプセル内筒表面での熱伝達率 ($W/cm^2 \cdot ^{\circ}$ C)
 第3フィールド, HGSS : 試料表面での熱伝達率 ($W/cm^2 \cdot ^{\circ}$ C)
 第4フィールド, CKG : 内筒と外筒間のギャップ中のガスの熱伝導率 ($W/cm \cdot ^{\circ}$ C)

なお、この入力にさいし、入力補助整数を1とすれば、第1～3フィールドの値はその単位を $\text{BTU}/\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$ で与えることができる。

JMTRでは、キャプセル外筒表面での熱伝達率（第1フィールド、HGS）の設計値として、通常 $20000 \text{ kcal}/\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ($= 2.33 \text{ W}/\text{cm}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) を使用している。

HGIF, HGSS の入力値を0.0または負(<0)とすると、プログラム内で熱伝達率を推定計算する（第3.2.5節参照）。

HGIF, HGSS = 0.0 : Dittus - Boelter のモデルにより、推定計算を行う。

HGIF, HGSS = -1 : Dittus - Boelter の修正モデルにより、推定計算する。

HGIF, HGSS = -2 : 自然対流モデルにより、推定計算を行う。

ただし、照射試料については、上記の熱伝達率で計算した試料表面温度が飽和温度を越えるならば、試料表面温度は Jens - Lottes の評価式によって計算される。

入力番号015

第1フィールド, BFHGI : 仕切板内面での熱伝達率 ($\text{W}/\text{cm}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)

第2フィールド, BFHGT : 仕切板外面での熱伝達率 ($\text{W}/\text{cm}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)

なお、この入力に際し、入力補助整数を1とすれば、第1～2フィールドの値はその単位を $\text{BTU}/\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$ で与えることができる。

BFHGI, BFHGT の入力値を0.0または負(<0)とすると、プログラム内で熱伝達率を推定計算する（第3.2.5節参照）。

BFHGI, BFHGT = 0.0 : Dittus - Boelter のモデルにより、推定計算を行う。

BFHGI, BFHGT = -1 : Dittus - Boelter の修正モデルにより、推定計算する。

BFHGI, BFHGT = -2 : 自然対流モデルにより、推定計算を行う。

入力番号021

この入力は、ガンマ線の相対強度である。各節点におけるガンマ線につき最大値を1.0とした相対強度を入力する。ただし、この入力をすべて0にするか、あるいは入力自体を行わないと、ガンマ線相対分布について代表的な値をプログラム内で自動的に設定する。しかし、その場合、入力番号311のデータの先頭の値(elevation)は、必ず炉心中心を原点とした値で与えなければならない。要注意のこと //

入力番号031 — 供給水を分流供給する場合の分流比、

(FLRR(J), J=1, LMAX) —

キャプセル内の供給水が単流で供給水を分流供給する場合、その分流比を各節点毎に与える。最適流量をプログラム内で推定させる場合（入力番号001で、KCNTN=1,2を与える場合）、この入力は省略すること。

入力番号101 — 照射試料の物性値 —

第1フィールド, SCK : 試料の熱伝導率 ($\text{W}/\text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$)

- 第2フィールド, SROU : 試料の密度 (g/cc)
 第3フィールド, SGMHR : 試料の最大ガンマ加熱率 (W/g)

入力番号102 — 試料寸法 —

- 第1フィールド, STH : 試料の厚さ (cm)
 第2フィールド, SWH : 試料の幅 (cm)
 第3フィールド, SLN : 試料の長さ (cm)
 第4フィールド, SDM : 試料の断面直径 (cm)
 第5フィールド, SPC : 試料がキャプセルの軸方向の同一位置に装荷される個数
 試料形状が四角形の場合は, SDMの値は必ず0.0とすること。また, 試料形状が棒の場合は, STH, SWHの値は必ず0.0とすること。

入力番号111 — 分割セクション内に装荷する試料の個数, (SNO(J), J=1, LMAX) —
 計算上分割したセクションに含まれる試料個数を与えるが, セクション番号は2から始まるので, SNO(1)は0.0としておくこと。すなわち, (SNO(J), J=2, LMAX)の値を入力する。

入力番号201 — 試料ホルダーの物性値 —

- 第1フィールド, HLROU : 試料ホルダーの密度 (g/cc)
 第2フィールド, HLGMR : 試料ホルダーの最大ガンマ加熱率 (W/g)

入力番号202 — 試料ホルダーの寸法 —

- 第1フィールド, HLTH : 試料ホルダーの厚さ (cm)
 第2フィールド, HLWH : 試料ホルダーの幅 (cm)
 第3フィールド, HLDM : 試料ホルダーの断面外直径 (cm)
 第4フィールド, HLDI : 試料ホルダーの断面内直径 (cm)
 試料ホルダー形状が四角形の場合は, HLDMの値は必ず0.0とすること。また, 試料ホルダー形状が棒の場合は, HLTH, HLWHの値は必ず0.0とすること。

入力番号211 — (HLLNF(J), J=1, LMAX) —

試料ホルダーの各セクションにおけるfractional lengthを入力する。各セクションに試料ホルダーが, 例えば2本ある場合はこの値を2.とする。

HLLNF(1)は0.0とし, 第一段の長さはHLLNF(2)から入力すること。

入力番号221 — 試料スペーサの物性値 —

- 第1フィールド, SPROU : 試料スペーサの密度 (g/cc)
 第2フィールド, SPGMHR : 試料スペーサの最大ガンマ加熱率 (W/g)

入力番号 222 — 試料スペーサの寸法 —

第1フィールド, SPTH : 試料スペーサの厚さ (cm)

第2フィールド, SPWH : 試料スペーサの幅 (cm)

第3フィールド, SPDM : 試料スペーサの直径 (cm)

第4フィールド, SPAREA : 試料スペーサの断面面積 (cm²)

試料スペーサ形状が四角形の場合は, SPDMの値は必ず0.0とすること。また, 試料スペーサ形状が棒の場合は, SPTH, SPWHの値は必ず0.0とすること。その他の形状の場合は, SPAREAのみの値を入力すること。

入力番号 231 — 試料スペーサの長さ —

試料スペーサの各セクションにおけるfractional lengthを入力する。各セクションに試料スペーサが, 例えば2本ある場合はこの値を2. とする。

SPLNF(1)は0.0とし, 第一段の長さはSPLNF(2)から入力すること。

入力番号 241 — ヒータの最大出力 —

装荷するヒータの最大出力(W)を入力する。ただし, HTMHR(1)は0.0とし, 第一段ヒータの出力はHTMHR(2)から入力すること。

数セットの入力データで連続計算を行うとき, このヒータ出力は前回の計算によって書きかえられることがある(KCNTR=1, LHTN>0等の場合)。したがって, この入力には各入力セット毎に入力しておいた方がよい。

入力番号 251 — 仕切板の物性値 —

第1フィールド, SLDCK : 仕切板の熱伝導率 (W/cm·°C)

第2フィールド, SLDROU : 仕切板の密度 (g/cc)

第3フィールド, SLDMHR : 仕切板の最大ガンマ加熱率 (W/g)

入力番号 252 — 仕切板 (baffle plate) 寸法 —

供給水をキャプセル内で復流とする仕切板に関する形状データを入力する。

第1フィールド, SLDDO : 仕切板の外直径 (cm)

第2フィールド, SLDDI : 仕切板の内直径 (cm)

第3フィールド, BPRE : 仕切板の断面形状が四角形の時, その外寸法 (cm)

第4フィールド, BPRS : 仕切板の断面形状が四角形の時, その内寸法 (cm)

(注) * 1) 円筒か四角形かの区別は, 該当しない形状のデータに0.0を入力することにより行う。

* 2) 仕切板の断面形状が四角形の時, 計算上では円形に変換する。変換は四角形の内周に等しい内周をもつ円形に置換える。円形に置換えた時の外半径は変換した内半径から断面積を等しくして定めている。周に等しい円に置換えるのは熱流束を, 断面積を等しくするのは発熱量を, 同じにするためである。

入力番号 253 — 仕切板の長さ —

仕切板の各セクションにおける長さをそのセクション長さに対する割合 (fraction) で入力する。該当するセクションに仕切板が存在しない場合は、0.0 とする。ただし、SLDLF (1) は 0.0 とすること。

入力番号 261 — 上部支持体の物性値 —

仕切板内の試料ホルダーの固定に使用される支持物のうち上部のものについての物性値。

第1フィールド, SUUROU : 上部支持体の密度 (g/cc)

第2フィールド, SUUMHR : 上部支持体の最大ガンマ加熱率 (W/g)

入力番号 262 — 上部支持体の寸法 —

第1フィールド, SUUTH : 上部支持体の厚さ (cm)

第2フィールド, SUUWH : 上部支持体の幅 (cm)

第3フィールド, SUUDM : 上部支持体外直径 (cm)

第4フィールド, SUUDI : 上部支持体内直径 (cm)

上部支持体形状が四角形の場合は、SUUDMの値は必ず0.0とすること。また、上部支持体形状が棒の場合は、SUUTH, SUUWHの値は必ず0.0とすること

入力番号 263 — (SUULNF(J), J=1, LMAX) —

上部支持体の各セクションにおけるfractional lengthを入力する。各セクションに上部支持体が、例えば2本ある場合はこの値を2. とする。

SUULNF (1) は 0.0 とし、第一段の長さはSUULNF (2) から入力すること。

入力番号 271 — 下部支持体の物性値 —

仕切板内の試料ホルダーの固定に使用される支持物のうち下部の物についての物性値

第1フィールド, SULROU : 下部支持体の密度 (g/cc)

第2フィールド, SULMHR : 下部支持体の最大ガンマ加熱率 (W/g)

入力番号 272 — 下部支持体の寸法 —

第1フィールド, SULTH : 下部支持体の厚さ (cm)

第2フィールド, SULWH : 下部支持体の幅 (cm)

第3フィールド, SULDM : 下部支持体の断面外直径 (cm)

第4フィールド, SULDI : 下部支持体の断面内直径 (cm)

下部支持体形状が四角形の場合は、SULDMの値は必ず0.0とすること。また、下部支持体が棒の場合は、SULTH, SULWHの値は必ず0.0とすること。

入力番号 273 — (SULLNF(J), J=1, LMAX) —

下部支持体の各セクションにおけるfractional lengthを入力する。各セクションに下

部支持体が、例えば2本ある場合はこの値を2. とする。

SULLNF(1)は0.0とし、第一段の長さはSULLNF(2)から入力すること。

入力番号 281, 282, 283 — 発熱物体に関するデータ —

試料, 試料スペーサ, 試料ホルダー, 上部, 下部支持体以外の物体が, 仕切板内にある場合にその物体についてのデータを入力する。試料, 試料スペーサ等については, 流路断面積の計算においてその存在を考慮するが, この発熱部体については考慮しない。

入力番号 281 — 発熱物体の物性値 —

第1フィールド, DMPROU : 発熱物体の密度 (g/cc)

第2フィールド, DMPMHR : 発熱物体の最大ガンマ加熱率 (W/g)

入力番号 282 — 発熱物体の寸法 —

第1フィールド, DMPTH : 発熱物体の厚さ (cm)

第2フィールド, DMPWM : 発熱物体の幅 (cm)

第3フィールド, DMPDM : 発熱物体の外直径 (cm)

第4フィールド, DMPDI : 発熱物体の内直径 (cm)

第5フィールド, DMN : 発熱物体の長さ (cm)

発熱物体の形状が四角形の場合は, DMPDM の値は必ず0.0とすること。また, 発熱物体の形状が棒の場合は, DMPTH, DMPWH の値は必ず0.0とすること。

入力番号 283 — 発熱物体の個数 — (DMPNOJ(J), J=1, LMAX)

発熱物体の各セクションにおける個数を入力する。ただし, DMPNOJ(1)は0.0とし, 第一段からの個数はDMPNOJ(2)から入力すること。

入力番号 301 — キャプセル外筒材の物性値 —

第1フィールド, CCK : 外筒材の熱伝導率 (W/cm·°C)

第2フィールド, CROU : 外筒材の密度 (g/cc)

第3フィールド, CGMHR : 外筒材の最大ガンマ加熱率 (W/g)

入力番号 302 — キャプセル外筒の寸法 —

第1フィールド, DOO : キャプセル外筒の外管の外直径 (cm)

第2フィールド, DOI : キャプセル外筒の外管の内直径 (cm)

第3フィールド, DIO : キャプセル外筒の内管の外直径 (cm)

第4フィールド, DII : キャプセル外筒の内管の内直径 (cm)

キャプセル外筒が一重管の場合は, その寸法は内管として入力すること。このときDOO, DOIは共に0.0としておくこと。

入力番号311 — キャプセル軸方向の各セクションの長さ —

キャプセル軸方向の各セクションの長さ (cm) を入力する。この入力、計算上分割する軸方向の座標点 (node点) を設定するデータとして使用される。

入力の先頭の値 (第1フィールド) は、座標の値そのものとする。第2フィールド以降は軸方向長さの間隔距離である。なお、入力番号21でガンマ線相対強度を特に入力しない場合は、炉心中心を原点とした距離で入力しなければならない。

入力番号312 — キャプセル軸方向の各セクションの形状 —

キャプセル軸方向の各セクションにおける外筒構造を指定する。

LSWL (J) = 1 ならば、キャプセル外筒を一重管構造とする。

LSWL (J) = 2 ならば、キャプセル外筒を二重管構造とする。

ただし、入力番号001の第1フィールドの入力KSW = 3のときのみ、このデータは使用される。

入力番号401 — 外筒ギャップ内挿入熱媒体の物性値 —

第1フィールド, RIPCK : キャプセル外筒が二重管の場合ギャップ層に挿入される熱媒体の熱伝導率 ($W/cm \cdot ^\circ C$)

第2フィールド, RIPROU : 上記熱媒体の密度 (g/cc)

第3フィールド, RIPMHR : 上記熱媒体の最大ガンマ加熱率 (W/g)

入力番号402 — 外筒ギャップ内挿入熱媒体の形状寸法 —

第1フィールド, RIPDLG : キャプセル外筒が二重管の場合ギャップ層に挿入される熱媒体と内管間の半径ギャップ寸法 (cm)

第2フィールド, RIPGAP : 上記熱媒体の熱媒体と外管間の半径ギャップ寸法 (cm)

入力番号411 — 外筒ギャップ内挿入熱媒体の使用の有無等,

(LDRIP (L), L=1, LMAX) —

キャプセル外筒が二重管の場合、内管と外管の間のギャップに熱媒体を挿入するか、どうかの指定の入力である。この種の熱媒体を考慮しない場合は、この入力変数をすべて0にするか、あるいはこの入力自体を省略すればよい。入力は各セクション間毎に与える。LDRIP (1) の値は使用されないの、0.0とする。熱媒体がある場合は1ないし2とする。

LDRIP (L) = 0の場合、ギャップ層には熱媒体は挿入されていない。

LDRIP (L) = 1の場合、ギャップ層には熱媒体が挿入されてるとするが、熱媒体自身の発熱は考慮しない。

LDRIP (L) = 2の場合、ギャップ層には熱媒体が挿入されてるとし、かつ、熱媒体自身の発熱も考慮する。

入力番号412 : 熱媒体の軸方向挿入割合 : RIPPIT (L), L=1, LMAX 各セクション

間で熱媒体が長手方向にどれだけの割合いで挿入されているかの割合 (fraction), 長手方向に隙間なく入れるのであれば, この値は, $RIPPI(T) = 1$ である。

入力番号 601 から 608 までは照射履歴に関するデータである。

なお, 供給水流量および供給水入口温度を履歴データとして使用する場合, これらの履歴データは必ず正の値でなければならない (データ中に, 0. となる値を組込んではいならない: 入力番号 013 解説参照)。

入力番号 601 — 照射時刻データ, (HIST(J, 1), J=1, MIH) —

このキャプセルの照射履歴の基本となる時刻 (hr) を入力する。MIH ≤ 15 とする。

ここで与えた時刻のときのみ計算結果が出力される。

入力番号 602 — 原子炉出力比データ, (HIST(J, 2), J=1, MIH) —

入力番号 601 で与えた時刻に対応する時点の原子炉出力比である。

入力番号 603 — キャプセル内に供給する供給水システムの圧力,

(HIST(J, 3), J=1, MIH) —

入力番号 601 で与えた時刻に対応する時点のキャプセル内に注入する供給水システムの圧力 ($\text{kg/cm}^2\text{a}$) である。

入力番号 604 — キャプセル外筒が二重管の場合, ギャップ内のガス熱伝導率に乗じる

ファクター, (HIST(J, 4), J=1, MIH) —

キャプセル外筒が二重管で, ギャップ内の温度を計算する場合, ここで与えたファクターがガスの熱伝導率に乗じられる。入力番号 601 で与えた時刻に対応する時点の値を入力する。

入力番号 605 — 速中性子束データ, (HIST(J, 5), J=1, MIH) —

入力番号 601 で与えた時刻に対応する時点の速中性子束データ ($\text{n/cm}^2\cdot\text{s}$) を与える。

入力番号 606 — 熱中性子束データ, (HIST(J, 6), J=1, MIH) —

入力番号 601 で与えた時刻に対応する時点の熱中性子束データ ($\text{n/cm}^2\cdot\text{s}$) を与える。

入力番号 607 — 供給水流量データ, (HIST(J, 7), J=1, MIH) —

入力番号 601 で与えた時刻に対応する時点の供給水流量データ (g/min) を与える。

入力番号 608 — 供給水入口温度データ, (HIST(J, 7), J=1, MIH) —

入力番号 601 で与えた時刻に対応する時点の供給水入口温度データ ($^{\circ}\text{C}$) を与える。

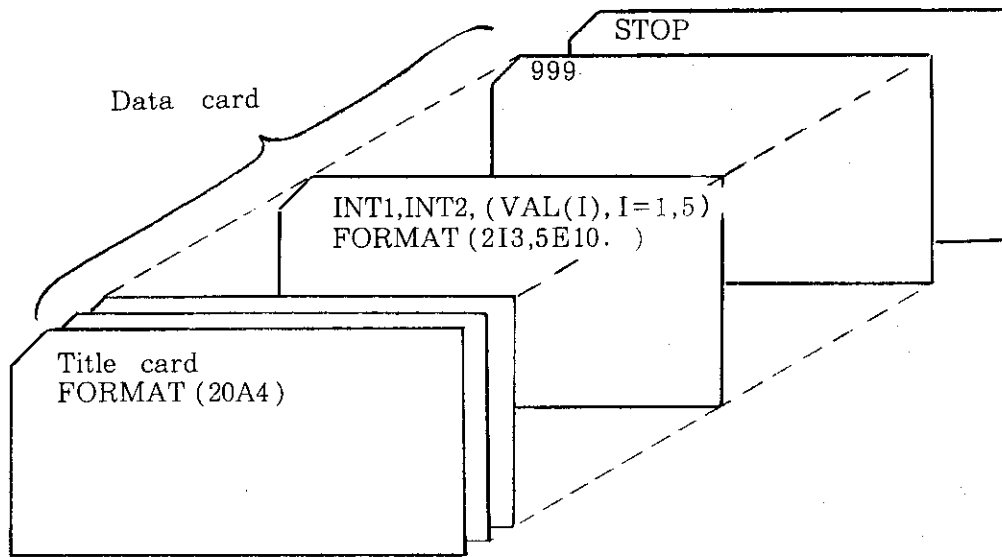


Fig. 9 Composition of input data

6. 出力について

このプログラムは、6グループの出力を持つ。第1のグループは、入力カードのカード・イメージをそのままプリントする。例をFig. 10に示す。ただし、先頭にCARD NO.として書かれているシリーズナンバー（series No）は入力番号ではなく、入力整理の数である。この出力はサブルーチンSLITEにより出力される。

第2グループは、計算に使われる入力変数をすべてリスト・アップし、入力番号に従って入力フィールド順ごとの変数に説明を付した上、使用数値をリストしている。例をFig. 11に示す。第1グループと第2グループとを較べてみれば分る通り第1グループで入力されていない変数についても第2グループではプリントされている。これは、入力を省略した変数がある場合、変数値にプログラム内組込みの値を設定しているからである。第2グループの詳しい説明は第5節「入力について」で述べたので省略する。この出力はサブルーチンINOUTにより出力される。

第3グループは、計算に使われる供給水流路に関する相当直径等の計算値である。この出力はサブルーチンINSETにより出力される。

第4グループ出力は、計算対象に含まれるキャプセル各部材の重量のリストである。

第5グループ出力は、計算対象に含まれるキャプセル各部材の重量から計算された発熱率のリストである。第4、第5グループ出力はサブルーチンWEIGHTにより出力される。

第6グループは、照射履歴データに従って出力される。与えられた履歴データの時刻の節目毎にその時点での計算されたキャプセル内の状態をプリントしている。第6グループ出力は、キャプセル内で供給水が下方から上方に流れる単流についての計算結果と、キャプセル内に仕切板あるいは導水管があり供給水が復流となるとき計算結果で、その出力形式が少し異なる。これ等の出力は、サブルーチンOUTPUTあるいはOUT2により出力される。

6.1 第3グループ出力

第3グループ出力の例をFig. 12に示す。出力は、入力データから算出した各セクション間についての断面積（記号AREAで表示）、濡れ縁長さ（記号PERLで表示）、熱伝達上の相当直径（記号EDIAで表示）、水力学的相当直径（記号RDIAで表示）プリントしている。

表示記号の末尾の数1～4は、次のことを意味する。

断面積（AREA）と水力学的相当直径（RDIA）については、

	仕切板タイプの場合	導水管タイプの場合	単流の場合
1 :	仕切板内部	外筒内部	外筒内部
2 :	仕切板と外筒の間	導水管内部	—

を示している。

断面積の算出に当たっては、キャプセル内の軸方向に通った試料、試料スペーサ、上下支柱等の断面積を差引いた供給水の流路断面積である。

濡れ縁長さ (PERL), 熱伝達上の相当直径 (EDIA) については,

	仕切板タイプの場合	導水管タイプの場合	単流の場合
1 :	試料表面	同左	同左
2 :	外筒内面	同左	同左
3 :	仕切板内面	導水管内面	—
4 :	仕切板外面	導水管外面	—

としている。

熱伝達上の相当直径は, 水力学的相当直径と同様な方法により求めているが, 濡れ縁長さと考えている対象箇所の濡れ縁長さのみを採っている。

6.2 第4および第5グループ出力

第4グループ出力の例をFig.13に示す。この出力グループは, 計算対象のキャプセルの重量 (g) を各セクション毎にリスト・アップする。なお, この重量からキャプセル内空間の体積 (cc) 算出結果をもプリントする。ただし, この体積には中空の支柱等の内部体積をも含むが, それらを見れば, ほぼ供給水が占める体積と考えてよい。なお, 第10列の HEATING PARTSとは, 第5~9列に仕分けできない仕切板内の部材重量を示す。

第4グループ出力の例をFig.14に示す。この出力グループは, 計算対象キャプセルの全出力時の発熱率 (W) のリストである。これは, 先の重量に単位重量当たりの発熱率を乗じて算出している。ただし, ヒータ等がある場合は, その出力をも加算している。ヒータ出力は, 第10列の値に加算される。

6.3 第6グループ出力

第6グループは, 照射履歴データに従って計算された計算結果の出力である。履歴データで与えた時刻の節目毎にその時点でのキャプセル内の状態の計算結果をプリントする。

第6グループ出力は, その時刻におけるシステム状態の大要 (共通出力) と, 各節点およびセクションにおける状態をプリントした5段に渡っての出力を持つ。ただし, 5段に渡って出力されるものは, キャプセル内に仕切板あるいは導水管があり供給水が復流となるときに計算結果である。キャプセル内で供給水が下方から上方に流れる単流についての計算結果は, 第1段と第3段のみが出力される。この区別は, 入力番号1の第2フィールドでの入力変数, KCNTR の値による。KCNTRが0, 1, 2の時のキャプセル内で供給水が下方から上方に流れる単流の場合は, サブルーチンOUTPUTにより, KCNTRが5以上の時のキャプセル内に仕切板あるいは導水管があり供給水が復流の場合は, サブルーチンOUT2により出力される。

出力例をFig.15に示す。出力内容をFig.15中の番号に従って説明する。図中で同一番号が重複しているものは, 同一内容であることを意味する。従って, 説明の前段で既に記述された番号については, その説明を省略する場合がある。以下の説明中, 「行」とあるものは, その番号の右に並ぶ行について, 「列」とあるものは, その番号の下に並ぶ列についての説明である。

列の場合は、各節点の右に同一行に並んだ値はその節点における値を、節点番号の中間の行の値は各節点間の値を示している。

(1) 共通出力

この部分プリントは、キャプセル全体の供給水等の状態に関する値である。

- 1行 TIME (HR) は、照射開始からの時間を示す。これは、照射履歴入力データによって、DTM以下COUNT OF LOOP までは計算状態のチェックのための出力で計算結果に特に意味のあるものではないので説明を省略する。
- 2行 試料のガンマ線相対強度のピーク値(最大は、1.0である)。原子炉の出力の割合(fraction)と考えればよい。この値の1.0は、JMTR 100%出力(50 MW)に対応する。
- 3行 負荷されたシステム圧力、すなわち、このキャプセルの内圧である。単位は kg/cm^2 の絶対圧である。
- 4行 システム圧に対する飽和温度と潜熱を示す。
- 5行 供給水の液相および蒸気相の比熱ならびに密度を示す。
- 6行 供給水の入口状態からのエンタルピー上昇を示す。この値に38列の総和を加えた値は、キャプセルからの流出熱量の総和である。この総和は、11列の総和と37列の総和を加えたキャプセルにおける総発生熱量の値に一致する。ただし、有効桁(～6桁)以下には計算誤差がある。なお、この計算は、11列と37列の総和値から算出した値で示しているのではなく、キャプセル最上段の供給水の状態から計算している。したがって何か計算上のトラブルがあると、一致しなくなる。ヒート・バランスが正しく計算されているかどうかの指標となる。この発熱率の相対誤差が0.1%以上になると、警告文がプリントされる。

(2) 第1段プリント

この段のプリントは、試料および上昇流に関する状態を示す。

- 7列 計算上、軸方向に分割した節点番号をキャプセル上部から下部への方向で示す。
- 8列 分割点の炉心内の高さ(elevation)を示す。炉心中心を原点(0 elevation)とする。
- 9列 各分割点におけるガンマ線の相対強度を示す。
- 10列 各分割点間に含まれる照射試料の個数。最下段は試料の総数である。
- 11列 各分割点間における試料およびヒータ等のガンマ加熱率を示す。最下段は総発熱率である。試料の発熱か、ヒータの発熱かの区別は10列の試料個数からか、15～16列の試料温度等のデータから判定する。試料、ヒータの他に、試料ホルダー、スパーサの発熱を考慮した場合は、この欄の値にそれらの発熱率を加算している。
- ガンマ発熱の計算に際してのガンマ線相対強度は、上、下節点の中間値をとっている。
- 12～14列の値は供給水上昇流についての温度などの状態を示す。
- 12列 各節点での流量。単位は、 g/min 。流量配分を考慮した計算の場合は各節点での流量は増加する。
- 13列 各節点での蒸気含有率(重量比)と蒸気体積率(fraction)を前半と後半に分けて示す。ここで、蒸気体積率は、蒸気のスリップ比(slip ratio)(*)を1.0と仮定して算出した参考値である。現実には、スリップ比は1.0以上であろうから、ボイド割合は

この値以下と予想される。

(*) slip ratio: 同一管内を同時に流動している気液混合体における気体の流速の液体の流速に対する比。

14列 各節点位置における供給水の温度。

15列 各節点間に装荷された試料の表面温度。試料を含む節点間についてのみプリントされる。表面温度は、上、下の節点における供給水の算術平均温度(31列の値)に表面での熱伝達率を考慮して計算している。このとき、試料は発熱する無限平板と仮定した時の熱流束を使用している。

16列 15列と同様に試料を発熱する無限平板と仮定したときの試料中心温度。

17, 18列 試料に関する中性子照射量。17列は高速, 18列は熱中性子の時の値である。ただし、照射履歴データで、中性子束が入力されねば算出されない。

(3) 第2段プリント

この段のプリントは、仕切板(あるいは導水管)および下降流に関する状態を示す。下降流がない、単流の場合は省略される。

20列 各分割節点間の距離。

21, 22, 23列 これらは、仕切板で発生した熱の発熱率、および仕切板を貫流する流出熱量に関する値である。ただし、仕切板を使用しない復流の場合は導水管に関する値である。

21列 仕切板の内側表面から内側へ流れ込み、供給水の加熱に使われる熱量を示す。

加熱となる場合は正の値で、仕切板の外側へ流れる場合は負(-)の値で示される。

22列 仕切板で発生した熱量の総計である。

23列 仕切板の外表面から外側へ流れる熱量、下降流供給水の加熱に関与する。

24列 対応するセクション内の供給水(上昇流)の平均温度。

25列 仕切板あるいは導水管の内表面温度。

26列 仕切板あるいは導水管の外表面温度。

27列 各節点での供給水(下降流)流量, 単位は, g/min である。

28列 各節点での蒸気含有率(重量比)と蒸気体積率(fraction)を前半と後半に分けて示す。ここで、蒸気体積率は、蒸気のスリップ比を1.0と仮定して算出した参考値である。

29列 各節点での下降流れの供給水温度。

(4) 第3段プリント

この段のプリントは、キャプセル外筒に関する状態を示す。

30列 各分割点間の距離。

31列 各節点間における供給水の平均温度。

この温度は、15列で示す上、下説点温度の算術平均温度である。ただし、軸方向の流量配分等を考慮する場合は、算術平均温度に一致しない場合もある。プログラム内では、この温度はキャプセル内外筒からの熱の流出に関して使用されている。

32, 33列 キャプセル外筒の内管の内面および外面の温度。

- 34, 35列 キャプセル外筒の外管の内面および外面の温度。これらの内外管材料は、ガンマ線により発熱するとしている。
- 36, 37, 38列 これらの値は、キャプセル外筒の内、外管における熱の発熱率、流出率に関する計算結果である。
- 36列 内、外管で発生した熱量等のうち、内側へ流れ込み、供給水の加熱に使われる熱量を示す。加熱となる場合は正の値で、キャプセルより原子炉冷却水へ流れる場合は、負(－)の値で示される。
- 37列 内、外管で発生した熱量の総計である。
- 38列 内、外管で発生した熱量等の内、原子炉冷却水に流れる熱量。
- 39列 計算上の参考データをプリントしている。3グループある数値の内、第一グループは、キャプセル外筒のそのセクション部分が一重管タイプ(1で示す)か、二重管タイプ(2で示す)かを表す。
- 第二グループは、内管と外管間ギャップに挿入される熱媒体の有無(無し:0, 有り:1)を示す。
- 第三グループは、挿入される熱媒体が内管に巻付けられると考えたときの巻方のピッチをその部分の全長に対する割合(fraction)で示す。全長に渡って巻かれ隙間がない場合は1.0である。

(5) 第4段プリント

この段のプリントは試料表面とキャプセル外筒内面の熱伝達係数に関する値である。

- 40列 各セクションにおける試料表面熱流束 (W/cm^2)
- 41列 各セクションにおける試料表面での熱伝達係数 ($W/cm^2 \cdot ^\circ C$)
- 42列 各セクションにおける供給水(上昇流)の流速 (cm/s)
- 43列 各セクションにおける熱伝達係数を定めるための相当直径 (cm)
- 44列 各セクションにおける熱伝達係数の計算に使用された参考値:
熱伝達係数の計算に、

Dittus - Boelter の修正モデルが使用された場合は、温度に関する補正係数(第3.2.5節参照),

熱伝達係数の計算に自然対流モデルが使用された場合は、グラスホフ数をプリントする。

45から49列の値は、キャプセル外筒内面に関する値であるだけで、内容は40から44と同じである。

- 50列 各セクションにおける供給水(上昇流)についてのレイノルズ(Reynolds)数を参考値としてプリントしている。

(6) 第5段プリント

この段のプリントは仕切板あるいは導水管の内、外面の熱伝達係数に関する値である。内容は第4段のプリントと同じである。導水管の場合でも、表示は仕切板のままとしてあるので注意されたい。

- 70列 各セクションにおける供給水(下降流)についてのレイノルズ数を参考値としてプリントしている。

..... 1ST GROUP OUTPUT PRINT PRINTED FROM SUB. SLITE

DATA FOR CALCULATION
INPUT DATA CARD IMAGE LIST

CARD NO.	1	2	3	4	5	6	7	8
1.	RUN NO. 1000-6, 86M-44J CAPSULE (83 CYCLE), '89-05-29.							
2.	1	1.	5.	0.				
3.	2	13.	14.					
4.	3	0.1	260.	0.5	0.	7.		
5.								
6.	13	350.	60.	50.	1.			
7.								
8.	14	1 4096.2	2000.	10000.	.104512E-2			
9.	14	1 4096.2	250.	0.0	.204512E-2			
10.	14	1 4096.2	500.	0.0	.204512E-2			
11.	14	1 4096.2	-2.	0.0	.204512E-2			
12.	14	1 4096.2	-2.	-2.	.204512E-2			
13.								
14.	15	1 0.	-2.					
15.	15	1 -2.	-2.					
16.								
17.	102	0.9095	1.5	6.0	0.	1.		
18.	111	1 0.0	0.0	0.0	1.0	1.0		
19.	111	2 1.0	2.0	1.0	1.0	0.0		
20.	111	3 0.0	0.0	0.0				
21.								
22.	202	0.0	0.0	0.5	0.3			
23.	211	1 0.0	0.0	0.0	2.0	2.0		
24.	211	2 2.0	2.0	2.0	2.0	2.0		
25.	211	3 0.0	0.0	0.0				
26.								
27.	222	0.0	0.0	0.0	0.1075			
28.	231	1 0.0	0.0	0.0	2.0	2.0		
29.	231	2 2.0	2.0	2.0	2.0	2.0		
30.	231	3 0.0	0.0	0.0				
31.								
32.	241	1 0.	0.	0.	0.	0.		
33.	241	1 0.	1620.	0.	0.	0.		
34.	241	2 0.	0.	0.	0.	0.		
35.	241	3 0.	0.	0.				
36.								
37.	252	0.	0.	4.0	3.2			
38.								
39.	253	1 0.	0.	1.	1.	1.		
40.	253	2 1.	1.	1.	1.	1.		
41.	253	3 1.	1.	1.				
42.								
43.	262	0.	0.	0.4	0.0			
44.	263	1 0.	0.	0.	0.	0.		
45.	263	2 0.	0.	0.	0.	0.		
46.	263	3 2.	0.	0.				
47.								
48.	272	0.	0.	0.4	0.0			
49.	273	1 0.	2.	2.	0.	0.		
50.	273	2 0.	0.	0.	0.	0.		
51.	273	3 0.	0.	0.				
52.								
53.	282	2.454	2.454	0.0	0.0	0.5		
54.	283	1 0.	0.	0.13773	2.05	1.3736		
55.	283	2 1.3736	3.	2.3736	0.	3.158		
56.	283	3 1.043	1.9806	0.				
57.								
58.	302	0.0	0.0	6.0	5.4			
59.								
60.	311	1 -30.5	1.5	9.0	6.5	6.5		
61.	311	2 6.5	12.	6.5	6.0	3.5		
62.	311	3 5.1	4.8	5.6				
63.								
64.	402	0.00044	0.02					
65.								
66.	601	1 -0.2	0.	1.0	2.0	3.0		
67.	601	2 4.0	5.0	6.0	7.0	8.0		
68.	601	3 9.0	10.0	11.0	12.0			
69.	602	1 0.	0.	0.4	0.5	0.6		
70.	602	2 0.7	0.8	0.9	1.0	1.0		
71.	602	3 1.0	1.0	1.0	1.0			
72.	603	1 76.	76.	76.	76.	76.		
73.	603	2 76.	76.	76.	76.	76.		
74.	603	3 76.	76.	76.	76.			
75.	605	1 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
76.	605	2 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
77.	605	3 0.0	0.0	0.0	0.0			
78.	607	1 750.	750.	750.	750.	750.		
79.	607	2 750.	750.	750.	750.	800.		
80.	607	3 850.	900.	950.	1000.			
81.	608	1 60.	60.	60.	60.	60.		
82.	608	2 60.	60.	60.	60.	60.		
83.	608	3 60.	60.	60.	60.			
84.	12345678901234567890123456789012345678901234567890							
85.	999							
86.	STOP							

Fig.10 An example of 1st group output

```

..... 2ND GROUP OUTPUT PRINT .....

***** INPUT VARIABLES USED IN CALCUALTIONS - PRINTED FROM SUB. INOUT - *****
***** :-- CALCULATION TITLE --
RUN NO. 1000-6, B6M-44J CAPSULE (83 CYCLE), '89-05-29.

*( 1)* :-- CALCULATION CONDITION --
KSW = KEY WORD OF CALCULATION CONDITION : 1
KCNTR= KEY WORD OF FLOW RATE CONTROL : 5
ISW = KEY WORD OF TENTATIVE OUTPUT, YES/NO : 0
KSW = 1: SINGLE TUBE TYPE CAPSULE
KSW = 2: DOUBLE TUBE TYPE CAPSULE
KSW = 3: SINGLE AND DOUBLE TUBE MIXED TYPE CAPSULE
<IN THIS CASE, KSW IS CONTROLLED WITH LSWL(L) OF INPUT NO.312.>

KCNTR= 0 : NO FLOW RATE CONTROL
KCNTR= 1 : FLOW RATE IS CONTROLLED UNDER ONE THROUGH CONDITION,
WITH CONTAINING LOWER HEATER CONTROL.
=BUT THE HEATER CONTROL WILL BE NEGLECTED,
IF LHTN(CREAD IN A VARIABLE IN INPUT NO.3 FIELD 4) IS LESS THAN 1.
KCNTR= 2 : FLOW RATE IS LONDTUDINALLY CONTROLLED, WITH CONTAINNING LOWER HEATER CONTROL.
=BUT, IF LHTN IS LESS THAN 1, THE HEATER CONTROL WILL BE NEGLECTED.
KCNTR= 5 : NO FLOW RATE CONTROL, BAFFLE PLATE CONTAINED IN CAPSULE,
KCNTR= 6 : FLOW RATE IS CONTROLLED UNDER ONE THROUGH CONDITION,
WITH CONTAINING LOWER HEATER CONTROL.
=BUT THE HEATER CONTROL WILL BE NEGLECTED,
IF LHTN(CREAD IN A VARIABLE IN INPUT NO.3 FIELD 4) IS LESS THAN 1.
KCNTR= 10: NO FLOW RATE CONTROL, DOWNWARD COOLANT SUPPLY TUBE CONTAINED IN CAPSULE,
KCNTR= 11: FLOW RATE IS CONTROLLED UNDER ONE THROUGH CONDITION,
WITH CONTAINING LOWER HEATER CONTROL.
=BUT THE HEATER CONTROL WILL BE NEGLECTED,
IF LHTN(CREAD IN A VARIABLE IN INPUT NO.3 FIELD 4) IS LESS THAN 1.

*( 2)* :-- BASIC CONSTANTS --
LMAX = MAXIMUM AXIAL SECTION : 13
MIM = MAXIMUM HISTORY NO. : 14

*( 3)* :-- CONTROL VARIABLES --
XSQUL = MAXIMUM STEAM QUALITY : 0.100
TEMPLL = LOWEST TEMP. LIMIT : 260.
FLRLL = MINIMUM FLOW RATE : 0.500
LHTN = LOWER HEATER SECTION NO. : 0
LCNN = CONTROL SECTION NO. : 7

*( 11)* :-- COOLANT WATER --
PRESS=COOLANT WATER PRESS. (KG/CM**2(A)) : 76.0
TSAT =COOLANT WATER SATURATE TEMP. (DEG-C) : 290.
QLAT =LATENT HEAT OF WATER (WATT-SEC/GR) : 0.148E+04

*( 12)* :-- COOLANT PROPERTIES --
CAP =HEAT CAPACITY OF WATER (WATT-SEC/GR/DEG-C): 5.53
CPG =HEAT CAPACITY OF STEAM (WATT-SEC/GR/DEG-C): 5.33
ROUC=COOLANT WATER DENSITY (GR/CC) : 0.732
ROUG=COOLANT STEAM DENSITY (GR/CC) : 0.395E-01

*( 13)* :-- BOUNDARY CONDITIONS --
FLRM= COOLANT FLOW RATE (GR/MIM): 350.
TIIF= COOLANT INLET TEMP (DEG-C): 60.0
TOOF= REACTOR COOLANT TEMP (DEG-C): 50.0
SLR = COOLANT SLIP RATIO : 1.00

*( 14)* :-- HEAT TRANS. FOR CAPSULE--
HGS = HEAT TRANS. COEFF. AT SURFACE (W/CM**2/C): 2.33 4096.20(BTU/HR.FT**2.DEG-F)
HGIF= HEAT TRANS. COEFF. AT INNER (W/CM**2/C): -2.00 -2.00(BTU/HR.FT**2.DEG-F)
HGSS= HEAT TRANS. COEFF. AT SPECIMEN(W/CM**2/C): -2.00 -2.00(BTU/HR.FT**2.DEG-F)
CKG = THERMAL COND. OF CAPSULE GAS (W/CM/C) : 0.205E-02

<NOTE>: HEAT TRANSFER COEFF. OF 20000 KCAL/M**2/HR/C IS USED IN JMTR.
20000 KCAL/M**2/HR/C EQUALS TD 4096.2 BTU/HR/FT**2/F.

<REFERENCE DATA OF GAS THERMAL CONDUCTIVITY >
CKG = 0.248E-03 (W/CM/C, N, JMTR)
CKG = 0.143E-02 (W/CM/C, HE, JMTR BY M. MIKI)
CKG = 0.204512E-02 (W/CM/C, HE AT 200 DEG-C, JAERI-MEMO 4881)
CKG = 0.0338*1.162E-2 (W/CM/C, AIR AT 200 DEG-C, JAERI-MEMO 4881)

*( 15)* :-- HEAT TRANS. FOR BAFFLE PLATE --
BFHGI = HEAT TRANS. COEFF. AT INNER SURFACE (W/CM**2/C): -2.00 -2.00(BTU/HR.FT**2.DEG-F)
BFHGT = HEAT TRANS. COEFF. AT OUTER SURFACE (W/CM**2/C): -2.00 -2.00(BTU/HR.FT**2.DEG-F)

*( 21)* :-- GAMMA HEATING AXIAL DISTRIBUTION (PDIS(J)) --
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

*( 31)* :-- FLOW RATE AXIAL DISTRIBUTION RATIO (FLRR(J)) --
1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000
1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000

```

Fig.11 An example of 2nd group output (1/3)

```

*(101)* :--- SPECIMEN PROPERTIES --
SCK = THERMAL CONDUCTIVITY OF SPECIMEN (W/CM/C): 0.140
SROU = DENSITY OF SPECIMEN (GR/CC): 7.80
SGMHR = MAXIMUM GAMMA HEAT RATE (W/GR): 10.0

*(102)* :--- SPECIMEN GEOMETRICAL DATA --
STH = THICKNESS (CM): 0.910 / SWH = WIDTH (CM): 1.50
SLN = LENGTH (CM): 6.00 / SDM = DIAMETER (CM): 0.0
SPC = NUMBER AT COPLANAR LEVEL. (-): 1.00

*(111)* :--- SPECIMEN NUMBER OF EACH SECTION (SNO(J)) --
0.0 0.0 0.0 1.000 1.000 1.000 2.000 1.000 1.000 0.0
0.0 0.0 0.0

*(201)* :--- SPECIMEN HOLDER PROPERTIES --
HLROU = DENSITY OF HOLDER (GR/CC): 7.80
HLGMHR = MAXIMUM GAMMA HEAT RATE (W/GR): 10.0

*(202)* :--- HOLDER GEOMETRICAL DATA --
HLTH = THICKNESS (CM): 0.0 / HLWH = WIDTH (CM): 0.0
HLDM = DIAMETER (CM): 0.500 / HLDI = INNER DIA.(CM): 0.300

*(211)* :--- HOLDER FRACTIONAL LENGTH OF EACH SECTION (HLLNF(J)) --
0.0 0.0 0.0 2.000 2.000 2.000 2.000 2.000 2.000 2.000
0.0 0.0 0.0

*(221)* :--- SPACER PROPERTIES --
SPROU = DENSITY OF SPACER (GR/CC): 7.80
SPGMHR = MAXIMUM GAMMA HEAT RATE (W/GR): 10.0

*(222)* :--- SPACER GEOMETRICAL DATA --
SPTH = THICKNESS (CM): 0.0 / SPWH = WIDTH (CM): 0.0
SPDM = DIAMETER (CM): 0.0 / SPAREA = AREA (CM**2): 0.108

*(231)* :--- FRACTIONAL LENGTH OF SPACER AT EACH SECTION (SPLNF(J)) --
0.0 0.0 0.0 2.000 2.000 2.000 2.000 2.000 2.000
0.0 0.0 0.0

*(241)* :--- HEATER MAXIMUM HEAT RATE (W) AT EACH SECTION (HTMHR(J)) --
0.0 1620.000 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0

*(251)* :--- BAFFLE PLATE PROP. DATA --
SLDCK = THERMAL CONDUCTIVITY (W/CM/C): .14000
SLDROU = DENSITY (GR/CC): 7.80
SLDMHR = MAXIMUM HEAT RATE (W/GR): 10.0

*(252)* :--- BAFFLE PLATE GEOMETRICAL DATA --
SLDDO = BAFFLE TUBE OD. (CM): 0.0 / SLDDI = BAFFLE TUBE ID. (CM): 0.0
BPRE = BAFFLE PLATE (OUTER DIS.) (CM): 4.00 / BPRS = BAFFLE PLATE (INNER DIS.) (CM): 3.20

<NOTE>: IF BAFFLE PLATE GEOMETRY IS GIVEN AS RECTANGULAR, INNER/OUTER DIAMETERS ARE CONVERTED FROM BPRE AND BPRS
WITH EQUALLY SECTION AREA.

*(253)* :--- FRACTIONAL LENGTH OF BAFFLE PLATE AT EACH SECTION (SLDLF(J)) --
0.0 0.0 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000
1.000 1.000 1.000

*(261)* :--- UPPER SUPPORT PROPERTIES --
SUURDU = DENSITY OF UPPER SUPPORT (GR/CC): 7.80
SUUMHR = MAXIMUM GAMMA HEAT RATE (W/GR): 10.0

*(262)* :--- UPPER SUPPORT GEOMETRICAL DATA --
SUUTH = THICKNESS (CM): 0.0 / SUUWH = WIDTH (CM): 0.0
SUUDM = DIAMETER (CM): 0.400 / SUUDI = INNER DIA.(CM): 0.0

*(263)* :--- FRACTIONAL LENGTH OF UPPER SUPPORT AT EACH SECTION (SULNF(J)) --
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
2.000 0.0 0.0

*(271)* :--- LOWER SUPPORT PROPERTIES --
SULROU = DENSITY OF LOWER SUPPORT (GR/CC): 7.80
SULMHR = MAXIMUM GAMMA HEAT RATE (W/GR): 10.0

*(272)* :--- LOWER SUPPORT GEOMETRICAL DATA --
SULTH = THICKNESS (CM): 0.0 / SULWH = WIDTH (CM): 0.0
SULDM = DIAMETER (CM): 0.400 / SULDI = INNER DIA.(CM): 0.0

*(273)* :--- FRACTIONAL LENGTH OF LOWER SUPPORT AT EACH SECTION (SULLNF(J)) --
0.0 2.000 2.000 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0

*(281)* :--- HEATING PARTS PROPERTIES --
DNPROU = DENSITY OF HEATING PARTS (GR/CC): 7.80
DMPMHR = MAXIMUM GAMMA HEAT RATE (W/GR): 10.0

*(282)* :--- HEATING PARTS GEOMETRICAL DATA --
DMPTH = THICKNESS (CM): 2.45 / DMPWH = WIDTH (CM): 2.45
DMPDM = DIAMETER (CM): 0.0 / DMPDI = INNER DIA.(CM): 0.0
DMN = LENGTH (CM): 0.500

*(283)* :--- NUMBER AT EACH SECTION (DMPNOJ(J)) --
0.0 0.0 0.138 2.050 1.374 1.374 3.000 2.374 0.0 3.158
1.043 1.981 0.0
    
```

Fig.11 An example of 2nd group output (2/3)

```

*(301)* :-- CAPSULE MAT. PROP. DATA --
          CCK = THERMAL CONDUCTIVITY (W/CM/C): 14.000
          CROU = DENSITY (GR/CC): 7.80
          CGMHR = MAXIMUM HEAT RATE (W/GR): 10.0

*(302)* :-- CAPSULE GEOMETRICAL DATA --
          DOD = OUTER TUBE OD. (CM): 0.0 / DDI = OUTER TUBE ID. (CM): 0.0
          DIO = INNER TUBE OD. (CM): 6.00 / DII = INNER TUBE ID. (CM): 5.40

          <NOTE>: IN CASE OF SINGLE TUBE TYPE CAPSULE, DIMENSIONS -DIO AND DII- OF INNER TUBE ARE ONLY USED IN CALCULATIONS.

*(311)* :-- PARTS LENGTH OF CAPSULE (DLENG(J)) --
          -30.500  1.500  9.000  6.500  6.500  6.500  12.000  6.500  6.000  3.500
           5.100  4.800  5.600

*(312)* :-- IDENTIFICATION OF CAPSULE FORM (LSVL(J)) --
           1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
           1 1 1

*(401)* :-- STRIPE MAT. PROP. DATA --
          RIPCK = THERMAL CONDUCTIVITY (W/CM/C): 14.000
          RIPROU = DENSITY (GR/CC): 7.80
          RIPMHR = MAXIMUM HEAT RATE (W/GR): 10.0

*(402)* :-- STRIPE GEOMETRICAL DATA --
          RIPDLG = GAP AT INNER TUBE SIDE (CM): 0.440E-03
          RIPGAP = GAP AT OUTER TUBE SIDE (CM): 0.200E-01

*(411)* :-- IDENTIFICATION OF STRIPE FORM IN CAPSULE (LD RIP(J)) --
           0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
           0 0 0

*(412)* :-- SPIRAL STRIPE PITCH (RIPPIT(J)) --
           0.500  0.500  0.500  0.500  0.500  0.500  0.500  0.500  0.500  0.500
           0.500  0.500  0.500

*(601)* :-- IRRADIATION HISTORY: TIME (HR) (HIST(J,1)) --
          -0.200  0.0  1.000  2.000  3.000  4.000  5.000  6.000  7.000  8.000
           9.000 10.000 11.000 12.000

*(602)* :-- IRRADIATION HISTORY: POWER RATIO (HIST(J,2)) --
           0.0  0.0  0.400  0.500  0.600  0.700  0.800  0.900  1.000  1.000
           1.000 1.000 1.000 1.000

*(603)* :-- IRRADIATION HISTORY: SYSTEM PRESSURE (HIST(J,3)) --
           76.000 76.000 76.000 76.000 76.000 76.000 76.000 76.000 76.000 76.000
           76.000 76.000 76.000 76.000

*(604)* :-- IRRADIATION HISTORY: GAS THER. CON. RATIO (HIST(J,4)) --
           1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000
           1.000 1.000 1.000 1.000

*(605)* :-- IRRADIATION HISTORY: FAST NUETRON FLUX (HIST(J,5)) --
           0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0
           0.0  0.0  0.0  0.0

*(606)* :-- IRRADIATION HISTORY: THERMAL NUETRON FLUX (HIST(J,6)) --
           0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0
           0.0  0.0  0.0  0.0

*(607)* :-- IRRADIATION HISTORY: FLOW RATE IN CAPSULE (HIST(J,7)) --
           750.  750.  750.  750.  750.  750.  750.  750.  750.  800.
           850.  900.  950.  0.100E+04

*(608)* :-- IRRADIATION HISTORY: COOLANT INLET TEMP. (HIST(J,8)) --
           60.0  60.0  60.0  60.0  60.0  60.0  60.0  60.0  60.0  60.0
           60.0  60.0  60.0  60.0
    
```

Fig. 11 An example of 2nd group output (3/3)

```

..... 3RD GROUP OUTPUT PRINT .....
----- PRINTED FROM SUB. INSET. -----
**** CROSS SECTIONAL AREA (CM**2) AND PERIPHERAL LENGTH (CM) ****
L ELEVATION DLEL(L) SNOJ AREA1 AREA2 PERL1 PERL2 PERL3 PERL4 EDIA1 EDIA2 EDIA3 EDIA4 RDIA1 RDIA2
13 43.00
    5.60 0.0 10.24 6.90 4.82 16.96 12.80 16.00 8.50 1.63 3.20 1.73 2.32 0.84
12 37.40
    4.80 0.0 10.24 6.90 4.82 16.96 12.80 16.00 8.50 1.63 3.20 1.73 2.32 0.84
11 32.60
    5.10 0.0 9.99 6.90 4.82 16.96 12.80 16.00 8.29 1.63 3.12 1.73 2.27 0.84
10 27.50
    3.50 0.0 9.63 6.90 4.82 16.96 12.80 16.00 8.00 1.63 3.01 1.73 2.19 0.84
9 24.00
    6.00 1.0 8.27 6.90 4.82 16.96 12.80 16.00 6.86 1.63 2.58 1.73 1.88 0.84
8 18.00
    6.50 1.0 8.27 6.90 4.82 16.96 12.80 16.00 6.86 1.63 2.58 1.73 1.88 0.84
7 11.50
    12.00 2.0 8.27 6.90 4.82 16.96 12.80 16.00 6.86 1.63 2.58 1.73 1.88 0.84
6 -0.50
    6.50 1.0 8.27 6.90 4.82 16.96 12.80 16.00 6.86 1.63 2.58 1.73 1.88 0.84
5 -7.00
    6.50 1.0 8.27 6.90 4.82 16.96 12.80 16.00 6.86 1.63 2.58 1.73 1.88 0.84
4 -13.50
    6.50 1.0 8.27 6.90 4.82 16.96 12.80 16.00 6.86 1.63 2.58 1.73 1.88 0.84
3 -20.00
    9.00 0.0 9.99 6.90 4.82 16.96 12.80 16.00 8.29 1.63 3.12 1.73 2.27 0.84
2 -29.00
    1.50 0.0 9.99 6.90 4.82 16.96 12.80 16.00 8.29 1.63 3.12 1.73 2.27 0.84
1 -30.50

```

Fig.12 An example of 3rd group output

..... 4TH GROUP OUTPUT PRINT

***** WEIGHT LIST FOR THE CAPSULE TO BE CALCULATED (UNIT GRAM) - PRINTED FROM SUB. WEIGHT - *****

*NODE NO.	*ELEVATION (CM)	*STAGE *LENGTH (CM)	*SPECIMEN *NO.	*SPECIMEN	*SPECIMEN *SPACER	*SPECIMEN *HOLDER	*UPPER *SUPPORTS	*LOWER *SUPPORTS	*HEATING *PARTS	*BAFFLE *PLATE	*OUTER *CONTAINER
13	43.000										
12	37.400	5.60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	251.60	234.65
11	32.600	4.80	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	46.52	215.65	201.13
10	27.500	5.10	0.0	0.0	0.0	0.0	10.00	0.0	24.50	229.13	213.70
9	24.000	3.50	0.0	0.0	5.87	6.86	0.0	0.0	74.17	157.25	146.66
8	18.000	6.00	1.00	63.85	10.06	11.76	0.0	0.0	0.0	269.57	251.42
7	11.500	6.50	1.00	63.85	10.90	12.74	0.0	0.0	55.75	292.03	272.37
6	-0.500	12.00	2.00	127.69	20.12	23.52	0.0	0.0	70.46	539.14	502.83
5	-7.000	6.50	1.00	63.85	10.90	12.74	0.0	0.0	32.26	292.03	272.37
4	-13.500	6.50	1.00	63.85	10.90	12.74	0.0	0.0	32.26	292.03	272.37
3	-20.000	6.50	1.00	63.85	10.90	12.74	0.0	0.0	48.15	292.03	272.37
2	-29.000	9.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.64	3.23	404.35	377.12
1	-30.500	1.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.94	0.0	0.0	62.85
			7.00	446.93	79.66	93.12	10.00	20.58	387.29	3234.82	3079.84
TOTAL WEIGHT (GRAM)			7352.23 (WITHIN BAFFLE PLATE : 1037.57)								
DENSITY (GR/CC)			7.80	7.80	7.80	7.80	7.80	7.80	7.80	7.80	7.80
VOID SPACE VOLUME (UNIT CC)											
WITHIN BAFFLE PLATE			604.63								
OUTSIDE BAFFLE PLATE			530.93								
TOTAL VOLUME IN CAP.			1135.57								

Fig.13 An example of 4th group output

..... 5TH GROUP OUTPUT PRINT

***** HEAT RATE LIST FOR THE CAPSULE TO BE CALCULATED (UNIT WATT) - PRINTED FROM SUB. WEIGHT - *****

*NODE NO.	*ELEVATION (CM)	*AXIAL *POWER *DIS. (-)	*SPECIMEN *NO.	*SPECIMEN	*SPECIMEN *SPACER	*SPECIMEN *HOLDER	*UPPER *SUPPORTS	*LOWER *SUPPORTS	*HEATING *PARTS *HEATER	*BAFFLE *PLATE	*OUTER *CONTAINER
13	43.000	0.199									
12	37.400	0.302	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	630.25	587.81
11	32.600	0.403	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	163.93	759.97	708.79
10	27.500	0.510	0.0	0.0	32.11	37.53	0.0	0.0	111.80	1045.76	975.34
9	24.000	0.584	1.00	416.28	65.60	76.69	0.0	0.0	405.71	860.15	802.22
8	18.000	0.720	1.00	498.96	85.19	99.58	0.0	0.0	0.0	1757.58	1639.23
7	11.500	0.843	2.00	1156.59	182.27	213.07	0.0	0.0	435.66	2282.23	2128.55
6	-0.500	0.969	1.00	627.14	107.07	125.16	0.0	0.0	638.18	4883.22	4554.39
5	-7.000	0.996	1.00	629.53	107.48	125.64	0.0	0.0	316.88	2868.48	2675.32
4	-13.500	0.976	1.00	602.08	102.79	120.16	0.0	0.0	318.09	2879.43	2685.54
3	-20.000	0.910	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	144.85	454.02	2753.86	2568.42
2	-29.000	0.732	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.01	26.56	3319.73	3096.18
1	-30.500	0.697	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.01	1620.00	0.0	449.09
			7.00	3930.57	682.51	797.83	45.63	165.86	4490.82	24060.85	22870.86
TOTAL HEAT RATE (WATT)			57024.73 (WITHIN BAFFLE PLATE : 10113.21)								
MAXIMUM HEAT RATE (W/GR)			10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00

Fig.14 An example of 5th group output

..... 6TH GROUP OUTPUT PRINT

RUN NO. 1000-6, 86M-44J CAPSULE (83 CYCLE), '89-05-29, : PRINT OUT FROM OUT2 (SATCAP PRO.)

① TIME (HR) = 8.000, DTM (MIN) = 0.167, IH = 10, COUNT OF LOOP (LC) = 1793

② GAMMA HEATING RATIO = 1.00, COOLANT FLOW RATE OUTLET/INLET (GR/MIN) = 800.00/ 800.00

③ SYSTEM PRESSURE (KG/CM²(A)) = 76.000

④ SATURATE TEMPERATURE (DEG-C) = 289.515, LATENT HEAT OF WATER (CAL/GR) = 353.035

⑤ HEAT CAPACITY OF WATER/STEAM (CAL/GR/C) = 1.321/ 1.273, DENSITY OF WATER/STEAM (GR/CC) = 0.732/ 0.040

⑥ EXIT ENTHALPY RISE (WATT) = 16364.547 (= 3909.352(CAL/SEC))

第1段 - ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱

STAGE	ELEVATION (CM)	AXIAL GAMMA DISTRIBUTION (-)	NO. OF SPECIMEN	HEAT GEN. RATE (WATT)	COOLANT FLOW RATE (GR/MIN)	UPSTREAM STEAM QUALITY (FRACTION)	VOID (FRACTION)	TEMP. (DEG-C)	SPECIMEN TEMP. SURFACE (DEG-C)	TEMP. CENTER (DEG-C)	NEUTRON FAST (N/CM ²)	FLUENCE THERMAL (N/CM ²)
13	43.000	0.199	0.0	0.0	800.000	0.0	0.0	281.945				
12	37.400	0.302	0.0	163.926	800.000	0.03	0.37	289.515				
11	32.600	0.403	0.0	157.430	800.000	0.08	0.62	289.515				
10	27.500	0.510	0.0	475.344	800.000	0.13	0.73	289.515				
9	24.000	0.584	1.000	558.574	800.000	0.14	0.75	289.515	294.741	332.302	0.0	0.0
8	18.000	0.720	1.000	1119.394	800.000	0.15	0.76	289.515	294.984	340.004	0.0	0.0
7	11.500	0.843	2.000	2190.109	800.000	0.11	0.69	289.515	295.189	347.367	0.0	0.0
6	-0.500	0.969	1.000	1176.247	800.000	0.0	0.0	289.024	295.305	351.891	0.0	0.0
5	-7.000	0.996	1.000	1180.738	800.000	0.0	0.0	270.147	295.311	352.112	0.0	0.0
4	-13.500	0.976	1.000	1279.051	800.000	0.0	0.0	247.841	295.247	349.571	0.0	0.0
3	-20.000	0.910	0.0	171.408	800.000	0.0	0.0	221.666				
2	-29.000	0.732	0.0	1641.010	800.000	0.0	0.0	205.834				
1	-30.500	0.697			800.000	0.0	0.0	183.614				
TOTAL			7.	10113.219								

第2段 - ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙

STAGE	ELEVATION (CM)	STAGE LENGTH (CM)	BAFFLE PLATE GAMMA FLOW IN (WATT)	HEAT GENERATION GEN. (WATT)	BAFFLE PLATE GAMMA FLOW OUT (WATT)	COOLANT AVERAGE TEMP. (DEG-C)	BAFFLE PLATE TEMPERATURE INNER (DEG-C)	BAFFLE PLATE TEMPERATURE OUTER (DEG-C)	COOLANT FLOW RATE (GR/MIN)	DOWNSTREAM STEAM QUALITY (FRACTION)	VOID (FRACTION)	TEMP. (DEG-C)
13	43.000	5.600	-1152.775	630.250	1785.024	285.499	218.146	164.344	800.000	0.0	0.0	60.000
12	37.400	4.800	-1194.019	759.965	1953.982	289.515	250.883	183.687	800.000	0.0	0.0	83.157
11	32.600	5.100	-1093.605	1045.760	2139.364	289.515	264.461	199.840	800.000	0.0	0.0	107.093
10	27.500	3.500	-621.799	860.146	1481.945	289.515	274.034	213.086	800.000	0.0	0.0	130.298
9	24.000	6.000	-765.741	1757.583	2523.322	289.515	278.581	223.431	800.000	0.0	0.0	144.245
8	18.000	6.500	-316.597	2282.230	2598.826	289.515	276.971	232.552	800.000	0.0	0.0	164.121
7	11.500	12.000	-42.157	4883.223	4925.375	289.269	287.323	246.852	800.000	0.0	0.0	179.031
6	-0.500	6.500	215.594	2868.484	2652.889	279.652	295.511	259.312	800.000	0.0	0.0	198.439
5	-7.000	6.500	463.973	2879.435	2415.459	259.026	285.915	257.498	800.000	0.0	0.0	204.258
4	-13.500	6.500	650.903	2753.861	2102.956	234.804	271.081	250.531	800.000	0.0	0.0	205.200
3	-20.000	9.000	995.907	3319.728	2323.815	213.773	250.524	237.514	800.000	0.0	0.0	201.594
2	-29.000	1.500	-2.705	0.0	2.705	194.724	194.723	186.931	800.000	0.0	0.0	190.234
1	-30.500								800.000	0.0	0.0	183.614
			-2863.011	24040.652	26903.641							

Fig. 15 An example of 6th group output (1/2)

-第3段-												
STAGE	(7)	(8)	(30)	(31)	(32)	(33)	(34)	(35)	(36)	(37)	(38)	(39)
	ELEVATION (CM)	STAGE LENGTH (CM)	COOLANT TEMP. (DEG-C)	INNER TUBE INNER (DEG-C)	INNER TUBE OUTER (DEG-C)	OUTER TUBE INNER (DEG-C)	OUTER TUBE OUTER (DEG-C)		GAMMA HEAT FLOW IN (WATT)	HEAT GENERATION TOTAL (WATT)	GN. FLOW OUT (WATT)	
13	43.000											
12	37.400	5.600	71.590	60.393	52.703	0.0	0.0	-75.938	587.810	663.747	1 0 0.0	
11	32.600	4.800	95.137	67.523	54.266	0.0	0.0	-189.294	708.789	898.083	1 0 0.0	
10	27.500	5.100	118.695	77.383	56.275	0.0	0.0	-428.202	975.340	1403.542	1 0 0.0	
9	24.000	3.500	137.273	86.944	58.181	0.0	0.0	-453.458	802.225	1255.682	1 0 0.0	
8	18.000	6.000	154.194	97.145	60.248	0.0	0.0	-1057.426	1639.229	2696.656	1 0 0.0	
7	11.500	6.500	171.578	109.212	62.716	0.0	0.0	-1496.306	2128.545	3624.851	1 0 0.0	
6	-0.500	12.000	188.693	122.098	65.293	0.0	0.0	-3493.778	4554.387	8048.168	1 0 0.0	
5	-7.000	6.500	201.334	131.945	67.185	0.0	0.0	-2223.630	2675.321	4898.949	1 0 0.0	
4	-13.500	6.500	204.715	134.733	67.650	0.0	0.0	-2345.848	2685.535	5031.379	1 0 0.0	
3	-20.000	6.500	203.381	133.804	67.320	0.0	0.0	-2368.796	2568.419	4937.215	1 0 0.0	
2	-29.000	9.000	195.940	127.807	65.854	0.0	0.0	-3161.375	3096.180	6257.555	1 0 0.0	
1	-30.500	1.500	186.930	120.780	64.288	0.0	0.0	-490.805	449.091	939.896	1 0 0.0	
TOTAL									-17784.852	22670.859	40655.711	
-第4段-												
STAGE	(7)	(40)	(41)	(42)	(43)	(44)	(45)	(46)	(47)	(48)	(49)	(50)
	SPECIMENS HEAT FLUX (W/CM**2)	H.T. COEF. (W/CM2/C)	VEL. (CM/SEC)	EQUI. DIA. (CM)	REF. VAL. (***)	CAPSULE INNER SURFACE HEAT FLUX (W/CM**2)	H.T. COEF. (W/CM2/C)	VEL. (CM/SEC)	EQUI. DIA. (CM)	REF. VAL. (***)	REYNOLDS NUMBER	
13	0.0	0.0	1.77	8.50	0.340E+09	0.799	0.714E-01	1.97	1.63	0.567E+07	0.324E+04	
12	0.0	0.0	1.78	8.50	0.121E+09	2.32	0.842E-01	2.00	1.63	0.436E+09	0.337E+04	
11	0.0	0.0	1.82	8.29	0.155E+09	4.95	0.120	2.04	1.63	0.389E+10	0.337E+04	
10	0.0	0.0	1.89	8.00	0.523E+08	7.64	0.152	2.07	1.63	0.158E+11	0.337E+04	
9	23.1	0.107	2.20	6.86	0.275E+09	10.4	0.182	2.11	1.63	0.498E+11	0.337E+04	
8	27.7	0.110	2.20	6.86	0.366E+09	13.6	0.218	2.15	1.63	0.161E+12	0.337E+04	
7	32.1	0.129	2.20	6.86	0.249E+10	17.2	0.258	2.19	1.63	0.534E+12	0.336E+04	
6	34.8	0.168	2.17	6.86	0.105E+10	20.2	0.291	2.23	1.63	0.138E+13	0.304E+04	
5	35.0	0.235	2.07	6.86	0.243E+10	21.3	0.304	2.24	1.63	0.219E+13	0.280E+04	
4	33.4	0.289	1.96	6.86	0.405E+10	21.5	0.309	2.23	1.63	0.301E+13	0.261E+04	
3	0.0	0.0	1.57	8.29	0.144E+11	20.7	0.304	2.21	1.63	0.366E+13	0.240E+04	
2	0.0	0.0	1.53	8.29	0.684E+08	19.3	0.292	2.19	1.63	0.390E+13	0.217E+04	
1												
-第5段-												
STAGE	(7)	(60)	(61)	(62)	(63)	(64)	(65)	(66)	(67)	(68)	(69)	(70)
	BAFFLE PLATE HEAT FLUX (W/CM**2)	INNER H.T. COEF. (W/CM2/C)	VEL. (CM/SEC)	EQUI. DIA. (CM)	REF. VAL. (***)	BAFFLE PLATE OUTER HEAT FLUX (W/CM**2)	H.T. COEF. (W/CM2/C)	VEL. (CM/SEC)	EQUI. DIA. (CM)	REF. VAL. (***)	REYNOLDS NUMBER	
13	16.1	0.238	1.77	3.20	0.121E+10	20.7	0.223	1.97	1.73	0.763E+09	403.	
12	19.4	0.503	1.78	3.20	0.680E+09	26.5	0.299	2.00	1.73	0.249E+11	536.	
11	16.8	0.669	1.82	3.12	0.498E+09	27.3	0.336	2.04	1.73	0.122E+12	679.	
10	13.9	0.897	1.89	3.01	0.895E+08	27.5	0.363	2.07	1.73	0.324E+12	796.	
9	9.97	0.912	2.20	2.58	0.280E+09	27.4	0.395	2.11	1.73	0.775E+12	904.	
8	3.81	0.303	2.20	2.58	0.735E+07	26.0	0.427	2.15	1.73	0.187E+13	0.102E+04	
7	0.274	0.141	2.20	2.58	0.236E+10	26.7	0.459	2.19	1.73	0.488E+13	0.113E+04	
6	-2.59	0.163	2.17	2.58	0.976E+09	26.6	0.458	2.23	1.73	0.881E+13	0.120E+04	
5	-5.58	0.207	2.07	2.58	0.176E+10	24.2	0.458	2.24	1.73	0.122E+14	0.123E+04	
4	-7.82	0.216	1.96	2.58	0.182E+10	21.1	0.446	2.23	1.73	0.145E+14	0.122E+04	
3	-8.65	0.235	1.57	3.12	0.451E+10	16.8	0.404	2.21	1.73	0.141E+14	0.117E+04	
2	0.141	100.	1.53	3.12	0.205E+07	0.117	100.	2.19	1.73	0.459E+09	0.112E+04	
1												

Fig.15 An example of 6th group output (2/2)

謝 辞

このプログラムの修正に当り、魚谷正樹氏((財)電力中央研究所)は、キャプセル内の熱伝達係数の評価手法について種々の助言を寄せられた。小林敏樹氏(日本鋼管(株))は、このプログラムの原バージョンの作成に努力された。また、鈴木忍氏からは英文についての助言を得た。以上に、その氏名を記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 原山, 小林, 新見, 染谷, 「SATCAP: 飽和温度キャプセル熱設計用プログラム」, JAERI-M 88-013, (1988年2月)
- 2) 染谷博之, private communication (March, 1989)
- 3) 野邑雄吉, 「応用数学」, p. 150~153, 内田老鶴圃
- 4) W. H. McAdams, "Heat Transmission" (3rd ed.), p. 219, p. 393, McGraw-Hill (1954)
- 5) 原山泰雄, 泉文男, "FREG-3: 照射履歴に従った燃料ペレット-被覆管ギャップ熱伝達率評価プログラム", JAERI-M 7278 (Sep. 1977)
- 6) 新見, 染谷, 小林, 大内, 原山, 「飽和温度キャプセルに関する熱特性試験」, JAERI-M 89-099, (1989年8月)
- 7) 青木成文, 「原子炉熱工学」(初版), 養賢堂, 1965年
- 8) 内田, 一色, 森, 植田, 甲藤, 「熱伝達特論」, p.p. 66~76, p. 125, 裳華房(昭和39年10月)
- 9) 谷下市松, 「熱力学演習」, p. 255, p. 267, 裳華房
- 10) (社)日本機械学会, 「技術資料 流体の熱物性植集」(初版), 昭和58年8月
- 11) (社)日本機械学会, 「伝熱工学資料」(改訂第3版), p. 59, p. 298 (1975)

謝 辞

このプログラムの修正に当り、魚谷正樹氏((財)電力中央研究所)は、キャプセル内の熱伝達係数の評価手法について種々の助言を寄せられた。小林敏樹氏(日本鋼管(株))は、このプログラムの原バージョンの作成に努力された。また、鈴木忍氏からは英文についての助言を得た。以上に、その氏名を記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 原山, 小林, 新見, 染谷, 「SATCAP: 飽和温度キャプセル熱設計用プログラム」, JAERI-M 88-013, (1988年2月)
- 2) 染谷博之, private communication (March, 1989)
- 3) 野邑雄吉, 「応用数学」, p. 150~153, 内田老鶴圃
- 4) W. H. McAdams, "Heat Transmission" (3rd ed.), p. 219, p. 393, McGraw-Hill (1954)
- 5) 原山泰雄, 泉文男, "FREG-3: 照射履歴に従った燃料ペレット-被覆管ギャップ熱伝達率評価プログラム", JAERI-M 7278 (Sep. 1977)
- 6) 新見, 染谷, 小林, 大内, 原山, 「飽和温度キャプセルに関する熱特性試験」, JAERI-M 89-099, (1989年8月)
- 7) 青木成文, 「原子炉熱工学」(初版), 養賢堂, 1965年
- 8) 内田, 一色, 森, 植田, 甲藤, 「熱伝達特論」, p.p. 66~76, p. 125, 裳華房(昭和39年10月)
- 9) 谷下市松, 「熱力学演習」, p. 255, p. 267, 裳華房
- 10) (社)日本機械学会, 「技術資料 流体の熱物性植集」(初版), 昭和58年8月
- 11) (社)日本機械学会, 「伝熱工学資料」(改訂第3版), p. 59, p. 298 (1975)