

JAERI - M
88-013

SATCAP：飽和温度キャプセル熱設計用プログラム

1988年2月

原山 泰雄・小林 敏樹*・新見 素二・染谷 博之

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）で複写による実費頒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, Tokai-
mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1988

編集兼発行	日本原子力研究所
印刷	いばらき印刷(株)

SATCAP：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・小林敏樹*

新見素二・染谷博之

(1988年1月14日受理)

JMTRにおける材料照射に関し利用者からの技術要求は次第に高度化しつつあり、特に照射試料の照射中の温度の仕様について厳しく要求されつつある。

そこで、特に試料の照射温度を制御可能な装置として、いくつかの方式を考え、一部実施してきた。一つは、キャプセルにヒータを組込む方式である。しかし、この方式は、ヒータの信頼性があるかぎり確実であるが、ヒータの断線、照射による劣化等を考慮すると、試料の高照射量を目的とした照射においては、信頼性が低くなる。

このため、JMTRでは照射技術向上の一つとして、“飽和温度キャプセル”の開発を計画した。これは、キャプセル内に水を供給しその供給水を沸騰させる型式のキャプセルである。供給水圧力を調整することによりキャプセル内の供給水温度を飽和温度に保ち、温度制御に利用しようという構想に基づく。しかし、JMTRで使用しているキャプセルには、かなり多くの型式があるが、その内部に水を注入する型式のものは、未だ経験に乏しく、その設計等に当たって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を必要としている。

そのため、この型式のキャプセルの熱挙動を評価する設計用プログラムを作成した。この報告書は、飽和温度キャプセルの熱設計を目的に作成した計算機プログラムについての報告である。

SATCAP: A Program for Thermal-Hydraulic Design of
Saturated Temperature Capsule

Yasuo HARAYAMA, Toshiki KOBAYASHI*, Motoji NIIMI
and Hiroyuki SOMEYA

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

(Received January 14, 1988)

For material irradiation tests at JMTR, user's technical requirements are gradually becoming more rigid, permitting only a small temperature deviation from the desired during irradiation of test materials.

As specimen temperature control equipment, several conception were proposed and some of them were translated into actual machines with the capsule having electrical seath heaters in it. This system is highly reliable unless the integrity of the heaters is threatened.

However, in a test with the object of achieving a high exposure of specimen to neutrons, the break of a heater or deterioration of a heater caused by irradiation lowers the reliability of the system.

To cope with this drawback, as a part of the irradiation technique improvement program, "Satulated Temperature Capsule" has been developing. This type capsule, in which the water supplied is boiled, bases on the conception of keeping the coolant at the saturated temperature facilitates the temperature control. Though there are various types of capsules employed at JMTR, the experience of the capsule into which the coolant is injected lacks.

In designing, thermal performances have to fully understood. Therefore, a program was compiled to evaluate the thermal behavior in the capsule. The present report describes the calculation procedure and guides of input and output for the program.

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	2
2.1 “飽和温度キャプセル”とは	2
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	2
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	10
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	14
4. プログラム構成	25
4.1 構成サブルーチン	25
4.1.1 水の物性値について	25
4.1.2 ガンマ加熱率について	26
4.2 プログラム上の処理の流れ	26
5. 入力について	34
5.1 入力方法	34
5.2 入力変数の説明	34
6. 出力について	42
6.1 第4グループ出力-その1-	42
6.2 第4グループ出力-その2-	44
謝 辞	49
参考文献	49

Contents

1. Introduction	1
2. Structure and functions of "Saturated Temperature Capsule" ...	2
2.1 Conception of "Saturated Temperature Capsule"	2
2.2 Structure and functions of "Saturated Temperature Capsule"	2
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	10
3.2.4 Temperature of baffle plate, coolant supply tube and specimen	13
3.2.5 Heat transfer coefficients evaluation	14
4. Constructure of program	25
4.1 Incorporated subroutines	25
4.1.1 Properties of water and steam	25
4.1.2 Gamma heating rate	26
4.2 Flow of calculations	26
5. Guide to input	34
5.1 Input method of data	34
5.2 Explanation of input variables	34
6. Guide to output	42
6.1 No.1 output of 4th group	42
6.2 No.2 output of 4th group	44
Acknowledgments	49
References	49

1. は じ め に

JMTR の炉心内冷却水温度は低いので、材料の高温照射を行う場合には、付属設備として設置されている真空温度制御装置により、キャプセル内筒等のガスを排除して試料と冷却水間の熱伝達率を低下させ照射試料の温度を昇温することが可能である。一方、JMTRにおける材料照射の利用者からの技術要求は次第に高度化し、特に照射試料の照射中の温度について、小さな温度変動範囲が要求されている。そこで、特に試料の照射温度を制御可能な装置として、いくつかの方式を考え、一部実施してきた。一つはキャプセルにヒータを組込む方式である¹⁾。しかし、この方式はヒータの信頼性があるかぎり確実であるが、高照射量を目標にした試料の照射を行うキャプセルでは照射に長期間を要し、この間のヒータの断線、照射による構成部品の劣化等を考慮すると、信頼性がとぼしくなる。

これらの問題の解決を含み照射技術向上の一つとして、“飽和温度キャプセル (Saturated Temperature Capsule)”の開発を計画した。これは、キャプセル内に水を注入し供給水が沸騰するもので、キャプセル内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ことを利用する構想である。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。供給水にける圧力は、キャプセル強度設計から制約され、それ程高压とすることはできない。しかし、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。したがって、このキャプセルは、軽水炉 (LWR) 条件の材料照射に有力な手段を提供できる。

しかし、JMTRで使用しているキャプセル型式としてかなり多くの種類があるが、その内部に水を注入するタイプのキャプセルについての経験は乏しい。そのため、飽和温度キャプセルの熱挙動を推測出来るデータもほとんどない。特に、この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さいしては、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。

そのため、この型式のキャプセルの熱挙動を評価する設計用プログラムを作成した。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。

この報告書は、飽和温度キャプセルの熱設計を目的に作成した計算機プログラムについての報告である。なお、将来設計する飽和温度キャプセルで検討しなければならない事項から考えて、このプログラムに必要な機能については、著者ら全員の協議によった、プログラムの作成は原山が担当し、報告書へのまとめは小林が担当した。

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。そして、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、キャプセル内に供給する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。しかし、温度が一定になるのは供給水が飽和温度に達した時で、達するまでは飽和温度以下である。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維持することをも必要である。

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、JMTR の真空温度制御装置につながっており、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物として、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。

試料の照射にさいしては、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、照射試料用のスペ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向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。

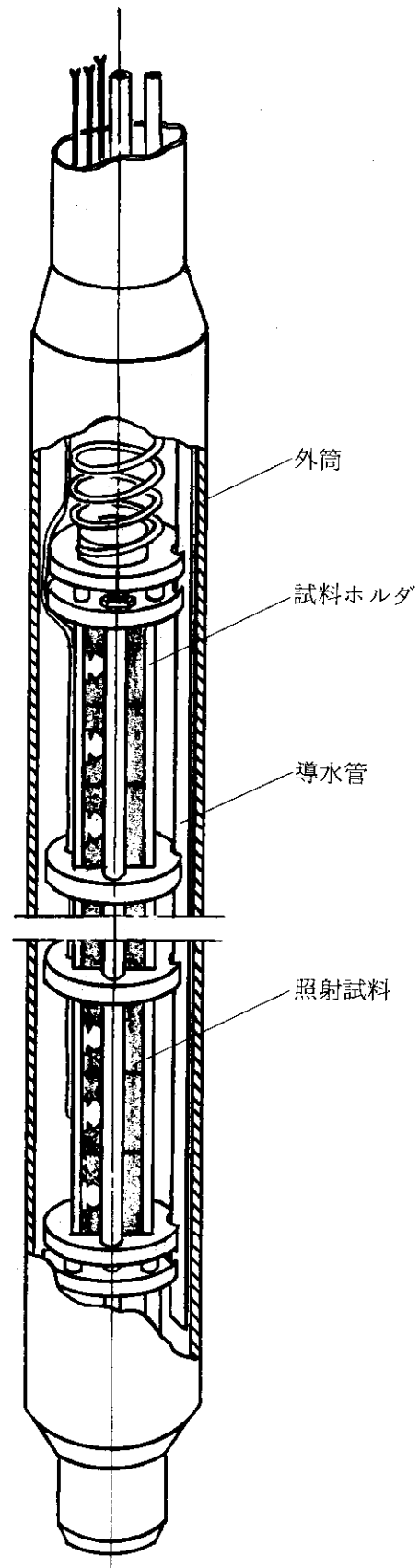


Fig. 1(a) Schematic diagram of saturated temperature capsule (1)

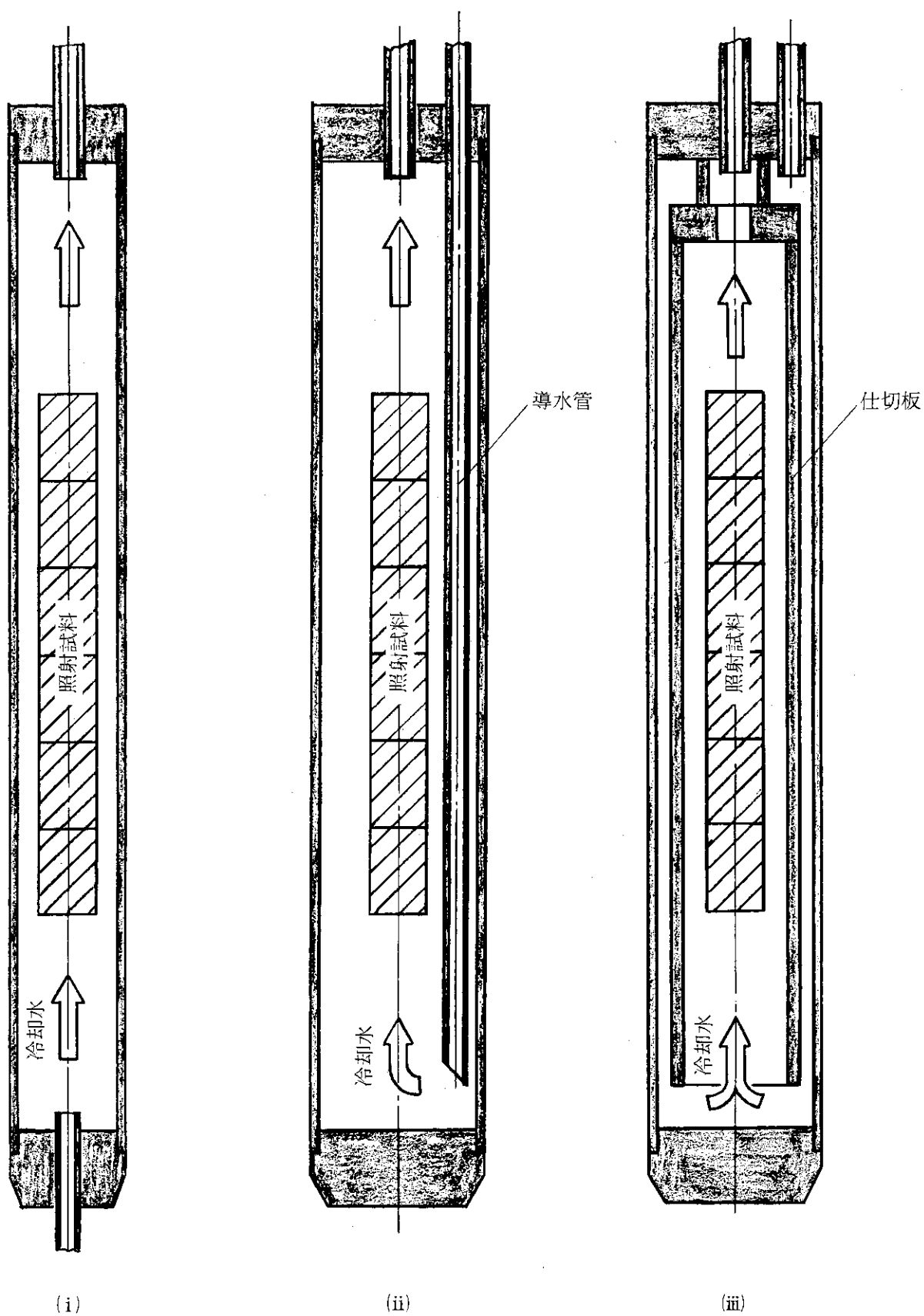


Fig. 1(b) Schematic diagram of saturated temperature capsule (2)

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) の外側を流れて一旦下方に流れ、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'_L を仮定する。
- 3) セクションの内筒に含まれる試料、ヒータ等の発熱を算出する。このときガンマ発熱率の算出には、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

$$T_{iic} = (T'_L + T_{L-1}) / 2 \quad (1)$$

と定める。^{*}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て、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) 供給水に加えられる熱量が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 、蒸気含有率等を求める。飽和温度に達していれば、蒸気発生量そしてその含有率などが求められる。

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、

$$|(T_L - T'_L) / T'_L| < \epsilon \quad (2)$$

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 (gr/sec) 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'_L 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。

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。

* 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・バランスをこわすことがある。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。

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 ($W\text{-sec/gr/}^\circ\text{C}$) 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すると, その発生蒸気量は g は

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

である。ここに, q_{lat} : 潜熱 ($W\text{-sec/gr}$) とする。

節点 L における蒸気含有率 x_L は

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

で与えられることになる。

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るか, 除熱になる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 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, ボイド・フラクションをも計算している。ただし, その計算では, スリップ比を 1 として評価する。

(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表面からの流出熱量は等しくなければならない。しかし、これを等しくするための良好な収束法が見つからず、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より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外、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KCINTR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

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

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_{iif} ：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、

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

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。

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 の如き場合は、 $r < R$ 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_{cof} 、あるいは内管内の供給水温度 T_{ic} とする。キャプセルの外筒が二重管の場合でも内、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の二つ

が考えられるが、照射条件として確実な条件は、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、 $r^2 T = 0$ 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) ガス層を通る熱量 Q_g 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率 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、

$$T_{i0} = T_{oi} + \frac{Q_g}{2\pi k_g} \ln(R_{oi}/R_{io}) \quad (14)$$

より定める。内管内面温度は、

$$T_{ii} = T_{i0} + \frac{q''}{4k}(R_{io}^2 - R_{ii}^2) - \frac{R_{io}}{k}(q'' R_{io}/2 - \phi_o) \ln(R_{io}/R_{ii}) \quad (15)$$

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、

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

で算出する。

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ので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。

(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、現実のキャプセルの外筒のギャップでは内側の温度が高いと考えられるので、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

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

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, ($= Q_g / 2\pi R_{io}$),

f : 熱媒体がある長手方向の存在割合, ($= h_h / h$)

h_h : 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,

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

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棒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, 計算上は四角の棒を等価な円筒形に変換する。変換は Fig.5 に示す如き四角棒の場合, 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 は四角棒の断面積 ($S = D_o^2 - D_i^2$) 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,

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

* 有限平板 [a (厚) $\times b$ (幅) $\times c$ (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

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

で与えられる。²⁾ここに, l, m, n は正の整数 ($l, m, n = 1, 3, 5, 7, \dots$) とする。

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、表面での熱伝達率 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} 試料が接する供給水温度である。

3.2.5 熱伝達係数の評価

このプログラムでは、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とき、熱伝達係数を使用している。プログラムは本来キャプセルの設計を目的としており、計算は可能な限り簡単にしようとしている。そのため、これら熱伝達係数は一定値として入力で与えることを基本とした。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の多くのキャプセルの照射経験等より、おおよそ $20000 \text{ kcal} / \text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ($2.33 \text{ W} / \text{cm}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) 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っても $10000 \text{ Btu} / \text{hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$ ($5.68 \text{ W} / \text{cm}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) と考えられる。しかし、その他のキャプセル内外面等については、類推、確定できる係数は少ない。理由は、JMTR のキャプセルにおいて飽和水を扱うキャプセルの経験が乏しいためである。

そのため、プログラム内で熱伝達係数を計算し、使用する機能を組込んでいる。組込みの熱伝達係数の推定には、Dittus-Boelter の実験式をもとにモデル化した FREG-4 使用の計算式を利用している。³⁾ Dittus-Boelter の実験式の適用範囲は、

Pr 数 : 0.7 ~ 120

Re 数 : 10,000 ~ 120,000

L/D : 60 以上

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等の点で、この実験式の適用範囲を外れる。しかし、このキャプセルの炉外実験装置による実験結果から熱伝達率は、 $1000 \sim 3000 \text{ Btu} / \text{hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$ と推定される。一方、ここで利用するモデルの結果はほぼこの範囲になる。

Dittus-Boelter の実験式は、次のように表される。⁴⁾

$$(hD/k) = 0.023 \left(\frac{DG}{\mu} \right)^{0.8} \cdot \text{Pr}^{0.4} \quad (23)$$

ここで、 h : 熱伝達係数

D : 相当直径

G : 単位面積当りの質量流量 ($= \rho v$)

v : 流速

μ : 流体の粘性係数

ρ : 流体密度

Pr : 流体のプラントル数

である。

組込みのモデルは、上記の式をまず次のように変形する。

$$h = \left(\frac{v}{D^{0.2}} \right)^{0.8} \cdot 0.023 \frac{k \rho^{0.8} \cdot \text{Pr}^{0.4}}{\mu^{0.8}}$$

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则认为、

$$h = \left(\frac{v}{D^{0.2}} \right)^{0.8} \cdot F(T) \quad (24)$$

と変形する。ここで、温度による修正係数は Table 3 に示す値とする。

Dittus-Boelter の実験式は、本来管内流について得られたものである。したがって、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 (k/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ぬれ縁長さには、その熱伝達係数を評価すべき面の周長を使って評価している。⁵⁾

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
			$Q_1 = C_p f (1 - x_{L-1}) \cdot T_{sat} - T_{L-1}$ $Q_2 = Q - Q_1$ $\Delta x = Q_2 / q_{lat} / f$		$(> T_{sat})$ $= T_{sat}$	≤ 1
			$Q_3 = q_{lat} \cdot f \cdot (1 - x_{L-1})$ $Q_4 = Q - Q_1 - Q_3$ $Q_4 = C_{pg} f \cdot \Delta T_s$ $\Delta T_s = Q_4 / C_{pg} / f$		$> T_{sat}$	(> 1) $= 1$
(B)	$= T_{sat}$	≤ 1			$> T_{sat}$	$= 1$
				$\Delta x = Q / q_{lat} / f$	$(< T_{sat})$ $= T_{sat}$	$0 \leq x_L < 1$
				$Q_1 = q_{lat} \cdot f \cdot x_{L-1}$ $Q_2 = Q + Q_1 (Q < 0 \text{ のとき})$ $\Delta T = Q_2 / C_p / f$	$< T_{sat}$	(< 0) $= 0$

Table 1 (2/2)

(C)	$\geq T_{sat}$	$= 1$	$Q = C_{pg} \cdot f \cdot \Delta T$ $\Delta T = Q / C_{pg} / f$	$> T_{sat}$ $= 1$	$= 1$
			$Q_1 = C_{pg} \cdot f \cdot (T_{L-1} - T_{sat})$ $Q_2 = Q + Q_1$ $\Delta x = Q_2 / q_{1at} / f$ $Q_3 = q_{1at} \cdot f \cdot 1$ $Q_4 = Q + Q_1 + Q_3$ $(Q_4 < 0 \text{ でなければならぬ})$ $\Delta T = Q_4 / C_p / f$	$(< T_{sat})$ $= T_{sat}$ $< T_{sat}$	$0 \leq x_L < 1$ (< 0) $= 0$
		記号等	C_p : 供給水の比熱 (W·sec/gr°C) C_{pg} : steamの比熱 (W·sec/gr°C) q_{1at} : 蒸気の潜熱 (W·sec/gr°C) f : 流量 (gr/sec) T : 温度 (°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	$QD = f_1 C_p (T_{L-1} - T_b)$ $< QD = QU >$ $T_b = (f_1 T_{L-1} + f_d T_{iif}) / f_e$	$= T_b$	$= 0$
			$QD = f_1 \Delta x_{L-1} \cdot q_{lat}$ $< QD = QU >$ $\Delta x_{L-1} = QU / (f_1 q_{lat})$ $\bar{x}_{L-1} = x_{L-1} - \Delta x_{L-1}$ $\bar{x}_{L-1} = f_1 \bar{x}_{L-1}'' / f_e$	$= T_{sat}$	
B	$= T_{sat}$	$< x_{L-1} \leq 1$	$QD_1 = f_1 \cdot q_{lat} \cdot x_{L-1}$ $QD_2 = f_1 C_p (T_{sat} - T_b)$ $< QD_1 + QD_2 = QU >$ $T_b = \frac{f_d}{f_e} T_{iif} + \frac{QD_1 + f_1 C_p T_{sat}}{f_e \cdot C_p}$	$= T_b$	$(x'_{L-1} < 0)$

Table 2 (2/2)

C	$>T_{sat}$	$x = 1$	$QD_1 = f_1 C_g (T_{L-1} - T_{sat})$ $QD_2 = f_1 \cdot q_{lat}$ $QD_3 = f_1 C_p (T_{sat} - T_b)$ $< QD_1 + QD_2 + QD_3 = QU_1 + QU_2 + QU_3 >$ $T_b = (f_1 C_g T_{L-1} + f_d C_g T_{sat} - QU_1 - QU_2) / C_g f_e$	$QU_1 = f_d C_p (T_{sat} - T_{iif})$ $QU_2 = f_d q_{lat}$ $QU_3 = f_d C_g (T_b - T_{sat})$	$= T_b$	$= 1$
			$< QU_1 = QD_1 + f_1 q_{lat} \Delta x_{L-1} >$ $\Delta x_{L-1} = \frac{QU_1 - QD_1}{f_1 q_{lat}}$		$(T_b \leq T_{sat})$	
			$x''_{L-1} = 1 - \Delta x_{L-1}, x'_{L-1} = f_1 x''_{L-1} / f_e$ $< QD_1 + QD_2 + QD_3 = QU_3 >$		$= T_{sat}$	$(x'_{L-1} < 0)$
			$T_b = (f_d C_p T_{iif} + f_1 C_p T_{sat} + QD_1 + QD_2) / f_e C_p$		$= T_b$	$x_{L-1} = 0$
	記号等	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_{iif} = 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				

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		

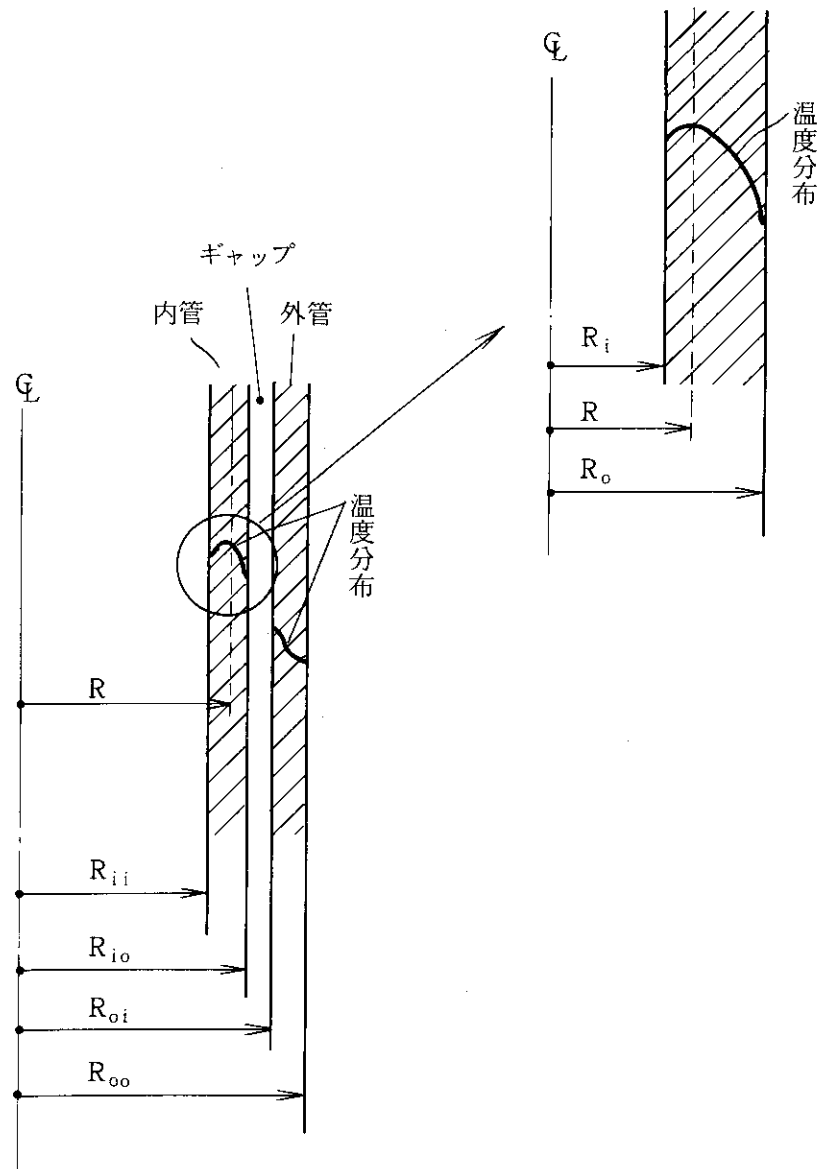


Fig.3 Temperature distribution of capsule outer tube

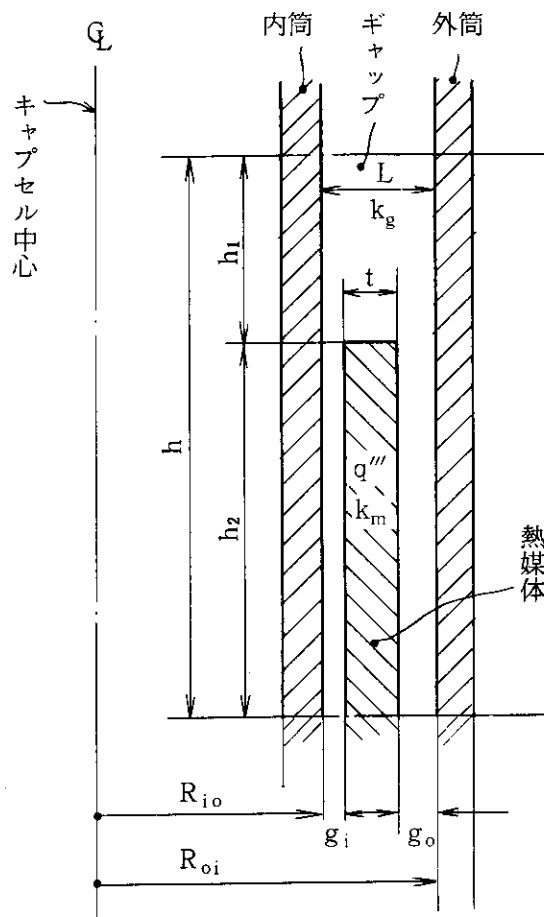


Fig.4 Model of spacer block in gas gap layer in capsule outer tube

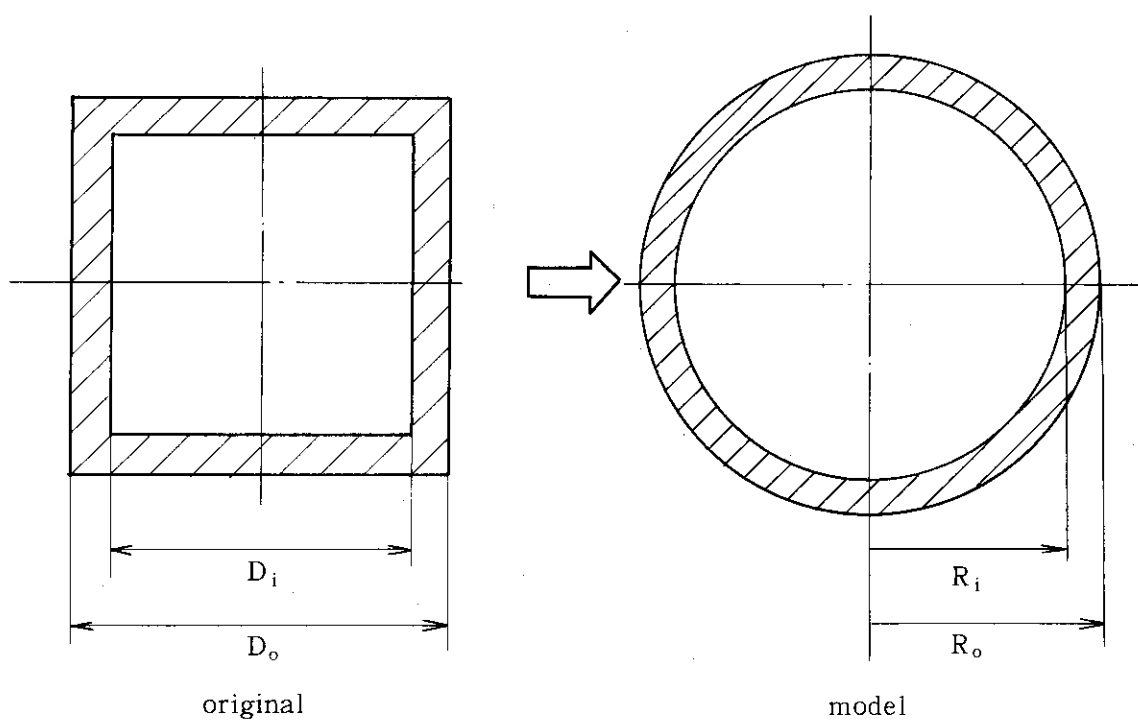


Fig.5 Model of baffle plate in calculation

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 および STEAMM 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み物性値から直線内挿により評価する。そのさい、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。

(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) 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⁶⁾より編集した。

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、最大ガンマ発熱率、密度はBlock data で与えている。その値はそれぞれ 0.14 (W/cm・℃), 10 (W/gr), 7.6 (gr/cc) としている。変更する必要があるがなければ、第 5.2 節で述べるように入力を省略できる。

(2) ガンマ線の軸方向出力分布

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 (計算を進める時刻巾) 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、T1 に T2 より小さな時刻を与え、他の照射履歴データは T2 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。

Table 4 Subroutines contained in SAPCAP
and their functions. (1/2)

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 (計算を進める時刻巾) 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。
SLITE	入力データのカード・イメージのプリント。
INPUT	入力番号に従った入力変数の read in.
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。
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。
CALC 1 (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 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, ヒータ容量を制限値内になる ように設定し, 次の time step の流量等とする。
CALC 2 (JSW)	このルーチンは供給水が復流の場合に使用される。 計算内容は, CAL 1 と同じである。
CALC 3 (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, CAL 1 と同じである。
SA 104	キャプセル外筒が二重管の場合について, その外筒の内外面温度, および内外 面からの流出熱量を計算する。
SB 104	キャプセル外筒が一重管の場合について, その外筒の内外面温度, および内外 面からの流出熱量を計算する。
SC 104	照射試料を無限平板と考え, その表面, 中心温度および, 外表面からの流出熱 量を計算する。
SD 104	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。
SE 104	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。
STEAM	与えられた水の圧力における飽和温度, 潜熱および水, 蒸気の物性値 (飽和温 度における密度, 熱伝導率等) を算出する。

Table 4 (2/2)

Name	Function
STEAMM	与えられた圧力と温度をもとに水、蒸気の物性値（密度、比熱、動粘性係数等）を算出する。
HTRAN	キャプセル内外面の熱伝達率が入力値で与えられていない場合、Dittus-Boelter の実験式をもとにしたモデルにより熱伝達率を評価する
OUTPUT	供給水が単流の場合の計算結果を出力する。
OUT 2	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。

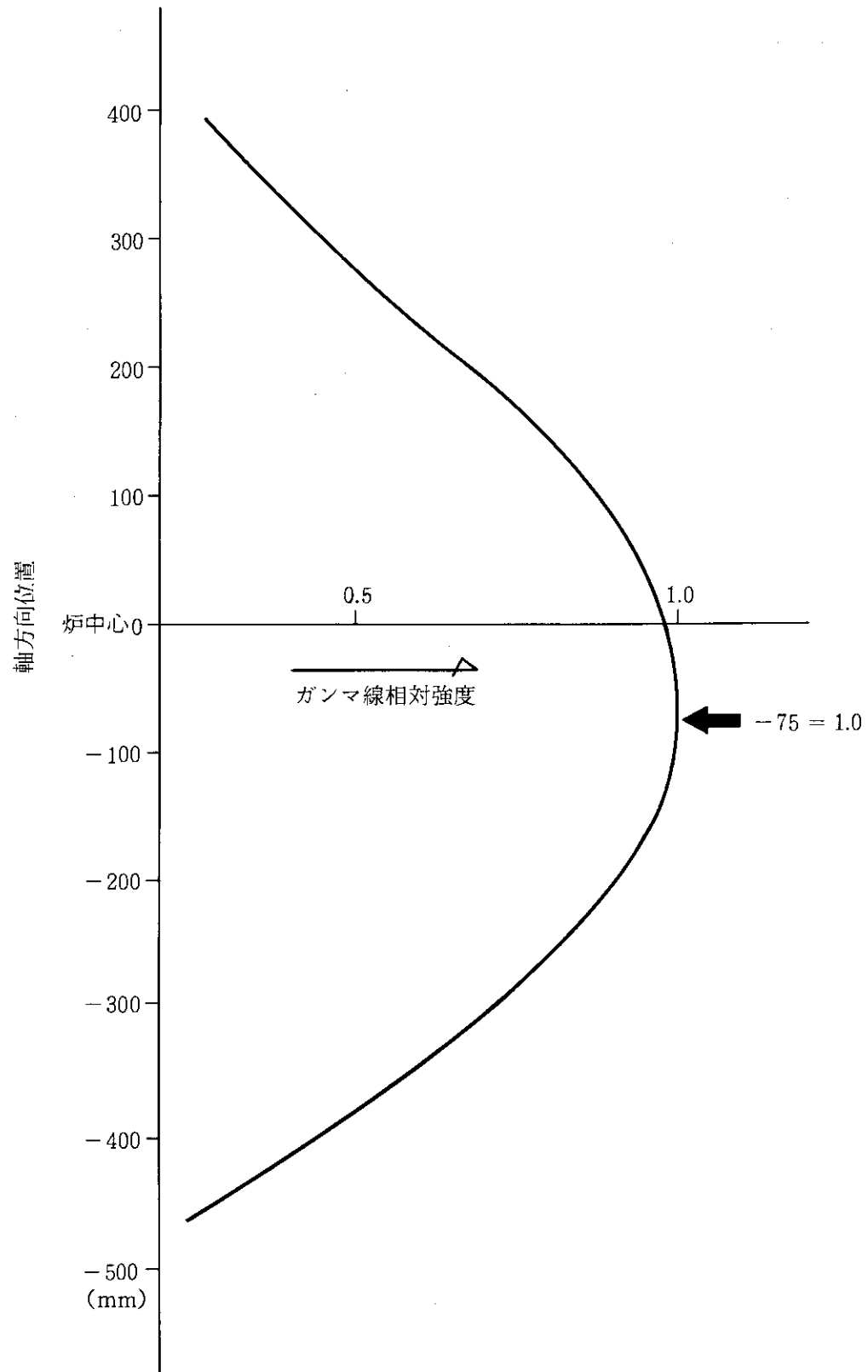


Fig.6 Distribution of gamma rate

<Flow>

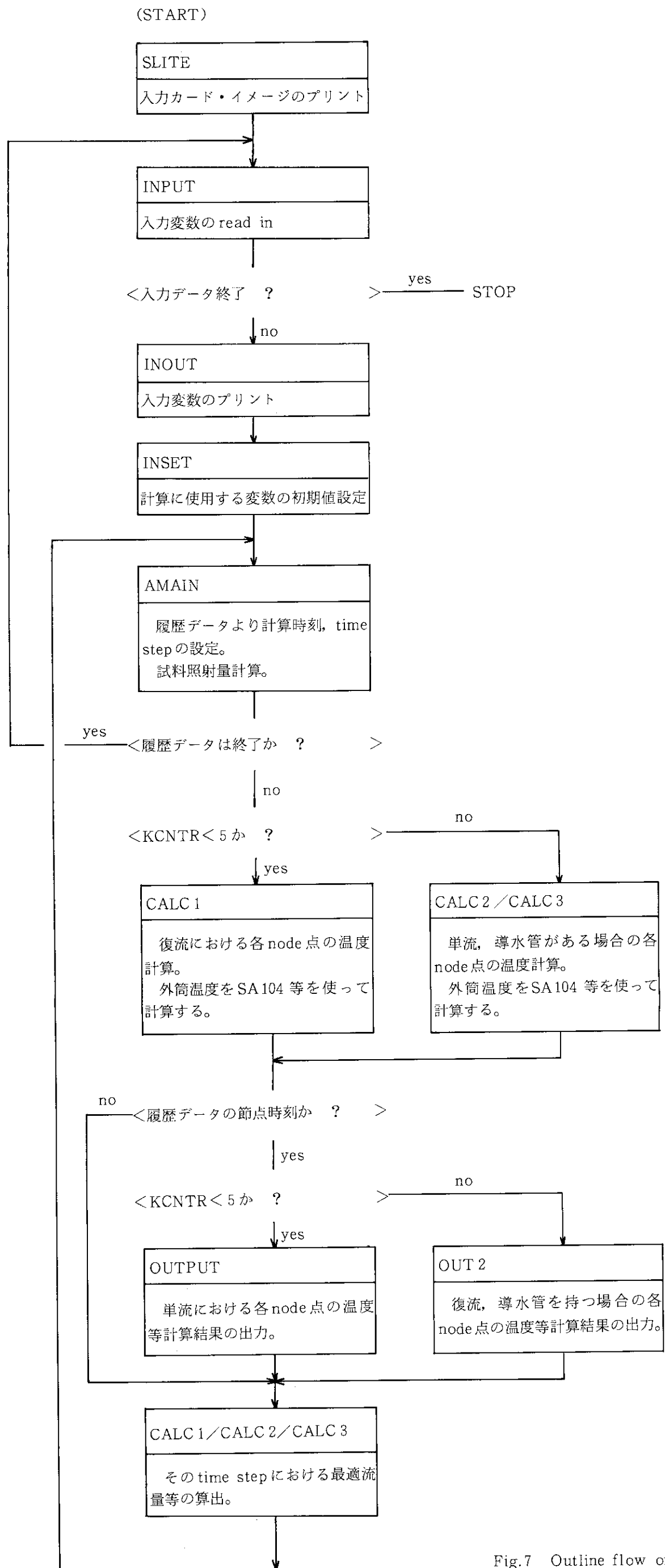


Fig.7 Outline flow of SATCAP

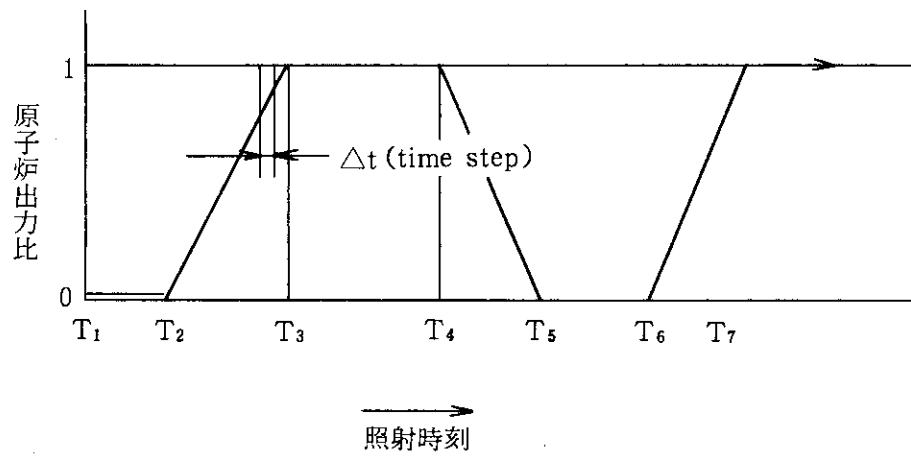


Fig.8 Irradiation history (Reactor power ratio)

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。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 (20A4) 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）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、入力補助整数 (INT1) 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 INT1 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。

```
021 bb 1 b 0.632 bbbb ..... b 0.992 bbbb
```

```
021 bb 2 b 0.986 bbbb ..... b 0.620 bbbb
```

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 INT1 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、出力の第三グループ — 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 — とそのカードで入力される概略説明の下段に原則として縦の順にプリントされている。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、最大ガンマ発熱率として 0.14 (W/cm²・°C), 7.6 (gr/cc), 10 (W/gr) 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 等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。

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=0~2 は, 単流に (single flow) 関し使用する。KCNTR=5~7 は, 復流 (return flow) の仕切板 (baffle plate) 方式に関し使用する。

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おこなう。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。

* 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御するとい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ー

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

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は2以上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 (gr/min)。

第2フィールド, TIIF : 供給水の供給温度 (°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 (°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)。

・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 $BTU/ft^2 \cdot hr / ^\circ F$ で与えることが出来る。

また、HGIFの入力値を0.0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)。

・入力番号 015

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

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

なお、この入力にさいし、入力補助整数を1とすれば、第1～2フィールドの値はその単位を $BTU/ft^2/hr/^\circ F$ で与えることが出来る。また、これ等の入力値を 0.0 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)。

・入力番号 021

この入力は、ガンマ線の相対強度である。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。ただし、この場合、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あたえる。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 ($W/cm \cdot ^\circ C$)

第2フィールド, SROU : 試料の密度 (gr/cc)

第3フィールド, SGMHR: 試料の最大ガンマ発熱率 (W/gr)

・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 (gr/cc)

第2 フィールド, HLGMR : 試料ホルダーの最大ガンマ発熱率 (W/gr)

・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 - (HLLNG(J), J=1, LMAX) -

試料ホルダーの各セクションにおける総長さ (total length) を入力する。

ただし, HLLNG(1)は0.0とし, 第一段の長さはHLLNG(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 (gr/cc)

第2 フィールド, SPGMR : 試料スペーサの最大ガンマ発熱率 (W/gr)

・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総長さ (total length) を入力する。

ただし, SPLNG(1)は0.0とし, 第一段の長さはSPLNG(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換えられることがある (KCNTN=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, SLDCCK : 仕切板の熱伝導率 ($W/cm \cdot ^\circ C$)

第2フィールド, SLDROU : 仕切板の密度 (gr/cc)

第3フィールド, SLDMHR : 仕切板の最大ガンマ発熱率 (W/gr)

・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 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。ただし, SLDLF (1) は 0.0 とすること。

・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 ($W/cm \cdot ^\circ C$)

第2フィールド, CROU : 外筒材の密度 (gr/cc)

第3フィールド, CGMHR : 外筒材の最大ガンマ発熱率 (W/gr)

・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ばあい, 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

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 (gr/cc)。

第 3 フィールド, RIPMHR : 上記熱媒体の最大 γ 線発熱率 (W/gr)。

・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の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で、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、RIPPIT(L) = 1 である。

- 入力番号 601 から 606 までは照射履歴に関するデータである。
- ・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
(kg/cm² 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乘じるファクター, (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乘じられる。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 (n/cm²・sec) 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 (n/cm²・sec) を与える。

6. 出力について

このプログラムの出力には、4グループある。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しているだけである。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。

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。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。

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。

第4グループは、照射履歴データに従って出力されている。原子炉出力の変化する節目毎にその時点でのキャプセル内の状態をプリントしている。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。

以下、この第4グループ出力について説明する。第4グループ出力には、二種類の出力がある。その1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である。その2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の計算結果である。この区別は、入力番号1の第2フィールドでの入力変数、KCNTNの値による。KCNTNが0, 1, 2の時は、サブルーチンOUTPUTによりその1の形式で、KCNTNが5以上の時は、サブルーチンOUT2によりの2の形式で出力される。

6.1 第4グループ出力-その1-

Fig. 9中の番号に従って説明する。なお、『行』とあるものは、その番号の右に並ぶ行についての、『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。なお、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いる。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 試料のガンマ発熱率のピーク値 (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 (50MW) 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 供給水のエンタルピー上昇を示す。この値は、11 列と 36 列の総和に一致する。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 36 列の値を単純に加えたもの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。

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発熱率を示す。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、スペ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 列 各節点での流量。単位は、gr/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) とボイド割合 (fraction) を前半と後半に分けて示す。ここで、ボイド割合は、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。

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。

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、下節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。これらの内外筒材料は、ガンマ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

* 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

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。

ただし、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。

6.2 第4グループ出力ーその2ー

その2の出力の例を Fig. 10 に示す。その2の出力とその1の出力で異なるのは、主要な計算結果がその1では2段にプリントされていたものが、その2では5段になっていることである。5段のプリントのうち第2段、第4および第5段がその2で追加されたプリントである。第1、第3段のプリントは本質的にその1と殆ど同じである。

以下第2段、第4および第5段のプリントを中心に説明するが、説明は Fig. 9 について第5.1節で行った方法と同じである。Fig. 10 中の番号に従って説明する。

(1) 第1段プリント

第1段プリントの内、7～18列はその1で説明した値に対応するが、その2の出力の12～14列の値は仕切板の内側の供給水下降流についての温度などの状態を示す。その他の事項はその1で説明した所と同じである。

(2) 第2段プリント

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で示す。

8 列 分割点の炉心内の高さを示す。炉心中心を原点（0 elevation）とする。

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上昇供給水の平均温度。

25 列 仕切板あるいは導水管の内側温度。

26 列 仕切板あるいは導水管の外側温度。

27 列 各節点での下降供給水流量，単位は， gr/min である。

28 列 各節点での蒸気含有率（重量比）とボイド比（fraction）を前半と後半に分けて示す。

ここで，ボイド比は，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。

(3) 第3段プリント

第3段の出力は，その1の第2段のプリントと同じなので，その1の説明を参照されたい。

(4) 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。

41 列 各セクションにおける試料表面熱流束 (W/cm^2)。

42 列 各セクションにおける試料表面での熱伝達係数 ($\text{W}/\text{cm}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)。

43 列 各セクションにおける供給水（上昇流）の流速 (cm/sec)。

44 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)。

45 列 各セクションにおける熱伝達係数を定めるために使用した温度に関する補正係数
（第3.2.5節参照）。

46 から 50 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 45 と同じである。

51 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。

(5) 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。

71 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。

① PATENT RUN NO. P-3; DOUBLE TUBE CAPSULE; '87-02-10. ② PRINT OUT FROM OUTPUT (SATCAP PRO.)
 TIME (HR) = 0.300, DTM (MIN) = 0.704, IN = 4, COUNT OF LOOP (LC) = 27
 ③ GAMMA HEATING RATIO = 0.30; COOLANT FLOW RATE OUTLET/INLET = 60.00/ 60.00 (GR/MIN)
 ④ SYSTEM PRESSURE (KG/CM²(A)) = 105.000
 ⑤ SATURATE TEMPERATURE (DEG-C) = 311.250, LATENT HEAT OF WATER (CAL/GR) = 311.121
 ⑥ HEAT CAPACITY OF WATER/STEAM (CAL/GR/C) = 1.523/ 1.748, DENSITY OF WATER/STEAM (GR/CC) = 0.684/ 0.059
 EXIT ENTHALPY RISE (WATT) = 1153.950 (= 275.669 (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 RATE	HEAT GEN. RATE (WATT)	COOLANT FLOW RATE (GR/MIN)	COOLANT STEAM QUALITY VOID (FRACTION)	COOLANT TEMP. (DEG-C)	SPECIMEN TEMP. SURFACE (DEG-C)	SPECIMEN TEMP. CENTER (DEG-C)	NEUTRON FLUENCE FAST (N/CM ²)	NEUTRON FLUENCE THERMAL (N/CM ²)
9	27.500	0.500	0.0	0.0	60.000	0.0	0.0	221.031			
8	17.500	0.730	0.0	0.0	60.000	0.0	0.0	237.018			
7	12.500	0.820	0.0	0.0	60.000	0.0	0.0	240.894	233.205	233.205	0.0
6	2.500	1.000	4.000	74.693	60.000	0.0	0.0	225.517	210.459	210.459	0.0
5	-7.500	1.000	4.000	82.080	60.000	0.0	0.0	195.401	174.696	174.696	0.0
4	-17.500	1.000	4.000	82.080	60.000	0.0	0.0	153.991	131.253	131.253	0.0
3	-27.500	0.770	4.000	72.641	60.000	0.0	0.0	108.515			
2	-30.500	0.700	0.0	150.000	60.000	0.0	0.0	74.176			
1	-33.000	0.650	0.0	150.000	60.000	0.0	0.0	40.000			
TOTAL			16.	611.493							

- 第 2 段 -

⑦	⑧	③①	③②	③③	③④	③⑤	③⑥	③⑦	③⑧	③⑨
STAGE	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 GENERATION FLOW IN (WATT)	GAMMA HEAT GENERATION GEN. (WATT)	GAMMA HEAT GENERATION FLOW OUT (WATT)
9	27.500									
8	17.500	10.000	229.024	228.072	224.700	48.990	42.458	-101.905	616.718	718.623
7	12.500	5.000	238.956	238.495	235.369	50.112	42.827	-24.706	388.582	413.289
6	2.500	10.000	233.205	233.423	230.911	50.621	43.041	23.325	912.542	889.218
5	-7.500	10.000	210.459	211.486	209.924	50.374	43.054	109.887	1002.794	892.906
4	-17.500	10.000	174.696	176.395	175.858	49.266	42.808	181.880	1002.794	820.913
3	-27.500	10.000	131.253	133.282	133.607	47.334	42.292	217.239	887.472	670.236
2	-30.500	3.000	91.346	93.491	94.461	45.333	41.736	68.886	221.116	152.230
1	-33.000	2.500	57.088	59.623	61.375	43.966	41.387	67.851	169.221	101.371
TOTAL								542.457	5201.234	4658.777

Fig. 9 4th output group (1)

① RUN NO. OPT-60R-1, 60A-OUTPILE TEST CALCULATION, '87-11-04. : PRINT OUT FROM OUT2 (SATCAP PRO.)
 ② TIME (HR) = 0.100, DTM (MIN) = 0.493, IN = 3, COUNT OF LOOP (LC) = 6
 ③ GAMMA HEATING RATIO = 0.10, COOLANT FLOW RATE OUTLET/INLET = 174.00/ 174.00 (GW/MIN)
 ④ SYSTEM PRESSURE (KG/CM²(A)) = 76.000
 ⑤ SATURATE TEMPERATURE (DEG-C) = 289.515, LATENT HEAT OF WATER (CAL/GR) = 353.035
 ⑥ HEAT CAPACITY OF WATER/STEAM (CAL/GR/C) = 1.321/ 1.273, DENSITY OF WATER/STEAM (GR/CC) = 0.732/ 0.040
 EXIT ENTHALPY RISE (WATT) = 164.566 (= 39.314 (CAL/SEC))

- 第 1 段 -

⑦ STAGE	⑧ ELEVATION (CM)	⑨ AXIAL GAMMA DISTRIBUTION (-)	⑩ NO. OF SPECIMEN RATE (N)	⑪ HEAT GEN. (WATT)	⑫ COOLANT - FLOW RATE (GR/MIN)	⑬ UPSTREAM - STEAM QUALITY (FRACTION)	⑭ TEMP. (DEG-C)	⑮ SPECIMEN TEMP. SURFACE (DEG-C)	⑯ SPECIMEN TEMP. CENTER (DEG-C)	⑰ NEUTRON FLUENCE FAST (N/CM ²)	⑱ NEUTRON FLUENCE THERMAL (N/CM ²)
12	43.250	0.195	0.0	0.0	174.000	0.0	30.262				
11	26.250	0.535	0.0	0.0	174.000	0.0	40.495				
10	20.250	0.674	1.000	42.873	174.000	0.0	44.941	45.227	45.227	0.0	0.0
9	15.950	0.761	1.000	91.727	174.000	0.0	45.512	45.647	45.647	0.0	0.0
8	6.750	0.909	1.000	11.636	174.000	0.0	45.781	45.732	45.732	0.0	0.0
7	5.650	0.922	1.000	108.951	174.000	0.0	45.682	44.642	44.642	0.0	0.0
6	-4.650	0.998	1.000	22.213	174.000	0.0	43.603	43.261	43.261	0.0	0.0
5	-6.750	0.996	1.000	81.757	174.000	0.0	42.919	41.288	41.288	0.0	0.0
4	-14.950	0.970	1.000	52.843	174.000	0.0	39.656	38.203	38.203	0.0	0.0
3	-20.250	0.905	0.0	0.0	174.000	0.0	36.750				
2	-25.250	0.814	0.0	0.0	174.000	0.0	36.874				
1	-42.250	0.358	0.0	0.0	174.000	0.0	38.542				
TOTAL			7.	411.999							

- 第 2 段 -

⑦ STAGE	⑧ ELEVATION (CM)	⑩ STAGE LENGTH (CM)	⑪ RAFFLE PLATE GAMMA HEAT GENERATION FLOW IN GEN. (WATT)	⑫ RAFFLE PLATE GAMMA HEAT GENERATION FLOW OUT (WATT)	⑬ COOLANT AVERAGE TEMP. (DEG-C)	⑭ RAFFLE PLATE TEMPERATURE INNER (DEG-C)	⑮ RAFFLE PLATE TEMPERATURE OUTER (DEG-C)	⑯ COOLANT - DOWNSTREAM - FLOW RATE STEAM QUALITY (FRACTION)	⑰ TEMP. (DEG-C)
12	43.250	17.000	126.697	0.0	-126.697	23.950	24.994	28.430	174.000 0.0 0.0 20.000
11	26.250	6.000	51.803	0.0	-51.803	29.515	30.725	34.705	174.000 0.0 0.0 27.900
10	20.250	4.300	36.504	0.0	-36.504	32.269	33.458	37.371	174.000 0.0 0.0 31.131
9	15.950	9.200	62.287	0.0	-62.287	35.349	36.297	39.418	174.000 0.0 0.0 33.407
8	6.750	1.100	5.992	0.0	-5.992	37.478	38.241	40.752	174.000 0.0 0.0 37.291
7	5.650	10.300	39.292	0.0	-39.292	38.890	39.424	41.182	174.000 0.0 0.0 37.665
6	-4.650	2.100	4.251	0.0	-4.251	40.247	40.531	41.464	174.000 0.0 0.0 40.115
5	-6.750	8.200	4.465	0.0	-4.465	40.519	40.595	40.846	174.000 0.0 0.0 40.380
4	-14.950	5.300	-7.578	0.0	7.578	40.422	40.222	39.562	174.000 0.0 0.0 40.658
3	-20.250	5.000	-10.035	0.0	10.035	39.873	39.592	38.666	174.000 0.0 0.0 40.186
2	-25.250	17.000	-16.317	0.0	16.317	39.051	38.917	38.474	174.000 0.0 0.0 39.560
1	-42.250								174.000 0.0 0.0 38.542
			297.360	0.0	-297.360				

Fig. 10 4th output group (2) - 1/2

- 第3段 -

⑦	⑧	③①	③②	③③	③④	③⑤	③⑥	③⑦	③⑧	③⑨
STAGE	ELEVATION (CM)	STAGE LENGTH (CM)	COOLANT TEMP. (DEG-C)	INNER TUBE INNER (DEG-C)	OUTER (DEG-C)	OUTER TUBE INNER (DEG-C)	OUTER (DEG-C)	GAMMA HEAT GENERATION FLOW IN (WATT)	TOTAL GH. FLOW OUT (WATT)	FLOW OUT (WATT)
12	43.250									
11	26.250	17.000	35.378	35.129	34.627	20.181	20.039	-37.407	0.0	37.407 2 0 0.0
10	20.250	6.000	42.718	42.350	41.609	20.267	20.058	-19.504	0.0	19.504 2 0 0.0
9	13.950	4.300	45.227	44.818	43.995	20.297	20.065	-15.521	0.0	15.521 2 0 0.0
8	6.750	9.200	45.647	45.231	44.394	20.302	20.066	-33.761	0.0	33.761 2 0 0.0
7	5.650	1.100	45.732	45.315	44.475	20.303	20.066	-4.050	0.0	4.050 2 0 0.0
6	-4.650	10.300	44.642	44.243	43.439	20.290	20.063	-36.317	0.0	36.317 2 0 0.0
5	-6.750	2.100	43.261	42.884	42.125	20.274	20.060	-6.989	0.0	6.989 2 0 0.0
4	-14.950	8.200	41.288	40.943	40.248	20.251	20.055	-24.977	0.0	24.977 2 0 0.0
3	-20.250	5.300	38.203	37.908	37.314	20.214	20.047	-13.804	0.0	13.804 2 0 0.0
2	-25.250	5.000	36.812	36.540	35.991	20.198	20.043	-12.028	0.0	12.027 2 0 0.0
1	-42.250	17.000	37.708	37.422	36.844	20.209	20.045	-43.074	0.0	43.074 2 0 0.0
TOTAL								-247.431	0.0	247.431

- 第4段 -

⑦	④①	④②	④③	④④	④⑤	④⑥	④⑦	④⑧	④⑨	⑤①	
STAGE	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 H.T.COEF. VEL. (W/CM**2) (W/CM2/C) (CM/SEC)			EQUI.DIA. (CM)	REF. VAL. (***)	REYNOLDS NUMBER
12	0.0	0.0	0.153	7.54	0.559	0.141	0.568	0.153	4.88	0.559	61.6
11	0.0	0.0	0.154	7.54	0.595	0.209	0.568	0.154	4.88	0.595	71.4
10	0.0	5.68	0.267	4.34	0.608	0.232	0.568	0.267	2.81	0.608	75.5
9	0.0	5.68	0.267	4.34	0.610	0.236	0.568	0.267	2.81	0.610	76.2
8	0.0	5.68	0.267	4.34	0.610	0.237	0.568	0.267	2.81	0.610	76.4
7	0.0	5.68	0.267	4.34	0.605	0.227	0.568	0.267	2.81	0.605	74.5
6	0.0	5.68	0.267	4.34	0.598	0.214	0.568	0.267	2.81	0.598	72.2
5	0.0	5.68	0.267	4.34	0.588	0.196	0.568	0.267	2.81	0.588	69.3
4	0.0	5.68	0.267	4.34	0.573	0.167	0.568	0.267	2.81	0.573	65.0
3	0.0	0.0	0.172	6.74	0.566	0.155	0.568	0.172	4.36	0.566	63.3
2	0.0	0.0	0.172	6.74	0.571	0.163	0.568	0.172	4.36	0.571	64.4
1											

- 第5段 -

⑦	⑥①	⑥②	⑥③	⑥④	⑥⑤	⑥⑥	⑥⑦	⑥⑧	⑥⑨	⑦①	
STAGE	BAFFLE PLATE INNER HEAT FLUX H.T. COEFF. VEL. (W/CM**2) (W/CM2/C) (CM/SEC)			EQUI. DIA. (CM)	REF. VAL. (***)	BAFFLE PLATE OUTER HEAT FLUX H.T. COEFF. VEL. (W/CM**2) (W/CM2/C) (CM/SEC)			EQUI. DIA. (CM)	REF. VAL. (***)	REYNOLDS NUMBER
12											
11	-5.93	5.68	23.1	0.400	0.495	-3.95	0.568	0.153	40.2	0.559	969.
10	-6.87	5.68	23.1	0.400	0.530	-4.58	0.568	0.154	40.2	0.596	0.113E+04
9	-6.76	5.68	23.1	0.400	0.544	-4.50	0.568	0.267	23.2	0.608	0.119E+04
8	-5.39	5.68	23.2	0.400	0.559	-3.59	0.568	0.267	23.2	0.610	0.125E+04
7	-4.33	5.68	23.2	0.400	0.570	-2.89	0.568	0.267	23.2	0.611	0.131E+04
6	-3.04	5.68	23.2	0.400	0.577	-2.02	0.568	0.267	23.2	0.605	0.134E+04
5	-1.61	5.68	23.2	0.400	0.583	-1.07	0.568	0.267	23.2	0.598	0.138E+04
4	-0.433	5.68	23.2	0.400	0.585	-0.289	0.568	0.267	23.2	0.589	0.139E+04
3	1.14	5.68	23.2	0.400	0.584	0.759	0.568	0.267	23.2	0.573	0.139E+04
2	1.60	5.68	23.2	0.400	0.581	1.06	0.568	0.172	36.0	0.566	0.137E+04
1	0.764	5.68	23.2	0.400	0.577	0.509	0.568	0.172	36.0	0.570	0.135E+04

Fig. 10 4th output group (2) - 2/2

謝 辞

このプログラムを作成するに当たり、市橋芳徳氏から照射用キャプセルについて必要な条件等について種々の助言を得た。白石忠男氏からは計算機システムの使用法について援助を得た。大内光男氏には計算結果の出力のプリント形式について有益な助言を得た。石井忠彦氏は、キャプセル内部に水を注入する BOCA についてその設計、運転の経験から、この報告書の草稿を検討していただいた。また、鈴木忍氏からは英文についての助言を得た。

このキャプセル型式を適用する一つとして電力中央研究所との共同研究にかかる軽水炉の炉内構造材のステンレス鋼の長期照射を目的にした高温照射制御キャプセルを予定している。この高温照射制御キャプセルの設計を進めるに当たり、作成途中のプログラムの計算結果を使用した。その際、電力中央研究所の草薙秀雄、秀耕一郎の両氏には、作成途中のプログラムの計算結果からみてプログラムで考えなければならないキャプセルの機能等の指摘を受けた。また、東衡テストの、永山晴夫、野本俊郎の両氏には、キャプセル構造や熱バランスのチェックについて有益な助言を得た。

プログラムで対象としている飽和温度キャプセルの炉外実験装置がクルース科学(K.K)で製作されたが、その設計時の検討において考慮したデータはこのプログラム作成に有益な情報となった。

以上に、その氏名を記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 染谷博之, private communication (April, 1982)
- 2) 野邑雄吉, 「応用数学」, p. 150~153, 内田老鶴圃
- 3) 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)
- 4) W. H. McAdams, "Heat Transmission" (3rd ed.), p. 219, McGraw-Hill (1954)
- 5) 青木成文, 「原子炉熱工学」(初版), 養賢堂, 1965 年
- 6) 日本機械学会, 「技術資料 流体の熱物性値集」(初版), 昭和 58 年 8 月

謝 辞

このプログラムを作成するに当り、市橋芳徳氏から照射用キャプセルについて必要な条件等について種々の助言を得た。白石忠男氏からは計算機システムの使用法について援助を得た。大内光男氏には計算結果の出力のプリント形式について有益な助言を得た。石井忠彦氏は、キャプセル内部に水を注入する BOCA についてその設計、運転の経験から、この報告書の草稿を検討していただいた。また、鈴木忍氏からは英文についての助言を得た。

このキャプセル型式を適用する一つとして電力中央研究所との共同研究にかかる軽水炉の炉内構造材のステンレス鋼の長期照射を目的にした高温照射制御キャプセルを予定している。この高温照射制御キャプセルの設計を進めるに当り、作成途中のプログラムの計算結果を使用した。その際、電力中央研究所の草薙秀雄、秀耕一郎の両氏には、作成途中のプログラムの計算結果からみてプログラムで考えなければならないキャプセルの機能等の指摘を受けた。また、東衡テストの、永山晴夫、野本俊郎の両氏には、キャプセル構造や熱バランスのチェックについて有益な助言を得た。

プログラムで対象としている飽和温度キャプセルの炉外実験装置がクルス科学(K.K)で製作されたが、その設計時の検討において考慮したデータはこのプログラム作成に有益な情報となった。

以上に、その氏名を記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 染谷博之, private communication (April, 1982)
- 2) 野邑雄吉, 「応用数学」, p. 150~153, 内田老鶴圃
- 3) 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)
- 4) W. H. McAdams, "Heat Transmission" (3rd ed.), p. 219, McGraw-Hill (1954)
- 5) 青木成文, 「原子炉熱工学」(初版), 養賢堂, 1965 年
- 6) 日本機械学会, 「技術資料 流体の熱物性値集」(初版), 昭和 58 年 8 月