

JAERI-M
92-149

SATCAP-C：加圧水注入型式
キャプセルの熱設計用プログラム

1992年10月

原山 泰雄・染谷 博之・麻生 智一・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。

入手の間合わせは、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, 1992

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 日立高速印刷株式会社

SATCAP - C : 加圧水注入型式キャプセルの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・麻生 智一・新見 素二

(1992年9月2日受理)

材料試験炉 (JMTR: Japan Materials Testing Reactor) の照射装置の一種として、加圧水を内部に注入する型式のキャプセル (加圧水注入型式キャプセル) がある。具体的キャプセル型式として、沸騰水キャプセル (通称, BOCA キャプセル) と飽和温度型キャプセルの二種がある。水は圧力を一定に保持すると、全量蒸気化しない限り、その温度は飽和温度以上にならない。これらのキャプセルは、この水の特性を試料の照射温度設定に利用しようという構想に基づいて設計される。

内部に水を注入するキャプセルの設計に当たっては、その熱挙動を可能な限り把握することが必要であるが、水を供給する型式のキャプセルでは、内部に注入した水の軸方向温度分布のような熱挙動を簡単に予測することは困難である。その理由は、注入した水が動き得ること、またその結果としてキャプセル外面および内部の二面にヒート・シンクを持つことからである。

そこで、この型式のキャプセルの熱挙動を把握し、その熱設計や熱挙動解析に利用することを目的にプログラム (SATCAP) が作成され、キャプセルの設計や実機キャプセルの熱挙動の解析に使用されてきた。

その結果、プログラムはこれらの型式キャプセルの熱挙動の解析に十分な性能を有することが確認された。また、解析を通し、熱伝達係数の評価やキャプセルの熱挙動上の特性が明らかになった。

SATCAP-C : A Program for Thermal Hydraulic Design of
Pressurized Water Injection Type Capsule

Yasuo HARAYAMA, Hiroyuki SOMEYA,
Tomokazu ASOH and Motoji NIIMI

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

(Received September 2, 1992)

There are capsules called "Pressure Water Injection Type Capsule" as a kind of irradiation devices at the Japan Materials Testing Reactor (JMTR). A type of the capsules is a "Boiling Water Capsule" (usually named BOCA). The other type is a "Saturated Temperature Capsule" (named SATCAP). When the water is kept at a constant pressure, the water temperature does not become higher than the saturated temperature so far as the water does not fully change to steam. These type capsules are designed on the basis of the conception of applying the water characteristic to the control of irradiation temperature of specimens in the capsules.

In designing of the capsules in which the pressurized water is injected, thermal performances have to be understood as exactly as possible. It is not easy however to predict thermal performances such as axially temperature distribution of water injected in the capsule, because there are heat-sinks at both side of inner and outer of capsule casing as the result that the water is fluid.

Then, a program (named SATCAP-C) for the BOCA and SATCAP was compiled to grasp the thermal performances in the capsules and has been used the design of the capsules and analysis of the data obtained from some actual irradiation capsules.

It was confirmed that the program was effective in thermal analysis for the capsules. The analysis found out the values for heat transfer coefficients at various surfaces of capsule components and some thermal characteristics of capsules.

Keywords : SATCAP, Program, Saturated Temperature, Heat Transfer Coefficient, Irradiation Capsule, Thermal Hydraulic Design, Temperature Control, JMTR

目 次

1. はじめに	1
2. “加圧水注入型式キャプセル”の構造と機能	3
2.1 内部に加圧水を注入する型式のキャプセル	3
2.2 計算対象としての“加圧水注入型式キャプセル”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 計算手法の概要	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 仕切板および導水管温度	14
3.2.5 試料温度	15
3.2.6 熱伝達係数の評価	17
4. プログラム構成	32
4.1 プログラムの処理の流れと構成サブルーチン	32
4.2 水の物性値について	32
4.3 ガンマ加熱率について	34
5. プログラム使用経験	40
5.1 電気ヒータを使用した炉外実験データの解析	40
5.2 飽和温度型式キャプセルに関するプログラム使用経験	41
5.3 沸騰水キャプセルに関する熱解析	42
5.4 解析結果に見られる加圧水注入型式キャプセルの特性	43
5.5 解析経験から見たプログラムの今後の課題	45
謝 辞	47
参考文献	47
付録 A 入力について	49
付録 B 出力について	64

Contents

1. Introduction	1
2. Structure and Functions of "Pressurized Water Injection Type Capsule"	3
2.1 "Pressurized Water Injection Type Capsule"	3
2.2 Structure and Functions of "Pressure Water Injection Type Capsule" Treated by Program	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 Water in Capsule	7
3.2.3 Temperature Distribution of Capsule Casing	11
3.2.4 Temperature of Baffle Plate and Injection Tube	14
3.2.5 Temperature of Specimen	15
3.2.6 Heat Transfer Coefficients Evaluation	17
4. Composition of Program	32
4.1 Flow on Calculations and Incorporated Subroutines	32
4.2 Properties of Water and Steam	32
4.3 Gamma Heating Rate	34
5. Examples Adopted Program	40
5.1 Out-pile Test	40
5.2 Calculations for "SATCAP" Capsules	41
5.3 Thermal Analysis for "BOCA" Capsules	42
5.4 Thermal Characteristics Obtained from Calculation Results	43
5.5 Issues Contained in Program	45
Acknowledgments	47
References	47
Appendix A Guide to Input	49
Appendix B Guide to Output	64

1. はじめに

材料試験炉 (JMTR: Japan Materials Testing Reactor) を利用した照射装置の一種として“加圧水注入型式キャプセル (Pressurized Water Injection Type Capsule)”がある。加圧水注入型式キャプセルには現在二つの型式がある。一つは、“沸騰水キャプセル” (通称, BOCA キャプセル) であり, 他の一つは, “飽和温度型キャプセル (Saturated Temperature Capsule)”である。これらのキャプセルは, キャプセル内部に加圧水を注入し, キャプセル内で加圧水が沸騰することを許容する (キャプセル内部に注入, 供給する加圧水をこの報告書では供給水と言う)。いずれのキャプセルも, 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内部の水がすべて蒸気化しない限り飽和温度以上にならない水の特性を試料の照射温度の設定に利用しようという構想に基づいている。内部の水が全量蒸気化しない条件下で, キャプセル内への供給水の圧力を一定に維持すれば, 供給水は一定の飽和温度以下に保たれる。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ほぼ一定に維持される。すなわち, 供給水の圧力を調整することにより試料の照射温度の設定が可能になる。材料試料の照射では, 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が求められるが, この方法は試料表面温度を広い範囲にわたり飽和温度付近に保持することを可能とする。供給水にかかる圧力は, キャプセル構造の強度設計から制約されるが, 発電用軽水炉 (LWR) の条件, 約75気圧, 300℃程度までは充分実現可能である。この型式のキャプセルは, 軽水炉条件の燃料や材料照射に有力な手段を提供できる。

キャプセルの設計に際しては, 内部の熱挙動を正確に把握することが必要である。しかし, この型式のキャプセルは外筒表面のキャプセル冷却水と内部の供給水の二つのヒート・シンクを持つこと, また内部の水が流動することから, その熱挙動はかなり複雑となり, 一般に使用しているキャプセル設計用プログラム¹⁾では扱えない。特に, 材料試料の照射で, 長手方向に装荷した試料の照射温度を一定範囲に保持しなければならない場合, キャプセルの設計は詳細な内部温度の推定が求められる。この設計を誤ると, 例えば, 供給水量が施設の廃水処理能力を越えるとか, キャプセル下部部分に装荷した試料の照射温度が目標温度以下となる等の事態を引き起こす。そのため, 加圧水注入型キャプセルの内部の温度推定を行う計算機プログラムの作成が開始された。

プログラム SATCAP は, 加圧水注入型式キャプセルの熱挙動を評価し, 計算結果を主としてキャプセルの熱設計に利用することを目的に作成された^{2), 3)}。プログラムにより, 加圧水注入型キャプセルの注入供給水の状態, 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することにより, キャプセル内部構造の選定, 試料温度が照射目標温度を達成するか等の判定に役立てることを意図している。

プログラム作成開始と同時期に, 新しい型式の飽和温度型キャプセルの開発が開始された。加圧水注入型キャプセルについてはその熱解析経験が乏しく, 熱設計に必要な熱伝達率の値など不明な点がかなりあった。初期のプログラムは主として“飽和温度型キャプセル”の設計に最

初使用されることとなり、当初のプログラムは“飽和温度型キャプセル”の設計用としてまとめられた。プログラム名も飽和温度型キャプセルに由来し、SATCAPと名付けられた。

プログラムは、飽和温度型キャプセルの開発の一環として実施された炉外実験によって計算手法の妥当性が確認された。すなわち、炉外実験装置から測定データとプログラム計算値の比較、検討が行われた。この検討結果はプログラムの計算基本解析手法、仮定等に大きな誤りはないことを示した⁴⁾。

飽和温度型キャプセルの一体がJMTR炉心に装荷され、照射された。この照射試験により、キャプセル照射中の供給水温度等、キャプセル内軸方向の温度分布に関するデータが得られた。炉内で照射した実機キャプセルの測定温度を設計時の諸パラメータを使用しプログラムにより解析した。熱解析結果と測定データの比較は、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（20MW以上）になると、測定供給水温度は計算値より高くなることが判明した。

その後、飽和温度型キャプセルにトラブルが発生し、キャプセル内のかなり詳細な熱挙動解析が必要となった。そのため、高出力状態における測定値と計算値との供給水温度の乖離の原因が究明された。測定の供給水温度が高くなっている原因は、キャプセル内の流速が低いことから、キャプセル内では自然対流に近い熱伝達機構によっているために熱伝達係数が小さくなっていることによると推測された⁵⁾。詳細な熱挙動解析を行うには、プログラムに自然対流熱伝達係数を評価する機能を付加することが求められた。そこで、主として熱伝達係数の評価モデルの追加等プログラムの修正が行なわれた⁶⁾。

修正後のプログラムによる計算は照射試験に供された飽和温度型キャプセル内の供給水温度と良い一致を示し、キャプセル内部の熱挙動を理解することが可能になった。

一方、加圧水を注入する他の型式のBOCAキャプセルに適用可能なように、外筒外面を流れるキャプセル冷却水の温度変化を考慮可能とする、試料が燃料棒の場合出力を線出力密度で扱える等、モデルの追加、プログラムの改造が行われた。BOCAキャプセルの熱解析を実施し、プログラムがBOCAキャプセルの熱解析にも有効であることを確認した⁶⁾。

2. “加圧水注入型式キャプセル”の構造と機能

2.1 内部に加圧水を注入する型式のキャプセル

“加圧水注入型式キャプセル”は炉心外で加圧した水をキャプセル内部に注入する型式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注入水の未飽和沸騰を含む沸騰潜熱で吸収すると、仮に試料表面等で沸騰しても注入水の温度は飽和温度以下に保たれる。この水の性質を試料の照射温度の設定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設定可能である。この結果、水に加える圧力を調整することにより、試料の照射温度を設定することができる。特に材料試料の照射温度が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が必要であることから、この型式のキャプセルは有効な照射手段である。

2.2 計算対象としての“加圧水注入型式キャプセル”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), (b)に示す。プログラムが扱うキャプセル構造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。このギャップには何等かの物体が挿入されることがあると考える。ギャップは、通常ヘリウム・ガス等で満たされている。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、ギャップ中のガスを排気することも可能であるとする。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もできるとする。

(2) 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 (uniflow), ii) キャプセル内部に仕切り板を有し供給水は外筒内面に沿って上方から下方に一旦流れた後、下端で上方に折返し仕切り板内部を上昇する向流 (return flow), iii) 供給水が上方から下方へ導水管 (injection tube) で送水されるものを考える (Fig.1 (b) 参照)。

(3) 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仮定する。

(4) 材料試料の照射に際して、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等の構造材もガンマ発熱する。これら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等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では、必要供給水の流量を推定することは重要な事項である。そこで、この流量設定に関する情報を得るため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。

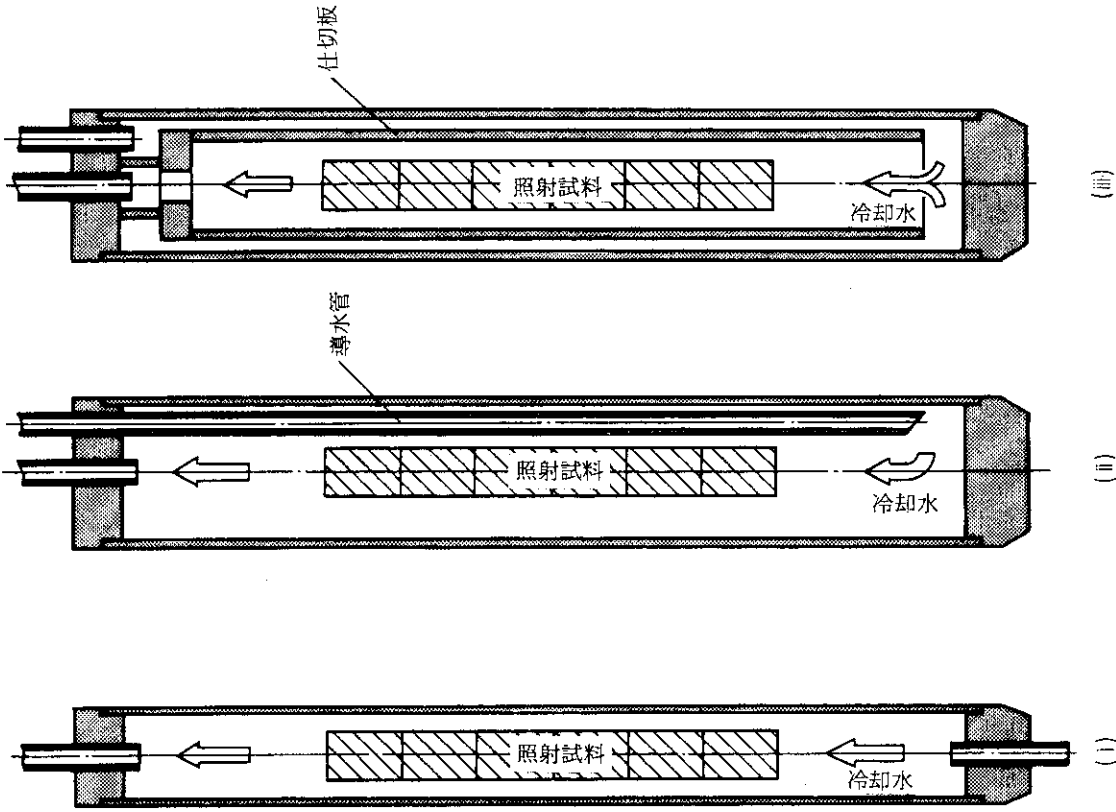


Fig. 1(b) Schematic diagram of pressurized water injection type capsule

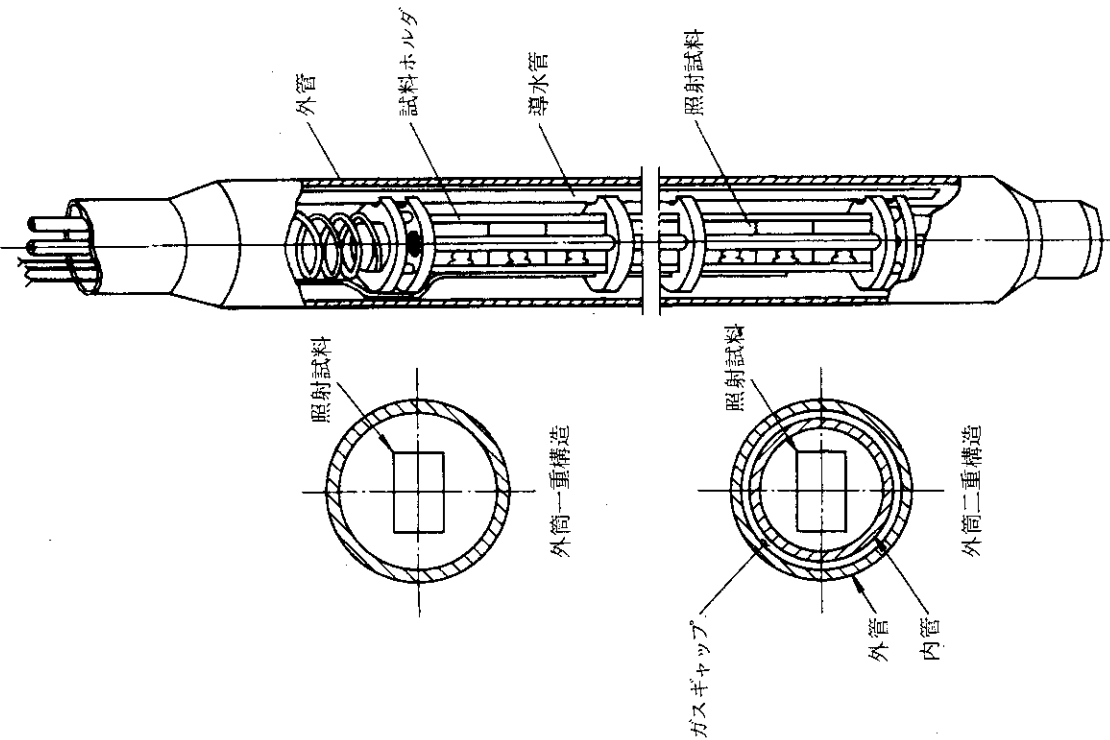


Fig. 1(a) Schematic diagram of pressurized water injection type capsule

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節に記述の通りである。

(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) プログラムは供給水温度等のキャプセルの状態の変化を原子炉の出力履歴に従って計算するが、温度等の状態の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、加圧水注入型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供給水温度等を算出する。

(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キャプセル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) 試料が金属材料等で発熱量が小さいものでは、キャプセル外筒材内部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。

後者のことを考慮し、外筒からの熱の流入、流出を算出し、この熱量をヒート・バランスに取り入れて供給水温度を評価する。

(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 (once through) 流れる単流 (uniflow)、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向流 (return flow)、および供給水を導水管 (injection tube) によって上方から下方に導き下方で注水する型式の三つのタイプを扱うことができる。しかし、向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、この節での計算手法の概要の説明は、まず単流について行う。向流などの場合の計算上の変更点等は第3.2.2節において説明する。

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) セクション内に含まれる試料、ヒータ等の発熱量を算出する。発熱量は照射履歴で与えた出力ならびに軸方向出力分布から計算する。必要な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。キャプセル内部の供給水のガンマ加熱も考えられるが、このプログラムでは考慮しない。

4) 上、下節点温度（上側は 2）の仮定値）の中間値を

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

と定める（脚注参照）。この温度をそのセクションのキャプセル内の供給水温度とする。外筒表面でのキャプセル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。これから外筒から流出する熱量あるいは流入する熱量が算出され、外筒で発生した熱のうち供給水の冷却または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 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、

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

で判定する。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) 供給水が上向き流の単流 (uniflow) 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あるいは減少を与える熱量は、

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

<脚注>

(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。いづれにしても、(1) 式の近似が十分成立し得る範囲に分割点を設定するように留意すること。特に、試料と考えるものが燃料棒やヒータで全体の発熱量に比較し、部分的に発熱量が大きいとその部分を過ぎた箇所でヒート・バランスが破れ易い。

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あるいは外側に流出する熱量、

$$Q_c (W),$$

である。このプログラムではキャプセル内部の供給水のガンマ加熱により発生する熱量は無視する。

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、外面温度分布からそれぞれの表面での熱流束が求められる。熱流束の値に基づき内部に流入し供給水の加熱に寄与する熱量あるいは外部に流出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。

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 ($W \cdot s / g / ^\circ C$)

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すると、その発生蒸気量 g (g) は

$$g = Q / q_{lat}$$

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

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

で与えられることになる。

キャプセル内部の供給水の状態を知るため、プログラムは蒸気体積率 (ボイド・フラクション) をも計算する。蒸気含有率 x と蒸気体積率 f_g との間の関係式は、

$$S = \frac{v_g}{v_l} = \frac{x}{1-x} \frac{1-f_g}{f_g} \frac{\gamma_l}{\gamma_g} \quad (6)$$

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、 γ 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。

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は、セクション上端 (上側の節点) の供給水の温度や状態が、セクション下端 (下側の節点) の温度や温度が既に飽和温度に達し蒸気が存在するか等の状態、および

そのセクションにおける熱量が供給水に関し加熱になるのか、除熱になる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 あるいは < 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 の如くに行っている。すなわち、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表で区分しているケース (A), (B), (C) に分れる。各ケースにおいて、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方式を採用している。ただし、表では、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わしている。

(2) 仕切板 (Baffle Plate) がある向流の場合

仕切板により、供給水が下降流と上昇流に分れ向流になる場合、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物の入口 (節点 LMAX) の次の下側節点 LMAX - 1 の温度計算から始める。

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。この点の相違を除き、先の単流の場合と同じ方法で、各セクション内の下降流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。ただし、この部分仕切板は存在すると仮定するが仕切板の熱伝導率、および表面での熱伝達係数に大きな値を与え、これらの値による温度差が発生しないように処置する。この評価された供給水の状態、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の取扱いとする。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を仕切板からの熱の流出あるいは流入に代えるだけである。

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計算に使用した仕切板から供給水に加わ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。これらの値を等しくするための収束法として、プログラムは、単純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、流出熱量を使用する。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) 導水管による給水の場合

キャプセル内に導水管が設けられ、供給水が上方より下方へ流れ、下部で解放される場合、供給水はキャプセル上方から下方に流れる間に通常加熱される。この計算上の基本的取扱いは上記(2)仕切板がある場合とほぼ同じである。

1) 導水管中の下降流について

下降流の温度変化に関係するエンタルピーは、通常上昇流の方が温度が高いため、導水管の外面から流入する熱量のみである。先の単流の場合と同じ方法で、導水管中の各セクション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) 導水管下端

仕切板がある場合と同様に処置する。

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である。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だけであったものが、外筒の外に導水管への熱の流出あるいは流入が加わることである。

4) 収束法について

仕切板がある場合と同様に処置する。収束法として、5回の単純くりかえし計算法を採用している。

(4) 最適流量評価

現実の定常状態のキャプセルの供給水はほぼ一定の流量で流すことになる。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使用目的はキャプセルの設計に利用することであり、与えられた条件下で必要供給水流量を評価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）とした。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KCNTRとしている。オプション選択の詳細は付録-A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 X_{limit} を超えたときは供給水流量 f を増加させる。すなわち、 f を

$$f = f_0 \cdot \frac{C_p (T_{\text{sat}} - T_{\text{inf}}) + X_{\text{max}} q_{\text{lat}}}{C_p (T_{\text{sat}} - T_{\text{inf}}) + X_{\text{limit}} q_{\text{lat}}} \quad (7)$$

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_{inf} : 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 (T_{limit}) を下回る場合、供給水の流量を減少させる。すなわち、

$$f = f_0 \cdot \frac{C_p (T_{\text{max}} - T_{\text{inf}})}{C_p (T_{\text{sat}} - T_{\text{inf}})} \quad (8)$$

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 (T_{limit}) 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

$$Q_{heater} = C_p (T_{limit} - T_{LHTN-1}) f \quad (9)$$

とする。ここで、LHTNは、試料部下端の節点番号である。

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十分な考慮を配っていない。

2) 供給水の分流供給について

加圧水注入型キャプセルに課せられ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である。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超えると、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仮定している。また、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超えたとしたとき、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。その修正計算の詳細は、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、その内部で熱を発生する。外筒内の温度分布によってはキャプセル内の供給水の加熱に寄与する場合がある。例えば、分布がFig.3の如き場合、 $R_i < r < R$ 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。このことは、このプログラムで扱うキャプセルにおいて必要供給水流量の決定にかなり重要な効果をあたえる。

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} と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返し収束計算法を用いる。

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。しかし、照射条件として確実な境界条件は、外筒表面のキャプセル冷却水温度なので、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、外筒表面を流れるキャプセル冷却水温度 T_{cof} はそのセクションにおける与えられた計算条件下において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_{ic} は、第3.2.1節の4)の仮定で与えられている。

(1) キャプセル外筒が二重管構造の場合

ガス・ギャップ層内のガスはガンマ加熱により発熱しないとすれば、ギャップ層内では $\nabla^2 T = 0$ が成立する。従って、ガス・ギャップ層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。温度分布を求め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、

$$T(r) = T_{\infty} + \frac{q''}{4k} (R_{\infty}^2 - r^2) - \frac{R_{o,i}}{k} (q'' R_{o,i}/2 - \phi_i) \ln (R_{\infty}/r) \quad (10)$$

で与えられる。ここで、 ϕ_i は内面での熱流束で $\phi_i = Q_g / (2\pi R_{o,i})$ である。 k は熱伝導率、 r は半径座標、 T_{∞} は外管外表面温度、寸法の表示 R_{∞} 等はFig.3に示すところに従う。外表面での熱流束は

$$\phi_{\infty} = q'' R_{\infty}/2 - R_{o,i}/R_{\infty} (q'' R_{o,i}/2 - \phi_i) \quad (11)$$

となる。この熱流束と熱伝導係数 h_f を用いて、外管外表面温度を

$$T_{\infty} = T_{\infty,i} + \phi_{\infty} R_{\infty}/h_f \quad (12)$$

と定める。

外管内面温度 $T_{o,i}$ は、

$$T_{o,i} = T_{\infty} + \frac{q''}{4k} (R_{\infty}^2 - R_{o,i}^2) - \frac{R_{o,i}}{k} (q'' R_{o,i}/2 - \phi_i) \ln (R_{\infty}/R_{o,i}) \quad (13)$$

で与えられる。

3) 内管の温度を求める。外側の熱量 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、

$$T(r) = T_{i,o} + \frac{q''}{4k} (R_{i,o}^2 - r^2) - \frac{R_{o,i}}{k} (q'' R_{i,o}/2 - \phi_o) \ln (R_{i,o}/r) \quad (14)$$

で与えられる。ここで、 $\phi_o = Q_g / (2\pi R_{i,o})$ であり、内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 (W/cm) なので、

$$T_{i,o} = T_{o,i} + \frac{Q_g}{2\pi k_g} \ln (R_{\infty} - R_{o,i}) \quad (15)$$

より定める。内管内面温度は、

$$T_{ii} = T_{io} + \frac{q'''}{4k} (R_{io}^2 - R_{ii}^2) - \frac{R_{oi}}{k} (q''' R_{io}/2 - \phi_o) \ln (R_{io}/R_{ii}) \quad (16)$$

から求める。

内管内面における熱流束 ϕ_{ii} は

$$\phi_{ii} = \frac{q'''}{2} R_{ii} - \left(\frac{q'''}{2} R_{io} - \phi_o \right) R_{io}/R_{ii} \quad (17)$$

である。内管内を流れる供給水温度は内管内面の熱伝達係数 h_i を使用し、

$$T'' = T_{ii} + \phi_{ii}/h_i \quad (18)$$

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_{ic} 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となる。

6) ガス・ギャップ層に挿入物体を考慮した場合の取扱い

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構造の場合は、そのギャップに挿入物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、挿入物体もガンマ加熱により熱の発生があると考える。挿入物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一般に高いので、挿入物体で発生した熱を含み、ここでのギャップ挿入物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。

挿入物体がある場合のギャップにおける温度差 (ΔT) は

$$\Delta T = \left\{ \phi_i + f h_{g2} q''' t \left(\frac{g_o}{k_g} + \frac{t}{2k_m} \right) \right\} / \left\{ (1-f) h_{g1} + f h_{g2} \right\} \quad (19)$$

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

f : 挿入物体の長手方向の存在割合 ($= h_2 / h$)

h_2 : 挿入物体の長手方向長さ

h : そのセクションの長手方向長さ

q''' : 挿入物体の発熱率

k_g, k_m : ギャップ内のガスおよび挿入物体の熱伝導率

t : 挿入物体の厚さ

である。なお、式 (19) 中の熱伝達係数 h_{g1} , h_{g2} は

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

とする。ここで、

g_i, g_o は挿入物体における内側と外側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。

(2) キャプセル外筒が一重管構造の場合

キャプセル外筒が一重管構造の場合は外筒が二重管構造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う。ただし、外表面温度は外筒外表面熱伝達係数を使用して決定する。

(3) キャプセル外筒外側を流れるキャプセル冷却水温度

上記(1)や(2)の方法で温度分布を求めるには、外筒外のキャプセル冷却水温度が境界条件として与えられねばならない。プログラムは各セクションにおける外筒外のキャプセル冷却水温度は一定であると仮定する。しかし、各セクションの上、下端のノード点における外筒外側のキャプセル冷却水温度の変化を想定する。その温度変化(主として温度上昇)は次のように評価する。

JMTRは研究炉で原子炉冷却水等は一般に下向き流れである。そこで、キャプセル冷却水温度は計算対象のキャプセル最上端で冷却水入口温度とし、最下端で出口温度に等しくする。その途中の計算上分割した各ノード点の温度変化は、各セクション間でキャプセル外筒から冷却水に流出する全熱量(最上端から最下端までの全熱量)に対する上部から計算対象セクションまでの積算流出熱量の割合に比例するとした。

ノード点 L のキャプセル冷却水温度 $T(L)$ を式で表示すれば、

$$T(L) = T_{in} + \Delta T \left(\frac{\sum_{i=L+1}^{LMAX} Q_{out, i}}{\sum_{i=2}^{LMAX} Q_{out, i}} \right) \quad (20)$$

となる。ここに、 T_m : キャプセル冷却水入口温度、 ΔT : 出口、入口間の温度差、 $Q_{out, i}$: セクション i からキャプセル冷却水へ流出する熱量である。なお、第3.1節に述べたようにこのプログラムではセクション番号は2から始まるので、全熱量の加算は $i=2$ からとなる。

キャプセル冷却水の温度変化は最上部で入口温度に等しく、下降するに従い各セクションからの外筒からの流出熱量の積算値に比例して変化し、下端で出口温度に等しくなる。

3.2.4 仕切板および導水管温度

(1) 仕切板

向流の場合、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。ただし、仕切板温度の境界条件は内側が供給水の上昇流温度、外側が下降流温度である。外筒はすべての計算領域に存在するが、仕切板はキャプセル下部等で存在しないセクションがある。その様なセクションでも仕切板と同一寸法の水の層が存在すると仮定し、計算式を適用して温度計算を行う。ただし、表面熱伝達係数および熱伝導率に大きな値を使用し温度差がほとんど発生しないような処置をとる。

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、

$$R_i = 2D_i / \pi \quad (21)$$

とする。計算上の円筒外半径は

$$R_o = (R_i^2 + S / \pi)^{1/2} \quad (22)$$

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するための処置であり、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は、仕切板の場合と同様に計算する。ただし、導水管温度の境界条件は内側が供給水の下降流温度、外側が上昇流温度である。導水管が存在しない領域（セクション）は、仕切板の場合と同様な取扱いとする。

3.2.5 試料温度

このプログラムの主要目的はキャプセル内に注入した供給水の温度等の状態変化に力点があり、試料の中心温度等は参考値である。試料が燃料棒の場合、その出力は線出力密度で扱う。ただし、燃料棒の端栓、プレナム部等も試料に含ませる。参考値としての試料中心温度等は次の如く計算する。

(1) 試料表面温度

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

$$T_s = T_{inc} + \phi_s / h_s \quad (23)$$

で定める。ここに、 ϕ_s は表面熱流束 ($= q'' \cdot t / 2$) で、 T_{inc} 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 または Thom の相関式により試料表面温度を評価する。Jens - Lottes の相関式は、

$$\Delta T_{sat} = 1.9 \cdot \phi_s^{1/4} \cdot \exp(-P/900) \quad (24)$$

と表される⁷⁾。Thom の相関式は、

$$\Delta T_{sat} = 0.072 \cdot \phi_s^{1/2} \cdot \exp(-P/1260) \quad (25)$$

と表される⁸⁾。ここで、

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

であり、

T_{sat} : 水の飽和温度 (°F), T_s : 壁面温度 (°F)

P : 圧力 (lb/in²a)

ϕ : 表面熱流束 (Btu/ft²·h)

である。このプログラムに使用の単位に変換すると、それぞれ

$$\Delta T_{\text{sat}} = 7.92 \cdot \phi_s^{1/4} \cdot \exp(-P/63.28) \quad (24)$$

$$\Delta T_{\text{sat}} = 2.25 \cdot \phi_s^{1/2} \cdot \exp(-P/88.59) \quad (25)$$

となる。ここで、単位は、 ΔT_{sat} , T_s の温度について (°C), 圧力 P について (kg/cm²a), 熱流束について (W/cm²) とする。

相関式の選択は、その時の系の圧力 P が100 (kg/cm²a) 以下ならば Jens - Lottes の相関式により、100 (kg/cm²a) 以上ならば Thom の相関式により試料表面温度を評価する。

(2) 試料中心温度

このプログラムは試料としての材料や燃料棒の温度も計算するが、これら試料温度は、参考値として計算される値である。

a) キャプセル内の材料試料形状が四角断面 (W (巾) \times t (厚さ)) の板状の場合、試料中心線温度 T_c は無限平板と仮定して、温度計算を行う*。すなわち、

$$T_c - T_s = \frac{q''}{8k_s} \cdot t^2 \quad (26)$$

で評価する。ここで、 T_s : 試料表面温度 (°C), q'' : 試料の発熱密度とする。

試料形状が棒状 (外半径 : R) の場合、無限円柱と仮定し、次式により中心温度を評価する。

$$T_c - T_s = \frac{q''}{4k_s} \cdot R^2 = \frac{q''}{4\pi k_s} \quad (27)$$

〈脚注〉

*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

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

で与えられる⁹⁾。ここに、 ℓ, m, n は正の奇数 ($\ell, m, n = 1, 3, 5, 7, \dots$) とする。

ここに、 q' : ガンマ加熱率から算出した線出力密度 (W/cm)、 k_s : 試料の熱伝導率 ($W/cm/^\circ C$) とする。

b) 照射試料が燃料棒の場合、試料中心温度は次の如き計算による。このプログラムの場合、参考値なので概略計算である。

(i) 中実試料部 (端栓等)

端栓等の中実な部分 (外半径 : R (cm)) は次式による。

$$T_c - T_s = \frac{q'}{4\pi k}, \quad (q' = \pi R^2 q''') \quad (28)$$

ここで、 q' : ガンマ加熱率から算出した線出力密度 (W/cm)、 k : 熱伝導率 ($W/cm \cdot ^\circ C$) である。

(ii) 中空試料部 (プレナム部等)

プレナム部等の中空な部分は次式による。燃料棒の場合、 T_c は被覆内面温度である。

$$T_c - T_s = R_o q'' / k_c \ln (R_o / R_i) \quad (29)$$

ここで、 q'' : ガンマ加熱率を考慮した試料表面熱流束 (W/cm^2)、 R_i 、 R_o 被覆内外半径 (cm) とする。なお、この評価に必要な被覆内径は $R_i = 0.887 \times R_o$ で与えられるとする。

(iii) 燃料ペレットを含む部分の取扱い

燃料ペレットを含む部分は次のように取り扱う。被覆の内面温度は式 (29) を使用し中空試料部と同様な方法で計算する。次いで、燃料ペレット中心温度を式 (28) を使用して評価する。この評価に必要な燃料表面温度は、被覆内面と燃料ペレット外面間のギャップ・コンダクタンスを $1,000 \text{ Btu}/\text{ft}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ \text{F}$ ($0.568 \text{ W}/\text{cm}^2 \cdot ^\circ \text{C}$) と仮定した温度差より算出する。燃料ペレットの中心温度の計算において、燃料ペレットの熱伝導率はその密度は 95% TD と考え、 $k = 0.0259$ ($W/cm \cdot ^\circ C$) の定数とする。

また、外径は $R_o = 0.886 \times R_o$ で与えられるとする。

なお、被覆材のガンマ加熱による自己発熱は、一般に燃料の発熱に比較し小さいので考慮しない。

3.2.6 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。プログラムはこれら熱伝達係数を一定値として入力を与えることを原則としている。これはプログラムの主たる利用目的がキャプセルの熱設計にあり、計算を単純化するために採用した。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 $20000 \text{ kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ \text{C}$ ($2.33 \text{ W}/\text{cm}^2 \cdot ^\circ \text{C}$) 程度、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 $10000 \text{ Btu}/\text{ft}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ \text{F}$ ($5.68 \text{ W}/\text{cm}^2 \cdot ^\circ \text{C}$) 程度と推定されるが、その他のキャプセル内面等についての係数を類推することは難しい。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でいる。一方、プログラムの利用として、キャプセル照射挙動の解析も要請される。そのような場合、ここに述べる

組み込みの方法で係数を評価しても、なお実測温度分布との相違を発生することがある。そこで、計算で求めた係数に修正ファクターを乗ずることも可能なようにしている。修正ファクターの使用方法は付録-Aを参照されたい。

多くの熱伝達係数の相関式は、管内流について得られたものである。したがって、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) 等の項に使用する 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。それら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¹⁰⁾。

(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¹¹⁾。

$$Nu = (\alpha D / \lambda) = 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.4} \quad (30)$$

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 ($= \rho v$)
 v : 流速
 μ : 流体の粘性係数
 Re : レイノルズ数 ($= DG / \mu$)
 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小さく、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なり、この相関式を外筒内面等に適用すると、ほとんどの場合適用範囲外となる。なお、熱伝達係数が0に近くなると収束計算が発散する。これを防止するため、最小係数値を設定している。その値は熱伝達係数で $\alpha = 0.00567$ ($W/cm^2 \cdot K$) に設定してある。

(2) 修正 Dittus - Boelter 相関式

組込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-3 使用の計算式である¹²⁾。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小さ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⁴⁾。

組込みのモデルは、式 (24) を次のように変形する。

$$a = \left(\frac{v^{0.8}}{D^{0.2}} \right) \cdot 0.023 \cdot \frac{\lambda \rho^{0.8} \cdot Pr^{0.4}}{\mu^{0.8}} \quad (W/cm^2 \cdot K)$$

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ると考え、

$$a = \left(\frac{v^{0.8}}{D^{0.2}} \right) \cdot F(T) \quad (31)$$

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

この評価式の使用に際しても収束計算途中での安定化を図るため、最小、最大係数値を設定している。その値は、

$$\text{最小熱伝達係数値 } 0.0568 \quad (\text{W/cm}^2 \cdot \text{K})$$

$$\text{最大熱伝達係数値 } 2.272 \quad (\text{W/cm}^2 \cdot \text{K})$$

に設定している。

(3) 自然対流熱伝達係数

炉内で照射した実機飽和温度型キャプセルの測定温度と先の修正Dittus - Boelter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熱伝達機構に近いのではないかと推測されることから、自然対流と考えた時の熱伝達係数を評価するモデルを組み込んでいる。この場合の自然対流熱伝達係数は次のように評価する¹³⁾。

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

$$Nu_x = 0.0295 (Gr_x Pr)^{2/5} \left(\frac{Pr^{1/6}}{1 + 0.494 Pr^{2/3}} \right)^{2/5} \quad (32)$$

とする。

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

$$Nu_x = \frac{0.508 Pr^{1/2}}{(0.952 + Pr)^{1/4}} (Gr_x)^{1/4} \quad (33)$$

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

$$Nu_x = \frac{\alpha_x x}{\lambda}, \quad Gr_x = \frac{g \beta \Delta T x^3}{\nu^2} \quad (34)$$

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。ただし、その長さ（高さ）が3cm以下の場合は、3cmとしている。

これらの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、仕切板や導水管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ます。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%を越えることも予想される。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ことが考えられる。

凝縮による熱伝達係数を次式で評価する^{13), 14)}。

$$Nu_x = \frac{\alpha \cdot x}{\lambda} = \frac{x}{\delta} = \left(\frac{g \gamma r x^3}{4 \nu \lambda (T_s - T_o)} \right)^{1/4} \quad (35)$$

$T_o > T_s$ 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^{13), 15)}。

$$Nu = \frac{\alpha \cdot D}{\lambda_v} = 0.62 \left(\frac{g (\gamma_l - \gamma_v) r D^3}{\nu_v \lambda_v (T_o - T_s)} \right)^{1/4} \quad (36)$$

ここに、Dは熱伝達上の相当直径である。

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、

$$\begin{aligned} f \leq f_t' & \quad \alpha = \alpha_n \\ f > f_t' & \quad \alpha = \alpha_n + \frac{f - f_t'}{1 - f_t'} (\alpha_b - \alpha_n) \end{aligned} \quad (37)$$

とすることになっている。なお、 f_t' は0.1（ボイドフラクション10%）に設定している。

(5) 沸騰水キャプセル (BOCA) における外筒内面熱伝達係数

BOCA キャプセルの熱解析から得られた外筒内面熱伝達係数の一例は、Fig.6に示すような値であった⁶⁾。線出力密度300W/cm以下時の外筒内面の熱伝達係数は、線出力密度と共に増加するが、それ程大きく増加せず、ある値で飽和する。一方、線出力密度400W/cm以上の熱伝達係数は線出力密度との間にほぼ直線性を持つ。熱伝達係数の変化傾向は燃料セグメントでも、内部の発熱部にヒータを使用した場合でもほとんど変わらない。

線出力密度に対して外筒内面熱伝達係数 (h : Btu/ft²·h·°F) を近似すると、次のように

なる。

$$\text{線出力密度 } 300\text{W/cm 以下, } h = 710\sqrt{q} \quad (38)$$

$$\text{線出力密度 } 400\text{W/cm 以上, } h = 1850q - 600$$

ここで、 $q = (\text{燃料セグメント等の線出力密度, W/cm}) / (600\text{W/cm})$ である。

線出力密度 300W/cm 以下の場合、自然対流熱伝達と考えられる。線出力密度 400W/cm 以上の場合、未飽和沸騰ながら熱伝達を良くする要因が加算される結果熱伝達係数が大きくなると考えられる。ただし、このメカニズムは未だ不明である。

BOCA に関する外筒内面の熱伝達メカニズムを明確にした後、その熱伝達係数評価式を組み込む方が良いと考えられるが、現在の BOCA キャプセルによる照射条件を固定して使用することが多いと予想されるので、式 (38) の評価式の形式でそのままプログラムに組み込んでいる。

BOCA キャプセルの熱解析を通し、キャプセル内部の試料等で発生した熱が上方に拡散していると考えられる事象が見られた。上記の式は、燃料セグメント有効長総出力の約 10% の熱量が上方に移動すると仮定したときの推定値である。当然、移動熱量の割合が変われば、熱伝達係数の推定値も変更されるべきである。

そこで、プログラムでは、つぎの形で組み込んでいる。

$$\begin{aligned} &\text{線出力密度に対して外筒内面熱伝達係数 (h : Btu/ft}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{ }^\circ\text{F) を} \\ &\text{線出力密度 } L_n\text{W/cm 以下, } h = C_1\sqrt{q} \end{aligned} \quad (39)$$

$$\text{線出力密度 } L_n\text{W/cm 以上, } h = C_2q - C_3$$

ここで、 $q = (\text{燃料セグメント等の線出力密度, W/cm}) / (L_c\text{W/cm})$ とし、係数等、 L_n 、 L_c 、 $C_1 \sim C_3$ は入力値として与えて使用する。

なお、収束計算の安定化を図るため、熱伝達係数の値は $100\text{Btu/ft}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{ }^\circ\text{F}$ 以下にはならないように制限している。

(5) 使用記号

この小節に特に説明無く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 ($\text{W} \cdot \text{s/g}$)
- T_w : 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 ($^\circ\text{C}$)
- x : 境界層発生開始点からの高さ (cm)

Greeks ;

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

μ : 静粘性係数 ($\text{g} \cdot \text{s} / \text{cm}^2$)

ν : 動粘性係数 (cm^2 / s)

suffix :

v : 蒸気, l : 液

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

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

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

(C)	$> T_{sat}$	$= 1$	$[Q = C_{pg} f \Delta T]$ $\Delta T = Q / C_{pg} / f$	$> T_{sat}$	$= 1$
			$Q_1 = C_p f (T_{L-1} - T_{sat})$ $Q_2 = Q + Q_1$ $\Delta x = Q_2 / q_{lat} / f$	$(< T_{sat})$ $= T_{sat}$	$0 \leq x_L \leq 1$
			$Q_3 = q_{lat} f \cdot l$ $Q_4 = Q + Q_1 + Q_3$ ($\therefore Q_4 < 0$) $\Delta T = Q_4 / C_p / f$	$< T_{sat}$	(< 0) $= 0$
記	C_p : 供給水の比熱 (W-sec/g°C), f : 供給水の流量 (g/sec), T : 供給水温度 (°C), Q : セクションLにおいて供給水に加えられる熱量 (W-sec), Δ : 増分記号 suffix: L-1, L node番号 C_{pg} : steamの比熱 (W-sec/g°C) x : steam quality T_{sat} : 飽和温度 (°C) q_{lat} : 蒸気の潜熱 (W-sec/g)				
号	<p>[] で記された式は下行の評価式を導くためのヒートバランスを示す。</p>				
等	<p>(注) プログラム内では (C), (B) $[T_{L-1} = T_{sat}]$ であり、かつ $Q < 0$ の条件に一致するものが最初にジャンプされ、残りのものが (A) で処理される。</p>				

Table 2 Modification on supply water temperature and steam quality (1/2)

	下端の流入状態		修正式	修正	
	T_{L-1}	x_{L-1}		T_{L-1}	x'_{L-1}
(A)	$\leq T_{sat}$	≤ 0	$Q_d = f_1 C_p (T_{L-1} - T_b)$ $[Q_d = Q_u]$ $T_b = (f_1 T_{L-1} + f_d T_{iif}) / f_e$		
(B)	$= T_{sat}$	$0 < x_{L-1} \leq 1$	$Q_d = f_1 \Delta x_{L-1} q_{lat}$ $[Q_d = Q_u]$ $\Delta x_{L-1} = Q_u / (f_1 q_{lat})$ $x''_{L-1} = x_{L-1} - \Delta x_{L-1}$	$= T_{sat}$	
			$Q_{d1} = f_1 x_{L-1} q_{lat}$ $Q_{d2} = f_1 C_p (T_{sat} - T_b)$ $[Q_{d1} + Q_{d2} = Q_u]$		$(x'_{L-1} < 0)$
			$T_b = \frac{f_d}{f_e} T_{iif} + \frac{Q_{d1} + f_1 C_p T_{sat}}{f_e C_p}$	$= T_b$	$= 0$

Table 2 Modification on supply water temperature and steam quality (2/2)

(C)	$> T_{sat}$	$= 1$	$Q_{d1} = f_1 C_{pg} (T_{L-1} - T_{sat})$ $Q_{d2} = f_1 q_{lat}$ $Q_{d3} = f_1 C_p (T_{sat} - T_b)$ $[Q_{d1} + Q_{d2} + Q_{d3} = Q_{u1} + Q_{u2} + Q_{u3}]$ $T_b = (f_1 C_{pg} T_{L-1} + f_d C_{pg} T_{u1} - Q_{u2}) / C_{pg} f_e$ $[Q_{u1} = Q_{d1} + f_1 q_{lat} \Delta x_{L-1}]$ $\Delta x_{L-1} = \frac{Q_{u1} - Q_{d1}}{f_1 q_{lat}}$ $x''_{L-1} = x_{L-1} - \Delta x_{L-1}$ $x'_{L-1} = f_1 x''_{L-1} / f_e$	$= T_b$	$= 1$
				$(T_b < T_{sat})$	
				$= T_{sat}$	
				$= T_b$	$(x'_{L-1} < 0)$ $x_{L-1} = 0$
記号等	f_1 : 増加前 (下端の) 流量 (g/sec) f_e : 増加後 (L 段の) 流量 (g/sec) f_d : 増分流量 ($= f_e - f_1$) Q : 熱量 (W-sec) C_p : 供給水の比熱 (W-sec/g°C), C_{pg} : steam の比熱 (W-sec/g°C) x : steam quality T_{iif} : 供給水の供給時温度 (°C) T_b : 平衡に達する温度 (°C), T_{sat} : 飽和温度 (°C) q_{lat} : 蒸気の潜熱 (W-sec/g) Δ : 増分記号 suffix; L-1, L : node番号, d : エンタルピーの減少, u : エンタルピーの増加				
	<p>[] で記された式は下行の評価式を導くためのヒートバランスを示す。</p> <p>(注) プログラム内では (C), (B) の条件に一致するものが最初にジャンプされ、残りのものが (A) で処理される。</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		

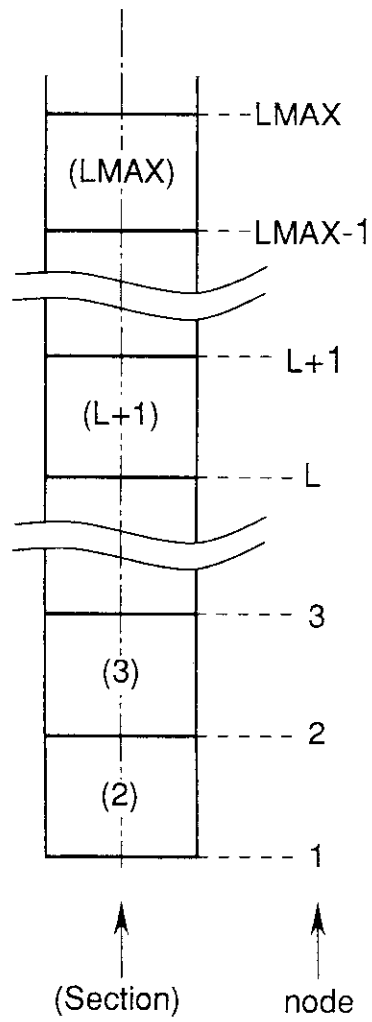


Fig. 2 Node and section used in program

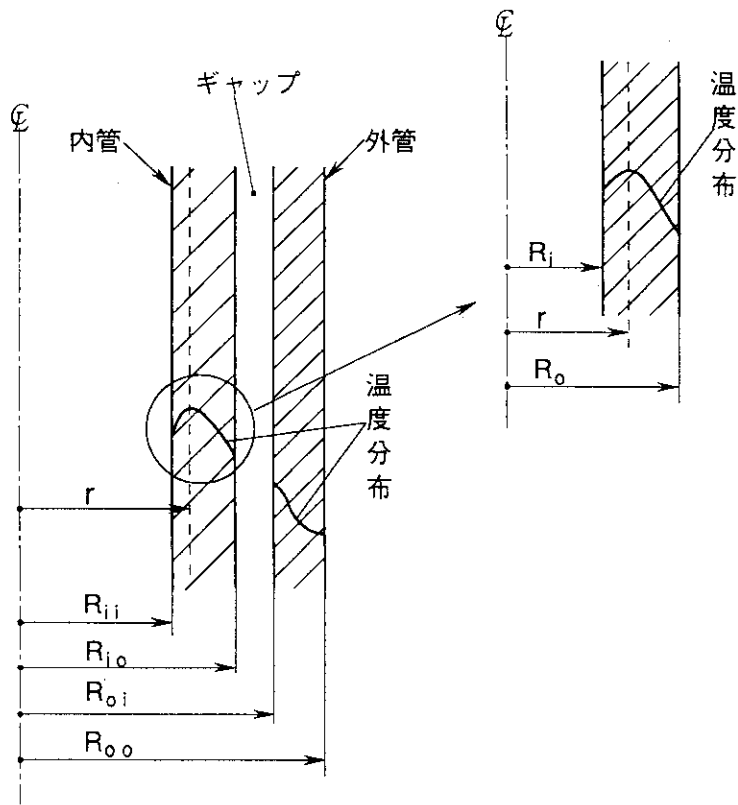


Fig. 3 Temperature distribution of capsule casing

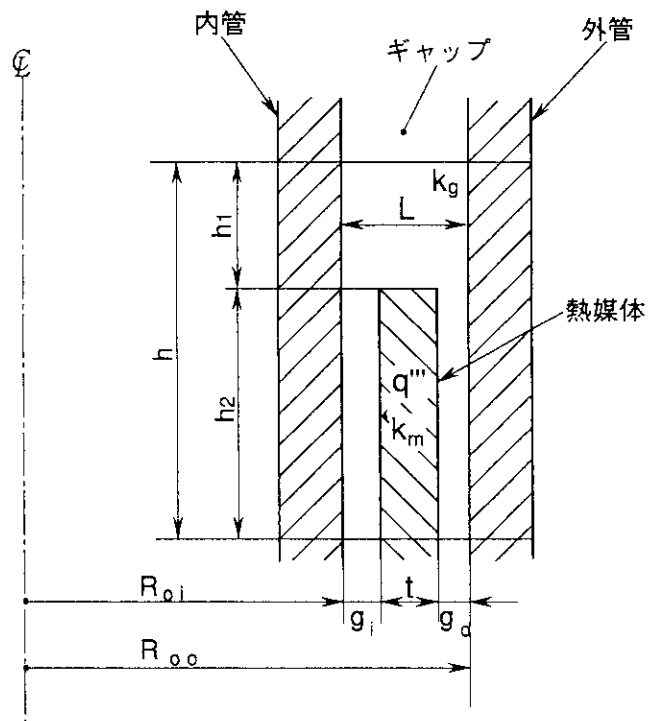


Fig. 4 Model of spacer block in gas gap layer in capsule casing

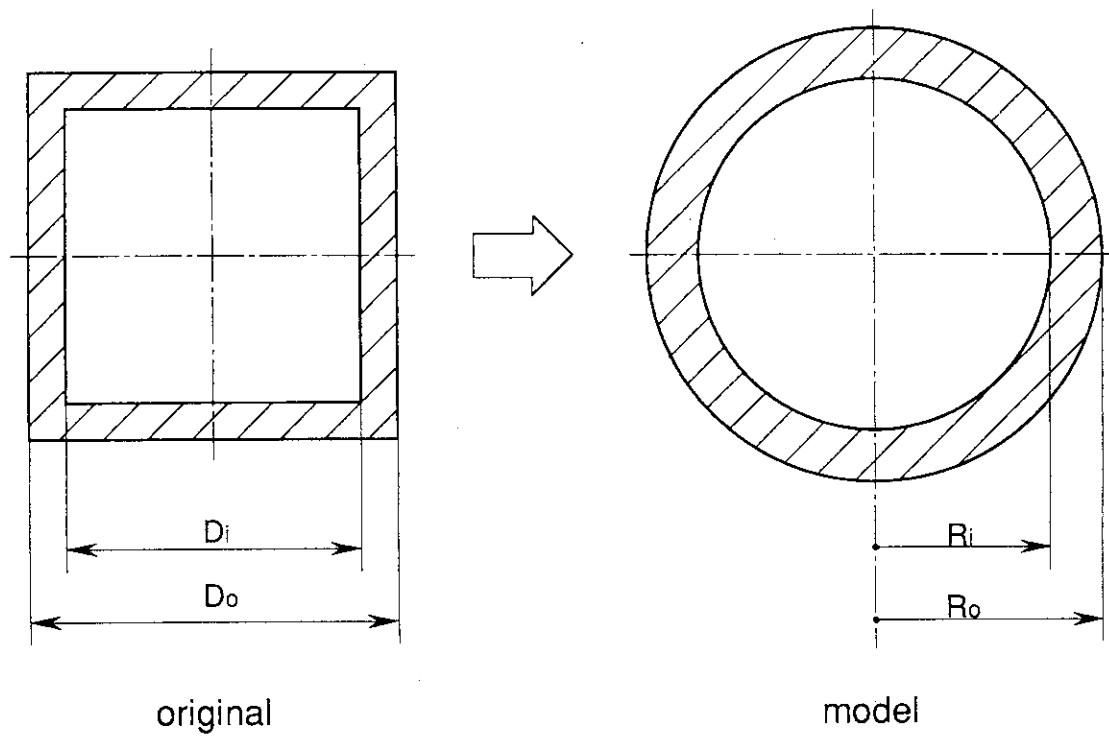


Fig. 5 Calculation model on square form baffle plate

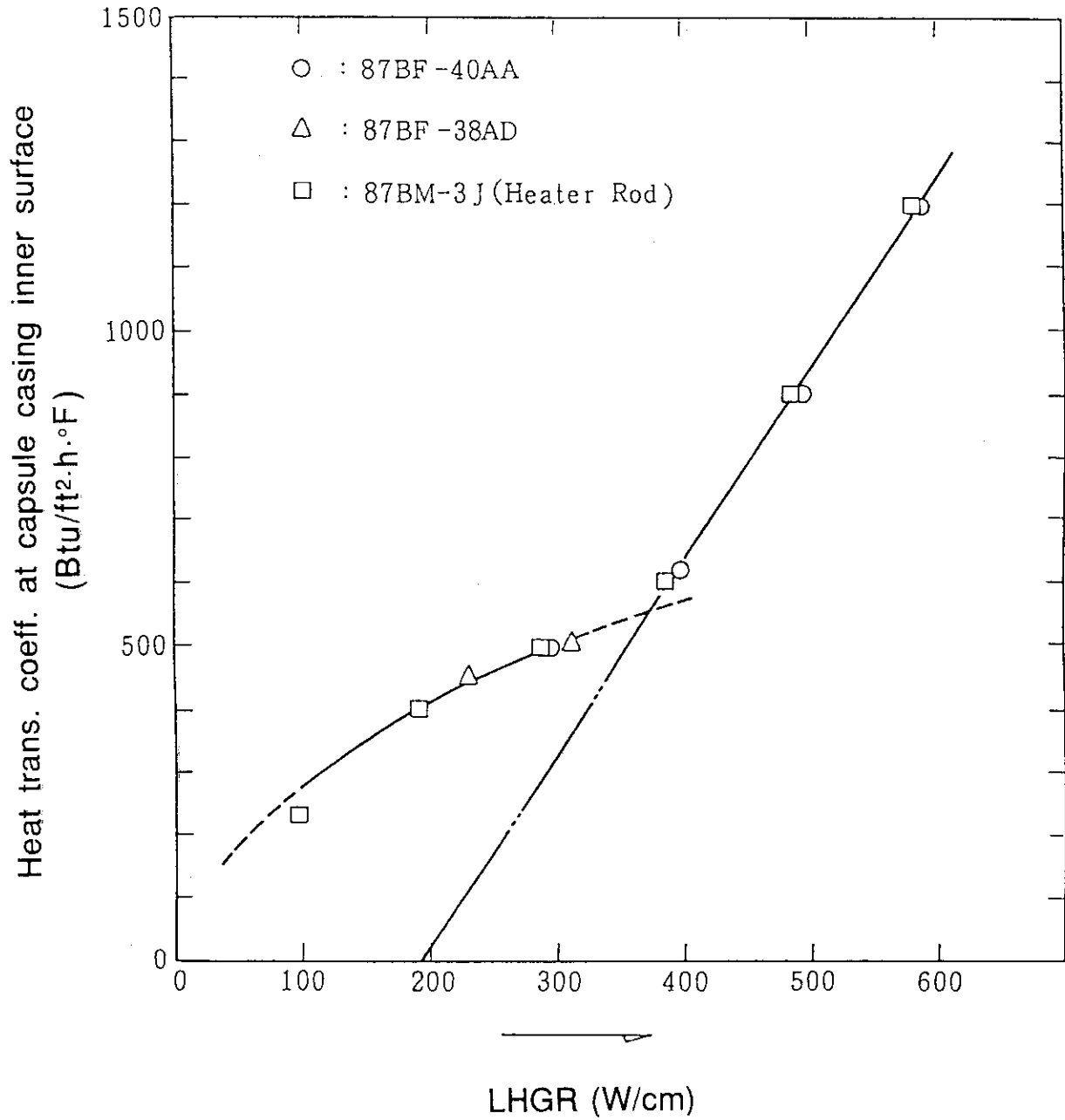


Fig. 6 Heat transfer coefficient at capsule casing inner surface as a function of LHGR

4. プログラム構成

4.1 プログラムの処理の流れと構成サブルーチン

このプログラム SATCAP の全体的な流れを、サブルーチン単位で、Fig.7 に示す。プログラムに含まれる全サブルーチンおよびその主要な機能を Table4 に示す。主要な計算は、サブルーチン CALC1, CALC2, CALC3 で行われる。CALC1 はキャプセル内の供給水が単流である構造のキャプセルについての計算および制御を行う。同様に、CALC2, CALC3 はそれぞれ仕切板構造、導水管構造のキャプセルについての計算および制御を行う。これらのサブルーチンを修正・改造すれば、一つのサブルーチンに統一可能であるが、プログラムの複雑さを避けるためそれぞれ別途のサブルーチンとしている。

サブルーチン SA104~SF104 は、キャプセル構成部材の径方向温度分布を計算する。これらサブルーチンの機能は Table4 に記載の通りであるが、例えば、サブルーチン SA104 はキャプセル外筒が二重管構造の場合の外筒内外面の温度を計算する。計算方法は第 3.2.3 (1) に記述の通りである。

このプログラムは照射履歴に追従して計算を行う (第 3.1 節参照)。照射履歴は、入力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、キャプセル系のシステム圧力、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。

プログラムはタイム・ステップ (計算を進める時刻幅) を設定し計算を進行させる。タイム・ステップは原則として照射履歴データとして与えられた照射時刻データの間隔を 20 等分した時刻幅を使用している。ただし、20 等分のタイム・ステップにはソフトニング・ファクターが乗せられる。照射時刻データ間隔とタイム・ステップ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。

このプログラムの入力データの解説ならびに出力の解説は、それぞれ付録 - A, B に収録した。

4.2 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は水の物性値を圧力と温度を基準に算出する。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や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0.1~17.5MPa（約1~175kg/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273.15~650K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。定点間の水の物性値は、これら組込み値をもとに第一に圧力、次に温度を基準に算出する。計算時点における圧力と温度から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

温度が10℃以下、250℃以上の場合には、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ーフ数の算出に使用される。膨脹係数はグラスホーフ数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¹⁶⁾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¹⁵⁾ をもとに他の文献をも参考に編集した。

4.3 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。それらの値は、それぞれ 0.14 (W/cm \cdot °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を原則としているが、内部に組込み値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。

Table 4 Subroutines incorporated in SAPCAP 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 (計算を進める時刻巾)の設定、および試料についての照射量の計算、各time step 後の変数の設定。
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使用される。 計算内容はTable 1, 2 参照。 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、ヒータ容量を制限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向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。
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. 6節参照)。
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、修正Dittus-Boetler相関式により、熱伝達係数を評価する (第3. 2. 6節参照)。

Table 4 Subroutines incorporated in SAPCAP and their functions (2/3)

Name	Function
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. 6節参照)。
HTBOCA	BOCAキャプセルに関する外筒内面に関する熱伝達係数を評価する。評価法はBOCAキャプセルの熱解析により得られた経験式による。
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とする。(第2出力グループ)。
INPUT	入力番号に従った入力変数の読み込み。
INSET	計算に必要な初期値を設定する。また、キャプセルの各セクションの長さ(高さ)、およびそこに含まれる試料個数を出力する。(第3出力グループ)
OUTPUT	計算結果の出力。(第7出力グループ)
SA104	キャプセル外筒が二重管構造の場合の外筒内外面温度、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の外筒内外面温度、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。
SD104	供給水のキャプセル内部での流れが向流の場合、仕切板に関する内外面温度、および内外面からの流出熱量を計算する。
SE104	供給水がキャプセル内部に導水管によって注入される場合、導水管に関する内外面温度、および内外面からの流出熱量を計算する。
SF104	試料出力を線出力密度で与えた場合の照射試料の表面、中心温度および外表面からの流出熱量を計算する。

Table 4 Subroutines incorporated in SAPCAP and their functions (3/3)

Name	Function
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)
STEAM	与えられた水の圧力における飽和温度、潜熱、および液相と気相についての密度、比熱、動粘性係数、熱伝導率とプラントル数の飽和温度状態におけるそれぞれの値を計算する (第4. 2節参照)。
STEAMM	与えられた水の圧力と温度を基に液相と気相についての密度、比熱、動粘性係数、熱伝導率およびプラントル数を計算する。 (第4. 2節参照)。
VEXPC	液相の水の膨張係数を与えられた温度を基に計算する。 (第4. 2節参照)。
WEIGHT	<p>(1) プログラムの計算対象に含まれるキャプセル内部の供給水流路に関する相当直径等を計算し、プリントする。 (第4出力グループ)。</p> <p>(2) 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5出力グループ)。</p> <p>(3) 上記重量を基に最高出力時の発熱率を計算し、プリントする (第6出力グループ)。</p>
ZRSET	異なる種類の計算を連続してrun する場合に準備しているルーチン。計算に使用する変数の初期値の設定を行う (主として0とすべき変数の設定を行う)。

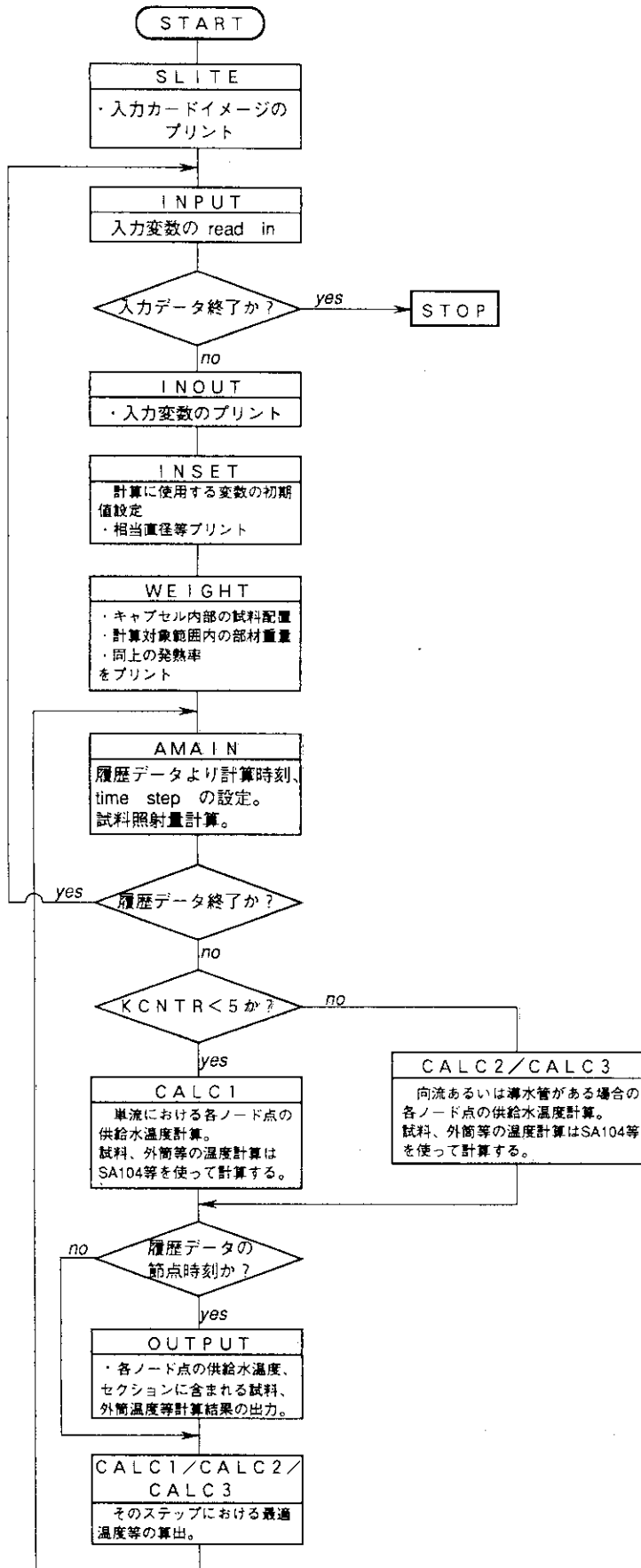


Fig. 7 Outline flow chart of SATCAP-C

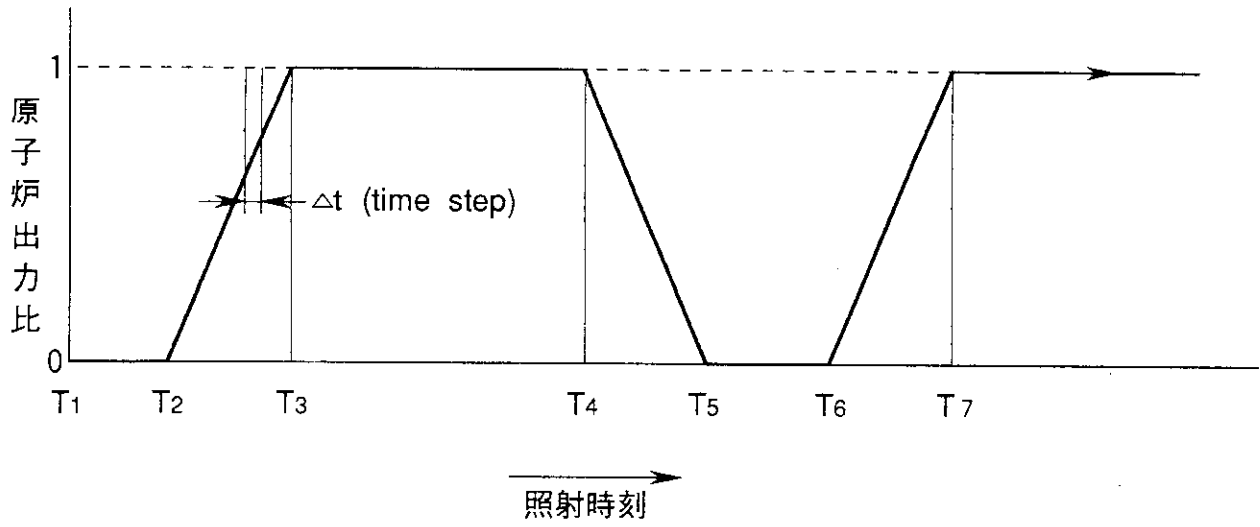


Fig. 8 Irradiation history (Reactor power ratio)

5. プログラム使用経験

このプログラムの初期バージョンは、飽和温度型式キャプセルの設計に使用することを主目的にまとめられた。したがって、プログラムの使用実績は飽和温度型式キャプセルの設計や照射データの熱解析に関する経験が多くなっている。

プログラムを使用して解析した経験のあるものは、1) 電気ヒータを使用した炉外装置の実験データ、2) 実機飽和温度キャプセルの炉内データ、3) 一部の沸騰水キャプセルの炉内データである。これらの解析を通し、プログラム使用上注意すべきプログラム特性が経験された。また、プログラムが対象としている加圧水注入型式キャプセルのいくつかの特性も分かってきた。

5.1 電気ヒータを使用した炉外実験データの解析

飽和温度型式キャプセル開発の一環として、電気ヒータを組み込んだ模擬キャプセルおよび試験用供給水加圧装置を用い炉外実験が実施された⁴⁾。模擬キャプセルの供給水の注入は導水管注入方式、外筒は二重管構造であった。ここで、導水管注入方式は既に使用経験のあったBOCAキャプセルと同様な方式であり、外筒二重管構造は、発熱体の模擬として加熱体が棒状の電気ヒータで出力が高くとれないことから、内部の供給水を飽和温度にまで昇温するために選択された。

プログラムはこの実験装置の設計段階から使用されたが、実測データとプログラムによる計算値の比較は、この実験から得られたデータを使用して最初に行われた。

この解析結果等を要約すると次のようであった。

(1) 実験より得られた内部の加圧水の温度測定値をプログラムによって解析することより、次のような事項が得られた。

1) プログラムの計算値はキャプセル内の供給水温度分布の傾向を良く把握することを示した。このことはプログラムの基本仮定や計算方法等はこの種のキャプセルの熱解析に適用可能なことを示し、プログラムは加圧水注入型のキャプセルに適用可能であると判断された。

2) 試料表面熱伝達係数については、実験よりおよその見当が付いたが、外筒内面熱伝達係数は外筒構造が二重管のため、正確な評価は困難であった。

(2) 発熱部（電気ヒータ）と非発熱部の境界部分でしばしば計算エラーが発生した。そのような境界部分では、発熱部で加熱された供給水は高温となっているため、発熱部を過ぎた箇所ではキャプセル冷却水との間の温度差が大きくなっている。このため冷却水への流出熱量が大きく計算される。この結果、急激な温度降下を起こすと計算されることであった。この種の計算エラーを防止するには、発熱部を過ぎた部分の箇所の軸方向分割を小さくする必要があることを示した。すなわち、プログラム使用上第3.2.1節の脚注に述べた条件が満足されるように分割しなければならないことを示唆した。

(3) この種のキャプセル特性の一つとして、導水管でキャプセル上方から下方に注水した場合、供給水は下降中かなり加熱され、導水管出口（下部放出部分）の温度が高くなることを示したことであった。すなわち、導水管内の供給水が周囲の上昇流によって加熱され温度が上昇する。このことはキャプセル内の上昇流の冷却に寄与する。導水管型式のキャプセルでもキャプセル内の軸方向温度の平坦化が起こることを意味していた。

実験から得られたデータの解析に際し、最初、キャプセル内の供給水がキャプセル下部で供給され上方へ一方向（once through）に流れるとして、計算が行われた。その計算結果は、キャプセル下部での供給水温度にかなりな相違が生じた。この理由は、模擬キャプセル内を下側に供給水を注入する導水管内での温度上昇が大きいことであった。導水管方式のキャプセルでは導水管内を下降する間に供給水は加熱される。導水管注水方式のキャプセルを一方向に流れる単流として解析することは不適切であることが示された。

5.2 飽和温度型式キャプセルに関するプログラム使用経験

飽和温度型式キャプセルは金属材料（ステンレス鋼）の軽水炉環境条件での照射試験（照射目標温度 290℃）を目的に設計・製作された¹⁷⁾。キャプセル内部に仕切板を有し、供給水は仕切板により向流を形成する。供給水は、キャプセル上部より注入され、外筒内面と仕切板の間のキャプセル内の外周部を下降する。下部に達した供給水は、下部端栓上部で上向き流れとなり、照射試料が配された仕切板内部のキャプセル中央部を上昇し、キャプセル上部端栓を通して排出される（Fig.1 (b).(iii) 参照）。

飽和温度型式キャプセル二体が製作され、JMTR 炉心に装荷され照射試験に供された。この実機キャプセルの照射試験から、キャプセル内部の供給水温度に関する照射中のデータが得られた。これらの照射データの調査やデータ解析から次のようなことが分かってきた。

(1) 照射試験結果は、飽和温度型式キャプセルの特性として、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軽水炉条件の照射温度を達成すること、また内部状態も安定であることを示した。

(2) 炉内で照射した実機キャプセル測定温度のプログラムによる熱解析の結果、キャプセル各部の熱伝達係数、特に外筒内面の熱伝達係数について設計当初予想した係数が高めであることが確認された⁹⁾。例えば、プログラム組込みの修正 Dittus - Boelter 熱伝達係数評価モデルを使用した熱解析結果と測定温度との比較は、JMTR の低出力（～10MW）までは、良い一致を示した。しかし、高出力状態（20MW 以上）になると、計算結果は供給水温度を低めに評価する傾向をもつことが分かった。

(3) 最初に製作され試験に供された飽和温度型式キャプセルにトラブルが発生し、トラブル原因究明の一環として、キャプセル内の熱挙動解析が実施された。高出力状態（20MW 以上）における供給水温度を低めに評価する傾向の理由として、熱伝達係数が高めに評価されていると考えられた。そこで、主として熱伝達係数について検討が行われた。修正 Dittus - Boelter 熱伝達係数評価モデルによる熱伝達係数の値と得られた照射データから推定した熱伝達係数を比較すると、実機の飽和温度キャプセルの外筒内面熱伝達係数は約 1/2 であることが判明した。

一方、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いことを考慮し、キャプセル内の熱伝達を自然対流による熱伝達として評価してみると、実機キャプセルの熱伝達係数の値との間にかなり良い一致が得られた。得られた測定温度データは、外筒内面や仕切板内外面の熱伝達係数の評価は自然対流によるモデルによって評価した方が良ことを示した。これより、飽和温度型式キャプセルではキャプセル内の流速も小さいので、キャプセル内の熱伝達は自然対流に近い熱伝達となっていると推定される。

(4) 照射データの解析は、キャプセル下部において計算値が一般に測定値より低めの値を与える傾向があることを示した。この原因として、

- i) キャプセル下部端栓の発熱が上昇流供給水を加熱する。
- ii) 仕切板外面に沿って流下した下降流が仕切板下端でただちに内側に廻り込む (short cut)。
- iii) 熱伝達係数の推定が未だ完全でない。

が考えられた。飽和温度型式キャプセルの照射温度データの解析においては、キャプセル下部端栓の発熱が上昇する供給水を加熱する事象があると想定して実施された。この供給水の加熱に使用される熱量は下部端栓の全発熱量の約1/2であるとした。この様な方法を採用した理由は、供給水を加熱する熱量を大きく評価することになり、安全側の評価になると判断されたからである。

(5) キャプセルに供給する供給水入口温度（入力値として与える）を変化させて、計算を実施して見たが、キャプセル注入の初期値の温度が多少変わっても、キャプセル内の温度、特に、上昇流の軸方向温度分布にはほとんど影響を与えないことが示された。

5.3 沸騰水キャプセルに関する熱解析

沸騰水キャプセル (BOCA) およびその出力校正用ヒータキャプセルに関する熱解析が実施された⁹⁾。沸騰水キャプセルの基本構造はこの報告書で言う導水管型キャプセルに属する。すなわち、供給水はキャプセル上部端栓を貫通した導水管内を下降しキャプセル下部に注入される。外筒構造は一重管である。照射試料は主として棒状の軽水炉燃料である。飽和温度キャプセルの冷却は原子炉炉心冷却水であるが、沸騰水キャプセルの冷却はOSF-1 (Oarai Shroud Irradiation Facility - No.1) の冷却水によっている。OSF-1は沸騰水キャプセルが装荷されるループである。

解析は燃料棒の端栓やプレナム部等をも照射試料の一部として取扱い解析された。その解析結果は、飽和温度キャプセルの熱伝達係数とはまた異なることを示した。

解析に際し、ある出力状態では熱伝達係数は一定の値を取ると仮定して計算された。すなわち、熱伝達係数は軸方向にわたり常に一定値として計算された。この解析手段は熱伝達係数が出力に依存すると思えなければ、測定値との一致が得られないことから採用された。

主要な結果は次のようであった。

(1) 外筒内面熱伝達係数

解析から推定したBOCAキャプセルの外筒内面熱伝達係数は、Fig.6に示すようになった。線

出力密度 300W/cm 以下時の外筒内面の熱伝達係数は、線出力密度と共に増加するが、それ程大きく増加せず、ある値で飽和するようである。一方、線出力密度 400W/cm 以上の熱伝達係数は線出力密度との間にほぼ直線性を持つ。BOCA キャプセル内のピーク出力部の燃料棒定格出力 600W/cm での外筒内面熱伝達係数は $1,000\sim 1,200$ ($\text{Btu/ft}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{F}$) と推定された。この熱伝達係数の変化傾向は燃料セグメントでも、ヒータの場合でもほとんど変わらなかった。

線出力密度 300W/cm 以下の場合、その係数の値から考えて自然対流熱伝達に近い熱伝達機構ではないかと推測される。線出力密度 400W/cm 以上の場合、未飽和沸騰ながら熱伝達を良くする要因が加算される結果熱伝達係数が大きくなると考えられる。

(2) 燃料セグメント上端部（プレナム部分）における供給水の加熱

解析において、解析結果と測定値から発熱部分の上側（燃料セグメント発熱部の上側境界）、燃料セグメント・プレナム部分に相当する位置に供給水を加熱する熱量が加わるとされた。その割合は、燃料セグメント有効長総出力の約 10% に相当すると仮定された。すなわち、燃料セグメント有効長総出力の約 10% の熱量が有効長の上部に移動すると仮定された。このように考える時、解析と測定値の一致が得られる。この加熱の要因として次のような事象が考えられる。

試料表面が飽和温度以上となり未飽和沸騰状態に達すると、未飽和沸騰とは言え気泡が発生する。この時、燃料セグメント等よりの熱は供給水に伝えられ、供給水の全体のエンタルピーは確かに上昇するが、この状態で発生した蒸気気泡は、必ずしもその部分でただちに凝縮し、その熱がそこでの供給水の温度上昇に使用されるとは限らない。気泡は浮力や水の加熱による密度変化の上昇流に乗り、上方に移動すると考えられる。気泡が上昇した部分で凝縮すればその部分の液相である未飽和温度の供給水を加熱する。

5.4 解析結果に見られる加圧水注入型式キャプセルの特性

解析結果から加圧水注入型式キャプセルの特性として次のようなことが分かってきた。

(1) 加圧水注入型式キャプセルの一般的特性

(a) キャプセルの熱挙動に大きな影響を与えるファクターは、キャプセル構成各部の熱伝達係数であることを示した。三種の型式のキャプセルの解析結果はキャプセル各部の熱伝達係数がそれぞれの機器による機器依存性をかなり有することを示した。加圧水を扱う新しい型式のキャプセルや装置の設計に当たって、熱伝達係数の値の選定は当然のことながら慎重な検討が必要である。

(b) 仕切板、導水管方式のキャプセルでは下降流により下方へ熱が運ばれる。一方、上昇流中では、気泡ないし同一平面内での不均一流れにより上方への熱の移動がある。このため、キャプセル内の試料等の発熱部で発生した熱はその部分ばかりでなく、その上・下に分散し冷却される。

(c) 仕切板、導水管方式のキャプセルでは下降流は大部分上昇流に対し冷却側に作用をするが、キャプセルの下部では加熱側に作用し仕切板や導水管内の熱流の方向が逆転する。

(2) 飽和温度型式キャプセルとBOCAキャプセルとの熱挙動の比較

飽和温度キャプセルとBOCAキャプセルとを比較すると、次のような相違がある（以下、Table 5参照）。

飽和温度型式キャプセルの内部に注水する供給水流量は、BOCAキャプセルより大きい。これは、キャプセルの安定な運転を得るために決められた流量である。供給水の部分的な高温化を図ることのみならば、流量は少なくてもよいが、キャプセルに装荷の材料試料の一定温度照射のための試料温度の平坦化を実現し、かつ安定な運転を得るためにはかなりの流量を必要とする。

飽和温度型式キャプセルとBOCAキャプセルとでは炉心装荷の照射孔位置が相違する。飽和温度型式キャプセルは、炉心中央部に装荷されガンマ加熱率が大きい、試料発熱量は小さい。試料の照射目標温度290℃を実現するために、構造材等のガンマ加熱の発熱量を有効に利用し上昇流温度を高くしている。一方、BOCAキャプセルは炉心周辺部に装荷され、ガンマ加熱率が小さく、飽和温度型式キャプセルに比較すると構造材等のガンマ加熱による発熱量が小さく、その出力は燃料セグメントでほぼ決定される。燃料セグメントは炉外実験等の場合の電気ヒータと同じ作用である。

供給水温度変化に関して、次のような相違が見られる。

飽和温度型式キャプセルの下降流の温度変化傾向は、BOCAキャプセルの場合とほぼ同じであるが、キャプセル下部における上昇流はかなり高温で、BOCAキャプセルにおける程温度は低下しない。飽和温度型式キャプセルの供給水出口温度はそれ程温度低下せず、かなり高温でキャプセルより排出される。一方、BOCAキャプセル出口の供給水はほとんど冷却され入口温度近くまで温度低下する。BOCAキャプセルは上昇流に対する冷却能力が強力である。この相違の原因は、

①飽和温度型式キャプセルは仕切板を有し、上昇流の周囲が下降流による水ジャケットとなり、上昇流がBOCAキャプセルの如く外筒を介してのキャプセル冷却水に接しないため冷却されない、

②飽和温度型式キャプセルはガンマ加熱率が大きく、外筒内などにおける温度差が大で、熱遮蔽の効果がある、
ことによるためと考えられる。

飽和温度型式キャプセルのこれまでの熱解析結果は、BOCAキャプセルに見られるような熱伝達係数がある出力状態から大きく変化するようなことはないことを示した。また、BOCAキャプセルのように気泡等による熱の上方へのシフトは当然あり得ると想定されるが、飽和温度キャプセルではBOCAキャプセルほど顕著でないと思われる。原因は試料発熱量が小さいことによるためと考えられる。

飽和温度型式キャプセル内の上昇流の温度を正確に予測することは、上昇流とキャプセル冷却水の間には4箇所の熱伝達層が存在することから、それ程簡単ではない。しかし、解析結果は少なくとも測定データの温度変化傾向を良く説明できることを示した。

5.5 解析経験から見たプログラムの今後の課題

プログラムSATCAPの計算結果は、実測測定値とかなりの一致を与える。この事実は、プログラムが飽和温度型式キャプセルやBOCAキャプセルの熱解析に有効な手段であることを示している。ただし、適切なパラメータやモデルを設定して、使用すべきである。

(1) 飽和温度キャプセルでは計算値と測定データの一致を図るため、下部端栓の発熱による供給水加熱があると想定して解析されてきた。この影響が本当にあるのかどうかを正確に判定するには下部端栓をもプログラムの計算対象内に含めた計算体系を必要とする。いずれにしても今後この下部端栓発熱の効果を評価するモデルの追加等が必要になるだろう。

(2) プログラムの現バージョンでは、BOCAキャプセルの外筒内面熱伝達モデルとして第3.2.6節に記載した外筒内面熱伝達係数の近似式を取り敢えずプログラムに組み込んでいる。今後、BOCAキャプセルの熱解析を行う場合、この熱伝達係数についてより正確に推定可能な熱伝達モデルをプログラム内に組み込むことが課題となるだろう。

また、キャプセルの燃料セグメント等加熱部分からその上部へシフトする熱量は、先の解析では発熱量の10%されているが、この熱量は多分供給水の流量に依存している可能性も考えられる。これらが何等かの方式で推定可能にならなければ、流量を変更した場合等のキャプセル内部の供給水温度変化の予測は困難となる。

(3) 今後、水を扱う新しい型式のキャプセルや装置の熱解析にプログラムの利用を計画する場合、上部への移動熱量の見積りや熱伝達係数の値の程度には特に留意する必要があるだろう。

解析したBOCAキャプセルの限りでは、上方に移動すると考えられる熱量はキャプセル内部に発生した熱量の約10%と考えられたが、10%を越えていることも考えられる。移動熱量の見積り如何によっては、熱伝達係数の値の推定も変わることになる。

Table 5 Comparison between BOCA and SATCAP

	BOCAキャプセル	飽和温度型式キャプセル
キャプセル構造	導水管型	仕切板型
照射試料	燃料セグメント	鉄鋼 (ステンレス鋼)
キャプセル装荷照射孔	炉心周辺部	炉心中心部
キャプセル主要部寸法 (mm)	32φ×2.5t	60φ×3t
キャプセルの冷却	OSF-1ループ水	原子炉炉心冷却水
キャプセル注入水 注水法 流量 (g/min) 脱気純水供給、 注入後排出	導水管方式 ~60	仕切板外側に上方から 最大 1000
発熱量の割合 (%) 試料発熱量/総発熱量 外筒発熱量/総発熱量	~84.6 ~9.8 発熱量はほとんど 燃料棒で決まる。	~6.1 ~42.1 試料その他すべての 構造材が同様の発熱率
注入水 (上昇流) と キャプセル冷却水の間 存在する熱伝達層	二層	四層
外筒内面熱伝達率	自然対流熱伝達 に従わず。	自然対流熱伝達

謝 辞

小林 敏樹氏 (NKK) はこのプログラムの原バージョンの作成に協力された。特にこのプログラムの計算上の中核をなす Table 1 および 2 の計算方式の検討や水の物性値を整理は小林氏の努力の結果である。キャプセル内の熱伝達係数の評価手法の修正に当り、魚谷 正樹氏 ((財) 電力中央研究所) は種々の助言を寄せられた。松並 (川崎重工株), 加島, 石井, 伊藤, 市橋の諸氏 (材料試験炉部) からは解析結果と実機キャプセルから得られた測定データとの相違からプログラムに対するコメントが寄せられた。これらの助言, コメントはプログラムの修正に関し良い参考となった。以上に, その氏名を記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 染谷, 小林, 新見, 星屋, 原山, 「GENGTC - JB : 照射用キャプセル内温度評価プログラム, JAERI - M 87 - 148 (1987年9月)
- 2) 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)
- 3) 原山, 染谷, 新見, 「SATCAP - B : 飽和温度キャプセル熱設計用プログラム」 JAERI - M 89 - 187 (1989年11月)
- 4) 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)
- 5) 原山等, 「飽和温度キャプセルに発生した周期的変動の解明」 [内部資料 (未公開)] (1989年11月)
- 6) 原山, 松並, 石井, 中村, 内田, 「沸騰水キャプセルの熱解析」 JAERI - M 91 - 003 (1991年2月)
- 7) W.H.Jens and P.A. Lottes, ANL - 4627 (May 1, 1951)
- 8) J.R.S.Thom, W.M.Walker, T.A.Fallon and G.F.S.Reising, "Boiling in Sub-cooled Water during Flowup Heated Tubes or Annuli", Proc.Inst. Mech. Engrs., 180, Pt.C, 226~46 (1965 - 66).
- 9) 野邑 雄吉, 「応用数字」, p.150~153, 内田老鶴圃
- 10) 青木 成文, 「原子炉熱工学」 (初版), 養賢堂, 1965年
- 11) W.H. McAdams, "Heat Transmission" (3rd edi.), p.219, p.393, McGraw - Hill (1954)
- 12) 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)
- 13) 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)

謝 辞

小林 敏樹氏 (NKK) はこのプログラムの原バージョンの作成に協力された。特にこのプログラムの計算上の中核をなす Table 1 および 2 の計算方式の検討や水の物性値を整理は小林氏の努力の結果である。キャプセル内の熱伝達係数の評価手法の修正に当り、魚谷 正樹氏 ((財) 電力中央研究所) は種々の助言を寄せられた。松並 (川崎重工㈱)、加島、石井、伊藤、市橋の諸氏 (材料試験炉部) からは解析結果と実機キャプセルから得られた測定データとの相違からプログラムに対するコメントが寄せられた。これらの助言、コメントはプログラムの修正に関し良い参考となった。以上に、その氏名を記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 染谷, 小林, 新見, 星屋, 原山, 「GENGTC - JB : 照射用キャプセル内温度評価プログラム, JAERI - M 87 - 148 (1987年9月)
- 2) 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)
- 3) 原山, 染谷, 新見, 「SATCAP - B : 飽和温度キャプセル熱設計用プログラム」 JAERI - M 89 - 187 (1989年11月)
- 4) 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)
- 5) 原山等, 「飽和温度キャプセルに発生した周期的変動の解明」〔内部資料 (未公開)〕 (1989年11月)
- 6) 原山, 松並, 石井, 中村, 内田, 「沸騰水キャプセルの熱解析」 JAERI - M 91 - 003 (1991年2月)
- 7) W.H.Jens and P.A. Lottes, ANL - 4627 (May 1, 1951)
- 8) J.R.S.Thom, W.M.Walker, T.A.Fallon and G.F.S.Reising, "Boiling in Sub-cooled Water during Flowup Heated Tubes or Annuli", Proc.Inst. Mech. Engrs., 180, Pt.C, 226~46 (1965 - 66).
- 9) 野邑 雄吉, 「応用数字」, p.150~153, 内田老鶴圃
- 10) 青木 成文, 「原子炉熱工学」 (初版), 養賢堂, 1965年
- 11) W.H. McAdams, "Heat Transmission" (3rd edi.), p.219, p.393, McGraw - Hill (1954)
- 12) 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)
- 13) 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)

- 14) 谷下市松, 「熱力学演習」, p.255, p.267, 裳華房
- 15) (社) 日本機械学会, 「伝熱工学資料」(改訂第3版), p.59, p.298
- 16) (社) 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
- 17) 新見, 「飽和温度キャプセルの設計」, to be published.

付録 A 入力について

A.1 データ入力方法

(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.A.1 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 (20A4) で読込まれる。このカードの先頭 4words 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、入力補助整数 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方から 5 個に区切って 5E10.3 で入力し、入力補助整数 INT2 を順次 1, 2, 3 としてゆく。

A.2 入力データ作成上の注意点

このプログラムで扱うようなキャプセルの炉外実験の模擬キャプセル等では、発熱体として電気ヒータが使用される。このようなヒータは試料と考え取り扱う。また、試料が燃料棒や BOCA の出力校正用ヒータの場合、発熱率は線出力密度で計算することを原則とする。

試料、構造材等の発熱率（ガンマ加熱率）は、

$$(\text{ガンマ加熱率}) = (\text{その物質の密度}) \times (\text{その物質の最大ガンマ発熱率})$$

で評価される。計算に際しては、これに半径方向、軸方向のピーキング係数および原子炉出力比が乗せられる。ただし、試料が燃料棒で線出力密度で扱う場合は、線出力密度に軸方向のピーキング係数および原子炉出力比が乗せられるのみである。

このプログラムで扱う照射用キャプセルに使用を予定される材料は、ステンレス鋼 (SUS304) が主体となると考えられるため、SUS304 の密度、最大ガンマ加熱率、熱伝導率は 7.8 (g/cc)、

10 (W/g), 0.14 (W/cm \cdot °C), としてBlock Dataで与えられている。これらの値を変更する必要がなければ, その入力番号による入力を省略することが可能である。ただし, その入力番号内でどの変数か一つだけ変更する場合は, 入力によりblock dataの値が書き替えられることになるので, その入力番号内の他のすべての変数についても入力でそれぞれの値を与える必要がある。

このプログラムを使用し, 熱電対が取り付けられた試料を含むキャプセルの熱解析を行う場合, セクションの軸方向分割は, 試料等に取り付けられた熱電対の位置を軸方向分割点とすると, 測定値との比較等が容易になる。

A.3 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, 第二グループ出力において, 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要説明の下段に原則として縦の順にプリントされる。

先に述べたように部材がステンレス鋼の場合, その密度, 最大ガンマ発熱率, 熱伝導率はblock dataで与えている。これらの値を変更する必要がなければ, 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: キャプセル外筒の構造を指定するkey word。

KSW = 1: キャプセル外筒が一重管構造。

KSW = 2: キャプセル外筒が二重管構造

KSW = 3: キャプセル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構造。この場合, 各部分の外筒構造形状を入力番号3I2で指定しなければならない。

第2フィールド, KCNTR: キャプセル内に注入する供給水のキャプセル内の流路パターンを指定するキーワード(単流, 向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も指定する。KCNTR = 0~2は, 単流に(uniflow) 関し使用する。KCNTR = 5~7は, 向流(return flow)の仕切板(baffle plate)方式に関し使用する。KCNTR = 10~11は, 向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004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、供給水は向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 : 供給水は向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004で指定されねばならない。

KCNTR = 7 : 供給水が向流の場合について、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、供給水は向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、供給水は向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行う。ただし、上部蒸気含有率等は、入力番号004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 -

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 ≤ 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 ≤ 15

入力番号 003 - 計算に使用する試料等の発熱条件 -

第1フィールド、RMGH : キャプセル構成材の最大発熱率に対する修正ファクター（炉心内半径方向ピーキング係数）。この値を入力しなければ、1に設定される。このファクターは、入力番号101等で入力されるキャプセルすべての構成材の最大発熱率に乗せられる。過出力状態の評価に使用するには便利である。入力番号241で与えるヒータ出力には乗ぜられない。

第2フィールド、LHSW : 照射試料（あるいはBOCAの出力校正用ヒータ等のような棒状の供給水を加熱するヒータ）の発熱率を線出力密度で扱うかどうかのkey word。

LHSW = 0 : 線出力密度としない。

LHSW = 1 : 線出力密度で与える。

入力番号 004 - 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

- 第1フィールド, PRESS : キャプセル内への供給水のシステム圧力 ($\text{kg}/\text{cm}^2\text{a}$)
- 第2フィールド, TSAT : 上記の圧力における水の飽和温度 ($^{\circ}\text{C}$)
- 第3フィールド, QLAT : 上記の圧力における水の潜熱 ($\text{W} \cdot \text{s}/\text{g}$)

第2, 第3フィールドの値は入力が必要としない。また, 第1フィールド入力の供給水のシステム圧力を照射履歴として入力(入力番号603)する場合は, この番号による入力全体を必要としない。第2出力グループでプリントされる第2, 第3フィールドの値は第1フィールドの供給水圧力あるいは履歴データ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設定された値である。

入力番号 012

この番号による入力値については入力が必要としない。

- 第1フィールド, CAP : 飽和水の比熱 ($\text{W} \cdot \text{s}/\text{g}/^{\circ}\text{C}$)
- 第2フィールド, CPG : 飽和蒸気の比熱 ($\text{W} \cdot \text{s}/\text{g}/^{\circ}\text{C}$)
- 第3フィールド, ROUC : 飽和水の密度 (g/cc)
- 第4フィールド, ROUG : 飽和蒸気の密度 (g/cc)

出力の第2グループでプリントされる値は, 入力変数ではない。入力番号 011の第1フィールドの供給水圧力あるいは履歴データ, 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, THIF : 供給水の供給温度 ($^{\circ}\text{C}$)
- 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等の温度 ($^{\circ}\text{C}$)
- 第4フィールド, DTRC : キャプセル外筒外の原子炉冷却水等に発生する温度差 ($^{\circ}\text{C}$)
- 第5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, THIF > 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 : キャプセル外筒外表面での熱伝達係数 ($W/cm^2 \cdot ^\circ C$)

第2フィールド, HGIF : キャプセル外筒内表面での熱伝達係数 ($W/cm^2 \cdot ^\circ C$)

第3フィールド, HGSS : 試料表面での熱伝達係数 ($W/cm^2 \cdot ^\circ C$)

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 $Btu/ft^2 \cdot h \cdot ^\circ F$ で与えることが出来る。

JMTRでは、キャプセル外筒表面での熱伝達係数(第1フィールド, HGS)の設計値として、通常 $20000 Kcal/m^2 \cdot h \cdot ^\circ C (= 2.33 W/cm^2 \cdot ^\circ C)$ 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係数を推定計算する(第3.2.5節参照)。

HGIF, HGSS = 0.0 : Dittus - Boelterの相関式により、推定計算を行う。

HGIF, HGSS = -1 : 修正Dittus - Boelter相関式により、推定計算を行う。

HGIF, HGSS = -2 : 自然対流熱伝達モデルにより、推定計算を行う。

HGIF = -3 : BOCAキャプセルについて得られたキャプセル外筒内表面での熱伝達係数評価式、式(39)により、推定計算を行う。

ただし、照射試料の温度は、上記の熱伝達係数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等の評価式等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/導水管 内面での熱伝達係数 ($W/cm^2 \cdot ^\circ C$)

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

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 $BTU/ft^2/h/^\circ F$ で与えることが出来る。

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係数を推定計算する(第3.2.5節参照)。

BFHGI, BFHGT = 0.0 : Dittus - Boelterの相関式により、推定計算を行う。

BFHGI, BFHGT = -1 : 修正Dittus - Boelterの相関式により、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。

ただし、仕切板の場合、Dittus - Boelterの相関式の使用は好ましくない。また、導水管の外面についてもDittus - Boelterの相関式の使用は好ましくない。

入力番号 016

BOCAキャプセル外筒内表面の熱伝達係数を式(39)で推定する場合(入力番号014で、HGIF = -3を指定した場合)、計算式に必要な数値を入力する。

第1フィールド, CCH1 : 低出力状態での熱伝達係数の定数、式(39)のC,

- 第2フィールド, CCH2 : 高出力状態での熱伝達係数の定数, 式(39)の C_2
 第3フィールド, CCH3 : 高出力状態での熱伝達係数の定数, 式(39)の C_3
 第4フィールド, HLRL : 出力状態を分ける線出力密度, 式(39)における L_{hr}
 第5フィールド, HLRC : 燃料セグメントの線出力密度をNormalizeするための定数, 式(39)における L_c

ただし, Block DataでCCH1 = 710., CCH2 = 1850., CCH3 = 600., HLRL = 377.164, HLRC = 600.に設定している。これらの値を変更する場合にのみ入力のこと。

入力番号 019 - 熱伝達係数の修正ファクター

計算評価された熱伝達係数をさらに定数により修正して, 計算に使用しない場合, 熱伝達係数に乗ずる修正ファクター

- 第1フィールド, CHTC1 : 照射試料表面熱伝達係数に乗ずるファクター
 第2フィールド, CHTC2 : キャプセル外筒内表面熱伝達係数に乗ずるファクター
 第3フィールド, CHTC3 : 仕切板/導水管の内面熱伝達係数に乗ずるファクター
 第4フィールド, CHTC4 : 仕切板/導水管の外表面熱伝達係数に乗ずるファクター

ただし, これらの値はBlock Dataですべて, 1.0に設定している。計算評価された熱伝達係数をさらに修正して, 使用したい場合にのみ入力のこと。

入力番号 021

この入力, 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あてる。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, KCNTR = 12を与える場合), この入力は省略すること。

〈原稿 A2 入力 2〉

入力番号 101 - 照射試料の物性値 -

照射試料が燃料棒の場合, その熱発生は線出力密度で扱うこと。

- 第1フィールド, SROU : 試料の密度 (g/cc)

試料が燃料棒の場合は, 燃料被覆材の密度とする。

- 第2フィールド, SGMHR : 試料の最大ガンマ発熱率 (W/g)。

試料が燃料棒の場合は, 燃料被覆材の最大ガンマ加熱率とする。

試料に限らず他の部材の最大ガンマ加熱率，例えば入力番号201第2フィールド入力のHLGMHR等を含み，最大ガンマ加熱率には，プログラム内の計算において，入力番号003第1フィールド入力の加熱率修正ファクターRMGH，入力番号021で指定される軸方向相対強度，および照射履歴によって決定される原子炉出力比が乗ぜられる。したがって，その計算において考えられる局部的最大ガンマ加熱率を入力のこと。

第3フィールド，SCK : 試料の熱伝導率 ($W/cm \cdot ^\circ C$)

試料が燃料棒の場合は，燃料被覆材の熱伝導率とする。

第4フィールド，XMLHR : 試料の最大線出力密度 (W/cm)

試料として扱う対象が燃料棒あるいはBOCA出力校正用電気ヒータ等についてその出力を線出力密度で与える場合，最大線出力密度を入力する。この入力値に対しても，入力番号021で指定される軸方向相対強度，および照射履歴によって決定される原子炉出力比が乗ぜられる。したがって，その計算において考えられる局部的最大線出力密度を入力のこと。ただし，電気ヒータの場合は，その出力に原子炉出力比は乗ぜられるが，軸方向相対出力比は考慮されない。すなわち，軸方向出力分布は一樣であるとしている。

第5フィールド，LTYPE : 第4フィールドで入力した線出力密度が棒状の電気ヒータならば，LTYPE = 1とする。他の場合はLTYPE = 0とする。

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 : キャプセルの軸方向の同一水平面上に装荷される試料個数

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。

試料が燃料棒でその熱発生率を線出力密度で取り扱う場合，試料の直径は燃料被覆外直径 ($SDM = D_{\infty}$) で入力のこと。被覆内径，燃料ペレット直径は，被覆内径， $D_{\infty} = 0.887 \times D_{\infty}$ ，燃料ペレット直径， $D_p = 0.886 \times D_{\infty}$ としてプログラム内で設定する。

実験等でキャプセル内の発熱体としてヒータを使用する場合，ヒータは試料として扱うこと。その場合，ヒータ被覆外直径を試料直径として入力のこと。

試料の熱発生を線出力密度で扱う燃料棒やヒータの場合，この箇所で試料長さの入力は必要ないが，SLN = 1としておくことが好ましい。

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。試料の熱発生を線出力密度で取り扱う（入力番号003，第2フィールドLHSW = 1）場合，この入力番号での入力が必要はない。プログラム内で入力番号113の入力データに基づきLFORM (J) ≥ 1 以上の値は，SNO (J) = 1に設定される。

入力番号 112 - 分割セクション内の試料の長さ，(SLNF (J), J = 1, LMAX) -

試料出力を線出力密度で扱う場合，その試料の各セクションに占める長さの割合 (fractional length)。セクション番号は2から始まるので，SLNF (1) は0.0でもよい。すなわち，(SLNF (J), J = 2, LMAX) の値を入力する。

試料が燃料棒の場合，その範囲は同一直径部分，すなわち，上下端栓にとること。直径の異なる端栓等は別途上部，下部支持体あるいは試料ホルダー等として入力のこと。

入力番号 113 - 分割セクション内の試料の形状，(LFORM (J), J = 1, LMAX) -

試料出力を線出力密度で扱う場合，その試料の各セクションにおける試料形状を指定する。セクション番号は2から始まるので，LFORM (1) は0.0でもよい。すなわち，(LFORM (J), J = 2, LMAX) の値を入力する。

LFORM (J) = 1 : 中実円柱 (solid cylinder)。

LFORM (J) = 2 : 中空円柱 (hollow cylinder)。

LFORM (J) = 3 : 燃料棒で燃料を含む部分。

とする。上記以外は0を入力する。

この形状指定により試料表面，中心温度の概略計算が実施される。ただし，試料と考えるものがヒータ（入力番号101，第5フィールドLTYPE = 1）の場合は，発熱部形状をLFORM (J) = 2とすること。ヒータ被覆内面温度が推定計算される。

線出力密度で取扱う場合でもLFORM (J) = 1or2の場合は，（発熱体がヒータである場合を除き），発熱率はこのプログラムの通常の出力量と同様，密度等から評価されるガンマ加熱率で処理する。

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，HLGMHR : 試料ホルダーの最大ガンマ発熱率 (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径 (cm)

第4フィールド，HLDI : 試料ホルダーの断面内径 (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発熱率 (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, SPREA : 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の値を入力すること。SPAREAの値が入力されると、この値は他の変数より優先して、スペーサのガンマ加熱率等の計算に使用される。

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。このヒータ出力には照射履歴によって決定される原子炉出力比が乗ぜられるが、軸方向相対強度は考慮されない。

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 (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。なお、下部端栓の発熱が供給水の加熱に効果を有することを考慮する場合などで、上昇流を加熱した計算を行いたい場合は、供給水の加熱量はヒータ出力として扱う。その入力はHTMHR (3) (仕切板の下端) に想定すること。

入力番号 251 - 仕切板/導水管 (injection tube) の物性値 -

第1フィールド, SLDROU : 仕切板/導水管の密度 (g/cc)

第2フィールド, SLDMHR : 仕切板/導水管の最大ガンマ加熱率 (W/g)

第3フィールド, SLDCCK : 仕切板/導水管の熱伝導率 (W/cm·°C)

入力番号 252 - 仕切板 (baffle plate) / 導水管 (injection tube) 寸法 -

供給水をキャプセル内で復流とする仕切板 / 導水管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 / 導水管の外径 (cm)

第2フィールド, SLDDI : 仕切板 / 導水管の内径 (cm)

第3フィールド, BPRE : 仕切板の断面形状が四角形するとき, 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するとき, その内法 (cm)

(注) *1) 円筒か四角形かの形状の区別は, 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するとき, 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 / 導水管 (injection tube) の長さ -

仕切板 / 導水管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 / 導水管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 254 - 仕切板 (baffle plate) 半径寸法の変更 -

仕切板の形状が部分的に異なる場合, その箇所 (セクション番号) と半径方向の寸法データ等を入力する。

第1フィールド : 形状が部分的に異なる箇所のセクション番号

第2フィールド : その箇所の仕切板の外形寸法 (cm)

仕切板の断面の外形状が円形するとき, 外径

仕切板の断面の外形状が四角形するとき, その外法

第3フィールド : その箇所の仕切板の内形寸法 (cm)

仕切板の断面の内形状が円形するとき, 内径

仕切板の断面の内形状が四角形するとき, その内法

第4フィールド, INDEX ;

= 1 : 仕切板の断面の外形状, 内形状とも円形。

= 2 : 仕切板の断面について, 外形状が四角形, 内形状が円形。

= 3 : 仕切板の断面の外形状, 内形状とも四角形。

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発熱率 (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 : 上部支持体外径 (cm)

第4フィールド, SUUDI : 上部支持体内径 (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発熱率 (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径 (cm)

第4フィールド, SULDI : 下部支持体の断面内径 (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1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, この発熱物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発熱率 (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, DMPWH : 発熱物体の幅 (cm)

第3フィールド, DMPDM : 発熱物体の外径 (cm)

第4フィールド, DMPDI : 発熱物体の内径 (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, CROU : 外筒材の密度 (g/cc)

第2フィールド, CGMHR : 外筒材の最大ガンマ発熱率 (W/g)

第3フィールド, CCK : 外筒材の熱伝導率 (W/cm・°C)

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径 (cm)

第2フィールド, DOI : キャプセル外筒の外管の内径 (cm)

第3フィールド, DIO : キャプセル外筒の内管の外径 (cm)

第4フィールド, DII : キャプセル外筒の内管の内径 (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 303 - キャプセル外筒 (内管) 半径寸法の変更 -

水を注入するキャプセルでは, 通常外筒は一重管構造が多い。一重管構造の場合, プログラムは外筒を内管としては扱う。キャプセル外筒径寸法はその長手方向に大部分一定であるが, 場所により変わっている場合, この入力により修正することが出来る。

外筒 (内管) の径が部分的に異なる場合, その箇所 (セクション番号) と直径寸法データを入力する。

第1フィールド: 径が部分的に異なる箇所のセクション番号

第2フィールド: 外筒 (内管) の外径 (cm)

第3フィールド: 外筒 (内管) の内径 (cm)

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。この入力は、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。

照射試料が燃料棒や電気ヒータで線出力密度で発熱率を与える場合、通常燃料棒等の出力は大きいので、軸方向の寸法の狂いがあると、キャプセル内の全体の発熱率に大きな影響を与える。このデータの入力には十分な注意を払うこと。

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, RIPROU : 上記熱媒体の密度 (g/cc)

第2フィールド, RIPMHR : 上記熱媒体の最大 γ 線発熱率 (W/g)

第3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 °C)

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, RIPPIT (L) = 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, 供給水圧力, 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 (kg/cm²a) である。この入力をスキップし, 入力番号 11, 第 1 フィールドで供給水システム圧力 (PRESS) を入力した場合は, 計算対象照射期間の全期間に渡り PRESS の一定圧力として扱われる。

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 (n/cm²・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 (n/cm²・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。この入力をスキップし, 入力番号 13, 第 1 フィールドで流量 (FLRM) を与えた場合は, 計算対象照射期間の全期間に渡り FLRM の一定流量として扱われる。

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 (°C) を与える。
 この入力をスキップし, 入力番号 13, 第 2 フィールドで入口温度 (TIIF) を与えた場合は,
 計算対象照射期間の全期間に渡り TIIF の一定入口温度として扱われる。

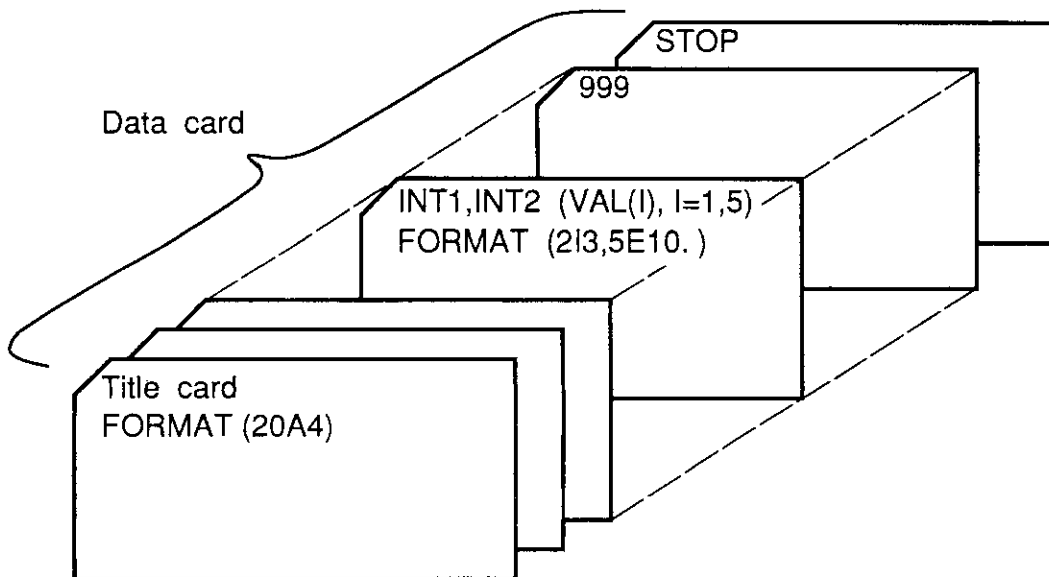


Fig. A.1 Composition of input data

付録 B 出力について

このプログラムは7グループの出力を持つ。第1のグループから第6グループの出力は入力データおよび入力データから計算に使用するパラメータを設定した情報をプリントする。第7グループの出力はプログラムによる計算結果で、キャプセル内の供給水温度等の状態をプリントする。

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する。例をFig.B.1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.B.2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、計算に使われるキャプセル内部の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、キャプセル計算対象領域の軸方向高さ、分割セクションの間隔、各セクションに含まれる試料個数等、軸方向の試料配置、仕切板、導水管、上・下の試料支持部材等の配置についての出力である。

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のリストである。

第6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から第6グループ出力はサブルーチンWEIGHTにより出力される。

第7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7グループ出力はサブルーチンOUTPUTにより出力されるが、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向流となるとき計算結果を統一して扱う。

B.1 第3グループ出力

第3グループ出力の例をFig.B.3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) をプリントしている。

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、キャプセル内の各セクションに軸方向に貫通した試料、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。入力番号281~283で入力された発熱物体についての断面積は考慮外である。

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、濡れ縁長さに考えている対象箇所の濡れ縁長さのみを採っている。

B.2 第4グループ出力

第4グループ出力の例をFig.B.4に示す。この出力グループは、キャプセル計算対象領域の軸方向高さ、分割セクションの間隔、各セクションに含まれる試料個数等、軸方向の試料配置についての出力である。仕切板、導水管、上・下の試料支持部材などの配置が正しく入力されているかを検討するのに使用できる。

B.3 第5グループ出力

第5グループ出力の例をFig.B.5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、仕切板を有するキャプセルの場合、重量に基づき算出されるキャプセル内空間の体積 (cc) 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。

試料が燃料棒の場合、端栓、中空部 (プレナム部等) は、照射試料物性値として入力 (入力番号101) の被覆材密度 (試料密度として入力した値) をもとに重量を計算する。燃料ペレットを含む部分はペレット密度を95% TDとして重量を計算する。

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13列の3グループにわたって示す数値はキャプセル外筒構造に関するデータである。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構造 (1で示す) か、二重管構造 (2で示す) かを表す。

第二グループは、外筒が二重管構造の場合、内管と外管間のギャップに挿入される物体の有無（無し：0，有り：1）を示す。

第三グループは、挿入される物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。

B.4 第6グループ出力

第6グループ出力の例をFig.B.6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。

照射試料が燃料棒で燃料ペレットを含む部分は与えられた線出力密度から計算される発熱量とする。燃料棒のプレナム部や端栓部の場合は、その部分の被覆等のガンマ加熱による発熱量を考慮している。

B.5 第7グループ出力

第7グループは、このプログラムの中心となる計算結果の出力である。計算結果は照射履歴データに従って出力される。すなわち、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7グループ出力はサブルーチンOUTPUTによりにより出力される。

第7グループ出力は、その時刻におけるシステム状態の要記（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向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、単流について関係出力結果を有さない第2段と第5段が省略される。この区別は、入力番号、1の第2フィールドでの入力変数、KCINTRの値による。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KCINTRが0, 1, 2であり、キャプセル内に仕切板あるいは導水管があり供給水が向流の場合はKCINTRが5以上である。

出力例をFig.B.7に示す。出力内容をFig.B.7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。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

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、JMTR100%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、22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、22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、計算上のトラブルがある場合は、一致しない。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、第3段プリントの下段に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。
- 12～14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。

(*) 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）に表面での熱伝達係数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 各節点間に装荷された試料の中心温度。板状の試料の場合は発熱する無限平板と仮定したときの試料中心温度。試料が燃料棒の場合は燃料ペレットの中心温度の概略推定値。燃料棒のプレナム部あるいは棒状の電気ヒータの場合はその被覆内面温度とする。第3.2.5節参照のこと。
- 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向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、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。
- 仕切板や導水管外面から流出した熱量と外筒外面から外側に流出した熱量の差は、供給水（下降流）の加熱に使用される。その熱量と供給水の温度変化に要した熱量は等しい。これは、キャプセル全体あるいは各セクションにおいて成立せねばならない。

(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 キャプセル外筒外のキャプセル冷却水（原子炉冷却水あるいはキャプセル装荷のループ水）の温度を示す。各セクションにおける温度計算の境界条件としての温度を示す。計算上全体のヒート・バランスの相対誤差が0.1%以上になると、この第3段プリントの下端に警告文がプリントされる。

(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 の相関式が使用された場合は、供給水の熱伝導率、
修正 Dittus - Boelter の相関式が使用された場合は、温度に関する補正係数
(第3.2.6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。

- 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. N-1, AN EXAMPLE FOR JAERI-M REPORT, '92-07-30.
2. 1 1. 5. 0.
3. 2 14. 6.
4. 2 14. 11.
5.
6. 3 1.0
7. 4 0.1 260. 0.5 0. 7.
8.
9. 13 350. 60. 40. 12. 1.
10.
11. 14 1 4096.2 -2. -2. .204512E-2
12.
13. 15 1 -2. -2.
14.
15. 19 1.0 1.0 1.0 1.0
16.
17. 102 1.6 1.6 3.0 0. 1.
18. 111 1 0.0 0.0 0.0 2.0 2.0
19. 111 2 2.0 4.0 2.0 2.0 0.0
20. 111 3 0.0 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 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
30. 231 3 0.0 0.0 0.0 0.0
31.
32. 241 1 0. 1620. 0. 0. 0.
33. 241 1 0. 0.0 1296. 0. 0.
34. 241 1 0. 0.0 2000. 0. 0.
35. 241 2 0. 0. 0. 0. 0.
36. 241 3 0. 0. 0. 0. 0.
37.
38. 252 4.5 3.9 0.0 0.0
39. 252 4.4 3.9 0.0 0.0
40. 252 4.3 3.9 0.0 0.0
41. 252 4.1 3.9 0.0 0.0
42. 252 4.2 3.9 0.0 0.0
43.
44. 253 1 0. 0. 1. 1. 1.
45. 253 2 1. 1. 1. 1. 1.
46. 253 3 1. 1. 1. 1. 1.
47.
48. 254 13. 4.5 1.8 1. 1.
49. 254 14. 2.4 2.0 1.
50.
51. 262 0. 0. 0.4 0.0
52. 263 1 0. 0. 0. 0. 0.
53. 263 2 0. 0. 0. 0. 0.
54. 263 3 2. 0. 0. 0. 0.
55.
56. 272 0. 0. 0.4 0.0
57. 273 1 0. 2. 0. 0. 0.
58. 273 2 0. 0. 0. 0. 0.
59. 273 3 0. 0. 0. 0. 0.
60.
61. 282 2.454 2.454 0.0 0.0 0.5
62. 283 1 0. 0. 0.13773 2.05 1.3736
63. 283 2 1.3736 3. 2.3736 0. 3.158
64. 283 3 1.043 1.9806 0. 0.
65.
66. 302 0.0 0.0 6.0 5.4
67.
68. 311 1 -30.5 1.5 9.0 6.5 6.5
69. 311 2 6.5 12. 6.5 6.0 3.5
70. 311 3 5.1 4.8 1.6 8.4
71.
72. 402 0.00044 0.02
73.
74. 601 1 -0.2 0. 0.5 1.0 1.5
75. 601 2 2.0 2.5 3.0 3.5 4.5
76. 601 3 5.0 5.5 6.0 6.5
77.
78. 602 1 0. 0. 0.5 1.0 1.0
79. 602 2 0.9 1.0 1.0 0.5 1.0
80. 602 3 1.0 0.7 0.5 0.3
81.
82. 603 1 76. 76. 76. 76. 76.
83. 603 2 76. 76. 76. 76. 76.
84. 603 3 76. 76. 76. 76. 76.
85.
86. 607 1 1000. 1000. 1000. 1000. 950.
87. 607 2 1920. 1920. 1920. 1920. 1920.
88. 607 3 1920. 1920. 1920. 1920.
89.
90. 608 1 60. 60. 60. 60. 60.
91. 608 2 60. 60. 60. 60. 60.
92. 608 3 60. 60. 60. 60. 60.
93. 12345678901234567890123456789012345678901234567890
94.
95. 999
96. STOP

.....*.....1.....*.....2.....*.....3.....*.....4.....*.....5.....*.....6.....*.....7.....*.....8

Fig. B.1 An example of 1st group output

```

..... 2ND GROUP OUTPUT PRINT .....
***** INPUT VARIABLES USED IN CALCULATIONS - PRINTED FROM SUB. INOUT - *****
***** :-- CALCULATION TITLE --
***** RUN NO. N-1, AN EXAMPLE FOR JAERI-M REPORT, '92-07-30.

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

KCNTN= 0 : NO FLOW RATE CONTROL
KCNTN= 1 : FLOW RATE IS CONTROLLED UNDER ONE THROUGH CONDITION,
WITH CONTAINING LOWER HEATER CONTROL.
* BUT THE HEATER CONTROL WILL BE NEGLECTED,
IF LHTN (READ IN A VARIABLE IN INPUT NO.4 FIELD 4) IS LESS THAN 1.

KCNTN= 2 : FLOW RATE IS LONUDITUDINALLY CONTROLLED, WITH CONTAINING LOWER HEATER CONTROL.
* BUT, IF LHTN IS LESS THAN 1, THE HEATER CONTROL WILL BE NEGLECTED.

KCNTN= 5 : NO FLOW RATE CONTROL, BAFFLE PLATE CONTAINED IN CAPSULE,
KCNTN= 6 : FLOW RATE IS CONTROLLED UNDER ONE THROUGH CONDITION,
WITH CONTAINING LOWER HEATER CONTROL.
* BUT THE HEATER CONTROL WILL BE NEGLECTED,
IF LHTN (READ IN A VARIABLE IN INPUT NO.4 FIELD 4) IS LESS THAN 1.

KCNTN= 10: NO FLOW RATE CONTROL, DOWNWARD COOLANT SUPPLY TUBE CONTAINED IN CAPSULE,
KCNTN= 11: FLOW RATE IS CONTROLLED UNDER ONE THROUGH CONDITION,
WITH CONTAINING LOWER HEATER CONTROL.
* BUT THE HEATER CONTROL WILL BE NEGLECTED,
IF LHTN (READ IN A VARIABLE IN INPUT NO.4 FIELD 4) IS LESS THAN 1.

*( 2)* :-- BASIC CONSTANTS --
LMAX = MAXIMUM AXIAL SECTION : 14
MTH = MAXIMUM HISTORY NO. : 11

*( 3)* :-- CONTROL VARIABLES FOR HEAT RATE --
RMGH = MULTIPLICATION FACTOR FOR MAX. GAMMA HEAT : 1.00
LHSH = SPECIMEN HEAT RATE GIVEN BY LHGR OR NOT : 0

*( 4)* :-- CONTROL VARIABLES --
XSGUL = MAXIMUM STEAM QUALITY : 0.100
TEMLL = 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
RDUG=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): 40.0
DTRC= DIF. TEMP. OUTSIDE CAPSULE CASING (DEG-C): 12.0
SLR = COOLANT SLIP RATIO : 1.00

*( 14)* :-- HEAT TRANS. FOR CAPSULE CASING --
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 TO 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. NIIMI)
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 / SUPPLY WATER INJECTION TUBE --
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)

*( 16)* :-- CONSTANTS USED IN HEAT TRANSFER COEFFICIENTS ON BOCA CAPSULE --
CCH1 = CONSTANTS C1 IN EQU. (39) : 710.0000 , CCH2 = CONSTANTS C2 IN EQU. (39) : 1850.0000
CCH3 = CONSTANTS C3 IN EQU. (39) : 600.0000
HLRL = DIVIDING LHR IN EQU. (39) : 377.1641 , HLRC = LINEAR HEAT RATE TD NORMALIZE : 600.0000

*( 19)* :-- CORRECTION FACTORS ON HEAT TRANSFER COEFFICIENTS --
CHTC1 = FACTOR AT SPECIMEN OUTER SURFACE : 1.0000 , CHTC2 = FACTOR AT CAP. CASING INNER SURFACE : 1.0000
CHTC3 = FACTOR AT BAFFLE PL. INNER SURFACE : 1.0000 , CHTC4 = FACTOR AT BAFFLE PL. OUTER SURFACE : 1.0000

*( 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

```

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

```

*(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

*(101)* :-- SPECIMEN PROPERTIES --
      SROU = DENSITY OF SPECIMEN (GR/CC): 7.80
      SGMHR = MAXIMUM GAMMA HEAT RATE (W/GR): 10.0
      SCK = THERMAL CONDUCTIVITY OF SPECIMEN (W/CM/C): 0.140
      XMLHR = MAXIMUM LINER HEAT GENERATION RATE (W/CM): 0.0
      LTYPE = KIND OF HEAT GENERATOR (HEATER=1) : 0

*(102)* :-- SPECIMEN GEOMETRICAL DATA --
      STH = THICKNESS (CM): 1.60 / SWH = WIDTH (CM): 1.60
      SLN = LENGTH (CM): 3.00 / 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  2.000  2.000  2.000  4.000  2.000  2.000  0.0
      0.0  0.0  0.0  0.0

*(112)* :-- SPECIMEN FRACTIONAL LENGTH OF EACH SECTION (SLNF(J)) ---- IN CASE TO TREAT SPECIMEN HEAT RATE AS LHGR. --
      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

*(113)* :-- SPECIMEN FORM (OR TYPE) ON EACH SECTION (LFORM(J)) ---- IN CASE TO TREAT SPECIMEN HEAT RATE AS LHGR. --
      0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
      0  0  0  0

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

*(202)* :-- HOLDER GEOMETRICAL DATA --
      HLTH = THICKNESS (CM): 0.0 / HLWH = WIDTH (CM): 0.0
      HLDI = 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
      0.0  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
      0.0  0.0  0.0  0.0

*(241)* :-- HEATER MAXIMUM HEAT RATE (W) AT EACH SECTION (HTMHR(J)) --
      0.0  0.0  2000.000  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 --
      SLDROU = DENSITY (GR/CC): 7.80
      SLDMHR = MAXIMUM HEAT RATE (W/GR): 10.0
      SLDCK = THERMAL CONDUCTIVITY (W/CM/C): 0.14000

*(252)* :-- BAFFLE PLATE GEOMETRICAL DATA --
      SLDDO = BAFFLE TUBE OD. (CM): 4.20 / SLDDI = BAFFLE TUBE ID. (CM): 3.90
      BPRI = BAFFLE PLATE (OUTER DIS.) (CM): 0.0 / BPRSI = BAFFLE PLATE (INNER DIS.) (CM): 0.0

<NOTE>: IF BAFFLE PLATE GEOMETRY IS GIVEN AS RECTANGULAR, INNER/OUTER DIAMETERS ARE CONVERTED FROM BPRI AND BPRSI
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  1.000

*(254)* :-- DATA TO MODIFY BAFFLE PLATE DIMENSION --
      SECTION NUMBER : 14, OUTER DIA./DIS. (CM): 2.40 / INNER DIA./DIS. (CM): 2.00 / INDEX : 1
      SECTION NUMBER : 13, OUTER DIA./DIS. (CM): 4.50 / INNER DIA./DIS. (CM): 1.80 / INDEX : 1

*(261)* :-- UPPER SUPPORT PROPERTIES --
      SUUROU = 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 (SUULNF(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  0.0

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

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


```

*(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      0.0

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

*(282)* :-- HEATING PARTS GEOMETRICAL DATA --
DMPDH = 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      0.0

*(301)* :-- CAPSULE MAT. PROP. DATA --
CROU = DENSITY (GR/CC): 7.80
CGMHR = MAXIMUM HEAT RATE (W/GR): 10.0
CCK   = THERMAL CONDUCTIVITY (W/CM/C): 14000

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

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

*(303)* :-- DATA TO MODIFY CAPSULE CASING DIAMETER --

*(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      1.600      8.400

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

*(401)* :-- STRIPE MAT. PROP. DATA --
RIPROU = DENSITY (GR/CC): 7.80
RIPMHR = MAXIMUM HEAT RATE (W/GR): 10.0
RIPCK  = THERMAL CONDUCTIVITY (W/CM/C): 14000

*(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      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      0.500

*(601)* :-- IRRADIATION HISTORY: TIME (HR) (HIST(J,1)) --
-0.200      0.0      0.500      1.000      1.500      2.000      2.500      3.000      3.500      4.500
5.000

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

*(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

*(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

*(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

*(607)* :-- IRRADIATION HISTORY: FLOW RATE IN CAPSULE (HIST(J,7)) --
0.100E+04      0.100E+04      0.100E+04      0.100E+04      950.      0.192E+04      0.192E+04      0.192E+04      0.192E+04
0.192E+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
    
```

Fig. B.2 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	INNER/OUTER	RADIUS
14	47.40																
13	39.00	8.40	0.0	3.14	18.38	6.40	16.96	6.28	7.54	1.96	4.33	2.00	9.75	0.99	3.00	1.00	1.20
12	37.40	1.60	0.0	2.54	7.00	6.40	16.96	5.65	14.14	1.59	1.65	1.80	1.98	0.84	0.90	0.90	2.25
11	32.60	4.80	0.0	11.95	9.05	6.40	16.96	12.25	13.19	7.47	2.13	3.90	2.74	2.56	1.20	1.95	2.10
10	27.50	5.10	0.0	11.69	9.05	6.40	16.96	12.25	13.19	7.31	2.13	3.82	2.74	2.21	1.20	1.95	2.10
9	24.00	3.50	0.0	11.34	9.05	6.40	16.96	12.25	13.19	7.09	2.13	3.70	2.74	1.88	1.20	1.95	2.10
8	18.00	6.00	2.0	8.78	9.05	6.40	16.96	12.25	13.19	5.49	2.13	2.87	2.74	1.46	1.20	1.95	2.10
7	11.50	6.50	2.0	8.78	9.05	6.40	16.96	12.25	13.19	5.49	2.13	2.87	2.74	1.46	1.20	1.95	2.10
6	-0.50	12.00	4.0	8.78	9.05	6.40	16.96	12.25	13.19	5.49	2.13	2.87	2.74	1.46	1.20	1.95	2.10
5	-7.00	6.50	2.0	8.78	9.05	6.40	16.96	12.25	13.19	5.49	2.13	2.87	2.74	1.46	1.20	1.95	2.10
4	-13.50	6.50	2.0	8.78	9.05	6.40	16.96	12.25	13.19	5.49	2.13	2.87	2.74	1.46	1.20	1.95	2.10
3	-20.00	6.50	2.0	8.78	9.05	6.40	16.96	12.25	13.19	5.49	2.13	2.87	2.74	1.46	1.20	1.95	2.10
2	-29.00	9.00	0.0	11.69	9.05	6.40	16.96	12.25	13.19	7.31	2.13	3.82	2.74	2.21	1.20	1.95	2.10
1	-30.50	1.50	0.0	11.69	9.05	6.40	16.96	12.25	13.19	7.31	2.13	3.82	2.74	2.21	1.20	1.95	2.10

----- REMARKS:

AREA1: FLOW AREA IN BAFFLE PLATE.
 AREA2: FLOW AREA OUT OF BAFFLE PLATE.
 PERL : PERIPHERY LENGTH (CM).
 EDIA : EQUIVALENT DIAMETER FOR HEAT TRANSFER (CM).
 REDIA: EQUIVALENT DIAMETER FOR FLOW AREA (CM).
 INNER/OUTER RAD.: RADIUS OF BAFFLE PLATE (CM).

Fig. B.3 An example of 3rd group output

..... 4TH GROUP OUTPUT PRINT PRINTED FROM SUB. WEIGHT

**** LONGITUDINAL LENGTH & NUMBER ON PARTS (UNIT FRACTIONAL & NUMBER) ****

*NODE NO.	*ELEVATION	*STAGE	*SPECIMEN	*SPECIMEN	*SPECIMEN	*SPECIMEN	*UPPER	*LOWER	*HEATING	*BAFFLE	*CASING	*HEIGHT
*	* (CM)	* (CM)	*NO. OR	*FORM	*SPACER	*HOLDER	*SUPPORTS	*SUPPORTS	*PARTS	*PLATE	*FORM	*FROM CAP.
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*BOTTOM
14	47.400											77.900
13	39.000	8.40	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00	1 0 0.0	69.500
12	37.400	1.60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00	1 0 0.0	67.900
11	32.600	4.80	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.98	1.00	1 0 0.0	63.100
10	27.500	5.10	0.0	0.0	0.0	0.0	2.00	0.0	1.04	1.00	1 0 0.0	58.000
9	24.000	3.50	0.0	0.0	2.00	2.00	0.0	0.0	3.16	1.00	1 0 0.0	54.500
8	18.000	6.00	2.00	0.0	2.00	2.00	0.0	0.0	0.0	1.00	1 0 0.0	48.500
7	11.500	6.50	2.00	0.0	2.00	2.00	0.0	0.0	2.37	1.00	1 0 0.0	42.000
6	-0.500	12.00	4.00	0.0	2.00	2.00	0.0	0.0	3.00	1.00	1 0 0.0	30.000
5	-7.000	6.50	2.00	0.0	2.00	2.00	0.0	0.0	1.37	1.00	1 0 0.0	23.500
4	-13.500	6.50	2.00	0.0	2.00	2.00	0.0	0.0	1.37	1.00	1 0 0.0	17.000
3	-20.000	6.50	2.00	0.0	2.00	2.00	0.0	0.0	2.05	1.00	1 0 0.0	10.500
2	-29.000	9.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.00	0.14	1.00	1 0 0.0	1.500
1	-30.500	1.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.00	0.0	0.0	1 0 0.0	0.0

Fig. B.4 An example of 4th group output

JAERI-M 92-149

..... 5TH GROUP OUTPUT PRINT PRINTED FROM SUB. WEIGHT

***** WEIGHT LIST FOR THE CAPSULE TO BE CALCULATED (UNIT GRAM) *****

*NODE NO.	*ELEVATION	*STAGE	*SPECIMEN	*SPECIMEN	*SPECIMEN	*SPECIMEN	*UPPER	*LOWER	*HEATING	*BAFFLE	*OUTER	*CASING
*	*	*LENGTH	*NO.	*	*SPACER	*HOLDER	*SUPPORTS	*SUPPORTS	*PARTS	*PLATE	*CASING	*FORM
*	*(CM)	*(CM)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
14	47.400											
13	39.000	8.40	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	90.57	351.98	1 0 0.0
12	37.400	1.60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	166.73	67.04	1 0 0.0
11	32.600	4.80	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	46.52	71.45	201.13	1 0 0.0
10	27.500	5.10	0.0	0.0	0.0	0.0	10.00	0.0	24.50	75.92	213.70	1 0 0.0
9	24.000	3.50	0.0	0.0	5.87	6.86	0.0	0.0	74.17	52.10	146.66	1 0 0.0
8	18.000	6.00	2.00	119.81	10.06	11.76	0.0	0.0	0.0	89.32	251.42	1 0 0.0
8	18.000	6.50	2.00	119.81	10.90	12.74	0.0	0.0	55.75	96.76	272.37	1 0 0.0
7	11.500	12.00	4.00	239.62	20.12	23.52	0.0	0.0	70.46	178.64	502.83	1 0 0.0
6	-0.500	6.50	2.00	119.81	10.90	12.74	0.0	0.0	32.26	96.76	272.37	1 0 0.0
5	-7.000	6.50	2.00	119.81	10.90	12.74	0.0	0.0	32.26	96.76	272.37	1 0 0.0
4	-13.500	6.50	2.00	119.81	10.90	12.74	0.0	0.0	48.15	96.76	272.37	1 0 0.0
3	-20.000	9.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.64	3.23	133.98	377.12	1 0 0.0
2	-29.000	1.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.94	0.0	0.0	62.85	1 0 0.0
1	-30.500											
			14.00	838.66	79.66	93.12	10.00	20.58	387.29	1245.75	3264.21	
DENSITY	(GR/CC)			7.80	7.80	7.80	7.80	7.80	7.80	7.80	7.80	
TOTAL WEIGHT	(GRAM)			5939.26	(WITHIN BAFFLE PLATE : 1429.30)							
VOID SPACE VOLUME	(UNIT CC)											
WITHIN BAFFLE BLATE				729.80								
OUTSIDE BAFFLE BLATE				725.23								
TOTAL VOLUME IN CAP.				1441.12								

Fig. B.5 An example of 5th group output

..... 6TH GROUP OUTPUT PRINT PRINTED FROM SUB. WEIGHT

***** HEAT RATE LIST FOR THE CAPSULE TO BE CALCULATED (UNIT WATT) *****

*NODE NO.	*ELEVATION	*AXIAL	*SPECIMEN	*SPECIMEN	*SPECIMEN	*SPECIMEN	*UPPER	*LOWER	*HEATING	*BAFFLE	*OUTER	
*	*	*POWER	*NO.	*	*SPACER	*HOLDER	*SUPPORTS	*SUPPORTS	*PARTS +	*PLATE	*CASING	
*	*(CM)	*DIS. (-)	*	*	*	*	*	*	*HEATER	*	*	
14	47.400	0.124	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	178.51	693.76	
13	39.000	0.270	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	476.84	191.75	
12	37.400	0.302	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	163.93	251.81	708.79	
11	32.600	0.403	0.0	0.0	0.0	0.0	45.63	0.0	111.80	346.50	975.34	
10	27.500	0.510	0.0	0.0	32.11	37.53	0.0	0.0	405.71	285.00	802.22	
9	24.000	0.584	2.00	781.15	65.60	76.69	0.0	0.0	0.0	582.36	1639.23	
8	18.000	0.720	2.00	936.30	85.19	99.58	0.0	0.0	435.66	756.19	2128.55	
7	11.500	0.843	4.00	2170.32	182.27	213.07	0.0	0.0	638.18	1618.00	4554.39	
6	-0.500	0.969	2.00	1176.81	107.07	125.16	0.0	0.0	316.88	950.44	2675.32	
5	-7.000	0.996	2.00	1181.31	107.48	125.64	0.0	0.0	318.09	954.07	2685.54	
4	-13.500	0.976	2.00	1129.79	102.79	120.16	0.0	0.0	454.02	912.46	2568.42	
3	-20.000	0.910	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	144.85	2026.56	1099.95	3096.18	
2	-29.000	0.732	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.01	0.0	0.0	449.09	
1	-30.500	0.697										
			14.00	7375.67	682.51	797.83	45.63	165.86	4870.82	8412.11	23168.56	
MAXIMUM HEAT RATE	(W/GR)			10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	
TOTAL HEAT RATE	(WATT)			45518.98	(WITHIN BAFFLE PLATE : 13938.31)							

LC = 1, IH = 2, HIST(IH,1) = 0.0, TIME = -12.000, DTM = 12.000, (DTMC = 1.000)

Fig. B.6 An example of 6th group output

..... 7TH GROUP OUTPUT PRINT

RUN NO. N-1, AN EXAMPLE FOR JAERI-M REPORT, '92-07-30. : PRINT OUT FROM OUT2 (SATCAP PRO.)

- ① TIME (HR) = 1.000, DTM (MIN) = 0.003, IH = 4, COUNT OF LOOP (LC) = 43
- ② GAMMA HEATING RATIO = 1.00, COOLANT FLOW RATE OUTLET/INLET (GR/MIN) = 1000.00/ 1000.00
- ③ SYSTEM PRESSURE (KG/CM**2(A)) = 76.000
- ④ SATURATE TEMPERATURE (DEG-C) = 289.515, LATEMT 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) = 15181.215 (= 3626.664(CAL/SEC))

-第1段-

⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱
STAGE	ELEVATION	AXIAL	NO. OF	HEAT	COOLANT	UPSTREAM		SPECIMEN		NEUTRON	FLUENCE
	(CM)	GAMMA	GEN.	GEN.	FLOW	TEMP.	VOID	TEMP.		FAST	THERMAL
		DISTRIBU-	NO.	(WATT)	(GR/MIN)	(DEG-C)	QUALITY	(DEG-C)	(DEG-C)	(N/CM**2)	(N/CM**2)
		TION	(N)								
		(-)									
14	47.400	0.124	0.0	0.0	999.999	0.0	0.0	224.717			
13	39.000	0.270	0.0	0.0	999.999	0.0	0.0	232.895			
12	37.400	0.302	0.0	163.926	999.999	0.0	0.0	232.643			
11	32.600	0.403	0.0	157.430	999.999	0.0	0.0	239.775			
10	27.500	0.510	0.0	475.344	999.999	0.0	0.0	247.632			
9	24.000	0.584	2.000	923.441	999.999	0.0	0.0	248.572	294.576	352.698	0.0
8	18.000	0.720	2.000	1556.730	999.999	0.0	0.0	248.714	294.811	364.476	0.0
7	11.500	0.843	4.000	3203.844	999.999	0.0	0.0	240.880	295.010	375.751	0.0
6	-0.500	0.969	2.000	1725.925	999.999	0.0	0.0	216.793	295.123	382.683	0.0
5	-7.000	0.996	2.000	1732.514	999.999	0.0	0.0	200.105	284.064	371.959	0.0
4	-13.500	0.976	2.000	1806.765	999.999	0.0	0.0	181.664	262.928	346.989	0.0
3	-20.000	0.910	0.0	2171.407	999.999	0.0	0.0	161.321			
2	-29.000	0.732	0.0	21.010	999.999	0.0	0.0	134.600			
1	-30.500	0.697			999.999	0.0	0.0	129.826			
TOTAL			14.	13938.324							

-第2段-

⑦	⑧	⑲	⑳	㉑	㉒	㉓	㉔	㉕	㉖	㉗	㉘	㉙
STAGE	ELEVATION	STAGE	BAFFLE PLATE			COOLANT	BAFFLE PLATE		COOLANT - DOWNSTREAM -			
	(CM)	LENGTH	GEN.	GEN.	FLOW	AVERAGE	TEMPERATURE		FLOW RATE	STEAM	TEMP.	
		(CM)	(WATT)	(WATT)	OUT	TEMP.	INNER	OUTER	(GR/MIN)	(FRACTION)	(DEG-C)	VOID
					(WATT)	(DEG-C)	(DEG-C)	(DEG-C)				QUALITY
14	47.400	8.400	-753.710	178.510	932.220	228.800	159.897	139.231	999.999	0.0	0.0	60.000
13	39.000	1.600	23.189	476.840	453.650	232.768	246.130	150.957	999.999	0.0	0.0	68.627
12	37.400	4.800	-821.259	251.806	1073.064	236.203	163.796	147.226	999.999	0.0	0.0	73.229
11	32.600	5.100	-881.503	346.501	1228.003	243.700	173.476	156.123	999.999	0.0	0.0	83.467
10	27.500	3.500	-562.028	285.000	847.028	248.101	178.865	161.991	999.999	0.0	0.0	94.518
9	24.000	6.000	-936.511	582.355	1518.865	248.645	187.291	170.153	999.999	0.0	0.0	101.636
8	18.000	6.500	-834.732	756.191	1590.923	244.802	192.669	177.070	999.999	0.0	0.0	113.577
7	11.500	12.000	-983.825	1618.001	2601.825	228.856	194.197	181.750	999.999	0.0	0.0	124.480
6	-0.500	6.500	-187.926	950.440	1138.365	208.463	189.123	180.680	999.999	0.0	0.0	137.789
5	-7.000	6.500	-32.990	954.068	987.059	190.896	185.059	178.601	999.999	0.0	0.0	140.845
4	-13.500	6.500	68.299	912.461	844.163	171.496	179.612	174.730	999.999	0.0	0.0	141.918
3	-20.000	9.000	291.361	1099.955	808.595	147.951	166.341	164.047	999.999	0.0	0.0	141.248
2	-29.000	1.500	418.987	0.0	-418.987	132.213	132.441	132.919	999.999	0.0	0.0	136.451
1	-30.500								999.999	0.0	0.0	129.826
			-5192.633	8412.117	13604.762							

Fig. B.7 An example of 7th group output (1/3)

—第3段—

⑦	⑧	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲
STAGE	ELEVA- TION (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 FLOW IN (WATT)	HEAT GENERATION TOTAL GN. (WATT)	FLOW OUT (WATT)	CASING OUTSIDE (DEG-C)
14	47.400										40.000
13	39.000	8.400	64.321	49.148	42.420	0.0	0.0	-137.116	693.758	830.873	40.329
12	37.400	1.600	70.926	52.659	43.525	0.0	0.0	-29.499	191.745	221.244	40.416
11	32.600	4.800	78.344	56.329	44.564	0.0	0.0	-129.510	708.789	838.300	40.748
10	27.500	5.100	88.986	62.250	46.279	0.0	0.0	-209.454	975.340	1184.793	41.216
9	24.000	3.500	98.069	67.664	47.883	0.0	0.0	-190.977	802.225	993.202	41.609
8	18.000	6.000	107.596	73.975	49.835	0.0	0.0	-418.365	1639.229	2057.594	42.422
7	11.500	6.500	119.024	82.204	52.482	0.0	0.0	-585.993	2128.545	2714.539	43.496
6	-0.500	12.000	131.136	91.595	55.936	0.0	0.0	-1375.250	4554.387	5929.637	45.841
5	-7.000	6.500	139.341	98.500	58.930	0.0	0.0	-856.664	2675.321	3531.987	47.238
4	-13.500	6.500	141.405	100.724	60.481	0.0	0.0	-888.219	2685.535	3573.754	48.652
3	-20.000	6.500	141.608	101.054	61.527	0.0	0.0	-905.898	2568.419	3474.315	50.026
2	-29.000	9.000	138.850	98.425	61.899	0.0	0.0	-1250.737	3096.180	4346.914	51.746
1	-30.500	1.500	133.131	94.234	61.615	0.0	0.0	-191.819	449.091	640.910	51.999
TOTAL								-7169.492	23168.551	30338.051	

—第4段—

⑦	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲	
STAGE	SPECIMENS HEAT FLUX (W/CM**2)	H.T.CDEF. (W/CM2/C)	VEL. (CM/SEC)	EQUI.DIA. (CM)	REF. VAL. (***)	CAPSULE INNER SURFACE HEAT FLUX (W/CM**2)	H.T.CDEF. (W/CM2/C)	VEL. (CM/SEC)	EQUI.DIA. (CM)	REF. VAL. (***)	REYNOLDS NUMBER
14	0.0	0.0	6.37	1.96	0.320E+10	0.962	0.634E-01	0.922	4.33	0.153E+08	0.446E+04
13	0.0	0.0	7.94	1.59	0.319E+08	1.09	0.595E-01	2.43	1.65	0.224E+09	0.475E+04
12	0.0	0.0	1.70	7.47	0.112E+10	1.59	0.722E-01	1.89	2.13	0.799E+09	0.310E+04
11	0.0	0.0	1.77	7.31	0.163E+10	2.42	0.905E-01	1.90	2.13	0.349E+10	0.279E+04
10	0.0	0.0	1.84	7.09	0.484E+09	3.22	0.106	1.91	2.13	0.947E+10	0.248E+04
9	20.3	0.254	2.38	5.49	0.242E+10	4.11	0.122	1.93	2.13	0.236E+11	0.248E+04
8	24.4	0.268	2.36	5.49	0.335E+10	5.31	0.144	1.94	2.13	0.660E+11	0.245E+04
7	28.3	0.338	2.28	5.49	0.279E+11	6.76	0.171	1.97	2.13	0.198E+12	0.235E+04
6	30.6	0.333	2.21	5.49	0.580E+10	7.77	0.190	1.98	2.13	0.451E+12	0.213E+04
5	30.8	0.330	2.16	5.49	0.561E+10	8.05	0.198	1.98	2.13	0.685E+12	0.194E+04
4	29.4	0.322	2.11	5.49	0.477E+10	8.22	0.203	1.98	2.13	0.949E+12	0.173E+04
3	0.0	0.0	1.54	7.31	0.811E+10	8.19	0.203	1.98	2.13	0.124E+13	0.169E+04
2	0.0	0.0	1.52	7.31	0.292E+08	7.54	0.194	1.97	2.13	0.131E+13	0.149E+04
1											

Fig. B.7 An example of 7th group output (2/3)

—第5段—

⑦	⑥①	⑥①	⑥②	⑥③	⑥④	⑥⑤	⑥⑥	⑥⑦	⑥⑧	⑥⑨	⑦①
STAGE	BAFFLE PLATE INNER			EQUI.DIA.	REF. VAL.	BAFFLE PLATE OUTER			EQUI.DIA.	REF. VAL.	REYNOLDS
	HEAT FLUX (W/CM**2)	H.T.COEF. (W/CM2/C)	VEL. (CM/SEC)	(CM)	(***)	HEAT FLUX (W/CM**2)	H.T.COEF. (W/CM2/C)	VEL. (CM/SEC)	(CM)	(***)	NUMBER
14	14.3	0.207	6.37	2.00	0.169E+10	14.7	0.196	0.922	9.75	0.130E+10	613.
13	-2.56	0.192	7.94	1.80	0.149E+08	20.1	0.251	2.43	1.98	0.183E+11	530.
12	14.0	0.193	1.70	3.90	0.357E+09	16.9	0.246	1.89	2.74	0.360E+11	599.
11	14.1	0.201	1.77	3.82	0.488E+09	18.2	0.272	1.90	2.74	0.113E+12	687.
10	13.1	0.189	1.84	3.70	0.170E+09	18.3	0.287	1.91	2.74	0.234E+12	755.
9	12.7	0.208	2.38	2.87	0.865E+09	19.2	0.307	1.93	2.74	0.476E+12	840.
8	10.5	0.201	2.36	2.87	0.100E+10	18.5	0.320	1.94	2.74	0.935E+12	930.
7	6.69	0.193	2.28	2.87	0.424E+10	16.4	0.325	1.97	2.74	0.187E+13	0.104E+04
6	2.36	0.122	2.21	2.87	0.288E+09	13.3	0.321	1.98	2.74	0.302E+13	0.111E+04
5	0.414	0.710E-01	2.16	2.87	0.437E+08	11.5	0.309	1.98	2.74	0.364E+13	0.112E+04
4	-0.858	0.106	2.11	2.87	0.189E+09	9.84	0.297	1.98	2.74	0.419E+13	0.113E+04
3	-2.64	0.144	1.54	3.82	0.857E+09	6.81	0.270	1.98	2.74	0.416E+13	0.110E+04
2	-22.8	100.	1.52	3.82	0.534E+06	-21.2	100.	1.97	2.74	0.140E+12	0.105E+04
1											

Fig. B.7 An example of 7th group output (3/3)