

JAERI-M
84-170

ICARUS.2:多目的高温ガス実験炉
プラント動特性解析コード

1984年9月

岡田 高志*・三竹 晋・高野 誠・大橋 一孝**

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 Section, Division
of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun,
Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1984

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 山田軽印刷所

ICARUS. 2 : 多目的高温ガス実験炉
プラント動特性解析コード

日本原子力研究所動力炉開発・安全性研究管理部

岡田 高志*・三竹 晋⁺・高野 誠・大橋 一孝**

(1984年8月23日受理)

多目的高温ガス実験炉プラントの動特性を解析する計算コード ICARUS. 2 において、使用されている解析モデル、数値解法および物性値等について示すと共に、各種コンポーネント単体での応答特性および各種事象に対するプラント全体での応答特性をも示した。本 ICARUS. 2 コードでは、原子炉、1 次および 2 次ヘリウムループならびに 3 次ループである水・蒸気系までをモデル化している。また原子炉に対し左右対称に存在する A ループおよび B ループの 2 冷却ループのモデル化も可能である。さらに、動特性の解析結果へ比較的大きな影響を与える制御システムについても任意のシステムをモデル化して解析することができる。

+ 東海研究所安全解析部

* 現在 横河北辰電機

** 富士電機製造㈱

ICARUS.2: A Kinetics Analysis Code for the
Experimental Very High Temperature Gas-Cooled Reactor Plant

Takashi OKADA*, Susumu MITAKE⁺,

Makoto TAKANO and Kazutaka OOHASHI**

Department of Power Reactor Projects, JAERI

(Received August 23, 1984)

The report describes analytical models, computational methods and physical properties, which are employed in the computational code ICARUS.2. The code simulates the transient behavior of the experimental Very High Temperature Reactor plant. Transient responses of the plant to various disturbances are analyzed as well as of the typical components in the plant. The code has the enough number of modeled components to cover the two-loop system of the real plant. Each loop consists of three internal coolant loops which are the primary and the secondary helium coolant loops and the ternary water-steam coolant loop. Further, the code can model any structure of plant coolant system which might cause the significant effect on the transient behavior.

Keywords : VHTR, ICARUS, Computer Simulation, Kinetics, Nuclear Reactor,
Heat Exchanger, Dynamics, Modeling, Analysis, Reactor Plant,
Coolant Loop, Transient Behavior

+ Department of Environmental Safety Research, Tokai Research Establishment

* Yokokawa Hokushin Electric Corporation

** Fuji Electric Co. Ltd.

目 次

1. はじめに	1
2. コードの概要	1
3. 解析モデル及び解法	5
3.1 炉 心	5
3.2 中間熱交換器	7
3.3 蒸気発生器	9
3.4 補助冷却器	11
3.5 高温二重配管の模擬及び解法	14
3.6 その他	16
4. 熱伝達式及び物性値	21
4.1 熱伝達式	21
4.1.1 炉 心	21
4.1.2 中間熱交換器	21
4.1.3 蒸気発生器	22
4.1.4 補助冷却器	22
4.2 物性値	23
4.2.1 ヘリウム	23
4.2.2 水	24
4.2.3 炉心材料	26
5. 解析例	29
5.1 各機器の応答	29
5.1.1 中間熱交換器	29
5.1.2 蒸気発生器	29
5.1.3 高温二重配管	30
5.2 プラント総合挙動	30
5.2.1 定常状態の温度	30
5.2.2 外部電源の喪失	30
5.2.3 1次冷却材流量の減少	31
5.2.4 小口径配管の破断	31
6. おわりに	50
謝 辞	50
参 考 文 献	51
付録A：入力マニュアル	52

付録B：入力データ作成上の注意	110
付録C：入出力例	116
付録D：定常近似モデルについて	126

CONTENTS

1. Introduction	1
2. Outline of the code	1
3. Analytical models and computational methods	5
3.1 Reactor core	5
3.2 Intermediate heat exchanger	7
3.3 Steam generator	9
3.4 Auxiliary heat exchanger	11
3.5 Double coaxial tube	14
3.6 Others	16
4. Heat transfer coefficients and physical properties	21
4.1 Heat transfer coefficients	21
4.1.1 Reactor core	21
4.1.2 Intermediate heat exchanger	21
4.1.3 Steam generator	22
4.1.4 Auxiliary heat exchanger	22
4.2 Physical properties	23
4.2.1 Helium	23
4.2.2 Water	24
4.2.3 Core materials	26
5. Examples of analysis	29
5.1 Responses of components	29
5.1.1 Intermediate heat exchanger	29
5.1.2 Steam generator	29
5.1.3 Double coaxial tube	30

5.2 Whole plant behavior	30
5.2.1 Temperature conditions in steady state	30
5.2.2 Loss of off-site power	30
5.2.3 Decrease in primary coolant flow rate	31
5.2.4 Rupture in small size piping	31
6. Conclusion	50
Acknowledgement	50
References	51
Appendix A: Input manual	52
Appendix B: Notes for preparing input data	110
Appendix C: Input and output examples	116
Appendix D: Static approximation model	126

1. はじめに

日本原子力研究所において研究開発の進められている多目的高温ガス実験炉は、黒鉛減速ヘリウム冷却型の原子炉であり、炉心出口で950°Cのヘリウムガスを得るものである。原子炉で加熱された高温のヘリウムガスは、二重配管を通り熱交換器へ移送され、その熱エネルギーを2次側ヘリウムへ伝達する。高温のヘリウムガスは直接還元製鉄や水素生産等を行うための高温熱源として使用される。このような原子炉システムを動特性の面から見ると、以下のような特徴を持つものと考えられる。つまり、炉心は出力密度に比して大きな熱密度を持っているため、その温度変化は極めて緩やかとなる。したがって、長時間に渡る炉心の温度変化を把握する必要がある。また、配管、熱交換器等では、内部に貯わえられる熱量が冷却材の熱容量に比べかなり大きいため、プラント全体の温度挙動を知るためには、これらの構造物との熱の授受を含めた検討を行う必要がある。

ICARUS. 2コードは上述のような実験炉の特徴を考慮して開発されたものであり、解析が合理的な計算時間でできることが配慮されている。すなわち、伝熱計等は差支えない限り1次元モデルとし、冷却材ガスの温度は全て定常計算によるなどの簡略化を行っている。このコードは、実験炉の設計研究の進捗とともに改良が加えられ、これまでに実験炉の動特性の解析、制御特性の解析等から、異常時、事故時のプラント挙動の解析にまで数多く使用されている。ICARUS. 2コードは初期に開発されたICARUS. 1コード³⁻⁵⁾に対して模擬冷却ループ数を1ループから2ループへ改善した点および補助冷却器モデルを追加した点が改良されている。本報では、これらの改良点について述べると共に、主要機器（中間熱交換器、二重管、蒸気発生器等）の数式モデル再検討結果について示している。また、本報はICARUS. 2コードの最新版マニュアルとなるものである。

2. コードの概要

ICARUS. 2コードは、多目的高温ガス実験炉プラントの動特性解析プログラムである。本コードは、中性子動特性、燃料体及び黒鉛減速材ブロックの熱伝達、ならびに、原子炉容器、1次冷却材二重管配管、中間熱交換器、補助冷却器、2次冷却材二重管配管、蒸気発生器を含む冷却系全体の模擬を行う。

本コードの基本的特徴は、以下のとおりである。

- (1) 冷却ループの模擬は2ループを原則とする。Fig. 2.1に代表的なプラント構成を示す。
Fig. 2.2は、補助冷却器によって現子炉を冷却するときのプラント構成を示す。
- (2) 圧損計算と流量計算は行わず、流量については、タイムテーブル形式の入力により与える。
- (3) 炉心および熱交換器の温度分布は、すべて燃料棒1本もしくは伝熱管1本で代表させ、

1. はじめに

日本原子力研究所において研究開発の進められている多目的高温ガス実験炉は、黒鉛減速ヘリウム冷却型の原子炉であり、炉心出口で950°Cのヘリウムガスを得るものである。原子炉で加熱された高温のヘリウムガスは、二重配管を通り熱交換器へ移送され、その熱エネルギーを2次側ヘリウムへ伝達する。高温のヘリウムガスは直接還元製鉄や水素生産等を行うための高温熱源として使用される。このような原子炉システムを動特性の面から見ると、以下のような特徴を持つものと考えられる。つまり、炉心は出力密度に比して大きな熱密度を持っているため、その温度変化は極めて緩やかとなる。したがって、長時間に渡る炉心の温度変化を把握する必要がある。また、配管、熱交換器等では、内部に貯わえられる熱量が冷却材の熱容量に比べかなり大きいため、プラント全体の温度挙動を知るためには、これらの構造物との熱の授受を含めた検討を行う必要がある。

ICARUS. 2コードは上述のような実験炉の特徴を考慮して開発されたものであり、解析が合理的な計算時間で行えることが配慮されている。すなわち、伝熱計等は差支えない限り1次元モデルとし、冷却材ガスの温度は全て定常計算によるなどの簡略化を行っている。このコードは、実験炉の設計研究の進捗とともに改良が加えられ、これまでに実験炉の動特性の解析、制御特性の解析等から、異常時、事故時のプラント挙動の解析にまで数多く使用されている。ICARUS. 2コードは初期に開発されたICARUS. 1コード³⁻⁵⁾に対して模擬冷却ループ数を1ループから2ループへ改善した点および補助冷却器モデルを追加した点が改良されている。本報では、これらの改良点について述べると共に、主要機器（中間熱交換器、二重管、蒸気発生器等）の数式モデル再検討結果について示している。また、本報はICARUS. 2コードの最新版マニュアルとなるものである。

2. コードの概要

ICARUS. 2コードは、多目的高温ガス実験炉プラントの動特性解析プログラムである。本コードは、中性子動特性、燃料体及び黒鉛減速材ブロックの熱伝達、ならびに、原子炉容器、1次冷却材二重管配管、中間熱交換器、補助冷却器、2次冷却材二重管配管、蒸気発生器を含む冷却系全体の模擬を行う。

本コードの基本的特徴は、以下のとおりである。

- (1) 冷却ループの模擬は2ループを原則とする。Fig. 2.1に代表的なプラント構成を示す。
Fig. 2.2は、補助冷却器によって原子炉を冷却するときのプラント構成を示す。
- (2) 圧損計算と流量計算は行わず、流量については、タイムテーブル形式の入力により与える。
- (3) 炉心および熱交換器の温度分布は、すべて燃料棒1本もしくは伝熱管1本で代表させ、

流れ方向に分割し各格子点におけるエネルギー保存式を連立させて求める。

- (4) 炉心での計算で使用する物性式はすべて温度及び圧力依存として取り扱う。炉心以外の機器については、冷却材の物性値は温度及び圧力依存で扱うが、構成材は一定値とする。
- (5) 初期温度分布は、最初に任意の温度分布を与え、くり返し計算を収束するまで行うことにより求める。収束した時点における各要素の温度分布はカードもしくは、磁気ディスク等へ出力して、保存しておき、過渡時の計算での初期値として使用する。
- (6) 取り扱える外乱は反応度外乱、1次冷却材流量外乱、各種の熱交換器の2次側流量外乱及び温度外乱とする。これらの外乱を組合せることにより仮想した事故を模擬する。
- (7) 炉心の模擬は、3章に示すようにBLOOST-5を基礎にしている。

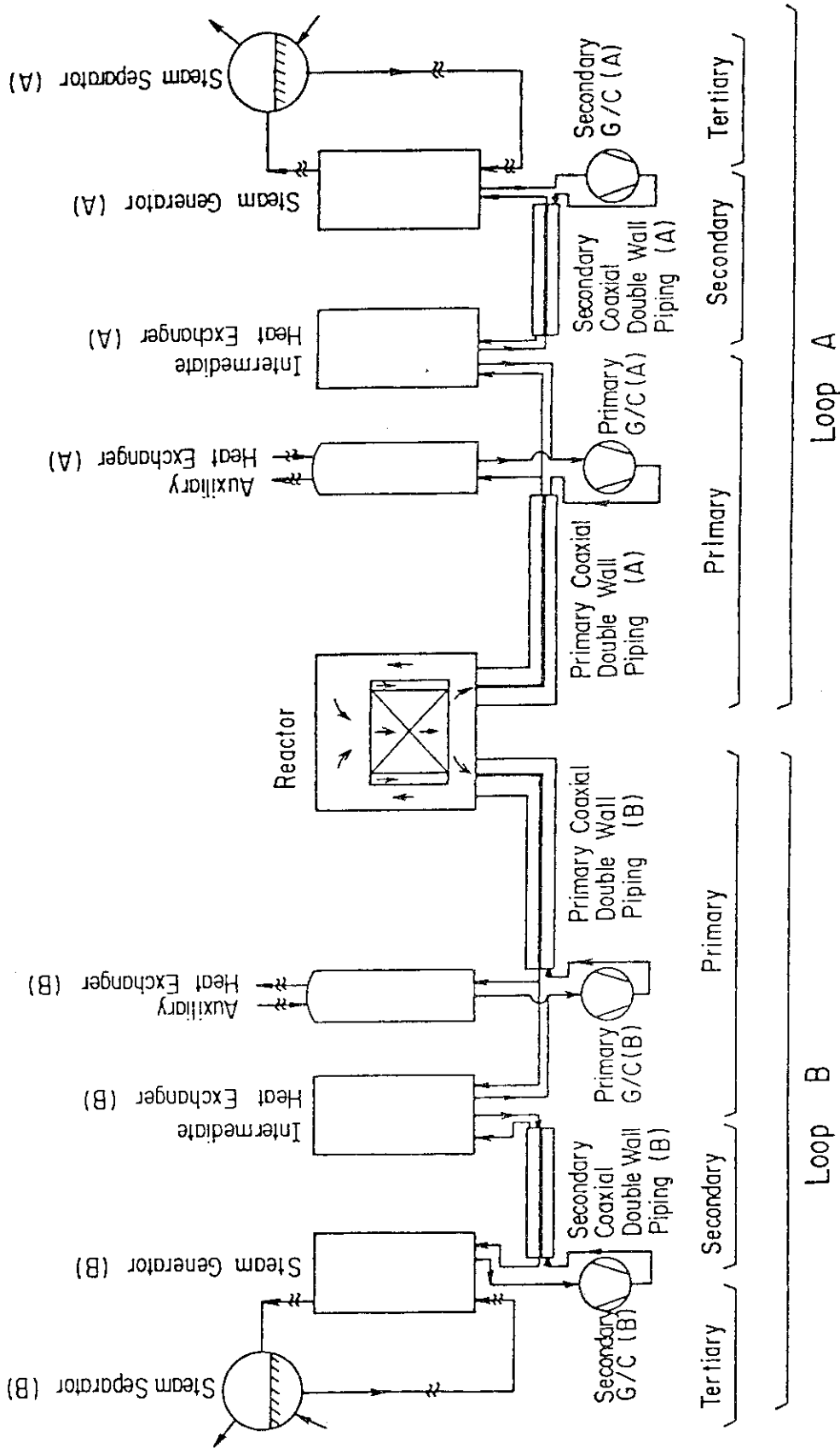


Fig.2.1 Loop Model for ICARUS-code in Normal Operation
 (Primary Loop Flow Rate 7.96 kg/sec, Secondary Loop
 Flow Rate 7.65 kg/sec, AHX Flow Ratio 1.5%, Core
 Bypass Flow Ratio 12%)

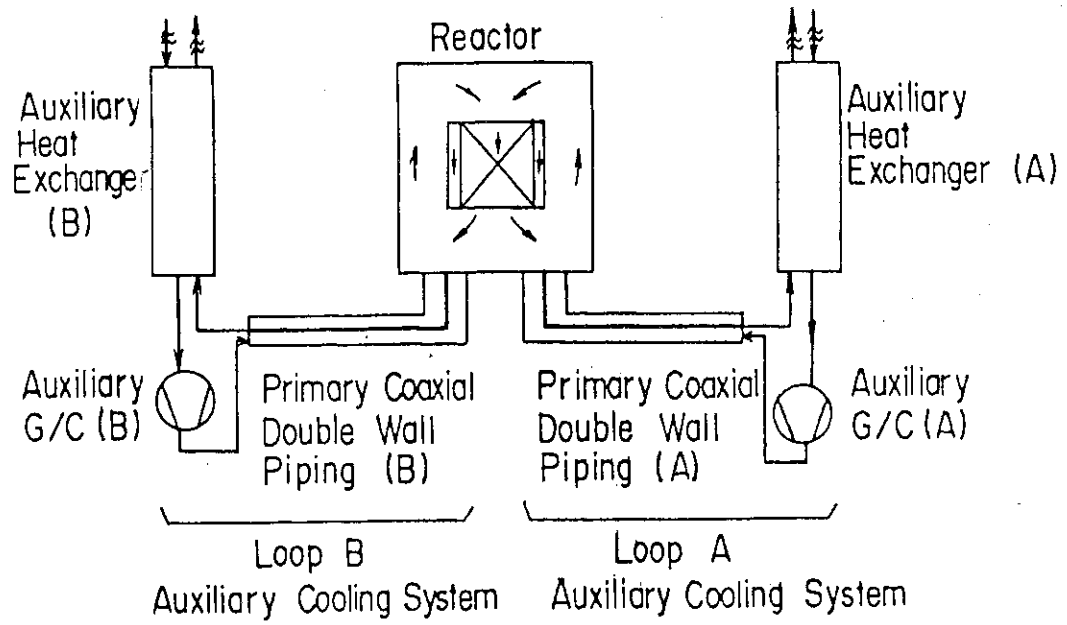


Fig. 2.2 Loop Model for ICARUS-code after the Switchover to Auxiliary Cooling System

3. 解析モデル及び解法

3.1 炉 心

(1) 概 要

ICARUS コードでは原子炉部の核熱動特性に対し米国 General Atomic 社で開発された BLOOST-5^{3-1), 3-2), 3-3), 3-4)} を流用している。BLOOST-5 では原子炉の出力を遅発中性子 6 群の 1 点近似動特性方程式を解いて求め、入力データにより与えられた燃料チャネル軸方向出力分布に従い出力を割り当てる。得られた燃料チャネル出力を用いて温度計算を R-Z 2 次元の単チャネルモデルに対する熱伝導方程式により行う。ヘリウム冷却材部については軸方向 1 次元の質量およびエネルギー保存則により解いている。

Fig. 3.1 に燃料チャネル伝熱計算モデル例を示す。

ICARUS コードに BLOOST-5 を組込む際、VHTR の単位燃料チャネルを模擬するためヘリウム流路の外周に黒鉛を配置可能なように改良してある。

(2) 核計算モデル

核計算部では以下のような遅発中性子 6 群の一点近似動特性方程式を 4 次の Runge-Kutta 法により積分している。

$$\frac{dP}{dt} = \frac{\rho - \beta}{\Lambda} P + \sum_{i=1}^6 \lambda_i C_i + S, \quad (3-1-1)$$

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{\beta_i}{\Lambda} P - \lambda_i C_i, \quad (3-1-2)$$

$$\rho = \text{RAMP}(\text{time}) - \text{SCRAM}(\text{time}) - \text{TEMPT}(\text{TFUEL}, \text{TELEM}), \quad (3-1-3)$$

ここで、

P : 原子炉出力レベル (MW)

β_i : 第 i 群の遅発中性子生成率

β : $\sum_{i=1}^6 \beta_i$,

λ_i : 第 i 群の遅発中性子崩壊定数 ($1/\text{sec}$),

Λ : 即発中性子生成時間 (sec),

C_i : 第 i 群の遅発中性子先行核濃度 (MW),

S : 定常ソース項 (MW)

ρ : 反応度

t : 時間 (sec)

である。反応度 ρ は添加反応度 (RAMP)、スクラム反応度 (SCRAM) および燃料と減速材の温度反応度フィードバック (TEMPT) から構成されている。添加される反応度は時間

のテーブルで入力される。テーブルに示された各々のデータ点間での値は直線内挿により自動的に求められる。スクラム反応度も同様に時間のテーブルで入力する。スクラム反応度は入力データで指定したスクラム開始炉出力に原子炉出力が到達した時点から添加される。ただしスクラム遅れ時間を入力してスクラム反応度添加開始を遅らせることもできる。温度反応度フィードバックは燃料平均温度および減速材平均温度に対しテーブル形式で反応度を与える。BLOOST-5コード内では定常時の温度反応度フィードバック量が零となるような調整が自動的に行われ、非定常の計算時に適切な値が得られるようになっている。

(3) 熱計算モデル

熱計算部では燃料部と減速材部に対し以下のような2次元R-Z形状の伝熱方程式を単チャネルモデルに対しPeaceman-Rachford法³⁻⁵⁾により解いている。

$$C \frac{\partial \theta}{\partial t} = \kappa \left[\frac{\partial^2 \theta}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial \theta}{\partial R} \right] + \mu \frac{\partial^2 \theta}{\partial Z^2} + q \quad (3-1-4)$$

ここで、

C : 体積比熱 (K cal / m³ · sec °C),

θ : $\theta(R, z, t)$ 温度 (°C),

κ : R方向熱伝導率 (K cal / sec · m · °C),

μ : z方向熱伝導率 (K cal / sec · m · °C),

q : q(R, z, t) 発熱密度 (K cal / m³ · sec),

である。発熱密度qは核計算により求められた炉出力に従って変化するが、z方向の出力分布は入力データで指定されており不変である。またR方向に対しては燃料部で一様で、燃料部以外では発熱が無いようになっている。ここで比熱や熱伝導率等の物性値はプログラム内に関数表示式を記述している。

次にヘリウム冷却材部の温度は次式のようなz方向1次元の熱伝達式を用い定常近似により求めている。

$$\frac{\partial \theta_c}{\partial z} = \frac{hs}{wc_p} (\theta_w - \theta_c) \quad (3-1-5)$$

ここで、

θ_c : $\theta_c(z)$ ヘリウム冷却材温度 (°C)

θ_w : $\theta_w(z)$ ヘリウム流路壁温度 (°C)

h : 熱伝達率 (K cal / m² · sec · °C),

s : 伝熱面積 (m²),

w : ヘリウム流量 (kg / sec),

c_p : ヘリウムの比熱 (K cal / kg · °C),

である。ヘリウム流量wの時間変化は本コードでは入力データにより示される。先と同様に熱伝達率hはプログラム中に関数式を記述することにより流量や温度の依存性を考慮してい

る。ここで、ヘリウムガスの密度、熱容量が小さいことから

$$c_p \rho A \frac{d\theta_c}{dt} \quad (3-1-6)$$

なる時間微分項を無視した定常近似が(3-1-5)式において使用されている。^{*}(ρ :ヘリウム密度, A :チャンネル断面積)したがってヘリウム冷却材温度の時間変化が大きい場合には誤差が大きくなる。実際には冷却材チャンネルの軸方向メッシュ間隔が大きくヘリウム流量が少ない場合に注意する必要がある。

3.2 中間熱交換器

(1) 概 要

現在の IHX (中間熱交換器) の設計は、ヘリカルコイル型で数百本の伝熱管がラセン状に巻かれ、対向流として1次ヘリウムが管外を、2次ヘリウムが管内を流れる。

IHX部の温度分布計算は、1本の伝熱管について行ない、その解法モデルは、流れ方向に分割し、各格子点におけるエネルギー保存式を連立させて求める。

(2) 計算モデル

温度分布計算のための格子点を径方向の各物質区分について1点、軸方向には、任意の等分割(現在は20分割)により定めると Fig. 3.2 の解析モデルより次の平衡式が成り立つ。

1次冷却材側領域

$$C_{1,j,i} M_{1,j,i} \frac{\partial T_{1,j,i}}{\partial t} = S_1 h_{1,j,i} (T_{M,j,i} - T_{1,j,i}) \quad (3-2-1) \\ + C_{1,j,i} W_1 (\theta_{1,j,i} - \theta_{1,j+1,i})$$

伝熱管領域

$$C_{M,j,i} M_{M,j,i} \frac{\partial T_{M,j,i}}{\partial t} = S_1 h_{1,j,i} (T_{1,j,i} - T_{M,j,i}) \quad (3-2-2) \\ + S_2 h_{2,j,i} (T_{2,j,i} - T_{M,j,i})$$

2次冷却材側領域

$$C_{2,j,i} M_{2,j,i} \frac{\partial T_{2,j,i}}{\partial t} = S_2 h_{2,j,i} (T_{M,j,i} - T_{2,j,i}) \quad (3-2-3) \\ + C_{2,j,i} W_2 (\theta_{2,j-1,i} - \theta_{2,j,i})$$

式に使用されている記号は次のとおりである。

*) 附録-D参照

C = 比熱 (K cal / kg °C)	添字 1, 1次系側
M = 重量 (kg)	M, 伝熱管
T = 代表温度 (°C)	2, 2次系側
S = 伝熱面積 (m ²)	j, 流れ方向メッシュ番号
h = 熱伝達率 (K cal / m ² sec °C)	i, タイムメッシュ番号
W = 流量 (kg / sec)	
θ = グリッドライン温度 (°C)	
t = 時間 (sec)	

ここで、1次および2次冷却材領域は定常近似モデルを使用し温度はインプリシットに求める。^{*}

各格子点における温度を求める式は以下のとおりである。

$$\theta_{1,j+1,i} = T_{M,j,i} + (\theta_{1,j,i} - T_{M,j,i}) e^{-\frac{K_1}{V_1}} \quad (3-2-4)$$

$$\theta_{2,j,i} = T_{M,j,i} + (\theta_{2,j+1,i} - T_{M,j,i}) e^{-\frac{K_2}{V_2}} \quad (3-2-5)$$

$$T_{1,j,i} = T_{M,j,i} + \frac{V_1}{K_1} (\theta_{1,j,i} - \theta_{1,j+1,i}) \quad (3-2-6)$$

$$T_{2,j,i} = T_{M,j,i} + \frac{V_2}{K_2} (\theta_{2,j+1,i} - \theta_{2,j,i}) \quad (3-2-7)$$

$$\text{ここで, } K_1 = S_1 h_{1,j,i} \quad (3-2-8)$$

$$K_2 = S_2 h_{2,j,i} \quad (3-2-9)$$

$$V_1 = C_{1,j,i} W_1 \quad (3-2-10)$$

$$V_2 = C_{2,j,i} W_2 \quad (3-2-11)$$

伝熱管領域については,

$$\frac{\partial T_{M,j,i}}{\partial t} = \frac{T_{M,j,i} - T_{M,j,i-1}}{\Delta t} \quad \text{とおき}$$

$$T_{M,j,i} = \frac{C_{M,j,i} \cdot M_{M,j,i} \cdot T_{M,j,i-1} + (K_1 \cdot T_{1,j,i} + K_2 \cdot T_{2,j,i}) \Delta t}{C_{M,j,i} \cdot M_{M,j,i} + (K_1 + K_2) \Delta t} \quad (3-2-12)$$

で解く。

また、格子点間の等価熱伝達率の計算は、流体と金属壁面間の薄膜抵抗と金属壁半分の肉厚による熱抵抗より求める。薄膜部分の熱伝達係数 α は、それぞれの境界面において各領域ごとに求め、平板モデルを仮定し、以下の式で求める。

$$\frac{1}{h} = \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{(\lambda/0.5 d_M)} \quad (3-2-13)$$

^{*}) 附録-D参照

ここで,

α : 金属とヘリウム間の熱伝達率 (K cal / m² sec °C)

d_M : 伝熱管肉厚 (m)

λ : 伝熱管熱伝導率 (K cal / m sec °C)

h : 等価熱伝達率 (K cal / m² sec °C)

熱交換器の温度計算は, 1次冷却材側, 2次冷却材側又は, 伝熱管(壁温度)のどれか1つの温度分布を与えることによって次のように解く。

まず Δt 時間前の伝熱管壁温度 $T_{M,j,i-1}$ を近似的に使用して1次冷却材側温度 $T_{1,j,i}$, 2次冷却材側温度 $T_{2,j,i}$ を求める。その後 $T_{1,j,i}$ と $T_{2,j,i}$ によって, $T_{M,j,i}$ を求める。

$T_{1,j,i}$ と $T_{2,j,i}$ を計算するときは, 物性値に依存する係数は Δt 時間前の $i-1$ の値を使用し, それによって求めたタイムステップ i の熱伝達係数を使用して $T_{M,j,i}$ を解き, 次のタイムステップに進む。

3.3 蒸気発生器

(1) 概 要

現在のSG(蒸気発生器)の設計は, 直管切欠きバツフル板付シェルアンドチューブ型で数百本の伝熱管が直線に走り, 対向流として, 1次側流体(ヘリウム)が管外を, 2次側流体(水・蒸気)が管内を流れる。

SG部の模擬は, 1本の伝熱管について行ない, その解法モデルは, 集中定数モデルとして伝熱管の軸方向(流れ方向)の熱伝導は無視する。ヘリウム側は, 温度計算のみで水・蒸気側は, エンタルピ計算を行なったのち温度を算出する。格子点を径方向の各物質区分について1点, 軸方向には, 任意の等分割(現在は, 10分割)により定める。

(2) 計算モデル

Fig. 3.3の解析モデルにより次の平衡式が成り立つ。

1次側流体(ヘリウム領域)

$$C_{1,j,i} M_{1,j,i} \frac{\partial T_{1,j,i}}{\partial t} = S_1 h_{1,j,i} (T_{M,j,i} - T_{1,j,i}) + C_{1,j,i} W_1 (\theta_{1,j,i} - \theta_{1,j+1,i}) \quad (3-3-1)$$

伝熱管領域

$$C_{M,j,i} M_{M,j,i} \frac{\partial T_{M,j,i}}{\partial t} = S_1 h_{1,j,i} (T_{1,j,i} - T_{M,j,i}) + S_2 h_{2,j,i} (T_{2,j,i} - T_{M,j,i}) \quad (3-3-2)$$

2次側流体(水・蒸気)領域

$$M_{2,j,i} \frac{\partial I_{2,j,i}}{\partial t} = Q_{2,j,i} + W_2 (H_{2,j+1,i} - H_{2,j,i}) \quad (3-3-3)$$

上記式に使用されている記号の説明は、以下のとおりである。

C = 比熱 (K cal / kg °C)	添字 1, 1次側
M = 重量 (kg)	M, 伝熱管
T = 代表温度 (°C)	2, 2次側
S = 伝熱面積 (m ²)	j, 流れ方向メッシュ番号
h = 熱伝達率 (K cal / m ² sec °C)	i, タイムメッシュ番号
W = 流量 (kg / sec)	
I = 代表エンタルピ (K cal / kg)	
H = グリッドライン上のエンタルピ (K cal / kg)	
θ = グリッドライン温度	
t = 時間	
Q = 単位時間当たりの熱通過量 (K cal / sec)	

ここで1次側流体（ヘリウム）領域は、ヘリウムの熱容量が小さいので、定常近似モデル^{*}を使用して、温度はインプリシットに求める。

$$\theta_{1,j+1,i} = T_{M,j,i} + (\theta_{1,j,i} - T_{M,j,i}) e^{-\frac{K_1}{V_1}} \quad (3-3-4)$$

$$T_{1,j,i} = T_{M,j,i} + \frac{V_1}{K_1} (\theta_{1,j,i} - \theta_{1,j+1,i}) \quad (3-3-5)$$

ここで $K_1 = S_1 h_{1,j,i}$ (3-3-6)

$$V_1 = C_{1,j,i} W_1 \quad (3-3-7)$$

2次側流体（水・蒸気）領域は、上記（3-3-3）式においてメッシュ内エンタルピ分布を直線で近似する。

$$H_{2,j,i} = 2 I_{2,j,i} - H_{2,j+1,i} \quad (3-3-8)$$

上記（3-3-3）式に代入して

$$M_{2,j,i} \frac{\partial I_{2,j,i}}{\partial t} = Q_{2,j,i} + 2 W_2 (H_{2,j+1,i} - I_{2,j,i}) \quad (3-3-9)$$

時間微分項をインプリシットに差分化し、 $I_{2,j,i}$ について解く。

$$I_{2,j,i} = \frac{M_{2,j,i} I_{2,j,i-1} + 2 W_2 \Delta t H_{2,j+1,i} + Q_{2,j,i} \Delta t}{M_{2,j,i} + 2 W_2 \Delta t} \quad (3-3-10)$$

と近似する。

これらの式を使い、流れ方向に沿ってメッシュごとに解く。エンタルピから換算し、流体

*) 附録-D参照

温度 $T_{2,j,i}$ 及びクオリティを算出する。

伝熱管領域については

$$\frac{\partial T_{M,j,i}}{\partial t} = \frac{T_{M,j,i} - T_{M,j,i-1}}{\Delta t} \quad \text{とおき, 以下の式で解く。}$$

$$T_{M,j,i} = \frac{C_{M,j,i} M_{M,j,i} \cdot T_{M,j,i-1} + (K_1 \cdot T_{1,j,i} + K_2 \cdot T_{2,j,i}) \Delta t}{C_{M,j,i} \cdot M_{M,j,i} + (K_1 + K_2) \Delta t} \quad (3-3-11)$$

$$\text{ここで} \quad K_2 = S_2 h_{2,j,i} \quad (3-3-12)$$

また格子点間の等価熱伝達率の計算は、IHX部の模擬と同様に平板モデルを仮定し求める。

蒸気発生器の温度計算は以下のステップで求める。

- ① 最初に Δt 時間前の流体温度 $T_{1,j,i-1}$, $T_{2,j,i-1}$ を使用して、伝熱管温度 $T_{M,j,i}$ を求める。
- ② 次に伝熱管温度より1次側流体温度、2次側エンタルピを算出する。ここで使用する Q は、上で求めた $T_{M,j,i}$ と $T_{2,j,i-1}$ より以下の式で求める。

$$Q_{2,j,i} = S_2 h_{2,j,i} (T_{M,j,i} - T_{2,j,i-1}) \quad (3-3-13)$$

- ③ 最後に、2次側（水・蒸気）のエンタルピより換算温度 $T_{2,j,i}$ とクオリティを算出する。

3.4 補助冷却器

(1) 概要

現在のAHX（補助冷却器）は、U字管タイプのバッフル板付の水/ヘリウム熱交換器となっており、1次ヘリウムが管外を、水が管内を流れる。

AHX部の模擬は、1本の伝熱管について行ない、その解法モデルは、集中定数モデルとし、伝熱管の軸方向の熱伝導は無視する。格子点を径方向の各物質区分について1点、軸方向には、任意の等分割により定める。

(2) 計算モデル

Fig. 3.4の解析モデルより次の熱平衡式が成り立つ。

第1水側領域

$$C_{w1,j,i} M_{w1,j,i} \frac{\partial T_{w1,j,i}}{\partial t} = S_1 h_{1,j,i} (T_{M1,j,i} - T_{w1,j,i}) + C_{w1,j,i} W_{w1} (\theta_{w1,j+1,i} - \theta_{w1,j,i}) \quad (3-4-1)$$

第1 伝熱管領域

$$C_{M1,j,i} M_{M1,j,i} \frac{\partial T_{M1,j,i}}{\partial t} = S_1 h_{1,j,i} (T_{w1,j,i} - T_{M1,j,i}) \\ + S_2 \cdot h_{2,j,i} (T_{H,j,i} - T_{M1,j,i}) \quad (3-4-2)$$

1次ヘリウム側領域

$$C_{H,j,i} M_{H,j,i} \frac{\partial T_{H,j,i}}{\partial t} = S_2 h_{2,j,i} (T_{M1,j,i} - T_{H,j,i}) \\ + S_3 h_{3,j,i} (T_{M2,j,i} - T_{H,j,i}) \\ + C_{H,j,i} W_H (\theta_{H,j,i} - \theta_{H,j+1,i}) \quad (3-4-3)$$

第2 伝熱管領域

$$C_{M2,j,i} M_{M2,j,i} \frac{\partial T_{M2,j,i}}{\partial t} = S_3 h_{3,j,i} (T_{H,j,i} - T_{M2,j,i}) \\ + S_4 h_{4,j,i} (T_{w2,j,i} - T_{M2,j,i}) \quad (3-4-4)$$

第2 水側領域

$$C_{w2,j,i} M_{w2,j,i} \frac{\partial T_{w2,j,i}}{\partial t} = S_4 h_{4,j,i} (T_{M2,j,i} - T_{w2,j,i}) \\ + C_{w2,j,i} W_{w2} (\theta_{w2,j,i} - \theta_{w2,j+1,i}) \quad (3-4-5)$$

以上の式において使用されている記号の説明は、以下のとおりである。

C = 比熱 (K cal / kg °C)	添字 W1 : 第1水側
M = 重量 (kg)	M1 : 第1伝熱管
T = 代表温度 (°C)	H : ヘリウム側
S = 伝熱面積 (m ²)	M2 : 第2伝熱管
h = 熱伝達率 (K cal / m ² sec °C)	W2 : 第2水側
W = 流量 (kg / sec)	j : 流れ方向メッシュ番号
θ = グリッドライン温度 (°C)	i : タイムメッシュ番号
t = 時間 (sec)	

解法については、時間微分項を Δt 前の温度を用いて差分化しインプリシットに求める。

第1水側領域について

$$\theta_{w1,j,i} = 2 T_{w1,j,i} - \theta_{w1,j+1,i} \quad (3-4-6)$$

を使用して

$$\begin{aligned}
& C_{w1,j,i} M_{w1,j,i} (T_{w1,j,i} - T_{w1,j,i-1}) \\
& = \{ S_1 h_{1,j,i} (T_{M1,j,i} - T_{w1,j,i}) \\
& + C_{w1,j,i} W_{w1} (\theta_{w1,j+1,i} - \theta_{w1,j,i}) \} \Delta t \quad \text{から} \quad (3-4-7)
\end{aligned}$$

$$T_{w1,j,i} = \frac{C_{w1,j,i} M_{w1,j,i} \cdot T_{w1,j,i-1} + S_1 h_{1,j,i} \Delta t \cdot T_{M1,j,i} + 2C_{w1,j,i} W_{w1} \Delta t \cdot \theta_{w1,j+1,i}}{C_{w1,j,i} M_{w1,j,i} + S_1 h_{1,j,i} \Delta t + 2C_{w1,j,i} W_{w1} \Delta t} \quad (3-4-8)$$

と近似する。

$$\text{また } \theta_{w1,j,i} = 2 T_{w1,j,i} - \theta_{w1,j+1,i} \quad (3-4-9)$$

同様に第1伝熱管領域について

$$\begin{aligned}
& C_{M1,j,i} M_{M1,j,i} (T_{M1,j,i} - T_{M1,j,i-1}) \\
& = \{ S_1 h_{1,j,i} (T_{w1,j,i} - T_{M1,j,i}) \\
& + S_2 h_{2,j,i} (T_{H,j,i} - T_{M1,j,i}) \} \Delta t \quad \text{から} \quad (3-4-10)
\end{aligned}$$

$$T_{M1,j,i} = \frac{C_{M1,j,i} M_{M1,j,i} T_{M1,j,i-1} + S_1 h_{1,j,i} \Delta t \cdot T_{w1,j,i} + S_2 h_{2,j,i} \Delta t \cdot T_{H,j,i}}{C_{M1,j,i} M_{M1,j,i} + S_1 h_{1,j,i} \Delta t + S_2 h_{2,j,i} \Delta t} \quad (3-4-11)$$

と近似する。

また、1次ヘリウム側領域について、

ヘリウムの熱容量は、伝熱管や水に比べて小さいので定常近似^{*}して時間微分項を省略し、

$$\begin{aligned}
& S_2 h_{2,j,i} (T_{M1,j,i} - T_{H,j,i}) + S_3 h_{3,j,i} (T_{M2,j,i} - T_{H,j,i}) \\
& + C_{H,j,i} \cdot W_H (\theta_{H,j,i} - \theta_{H,j+1,i}) = 0 \quad (3-4-12)
\end{aligned}$$

よって

$$T_{H,j,i} = \frac{S_2 h_{2,j,i} \cdot T_{M1,j,i} + S_3 h_{3,j,i} T_{M2,j,i} + C_{H,j,i} W_H (\theta_{H,j,i} - \theta_{H,j+1,i})}{S_2 h_{2,j,i} + S_3 h_{3,j,i}} \quad (3-4-13)$$

$$\text{また, } \theta_{H,j+1,i} = 2 T_{H,j,i} - \theta_{H,j,i} \quad (3-4-14)$$

また第2伝熱管領域、第2水側領域は同様に

$$T_{M2,j,i} = \frac{C_{M2,j,i} M_{M2,j,i} T_{M2,j,i-1} + S_3 h_{3,j,i} \Delta t \cdot T_{H,j,i} + S_4 h_{4,j,i} \Delta t \cdot T_{w2,j,i}}{C_{M2,j,i} M_{M2,j,i} + S_3 h_{3,j,i} \Delta t + S_4 h_{4,j,i} \Delta t} \quad (3-4-15)$$

*) 附録-D参照

$$T_{w2,j,i} = \frac{C_{w2,j,i} M_{w2,j,i} T_{w2,j,i-1} + S_4 h_{4,j,i} \Delta t \cdot T_{M2,j,i} + 2 C_{w2,j,i} \cdot W_{w2} \Delta t \cdot \theta_{w2,j,i}}{C_{w2,j,i} M_{w2,j,i} + S_4 h_{4,j,i} \Delta t + 2 C_{w2,j,i} W_{w2} \Delta t} \quad (3-4-16)$$

$$\text{また } \theta_{w2,j+1,i} = 2 T_{w2,j,i} - \theta_{w2,j,i} \quad (3-4-17)$$

また格子点間の等価熱伝達率の計算は、IHX部の模擬と同様に平板モデルを仮定し求める。

補助冷却器の温度計算は、任意のタイムステップにおける計算で、 Δt 時間前の伝熱管の温度 $T_{M1,j,i-1}$, $T_{M2,j,i-1}$ を近似的に $T_{M1,j,i}$, $T_{M2,j,i}$ とし、水側温度、ヘリウム側温度、 $T_{w1,j,i}$, $T_{w2,j,i}$, $T_{H,j,i}$ を求める。その後、これらの温度を使用して伝熱管温度 $T_{M1,j,i}$, $T_{M2,j,i}$ を求める。

3.5 高温二重配管の模擬及び解法

(1) 概要

現在の二重配管の設計は、1次系配管においては、内側から、高温側冷却材、ライナ部、積層金属断熱材、仕切管、繊維状断熱材、内管、低温側冷却材、外管、保温材で構成されていて、2次系配管においては、ライナ部と内管の間に同一な断熱材を使用していて、仕切管がない構造となっている。

二重管部は、径方向には、高温側冷却材、ライナ、内管、低温側冷却材、外管を各々1領域とし、断熱材の効果は、内管/ライナ間の熱伝達式の中に含まれている。また同様に保温材の効果は外管/雰囲気間の熱伝達式の中に含まれている。また、軸方向には配管の長さに応じて最大20領域まで分割が可能である。

(2) 計算モデル

Fig. 3.5 に解析モデルを示す。

各領域につき次のエネルギー保存式を解く。

高温側冷却材領域

$$C_{c1,j,i} M_{c1,j,i} \frac{\partial T_{c1,j,i}}{\partial t} = (UA)_{\ell c1} (T_{\ell,j,i} - T_{c1,j,i}) + C_{c1,j,i} W_{c1} (\theta_{c1,j,i} - \theta_{c1,j+1,i}) \quad (3-5-1)$$

ライナ部領域

$$C_{\ell,j,i} M_{\ell,j,i} \frac{\partial T_{\ell,j,i}}{\partial t} = (UA)_{\ell p1} (T_{p1,j,i} - T_{\ell,j,i}) + (UA)_{\ell c1} (T_{c1,j,i} - T_{\ell,j,i}) \quad (3-5-2)$$

内管領域

$$C_{p1,j,i} M_{p1,j,i} \frac{\partial T_{p1,j,i}}{\partial t} = (UA)_{p1co} (T_{co,j,i} - T_{p1,j,i}) + (UA)_{\ell p1} (T_{\ell,j,i} - T_{p1,j,i}) \quad (3-5-3)$$

低温側冷却材領域

$$C_{co,j,i} M_{co,j,i} \frac{\partial T_{co,j,i}}{\partial t} = C_{co,j,i} W_{co} (\theta_{co,j,i} - \theta_{co,j+1,i}) + (UA)_{p1co} (T_{p1,j,i} - T_{co,j,i}) + (UA)_{poco} (T_{po,j,i} - T_{co,j,i}) \quad (3-5-4)$$

外管領域

$$C_{po,j,i} M_{po,j,i} \frac{\partial T_{po,j,i}}{\partial t} = (UA)_{poco} (T_{co,j,i} - T_{po,j,i}) + (UA)_{poa} (T_{po,j,i} - T_a) \quad (3-5-5)$$

上記の各式に使用されている記号の意味は、以下のとおりである。

C = 比熱 (K cal / kg °C)

M = 重量 (kg)

T = 代表温度 (°C)

UA = 伝熱面積と熱伝達率をかけたもの (K cal / sec °C)

W = 流量 (kg / sec)

θ = グリッドライン温度 (°C)

t = 時間 (sec)

添字 cl, 高温側冷却材

ℓ , ライナ

p1, 内管

co, 低温側冷却材

po, 外管

a, 雰囲気

ℓcl , ライナ, 高温側冷却材

$\ell p1$, ライナ, 内管間

$p1co$, 内管, 低温側冷却材間

$poco$, 外管, 低温側冷却材間

poa , 外管, 雰囲気間

断熱材の効果を含むライナ/内管間の実質的な熱伝達率 $(UA)_{\ell p1}$ と保温材の効果を含む外管/雰囲気間の実質的な熱伝達率 $(UA)_{poa}$ は、初期値として与えた入口、出口の冷却材温度条件より算出し、過渡計算時にも変化はないものとする。冷却材及び内管、外管、ライナ部

温度分布は、平板モデルを仮定した等価熱伝達率及び形状で決まる伝熱面積によりタイムステップごとに計算される。また、雰囲気温度 T_a は、入力により一定値を与える。

3.6 その他

(1) 原子炉反射体部

炉心をバイパスして反射体部を流れる冷却材は、反射体と冷却材とで理想的な熱交換が行なわれると仮定し、反射体を出る冷却材の温度が反射体の温度に等しいとする。

$$(C_{ref} M_{ref} + C_c M_c) \frac{\partial T_c(t)}{\partial t} = q_{ref}(t) + C_c W_c (T_c(t) - T_c^i(t)) \quad (3-6-1)$$

ここで $q_{ref}(t)$ は炉心の出力に応じて比例して変化する。なお、冷却材の炉心バイパス量は入力により一定値を与える。

(2) ヘリウム循環機

以下の式によりヘリウム循環機の昇温計算のみを行なう。

$$\Delta T = T_{IN} \left[\left(\frac{P_{out}}{P_{IN}} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right] \frac{1}{\eta} \quad (3-6-2)$$

よって

$$T_{out} = T_{IN} \left[\left(\frac{P_{out}}{P_{IN}} \right)^{\frac{K-1}{K}} \cdot \frac{1}{\eta} + 1 - \frac{1}{\eta} \right] \quad (3-6-3)$$

ここで

$\frac{K-1}{K}$: K がヘリウムの比熱比 (= 1.66) なので 0.398 とする。

η : ヘリウム循環機の効率 ($\frac{1}{\eta}$ はたとえば 1.3 一定としている)

T_{IN} : ヘリウム循環機入口温度 ($^{\circ}\text{C}$)

T_{out} : ヘリウム循環機出口温度 ($^{\circ}\text{C}$)

また

$$\frac{P_{out}}{P_{IN}} = \frac{Z_{pHO}}{Z_{pHO} - PE1 (ZZWH/ZZWHO)^2} \quad (3-6-4)$$

ここで、

Z_{pHO} は循環機出口の定格圧力 (kg/cm^2)

$PE1$ は定格時のヘリウム循環機の揚程 (kg/cm)

$ZZWH$ はループの流量 (kg/sec)

$ZZWHO$ は定常時のループ流量 (kg/sec)

から求める。

(2) 炉停止又は小出力時の崩壊熱出力の計算 (shure の式)

スクラム開始後の時刻 t により次のように出力割合 (power) が変化する。

$$\text{power} = 0.0603 \times 1.2 + \alpha \quad (0 \sim 1 \text{ sec}) \quad (3-6-5)$$

$$= 0.0603 \times 1.2 / t^{0.0639} + \alpha \quad (1 \sim 10 \text{ sec}) \quad (3-6-6)$$

$$= 0.0766 \times 1.2 / t^{0.1807} + \alpha \quad (10 \sim 150 \text{ sec}) \quad (3-6-7)$$

$$= 0.130 \times 1.2 / t^{0.2834} + \alpha \quad (150 \sim 4 \times 10^6) \quad (3-6-8)$$

$$= 0.266 \times 1.2 / t^{0.335} + \alpha \quad (4 \times 10^6 \text{ sec}) \quad (3-6-9)$$

ただし、 t の値によって α は以下のような値をとる。

$$\sim 10^3 \text{ sec} \quad \rightarrow 0.003$$

$$10^3 \sim 10^4 \text{ sec} \quad \rightarrow 0.0025$$

$$10^4 \sim 10^5 \quad \rightarrow 0.0015$$

$$10^5 \sim 2 \times 10^5 \quad \rightarrow 0.0012$$

$$2 \times 10^5 \sim 3 \times 10^5 \quad \rightarrow 0.0008$$

$$3 \times 10^5 \quad \rightarrow 0.00052$$

その他の模擬については、参考文献 3-5) を参照されたい。

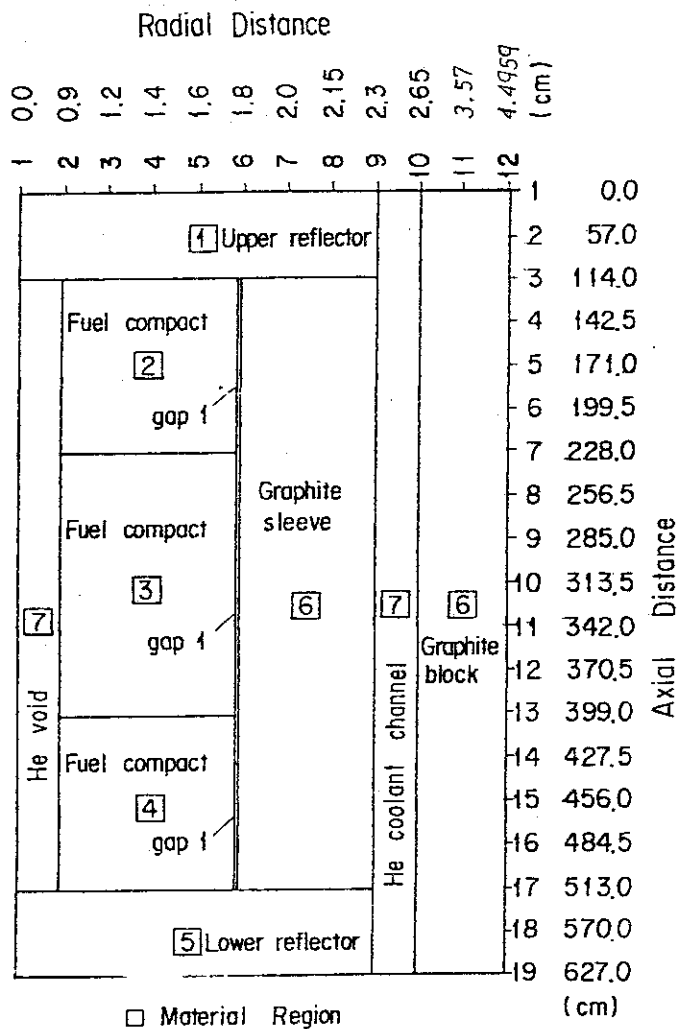


Fig.3.1 Fuel Channel Model

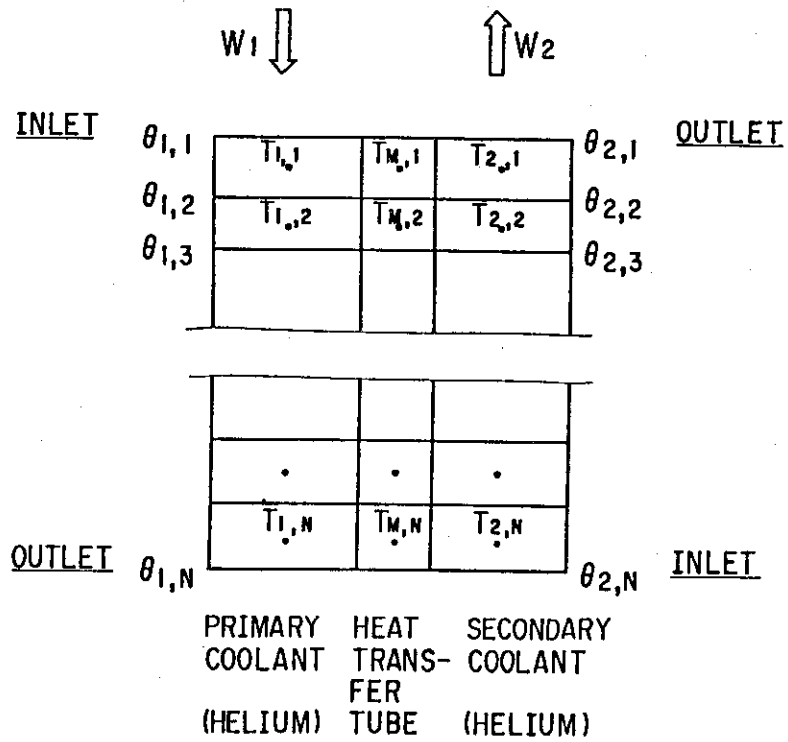


Fig.3.2 Intermediate Heat Exchanger Model

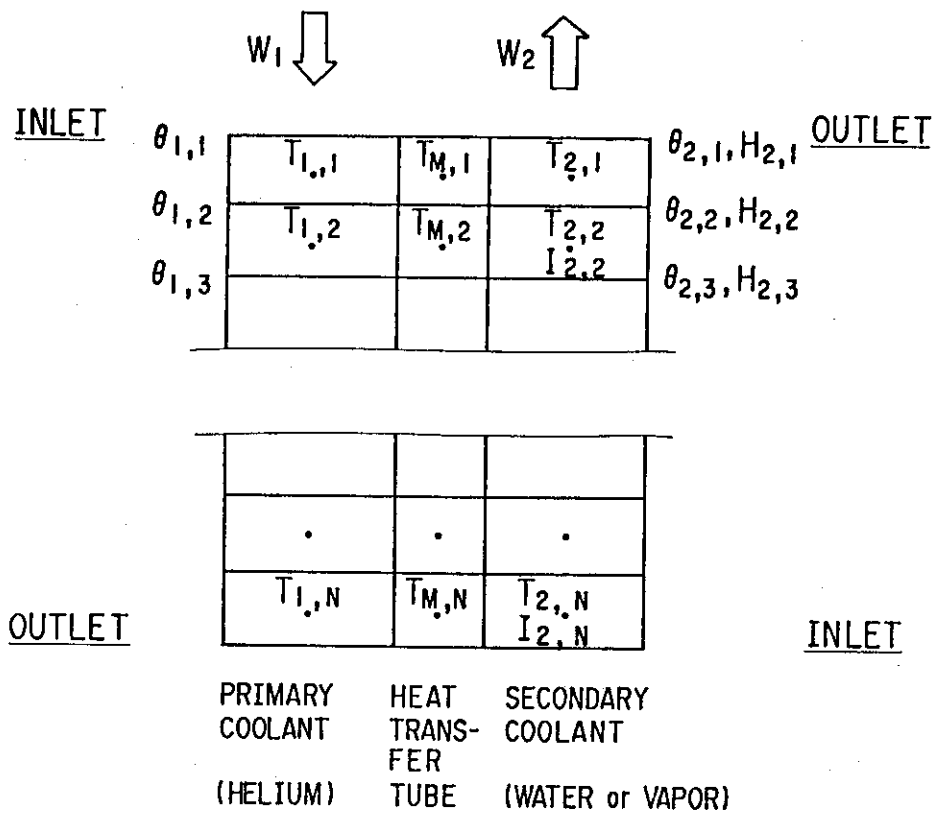


Fig.3.3 Steam Generator Model

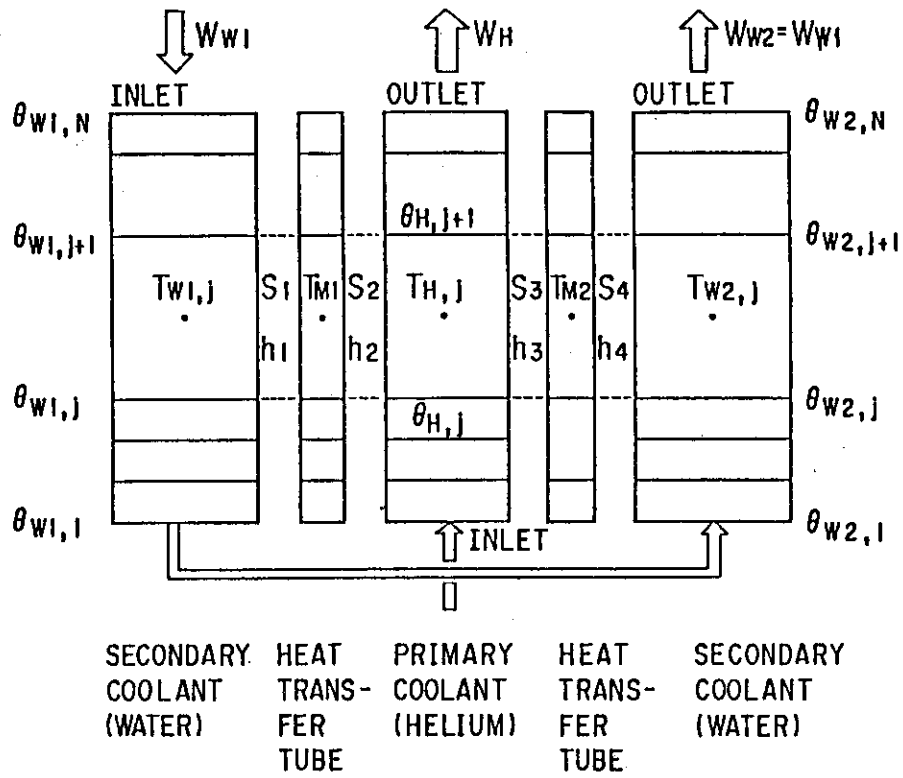


Fig.3.4 Auxiliary Heat Exchanger Model

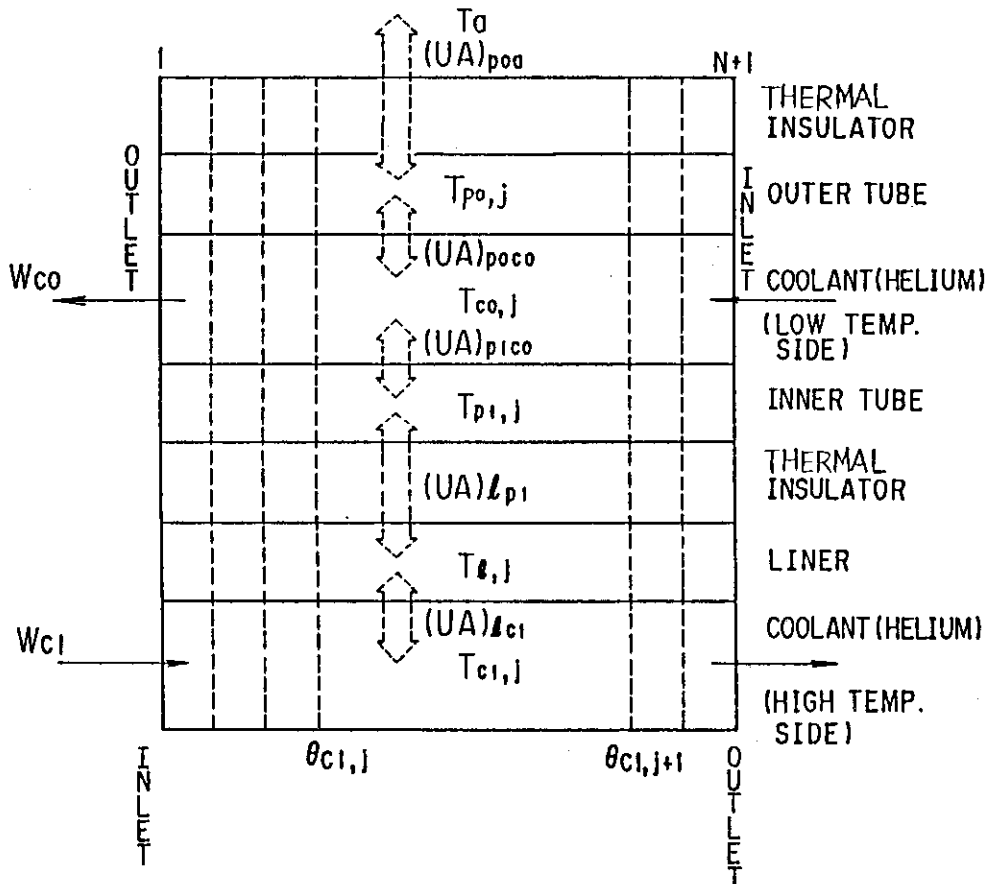


Fig.3.5 Coaxial Double Wall Piping Model

4. 熱伝達式及び物性値

4.1 熱伝達式

ここでは、現在本コード内に使用されている各プラント要素ごとの熱伝達式について簡単に列記した。

使用する式中の記号の意味は以下のとおりである。

- Nu : ヌッセルト数
- Re : レイノルズ数
- Pr : プラントル数
- T_b : 流体温度 (°C)
- T_w : 壁温度 (°C)
- C_H : 修正係数
- η_b : 流体温度における粘性係数 (kg/m・sec)
- η_w : 壁温度における粘性係数 (kg/m・sec)

4.1.1 炉 心

環状流路に対する熱伝達式として Table 4.1⁴⁻¹⁾ を使用した。

4.1.2 中間熱交換器

(1) 管内流体 - 2次側

$$\textcircled{1} \quad Nu = 0.027 \times Re^{0.8} \times Pr^{1/3} \times \left(\frac{\eta_b}{\eta_w} \right)^{0.14} \quad (Re \geq 6000.)^{4-2)} \quad (4-1-1)$$

$$\textcircled{2} \quad Nu = 4.36 \quad (Re \leq 3000)^{4-3)} \quad (4-1-2)$$

$$\textcircled{3} \quad Nu_1 = 0.027 \times 6000^{0.8} \times Pr^{1/3} \times \left(\frac{\eta_b}{\eta_w} \right)^{0.14} \quad (4-1-3)$$

$$Nu_2 = 4.36 \quad (4-1-4)$$

$$Nu = Nu_1 - \frac{Nu_1 - Nu_2}{3000} (6000 - Re) \quad (3000 < Re < 6000) \quad (4-1-5)$$

(2) 管外流体 - 1次側

$$\textcircled{1} \quad Nu = 0.33 \times C_H \times Re^{0.6} \times Pr^{0.3} \quad (Re \geq 2000.)^{4-4)} \quad (4-1-6)$$

$$\textcircled{2} \quad Nu = 0.615 \times Re^{0.466} \quad (Re \leq 1000)^{4-5)} \quad (4-1-7)$$

$$\textcircled{3} \quad Nu_1 = 0.33 \times C_H \times 2000^{0.6} \times Pr^{0.3} \quad (4-1-8)$$

$$Nu_2 = 0.615 \times 1000^{0.466} \quad (4-1-9)$$

$$Nu = Nu_1 - \frac{Nu_1 - Nu_2}{1000} (2000 - Re) \quad (1000 < Re < 2000) \quad (4-1-10)$$

4.1.3 蒸気発生器

(1) 管内流体-水蒸気側

① サブクール域 $Nu = 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{1/3}$ (Dittus & Boelter の式)⁴⁻²⁾
(4-1-11)

② 核沸騰域 $q = \left(\frac{\Delta t_{sat}}{0.072} e^{Pr/1260} \right)^2$ (Thom の式)⁴⁻⁶⁾ (4-1-12)

③ 強制循環蒸発域 $Nu = 0.0575 \cdot Pr_f^{0.4} \left[\frac{GD_e}{\mu} (1-x) \right]^{0.8} \cdot \left(\frac{1}{x^{1.1}} \right)^{0.75}$
(4-1-13)

ここで

$$\frac{1}{x^{1.1}} = \left(\frac{1}{1-x} \right)^{0.9} \left(\frac{\rho_f}{\rho_g} \right)^{0.5} \left(\frac{\mu_g}{\mu_f} \right)^{0.1} \quad (\text{Schrock の式})^{4-7)}$$

(4-1-14)

④ 過熱蒸気領域 $Nu = 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{1/3}$ (4-1-15)

各伝熱式の選定法は、次のとおり。ここで x : クオリティ, α : ボイド率。

- a) $\alpha < 0, T_M < T_{sat}$ ①式
- b) $\alpha < 0, T_M \geq T_{sat}$ ①と②式を比べ熱伝達係数の大きい方
- c) $0 \leq \alpha < 0.8$ ②式
- d) $0.8 \leq \alpha < 0.9$ ②式と③式の内挿
- e) $0.9 \leq \alpha < 1.0$ ③式
- f) $\alpha \geq 1.0$ ④式

ただし、ボイド率 α は、次式により求める。

$$\alpha = \frac{xv_g}{S(1-x)v_l + xv_g} \quad (4-1-16)$$

ここで、 S : スリップ比 (-) (= 1.0 を入力している。)

v_l : 飽和水の比容積 (m³/kg)

v_g : 飽和蒸気の比容積 (m³/kg)

(2) 管外流体-ヘリウム側

$$Nu = 0.222 Re^{0.6} Pr^{1/3} \quad (\text{Donohue の式})^{4-8)}$$

(4-1-17)

4.1.4 補助冷却器

(1) 管外流体—ヘリウム側

$$\text{Nu} = 0.222 \text{Re}^{0.6} \text{Pr}^{1/3} \quad (\text{Donohue の式}) \quad (4-1-18)$$

(2) 管内流体—水側

$$\text{Nu} = 0.023 \cdot \text{Re}^{0.8} \text{Pr}^{0.4} \quad (\text{Dittus - Boelter の式}) \quad (4-1-19)$$

4.2 物性値

本コードは、ヘリウム、水および炉心構造材料について必要な物性値を組み込んでいる。ここに記されていないものは入力データとして与える。

4.2.1 ヘリウム

(1) 比熱 C P : 圧力 ($\text{kg}/\text{cm}^2 \text{G}$), T : 温度 ($^{\circ}\text{C}$)

$$\circ 0 \leq T < 100^{\circ}\text{C}$$

$$C = (-0.28 \times 10^{-4} T + 1.252) + (P - 50) (400 - T) \times 10^{-7} \quad [\text{kcal}/\text{kg}^{\circ}\text{C}]$$

$$\circ 100 \leq T < 400^{\circ}\text{C}$$

(4-2-1)

$$C = (0.15 \times 10^{-4} T + 1.2462) + (P - 50) (400 - T) \times 10^{-7} \quad [\text{kcal}/\text{kg}^{\circ}\text{C}]$$

$$\circ 400 \leq T < 800^{\circ}\text{C}$$

(4-2-2)

$$C = (0.178 \times 10^{-4} T + 1.2451) + K(T - 400) \times |P - 50| \times 10^{-7}$$

[kcal/kg $^{\circ}\text{C}$]

$$\circ 800 \leq T$$

(4-2-3)

$$C = (0.135 \times 10^{-4} T + 1.2485) + K(T - 400) \times |P - 50| \times 10^{-7}$$

[kcal/kg $^{\circ}\text{C}$]

ここで,

(4-2-4)

$$P \leq 50 : K = 0.9$$

$$P > 50 : K = 0.3$$

(2) 密度 ρ P : 圧力 ($\text{kg}/\text{cm}^2 \text{G}$), T : 温度 ($^{\circ}\text{C}$)

$$\rho = \frac{10}{1 + 0.00351 T} \times \frac{P}{60} \quad [\text{kg}/\text{m}^3] \quad (4-2-5)$$

(3) 熱伝導率 λ T : 温度 ($^{\circ}\text{C}$)

$$\circ 0 \leq T < 400^{\circ}\text{C}$$

$$\lambda = (6.25 \times 10^{-4} T + 0.35) \times 10^{-4} \quad [\text{kcal}/\text{m sec}^{\circ}\text{C}] \quad (4-2-6)$$

$$\circ 400 \leq T < 600^{\circ}\text{C}$$

$$\lambda = (5.5 \times 10^{-4} T + 0.38) \times 10^{-4} \quad [\text{kcal}/\text{m sec}^{\circ}\text{C}] \quad (4-2-7)$$

$$\circ 600 \leq T < 800^{\circ}\text{C}$$

$$\lambda = (5.25 \times 10^{-4} T + 0.395) \times 10^{-4} \quad [\text{kcal}/\text{m sec}^{\circ}\text{C}] \quad (4-2-8)$$

$$\circ 800^{\circ}\text{C} \leq T \quad (4-2-9)$$

$$\lambda = (4.25 \times 10^{-4} T + 0.475) \times 10^{-4} \quad [\text{kcal} / \text{m sec}^{\circ}\text{C}]$$

(4) 粘性係数 η T : 温度 ($^{\circ}\text{C}$)

$$\eta = \left\{ \frac{1.799}{g \times 10^6} \times 0.8779 \times \left(\frac{T + 273.15}{6.03} \right)^{0.645} \right\} \quad (\text{kg} \cdot \text{sec} / \text{m}^2) \quad (4-2-10)$$

ここで, g : 加速度 [m / sec^2] 9.8

4.3.2. 水

(1) 飽和温度 T_{sat} P : 圧力 ($\text{kg} / \text{cm}^2 \text{G}$)

$$\circ P < 0.1$$

$$T_{\text{sat}} = (C_0 + X(C_1 + X(C_2 + X(C_3 + X(C_4 + X(C_5 + X(C_6 + C_7))))))) / YS \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (4-3-1)$$

ここで,

$$C_0 = -1.4027184$$

$$C_1 = 2.9622845$$

$$C_2 = -1.1582744$$

$$C_3 = 3.1894969 \times 10^{-1}$$

$$C_4 = -5.5043472 \times 10^{-2}$$

$$C_5 = 5.6724437 \times 10^{-3}$$

$$C_6 = -3.1813374 \times 10^{-4}$$

$$C_7 = 7.4526790 \times 10^{-6}$$

$$X = 100 \times P$$

$$YS = 0.1$$

$$\circ 0.1 \leq P < 1.5$$

$$T_{\text{sat}} = (C_0 + X(C_1 + X(C_2 + X(C_3 + X(C_4 + X(C_5 + C_6 X)))))) / YS \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (4-3-2)$$

ここで,

$$C_0 = 1.3909155$$

$$C_1 = 4.4918984$$

$$C_2 = 1.7145823$$

$$C_3 = 3.9849678 \times 10^{-1}$$

$$C_4 = -5.0037269 \times 10^{-2}$$

$$C_5 = 3.1144544 \times 10^{-3}$$

$$C_6 = 7.4511981 \times 10^{-5}$$

$$X = 10 \times P$$

$$YS = 0.1$$

$$\circ 1.5 \leq P < 10$$

$$T_{\text{sat}} = (C_0 + X(C_1 + X(C_2 + X(C_3 + X(C_4 + X(C_5 + X(C_6 + (C_7$$

$$+ X(C_8 + C_9 X))))) / YS \quad [^{\circ}\text{C}]$$

ここで,

(4-3-3)

$$C_0 = 5.4115033 \times 10^{-1}$$

$$C_1 = 7.1971995 \times 10^{-1}$$

$$C_2 = 4.0200320 \times 10^{-1}$$

$$C_3 = 1.7558544 \times 10^{-1}$$

$$C_4 = 5.3055241 \times 10^{-2}$$

$$C_5 = 1.0852398 \times 10^{-2}$$

$$C_6 = -1.4695072 \times 10^{-3}$$

$$C_7 = 1.2579400 \times 10^{-4}$$

$$C_8 = -6.1513953 \times 10^{-6}$$

$$C_9 = 1.3072177 \times 10^{-7}$$

$$X = P$$

$$YS = 0.1$$

○ $10 \leq P < 100$

$$T_{\text{sat}} = (C_0 + X(C_1 + X(C_2 + X(C_3 + X(C_4 + X(C_5 + X(C_6 + X(C_7 + X(C_8 + X(C_9 + C_{10} X)))))))) / YS \quad [^{\circ}\text{C}]$$

ここで,

(4-3-4)

$$C_0 = 1.0164701$$

$$C_1 = 1.3449215$$

$$C_2 = -9.08884 \times 10^{-1}$$

$$C_3 = 4.68342 \times 10^{-1}$$

$$C_4 = -1.63775 \times 10^{-1}$$

$$C_5 = 3.86696 \times 10^{-2}$$

$$C_6 = -6.15224 \times 10^{-3}$$

$$C_7 = 6.4865 \times 10^{-4}$$

$$C_8 = -4.3375 \times 10^{-5}$$

$$C_9 = 1.66387 \times 10^{-6}$$

$$C_{10} = -2.78632 \times 10^{-8}$$

$$X = 0.1 \times P$$

$$YS = 0.1$$

○ $100 \leq P$

$$T_{\text{sat}} = (C_0 + X(C_1 + X(C_2 + X(C_3 + X(C_4 + X(C_5 + X(C_6 + XC_7))))) / YS \quad [^{\circ}\text{C}]$$

ここで,

(4-3-5)

$$C_0 = 2.0679536$$

$$C_1 = 0.847035$$

$$C_2 = 1.6565001$$

$$\begin{aligned}
 & - 90.273 / (T + 273.16) - 4.3449 \times 10^4 / (T + 273.16)^2 \\
 & + 1.5931 \times 10^7 / (T + 273.16)^3 \\
 & - 1.4369 \times 10^9 / (T + 273.16)^4 \quad T : [^{\circ}\text{C}] \quad (4-4-2)
 \end{aligned}$$

③ 比重量 γ (kg/m³)

$$\gamma = 1800 \quad (4-4-3)$$

(2) 燃料コンパクト

① 熱伝導率 K (kcal / m sec $^{\circ}\text{C}$)

$$K = 0.003 \quad (4-4-4)$$

② 比熱 C (kcal / kg $^{\circ}\text{C}$)

$$\begin{aligned}
 C = 0.2521 + 5.707 \times 10^{-5} \times T - 1.0378 \times 10^4 / (T + 273.16)^2 \\
 T : [^{\circ}\text{C}] \quad (4-4-5)
 \end{aligned}$$

③ 比重量 γ (kg/m³)

$$\gamma = 2420 \quad (4-4-6)$$

Table 4.1 熱伝達率計算式(環状流路)⁴⁻¹⁾

流れの領域	熱伝達率(ヌッセルト数)	記号
層流域 ($Re < Re'$)	$Nu_L(Re) = C(\alpha) \cdot (T_b/T_w)^{0.5}$ $= [-4.8268 \alpha^3 + 1.27516 \alpha^2 - 1.22505 \alpha + 9.7170] \cdot (T_b/T_w)^{0.5}$	$\alpha = d_i/d_o$ d_i : 流路内径 (cm) d_o : 流路外径 (cm) T_b : 流体温度 (°K) T_w : 壁温度 (°K)
遷移域 ($Re' \leq Re \leq 5000$)	$Nu_R(Re) = \xi \cdot Nu_H(Re) \cdot (T_b/T_w)^{0.5}$ <p>ここで</p> $\xi = Nu_t(5000) / Nu_H(5000)$ $Nu_H(Re) = 0.116(Re)^{2/3} - 1.25 \cdot Pr^{1/3}$ $Nu_t(Re) = 0.018(1/\alpha)^{0.1} \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.4}$	Re' : $Nu_L(Re') = Nu_R(Re')$ とするレイノルズ数
乱流域 ($5000 < Re$)	$Nu(Re) = 0.018(1/\alpha)^{0.1} \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.4} \cdot (T_b/T_w)^{0.5}$	$\alpha = d_i/d_o$ d_i : 流路内径 (cm) d_o : 流路外径 (cm)

5. 解析例

5.1 各機器の応答

5.1.1 中間熱交換器

(1) 定常計算結果

実験炉のAループ IHX 詳細設計(I)ベースの入力を与えた定常時の出口温度と対応した熱設計値の比較を Table 5.1 に示す。参考として熱計算汎用コード TAC-2D を使用した場合の出口温度との比較を示す。設計値と ICARUS 計算値とのずれは、出口温度にして 5～15℃、交換熱量にして 1～3% の範囲に収まった。また計算値における熱バランス(1次側放熱量と2次側受熱量の差)は、0.1%以下であり、設計値との良好な一致を示している。

(2) 外乱応答解析

次の4種類のステップ状小外乱及び1種類の大外乱に対する詳細設計(I)ベースのAループ IHX の応答を解析した。

(小外乱)

- ケース 1. 1次側 He 入口温度 100℃ 減少 (Fig. 5.1)
- ケース 2. 2次側 He 入口温度 30℃ 減少 (Fig. 5.2)
- ケース 3. 1次側 He 流量 10% 減少 (Fig. 5.3)
- ケース 4. 2次側 He 流量 10% 減少 (Fig. 5.4)

(大外乱)

- ケース 5. 1次側 He 流量を1%にステップダウン (Fig. 5.5)

なおケース3、ケース5について、それぞれ Fig. 5.6, 5.7 に内部の温度分布変化を示した。

とくにケース5に関してGA社が開発した汎用二次元熱計算コード TAC-2D で同様なモデル及び入力条件で解析した場合の出口温度応答を Fig. 5.8、内部温度分布変化を Fig. 5.9 に示した。ICARUS、TAG-2D 両コードの結果はほぼ良好な一致を示しており、中間熱交換器のモデルの妥当性が検証されたといえる。

5.1.2 蒸気発生器

(1) 定常計算結果

実験炉のA、B両ループのSGに対する詳細設計(I)ベースの入力を与えた定常時の出口温度、及びそれと対応した熱設計値の比較を Table 5.2 に示す。

設計値と計算値との差は、ヘリウム側出口温度にして7～8℃、水・蒸気側出口クオリティにして0.3%である。また計算値における熱バランス(ヘリウム側の失った熱量と水蒸気側の得た熱量の差)は数%であり、設計値との良好な一致を示している。

(2) 外乱応答解析

次の4種類のステップ状外乱に対する詳細設計(I)ベースのAループSGの応答を解析した。

- ケース1：ヘリウム側入口温度 100°C 減少 (Fig. 5.10)
- ケース2：水蒸気側入口温度 20°C 減少 (Fig. 5.11)
- ケース3：ヘリウム側流量 10% 減少 (Fig. 5.12)
- ケース4：水蒸気側流量 10% 減少 (Fig. 5.13)

5.1.3 高温二重配管

(1) 外乱応答解析

次の2種類のステップ状外乱に対する詳細設計(I)ベースのAループ次系（原子炉↔補助冷却器への分岐点間）の二重配管の応答解析を行った。

- ケース1：流量 50% 減少 (Fig. 5.14)
- ケース2：高温側入口温度 100°C 減少 (Fig. 5.15)

なおこれらのケースにおいてTAC-2Dコードで同様なモデル及び入力条件で解析した場合の解析結果を同図に示している。ICARUSとTAC-2Dとの良好な一致を示している。

次にケー-3として流量を10%までステップ減少させた場合の計算結果をFig. 5.16に示す。このケースでは、ICARUSの方がやや速い応答を示し最大で約10°C程度の差が見られる。応答が速い理由として、ICARUSのモデルでは断熱材の熱容量を考慮していないことが考えられる。

5.2 プラント総合挙動

実験炉プラント全体を模擬した解析として外部電源喪失事象と1次冷却材流量減少事象の2ケースについて解析を行った。解析に必要な入力データは原則として詳細設計(I)に拠った。

5.2.1 定常状態の温度

Fig. 5.17にICARUSによる詳細設計(I)ベースの定常計算結果を、設計値と対比して示す。設計値とICARUSの計算値とは良い一致を見せている。

5.2.2 外部電源の喪失

この事象は、送電システムの故障や所内電気設備の故障などにより、所内補機の動力の一部、又は全部が喪失し、運転状態が乱される現象として考えられる。所内補機用電源が喪失すると、瞬時に母線電圧低もしくは母線周波数低により原子炉はスクラムする。一方、1次系および2次系循環機や給水ポンプも同時にトリップして、各冷却材流量はコストダウンする。そして1次系流量が10%に達した時点で、それまでに確立した非常用電源により立上った補助冷却系による冷却運転が続行される。

実際の解析では、1次系および2次系の冷却材流量は詳細設計(I)の循環機停止曲線に従って減少するものとしたが、3次系の再循環ポンプの停止特性については未決定なので、簡単なた

めに定格流量が維持されるものとした。このような条件を仮定しても、補助冷却系に切換わるまでに原子炉へ及ぼす影響はほとんどなく無視し得る。

解析結果をFig. 5.18に示す。事象発生と同時に原子炉はスクラムするので出力は数10秒後に崩壊熱レベルになる。一方、原子炉冷却材流量も事象発生と同時にコストダウンし、約100秒後に補助冷却系に切換わる。事象全体を通じて原子炉の冷却は順調に行われており、燃料最高温度、燃料平均温度、減速材平均温度は低下を続ける。ただし、燃料チャンネルの最下部の黒鉛ブロック（下部反射体に相当）が冷却されるまでに長時間を要するために、今回解析した時間範囲（～1000秒）では、原子炉出口温度の低下は見られない。

また、原子炉入口温度を見ると、事象発生直後から緩やかに上昇し、約800秒後に407°Cのピーク値をとり、その後は緩やかに低下する。これは、冷却材流量が10%に絞られたために、入口付近の低温側冷却材温度が初めは二重管内管温度に引き上げられるため、補助冷却器から戻ってくる低温の冷却材によって内管が十分に冷却されるに及んで、入口温度も低下を始める。

5.2.3 1次冷却材流量の減少

この解析は、特定の異常事象を想定したものではなく、システムのオープン特性を知ることの主目的として行った。外乱として、1次系の冷却材流量をステップで70%まで減少させ、制御系および保護系の作動を模擬しない条件で解析を行った。結果をFig. 5.19, Fig. 5.20に示す。

1次系流量が絞られるので、外乱の直後は燃料および減速材の温度が上昇するが、それに対応する反応度フィードバックにより原子炉出力が低下して、温度の上昇も止まり、新しい平衡状態に落ち着こうとする。1000秒後での原子炉出力は約37MWである。

この間、原子炉入口温度は漸減し、一方、原子炉出口温度は緩やかに上昇する。

また、IHXまわり（Fig. 5.20）を見ると、原子炉出口温度の上昇に伴いIHX 1次側入口温度が緩やかに上昇する。しかし、1次出口温度は流量が減少したために低下して、2次側出口温度に近づいた。一方、2次側出口温度は、除熱量が減ったために低下している。

5.2.4 小口径配管の破断

この解析の目的は、通常運転時に1次冷却系に接続している小口径配管が破断し、そのまま運転を継続した場合の燃料温度変化を求めることである。解析は、破断配管サイズをパラメータとして1次系の減圧過程を模擬し、1次系圧力低または、原子炉出口温度高のいずれかの安全保護信号で原子炉をスクラムさせている。実際の運転対応としては、運転員が手動による1次系の補給を行い1次系の圧力は41ataに常に維持される。また1次系の流量一定制御も行われている（回転数+110%まで）。これらから炉心の熱伝達係数の劣化は考えられないが、ここでは、いずれの効果をも無効として、以下のような仮定で解析した。

（解析条件及び仮定）

- ・出力：50 MWt 一定（原子炉出力制御系有効の仮定）

- 1次系圧力： $P_1(t) = 41 \cdot \exp\{-4.32 \times 10^{-3} d^2 F\}$ (ata)

d：破断口直径 (mm)

t：漏洩時間 (hr)

(仮定：等エントロピ流れのノズル理論)

- 2次系圧力： $P_2(t) = P_1(t) + 3.0$ (ata) (差圧制御有効)

- 3次系の冷却状態は通常運転を仮定する。

Fig. 5. 21, Fig. 5. 22, Fig. 5. 23 に破断口直径10mm, 5 mm, 2 mm のときの安全保護系スクラムを動作させなかった場合の解析結果を示す。またその他破断口直径1 mm, 25 mm を加えて1次系流量低スクラム及び原子炉出口温度高スクラムの発生時刻及びその時の燃料最高温度 (本コードでは、平均燃料チャンネルの最高温度を出力) との関連をTable 5. 3 に示す。これらの結果から Fig. 5. 24 に燃料最高温度、原子炉出口温度及び1次系圧力の時間的挙動をまとめて示す。Fig. 5. 25 は、Fig. 5. 24 をもとに、燃料最高温度と原子炉出口温度高又は1次系圧力低のスクラムとの関係を破断口直径を横軸に取って示したものである。これより、原子炉出口温度高又は1次系圧力低のスクラム信号のうちどちらか先に発した信号によりスクラムすれば、燃料最高温度は1350°C以下であることがわかる。

Table 5.1 IHX Steady State Calculation

ITEM		DESIGN	ICARUS	TAC-20
1 RY	HELIUM FLOW(kg/s)	79611	←	←
	INLET TEMP. (°C)	988	←	←
	OUTLET TEMP. (°C)	376	390.3	385.3
2 RY	HELIUM FLOW(kg/s)	76528	←	←
	INLET TEMP. (°C)	310	←	←
	OUTLET TEMP. (°C)	930	932.1	937.1
HEAT TRANSFER RATE (kcal/m ² ·h°C)		267.9	248.0 ^x	270.3 ^x
HEAT BALANCE	1 RY (kcal/s)	6124	5981 ^x	6031 ^x
	2 RY (kcal/s)	5964	5984 ^x	6032 ^x

(x calculated with helium specific heat $C_p = 1.257 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$)

Table 5.2 SG Steady State Calculation

ITEM		A Loop	B Loop
HELIUM SIDE	HELIUM FLOW(kg/s)	76528	←
	INLET TEMP. (°C)	913	←
	OUTLET TEMP. (°C)	285(278.5) ^x	285(279.0) ^x
WATER or VAPOR SIDE	WATER or VAPOR FLOW (kg/s)	103.5	←
	INLET TEMP. (°C)	224	←
	OUTLET TEMP. (°C)	232.8	232.8
	OUTLET QUALITY(-)	11.0(11.3) ^x	11.0(11.3) ^x

x) () : calculated by ICARUS

Table 5.3 Summary of Scram Time and Max. Fuel Temp. at Small Pipe Rupture Incident

RUPTURE SIZE (m)		D=0.025	0.01	0.005	0.002	0.001
P ^{x1} = 38 ata SCRAM	SCRAM TIME	101 (sec)	632	2528	15797	63327
	MAX.FUELL TEMP.	1302 (°C)	1328	1341	1347	1349
T _{out} ^{x2} = 1043 °C SCRAM	SCRAM TIME	506 (sec)	1136	2672	13030	49850
	MAX.FUELL TEMP.	1484 (°C)	1374	1344	1336	1335

x1 P : PRIMARY PRESSURE x2 T_{out} : REACTOR OUTLET TEMP.

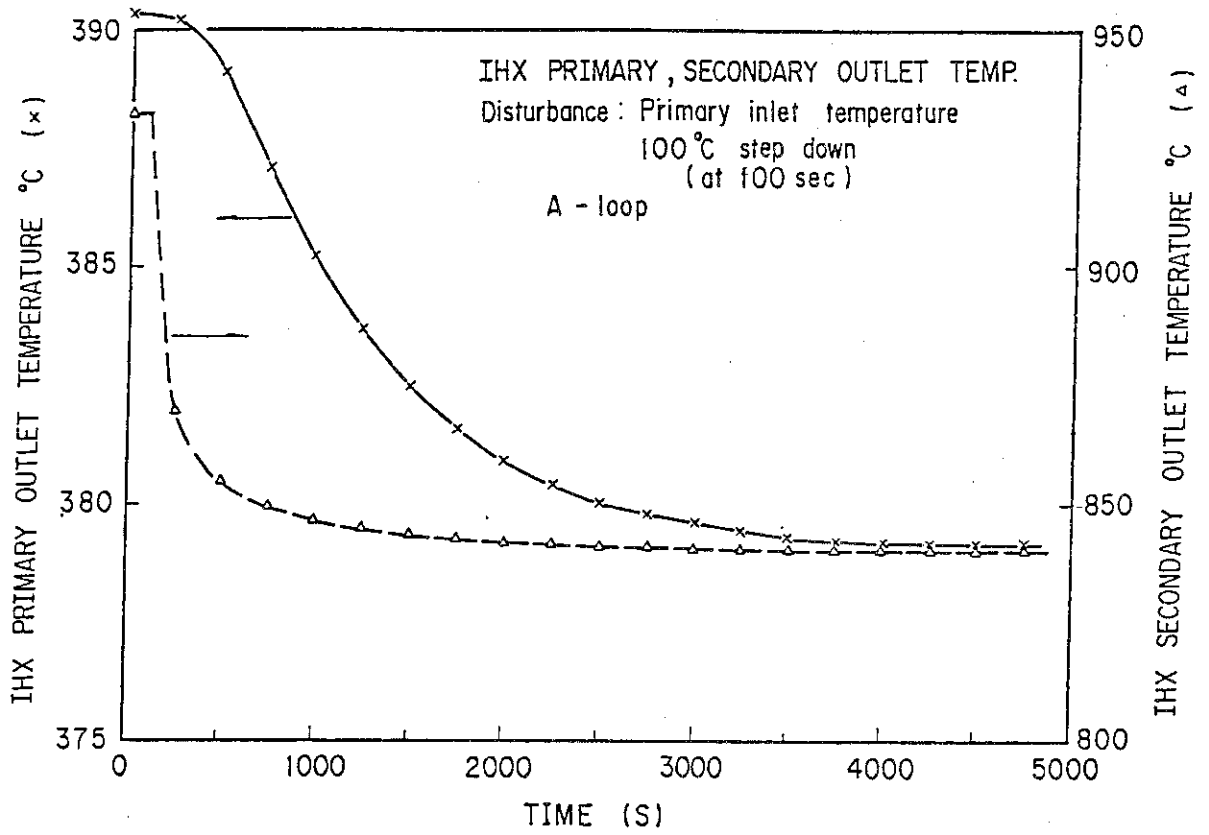


Fig. 5.1 IHX Disturbance (case 1)

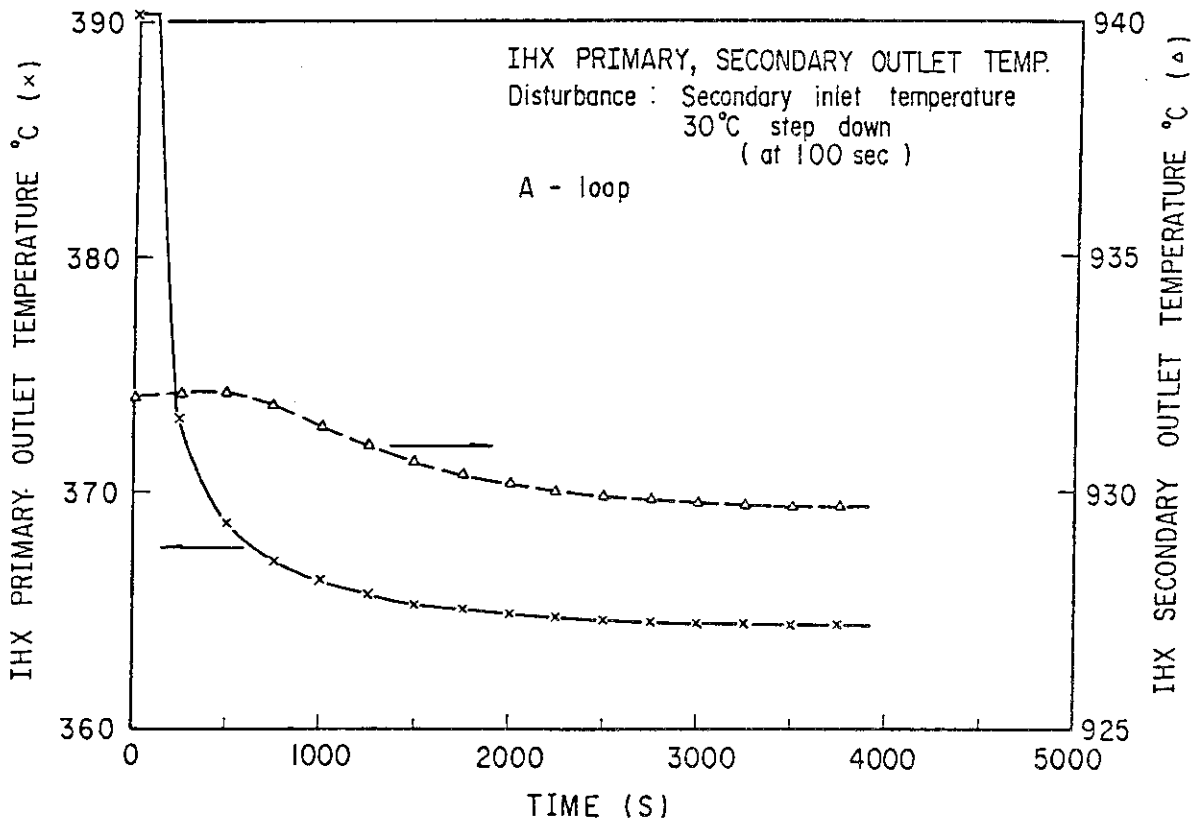


Fig. 5.2 IHX Disturbance (case 2)

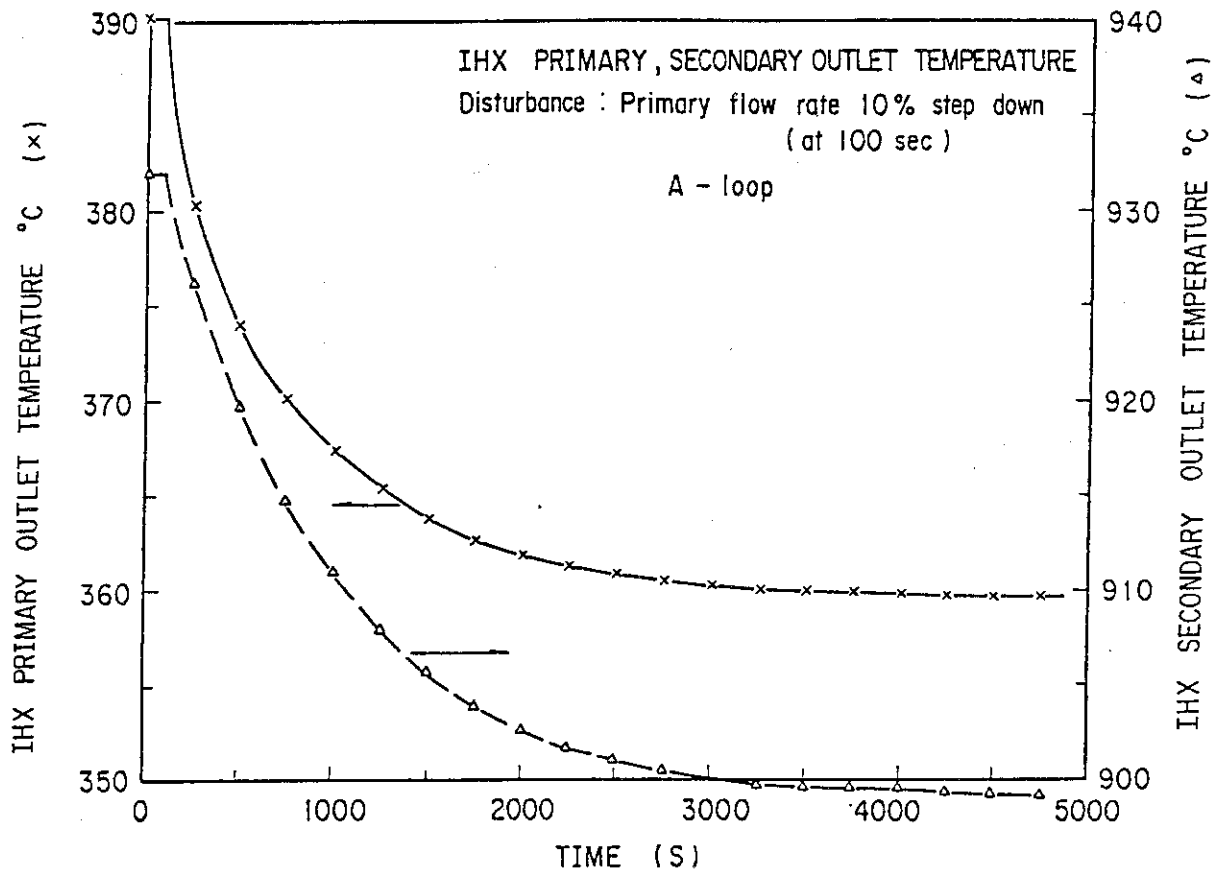


Fig. 5.3 IHX Disturbance (case 3)

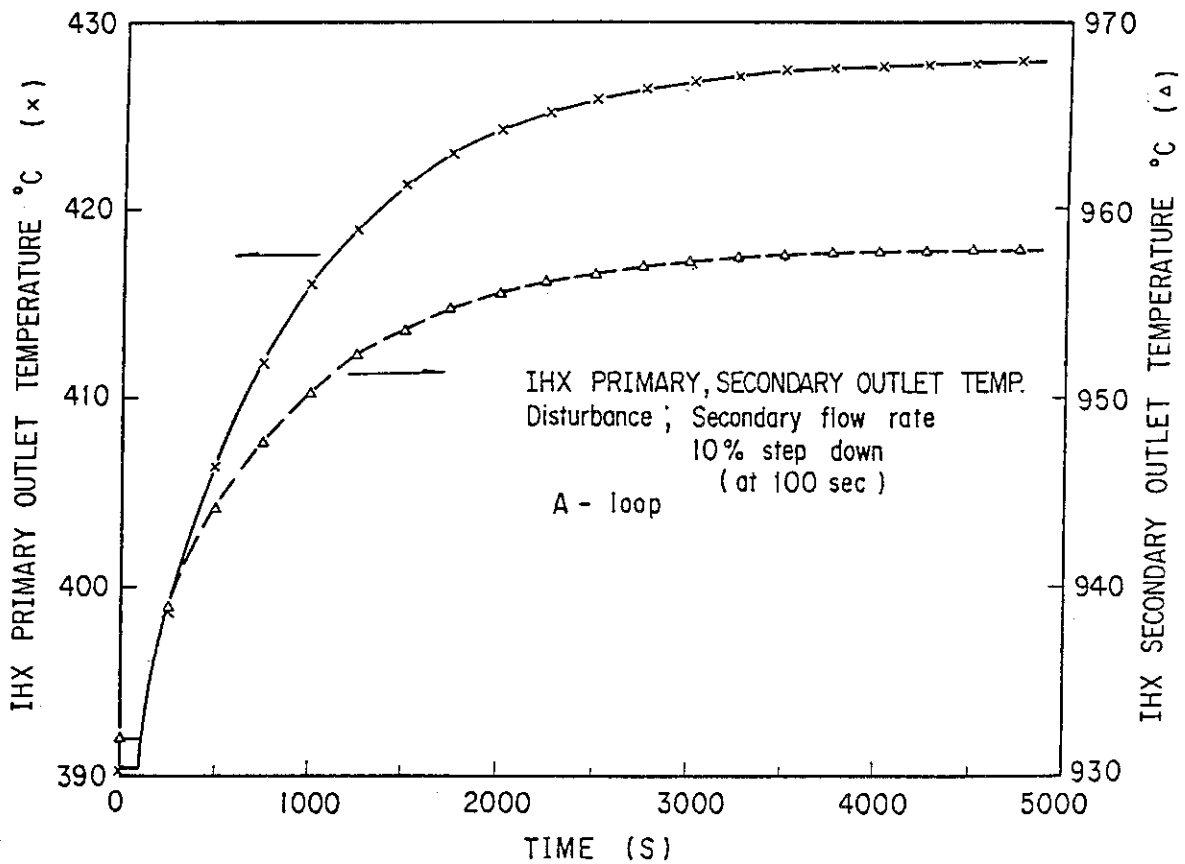


Fig. 5.4 IHX Disturbance (case 4)

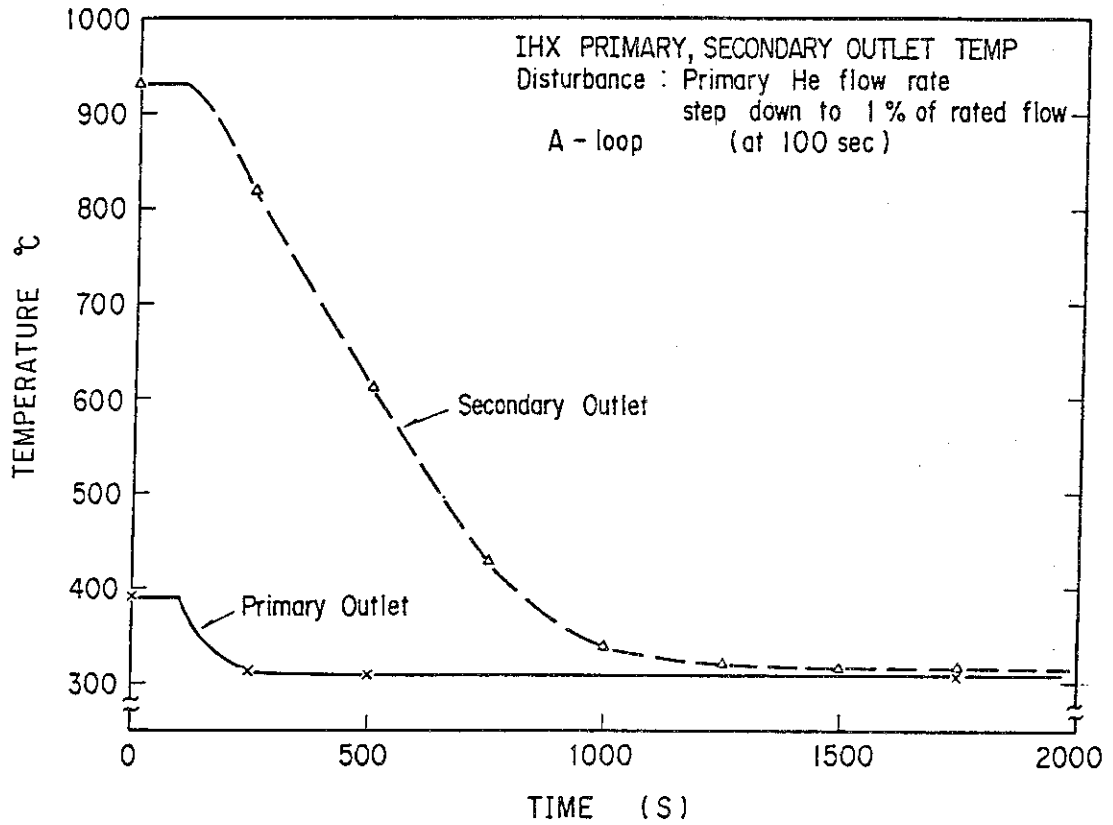


Fig. 5.5 IHX Disturbance (case 5)

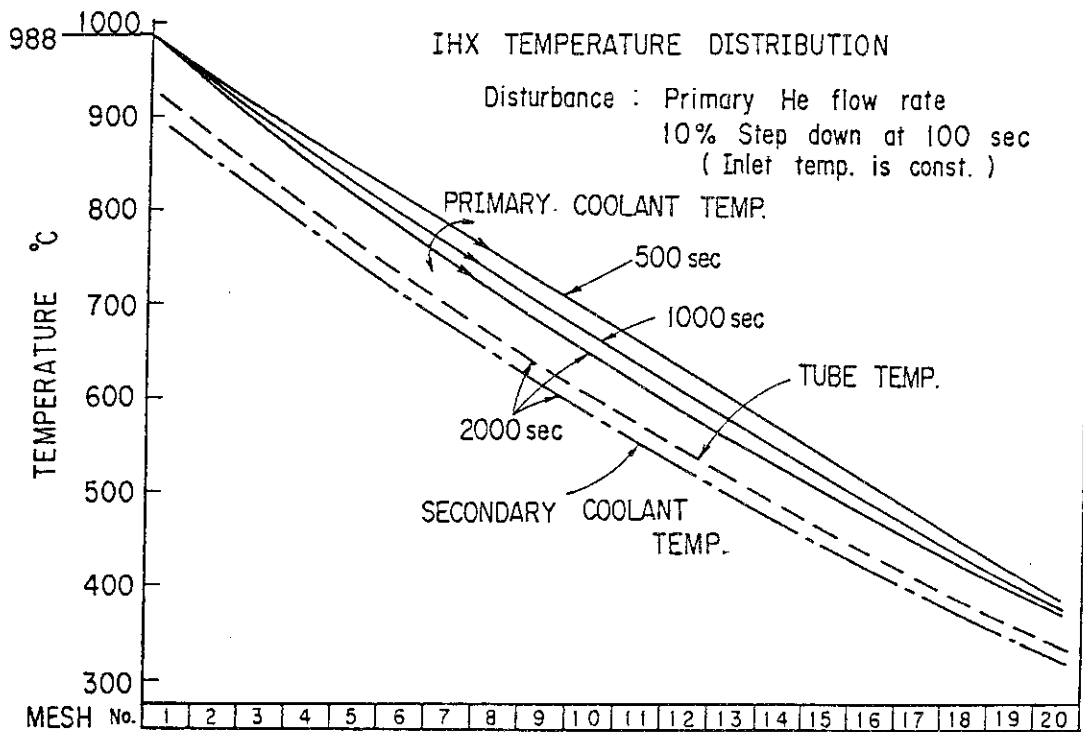


Fig. 5.6 IHX Disturbance (case 3)

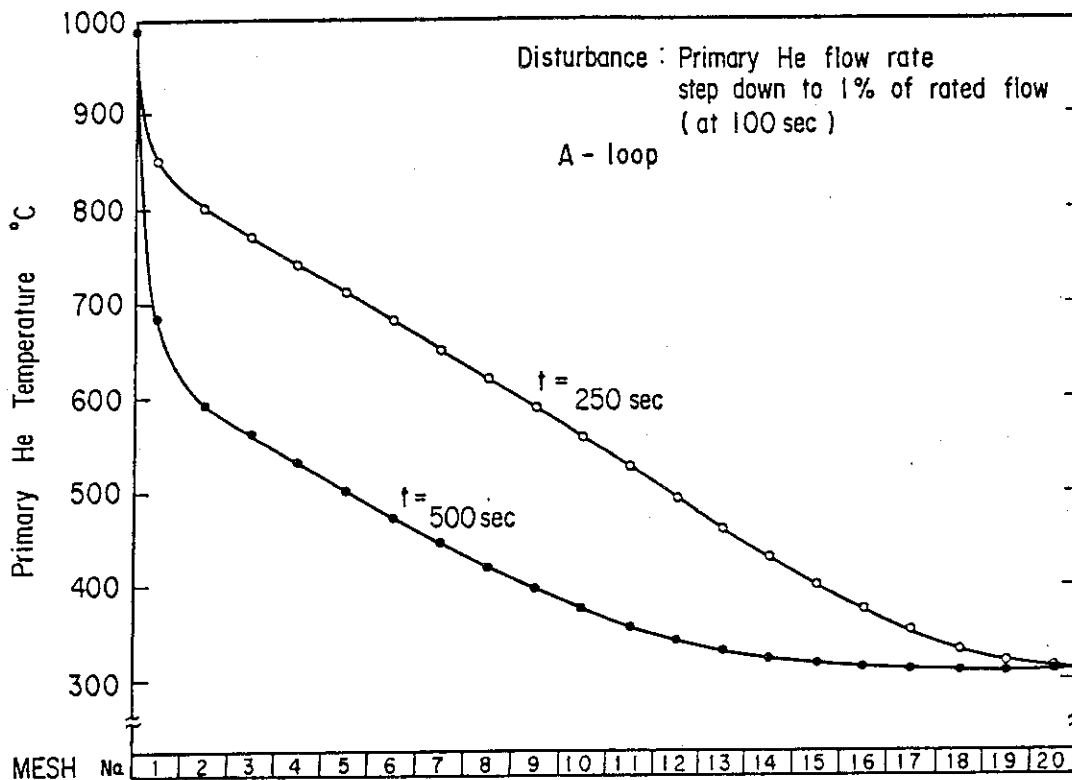


Fig. 5.7 IHX Disturbance (case 5)

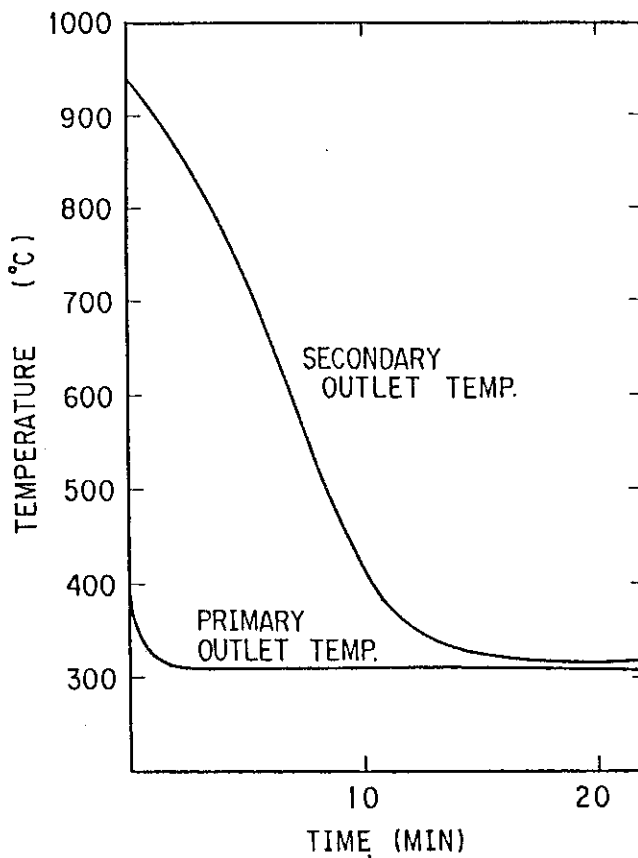


Fig. 5.8 IHX Disturbance calculated by TAC-2D (case 5)

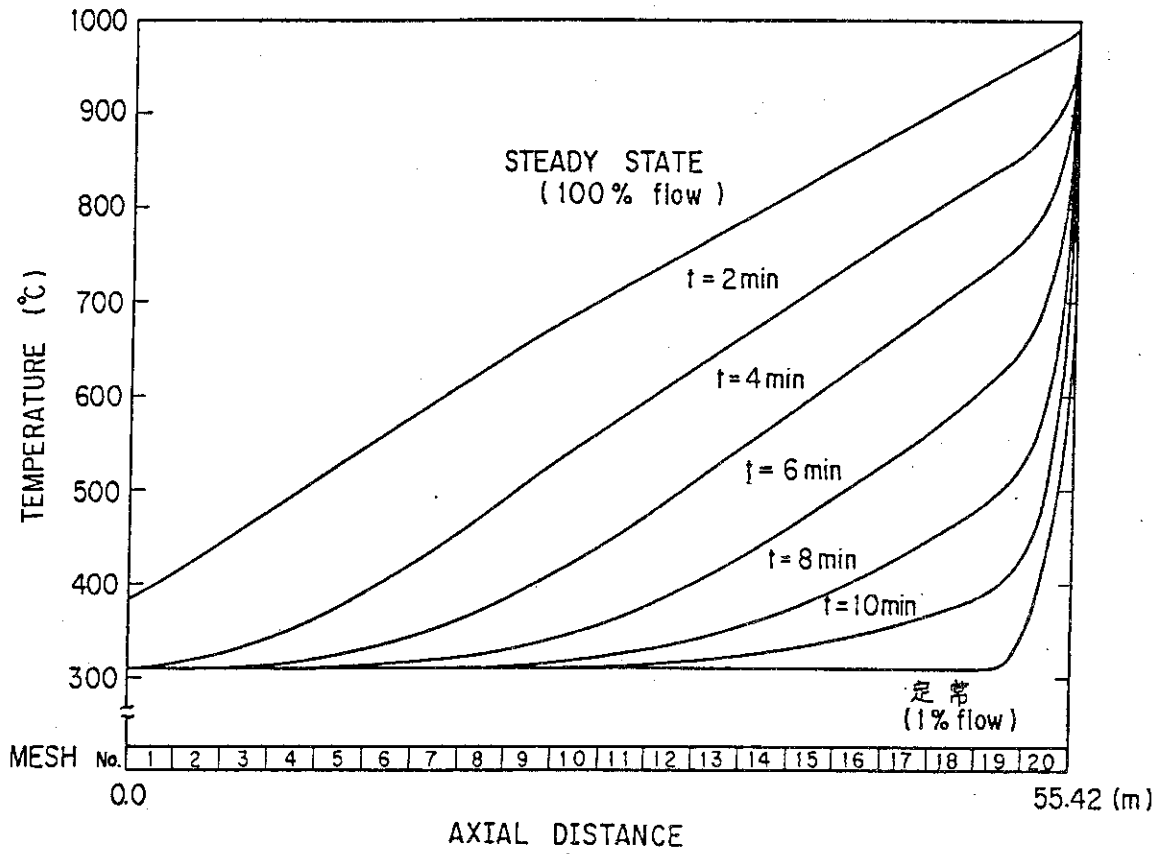


Fig. 5.9 IHX Disturbance calculated by TAC - 2D (case 5)

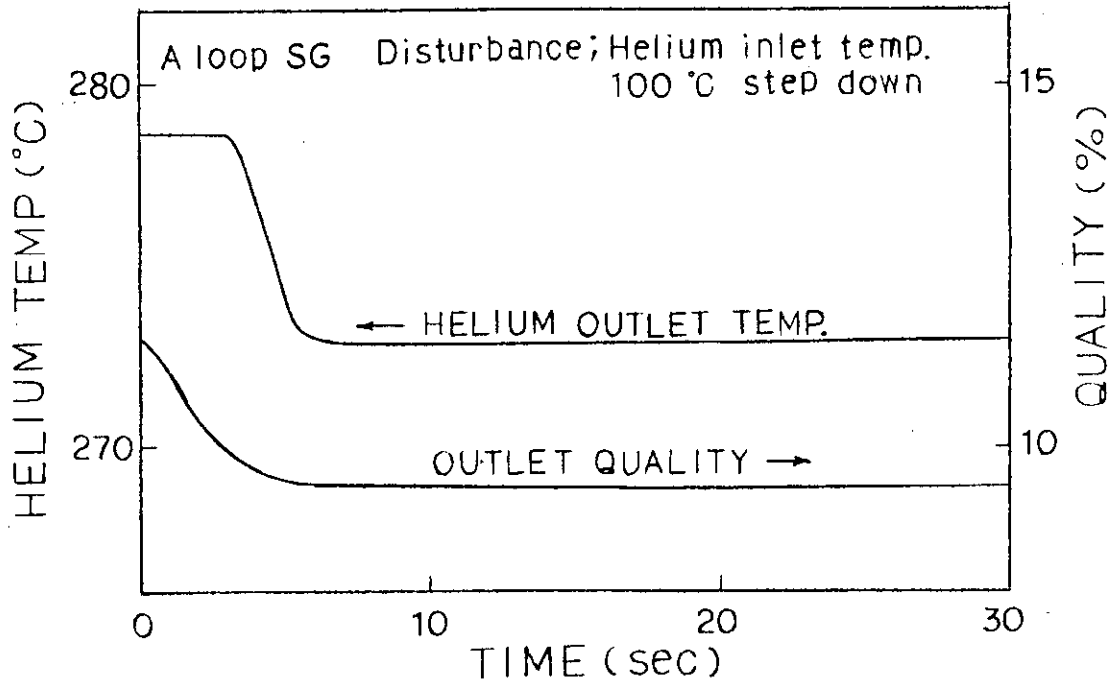


Fig 5.10 SG Disturbance (case 1)

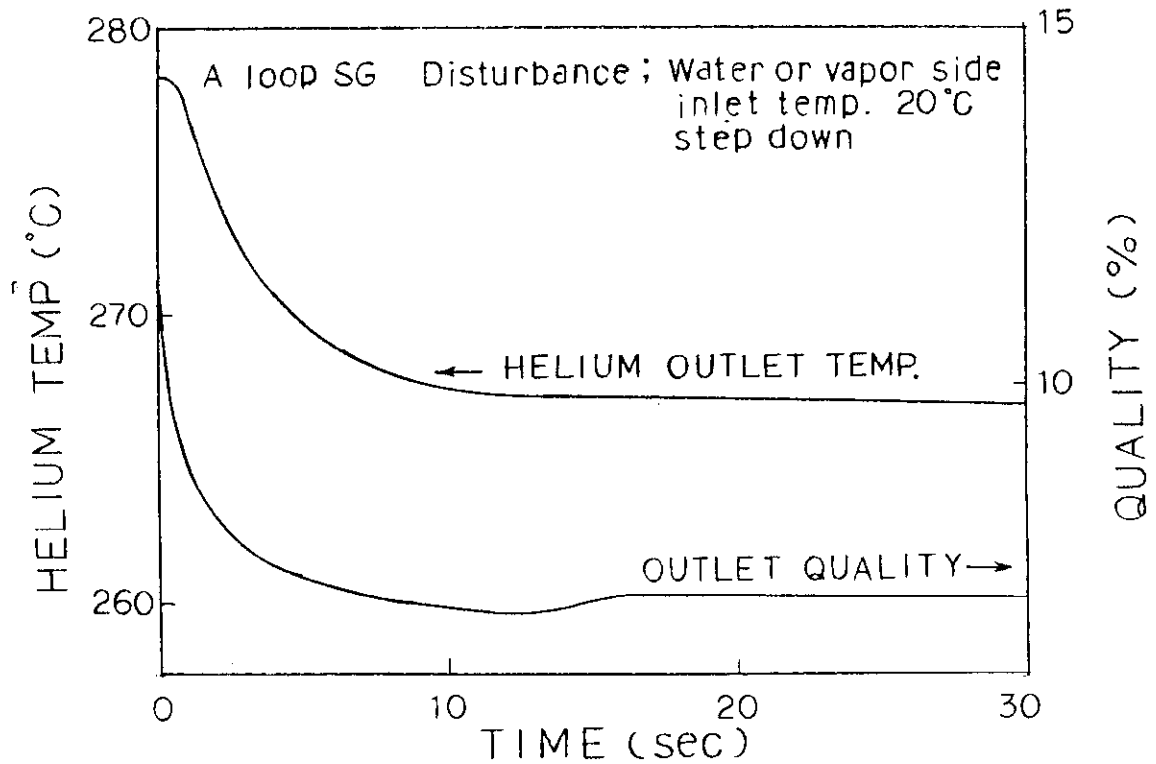


Fig 5.11 SG Disturbance (case 2)

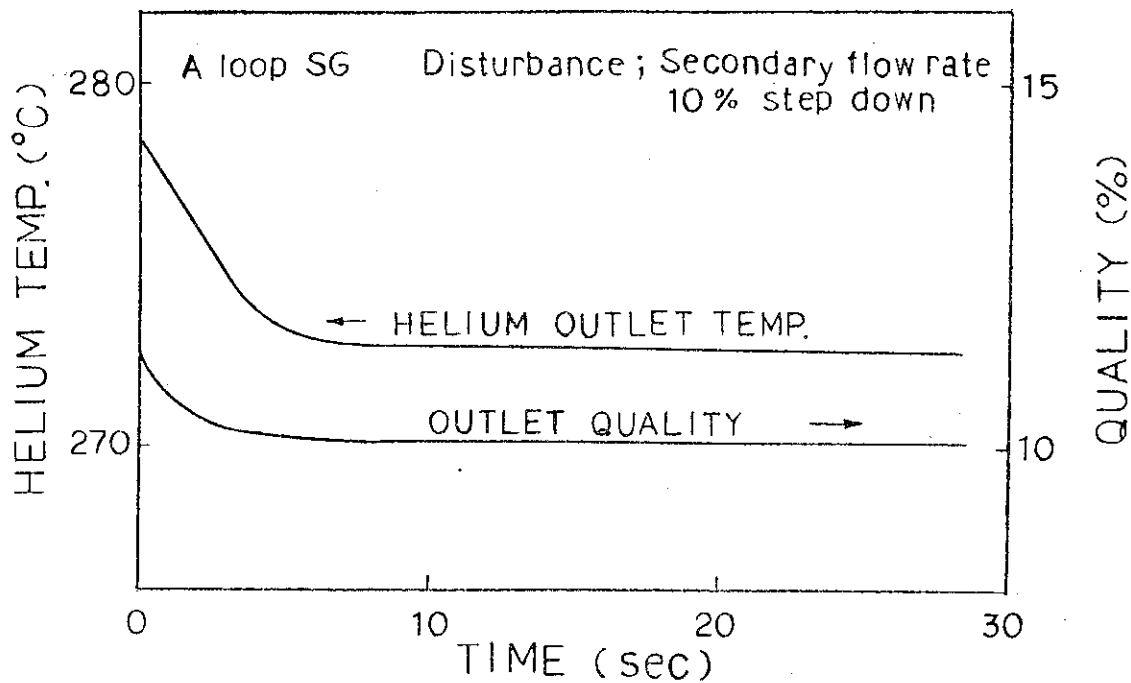


Fig 5.12 SG Disturbance (case 3)

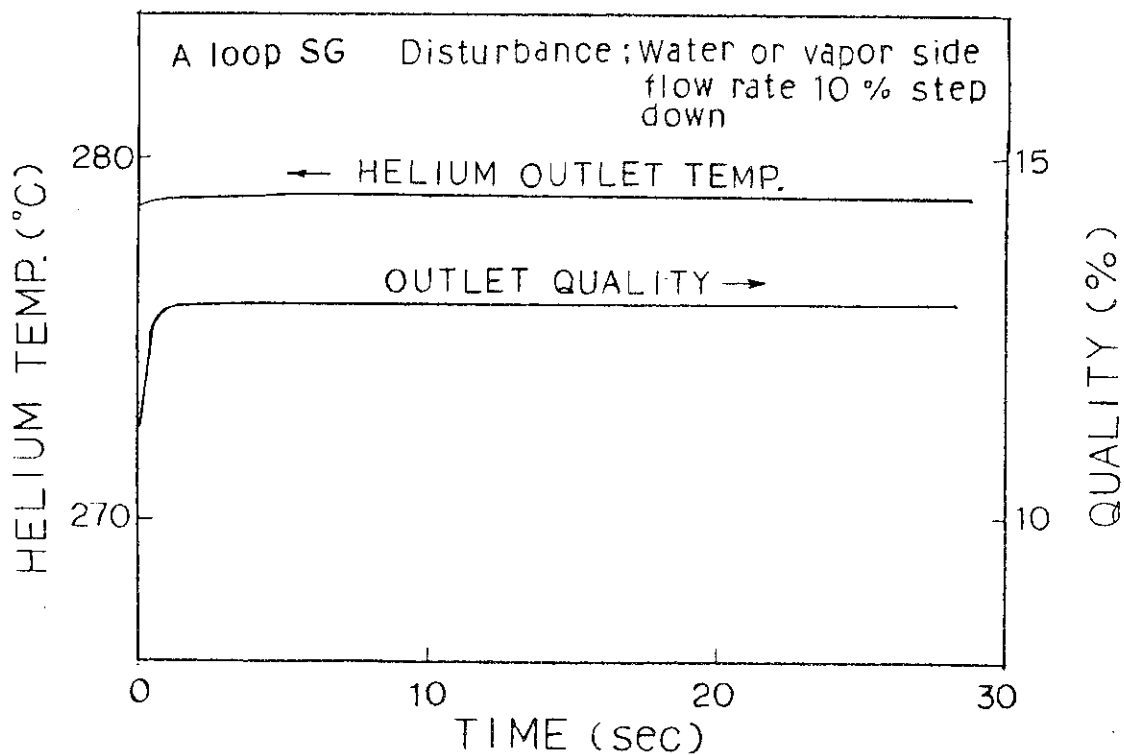


Fig 5.13 SG Disturbance (case 4)

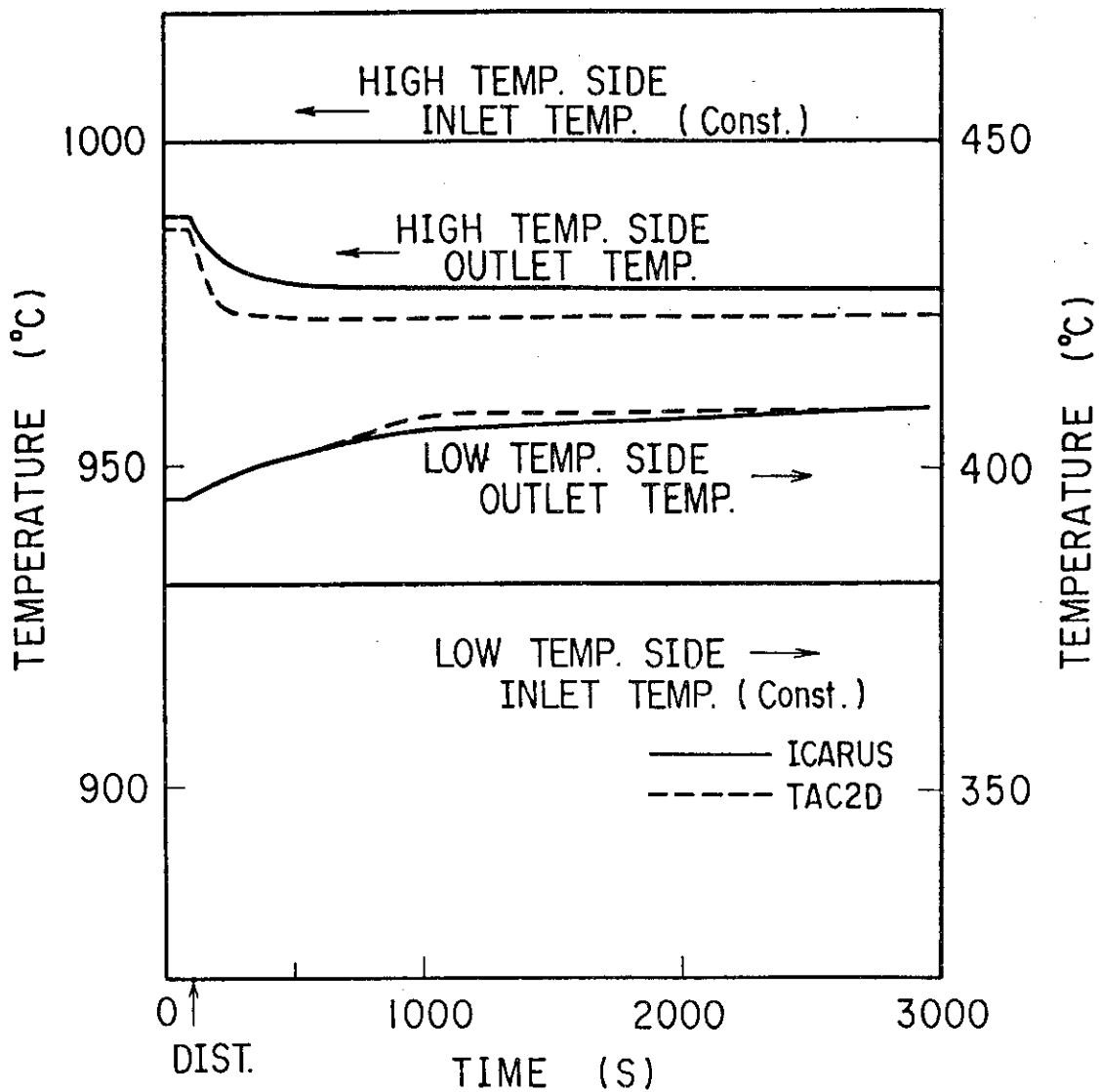


Fig. 5.14 Coaxial Piping Disturbance (case 1)

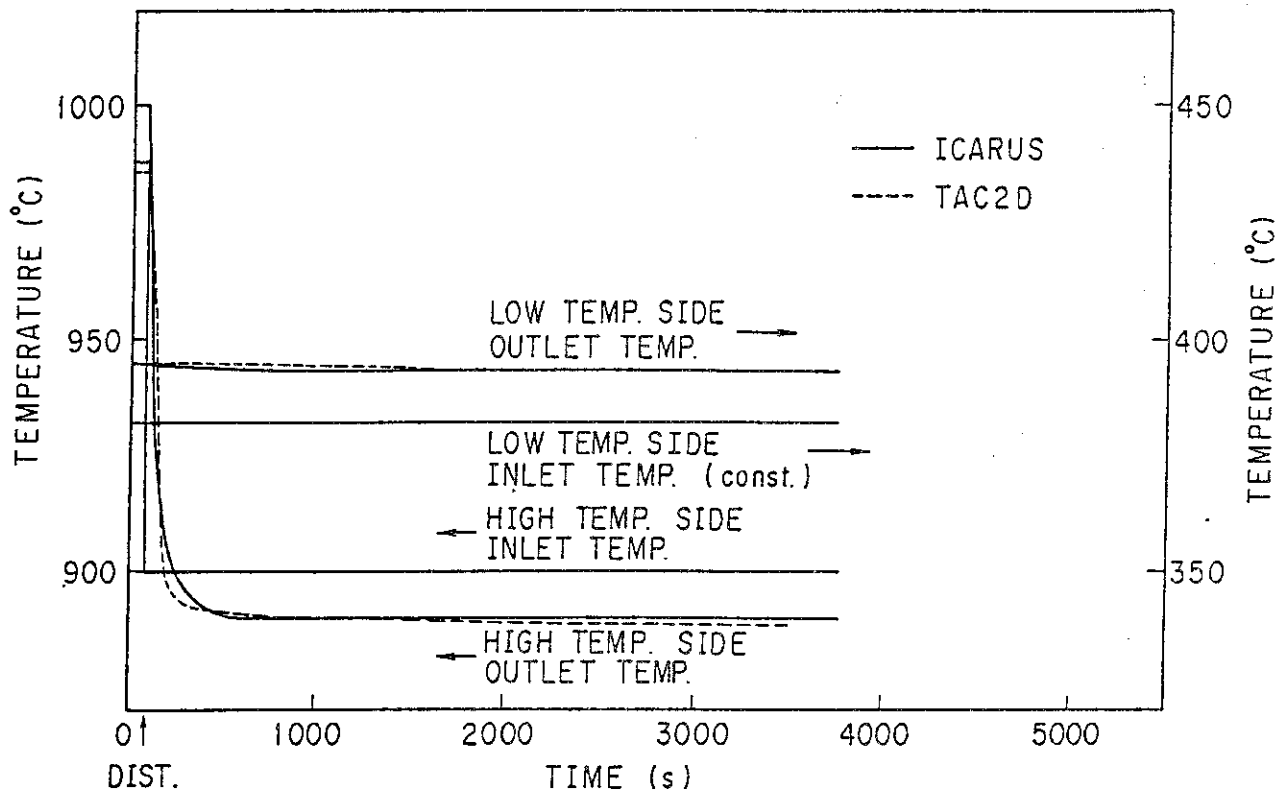


Fig. 5.15 Coaxial Piping Disturbance (case 2)

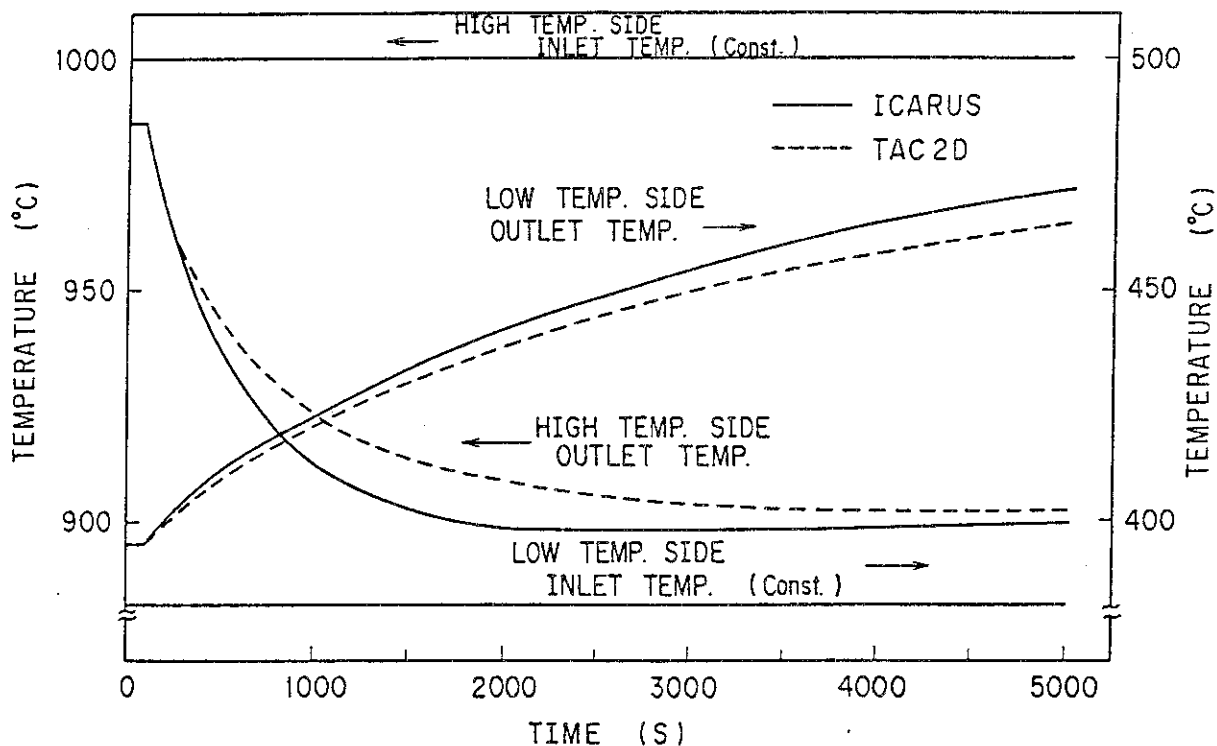
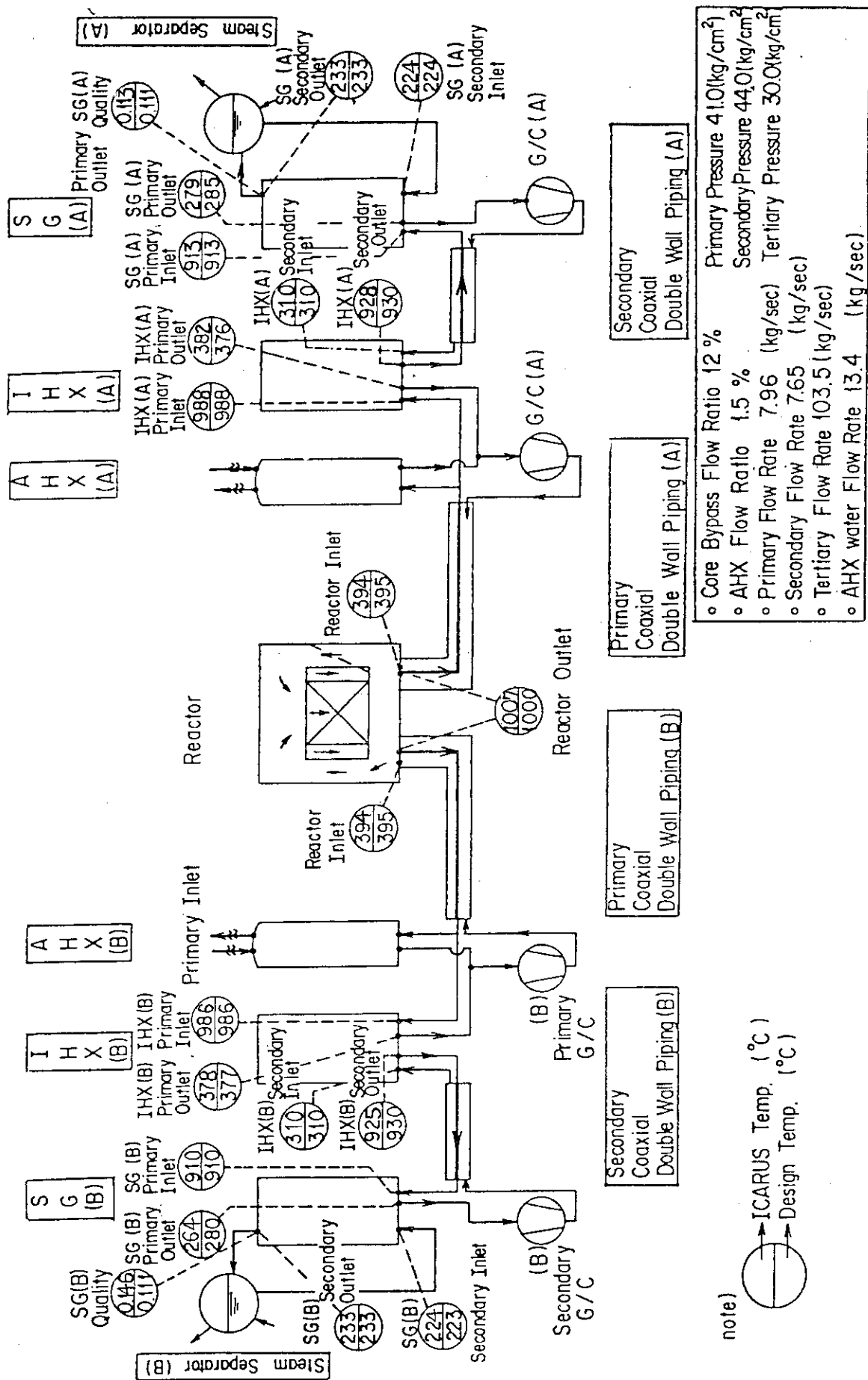


Fig. 5.16 Coaxial Piping Disturbance (case 3)



- Core Bypass Flow Ratio 12 %
- AHX Flow Ratio 1.5 %
- Primary Flow Rate 7.96 (kg/sec)
- Secondary Flow Rate 7.65 (kg/sec)
- Tertiary Flow Rate 103.5 (kg/sec)
- AHX water Flow Rate 13.4 (kg/sec)
- Primary Pressure 41.0(kg/cm²)
- Secondary Pressure 44.0(kg/cm²)
- Tertiary Pressure 30.0(kg/cm²)

Fig.5.17 Heat Balance at Plant Steady State

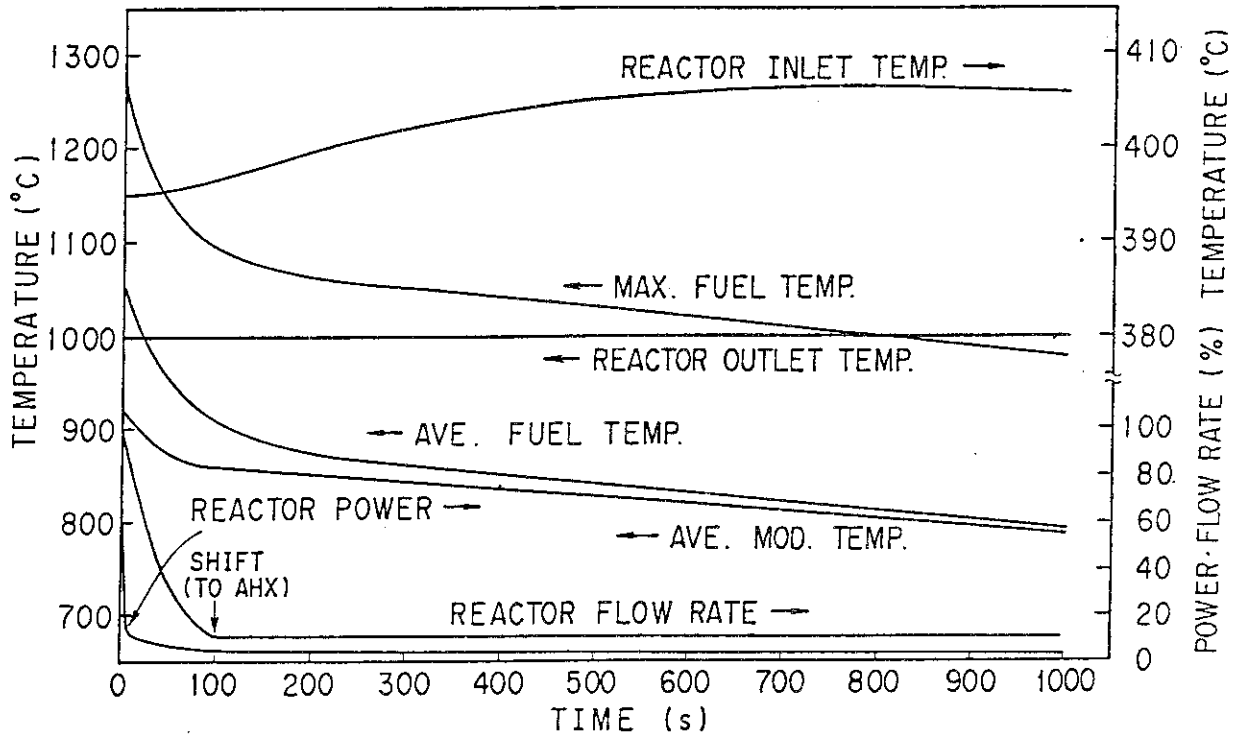


Fig. 5.18 Results of Loss of Offsite Electric Power

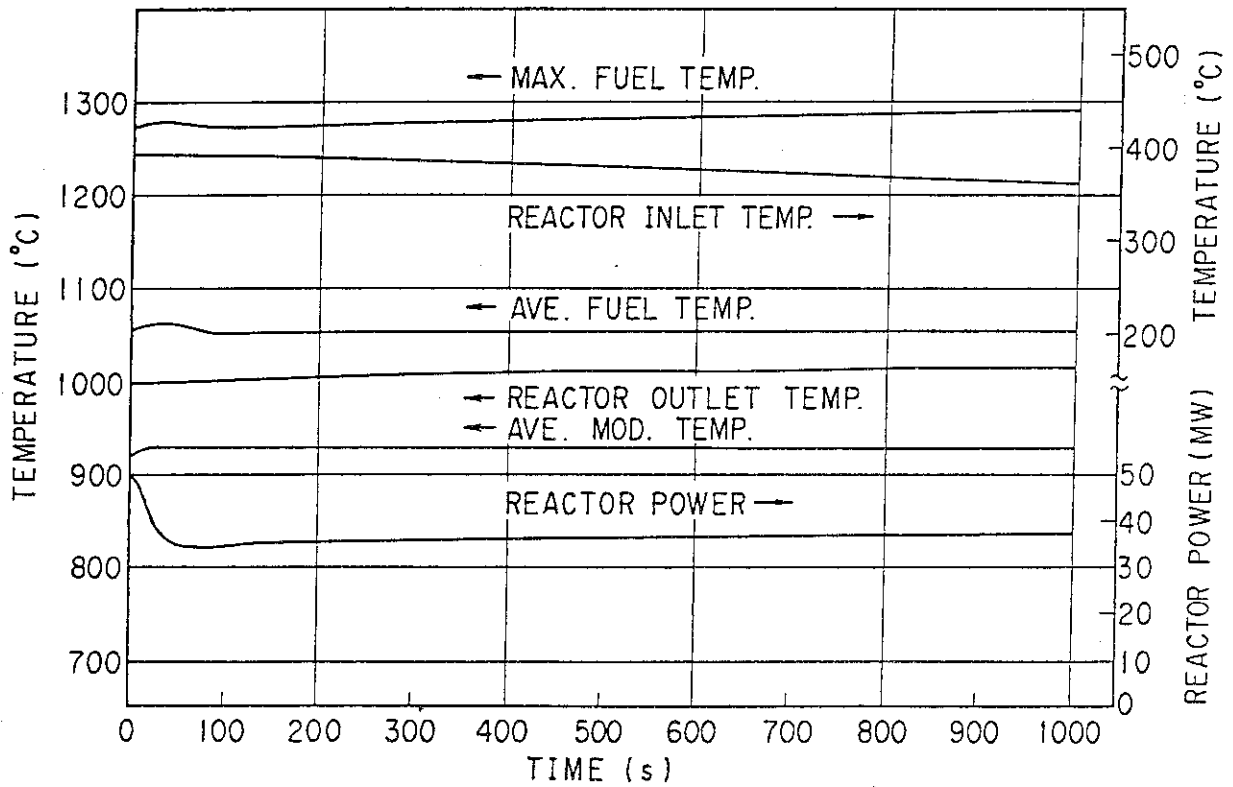


Fig. 5.19 Results of Primary Flow Rate 100 → 70% Step (1/2)

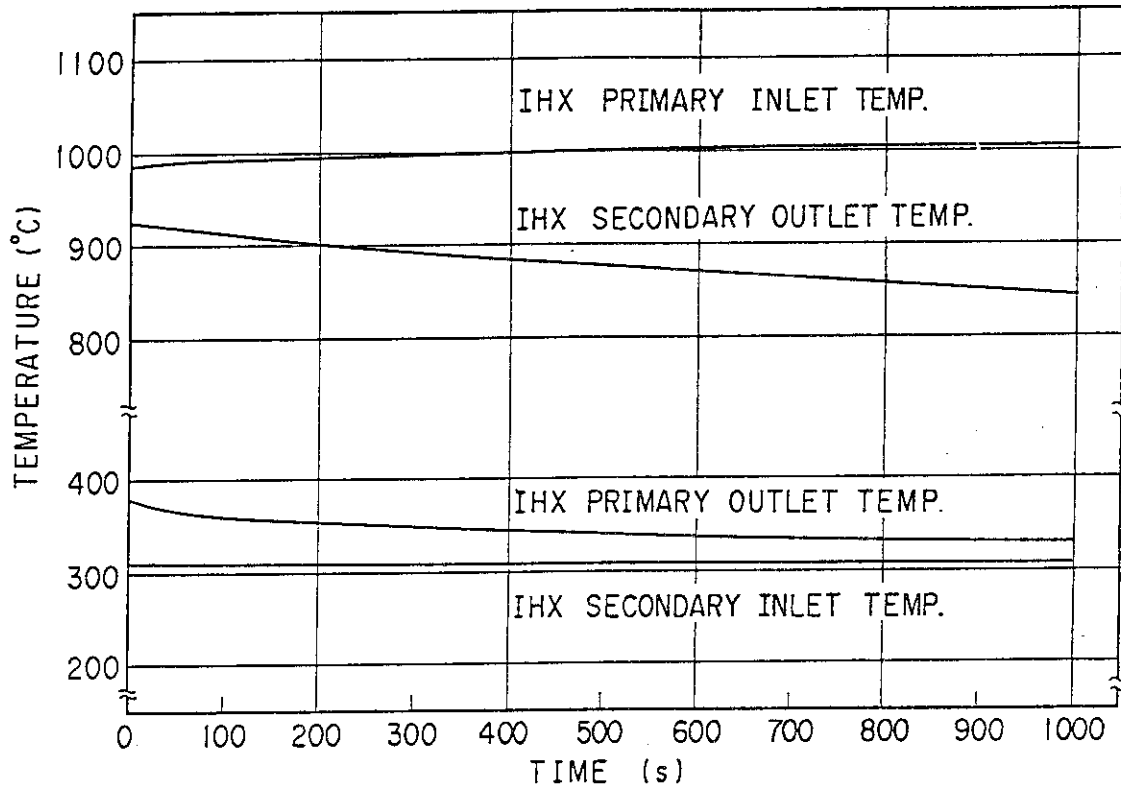


Fig. 5.20 Results of Primary Flow Rate 100 → 70% Step (2/2)

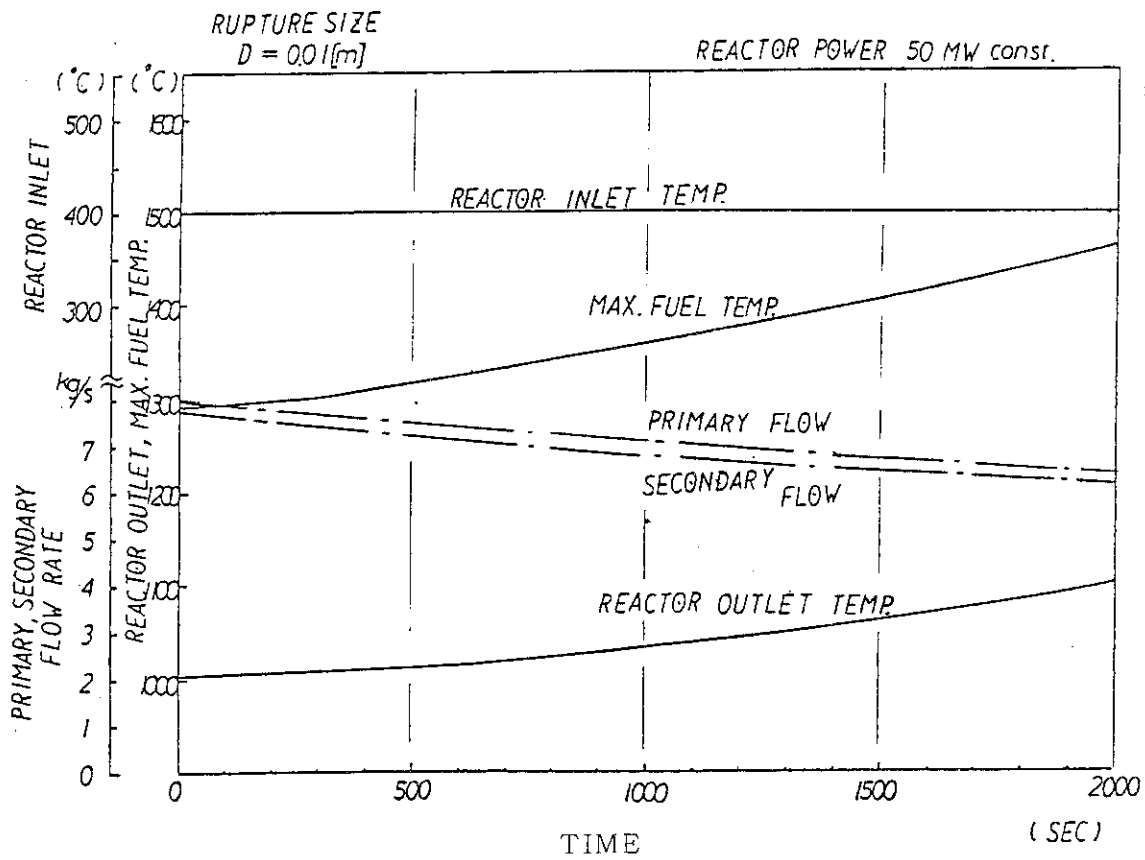


Fig. 5.21 Results of Small Pipe Rupture

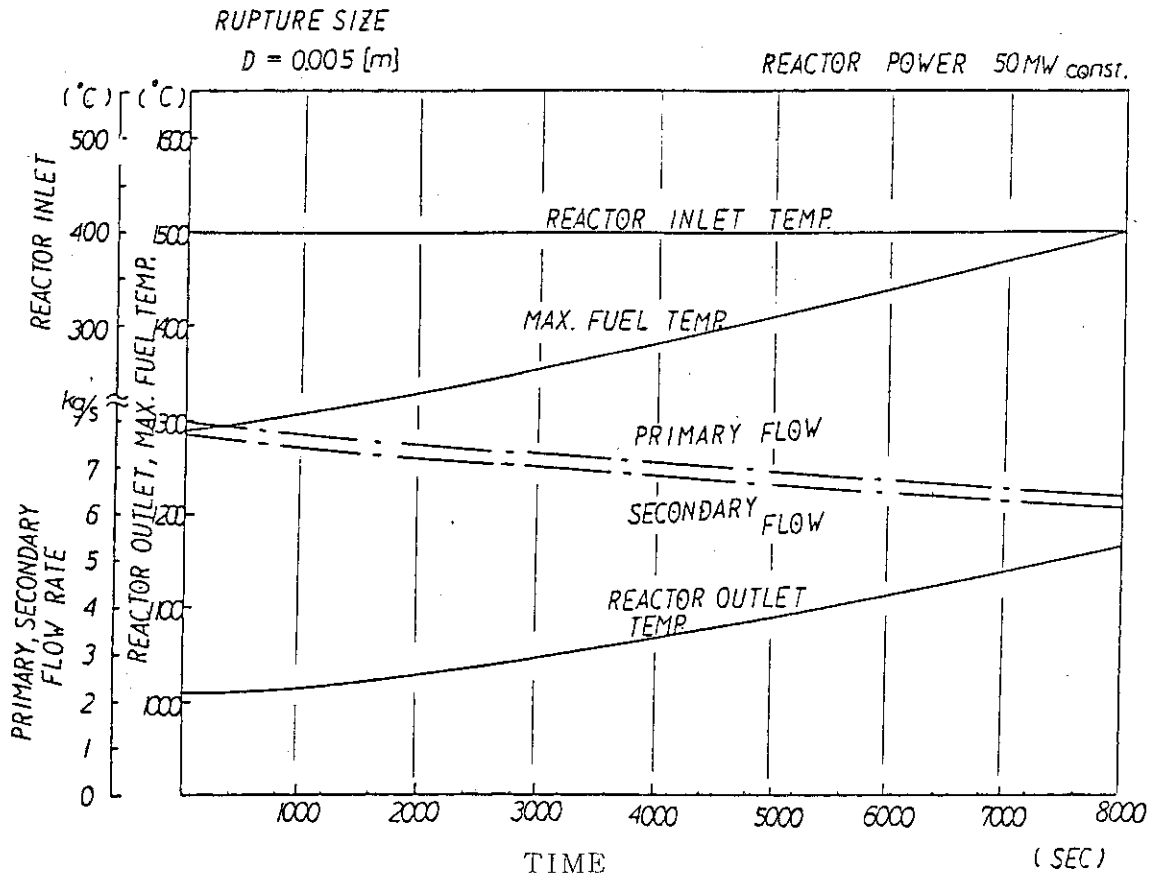


Fig. 5.22 Results of Small Piping Rupture

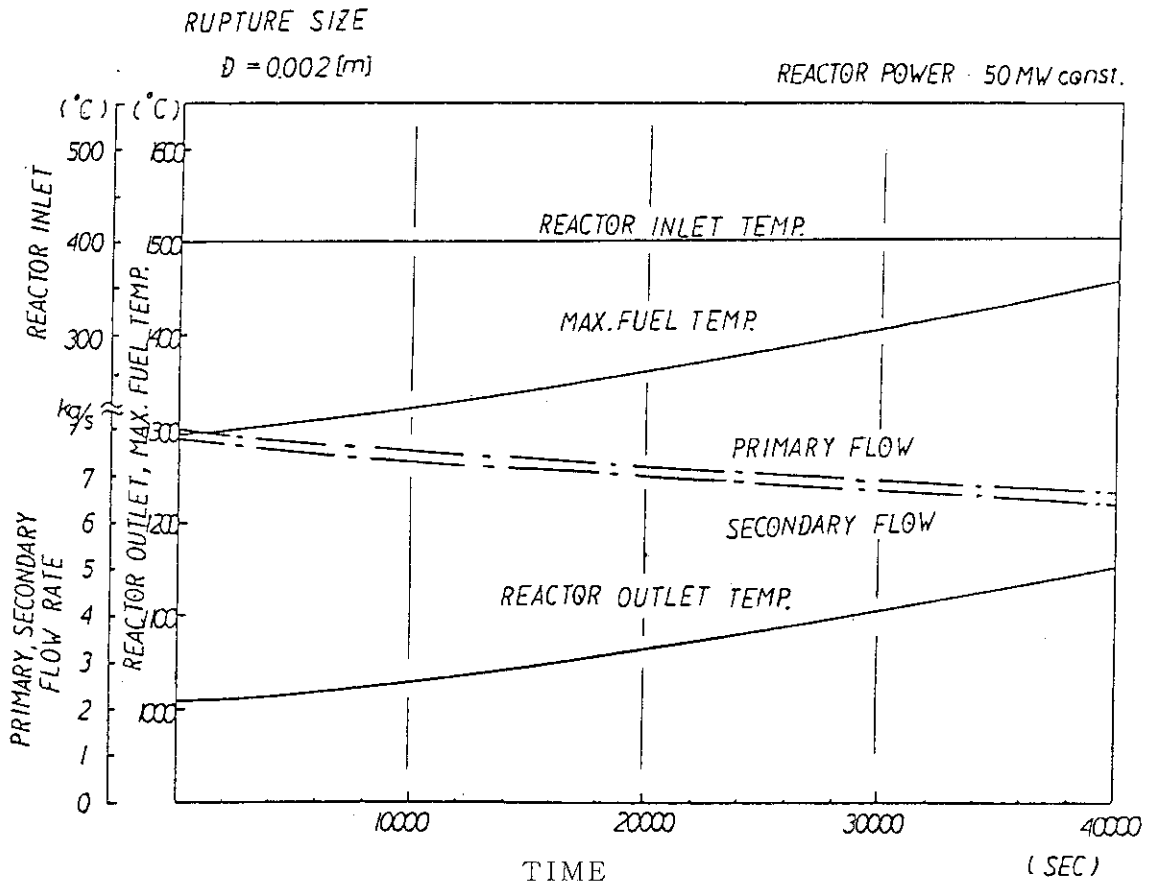


Fig. 5.23 Results of Small Pipe Rupture

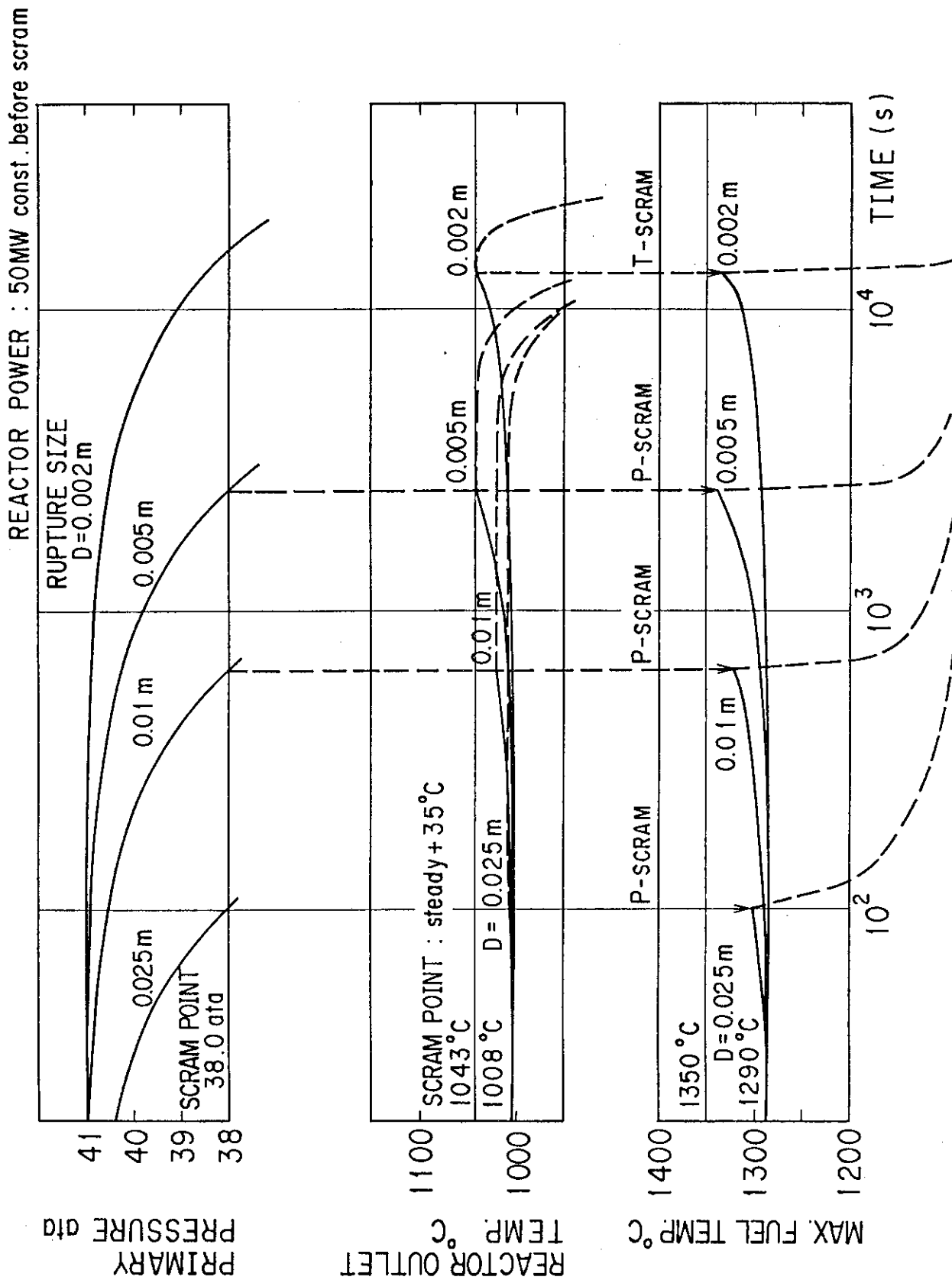


Fig. 5.24 Summary Results of Small Pipe Rupture

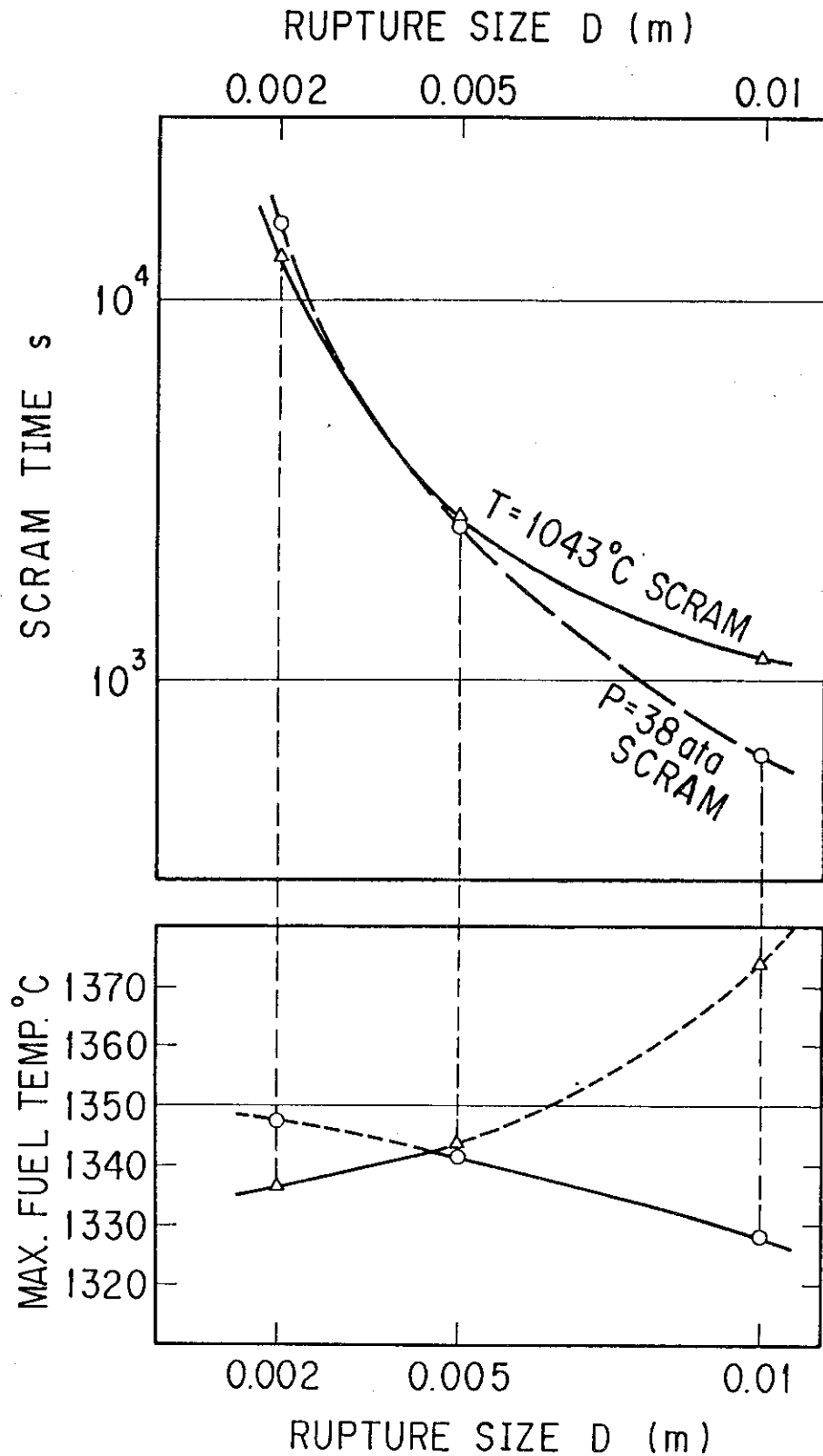


Fig. 5.25 Summary of Rupture Size, Max. Fuel Temp. and Scram Time at Small Pipe Rupture Incident

6. お わ り に

ICARUS コードは、これまでに実験炉プラントの各種の過渡応答特性解析に使用されており、その結果は実験炉の開発研究に多く反映されている。今後は、これまでの使用経験により以下の様な点を改良することが望ましいと考える。

- ① プラント構成の変更を容易に行えるプログラム構造に改良する。
- ② 各コンポーネントに最適なタイムステップを設定可能とする改良を行い、計算時間の短縮を計る。
- ③ プラント運転操作により動的に変化するプラント構成をシュミレーションする機能を付加する。

謝 辞

ICARUS コードの開発に着手し、ICARUS. 1としてまとめた江崎正弘氏（現在、三菱原子力工業）の多くの労に謝意を表したい。また、最終の総合検討に協力された田村和雄（現在、三菱重工業）、大野哲雄（現在、三菱原子力工学）、小林治樹（現在、東京工業大学）の諸氏に謝意を表したい。

6. お わ り に

ICARUS コードは、これまでに実験炉プラントの各種の過渡応答特性解析に使用されており、その結果は実験炉の開発研究に多く反映されている。今後は、これまでの使用経験により以下の様な点を改良することが望ましいと考える。

- ① プラント構成の変更を容易に行えるプログラム構造に改良する。
- ② 各コンポーネントに最適なタイムステップを設定可能とする改良を行い、計算時間の短縮を計る。
- ③ プラント運転操作により動的に変化するプラント構成をシュミレーションする機能を付加する。

謝 辞

ICARUS コードの開発に着手し、ICARUS. 1としてまとめた江崎正弘氏（現在、三菱原子力工業）の多くの労に謝意を表したい。また、最終の総合検討に協力された田村和雄（現在、三菱重工業）、大野哲雄（現在、三菱原子力工学）、小林治樹（現在、東京工業大学）の諸氏に謝意を表したい。

参 考 文 献

- 3-1) M. Merrill and M. Troost, "BLOOST-5: A COMBINED REACTOR KINETICS-HEAT TRANSFER CODE FOR THE IBM-704", GAMD-6644 (1965)。
- 3-2) R. C. Dahlberg and M. H. Merrill, "BLOOST-6: A KINETICS CODE CONTAINING A THERMODYNAMIC MODEL OF COATED PARTICLES FOR HTGR APPLICATIONS", GAMD-8119 (1967)。
- 3-3) M. H. Merrill, "BLOOST-6: A COMBINED REACTOR KINETICS-HEAT TRANSFER PROGRAM", GA-8416 (1967)。
- 3-4) 江崎正弘ほか, "BLOOST. 2CM: ガス冷却炉炉心動特性解析コード, 私信 (1972)。
- 3-5) 江崎正弘ほか, "ICARUS. 1: 多目的高温ガス冷却炉プラント動特性解析コード, JAERI-M 5058, (1972)。
- 4-1) 多目的高温ガス実験炉設計資料集 JAERI
- 4-2) 伝熱工学資料 改訂第3版 P. 28
- 4-3) " " P. 25
- 4-4) " " P. 40
- 4-5) " " P. 35
- 4-6) " " P. 61
- 4-7) V. E. Schrock and L. M. Grossman, "Forced Convection Boiling Studies, Final Report on Forced Convection Vaporization Project", TID-14632, (1959)。
- 4-8) 伝熱工学資料 改訂第3版 P. 206

付録A：入力マニュアル

以下に ICARUS コード入力マニュアルを示す。

ここでループ構成機器以外の機器の入力もダミーで入力しておくこと。

その他 関連としてプラントループ構成を行なうサブルーチン EXLOOP 中の各コンポーネント出入口温度の名称を示す。

1. プラント全体構成

Card type No	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
1.1	1 - 80	TITLE (I)	20 A 4 × 2 枚	タイトルカード 2 枚必要
1.2	1 - 3	NTYP	I 3	“ 1 ” を入力すると以下のプラント構成および、蒸気発生器の流れ方向の入力の読み込みを行う。
	4 - 80			使用せず
1.3	1 - 5	ILAY	I 5,	プラント構成 - 1 : 原子炉 → 改質器 → 蒸気発生器 → 原子炉 1 : 2 ループ構成 (1 次系) 原子炉 → IHX → 原子炉 (2 次系第 1 ループ) IHX → 改質器 → 蒸気発生器 → IHX (2 次系第 2 ループ) IHX → 蒸気発生器 → IHX 2 : 対称 2 ループ構成 (1 次系) 原子炉 → IHX → 原子炉 (2 次系) IHX → 蒸気発生器 → IHX

Card type No	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
1. 3	6 - 10	ISGTXP	I 5	蒸気発生器の蒸発器内の流れ方向。 1 : 並行流 - 1 : 対向流
	11 - 80			使用せず
1. 4			10 F 7. 2	定常計算用の各機器入口温度
	1 - 7	ATEP (1)		A ループ IHX 1 次ヘリウムガス入口温度 (°C)
	8 - 14	ATEP (2)		原子炉入口ガス温度 (°C)
	15 - 21	ATEP (3)		A ループ SG 2 次ヘリウムガス入口温度 (°C)
	22 - 28	ATEP (4)		B ループ IHX 1 次ヘリウムガス入口温度 (°C)
	29 - 35	ATEP (5)		A ループ IHX 2 次ヘリウムガス入口温度 (°C)
	36 - 42	ATEP (6)		B ループ IHX 2 次ヘリウムガス入口温度 (°C)
	43 - 49	ATEP (7)		B ループ SG 2 次ヘリウムガス入口温度 (°C)
	50 - 56	ATEP (8)		使用せず。
	57 - 63	ATEP (9)		
64 - 70	ATEP (10)			

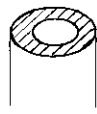
Card type No	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
1.5	1 - 8	PE 1	4 E 8.2	1次系Aループヘリウム循環機揚程 ΔP HEAD (kg/cm ²) (昇温計算に使用)
	9 - 16	PE 2		1次系Bループヘリウム循環機揚程 ΔP HEAD (kg/cm ²) (昇温計算に使用)
	17 - 24	PE 3		2次系Aループヘリウム循環機揚程 ΔP HEAD (kg/cm ²) (昇温計算に使用)
	25 - 32	PE 4		2次系Bループヘリウム循環機揚程 ΔP HEAD (kg/cm ²) (昇温計算に使用)

2. IHX (or recuperator) および配管

1) IHX

Card type No.	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
2.1.1	1 - 3	NTYP	I 3	" 2 " を入力すると以下の IHX および PIPE 入力の読みを行う。
	4 - 80			使用せず。
2.1.2	1 - 6	NZSEC	I 6,	冷却材流れ方向に分割するメッシュ数 (24 メッシュ以下)
	7 - 12	NZPIPE	I 6,	A ループ IHX の伝熱管本数
	13 - 24	ZL 2	E 12.5,	A ループ IHX 1 次冷却材系流路長さ (m)
	25 - 36	ZL	E 12.5,	A ループ IHX 2 次冷却材系流路長さ (m)
	37 - 48	ZTHIN	E 12.5,	A ループ 定常状態における 1 次ヘリウムガス IHX 入口温度 (°C)
	49 - 60	ZTCIN	E 12.5,	定常状態における第 1 ループ IHX 2 次ヘリウムガス入口温度 (°C)
	61 - 72	ZTCIN 2	E 12.5	定常状態における第 2 ループ IHX 2 次ヘリウムガス入口温度 (°C)
2.1.3	1 - 6	NZPIPB	I 6,	B ループ IHX 伝熱管本数
	7 - 18	ZL 2 B	E 12.5,	B ループ IHX 1 次冷却材系流路長さ (m)

Card type No.	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
2.1.3	19 - 30	ZLB	E 12.5,	Bループ IHX 2次冷却材系流路長さ (m)
	31 - 42	ZTHINB	E 12.5,	Bループ定常状態における1次ヘリウムガス IHX入口温度 (°C)
2.1.4	1 - 6	NLOOP	I 6,	冷却ループ数
	7 - 12	NFUEL	I 6	原子炉, 冷却流路数 (Channel 数)
	13 - 72			使用せず。
2.1.5			3 E 12.5,	Aループ IHX 1次冷却材側単位セル当りのデータ
	1 - 12	ZAH		Aループ IHX 流路断面積 (m ²)
	13 - 24	ZSH		Aループ IHX 単位長さ当りの伝熱面積 (m ² /m)
	25 - 36	ZDH		Aループ IHX 流路の等価直径 (m)
	37 - 48	ZZWHO	3 E 12.5	定常時の1次系Aループの流量* (kg/s) *循環機による昇温計算に使用するため循環機揚程PE 1に対応した値のこと。(循環機を通った後の流量値を与える)
	49 - 60	ZPHO		定常時の1次系圧力 (kg/cm ²)
	61 - 72	ZPCO 2		定常時の2次系Bループ圧力 (kg/cm ²)
2.1.6			3 E 12.5,	Bループ IHX 1次冷却材側単位セル当りのデータ

Card type No.	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
2. 1. 6	1 - 12	ZAHB	3 E 12. 5,	Bループ IHX 流路断面積 (m ²)
	13 - 24	ZSHB		Bループ IHX 単位長さ当りの伝熱面積 (m ² /m)
	25 - 36	ZDHB		Bループ IHX 流路の等価直径 (m)
2. 1. 7	1 - 12	ZLAM	6 E 12. 5	Aループ IHX 伝熱管の半径方向熱伝導率 (kcal/m・sec・°C)
	13 - 24	ZCM		Aループ IHX 伝熱管比熱 (kcal/kg °C)
	25 - 36	ZRM		Aループ IHX 伝熱管比重量 (kg/m ³)
	37 - 48	ZAM		Aループ IHX 伝熱管 1 本当りの構材部断面積 (m ²) (円環部断面積) 
	49 - 60	ZDM		Aループ IHX 伝熱管肉厚 (m)
	61 - 72	ZZREC0		1次系Bループ流量の IHX バイパス率
2. 1. 8	1 - 12	ZLAMB	6 E 12. 5	Bループ IHX 伝熱管の半径方向熱伝導率 (kcal/m・sec °C)
	13 - 24	ZCMB		Bループ IHX 伝熱管比熱 (kcal/kg °C)
	25 - 36	ZRMB		Bループ IHX 伝熱管比重量 (kg/m ³)

Card type No.	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
2.1.8	37 - 48	ZAMB		B ループ IHX 伝熱管 1 本当りの構材部断面積 (m ²)
	49 - 60	ZDMB		B ループ IHX 伝熱管肉厚 (m)
2.1.9			3 E 12. 5	A ループ IHX 2 次冷却材側単位セル当りのデータ (Unit cell)
	1 - 12	ZAC		A ループ IHX 流路断面積 (m ²)
	13 - 24	ZSC		A ループ IHX 単位長さ当りの伝熱面積 (m ² /m)
	25 - 36	ZDC		A ループ IHX 流路の等価直径 (m)
	37 - 48	ZZWCO	3 E 12. 5	定常状態の 2 次系 A ループの流量 * (kg/sec) * 循環機揚程 PE 3 に対応した値 (循環機を通った後の流量値を与える)
	49 - 60	ZPCO		2 次系 A ループの定常時圧力 (kg/cm ²) (循環機出口での圧力)
61 - 72	ZZRECU	1 次系 A ループ流量の IHX バイパス率 (IHX を通らない He の全流量に対する割合)		
2.1.10			3 E 12. 5	B ループ IHX 2 次冷却材側単位セル当りのデータ
	1 - 12	ZACB		B ループ IHX 流路断面積 (m ²)

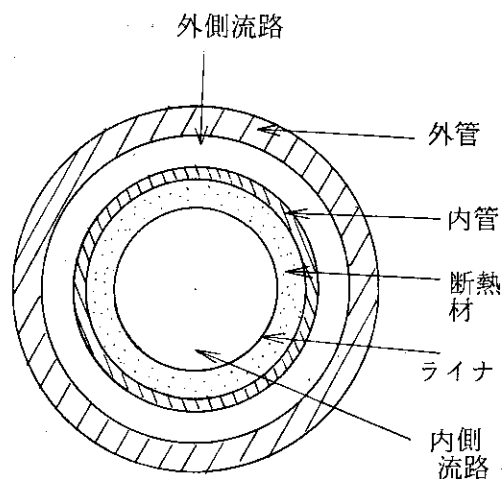
Card type No	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
2.1.10	13 - 24	ZSCB		B ループ IHX 単位長さ当りの伝熱面積 (m ² /m)
	25 - 36	ZDCB		B ループ IHX 流路の等価直径 (m)
2.1.11	1 - 12	ZWCC	3 E 12. 5	定常状態での 2 次系第 1 ループの流量 (kg/sec) (現在計算に使用されていない。)
	13 - 24	ZZWH \bar{O} 2		定常時の 1 次系 B ループ流量 * (kg/sec) * 循環機の揚程 PE 2 に対応した値
	25 - 36	ZZWCO 2		定常時の 2 次系 B ループの流量 * (kg/sec) * 循環機の揚程 PE 4 に対応した値
2) 配管				
2.2.1	1 - 10		10 X	使用せず。
	11 - 15	NPPIPE	I 5	パイプデータセットの数。(パイプ形状として取扱うコンポーネント数) 最大 5
	16 - 80			使用せず。

以下の2.2.2から2.2.5までのデータをNPPIPEくり返す。

Card type No.	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
2.2.2	1 - 12	PTCIN (I)	6 E 12.5	PIPEの初期入口ガス温度 (°C)
	13 - 24	PTCOT (I)		PIPEの初期出口ガス温度 (°C)
	25 - 36	PW (I)		PIPEの初期冷却材流量 (kg/sec)
	37 - 80			使用せず。
2.2.3	1 - 12	PROW (I)	6 E 12.5	配管の比重量 (kg/m ³)
	13 - 24	PC (I)		配管の比熱 (kcal/kg °C)
	25 - 80			使用せず。
2.2.4	1 - 12	PAREA 1 (I)	6 E 12.5	流路断面積 (m ²) $\left(= \frac{\pi}{4} D_i^2, \text{ 但し } D_i : \text{管内径 (直径)} \right)$
	13 - 24	PAREA 2		配管断面積 (m ²) $\left(= \frac{\pi}{4} D_o^2, \text{ 但し } D_o : \text{管の外径} \right)$
	25 - 80			使用せず。
2.2.5	1 - 12	NPZSEC (I)	I 12,	メッシュ分割数。最大20
	13 - 24	PPLNG (I)	5 E 12.5	配管長さ (m)
	25 - 36	PTA		配管の外部雰囲気温度
	37 - 48	PPP		配管内の冷却材圧力 (kg/cm ²)
	49 - 80			使用せず。

3) 同心二重配管

多目的高温ガス実験炉で計画されている
右図の構造のものを対象としている。



Card type No	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
2.3.1	1 - 10		10 X	使用せず。
	11 - 15	NDTUBE	I 5	二重配管データセット数。(二重管形状として取扱うコンポーネント数。)
	16 - 80			使用せず。
以下の2.3.2から2.3.5のデータをNDTUBEくり返す。				
2.3.2	1 - 12	DTC 1 IN (I)	6 E 12.5	内側流路初期入口ガス温度 (°C)
	13 - 24	DTC 1 OT (I)		内側流路初期出口ガス温度 (°C)
	25 - 36	DTCOIN (I)		外側流路初期入口ガス温度 (°C)
	37 - 48	DTC 0 OT (I)		外側流路初期出口ガス温度 (°C)
	49 - 60	DW 1 (I)		内側流路初期ガス流量 (kg/sec)
	61 - 72	DW 0 (I)		外側流路初期ガス流量 (kg/sec)

Card type No	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
2.3.3	1 - 12	DR \bar{O} W 1 (I)	6 E 12.5	ライナーの比重量 (kg/m ³)
	13 - 24	DR \bar{O} W 0 (I)		配管 (内, 外管共通) の比重量 (kg/m ³)
	25 - 36	DC (I)		ライナーの比熱 (kcal/kg °C)
	37 - 48	DC 1 (I)		配管 (内, 外管共通) の比熱 (kcal/kg °C)
	49 - 60	RAMD 0 (I)		ライナーの熱伝導率 (kcal/m ² °C sec)
	61 - 72	RAMD 1 (I)		配管 (内, 外管共通) の熱伝導率 (kcal/m ² °C sec)
2.3.4	1 - 12	DAREA 1 (I)	6 E 12.5	断面積 1 ($= \frac{\pi}{4} D_{Li}^2$, 但し D_{Li} : ライナー内径) (m ²)
	13 - 24	DAREA 11 (I)		断面積 11 ($= \frac{\pi}{4} D_{Lo}^2$, 但し D_{Lo} : ライナー外径) (m ²)
	25 - 36	DAREA 2 (I)		断面積 2 ($= \frac{\pi}{4} D_{1i}^2$, 但し D_{1i} : 内管内径) (m ²)
	37 - 48	DAREA 3 (I)		断面積 3 ($= \frac{\pi}{4} D_{1o}^2$, 但し D_{1o} : 内管外径) (m ²)
	49 - 60	DAREA 4 (I)		断面積 4 ($= \frac{\pi}{4} D_{oi}^2$, 但し D_{oi} : 外管内径) (m ²)
	61 - 72	DAREA 5 (I)		断面積 5 ($= \frac{\pi}{4} D_{oo}^2$, 但し D_{oo} : 外管外径) (m ²)

Card type No.	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
2. 3. 5	1 - 12	NDZSEC (I)	I 12,	二重配管のメッシュ分割数。最大 20
	13 - 24	DPLNG (I)	5 E 12. 5	二重配管の長さ。(m)
	25 - 36	DTA (I)		二重管の外部雰囲気温度 (°C)
	37 - 48	DPP (I)		二重管内の冷却材圧力 (kg/cm ²)
	49 - 72			使用せず。

3. 蒸気発生器 (Steamgenerator)

1) 全体構成

Card type No.	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
3. 1. 1	1 - 3	NTYP	I 3	" 3 " を入力すると以下の蒸気発生器のデータの読み込みが行われる。
	4 - 80			使用せず。
3. 1. 2	1 - 5	NSEC 1	6 I 5,	A ループ SG への流れ方向のメッシュ分割数。最大 49
	6 - 10	NSEC 2		B ループ SG の流れ方向のメッシュ分割数。最大 49
	11 - 15	NSEC 3		再熱器の流れ方向のメッシュ分割数。最大 49
	16 - 20	NEPIPE		A ループ SG の伝熱管本数。
	21 - 25	NSPIPE		B ループ SG の伝熱管本数。
	26 - 30	NRPIPE		再熱器の伝熱管本数。

Card type No.	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
3.1.2	31 - 40	TLIM	5 E 10.5	使用せず。
	41 - 50	DT		使用せず。
	51 - 60	EL		A ループ SG の伝熱管長さ (m)
	61 - 70	SL		B ループ SG の伝熱管長さ (m)
	71 - 80	RL		再熱器の伝熱管長さ (m)
3.1.3	1 - 5	IPLIMT	6 I 5,	使用せず。
	6 - 10	IPOLIM		
	11 - 15	II 2		3.2.1 で入力する A ループ水・蒸気系の温度・圧力・流量等の指定用テーブルデータセット数。最大 50
	16 - 20	II 3		3.2.2 で入力する B ループ水・蒸気系の温度・圧力・流量等の指定用テーブルデータセット数。最大 50
	21 - 25	II 4		3.2.3 で入力する B ループ水・蒸気系の温度・圧力・流量等の指定用テーブルデータセット数。最大 50
	26 - 30	IA 4	使用せず。	
	31 - 40	DTLIM	5 E 10.5	使用せず。
	41 - 50	DFLIM		使用せず。
	51 - 60	DXLIM		使用せず。
	61 - 70	ZZ		2 次系 A ループ流量の SG バイパス率

Card type No.	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
3.1.3	71 - 80	ZZ 2		2次系Bループ流量のSGバイパス率
2) 温度・圧力・流量等の指定用テーブル (定常時でも必要)				
水・蒸気系Aループの入力テーブル (以下のデータをI = 1, II 2くり返す。)				
3.2.1	1 - 10	TIM 1 (I)	6 E 10.5	時刻 (秒)
	11 - 20	ZTCIN 1 (I)		給水入口温度 (°C) (ドラム)
	21 - 30	FLÖWC (I)		給水流量 (kg/s) (ドラム)
	31 - 40	PHC 1 (I)		ドラム蒸気圧力 (ata) ata : 絶対圧力 (ゲージ圧力 + 1)
	41 - 50	DWC (I)		再循環流量 (kg/sec) (SG水側流量)
	51 - 60	DWS (I)		熱利用系コンデンサーに流入する流量 (kg/sec)
水・蒸気系Bループの入力テーブル (以下のデータをI = 1, II 3くり返す。)				
3.2.2	1 - 10	TIM 1 (I)	4 E 10.5	時刻 (秒)
	11 - 20	ZTCIN 1 (I)		給水入口温度 (°C) (ドラム)
	21 - 30	FLÖWC (I)		給水流量 (kg/s) (ドラム)
	31 - 40	PHC 1 (I)		ドラム蒸気圧力 (ata)

Card type No	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
水・蒸気系Bループの入力テーブル (以下のデータを I = 1, II 4 くり返す。)				
3. 2. 3		TIM 22 (I),	6 E 10. 5	時刻 (秒)
		DWC 2 (I),		再循環流量 (kg/sec) (SG水側流量)
		DWS 2 (I),		熱利用系コンデンサーに流入する流量 (kg/sec)
3) 蒸発器 (AループのSG) 注) 特記なき限り, ユニットセルのデータ				
3. 3. 1	1 - 10	EAH	8 E 10. 5	2次冷却系側の流路断面積 (m ²)
	11 - 20	ESH		2次冷却系側の単位長さ* (1m) 当りの伝熱面積 (m ² /m)
	21 - 30	EDH		2次冷却系側の水力等価直径 (m)
	31 - 40	ELAM		伝熱管の半径方向熱伝導率 (kcal/m・sec °C)
	41 - 50	ECM		伝熱管の比熱 (kcal/kg)
	51 - 60	ERM		伝熱管の比重量 (kg/m ³)
	61 - 70	EAM		伝熱管 (構造材部) の断面積 (m ²)
	71 - 80	EDM		伝熱管肉厚 (m)
3. 3. 2	1 - 10	EAC	4 E 10. 5	水・蒸気側の流路断面積 (m ²)
	11 - 20	EDC		水・蒸気側の水力等価直径 (m)
	21 - 30	ESC		水・蒸気側の単位長さ* (1m) 当りの伝熱面積 (m ² /m)

Card type No	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
3.3.2	31 - 40	SSE		定常状態における二相流のスリップ比。現在はプログラム内で1.0に指定, dummy入力でよい。
3.3.3	1 - 10	EPH 0	6 E 10.5	初期2次冷却系側圧力 (kg/cm ²)
	11 - 20	EPC 0		初期水・蒸気側圧力 (kg/cm ²)
	21 - 30	EWH 0		初期2次冷却系側流量 (kg/sec)
	31 - 40	EWC 0		初期水・蒸気側 (循環水) 流量 (kg/sec)
	41 - 50	ETH 0		初期2次冷却系側入口温度 (°C)
	51 - 60	ETC 0		初期水・蒸気側入口温度 (°C)
4) Material gas preheater and drum (Aループの蒸発器とカップルした)				
3.4.1	material gas preheater			
	1 - 10	AREA 1	8 E 10.5	material gas 領域の伝熱面積(m ²)
	11 - 20	AREA 2		producted gas 領域の伝熱面積(m ²)
	21 - 30	ALF 1		material gas 領域の熱伝達率 (kcal/m ² ・sec・°C)
	31 - 40	ALF 2		product gas 領域の熱伝達率 (kcal/m ² ・sec・°C)
	41 - 50	MSPEC		伝熱管の比熱 (kcal/kg °C)
	51 - 60	METAL		伝熱管の初期平均温度 (°C)

Card type No	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
3.4.1	71 - 80			使用せず。
3.4.2	1 - 10	GWS	8 E 10.5	熱利用系復水器への蒸気流量の初期値 (kg/sec)
	11 - 20	DWOUT		ドラムから流出する蒸気流量 (kg/sec)
	21 - 30	GWM		メタン流量 (kg/sec)
	31 - 40	DTL		ドラム水温度 (°C)
	41 - 50	DPS		ドラム蒸気圧力 (ata)
	51 - 60	AMDL		ドラム水の保有量 (kg)
	61 - 70	DTG		ドラム蒸気温度 (°C)
	71 - 80			使用せず。
3.4.3	1 - 10	BLFLOW	8 E 10.5	ブローダウン流量 (kg/sec)
	11 - 20	DVOL		ドラム容積 (m ³)
	21 - 30	GC 1		Producted gas の流量 (kg/sec)
	31 - 40	GC 2		Material gas の流量 (kg/sec)
	41 - 50	CDG		ドラム内蒸気の比熱 (kcal/kg °C)
	51 - 80			使用せず。
3.4.4	1 - 10	GT 1 (1)	6 E 10.5	producted gas の初期入口温度 (°C)

Card type No	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
3.4.4	11 - 20	GT 1 (2)		producted gas の初期平均温度 (°C)
	21 - 30	GT 1 (3)		producted gas の初期出口温度 (°C)
	31 - 40	GT 2 (3)		material gas の初期出口温度 (°C)
	41 - 50	GT 2 (2)		material gas の初期平均温度 (°C)
	51 - 60	GT 2 (1)		material gas の初期入口温度 (°C)

4. BループのSG, ヘッダー, タービン, 再熱器

Card type No	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
4.0.1	1 - 3	NTYP	I 3	"4" を入力すると以下の入力の読み込みを実施する。
	4 - 80			使用せず。
1) BループのSG				注) 特記なき限りユニットセルの値
4.1.1	1 - 10	SAH	8 E 10.5	2次冷却系側の流路断面積 (m ²)
	11 - 20	SSH		2次冷却系側の単位長さ* (1 m) 当りの伝熱面積 (m ² /m)
	21 - 30	SDH		2次冷却系側の水力等価直径 (m)

Card type No.	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
4.1.1	31 - 40	SLAM		伝熱管の半径方向熱伝導率 (kcal/m・sec °C)
	41 - 50	SCM		伝熱管の比熱 (kcal/kg)
	51 - 60	SRM		伝熱管の比重量 (kg/m ³)
	61 - 70	SAM		伝熱管 (構造材部) の断面積 (m ²)
	71 - 80	SDM		伝熱管肉厚 (m)
4.1.2	1 - 10	SAC	4 E 10. 5	水・蒸気側の流路断面積 (m ²)
	11 - 20	SDC		水・蒸気側の水力等価直径 (m)
	21 - 30	SSC		水・蒸気側の単位長さ* (1m) 当りの伝熱面積 (m ² /m)
	31 - 40	SSS		定常状態における二相流のスリップ比。dummy でよい。
4.1.3	1 - 10	SPH 0	6 E 10. 5	初期2次冷却系側圧力 (kg/cm ²)
	11 - 20	SPC 0		初期水・蒸気側圧力 (kg/cm ²)
	21 - 30	SWH 0		初期2次冷却系側流量 (kg/sec)
	31 - 40	SWC 0		初期水・蒸気側流量 (kg/sec)
	41 - 50	STH 0		初期2次冷却系側入口温度 (°C)
	51 - 60	STC 0		初期水・蒸気側入口温度 (°C)

Card type No	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
2) BループのSGに対応したドラム				
4.2.1	1 - 10	MDL 2	8 E 10.5	ドラム水の保有量 (kg)
	11 - 20	BLFLW 2		ブローダウン流量 (kg/sec)
	21 - 30	DTL 2		ドラム水温度 (°C)
	31 - 40	DWOUT 2		ドラムから流出する蒸気流量 (kg/sec)
	41 - 50	DTG 2		ドラム蒸気温度 (°C)
	51 - 60	MDG 2		ドラム蒸気保有量 (kg)
	61 - 70	DVOL 2		ドラム容積 (m³)
	71 - 80	DPS 2		ドラム蒸気圧力 (ata)
3) ヘッダー				
4.3.1	1 - 5	NOPHD	I 5	"1" を記入するとヘッダ出口流量がWOUHEで指定した値となる。 "2" を記入するとヘッダ出口流量がヘッダー入口流量と一致する。
	6 - 15	WOUHE		定常時ヘッダー出口流量 (kg/sec)
	16 - 25	TOUHE 0		定常時の蒸気出口温度 (°C)
	26 - 35	VHE		ヘッダー容積 (m³)
	36 - 45	PH 0		定常時の圧力 (kg/cm²)

Card type No	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
4.3.1	46 - 55	THED		定常時の平均蒸気温度 (°C)
	56 - 65	PŌUHE		定常時のヘッダ出口圧力 (kg/cm ²)
	66 - 75	TINHE 0		定常時のヘッダ入口温度 (°C)
4.3.2	1 - 10	WINHE 1	2 E 10. 5	定常時のヘッダ入口蒸気流量 (kg/sec)
	11 - 20	PINHE		定常時のヘッダ入口蒸気圧力 (kg/cm ²)
4) タービン				
4.4.1	1 - 10	ETB	5 E 10. 5	定常時出力 (kcal/sec)
	11 - 20	TBKT		$(P_{in}^2 - P_{out}^2)/ETB^2$ で与えられる固有の係数
	21 - 30	TINTB		定常時蒸気入口温度 (°C)
	31 - 40	PINTB		定常時蒸気入口圧力 (kg/cm ²)
	41 - 50	TŌUTB 1		定常時蒸気出口温度 (°C)
5) 再熱器				
4.5.1	1 - 10	RAH	8 E 10. 5	2次冷却系側の流路断面積 (m ²)
	11 - 20	RSH		2次冷却系側の単位長さ* (1 m) 当りの伝熱面積 (m ² /m) * RL に対応した値

Card type No.	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
4.5.1	21 - 30	RDH		2次冷却系側の水力等価直径 (m)
	31 - 40	RLAM		伝熱管の半径方向熱伝導率 (kcal/m・sec °C)
	41 - 50	RCM		伝熱管の比熱 (kcal/kg)
	51 - 60	RRM		伝熱管の比重量 (kg/m ³)
	61 - 70	RAM		伝熱管 (構造材部) の断面積 (m ²)
	71 - 80	RDM		伝熱管肉厚 (m)
4.5.2	1 - 10	RAC	4 E 10.5	水・蒸気側の流路断面積 (m ²)
	11 - 20	RDC		水・蒸気側の水力等価直径 (m)
	21 - 30	RSC		水・蒸気側の単位長さ * (1 m) 当りの伝熱面積 (m ² /m) * RLに対応した値
	31 - 40	SSR		定常状態におけるスリップ比。 dummy 入力でよい。
4.5.3	1 - 10	RPH 0	6 E 10.5	初期2次冷却系側圧力 (kg/cm ²)
	11 - 20	RPC 0		初期水・蒸気側圧力 (kg/cm ²)
	21 - 30	RWH 0		初期2次冷却系側流量 (kg/sec)
	31 - 40	RWC 0		初期水・蒸気側流量 (kg/sec)
	41 - 50	RTH 0		初期2次冷却系側入口温度 (°C)
	51 - 60	RTC 0		初期水・蒸気側入口温度 (°C)

5. 改質器

1) 全搬データ

Card type No.	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
5.1.1	1 - 3	NTYP	I 3	"5"を記入すると以下の改質器の入力を実行する。
5.1.2	1 - 5	NZSECR	6 I 5	冷却材流れ方向に分割したメッシュ数
	6 - 10	NTSEC		使用せず。
	11 - 15	IDIST		
	16 - 20	IGES		
	21 - 25	IRILIM		
	26 - 30	NNPIPE		エレメント数。
5.1.3	1 - 10	ZLR	8 E 10. 5	エレメントチューブ長さ (m)
	11 - 20	TLIM		使用せず。
	21 - 30	DT		
	31 - 40	DP		触媒の平均直径 (m)
	41 - 50	R \bar{O} CAT		触媒の比重量 (kg/m ³)
	51 - 60	CCAT		触媒の比熱 (kcal/kg °C)
	61 - 80			使用せず。
5.1.4	1 - 10	CH4M	8 E 10. 5	メタンの分子量

Card type No	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
5. 1. 4	11 - 20	H2OM		水蒸気の分子量
	21 - 30	COM		一酸化炭素の分子量
	31 - 40	H2M		水素の分子量
	41 - 50	CO2M		二酸化炭素の分子量
	51 - 60	CH4SU		メタンの Sutherland Constant
	61 - 70	H2OSU		水蒸気の Sutherland Constant
	71 - 80	COSU		一酸化炭素の Sutherland Constant
5. 1. 5	1 - 10	H2SU	8 E 10. 5	水素の Sutherland Constant
	11 - 20	CO2SU		二酸化炭素の Sutherland Constant
	21 - 80			使用せず。
2) ガイドスリーブ 注) 以下はユニットセル当りのデータを記入すること。				
5. 2. 1	1 - 10	ZAL	6 E 10. 5	断面積 (m ²)
	11 - 20	ZLAML		径方向熱伝導率 (kcal/m・°C・sec)
	21 - 30	ZROL		比重量 (kg/m ³)
	31 - 40	ZCL		比熱 (kcal/kg °C)
	41 - 50	ZDL		肉厚 (m)
	51 - 60	ZSO		2次冷却系側の単位長さ* (1m) 当りの伝熱面積 (m ² /m) * ZLRに対応した値

Card type No	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
3) 外側反応管				
5. 3. 1	1 - 10	ZAMR	5 E 10. 5	断面積 (m ²)
	11 - 20	ZLAMM		径方向熱伝導率 (kcal/m・°C・sec)
	21 - 30	ZR \bar{O} M		比重量 (kg/m ³)
	31 - 40	ZCMR		比熱 (kcal/kg・°C)
	41 - 50	ZDMR		肉厚 (m)
	51 - 80			使用せず。
4) 内側反応管				
5. 4. 1	1 - 10	ZAN	5 E 10. 5	断面積
	11 - 20	ZLAMN		径方向熱伝導率 (kcal/m・°C・sec)
	21 - 30	ZR \bar{O} N		比重量 (kg/m ³)
	31 - 40	ZCN		比熱 (kcal/kg・°C)
	41 - 50	ZDN		肉厚 (m)
	51 - 80			使用せず。
5) 2次冷却系側				
5. 5. 1	1 - 10	ZA 1	6 E 10. 5	流路断面積 (m ²)

Card type No	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
5. 5. 1	11 - 20	ZS 1		単位長さ* (1 m) 当りの伝熱面積 (m ²) * ZLRに対応した値
	21 - 30	ZWHOR		定常時の冷却材流量 (kg/sec)
	31 - 40	ZDEH		水力等価直径 (m)
	41 - 50	TIN 1		定常時の冷却材入口温度 (°C)
	51 - 60	PIN 1		使用せず。
6) ガス混合領域 (反応領域)				
5. 6. 1	1 - 10	ZA 2	8 E 10. 5	流路断面積 (m ²)
	11 - 20	ZS 2		外側反応管の単位長さ* (1 m) 当りの反応領域側伝熱面積 (m ²) * ZLRに対応した値
	21 - 30	ZS 3		内側反応管の単位長さ* (1 m) 当りの反応領域側伝熱面積 (m ²) * ZLRに対応した値
	31 - 40	ZWCO 2		使用せず。
	41 - 50	ZDEC 1		水力等価直径 (m)
	51 - 60	ZDEC 2		使用せず。
	61 - 70	GAP		触媒の空隙率
	71 - 80	TIN 2		ガス混合領域入口温度

Card type No	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
7) 流れと圧力				
5.7.1	1 - 10	PIN2	8 E 10.5	使用せず。
	11 - 20	ZWINC		供給メタン流量 (kg/sec・element)
	21 - 30	ZWINH		供給水蒸気流量 (kg/sec・element)
	31 - 40	GMOLC		供給メタン流量 (gmol/sec・element)
	41 - 50	GMOLH		供給水蒸気流量 (mol/sec・element)
	51 - 60	P 2		ガス混合物の圧力 (kg/cm ²)
	61 - 72	GRA		上記4流量の全てに乗ずる bugger factor.
	71 - 80			使用せず。
5.7.2	1 - 10	ZA 3	5 E 10.5	生成ガスの帰環領域の流路断面積
	11 - 20	ZS 4		生成ガス境界に沿った単位長さ* (1 m) 当りの伝熱面積 (m ² /m)
	21 - 30	ZWCO 3		使用せず。
	31 - 40	ZDEM		生成ガスの帰環領域の水力等価直径
	41 - 50	P 3		生成ガス圧力 (kg/cm ²)
	51 - 55	IDCH 4	I 5	" 5.7.3 " で入力するメタンの外乱テーブルの入力数。
5.7.3		TIM2 (I), DWM (I), DTM (I), I = 1, IDCH 4	6 E 10.5	時刻 (秒) 流量 (kg/sec・element) 入口温度 (°C)

6. 改質器用初期値

Card type No.	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
6.1	1-3	NTYP	I 3	"6"を入力すると、改質器等の Initial guess を読み込む。
	4-80			使用せず
6.2		TB 1 (I), I=1, NZSECR	8 E 10. 5	2次冷却系領域の初期温度分布(°C) (メッシュ中央値)
		TB 2 (I), I=1, NZSECR	8 E 10. 5	ガス混合物反応ベット領域の初期温度分布(°C) (メッシュ中央値)
		TB 3 (I), I=1, NZSECR	8 E 10. 5	生成ガス帰環領域の初期温度分布(°C) (メッシュ中央値)
		TLB (I), I=1, NZSECR	8 E 10. 5	ガイドスリーブの初期温度分布(°C) (メッシュ中央値)
		TMB (I), I=1, NZSECR	8 E 10. 5	外側反応管の初期温度分布(°C) (メッシュ中央値)
		TNB (I), I=1, NZSECR	8 E 10. 5	内側反応管の初期温度分布(°C) (メッシュ中央値)
		THETA 1 (I), I=1, NZSECR+1	8 E 10. 5	2次冷却系領域の初期温度分布(グリッドライン上の値) (°C)
		THETA 2 (I), I=1, NZSECR+1	8 E 10. 5	ガス混合物反応ベット領域の初期温度分布(グリッドライン上の値) (°C)
		THETA 3 (I), I=1, NZSECR+1	8 E 10. 5	生成ガス帰環領域の初期温度分布(グリッドライン上の値) (°C)

Card type No.	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
6.2		BETA (I), I=1,NZSECR	8E10.5	反応ベッド領域のメタン-水蒸気 改質反応の初期メタン未転化率分布。 (= 1-転化率)
		HZOVOL (I), I=1,NZSECR	8E10.5	水蒸気の流量 (gmol/sec.element)
		HZVOL (I), I=1,NZSECR	8E10.5	水素の流量 (gmol/sec.element)
		DIST (I), I=1,NZSECR		反応速度定数に乗ずる修正係数

7. 制御系 (Control system)

Card type No.	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
7.0	1-3	NTYP	I 3	"7"を入力すると以下のデータが入力される。
7.1.1	1-5	NDET	I 5	検出点数。最大 16。(以下の表参照)
	6-80			使用せず
<p>制御変数</p> <p>I = 1 : 原子炉出力 (中性子束)</p> <p>I = 2 : 原子炉出口ガス温度</p> <p>I = 3 : A ループ IHX 1 次系ヘリウムガス出口温度</p> <p>I = 4 : A ループ IHX 2 次系ヘリウムガス出口温度</p> <p>I = 5 : A ループ SG 2 次系ヘリウムガス出口温度</p> <p>I = 6 : 1 次系平均圧力</p> <p>I = 7 : 2 次冷却系 A ループ平均圧力</p> <p>I = 8 : A ループドラム水位</p> <p>I = 9 : A ループドラム圧力</p>				

Card type No	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
				I = 10 : 改質器最大触媒温度 I = 11 : Bループ IHX 1次系ヘリウムガス出口温度 I = 12 : Bループ IHX 2次系ヘリウムガス出口温度 I = 13 : Bループ SG 2次系ヘリウムガス出口温度 I = 14 : 2次冷却系 Bループ平均圧力 I = 15 : Bループドラム水位 I = 16 : Bループドラム圧力

Card type No	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
		TLAG (I), I=1,NDET	10E8.2	輸送遅れ (秒) (現在使用されていない)
		DEV (I), I=1,NDET	10 E 8.2	(用途不明)
		ST (I), I=1,NDET	10 E 8.2	積分動作を考慮する時間 (秒) 但し現在使用されていない。
		CK (I), I=1,NDET		時定数 (秒) (検出器等のもつ時定数)
		CV (I), I=1,NDET	10 E 8.2	制御目標値
		CKP (I), I=1,NDET	10 E 8.2	比例動作偏差の増幅率 (現在使用されていない)
2) コントローラーの制御定数				
7.2.1	1-5	NOPRT	2 I 5	操作エレメントの数。最大 16
	6-10	NPIDS		制御定数を出力のテーブルとして入力する数。

Card type No.	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
7.2.1		PSET (I), I=1,NPIDS	10E8.2	制御定数のセットを与える炉の出力。 低い値から順次記入。初期炉出力を 1.0として正規化して記入。
<p>操作エレメント</p> <p>J = 1 : 制御棒</p> <p>J = 2 : Aループ1次系流量</p> <p>J = 3 : Aループ2次系流量</p> <p>J = 4 : メタン流量</p> <p>J = 5 : Aループドラムへの給水流量</p> <p>J = 6 : 1次系内の冷却材インベントリー</p> <p>J = 7 : Aループ2次冷却材インベントリー</p> <p>J = 8 : Aループドラムの流出蒸気量</p> <p>J = 9 : AループSGの循環水準</p> <p>J = 10 : 改質器への蒸気流量</p> <p>J = 11 : Bループ1次系流量</p> <p>J = 12 : Bループ2次系流量</p> <p>J = 13 : Bループ2次冷却材インベントリー</p> <p>J = 14 : Bループドラムへの給水流量</p> <p>J = 15 : Bループドラムの流出蒸気量</p> <p>J = 16 : BループSGの再循環流量</p>				

Card type No.	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
7.2.3	1-5	——	X 5	コメント, 通常 "PLO"
	1-10	JCONST	I 5	PID制御のP成分を与えるデータの 総数
PID制御系の比例係数をJCONST個与える (IB=1, JCONST)				
7.2.4	1-4	JDET	3 I 4	制御量の番号 (I)
	5-8	JOPRT		操作量の番号 (J)

Card type No	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
7.2.4	9 - 12	JPIDS		炉の出力範囲 (1 ~ NPIDS)
	13 - 24	CONST	F 12.0	比例係数値
<p>PLO (JOPRT, JDET, JPIDS) = CONST</p>				
7.2.5	1 - 5	———	X 5	コメント通常 "XILO"
	6 - 10	JCONST	I 5	PID制御のI成分を与えるデータの総数
PID制御系の積分係数をJCONST個与える (IB=1, JCONST)				
7.2.6	1 - 4	JDET	3 I 4	制御量の番号 (I)
	5 - 8	JOPRT		操作量の番号 (J)
	9 - 12	JPIDS		炉の出力範囲 (1 ~ NPIDS)
	13 - 24	CONST	F 12.0	積分係数値
7.2.7	1 - 5	———	X 5	コメント通常 "DLO"
	6 - 10	JCONST	I 5	PID制御のD成分を与えるデータの総数
PID制御系の微分係数をJCONST個与える (IB=1, JCONST)				
7.2.8	1 - 4	JDET	3 I 4	制御量の番号 (I)
	5 - 8	JOPRT		操作量の番号 (J)

Card type No.	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
7.2.8	9 - 12	JPIDS		炉の出力範囲 (1 ~ NPIDS)
	13 - 24	CONST	F 12.0	微分係数值
3) 非線形特性 以下のデータを I = 1, NOPRT くり返す。				
7.3.1	1 - 8	X 1 D (I)	10 E 8.2	<p>操作信号</p>
	9 - 16	X 2 D (I)		
	17 - 24	X 3 D (I)		
	25 - 32	X 4 D (I)		
	33 - 40	X 5 D (I)		
	41 - 48	X 6 D (I)		
	49 - 56	X 7 D (I)		
	57 - 64	X 8 D (I)		
	65 - 72	Y 1 D (I)		
	73 - 80	Y 2 D (I)		
7.3.2	1 - 8	Y 3 D (I)	10 E 8.2	<p>注) X7D (I), X8D (I) は使用せず。</p>
	9 - 16	Y 4 D (I)		
	17 - 24	Y 5 D (I)		
	25 - 32	TAU (I)		

Card type No	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
7.3.2	41-80			使用せず
4)				
7.4.1	1-8	TAUR	10 E 8.2	ダミー入力 (現在計算に使用されていない。)
	9-80			使用せず
5) リミッター				
7.5.1		SINMIN (I), SINMAX (I), I=1, NÖPRT	10 E 8.2	操作信号の下限 操作信号の上限 (インターロック等の効果を考慮するために導入)
6) 目標値 (設定値) の出力依存入力				
7.6.1		TA0 (I), TA1 (I), TA2 (I), TA3 (I), TA4 (I), I=1, NDET	10E 8.2	$CV(I) = CV(I) * (TA0(I) + TA1(I) * P + TA2(I) * P^2 + TA3(I) * P^3 + TA4(I) * P^4)$ (現在使用されていない)
7) Gain				
7.7.1		GAIN (I), I=1, NÖPRT	10 E 8.2	ゲイン (PIDで処理された信号が, さらにこの値倍される。通常は1.0)

8. 炉心データ

Card type No.	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
8.0	1 - 3	NTYP	I 3	"8"を入力すると以下の炉心関係のデータの <input data-bbox="906 437 1209 471" type="text"/> を実行する。
	4 - 80			使用せず。
1) 伝熱計算データ				
8.1.1	1	ISHAPE	I 1	"2"を入力するとR-Z形状の問題となる。
	2 - 73	ZA (I)	12 A 6	タイトル名
8.1.2	1 - 72		12 A 6	タイトル名の続き (0枚から必要なだけ)
ブランクカード				
8.2		RA (I)	6 E 12. 4	<u>径方向グリッドライン</u> 小さい値より順次記入。単位 (m)。最低5グリッドライン必要。中間冷却材領域の外側に2グリッドライン必要。環状燃料でなければ、初期半径0、環状燃料では、内径でよい。最大14ラインまで。
ブランクカード				
8.3		AX (J)	6 E 12. 4	<u>軸方向グリッドライン</u> 径方向同様、最大19ライン

Card type No	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
ブランクカード				
8.4.1				ブロック情報 MADATAで指定した同一物質番号となる領域についてのデータ
	1 - 12	RBL (K)	6 E 12.4	領域のLower radial boundaryとなるグリッドライン (m)
	13 - 24	RBH (K)		領域のHigher radial boundaryとなるグリッドライン (m)
	25 - 36	ABL (K)		領域のLower axial boundaryとなるグリッドライン (m)
	37 - 48	ABH (K)		領域のHigher axial boundaryとなるグリッドライン (m)
	49 - 60	DR		物質番号
	61 - 72			使用せず
8.4.2	1 - 12	DGR (K)		6 E 12.4
	13 - 24	HR	半径方向ギャップ内ガスの物質番号	
	25 - 36	DGA (K)	軸方向のHigher boundaryにあるギャップの幅 (m)、ギャップなしはブランク	
	37 - 48	FT	軸方向ギャップ内ガスの物質番号	
	49 - 72		使用せず。	

Card type No.	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
全領域記入したらblankカード				
8.5				<u>初期温度分布</u> 初期温度が同一である領域について記入。Previously punched temperature (7.8)の入力があれば、それが優先するが、その場合でも本入力は、必要(°C)
	1 - 12	RMIN	6 E 12.4	領域のLower radial boundaryとなるグリッドライン (m)
	13 - 24	RMAX		領域のHigher radial boundaryとなるグリッドライン (m)
	25 - 36	AMIN		領域のLower axial boundaryとなるグリッドライン (m)
	37 - 48	AMAX		領域のHigher axial boundaryとなるグリッドライン (m)
	49 - 60	T		領域または Sink の温度 (°C)
	61 - 72	H		Sink に対する熱伝達率 (kcal/s m ² °C)
全領域記入したらblankカード				
8.6				<u>冷却材データ</u> 冷却材の熱伝達率を Re 数の範囲毎に指定するための、Re 数
	1 - 12	DA	6 E 12.4	冷却材番号 (プログラム内で1.0を中間冷却材, 2.0を内側冷却材と指定しているのでこれを記入。)

Card type No	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
8.6	13 - 24	D 1		第1 Re 数リミット
	25 - 36	D 2		第2 Re 数リミット
	37 - 48	D 3		第3 Re 数リミット
	49 - 60	D 4		第4 Re 数リミット
	61 - 72			使用せず。
ブランクカード2枚 (別のVersionで読み込みあり。)				
全冷却材について記入終了したらブランクカード				
8.7				<u>燃料領域の指定カード</u> 燃料および減速材の平均温度を求め るために、炉心のうち燃料の存在す る領域を指定する。また燃料領域の 減速材の割合を、減速材のみの領域 との比で指定する。指定は、温度計 算Point である。
	1 - 12	A J B	6 E 12.4	燃料領域のLower axial point
	13 - 24	A J C		燃料領域のhigher axial point
	25 - 36	A I 11		燃料領域のLower radial point
	37 - 48	A I 2		燃料領域のhigher radial point
	49 - 60	GFRAC		燃料領域における減速材の割合

Card type No	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
ブランクカード				
8.8				Function Parameter Cards MADATA, FLODATで使用され 入力で指定できるA 1からA 18まで の値
		A 1, A 2, ..., A 18	6 E 12.0	A 1からA 18までの各値
<p>A 3, A 5, A 16 は, Sub. MADATA で使用 A 3 : 燃料コンパクト熱伝導率 (kcal/s・m・°C) A 5 : 黒鉛の熱伝導率 (kcal/s・m・°C) A 16 : He 熱伝導率計算用He 圧力 (kg/cm²)</p> <p>A 14, A 15 はSub. FLODAT で使用 A 14 : チャンネルモデルでの円環状He 流路断面積 (m²) $A 14 = \pi (r_{out}^2 - r_{in}^2)$ A 15 : チャンネルモデルの円環流路の等価直径 (m) $A 15 = d_{out} - d_{in}$</p>				
2) The kinetic data input				
<p>Kinetic data の FORMAT は以下の通り Column 1 : ブランク, 但し Kinetic data の最終カードに値を入力する(I 1) Column 2-6 : そのカードに入力するデータの初めのもののLocation number (I-5) Column 7 : そのカードに記載されているデータ数 (I 1) Column 8-71 : 9 コラム毎に最大7つデータを入力 (7 E 9.4)</p>				

Location Number	Fortran Name	Description
1	PB	炉心全出力の初期値：(MW)
2	SOURCE	定常中性子源(存在する場合)：(MW) (PBとSOURCEの単位は矛盾のないこと)
3	TEND	計算を終了させる時間(sec)
4	P̄OWDEN	平均燃料チャンネルの燃料領域における平均出力密度；(kcal/m ³ sec) (前記のPBと矛盾のないこと)
5	GENTIM	即発中性子生成時間：(sec)
6-11	ALAM(I)	遅発中性子先行核の崩壊定数 λ_i (sec ⁻¹) $i = 1 \sim 6$
12-17	BETA(I)	遅発中性子生成率 β_i $i = 1 \sim 6$
18	H	Runge-Kutta 積分を行う際の初期のタイムステップ巾：(sec) (0.001 sec が代表的)
19	SMALLH	Runge-Kutta 積分を行う際の最少タイムステップ巾：(sec) (0.00001 sec が代表的)
20	Q1	Runge-Kutta 判断基準
21	Q2	"
22	DELTMX	RATルーチンを呼び出す前に許される最大の燃料温度変化巾：(°C)
23		使用せず
24	TEMPTI	最も長い温度係数テーブルの入力点数。ここで、入力点とは、組になった数字のペアを指す。

Location Number	Fortran Name	Description
25-84	TABA	<p>燃料温度係数テーブル</p> <p>$T_1, \Delta\rho_1, T_2, \Delta\rho_2, \text{etc.}$ の順に入力すること。</p> <p>ここで, T_i は °C,</p> $\Delta\rho_i = \int_{T_i}^{T_i} \alpha_{\text{fuel}}(T) dT$ <p>RATルーチンで, 初期の平均燃料温度が算出された後, テーブルのデータはノーマライズし直され, 初期温度に対し$\Delta\rho = 0.0$となる。</p> <p>引き続き反応度変化は, この温度を基準として算出される。</p> <p>テーブルは, 可能性のある温度領域をすべてカバーしなければならない。(このテーブルでも他のテーブルでも, 領域を超すと高価なエラーとなる。)</p> <p>コード内で, 動特性方程式から$\Delta\rho$を差し引く形となるので, 負の温度係数に対しては正の値を入力すること。</p>

TABA (1.1), TABD (1.1) の値が 0.0 つまり, 最初の温度 T_1 が 0.0 のときには, Dynamic の計算時でも, 温度係数テーブルは参照せず, 温度フィードバックはかからない。Dynamic モードでの Static な計算が可能である。

Location Number	Fortran Name	Description
85-144	TABD	<p>減速材温度係数テーブル</p> <p>T_i に対して入力する $\Delta\rho_i$ は,</p> $\Delta\rho_i = \int_{T_i}^{T_i} \alpha_{\text{mod}}(T) dT$
145	AVAIL (1)	
146	AVAIL (2)	<p>全冷却材流量に対する内側冷却材流量の比率 (内側冷却材を有する環状燃料要素の場合)</p>

Location Number	Fortran Name	Description
147	AVAIL (3)	温度分布出力用のインデックス。燃料要素と冷却材の全温度分布を、RATルーチンと呼ぶタイムステップ数がAVAIL(3)回を越すごとにプリントする。
148 - 150	AVAIL(4~6)	次のタイムステップ Δt_i を使い始める時刻： (sec)
152 - 155	AVAIL(8~11)	タイムステップ Δt_i 。2通りの使い方がある。ひとつは、RATルーチンと呼ぶ時に使う。AVAIL(4~6)で規定された時刻の間では、少くとも Δt_i 秒ごとにRATが呼ばれる。(温度チェックルーチンDELTMXの結果によってはもっと頻繁に呼ばれる場合もある。)ふたつめの使い方は、定常伝熱計算用にコードを実行させる際に、タイムステップを与えるものである。
159	AVAIL (15)	定常温度計算を行う時には1.0を入力する。
160	AVAIL (16)	燃料温度係数テーブルで与えたすべての $\Delta \rho_i$ の値に乗ぜられる (bugger factor) 必要なければ1.0を入力する。パラメータサーベイを行ったり、テーブルの符号を間違えて入力した時などに、非常に有用である。
161	AVAIL (17)	減速材温度係数に対して同様のもの
162	AVAIL (18)	
163	AVAIL (19)	
300	AVAIL (156)	燃料温度係数テーブルの入力点数

Location Number	Fortran Name	Description
301	AVAIL (157)	
302	AVAIL (158)	減速材温度係数テーブルの入力点数
303	AVAIL (159)	RAMP テーブルの入力点数
304	AVAIL (160)	SCRAM テーブルの入力点数
305	AVAIL (161)	冷却材流量テーブルの入力点数 (このカードの情報は、範囲を超えて使用するとエラーが起きる。)
306	AVAIL (162)	
334	AVAIL (190)	ループ 1 の中間ループに対する冷却材流量テーブルの入力点
335 - 353	AVAIL (191 - 209)	上記ループに対する冷却材流量テーブル、時刻、流量、時刻、流量 etc の順に入力する。 流量は kg/sec
354	AVAIL (210)	ループ 2 の中間ループに対する冷却材流量テーブルの入力点数
355 - 374	AVAIL (211 - 230)	上記ループに対する冷却材流量テーブル、時刻、流量、時刻、流量 etc の順に入力する。 流量は kg/sec
375	RAMPI	RAMP テーブルもしくは SCRAM テーブルのうち、長い方の入力点数
376	TRAMP	RAMP テーブルを参照する最後の時間：(sec)
377	ENDRAM	ENDRAM=0.0 ならスクラム開始後も RAMP を続ける。

Location Number	Fortran Name	Description
		ENDRAM=1.0 ならスクラム開始後はRAMPを止める。
378 -407	TABC	RAMP反応度テーブル 時刻, $\Delta\rho$, 時刻, $\Delta\rho$ の順に入力する。
408 -437	PSET	
438	TENDSC	SCRAMテーブルを参照する最後の時間: (sec)
439	POWRAT	スクラムを起こす出力レベル: (MW)
440	TDELAY	出力がPOWRATに達してから, スクラム開始までの時間遅れ: (sec)
441 -500	TABB	SCRAM反応度テーブル 時刻, $\Delta\rho$, 時刻, $\Delta\rho$ etcの順に入力する スクラムの項は, 動特性方程式から差し引かれる形となるので, 正の値を入力する。
501	TINL	定常時の冷却ガス入口温度: ($^{\circ}\text{C}$)
502	FSTAN	
503 -522	WSTAN (J)	P/\bar{P}_{ave} : 軸方向出力分布関数 値は, (軸方向グリッドラインでなく)温度を計算する点に対して与える。 軸方向の平均が1.0となるように正しくノーマライズしてあること。
523	PBI	流量テーブルの入力点数
524	ENDC $\bar{\text{O}}$ L	1次冷却材流量テーブルを最後に参照する時間。

Location Number	Fortran Name	Description
525 -554	TABE	ループ1の1次冷却材流量テーブル 時刻, 流量, 時刻, 流量 etcの順に入力する。 流量はループ全流量 (kg/sec) 内側冷却材を使う時は, このテーブルデータに AVAIL(2)を乗じる。 (テーブルが使われると, 定常値であるFSTAN は使用されない。)
555 -584	TABE	ループ2の1次冷却材流量テーブル 以下上のTABEと同様
このセットの最後のカードは, 1カラム目に1とパンチすること		

燃料温度, 減速材温度の組み合わせに対する K_{∞} の値の入力 (表形式の入力)

入力しない場合 blank card を1枚挿入

Card type No.	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
	1 - 5	NTM	I 5	減速材温度の入力数
	5 - 75	TM(I), I = 1, NTM	10 F 7.0	減速材温度
	1 - 5	NTF	I 5	燃料温度の入力数
	5 - 75	TF(I), I = 1, NTF	10 F 7.0	燃料温度
		KINF(I, J), J = 1, NTF		K_{∞} の値 以下の値を I = 1, NTM くり返す。 TM, TFで与えられる K_{∞} の値

8. ヘリウムインベントリと反射体

Card type No.	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
8.1.1			8 E 10.2	<u>1次系のデータ</u>
	1 - 10	CPRESS (1.1)		低温プレナムのヘリウムインベントリ (kg)
	11 - 20	CPRESS (1.2)		高温プレナムのヘリウムインベントリ (kg)
	21 - 30	CPRESS (1.3)		Aループの低温部分のヘリウムインベントリ (kg)
	31 - 40	CPRESS (1.4)		Aループの高温部分のヘリウムインベントリ (kg)
	41 - 50	CPRESS (1.5)		Aループの低温部分のヘリウムインベントリ (kg)
	51 - 60	CPRESS (1.6)	Aループの高温部分のヘリウムインベントリ (kg)	
8.1.2			8 E 10.2	<u>2次系Aループのデータ</u>
	1 - 10	CPRESS (2.1)		IHXの低温部のヘリウムインベントリ (kg)
	11 - 20	CPRESS (2.2)		IHXの高温部のヘリウムインベントリ (kg)
	21 - 30	CPRESS (2.3)		使用せず。
31 - 40	CPRESS (2.4)			

Card type No	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
8.1.2	41 - 50	CPRESS (2.5)		SGの低温部のヘリウムインベントリ (kg)
	51 - 60	CPRESS (2.6)		SGの高温部のヘリウムインベントリ (kg)
8.1.3			8 E 10.2	2次系Bループのデータ
	1 - 10	CPRESS (3.1)		IHXの低温部のヘリウムインベントリ (kg)
	11 - 20	CPRESS (3.2)		IHXの高温部のヘリウムインベントリ (kg)
	21 - 30	CPRESS (3.3)		SGの低温部のヘリウムインベントリ (kg)
	31 - 40	CPRESS (3.4)		SGの高温部のヘリウムインベントリ (kg)
	41 - 50	CPRESS (3.5)		使用せず。
	51 - 60	CPRESS (3.6)		
8.1.4	1 - 5		5 X	使用せず。
	6 - 10	K	6 I 5	冷却材が抜き出される1次系のNode番号(8.1.1のCPRESS(1.K)のKの値。抜き出される冷却材温度はサブルーチンEXLOOPで指定。)。冷却材を注入する場合は、K=20を入力。(注入する冷却材温度は、8.1.5のTPRESS(1.20)で指定。)
	11 - 15	L		冷却材が抜き出される2次冷却系A

Card type No	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
8. 1. 4				ループの Node 番号。(記入要領は、Kと同様。)
	16 - 20	M		冷却材が抜き出される 2次冷却系Bループの Node 番号。(記入要領は、Kと同様。)
	21 - 25	KMAX		1次系の冷却材インベントリーテーブルの数。
	26 - 30	LMAX		2次系Aループの冷却材インベントリーテーブルの数。
	31 - 35	MMAX		2次系Bループの冷却材インベントリーテーブルの数。
8. 1. 5	1 - 10	TPRESS (1,20)	8 E 10. 2	1次系に注入される冷却材温度(°C)
	11 - 20	TPRESS (2,20)		2次系Aループに注入される冷却材温度(°C)
	21 - 30	TPRESS (3,20)		2次系Bループに注入される冷却材温度(°C)
8. 1. 6	1次冷却材の注入，抜き出しヘリウム量テーブル (インベントリーテーブル)			
		DTIME (1, J) DC (1, J) J=1, KMAX	8 E 10. 2	時刻，注入量 (抜き取り量はマイナスで記入)，時刻，注入量と時刻を追って記入。時刻は秒，注入量は kg。
8. 1. 7	2次冷却材Aループの注入，抜き出しヘリウム量テーブル (インベントリーテーブル)			
		DTIME (2, J) DC (2, J)	8 E 10. 2	時刻，注入量，時刻，注入量と 8. 1. 6と同様な方法で記入。

Card type No	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
8.1.7		J=1, LMAX		
8.1.8	2次冷却材Bループの注入, 抜き出しヘリウム量テーブル (インベントリーテーブル)			
		DTIME (2,J) DC (2,J) J=1, MMAX	8 E 10.2	時刻, 注入量を 8.1.6 と同様な方法で記入。
2) 反射体				
8.2.1	1 - 10	CM	8 E 10.2	反射体の熱容量 (kcal/°C)
	11 - 20	BYPASS		全流量に対する炉心バイパス流量
	21 - 30	TOUT		反射体出口ガス温度(°C)
	31 - 80			使用せず。

9. AHX 用データ

Card type No.	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
9.1	1 - 10	NAHX	I 10	AHXの台数
9.2	1 - 10	NTBAHX	I 10	伝熱管本数
9.2.1	1 - 10	MDVAHX	I 10	軸方向分割数
	11 - 20	ZLAHX	6 E 10. 0	伝熱管の長さ (Uチューブの片側) (m)
9.2.2	1 - 10	RMDTB	7 E 10. 0	伝熱管構成材の熱伝導率 (kcal/m ² sec °C)
	11 - 20	ROHTB		伝熱管構成材の比重量 (kg/m ³)
	21 - 30	CPTB		" の比熱 (kcal/kg °C)
	31 - 40	DARTB		伝熱管の断面積 (m ²)
	41 - 50	DTHICK		伝熱管厚み (m)
9.2.3	1 - 10	ALFW(1)	7 E 10. 0	流路断面積 (Uチューブ入口側配管の水側) (m ²)
	11 - 20	AHW(1)		単位長さ当りの伝熱面積 (Uチューブ入口側配管の水側) (m ² /m)
	21 - 30	DFLWW(1)		等価直径 (Uチューブ入口側配管の水側) (m)
9.2.4	1 - 10	ALFP(1)	7 E 10. 0	流路断面積 (Uチューブ入口側配管のHe側) (m ²)
	11 - 20	AHP(1)		単位長さ当りの伝熱面積 (Uチューブ

Card type No	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
9.2.4				ブ入口側配管のHe側) (m ² /m)
	21 - 30	DFLWP(1)		等価直径 (Uチューブ入口側配管のHe側) (m)
9.2.5	1 - 10	ALFP(2)	7 E 10.0	流路断面積 (Uチューブ出口側配管のHe側) (m ²)
	11 - 20	AHP(2)		単位長さ当りの伝熱面積 (Uチューブ出口側配管のHe側) (m ² /m)
	21 - 30	DFLWP(2)		等価直径 (Uチューブ出口側配管のHe側) (m)
9.2.6	1 - 10	ALFW(2)	7 E 10.0	流路断面積 (Uチューブ出口側配管の水側) (m ²)
	11 - 20	AHW(2)		単位長さ当りの伝熱面積 (Uチューブ出口側配管の水側) (m ² /m)
	21 - 30	DFLWW(2)		等価直径 (Uチューブ出口側配管の水側) (m)
<p>以上がAループAHX用のデータ。 BループのAHXについては、9.2~9.2.6の入力を繰り返す。</p>				

・ EXLOOP 中の各コンポーネント出入口温度名称について

サブ ルーチン名	対応する コンポーネント	入 力 値	出 力 値
RECUPE	IHX (中間熱交換器)	ZTHNN (1次入口温度) ZTCIN (2次入口温度)	ZTHOUT (1次出口温度) ZTCOUT (2次出口温度)
		ZTHIN2 (1次入口温度) ZTCIN2 (2次入口温度)	ZTHOUT (1次出口温度) ZTOUT2 (2次出口温度)
DTUBE	1次系高温 2重配管	TPIN11 (高温側入口温度)	TDOUT1(1) (高温側出口温度)
		TPIN10 (低温側入口温度)	TDOUT0(1) (低温側出口温度)
		TPIN31 (高温側入口温度) TPIN30 (低温側入口温度)	TDOUT1(3) (高温側出口温度) TDOUT0(3) (低温側出口温度)
	2次系高温 2重配管	TPIN21 (高温側入口温度) TPIN20 (低温側入口温度)	TDOUT1(2) (高温側出口温度) TDOUT0(2) (低温側出口温度)
		TPIN41 (高温側入口温度) TPIN40 (低温側入口温度)	TDOUT1(4) (高温側出口温度) TDOUT0(4) (低温側出口温度)
SGENER	SG (蒸気発生器)	GNEIN (He側入口温度)	GNEOUT (He側出口温度)
SGENR2	SG (蒸気発生器)	GNEIN2 (He側入口温度)	GNOUT2 (He側出口温度)

ICARUS コードより出力されるデータの説明。

1. これらのデータは、FT 04 F 001 のファイル定義名を持つファイルより入力する。
2. Runの結果得られる最終データは、FT 04 F 001 に入力したデータのフォーマットと同一の形式で、FT 07 F 001 に得られる。したがって、FT 07 F 001 に得られた最終結果を、FT 04 F 001 として入力すれば良い。
3. Staticな計算において、これらのデータがない場合には、ダミーのデータを入力する必要がある。二、三回FT 07 F 001 とFT 04 F 001 を交換してRunを行えば、定常時のデータが得られる。このとき、炉心温度分布の入力値を総て同一とすると、ゼロ割りエラーが生じるので、多少異った値をそれぞれ入力する必要がある。

Card type No	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
1) IHX用 Previously punched temperature				
1.1	第1ループ IHXの Previously punched temperature			
		ZTH(I), I=1, NZSEC	5 E 12.5	1次冷却材温度分布
		ZTM(I), I=1, NZSEC		構造材 (伝熱管温度分布)
		ZTC(I), I=1, NZSEC		2次冷却材温度分布
1.2	第2ループ IHXの Previously punched temperature			
		ZTH(J), J=1, NZSEC	5 E 12.5	1次冷却材温度分布
		ZTM(J), J=1, NZSEC		構造材 (伝熱管) 温度分布
		ZTC(J), J=1, NZSEC		2次冷却材温度分布
2) 配管および二重配管の Previously Punched Temperature				
以下の配管のデータを NPPIPE くり返す				
2.1		TMP(I), I=1, NPZSEC	6 E 12.4	冷却材の GRID 上の温度(°C)
		TCP(I), I=1, NPZSEC	6 E 12.4	冷却材の Mesh 中央の温度(°C)

Card type No	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
2.1		TPP(I), I=1, NPZSEC	6 E 12.4	配管の Mesh 中央の温度(°C)
以下の二重配管のデータを NDTUBE くり返す				
2.2		TMD 1(I), I=1, NDZSEC	6 E 12.4	内側冷却材の GRID LINE 上の温度(°C)
		TMD 0(I), I=1, NDZSEC	6 E 12.4	外側冷却材の GRID LINE 上の温度(°C)
		TCD 1(I) I=1, NDZSEC	6 E 12.4	内側冷却材 Mesh 中央の温度(°C)
		TCD 0(I), I=1, NDZSEC	6 E 12.4	外側冷却材 Mesh 中央の温度(°C)
		TLD(I), I=1, NDZSEC	6 E 12.4	ライナーの Mesh 中央の温度(°C)
		TPD 1(I), I=1, NDZSEC	6 E 12.4	内管の Mesh 中央の温度(°C)
		TPD 0(I), I=1, NDZSEC	6 E 12.4	外管の Mesh 中央の温度(°C)
③ 1台目のSGに対する Previously punched temperature				
Previously Punched temperature の入力				
3.1		ETH 1(J), J=1, NSEC 1	8 E 10.5	2次冷却系側初期温度分布(°C)
		ETM 1(J),	8 E 10.5	伝熱管部の初期温度分布(°C)

Card type No.	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
3.1		J=1, NSEC 1		
		ETC 1(J), J=1, NSEC 1	8 E 10.5	水・蒸気側初期温度分布(°C)
		EX 1(J), J=1, NSEC 1	8 E 10.5	水・蒸気側蒸気重量率(クオリティー)
2台目のSGに対する Previously punched temperature				
Previously Punched temperature の入力				
3.2		STH 1(J), J=1, NSEC 2	8 E 10.5	2次冷却系側初期温度分布(°C)
		STM 1(J), J=1, NSEC 2	8 E 10.5	伝熱管の初期温度分布(°C)
		STC 1(J), J=1, NSEC 2	8 E 10.5	水・蒸気側初期温度分布(°C)
		SX 1(J), J=1, NSEC 2	8 E 10.5	水・蒸気側蒸気重量率(クオリティー)
再熱器に対する Previously punched temperature				
Previously Punched Temperature の入力				
3.3		RTH 1(J), J=1, NSEC 3	8 E 10.5	2次冷却系側初期温度分布(°C)
		RTM 1(J), J=1, NSEC 3	8 E 10.5	伝熱管の初期温度分布(°C)
		RTC 1(J), J=1, NSEC 3	8 E 10.5	水・蒸気側初期温度分布(°C)

Card type No.	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
3.3		RX 1(J), J=1, NSEC 3	8 E 10.5	水・蒸気側蒸気重量率(クオリティ)
4) 炉心温度分布を示す Previously Punched temperature				
4.1	1 - 10	CURTI	F 10.0	前回の Run でのシュミレーション終了時刻
	11 - 20	IMAX		R 方向グリッドライン数 + 1
	21 - 30	JMAX		Z 方向グリッドライン数 + 1
	31 - 40	NITER		前回の Run での計算時繰り返し回数
<p>新たな Run では、CURTI, NITER は 0 にセットしなおす必要がある。 このため、CURTI, NITER として出力される値は常に 0 となるようにしてある。</p>				
4.2		((TE (I, J), I=1, IMAX), J=1, JMAX)	6 E 12.4	各メッシュポイント上の温度を与える
5) AHX に対する Previously punched temperature				
		TMPWB(I,J,K) I=1, NP+1 J=1, 2, K=1, 2	6 E 12.5	水側冷却材の GRID 上の温度(°C)
		TMPWA(I,J,K) I=1, NP J=1, 2, K=1, 2	6 E 12.5	水側冷却材の Mesh 中央の温度(°C)
		TMPM I=1, NP	6 E 12.5	伝熱管の Mesh 中央の温度(°C)

Card type No.	Columns	Fortran name	FORMAT	Description
		J=1, 2, K=1, 2		
		TMPPB(I, K) I=1, NP+1 K=1, 2	6 E 12.5	ヘリウム側冷却材の GRID 上の温度 (°C)
		TMPPA(I, K) I=1, NP K=1, 2	6 E 12.5	ヘリウム側冷却材の Mesh 中央の温度 (°C)

付録B：入力データ作成上の注意

以下に詳細設計（I）ベースの各機器の形状，データ作成の手順を示す。

1. 中間熱交換器（IHX）

(a) A-LOOP IHX

- 伝熱管本数（NZPIPE） 233 本
（270 本に設計マージン 16 %をひく）
- 1 次冷却材流路長さ（ZL2） 12.75 m
（ヘリカルコイル装備高さ）
- 2 次冷却材流路長さ（ZL） 55.42 m
（ヘリカルコイル全長）
- 1 次側流路断面積（ZAH） $4.8498 \times 10^{-3} \text{ m}^2$
（設計値 1.130 m^2 を伝熱管本数でわる）
- 1 次側単位長さ当たりの伝熱面積（ZSH） $0.4339 \text{ m}^2 / \text{m}$
（設計値 1.289 m^2 を伝熱管本数，流路長さでわる）
- 1 次側流路の等価直径（ZDH） $3.18 \times 10^{-2} \text{ m}$ （伝熱管直径）
- 伝熱管半径方向熱伝導率（ZLAM） $5.1806 \times 10^{-3} \text{ kcal/m sec } ^\circ\text{C}$
（ハステロイ X の $651 \text{ }^\circ\text{C}$ の値）
- 伝熱管比熱（ZCM） $0.139 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$
（ハステロイ X の $650 \text{ }^\circ\text{C}$ の値）
- 伝熱管 1 本当たりの構材部断面積（ZAM） $0.3494 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ （伝熱管断面積）
- 伝熱管肉厚（ZDM） $4 \times 10^{-3} \text{ m}$
- 伝熱管比重量（ZRM） $10.82 \times 10^3 \text{ kg/cm}^3$
（伝熱管，センターパイプ，サポートポスト等の熱容量を保存する）
- 2 次側流路断面積（ZAC） $0.44488 \times 10^{-3} \text{ m}^2$
（伝熱管内側断面積）
- 2 次側単位長さ当たりの伝熱面積（ZSC） $0.74710 \times 10^{-1} \text{ m}^2 / \text{m}$
（外径基準の設計値 1289 m^2 から求める）
- 2 次側流路の等価直径（ZDC） $2.38 \times 10^{-2} \text{ m}$ （伝熱管内径）

(b) B-LOOP IHX（A-LOOP 同様以下のようなになる）

- 伝熱管本数（NZPIPE） 431 本
（474 本に設計マージン 10 %をひく）
- 1 次冷却材流路長さ（ZL2） 7.4 m

- 2次冷却材流路長さ (ZL) 31.5 m
- 1次側流路断面積 (ZAH) $1.95824 \times 10^{-3} \text{ m}^2$
(設計値 0.844 m^2 を伝熱管本数でわる)
- 1次側単位長さ当りの伝熱面積 (ZSH) $0.339192 \text{ m}^2 / \text{m}$
(設計値 1190 m^2 (設計マージン 10%含む) から求める)
- 1次側流路の等価直径 (ZDH) $2.54 \times 10^{-3} \text{ m}$
- 伝熱管 1本当りの構材部断面積 (ZAM) $2.6892 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
- 伝熱管肉厚 (ZDM) $4 \times 10^{-3} \text{ m}$
- 2次側流路断面積 (ZAC) $2.3779 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
- 2次側単位長さ当りの伝熱面積 (ZSC) $0.54586 \times 10^{-1} \text{ m}^2 / \text{m}$
- 2次側流路の等価直径 (ZDC) $1.74 \times 10^{-2} \text{ m}$
- 伝熱管比重量 (ZRM) $11.075 \times 10^3 \text{ kg} / \text{m}^3$

(伝熱管, センターパイプ, サポートポスト, 伝熱促進板等の熱容量を保存する)

その他, 伝熱管半径方向熱伝導率 (ZLAM), 伝熱管比熱 (ZCM) は, A ループと同じデータ。

2. 蒸気発生器 (SG)

(a) A-LOOP SG

- 伝熱管本数 (NEPIPE) 232 本
(265 本に設計マージン 14.3%をひく)
- He 側流路断面積 (EAH) $5.603 \times 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{本}$
(バッフル板付, シェルアンドチューブ型の場合で求めた伝熱工学資料 P 126)
- He 側水力等価直径 (EDH) 0.0254 m (伝熱管外径)
- 伝熱管熱伝導率 (ELAM) $8.806 \times 10^{-3} \text{ kcal} / \text{m sec } ^\circ\text{C}$
(STPA-24 約 $200 \text{ }^\circ\text{C}$ における値)
- 伝熱管比熱 (ECM) 0.113 kcal/kg $^\circ\text{C}$
(STPA-24 約 $200 \text{ }^\circ\text{C}$ における値)
- 伝熱管比重量 (ERM) $14.46 \times 10^3 \text{ kg} / \text{m}^3$
(伝熱管, バッフル板の熱容量を保存)
- 伝熱管断面積 (EAM) $0.1669 \times 10^{-3} \text{ m}^2$
- 伝熱管肉厚 (EDM) $2.3 \times 10^{-3} \text{ m}$
- 水蒸気側流路断面積 (EAC) $3.398 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
- 水蒸気側水力等価直径 (EDC) 0.0208 m (伝熱管内径)
- He 側単位長さ当りの伝熱面積 (ESH) $0.06986 \text{ m}^2 / \text{m 本}$
(ノミナル設計値 111.08 m^2 を本数, 流路長さでわる)
- 水・蒸気側単位長さ当りの伝熱面積 (ESC) $0.05721 \text{ m}^2 / \text{m 本}$
(上記外径基準を内径になおす)

○伝熱管長さ (EL) 6.0 m

(b) B-LOOP SG (A-LOOP 同様以下のようなになる)

- 伝熱管本数 (NEPIPE) 306 本
(366 本に設計マージン 19.6 %をひく)
- He 側流路断面積 (EAH) $9.0509 \times 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{本}$
- He 側水力等価直径 (EDH) 0.0254 m
- 伝熱管比重量 (ERM) $10.881 \times 10^3 \text{ kg} / \text{m}^3$
(伝熱管, バッフル板の熱容量を保存)
- He 側単位長さ当りの伝熱面積 (ESH) $0.07996 \text{ m}^2 / \text{m本}$
(ノミナル設計値 156.6 m^2 を本数, 流路長さでわる)
- 水蒸気側単位長さ当りの伝熱面積 (ESC) $0.06548 \text{ m}^2 / \text{m本}$
(上記外径基準を内径になおす)
- 伝熱管長さ (EL) 6.4 m

その他, 伝熱管熱伝導率 (ELAM), 伝熱管比熱 (ECM), 伝熱管断面積 (EAM), 伝熱管肉厚 (EDM), 水蒸気側流路断面積 (EAC), 水蒸気側水力等価直径 (EDC) については, A-LOOP と同じデータ。

3. 高温二重配管

(a) 1次系高温2重配管

- ライナー (断熱材含む) 比重量 (DROW1) $3720.8 \text{ kg} / \text{m}^3$
(この部分には, STPA-24, ハステロイ-X, インコネル 600, カオウールがあり, これらの重量を保存)
- 配管 (内, 外管共通) の比重量 (DROW0) $7870.0 \text{ kg} / \text{m}^3$
(STPA-24 の値)
- ライナー (断熱材含む) 比熱 (DC) $0.1699 \text{ kcal} / \text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}$
(上記比重量同様熱容量を保存)
- 配管 (内, 外管共通) の比熱 (DC1) $0.157 \text{ kcal} / \text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}$
(STPA-24 の値)
- 断面積 1 ($\frac{\pi}{4} D_L^2$, D_L : ライナー内径) $\frac{\pi}{4} \times (0.436)^2 \text{ m}^2$
- 断面積 2 ($\frac{\pi}{4} D_{i1}^2$, D_{i1} : 内管内径) $\frac{\pi}{4} \times (0.630)^2 \text{ m}^2$
- 断面積 3 ($\frac{\pi}{4} D_{o1}^2$, D_{o1} : 内管外径) $\frac{\pi}{4} \times (0.6604)^2 \text{ m}^2$
- 断面積 4 ($\frac{\pi}{4} D_{i2}^2$, D_{i2} : 外管内径) $\frac{\pi}{4} \times (0.7568)^2 \text{ m}^2$

- 断面積 5 ($\frac{\pi}{4} D_{20}^2$, D_{20} : 外管外径) $\frac{\pi}{4} \times (0.8128)^2 \text{ m}^2$
 - 二重管長さ (DPLNG) A-LOOP: 41 m
B-LOOP: 45.3 m
 - 二重管の外部雰囲気温度 (DTA) 100 °C
- (b) 2次系高温2重配管
- ライナー (断熱材含む) 比重量 (DROW1) 423.9 kg/m³
(この部分には、ライナー、カオウルがあり、これらの重量を保存)
 - 配管 (内、外管共通) の比重量 (DROW0) 7870.0 kg/m³
 - ライナー (断熱材含む) 比熱 (DC) 0.2097 kcal/kg °C
(上記比重量同様熱容量を保存)
 - 配管 (内、外管共通) の比熱 (DC1) 0.157 kcal/kg °C
 - 断面積 1 $\frac{\pi}{4} \times (0.365)^2 \text{ m}^2$
 - 断面積 2 $\frac{\pi}{4} \times (0.6304)^2 \text{ m}^2$
 - 断面積 3 $\frac{\pi}{4} \times (0.6604)^2 \text{ m}^2$
 - 断面積 4 $\frac{\pi}{4} \times (0.7568)^2 \text{ m}^2$
 - 断面積 5 $\frac{\pi}{4} \times (0.8128)^2 \text{ m}^2$
 - 二重管長さ (DPLNG) A-LOOP: 64.0 m
B-LOOP: 93.6 m

4. 炉心関連

(a) 燃料チャンネルのモデル化

BLOOST-5 コードの熱計算部分では1燃料チャンネルで炉心全体を代表させる、いわゆる単チャンネルモデルの計算を行っている。したがって炉心内の平均的チャンネルに相当するようなモデル化を行う必要があり、たとえば燃料ブロック中にある12本の燃料チャンネル各々が総て等しい熱容量を持ち、さらにその合計が燃料ブロックの総熱容量と等しくなるようなモデル化を行う。Fig.B-1 に詳(1)ベースの燃料チャンネルモデルを示す。熱容量的には制御棒ブロックや側部反射体については考慮しておらず小さめの値である。

(b) 燃料温度係数及び減速材温度係数

温度係数は一般には温度と燃焼度に依存する。

Fig. B-2 に例として燃焼末期の温度係数を示す。これは炉心内のすべての黒鉛部および燃料部に対する温度の空間依存性を無視し、それぞれが炉心内で一定の温度を持つとして計算されたものである。この温度係数を解析で使用するに当っては、①炉内温度分布、②炉心平均温度と炉内状況の多様性を考慮して、たとえば約 20% の余裕を見込む場合もある。この場合 BLOOST-5 コード内でフィードバックされる反応度量が正の場合には 1.2 倍、負の場合には 0.8 倍となるような操作を行う。

(c) 燃料チャンネル軸方向出力分布

一点近似の原子炉動特性方程式で求めた核的出力を燃料チャンネルモデルの燃料部へ分配するために、たとえば Fig. B-3 のような出力分布を使う。この分布は制御棒が最も挿入された熱焼初期のものであり出力分布も燃焼期間を通じ最も歪んだものである。また位置的には中心制御棒の外側に位置するリング 1 制御棒に隣接している燃料チャンネルに対する分布である。

5. 補助冷却器 (AHX) (A-LOOP, B-LOOP とも同一)

○伝熱管本数 (NTBAHX)	66 本
(78 本に設計マージン 15% をひく)	
○伝熱管長さ (ZLAHX)	4.5 m
○伝熱管構成材の熱伝導率 (RMDTB)	$9.361 \times 10^{-3} \text{ kcal/m}^2 \text{ sec } ^\circ\text{C}$
(STBA 24 の熱伝導率)	
○伝熱管構成材の比重量 (ROHTB)	$7.9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
(同上)	
○伝熱管構成材の比熱 (CPTB)	$1.2 \times 10^{-1} \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$
(同上)	
○伝熱管の断面積 (DARTB)	$2.232 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
(25.4 OD \times 3.2 t)	
○伝熱管厚み (DTHICK)	$3.2 \times 10^{-3} \text{ m}$
○水側流路断面積 (ALFW(1), ALFW(2))	$2.835 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
(伝熱管内断面積)	
○He 側流路断面積 (ALFP(1), ALFP(2))	$4.739 \times 10^{-3} \text{ m}^2$
(バッフル板付, シェルアンドチューブ型で求めた)	
○He 側単位長さ当り伝熱面積 (AHP(1), AHP(2))	$8.013 \times 10^{-2} \text{ m}^2$
(余裕のある外径基準の総伝熱面積 56 m^2 をノミナルになおし, 伝熱管本数及び伝熱管長さの 2 倍でわる)	
○水側単位長さ当り伝熱面積 (AHW(1), AHW(2))	$5.994 \times 10^{-2} \text{ m}^2$
(上記外径基準を内径基準になおす)	
○水側等価直径 (DFLWW(1), DFLWW(2))	$1.9 \times 10^{-2} \text{ m}$
○He 側等価直径 (DFLWP(1), DFLWP(2))	$2.54 \times 10^{-2} \text{ m}$

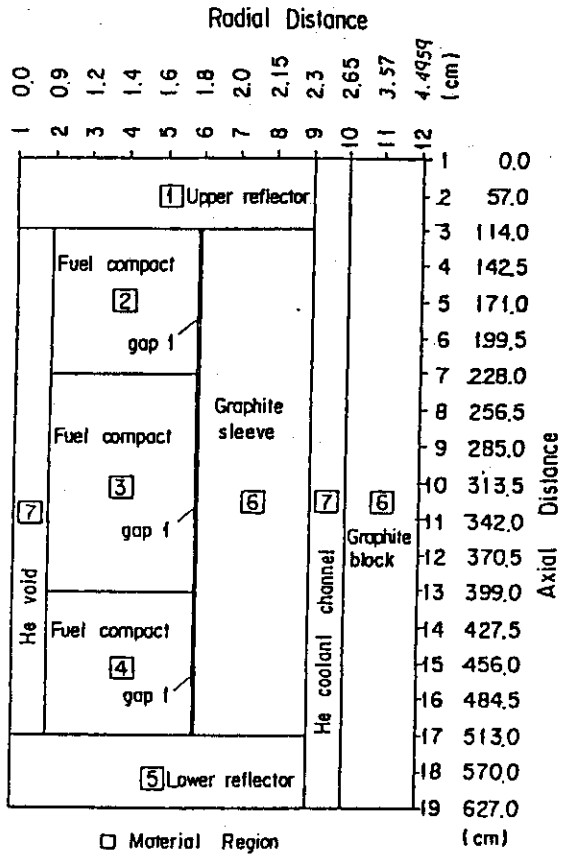


Fig.B-1 Fuel Channel Model

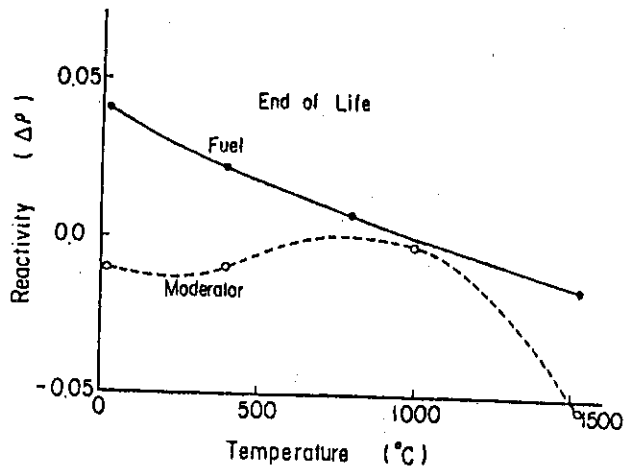


Fig.B-2 Fuel and Moderator Temperature Coefficients

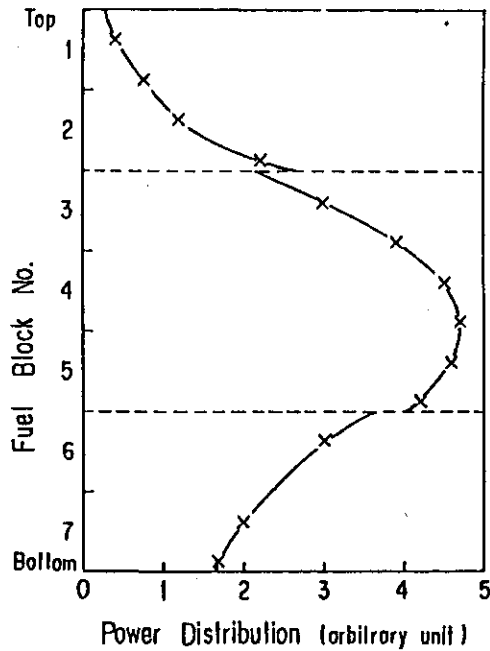


Fig.B-3 Axial Power Distribution in the Fuel adjacent to the Control Rod at Full Power Operation

-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----N-----8

164 1.0	-3 1.0	-5 5.0	-7 5.0	-8					
221 1.0									
241 12.0									
276 1.0	-0.34	27.0	-0.04	227.0	-0.0295				
316 427.0	-0.32	627.0	+0.0125	827.0	-0.0066				
376 1027.0	0.0005	1227.0	+0.007	1427.0	+0.0125				
436 1527.0	+0.015	2000.0	+0.015	3500.0	+0.015				
856 1.0	+0.011	27.0	+0.011	227.0	+0.013				
916 427.0	+0.009	627.0	+0.0015	827.0	+0.0				
976 1027.0	+0.0025	1227.0	+0.0165	1427.0	+0.004				
1036 1527.0	+0.056	3000.0	+0.056	3500.0	+0.056				
1462 0.0	50.0								
1483 10.0	100.0	200.0							
1524 0.5	0.5	0.5	1.0						
1591 0.00									
3007 12.0		12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	0.00	
3541 8.0									
3556 0.0	7.5528	100.0	7.5528	200.0	7.5528	200.0	7.5528		
3416 1000.0	7.5528	2000.0	7.5528	3000.0	7.5528	3000.0	7.5528		
3474 4000.0	7.5528	6000.0	7.5528						
3541 8.0									
3556 0.0	7.5528	100.0	7.5528	200.0	7.5528	200.0	7.5528		
3515 1000.0	7.5528	2000.0	7.5528	3000.0	7.5528	3000.0	7.5528		
3674 4000.0	7.5528	6000.0	7.5528						
3753 12.0	8000.0	1.0							
3755 0.0	0.0	10.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0		
3846 50.0	0.0	60.0	0.0	50.0	0.0	0.0	0.0		
3906 60.0	0.0	70.0	0.0	80.0	0.0	0.0	0.0		
3966 70.0	0.0	80.0	0.0	6000.0	0.0	0.0	0.0		
4383 6000.0	54.0	0.5							
4476 0.0	0.0	0.0							
4476 5.7	0.01089	1.7	0.00139	3.3	0.005556				
4536 7.2	0.02609	8.0	0.032	9.0	0.0405				
4596 10.0	0.05	100.0	0.05	6000.0	0.05				
5012 400.0	7.9611								
5037 0.0	0.0	0.0	0.429	0.657	1.357	1.786			
5107 1.429	1.571	1.571	1.429	1.214	1.071	0.429			
5176 0.357	0.357	0.286	0.214	0.0	0.0				
5232 30.0	6000.0								
5256 0.0	7.9611	1.0	5.573	10000.0	5.573				
5316 10.0	7.9611	20.0	7.9611	30.0	7.9611				
5376 100.0	7.9611	200.0	7.9611	300.0	7.9611				
5436 2000.0	7.9611	3000.0	7.9611	6000.0	7.9611				
5556 0.0	7.9611	1.0	5.573	10000.0	5.573				
5616 10.0	7.9611	20.0	7.9611	30.0	7.9611				
5676 100.0	7.9611	200.0	7.9611	300.0	7.9611				
5736 2000.0	7.9611	3000.0	7.9611	6000.0	7.9611				
420.0	15.0	100.0	25.0	100.0	25.0				
110.0	35.0			35.0	110.0				
110.0	35.0	35.0	110.0	35.0	110.0				
20	20	20	2	2					
20.	20.	20.							
0.0	0.0	10000.0	0.0						
0.0	0.0	10000.0	0.0						
0.0	0.0	10000.0	0.0						
1.977e3	0.12	460.0							

-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----N-----8

9.3611	-3 7.9	+3 0.12	2.232	-4 3.2	-3
2.835	-4 0.0595	0.019			
4.739	-3 0.07955	0.0254			
4.739	-3 0.07955	0.0254			
2.835	-4 0.0595	0.019			
68					
20 4.5					
9.3611	-3 7.9	+3 0.12	2.232	-4 3.2	-3
2.835	-4 0.0595	0.019			
4.739	-3 0.07955	0.0254			
4.739	-3 0.07955	0.0254			
2.835	-4 0.0595	0.019			

(2) 出力例

RESULTS

OPERATING SIGNAL AT THE CONTROL SYSTEM

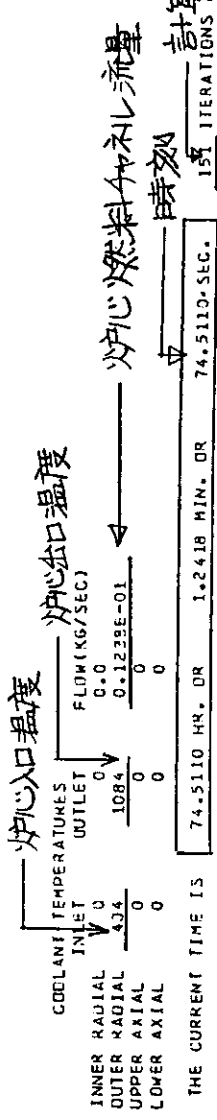
*** MANIPULATED ELEMENT ***

REACTIVITY HE-FLOW1K HE-FLOW2R GAS-FLOW HE-INVENTORY HE-INVENTORY1 HE-INVENTORY2 R.F STEAM
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

HE-FLOW1T HE-FLOW2T HE-INVENT.2T FEED-WATER2 STEAM FLOW2 CIRC WATER2
 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

POWER CORE-OUT IHX1(HOT)OUT S.G-OUT PRESSURE1 PRESSURE2 DRUM1 LEVEL
 3.4136E+01 1.0019E+03 3.9440E+02 9.1982E+02 2.7881E+02 3.9717E+01 4.2842E+01 1.3723E+03
 INTEGRAL ELEMENT 2.9595E+03 7.4088E+04 2.9218E+04 6.8695E+04 2.0659E+04 2.9472E+03 3.1776E+03 1.0272E+05
 DIFFERENTIAL ELEMENT 5.9204E-03 2.5391E-02 -1.2207E-02 -1.5283E-01 -4.3945E-03 -2.3193E-03 -2.5940E-03 -3.8428E-01

DRUM2 PRES REFORMER-T IHX2(HOT)OUT S.G2-OUT PRESSURE2 DRUM2-LEVEL DRUM2-PRESS
 2.0716E-31 0.0 3.9453E+02 9.1532E+02 2.6434E+02 4.2799E+01 1.3594E+03 3.0000E+01
 INTEGRAL ELEMENT 2.9591E+01 0.0 2.9222E+04 6.8293E+04 1.9603E+04 3.1759E+03 1.0199E+05 2.2193E+03
 DIFFERENTIAL ELEMENT -2.6880E-31 0.0 -9.7656E-03 -1.8506E-01 -2.9297E-03 -3.1433E-03 -4.6680E-01 0.0



THE CURRENT TIME IS 74.5110 HR. DR 1.2418 MIN. DR 74.5110 .SEC.

COOLANT TEMPERATURES	INLET	OUTLET	炉心入口温度	炉心出口温度
INNER RADIAL	0	0	0	0
OUTER RADIAL	0	0	0	0
UPPER AXIAL	0	0	0	0
LOWER AXIAL	0	0	0	0

THE RADIAL DIRECTION IS HORIZONTAL
 THE AXIAL DIRECTION IS VERTICAL
 THE TEMPERATURES ARE IN DEGREES CENTIGRADE

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970
964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983
984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000	1001	1002	1003

炉心入口温度
 炉心出口温度
 上部反射体
 下部反射体
 バリス流
 固定反射体部出口温度
 グラスイトブロック
 ハリウム全部材

REFLECTOR TOUT=0.46E+03 TIN= 404.15 POWER (KCAL/SEC) = 0.11030E+03 FLOW= 0.15199E+01

3.9899E+02 3.7151E+02 3.6591E+02 3.2289E+02

(PIPE-

1	0.36150E+03	0.44630E+03	-0.37122E+00	0.39391E+03	0.40181E+03	0.98762E+03	0.17057E-01	0.11279E-03
2	0.36270E+03	0.44790E+03	-0.36485E+00	0.39286E+03	0.40055E+03	0.98646E+03	0.17058E-01	0.11401E-03
3	0.36280E+03	0.44910E+03	-0.35856E+00	0.39176E+03	0.39942E+03	0.98512E+03	0.17050E-01	0.11525E-03
4	0.36500E+03	0.45070E+03	-0.35248E+00	0.39062E+03	0.39810E+03	0.98377E+03	0.17061E-01	0.11554E-03
5	0.36500E+03	0.45070E+03	0.36500E+00	0.38943E+03	0.39667E+03	0.98245E+03	0.17082E-01	0.11774E-03
6	0.39319E+03	0.10010E+04	0.38815E+03	0.38952E+03	0.39509E+03	0.98114E+03	0.17064E-01	0.11804E-03
7	0.39018E+03	0.99952E+03	0.38678E+03	0.38932E+03	0.39332E+03	0.97985E+03	0.17065E-01	0.11834E-03
8	0.37665E+03	0.98800E+03	0.38528E+03	0.389130E+03	0.39130E+03	0.97856E+03	0.17066E-01	0.11891E-03
9	0.37247E+03	0.98651E+03	0.38360E+03	0.38896E+03	0.38996E+03	0.97729E+03	0.17068E-01	0.12088E-03
10	0.36755E+03	0.98503E+03	0.38171E+03	0.38862E+03	0.38862E+03	0.97603E+03	0.17069E-01	0.12215E-03

單管閉運 (現在使用(右))

外管/外管閉運
熱通係率

管内溫度
管内/外管通係率

外管溫度
外管/外管通係率

ALUP
1次系

(DTUBE- 2)

1	0.20978E+03	0.91510E+02	0.30873E+03	0.31438E+03	0.91291E+03	0.13405E-01	0.58433E-02
2	0.30913E+03	0.91494E+03	0.30808E+03	0.31273E+03	0.91258E+03	0.13409E-01	0.58584E-02
3	0.30848E+03	0.91477E+02	0.30743E+03	0.31307E+03	0.91222E+03	0.13414E-01	0.58720E-02
4	0.30782E+03	0.91457E+03	0.30678E+03	0.31233E+03	0.91184E+03	0.13418E-01	0.58881E-02
5	0.30717E+03	0.91436E+03	0.30613E+03	0.31176E+03	0.91144E+03	0.13422E-01	0.59025E-02
6	0.30651E+03	0.91412E+03	0.30548E+03	0.31112E+03	0.91101E+03	0.13426E-01	0.59178E-02
7	0.30585E+03	0.91389E+03	0.30483E+03	0.31048E+03	0.91055E+03	0.13431E-01	0.59317E-02
8	0.30519E+03	0.91365E+03	0.30418E+03	0.30982E+03	0.91009E+03	0.13435E-01	0.59488E-02
9	0.30452E+03	0.91229E+03	0.30353E+03	0.30917E+03	0.90960E+03	0.13440E-01	0.59628E-02
10	0.30385E+03	0.91297E+03	0.30288E+03	0.30851E+03	0.90909E+03	0.13444E-01	0.59785E-02
11	0.30317E+03	0.91263E+03	0.30221E+03	0.30785E+03	0.90855E+03	0.13448E-01	0.59927E-02
12	0.30248E+03	0.91227E+03	0.30156E+03	0.30719E+03	0.90801E+03	0.13452E-01	0.60085E-02
13	0.30178E+03	0.91189E+03	0.30090E+03	0.30651E+03	0.90745E+03	0.13457E-01	0.60244E-02
14	0.30107E+03	0.91149E+03	0.30023E+03	0.30585E+03	0.90686E+03	0.13462E-01	0.60403E-02
15	0.30034E+03	0.91106E+03	0.29955E+03	0.30515E+03	0.90626E+03	0.13466E-01	0.60564E-02
16	0.29959E+02	0.91062E+03	0.29888E+03	0.30445E+03	0.90565E+03	0.13470E-01	0.60709E-02
17	0.29882E+03	0.91016E+03	0.29819E+03	0.30373E+03	0.90502E+03	0.13474E-01	0.60871E-02
18	0.29803E+03	0.90968E+03	0.29750E+03	0.30300E+03	0.90437E+03	0.13479E-01	0.61034E-02
19	0.29720E+03	0.90917E+03	0.29679E+03	0.30224E+03	0.90372E+03	0.13483E-01	0.61198E-02
20	0.29633E+03	0.90866E+02	0.29606E+03	0.30146E+03	0.90304E+03	0.13487E-01	0.61347E-02

ALUP
2次系

(DTUBE- 3)

1	0.39352E+03	0.10050E+04	0.39395E+03	0.40158E+03	0.98844E+03	0.17034E-01	0.11240E-03
2	0.39200E+03	0.10074E+04	0.39291E+03	0.40044E+03	0.98708E+03	0.17035E-01	0.11366E-03
3	0.39031E+03	0.10057E+04	0.39182E+03	0.39923E+03	0.98572E+03	0.17036E-01	0.11493E-03
4	0.38841E+03	0.10041E+04	0.39070E+03	0.39794E+03	0.98438E+03	0.17038E-01	0.11621E-03
5	0.38624E+03	0.10025E+04	0.38952E+03	0.39654E+03	0.98305E+03	0.17039E-01	0.11651E-03
6	0.38428E+03	0.10010E+04	0.38826E+03	0.39510E+03	0.98173E+03	0.17040E-01	0.11780E-03
7	0.38078E+03	0.99945E+03	0.38691E+03	0.39366E+03	0.98044E+03	0.17041E-01	0.11909E-03
8	0.37750E+03	0.99933E+03	0.38543E+03	0.39218E+03	0.97915E+03	0.17042E-01	0.12040E-03
9	0.37316E+03	0.99642E+03	0.38377E+03	0.38997E+03	0.97788E+03	0.17043E-01	0.12171E-03
10	0.36820E+03	0.99444E+03	0.38199E+03	0.38864E+03	0.97662E+03	0.17045E-01	0.12202E-03

BILUP
1次系

(DTUBE- 4)

1	0.30966E+03	0.90967E+03	0.30877E+03	0.31468E+03	0.90828E+03	0.15797E-01	0.56170E-02
2	0.30843E+03	0.90960E+03	0.30795E+03	0.31388E+03	0.90803E+03	0.15802E-01	0.56347E-02
3	0.30600E+03	0.90951E+03	0.30716E+03	0.31307E+03	0.90774E+03	0.15808E-01	0.56524E-02

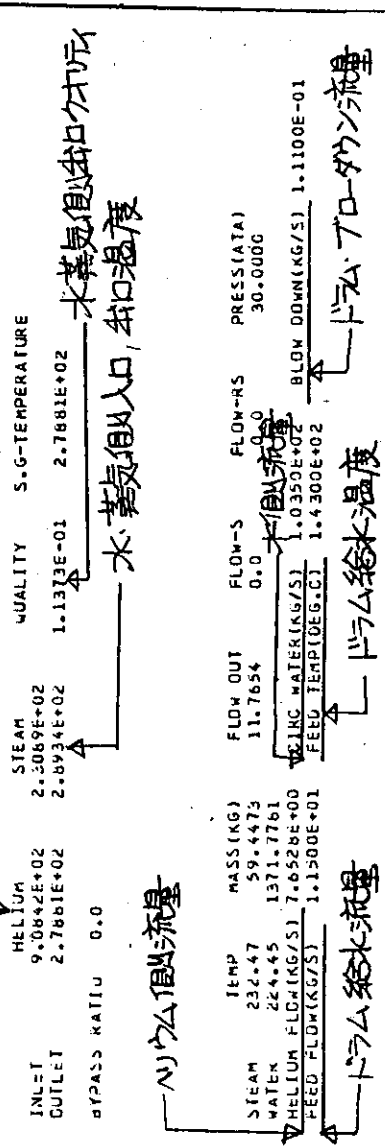
BILUP
2次系

高 温 二 重 配 管 公 力

BILP AHX出力

1	3.310E+01	3.527E+01	4.599E+01	3.411E+01	3.801E+01	3.801E+01	8.359E-02	2.017E+01
2	1.042E+00	1.161E+00	4.695E+01	3.814E+01	3.801E+01	3.801E+01	8.359E-02	2.017E+01
3	1.093E+00	1.161E+00	5.140E+01	3.317E+01	3.800E+01	3.800E+01	8.359E-02	2.017E+01
4	1.093E+00	1.161E+00	5.515E+01	3.321E+01	3.799E+01	3.600E+01	8.359E-02	2.017E+01
5	1.094E+00	1.161E+00	5.988E+01	3.328E+01	3.798E+01	3.799E+01	8.359E-02	2.017E+01
6	1.094E+00	1.160E+00	6.572E+01	3.332E+01	3.797E+01	3.797E+01	8.359E-02	2.017E+01
7	1.094E+00	1.160E+00	7.299E+01	3.340E+01	3.795E+01	3.796E+01	8.359E-02	2.017E+01
8	1.094E+00	1.160E+00	8.206E+01	3.350E+01	3.793E+01	3.794E+01	8.359E-02	2.017E+01
9	1.095E+00	1.159E+00	9.340E+01	3.362E+01	3.790E+01	3.791E+01	8.359E-02	2.017E+01
10	1.095E+00	1.159E+00	1.076E+02	3.378E+01	3.786E+01	3.786E+01	8.359E-02	2.017E+01
11	1.096E+00	1.159E+00	1.255E+02	3.398E+01	3.782E+01	3.784E+01	8.359E-02	2.017E+01
12	1.097E+00	1.158E+00	1.461E+02	3.424E+01	3.776E+01	3.779E+01	8.359E-02	2.017E+01
13	1.098E+00	1.157E+00	1.766E+02	3.461E+01	3.769E+01	3.773E+01	8.359E-02	2.017E+01
14	1.098E+00	1.157E+00	2.135E+02	4.003E+01	3.759E+01	3.765E+01	8.359E-02	2.017E+01
15	1.100E+00	1.155E+00	2.609E+02	4.064E+01	3.747E+01	3.754E+01	8.359E-02	2.017E+01
16	1.101E+00	1.154E+00	3.226E+02	4.149E+01	3.731E+01	3.740E+01	8.359E-02	2.017E+01
17	1.104E+00	1.152E+00	4.040E+02	4.269E+01	3.710E+01	3.722E+01	8.359E-02	2.017E+01
18	1.107E+00	1.149E+00	5.130E+02	4.529E+02	4.636E+01	3.698E+01	8.359E-02	2.017E+01
19	1.111E+00	1.145E+00	6.607E+02	5.787E+02	4.683E+01	3.665E+01	8.359E-02	2.017E+01
20	1.124E+00	1.132E+00	8.646E+02	7.508E+02	5.049E+01	3.621E+01	8.359E-02	2.017E+01
3.558E+01			9.902E+02			3.558E+01		

ハリアム側入口, 出口温度



ALP SG出力

炉心温度 水 蒸気温度 伝熱管温度 水 蒸気温度

NODE	METAL TEMPERATURE		X-DISTRIBUTION		TRANSMIT COEF		VELOCITY	
	1	2	1	2	1	2	1	2
859.71	232.47	265.14	0.10424	0.330	86.819	32.109	10.735	284.921
772.42	232.47	261.62	0.08526	0.324	50.715	29.660	9.071	276.768
653.74	232.47	259.71	0.06926	0.317	27.701	27.593	7.668	269.895
638.35	232.47	258.62	0.05573	0.312	22.313	25.643	6.481	264.082
553.13	232.47	253.98	0.04421	0.307	19.675	24.351	5.471	259.132
537.67	232.47	251.56	0.03435	0.302	17.432	23.075	4.607	254.900
495.63	232.47	249.49	0.02570	0.298	15.519	21.976	3.865	251.266
466.94	232.47	247.74	0.01862	0.294	13.678	21.034	3.227	248.142
433.57	232.47	246.19	0.01234	0.292	12.459	20.219	2.676	245.443
410.59	232.47	244.86	0.00690	0.289	11.225	19.512	2.199	243.107
369.59	232.47	243.69	0.00219	0.286	10.140	18.899	1.786	241.081
364.57	232.47	242.75	0.0	0.284	9.006	18.367	1.594	239.322
353.54	231.06	241.43	0.0	0.282	6.727	17.903	1.540	237.750
333.59	229.86	240.41	0.0	0.280	5.148	17.498	1.567	236.451
325.25	248.81	239.59	0.0	0.278	4.018	17.143	1.584	235.280
315.15	227.89	238.93	0.0	0.277	3.196	16.835	1.581	234.255
305.63	227.08	237.64	0.0	0.276	2.864	16.560	1.579	233.354
295.75	226.26	235.82	0.0	0.274	2.863	16.316	1.577	232.552
286.79	225.71	234.19	0.0	0.273	2.861	16.098	1.576	231.834
282.03	225.13	232.73	0.0	0.273	2.859	15.903	1.574	231.191

SG内
温度
流速
教伝達率
の分布

SG内
温度
流速
教伝達率
の分布

B157°
SG
出力

炉心
詳細データ

** EVAPORATOR REGION

INLET	HELIUM	STEAM	QUALITY	S.G-TEMPERATURE
9.0371E+02	2.2451E+02	2.3276E+02	1.1453E-01	2.6434E+02
2.8434E+02	2.3276E+02	1.1453E-01	2.6434E+02	
BYPASS RATIO	0.0			

----- URUM

TEMP	MASS (KG)	FLOW OUT	PRESS (ATA)
232.76	59.5735	11.8473	30.0000
224.51	1358.8474		
HELIUM FLOW (KG/S)	7.6528E+00	CIRC WATER (KG/S)	1.0330E+02
FEED FLOW (KG/S)	1.1300E+01	FEED TEMP (DEG.C)	1.4300E+02
		BLOW DOWN (KG/S)	1.1100E-01

NODE	METAL TEMPERATURE		X-DISTRIBUTION		TRANSMIT COEF		VELOCITY	
	1	2	1	2	1	2	1	2
799.25	232.76	257.71	0.09709	0.207	57.986	14.274	7.664	
640.32	232.76	253.09	0.06221	0.198	18.852	12.182	5.344	
529.91	232.76	248.14	0.03806	0.191	14.266	10.728	3.739	
451.51	232.76	244.69	0.02096	0.186	11.061	9.698	2.802	
395.04	232.76	242.19	0.00867	0.182	8.746	8.952	1.784	
353.95	232.76	240.32	0.0	0.179	7.016	8.411	1.209	
323.71	230.14	238.31	0.0	0.177	3.497	8.013	1.203	
301.42	227.99	236.15	0.0	0.175	2.297	7.715	1.199	
293.82	226.36	232.74	0.0	0.173	2.294	7.488	1.196	
270.31	225.10	230.08	0.0	0.172	2.291	7.310	1.194	

TIME	FUEL	MOD	TEMP	GAS	OUT	POWER	PEKIOU	REACTIVITY	NET	ACCIDENT	IFUEL	MOD	TERM	SCRAM	CONTROL	DEC	GAS
7.651E+01	1057.01	929.52	1009.87	3.4216E+01	2.3625E+03	1.5825E-04	0.0	-2.8228E-05	1.5048E-04	0.0	0.0	4.041E+02					
78.511	394.014	914.921	278.797	39.4709	42.834	1371.017	0.0	394.214	909.421	264.332	42.789	1357.920					
7.951E+01	1056.55	929.59	1009.94	3.420E+01	1.766E+03	1.408E-04	0.0	-3.7356E-05	1.7820E-04	0.0	0.0	4.041E+02					

79.511	393.954	914.477	278.784	39.703	42.826	1369.885	0.0	394.171	908.936	264.322	42.779	1356.542	30.000
8.451E+01	1056.13	929.27	1010.01	3.426E+01	1.443E+03	-1.247E-04	0.0	-5.1337E-05	1.7603E-04	0.0	0.0	0.0	4.040E+02
82.511	393.512	914.079	278.771	39.696	42.818	1368.763	0.0	394.127	909.458	264.313	42.770	1355.180	30.000
8.551E+01	1055.73	929.16	1010.08	3.433E+01	1.243E+03	-1.097E-04	0.0	-6.4246E-05	1.7398E-04	0.0	0.0	0.0	4.040E+02
85.511	393.839	913.855	275.757	39.689	42.811	1367.652	0.0	394.082	907.984	264.309	42.760	1353.831	30.000
8.621E+01	1055.38	929.05	1010.15	3.441E+01	1.109E+03	-9.604E-05	0.0	-7.6029E-05	1.7206E-04	0.0	0.0	0.0	4.039E+02
88.511	393.553	913.256	278.743	39.682	42.803	1366.553	0.0	394.034	907.515	264.293	42.751	1352.498	30.000
9.151E+01	1055.06	928.95	1010.22	3.450E+01	1.088E+03	-8.362E-05	0.0	-8.6677E-05	1.7030E-04	0.0	0.0	0.0	4.039E+02
91.511	393.748	912.852	278.729	39.676	42.795	1365.470	0.0	393.986	907.052	264.284	42.741	1351.178	30.000
9.451E+01	1054.77	928.86	1010.29	3.458E+01	1.045E+03	-7.234E-05	0.0	-9.6341E-05	1.6869E-04	0.0	0.0	0.0	4.038E+02
94.511	393.632	912.452	278.715	39.669	42.787	1364.396	0.0	393.938	906.594	264.274	42.731	1349.875	30.000
9.751E+01	1054.51	928.78	1010.37	3.467E+01	1.043E+03	-6.230E-05	0.0	-1.0491E-04	1.6721E-04	0.0	0.0	0.0	4.038E+02
97.511	393.634	912.056	278.700	39.663	42.779	1363.335	0.0	393.867	906.141	264.264	42.721	1348.586	30.000

付録D：定常近似モデルについて

dZの長さを持つ微小要素（図1）に注目するとエネルギーバランス式は高温側について、

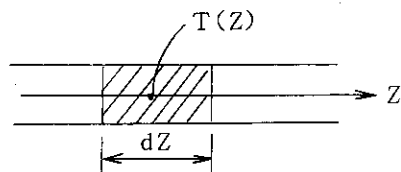


図. 1

$$\underbrace{M' dZ \frac{\partial T}{\partial t}}_{\substack{\text{単位長さ当りの} \\ \text{メッシュ熱容量} \\ \text{[kcal/}^\circ\text{C m]}}} = - \underbrace{K' dZ (T - T_M)}_{\substack{\text{単位長さ当りの} \\ \text{伝熱面積} \times \text{熱伝達率} \\ \text{= 単位長さ当りの熱通過率} \\ \text{[kcal/s}^\circ\text{C m]}}} + \underbrace{W \left\{ T - \left(T + \frac{\partial T}{\partial Z} dZ \right) \right\}}_{\text{流入エネルギー [kcal/s}^\circ\text{C m]}}$$

M' = M/l, K' = K/l と書きかえ、両辺を dZ で割って

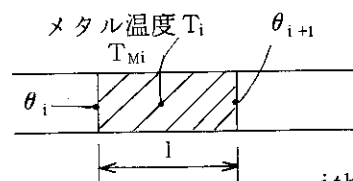


図. 2

$$\frac{M}{l} \frac{\partial T}{\partial t} = - \frac{K}{l} (T - T_M) - W \frac{\partial T}{\partial Z}$$

定常状態では左辺 = 右辺 = 0 とおいて $W \frac{dT}{dZ} = - \frac{K}{l} (T - T_M)$

i 番目のメッシュについて（図2）0 からメッシュ長さ l まで積分すると、

$$\frac{1}{T - T_M} \int_0^l dT = - \frac{K}{lW} \int_0^l dZ$$

$$\therefore \ell_n \{ T(l) - T_M(l) \} - \ell_n \{ T(0) - T_M(0) \} = - \frac{K}{W}$$

メッシュ内でメタル温度一定と仮定、 $T_M(0) = T_M(l) = T_{Mi}$ とし $T(0) = \theta_i$, $T(l) = \theta_{i+1}$ と書き換えれば

$$\frac{\theta_{i+1} - T_{Mi}}{\theta_i - T_{Mi}} = e^{-\frac{K}{W}}$$

$$\therefore \theta_{i+1} = T_{Mi} + (\theta_i - T_{Mi}) e^{-\frac{K}{W}} \quad \dots\dots(1) \text{ 高温側}$$

低温側についても同様にして次式を得る。

$$\therefore \theta_i = T_{Mi} + (\theta_{i+1} - T_{Mi}) e^{-\frac{K}{W}} \quad \dots\dots(1)' \text{ 低温側}$$

メッシュ平均温度 T_i を定常熱バランスに基づき次の式で定義する。

$$K(T_i - T_{Mi}) = W(\theta_i - \theta_{i+1})$$

$$\therefore T_i = T_{Mi} + \frac{W}{K}(\theta_i - \theta_{i+1}) \quad \dots\dots(2) \quad \text{高温側}$$

低温側については

$$K(T_{Mi} - T_i) = W(\theta_i - \theta_{i+1}) \text{ より}$$

$$\therefore T_i = T_{Mi} + \frac{W}{K}(\theta_{i+1} - \theta_i) \quad \dots\dots(2)' \quad \text{低温側}$$