

SSC-L の適用解析 (I)

もんじゅ一次系自然循環解析

1984年2月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

SSC-L の適用解析 (I)

もんじゅ一次系自然循環解析

吉川 信治* 井口 達郎*

要 旨

SSC-L (Super System Code-Loop version) は米国ブラックヘブン研究所で開発されたループ型液体金属冷却高速増殖炉の熱流力学挙動解析コードである。このコードは通常過渡特性と事故時挙動の両方を解析する機能を持ち、また冷却系の機器配置、システム構成を任意に指定でき、システムコードとして優れた機能を有している。

動燃では、1980年6月に導入して以来、もんじゅの解析を目的として様々な改修を施し、次第に有意な結果が得られるようになってきた。

今回、もんじゅ体系において全ポンプの駆動力の喪失と炉停止を同時に行った場合の100%負荷から自然循環に至る現象の解析を行った。この中で、冷却材の挙動に対して、一次主冷却系ループの圧損特性や一次主循環ポンプの軸摩擦トルク特性についての評価法の差異が与える影響を調査した。すなわち、次の2つの評価法である。

- 現象論及び実験データに基いた評価法
- 安全解析に用いられる保守的な評価法

この結果次の事柄がわかった。

1. 初期の流量コストダウン特性はポンプの回転数に支配され、50%流量以下になってから軸摩擦トルクの影響が大となる。
2. 自然循環時の流量に強い影響を与える要員として炉心、逆止弁、停止したポンプの圧損があげられる。
3. 過渡時に炉心部の冷却材が到達する最高温度は、熱出力と流量の不整合によって定まり、今回の解析では定格時や自然循環が安定した時の温度よりも高い値を示した。

* 動力炉、核燃料開発事業団、大洗工学センター、高速炉安全工学部、高速炉工学室

Feb. 1984

APPLICATION ANALYSIS OF SSC-L (1)

-- ANALYSIS OF MONJU PRIMARY LOOP NATURAL CIRCULATION --

Shinji Yoshikawa*
Tatsuro Iguchi*

ABSTRACT

SSC-L (Super System Code - Loop version) is a thermo-hydraulic transients analysis code in LMFBRs, developed at Brookhaven National Laboratory in USA. This code is capable of both analyses of normal operation and accident. It allows free allocation of the components in heat transport systems, and arbitrary representation of the heat transport systems.

Since the introduction of this code in June 1980, a large effort has been devoted to facilitate and validate the use of the SSC code for MONJU plant transient analysis.

This report describes analysis of reactor shutdown transient in MONJU plant from full-power operation to natural circulation with simultaneous all pumps trip. In this transient a pressure loss characteristics of the primary loop and a frictional characteristics of the primary pump dominate coolant thermohydraulic behavior. In order to investigate the sensitivity of the loop and pump characteristics for the transient, following two cases were analyzed.

1. Characteristics of the loop pressure loss and the pump frictional torque based on the physical theory and experimental data.
2. Under the natural circulation, pressure losses of core, check valves, and stopped pumps have great effect on flow rate.

* Reactor Engineering Section, FBR Safety Engineering Division, Oarai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation

Results are summarized as follows:

1. Flow coastdown transient up to natural circulation is characterized by the pump speed. In the range of flow rate under 50% of the rated value, the pump frictional torque plays a important role in the determining the flow rate.
2. Under the natural circulation, pressure losses of core, check valves, and stopped pumps have great effect on flow rate.
3. The maximum coolant temperature at the top of the core during the transient is determined by the degree of mismatch of thermal power and flow rate. In this analysis, the maximum coolant temperature is higher than both in full power operation and in natural circulation.

目 次

1. はじめに	1
1.1 SSC-Lの動燃への導入前後の事情	1
1.2 SSCコード開発の経緯	2
2. 解析モデル	3
2.1 炉容器内モデル	3
2.1.1 冷却材挙動	3
2.1.1.1 下部ブレナム	4
2.1.1.2 上部ブレナム	4
2.1.1.3 炉 心	5
2.1.1.4 バイパスチャネル	6
2.1.2 熱伝達モデル	7
2.1.3 出力計算モデル	10
2.2 熱輸送系モデル	12
2.2.1 配管内冷却材挙動モデル	13
2.2.2 中間熱交換器	15
2.2.3 ポンプ	17
2.2.4 逆止弁	19
2.3 安全保護系	20
3. 解析例	21
3.1 解析ケースの選定	21
3.2 もんじゅ解析のための改修	21
3.2.1 燃料内熱伝導率算出式の変更	21
3.2.2 燃料ピンー冷却材間熱伝達率の算出式の変更	29
3.2.3 一次主冷却系内の各部の圧損特性	29
3.2.4 一次主冷却系循環ポンプの軸摩擦トルク特性	30
3.3 入力条件	31
3.3.1 炉 容 器	31
3.3.2 一次主冷却系	41

3.3.2.1	一次主冷却系ポンプ	41
3.3.2.2	逆止弁	42
3.3.2.3	配管	42
3.3.3	中間熱交換器	44
3.3.4	二次主冷却系	45
3.3.4.1	二次主冷却系ポンプ	45
3.3.4.2	配管	46
3.3.5	三次系	48
3.3.5.1	蒸発器及び過熱器	48
3.3.5.2	気水分離器及び蒸気ヘッダ	49
3.3.6	定格運転時のプラント状態量	49
3.3.7	インプット・リスト	50
3.4	解析結果	57
3.4.1	解析ケースの説明	57
3.4.2	結果	59
3.4.2.1	一次主冷却系の冷却材流量の時間変化	59
3.4.2.2	炉内冷却材の温度挙動	61
4.	結論	88
5.	今後の問題点	89
6.	謝辞	90
7.	参考文献	91
APPENDIX A	配管形状入力データ作成のためのインプットジェネレータ	92
APPENDIX B	蒸気発生器の過渡計算の省略が解析結果に及ぼす影響についての考察	98

LIST OF FIGURES

Fig. 2.1	Identification of regions in the reactor vessel	3
Fig. 2.2	A schematic of the outlet plenum of a reactor vessel	4
Fig. 2.3	Modeling of the bypass flow	6
Fig. 2.4	Axial noding for power normalization in fuel and coolant	7
Fig. 2.5-1	Radial noding in the fuel and blanket rods.	9
Fig. 2.5-2	A schematic arrangement of radial noding for a partially molten fuel rod	9
Fig. 2.6	Example configuration of the heat transport system (CRBR type)	12
Fig. 2.7	Example configuration of the heat transport system (MONJU type)	12
Fig. 2.8	Nodal diagram for flow in piping	13
Fig. 2.9	Definition of θ when a pipe mesh has an elbow in itself	15
Fig. 2.10	Hydraulic profile of IHX	16
Fig. 2.11	Nodal diagram for thermal balance	16
Fig. 2.12	Pump configurations under different regimes of operation	18
Fig. 2.13	Complete homologous head curves	18
Fig. 2.14	Complete homologous torque curves	19
Fig. 3.2-1	A comparison between two equations for the thermal conductivity of fuel (porosity=0.03)	24
Fig. 3.2-2	A comparison between two equations for the thermal conductivity of fuel (porosity=0.05)	26

Fig. 3.2-3	A comparison between two equations for the thermal conductivity of fuel (porosity=0.15)	28
Fig. 3.3-1	Channel dividing concept	34
Fig. 3.3-2	Axial power distribution of channel-1 (inner core, maximum power/flow ratio)	35
Fig. 3.3-3	Axial power distribution of channel-2 (inner core, nominal power/flow ratio)	36
Fig. 3.3-4	Axial power distribution of channel-3 (outer core, maximum power/flow ratio)	37
Fig. 3.3-5	Axial power distribution of channel-4 (outer core, maximum power/flow ratio)	38
Fig. 3.3-6	Axial power distribution of channel-5 (blanket region, neutron shieldings)	39
Fig. 3.3-7	Axial power distribution of channel-6 (control rods)	40
Fig. 3.4-1	Primary coolant flow rate (time: 0 sec - 30 sec)	64
Fig. 3.4-2	Primary coolant flow rate (time: 20 sec - 100 sec)	65
Fig. 3.4-3	Primary coolant flow rate (time: 80 sec - 360 sec)	66
Fig. 3.4-4	Available head and pressure-losses in primary loop (case-1, time: 0 sec -- 30 sec)	67
Fig. 3.4-5	Available head and pressure-losses in primary loop (case-1, time: 20 sec -- 100 sec)	68
Fig. 3.4-6	Available head and pressure-losses in primary loop (case-1, time: 80 sec -- 340 sec)	69

Fig. 3.4-7	Available head and pressure-losses in primary loop (case-2, time: 0 sec -- 30 sec)	70
Fig. 3.4-8	Available head and pressure-losses in primary loop (case-2, time: 20 sec -- 100 sec)	71
Fig. 3.4-9	Available head and pressure-losses in primary loop (case-2, time: 80 sec -- 340 sec)	72
Fig. 3.4-10	Available head and pressure-losses in primary loop (case-3, time: 0 sec -- 30 sec)	73
Fig. 3.4-11	Available head and pressure-losses in primary loop (case-3, time: 20 sec -- 100 sec)	74
Fig. 3.4-12	Available head and pressure-losses in primary loop (case-1, time: 80 sec -- 340 sec)	75
Fig. 3.4-13	Primary pump speed (time: 0 sec - 30 sec).	76
Fig. 3.4-14	Primary pump speed (time: 20 sec - 100 sec).	77
Fig. 3.4-15	Temperature at core top and subassembly outlet (inner core, the maximum power/ flow ratio)	78
Fig. 3.4-16	Temperature at core top and subassembly outlet (inner core, the nominal power/ flow ratio)	79
Fig. 3.4-17	Temperature at core top and subassembly outlet (outer core, the maximum power/ flow ratio)	80
Fig. 3.4-18	Temperature at core top and subassembly outlet (outer core, the nominal power/ flow ratio)	81
Fig. 3.4-19	Flow fraction of each channel to total flow case-1	82

Fig. 3.4-20	Flow fraction of each channel to total flow case-2	83
Fig. 3.4-21	Flow fraction of each channel to total flow case-3	84
Fig. 3.4-22	Thermal reactor power (time: 0 sec - 25 sec)	85
Fig. 3.4-23	Thermal reactor power (time: 20 sec - 100 sec)	86
Fig. 3.4-24	Thermal reactor power (time: 80 sec - 340 sec)	87

LIST OF TABLES

Table 2.1	Characterization of Fuel Regions in a Fuel Rod	10
Table 2.2	Definition of the variables used in Eq.2-4 and 2-5	11
Table 3.2-1	A comparison between two equations for the thermal conductivity of fuel (porosity=0.03)	23
Table 3.2-2	A comparison between two equations for the thermal conductivity of fuel (porosity=0.05)	25
Table 3.2-3	A comparison between two equations for the thermal conductivity of fuel (porosity=0.15)	27
Table 3.2-4	Pressure-loss characteristics of the each part of the primary heat-transport loop ..	29
Table 3.2-5	Pump efficiency characteristic	30
Table 3.3-1	Shape and hydraulic characteristics of the each subassembly type	32
Table 3.3-2	Thermal characteristics of the each sub-assembly type	33
Table 3.3-3	Decay heat curve of 1-5'th subassembly ...	33
Table 3.3-4	Decay heat curve of 6'th subassembly	33
Table 3.3-5	Data of the primary loop pipings	43
Table 3.3-6	Data of the secondary loop pipings	47
Table 3.3-7	Data of evaporator and super-heater	48
Table 3.3-8	Data of separator and steam header	49

1. はじめに

1.1 SSC-Lの動燃への導入前後の事情

もんじゅの安全審査を控えて配管破断事故の扱いが問題となっていた頃、単相解析コードによる解析結果が得られるようになってきた。その結果から、炉心で冷却材の沸騰が生じることが判明した。当時高速炉安全性試験室（現在は炉心安全工学室）が所有していたコードの中ではSAS3Dコードが沸騰モデルを持っていたので、これを用いて1/3炉心での解析を行った。その結果、熱出力と冷却材流量の不整合により、炉心の広範囲で沸騰が生じることが示された。ただし、この解析は、流量再配分や自然循環を考慮しないHIPRACコードによる結果を基にしたものであったので、流量再配分や自然循環を考慮した解析が要求されるようになった。

その後、配管破断後の、流量変化を緩和するための種々の設計上の変更（しきり機構、カバーガスしめ切り、ポンプの回転慣性の増加等）がなされた。この変更は配管破断直後の冷却材の一次温度ピークには影響を与えなかったが、数分後に生ずる二次温度ピークに生ずる恐れがあった冷却材の逆流を防ぐことができた。

しかし、流量再配分、自然循環を考慮したPIBRAコードを用いても二次ピーク付近で100秒間程度沸騰が続くことが予想された。更に解析精度を向上させるため、沸騰による循環力の増加と沸騰伝播を評価する必要があるため、崩壊熱レベルにおける沸騰解析が要求されるようになった。いずれにしてもSAS3Dの沸騰モデルは当時低流量、低熱流束の解析には不向きであることが指摘されていた。

種々の問題を含みながら、SAS3Dによる配管破断時の炉内熱流動解析が行われた頃、SSCコードの解析能力に期待が集まり、動燃への導入と沸騰モデル開発が行われた。ただし、沸騰モデルは動燃においても独自に開発することになり、SABENA-1Dコードとして開発されることになった。

このSSC導入に並行して、メーカー各社においてもプラント動特性解析コードの開発が行われ、SSCと同等程度の能力を有するものはいくつか見られた。この内で、配管破断事故時二次ピークの100秒程度の沸騰を解析する能力を有するものは、PIBRAコードであった。そこでまず安全審査のための配管破断事故解析を行い、安全審査が一段落した時点で炉心安全工学室の沸騰実験によるPIBRAコード沸騰モデルの検証が行われることとなった。その結果は1983年3月に報告された。それに

よると気相密度を大きめに評価するための液滴パラメータなるものを導入することにより実験値との比較的良好な一致が得られることが確かめられた。

1.2 S S Cコード開発の経緯

S S Cの開発が計画されている当時は、通常動特性解析と事故解析との間には、その取扱う現象に大きな隔りがあった。つまり前者は定格の30%負荷までの、制御系設計や伝熱特性評価のための解析が主であり、後者はS A Sコードを適用する様な厳しい事故のみの解析を行っていた。

そこで、この隔りを埋め、通常解析から事故解析までを一貫して扱えるコードの開発が望まれるようになった。そのコードは、事故時の現象を取扱えるモデルを持っていながら、しかも通常の条件下で、実時間で数千秒にわたるプラント応答をも現実的な計算時間で解析し得るように数値解法が工夫されている必要があった。このような背景のもとに、次のような特徴を持つものとしてS S Cが開発された。

1. 事故解析に対応できる詳細なモデルを採用している。
2. 解析している現象別に独立したタイムステップを用いている。
3. プラント全体を解析対象とする。
4. システム構成は任意である。

その後S S Cは種々のバージョンの開発によって、Loop型炉、Pool型炉あるいは長時間解析にも適用できるように解析対象範囲を拡げる方向、及びモデルを詳細化する方向に進んできている。

2. 解析モデル

SSC-Lの解析対象は大きく分けて炉容器，熱輸送系，蒸気発生器からなる。以下この順番に説明するが詳細はBNLで作成された報告書¹⁾(BNL-NUREG-50773)を参照されたい。

2.1 炉容器内モデル

2.1.1 冷却材挙動

冷却材の挙動を解析するため，SSC-Lでは炉容器内を炉心，下部プレナム，上部プレナム，バイパスチャンネルに分けている。(Fig. 2.1 参照)

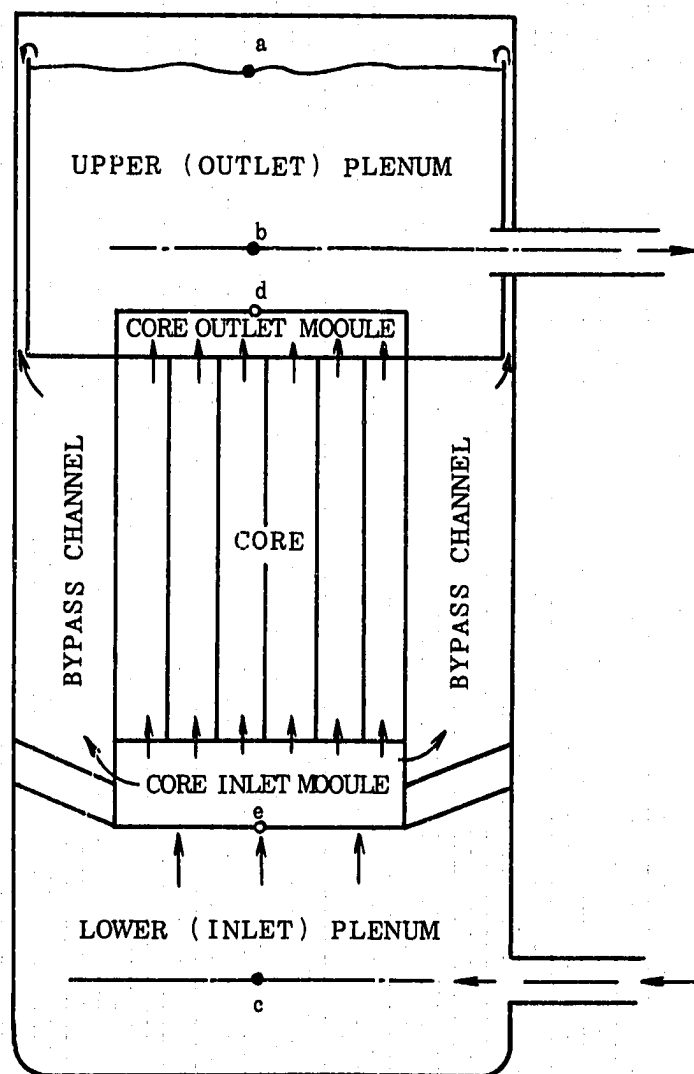


Fig. 2.1 Identification of Regions in the Reactor Vessel.

2.1.1.1 下部プレナム

定常状態では，下部プレナムの冷却材，構造物，流入する冷却材の三者は等温と仮定する。過渡計算では，次の式によって冷却材と構造物の温度挙動を与える。

$$\frac{d}{dt}(\rho V E) = \sum_{in} (WE) - \sum_{out} (WE) + UA(T_m - T_f) \dots\dots (2-1)$$

$$\frac{d}{dt} T_m = \frac{UA}{MC} (T_f - T_m) \dots\dots\dots (2-2)$$

ここで， ρ : 冷却材密度	V : 下部プレナム容量
E : 冷却材エンタルピー	W : 冷却材の質量流量
U : 冷却材-構造物間平均熱伝達率	T_m : 構造物温度
A : 冷却材-構造物間接触面積	T_f : 冷却材温度
M : 構造物質量	C : 構造物比熱

(ただし， T_f は E のみの関数で表わす。)

2.1.1.2 上部プレナム

上部プレナムでは，炉心とバイパスチャネルから流入冷却材がプレナム内の冷却材と混合する。また，構造物，カバーガスとの熱伝達も上部プレナム内の冷却材の温度挙動に寄与する。SSC-Lでの上部プレナムの領域分割をFig. 2.2に示す。

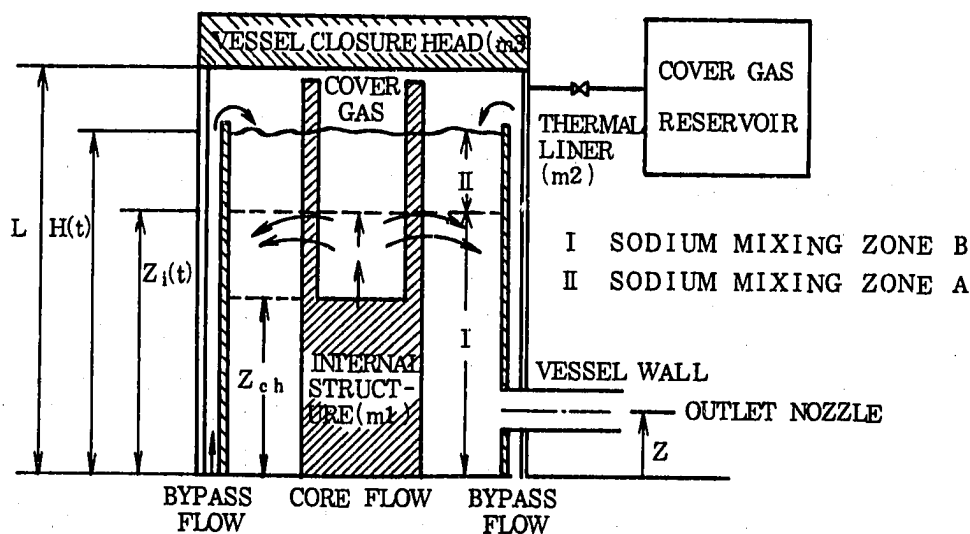


Fig.2.2 A Schematic of the Outlet Plenum of a Reactor Vessel.

上部プレナム内の冷却材挙動を解析するに当って以下の4つの仮定をおく。

1. 炉心の各チャネル（炉心のモデルについては後述する）から種々の流量とエンタルピーを持って冷却材が流入してくるが、これを、流量とエンタルピーがこのいくつかの流れを総合したものと等しくなるような単一の流れで置き換えて取扱う。
2. 炉心を出た時点で冷却材が持っていた運動エネルギーが位置エネルギーに置き換えられる高さをフルード数によって評価し、この高さを2つの混合領域の境界の高さとする。
3. 2つの混合領域内で完全混合が行われる。
4. カバーガスは理想気体として取扱い、初期はリザーバーガスと平衡状態にある。

2.1.1.3 炉 心

炉心はインプットで定められる数のチャネルに分割できる。それらのチャネルはそれぞれ燃料、ブランケット、制御棒等を代表するものとして割当てることができる。

定常状態での各チャネルの流量配分を決定するのに次の2つの方法が用意されていて、ユーザーはインプットによっていずれかを選ぶことができる。

- A) 各チャネル間の流量比をインプットデータで固定する方法
- B) 全チャネルの入口ー出口間の圧力差が等しくなるような流量配分を反復計算をして求める方法

各チャネルに対して付加的な圧損係数が仮定され、(A)、(B)それぞれの条件を満足する値が計算される。この値が過渡計算においても用いられる。

過渡計算においてはチャネル間の流量再配分が考慮されている。各チャネルの流量は次の2項目を満足する様に計算される。

1. 各チャネルは流路断面積に変化のない一次元非圧縮性流れが存在するとして次式を満たす。

$$\frac{\partial}{\partial t} (W) + \frac{\partial}{\partial z} (W \cdot V) + A \frac{\partial P}{\partial z} + f \cdot \frac{\rho V^2}{2} \frac{A}{D_h} - g \rho \frac{|W|}{W} = 0$$

2. どの瞬間においても、炉心の上端、及び下端で水平方向の圧力分布が存

在しないこと。つまりどのチャンネルの両端間の圧力差も互いに等しいこと。

2.1.1.4 バイパスチャンネル

バイパスチャンネルは、炉心支持構造物と炉容器内壁の間を下部とし、熱遮蔽板と炉容器内壁の間を上部として2つの部分に分割されている。炉心に隣接している下部だけがガンマヒーティングによる内部発熱を考慮されている。

(Fig. 2.3 参照)

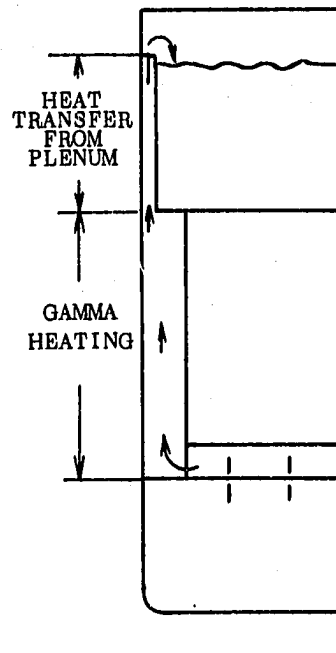


Fig. 2.3 Modeling of the Bypass Flow.

エネルギーと運動量の保存式は炉心部と同様な扱い方を、ただし、上部の形状圧損係数はインプットで与えられることはなく、定常状態でバイパスチャンネルの全圧力損失が炉心の全圧力損失と平衡になるように内部で計算され、その値が過渡計算にも使われる。過渡状態の冷却材の挙動は次の式で計算される。

$$\begin{aligned}
 \Delta P = & \frac{\Delta W}{\Delta t} \left[\frac{L_1}{A_1} + \frac{L_2}{A_2} \right] + W^2 \left[\left\{ \frac{1}{\rho_{1 \text{ out}}} - \frac{1}{\rho_{1 \text{ in}}} \right\} \frac{1}{A_1^2} + \left\{ \frac{1}{\rho_{2 \text{ out}}} - \frac{1}{\rho_{2 \text{ in}}} \right\} \frac{1}{A_2^2} \right] \\
 & + \frac{W |W|}{2} \left[\frac{f_1 L_1}{A_1^2 \bar{\rho}_1 D_{h1}} + \frac{f_2 L_2}{A_2^2 \bar{\rho}_2 D_{h2}} \right] + g (\rho_1 L_1 + \rho_2 L_2) \\
 & + \frac{W |W|}{2} \left[\frac{K_1}{\bar{\rho}_1 A_1^2} + \frac{K_2}{\bar{\rho}_2 A_2^2} \right] \dots\dots\dots (2-3)
 \end{aligned}$$

2.1.2 熱伝達モデル

燃料ピンとこれに近接する冷却材，構造物のモデル図を Fig. 2.4 に示す。軸方向の5領域（下部プレナム，下部ブランケット，炉心，上部ブランケット，上部プレナム）のうち，ユーザは任意のものを削除できるが，上下関係を入れ換えることはできない。燃料，ブランケットは軸方向に分割され，また径方向にはいくつかの同心円筒に分割される。上部及び下部プレナムは1領域として扱われる。なお，ギャップ，冷却材，構造物は径方向には1領域として，被覆管は3領域として扱われる。

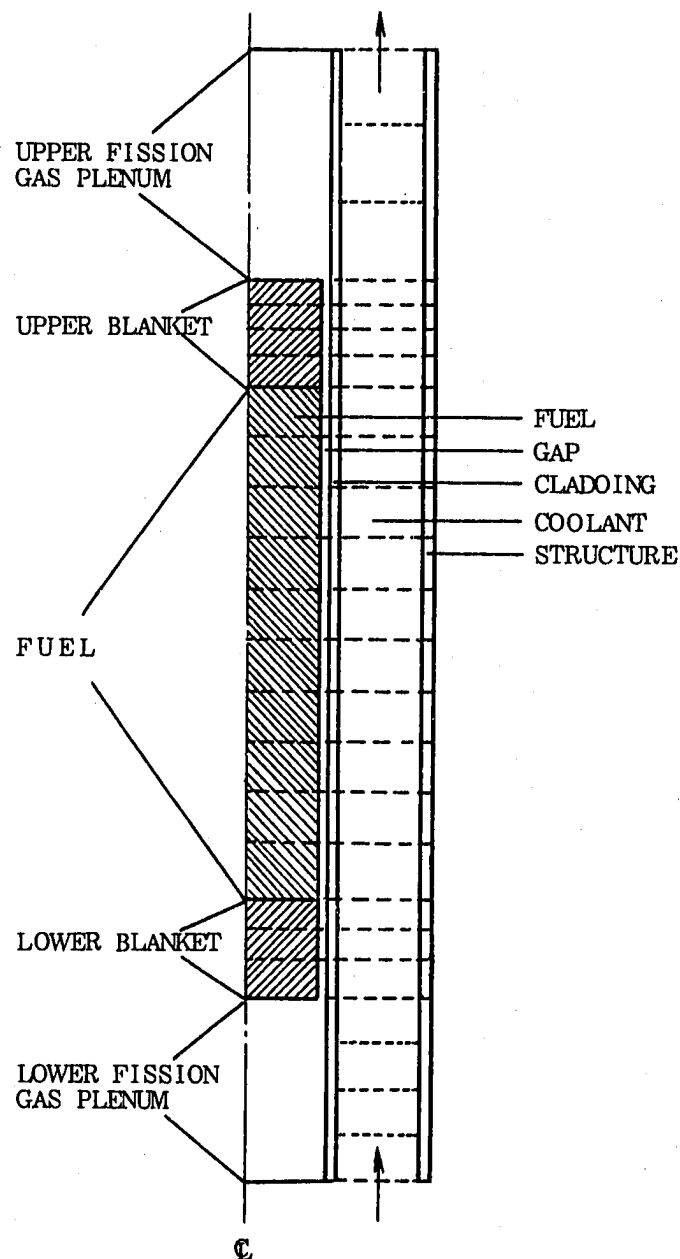


Fig. 2.4 Axial Noding for Power Normalization in Fuel and Coolant.

2.1.2.1 熱膨張，再組織化及びギャップ間熱輸送モデル径方向の分割法を Fig. 2.5

— 1, 2 に示す。径方向分割に当ってユーザーは次の 2 つの方法のうち一つを選択することができる。

径方向分割数を NF

センターボイド半径を R_{Fi}

ペレットの半径を R_{F0}

i 番目の円筒形メッシュと， $i - 1$ 番目の円筒形メッシュの境界面の半径を R_i

とすると，

a) 隣接するメッシュの代表径の差を一定とする方法。

すなわち， R_i ($i = 1 \sim NF$) は次の様に決定される。

$$\Delta R = \frac{1}{NF - 1} (R_{F0} - R_{Fi}) \text{ とすると，}$$

$$R_1 = R_{Fi}$$

$$R_2 = R_{Fi} + \frac{1}{2} \Delta R$$

$$2 \leq i \leq NF - 1 \text{ で}$$

$$R_{i+1} = R_i + \Delta R$$

b) 2 番目から $NF - 1$ 番目までのメッシュの水平方向断面積を全て等しく，

1 番目と NF 番目のメッシュの断面積をその $\frac{1}{2}$ にする方法，

すなわち， R_i ($i = 1 \sim NF$) は次の様に決定される。

$$\Delta S = \frac{\pi}{NF - 1} (R_{F0}^2 - R_{Fi}^2) \text{ とすると，}$$

$$R_1 = R_{Fi}$$

$$R_2 = \sqrt{R_{Fi}^2 + \frac{\Delta S}{2\pi}}$$

$$2 \leq i \leq NF - 1 \text{ で}$$

$$R_{i+1} = \sqrt{R_i^2 + \frac{\Delta S}{\pi}}$$

またペレットの再組織化の計算は Grain Growth Temperature に基づいて行う。(Table 2.1 参照)

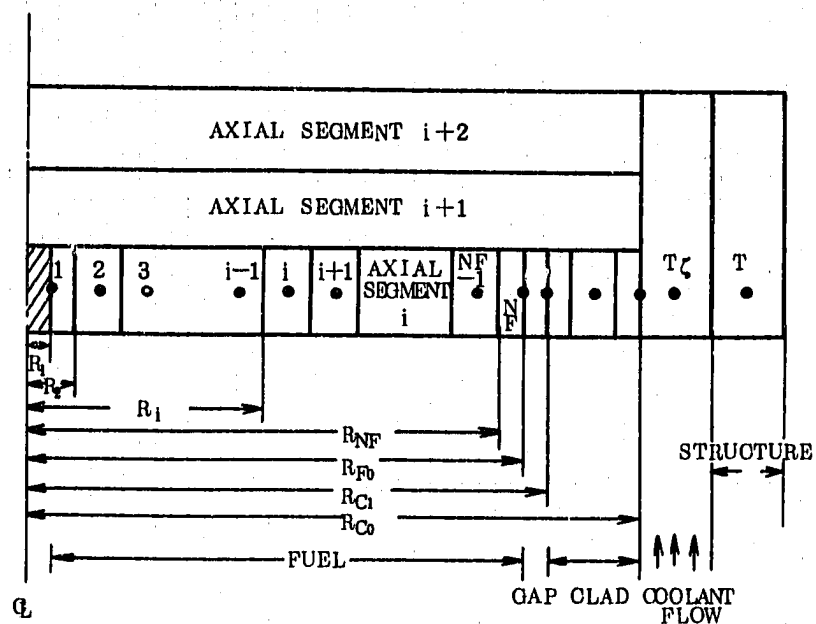


Fig. 2.5-1 Radial Noding in the Fuel and Blanket Rods.

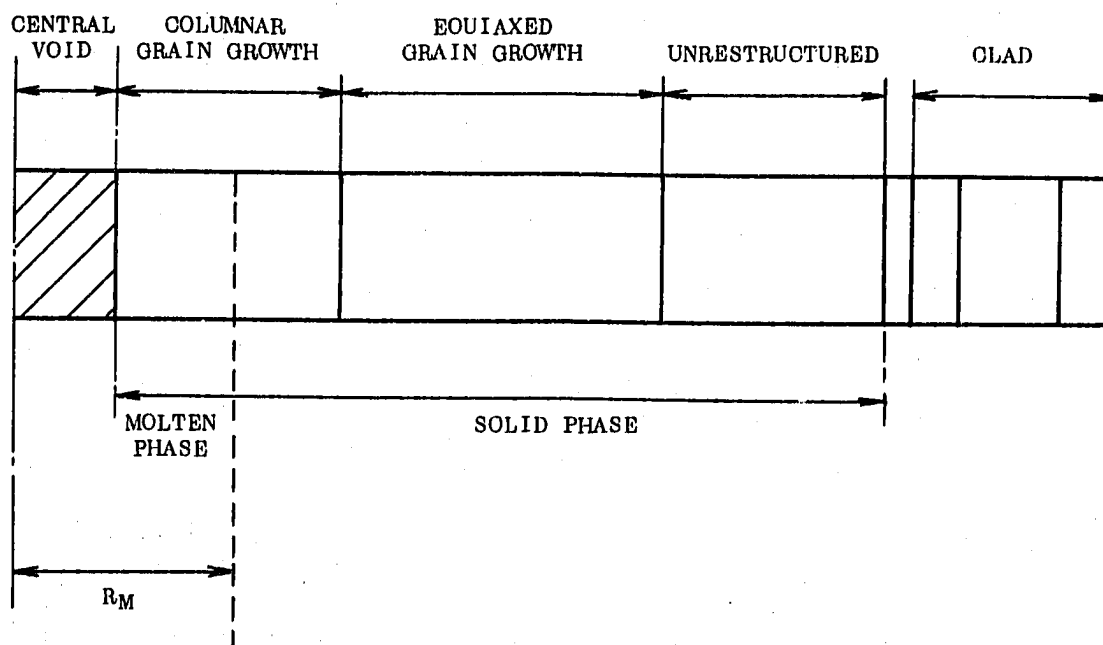


Fig. 2.5-2 A Schematic Arrangement of Radial Noding for a Partially Molten Fuel Rod.

Table 2.1 Characterization of Fuel Regions in a Fuel Rod

Region	Temperature	Density	Power Generation Per Unit Volume	Thermal Conductivity
I. Unrestructured	$T < T_{EG}$	ρ_1 (as fabricated)	$Q_I = Q_0$	$k = k(\rho_1, T)$
II. Equiaxed Grain Growth	$T_{EG} \leq T \leq T_{CG}$	ρ_2 ($\rho_2 > \rho_1$)	$Q_{II} = \frac{\rho_2}{\rho_1} Q_0$	$k = k(\rho_2, T)$
III. Columnar Grain Growth	$T \geq T_{CG}$	ρ_3 ($\rho_3 > \rho_2$)	$Q_{III} = \frac{\rho_3}{\rho_1} Q_0$	$k = k(\rho_3, T)$

ギャップ間の熱輸送は次の様に行う。

① 被覆管とペレットが接触していない場合は

- a) 封入ガス, FPガス, Xe, Krなどの混合ガスの熱伝導
- b) 輻射熱伝達

の2つの効果が考慮される。

② 被覆管とペレットが接触している場合は, ユーザーの指定した接触熱伝達率を用いて熱伝達が計算される。

2.1.3 出力計算モデル

炉の熱出力としては次の3成分が考慮されている。

- ① 核分裂による発熱
- ② 崩壊熱
- ③ バイパスチャネル内冷却材のガンマ・ヒーティング

核分裂による発熱, 崩壊熱の炉心内空間分布はユーザーのインプットによって固定され, 過渡時においても相似が保たれる。

核分裂による発熱は, 一点近似の動特性計算から求められる。この計算に当っては, 次の2つのオプションを選ぶことができる。(以下の式2-4, 2-5中の変数の定義はTable 2.2に示す。)

1. Prompt Jump Approximation

この方法は計算時間短縮に有効であり、かつ全反応度が50%以下の場合には精度も充分である。次の式に従って中性子束の過渡変化が計算される。

$$\eta = \frac{1}{\beta_T - \rho} \sum_i \beta_i C_i \quad \dots\dots\dots (2-4)$$

2. Kaganove の方法

これは各タイムステップにおいて、中性子束 η と反応度 ρ が時間の2次関数で表わされると仮定して次の式を解く方法であり、反応度が50%以上でも充分な精度を示す。

$$\frac{d\eta}{dt} = \frac{\rho\eta}{\Lambda} - \frac{1}{\Lambda} \sum_i \frac{\beta_i}{\lambda_i} \frac{dC_i}{dt} \quad \dots\dots\dots (2-5)$$

また、フィードバック反応度の要因として以下の物が考慮されている。

- ドップラー効果
- Naの密度変化, ボイド率
- 燃料の軸方向膨張
- 構造材膨張

崩壊熱の時間変化は2通りの方法によってインプットで与えられる。

1. 時間に対するTableをインプットする。
2. 経験式を与える。

Table 2.2 Definition of the Variables used in Eq.2-4 and Eq.2-5

N = neutron density (which is proportional to the power),
 ρ = total reactivity ($\Delta k/k$),
 β_T = total effective delayed neutron fraction = $\sum_i \beta_i$,
 Λ = prompt neutron generation time (s),
 λ_i = decay constant of the i -th delayed neutron group (s^{-1}),
 C_i = density of the i -th effective delayed neutron precursor,
 β_i = fraction of the i -th effective delayed neutron group,
 t = time (s),

By rewriting N and C_i in normalized form such that

$$n(t) \equiv \frac{N(t)}{N(0)}; C_i(t) \equiv \frac{C_i(t)}{C_i(0)}; \text{ where } C_i(0) = \frac{\beta_i}{\Lambda \lambda_i} N(0),$$

2.2 熱輸送系モデル

SSC-LはCRBRの解析を当面の目標として開発されたが、汎用コードとして充分な融通性を備えている。Fig. 2.6にCRBRの体系、Fig. 2.7にもんじゅの体系を示す。

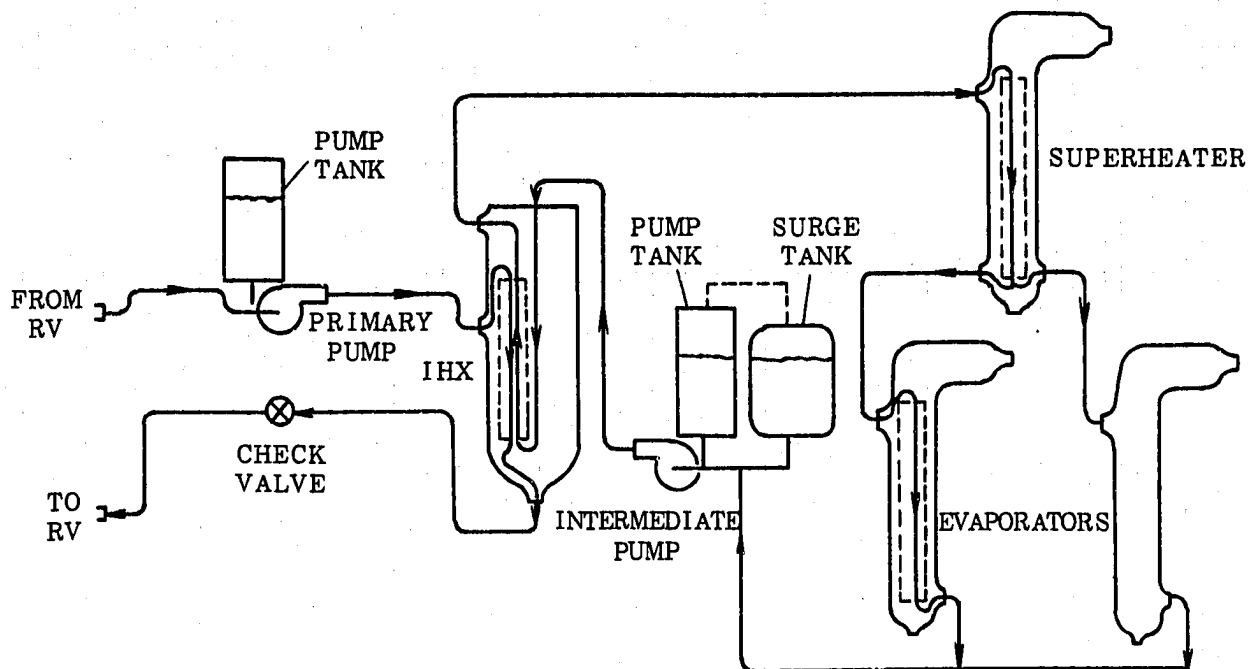


Fig. 2.6 Example Configuration of the Heat Transport System.
(CRBR Type)

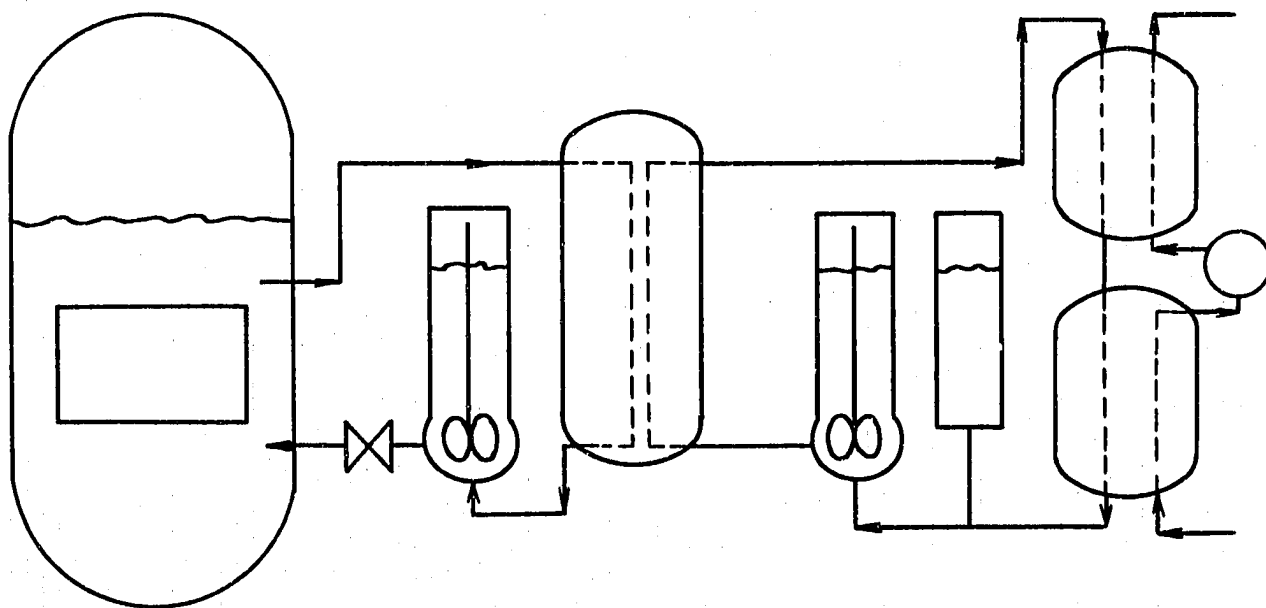


Fig. 2.7 Example Configuration of the Heat Transport System.
(MONJU Type)

1次系のポンプの位置、蒸気発生器の構成などに違いが見られるが、こういう機器配置の差にはインプットで容易に対応できる。

熱輸送系モデルにおける全般的な仮定を以下に列挙する。

- 一次元单相非圧縮性流れ
- 流路断面で単一の質量流量とする。
- 管壁内の軸方向（流れに平行な方向）の熱伝導を無視する。

モデルの主な特色は以下の通りである。

- 温度依存物性値はほとんど温度の多項式で表わす。
- 圧力計算には全て重力の効果を反映させている。
- 摩擦係数はレイノルズ数の関数である。
- 断面積変化等による圧力損失も考慮する。
- 配管－冷却材間の熱伝達を考慮している。（配管－支持構造物及び配管－外気間の熱交換は無視している。）

2.2.1 配管内の冷却材挙動モデル

内径の一定な、連続した配管は、それぞれユーザーの指定した数に分割されて取扱われる。Fig. 2.8に配管モデルの概念図を示す。この図で点*i*と点*i+1*

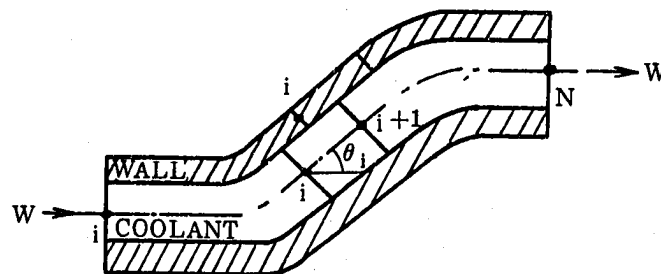


Fig. 2.8 Nodal Diagram for Flow in Piping.

の間に挟まれた部分の冷却材について次の式に従って温度変化が計算される。

$$\rho^{i+\frac{1}{2}} A \Delta x \frac{d e_{i+1}}{d t} = W (e_i - e_{i+1}) - U_{cw} A_{cw} \left[\frac{T_i + T_{i+1}}{2} - T_{w_i} \right]$$

T : 冷却材温度

T_w : 壁面温度

ρ : 冷却材密度

A : 流路断面積

e : 冷却材エンタルピー

Δx : コントロールボリュームの流線方向長さ

U_{cw} : 冷却材-壁面間熱伝達率

A_{cw} : 冷却材-壁面間のコントロールボリューム当りの接触面積

W : 冷却材質量流量

また、この間の圧力損失は、次式によって算出する。

$$\Delta P = \frac{W^2}{A^2} \left(\frac{1}{\rho_{i+1}} - \frac{1}{\rho_i} \right) + \frac{W|W|}{(\rho_i + \rho_{i+1})A^2} \left(\frac{f \Delta x}{D} + 2k \right) \\ + g \Delta x \frac{\rho_i + \rho_{i+1}}{2} \sin \theta$$

D : 配管の水力直径

f : 摩擦損失係数

k : 形状圧損係数

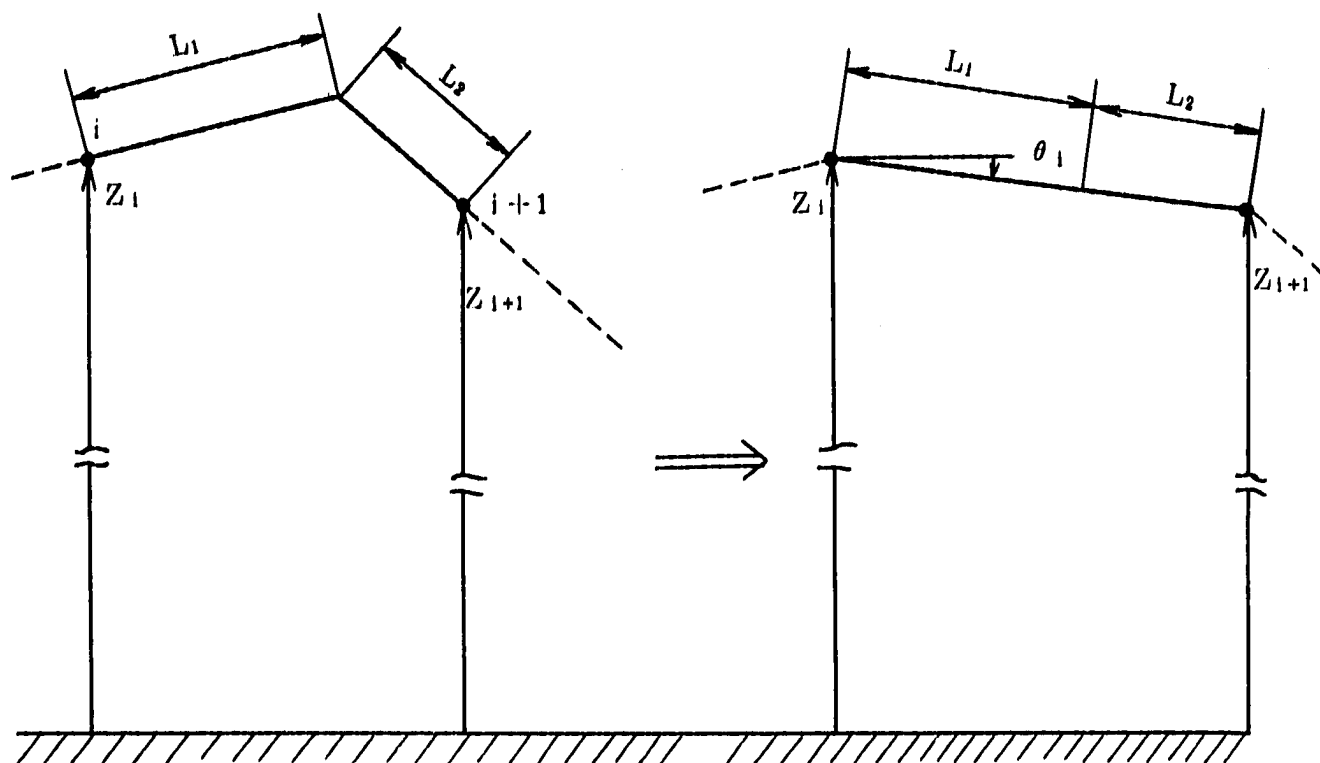
θ : 区間 $i \sim i+1$ における $\arcsin \frac{\text{出口高さ} - \text{入口高さ}}{\text{区間の長さ}}$

ある連続した配管について、ユーザーがこれを n 個の区間に分割するのであれば、 n 個の θ の値を与えることによってこの配管の形状が決定される（水平方向の変位はエルボにおける形状圧損の増加以外冷却材の挙動には影響しない）。この結果、ある区間が、その中にエルボを含む場合がある。例を Fig. 2.9 に示す。この場合の θ は、配管の長さとエレベーションの変化を保つ直管として表現することとして、

$$\sin^{-1} \{ (Z_{i+1} - Z_i) / (L_1 + L_2) \}$$

で定義される。（Appendix B に θ を算出するインプットジュネレータについて記す。）

このように配管内の、分割された各部において圧損を独立に計算することによって精度の高い自然循環力の算出を可能にしている。



$$\theta_1 = \sin^{-1} \frac{Z_{i+1} - Z_i}{L_1 + L_2}$$

Fig. 2.9 Definition of θ_1 when a pipe mesh has an elbow in itself

2.2.2 中間熱交換器

中間熱交換器は同心円状シェル・アンド・チューブ型のものがモデルされている。その流動様式図を Fig. 2.10 に示す。全ての伝熱管は1本の代表伝熱管で表わされる。冷却材の温度挙動はノード分けヒートバランス法によって決められる。モデルの主な特色を以下に掲げる。

- 軸方向にユーザーの指定した数の等間隔分割を行う。
- 物性値や熱伝達率は分割された各部それぞれにおいて温度や流速の関数として評価する。
- 一次側流路にはバイパス流れを考慮する。
- 一次、二次側それぞれの入口、出口ブレナムにおいて完全混合を仮定する。
- 代表伝熱管について径方向には4区分(二次側冷却材, 伝熱管壁, 1次

側流体，外壁）を設ける。（Fig. 2.11）

- 金属壁の軸方向熱伝導は無視する。
- 伝熱管内では全長にわたって十分に発達した熱伝達を仮定する。つまり管入口付近の境界層の未発達な部分は考慮しない。

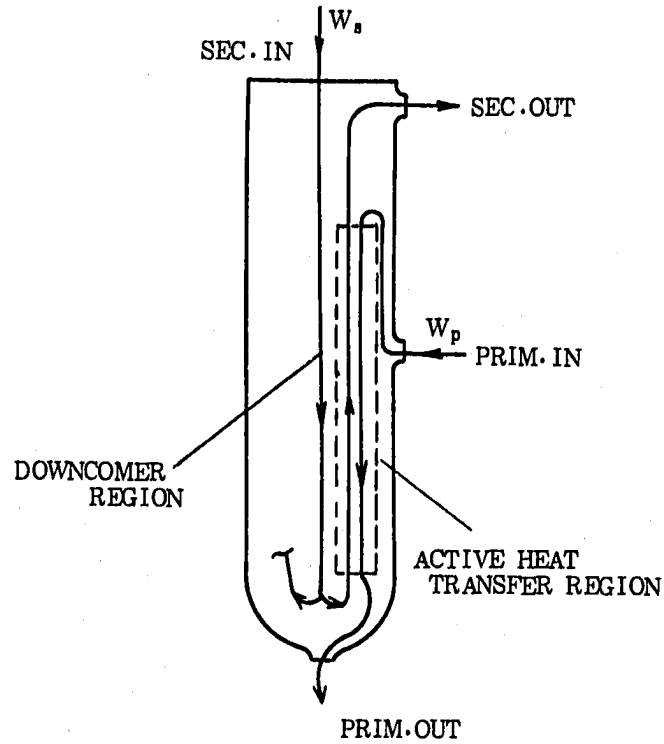


Fig. 2.10 Hydraulic Profile of IHX.

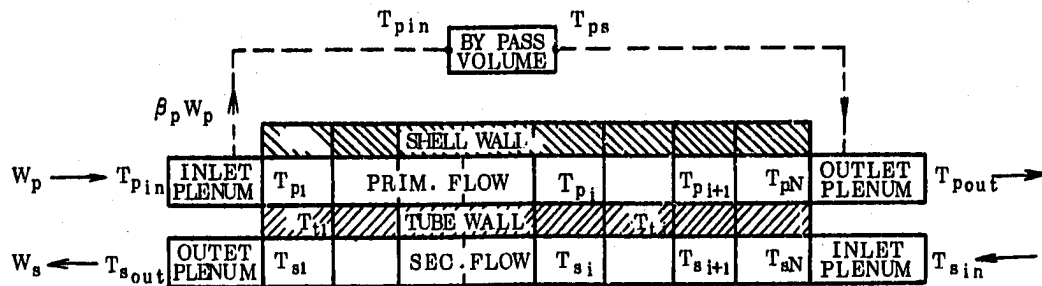


Fig. 2.11 Nodal Diagram for Thermal Balance.

2.2.3 ポンプ

$$\left. \begin{array}{l} w : \text{比流量 (: 流量 / 定格流量)} \\ n : \text{比速度 (: 速度 / 定格速度)} \\ h : \text{比揚程 (: 揚程 / 定格揚程)} \\ \tau_{hyd} : \text{比トルク (: トルク / 定格トルク)} \end{array} \right\} \text{とすると,}$$

ポンプの特性は以下の式で表わされる。

$|w| \geq |h|$ となる領域では h, τ_{hyd} を $\left(\frac{n}{w}\right)$ の 5 次式 $\times w^2$ で, $|n| > |w|$ となる領域では h, τ_{hyd} を $\left(\frac{w}{n}\right)$ の 5 次式 $\times n^2$ で与える。これによりポンプの全ての状態の特性を表わすことができる。(Fig. 2.12, 2.13, 2.14)

また, コーストダウン特性を決定する重要なものに摩擦トルク τ_{fr} があるが, これについては, 解析ケースによって評価方法を切り換えているので後に「3.2 もんじゅ解析のための改修」の所で述べる。

ポンプ回転速度の変動は以下の式の解として求められる。

$$I \frac{d\Omega}{dt} = \tau_m - \tau_{hyd} - \tau_{fr} \dots\dots\dots (2-6)$$

$$\left(\begin{array}{ll} I & : \text{ポンプイナーシャ [kgm^2]} \\ \Omega & : \text{回転速度 [rad/sec]} \\ \tau_m & : \text{モータトルク} \\ \tau_{hyd}, \tau_{fr} & : \text{モータトルク 流動負荷トルク, 摩擦トルク [kgm^2 / sec^2]} \end{array} \right)$$

ポンプ入口圧は, ポンプタンクカバーガス圧, ポンプタンク内ナトリウムの重力ヘッド, タンクオリフィスの圧力損失(ナトリウム流入時を正とする)の和で表わされる。出口圧はこれに揚程, 密度, 重力加速度の積を加えたものである。

ボニーモータ

主モータのコーストダウン時にボニーモータへの引継が行われるか否かはルーブ毎に指定する。引継条件は

$$\text{主モータの比速度} \leq k \quad (k : \text{ユーザー指定})$$

である。

なお引継後は回転数は一定として計算される。

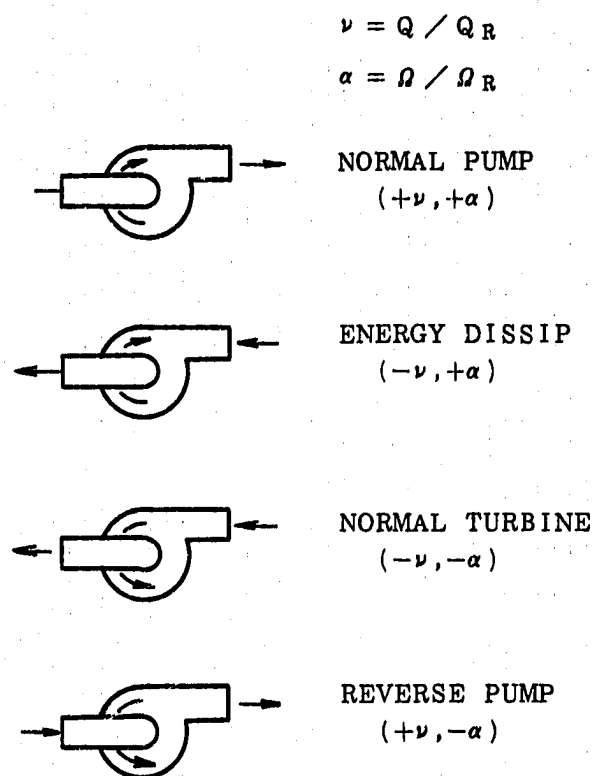


Fig. 2.12 Pump Configurations under Different Regimes of Operation.

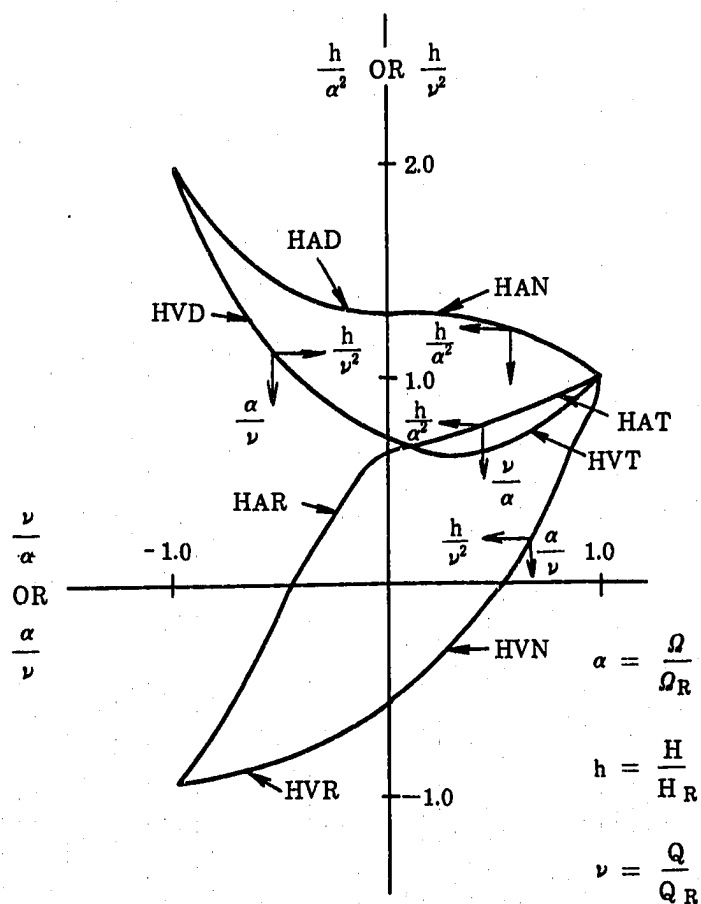


Fig. 2.13 Complete Homologous Head Curves.

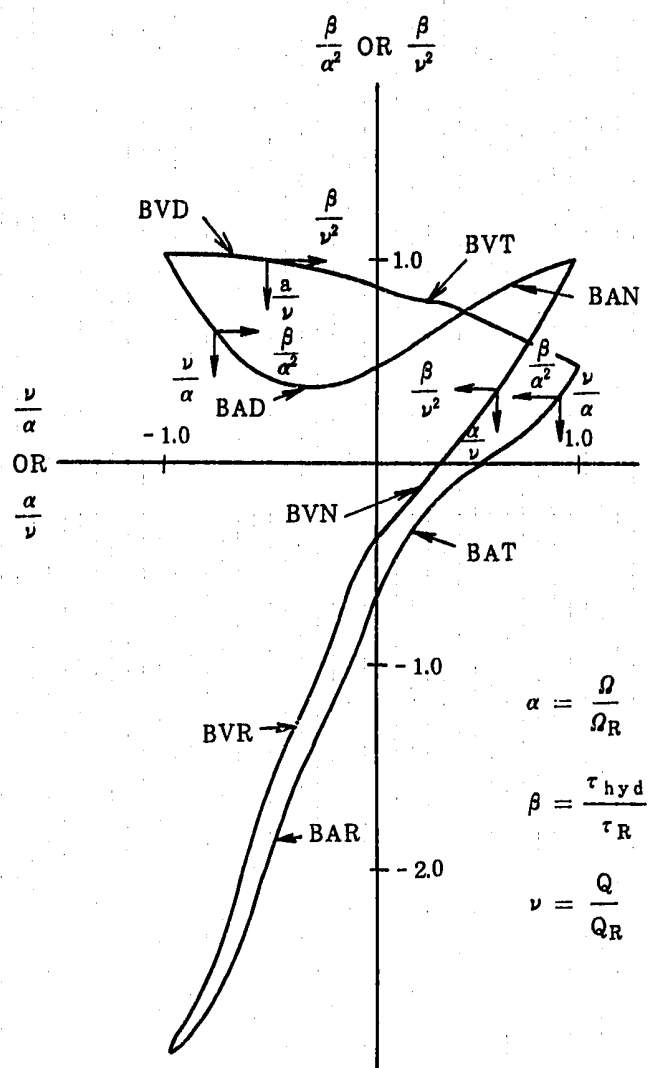


Fig. 2.14 Complete Homologous Torque Curves.

2.2.4 逆止弁

逆止弁の圧損は $\Delta P_{cv} = C \frac{W|W|}{\rho}$ で表わされる。この定数 C を以下の表により決めている。

流量/定格流量	弁 作 動	弁 不 作 動
$w_1 \leq w \leq 1$	C_0	C_0
$w_2 \leq w < w_1$	$C_1 + k_1 w$	C_0
$0 \leq w < w_2$	$C_2 + k_2 w$	C_0
$w < 0$	$C_2 + k_3 w$	C_0

流量区域を決める w_1, w_2 の値は解析コード本文中で定義している。圧損係数を求める式の定数項 C_0, C_1, C_2 及び係数の k_1, k_2, k_3 はユーザーがインプッ

トで与える。

2.3 安全保護系

炉停止は手動によるものと安全保護系の作動によるものを選択することができる。

- 手動の場合，トランジエントに入ってからスクラム起動までの時間を指定する。
またスクラム起動から制御棒降下，ポンプトリップ等種々の機構の作動までの時間も指定できる。
- 安全保護系の作動によるもの，つまり自動スクラムの場合，自動スクラムが起動される条件は最大20項目設定することが可能である。20項目の各々は1つのサブルーチンに対応しており，今回の解析で使用したVersion 2の段階では，①中性子束高，②炉容器液面低，③IHX1次出口Na温度高，④炉容器出口ナトリウム温度高，⑤1次主冷却系Na流量低，⑥1次主冷却系Na流量高，⑦2次主冷却系Na流量低，⑧中性子束変化率高—を組み込んでおり，もんじゅの安全保護系に定められたスクラム条件中，プロセス量に関するものは全てカバーしている。

また，20のサブルーチン中4個はダミールーチンとなっており，ユーザーが新たにスクラム起動条件を設定したい場合，僅かな手数で目的を達することができる。そして設定した全ての条件は1次制御棒，2次制御棒のいずれの降下を起動するか指定できる。

さらに各プロセス量を計測するセンサーの時定数，スクラム条件の検出から制御棒降下までの時間，さらにそれからポンプ，タービンのトリップまでの時間も指定できるようになっていて各機構のスクラム時における作動のタイムシーケンスを精度良く模擬できる様考慮されている。

3. 解 析 例

3.1 解析ケースの選定

SSCのようなシステムコードで全電源喪失事故に伴う自然循環を解析する場合、重要な要因として次のものが考えられる。

- (1) 1次系ループの圧力損失特性
- (2) ポンプの軸摩擦トルク特性

(1)については、SSCで採用している評価法ともんじゅの安全解析で用いられた評価法に差がある。

(2)については、大洗工学センターで行われた実験²⁾のデータから推奨される評価法³⁾と、もんじゅ安全解析で用いられた評価方法に差がある。

そこで、これらの評価法が解析結果にどのような影響を及ぼすかを調査することとした。設定した事象は、

- 炉停止と同時に全てのポンプはトリップし、弁も作動しない。
- ACCSは考慮しない。
- SGの非定常解析は行わない — つまり2次系のコールドレグ温度は固定されているものとして扱う。

というものである。

なお、本報の解析に用いたコードは、BNLで作成されたSSC-L, VER002, CYCLE71に、次節に述べる改修を加えたものである。

3.2 MONJU解析のための改修

SSC-Lは導入されて以来PNCで種々の改修を加えてきたが、ここでは今回の解析に関係のある、重要なものについてのみ述べる。

3.3.1 燃料ペレットの熱伝導率

原型のSSC-L内では、燃料の熱伝導率を次の式で評価していた。

Kを熱伝導率〔W/mK〕, Pをポロシティ, Tを温度〔K〕とすると、

$$K = \frac{113.3(1-P)}{1+(1+10 \cdot P)P} \left[\frac{1}{0.78+0.02935T} + 6.60 \times 10^{-13} T^3 \right]$$

これをもんじゅの設計条件 (GEAP-13967) に準拠した次の形に訂正した。

$$K = 1169 + \frac{1.0^4}{\left\{ 0.06717 + \frac{0.02226P}{M-1.9} \right\} (t-273.15)} + 7.214 \times 10^{-9} (t-273.15)^3$$

ただし、Mは酸素／金属の原子数比で、現在 1.98 という値を採用している。

この2つの式によってペレットの熱伝導率がどう変わるかを調べ、ポロシティ 0.15, 0.05, 0.03 についての結果を Table 3.2-1, Fig 3.2-1, Table 3.2-2, Fig 3.2-2, Table 3.2-3, Fig 3.2-3 に示した。

Table 3.2-1 A Comparison Between Two Equations for the
Thermal Conductivity of Fuel (Porosity=0.03)

POROSITY = 0.03

TEMPER- ATURE (C)	CONDUCTIVITY -FROM SSC-L- (W/MK)	CONDUCTIVITY -FROM MONJU- (W/MK)	TEMPER- ATURE (C)	CONDUCTIVITY -FROM SSC-L- (W/MK)	CONDUCTIVITY -FROM MONJU- (W/MK)
400	5.1718	4.4841	1550	23714	2292
450	4.8334	4.1182	1600	23559	22921
500	4.5387	3.8264	1650	2345	22956
550	4.2802	3.5886	1700	23385	23024
600	4.0521	3.3916	1750	23364	23123
650	3.8496	3.226	1800	23384	23254
700	3.6693	3.0855	1850	23446	23415
750	3.508	2.965	1900	23548	23608
800	3.3634	2.8612	1950	2369	2383
850	3.2335	2.7712	2000	23871	24082
900	3.1167	2.6929	2050	24091	24364
950	3.0115	2.6247	2100	24349	24677
1000	2.9169	2.5653	2150	24644	25019
1050	2.8318	2.5137	2200	24978	25391
1100	2.7555	2.4688	2250	25349	25793
1150	2.6872	2.4302	2300	25757	26225
1200	2.6263	2.3972	2350	26202	26687
1250	2.5722	2.3693	2400	26685	2718
1300	2.5246	2.3461	2450	27204	27704
1350	2.4831	2.3274	2500	27761	28259
1400	2.4473	2.3128	2550	28355	28845
1450	2.4169	2.3022	2600	28986	29462
1500	2.3917	2.2953			

POROSITY= .03

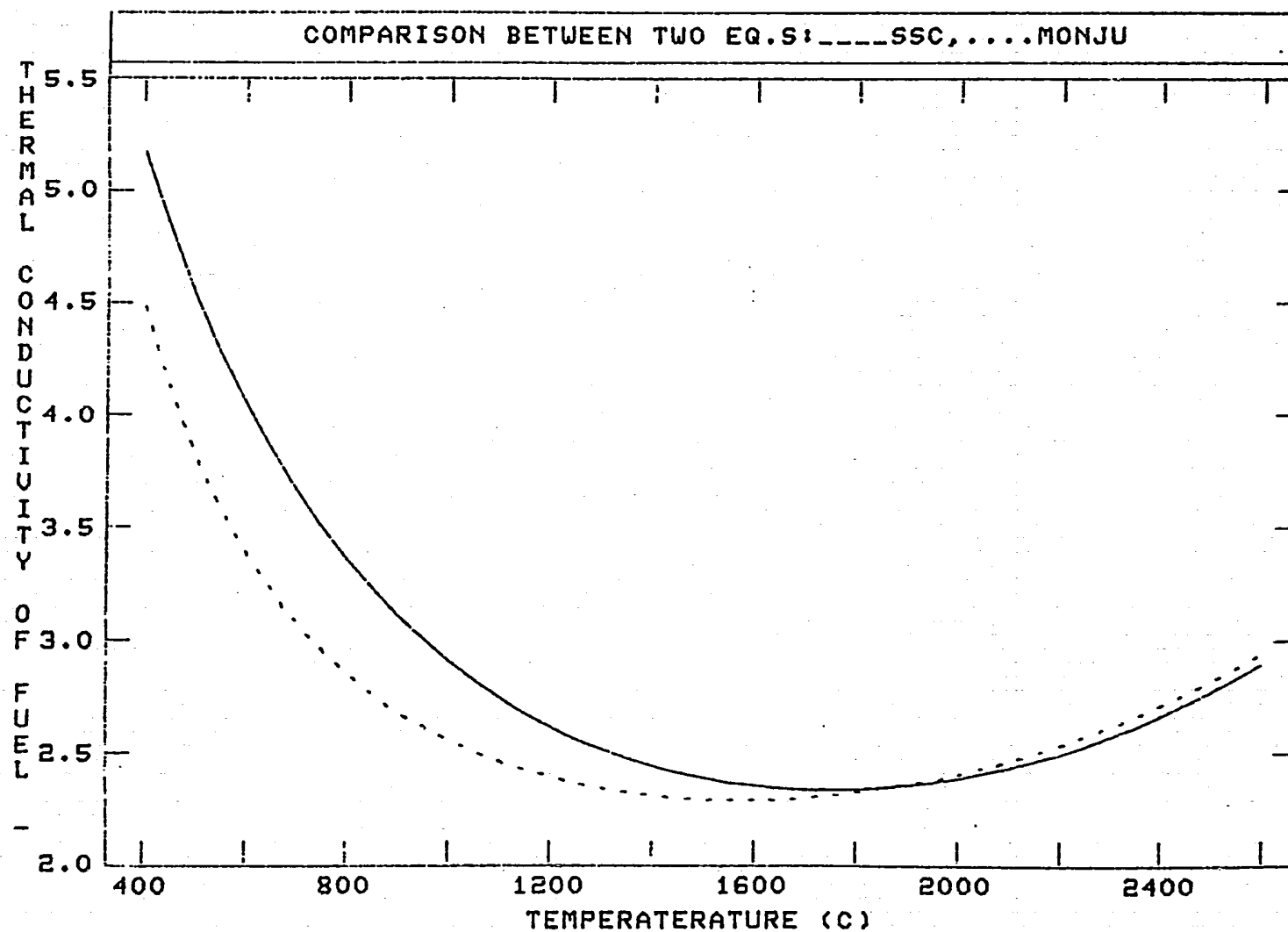


Fig 3.2-1 A Comparison Between Two Equations for the Thermal Conductivity of Fuel (Porosity=0.03)

Table 3.2-2 A Comparison Between Two Equations for the
Thermal Conductivity of Fuel (Porosity=0.05)

POROSITY = 0.05

TEMPER- ATURE (C)	CONDUCTIVITY -FROM SSC-L- (W/MK)	CONDUCTIVITY -FROM MONJU- (W/MK)	TEMPER- ATURE (C)	CONDUCTIVITY -FROM SSC-L- (W/MK)	CONDUCTIVITY -FROM MONJU- (W/MK)
400	48955	42569	1550	22447	22333
450	45752	39163	1600	22301	22353
500	42963	36446	1650	22197	22405
550	40516	34234	1700	22136	22489
600	38356	32401	1750	22116	22604
650	3644	30862	1800	22135	22749
700	34733	29556	1850	22194	22924
750	33206	28438	1900	2229	23129
800	31837	27476	1950	22425	23364
850	30608	26643	2000	22596	23628
900	29502	25919	2050	22804	23921
950	28507	25291	2100	23048	24244
1000	27611	24745	2150	23328	24596
1050	26806	24271	2200	23644	24977
1100	26083	23862	2250	23995	25389
1150	25436	23512	2300	24381	25829
1200	2486	23214	2350	24802	263
1250	24348	22965	2400	25259	26801
1300	23898	22762	2450	25751	27333
1350	23505	22601	2500	26278	27895
1400	23166	22479	2550	2684	28488
1450	22878	22395	2600	27438	29113
1500	22639	22347			

POROSITY= .05

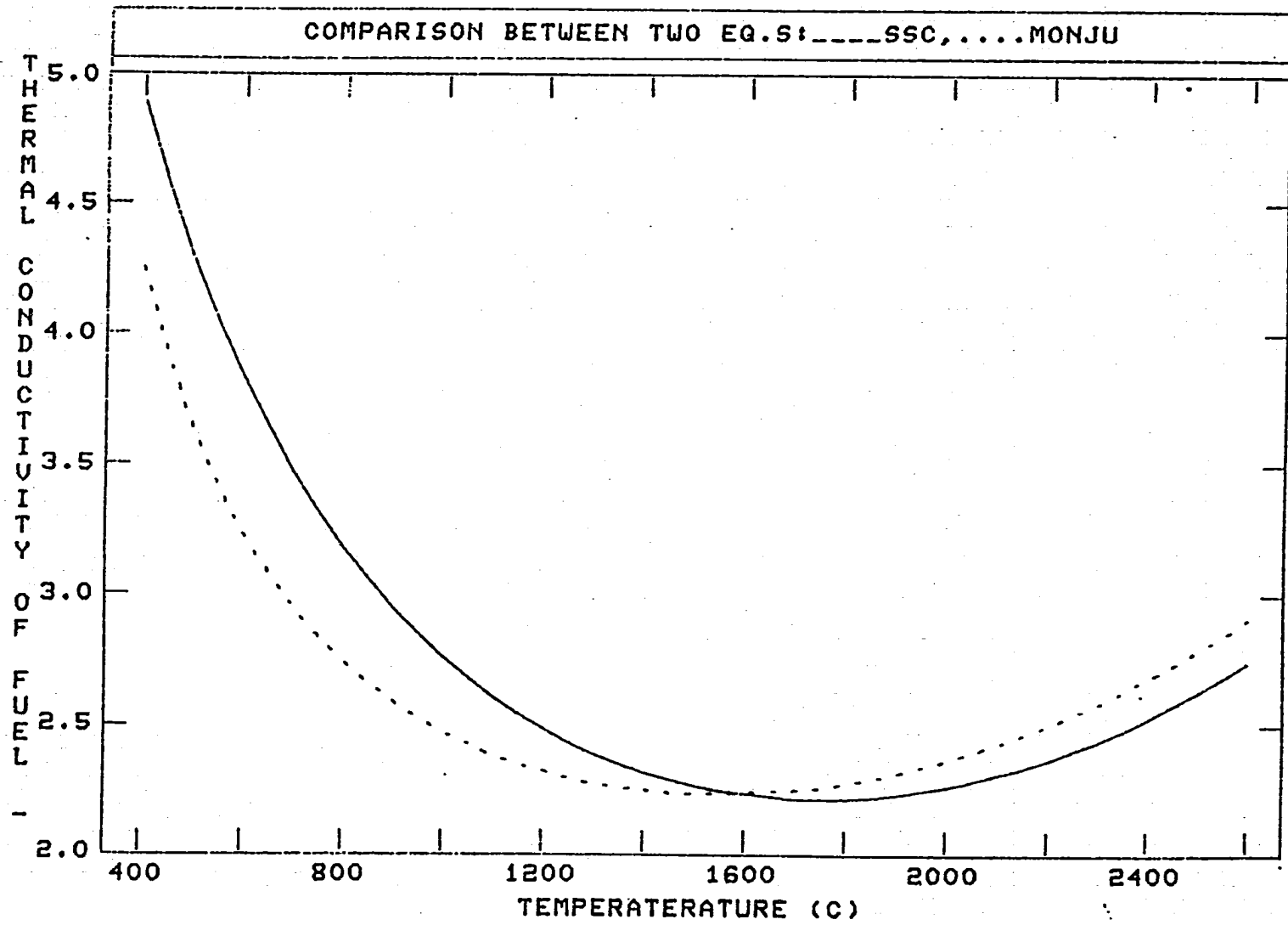


Fig 3.2-2 A Comparison Between Two Equations for the Thermal Condwnctivity of Fuel (Porosity=0.05)

Tabl 3.2-3 A Comparison Between Two Equations for the
Thermal Conductivity of Fuel (Porosity=0.15)

TEMPER- ATURE (C)	CONDUCTIVITY -FROM SSC-L- (W/MK)	CONDUCTIVITY -FROM MONJU- (W/MK)	TEMPER- ATURE (C)	CONDUCTIVITY -FROM SSC-L- (W/MK)	CONDUCTIVITY -FROM MONJU- (W/MK)
400	3.4245	3.4691	1550	1.5703	2.03
450	3.2005	3.216	1600	1.56	2.0384
500	3.0054	3.0144	1650	1.5528	2.0496
550	2.8342	2.8505	1700	1.5485	2.0635
600	2.6831	2.7149	1750	1.547	2.0803
650	2.5491	2.6014	1800	1.5484	2.0998
700	2.4296	2.5055	1850	1.5525	2.1221
750	2.3228	2.4237	1900	1.5593	2.1471
800	2.2271	2.3537	1950	1.5687	2.1748
850	2.1411	2.2936	2000	1.5806	2.2052
900	2.0637	2.2418	2050	1.5952	2.2384
950	1.9941	2.1974	2100	1.6123	2.2743
1000	1.9315	2.1594	2150	1.6318	2.313
1050	1.8751	2.127	2200	1.6539	2.3545
1100	1.8246	2.0998	2250	1.6785	2.3988
1150	1.7793	2.0772	2300	1.7055	2.4459
1200	1.739	2.0588	2350	1.735	2.496
1250	1.7032	2.0445	2400	1.7669	2.5489
1300	1.6717	2.0338	2450	1.8013	2.6047
1350	1.6442	2.0266	2500	1.8382	2.6635
1400	1.6205	2.0228	2550	1.8775	2.7253
1450	1.6004	2.0222	2600	1.9194	2.7901
1500	1.5837	2.0246			

POROSITY = .15

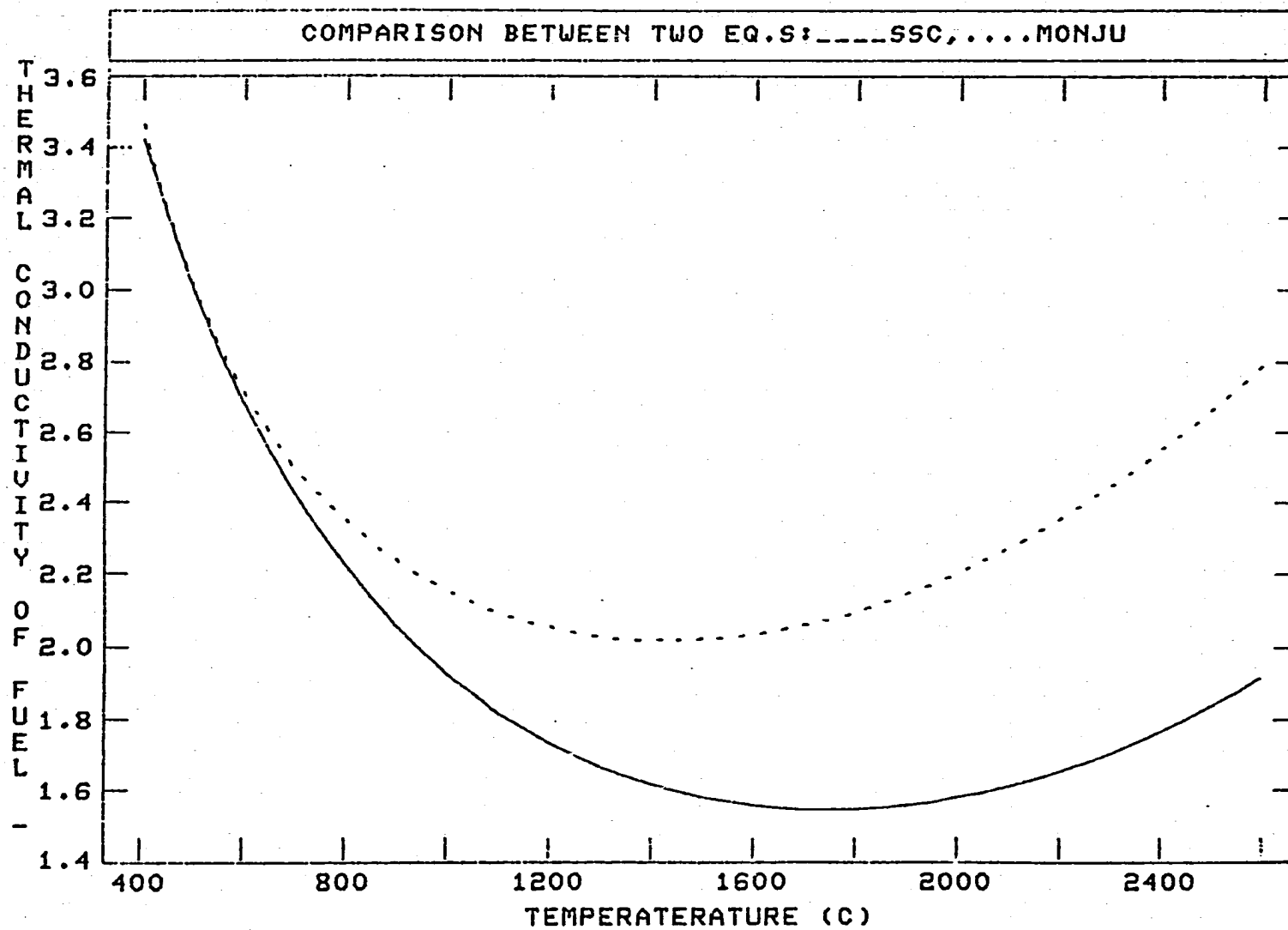


Fig 3.2-3 A Comparison Between Two Equations for the Thermal Conductivity of fuel (Porosity=0.15)

3.2.2 燃料ピン — 冷却材間熱伝達率

原型のSSC-Lでは、燃料ピン表面の熱伝達率を決めるヌッセルト数を次の式で算出している。

(I) $Pe < 150$

$$Nu = 4.496 \{ -16.15 + 24.96 (P/D) - 8.55 (P/D)^2 \}$$

(II) $Pe \geq 150$

$$Nu = Pe^{0.3} \{ -16.15 + 24.96 (P/D) - 8.55 (P/D)^2 \}$$

ただし、

Nu : ヌッセルト数, Pe : ペクレ数, P/D : 燃料ピンのピッチ/外形比
これをもんじゅの設計条件に準拠した次の式で算出するように変更した。

$$Nu = 7.0 + 0.025 (0.5 \cdot Pe)^{0.5}$$

3.2.3 一次主冷却系内の各部の圧損特性

安全解析条件(A-1850-4)では、もんじゅの1次主冷却系内の各部の圧損をTable 3.2-4にある式で評価するよう指定している。SSC-Lもこれにしたがって計算が行えるように改修した。

Table 3.2-4 一次主冷却系各部の圧損特性

炉容器出入口ノズル		$\Delta P = \Delta P_0 \left(\frac{W}{W_0} \right)^2$
配管・電磁流量計		$\Delta P = \Delta P_0 \left(\frac{W}{W_0} \right)^{1.97}$
中間熱交換器		$\Delta P = \Delta P_0 \left(\frac{W}{W_0} \right)^{1.75}$
逆止弁	$W/W_0 < 0.37$	$\Delta P = 0.28 \Delta P_0 \left(\frac{W}{W_0} \right)^{0.68}$
	$0.37 \leq W/W_0$	$\Delta P = \Delta P_0 \left(\frac{W}{W_0} \right)^{1.96}$

ただし、 ΔP_0 は各部の定格時の圧損（重力圧損は除く）である。

$\frac{W}{W_0}$ は流量の定格時の値に対する比である。

3.2.4 一次主冷却系循環ポンプの軸摩擦トルク特性

A. 大洗工学センターの実験データに基づいた改修

もんじゅのモックアップポンプを用いての実験が大洗工学センターで行われており、その中でコストダウン特性に関する物は報告書²⁾(SN941 80-109)にまとめられている。この報告書には駆動部の摩擦トルクがほとんど流量の関数にはなっておらずほぼ $25\text{kg}\cdot\text{m}$ で一定と見なすことができると指摘されている。実機の回転部分の重量はこのモックアップポンプの回転部分の重量の約1.5倍であるので、摩擦トルクを $37.5\text{kg}\cdot\text{m}$ 一定となるようにした。

B. 安全解析条件書に基づいた改修

安全解析条件書³⁾(ZJ278-82-09-(6))に指定されているポンプ軸摩擦トルクの評価方法は次のとおりである。

τ_{hyd} を水力トルク、 τ_{fric} を軸摩擦トルク、 N を回転数とすると、

$$\tau_{\text{fric}} + \tau_{\text{hyd}} = \frac{\eta(N_0)}{\eta(N)} \tau_{\text{hyd}}$$

$\eta(N)$ は Table 3.2-5 で表わされるような、回転数の関数で与えられる。

Table 3.2-5 ポンプ効率特性

回転数〔rpm〕	η
N_0 837	0.730
700	0.725
600	0.705
500	0.680
400	0.635
350	0.605
300	0.565
250	0.505
200	0.415
150	0.305
100	0.175
80	0.120
60	0.075
40	0.033

3.3 入力条件

本解析で使用した入力条件のうち主なものについてのみ説明を加える。

3.3.1 炉 容 器

炉心は6チャンネルで構成する。

第1チャンネルは内側炉心ホットテストチャンネル

第2チャンネルは内側炉心ノミナルチャンネル

第3チャンネルは外側炉心ホットテストチャンネル

第4チャンネルは外側炉心ノミナルチャンネル

第5チャンネルは径方向ブランケット部

第6チャンネルは制御棒

をそれぞれ表わす。

各チャンネルの特性はTable 3.3-1 及び Table 3.3-2に示す。

炉容器に関する他の主なデータは以下のとおりである。

- 定格運転時炉内冷却材流量：4266.67 (kg/sec)
- 定格運転時総熱出力 ：714 (MWt)
- 定格運転時入口ノズルー出：6.4×10⁵ (Pa)

口ノズル間圧力差

- 下部ブレナム容積 ：143 (m³)
- 上部ブレナム容積 ：220 (m³)

また、チャンネル分割方法を示す図をFig 3.3-1として示す。

第1チャンネルから第6チャンネルまでの、燃料ピン1本当りの軸方向出力密度分布をFig 3.3-2からFig 3.3-7までに示す。

なお、炉心に関するインプットは、もんじゅの設計データ中のEOEC条件から、SPLINTコードにより作成したものである。

Table 3.3-1 集合体形状、水力特性に関するデータ

チャネル番号	1	2	3	4	5	6
本数	3	105	3	87	172	19
下部ガスプレナム長さ (m)	0	0	0	0	0	0.35
下部ブランケット長さ (m)	0.35	0.35	0.35	0.35	0	0
炉心燃料部長さ (m)	0.93	0.93	0.93	0.93	0	0.93
上部ブランケット長さ (m)	0.30	0.30	0.30	0.30	1.58	0
上部ガスプレナム長さ (m)	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.46
ラッパ-管内壁対面間距離(m)	0.1046	0.1046	0.1046	0.1046	0.1046	0.1046
ラッパ-管厚み (m)	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
入口オリフィス部長 (m)	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
入口オリフィス形状圧損係数	6.365	3.961	3.353	5.644	5.00610	3.01135
入口オリフィス摩擦圧損 (P_a)	3471.02	4277.57	4553.58	3675.74	131.16	1484.91
入口オリフィス水力等価直径 (m)	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
1 集合体当り流路面積 (m^2)	215148×10^{-5}	215148×10^{-5}	215148×10^{-5}	215148×10^{-5}	481967×10^{-7}	1.964×10^{-4}
等価水力直径	0.003222	0.003222	0.003222	0.0032	0.004132	0.0077
ピン中心間距離/ピン外径比	1.2108	1.2108	1.2108	1.2108	1.1207	1.0769
ラッピングワイヤピッチ/ラッピングワイヤ径比	47.2302	47.2302	47.2302	47.230	21.6379	17.7515
ラッピングワイヤ径 (m)	0.00132	0.00132	0.00132	0.0013	0.00136	0.0012
定格運転状態での1集合体当り冷却材流量 (kg/sec)	16.1962	18.2507	18.7761	16.614	24.709	9.9415

PNC-TN941 84-26

Table 3.3 - 2 熱的特性に関するデータ

チャンネル番号	1	2	3	4	5	6
ペレット半径 (m)	0.0027	0.0027	0.0027	0.0027	0.0052	0.0063
被覆管内半径 (m)	0.00278	0.00278	0.00278	0.00278	0.0053	0.00645
被覆管外半径 (m)	0.00325	0.00325	0.00325	0.00325	0.0058	0.00845
核分裂による発熱量の 総発熱量に占める番号	0.931352	0.931352	0.931352	0.931352	0.918915	0.999
軸方向発熱分布の示さ れているグラフの番号	Fig33-2	Fig33-3	Fig33-4	Fig33-5	Fig33-6	Fig33-7
定格値を1とした時の 崩壊熱の時間変化が示 されているTable no.	Table 3.3-3	Table 3.3-3	Table 3.3-3	Table 3.3-3	Table 3.3-3	Table 3.3-4

Table 3.3-3 第1～第5チャンネルの崩壊熱

Table 3.3-4 第6チャンネルの崩壊熱時間変化

時間 (秒)	崩 壊 熱	時間 変化	時間 (秒)	崩 壊 熱	
0.0	1.0		0.0	1.0	
0.1	0.99		0.1	0.989	
0.5	0.958		0.5	0.957	
1.0	0.931		1.0	0.927	
2.0	0.893		2.0	0.892	
5.0	0.828		5.0	0.828	
7.0	0.801		7.0	0.803	
10.0	0.770		10.0	0.778	
20.0	0.705		20.0	0.715	
30.0	0.663		30.0	0.677	
50.0	0.609		50.0	0.629	
100.0	0.534		100.0	0.563	
1000.0	0.331		1000.0	0.369	
10000.0	0.170		10000.0	0.196	

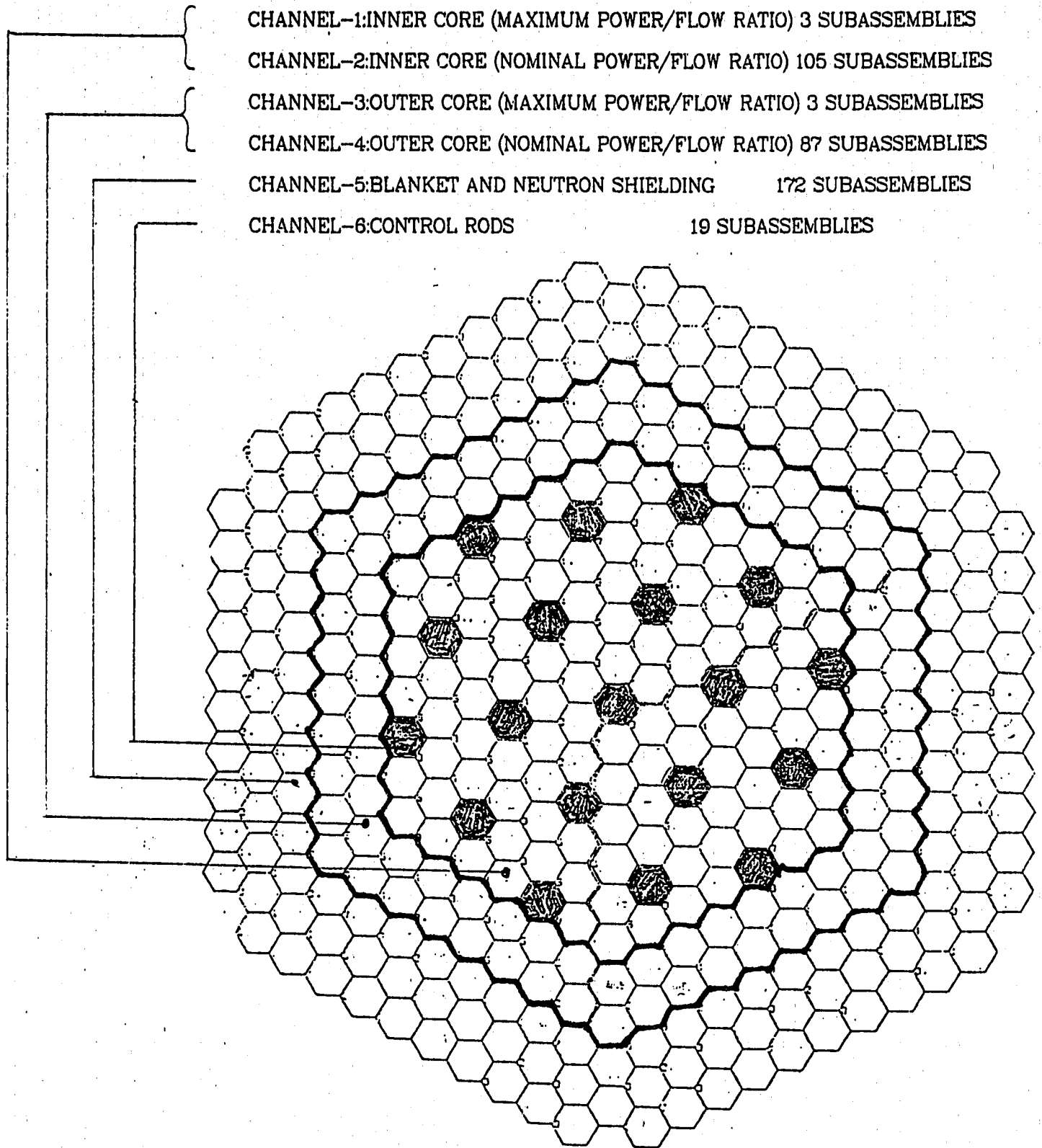


Fig 3.3 - 1 Channel Dividing Concept

CHANNEL NUMBER- 1

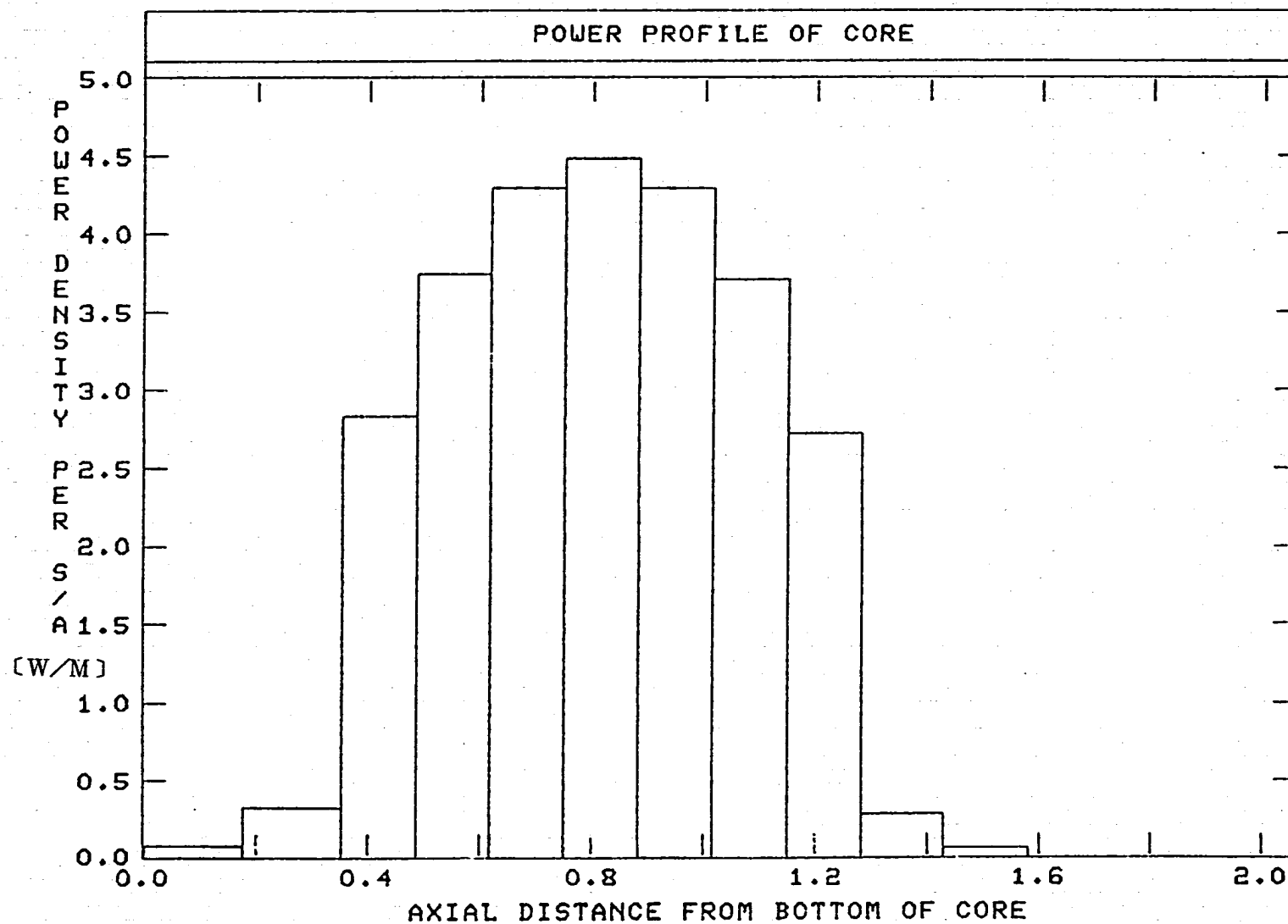


Fig 3.3-2 Axial Power Profile of Channel-1
(Inner Core, the Maximum Power/Flow Ratio)

CHANNEL NUMBER • 2

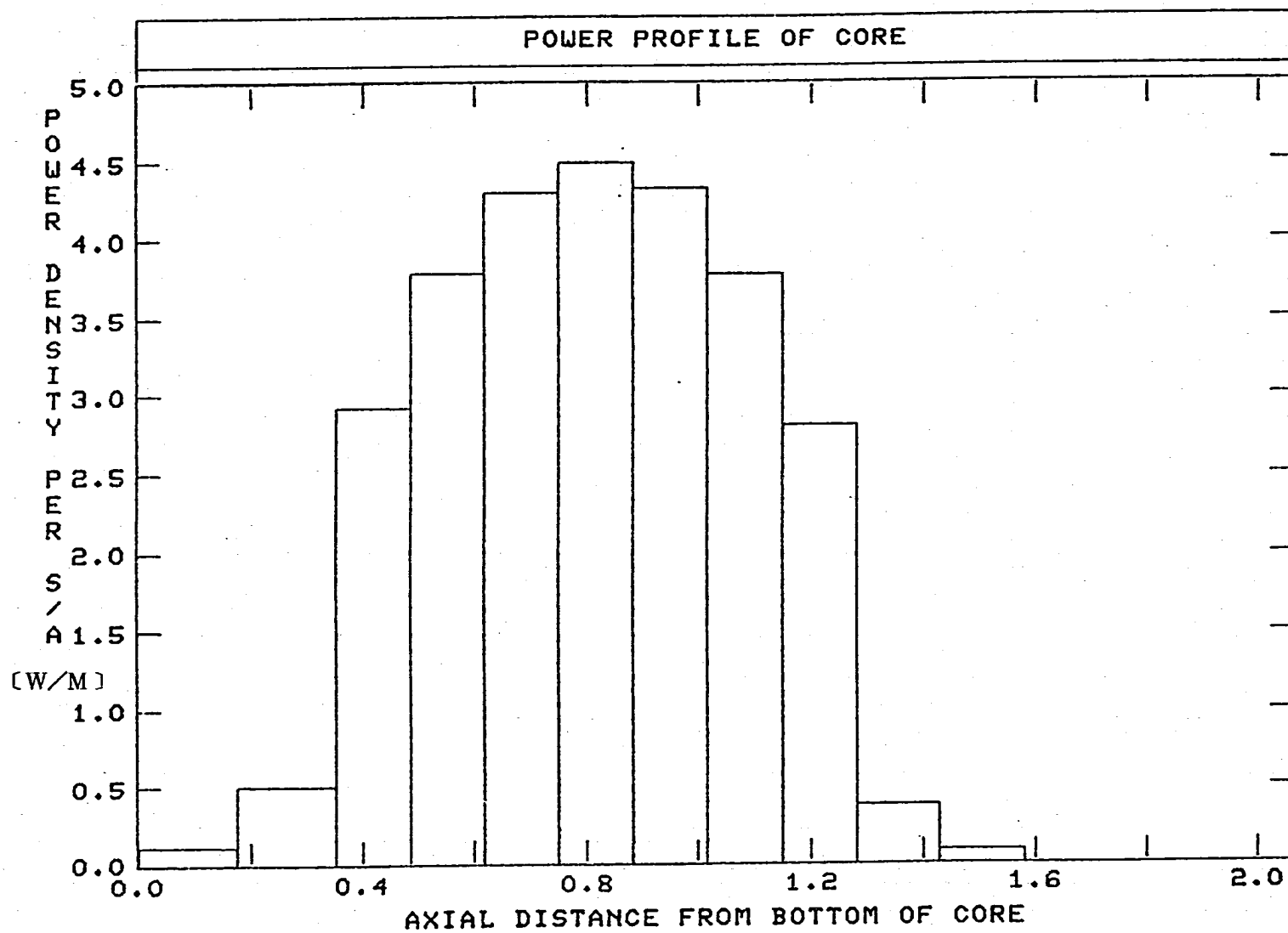


Fig33-3 Axial Power Profile of Channel-2
(Inner Core, the Noninal Power/Flow Ratio)

CHANNEL NUMBER- 3

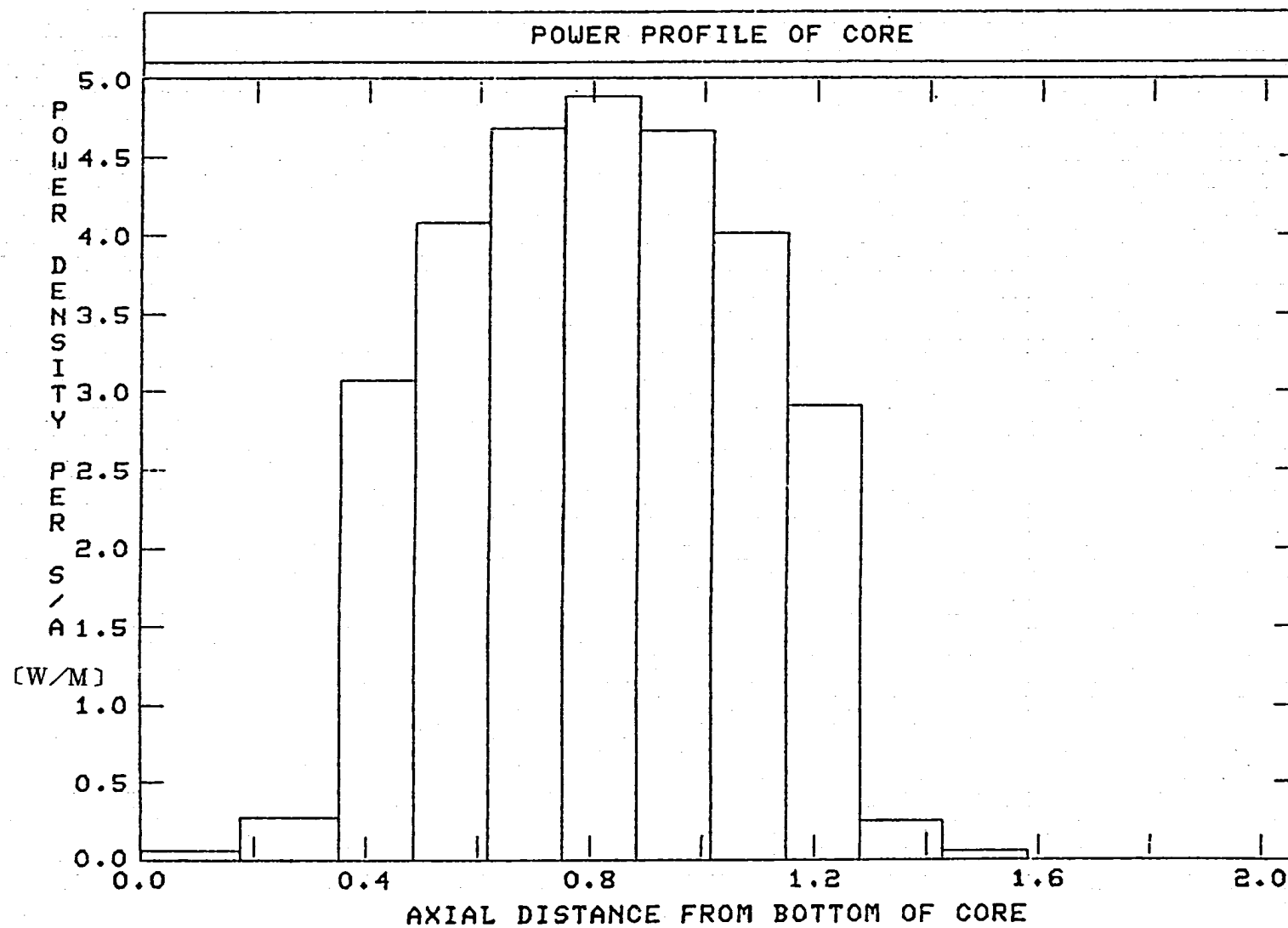


Fig3.3-4 Axial Power Profile of Channel-3
(Outer Core, the Maximum Power/Flow Ratio)

CHANNEL NUMBER- 4

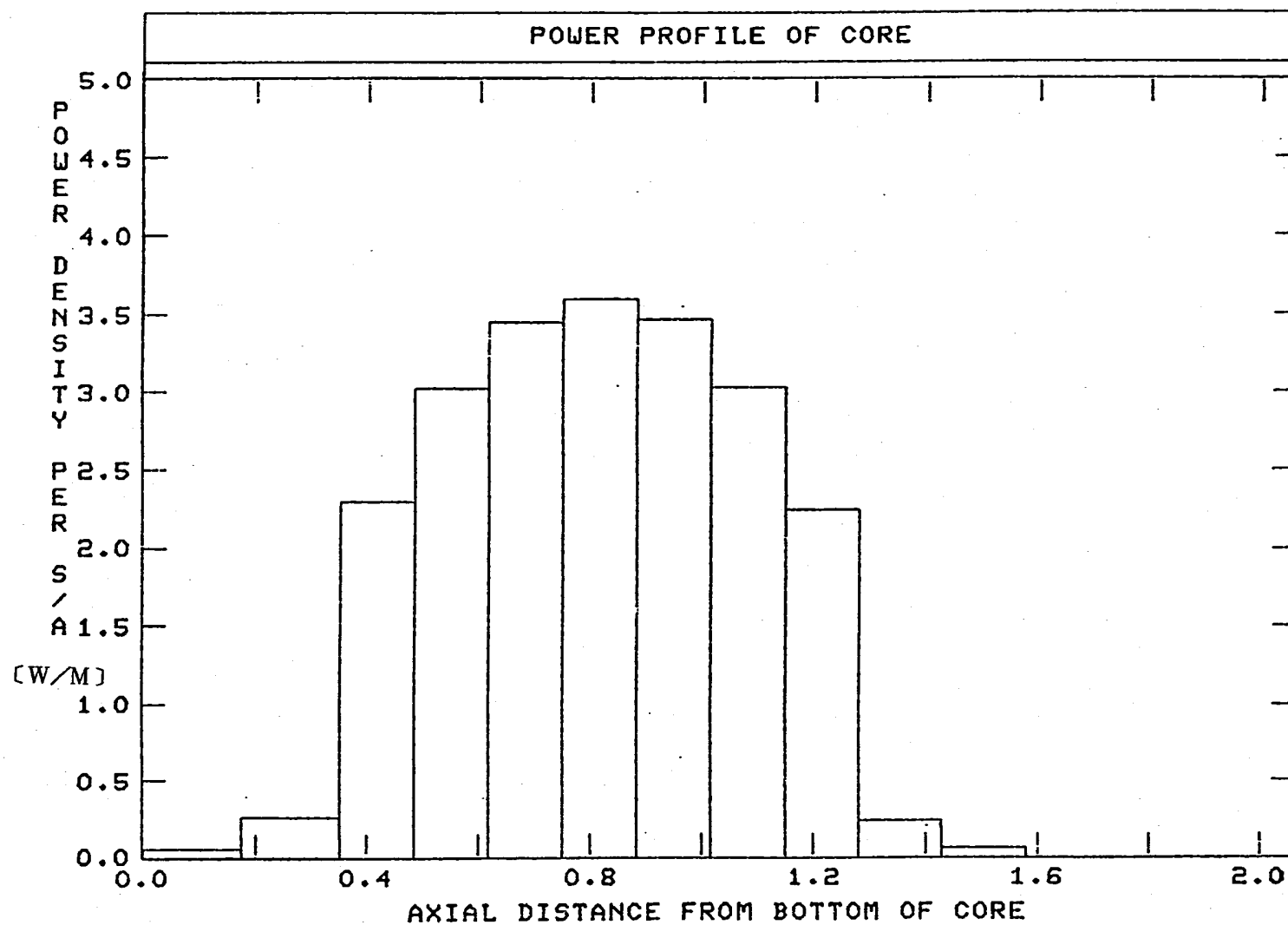


Fig33-5 Axial Power Profile of Channel-4
(Outer Core, the Nominal Power/Flow Ratin)

CHANNEL NUMBER- 5

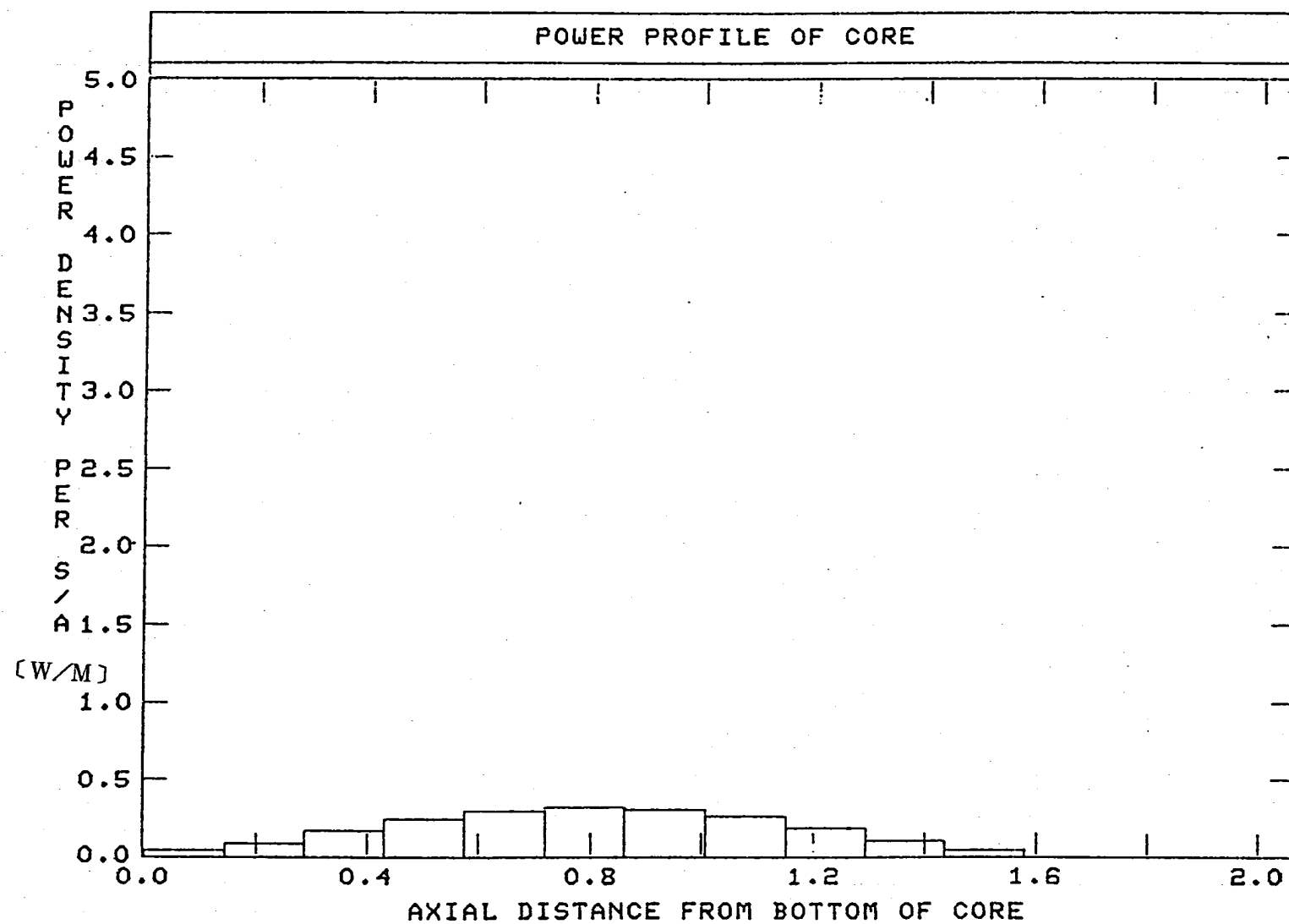


Fig3.3-6 Axial Power Profile of Channel-5
(Blanket Region)

CHANNEL NUMBER- 6

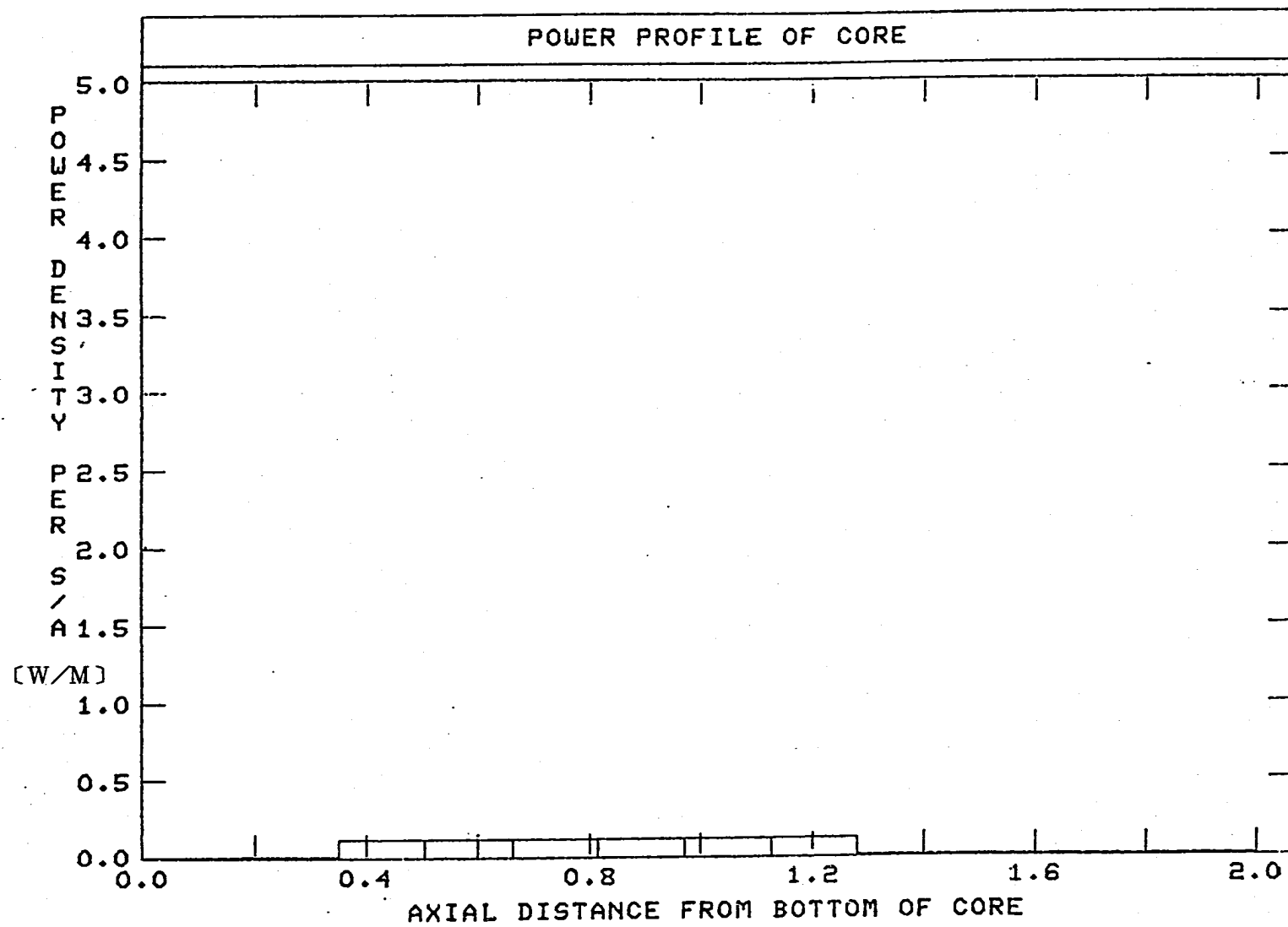


Fig 3.3-7 Axial Power Profile of Channel-6
(Control Rods)

3.3.2 一次主冷却系

3.3.2.1 一次主冷却系ポンプ

定格揚程	: 99.6	(mN _a)
定格回転数	: 837	(rpm)
定格流量	: 1.660	(m ³ /sec)
定格トルク	: 21739.3	(N・m)
ポンプタンク高さ	: 6.5	(m)
ポンプタンク断面積	: 2.2	(m ²)
回転部慣性モーメント	: 1187.5	(kg・m ²)

ポンプの水力特性について、流量、回転数共に正である状態については、以下の式で評価する。

τ_{hyd} : 水力トルク / 定格トルク

η : 揚程 / 定格揚程

α : 回転数 / 定格回転数

r : 流量 / 定格流量

(i) $\alpha > r$ の場合

$$\tau_{hyd} = \alpha^2 \left\{ 0.471 + 0.486 \frac{r}{\alpha} + 0.526 \left(\frac{r}{\alpha} \right)^2 - 0.552 \left(\frac{r}{\alpha} \right)^3 + 0.013 \left(\frac{r}{\alpha} \right)^4 + 0.056 \left(\frac{r}{\alpha} \right)^5 \right\}$$

$$\eta = \alpha^2 \left\{ 1.264 - 0.065 \frac{r}{\alpha} + 0.118 \left(\frac{r}{\alpha} \right)^2 - 0.531 \left(\frac{r}{\alpha} \right)^3 + 0.09 \left(\frac{r}{\alpha} \right)^4 + 0.124 \left(\frac{r}{\alpha} \right)^5 \right\}$$

(ii) $r \geq \alpha$ の場合

$$\tau_{hyd} = r^2 \left\{ -0.452 + 1.75 \frac{\alpha}{r} - 1.949 \left(\frac{\alpha}{r} \right)^2 + 2.286 \left(\frac{\alpha}{r} \right)^3 - 1.175 \left(\frac{\alpha}{r} \right)^4 \right\}$$

$$\eta = r^2 \left\{ -0.580 + 0.972 \frac{\alpha}{r} - 0.286 \left(\frac{\alpha}{r} \right)^2 + 0.934 \left(\frac{\alpha}{r} \right)^3 - 0.04 \left(\frac{\alpha}{r} \right)^4 \right\}$$

3.3.2.2 逆止弁

逆止弁の圧損は，次のようにして評価している。

流 量 : W (kg/sec)

流路断面図 : A (m²)

冷却材密度 : ρ (kg/m³)

すると圧損 ΔP は，

$$\Delta P = \frac{C W |W|}{\rho A^2}$$

C は $\omega = W/W_0$ (W_0 : 定格流量) とすると次のように決められる。

$0.26 < \omega$	$C = 1.40309$
$0.10 < \omega \leq 0.26$	$C = 7.67312 - 24.11558\omega$
$0.05 < \omega \leq 0.10$	$C = 23.96942 - 187.0784\omega$
$0.01 < \omega \leq 0.05$	$C = 292.31\omega$
$\omega \leq 0.01$	$C = 64.3082$

ただし，3.3.3 に述べたような変更を加えた場合はこの限りではない。

3.3.2.3 配 管

今回の解析に用いた形状，圧損特性について述べる。

一次系配管は次の4部分に分けて扱う。

1. 炉容器出口ーIHX1次側入口 間配管
2. IHX一次側出口ーポンプ入口 間配管
3. ポンプ出口ー逆止弁 間配管
4. 逆止弁ー炉容器入口 間配管

これら各部の配管について，形状圧損係数，長さ，管内径，肉厚，配管形状をTable 3.3-5に示す。ただし，形状圧損係数にかぎり，3.3.3に述べた変更を行った場合には意味を失う。

また，配管形状について，水平方向の変位を無視し，実機の配管と水力学的に等価な配管を表わしていることを述べておく。

Table 3.3 - 5 配管に関する入力条件

配管入口の位置	炉 容 器 出 口			I H X 1 次 側 出 口			ボ ン プ 出 口			逆 止 弁		
配管出口の位置	I H X 1 次 側 入 口			ボ ン プ 入 口			逆 止 弁			炉 容 器 入 口		
形状圧損係数	0.9254			0.44841			0.11010			3.40512		
配管長さ (m)	36.1115			33.44662			7.11907			30.7473		
管内径 (m)	0.7906			0.7906			0.5906			0.5906		
管肉厚 (m)	0.0111			0.0111			0.0095			0.0095		
配管形状												
メッシュの数	23			21			4			12		
サブパイプ数	3			7			3			3		
サブパイプの 番号	初端高 さ (m)	長 さ (m)	終端高 さ (m)	初端高 さ (m)	長 さ (m)	終端高 さ (m)	初端高 さ (m)	長 さ (m)	終端高 さ (m)	初端高 さ (m)	長 さ (m)	終端高 さ (m)
1	27.75	1.62	27.75	25.0	1.83	23.17	28.45	1.22	28.45	31.59	18.26	31.57
2	27.75	3.67	31.42	23.17	2.95	23.17	28.45	3.29	31.74	31.57	10.22	21.35
3	31.42	3.082	31.9	23.17	8.80	31.97	31.74	2.60	31.59	21.35	2.27	21.35
4				31.97	5.21	31.97						
5				31.97	7.36	24.61						
6				24.61	3.45	24.61						
7				24.61	3.84	28.45						

3.3.3 中間熱交換器

形 式：対向流型

1 次側に関するデータ

入口ノズル圧損係数 : 0.91515
 入口プレナム長さ (m) : 2.2461
 入口プレナム内冷却材体積 (m) : 18.7
 入口プレナム流れ方向 (度) : 64.071
 有効伝熱部長さ : 5.7
 有効伝熱部流路断面積 (m²) : 1.902
 有効伝熱部内 1 次側ナトリウム容積 (m³) : 10.8414
 伝熱管の中心間距離/外径比 : 1.4147
 シェル-ナトリウム間伝熱面積 (m²) : 51.6
 シェル質量 (kg) : 9729.0
 出口ノズル圧損係数 : 1.23961
 出口プレナム長さ (m) : 3.22
 出口プレナム内冷却材対積 (m³) : 8.3
 出口プレナム流れ方向 (度) : -90
 入口ノズル-出口ノズル間圧力差 (Pa) : -2.96861×10^4
 バイパス流路容積 (m³) : 0.1
 バイパス流量/全流量比 : 0.02

2 次側に関するデータ

入口プレナム長さ (m) : 1.4228
 入口プレナム容積 (m³) : 3.3
 入口プレナム流れ方向 (度) : 51.92
 ダウンカム長さ (m) : 13.0
 ダウンカム内径 (m) : 0.469
 伝熱管本数 (本) : 3174
 伝熱管内径 (m) : 0.0189

伝熱管外径	(m) : 0.0217
伝熱管内壁汚れ係数($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$)	: 3.4387×10^{-6}
伝熱管入口圧損係数	: 16.25
伝熱管出口圧損係数	: 0.478
出口ブレナム長さ	(m) : 3.55
出口ブレナム容積	(m^3) : 8.1
出口ブレナム流れ方向	(度) : 90
出口ブレナム圧損係数	: 0.34725

圧損特性に関するインプットは 3.3.3 に述べた変更を施した場合は無効である。

3.3.4 二次主冷却系

3.3.4.1 二次主冷却系ポンプ

定格揚程	: 63.0 (mNa)
定格回転数	: 1100 (rpm)
定格流量	: 1.185 (m^3/sec)
定格トルク	: 6050.7 ($\text{N}\cdot\text{m}$)
ポンプタンク高さ	: 8.00 (m)
ポンプタンク断面積	: 0.851 (m^2)
サージタンク高さ	: 9.05 (m)
サージタンク断面積	: 12.0 (m^2)
回転部慣性モーメント	: 275 ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)

水力特性については、流量、回転数共に正の状態については以下の式で評価する。

τ_{hyd} : 水力トルク / 定格トルク

η : 揚程 / 定格揚程

α : 回転数 / 定格回転数

γ : 流量 / 定格流量

(i) $\alpha > \gamma$ の場合

$$\tau_{\text{hyd}} = \alpha^2 \left\{ 0.7941 + 0.2134 \frac{\gamma}{\alpha} \right\}$$

$$\eta = \alpha^2 \left\{ 1.444 - 0.3746 \frac{r}{\alpha} + 0.3189 \left(\frac{r}{\alpha} \right)^2 - 0.388 \left(\frac{r}{\alpha} \right)^3 \right\}$$

(II) $r \geq \alpha$ の場合

$$\tau_{\text{hyd}} = r^2 \left\{ 0.8658 + 0.28437 \frac{\alpha}{r} - 0.22348 \left(\frac{\alpha}{r} \right)^2 + 0.45083 \left(\frac{\alpha}{r} \right)^3 - 0.70586 \left(\frac{\alpha}{r} \right)^4 + 0.21562 \left(\frac{\alpha}{r} \right)^5 \right\}$$

$$\eta = r^2 \left\{ 0.69189 + 0.43961 \frac{\alpha}{r} + 0.68459 \left(\frac{\alpha}{r} \right)^2 - 0.24701 \left(\frac{\alpha}{r} \right)^3 + 0.63156 \left(\frac{\alpha}{r} \right)^4 - 0.20833 \left(\frac{\alpha}{r} \right)^5 \right\}$$

3.3.4.2 配 管

二次系配管は次の5部分に分けて扱われている。

- | | |
|-----------------------------|-----|
| 1. I H X 2 次側出口ー過熱器ナトリウム側入口 | 間配管 |
| 2. 過熱器ナトリウム側出口ー蒸発器ナトリウム側入口 | 間配管 |
| 3. 蒸発器ナトリウム側出口ーサージタンク | 間配管 |
| 4. サージタンクーポンプ入口 | 間配管 |
| 5. ポンプ出口ーI H X 2 次側入口 | 間配管 |

これら各部の配管について形状圧損係数，長さ，管内径，肉厚，配管形状を

Table 3.3-6 に示す。

Table 3.3 - 6 配管に関する入力条件

配管入口位置	I H X 2 次 側 出 口			過 熱 器 N _a 側 出 口			蒸 発 器 N _a 側 出 口			サ ー ジ ・ タ ン ク			ボ ン プ 出 口		
配管出口位置	過 熱 器 N _a 側 入 口			蒸 発 器 N _a 側 入 口			サ ー ジ ・ タ ン ク			ボ ン プ 入 口			I H X 2 次 側 入 口		
形状圧損係数	244032			085563			133294			0.087888			1.1144467		
配管長さ(m)	25841			5189			3289			70			18311		
内 径(m)	0.5398			0.5398			0.5398			0.5398			0.5398		
肉 厚(m)	0.0095			0.0095			0.0095			0.0095			0.0095		
配 管 形 状															
メッシュ数	11			4			3			1			11		
サブパイプ数	99			21			14			4			71		
サブパイプの 番 号	初端高 さ(m)	長 さ (m)	終端高 さ(m)	初端高 さ(m)	長 さ (m)	終端高 さ(m)	初端高 さ(m)	長 さ (m)	終端高 さ(m)	初端高 さ(m)	長 さ (m)	終端高 さ(m)	初端高 さ(m)	長 さ (m)	終端高 さ(m)
1	37.47	0.24	37.64	38.04	5.74	32.3	35.69	3.39	32.3	36.8	7.0	43.8	43.8	3.0	43.8
2	37.64	2.46	40.1	32.3	21.88	32.3	32.3	25.0	32.3				43.8	3.4	40.4
3	40.1	58.66	40.6	32.3	13.29	45.59	32.3	4.5	36.8				40.4	29.76	40.1
4	40.6	3.2	37.4	45.59	10.99	45.59							40.1	2.5	37.6
5	37.4	30.77	37.4										37.6	12.5	37.6
6	37.4	3.9	41.3										37.6	2.2	39.8
7	41.3	89.52	41.3										39.8	53.15	39.8
8	41.3	3.3	38.9										39.8	2.5	37.3
9	38.9	46.8	38.9										37.3	31.62	37.8
10	38.9	7.14	46.04										37.8	2.8	40.6
11	46.04	12.43	46.04										40.6	39.67	40.1

3.3.5 三次系

蒸発器，過熱器，気水分離器に関するデータを以下に示す。

3.3.5.1 蒸発器，過熱器に関するデータ

Table 3.3 - 7 蒸発器，過熱器に関する入力条件

	蒸 発 器	過 熱 器
伝熱管長さ (m)	1 3.5	1 1.0
伝熱管出口高さ (m)	2 6.0 4	2 6.2 9
伝熱管内径 (m)	0.0 1 1 3	0.0 1 1 9
内壁粗さ／内径比	1.3501×10^{-4}	1.282×10^{-4}
伝熱管本数	1 6 2 6	6 7 6
2相流圧増倍係数（入口ブレナム）	1.0	1.0
入口ブレナム出口高さ (m)	1 2.5 4	1 5.2 9
入口ブレナム流路長さ (m)	5.1 4	5.0 7 5
入口ブレナム容 積 (m ³)	4.6 4 1 3	2.5 7 5 3
2相流圧増倍係数（出口ブレナム）	1.0	1.0
出口ブレナム出口高さ (m)	2 9.6 1	2 9.8 5 5
出口ブレナム流路長さ (m)	3.5 7	3.5 6 5
出口ブレナム容 積 (m ³)	2.4 0 7 6	1.5 3 3 4
伝熱管内メッシュ数	1 0	8
伝熱管外径 (m)	0.0 1 5 9	0.0 1 5 9
伝熱管中心間距離／伝熱管外径比	1.8 2 3 9	2.0 7 7 5
伝熱管東部N _a 流路面積 (m ²)	1.0 1 4 7	0.6 0 4 7 6
水蒸気側汚れ係数 (K・m ² /W)	3.4896×10^4	3.4896×10^4
水蒸気側出口圧力 (P _a)	1.42785×10^7	1.30428×10^7
入口ブレナム圧力損失 (P _a)	5.5×10^4	4.7×10^4
出口ブレナム圧力損失 (P _a)	3.4×10^4	3.6×10^4

3.3.5.2 気水分離器，蒸気ヘッドに関するデータ

Table 3.3-8 気水分離器，蒸気ヘッドに関する入力条件

	気水分離器	蒸気ヘッド
容 積 (m ³)	6.68	0.06344
出口ノズル高さ (m)	27.35	29.855
圧 力 (P _a)	1.41109×10^7	1.28703×10^7

3.3.6 定格時のプラント状態量に関するデータ

原子炉熱出力	: 714	(MW)
一次主冷却系流量／ループ	: 1422.22	(kg/sec)
一次主冷却系ホットレグ温度	: 529	(°C)
一次主冷却系コールドレグ温度	: 397	(°C)
二次主冷却系流量／ループ	: 1036.11	(kg/sec)
二次主冷却系ホットレグ温度	: 505	(°C)
二次主冷却系コールドレグ温度	: 325	(°C)

なお，今回の解析に用いたSSC-L(version2)では直管型のSGモデルが採用されており，もんじゅのSGを模擬するには妥当ではない。ここでは計算速度を速めることを考慮し，SGについては初期の定常計算を行ってプラント全体のヒートバランスの決定を行った後，過渡計算は省略することにした。

version3にはヘリカルコイル型SGを模擬する能力が備っており，大洗工学センターの1MWSGの試験データを用いた検証を行っている。

3.3.7 今回の解析に用いたインプットのリスト

TIME<10:16:55> DATE<02/18/83>

T204D.SSC.DATA

MEMBER NAME ONELOOP

```

SSC-L VERS002; PNC MODE; LOF; 1 LOOP; 6CH;
OV VESSEL
10 06, 3, 16, 16, 12, 4, 6R/
20 1, 4R, 2, 3/
30 .015037, .5415418,
   .0162153, .3529904,
   .0686135,
   .002661/ POWER FRACTION TOTAL=.997057(.002941)
40 .011388, .44914,
   .013202, .33877,
   .099609,
   .044271/ FLOW FRACTION TOTAL=.95638(0.04362)
50 3, 105, 3, 87, 172, 19/
70 2.15148E-05, 4R, 4.81967E-05, 1.964E-04/
80 .003222, 4R, .004132, .0077/
110 0.0, 6R/
120 .0027, 4R, .0052, .0063/
130 .00278, 4R, .0053, .00645/
140 .00325, 4R, .0058, .00845/
150 .0, 6R/
160 .0027, 4R, 0.0052, .0063/
170 0.0, 6R/
180 .0027, 4R, 0.0052, .0063/
190 1.0, 6R/
200 0.40548E4, 6R/ = SAS 3D
210 2.0265E5, 6R/
230 0, 0.0, 6R, 0.0, 6.40000E5, 4266.67, 25, 25, 0.0001, 0.01, 14000./
* 4.86 + STATIC P9DSGN RENEWED BY YOK-- CORE FLOW
240 143.0, 6.1159E7, 26205.3, 39.4, -0.1078732E5/ LOWER PLENUM
250 1, 300.0/
270 0.0, 0.0, 1.5, 5.7, 11.7, 6.4, 14.15165/ VOL(GV)=90 ELEVATION
280 36.71, 10.1737, 0.6, 36.71, 28.4980, 80.9086, 5.552764, 14., 1400.,
   560.0, 0.23, 0.0, 0.720, 6.2086E7, 1.425E7, 12.8E7/ U PLENUM JGG
290 0.43079, 0.43079, 6.2E-3, 6.2E-3, -3.961887E5, 10000.0/YOK BYPASS JGG
300 0.316, 0.25, -16.15, 24.96, -8.55, 0.3/ FRIC & NU #
* ----- INLET ORIFICE ZONE AND SA TOP 310 - 340 ----- *
310 0.06, 6R/
320 6.3649926, 0.0, 3.9614235, 0.0,
   3.3530757, 0.0, 5.6441556, 0.0,
   500.60973, 0.0,
   30.113499, 0.0/
330 3471.02, 4277.57,
   4553.58, 3675.74,
   131.16,
   1484.91/ PRES LOSS INLET & OUTLET
340 0.0, 6R/
1010 0.0, 0.35, 0.93, 0.3, 1.16, 0, 2, 7, 2, 5, 1.2108, 47.2302, 60, 70,
   40, 0.93, 0.95, 0.97,
   50, 0.85, 0.95, 0.97,
   40, 0.93, 0.95, 0.97,
   169, 0.00132, 0.1046, 0.006, 1.15/ CORE I&II
1020 0.0, 0.0, 0.0, 1.58, 1.16, 0, 0, 0, 11, 5, 1.1207, 21.63793, 60, 70,
   0, 0.0, 0.0, 0.0,
   0, 0.0, 0.0, 0.0,
   40, 0.93, 0.95, 0.97,
   61, 0.00136, 0.1046, 0.006, 1.15/ RAD BLANKET
1030 0.35, 0.0, 0.93, 0.0, 1.46, 2, 0, 6, 0, 4, 1.0769, 17.7515, 60, 70,
   0, 0.0, 0.0, 0.0,
   51, 1.0, 1.0, 1.0,
   0, 0.0, 0.0, 0.0,
   19, 0.0012, 0.1046, 0.006, 1.15/ CONTROL RODS
* ----- AXIAL POWER SHAPE FOR EACH CHANNEL ----- *
* AXIAL POWER SHAPE 1
2010 7.30992E+01 3.39682E+02 2.28673E+03 3.02541E+03 3.47411E+03 0.00006400
   3.62744E+03 3.46981E+03 3.00009E+03 2.19854E+03 2.48857E+02 0.00006500
   4.62709E+01 0.0, 5R/
* 2
2020 1.15935E+02 5.36074E+02 2.36264E+03 3.06450E+03 3.47934E+03 0.00006800
   3.62936E+03 3.49620E+03 3.05554E+03 2.26685E+03 3.41945E+02 0.00006900
   6.92499E+01 0.0, 5R/
* 3
2030 5.38982E+01 2.83579E+02 2.48487E+03 3.30468E+03 3.78905E+03 0.00007200
   3.95262E+03 3.77548E+03 3.24609E+03 2.34908E+03 2.17879E+02 0.00007300
   3.67952E+01 0.0, 5R/
00007400

```

TIME<10:16:55> DATE<02/18/83>
 T204D.SSC.DATA
 MEMBER NAME ONELOOP

```

      4
      00007500
204D      5.23947E+01 2.77638E+02 1.85327E+03 2.44699E+03 2.78614E+03 000007600
      2.90690E+03 2.80082E+03 2.44841E+03 1.81350E+03 2.11356E+02 000007700
      4.07175E+01 0.0, 5R/
      00007800
205D      3.8, 9.6, 19.4, 29.4, 36.3, 39.2, 37.4, 31.8, 21.6, 11.3, 4.0, 00007900
      0.0, 5R/
      00008000
206D      0.0, 2R, 1.0, 6R, 0.0, 4R/
      00008100
301-306D 1.0, 4R/
      RADIAL POWER PROFILE 00008200
401-404D 0.981, 0.009, 0.004/
      FRAC.POWER FUEL/CLAD/SODIUM 00008300
405D      0.975, 0.01, 0.005/
      00008400
406D      0.69, 0.1038, 0.0378/
      00008500
501-506D 80, .95, 81, .03, 82, .02/
      .
      00008600
Y01D      80, 0.0556, 81, .8235, 82, .1209/
      F
      00008700
Y02D      80, 0.0399, 81, .8372, 82, .1229/
      I
      00008800
Y03D      80, 0.0510, 81, .8275, 82, .1215/
      S
      00008900
Y04D      80, 0.0550, 81, .8241, 82, .1209/
      S
      00009000
Y05D      80, 0.0612, 81, .8186, 82, .1202/
      I
      00009100
Y06D      80, 0.0557, 81, .8239, 82, .1209/
      O
      00009200
Y07D      80, 0.0656, 81, .8147, 82, .1197/
      N
      00009300
Y08D      80, 0.0799, 81, .8023, 82, .1178/
      .
      00009400
Y09D      80, 0.0399, 81, .8372, 82, .1229/
      G
      00009500
Y10D      80, 0.0399, 81, .8372, 82, .1229/
      A
      00009600
Y11D      80, 0.0399, 81, .8372, 82, .1229/
      S
      00009700
Y12D      80, 0.9500, 81, .0300, 82, .0200/
      .
      00009800
Y13D      80, 0.9500, 81, .0300, 82, .0200/
      .
      00009900
OV NALOOP
1D 1, 00005, 24, 20, 22, 5, 13, 00005, 100, 22, 15, 5, 72/
      00010100
2D 3/
      00010200
Y ----- F I L E N A L O O P -----
      00010300
Y -----
      00010400
Y 3 LOOP CONFIGURATION; 1:BREAK; 2:PUMP SEIZURE; 3:INTACT Y
      00010500
Y -----
      00010600
100D 3174, 0.0189, 0.0217, 1.90200, 0.1, 10.84140, 9729.0,
      00010700
      51.6, 1.4147, 0.0, 3.4387E-6, 70/
      00010800
101D -1, 0, 0.91515, 1.23961, 0, 0.0, 0.478, 16.25, 0.34725/
      IHX 00010900
102D 2.2461, 3.22, 1.4228, 3.55, 18.7, 8.3, 3.3, 8.1/
      IHX PL 00011000
103D 64.071, -90.0, 51.9228, 90./
      IHX PL 00011100
104D 13.0, 0.469, -90./
      IHX CENTRAL DOWNCOMER 00011200
105D 0.001, 4.6E-5, 4.6E-5/
      CONV CRIT. SURFACE ROUGHNESS 00011300
Y ----- PRIMARY PUMP HEAD & POLYNOMIAL ----- Y
      00011400
110D 6, 1.2897, -0.061907, 0.17327, -0.57294, 0.033762, 0.13868/
      00011500
111D 0, 1, 6894.76, 18.6677, 18.6677, 1.5177E+5/
      CHECK VALVE 00011600
112D 99.6, 837.0, 1.660, 21739.3, 6.5, 2.2/
      PRIMARY PUMP 00011700
120D 0, 0.00000, 0.00000, 2.0284, 2.0284, 2.5360, 2.5360, 62.5482,
      00011800
      62.5482, -90.0/
      SG PRY & EVAPORATOR 00011900
121D 0, 0.00000, 0.00000, 1.6364, 1.6364, 0.9075, 0.9075, 66.4412,
      00012000
      66.4412, -90./
      SG PRY & SUPERHEATER 00012100
Y ----- SEC PUMP & SURGE TANK -----
      00012200
122D 63.0, 1100.0, 1.185, 6050.7, 8.00, 0.851, 9.05, 12.0/
      00012300
1001D 3, 4, 2, 4, 3, 2, 1/
      COMPONENTS LOCATION 00012400
1002D 0.02, 3174, -2.96861E4/
      IHX 00012500
1003D 2.85079E+4, 0.0, -2.141478E+4, 0.0, -2.13783E+4, 0.0/ COMP P DROP 00012600
Y ----- PRIMARY LOOP PIPINGS -----
      00012700
Y PIPE NUMBER= 1.
      00012800
1101D 0.92540, 36.1115, 0.7906, 0.0111,
      00012900
      0.0
      7.55096E 01 9.00000E 01 2.22785E 01 8.92330E-01 00013000
      8.92330E-01 8.92330E-01 8.92330E-01 8.92330E-01 8.92330E-01 00013100
      8.92330E-01 8.92330E-01 8.92330E-01 8.92330E-01 8.92330E-01 00013200
      8.92330E-01 8.92330E-01 8.92330E-01 8.92330E-01 8.92330E-01 00013300
      8.92330E-01 8.92330E-01 8.92330E-01 0./ RV TO IHX
      00013400
Y PIPE NUMBER 2.
      00013500
1102D 0.0, 5.7, 0.03257, 0.0014, -90., 20R/
      DH FOR IHX
      00013600
Y PIPE NUMBER= 3.
      00013700
1103D 0.44841, 33.44662, 0.7906, 0.0111,
      00013800
      -8.99999E 01 -8.64145E 00 0.0
      8.59774E 01 9.00000E 01 00013900
      9.00000E 01 9.00000E 01 9.00000E 01 3.19334E 01 0.0
      00014000
      0.0
      -1.14339E 01 -8.99999E 01 -8.99999E 01 -8.99999E 01 00014100
      -8.99999E 01 -2.50149E 01 0.0
      2.42680E 01 9.00000E 01 00014200
      9.00000E 01 0./
      IHX TO PUMP
      00014300
Y PIPE NUMBER= 4.
      00014400
1104D 0.11010, 7.11907, 0.5906, 0.0095,
      00014500
      1.81937E 01 9.00000E 01 3.07672E 01 -3.35687E 00 0./ P CV
      00014600
Y PIPE NUMBER= 5.
      00014700
1105D 3.40512, 30.7473, 0.5906, 0.0095,
      00014800

```

TIME<10:16:55> DATE<02/18/83>

T204D.SSC.DATA

MEMBER NAME ONELOOP

```

-6.80930E-02 -6.80930E-02 -6.80930E-02 -6.80930E-02 -6.80930E-02 000014900
-6.80930E-02 -6.80930E-02 -6.10113E 01 -8.99999E 01 -8.99999E 01 000015000
-8.99999E 01 -6.54989E 00 0./ CV TO RV 000015100
* ----- SECONDARY LOOP PIPINGS ----- 00015200
* PIPE NUMBER= 1. 00015300
1201D 2.44032, 258.41, 0.5398, 0.0095, 00015400
7.66719E 01 2.44988E 00 4.88410E-01 4.88410E-01 4.88410E-01 000015500
4.88410E-01 4.88410E-01 4.88410E-01 4.88410E-01 4.88410E-01 000015600
4.88410E-01 4.88410E-01 4.88410E-01 4.88410E-01 4.88410E-01 000015700
4.88410E-01 4.88410E-01 4.88410E-01 4.88410E-01 4.88410E-01 000015800
4.88410E-01 4.88410E-01 4.88410E-01 -2.92974E 01 -4.70793E 01 000015900
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 00016000
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 00016100
0.0 2.87175E 01 9.00000E 01 7.81850E-01 0.0 00016200
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 00016300
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 00016400
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 00016500
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 00016600
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 00016700
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 00016800
0.0 0.0 -3.01887E 01 -2.46211E 01 0.0 00016900
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 00017000
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 00017100
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 00017200
0.0 2.98350E 01 9.00000E 01 9.00000E 01 1.37636E 01 000017300
0.0 0.0 0.0 0.0 0./ IHX TO SH 00017400
* PIPE NUMBER= 2. 00017500
1202D 0.85563, 51.89, 0.5398, 0.0095, 00017600
-8.99999E 01 -8.99999E 01 -1.88438E 01 0.0 0.0 00017700
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 00017800
0.0 5.55022E 01 9.00000E 01 9.00000E 01 9.00000E 01 000017900
9.00000E 01 3.36657E 01 0.0 0.0 0.0 00018000
0.0 0./ SH TO EV 00018100
* PIPE NUMBER= 3. 00018200
1203D 1.33294, 32.89, 0.5398, 0.0095, 00018300
-8.99999E 01 -2.62948E 01 0.0 0.0 0.0 00018400
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 00018500
0.0 0.0 6.62730E 01 9.00000E 01 0./ EV RES 000018600
* PIPE NUMBER= 4. 00018700
1204D 0.087888, 7.0, 0.5398, 0.0095, 00018800
9.00000E 01 9.00000E 01 9.00000E 01 9.00000E 01 0./ RES P 000018900
* PIPE NUMBER= 5. 00019000
1205D 1.1144467, 183.11, 0.5398, 0.0095, 00019100
0.0 -5.67999E 01 -2.91300E 01 -5.77510E-01 -5.77510E-01 000019200
-5.77510E-01 -5.77510E-01 -5.77510E-01 -5.77510E-01 -5.77510E-01 000019300
-5.77510E-01 -5.77510E-01 -5.77510E-01 -5.77510E-01 -7.79638E 01 000019400
4.82350E-01 0.0 0.0 0.0 9.30007E 00 000019500
4.37437E 01 0.0 0.0 0.0 0.0 00019600
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 00019700
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 00019800
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 00019900
0.0 -4.44201E 01 -1.49452E 01 9.05910E-01 9.05910E-01 000020000
9.05910E-01 9.05910E-01 9.05910E-01 9.05910E-01 9.05910E-01 000020100
9.05910E-01 9.05910E-01 9.05910E-01 9.05910E-01 2.84711E 01 000020200
3.77745E 01 -7.22130E-01 -7.22130E-01 -7.22130E-01 -7.22130E-01 000020300
-7.22130E-01 -7.22130E-01 -7.22130E-01 -7.22130E-01 -7.22130E-01 000020400
-7.22130E-01 -7.22130E-01 -7.22130E-01 -7.22130E-01 -7.22130E-01 000020500
-7.22130E-01 0./ PUMP TO IHX 00020600
OV STNGEN 00020700
1001D 5, 2, 2, 0, 2, 0/ LAYOUT 00020800
* ----- F I L E S T H G E N ----- 00020900
* ----- 00021000
1002D 5.0E-5, 1.0E-5, 5.0E-5, 5.0E-5, 5.0E-5, 5.0E-5, 100/ 00021100
* ----- P O F C - P U M P ----- * 00021200
1D 401, 301, 65.24, 7.40, 0.2102, 7.2312E-6, 1.1, 0.0, 1.0, 7.40, 7/ 00021300
2D 301, 101, 49.90, 26.45, 0.3254, 4.6712E-6, 1.1, 0.0, 1.0, 26.45, 00021400
6/ ----- EV - SH 00021500
3D 101, 302, 23.09, 10.215, 0.3254, 4.6712E-6, 1.1, 0.0, 1.0, 10.215, 00021600
4/ ----- SP - SH 00021700
4D 302, 102, 35.9, 29.855, 0.2842, 5.3483E-6, 1.1, 0.0, 1.0, 29.855, 00021800
5/ ----- SH - STEAM DRUM 00021900
5D 102, 500, 106.79, 29.855, 0.408, 5.3483E-6, 1.1, 0.0, 1.0, 29.855, 00022000
9/ ----- STEAM DRUM - TURBINE 00022100
101D 6.68, 1, 3, 27.35, 1.0, 0, 0.0, 2R/ ----- ACCUM = SEPARATOR 00022200

```


TIME<10:16:55> DATE<02/18/83>

T204D.SSC.DATA

MEMBER NAME ONELOOP

```

102D 0.06344, 1, 5, 29.855, 1.0, 0, 0.0, 2R/ ----- STEAM DRUM 00022300
301D 1, 2, 302, 300, 13.5, 26.04, 0.0113, 1.3501E-4, 1626, 0.0, 00022400
      1.0, 12.54, 5.14, 4.6413, 0.0, 1.0, 29.61, 3.57, 2.4076, 00022500
      10, 0.0159, 1.8239, 1.0147, 3.4896E+4, 1.13106, 70, 1/ ----- EV 00022600
302D 3, 4, 400, 301, 11.0, 26.29, 0.0119, 1.282E-4, 676, 0.0, 00022700
      1.0, 15.29, 5.075, 2.5753, 0.0, 1.0, 29.855, 3.565, 1.5334, 00022800
      8, 0.0159, 2.0775, 0.60476, 3.4896E+4, 0.64934, 70, 1/ -- SH 00022900
401D 1, 302, 7.40/ ----- FEED WATER GEOMETRY 00023000
401D 0.98478E+6, 7.7477E+5, 2.6443E+5, 0.0, 2R, 00023100
      1.00537E+7, 4.57434E+6, 0.0, 2R/ ----- FEED W. PF 00023200
101D 1.41109E+7, 0.0, 1, 3, 0, 3R/ ----- ACCM INIT DATA 00023300
102D 1.28703E+7, 0.0, 1, 5, 0, 3R/ ----- STEAM DRUM 00023400
Y ----- S G OPTIONAL DATA ----- 00023500
1D 1.46119E+7/ ----- EV INLET PRESSURE 00023600
3D 1.40333E+7/ ----- SH INLET PRESSURE 00023700
301D 0, 0, 1.42785E+7, 5.50000E+4, 3.40000E+4/YOK--- EV INITIALIZATION 00023800
302D 0, 0, 1.30428E+7, 4.7000E+4, 3.6000E+4/YOK---- SH INITIALIZATION 00023900
OV OPDATA 00024000
1D 714.0E+6, 1.0, 3, 3, 1.25525E+7, 3.29406E+6/ ----- GLOBAL PRM 00024100
Y ----- F I L E O P D A T A ----- 00024200
Y ----- 00024300
2D -802.0, -670.0, 1422.22, 3.29406E+6/ ----- LOOP 00024400
3D 0, 598.0, 778.0, 1036.11, 100., 3.0, 15.0/ ----- GUESS & ITER 00024500
4D 1.60143E+5, 1.96133E+5, 7.4, 0.0, 2R/ TANKS & PUMPS 3/25/80 *** 00024600
5D 1, 1, 1, 1/ --- CONTROL FLAGS 00024700
OV MATDAT 00024800
10D 109.7, -6.4499E-2, 1.1728E-5, 1630.22, -0.83354, 00024900
      4.62838E-4, 1011.597, -0.22051, -1.92243E-5, 5.63769E-9, 00025000
      370.9, 1644.2, -6.7511E4, 1630.22, -0.41674, 00025100
      1.54279E-4, 11.35977, -5567.0, -0.5, 11.68672, 00025200
      -5544.97, -0.61344, 1144.2, -2.4892, 220.65, 00025300
      -0.4926, 0.001, 1.0E-5, 750.0, -12130.0, 10.5/ SODIUM 00025400
Y ----- F I L E M A T D A T ----- 00025500
Y ----- 00025600
51D 334.13, 21.6178, 5.381E-2, 0.0, 2.2, 0.0, 1741.79, 00025700
      2.34856E-4, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, -46634.7, 9999.0, 9999.0, 00025800
      2.25E-6, 2.5E-9, 0.0, 295.4, 9999.0, 9999.0, 2381.0, 0.0, 00025900
      0.55, 2.5E-4, 400.0, 9999.0, 3R/ CR 00026000
71D 4.9341695E1, -1.71228E-2, 0.0, 0.0, 460.59, 0.0, 7R, 7833.35/ 00026100
80D 0.3255, 0.0, 0.0/ THERMAL CONDUCTIVITY HE MONJU 00026200
81D 0.01574, 0.0, 0.0/ XE 00026300
82D 0.02617, 0.0, 0.0/ KR 00026400
OV OLDATA 00026500
2D 99/ 00026600
Y ----- F I L E O L D A T A ----- 00026700
Y ----- 00026800
3D 99,70, 60/ 00026900
STOP 00027000
OV TRNDAT 00027100
1001D 0, 0.1, 1187.5/ INERTIA=GD2/4 <YOK> PRY PUMP ( M + P ) 00027200
Y ----- F I L E T R N D A T ----- 00027300
1002D 0, 0.1, 275.0/ INERTIA=GD2/4 <YOK> SRY PUMP ( M + P ) 00027400
Y ----- GUARD VESSEL VOLUME ----- 00027500
1003D 0, 37.0, 8.40, 0.0, 0.07192, 0.0, 0.0, 10R, 153.8/ GV 00027600
1004D 0/ CHECK VALVE 00027700
3001D 1.25525E7, 0., 1.25525E7, 9999.0/ TURBINE INLET PRESS 00027800
5001D 1, 6, 4.38E-7/ NEUTRON KINETICS 00027900
5002D 0.931352, 4R, 0.918915, 0.999, 2R/ FRAC. FISSION 00028000
5003D 8.02E-5, 7.75E-4, 6.72E-4, 1.33E-3, 6.11E-4, 1.67E-4/ N -TH GRP 00028100
5004D 0.013, 0.0312, 0.134, 0.347, 1.42, 3.79/ DECAY CONSTANT 00028200
Y ----- DECAY POWER 5006D:BYPASS 5100-:EACH CHANNEL ----- 00028300
5006D 1.0, 0.0, 0.99, 0.1, 0.958, 0.5, 0.931, 1.0, 0.893, 2.0, 0.828, 00028400
      5.0, 0.801, 7.0, 0.77, 10.0, 0.705, 20.0, 0.663, 30.0, 0.609, 50., 00028500
      0.534, 100.0, 0.331, 1000.0, 0.170, 10000.0/ BYPASS00028600
5101-5104D 1.0, 0.0, 0.99, 0.1, 0.958, 0.5, 0.931, 1.0, 0.893, 2.0, 00028700
      0.828, 5.0, 0.801, 7.0, 0.77, 10.0, 0.705, 20.0, 0.663, 30.0, 00028800
      0.609, 50.0, 0.534, 100.0, 0.331, 1000.0, 0.170, 10000./ CORE00028900
5105-5106D 1.0, 0.0, 0.989, 0.1, 0.957, 0.5, 0.927, 1.0, 0.892, 00029000
      2.0, 0.828, 5.0, 0.803, 7.0, 0.778, 10.0, 0.715, 00029100
      20.0, 0.677, 30.0, 0.629, 00029200
      50.0, 0.563, 100.0, 0.369, 1000.0, 0.196, 10000.0/ RAD BLAKT00029300
Y ----- DOPPLER SODIUM IN ----- 00029400
Y DOPPLER NA-IN 1 00029500
5201D -9.13264E-07 -6.97349E-06 -1.02213E-05 -1.59714E-05 -2.06412E-05 00029600

```

TIME<10:16:55> DATE<02/18/83>
 T2040.SSC.DATA
 MEMBER NAME ONELOOP

```

-2.23455E-05 -2.04086E-05 -1.53212E-05 -8.86166E-06 -4.39762E-06 00029700
-4.62629E-07 0.0, 5R/ 00029800
Y 2 00029900
5202D -4.47971E-05 -3.13168E-04 -4.16051E-04 -6.32140E-04 -8.04590E-04 00030000
-8.69342E-04 -7.99918E-04 -6.05650E-04 -3.53718E-04 -1.91307E-04 00030100
-2.09276E-05 0.0, 5R/ 00030200
Y 3 00030300
5203D -6.32320E-07 -5.09803E-06 -6.95370E-06 -1.08281E-05 -1.40222E-05 00030400
-1.51575E-05 -1.37600E-05 -1.01820E-05 -5.76237E-06 -2.97251E-06 00030500
-2.99155E-07 0.0, 5R/ 00030600
Y 4 00030700
5204D -1.03938E-05 -8.91898E-05 -1.22953E-04 -1.93043E-04 -2.50076E-04 00030800
-2.71141E-04 -2.48411E-04 -1.87146E-04 -1.11273E-04 -6.67243E-05 00030900
-7.78046E-06 0.0, 5R/ 00031000
5205D 0.0, 16R/ RADIAL BLKT 00031100
5206D 0.0, 12R/ CR; N-SHIELDING 00031200
Y ----- DOPPLER SODIUM OUT ----- 00031300
Y DOPPLER NA-OUT 1 00031400
5301D -8.62364E-07 -5.87906E-06 -7.65116E-06 -1.15127E-05 -1.46054E-05 00031500
-1.57098E-05 -1.43820E-05 -1.09410E-05 -6.51110E-06 -3.64607E-06 00031600
-4.35954E-07 0.0, 5R/ 00031700
Y 2 00031800
5302D -4.19301E-05 -2.65328E-04 -3.16784E-04 -4.65362E-04 -5.82648E-04 00031900
-6.25533E-04 -5.75942E-04 -4.40307E-04 -2.63431E-04 -1.58769E-04 00032000
-1.93692E-05 0.0, 5R/ 00032100
Y 3 00032200
5303D -6.04462E-07 -4.31999E-06 -5.10434E-06 -7.64735E-06 -9.71903E-06 00032300
-1.04379E-05 -9.50064E-06 -7.12852E-06 -4.15208E-06 -2.49167E-06 00032400
-2.89704E-07 0.0, 5R/ 00032500
Y 4 00032600
5304D -1.02852E-05 -7.70905E-05 -9.15757E-05 -1.38300E-04 -1.75956E-04 00032700
-1.89544E-04 -1.73931E-04 -1.32709E-04 -8.14321E-05 -5.66116E-05 00032800
-7.50990E-06 0.0, 5R/ 00032900
5305D 0.0, 16R/ RADBRA 00033000
5306D 0.0, 12R/ CR; N-SHIELDING 00033100
Y ----- SODIUM DENSITY ----- 00033200
Y SODIUM DENSITY 1 00033300
5401D -2.66454E-06 -6.18579E-06 -9.08361E-06 1.37254E-05 3.09348E-05 00033400
3.69937E-05 2.98365E-05 1.12661E-05 -1.25668E-05 -1.01868E-05 00033500
-3.40794E-06 0.0, 5R/ 00033600
Y 2 00033700
5402D -3.54800E-06 -6.68995E-06 -5.21581E-06 2.52085E-05 4.83448E-05 00033800
5.62761E-05 4.62152E-05 2.06269E-05 -1.14328E-05 -1.10099E-05 00033900
-4.30695E-06 0.0, 5R/ 00034000
Y 3 00034100
5403D -2.19860E-06 -6.95849E-06 -1.27874E-05 2.90150E-06 1.42257E-05 00034200
1.80810E-05 1.33683E-05 1.18340E-06 -1.52811E-05 -8.52635E-06 00034300
-2.25894E-06 0.0, 5R/ 00034400
Y 4 00034500
5404D -1.38319E-06 -5.51847E-06 -1.42405E-05 -7.61473E-06 -2.88214E-06 00034600
-1.37404E-06 -3.35598E-06 -8.49701E-06 -1.51785E-05 -6.62126E-06 00034700
-1.80258E-06 0.0, 5R/ 00034800
5405D 0.0, 16R/ RADBRA 00034900
5406D 0.0, 12R/ CR; N-SHIELDING 00035000
Y ----- FUEL AXIAL EXPANSION ----- 00035100
5501-5504D 0.0, 16R/ 00035200
5505D 0.0, 16R/ 00035300
5506D 0.0, 12R/ 00035400
Y 00035500
Y ----- 6000 INPUTS ----- 00035600
Y 00035700
Y ----- UPPER PLENUM MIXING AND FLOW DISTRIBUTION ----- 00035800
6001D 2, 1, 9999.0/ L6MIX(2:TWO ZONE);L6FLOW(1:REDISTRI);T6SUPH00035900
6002D 1, 0.0, 0.0/ IN-VESSEL COVER GAS00036000
Y ----- 9000 INPUTS ----- 00036100
Y ----- SIMULATION TIME AND PRINTOUT INTERVALS ----- 00036200
9001D 400.0, 1.0, 0.000002, 999.0, 00036300
0.5, 5.0000, 1.00, 010.0000, 01.5, 100.0000, 10.0, 300.0000, 00036400
20.0,400.0/ 00036500
Y 00036600
9002D 0.001, 0.001, 0.01, 0.01, 0.01, 0.001, 0.001/ ACCEPTANCE LMT(ACU)00036700
9003D 0.01, 0.01, 0.01/ ACCEPTANCE LIMIT(INTERFACE)00036800
9004D 1, 1, 0, 1, 1, 0/ CALL -- LP(THML);LP(HYD);SG:FUEL;IN-V CL;PPS/PCS00036900
9005D 1, 1, 1, 1, 1, 0/ PRINT - DO. 00037000

```

TIME<10:16:55> DATE<02/18/83>

T204D.SSC.DATA

MEMBER NAME ONELOOP

```

9006D 1, 1, 1, 1, 1/ CPU -- DO. 00037100
9008D 0, 0, 0, 0/ DUMP -- COMMON & CONTAINERS 00037200
* ----- THREE LOOP CONFIGURATION ----- 00037300
* ----- 8000 SERIES RECORD ----- 00037400
8001D 3, 3/ N8PCSD, N8CBNK 00037500
8031D 1, 888888.0, 0.00/ ----- MANUAL SCRAM ON PRY SD SYSTEM 00037600
8032D 1, 888888.0, 88888./ ----- MANUAL SCRAM ON 2RY SD SYSTEM 00037700
8100D 1, 3R/ PUMP TRIP ON MANUAL MODE 00037800
8110D 888888.0, 3R/ PUMP TRIP DELAY AFTER AN AUTO SIGNAL 00037900
8120D 0.000, 2R, 888888.0/ MANUAL PUMP TRIP TIME 00038000
* ----- CONTROL ROD POSITION 8920 & 8930 ----- 00038100
8920D 1.0000144, 0.05432127, -0.9838029, -0.82337087, 3.7677539, 00038200
      -5.3120287, 2.49183007, 00038300
      0.333926, -0.139136, 0.0, 5R, 00038400
      2.6, 0.194719/ 00038500
* 6.00810328, -20.448485, 29.6797967, -22.7375954, 9.646562123, 00038600
* -2.15099164, 0.197081757, 00038700
* 2.45, 0.195/ PRY SHUTDOWN SYSTEM 00038800
8930D 1.00284403, -0.14421265, 0.329854532, -2.87477274, 2.34509733, 00038900
      -0.345266385, -0.1098360778, 00039000
      1.6/ 2RY SHUTDOWN SYSTEM 00039100
* ----- REACTIVITY / CONTROL ROD DATA ----- 00039200
* 00039300
8910D 8.41, -23.0, 1.00, 8.41, 0.00, 0.00/ OLD DATA ----- REACTIVITY 00039400
8910D 17.7920, -23.0, 1.0, 17.7920, 0.00, 0.00/ ----- NEW DATA 00039500
* 00039600
* /// MUST BE ALWAYS READ, BUT NOT CALLED IF L8CALL(9004D) = 0 /// * 00039700
* 00039800
8011D 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,20/ PRY AVAILABLE FUNCTIONS 00039900
8012D 11,12,13,14,15,16,17,18,19/ 2RY AV. FUNCTIONS 00040000
8021D 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,20/ FNS TO BE CHECKED ON PRY SCRAM 00040100
8022D 11,12,13,14,15,16,17,18,19/ FNS TO BE CHECKED ON 2RY SCRAM 00040200
8201D 1.15/ HIGH FLUX SET POINT 00040300
8202D 0.03607, 0.036, -0.99, 0.1706, 0.0364, 1.01, 0.03607, 0.036, 00040400
      0.1969, 0.416/ FLUX DE? 00040500
8203D 1.318, -1.0, 0.0425/ C1-C3 : FLUX-SQRT(PR) 00040600
8204D 0.147, -1.0, 1.0, -1.0, 0.0075, 0.0595/ D1-D6 P/I SPD RATIO 00040700
8206D 6.0/ REACTOR VESSEL LEVEL 00040800
8207D 42.0/ E1 : STEAM FEEDWATER RATIO 00040900
8208D 716.0/ SETPT : INX PRY OUTLET TEMP 00041000
* ----- G1-G6: PRY/2RY FLOW RATIO ----- 00041100
8210D 0.147, -1.0, 1.0, -1.0, 0.0075, 0.05/ 00041200
8211D 1.120, 0.71/ MAX & MIN STEAM DRUM LEVEL SET POINT 00041300
8212D 672.0/ SETPT FOR HIGH EV OUTLET SODIUM TEMP 00041400
8213D 850.0/ SETPT FOR REACTOR OUTLET NOZZLE SODIUM TEMP 00041500
8214D 0.20/ LOW PRY LOOP SODIUM FLOW SETPT 00041600
8215D 0.20/ LOW 2RY LOOP SODIUM FLOW SETPT 00041700
8230D 0.15, 0.5, 0.20, 2R, 0.5, 3R, 0.2, 1R/ PPS SENSOR TIME CONST 00041800
8240D 1.1162E+3, 1.1159E+3, 1.7413E+3, 1.6102E+3, 801.0, 6.5500E+2, 00041900
      7.5500E+2, 4.0000E+2, 9.5696E+5, 1.0100E+7/ 00042000
8300D 1.0, 0.01/ F8HFXL, F8CRDZ 00042100
8310D 0, 2.0, 0.0, 0.0, 10.0, -10.0, 0.01, 1.0, 0.2, 0.93, 0.17, 00042200
      -0.1/ POWER CSCD 1 00042300
8320D 0, 2.0, 0.0, 0.0, 10.0, -10.0, 0.01, 1.0, 0.2, 0.89, 0.11, 00042400
      0.0/ POWER CSCD 2 00042500
8330D 0, 0.0, 1.0, 0.0, 10.0, -10.0, 0.01, 1.0, 0.05, 0.0, 00042600
      1.0, 0.0/ POWER CSCD 3 00042700
* ----- 00042800
* CONTROL ROD BANK DEPENDENT VALUES 00042900
* 00043000
8410D 0.90, 1.00, 1.00, 0.0, 1.00, -3.81E-3, 3.81E-3, 7.41758/ BANK 1 00043100
8420D 1.0, 1.00, 1.00, 0.0, 1.00, -3.81E-3, 3.81E-3, 0.00/ BANK 2 00043200
8430D 1.00, 1.00, 1.00, 0.0, 1.00, -3.81E-3, 3.81E-3, 0.00/ BANK 3 00043300
* 00043400
* FLOW CONTROLLER CASCADE 00043500
8500D 3, 2R/ PRY AND 2RY 00043600
8511D 0, 1.0, 0.05, 0.0, 10.0, -10.0, 0.01, 1.0, 0.2, 00043700
      0.88, 0.12, 0.0/ CSCD1 PRY LOOP 00043800
8521D 0, 0.375, 0.8, 0.0, 10.0, -10.0, 0.01, 1.0, 0.5, 00043900
      0.0, 1.0, 0.0/ CSCD2 PRY LOOP 00044000
8531D 0, 0.0, 0.02, 0.0, 10.0, -10.0, 0.01, 1.0, 0.02, 00044100
      0.0, 1.0, 0.0/ CSCD3 PRY LOOP 00044200
8611D 0, 1.0, 0.02, 0.0, 10.0, -10.0, 0.01, 1.0, 0.15, 00044300
      1.0, 0.0, 0.0/ CSCD1 2RY LOOP 00044400

```

TIME<10:16:55> DATE<02/18/83>

T204D.SSC.DATA

MEMBER NAME ONELOOP

8621D	0, 1.752E-5, 0.02, 0.0, 10.0, -10.0, 0.01, 1.0, 0.5,	00044500
	0.0, 1.0, 0.0/	CSCD2 2RY LOOP 00044600
8631D	0, 0.0, 0.02, 0.0, 10.0, -10.0, 0.01, 1.0, 0.02, 0.0,	00044700
	1.0, 0.0/	CSCD3 2RY LOOP 00044800
¥	----- PUMPS -----	00044900
8701D	0, 3, 60.0, 1.085, 1.0397, 0.065, 5.34, 5.34, 1.0, 30.0,	00045000
	0.2067725, 1200.0/	PRY 00045100
8801D	0, 3, 60.0, 1.085, 1.0397, 0.065, 5.34, 5.34, 1.0, 30.0,	00045200
	0.2067725, 1200.0/	2RY 00045300
¥		00045400
¥	LOAD DEMAND FORCING CONSTANTS	00045500
8900D	1.0, 1.0, 0.0, 0.0/	00045600
8940D	0.0, 0.0, 0.0, 0.0/	DON'T TOUCH ----- FOR LOAD DEMAND CHANGE 00045700
STOP		00045800
END		00045900

3.4 解析結果

今回行った解析は、もんじゅの自然循環解析を模擬したものである。設定したケースは、炉停止と同時に全てのポンプはトリップし、弁は全てその時の状態を維持したままであるというものである。緊急用ディーゼル発電機の起動も行われない。

3.4.1 解析ケースの説明

今回の解析では、一次主冷却系ループの水力特性によって過渡時の炉内冷却材の挙動がどういふ影響を受けるかを調べることを主な目的である。そこで以下の3ケースを設定した。

CASE I：一次主冷却系の圧損特性を加速圧損，重力圧損，形状圧損，摩擦圧損の和として扱う。また，ポンプの摩擦トルクは $37.5 \text{ kg} \cdot \text{m}$ 一定とする。

この設定は現象論や実験に基づいてされたものといえる。

CASE II：一次主冷却系の圧損特性，ポンプの特性共にもんじゅの安全解析に合わせて設定する。

CASE III：一次主冷却系の圧損特性はCASE Iと同等に，ポンプの特性はCASE IIと同等に設定する。

CASE-I と CASE-II で得られる解析結果には当然差異が見られるが，その差異のうち，一次主冷却系ループの圧損特性の差に起因するものと，ポンプ特性の差に起因するものを明確にするために設けたのかこのCASE IIIである。

次頁にケース別の設定条件の比較表を付す。

ケース番号 項 目	C A S E I	C A S E II	C A S E III
一次主冷却系ループ各部の圧損特性の設定	次の式で評価する。 $\Delta P = \frac{W W }{DA^2 \bar{\rho}} \quad : \text{形状圧損}$ $+ \frac{f W W\Delta x}{A^2 \bar{\rho}} \quad : \text{摩擦圧損}$ $+ \frac{W^2}{A^2} \left(\frac{1}{\rho_{out}} - \frac{1}{\rho_{in}} \right) : \text{加速圧損}$ $+ g \bar{\rho} \Delta z \quad : \text{重力圧損}$	次の式で評価する $\Delta P = \Delta P_0 \left(\frac{W}{W_0} \right)^n$ $+ g \bar{\rho} \Delta z$ n は 3.2.3 の Table 3.2-4 のとおり に各部分について決定する。	CASE-1 に同じ。
一次主冷却系循環ポンプの軸特性の設定	軸摩擦トルク特性を 37.5 kg・m 一定とする。(3.2.4 A 参照のこと)	機械損を考慮したポンプ効率に基づいて軸摩擦トルクを評価する。すなわち、回転数 n の時のポンプ効率を $\eta(n)$、定格回転数を n_0 とすると、次の式が成立するとする。 水力トルク + 軸摩擦トルク $= \frac{\eta(n_0)}{\eta(n)} \times \text{水力トルク}$ なお、ポンプは回転数が 40 rpm を下回った瞬間に停止するものとする。 (3.2.3 B 参照のこと)	CASE-II に同じ
備 考	ループの圧損特性は現象論に基づいた設定、ポンプの軸摩擦トルク特性は実験結果に基づいた設定をする。	ループ圧損特性とポンプ特性のいずれももんじゅの安全解析書に基づいた設定を行う。	

3.4.2 結 果

3.4.2.1 一次主冷却系流量の時間変化

1 次主冷却系流量の、事故直後から 25 秒間の時間変化を Fig 3.4-1 に示す。図中白丸で表わされているのはもんじゅの LOF 時の流量コーストダウンカーブとして各種炉内解析に使用されるものであるが、今回の解析結果はこれと良い一致を示しているといえる。このことから今回の解析は妥当性を有するものであるといえる。流量が半減する 5 秒程度の間は CASE-I の結果もこれによく一致するが、それ以後は CASE II, CASE III, もんじゅの LOF カーブに比べて高い値を示すようになる。これは CASE I では CASE II, CASE III よりもポンプの軸摩擦トルクを小さく仮定していることに起因する。

Fig 3.4-13 に見られるように軸摩擦トルクの違いはポンプの回転数の減少速度に差を生じる。Fig 3.4-14, Fig 3.4-7, Fig 3.4-10 に示されるように初期のコーストダウンではポンプのヘッドと炉容器内の圧損でループ流量が決定されるのでポンプの動特性がループ流量の時間変化を支配する。

さらに時間が経過すると、ポンプは、CASE I では過渡時間 80 秒頃から実質上停止状態となり (Fig 3.4-14 参照), CASE II, CASE III では過渡時間 25 秒頃に回転数が 40 rpm を下回って瞬時に停止する。(Fig 3.4-13, Fig 3.4-14 参照)

1 次主冷却系流量の、事故後 20 秒から 100 秒までの間の時間変化を Fig 3.4-2 に示す。これを見ると事故後 60 秒以後はループの圧損特性を同等に仮定した CASE I と CASE III がほぼ同じ流量を示し、CASE II の結果はこの 2 ケースよりも低い値を示している。これは、ポンプの流体循環力が失われた後に冷却材を支配するものは密度の不均一による自然循環力とループの圧損であるので、ポンプの動特性からの影響が少なくなるためである。(Fig 3.4-5, Fig 3.4-8, Fig 3.4-11 参照)。

さらに事故後 80 秒から 360 秒までの 1 次主冷却系流量の時間変化を Fig 3.4-3 に示す。いずれのケースもループ流量は事故後 140 秒から 180 秒頃に一度最小値を示した後わずかに上昇を始めているが、これは炉内冷却材が温度上昇によって密度が小さくなり、自然循環力が増加したためである。(Fig 3.4-6, Fig 3.4-9, Fig 3.4-12 参照)。

次に、1次主冷却系ループ内の循環力と圧力損失の時間変化について述べる。

CASE Iについて、事故後0秒から30秒までの循環力、圧力損失の時間変化をFig 3.4-4に示す。グラフの正の部分が循環力で負の部分が圧力損失である。流量は点線で示してある。この図で示される時間範囲では、循環力は殆んど全てポンプによるもので占められており、一方圧力損失の中では炉容器によるものが最も大きく、全体の70%以上を占める。次いで大きいのが逆止弁の圧損で約14%である(いずれも定格時の値)。

さらに事故後20秒から100秒までのグラフをFig 3.4-5に示す。ポンプは45秒頃に循環力を失い、以後圧力損失の無視できない要因となる。流量がほぼ一定になった時点の全圧力損失(重力損失は除く)は約3 KPaで定格時の値の約0.4%である。

流量がほぼ一定になった後の状態をくわしく見るために事故後80秒から360秒までについて同様のグラフをFig 3.4-6に示す。流量がほぼ一定になった状態の系の圧力損失の成分構成を見ると、炉容器の圧力損失が最も大きく全体の約50%を占め、次いでポンプ、逆止弁の順となる。したがってこれらのコンポーネントの圧損特性は系全体の圧損特性に大きな影響を与える。

次にCASE IIについてCASE Iと同様のグラフをFig. 3.4-7, Fig 3.4-8, Fig 3.4-9に示す。事故直後から30秒までの状態については流量の減少が速いことを除いてはCASEのFig 3.4-4と大差は見られない。ただしFig 3.4-8に示されている事故後20秒から100秒までの状況にはCASE Iとの間に大きな違いが見られる。ポンプが事故後約25秒で瞬時に停止し、大きな圧力損失を生じる。このため流量は急激に減少し、事故後30秒ですでに自然循環レベルの値に落ちついてしまう。自然循環状態での圧力損失構成はFig 3.4-9を見ると明確である。ここで逆止弁の圧力損失が炉容器のそれを上まわる程大きいことがCASE Iとの大きな相違点としてあげられる。

次にCASE IIIについても同様のグラフをFig 3.4-10, Fig 3.4-11, Fig 3.4-12に示す。このケースでは、ポンプが停止するまではCASE IIとほとんど同じ冷却材挙動が見られ、それ以後はCASE Iと大体似た傾向が見られる。

以上3ケースについて、ループ内の循環力と圧力損失の構成の時間変化からいえることは、流量コストダウン初期では冷却材挙動はポンプ特性によって

支配され、自然循環レベルに落ち着いてからはループの圧損特性で決定されるということである。

3.4.2.2 炉内冷却材の温度変化

これまでは流量の特性について述べてきたが、次にそれぞれの場合の炉内冷却材の温度応答について述べる。

今回の解析では、炉心を下記の6チャンネルに分割した (Fig 3.3-1, Table 3.3-1, Table 3.3-2 参照)

第一チャンネル：内側炉心中、出力／流量比が最大の領域

第二チャンネル：内側炉心の平均的領域

第三チャンネル：外側炉心中、出力／流量比が最大の領域

第四チャンネル：外側炉心の平均的領域

第五チャンネル：径方向ブランケット部

第六チャンネル：制御棒

第一チャンネルの有効発熱部上端と集合体出口での冷却材温度の時間変化を Fig 3.4-15 に示す。CASE I による結果を実線で、CASE II による結果を点線で、CASE III による結果を一点鎖線で表わす。各ケース共、50秒を過ぎた頃から集合体出口での温度変化を表わす曲線は有効発熱部上端でのものを右側に100秒以上平行移動したような形になっている。これは冷却材の流速が小さくなり、また軸ブランケットからの熱移行が無視できる程しなくなるため、集合体出口での温度変化が発熱部上端の温度変化をそのまま通過時間分だけ遅らせた形になるためである。

ここで、有効発熱部上端での冷却材温度挙動に着目して今回解析した事象の一般的傾向について述べる。

- (a) 事故初期においては、一次系冷却系流量の減少よりも炉の熱出力の低下がはるかに速いので、炉内の冷却材温度は降下する。
- (b) その後流量がさらに減少し、流量の定格値に対する比が炉の熱出力のそれに近ずき、下回る頃から冷却材の温度は上昇を始める。
- (c) ポンプが実質的に停止して以降なお炉内冷却材温度は上昇を続け、自然循環力が増加することにより流量がわずかに上昇を始める。
- (d) 崩壊熱と冷却材の流れによる除熱量がバランスして流量、温度共ほぼ一定

となる。

以上が今回解析した事象の過渡時間 350 秒程度の間に見られる現象の一般的な傾向である。

Fig 3.4-15 に示されている、第一チャネルの発熱部上端と集合体出口の冷却材温度変化をみると、CASE I による結果が最高温度が最も低く、また最高温度に達するまでの時間が最も長い。一方最も高い最高温度を示しているのは CASE II による結果である。CASE II ではポンプのコストダウンは CASE I のそれよりも早く、また低流量域でのループの圧力損失も CASE I より大きく評価していることがこの原因である。ポンプの特性だけを CASE II と同等に設定した CASE III での冷却材最高温度は CASE I と CASE II によるもののほぼ中間の値となっている。したがって炉内で冷却材が到達する最高温度はポンプ特性、ループの圧損特性の両方に影響されることがわかる。

第二チャネル、第三チャネル、第四チャネルについて同様のグラフを Fig 3.4-16, Fig 3.4-17, Fig 3.4-18 に示す。それぞれ同様の傾向を示しているが、発熱上端の冷却材温度が最高値を示した時間や温度そのものに少しずつ違いが見られる。今回の解析では、チャネル間の流量再配分を考慮しており、各チャネルでの流量の履歴に差がある。この差が冷却材温度の時間変化に影響している。

炉心の全流量に対する、各チャネルの集合体 1 本当りの流量の比を、CASE I について示したものが Fig 3.4-19 である。同様のものを CASE II, CASE III について示したものがそれぞれ Fig 3.4-20, Fig 3.4-21 である。いずれのケースにおいても事故後 50 秒以内に第一チャネルの集合体一本当りの比流量が第四チャネルのそれを上回っている。

CASE II, CASE III ではさらに事故後 300 秒頃に第二チャネルと第三チャネルの比流量の大小が逆転している。CASE II では事故後 120 秒後から 250 秒後までの間だけ第三チャネルの比流量が第二チャネルの比流量を下回っている。

事故後 25 秒頃にポンプが急停止する CASE II, CASE III では、25 秒を過ぎた頃に各チャネルの比流量の変化が急になり、それ以後も CASE II では他の 2 ケースに比べてループ流量が小さいので各チャネルの比流量が大きく

変化している。これは、ループ流量が少ない場合はチャネル間の温度差が流量に大きな影響を及ぼすためだと思われる。

なお、今回の解析に用いた。炉出力の定格時の値に対する比を、事故直後から25秒までをFig 3.4-22に、20秒から100秒までをFig 3.4-23に、80秒から320秒までをFig 3.4-24に示す。

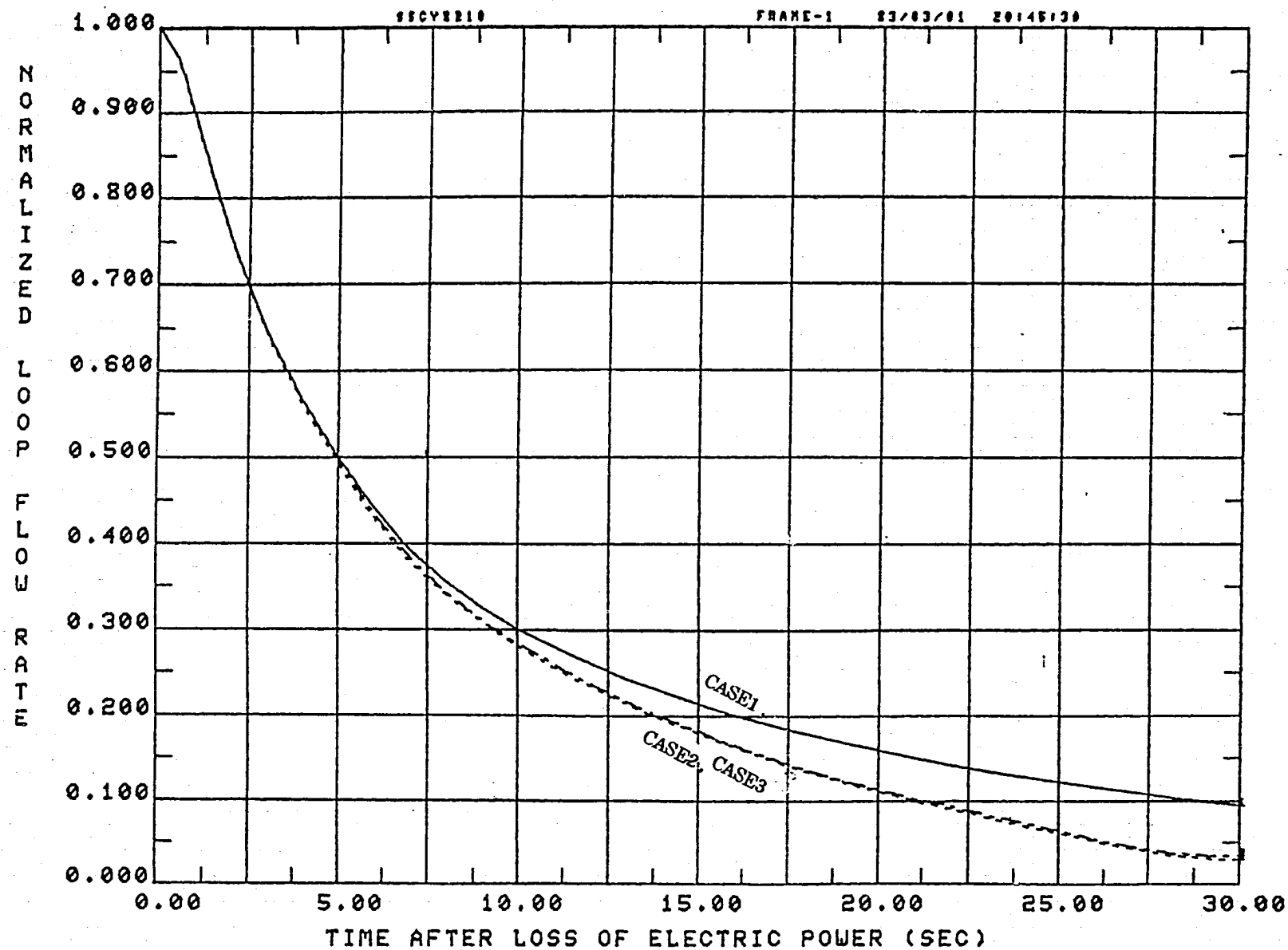


Fig. 3.4-1 Primary Coolant Flow Rate (Time: 0sec--30sec)

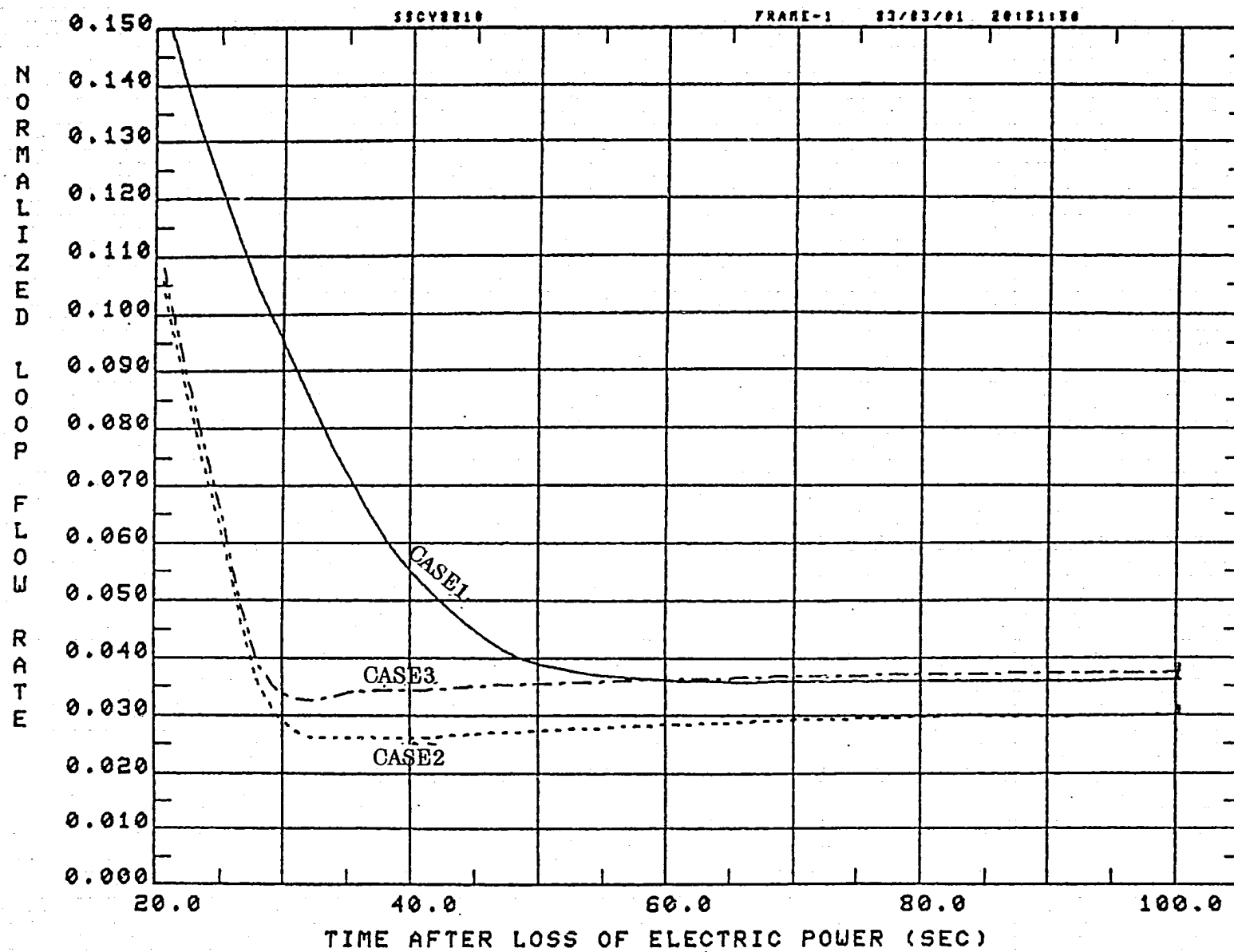


Fig. 34-2 Primary Coolant Flow Rate (Time : 20sec -- 100sec)

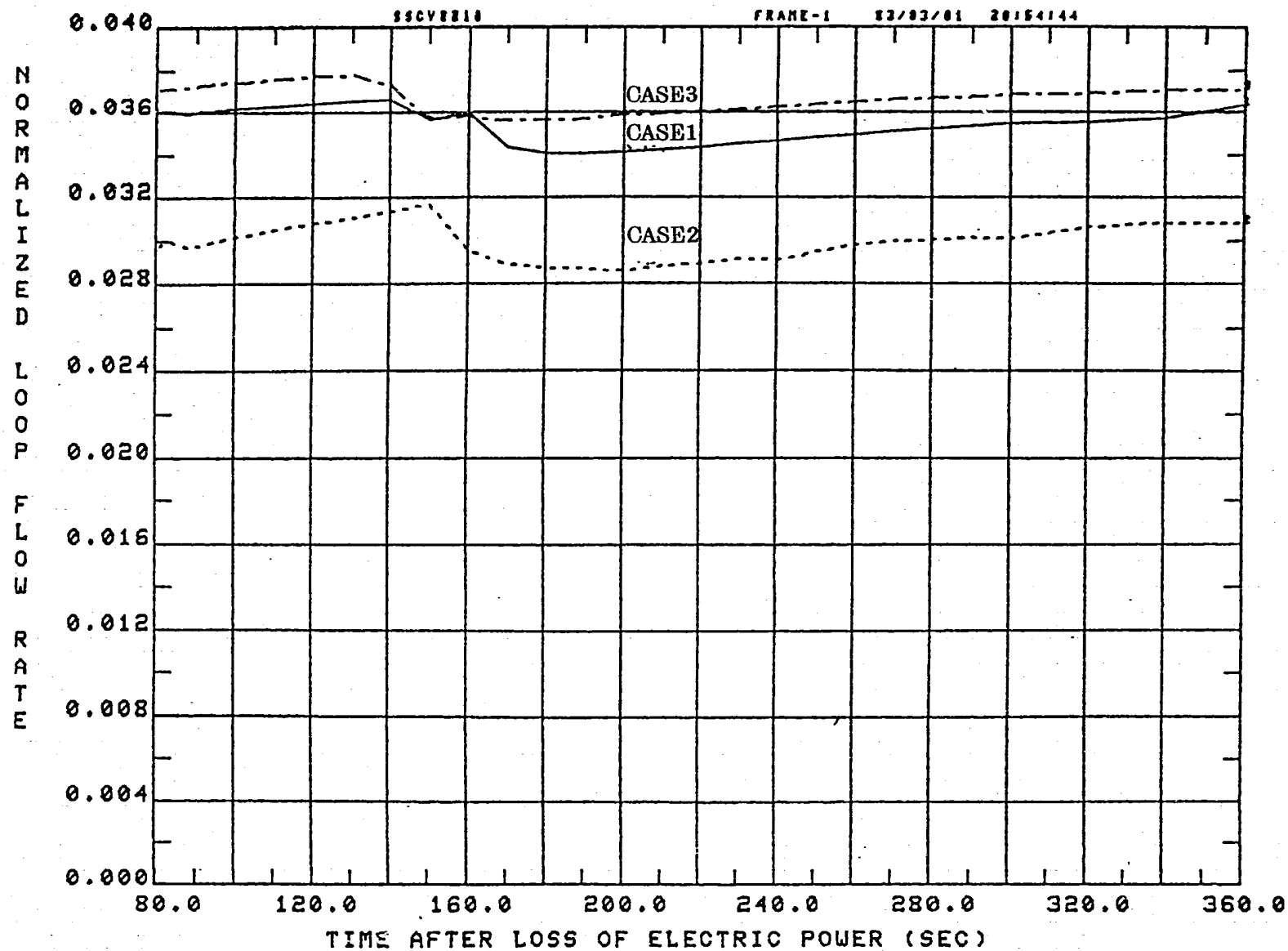


Fig. 3.4-3 Primary Coolant Flow Rate (Time : 80sec--360sec)

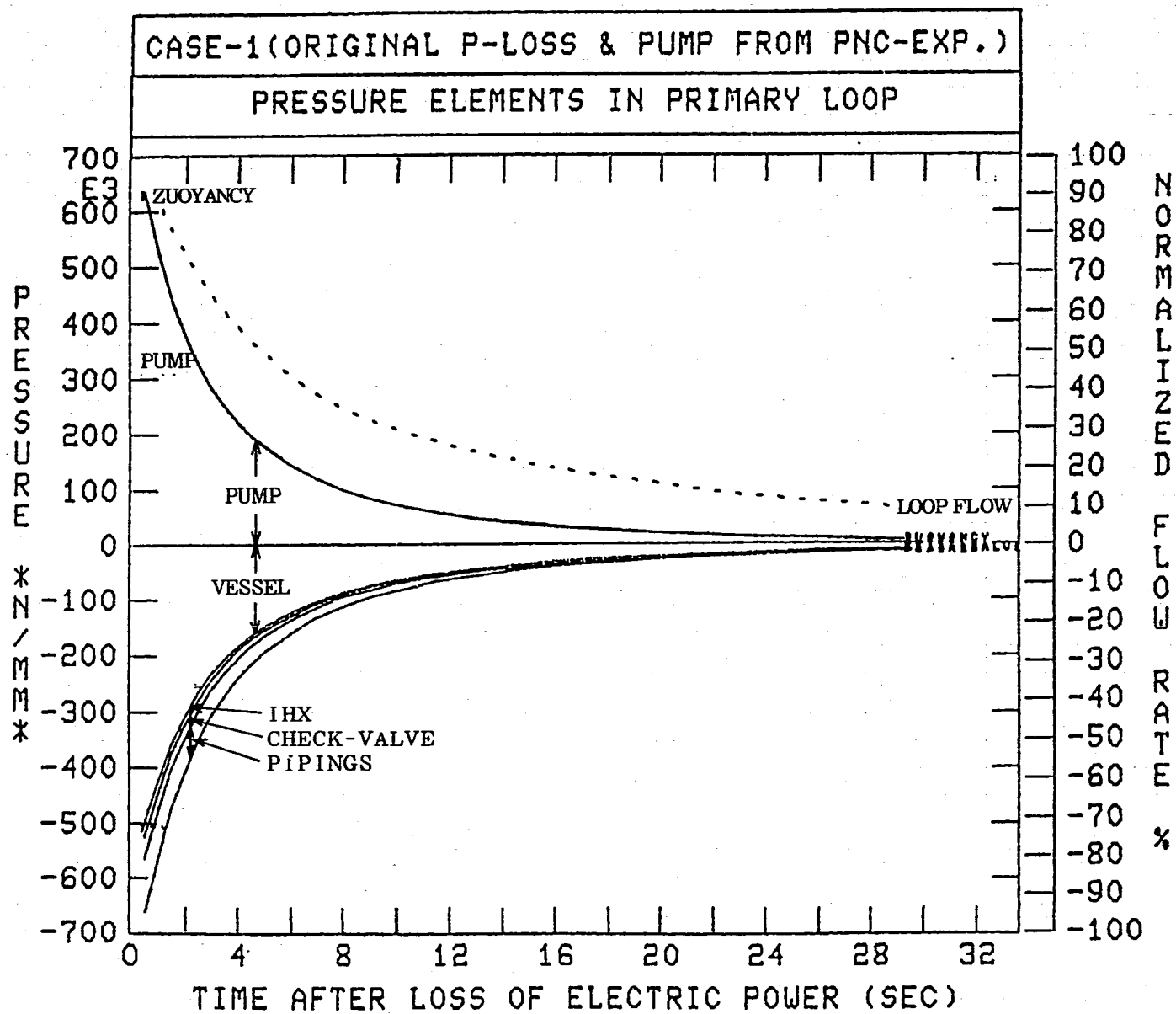


Fig. 3.4-4 Available Head and Pressure-Loss in Primary Loop(Case-1, Time : 0sec--30sec)

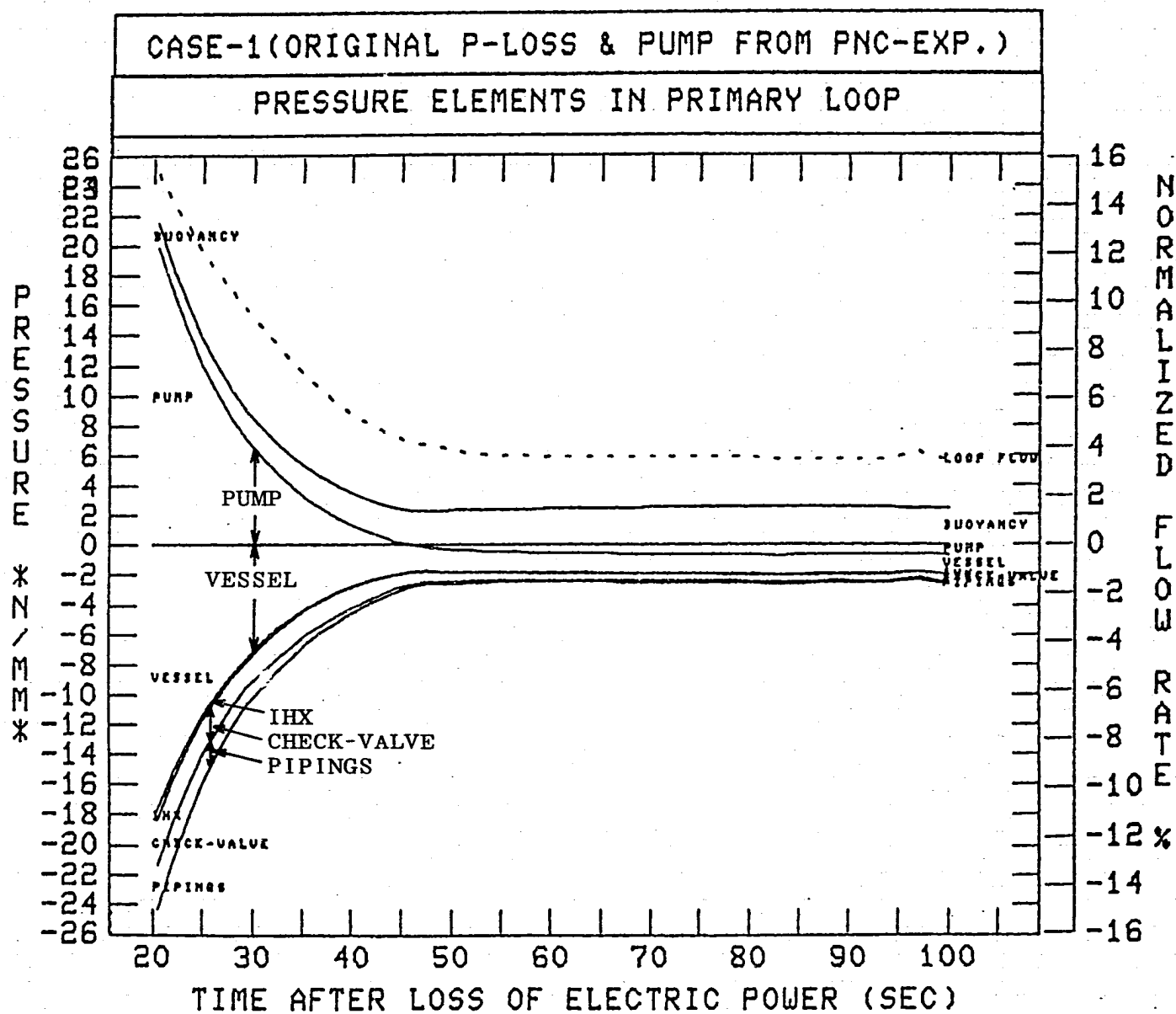


Fig. 3.4-5 Available Head and Pressure-Loss in Primary Loop (Case-1, Time: 20sec--100sec)

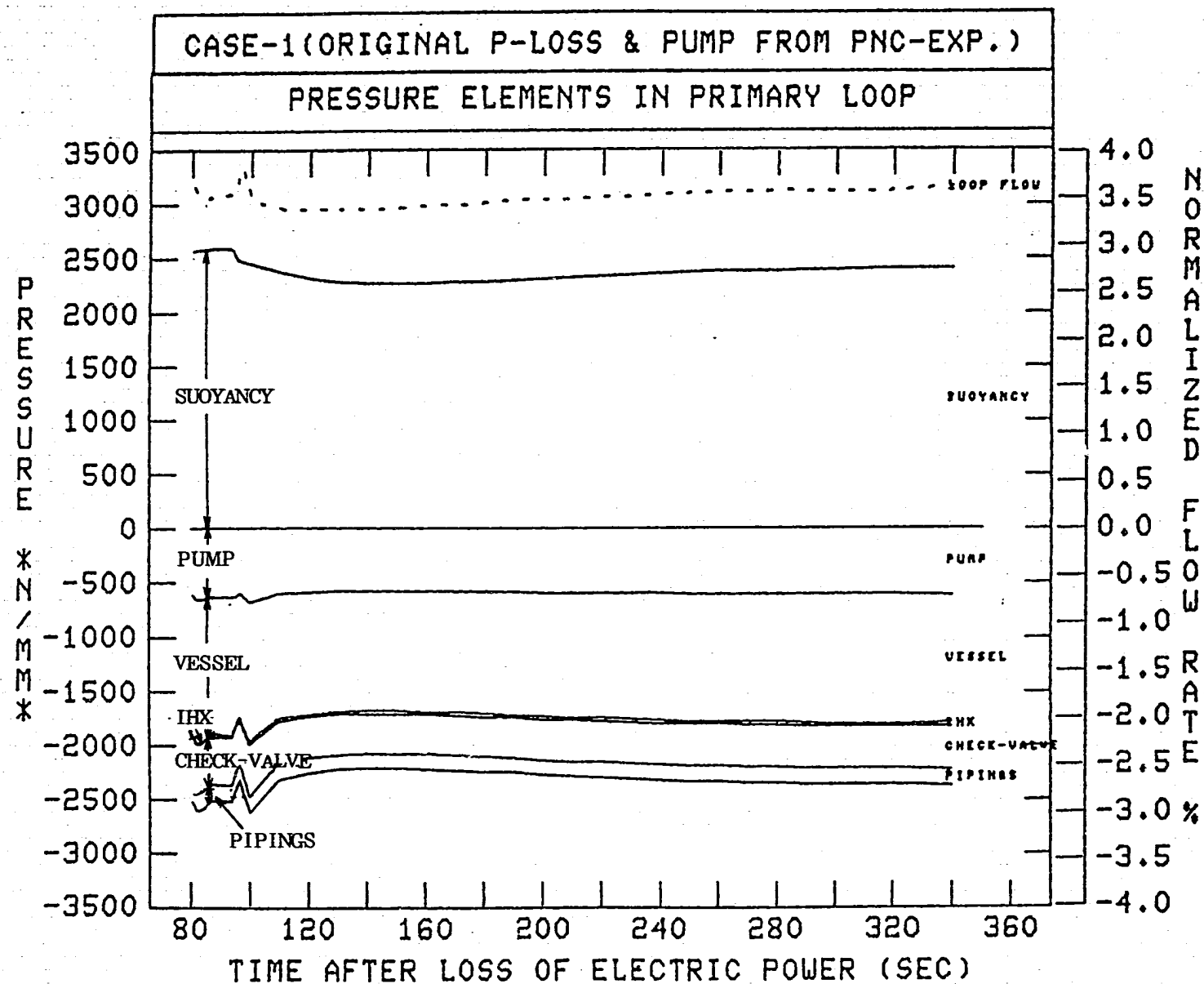


Fig. 34-6 Available Head and Pressure-Loss in Primary Loop(Case-1, Time: 80sec--340sec)

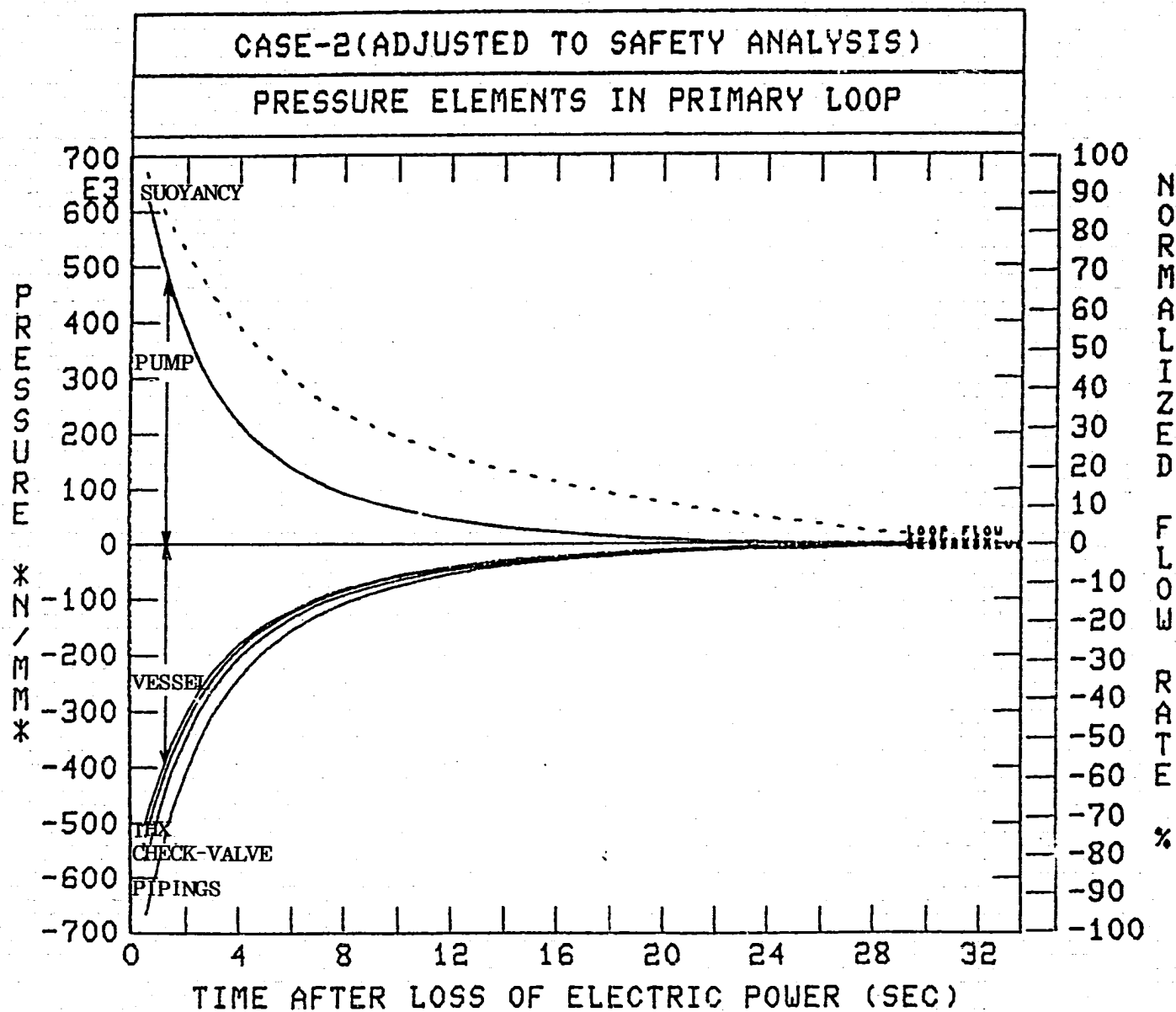


Fig. 34-7 Available Head and Pressure-Loss in Primary Loop(Case-2, Time : 0sec--30sec)

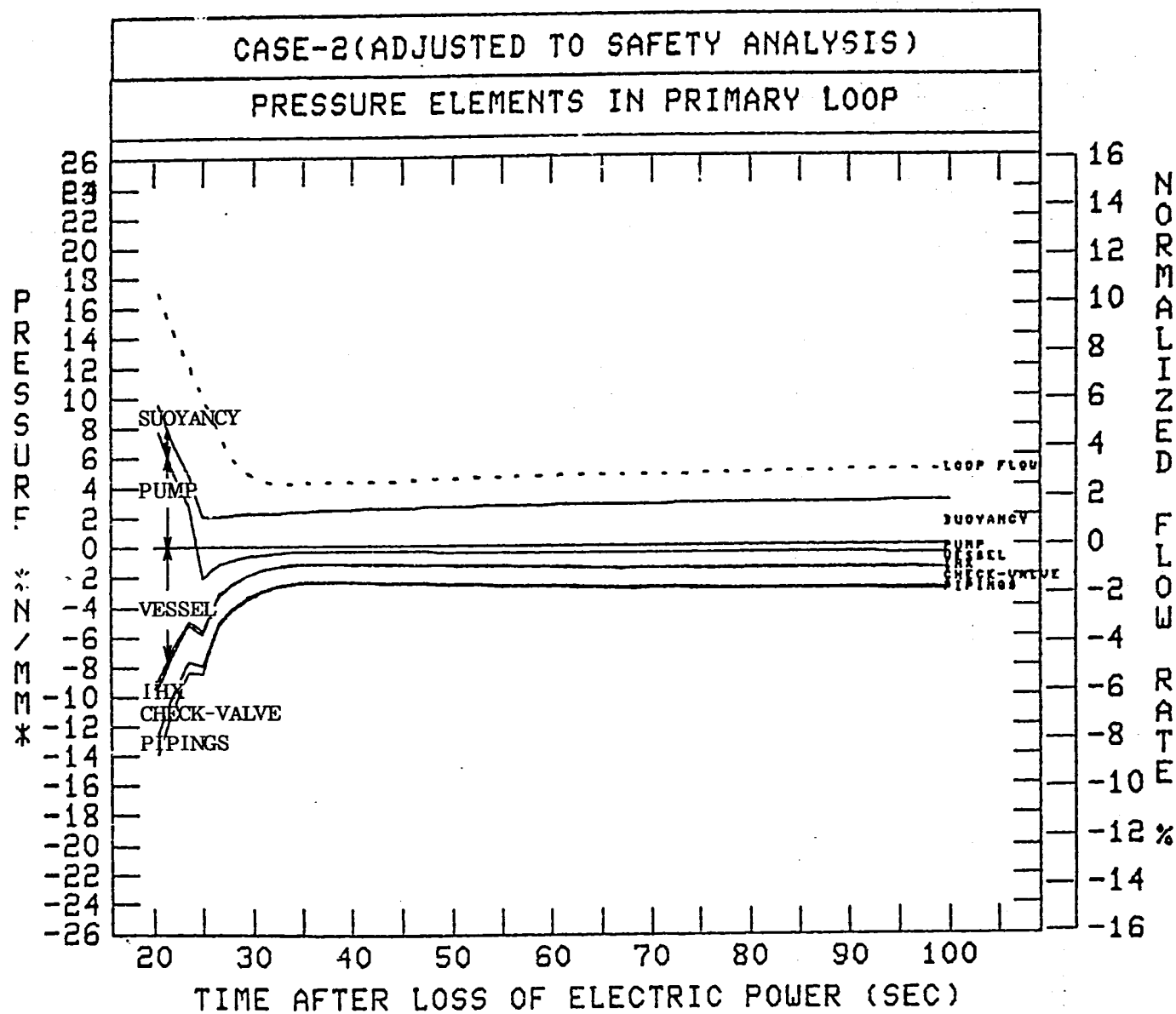


Fig. 3.4-8 Available Head and Pressure-Loss in Primary Loop (Case 2, Time : 20sec -- 100sec)

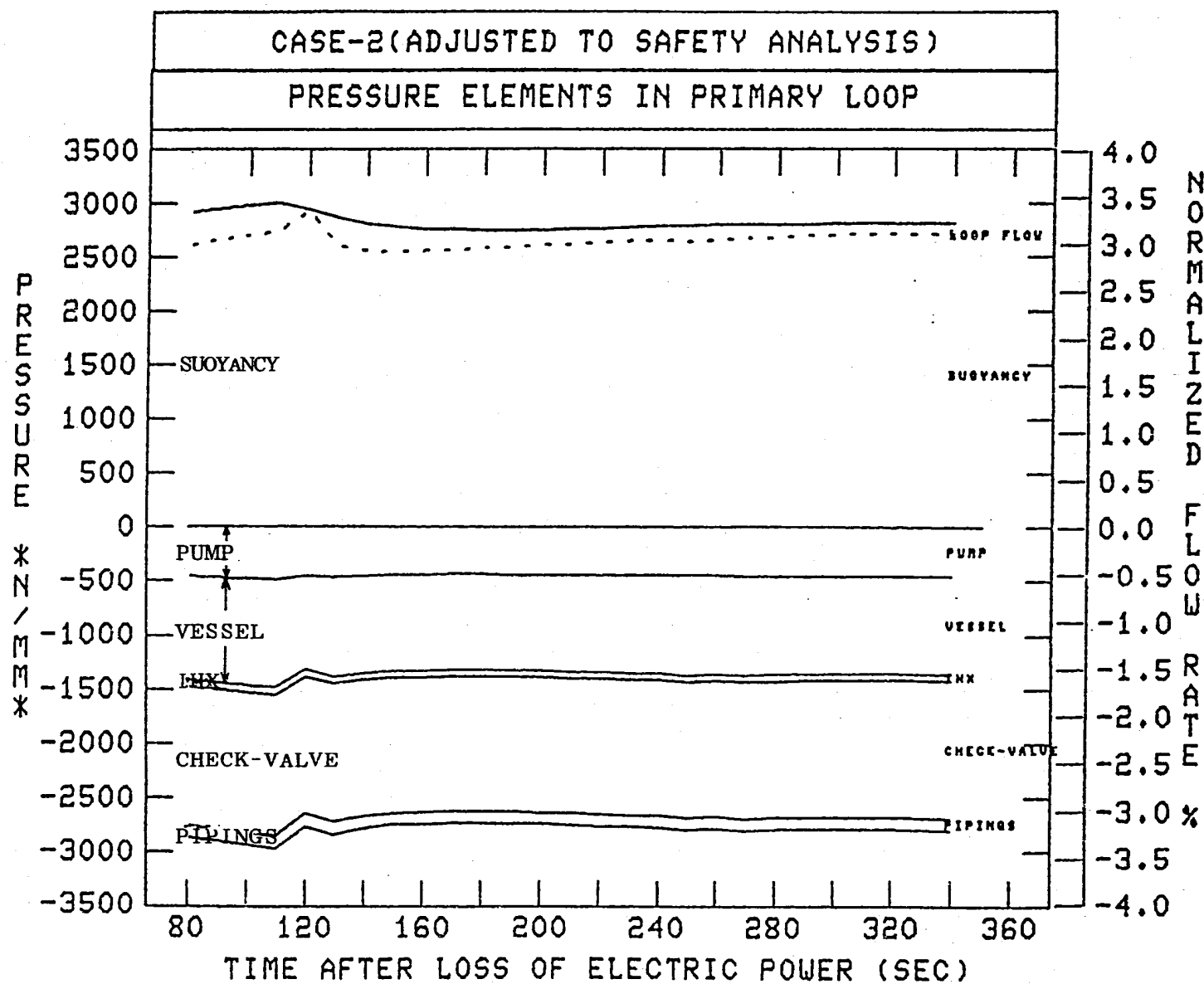


Fig. 3.4-9 Available Head and Pressure-Loss in Primary Loop(Case-2, Time : 80sec -- 340sec)

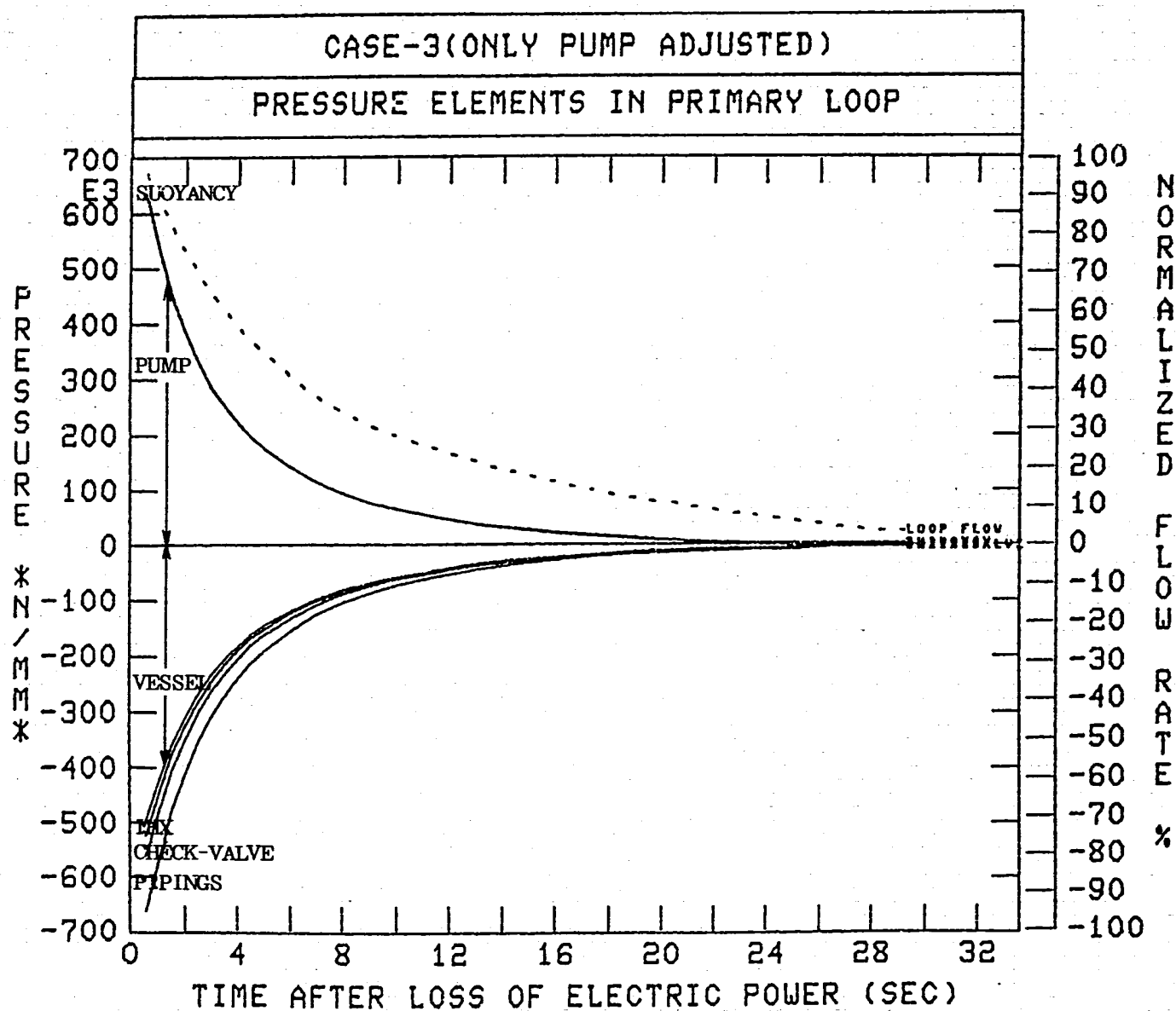


Fig. 3.4-10 Available Head and Pressure-Loss in Primary Loop(Case-3, Time : 0sec--30sec)

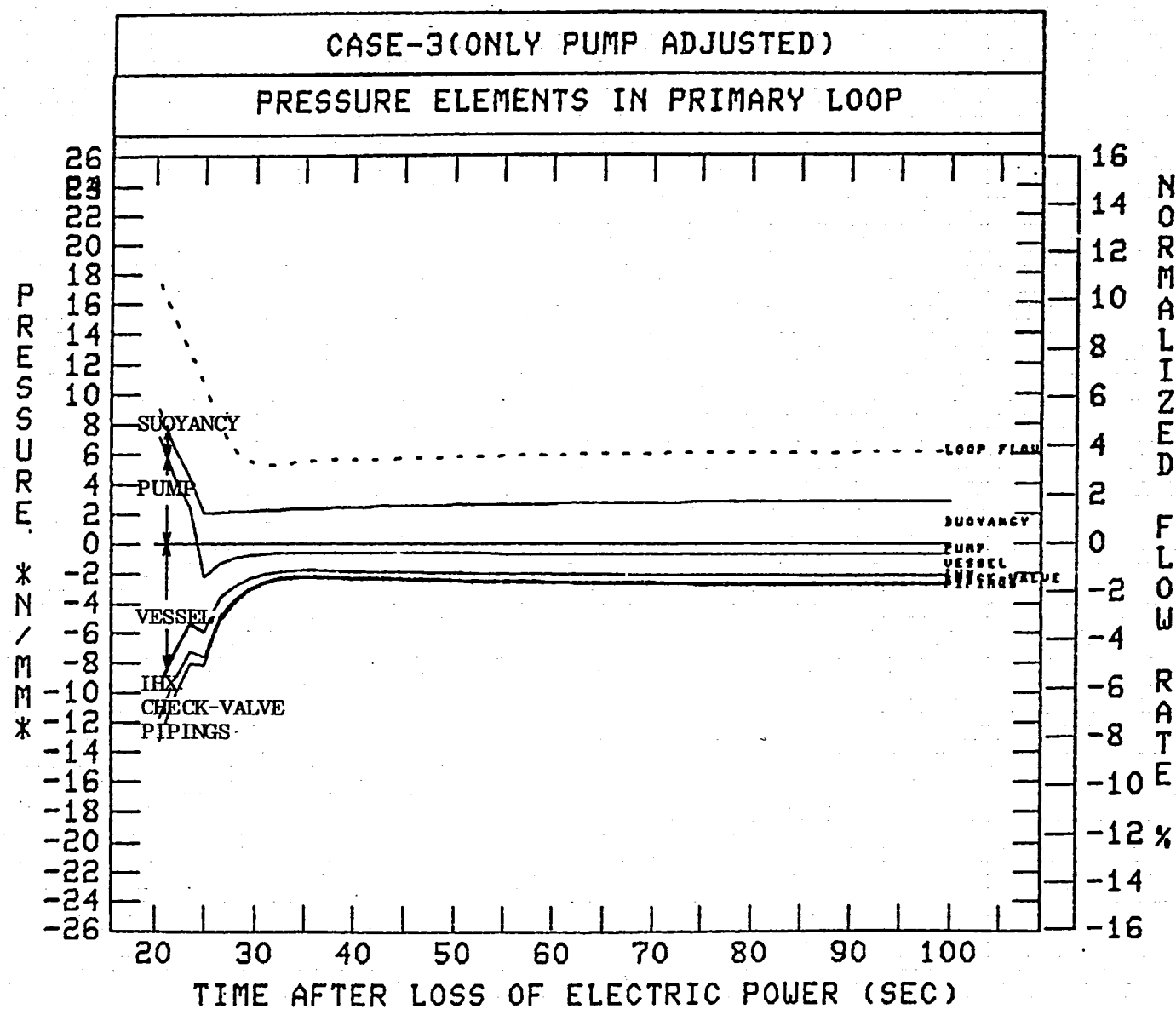


Fig. 3.4-11 Available Head and Pressure-Loss in Primary Loop(Case-3, Time : 20sec--100sec)

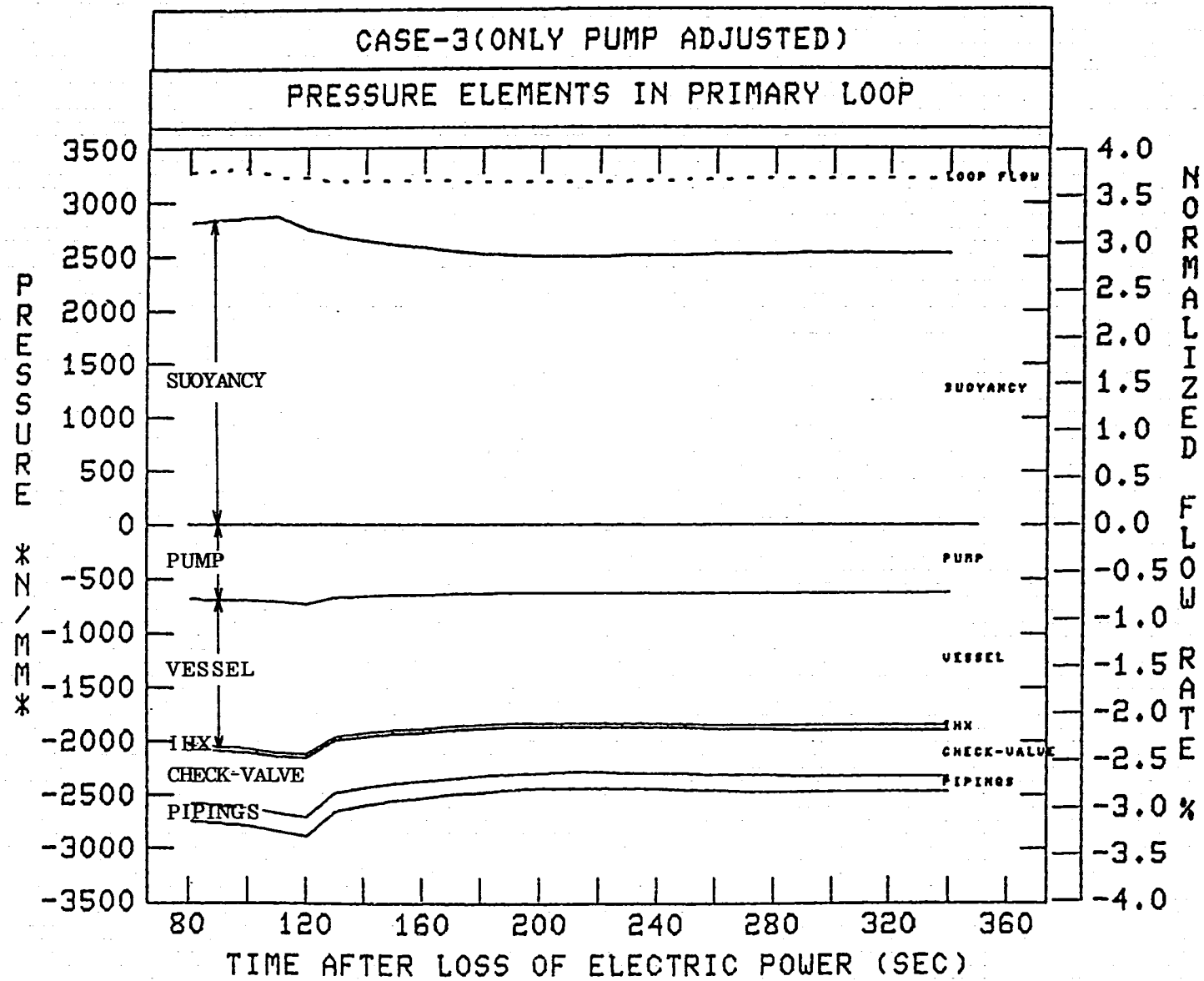


Fig. 3.4-12 Available Head and Pressure-Loss in Primary Loop(Case-3, Time : 80sec--340sec)

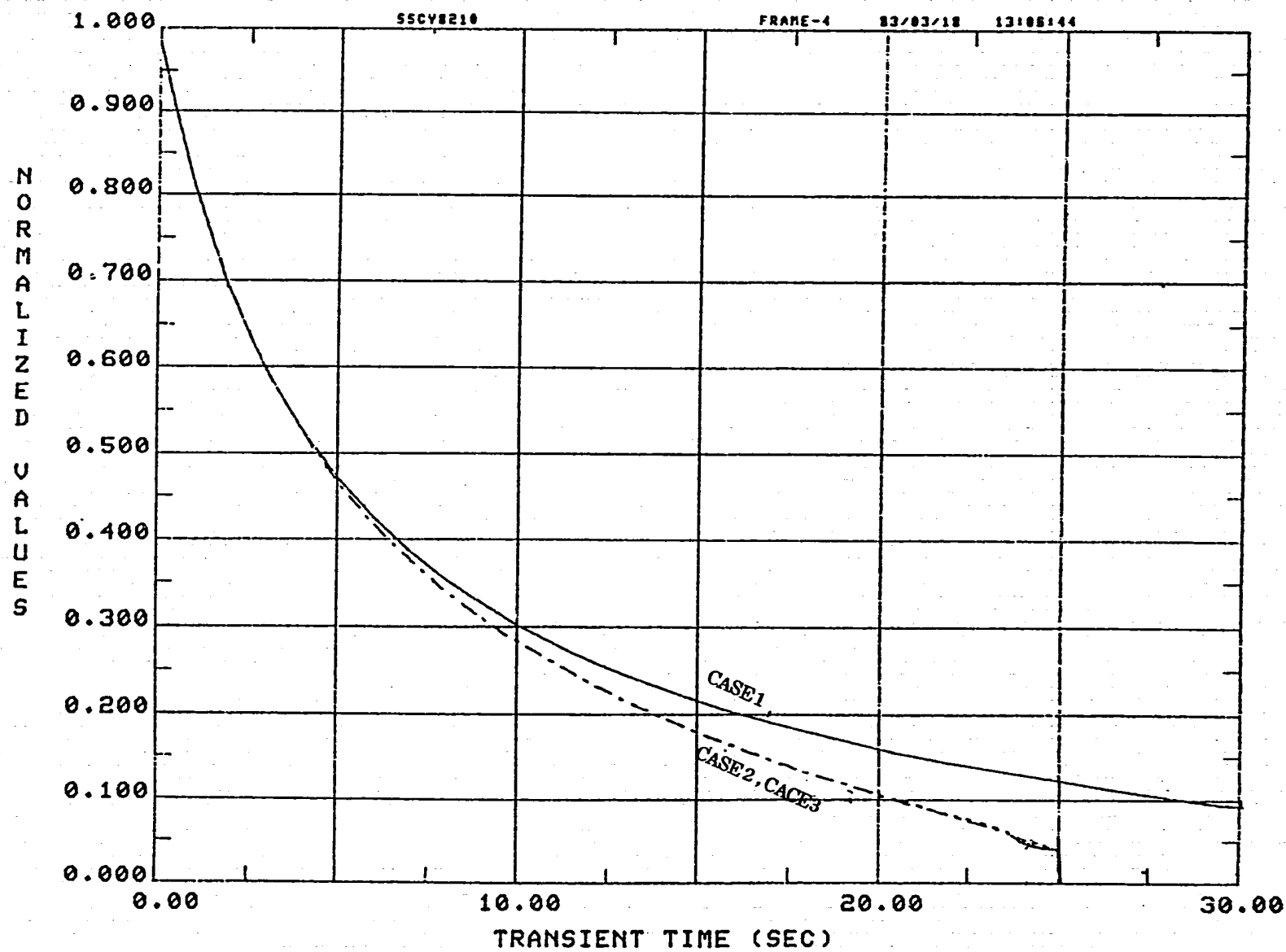


Fig. 3.4-13 Primary Pump Speed(Time : 0sec--30sec)

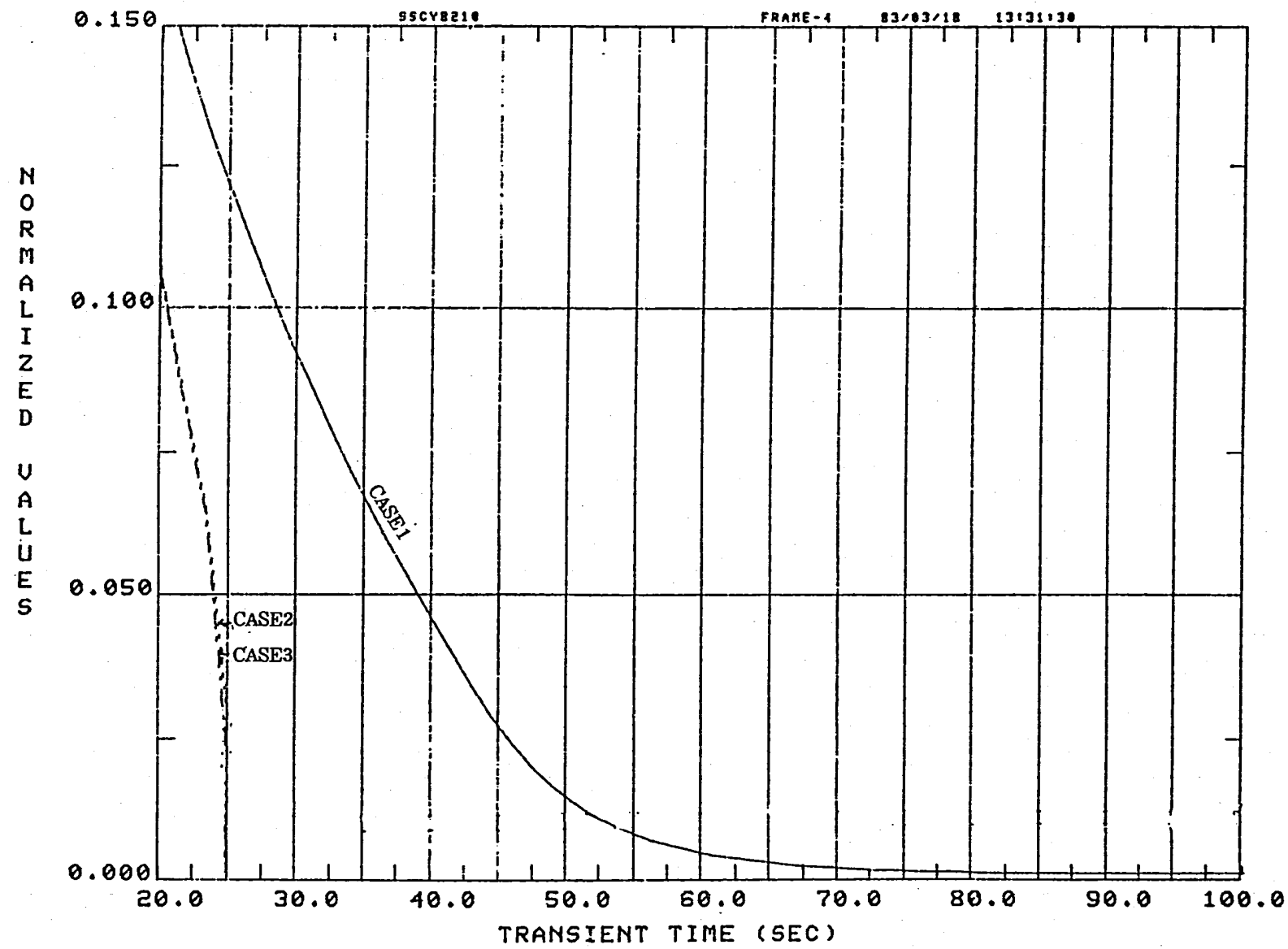


Fig. 3.4-14 Primary Pump Speed(Time : 20sec--100sec)

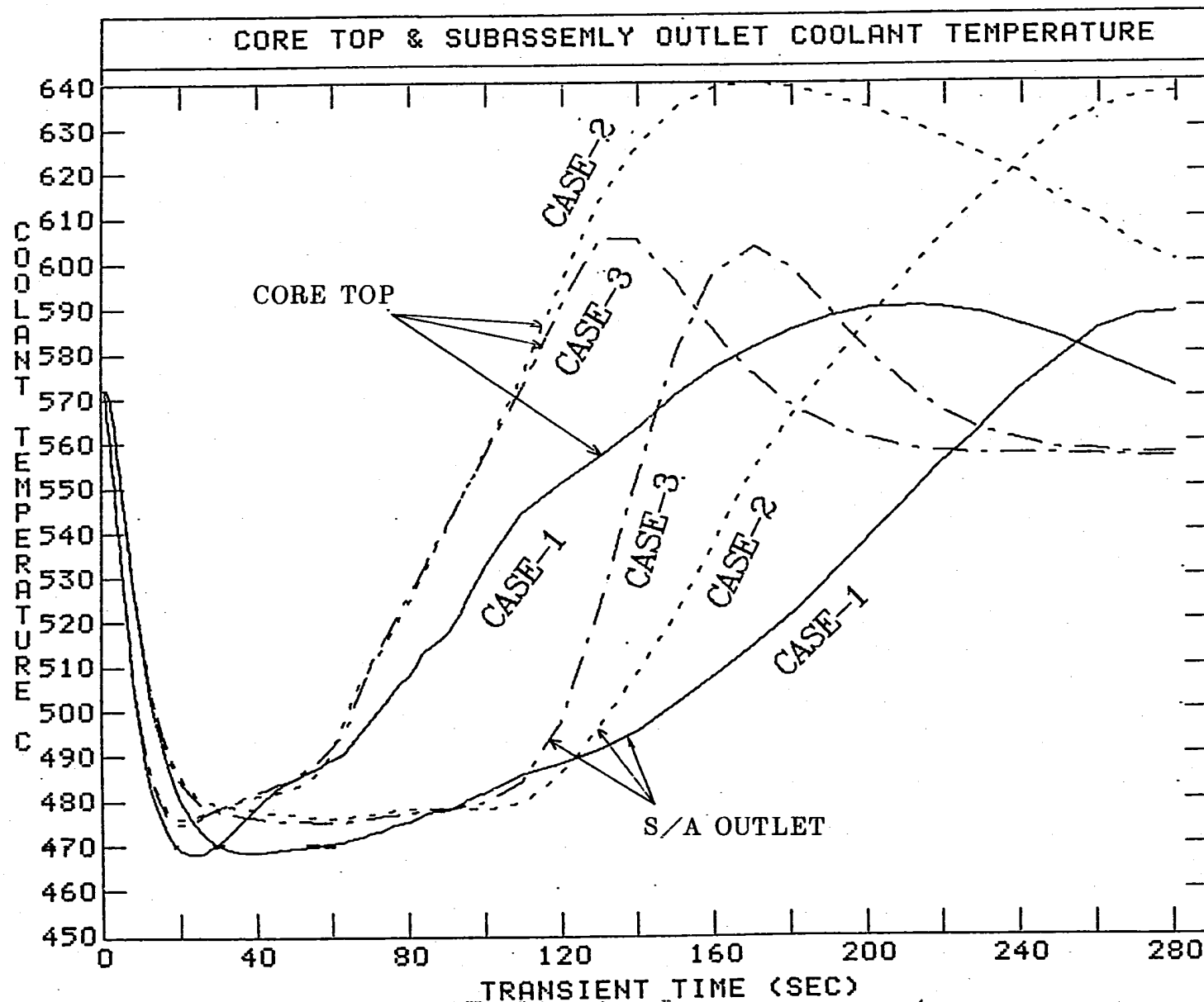


Fig. 3.4-15 TEMPERATURE AT CORE TOP AND SUBASSEMBLY OUTLET
(INNER CORE, THE MAXIMUM POWER/FLOW RATIO)

Fig. 3.4-15 Temperature at Core Top and Subassembly Outlet
(Inner Core, the Maximum Power/Flow Ratio)

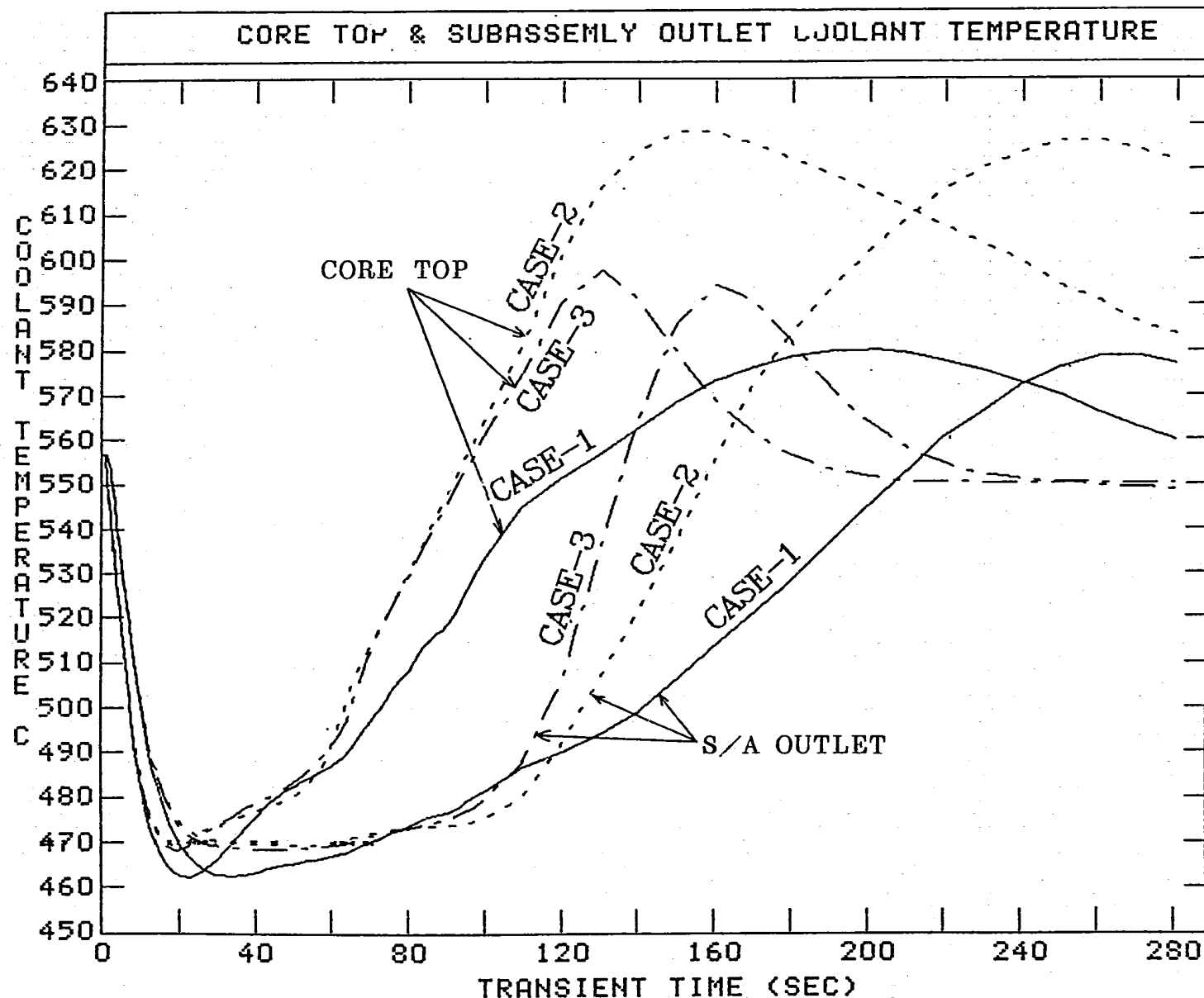


Fig. 3.4-16 TEMPERATURE AT CORE TOP AND SUBASSEMBLY OUTLET
(INNER CORE, THE NOMINAL POWER/FLOW RATIO)

Fig. 3.4-16 Temperature at Core Top and Subassembly Outlet
(Inner Core, the Nominal Power/Flow Ratio)

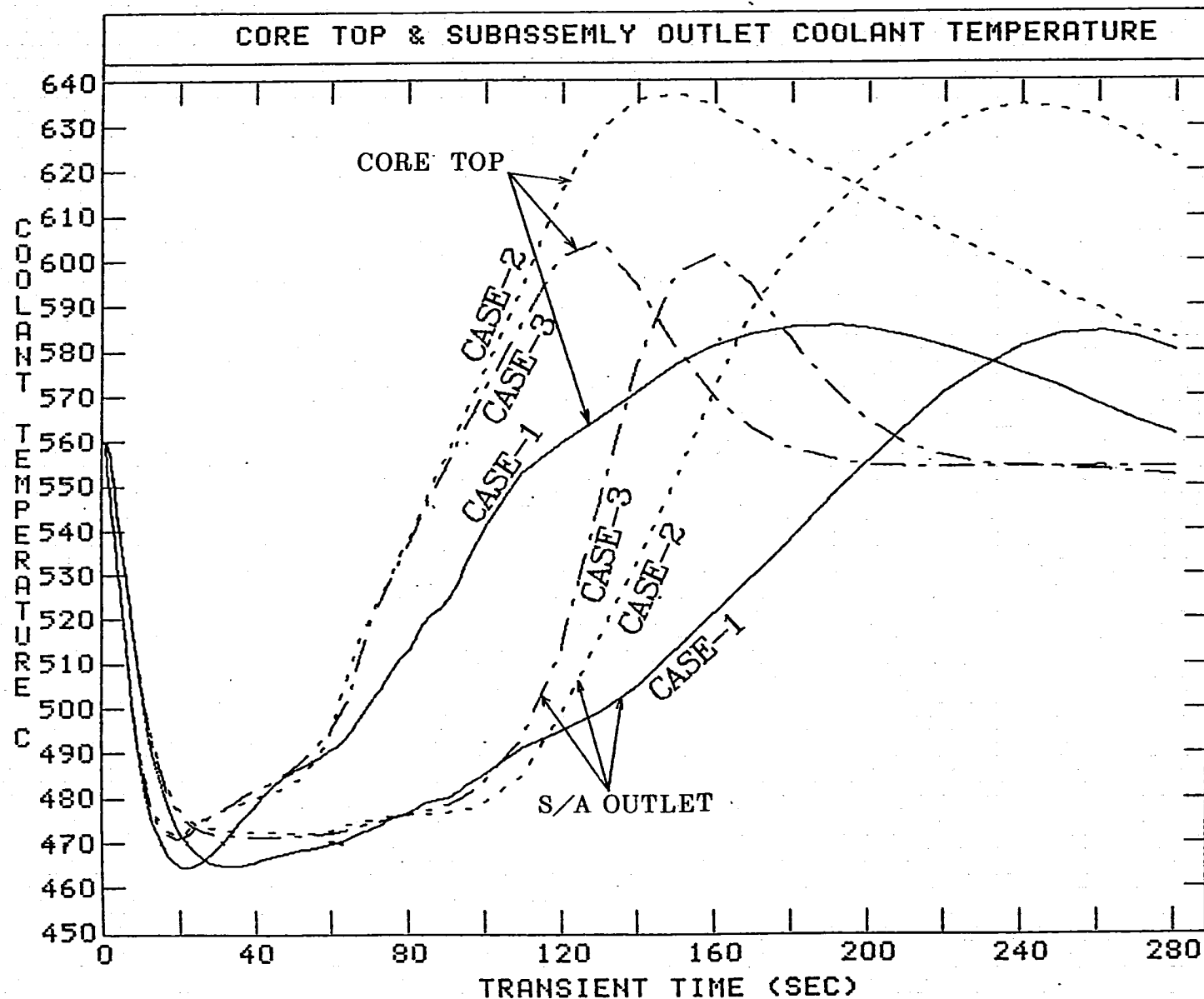


Fig. 3.4-17 TEMPERATURE AT CORE TOP AND SUBASSEMBLY OUTLET
(OUTER CORE, THE MAXIMUM POWER/FLOW RATIO)

Fig. 3.4-17 Temperature at Core Top and Subassembly Outlet
(Outer Core, the Maximum Power/Flow Ratio)

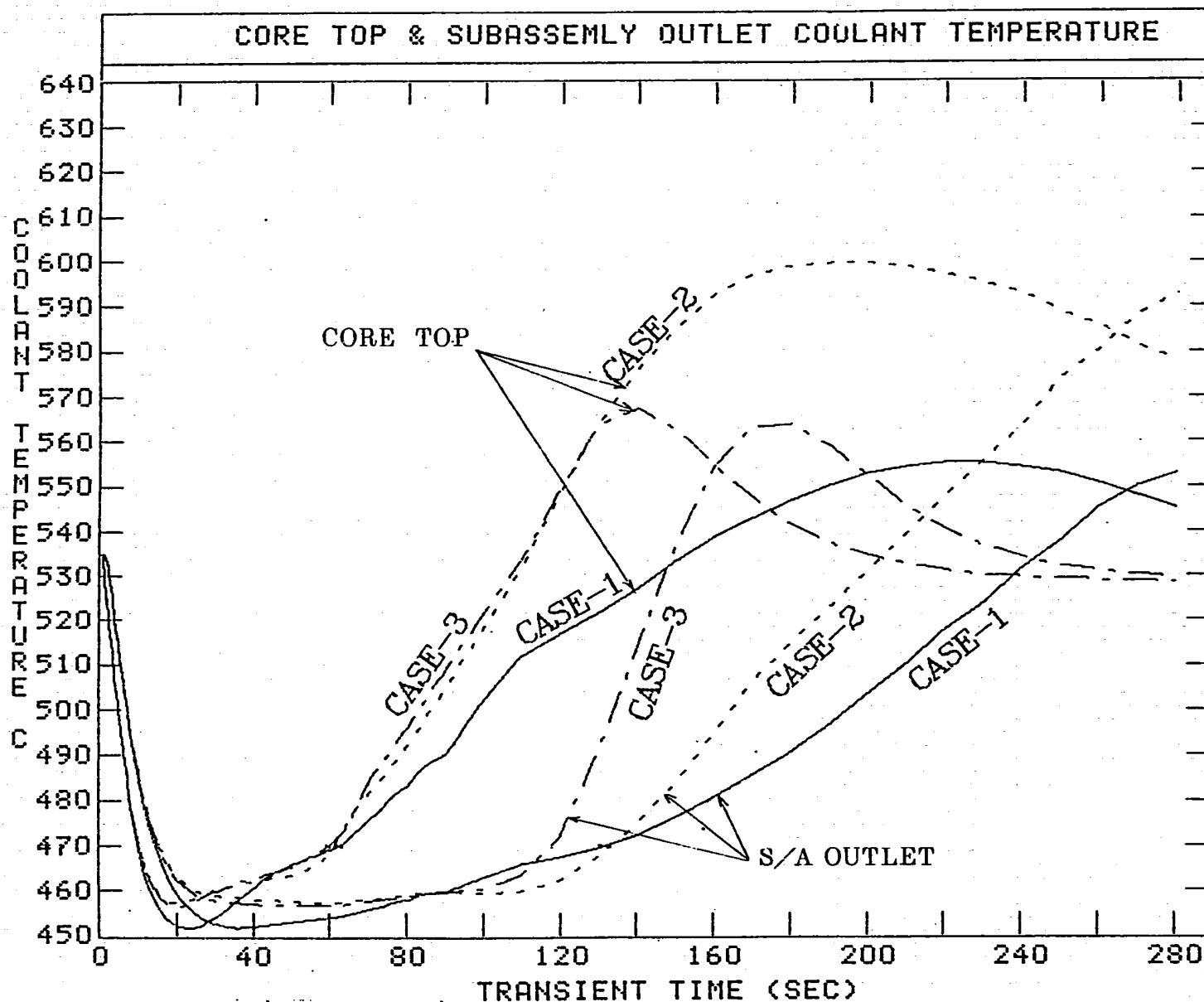


Fig. 3.4-18 TEMPERATURE AT CORE TOP AND SUBASSEMBLY OUTLET
(OUTER CORE, THE NOMINAL POWER/FLOW RATIO)

Fig. 3.4-18 Temperature at Core Top and Subassembly Outlet
(Outer Core, the Nominal Power/Flow Ratio)

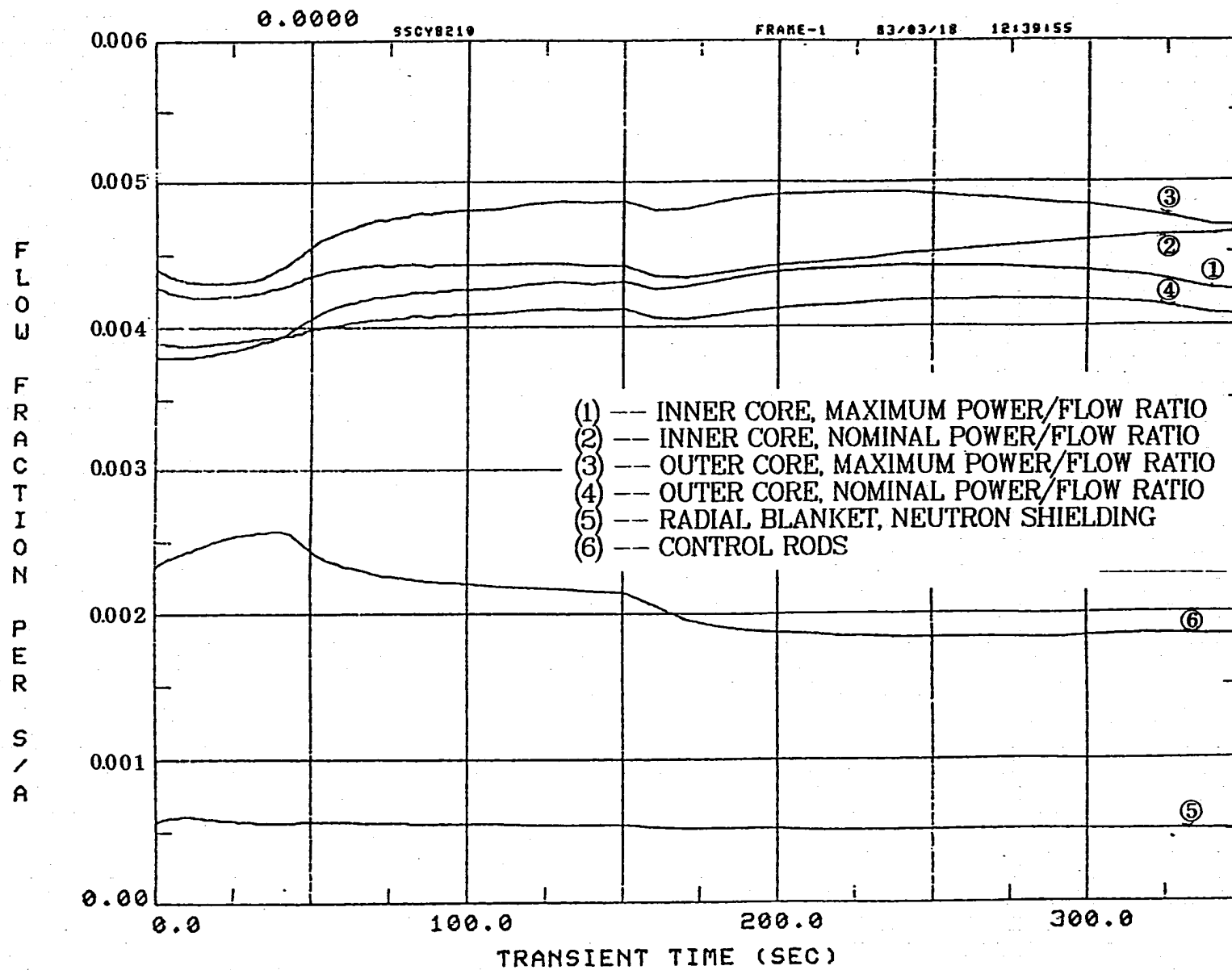


Fig. 3.4-19 Flow Fraction of Each Channel to Total Flow Case-1

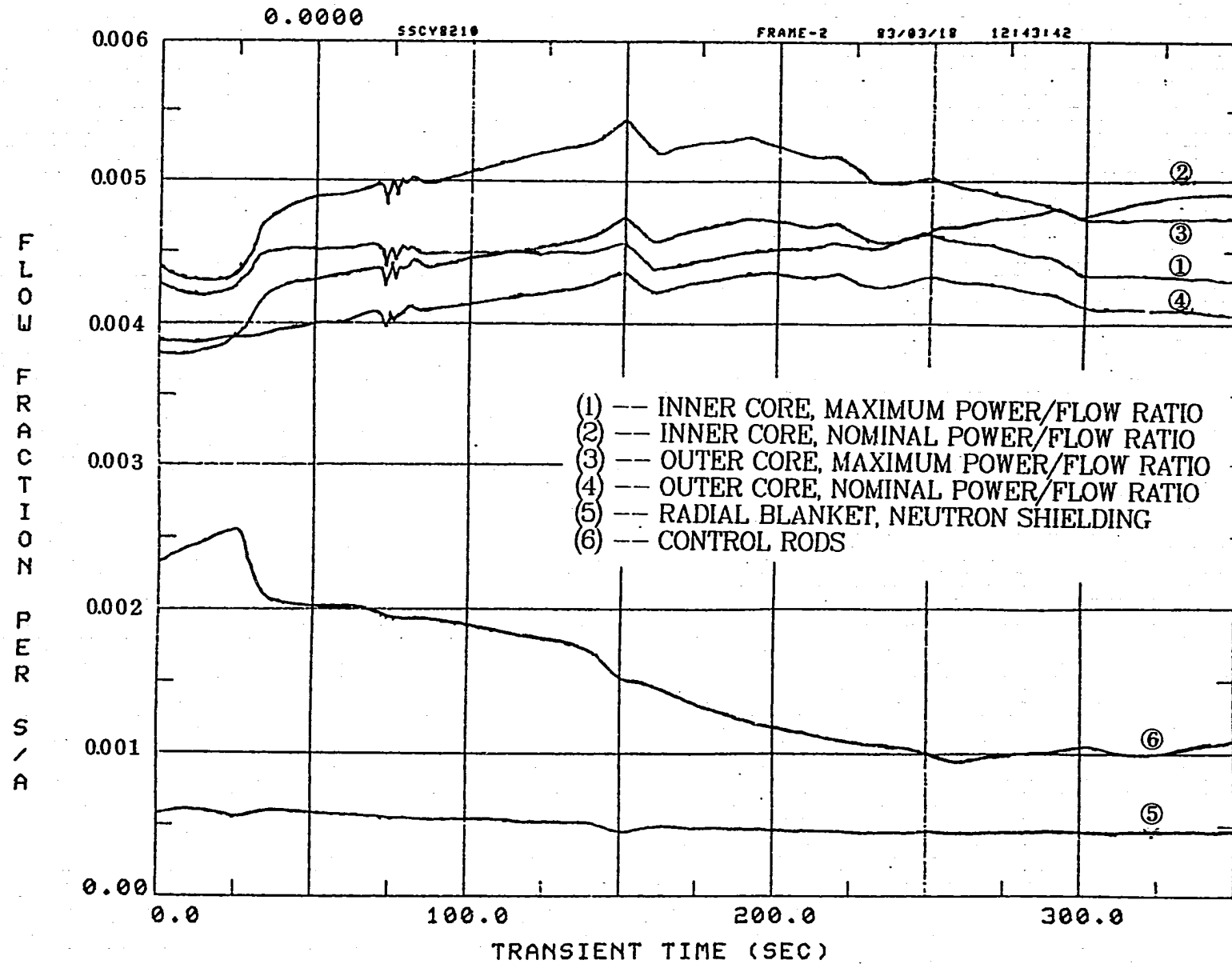


Fig. 3.4-20 Flow Fraction of Each Channel to Total Flow Case-2

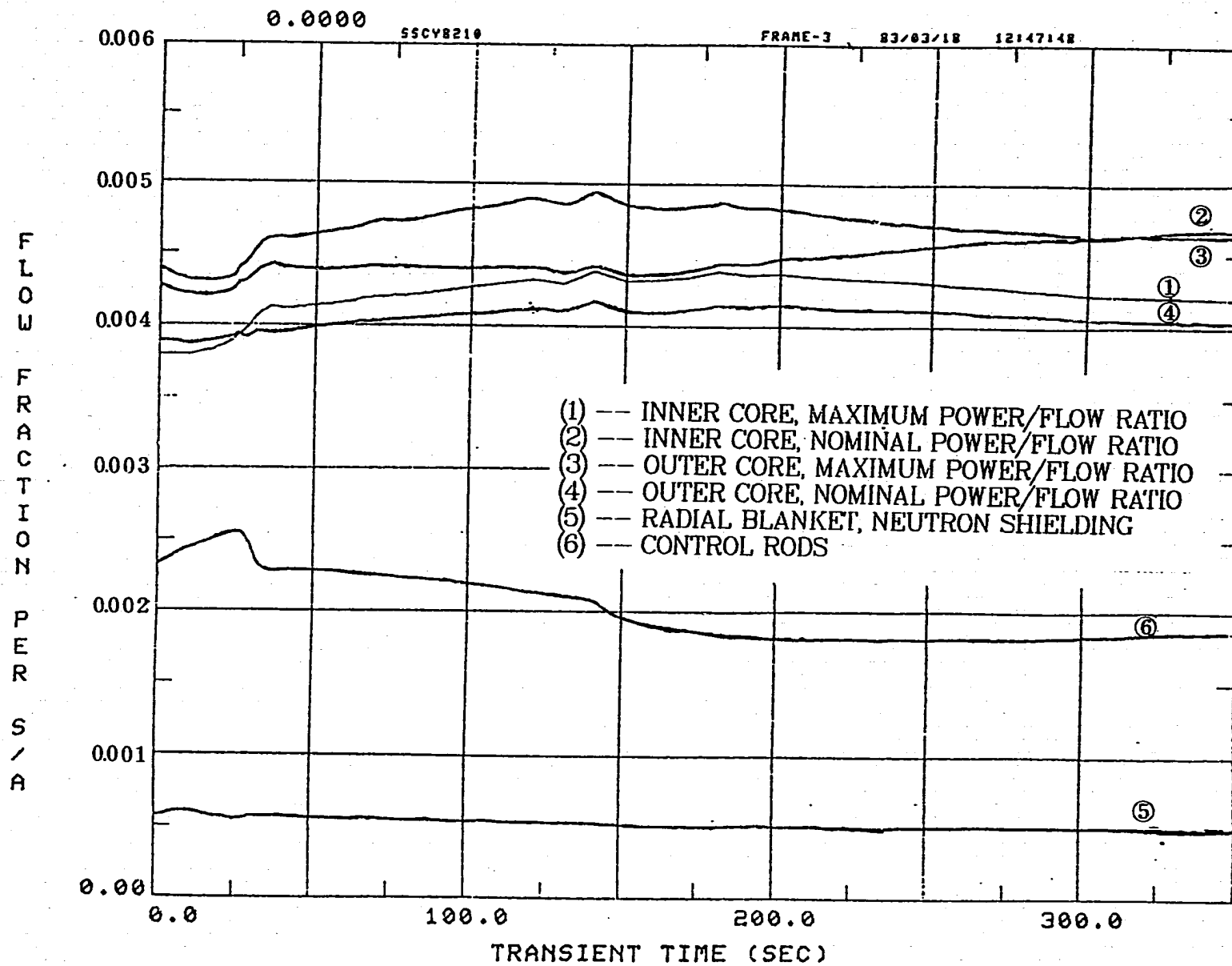


Fig. 3.4-21 Flow Fraction of Each Channel to Total Flow Case-3

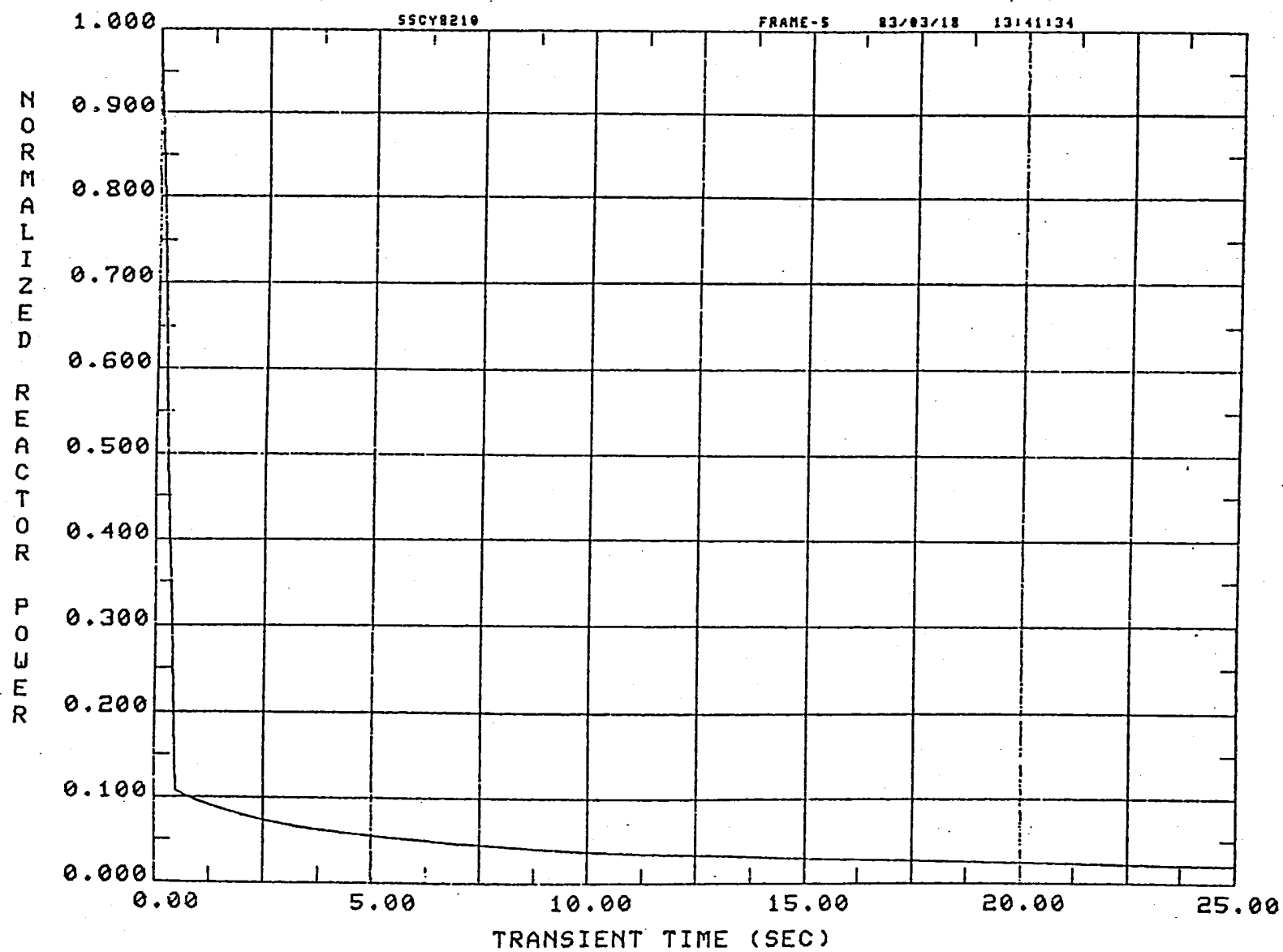


Fig. 3.4-22 Reactor Power

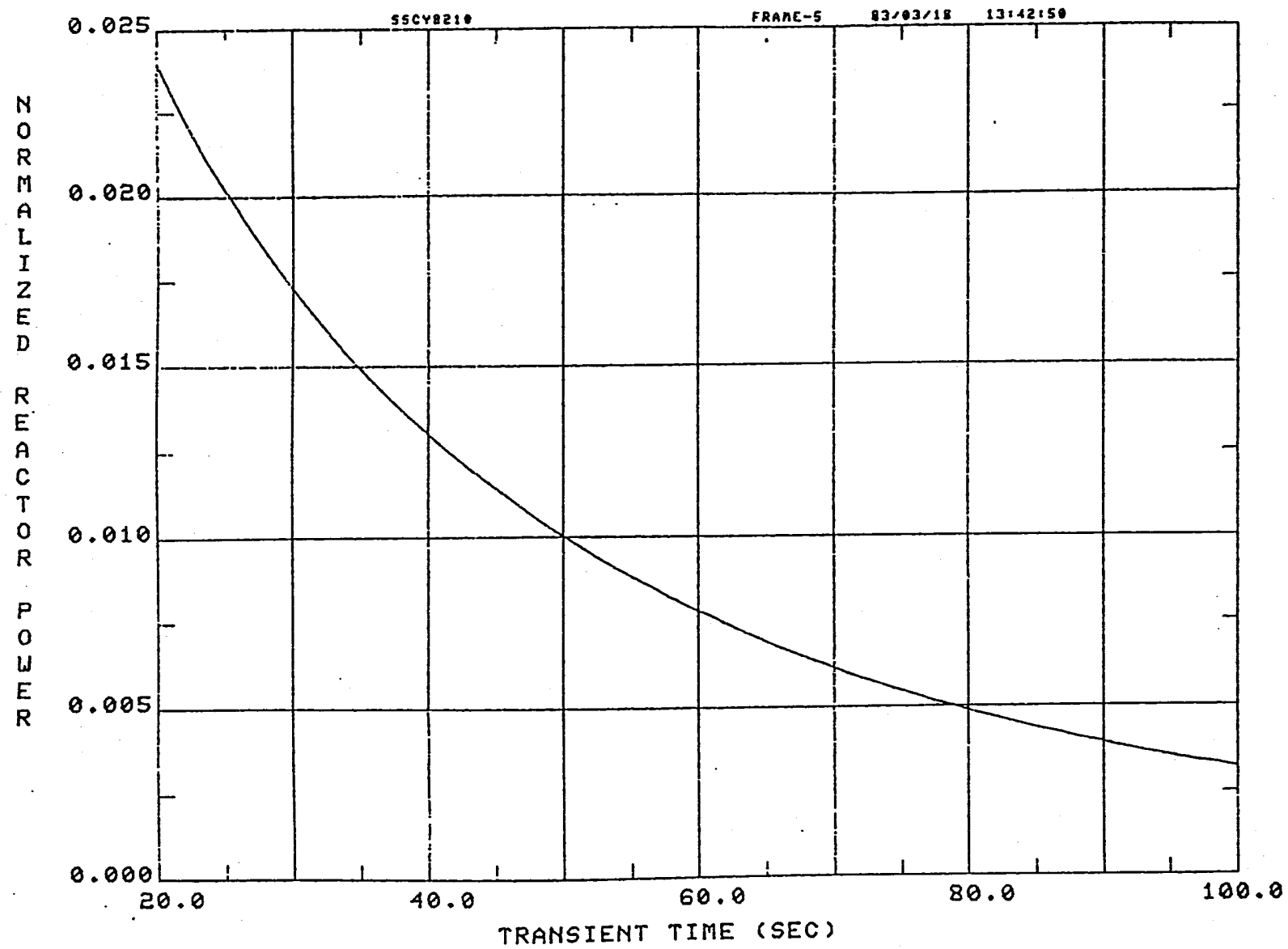


Fig. 3.4-23 Peactor Power

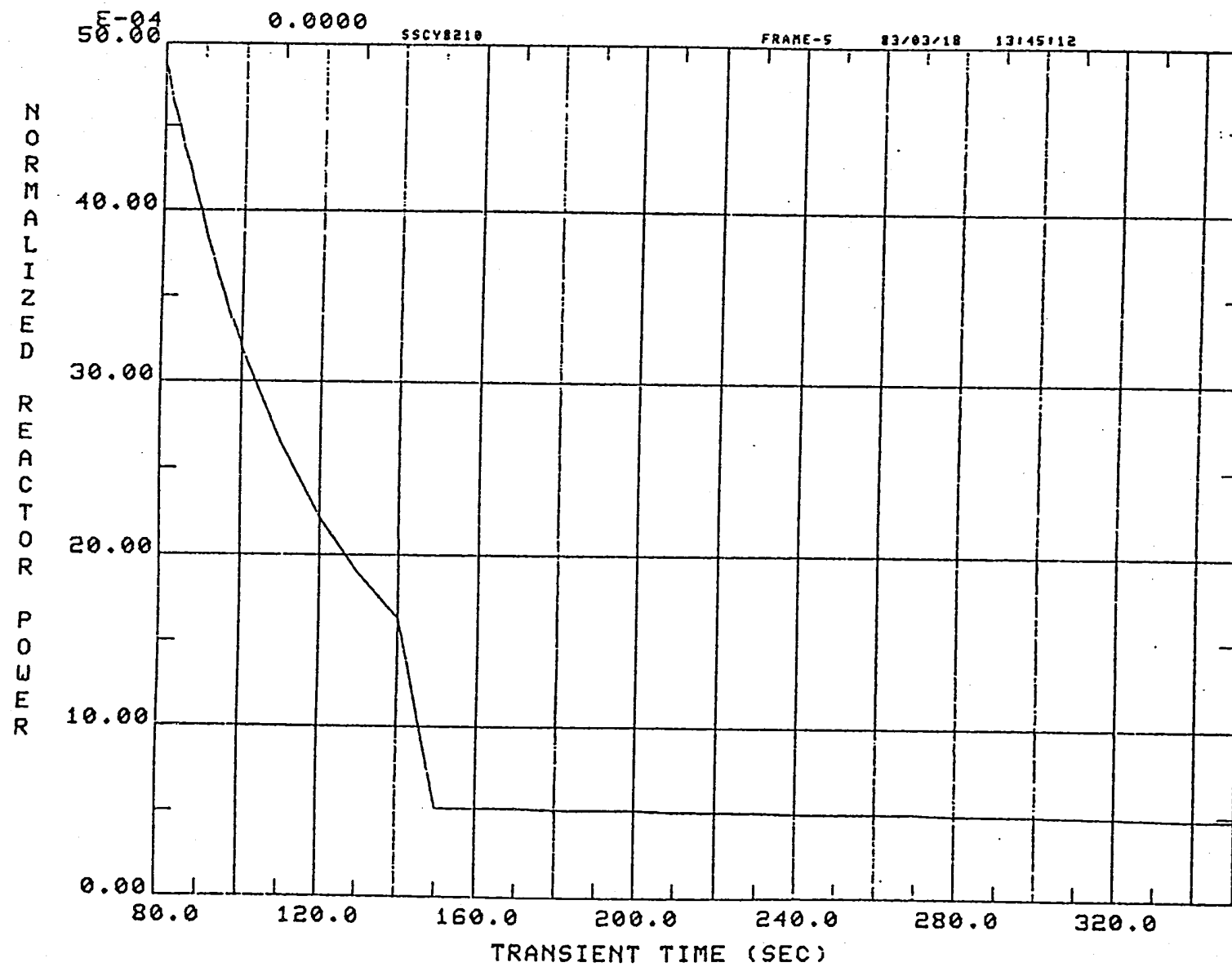


Fig. 34-24 Reactor Power

4. 結 論

- (A) 初期の流量コストダウンでは、大洗の実験データから推奨されるポンプの特性よりも、もんじゅの安全解析で使われたポンプの特性を用いた解析結果の方が、早く流量が減少する。事故後25秒程度までは、ループ圧損の評価の差は結果に影響しない。

事故後約60秒を経過すると自然循環状態となり、ループ流量はほぼループ圧損によって決るようになり、ポンプの特性はほとんど影響しなくなる。

- (B) 過渡時に炉心冷却材が到達する最高温度は定格運転時の温度や自然循環が安定した時の温度を上回り、ポンプ特性、ループ圧損特性の両方に影響を受けている。

- (C) 過渡時に炉心冷却材が到達する最高温度は、

- (1) SSC-L内のループ圧損特性算出法と、大洗の実験データから推奨されるポンプの特性を採用した場合

約589℃

- (2) もんじゅの安全解析で使われたポンプの特性と、ループ圧損特性を用いて解析した場合

約638℃

- (3) SSC-L内のループ圧損特性算出法ともんじゅの安全解析で使われたポンプの特性を使って解析した場合

約607℃

5. 今後の問題点

今後、種々の条件下での解析を良い精度で行うためには、以下の事項が必要と思われる。

(1) 低流量域でのループ内流路の正確な圧損特性の把握

低流量域、特に定格値の5%以下でのループ一巡圧損の主要な要素である炉心、逆止弁、ポンプの圧損の特性は特に正確に評価する必要がある事がわかった。

(2) ポンプの動特性の把握

現在のSSCではポンプの駆動軸についてのみ動特性が考慮されているが、流量コストダウンがより急激な場合、インペラ内の冷却材の回転慣性の影響が無視できる可能性がある。

また、オイルリフターの起動シーケンスによって軸摩擦トルクがどう変化するかも検討する必要がある。

(3) 二次主冷却系のモデル詳細化

今回の解析は、二次系の影響が比較的小さいと思われる時間で打ち切っているが、長時間の解析を行うためには実機を精度良く模擬できるSG, ACCSを組み込む必要がある。

6. 謝 辞

本解析の実施に当っては、本社FBR本部の小森栄治氏にもんじゅの解析条件に関わる重要な資料を多数提供していただいた。

なお、高速炉工学室の皆様には報告書作成に当って読みやすい報告書にするための貴重な意見を多数頂いた。

また、炉心安全工学室の田中信夫氏にはインプットを大部分作成して頂き、また親切的な助言を多数頂いた。

以上の方々に対し、ここに心から謝辞を表する。

7. 参考文献

(1) BNL-NUREG-50773

AN ADVANCED THERMOHYDRAVLIC SIMVLATION CODE FOR
TRANSIENTS IN LMFBRs (SSC-LCODE)

(2) SN941 80-109

「もんじゅ」一次主循環ポンプ(モックアップ)の試験Ⅳ

— コーストダウン特性試験 —

(3) A-1850-3

添+COPD-HARHO IN 関連改定に反映する変更及び追加データ

(4) Speakeasy MANUAL the Speakeasy III Reference Manual Level MU
+FACOM OSN/F4 VERSION

Appendix A

プラントの計算資料から、コード内で配管形状を表わす配列 θ を算出するインプットジェネレータ

内径の一定な連続した（途中で機器を含まない）配管は、通常設計資料では互いにエルボで接続されたいくつかの直管（以下これをサブパイプと呼ぶ。）の集合で表わされている。これを指定された数の長さの等しい区間に分割した場合、2.2.1の Fig 2.9に示したようにその中にエルボを含む区間が生じる。このため θ を順次手計算で求めていくのに手数がかかっていた。

そこでコード内で1つの配管として扱われる区間について、設計データと希望する分割数から配列 θ を求めるプログラムをSPEAKEASY⁴⁾で作成した。

1. プログラムの概要

与えるデータ : List B.1にあるように、各配管区分について次の順序で数字を並べたもの：

サブパイプ数、ノード数（＝分割数＋1）、配管初端高さ、サブパイプ1の長さ、サブパイプ1の終端高さ、サブパイプ2の長さ、サブパイプ2の終端高さ……………

得られるデータ : List B.2に示されるように、ほぼそのままSSCのインプットデータにMERGEして使える形で表わされた θ の列。

2. 操作法

プログラムのRUN：

- ① プログラム及び配管データの入っている区分データセットをMYKEEPというファイルにALLOCATEする。
- ② SPEAKEZを起動し、KEPTDECK GEOMCAL;GEOMCALとタイプする。
- ③ 実際の計算はList B.3にその例を示す。

3. プログラムの内容

与えられた条件からメッシュ長を算出し、それを配管初端から一つ一つ切り取ってはそのアングルを計算していくものである。しかしSPEAKEZ内部では演算は16桁で行われているので、算出されたアングルを6桁に丸め、それからメッシュ終端の高さを再度逆算してその結果を再び6桁に丸めたものを次のメッシュの初端として計算を進め

ている。こうする事によってSSC-L内での桁落ちによるトラブルを防ぐ事ができる。

このプログラムの実際のリストをList B.4に示す。

List B. 1

```

L SPEAKEZ.DATA(PRIM1)
  T204D.SPEAKEZ.DATA(PRIM1)
00100 DATA
00200 SUBPIPE NUMBER      3
00300 NODE NUMBER        24
00400 ELEVATION           LENGTH
00500      27.75           1.62
00600
00700      27.75
00800
00900      31.42           3.67
01000
01100      31.9           30.8215
  END OF DATA
READY
L SPEAKEZ.DATA(PRIM3)
  T204D.SPEAKEZ.DATA(PRIM3)
00100 DATA
00200 7
00300 22
00400 25.0
00500 1.832
00600 23.168
00700 2.95
00800 23.168
00900 8.802
01000 31.97
01100 5.21262
01200 31.97
01300 7.36
01400 24.61
01500 3.45
01600 24.61
01700 3.84
01800 28.45
  END OF DATA
READY
L SPEAKEZ.DATA(PRIM4)
  T204D.SPEAKEZ.DATA(PRIM4)
00100 DATA
00200 3
00300 5
00400 28.45
00500 1.22407
00600 28.45
00700 3.294
00800 31.744
00900 2.601
01000 31.591698
  END OF DATA
READY
L SPEAKEZ.DATA(PRIM5)
  T204D.SPEAKEZ.DATA(PRIM5)
00100 DATA
00200 3
00300 13
00400 31.591698
00500 18.2573
00600 31.57
00700 10.22
00800 21.35
00900 2.27
01000 21.35
  END OF DATA
READY

```

List B.2

L SSC.DATA(PIPEGEOM)
T204D.SSC.DATA(PIPEGEOM)

*PIPE NUMBER=, 1.

* 24.NODES& 3.SUBPIPES IN THIS PIPE

0.0	7.55110D 01	9.00000D 01	2.22785D 01	8.93130D-01
8.91360D-01	8.93240D-01	8.91470D-01	8.93350D-01	8.91580D-01
8.93460D-01	8.91690D-01	8.93560D-01	8.91790D-01	8.93670D-01
8.91900D-01	8.93780D-01	8.92010D-01	8.93890D-01	8.92120D-01
8.94000D-01	8.92230D-01	8.86140D-01	0.0	

*PIPE NUMBER=, 2.

* 22.NODES& 7.SUBPIPES IN THIS PIPE

-8.99999D 01	-8.64145D 00	0.0	8.59836D 01	8.97494D 01
8.97198D 01	8.96930D 01	8.96684D 01	3.19370D 01	0.0
0.0	-1.14339D 01	-8.99999D 01	-8.99999D 01	-8.99999D 01
-8.99999D 01	-2.50150D 01	0.0	2.42679D 01	9.00000D 01
9.00000D 01	0.0			

*PIPE NUMBER=, 3.

* 5.NODES& 3.SUBPIPES IN THIS PIPE

1.81937D 01	8.99040D 01	3.07675D 01	-3.35687D 00	0.0
-------------	-------------	-------------	--------------	-----

*PIPE NUMBER=, 4.

* 13.NODES& 3.SUBPIPES IN THIS PIPE

-6.80930D-02	-6.91470D-02	-6.79200D-02	-6.89300D-02	-6.77040D-02
-6.87130D-02	-6.74870D-02	-6.10094D 01	-8.99999D 01	-8.97468D 01
-8.99999D 01	-6.55050D 00	0.0		

END OF DATA
READY

List B. 3

```

GEOMCAL
EXECUTION STARTED
HOW MANY PIPES? 4
PIPE NUMBER? 1
PIPE NAME? PRIM1
SORRY, INPUT PIPE NAME AGAIN. PRIM1
STARTING ELEVATION. GIVEN VALUE= 27.75
CHANGE STARTING ELEVATION?

SUBPIPE NUMBER= 1
GIVEN VALUES=>>LENGTH= 3.67 ,END ELEV.= 27.75
CHANGE LENGTH?
CHANGE END ELEV.?

SUBPIPE NUMBER= 2
GIVEN VALUES=>>LENGTH= 30.821 ,END ELEV.= 31.42
CHANGE LENGTH?
CHANGE END ELEV.?
ERROR = 0
PIPE NUMBER? 2
PIPE NAME? PRIM3
SORRY, INPUT PIPE NAME AGAIN. PRIM3
STARTING ELEVATION. GIVEN VALUE= 25
CHANGE STARTING ELEVATION?

SUBPIPE NUMBER= 1
GIVEN VALUES=>>LENGTH= 2.95 ,END ELEV.= 23.168
CHANGE LENGTH?
CHANGE END ELEV.?

SUBPIPE NUMBER= 2
GIVEN VALUES=>>LENGTH= 8.802 ,END ELEV.= 23.168
CHANGE LENGTH?
CHANGE END ELEV.?

SUBPIPE NUMBER= 3
GIVEN VALUES=>>LENGTH= 5.2126 ,END ELEV.= 31.97
CHANGE LENGTH?
CHANGE END ELEV.?

SUBPIPE NUMBER= 4
GIVEN VALUES=>>LENGTH= 7.36 ,END ELEV.= 31.97
CHANGE LENGTH?
CHANGE END ELEV.?

SUBPIPE NUMBER= 5
GIVEN VALUES=>>LENGTH= 3.45 ,END ELEV.= 24.61
CHANGE LENGTH?
CHANGE END ELEV.?

SUBPIPE NUMBER= 6
GIVEN VALUES=>>LENGTH= 3.84 ,END ELEV.= 24.61
CHANGE LENGTH?
CHANGE END ELEV.?
ERROR = 0
PIPE NUMBER? 3
PIPE NAME? PRIM4
SORRY, INPUT PIPE NAME AGAIN. PRIM4
STARTING ELEVATION. GIVEN VALUE= 28.45
CHANGE STARTING ELEVATION?

SUBPIPE NUMBER= 1
GIVEN VALUES=>>LENGTH= 3.294 ,END ELEV.= 28.45
CHANGE LENGTH?
CHANGE END ELEV.?

SUBPIPE NUMBER= 2
GIVEN VALUES=>>LENGTH= 2.601 ,END ELEV.= 31.744
CHANGE LENGTH?
CHANGE END ELEV.?
ERROR = 2E-6
PIPE NUMBER? 4
PIPE NAME? PRIM5
SORRY, INPUT PIPE NAME AGAIN. PRIM5
STARTING ELEVATION. GIVEN VALUE= 31.592
CHANGE STARTING ELEVATION?

SUBPIPE NUMBER= 1
GIVEN VALUES=>>LENGTH= 10.22 ,END ELEV.= 31.57
CHANGE LENGTH?
CHANGE END ELEV.?

SUBPIPE NUMBER= 2
GIVEN VALUES=>>LENGTH= 2.27 ,END ELEV.= 21.35
CHANGE LENGTH?
CHANGE END ELEV.?
ERROR = 0
MANUAL MODE
? _ QUIT
SPACE USED 9 K NOW, 9 K PEAK, SIZE 722 K
PFADV

```

List B. 4

```

T2040.SPEAKERZ.DAT(CROMCAL)
00100 PROGRAM GEOMCAL
00200 M*****
00300 M
00400 M      PROGRAMMED BY S.YOSHIKAWA 1982.3.16
00500 M
00600 M      CALCULATE THE GEOMETRY OF PIPINGS
00700 M
00800 M*****
00900 DOTSD 'ALLOC F(PT08F001) DA(SSC.DAT(PIPEGEOM))'
01000 ENDWRITE(8)
01100 ANGLES IN DEGREES
01200 GEOM=ARRAY(1001)
01300 MLOAD DATA
01400 ASK('HOW MANY PIPES?', 'NUPPIPE=')
01500 FOR NPIP=1, NUPPIPE, 1
01600 ASK('PIPE NUMBER?', 'PIPENUM=', 'PIPENUM=NPIP')
01700 FREEIF PIPDATA
01800 ASK('PIPE NAME?', 'KEPTDECK ')
01900 ASK('SORRY, INPUT PIPE NAME AGAIN.', 'PIPEDATA=')
02000 LOADDATA(GEOM, PIPDATA)
02100 MGEOM(1):SUBPIPE NUMBER, GEOM(2):NODE NUMBER
02200 MCREATE ARRAY FOR CALCULATION
02300 NSUB=GEOM(1) INNODE=GEOM(2)
02400 ELEVSUB=ARRAY(NSUB+1) LENGSUB=ARRAY(NSUB) ANGLNODE=ARRAY(NNODE)
02500 FOR ISUB=1, NSUB, 1
02600 ELEVSUB(ISUB)=GEOM(1+2*ISUB)
02700 LENGSUB(ISUB)=GEOM(2+2*ISUB)
02800 IELEV=ISUB-1 IF (IELEV.EQ.0) GOTO ZEROINP
02900 SPACE
03000 TYPELINE('SUBPIPE NUMBER=-----:IELEV)
03100 FMT3='GIVEN VALUES=>>LENGTH=-----, END ELEV.=-----'
03200 TYPELINE(FMT3:LENGSUB(ISUB), ELEVSUB(ISUB))
03300 ASK('CHANGE LENGTH?', 'LENGSUB(ISUB)=')
03400 ASK('CHANGE END ELEV.?', 'ELEVSUB(ISUB)=')
03500 GOTO ENDINP
03600 ZEROINP:
03700 TYPELINE('STARTING ELEVATION, GIVEN VALUE=-----:IELEVSUB(ISUB))
03800 ASK('CHANGE STARTING ELEVATION?', 'ELEVSUB(1)=')
03900 ENDINP:
04000 ENDLOOP ISUB
04100 ELEVSUB(NSUB+1)=GEOM(2*NSUB+3)
04200 LENTOTAL=SUM(LENGSUB) LMESH=LENTOTAL/(NNODE-1)
04300 MNOW CALCULATION STARTED
04400 ELPRE=ELEVSUB(1) MELPRE, ELNOW: END ELEVATION OF A MESH
04500 ELCAL=ELEVSUB(1) MLCALCULATED ELEVATION
04600 LENCAL=0 MLENCAL TOTAL LENGTH ALREADY CALCULATED
04700 SUMLEN=LENGSUB(1) MSUMMATION OF SUBPIPE LENGTH'S
04800 SUBCAL=1 MSUBPIPE NUMBER PREVIOUS NODE LOCATED
04900 NODCAL=1 MNODE NUMBER UNDER CONSIDERATION
05000 NODECAL:
05100 MELNOW CALCULATION
05200 AMARICAL:AMARI=SUMLEN-LENCAL-LMESH
05300 IF (NODCAL.LT.NNODE-1) GOTO OK1
05400 ELPRE=ELCAL:GOTO OK
05500 OK1:IF (AMARI.GT.0) GOTO OK
05600 ELPRE=ELCAL
05700 SUBCAL=SUBCAL+1 SUMLEN=SUMLEN+LENGSUB(SUBCAL):GOTO AMARICAL
05800 OK:IF (NODCAL.EQ.NNODE-1) AMARI=0
05900 DELTAH=(ELEVSUB(SUBCAL+1)-ELEVSUB(SUBCAL))*AMARI/LENGSUB(SUBCAL)
06000 ELNOW=ELEVSUB(SUBCAL+1)-DELTAH
06100 IF (NODCAL.EQ.NNODE-1) ELNOW=ELEVSUB(NSUB+1)
06200 MELNOW CALCULATION COMPLETED
06300 IF (ABS(ELNOW-ELPRE)/LMESH.GE.1) GOTO CHOKKAKU
06400 ANGLNODE(NODCAL)=ASIN((ELNOW-ELPRE)/LMESH):GOTO LABEL2
06500 CHOKKAKU:ANGLNODE(NODCAL)=90*SIGN(ELNOW-ELPRE)
06600 LABEL2:
06700 IF (ANGLNODE(NODCAL).EQ.0) GOTO LABEL3
06800 M6KETA HENKAN
06900 FACT=10*(5-INTPART(LOG10(ABS(ANGLNODE(NODCAL))))))
07000 ANGLNODE(NODCAL)=INTPART(ANGLNODE(NODCAL)*FACT+0.5)/FACT
07100 LABEL3:
07200 MANGLNODE CALCULATION COMPLETED, ELNOW RE-CALCULATION STARTED
07300 ELCAL=ELCAL+SIN(ANGLNODE(NODCAL))*LMESH MELNOW==ELPRE DONE.
07400 ELPRE=ELNOW
07500 IF (ELPRE.EQ.0) GOTO LABEL4
07600 M6KETA HENKAN
07700 FACT=10*(5-INTPART(LOG10(ABS(ELPRE))))
07800 ELPRE=INTPART(ELPRE*FACT+0.5)/FACT
07900 IF (NODCAL.LT.NNODE-1) GOTO LABEL4
08000 ERROR=ELPRE-ELEVSUB(NSUB+1):ERROR
08100 LABEL4:
08200 NODCAL=NODCAL+1
08300 LENCAL=LENCAL+LMESH
08400 IF (NODCAL.LT.NNODE) GOTO NODECAL
08500 ANGLNODE(NNODE)=0
08600 WRITE(8, '(*PIPE NUMBER=', F3.0, ') *PIPENUM)
08700 WRITE(8, '(*', F4.0, 'NODES', F3.0, 'SUBPIPES IN THIS PIPE') *INNODE, NSUB)
08800 FOR N=1, NNODE, 5
08900 NN=4:IF (N>NN.GT.NNODE) NN=NNODE-N
09000 WRTOUT=ARRAY(NN+1)
09100 FOR MM=1, NN+1, 1
09200 WRTOUT(MM)=ANGLNODE(MM+N-1)
09300 ENDLOOP MM
09400 WRITE(8, '(*2X, 5(IPE14.5)) *WRTOUT)
09500 ENDLOOP N
09600 ENDLOOP NPIP
09700 ENDWRITE(8)

```

Appendix B

SGの過渡計算が省略された事が解析結果に与える影響

炉心の冷却材の挙動は、①炉心入口での温度、②炉心での流れ、③炉心の発熱量分布の3要素で決定されると考えてよい。この3つのうち、SGの影響を受け得るものは①と②である。

① 炉心入口における温度に与える影響

流量喪失が起これると一次、2次主冷却系の流量がコストダウンしてIHXでの伝熱が変化する。IHX一次側出口から炉心入口までの流路では冷却材の温度変化は無視できる。したがって $T=0$ の時にIHX出口にあった冷却材が炉心入口に達するまでの時間は、SGの挙動は炉心入口の冷却材温度に影響を与えない。この時間を見積ってみる。

1) $T=0$ の時にIHX一次出口にあった冷却材が炉容器入口に到達するのに要する時間

流量半減時間4.6秒、つまり時定数6.6秒で減衰し、定格の3.5%になった時点で一定になる、という条件では約160秒

2) 炉容器下部プレナム容積と流入量の比

炉容器下部プレナム容積： 約140 m^3

自然循環時流入量： 約0.2 m^3/sec

したがって今回のような350秒程度の解析では問題にならない。

②については今後ヘリカル型SGのモデルを組込んで解析を行わなければ正確な評価はできない。