

JAERI-M

7 8 3 5

LOCA実験のRELAP4Jによる解析
(ROSA-IIの低温側破断実験 #413, #312の解析)

1978年9月

望 月 洋 志^{*}・傍 島 真・鈴 木 光 弘

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしく下さい。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

LOCA実験のRELAP 4Jによる解析
(ROSA-IIの低温側破断実験# 413, # 312の解析)

日本原子力研究所東海研究所安全工学部

望月洋志^{*}・傍島 真・鈴木光弘

(1978年8月4日受理)

本研究は、ROSA-II計画の一環として、低温側破断実験の代表的2ケース(#413, #312)を解析コードRELAP4Jにより解析したものである。研究目的は、プログラムの妥当性の評価、プログラムの問題点の指摘とその改良、および実験現象の推移について理解を深めることである。#413と#312はいずれも実炉相当の圧力・温度条件からの放出実験であるが、両者の主な違いは低圧注入系(LPCI)の注入場所である。解析上のパラメタサーベイにより、実験データの圧力曲線に影響する因子を求めた。実験データとの比較に基づいてRELAP4Jを評価し、比較的マクロな熱流動現象について妥当性を示すものの、気液間スベリ効果、プレナムおよび炉心における多次元流効果、注入水によるクエンチ点の移動速度、低流量に対する燃料棒の冷却など比較的微細な熱流動現象の考慮が十分でないことが明らかにされた。また実験現象の推移については、実験データでは十分明らかにされていなかった点についても解析結果から推定することができた。

* 三菱重工業(株) 高砂研究所

Analysis of LOCA Experiments with RELAP4J Code

(Analysis of ROSA-II Experiments for Cold Leg Break Runs 413 and 312)

Yooji MOCHIZUKI*, Makoto SOBAJIMA and Mitsuhiro SUZUKI

Division of Reactor Safety
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received August 4, 1978)

The results of analysis with RELAP4J Code are presented for two typical experiments of cold leg break (Runs 413 and 312), in the ROSA-II (Rig of Safety Assessment II) test program. The objectives of analysis are to evaluate validity of the RELAP4J Code, to improve analytical models and to get a better understanding of experimental phenomena. The two tests were performed under actual reactor initial pressure and temperature, in the respective different LPCI locations. Typical factors influencing the pressure history were examined analytically. In conclusion, the predictions of macroscopic-hydraulic phenomena such as pressure transient in each location are good, and the predictions of microscopic-hydraulic phenomena such as steam-water slip velocity, multi-dimensional flow in plenums or core, quenching velocity, cooling of fuel rods by small coolant flow are not good. Experimental phenomena not clarified yet with test data are predicted with the analysis.

Keywords: LOCA, ROSA-II Experiment, RELAP4J Code, Cold Leg Break,
ECCS, Safety Analysis, Code Verification, Pressure
Transient, Quenching Velocity

* MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.

目 次

1. まえがき	1
2. ROSA-II 試験装置の概要	1
3. 解析コード (RELAP 4J) の概要	2
4. パラメタ・サーベイ	3
5. 実験 #413 の解析	5
5.1 #413 の実験条件	5
5.2 #413 の計算ノーディングと解析条件	5
5.3 #413 の計算結果	6
5.3.1 圧力変化の特徴	7
5.3.2 流量変動の特徴	8
5.3.3 破断口の流量の特徴	10
5.3.4 燃料棒温度の特徴	10
5.4 #413 の計算結果と実験データの比較	11
5.4.1 圧力の比較	11
5.4.2 流体温度の比較	12
5.4.3 差圧の比較	13
5.4.4 燃料棒表面温度の比較	14
5.4.5 ポンプ回転数の比較	15
6. 実験 #312 の解析	15
6.1 #312 の実験条件	15
6.2 #312 の計算ノーディングと解析条件	16
6.3 #312 の計算結果	16
6.3.1 圧力変化の #413 との相違	16
6.3.2 流量変動の #413 との相違	16
6.3.3 破断口の流量の #413 との相違	17
6.3.4 燃料棒温度の #413 との相違	17
6.4 #312 の計算結果と実験データの比較	18
6.4.1 圧力の比較に関する #413 との相違	18
6.4.2 流体温度の比較に関する #413 との相違	18

6.4.3	差圧の比較に関する#413との相違	18
6.4.4	燃料棒表面温度の比較に関する#413との相違	19
6.4.5	ポンプ回転数の比較に関する#413との相違	19
7.	改良後のRELAP4Jの評価	20
8.	現象の推移に関するまとめ	21
9.	結 論	22
参 考 文 献		24
Appendix 1	#413のインプットデータリスト	89
Appendix 2	#312のインプットデータリスト	94

CONTENTS

1. Introduction	1
2. Outline of ROSA-II Test Facility	1
3. Outline of Analytical Code RELAP4J	2
4. Parameter Survey	3
5. Analysis of Run 413 Experiment	5
5.1 Test Conditions of Run 413	5
5.2 Calculation Noding and Analytical Conditions of Run 413 ..	5
5.3 Calculated Results of Run 413	6
5.3.1 Characteristics of Pressure History	7
5.3.2 Characteristics of Flow Fluctuation	8
5.3.3 Characteristics of Discharge Flow	10
5.3.4 Characteristics of Fuel Surface Temperature	10
5.4 Comparison Between Test Data and Calculated Results for Run 413	11
5.4.1 Comparison of Pressure	11
5.4.2 Comparison of Fluid Temperature	12
5.4.3 Comparison of Differential Pressure	13
5.4.4 Comparison of Fuel Surface Temperature	14
5.4.5 Comparison of Pump Revolution Number	15
6. Analysis of Run 312 Experiment	15
6.1 Test Conditions of Run 312	15
6.2 Calculation Noding and Analytical Conditions of Run 312 ..	16
6.3 Calculated Results of Run 312	16
6.3.1 Difference of Pressure History from Run 413	16
6.3.2 Difference of Flow Fluctuation from Run 413	16
6.3.3 Difference of Discharge Flow from Run 413	17
6.3.4 Difference of Fuel Surface Temperature from Run 413	17
6.4 Comparison Between Test Data and Calculated Results for Run 312	18
6.4.1 Difference of Pressure from Run 413	18
6.4.2 Difference of Fluid Temperature from Run 413	18
6.4.3 Difference of Differential Pressure from Run 413	18
6.4.4 Difference of Fuel Surface Temperature from Run 413	19
6.4.5 Difference of Pump Revolution Velocity from Run 413	19
7. Assessment of Modified RELAP4J	20
8. Summary of Phenomena Observed in Experiments	21

9. Conclusions	22
References	24
Appendix 1. List of Input Data for Run 413	89
Appendix 2. List of Input Data for Run 312	94

NOMENCLATURE

A	; area	(m ²)
a	; critical velocity	(m/s)
C _D	; discharge coefficient	
C _p	; specific heat capacity	(kcal/kg°C)
dV _{ECC}	; volumetric change by ECCS Injection Water	(m ³)
dV _F	; volumetric change by discharge flow	(m ³)
dV _p	; volumetric change by decompression	(m ³)
dV _Q	; volumetric change by heat transfer	(m ³)
g	; gravitational constant (=9.8 m/s ²)	
h	; specific enthalpy	(kcal/kg)
M	; mass	(kg)
P	; pressure	(kg/m ² , at)
Q	; heat transfer rate	(kcal/s, kcal/h)
	volumetric flow rate	
T	; temperature	(°C)
t	; time	(S)
V	; volume	
v	; specific volume	(m ³ /kg)
W	; mass flow rate	(kg/s)
x	; steam quality	
ε _s	; isentropic bulk modulus	(kg/m ²)
ζ	; pressure loss coefficient	
φ	; two-phase flow multiplier of pressure loss coefficient	

Index

sat	; saturated condition
g	; gas condition
l	; liquid condition
gl	; difference between gas and liquid

ABBREVIATED WORDS

ACC	; Accumulated Injection
BL	; Broken Loop
ECCS	; Emergency Core Cooling System

IL ; Intact Loop
LPCI; Low Pressure Coolant Injection
P1 ; Pump P1
P2 ; Pump P2
PR ; Pressurizer
PV ; Pressure Vessel
RD ; Rupture Disk
SG ; Steam Generator

1. ま え が き

本報は、加圧水型原子炉 (PWR) の冷却材喪失事故における熱水力学的現象を調べることを目的とした ROSA - II (Rig of Safety Assessment - II) 計画⁽³⁾の一環として、低温側破断実験の解析を行なったものである。解析は最終的には実炉の現象を模擬できるものでなければならないが、そのために本報の目的は既に実施された ROSA - I 実験解析⁽²⁾、ROSA - II 予備解析⁽³⁾の成果を踏襲し、計算プログラムの妥当性の評価、必要なプログラム改良、実験現象の推移に関する理解を深めることである。

ROSA - I 実験は単一容器からの放出実験であったが、ROSA - II 実験は米国の TROJAN 炉⁽⁴⁾ (1000 Mwe, 4 ループ) を体積比約 1/400 倍で模擬して総合実験を目的としたものである。ROSA - II 実験は配置とコンポーネント (压力容器, 蒸気発生器, 加圧器, 循環ポンプ) および ECCS (Emergency Core Cooling System) 注入方式が模擬されており、解析もこれらの点に注目して行なう。

解析範囲は ROSA - II 実験が対象とする比較的マクロな熱水力学的過渡現象のブローダウン時および再冠水時とする。計算プログラムは RELAP 4J⁽¹⁷⁾ (RELAP 4 - MOD 2⁽¹⁾ に ROSA - I, II 計算による改良を加えたもの) を用いる。

本報で扱った 2 ケースの実験はいつでも ROSA - II 実験の代表例であり、実験 #413 は LPCI (Low Pressure Coolant Injection) を高温側配管へ注入する実験であり、実験 #312 は LPCI を実炉と同じく低温側配管へ注入する実験である。これらの注入方式で注目している点は、#413 では ACC 注入水の蒸気凝縮による炉心下向き流れの増加および SG (Steam Generator) の伝熱による圧力上昇により LPCI 注入水を炉心へ流入させる効果があり、#312 ではダウンカマの静水頭により LPCI 注入水を炉心へ流入させ、炉心で発生する蒸気を破断ループ高温側配管から蒸気単相で流出させる効果である。

2. ROSA - II 試験装置の概要

ROSA - II 試験装置の概要⁽⁴⁾を Fig. 2.1 に示す。ROSA - II 実験は米国の PWR 型原子炉 TROJAN (1000 Mwe, 4 ループ) を体積比約 1/400 倍で模擬し、燃料棒径や蒸気発生器伝熱管径については実炉相当の寸法を有している。炉心には電気出力の模擬燃料棒を使用している。

Fig. 2.1 に容器と配管の配列を縮尺に応じて示す。中央の压力容器 (PV) をはさんで左側が健全ループ、右側が破断ループである。健全ループでは、压力容器から流れ出る高温高圧水が蒸気発生器 (SG 2), 循環ポンプ (P 2), 流量計 (7) を通って压力容器入口ノズル (9) に流入する。破断ループの流れも同様であるが、低温側配管破断の場合には、循環ポンプの下流側に配管破断を模擬するための破断機構が 2 系列 (11) と、その中間に急速遮断弁 (2) が設置されている。1 次系の圧力は加圧器 (PR) の飽和圧力を電気ヒータにより上昇させて得る。

1. ま え が き

本報は、加圧水型原子炉（PWR）の冷却材喪失事故における熱水力学的現象を調べることを目的としたROSA - II（Rig of Safety Assessment - II）計画⁽³⁾の一環として、低温側破断実験の解析を行なったものである。解析は最終的には実炉の現象を模擬できるものでなければならないが、そのために本報の目的は既に実施されたROSA - I実験解析⁽²⁾、ROSA - II予備解析⁽³⁾の成果を踏襲し、計算プログラムの妥当性の評価、必要なプログラム改良、実験現象の推移に関する理解を深めることである。

ROSA - I実験は単一容器からの放出実験であったが、ROSA - II実験は米国のTROJAN炉⁽⁴⁾（1000 Mwe，4ループ）を体積比約1/400倍で模擬して総合実験を目的としたものである。ROSA - II実験は配置とコンポーネント（圧力容器，蒸気発生器，加圧器，循環ポンプ）およびECCS（Emergency Core Cooling System）注入方式が模擬されており，解析もこれらの点に注目して行なう。

解析範囲はROSA - II実験が対象とする比較的マクロな熱水力学的過渡現象のブローダウン時および再冠水時とする。計算プログラムはRELAP 4J⁽¹⁷⁾（RELAP 4 - MOD 2⁽¹⁾にROSA - I，II計算による改良を加えたもの）を用いる。

本報で扱った2ケースの実験はいずれもROSA - II実験の代表例であり，実験#413はLPCI（Low Pressure Coolant Injection）を高温側配管へ注入する実験であり，実験#312はLPCIを実炉と同じく低温側配管へ注入する実験である。これらの注入方式で注目している点は，#413ではACC注入水の蒸気凝縮による炉心下向き流れの増加およびSG（Steam Generator）の伝熱による圧力上昇によりLPCI注入水を炉心へ流入させる効果があり，#312ではダウンカマの静水頭によりLPCI注入水を炉心へ流入させ，炉心で発生する蒸気を破断ループ高温側配管から蒸気単相で流出させる効果である。

2. ROSA - II試験装置の概要

ROSA - II試験装置の概要⁽⁴⁾をFig. 2.1に示す。ROSA - II実験は米国のPWR型原子炉TROJAN（1000 Mwe，4ループ）を体積比約1/400倍で模擬し，燃料棒径や蒸気発生器伝熱管径については実炉相当の寸法を有している。炉心には電気出力の模擬燃料棒を使用している。

Fig. 2.1に容器と配管の配列を縮尺に応じて示す。中央の圧力容器（PV）をはさんで左側が健全ループ，右側が破断ループである。健全ループでは，圧力容器から流れ出る高温高圧水が蒸気発生器（SG 2），循環ポンプ（P 2），流量計（⑦）を通過して圧力容器入口ノズル（⑨）に流入する。破断ループの流れも同様であるが，低温側配管破断の場合には，循環ポンプの下流側に配管破断を模擬するための破断機構が2系列（⑪）と，その中間に急速遮断弁（②）が設置されている。1次系の圧力は加圧器（PR）の飽和圧力を電気ヒータにより上昇させて得る。

実験は、原子炉の定常運転を模擬した初期定常状態から、2基のラプチャディスクを破断用の槍により同時に破断し、その直後に急速遮断弁を全閉し配管の両端破断を模擬する。その後、冷却材の放出によりループの圧力が設定圧力（約45at）まで低下すると蓄圧注入系（ACC）の逆止弁が開き低温水（約60℃）が注入され、さらに破断後設定時間（約30秒）が経過すると低圧注入系（LPCI）が作動し低温水（約60℃）が注入される。これらの非常炉心注入系（ECCS）の注入箇所は、実験ケースにより異なり、実験#312の場合は実炉を模擬して両系統を低温側配管に注入し、実験#413の場合はLPCIを高温側配管へ注入している。各ケースの詳細な実験条件はTable 5.1.1に示す。実験の計測点位置をFig. 2.2に示す。

3. 解析コード(RELAP4J)の概要

本章では解析方法の概要を示す。解析方法は、RELAP4-MOD2⁽¹⁾にROSA-I, II計画による一連の改良をほどこしたプログラムを用いている。はじめに、Fig. 3.1⁽¹⁷⁾に示すように、RELAP4-MOD2に①～④の改良を加えたプログラムを用いてパラメタサーベイを行い、つぎに、そのとき生じた種々の問題点について⑤～⑦の改良を追加したプログラムを用いて実験解析を行なった。^(注) 実験解析後にインプットフォーム上の若干の修正をほどこしたプログラムをRELAP4JR IIと称している。これらの改良の詳細は参考文献⁽¹⁷⁾に示す。

解析方法の構成はFig. 3.2に示すように熱出力計算、流動計算、伝熱計算、および数値計算法から成る。

ROSA-II実験は電気発熱の模擬燃料棒を使用しているため、熱出力計算は出力の時間変化をインプットするオプションを用いる。

流動計算はFig. 3.3に示すオプションから成る。同図中＊、＊＊印はそれぞれROSAI, II計画によるRELAP4-MOD2の改良点であり、Fig. 3.1に示した改良点に対応している。流動計算で用いられている均質流仮定について説明する。要素内の流動計算は、基礎方程式の段階で均質流の仮定を用いているが、⁽¹⁾計算要素について体積々分するためこれらの仮定は各要素についてのものとなり、要素間では温度分布、非均質流体（クオリティが等しくなり）を扱うことができる（ただし気液対向流の場合 $x < 0$ または $x > 1$ となるため現状ではカバーできない）。しかし、質量・エネルギーの分布に関するボイド率は均質流仮定の影響を受け、スリップ比の大きいところではボイド率が過大に算定されるため、ループ内の質量・エネルギー分布に相違が生じる傾向がある。運動量に関しては、モーメントフラックス、慣性項、および静水頭が均質流仮定の影響を受ける。モーメントフラックスはマッハ数が1より小さい亜臨界流では効きが小さく、慣性項は準定常的な流れのとき効きが小さい。したがって、準定常的な亜臨界流で、しかも静水頭の効きが小さい場合には運動量に関する均質流仮定の影響は小さいことが解る。他のオプションについては物理的な対応が明らかであると思われるから説明を省略する。

(注) 本書で使用したRELAP4JはバージョンがRELAP4JR IIである。

実験は、原子炉の定常運転を模擬した初期定常状態から、2基のラプチャディスクを破断用の槍により同時に破断し、その直後に急速遮断弁を全閉し配管の両端破断を模擬する。その後、冷却材の放出によりループの圧力が設定圧力（約 45at）まで低下すると蓄圧注入系（ACC）の逆止弁が開き低温水（約 60℃）が注入され、さらに破断後設定時間（約 30 秒）が経過すると低圧注入系（LPCI）が作動し低温水（約 60℃）が注入される。これらの非常炉心注入系（ECCS）の注入箇所は、実験ケースにより異なり、実験 #312 の場合は実炉を模擬して両系統を低温側配管に注入し、実験 #413 の場合はLPCIを高温側配管へ注入している。各ケースの詳細な実験条件は Table 5.1.1 に示す。実験の計測点位置を Fig. 2.2 に示す。

3. 解析コード(RELAP4J)の概要

本章では解析方法の概要を示す。解析方法は、RELAP 4-MOD 2⁽¹⁾に ROSA-I, II 計画による一連の改良をほどこしたプログラムを用いている。はじめに、Fig. 3.1⁽¹⁷⁾に示すように、RELAP 4-MOD 2に①～④の改良を加えたプログラムを用いてパラメタサーベイを行い、つぎに、そのとき生じた種々の問題点について⑤～⑦の改良を追加したプログラムを用いて実験解析を行なった。^(注) 実験解析後にインプットフォーム上の若干の修正をほどこしたプログラムを RELAP 4JR II と称している。これらの改良の詳細は参考文献⁽¹⁷⁾に示す。

解析方法の構成は Fig. 3.2 に示すように熱出力計算、流動計算、伝熱計算、および数値計算法から成る。

ROSA-II 実験は電気発熱の模擬燃料棒を使用しているため、熱出力計算は出力の時間変化をインプットするオプションを用いる。

流動計算は Fig. 3.3 に示すオプションから成る。同図中*、**印はそれぞれ ROSA I, II 計画による RELAP 4-MOD 2 の改良点であり、Fig. 3.1 に示した改良点に対応している。流動計算で用いられている均質流仮定について説明する。要素内の流動計算は、基礎方程式の段階で均質流の仮定を用いているが、⁽¹⁾計算要素について体積々分するためこれらの仮定は各要素についてのものとなり、要素間では温度分布、非均質流体（クオリティが等しくなり）を扱うことができる（ただし気液対向流の場合 $x < 0$ または $x > 1$ となるため現状ではカバーできない）。しかし、質量・エネルギーの分布に関するボイド率は均質流仮定の影響を受け、スリップ比の大きいところではボイド率が過大に算定されるため、ループ内の質量・エネルギー分布に相違が生じる傾向がある。運動量に関しては、モーメントフラックス、慣性項、および静水頭が均質流仮定の影響を受ける。モーメントフラックスはマッハ数が 1 より小さい亜臨界流では効きが小さく、慣性項は準定常的な流れのとき効きが小さい。したがって、準定常的な亜臨界流で、しかも静水頭の効きが小さい場合には運動量に関する均質流仮定の影響は小さいことが解る。他のオプションについては物理的な対応が明らかであると思われるから説明を省略する。

(注) 本書で使用した RELAP 4J はバージョンが RELAP 4JR II である。

伝熱計算はFig. 3・4に示すオプションから成る。熱伝達率の計算は実験式、実験式間の内挿、または実験式の外挿により計算している。

数値計算法はFig. 3・5に示すオプションから成る。同図中**印はROSA - II計画によるRELAP 4 - MOD 2の改良点を示す。これらはFig. 3・1の(7)に対応し、計算安定化のための改良である。

以上がRELAP 4 - MOD 2およびその改良によるRELAP 4Jの概要である。第7章でRELAP 4Jの評価を実験解析に基づいて試みる。

4. パラメタ・サーベイ

本章は計算結果に及ぼすパラメタの影響を調べ、実験データの傾向に影響するパラメタの抽出、計算ノーディング方法、および必要となったプログラム改良点について説明する。

パラメタは現象面と計算面のものがある。現象面のパラメタは、燃料棒被覆管の最高温度を最終の焦点として、初期流体状態に関するパラメタ、系内の比較的マクロな（体積要素間の）質量・エネルギー分布に関するパラメタ、および燃料棒廻りの熱流動に関するパラメタに分けられる。⁽³⁾

これらをFig. 4・1に示す。図中※印を付けた初期温度分布、破断点の放出係数・臨界流量、容器内の気水分離速度、構造物の壁面伝熱効果は、ブローダウン期間に系外へ流出する質量・エネルギーおよび系内に残存する質量・エネルギーの総量に比較的強い影響を及ぼすと考えられるから、これらのパラメタについてサーベイする。計算上のパラメタは、Fig. 4・2に示すように、プログラムの相違、モデリング方法、数値計算法があり、図中※印を付けた点についてサーベイする。

計算はROSA - II実験予備解析⁽³⁾で作成したRELAP 3J⁽³⁾用のインプットデータをそのまま結果を比較できるようにRELAP 4J用に修正して行なう。この計算ノーディングをFig. 4・3に示す。これは18ボリューム、26ジャンクションであり、気水分離モデル適用箇所には※印を付した。実験条件は実験#413に対するものである。

計算結果は、はじめに計算上のパラメタについて示す。Fig. 4・4はRELAP 3Jによる系圧力の計算結果とRELAP 4Jによるほぼ同じオプションを用いた計算結果の比較を示す。両者は良く一致しているから、ROSA - I計画にて行なったRELAP 3Jによる解析の成果をRELAP 4Jに引き継ぐことができると言える。その他の点については、Implicit法はExplicit法に比べて計算時間が約1/60に低下したが計算結果に両者の差異はほとんど認められず、Implicit法が計算精度の悪化を生じないことを確めた。計算ノーディングは実現象に沿うことが必要であり、初期状態および過渡状態の質量・エネルギー分布を模擬できるようにノーディングを工夫する必要があることを確めた。すなわち、初期状態では温度変化の生じる箇所は要素を分割し、さらに過渡状態では気水分離により二相液位が生じる箇所に気水分離モデルを適用することが必要である。また、流量とそのクオリティを模擬するために、臨界流量が発生する箇所は直上流の圧力・エンタルピーを出すため臨界点上流側を要素に分割する必要がある。

つぎに現象上のパラメタサーベイについて述べる。初期定常状態の流体温度について、上部プレナムと破断ループ高温側配管（Fig. 4・1のVol 6, 13, 14）の流体温度を実験条件と計測値に

伝熱計算はFig. 3・4に示すオプションから成る。熱伝達率の計算は実験式、実験式間の内挿、または実験式の外挿により計算している。

数値計算法はFig. 3・5に示すオプションから成る。同図中**印はROSA - II計画によるRELAP 4 - MOD 2の改良点を示す。これらはFig. 3・1の(7)に対応し、計算安定化のための改良である。

以上がRELAP 4 - MOD 2およびその改良によるRELAP 4Jの概要である。第7章でRELAP 4Jの評価を実験解析に基づいて試みる。

4. パラメタ・サーベイ

本章は計算結果に及ぼすパラメタの影響を調べ、実験データの傾向に影響するパラメタの抽出、計算ノーディング方法、および必要となったプログラム改良点について説明する。

パラメタは現象面と計算面のものがある。現象面のパラメタは、燃料棒被覆管の最高温度を最終の焦点として、初期流体状態に関するパラメタ、系内の比較的マクロな（体積要素間の）質量・エネルギー分布に関するパラメタ、および燃料棒廻りの熱流動に関するパラメタに分けられる。⁽³⁾

これらをFig. 4・1に示す。図中※印を付けた初期温度分布、破断点の放出係数・臨界流量、容器内の気水分離速度、構造物の壁面伝熱効果は、ブローダウン期間に系外へ流出する質量・エネルギーおよび系内に残存する質量・エネルギーの総量に比較的強い影響を及ぼすと考えられるから、これらのパラメタについてサーベイする。計算上のパラメタは、Fig. 4・2に示すように、プログラムの相違、モデリング方法、数値計算法があり、図中※印を付けた点についてサーベイする。

計算はROSA - II実験予備解析⁽³⁾で作成したRELAP 3J⁽³⁾用のインプットデータをそのまま結果を比較できるようにRELAP 4J用に修正して行なう。この計算ノーディングをFig. 4・3に示す。これは18ボリューム、26ジャンクションであり、気水分離モデル適用箇所には※印を付した。実験条件は実験#413に対するものである。

計算結果は、はじめに計算上のパラメタについて示す。Fig. 4・4はRELAP 3Jによる系圧力の計算結果とRELAP 4Jによるほぼ同じオプションを用いた計算結果の比較を示す。両者は良く一致しているから、ROSA - I計画にて行なったRELAP 3Jによる解析の成果をRELAP 4Jに引き継ぐことができると言える。その他の点については、Implicit法はExplicit法に比べて計算時間が約1/60に低下したが計算結果に両者の差異はほとんど認められず、Implicit法が計算精度の悪化を生じないことを確めた。計算ノーディングは実現象に沿うことが必要であり、初期状態および過渡状態の質量・エネルギー分布を模擬できるようにノーディングを工夫する必要があることを確めた。すなわち、初期状態では温度変化の生じる箇所は要素を分割し、さらに過渡状態では気水分離により二相液位が生じる箇所に気水分離モデルを適用することが必要である。また、流量とそのクオリティを模擬するために、臨界流量が発生する箇所は直上流の圧力・エンタルピーを出すため臨界点上流側を要素に分割する必要がある。

つぎに現象上のパラメタサーベイについて述べる。初期定常状態の流体温度について、上部プレナムと破断ループ高温側配管（Fig. 4・1のVol 6, 13, 14）の流体温度を実験条件と計測値に

ついて計算した結果をFig. 4・5に示す。上部プレナム温度は1次系の最高温度であるため高く与えると破断直後のサブクール減圧幅が小さくなるが、反対に温度を低く与えると減圧沸騰開始時点の減圧速度が小さくなる。破断点の放出係数については、 C_D が.6と.7について計算した結果をFig. 4・6に示す。同図より実験データとの相違が後期に大きくなる理由は後述する通りであるが、両計算値の相違は後期に大きくなっている。その理由は後期には残存水が少量になると相対的な保有水量の比が増加するためである。

つぎに、上部プレナムの気水分離速度の比較結果を、Wilsonモデルによる場合と.1(m/s)の場合についてFig. 4・7に示す。同図より、Wilsonモデルの場合は6(s)に二相液位が高温側配管出口ノズルまで低下し蒸気放出が始まるが、.1m/secの場合は13(s)に始まる。蒸気放出後の減圧は、放出開始時刻が遅い場合に減圧速度の増加が算出されているが、放出開始時刻が早い場合にはこの傾向が示されていない。Wilsonモデルの場合最後まで減圧速度の増加が生じない理由は、気水分離速度が速いため残存水量が多く、壁面からの伝熱による増圧効果が破断個所でのクオリティ増加に伴う減圧速度の増加分を相殺してしまうことが考えられる。.1(m/s)の場合、約13.5(s)で蒸気流出が始まり、15(s)で減圧速度が増加しているのは、残存水量が少ないため上述の破断口クオリティの増加に伴う減圧速度の増加が完全には相殺されないためである。このように、容器内の気水分離により蒸気放出に移行すると減圧速度の増加が生じることが解る。つぎに、容器壁・管壁からの入熱量については、それを全部無視した場合との比較をFig. 4・8に示す。同図で伝熱有りとなしの圧力の差が途中から増大しているのは、圧力の減少に応じた飽和温度の低下により壁温との温度差が増すため熱流束が増加しさらに残存水の減少により伝熱による増圧効果が減圧沸騰に対して相対的に大きく現われるためである。これより、容器壁・管壁からの伝熱は、流体温度と壁温の温度差が増加し、残存水が減少するブローダウン後期に影響が大きくなることが解る。なお、実験データは20(s)付近でこの伝熱を考慮しない場合に近い値を示しているが、この原因は上述のように上部プレナム二相液位の低下が早いことため残存水が過大となり、また健全ループ蒸気発生器が均質流モデルのため伝熱量が過大となることが主な原因と考えられる。この点を修正することにより伝熱を考慮した場合が実験データに近づいた(Fig. 5・2・1, Table 5・3・3参照)。

これらの現象上のパラメタサーベイをまとめると、圧力カーブの各部に特に影響を及ぼすパラメタはFig. 4・9に示すようになる。同図ではパラメタサーベイを行なわなかったものも2,3付け加えているが、それらについて以下に説明する。格納容器圧力は、ECCSの注入により破断ループ低温側の破断点がサブクール状態になるとZaloudekの式による臨界流量の背圧($P_B = C_B P_{SAT}, C_B \times 4$)が容易に格納容器圧(1~6 at)以下に低下するため、格納容器圧力による臨界流量に影響し、ループ内の熱流動現象に影響する。高温壁面効果は、流出により蒸気中へ露出していた高温壁面がECCS注入水によりRewettingする際に大量の蒸気が一時的に発生し、同図の23(s)にみられるように、一時的な増圧を生じる。重力による気水分離効果は、ループ圧力の低下により流量が減少すると、ループの各部に気液対向流を生じ、ループの質量・エネルギーの分布に影響する。以上により、ブローダウン時の圧力カーブに対するパラメタの効き方が一応推定できたと考えられる。

最後に、計算上のパラメタおよび現象上のパラメタのサーベイにより明らかになったプログラ

ム上の問題点について説明する。これらの問題点は、Fig. 3・1の④～⑦の各項目であり、その詳細説明は文献①に示す通りである。なお、同図④は破断直後に激しい流量振動により計算不安定を生じるためパラメタサーベイに先立ってプログラムを改良した。

5. 実験#413の解析

本章は実験#413の解析について、実験条件の説明、計算ノーディングの説明、計算結果の説明、実験データと計算結果の比較および考察を行なう。

5.1 #413の実験条件

実験#413の特徴は、LPCIを高温側配管に注入している点、および炉心出入口温度差が実炉相当に大きい点である。

#413の実験条件は、圧力159(at)、炉心流速1(m/s)、炉心入口温度289(°C)、上部プレナム温度328(°C)、低温側配管両端最大口径破断、ACCを低温側配管へ注入、LPCIを高温側配管へ注入、である。

#413は炉心出入口温度差を大きくするために炉心流速を小さくしており、炉心出口付近で温度分布が若干生じている。温度の計測値、両ループの流量、ポンプ回転数、模擬燃料棒出力、2次系温度、加圧器(PR)圧力、水位、破断ループ循環ポンプ吐出口面積、破断口オリフィス面積、ECCS注入水の温度・流量についてTable 5・1・1に示す。

過渡時の模擬燃料棒出力は、実炉の崩壊熱および遅発中性子による熱出力密度の時間変化に応じた値である(Fig. 5・1・1)。

5.2 #413の計算ノーディングと解析条件

計算ノーディング(Fig. 5・2・1)は、第4章のパラメタサーベイによる検討結果に基づいて、実現象に沿って初期状態および過渡状態の質量、エネルギーの分布を模擬できるように行なう。初期状態については、温度分布に応じて要素に分割する必要がある。これは、ループの中で最も温度が高い上部プレナム、加熱が行なわれている模擬炉心、熱交換が生じている蒸気発生器伝熱管について要素を作ることが必要になる。過渡状態については、質量・エネルギーの分布は気水分離現象により最も影響される。これは、容器内で垂直方向に蒸気と水(または二相流)に分離するものであり水平断面内は一様な状態分布と仮定する。このような箇所は、压力容器内ではダウンカマ、下部プレナム、炉心入口部、炉心、炉心バイパス、炉心出口部、上部プレナム、蒸気発生器では入口プレナム、入口側伝熱管、出口プレナム、および加圧器がある。炉心出口と上部プレナムについては、両者を通じて1つの二相液位が形成されると考えられるので両者で一つの要素とする。これらの要素は気水分離モデルとして扱う。

配管系については、ポンプを含む要素、破断点を有する要素、ECCSが注入される要素、臨界流

ム上の問題点について説明する。これらの問題点は、Fig. 3・1の④～⑦の各項目であり、その詳細説明は文献⑦に示す通りである。なお、同図④は破断直後に激しい流量振動により計算不安定を生じるためパラメタサーベイに先立ってプログラムを改良した。

5. 実験#413の解析

本章は実験#413の解析について、実験条件の説明、計算ノーディングの説明、計算結果の説明、実験データと計算結果の比較および考察を行なう。

5.1 #413の実験条件

実験#413の特徴は、LPCIを高温側配管に注入している点、および炉心出入口温度差が実炉相当に大きい点である。

#413の実験条件は、圧力159(at)、炉心流速1(m/s)、炉心入口温度289(°C)、上部プレナム温度328(°C)、低温側配管両端最大口径破断、ACCを低温側配管へ注入、LPCIを高温側配管へ注入、である。

#413は炉心出入口温度差を大きくするために炉心流速を小さくしており、炉心出口付近で温度分布が若干生じている。温度の計測値、両ループの流量、ポンプ回転数、模擬燃料棒出力、2次系温度、加圧器(PR)圧力、水位、破断ループ循環ポンプ吐出口面積、破断口オリフィス面積、ECCS注入水の温度・流量についてTable 5・1・1に示す。

過渡時の模擬燃料棒出力は、実炉の崩壊熱および遅発中性子による熱出力密度の時間変化に応じた値である(Fig. 5・1・1)。

5.2 #413の計算ノーディングと解析条件

計算ノーディング(Fig. 5・2・1)は、第4章のパラメタサーベイによる検討結果に基づいて、実現象に沿って初期状態および過渡状態の質量、エネルギーの分布を模擬できるように行なう。初期状態については、温度分布に応じて要素に分割する必要がある。これは、ループの中で最も温度が高い上部プレナム、加熱が行なわれている模擬炉心、熱交換が生じている蒸気発生器伝熱管について要素を作ることが必要になる。過渡状態については、質量・エネルギーの分布は気水分離現象により最も影響される。これは、容器内で垂直方向に蒸気と水(または二相流)に分離するものであり水平断面内は一様な状態分布と仮定する。このような箇所は、压力容器内ではダウンカマ、下部プレナム、炉心入口部、炉心、炉心バイパス、炉心出口部、上部プレナム、蒸気発生器では入口プレナム、入口側伝熱管、出口プレナム、および加圧器がある。炉心出口と上部プレナムについては、両者を通じて1つの二相液位が形成されると考えられるので両者で一つの要素とする。これらの要素は気水分離モデルとして扱う。

配管系については、ポンプを含む要素、破断点を有する要素、ECCSが注入される要素、臨界流

が発生する要素に分割し均質流モデルとして扱う。

圧力容器のダウンカマ入口部は、健全ループに注入された ECCS 水がダウンカマを上昇してくる蒸気（または二相流）と混合して破断ループへ流出する（バイパス現象と呼ぶ）現象を生じる箇所であるため、この部分を要素分割して均質流モデルとして扱う。

蒸気発生器 2 次系との伝熱を模擬するため、2 次系を飽和蒸気と飽和水の領域に分けて考え、これらを 2 つの均質流要素とし、伝熱管面積の各領域との接触割合は初期状態の熱バランスから決める。

破断口をリークジャンクション（下流側の要素が無い扱い）とした場合 ECCS 注入水による減圧効果のため逆流が算定されると計算がストップする。この逆流はたとえ生じていても非常に短時間のものでありループの質量、エネルギー分布に及ぼす影響は無視できる。そこで、破断口の下流側に大気圧の飽和蒸気から成る大容量のダミーの要素を作り、さらにダミーの要素にリークジャンクションを作りその圧力上昇を防いでいる。

臨界流のオプションは、クオリティに応じて Zaloudek⁽⁶⁾—Moody & Experimental C_D —音速と変化させるオプションを用いる。

気水分離モデルのオプションは、Wilson の実験式による気泡離脱速度を用い、Fig. 3・1 の⑥により主に対向流領域に適用し、垂直方向のボイド分布は一樣を用いている。

炉心出力は電力計測値 Fig. 5・1・1 をインプットしている。

ECCS 注入水は計測流量 Fig. 5・1・4~7 をインプットしている。

ポンプ特性は、定格諸量は実測値を用い、過渡特性は実測値が無い場合同型のポンプの値を参考文献(5)から流用した。定格諸量を Table 5・1・2 に、過渡特性を Fig. 5・1・2（ゼロトルク点をゼロ回転点に移す修正をほどこしている）、Fig. 5・1・3 に示す。

二相流の圧力損失係数は均質流近似（増倍係数は 1.0）を用いている。Junction Flow の Momentum eq. では momentum flux を考慮しないオプションを用いている。（この結果、シーヤンクションの比重量に上流側の要素の値が用いられるため sonic flow は過大に算定されるが、圧力データの傾向によく合っている。）

以上の計算ノーディングについて参考文献(20)から熱水力データを求めてインプットデータを作成した。このインプットデータリストを Appendix に示す。

なお、インプットフォームは RELAP4JR II と若干異なっておりこの点はリスト中に付記した。

5.3 #413 の計算結果

本節では #413 の計算結果について説明する。計算結果は、燃料棒の最高温度を決める上で関係の深い流動分布と燃料棒の伝熱について、要素の流体状態（圧力、温度、クオリティ、液相重量）、気水分離モデルの二相液位、およびこのマクロな流体状態分布を決める流路の流れ（流量、クオリティ）、壁面の伝熱量、燃料棒の伝熱に関する主要なグラフを示す。これらの図は Table 5・3・1 の図番号にそれぞれ示す。

計算結果の特徴を決めている要因は、Fig. 5・3・1 に示すように、流れの臨界流発生箇所の大きな差圧、二相液位の変化による出口クオリティおよび流量の変動、高温壁面の伝熱による流量変

動, ECCS の注入水による流量変動, ダウンカマ上部の注入水の混合部である。これらの要因により, 圧力は臨界流発生箇所で大きな変化を生じるがその他の箇所では変化が小さく, 一方温度, クオリティ, 水重量は二相液位, 伝熱, ECCS 注入水による流量変動のために激しい変化を生じる。計算結果についてこれらを以下に説明する。

5.3.1 圧力変化の特徴

圧力は加圧器サージラインの出口オリフィスの箇所では臨界流が生じるため, 加圧器が他の部分より高い圧力を示すが, そのほかの部分では相違が比較的小さい。そこで, 加圧器の圧力と圧力容器上部プレナムの圧力について説明する。

加圧器 (VOL8) の圧力は, Fig. 5・3・6 に示すように, 破断後 8(s) までほぼ一定の減圧速度で減圧し, 8(s) で減圧速度が大きくなり, 15(s) 以後で再び減圧速度が減少する。この圧力の推移の原因は, 次の通りである。単一容器からの流出による減圧 dP は, 流出流体による体積変化 dV_Q によって決まり

$$dP = -\epsilon_s \frac{dV_F}{V} + \epsilon_s \frac{dV_Q}{V} \quad (5\cdot3-1)$$

である。 dV_F は流速に比例し, 臨界流では臨界流速 a に比例するから

$$\begin{aligned} dV_F &= A u dt \\ &= A a dt \end{aligned} \quad (5\cdot3-2)$$

上式を式 (5・3-1) へ代入して減圧速度は

$$\frac{dP}{dt} = -\frac{\epsilon_s}{V} A a + \frac{\epsilon_s}{V} \frac{dV_Q}{dt} \quad (5\cdot3-3)$$

となる。上式右辺第 1 項は, 臨界流での流出による減圧速度であり, A , V が形状寸法により一定であるから ϵ_s と a に比例することを示している。右辺第 2 項の dV_Q は, 単相のとき⁽¹⁷⁾

$$dV_Q = \frac{\beta}{rC_p} dQ \quad (5\cdot3-4)$$

二相流状態のとき⁽¹⁷⁾

$$dV_Q = \frac{v_{gl}}{h_{gl}} dQ \quad (5\cdot3-5)$$

である。式 (5・3-3) を用いて, 加圧器の圧力変化を説明すると, Table 5・3・2 の体積変化速度の比較から, 伝熱 (Fig. 5・3・16) による圧力変化は流れの流出による圧力変化に比べて 0 ~ 8(s) の二相流出時で 30 (%) 以下であり, 8(s) 以後の蒸気流出時で 5 % 以下になるから, 流れの

流出による圧力変化が主要な成分であることが解る。この項は上述のように ϵ_s と a に比例するが、 a は計算結果リストより、二相流出時(Moodyの式)は約200(m/s)でほぼ一定であり、蒸気流出時(音速の式)は約500(m/s)でほぼ一定である。 ϵ_s はFig. 5・3・2に示すように圧力・クオリティによる変化が大きい、二相流出時は減圧量とクオリティの増加量が相殺する影響を与えるため ϵ_s はほぼ一定となる。したがってFig. 5・3・6の0~8(s)では a 、 ϵ_s が一定であるため減圧速度が一定になっていることが解る。同図8(s)以後、蒸気流出に変化し(Fig. 5・3・9, 14)流出体積流量の増加が減圧速度を増大させるが、蒸気流出が進むにつれ圧力およびクオリティの減少が ϵ_s (Fig. 5・3・2)を急激に減少させるため減圧速度が緩やかになってくる。

圧力容器下部プレナムの圧力を、Fig. 5・3・4に示す。これは、式(5・3・3)を用いて説明すれば、破断直後にサブクール水の ϵ_s が非常に大きいため急激な減圧が生じ、その後2(s)まで高温部から順次に発泡し、二相状態に移るため減圧速度が次第に減少する。2(s)~10(s)では上述の加圧器の場合と同様に、二相流出時の ϵ_s 、 a がほぼ一定であるため、減圧速度がほぼ一定となる。10(s)以後では、上部プレナム二相液位の低下に応じて(Fig. 5・3・13)破断ループ高温側配管が蒸気流出となり、減圧速度が増大する。しかし蒸気流出によるクオリティの減少が ϵ_s を減少させるため次第に減圧速度は減少する。伝熱(Fig. 5・3・18)による圧力変化の項は、Table 5・3・3の体積変化速度の比較から解るように、ECCS注入前(15(s)以前)で流出による圧力変化の25~40%であり、ECCS注入後は流出による圧力変化の絶対値より大きくなる場合がある。このため20~70(s)で圧力の微小な増減が生じている。

5.3.2 流量変動の特徴

温度、クオリティ、水重量は、二相液位、伝熱、ECCS注入水により激しく振動する。これはFig. 5・3・1に示す主な振動源の強弱に応じて生じており、各振動源による体積変化が式(5・3・1)により圧力変化を生じ、そのために局所的な流動振動が引き起されているものである。振動源の強さはその体積変化速度を比較することにより決まる。比較の基準として破断口から流出する体積流量を用いることができる。以下に各振動源の強さと体積変化速度を検討する。

減圧沸騰による体積変化速度をはじめに検討する。これは、

$$\frac{dV_p}{dt} = M \frac{dv}{dt} = \frac{V}{v} \frac{dv}{dt} = \frac{V}{\epsilon_s} \left(- \frac{dP}{dt} \right) \quad (5・3・6)$$

となり、減圧速度が与えられると上式で決まる。一方、減圧沸騰による体積変化速度は、計算結果として得られた流出体積流量から伝熱、ECCS注入水による体積変化速度の和を差引いて求めることができる。このようにして求めたものをTable 5・3・4に示す。同表より、ECCS注入前後で dV_p/dt と $dV_Q/dt + dV_{ECC}/dt$ の大小関係が変わることが解る。

二相液位の変化は、液位が流出口以下に低下し流出クオリティが10に変化したとき、流れが臨界流の場合には臨界流速の増加により、流れが亜臨界流の場合には比重量の低下に応じた流速の増加により流量変動を生じる。二相液位の低下は、気泡離脱や液面以下の出口からの流出に応じて生じる。二相液位の変化はこれらの総合されたものとして生じる。例えば、加圧器(PR)の場合Fig. 5・3・14に示すように約8(s)で二相流出から蒸気流出に変化したため減圧速度が増加し

減圧沸騰が盛んになり、二相液位の低下速度が極めて緩やかになる。また、上部プレナムの場合 Fig. 5・3・13 に示すように、約 6(s) で二相流出から蒸気流出に変化するが、約 8(s) では加圧器の蒸気流出による健全ループの二相流流入増加が二相液位を上昇させる。⁽²²⁾しかしボイド率の増加が気泡離脱速度を増加させ液面下から二相流が流出するため、約 9(s) で二相液位が低下し、以後水重量の減少に応じて減衰する振動が 15(s) まで続いている。16(s) 以後の二相液位の変動は ECCS 注入により生じているものであるから ECCS 注入水の説明に含める。

伝熱については、流量および流れクオリティの変化による熱伝達率の増加が伝熱量を増加させる。これは式 (5・3-3) より

$$\frac{dP}{dt} = \epsilon_s \frac{1}{V} \left(\frac{dV_Q}{dt} \right) \frac{dQ}{dt} \quad (5・3-7)$$

なる圧力増加を生じる。この圧力増加により流量および流れクオリティが変化し、伝熱量の減少と圧力減少が再び生じる。このようにして流量と伝熱量の振動が生じる。

これは伝熱量の変化が大きくかつ伝熱による膨脹率が大きい低圧二相状態の ECCS 注入時に著しい。例えば、ダウンカマでは Fig. 5・3・17 に示すように 20~46(s) に ACC2 注入水の流入による伝熱量の振動が生じ、それが引き起こす流量振動により炉心流れクオリティが Fig. 5・3・8 に示すように振動を示している。しかし、Fig. 5・3・3 に示すように高圧二相状態では膨脹率が小さくなるため流量振動が小さく、単相状態では、水単相のときは膨脹率が小さいため、蒸気単相のときは伝熱量が小さいため、いずれも流量振動は小さい。

ECCS 注入水については、注入水は飽和水に変化する際の吸熱により蒸気凝縮を生じ、飽和水になった水は壁面伝熱を受けて激しく蒸発する。注入開始時は、蒸気凝縮だけが生じるため注入点に向う流量変化を生じるが、直ちに注入点付近で壁面伝熱を受け蒸発し、凝縮と蒸発が注入点付近で相殺し、注入点に向う流れは消滅する (Fig. 5・3・7)。以後、注入点付近の壁面温度が低下するため、蒸発はより離れた高温壁面で生じ、注入点付近はサブクール水で満たされる場合も生じる。しかし、蒸発点から注入点へ向う二相流の流量振動のためにサブクール域の成長は比較的遅い。

凝縮の効果は、ECCS 注入水がほぼ一定の流量で注入され、サブクール域が小さいためそれがすべて凝縮に寄与するとみなせるから、ほぼ一定の体積変化速度を生じ、

$$\frac{dV_{ECC}}{dt} = W_{ECC} \left\{ V_l - \frac{v_{gl}}{h_{gl}} C_P (T_{SAT} - T_{ECC}) \right\} \quad (5・3-8)$$

となる。一方壁面伝熱による蒸発効果は上述の大きな流量振動を生じ、これは ECCS 注入水の流入により継続する。このようにして、ECCS 注入水は蒸気凝縮と蒸発による激しい流量振動を生じ、圧力についてはほぼ一定の凝縮減圧効果と振動する発泡増圧効果とによる小さな圧力振動を生じる。Table 5・3・4 は 21, 31(s) で総和として凝縮効果を示すが、その他では蒸発効果の方が大きい。これらの体積変化は流出量に匹敵する大きさであり、ECCS 注入水による流量振動は激しいことが解る。また、上部プレナム二相液位は、Fig. 5・3・13 に示すように、16(s) に ACC2 注入開始時の蒸気凝縮による健全ループ側の注入点に向う流量変化によりスパイクを生じ、23(s) ~

35(s)でACC2注入水の一部がダウンカマから下部プレナムに流入しダウンカマ壁をクウェンチし、そのために生じた増圧が注入水の一部を上部プレナムまで噴き上げ、上部プレナム二相液位を激しく振動させる。35(s)以後はLPCI 1, 2の流入による液位の変化が生じている。このように、ECCS注入は引き続いて伝熱-流量振動、二相液位-流量振動を起す最も強い流量振動源であることが解る。これらの流量振動による計算結果は、各振動源の影響系列に応じてグループに分けることができ、炉容器内、破断ループ高温側配管系、同低温側配管系、健全ループ高温側配管系、同低温側配管系、加圧器系の6グループとなる。

ダウンカマ上部の流れの混合部では、健全ループから流入するACC2注入水とダウンカマの蒸気上昇流との混合が生じる。混合部で注入水の一部は蒸気上昇流と対向流⁽³⁾⁽²⁾をなして下部プレナムへ落下し、残りの部分は破断口へ流出する。計算では気液対向流を考慮していないため、Fig. 5・3・7のダウンカマ流量は激しい流量振動を示す。これは、ダウンカマ壁および燃料棒からの伝熱による流量振動である。このようなダウンカマ流量によるACC2注入水の炉心蓄水量は、Fig. 5・3・4の下部プレナム水量に示され20(s)に約2 kgに達し、以後炉心(またはダウンカマ)からの蒸気流のために下部プレナムは一種のFlooding状態となりそれ以上の蓄水が生じないことを示している。Fig. 5・3・12はこのときの下部プレナム二相液位の振動を示している。

5.3.3 破断口の流量の特徴

破断口の流れをFig. 5・3・10,11に示す。#1破断口の流れは、Fig. 5・3・10に示すように、破断直後から二相流出となり、クオリティの増加に応じて流量が減少し、上部プレナム二相液位が出口ノズルより低下した後蒸気流出となり、LPCI 1注入開始により再び二相流出となっている。#2破断口の流れは、Fig. 5・3・11に示すように破断後約2(s)間サブクール流出であり、2(s)から二相流出に移り、15(s)でACC1注入開始がクオリティを急激に減少させるため22~44(s)で再びサブクール流出となり、48(s)以後はACC注入終了によりクオリティが増加し、60~70(s)ではACC2注入点ボリューム内のサブクール水が飽和水に変化したあと流出するため流出点のクオリティが減少している。

5.3.4 燃料棒温度の特徴

最後に燃料棒の伝熱についてその特徴を説明する。燃料棒温度、表面の熱伝達率、表面の熱流束、の計算結果をFig. 5・3・19~Fig. 5・3・21に示す。燃料棒表面温度は、Fig. 5・3・19に示すように、3~44(s)で温度上昇が続き、44~58(s)で横ばいとなり、58(s)では電源遮断のため温度降下を示している。これはFig. 5・3・8の炉心流量による熱伝達率との対応から説明すれば、0~3(s)はThomの核沸騰の式⁽¹⁾であり、破断直後の圧力減少ならびに燃料棒出力低下に応じた ΔT_{sat} ($= T_w - T_{sat}$)の減少により熱伝達率が急激に減少し、3~7(s)はボイド率の増加によりSchrock and Grossmanの強制対流沸騰の式⁽¹⁾へ移行し、7(s)以後は ΔT_{sat} の増加によりBerensonの膜沸騰の式⁽¹⁾へ移行し、蒸気冷却では(Fig. 5・3・5のクオリティ=10)Dittus and Boelterの式⁽¹⁾が用いられ再び湿り蒸気となると膜沸騰の式が用いられている。上述の膜沸騰の式への移行は、表面熱流束(Fig. 5・3・21)は常にバーンアウト熱流束より小さいけれども、 ΔT_{sat} が大きいために強制対流沸騰の式ではバーンアウト熱流束を超えることによる。

5.4 #413の計算結果と実験データの比較

本節では実験#413の模擬計算結果と実験データの比較を行ない、両者の一致、不一致の原因について考察を述べる。比較は圧力、差圧、流体温度、燃料棒表面温度について行い、それぞれ計算結果と実験データを同一のグラフに作図して示す。これらの図はTable 5.4.1の図番号にそれぞれ示す。

5.4.1 圧力の比較

圧力の比較をFig. 5.4.1~Fig. 5.4.5に示す。これらは細かい点を除けば傾向的な一致が得られており、減圧曲線を定める式(5.3-3)についての計算モデルがほぼ妥当であることが解る。以下に細部の相違について検討する。Fig. 5.4.1の加圧器の圧力について、実験データは破断直後に $6(\text{kg}/\text{cm}^2)$ ほど急減圧を示しているが、これは水部が若干サブクール度($< 3^\circ\text{C}$)を有していた可能性と減圧沸騰遅れの影響によると考えられる。以後、一定の減圧速度の部分で計算値が若干小さいのは、約30%ある壁面伝熱の影響(Table 5.3.2)が少し大き目に算定されたためと考えられる(気水分離による蒸気冷却領域が計算上考慮されていないため⁽²²⁾)。またこのため計算では、残存水量が少なく、更に蒸気臨界流量が上流の要素の比重量を用いて過大に算定されたので、蒸気放出時の減圧速度が実験データより大きい。蒸気放出に移り減圧速度が急増する時刻が計算で早いのは初期水位が実際より低く与えられたためと考えられる。40(s)以後では両者の相違はループ圧力の相違による。

圧力容器の圧力はFig. 5.4.2に示すように、10(s)までは比較的良く一致しているが、10~20(s)まで計算値の方が低い。これは、計算では上部プレナム二相液位が出口ノズルに早く低下し#1破断口の蒸気放出が早く始まるためである(このメカニズムは流体温度の比較で検討する)。しかしこの間減圧速度は両者ではほぼ等しいから式(5.3-3)右辺の総和について両者がほぼ等しいことが解る。実験データは23(s)で圧力上昇を示すが、これはダウンカマに達したACC2注入水が大量の蒸気凝縮を生じそれに応じて上部プレナムから炉心へ二相流の流入が増大し、燃料棒上部をクウェンチし多量の蒸気を発生したためと考えられる。実際Fig. 5.4.15は燃料棒表面温度の実験データであり、23(s)に計測点1がクウェンチし、32(s)ごろ計測点2がクウェンチしている。32(s)では圧力上昇が生じていないのはクウェンチ点の移動速度が遅いためと考えられる。またFig. 5.4.12は炉心差圧データであり、実験では23(s)に炉心下向き流れが増大したことを示している。一方、計算上の圧力はダウンカマ伝熱(Fig. 5.3.17)に応じて20~30(s)で緩やかに上昇している。44(s)以後では、実験データは大気圧程度に保たれているのに対して、計算結果は数気圧に増圧して行く。この相違の原因は、LPCI 1注入水によるSG1入口プレナムの二相液位の上昇が計算では速いため輸送される液流量が増加し、#1破断口クオリティの減少が体積流出量を減少させるからであると推定される(Fig. 5.3.15, Fig. 5.3.10)。なぜならば、LPCIを低温側配管へ注入した#312ではこの相違は無く(Fig. 6.4.2)、また計算と実験の伝熱による蒸発量の差が40~75(s)の長時間にわたってこれほどの圧力差を生じ得無いと考えられるからである。

破断口付近の圧力について、他の圧力と異なる点についてのみ述べる。

破断直後の圧力回復について、実験データと計算結果が良く一致している場所 (Fig. 5・4・5) と一致が悪い場所 (Fig. 5・4・3) がある。破断直後の圧力回復は、高温部の高圧力が局所サブクールによる減圧幅の一部分を回復するものであり、したがって両者の一致、不一致は主に局所的なサブクール度の相違によると考えられる。破断ループ高温側配管系の圧力は、7～12(s) で圧力変化が緩やかになる傾向がある (Fig. 5・4・3, Fig. 5・4・4)。これは、上部プレナム圧力 (Fig. 5・4・2) が直線的に減圧していることから、上部プレナム出口付近の差圧が減少していることになる。差圧 ΔP は

$$\begin{aligned}\Delta P &= \frac{\phi \zeta W^2}{2gA^2r} = \frac{\phi \zeta}{2gA^2} \frac{Q^2}{v} \\ &\approx \frac{\phi \zeta}{2gA^2} \frac{Q^2}{x v_{gl}}\end{aligned}\quad (5・4-1)$$

である。上部プレナム出口クオリティの増加に対する差圧の変化 $\delta(\Delta P)$ は、破断口の臨界流速がほぼ一定であるから Q の変化を無視すれば

$$\delta(\Delta P) \approx \frac{-\phi \zeta}{2gA^2} \frac{Q^2}{v_{gl}} \frac{\delta x}{x^2}\quad (5・4-2)$$

となる。上式よりクオリティ x が小さい出口付近で差圧の減少が大きく、 x が大きい配管内では差圧の変化が比較的小さくなり、7～12(s)で配管系の減圧が緩やかになることが解る。#1破断口では、Fig. 5・4・4に示すように、10(s)以前で計算結果の方が高圧である。これは破断ループ高温側配管系の圧力損失が小さく算定されているためである(上部プレナム圧力はほぼ等しいから)。

5.4.2 流体温度の比較

流体温度の比較をFig. 5・4・6～Fig. 5・4・11に示す。これらは二相状態では飽和温度を示すため両者の相違は圧力の相違に帰着されるが、蒸気単相状態では過熱温度となり非常に敏感に相違が現われる。過熱温度についての実験データと計算結果の一致・不一致により、二相状態と蒸気単相状態の分布を比較することができ、それらをもたらし流動を或程度推定することができる。

実験データと計算結果の全般的な相違は、健全ループ高温側配管および上部プレナムで実験データが飽和温度を示し、計算結果が過熱温度を示す傾向があり、健全ループ低温側配管では両者は反対の傾向を示すことである。Fig. 5・4・7の健全ループ高温側配管およびFig. 5・4・6の上部プレナムに関する両者の相違は、SG2入口プレナムの残存水が計算上少な過ぎるためと考えられる。SG2入口プレナムでは、伝熱管から上部プレナムに向う流れがプレナム壁面に衝突し旋回流となり気水分離が生じにくい効果があるが、計算ではこの効果を考慮していないため、残存

水が過小になると考えられる。上部プレナムでは、健全ループから流入した流れがプレナム内に旋回流を生じ、また一部が模擬燃料棒リード部に衝突し上昇流となり、二相液位を上昇させる効果があるが、計算ではこの効果を十分には考慮していないため残存水が過小になると考えられる。この点は#312の計算結果に顕著に現われている（第6・3章参照）。Fig. 5・4・8の健全ループ低温側配管における実験データと計算結果の相違は、ACC注入水の壁面冷却による蒸発量が過大に算定され、注入水の蒸気凝縮によるSG2から注入点へ向う流量が過小に算定されるためであると考えられる。すなわち、ACC注入水による配管冷却は注入点付近から次第に広がるものであるが、計算ではボリュームの配管全部が同時に冷却される扱いのため短時間に大量の蒸気が発生し壁面温度が下がるまでそれが続き、SG2出口プレナムからの流量を減少させるためであると考えられる。

破断ループ高温側配管では、実験データと計算結果の両方に過熱温度の振動が生じている。Fig. 5・4・9のP1ポンプ出口部の温度は、LPCI注入前で両者の温度振動が比較的良く一致している。特に、17(s)～35(s)の過熱温度の振動は、上部プレナム出口でクオリティが1.0に近い微小な流量振動が両者で比較的一致しており、それがSG1の伝熱により過熱温度振動として現われているものである。35(s)以後では、計算値はLPCI注入後直ちに飽和温度を示し、実験データは50(s)以後に飽和温度を示している。この相違は、計算では配管内の気液間すべり効果考慮していないため注入水のSG1注入が過大に算定される傾向があり、さらに炉心等における注入水の壁面伝熱による蒸発量が過大に算定されSG1流入量が過大になる傾向があるため、SG1入口プレナムの二相液位の上昇が計算上速くなるためと考えられる。これは破断口のクオリティを低下させるため流出体積流量の減少を生じ、計算上のループ圧力が高くなる原因ともなっている。

破断ループ低温側配管系の温度をFig. 5・4・10に示す。両者は大体飽和温度であるが、ACC1注入点付近であるためときどきサブクール温度を示している。実験データのサブクール温度振動が40(s)付近で大きいのは計測値が局所的な温度であるためと考えられる。計算値の54, 72(s)の短時間のスパイクはダウンカマから過熱蒸気が流入する計算になっているためであり実験データに対応はないが、非常に小さいから無視できると考えられる。

加圧器系の温度をFig. 5・4・11に示す。計算値は飽和温度を示し、実験データもほぼ飽和温度であるが、計測値の72(s)における小さな温度振動はサージラインの管壁により過熱化した蒸気が逆流し計測点で局所的な影響を生じたものと考えられる。

5.4.3 差圧の比較

差圧の比較はFig. 5・4・12, Fig. 5・4・13に示す。実験データと計算結果の相違が破断直後の差圧振動および、ECCS注入水による差圧振動について生じている。すなわち、Fig. 5・4・12（炉心差圧）は、破断直後では、計算値が瞬時破断の扱いのために圧力振動による差圧振動を生じているが、一方実験データは、破断時間が圧力振動の周期に比べて無視できない程度であるため、破断直後の圧力振動が小さく差圧の変化がなめらかに生じているものであると考えられる。2(s)～21(s)では、両者は非常に小さな値のため伝熱量や静水圧の影響を受け易い。6(s)における計算値のピークは計算不安定によるものと考えられるが流動に及ぼす影響は無視できると考えられる。12(s)の実験データの微小な増加は破断ループ高温側配管系の蒸気放出への移行が炉心下向

き流れを減少させ静水圧の影響が大きくなったためと考えられるが、計算では炉心部の水量が少ないため生じていない。21(s)～35(s)では、実験データと計算結果は反対の傾向を示している。これは、既に圧力および流体温度の比較で述べたように、実験現象では上部プレナムに残存する水量が多く、それがACC注入水の蒸気凝縮による炉心下向き流れに乗って炉心上部をクウエンチし多量の蒸気を生じるためと考えられるのに対して、計算ではACC2注入水の一部がダウンカムから下部プレナムに流入し、ダウンカム壁面伝熱により生じた多量の蒸気が下部プレナムの水を上部プレナムへ噴き上げているためである。35(s)以後では、実験データの緩やかな増加はLPCI注入水の炉心蓄水を示しているが、計算結果は45～48(s)と50～60(s)にLPCI注入水の燃料棒冷却による激しい差圧振動を示している。計算で大きな差圧振動を生じる主な原因は、実験現象における流れの低温壁面（非発熱部）への集中効果⁽³⁾の扱いおよびLPCI注入水によるクウエンチ点の移動の扱いが不十分なため、LPCI注入水の燃料棒冷却による蒸発量が過大に算定される傾向があり、気液間スベリについて均質流的扱いのため蒸気流れによる体積流量が過小に算定される傾向があり、さらに前述したように破断ループ高温側配管の破断点クオリティが過小のため流出体積流量が過小に算定される傾向があることによると考えられる。破断ループ蒸気発生器の入口－出口の差圧をFig. 5・4・13に示す。破断直後の差圧変動は実験データより計算結果の方が大きい。これは炉心差圧の場合と同様な原因によると考えられる。3～7(s)では計算値に短時間のスパイクが生じている点を除けば両者は一定値で比較的良く一致している。上部プレナムの圧力がFig. 5・4・2に示すように減少しているにもかかわらず差圧はほぼ一定に保たれているのは、既に圧力の比較で述べたように、クオリティが比較的大きい配管系内では式(5・4-2)より差圧の変化が比較的小さいためと考えられる。7～13(s)では計算値の方が早く減少している。これは上部プレナム出口でクオリティ増加が早く生じたことや、二相流圧力損失を均質流扱い(増倍係数10)していることも一因と考えられるが、圧力損失に影響する因子が多く明確にすることができない。40(s)以後、両者に生じている差圧振動はLPCI注入水がSG1で伝熱を受けて生じる流量振動によるものである。計算結果の方が大きく生じている原因は、既に圧力の比較や炉心差圧の比較で述べたように、SG1入口プレナムにおける二相液位の上昇が速過ぎ、LPCI注入水の燃料棒冷却による蒸発量が多過ぎるためであると考えられる。

5.4.4 燃料棒表面温度の比較

燃料棒表面温度の比較をFig. 5・4・14に示す。実験データは#1RodのPositon 3(最高出力点)の温度であり、計算データのうちで最も高い温度データである。両者の比較により、燃料棒冷却に関する流動を或程度推定することができる。計算結果は3(s)に温度上昇を開始するが、実験データは14(s)に開始する。炉心差圧が比較的良く一致している(Fig. 5・4・12)から流量・クオリティに大きな相違があるとは考えられない。また、実験データはほぼ飽和水の温度で下降し、急激に上昇を開始するが、これは液膜が切れて表面が乾くことによる温度変化であると考えられる。⁽²³⁾一度表面が乾くと高温壁面のライデンフロスト現象⁽¹⁸⁾により液滴がはじかれるため温度上昇が続く。一方、計算で用いられたSchrock and Grossmanの強制対流の式⁽¹¹⁾は比較的高流量、高熱流束に関する実験データを流量・クオリティについて整理したものであり、本計算では実験範囲外へ外挿して用いられたため熱伝達率が過小に算定され温度上昇が早く開始している。さら

に、7(s)で流量の増加が生じ(Fig. 5・3・8)熱伝達率が大きく算定されたときすでに ΔT_{sat} が大きな値であるためバーンアウト熱流束を超えるものとなり膜沸騰熱伝達の式へ移行している(Fig. 5・3・20)。このような相違の原因は、Schrock and Grossman 式の外挿に際して、液膜による冷却の伝熱モデルが考慮されていないためであると考えられる。14~44(s)では両者の温度勾配がほぼ同じであるから、この間に使用された膜沸騰または蒸気単相の伝熱計算は妥当であると考えられる。44~60(s)では計算結果の冷却が大きい。この相違の主な原因は、既に炉心差圧の比較で述べたように、LPCI 注入水の非加熱壁面への片寄効果⁽³⁾と、冷却壁面積の時間変化を計算上考慮していないことなどのためと推定され、熱伝達率の計算式(膜沸騰の式が用いられている)の不備によるものとは考えられない。

5.4.5 ポンプ回転数の比較

最後にポンプについて比較を述べる。実験データは、ポンプ回転数のコストダウン(1680(rpm)→約0(rpm))時間がポンプトリップ後P1=1(s), P2=3(s)であり、その後P1, P2共にほぼゼロ回転に保たれている。(図省略)。

一方、計算結果はプリントアウトが2(s)間隔のため正確なデータでないが、P1, P2共に2(s)のアウトプットで0(rpm)となり、以後P1, P2共にほぼ0(rpm)が算定されている(図省略)。したがって、ポンプ停止の挙動について、実験データと計算結果は比較的良く一致している。ポンプ回転数の変化はゼロトルク点への推移であり、ゼロトルク点がほぼゼロ回転点になっていることを示している(計算で用いたポンプ特性曲線がLOFT Semiscale System Pump の計測値にゼロトルク点をゼロ回転に移す修正をほどこしたものであるのはこの理由による)。

ポンプヘッドについては、定格で無次元化した(無次元回転数/無次元流量) = (α/v) は、ブロータウンによる流量増加により v が短時間で急増し、コストダウンにより α が減少するため、直ちにゼロに近づく。したがって、ポンプヘッドはポンプ特性曲線(Fig. 5・1・2)の曲線2 ($h/(\alpha/v)^2$, α/v)における $\alpha/v=0$ の値に収束する。

健全ループのポンプヘッドおよび圧力損失はポンプが回転を続けていれば、健全ループの差圧・流量に影響するため、炉心の差圧・流量に影響し、燃料棒冷却に影響を及ぼす。これらの詳細はポンプを15(s)回転した実験⁽¹³⁾の解析が必要と考えられる。

6. 実験#312の解析

本章は実験#312⁽¹⁴⁾の解析を行なう。解析は、実験条件の説明、計算ノーディングの説明、計算結果の説明、実験データと計算結果の比較および考察を行なう。これらは第5章に述べた実験#413の解析との相違点について主に説明する。

6.1 #312の実験条件

実験#312の特徴は、実炉を模擬してLPCIを低温側配管に注入し、破断ループ循環ポンプの

に、7(s)で流量の増加が生じ (Fig. 5・3・8) 熱伝達率が大きく算定されたときすでに ΔT_{sat} が大きな値であるためバーンアウト熱流束を超えるものとなり膜沸騰熱伝達の式へ移行している (Fig. 5・3・20)。このような相違の原因は、Schrock and Grossman 式の外挿に際して、液膜による冷却の伝熱モデルが考慮されていないためであると考えられる。14~44(s)では両者の温度勾配がほぼ同じであるから、この間に使用された膜沸騰または蒸気単相の伝熱計算は妥当であると考えられる。44~60(s)では計算結果の冷却が大きい。この相違の主な原因は、既に炉心差圧の比較で述べたように、LPCI 注入水の非加熱壁面への片寄効果⁽³⁾と、冷却壁面積の時間変化を計算上考慮していないことなどのためと推定され、熱伝達率の計算式 (膜沸騰の式が用いられている) の不備によるものとは考えられない。

5.4.5 ポンプ回転数の比較

最後にポンプについて比較を述べる。実験データは、ポンプ回転数のコーストダウン (1680 (rpm) → 約 0 (rpm)) 時間がポンプトリップ後 P1 = 1(s), P2 = 3(s) であり、その後 P1, P2 共にほぼゼロ回転に保たれている。(図省略)。

一方、計算結果はプリントアウトが 2(s) 間隔のため正確なデータでないが、P1, P2 共に 2 (s) のアウトプットで 0 (rpm) となり、以後 P1, P2 共にほぼ 0 (rpm) が算定されている (図省略)。したがって、ポンプ停止の挙動について、実験データと計算結果は比較的良く一致している。ポンプ回転数の変化はゼロトルク点への推移であり、ゼロトルク点がほぼゼロ回転点になっていることを示している (計算で用いたポンプ特性曲線が LOFT Semiscale System Pump の計測値にゼロトルク点をゼロ回転に移す修正をほどこしたものであるのはこの理由による)。

ポンプヘッドについては、定格で無次元化した (無次元回転数/無次元流量) = (α/v) は、ブローダウンによる流量増加により v が短時間で急増し、コーストダウンにより α が減少するため、直ちにゼロに近づく。したがって、ポンプヘッドはポンプ特性曲線 (Fig. 5・1・2) の曲線 2 ($h/(\alpha/v)^2$, α/v) における $\alpha/v = 0$ の値に収束する。

健全ループのポンプヘッドおよび圧力損失はポンプが回転を続けていれば、健全ループの差圧・流量に影響するため、炉心の差圧・流量に影響し、燃料棒冷却に影響を及ぼす。これらの詳細はポンプを 15(s) 回転した実験⁽¹³⁾の解析が必要と考えられる。

6. 実験 #312 の解析

本章は実験 #312⁽¹⁴⁾の解析を行なう。解析は、実験条件の説明、計算ノーディングの説明、計算結果の説明、実験データと計算結果の比較および考察を行なう。これらは第 5 章に述べた実験 #413 の解析との相違点について主に説明する。

6.1 #312 の実験条件

実験 #312 の特徴は、実炉を模擬して LPCI を低温側配管に注入し、破断ループ循環ポンプの

吐出口面積が破断口面積より小さいため臨界流を生じ、2つの破断口の面積を変える面積配分破断の1種になることである。

#312の実験条件は、初期圧力160(at)、初期炉心流速18(m/s)、初期炉心入口温度306(°C)、初期炉心出口温度318(°C)、低温側配管両端最大口径破断、ACCおよびLPCIを低温側配管へ注入である。両ループの流量、ポンプ回転数、模擬燃料棒出力、ループの温度分布、2次系温度、加圧器圧力・水位、破断ループ循環ポンプ吐出口面積、破断口オフイス面積、ECCS系温度・流量についてTable 5・1・1に示す。なお過渡時の模擬燃料棒出力は、実炉の崩壊熱および遅発中性子による熱出力を模擬しているが、低出力棒において#413の場合より若干低い⁽²⁰⁾(Fig. 6・1・1)。

6.2 #312の計算ノーディングと解析条件

#312の計算ノーディングおよび解析条件は、#413に準じており、実験条件の相違点(LPCIを低温側配管へ注入)についてのみ異なっている。計算オプションは#413と全く同一のものを使用している。インプットデータリストをAppendixに示す。

6.3 #312の計算結果

計算結果は、燃料棒最高温度を決める上で関係の深い流動分布と燃料棒の伝熱について、要素の流体状態(圧力、温度、クオリティ、液相重量)、気水分離モデルの二相液位、およびこのマクロな流体状態分布を決める流路の流れ(流量、クオリティ)と壁面の伝熱量、燃料棒の伝熱に関する主要なグラフを示す。これらの図はTable 5・3・1の図番号にそれぞれ示す。

これらの図に示された現象上の背景として、Fig. 6・3・1に示す要因が考えられる。要因とその結果に関する#413との主な相違をFig. 6・3・2に示す。

これらの要因により圧力、温度、クオリティ、水重量の分布、流動振動、燃料棒表面温度について#413と相違が生じている。以下に#312の計算結果の特徴を#413との比較から説明する。

6.3.1 圧力変化の#413との相違

圧力については、Fig. 6・3・5に示す加圧器系の圧力は#413とほぼ同じである。Fig. 6・3・3に示す下部プレナム圧力は、P1ポンプで臨界流が生じ#1破断口の流出量が小さいため、ブローダウン時の減圧が#413より遅れる。40(s)以後では、LPCIを低温側配管に注入しているため、#1破断口のクオリティ(Fig. 6・3・9)が高く、流出体積流量が大きいから圧力は#413に比べて大気圧近くに保たれている。

6.3.2 流量変動の#413との相違

Fig. 6・3・2から解るように、ACC注入前では、#1破断口の流出流量が少ないため、加圧器を除くボリュームのクオリティ増加が#413より遅れ、ACC注入後では、ACC注入流量が少ない

いため炉心流量変動が#413に比べて小さい。これらの相違は、炉心の流体状態 (Fig. 6・3・4, Fig. 5・3・5) および炉心流量 (Fig. 6・3・7, Fig. 5・3・8) に示される。また、ダウンカム壁面伝熱 (Fig. 6・3・12) および壁面伝熱の総和 (Fig. 6・3・13) は、ACC注入流量が少ないために、#413より値が小さく時間も遅れて生じる。

ECCS注入水の炉心蓄水量については、Fig. 6・3・3の下部プレナム水重量に示されるように、#413の場合 (Fig. 5・3・4) より蓄水が遅れている。Fig. 6・3・3では、28(s)に少量の水の流入があり、28~43(s)ではこの水の下部プレナム壁面伝熱による蒸発と炉心からの蒸気がダウンカマを吹き上げるためACC注入水の蓄水が遅れると考えられる。43~60(s)以後では、ダウンカム壁面伝熱または炉心伝熱による蒸気流が下部プレナムを一種のFlooding状態にするため蓄水量がほぼ一定になる。この状態はFig. 6・3・10の下部プレナム二相液位の振動として現われており、この間#413の場合と蓄水量 (約2 kg) がほぼ同じである。

6.3.3 破断口の流量の#413との相違

破断口の流量についての#413との相違は、ブローダウン時に#1破断口でSG1入口プレナム二相液位の振動による流量振動が生じる点、およびLPCIを低温側配管へ注入するため両破断口の流れクオリティが異なる点である。#1破断口では、Fig. 6・3・8に示すように、5(s)でクオリティの急激な増加と流量の減少が生じ振動しているが、これは#413では生じていない (Fig. 5・3・10)。この原因は、#312においてのみP1出口面積が破断口よりも小さいためそこが臨界流となり、#413に比べて流量が小さく、そのためSG1入口プレナムで気水分離が生じ、二相液位の振動 (Fig. 6・3・11) に応じた流量・クオリティの振動が生じているものである。また#312ではLPCIを低温側配管へ注入しているため、高温側配管下流の#1破断口は35(s)以後も高クオリティに保たれる。一方Fig. 6・3・9の#2破断口は低クオリティに保たれている。同図で48(s)のクオリティのスパイクはACC, LPCI注入水の減圧効果により破断点ボリュームの圧力がダミーのコンテナボリュームより低圧となり逆流が生じたためである。しかし、流量的には極めて小さいスパイクであるから流動に及ぼす影響は無視できると考えられる。

6.3.4 燃料棒温度の#413との比較

燃料棒温度についての#413との相違は、温度上昇が遅れている点、および40~50(s)で#413に生じていた冷却効果の増加が非常に小さい点である (Fig. 6・3・14, Fig. 5・3・19)。#312で温度上昇の開始が遅れる原因は、炉心下向き流量が大きいためThomの核沸騰の式とSchrock and Grossmanの強制対流沸騰の式の内挿^(注)による熱伝達率が13(s)まで用いられ、熱伝達率が大きく保たれているためである (Fig. 6・3・15)。13~20(s)ではSchrock and Grossmanの式が用いられ、20(s)以後では蒸気単相強制対流または膜沸騰の式が用いられている。#413では40~50(s)に冷却効果の増加が生じていたが、#312ではLPCI注入点が高温側配管から低温側配管に変わっているためこの冷却効果がほとんど生じていない。

(注) 内挿条件とその方法についての説明が見当たらないので詳細は不明である。

6.4 #312の計算結果と実験データの比較

本節では実験#312の計算結果と実験データの比較を行ない、#413の場合と異なる点について考察する。比較は圧力、差圧、流体、温度、燃料棒表面温度について、計算結果と実験データを同一のグラフに作図して示す。これらの図はTable 6・4・1の図番号にそれぞれ示す。

6.4.1 圧力の比較に関する#413との相違

圧力については、#413の場合に比べて実験値と計算値の大小関係が反対の傾向がある。Fig. 6・4・1の加圧器圧力は、二相液位が出口ノズルより高い二相流出のとき、#413に比べて実験データより高い側に相違している。これは、計算値は両ケースではほぼ等しいが、実験データが#312で低いためであり、したがって初期水位の計算インプット精度は#413の場合より相対的に正確になったが（蒸気流出開始時間が一致している）、その分だけ壁面伝熱の気水分離による減少を計算上無視している影響が大きく現われたものと考えられる。蒸気流出に変わってからは、#413の場合と大小関係が反対になっているが、これは計算値の両ケースでの相違が大きいためである。両ケースの計算値の相違は、蒸気流出に変わった後、亜臨界流の流出状態が両ケースにおいてともに9～13(s)まで続き、この間ループの圧力が高い#312では流出量が小さくなるため加圧器内の二相液位の低下が速く、流出クオリティが高くなり残存水量が多くなるためである。40(s)以後の相違も計算上のループ圧力の相違による。Fig. 6・4・2の压力容器内の圧力は、#413の場合とは反対に、計算値が高い側にある。この相違は、既に第5.4項で述べたように上部プレナム二相液位について上昇流を要素平均流量にとるため、液位の低下が遅れているためであると考えられる。同図の50(s)以後では、#413に比べて実験データとの一致は良い。これは、LPCIを低温側配管に注入しているため#1破断口のクオリティが高く保たれ、流出体積流量が大きいからである。

6.4.2 流体温度の比較に関する#413との相違

流体温度については、Fig. 6・4・3, Fig. 6・4・4に示すように、実験データと計算結果はそれぞれ#413の場合と同じ傾向を示している。

6.4.3 差圧の比較に関する#413との相違

差圧については、炉心差圧およびSG1入口-出口差圧は#413より一致が悪い。炉心差圧は、Fig. 6・4・5に示すように、#413（Fig. 5・4・12）に比べて計算値の振動が少ない。これは、20～30(s)ではACC注入水の炉心流入が少ないため壁面伝熱による炉心流量振動が小さく、40～60(s)ではLPCIを低温側配管に注入しているためLPCI注入水の炉心伝熱による炉心流量振動が小さいためである。

SG1入口-出口差圧は、#413に比べて計算値が実験データより小さい（Fig. 6・4・6, Fig. 5・4・13）。これは、二相流圧力損失に影響する因子が多いため明確にすることはできないが、P1吐出口の縮流係数を過小にインプットしている可能性が考えられる。

6.4.4 燃料棒表面温度の比較に関する#413との相違

燃料棒表面温度は、#413に比べて、計算結果と実験データの一致が良い (Fig. 6・4・7, Fig. 5・4・14)。Fig. 6・4・7に示した実験データは#19 Rod の Position 3 (最高出力密度) の温度であり、他のすべてのデータよりドライアウトの時間が0~17(s)早く、最高温度も高い。したがって平均的な燃料棒表面温度に対しては、計算結果のドライアウトの方が早い傾向がある。実験データの最も早いドライアウト開始は、破断ループ高温側配管が蒸気流出となり体積流量が増加し、炉心下向き流れが減少する時刻に対応している。炉心下向き流れが減少すると、(上部プレナムノズル位置に応じた多次元流効果、燃料棒配列の伝熱に応じた多次元流効果による)流れの片寄りが相対的に大きくなり、液滴の付着が少なくなる燃料棒では表面の液膜が切れてドライアウトするものと考えられる。15(s)にACC注入が開始され、注入水の蒸気凝縮による炉心下向き流れの増加がクォエンチを促進するが、ACC注入水の壁面伝熱による蒸発が盛んになるとこれが蒸気凝縮効果を相殺するため炉心下向き流れは減少し、再びドライアウトが生じると考えられる。#312の実験データでドライアウトが11~28(s)にわたってバラツキがあるのはこのような理由によるものと考えられる。#413の実験データではドライアウトは14~15(s)に生じほとんどバラツキが無い。ドライアウト開始は、#312と同様に、破断ループ高温側配管が蒸気流出となり体積流量が増加する時刻と対応している。しかし、#312に比べてP1出口面積が大きく、破断ループ高温側配管が蒸気流出となる時間も遅れているため、#413ではドライアウト開始時の残存保有水量が少ない。そのため破断ループ高温側配管の体積流量増加に応じた炉心下向き流れの流量減少、クオリティ増加は#312より著しく、多くの点でドライアウトが生じ易い流動状態になると考えられる。また、ACC注入開始(15(s))により、ACC注入水の蒸気凝縮効果が炉心下向き流れを増加させるが、他方健全ループの上部プレナム流入量も減少させ、上部プレナム内の減圧沸騰を増加させるため炉心下向き流れのクオリティが増加する傾向が生じ、これはドライアウトを促進する影響をもつ。#413の実験データは、ACC注入開始によりドライアウトが促進されていることを示しており、この時点で全計測点がドライアウトしている。

一方、両ケースの計算結果の相違は、Schrock and Grossman の熱伝達率が炉心流量の大小により異なっているためである。#312では炉心下向き流量が大きいため式の適用範囲にあり、蒸気冷却(または膜沸騰)への移行も短時間で生じ、実際の伝熱の模擬が比較的良くなったと考えられる。なお、ドライアウトのバラツキを模擬するために、計算ノーディングを細かくすることが考えられるが、非常に小さい圧力差の計算であり計算精度が問題になるから、多次元流効果による流れの片寄りを考慮した分布型計算モデルの開発も考えられる。

6.4.5 ポンプ回転数の比較に関する#413との相違

最後にポンプについて、実験データと計算結果は、#413の場合と同様な傾向があり、回転数の比較的良い一致が得られた。

7. 改良後のRELAP4Jの評価

第5.4項, 第6.4項に述べた実験データと計算結果の比較検討に基づいて, 改良後のRELAP4Jを評価する。評価は流動計算, 伝熱計算, 数値計算について妥当な点, 不備な点について述べる。

流動計算について

- ① 比較的マクロな熱流動計算(流出質量・エネルギー, ループ内の平均化した流動, 伝熱総量)は, 圧力について実験データの傾向が比較的良く模擬されており, 妥当であると考えられる。
- ② 比較的ミクロな熱流動計算(二相液位, 注入水の混合, 壁面冷却域, 気液間スベリ, 容器内の多次元流効果)は, PV上部プレナムおよび健全ループの流体温度について実験データとの一致が比較的悪い。この点に関する計算上の不備は,
 - (a) PV上部プレナムおよびSG2入口プレナムの二相液位の計算に, 流入流量の上昇流形成による液位の低下遅れが十分考慮されていない。
 - (b) ECCS注入水の壁面冷却の計算が, 注入水の移動による冷却領域の増加(クエンチ点の移動)を十分考慮していないため, 短時間に過大な蒸発量を算定し, 注入水の蒸気凝縮が相殺される傾向および圧力上昇を生じる傾向がある。
と考えられる。炉心差圧データとの比較は, ECCS注入水による流動振動が過大に算定されていることを示す。この点に関する計算上の不備は上記(b)のほかに,
 - (c) 圧力容器および破断ループのECCS注入水流入部の計算が, 気液対向流効果など気液間のスベリ効果^(注)を十分考慮していないため, 体積流量を過小に質量流量を過大に算定し, 炉心蓄水量を小さく算定する傾向がある。
 - (d) #413に関して, LPCI注入水によるSG1入口プレナム二相液位の計算において, 上記(b), (c)項により流入流量が過大に算定されるため液位の上昇が速過ぎる傾向がある。
と考えられる。

伝熱計算について

- ③ 燃料棒表面温度の計算は, 実験データが液膜冷却とそれが切れてドライアウトする傾向を示すのに対して, Schrock and Grossman の強制対流沸騰の式⁽¹⁾を低流量について外挿している扱いが熱伝達率を過小に算定し, 温度上昇を早く生じさせる傾向がある。これは最高温度を高く見積るから保守側の計算であるが, 低流量における伝熱モデルが十分考慮されていないと考えられる。
- ④ 燃料棒表面温度のバラツキおよび炉心流量が低温壁面へ集中する効果の計算は, 計算ノードニングを細かくとることにより或程度考慮できるが, ボリューム内では多次元流効果による流れの片寄りを考慮していないため計算精度が問題になると考えられる。

(注) RELAP4-MoD5⁽²⁾ではFloodingモデル等により改良が進んでいる。

- ⑤ 気水分離モデルの壁面伝熱が均質流的であるため、蒸気冷却部の伝熱を過大に算定する傾向がある。⁽²²⁾

数値計算について

- ⑥ 計算不安定によるスパイクはほとんど生じない。
 ⑦ 計算時間は従来に比べていちじるしく低減した($\frac{1}{5} \sim \frac{1}{10}$ に低減)。本報で行なった計算は計算ステップ時間の平均が、.012(s)である。

なる評価がRELAP4Jについて得られた。設計等への利用に際してはこれらの点を目的に応じて安全側に計算する必要があると考える。なお、本研究によるプログラム改良点(Fig. 3-1の④~⑦)により、流出流量、気水分離による質量・エネルギー分布、ECCS注入水の流動、低クオリティ域の熱力学的非平衡について実現象の模擬が改善され、さらにImplicit化に関する改良により計算の安定化が得られた。

8. 現象の推移に関するまとめ

第5・4項、第6・4項の実験データと計算結果の比較検討に基づいて、現象の推移に支配的と考えられる因子を以下にまとめる。

本報で扱った低温側破断実験の代表的な2ケース(#413, #312)の現象の推移について支配的と考えられる特徴は下記の通りである。

- ① 1次系の圧力変化の推移は、Fig. 4・9に示すパラメタの対応が得られた。これらは計算結果であるが実験現象にも類似した対応があると考えられる。
- ② 破断口からの流出流量は、計算上は#1破断口では破断直後から二相流出となり上部プレナム二相液位の低下に応じて蒸気流出に移る(Fig. 5・3-10)。#2破断口では破断後2(s)程度サブクール流出であるが、その後二相流出に移り、さらにACC注入開始により再びサブクール流出に変化し、ACC注入停止により二相流出に移る(Fig. 5・3-11)。これらは計算結果であるが、破断口上流側の流体圧力・温度について計算結果と実験データの一致が比較的良いから、実験現象に比較的近いものと考えられる。
- ③ 破断ループ高温側配管の圧力は、上部プレナム出口クオリティの増加に応じて出口付近の圧力損失が式(5・4-2)に示すように減少するため、8~12(s)で減圧が緩やかになり(Fig. 5・4・3)、配管系内ではクオリティが比較的大きいため差圧の時間変化が小さくほぼ一定の差圧が続く(Fig. 5・4・13)。しかし、上部プレナム二相液位の低下により蒸気流出に移るとき式(5・4-1)(5・4-2)から解るように差圧は急激に減少する。(Fig. 5・4・13)。
- ④ 燃料棒表面温度(Fig. 5・4・14, Fig. 6・4・7)について、実験データは破断直後から昇温開始まではほぼ飽和水温度で低下している。しかし破断ループ高温側配管が蒸気流出に変化し、体積流量が増加すると、炉心下向き流れが減少するため表面の液膜が切れてドライアウトを生じ、急激な温度上昇が始まる。#312でドライアウトの時刻にバラツキが生じているのは、上部プレナムノズル位置や燃料棒配列に応じた多次元効果⁽³⁾による流れの片寄りが、液膜のドライアウトに影響する大きさであるためと考えられる。低温側配管でのACC注入水の蒸気凝縮は、炉

- ⑤ 気水分離モデルの壁面伝熱が均質流的であるため、蒸気冷却部の伝熱を過大に算定する傾向がある。⁽²²⁾

数値計算について

- ⑥ 計算不安定によるスパイクはほとんど生じない。
 ⑦ 計算時間は従来に比べていちじるしく低減した($\frac{1}{5} \sim \frac{1}{10}$ に低減)。本報で行なった計算は計算ステップ時間の平均が、.012(s)である。

なる評価がRELAP4Jについて得られた。設計等への利用に際してはこれらの点を目的に応じて安全側に計算する必要があると考える。なお、本研究によるプログラム改良点(Fig. 3-1の④~⑦)により、流出流量、気水分離による質量・エネルギー分布、ECCS注入水の流動、低クオリティ域の熱力学的非平衡について実現象の模擬が改善され、さらにImplicit化に関する改良により計算の安定化が得られた。

8. 現象の推移に関するまとめ

第5・4項、第6・4項の実験データと計算結果の比較検討に基づいて、現象の推移に支配的と考えられる因子を以下にまとめる。

本報で扱った低温側破断実験の代表的な2ケース(#413, #312)の現象の推移について支配的と考えられる特徴は下記の通りである。

- ① 1次系の圧力変化の推移は、Fig. 4・9に示すパラメタの対応が得られた。これらは計算結果であるが実験現象にも類似した対応があると考えられる。
- ② 破断口からの流出流量は、計算上は#1破断口では破断直後から二相流出となり上部プレナム二相液位の低下に応じて蒸気流出に移る(Fig. 5・3-10)。#2破断口では破断後2(s)程度サブクール流出であるが、その後二相流出に移り、さらにACC注入開始により再びサブクール流出に変化し、ACC注入停止により二相流出に移る(Fig. 5・3-11)。これらは計算結果であるが、破断口上流側の流体圧力・温度について計算結果と実験データの一致が比較的良いから、実験現象に比較的近いものと考えられる。
- ③ 破断ループ高温側配管の圧力は、上部プレナム出口クオリティの増加に応じて出口付近の圧力損失が式(5・4-2)に示すように減少するため、8~12(s)で減圧が緩やかになり(Fig. 5・4・3)、配管系内ではクオリティが比較的大きいため差圧の時間変化が小さくほぼ一定の差圧が続く(Fig. 5・4・13)。しかし、上部プレナム二相液位の低下により蒸気流出に移るとき式(5・4-1)(5・4-2)から解るように差圧は急激に減少する。(Fig. 5・4・13)。
- ④ 燃料棒表面温度(Fig. 5・4・14, Fig. 6・4・7)について、実験データは破断直後から昇温開始まではほぼ飽和水温度で低下している。しかし破断ループ高温側配管が蒸気流出に変化し、体積流量が増加すると、炉心下向き流れが減少するため表面の液膜が切れてドライアウトを生じ、急激な温度上昇が始まる。#312でドライアウトの時刻にバラツキが生じているのは、上部プレナムノズル位置や燃料棒配列に応じた多次元効果⁽³⁾による流れの片寄りが、液膜のドライアウトに影響する大きさであるためと考えられる。低温側配管でのACC注入水の蒸気凝縮は、炉

心体積流量を増加させる点でクエンチを促進する効果をもつが、他方健全ループ側の上部プレナム流入量を減少させ上部プレナムの減圧沸騰を促し、炉心下向き流れのクオリティを増加させる点ではドライアウトを促進する効果をもつ。すなわち、上部プレナム内の残存水が多い場合クエンチを促進する効果を生じ、残存水が少ない場合ドライアウトを促進する効果を生じ、それぞれ#312, #413のケースに見られる。また、#413では23(s)にACC注入水による蒸気凝縮が炉心下向き流量を増加させるため燃料棒上部がクエンチするが(Fig. 5・4・15)これらはACC注入開始後8(s)経過しているから健全ループ低温側配管が注入水で満たされており健全ループの上部プレナム流入量の変化は小さく、上部プレナム二相液位の上昇がほとんど生じなかったためと考えられる。(なお、注入後ある時間を経て凝縮効果が大きくなった点は計算上のモデルでは模擬されていない。)

- ⑤ PV上部プレナムおよびSG2入口プレナムにおける二相液は流入流量の上昇流効果のため液位の低下がおそく、これらの箇所に残存する液量が以外に多い。上部プレナム残存水はACC注入水の蒸気凝縮による炉心下向き流れの増加に乗って燃料棒をクエンチする傾向がある。
- ⑥ ECCS注入水が壁面をクエンチする速度は、計算上のボリューム内で瞬時にクエンチする扱いに比べて遅く、そのためECCS注入水の蒸気凝縮効果がクエンチ面の蒸発効果に先行して生じ、その後両者が相殺するようになる。ECCS注入水と蒸気の混合部における気液対向流などの気液間スベリ効果や不完全混合効果は、蒸気流れによる体積流量を増加させるため、ループの圧力が上昇せず流量振動も緩和する効果がある。
- ⑦ ポンプ回転数の推移はポンプトリップ後ゼロトルク点へ変化していくが(Fig. 5・1・2)、ゼロトルク点がゼロ回転点に対応しているため単純なコストダウンを示している。ポンプヘッドまたはポンプの圧力損失は健全ループの差圧、流量に影響するため炉心の差圧・流量に影響し燃料棒冷却に影響を及ぼす。

9. 結 論

本報は、ROSA-II低温側破断実験の代表的な2ケース(#413, #312)について、RELAP 4Jを用いて解析し、次の結論を得た。

- (1) パラメータサーベイにより、計測圧力データの推移はFig. 4・8に示す支配的なパラメータの対応があることを示した。
- (2) パラメータサーベイを通じて、RELAP 4Jの問題点を挙げ、必要な改良を行ないRELAP 4J R IIを開発した⁽¹⁴⁾(Fig. 3・1)。
- (3) 詳細な検討により、LOCA過程の計算結果に支配的な因子は流出流量、二相液位の形成、伝熱形態と伝熱量およびそれに基づく流量変動、ECCS注入水の凝縮減圧効果であることを示した。特に、ECCS注入は、引続いて伝熱-流量変動ならびに二相液位-流量変動を起こすことを示した。これらは実現象についても類似しているものと考えられる。
- (4) 詳細な計算結果と実験データの比較検討により改良後のRELAP 4Jを評価し、比較的マクロな熱流動現象についての妥当性を示した。しかし一方、気液対向流などの気液間スベ

心体積流量を増加させる点でクエンチを促進する効果をもつが、他方健全ループ側の上部プレナム流入量を減少させ上部プレナムの減圧沸騰を促し、炉心下向き流れのクオリティを増加させる点ではドライアウトを促進する効果をもつ。すなわち、上部プレナム内の残存水が多い場合クエンチを促進する効果を生じ、残存水が少ない場合ドライアウトを促進する効果を生じ、それぞれ#312、#413のケースに見られる。また、#413では23(s)にACC注入水による蒸気凝縮が炉心下向き流量を増加させるため燃料棒上部がクエンチするが(Fig. 5・4・15)これらはACC注入開始後8(s)経過しているから健全ループ低温側配管が注入水で満たされており健全ループの上部プレナム流入量の変化は小さく、上部プレナム二相液位の上昇がほとんど生じなかったためと考えられる。(なお、注入後ある時間を経て凝縮効果が大きくなった点は計算上のモデルでは模擬されていない。)

- ⑤ PV上部プレナムおよびSG2入口プレナムにおける二相液は流入流量の上昇流効果のため液位の低下がおそく、これらの箇所に残存する液量が以外に多い。上部プレナム残存水はACC注入水の蒸気凝縮による炉心下向き流れの増加に乗って燃料棒をクエンチする傾向がある。
- ⑥ ECCS注入水が壁面をクエンチする速度は、計算上のボリューム内で瞬時にクエンチする扱いに比べて遅く、そのためECCS注入水の蒸気凝縮効果がクエンチ面の蒸発効果に先行して生じ、その後両者が相殺するようになる。ECCS注入水と蒸気の混合部における気液対向流などの気液間スベリ効果や不完全混合効果は、蒸気流れによる体積流量を増加させるため、ループの圧力が上昇せず流量振動も緩和する効果がある。
- ⑦ ポンプ回転数の推移はポンプトリップ後ゼロトルク点へ変化していくが(Fig. 5・1・2)、ゼロトルク点がゼロ回転点に対応しているため単純なコストダウンを示している。ポンプヘッドまたはポンプの圧力損失は健全ループの差圧、流量に影響するため炉心の差圧・流量に影響し燃料棒冷却に影響を及ぼす。

9. 結 論

本報は、ROSA-II低温側破断実験の代表的な2ケース(#413、#312)について、RELAP 4Jを用いて解析し、次の結論を得た。

- (1) パラメタサーベイにより、計測圧力データの推移はFig. 4・8に示す支配的なパラメタの対応があることを示した。
- (2) パラメタサーベイを通じて、RELAP 4Jの問題点を挙げ、必要な改良を行ないRELAP 4J R IIを開発した⁽¹⁴⁾(Fig. 3・1)。
- (3) 詳細な検討により、LOCA過程の計算結果に支配的な因子は流出流量、二相液位の形成、伝熱形態と伝熱量およびそれに基づく流量変動、ECCS注入水の凝縮減圧効果であることを示した。特に、ECCS注入は、引続いて伝熱-流量変動ならびに二相液位-流量変動を起こすことを示した。これらは実現象についても類似しているものと考えられる。
- (4) 詳細な計算結果と実験データの比較検討により改良後のRELAP 4Jを評価し、比較的マクロな熱流動現象についての妥当性を示した。しかし一方、気液対向流などの気液間スベ

り効果、特定な箇所の二相液位の低下遅れ、ECCS 注入水による冷却域（クエンチ点）の移動、低流量に対する燃料棒の液膜冷却、炉心内の多次元流効果による流れの低温壁面への片寄りなどの比較的ミクロな熱流動現象の考慮が十分でないために質量・エネルギー分布、燃料棒温度等に相違が生じることを指摘した（炉心蓄水量は少なく算定されることになる）。

- (5) 詳細な計算結果と実験データの比較検討に基づいて、実験現象の推移に支配的なつぎの因子をあげることができる。それらは、①破断口の流出特性、②PV 上部プレナムの残存水量、③ECCS 注入水の蒸気混合部における気液間スベリ効果および炉心内多次元流による低温壁面への流れの片寄効果により流量振動が緩和される傾向があること、④ECCS 注入水の蒸気凝縮がクエンチ面の蒸発に先行して生じ両者が相殺するまでに時間遅れがあること、⑤破断ループ高温側配管の蒸気流出への移行は炉心流量を減少させるため燃料棒の液膜が切れてドライアウト（バラツキは多次元流効果による）を生じること、⑥ACC 注入水は上部プレナムの残存水量が多い場合に燃料棒のクエンチを促進し、残存水量が少ない場合にドライアウトを促進する傾向があること、⑦ポンプ回転数の推移はゼロトルク点への移行であること、⑧健全ループのポンプヘッドは炉心流量に影響することである。
- (6) 実験 #312 がねらいとしたダウンカマの静水頭による再冠水時の炉心冷却については、ダウンカマの壁面および燃料棒の伝熱により発生する蒸気流が PV 内を一種の Flooding 状態にするためダウンカマ静水頭の増加が遅れ、したがって炉心冷却が遅れる傾向がある。また、炉心蓄水量による静水頭が大部分を占める再冠水時の炉心上下差圧について計算の方が実験データより小さい傾向を示すから、計算による炉心蓄水量は実現象に比べて少ない側に模擬していることが解る。この相違は(4)に述べた原因により生じていると考えられる。
- (7) 実験 #413 がねらいとした ACC 注入水の蒸気凝縮による炉心下向き流れの増加およびその流れにのせて LPCI 注入水を上部から直接炉心へ流入させる効果については、再冠水時の炉心差圧の実験データが #312 より大きい側にあるから炉心蓄水量が #312 より多い結果が得られた。計算上は、ACC 注入水の蒸気凝縮と壁面クエンチによる蒸発が直ちに相殺するため LPCI 注入水を炉心へ流入させる効果は殆んど生じないが、SG の伝熱による圧力上昇が LPCI 注入水を炉心へ流入させる効果を示している。この傾向は、実験現象にも類似していると考えられるから、ACC 注入水が炉心下向き流れを増加させる効果は短時間に減少し、SG の伝熱による圧力上昇の効果は長時間影響をもつと考えられる。
- (8) 今後の提言として、実現象をよりよく模擬する解析法へのアプローチは、(4)に述べた比較的微細な熱流動現象に関する計算モデルの改良が必要であり、そのために各効果をクローズアップまたは分離できる実験が必要である。現状コードの設計への応用は設計目的に応じて保守側に計算する必要がある（伝熱モデル・ノーディングのインプットを調節する）。実炉の ECCS 系の最適設計へのアプローチは、現象推移の特徴を引き続いて明確にし、炉心冷却が最も早くかつ安定に生じる設計を行ない、実験装置による実証試験を行なう必要がある。

最後に、本研究の遂行にあたり御指導賜りました日本原子力研究所安全工学部第一研究室、斯波正誼室長および安達公道主任研究員に深く感謝致します。

参 考 文 献

- (1) RELAP4 - A COMPUTER PROGRAM FOR TRANSIENT THERMAL -
HYDRAULIC ANALYSIS
AEROJET NUCLEAR COMPANY, K.V. Moore W.H. Retting
ANCR - 1127 December 1973
- (2) 軽水炉冷却材喪失事故時の一次冷却系内の熱水力学的挙動
(ROSA - I による模擬試験結果) 1975年12月, JAERI - M 6318
島宗弘治, 斯波正誼, 他
- (3) ROSA - II 研究計画, 1976年2月, JAERI - M 6362
斯波正誼, 安達公道, 他
- (4) ROSA - II 試験装置の概要, 1975年12月, JAERI - M 6247
斯波正誼, 安達公道, 他
- (5) TEST DATA REPORT ON SINGLE-AND TWO-PHASE STEADY
STATE TESTS OF THE 1- $\frac{1}{2}$ -LOOP MOD - 1 SEMISCALE
SYSTEM PUMP
by D.J. Olson, July 1973, Aerojet Nuclear Company Thermal Reactor
Safety Program Idaho Falls, Idaho
- (6) The Low Pressure Critical Discharge of Steam-Water Mixtures From
Pipes by F.R. Zaloudek March, 1961, HW-68934 REV, AEC Research and
Development Report,
- (7) WREM; Water Reactor Evalution Model [Revision 1]
MAY 1975, NUREG-75/056, Division of Technical Review Nuclear
Regulatory Commission
- (8) Critical Velocity in Two-Phase Flow
by E.I. DRYNDROZHIK, July 1969, HEAT TRANSFER-Soviet Research,
Vol. 1, No. 4
- (9) Stable Numerical Integration of Conservation Equations for Hydraulic
Networks
by T.A. Porsching, J.H. Murphy, et al, July 23, 1970
Nuclear Science and Engineering 43, 218-225 (1971)
- (10) ROSA - II 試験データ報告・1 (Run 202, 203, 303, 304, 306)
1975年9月, JAERI - M 6240, ROSAグループ
- (11) ROSA - II 試験データ報告・2 (Run 307, 308, 309)
1975年9月, JAERI - M 6241, ROSAグループ
- (12) ROSA - II 試験データ報告・3 (Runs 204, 301, 302)

- 1976年4月, JAERI - M 6512, ROSA グループ
- (13) ROSA - II 試験データ報告・11 (Runs 327, 328, 329, 330)
1978年2月, JAERI - M 7505, ROSA グループ
- (14) ROSA - II 試験データ報告・5 (Runs 310, 311, 312, 313, 317)
1976年4月, JAERI - M 6709, ROSA グループ
- (15) RELAP3.....A COMPUTER PROGRAM FOR REACTOR BLOWDDWN
ANALYSIS, by W.H. Retting et al, June, 1970, IN-1321
IDAHO NUCLEAR CORPORATION
- (16) The Dynamics of Compressible Fluid Flow, Vol.1 By Ascher H. Shapiro
- (17) 軽水炉のLDCA 解析コードRELAP4J
(RELAP4-MOD2 の改良について)
望月, 傍島他, 1978年, JAERI - M 7506
- (18) 伝熱概論, 甲藤好郎, S47年, 養覧堂
- (19) The Velocity of Rising Stean in a Bubbling Two-phase Mixture, John
F. Wilson et al, ANS TRANS. 5, 1, PP 151~2 (1962)
- (20) ROSA - II 試験装置の熱水力データ, 1977年(原研, 安全工学1内部資料)
- (21) RELAP4/MOD5 A Computer Program for Transient Thermal - Hydraulic
Analysis of Nuclear Reactors and Related Systems Users Manual
ANCR-NUREG-1335, 1976
- (22) LOFT (L1-2) 実験のRELAP-4Jコードによる解析, 1977年4月
田坂, 早田他, JAERI - M 7037
- (23) 管路流沸騰熱伝達に関する研究, 1971, 柳井, 京大博士論文

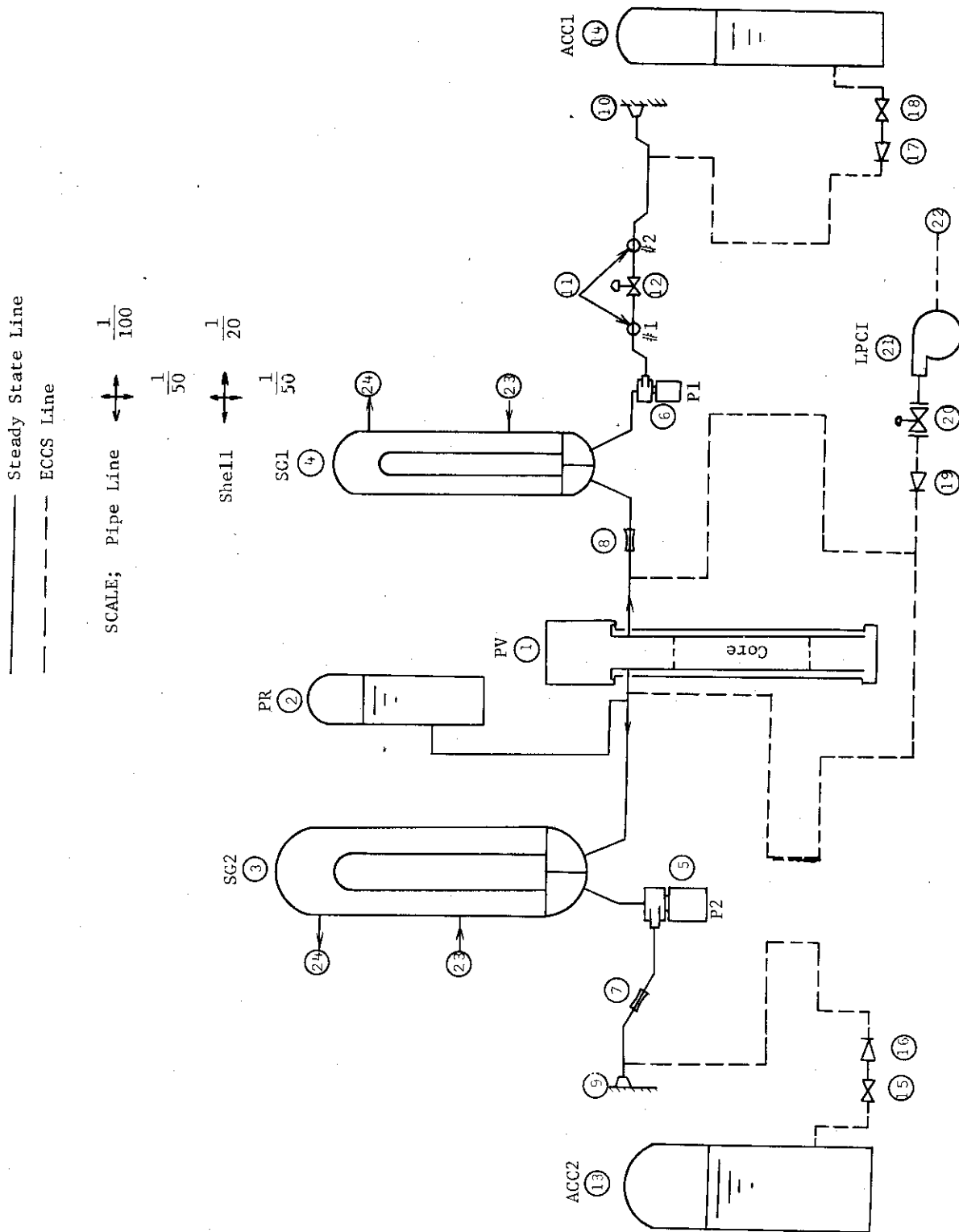


Fig. 2.1 Outline of ROSA-II Test Facility for Run 413

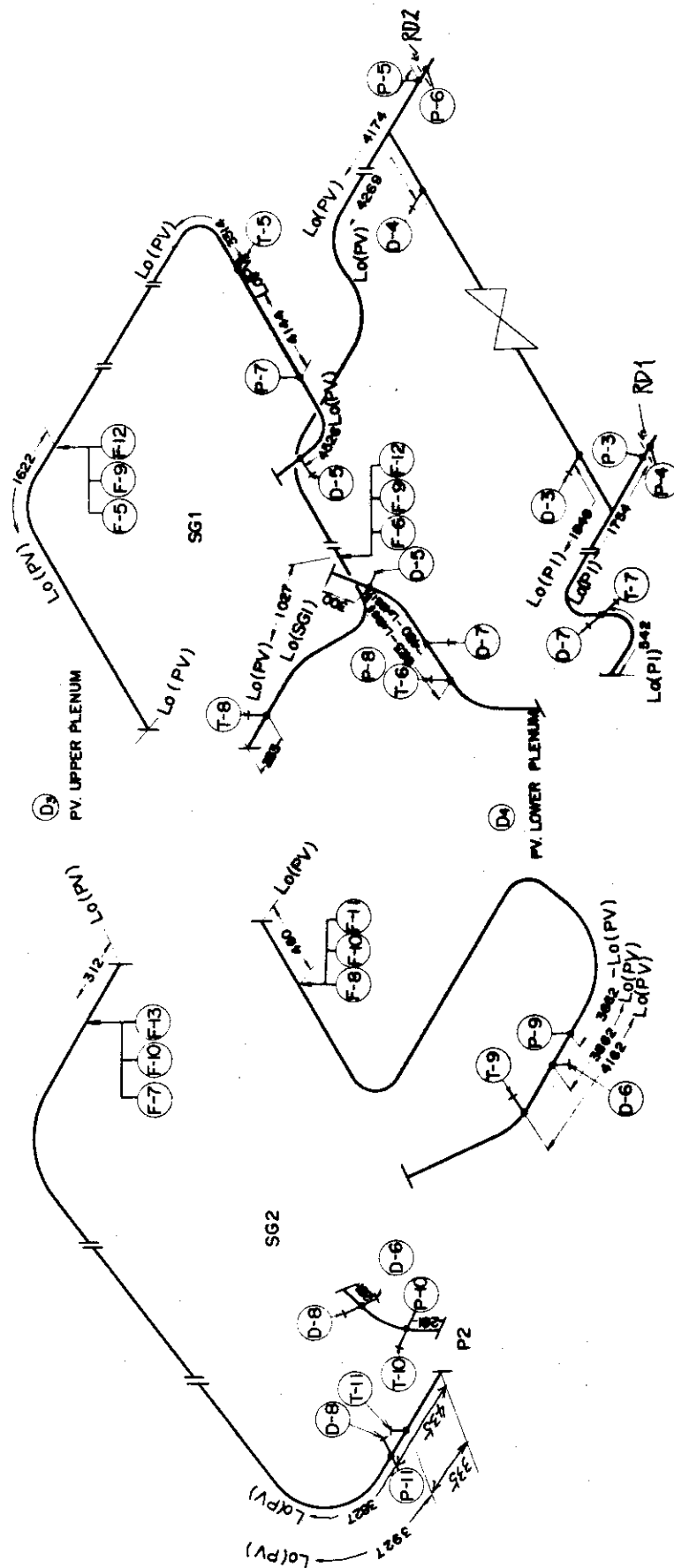


Fig. 2.2 Position of measurement in the primary loop (Cold-leg break)

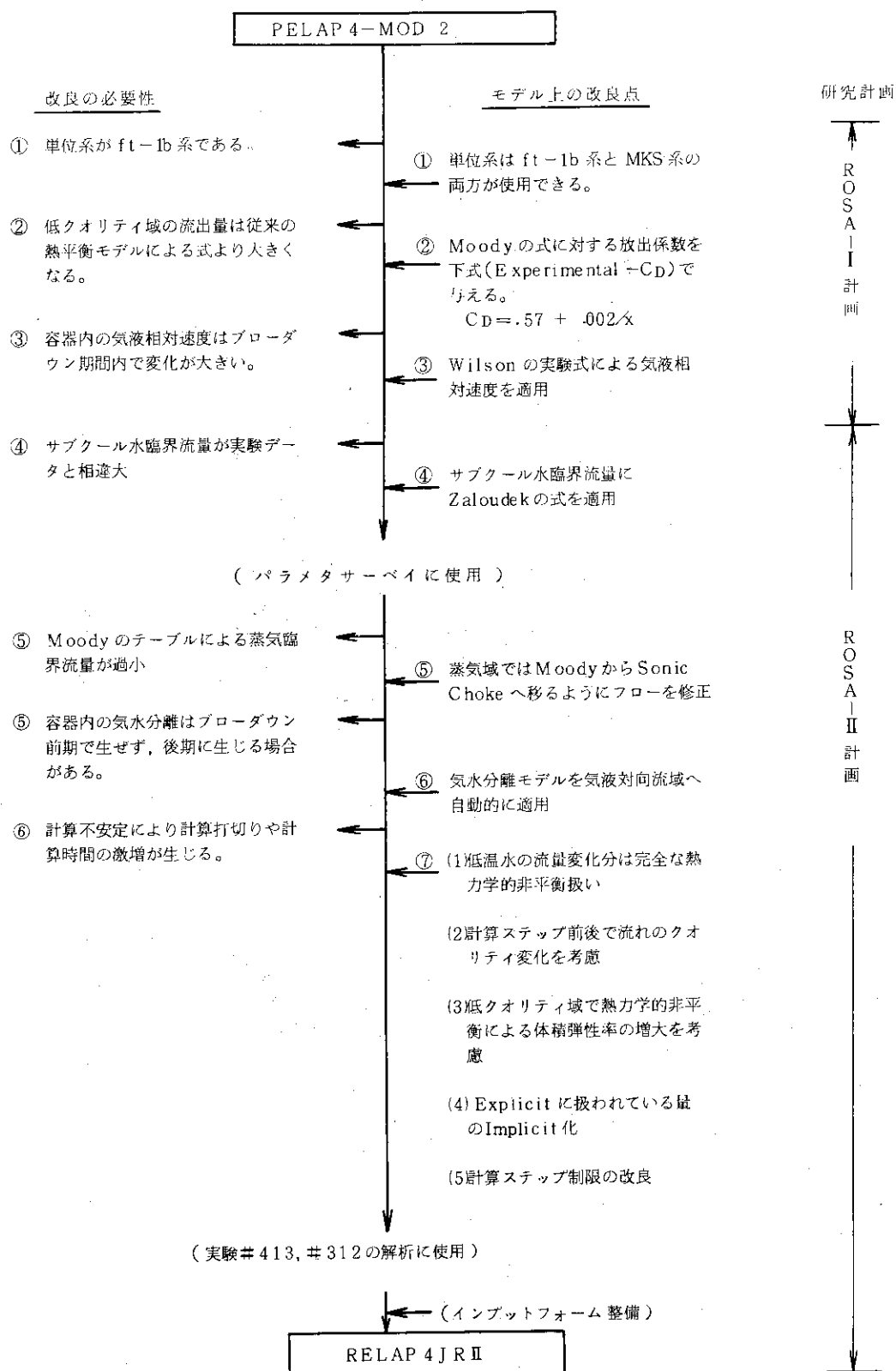


Fig. 3-1 Modification of RELAP4 - MOD2

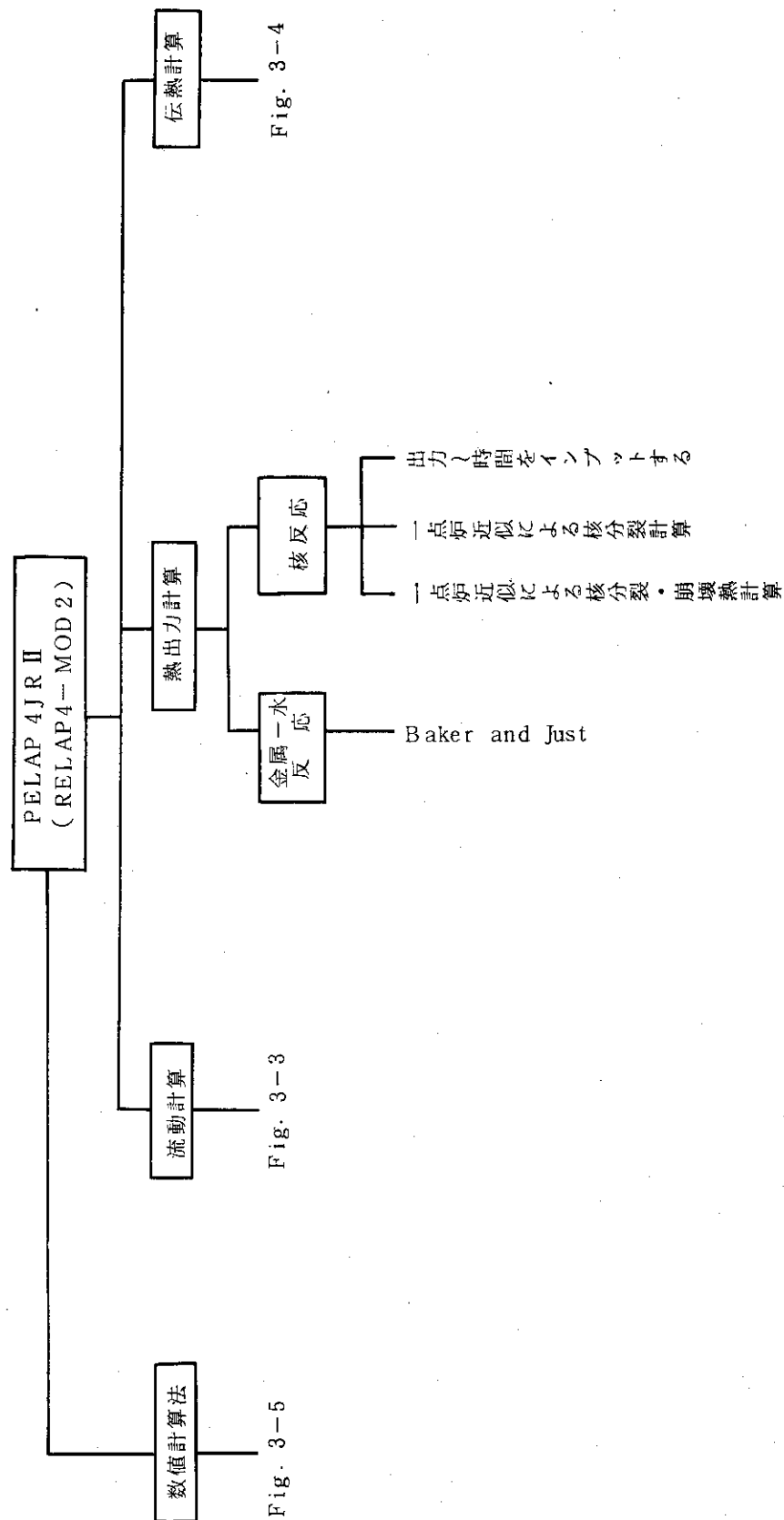
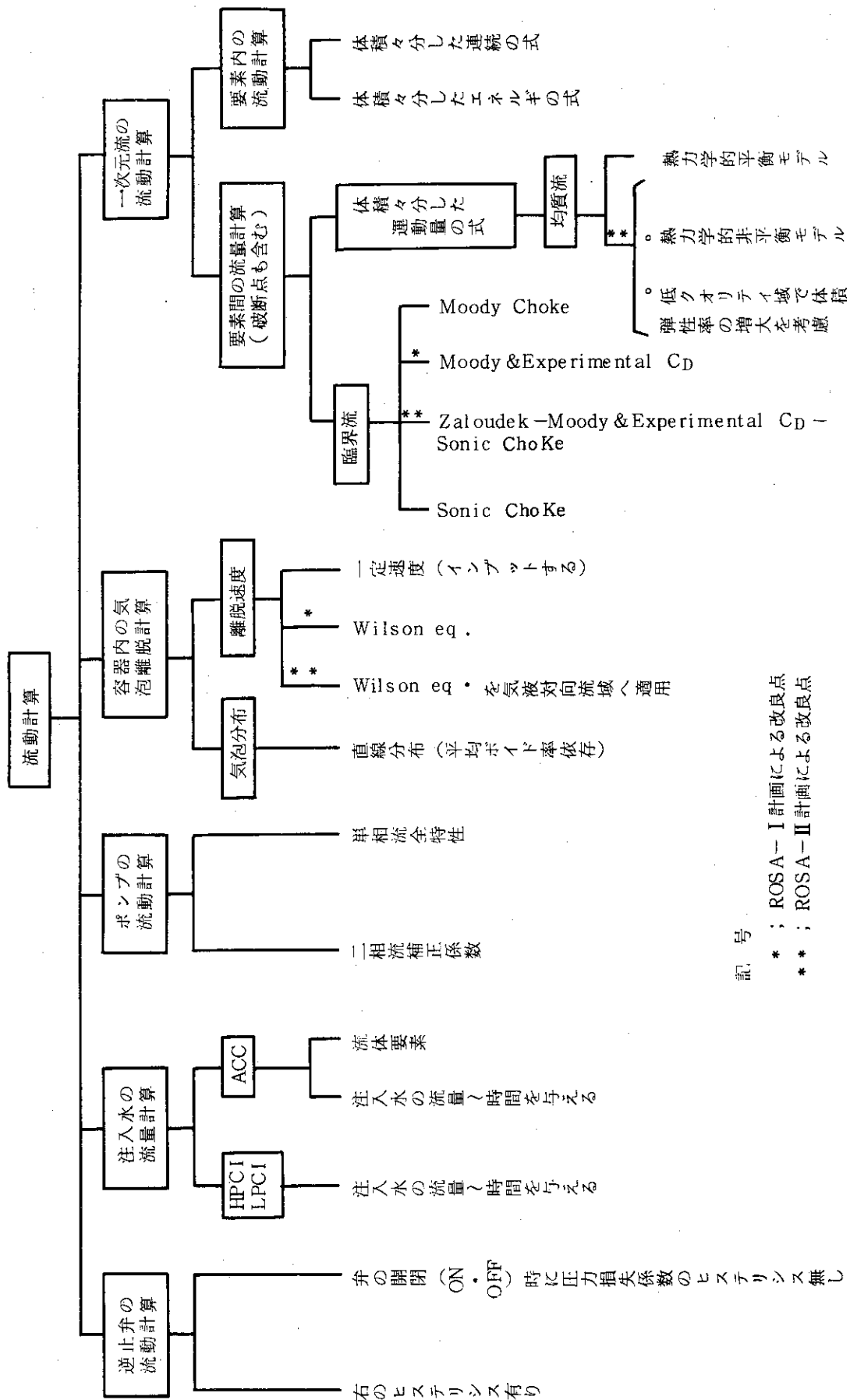


Fig. 3-2 Construction of RELAP 4 Computer Code



記号

* ; ROSA-I 計画による改良点
** ; ROSA-II 計画による改良点

Fig. 3-3 Construction of Hydraulic Calculation

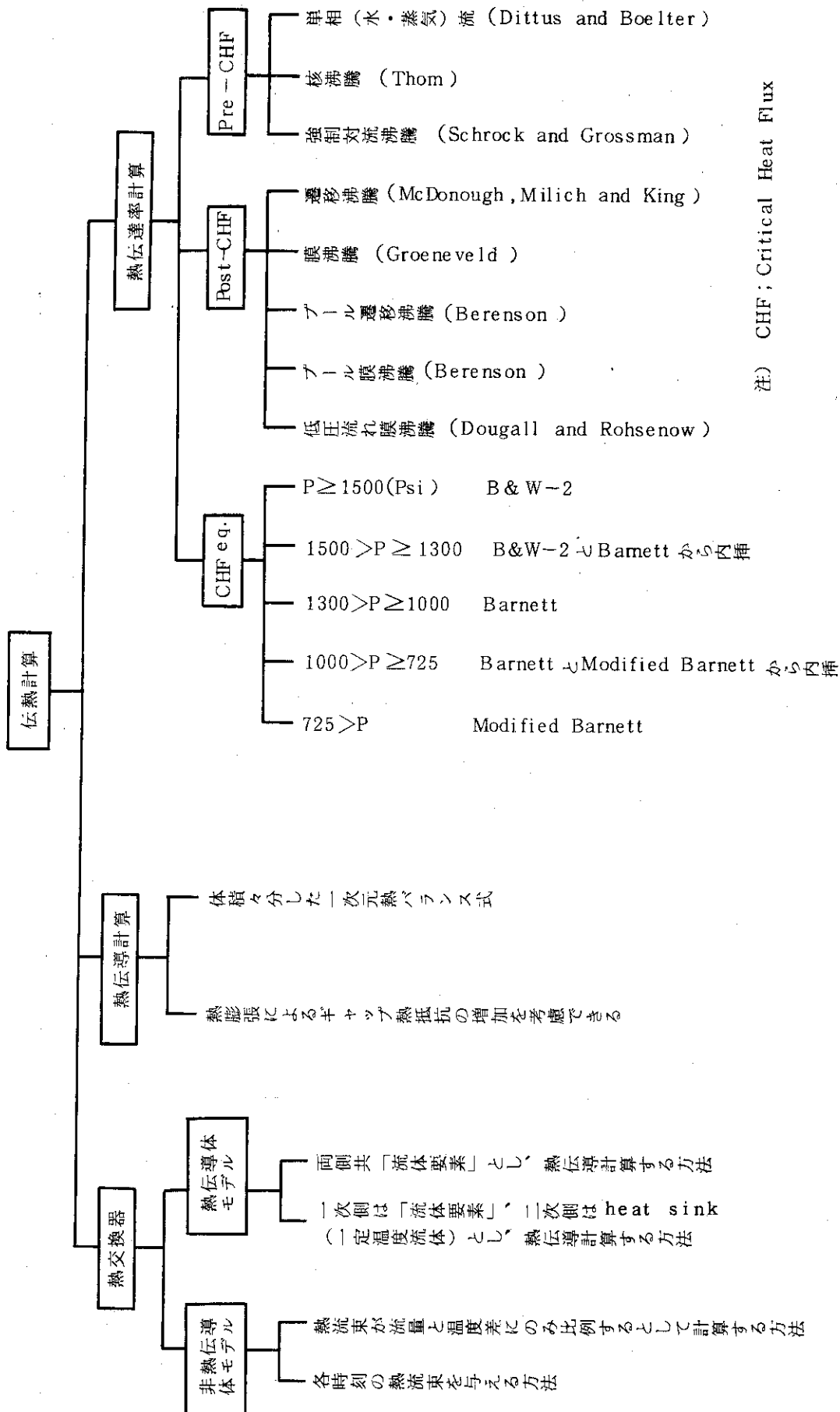
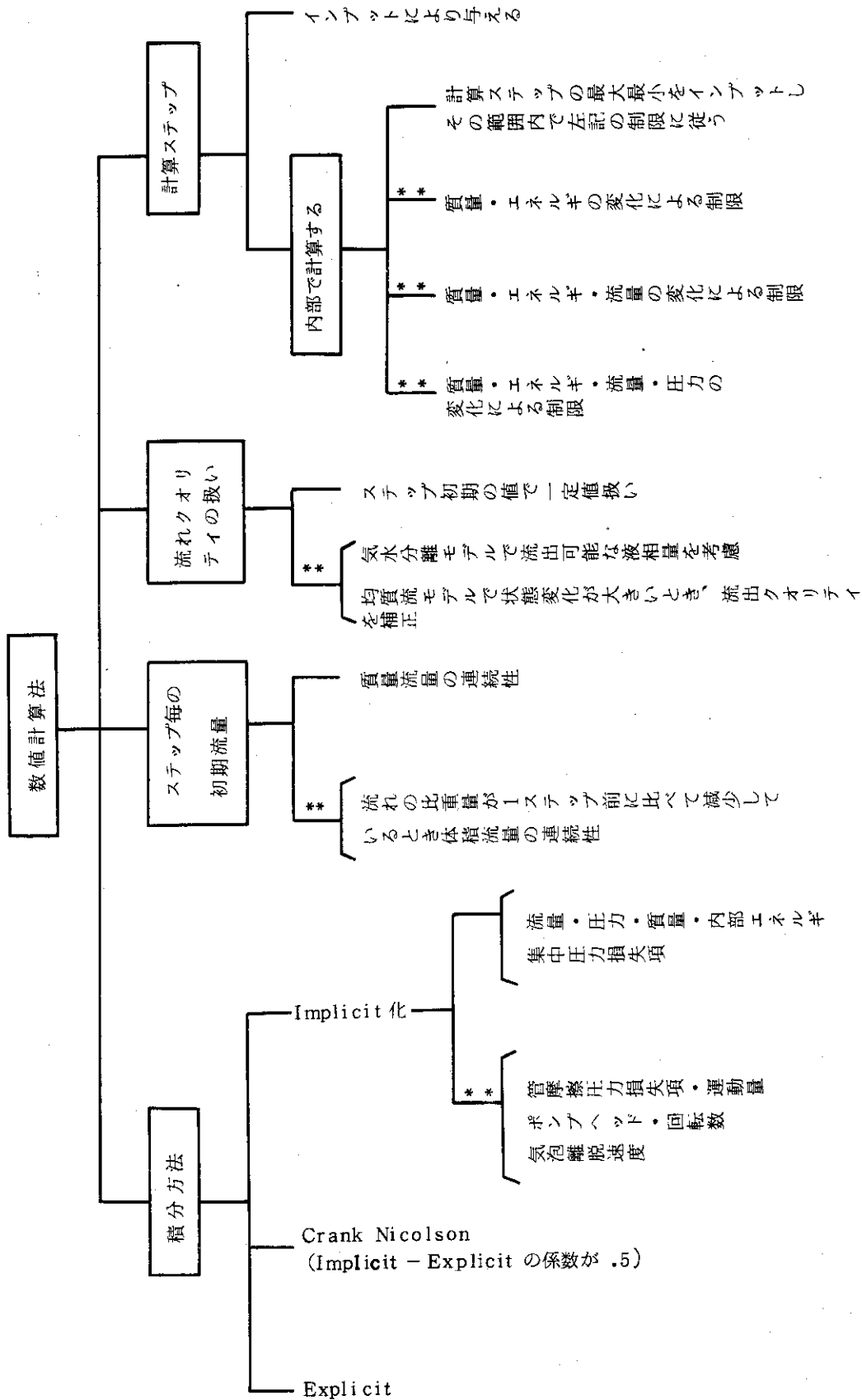


Fig. 3-4 Construction of Thermal Calculation



記号

** ; ROSA-II 計画による改良点

Fig. 3-5 Construction of Numerical Calculation

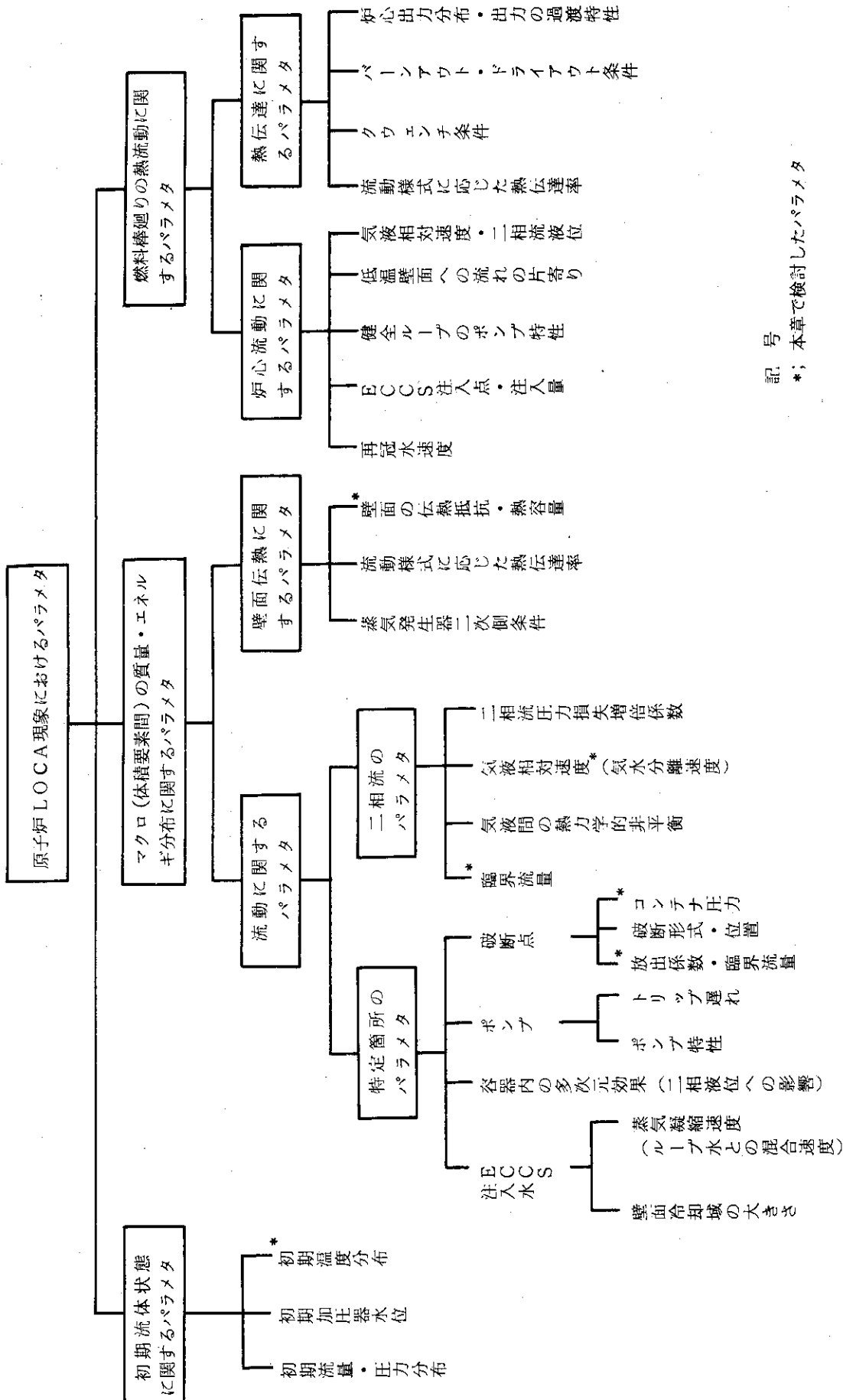


Fig. 4-1 Phenomenal Parameters

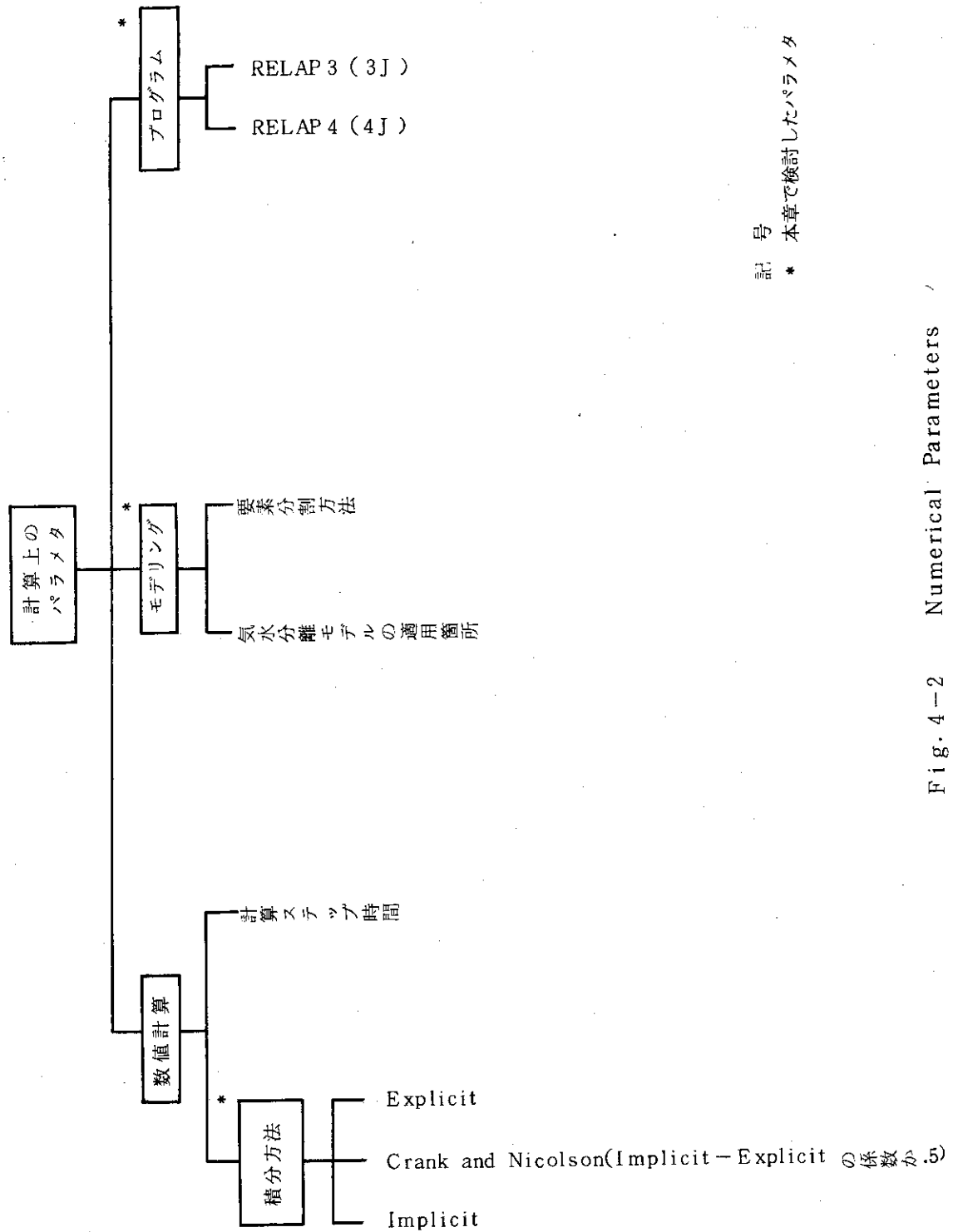


Fig. 4-2 Numerical Parameters

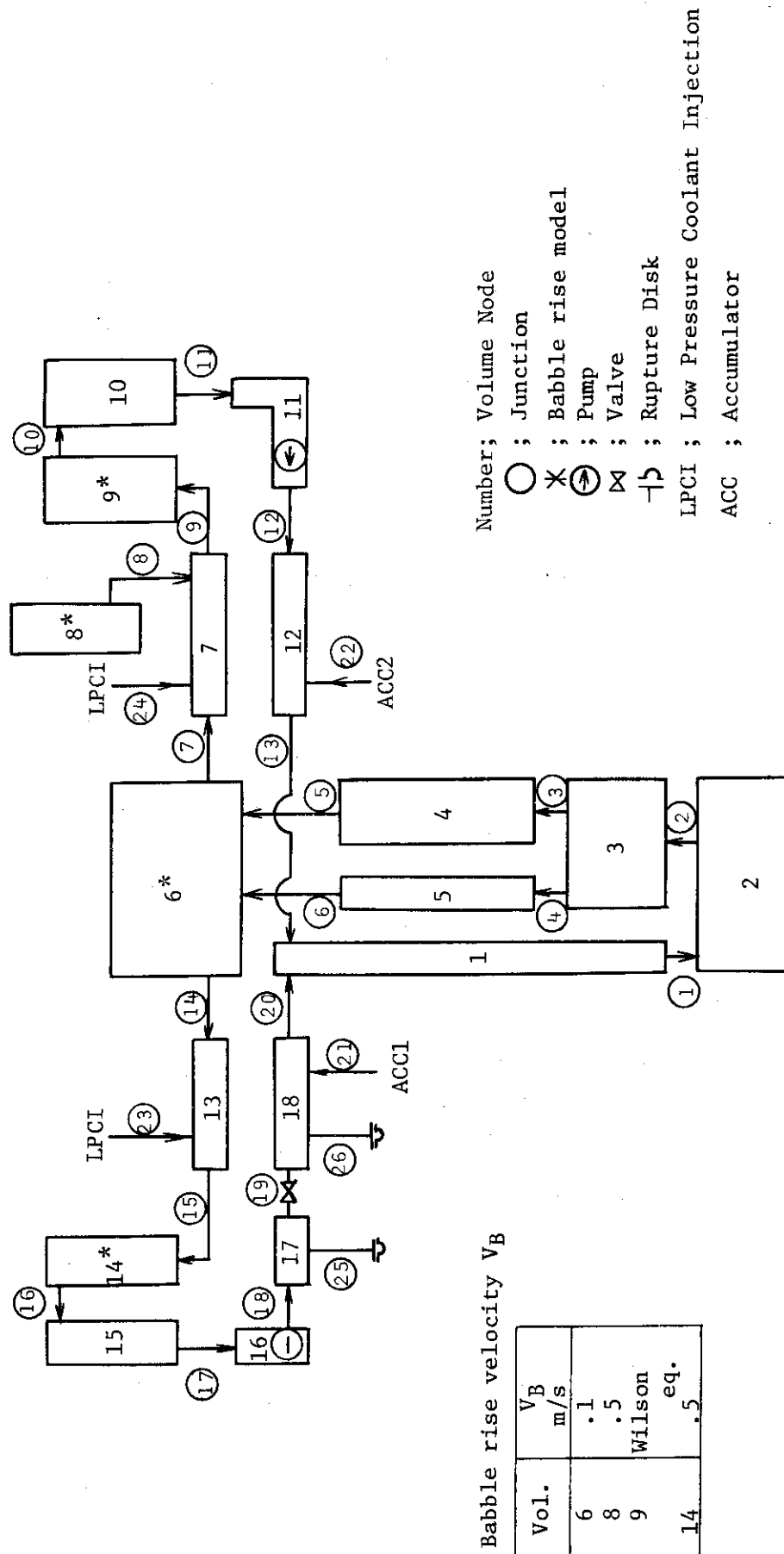


Fig. 4.3 Calculation Noding of ROSA-II Test Facility for Parameter Survey

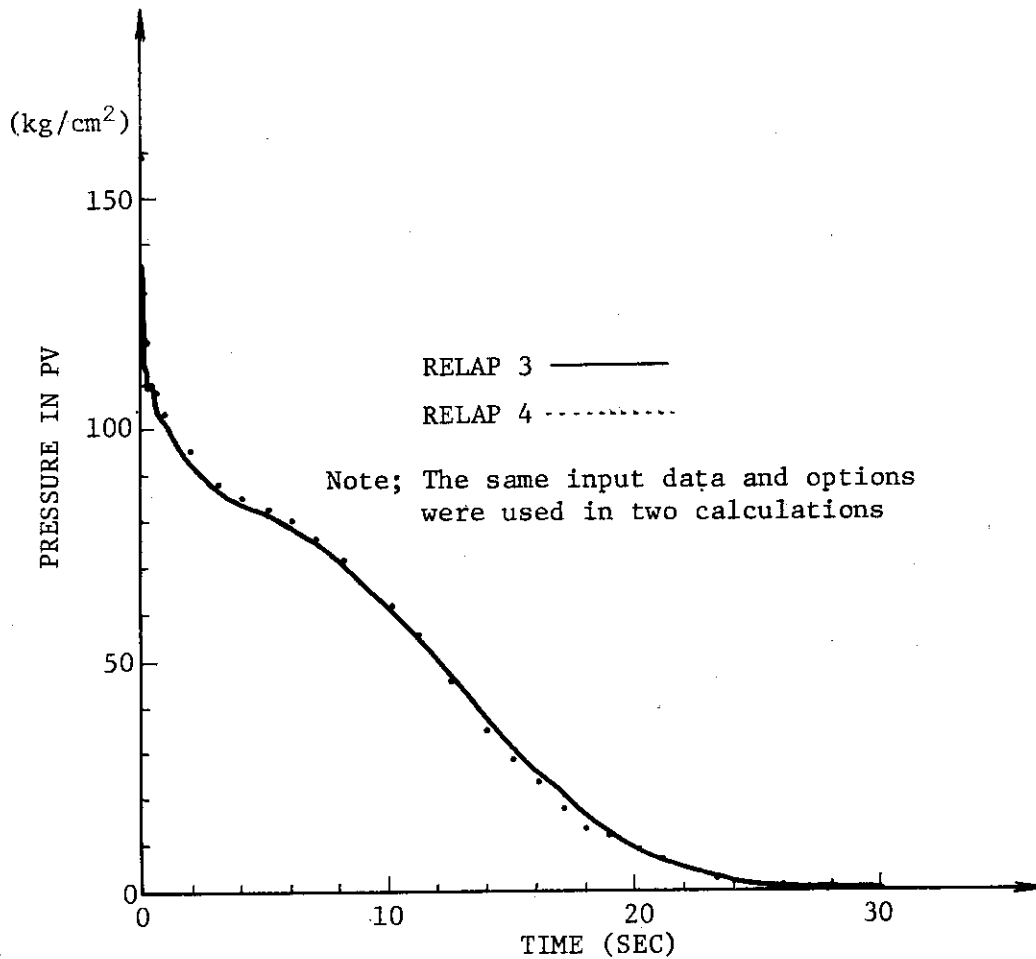


Fig. 4.4 Comparison of Pressure Transient Between RELAP3 and RELAP4

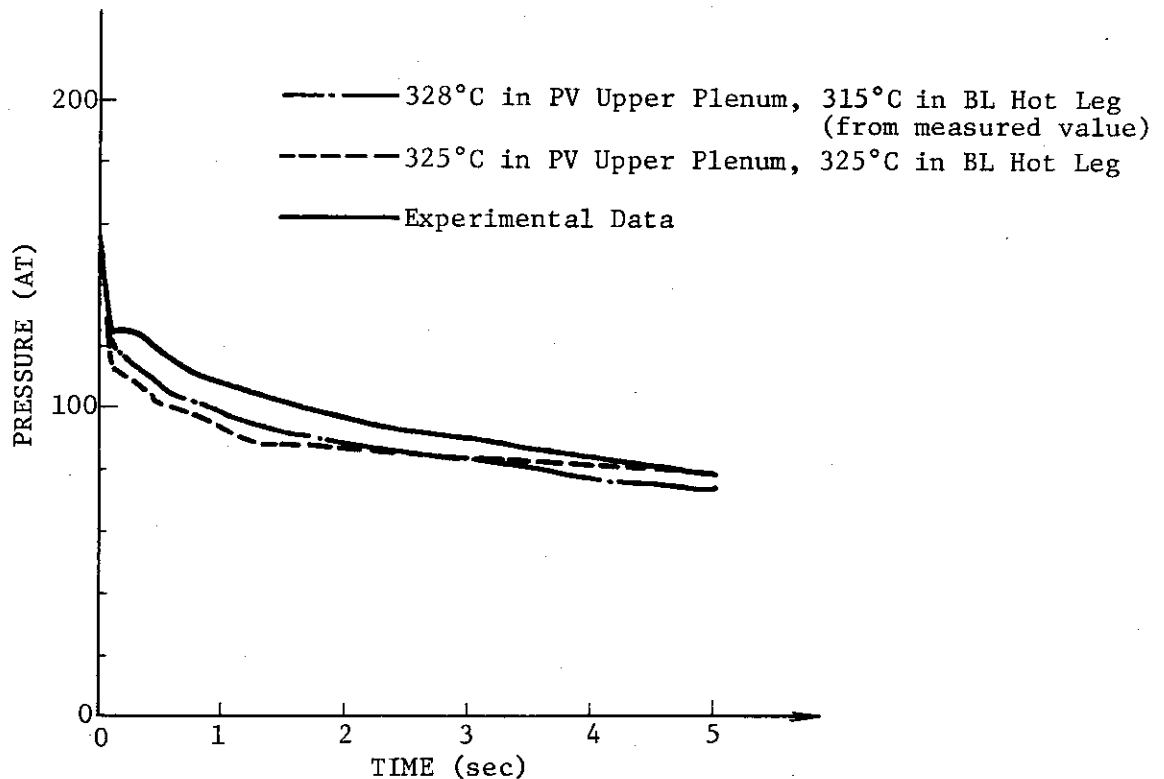


Fig. 4.5 Initial Temperature Effect on PV Pressure

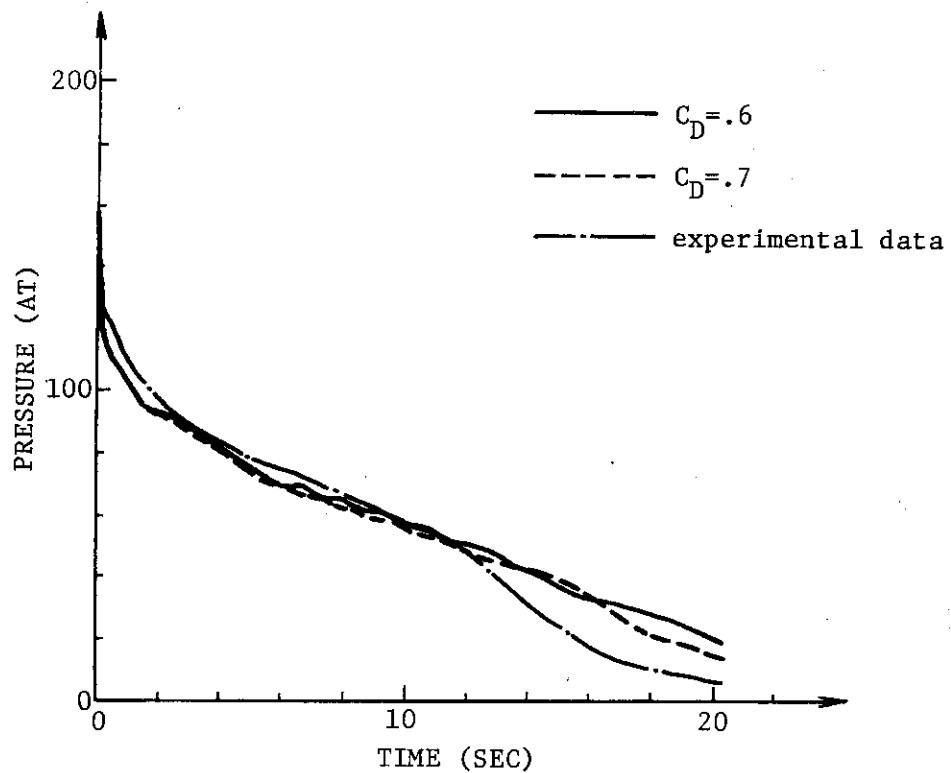


Fig. 4.6 Discharge Coefficient Effect on PV Pressure

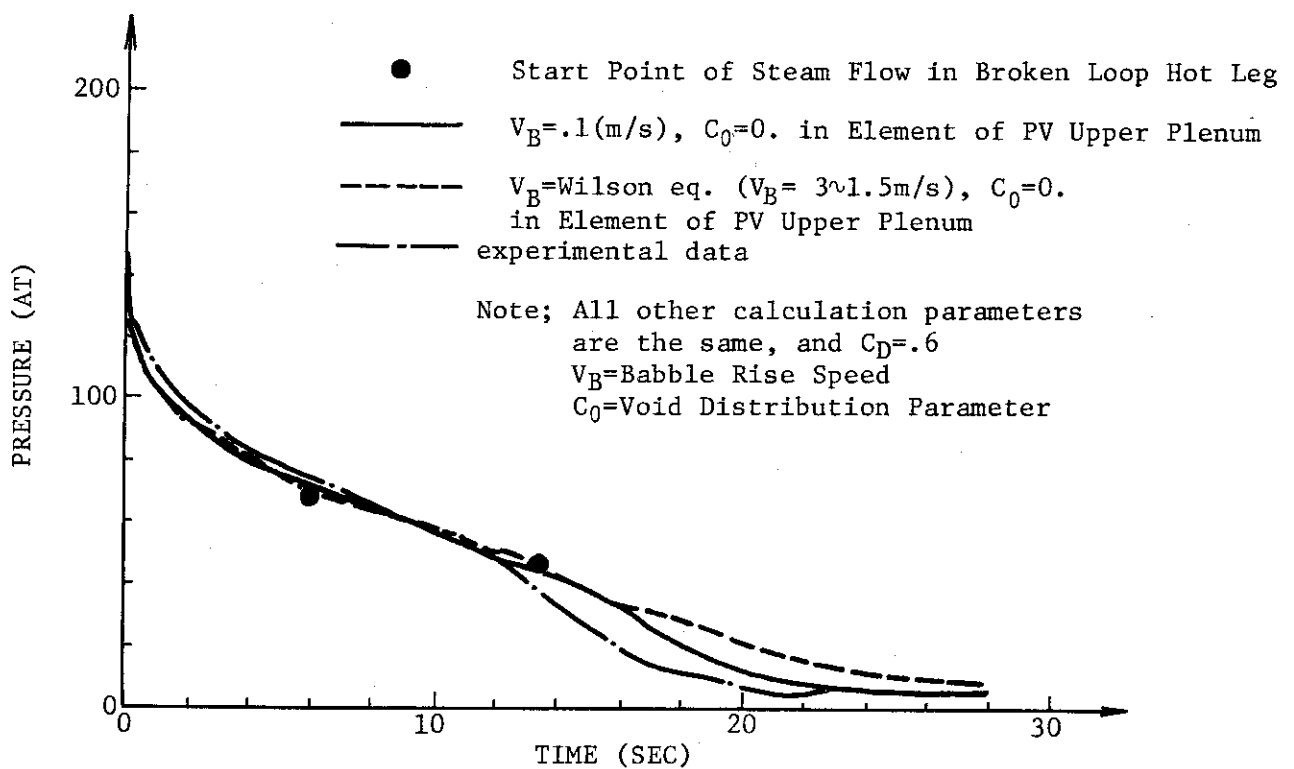


Fig. 4.7 Bubble Rise Speed Effect on PV Pressure

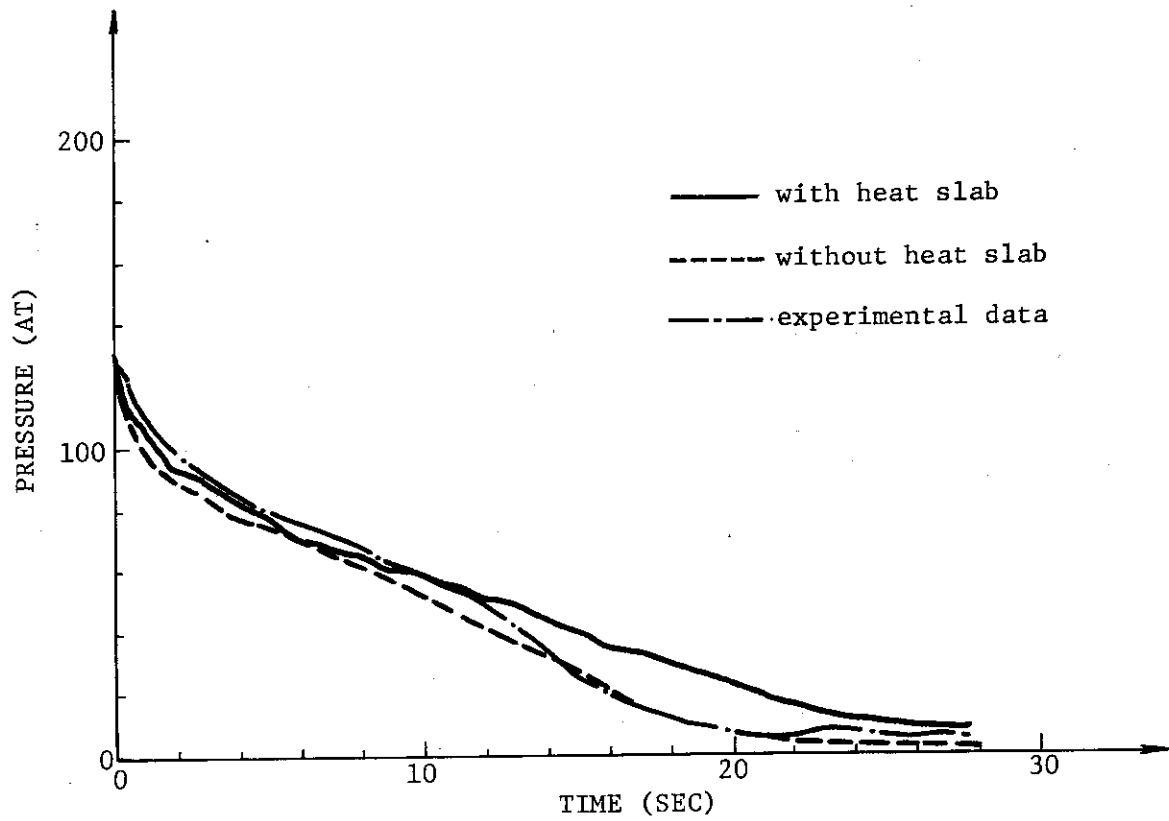


Fig. 4.8 Heat Slabs Effect on PV Pressure

— Experimental Data

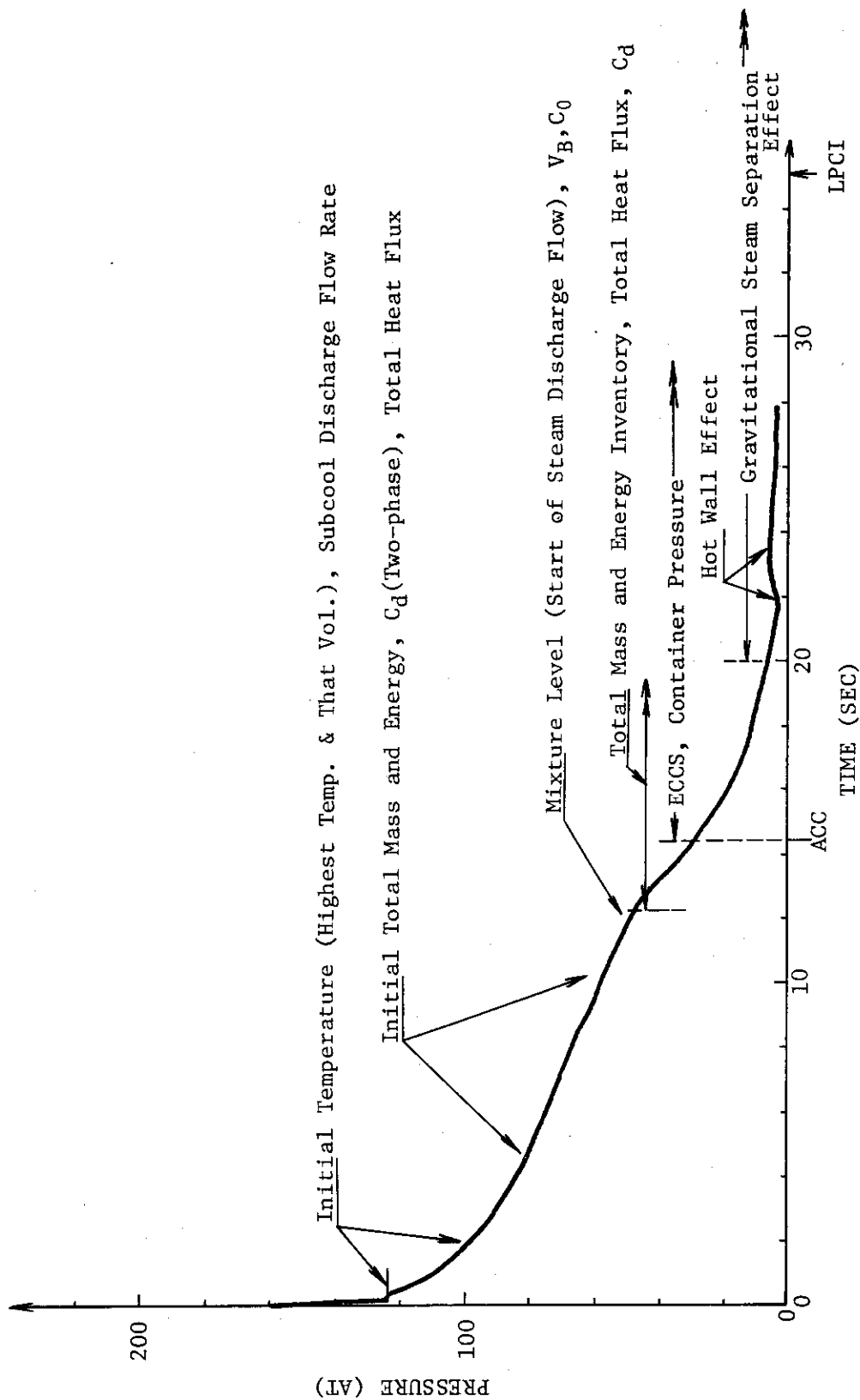


Fig. 4.9 Summary of Parameters Dominating in Pressure History

Table 5.1.1 Test Conditions

Item	#413	#312
Break		
Location	Cold Leg	Cold Leg
Type	D-Ended	D-Ended
Diameter	37.5 (mm)	37.5 (mm)
Initial Flow Rate ;		
Broken Loop	286 (ℓ/min)	470 (ℓ/min)
Intact Loop	760 "	1370 "
Total	1046 "	1810 "
Velocity in Core	1.0 (m/s)	1.8 (m/s)
Initial Temperature ;		
Core Inlet	289 (°C)	306 (°C)
Core Outlet	321 "	318 "
Upper Plenum	328 "	318 "
Hot Leg in IL	315 "	318 "
Cold Leg in IL	296 "	306 "
Hot Leg in BL	319 "	318 "
Cold Leg in BL	292 "	306 "
Initial Pressure ;		
Pressurizer	159 (at)	160 (at)
Initial Water Level ;		
Pressurizer	1800 (mm)	1800 (mm)
Fuel Power ;		
Initial Power	2.13 (MW)	1.56 (MW)
Transient Power	Fig. 5.1.1	Fig. 6.1.1
Power Off Time	58.0 (s)	58.2 (s)
Pump (P1,P2) ;		
Initial Revolution Velocity	1680 (rpm)	2600 (rpm)
Rated Pump Data	Table 5.1.2	Table 5.1.2
Transient Curves	Fig. 5.1.2,3	Fig. 5.1.2,3
Trip Delay (P1,P2)	(-1,0) (s)	(-1,0) (s)
Delivery Flow Area	1.134×10^{-3} (m ²)	4.524×10^{-4} (m ²)
ECCS ;		
ACC1 Inject. Location	Cold Leg	Cold Leg
Initial Press.	44.9 (at)	46 (at)
Temperature	66 (°C)	64 (°C)
Flow Rate	Fig. 5.1.4	Fig. 6.1.2
ACC2 Inject. Location	Cold Leg	Cold Leg
Initial Press.	45. (at)	46 (at)
Temperature	64 (°C)	65 (°C)
Flow Rate	Fig. 5.1.5	Fig. 6.1.3
LPCI1 Inject. Location	Hot Leg	Cold Leg
Injection Delay	35 (s)	26 (s)
Temperature	64 (°C)	64 (°C)
Flow Rate	Fig. 5.1.6	Fig. 6.1.4
LPCI2 Inject. Location	Hot Leg	Cold Leg
Injection Delay	35 (s)	26 (s)
Temperature	64 (°C)	64 (°C)
Flow Rate	Fig. 5.1.7	Fig. 6.1.5
Secondary Loop ;		
Saturation Temperature	275 (°C)	269 (°C)

Table 5.1.2 Pump Rated Data

Item	Pump P1	Pump P2
Rated Speed (rpm)	3500	3500
Rated Flow (ℓ/min)	470.	1430.
Rated Head (m)	35.	25.
Rated Torque (kg·m)	1.307	3.92
Moment of Inertia (kg·m·s ²)	2.388×10^{-3}	7.02×10^{-3}
Rated Density (kg/m ³)	748.4	748.4
Frictional Torque (kg·m)	.13	.39
Reverse Revolution	allowed	allowed

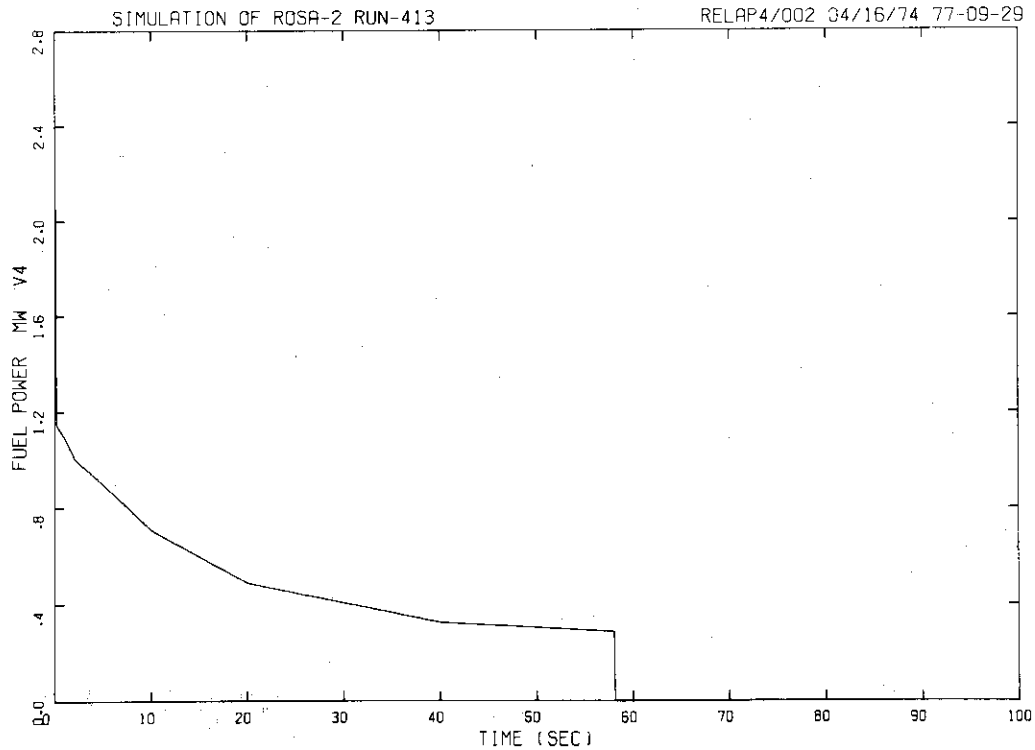


Fig. 5.1.1 Transitional Fuel Power #413

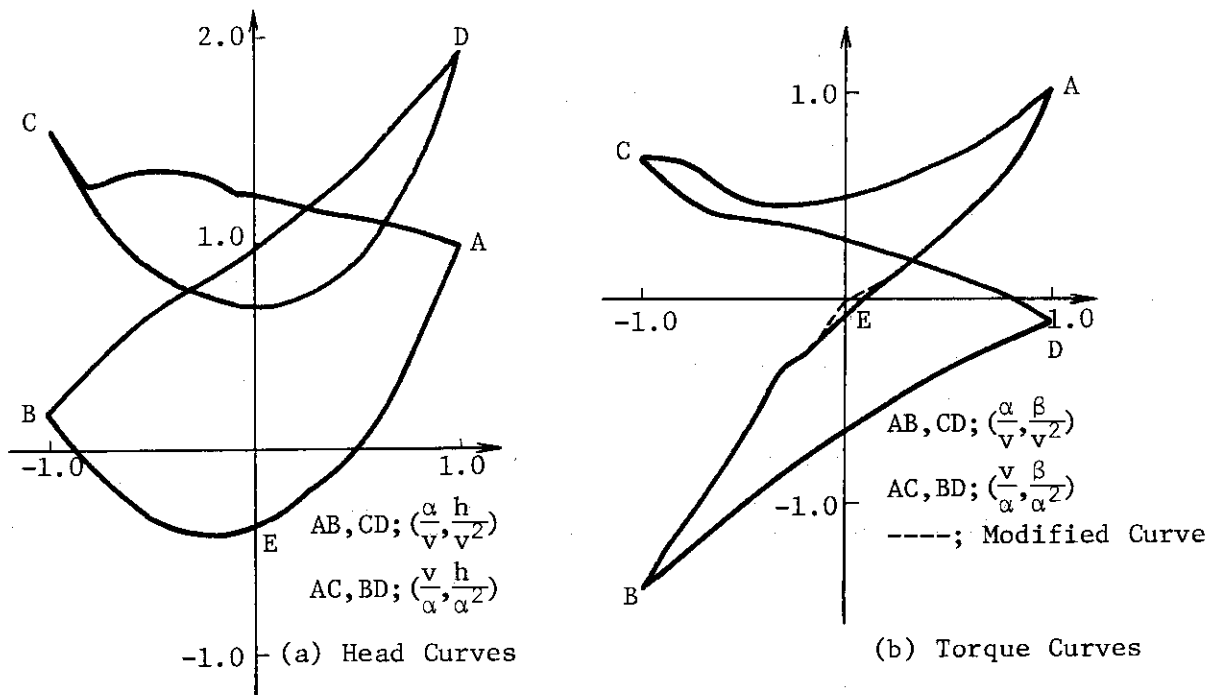


Fig. 5.1.2 Head and Torque Curves⁽⁵⁾ of Pump P1 and P2

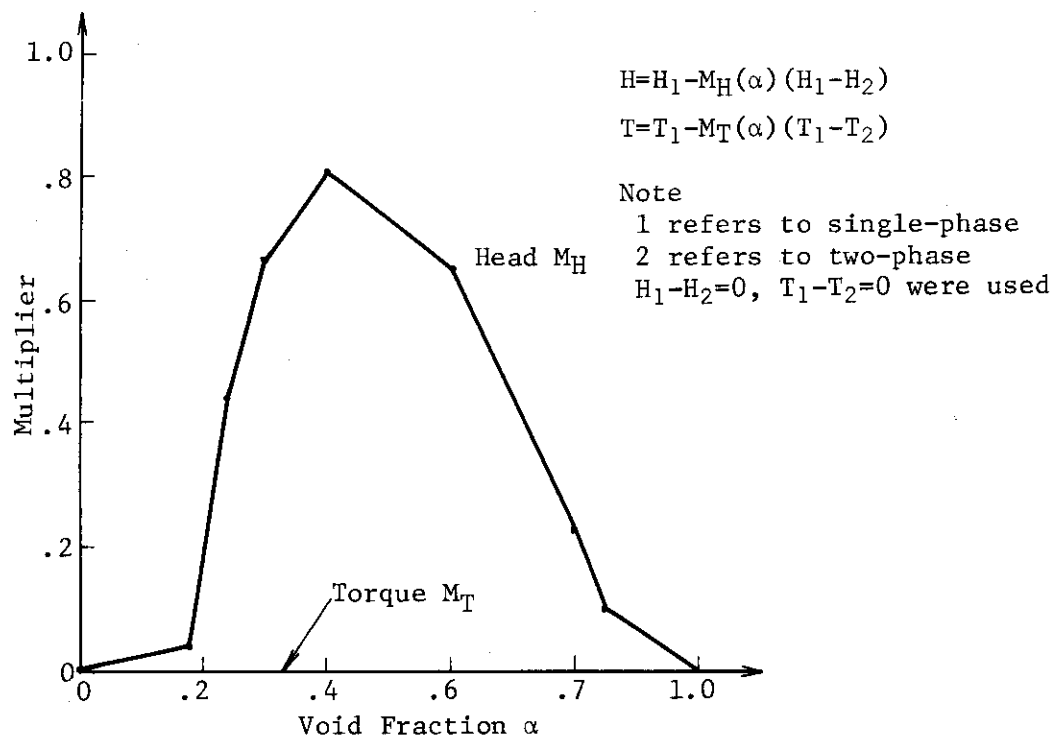


Fig. 5.1.3 Two-phase Multiplier of Pump Head and Torque⁽⁵⁾

SIMULATION OF ROSA-2 RUN-413

OR JWJ30 OR JXJ30

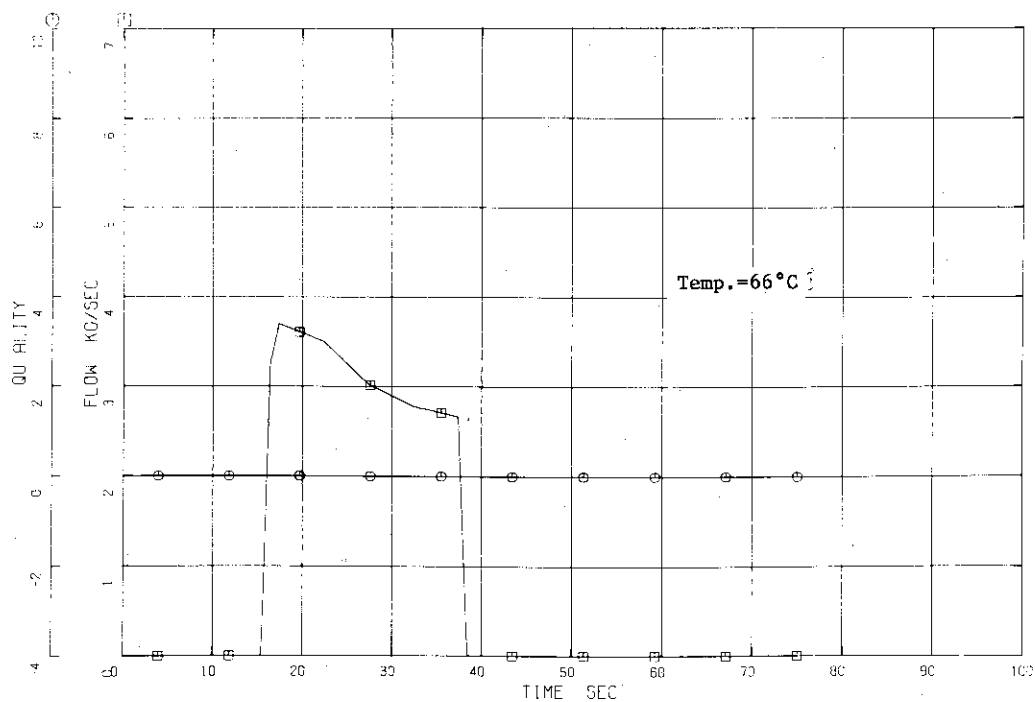


Fig. 5.1.4 ACC1 Injection Flow Rate #413

SIMULATION OF ROSA-2 RUN-413

OR JWJ31 OR JXJ31

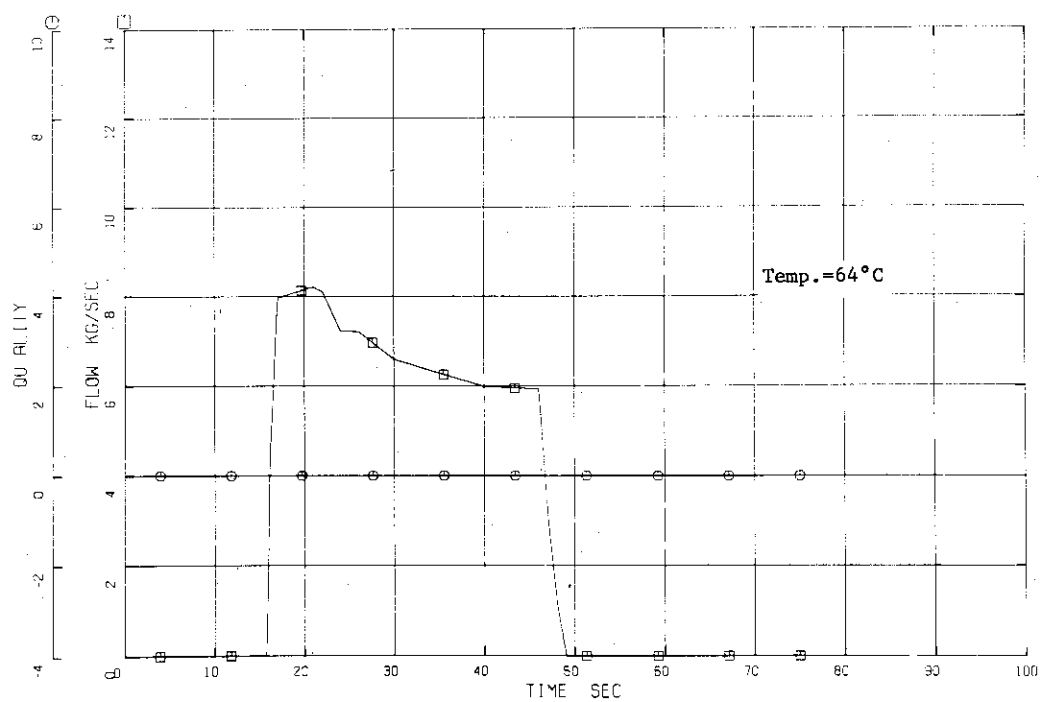


Fig. 5.1.5 ACC2 Injection Flow Rate #413

SIMULATION OF ROSA-2 RUN-413

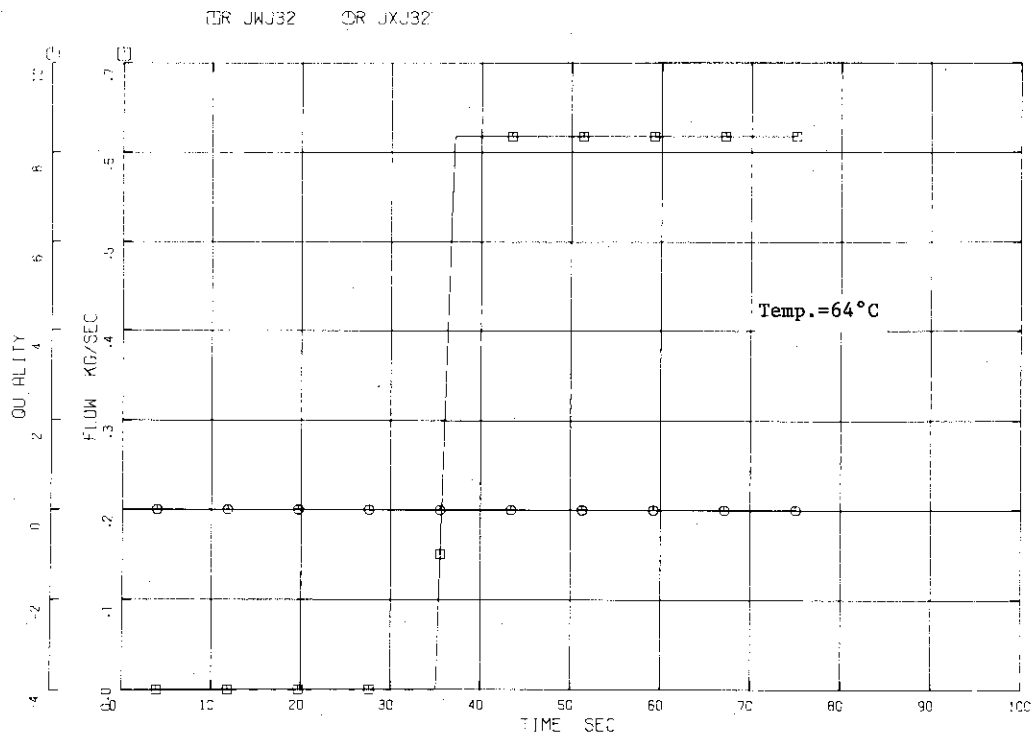


Fig. 5.1.6 LPCI1 Injection Flow Rate #413

SIMULATION OF ROSA-2 RUN-413

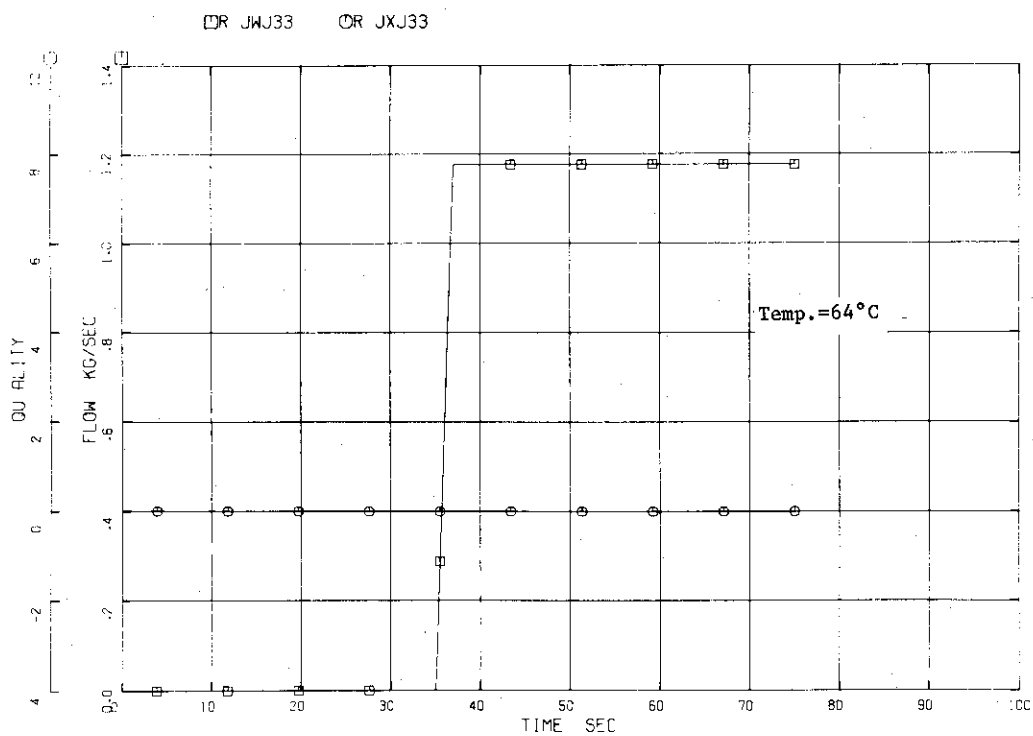


Fig. 5.1.7 LPCI2 Injection Flow Rate #413

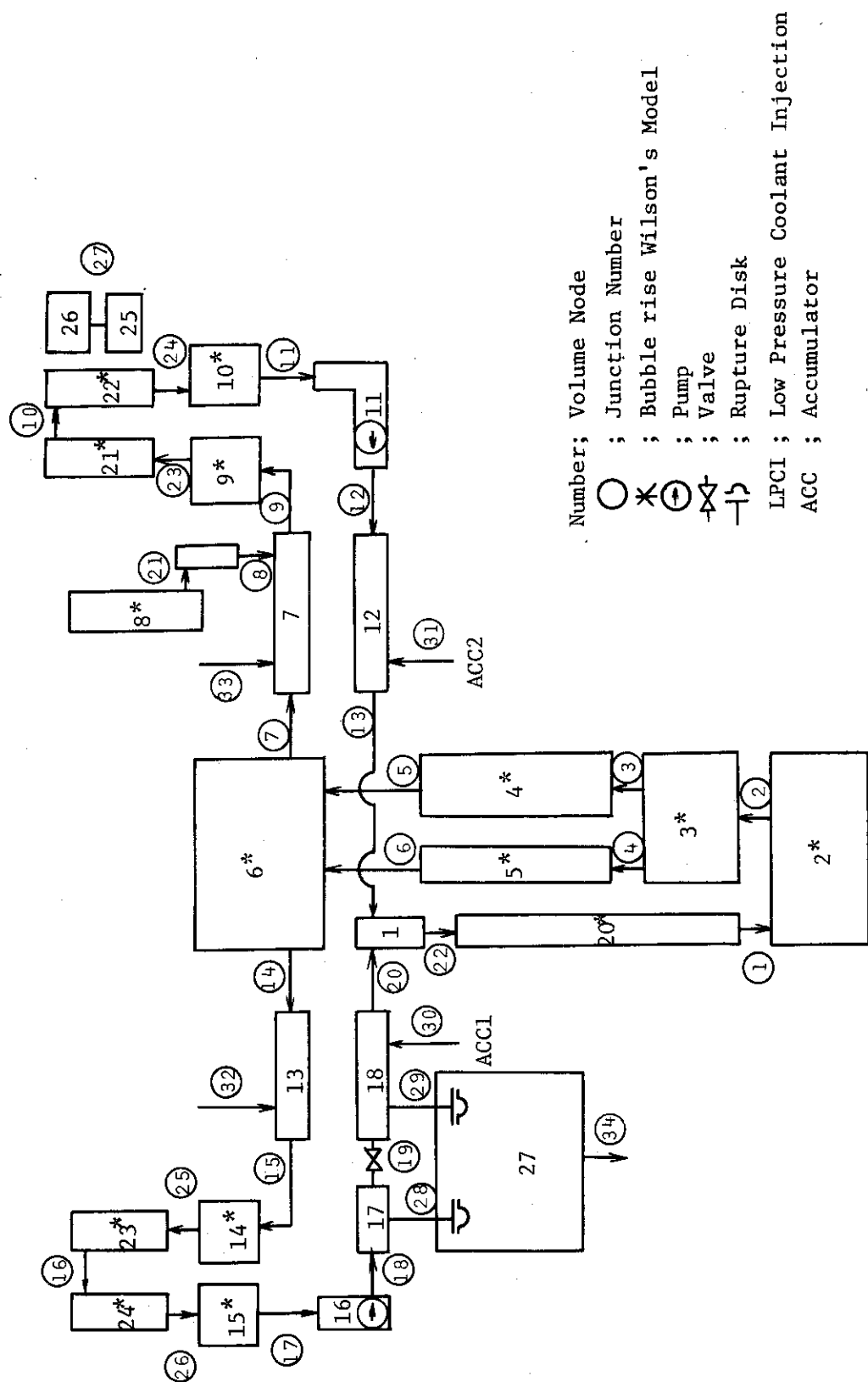


Fig. 5.2.1 Calculation Noding of ROSA-II Test Facility for Run 413

Table 5.3.1 List of Calculated Results

Items	Figure Number	
	#413	#312
<u>Coolant Conditions</u>		
Lower Plenum (Vol.2)	5.3.4	6.3.3
Core (Vol.4)	5.3.5	6.3.4
PR (Vol.8)	5.3.6	6.3.5
<u>Junction Flow</u>		
Downcomer Inlet to Downcomer (Jun.22)	5.3.7	6.3.6
Core Inlet Plenum to Core (Jun. 3)	5.3.8	6.3.7
PR Surge Line to IL Hot Leg (Jun. 8)	5.3.9	-
RD1 (Jun. 28)	5.3.10	6.3.8
RD2 (Jun. 29)	5.3.11	6.3.9
<u>Mixture Level</u>		
Lower Plenum (Vol.2)	5.3.12	6.3.10
Upper Plenum (Vol.6)	5.3.13	-
PR (Vol.8)	5.3.14	-
SG1 Inlet Plenum(Vol.14)	5.3.15	6.3.11
<u>Heat Slab</u>		
PR Wall	5.3.16	-
Down Comer Wall	5.3.17	6.3.12
Total Heat Slabs Excluding Fuel Rods	5.3.18	6.3.13
<u>Fuel Rods</u>		
Fuel Temperature	5.3.19	6.3.14
Heat Transfer Coefficient	5.3.20	6.3.15
Surface Heat Flux	5.3.21	-

Table 5.3.2 Volumetric Change Speed in PR

t	dQ/dt (kcal/h)	dV _Q /dQ = V _{gℓ} /h _{gℓ}		(dV _Q /dt)/(dV _F /dt)		
		P (at)	V _{gℓ} /h _{gℓ} (m ³ /kcal)	dV _Q /dt (m ³ /s)	dV _F /dt (m ³ /s)	dV _Q /dt dV _F /dt
3	3.5×10 ⁵	144.7	3.9×10 ⁻⁵	3.8×10 ⁻³	1.07×10 ⁻²	.35
5	3.8 "	136.0	4.1 "	4.3 "	1.06 "	.41
7	2.5 "	127.8	4.3 "	3.0 "	1.02 "	.29
11	3.6×10 ⁴	71.0	7.2 "	7.2×10 ⁻⁴	1.32 "	5.5×10 ⁻²
15	4.2 "	29.0	1.61×10 ⁻⁴	1.88×10 ⁻³	4.37 "	4.3 "
21	2.3 "	9.14	4.5 "	2.9 "	4.21 "	6.8 "
25	1.4 "	5.19	7.4 "	2.9 "	3.61 "	3.6 "
31	1.1 "	4.26	8.8 "	2.7 "	2.45 "	.11
35	1.1 "	2.98	1.21×10 ⁻³	3.7 "	3.28 "	.11
41	8.0×10 ³	2.25	1.55 "	3.4 "	1.51 "	.23
45	5.0×10 ⁴	2.55	1.40 "	1.9×10 ⁻²	-2.14 "	-.91

Table 5.3.4 Summary of Volumetric Change Speed

t (s)	dV _F /dt (m ³ /s)	dV _Q /dt (m ³ /s)	dV _{ECC} /dt (m ³ /s)	dV _P /dt (m ³ /s)	dV _Q /dt +dV _{ECC} /dt (m ³ /s)
0	0.	0.	0.	0.	0.
3	.206	.055	↓	.151	.055
5	.202	.070	↓	.132	.070
7	.238	.095	↓	.143	.095
11	.314	.088	↓	.226	.088
15	.485	.121	0.	.364	.121
21	.386	.630	-.871	.627	-.238
25	.372	1.373	-.700	-.301	.670
31	.366	.534	-.667	.499	-.150
35	.326	.833	-.827	.320	1.4×10 ⁻³
41	.192	.892	-.756	.056	.142
45	.197	4.122	-.5215	-3.403	3.60
51	.361	.356	-.1364	.141	.220
55	.357	.594	-.13465	-.103	.460
61	.347	.465	-.12345	5.95×10 ⁻³	.340
65	.306	.284	-.12373	.146	.160
71	.336	.329	-.1350	.142	.194

$$\frac{dV_F}{dt} = \frac{dV_P}{dt} + \frac{dV_Q}{dt} + \frac{dV_{ECC}}{dt}$$

Table 5.3.3 Volumetric Change Speed by Total Heat Source

t	dW/dt (kcal/h)				dV _Q /dQ		(dV _Q /dt) / (dV _F /dt)		
	Fuel	SG	Total Heat Slab	ECCS	$\Sigma \frac{dQ}{dt}$	P at	$V_{g\ell}/h_{g\ell}$ $\frac{m^3}{m^3/kcal}$	dV _Q /dt $\frac{m^3}{s}$	$\frac{dV_F/dt}{dV_Q/dt}$
3	5.19×10 ⁵	-3.18×10 ⁵	3.1×10 ⁶	0.	3.3×10 ⁶	89.1	6.0×10 ⁻⁵	.055	.21
5	3.64 "	5.71 "	3.0 "		3.9 "	78.8	6.5 "	.070	.20
7	2.74 "	9.27 "	3.5 "		4.7 "	69.9	7.3 "	.095	.24
11	3.52 "	9.121 "	1.7 "		3.0 "	47.4	1.05×10 ⁻⁴	.088	.31
15	1.916 "	3.029 "	1.0 "		1.50 "	14.8	2.9 "	.121	.48
21	1.166 "	4.51×10 ⁴	1.9 "	-2.84×10 ⁶	-7.8 "	3.26	1.10×10 ⁻³	-.238	.39
25	5.07 "	4.26 "	4.5 "	-2.53 "	2.52 "	3.64	1.00 "	.67	.364
31	9.98×10 ⁴	8.32 "	1.7 "	-2.41 "	-.527 "	3.59	1.02 "	-.150	.365
35	4.52×10 ⁴	2.028 "	1.7 "	-1.76 "	5×10 ³	2.04	1.70 "	1.42×10 ⁻³	.323
41	4.84 "	1.407×10 ⁵	1.7 "	-1.59 "	3.0×10 ⁵	2.05	1.70 "	.142	.192
45	4.79×10 ⁵	1.266 "	15.2 "	-1.99 "	1.38×10 ⁷	3.92	9.4×10 ⁻⁴	3.6	.198
51	2.70 "	1.754 "	.88 "	-5.08×10 ⁵	8.17×10 ⁵	3.76	9.8 "	.22	.361
55	5.07×10 ⁴	1.584 "	2.0 "	-4.99 "	1.71×10 ⁶	3.83	9.7 "	.46	.358
61	4.96 "	7.14×10 ⁴	1.6 "	-5.22 "	1.15 "	3.47	1.05×10 ⁻³	.34	.347
65	1.54×10 ⁵	6.77 "	1.0 "	-5.38 "	6.84×10 ⁵	4.50	8.4×10 ⁻⁴	.160	.306
71	1.68 "	1.184×10 ⁵	.9 "	-4.88 "	6.98 "	3.63	1.0×10 ⁻³	.194	.336

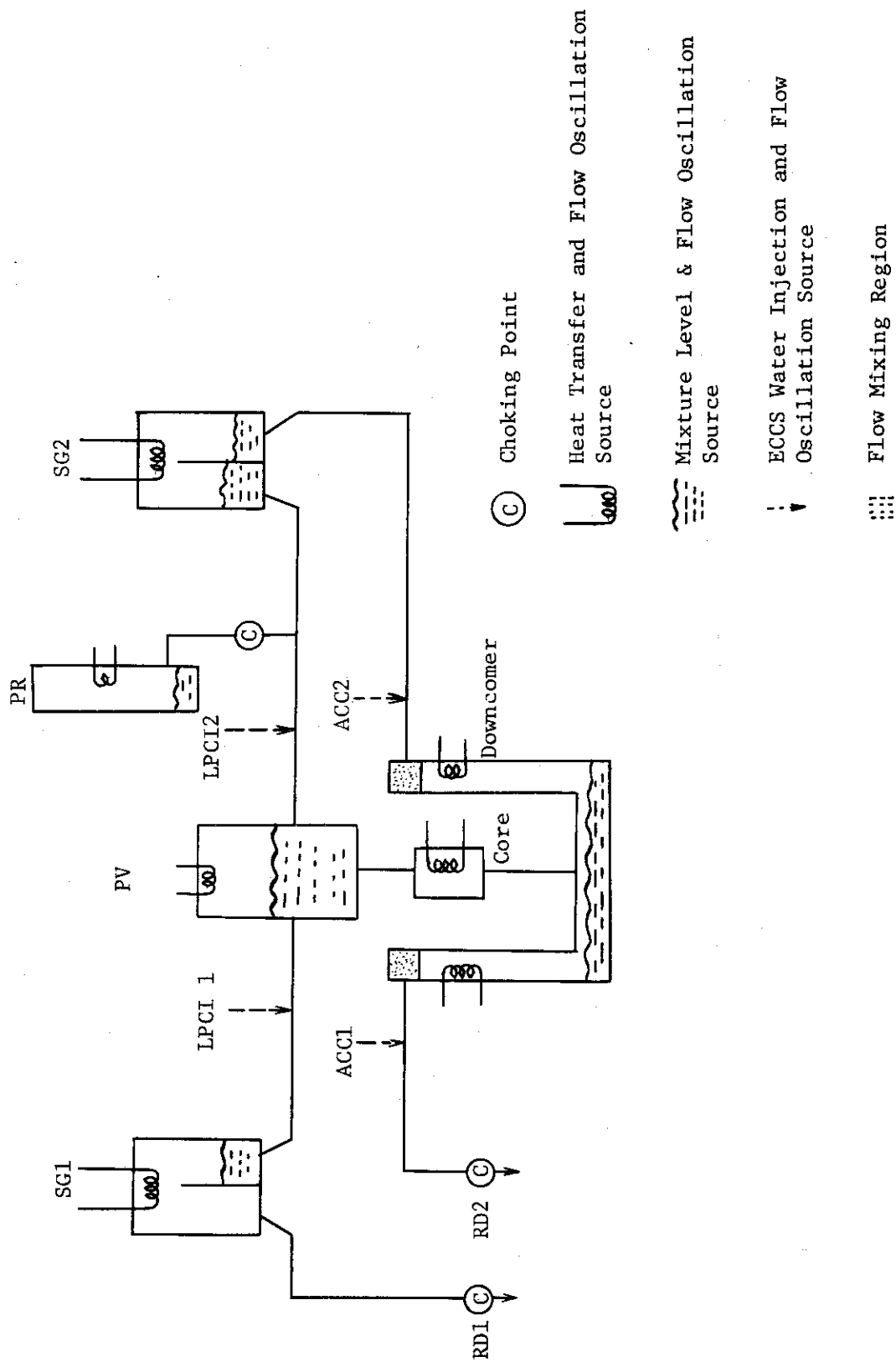


Fig. 5.3.1 The Significant Factors to Calculated Results---#413

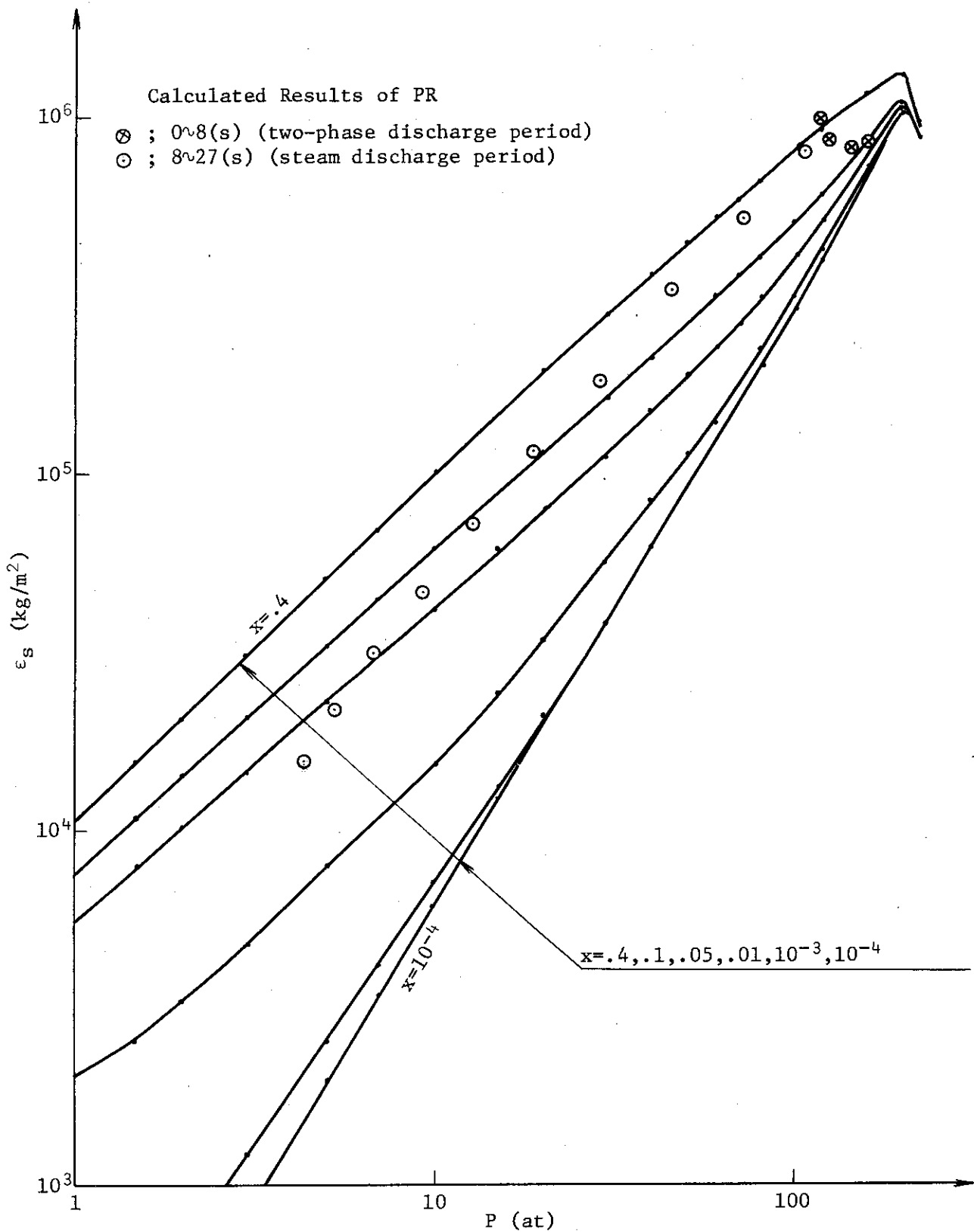


Fig. 5.3.2 Thermal-equilibrium Bulk Modulus (ϵ_s) Versus Pressure (P) and Quality (x)

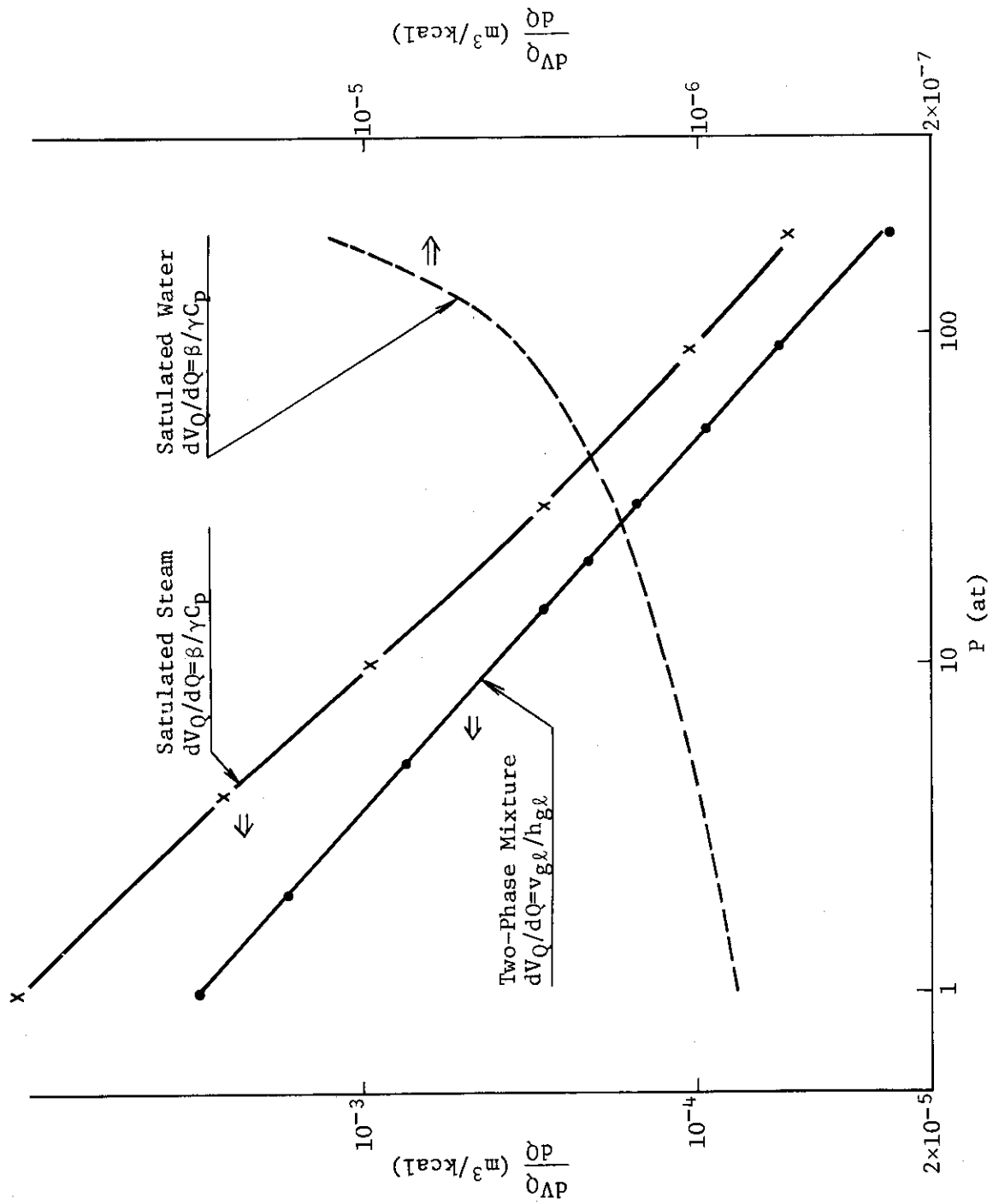


Fig. 5.3.3 Coefficient of Volume Expansion versus Pressure

SIMULATION OF ROSA-2 RUN-413

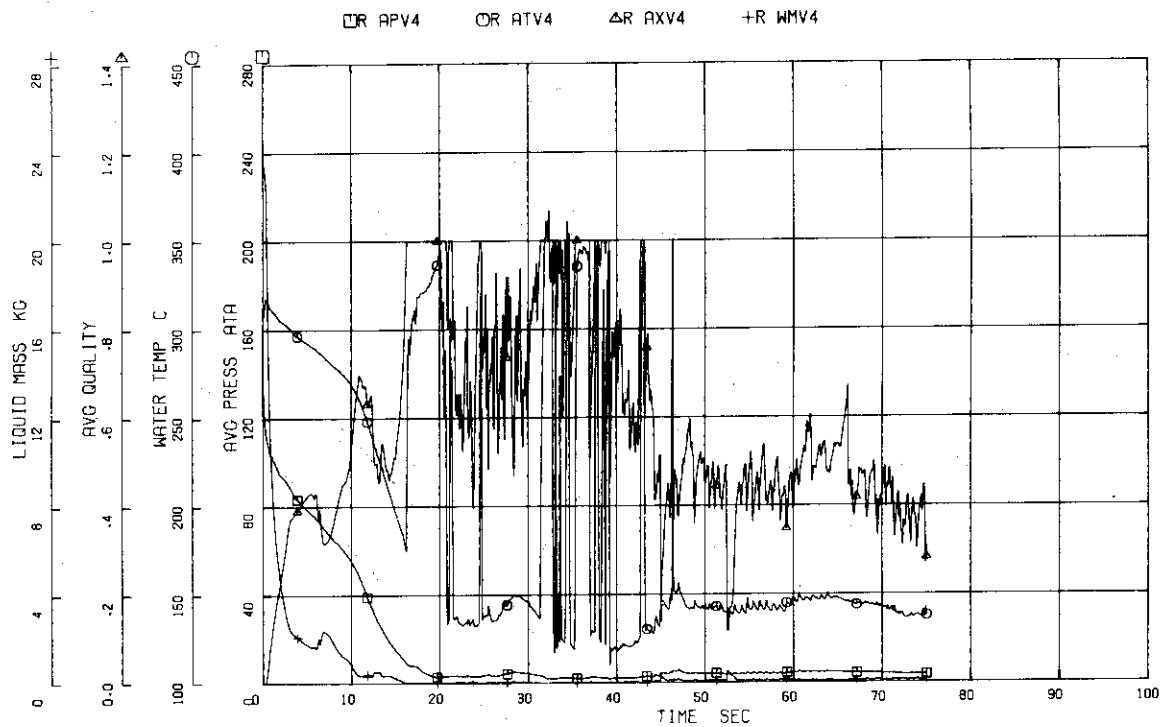


Fig. 5.3.4 Calculated Coolant Conditions in Lower Plenum (Vol.2) #413

SIMULATION OF ROSA-2 RUN-413

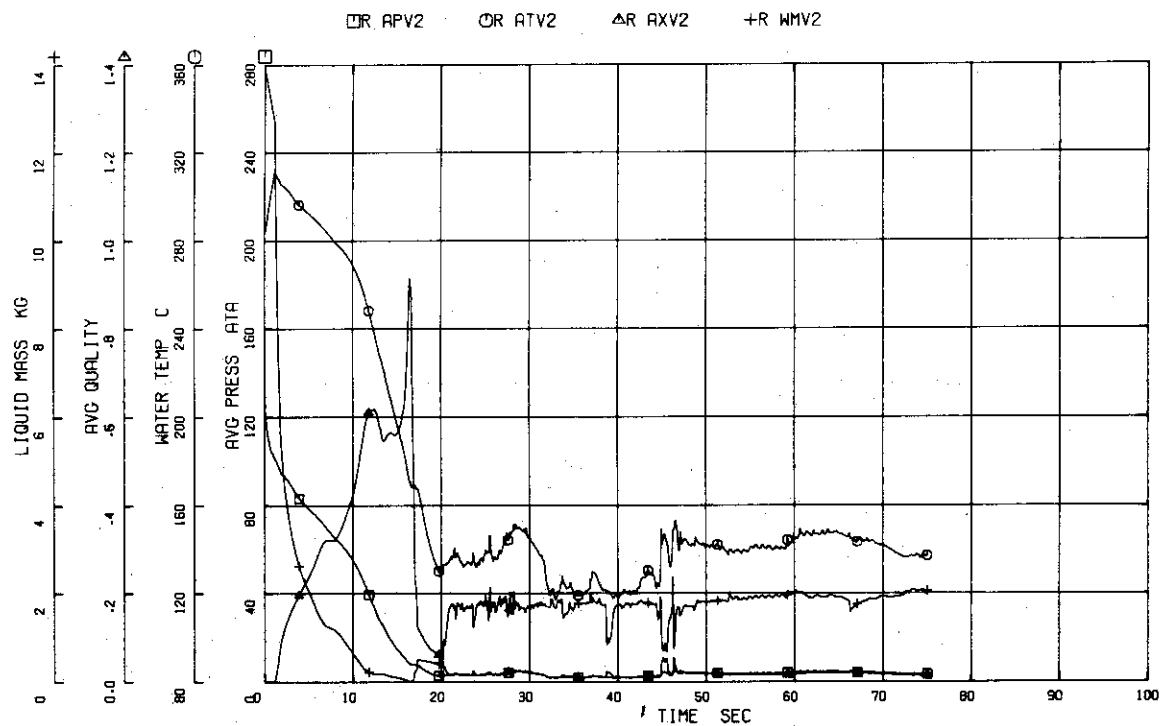


Fig. 5.3.5 Calculated Coolant Conditions in Core (Vol.4) #413

SIMULATION OF ROSA-2 RUN-413

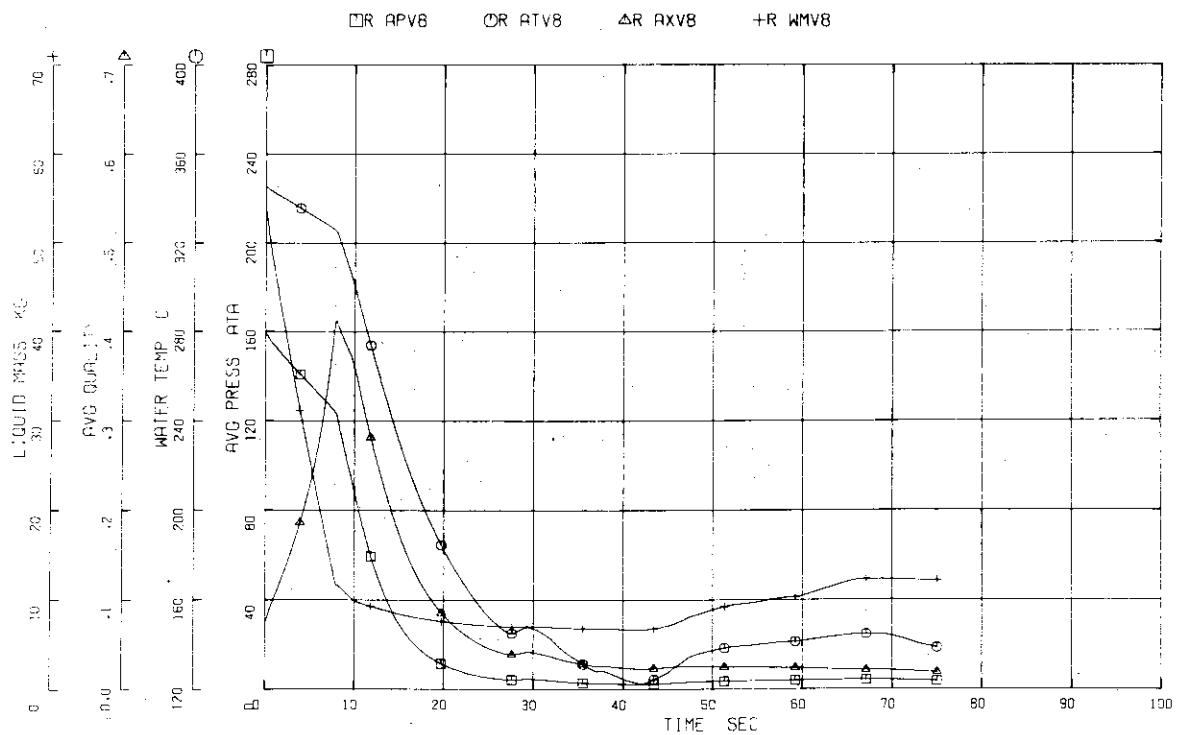


Fig. 5.3.6 Calculated Coolant Conditions in PR (Vol.8) #413

SIMULATION OF ROSA-2 RUN-413

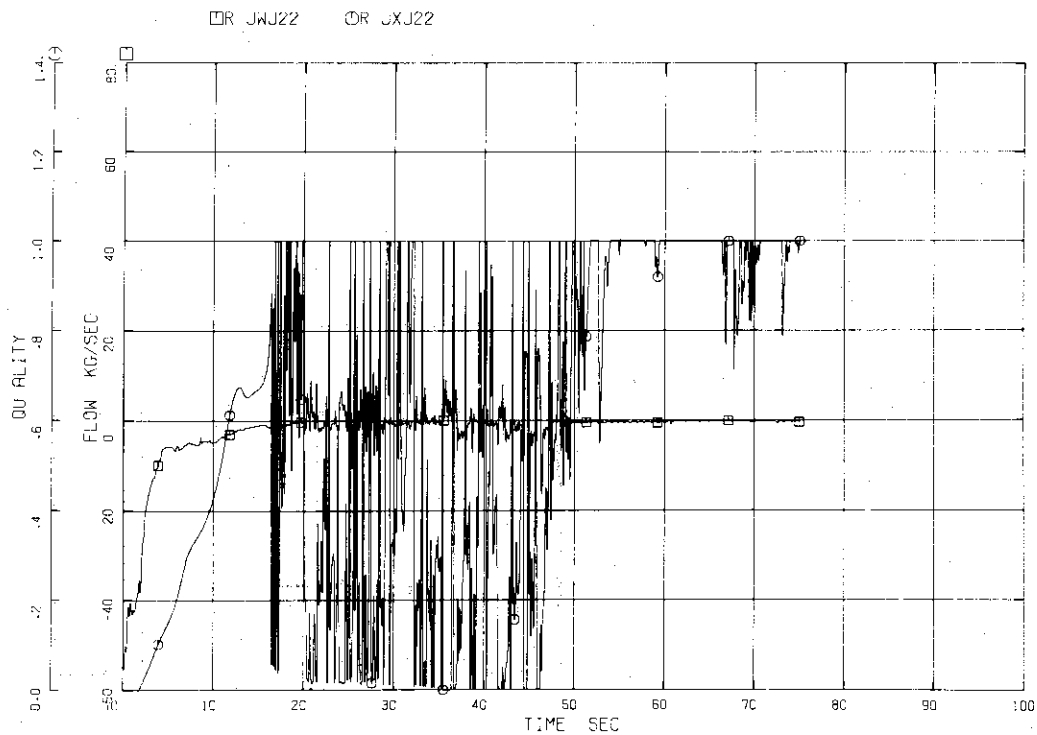


Fig. 5.3.7 Calculated Junction Flow at Downcomer (Jun.22) #413

SIMULATION OF ROSA-2 RUN-413

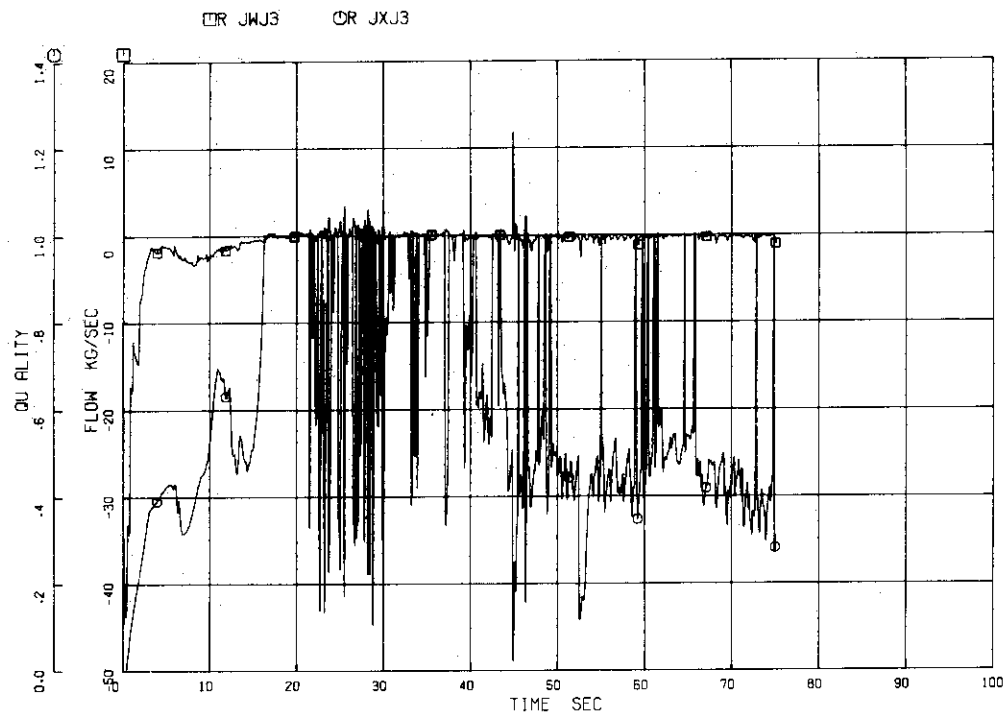


Fig. 5.3.8 Calculated Junction Flow at Core Inlet (Jun.3) #413

SIMULATION OF ROSA-2 RUN-413

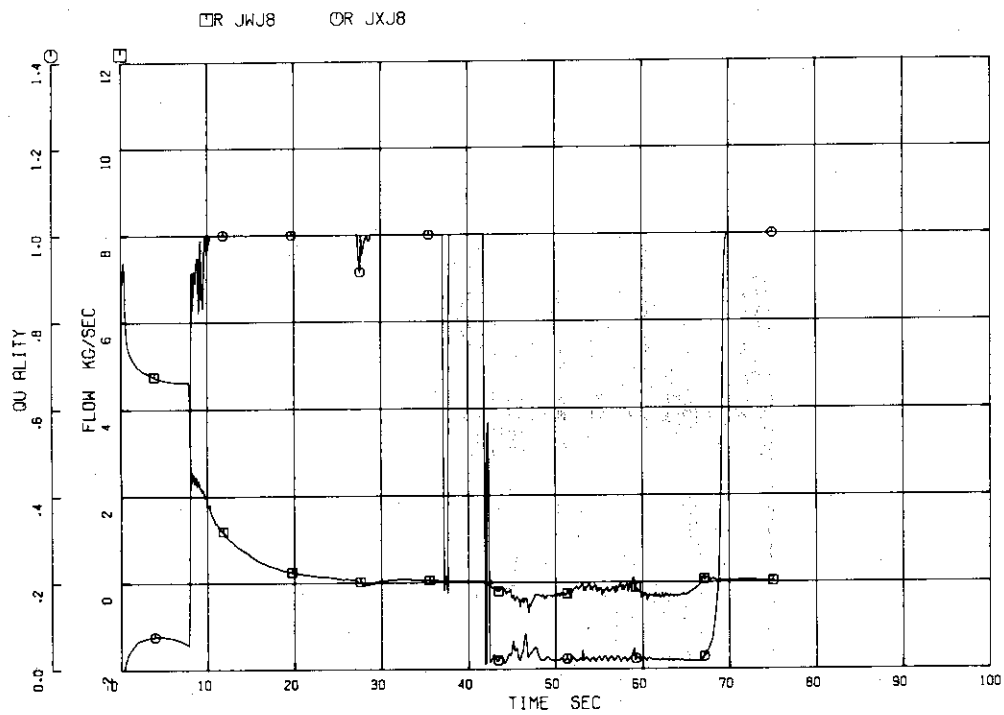


Fig. 5.3.9 Calculated Junction Flow at PR Surge Line (Jun. 8) #413

SIMULATION OF ROSA-2 RUN-413

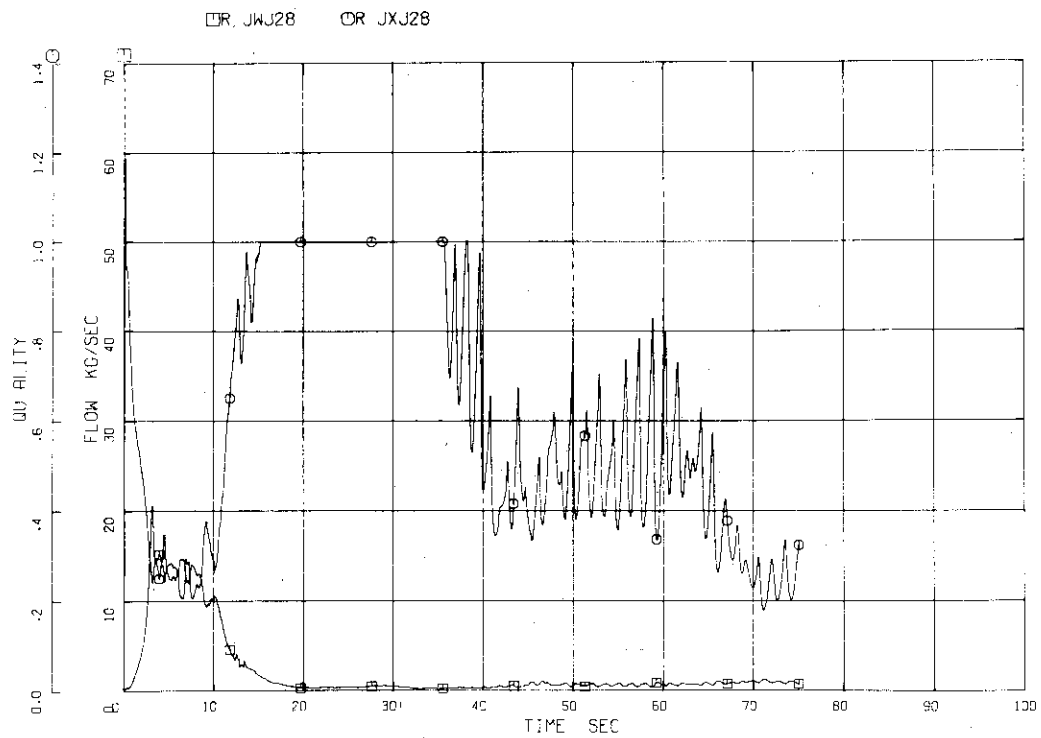


Fig. 5.3.10 Calculated Junction Flow at RD1 (Jun. 28) #413

SIMULATION OF ROSA-2 RUN-413

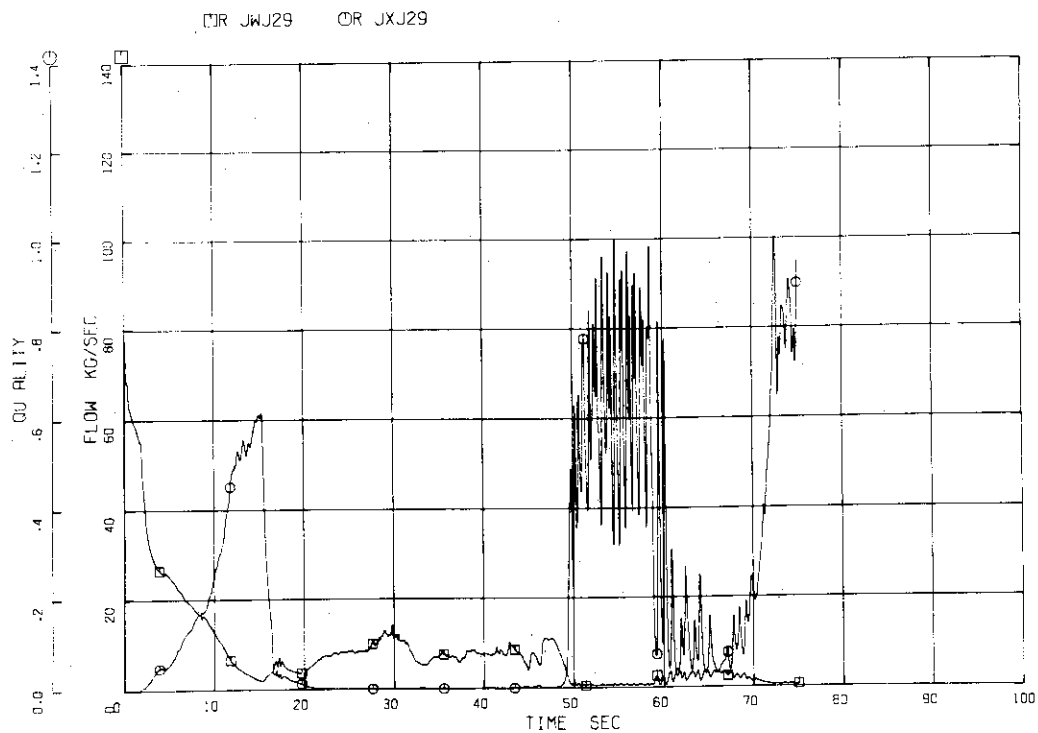


Fig. 5.3.11 Calculated Junction Flow at RD2 (Jun. 29) #413

SIMULATION OF ROSA-2 RUN-413

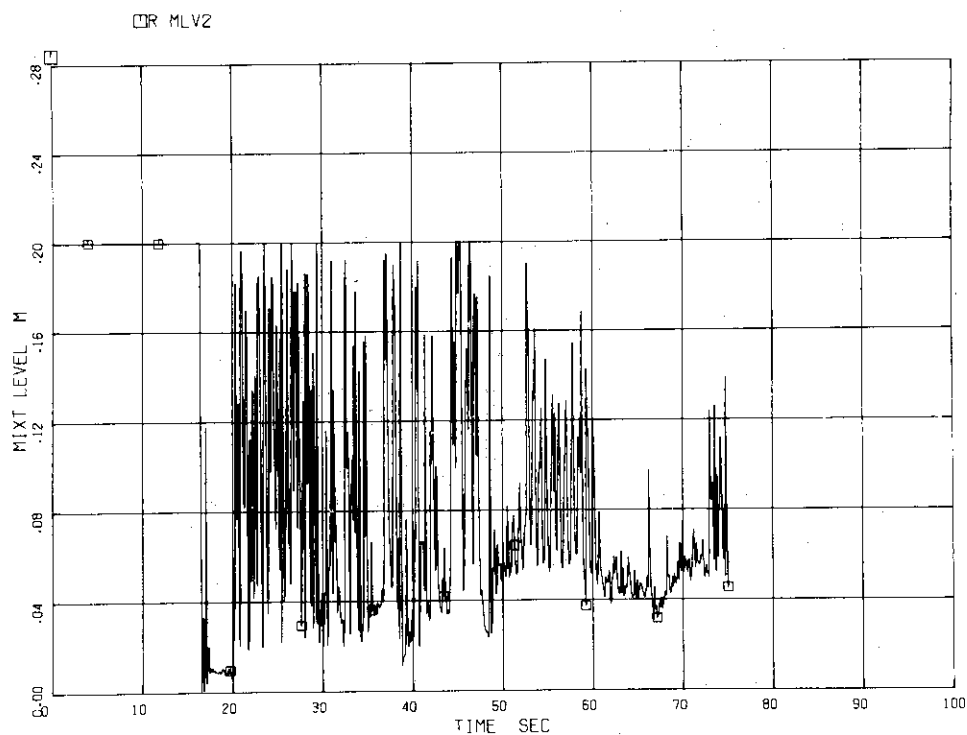


Fig. 5.3.12 Calculated Mixture Level in Lower Plenum (Vol.2) #413

SIMULATION OF ROSA-2 RUN-413

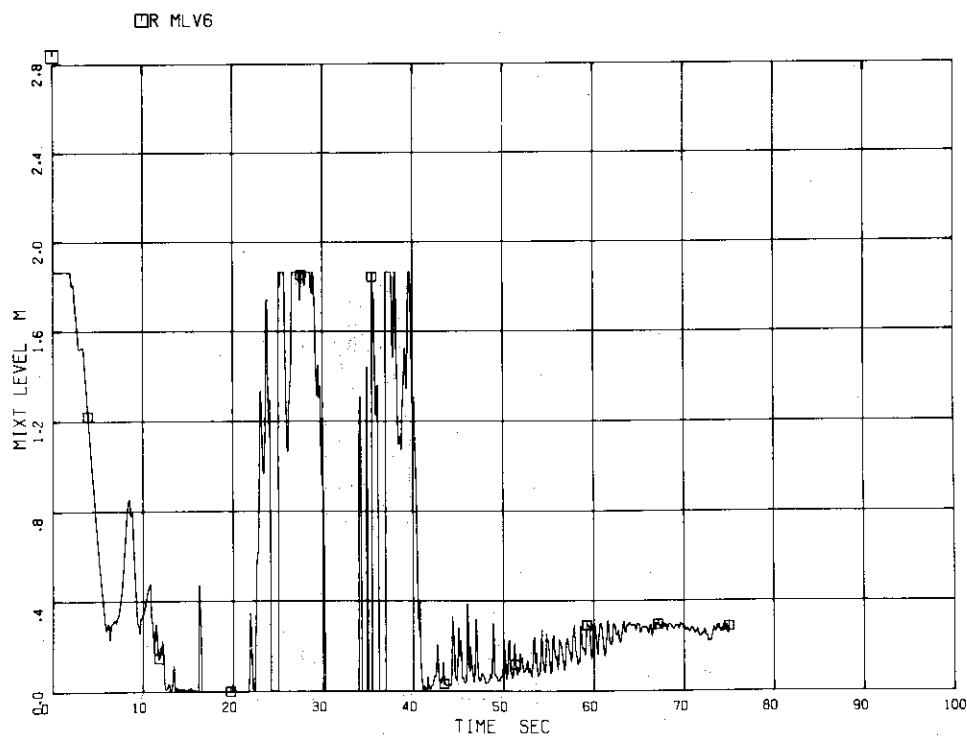


Fig. 5.3.13 Calculated Mixture Level in Upper Plenum (Vol.6) #413

SIMULATION OF ROSA-2 RUN-413

OR MLV14

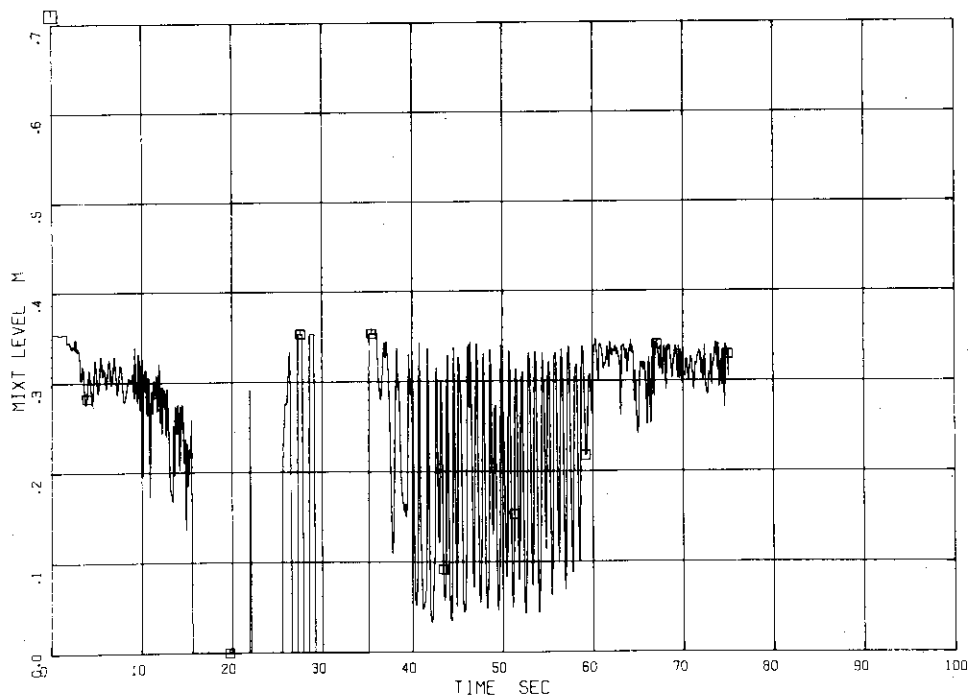


Fig. 5.3.14 Calculated Mixture Level in PR (Vol.8) #413

SIMULATION OF ROSA-2 RUN-413

OR MLV8

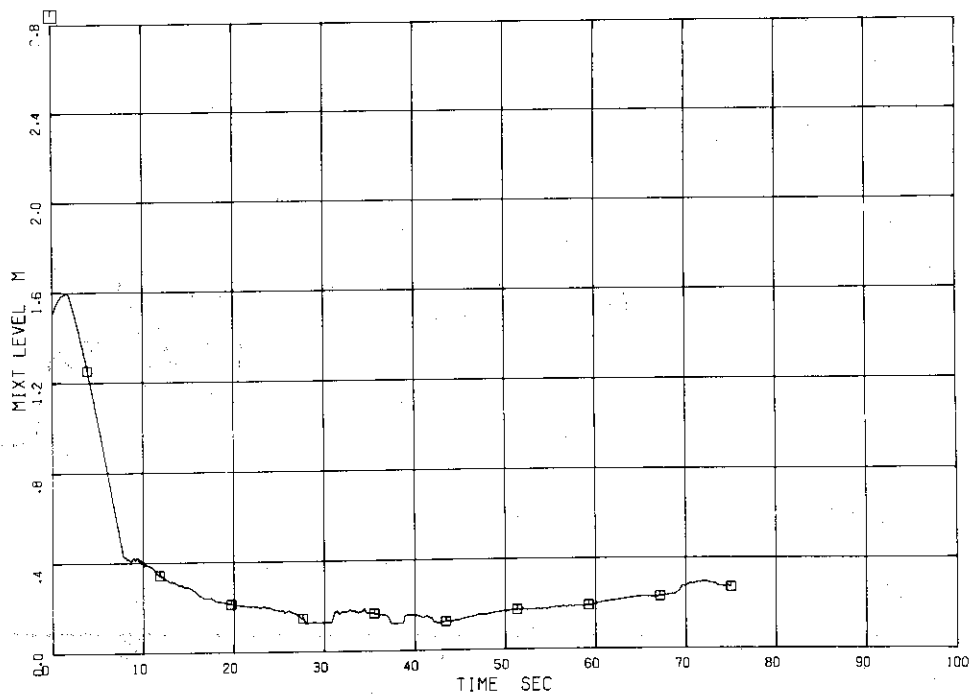
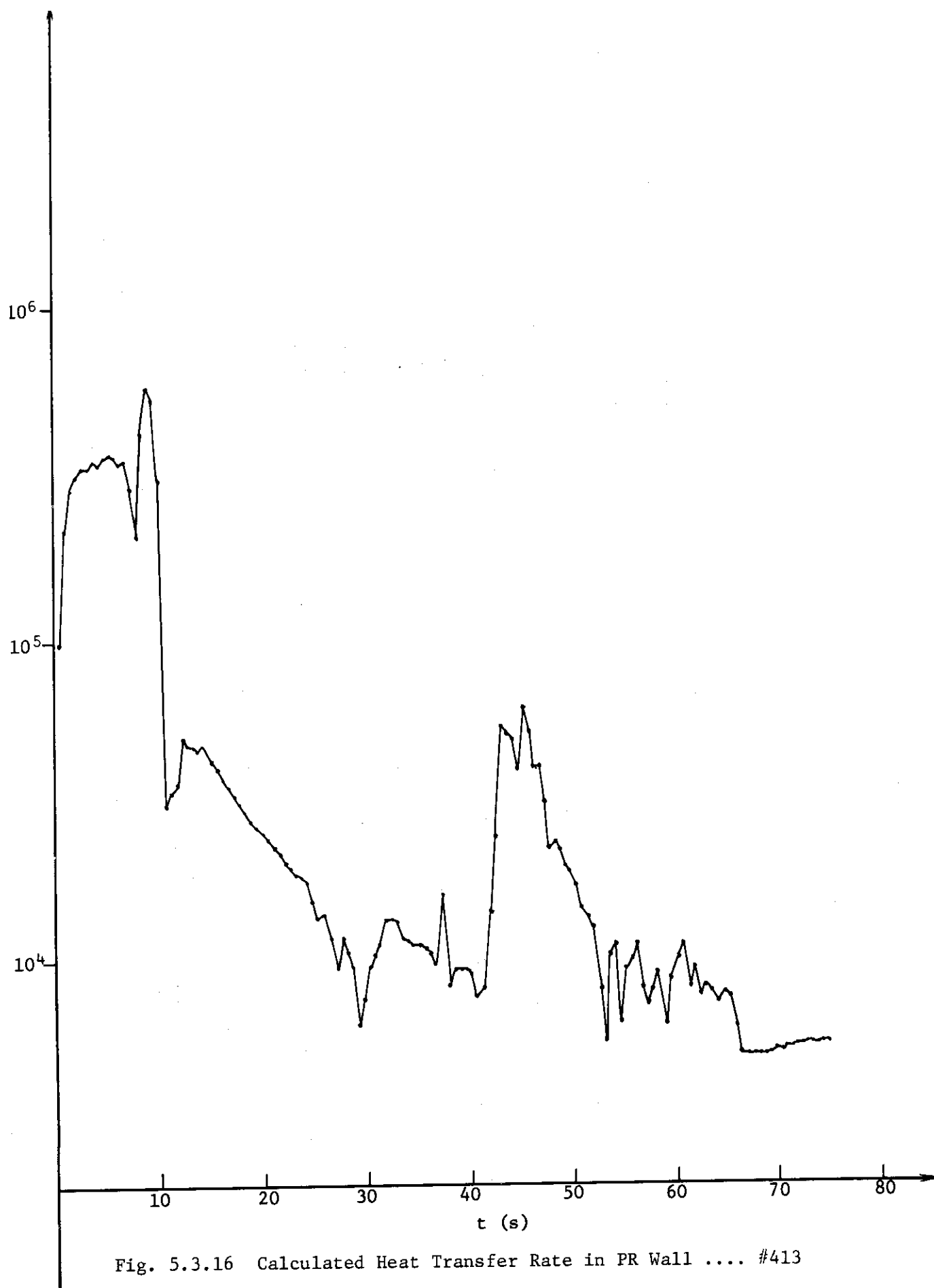


Fig. 5.3.15 Calculated Mixture Level in SG1 Inlet Plenum (Vol.14) #413



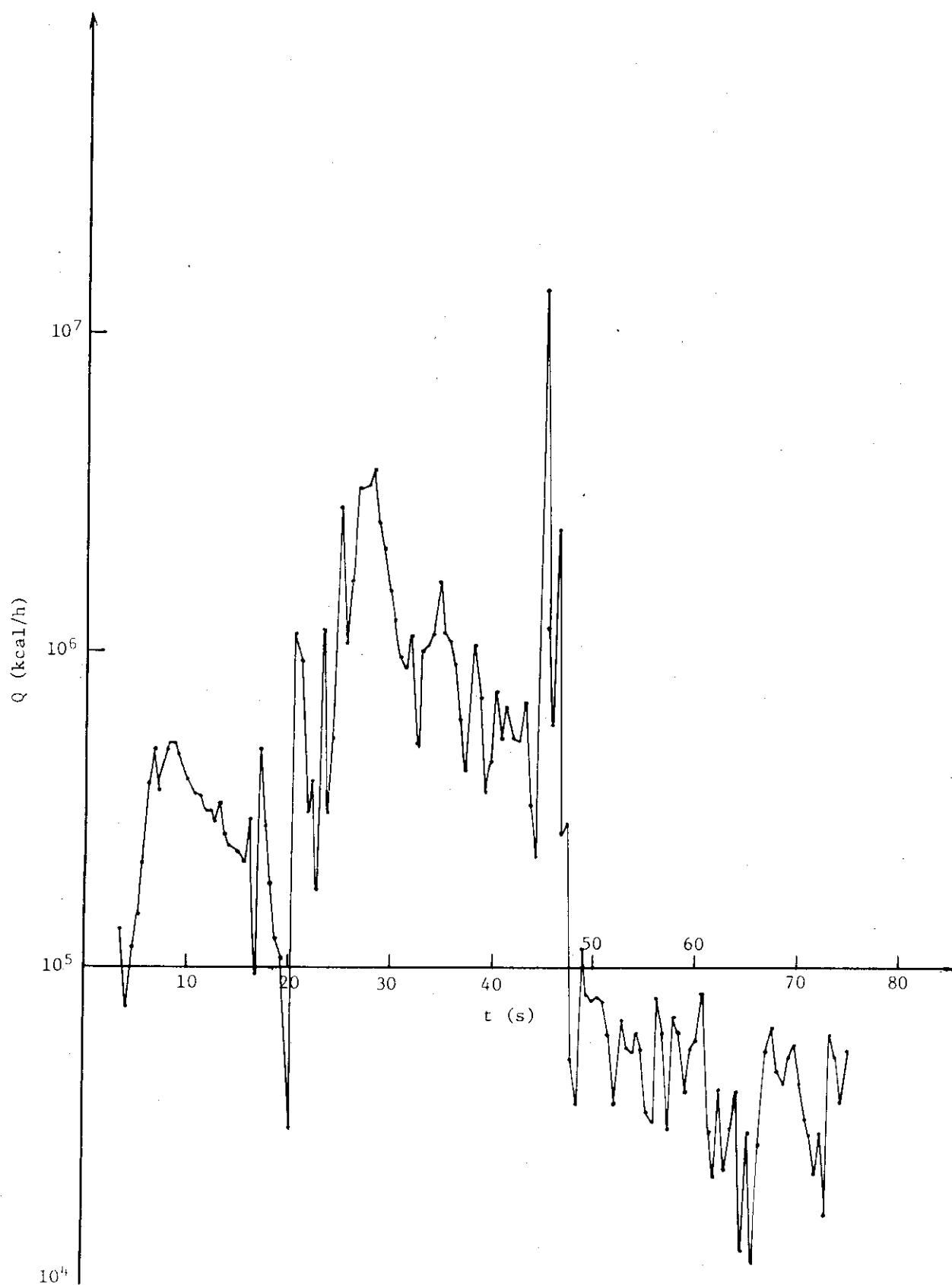


Fig. 5.3.17 Calculated Heat Transfer Rate in Downcomer Wall #413

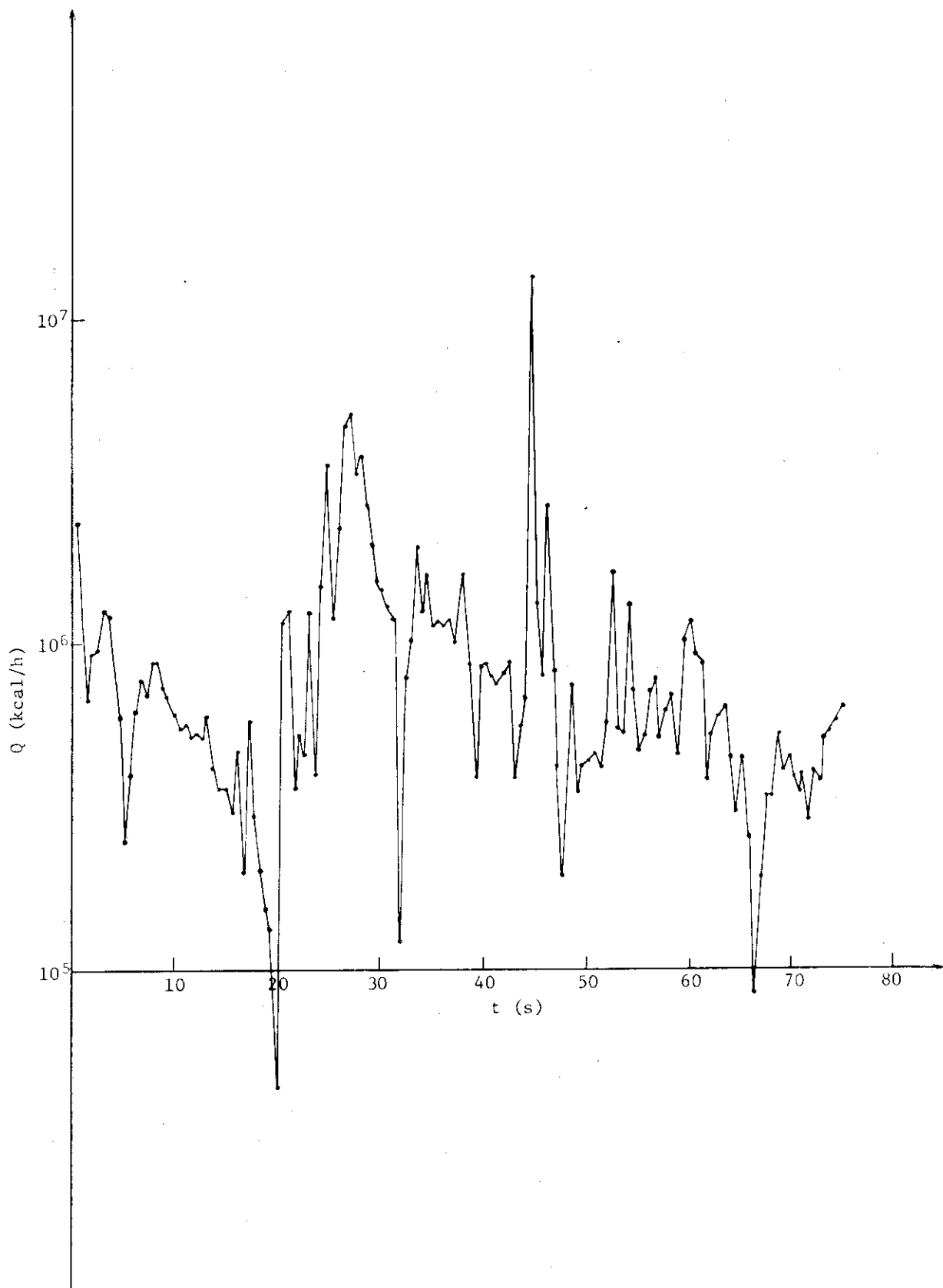


Fig. 5.3.18 Calculated Heat Transfer Rate in Total Heat Slabs
Excluding Fuel Rods #413

SIMULATION OF ROSA-2 RUN-413

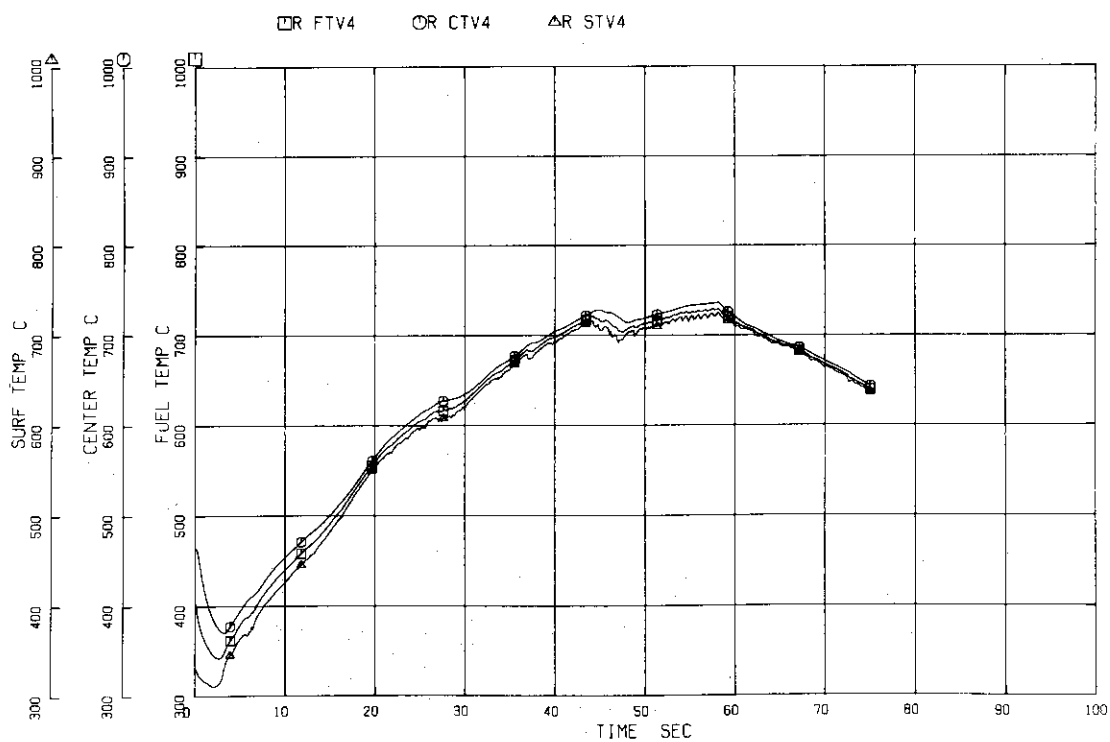


Fig. 5.3.19 Calculated Fuel Surface Temperature #413

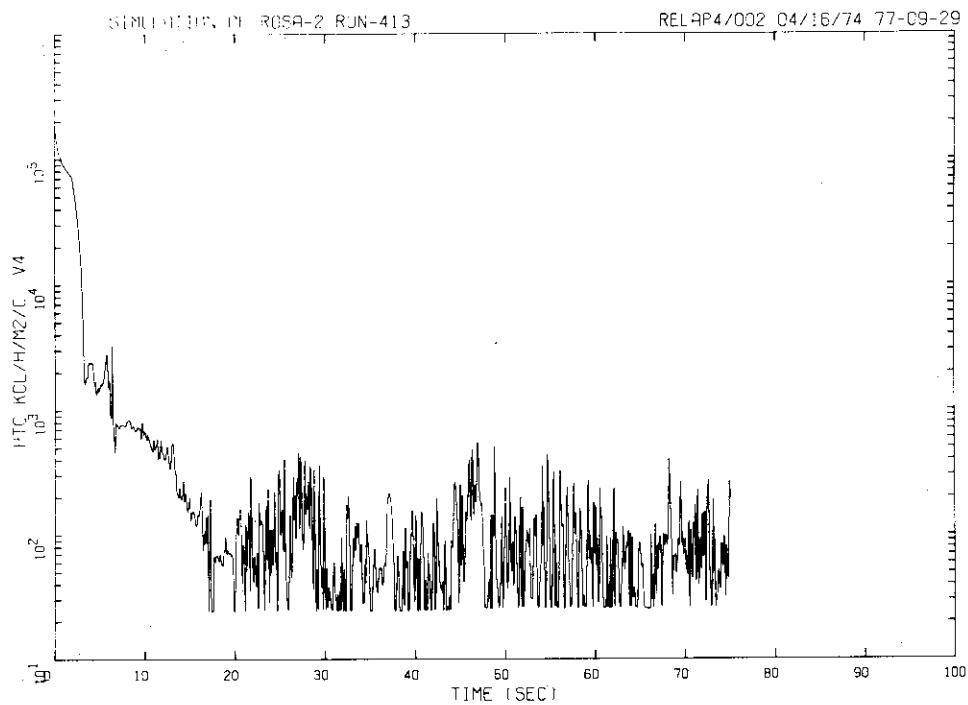


Fig. 5.3.20 Calculated Heat Transfer Coefficient of Fuel Rods #413

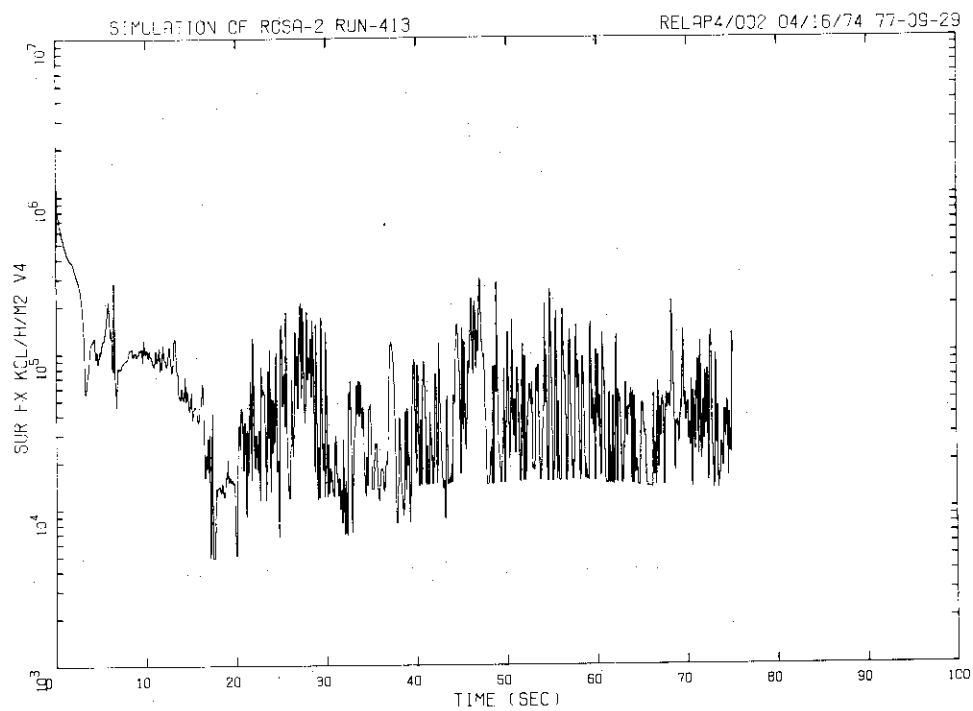


Fig. 5.3.21 Calculated Surface Heat Flux of Fuel Rods #413

Table 5.4.1 List of Comparisons Between
Test Data and Calculated
Results ... #413

Item	Figure Number
<u>Pressure</u>	
PR	5.4.1
PV Upper Plenum	5.4.2
SG1 Outlet	5.4.3
RD1	5.4.4
RD2	5.4.5
<u>Water Temperature</u>	
PV Upper Plenum	5.4.6
SG2 Inlet	5.4.7
SG2 Outlet	5.4.8
P1 Pump Delivery	5.4.9
PV Inlet Nozzle	5.4.10
PR	5.4.11
<u>Differential Pressure</u>	
PV Bottom to Top	5.4.12
SG1 Inlet to Outlet	5.4.13
<u>Fuel Surface Temperature</u>	
#1 Rod, Position 3	5.4.14

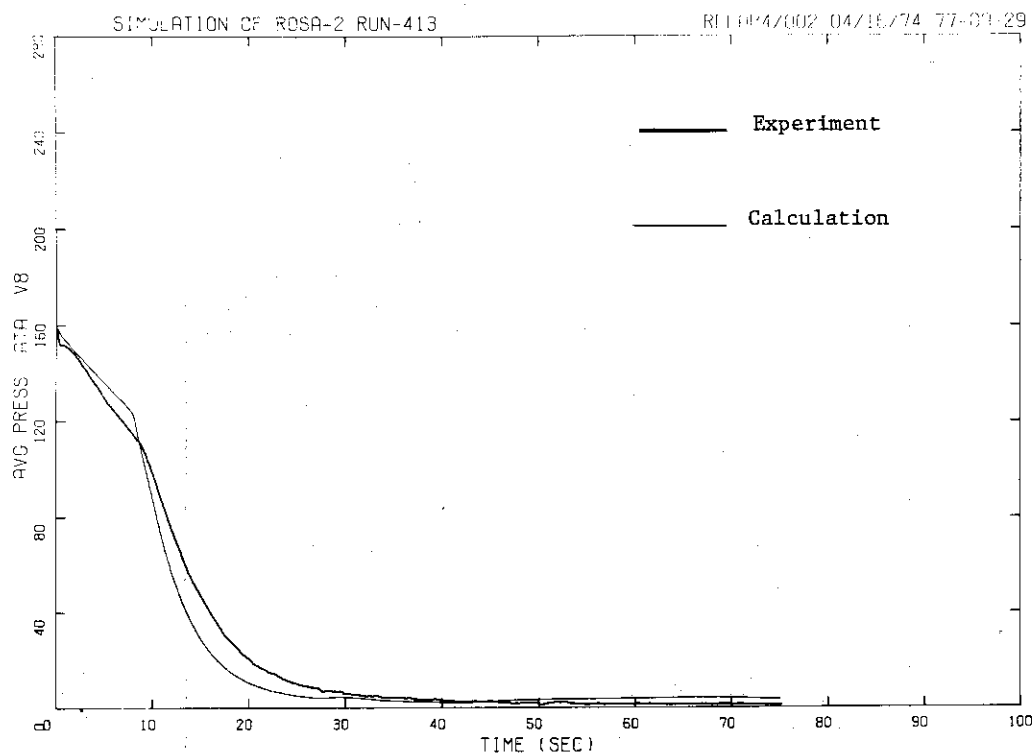


Fig. 5.4.1 Pressure History at Pressurizer in Comparison with #413 Data

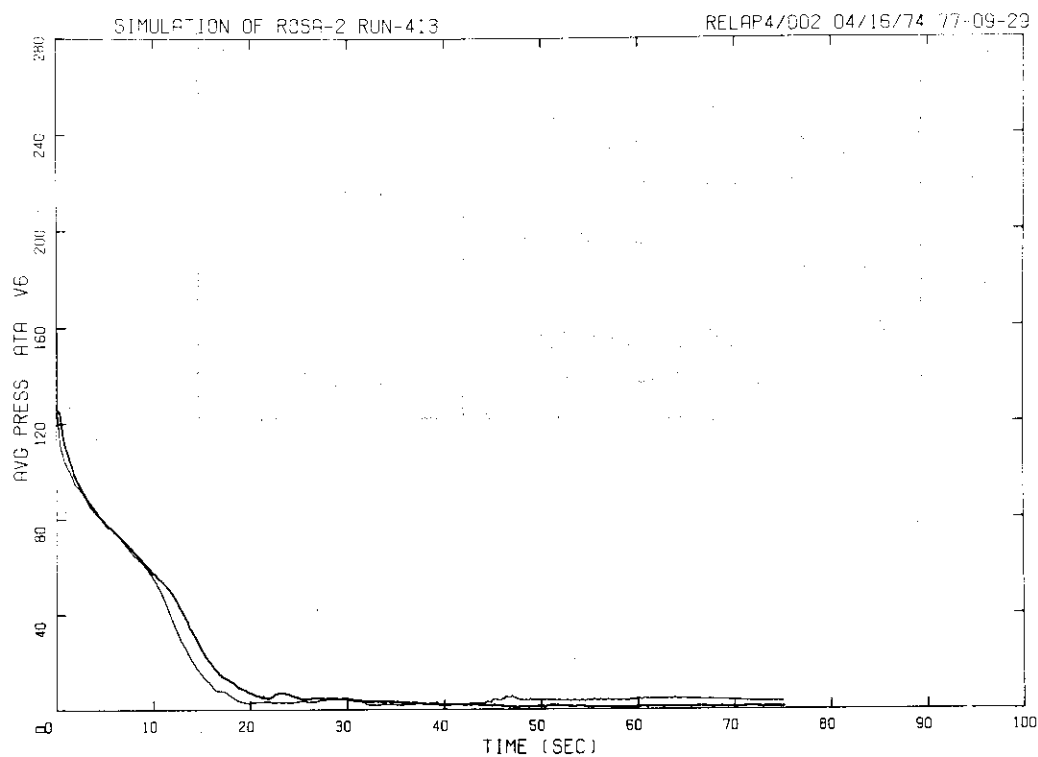


Fig. 5.4.2 Pressure History at PV Upper Plenum in Comparison with #413 Data

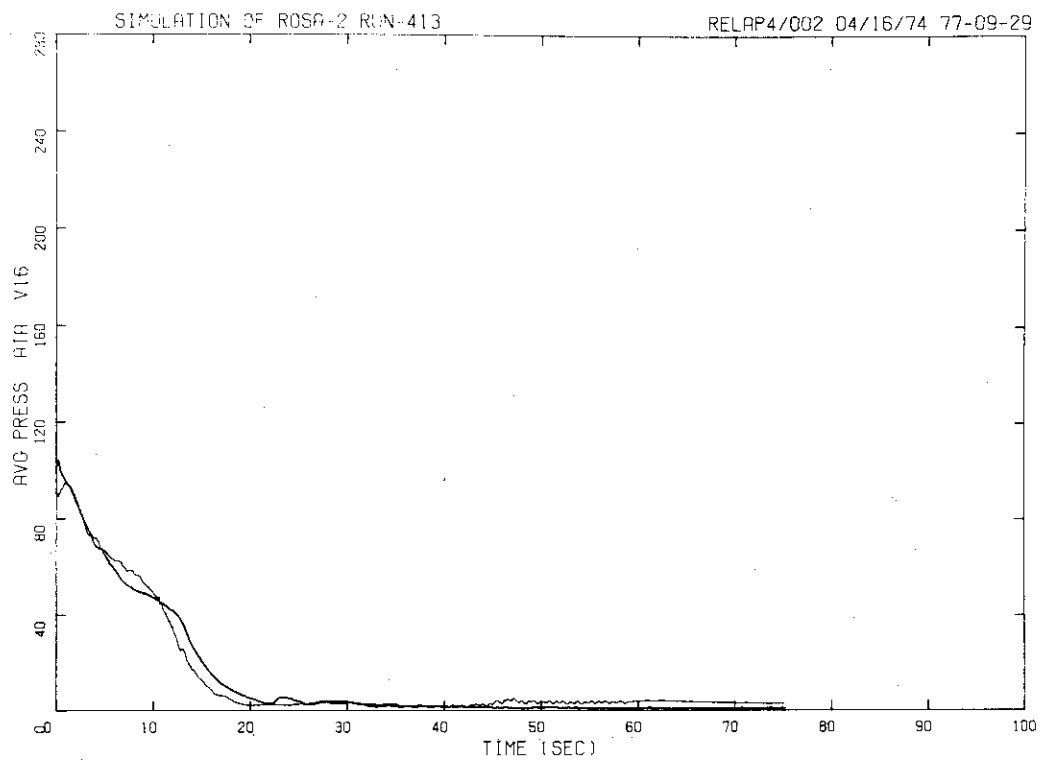


Fig. 5.4.3 Pressure History at SG1 Outlet in Comparison with #413 Data

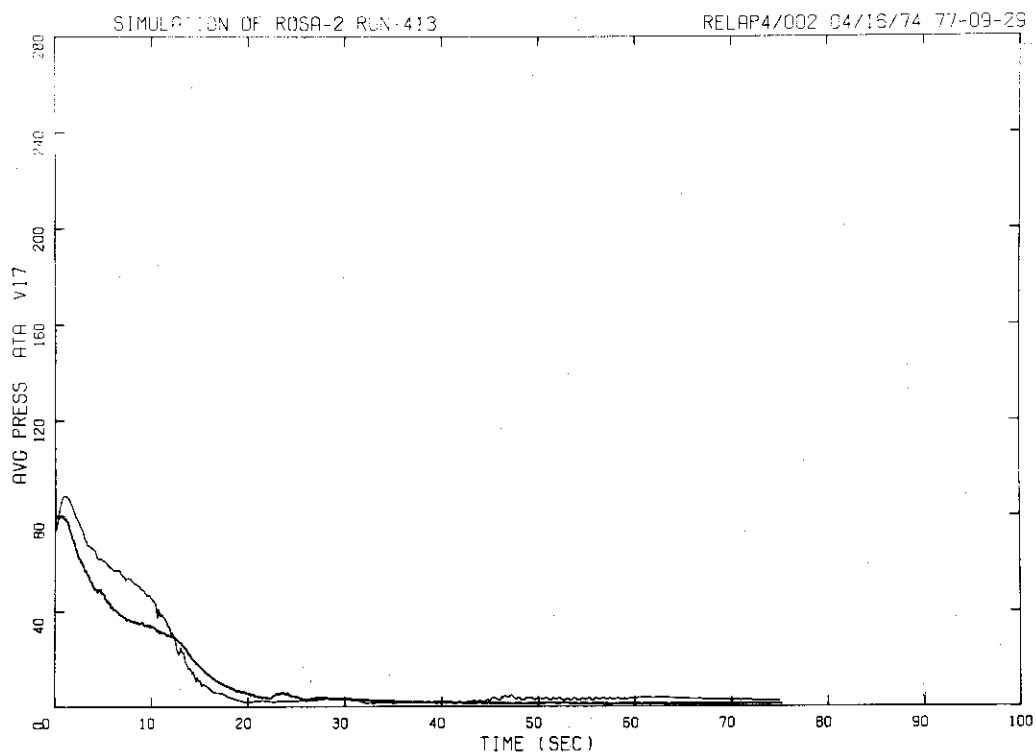


Fig. 5.4.4 Pressure History at RD1 in Comparison with #413 Data

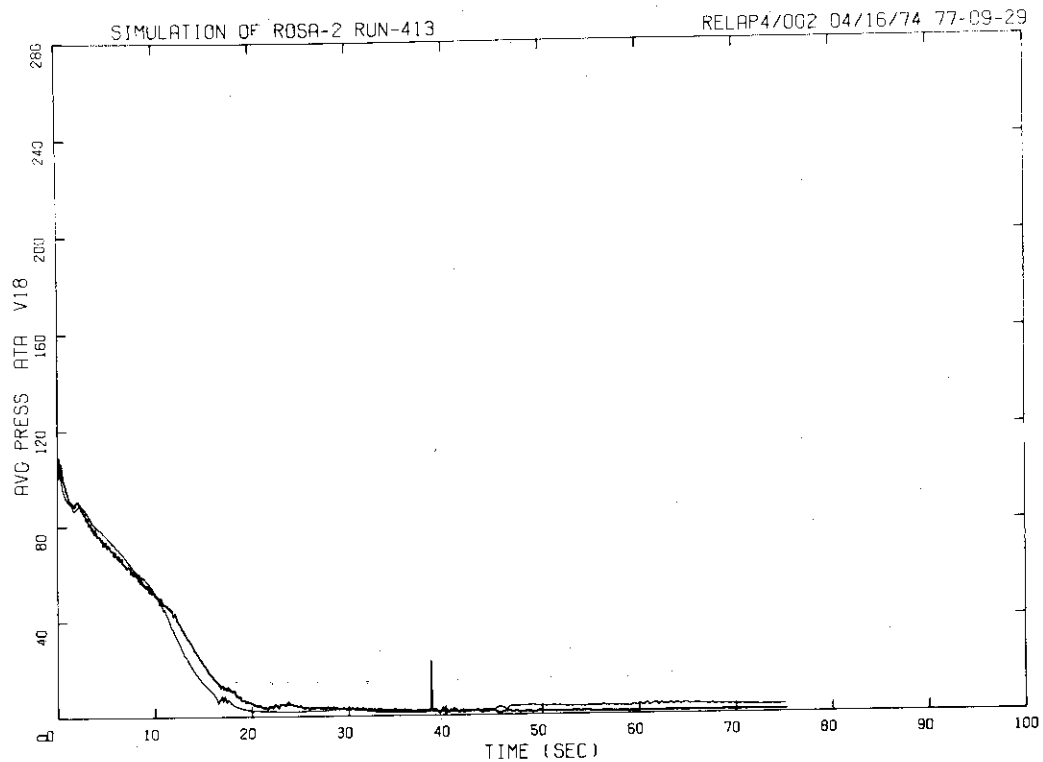


Fig. 5.4.5 Pressure History at RD2 in Comparison with #413 Data

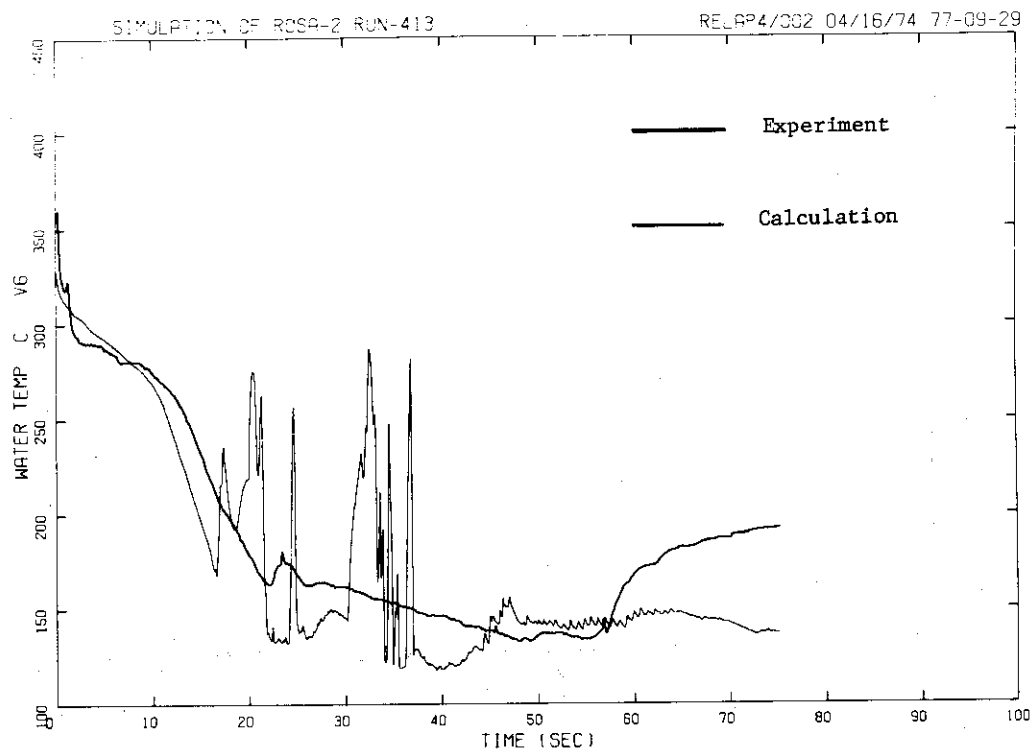


Fig. 5.4.6 Water Temperature at PV Upper Plenum in Comparison with #413 Data

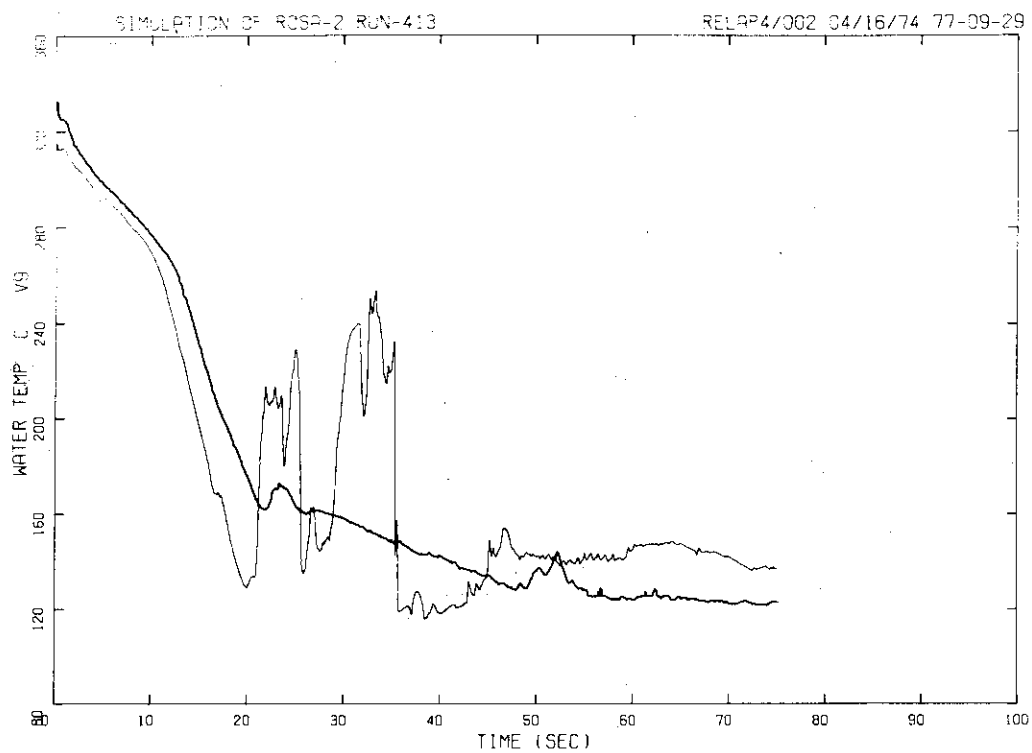


Fig. 5.4.7 Water Temperature at SG2 Inlet in Comparison with #413 Data

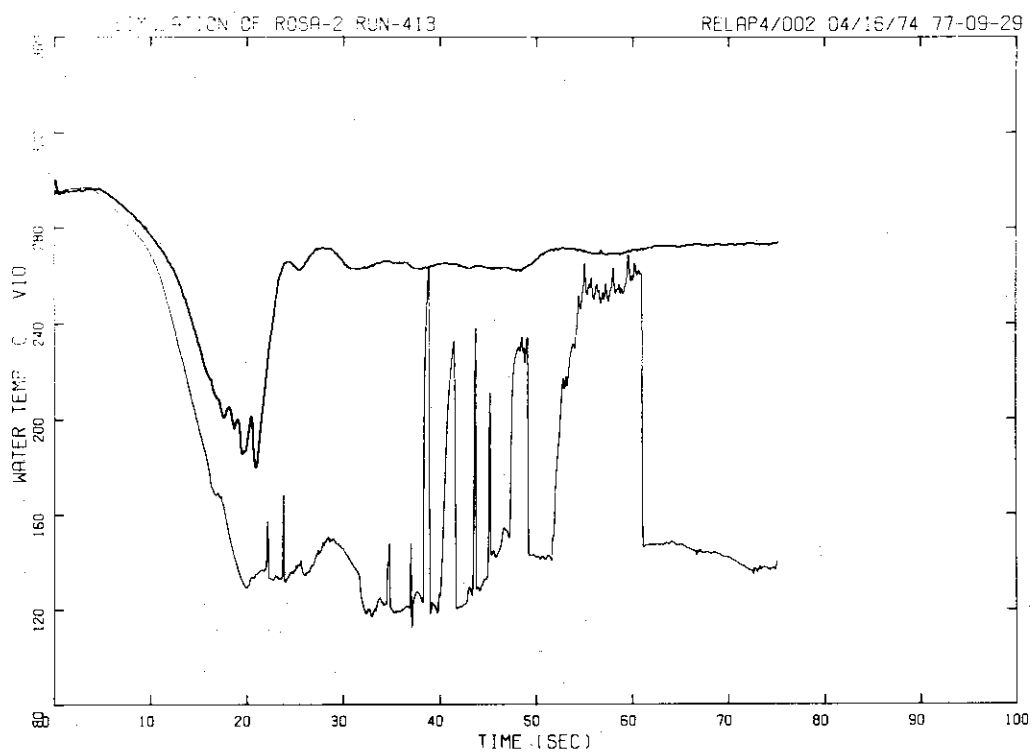


Fig. 5.4.8 Water Temperature at SG2 Outlet in Comparison with #413 Data

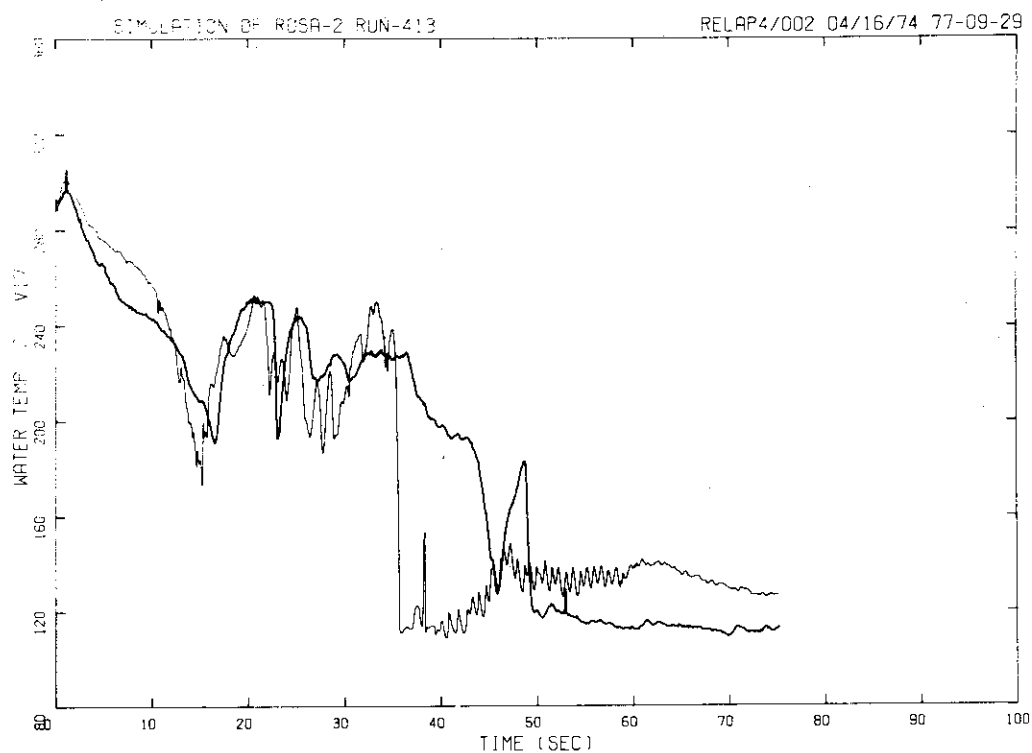


Fig. 5.4.9 Water Temperature at P1 Pump Delivery in Comparison with #413 Data

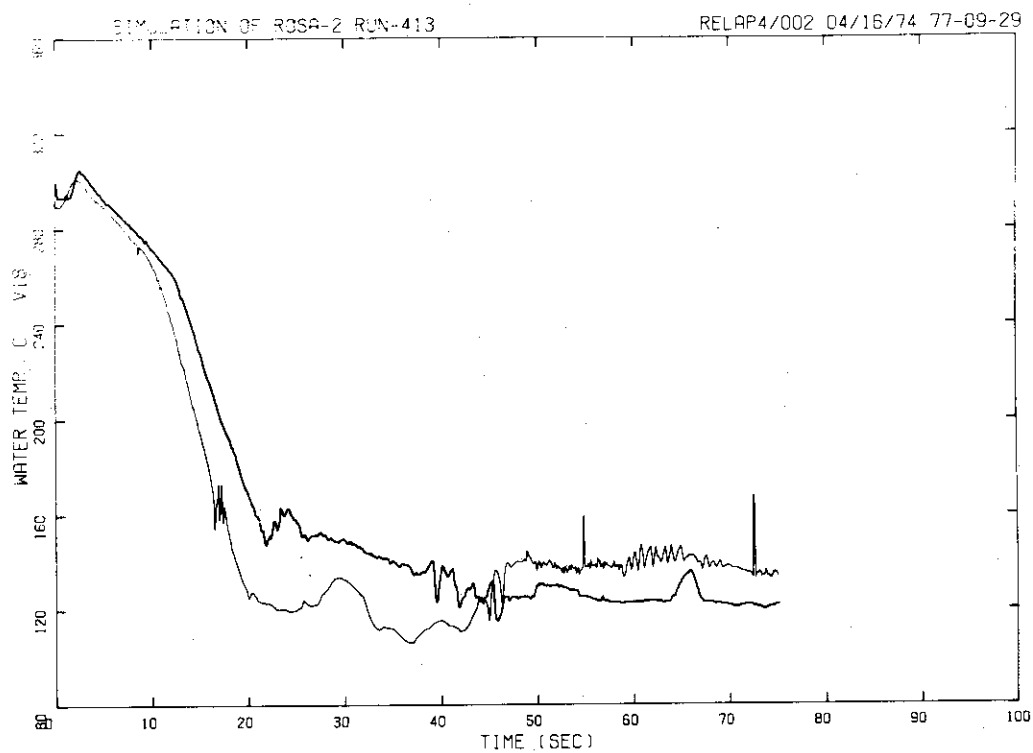


Fig. 5.4.10 Water Temperature at PV Inlet Nozzle in Comparison with #413 Data

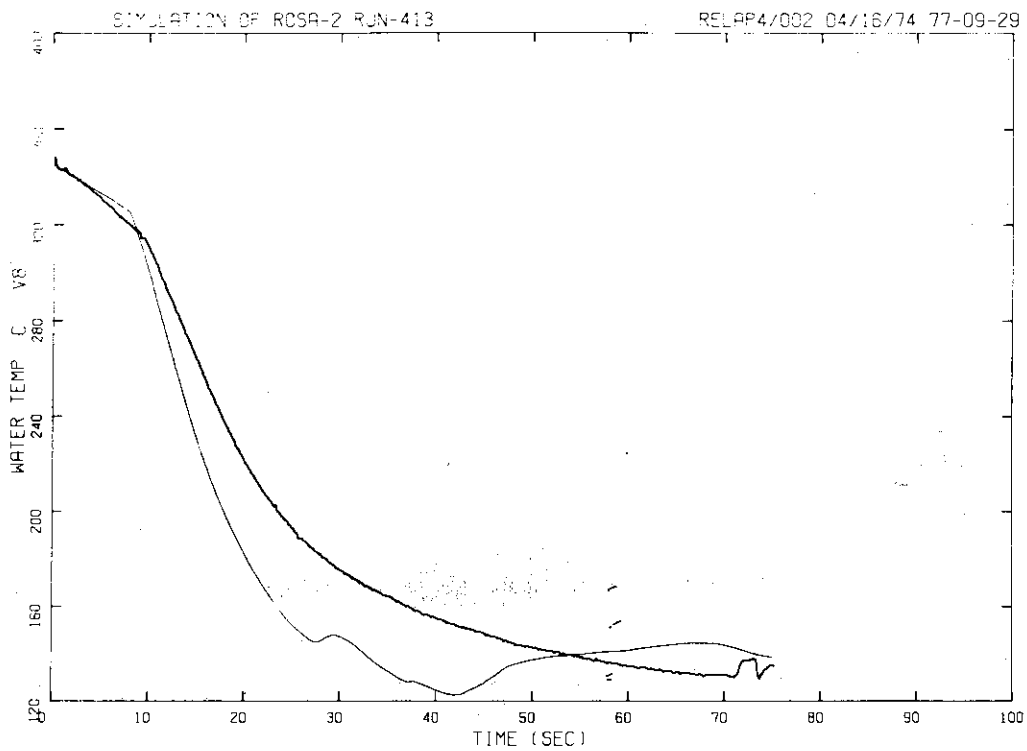


Fig. 5.4.11 Water Temperature at Pressurizer in Comparison with #413 Data

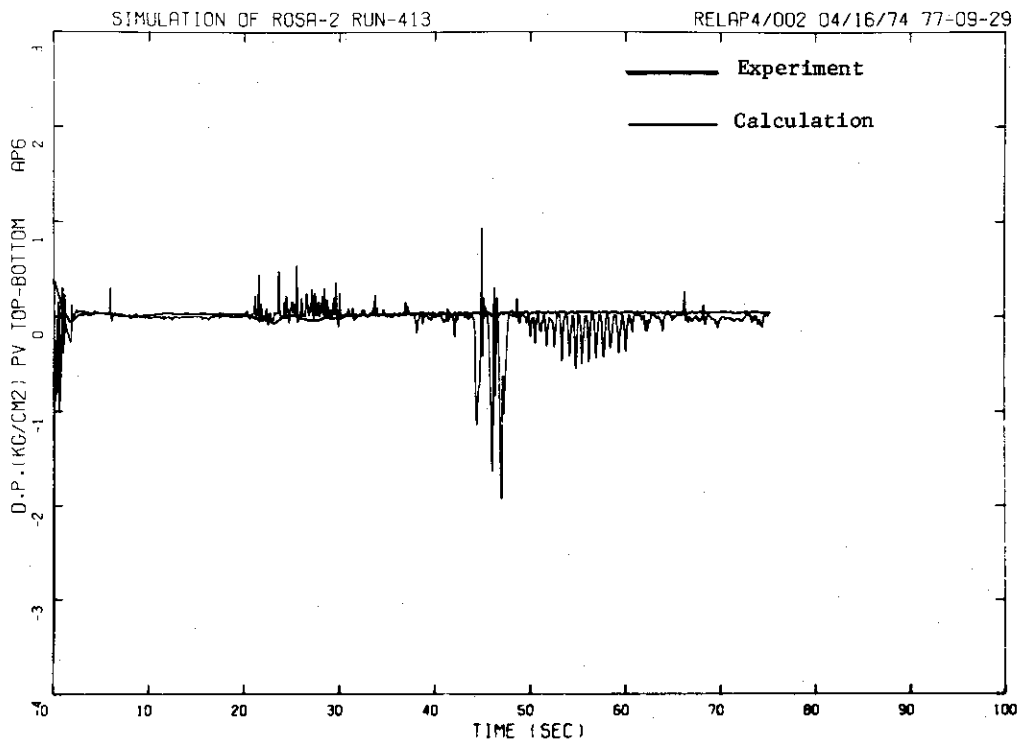


Fig. 5.4.12 Differential Pressure from PV Bottom to Top in Comparison with #413 Data

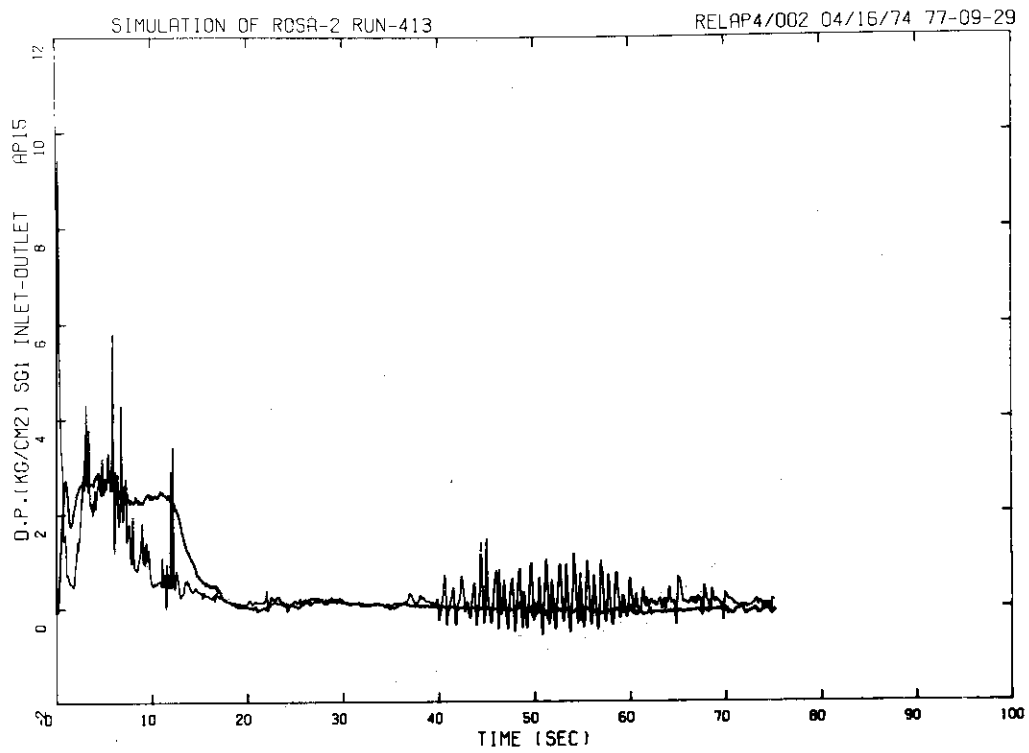


Fig. 5.4.13 Differential Pressure from SG1 Inlet to Outlet in comparison with #413 Data

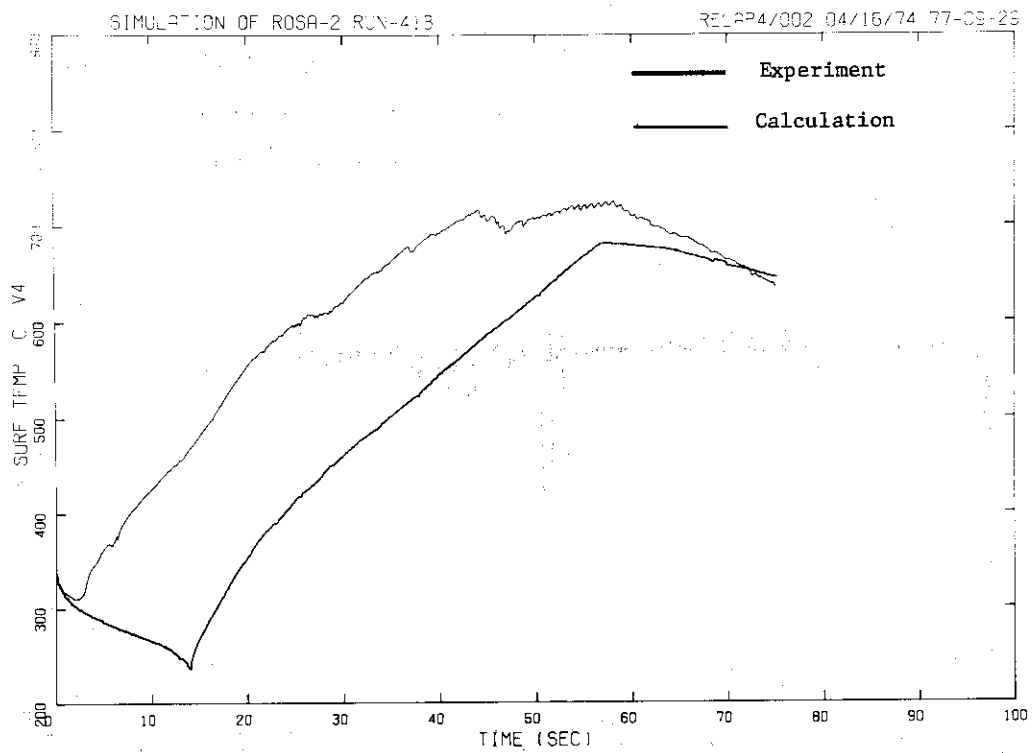


Fig. 5.4.14 Fuel Surface Temperature in Comparison with #413 Data

RUN 413 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 4 ASSEMBLY

EDCS	---	HP1--	HP2--	AC1-C	AC2-C	LP1-H	LP2-H
CH-37	CH	TF-1 (NO.1)	POSITION1	CH-38	TF-2 (NO.1)	POSITION2	
CH-39	CH	TF-3 (NO.1)	POSITION3	CH-40	TF-4 (NO.1)	POSITION4	
CH-41	CH	TF-5 (NO.1)	POSITION5				

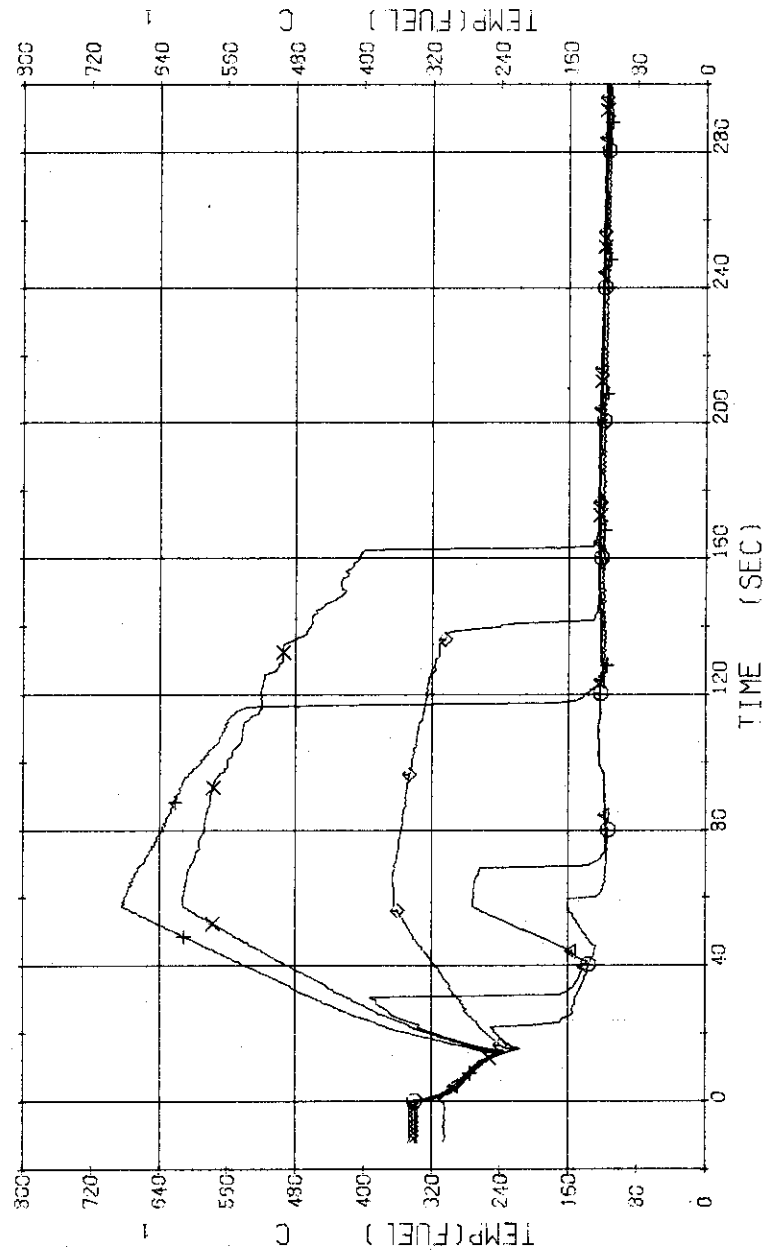


Fig. 5.4.15 Experimental Surface Temperature of Fuel Rod (No.1 Rod)
..... #413

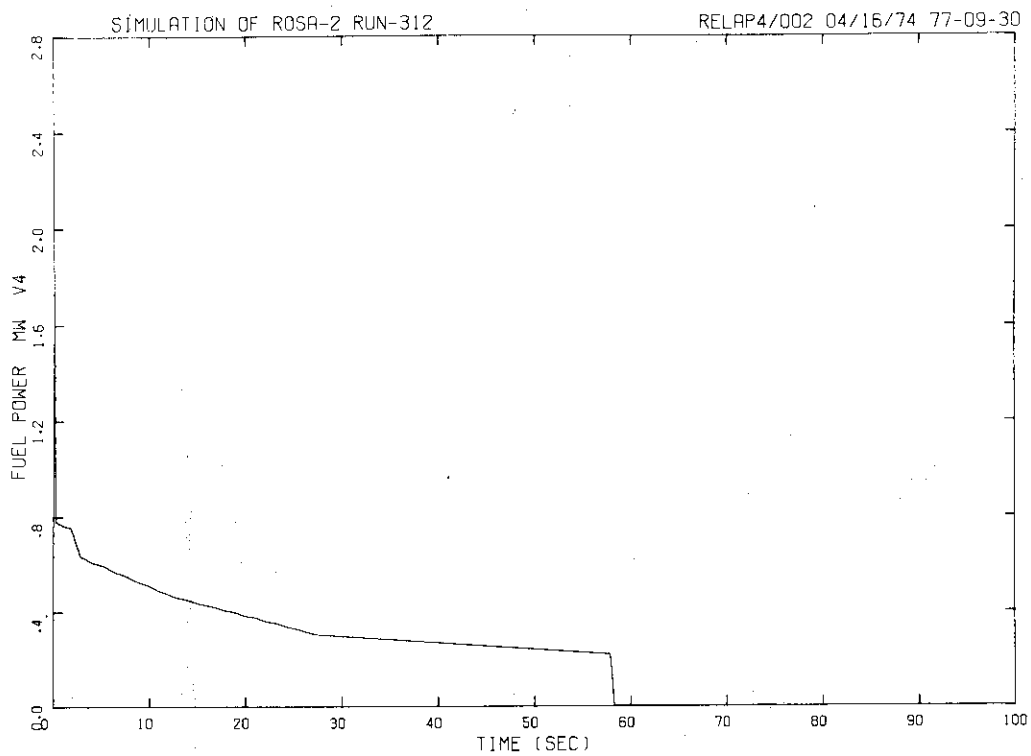


Fig. 6.1.1 Transitional Fuel Power #312

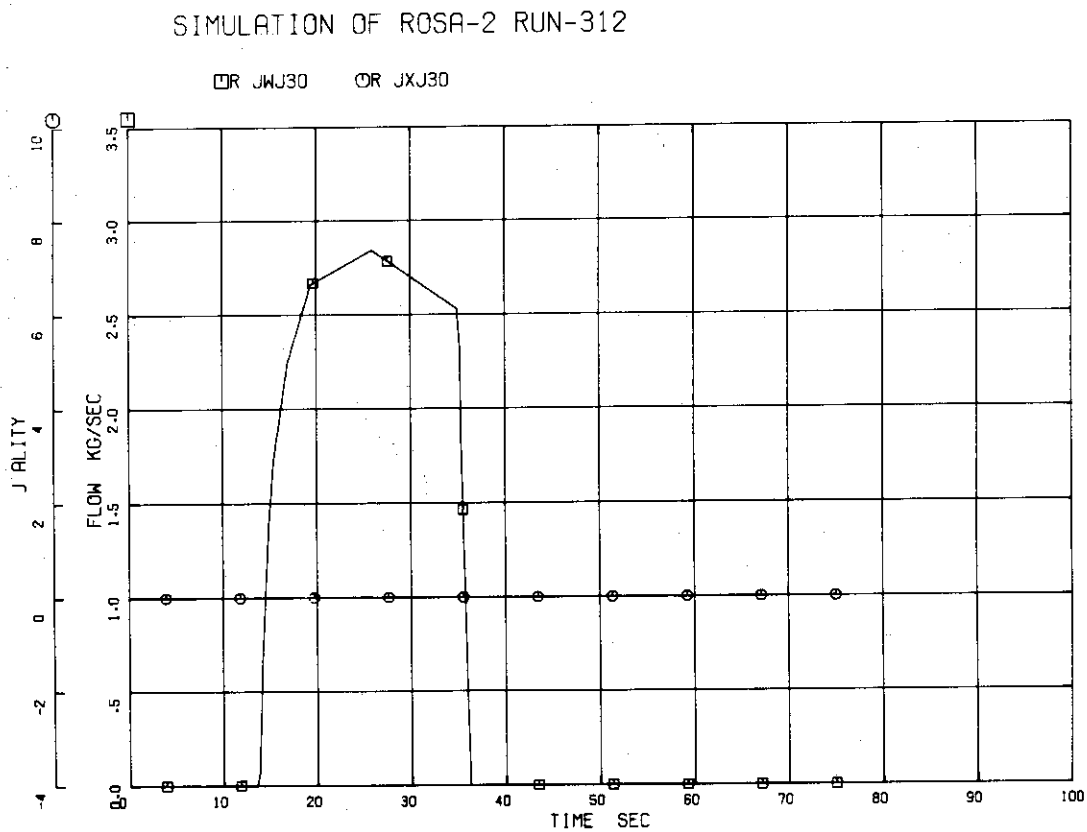


Fig. 6.1.2 ACC1 Injection Flow Rate #312

SIMULATION OF ROSA-2 RUN-312

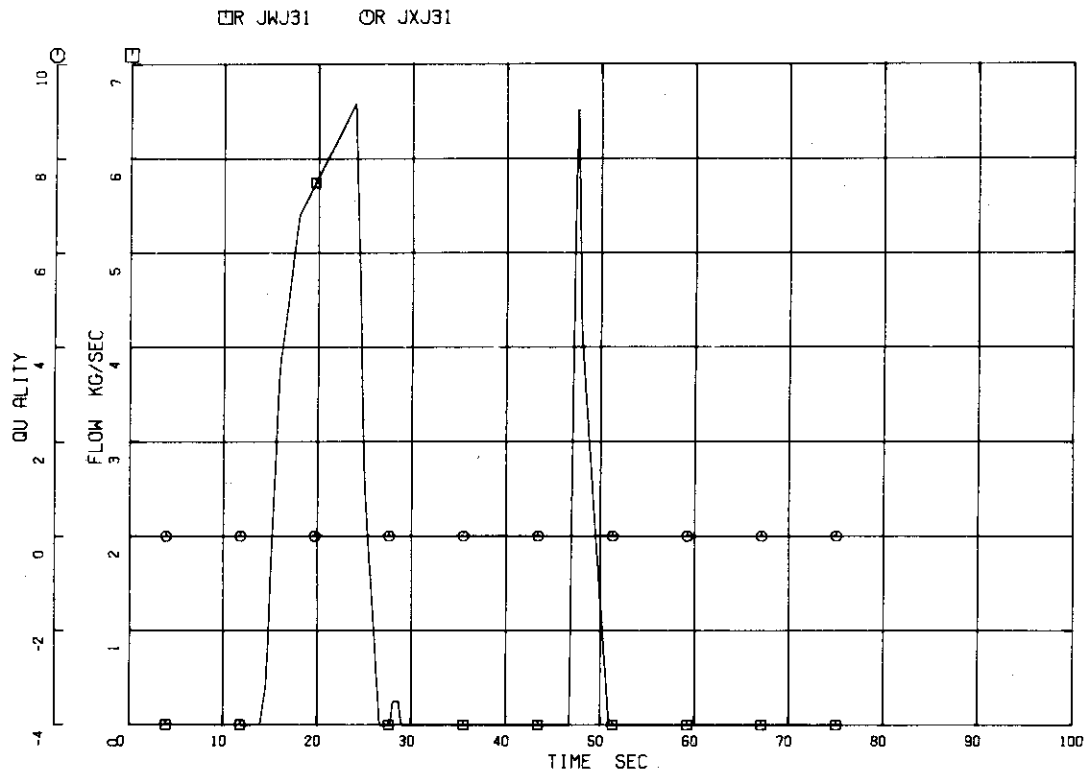


Fig. 6.1.3 ACC2 Injection Flow Rate #312

SIMULATION OF ROSA-2 RUN-312

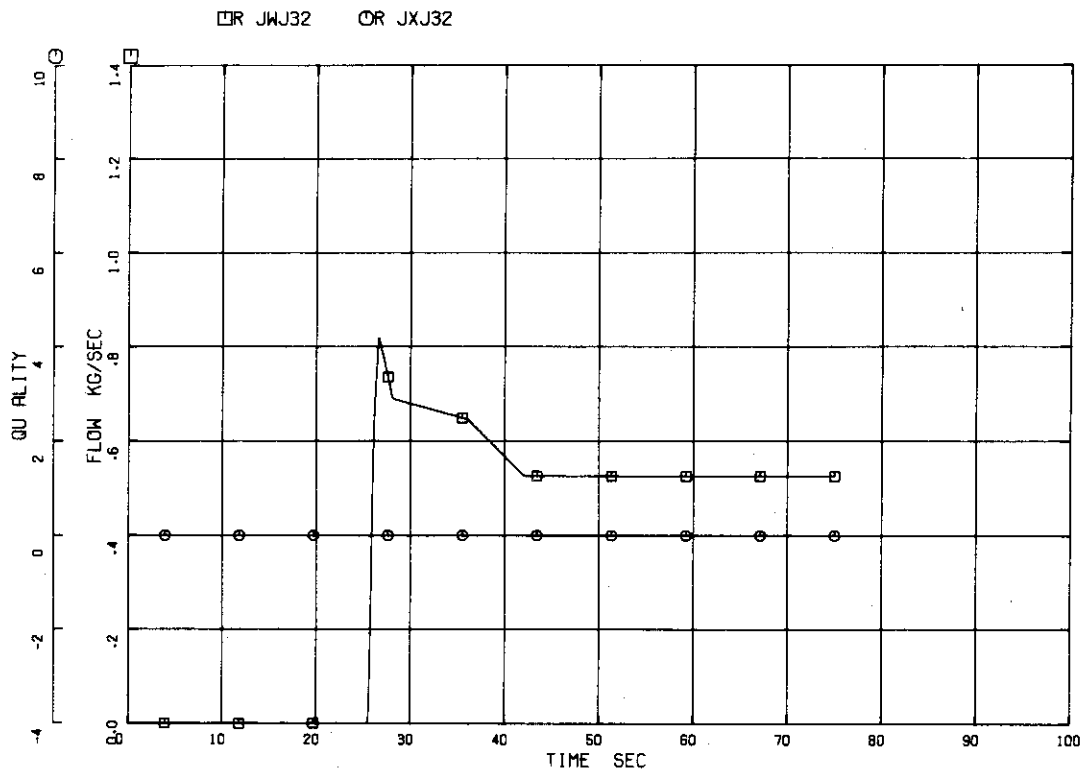


Fig. 6.1.4 LPCI 1 Injection Flow Rate #312

SIMULATION OF ROSA-2 RUN-312

OR JWJ33 OR JXJ33

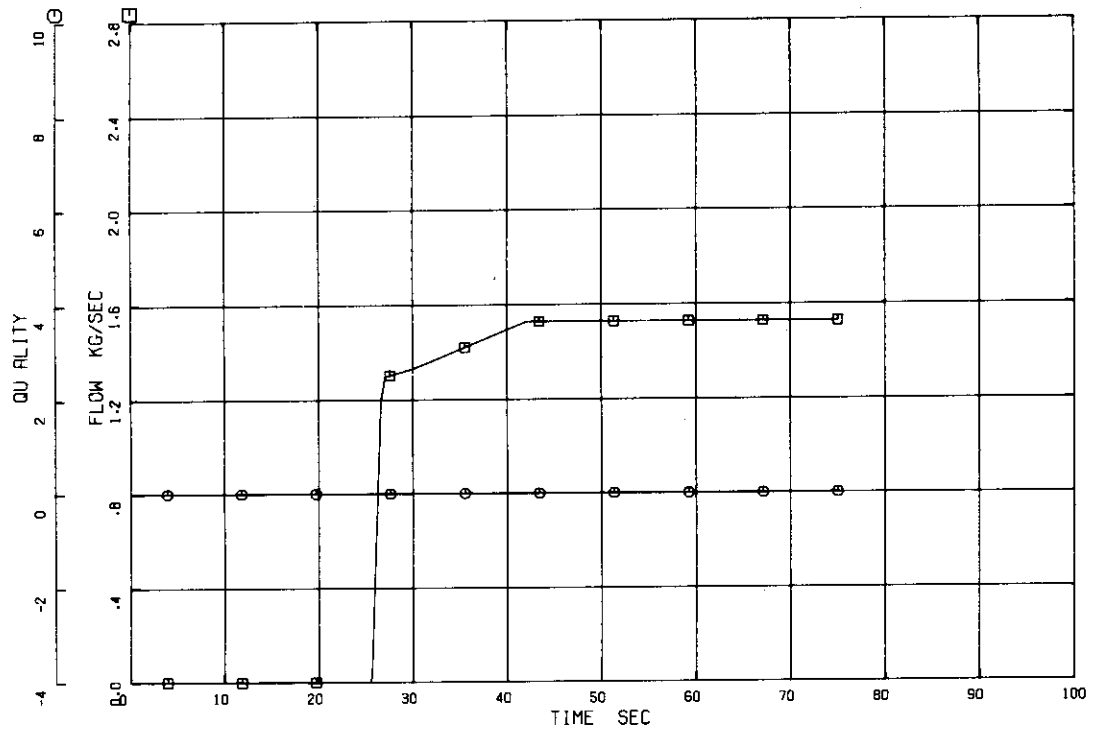


Fig. 6.1.5 LPCI 2 Injection Flow Rate #312

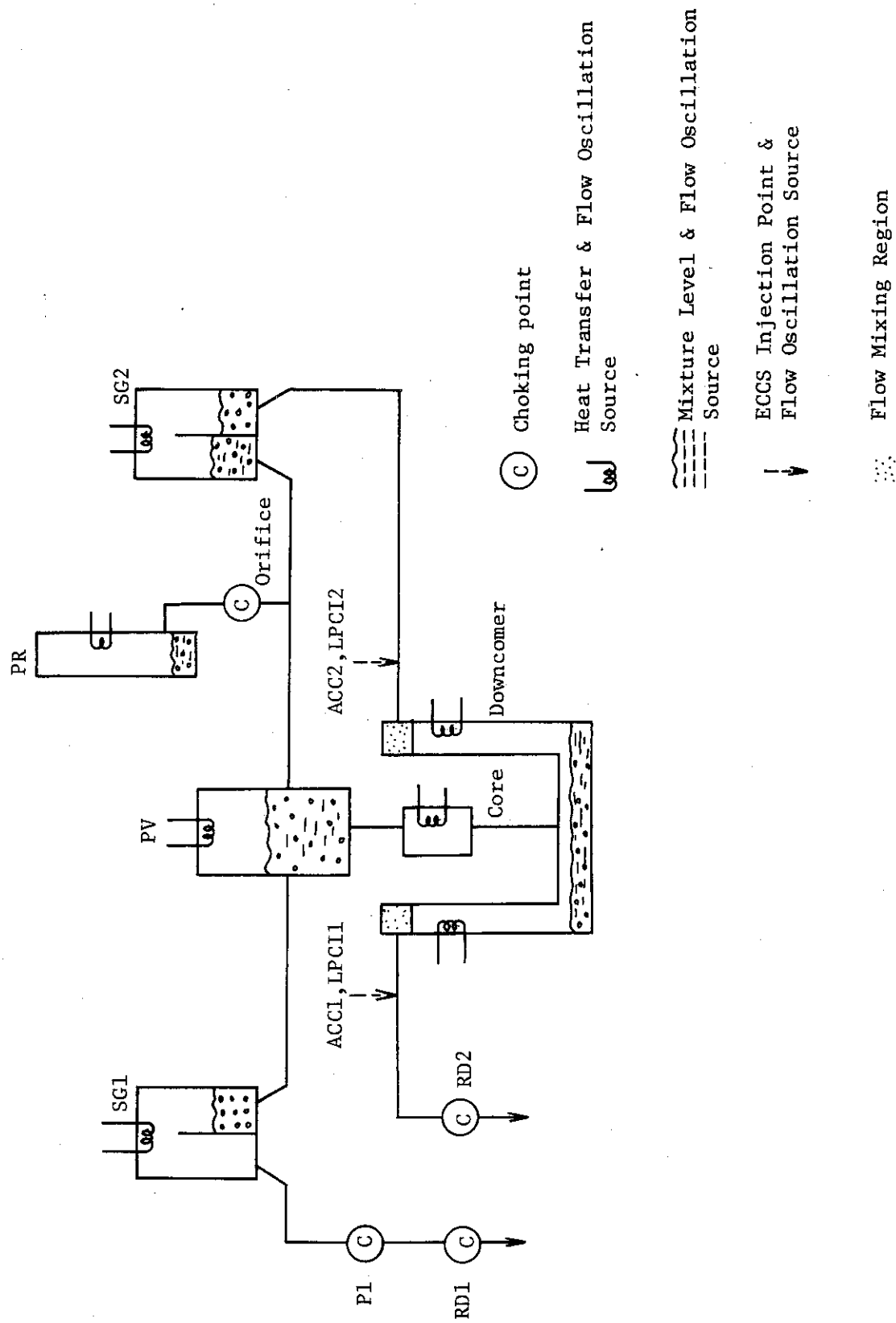


Fig. 6.3.1 The Significant Factors to Calculated Results #312

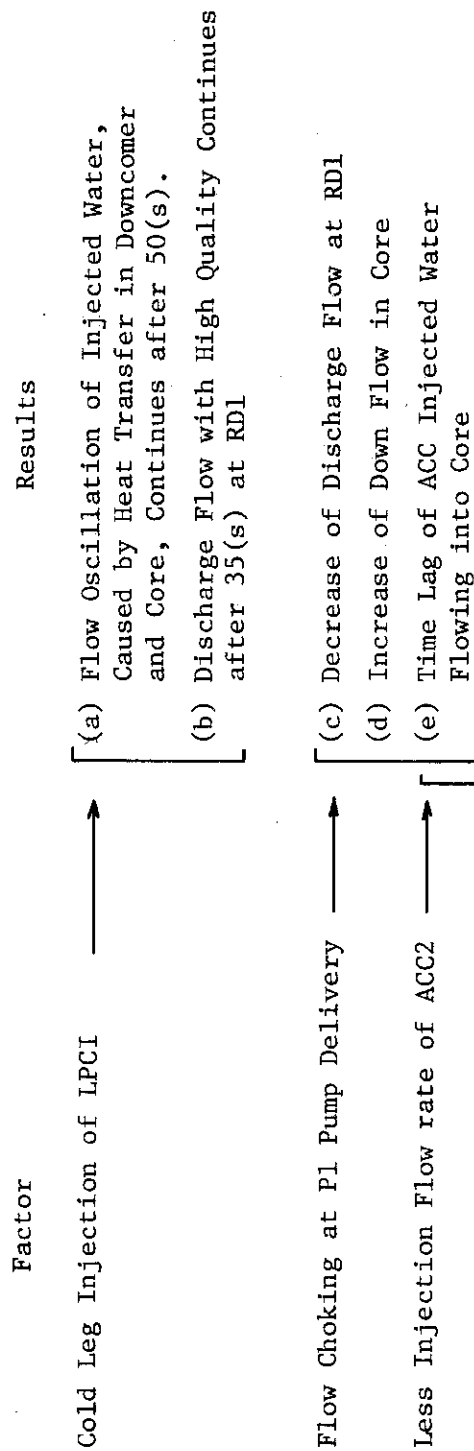


Fig. 6.3.2 Major Feature of Calculated Results of #312 in Difference from #413

SIMULATION OF ROSA-2 RUN-312

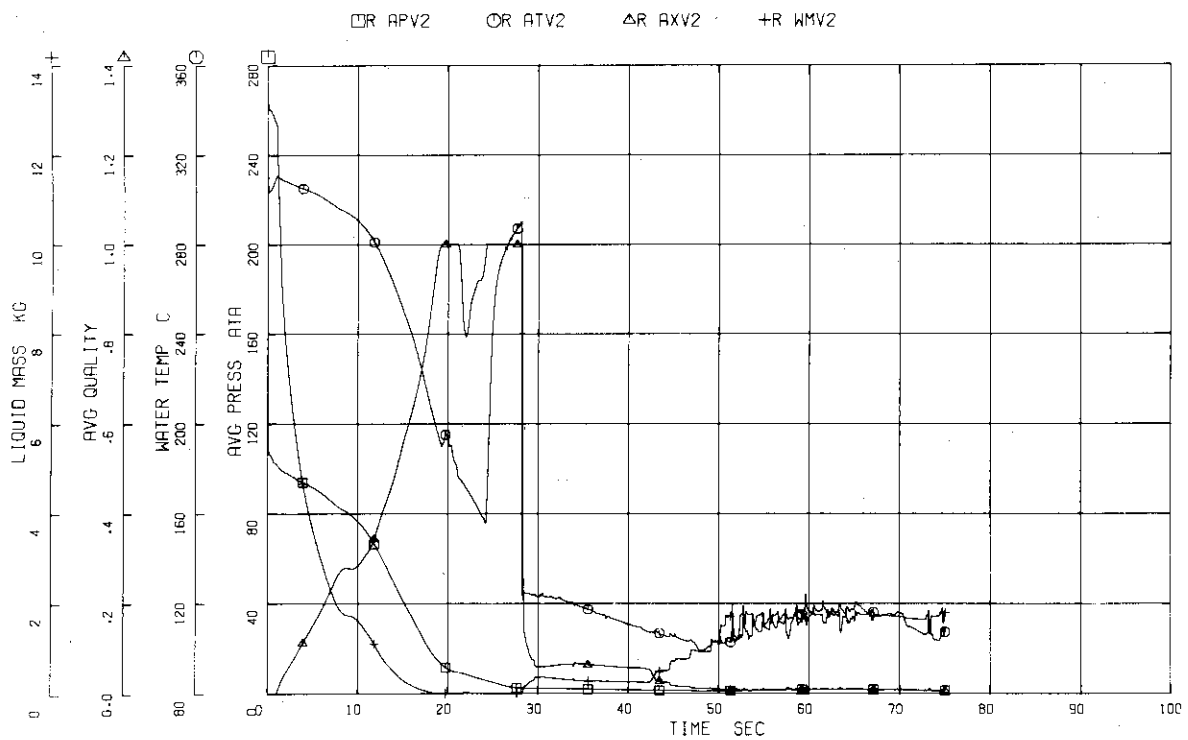


Fig. 6.3.3 Calculated Coolant Conditions in Lower Plenum (Vol.2)
..... #312

SIMULATION OF ROSA-2 RUN-312

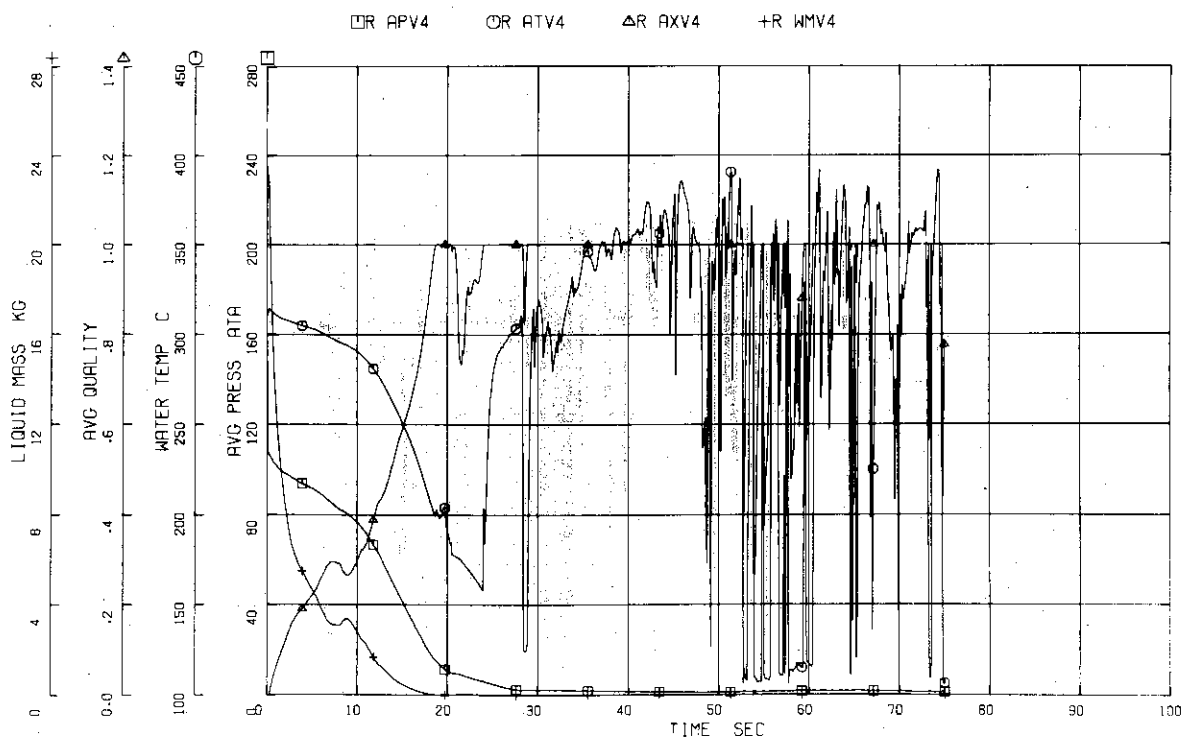


Fig. 6.3.4 Calculated Coolant Conditions in Core (Vol.4) #312

SIMULATION OF ROSA-2 RUN-312

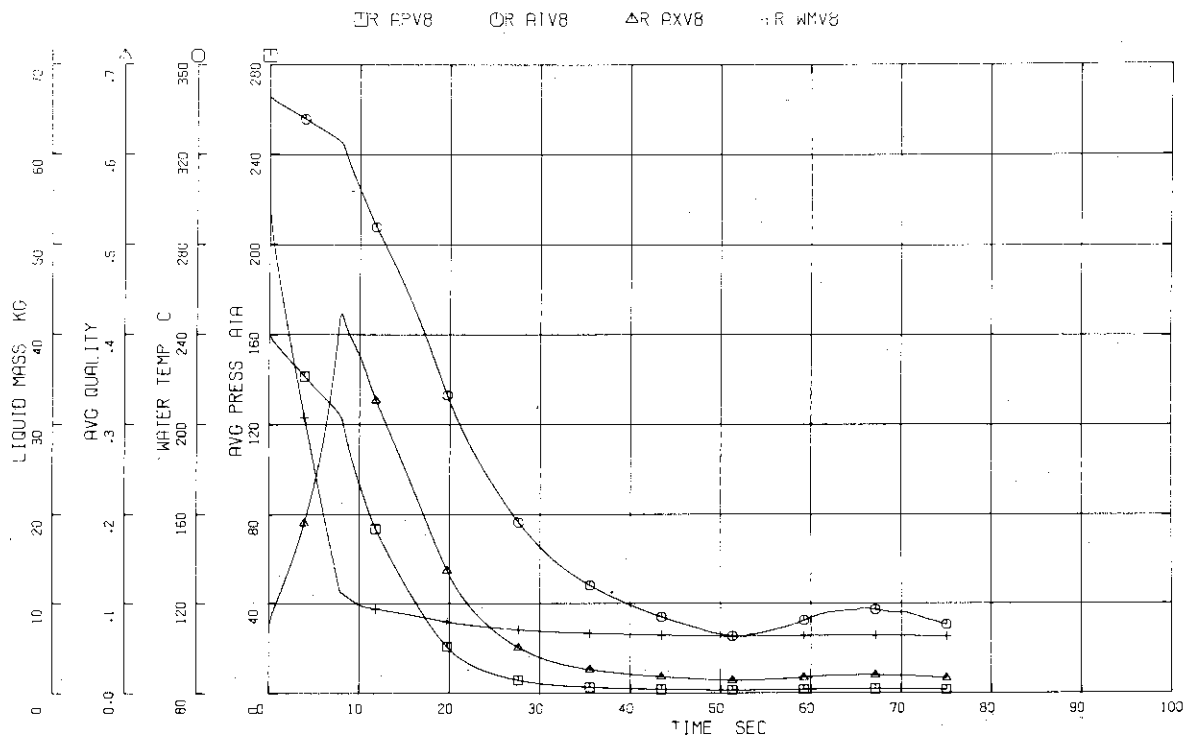


Fig. 6.3.5 Calculated Coolant Conditions in Pressurizer (Vol.8)
..... #312

SIMULATION OF ROSA-2 RUN-312

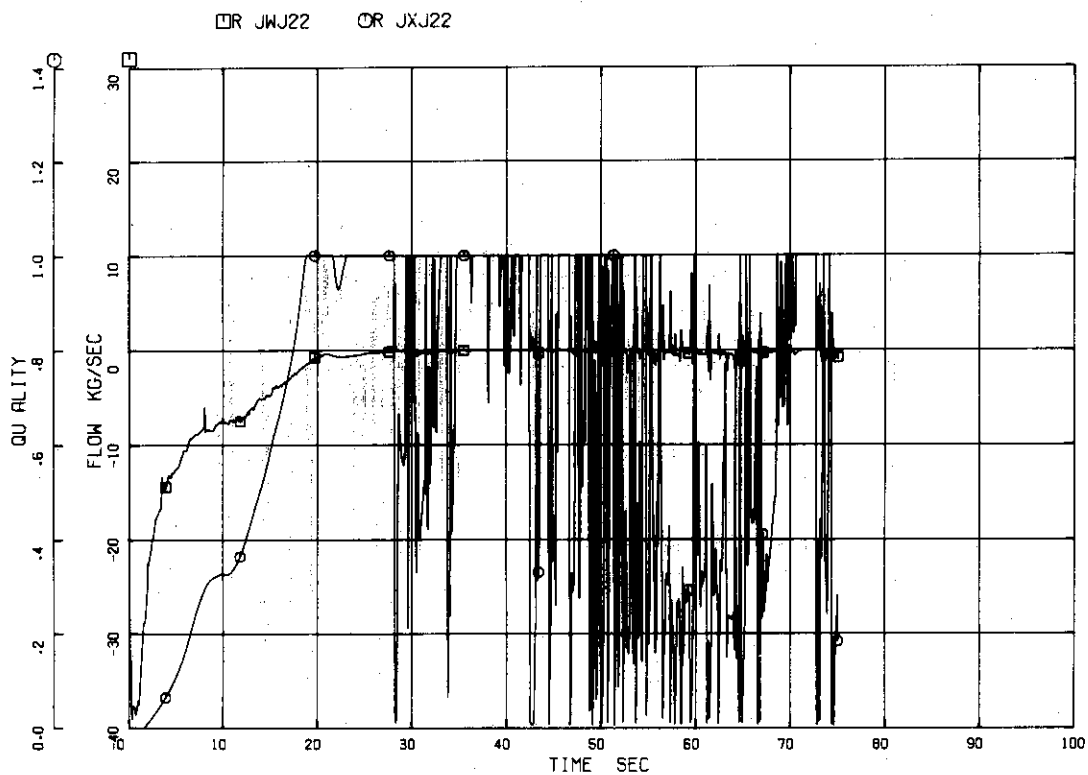


Fig. 6.3.6 Calculated Junction Flow at Downcomer (Jun.22) #312

SIMULATION OF ROSA-2 RUN-312

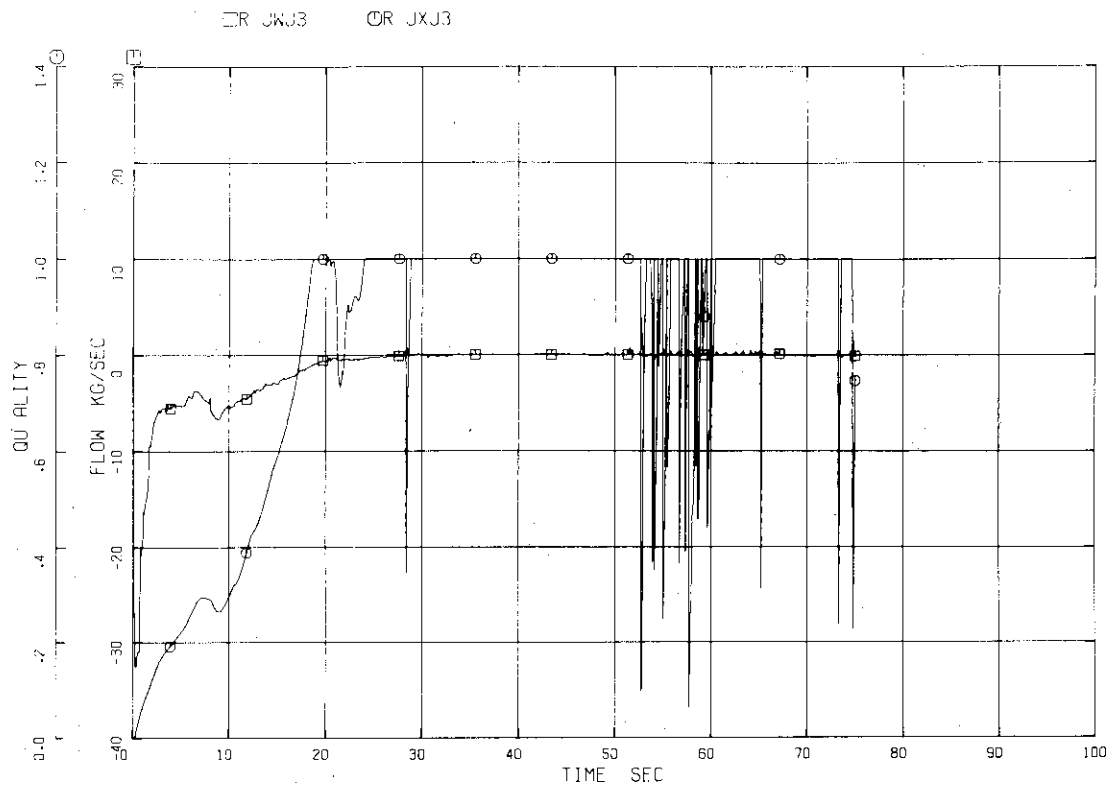


Fig. 6.3.7 Calculated Junction Flow at Core Inlet (Jun. 3) #312

SIMULATION OF ROSA-2 RUN-312

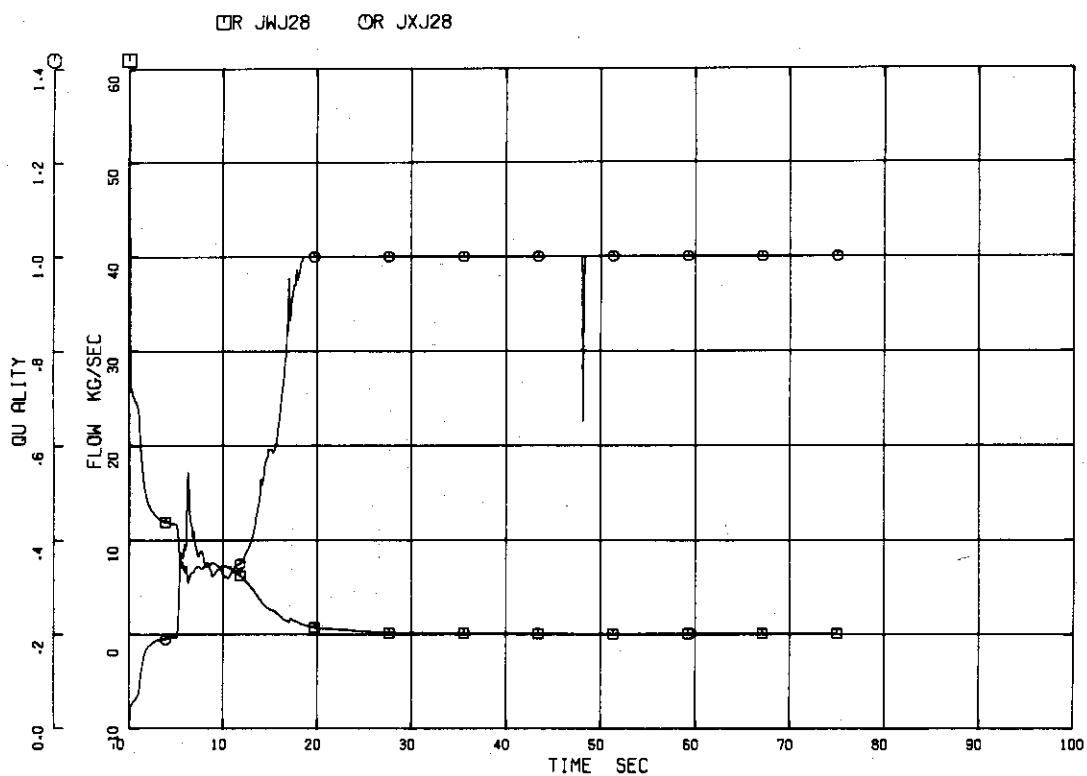


Fig. 6.3.8 Calculated Junction Flow at RD1 (Jun. 28) #312

SIMULATION OF ROSA-2 RUN-312

OR JWJ29 OR JXJ29

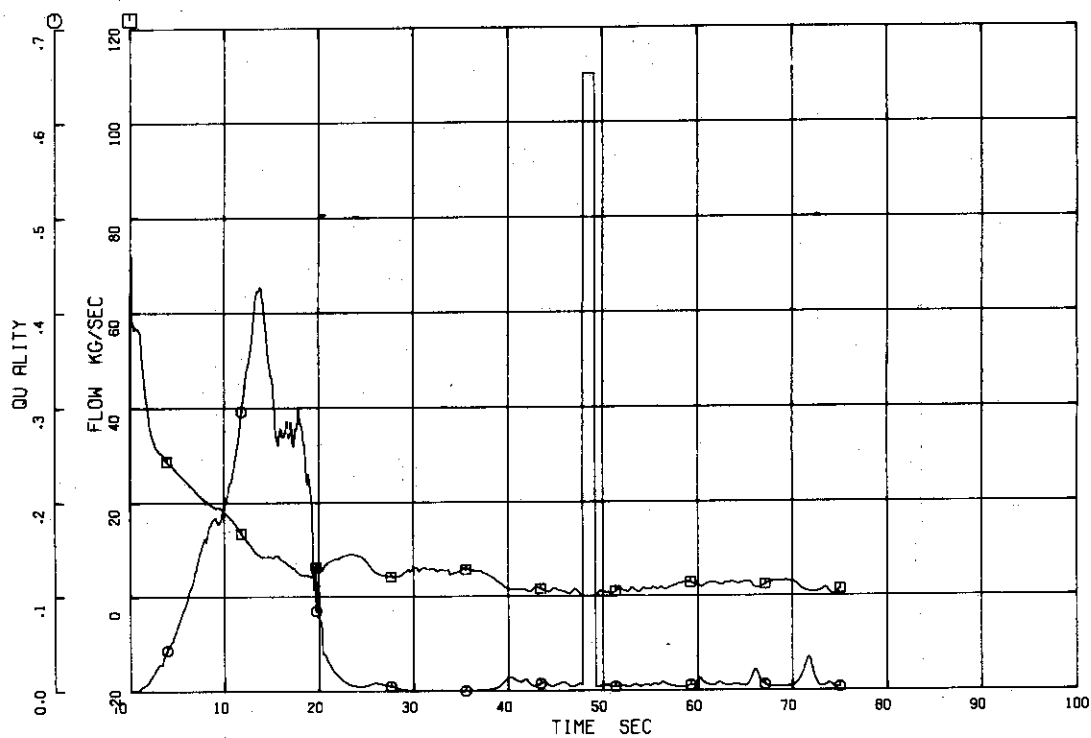


Fig. 6.3.9 Calculated Junction Flow at RD2 (Jun.29) #312

SIMULATION OF ROSA-2 RUN-312

OR M.V.2

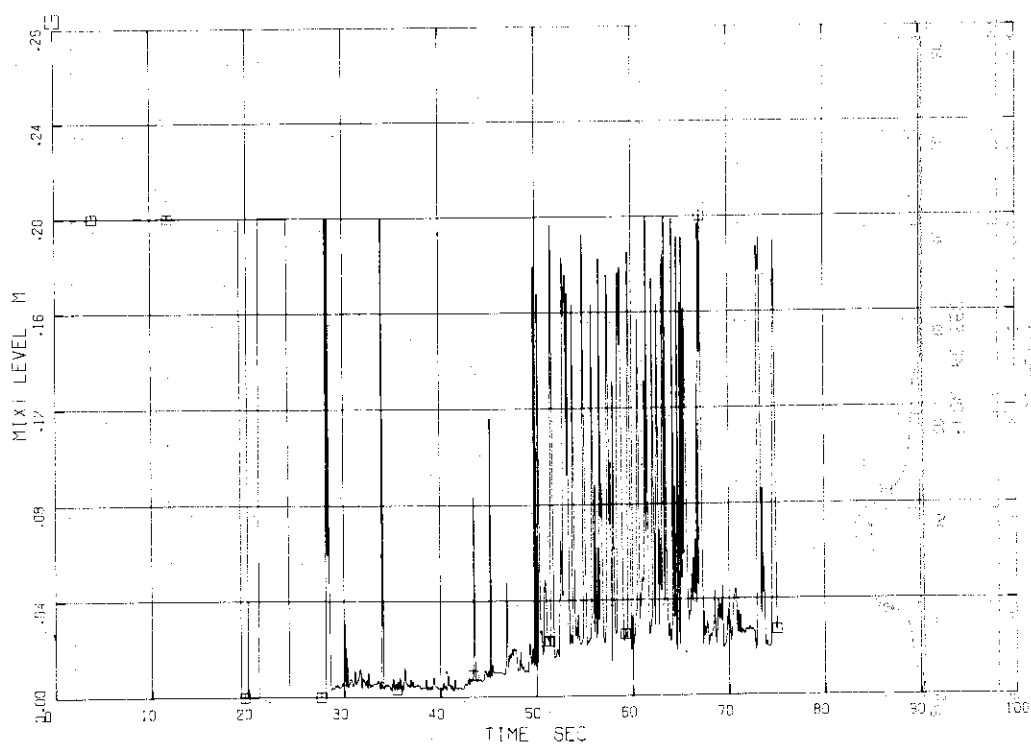


Fig. 6.3.10 Calculated Mixture Level in Lower Plenum (Vol.2) #312

SIMULATION OF ROSA-2 RUN-312

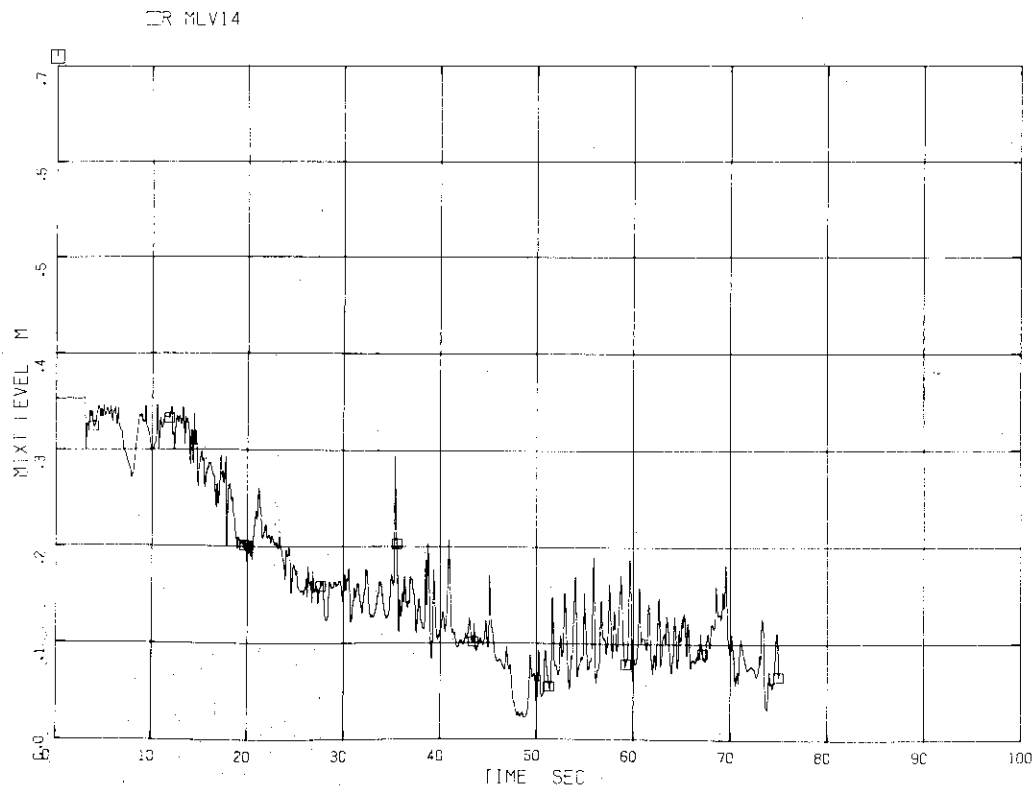


Fig. 6.3.11 Calculated Mixture Level in SG1 Inlet Plenum (Vol.14)
..... #312

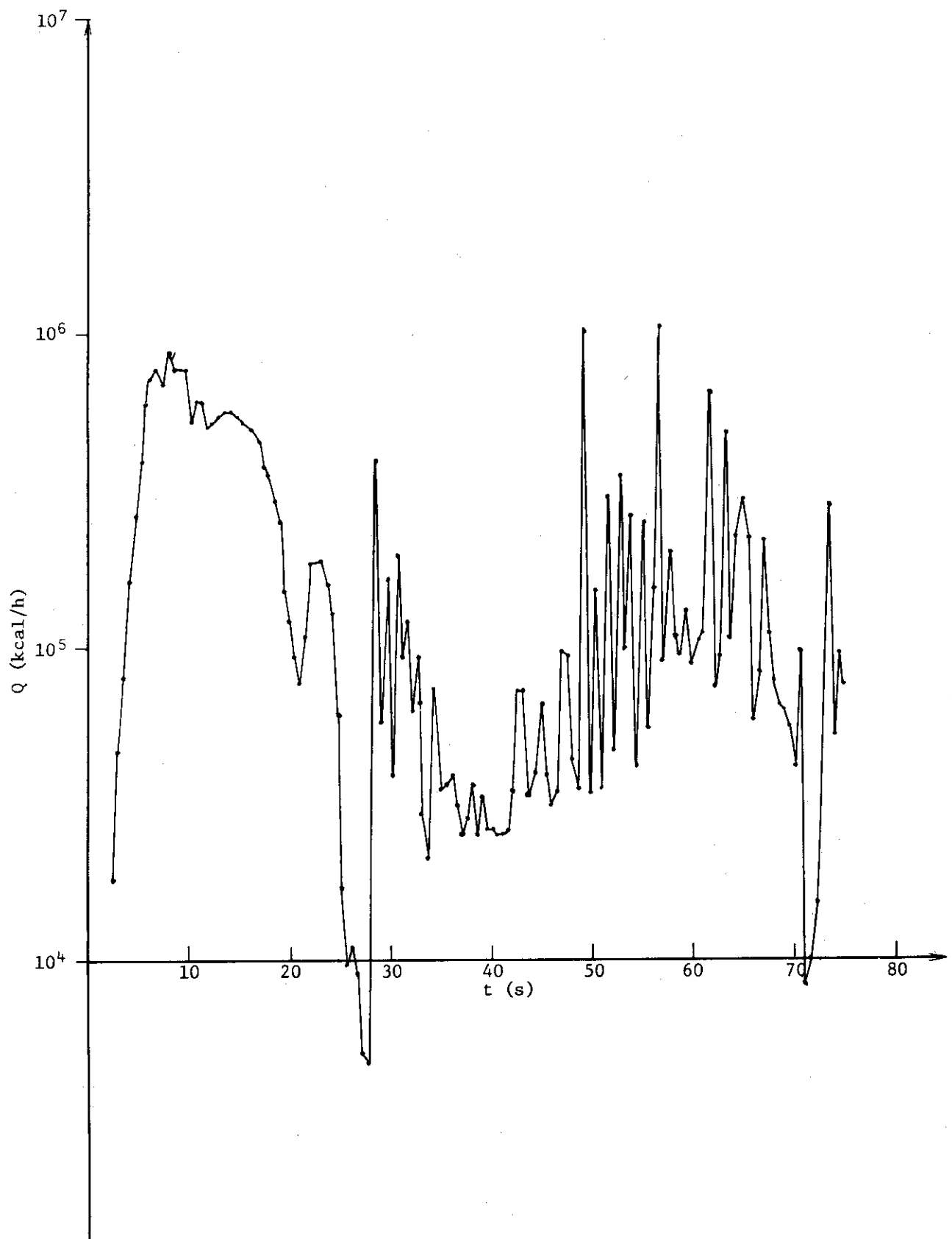


Fig. 6.3.12 Calculated Heat Transfer Rate in Downcomer Wall #312

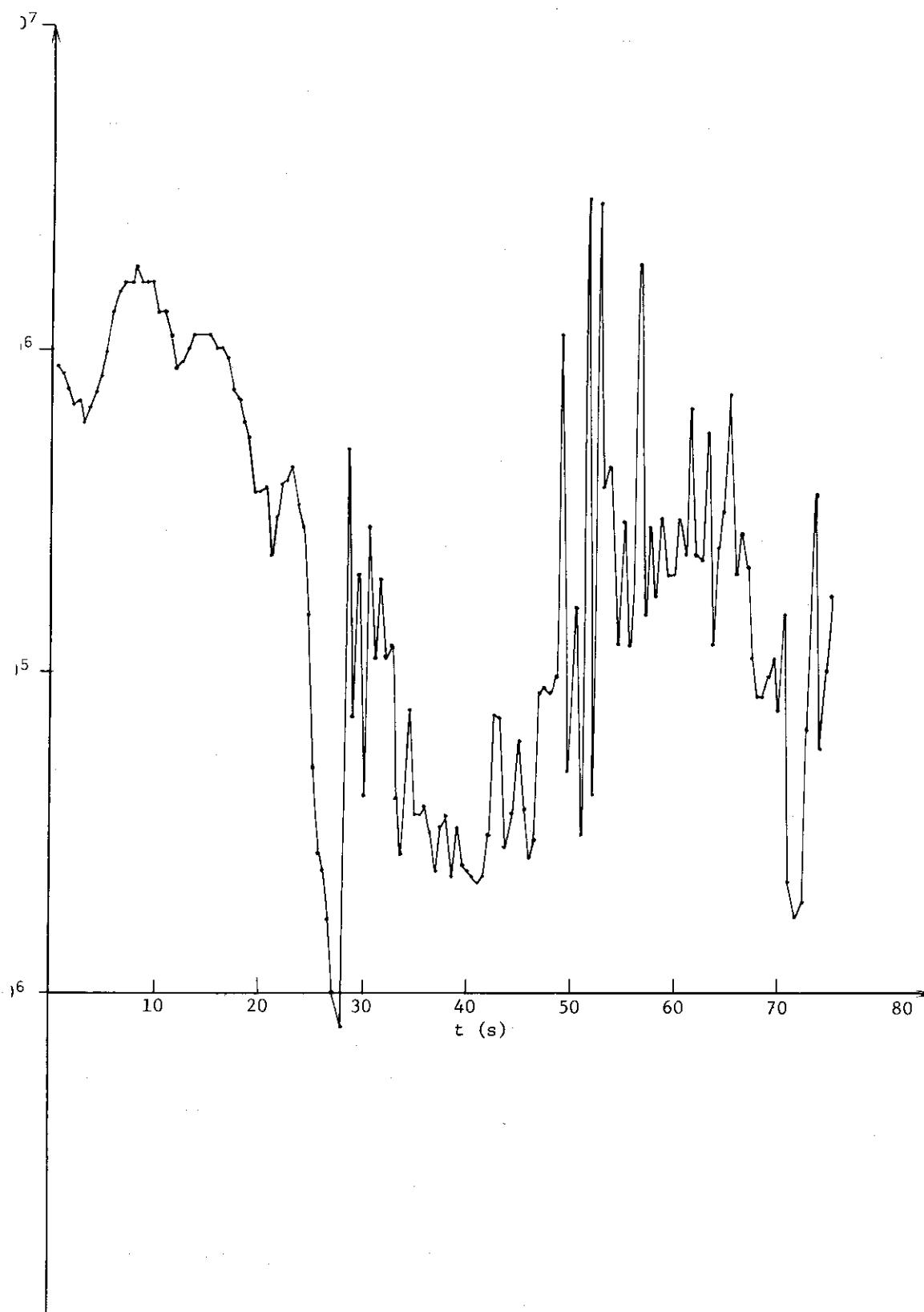


Fig. 6.3.13 Calculated Heat Transfer Rate in Total Heat Slabs
Excluding Fuel Rods #312

SIMULATION OF ROSA-2 RUN-312

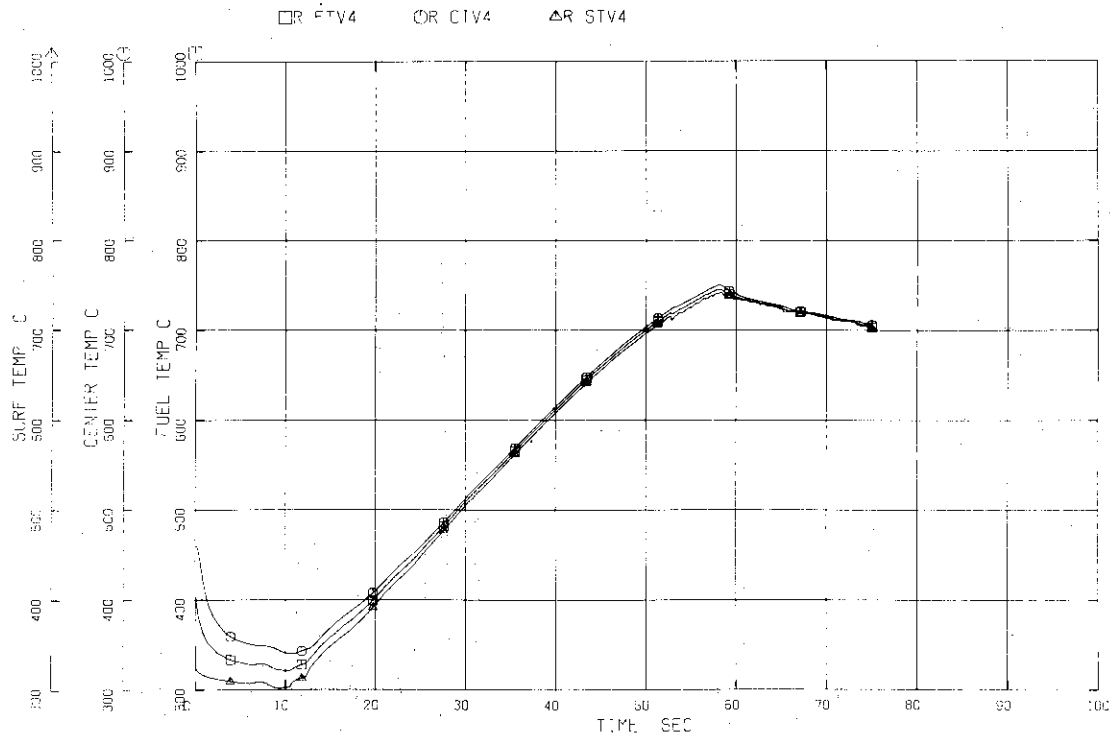


Fig. 6.3.14 Calculated Fuel Surface Temperature #312

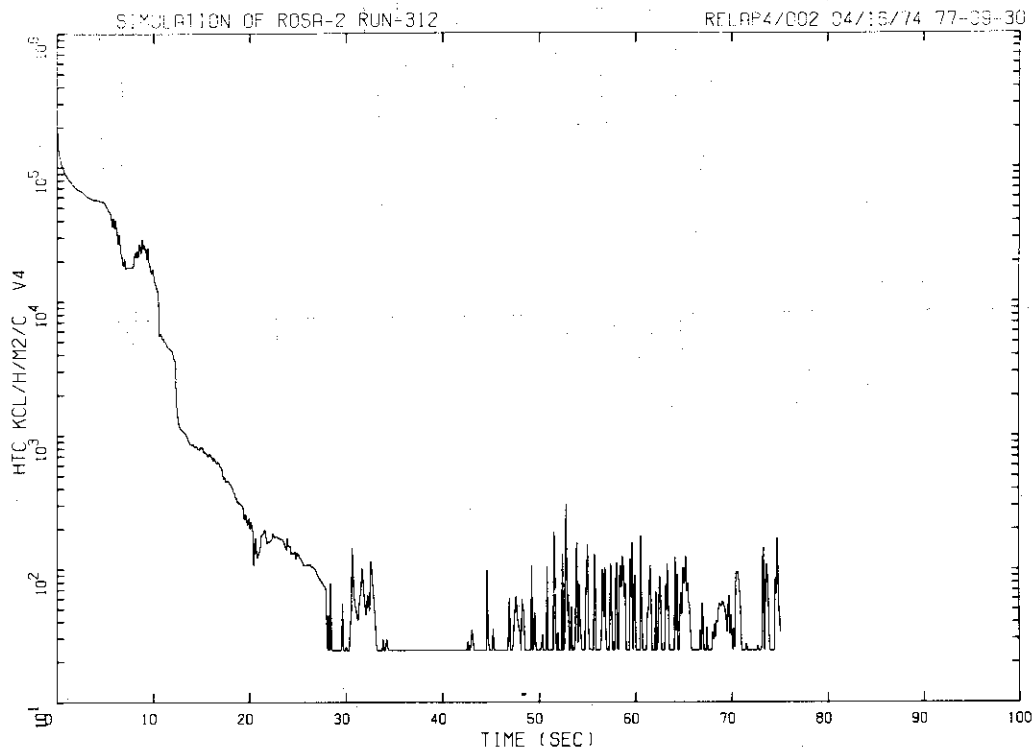


Fig. 6.3.15 Calculated Heat Transfer Coefficient of Fuel Rods #312

Table 6.4.1 List of Comparison Between Test Data and Calculated Results #312

Item	Figure Number
<u>Pressure</u>	
PR	6.4.1
PV Upper Plenum	6.4.2
<u>Water Temperature</u>	
P1 Pump Delivery	6.4.3
PV Inlet Nozzle	6.4.4
<u>Differential Pressure</u>	
PV Bottom to Top	6.4.5
SG1 Inlet to Outlet	6.4.6
<u>Fuel Surface Temperature</u>	
#19 Rod, Position 3	6.4.7

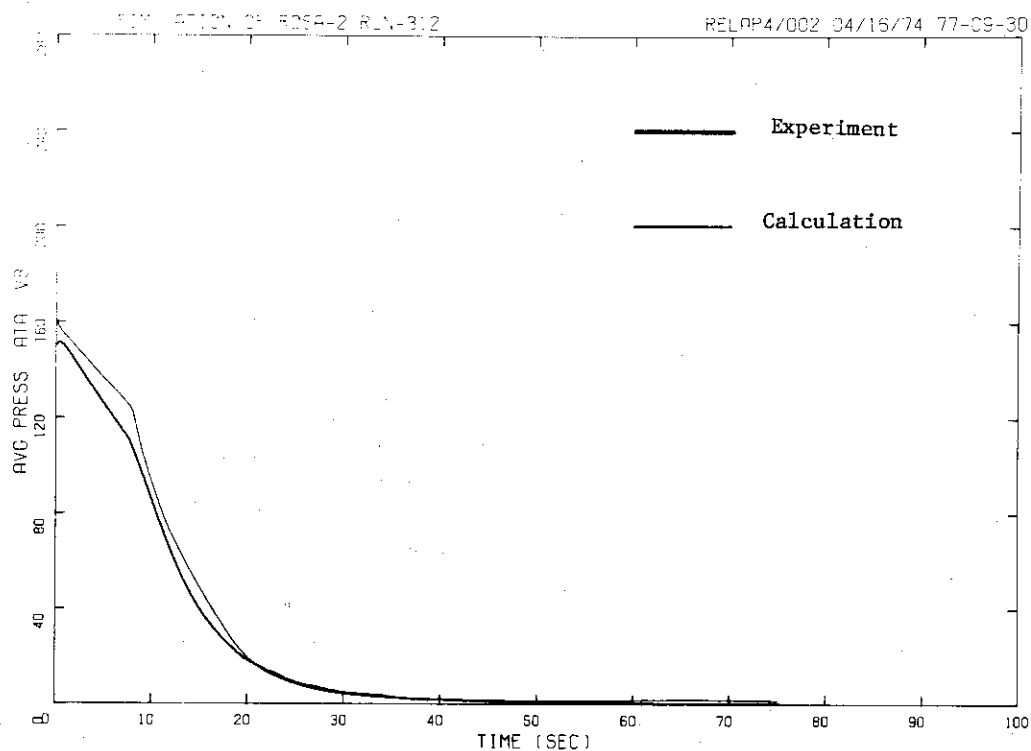


Fig. 6.4.1 Pressure History at Pressurizer in Comparison with #312 Data

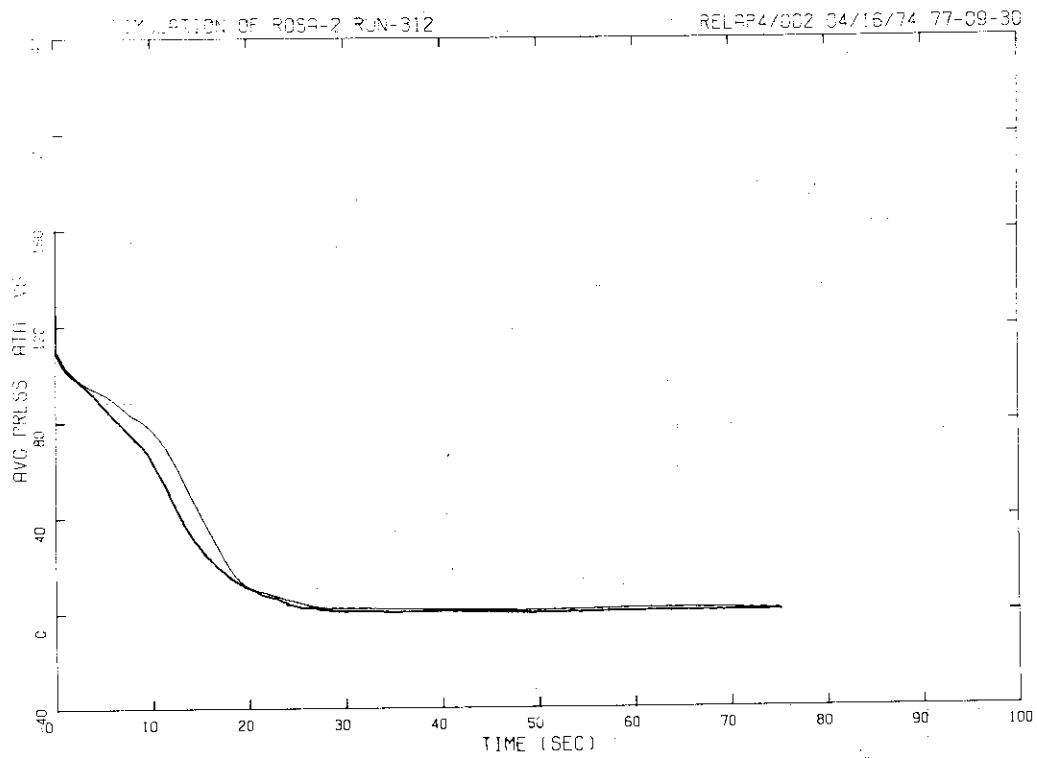


Fig. 6.4.2 Pressure History at PV Upper Plenum in Comparison with #312 Data

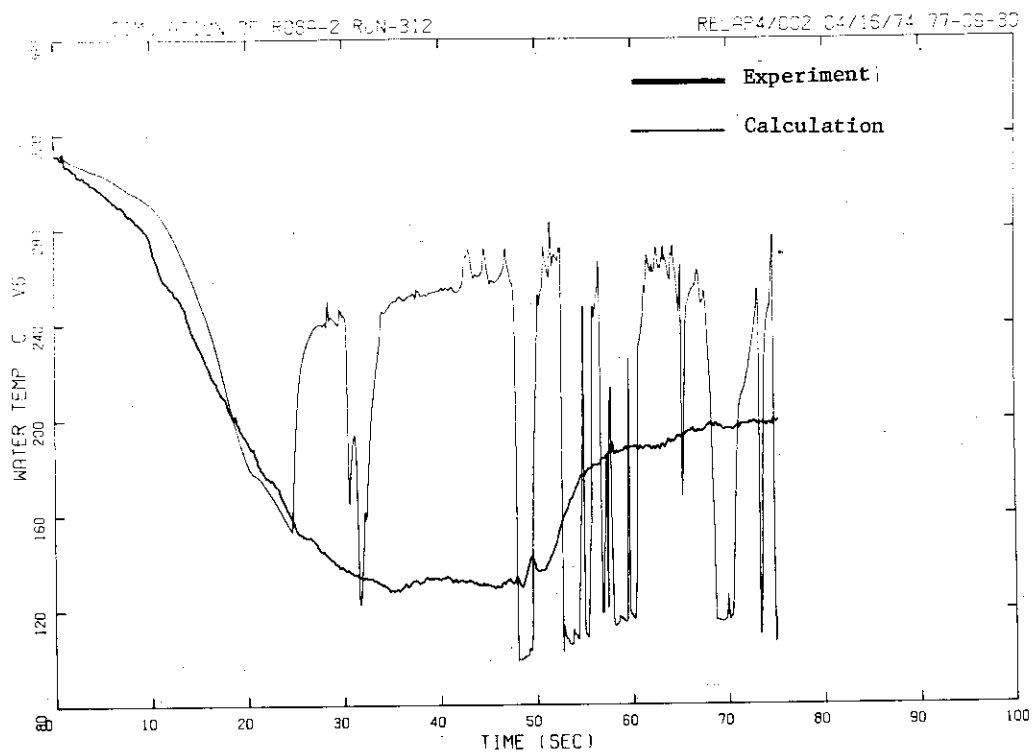


Fig. 6.4.3 Water Temperature at PV Upper Plenum in Comparison with #312 Data

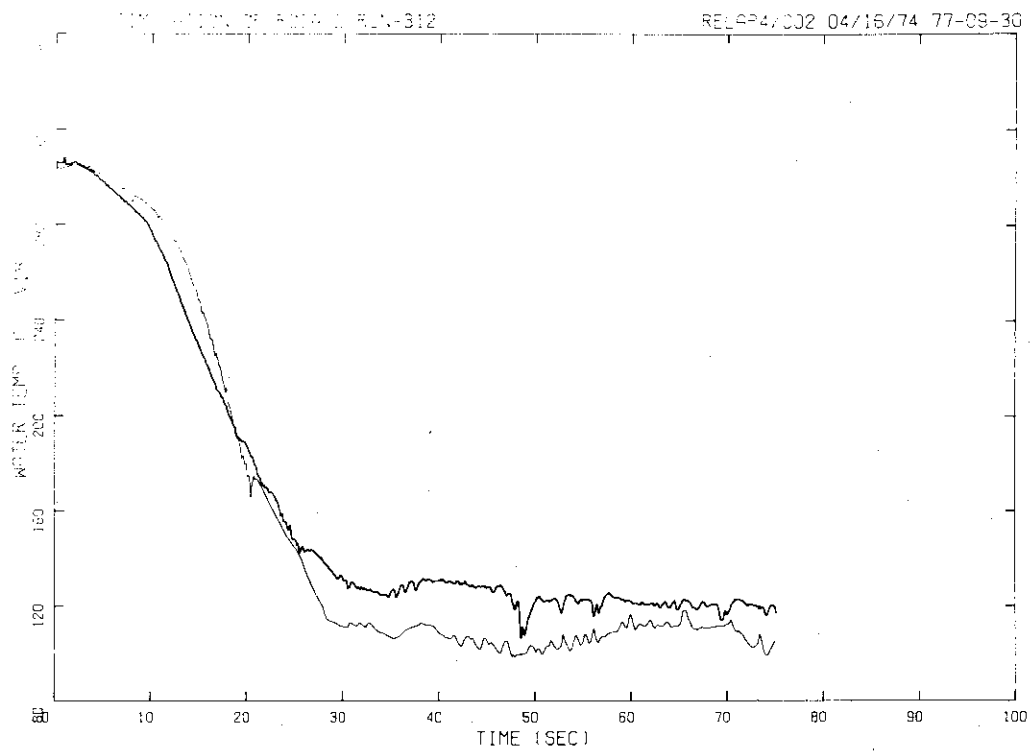


Fig. 6.4.4 Water Temperature at PV Inlet Nozzle in Comparison with #312 Data

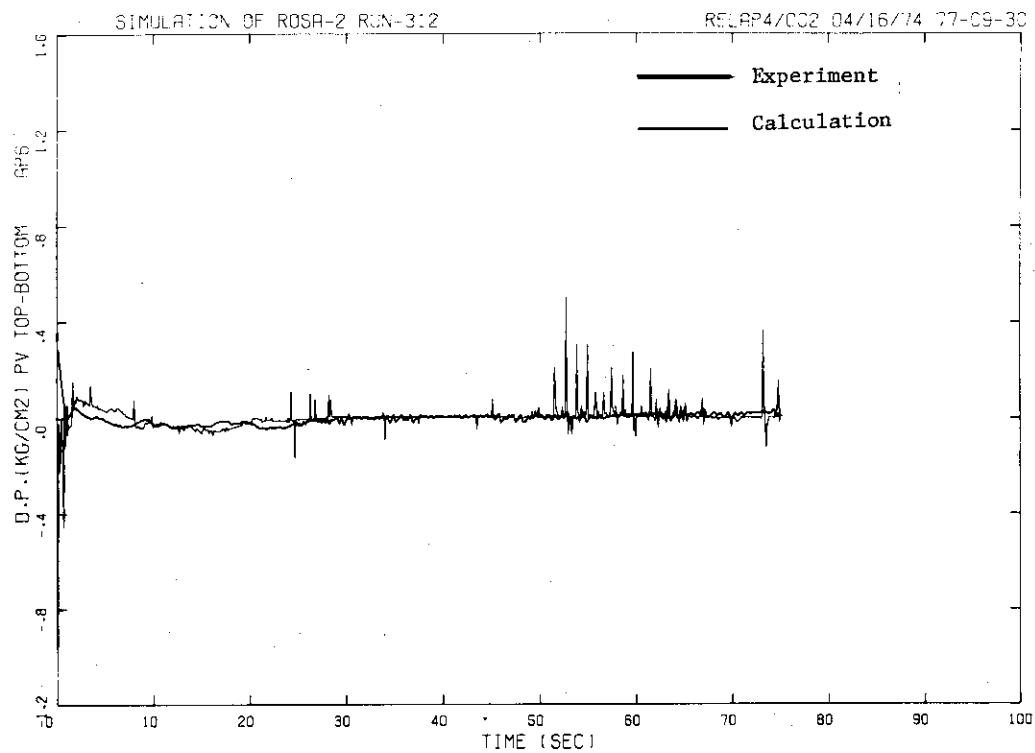


Fig. 6.4.5 Differential Pressure from PV Bottom to Top in Comparison with #312 Data

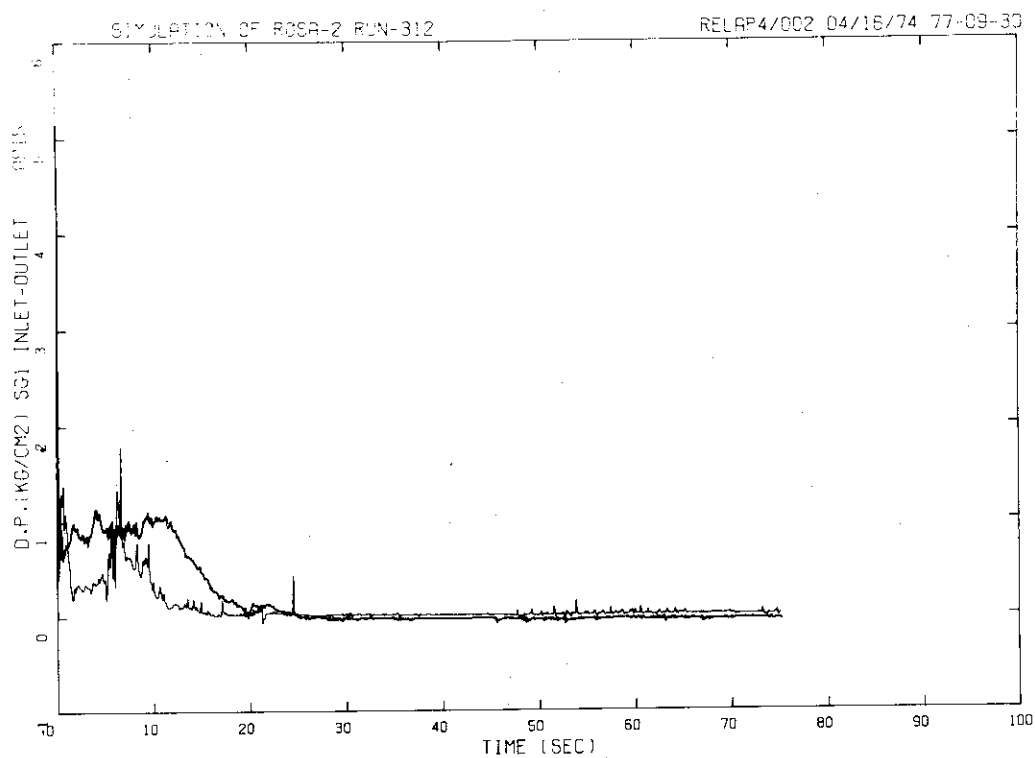


Fig. 6.4.6 Differential Pressure from SG1 Inlet to Outlet in Comparison with #312 Data

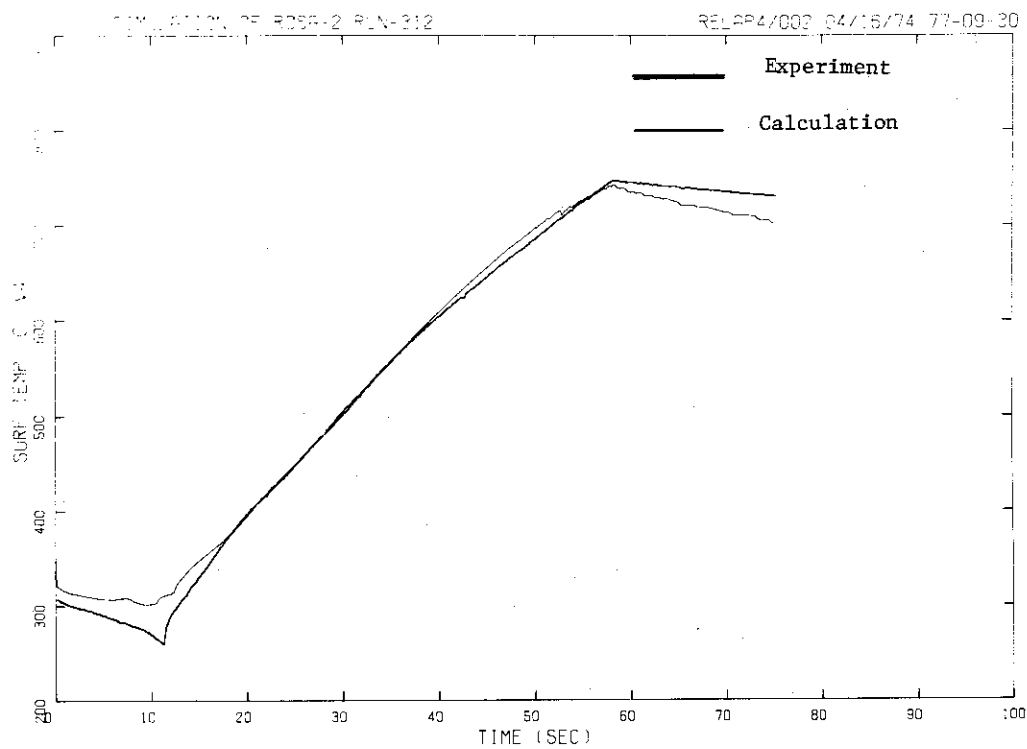


Fig. 6.4.7 Fuel Surface Temperature in Comparison with #312 Data

Appendix 1 Listing of Input Data for Run 413

```

1  *SIMULATION OF ROSA-2 RUN-413
2  *
3  ***** DIMENSION
4  *
5  010001 0 9 4 12 27 4 0 34 2 5 2 4 34 19 6 1 0
6  010001 -2 9 4 12 27 4 0 34 2 5 2 4 34 19 6 1 0
7  CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
8  ***** CONSTANT
9  010002 2.127 1.0
10 010003 1 1
11 010007 10 .4 .03 (X(0)は.8をプログラム内でセットしている)
12 *
13 ***** EDIT VARIABLES
14 *
15 020000 AT 6 AP 6 AP 17 AP 18 JW 12 JW 13 JW 22 JW 23 AT 17
16 020000 AT 6 AP 6 ML 1 ML 9 ML 10 JW 20 JW 13 JW 1 JW 9
17 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
18 020000 ML 20 ML 9 ML 10 ML 6 ML 4 ML 2 ML 3 JW 10 JW 11
19 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
20 020000 AP 2 AP 6 ML 20 ML 9 ML 10 ML 6 ML 4 ML 2 ML 3
21 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
22 020000 AP 2 AP 6 JW 14 ML 9 JW 15 ML 6 AX 13 AP 13 AP 15
23 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
24 020000 SM 6 AP 6 JW 14 JW 15 JX 15 AX 13 AP 13 AX 13
25 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
26 020000 AP 2 AP 6 ML 20 ML 9 ML 10 ML 6 ML 2 AP 13 AP 15
27 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
28 020000 AP 2 AP 6 AP 13 AP 15 AP 7 AP 10 AP 12 AX 13 AT 6
29 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
30 020000 AP 2 AP 3 AP 4 AP 5 JW 2 JW 3 JW 4 JW 1 JW 20
31 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
32 *
33 ***** TIME STEPS
34 *
35 030010 1 0 0 -2 .004 .1E-5 .019
36 030020 1 0 0 -2 0.001 .1E-5 .023
37 030030 1 0 1 -2 0.01 .1E-5 1.
38 030040 1 0 1 -2 0.1 .1E-5 6.
39 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
40 030050 1 0 1 -2 0.04 .1E-5 3.
41 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
42 030060 1 0 1 -2 0.01 .1E-5 3.
43 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
44 030070 1 0 1 -2 0.04 .1E-5 400.
45 030080 1 20 2 -2 0.1 .1E-5 400.
46 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
47 *
48 ***** TRIP CONTROLS
49 *
50 040010 1 1 0 0 5. 0. * END PROBLEM ON TIME
51 040010 1 1 0 0 30. 0. * END PROBLEM ON TIME
52 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
53 040010 1 1 0 0 75. 0. * END PROBLEM ON TIME
54 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
55 040020 1 1 0 0 0. 0. * END PROBLEM ON LOW PRESSURE
56 040030 2 1 0 0 0.02 0. * PIPE RUPTURE (LEAK) NO.1
57 040040 3 1 0 0 0.02 0. * PIPE RUPTURE (LEAK) NO.2
58 040050 4 1 0 0 0.02 0. * PUMP TRIP
59 040060 5 1 0 0 0.02 0.1 * VALVE
60 040070 6 1 0 0 0.02 0.05 * VALVE
61 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
62 040070 6 1 0 0 0.02 0. * SCRAM
63 040080 7 1 0 0 35. 0. * LPCI BROKEN LOOP (FILL)
64 040090 8 1 0 0 35. 0. * LPCI INTACT LOOP (FILL)
65 040100 9 1 0 0 14.4 0. * ACC1 (FILL)
66 040100 9 1 0 0 15.35 0. * ACC1 (FILL)
67 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
68 040110 10 1 0 0 14.4 0. * ACC2 (FILL)
69 040110 10 1 0 0 15.70 0. * ACC2 (FILL)
70 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
71 040120 11 1 0 0 .02 0. ** RUPTURE DISK -- VALVE
72 *
73 ***** VOLUME DATA
74 *
75 050011 0 0 158.140 289. -1. .5127E-2 .3 1 .01709 .042 3.555
76 050021 2 0 158.468 285. -1. .184E-1 .2 .2 1 .01579 .0688 .0
77 050031 2 0 158.427 289. -1. .302E-1 .805 .805 1 .04155 .23 .195
78 050041 2 0 158.290 307.5 -1. .0336 2.005 2.005 1 .01741 .0146 .995
79 050051 2 0 158.290 307.5 -1. .0136 2.113 2.113 1 .00544 .0156 .995
80 050061 0 0 158.121 328. -1. .1234 1.865 1.865 1 .02234 .0146 2.995
81 050061 2 0 158.121 328. -1. .1234 1.865 1.865 1 .02234 .0146 2.995
82 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
83 050061 2 0 158.121 328. -1. .1234 1.865 1.865 1 .02234 .0146 2.995
84 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
85 050071 0 0 158.121 315. -1. .467E-1 1.140 1.140 1 .0092 .1079 3.245
86 050081 2 0 158.0 0 0. .1337 2.2202 1.5043 1 .08022 .28 6.0145
87 050091 2 0 158.04 315.0 -1. .0476 .466 .466 1 .1068 .3165 4.362
88 050111 2 0 157.88 308.55 -1. .04458 3.16 3.16 1 .02 .0144 4.827
89 050121 2 0 157.87 300.75 -1. .04458 3.16 3.16 1 .02 .0144 4.827
90 050101 2 0 158.08 296.0 -1. .0476 .466 .466 1 .1068 .3165 4.362
91 050111 0 0 158.280 296. -1. .123E-1 1.28 1.28 1 .598E-2 .0873 3.105
92 050121 0 0 158.369 246. -1. .1283E-1 .6 .6 1 .598E-2 .0873 3.105
93 050131 0 0 158.077 319. -1. .01203 .98 .98 1 .146E-2 .0431 3.245
94 050141 2 0 157.986 319. -1. .0176 .353 .353 1 .0520 .231 4.12
95 050231 2 0 157.886 312.3 -1. .02118 2.303 2.303 1 .0831 .0144 4.47
96 050241 2 0 157.884 299. -1. .02118 2.303 2.303 1 .0831 .0144 4.47
97 050151 2 0 157.983 292.3 -1. .0176 .353 .353 1 .0520 .231 4.12
98 050161 0 0 158.195 292.3 -1. .5513E-2 1.025 1.025 1 .146E-2 .0431 3.105
99 050171 0 0 158.382 292.3 -1. .492E-2 .6 .6 1 .146E-2 .0431 3.105
100 050181 0 0 158.256 292.3 -1. .113E-1 .1 .1 1 .258E-2 .0573 3.605
101 050191 0 0 158.0 330. -1. .146E-3 2.86 2.86 1 .355E-4 .0212 3.60
102 050201 2 0 158.347 289. -1. .044943 3.36 3.36 1 .01458 .03 .195
103 050251 0 0 63.515 0. 1. 1.0 1.5 1.5 1 .04 .025 6.5 *SECONDARY LOOP
104 050261 0 0 63.515 0. 1. 1.0 2.0 2.0 1 .04 .025 8.0 *SECONDARY LOOP
105 050271 0 0 1.05 0. 1. 1.E3 5. 5. 1 10. 3. 1.
106 *
107 ***** BUBBLE DATA
108 *
109 060011 0.0 0.5
110 060021 .0 -100.0 14
111 060021 .0 -100.0 6
112 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
113 060031 .0 .02
114 060031 .0 10.
115 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
116 060031 .0 5
117 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
118 060041 .0 .01
119 060041 .0 .05
120 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
121 060041 .0 1.
122 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
123 060041 .0 .5
124 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
125 060041 .0 .1
126 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
127 *
128 ***** TIME-DEPENDENT VOLUME DATA CARDS
129 *
130 ***** JUNCTION DATA

```

```

104 *
105 080011 20 2 0 0 12.581 1.709E-2 .198 120.0 0.973 0.873 (W18-1(10)のとき)
106 080012 0 1 0 3 .042 1.0 0 3 (K0=0にセットする)
107 080021 2 3 0 0 12.581 1.468E-2 .198 81.9 0.72 0.823
108 080022 0 1 0 3 .016 1.0 0 3
109 080031 3 4 0 0 11.826 5.365E-3 .998 70.9 0.858 1.0
110 080032 0 1 0 3 5.5E-3 1.0 0 3
111 080041 3 5 0 0 0.755 2.84E-3 .998 214.4 0.86 1.29
112 080042 0 1 0 3 8.0E-3 1.0 0 3
113 080051 4 6 0 0 11.826 8.762E-3 2.998 74.7 1.01 1.01
114 080052 0 1 0 3 2.5E-3 1.0 0 3
115 080061 3 6 0 0 0.755 1.077E-4 3.105 224.0 3.04 3.04
116 080061 3 6 0 0 0.755 1.077E-3 3.105 224.0 3.04 3.04
CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
117 080062 0 1 0 3 3.0E-3 1.0 0 3
118 080071 6 7 0 0 9.354 5.986E-3 3.295 497. .5 1.
119 080072 0 1 0 3 8.73E-2 1.0 0 3
120 080081 19 7 0 0 1.6E-4 3.655 6655. 2.08 2.08
121 080082 0 1 0 3 1.425E-2 0.6 0 3 1
122 080091 7 9 0 0 9.354 3.12E-3 4.382 275. 1.258 1.258
123 080092 0 1 0 3 6.3E-2 0.6 0 3
124 080101 21 22 0 0 9.354 2.0E-2 7.937 161. .262 .262
125 080102 0 1 0 3 1.44E-2 0.6 0 3
126 080111 10 11 -2 0 9.354 3.12E-3 4.382 111. 1.065 1.200
127 080112 0 1 0 3 6.3E-2 0.6 0 1
128 080121 11 12 2 0 9.354 2.116E-3 3.155 449. .125 .164
129 080122 0 1 0 3 8.73E-2 0.6 0 2
130 080131 12 1 0 0 9.354 5.986E-3 3.655 449. 1. .5
131 080132 0 1 0 3 8.73E-2 0.6 0 3
132 080141 6 13 0 0 3.227 5.007E-4 3.295 1.98E3 .128 .1766
133 080142 0 1 0 3 4.31E-2 1.0 0 0 3
134 080151 13 14 0 0 3.227 1.459E-3 4.12 1823. .508 .362
135 080152 0 1 0 3 4.31E-2 0.6 0 3
136 080251 14 23 0 0 3.227 .08306 4.47 156.9 .392 .701
137 080252 0 1 0 3 .0144 .6 0 3
138 080161 23 24 0 0 3.227 .08306 4.47 307. .274 .274
139 080162 0 1 0 3 1.44E-2 0.6 0 3
140 080261 24 15 0 0 3.227 .08306 4.47 156.9 .701 .392
141 080262 0 1 0 3 .0144 .6 0 3
142 080171 15 16 -1 0 3.227 2.579E-3 4.12 260. .703 1.203
143 080172 0 1 0 3 5.73E-2 0.6 0 1
144 080181 16 17 1 0 3.227 1.194E-3 3.155 921. 0. 0.
145 080182 0 1 0 3 3.8E-2 0.6 0 2 1
146 080191 17 18 0 1 3.227 1.459E-3 3.655 1.644E3 2.785 2.785
147 080192 0 1 0 3 4.31E-2 0.6 0 3
148 080201 18 1 0 0 3.227 2.580E-3 3.655 1.806E3 3.39 2.42
149 080202 0 1 0 3 4.31E-2 0.6 0 3
150 080211 8 19 0 0 3.53E-4 8.45 6655. .5 1.0
151 080212 0 1 0 3 2.12E-2 .6 0 3 1
152 080221 1 20 0 0 12.581 1.358E-2 3.555 125.25 .131 .131
153 080222 0 1 0 3 .03 1.0 0 3 1
154 080231 9 21 0 0 9.354 .02 4.827 84. .38 .645
155 080232 0 1 0 3 .0144 .6 0 3
156 080241 22 10 0 0 9.354 .02 4.827 84. .645 .38
157 080242 0 1 0 3 .0144 .6 0 3
158 080271 25 26 0 0 .04 8.0 100. .1 1.
159 080272 0 1 0 3 .02 1.0 0 3
160 080281 17 27 0 4 0. 1.1E-3 3.655 1.84E3 2. 2.
161 080282 0 1 0 3 0. .6 0 1 1
162 080291 18 27 0 5 0. 1.1E-3 3.655 3.29E3 2. 2.
163 080292 0 1 0 3 0. .6 0 1
164 080301 0 18 3 0 0 1. 3.655 0. 0. 0.
165 080302 0 1 0 3 0. 1. 3.655 0. 2
166 080311 0 12 4 0 0. 1. 3.655 0. 0. 0.
167 080312 0 1 0 3 0. 1. 0 2
168 080321 0 13 3 0 0. .1E1 .6 0. 0.
169 080322 0 1 0 3 0. .1E1 .6 0. 0.
170 080331 0 7 2 0 0. .1E1 3.655 0. 0. 0.
171 080332 0 1 0 3 0. .1. 0 2
172 080341 27 0 1 0 0. .1 3.665 10. 1. 1.
173 080342 0 1 0 3 0. .6 0 1 1
174 *
175 ***** PUMP DESCRIPTION DATA
176 *
177 090011 1 4 1 1 3500. 0.48 470. 35.0 1.907 .2388E-2 0. 0.13
178 090021 1 4 1 1 3500. 0.48 1430. 35. 3.92 .702E-2 0. 0.39
179 ***** PUMP HEAD MULTIPLIER DATA
180 091000 9 0.0 0.0 0.18 0.04 0.24 0.44 0.30 0.67 0.40 .81
181 091001 0.60 0.65 0.80 0.23 0.85 0.10 1.0 0.0
182 ***** TORQUE MULTIPLIER DATA
183 092000 2 0.0 0.0 1.0 0.0
184 ***** PUMP CURVE INPUT INDICATOR DATA
185 100000 14 0 0 16
186 ***** PUMP HEAD AND TORQUE DATA
187 101010 1 1 5 0.0 1.22 0.25 1.16 0.50 1.13 0.75 1.07 1.0 0.98
188 101020 1 2 5 0.0 -0.39 0.25 -0.22 0.50 0.01 0.75 0.40 1.0 0.98
189 101030 1 3 5 0.0 -0.10 0.25 -0.05 0.50 0.01 0.75 0.40 1.0 0.98
190 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
191 101030 1 3 10 -1.0 1.36 -0.85 1.33 -0.80 1.28 -0.72 1.30 -0.62 1.35
192 101031 -0.50 1.36 -0.34 1.34 -0.21 1.29 -0.11 1.23 0.0 1.22
193 101040 1 4 5 -1.0 1.36 -0.75 1.12 -0.50 0.90 -0.25 0.79 0.0 0.71
194 101050 1 5 5 0.0 0.75 0.25 1.16 0.50 1.35 0.75 1.62 1.0 1.94
195 101060 1 6 6 0.0 0.71 0.16 0.71 0.32 0.76 0.50 0.90 0.75 1.33
196 101070 1 7 6 -1.0 0.18 -0.75 0.45 -0.50 0.67 -0.24 0.83 -0.08 0.90
197 101071 0.0 0.95
198 101080 1 8 6 -1.0 0.18 -0.75 -0.13 -0.50 -0.32 -0.32 -0.40 -0.16 -.42
199 101080 1 8 6 -1.0 0.18 -0.75 -0.13 -0.50 -0.32 -0.32 -0.30 -0.16 -.15
200 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
201 101081 0.0 -0.39
202 101081 0.0 -0.10
203 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
204 101090 2 1 5 0.0 0.48 0.25 0.55 0.50 0.66 0.75 0.83 1.0 1.02
205 101100 2 2 7 0.0 -0.08 0.15 0.0 0.25 0.12 0.50 0.33 0.75 0.61
206 101100 2 2 7 0.0 0.0 0.11 0.053 0.25 0.12 0.50 0.33 0.75 0.61
207 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
208 101101 0.92 0.82 1.0 1.02
209 101110 2 3 10 -1.0 0.70 -0.90 -0.70 -0.80 0.68 -0.70 0.63 -0.60 0.53
210 101111 -0.50 0.67 -0.40 0.46 -0.30 0.45 -0.20 0.45 0.0 0.48
211 101120 2 4 7 -1.0 0.70 -0.80 0.50 -0.60 0.40 -0.50 0.39 -0.40 0.38
212 101121 -0.20 0.33 0.0 0.28
213 101130 2 5 5 0.0 -0.64 0.25 -0.49 0.50 -0.34 0.75 -0.20 1.0 -0.10
214 101140 2 6 5 0.0 0.28 0.25 0.22 0.50 0.14 0.75 0.03 1.0 -.10
215 101150 2 7 5 -1.0 -1.42 -0.75 -1.15 -0.50 -0.99 -0.25 -0.80 0. -.64
216 101160 2 8 7 -1.0 -1.42 -0.75 -1.04 -0.50 -0.68 -0.30 -0.31 -0.20 -.28
217 101161 -0.10 -0.17 0.0 -0.08
218 101161 -0.10 -0.17 0.0 0.
219 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
220 104019 1 1 5 0.0 0.12 0.25 1.16 0.50 1.13 0.75 1.07 1.0 0.98
221 104020 1 2 5 0.0 -0.39 0.25 -0.22 0.50 0.01 0.75 0.40 1.0 0.98
222 104020 1 2 5 0.0 0.0 0.25 0. 0.50 0.01 0.75 0.40 1.0 0.98
223 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
224 104030 1 3 10 -1.0 1.36 -0.85 1.33 -0.80 1.28 -0.72 1.30 -0.62 1.35
225 104031 -0.50 1.36 -0.34 1.34 -0.21 1.29 -0.11 1.23 0.0 1.22
226 104040 1 4 5 -1.0 1.36 -0.75 1.12 -0.50 0.90 -0.25 0.79 0.0 0.71
227 104050 1 5 5 0.0 0.75 0.25 1.16 0.50 1.35 0.75 1.62 1.0 1.94
228 104060 1 6 6 0.0 0.71 0.16 0.71 0.32 0.76 0.50 0.90 0.75 1.33
229 104061 1.0 1.94
230 104070 1 7 6 -1.0 0.18 -0.75 0.45 -0.50 0.67 -0.24 0.83 -0.08 0.90
231 104071 0.0 0.95
232 104080 1 8 6 -1.0 0.18 -0.75 -0.13 -0.50 -0.32 -0.32 -0.40 -0.16 -.42
233 104080 1 8 6 -1.0 0.18 -0.75 -0.13 -0.50 -0.32 -0.32 -0.30 -0.16 -.15

```

JAERI - M 7835

```

229 104081 0.0 -0.33
230 104081 0.0 0.
CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
231 104080 2 1 2 0.0 0.0 1.0 0.0
232 104100 2 2 2 0.0 0.0 1.0 0.0
233 104110 2 3 2 -1.0 0.0 0.0 0.0
234 104120 2 4 2 -1.0 0.0 0.0 0.0
235 104130 2 5 2 0.0 0.0 1.0 0.0
236 104140 2 6 2 0.0 0.0 1.0 0.0
237 104150 2 7 2 -1.0 0.0 0.0 0.0
238 104160 2 8 2 -1.0 0.0 0.0 0.0
239 ***** VALVE DATA 11XXXX
240 110010 5 0.0 0. 0. 0.
241 110020 0 0.0 2.577 2.577 1.550
242 110030 0 0.0 2.575 2.575 1.550
243 110040 -11 0. 0. 0. 0.
244 110050 -11 0. 0. 0. 0.
245 *
246 ***** LEAK TABLE DATA
247 *
248 120101 3 2 1.033 0. 0. 1. 600. 1.
249 120101 3 2 1.033 0. 0. 1. 1. 600. 1.
CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
250 120101 3 2 1.033 0.0 0.0 0.002 1.0 1.0E5 1.0
CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
251 120201 3 3 1.033 0. 0. 1. 1. 600. 1.
252 120201 3 3 1.033 0.0 0.0 0.002 1.0 1.0E5 1.0
CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
253 ***** FILL TABLE DATA
254 *
255 130101 3 7 0 1 105. 64. 0. 0. 2. 37.6 600. 37.6
256 130201 3 8 0 1 105. 64. 0. 0. 2. 71.6 600. 71.6
257 *
258 130301 9 9 0 1 44.9 68. 0. 0. 1. 97.3 2. 225. 8. 7. 213. 8
259 130302 12. 184. 17. 169. 22. 162. 9 23. 0. 600. 0.
260 *
261 ACC2 45.3AT 64C
262 130401 10 10 0 1 45.5 64. 0. 0. 2. 373.5 5. 384.3 7. 349.7 12. 327.4
263 130401 14 10 0 1 45.5 64. 0. 0. 3 249. 1.3 486. 5.3 501. 6.3 494. 8.3 441.
CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
264 17. 302. 6 24. 284. 4 31. 261. 32. 5 0. 600. 0.
265 130402 10.3 440. 14.3 402. 24.3 365. 30.3 322. 31.3 187. 32.3 69. 33.3 0.
CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
266 130403 600. 0.
267 ***** KINETICS CONSTANTS DATA
268 140000 0 0. 0.
269 *
270 ***** SCRAM TABLE DATA
271 *
272 141001 12 6 0.0 1.0 0.02 1.3 0.12 .54 1.02 .51 2.02 .472 5.02 .421
273 141002 10.02 .332 20.02 .229 40.02 .1329 58.02 .1347
274 141003 58.03 .0 1000. .0
275 *
276 ***** DENSITY REACTIVITY TABLE DATA 1420XX
277 ***** DOPPLER TABLE DATA 1430XX
278 ***** REACTIVITY COEFFICIENT DATA 1440XX
279 *
280 ***** HEAT SLAB DATA 15XXXX
281 *
282 150011 0 20 1 0 0. 2.703 .1913 0. .03 *PV WALL
283 150021 0 2 2 0 0. 1.504 .0762 0. .016 *U. HEADER
284 150031 20 5 3 0 1.716 1.66 6.75E-3 .042 .02 *CORE BARREL
285 150041 20 3 3 0 .618 .60 2.43E-3 .042 .23 *DU.
286 150051 20 6 3 0 .673 .65 2.69E-3 .042 .023 *DO.
287 150061 5 4 4 0 1.45 1.33 1.39E-2 .02 .0146 *CORE SUPPORT
288 150071 0 6 4 0 0. 2.02 1.44E-2 0. .02 *DO.
289 150081 0 4 5 0 0. 3.5859 9.05E-3 0. .01459 *HIGH HEAT FLUX ROD
290 150091 0 4 6 0 0. 1.6507 4.9703E-3 0. .01459 *HEAT TO NO FLUX
291 150101 0 6 6 0 0. 1.2236 3.2731E-3 0. .0203 *LEAD NI OVER GRID
292 150111 0 6 7 0 0. 1.31 1. 0. .07 *U. HEADER
293 150121 7 8 0 0 0. 1.707 2.96E-2 0. .09 *PV=SG2 58+48
294 150131 0 9 9 0 0. .5 .0637 0. .32 *SG2 INLET
295 150141 0 10 9 0 0. .5 .0637 0. .32 *SG2 OUTLET
296 150151 0 12 10 0 0. 1.377 2.15E-2 0. .0873 *D2=PV 48
297 150161 0 13 11 0 0. .902 1.032E-2 0. .08 *PV=SG1 48+28
298 150171 0 14 12 0 0. .2612 .0228 0. .227 *SG1 INLET
299 150181 0 15 12 0 0. .262 .03228 0. .227 *SG1 OUTLET
300 150191 0 17 13 0 0. .428 4.62E-3 0. .05 *P1=SV 2.58+28
301 150201 0 18 13 0 0. .957 1.047E-2 0. .05 *SV=PV 2.58+28
302 150211 0 8 14 0 0. .617 .0813 0. .28 *PR WALL
303 150221 0 4 6 0 0. 1.7480 4.6759E-3 0. .01459 *LEAD NI=BN-INCO
304 150231 21 25 15 0 8.97 11.84 .024 .02 .0144 *SG2 TUBE L
305 150241 21 26 15 0 8.97 11.84 .024 .02 .0144 *SG2 TUBE U
306 150251 22 25 15 0 8.97 11.84 .024 .02 .0144 *SG2 TUBE L
307 150261 22 26 15 0 8.97 11.84 .024 .02 .0144 *SG2 TUBE U
308 150271 23 25 15 0 2.942 3.881 .01569 .02 .0144 *SG1 TUBE L
309 150281 23 26 15 0 2.942 3.881 .01569 .02 .0144 *SG1 TUBE U
310 150291 24 25 15 0 2.942 3.881 .01569 .02 .0144 *SG1 TUBE L
311 150301 24 26 15 0 2.942 3.881 .01569 .02 .0144 *SG1 TUBE U
312 150271 0 1 16 0 0. .403 .0562 0. .03 *PV INLET NOZZEL
313 150321 0 8 17 0 0. .4359 1.308E-3 0. .28 *PR HEATER
314 150331 0 19 18 0 0. .313 1.153E-3 0. .0212 *PR SURGE LINE
315 150341 0 6 19 0 0. 3.978 7.4564E-3 0. .0203 *LEAD CU UP-PLENUM
316 ***** SECOND HEAT SLAB DATA 15XX42
317 ***** CORE SECTION DATA CARDS
318 160010 8 5 8 1.5 0. 3.634E-2 1.0
319 ***** SLAB GEOMETRY DATA
320 170101 2 1 4 1 .14 .05 0. *PV WALL
321 170201 2 1 4 1 .17 .10 0. *U. HEADER
322 170301 2 1 4 1 .12 .004 0. *CORE BARREL
323 170401 2 1 4 1 .13 .01 0. *CORE SUPPORT
324 170501 2 4 1 3 .0 2.33E-3 0. *FUEL PIN
325 170502 0 2 1 .8E-3 1.0
326 170503 0 1 1 .7E-3 0.
327 170504 0 3 3 1.3E-3 7E-3
328 170601 2 3 2 2 .0 3.35E-3 0. *DO NO-POWER
329 170602 0 1 1 .7E-3 0.
330 170603 0 3 1 3.35E-3 0.
331 170701 2 1 4 1 .19 .10 0. *U. HEADER
332 170801 2 1 4 1 .045 .015 0. *PV=SG2 58+48
333 170901 2 1 5 1 .25 .0547 0. *SG2 PLENUM
334 171001 2 1 4 1 .0443 .0135 0. *48
335 171101 2 1 4 1 .03 .01 0. *PV=SG1 48+28
336 171201 2 1 5 1 .18 .0524 0. *SG1 PLENUM
337 171301 2 1 4 1 .025 .009 0. *2.58+28
338 171401 2 1 4 1 .14 .0517 0. *PR WALL
339 171501 2 1 4 1 .0072 .0023 0.0 *SG TUBE
340 171601 2 1 4 1 .14 .105 0. *PV INLET NOZZEL
341 171701 2 1 4 1 .0 .006 0. *PR HEATER
342 171801 2 1 4 1 .0106 .0064 0. *18
343 171901 2 3 6 1 .0 2.0E-3 0. *LEAD CU=BN-INCO
344 171902 0 1 1 .7E-3 0.
345 171903 0 3 1 1.3E-3 0.
346 ***** THERMAL CONDUCTIVITY DATA CARDS
347 180101 1 100. 18. 200. 16.5 400. 15.5 600. 14. 800. 13.3
348 180102 1200. 13. 1800. 12.6 3000. 12.3 4800. 12.0 6000. 11.8
349 180201 3 20. 15. 100. 11.4 2600. 10. 4800. 9. 6000. 8. 7000. 7. 8000. 6. 9000. 5. 10000. 4. 11000. 3. 12000. 2. 13000. 1.
350 180301 5 20. 17. 200. 15. 426. 17. 713. 24. 8 1740. 31. 18000. 10. 36000. 5. 54000. 3. 81000. 2. 108000. 1.
351 180401 5 20. 11.48 106. 12.38 200. 13.53 300. 14.68 500. 16.96 800. 18.55 1000. 20.12 1200. 21.73 1400. 23.28 1600. 24.83 1800. 26.38 2000. 27.93 2200. 29.48 2400. 31.03 2600. 32.58 2800. 34.13 3000. 35.68 3200. 37.23 3400. 38.78 3600. 40.33 3800. 41.88 4000. 43.43 4200. 44.98 4400. 46.53 4600. 48.08 4800. 49.63 5000. 51.18 5200. 52.73 5400. 54.28 5600. 55.83 5800. 57.38 6000. 58.93 6200. 60.48 6400. 62.03 6600. 63.58 6800. 65.13 7000. 66.68 7200. 68.23 7400. 69.78 7600. 71.33 7800. 72.88 8000. 74.43 8200. 75.98 8400. 77.53 8600. 79.08 8800. 80.63 9000. 82.18 9200. 83.73 9400. 85.28 9600. 86.83 9800. 88.38 10000. 89.93 10200. 91.48 10400. 93.03 10600. 94.58 10800. 96.13 11000. 97.68 11200. 99.23 11400. 100.78 11600. 102.33 11800. 103.88 12000. 105.43 12200. 106.98 12400. 108.53 12600. 110.08 12800. 111.63 13000. 113.18 13200. 114.73 13400. 116.28 13600. 117.83 13800. 119.38 14000. 120.93 14200. 122.48 14400. 124.03 14600. 125.58 14800. 127.13 15000. 128.68 15200. 130.23 15400. 131.78 15600. 133.33 15800. 134.88 16000. 136.43 16200. 137.98 16400. 139.53 16600. 141.08 16800. 142.63 17000. 144.18 17200. 145.73 17400. 147.28 17600. 148.83 17800. 150.38 18000. 151.93 18200. 153.48 18400. 155.03 18600. 156.58 18800. 158.13 19000. 159.68 19200. 161.23 19400. 162.78 19600. 164.33 19800. 165.88 20000. 167.43 20200. 168.98 20400. 170.53 20600. 172.08 20800. 173.63 21000. 175.18 21200. 176.73 21400. 178.28 21600. 179.83 21800. 181.38 22000. 182.93 22200. 184.48 22400. 186.03 22600. 187.58 22800. 189.13 23000. 190.68 23200. 192.23 23400. 193.78 23600. 195.33 23800. 196.88 24000. 198.43 24200. 199.98 24400. 201.53 24600. 203.08 24800. 204.63 25000. 206.18 25200. 207.73 25400. 209.28 25600. 210.83 25800. 212.38 26000. 213.93 26200. 215.48 26400. 217.03 26600. 218.58 26800. 220.13 27000. 221.68 27200. 223.23 27400. 224.78 27600. 226.33 27800. 227.88 28000. 229.43 28200. 230.98 28400. 232.53 28600. 234.08 28800. 235.63 29000. 237.18 29200. 238.73 29400. 240.28 29600. 241.83 29800. 243.38 30000. 244.93 30200. 246.48 30400. 248.03 30600. 249.58 30800. 251.13 31000. 252.68 31200. 254.23 31400. 255.78 31600. 257.33 31800. 258.88 32000. 260.43 32200. 261.98 32400. 263.53 32600. 265.08 32800. 266.63 33000. 268.18 33200. 269.73 33400. 271.28 33600. 272.83 33800. 274.38 34000. 275.93 34200. 277.48 34400. 279.03 34600. 280.58 34800. 282.13 35000. 283.68 35200. 285.23 35400. 286.78 35600. 288.33 35800. 289.88 36000. 291.43 36200. 292.98 36400. 294.53 36600. 296.08 36800. 297.63 37000. 299.18 37200. 300.73 37400. 302.28 37600. 303.83 37800. 305.38 38000. 306.93 38200. 308.48 38400. 310.03 38600. 311.58 38800. 313.13 39000. 314.68 39200. 316.23 39400. 317.78 39600. 319.33 39800. 320.88 40000. 322.43 40200. 323.98 40400. 325.53 40600. 327.08 40800. 328.63 41000. 330.18 41200. 331.73 41400. 333.28 41600. 334.83 41800. 336.38 42000. 337.93 42200. 339.48 42400. 341.03 42600. 342.58 42800. 344.13 43000. 345.68 43200. 347.23 43400. 348.78 43600. 350.33 43800. 351.88 44000. 353.43 44200. 354.98 44400. 356.53 44600. 358.08 44800. 359.63 45000. 361.18 45200. 362.73 45400. 364.28 45600. 365.83 45800. 367.38 46000. 368.93 46200. 370.48 46400. 372.03 46600. 373.58 46800. 375.13 47000. 376.68 47200. 378.23 47400. 379.78 47600. 381.33 47800. 382.88 48000. 384.43 48200. 385.98 48400. 387.53 48600. 389.08 48800. 390.63 49000. 392.18 49200. 393.73 49400. 395.28 49600. 396.83 49800. 398.38 50000. 399.93 50200. 401.48 50400. 403.03 50600. 404.58 50800. 406.13 51000. 407.68 51200. 409.23 51400. 410.78 51600. 412.33 51800. 413.88 52000. 415.43 52200. 416.98 52400. 418.53 52600. 420.08 52800. 421.63 53000. 423.18 53200. 424.73 53400. 426.28 53600. 427.83 53800. 429.38 54000. 430.93 54200. 432.48 54400. 434.03 54600. 435.58 54800. 437.13 55000. 438.68 55200. 440.23 55400. 441.78 55600. 443.33 55800. 444.88 56000. 446.43 56200. 447.98 56400. 449.53 56600. 451.08 56800. 452.63 57000. 454.18 57200. 455.73 57400. 457.28 57600. 458.83 57800. 460.38 58000. 461.93 58200. 463.48 58400. 465.03 58600. 466.58 58800. 468.13 59000. 469.68 59200. 471.23 59400. 472.78 59600. 474.33 59800. 475.88 60000. 477.43 60200. 478.98 60400. 480.53 60600. 482.08 60800. 483.63 61000. 485.18 61200. 486.73 61400. 488.28 61600. 489.83 61800. 491.38 62000. 492.93 62200. 494.48 62400. 496.03 62600. 497.58 62800. 499.13 63000. 500.68 63200. 502.23 63400. 503.78 63600. 505.33 63800. 506.88 64000. 508.43 64200. 509.98 64400. 511.53 64600. 513.08 64800. 514.63 65000. 516.18 65200. 517.73 65400. 519.28 65600. 520.83 65800. 522.38 66000. 523.93 66200. 525.48 66400. 527.03 66600. 528.58 66800. 530.13 67000. 531.68 67200. 533.23 67400. 534.78 67600. 536.33 67800. 537.88 68000. 539.43 68200. 540.98 68400. 542.53 68600. 544.08 68800. 545.63 69000. 547.18 69200. 548.73 69400. 550.28 69600. 551.83 69800. 553.38 70000. 554.93 70200. 556.48 70400. 558.03 70600. 559.58 70800. 561.13 71000. 562.68 71200. 564.23 71400. 565.78 71600. 567.33 71800. 568.88 72000. 570.43 72200. 571.98 72400. 573.53 72600. 575.08 72800. 576.63 73000. 578.18 73200. 579.73 73400. 581.28 73600. 582.83 73800. 584.38 74000. 585.93 74200. 587.48 74400. 589.03 74600. 590.58 74800. 592.13 75000. 593.68 75200. 595.23 75400. 596.78 75600. 598.33 75800. 599.88 76000. 601.43 76200. 602.98 76400. 604.53 76600. 606.08 76800. 607.63 77000. 609.18 77200. 610.73 77400. 612.28 77600. 613.83 77800. 615.38 78000. 616.93 78200. 618.48 78400. 620.03 78600. 621.58 78800. 623.13 79000. 624.68 79200. 626.23 79400. 627.78 79600. 629.33 79800. 630.88 80000. 632.43 80200. 633.98 80400. 635.53 80600. 637.08 80800. 638.63 81000. 640.18 81200. 641.73 81400. 643.28 81600. 644.83 81800. 646.38 82000. 647.93 82200. 649.48 82400. 651.03 82600. 652.58 82800. 654.13 83000. 655.68 83200. 657.23 83400. 658.78 83600. 660.33 83800. 661.88 84000. 663.43 84200. 664.98 84400. 666.53 84600. 668.08 84800. 669.63 85000. 671.18 85200. 672.73 85400. 674.28 85600. 675.83 85800. 677.38 86000. 678.93 86200. 680.48 86400. 682.03 86600. 683.58 86800. 685.13 87000. 686.68 87200. 688.23 87400. 689.78 87600. 691.33 87800. 692.88 88000. 694.43 88200. 695.98 88400. 697.53 88600. 699.08 88800. 700.63 89000. 702.18 89200. 703.73 89400. 705.28 89600. 706.83 89800. 708.38 90000. 709.93 90200. 711.48 90400. 713.03 90600. 714.58 90800. 716.13 91000. 717.68 91200. 719.23 91400. 720.78 91600. 722.33 91800. 723.88 92000. 725.43 92200. 726.98 92400. 728.53 92600. 730.08 92800. 731.63 93000. 733.18 93200. 734.73 93400. 736.28 93600. 737.83 93800. 739.38 94000. 740.93 94200. 742.48 94400. 744.03 94600. 745.58 94800. 747.13 95000. 748.68 95200. 750.23 95400. 751.78 95600. 753.33 95800. 754.88 96000. 756.43 96200. 757.98 96400. 759.53 96600. 761.08 96800. 762.63 97000. 764.18 97200. 765.73 97400. 767.28 97600. 768.83 97800. 770.38 98000. 771.93 98200. 773.48 98400. 775.03 98600. 776.58 98800. 778.13 99000. 779.68 99200. 781.23 99400. 782.78 99600. 784.33 99800. 785.88 100000.

```

Appendix 2 Listing of Input Data for Run 312

```

1  *SIMULATION OF ROSA-2 RUN-312
2  *
3  ***** DIMENSION
4  *
5  010001 0 9 4 12 27 4 0 34 2 5 2 4 34 19 6 1 0
6  010001 -2 9 4 12 27 4 0 34 2 5 2 4 34 19 6 1 0
7  CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD,
8  ***** CONSTANT
9  010002 1.945 1.
10  010003 1 1
11  010007 10 4 .05 (X(07))は、.05をプログラム内でセットしている
12  *
13  ***** EDIT VARIABLES
14  020000 AP 2 AP 3 AP 4 AP 5 JW 2 JW 3 JW 4 JW 1 JW 20
15  *
16  ***** TIME STEPS
17  *
18  030010 1 0 0 -2 .004 .1E-5 .019
19  030020 1 0 0 -2 0.001 .1E-5 .023
20  030030 3 0 1 -2 0.01 .1E-5 3.
21  030040 1 25 2 -2 0.1 .1E-5 400.
22  *
23  ***** TRIP CONTROLS
24  *
25  040010 1 1 0 0 5. 0. * END PLOBLEM ON TIME
26  040010 1 1 0 0 30. 0. * END PLOBLEM ON TIME
27  CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD,
28  040010 1 1 0 0 75. 0. * END PLOBLEM ON TIME
29  CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD,
30  040020 -1 0 0 0 0. * END PLOBLEM ON LOW PRESSURE
31  040030 2 1 0 0 0.02 0. * PIPE RUPTURE (LEAK) NO.1
32  040040 3 1 0 0 0.02 0. * PIPE RUPTURE (LEAK) NO.2
33  040050 4 1 0 0 0.02 0. * PUMP TRIP
34  040060 5 1 0 0 0.02 0.1 * VALVE
35  040060 5 1 0 0 0.02 .005 * VALVE
36  CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD,
37  040070 6 1 0 0 0.02 0. * SCRAM
38  040080 7 1 0 0 25.5 0. * LPCI BROKEN LOOP (FILL)
39  040090 8 1 0 0 25.5 0. * LPCI INTACT LOOP (FILL)
40  040100 9 1 0 0 15.0 0. * ACC1 (FILL)
41  040110 10 1 0 0 15.0 0. * ACC2 (FILL)
42  040120 11 1 0 0 .02 0. ** RUPTURE DISK -- VALVE
43  *
44  ***** VOLUME DATA
45  *
46  050011 0 0 160.65 306. -1. .5127E-2 .3 3 1 .01709 .042 3.555
47  050021 2 0 160.92 306. -1. .184E-1 .2 .2 1 .01579 .0688 .0
48  050031 2 0 160.85 306. -1. .305E-1 .805 .805 1 .04155 .23 .195
49  050041 2 0 160.05 312.5 -1. .0336 2.005 2.005 1 .01741 .0146 .995
50  050051 2 0 160.05 312.5 -1. .0136 2.113 2.113 1 .00544 .0156 .995
51  050061 2 0 159.89 318. -1. .1234 1.865 1.865 1 .02234 .0146 2.995
52  050071 0 0 160. 318. -1. .467E-1 1.140 1.140 1 .00092 .1079 3.245
53  050081 2 0 160. 0. 0. .1337 2.2202 1.5043 1 .06022 .28 6.0145
54  050091 2 0 159.70 318. -1. .0476 .466 .466 1 .1068 .3165 4.362
55  050101 2 0 159.58 309. -1. .06458 3.16 3.16 1 .02 .0144 4.827
56  050110 2 0 159.7 306. -1. .0476 .466 .466 1 .1068 .3165 4.362
57  050121 0 0 160.0 306. -1. .125E-1 1.28 1.28 1 .598E-2 .0873 3.105
58  050131 0 0 160.60 306. -1. .283E-1 .6 .6 1 .598E-2 .0873 3.105
59  050141 2 0 159.68 318. -1. .01205 .98 .98 1 .146E-2 .0431 3.245
60  050151 2 0 159.60 318. -1. .0176 .353 .353 1 .0520 .231 4.12
61  050161 2 0 159.46 315. -1. .02118 2.503 2.503 1 .0831 .0144 4.47
62  050171 2 0 159.46 309. -1. .02118 2.503 2.503 1 .0831 .0144 4.47
63  050181 0 0 160.3 306. -1. .5313E-2 1.025 1.025 1 .146E-2 .0431 3.105
64  050191 0 0 161.00 306. -1. .492E-2 .6 .6 1 .146E-2 .0431 3.105
65  050201 0 0 160.88 306.0 -1. .13E-1 .1 .1 1 .258E-2 .0573 3.605
66  050211 0 0 160.0 330. -1. .66E-2 2.86 2.86 1 .355E-4 .0212 3.60
67  050221 0 0 55.27 0. 1.0 1.0 2.0 2.0 1 .04 .025 6.5 *SECONDARY LOOP
68  050231 0 0 1.05 0. 1. 1. 1. 1. 10. 3. 1. *SECONDARY LOOP
69  050271 0 0 1.05 0. 1. 1. 1. 1. 10. 3. 1.
70  *
71  ***** BUBBLE DATA
72  *
73  060011 0.0 0.5
74  060021 .0 -100.0 14
75  060021 .0 -100.0 6
76  CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD,
77  060031 .0 .02
78  060031 .0 .19
79  CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD,
80  060041 .0 .01
81  060041 .0 .05
82  CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD,
83  060041 .0 .1
84  CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD,
85  ***** TIME-DEPENDENT VOLUME DATA CARDS
86  *
87  ***** JUNCTION DATA
88  *
89  080011 20 2 0 0 21.07 1.709E-2 .198 120.0 0.973 0.873 (W13=120.002)
90  080012 0 1 0 3 .042 1. 0 3 (Rg=0.1E+07)
91  080021 2 3 0 0 21.07 1.468E-2 .198 61.9 0.72 0.823
92  080022 0 1 0 3 .016 1.0 0 3
93  080031 3 4 0 0 18.97 5.365E-3 .998 70.9 0.858 1.0
94  080032 0 1 0 3 5.5E-3 1.0 0 3
95  080041 3 5 0 0 2.1 2.84E-3 .998 214.4 0.86 1.29
96  080042 0 1 0 3 8.0E-3 1.0 0 3
97  080051 4 6 0 0 18.97 6.762E-3 2.998 74.7 1.01 1.01
98  080052 0 1 0 3 2.5E-3 1.0 0 3
99  080061 5 6 0 0 2.1 1.077E-3 3.105 224.0 3.04 3.04
100  080062 0 1 0 3 3.0E-3 1.0 0 3
101  080071 6 7 0 0 15.745 3.986E-3 3.295 497. .5 1.
102  080072 0 1 0 3 8.73E-2 1.0 0 3
103  080081 19 7 0 0 0. 1.6E-4 3.655 6655. 2.08 2.08
104  080082 0 1 0 3 1.425E-2 0.6 0 3 1
105  080091 7 9 0 0 15.745 3.12E-3 4.382 275. 1.258 1.258
106  080092 0 1 0 3 6.3E-2 0.6 0 3
107  080101 21 22 0 0 15.745 2.0E-2 7.937 161. .262 .262
108  080102 0 1 0 3 1.44E-2 0.6 0 3
109  080111 10 11 -2 0 15.745 3.12E-3 4.382 111. 1.065 1.200
110  080112 0 1 0 3 6.3E-2 0.6 0 3
111  080121 11 12 2 0 15.745 2.118E-3 3.155 449. .125 .164
112  080122 0 1 0 3 8.73E-2 0.6 0 2
113  080131 12 1 0 0 15.745 5.986E-3 3.655 449. 1. .5
114  080132 0 1 0 3 8.73E-2 0.6 0 3
115  080141 6 15 0 0 5.33 5.007E-4 3.295 1.983 .128 .1766
116  080142 0 1 0 3 4.31E-2 0.6 0 3
117  080151 13 14 0 0 5.33 1.459E-3 4.12 1823. .508 .362
118  080152 0 1 0 3 4.31E-2 0.6 0 3
119  080251 14 23 0 0 5.33 .08306 4.47 156.9 .392 .701

```

```

120 080252 0 1 0 3 .0144 .6 0 3
121 080181 23 24 0 0 5.33 0.8306 6.9 307. 274 274
122 080182 0 1 0 3 1.44E-2 0.6 0 3
123 080261 24 13 0 0 5.33 0.8306 4.47 156.9 1701 1392
124 080262 0 1 0 3 .0144 .6 0 3
125 080171 15 16 -1 0 5.33 2.579E-3 4.12 260. 1703 1203
126 080172 0 1 0 3 5.73E-2 0.6 0 3
127 080181 16 17 1 0 5.33 4.544E-4 3.155 921. 0 0
128 080182 0 1 0 3 3.88E-2 0.6 0 2
129 080191 17 18 0 1 5.33 1.459E-3 3.655 1.644E3 2.785 2.785
130 080192 0 1 0 3 4.31E-2 0.6 0 3
131 080201 18 1 0 0 5.33 2.580E-3 3.655 1.806E3 3.39 2.42
132 080202 0 1 0 3 4.31E-2 0.6 0 3
133 080211 8 19 0 0 3.55E-2 4.45 6655. 3 1.0
134 080212 0 1 0 3 2.12E-2 .6 0 3
135 080221 1 20 0 0 21.07 1.358E-2 3.555 125.25 131 131
136 080222 0 1 0 3 .03 1.0 0 3
137 080231 9 21 0 0 0.15745 .02 4.827 84. 38 645
138 080232 0 1 0 3 .0144 .6 0 3
139 080241 22 10 0 0 0.15745 .02 4.827 84. 645 38
140 080242 0 1 0 3 .0144 .6 0 3
141 080271 25 26 0 0 0 .04 8.0 100. 1 1
142 080272 0 1 0 3 .02 1.0 0 3
143 080281 17 27 0 4 0 1.1E-3 3.655 1.84E3 2. 2.
144 080282 0 1 0 3 0 .6 0 1
145 080291 18 27 0 5 0 1.1E-3 3.655 3.29E3 2. 2.
146 080292 0 1 0 3 0 .6 0 1
147 080301 0 18 3 0 0 1. 3.655 0. 0. 0.
148 080302 0 1 0 3 0 .1 0 2
149 080311 0 12 4 0 0 1. 3.655 0. 0. 0.
150 080312 0 1 0 3 0 .1 0 2
151 080321 0 18 1 0 0 .1E1 3.655 0. 0. 0.
152 080322 0 1 0 3 0 .1 0 2
153 080331 0 12 2 0 0 .1E1 3.655 0. 0. 0.
154 080332 0 1 0 3 0 .1 0 2
155 080341 27 0 1 0 0 .1 3.655 10. 1. 1.
156 080342 0 1 0 3 0 .6 0 1
157 *
158 ***** PUMP DESCRIPTION DATA
159 *
160 090011 1 4 1 1 3500. 0.74 470. 35.0 1.307 .2388E-2 0. 0.13
161 090021 1 4 1 1 3500. 0.74 1430. 25. 3.92 .702E-2 0. 0.39
162 ***** PUMP HEAD MULTIPLIER DATA
163 091000 9 0.0 0.0 0.18 0.04 0.24 0.44 0.30 0.67 0.40 .81
164 091001 0.60 0.63 0.80 0.23 0.85 0.10 1.0 0.0
165 ***** TORQUE MULTIPLIER DATA
166 092000 2 0.0 0.0 1.0 0.0
167 ***** PUMP CURVE INPUT INDICATOR DATA
168 100000 18 0 0 18
169 ***** PUMP HEAD AND TORQUE DATA
170 101010 1 1 5 0.0 1.22 0.25 1.16 0.50 1.13 0.75 1.07 1.0 0.98
171 101020 1 2 5 0.0 -0.39 0.25 -0.22 0.50 0.01 0.75 0.40 1.0 0.98
172 101020 1 2 5 0.0 -0.10 0.22 -0.03 0.50 0.01 0.75 0.40 1.0 0.98
173 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
174 101030 1 3 10 -1.0 1.56 -0.25 1.33 -0.80 1.28 -0.72 1.30 -0.62 1.35
175 -0.50 1.36 -0.35 1.34 -0.21 1.29 -0.11 1.23 0.0 1.22
176 101040 1 4 5 -1.0 1.56 -0.75 1.12 -0.50 0.90 -0.25 0.79 0.0 0.71
177 101050 1 5 5 0.0 0.95 0.25 1.16 0.50 1.35 0.75 1.62 1.0 1.94
178 101060 1 6 6 0.0 0.71 0.16 0.71 0.32 0.76 0.50 0.90 0.75 1.33
179 101061 1.0 1.94
180 101070 1 7 6 -1.0 0.18 -0.75 0.45 -0.50 0.67 -0.24 0.83 -0.08 0.90
181 101071 0.0 0.95
182 101080 1 8 6 -1.0 0.18 -0.75 -0.13 -0.50 -0.32 -0.32 -0.40 -0.16 -.42
183 101080 1 8 6 -1.0 0.18 -0.75 -0.13 -0.50 -0.32 -0.32 -0.30 -0.16 -.15
184 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
185 101081 0.0 -0.39
186 101081 0.0 -0.10
187 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
188 101090 2 1 5 0.0 0.48 0.25 0.55 0.50 0.66 0.75 0.83 1.0 1.02
189 101100 2 2 7 0.0 -0.08 0.14 0.0 0.45 0.12 0.50 0.33 0.75 0.61
190 101100 2 2 7 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.12 0.50 0.33 0.75 0.61
191 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
192 101101 0.92 0.82 1.0 1.02
193 101110 2 3 10 -1.0 0.70 -0.90 0.70 -0.80 0.68 -0.70 0.63 -0.60 0.53
194 -0.50 0.47 -0.40 0.46 -0.30 0.45 -0.20 0.45 0.0 0.48
195 101120 2 4 7 -1.0 0.70 -0.80 0.50 -0.60 0.40 -0.50 0.39 -0.40 0.38
196 101121 -0.20 0.33 0.0 0.28
197 101130 2 5 5 0.0 -0.64 0.25 -0.49 0.50 -0.34 0.75 -0.20 1.0 0.98
198 101140 2 6 5 0.0 0.28 0.25 0.22 0.50 0.14 0.75 0.03 1.0 -.10
199 101150 2 7 5 -1.0 -1.42 -0.75 -1.18 -0.50 -0.99 -0.25 -0.80 0 -.64
200 101160 2 8 7 -1.0 -1.42 -0.75 -1.04 -0.50 -0.68 -0.30 -0.31 -0.20 -.28
201 101161 -0.10 -0.17 0.0 -0.08
202 101161 -0.10 -0.17 0.0 0.
203 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
204 104010 1 1 5 0.0 1.22 0.25 1.16 0.50 1.13 0.75 1.07 1.0 0.98
205 104020 1 2 5 0.0 -0.39 0.25 -0.22 0.50 0.01 0.75 0.40 1.0 0.98
206 104020 1 2 5 0.0 0.0 0.25 0. 0.50 0.01 0.75 0.40 1.0 0.98
207 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
208 104030 1 3 10 -1.0 1.56 -0.85 1.33 -0.80 1.28 -0.72 1.30 -0.62 1.35
209 104031 -0.56 1.36 -0.34 1.34 -0.21 1.29 -0.11 1.23 0.0 1.22
210 104040 1 4 5 -1.0 1.56 -0.75 1.12 -0.50 0.90 -0.25 0.79 0.0 0.71
211 104050 1 5 5 0.0 0.95 0.25 1.16 0.50 1.35 0.75 1.62 1.0 1.94
212 104060 1 6 6 0.0 0.71 0.16 0.71 0.32 0.76 0.50 0.90 0.75 1.33
213 104061 1.0 1.94
214 104070 1 7 6 -1.0 0.18 -0.75 0.45 -0.50 0.67 -0.24 0.83 -0.08 0.90
215 104071 0.0 0.95
216 104080 1 8 6 -1.0 0.18 -0.75 -0.13 -0.50 -0.32 -0.32 -0.40 -0.16 -.42
217 104080 1 8 3 -1.0 0. -.3 0.
218 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
219 104081 0.0 -0.39
220 104081 0.0 0.
221 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
222 104090 2 1 2 0.0 0.0 1.0 0.0
223 104100 2 2 2 0.0 0.0 1.0 0.0
224 104110 2 3 2 -1.0 0.0 0.0 0.0
225 104120 2 4 2 -1.0 0.0 0.0 0.0
226 104130 2 5 2 0.0 0.0 1.0 0.0
227 104140 2 6 2 0.0 0.0 1.0 0.0
228 104150 2 7 2 -1.0 0.0 0.0 0.0
229 104160 2 8 2 -1.0 0.0 0.0 0.0
230 ***** VALVE DATA 11X40
231 110010 5 0.0 0.0 0.
232 110020 0 0.0 2.577 2.577 1.850
233 110030 0 0.0 2.575 2.575 1.850
234 110040 -11 0.0 0.0 0.
235 110050 -11 0.0 0.0 0.
236 ***** LEAK TABLE DATA
237 120101 3 2 1.033 0.0 0.1 1. 600. 1.
238 120101 3 2 1.033 0.0 0.1 1. 600. 1.
239 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
240 120101 3 2 1.033 0.0 0.0 0.002 1.0 1.0E5 1.0
241 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
242 120201 3 3 1.033 0.0 0.1 1. 600. 1.
243 120201 3 3 1.033 0.0 0.0 0.002 1.0 1.0E5 1.0
244 CARD ABOVE IS REPLACEMENT CARD.
245 ***** FILL TABLE DATA
246 130101 8 7 0 1 105. 84. 1. 50. 2. 45. 2.5 42. 10.5 39.3
247 130102 16.5 32. 125. 32.
248 130201 6 8 0 1 105. 84. 1. 0.0 1.72 1.5 78.9 4.5 81. 16.5 93. 125. 93. *LPCI 2
249 130301 18 9 0 1 45. 64. 0.0 0.1 0.0 .2 0.0 .3 0.0 .5 0.00 .8 4.2
250 130302 1. 23.4 1.2 43.5 1.7 84.6 2.4 104.7 3.9 136.8 6.4 162.3 12.9 173.4
251 130303 21.9 154.5 22.2 147.4 22.3 114.9 21.7 0. 500. 0.

```

```

241 130401 20 10 0 1.45, 62, 0, 0, 12, 0, 13, 0, 14, 0, 1, 25, 2.4 231,
242 130402 0.4 329, 10.4 402, 11.4 160, 13.1 0, 14.2 0, 14.5 15, 15.1 15,
243 130403 15.4 0, 33.2 0, 33.7 324, 34, 404, 34.4 255, 37.4 0, 500, 0, *ACC 2
244 ***** KINETICS CONSTANTS DATA
245 140000 0,
246 ***** SCRAM TABLE DATA
247 141001 11 6, 0, 1, .02 1, .12 .69 .22 .503 1.82 .486 2.82 .408
248 141002 12.32 .302 27.32 .197 57.82 .142 58.22 0, 500, 0,
249 *
250 ***** DENSITY REACTIVITY TABLE DATA 1420XX
251 ***** DOPPLER TABLE DATA 1430XX
252 ***** REACTIVITY COEFFICIENT DATA 140XX0
253 *
254 ***** HEAT SLAB DATA 15XXA1
255 *
256 150011 0 20 1 0 0, 2.703 .1913 0, .03 *PV WALL
257 150021 0 2 2 0 0, .304 .0762 0, .016 *L. HEADER
258 150031 20 3 3 0 1.716 1.66 6.75E-3 .042 .02 *CORE BARREL
259 150041 20 3 3 0 .618 .60 2.43E-3 .042 .23 *DO,
260 150051 20 6 3 0 .673 .65 2.65E-3 .042 .023 *DO,
261 150061 3 4 4 0 1.45 1.33 1.39E-2 .02 .0144 *CORE SUPPORT
262 150071 0 6 4 0 0, 2.42 1.14E-2 0, .02 *DO,
263 150081 0 4 5 0 0, 2.57 6.87E-3 0, .01459 *HIGH HEAT FLUX ROD
264 150091 0 4 6 0 0, 2.64 7.16E-3 0, .01459 *HEAT TO NO FLUX
265 150101 0 6 6 0 0, 1.2236 3.273E-3 0, .0203 *LEAD NI OVER GRID
266 150111 0 6 7 0 0, 1.31 1, .07 *U. HEADER
267 150121 0 8 8 0 0, 1.707 2.86E-2 0, .09 *PV-SG2 5B+2B
268 150131 0 9 9 0 0, .5 .0637 0, .32 *SG2 INLET
269 150141 0 10 9 0 0, .5 .0637 0, .32 *SG2 OUTLET
270 150151 0 12 10 0 0, 1.377 2.15E-2 0, .0873 *P2-PV 4B
271 150161 0 13 11 0 0, .902 1.032E-2 0, .06 *PV-SG1 4B+2B
272 150171 0 14 12 0 0, .2612 .03228 0, .227 *SG1 INLET
273 150181 0 15 12 0 0, .262 .03228 0, .227 *SG1 OUTLET
274 150191 0 17 13 0 0, .428 4.62E-3 0, .05 *P1-SV 2.5B+2B
275 150201 0 18 13 0 0, .957 1.047E-2 0, .05 *SV-PV 2.5B+2B
276 150211 0 8 14 0 0, .117 .0813 0, .28 *PR WALL
277 150221 0 8 15 0 0, .7480 4.6759E-3 0, .01459 *LEAD NI-BN-INCO
278 150231 21 25 15 0 4.0 6.0 .012 .02 .0144 *SG2 TUBE L
279 150241 21 26 15 0 14. 18. .036 .02 .0144 *SG2 TUBE U
280 150241 22 25 15 0 4.0 6.0 .012 .02 .0144 *SG2 TUBE L
281 150251 22 26 15 0 14. 18. .036 .02 .0144 *SG2 TUBE U
282 150251 23 25 15 0 1.5 1.8 .004 .02 .0144 *SG1 TUBE L
283 150301 23 26 15 0 1.5 6.0 .012 .02 .0144 *SG1 TUBE U
284 150261 24 25 15 0 1.2 1.8 .004 .02 .0144 *SG1 TUBE L
285 150311 24 26 15 0 3.5 6.0 .012 .02 .0144 *SG1 TUBE U
286 150271 0 1 16 0 0, .403 .0382 0, .03 *PV INLET NOZZEL
287 150321 0 8 17 0 0, .4359 1.308E-3 0, .28 *PR HEATER
288 150331 0 19 18 0 0, .313 1.153E-3 0, .0212 *PR SURGE LINE
289 150341 0 6 19 0 0, 3.978 7.954E-3 0, .0203 *LEAD CU UP.PLENUM
290 ***** SECOND HEAT SLAB DATA 15XXA2
291 ***** CORE SECTION DATA CARDS
292 160010 8 8 4 5 6 1.5 0, 3.634E-2 1.0
293 ***** SLAB GEOMETRY DATA
294 170101 2 1 4 1 .14 .05 0, *PV WALL
295 170201 2 1 4 1 .17 .10 0, *D. HEADER
296 170301 2 1 4 1 .12 .004 0, *CORE BARREL
297 170401 2 1 4 1 .10 .01 0, *CORE SUPPORT
298 170501 2 4 1 3 0 2.35E-3 0, *FUEL PIN
299 170502 0 2 1 1 .8E-3 1.0
300 170503 0 1 1 1 .7E-3 0,
301 170504 0 3 3 3 1.3E-3 .7E-3 0, *DO NO-POWER
302 170601 2 3 2 2 0 3.35E-3 0,
303 170602 0 1 1 1 .7E-3 0,
304 170603 0 3 1 1 3.35E-3 0,
305 170701 2 1 4 1 .19 .10 0, *U. HEADER
306 170801 2 1 4 1 .043 .0135 0, *PV-SG2 5B+2B
307 170901 2 1 5 1 .25 .0587 0, *SG2 PLENUM
308 171001 2 1 4 1 .0463 .0135 0, *4B
309 171101 2 1 4 1 .03 .01 0, *PV-SG1 4B+2B
310 171201 2 1 5 1 .18 .0524 0, *SG1 PLENUM
311 171301 2 1 4 1 .025 .009 0, *2.5B+2B
312 171401 2 1 4 1 .14 .0517 0, *PR WALL
313 171501 2 1 4 1 .0072 .0023 0, *SG TUBE
314 171601 2 1 4 1 .14 .105 0, *PV INLET NOZZEL
315 171701 2 1 4 1 .0 .006 0, *PR HEATER
316 171801 2 1 4 1 .0106 .0064 0, *1B
317 171901 2 3 6 1 .0 7.0E-3 0, *LEAD CU-BN-INCO
318 171902 0 1 1 1 .7E-3 0,
319 171903 0 3 1 1 1.3E-3 0,
320 ***** THERMAL CONDUCTIVITY DATA CARDS
321 180101 8 100, 18, 200, 16.9 *DO, 15.5 600, 14, 800, 13.3
322 180102 1200, 13, 1800, 12.6 3000, 12.3 *BN
323 180201 3 20, 15, 100, 11.9 2600, 10, *NI
324 180301 5 20, 12.7 204.3 15, 426.8 17, 873, 24.8 1760, 51, *INCO
325 180401 5 20, 11.48 100, 12.39 200, 13.53 300, 14.68 500, 16.96 *SUS
326 180501 5 20, 46.88 93.3 44.65 204, 41.82 315.6 39, 510, 34.1 *SF45
327 180601 4 20, 332, 100, 324, 300, 315, 500, 297, *CU
328 ***** VOLUMETRIC HEAT CAPACITY DATA
329 190101 3 100, 300, 1000, 700, 3000, 1200, *BN
330 190201 3 20, 920, 100, 890, 2600, 920, *NI
331 190301 6 20, 890, 204, 980, 540, 1100, 760, 1200, 870, 1300,
332 190302 1760, 1500, *INCO
333 190401 5 20, 911, 100, 939, 100, 961, 300, 992, 500, 1048, *SUS
334 190501 5 20, 886, 93.3 916, 204, 975, 315.6 1033, 510, 1231, *SF45
335 190601 4 20, 824, 100, 860, 300, 887, 500, 941, *CU
336 ***** LINEAR EXPANSION COEFFICIENT DATA 20XXYY
337 ***** HEAT EXCHANGER DATA
338

```

JAERI-M 7835 の正誤表

ページ	行	誤	正
vii	14		(m^3/S)
1	9	… 配置と …	… 配管と …
1	14	… 計算による …	… 計画による …
2	13	… ⑤ ～ ⑦の …	… ⑤ ～ ⑥の …
3	4	… Fig 3.1 の(7)に …	… Fig 3.1 の(6)に …
5	1	… ④ ～ ⑦の …	… ④ ～ ⑥の …
6	15	… の⑥	… の⑤
7	12	dV_Q によって決まり	dV_F と伝熱による体積変化 dV_Q によって決まり
7	16	$= A_{udt}$	$= A_{adt}$
14	下 9	計算データ …	計測データ …
18	18	上昇流を要素平均流量にとるため	要素平均流量を上昇流にとるため
21	9	④ ～ ⑦	④ ～ ⑥
22	11	二相液は …	二相液位は
22	下10	Fig 4.8	Fig 4.9
23	3	熱 料 棒 …	燃 料 棒
28		⑤ Moody の …	削 除
		⑤ 蒸気域ではMoody からSonic …	削 除
		⑥ 気水分離 …	⑤ 気水分離 …
		⑦ (1)低温水 …	⑥ (1)低温水 …