

JAERI-M  
9413

THYDE-B1コードによるROSA-III  
小破断LOCA 実験RUN 804の解析

1981年3月

村松 健・新谷 文将・小泉 安郎・安濃田良成・  
安部 信明\*・田坂 完二

日本原子力研究所  
Japan Atomic Energy Research Institute

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、お申しこしてください。

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.

THYDE-B1コードによるROSA-Ⅲ  
小破断LOCA実験RUN804の解析

日本原子力研究所東海研究所安全解析部

村松 健・新谷 文将・小泉 安部<sup>+</sup>・安濃田良成<sup>+</sup>  
安部 信明\*・田坂 完二<sup>+</sup>

(1981年2月25日受理)

THYDE-B1はBWRの非常用炉心冷却系(ECCS)の性能評価のために開発されたコードであり、冷却材喪失事故(LOCA)時の原子炉一次系の熱水力学挙動を解析する。その計算モデルは小破断LOCA時における炉内圧力と炉心水位の解析に適した構成を採っている。THYDE-B1の検証のために、同コードを用いて、BWRのLOCAの総合実験装置ROSA-Ⅲによる小口径LOCA実験RUN804の解析を行った。同実験は再循環ポンプ吸込側配管の5%スプリット破断を模擬している。解析においては圧力と水位の計算に影響する数種の入力パラメータおよびモデルに関する感度解析も合わせて行った。

実験では燃料棒表面温度の急激な上昇は燃料棒の蒸気雰囲気中への露出によって開始していたが計算でも同様の結果となった。また炉心の露出時刻の計算値は実験結果とよく一致した。圧力の計算値は満足いく結果であったが実験値とのよりよい一致を得るためには、装置からの熱損失を考慮する必要がある。また自動減圧系(ADS)の流量についても、実験・解析の両面から検討する必要がある。計算による燃料棒温度の上昇時刻とクエンチ時刻は実験値とよく一致したが、スプレイ冷却の熱伝達率については実験値よりも低く計算していることが判った。感度解析からは、本コードの特性や使用上の注意事項に関する多くの知見が得られた。

---

+ ) 安全工学部

\* ) 外来研究員：日本原子力事業

Analysis of ROSA-III Small-Break LOCA Experiment RUN 804  
by THYDE-B1 Computer Code

Ken MURAMATSU, Fumimasa ARAYA, Yasuo KOIZUMI<sup>+</sup>, Yoshinari ANODA<sup>+</sup>  
Nobuaki ABE\* and Kanji TASAKA<sup>+</sup>

Division of Reactor Safety Evaluation, Tokai Research Establishment  
JAERI

(Received February 25, 1981)

THYDE-B1 is a computer code for predicting the thermohydraulic response of the primary system of a BWR during a loss-of-coolant accident(LOCA) aiming at the evaluation of the performance of the emergency core cooling system(ECCS). This code is mainly applied to the analysis of small-break LOCA's with special emphasis on the behavior of the system pressure and the mixture level in the core.

Post-test Analysis of a small-break experiment ROSA-III RUN 804 was done for the assessment of the code. ROSA-III facility is a 1/424 scale model of BWR/6 with electrically heated core. RUN 804 was an integral test which simulated a 5 % split break at the recirculation pump suction line with ECCS actuation. Sensitivity analyses were also made on important input parameters and models of the code.

The temperature rise of fuel rod surface in the experiment was caused by the uncovering of fuel rod to steam from the two-phase mixture. The calculated behavior showed the same trend and the calculated mixture level was in agreement with experimental results. The fuel rod surface temperature after core spray actuation was slightly higher than the experimental results, indicating the need for improvement of heat transfer model.

The calculated history of the system pressure showed similar tendency to the experiment, however further examination of the effect of heat loss from the system and of the accuracy of ADS(automatic depressurization system) flow rate in the analysis and experiment is necessary for better agreement with experimental results.

Keywords : BWR, LOCA, THYDE-B1 Code, ROSA-III Test Facility, ECCS, LWR Safety  
Thermal-Hydraulic Analysis, Computer Program, Small-Break

---

+ Division of Reactor Safety, Tokai Research Establishment, JAERI

\* On leave from Nippon Atomic Industry Group Corporation

## 目 次

1. 序 .....	1
2. THYDE-B1コードの概要 .....	2
2.1 BWR用ECCS評価用コードシステムの構成とTHYDE-B1の役割 .....	2
2.2 解析モデルの概要 .....	2
3. ROSA III実験装置の概要 .....	10
4. RUN804実験の概要 .....	23
4.1 実験条件 .....	23
4.2 実験結果 .....	24
5. 基本ケースの設定とその計算結果 .....	45
5.1 基本ケースの入力データの設定 .....	45
5.2 基本ケースの計算結果 .....	47
6. 感度解析 .....	67
6.1 破断口の放出係数を変えた場合の影響 .....	67
6.2 水位計算モデルの入力パラメータを変えた場合の影響 .....	67
6.3 LPCI注入水と蒸気との混合効率を変えた場合の影響 .....	68
6.4 炉心シュラウド内側ノードの初期ボイド率を変えた場合の影響 .....	69
6.5 炉心スプレイ作動後の熱伝達係数計算モデルを変えた場合の影響 .....	69
6.6 炉心シュラウド壁の漏洩の影響 .....	70
7. 計算結果に関する考察 .....	82
8. 結論および今後の検討課題 .....	85
謝 辞 .....	86
参考文献 .....	87
付録 1 基本ケースの入力カードリスト .....	88

## CONTENTS

1. INTRODUCTION .....	4
2. BRIEF DESCRIPTION OF THYDE-B1 CODE	
2.1 Structure of ECCS Evaluation Code System for BWR's and Purpose of THYDE-B1 Code .....	2
2.2 Brief Description of Analytical Model .....	2
3. BRIEF DESCRIPTION OF ROSA-III TEST FACILITY .....	10
4. BRIEF DESCRIPTION OF EXPERIMENT RUN 804	
4.1 Test Condition .....	23
4.2 Test Results .....	24
5. INPUT DATA AND RESULTS OF BASE CASE CALCULATION	
5.1 Input Data .....	45
5.2 Results of Calculation .....	47
6. SENSITIVITY ANALYSIS	
6.1 Effect of Discharge Coefficient on Calculated Results .....	67
6.2 Effect of Mixture Level Calculation Model on Calculated Results ..	67
6.3 Effect of Vapor Condensation Model for LPCI on Calculated Results .....	68
6.4 Effect of Initial Void Fraction Inside Shroud on Calculated Results .....	69
6.5 Effect of Spray Cooling Heat Transfer Model on Calculated Results .....	69
6.6 Effect of Shroud Wall Leakage on Calculated Results .....	70
7. DISCUSSION ON CALCULATED RESULTS .....	82
8. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS .....	85
ACKNOWLEDGEMENT .....	86
REFERENCES .....	87
APPENDIX	
Appendix 1. Input Data List for Base Case Calculation .....	88

## LIST OF TABLES

Table 3.1	Primary Characteristics of BWR/6 and ROSA-III
(a)	Comparison of Major Design Parameters
(b)	ECCS Conditions
(c)	Volume Distribution and Main Component Dimension
(d)	Thermal Characteristics
Table 3.2	Types and Number of the Instrumentations
Table 4.1	Test Conditions of the ROSA-III RUN804
Table 4.2	Valve Characteristics of Steam Discharge Line
Table 4.3	Sequence of Events in Experiment RUN804
Table 5.1	Description of Nodes
Table 5.2	Description of Junctions
Table 5.3	Description of Heat Slabs
Table 6.1	List of Calculations for Sensitivity Test

## LIST OF FIGURES

Fig. 2.1	Calculation Process of BWR ECCS Evaluation Code System for a Small-Break LOCA
Fig. 2.2	Three-Region Node Model
Fig. 2.3	Typical THYDE-B1 Nodalization
Fig. 2.4	Mixing Conditions for an Injection System
Fig. 3.1	ROSA-III Test Facility Isometric
Fig. 3.2	Internal Structure of Pressure Vessel of ROSA-III
Fig. 3.3	Flow Diagram and Instrumentation Location of ROSA-III Test Facility
Fig. 3.4	Heater Rod Structure
Fig. 3.5	Jet Pump Structure
Fig. 3.6	Instrumentation Location in the Pressure Vessel
Fig. 4.1	Details of the Break Orifice
Fig. 4.2	Transient Power Curve Used in RUN804
Fig. 4.3	Axial Power Distribution of Heater Rod
Fig. 4.4	Peaking Factor among Assemblies
Fig. 4.5	Steam Discharge Line
Fig. 4.6	Measured Flow Rate of Steam Discharge Line
Fig. 4.7	Measured Flow Rate of LPCI and HPCS

- Fig. 4.8 Measured Lower Plenum Pressure
- Fig. 4.9 Measured Differential Pressure inside Shroud
- Fig. 4.10 Measured Differential Pressure outside Shroud
- Fig. 4.11 Liquid Level Signals in the Channel A
- Fig. 4.12 Liquid Level Signals in the Lower Plenum
- Fig. 4.13 Liquid Level Signals in the Downcomer
- Fig. 4.14 Mixture Level in the Core and Downcomer Estimated from  
Liquid Level Signals
- Fig. 4.15 Measured Rod Surface Temperature , A34 Rod
- Fig. 4.16 Measured Rod Surface Temperature , A14 Rod
- Fig. 4.17 Measured Rod Surface Temperature , A11 Rod
- Fig. 4.18 Measured Rod Surface Temperature , D27 Rod
- Fig. 4.19 Measured Density at Pump Side of the Break
- Fig. 4.20 Measured Density at Vessel Side of the Break
- Fig. 4.21 Measured Momentum Flux at Pump Side of the Break
- Fig. 4.22 Measured Momentum Flux at Vessel Side of the Break
- Fig. 4.23 Flow Rate at Pump Side of the Break
- Fig. 4.24 Flow Rate at Vessel Side of the Break
- Fig. 4.25 Flow Rate at the Break
- Fig. 4.26 Differential pressure in the Jet pump and inside the Shroud
- Fig. 5.1 Node and Junction Representation by THYDE-B1
- Fig. 5.2 Measured and Inputted Power Curve
- Fig. 5.3 Inputted Flow Rate for MSL and ADS
- Fig. 5.4 Inputted Flow Rate for FW, HPCS, and LPCI
- Fig. 5.5 Comparison of Calculation and Experiment, Lower plenum  
Pressure
- Fig. 5.6 Calculated Subnode Boundary Elevation above Bottom of  
Lower Plenum
- Fig. 5.7 Comparison of Calculation and Experiment, Mixture Level  
in the Core and in the Downcomer
- Fig. 5.8 Calculated Void Fraction in Mixture Subnodes
- Fig. 5.9 Comparison of Calculation and Experiment, Differential  
Pressure inside Shroud
- Fig. 5.10 Comparison of Calculation and Experiment, Differential  
Pressure outside Shroud



- Fig. 5.11 Comparison of Calculation and Experiment, Flow Rate at Pump Side of the Break
- Fig. 5.12 Comparison of Calculation and Experiment, Flow Rate at Vessel Side of the Break
- Fig. 5.13 Comparison of Calculation and Experiment, Flow Rate at the Break
- Fig. 5.14 Comparison of Calculation and Experiment, Density at Pump Side of the Break
- Fig. 5.15 Comparison of Calculation and Experiment, Density at Vessel Side of the Break
- Fig. 5.16 Comparison of Calculation and Experiment, Rod Surface Temperature
- (a) Calculated Surface Temperature of High Power Rod
  - (b) Measured Surface Temperature of A34 Rod
  - (c) Calculated Surface Temperature of Low Power Rod
  - (d) Measured Surface Temperature of D27 Rod
- Fig. 5.17 Calculated Flow Rate and Pump Head of Intact Loop
- Fig. 5.18 Calculated Jet Pump Flow, Intact Side (Total of Two Jet Pumps)
- Fig. 5.19 Calculated Flow Rate and pump Head of Broken Loop
- Fig. 5.20 Calculated Jet Pump Flow, Break Side (Total of Two Jet Pumps)
- Fig. 5.21 Calculated Flow Rate at Steam Separator
- Fig. 5.22 Calculated Flow Rate at the Leakage in Shroud Wall
- Fig. 6.1 Effect of Discharge Coefficient on Calculated Pressure
- Fig. 6.2 Effect of Discharge Coefficient on Calculated Mixture Level
- Fig. 6.3 Effect of Discharge Coefficient on Calculated PCT
- Fig. 6.4 Effect of Bubble Separation Model on Calculated Pressure
- Fig. 6.5 Effect of Bubble Separation Model on Calculated Mixture Level
- Fig. 6.6 Effect of Bubble Separation Model on Calculated PCT
- Fig. 6.7 Effect of Bubble Separation Model on Calculated Differential Pressure inside Shroud
- Fig. 6.8 Effect of LPCI Mixing Coefficient on Calculated Pressure
- Fig. 6.9 Effect of LPCI Mixing Coefficient on Calculated Mixture Level
- Fig. 6.10 Effect of LPCI Mixing Coefficient on Calculated PCT
- Fig. 6.11 Effect of Initial Void Fraction on Calculated Pressure
- Fig. 6.12 Effect of Initial Void Fraction on Calculated Mixture Level
- Fig. 6.13 Effect of Initial Void Fraction on Calculated PCT
- Fig. 6.14 Effect of Initial Void Fraction on Calculated Differential Pressure Outside Shroud

- Fig. 6.15 Effect of Initial Void Fraction on Calculated Differential Pressure inside Shroud
- Fig. 6.16 Effect of Spray Heat Transfer Model on Calculated Pressure
- Fig. 6.17 Effect of Spray Heat Transfer Model on Calculated Mixture Level
- Fig. 6.18 Effect of Spray Heat Transfer Model on Calculated PCT
- Fig. 6.19 Effect of Shroud Wall Leakage on Calculated Pressure
- Fig. 6.20 Effect of Shroud Wall Leakage on Calculated Mixture Level
- Fig. 6.21 Effect of Shroud Wall Leakage on Calculated Rod Surface Temperature
- Fig. 7.1 Comparison of Computational Results of Case 1, Case 3, and Case 9, Differential pressure outside Shroud
- Fig. 7.2 Comparison of Computational Results of Case 1, Case 3, and Case 9, Differential Pressure inside Shroud

## 1. 序

THYDE-B1コードは、沸騰水型炉(BWR)の非常用炉心冷却系(ECCS)の性能評価のために日本原子力研究所(原研)で開発されたコードシステムの一部を成す計算コードである〔1〕。本コードは冷却材喪失時故(LOCA)時の原子炉一次系の熱水力学の挙動を、種々の破断モードおよびECCSの作動条件を考慮して解析することを目的としており、特に小破断LOCAの解析に適したモデル構成をとっている。小破断LOCAの解析では、燃料棒温度の挙動を予測するために炉心水位の計算が重要であり、ECCS作動時刻を定めるためには系圧力の計算も重要である。また大破断事故に比べて過渡変化は長時間に及ぶので計算時間が短いことも必要である。THYDE-B1はこれらの要請を考慮して、単純でしかも比較的精度よく圧力と水位を計算できるように工夫されたモデルを用いている。

このコードの性能評価のために原研のROSAⅢ装置による小破断LOCA実験RUN804を解析した。ROSAⅢ装置はBWR/LOCAの総合模擬実験装置でありBWR/6の1/424の流体体積を持つ。対象としたRUN804実験は再循環ポンプサクション側配管の5%小破断を模擬したもので、高圧炉心スプレイ系(HPCS)、低圧注水系(LPCI)、自動減圧系(ADS)の3種のECCSが作動し、低圧炉心スプレイ系(LPCS)は不作動とされている。

解析においては、THYDE-B1を使用する時に比較的標準的と考えられるモデルオプションを用いた基本ケースの計算とともに、破断口流量モデル、水位計算モデル、スプレイ熱伝達モデル、LPCI注入水の蒸気凝縮効率モデル等の重要なパラメータに関する感度解析も行っている。この結果、同コードのモデルの特性や、入力データ作成上の注意点等に関する知見が得られた。また今後、改良すべき点も指摘されている。

本解析はTHYDE-B1コードの実験解析への適用の最初の試みであり、今後の同コードの応用及び改良の基礎資料を提供するものである。

本報告書では、まず2,3,4章においてTHYDE-B1コード、ROSAⅢ実験装置、RUN804実験の各々について概要を説明する。次に5章および6章において基本ケースの計算と感度解析のための計算に関してその結果を説明する。そして7章で5章および6章の結果に関して若干の検討を加えている。

なお、結果の検討は、THYDE-B1の計算目的が主として、圧力と水位の挙動の予測にあることから、この2つのパラメータに注目してなされている。また、本解析の目的は同コードの予測性能の評価にあるので、同コードをECCS性能評価に使用する場合の保守性に関する検討は行っていない。

## 2. THYDE-B1コードの概要

### 2.1 BWR用ECCS評価用コードシステムの構成とTHYDE-B1の役割

THYDE-B1は、原研で開発されたBWR用ECCS性能評価用コードシステムの一部をなすものである。このシステム内には他に4種〔1〕のコードが含まれ、これらを組み合わせて使用することにより、各種の破断モード、ECCS作動条件に対する燃料棒温度の応答が計算され、ECCSの性能が評価基準を満足するか否かが調べられる。

図2.1に、このコードシステムでECCS性能の評価計算を行なう場合の手順を示す。これは、小破断LOCAの場合の例である。まずTHYDE-B1コードにより一次冷却系全体の熱水力学的応答が解析される。ただし、本コードは比較的単純な二相流モデルを用いているため、気液対向流条件下でスプレー水の炉心への落下が抑制される現象、いわゆるCCFL(Counter Current Flow Limiting)が解析できない。この点を補なうため別にTHYDE-B-REFLOODコードが開発されており〔1〕、このコードにより、再浸水・再冠水過程における炉心シュラウド内側の冷却材流動が、より詳細に再計算される。そして、後者により計算された炉心内の各位置の点の露出時刻、再冠水時刻を用いてSCORCH-B2〔2〕により炉心のヒートアップが解析され、最高被覆管温度(PCT)、被覆管酸化層厚さ(COT)が計算される。この計算過程では燃料棒表面の熱伝達係数は入力で与えられる。小破断の場合には、炉心が蒸気中に露出するまで良好な冷却状態が保たれるとされているので、露出時刻までは核沸騰を仮定して大きな熱伝達係数を与え、それ以後は断熱とする。また炉心スプレー開始後および再冠水後の期間に対しては実験データから安全側に定めた熱伝達係数が入力される。

THYDE-B-REFLOODコードのモデルはTHYDE-B1よりも詳細ではあるが、このコードの計算対象は炉心シュラウドの内側の流体挙動であり計算の初期条件・圧力の推移、ECCS流量の推移等にはTHYDE-B1の計算結果が用いられる。従ってTHYDE-B-REFLOODの計算をより正しく行なうには、THYDE-B-REFLOODを用いての計算が開始される時点(通常は炉心上端露出時)における炉心シュラウド内の冷却水インベントリと、全期間を通おしての圧力変化がTHYDE-B1により正しく計算されていることが必要である。

### 2.2 解析モデルの概要

THYDE-B1コードは、流体の保存式を積分型で解く、いわゆるノード・ジャンクション型モデルにより流体挙動を表現する。

THYDE-B1の流体モデルの特徴は、1個のコントロールボリュームの中では均質混合完全熱平衡を仮定する通常の均質ノードモデルの他に、1ノード内をさらに、流体の熱的状态に応じて3個のサブノートに区分する三領域ノードモデルを導入している点である。この三領

域ノードモデルでは図 2.2 に示すように一つのコントロールボリュームを蒸気相、混合相、未飽和相の 3 相のサブノードを以て分割する。各サブノードの熱力学的圧力は共通とするが、質量と熱の保存は各サブノードで個別に計算される。サブノードの境界は移動可能であって、各時刻におけるサブノード境界の位置は、質量と熱の保存則から求めた流体体積と（流体体積）対（ノード底面からの高さ）の対応表によって計算される。未飽和相領域が飽和状態に達した時は飽和混合相領域に合併される。

水位の計算で重要となる二相混合領域から蒸気領域への気泡離脱量は、集中定数型モデルで計算される。

図 2.3 は通常 THYDE-B を用いて BWR の解析を行なう場合に用いられる代表的なノード区分例を示している。圧力容器内は炉心シュラウドの内側と外側の 2 コントロールボリュームに分けて 2 個の 3 領域ノードとする。再循環系配管は均質ノードで表現する。

ノード間の流れおよび各種の注水系、破断口を通る流れは以下の 6 種のジャンクション・モデルにより計算される。

(i) 均質流ジャンクション：2 個のノードの間の流れは、次式

$$\left(\frac{L}{A}\right)_{\text{eff}} \frac{dw}{dt} = P_{\text{in}} - P_{\text{out}} - R \phi^2 \frac{W|W|}{\rho} - \Delta P_g + \Delta P_p \quad (2.1)$$

で計算される。

ただし、 $W$  = 流量、 $\frac{L}{A}_{\text{eff}}$  = 等価的慣性、 $P_{\text{in}}$  = 上流側ノード圧力、 $P_{\text{out}}$  = 下流側ノード圧力、 $R$  = 損失係数、 $\phi$  = 二相流乗数、 $\rho$  = 液相密度、 $\Delta P_g$  = 重力による差圧、 $\Delta P_p$  = ポンプ駆動圧である。流れのクオリティーは均質流として定める。

(ii) スリップジャンクション：質量流量を(i)同様式(2.1)で定めるが、流れのクオリティーは気液相対速度を考慮して決める。ただし、気水分離器部分にのみ適用可能である。

(iii) ジェットポンプ・ジャンクション：式(2.1)に運動量束の項を加えたモデルである。

(iv) リーク・ジャンクション：破断口、逃がし弁等からの系外への流出流量を臨界流モデルにより計算する。流量を時間または圧力の関数として入力を与えることも可能である。

(v) 注入系ジャンクション：流量および比エンタルピーを時間または、ノード圧力の関数として与える。ECCS 水は未飽和度が高いため系内の蒸気との混合効率は系圧力の計算結果に大きく影響する。そのため 3 領域ノードへの注入系ジャンクションでは混合効率を特別に入力で与えることができる。

(vi) 主蒸気管ジャンクション：流量制御系の機能、隔離弁の機能等を、SAFE [3] コードと同等のモデルで表現している。

燃料および構造材のヒートスラブには RELAP 4 [4] コードと同様な一次元熱伝導体モデルが適用される。ヒートスラブ-流体間の熱伝達係数相関式は同コードと同一のものである。

以上に述べたモデルのうち、破断口流量計算モデル、水面での気泡離脱量計算モデル、および未飽和注入水の蒸気凝縮モデルは圧力と水位の計算において重要であると考えられるので、少し詳しく説明する。6 章ではこれらのモデルに関する感度解析の結果を示している。

## (1) 破断口流量計算モデル

破断口の流量は、上流側ノードの圧力  $P_n$  と比エンタルピ  $h_n$  の関数として次の方法で計算する。

流体が未飽和のときは、非圧縮性液相单相流の式による。すなわち、 $P_n$ 、 $h_n$  に対応するクオリティ  $x$  が

$x \leq 0$  のときは

$$W = A C_1 \sqrt{2 \rho (P_n - P_{\text{sink}})} \quad (2.2)$$

ただし、 $W$  = 破断口流量

$A$  = 流路断面積

$C_1$  = 流量係数

$\rho$  =  $P_n$ 、 $h_n$  に対応する流体密度

$P_{\text{sink}}$  = 外部圧力

である。 $C_1$  と  $P_{\text{sink}}$  は入力で与える定数である。

流体が飽和であり、そのクオリティが、ユーザーの指定する値  $x_{\text{tran}}$  より大きい時は、Moody〔5〕の式を用いて計算する。すなわち

$x \geq x_{\text{tran}}$  では

$$W = A C_0 G_M (P_n, h_n) \quad (2.3)$$

ただし、 $G_M = P_n$ 、 $h_n$  に対応する Moody の式による臨界質量流束

$C_0$  = 放出係数

である。

そして、 $0 < x < x_{\text{tran}}$  の範囲では、未飽和領域と飽和領域間の遷移を平滑化するために、式(2.2)、(2.3)の重み付平均を用いる。

なお、このモデルは文献〔1〕に述べられているモデルと正確に同じではない。文献〔1〕では、クオリティ変化に対する平滑化は行っておらず、また  $C_0$ 、 $C_1$  の区別も入っていない。その後、拡張されたものである。

## (2) 気泡離脱量計算モデル

二相混合体水面からの気泡離脱量の計算モデルには次の2つのオプションがある。

## (i) 水位面でのボイド率と平均ボイド率の比を入力で与える方法

この方法では離脱量は次の式で計算される。

$$\alpha_{\text{top}} = \begin{cases} C_\alpha \cdot \bar{\alpha} & (C_\alpha \bar{\alpha} < 1) \\ 1 & (C_\alpha \bar{\alpha} \geq 1) \end{cases} \quad (2.4)$$

$$W_{\text{sep}} = A \rho_g \alpha_{\text{top}} U_b (\alpha_{\text{top}}) \quad (2.5)$$

ただし、 $\bar{\alpha}$  = 飽和混合相領域の平均ボイド率

- $\alpha_{top}$  = 水面でのボイド率,  
 $W_{sep}$  = 気泡離脱量,  
 $A$  = 水位面高さまでの流路断面積,  
 $\rho_g$  = 蒸気密度,  
 $U_b(\alpha_{top})$  =  $\alpha_{top}$  に対応する気液相対速度  
 $C\alpha$  = ユーザーが与える係数

気液相対速度はWilsonの相関式〔6〕を用いて圧力およびボイド率の関数として計算される。

(ii) 気泡の発生点から水面までの等価的走行距離を用いる方法

この方法では離脱量は次の式で計算される。

$$W_{sep} = \frac{M_b U_b(\bar{\alpha})}{X_L} \quad (2.6)$$

ただし、 $M_b$  = 飽和混合相領域の気泡の全質量

$U_b(\bar{\alpha})$  =  $\bar{\alpha}$  に対応する気液相対速度

$X_L$  = 等価的走行距離

$X_L$  はユーザーが与える定数であるが、水位が低下して二相領域の高さの1/2が最初に与えた値より小さくなった場合は $X_L$  は二相領域高さの1/2で置きかえられる。

なお、気水分離器に対応するジャンクションでは、炉心シュラウド内側ノードの水位が十分高く、ここを気液二相流が通過している時には式(2.5)または(2.6)式で定まる相対流量を用いて、二相のスリップを計算する。従って炉心シュラウド内側のノードでは初期定常状態における熱バランスから気水分離器部分でのクオリティが算出できるので、この値から逆算して、 $X_L$  または  $C\alpha$  の値を計算できる。ただし、現在は(ii)の方法を指定した時のみこの自動計算の機能を利用できる。

なお、プログラミング上は、 $C\alpha$  を正の数で与えると(i)のオプションが採られ負とすると $X_L = -C\alpha$  とおいて(ii)のオプションが採られる。また $C\alpha = 0$  とすると定常状態の値から計算した $X_L$  が用いられる。

(3) 未飽和注入水の蒸気凝縮効率モデル

THYDE-B1では注水系によって未飽和水が注入される時に系内の蒸気を凝縮する効率を指定することができる。このモデルは均質ノードに対しては適用できず、注入系が3領域ノードに接続している時のみ適用できる。

このモデルでは図2.4に示すように3つの領域と注入口の位置関係に応じて、3とおりの場合を考える。

(i) 未飽和領域に注入する場合

この場合には、未飽和領域内で完全混合とする。

(ii) 飽和混合相領域に流入する場合

この場合には、飽和二相領域のうち一部は注入水と完全に混合され、他の部分は、まったく混合されないと考える。この混合される飽和水の量を $W_m$  とし、それを2個のパラメータを含む次式で表わせると仮定する。

$$W_m = F_m \cdot \frac{Z_{fill} - Z_{1m}}{L_m} \cdot W_{fill} \quad (2.7)$$

ここで、 $W_m$  = 注入水と混合する飽和混合相の量の単位時間あたりの値

$W_{fill}$  = 注入水の量

$Z_{1m}$  = 飽和領域の下端の高さ

$L_m$  = 注入口以下、飽和領域の底までの幅の効果を表わすパラメータ

$F_m$  = 混合の総合的効率を表わすパラメータ

$W_m$  と  $W_{fill}$  が混合することにより形成される流体の量 ( $W_{mix}$ ) および平均エンタルピ ( $h_{mix}$ ) は、次式で与えられる。

$$W_{mix} = W_m + W_{fill} \quad (2.8)$$

$$h_{mix} = \frac{W_m h_m + W_{fill} h_{fill}}{W_m + W_{fill}} \quad (2.9)$$

ここで、 $h_m$  = 飽和二相領域の平均エンタルピ

$h_{fill}$  = 注入水の平均エンタルピ

この混合によって生じた液体は、平均エンタルピが飽和点以上である場合は飽和二相領域にそのまま残るとされ、飽和点以下であれば未飽和領域に加えられる。

式(2.7)の係数で実際に意味があるのは ( $F_m / L_m$ ) であるが、現在は2個の係数を入力する必要がある。

### (iii) 蒸気相領域に注入される場合

この場合には、蒸気相の一部は凝縮し、注入水はその凝縮蒸気のみだけ流量と比エンタルピを増加して飽和混合領域に流入する。

このモデルでは蒸気と注入水間の伝熱量  $Q_g$  とそれによる凝縮量  $W_{cond}$  を次式で定める。

$$Q_g = F_g \cdot \text{MIN} \left\{ 1, \frac{Z_{fill} - Z_{mg}}{L_g} \right\} \cdot (h_f - h_{fill}) \cdot W_{fill} \quad (2.10)$$

$$W_{cond} = \frac{Q_g}{h_{gf}} \quad (2.11)$$

従って蒸気相サブノードから  $W_{cond}$  の質量と  $W_{cond} \cdot h_g$  の熱エネルギーが差引かれて、飽和混合相サブノードに加えられることになる。

ここで、 $F_g$  = 熱交換の総合的効率

$L_g$  = 熱交換に必要な距離を表わすパラメータ

$h_{gf}$  = 蒸発の潜熱

飽和相に流入する流体 ( $W_{fill} + W_{cond}$ ) が未飽和であれば、さらに(ii)の方法で、混合相内での蒸気凝縮が考慮される。



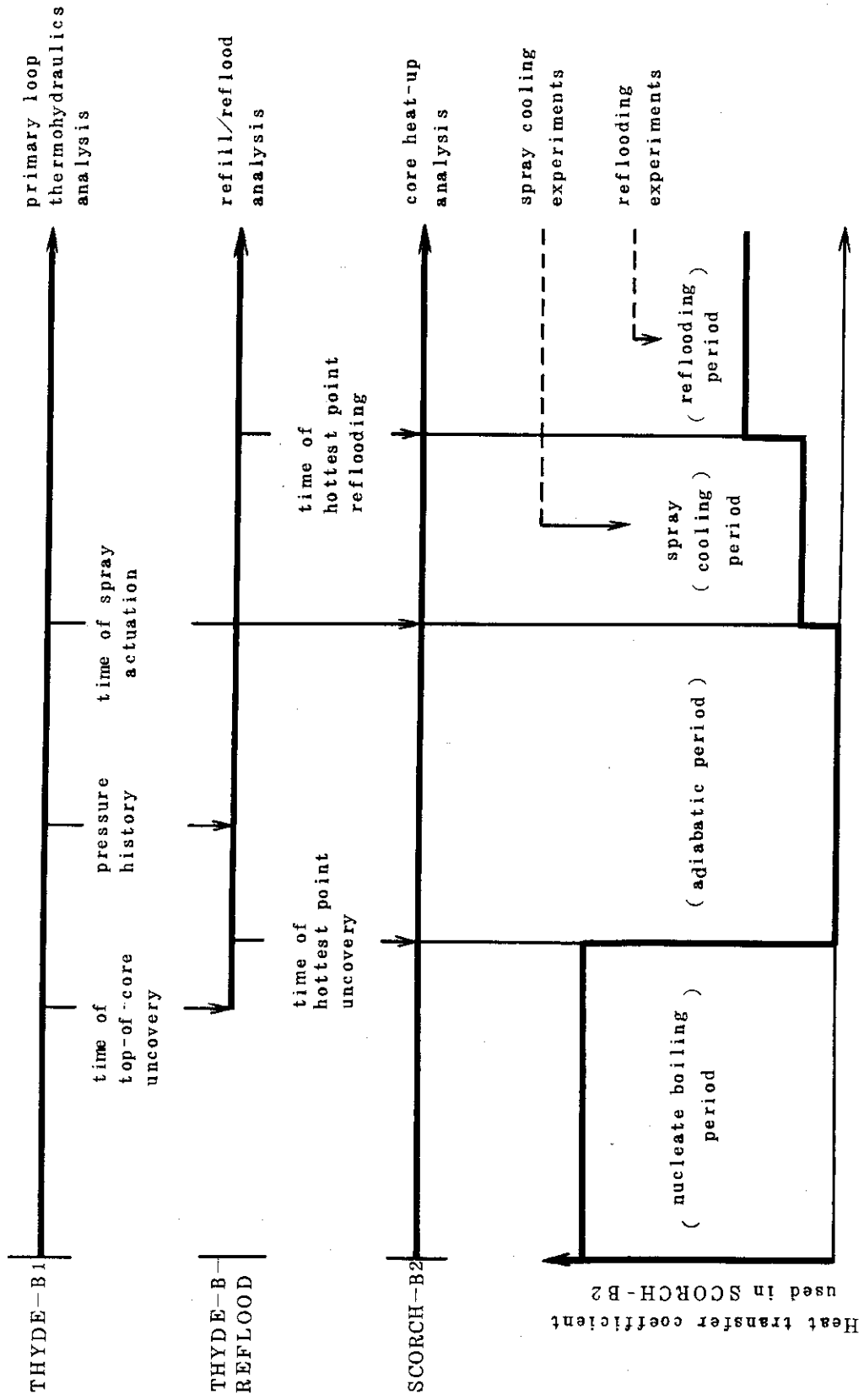


Fig. 2.1 Calculation Process of BWR ECCS Evaluation Code System for a Small-Break LOCA

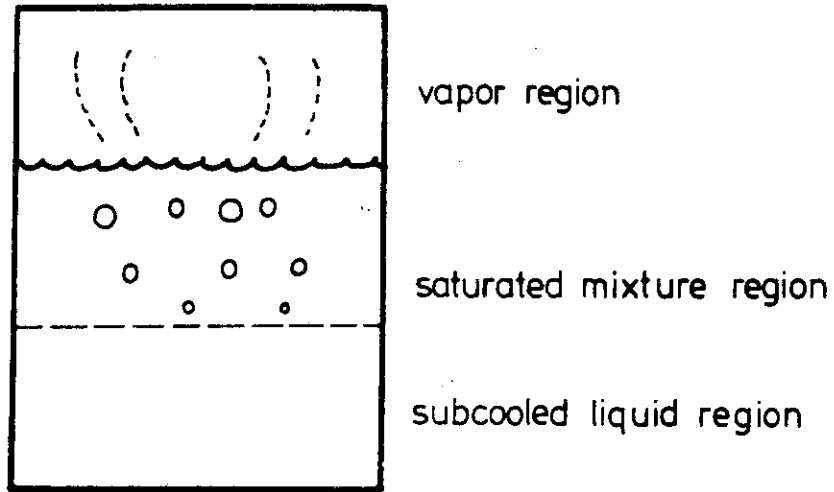
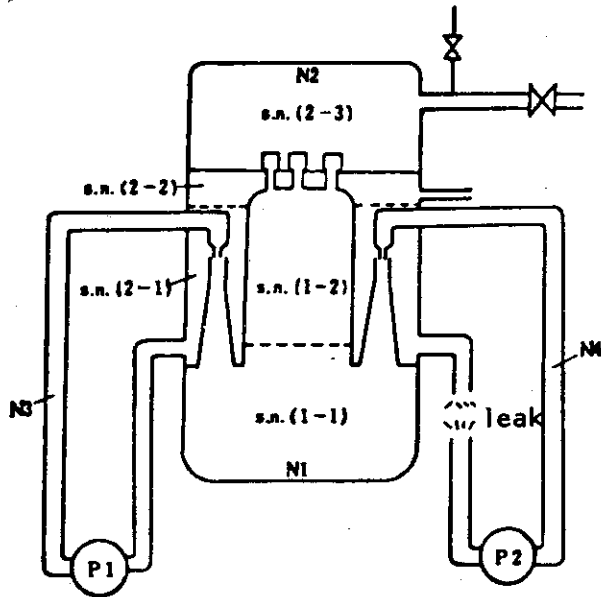


Fig. 2.2 Three-Region Node Model



- $N_1, N_2$  : three-region nodes
- s.n. : subnodes
  - (1-1) subcooled liquid region inside shroud
  - (1-2) mixture region inside shroud
  - (2-1) subcooled liquid region outside shroud
  - (2-2) mixture region outside shroud
  - (2-3) vapor region outside shroud
- $N_3, N_4$  : homogeneous nodes
- $P_1, P_2$  : pump

Fig. 2.3 Typical THYDE-B1 Nodalization

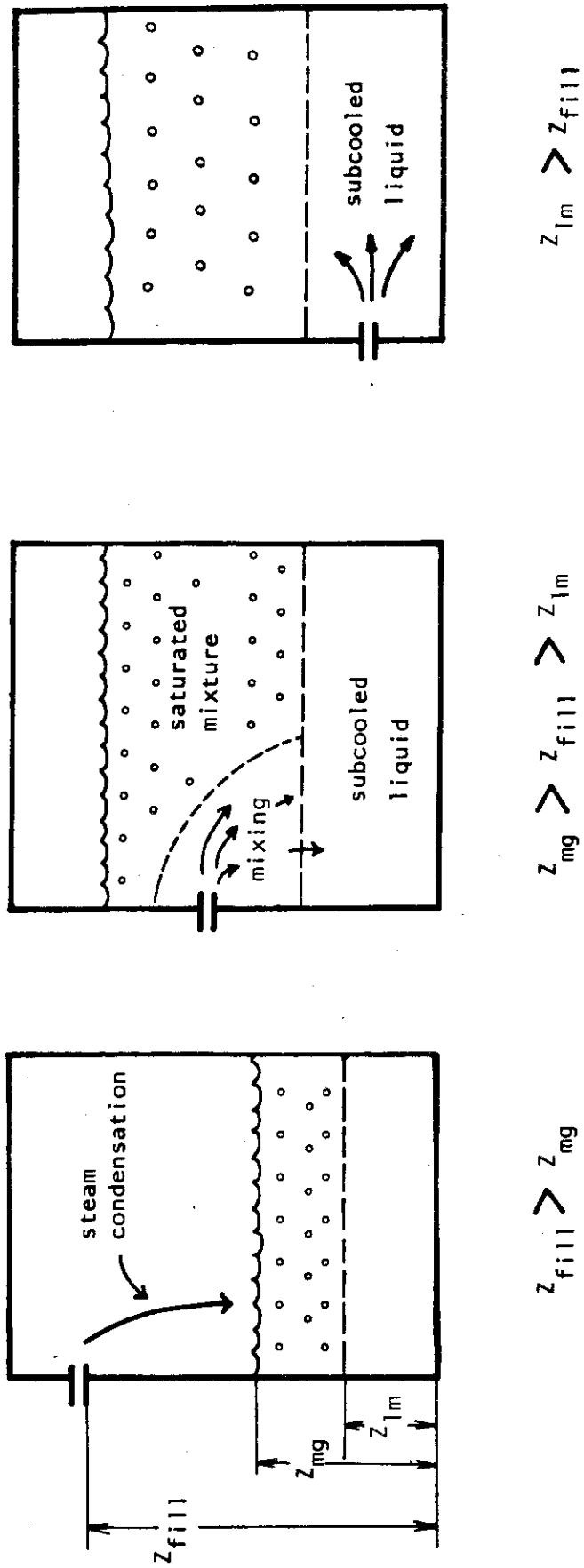


Fig. 2.4 Mixing Conditions for an Injection System

### 3. ROSA III 実験装置の概要

本研究で解析の対象とした実験データは、ROSA III計画の一環として実施された実験RUN 804において得られたものである。

ROSA III計画はLOCA時の原子炉冷却系の熱水力学的挙動を総合的に調べるとともに、事故時の挙動を予測する計算コードの評価と改良のための基礎データを提供するために原研で進められているROSA (Rig of Safety Assessment) 計画の第三段階にあたるもので、BWRのLOCA時の流出開始からECCS作動後までの一連の熱水力学的挙動の解明を目的としている。

#### 3.1 実験装置

ROSA III実験装置〔8〕〔9〕はBWRのLOCAの総合実験装置であり、実炉（GE社のBWR/6〔7〕、熱出力 $3.8 \times 10^3$  MW）を体積比にして1/424に縮尺した規模である〔10〕。BWR/6とROSA III実験装置との主要諸元の比較を表3.1に示す。なお縮尺比からROSA III実験装置では炉心出力は9.2 MW必要であるが電源装置の制約から最大で4.45 MWに押えられている。

ROSA III実験装置主要部の鳥瞰図を図3.1に、圧力容器の内部構造を図3.2に示す。図3.3は系全体の系統図であり、計測系統も同時に示されている。

実験装置は、模擬炉心の納められている圧力容器、再循環系、給水系、蒸気放出系、炉心用電源装置、計測および装置の運転制御系から成り立っている。

炉心は $8 \times 8$ 配列の模擬燃料集合体4体で形成されている。各集合体は62本の模擬燃料棒と模擬ウォータロッド2本とから成り立っており、チャンネルボックスに納められている。模擬燃料棒は上下タイプレートと4つのスペーサによって支持されている。図3.4は模擬燃料棒の概略を示したものである。模擬燃料棒は電気間接加熱型で、外径12.52 mm、発熱部長さは1880 mmで、実炉燃料棒の1/2の長さである。軸方向発熱分布は階段状チョップトコサイン分布である。被覆管材質はインコネル600であり、被覆管厚さは1.3 mmである。

圧力容器内は、炉心のほか実炉の場合と同様に、下部プレナム、ガイドチューブ、炉心バイパス、上部プレナム、気水分離器、ダウンカムなどに区分されている。ただし、ジェットポンプは炉心との相対位置や性能を正しく模擬するため、圧力容器の外に置かれている。気水分離器は性能を模擬した構造となっているが、蒸気乾燥器には抵抗のみを模擬した多孔板オリフィスが用いられている。

再循環ループは2つあり、1つは破断ループであり、1つは健全ループで、それぞれに再循環ポンプ（Main Recirculation Pump：MRP）1台がついている。破断ループ内にある破断装置は2つの急速開放弁と再循環路急速遮断弁とから成り立っており、これらの弁の開閉の選択と破断口を模擬するオリフィスの口径とにより両端破断、スプリット破断、大口徑破

断から小口径破断まで模擬できる構造となっている。

図 3.5 はジェットポンプの構造図である。ジェットポンプは健全ループに 2 台、破断ループに 2 台置かれている。ジェットポンプの駆動流ノルズの流路断面積とスロート部の流路断面積は実炉と ROSA III との縮尺比より決められており、更に、定常時における性能も実炉のジェットポンプの性能を模擬できるように設計に配慮がなされている。

給水 (Feed Water) には、所定の温度に昇温された純水が 2 台の HPWP (High Pressure Water Pump : 高圧給水ポンプ) によって供給される。給水時間・給水流量、給水温度は各実験ごとに可変である。

ECCS (Emergency Core Cooling System : 緊急炉心冷却装置) は実炉を模擬し、HPCS (High Pressure Core Spray : 高圧炉心スプレイ)、LPCS (Low Pressure Core Spray : 低圧炉心スプレイ)、LPCI (Low Pressure Coolant Injection : 低圧炉心注水) と ADS (Automatic Depressurization System : 自動減圧装置) の 4 系統が具備されている。HPCS、LPCS、LPCI の各注入位置は上部プレナムであり、それぞれ HPCSP (High Pressure Core Spray Pump : 高圧炉心スプレイポンプ)、LPCSP (Low Pressure Core Spray Pump)、LPCIP (Low Pressure Coolant Injection Pump : 低圧炉心注入ポンプ) によって注入される。各流量は各実験ごとに可変である。

ROSA III の計測項目は約 550 点あり、その概要は表 3.2 および図 3.3 に示されている。図 3.6 は圧力容器内における計測点の位置を示している。計測系の詳細については参考文献 [8]、[9] を参照されたい。

Table 3.1 Primary Characteristics of BWR/6 and ROSA-III

## (a) Comparison of Major Design Parameters

	BWR/6(251/848)	ROSA-III	Ratio( $\frac{\text{BWR/6}}{\text{ROSA-III}}$ )
Reactor Type	BWR	Simulated BWR	
Number of			
Recirc. Loops	2	2	1
Steam Lines	4	1	4
Jet Pumps	24	4	6
Separators	251	1	251
Core Heat Up	Nuclear Fission	Electric Heater	
Total Power (kW)	$3800 \times 10^3$	<4450	>854
Active Fuel Length (m)	3.759	1.880	2
Number of fuel Assemblies	848	4	212
Total Volume (m <sup>3</sup> )	621.4	1.421	437
Operating Conditions			
Pressure (MPa)	7.43	up to 9.29	
Core Flow (kg/sec)	15430.0	36.4	424
Steam Flow(kg/sec)	2060.0	<4.86	>424
Recirc. Pump Flow Rate per 1 Pump (m <sup>3</sup> /sec)	2.97	$7.01 \times 10^{-3}$	424
Feed Water Temp (K)	488.8	488.8*	1
		* Transient	

Table 3.1 (continued)

## (b) ECCS Conditions

	BWR/6 (251/848)	ROSA-III	Ratio( $\frac{\text{BWR/6}}{\text{ROSA-III}}$ )
<b>HPCS</b>			
Number of Lines	1	1	
Injection Flow Rate (m <sup>3</sup> /sec)			
at 7.9 MPa	0.104	$0.228 \times 10^{-3}$	456
at 0.84 MPa	0.442	$0.967 \times 10^{-3}$	457
Water Temp. (K)	333	up to 393	
Injection Location	upper plenum	upper plenum	
<b>LPCS</b>			
Number of Lines	1	1	
Injection Flow Rate (m <sup>3</sup> /sec)			
at 0.84 MPa	0.442	$0.967 \times 10^{-3}$	457
Water Temp. (K)	333	up to 393	
Injection Location	upper plenum	upper plenum	
<b>LPCI(RHR)</b>			
Number of Lines	3	1	
Injection Flow Rate (m <sup>3</sup> /sec)			
at 0.14 MPa	0.47	$1.033 \times 10^{-3}$	457
Water Temp. (K)	333	up to 393	
Injection Location	in-shroud	in-shroud	

Table 3.1 (continued)  
 (c) Volume Distribution and Main Component Dimension

Items	BWR/6 (251/848)	ROSA III	Ratio (BWR6/ROSA III)	Comment
Lower Plenum & Guide Tubes	123	0.259	473	
Lower Plenum	79.0	0.188	420	
Guide Tubes	43.8	0.0714	614	
Core	59.8	0.134	446	
Core in Channels	35.4	0.0184	435	
Core Bypass	24.4	0.0524	465	
Upper Plenum & Steam Separators	80.5	0.185	435	
Upper Plenum	52.5	0.124	423	
Steam Separators	28.0	0.0610	459	
Steam Dome	206	0.439	468	above normal water level
Downcomer	123	0.233**	529	below normal water level
Above Jet Pump Suction	74.2*	0.164***	452	*BWR5
Between Jet Pump Suction and Recirculation Outlet	36.8*	0.0600**	613	** include jet pump suction lines
Below Recirculation Outlet	12.2	0.00900	1360	*** not include jet pump suction lines
Recirculation Loops & Jet Pumps	29.6	0.171***	174	
Total Volume	621	1.421	437	



Table 3.1 (continued)

(c) continued

Item	BWR6 (251/848)	ROSA III	Ratio (BWR6/ROSA III)	Comment
Pressure Vessel Dimension				
Inner Height	22.3*	6.01	3.71	* BWR5
Inner Diameter	6.38*	0.492**	13.0	** out diameter of lower downcomer
Water Level	14.1*	4.62	3.04	*** bottom of active fuel
Jet Pump Suction Level	8.28*	2.82	2.93	
Lower Core End Level	5.49*	1.60***	3.43	
Recirculation Line Level	3.88*	0.938	4.13	
Recirculation Loop Pipe Inner Diameter	0.56	≤0.0495		

Table 3.1 (continued)

## (d) Thermal Characteristics

	BWR/6 (251/848)	ROSA-III	Ratio ( $\frac{\text{BWR/6}}{\text{ROSA-III}}$ )
Active Length (m)	3.759	1.880	2
Number of fuel rods	53424	254	210
Number of water rods	848	4	212
Rods Array	8×8 square	8×8 square	
Fuel Rod O.D. (mm)	12.52	12.52	1
Cladding Thickness (mm)	0.864	1.3	0.665
Fuel Rod Pitch (mm)	16.26	16.26	1
Total Fuel Heat Transfer Area (m <sup>2</sup> )	7900	18.8	421
Clad Material	Zirconium	Inconel 600	
Average Linear Rod Power (kW/m)	18.9	9.32	≥2.03
Core Average Heat Flux (kW/m <sup>2</sup> )	481	237	≥2.03
Core Coolant Flow Rate * (kg/sec)	15430	36.4	424
Core Inlet Flow Speed** (m/sec)	2.16	1.09	
Total Core Flow Area (m <sup>2</sup> )	8.56	0.0402	213
Peaking Factor			
Local F.P.	1.13	3.65	3.23
Axial P.F.	1.40	1.41	1
Radial P.F.	1.40	-	
Gross P.F.	1.96	-	
Total P.F.	2.22	-	

\* Include core bypass

\*\* Exclude core bypass flow rate, as 10% of core coolant flow rate

Table 3.2 Types and Number of the Instrumentations

Type	Sensor	DATA C	Casset	Total	Note
Pressure	Pressure Transducer	20	10	30	
Differential Pressure	DP Cell	44	0	44	
Fluid Temperature	CA Thermocouple	86	11	97	Primary loop 23 DTT 4 Flow nozzle 10 Tie rod 36 Lower plenum 4 Tie plate 20
Fuel Temperature	CA Thermocouple	179	0	179	
Slab Surface Temperature	CA Thermocouple	41	27	68	Core barrel 24 Pressure vessel 3 Channel box 35 Shroud support 6
Slab Inner Temperature	CA Thermocouple	0	9	9	Jet pump diffuser 4 Pressure vessel wall 5
Volumetric Flow Rate	Turbine Meter	8	0	8	ECCS loop 14
	Venturi Meter	2	0	2	
	Orifice Meter	4	0	4	
Mass Flow Rate	Orifice Meter	2	0	2	Steam line 2
	Electromagnetic Flow Meter	4	0	4	Rapid condensor 4 Turbine meter 4
Liquid Level	Conductivity Probe	52	1	53	
		29	14	43	
	Capacitance Probe	4	0	4	
Density	Gammadensitometer	10*	0	4	3 Beam GD 2 2 Beam GD 2
Momentum Flux	Drag Disk	4	0	4	
Signal	On/Off Switch	6**	10	16	
Pump Speed	Revolution Counter	2	0	2	
Electric Power	VA Meter	3***	0	3	
Total		500	82	582	

Notes: \* Each beam is separately recorded by DATA C.

\*\* Direction of pump revolution is included.

\*\*\* Each power level of the three power supply systems is recorded.

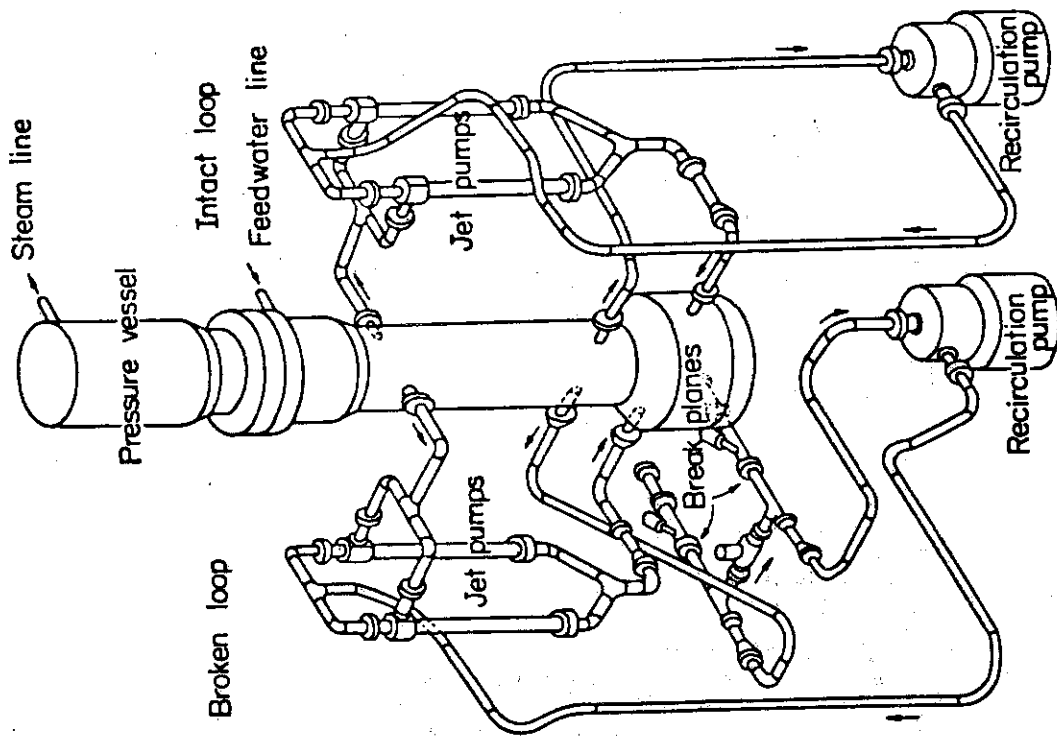
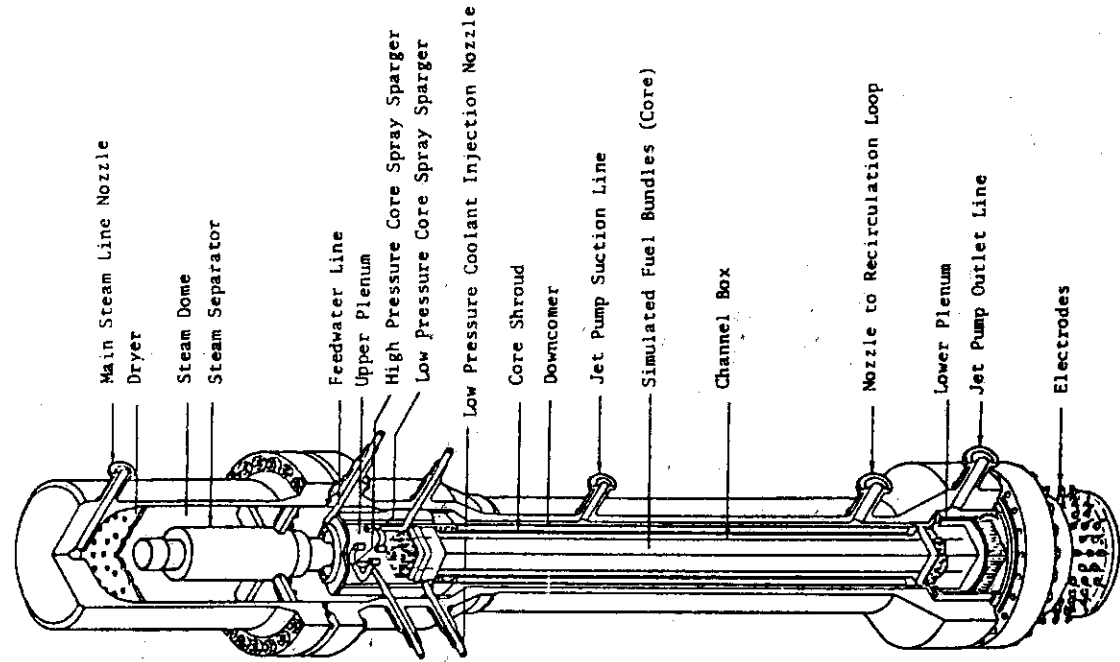


Fig. 3.2 Internal Structure of Pressure Vessel of ROSA-III

Fig. 3.1 ROSA-III Test Facility Isometric

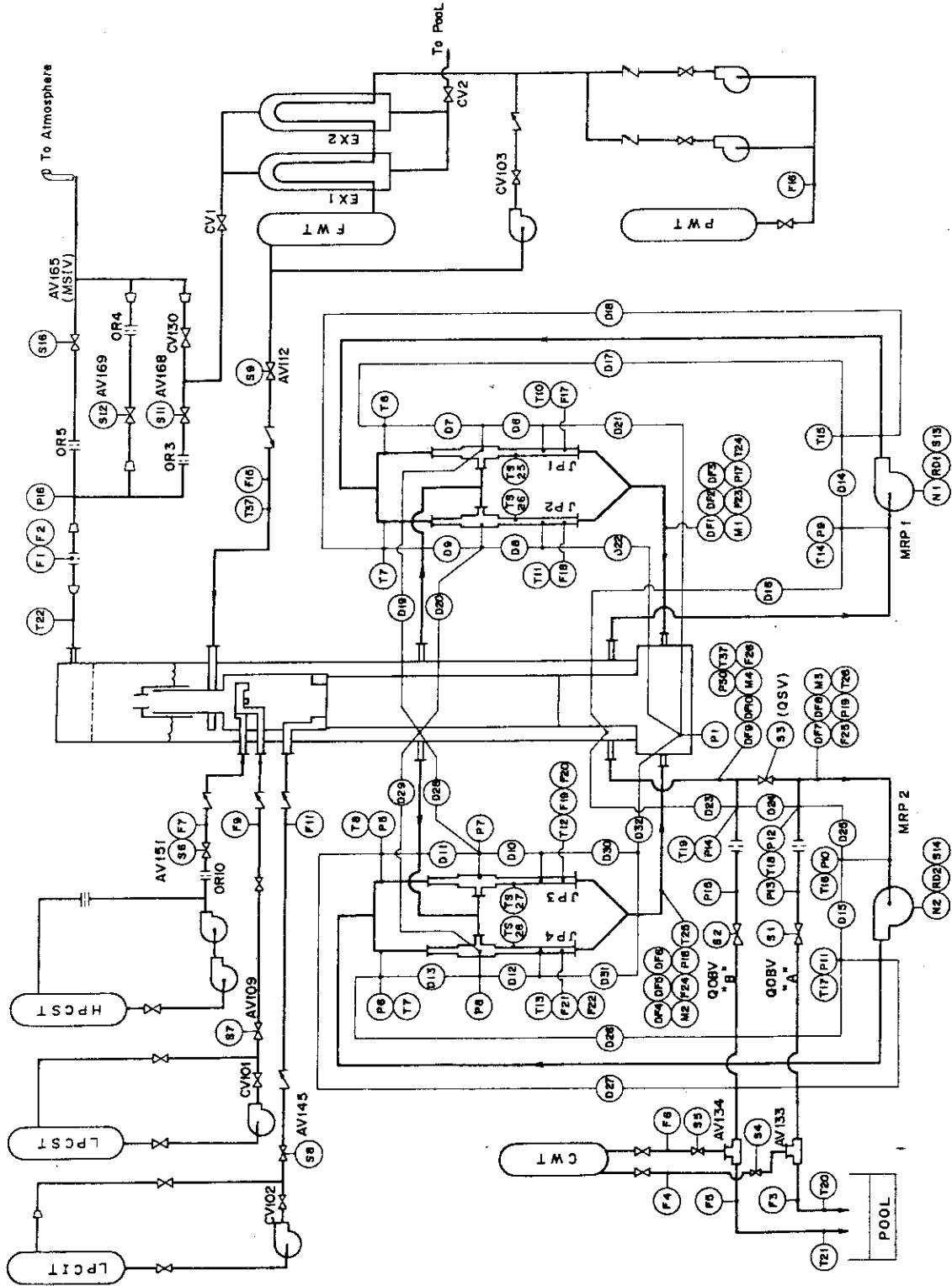
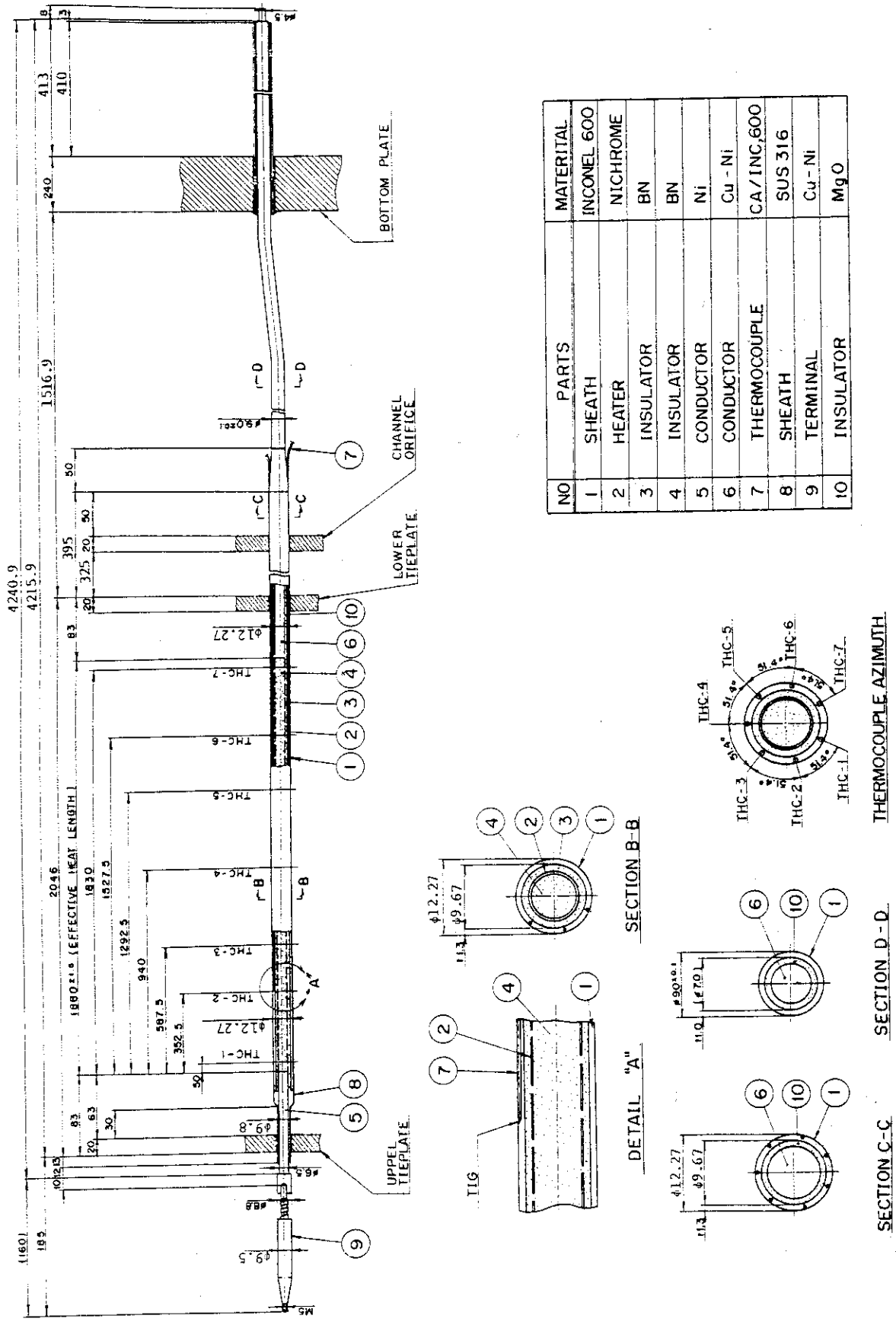


Fig. 3.3 Flow Diagram and Instrumentation Location of ROSA-III Test Facility



NO	PARTS	MATERIAL
1	SHEATH	INCONEL 600
2	HEATER	NICHROME
3	INSULATOR	BN
4	INSULATOR	BN
5	CONDUCTOR	Ni
6	CONDUCTOR	Cu - Ni
7	THERMOCOUPLE	CA/INC,600
8	SHEATH	SUS 316
9	TERMINAL	Cu - Ni
10	INSULATOR	MgO

Fig. 3.4 Heater Rod Structure

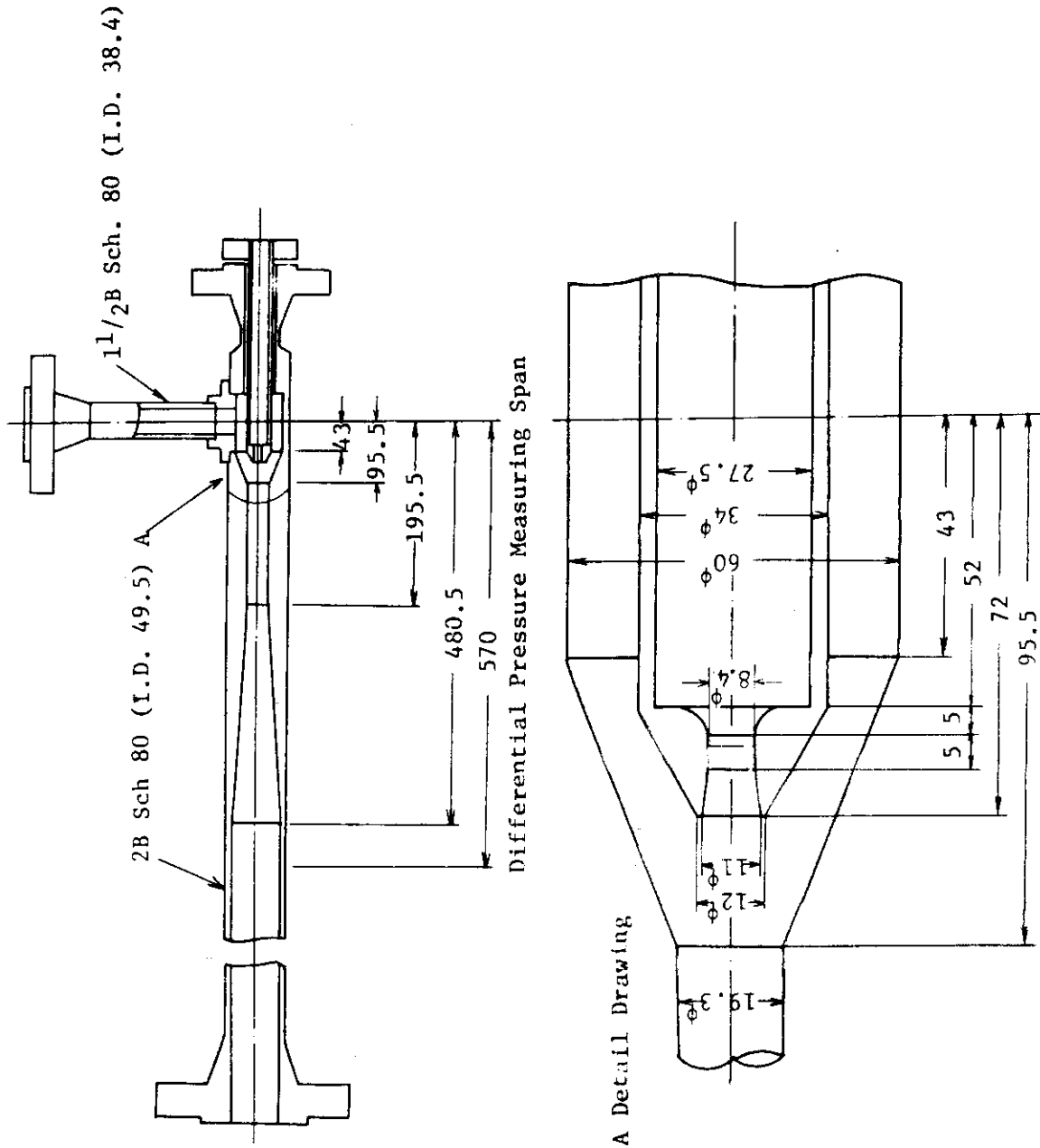


Fig. 3.5 Jet Pump Structure

DL 5510

DL : elevation above bottom  
of lower plenum  
P : pressure  
D : differential pressure  
T : fluid temperature  
TS : wall surface temperature  
L : liquid level

DL 4220

DL 3750

DL 3660

DL 3325

DL 3165

DL 2625

DL 2614

DL 1925

DL 1851

DL 1225

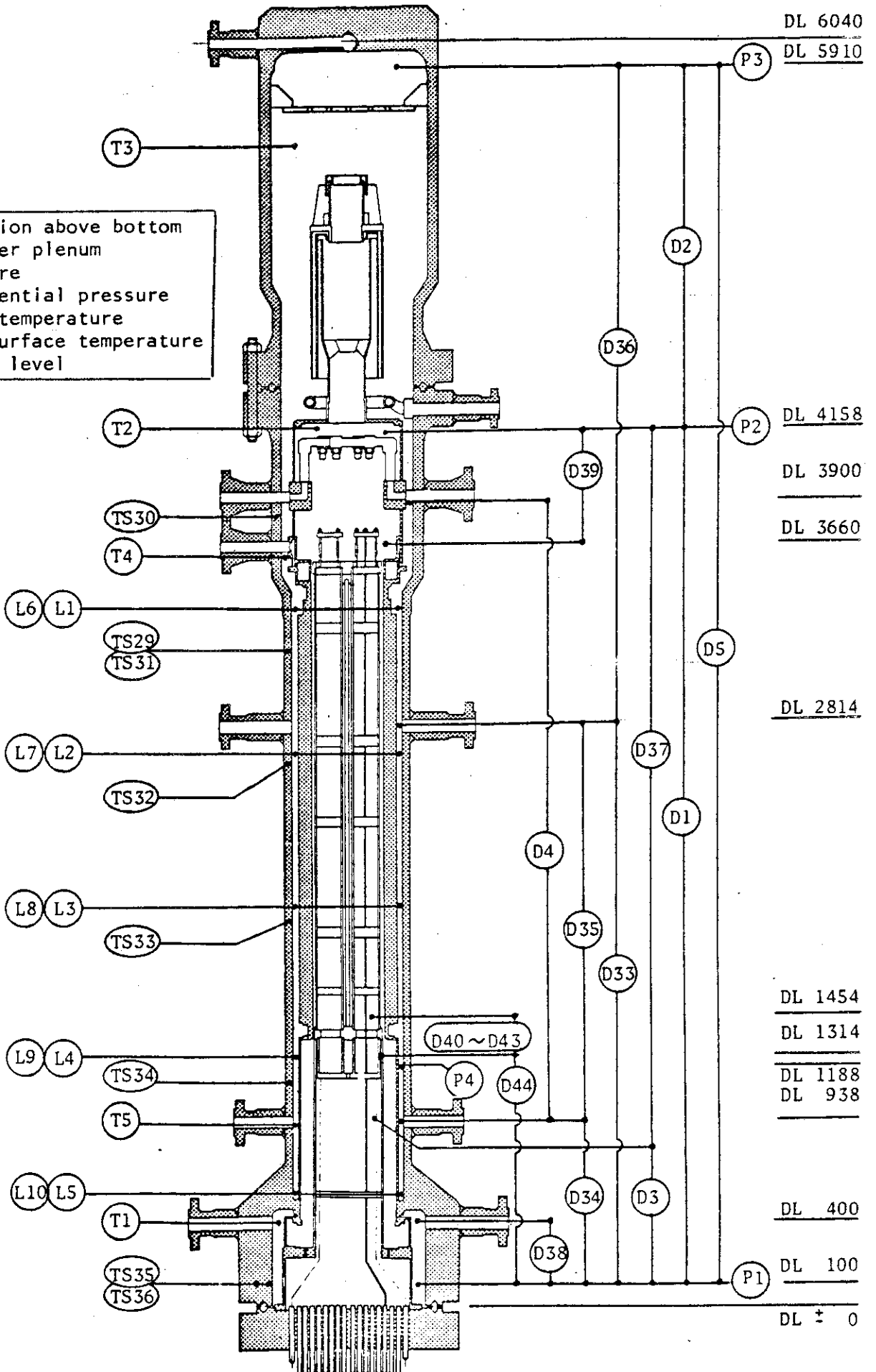
DL 1088

DL 938

DL 525

DL 400

DL 100



DL 4158

DL 3900

DL 3660

DL 2814

DL 1454

DL 1314

DL 1188

DL 938

DL 400

DL 100

DL ± 0

Fig. 3.6 Instrumentation Location in the Pressure Vessel



## 4 RUN804 実験の概要

ROSA III計画においては、大破断、小破断を含めてすでに数多くの実験が行なわれている。本研究で解析の対象としたRUN804は小破断LOCAにおいて、ECCSの一部が作動しない場合の影響を調べるために行なわれた一連の実験の一つであり、低圧炉心スプレイの不作動と低圧注水系の1/3の不作動を仮定している。この実験を対象として選択したのは、高圧炉心スプレイの作動時刻が比較的遅く炉心の全体が蒸気雰囲気中に露出するに到るのでTHYDE-B1コードの水位計算モデルの評価に適していたこと、およびスプレイ作動時の燃料棒表面温度が比較的高くスプレイ冷却の効果が明瞭に判ること等の理由による。

以下に実験RUN804の概略を文献〔12〕より転載して示す。詳しくは同文献を参照されたい。

### 4.1 実験条件

RUN804実験は再循環ポンプサクション側配管における5%スプリット破断を模擬した総合実験である。主な実験条件を表4.1に示す。この表には実際の実験での測定値も並記してある。

実験は定常運転状態から開始された。初期圧力は7.29 MPa、炉心入口流量は16.0 kg/sである。炉心ヒーターの全出力は3554 kW、最高線出力密度は13.6 kW/mであり、この出力密度は実際のBWRでの値の約40%である。

破断口は図4.1に示す口径5.9 mmのオリフィスで模擬されており、ブローダウンはオリフィスの直下流に設置された急速開放弁B(QOBV“B”：Quick Opening Blowdown Valve“B”)の開放により開始された。バルブの位置は図3.3に示されている。

流出開始後の炉心出力は図4.2に示す出力曲線に従って制御される。この曲線は、ヒーター出力限界を越える最初の11秒を除けば、単位体積あたりの流体への伝熱量がBWRの場合と等しくなるように、核分裂出力、FP崩壊熱、蓄積熱を考慮して定められたものである。出力の軸方向分布および集合体間の分布は、図4.3、図4.4に示すとおりである。集合体Aは、他の3体に対して1.4倍の出力比となっている。各集合体内のローカル分布は一様である。

再循環ポンプは破断と同時に電源を切り慣性に従ってコーストダウンする。

給水系と主蒸気系は各々独立な開放ループとなっている。図4.5に示すように主蒸気管には定常状態用と過渡状態用があり破断と同時に切替られる。破断後約2秒で給水が停止され、約2.6秒で主蒸気管が閉じられる。主蒸気系のバルブの仕様を表4.2に示す。主蒸気系の流量の時間変化を図4.6に示す。

この実験ではHPCS、LPCI、ADSの3種のECCSを作動させ、LPCSは作動させていない。またLPCIの流量は定格値の2/3としている。各々の作動条件は表4.1に示されている。実験において各々が作動した時刻はHPCSでは破断後2.38秒、LPCIでは

449秒，ADSのバルブ開放は229秒である。HPCSとLPCIからの流入流量の時間変化を図4.7に示す。

## 4.2 実験結果

主要な事象の発生時刻を表4.3に示す。

### (1) 圧力の変化

図4.8に下部プレナム圧力の測定値を示す。一次系内部の圧力差はその絶対値に比較して小さいのでこの値は系全体の圧力を代表していると考えてよい。破断後26秒で主蒸気管を閉じるので圧力は上昇に転じる。約130秒後から圧力が下降するのは、後に示すように炉心露出により蒸気発生量が減少するためである。229秒でADSが作動すると減圧は急速な減圧を開始する。449秒でLPCIが作動すると蒸気凝縮によりさらに減圧が速くなる。

### (2) 水量の変化

図4.9は炉心シュラウド内側の差圧である。図中、差圧D1は下部プレナム下端-上部プレナム間、D2は上部プレナム上端-スチームドーム間の値(図3.6)である。図にはD1と(D1+D2)がプロットしてあり、2曲線の差がD2である。

破断直後を除けば圧力容器内の流体はほぼ停留状態にあり流動抵抗の差圧への寄与は小さい。従ってこの図は蓄積水量のおおよその目安となる。D1および(D1+D2)の曲線から、破断後0~40秒の間に発熱減少に伴って炉心ボイド率が減少したこと、20~30秒の間に減圧により一時的に炉心ボイド率が増加したこと、約80秒でシュラウド内側の水位が上部プレナムの上端に達したこと等が推定できる。時刻236秒でHPCSが作動するがこれによる注水(流量約 $8 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ )はほとんど流出してしまい水位上昇には寄与していない。

図4.10はシュラウド外の差圧である。図中D35は下部ダウンカマ、D36は上部ダウンカマの差圧である(図3.6参照)。この図から約100秒で水位が上部ダウンカマ下端まで低下し、約185秒で再循環ポンプサクション配管が露出したことがわかる。449秒でLPCIが作動するとダウンカマ水量は急速に回復していく。なお、20~30秒の間で一時的にD35が減少するのは減圧沸騰によるボイド形成のためである。

### (3) 水位変化

水位の変化は、電気伝導度の差を利用した触針式水位計の信号から推定できる。図4.11、4.12、4.13はそれぞれ炉心、下部プレナム、ダウンカマ内各位置の水位系信号を示している。炉心およびダウンカマについては、水位面の通過によると考えられる信号変化時刻を矢印で示してある。下部プレナム内のセンサの信号からは水位通過は読み取れない。なお低出力チャンネルでも水位測定を行っているが、高出力チャンネルとの差はほとんどないので、ここでは高出力チャンネルの値のみを示した。

図4.14はこの信号値から推定した水位変化である。ダウンカマ側水位がジェットポンプ吸込位置より低下した後でもダウンカマ側と炉心側の水位にほとんど差がない。炉心シュラウド壁に漏洩があることが推定される。水位の低下に従って差が縮小するのは炉心側の平均ボイド率の減少による。

## (4) 燃料棒の温度変化

図 4.15, 4.16, 4.17 は高出力バンドル内の 3 本のヒーターロッドの軸方向温度分布である。各々のヒーターロッドのバンドル内の位置は図中に示してある。各ロッドとも表面温度は 130 秒から 180 秒の間に上端部から順に上昇を開始しており、図 4.14 の水位変化の図と比較すると、この温度上昇はロッドの蒸気中への露出によるものであることが明瞭にわかる。236 秒にスプレーが開始されると温度上昇勾配は鈍る。300~450 秒にかけて熱伝達率は少し低下する。3本のロッドの温度挙動を見るとコーナーに位置するロッドではスプレー開始後まもなく全体がリウエットするが、中央部のロッドではリウエットは遅れる。この位置依存性から上部タイプレートにおいて、中央部を蒸気が流れ周辺部から液相が落下していることが推定できるが、炉心を通過する液相流量が C C F L によって実際に減少したか、あるいはどの程度減少したかは判定できない。図 4.18 は低出力バンドル内の燃料棒表面温度の測定値の一例であるが、高出力バンドルとの間で顕著な傾向の差はない。

## (5) 破断口流量

破断口流量は  $\gamma$  線による密度測定値とドラッグディスクによる運動量束測定値から算出された。図 4.19 から 4.25 に破断口の圧力容器側およびポンプ側における再循環路内密度と運動量束の測定値および破断口流量の推定値を示す。図 4.20 の密度から圧力容器側配管が約 185 秒で蒸気中に露出したことがわかるが、これはダウンコマ水位の測定結果から得た露出時刻と一致する。ポンプ側配管の密度低下がこれより数十秒遅れているのは、こちら側の流れがほとんど停滞していたためと考えられる。ただし、この推定は図 4.21 に示すポンプ側での運動量束測定結果とは矛盾するので、将来、検討すべき点である。

なお、図 4.19, 4.20 の密度測定値をみると、約 200 秒以後、両測定位置ともビーム A とビーム B の間で差があり、層状流が形成されていることが推察された〔12〕。

## (6) ジェットポンプを通る流れ

RUN 804 実験におけるジェットポンプの挙動を推察するために、図 4.26 に下部プレナムとジェットポンプ吐出部との差圧測定値を、下部プレナムと上部プレナム上端との差圧と比較して示す。ジェットポンプについては破断側、健全側を含めて 4 個全部に関する測定を同一図にプロットしてある。ジェットポンプ内の圧力測定点の高さは圧力容器下端から約 2330 mm であり、ほぼ炉心中央部の高さに対応する。

破断後数秒から約 130 秒までの間ジェットポンプ側の差圧がほぼ一定値にあり、単相液相の静水頭に近いことから、この期間はジェットポンプ内は単相でしかも流動も停滞状態に近かったことが推定できる。30 秒付近で差圧が減少するのは減圧によるボイド発生のためと考えられる(図 4.8 参照)。図 4.14 の水位のグラフではジェットポンプサクション(吐出部圧力測定点より約 480 mm 上)が蒸気中に露出するのは約 100 秒である。図 4.26 で約 130 秒以後に下部プレナムからジェットポンプ吐出部までの差圧が、上部プレナムまでの差圧と平衡しているのは、ジェットポンプサクション露出以後ジェットポンプ内に水位ができ、その水位が炉心シュラウド内側インベントリの減少とともに低下し、約 130 秒で吐出部圧力測定点を通じたためと考えられる。

以上の推定は、(5)で述べた破断側ループ内の流れがポンプ側配管では停滞していたという推

定を裏付けている。

(7) ECC流量, ADS流量

HPCSとLPCIの注入水量およびADSの放出蒸気流量は図4.6および4.7に示されている。

(8) 外壁を通しての熱損失

圧力容器壁および配管壁を通しての熱損失は、模擬実験装置では実炉に比べて表面積対体積の比が大きいため影響が大きい。ROSAⅢ装置の場合には、この損失熱量は定常状態で約150kWと測定されている。この値はROSAⅢ定格出力の4.5%、RUN80.4における時刻100秒での出力の約30%にあたる。

Table 4.1 Test Conditions of the ROSA-III RUN804

Parameter	Specified Value	Measured Value
<u>Break Conditions</u>		
Location	Recirculation pump suction	Recirculation pump suction
Type	Split	Split
Break Orifice Diameter ( mm )	5.9	5.9
<u>Initial System Conditions</u>		
Steam Dome Pressure ( MPa )	7.35	7.29
Lower Plenum Temperature ( K )	----	553.5
Lower Plenum Subcooling ( K )	----	8.7
Core Inlet Flow Rate (kg/s)	16.0	14.9
Broken Loop Flow Rate (m <sup>3</sup> /s)	----	----
Intact Loop Flow Rate (m <sup>3</sup> /s)	----	----
Core Outlet Quality ( - )	----	12.9 %
Power Level ( kW )	(500+1131+1923)	(500+1131+1923)
Maximum Linear Heat Rate (kW/m)		
of Channel A	13.6	13.6
of Channel B, C and D	9.7	9.7
Power Curve	Fig. 4.2	Fig. 5.2
Water Level in PV ( m )	5.00	5.00
Fuel Assembly	No.3	No.3
<u>Feedwater Conditions</u>		
Temperature ( K )	489	490
Flow Rate (kg/s)	Steady state value (1.89 kg/s)	1.85
Initiation of line closure (s)	2.0	2.0 (completely closed at 3.1 s)

Table 4.1

( Continued )

Parameter	Specified Value	Measured Value
<u>Steam Discharge Conditions</u>		
Steady State Line		
Flow Rate (kg/s)	1.89	1.73
Transient Line		
Flow Rate (kg/s)	----	Fig. 4.6
Orifice Diameter ( mm )	16.8	16.8
Initiation of line closure (s)	26.0	26.0 (completely closed at 30.8 s)
<u>ECCS Conditions</u>		
HPCS		
Injection Location	Upper plenum	Upper plenum
Initiation Time ( s )	238	236 (5.98 MPa in PV)
Coolant Temperature ( K )	313	313
Injection Flow Rate (m <sup>3</sup> /s)	2.28x10 <sup>-4</sup> at 6.96 MPa	Fig. 4.7
Injection Duration ( s )	1500	Fig. 4.7
LPCS		
Injection Location		
Initiated	Not used	Not used
at Pressure in PV (MPa)		
Coolant Temperature ( K )		
Injection Flow Rate (m <sup>3</sup> /s)		
Injection Duration ( s )		

Table 4.1

( Continued )

Parameter	Specified Value	Measured Value
<u>ECCS Conditions ( Continued )</u>		
LPCI		
Injection Location	Upper plenum	Upper plenum
Initiated at Pressure in PV (MPa)	1.57	1.79 (449 s after break)
Coolant Temperature ( K )	313	313
Injection Flow Rate (m <sup>3</sup> /s)	2.55x10 <sup>-3</sup>	Fig. 4.7
Injection Duration ( s )	1500	Fig. 4.7
<u>ADS Conditions</u>		
Intiation time ( s )	230	229 (6.41 MPa in PV)
Valve closing Time ( s )	No closure	No closure
Flow Rate (m <sup>3</sup> /s)	----	Fig. 4.6
Orifice Diameter ( mm )	15.5	15.5

Table 4.2 Valve Characteristics of Steam Discharge Line

Valve	Close to Open (sec)	Open to Close (sec)
AV 165	0.1	1.5
AV 168	—	0.1
AV 169	0.3	2.0

Orifice	Diameter (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
OR 3	Not Used	—
OR 4	15.5	188.6
OR 5	26.0	530.66

Table 4.3 Sequence of Events in Experiment RUN804

Time after Break ( sec )	Events
0.0	Break Initiate core power control ( Fig.4.2 )
	Terminate intact Loop recirculation pump power ( Simple coast down )
	Terminate broken Loop recirculation pump power ( Simple coast down )
2.0	Initiation of feed water line valve closure
3.1	Closure of feed water line
13.1	Initiation of core power curve reduction
26.0	Initiation of steam discharge line valve closure
30.8	Closure of steam discharge line
101	Jet pump suction nozzle uncover
132	Dryout at the top of the core
185	Recirculation pump suction nozzle uncover
229	ADS valve open ( at system pressure 6.41 MPa )
233	Initiation of lower plenum flashing
236	HPCS Initiation ( at system pressure 5.98 MPa )
449	LPCI initiation ( at system pressure 1.79 MPa )
481	All heater rod quenched
1000	End of data acquisition



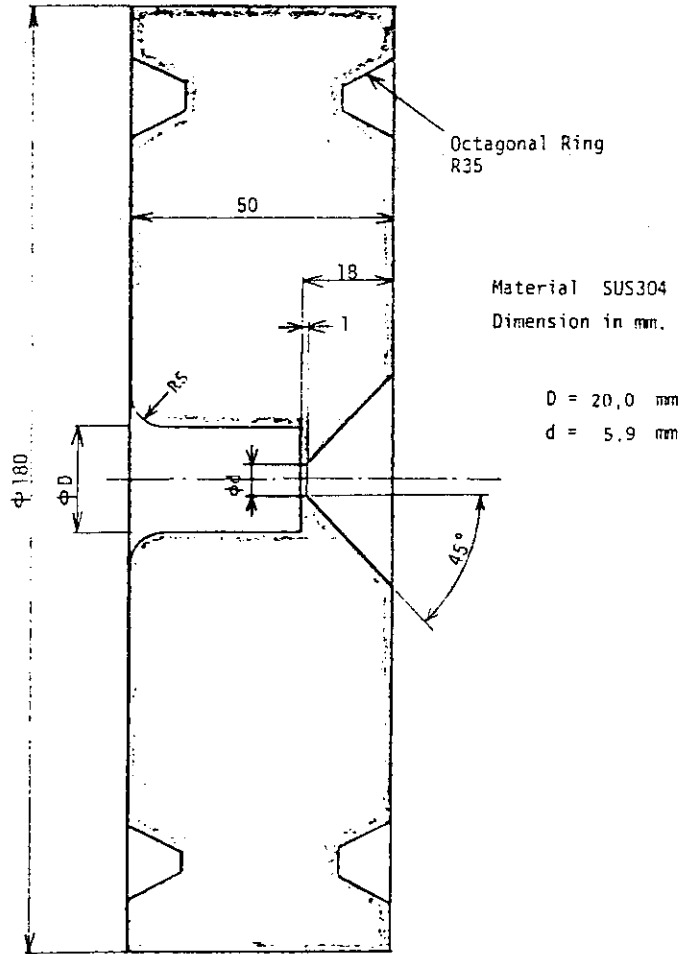


Fig. 4.1 Details of the Break Orifice

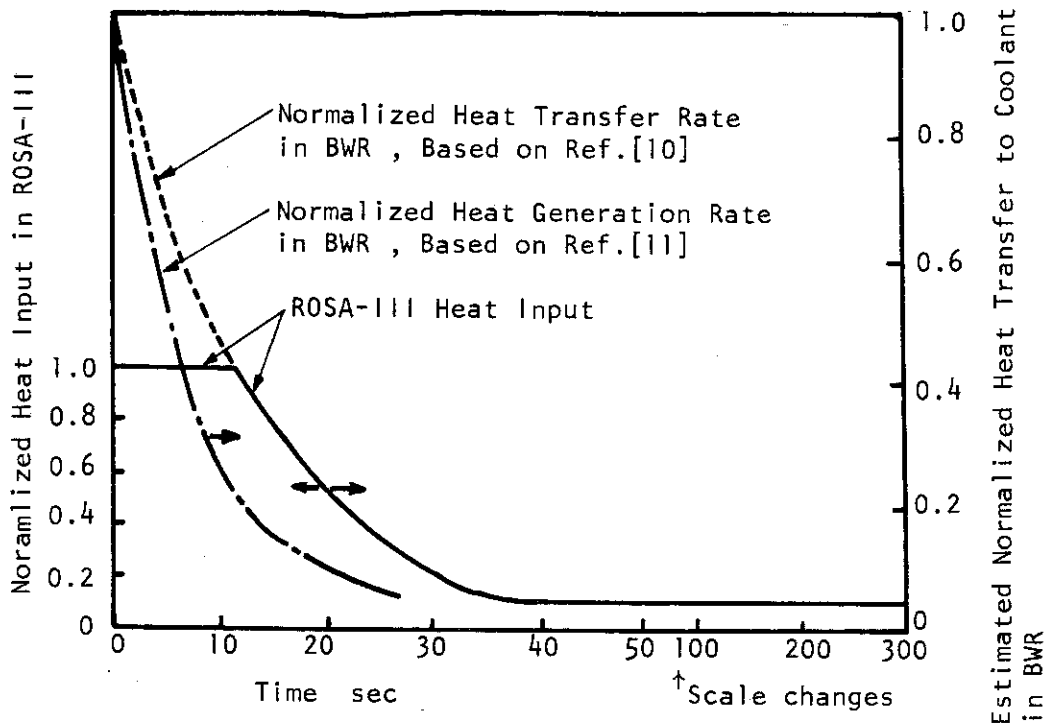
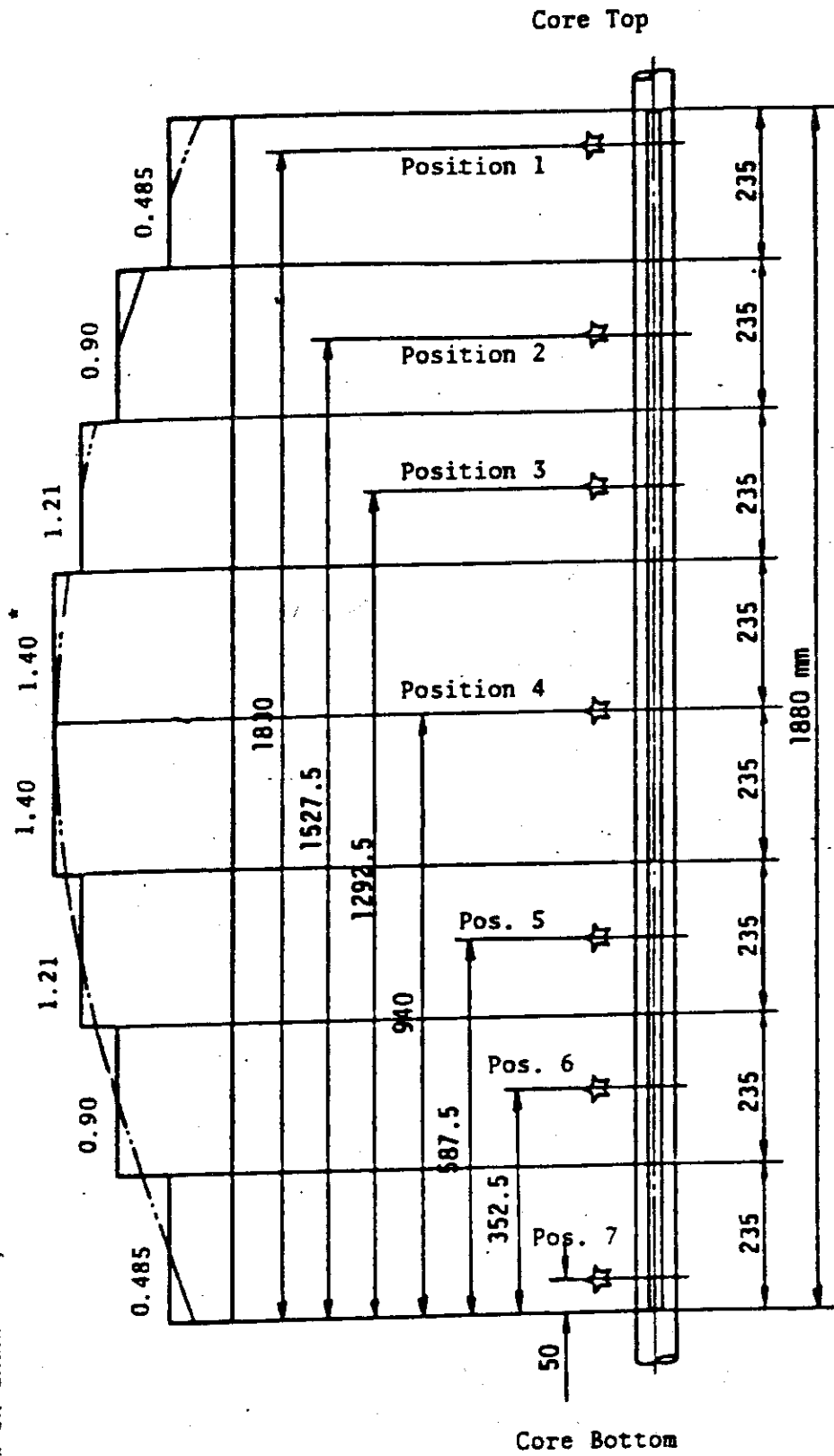


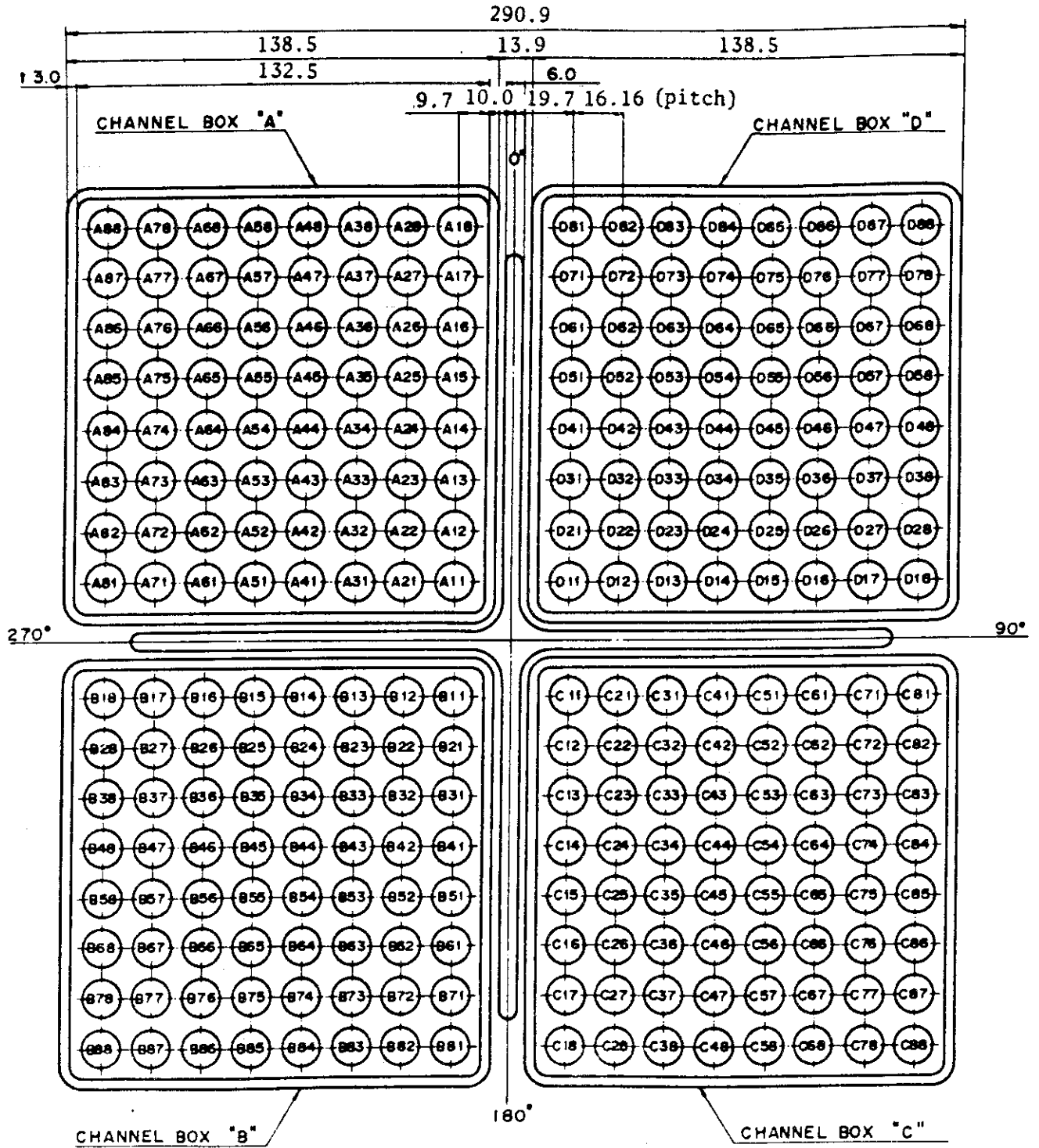
Fig. 4.2 Transient Power Curve used in Run 804

15.6 kW/m in Channel A.  
 9.7 kW/m in Channel B, C and D.



☆ Indicates position of thermocouple. \* Axial Peaking Factor

Fig. 4.3 Axial Power Distribution of Heater Rod



Peaking Factor ; A = 1.4 , B = 1.0 , C = 1.0 and D = 1.0  
 Heater rod O.D. is 12.27 mm.  
 A44, A55, B44, B55, C44, C55, D44 and D55 are water rod simulators.  
 The O.D. is 15.01 mm.

Fig. 4.4 Peaking Factor among Assemblies

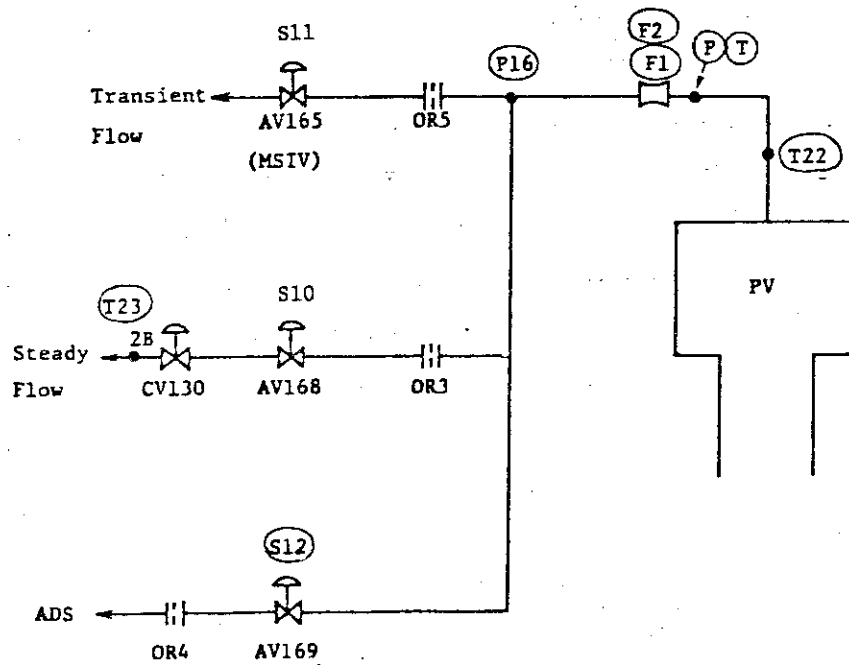


Fig. 4.5 Steam Discharge Line

- FM 65 ( LOW RANGE FLOW METER )
- FM 66 ( HIGH RANGE FLOW METER )

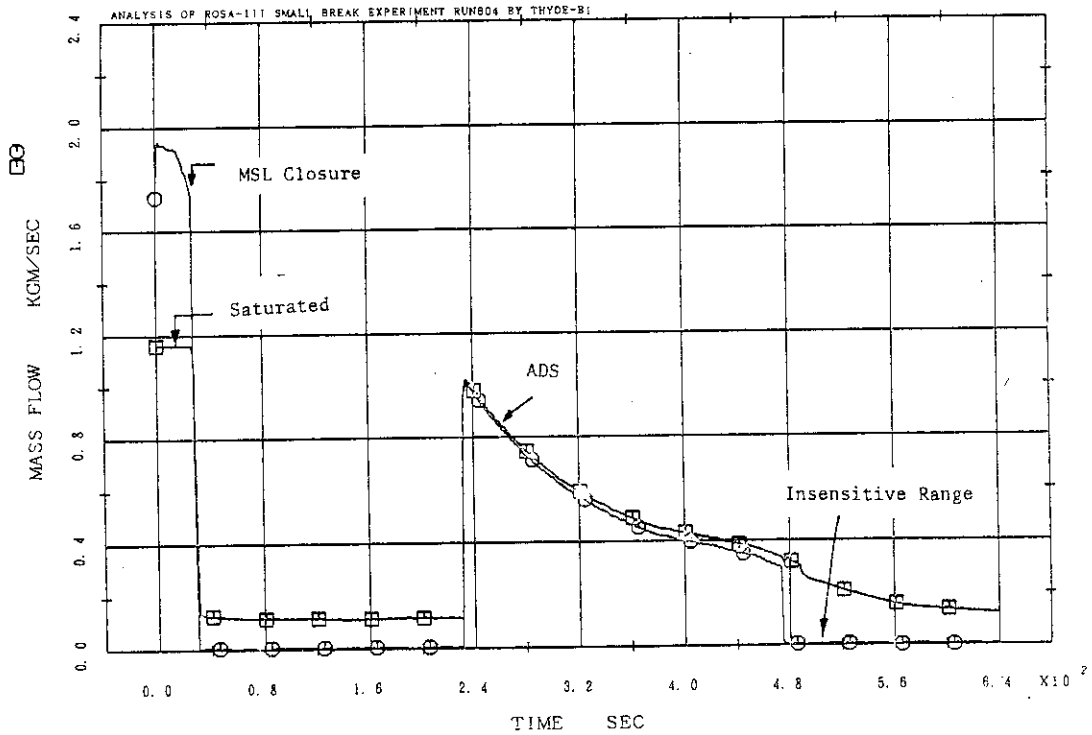


Fig. 4.6 Measured Flow Rate of Steam Discharge Line

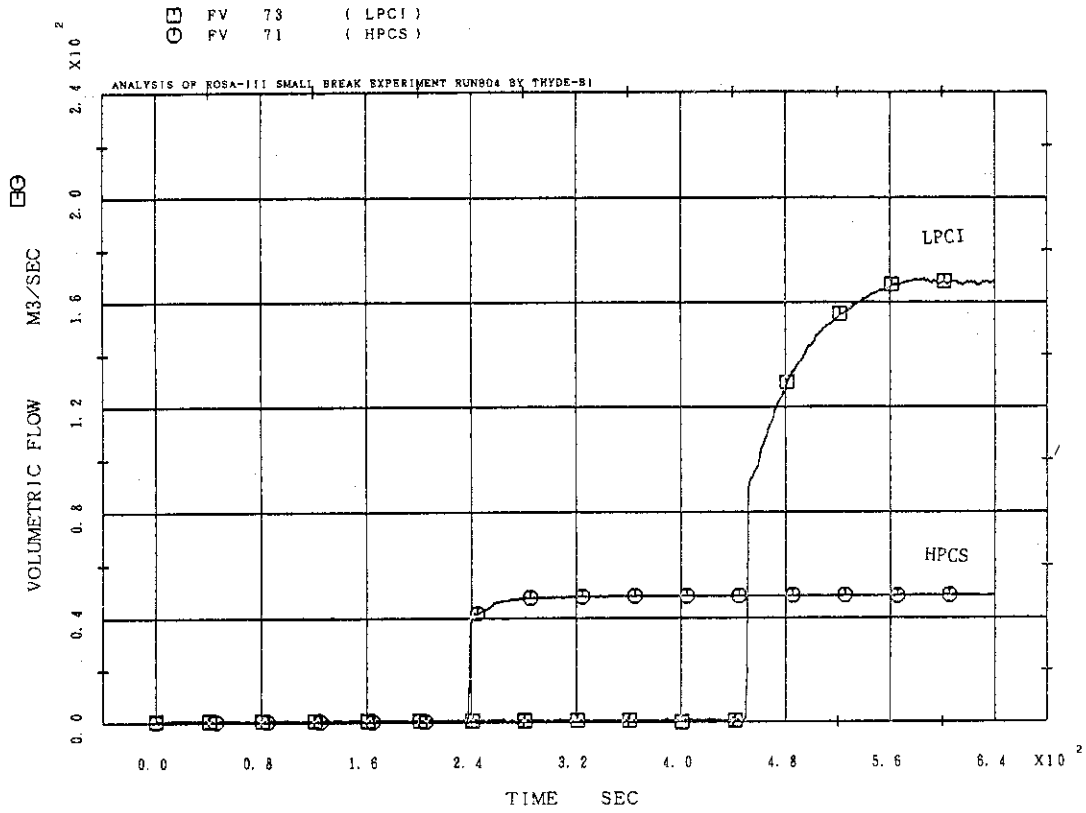


Fig. 4.7 Measured Flow Rate of LPCI and HPCS

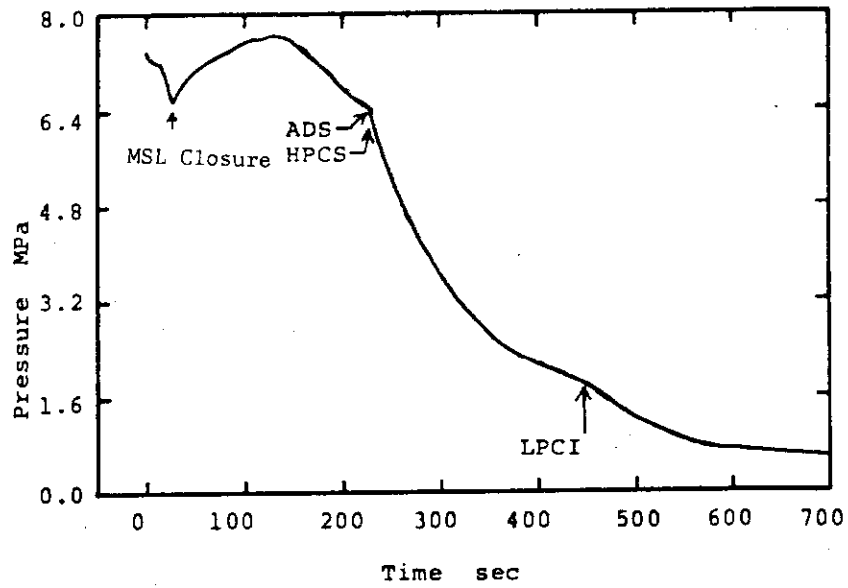


Fig. 4.8 Measured Lower Plenum Pressure

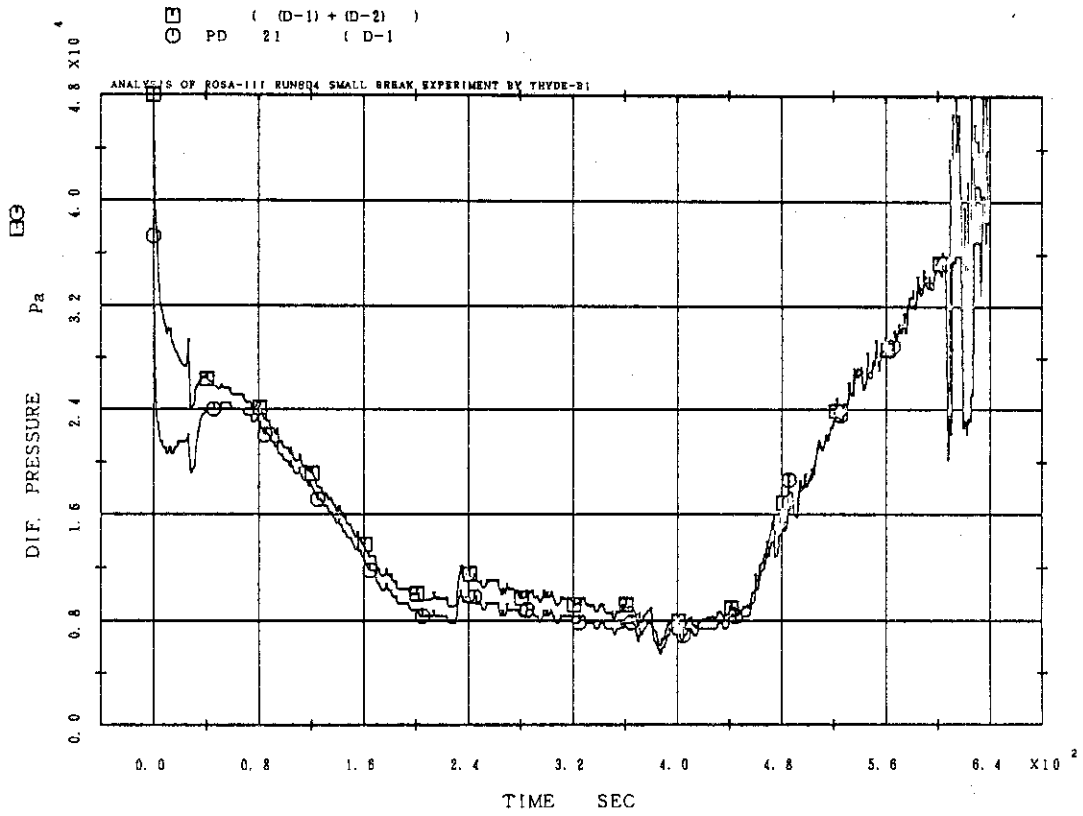


Fig. 4.9 Measured Differential Pressure inside Shroud

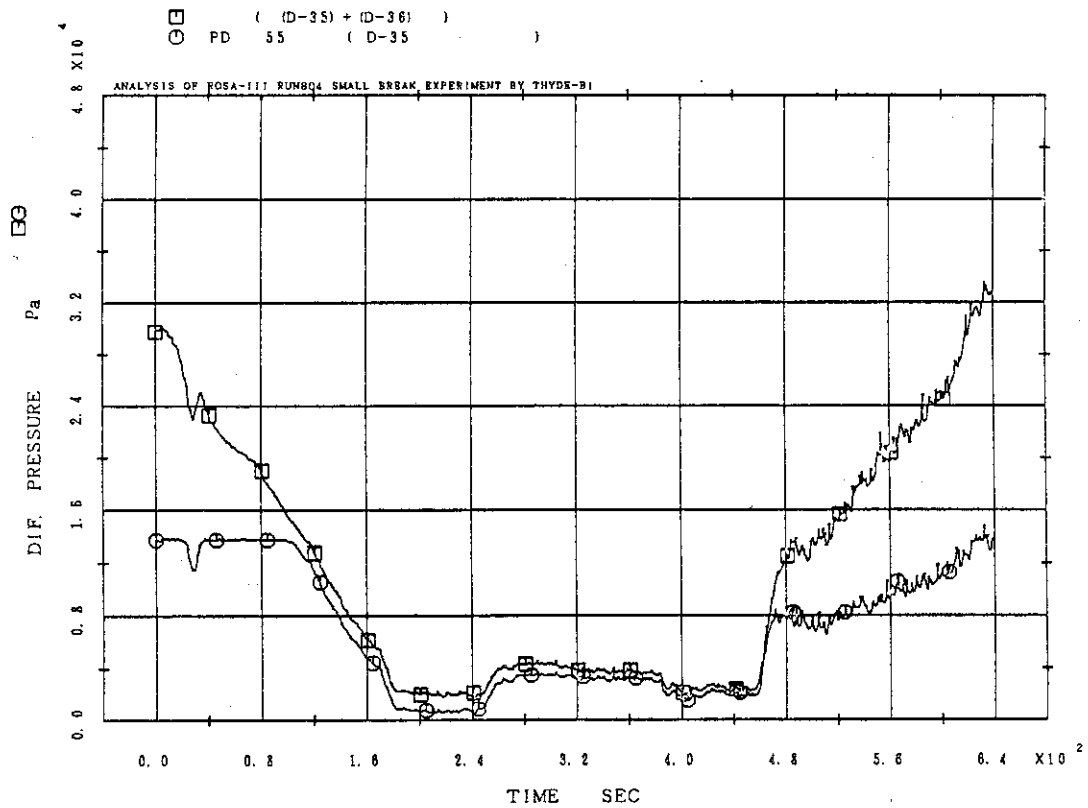


Fig. 4.10 Measured Differential Pressure outside Shroud

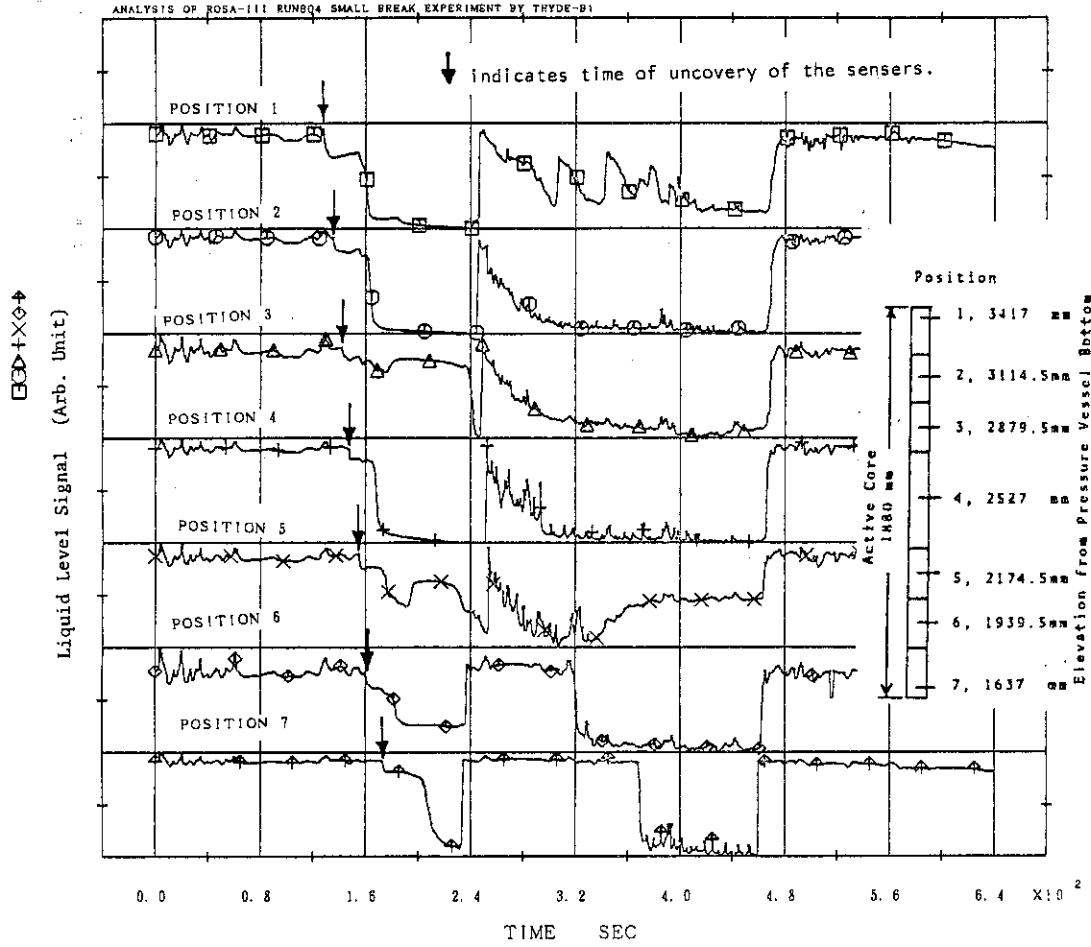


Fig. 4.11 Liquid Level Signals in the Channel A

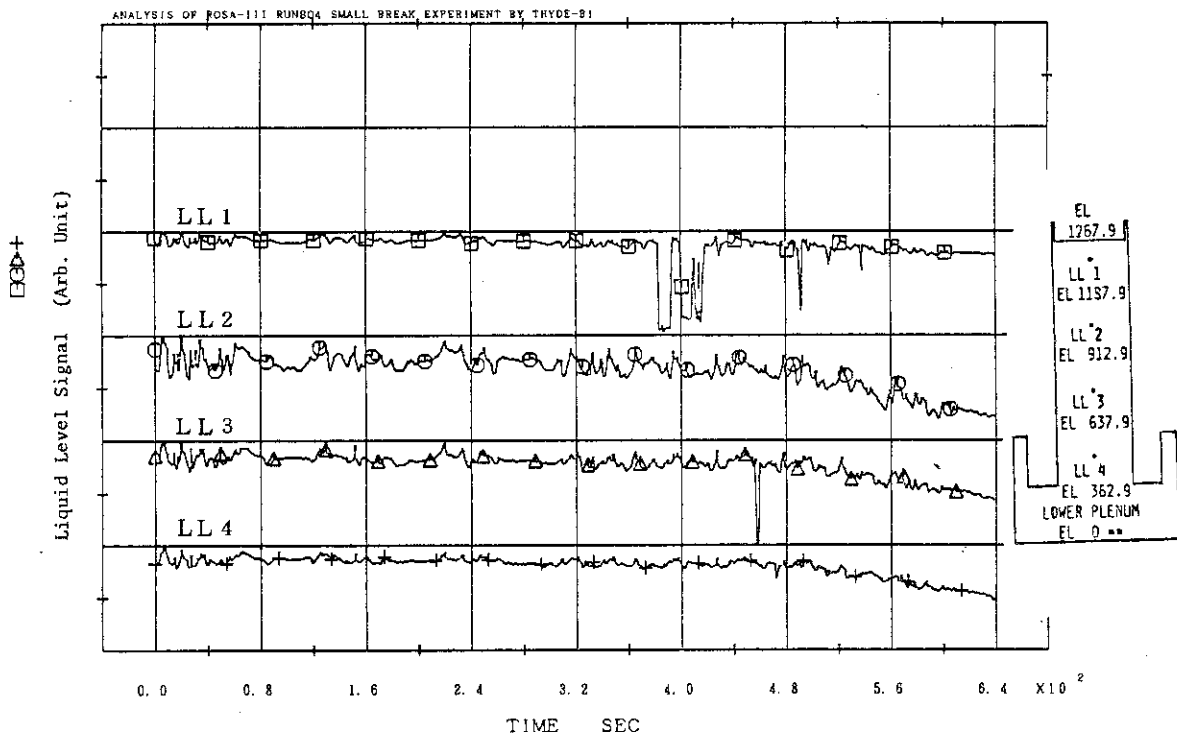


Fig. 4.12 Liquid Level Signals in the Lower Plenum

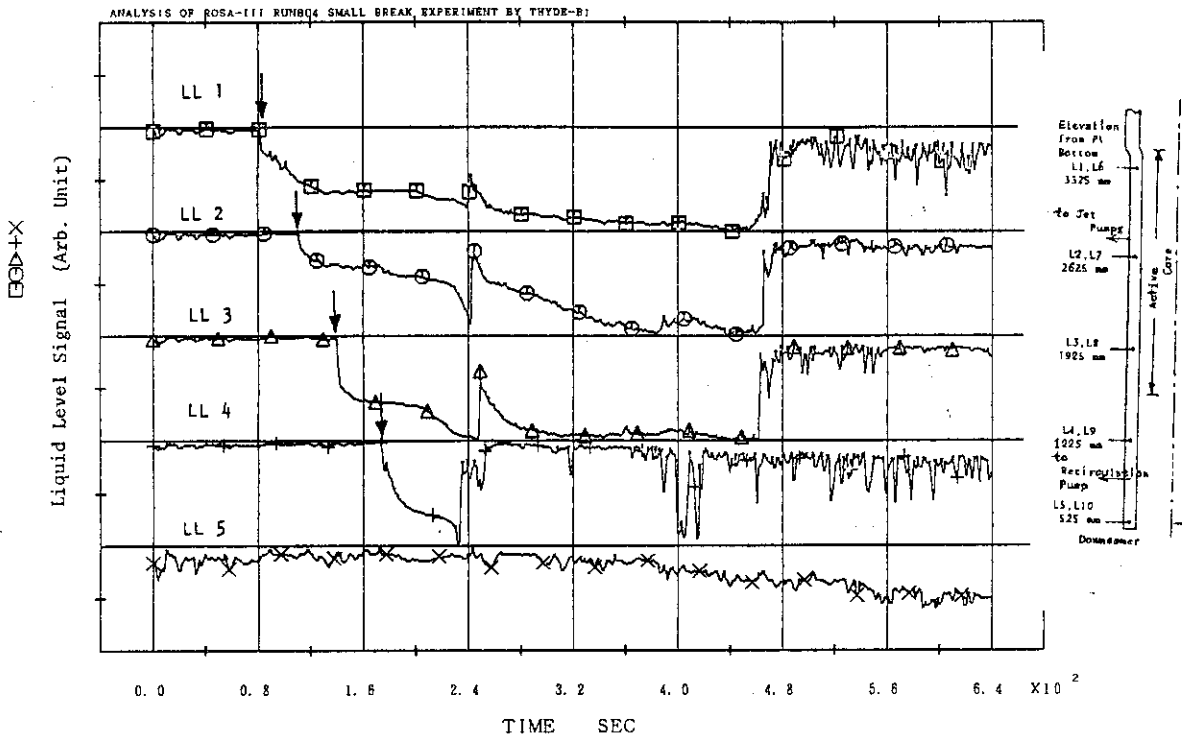


Fig. 4.13 Liquid Level Signals in the Downcomer

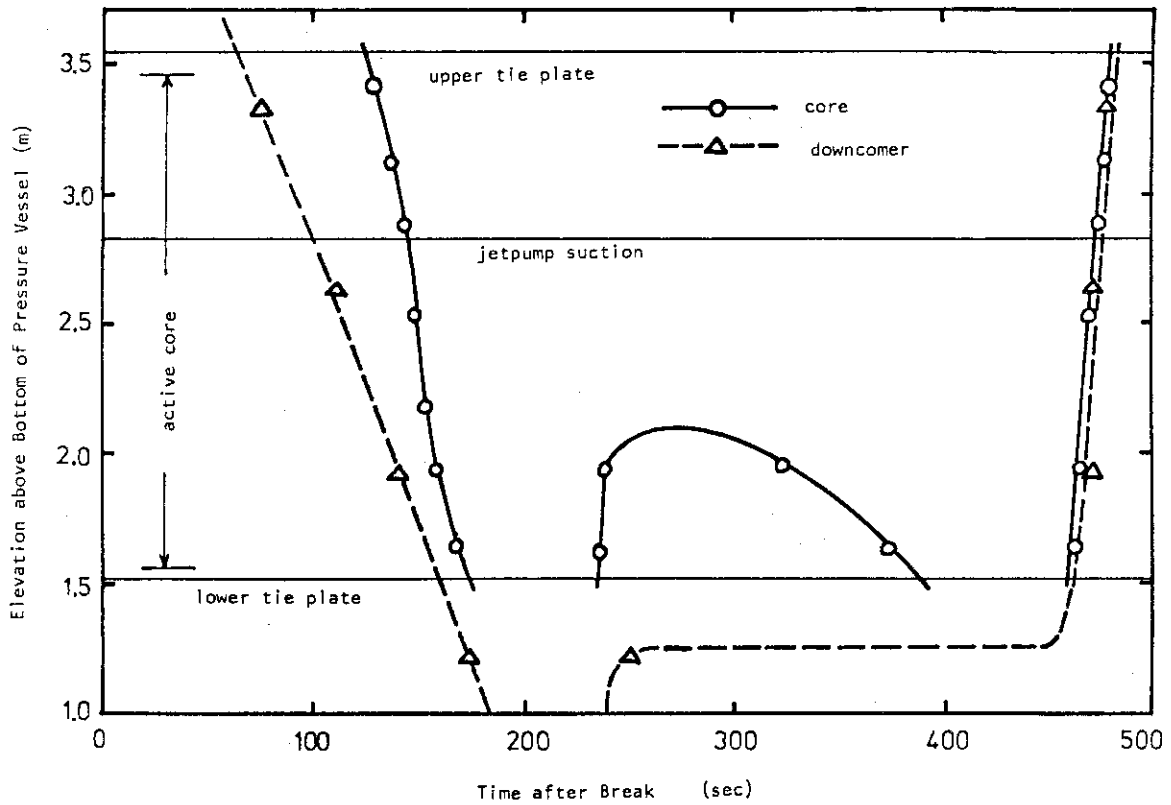


Fig. 4.14 Mixture Level in the Core and Downcomer Estimated from Liquid Level Signals



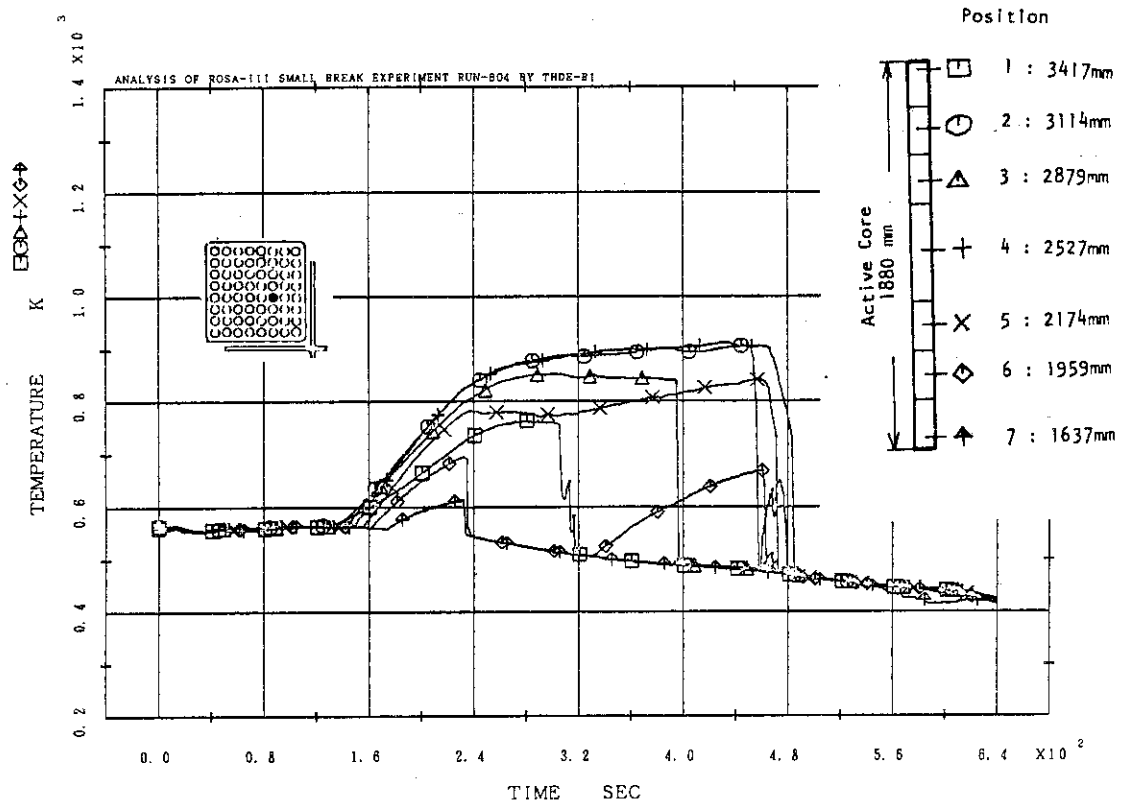


Fig. 4.15 Measured Rod Surface Temperature , A34 Rod

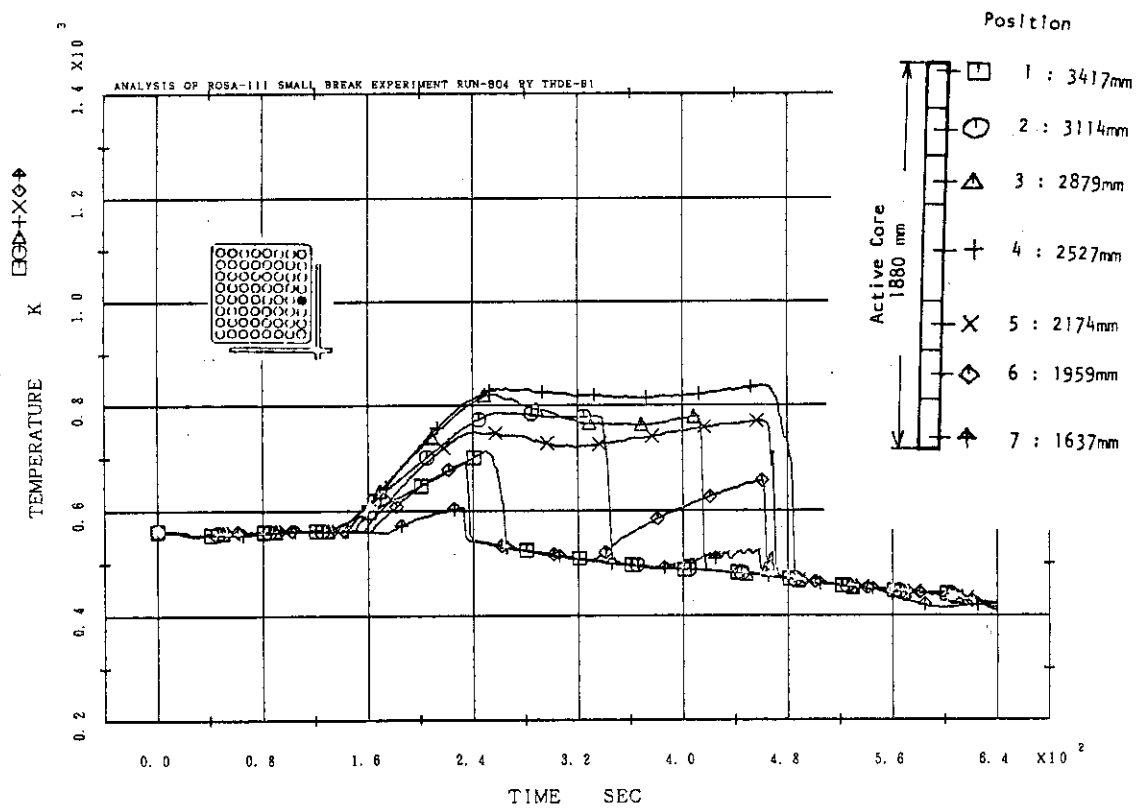


Fig. 4.16 Measured Rod Surface Temperature , A14 Rod

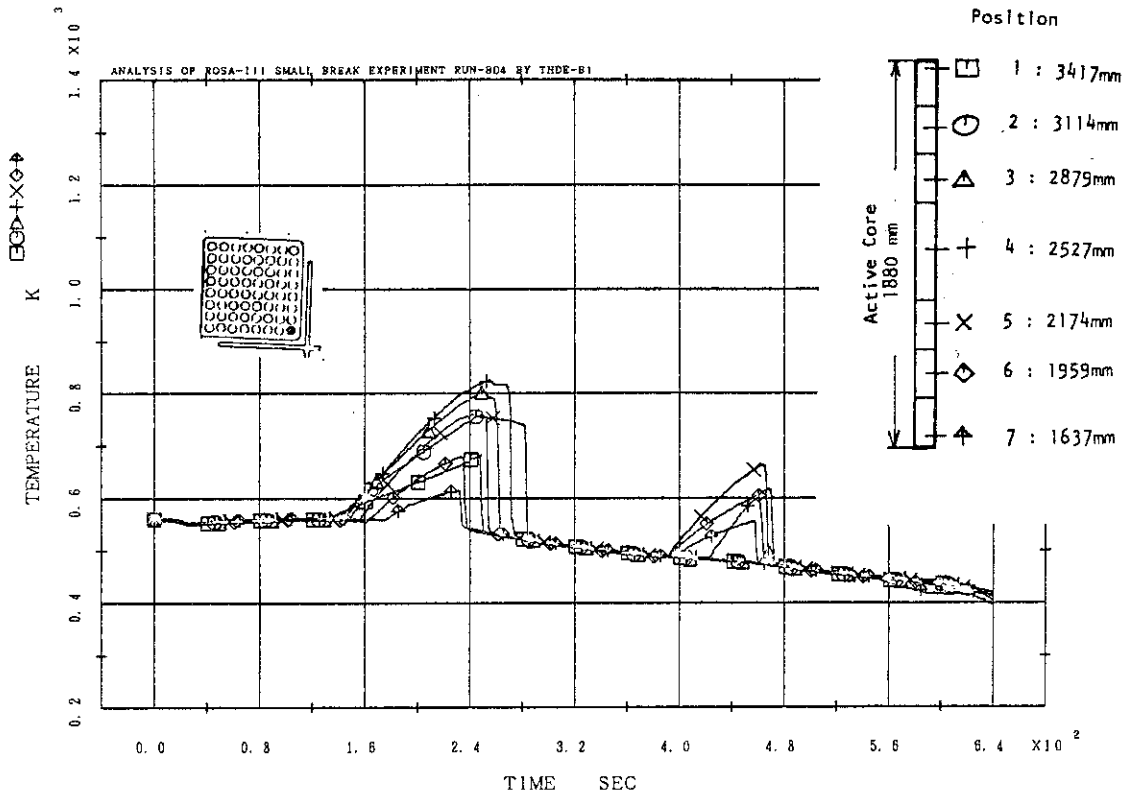


Fig. 4.17 Measured Rod Surface Temperature , All Rod

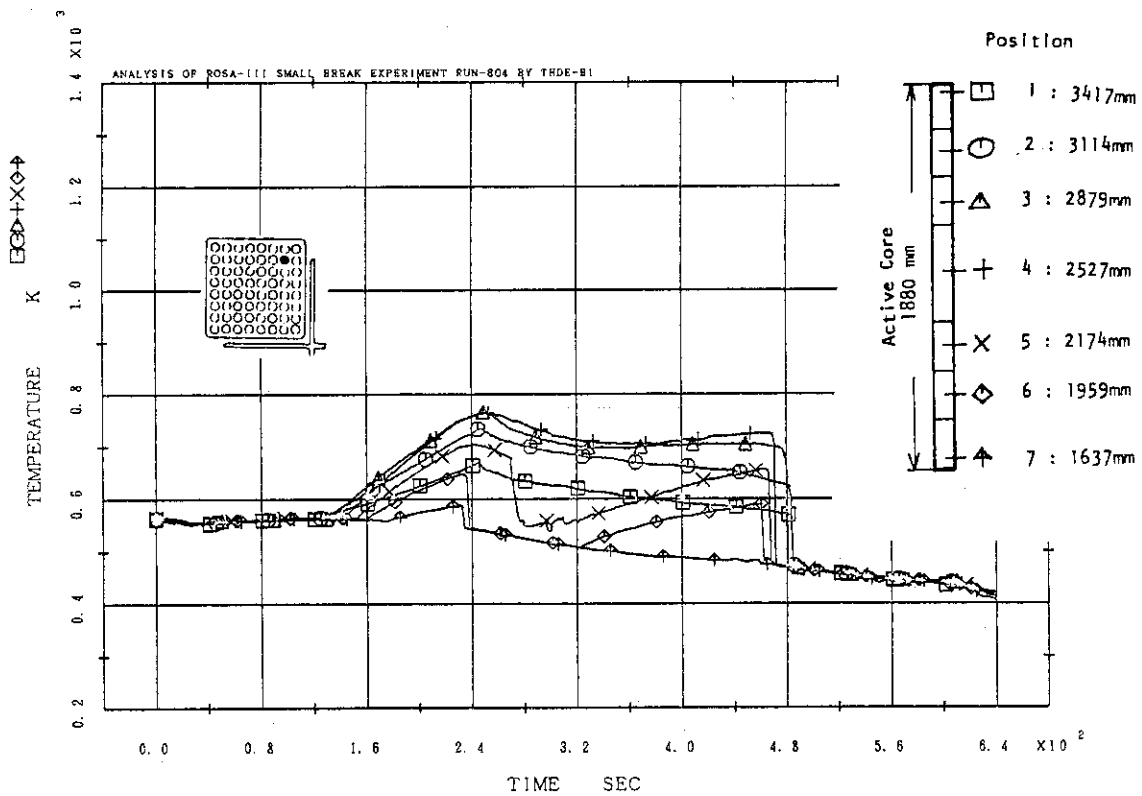


Fig. 4.18 Measured Rod Surface Temperature , D27 Rod

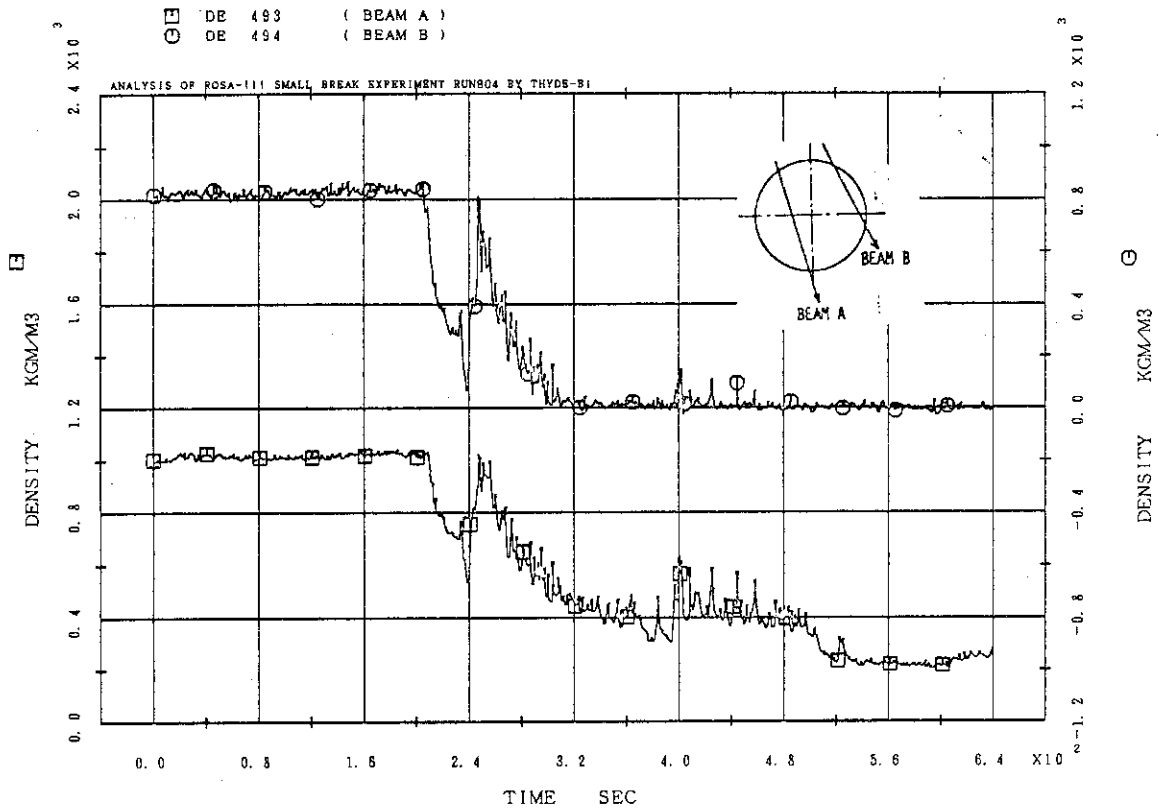


Fig. 4.19 Measured Density at Pump Side of the Break

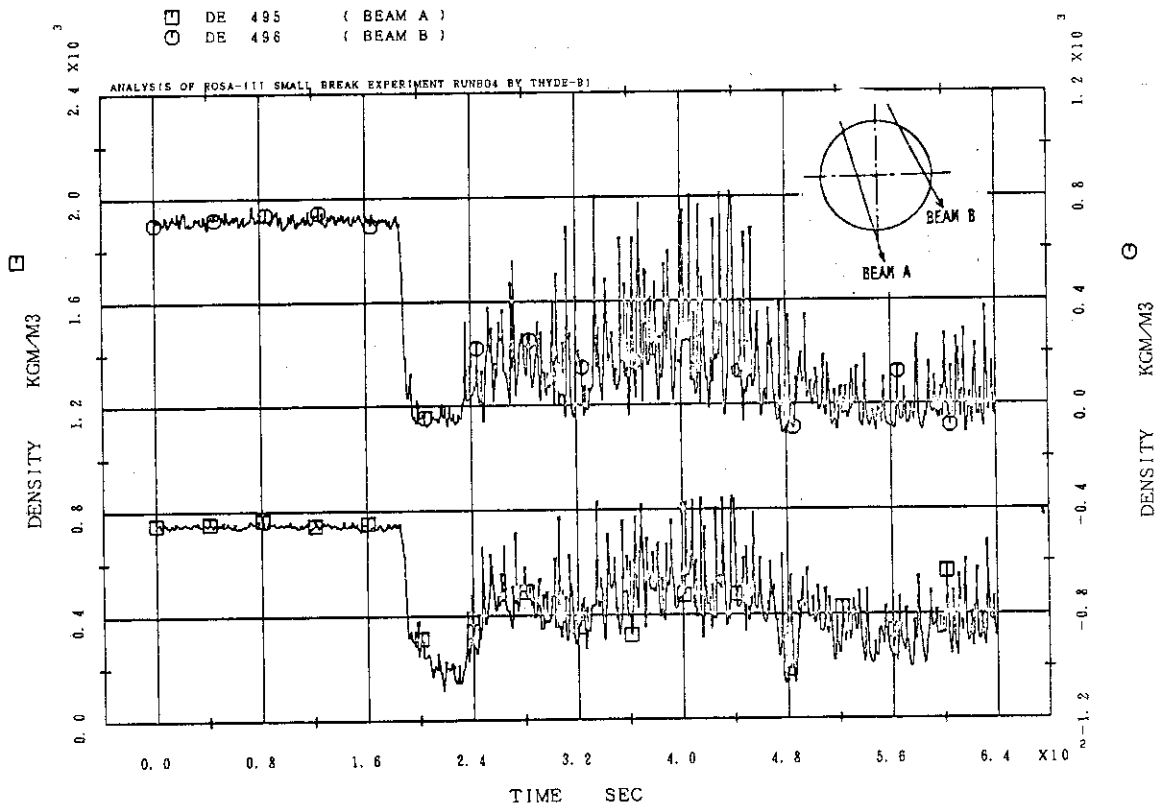


Fig. 4.20 Measured Density at Vessel Side of the Break

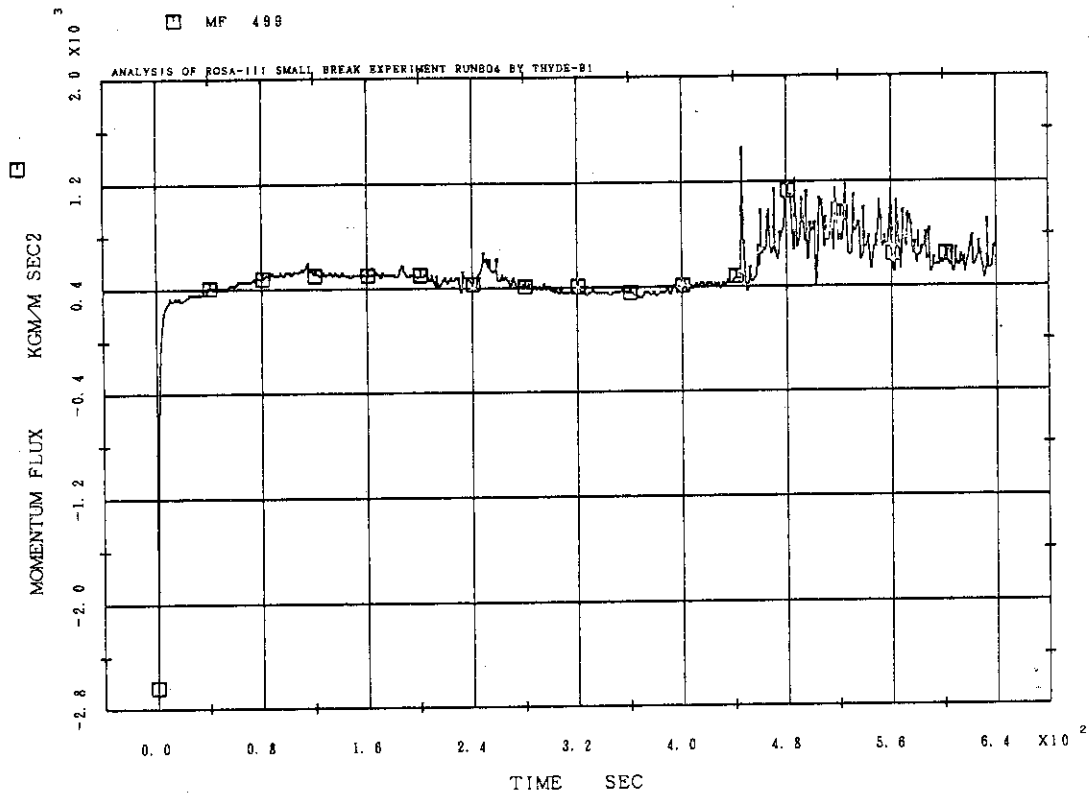


Fig. 4.21 Measured Momentum Flux at Pump Side of the Break

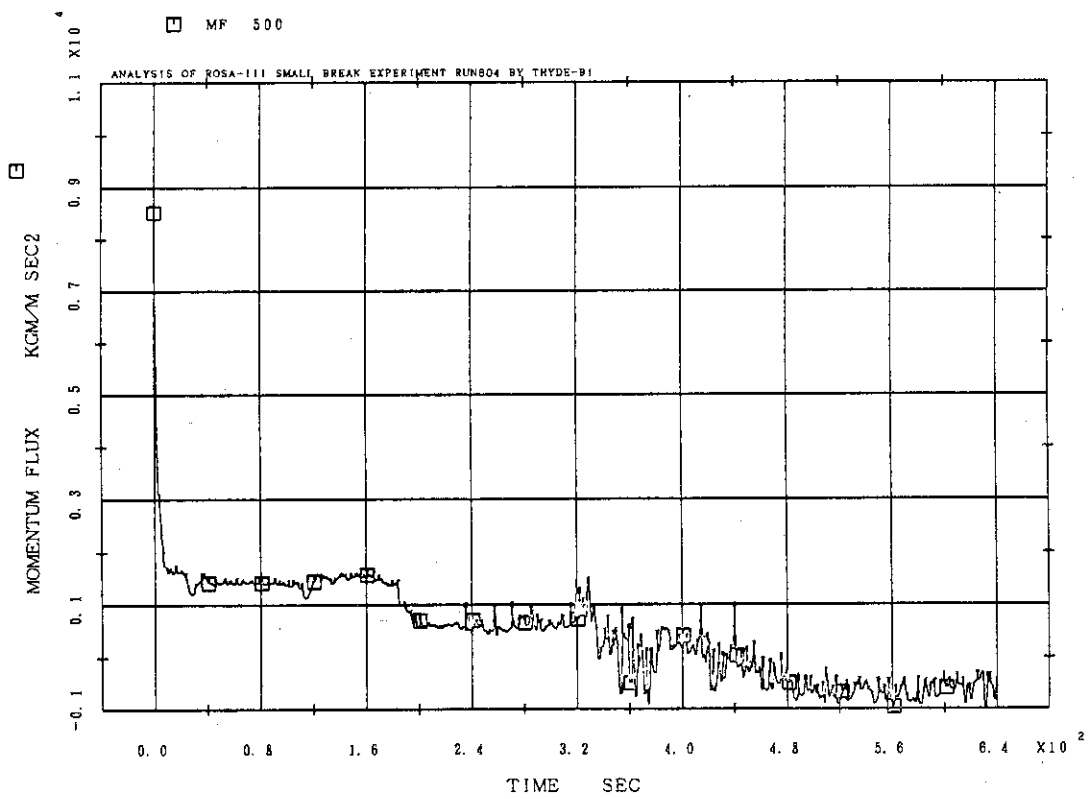


Fig. 4.22 Measured Momentum Flux at Vessel Side of the Break

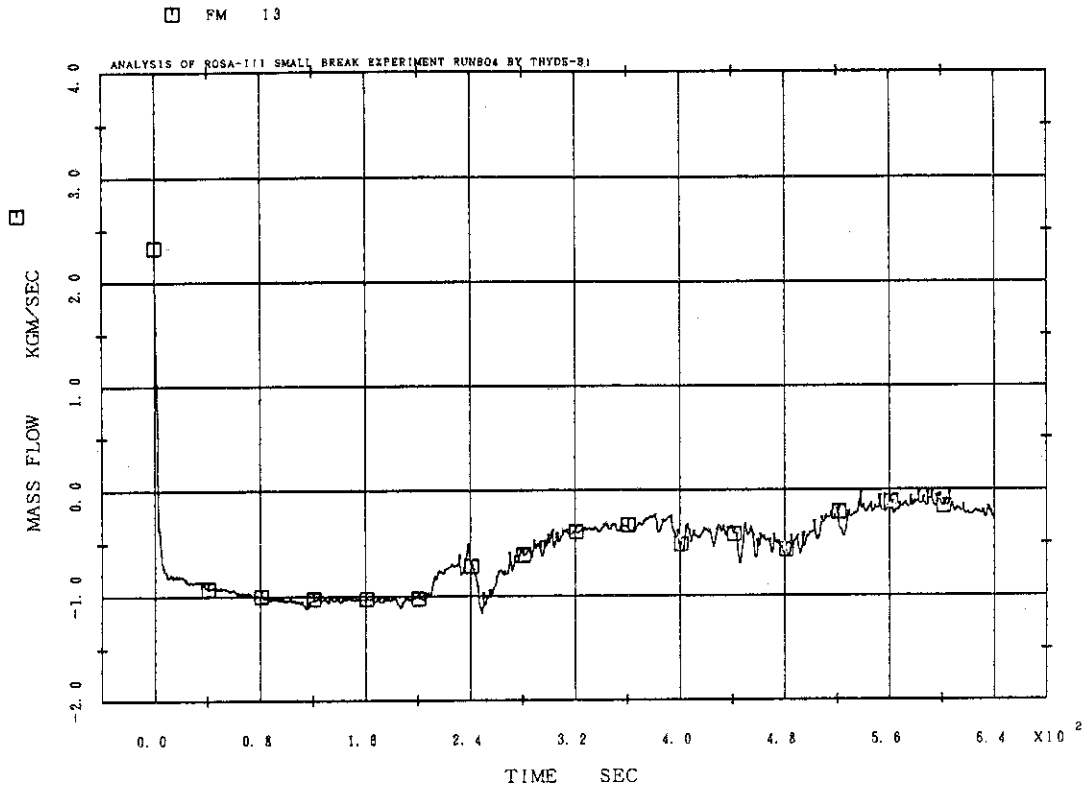


Fig. 4.23 Flow Rate at Pump Side of the Break

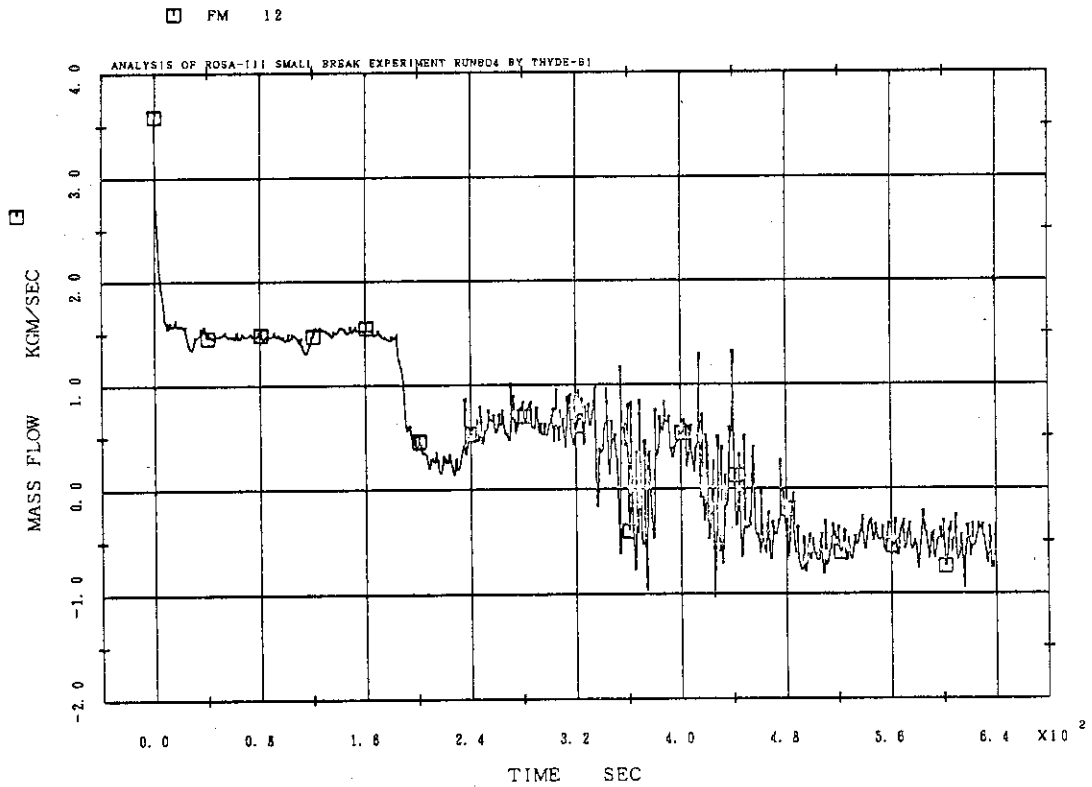


Fig. 4.24 Flow Rate at Vessel Side of the Break

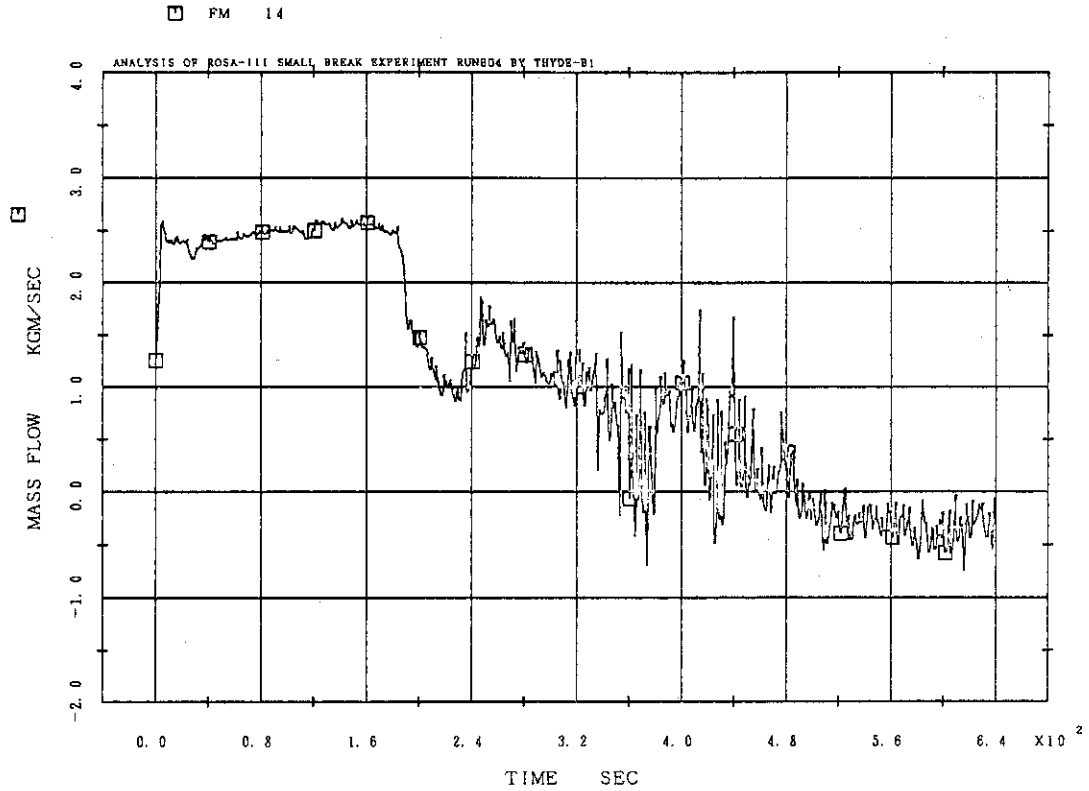


Fig. 4.25 Flow Rate at the Break

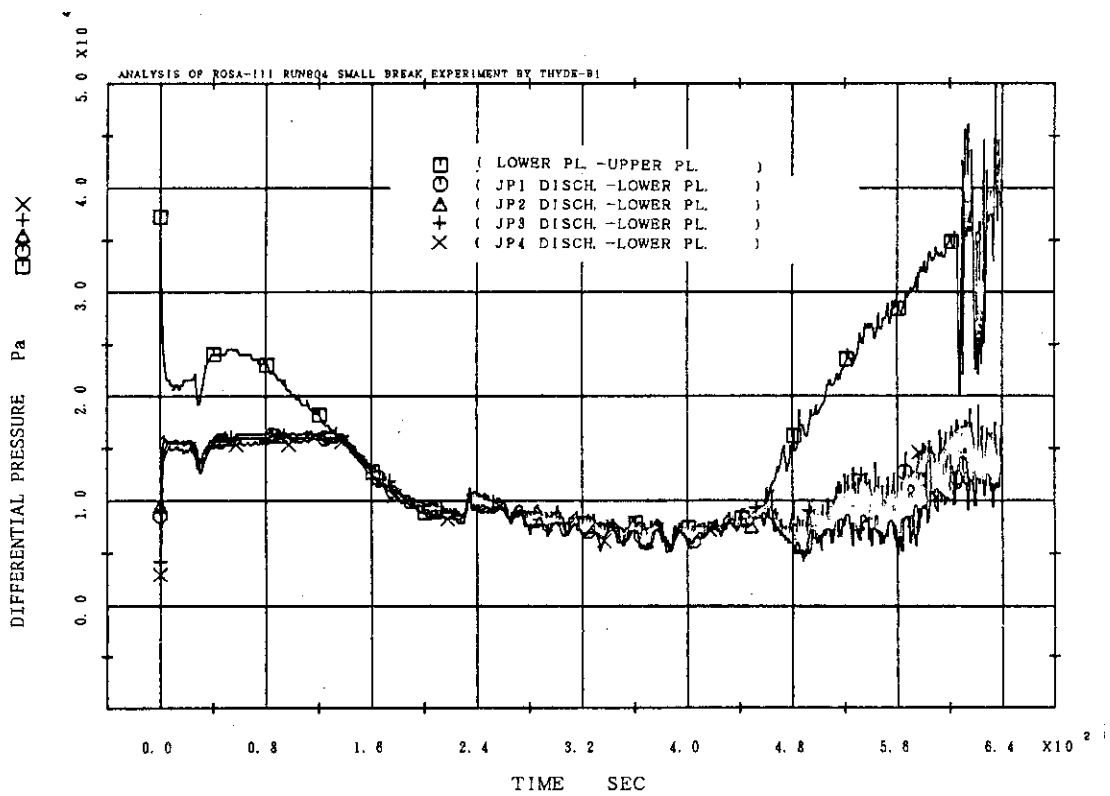


Fig. 4.26 Differential pressure in the Jet pump and inside the Shroud

## 5. 基本ケースの設定とその計算結果

解析は2段階に分けて行った。まず第1段階ではTHYDE-B1における比較的標準的と考えられるノーディングおよびモデルオプションを用いて基本ケースの入力データを設定し、この計算結果と実験結果を比較することにより同コードの特性を明確にしようと試みた。本章ではこの結果について述べる。第2段階では、計算結果に大きな影響を与えると考えられる数個の入力パラメータおよびモデルに関する感度解析を行っており、この結果は6章に述べる。7章では5章と6章の結果を整理するための検討を行なり。

### 5.1 基本ケースの入力データの設定

#### 5.1.1 ノーディング

本解析で用いたノーディングを図5.1に示す。ここでは実験体系を6ノード、20ジャンクション、17ヒートスラブで表現している。これらの内訳は表5.1、5.2、5.3に示す。またこれらに関する詳細な数値は付録1に入力カードのリストとして示されている。

圧力容器内部は炉心シュラウド壁を境界として内側と外側の2個のノードに区分し、その2ノードにはTHYDE-B1の特徴である3領域ノードモデル(2.2節)を適用した。主循環ループは破断側、健全側の各々を循環ポンプを境として2個ずつの均質ノードに区分した。ポンプはジャンクション3および8で考慮される。ジェットポンプはROSA III装置では圧力容器外にあるが本解析ではサクシオン配管はノード2の一部とし、ディフューザ部分とそれに続く配管はノード1に加えた。

炉心を模擬するヒーターロッドは合計14個のヒートスラブで表わされている。この内、7個は高出力ロッド、他の7個は低出力ロッドを、それぞれ軸方向に区分したものである。この区分は図4.3の出力分布の区分にそのまま対応している。

#### 5.1.2 流路特性データ

詳しい値は付録の入力カードリストに示されている。各ノード、ジャンクションに関するデータの作成上で留意した点について簡単に触れる。

##### (1) ノード形状

均質ノードモデルでは、その体積、断面積、底面の高さのみを指定するが、3領域ノードモデルを用いる炉心シュラウド内側と外側の2ノードについては、さらにノードの下端からの高さに対応させて、高さ対体積、高さ対流路断面積、高さ対等価直径のテーブルを入力する必要がある。この高さ対体積のテーブルは残留水量と水位を対応づけるものなので特に精度よく与えるよう留意した。

## (2) 流路の圧力損失係数

ジャンクションモデルにおける圧力損失係数は、すべて初期定常状態の圧力分布を与えてそれから逆算した値を用いるオプションを選んだ。圧力分布はROSA IIIの大破断実験の解析〔13〕で用いられた初期圧力分布をTHYDE-B1のノーディングに合わせて修正したものを用いた。ジェットポンプ部分については、スロート部分上端の圧力を入力する必要がある〔1〕が、この値はそれを用いて計算されるドライプライン、ディスチャージライン、サクションラインの圧損係数が妥当な値になるようにこのスロート部圧力を定めた。

## (3) 気泡上昇モデル

2.2節で述べたように水位計算のための気泡上昇モデルには2つのオプションがある。基本ケースでは炉心シュラウド内側のノードに対しては等価的気泡移動距離 $X_L$ を用いるオプションを採り、 $X_L$ は定常状態での熱バランスから逆算した値を用いることにした。このモデルを変えた場合の影響は6章で検討している。炉心シュラウド外のノードについては、気泡分布の傾斜を0とする( $C_a = 1.0$ )モデルを採用した。

## (4) ECCS水の三領域ノード内混合の効率

炉心スプレイは、蒸気相と完全に混合すると仮定した。すなわちノード1の蒸気領域に流入したスプレイ水(水温約50°C)は、そこで全て飽和水になるに必要なだけ蒸気を凝縮すると仮定する。これに対して低圧注水系は注入される位置が比較的狭く混合が悪いと考えられるバイパス部分なのでノード1内の蒸気領域および飽和領域ではまったく混合せず蒸気凝縮を起こさないと仮定した。そして、LPCI注入水は炉心シュラウド内側三領域ノードの未飽和相領域に直接加えられる。LPCIの混合効率についてはモデルを変えた場合の影響を6章に述べる。

## (5) 循環ポンプ特性

THYDE-B1のポンプモデルでは、正流・正揚程の場合に関する流量対揚程の関係をクオリティーをパラメータとして整理した特性曲線テーブルを用いる。この特性曲線は単相流についてはROSA IIIポンプの特性試験のデータを用いて作成し、二相流部分に関してはデータがないので、クオリティー2.5%以上で揚程が0になると仮定し、その2点の間はクオリティーについて直線内挿することとした。この2.5%以上で揚程を0とする仮定は、文献〔14〕でECCS評価を保守的に行なうために採用しているものと同じである。逆流状態ではポンプは単なる抵抗として扱われるが、本解析では逆流時の抵抗係数は0としている。

## 5.1.3 初期条件

冷却材比エンタルピー、ジャンクション流量等の初期条件はできるだけ実測値に合わせるようにした。

ただし、炉心シュラウド内側のノードについては、炉心および上部プレナムのボイド率測定値がないので、炉心シュラウド内側を炉心、下部プレナム、バイパス、上部プレナムに分けて各部分のボイド率を均質流を仮定して計算し、その値を用いて定めた。このノードの未飽和領域と飽和領域の境界の初期高さは、炉心下端とした。



#### 5.1.4 破断口モデル

破断口流量は、2.2節の式(2.2)、(2.3)により計算する。ただし放出係数および平滑化パラメータは各々、 $C_1 = 0.61$ 、 $C_0 = 0.60$ 、 $X_{tran} = 0.02$ とした。

#### 5.1.5 炉心出力

炉心発熱量には実験条件としての発熱曲線を用いた。この値と実測された値は、図5.2に示すようにわずかに違っているが無視できる程度である。

#### 5.1.6 ECCS作動条件等の境界条件

主蒸気管(MSL)流量、自動減圧系(ADS)流量、給水(FW)流量、高圧炉心スプレイ(HPCS)流量、低圧注水系(LPCI)流量はすべて測定値を時間対流量のテーブルとして入力した。この値を図5.3、5.4に示す。

#### 5.1.7 炉心シュラウド壁の漏洩の考慮

4.2節(3)において、水位信号から求めた水位挙動から炉心シュラウド壁内外で若干の漏洩があることが推定されたことを述べた。壁にシールの不完全な部分があった可能性がある。この漏洩を無視して行った予備的計算では、計算結果と測定値の一致はよくなかったため、試験的意味で漏れを模擬する流路(ジャンクション)を通加して再計算したところ、実験と計算はよく一致した。このため本報では、この漏れを考慮したケースを基本ケースとしている。考慮しない計算については第6章の感度解析の一部として触れる。

漏洩は図5.1のジャンクション20で模擬した。その位置と流動抵抗は以下のようにして試験的に定めた。

位置は図4.1.4に示したシュラウド内・外の水位推定値から判断して炉心より低い位置とした。また、このジャンクションの流動抵抗は十分小さいものと仮定して、破断口よりの流出流体(0~200秒の間で1~3kg/s)がすべてこのすきまを通るとした時にシュラウド内外の圧力差が水頭20cm程度となるように定めた。すなわち2.2節に述べた流量計算式(式(2.1))に慣性項 $(\frac{L}{A})_{eff} \frac{dW}{dt} = 0$ 、圧力差 $P_{in} - P_{out} = 0$ 、重力項 $\Delta P_g = 200 \text{ kgf/m}^2$ 、ポンプ揚程 $\Delta P_p = 0$ 、二相流乗数 $\phi^2 = 1$ 、流量 $W = 1 \text{ kg/s}$ 、密度 $\rho = 760 \text{ kg/m}^3$ を代入すると圧力損失係数 $R = 152000 (\text{kgf/m}^2) / (\text{kg/m}^2 \text{s}^2)$ を得る。

ただし、このジャンクションの初期流量は0とし、体系内の初期圧力分布、初期エンタルピ分布への影響は無視している。

## 5.2 基本ケースの計算結果

図5.5から5.2.3に基本ケースの計算結果を示す。また、可能な限り実験結果も同時に示している。

## (1) 系圧力

図 5.5 は下部プレナム圧力の計算値と測定値の比較である。定性的にはよく一致している。とくに破断直後から約 130 秒の炉心露出開始までの傾向は定量的にも、よい一致を示している。30~130 秒の間では若干実験値が高い。炉心露出時刻 130 秒から、ADS 作動時刻 229 秒までの間では圧力がゆるやかに減少に転じる時刻は一致しているが、減少に転じてからは実験の方が速く減圧する。これは本計算では装置壁面からの熱損失を考えていないためと考えられる。また ADS 作動後の減圧は計算値の方がかなり速い。この相異は ADS 作動時の圧力が計算の方が高かったこと、入力データとして用いた ADS 流量の測定値が過大であったこと、スプレイ水流入後の炉心での蒸気発生が過小に計算されていることに起因していると考えられる。

## (2) 水位

THYDE-B1 コードでの水位は三領域ノード内サブノードの蒸気相領域と飽和混合相領域の境界として計算される。図 5.6 は炉心シュラウドの内側と外側のノードについて、この計算された水位を示したものである。三領域ノードモデルでは、さらに未飽和相領域と飽和混合相領域の境界の移動も考慮しているので、同時にプロットしている。図中の A 点および B 点は未飽和領域が飽和に達して、飽和混合相領域に合併されたことを示している。この時点以後は二領域モデルとなる。炉心シュラウド内側ノードでは、LPCI が流入すると、再度未飽和相領域が形成される。

図 5.7 は水位の計算値と測定値(図 4.14)を比較したものである。水位低下の勾配はほぼ一致している。特にダウンカムについては良く一致している。しかし、炉心の露出は計算値の方が 20 秒程度遅い。この相違の原因は初期マスインベントリの入力値が過大であったためと考えられるが、この点については 6.4 節で考察する。

さらに詳細に見ると炉心の水位低下の勾配は計算値の方が緩やかである。これは THYDE-B1 では炉心部分とバイパス部分を同一ノードで扱っているために、バイパスと炉心の間でのボイド率の差の効果が不鮮明になっているためと考えられる。

ADS 作動後の急激な水位上昇は減圧沸騰によるものである。炉心水位が 300 秒から 450 秒の間で実験値よりも高い理由としては、インベントリに関する計算誤差とボイド率に関する計算誤差がありうる。ダウンカム側についても同様の誤差要因が考えられる。特に、ダウンカム側ノードでは気泡離脱量の計算において、水位面下のボイド率の勾配を 0 と仮定するよう入力指定したために気泡離脱量を過小に計算しており、その結果として ADS 作動時刻 229 秒以後の減圧過程では水位が高くなっている。この点は図 5.8 のボイド率のグラフにも表われている。

## (3) ボイド率

図 5.8 は炉心シュラウド内側と外側の飽和混合相領域のボイド率計算値を示す。炉心側のボイド率が破断直後に増大するのは蒸気系の流量増大による減圧沸騰および炉心流量の減少による炉心での蒸気発生量の増加によっている。その後 10 秒から 40 秒の間に減少するのは炉

心発熱量の減少によりボイド発生が減ったためと考えられる。40秒から160秒までの間はほぼ一定値になっているのは、炉心出力減少が緩やかになり（図5.2）、炉心シュラウド内の流動が停滞しているためである。160秒以後ボイド率が低下するのは炉心露出により、二相混合体内の蒸気発生が減るためである。240秒以後のボイド率増加はADS作動による減圧沸騰のためである。

ダウンカマ側を見ると、20から30秒の間で一次的に減圧沸騰が起きてボイドが生じる点は4.2節(2)で述べた差圧測定値（図4.10）の解釈を裏付けている。

#### (4) 差 圧

図5.9は下部プレナム下端と上部プレナム上端の差圧（D1）と計算された同区間の静水頭を比較したものである。定性的には一致しているが計算値の方が大きい。この原因として、計算ではバイパスと炉心の区別を無視しているので、平均ボイド率を低く見積っていること、計算の方が初期インベントリが大きいこと、計算では気泡の離脱量を過大評価しているためにボイド率を過小に計算していることが考えられる。

図5.10はダウンカマ内の差圧の実測値（D35 + D36）と計算値の比較である。図5.9、5.10のシュラウド内側および外側の差圧の減小勾配は測定値とよく一致している。

#### (5) 破断口流量

図5.11は破断口からポンプ側の位置での再循環ループ流量測定値と計算値の比較を示している。計算では破断後も約130秒まで流れが正流に保たれておりそれ以後はほぼ停滞状態になると予測しているが、測定値ではかなり大きな逆流となっている。この相違については4.2節で述べたように運動量束の測定精度の評価もあわせて将来の検討課題である。

図5.12は破断口圧力容器側の位置での再循環ループ流量の比較である。前図に比べるとよく一致している。破断後185秒で起きる循環ポンプサクション露出による流量減少は計算値では230秒となっており、計算の方がダウンカマ水位低下が遅い（図5.7）ことに対応して遅い。

図5.13は、図5.11と5.12の測定値から最出された破断口流量と、計算値の比較である。両者の違いは主としてポンプ側流量の相違による。

#### (6) 密 度

図5.14、5.15は前述の流量測定点での密度の計算値と $\gamma$ 線密度計による測定値を比較したものである。4.2節(5)で述べたように、ビームAとBの差から実験では層状流になっていたことが推定されていたが、計算では均質流モデルを用いているので両ビームの中間的な値になっている。図5.14において実験では密度は210秒で水単相の値から減少を始めているが計算ではかなり早く160秒からである。これはジェットポンプから再循環ポンプまでを1ノードで表現しているために密度を平均化してしまうためである。図5.15で、計算値の方が密度低下の開始が遅いのは既述のダウンカマ水位の相違による。

## (7) 燃料棒温度

図 5.16 (a), (b), (c), (d) は高出力ロッドと低出力ロッドの被覆管温度の計最値を、高出力チャンネルおよび低出力チャンネルの各々の中央部にあるロッドの表面温度測定値と比較したものである。燃料棒温度の上昇が 130 秒から 200 秒にかけて炉心上部から順に起こり、実験結果とよく一致している。また LPCI 作動後の炉心水位の回復によりロッドの全体がクエンチする点も一致している。しかし、蒸気中への露出後の温度上昇は計算値の方がかなり高くなっている。これは蒸気領域に対する熱伝達係数、とくにスプレイ冷却下の熱伝達係数を過小に計算しているためであり、今後モデルの検討を要する点である。また、炉心下部は実験とは異なり 200 秒以降冠水したままで、表面温度の上昇はない。

## (8) 再循環系配管における流れ

図 5.17 は健全側再循環ポンプにおける流量とポンプ揚程の計算値である。破断と同時に電源が切られるのでポンプは急速にコストダウンする。これにともない再循環流量も減少する。図 5.18 は健全側ジェットポンプにおける駆動流、吸込流、吐出流の計算値である。駆動流はポンプのコストダウンに比例して減少する。吸込流と吐出流は、破断後十数秒間で駆動流が減衰するのでそれ以後、シュラウド内・外の静水頭に支配された流れとなる。すなわち、最初の約 40 秒間は出力が大きいため炉心ポイド率が高く自然循環により正流が保たれるがその後は炉心側ポイドの減少とダウンコマ水位の低下により逆流に転じる。そして、ジェットポンプサクション露出(図 5.7 参照、計算では約 130 秒)以後は、ほぼ停滞状態になる。

サクション露出以後ジェットポンプの流れが停滞することは、4.2 節(6)で述べたジェットポンプ内差圧測定値の解釈と一致している。

図 5.19, 5.20 は破断側ループの再循環ポンプとジェットポンプの挙動の計算結果である。ポンプ揚程の減衰は少し早くなっているが、ほぼ健全側と同様の挙動を示している。

## (9) 気水分離器を通る流れ

図 5.21 は気水分離器における流量の計算値である。時刻約 40 秒で、炉心シュラウド内側(スタンドパイプ内部)に水位が形成され、このジャンクションの流れは単相蒸気となり質量流量は極めて小さくなる。240 秒以後は減圧沸騰と炉心での蒸気発生により流量は増加する。

## (10) 炉心シュラウド壁の流れ

図 5.22 は炉心シュラウド壁に試験的に想定された漏れ流路の流量である。この流路は初期定常状態では流量 0 とされている。破断直後にはシュラウド内側ノードの圧力が高いので正流(内側→外側)となるが、数秒でジェットポンプ駆動水頭が減衰するので重力水頭が支配的になり逆流する。約 40 秒でダウンコマ水位の低下により流れは正流になる。約 140 秒でジェットポンプサクションが露出(図 5.7)するとジェットポンプの流れは停滞し(図 5.18, 5.20)、シュラウド内・外の水頭差はこの流路のみにかかることとなり流量は増大する。HPCS の作動する破断後 236 秒から LPCI の作動する 449 秒の間は約  $0.6 \text{ kg/s}$  の流量が定常的に流れているが、この流量は HPCS 流量  $0.8 \text{ kg/s}$  から炉心発熱量約  $300 \text{ kW}$

に相当する蒸気発生量を除いた値に近く、スプレイ水がここからシュラウド外に流出した可能性を示唆している。

Table 5.1 Description of Nodes

Node No.	component	model option
1	space inside core shroud	three-region node
2	space outside core shroud	three-region node
3	broken recirculation line from vessel to MRP	homogeneous node
4	break side recirculation line from MRP to JP	homogeneous node
5	intact recirculation line from vessel to MRP	homogeneous node
6	intact recirculation line from MRP to vessel	homogeneous node

Table 5.2 Description of Heat Slabs

Slab No.	Description
1 to 7	low power rod
8	lead rods
9	pressure vessel wall
10	pressure vessel wall
11 to 17	high power rod

Table 5.3 Description of Junctions

Junction No	Component	Junction model option
1	steam separator	steam separator junction
2	recirculation line	normal junction
3	recirculation line	normal junction with pump
4	J. P. drive line	} jet pump junctions
5	J. P. discharge line	
6	J. P. suction line	
7	recirculation line	normal junction
8	recirculation line	normal junction with pump
9	J. P. drive line	} jet pump junctions
10	J. P. discharge line	
11	J. P. suction line	
12	high pressure core spray	fill junction
13	low pressure core spray	fill junction
14	low pressure coolant injection	fill junction
15	automatic depressurization system	leak junction
16	break	leak junction
17	safety relief valve	leak junction
18	feed water line	fill junction
19	main steam line	leak junction
20	shroud wall leakage	normal junction

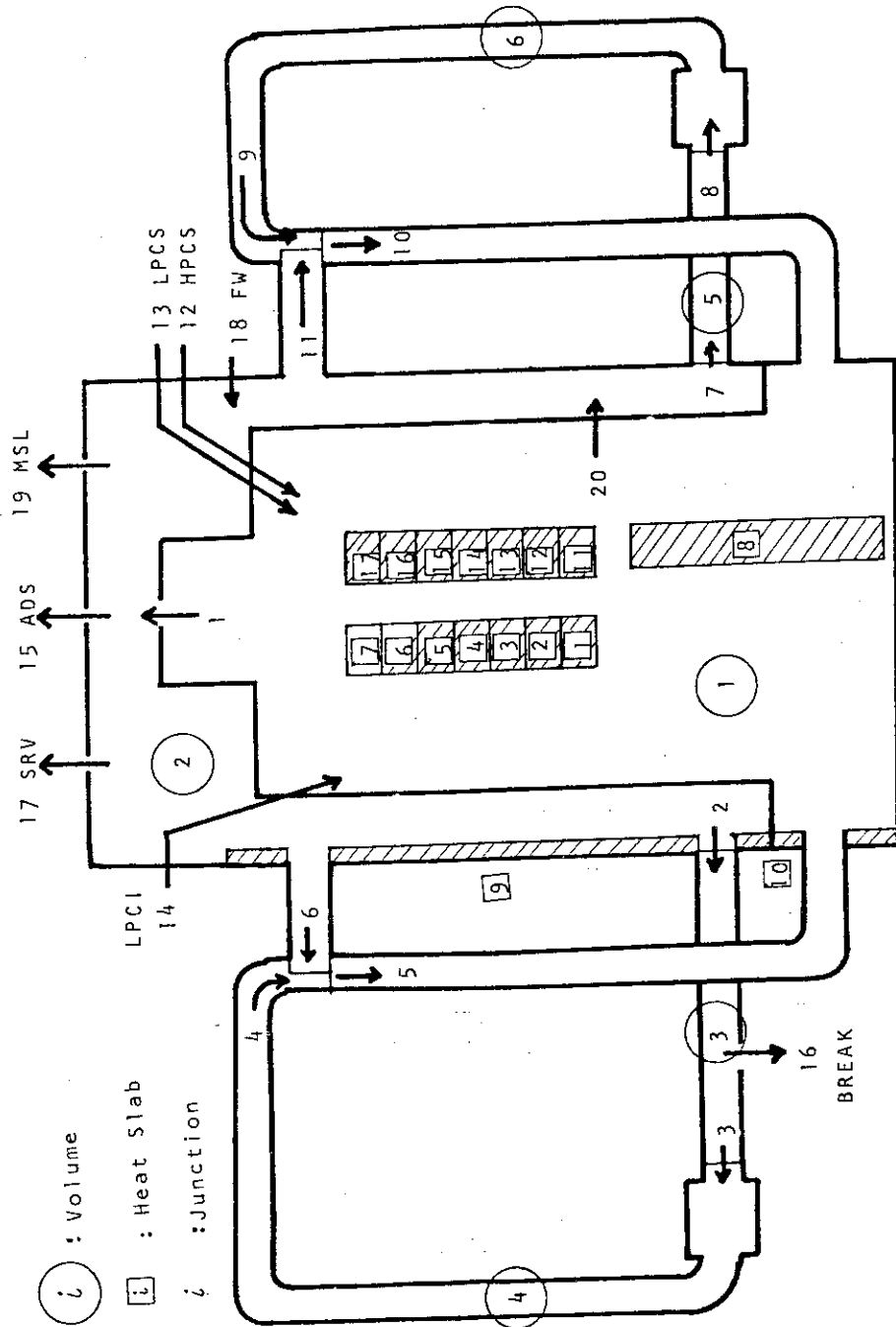


Fig. 5.1 Node and Junction Representation by THYDE-B1



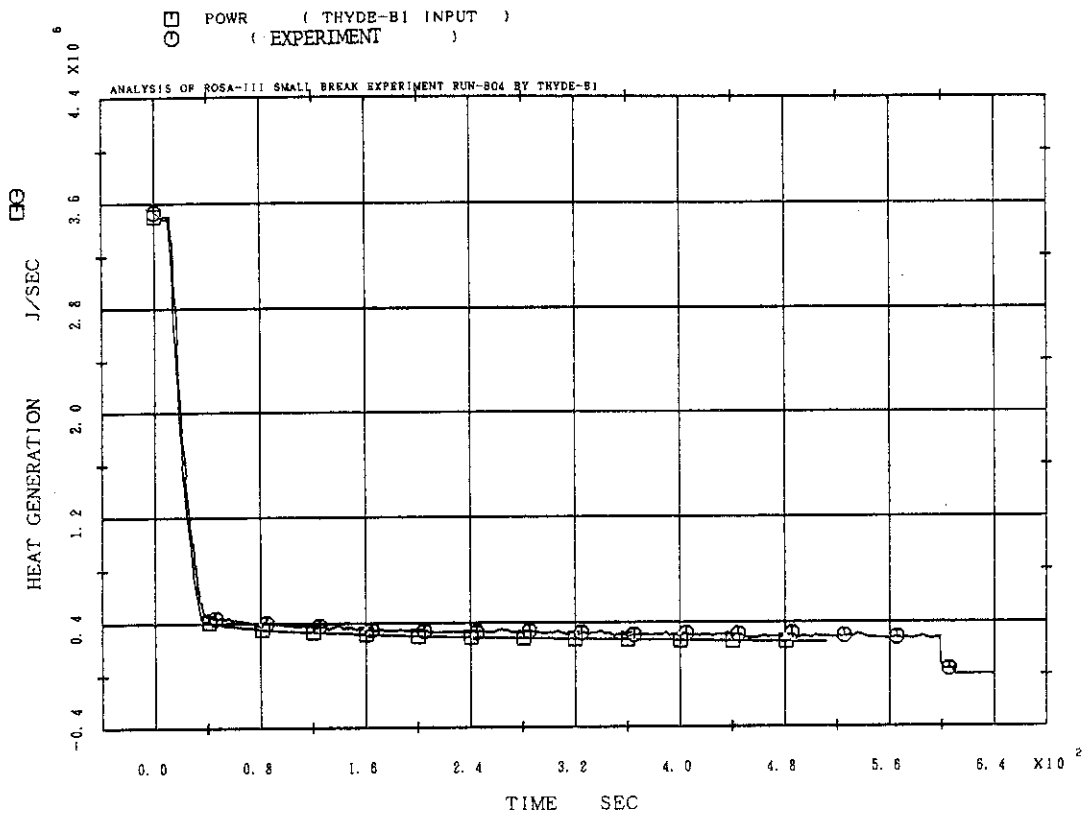


Fig. 5.2 Measured and Inputted Power Curve

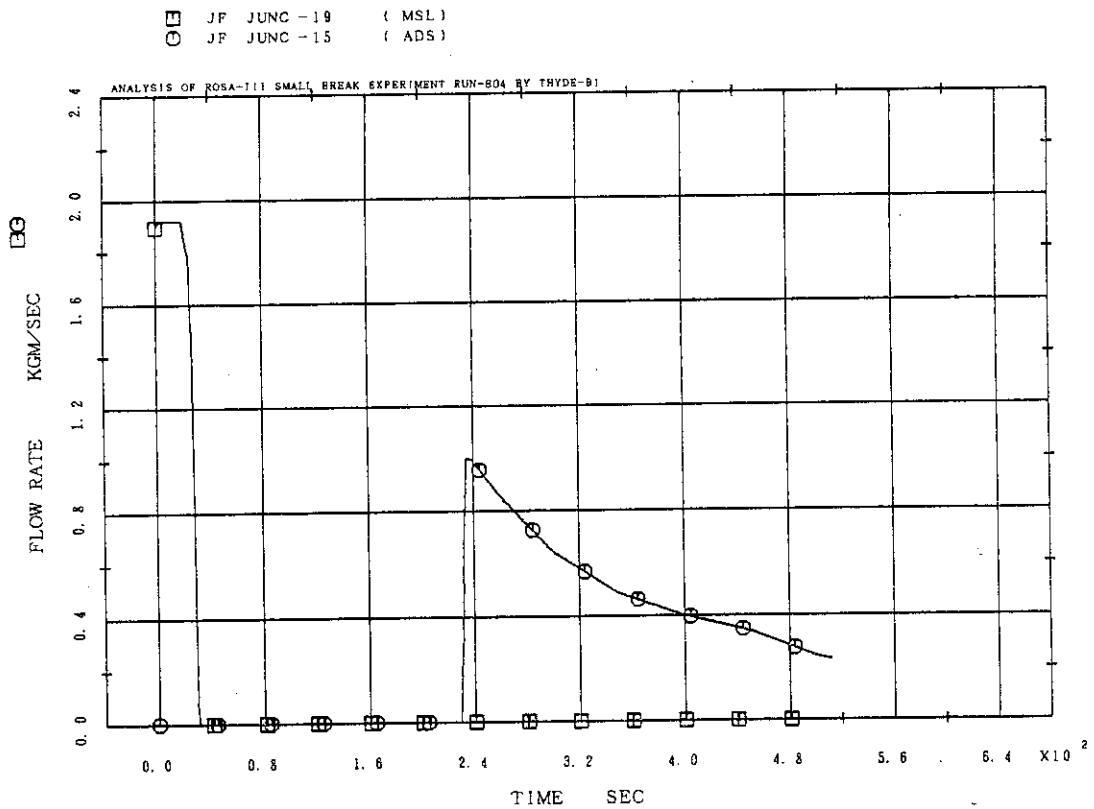


Fig. 5.3 Inputted Flow Rate for MSL and ADS

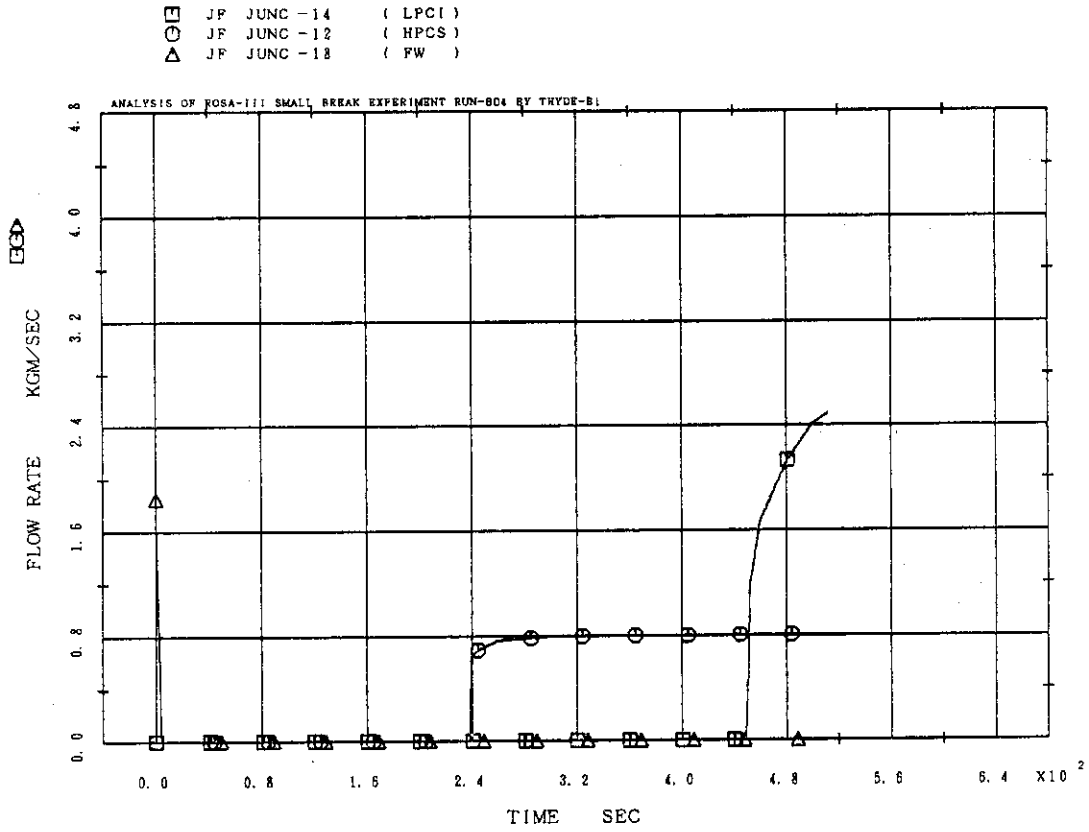


Fig. 5.4 Inputted Flow Rate for FW, HPCS, and LPCI

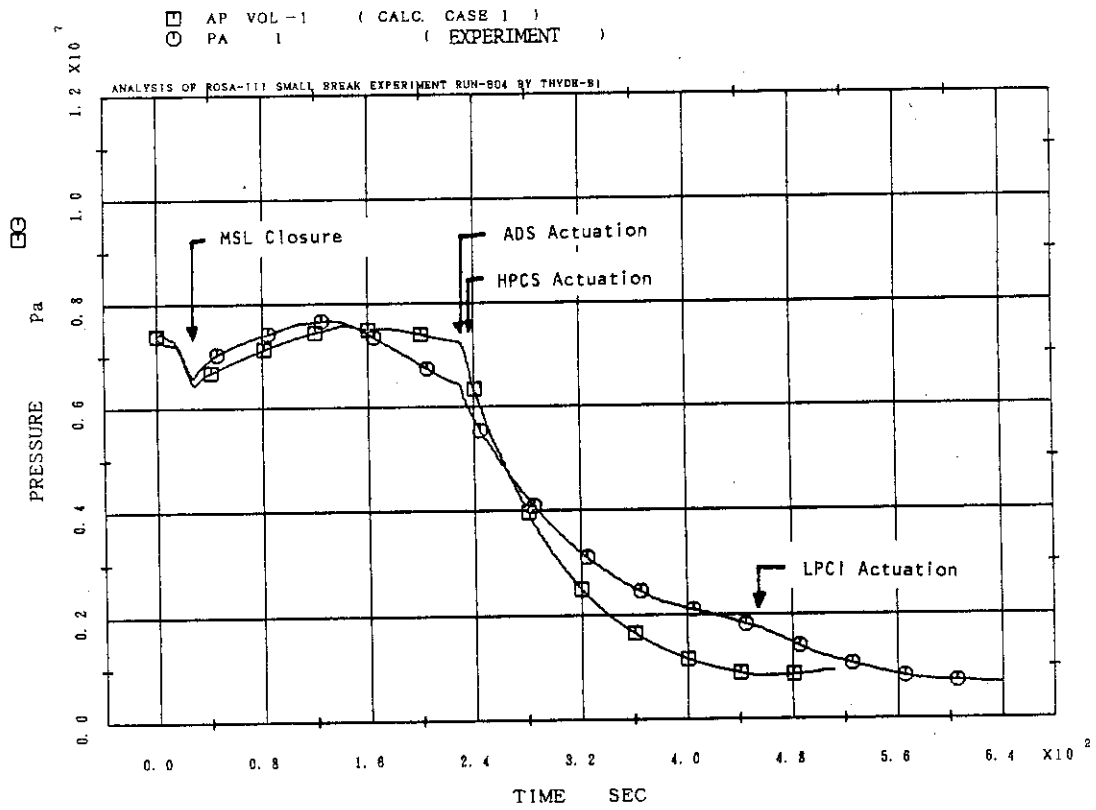


Fig. 5.5 Comparison of Calculation and Experiment, Lower plenum Pressure

□ SNBE S. N. -2 VOL-1 ( MIX-VAP (INSIDE SHROUD) )  
 ○ SNBE S. N. -1 VOL-1 ( SUB-MIX (INSIDE SHROUD) )  
 △ ( MIX-VAP (OUTSIDE SHROUD) )  
 + ( SUB-MIX (OUTSIDE SHROUD) )

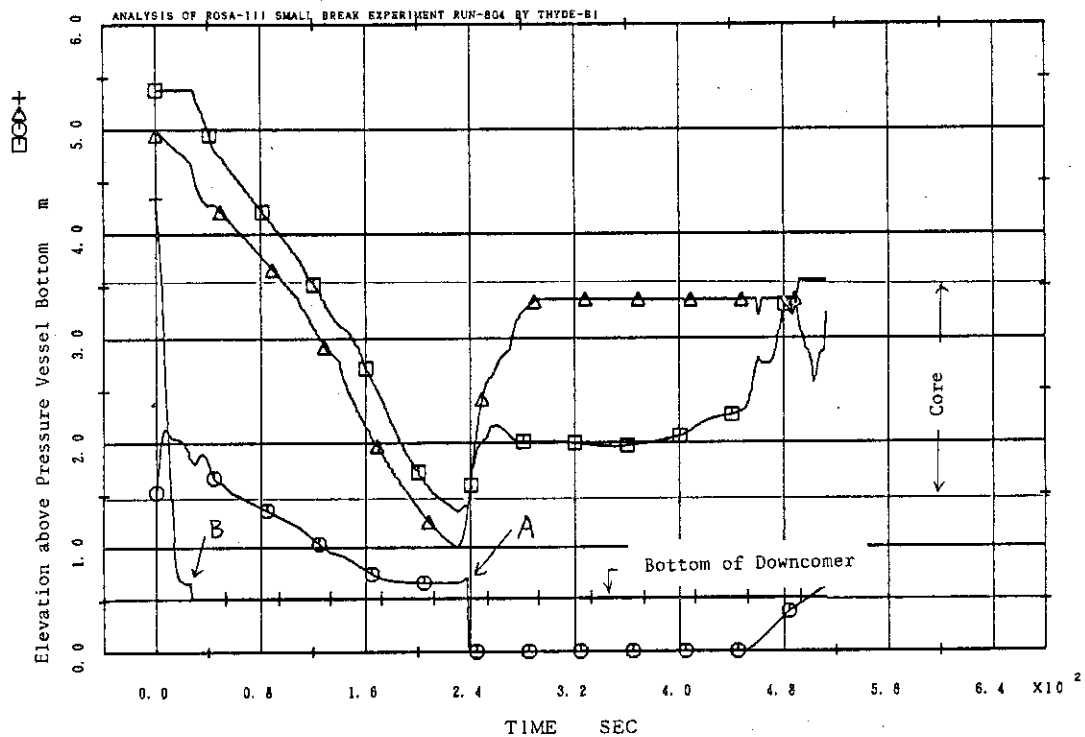


Fig. 5.6 Calculated Subnode Boundary Elevation above Bottom of Lower Plenum

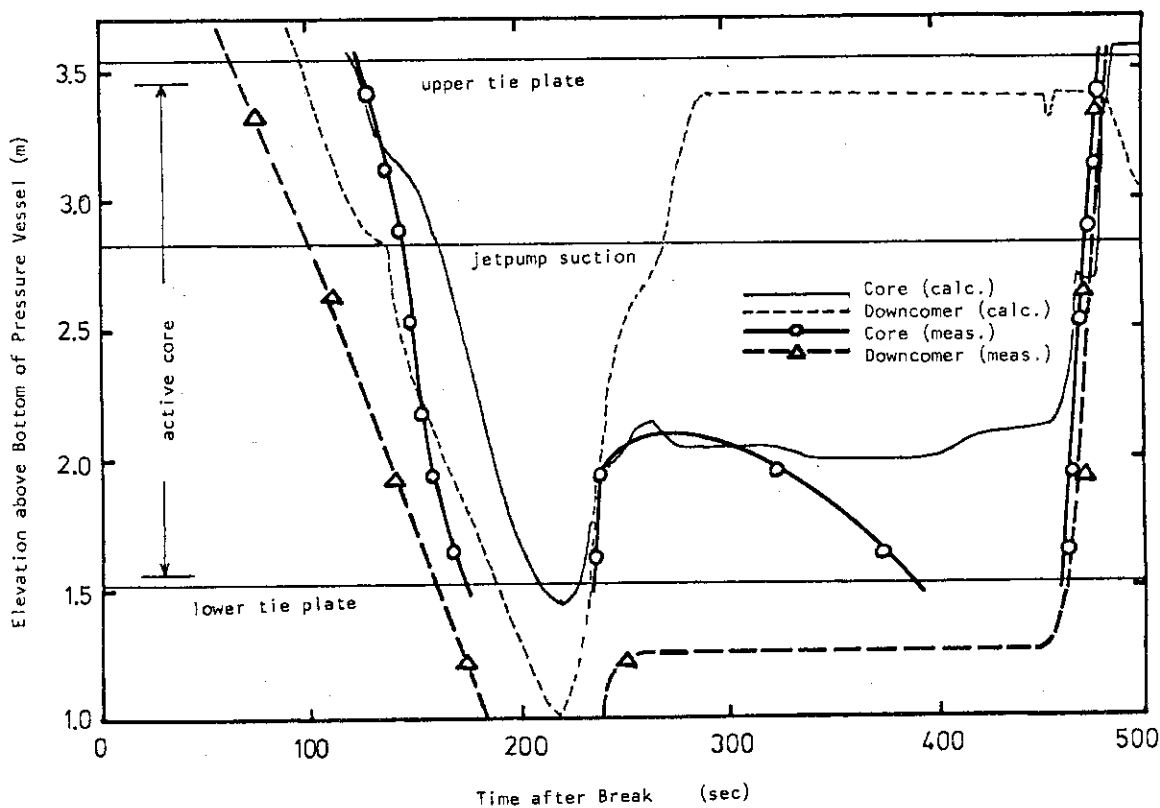


Fig. 5.7 Comparison of Calculation and Experiment, Mixture Level in the Core and in the Downcomer

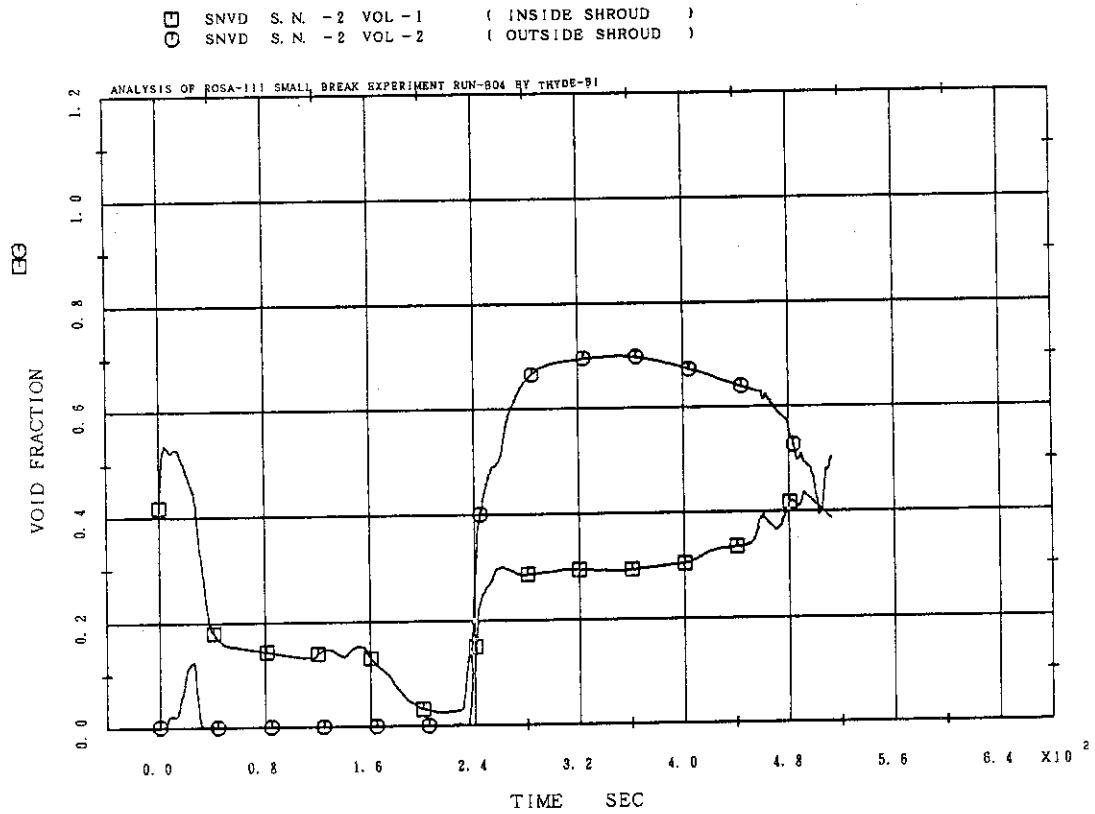


Fig. 5.8 Calculated Void Fraction in Mixture Subnodes

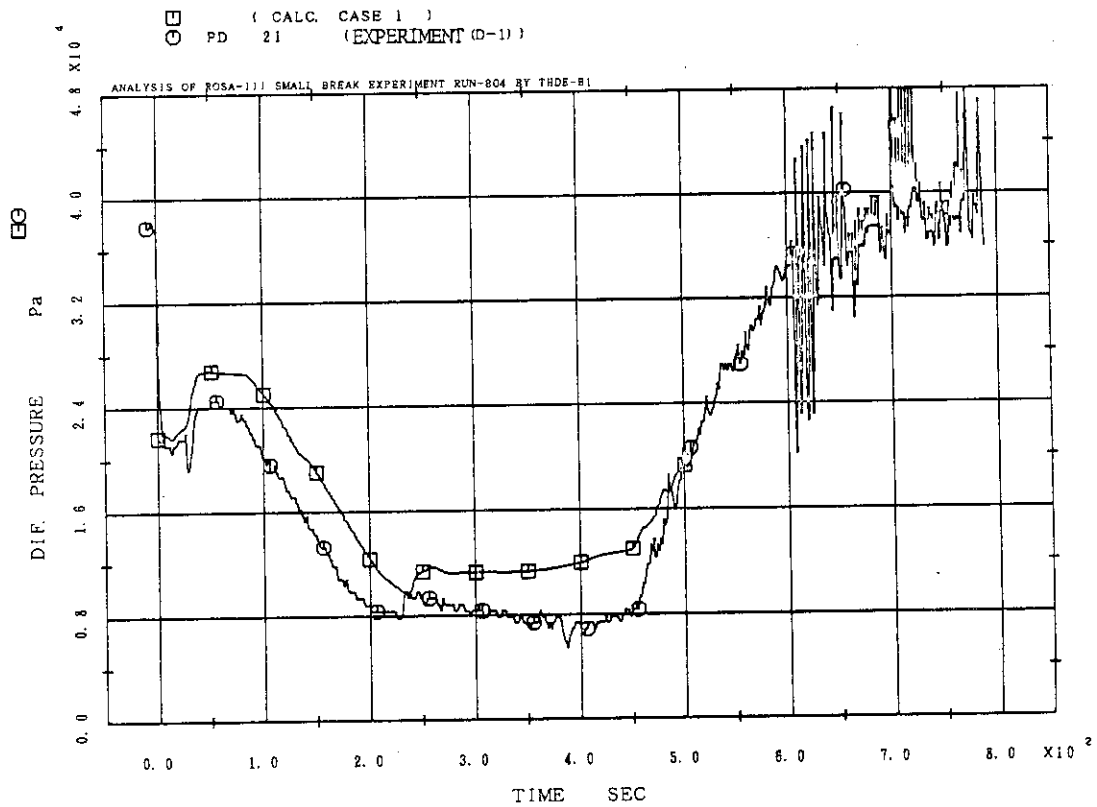


Fig. 5.9 Comparison of Calculation and Experiment, Differential Pressure inside Shroud

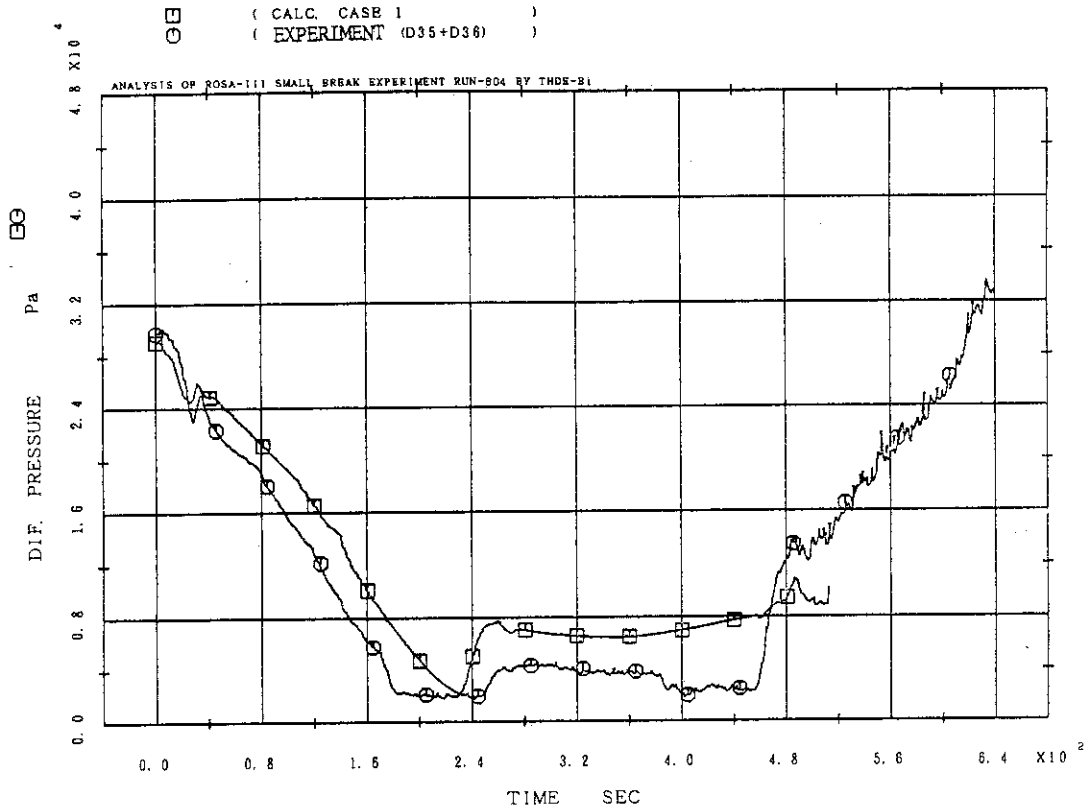


Fig. 5.10 Comparison of Calculation and Experiment, Differential Pressure outside Shroud

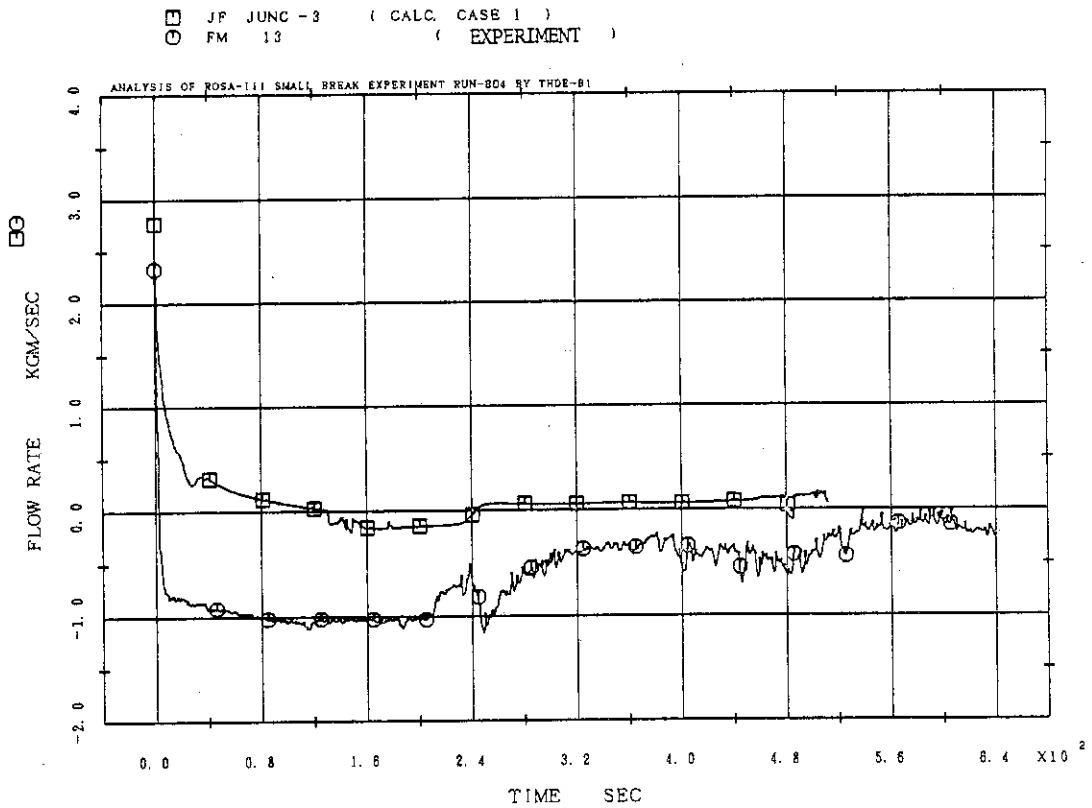


Fig. 5.11 Comparison of Calculation and Experiment, Flow Rate at Pump Side of the Break

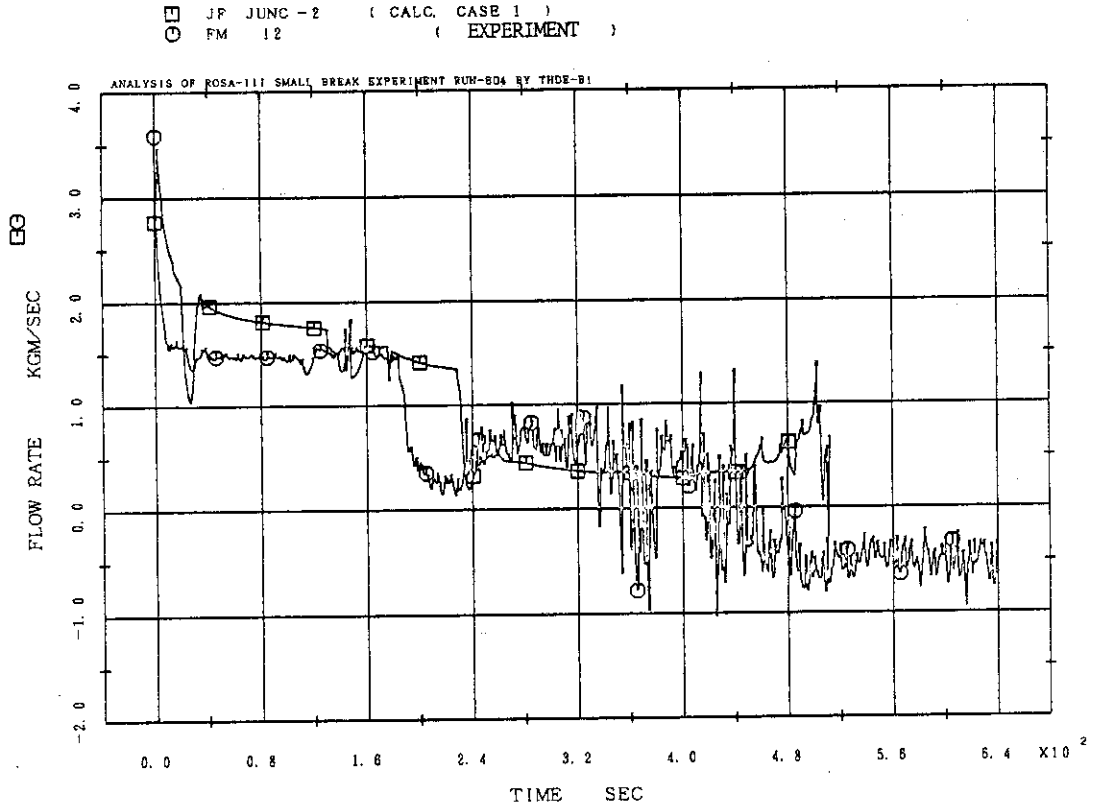


Fig. 5.12 Comparison of Calculation and Experiment, Flow Rate at Vessel Side of the Break

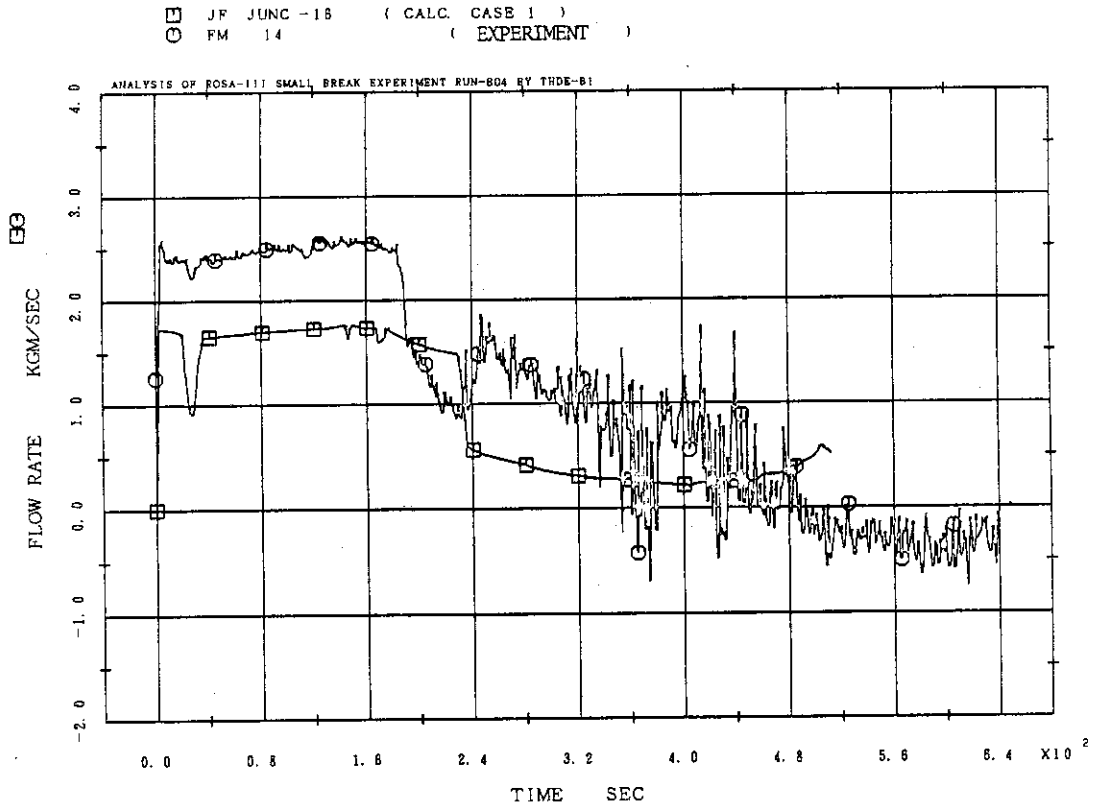


Fig. 5.13 Comparison of Calculation and Experiment, Flow Rate at the Break

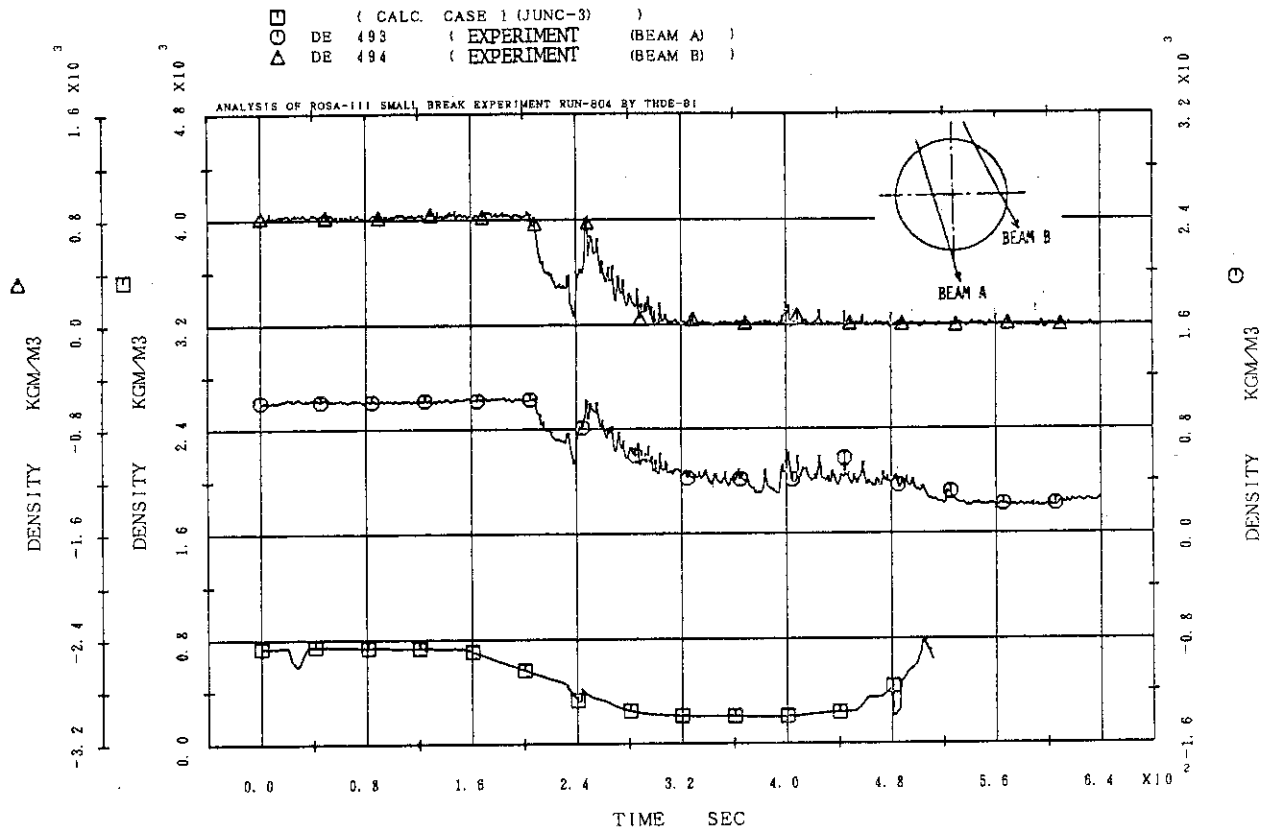


Fig. 5.14 Comparison of Calculation and Experiment, Density at Pump Side of the Break

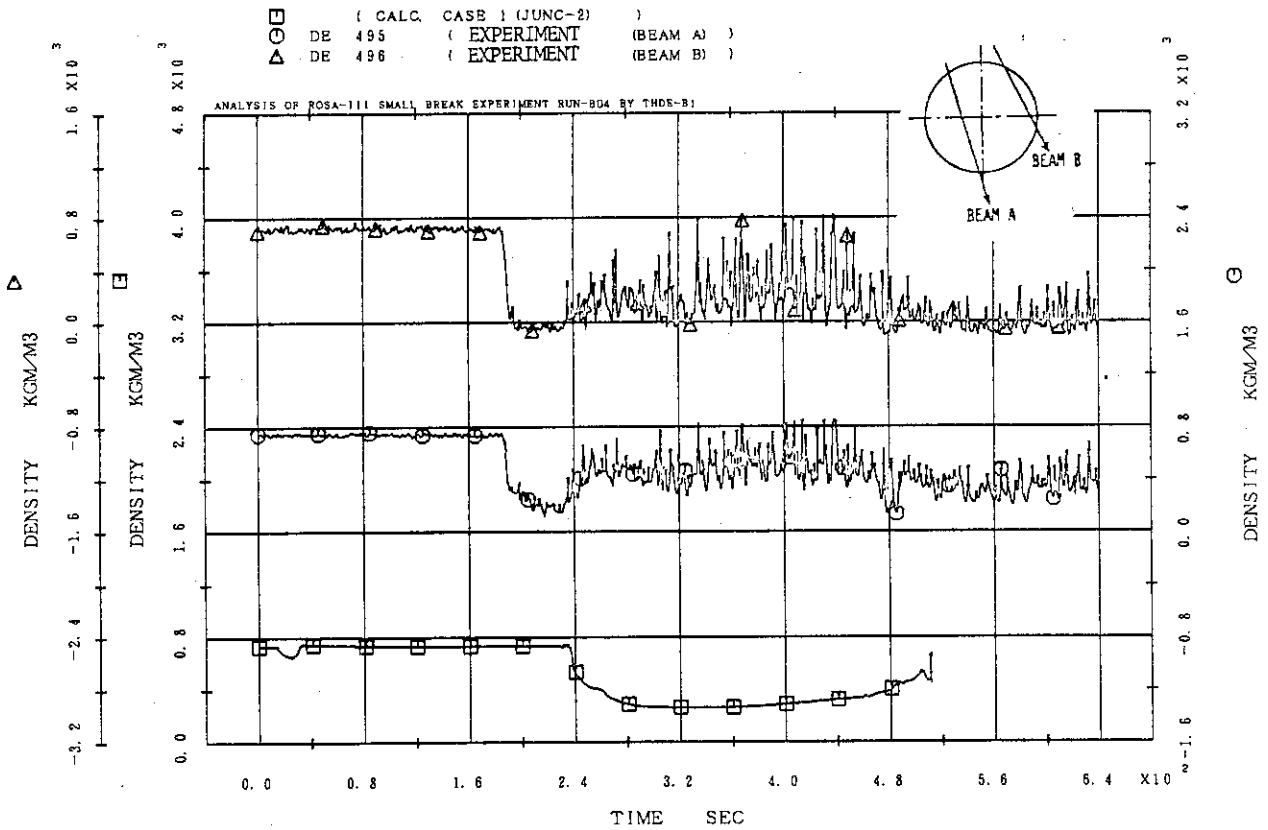


Fig. 5.15 Comparison of Calculation and Experiment, Density at Vessel Side of the Break

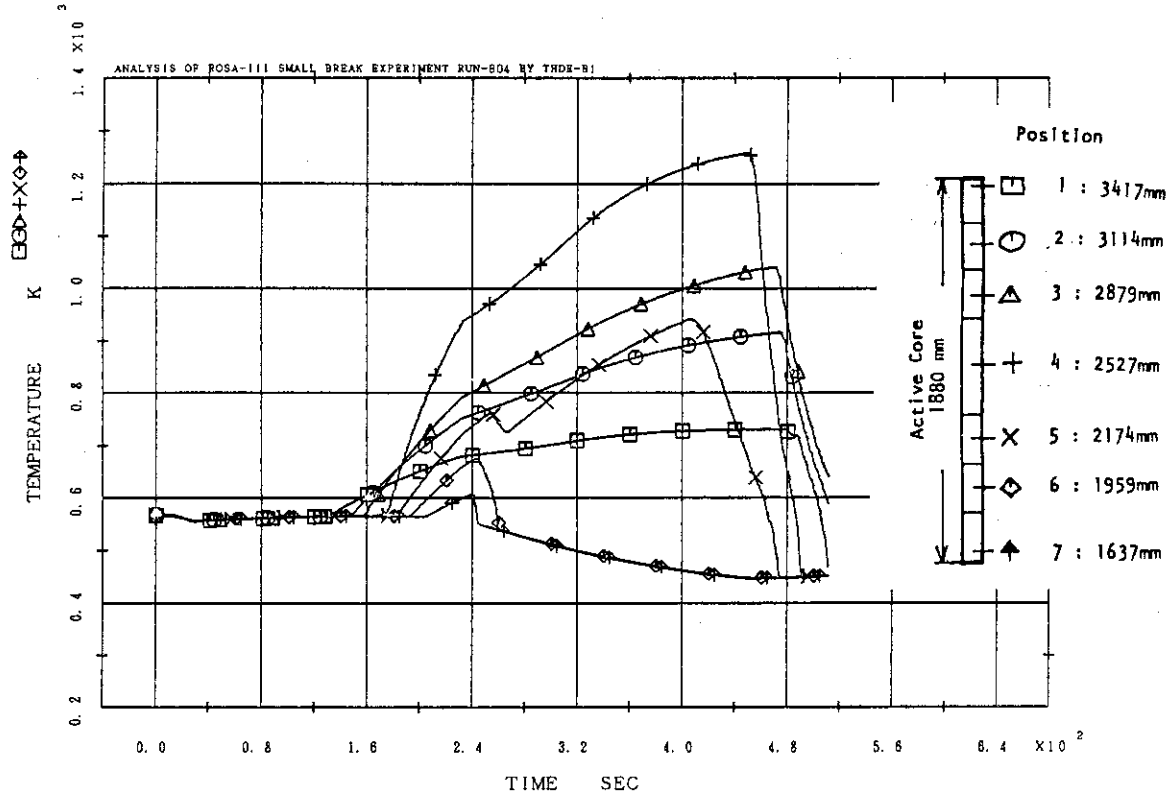


Fig. 5.16 Comparison of Calculation and Experiment, Rod Surface Temperature  
 (a) Calculated Surface Temperature of High Power Rod

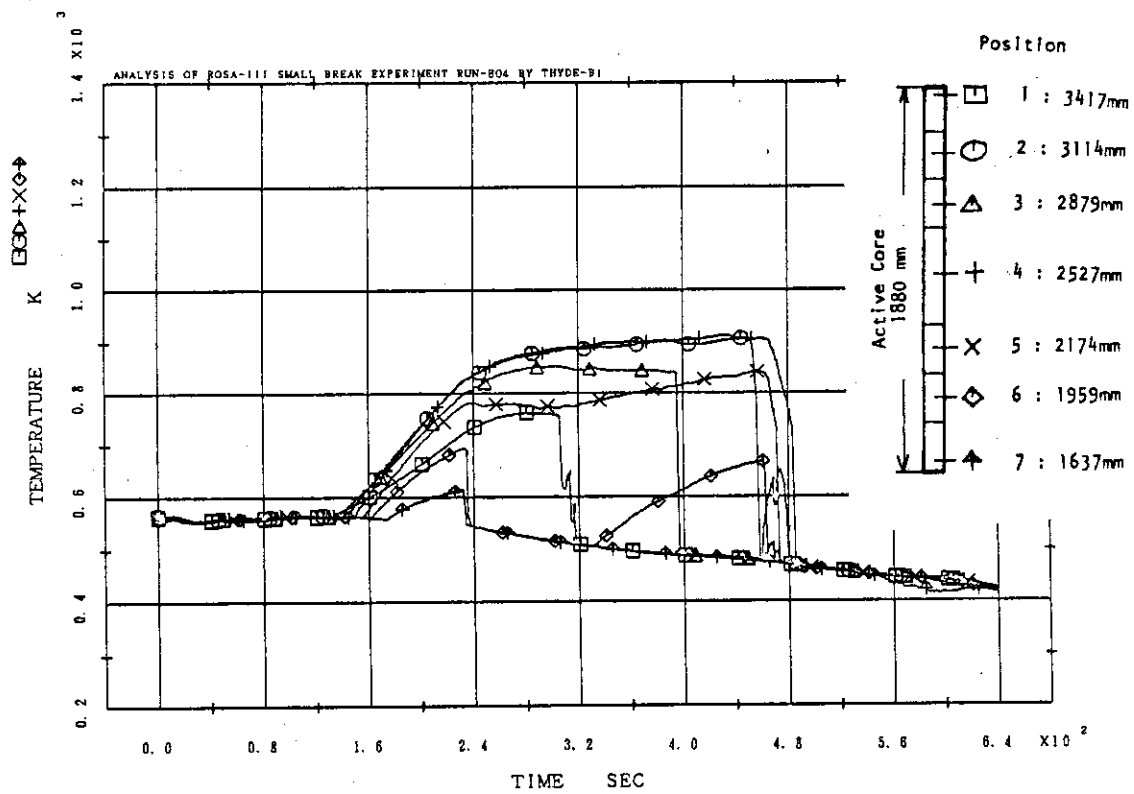


Fig. 5.16 Comparison of Calculation and Experiment, Rod Surface Temperature  
 (b) Measured Surface Temperature of A34 Rod



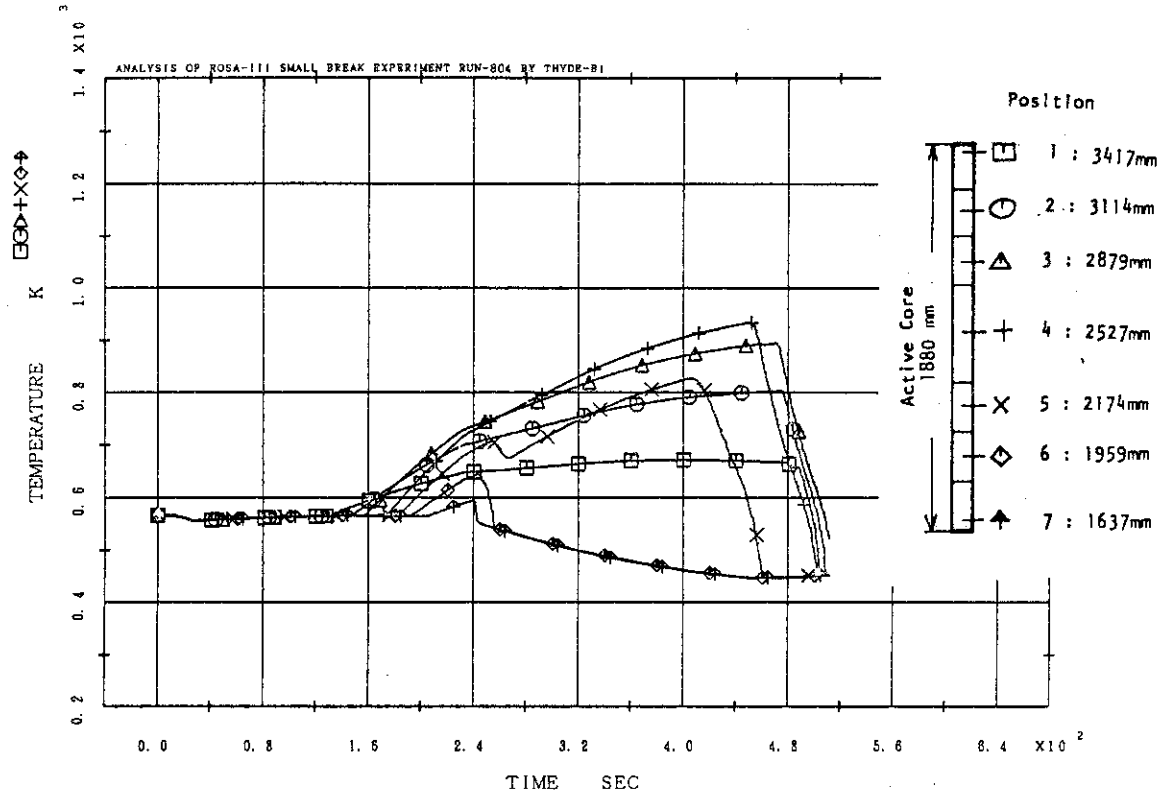


Fig. 5.16 Comparison of Calculation and Experiment, Rod Surface Temperature  
(c) Calculated Surface Temperature of Low Power Rod

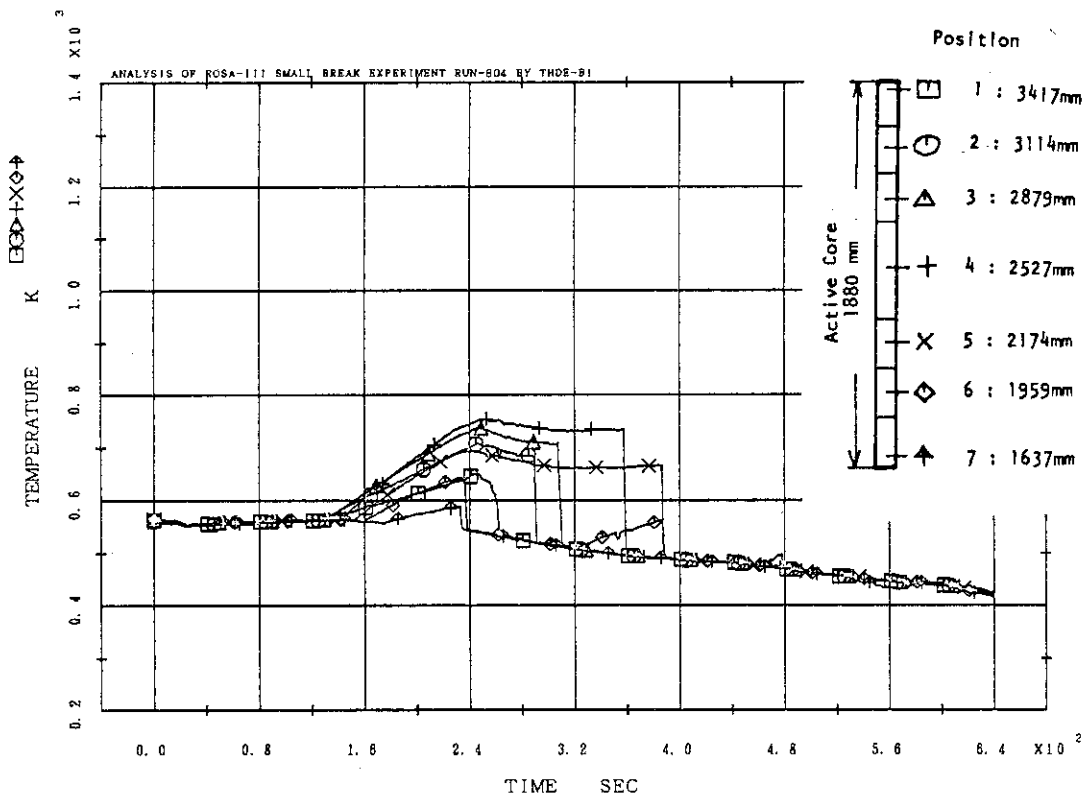


Fig. 5.16 Comparison of Calculation and Experiment, Rod Surface Temperature  
(d) Measured Surface Temperature of D27 Rod

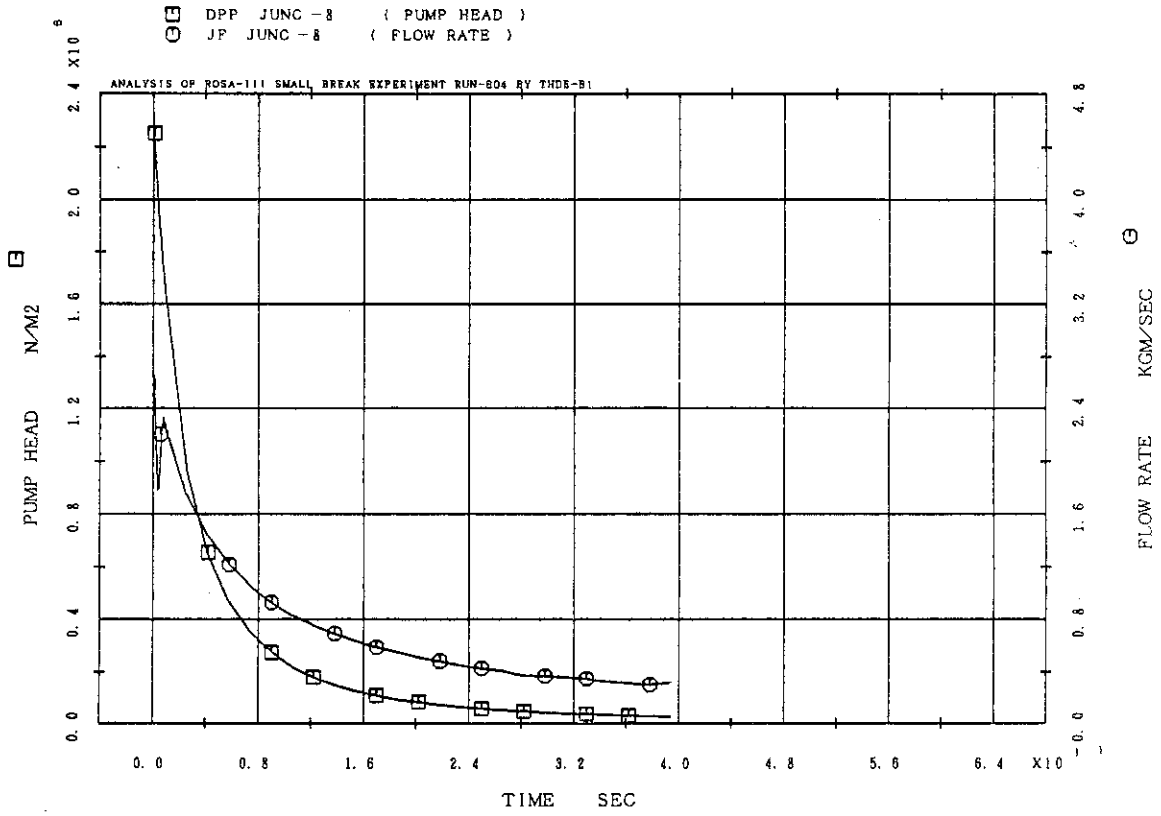


Fig. 5.17 Calculated Flow Rate and Pump Head of Intact Loop

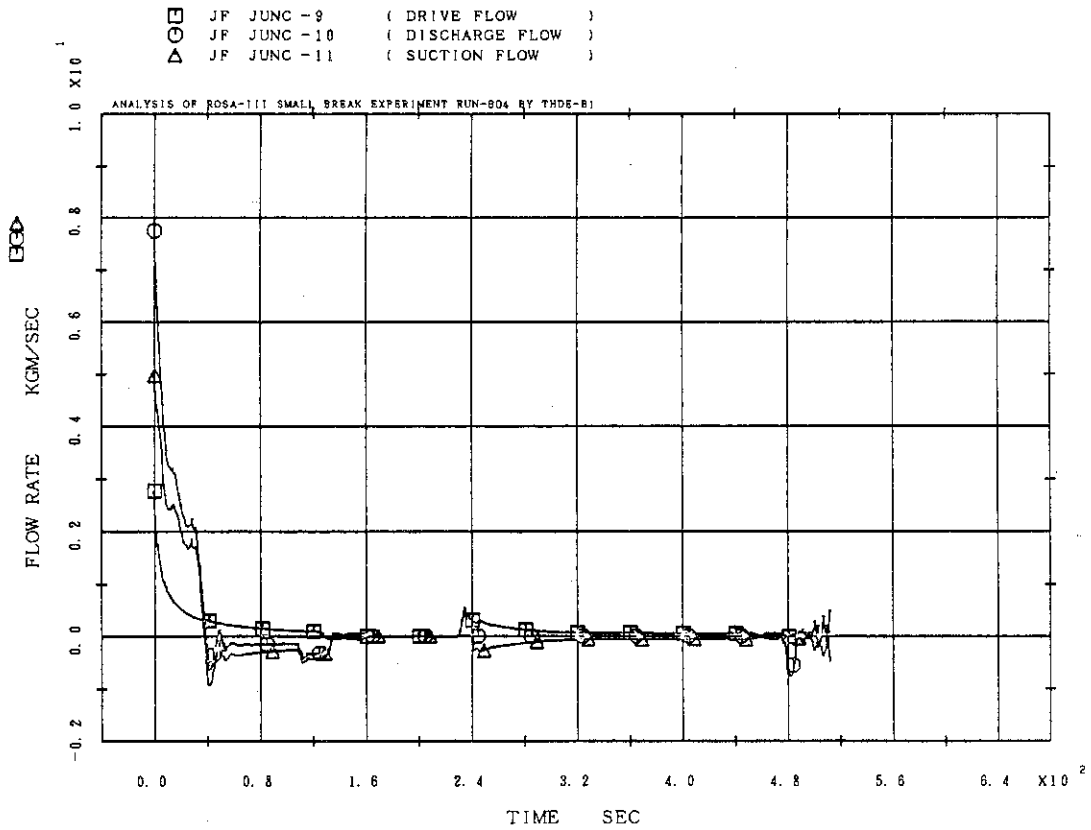


Fig. 5.18 Calculated Jet Pump Flow, Intact Side (Total of Two Jet Pumps)

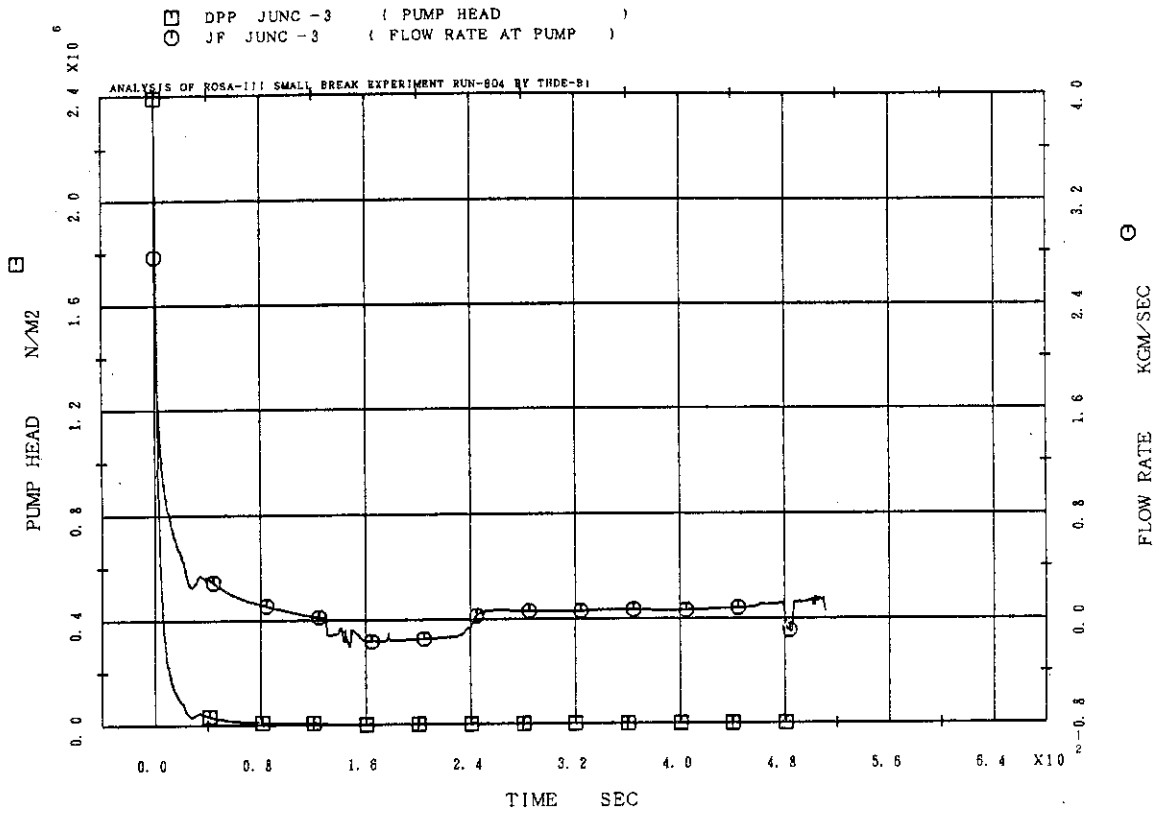


Fig. 5.19 Calculated Flow Rate and pump Head of Broken Loop

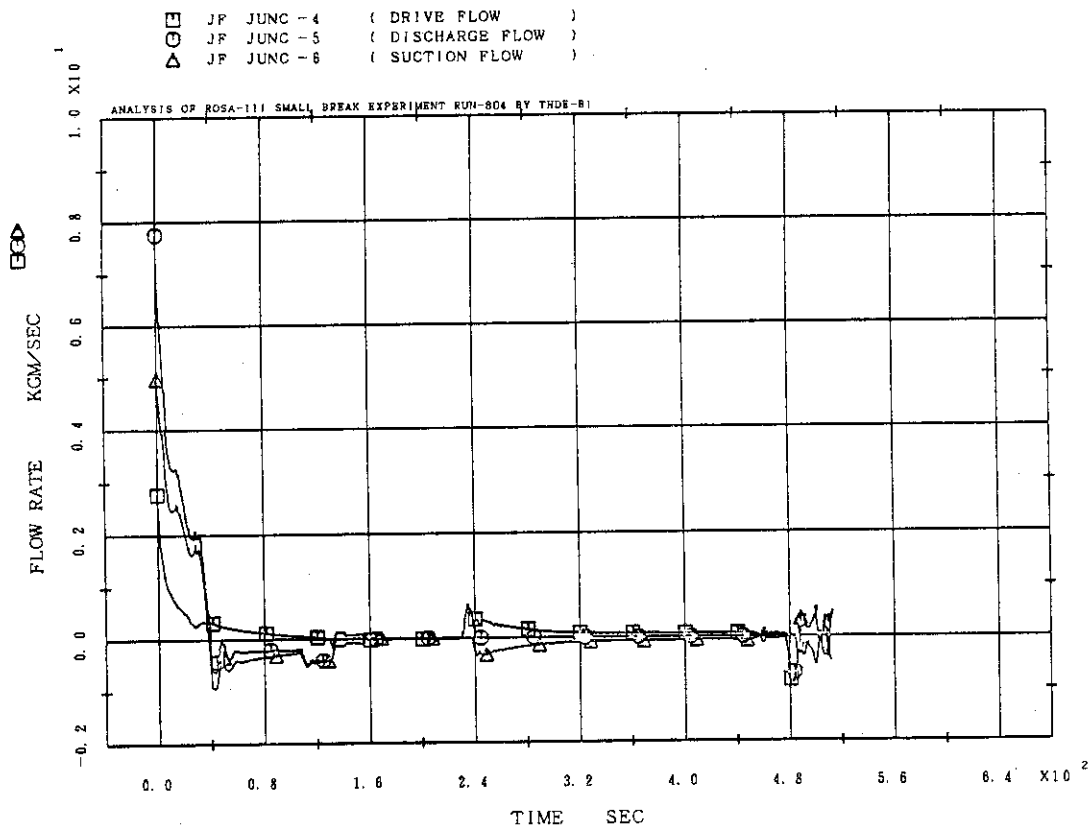


Fig. 5.20 Calculated Jet Pump Flow, Break Side (Total of Two Jet Pumps)

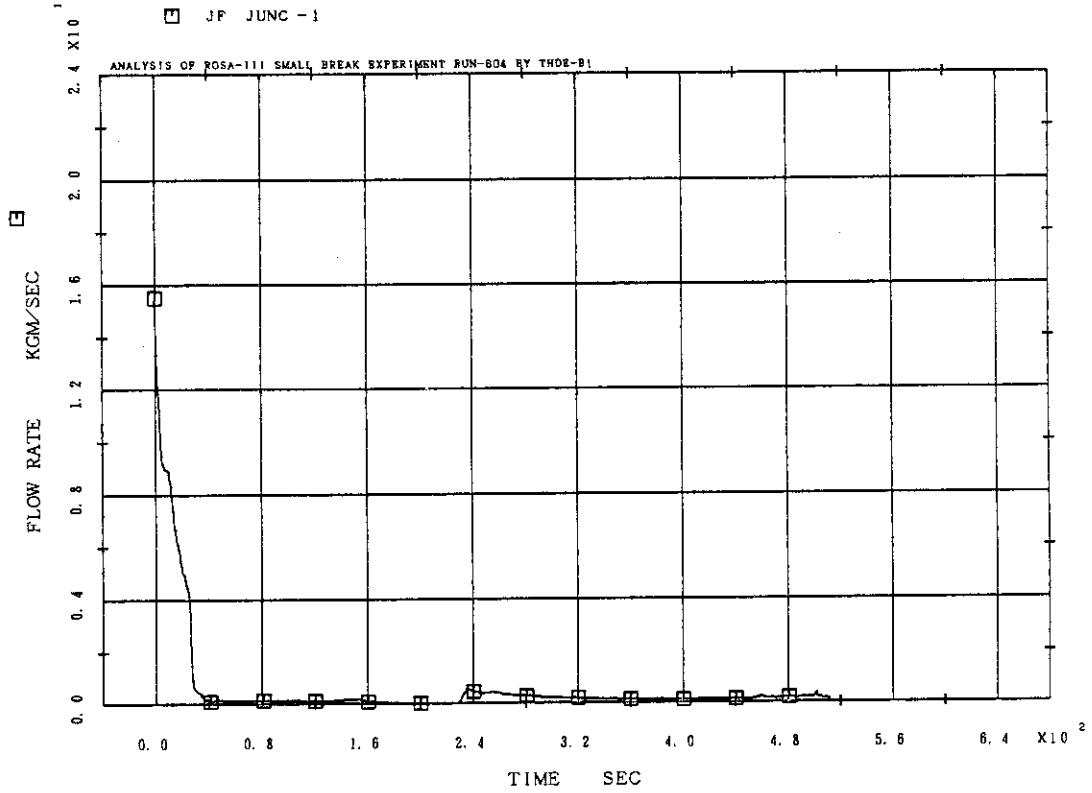


Fig. 5.21 Calculated Flow Rate at Steam Separator

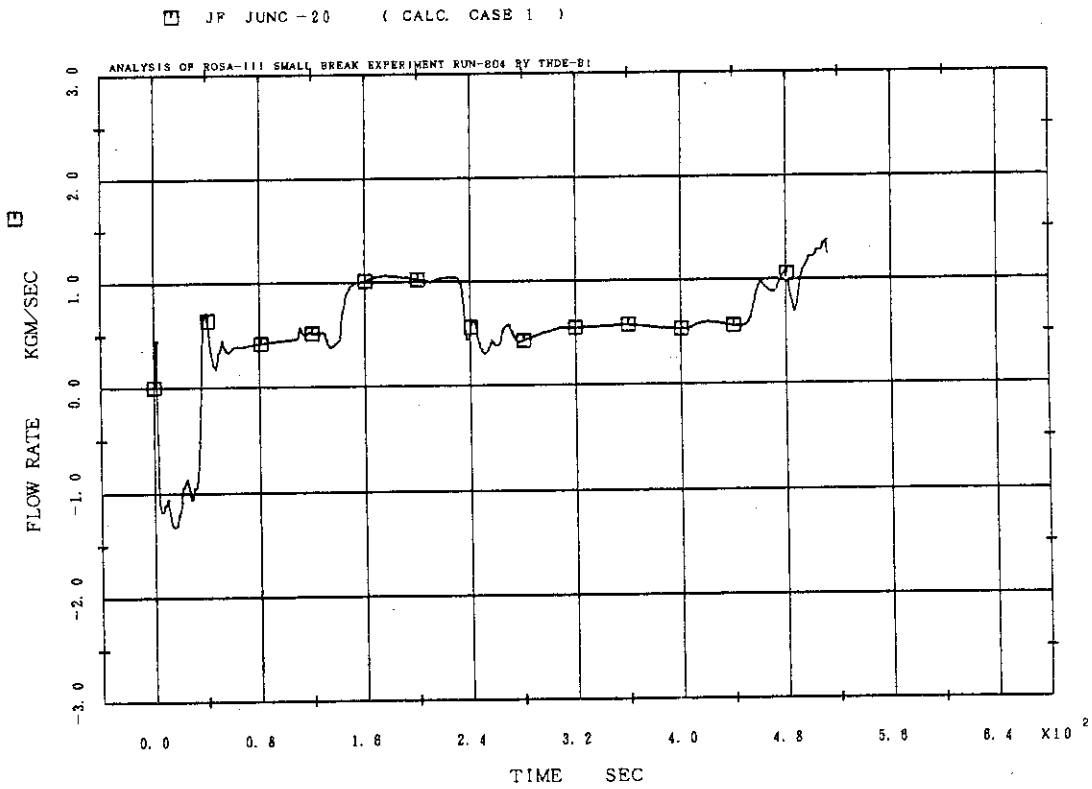


Fig. 5.22 Calculated Flow Rate at the Leakage in Shroud Wall

## 6. 感 度 解 析

今回行った計算の結果が入力パラメータの選択によってどの程度変化するかを調べるため、計算担当者の任意性が入りうると考えられる入力パラメータを選んで次の項目に関する感度解析を行った。

- (1) 破断口流量計算モデルの放出係数 (6.1 節)
- (2) 水位計算モデルの入力パラメータ (6.2 節)
- (3) LPCI 注入水の蒸気との混合係数 (6.3 節)
- (4) 炉心シュラウド内側の初期ボイド率 (6.4 節)

ただし、(4)は基本ケースの計算実行ののち、本実験の解析では比較的重要であることが判り追加したものである。

また、基本ケースの解析の結果、炉心スプレイによる炉心冷却を低めに計算していることが判ったので、その誤差が圧力や水位の計算結果に与えている影響を調べるためにプログラムの一時的修正により熱伝達係数を変えた計算を試みた。この結果を 6.5 節に示す。

さらに基本ケースでは炉心シュラウド壁に漏洩があったと仮定して計算しているの、これがなかったとした場合の計算結果を 6.6 節に示す。表 6.1 に行った計算をまとめて示す。なお本章では結果を示すに留め検討はまとめて 7 章で行う。

### 6.1 破断口の放出係数を変えた場合の影響

THYDE-B1 の破断口流量計算モデルは、2.2 節に述べたとおりである。基本ケースでは、未飽和領域に適用する非圧縮性液相单相流の式の流量係数として  $C_1 = 0.61$ 、飽和相領域に適用する Moody の式の放出係数として  $C_0 = 0.6$ 、両者の間の遷移を平滑化するクオリティの上限として  $X_{tran} = 0.02$  を与えている。

これを変えた場合の影響を調べるために、 $C_1 = 0.75$ 、 $C_0 = 0.75$ 、 $X_{tran} = 0.02$  としたケースの計算を行った。この値の選択は後に最適な放出係数を定めるための参考となるようにダウンカマ差圧の測定値とベースケースの計算結果の比較(図 5.10)を調べて循環ポンプサクション露出時刻が一致するように定めたものである。

図 6.1、6.2、6.3 に圧力、炉心シュラウド内側の水位、および最高被覆管温度の計算値の比較を示す。放出係数の変更は流量を 25% 増加させたことに相当し圧力と水位の計算値への影響はかなり大きいことがわかる。

### 6.2 水位計算モデルの入力パラメータを変えた場合の影響

水位計算のモデルは 2.2 節に説明したとおりである。このモデルでは、飽和混合相内における気泡の分布の形を記述するパラメータ  $C_g$  を入力として与える必要がある。ここでは、炉心

シュラウド内側ノードに対する  $C_a$  の値を変えてその影響を調べた。

基本ケースでは、 $C_a = 0$  としている。この場合には気泡の等価的走行距離  $X_L$  を用いるオプションが採られ  $X_L$  は定常状態での熱バランスからプログラム内で計算される。感度解析では、 $C_a$  を  $-2$ 、 $1$ 、および  $1.5$  に変えた 3 ケースの計算を行った。

$C_a = -2$  では基本ケースと同様に気泡走行距離を用いるオプションを採るが、この場合には  $X_L$  を  $+2$  m として指定したことになる。基本ケースで自動的に計算された  $X_L$  の値は  $3.67$  m なので、この値では同じボイド率の場合で約 2 倍の気泡分離量を与えることになる。従って水位は基本ケースより早く下がる。ただしこのモデルでは飽和領域高さの  $1/2$  が指定した  $X_L$  よりも小さくなった場合には、飽和領域高さの  $1/2$  で  $X_L$  を置き換える。通常は、水位が炉心上端付近まで下がるとこの条件に該当し、それ以後は始めの指定値によらず共通の挙動を示す。

$C_a$  を正の数で与えた場合は、水位面でのボイド率と平均値の比を一定値で与えるオプションが採られる。 $C_a = 1$  は気泡分布を一様とするもので多くの場合に対しては過小の値であり、実際より高めの水位を計算すると予想できる。

図 6.4、6.5、6.6、6.7 は、計算された圧力、炉心シュラウド内側水位、高出力ロッド中央部の被覆管温度、炉心シュラウド内側の差圧（図 3.6 の D1）を比較したものである。図 6.5 の水位をみると、ADS 作動までの水位低下については  $X_L$  が小さい方が水位が低く（ケース 1 と 5 の比較）、 $C_a$  が小さい方が水位が高い（ケース 6 と 7 の比較）という定性的差はあるが、全体として大きな差はない。ケース 6 では ADS 作動後水位が急上昇しているが、これは前述のように水面ボイド率を過小評価しているためである。このために図 6.6 の被覆管温度は急速に低下している。ケース 7 で破断直後にすぐ被覆管温度が上昇しているのは、指定した  $C_a$  の値が定常状態でのボイド率、流量の状態とバランスしていないために流量が急変して CHF が計算されたためである。

図 6.4 の圧力の比較においてはケース 6 では ADS 作動後すぐに炉心が再冠水されるために圧力は他の計算値より高くなっているが、これ以外には顕著な差はない。

### 6.3 LPCI 注入水と蒸気との混合効率を変えた場合の影響

注入水と蒸気の混合モデルは 2.2 節で説明した。

ROSA III に装備されている LPCI は、in-shroud injection 型であり、上部プレナム下端のノズルからバイパスおよび上部プレナムに注入される。

基本ケースでは、この注入水の蒸気との混合はまったく無視しており、注入水はシュラウド内側ノード下端の未飽和相領域に直接加えられている。

これに対して感度解析では蒸気相領域および飽和水領域の両方における混合係数を 1（完全混合）としている。

図 6.8、6.9、6.10 に圧力、水位、被覆管温度計算値の比較を示す。460 秒の LPCI 注入開始以後圧力と水位への影響は大きい。圧力の曲線の勾配は混合効率を高く与えた方が実験値に近くなっている。水位が急速に上昇するのは減圧沸騰と炉心再冠水時の伝熱量増大によ

るものである。

被覆管温度の計算値はほとんど影響をうけない。これはL P C I作動から炉心再冠水までの時間が短かいためである。

#### 6.4 炉心シュラウド内側ノードの初期ボイド率を変えた場合の影響

THYDE-B1コードでは各ノードの水温、水位、ボイド率等は入力データとして与える必要がある。RUN804実験ではボイド率のデータは得られていない。

このため基本ケースでは、炉心シュラウド内側ノードの飽和混合相領域のボイド率として、水温、流量、出力等のデータと熱バランスから推定した値を用いている。しかし、5.2節(2)で述べたように、基本ケースでは炉心水位の低下が実験値よりも若干、遅く、この原因として初期ボイド率が過小(すなわち初期インベントリは過大)であった可能性がある。この推定に基づいて、感度解析では初期インベントリを減らすように、炉心シュラウド内側ボイド率を高くした。基本ケースで0.4に対して感度解析では0.6である。

図6.11から6.15に計算結果の比較を示す。圧力には顕著な差はない。水位はボイド率を大きく与えたケース9の方が早く低下し、被覆管温度の上昇開始時刻は実験値に近くなっている。図6.14、6.15はシュラウドの内側と外側の差圧を実験結果と比較したものであるが、基本ケースの場合よりよい一致を示している。とくにシュラウド外側の差圧の挙動は40から160秒の間で実験値と極めてよく一致している。ボイド率を大きくした場合の結果は6.1節の放出係数を大きくした場合の結果とよく似ている。

#### 6.5 炉心スプレイ作動後の熱伝達係数計算モデルを変えた場合の影響

基本ケースの計算結果を実験値と比較した結果、上部プレナムへのスプレイ注入時の熱伝達係数が過小に計算されていることがわかった。この誤差の程度および、その圧力および水位の計算結果への影響を調べるために、計算プログラムを一時的に修正してスプレイ作動後の熱伝達係数を変えたケースの計算を行った。

THYDE-B1の熱伝達モデルでは、スプレイ液滴による伝熱は直接には考慮されておらず、水位より上の部分(三領域ノードの蒸気領域)に対する熱伝達係数は常に蒸気単相に対するDittus-Boelter〔14〕の式を用いて計算されている。そしてスプレイによる冷却効果は上部プレナムにおける蒸気凝縮のために蒸気相の流速が大きくなることにより間接的に熱伝達係数の計算結果に反映するようになっている。ただし、熱伝達係数は $5 \text{ BTU} / \text{ft}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ \text{F}$ より小さくならないという条件が入っており、炉心露出後は、多くの場合この条件に該当している。熱伝達係数は過小であるが本コードでは蒸気相の過熱を無視しており、蒸気相温度は飽和温度と仮定するので、結果として計算される伝熱量は不当に過小な値にはなっていない。

感度解析では、スプレイ開始以後、上記の方法で計算した熱伝達係数を2倍にするように一時的にプログラムを修正した。

図6.16、17、18に計算結果の比較を示す。図6.18の被覆管温度は実験値に近づき、

熱伝達係数の誤差のオーダーが2倍程度であったことを示しているが、図6.16, 17の圧力と水位の計算値はあまり変化せず、蒸気相での熱伝達係数の相違の影響が強くないことを示している。

#### 6.6 炉心シュラウド壁の漏洩の影響

基本ケースでは炉心シュラウド壁の漏洩を仮定して計算している。これに対して漏れがなかったと仮定した場合の計算を行って両者を比較した。結果を図6.19, 20, 21に示す。漏れがない場合には、圧力は数気圧高くなり、水位の低下は炉心の半分程度までにとどまることかわかる。また実験では約900Kに達した炉心中央部の被覆管温度は、その部分が露出しないので、飽和温度付近に保たれる。

Table 6.1 List of Calculations for the Sensitivity Test

Case	Data Name	Parameter or Model to Be Tested	Comments
1	R80440	(base case)	
2	R80450	leakage in the core shroud wall	no leakage
3	R80460	discharge coefficient for break	$C1=0.75, C0=0.75$
4	R80470	mixing coefficient for LPCI	full mixing
5	R80480	bubble separation model for node 1	$C\alpha=-2.$
6	R80481	"	$C\alpha= 1.$
7	R80482	"	$C\alpha= 1.5$
8	R80490	heat transfer coefficient under spray cooling condition	h.t.c multiplied by two
9	R80441	initial void fraction inside core shroud	$\alpha = 0.6$



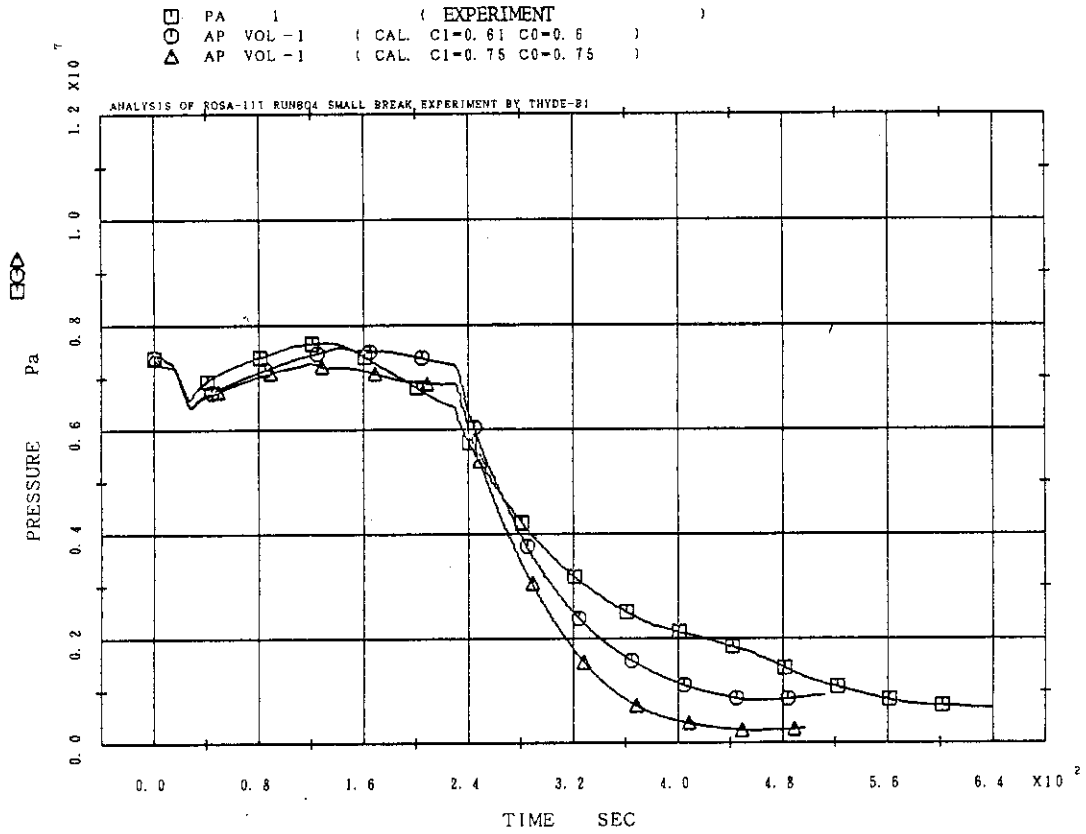


Fig. 6.1 Effect of Discharge Coefficient on Calculated Pressure

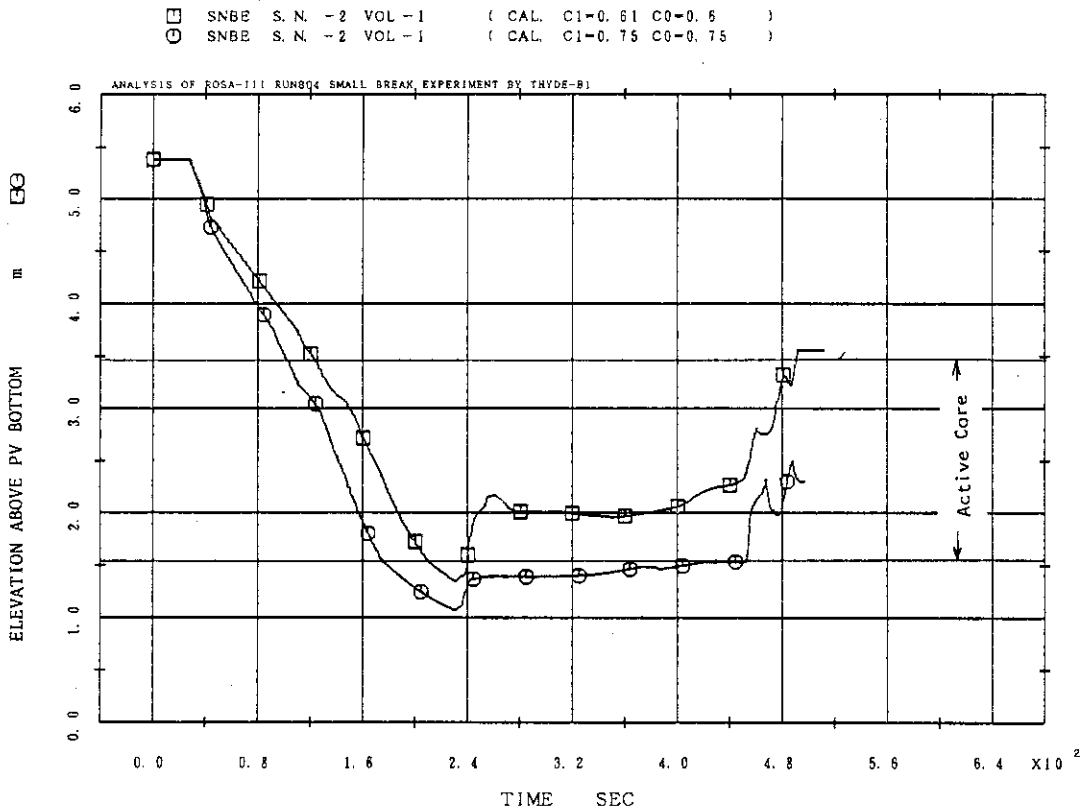


Fig. 6.2 Effect of Discharge Coefficient on Calculated Mixture Level

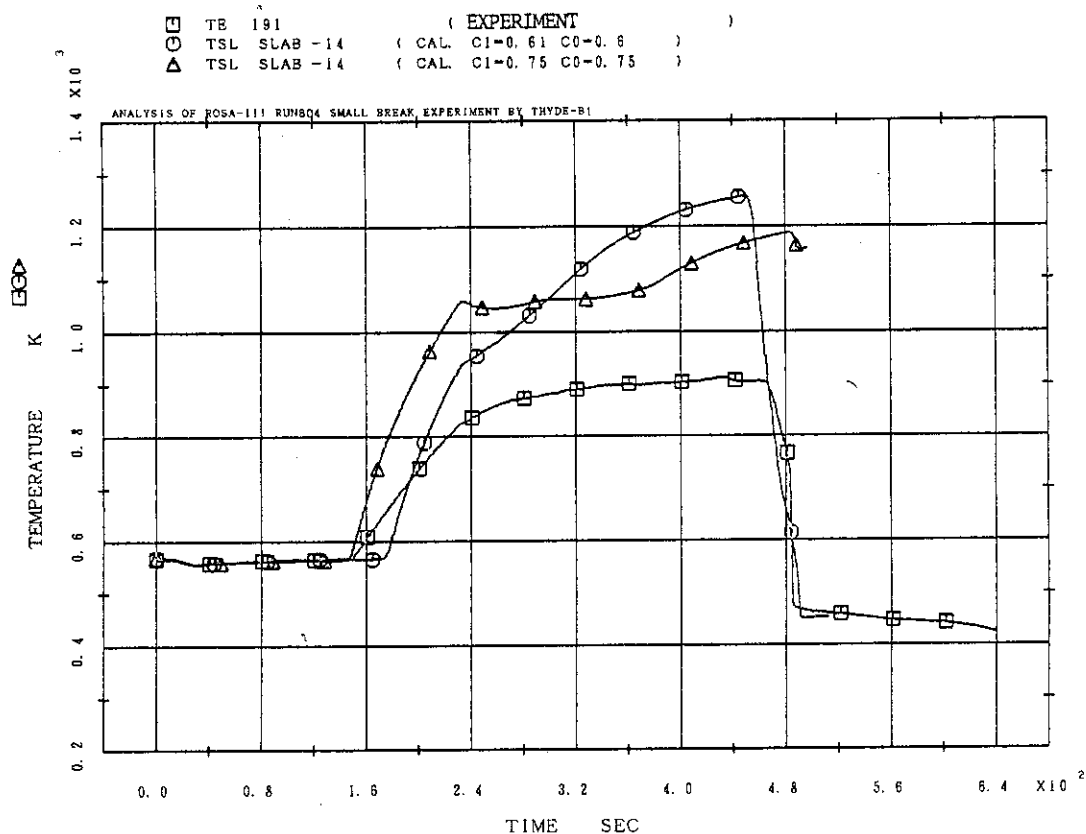


Fig. 6.3 Effect of Discharge Coefficient on Calculated PCT

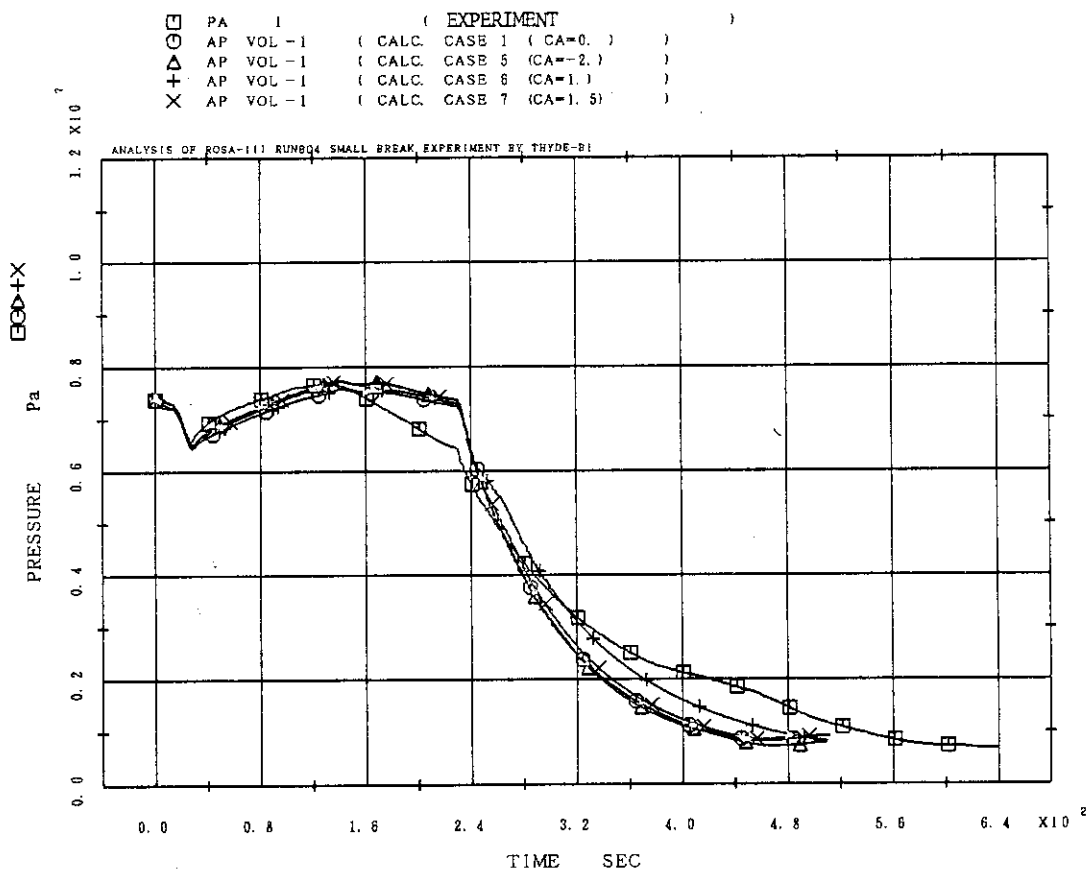


Fig. 6.4 Effect of Bubble Separation Model on Calculated Pressure

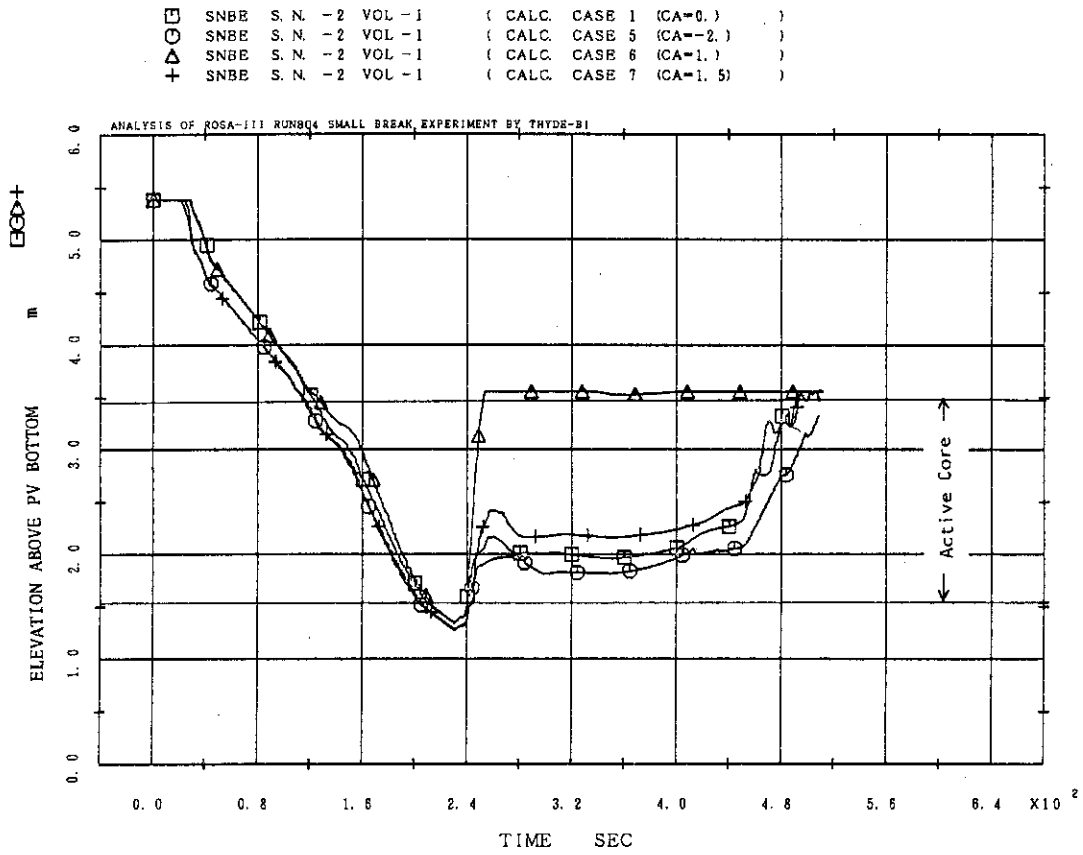


Fig. 6.5 Effect of Bubble Separation Model on Calculated Mixture Level

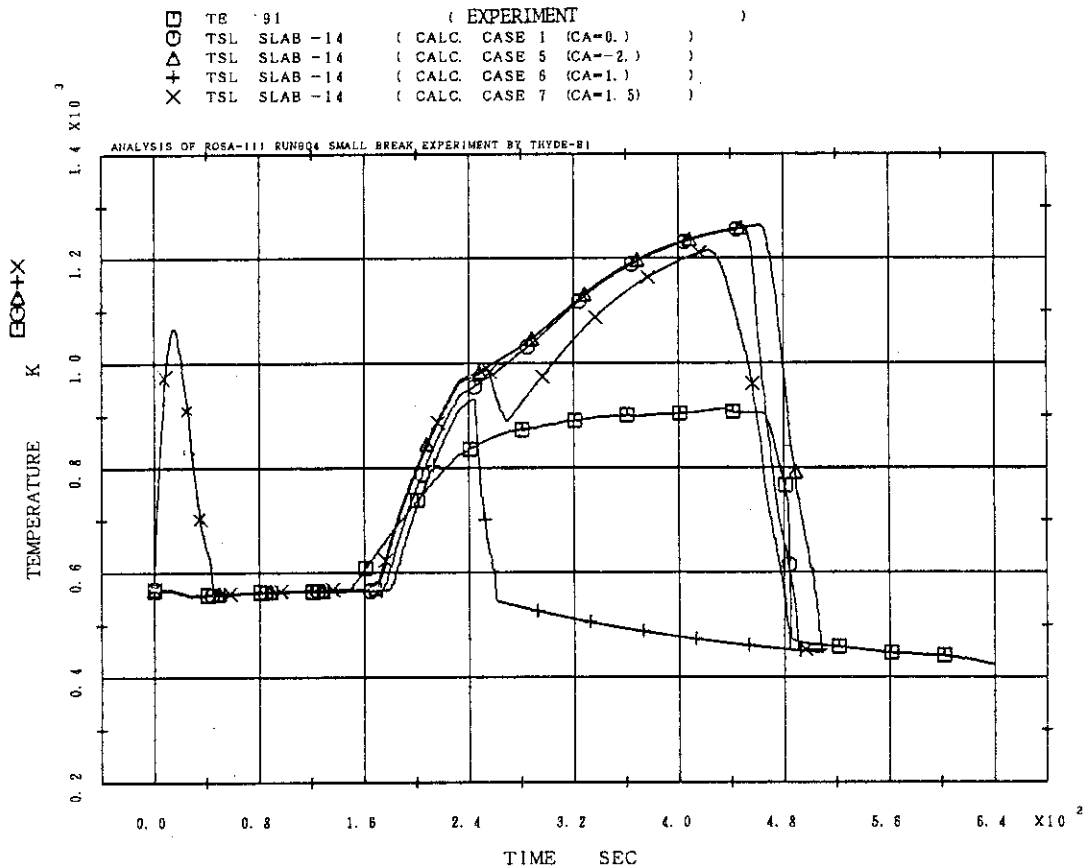


Fig. 6.6 Effect of Bubble Separation Model on Calculated PCT

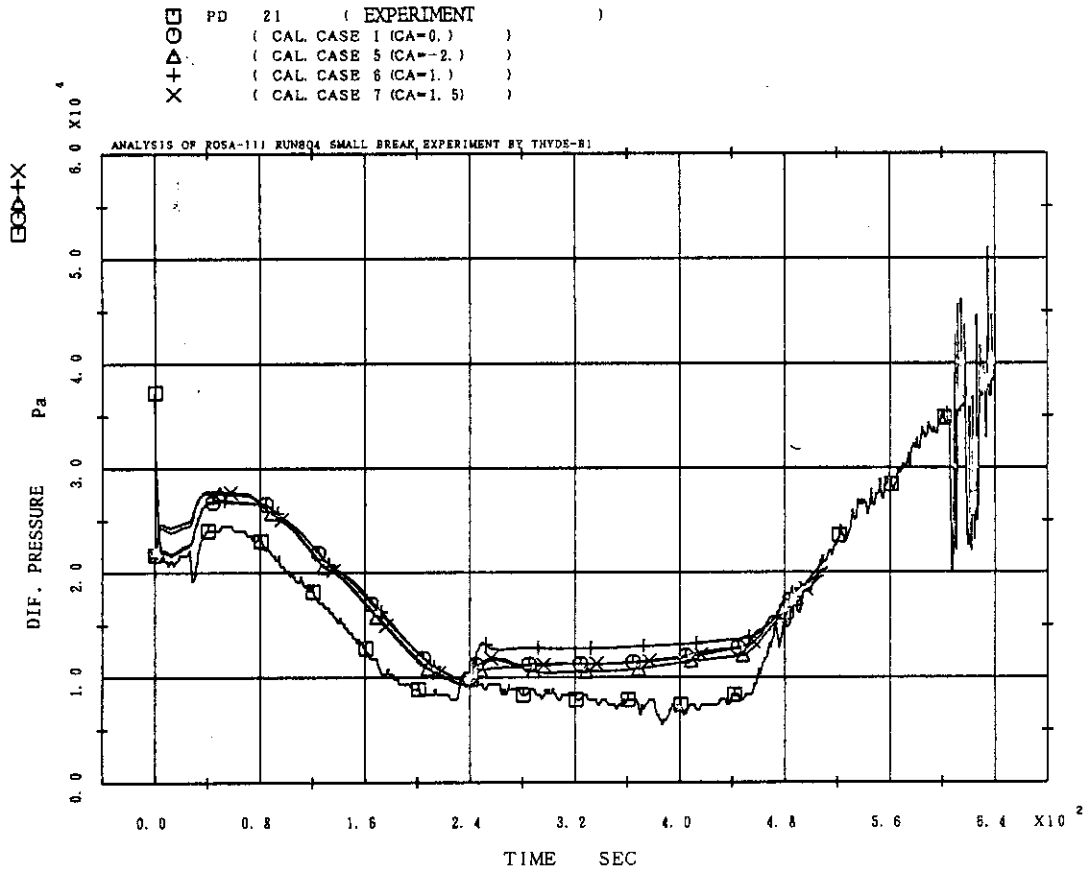


Fig. 6.7 Effect of Bubble Separation Model on Calculated Differential Pressure inside Shroud

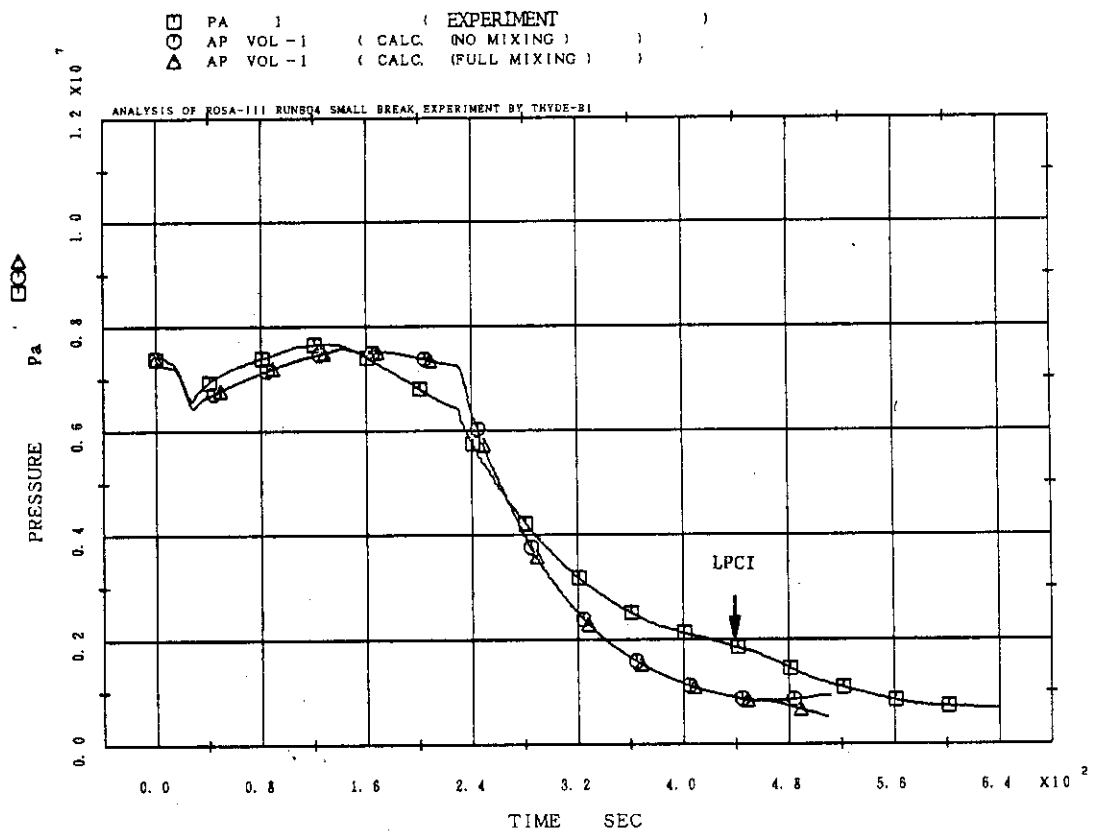


Fig. 6.8 Effect of LPCI Mixing Coefficient on Calculated Pressure

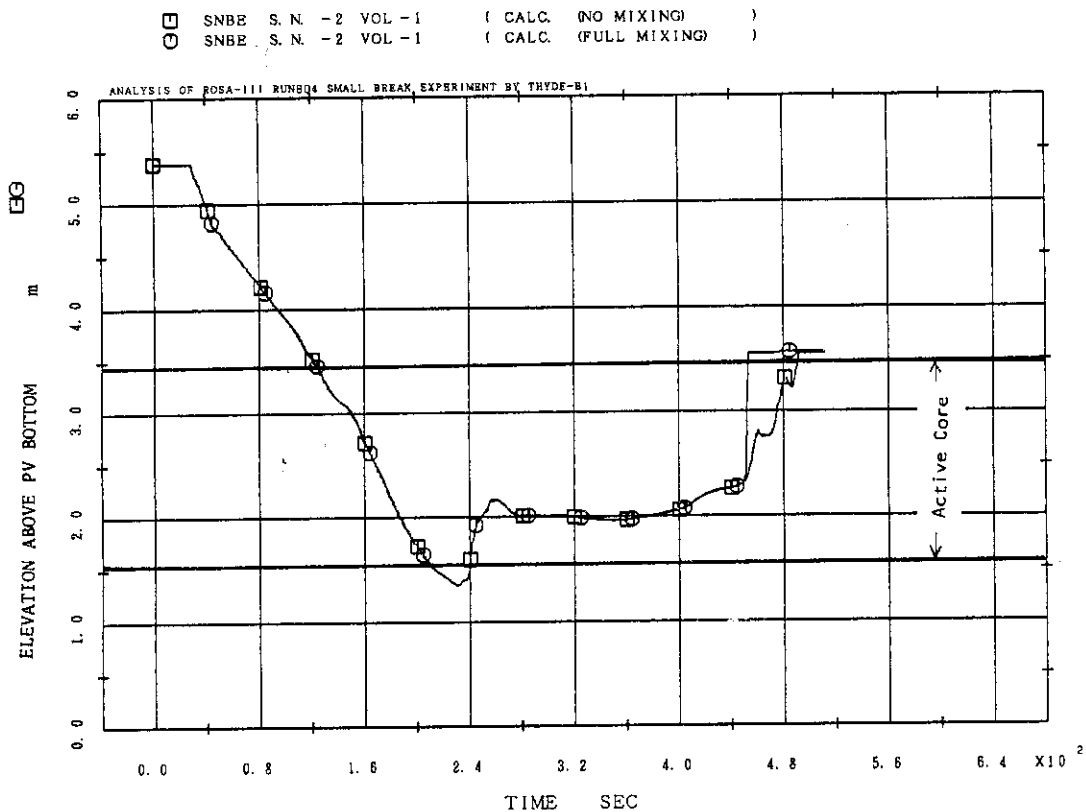


Fig. 6.9 Effect of LPCI Mixing Coefficient on Calculated Mixture Level

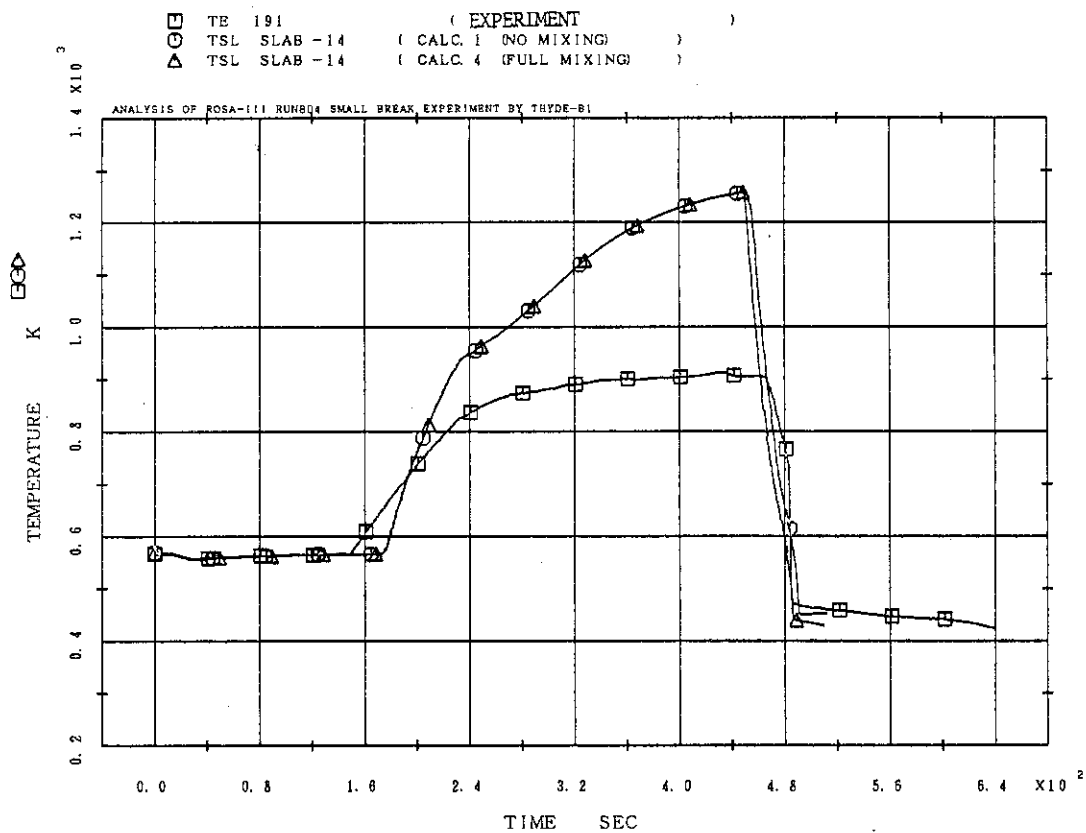


Fig. 6.10 Effect of LPCI Mixing Coefficient on Calculated PCT

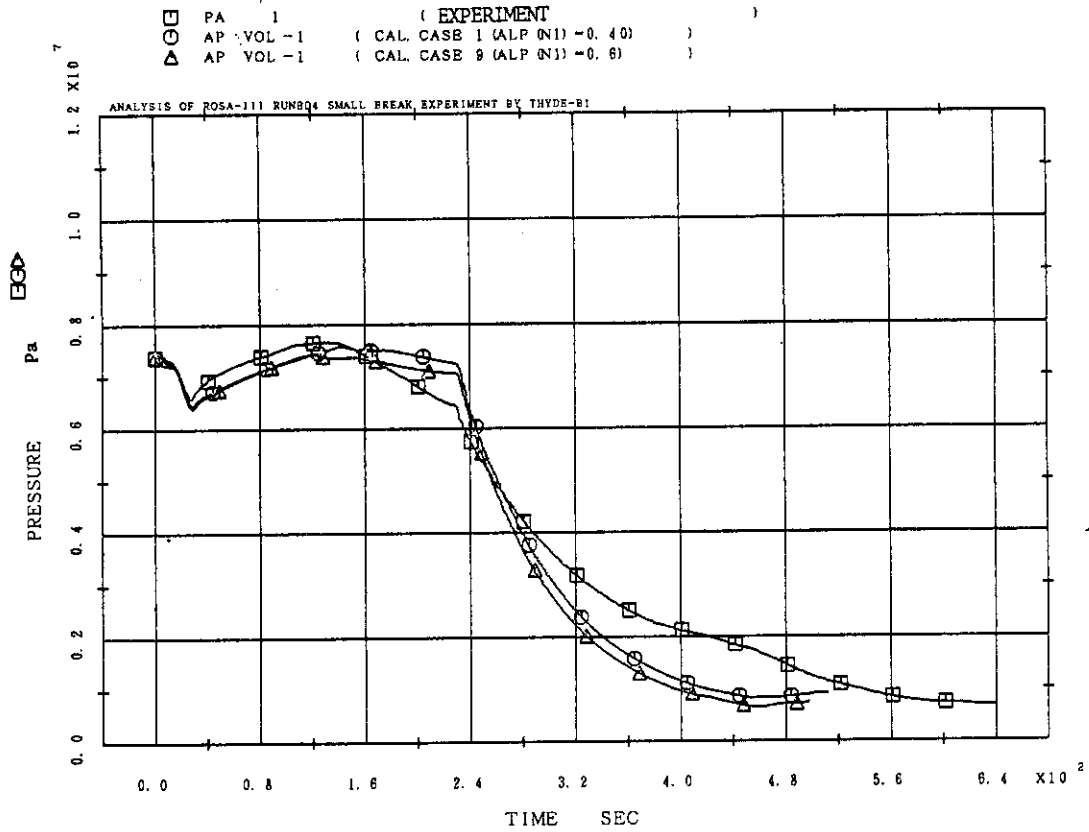


Fig. 6.11 Effect of Initial Void Fraction on Calculated Pressure

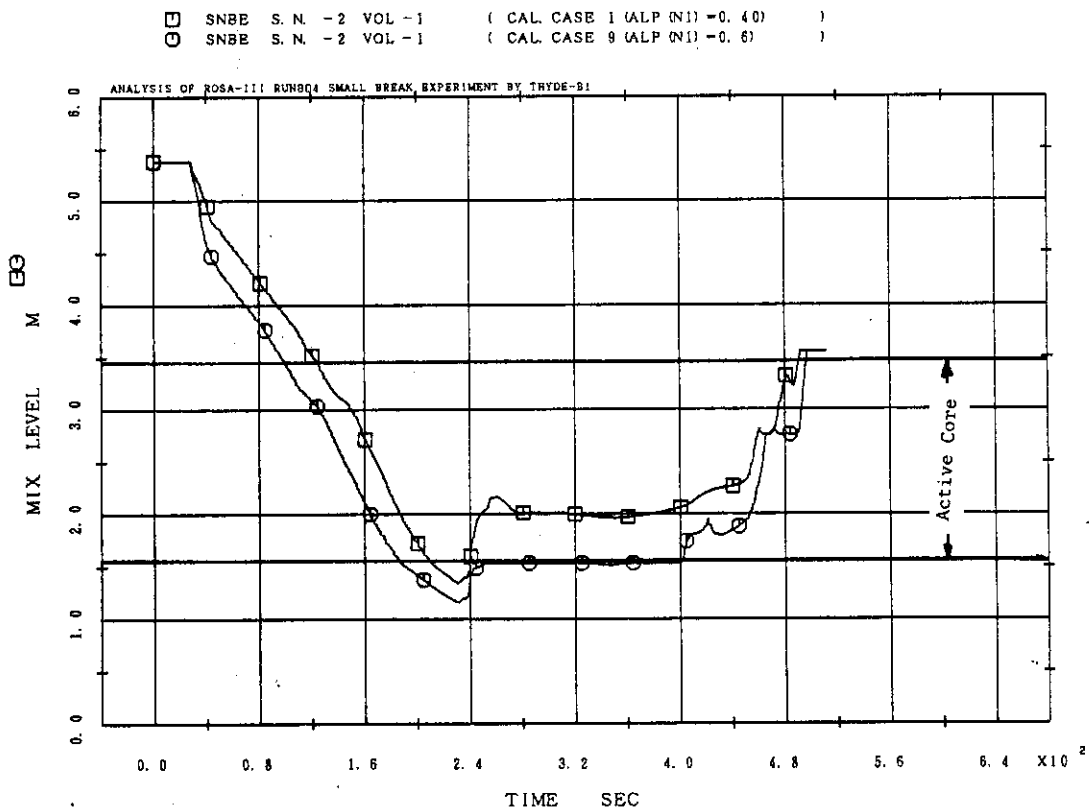


Fig. 6.12 Effect of Initial Void Fraction on Calculated Mixture Level

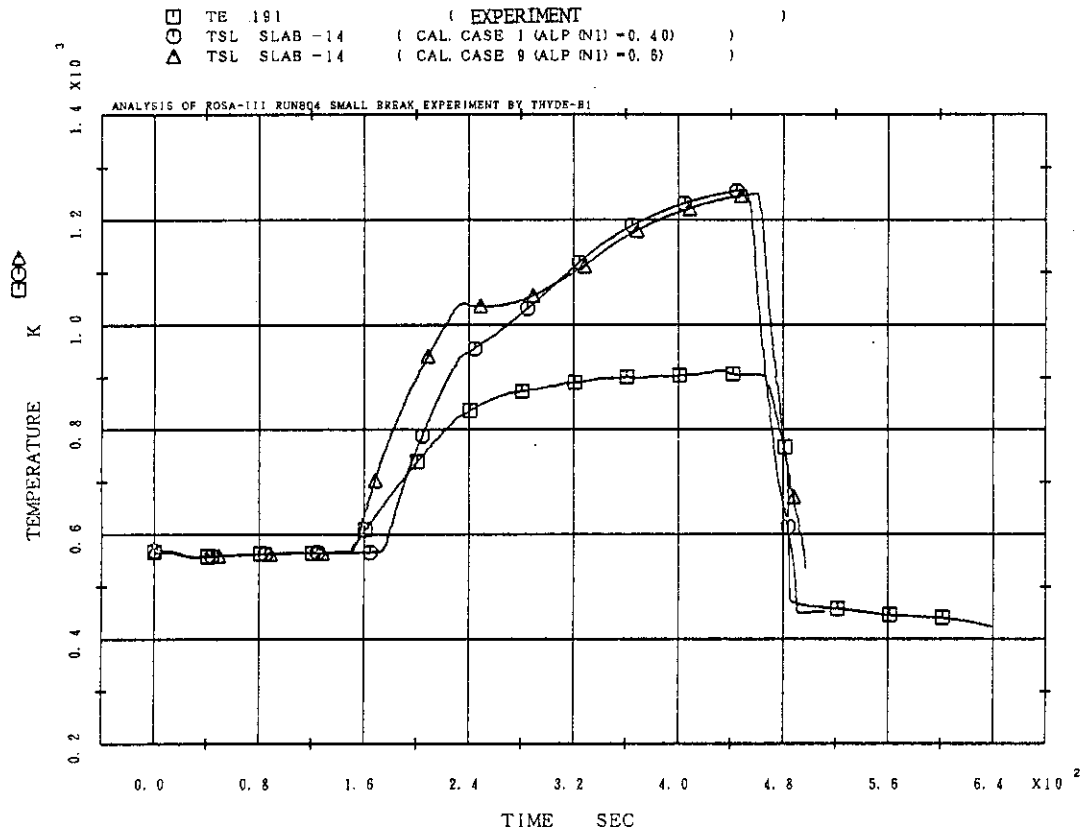


Fig. 6.13 Effect of Initial Void Fraction on Calculated PCT

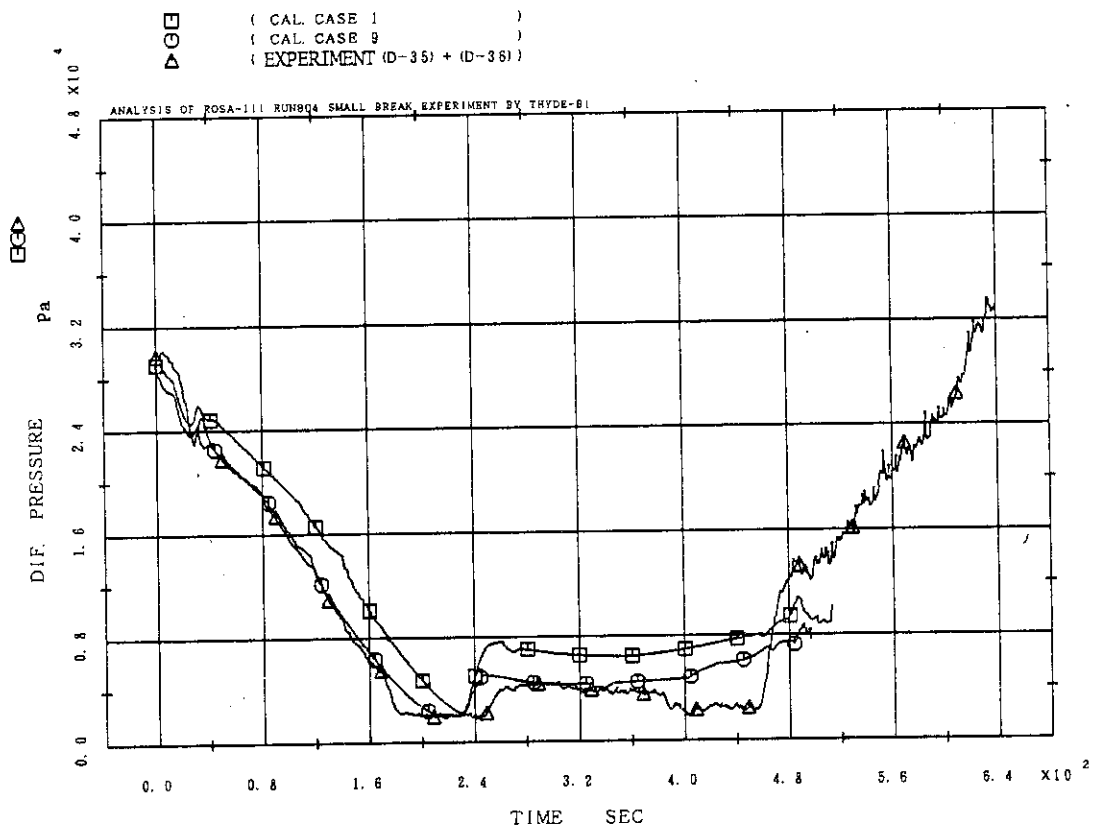


Fig. 6.14 Effect of Initial Void Fraction on Calculated Differential Pressure Outside Shroud

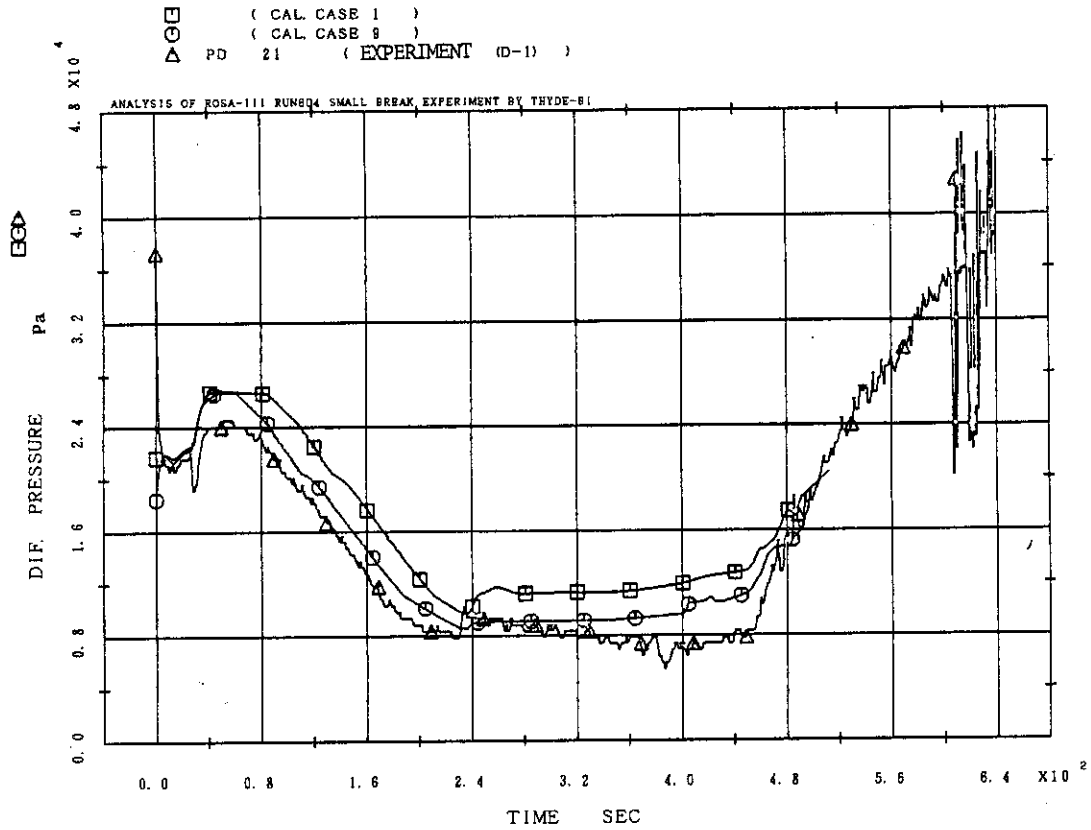


Fig. 6.15 Effect of Initial Void Fraction on Calculated Differential Pressure inside Shroud

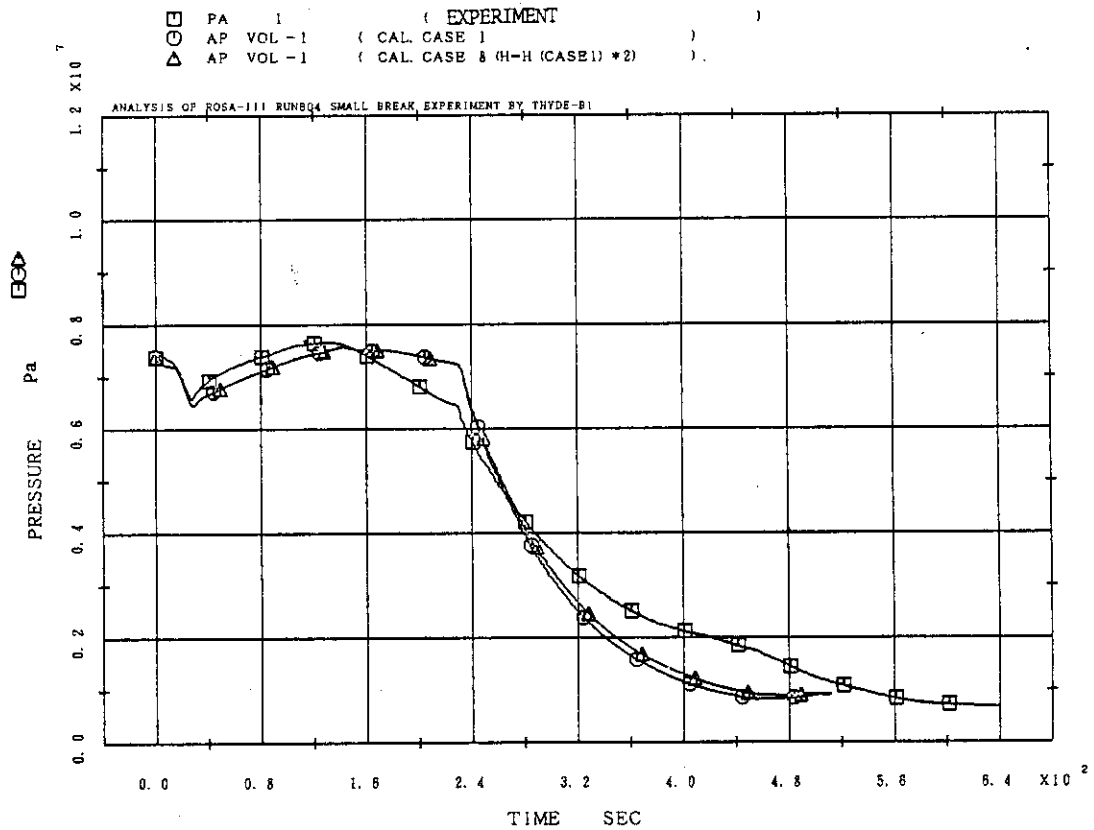


Fig. 6.16 Effect of Spray Heat Transfer Model on Calculated Pressure



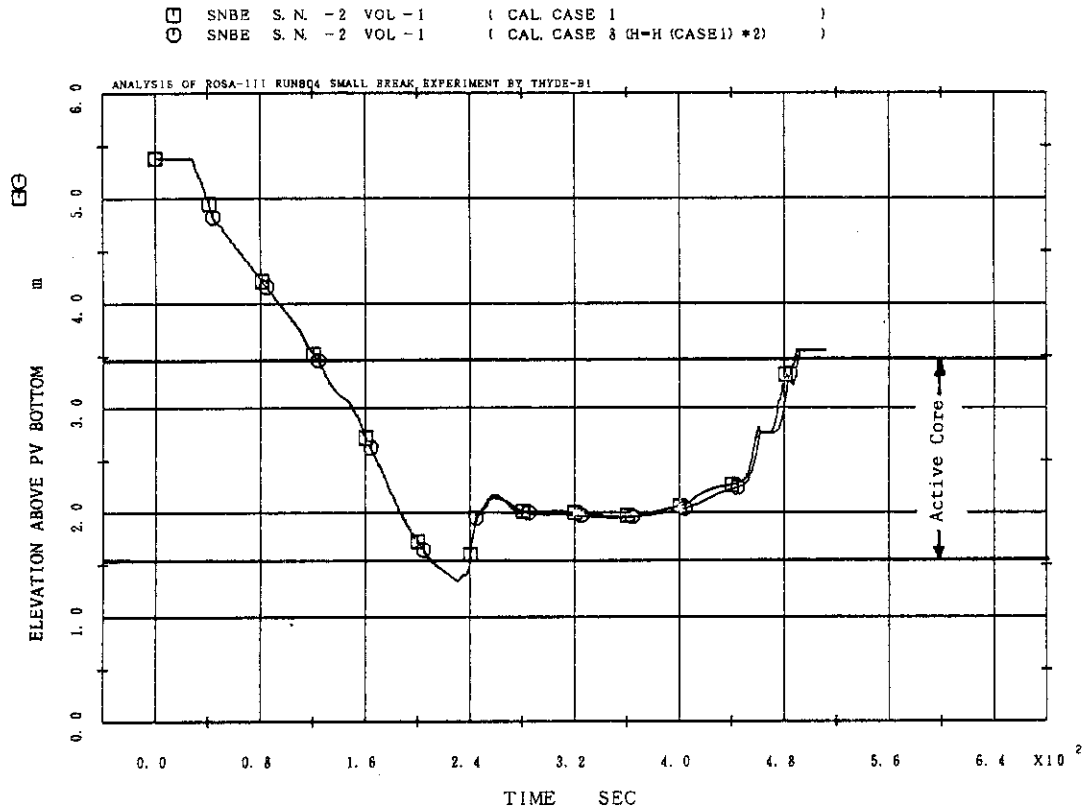


Fig. 6.17 Effect of Spray Heat Transfer Model on Calculated Mixture Level

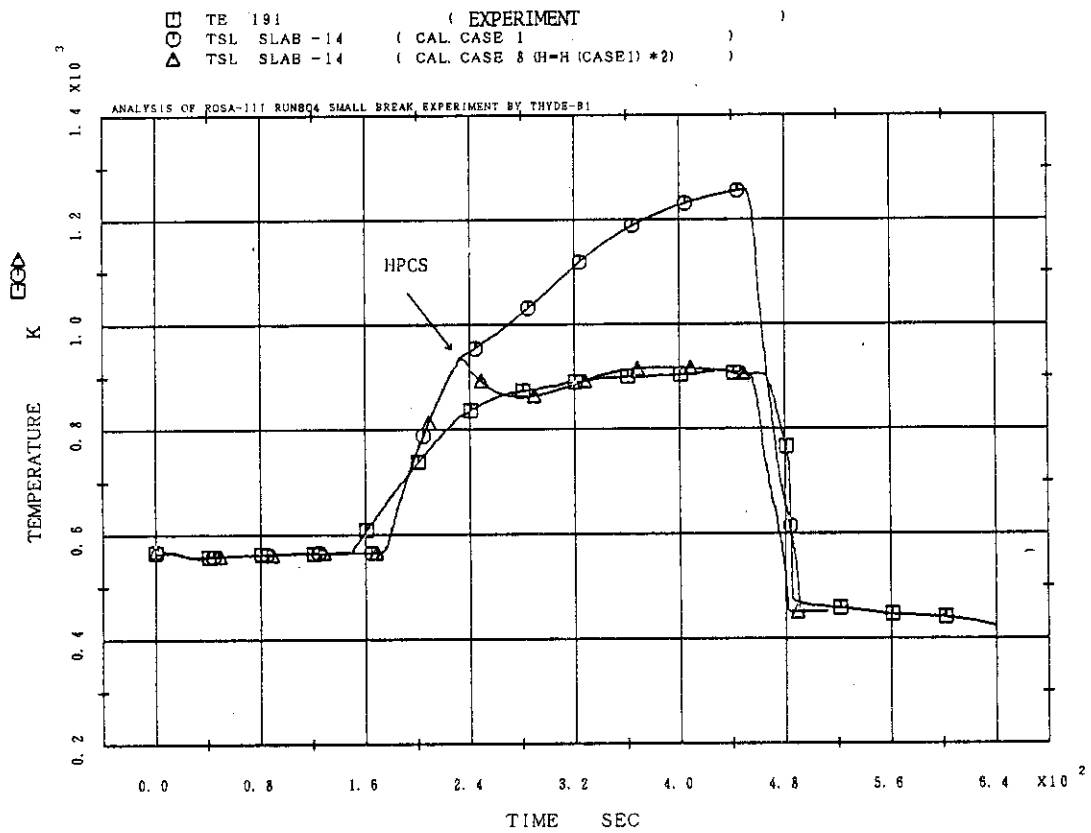


Fig. 6.18 Effect of Spray Heat Transfer Model on Calculated PCT

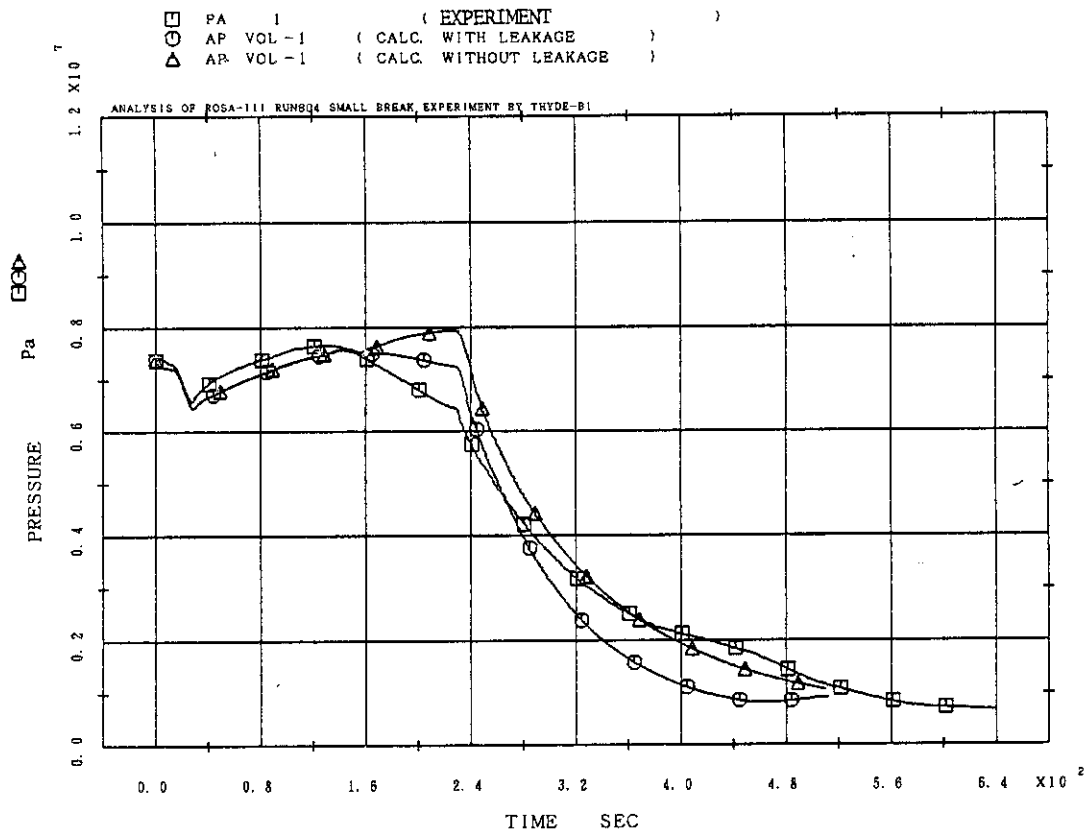


Fig. 6.19 Effect of Shroud Wall Leakage on Calculated Pressure

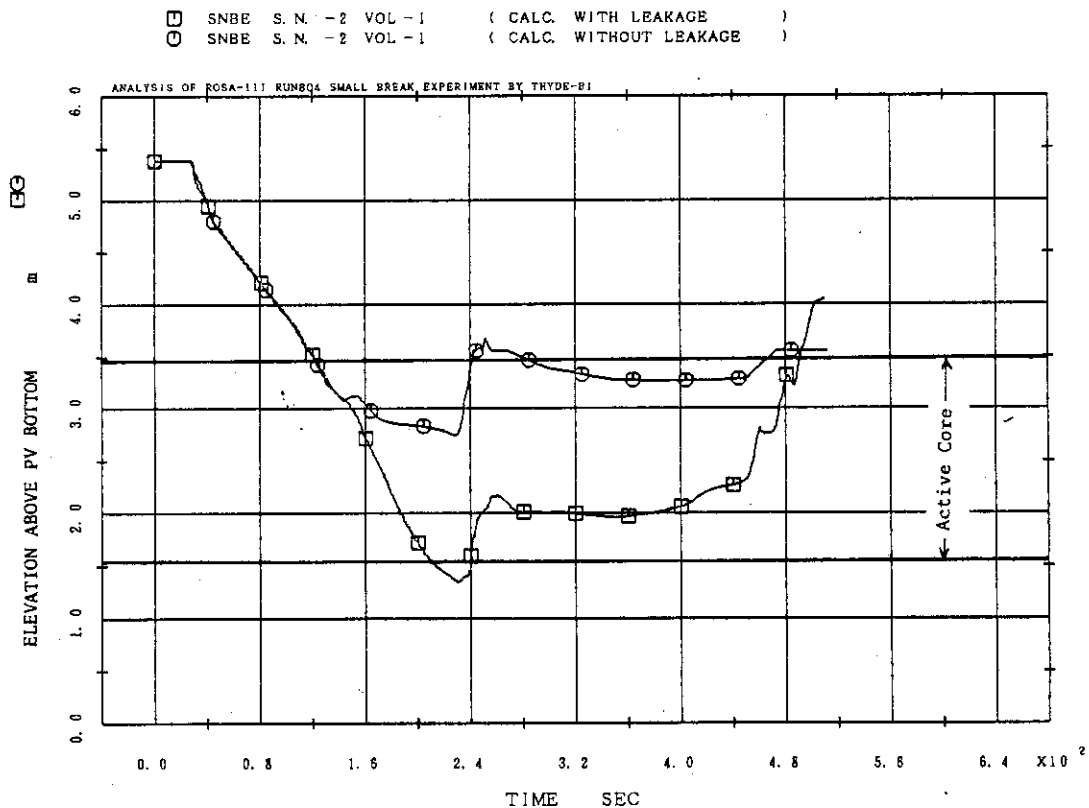


Fig. 6.20 Effect of Shroud Wall Leakage on Calculated Mixture Level

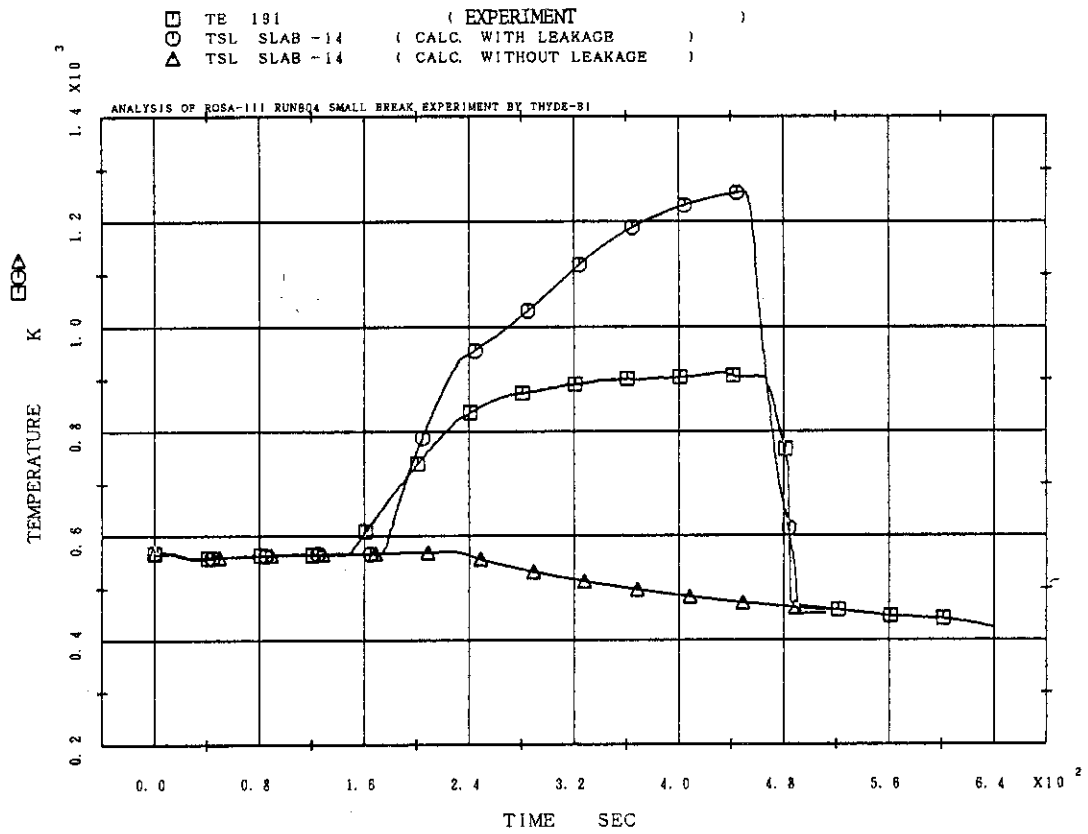


Fig. 6.21 Effect of Shroud Wall Leakage on Calculated Rod Surface Temperature (Center of A34 Rod)

## 7. 計算結果に関する考察

本章では5章に述べた基本ケースの結果と、6章に述べた感度解析の結果をふまえて、まずRUN804実験を最もよく模擬するような入力パラメータの選択について考える。次に、このような入力パラメータの選択によっても模擬できない現象について考え、今後の課題を指摘する。

### 7.1 RUN804実験を最もよく模擬するパラメータの選択

まず、6章で検討した各パラメータについて、順に考える。

#### (1) 破断口の放出係数

破断口から実際流出していた流量の直接測定は、すでに5章で指摘したように容易ではない。しかし小破断の場合は流動が緩やかなので、鉛直方向の差圧の測定値はほぼ静水頭に近いと考えられる。従って流動抵抗を無視することによりインベントリの推定ができる。そしてある時刻における流出流量は、このインベントリの時間微分として推定できるはずである。図7.1、7.2は、基本ケース(CASE1, 放出係数0.6)と放出係数を大きくした計算(CASE3, 0.75)、放出係数を基本ケースと同じにして初期インベントリを変えた計算(CASE9)について、計算された炉心シュラウドの内・外の差圧を実験値と比較したものである。差圧の勾配が比較的安定している時刻40秒から160秒の間を比較すると放出係数を0.6とした計算では、差圧の勾配がかなりよく実験値と一致している。この時間区分における流体クオリティは計算値でも、 $\gamma$ 線密度計による密度測定値からもほぼ0であるので、液相单相流の式が使われる条件である。従ってこの式については係数0.6が適当であったと推定できる。

Moody式の適用領域での係数については、差圧勾配が安定していなかったためこの方法では推定できない。図6.1における基本ケースとケース3の比較から、放出係数0.6の方が実験値に近いが、この区間の圧力変化は、ADS流量に支配されているので、この図から判定することはできない。この領域については今後の課題である。

#### (2) 水位計算モデルの入力パラメータ

炉心シュラウド内側ノードの気泡分離モデルのパラメータについては、感度解析の結果、気泡分布の勾配を明らかに過小評価していたCASE6を除いては、大差のない結果を出すことがわかった。従って、定常状態とのバランスがとれる点および計算担当者の任意性が入らないという点で、 $C_a = 0$ とするオプションがよいと言える。ただし、本実験よりも破断口流量が小さく炉心水位の低下が遅いトランジェントでも同様であるかは、今後確認する必要がある。

## (3) LPCIの混合係数

圧力変化の勾配(図6.8)から判断して、LPCIの注入水は460秒以後かなりよい効率で蒸気を凝縮している。しかし、完全混合と仮定した計算では水位の一致がよくない。従って、より精度の高い予測を得るためには、モデルの改良が必要であろう。

## (4) 炉心シュラウド内側の初期ボイド率

今回の解析では、最初に推定した初期ボイド率が0.4であったのに対して、実験結果に最もよく一致する計算結果を与えるボイド率は0.6であった。従って、今後の実験解析においては、より精度よく初期ボイド率を推定しておくことが望まれる。このためには、ボイド率の直接測定も是非望まれるところである。

## 7.2 実験結果との一致を改善するために必要な課題

実験結果との一致を改善するために今後検討すべき課題として次の点が挙げられる。

## (1) 装置壁面での熱損失

計算では炉心露出以後ADS作動までの圧力変化を若干高めに計算している。この原因として装置壁面からの熱損失が考えられる。実炉に比して規模の小さい実験装置ではこの影響が大きいため、今後は系外への伝熱を考慮できるようにプログラムを改良することが望まれる。

## (2) スプレイ冷却時の熱伝達モデルの改善

現在のモデルでは、スプレイの熱伝達係数を過小に評価している。圧力計算への影響は小さいが現象をよりよく模擬するためには、改良が必要である。

## (3) LPCIの蒸気凝縮の効果

現在のTHYDE-B1のモデルでは、LPCI注入水と蒸気の混合についてコーザーが混合効率を与える必要がある。このモデルの改良のためには、より詳細な実験観察と定量化のためのデータ収集が必要である。

## (4) ノーディングの詳細化

炉心水位の計算は、現在のモデルでもかなりよい実験との一致を示した。しかし、炉心シュラウド内の形状をより詳細に表現するモデルによるならば、精度のより一層の向上が可能となると思われる。THYDE-B1コードの現在のモデルでバイパス部分を炉心部分と別のノードとした計算も試みるべきであろう。

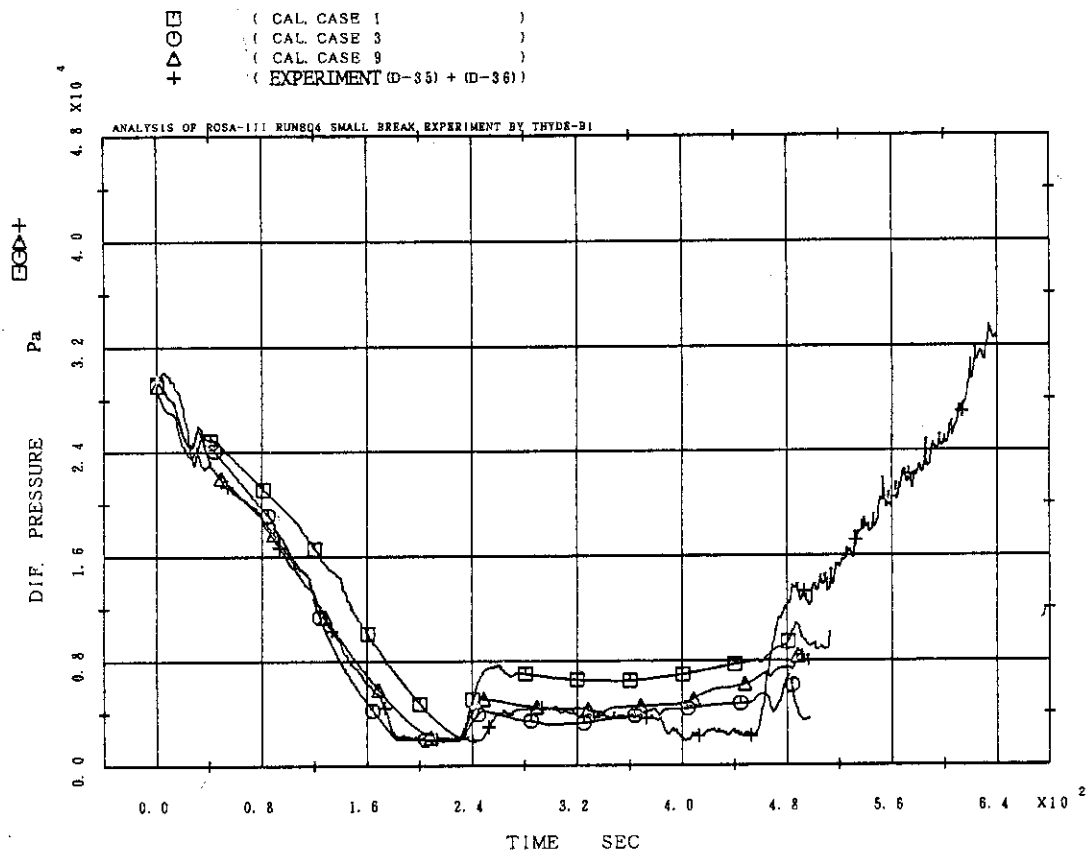


Fig. 7.1 Comparison of Calculational Results of Case 1, Case 3, and Case 9, Differential pressure outside Shroud

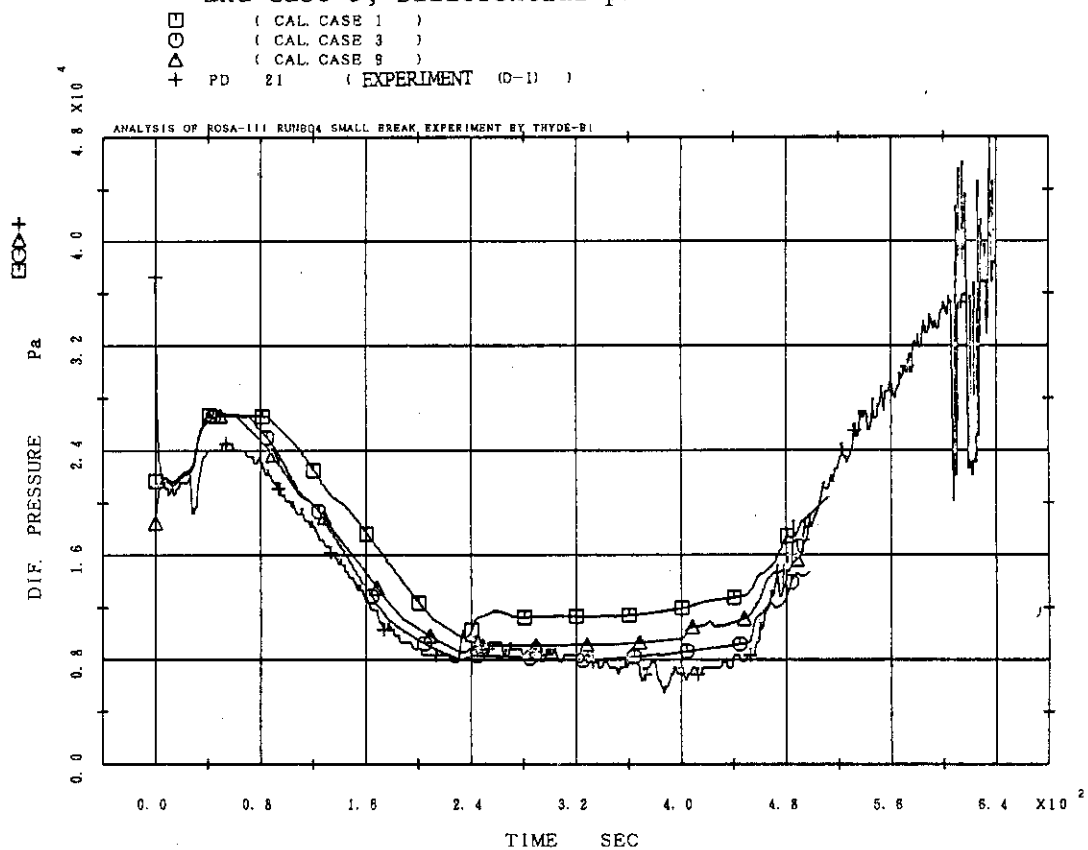


Fig. 7.2 Comparison of Calculational Results of Case 1, Case 3, and Case 9, Differential Pressure inside Shroud

## 8. 結論および今後の検討課題

THYDE-B1コードは、BWRのECCS性能評価のために原研で開発された計算コードシステムの一部をなすものであって、LOCA時における原子炉一次系の熱水力学の挙動を種々の破断モードおよびECCSの作動条件を考慮して予測するものである。特にこのコードは小破断LOCAの解析で重要とされる炉心水位と系圧力の計算に適したモデル構成を採用している。

このコードの予測性能の検証のために、BWR/LOCAの総合模擬実験装置ROSAⅢによる小破断実験RUN804の解析を行った。この実験は、再循環ポンプサクション側配管の5%スプリット破断LOCA実験であり、HPCS、LPCI、ADSの3種のECCSが作動し、LPCSは不作動としている。

解析においては、計算結果に大きく影響すると考えられる入力パラメータおよび計算モデル等に関する感度解析も合わせて行った。

解析の結果得られた結論および今後の検討課題を次に列挙する。

- (1) RUN804実験では燃料棒温度の上昇は水位低下によって炉心が蒸気中に露出することによって開始した。計算においてもこの点は同様であり、炉心の露出する時刻はほぼ満足できる精度で予測された。
- (2) RUN804実験では炉心はLPCI作動後急速に再冠水され、この再冠水によって全燃料棒はクエンチした。計算でも同様の結果が得られた。
- (3) THYDE-B1コードで水位計算のために使用している水位面からの気泡離脱量計算モデルは集中定数型モデルであって、気泡の分布勾配または気泡の等価的移動距離を規定する一個のパラメータを入力する必要がある。このパラメータに関する感度解析を行ったところ、分布勾配を零とした場合を除いて大きな影響はなかった。従って等価的移動距離を用いる方法を採用し、しかもその値を定常状態での熱バランスから定める方法が、計算手法の一貫性が保てることおよび定常状態との連続性が保てることという長所があるので最適であると考えられる。
- (4) THYDE-B1コードでは、破断口流量は未飽和域にはオリフィスを通る非圧縮性液相単相流の式を用い、飽和域にはMoodyの式を用いて計算し、両者の間の遷移を平滑化するために、クオリティ0からユーザーの指定値までの間は両者の内挿を行っている。本解析では未飽和域の式に対して係数0.61を乗じた計算が実験結果によく一致した。この計算では飽和域には0.6を放出係数として与え、内挿領域の上限クオリティは0.02としているが、飽和領域において流量が正しく合っていたか否かは確認できていない。

- (5) THYDE-B1コードの注水系モデルでは注入水による蒸気凝縮の効率を入力で与えることができる。LPCIについて、効率を完全不混合とした場合と完全混合とした場合を比較した所、圧力は後者がよく合い、水位は前者が実験とよく一致した。このモデルについては今後検討が必要である。
- (6) THYDE-B1コードの熱伝達モデルは、炉心スプレイ注水時の熱伝達係数を過小に評価している。本解析では、このことによる圧力および水位の計算結果への影響は大きくなかったが、今後の改良が望まれる。
- (7) THYDE-B1コードでは初期定常状態における飽和混合相領域のポイド率を入力で与える必要がある。今回の解析では炉心シュラウド内ポイド率を当初40%として計算を行ったが、60%の方が実験値とよく一致することが判った。今後の解析では注意を要する。
- (8) 装置壁を通しての熱損失を考慮した計算ができるようにプログラムを改良することが望ましい。
- (9) ADS作動後の圧力の計算値は実験結果よりも低かった。この点につき、計算コードおよびADS流量測定の両面から検討すべきである。
- (10) ROSA ■の今後の実験に関しては、次の諸点が望まれる。
- (i) 破断口流量の直接測定の精度の向上を計る。
  - (ii) バイパス部分に関しても差圧測定、水位測定を行う。
- 以上が本解析で得られた結論である。THYDE-B1コードの総合的な予測性能については、まだ結論を下せる段階ではない。しかし、本コードがBWR LOCAの実験解析に十分適用可能であることが示されたと言えよう。

## 謝 辞

ROSA ■実験の貴重な実験データと諸資料を提供頂いた原研安全工学部安全工学第一研究室の斯波正誼室長に、深く感謝の意を表します。また本稿をまとめるにあたり、安全解析部安全性コード開発室の佐藤一男室長および秋元正幸氏から多くの助言、教示を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。



- (5) THYDE-B1コードの注水系モデルでは注入水による蒸気凝縮の効率を入力で与えることができる。LPCIについて、効率を完全不混合とした場合と完全混合とした場合を比較した所、圧力は後者がよく合い、水位は前者が実験とよく一致した。このモデルについては今後検討が必要である。
- (6) THYDE-B1コードの熱伝達モデルは、炉心スプレイ注水時の熱伝達係数を過小に評価している。本解析では、このことによる圧力および水位の計算結果への影響は大きくなかったが、今後の改良が望まれる。
- (7) THYDE-B1コードでは初期定常状態における飽和混合相領域のポイド率を入力で与える必要がある。今回の解析では炉心シュラウド内ポイド率を当初40%として計算を行ったが、60%の方が実験値とよく一致することが判った。今後の解析では注意を要する。
- (8) 装置壁を通しての熱損失を考慮した計算ができるようにプログラムを改良することが望ましい。
- (9) ADS作動後の圧力の計算値は実験結果よりも低かった。この点につき、計算コードおよびADS流量測定の両面から検討すべきである。
- (10) ROSA ■の今後の実験に関しては、次の諸点が望まれる。
- (i) 破断口流量の直接測定の精度の向上を計る。
  - (ii) バイパス部分に関しても差圧測定、水位測定を行う。
- 以上が本解析で得られた結論である。THYDE-B1コードの総合的な予測性能については、まだ結論を下せる段階ではない。しかし、本コードがBWR LOCAの実験解析に十分適用可能であることが示されたと言えよう。

## 謝 辞

ROSA ■実験の貴重な実験データと諸資料を提供頂いた原研安全工学部安全工学第一研究室の斯波正誼室長に、深く感謝の意を表します。また本稿をまとめるにあたり、安全解析部安全性コード開発室の佐藤一男室長および秋元正幸氏から多くの助言、教示を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 村松 健, “沸騰水型炉の小破断LOCA解析用コードTHYDE-B1および再冠水解析コードTHYDE-B-REFLOOD”, JAERI-M-8119, (1979)
- 2) 阿部 清治, 佐藤 一男, “SCORCH-B2:LOCA時の原子炉炉心ヒートアップのシミュレーション:コード, BWR用, 第2版”, JAERI-M-6678, (1976)
- 3) Slifer B. C. and Hench J. E., “Loss-of Coolant Accident and Emergency Core Cooling Models for General Electric Boiling-Water Reactors”, NEDO-10329, (1971)
- 4) Moore K. V. and Leonard J. E., “RELAP4-A Computer Program for Transient Thermal-Hydraulic Analysis”, ANCR-1127, (1973)
- 5) Moody F. J., “Maximum Flow Rate of a Single Component, Two-Phase Mixture” J. Heat Trans. Trans. ASME 87 n1, pp134-142, (1965)
- 6) Wilson J. F., Grenda R. J. and Patterson J. F.: “The Velocity of Rising Steam in a Bubbling Two-Phase Mixture”, ANS Transaction, 5(1), pp151-152, (1962)
- 7) “General Electric Standard Safety Analysis Report, BWR/6”, DOKET-STN-50447-48, GE. Co., (1975)
- 8) 安濃田良成, 田坂 完二, 鈴木光弘, 小泉 安郎, 斯波 正誼, “ROSA-III System Description”, JAERI-M-9243, (1980)
- 9) 傍島 真, 大崎 秀機, 村田 秀男, “ROSA III 試験の計測とデータ処理法”, JAERI-M-8499, (1979)
- 10) 田坂 完二, 傍島 真, 鈴木 光弘, 斯波 正誼, “冷却材喪失事故におけるROSA-IIIとBWRの相似性の検討(ROSA-IIIの予備解析)”, JAERI-M-6703, (1976)
- 11) “BWR Blowdown Emergency Core Cooling Program, Preliminary Facility Description Report for the BT/ECCIA Test Phase”, GEAP-23592, NCR-2 (1977)
- 12) 小泉 安郎, 阿部 信明, 安濃田良成, 田坂 完二, “Quick Look Report for ROSA-III Small Break Test, RUN804”, 私信, (1980)
- 13) 小泉 安郎, 早田 邦久, 菊地 治, 田坂 完二, 斯波 正誼, “ROSA III 実験 RUN705, 706の実験解析”, JAERI-M-8899, (1980)
- 14) “General Electric Company Analytical Model for Loss-of-Coolant Analysis in Accordance with 10 CFR 50 Appendix K”, NEDO-20566, (1976)
- 15) Dittus F. W. and Boelter L. M. K., “Heat Transfer in Automobile Radiators of the Tubular Type”, University of California Publications 2, (1930), pp443-461

付録 1. 基本ケースの入力カードリスト

```

ANALYSIS OF ROSAS SMALL-BREAK EXPERIMENT RUN804 BY THYDE-B1(CASE 1) 00000005
/* ( OLD DATA NAME RB0440 ) 00000010
/* 00000100
/* THIS IS THE INPUT DATA CARD FOR THE BASE CASE CALCULATION 00000200
/* 00000210
/* CARDS WITH '/' IN THE FIRST TWO COLUMNS ARE COMMENT CARDS 00000300
/* INPUT DATA SPECIFICATION IS GIVEN IN REF.1 (JAERI-M-B119) 00000400
/* 00000500
000 /PLOT / RESTART CONTROL OPTION 00000600
/* NREST IDUMP IDPLOT ISPL 00000700
0 1 1 00000800
001 /PROBLEM DIMENSION 00000900
/* NVOL NJUN NPMP NJG NJP NST NLK NFIL NHPI NLPI NCS NTRP NSEP 00001000
6 20 2 2 1 0 4 1 0 1 2 10 1 00001200
/* NTMAX 00001300
6 00001400
003 / TIME STEP CONTROL DATA 00001500
/* NRST NPRINT MPLOT DELT TMAX 00001600
5000 1 1 0.001 0.004 00001700
5000 100 20 0.001 0.2 00001800
5000 400 100 0.002 1.0 00001900
10000 10000 800 0.002 50. 00001910
5000 5000 500 0.003 100. 00002000
5000 10000 200 0.003 510. 00002100
/* 00002200
004 / VOLUME DATA (6 VOLUMES ) 00002300
/* CARD1 IHOMO 00002400
/* CARD2 PRES ZMAX ZELEV ZPRES VMAX 00002500
/* CARD3 X AREA ( FOR HOMOGENEOUS NODE ONLY) 00002600
/* CARD4 ENTN(1) ALPHA 00002700
/* CARD5 ZLEV(1) ZLEV(2) 00002800
/* CARD6 CAS CLM 00002900
/* CARD7 HP1 HP2 00003000
/* CARD8 NTV 00003100
/* CARD9 Z-VOL TABLE 00003200
/* CARD10 NTA 00003300
/* CARD11 Z-A TABLE 00003400
/* CARD12 NTD 00003500
/* CARD13 Z-DH TABLE 00003600
/* 00003700
/* NODE1 ( SHROUD INSIDE ) 00003800
2 00003900
753340.6 5.383 -0.018 0.7657 0.59802 /CARD1 00004000
289.7 0.4184 /CARD2 00004100
1.531 5.383 /CARD5 00004300
0.0 1.0 0.0 5.383 /CARD6 00004400
7 /CARD7 00004500
0. 0. 0.3811 0.05833 0.6582 0.13298 00004600
1.5311 0.27360 2.7589 -37852 3.5568 0.44030 00004700
5.383 -59802 /CARD8 00004800
12 /CARD9 00004900
0. 0.1530 0.381 0.1530 0.382 0.2694 00005000
0.658 -2694 .659 .1611 1.531 -1.611 00005100
1.532 .08546 2.758 .08546 2.759 -07742 00005200
3.556 .07742 3.557 .08635 5.383 /CARD5 /10 00005300
6 /CARD11 00005400
0. .441 1.531 .441 1.532 -.0144 00005500
3.556 -.0144 3.557 -.332 5.383 .332 /11 00005600
/* NODE2 (SHROUD OUTSIDE) 00005700
2 00005800
750739.2 5.5 0.494 1.431 0.7127 /CARD1 00005900
289.7 0.0 /CARD2 00006000
3.83 4.437 /CARD4 00006100
1.0 0.0 0.0 5.5 /CARD6 00006300
8 /CARD7 00006400
0. 0. 2.263 .0536 2.377 -.0694 00006500
2.862 .0809 3.755 -1516 3.919 -1.894 00006600
5.154 -5900 5.5 -7127 /CARD8 00006700
10 /CARD9 00006800
0. .0235 2.861 -.0235 2.862 -.0783 00006900
3.754 -.0783 3.755 -2288 3.918 -2288 00007000
3.919 -3225 5.153 -3225 5.154 -3505 00007100
5.5 -.3505 /CARD10 00007200
10 00007300
0. .0283 2.861 .0283 2.862 .0920 00007400
3.754 .0920 3.755 -4220 3.918 -4220 00007500
3.919 -.6437 5.153 .6437 5.154 -.6727 /CARD11 00007600
5.5 -.6727 /CARD11 00007700
/* NODE3 ( BROKEN PIPE ) 00007800
1 00007900
750867.8 1.489 -0.526 .744 -.01303 /CARD1 00008000
289.7 2.1E-3 /CARD2 00008100
/* NODE4 ( PIPE FROM PUMP OUTLET TO JETPUMPS(BROKEN SIDE) ) 00008200
1 00008300
794892.1 5.852 -2.526 2.926 0.04050 /CARD1 00008400
289.7 1.98E-3 /CARD2 00008500
/* NODE5 (PIPE FROM VESSEL TO PUMP (INTACT SIDE) ) 00008600
1 00008700
752096.1 3.197 -2.235 1.599 0.01057 /CARD1 00008800
289.7 2.18E-3 /CARD2 00008900
/* NODE6 (PIPE FROM PUMP TO JET PUMP (INTACT SIDE) ) 00009000
1 00009100
794470.2 5.851 -2.526 2.926 0.03006 /CARD1 00009200
289.7 2.03E-3 /CARD2 00009300
/* 00009400
005 / JUNCTION DATA 00009500
/* CARD1 NIN NOUT IPUMP IVALVE W1J Z1W 00009600
/* ZOUT AJUNC INERTA RJUNC RNJUNC 00009700
/* 00009800
/* J1 (STEAM SEPARATOR) 00009900
1 2 -1 0 15.5 5.383 / 00010000
4.871 1.494E-2 213. 0. 0. / 00010100
/* J2 (DOWNCOMER - BROKEN PIPE) 00010200
2 3 0 0 2.77 0.444 / 00010300
1.464 1.923E-3 1554. 0. 0. / 00010400
/* J3 (BROKEN PIPE - PUMP) 00010500
3 1 0 2.77 0.025 / 00010600
2.025 1.923E-3 6673. 0. 0. / 00010700
/* J4 (JET PUMP DRIVE FLOW (BROKEN SIDE)) 00010800
4 0 0 2.77 5.267 / 00010900
0. 1.110E-4 3484. 0. 0. / 00011000
/* J5 (JET PUMP THROAT FLOW (BROKEN SIDE)) 00011100
00011200
00011300
00011400
00011500
00011600
00011700

```

```

0 1 0 0 7.75 0. 00011800
0.418 1.785E-3 1414. 0. 0. / 00011900
/* J6 (JET PUMP SUCTION FLOW (BROKEN SIDE))
2 0 0 0 4.98 2.247 / 00012000
0. 1.674E-3 888. 0. 0. / 00012100
/* J7 (DOWNCOMER - PIPE (INTACT SIDE))
2 5 0 0 2.77 0.444 / 00012200
3.173 1.923E-3 1656. 0. 0. / 00012300
/* J8 ( PUMP SUCTION (INTACT SIDE))
5 6 2 0 2.77 0. / 00012400
0.291 1.923E-3 1431. 0. 0. / 00012500
/* J9 (JET PUMP DRIVE FLOW (INTACT SIDE))
6 0 0 0 2.77 5.267 / 00012600
0. 1.110E-4 7536. 0. 0. / 00012700
/* J10 (JET PUMP THROAT (INTACT SIDE))
0 1 0 0 7.75 0. / 00012800
0.418 1.785E-3 1414. 0. 0. / 00012900
/* J11 (JET PUMP SUCTION (INTACT SIDE))
2 0 0 0 4.98 2.247 / 00013000
0. 1.674E-3 888. 0. 0. / 00013100
/* J12 (HPCS (CS NO.1))
-4 1 1 0 0. 0. / 00013200
4.099 0. 0. 0. 0. 0. / 00013300
/* J13 (LPIS (CS NO.2))
-4 1 2 0 0. 0. / 00013400
4.099 0. 0. 0. 0. 0. / 00013500
/* J14 (LPIS (LPIS NO.1))
-3 1 1 0 0. 0. / 00013600
3.572 0. 0. 0. 0. 0. / 00013700
/* J15 (ADS (LEAK NO.1))
2 -1 1 0 0. 5.50 / 00013800
0. 1.885E-4 0. 0. 0. 0. / 00013900
/* J16 (BREAK (LEAK NO.2))
3 -1 2 0 0. 0.025 / 00014000
0. 2.731E-5 0. 0. 0. 0. / 00014100
/* J17 (SRV (LEAK NO.3))
2 -1 3 0 0. 5.5 / 00014200
0. 5.16E-4 0. 0. 0. 0. / 00014300
/* J18 (FW (FILL NO.1))
-1 2 1 0 1.894 0. / 00014400
3.839 0. 0. 0. 0. 0. / 00014500
/* J19 (MSL (LEAK NO.4))
2 -1 4 1 1.894 5.5 / 00014600
0. 2.211E-4 0. 0. 0. 0. / 00014700
/* J20 (LEAKAGE FLOW PATH IN CORE SHROUD WALL)
1 2 0 0 0. 0.712 / 00014800
0.2 0. 1000. 152000. 0. / 00014900
006 / JET PUMP JUNCTION GROUP
/* CARD1 IJUMPT IJPUMP JETGRP(1) (2) (3) PIN / 00015000
/* GROUP1 (BROKEN SIDE)
2 1 6 4 5 748783.5 / 00015100
/* GROUP2 (INTACT SIDE)
2 1 11 9 10 748354.6 / 00015200
/*
007 / JET PUMP GEOMETRY DATA CARD
/* CARD1 AS AD AJ ADIF DL1 DL2 / 00015300
/* DL3 AJS AJD AJJ / 00015400
1.674E-3 1.11E-4 1.785E-3 1.924E-3 0.1 0.285 / 00015500
1.956 1. 1. 1. / 00015600
008 / RECIRCULATION PUMP DATA
/* CARD1 TPCQN HD QD XND FX XKSP / 00015700
4.718 244000. 2.7 178.3 0. 0. / 00015800
/* PUMP CHARACTERISTIC CURVE
2 /CARD2 / 00015900
9 0. / 00016000
0.0 0.92 0.222 0.94 0.443 0.97 / 00016100
0.665 1.0 1.109 1.0 1.583 1.019 / 00016200
2.772 0.75 4.434 0. 10.E20 0. / 00016300
2 0.025 / 00016400
0.0 0.0 1.E20 0.0 / 00016500
/* CARD1 TPCQN HD QD XND FX XKSP / 00016600
4.718 244000. 2.7 178.3 0. 0. / 00016700
/* PUMP CHARACTERISTIC CURVE
2 /CARD2 / 00016800
9 0. / 00016900
0.0 0.92 0.222 0.94 0.443 0.97 / 00017000
0.665 1.0 1.109 1.0 1.583 1.019 / 00017100
2.772 0.75 4.434 0. 10.E20 0. / 00017200
2 0.025 / 00017300
0.0 0.0 1.E20 0.0 / 00017400
/*
010 / LEAK DATA
/* CARD1 ICHOKE SINK PR. CONCO ILEAK HLEAK / 00020000
/* CARD1(PS) CONC1 TRNGL (THIS CARD IS USED ONLY WHEN ICHOKE=2) / 00020100
/* CARD2 NFAT / 00020200
/* CARD3 TABA(1) ---TABA(2*NFAT) / 00020300
/*
/* LEAK 1 (ADS JUNC.15) / 00020400
TIME-FLOW TABLE OF RUN 804 (MEASURED VALUE) / 00020500
-3 1.E4 1. 5.4 0.1 / 00020600
13 / 00020700
0. 0. 229. 0. 231. .29 / 00020800
234. 1. 238. 1. 260. .858 / 00020900
300. .645 350. .488 400. .401 / 00021000
450. .341 500. .248 600. .137 / 00021100
1000. .137 / 00021200
/* LEAK 2 (BREAK JUNC.16) / 00021300
2 1.E4 0.6 0.025 0. / 00021400
3 0.61 0.02 / 00021500
0. 0. 0.1 1. 2000. 1. / 00021600
/* LEAK 3 (SRV JUNC.17) / 00021700
-1 1.E4 1. 5.4 0.1 / (TBASE) / 00021800
-1 1.E4 1. 5.4 0.1 / 00021900
8 / 00022000
0. 0. 828218. 0. 828921. 2.128 / 00022100
843123. 2.128 843137. 4.867 837064. 4.867 / 00022200
857184. 6.044 1406142. 6.044 / 00022300
/* LEAK 4 (MSL JUNC.19) / 00022400
TIME-FLOW TABLE OF RUN 804 (MEASURED VALUE) / 00022500
-3 1.E4 1. 5.4 0.1 / 00022600
6 / 00022700
0. 1.73 1. 1.92 20. 1.92 / 00022800
26. 1.76 30. 0. 1000. 0. / 00022900

```

```

/*
011 / FILL
/* CARD1 CGL CML FEM FEG
/* CARD2 NT
/* CARD3 T OR H TABLE
/* CARD4 NW
/* CARD5 W TABLE
/* FILL 1 (FEED WATER JUNC.18)
/* 0.1 0. 1. 1. / COMPLETE MIXING /
/* 0.1 1. 0. 0. /COMPLETE ND-MIXING /
0
232.78
/* TIME-FLOW TABLE FOR RUN 804
-4
0. 1.85 2.0 1.85 3.1 0.0
2000.0 0.0
/* LPCJ (JUNC.14)
013 / LPCJ
1. 1. 0. 0.
47.78
/* T-W TABLE OF RUN 804
-9
0. 0. 450. 0. 451. 1.13
460. 1.67 480. 2.12 500. 2.41
550. 2.74 600. 2.80 1000. 2.80
/*
014 / CORE SPRAY
/* CS 1 (HPCS JUNC.12)
/* 0.1 0. 1. 1. /COMPLETE MIXING WITH
/* /MIXING LENGTH OF 0.1 M
0
47.78
/* T-W TABLE OF RUN 804 (MEASURED)
-10
0. 0. 238. 0. 239. .644
245. .697 260. .766 300. .797
350. .800 500. .806 600. .810
1000. .810
/* CS 2 (LPCS JUNC.13)
0. 0. 1. 1.
47.78
5
0. 0.8781 30584. 0.8671 214085. 0.6666
220000. 0. 1406142. 0.
/*
015 / STEAM SEPARATOR EFFICIENCY
/* CARD1 NTAB
/* CARD2 TABLE
2
0. 1. 10. 1.
/*
016 / TRIP CONTROL
/*CARD1 IDACT KSIG IV IPV SETP DELAY
/*
22 1 0 0 0. 0. /BREAK
81 1 0 0 0. 0. /HPCS
82 1 0 0 0. 10000. /LPCS
71 1 0 0 0. 0. /LPIS
21 1 0 0 0. 0. /ADS
31 1 0 0 0. 0. /PUMP1
32 1 0 0 0. 0. /PUMP2
-101 -3 2 0 4.183 10000. /MSIV
23 1 0 0 0. 10000. /SRV
-101 1 0 0 10000. 0.
/*
017 /*** DIMENSION CARD FOR SLABS ***
/* NSLAB NGEOM NMAXG NTVSNP NTALEP
/* NDCOR NNAT MAXREG NTRDD NTFUT
/* 17 14 5 7 0 4 30 0 0 0 / CARD1
/*
018 /*** HEAT SLAB DATA CARDS ***
/* NVSL NVSR IGEOM
/*
1 0 1 1.586 0.2350 2.894E-5
0.009236 0.01438 0.01438 /SLAB1 CORE100039000
1 0 1 1.821 0.2350 2.854E-5
0.009236 0.01438 0.01438 /SLAB2 CORE200039200
1 0 1 2.056 0.2350 2.854E-5
0.009236 0.01438 0.01438 /SLAB3 CORE300039400
1 0 1 2.291 0.4700 2.782E-5
0.01847 0.01438 0.01438 /SLAB4 CORE400039600
1 0 1 2.761 0.2350 2.894E-5
0.009236 0.01438 0.01438 /SLAB5 CORE500039800
1 0 1 2.996 0.2350 2.894E-5
0.009236 0.01438 0.01438 /SLAB6 CORE600040000
1 0 1 3.231 0.2350 2.894E-5
0.009236 0.01438 0.01438 /SLAB7 CORE700040200
1 0 2 -0.018 1.531 0.02543
10.17 0.02368 0.02368 /SLAB8
2 0 3 0.494 5.500 0.2920
6.547 0.4025 0.4025 /SLAB9
1 0 4 -0.018 1.531 0.4004
0.3874 0.3952 0.3952 /SLAB10
1 0 1 1.586 0.2350 2.894E-5
0.009236 0.01438 0.01438 /SLAB11 CORE800041000
1 0 1 1.821 0.2350 2.894E-5
0.009236 0.01438 0.01438 /SLAB12 CORE900041200
1 0 1 2.056 0.2350 2.894E-5
0.009236 0.01438 0.01438 /SLAB13 COR1000041400
1 0 1 2.291 0.4700 2.782E-5
0.01847 0.01438 0.01438 /SLB14 COR1100041600
1 0 1 2.761 0.2350 2.894E-5
0.009236 0.01438 0.01438 /SLB15 COR1200041800
1 0 1 2.996 0.2350 2.894E-5
0.009236 0.01438 0.01438 /SLB16 COR1300042000
1 0 1 3.231 0.2350 2.894E-5
0.009236 0.01438 0.01438 /SLB17 COR1400042200
/*
019 /*** CORE SECTION DATA CARDS ***
/* ISLB IXSN PSLB X TFCT
1 189 0.0399 1.0 0.0399 /CORE #01
2 189 0.0766 1.0 0.0766 /CORE #02
3 189 0.1039 1.0 0.1039 /CORE #03
4 189 0.2409 1.0 0.2409 /CORE #04

```

```

5 189 0.1039 1.0 0.1039 /CORE #05 00043000
6 189 0.0766 1.0 0.0766 /CORE #06 00043100
7 189 0.0399 1.0 0.0399 /CORE #07 00043200
11 63 0.0186 1.0 0.0186 /CORE #08 00043300
12 63 0.0358 1.0 0.0358 /CORE #09 00043400
13 63 0.0485 1.0 0.0485 /CORE #10 00043500
14 63 0.1125 1.0 0.1125 /CORE #11 00043600
15 63 0.0485 1.0 0.0485 /CORE #12 00043700
16 63 0.0358 1.0 0.0358 /CORE #13 00043800
17 63 0.0186 1.0 0.0186 /CORE #14 00043900
/*
00044000
020 /*** SLAB GEOMETRY DATA CARDS *** 00044100
/* JGOM JREG 00044200
/* JGAP (GAP INDEX) 00044300
/* JMAT (MATERIAL INDEX) 00044400
/* JPNT (NUMBER OF SPACE MESH) 00044500
/* WREG (REGIO WIDTH) 00044600
/* DREG (MATERIAL DENSITY) 00044700
/* PREG (POWER FRACTION) 00044800
/* FREG (WEIGHTING FACTOR FOR AVE. TEMP. CALC.) 00044900
/* SLAB GEOMETRY DATA SET NO. 1 00045000
2 0 0 0 0 00045100
4 1 2 3 4 00045200
3 1 1 1 1 00045300
0.003051 0.0007001 0.001210 0.001300 00045400
1.0 1.0 1.0 1.0 00045500
0.0 1.0 0.0 0.0 00045600
0.0 1.0 0.0 0.0 00045700
/* SLAB GEOMETRY DATA SET NO. 2 00045800
2 2 3 00045900
0 0 0 0 00046000
7 6 4 00046100
2 1 1 00046200
0.002500 0.001500 0.009997 00046300
1.0 1.0 1.0 00046400
0.0 0.0 0.0 00046500
0.0 0.0 0.0 00046600
/* SLAB GEOMETRY DATA SET NO. 3 00046700
1 1 00046800
0 0 00046900
5 4 00047000
0.03962 00047100
1.0 00047200
0.0 00047300
0.0 00047400
/* SLAB GEOMETRY DATA SET NO. 4 00047500
1 1 00047600
0 0 00047700
3 5 00047800
4 0 00047900
0.1551 00048000
1.0 00048100
0.0 00048200
0.0 00048300
/* SLAB GEOMETRY DATA SET NO. 5 00048400
1 1 00048500
0 0 00048600
2 2 00048700
4 4 00048800
0.05486 00048900
1.0 00049000
0.0 00049100
0.0 00049200
/*
00049300
00049400
021 /*** MATERIAL PROPERTY DATA CARDS *** 00049500
/* (1) THERMAL CONDUCTIVITY TABLE 00049600
/* NTPK 00049700
/* TPK (TEMP. COND. ---) 00049800
7 / BORON-NITRIDE 00050000
0. 7.213E-3 300. 6.903E-3 500. 6.696E-3 00050100
700. 6.489E-3 900. 6.283E-3 1000. 6.407E-3 00050200
2000. 7.647E-3 00050300
3 / 00050400
20. 4.175E-3 100. 3.307E-3 2605. 2.778E-3 00050500
2 / BORON-NITRIDE 00050600
0. 1.389E-3 2000. 1.389E-3 00050700
11 / INCONEL-600 00050800
0.0 3.486E-3 21.1 3.546E-3 93.3 3.753E-3 00050900
204.4 4.175E-3 315.6 4.588E-3 426.7 5.001E-3 00051000
537.8 5.456E-3 648.9 5.911E-3 760.0 6.407E-3 00051100
871.1 6.903E-3 2000.0 1.194E-3 00051200
2 / SUS 00051300
0. 3.889E-3 500. 5.001E-3 00051400
12 / MGD 00051500
0. 9.259E-3 200. 6.365E-3 300. 4.919E-3 00051600
400. 4.100E-3 500. 3.360E-3 600. 2.798E-3 00051700
700. 2.401E-3 800. 2.100E-3 1000. 1.649E-3 00051800
1200. 1.900E-3 1253. 1.800E-3 1600. 1.748E-3 00051900
2 / 00052000
0. 3.480E-3 2000. 3.480E-3 00052100
/* (2) SPECIFIC HEAT CAPACITY TABLE 00052200
/* NTPC 00052300
/* TPC (TEMP. SPECIFIC HEAT ---) 00052400
6 / BORON-NITRIDE 00052500
0. 57.67 360. 84.59 510. 95.80 00052600
683. 121.0 1260. 151.7 2000. 191.2 00052700
3 / 00052800
20. 919.5 100. 890.7 2600. 919.5 00052900
6 / BORON-NITRIDE 00053000
0. 57.29 360. 84.59 510. 95.96 00053100
850. 121.1 1260. 151.7 2000. 206.9 00053200
11 / INCONEL-600 00053300
0.0 880.1 21.1 892.3 93.3 934.0 00053400
204.4 975.6 315.6 1019. 426.7 1061. 00053500
537.8 1110. 648.9 1177. 760.0 1221. 00053600
871.1 1254. 2000. 1596. 00053700
2 / SUS 00053800
0. 950.0 2000. 950.0 00053900
2 / MGD 00054000
0. 805.8 2000. 805.8 00054100
2 / 00054200
0. 869.9 2000. 869.9 00054300
/*
00054400
022 /*** OTHER HEAT SLAB DATA CARDS *** 00054500
/* IVOLC QINIT BETABL 00054600
1 836.1 0.0 00054700
/* PTABL (TIME NORMALIZED POWER ---) 00054800
/* POWER CURVE NOW USED (UNTIL JUNE OF 1980) 00055000
0.0 1.0 11.208 1. 11.352 0.987 00055100
11.5 0.971 12.0 0.938 12.5 0.905 00055200
13. 0.874 14. 0.819 15. 0.766 00055300
16. 0.715 17. 0.664 18. 0.615 00055400
20. 0.523 25. 0.349 28. 0.261 00055500
30. 0.218 35. 0.134 36. 0.121 00055600
37. 0.119 50. 0.111 70. 0.104 00055700
100. 0.097 200. 0.085 300. 0.079 00055800
500. 0.071 700. 0.066 1000. 0.061 00055900
2000. 0.051 3000. 0.046 4000. 0.042 00056000
/*
00056100
999 00056200
/* END OF DATA 00056800

```