

JAERI-M
84-030

小破断LOCAにおけるROSA-IIIと
BWR/6の相似性の検討

1984年2月

与能本泰介・田坂 完二

JAERI-M レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）あて、お
申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村
日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Section, Division of
Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken
319-11, -Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1984

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 日立高速印刷株式会社

小破断 LOCA における ROSA-III と BWR/6 の相似性の検討

日本原子力研究所東海研究所安全工学部

与能本泰介・田坂 完二

(1984年1月27日受理)

小破断 LOCA における ROSA-III と BWR/6 の相似性の検討をおこなった。そのため、まず、ROSA-III 実験の解析を RELAP 4/MOD 6/U 4/J 3 コードでおこない、計算コードの解析性能とその限界を明確にした。そして、次に、同じコードを使い同じ解析上の仮定を用いて BWR/6 の解析を行い、ROSA-III との相似性を検討した。解析の対象とした実験は、HPCS の単一故障を仮定した再循環ポンプ吸込み側 5% 破断実験、Run 912 である。ROSA-III 実験 Run 912 の圧力、炉心水位、被覆管表面温度等の基本的な熱水力挙動は、RELAP 4/MOD 6/U 4/J 3 コードで精度よく解析することができた。そして ROSA-III の解析結果は、BWR/6 の解析結果と良く一致し、小破断 LOCA における ROSA-III と BWR/6 の良好な相似性が確認された。

STUDY ON SIMILARITY BETWEEN ROSA-III
AND BWR/6 DURING A SMALL BREAK LOCA

Taisuke YONOMOTO and Kanji TASAKA
Department of Nuclear Safety Research,
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received January 27, 1984)

The similarity between the ROSA-III test results and a BWR/6 transient during a small break LOCA has been studied. In order to investigate the similarity, the ROSA-III test results was analyzed first by RELAP4/MOD6/U4/J3 code and the capability and the limitation of the code were studied. Afterwards, a BWR/6 small break LOCA transient was analyzed using the same code and the same input model to study the similarity. The selected experiment for the analysis was the ROSA-III test, Run 912, which simulated a 5% split break at the pump inlet in the recirculation line with the condition of HPCS failure. The basic thermal-hydraulic phenomena such as the system pressure, core mixture levels and fuel cladding surface temperatures appeared in Run 912 were calculated accurately by the RELAP4/MOD6/U4/J3 code. The calculated results of the ROSA-III test agreed well with the analysis results of the BWR/6 transient. It has been concluded that the similarity between ROSA-III and BWR/6 during a small break LOCA is good.

Keywords: ROSA-III, BWR, Small Break LOCA, RELAP4/MOD6/U4/J3,
Similarity

目 次

1. 緒 言	1
2. ROSA-Ⅲ実験RUN 912の概要	3
2.1 実験装置	3
2.2 実験条件及び実験方法	4
2.3 実験結果	5
3. 解析条件	25
3.1 解析コードの概要	25
3.2 解析条件	26
4. ROSA-Ⅲ実験RUN 912の解析	42
4.1 ROSA-Ⅲ解析結果の概要	42
4.2 まとめ	48
5. BWR/6 LOCAの解析及びROSA-Ⅲ装置と実炉の相似性の検討	79
5.1 BWR/6 LOCAの解析及び相似性の検討	79
5.2 まとめ	84
6. 結 論	123
謝 辞	124
参考文献	125
付録 A 感度計算	126
付録 B ROSA-Ⅲ解析用入力データ	137
付録 C BWR/6解析用入力データ	146

CONTENTS

1. INTRODUCTION	1
2. OUTLINE OF ROSA-III TEST RUN 912	3
2.1 ROSA-III Test Facility	3
2.2 Test Conditions and Experiment Procedure	4
2.3 Test Results	5
3. ANALYTICAL CONDITIONS	25
3.1 Description of RELAP4/MOD6/U4/J3 Code	25
3.2 Analytical Conditions	26
4. ANALYSIS OF ROSA-III TEST RUN 912	42
4.1 Analysis Results	42
4.2 Summary	48
5. ANALYSIS OF BWR/6 LOCA AND INVESTIGATION OF SIMILARITY BETWEEN ROSA-III AND BWR/6	79
6. CONCLUSIONS	123
ACKNOWLEDGEMENT	124
REFERENCES	125
Appendix A Sensitivity Calculation	126
Appendix B Input Data List of RELAP4/MOD6/U4/J3 Code for Analysis of ROSA-III RUN 912	137
Appendix C Input Data List of RELAP4/MOD6/U4/J3 Code for Analysis of BWR/6 LOCA	146

List of tables

Table 2.1	Primary characteristics of BWR/6 and ROSA-III
Table 2.2	Instrumentation list
Table 2.3	Test conditions of Run 912
Table 2.4	Sequence of events in Run 912
Table 2.5	Valve characteristics of steam discharge line
Table 2.6	Valve control sequence of steam line in Run 912
Table 3.1	Description of volumes
Table 3.2	Description of junctions
Table 3.3	Description of heat slabs
Table 3.4	Bubble rise model used for analysis
Table 4.1	Comparison of major events of experimental data and analysis results
Table 5.1	Comparison of input data
Table 5.2	Comparison of major events

List of figures

- Fig. 2.1 Schematic diagram of ROSA-III test facility
- Fig. 2.2 Internal structure of pressure vessel of ROSA-III test facility
- Fig. 2.3 ROSA-III piping schematics
- Fig. 2.4 Arrangement of heater rods
- Fig. 2.5 Axial power distribution of heater rods
- Fig. 2.6 Radial power distribution of heater rods
- Fig. 2.7(a) Break orifice details
- Fig. 2.7(b) Break nozzle details
- Fig. 2.8(a) Flow diagram and instrumentation location of ROSA-III test facility
- Fig. 2.8(b) Instrumentation location in pressure vessel of ROSA-III test facility
- Fig. 2.9 Power curve for Run 912
- Fig. 2.10 Steam discharge line
- Fig. 2.11 System pressures
- Fig. 2.12 Estimated liquid levels in pressure vessel
- Fig. 2.13 heater surface temperatures of A88 rod
- Fig. 3.1 Nodalization diagram for ROSA-III test analysis
- Fig. 3.2 Nodalization diagram for BWR/6 analysis
- Fig. 3.3 Axial power distribution
- Fig. 3.4 Power curve
- Fig. 3.5 Feedwater flow rate (ROSA-III)
- Fig. 3.6 Main steam flow rate (ROSA-III)
- Fig. 3.7 Main steam flow characteristics (BWR/6)

- Fig. 3.8 LPCS and LPCI flow rate (ROSA-III)
- Fig. 3.9 LPCS flow versus system pressure
- Fig. 3.10 LPCI flow versus system pressure
- Fig. 3.11 Homologous head curve (ROSA-III)
- Fig. 3.12 Homologous torque curve (ROSA-III)
- Fig. 3.13 Homologous head curve (BWR/6)
- Fig. 3.14 Homologous torque curve (BWR/6)
- Fig. 4.1 Lower plenum pressures
- Fig. 4.2 Break flows
- Fig. 4.3 Differential pressures between top and bottom of pressure vessel
- Fig. 4.4 Comparison of differential pressure and water head between top and bottom of pressure vessel
- Fig. 4.5 Comparison of water heads inside and outside the core shroud
- Fig. 4.6 Core inlet flows
- Fig. 4.7 Pump speeds
- Fig. 4.8 High power channel inlet flow
- Fig. 4.9 High power channel outlet flow
- Fig. 4.10 Average power channel inlet flow
- Fig. 4.11 Average power channel outlet flow
- Fig. 4.12 Leak hole flow
- Fig. 4.13 Guide tube inlet flows
- Fig. 4.14 Bypass inlet flow
- Fig. 4.15 Bypass outlet flow
- Fig. 4.16 Intact loop jet pump suction flow
- Fig. 4.17 Intact loop jet pump drive flow
- Fig. 4.18 Intact loop jet pump discharge flow

- Fig. 4.19 Broken loop jet pump suction flow
- Fig. 4.20 Broken loop jet pump drive flow
- Fig. 4.21 Broken loop jet pump discharge flow
- Fig. 4.22 LPCS flow into high power channel
- Fig. 4.23 Vapor flow of LPCS from high power channel
- Fig. 4.24 Droplet flow of LPCS into high power channel
- Fig. 4.25 LPCS flow into average power channel
- Fig. 4.26 Vapor flow of LPCS from average power channel
- Fig. 4.27 Droplet flow of LPCS into average power channel
- Fig. 4.28 LPCS flow into core bypass
- Fig. 4.29 Comparison of injected and net LPCS flow
- Fig. 4.30 Mixture levels in upper plenum
- Fig. 4.31 Mixture levels in high power channel
- Fig. 4.32 Mixture levels in average power channel
- Fig. 4.33 Mixture levels in lower plenum and core inlet region
- Fig. 4.34 Collapsed water levels in downcomer
- Fig. 4.35 Heater surface temperatures of high power channel (Pos.1)
- Fig. 4.36 Heater surface temperatures of high power channel (Pos.2)
- Fig. 4.37 Heater surface temperatures of high power channel (Pos.3)
- Fig. 4.38 Heater surface temperatures of high power channel (Pos.4)
- Fig. 4.39 Heater surface temperatures of high power channel (Pos.5)
- Fig. 4.40 Heater surface temperatures of high power channel (Pos.6)
- Fig. 4.41 Heater surface temperatures of high power channel (Pos.7)
- Fig. 4.42 Heater surface temperatures of high power channel
- Fig. 4.43 Heater surface temperatures of average power channel (Pos.1)
- Fig. 4.44 Heater surface temperatures of average power channel (Pos.2)
- Fig. 4.45 Heater surface temperatures of average power channel (Pos.3)

- Fig. 4.46 Heater surface temperatures of average power channel (Pos.4)
- Fig. 4.47 Heater surface temperatures of average power channel (Pos.5)
- Fig. 4.48 Heater surface temperatures of average power channel (Pos.6)
- Fig. 4.49 Heater surface temperatures of average power channel (Pos.7)
- Fig. 4.50 Heater surface temperatures of average power channel
- Fig. 4.51 Fluid and saturation temperatures in high power channel
- Fig. 4.52 Fluid and saturation temperatures in average power channel
- Fig. 4.53 Dryout and quenching transients in high power channel
- Fig. 4.54 Dryout and quenching transients in average power channel
- Fig. 5.1 Lower plenum pressures
- Fig. 5.2 Total mass inventories in each systems
- Fig. 5.3 Total heat transfer rates
- Fig. 5.4 Steam generation rates calculated from total heat transfer rate
- Fig. 5.5 Main steam line flows
- Fig. 5.6 ADS flows
- Fig. 5.7 Break flows
- Fig. 5.8 Comparison of differential pressure between top and bottom of pressure vessel and water heads inside and outside the core shroud
- Fig. 5.9 Total core inlet flows
- Fig. 5.10 Central core inlet flow
- Fig. 5.11 Central core outlet flow
- Fig. 5.12 Peripheral core inlet flow
- Fig. 5.13 Peripheral core outlet flow
- Fig. 5.14 Leak hole flows
- Fig. 5.15 Guide tube inlet flows
- Fig. 5.16 Core bypass inlet flows

- Fig. 5.17 Core bypass outlet flows
- Fig. 5.18 Intact loop jet pump suction flows
- Fig. 5.19 Intact loop jet pump drive flows
- Fig. 5.20 Intact loop jet pump discharge flows
- Fig. 5.21 Broken loop jet pump suction flows
- Fig. 5.22 Broken loop jet pump drive flows
- Fig. 5.23 Broken loop jet pump discharge flows
- Fig. 5.24 LPCS flow into central core
- Fig. 5.25 Droplet flow of LPCS into central core
- Fig. 5.26 Vapor flow of LPCS from central core
- Fig. 5.27 LPCS flow into peripheral core
- Fig. 5.28 Droplet flow of LPCS into peripheral core
- Fig. 5.29 Vapor flow of LPCS from peripheral core
- Fig. 5.30 LPCS flows into core bypass
- Fig. 5.31 LPCS flows
- Fig. 5.32 LPCI flows
- Fig. 5.33 Downcomer collapsed water levels
- Fig. 5.34 Upper plenum mixture levels
- Fig. 5.35 Mixture levels of BWR/6 central core and ROSA-III high power channel
- Fig. 5.36 Mixture levels of BWR/6 peripheral core and ROSA-III average power channel
- Fig. 5.37 Mixture levels of core inlet region
- Fig. 5.38 Lower plenum mixture levels
- Fig. 5.39 Core bypass mixture levels
- Fig. 5.40 Fuel rod cladding surface temperatures of BWR central core position 1 (3520 mm from the bottom of core) and ROSA-III high

- power channel position 1 (1830 mm from the bottom of the core)
- Fig. 5.41 Fuel rod cladding surface temperatures of BWR central core position 2 (3051 mm from the bottom of core) and ROSA-III high power channel position 2 (1528 mm from the bottom of the core)
- Fig. 5.42 Fuel rod cladding surface temperatures of BWR central core position 3 (2582 mm from the bottom of core) and ROSA-III high power channel position 3 (1293 mm from the bottom of the core)
- Fig. 5.43 Fuel rod cladding surface temperatures of BWR central core position 4 (1878 mm from the bottom of core) and ROSA-III high power channel position 4 (940 mm from the bottom of the core)
- Fig. 5.44 Fuel rod cladding surface temperatures of BWR central core position 5 (1173 mm from the bottom of core) and ROSA-III high power channel position 5 (588 mm from the bottom of the core)
- Fig. 5.45 Fuel rod cladding surface temperatures of BWR central core position 6 (704 mm from the bottom of core) and ROSA-III high power channel position 6 (353 mm from the bottom of the core)
- Fig. 5.46 Fuel rod cladding surface temperatures of BWR central core position 7 (235 mm from the bottom of core) and ROSA-III high power channel position 7 (50 mm from the bottom of the core)
- Fig. 5.47 Fuel rod cladding surface temperatures of BWR peripheral core position 1 (3520 mm from the bottom of core) and ROSA-III average power channel position 1 (1830 mm from the bottom of core)
- Fig. 5.48 Fuel rod cladding surface temperatures of BWR peripheral core position 2 (3051 mm from the bottom of core) and ROSA-III average power channel position 2 (1528 mm from the bottom of core)
- Fig. 5.49 Fuel rod cladding surface temperatures of BWR peripheral core

position 3 (2582 mm from the bottom of core) and ROSA-III average power channel position 3 (1293 mm from the bottom of core)

Fig. 5.50 Fuel rod cladding surface temperatures of BWR peripheral core position 4 (1878 mm from the bottom of core) and ROSA-III average power channel position 4 (940 mm from the bottom of core)

Fig. 5.51 Fuel rod cladding surface temperatures of BWR peripheral core position 5 (1173 mm from the bottom of core) and ROSA-III average power channel position 5 (588 mm from the bottom of core)

Fig. 5.52 Fuel rod cladding surface temperatures of BWR peripheral core position 6 (704 mm from the bottom of core) and ROSA-III average power channel position 6 (353 mm from the bottom of core)

Fig. 5.53 Fuel rod cladding surface temperatures of BWR peripheral core position 7 (235 mm from the bottom of core) and ROSA-III average power channel position 7 (50 mm from the bottom of core)

Fig. 5.54 Fuel rod cladding surface temperatures of BWR/6 central core and ROSA-III high power channel

Fig. 5.55 Fuel rod cladding surface temperatures of BWR/6 peripheral core and ROSA-III average power channel

Fig. 5.56 Relation between heat capacity of unit length of fuel rod and temperature

Fig. 5.57 Heat transfer coefficients of BWR/6 central core position 1 (3520 mm from the top of core) and ROSA-III high power channel

position 1 (1830 mm from the top of core)

Fig. 5.58 Heat transfer coefficients of BWR/6 central core position 4
(1878 mm from the top of core) and ROSA-III high power channel
position 4 (940 mm from the top of core)

Fig. 5.59 Heat transfer coefficients of BWR/6 central core position 7
(235 mm from the top of core) and ROSA-III high power channel
position 7 (50 mm from the top of core)

- Fig. A.1.1 Water heads inside the core shroud
- Fig. A.1.2 Mixture levels in high power channel
- Fig. A.2.1 High power channel inlet flow
- Fig. A.2.2 Average power channel inlet flow
- Fig. A.2.3 Total core inlet flows
- Fig. A.2.4 Mixture levels in lower plenum
- Fig. A.2.5 Mixture levels in high power channel
- Fig. A.3.1 Differential pressures between lower plenum and steam dome
- Fig. A.3.2 Total core inlet flows
- Fig. A.3.3 Mixture levels in high power channel
- Fig. A.4.1 Lower plenum pressures
- Fig. A.4.2 Mixture levels in average power channel
- Fig. A.5.1 ADS flows
- Fig. A.5.2 Lower plenum pressures
- Fig. A.6.1 Mixture levels in high power channel

1. 緒 言

原子力発電所は、安全性を確保するため比較的生じやすい故障に対する対策はもちろんのこと、非常に発生確率は低いながらも技術的に起こる可能性が存在し、なおかつ公衆に重大な影響を及ぼす可能性がある非常にきびしい事故の発生を想定した場合でも、公衆に許容値以上の被ばくが生じないように設計されている。このように想定される事故は、設計基準事故（DBA：Design Basis Accident）と呼ばれている。冷却材喪失事故（LOCA：Loss of Coolant Accident）は、その中でも最も重要なもののひとつである。1次冷却系の破断が起きた時には、原子炉の緊急停止装置が働き、原子炉の運転は停止するが、燃料内の核分裂生成物（FP：Fission Product）の崩壊熱による発熱は長期にわたって持続する。このため、冷却能力の低下した炉心の燃料は温度が上昇し、その結果、燃料被覆管の破損を招き、FPが原子炉格納容器内に放出されるという一連の経過を取ることが考えられる。

したがってこのような事故時に安全性を確保するためには、炉心に外部から水を注入し炉心の冷却能力を向上させる必要がある。このための設備が、非常用炉心冷却系（ECCS：Emergency Core Cooling System）である。

DBAに対して、安全性が確保されていることを確認するための方法として、従来保守的な仮定に基づく解析コードによりその過渡現象を解析するということがおこなわれてきた。すなわち得られた結果が、定められた安全基準値以下であれば良いとした。しかし原子力発電所数の増大に伴う社会状況の変化や安全性に対する考え方の進展により、現行の安全解析コードの保守性を確認し、安全余裕を定量化しようとする要求が強くなっている。

ROSA-Ⅲ計画は、日本原子力研究所で行われている沸騰水型原子炉（BWR）の冷却材喪失事故に関する総合実験計画である。本計画の目的は、LOCA時に起こる基本的な熱水力挙動を明確にしあわせて今まで予測しなかった現象の有無を検討し、さらにLOCA時の挙動を解析するためのコードの検証をおこなうことにある。本計画は、昭和53年度から開始され、これまで従来より最も関心を集めていた再循環ポンプ入口側配管の両端破断実験シリーズはもとより、TMI事故以降、関心を集めた小口径配管破断実験シリーズ、破断面積パラメータ実験シリーズ、再循環ポンプ出口側配管破断実験シリーズ、主蒸気管破断実験シリーズなど他に類を見ない広範囲の条件におけるLOCAの開始から終了までを模擬する実験がおこなわれてきた。しかし、ROSA-Ⅲ装置による実炉の模擬には限界がある。模擬の限界となる因子としては、(i)炉心が、実炉の半分であることや、ジェットポンプが圧力容器の外側に置かれていることなどの幾何形状の違い、(ii)構造材蓄積熱の影響を実炉より受けやすいこと、(iii)電気ヒーターにより核燃料を模擬していること、などがある。したがってROSA-Ⅲ実験の結果をそのまま実炉に適用することはできない。解析により両者の相似性を明確にしておく必要がある。相似性を検討することにより、ROSA-Ⅲ実験の結果のうちどの点までが実炉に適用可能か、またどの程度の差があるかを明らかとすることが出来る。

LOCAに対する安全性の信頼を増すためには、LOCA現象とECCSの有効性の実験的検証、

ならびに解析コードの実験データとの比較による改良および精度の向上の両面が必要である。すなわち実験と解析はLOCAに対する安全性向上の為の両輪であり、相補的關係にある。実験データなくしては解析コードの評価および改良は不可能であり、解析コードなくしては実験データの実炉への適用性の検討は困難である。そして両者をつなぐ接点に位置するのが総合実験と実炉のLOCAとの相似性の検討である。総合実験の実炉LOCAへの適用の為には当然としても、解析コードの改良の為にも相似性は出来るだけ優れている方がよい。ROSA-Ⅲ実験のデータを解析することにより、実炉のLOCA解析における解析コードの信頼性を向上するためには、ROSA-Ⅲ実験は実炉のLOCAを出来るだけ良く模擬している必要がある。

そこで前回の大破断LOCAにおける相似性の検討⁽¹⁾に引き続き、TMI事故以降関心を集めている小破断LOCAにおけるROSA-ⅢとBWR/6の相似性の検討を行った。解析の対象とした実験は、RUN 912⁽²⁾であり、これは、高圧炉心スプレイ系（HPCS：High Pressure Core Spray）の単一故障を仮定した再循環ポンプ入口側配管の5%スプリット破断LOCA実験である。RUN 912は、又、CSNI（OECD/NEA Committee on Safety of Nuclear Installations）によって、国際標準問題No 12に選定された実験である。これについて、各国の研究機関により解析された結果が文献⁽³⁾にまとめられている。

相似性の検討方法としては、まず実験解析により計算コードの性能と限界を検討し、次に、実炉を同一コードで解析し解析結果どうしを比較しコードの性能の範囲で相似性についての結論を得るという方法を用いた。本報告では、第4章に、圧力、水位、流動及び燃料表面温度挙動に関する実験解析結果を示し、コードの性能について評価し、第5章に同一コードを用いておこなったBWRの解析結果と相似性の検討をまとめた。又これに先立ち、第2章に実験結果について述べ、第3章で解析コードについて述べた。解析に使用したコードは、RELAP4/MOD 6/U4/J3である。これは、RELAP4/MOD6コードに原研で改良を加えたものである⁽⁵⁾。このコードは、再冠水時の伝熱計算を非常に簡単化しているため計算速度が、非常に速いという特徴と小破断LOCAで重要な炉心上部からの液膜による燃料棒のクエンチ（トップダウンクエンチ）を解析することが、できるという特徴を持っている。そして第6章に結論をまとめた。解析結果のより詳細な検討のためにおこなったいくつかの感度計算の結果について簡単に付録にまとめた。

2. ROSA-Ⅲ実験 RUN 912 の概要

ROSA-Ⅲ実験 RUN 912⁽²⁾は第4次炉心の装荷された ROSA-Ⅲ装置において、高圧炉心スプレイ (HPCS) 系統の単一故障を仮定した再循環ポンプ吸込側配管の5%スプリット破断実験である。

本章では ROSA-Ⅲ装置⁽³⁾および RUN 912 実験について述べる。

2.1 実験装置

ROSA-Ⅲ装置は、BWRの冷却材喪失事故時の冷却材流出開始から、非常用炉心冷却系 (ECCS) 作動後までの一連の一次冷却系の熱水力学的挙動を解明するためのシステム実験装置であり、GE社の熱出力 3.8×10^3 MWの BWR/6 (251-848) を基に、体積比にして 1/424 に縮尺した規模である。BWR/6 と ROSA-Ⅲ装置との主要諸元の比較を表 2.1 に示す。

ROSA-Ⅲ装置主要部の鳥瞰図を図 2.1、2.2 に、系全体の配管系統図を図 2.3 に示す。ROSA-Ⅲ装置は主として次の4つのサブシステムから構成されている。

- ① 圧力容器
- ② 主蒸気ラインおよび給水ライン
- ③ 再循環システム
- ④ 非常用炉心冷却系

以下順を追って説明する。

① 圧力容器

圧力容器内には BWR/6 を模擬して、炉心、下部プレナム、ダウンカマ、気水分離器、蒸気乾燥板および蒸気ドームが設けられている。ジェットポンプは、その体積と炉心に対する高さを模擬するために圧力容器外部に設置してある。

炉心は実炉の1/2の長さの模擬燃料集合体4体と模擬制御棒から成る。各集合体には62本の模擬燃料棒と2本の模擬ウォーターロッド (図 2.4) が 8×8 配列で、上部および下部タイプレート、さらにその間の4組のスペーサにより支持されている。模擬燃料棒は間接加熱型ヒータピンであり、図 2.5 に軸方向発熱分布、図 2.6 に径方向発熱分布を示す。チャンネル A は、他の3体に対して1.4倍の出力比となっている。また各集合体内でも出力分布をもち、ピーキンググファクター 1.1、1.0、0.875 と3領域に分けられる。

炉心入口部には、炉心の流れの抵抗を模擬するためにオリフィスが設けられている。

② 主蒸気ラインおよび給水ライン

主蒸気ラインは蒸気ドームと接続されており、2つの蒸気ラインおよび ADS ラインの計3系統ある。

給水ラインはダウンカマ上部の給水スパージャに接続されている。給水は、熱交換器により

所定の温度に昇温されている給水タンク（FWT, Feedwater Tank）内の水が給水ポンプ（FWP, Feedwater Pump）により供給される。

③ 再循環システム

再循環システムは図 2.3 に示すように 2 ループから成り、それぞれのループに再循環ポンプ 1 台とジェットポンプ 2 台が設けられている。2 つのループのうち一方が健全側ループ、他方が破断側ループである。破断側ループにおいては、両端破断とスプリット破断が模擬できるように、二個の急速開放弁（QOBV quick opening blowdown valve）と一個の急速遮断弁（QSV quick shutoff valve）が設けられている。破断口径の調整は、ノズルかオリフィス（図 2.7(a), 図 2.7(b)）で行われ、口径 26.2mm が実炉の 100% 破断に相当する。すなわち、実炉の再循環ポンプ入口側配管断面積の 1/424 倍が、口径 26.2mm の破断口断面積に等しい。

④ 非常用炉心冷却系（ECCS）

ECCS は実炉 BWR/5 又は BWR/6 と同様に、HPCS, 低圧炉心スプレー（LPCS）, 低圧注入系（LPCI）および自動減圧装置（ADS）とから成る。

HPCS および LPCS では、冷却水が炉心上部にスプレーされ、LPCI では炉心バイパス部に注入される。

また ROSA-Ⅲ 装置における計測装置は熱水力データを収録し、LOCA 解析コードの評価ができるように設計されている。図 2.8(a), 2.8(b) に ROSA-Ⅲ 装置における計測点を示す。ROSA-Ⅲ 実験で測定される諸量は圧力、差圧、流量、電気出力、ポンプ回転数、各種機器の作動信号、流体温度、燃料棒表面温度、水位、流体密度およびモーメントムフラックスなどであり、約 700 点の計測項目がある。表 2.2 に計測機器の種類と数量を示す。

2.2 実験条件及び実験方法

RUN912 の実験条件を表 2.3 に示す。RUN912 は再循環ポンプ吸込側配管の 5% スプリット破断実験である。破断形状は直径 5.9 mm のオリフィスが用いられ、破断面積は $2.73 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ で実炉（BWR/6-251）の 1/424 に相当する。

実験の初期条件は次の通りである。蒸気ドーム圧力は 7.35 MPa, 下部プレナム流体温度は 552 K であり、そのサブクール度は 10.5 K である。炉心出力は 3969 KW であり、定格出力の 44% に相当する。最大線出力密度は 16.7 KW/m である。全炉心流量は 16.0 kg/s であり、炉心バイパス流量を 10% と仮定して、炉心出口クオリティは 14.4% と推定される。

実験は圧力容器側破断口の下流側の急速開放弁を開くことにより開始された。2 台の再循環ポンプは破断と同時にトリップした。RUN912 で得られた主要事象の生起時刻を表 2.4 に示す。

炉心出力は破断後 8.8 秒まで初期出力のまま一定に保たれ、その後実炉における冷却材の伝熱量変化にあわせて減少する^[3]。（図 2.9）

図 2.10 に主蒸気ライン系統図、表 2.5 に各バルブの特性、表 2.6 にバルブの操作手順を示す。破断前には圧力容器内の圧力は定常時用ラインのコントロールバルブ CV130 により設定値に保たれた。破断と同時に熱交換器に到るラインが閉鎖され（バルブ CV1, CV2 の閉鎖）バルブ CV130 が手動で全開にされた。この時蒸気流量はオリフィス OR 3（ ϕ 18.0mm）で制限された。

給水は破断後 2.0 秒から減少し始め 3.1 秒で零となった。破断後，ダウンカマ水位が低下し圧力容器底から 4.76m (L 2 レベル) に達した後，3 秒遅れでバルブ CV130 が手動で閉じられた。

(MS IV (主蒸系配管隔離弁) 閉) MS IV 閉鎖時間は 24 秒である。

破断後 318 秒，炉内圧力 2.38 MPa で低圧炉心スペレイ系 (LPCS)，406 秒，1.81 MPa で低圧注入系 (LPCI) が作動し，非常用冷却水が注入された。また，破断後 158 秒で自動減圧系 (ADS) が作動した。ADS 用ライン中には ADS バルブを模擬するためにオリフィス OR 4 (ϕ 15.5mm) が設けられている。

2.3 実験結果

図 2.11 に下部プレナム圧力変化を示す。破断直後から MS IV が閉じられるまでの間系圧力は，主に主蒸気ラインからの蒸気の放出のために低下するが，MS IV が閉じられた後は，上昇を開始し 84 秒に 8.4 MPa に達し安全弁が作動する。以後圧力は，安全弁の作動によりほぼ一定に保たれた後，ダウンカマ L 1 水位信号から 120 秒遅れのトリップ信号により，ADS が破断後 158 秒に作動すると系圧力は急激に減少を始める。破断後 323 秒に系圧力が 2.3 MPa に低下し給水配管中に残存していた水がフラッシングを開始すると一時的に圧力減少は緩和される。破断後 318 秒，系圧力 2.38 MPa に LPCS が，破断後 406 秒，系圧力 1.81 MPa に LPCI がそれぞれ作動する。

図 2.12 にシュラウド内およびシュラウド外水位変化を示す。水位は触針式水位計より推定された気液混合水位である。炉心水位は，110 秒から 120 秒にかけて上部プレナムに水位が存在しなくなった後，低下を開始する。炉心上部が蒸気中に露出した後，159 秒に下部プレナムでフラッシングが起こると水位は再び上昇する。197 秒より再び炉心水位は低下を始め 275 秒に全炉心が露出する。その後，LPCS 及び LPCI の作動により 400 秒から 430 秒にかけて再冠水する。

図 2.13 に代表的な燃料棒表面温度挙動として，高出力チャンネル A 内の模擬燃料棒 A 88 ロッドの軸方向 7 点の温度挙動を示す。下部プレナムフラッシング以前の水位変動に対応し Pos. 1 と Pos. 2 でドライアウト・リウェットが生じている。その後，炉心水位の低下に対応し炉心上部からドライアウトが生じ温度上昇が起こった後，LPCS 作動により炉心上部からおよび水位上昇により下部から燃料棒表面はクエンチしていく。RUN912 における最大燃料棒表面温度は A 88 ロッドの Pos. 4 における 839K であった。

Table 2.1 Primary Characteristics of BWR/6 and ROSA-III

	BWR*	ROSA-III	BWR/ROSA-III
Number of Recirc. Loops	2	2	1
Number of Jet Pumps	24	4	6
Number of Separators	251	1	251
Number of Fuel Assemblies	848	4	212
Active Fuel Length (m)	3.76	1.88	2
Total Volume (m ³)	621	1.42	437
Power (MW)	3,800	4.40	864
Pressure (MPa)	7.23	7.23	1
Core Flow (kg/s)	1.54x10 ⁴	36.4	424
Recirculation Flow (l/s)	2,970	7.01	424
Feedwater Flow (kg/s)	2,060	4.86	424
Feedwater Temp. (K)	489	489	1

* BWR/6-251

Table 2.2 Instrumentation List

ITEM	SENSOR	NUMBER	NOTE
Pressure	Pressure Transducer	20	
Differential Pressure	DP Cell	60	PV and Loop 44 Level Measurement 5 Flow Meter 11
Fluid Temperature	CA Thermocouple	129	Primary Loop 23 DTT 4 Tie Rod 28 Upper Plenum 10 Lower Plenum 10 Tie Plate 40 Bypass 14
Fuel Rod Temperature	CA Thermocouple	213	
Slab Surface Temperature	CA Thermocouple	70	Core Barrel 24 Pressure Vessel 3 Channel Box 35 Shroud Support 8
Slab Inner Temperature	CA Thermocouple	9	JP Diffuser 4 PV Wall 5
Volumetric Flow Rate	Turbine Flow Meter Venturi Flow Meter Orifice Flow Meter	3 4 6	ECCS Loop 3 Primary Loop 10
Mass Flow Rate	Turbine Flow Meter Orifice Flow Meter	4 3	Recirculation Loop 4 Main Steam Line 3
Liquid Level	Conductivity Probe Capacitance Probe	138 2	
Density	Gamma Densitometer	10	2 Beam GD 2 3 Beam GD 2
Momentum Flux	Drag Disk	4	JP Spool Piece 2 Break Spool Piece 4 Break Orifice 1
Signal	ON/OFF Switch	14	
Pump Speed	Revolution Counter	2	
Electric Core Power	VA Meter	2	
TOTAL		693	

Table 2.3 Test Conditions of RUN 912

Parameter	Specified Value	Measured Value
Break Conditions		
Location	MRP suction	MRP suction
Type	Split	Split
Break Orifice Diameter (mm)	5.9	5.9
Initial System Conditions		
Steam Dome Pressure (MPa)	7.35	7.30
Lower Plenum Temperature (K)	551.7	551.8
Lower Plenum Subcooling (K)	10.5	10.8
Core Inlet Flow Rate (kg/s)	16.0	16.4
Core Outlet Quality (%)	13.8**	14.4**
Power Level (kW)	1260 + 2700	1262+2707
Maximum Linear Heat Rate(kW/m)		
Channel A P.F.=1.1	16.65	16.67
P.F.=1.0	15.13	15.16
P.F.=0.875	13.24	13.26
Channel B-D P.F.=1.1	11.89	11.92
P.F.=1.0	10.81	10.84
P.F.=0.875	9.46	9.48
Water Level in PV* (m)	5.0	5.0
Feedwater Conditions		
Temperature (K)	489	489
Flow Rate (kg/s)	2.39	Fig.3.11
Initiation of Line Closure(s)	2.0	2.0

* note, L3 Level for Scram : 5.0 m from PV Bottom

** not include core bypass flow
core bypass flow is assumed to be 1.6kg/s

Table 2. 3 Test Conditions of RUN 912 (contd.)

Parameter	Specified Value	Measured Value
Steam Discharge Conditions		
Steady State Flow Rate(kg/s)	2.39	2.04
Transient Flow Rate (kg/s)	keep steady value	Fig.3.10
Orifice Diameter (mm)	18.0	18.0
Initiation of Line Closure(s)	L2*+3(s)	24.0
Safety Relief Valve Setting Pressure (MPa)	$8.24 \leq P \leq 8.34$	$8.40 \leq P \leq 8.47$
ECCS Conditions		
HPCS	not-used	not-used
LPCS		
Injection Location	Upper Plenum	Upper Plenum
Initiation Conditions	L1*+40(s) and ≤ 2.16 (MPa)	318(s) at PV Pressure 2.38(MPa)
Coolant Temperature (K)	313	313
Injection Flow Rate(m ³ /s)	1.13×10^{-3}	Fig.3.12
LPCI		
Injection Location	Top of Core Bypass	Top of Core Bypass
Initiation Conditions	L1*+40(s) and ≤ 1.57 (MPa)	406(s) at PV Pressure 1.81 (MPa)
Coolant Temperature (K)	313	315
Injection Flow Rate (m ³ /s)	3.50×10^{-3}	Fig.3.13
ADS Conditions		
Initiation Time (s)	L1*+120 (s)	158 (s)
Flow Rate	Scaled Flow of BWR	Fig.3.8 through 3.10
Orifice Diameter (mm)	15.5	15.5

* note : Each trip level is as follows;

L3 Level for Scram : 5.0 m from PV Bottom

L2 Level for MSIV and HPCS : 4.76 m from PV Bottom

L1 Level for LPCS, LPCI and ADS : 4.25 from PV Bottom

Table 2.4 Sequence of events in Run 912

Time after Break (s)	Events
0.0	Break Initiate core power control Terminate recirculation pump power
2.0	Initiation of feed water line valve closure
3.1	Closure of feed water line
8.8	Initiation of core power curve reduction
19.0	L2 (4.76m) signal
24.0	Closure of steam discharge line
38.2	L1 (4.25m) signal
83.6	Safety relief valve actuation
98.8	Jet pump suction nozzle uncover
117	Dryout at the top of the core
150	Recirculation pump suction nozzle uncover
158	ADS valve opens (at system pressure 8.03 MPa)
159	Initiation of lower plenum flashing
275	Whole core uncover
318	LPCS Initiation (at system pressure 2.38 MPa)
406	LPCI Initiation (at system pressure 1.81 MPa)
440	Completion of core reflooding
444	All heater rods quenched

Table 2.5 Valve characteristics of steam discharge line

Valve	Close to Open (sec)	Open to Close (sec)
AV165	Not Used	Not Used
AV168	-	0.1
AV169	0.3	2.0

Orifice	Diameter (mm)	Area (mm ²)
OR3	18.0	254.5
OR4	15.5	188.7
OR5	Not Used (Blind)	Not Used (Blind)

Table 2.6 Valve control sequence of steam line in Run 912

Time	$t < 0$ s	$t = 0$ s (Break)	$P \leq 6.67$ MPa	$L2 + 3$ s	---	$P \geq 8.14$ MPa	---	$L1 + 120$ s
CV-1	Open	Close (Manual)	Closed	Closed		Closed		Closed
CV-2 (see Fig.2.3)	Open	Close (Manual)	Closed	Closed		Closed		Closed
CV-130	Control to maintain steady state pressure	Open (Manual)	Control to maintain system pressure at 6.67MPa (Auto)	Close (Manual)		Control to maintain system pressure at 8.14MPa (Auto)		Closed
AV-168	Open	Open	Open	Open		Open		Close (Auto)
AV-169 (ADS Line)	Closed	Closed	Closed	Closed		Closed		Open (Auto)

$t = 0$ s : Break

$t = L2 + 3$ s : MSIV closure

$t = L1 + 120$ s : ADS valve opening

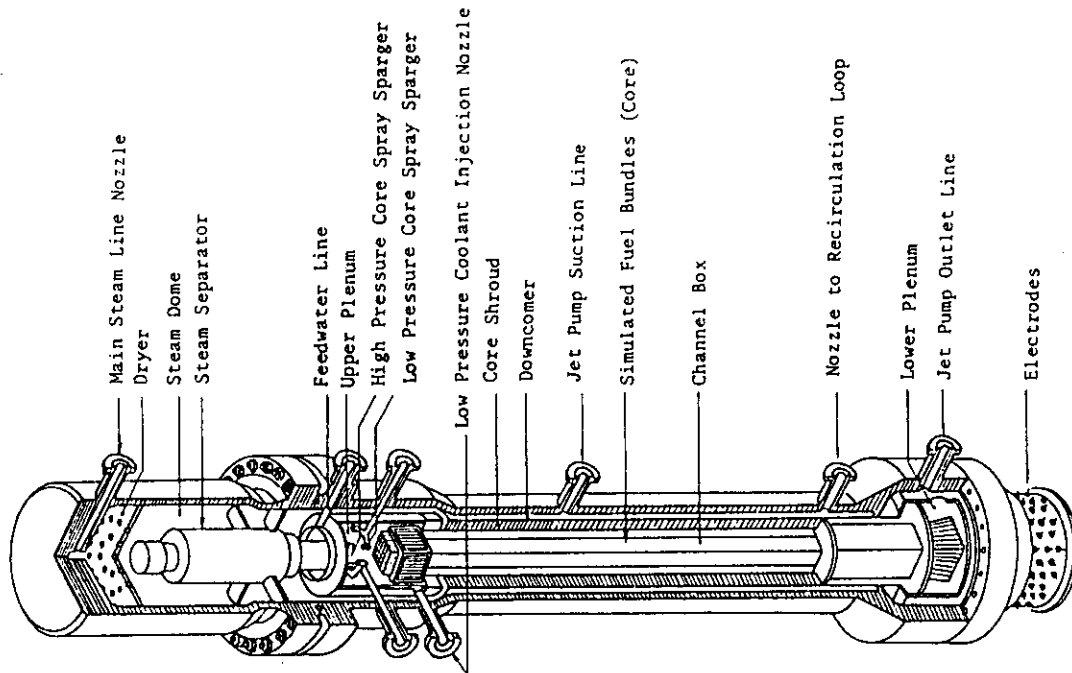


Fig. 2.2 Internal Structure of Pressure Vessel of ROSA-III Test Facility

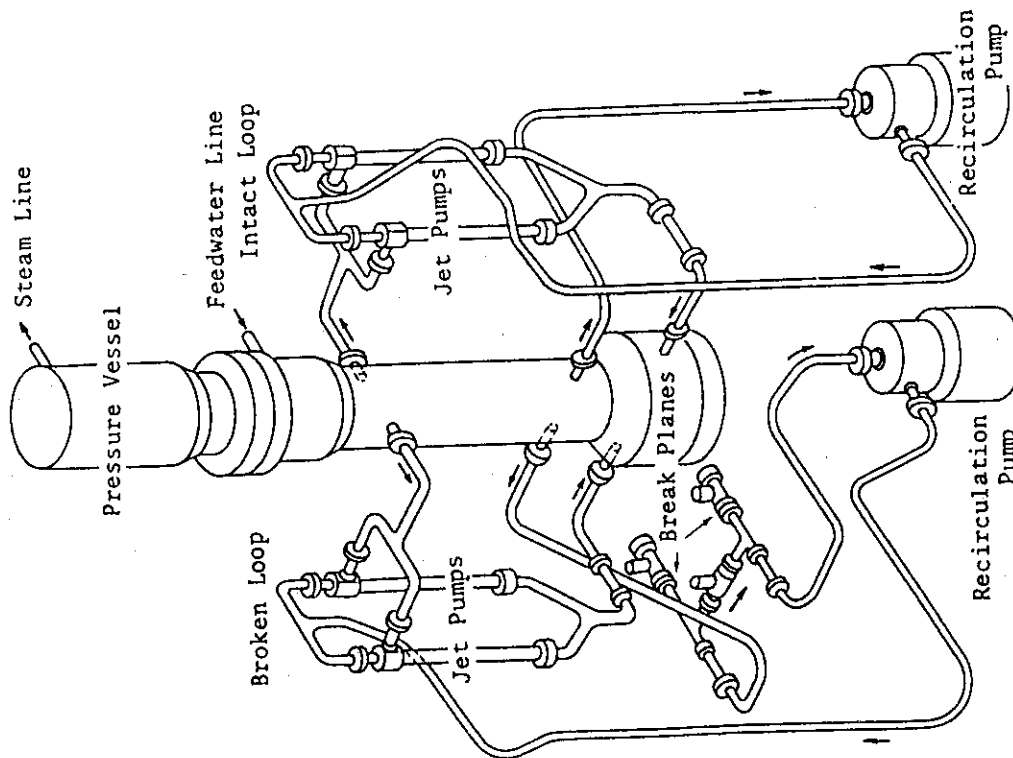
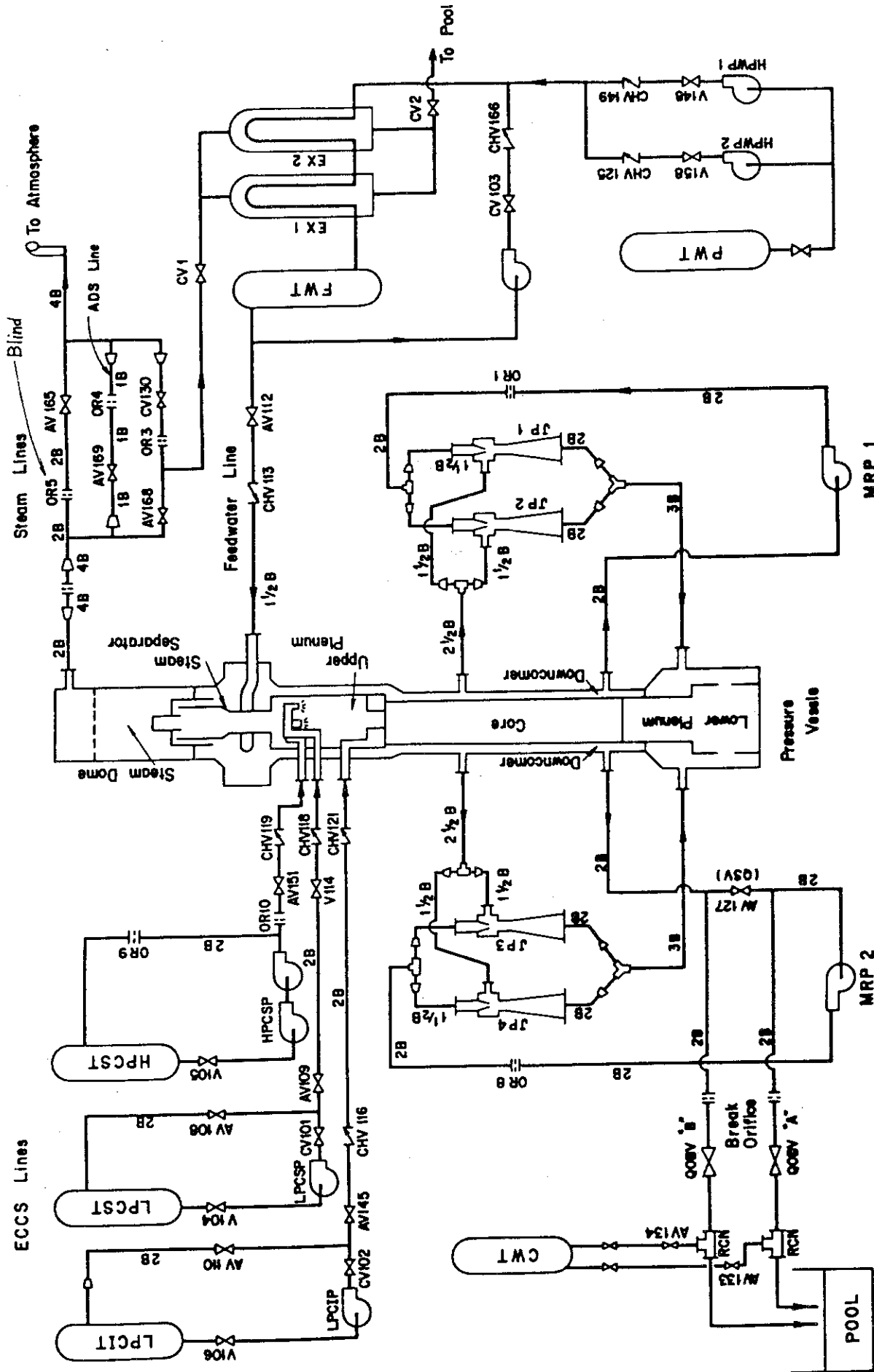
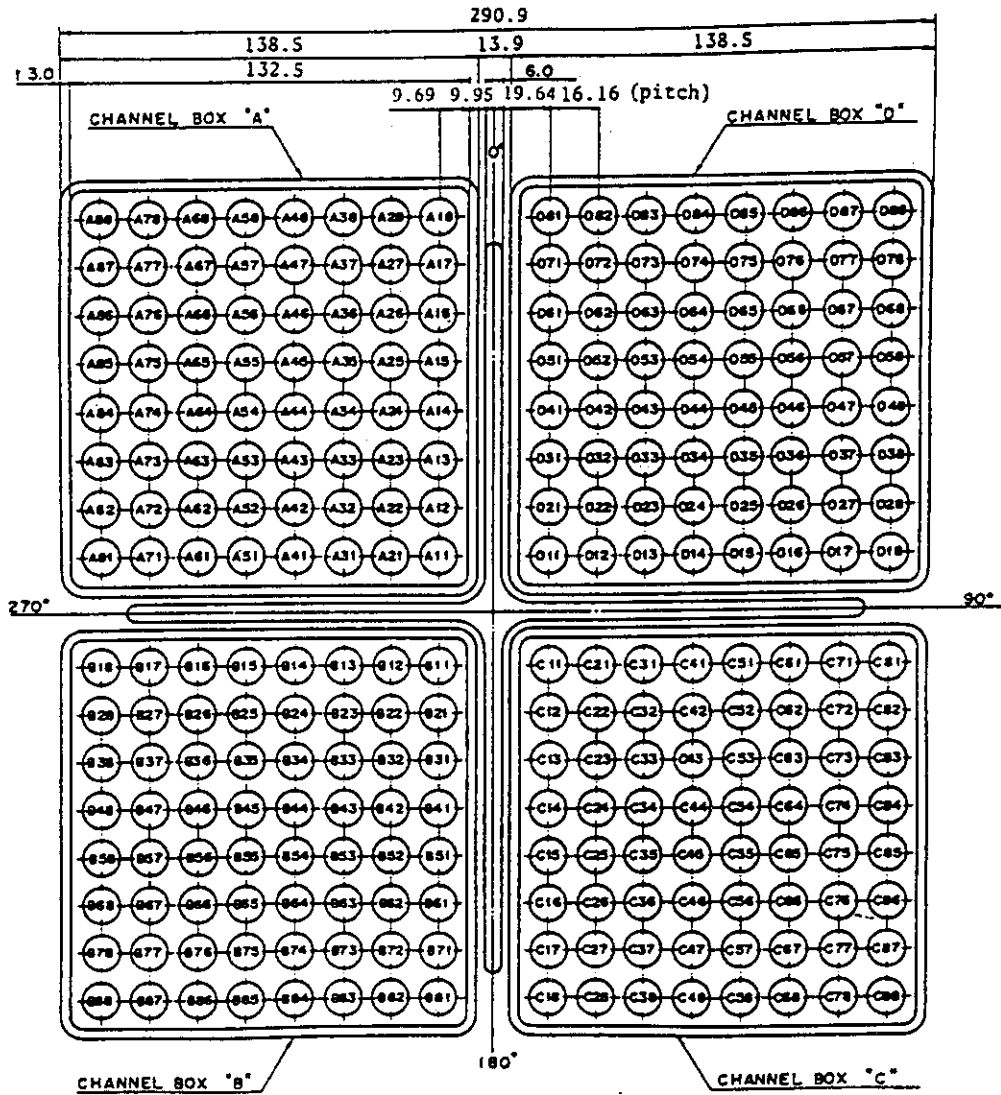


Fig. 2.1 Schematic Diagram of ROSA-III Test Facility



Broken Loop Intact Loop

Fig. 2.3 ROSA-III Piping Schematics



Heater rod O.D. is 12.27mm

A54, B54, C54 and D54 are water rod simulators with void probes,
O.D. = 15.01mm

A45, B45, C45 and D45 are water rod simulators with thermocouples,
O.D. = 15.01mm

Fig. 2. 4 Arrangement of Heater Rods

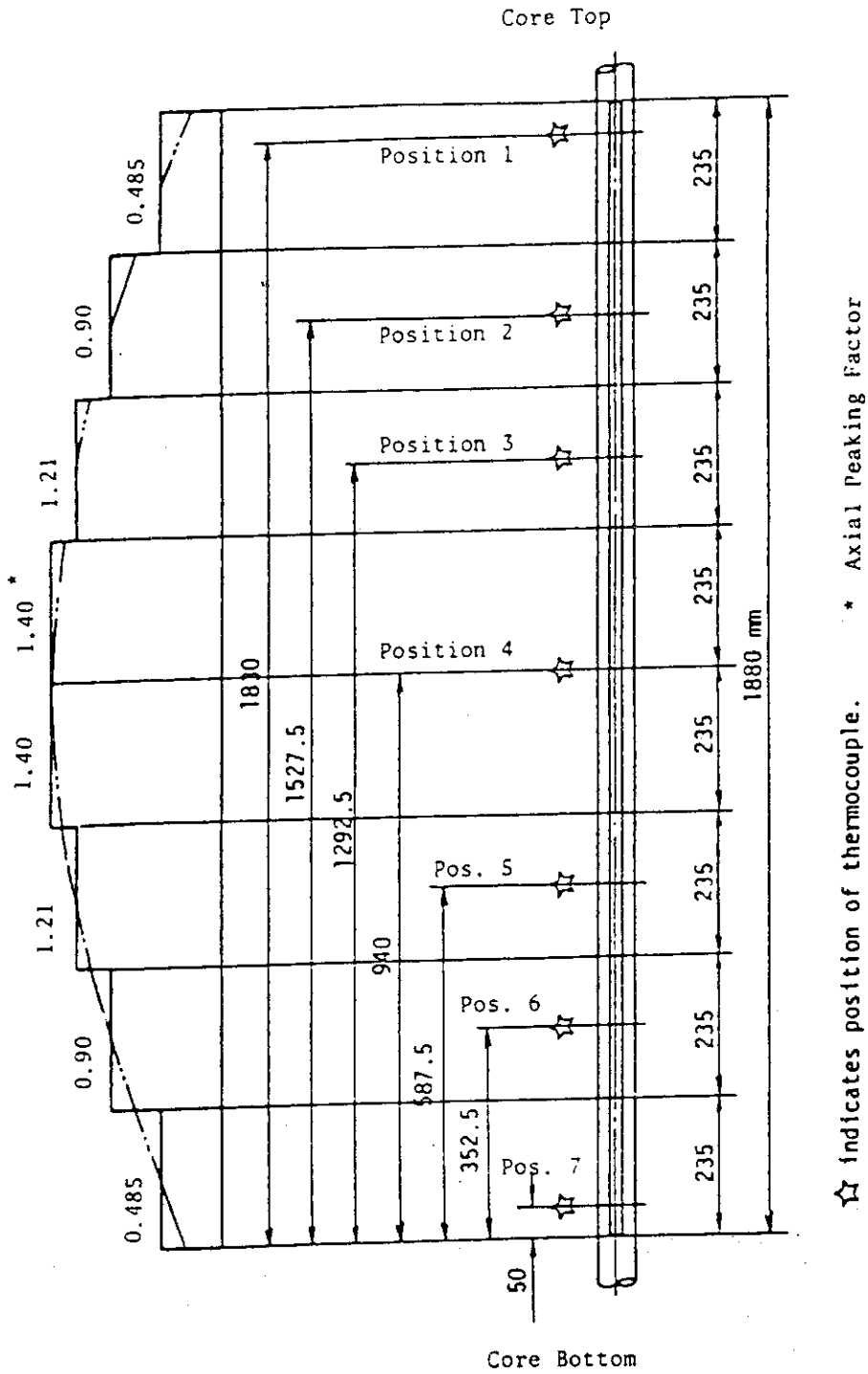
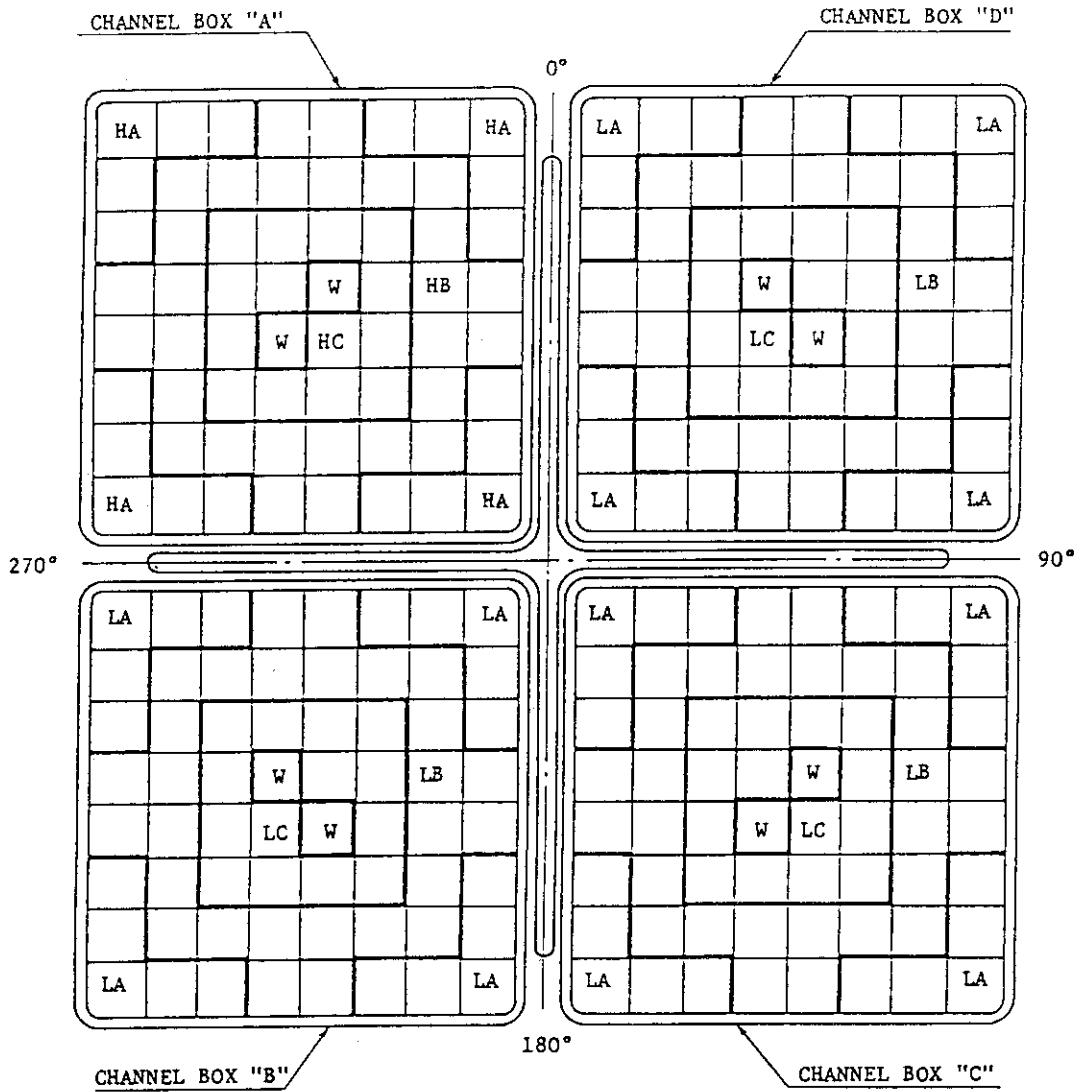


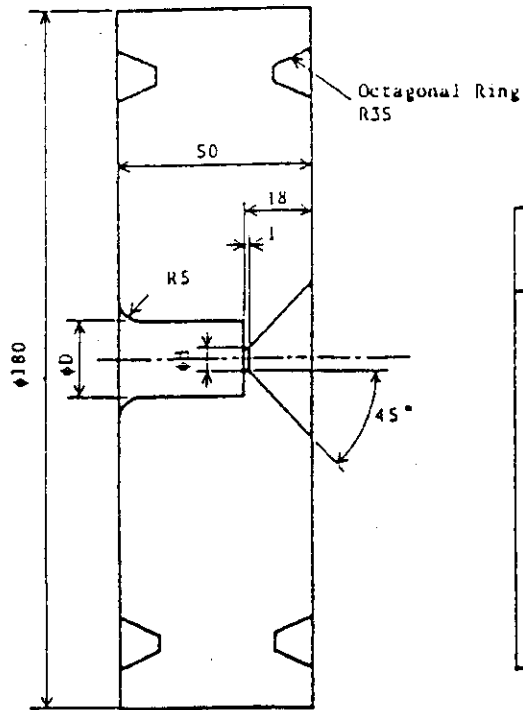
Fig. 2. 5 Axial Power Distribution of Heater Rods



Region	HA	HB	HC	LA	LB	LC	W
Linear Heat Rate (kW/m)	18.5	16.81	14.41	13.21	12.01	10.29	0.0
Local peaking factor	1.1	1.0	0.875	1.1	1.0	0.875	0.0
No. of Rods	20	28	14	60	84	42	8

* note : Radial peaking factor is 1.4

Fig. 2. 6 Radial Power Distribution of Heater Rods

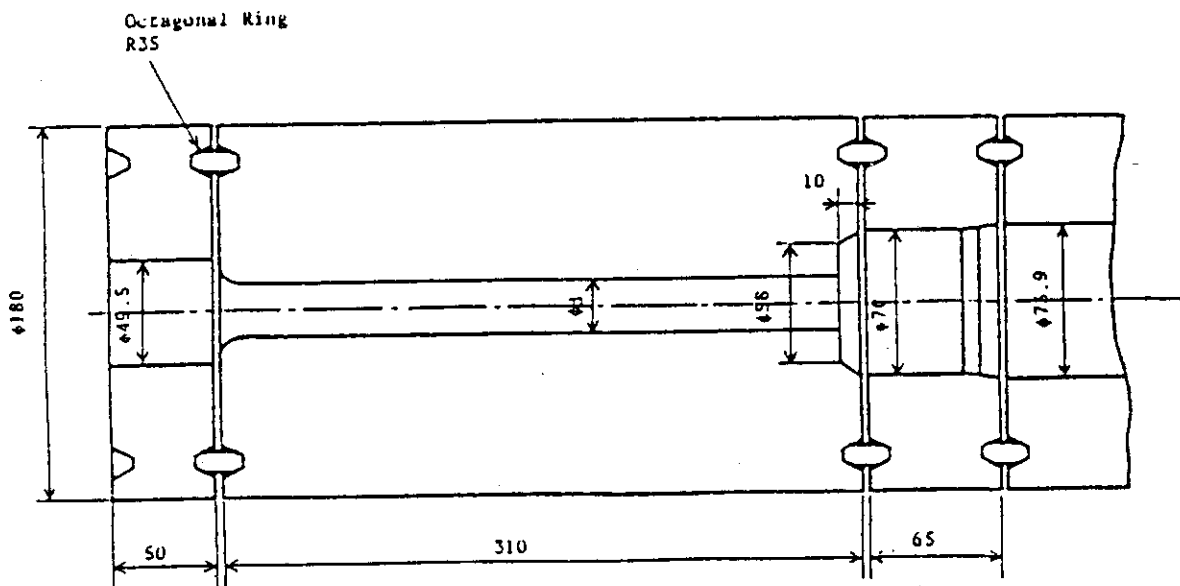


Break area ratio (%)	d (mm)	D (mm)
100	26.2	50.0
75	22.7	50.0
50	18.5	50.0
25	13.1	50.0
15	10.1	30.0
5	5.9	20.0
2	3.7	20.0
1	2.6	10.0
0.15	1.0	10.0

Material SUS304

Dimension in mm

Fig. 2.7(a) Break Orifice Details



Material SUS304

Dimension in mm

Break area ratio (%)	d (mm)
100	26.2
15	10.1

Fig. 2.7(b) Break Nozzle Details

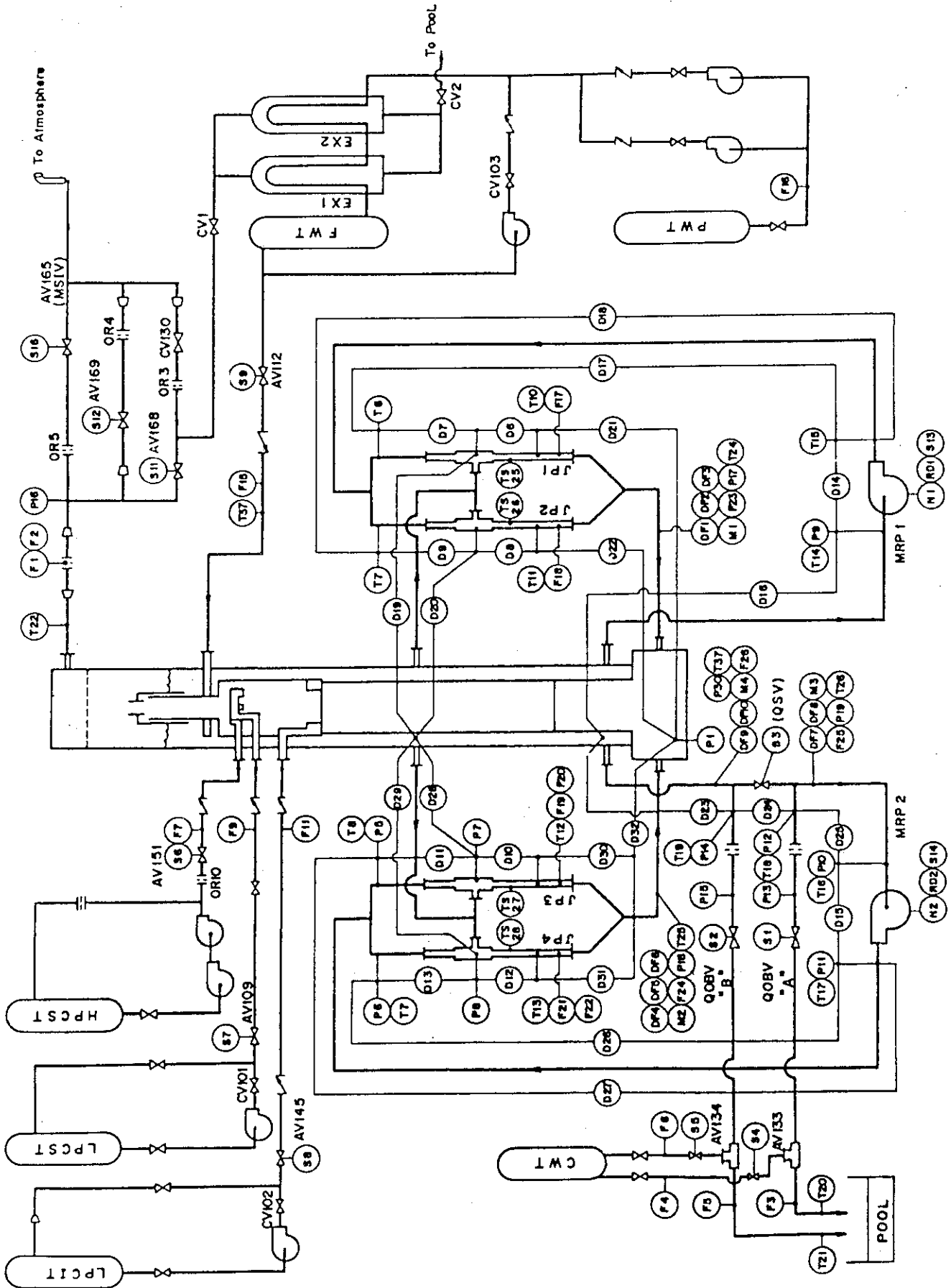


Fig. 2.8(a) Flow Diagram and Instrumentation Location of ROSA-III Test Facility

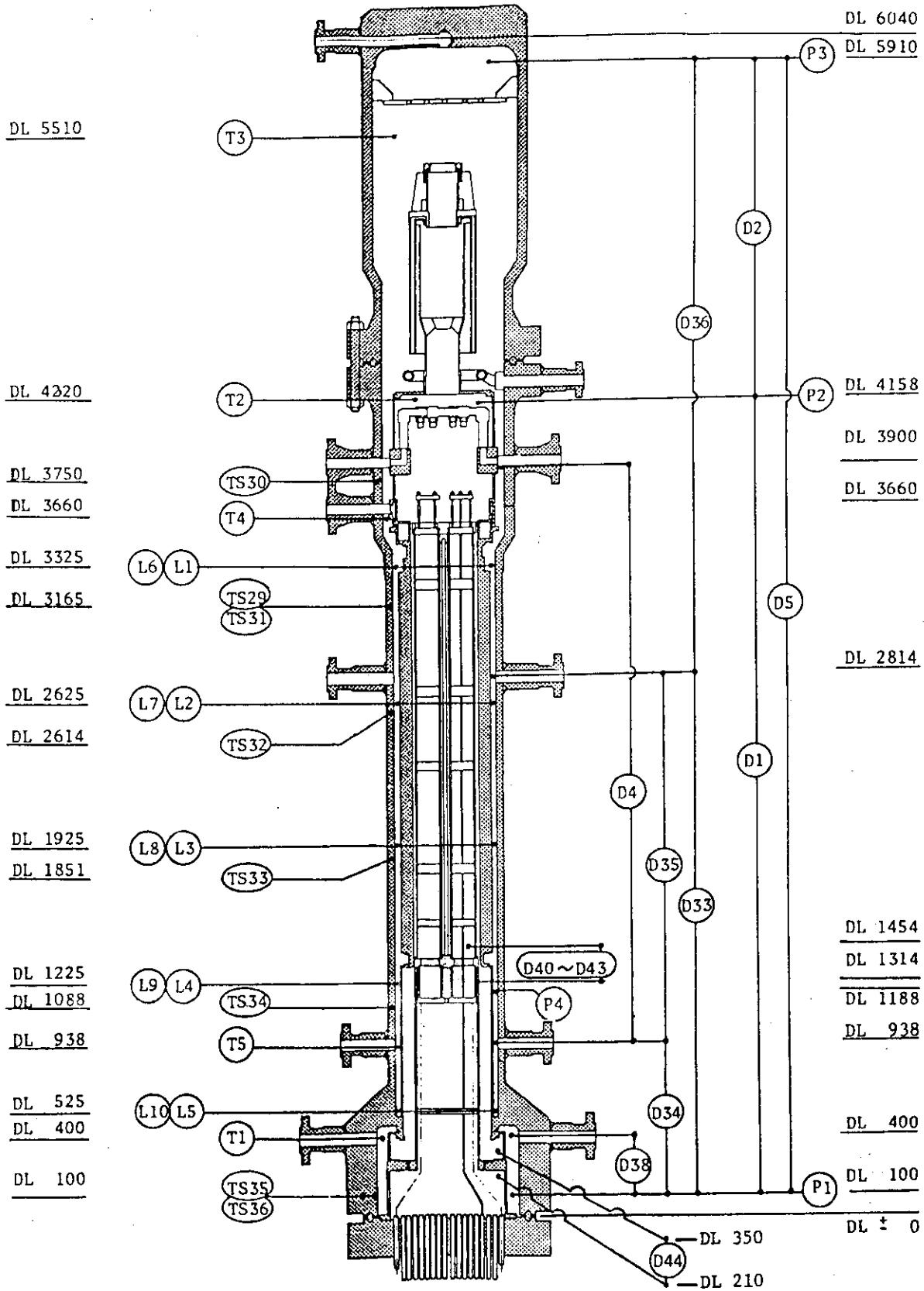


Fig. 2.8(b) Instrumentation Location in Pressure Vessel of ROSA-III Test Facility

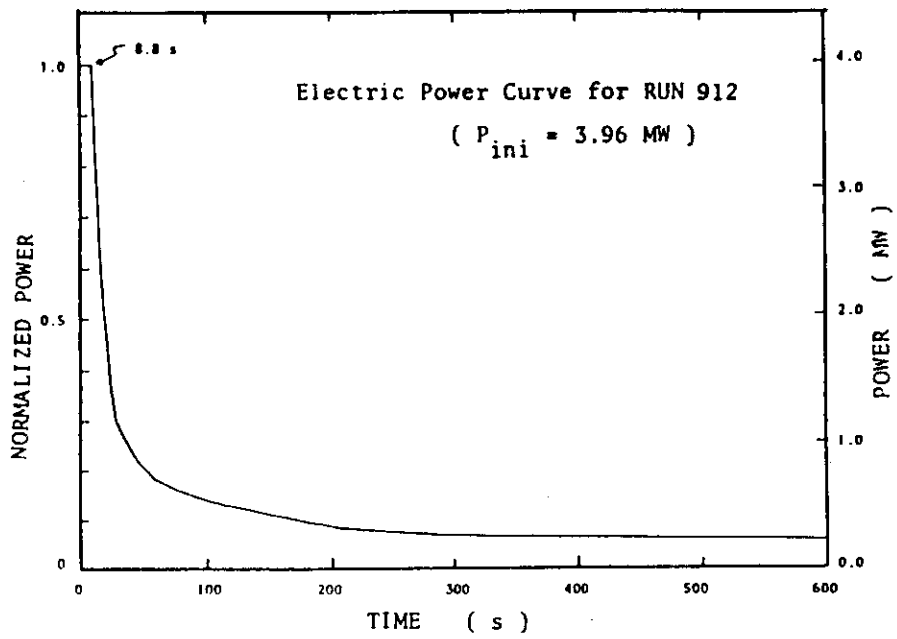


Fig. 2.9 Power curve for Run 912

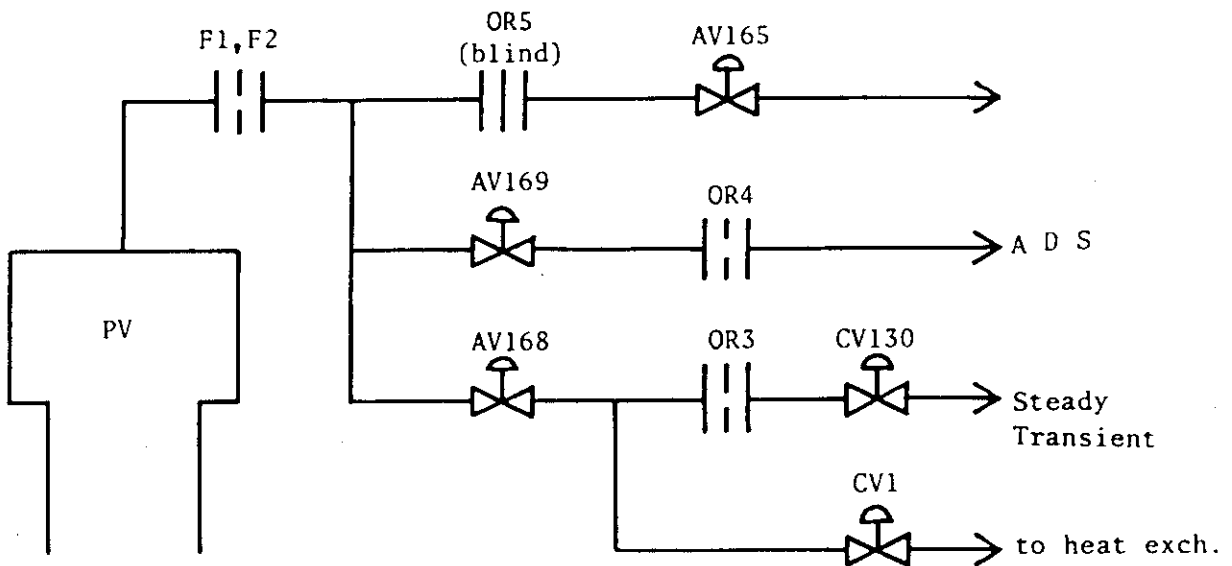


Fig. 2.10 Steam Discharge Line

RUN 912 5%-BREAK HPCS FAILURE

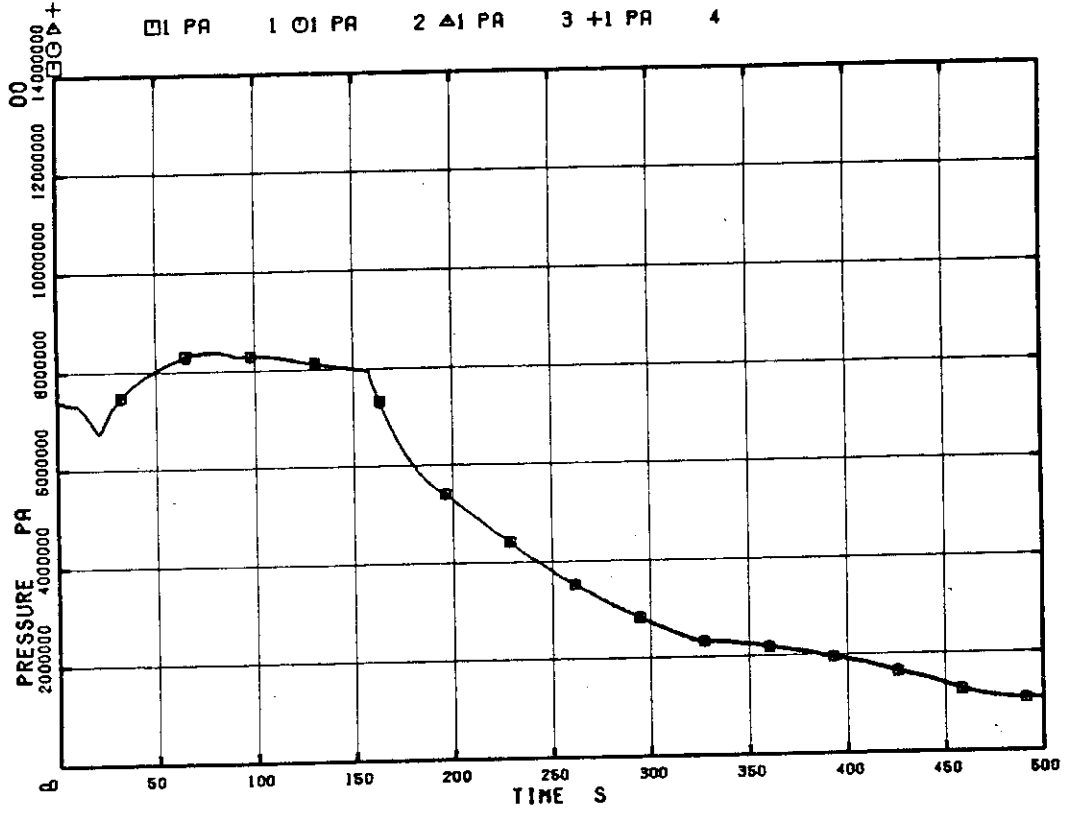


Fig. 2.11 System pressures

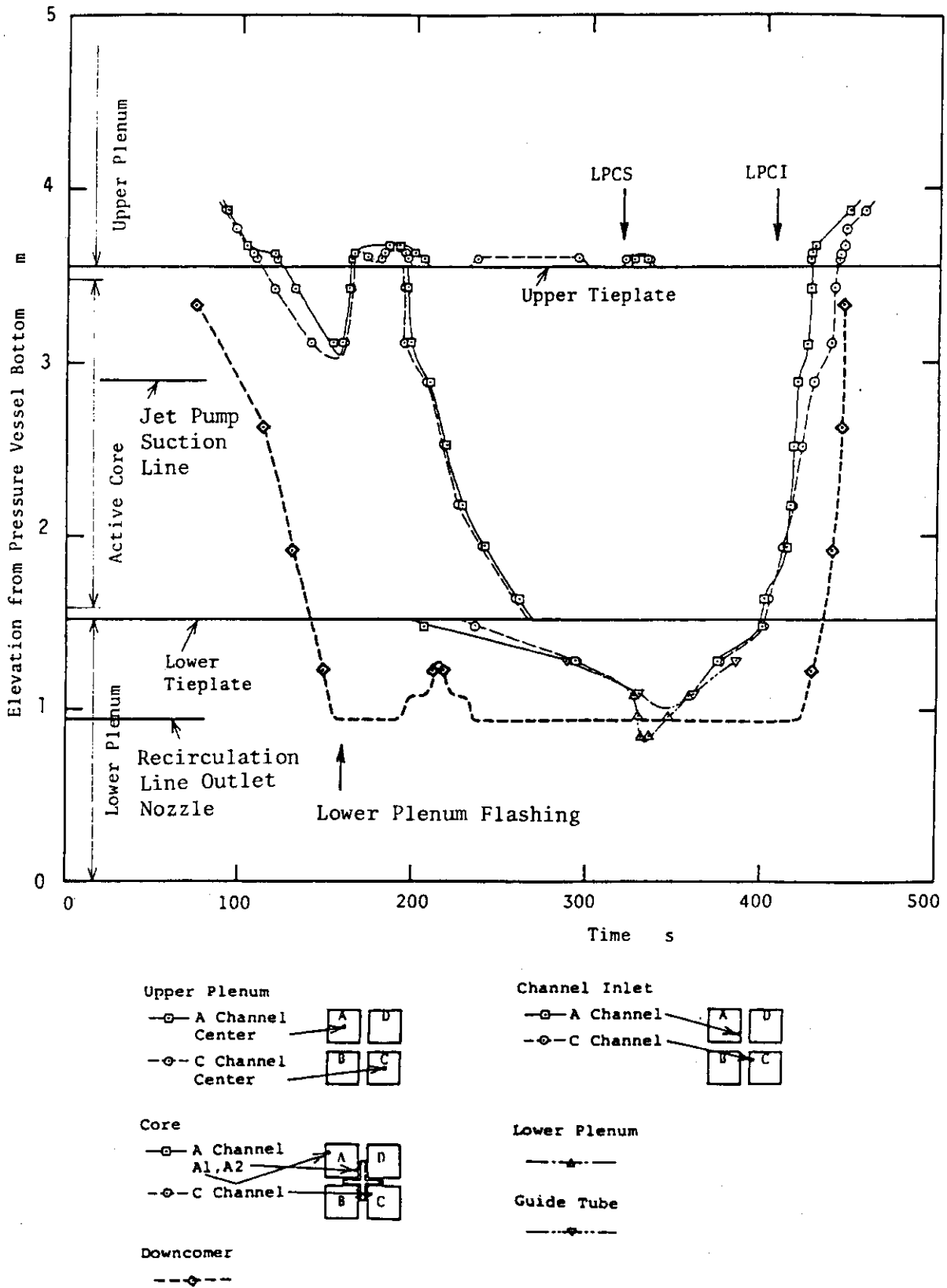


Fig. 2.12 Estimated liquid levels in pressure vessel

RUN 912 5%-BREAK HPCS FAILURE

□ TE 323 ○ TE 324 ▲ TE 325 + TE 326 ◇ TE 327
 ↑ TE 328 × TE 329

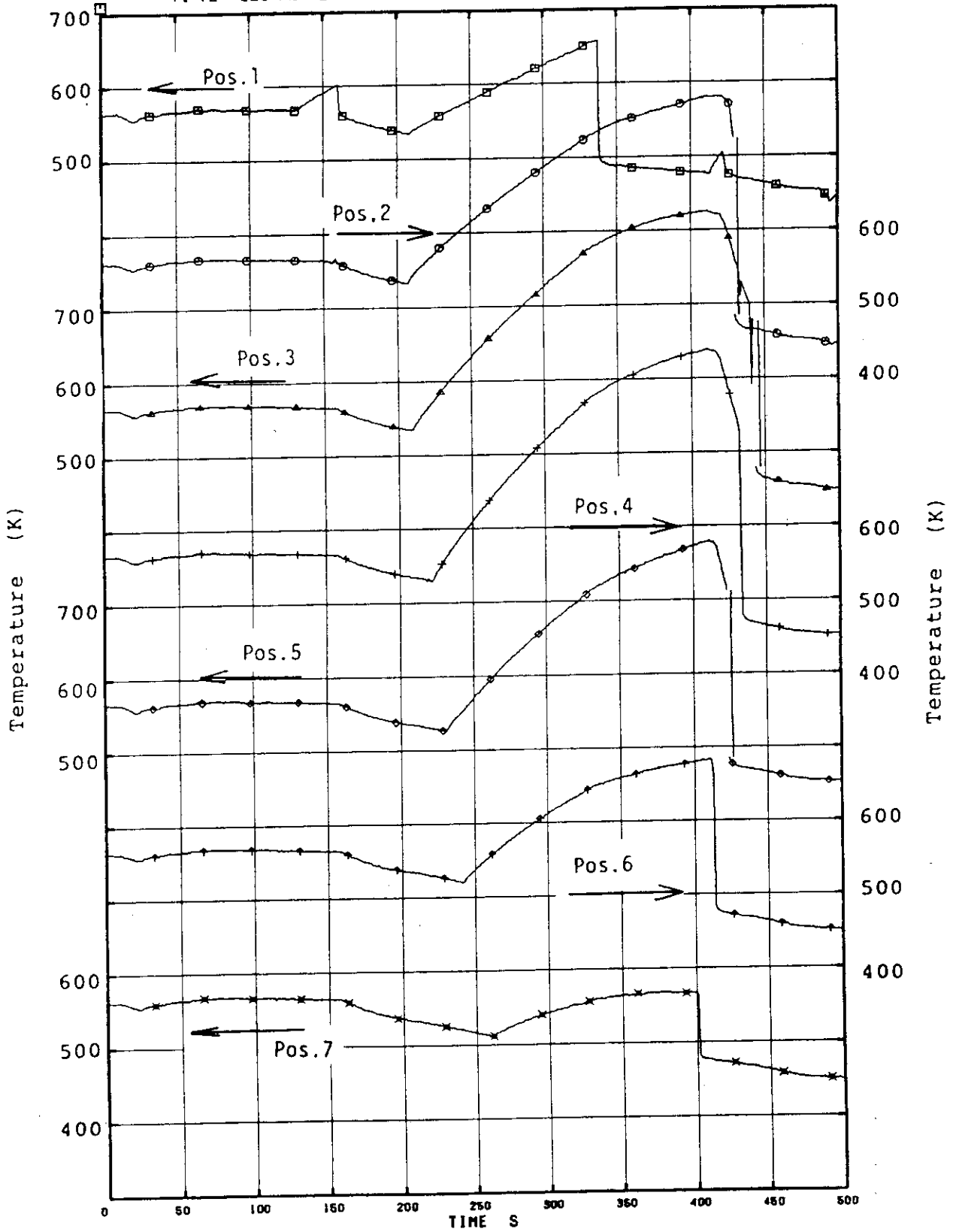


Fig. 2.13 heater surface temperatures of A88 rod

3. 解析条件

本章ではROSA-Ⅲ実験RUN912とBWR/6の解析に用いたコード(RELAP4/MOD6/U4/J3)の概要と解析条件について述べる。

3.1 解析コードの概要

RELAP4/MOD6/U4/J3コード^[5](以下U4/J3コードと略す)は、軽水冷却型原子炉(LWR)の冷却材喪失事故(LOCA)時および過渡変化時の熱水力学的現象を解析するためのコードである。このコードは米国NRCで開発されたRELAP4/MOD6/Update 4コードをもとにして原研で改良を加えたものである。

U4/J3コードの改良、修正は、主に軽水炉の小破断LOCA解析および沸騰水型原子炉(BWR)の炉心スプレイ系作動中の熱水力解析のために行われている。主な改良、修正項目は

- ① CCFL計算モデルの組込み
- ② スプレイ熱伝達モデルの組込み
- ③ 水位スタッキング・オプションに関する改良
- ④ 垂直方向スリップジャンクションモデルに関する改良
- ⑤ ジャンクションエンタルピーの平滑化

である。CCFL計算モデルは、炉心出口及び炉心バイパス出口における上向き蒸気流によるスプレイ水の落下制限(CCFL現象)を取り扱かうものでありWallis型相関式が使用される。スプレイ水はフィルジャンクションを通して注入され、流量は面積比で振り分けられる。計算の手順は、はじめに炉心出口に降らせたスプレイ水について、炉心出口上向き蒸気流に対するCCFL計算を行い、次に炉心バイパス出口に降らせたスプレイ水と炉心部に流入できなかったスプレイ水とを加えたものについて、炉心バイパス出口上向き蒸気流に対するCCFL計算が行われる。CCFL計算で炉心および炉心バイパスへ流入できなかったスプレイ水は、体系から失われたと仮定される。

スプレイ熱伝達モデルは、炉心内に流入したスプレイ水について、液膜として進行する水、液膜表面から蒸発する水および液膜より液滴として落下する水とに分け液膜の移動を計算し、燃料棒表面を液膜で濡れている領域、蒸気中に露出している領域、下から再冠水している領域に分け、それぞれの領域に対し入力で指定した熱伝達係数を用いて伝熱計算をおこなうというものである。これらのモデルには、

- ① CCFLモデルにおいては、上部プレナムから炉心へ落下する水として考慮されているのは、LPCS水だけであり、上部プレナムに蓄積された水の落下については計算されない。このため上部プレナムに水位が存在する時にこのモデルを使用することは、物理的に厳密ではない。
- ② スプレイ水は飽和水として扱われる。

③ 炉心部は垂直方向に1ノードしかとれない。

といった欠点があるが、小破断LOCA解析で重要であるLPCSによるトップダウンクエンチを計算することができ、又従来、非常に時間のかかった再冠水過程の計算をこのような簡単な伝熱ロジックを使用することにより、非常に短い時間で完了することができるという特徴を有している。

3.2 解析条件

RELAP4 (MOD6/U4/J3)コードは均質平衡二相流モデルに基づくコードであり、様々な解析モデルのオプションを有している。従って解析モデルの使い方によっては計算結果が大きく異なる場合がある。本解析ではROSA-Ⅲ実験RUN912の解析において数ケースの感度解析を行い、実験結果と最も良く一致したケースを標準ケースとして、その解析モデルのオプションをBWR/6解析に適用した。ここではROSA-ⅢおよびBWR/6の標準ケースに適用した解析モデルについて述べる。

ROSA-Ⅲ装置の形状に関する入力データは文献[3]を参考にし、BWR/6解析に関する入力データは文献[6]、[7]の入力データをベースにGESSAR^[8]を参考に作成した。本解析に用いたROSA-Ⅲ、BWR/6に対する標準ケースの入力データを付録B、Cに示す。ただし、BWR/6に関しては不明な点もあり、この入力値は確定したものではなく、さらに検討をする必要がある。

(1) ノーディング

ROSA-Ⅲ装置およびBWR/6を本解析用にモデル化したものをそれぞれ図3.1、3.2に示す。ROSA-Ⅲのボリューム数は22、ジャンクション数は42、ヒートスラブ数は20であり、BWR/6はそれぞれ20、40、18である。

シュラウド内側は炉心をROSA-Ⅲでは高出力チャンネル(1バンドル)、平均出力チャンネル(3バンドル)に、BWR/6では中央領域炉心746バンドルと周辺領域炉心102バンドルの2ボリュームに分けた。上部プレナムと気水分離器、制御棒案内管、炉心バイパス部をそれぞれ1ボリュームで表わした。また炉心入口部には下部タイプレート領域に当たる1ボリュームを設けた。シュラウド外側は下部ダウンカマ、上部ダウンカマおよび蒸気ドームの3ボリュームに分割した。破断流は1気圧の格納容器に放出するものとした。

ヒートスラブはBWR/6、ROSA-Ⅲともに燃料棒と圧力容器を考慮した。燃料棒ヒートスラブは軸方向に7分割とした。軸方向出力分布を図3.3に示す。軸方向出力分布はROSA-Ⅲ、BWR/6で同じとした。

表3.1、3.2、3.3にそれぞれボリューム、ジャンクション、ヒートスラブの説明を示す。

(2) 臨界流モデル

使用したモデルは、未飽和領域においてHenry Fanskeモデル飽和領域では、HEMモデルである。この二つのモデルの内そう方法については、RELAP4/MOD6マニュアル^[10]で推奨されている方法を用いた。すなわち、流量増倍係数を1.0とし、遷移領域のクオリティを0から0.02であるとした。

(3) 炉心出力変化

ROSA-Ⅲ実験解析では、RUN912実験で用いられた電気出力変化を時間の関数として与えた。BWR/6解析では、 $(GE+3\sigma)^{[14]}$ の出力変化を用いた。図3.4に炉心出力変化を示す。

(4) 給水および主蒸気流量

ROSA-Ⅲ実験解析では給水および主蒸気流量ともに、実験値をフィルジャンクションで入力した。(図3.5, 3.6) BWR/6解析では、給水流量は破断後2秒間一定であり、その後減少し4秒で零となるようフィルジャンクションで模擬した。また蒸気流量は図3.7に示すように蒸気ドーム圧力に依存し、7.06 MPaから6.48 MPaにかけて流量が低下するのは、圧力制御系を模擬している。主蒸気隔離弁はL2レベル+3秒で全閉となるようにバルブ付のフィルジャンクションで模擬した。

(5) ECCS

本解析は高圧炉心スプレイ(HPCS)系統の単一故障を仮定しており、低圧炉心スプレイ系(LPCS)および低圧注入系(LPCI)が作動する。ROSA-Ⅲ実験の解析では、実験で得られたLPCS, LPCI流量を時間の関数で与えた。(図3.8) BWR/6解析では、LPCSおよびLPCIともにL1レベル+40秒で作動し、図3.9および3.10に示すベッセル内圧力の関数で注水されるとした。LPCSおよびLPCIの締切り圧力はそれぞれ2.1 MPa, 1.6 MPaである。図3.9, 3.10にROSA-Ⅲで用いられている流量と圧力の関係を示す。ADS流量は、ROSA-Ⅲ解析では実験値を用い、BWR/6解析では、前述の臨界流モデルで計算した。

(6) 再循環ポンプ特性

ポンプ特性はホモログスヘッドおよびトルク曲線により入力される。ROSA-Ⅲ実験の解析では、ヘッドおよびトルク曲線ともROSA-Ⅲ再循環ポンプのデータを用いた。BWR/6解析では、NRCのサンプルインプット⁽⁹⁾で使用されているBWR/5のポンプ特性曲線を用いた。図3.11～図3.14にROSA-ⅢおよびBWR/6解析で使用したポンプヘッドおよびトルクホモログス曲線を示す。

(7) 水位計算

BWR LOCAでは、燃料表面温度の時間変化は炉心内水位変化と密接な関係があるため、水位計算は重要である。水位計算は気水分離モデルを用いることにより行われる。本解析では、ROSA-Ⅲ, BWR/6ともにジェットポンプを除く圧力容器内のすべてのボリュームに対して破断直後から気水分離モデルを適用した。尚、スタッキングオプションは用いなかった。表3.4に気水分離モデルに用いた気泡勾配係数および気泡離脱速度を示す。

(8) スリップモデル

炉心の入口と出口、バイパス出口及びジェットポンプ吐出口に破断と同時に垂直スリップモデルを適用した。

(9) 熱伝達モデル

熱伝達ロジックとしてMOD6の最適評価のロジックを使用した。膜沸騰相関式はGroenvelde 5.9, 限界熱流束はGEの相関式を用いた。

(10) CCFL計算モデルおよび炉心スプレイ熱伝達モデル

ROSA-Ⅲ解析及びBWR/6解析ともに二領域に分けた炉心出口と炉心バイパス出口にCCFL

モデルを適用した。

CCFL 計算モデルに関して, Wallis 型相関式

$$J_g^{*\frac{1}{2}} D^{\frac{1}{4}} + k_1 J_1^{*\frac{1}{2}} D^{\frac{1}{4}} = k_2$$

$$J_g^* = v_g \cdot \rho_g^{\frac{1}{2}} \{ g \cdot D \cdot (\rho_1 - \rho_g) \}^{-\frac{1}{2}}$$

$$J_1^* = v_1 \cdot \rho_1^{\frac{1}{2}} \{ g \cdot D \cdot (\rho_1 - \rho_g) \}^{-\frac{1}{2}}$$

ここで

v_g, v_1 = 蒸気および水の速度

ρ_g, ρ_1 = 蒸気および水の密度

g = 動力加速度

D = 等価直径

のパラメータ k_1, k_2 は炉心出口に対して ($k_1 = 1.0, k_2 = 0.46$) 炉心バイパス出口に対して ($k_1 = 0.7, k_2 = 0.47$) を用いた。

炉心スプレイ熱伝達モデルに関して, バンドル内は 1 領域とし, スプレイ熱伝達係数 H_{conv} は $2.5 \text{ BTU/hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{F}$ を用い, top down quench に対する熱伝達係数 H_{wet} , bottom up quench に対する熱伝達係数 H_{flood} はともに $1000 \text{ BTU/hr} \cdot \text{F}$ を用いた。

Table 3.1 Description of volumes

Description	ROSA-III	BWR/6
Upper Plenum and Steam Separator	4*	1*
High Power Channel	22	-
Central Core	-	18
Average Power Channel	3	-
Peripheral Core	-	12
Core Inlet Region	2	20
Lower Plenum	1	11
Core Bypass	8	13
Guide Tube	7	19
Steam Dome	6	3
Upper Downcomer	5	2
Lower Downcomer	9	4
Intact Loop Jet Pump	17	14
" Suction Line	16	-
Broken Loop Jet Pump	11	15
" Suction Line	10	-
Intact Loop Recirculation Suction Line	18	8
" Pump	19	9
" Discharge Line	20	10
Broken Loop Recirculation Suction Line	13	5
" Pump	14	6
" Discharge Line	15	7
Break Volume in Broken Loop	12	16
Containment	21	17

* Volume Number

Tabel 3.2 Description of junctions

Description	ROSA-III	BWR/6
Core Inlet	1*	38*
High Power Channel Inlet	37	-
Central Core Inlet	-	26
Average Power Channel Inlet	2	-
Peripheral Core Inlet	-	14
High Power Channel Outlet	38	-
Central Core Outlet	-	27
Average Power Channel Outlet	3	-
Peripheral Core Outlet	-	15
Steam Separator Outlet	4	1
Core Bypass to Core Inlet Region	24	16
Core Bypass outlet	8	17
Guide Tube to Lower Plenum	6	40
Guide Tube to Core Bypass	7	39
Steam Dryer	5	2
Upper Downcomer to Lower Downcomer	9	3
Intact Loop Jet Pump Drive	23	12
" Suction	18	13
" Suction Line	17	-
" Discharge	19	18
Broken Loop Jet Pump Drive	16	8
" Suction	11	4
" Suction Line	10	-
" Discharge	12	19
Intact Recirculation Loop Inlet	20	9
Intact Loop Recirculation Pump Inlet	21	10
" Outlet	22	11
Broken Recirculation Loop Inlet	13	5
Broken Loop Recirculation Pump Inlet	14	6
" Outlet	15	7
QSV	34	20
Vessel Side Break	32	22
Pump Side Break	33	23
Main Steam Line	31, 36	25
SRV	42	36, 37
ADS	31	21
Feedwater Line	25, 35	24
LPCS into High Power Channel	26	-
" Central Core	-	28
" Average Power Channel	39	-
" Peripheral Channel	-	29
" Core Bypass	27	30
LPCI	30	31
Core Spray Model (liquid Droplet)	40, 28	32, 34
Core Spray Model (Vapor)	41, 29	33, 35

* Junction Number

Table 3.3 Description of heat slabs

Heat Slab		Description
Number		
BWR/6	ROSA-III	
1	8	High Power Channel (ROSA-III) (bottom)
2	9	or
3	10	Central Core (BWR/6)
4	11	
5	12	
6	13	
7	14	(top)
8	1	Average Power Channel (ROSA-III) (bottom)
9	2	or
10	3	Periperal Core (BWR/6)
11	4	
12	5	
13	6	
14	7	(top)
	15	Steam Dome Head
15	16	Steam Dome Wall
	17	Upper Downcomer Wall
16	18	Lower Downcomer Wall
	19	Lower Plenum Wall
17	20	Lower Plenum Bottom
18		

Table 3.4 Bubble rise model used for analysis

Volume	Bubble Gradient Parameter	Bubble Rise Velocity
Upper Plenum	0.0	Wilson Eq.
Core	1.0	Wilson Eq.
Core Bypass	0.0	Wilson Eq.
Lower Plenum	1.0	Wilson Eq.
Steam Dome	1.0	0.0
Upper Downcomer	0.0	$1.0 \cdot 10^6$ (ft/s)
Lower Downcomer	0.0	$1.0 \cdot 10^6$ (ft/s)

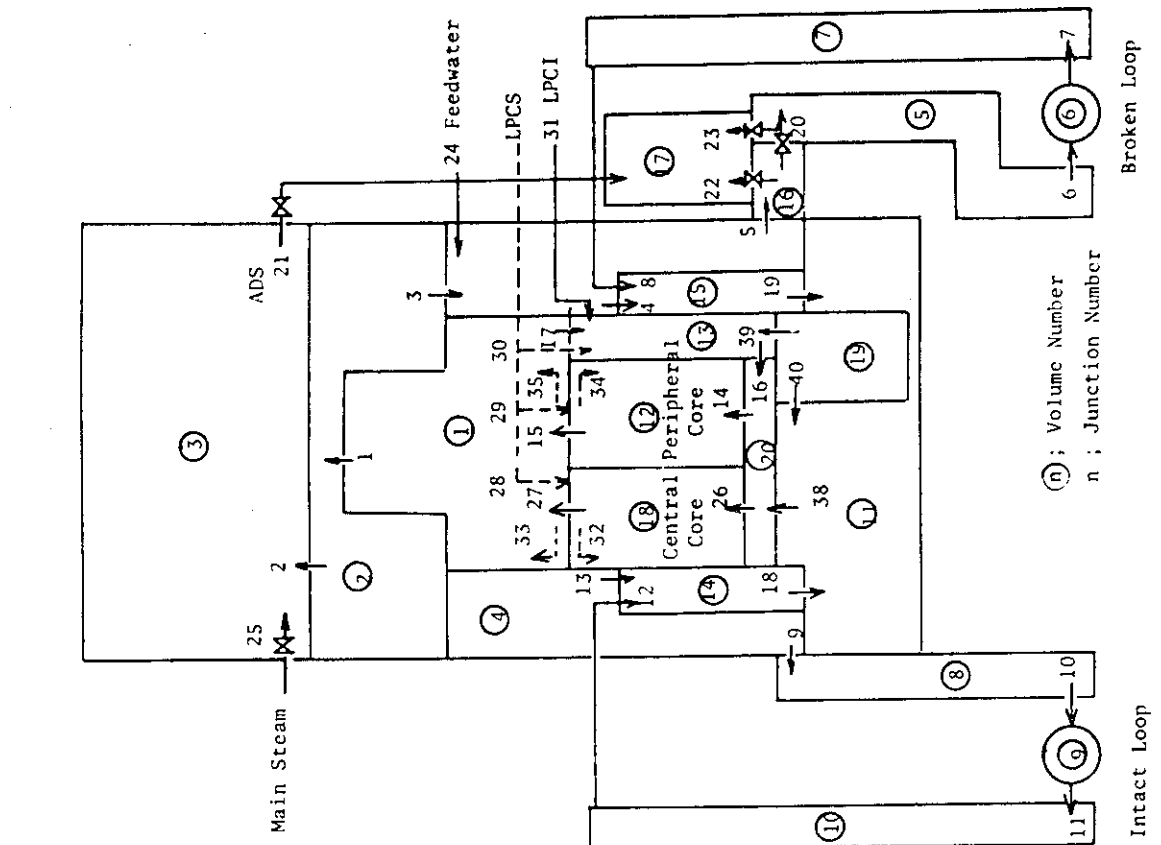


Fig. 3.2 Nodalization diagram for BWR/6 analysis

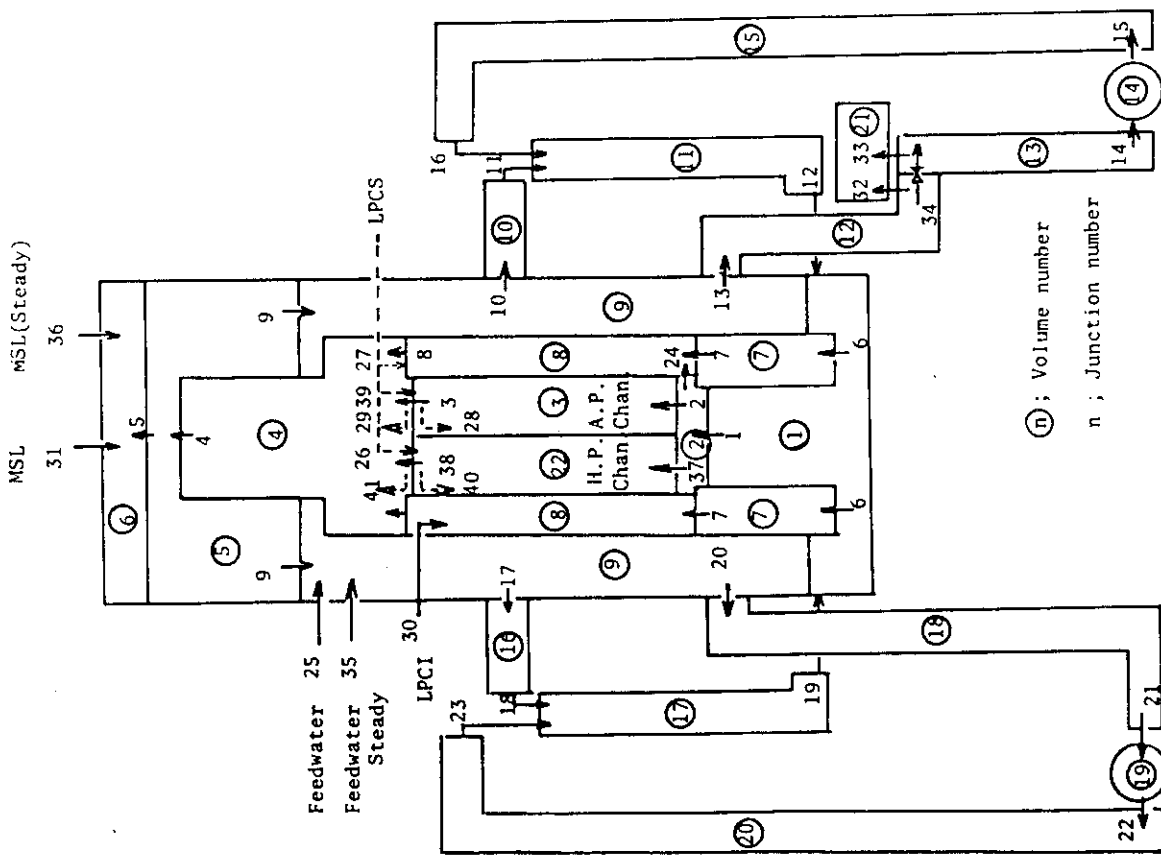
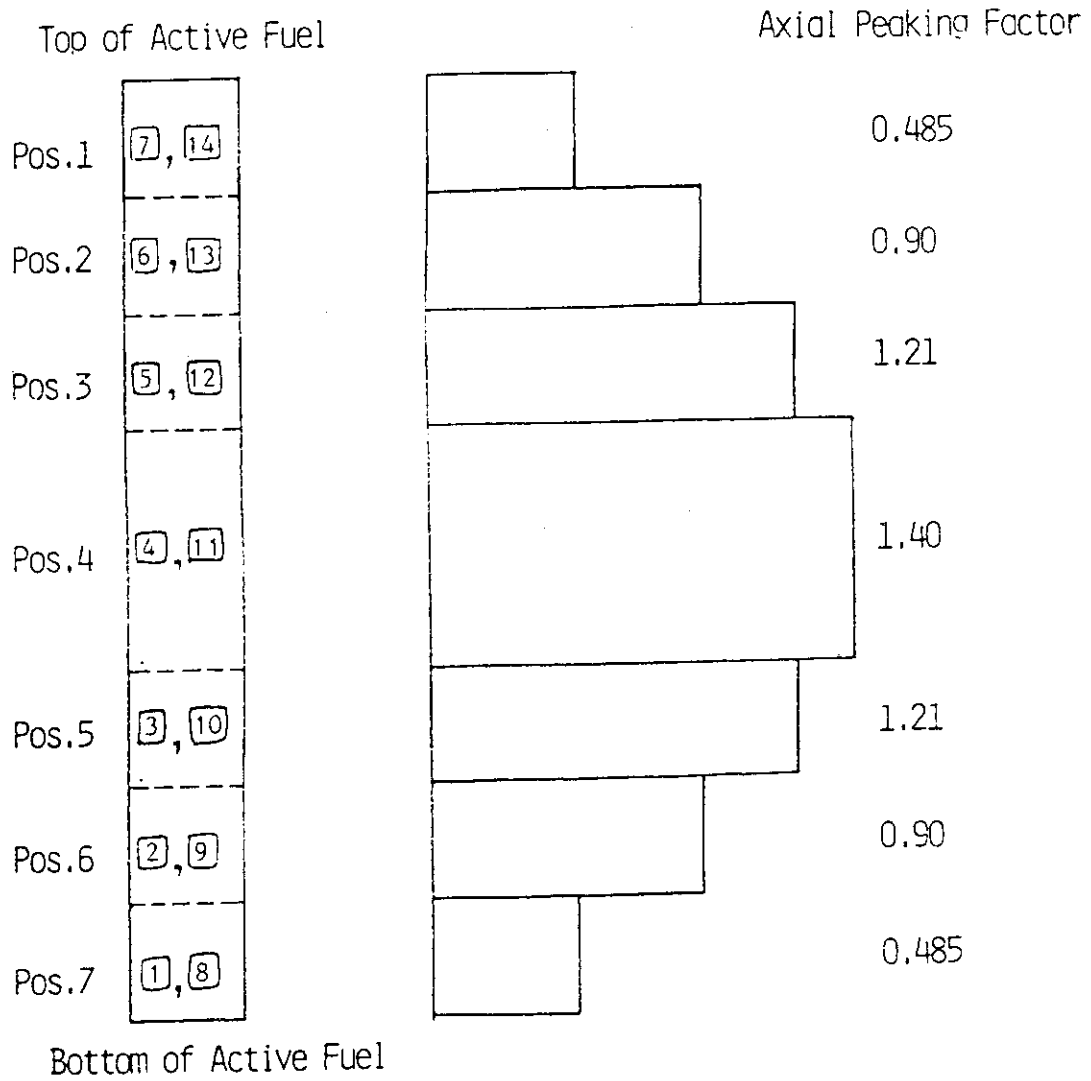


Fig. 3.1 Nodalization diagram for ROSA-III test analysis



Initial Average Linear Heat Rate

ROSA-III	{	Ave. Power Ch. : 17.4 kW/m	(* 44 %)
		High Power Ch. : 24.5 kW/m	
BWR/6	{	Central Core : 20.0 kW/m	
		Peripheral Core: 13.5 kW/m	

Fig. 3. 3 Axial Power Distribution

RUN 912 5%-BREAK HPCS FAILURE

□ 1 R NO ○ 2 R NO

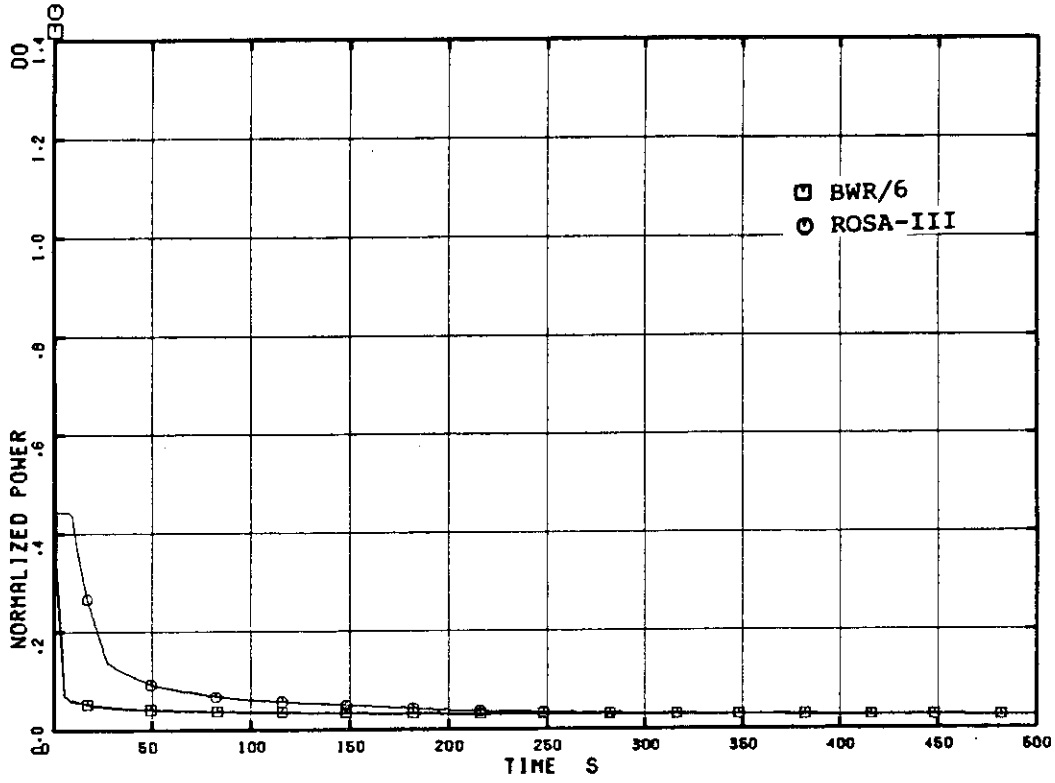


Fig. 3.4 Power curve

RUN 912 5%-BREAK HPCS FAILURE

□ FV 76

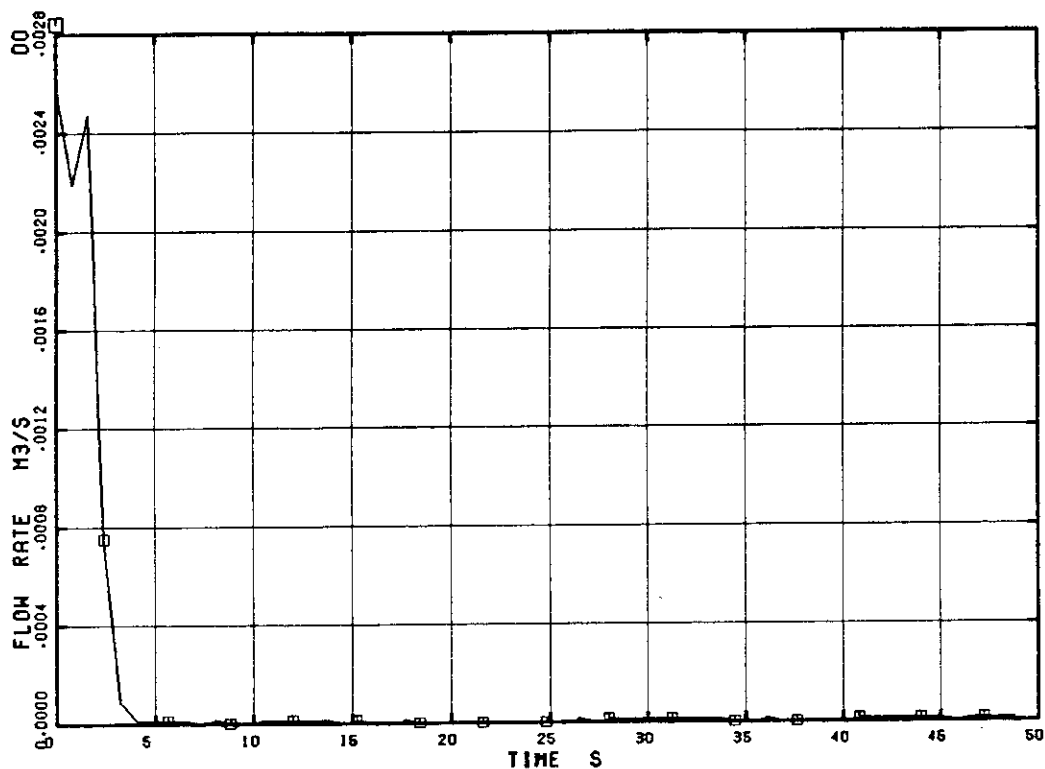


Fig. 3.5 Feedwater flow rate (ROSA-III)

RUN 912 5%-BREAK HPCS FAILURE

□ FM 71

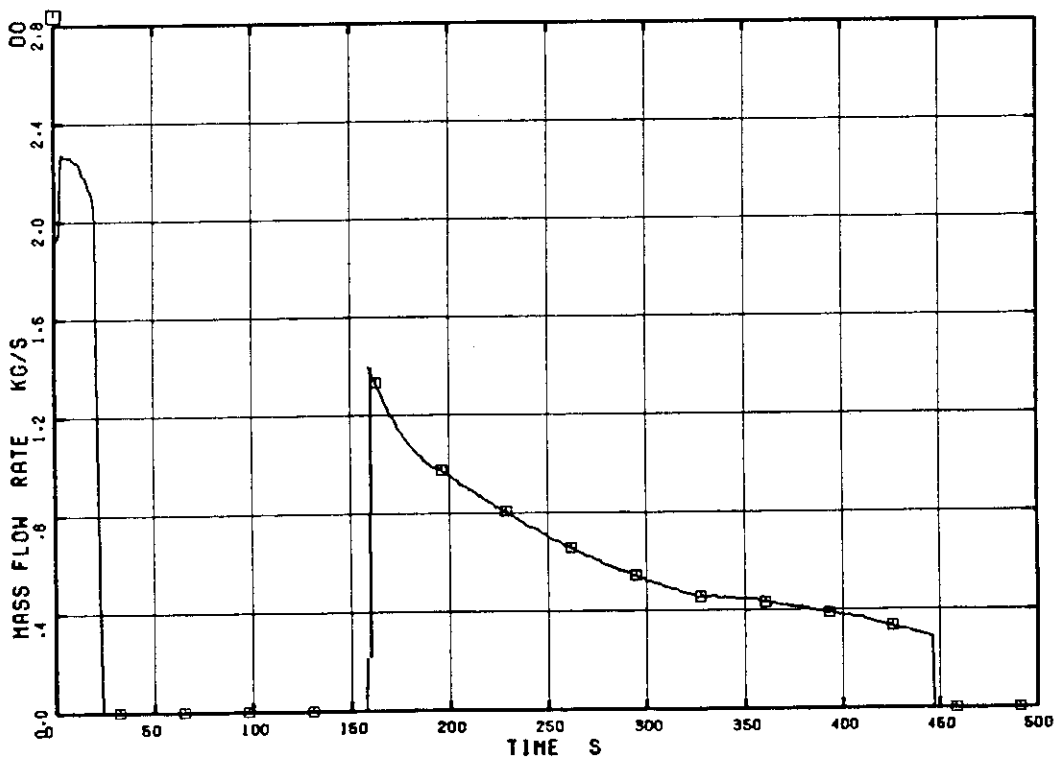


Fig. 3.6 Main steam flow rate (ROSA-III)

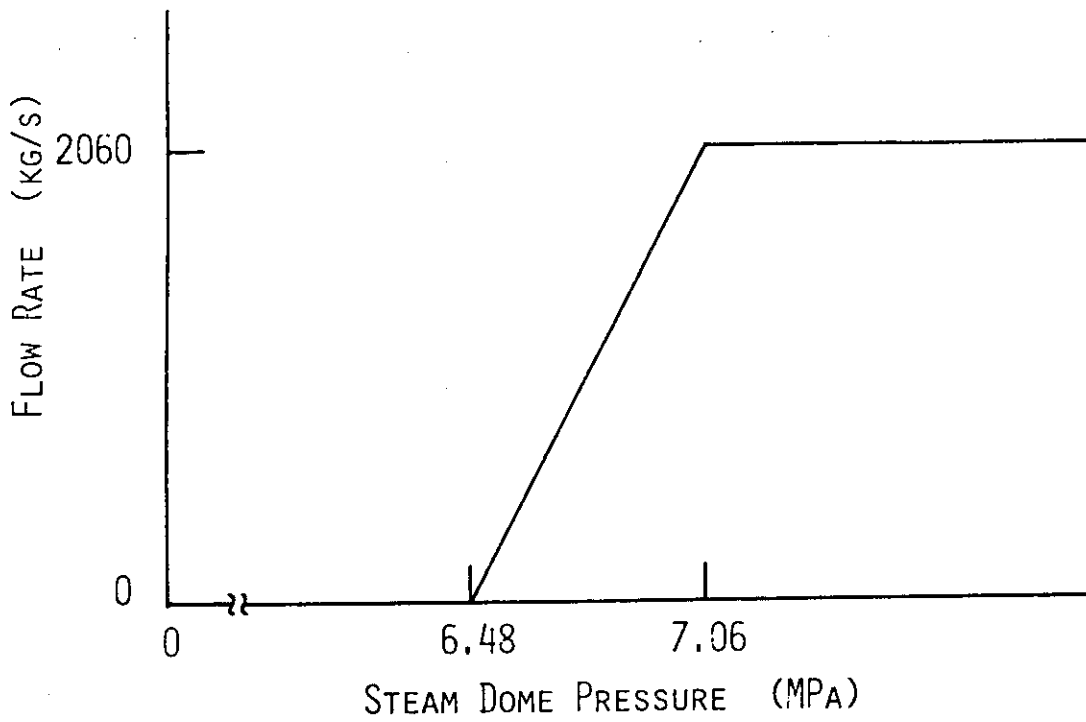


Fig. 3. 7 Main Steam Flow Characteristics (BWR/6)

RUN 912 5%-BREAK HPCS FAILURE

□ FV 74 ○ FV 75

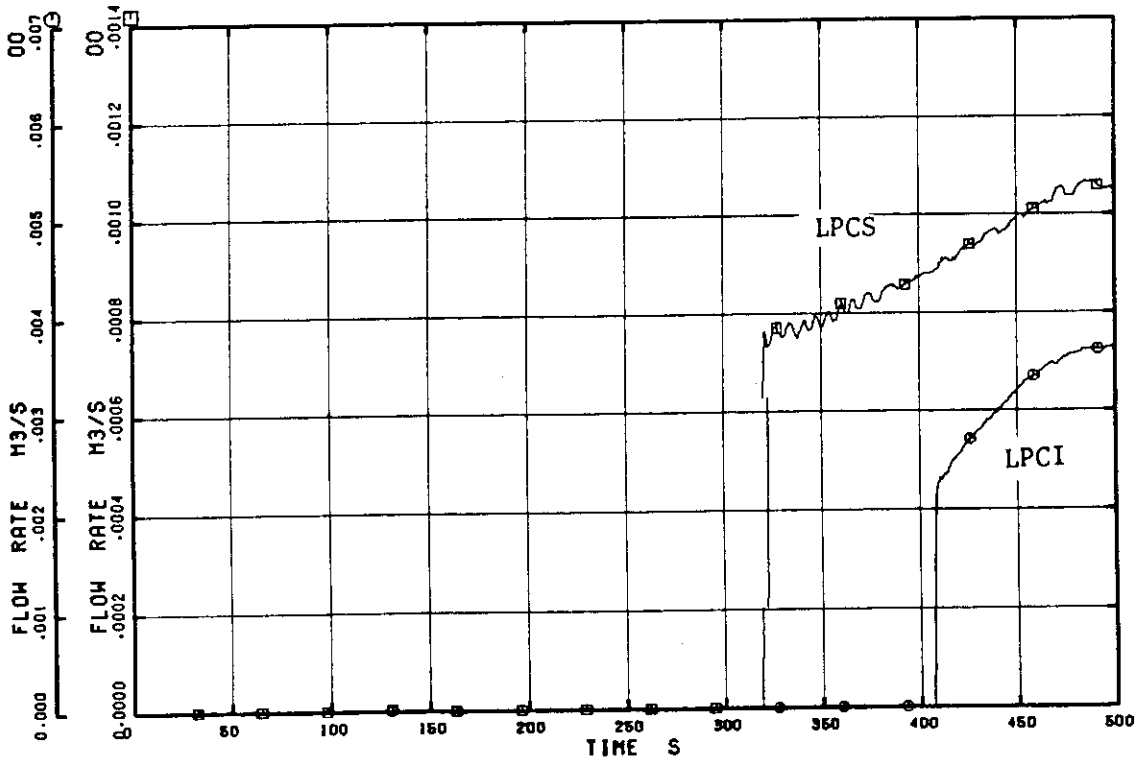


Fig. 3.8 LPCS and LPCI flow rate (ROSA-III)

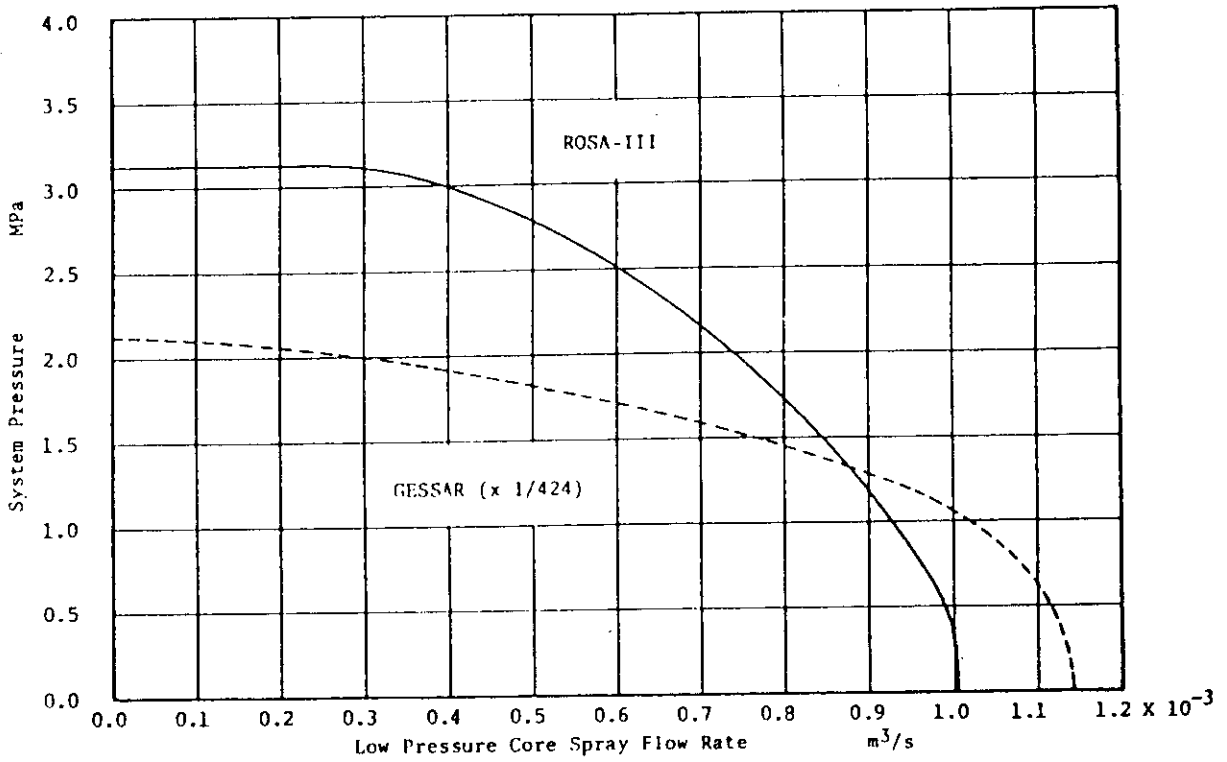


Fig. 3.9 LPCS Flow versus System Pressure

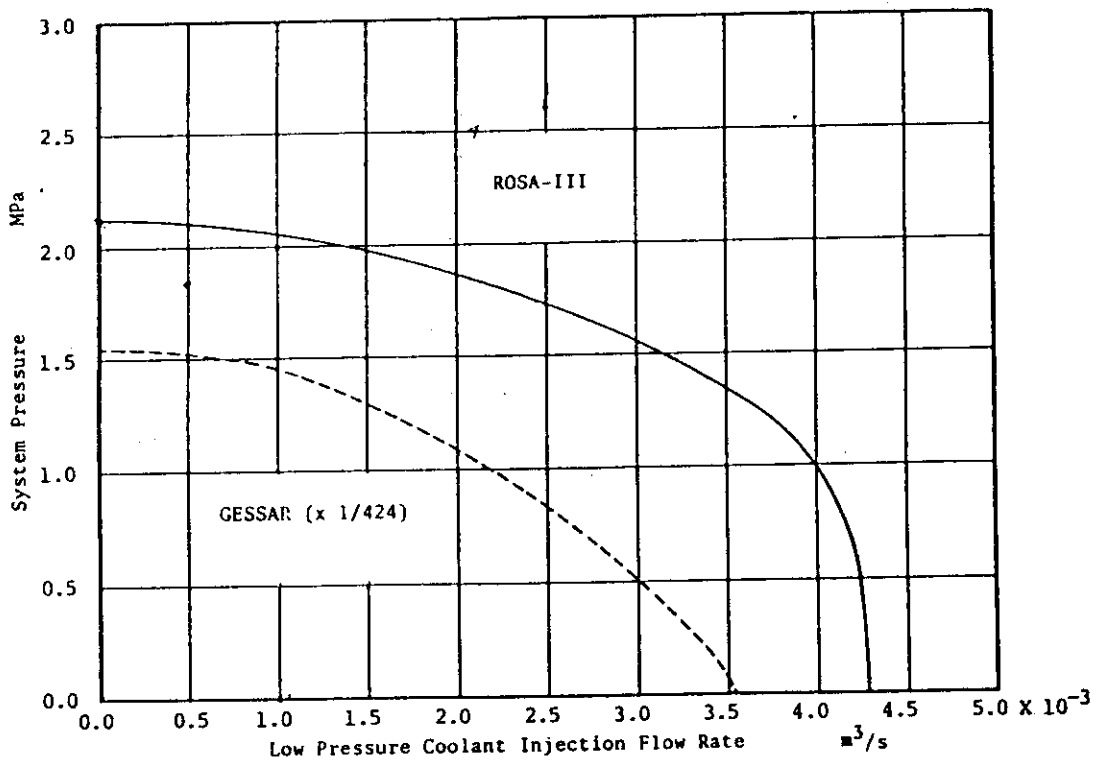


Fig. 3.10 LPCI Flow versus System Pressure

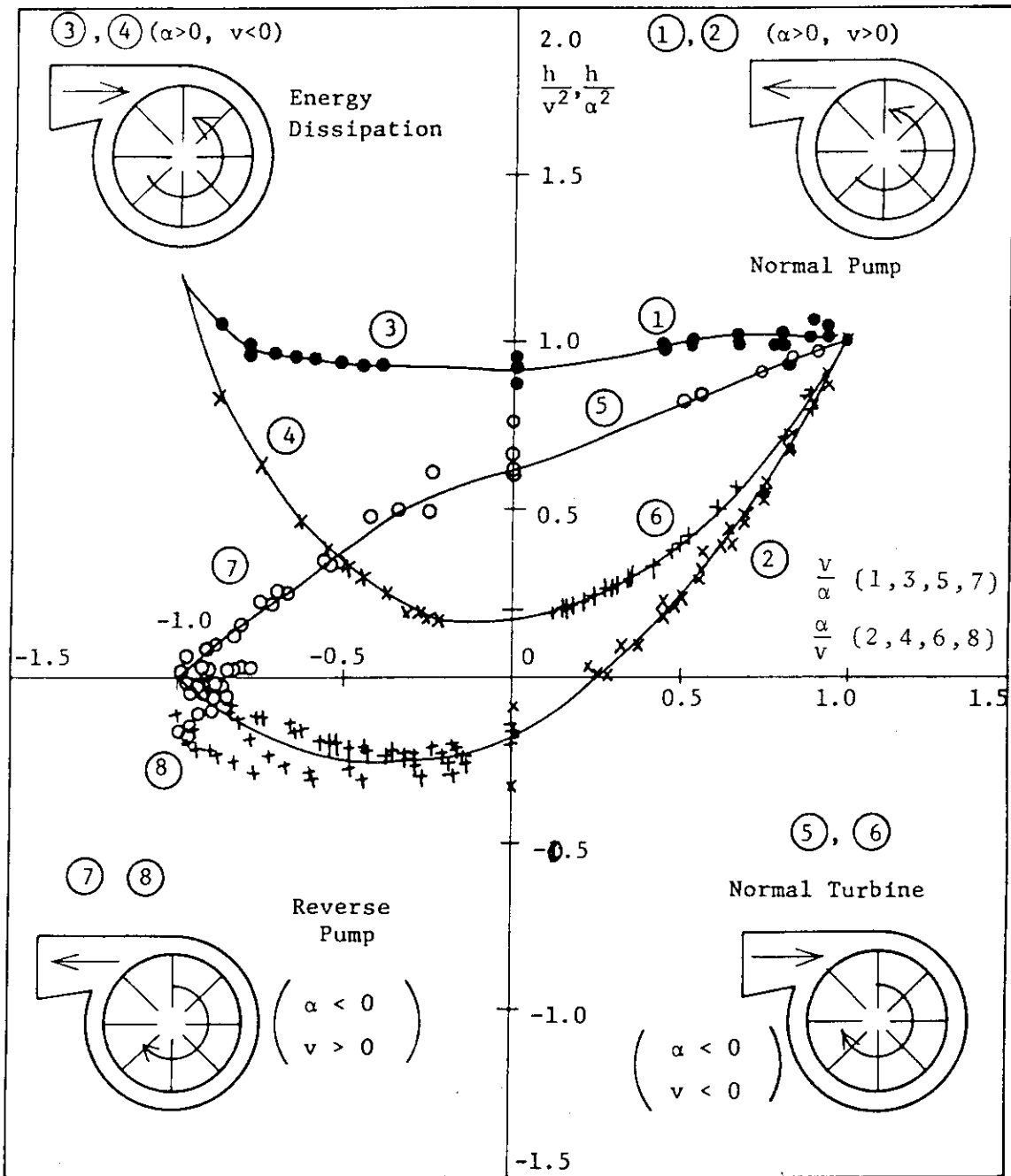


Fig. 3.11 Homologous Head Curve (ROSA-III)

$$\begin{aligned}
 Q_R &= 450 \text{ l/min}, & v &= Q/Q_R \\
 \omega_R &= 3600 \text{ rpm}, & \omega &= \omega/\omega_R \\
 H_R &= 262 \text{ m}, & h &= H/H_R
 \end{aligned}$$

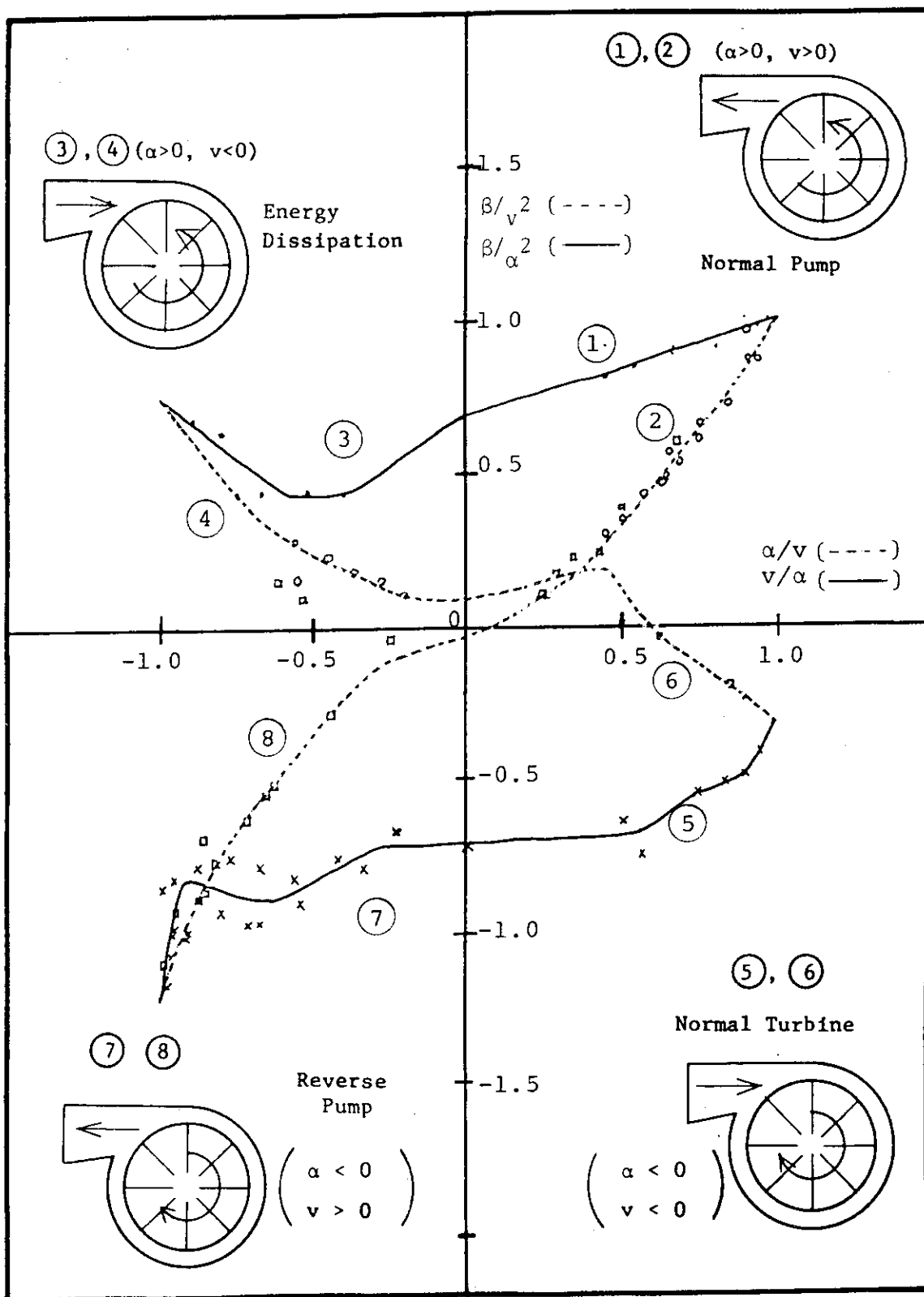


Fig. 3.12 Homologous torque curve (ROSA-III)

$Q_r = 450 \text{ l/min}$, $v = Q/Q_r$

$\omega_r = 3600 \text{ rpm}$, $\alpha = \omega/\omega_r$

$T_r = 184 \text{ Nm}$, $\beta = T/T_r$

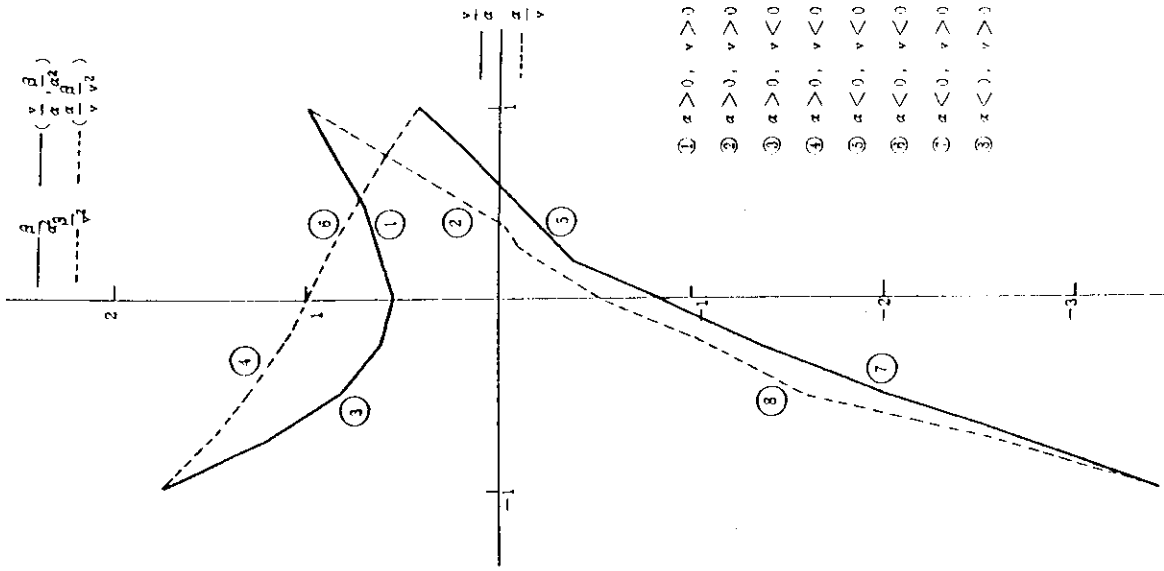


Fig. 3.13 Homologous Head Curve (BWR/6)

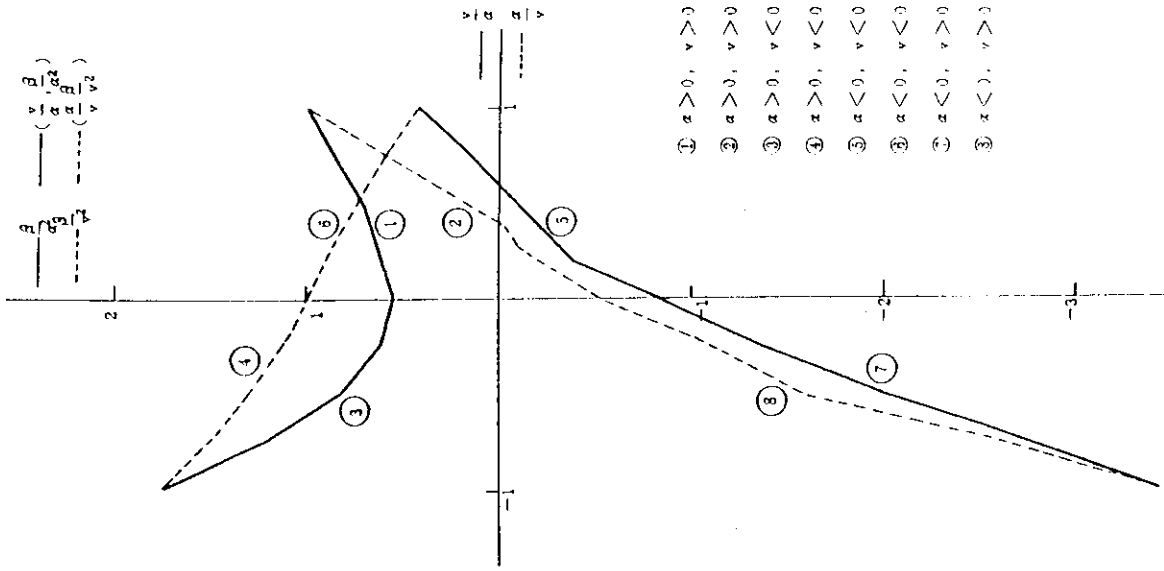


Fig. 3.14 Homologous Torque Curve (BWR/6)

4. ROSA-Ⅲ 実験 RUN912 の解析

本章では、U4/J3コードによるROSA-Ⅲ実験RUN912の解析結果について述べる。

この解析の目的は、相似性の検討のために使用するU4/J3コードの性能と限界を明確にすること、及びROSA-Ⅲ装置内の熱水力挙動をより良く理解することにある。

4.1 ROSA-Ⅲ 解析結果の概要

4.1.1 主要事象の生起時刻

表4.1に、主要事象の生起時刻について実験値と解析値を比較する。再循環系への出口ノズルが露出するタイミングは173秒ずれているが、ジェットポンプ吹込み口が露出するタイミング及び下部プレナムフラッシングのタイミングは、ほぼ一致している。

4.1.2 圧力挙動

図4.1に、下部プレナム圧力の実験結果と解析結果を比較する。実験結果を見ると破断直後からMSIV（主蒸気系隔離弁）が閉じられるまでの間、系圧力は主に主蒸気ラインからの蒸気の放出のために低下するが、MSIVが閉じられた後は、上昇を開始し84秒に8.4MPaに達し安全弁が作動する。安全弁の作動によりほぼ一定の圧力に保たれた後L1レベルから120秒遅れのトリップ信号により、ADSが158秒に作動し、系圧力は急激に減少を始める。その結果、159秒以降下部プレナムでフラッシングが起こる。以後圧力は単調に減少するが、323秒に系圧力が2.3MPaまで低下し給水配管中に残存していた水がフラッシングを開始すると一時的に圧力の減少が緩和される。計算結果においては、給水配管を模擬していないため圧力の緩和は計算されていないが、LPCIが作動するまでの挙動は、実験結果と非常に良く一致している。

LPCI作動による系圧力の減少が計算では非常に大きく表われているが、これはRELAP4においては熱的非平衡効果を考慮することができず、系内にすでに蓄積されている水とサブクールしたECC水の混合に要する時間等が考慮されないため、系内の各ボリュームのエンタルピーが短時間で低下するためである。

4.1.3 破断流挙動

図4.2に破断流について実験値と計算値を比較する。RUN912においては、破断口として図2.7(a)で示される内径5.9mmのオリフィスを使用した。この破断流は、 γ 線密度計とドラッグディスクを用いて求められたものであり、測定誤差は再循環系への出口ノズルが露出する150秒までにおいては、 ± 1 kg/sである⁽²⁾。計算に使用した臨界流モデルは、未飽和領域においてHenry Fauskeモデル及び飽和領域ではHEMモデルである。この二つのモデルの内そう方法については、RELAP4/MOD6マニュアルで推奨されている方法を用いた。すなわち、流量増倍係数を1.0とし遷移領域のクオリティを0から0.02とした。計算された破断流は実験値より低

いが、測定誤差の範囲に入っている。

4.1.4 流動挙動

ジャンクションにおける流量は臨界流になっていない場合は、ボリューム間の差圧によって決まる。流動挙動の検討のまえに計算されたボリューム間差圧と実験結果について比較検討する。図 4.3 に下部プレナムと蒸気ドーム間の差圧について実験結果と計算結果を比較する。実験結果においては、破断直後に急激に差圧が減少しているが、これはシュラウド内の流れが急激に停滞することを意味している。計算結果と実験結果は、20 秒以降実験値のほうがやや大きいものの傾向が良く一致し、計算結果は実験結果の誤差内にある。ダウンカマ水位について計算結果と実験結果を図 4.34 に示す。水位の実験値は、ダウンカマ底部と蒸気ドーム間の差圧より求められたいわゆる collapsed water level であり、計算値においては、気液の完全分離を仮定しているので水位の比較が差圧の比較と同じことになる。図に見られるように差圧は下部プレナムフラッシングによる水位上昇について、計算の方が大きくなっている点を除けば良く一致している。図 4.4 に計算によって求められた下部プレナム・蒸気ドーム間差圧と水頭を比較する。破断直後を除いて差圧はほとんど水頭に等しいことがわかる。したがってシュラウド内の全体的な流動は、破断直後の流動が比較的激しい場合を除けば、ほぼ重力支配であることがわかる。図 4.5 に、シュラウドの内側と外側の水頭の計算結果を比較する。ここでシュラウド内側の水頭は、下部プレナム、炉心入口部、炉心、上部プレナム、上部ダウンカマ各ボリューム中心間の水頭差の総和であり、シュラウド外側の水頭は、下部プレナム、ジェットポンプ、ジェットポンプ吸込み口配管、下部ダウンカマ、上部ダウンカマ各ボリューム中心間の水頭差の総和である。初期状態では、シュラウド内での圧損が大きいためシュラウド外の水頭は、シュラウド内の水頭よりも大きくなっている。破断直後にシュラウド内の水頭は急激に増加しているが、これはスリップモデルを用いて計算をおこなう際にすべり速度を零として初期液体インベントリを与える場合に起こる特徴的な現象である。これを避けるためには、上部プレナムや炉心のように、蒸気が存在するボリュームの初期液体インベントリを、ボリューム出口クオリティと流量、及びスリップモデルで用いられている相関式により求めたスリップ比から決定し入力する必要がある。しかしこの作業は容易でないため、すべり速度を零として初期ボリュームインベントリを決めるのが普通である。このことによる影響については、付録で感度計算をおこない検討した。

シュラウド内水頭は、破断後約 25 秒で再び急激に増加しているが、これは MS IV が閉じられることにより、圧力が増大し、炉心及び上部プレナムのボイド率が低下しダウンカマからシュラウド内に注入した水が蓄積されるためである。一方、ダウンカマの水頭は、破断後破断口からの冷却材の流出により単調に減少しており、27 秒においてシュラウド内の水頭の方がシュラウド外の水頭よりも高くなる。破断後 112 秒でシュラウド内外の水頭差はなくなるが、ADS が作動すると、シュラウド外の水は流動抵抗の違いのためシュラウド内の水より放出されやすく、シュラウド外の水頭は低下が顕著となる。350 秒までシュラウド外の水頭がシュラウド内より低い、LPCS 水の蓄水のため 350 秒から LPCI 作動まで水頭差はなくなる。LPCI が作動するとシュラウド内の水頭は急激に上昇を始め、それに遅れてシュラウド外の水頭も増加

を始める。

シュラウド内外の水頭差は、破断から 110 秒まで、ADS 作動から 350 秒まで、及び LPCI 作動後に顕著であるが、このような水頭差は、ジェットポンプ周辺の配管における流動抵抗によるものである。ジェットポンプまわりの抵抗係数は、正流方向に関しては計算値を用いており、逆流抵抗係数は、水単相流で測定された値を用いている⁽¹¹⁾。ただしこの測定された値は、大きくばらついており、又二相流においては測定されていない。付録においてこの逆流抵抗係数をパラメーターにとり感度計算をおこなった結果をまとめる。

図 4.6 に、炉心入口流の実験結果と計算結果について比較する。

実験値は 4 つのチャンネル入口オリフィスでの差圧と下部プレナム温度に対応する飽和水の密度から求めた入口流量の総和をとったものである。したがって炉心入口流が二相流になると定量的には正確でなくなる。図に示されるように破断後 26 秒まで炉心入口流量は計算値のほうが実験値より過大であるが 50 秒以降から下部プレナムフラッシングが起こるまで計算値は実験値と良く一致している。破断後 26 秒までの計算値が実験値より過大になっている原因としては、図 4.7 に示されるように再循環ポンプ速度（回転数）の計算値が実験値よりかなり大きいこと及び流動抵抗の入力値が小さすぎることなどが考えられる。ポンプコーストダウン特性に関する入力データに再検討が必要であることがわかる。

下部プレナムフラッシングが起こってから後の実験値は、断続的に逆流が生じる傾向を示しており、計算結果の傾向と一致する。流速が低下し流動抵抗が小さくなってからの炉心入口流などの系内の流動挙動は先に見たシュラウド内側とシュラウド外側の水頭差の比較から理解することができる。

初期状態においては、シュラウド外の水頭はシュラウド内の水頭よりも大きいため、破断直後には水頭差及びポンプコーストダウンによりダウンカマの水が炉心に流入する。破断後 2.7 秒においてシュラウド内の水頭の方がシュラウド外の水頭よりも高くなる。このため炉心入口流は、25 秒で急激に減少した後 40 秒から逆流を開始する。逆流流量は 100 秒あたりから減少を初め 110 秒以降ほぼ零となる。これは 112 秒でシュラウドの内と外で、水頭差が零になることに対応している。ADS が作動するとダウンカマの水頭は著しく低下し、シュラウド内の流体はジェットポンプを逆流しダウンカマに流入する。図 4.6 に示されるように炉心入口流はこの間振動的に逆流している。全炉心が蒸気中に露出すると炉心流は、下部プレナムで発生する蒸気のみの流れとなり、再び正流となるが LPCS が 318 秒に作動するとバイパス出口での CCFL ブレークダウンによりバイパス部に流入した LPCS 水がリークホールを通り炉心入口部に入っているため逆流が再び生じる。

LPCI が作動すると、シュラウド内の水頭は、急激に増大し、下部プレナムに圧力が加わる。このためジェットポンプでの逆流が増大し下部プレナム水位は低下を始める。440 秒に炉心入口流は、大きく逆流するが、これは下部プレナム水位がジェットポンプ出口位置まで低下し下部プレナム圧力が低下し LPCI 水が落下するためである。LPCI 水の落下により下部プレナム水位が上昇するとジェットポンプ出口が、水位におおわれるため再び炉心入口流は正流になり LPCI 水の下部プレナムへの落下がなくなるので下部プレナム水位は低下する。この繰返しのため、炉心入口流はしばらくの間振動が続いている。実験においても炉心入口流は振動してい

るが、下部プレナム水位がLPCI 作動後ジェットポンプ出口位置にまで低下するという挙動は観察されなかった。LPCI 作動後の下部プレナム水位の挙動が異なった理由については、水位の検討のところで述べる。

図 4.8 から図 4.11 に高出力チャンネルの下部タイプレート、及び上部タイプレートにおける流量と平均出力チャンネルの下部タイプレート、及び上部タイプレートにおける流量の計算結果を示す。

図 4.12 から図 4.15 に、リークホール流、下部プレナム・ガイドチューブ間の流れ、ガイドチューブ・炉心バイパス間の流れ、バイパス出口流を示す。これらより解析により示されたシュラウド内の流れについて概略的に見てみる。破断直後より約 100 秒まで上部プレナムの水は炉心バイパスを通り、リークホールを経て炉心入口部に流入する。破断から 50 秒以降は、平均出力チャンネル上部タイプレートからも上部プレナム水が落下する。高出力チャンネル上部タイプレートにおいては上昇流が継続され、平均出力チャンネル出口流と対称的な挙動を示している。約 100 秒で上部プレナム水がなくなると炉心まわりの流動は小さくなる。その後 LPCS 水がバイパスに流入するとリークホールを経て炉心入口部に流入し下部プレナムに落下するという流れが生じ、LPCI が作動すると炉心バイパスに注入された LPCI 水は、炉心入口部とガイドチューブに流入し炉心まわりは激しい流動状態となる。炉心入口流、炉心出口流リークホール流、バイパスホール流などが 450 秒以降激しく振動している。

図 4.16 から図 4.21 に、健全ループ及び破断ループのジェットポンプの吸込み流、駆動流、吐出流の計算結果を示す。吸込み流と吐出流は、健全ループ側と破断ループ側でほぼ同一の挙動を示す。炉心入口流と同様に破断から約 40 秒まで、正流が続き以後 110 秒まで逆流が生じている。その後流れはほとんどなくなるが、下部プレナムフラッシング後再び逆流が継続される。ECCS 作動の影響に関して LPCS 作動の影響はあまり強く表われないが、LPCI 作動の影響は作動とほぼ同等に表われており、下部プレナムからダウンコマへの流れは振動しながら大きく逆流している。駆動流は、吸込み流や吐出流と異なり MSIV 閉のタイミングで一時的に増加しているが、これは吸込み流の急激な逆流によると思われる。又、破断側ジェットポンプ駆動流は、破断口からの流出のため、健全側と比べて逆流になるタイミングが早くなっている。ADS 作動後の両者の挙動はほぼ同じである。図 4.22 から 4.28 に U4/J3 コードの特徴である CCFL 計算モデルに関する LPCS 流量の時間変化を示す。本解析においては、高出力及び平均出力チャンネル、炉心バイパス出口に対して本モデルを適用している。高出力及び平均出力チャンネル出口では、上向き蒸気流が大きいため LPCS 水の落下は制限されているが、バイパス出口においては制限されていない。図 4.29 に系内に注入された LPCS 水について計算値と実験値を比較する。両者の差が CCFL 計算モデルにより系外に捨てられた LPCS 水量である。

4.1.5 水位挙動

図 4.30 から 4.32 に、上部プレナム高出力チャンネル、及び平均出力チャンネルにおける混合水位の時間変化について実験結果と計算結果を比較する。実験結果及び計算結果ともに図に見られるように、上部プレナム水位と炉心水位が連続的に変化している。すなわち、上部プレナム水位がなくなった後、炉心上部における水位の低下が開始する。炉心上端部が露出した後、

下部プレナムでのフラッシングにより炉心水位は、一時的に持ち上げられる。

その後再び炉心水位の低下が開始し、全炉心が蒸気中に露出する。318秒にLPCSが作動し406秒にLPCIが作動することにより、炉心水位は、実験結果、計算結果ともにLPCI作動後40秒以内に炉心上端にまで達する。実験結果に比べて計算では、下部プレナムフラッシング前の炉心水位の低下のタイミングが約20秒はやく、下部プレナムフラッシングによる炉心水位の回復の程度も小さいが、全体として炉心の水位挙動はよく計算されている。

図4.33に、下部プレナム及び炉心入口部の水位の変化について実験結果と計算結果を比較する。実験結果においては、下部プレナム水位は炉心水位の低下が開始するのとほぼ同時刻で低下が顕著となり、炉心入口部と下部プレナムで水位は連続的に減少する。給水配管内でのフラッシングにより一時的に水位の減少が大きくなる。LPCS作動後、水位は上昇し約400秒に下部タイプレートにまで水位が上昇する。

計算結果においては、下部プレナムフラッシングのタイミングで水位が形成され、全炉心がドライアウトし炉心からの落下水がなくなる270秒以降、水位減少は顕著となる。炉心入口部での水位の低下は、310秒から開始され、下部プレナムと連続的には変化しない。

下部プレナム水位は、LPCS作動のタイミングで上昇を開始するが、実験値より上昇率が小さい。

LPCI作動後の挙動は実験値と大きく異なっている。LPCIが作動しシュラウド内水頭が急激に増大すると、ジェットポンプを通り下部プレナムからダウンコマへの逆流流量が増大し、下部プレナム冷却材インベントリは減少し、水位が低下する。水位がジェットポンプ吐出口より1フィート高い位置にまで低下すると、LPCI水が炉心入口部より落下するため水位が上昇する。(1フィートというのはU4/J3コードでは、ジャンクションのエンタルピーについて特に指定しない場合はその高さを中心に鉛直方向に±1フィートの範囲の平均値を用いるからである。)水位が上昇するとLPCI水が炉心から下部プレナムに落下しなくなり再び下部プレナムは加圧され、ジェットポンプでの逆流流量が大きくなるため水位は低下する。このようにジェットポンプ吐出口高さより1フィート高い位置で水位は振動した後、480秒から再び上昇する。下部プレナム水位の挙動がLPCI作動後、実験値と大きく異なった理由については、炉心入口オリフィスにおける気液二相のスリップ計算が適切でなかったか、又は解析においては炉心入口部を1つにしているため、実験で見られるようなチャンネル間の流動挙動の差を計算できなかったということが考えられる。すなわち実験結果を見ると炉心入口オリフィスにおいてLPCI作動後、チャンネルAとチャンネルBでは上昇流がチャンネルCとチャンネルDでは下向流が生じるというパラレルチャンネル効果が表われている。このためLPCIの作動により炉心バイパスの水頭が上昇し、下部プレナムが加圧されても下部プレナム蒸気は、チャンネル入口オリフィスの一部から炉心を通して逃げるので、計算結果のように急激に加圧されることはなく、下部プレナム水位は急激には低下しない。これに関して炉心入口部を2つに分けて感度計算をおこなった結果を付録に示す。

図4.34に、ダウンコマにおける水位の時間変化について、実験値と解析値を比較する。

実験において、水位は、破断直後からほぼ直線的に低下し、153秒で再循環系への出口ノズルの高さにまで低下する。その後ほぼ一定の値となるが190秒から230秒の間、一時的に水位

が上昇するのは、下部プレナム及び再循環系配管内の水がフラッシングしダウンカマ部に流入するからである。406秒にLPCIが作動するため、水位は420秒より再び上昇を始める。解析結果においては約40秒で水位の減少率がよりゆるやかになるが、これは下部プレナムの水がジェットポンプを逆流しダウンカマに流入するためである。以後ジェットポンプでの逆流流量が低下するにつれ、水位の減少は早くなる。ADSが作動し圧力の低下が始まると、ダウンカマ及び再循環ループでフラッシングが起これりダウンカマ水位は上昇する。このフラッシングの影響は、実験値より大きく表われている。

以後、水位は再循環系への出口ノズルのレベルに一定に保たれた後、LPCIが作動すると、ほぼ同時刻に水位は上昇を開始しており、実験値と良く一致している。

4.1.6 表面温度の挙動

図4.35から4.42において、高出力チャンネルAにおける局所ピーキングファクター1.0のヒーターピンについて実験結果と計算結果を比較する。図4.43から図4.50において、平均出力チャンネルにおける局所ピーキングファクター1.0のヒーターピンについて実験結果と計算結果を比較する。

炉心水位の挙動が、実験と計算でほぼ一致しているため、水位挙動に密接に関連する表面温度挙動についても、ドライアウトやクエンチのタイミングなどの全体的な挙動はほぼ実験と計算で一致している。ドライアウト後の温度上昇率に関しては、高出力チャンネル、及び平均出力チャンネルともに、炉心下部において計算値の温度上昇率のほうが実験値より大きくなっている。これは、全炉心が蒸気中に露出すると図4.51及び4.52に示されるように、炉心内蒸気温度が急激に上昇し、その結果蒸気温度より壁温が低い炉心下部では、蒸気からヒーターピンへの伝熱が起これるためである。実際の現象では、蒸気は炉心にそって加熱されるため炉心下部でこのようなことが起これることはなくこれは本解析のように炉心を鉛直方向に1つのボリュームで表わす時の固有の問題である。スプレーヒートトランスファーモデルの使用が始まると、ポジション3以下の表面温度上昇率の計算値は、実験値より大きくなる。これは計算に用いた蒸気冷却熱伝達率が小さすぎたためである。

クエンチ挙動に関して、計算においてはポジション1からポジション4までトップダウンクエンチが起これり、ポジション5からポジション7までは、ボトムアップクエンチが起これる。図4.53と図4.54にドライアウト及びクエンチフロントの実験値と計算値をおこなう。こまかい点については、図4.54に示されるように平均出力チャンネルCでは、下部プレナムフラッシングにより上部プレナムに蓄積された水が、破断後約230秒に落下し、局所的にトップダウンクエンチを起これしているが、U4/J3コードのトップダウンクエンチモデルは、LPCS作動と同時に作動するというモデルなので、このような挙動を解析することはできない。しかし、全体的にはトップダウンクエンチ速度など実験値とよく一致していると言える。このように、ドライアウトのタイミング、クエンチのタイミング、及びドライアウト後の温度上昇について実験結果と計算結果は、ほぼ一致しており、U4/J3コードは表面温度挙動を良く解析しうるということがわかった。

4.2 まとめ

U4/J3 コードの性能評価及び実験で観測された現象を理解するためにおこなった ROSA-III 実験 RUN912 の実験後解析により以下のことがわかった。

- a) 圧力挙動については、LPCI が作動するまでの挙動は、実験と計算で非常に良く一致し、小破断 LOCA 実験における圧力挙動を、本コードは良く計算しうることがわかった。しかし LPCI 作動後、すなわちサブクール水が系内に注入されてから後の圧力挙動の計算には問題があることがわかった。
- b) 全体的な流動挙動については、流量が比較的小さい期間では実験値と良く一致し、その挙動はシュラウドの内側と外側の水頭の差でほぼ説明ができた。しかし流動の激しい破断直後や LPCI 作動後では、あまり良い一致は見られずスリップモデルや再循環ポンプの入力データに改良の余地があることがわかった。
- c) 水位挙動については、上部プレナム水位、炉心水位ともその挙動は実験と非常に良く一致した。前回の破断 LOCA の解析においてはあまり良い一致を見ておらず、本コードの水位計算モデルは、小破断 LOCA 解析のようなよりゆるやかな過渡現象の解析により適している。ダウンカマレベルについては、フラッシングによる影響を過大に計算しているが、実験値の全体的な傾向と良く一致している。下部プレナム水位については、LPCI 作動後の挙動が実験と大きく異なっており、炉心入口でのスリップの計算やノーディングの方法に検討の余地のあることがわかった。
- d) 燃料棒被覆管表面温度の挙動については、ドライアウトのタイミング、クエンチのタイミング、及びドライアウトからクエンチまでの温度上昇率について全体的に良く一致し、スプレーヒートトランスファーモデルのような非常に簡単な伝熱ロジックでも、全体的な挙動は十分計算できることがわかった。

**Table 4.1 Comparison of major events of experimental data and
analysis results**

	Experiment	ROSA-III analysis
L2 level	19 s	5.6 s
MSIV closure	24 s	Experimental data
L1 level	38.2 s	20.0 s
SRV actuation	83.6 s	54 s
Uncovery of jet pump suction	98.8 s	97.3 s
Uncovery of outlet nozzle to recirculation line	150 s	323 s
ADS actuation	158 s	Experimental data
Lower plenum flashing	159 s	170 s
LPCS actuation	318 s	Experimental data
LPCI actuation	406 s	Experimental data

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ I PA 1 ○ I R APV1

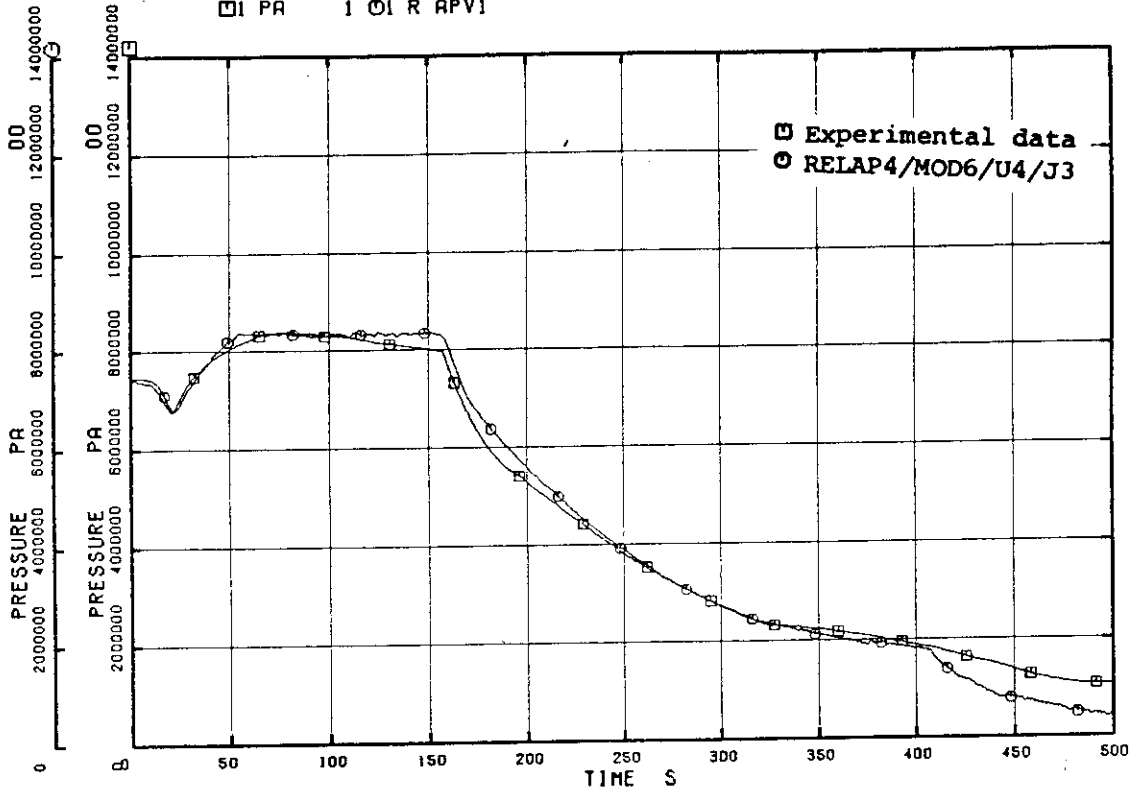


Fig. 4.1 Lower plenum pressures

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ I FM 709 ○ I R JWJ32

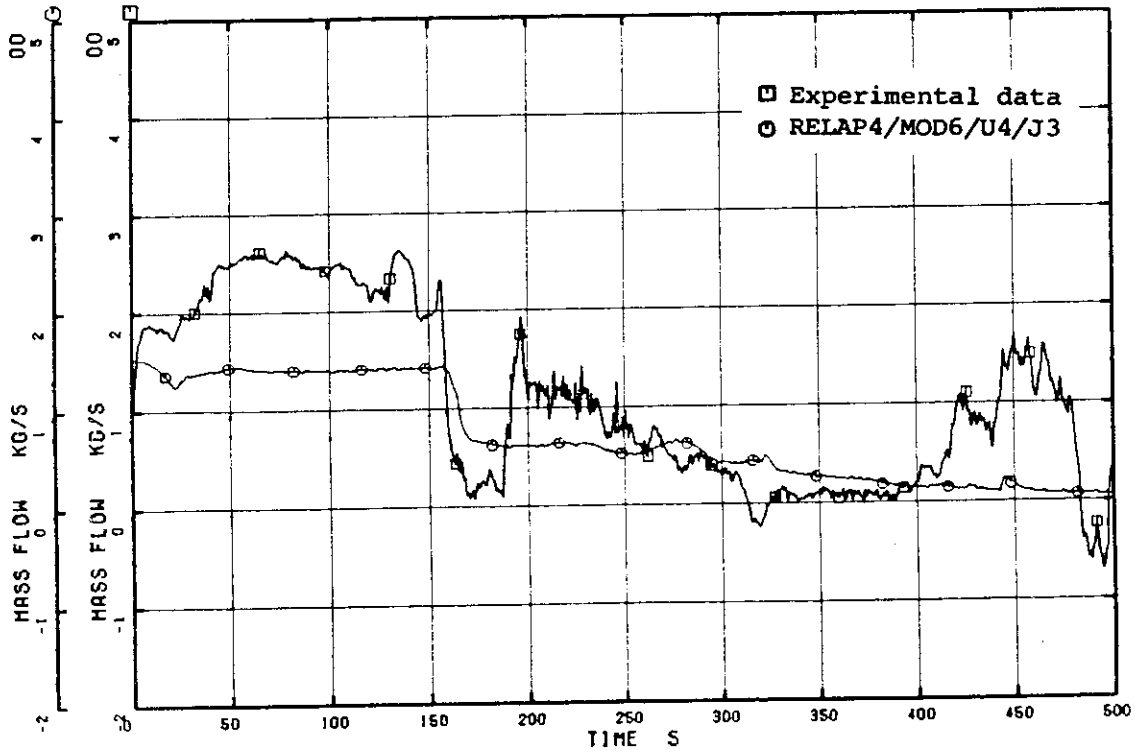


Fig. 4.2 Break flows

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ I PD 25 ○ I R TR

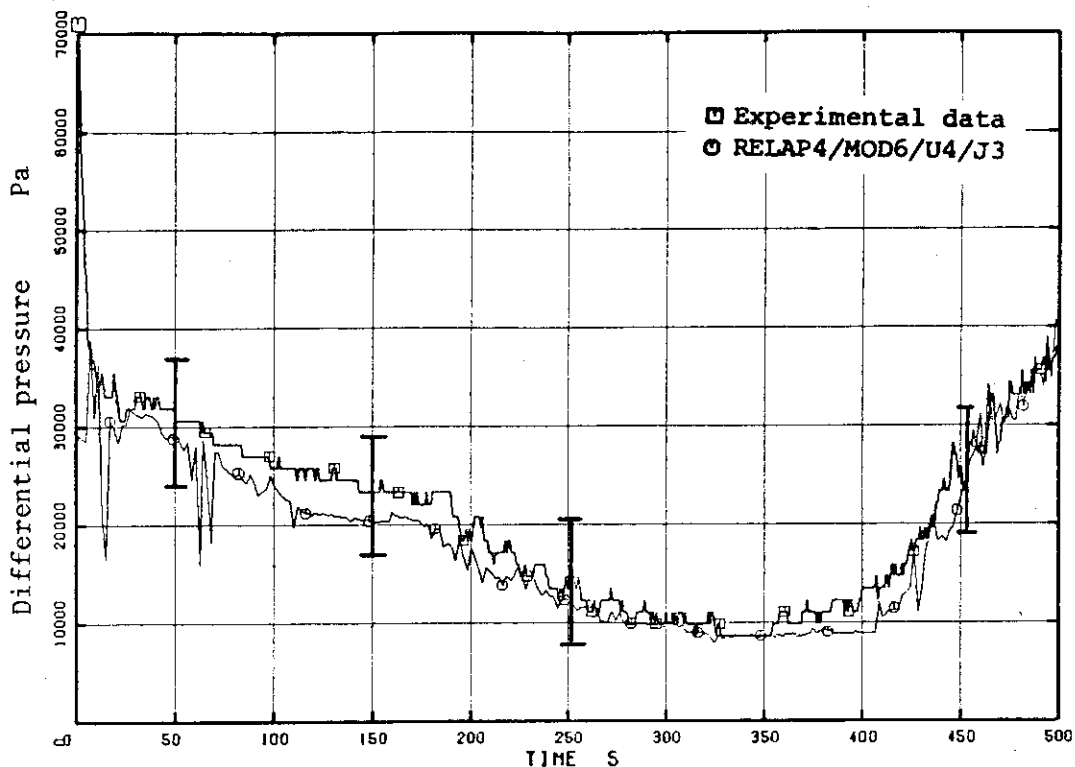


Fig. 4.3 Differential pressures between top and bottom of pressure

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ I R EDJ1 ○ I R TOJ1

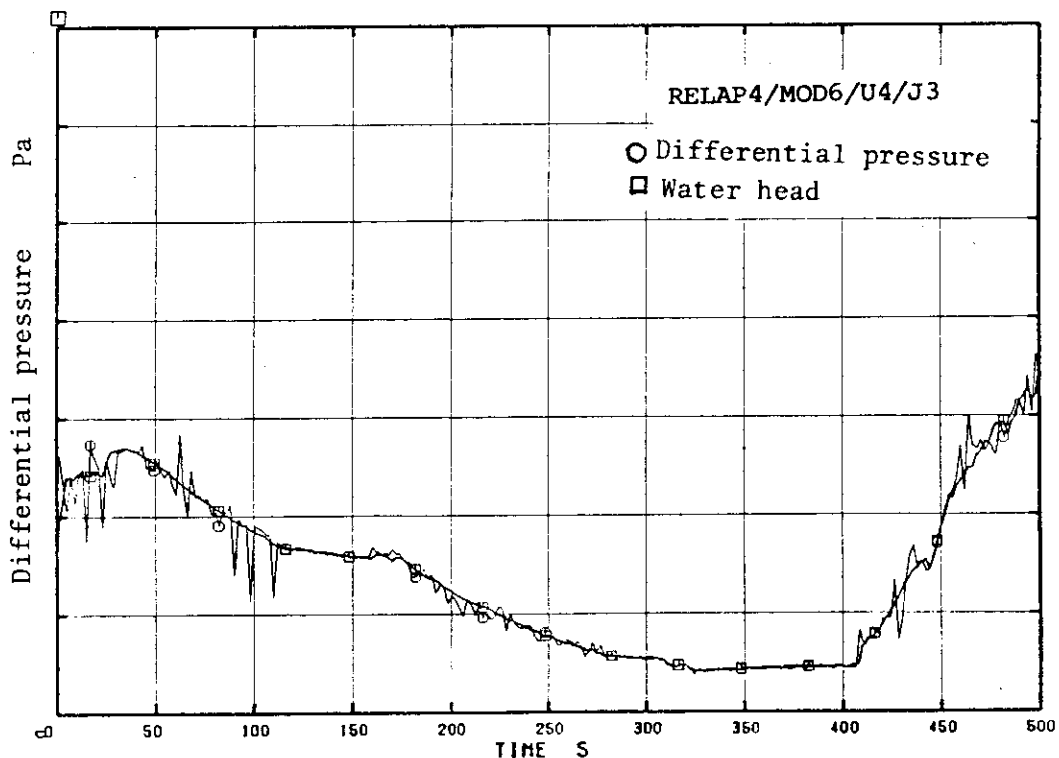


Fig. 4.4 Comparison of differential pressure and water head between top and bottom of pressure vessel

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3
 □ I R EDJ1 ○ I R EDJ3

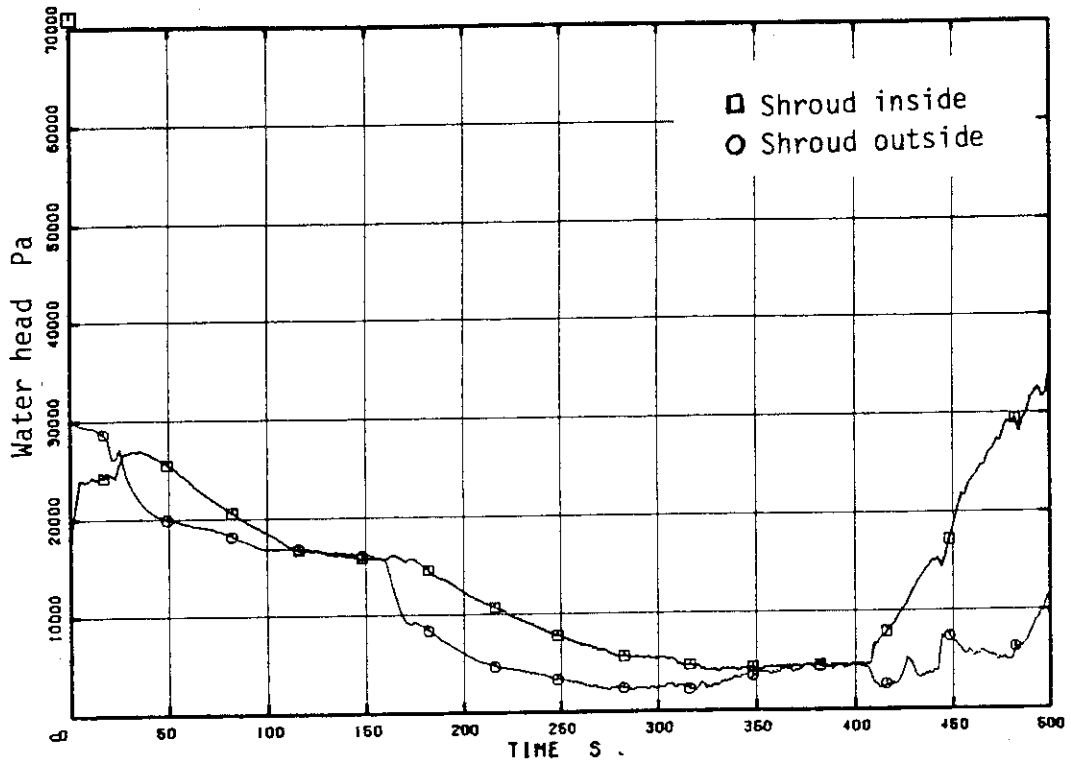


Fig. 4.5 Comparison of water heads inside and outside the core shroud

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ I FM 716 ○ I R JWJ1

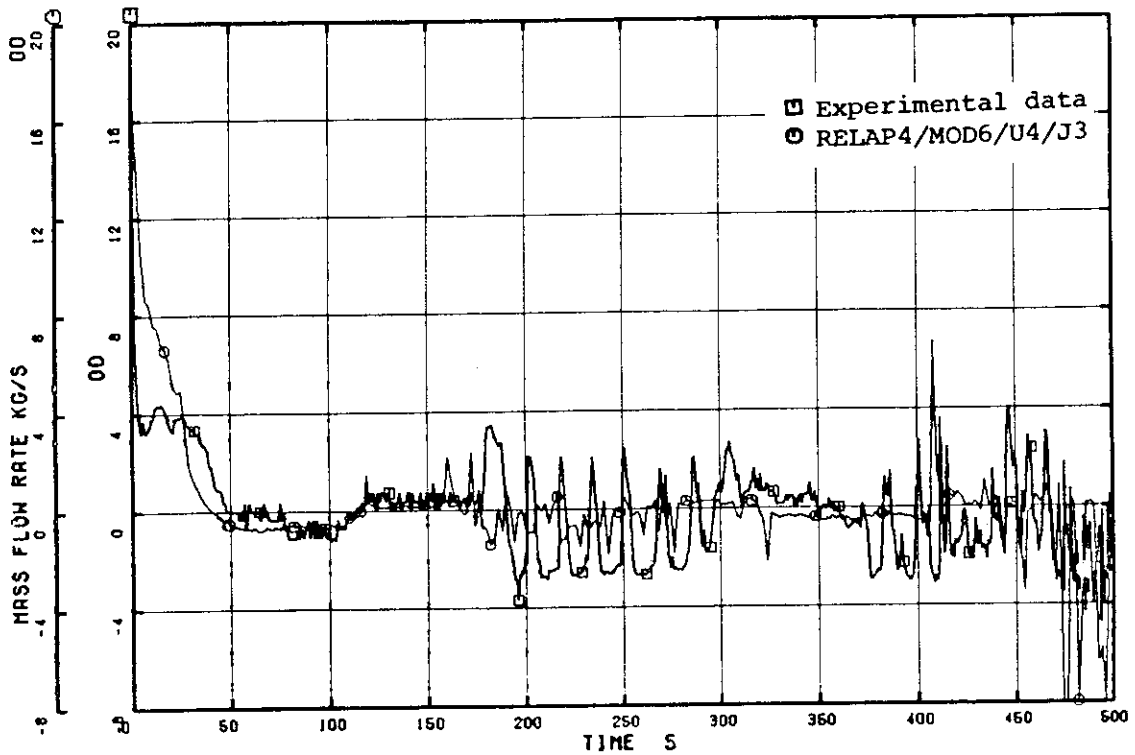


Fig. 4.6 Core inlet flows

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ SR 105 ○ R PRV14

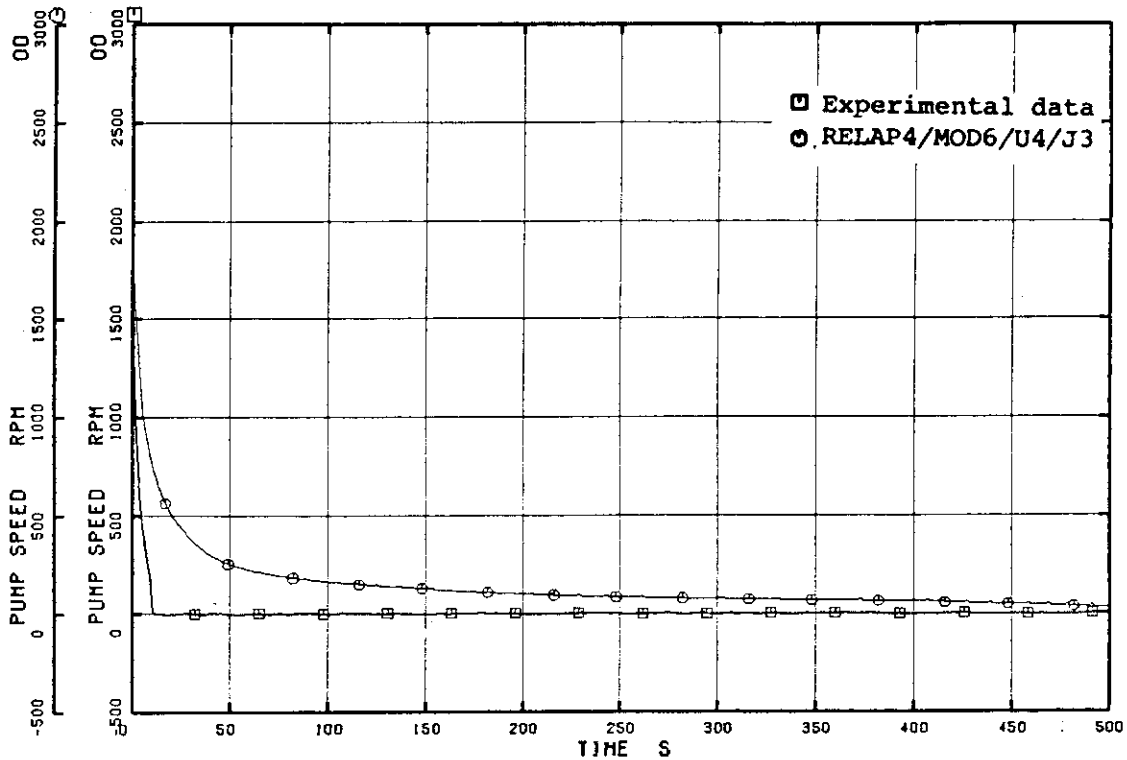


Fig. 4.7 Pump speeds

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ R JWJ37

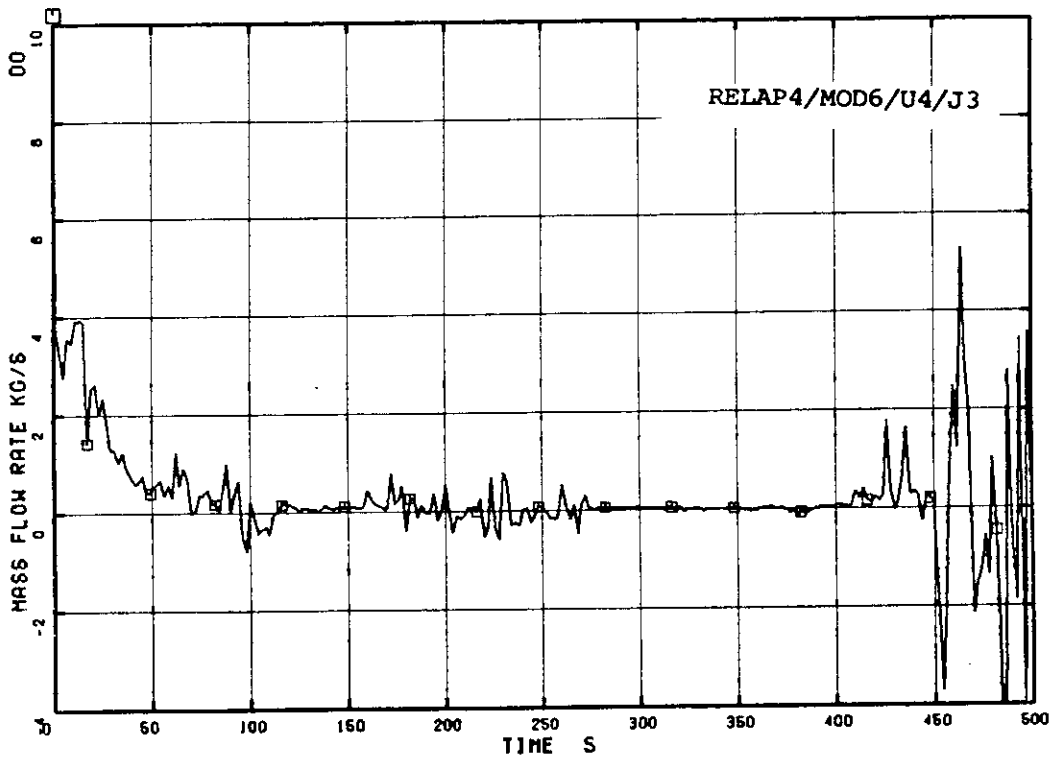


Fig. 4.8 High power channel inlet flow

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3
□ I R JWJ38

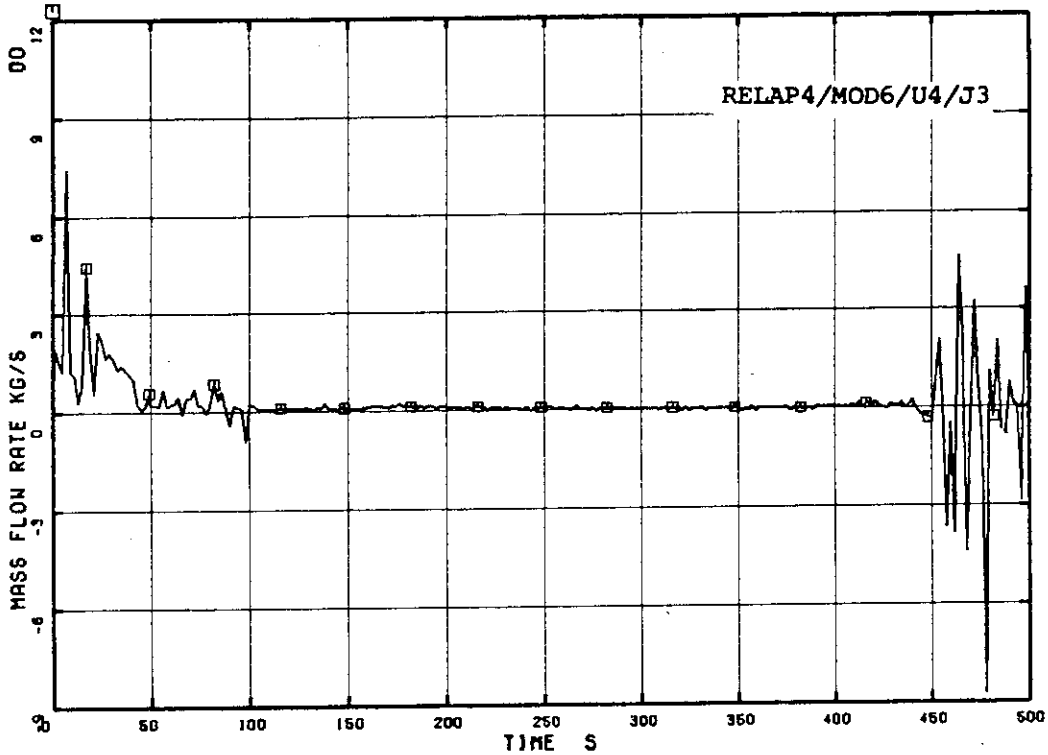


Fig. 4.9 High power channel outlet flow

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3
□ I R JWJ2

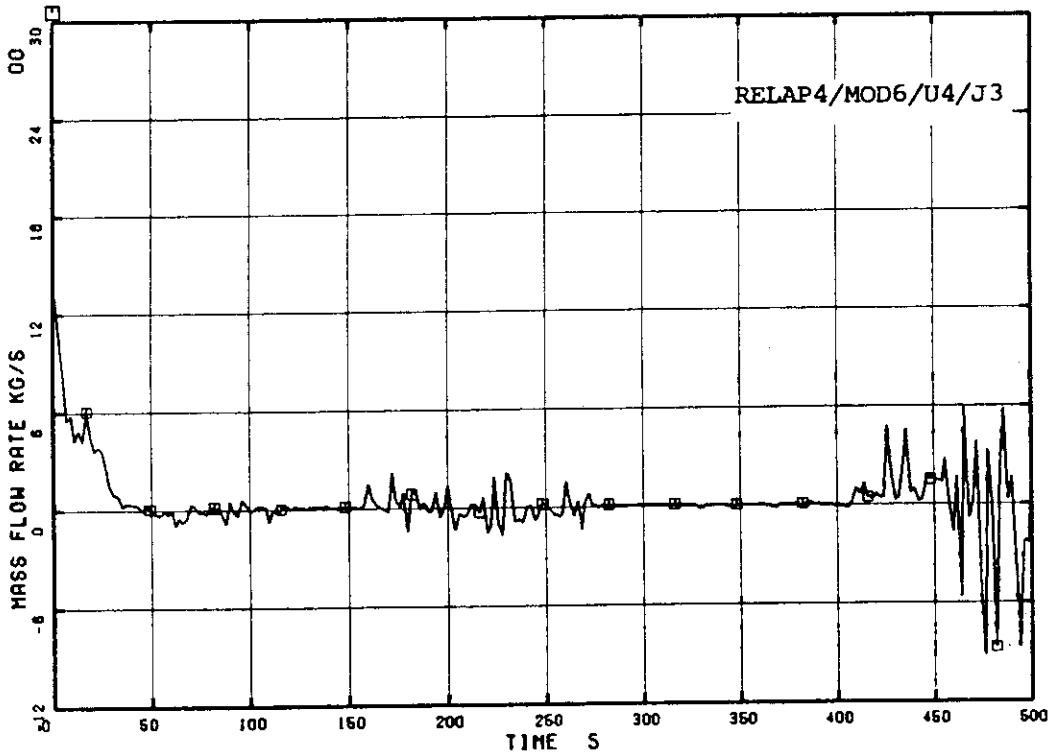


Fig. 4.10 Average power channel inlet flow

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3
□ R JWJ3

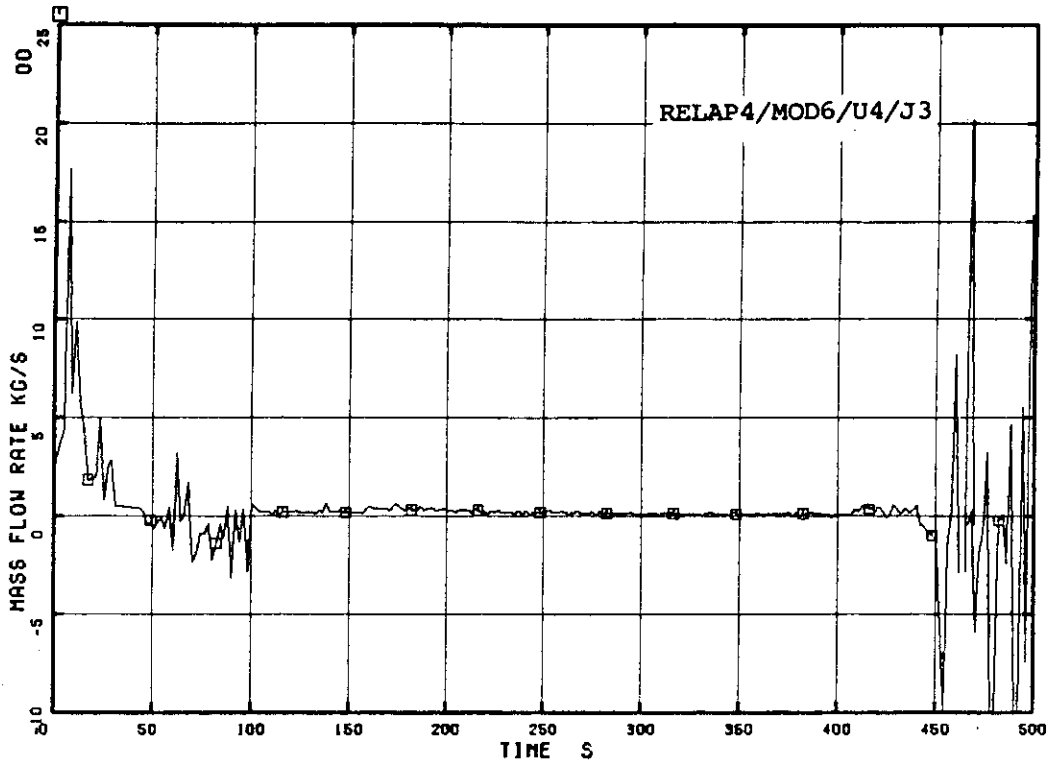


Fig. 4.11 Average power channel outlet flow

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3
□ R JWJ24

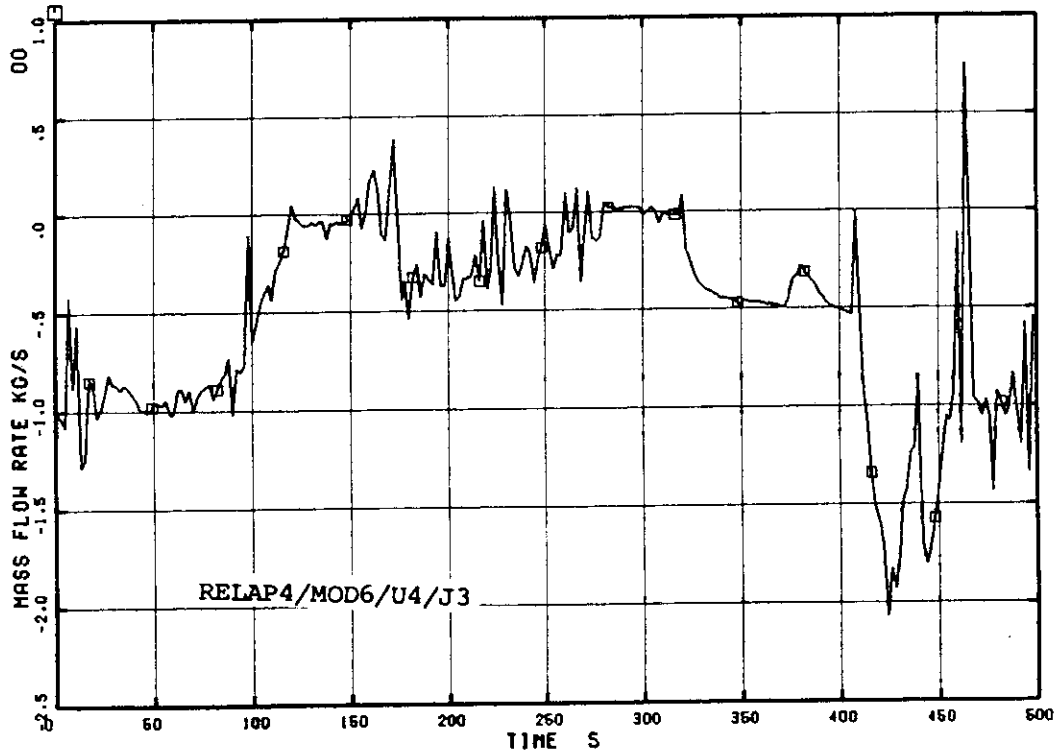


Fig. 4.12 Leak hole flow

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3
□ FM 715 ○ R JWJ6

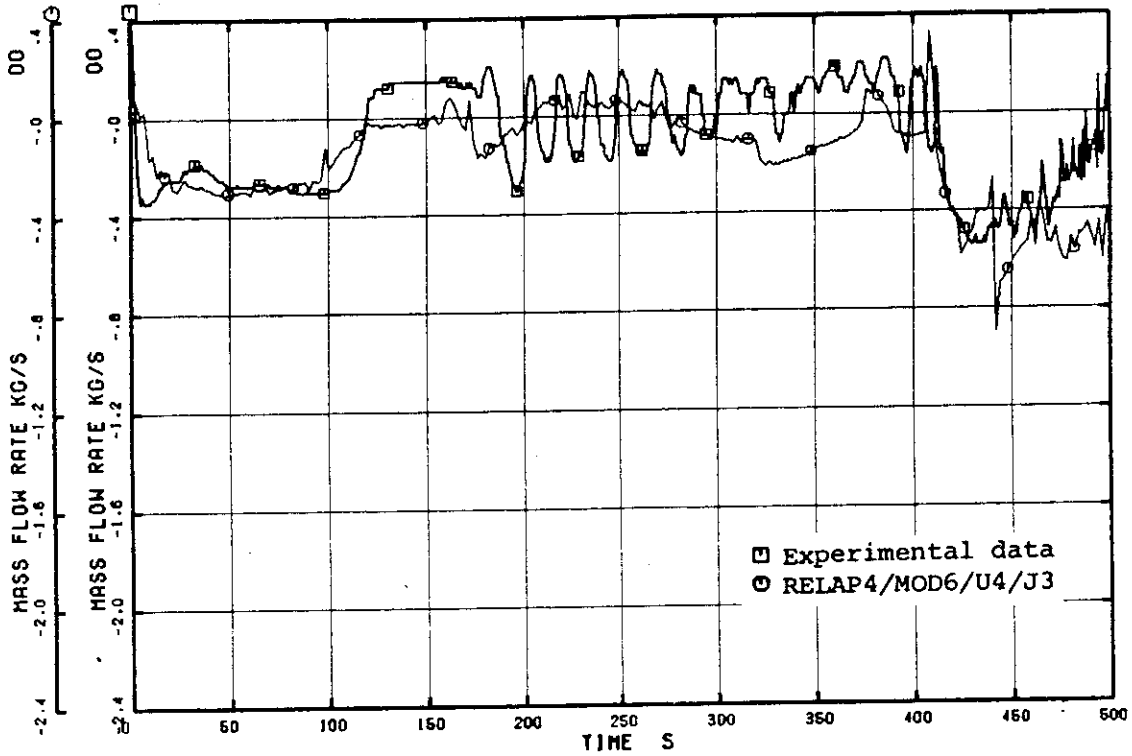


Fig. 4.13 Guide tube inlet flows

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3
□ R JWJ7

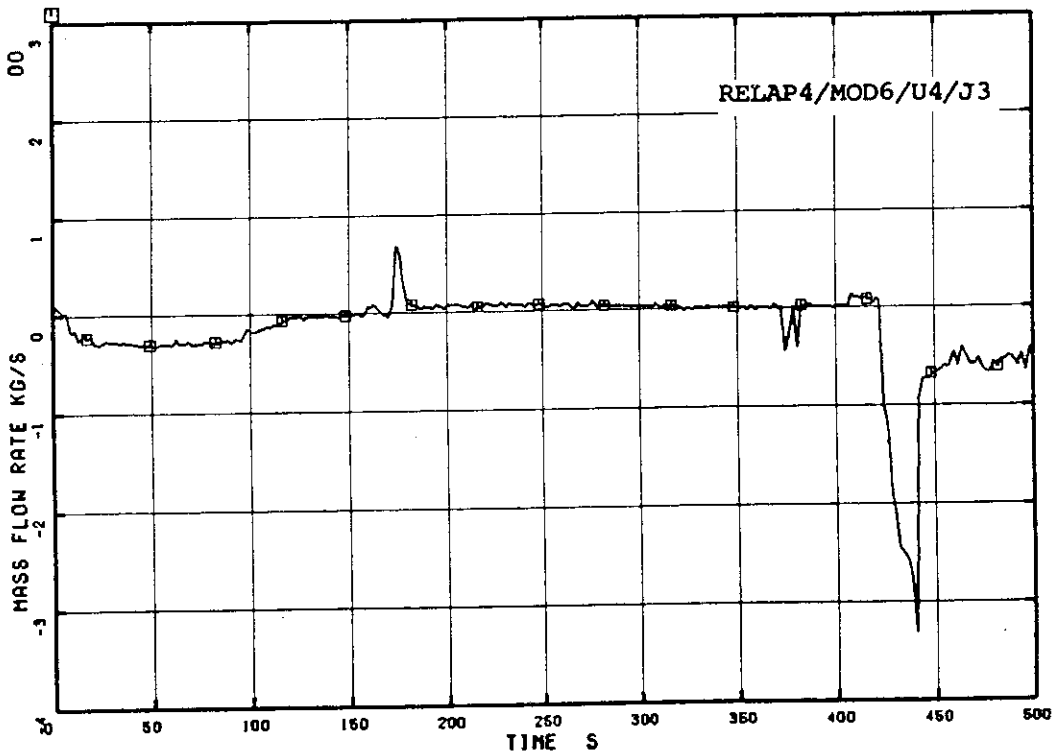


Fig. 4.14 Bypass inlet flow

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ R JWJ8

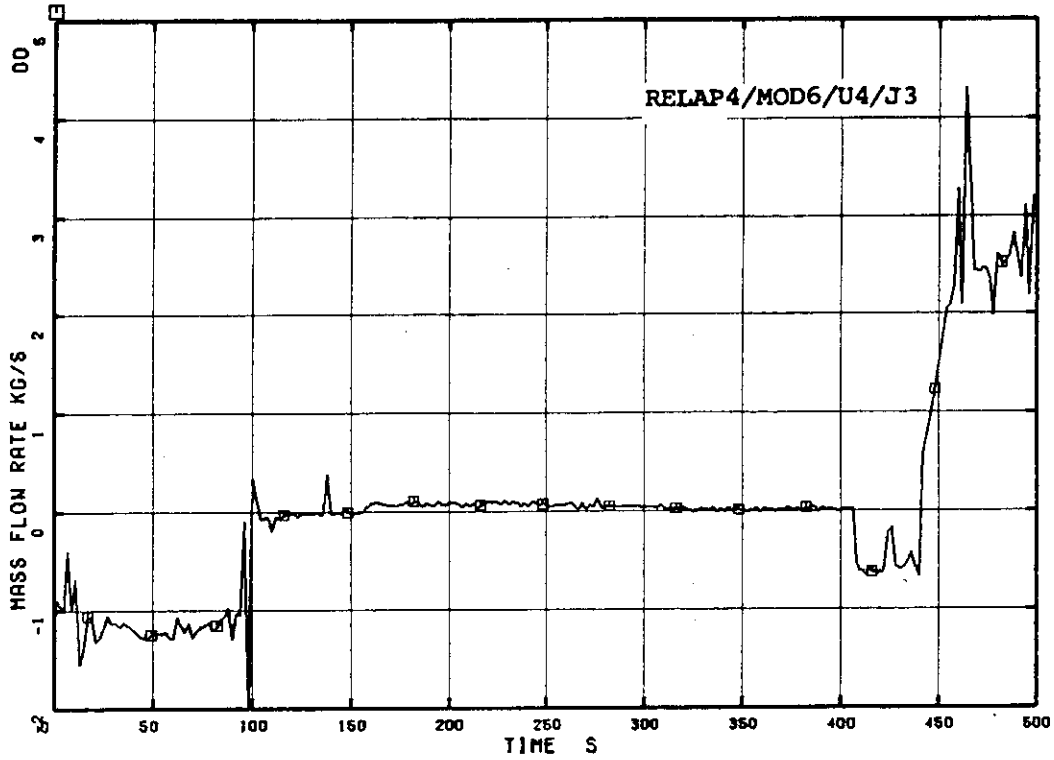


Fig. 4.15 Bypass outlet flow

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ R JWJ18

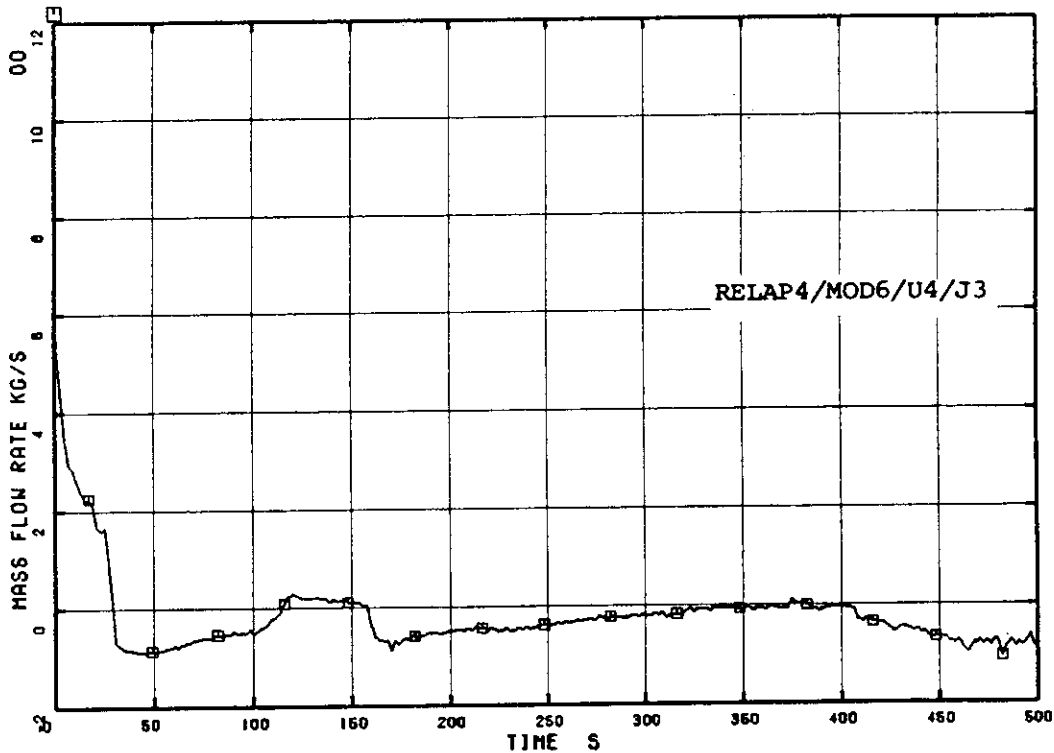


Fig. 4.16 Intact loop jet pump suction flow

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ R JWJ23

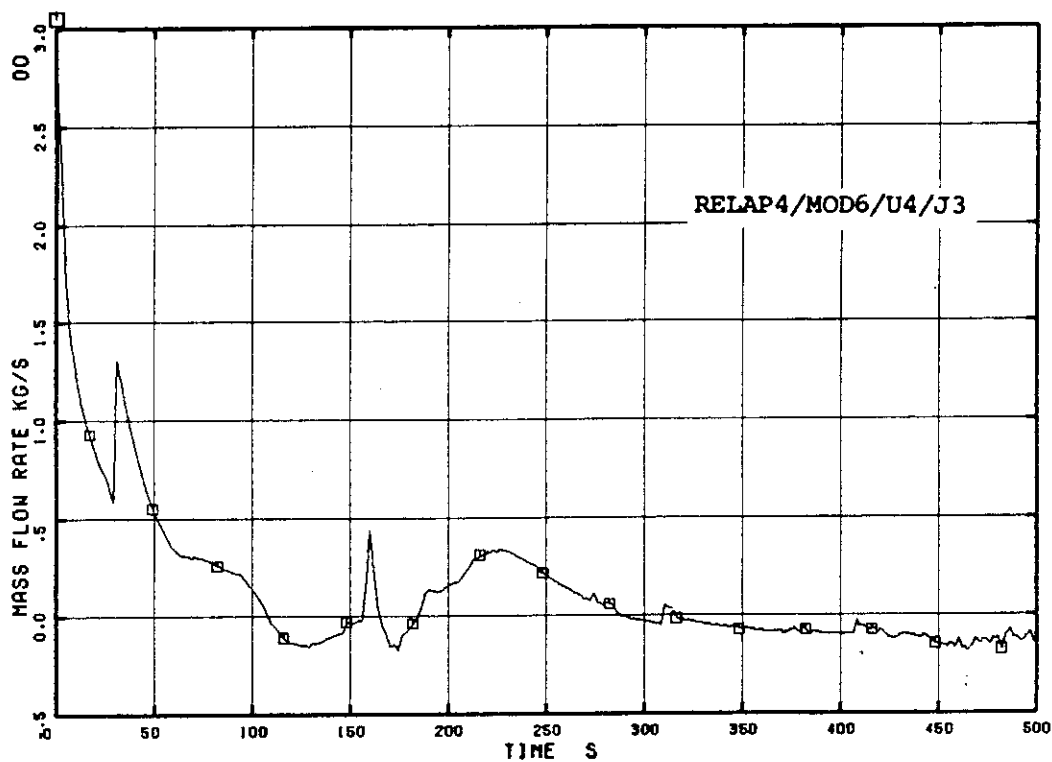


Fig. 4.17 Intact loop jet pump drive flow

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ R JWJ19

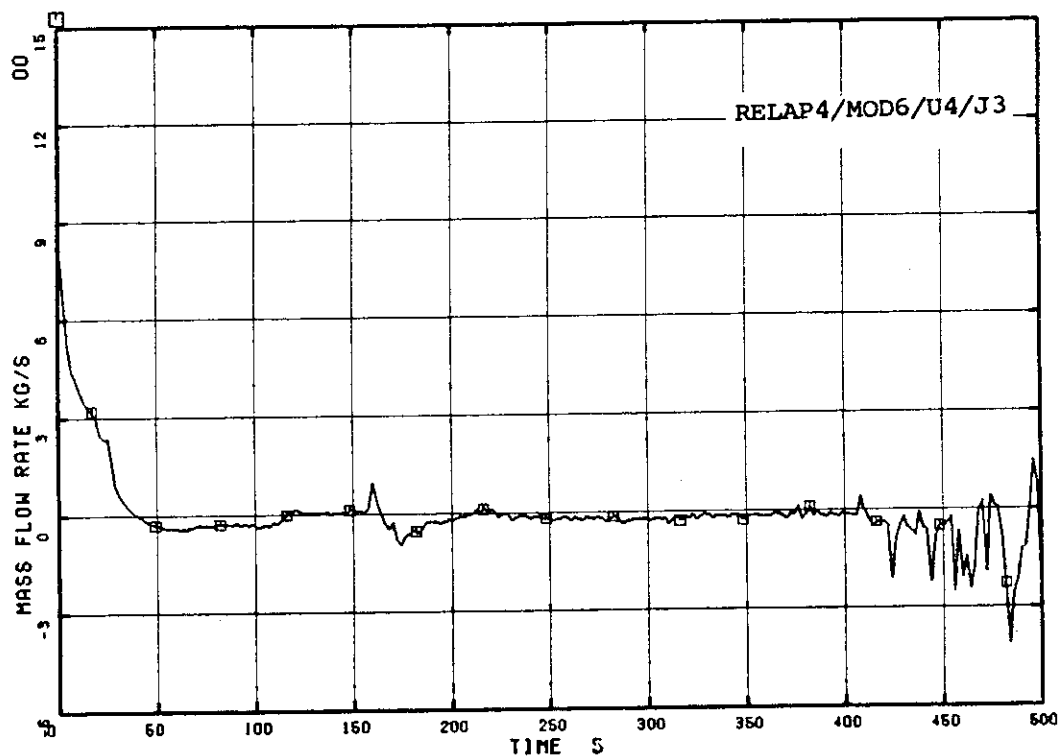


Fig. 4.18 Intact loop jet pump discharge flow

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3
□ R JWJ11

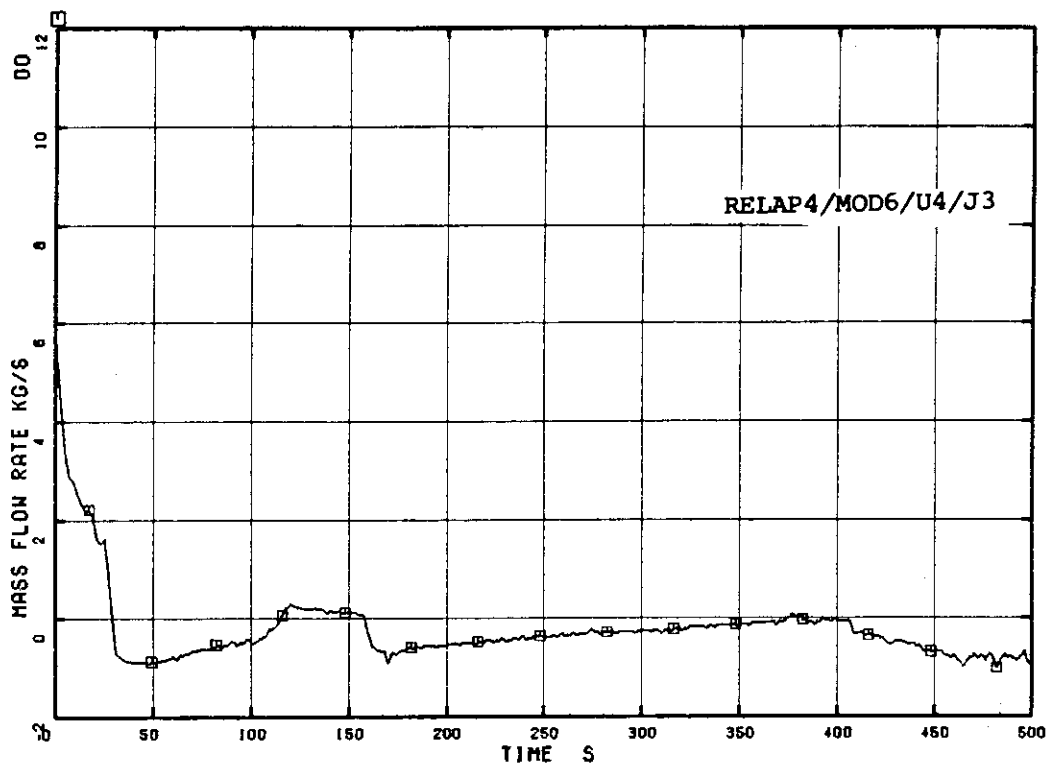


Fig. 4.19 Broken loop jet pump suction flow

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3
□ R JWJ16

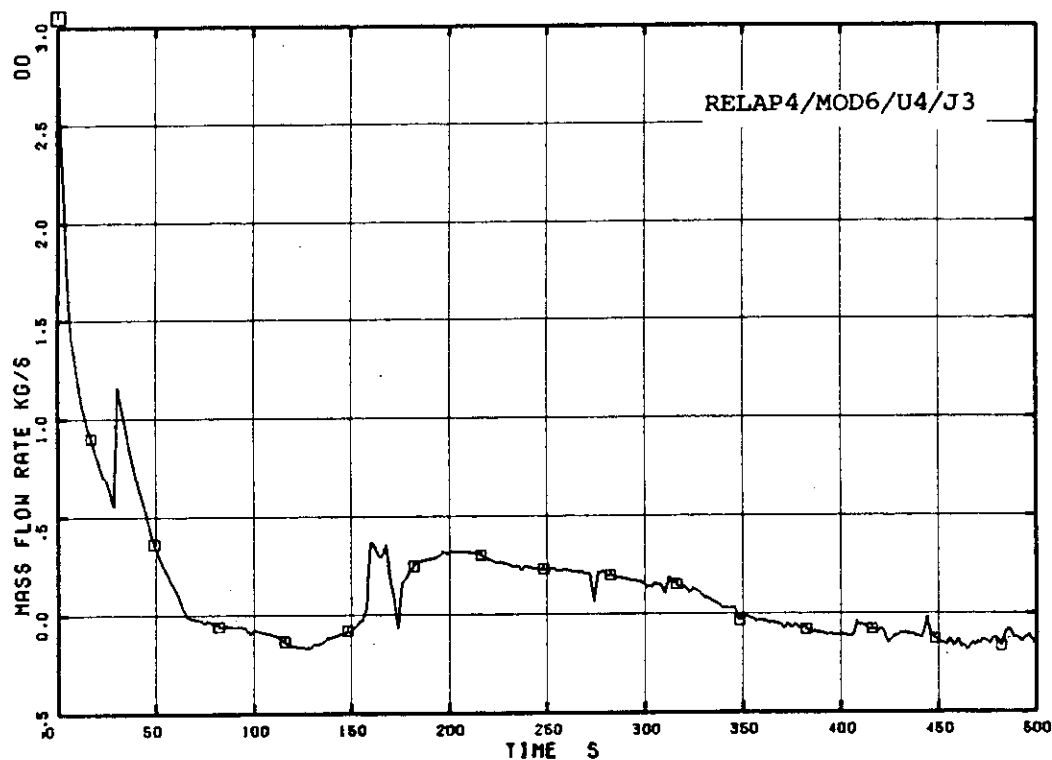


Fig. 4.20 Broken loop jet pump drive flow

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3
R JWJ12

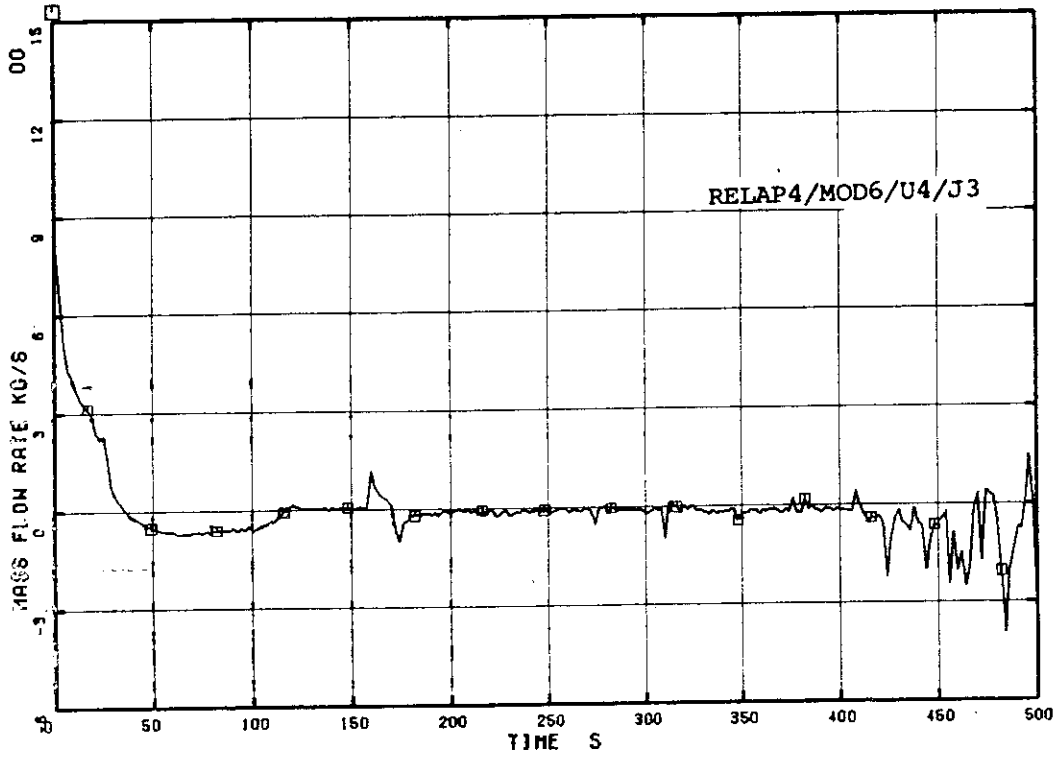


Fig. 4.21 Broken loop jet pump discharge flow

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3
R JWJ26

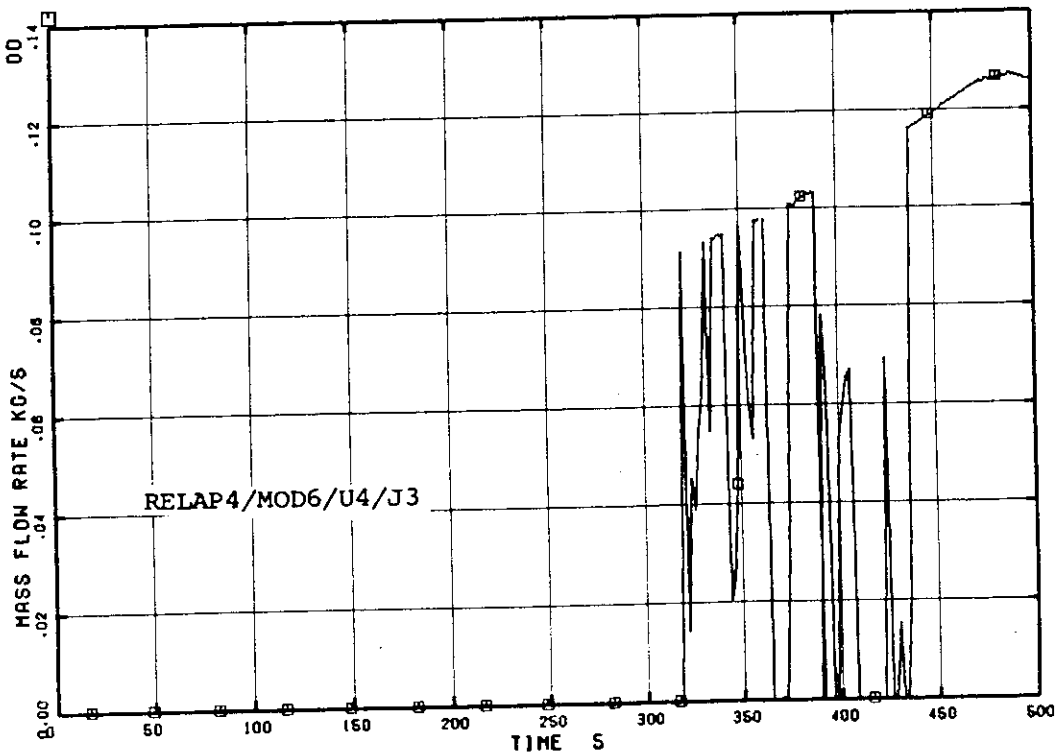


Fig. 4.22 LPCS flow into high power channel

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3
 □ R JWJ41

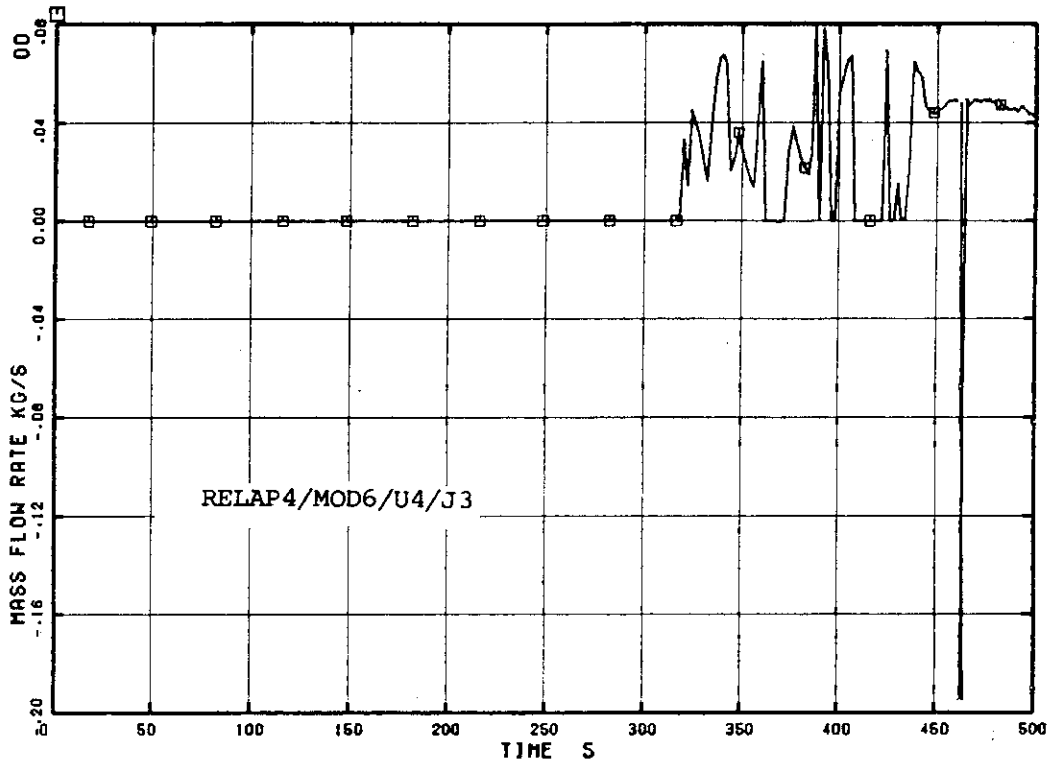


Fig. 4.23 Vapor flow of LPCS from high power channel

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3
 □ R JWJ40

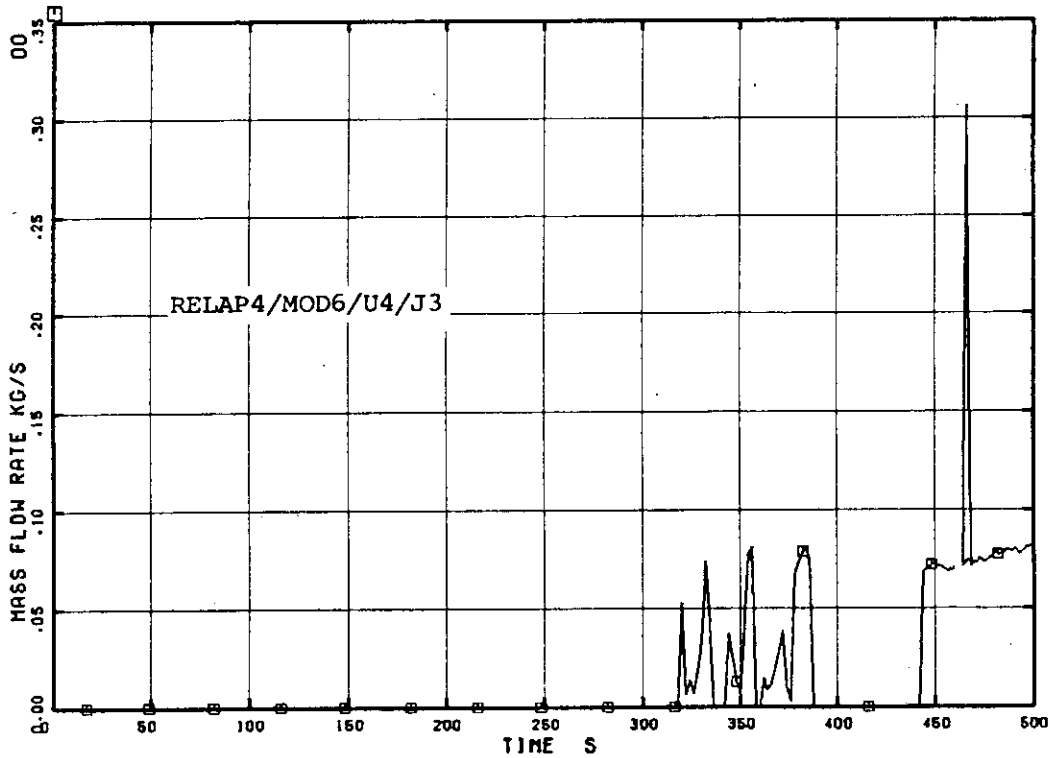


Fig. 4.24 Droplet flow of LPCS into high power channel

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3
R JWJ39

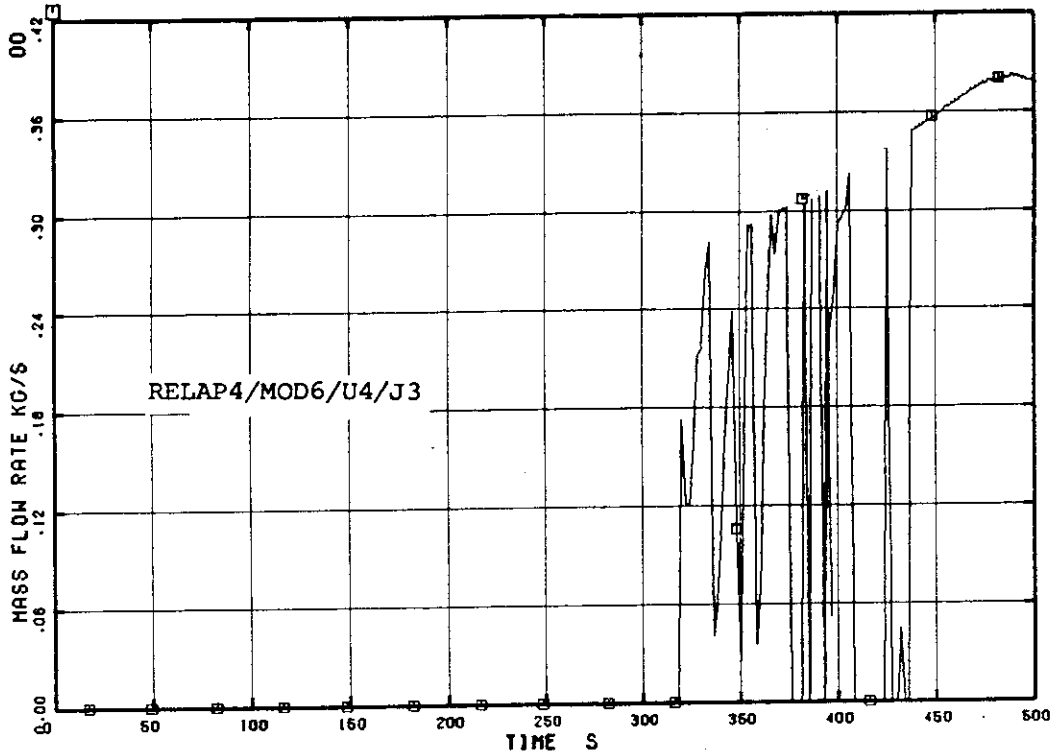


Fig. 4.25 LPCS flow into average power channel

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3
R JWJ29

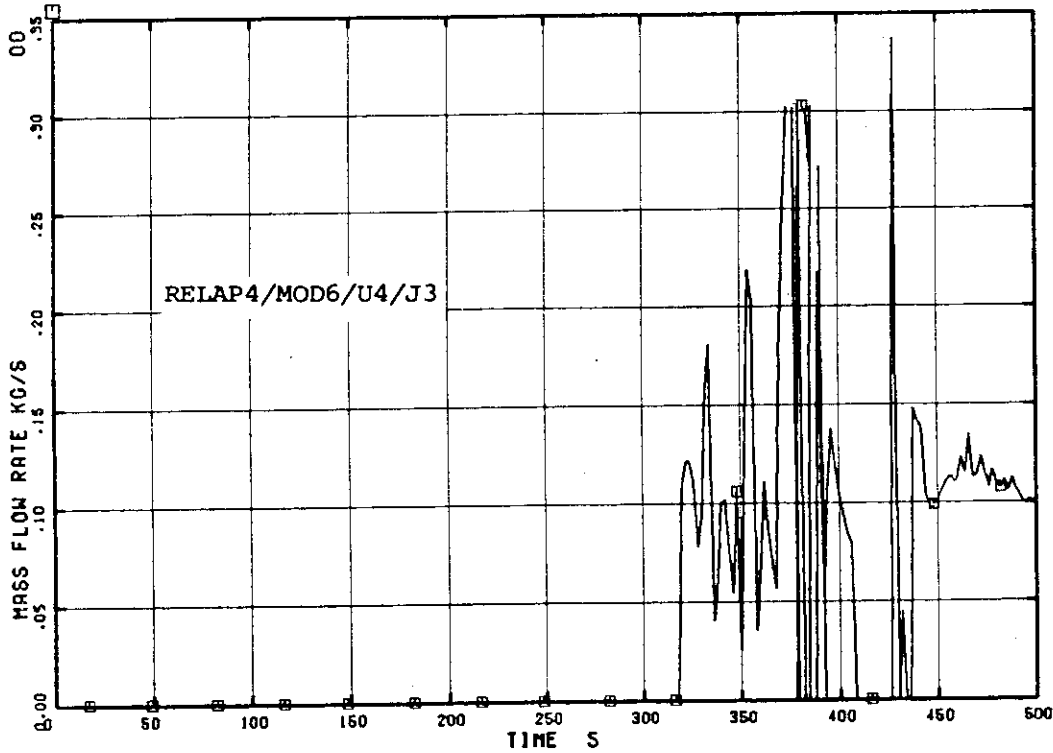


Fig. 4.26 Vapor flow of LPCS from average power channel

ROSA-III & BWR 5Z-BREAK ANALYSIS BY U4J3
□ R JWJ28

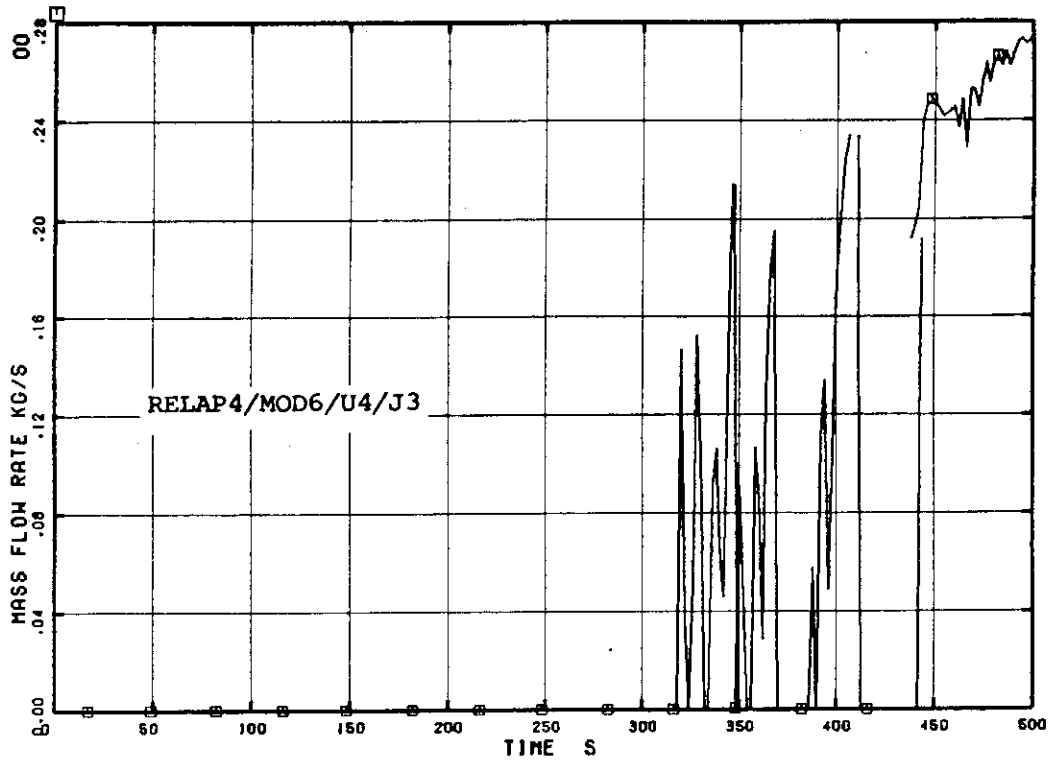


Fig. 4.27 Droplet flow of LPCS into average power channel

ROSA-III & BWR 5Z-BREAK ANALYSIS BY U4J3
□ R JWJ27

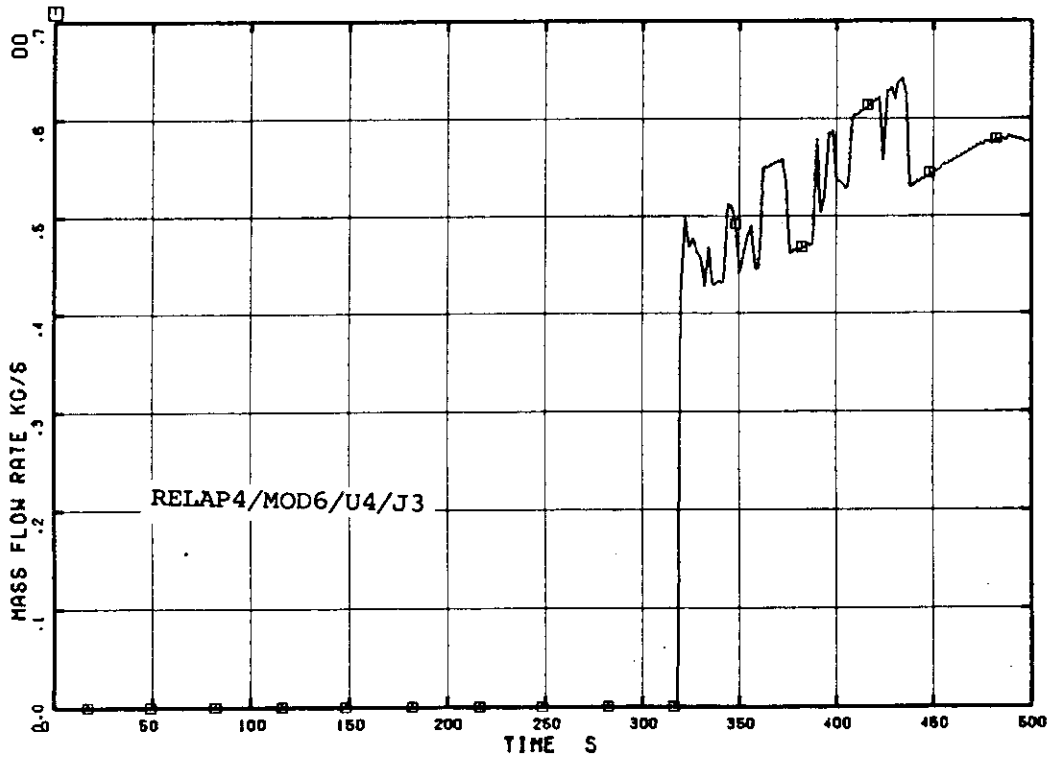


Fig. 4.28 LPCS flow into core bypass

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3
 □ FV 74 ○ R JMJ10

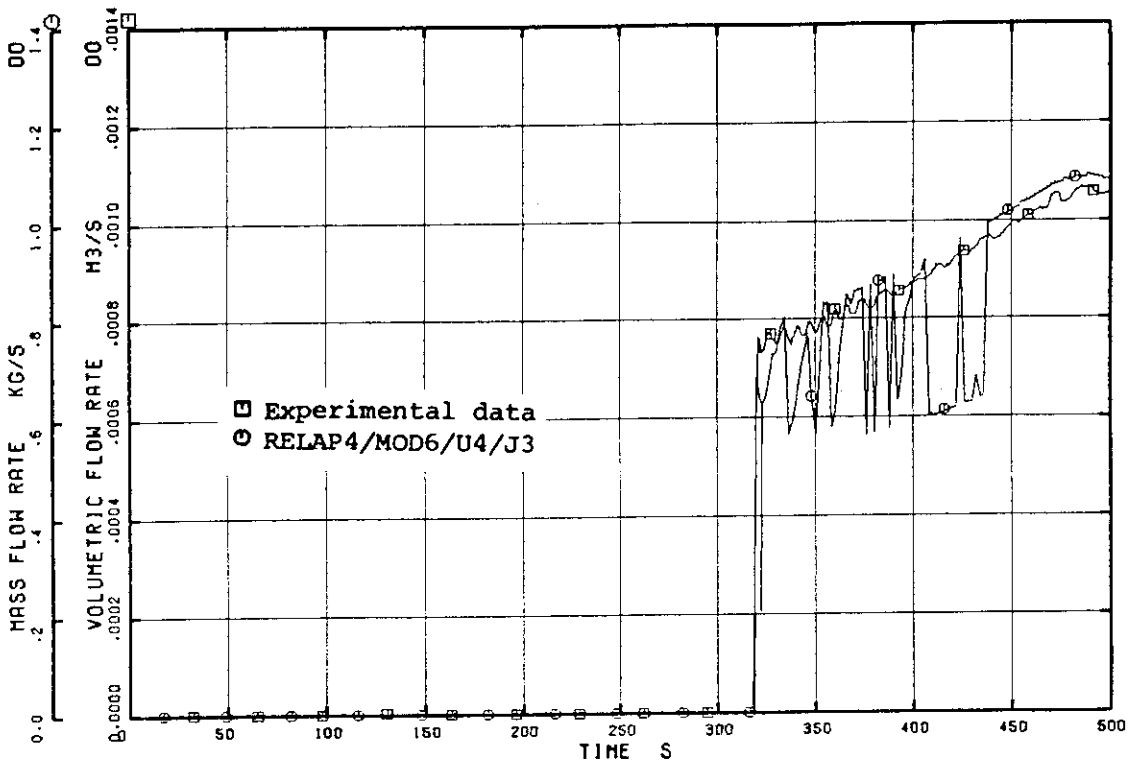


Fig. 4.29 Comparison of injected and net LPCS flows

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3
 □ R HLV4

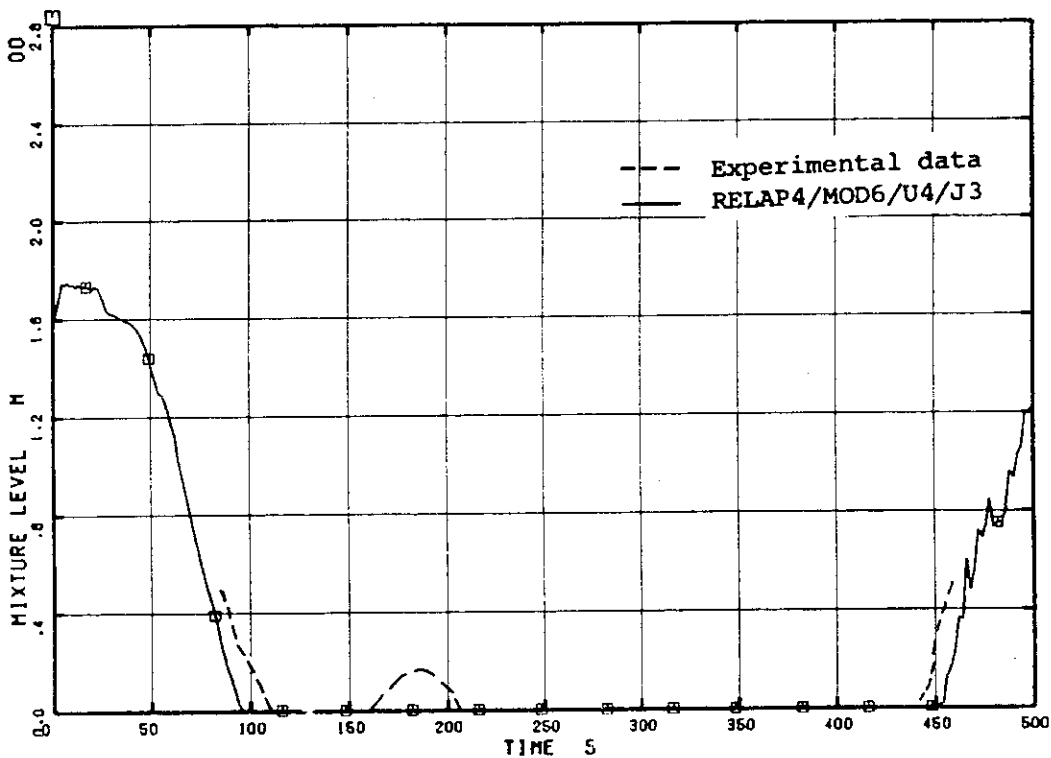


Fig. 4.30 Mixture levels in upper plenum

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3
 □ I R MLV22

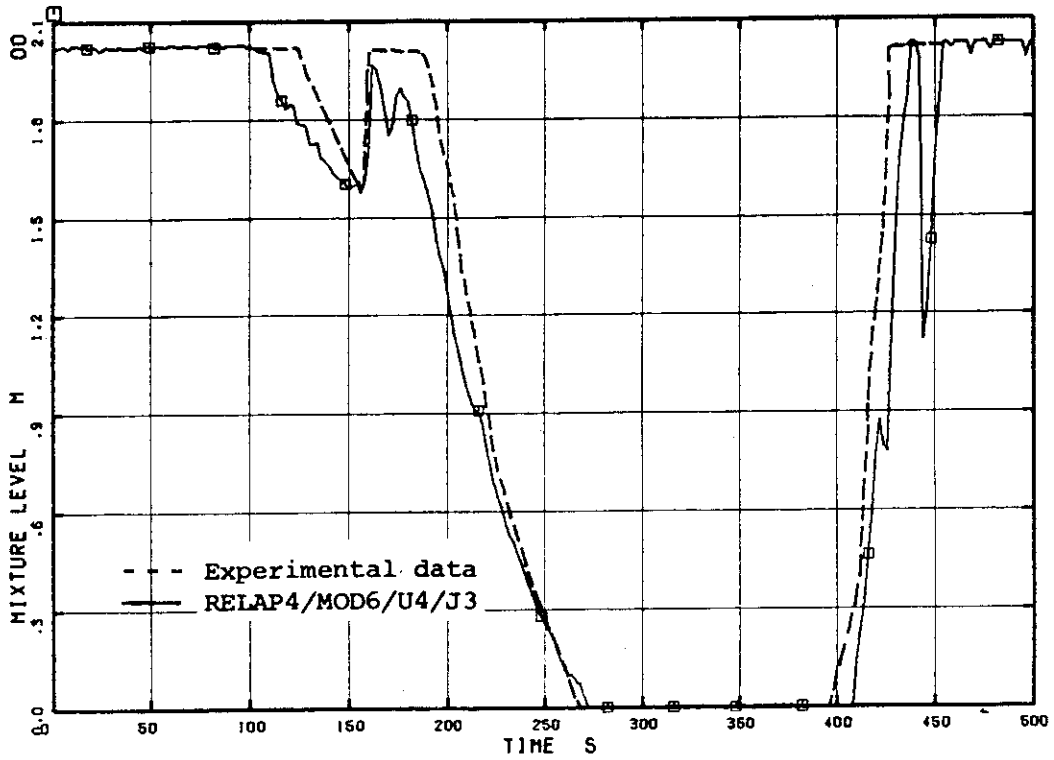


Fig. 4.31 Mixture levels in high power channel

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3
 □ I R MLV3

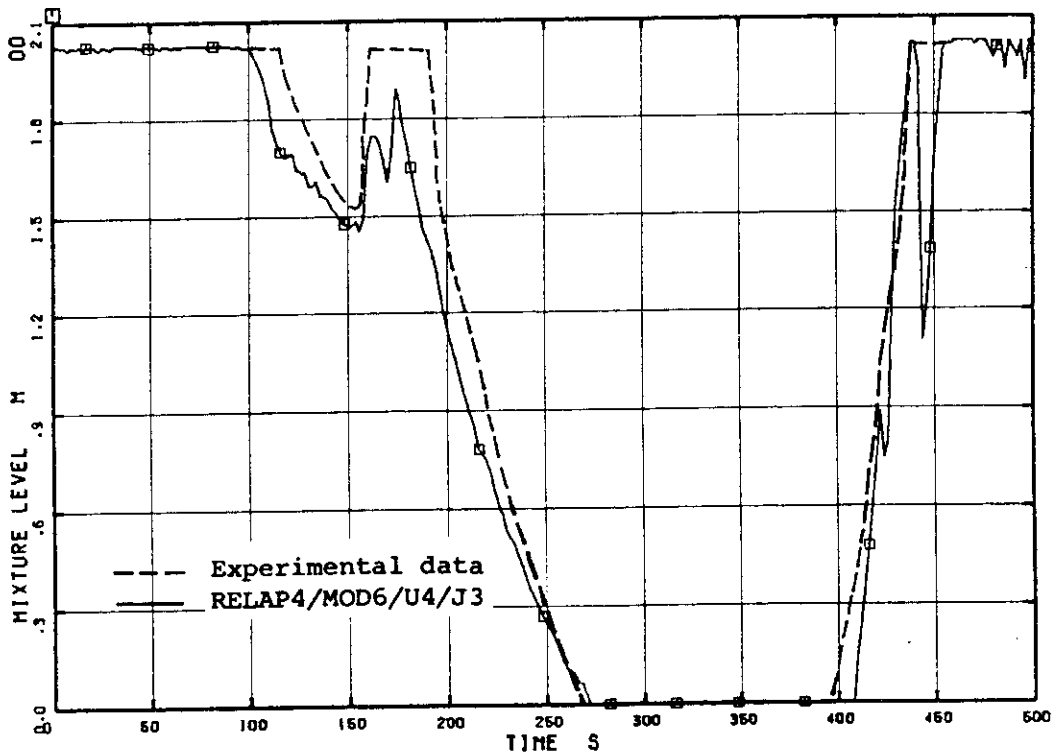


Fig. 4.32 Mixture levels in average power channel

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ I R MLV2 ○ I R MLV1

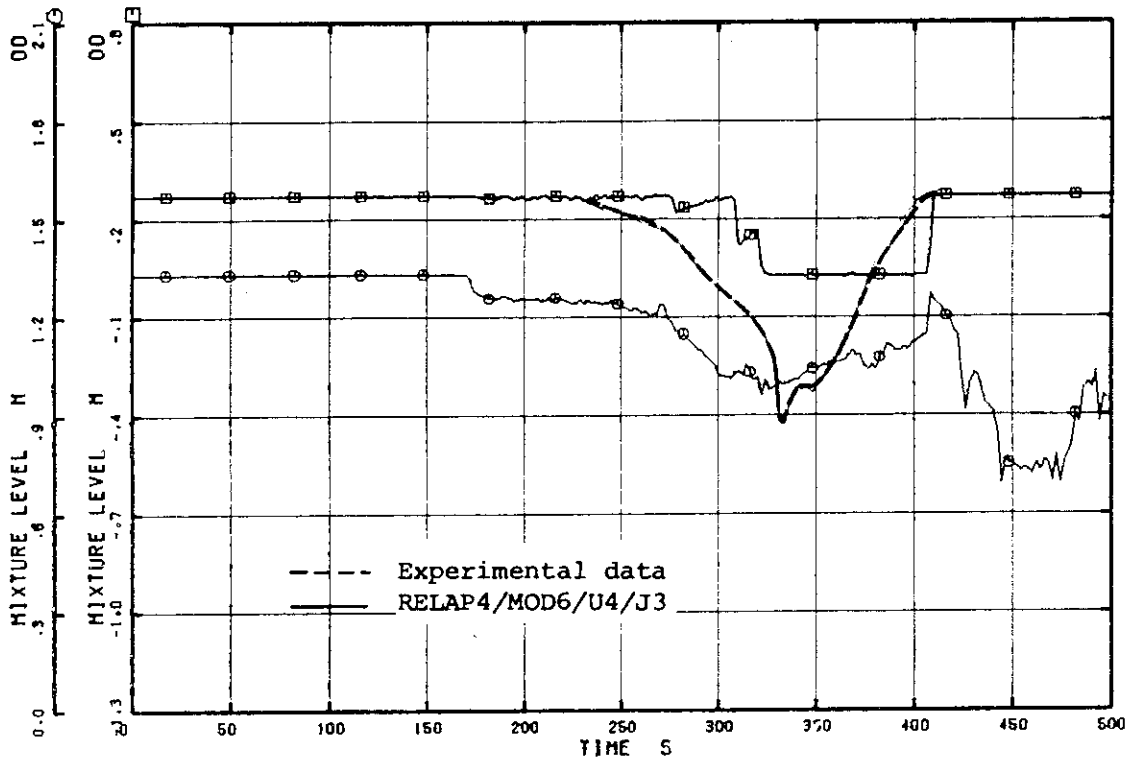


Fig. 4.33 Mixture levels in lower plenum and core inlet region

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ I R MLV5 ○ I R MLV9

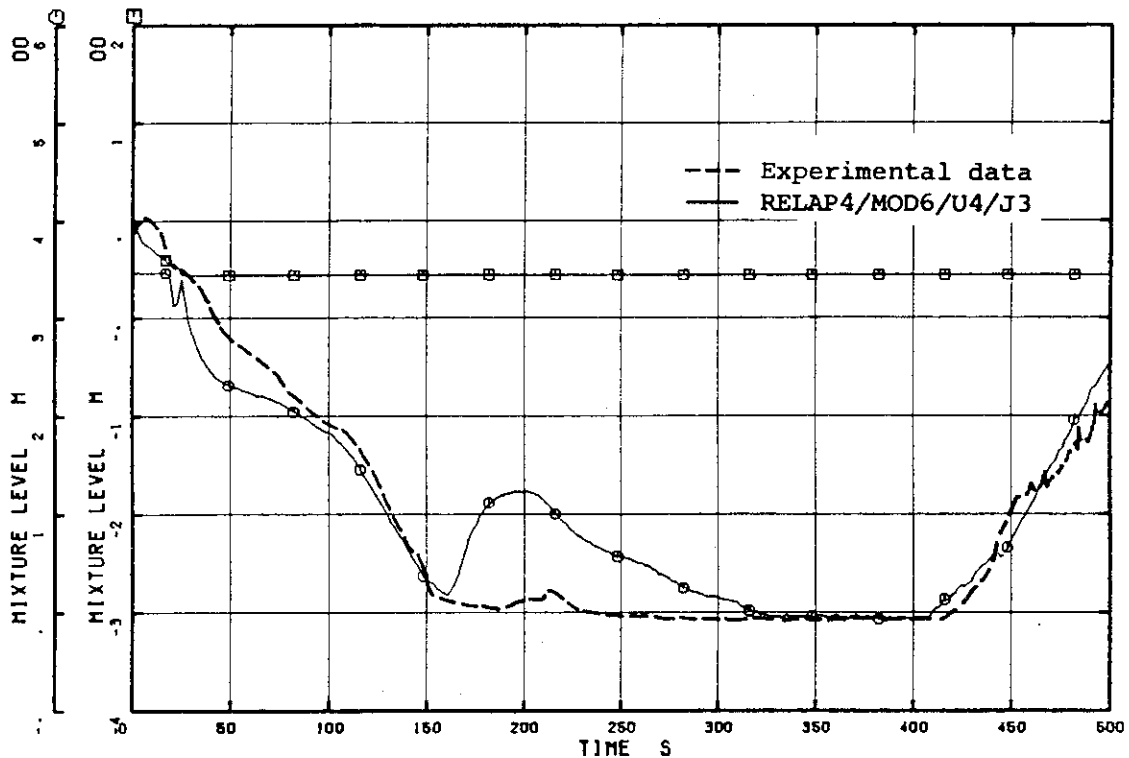


Fig. 4.34 Collapsed water levels in downcomer

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ TE 233 ○ TE 298 △ R SRS14

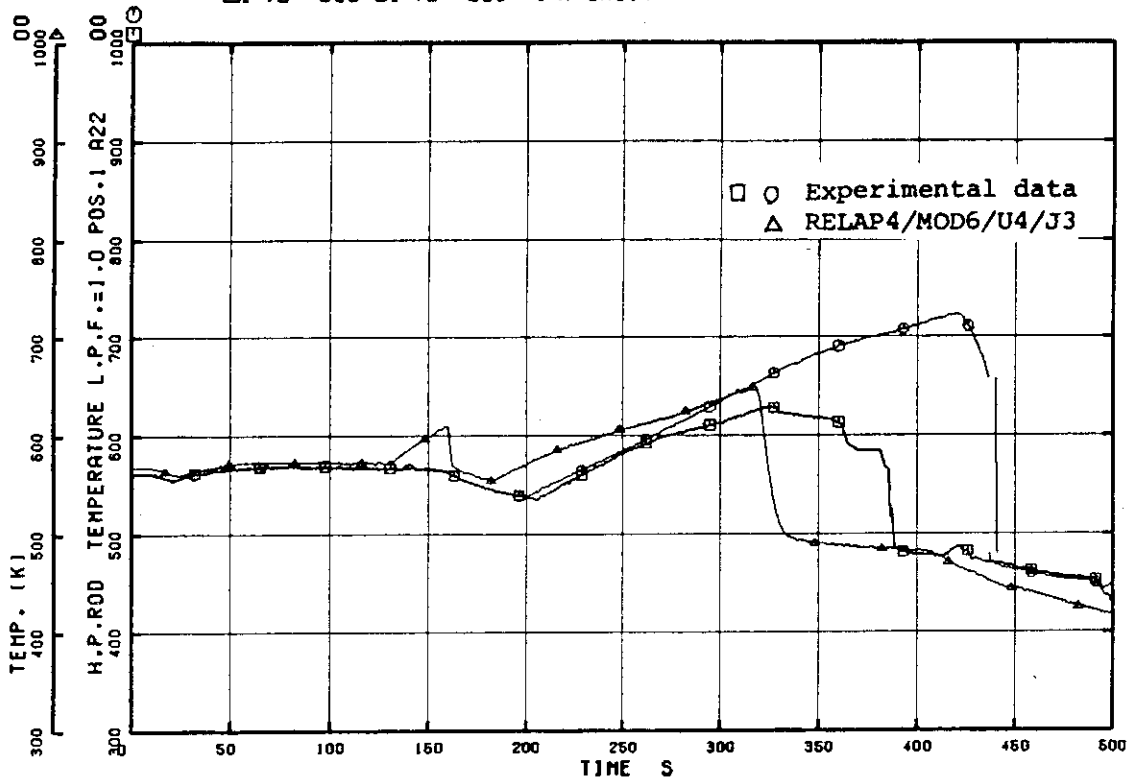


Fig. 4.35 Heater surface temperatures of high power channel (Pos.1)

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ TE 234 ○ TE 299 △ R SRS13

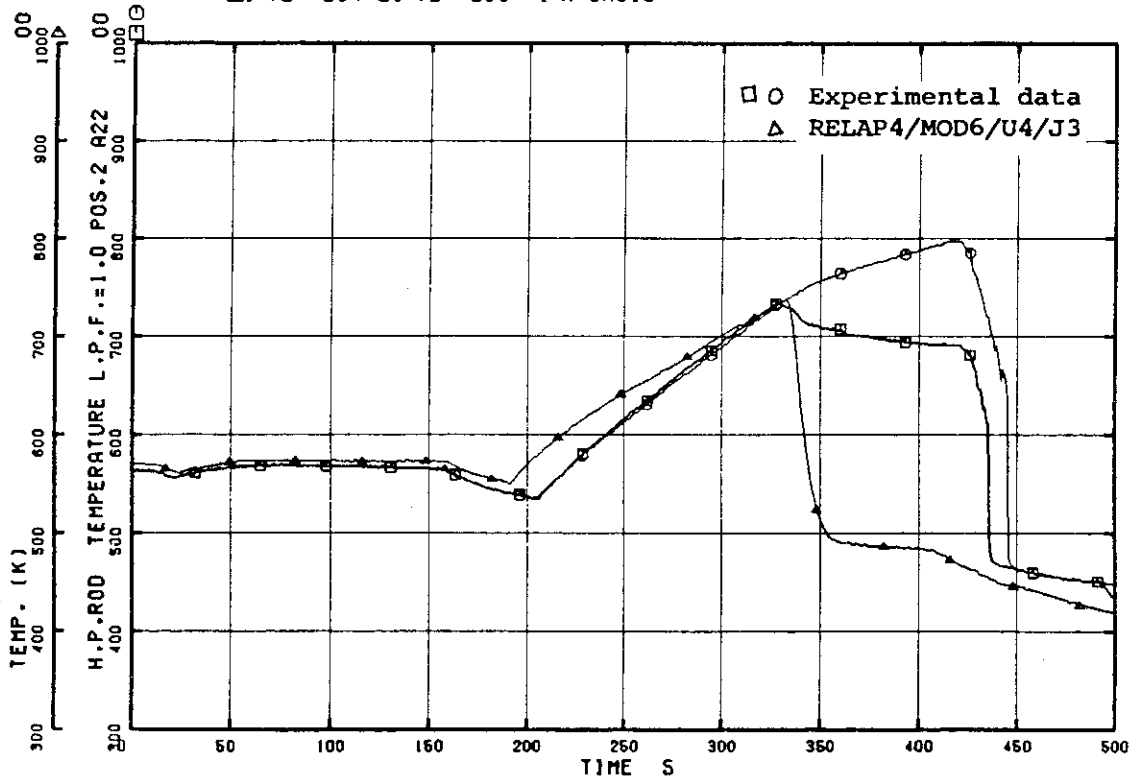


Fig. 4.36 Heater surface temperatures of high power channel (Pos.2)

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ TE 235 ○ TE 300 △ R SRS12

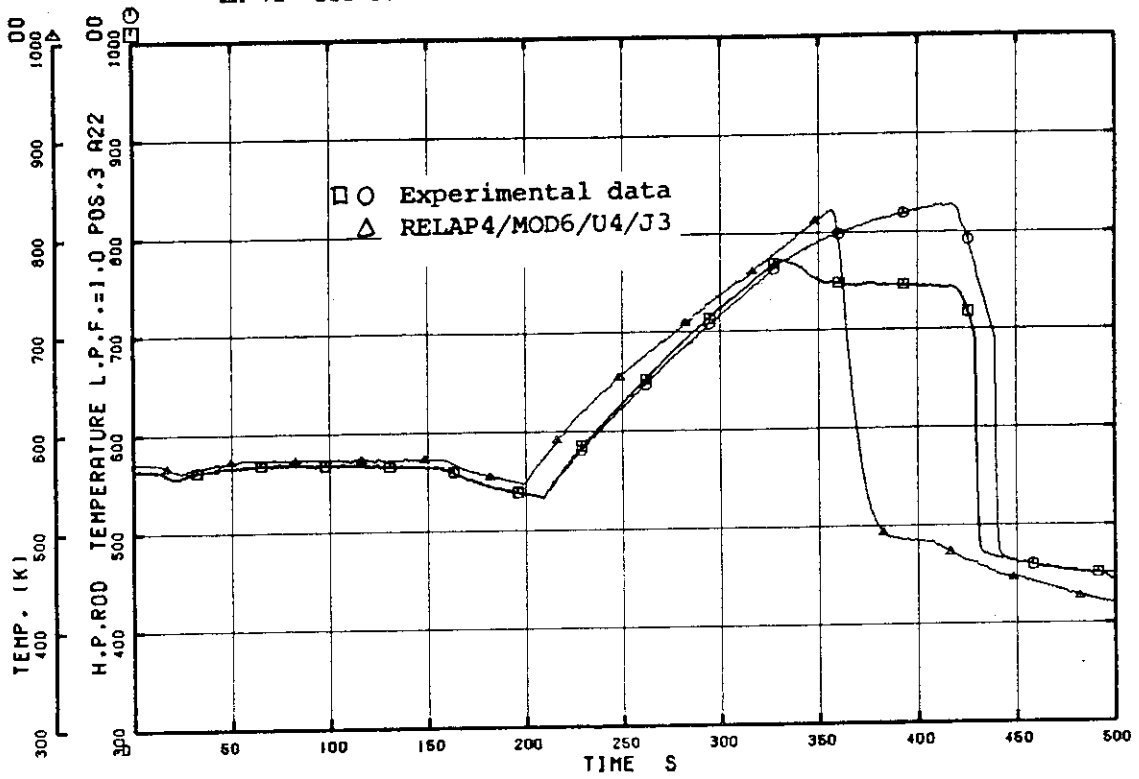


Fig. 4.37 Heater surface temperatures of high power channel (Pos.3)

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ TE 236 ○ TE 301 △ TE 285 + TE 308 ◇ R SRS11

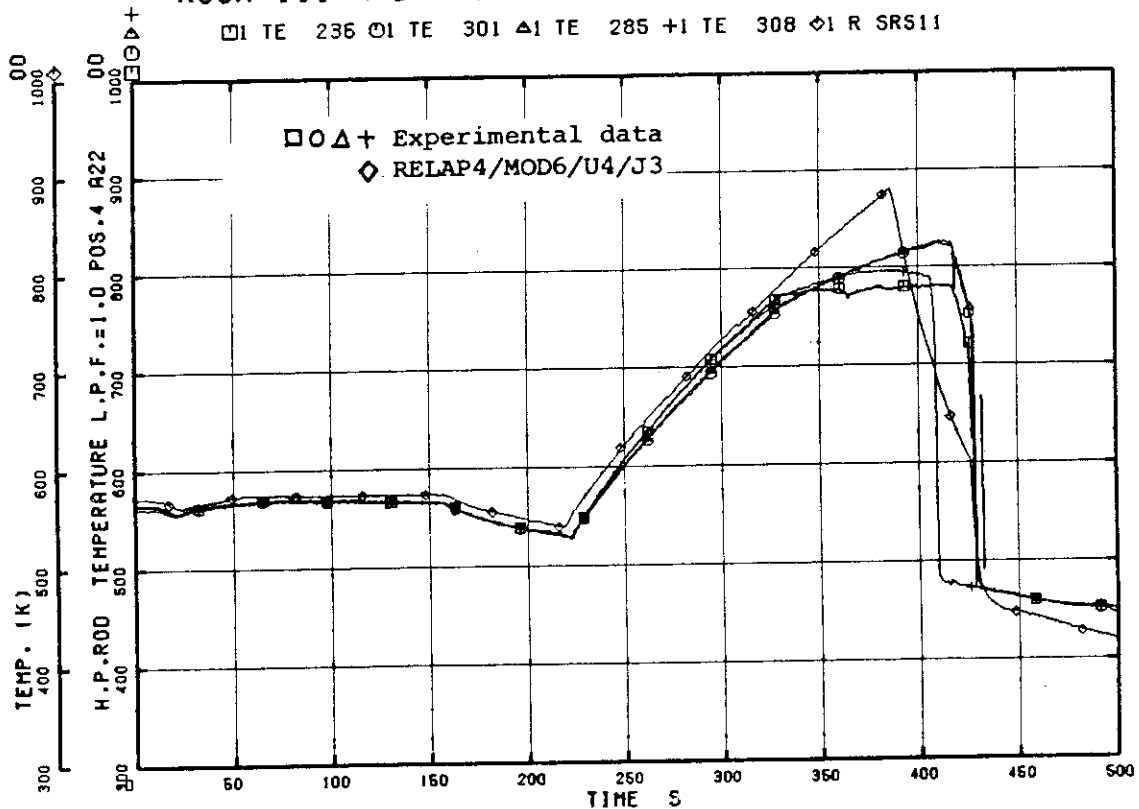


Fig. 4.38 Heater surface temperatures of high power channel (Pos.4)

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ TE 237 ○ TE 302 ▲ R SRS10

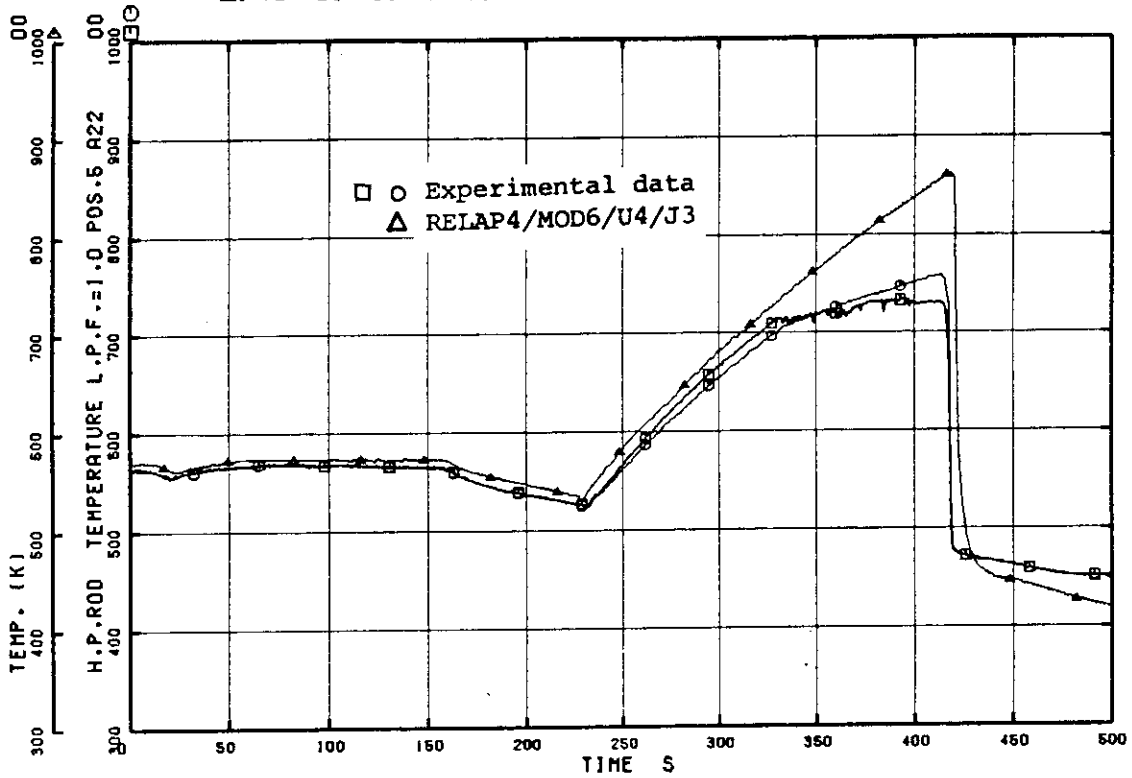


Fig. 4.39 Heater surface temperatures of high power channel (Pos.5)

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ TE 238 ○ TE 303 ▲ R SRS9

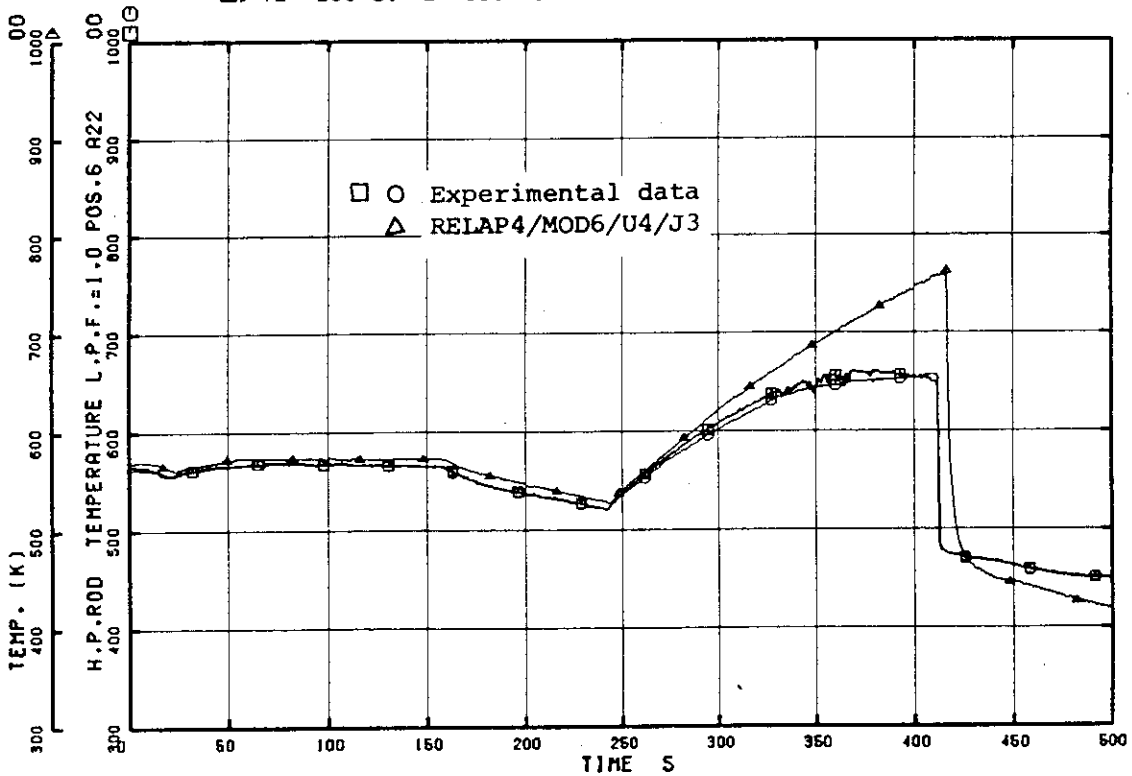


Fig. 4.40 Heater surface temperatures of high power channel (Pos.6)

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ TE 239 ○ R SR58

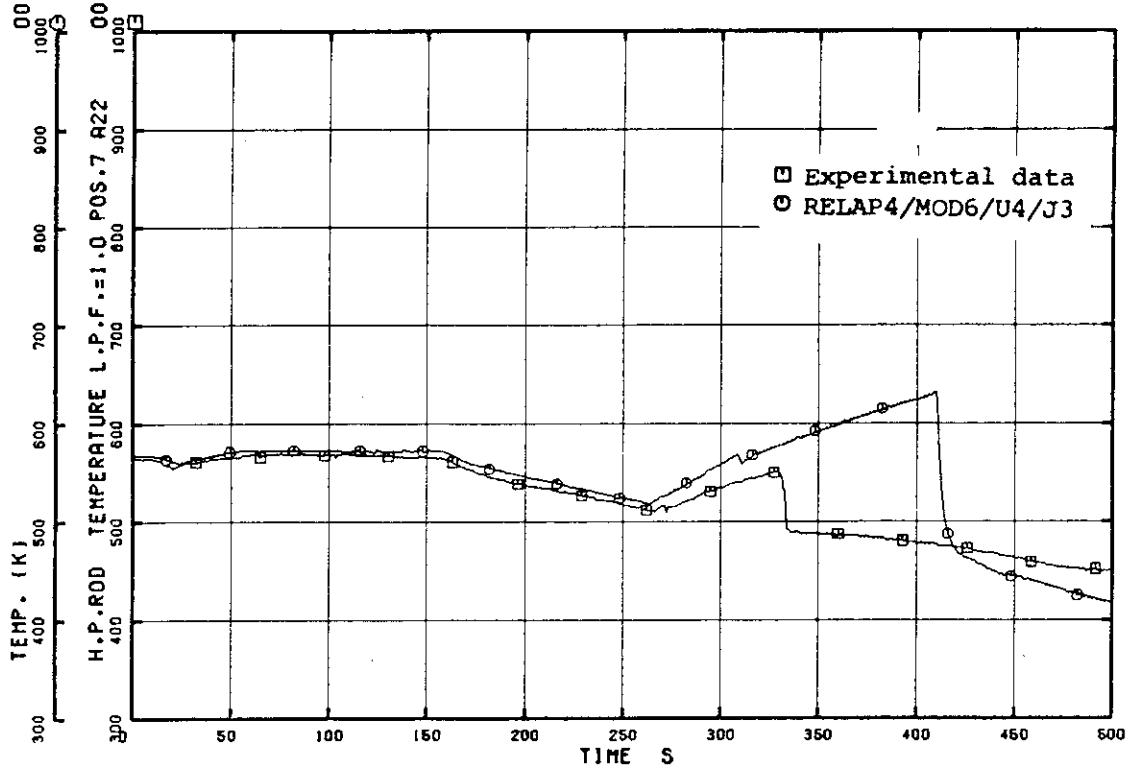


Fig. 4.41 Heater surface temperatures of high power channel (Pos.7)

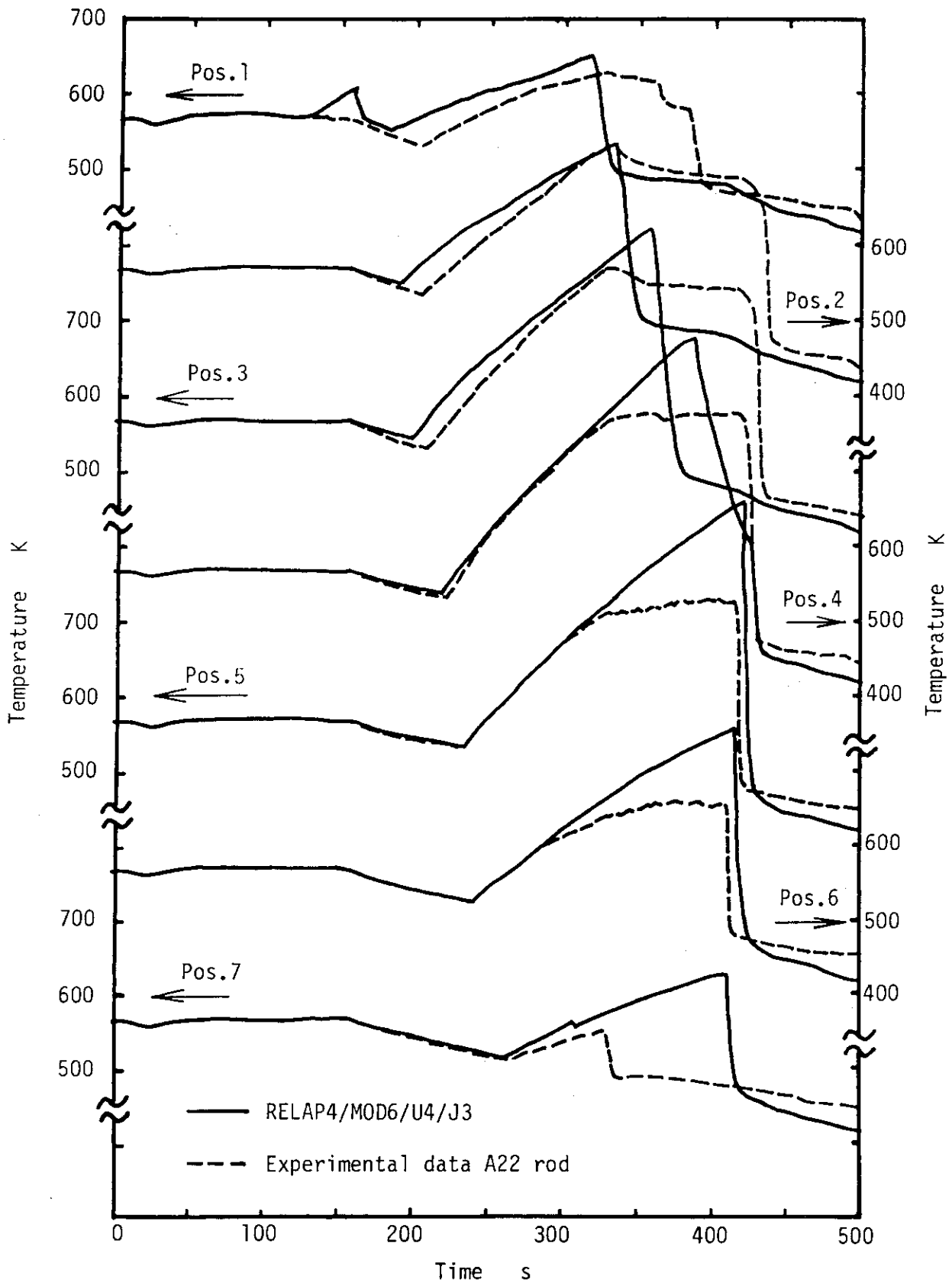


Fig.4.42 Heater surface temperatures of high power channel

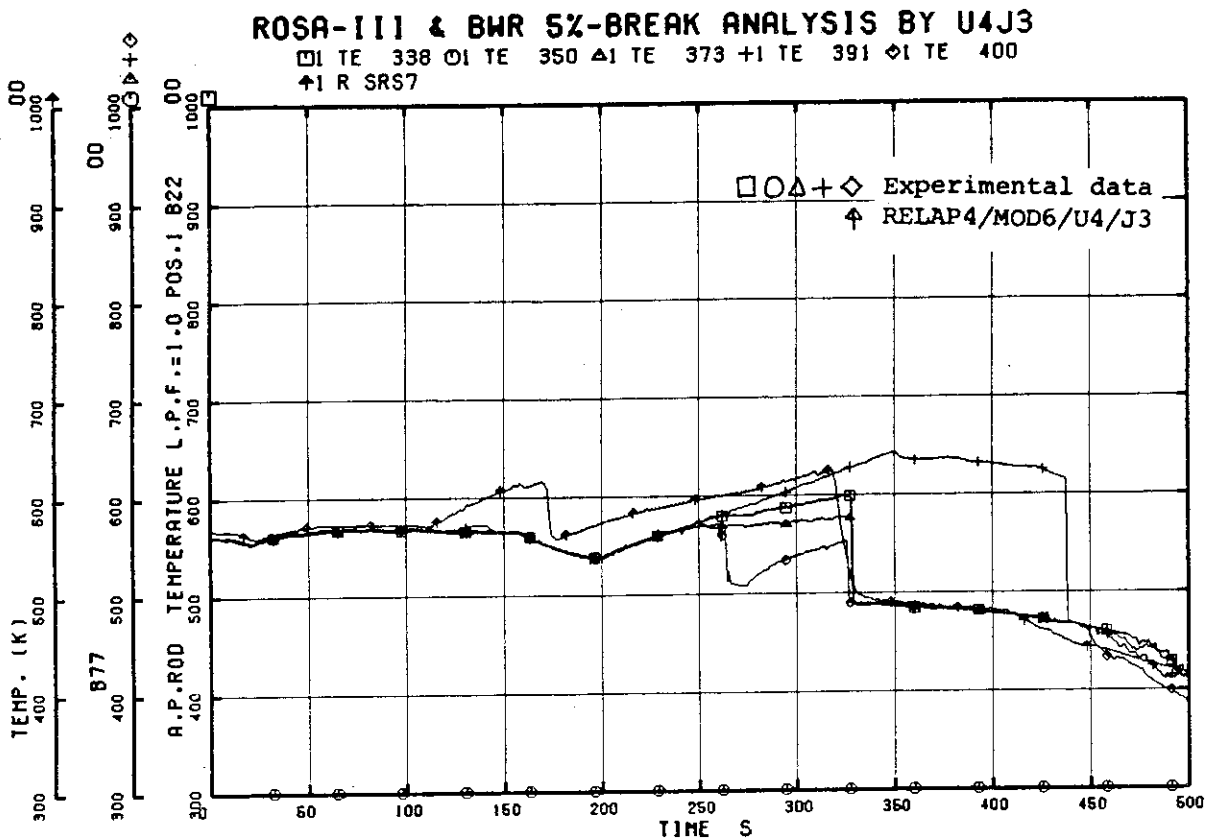


Fig. 4.43 Heater surface temperatures of average power channel (Pos.1)

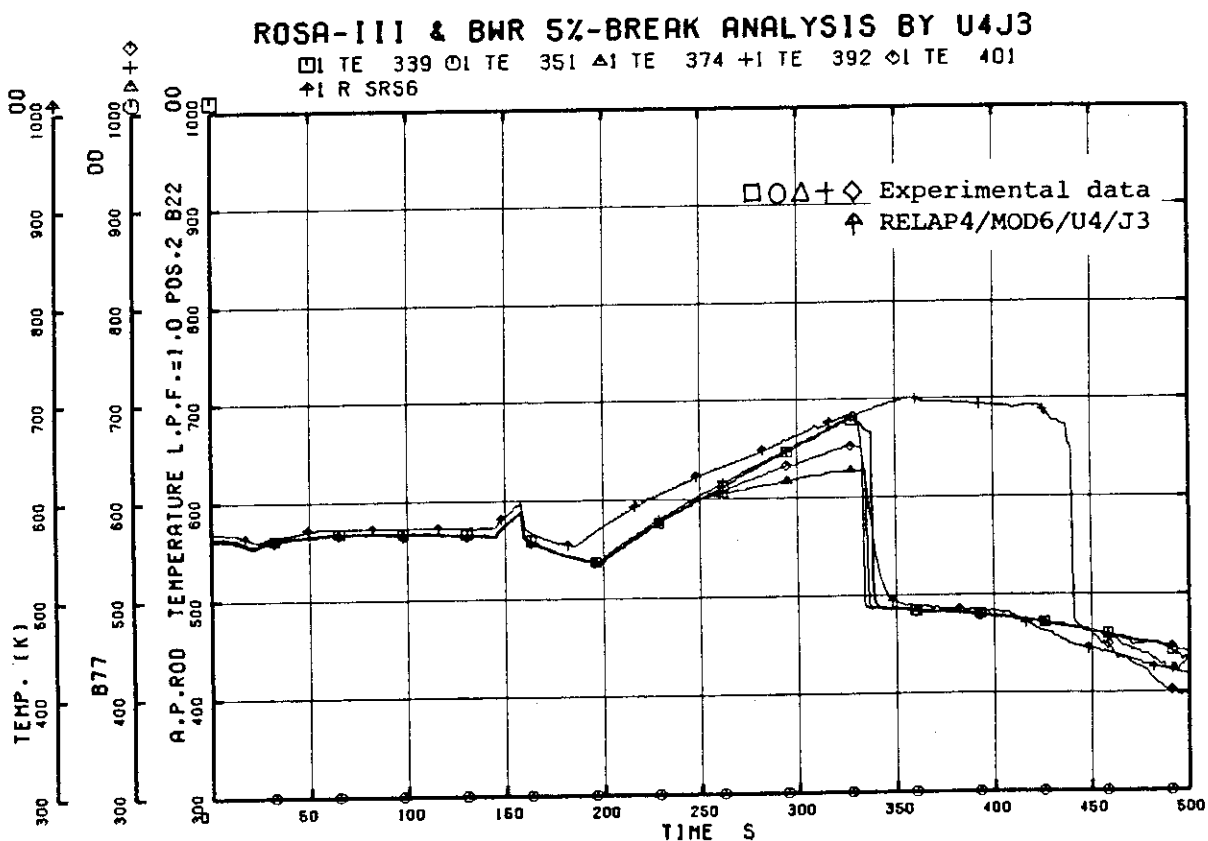


Fig. 4.44 Heater surface temperatures of average power channel (Pos.2)

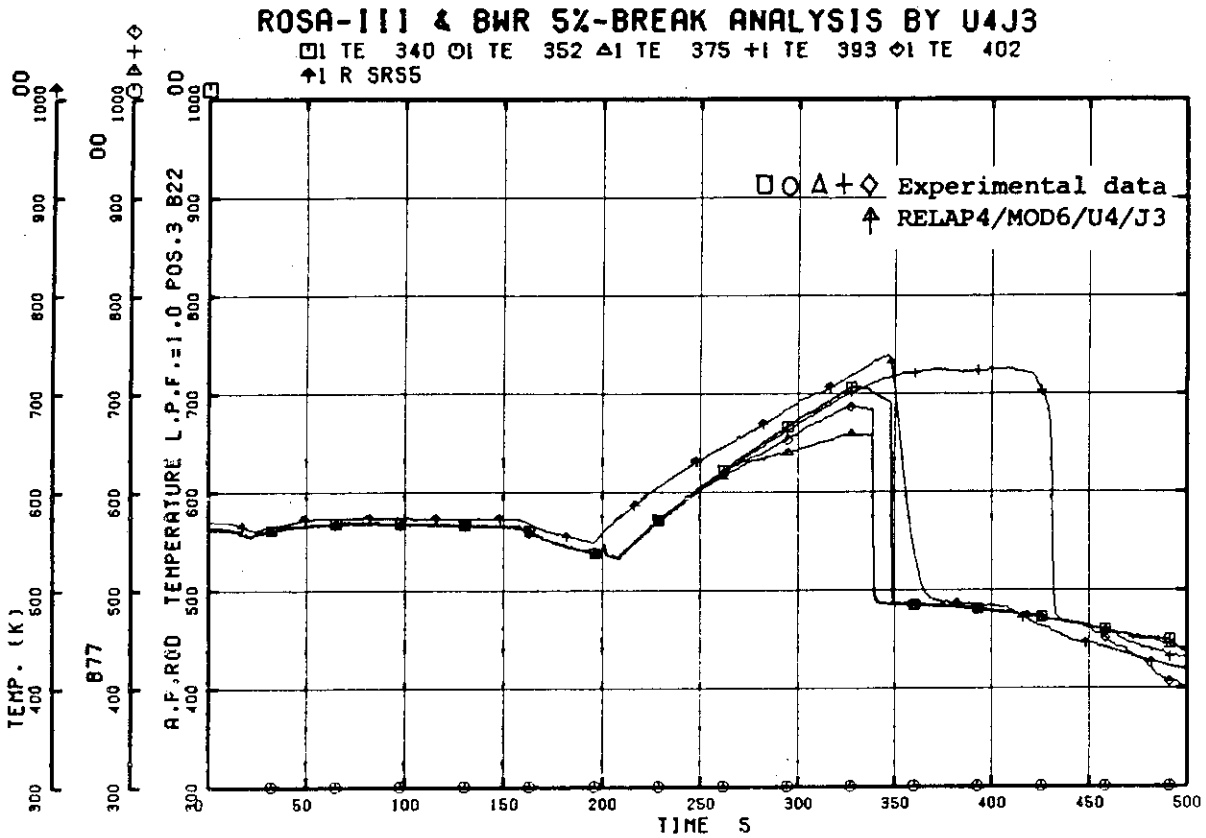


Fig. 4.45 Heater surface temperatures of average power channel (Pos.3)

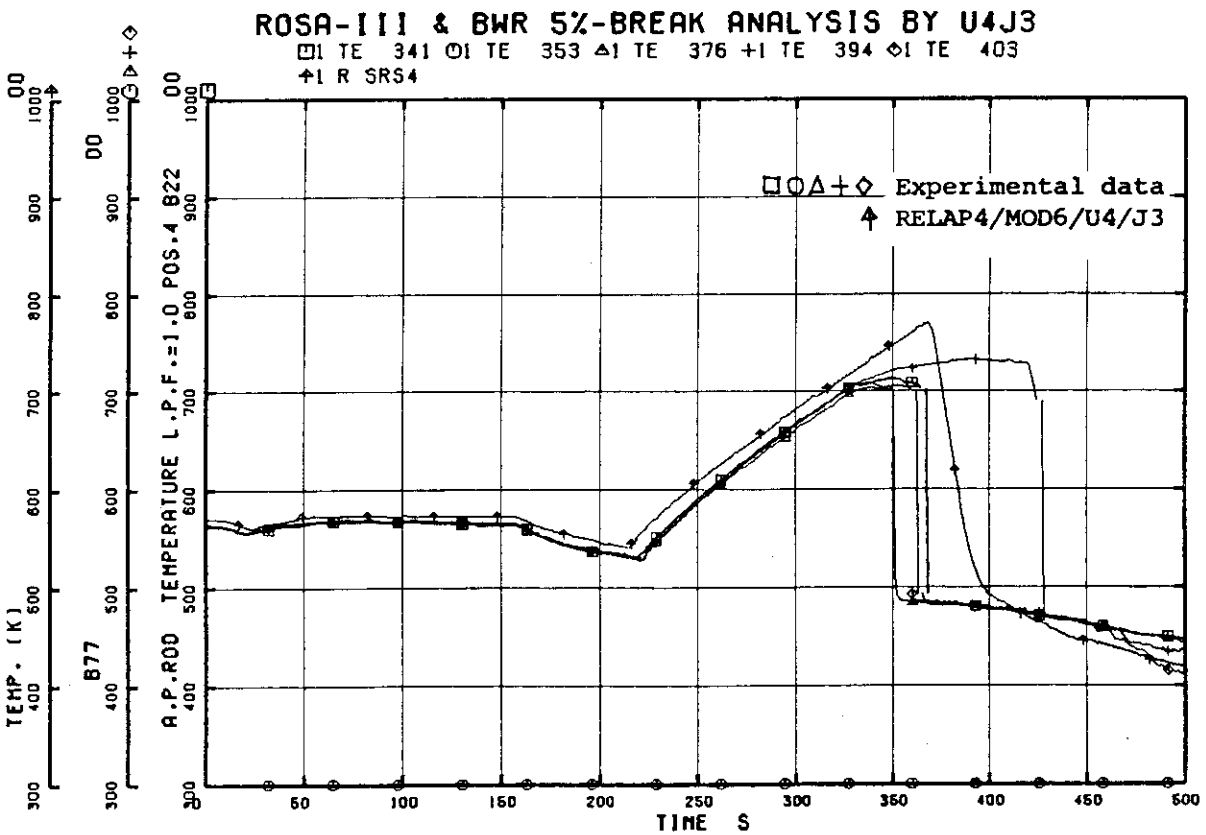


Fig. 4.46 Heater surface temperatures of average power channel (Pos.4)

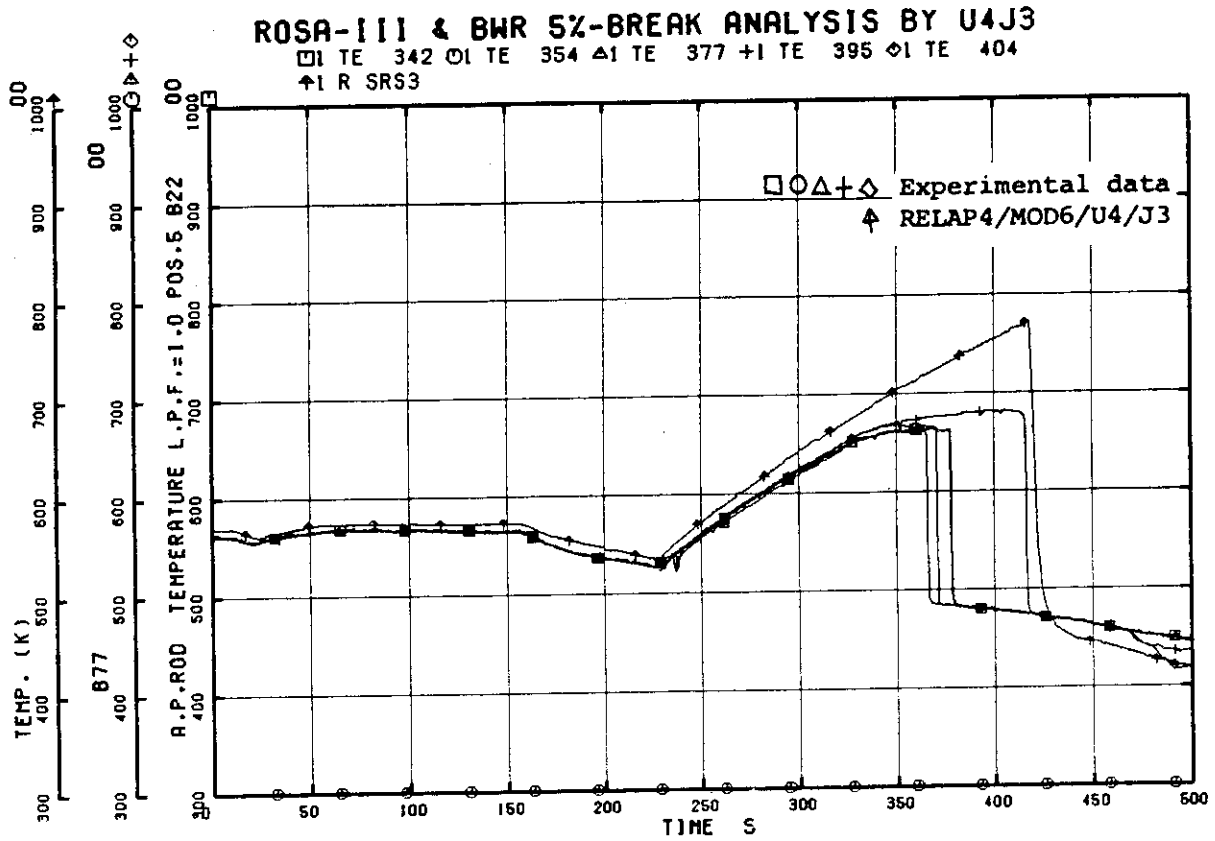


Fig. 4.47 Heater surface temperatures of average power channel (Pos.5)

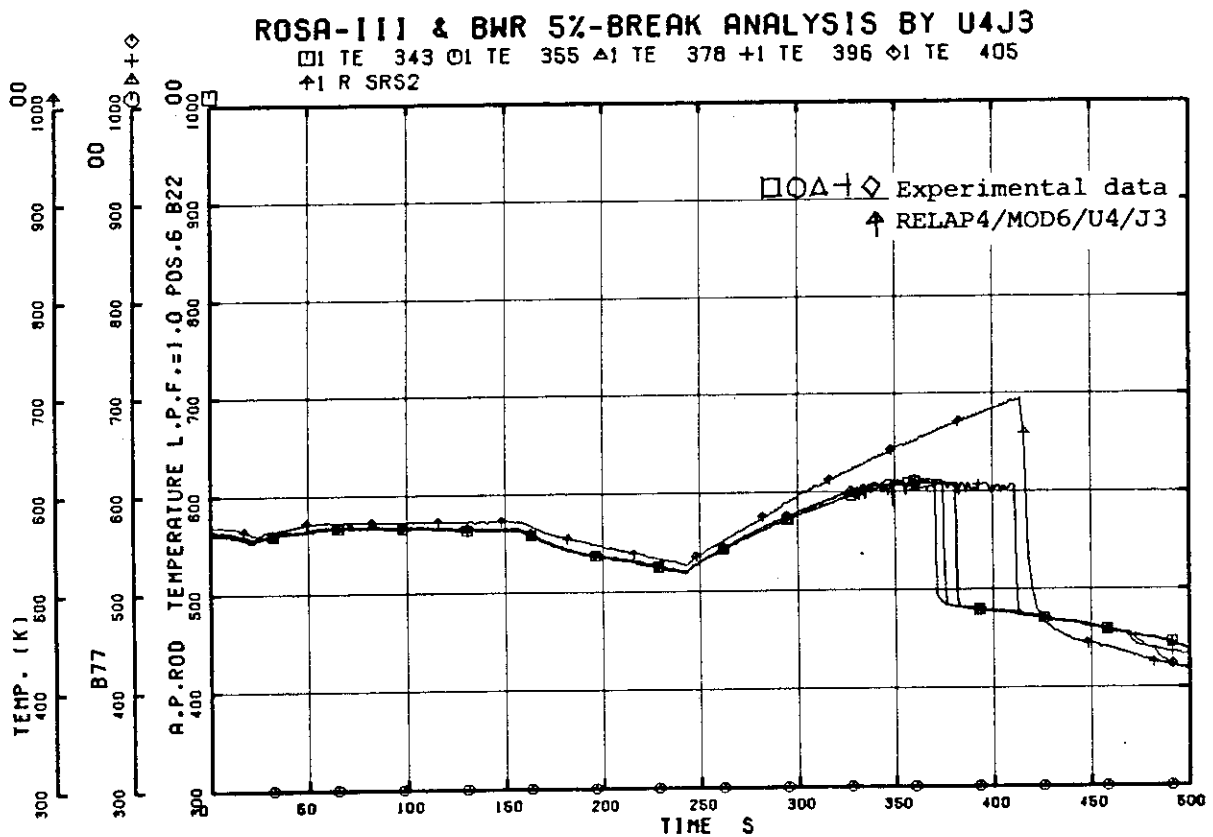


Fig. 4.48 Heater surface temperatures of average power channel (Pos.6)

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3

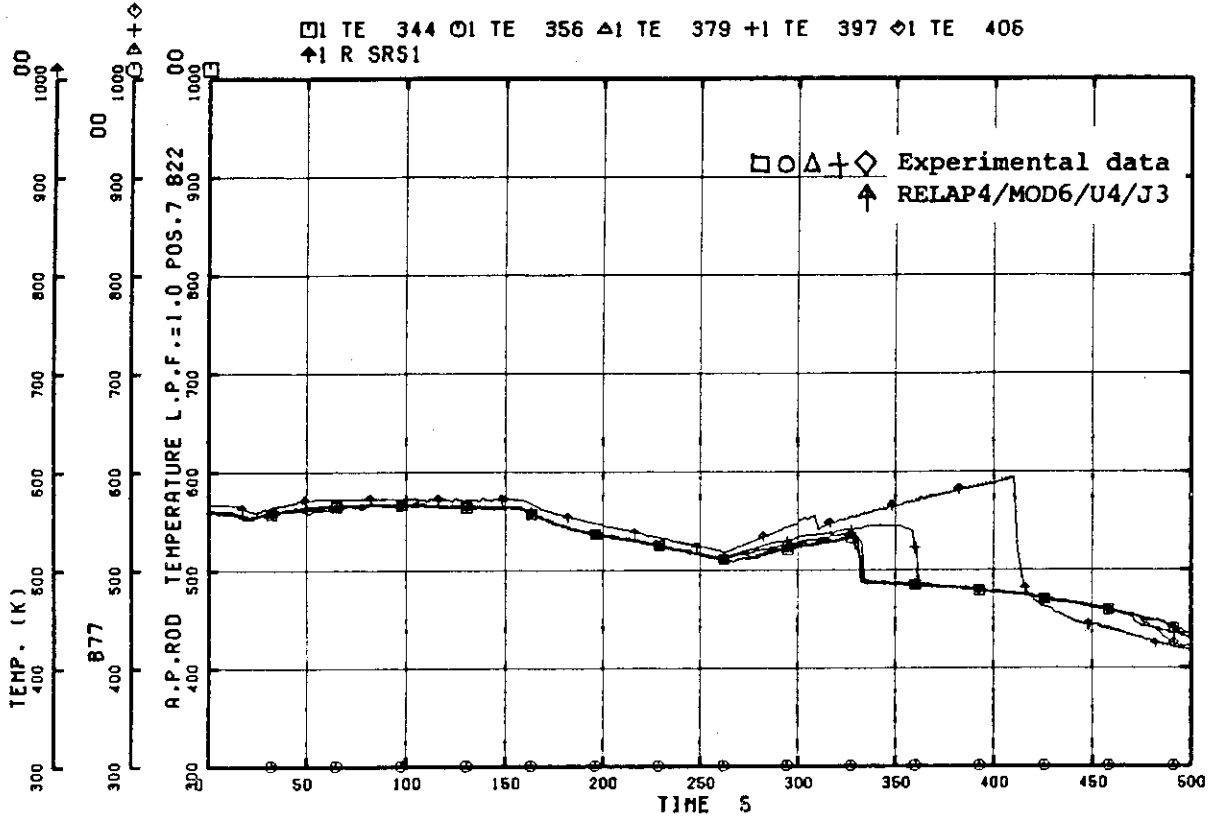


Fig. 4.49 Heater surface temperatures of average power channel (Pos.7)

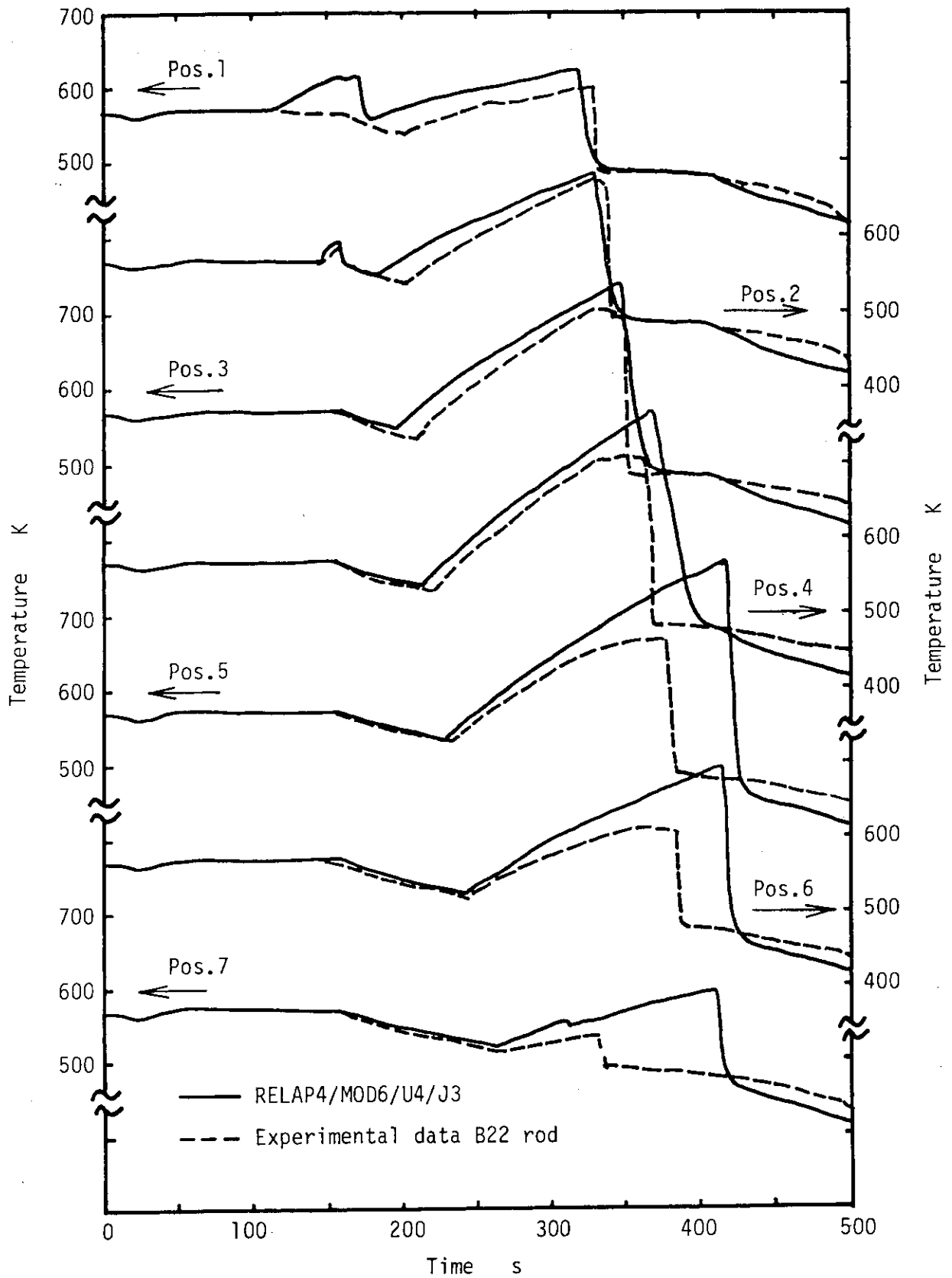


Fig.4.50 Heater surface temperatures of average power channel

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3
 □ R TSV22 ○ R ATV22

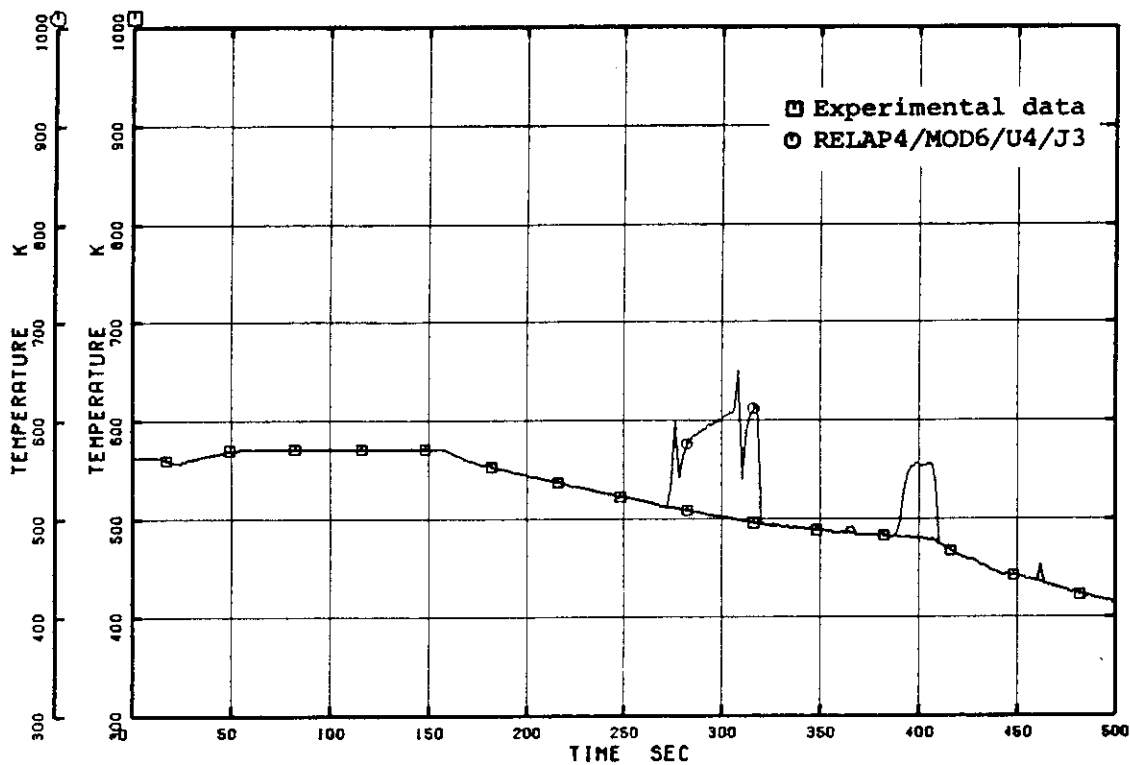


Fig. 4.51 Fluid and saturation temperatures in high power channel

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3
 □ R TSV3 ○ R ATV3

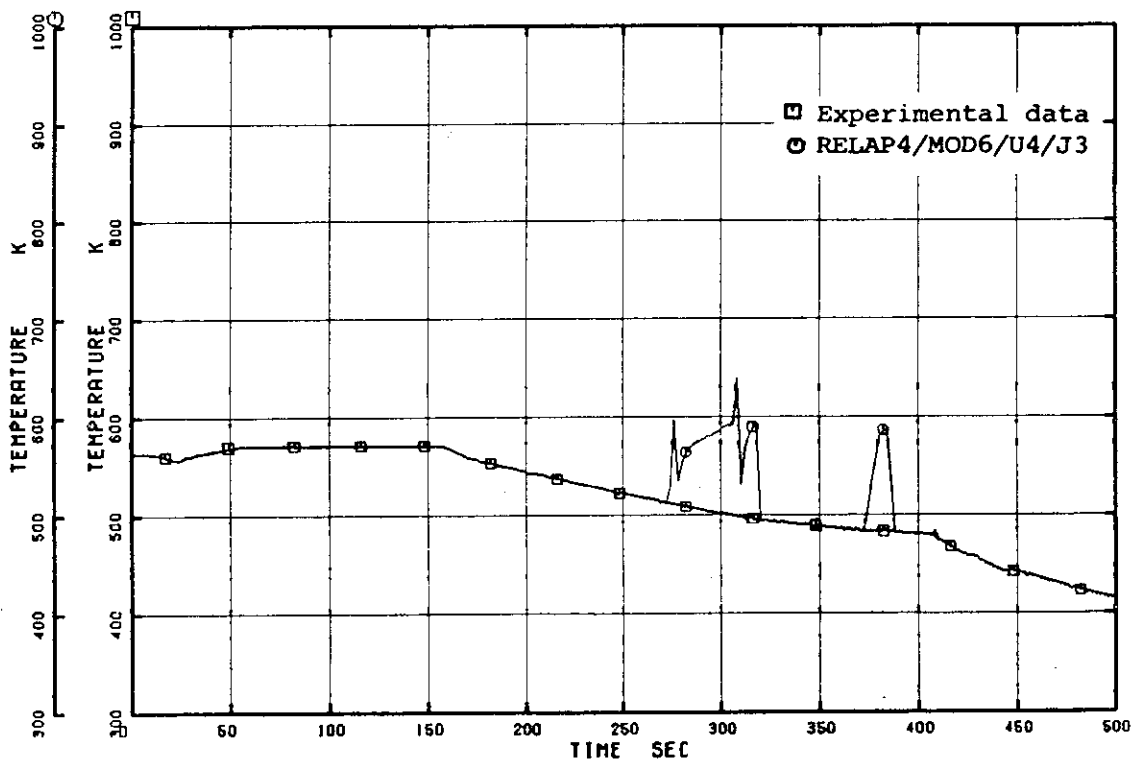


Fig. 4.52 Fluid and saturation temperatures in average power channel

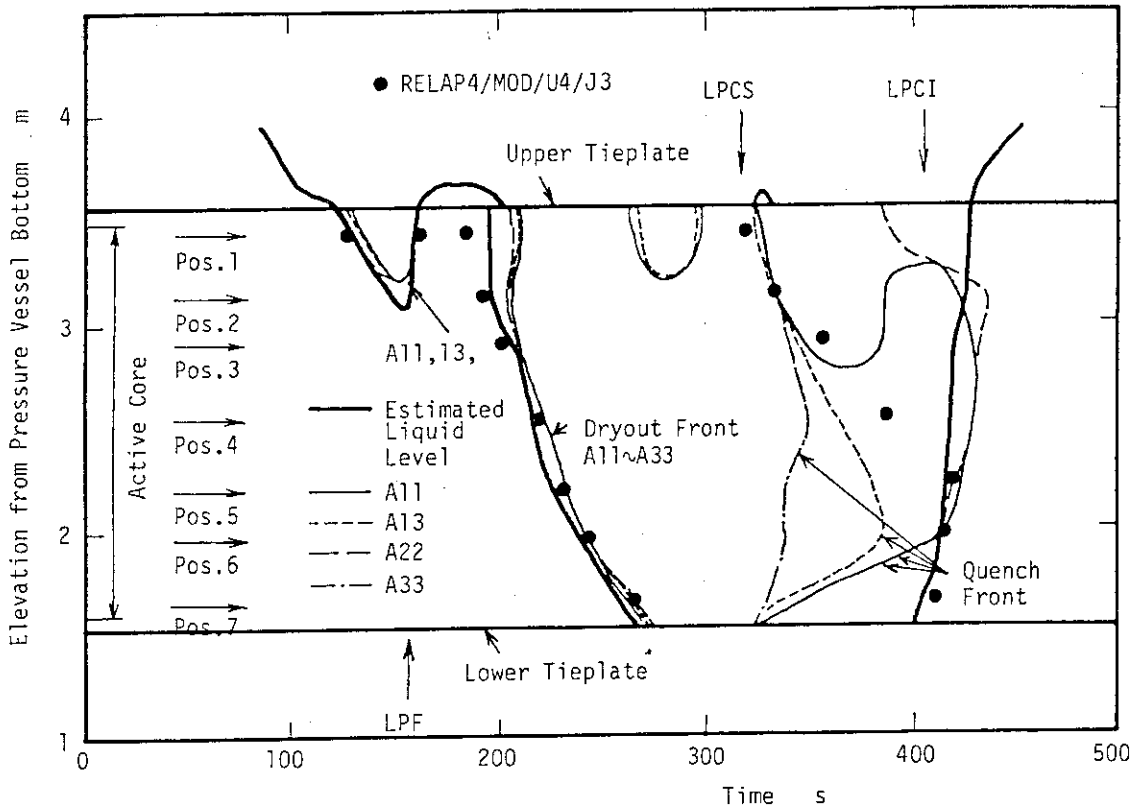


Fig. 4.53 Dryout and quenching transients in high power channel

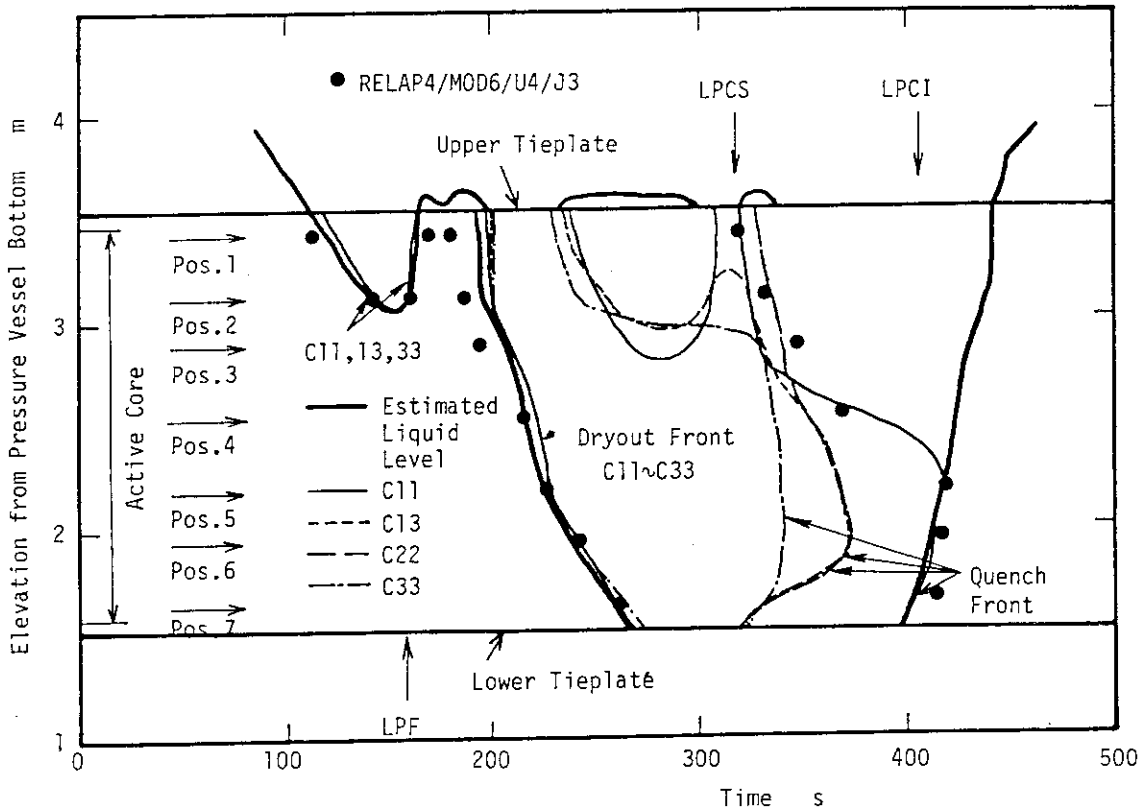


Fig. 4.54 Dryout and quenching transients in average power channel

5. BWR/6 LOCA の解析及び ROSA-III 装置と実炉の相似性の検討

本章では、U4/J3 コードによる BWR/6 の LOCA 解析結果についてのべ、あわせて ROSA-III 装置と BWR/6 の相似性について検討した結果をのべる。相似性に関して予測される問題点には、次のようなものがある。

(i) 幾何形状の違い

ROSA-III 炉心の長さは実炉の半分であり、その他蒸気ドーム・下部プレナム間長さなど、鉛直方向の長さは実炉と異なっている。このため水頭が異なり、両者の流動挙動に差が生じる可能性がある。又、ジェットポンプは、実炉ではダウンカマに置かれているのに対し、ROSA-III では圧力容器の外側に置かれている。このため、実炉にない配管がジェットポンプに接合するので、ジェットポンプまわりの流動挙動の相似性に影響を与えるかもしれない。

(ii) 構造材蓄積熱の影響

冷却材体積に対する構造材の体積及び伝熱面積の比が ROSA-III の方が大きいので、実炉に比べて影響が顕著に表われる可能性がある。

(iii) 核燃料を電気ヒーターで擬擬することによる影響

ROSA-III 炉心に与えられる電気入力、核分裂生成物の崩壊熱のみならず核燃料の蓄積熱の放出挙動も模擬して決められているが、この模擬にも限界がある。又、構造物質の違い、特に、熱容量の違いはドライアウト後の温度上昇率に直接影響するので重要である。

これらの点が、ROSA-III 実験で示された熱水力挙動、すなわち LOCA 過渡変化の時間長に関連する圧力挙動、炉心冷却能力に関する炉心水位、及び LOCA 解析で最も関心が集められる燃料棒表面温度等に関する相似性にどのように影響したか検討する。

表 5.1 に主なボリューム及びジャンクションの入力データについて比較する。なお本章のグラフにおいては、BWR/6 解析結果のうち、流量、伝熱量、質量等については、ROSA-III 解析結果との比較を容易にするため、その値を 1/424 にして表わした。

5.1 BWR/6 LOCA の解析及び相似性の検討

5.1.1 主要事象の生起時刻

表 5.2 に主要事象の生起時刻について、実験値 BWR/6 の LOCA 解析結果、及び ROSA-III 解析結果を比較する。BWR/6 解析結果（以下 BWR ケースと呼ぶ）においては、実験値と比べて L1 レベル信号の発生が 20 秒はやく、そのため ADS 作動のタイミングが 20 秒はやくなっている。小破断 LOCA 解析においては、ADS 作動のタイミングが現象の時間長を決定するうえで非常に重要であり、BWR ケースでは ECCS 作動のタイミングが同様に 20 秒はやくなっている。

5.1.2 圧力挙動

図 5.1 に下部プレナム圧力の時間変化について BWR ケースと ROSA-III ケースについて比較する。図に見られるように BWR ケースは、SRV 設定圧力に差があるものの ROSA-III ケースと定性的にはほぼ同様な傾向を示している。すなわち破断直後に圧力は急減し、MSIV が閉じると急増する。SRV の作動圧力にまで達すると一定値に保たれる。その後 L1 レベル信号から 120 秒遅れで ADS が作動すると、圧力は減少を始める。2.13 MPa になると LPCS が作動し、1.55 MPa になると LPCI が作動する。LPCI 作動により圧力減少が加速されるのも ROSA-III ケースと同様である。

圧力挙動は系の体積、冷却材の持つ全エンタルピー及び冷却材インベントリにより決まる。

これらは、破断口や主蒸気ラインからの冷却材流出流量、ADS 流量、ECCS 流量、冷却材への伝熱量の関係により決まるため、相似性の検討のためにはこれらの比較をする必要がある。系の全体積は、表 5.1 に示されるように、ROSA-III ケースは 1.40m^3 BWR ケースの $1/424$ は、 1.46m^3 でありほぼ等しいと言える。図 5.2 に系内の冷却材インベントリを比較する。ROSA-III ケースが ECCS が作動するまで約 10% BWR ケースより大きく、例えば同じ流量で冷却材が系外へ放出される場合でも、ROSA-III ケースのほうがやや圧力低下率が小さくなる。図 5.3 に、燃料棒及び構造材から冷却材への伝熱量を比較する。系内でフラッシングが起こるまでの伝熱量は、ROSA-III ケースのほうが数倍大きくなっているが、これは実験に用いている電気出力曲線が、核燃料棒の初期蓄積熱を過大に見積り、保守的に決定されているのに対し BWR ケースでは、最適値と考えられる物性値を用いて計算しているためである。BWR ケースでは 180 秒に伝熱量が大きく減少しているが、これは炉心がドライアウトすることに対応している。一方、ROSA-III ケースにおいては、炉心がドライアウトしている間においても大きな伝熱量を示している。これは圧力容器から冷却材への蓄積熱の放出を意味しており、この点において両者の差が大きく表われている。図 5.4 にこの伝熱量がすべて蒸気生成に使われたと仮定する場合の蒸気発生量を示す。系内のフラッシングの後、スプレーヒートトランスファーモデルの計算が開始されるまでの間、ROSA-III ケースの蒸気発生量が BWR ケースより約 0.3kg/s 多いことがわかる。

次に系外に放出される冷却材量について検討する。図 5.5 に、主蒸気管流量について両ケースを比較する。初期値が異なるのは、ROSA-III の初期出力が BWR ケースの $1/424$ の 44% だからである。MSIV 閉が ROSA-III ケースのほうが遅いので、放出される冷却材は、ROSA-III ケースのほうが多い。図 5.6 に ADS 流量について比較する。

ADS 流量については、まずその作動のタイミングが圧力挙動に大きく影響し問題となる。そのタイミングはダウンカマの水位信号によって決まるわけだが、表 5.2 に示されるように、L1 レベル信号が発生する時刻が両者ではほぼ等しいので、このタイミングの相似性については特に問題がないと思われる。ADS 流量について、ROSA-III ケースでは実験値を用いているが、BWR ケースでは臨界流モデルで計算している。図に示されるように、ROSA-III ケースのほうが約 0.3kg/s 多くなっている。

図 5.7 に破断流量について両者を比較する。ADS 作動後 280 秒まで BWR ケースが、ROSA-III ケースより約 0.3kg/s 大きい。破断流は ADS 流のように蒸気単相ではなく、系からで

るエネルギーフラックスとしては小さいので圧力挙動にADS流ほどは影響しない。

以上の検討により、圧力挙動の相似性に関してBWRケースのほうがMS IV閉のタイミングが早く、SRV設定圧力が低くなっているもののダウンカマレベルの相似性が良く、ADS作動のタイミングは約20秒のずれで一致しており、ADS作動まで特に相似性に関して問題はないと思われる。しかし、ADS作動後の圧力の減少のしかたが両者でほぼ一致したのは、発生蒸気量及び流出冷却材量がそれぞれ正確に一致したためではなく、ROSA-IIIケースでは、構造材の蓄積熱放出による蒸気発生がより大きい、ADS流量がほぼ同程度にBWRケースより大であったことによっている。したがってより詳細な相似性の検討のためには、ADS流量の計算方法及び構造材の蓄積熱放出により発生する蒸気の系全体の挙動に対する影響について検討を行う必要がある。構造材の蓄積熱放出による影響及びADS流量の計算方法については、付録において感度計算をおこない検討した。しかし圧力変化の基本的な挙動に関しては、ROSA-IIIの模擬性は良いと考えることができる。

5.1.3 流動挙動

前章で見たように、破断直後の流動挙動は、ポンプのコストダウン特性や各部での流動抵抗などに影響されるが、流動状態が比較的穏やかになってからの挙動の基本的な傾向は、シュラウドの内側と外側の水頭の差で説明がつく。したがって流動状態の相似性を検討するために、シュラウドの内側と外側の水頭の比較をすることが重要である。図5.8にBWRケースのシュラウド内側と外側の水頭及び下部プレナム、蒸気ドーム間差圧を示す。BWRケースにおいてもROSA-IIIケースと同様に、破断直後を除いて下部プレナム、蒸気ドーム間差圧はほとんど水頭に等しく、流れが重力支配であることを示している。シュラウド内外の水頭の差を比較すると、シュラウド内の水頭はROSA-IIIケースと同様に、破断直後にスリップモデルを使用することによる過渡変化及びMS IV閉のために急激に増大し、一方、ダウンカマ水頭は破断口からの冷却材流出のために減少するので、水頭差により23秒以降シュラウド内の水は、ジェットポンプを逆流しダウンカマに流入する。このため、ダウンカマの水頭は23秒から43秒まで増大する。43秒からADS作動まで水頭差はほとんどないが、ADSが作動するとダウンカマ水頭の減少がより早くなり水頭差も大きくなる。全炉心が露出する242秒以降水頭差は、再びほとんどなくなるが、LPCIが作動すると、シュラウドの内側の水位が先に上昇した後、内側、外側ともに振動しながら上昇していく。この一連の挙動は、定性的にはROSA-IIIケースと同じである。

シュラウド内外の水頭の差は主に、破断から上部プレナム水位が消失するまでの間、ADS作動から炉心水位が消失までの間、及びLPCI作動後に顕著であるが、この水頭差についてROSA-IIIケースとBWRケースを比較すると、ROSA-IIIケースのほうが水頭差が大きくなっている。これは、ジェットポンプ周辺の配管における流動抵抗が、ROSA-IIIケースのほうが大きいことによっている。ROSA-IIIケースにおいてLPCI作動後、シュラウド内外の水頭の差が大きくなってもBWRケースのように振動せず安定しているのはこの理由によるものである。しかし定性的な挙動は両ケースで一致しており、ROSA-IIIは実炉のシュラウドの内側と外側の冷却材のインベントリー分布の時間変化を良く模擬しているといえる。

図 5.9 に炉心入口流量の時間変化について、ROSA-ⅢケースとBWRケースを比較する。BWR ケースでは、炉心入口流量は破断直後より急激に減少し、いったん大きく逆流した後、50 秒以降ほぼ一定の流量値の逆流となる。上部プレナムの水位がなくなり、バイパス、炉心入口部の間のリークホール流量が 100 秒以降減少すると、炉心入口流の逆流量も減少する。下部プレナムフラッシング以降炉心入口流は、炉心水位がなくなるまで逆流しその後正流となる。LPCS が作動すると主に炉心バイパスから炉心入口部に流入した LPCS 水の一部が下部プレナムに落下し、LPCI が作動すると、正流方向に一度大きく振動した後逆流し、下部プレナム水位がジェットポンプ出口位置まで低下すると激しく振動する。ROSA-Ⅲケースと比較すると、25 秒に大きく逆流すること及びタイミングに少し差があること以外は良く一致している。

図 5.10 から図 5.13 に中央領域炉心の上部タイププレートと下部タイププレート及び周辺領域炉心の上部タイププレートと下部タイププレートにおける流量を示す。二つの炉心領域における流動挙動は、ほぼ等しいが、50 秒から 100 秒の間中央領域炉心下部タイププレートでは、正流が続くのに対し、周辺領域炉心の下部タイププレートでは逆流が生じている。

図 5.14 から図 5.17 にリークホール流量（炉心入口部とバイパス部間の流れ）、下部プレナム・ガイドチューブ間流量、炉心バイパス入口および出口における流量について、ROSA-ⅢケースとBWR ケースを比較してしめす。両者の計算結果は良好な一致をしめしている。

図 5.18 から図 5.23 に、健全側ループ及び破断側ループにおけるジェットポンプの吸込み流量、駆動流量、吐出流量についてROSA-Ⅲケースと、BWR ケースを比較する。破断時流量及びBWR ケースが 25 秒に大きく逆流すること以外は、両者の結果は良く一致している。

図 5.24 から図 5.30 にスプレーヒートトランスファーモデルに関する LPCS フィル流量及び LPCI 流量をしめす。バイパスに注入される LPCS 流量が BWR ケースにおいて ROSA-Ⅲ ケースより LPCI が作動するまで小さいのは、炉心出口面積とバイパス出口面積の和に対する炉心バイパス面積の割合が、BWR ケースと ROSA-Ⅲ ケースについてそれぞれ 0.187 と 0.536 であるためである。図 5.31 と 5.32 に LPCS 流量と LPCI 流量を比較する。両者の値はほぼ一致している。

以上、シュラウド内側と外側の水頭の傾向が一致していたため、系内の流動挙動の基本的傾向は一致した。より詳細な相似性の検討のためには、ポンプ特性や各部の流動抵抗の検討が必要である。

5.1.4 水位挙動

図 5.33 にダウンコマ水位の挙動を初期水位で規格化してBWR ケースと ROSA-Ⅲ ケースを比較して示す。

両者の相対的な挙動は良く一致し、ジェットポンプ吸込み口及び再循環ラインへの出口ノズルの露出の時刻は、40 秒以内の差で一致している。ダウンコマ水位はトリップ信号を発生する点及びシュラウドの内側と外側の相対的な水頭差に関して重要であるもので、このダウンコマレベルの絶対値の差はあまり意味がない。基本的な傾向が一致している点から判断して ROSA-Ⅲ は、小破断 LOCA におけるダウンコマ水位変化をよく模擬しているといえる。

図 5.34 から 5.36 に、上部プレナム水位及び炉心水位について ROSA-Ⅲ ケースと BWR ケース

を比較して示す。上部プレナム水位と炉心は、両者ともに連続的に変化している。下部プレナムフラッシングのタイミングがBWRケースで22秒はやいため、全炉心露出のタイミングも早くなっている。両解析結果では、炉心上端の露出から全炉心露出までの時間がほぼ一致しており、ROSA-Ⅲ装置の炉心が、実炉の半分であることの影響は表われておらず、水位変化を同じ時間スケールでよく模擬しているといえる。再冠水過程においてBWRケースの水位振動は、非常に大きい。この原因はBWRケースのほうがジェットポンプまわりの流動抵抗が小さいからである。BWRケースにおいても、ROSA-Ⅲケースと同様に二つに分けた炉心領域の間に、顕著な水位挙動の差はなかった。

図 5.37 に炉心入口部の水位挙動を比較する。下部プレナムフラッシングのタイミングに差があるため水位低下のタイミングがずれているが、その他の点については良く一致している。

図 5.38 に下部プレナムの水位挙動について比較する。両者とも下部プレナムフラッシング以後水位の低下が始まり、単調に減少してゆき、LPCS水が作動すると上昇が始まる。LPCIが作動するといった凝縮減圧効果のために急激に水位が上昇した後、炉心バイパスでの水頭の増加のために、下部プレナムは加圧され、冷却材はジェットポンプを逆流し、ダウンカマに押し出される。このため水位は急激に減少する。ジェットポンプ出口にまで水位が低下すると下部プレナム圧力は低下し、BWRケースにおいては、急激に冷却材が炉心から落下するため、水位は急激に増加する。このようなLPCI作動後の挙動の差は、ジェットポンプまわりでの逆流抵抗の差による。ROSA-Ⅲケースにおいては、ジェットポンプ出口が露出しても、下部プレナム圧力はジェットポンプまわりでの流動抵抗が大きいため、急激に低下せず水位は、ジェットポンプ出口の高さでしばらく一定になる。このため、LPCI水は、下部プレナムにあまり落下せず、炉心水位の振動もBWRケースほど激しくない。BWRケースにおいては、炉心水位が炉心上部からいったん底にまで達するなど、きわめて激しい振動を示している。このように、ジェットポンプ流動抵抗の差は、炉心入口流、下部プレナム水位、炉心水位等の挙動に対して特に再冠水過程において、下部プレナム水位がジェットポンプ吐出口位置まで低下すると、大きな影響を与えている。したがって、ジェットポンプ及びその周辺の配管等の流動抵抗を正確に与えることが非常に重要であるかのように思われる。しかし、RUN912実験においては、LPCI作動後に下部プレナム水位が低下し、ジェットポンプ出口が露出するという現象は観測されていない。これは、実験においては4章でのべたパラレルチャンネル効果が働くからである。BWR/6においてもこのような挙動を示すことは十分予測され、LPCI水による水頭の上昇のために下部プレナム水がダウンカマに押し出されることは、計算結果ほど顕著に表われないと推測できる。

図 5.39 に炉心バイパス水位について比較する。両者の挙動は良く一致している。

以上のように、上部プレナム、炉心、下部プレナム、炉心バイパス及びダウンカマの水位挙動は、BWRケースとROSA-Ⅲケースではほぼ一致した。水位挙動の相似性は主に、初期インベントリーの相似性と流量の時間積分された挙動の相似性によりきまる。初期インベントリーは、表 5.1 に見られるように、両ケースではほぼ等しく、流動挙動も定性的な傾向や時間スケールがだいたい一致しており、その積分された挙動も両者ではほぼ等しい。このため、水位挙動の相似性が良かったといえることができる。

5.1.5 表面温度挙動

図 5.40 から 5.46 に中央領域炉心の燃料棒被覆管表面温度について ROSA-III ケースの高出力チャンネル燃料棒被覆管表面温度と比較して示す。図 5.47 から図 5.53 に周辺領域炉心の燃料棒被覆管表面温度について ROSA-III ケースの平均出力チャンネル燃料棒被覆管表面温度と比較して示す。表面温度挙動の相似性に関して検討すべき重要な項目は、ドライアウト及びクエンチのタイミングとドライアウト後の温度上昇率である。小破断 LOCA の場合には、上部プレナムの冷却材水位がなくなってから炉心水位の低下が始まり、この時刻には、表面熱流束は小さくなっているため、沸騰遷移は起こりにくく、ドライアウトのタイミングは水位が低下するタイミングと等しくなる。クエンチに関しては、トップダウンクエンチのタイミングは、LPCS 作動のタイミングと炉心吹上げ蒸気流に依存し、ボトムアップクエンチのタイミングは、水位上昇のタイミングに依存する。これらのタイミングは、ADS 作動が早い BWR ケースにおいてややはやくなっているが、そのずれは 50 秒程度であり全体的には良く一致しているといえる（図 5.54, 5.55 参照）。

ドライアウト後の温度上昇率に関しては、図 5.54 と 5.55 に見られるように、両者の結果は良く一致しているが、検討すべき項目は炉心における冷却条件、燃料棒の発熱量、及び熱容量の相似性である。図 5.56 に、計算に用いた両者の熱容量と温度の関係を示す。ROSA-III ヒーターピンに対して BWR 核燃料の熱容量は、400 K で 90%、800 K で 80% であり、したがって同じ発熱量で断熱的に温度が上昇する時、BWR 燃料棒の温度上昇率は約 18% 大きいことがわかる。発熱量に関しては、図 3.4 に見られる炉心入力の違いだけではなく計算のための炉心分割の方法が異なるための差も存在する。すなわち、ROSA-III における高出力チャンネル、及び平均出力チャンネルの燃料棒はそれぞれ、初期状態での線出力密度が 24.5 kW/m、及び 17.4 kW/m の燃料棒を模擬している。一方、BWR ケースにおける中央領域及び周辺領域炉心の初期線出力密度は、それぞれ 20.0 kW/m、及び 13.5 kW/m である。すなわち、ROSA-III ケースの線出力の初期値は、BWR ケースの線出力の初期値に対して高出力チャンネルと中央炉心領域を比較して 1.23 倍、平均出力チャンネルと周辺炉心領域を比較して 1.29 倍過大である。

炉心での冷却条件について、ROSA-III ケース高出力チャンネル Pos.1, Pos.4, Pos.7 における熱伝達率を BWR ケース中領域炉心の Pos.1, Pos.4, Pos.7 の値とを図 5.57, 5.58, 5.59 に比較して示す。ROSA-III ケースにおいては 318 秒以降 BWR ケースにおいては 289 秒以降、スプレーヒートトランスファーモデルが使用され始める。このモデルにおいては、同じ値の熱伝達率を入力で与えているが、ドライアウトからこのモデルが使用されるまでの間の RELAP4/MOD6 伝達ロジックで計算された熱伝達率は、両者でほぼ等しく、炉心の冷却条件に関する両者の相似性は良いといえる。

以上の検討により、表面温度挙動に関して ROSA-III 装置は BWR を良く模擬しているといえる。

5.2 まとめ

ROSA-III 実験 RUN912 の実験後解析に用いた条件と同じ条件で BWR/6 の小破断 LOCA 解

析をおこなった結果、両者の相似性について次の結論を得た。

- a) 圧力挙動については、破断からMSIVが閉じるまでの圧力減少、MSIV閉後の圧力増加、SRVの作動、ADSの作動による圧力低下といった小破断LOCA実験で表われた基本的な挙動は、両ケースともに計算された。したがってROSA-Ⅲ装置は、実炉の小破断LOCAで想定される圧力変化の基本的挙動を良く模擬している。又、実炉との相似性に関する問題点として考えられる構造材の蓄積熱の圧力挙動に対する影響は、付録A.4で感度解析を行った結果、蓄積熱による蒸気発生は、圧力減少を緩和しLPCS、LPCI作動時刻をやや遅らせる影響があることがわかった。
- b) 小破断LOCAのようなゆるやかな過渡変化では、系内の全体的な流れは、主に重力支配であり、シュラウドの内側と外側の水頭差により決まる。ROSA-Ⅲは、シュラウドの内側と外側の相対的な冷却材分布の相似性が良いので、BWRとROSA-Ⅲの流動挙動の相似性は良かった。このため、炉心長さが実炉の半分であることからくる影響は、表われなかったが、ジェットポンプまわりの流動抵抗の差は、シュラウド内外の水頭差に影響した。
- c) 水位挙動に関しては、炉心水位の変化は下部プレナムフラッシングのタイミングの差だけ、全炉心のドライアウトのタイミングがずれたが、全体的に両ケースは良く一致し、炉心長さが実炉の半分であるところからくる炉心の水位低下及び再冠水過程に要する時間の差は、表われなかった。上部プレナム、下部プレナム及びダウンコマにおいても両者は、ほぼ一致した。
- d) 燃料棒表面温度挙動については、水位挙動、及びスプレーヒートトランスファーモデルの計算が始まるLPCS作動のタイミングが両ケースではほぼ一致したため、ドライアウト及びクエンチのタイミングは、両ケースではほぼ一致した。ドライアウト後の温度上昇については、ROSA-Ⅲヒーターピンの熱容量は、BWR解析で用いた値より約20%大きいため、炉心冷却が十分でなく、断熱に近い状態では、実炉の燃料棒の温度上昇より約20%小さくなる。しかし全体的には、ROSA-Ⅲ装置は、実炉で想定される燃料棒表面温度挙動を良く模擬していることが確認された。

Table 5.1 Comparison of Input Data

-- Junction Data --

Location	ROSA-III						BWR/6	
	Area ² (m ²)	Inertia* (m ⁻¹)	FJUNF* (m ⁻¹)	FJUNR* (m ²)	Area*** (m ²)	Inertia (m ⁻¹)		FJUNF
Core Inlet (R* ; 1**, B* ; 38**)	7.13·10 ⁻³	10.1	1.08	1.22	5.59·10 ⁻³	0.326	2.44	1.84
Steam Separator outlet (R ; 4, B ; 1)	0.015	30.0	0.659	1.03	0.011	0.548	0.825	0.825
Core Bypass to Core Inlet Region (R ; 24, B ; 16)	5.25·10 ⁻⁴	14.4	1.52	1.52	1.07·10 ⁻³	0.433	20.6	20.6
Core Bypass Outlet (R ; 8, B ; 17)	0.0145	71.5	8.16	25.5	3.16·10 ⁻³	0.535	4.69	4.69
Guide Tube to Lower Plenum (R ; 6, B ; 40)	1.76·10 ⁻⁴	1440.	1.7	1.7	1.20·10 ⁻⁴	0.479	4.30	4.30
Guide Tube to Core Bypass (R ; 7, B ; 39)	1.93·10 ⁻³	62.3	1.9	2.47	1.02·10 ⁻²	0.587	9.46	9.62

Table 5.1 (cont'd)

		ROSA-III				BWR/6			
Location	Area (m ²)	Inertia* (m ⁻¹)	FJUNF* (m ⁻¹)	FJUNR* (m ²)	Area*** (m ²)	Inertia (m ⁻¹)	FJUNF	FJUNR	
Steam Dryer (R ; 5, B ; 2)	0.0191	1.86	1.52	1.52	0.0754	0.505	87.2	87.2	
Upper Downcomer to Lower Downcomer (R; 9, B ; 3)	0.201	2.79	0.754	0.716	0.0267	0.685	5.05	5.03	
Lower Tieplate (R; 2,37 B ; 14,26)	Jun.2 9.41·10 ⁻³	Jun.2 35.8	Jun.2 0.42	Jun.2 0.527	Jun.14 1.52·10 ⁻³	Jun.14 2.07	Jun.14 0.262	Jun.14 0.729	
Upper Tieplate (R ; 3,38 B ; 15,27)	Jun.3 9.41·10 ⁻³	Jun.3 28.6	Jun.3 0.564	Jun.3 0.536	Jun.15 1.55·10 ⁻³	Jun.15 2.17	Jun.15 3.16	Jun.15 3.16	
Intact Loop Jet Pump Drive (R* ; 23, B* ; 12)	Jun.38 3.14·10 ⁻³	Jun.38 49.2	Jun.38 0.591	Jun.38 0.563	Jun.27 1.22·10 ⁻²	Jun.27 0.399	Jun.27 0.708	Jun.27 0.708	
Intact Loop Jet Pump Suction (R ; 18, B ; 13)	1.11·10 ⁻⁴	391.	0.115	1.45	1.10·10 ⁻⁴	154.	0.224	6.79	
Intact Loop Jet Pump Discharge (R ; 19, B ; 18)	1.67·10 ⁻³	888.	5.51	12.7	4.66·10 ⁻⁴	98.4	0.0563	1.02	
	4.29·10 ⁻³	464.2	1.45	1.45	3.10·10 ⁻⁴	4.23	2.41	2.41	

Table 5.1 (cont'd)

Location	ROSA-III						BWR/6	
	Area (m ²)	Inertia* (m ⁻¹)	FJUNF*	FJUNR*	Area*** (m ²)	Inertia (m ⁻¹)		FJUNF
Broken Loop Jet Pump Drive (R ; 16, B ; 8)	1.11·10 ⁻⁴	3600.	0.103	1.43	1.10·10 ⁻⁴	154.	0.224	6.79
Broken Loop Jet Pump Suction (R ; 11, B ; 4)	1.67·10 ⁻³	888.	5.16	11.0	4.66·10 ⁻⁴	98.4	0.0563	1.02
Broken Loop Jet Pump Discharge (R ; 12, B ; 19)	4.29·10 ⁻³	464.	2.49	2.49	3.10·10 ⁻³	4.23	2.41	2.41
Intact Recirculation Loop Inlet (R ; 20, B ; 9)	1.92·10 ⁻³	1660.	3.07	3.08	5.39·10 ⁻⁴	40.7	0.401	0.401
Broken Recirculation Loop Inlet (R ; 13, B ; 5)	1.92·10 ⁻³	1650.	2.00	2.51	5.39·10 ⁻⁴	11.8	0.399	0.399
Break (R ; 32, B ; 22)	2.73·10 ⁻⁵	1653.	0.	0.	2.70·10 ⁻⁵	11.5	0.	0.
Main Steam Line (B ; 25)	-	-	-	-	3.23·10 ⁻³	0.0774	0.	0.
Safety Relief Valve (R ; 42, B ; 36)	3.24·10 ⁻⁴	0.501	0.	0.	4.37·10 ⁻⁵	3.28	0.	0.
ADS Valve (B ; 21)	-	-	-	-	1.06·10 ⁻⁴	0.11	0.	0.

Table 5.1 Comparison of Input Data (contd.)

-- Volume Data --

Location	ROSA-III			BWR/6		
	Volume (m ³)	Length (m)	Bottom Elevation (m)	Volume*** (m ³)	Length (m)	Bottom Elevation (m)
Upper Plenum and Steam Separator (R; 4**, B; 1**)	0.156	1.68	3.54	0.190	5.81	9.67
Core (R; 22, 3, B; 18, 12)	0.0814	2.03	1.51	0.0835	4.18	5.49
Core Inlet Region (R; 2, B; 20)	9.04·10 ⁻³	0.245	1.27	6.39·10 ⁻³	0.32	5.17
Lower Plenum (R; 1, B; 11)	0.170	1.33	-0.0181	0.180	5.17	0.
Core Bypass (R; 8, B; 13)	0.0524	2.24	1.35	0.0576	4.51	5.17
Guide Tube (R; 7, B; 19)	0.0714	1.09	0.262	0.1033	3.88	1.30
Steam Dome (R; 6, B; 3)	0.121	0.347	5.65	0.373	6.10	16.1

Table 5.1 (contd.)

Location	ROSA-III				BWR/6				
	Volume (m ³)	Length (m)	Bottom Elevation (m)	Volume*** (m ³)	Length (m)	Bottom Elevation (m)	Volume*** (m ³)	Length (m)	Bottom Elevation (m)
Upper Downcomer (R ; 5, B ; 2)	0.373	1.23	4.41	0.259	4.89	11.2			
Lower Downcomer (R ; 9, B ; 4)	0.176	3.92	0.494	0.143	8.20	3.05			
Intact Loop Jet Pump (R ; 17, B ; 14)	0.0238	2.38	0.363	8.23·10 ⁻³	5.24	3.05			
Broken Loop Jet Pump (R ; 11, B ; 15)	0.0253	2.38	0.363	8.23·10 ⁻³	5.24	3.05			
Intact Loop Recirculation Pump Suction Line (R ; 18, B ; 8)	0.0139	3.20	-2.24	9.96·10 ⁻³	9.81	-6.15			
Intact Loop Recirculation Pump (R ; 19, B ; 9)	5.30·10 ⁻³	0.291	-2.53	2.83·10 ⁻³	0.610	-6.15			
Intact Loop Recirculation Pump discharge Line (R ; 20, B ; 10)	0.0303	5.9	-2.53	0.0124	14.6	-6.15			

Table 5.1 (contd.)

		ROSA-III			BWR/6		
Location	Volume (m ³)	Length (m)	Bottom Elevation (m)	Volume*** (m ³)	Length (m)	Bottom Elevation (m)	
Broken Loop Recirculation Pump Suction Line (R ; 12,13, B ; 5,16)	Vol.12 0.0175	Vol.12 1.49	Vol.12 -0.526	Vol.5 7.13·10 ⁻³	Vol.5 9.81	Vol.5 -6.15	
	Vol.13 0.0238	Vol.13 3.19	Vol.13 -2.24	Vol.16 2.83·10 ⁻³	Vol.16 9.61	Vol.16 3.05	
Broken Loop Recirculation Pump (R ; 14, B ; 6)	5.30·10 ⁻³	0.291	-2.53	2.83·10 ⁻³	0.610	-6.15	
Broken Loop Recirculation Pump Discharge Line (R ; 15, B ; 7)	0.0254	5.85	-2.53	0.0124	14.6	-6.15	
Total	1.40			1.46			

* Inertia ; Geometric inertia for junction or one-half the length of each adjacent volume divided by the volume flow area

FJUNF ; The amount of forward flow resistance coefficient and residual friction coefficient

FJUNR ; The amount of reverse flow resistance coefficient and residual friction coefficient

R ; ROSA-III

B ; BWR/6

** Junction or Volume Number

*** These values are multiplied by 1/424 to compare easily with the ROSA-III data.

TABLE 5.2 Comparison of major events

	Experiment	ROSA-III analysis	BWR/6 analysis
L2 level	19 s	5.6 s	5.4 s
MSIV closure	24 s	Experimental data	8.4 s
L1 level	38.2 s	20.0 s	18.5 s
SRV actuation	83.6 s	54 s	39 s
Uncovery of jet pump suction	98.8 s	97.3 s	115 s
Uncovery of outlet nozzle to recirculation line	150 s	323 s	288 s
ADS actuation	158 s	Experimental data	138 s
Lower plenum flashing	159 s	170 s	148 s
LPCS actuation	318 s	Experimental data	289 s
LPCI actuation	406 s	Experimental data	386 s

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ R APV11 ○ R APV1

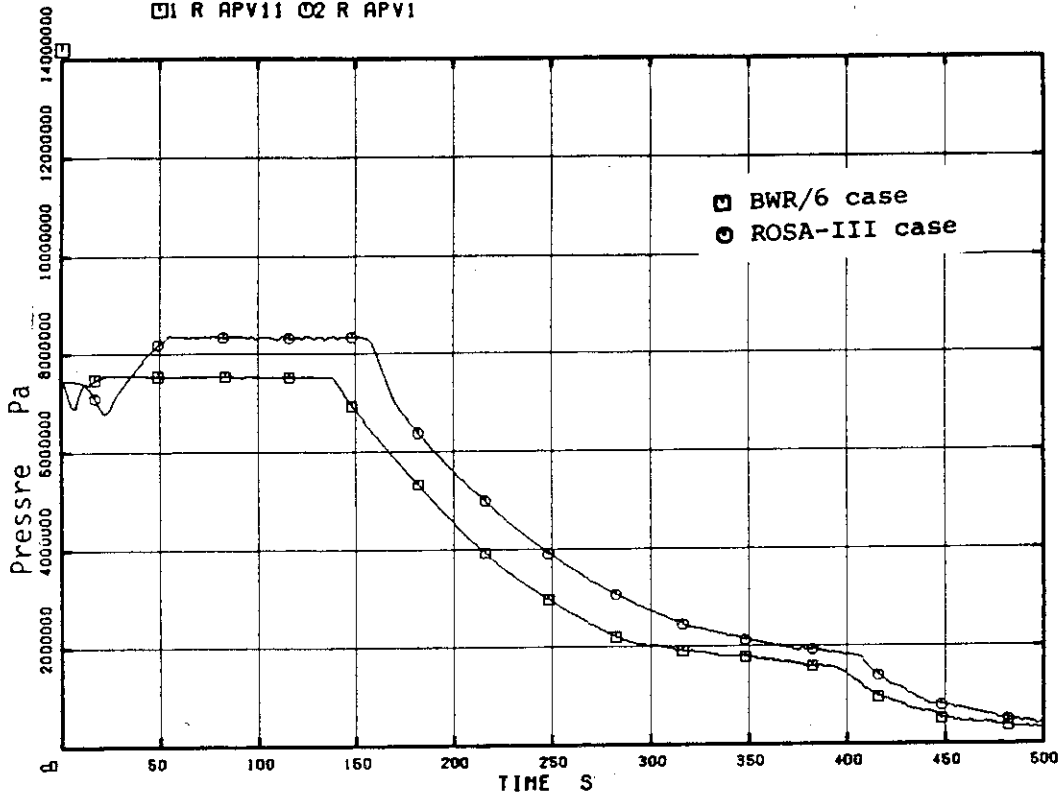


Fig. 5.1 Lower plenum pressures

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ R N0 ○ R N0

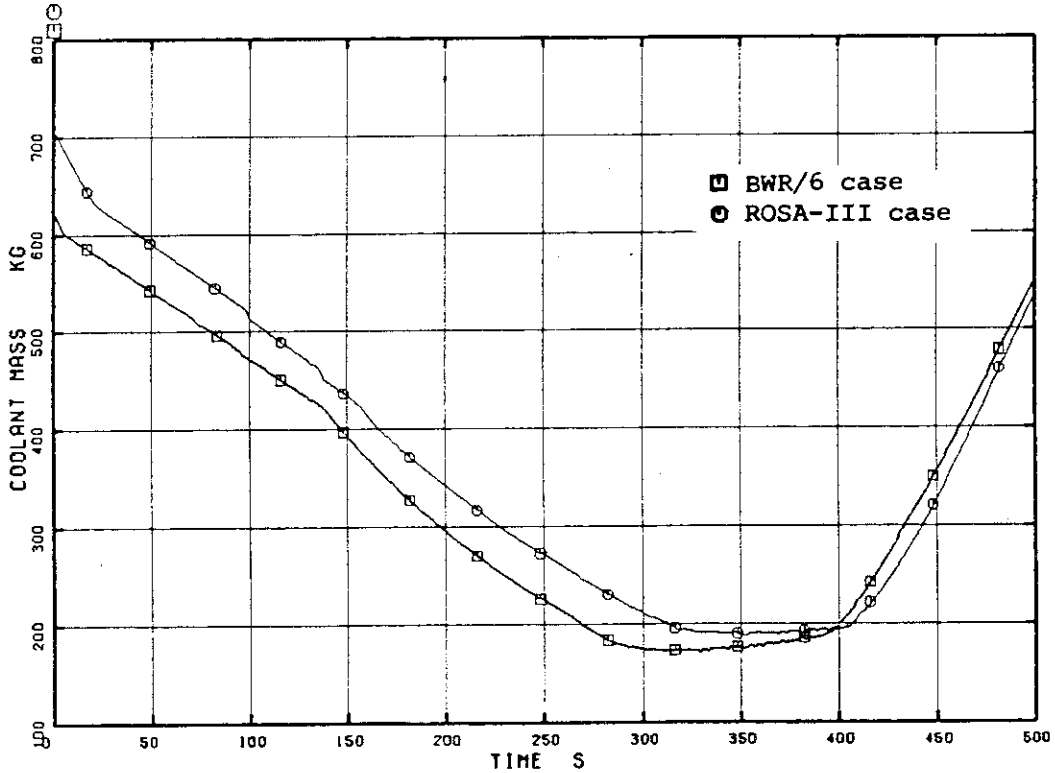


Fig. 5.2 Total mass inventories in each system

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ R WT ○ R WT

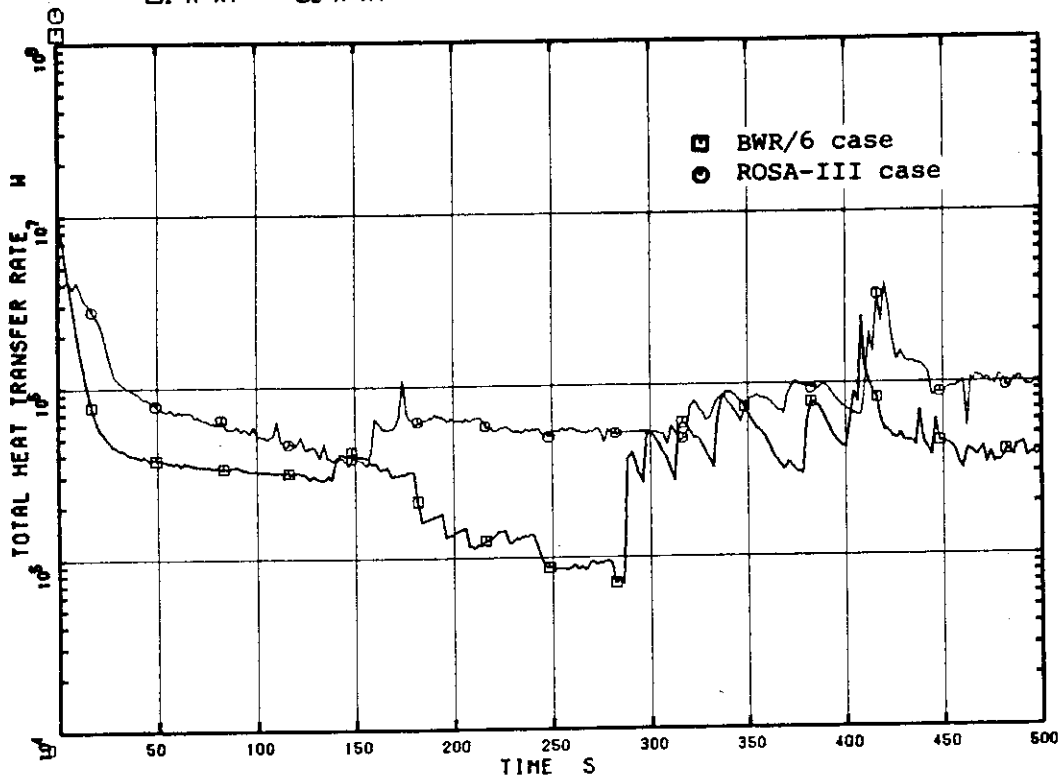


Fig. 5.3 Total heat transfer rates

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ R NO ○ R NO

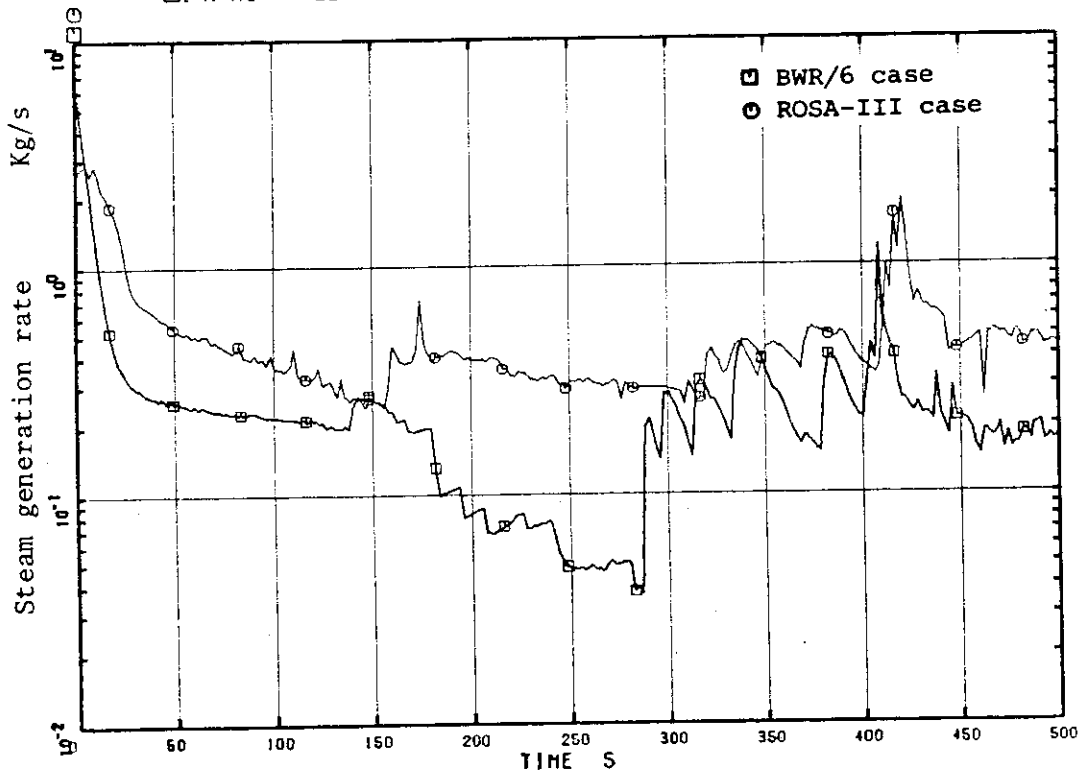


Fig. 5.4 Steam generation rates calculated from total heat transfer rate

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3
 □ R JWJ25 ○ R JWJ31

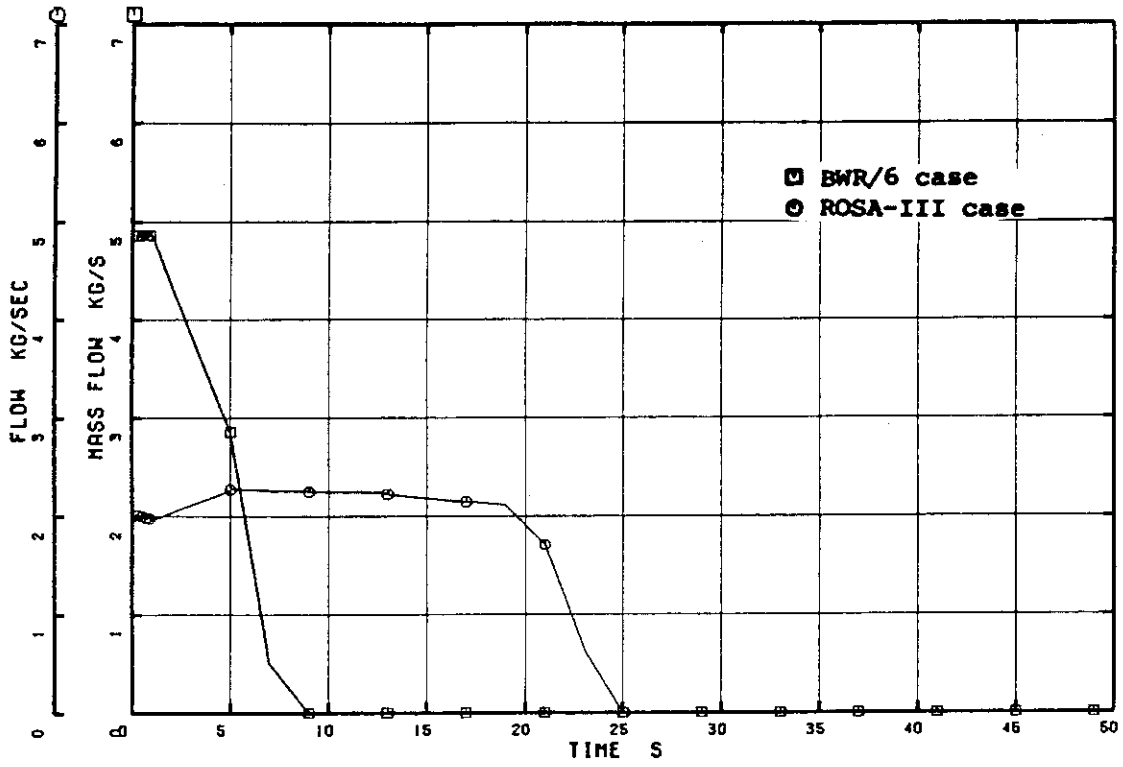


Fig. 5.5 Main steam line flows

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3
 □ R JWJ21 ○ R JWJ31

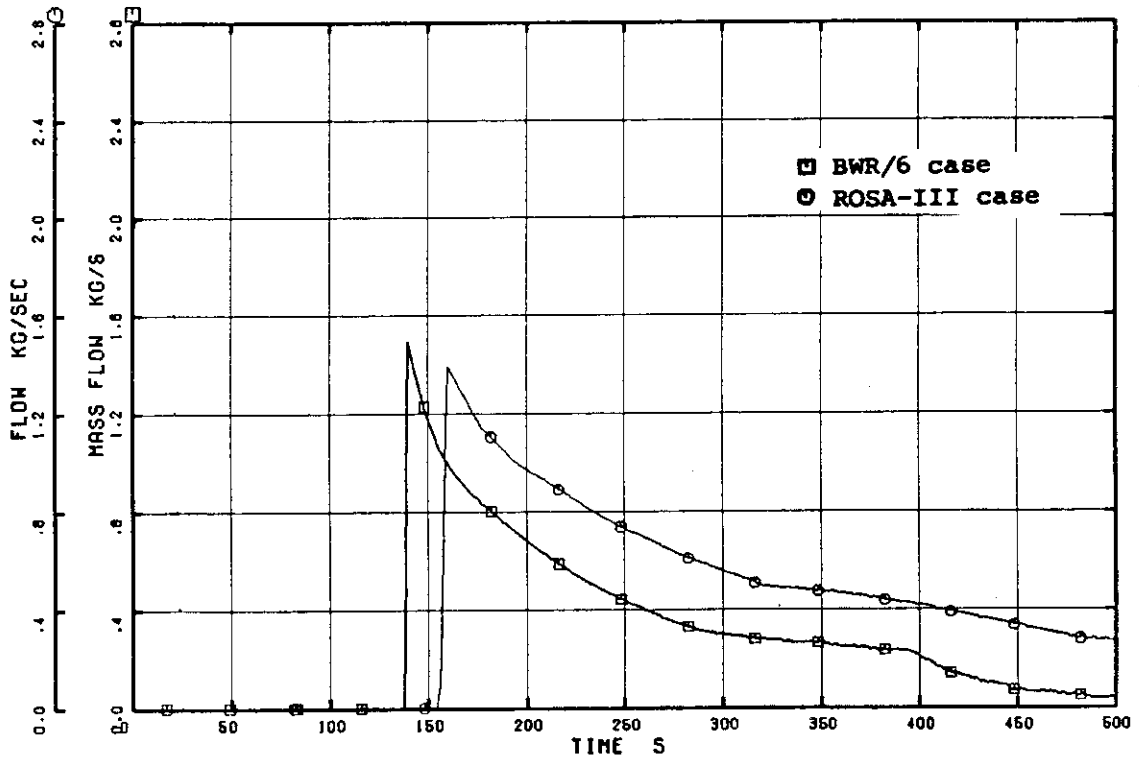


Fig. 5.6 ADS flows

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ R JWJ22 ○ R JWJ32

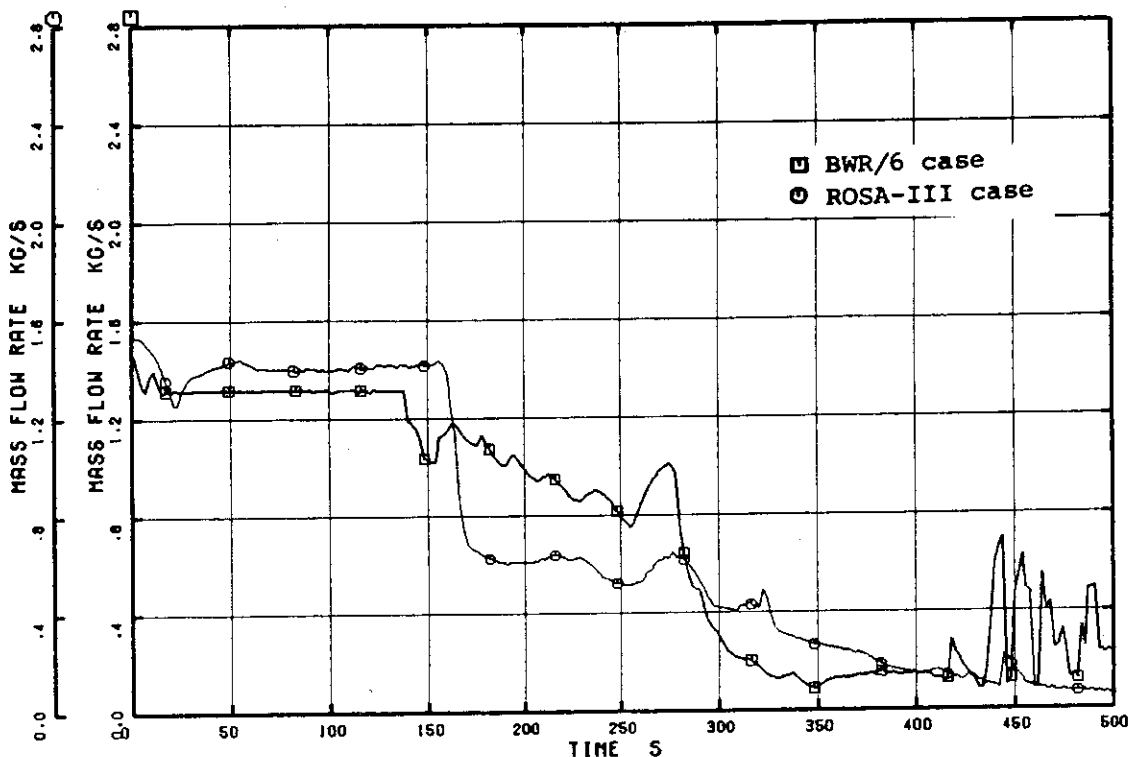


Fig. 5.7 Break flows

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ R APV1 ○ R EDJ1 △ R EDJ3

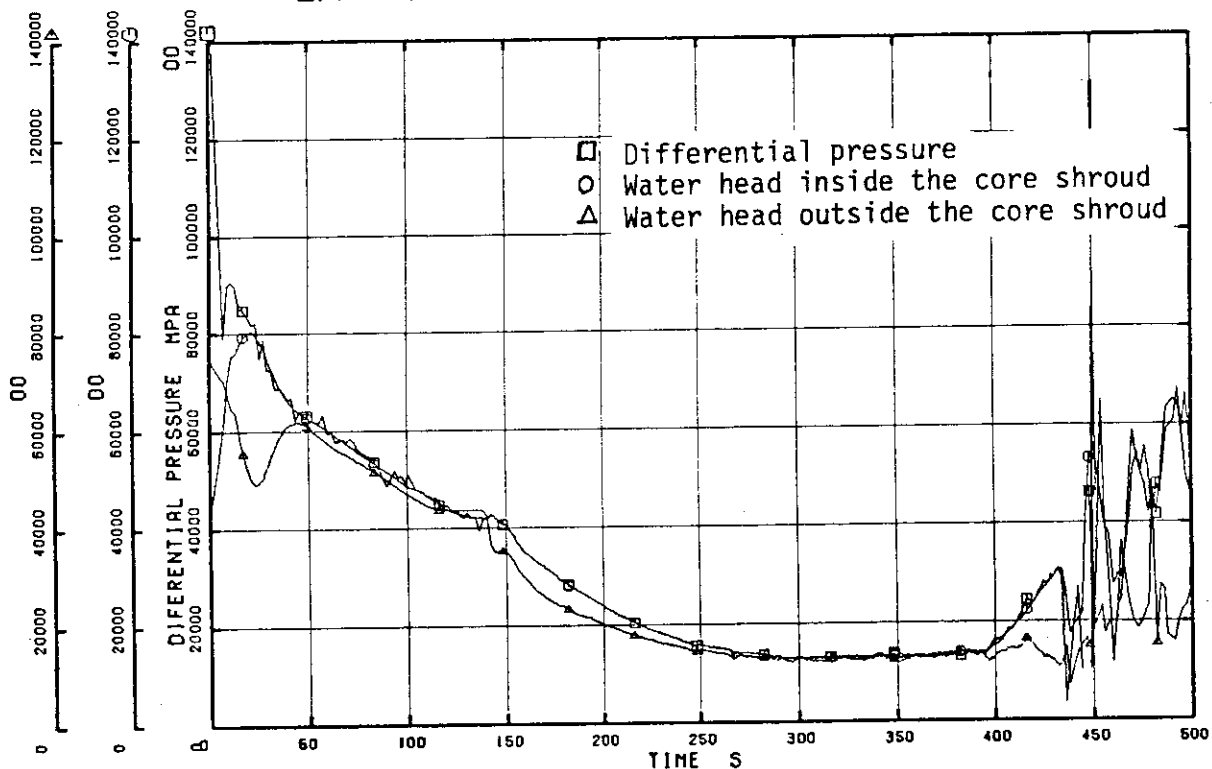


Fig. 5.8 Comparison of differential pressure between top and bottom of pressure vessel and water heads inside and outside the core shroud

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3
□ R JWJ38 ○ R JWJ1

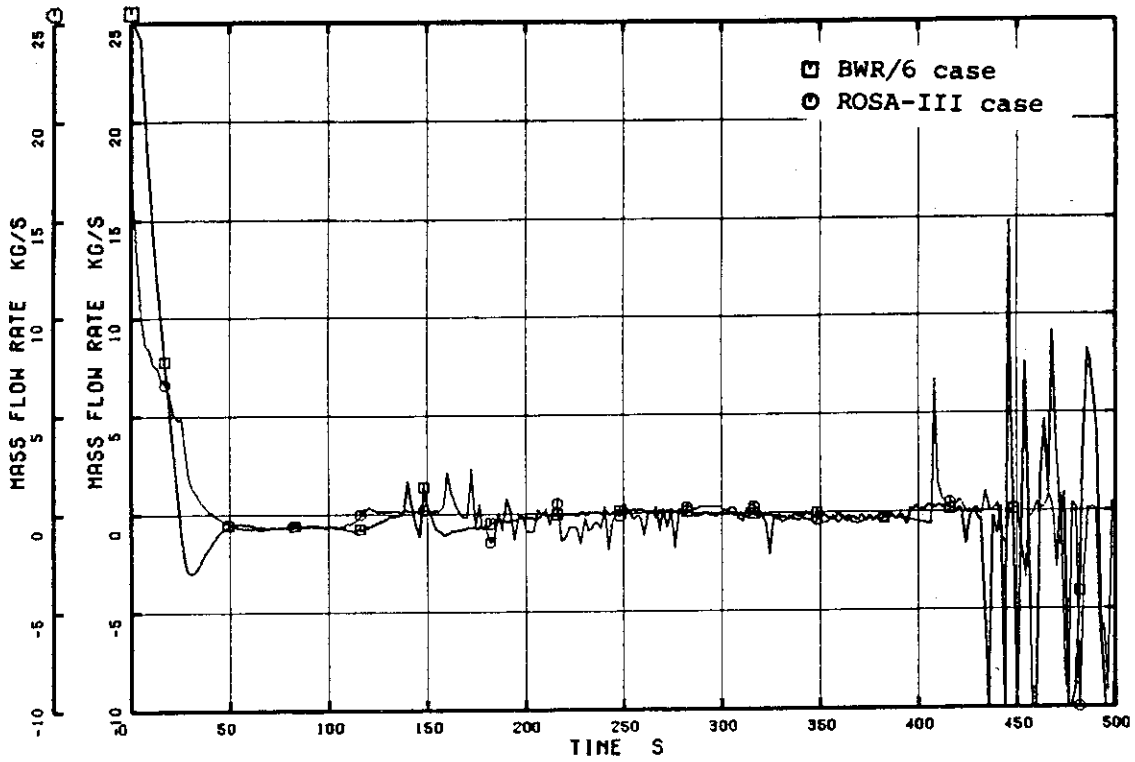


Fig. 5.9 Total core inlet flows

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3
□ R JWJ26

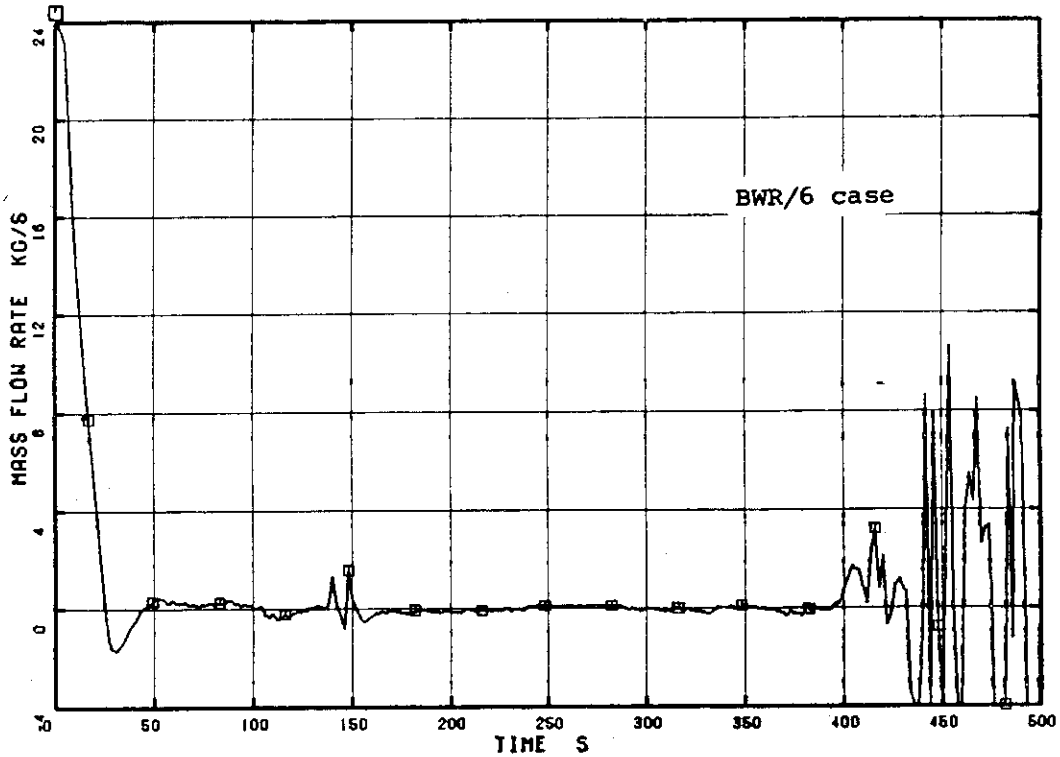


Fig. 5.10 Central core inlet flows

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3
□ R JWJ27

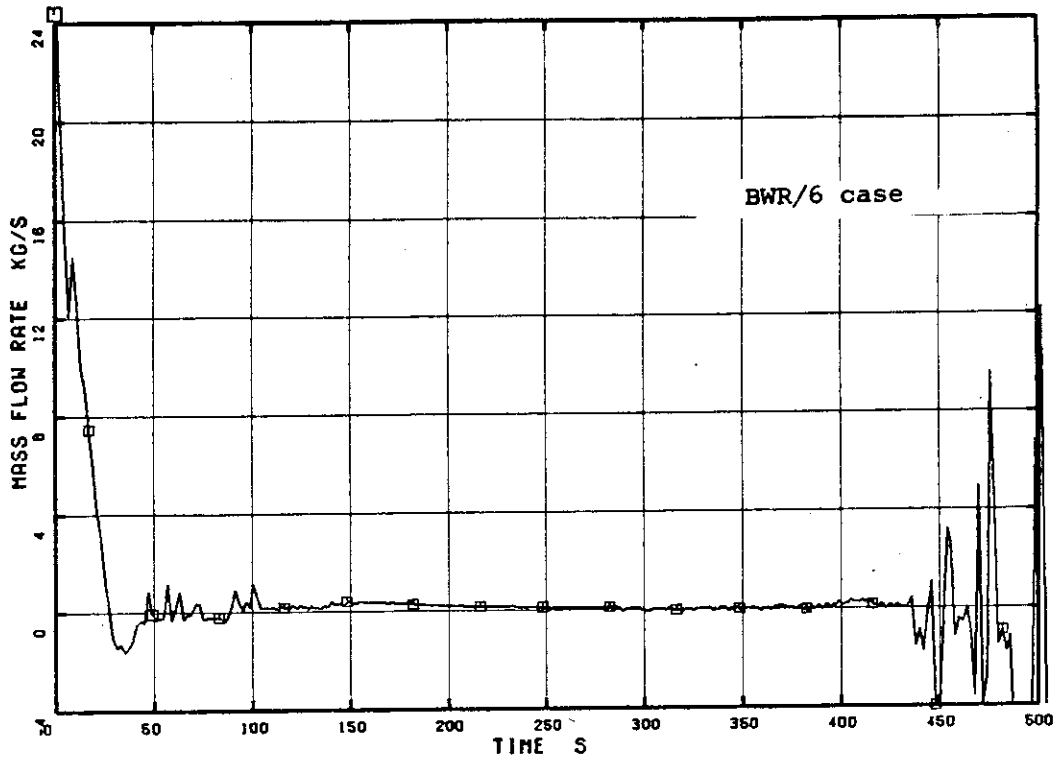


Fig. 5.11 Central core outlet flow

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3
□ R JWJ14

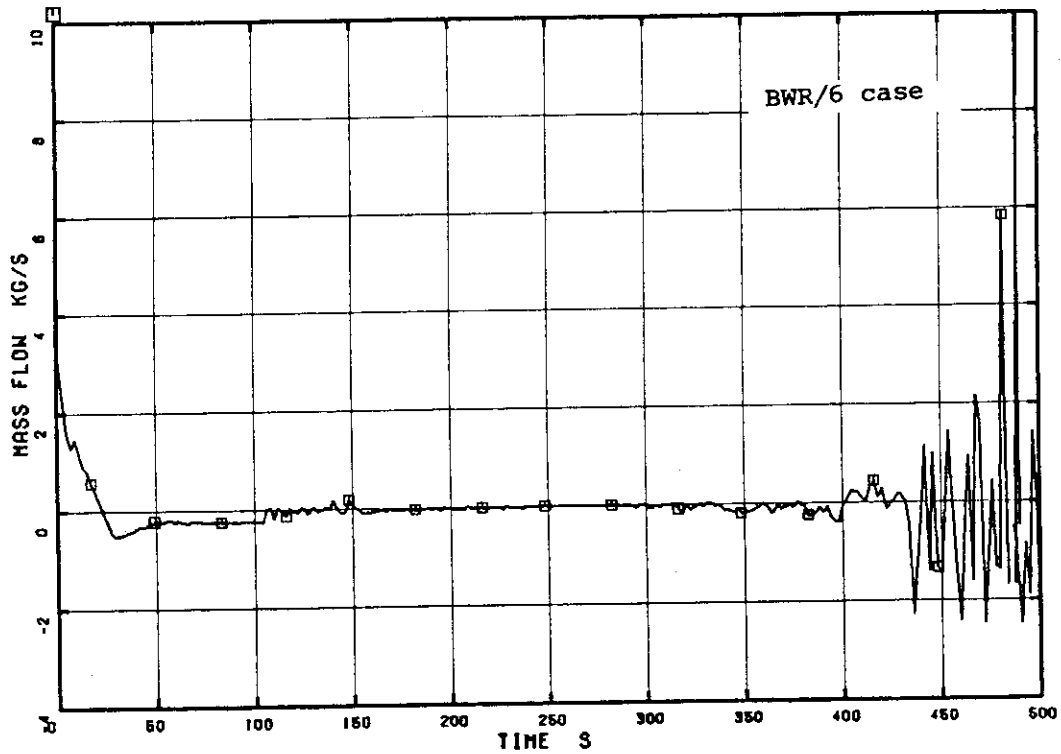


Fig. 5.12 Peripheral core inlet flow

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3
 □ R JWJ15

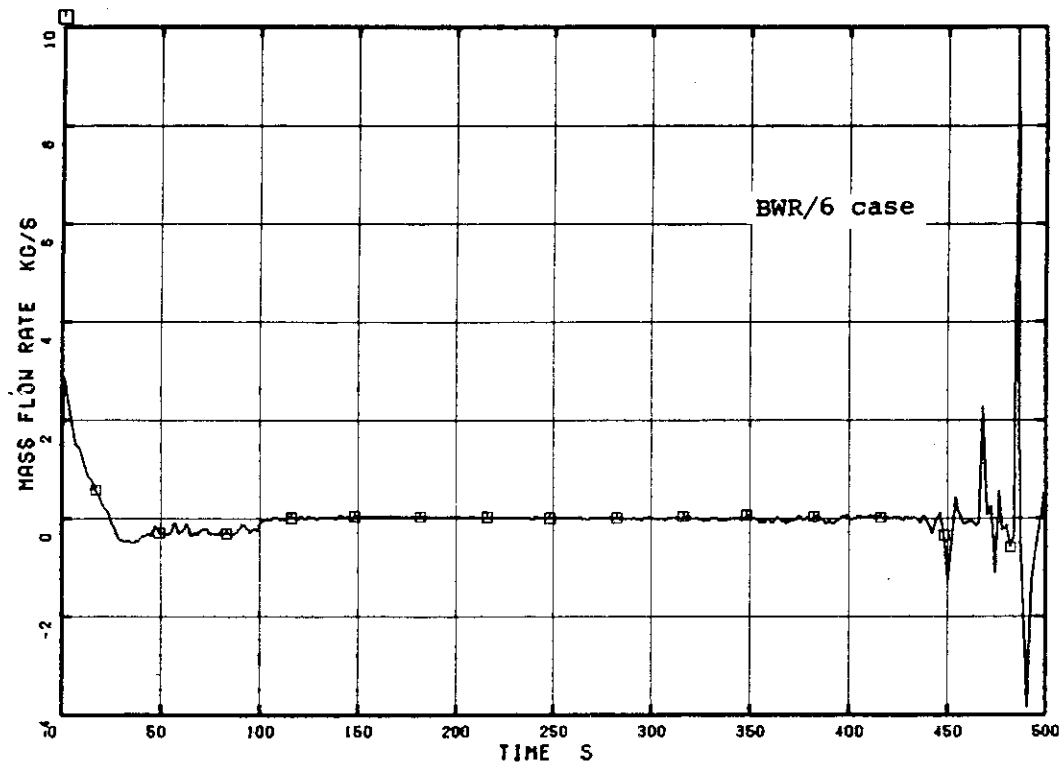


Fig. 5.13 Peripheral core outlet flow

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3
 □ R JWJ16 ○ R JWJ24

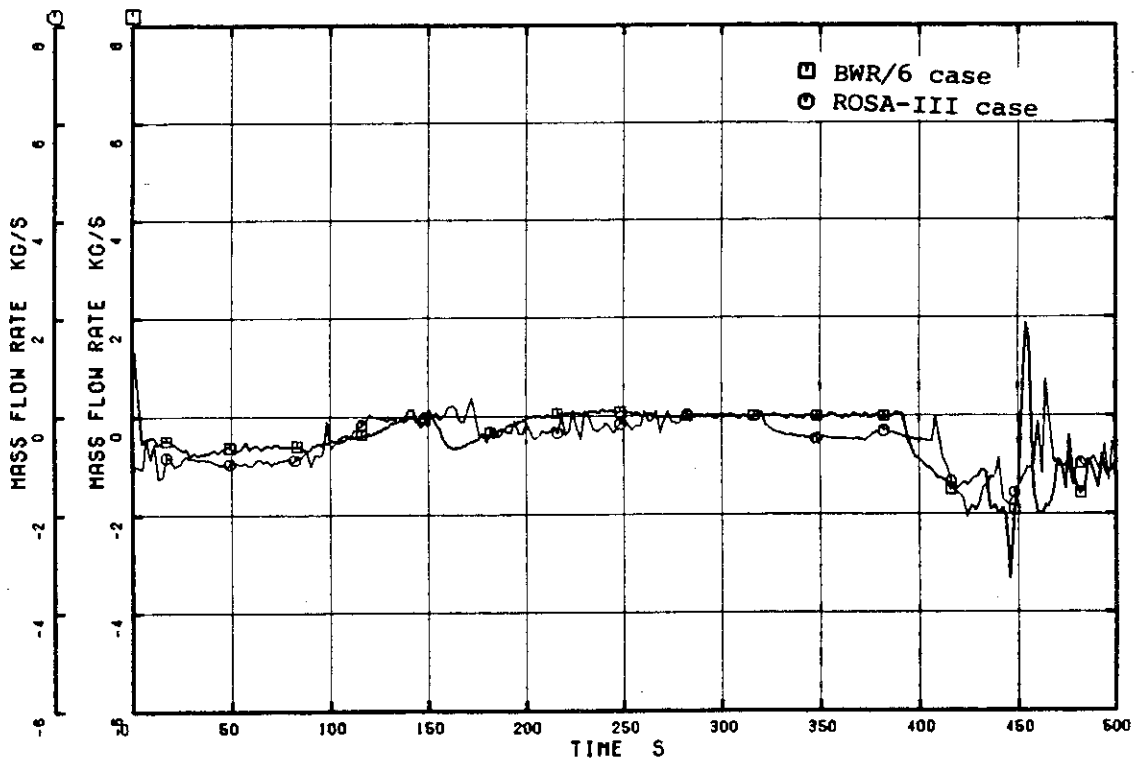


Fig. 5.14 Leak hole flows

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3
□ R JWJ40 ○ R JWJ6

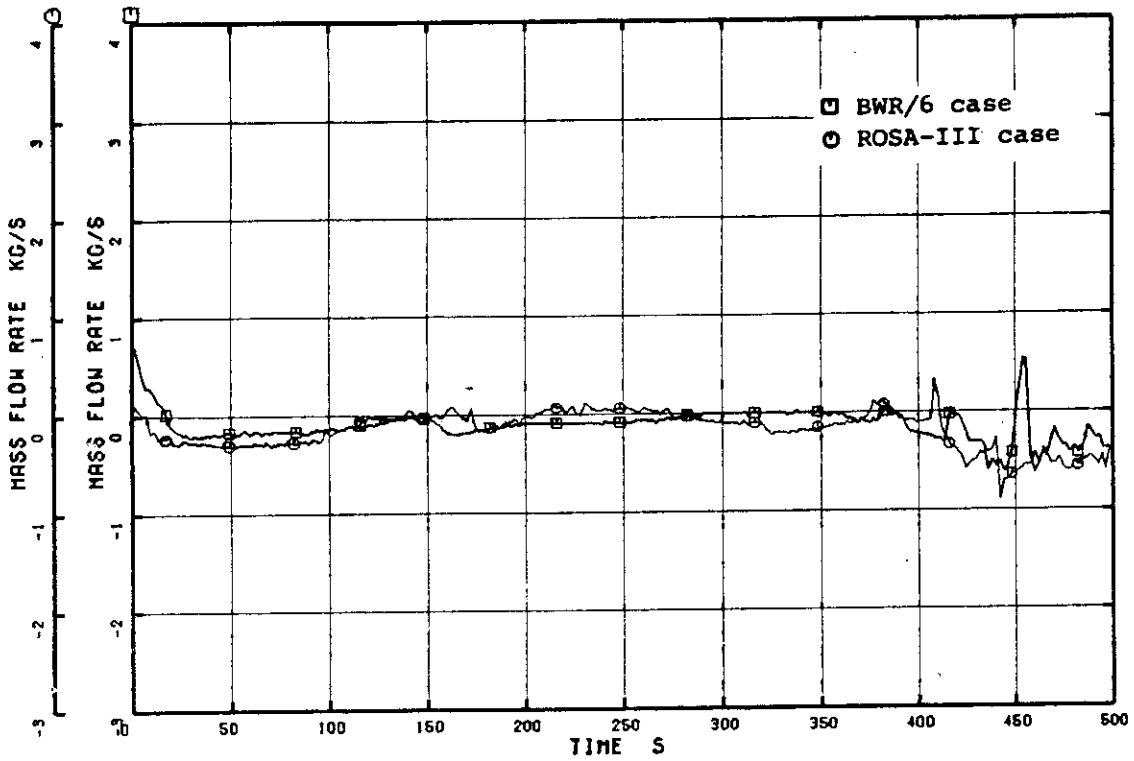


Fig. 5.15 Guide tube inlet flows

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ R JWJ39 ○ R JWJ7

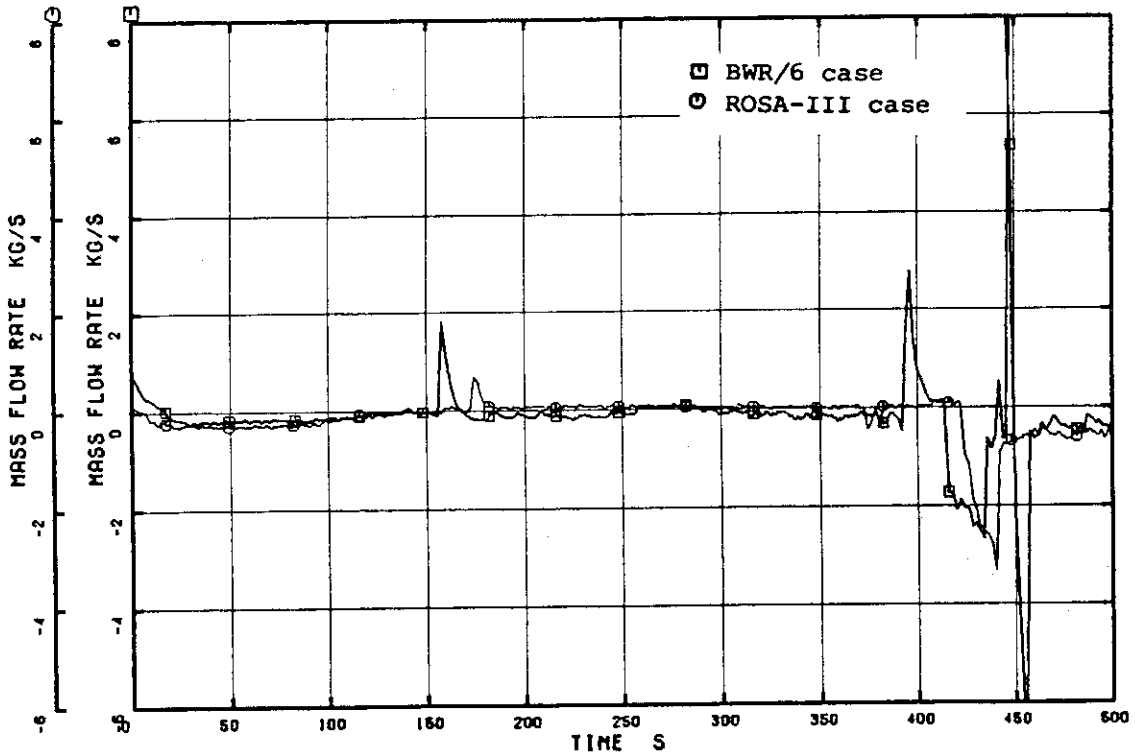


Fig. 5.16 Core bypass inlet flows

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3
 □ R JWJ17 ○ R JWJ8

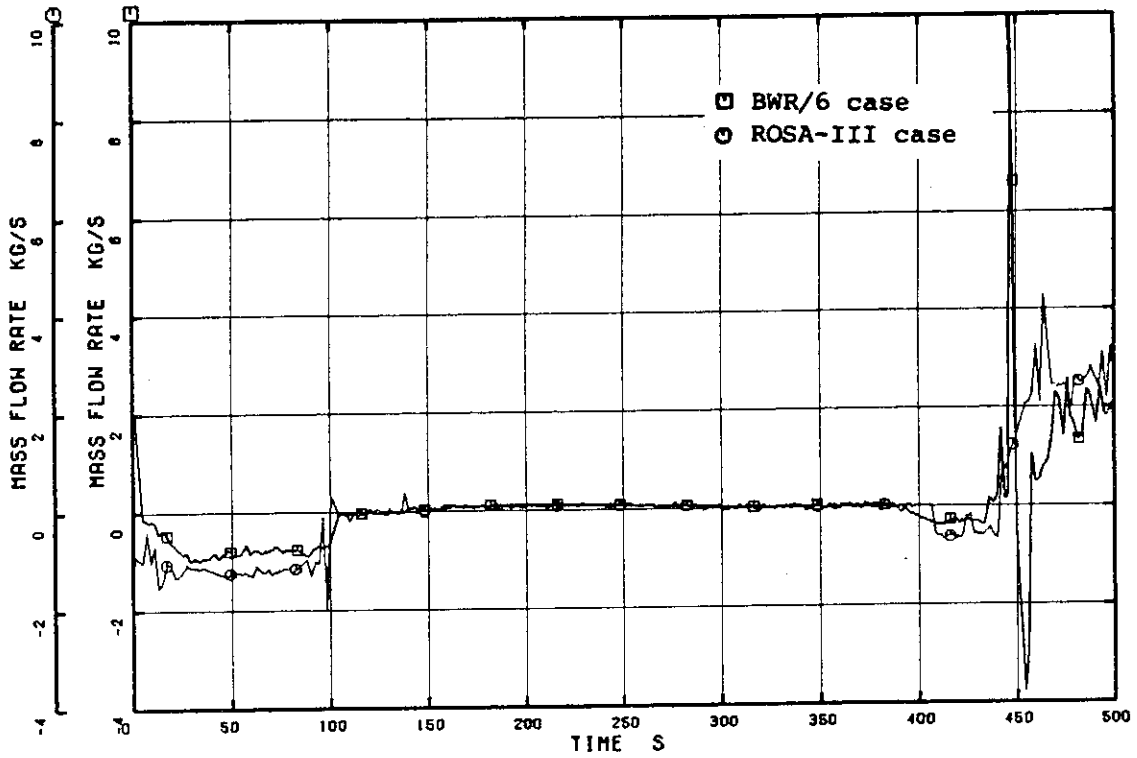


Fig. 5.17 Core bypass outlet flows

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3
 □ R JWJ13 ○ R JWJ18

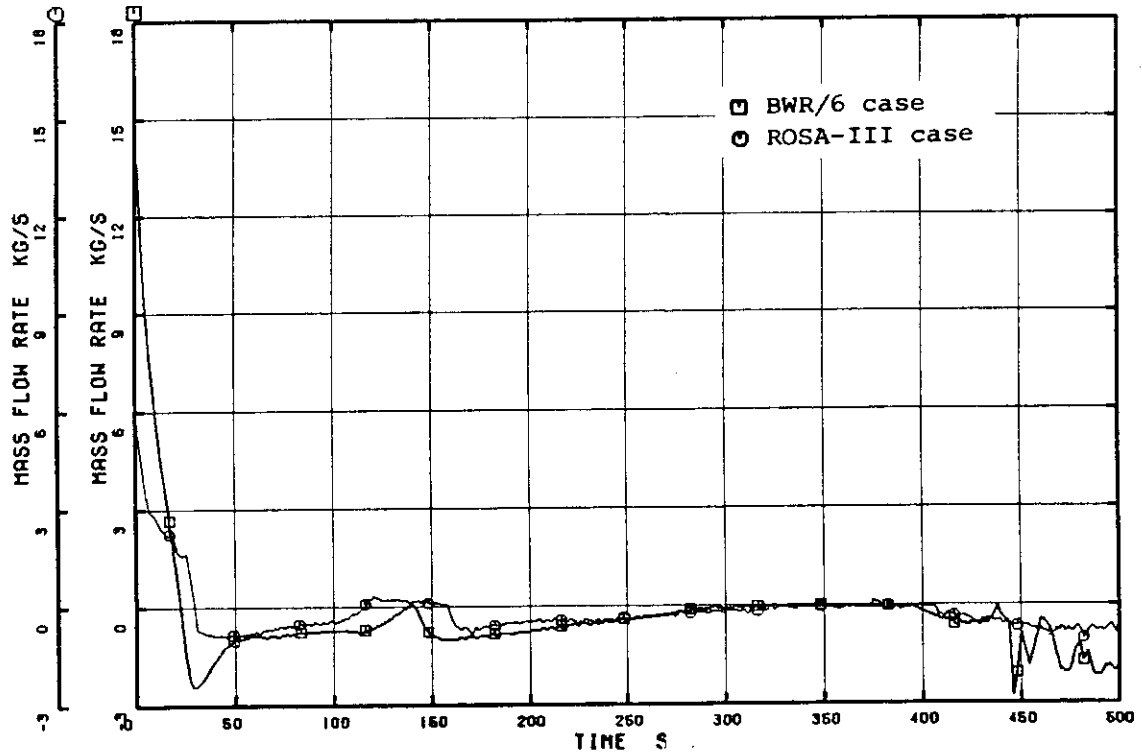


Fig. 5.18 Intact loop jet pump suction flows

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3
 □ R JWJ12 ○ R JWJ23

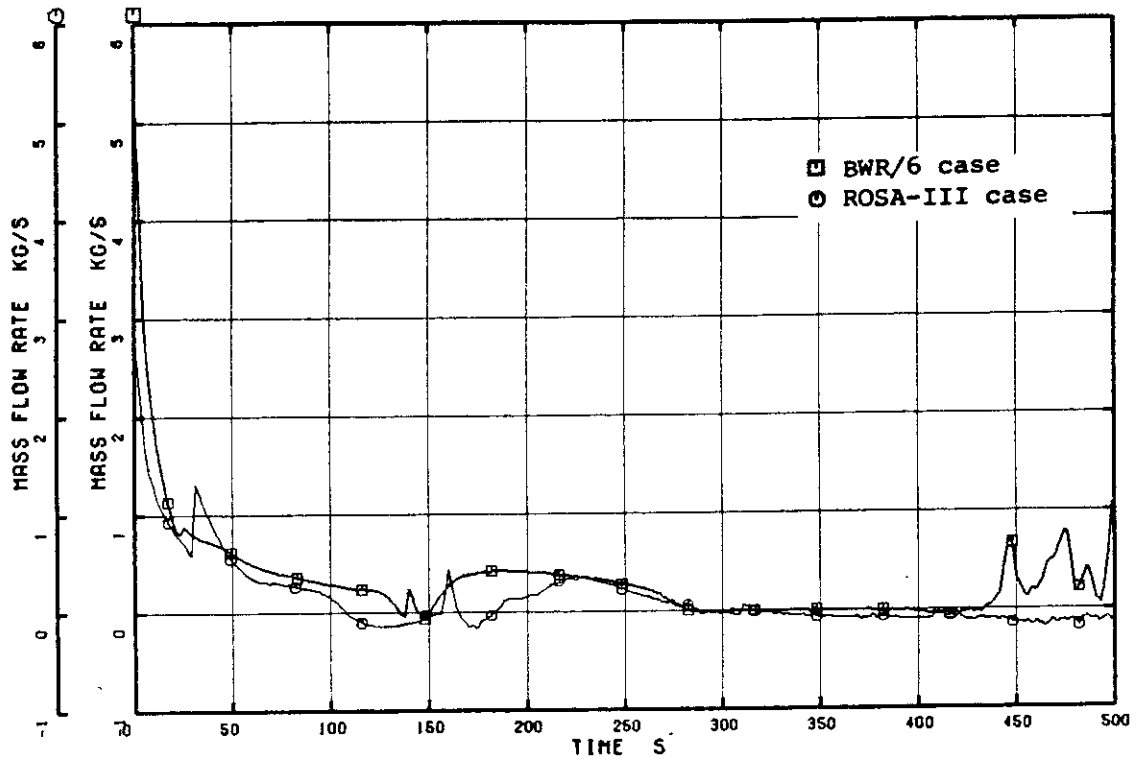


Fig. 5.19 Intact loop jet pump drive flows

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3
 □ R JWJ18 ○ R JWJ19

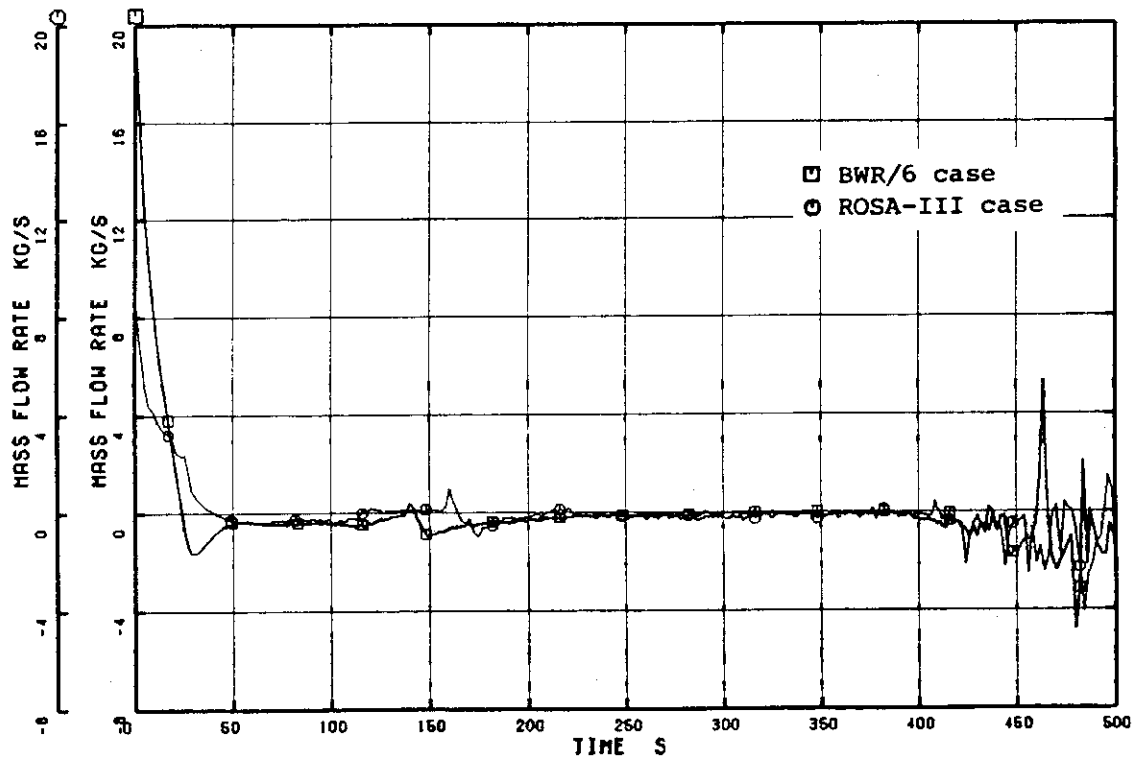


Fig. 5.20 Intact loop jet pump discharge flows

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3
□ R JWJ4 ○ R JWJ11

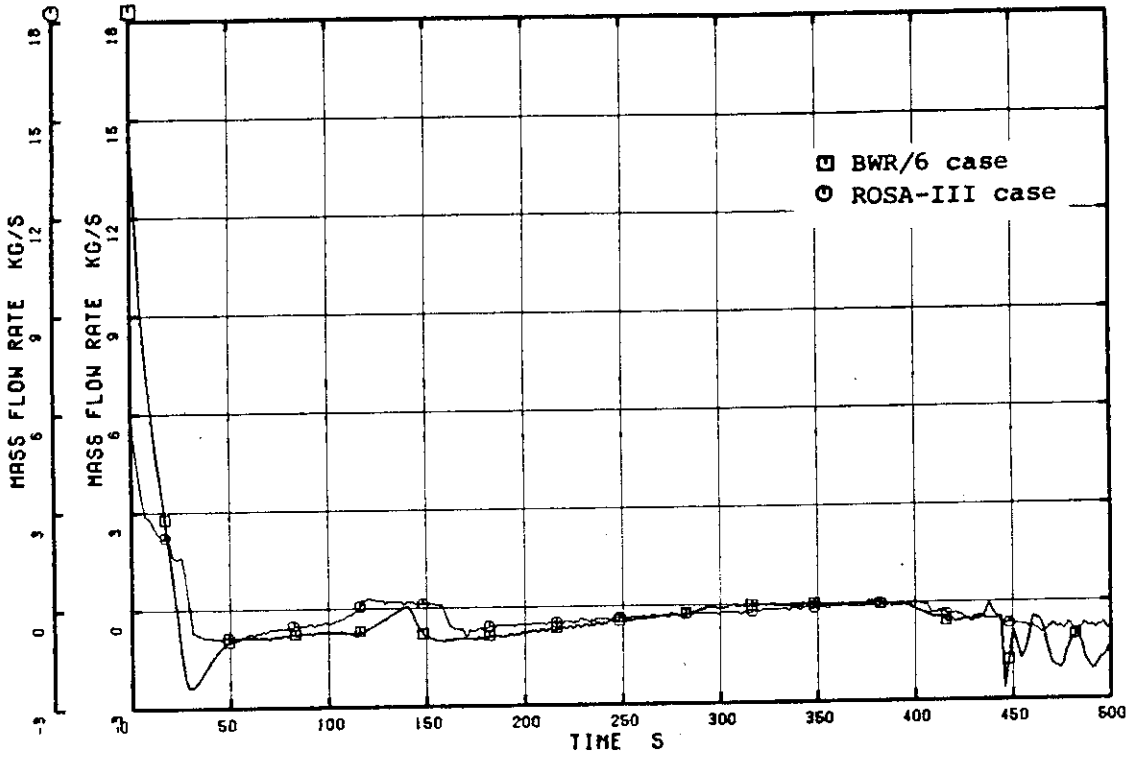


Fig. 5.21 Broken loop jet pump suction flows

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3
□ R JWJ8 ○ R JWJ16

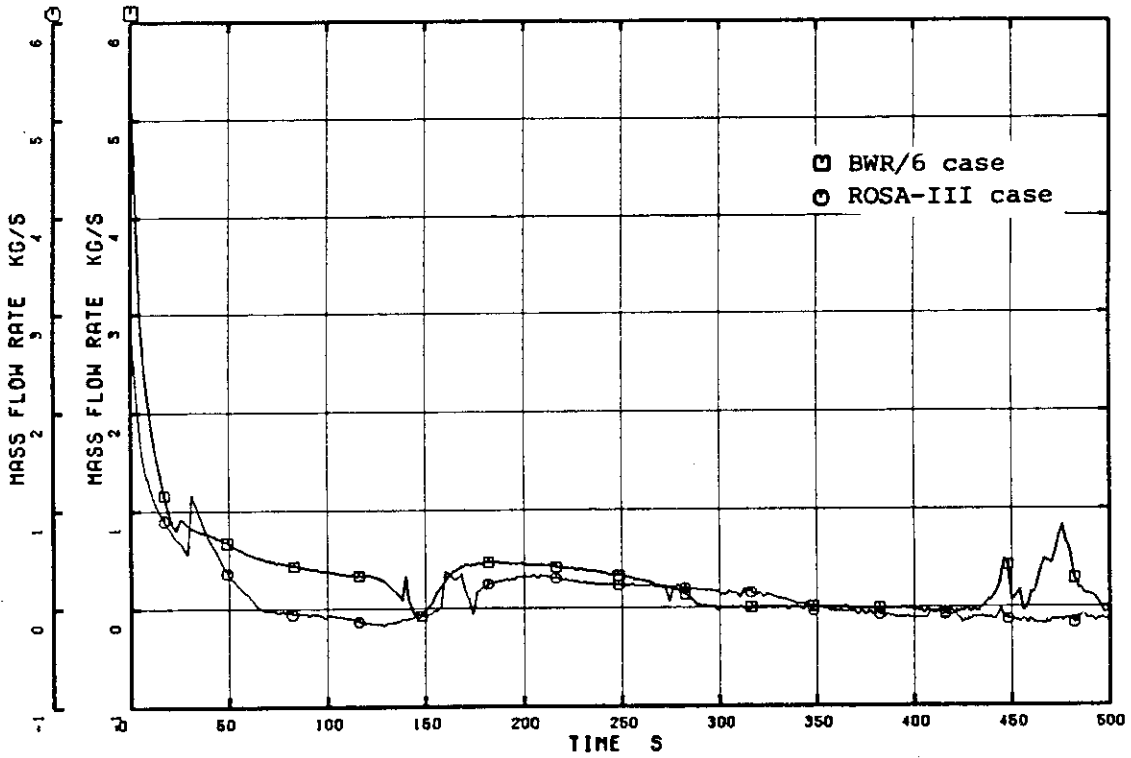


Fig. 5.22 Broken loop jet pump drive flows

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3
□ R JWJ19 ○ R JWJ12

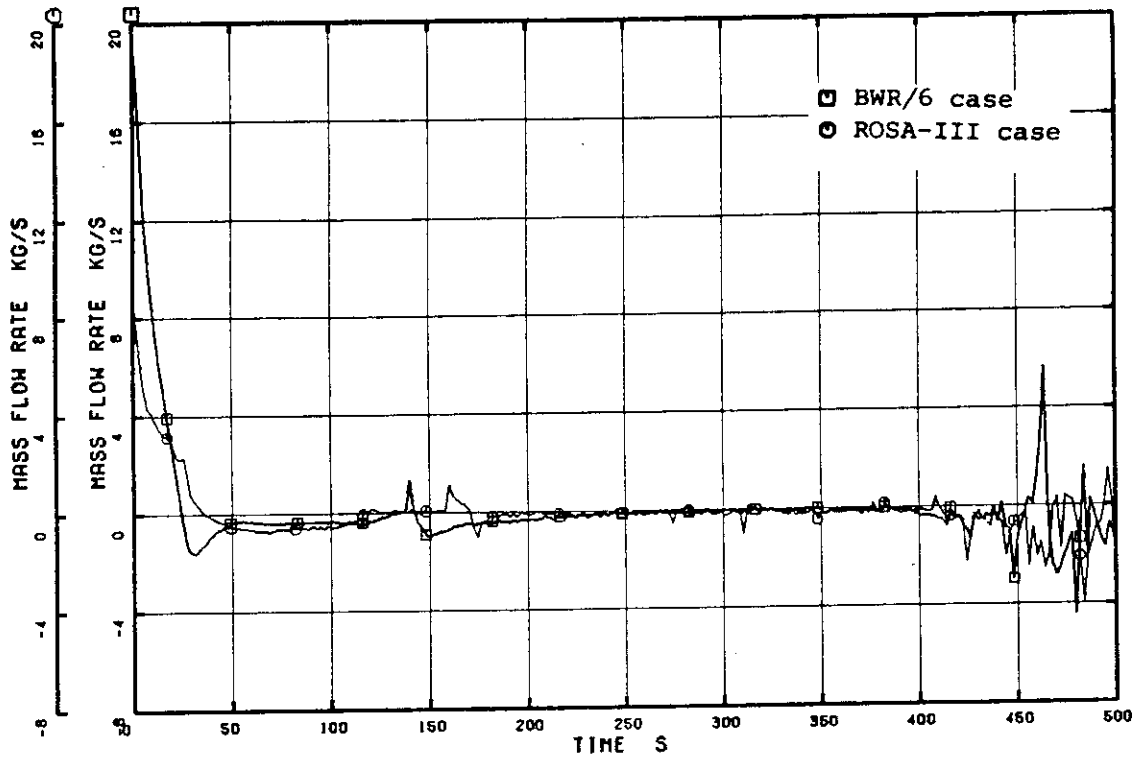


Fig. 5.23 Broken loop jet pump discharge flows

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3
□ R JWJ28

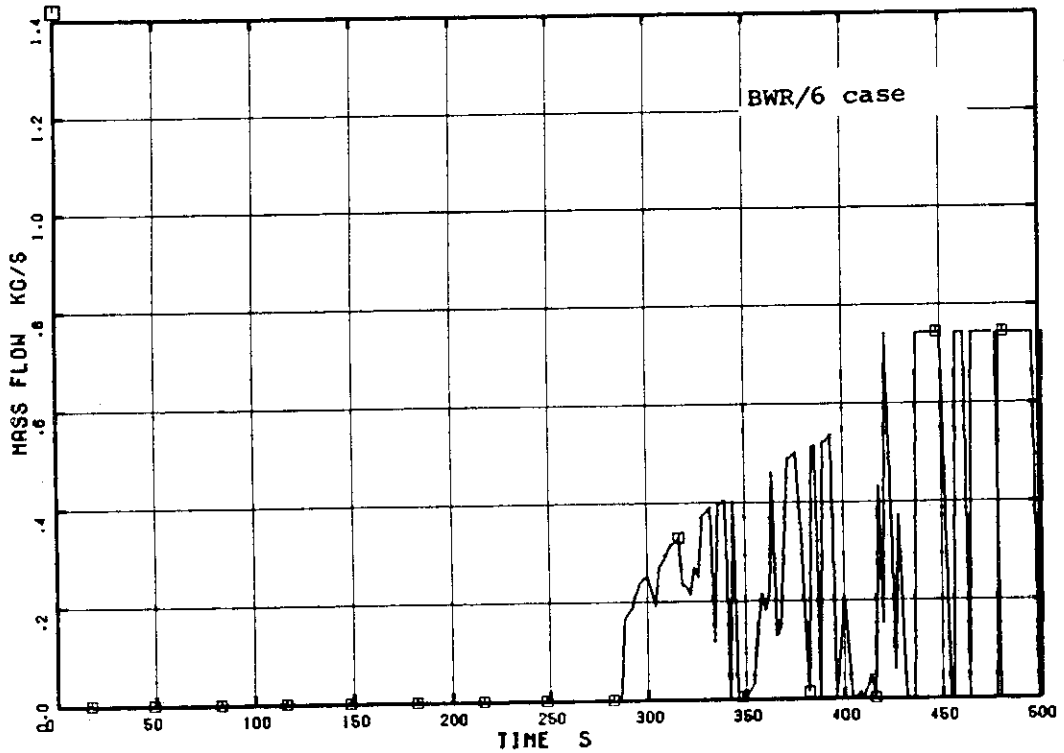


Fig. 5.24 LPCS flow into central core

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3
□ R JWJ32

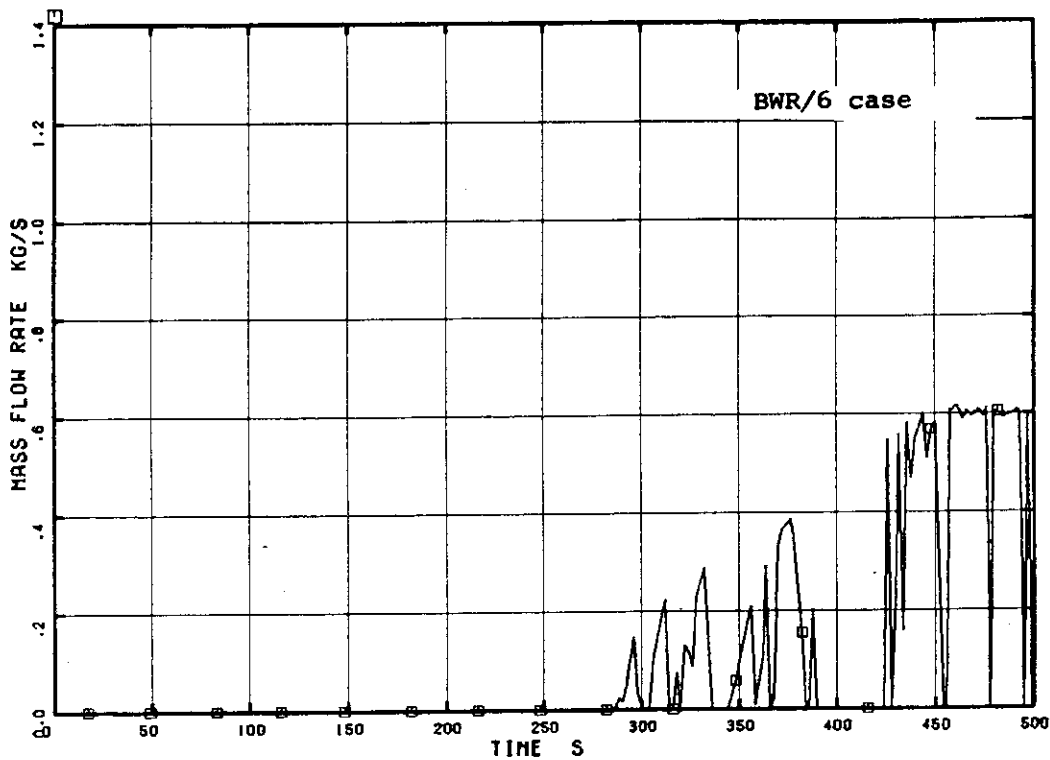


Fig. 5.25 Droplet flow of LPCS into central core

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3
□ R JWJ33

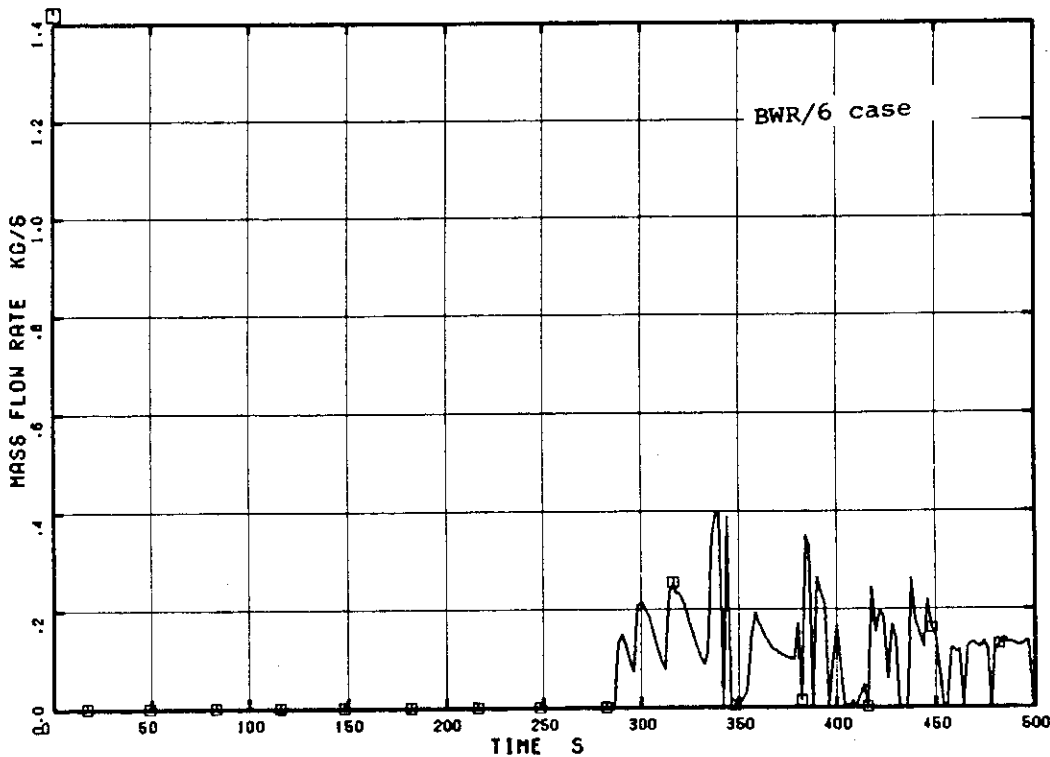


Fig. 5.26 Vapor flow of LPCS from central core

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3
□ R JHJ29

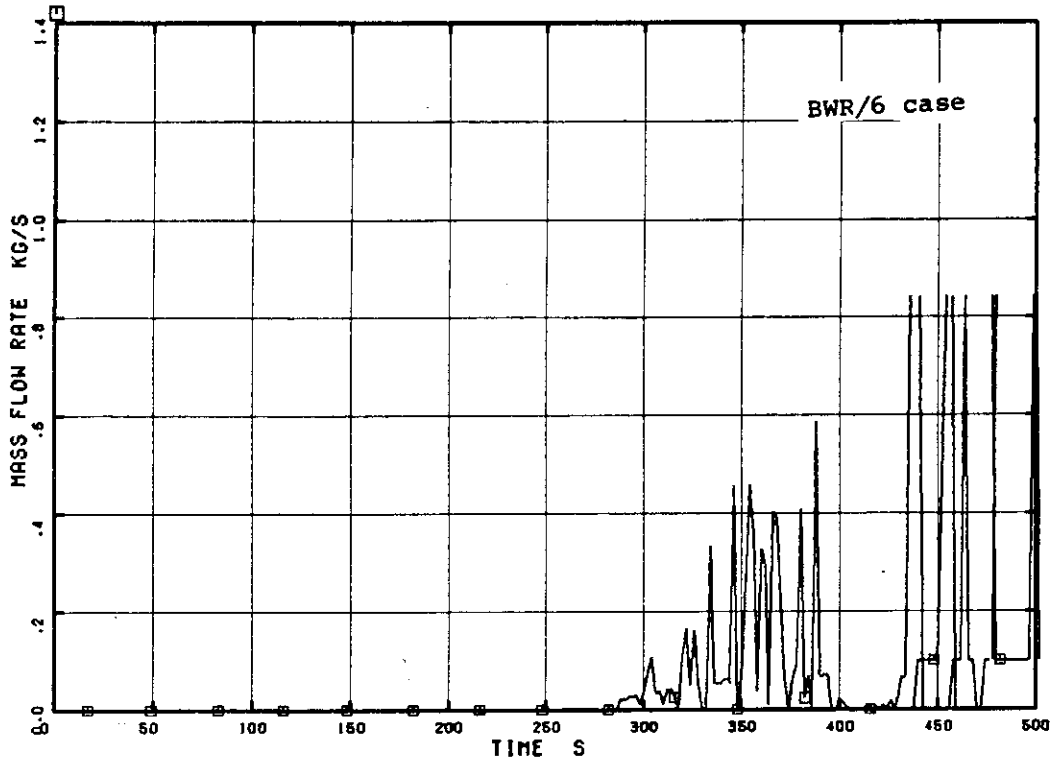


Fig. 5.27 LPCS flow into peripheral core

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3
□ R JHJ34

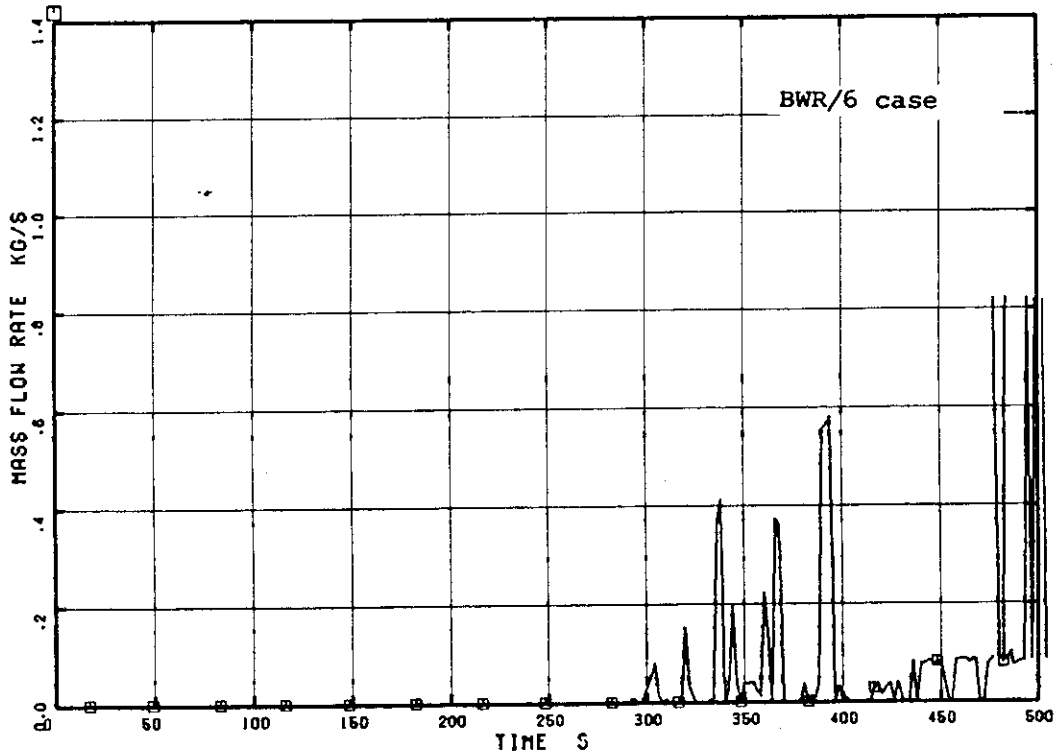


Fig. 5.28 Droplet flow of LPCS into peripheral core

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3
 □ R JWJ35

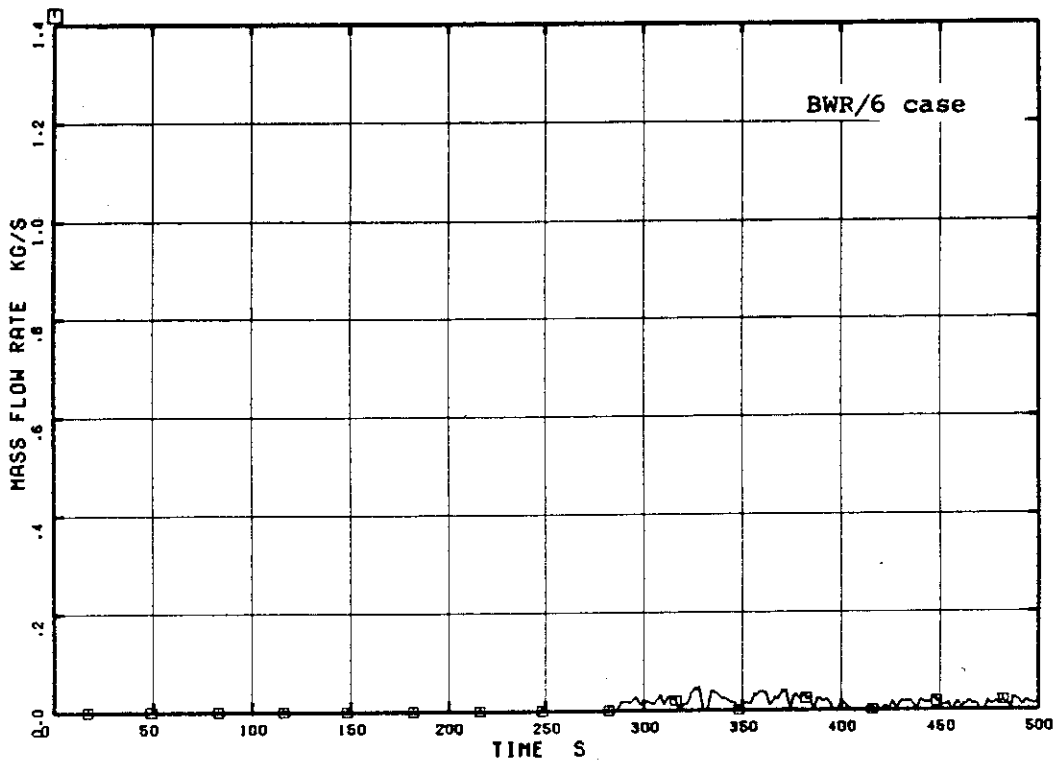


Fig. 5.29 Vapor flow of LPCS from peripheral core

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3
 □ R JWJ30 ○ R JWJ27

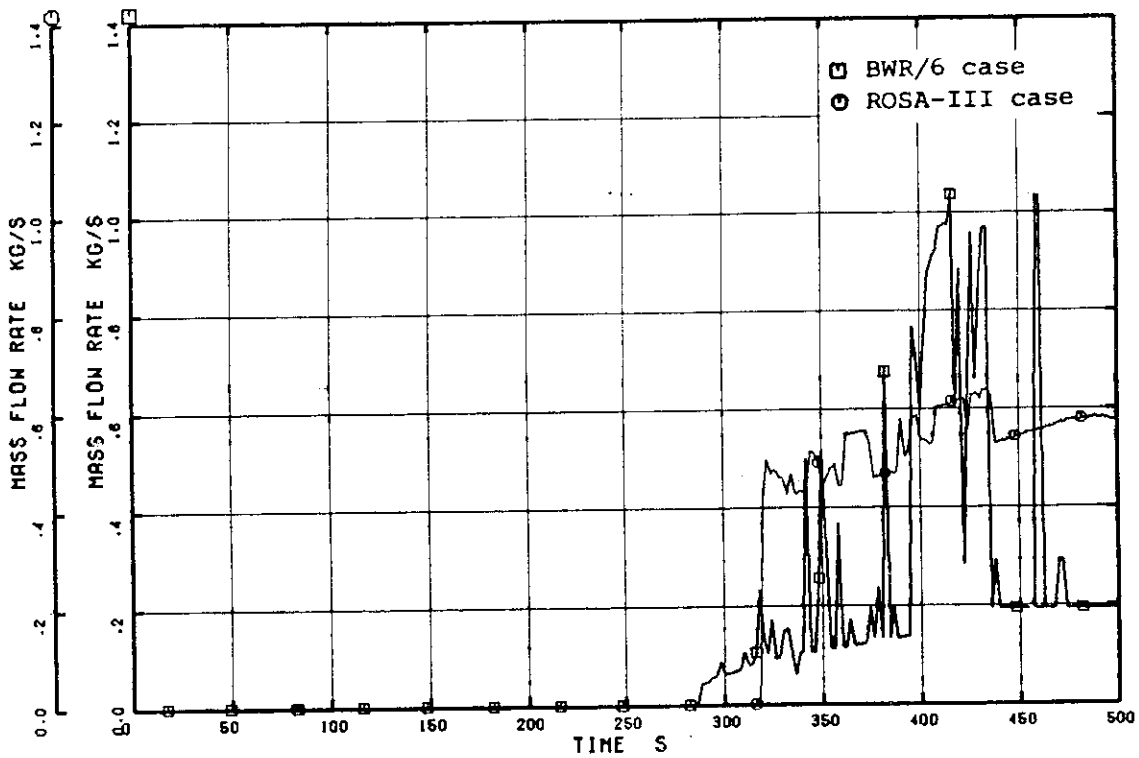


Fig. 5.30 LPCS flows into core bypass

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3
 □ R JWJ30 ○ R JWJ27

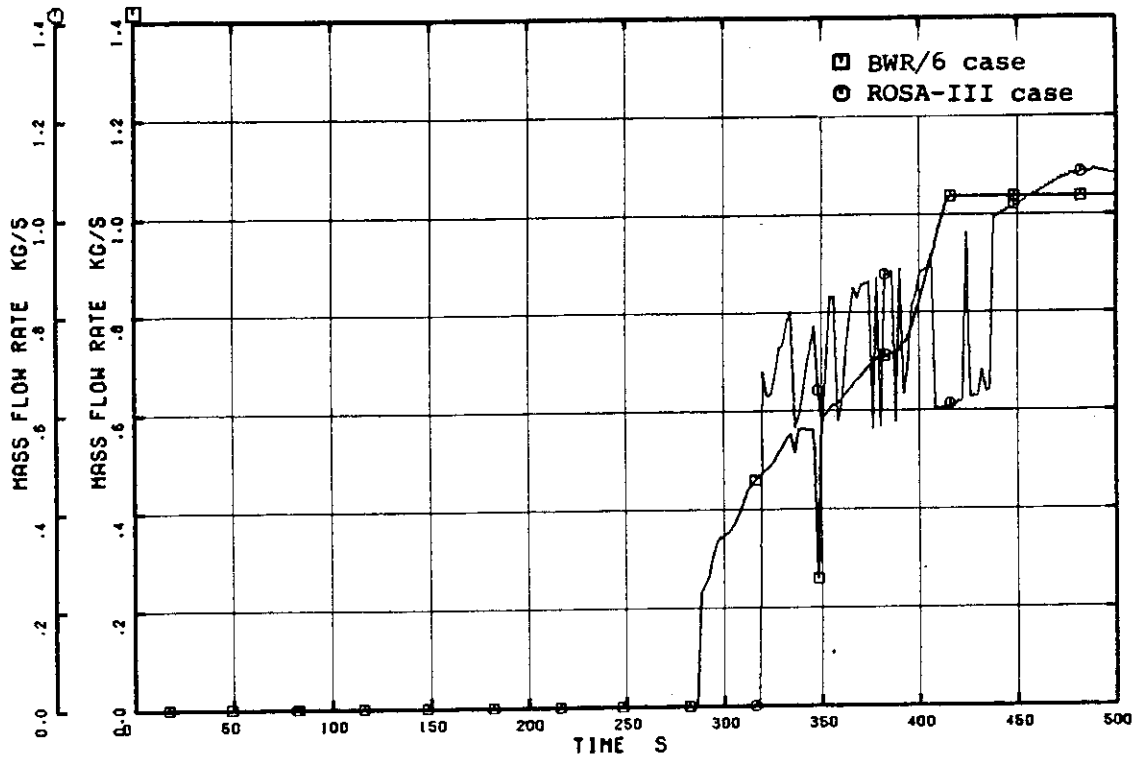


Fig. 5.31 LPCS flows

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3
 □ R JWJ31 ○ R JWJ30

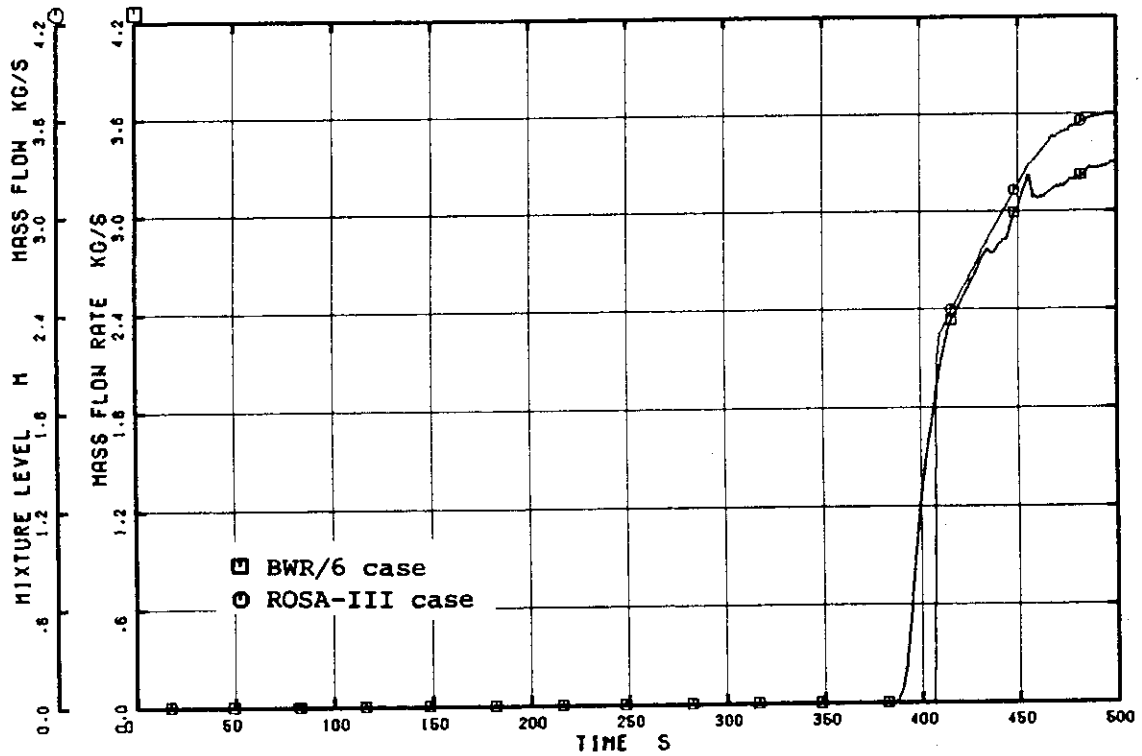


Fig. 5.32 LPCI flows

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ R MLV2 ○ R MLV4 △ R MLV5 + R MLV9

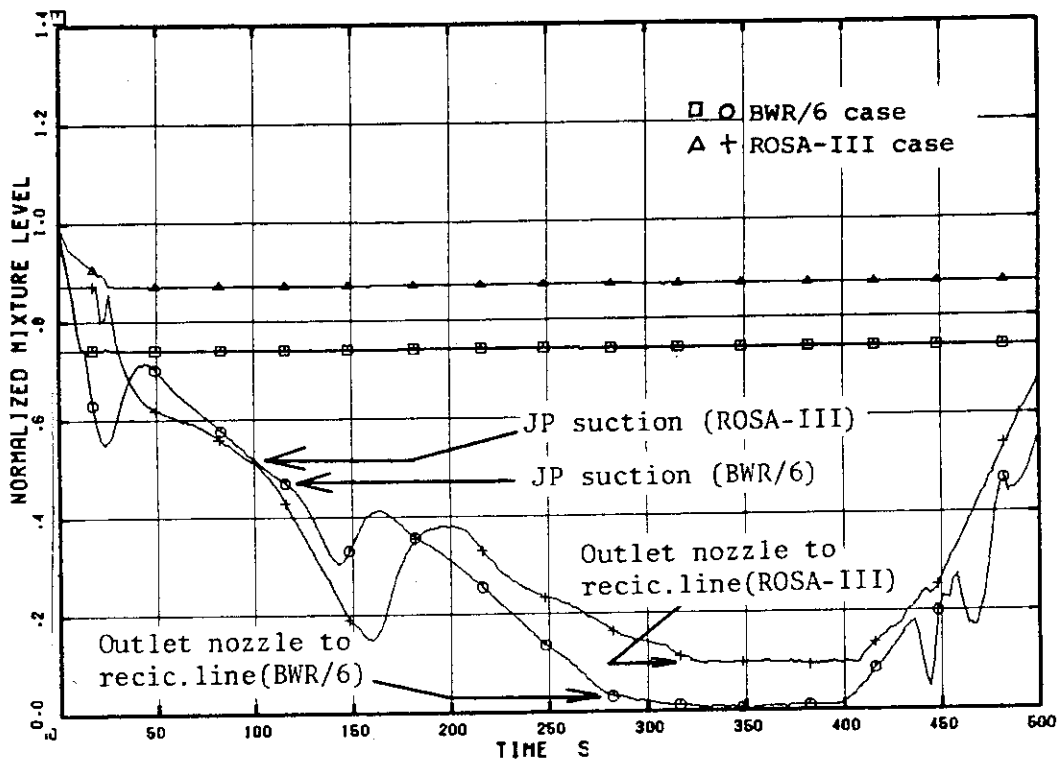


Fig. 5.33 Downcomer collapsed water levels

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ R MLV1 ○ R MLV4

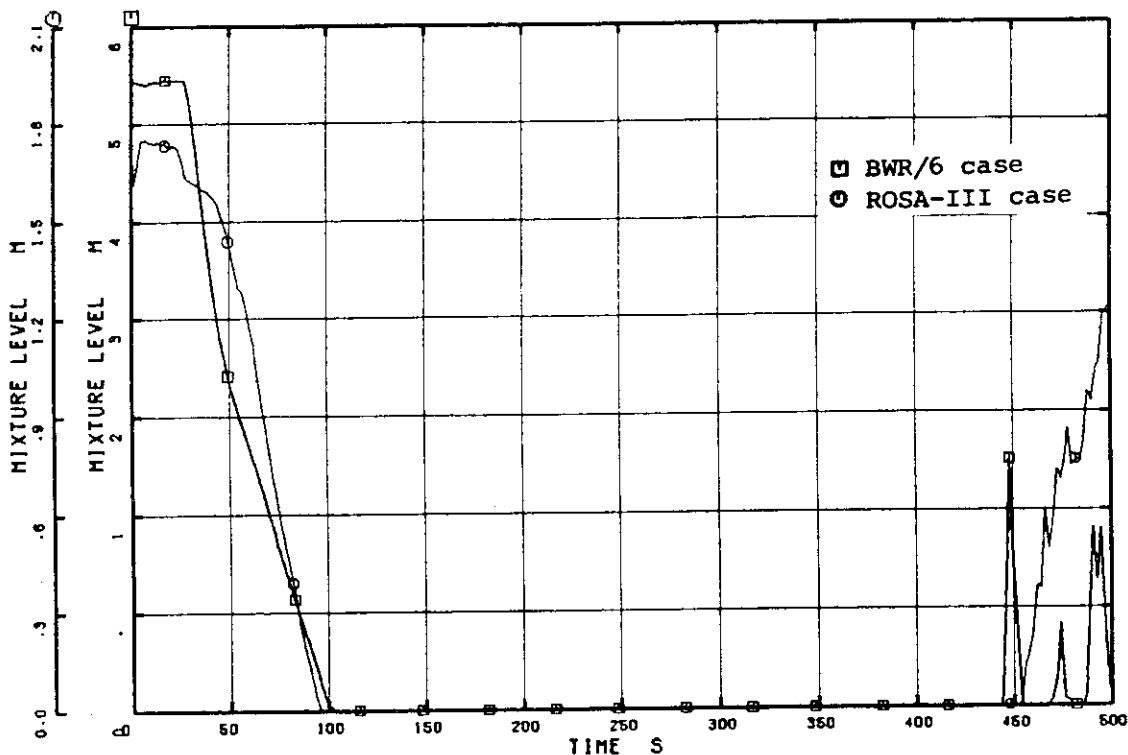


Fig. 5.34 Upper plenum mixture levels

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3
 □ R MLV18 ○ R MLV22

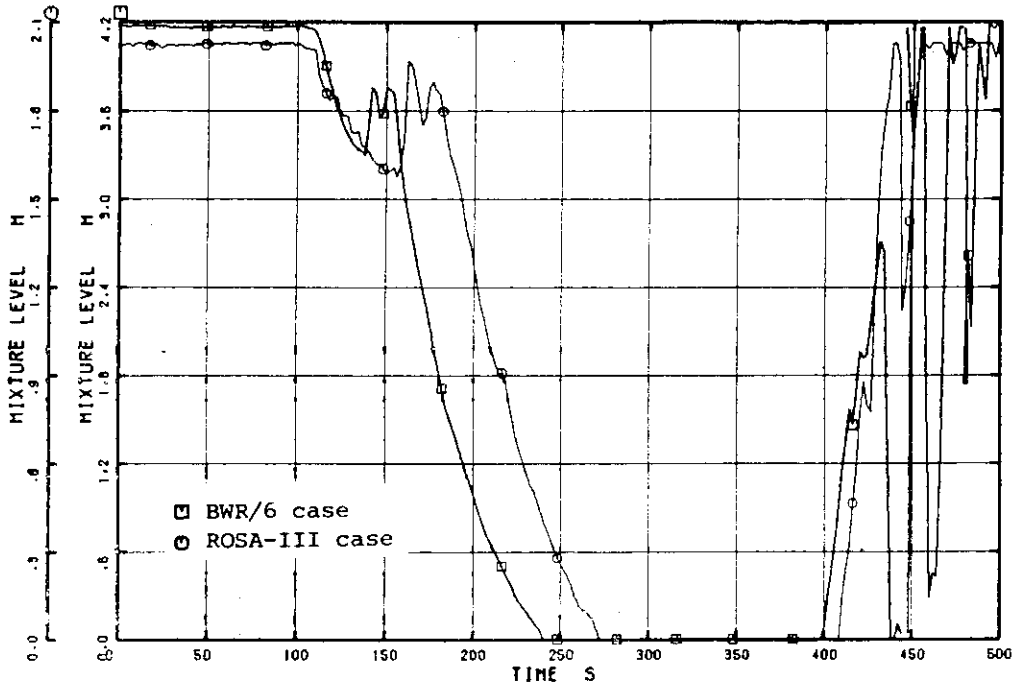


Fig. 5.35 Mixture levels of BWR/6 central core and ROSA-III high power channel

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ R MLV12 ○ R MLV3

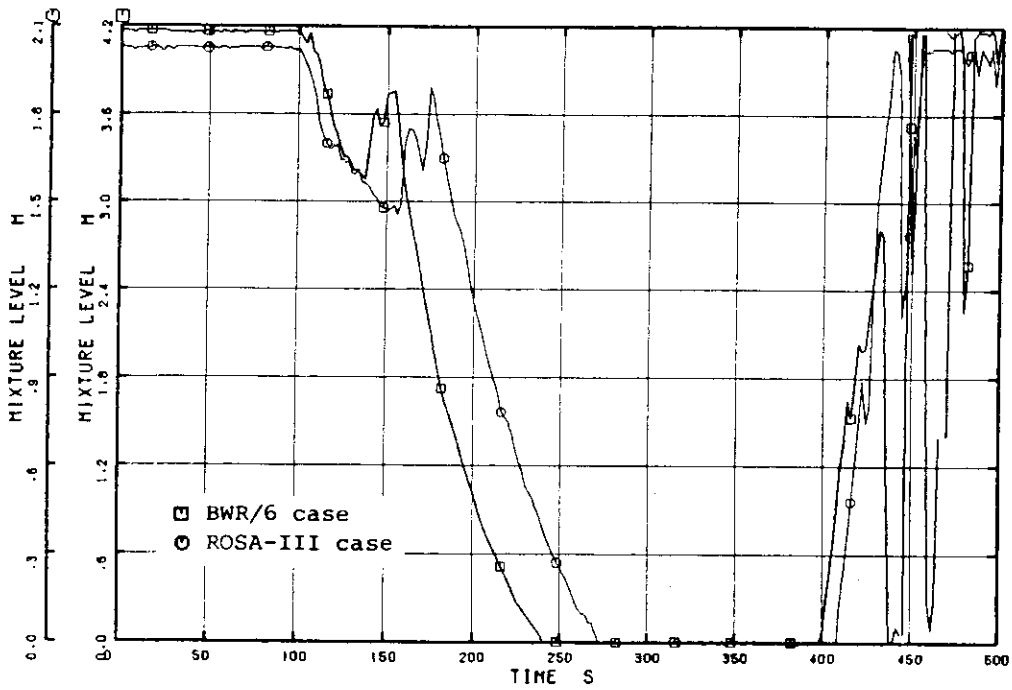


Fig. 5.36 Mixture levels of BWR/6 peripheral core and ROSA-III average power channel

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3

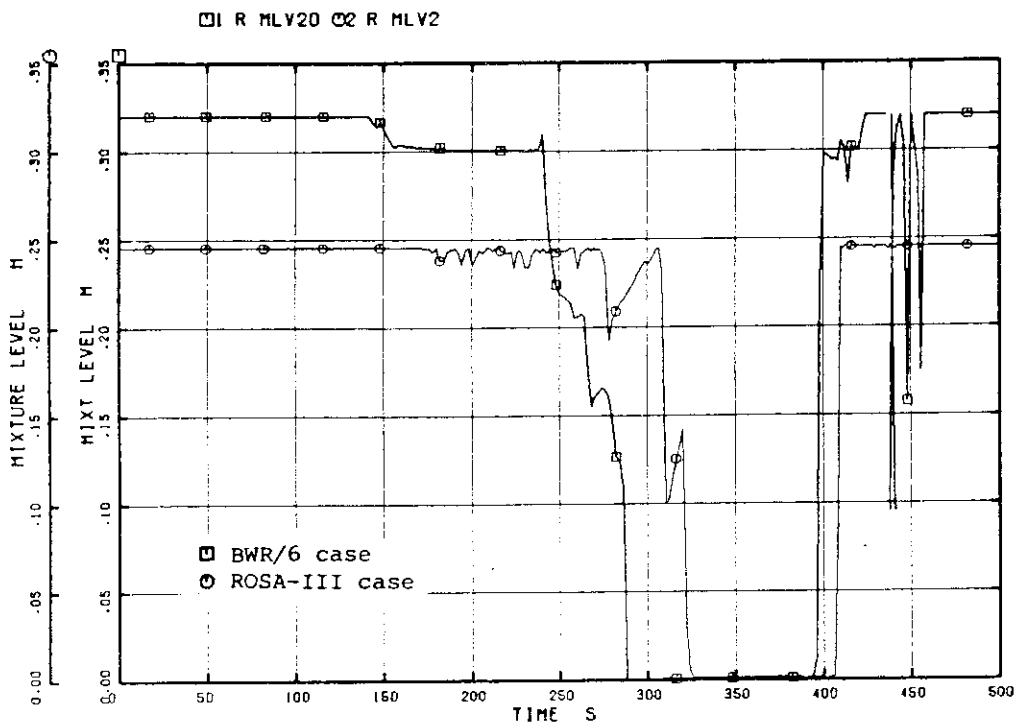


Fig. 5.37 Mixture levels of core inlet region

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3

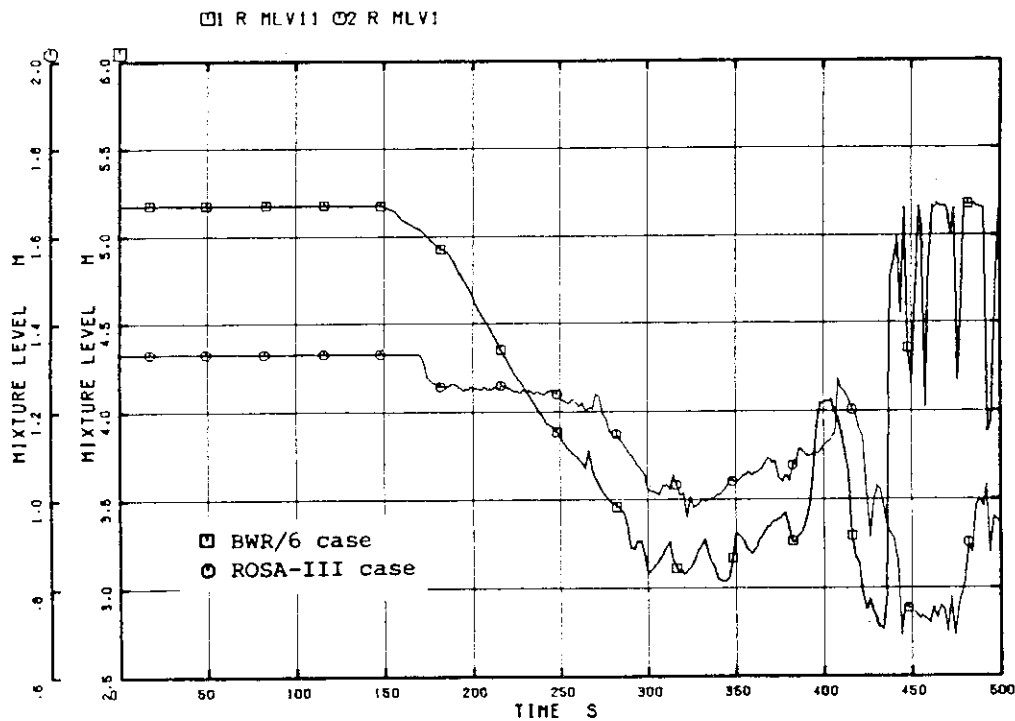


Fig. 5.38 Lower plenum mixture levels

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ R HL13 ○ R HL18

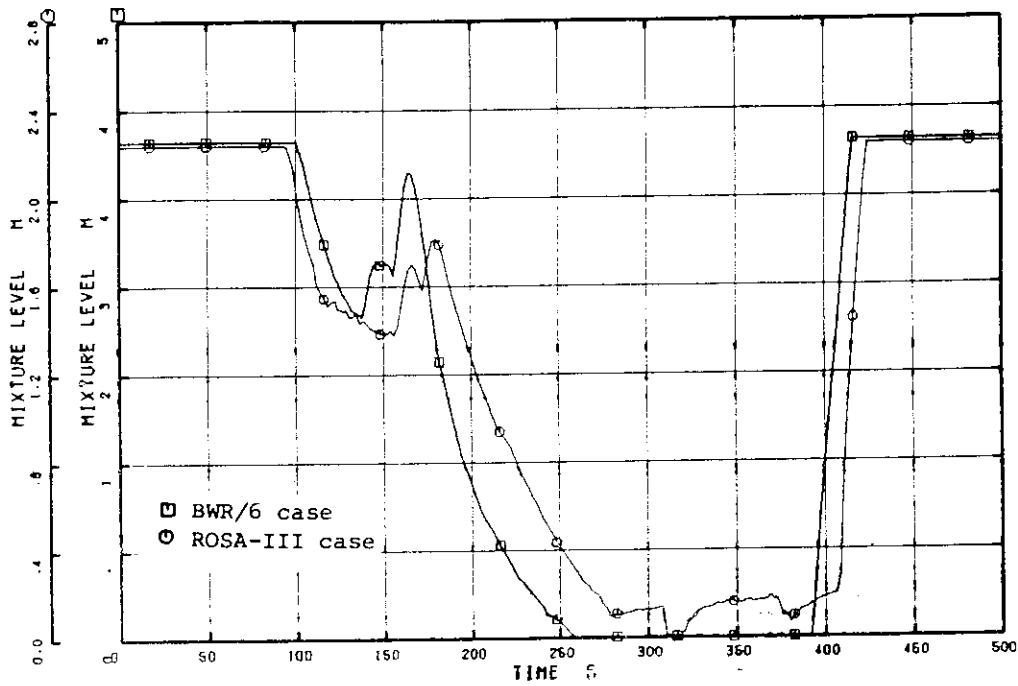


Fig. 5.39 Core bypass mixture levels

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ R SRS7 ○ R SRS14

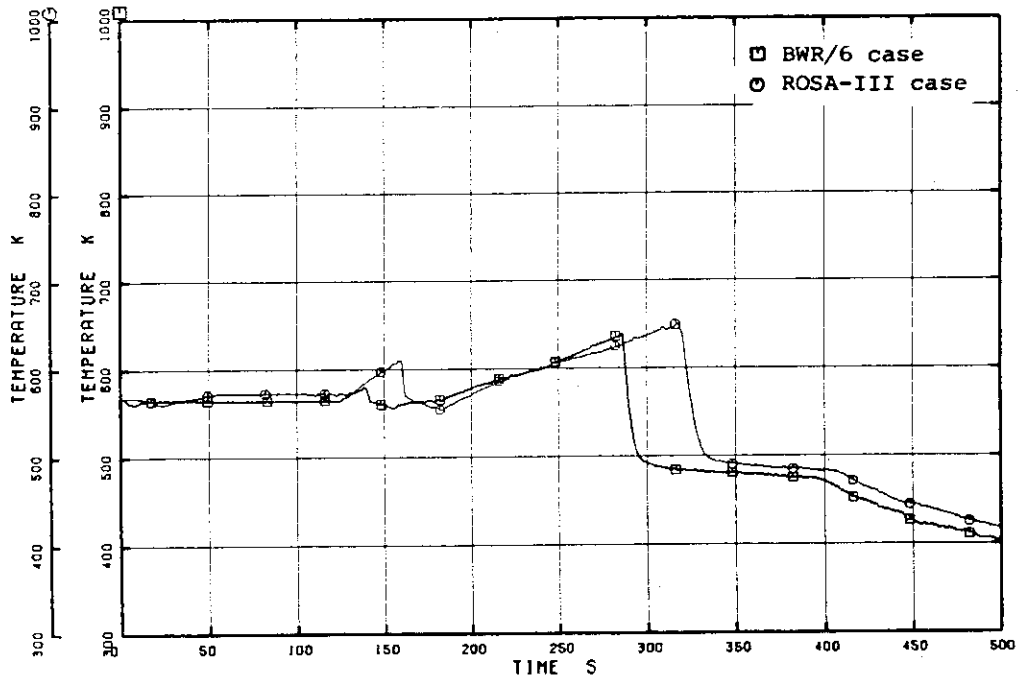


Fig. 5.40 Fuel rod cladding surface temperatures of BWR central core position 1 (3520 mm from the bottom of core) and ROSA-III high power channel position 1 (1830 mm from the bottom of the core)

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3

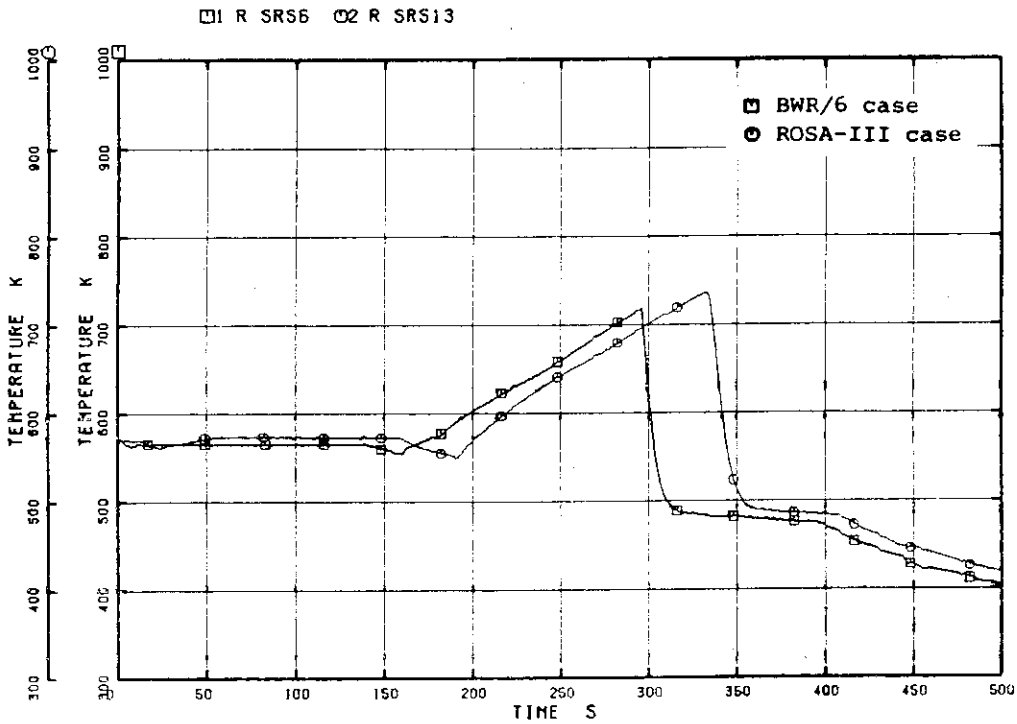


Fig. 5.41 Fuel rod cladding surface temperatures of BWR central core position 2 (3051 mm from the bottom of core) and ROSA-III high power channel position 2 (1528 mm from the bottom of the core)

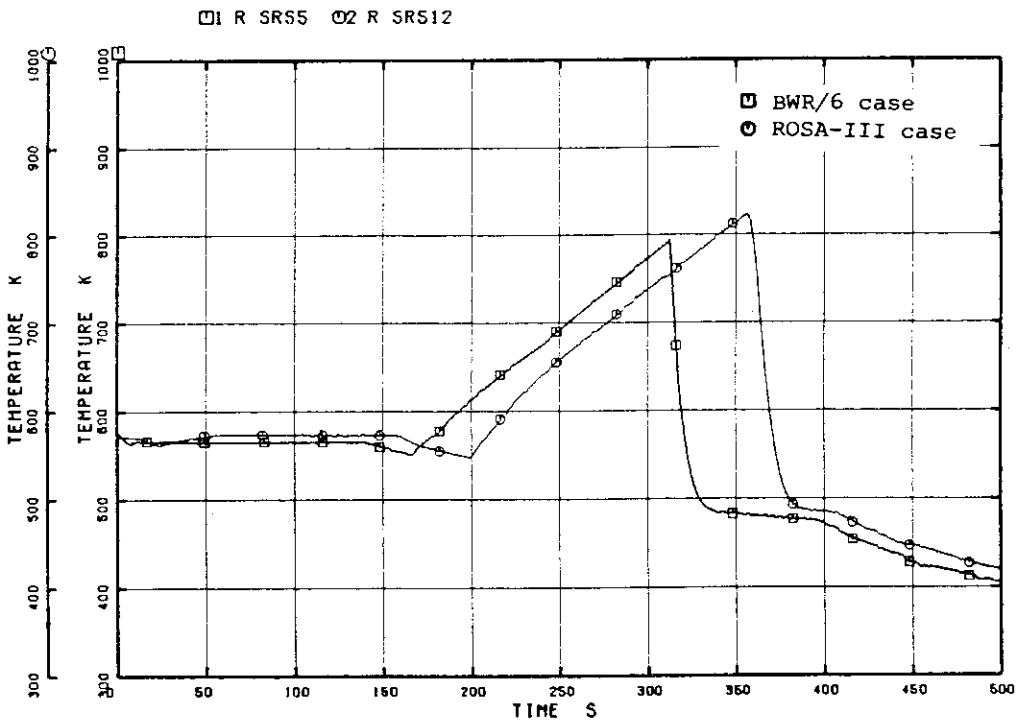


Fig. 5.42 Fuel rod cladding surface temperatures of BWR central core position 3 (2582 mm from the bottom of core) and ROSA-III high power channel position 3 (1293 mm from the bottom of the core)

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3

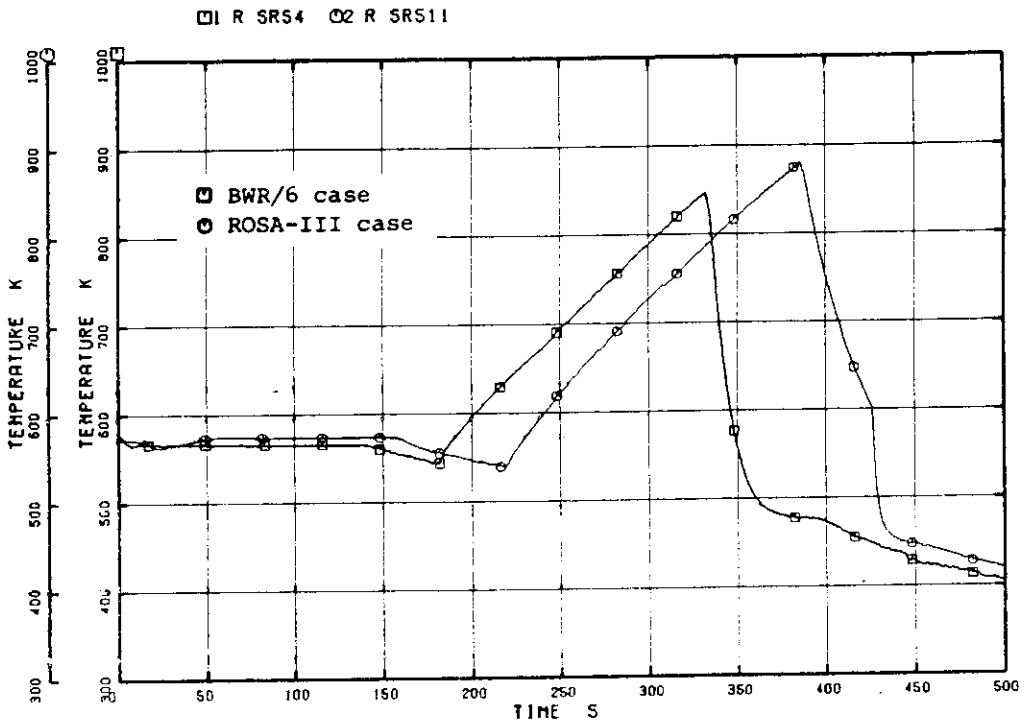


Fig. 5.43 Fuel rod cladding surface temperatures of BWR central core position 4 (1878 mm from the bottom of core) and ROSA-III high power channel position 4 (940 mm from the bottom of the core)

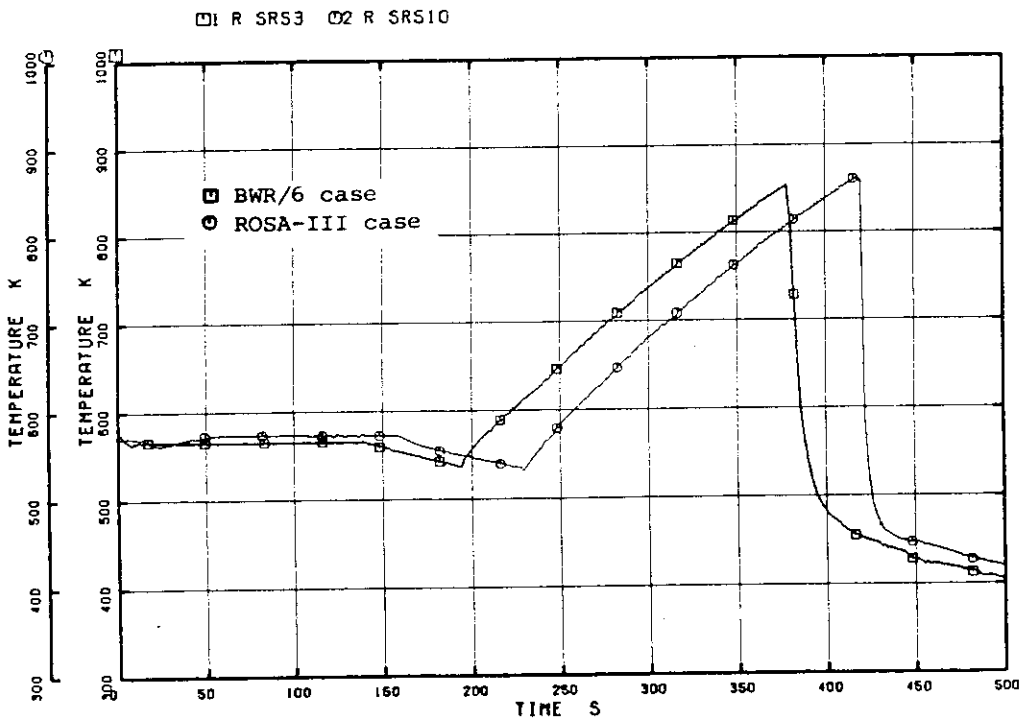


Fig. 5.44 Fuel rod cladding surface temperatures of BWR central core position 5 (1173 mm from the bottom of core) and ROSA-III high power channel position 5 (588 mm from the bottom of the core)

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3

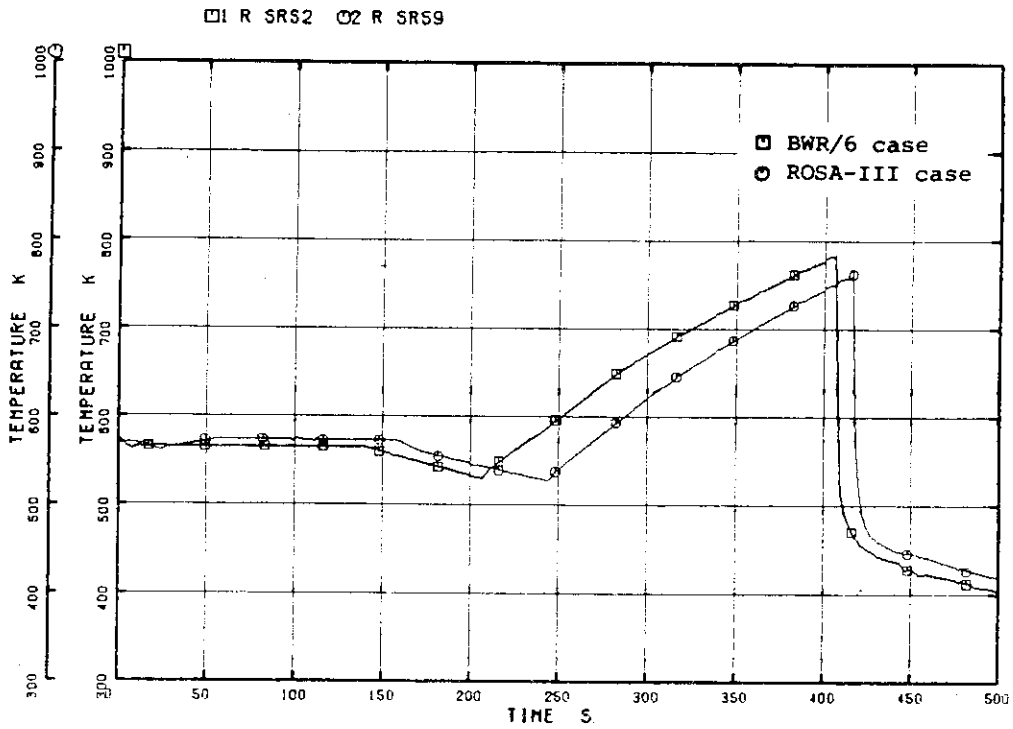


Fig. 5.45 Fuel rod cladding surface temperatures of BWR central core position 6 (704 mm from the bottom of core) and ROSA-III high power channel position 6 (353 mm from the bottom of the core)

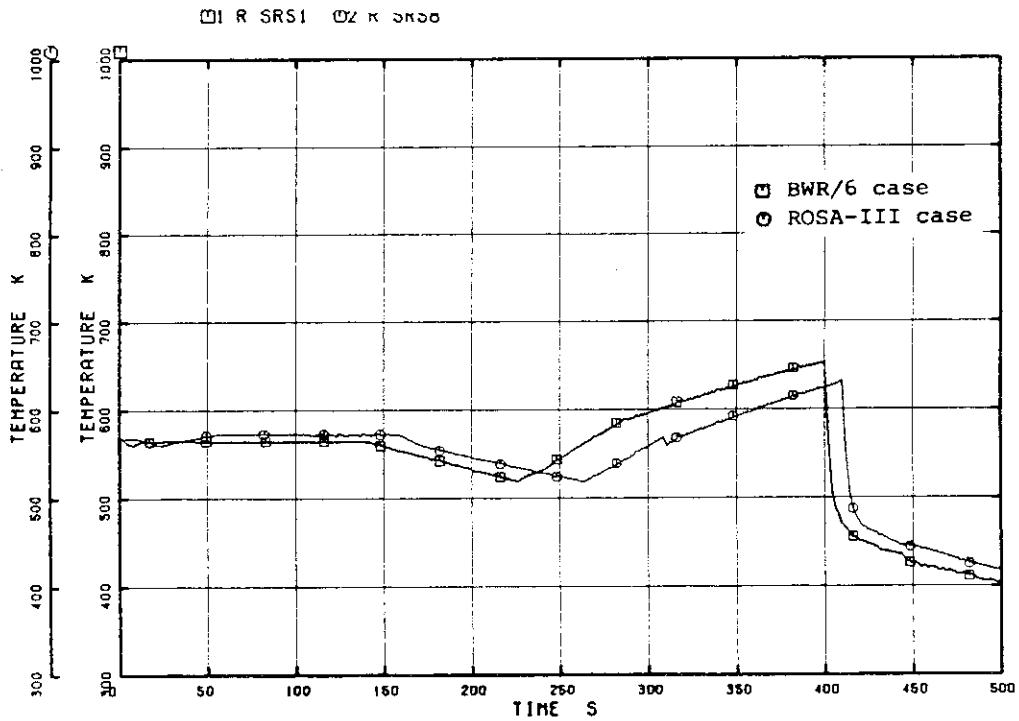


Fig. 5.46 Fuel rod cladding surface temperatures of BWR central core position 7 (235 mm from the bottom of core) and ROSA-III high power channel position 7 (50 mm from the bottom of the core)

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ R SRS14 ○ R SRS7

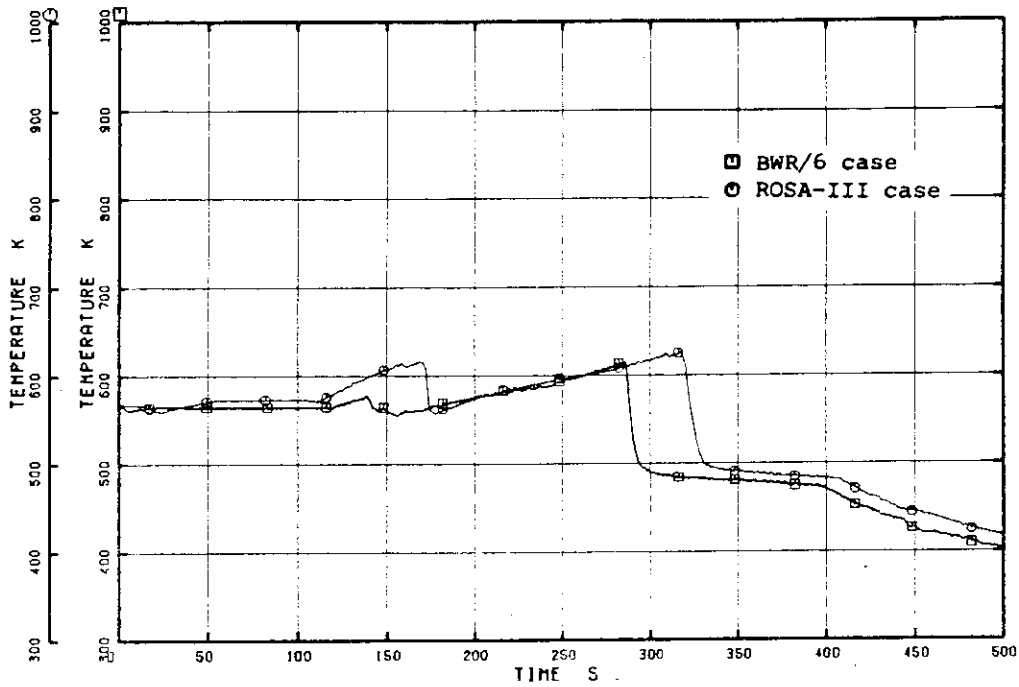


Fig. 5.47 Fuel rod cladding surface temperatures of BWR peripheral core position 1 (3520 mm from the bottom of core) and ROSA-III average power channel position 1 (1830 mm from the bottom of core)

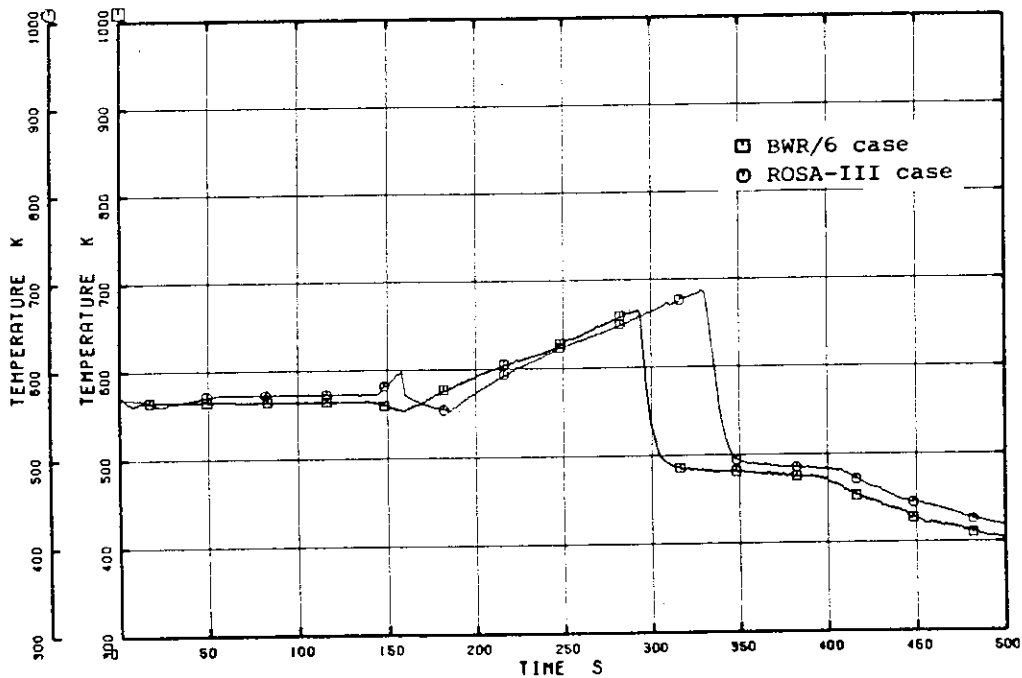


Fig. 5.48 Fuel rod cladding surface temperatures of BWR peripheral core position 2 (3051 mm from the bottom of core) and ROSA-III average power channel position 2 (1528 mm from the bottom of core)

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ R SRS12 ○ R SRS5

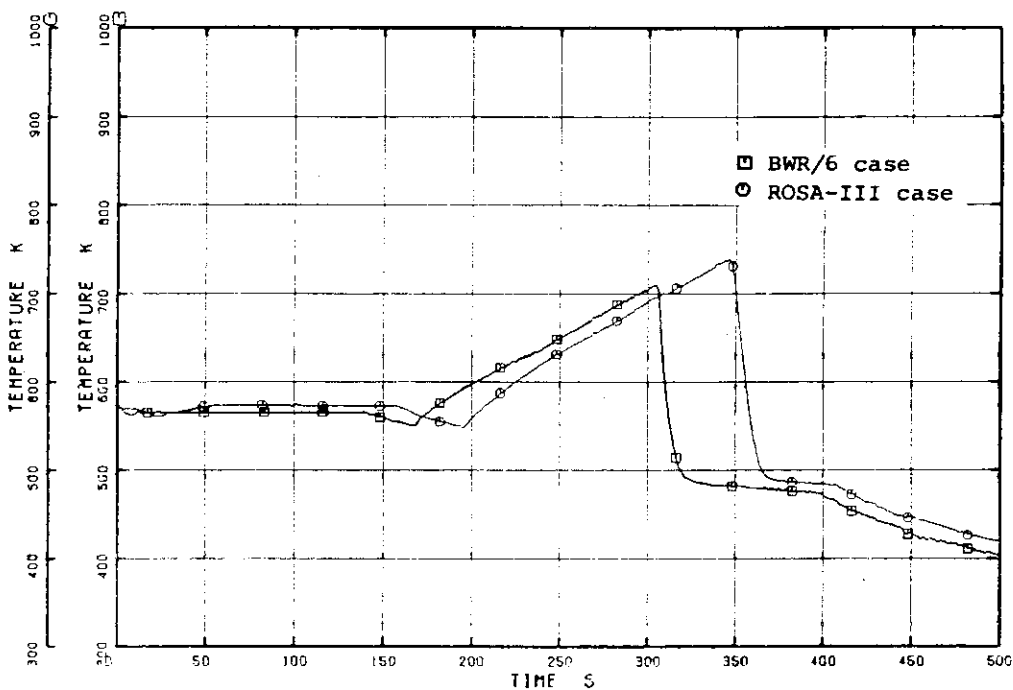


Fig. 5.49 Fuel rod cladding surface temperatures of BWR peripheral core position 3 (2582 mm from the bottom of core) and ROSA-III average power channel position 3 (1293 mm from the bottom of core)

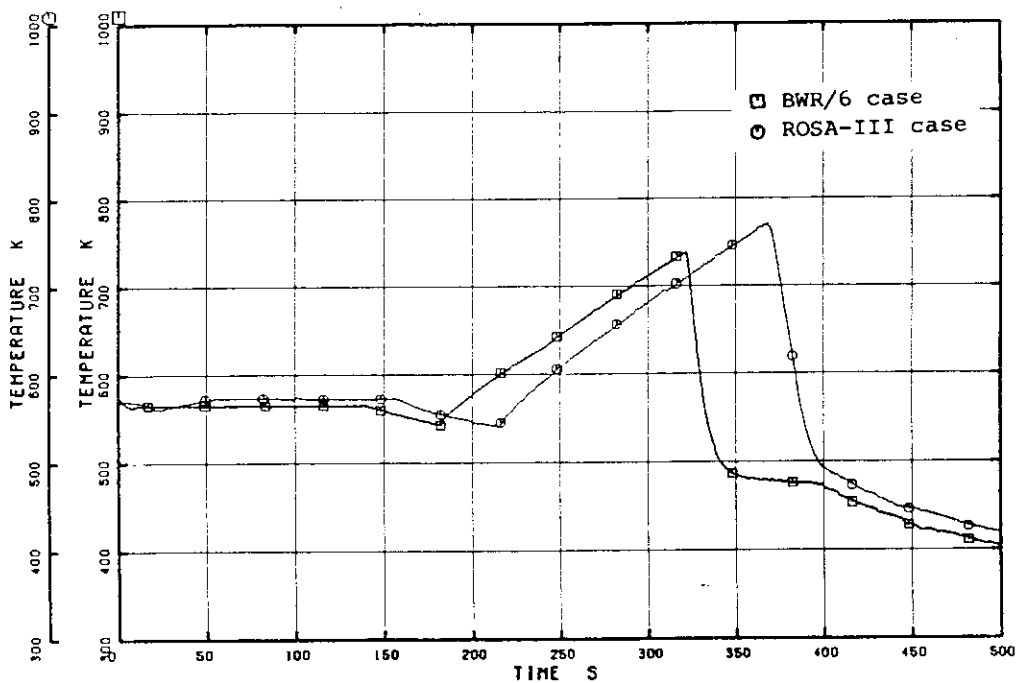


Fig. 5.50 Fuel rod cladding surface temperatures of BWR peripheral core position 4 (1878 mm from the bottom of core) and ROSA-III average power channel position 4 (940 mm from the bottom of core)

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ R SRS10 ○ R SRS3

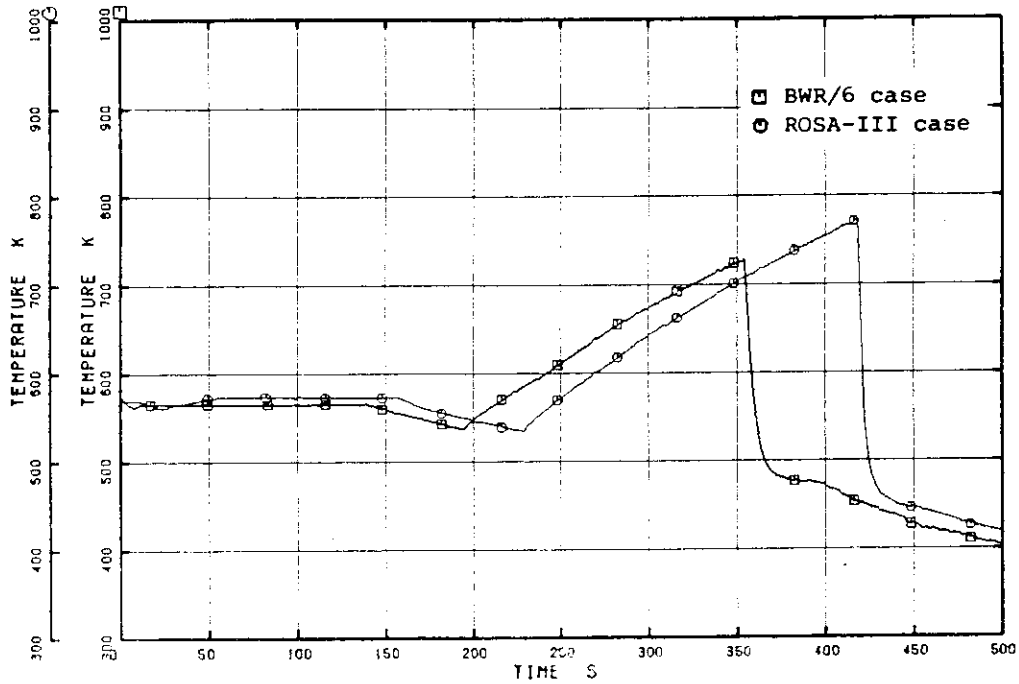


Fig. 5.51 Fuel rod cladding surface temperatures of BWR peripheral core position 5 (1173 mm from the bottom of core) and ROSA-III average power channel position 5 (588 mm from the bottom of core)

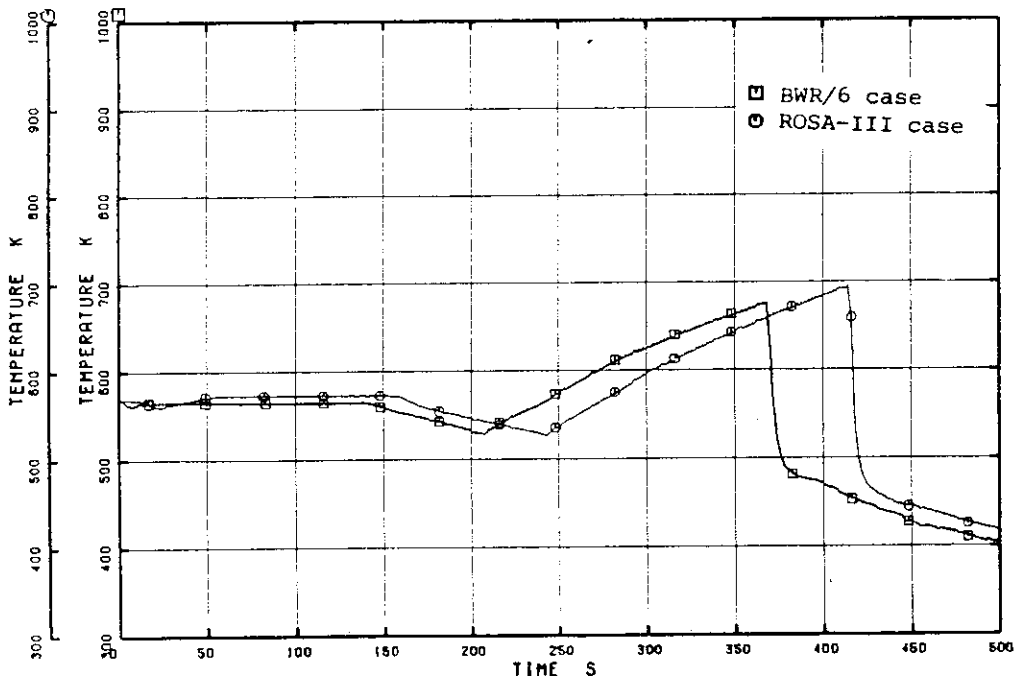


Fig. 5.52 Fuel rod cladding surface temperatures of BWR peripheral core position 6 (704 mm from the bottom of core) and ROSA-III average power channel position 6 (353 mm from the bottom of core)

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ R SRS8 ○ R SR51

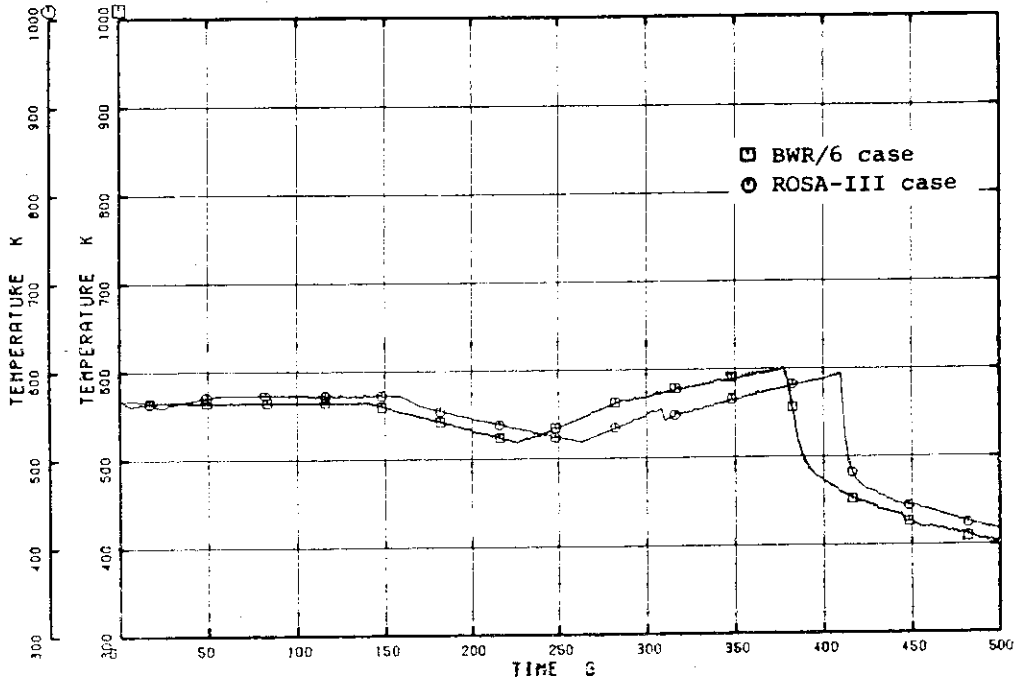


Fig. 5.53 Fuel rod cladding surface temperatures of BWR peripheral core position 7 (235 mm from the bottom of core) and ROSA-III average power channel position 7 (50 mm from the bottom of core)

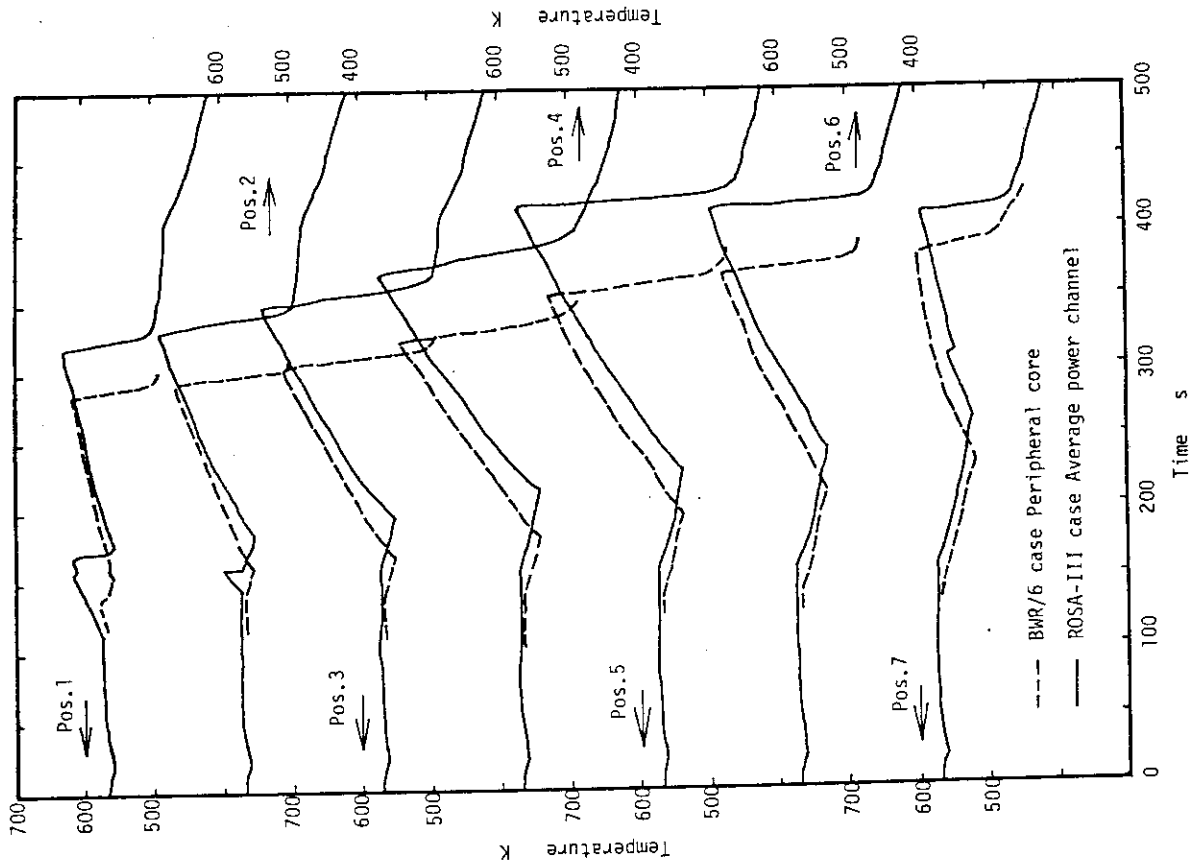


Fig. 5.55 Fuel rod cladding surface temperatures of BWR/6 peripheral core and ROSA-III average power channel

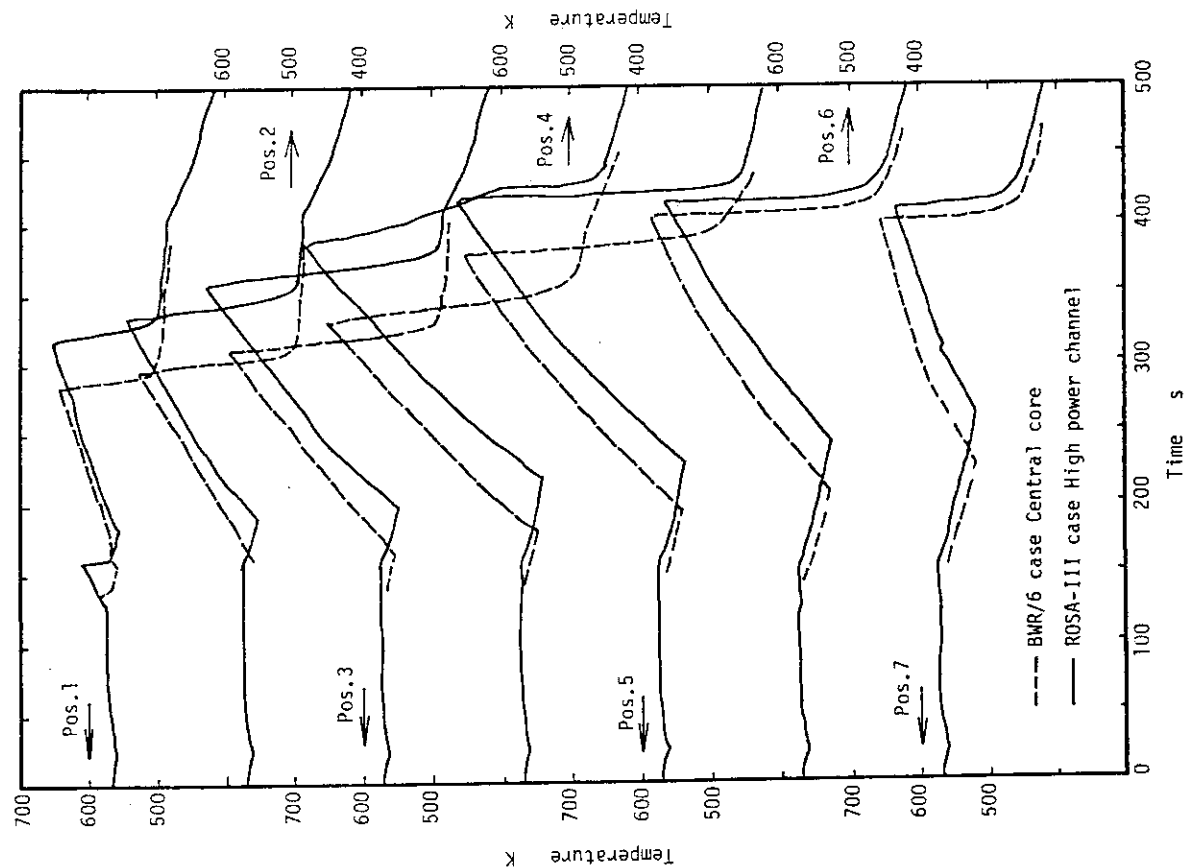


Fig. 5.54 Fuel rod cladding surface temperatures of BWR/6 central core and ROSA-III high power channel

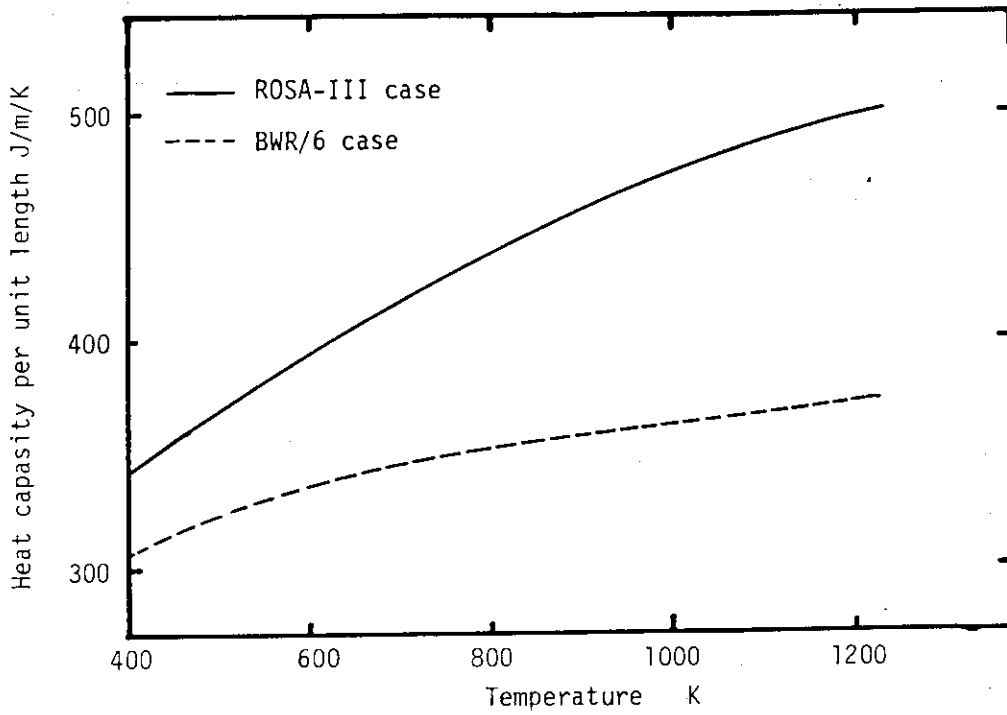


Fig. 5.56 Relation between heat capacity of unit length of fuel rod and temperature

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ R CRS7 ○ R CRS14

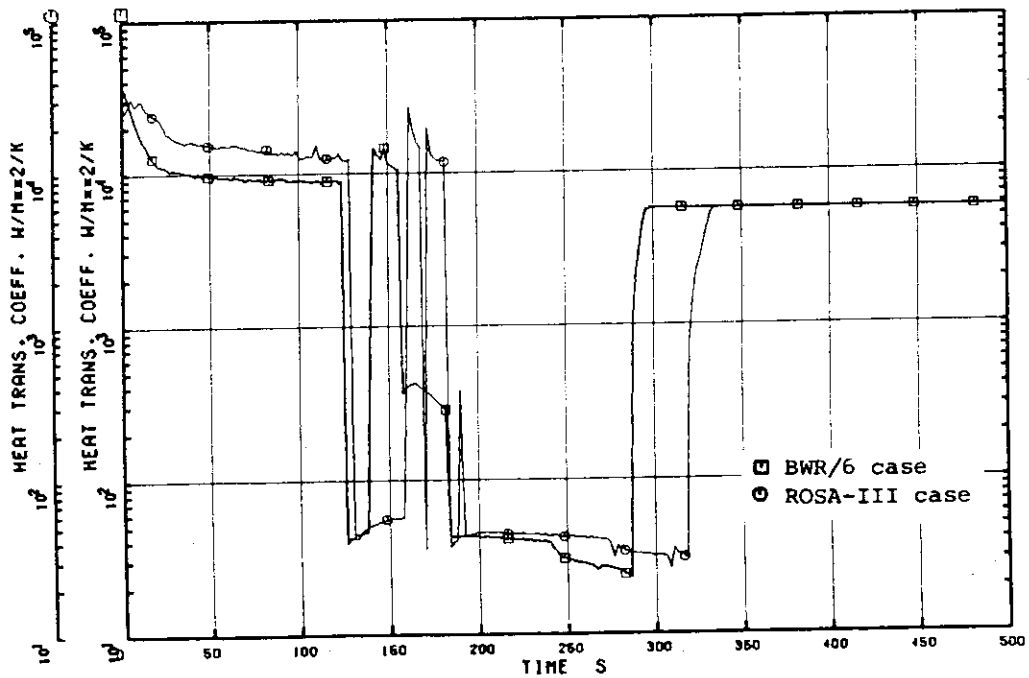


Fig. 5.57 Heat transfer coefficients of BWR/6 central core position 1 (3520 mm from the top of core) and ROSA-III high power channel position 1 (1830 mm from the top of core)

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3

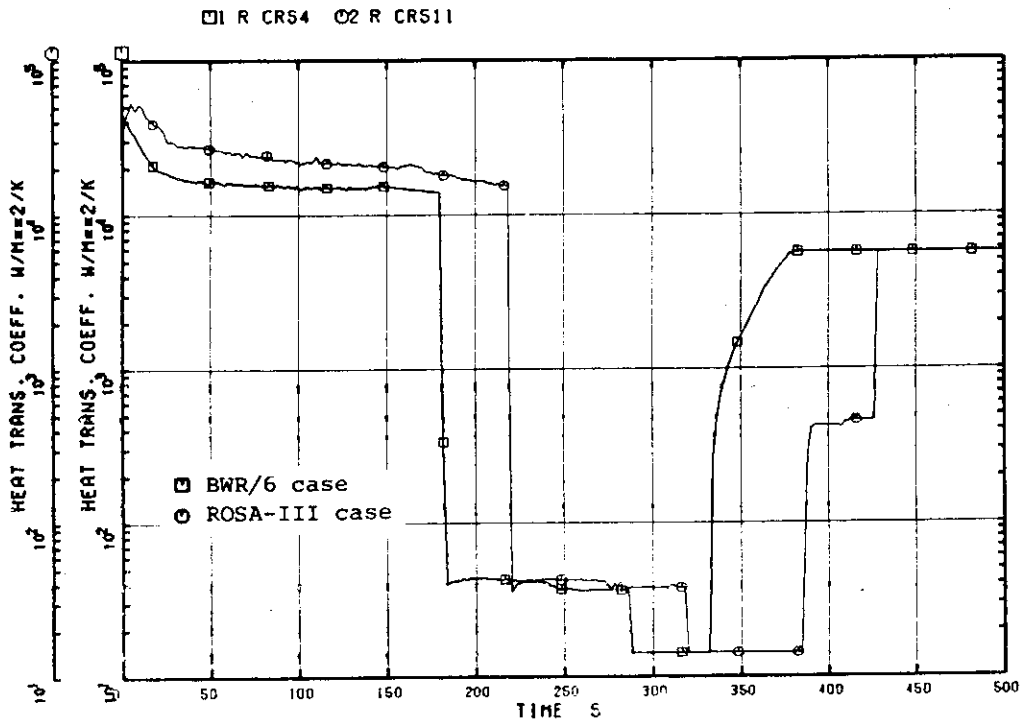


Fig. 5.58 Heat transfer coefficients of BWR/6 central core position 4 (1878 mm from the top of core) and ROSA-III high power channel position 4 (940 mm from the top of core)

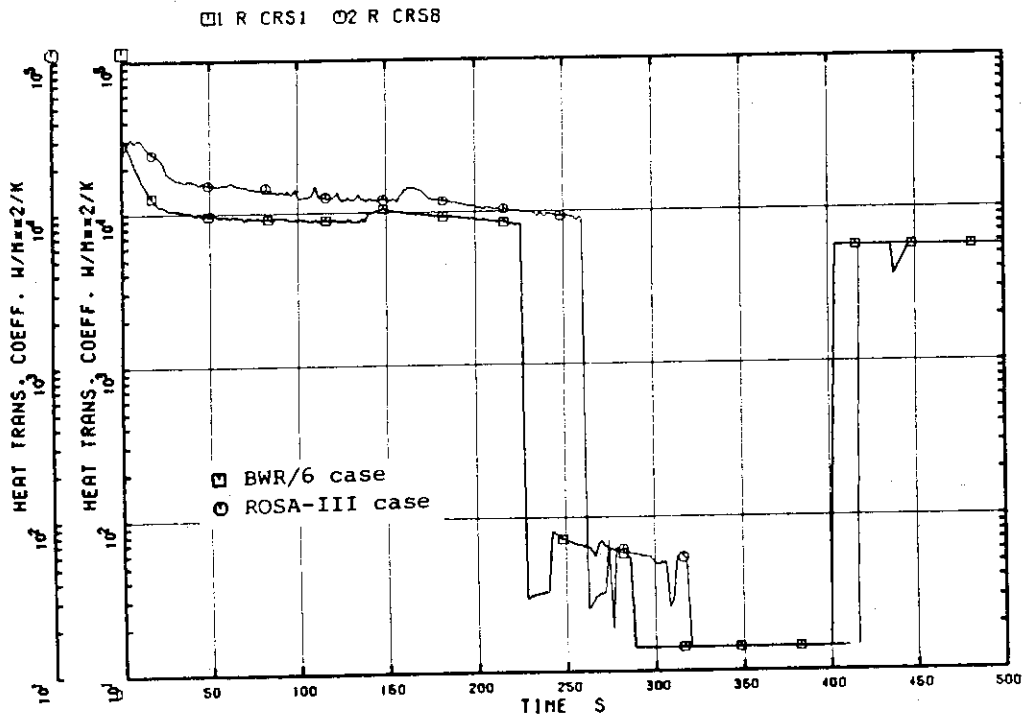


Fig. 5.59 Heat transfer coefficients of BWR/6 central core position 7 (235 mm from the top of core) and ROSA-III high power channel position 7 (50 mm from the top of core)

6. 結 論

ROSA-Ⅲ装置とBWR/6の小破断LOCAにおける相似性を調べるため、ROSA-ⅢとBWR/6を同一コード、同一モデルで解析し、その結果の比較・検討を行った。解析の対象とした実験は、再循環ポンプ吸込み側配管における5%スプリット破断を模擬したROSA-Ⅲ実験RUN912である。RUN912ではHPCSの単一故障を仮定している。解析に使用したコードはRELAP4/MOD6/U4/J3コードである。このコードは、LPCSによるトップダウンクエンチを計算するモデルをもっており、かつ再冠水過程における伝熱挙動を、非常に簡単な伝熱ロジックで計算するため、計算時間が非常に速い。本コードの性能及び限界を明確にすべくおこなった実験解析により次のことが明らかとなった。

- (1) LPCIが作動するまでの圧力挙動は、実験と計算で非常に良く一致した。小破断LOCA実験における圧力挙動を、本コードは十分解析することができる。
- (2) 破断直後及びLPCI作動直後を除く、重力支配の系内の流動挙動について本コードは、良く計算することができる。
- (3) 小破断LOCA実験における上部プレナム、炉心、及びダウンカムでの水位挙動を、本コードは精度よく計算することができる。
- (4) 燃料棒被覆管表面温度に関して、水位及び圧力挙動が精度良く計算されているため、ドライアウト及びクエンチの時刻が、良く実験値と一致した。又、ドライアウト後の温度上昇についても実験値とほぼ一致した。本コードにおける非常に簡単な伝熱ロジックでも全体的な挙動は十分計算されることが、確認された。

次に本コードを用いて、ROSA-Ⅲ実験の解析と同一入力モデルを用いて、BWR/6の小破断LOCAの解析を行い、ROSA-Ⅲ実験との相似性を検討した。その結果、次のことが明らかとなった。

- (5) 圧力挙動については、破断からMSIVが閉じるまでの圧力減少、MSIV閉後の圧力増加、SRVの作動、ADSの作動による圧力低下といったROSA-Ⅲ解析で表われる基本的な挙動が、BWR/6においても計算された。したがってROSA-Ⅲ実験は、実炉の小破断LOCAで想定される圧力変化の基本的挙動を良く模擬している。又、圧力挙動の相似性に影響すると考えられる構造材蓄積熱について、付録A.4で検討を加えた結果、蓄積熱による蒸気発生は、圧力減少を緩和させ、ECCS作動時刻をやや遅らせるという影響を持つことがわかった。
- (6) 流動挙動について、ROSA-Ⅲの解析結果は、BWR/6の解析結果とほぼ一致し良好な相似性を示した。小破断LOCAのような流動挙動が、ゆるやかLOCA過渡変化においては、圧力容器内の全体的な流動は、ほぼシュラウドの内側と外側の水頭差により決まる。この水頭差について二つの解析結果の傾向は良く一致し、そのため、流動挙動の相似性も良かった。ROSA-Ⅲは、実炉と鉛直方向に同一ではないが、シュラウド内側と外側の相対的な高さや容積の関係を良く模擬していることが確認された。定量的な両者の計算結果の差

は、主に、ROSA-Ⅲのジェットポンプ周辺の流動抵抗が実炉より大きいことによっている。

- (7) 炉心水位挙動については、下部プレナムフラッシングのタイミングの差だけ、全炉心のドライアウトのタイミングがずれたが、全体的には2つの解析結果は良く一致した。ROSA-Ⅲの炉心長さは実炉の半分であるが、全炉心露出及び再冠水に要する時間は、実炉の結果と一致した。
- (8) 燃料棒表面温度挙動については、水位挙動とスプレーヒートトランスファーモデルの計算が始まるLPCS作動の時刻が、二つの解析結果においてほぼ一致したため、ドライアウトの開始及びクエンチの時刻もほぼ一致した。ドライアウト後の温度上昇に関してROSA-Ⅲとヒーターピンの熱容量は、BWR解析で用いた値より、約20%大きいため、炉心冷却が十分でないドライアウトの開始からLPCS作動までの期間においては、実炉の燃料棒の温度上昇より約20%小さくなることが予測される。しかし全体的には、ROSA-Ⅲは、実炉で測定される燃料棒表面温度挙動を良く模擬していることが確認された。

謝 辞

本論文を作成するにあたり、終始暖かみのある適切な御助言を与えて下さった熊丸博滋氏に心から感謝の意を表します。

は、主に、ROSA-Ⅲのジェットポンプ周辺の流動抵抗が実炉より大きいことによっている。

- (7) 炉心水位挙動については、下部プレナムフラッシングのタイミングの差だけ、全炉心のドライアウトのタイミングがずれたが、全体的には2つの解析結果は良く一致した。ROSA-Ⅲの炉心長さは実炉の半分であるが、全炉心露出及び再冠水に要する時間は、実炉の結果と一致した。
- (8) 燃料棒表面温度挙動については、水位挙動とスプレーヒートトランスファーモデルの計算が始まるLPCS作動の時刻が、二つの解析結果においてほぼ一致したため、ドライアウトの開始及びクエンチの時刻もほぼ一致した。ドライアウト後の温度上昇に関してROSA-Ⅲとヒーターピンの熱容量は、BWR解析で用いた値より、約20%大きいため、炉心冷却が十分でないドライアウトの開始からLPCS作動までの期間においては、実炉の燃料棒の温度上昇より約20%小さくなることが予測される。しかし全体的には、ROSA-Ⅲは、実炉で測定される燃料棒表面温度挙動を良く模擬していることが確認された。

謝 辞

本論文を作成するにあたり、終始暖かみのある適切な御助言を与えて下さった熊丸博滋氏に心から感謝の意を表します。

参考文献

1. 与能本泰介, 秋永 誠他4名, "大破断LOCAにおけるROSA-ⅢとBWR/6の相似性の検討", JAERI-M 83-046, (3, 1983)
2. ANODA, Y. et al., "EXPERIMENT DATA OF ROSA-Ⅲ INTEGRAL TEST RUN912 (5% split break test without HPCS actuation)", JAERI-M82-010.
3. ANODA, Y. et al., "ROSA-Ⅲ System Description for Fuel Assembly No 4", JAERI-M 9363, (2, 1981)
4. 安部信明, 田坂完二, "ROSA-Ⅲ実験における電気出力変化", JAERI-M 8728, (3, 1980).
5. YOSHIDA, K. et al., "RELAP4/MOD6/U4/J3 A JAERI IMPROVED VERSION OF RELAP4/MOD6 FOR TRANSIENT THERMAL-HYDRAULIC ANALYSIS OF LWR INCLUDING EFFECTS OF BWR CORE SPRAY", JAERI-M 9394, (3, 1981).
6. 田坂完二他3名, "冷却材喪失事故におけるROSA-ⅢとBWRとの相似性の検討 (ROSA-Ⅲの予備解析)", JAERI-M 6703, (9, 1976).
7. 北口秀美他2名, "ROSA-Ⅲ試験のためのBWR/6 LOCA解析", JAERI-M 8185, (3, 1979).
8. "General Electric Standard Safety Analysis Report, BWR/6", DOCKET-STN-50447-48, GE. CO. (1975)
9. "RELAP4-MOD5, A Computer Program for Transient Thermal Hydraulic Analysis of Nuclear Reactors and Related System", ANCR-NUREG-1335, (9, 1976).
10. "RELAP4-MOD6, A Computer Program for Transient Thermal-Hydraulic Analysis of Nuclear Reactors and Related Systems", CDAP TR 003 (1, 1978).
11. 鈴木光弘, 田坂完二, "ROSA-Ⅲ試験装置の特性 (ジェットポンプの正流, および逆流特性試験)", JAERI-M 8670 (2, 1980).
12. 村田裕幸, 鈴木光弘, 田坂完二, "ROSA-Ⅲ 100%主蒸気管破断実験のRELAP5/MOD 1コードによる解析 (HPCS注入実験・RUN952の解析)", JAERI-M 83-210 (11, 1983).
13. TASAKA, K. et al., "Comparison report for CSNI international standard problem 12 (ROSA-Ⅲ RUN912)", JAERI-M 82-120 (9, 1982).
14. J.G. Delene, "Shutdown heat generation", nuclear safety, 1963, fall.

付録 A 感 度 計 算

ここでは4章及び5章で、特に検討が必要だと考えられた点について、明確にすべくおこなった感度計算について述べる。

A.1 スリップモデル使用直後の過渡変化

小破断 LOCA 現象のようなゆるやかな過渡現象においては、シュラウドの内側と外側の水頭の差は、炉心流動に影響するので重要である。本文で述べたように図 4.4 に見られるような、破断直後のシュラウド内の水頭の急上昇は、物理的な原因によるものではなく、スリップモデルを使用して計算する際に、初期定常をとることが困難なため、初期定常を充分にはとらずに計算をおこなったことによっている。この影響について感度計算で検討する。感度計算では、初期に定常計算を 50 秒間おこない炉心ボイド率などの値がほぼ一定の値になった後に破断を生じさせた。

図 A 1.1 にシュラウド内側の水頭について、基本ケースと感度計算を比較する。スリップモデル使用開始直後の過渡変化のため、両者の差は、破断後約 25 秒まで顕著である。しかしその後の挙動は両者ではほぼ一致し、図 A 1.2 に見られるように、炉心水位挙動は両者においてほとんど差が見られない。これらのことから、初期定常を充分にとらなかったことの影響は、主要な計算結果に、ほとんど影響を与えていないことがわかる。

A.2 炉心入口部ノーディングの検討

基本ケースにおいて、下部プレナム水位の挙動は LPCI 作動後実験結果と大きく異なっていた。これは、実験において見られた炉心入口オリフィスでのチャンネルごとの流動挙動の差、いわゆるパラレルチャンネル効果を、基本ケースでは炉心入口部を、1つのボリュームで表わしているため、計算できなかったという理由が考えられる。すなわち、パラレルチャンネル効果により下部プレナム蒸気は炉心を通して逃げやすく、下部プレナム水が加圧され、ダウンカムに押し出されるという現象は実験では顕著でなかった。そこで、炉心入口部を高出力チャンネルと平均出力チャンネルに対応するように分割し、感度計算をおこなった。

A 2.1 に、高出力チャンネル入口流量を、図 A 2.2 に、平均出力チャンネル入口流量を示す。又図 A 2.3 には、この2つの入口流量の和、すなわち全炉心入口流量について、基本ケースと感度計算を比較する。図に見られるように、ADS 作動までは、2つのチャンネルの炉心入口流に差はあるものの、全流量では、両者に差がない。しかし、ADS 作動後の逆流は、基本ケースの方が大きくなっている。LPCI 作動から約 20 秒間は、高出力チャンネルと平均出力チャンネルの入口流に差は見られないが、その後、高出力チャンネル入口流は正流となり、平均出力チャンネル側では、逆流が生じる。この傾向は、実験結果と一致する。

図A 2.4に下部プレナム水位を、及び図A 2.5に、高出力チャンネル水位を、基本ケースと比較して示す。図に見られるように炉心水位について両者でほとんど差はない。下部プレナム水位については、LPCI作動後の両者の挙動は、ほぼ同じであり、ともに実験結果と異なっている。炉心入口部を2つに分割することにより、より良く実験における炉心入口流の挙動を計算することができるようになったが、特にLPCI作動後の下部プレナム水位の挙動などは、基本ケースと同様に良く計算することができなかつた。炉心入口部でのスリップ計算や、CCFL計算に問題があると考えられる。

A.3 初期圧力分布の修正

図4.3に見られるように、ROSA-Ⅲケースにおける初期下部プレナム・蒸気ドーム間差圧は、実験値よりかなり小さい。これは、抵抗係数を過小評価したためである。測定された初期圧力分布を、初期値として与え、各ジャンクションの抵抗係数を修正して感度計算をおこなった。抵抗係数の主な修正箇所は次のとおりである。

	正流方向抵抗係数		逆流方向抵抗係数	
	基本ケース	感度計算	基本ケース	感度計算
セパレーター出口	0.665	→ 14.4	1.036	→ 14.4
ドライアー	1.5	→ 6.26	1.5	→ 6.26

図A 3.1に、下部プレナム・蒸気ドーム間差圧について、基本ケースと感度計算を比較する。破断後25秒までの挙動は、感度計算の方がより実験値に近くなっているが、それ以降については、両者においてほとんど差はない。図A 3.2に、炉心入口流の計算結果について両者を比較する。破断直後に急激に減少し、しばらくの間、ほぼ一定の流量が続くという実験結果の傾向を、計算結果は良く表わしているが、全体的にあまり差はなく、図A 3.3に見られるように、炉心水位は両者でほとんど差がない。これらの結果は、本文中にふれたように、小破断LOCAのようなゆるやかな過渡現象においては、流れは重力支配であり、ジャンクションの抵抗係数が少し変わっても、全体的な計算結果にさほど影響しないということを示している。

A.4 構造材蓄積熱の影響

5章における圧力の相似性の検討のところで述べたように、ROSA-Ⅲ装置は、構造材、特に圧力容器の蓄積熱の影響に関しては、相似性が悪い。この蓄積熱の放出による蒸気の発生が、系全体の挙動にどのように影響するか検討するため、圧力容器のヒートスラブをすべてとって感度計算をおこなった。

図A 4.1に、下部プレナム圧力を基本ケースとして示す。下部プレナムフラッシング以降、基本ケースにおいては蓄積熱の放出が始まり、両者の差が顕著になる。ただしこの差は、定量的には、過大評価である。すなわちADS流として実験値を用いるというモデルで計算しているため、圧力の絶対値が、基本ケースより小さいことによるADS流の減少の効果が計算されてい

ない。この効果を考慮する場合、文献(12)にあるように、構造材蓄積熱の影響はより小さくなる。

図A 4.2に、平均出力チャンネル水位を比較して示す。感度計算では、全炉心は露出しない。これらのことから、蓄積熱の放出は、蒸気の発生量を増加させ、圧力の低下を遅らせ、炉心の冷却材インベントリーの減少を早くするという効果があることがわかる。したがって、この点に関してROSA-Ⅲ実験の結果は、保守的になっていると言える。

A.5 ADS 流量の検討

小破断 LOCA 現象においては、ADS 流量は直接的に圧力に大きく影響し、過渡現象の時間長に関連するので重要である。この流量についてROSA-Ⅲケースでは実験値を用いており、BWR ケースでは、臨界流モデルで計算している。この臨界流モデルによる計算の妥当性について評価するため、感度計算をおこなった。感度計算では、破断流と同様にHF-HEM モデルを使用し、放出係数を0.6とした。図A 5.1に見られるように、放出係数で調整することにより計算値と実験値は良く一致している。この結果を用いてBWR ケースにおけるADS 流の放出係数を0.6として感度計算をおこなった。図A 5.2に、下部プレナム圧力について、BWR ケースと感度計算を比較して示す。感度計算における圧力の減少はよりゆるやかになり、LPCS 作動のタイミングは74秒遅れる。臨界流については、クオリティ、圧力、温度、形状などに影響するものであり、その一般的な予測は現在のところ充分ではなく、放出係数0.6というROSA-Ⅲ実験の結果が、どこまで実炉に適用できるかについては、今後の検討課題と言える。しかし放出係数を0.6とした感度計算と1.0としたBWR ケースの差は、LPCS 作動のタイミングの差として74秒であり、ADS 流量の不確かさからくる誤差は、現象に決定的な影響を与えるものではないということがいえる。

A.6 ジェットポンプ逆流抵抗係数について

4章で述べたように、ジェットポンプまわりの流動抵抗係数は、下部プレナムからダウンカメラへの流れに影響するので重要であるが、この値は十分には測定されておらず、基本ケースで使用した逆流抵抗係数の値は、単相流で測定された値のほぼ最大に近い値である⁽¹¹⁾。又この値は、二相流状態では測定されておらず非常に不確かであるので、BWR ケースと同様に、抵抗係数に計算値を用い感度計算をおこなった。逆流抵抗係数の変更点は以下のとおりである。

	基本ケース	感度計算
Junction 10 17	60.0	→ 1.763
Junction 11, 18	7.9	→ 1.24

図A 6.1に、高出力チャンネル炉心の水位について基本ケースと感度計算を比較して示す。感度計算においては、水位低下がやや早く、又再冠水過程においてBWR ケースと同様な振動が示されているが、そのタイミングの差は最大でも20秒程度である。このように、抵抗係数を大きく変えても、結果に大きな差が表われなかったのは、これまで述べてきたように、系内の全体的な流動挙動が、重力支配であるからである。

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3
 □ R EDJ2

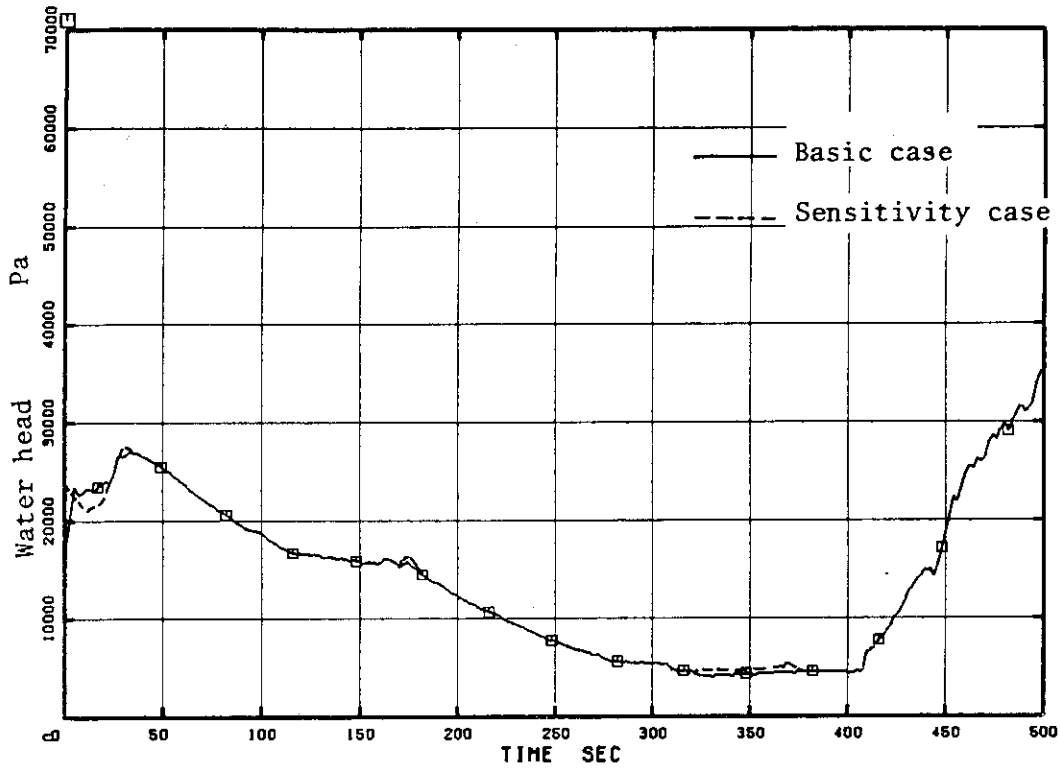


Fig. A.1.1 Water heads inside the core shroud

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3
 □ R MLV22

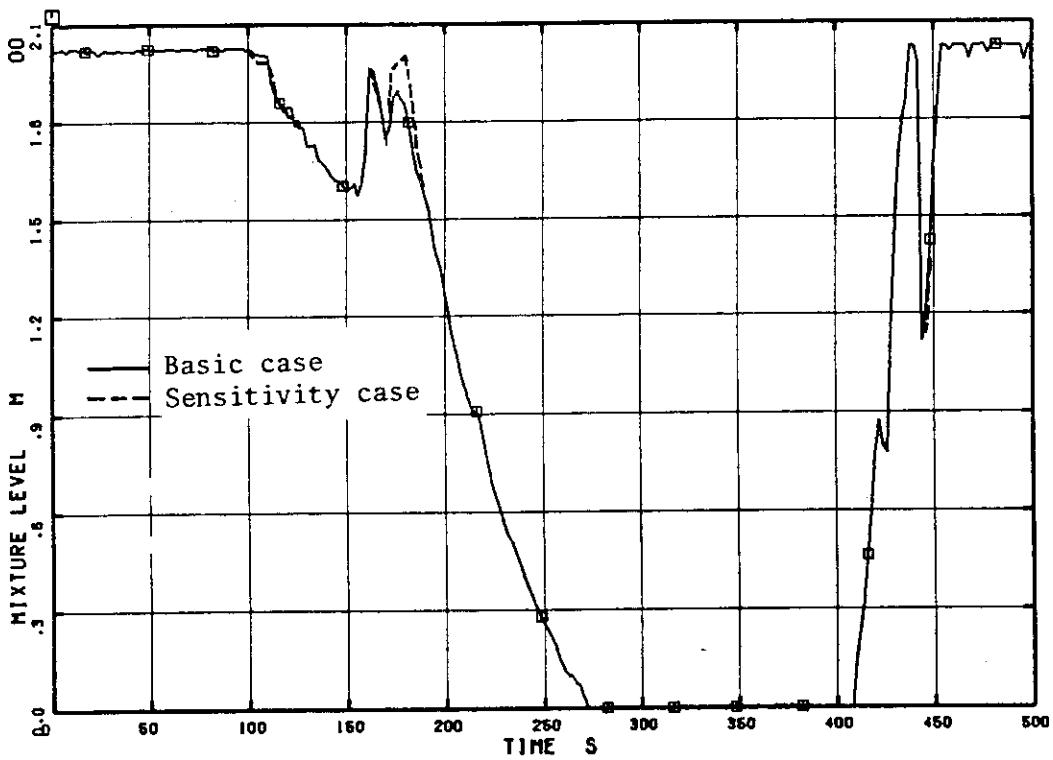


Fig. A.1.2 Mixture levels in high power channel

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3
R JWJ1

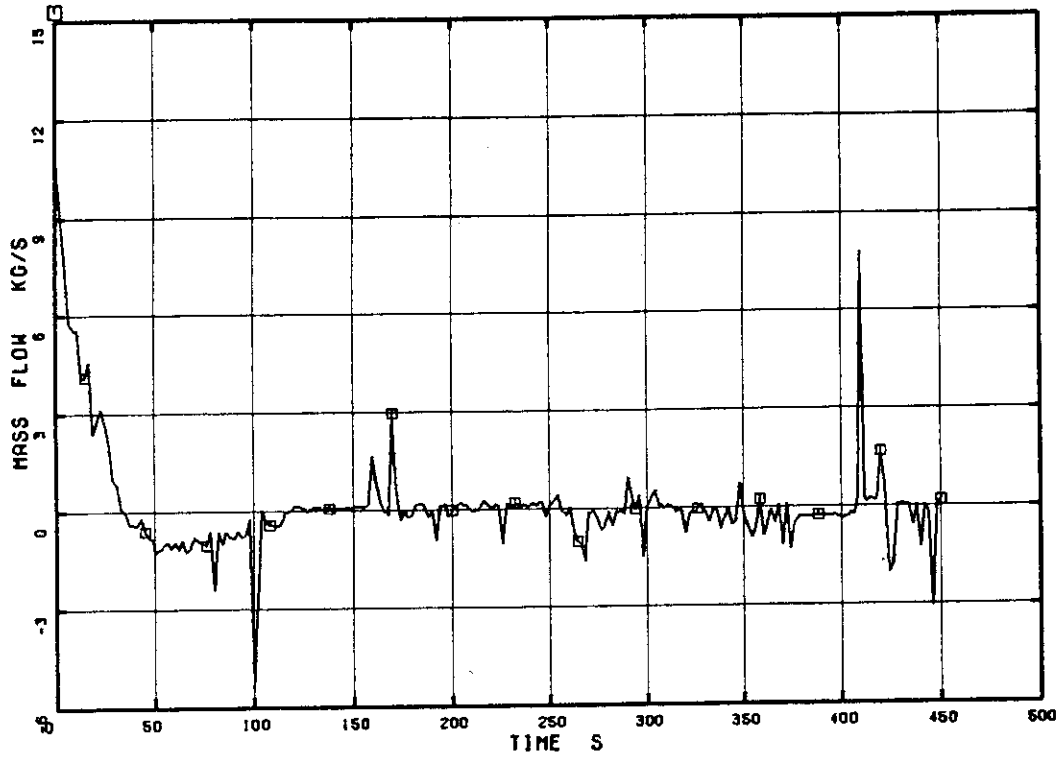


Fig. A.2.1 High power channel inlet flow

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3
R JWJ43

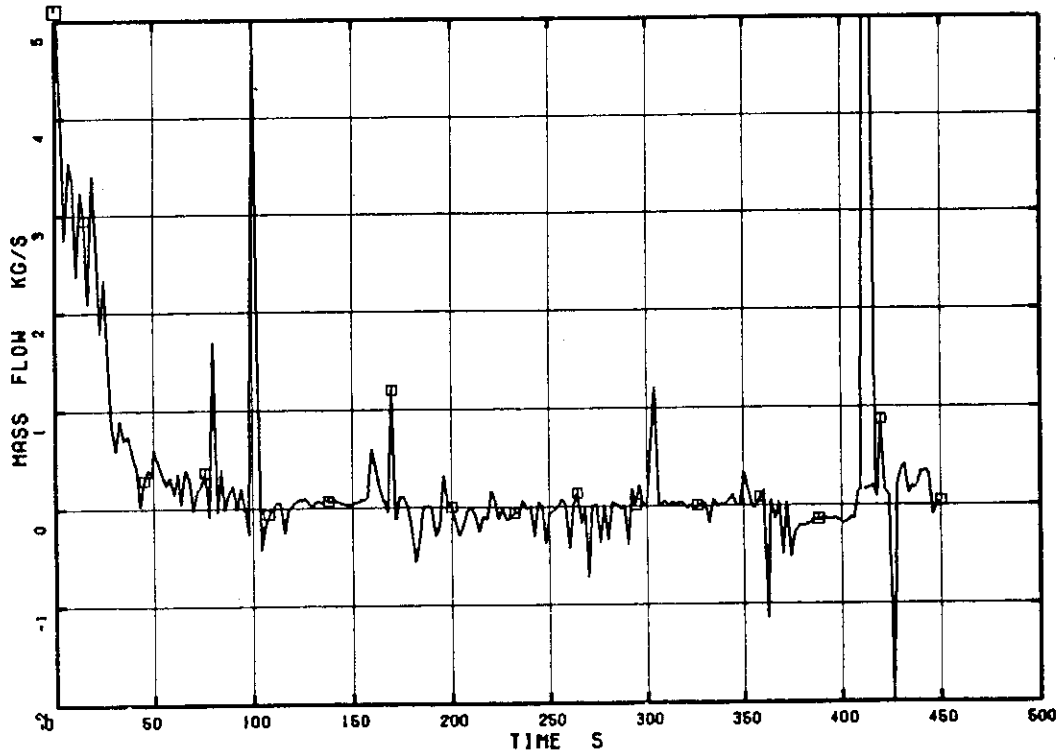


Fig. A.2.2 Average power channel inlet flow

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ R JWJ1 ○ R JWJ10

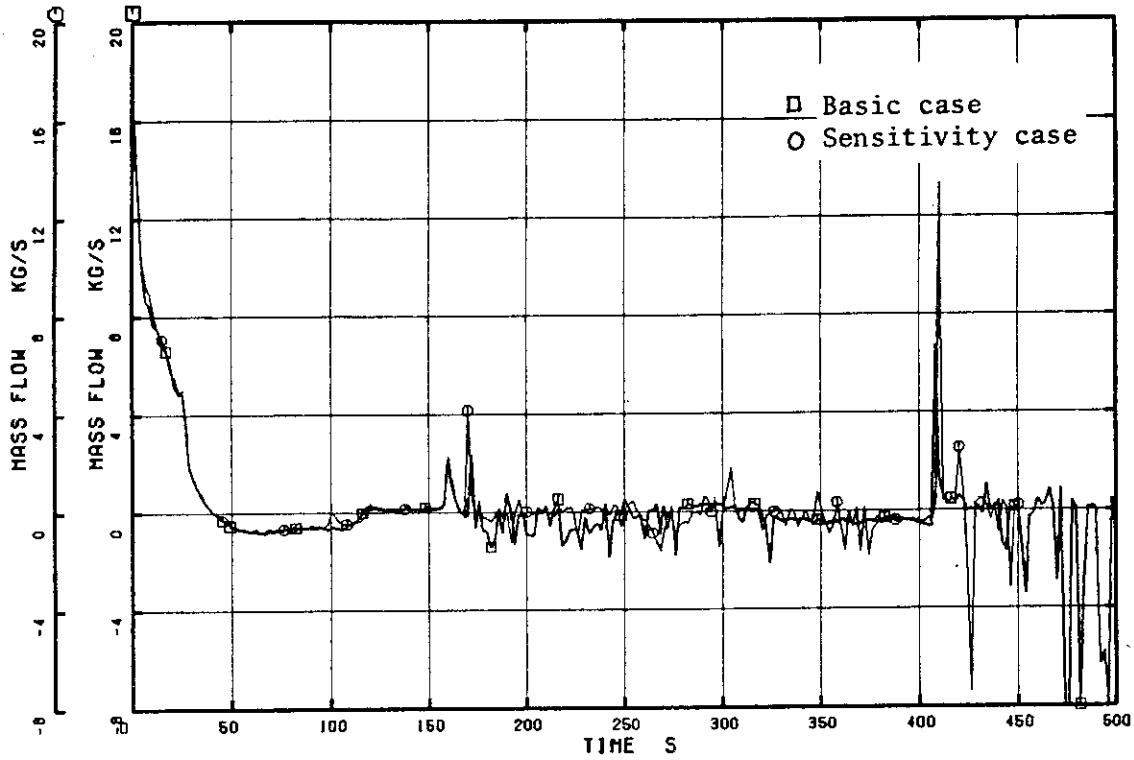


Fig. A.2.3 Total core inlet flows

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ R MLV1 ○ R MLV1

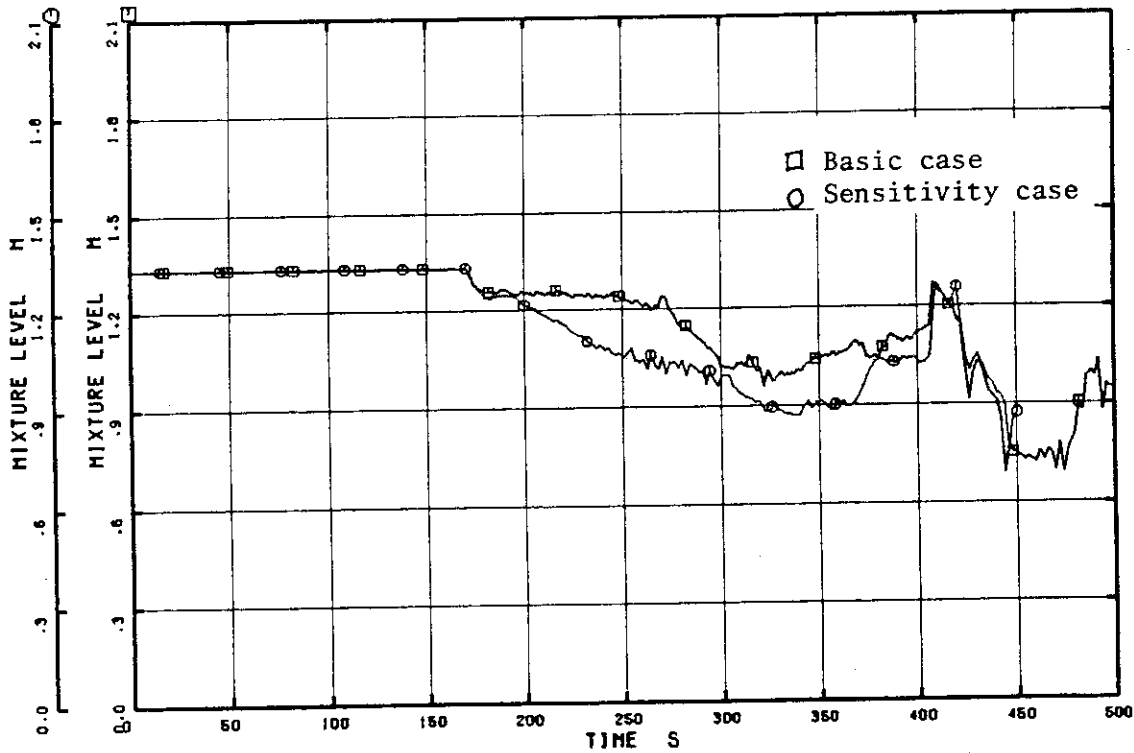


Fig. A.2.4 Mixture levels in lower plenum

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3
 □ R MLV22 ○ R MLV22

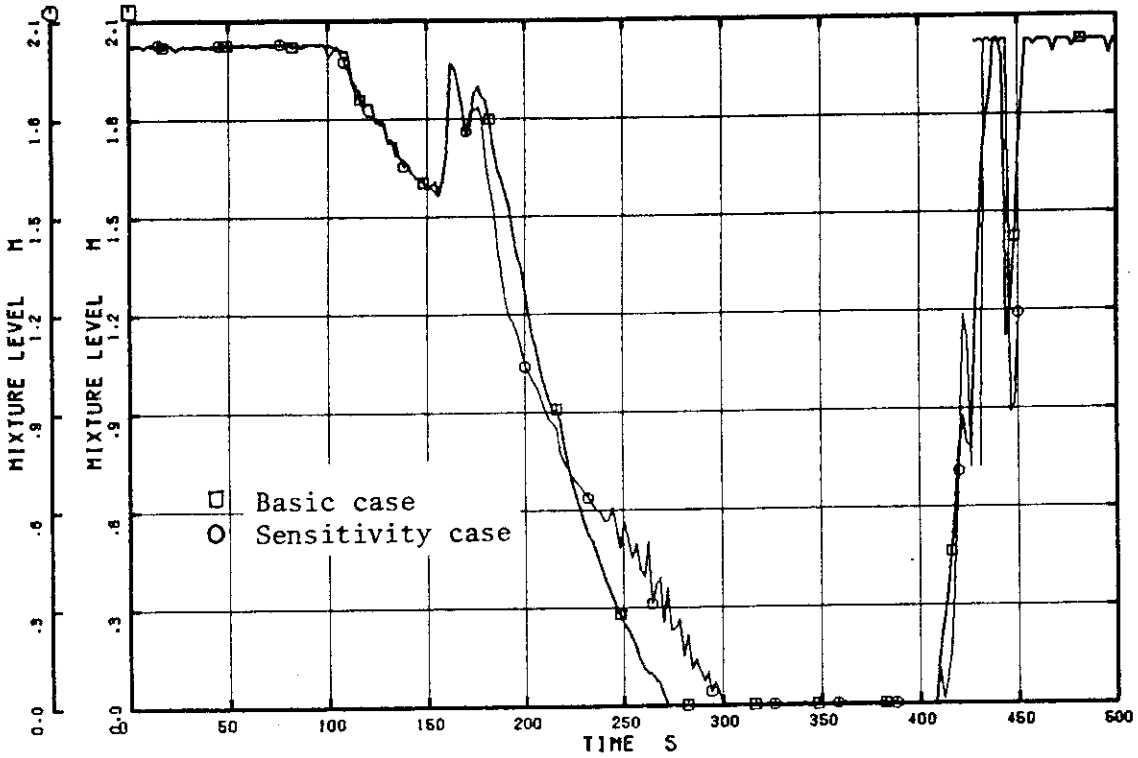


Fig. A.2.5 Mixture levels in high power channel

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3
 □ PD 25 ○ R TR

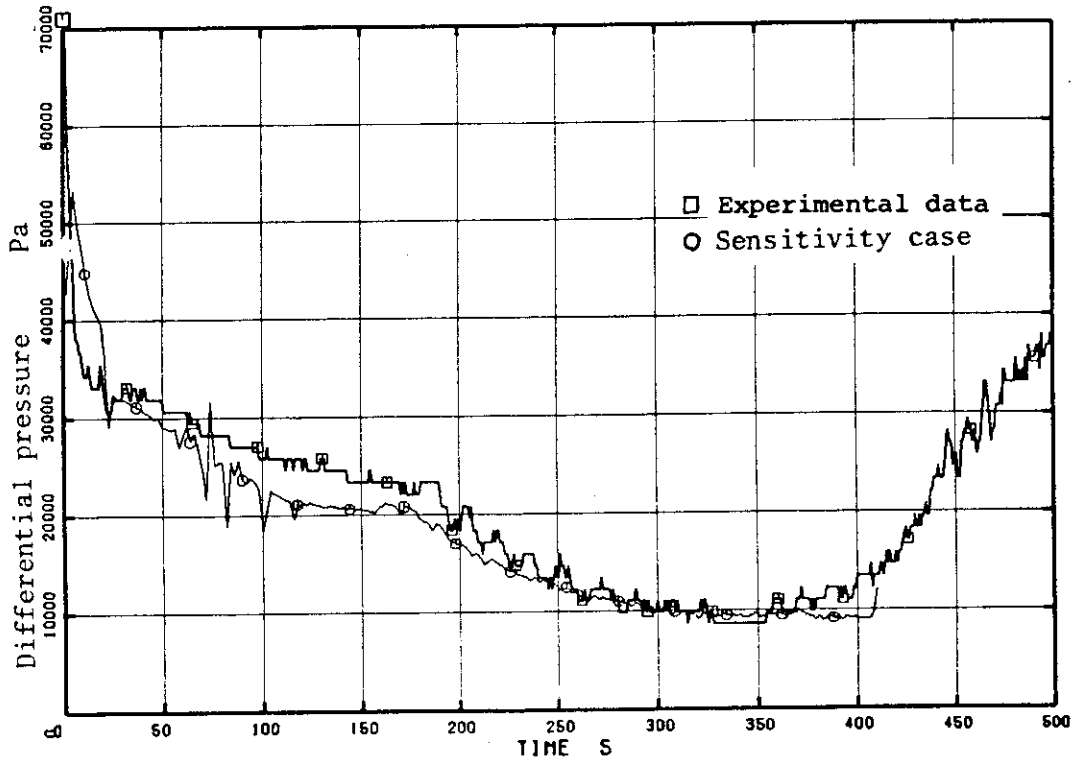


Fig. A.3.1 Differential pressures between lower plenum and steam dome

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3
□ FM 716 ○ R JWJ1

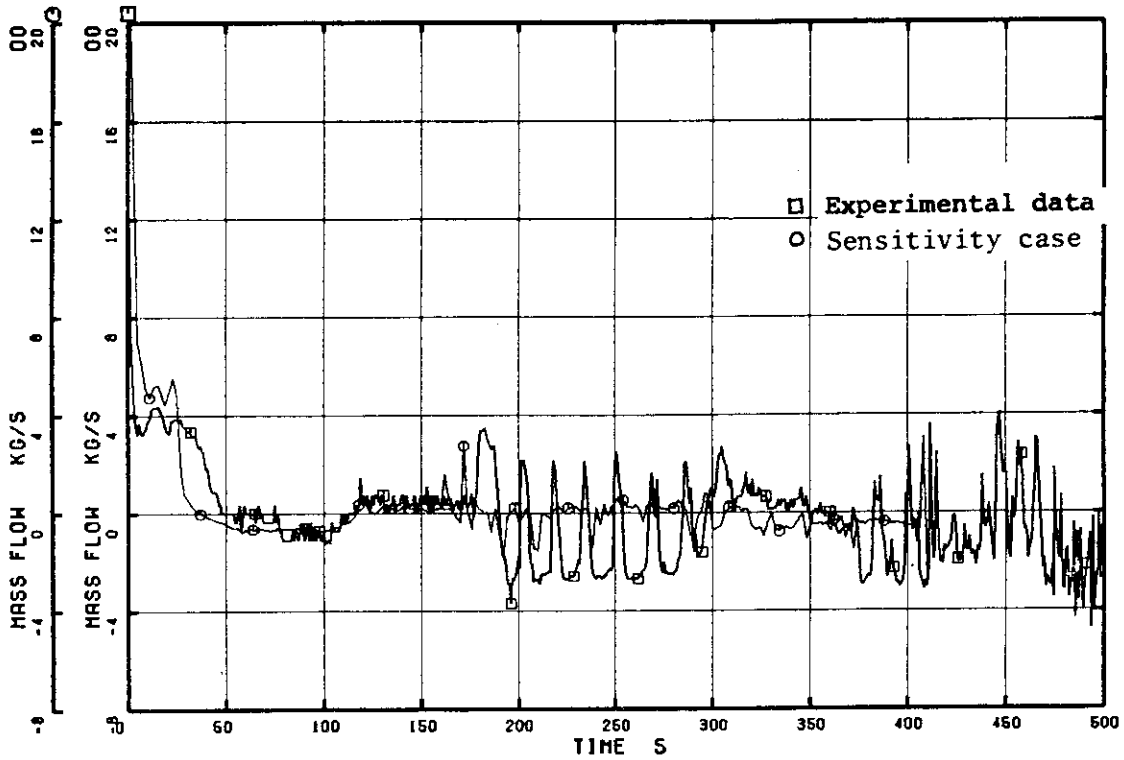


Fig. A.3.2 Total core inlet flows

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3
□ R MLV22 ○ R MLV22

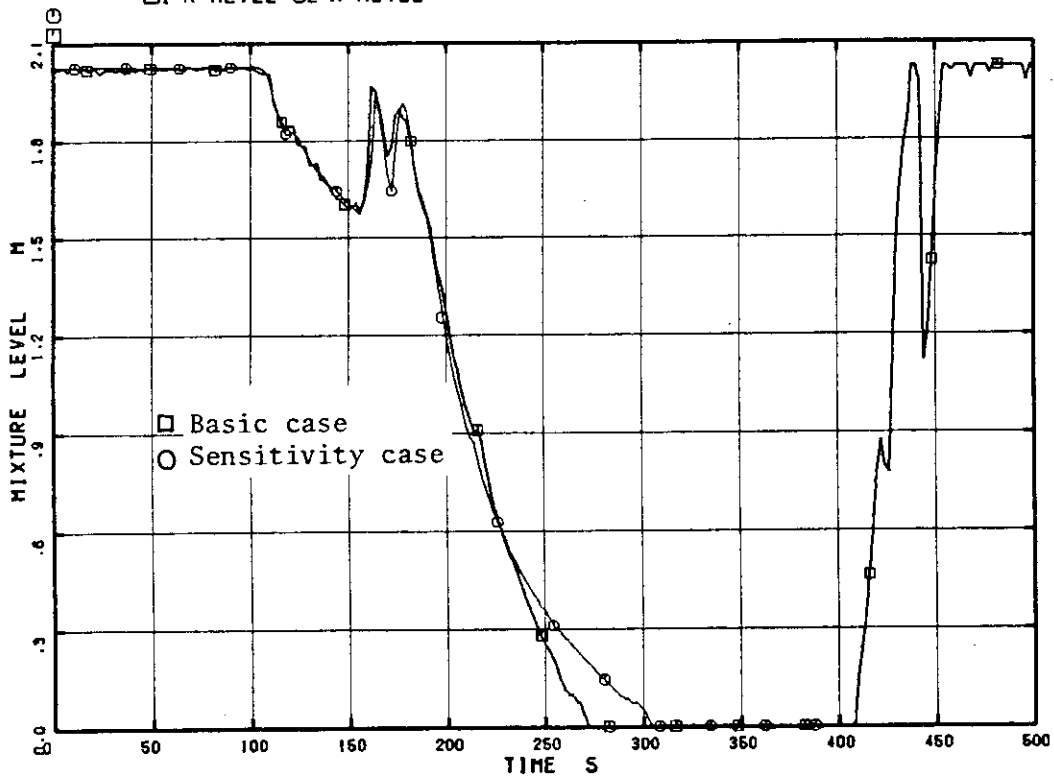


Fig. A.3.3 Mixture levels in high power channel

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ R APV1 ○ R APV1

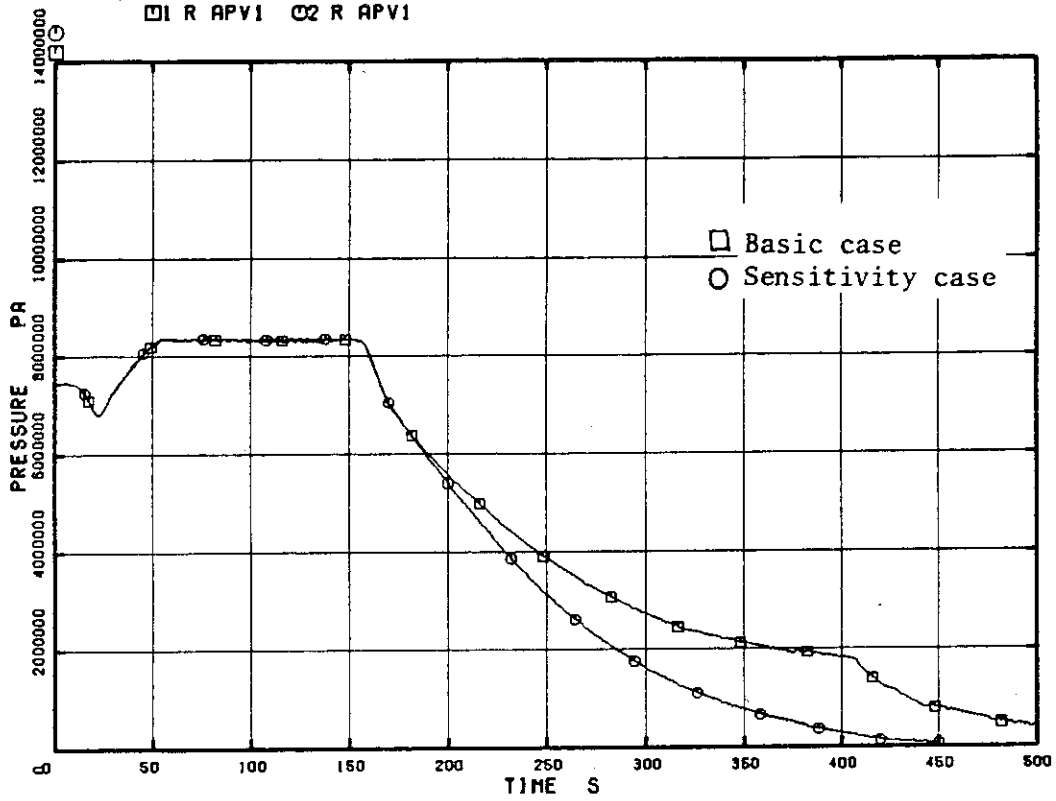


Fig. A.4.1 Lower plenum pressures

ROSA-III & BWR/6 5% BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ R MLV3 ○ R MLV3

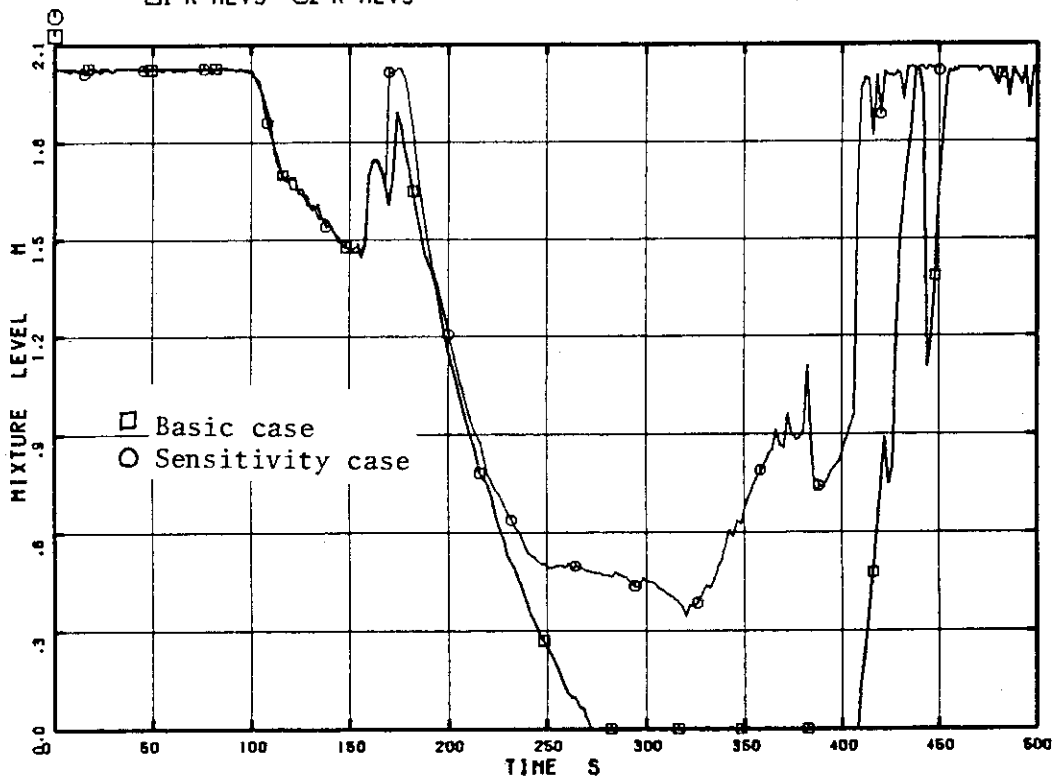


Fig. A.4.2 Mixture levels in average power channel

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ FM 71 ○ R JMJ33

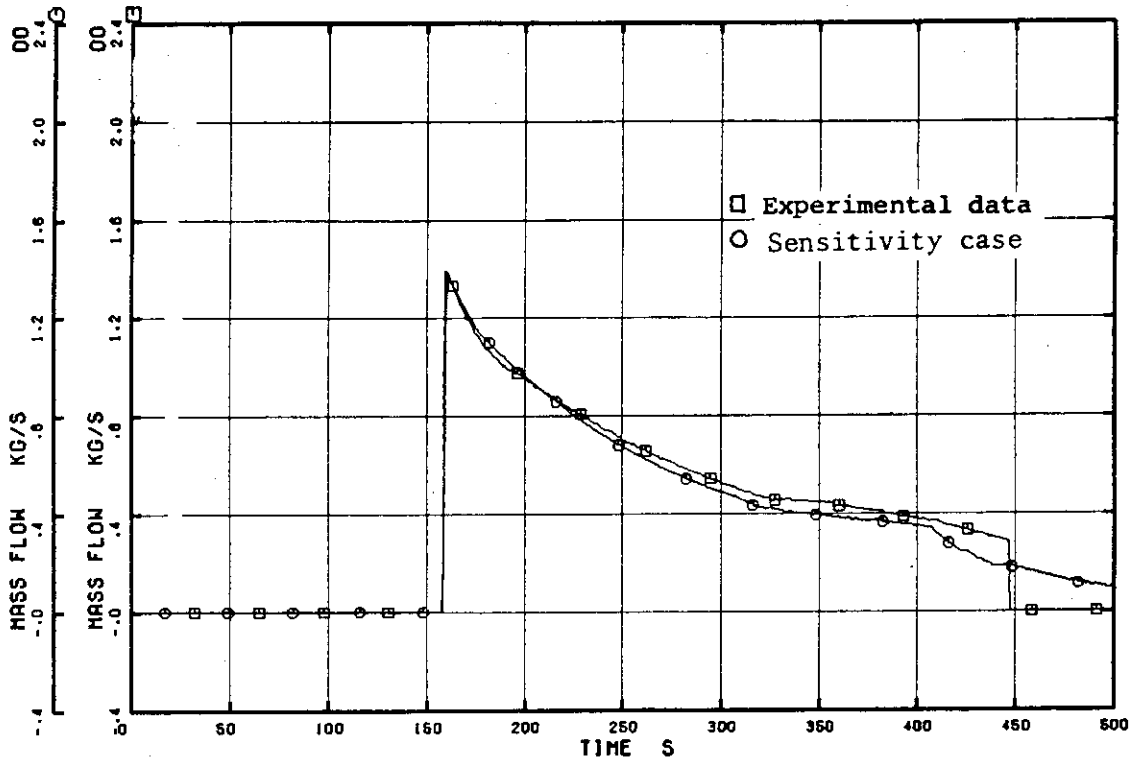


Fig. A.5.1 ADS flows

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ R APV11 ○ R APV11

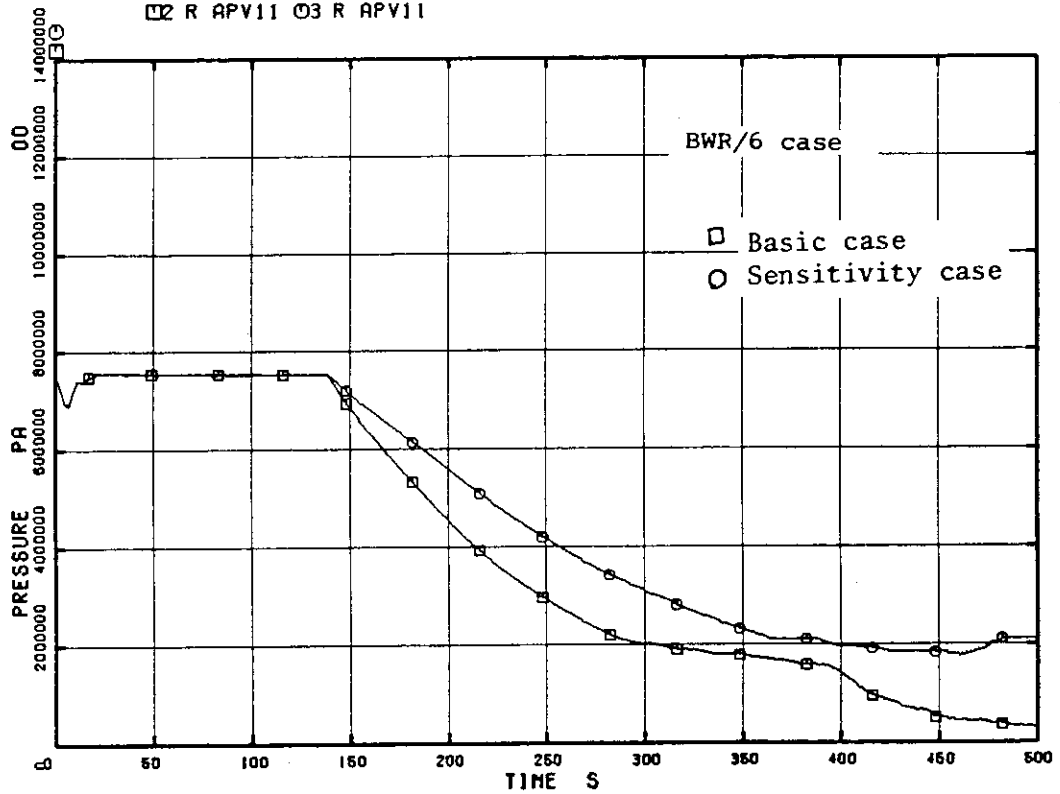


Fig. A.5.2 Lower plenum pressures

ROSA-III & BWR 5%-BREAK ANALYSIS BY U4J3

□ R MLV22

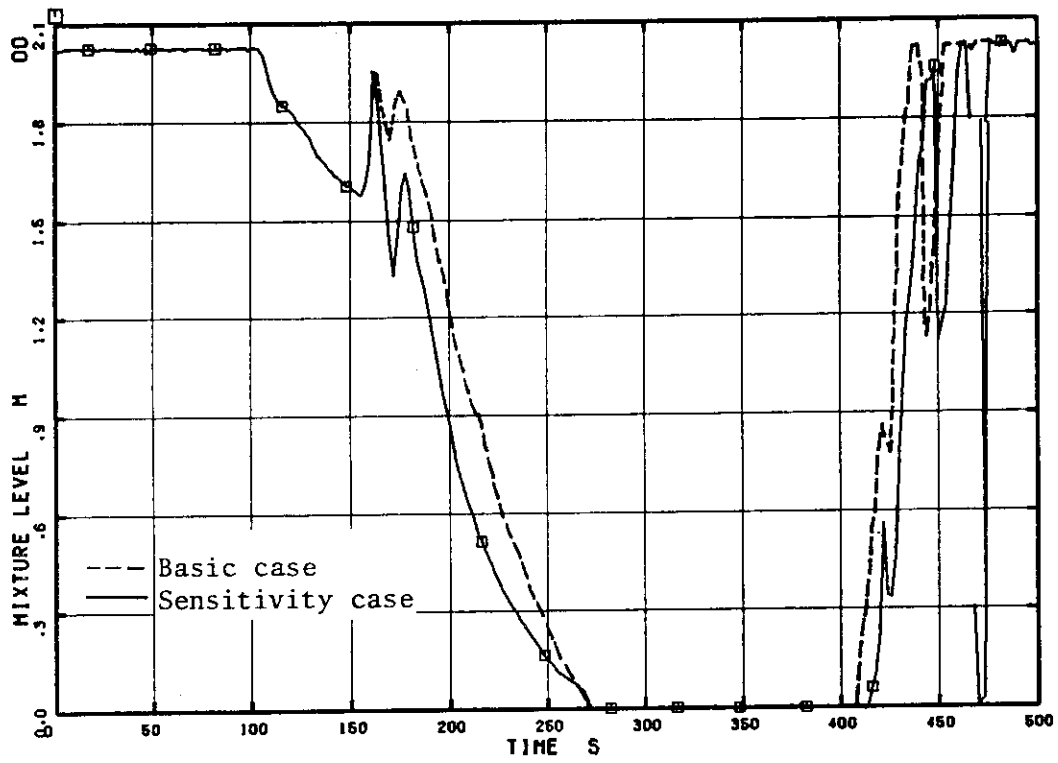


Fig. A.6.1 Mixture levels in high power channel

付録B ROSA-III 解析用入力データ

```

*
* ROSA-3 ANALYSIS BY RELAP4/MOD6/U4/J3
*
* CORE 2 VOLUME ** CREATED AT 83/2/16 **
*
* FILE ; J3815.RLP4.DATA
* MODULE ; U4912F04
*
= ROSA3 / BWR 5% BREAK TEST ANALYSIS ; RUN912
*
***PROBLEM DIMENSIONS***
*
* LDMP NTC NVOL NTDV NPMPC NLK NSLB NMAT NHTX
* NEDI NTRP NBUB NJUN NCKV NFLL NGOM NCOR ISPROG
010001 -2 9 6 7 22 5 0 42 2 5 1 10 20 7 7 14 0 0
*
***PROBLEM CONSTANTS***
*
* POWER OMEGA PQUITL PQUITH TQUITL TQUITH
010002 3.969 1.0 * DEFAULT VALUES *
*
***EDIT VARIABLES***
*
020000 AP 1 JW 34 ML 10 ML 9 ML 4 ML 3 JW 40 JW 33 SR 4
*
***TIME STEP CONTROL CARDS***
*
* NMIN NMAJ NDMP NCHK DELTM DTMIN TLAST ENDCPU
030010 10 100 1 0 1.0-2 1.0-5 1.0 7100.
030020 40 25 1 0 5.0-2 1.0-5 50.
030030 40 25 1 0 5.0-2 1.0-5 200.
030040 40 25 1 0 5.0-2 1.0-5 300.
030050 40 25 1 0 5.0-2 1.0-5 400.
030060 40 25 1 0 5.0-2 1.0-5 1.0+6
*
***TRIP CONTROLES***
*
* IDTRP IDSIG IX1 IX2 SETPT DELAY
040010 1 1 0 0 2000. 0. * END BY TIME
040020 2 1 0 0 0. 0. *
040030 3 1 0 0 0. 0. * SLIP CAL START
040040 4 1 0 0 1.0-3 0. * BREAK START
040050 5 1 0 0 0. 0. *BUBBLE RISE START
040060 6 4 6 0 1209. 0. 1209. * SRV
040070 7 1 0 0 2000. 0. * END
*
***VOLUME DATA***
* BASED ON PREDICTION
*
* IBUB IREAD P TEMP HORX V ZVOL ZM

```

*			(PSIA)	(DEGF)	(QLTY)	(FT**3)	(FT)	(FT)
050011	54	0	1082.43	536.2	-1.	6.018	4.367	4.367
050021	51	0	1081.03	536.2	-1.	.3194	.8042	.8042
050031	54	0	1080.15	-1.	.053	2.156	6.647	6.647
050041	51	0	1077.686	-1.	.121273	5.504	5.992	5.992
050051	5	0	1077.43	-1.	3.21833-4	13.16	4.05	1.900
050061	52	0	1077.09	-1.	.999724	4.287	1.14	1.14
050071	51	0	1080.993	536.2	-1.	2.523	3.579	3.579
050081	51	0	1079.2	536.2	-1.	1.851	7.336	7.336
050091	5	0	1079.83	536.2	-1.	6.226	12.859	12.859
050101	0	0	1078.645	536.2	-1.	.2312	.374	.374
050111	0	0	1082.2	536.2	-1.	.8949	7.802	7.802
050121	0	0	1081.425	536.2	-1.	.6166	4.884	4.884
050131	0	0	1081.825	536.2	-1.	.8399	10.475	10.475
050141	0	0	1119.151	536.2	-1.	.187	.955	.955
050151	0	0	1149.125	536.2	-1.	.8972	19.197	19.197
050161	0	0	1078.645	536.2	-1.	.2312	.374	.374
050171	0	0	1081.81	536.2	-1.	.8403	7.802	7.802
050181	0	0	1082.172	536.2	-1.	.4902	10.49	10.49
050191	0	0	1118.972	536.2	-1.	.187	.955	.955
050201	0	0	1149.623	536.2	-1.	1.0695	19.357	19.357
050211	5	0	14.696	100.000	0.6	1.E8	250.	0.0
050221	54	0	1080.15	-1.	.0825	.7188	6.647	6.647

*

*	JTPMV	FLOWA	DIAMV	ELEV	IAMBLO	ZMABV	DWILSN
*		(FT**2)	(FT)	(FT)			
050012	0	1.548	0.	-0.0594	0		
050022	0	.4865	.04341	4.160	0		
050032	0	.3244	.04341	4.964	0		
050042	0	.9188	.973	11.61	0		
050052	0	3.25	0.	14.48	0		
050062	0	3.809	2.202	18.53	0		
050072	0	.7048	.276	.8593	0		
050082	0	.2523	.1307	4.4383	0		
050092	0	.4158	.1493	1.621	0		
050102	0	.03095	.1865	8.993	0		
050112	0	.06449	0.	1.191	0		
050122	0	.02264	.1624	-1.725	0		
050132	0	.02383	.1646	-7.333	0		
050142	0	.1958	.4944	-8.288	0		
050152	0	.02161	.1658	-8.288	0		
050162	0	.03095	.1865	8.993	0		
050172	0	.05738	0.	1.191	0		
050182	0	.02346	.1657	-7.333	0		
050192	0	.1958	.4944	-8.288	0		
050202	0	.02238	.1657	-8.288	0		
050212	1	100000.	100.	-10.	0		
050222	0	.1081	.04341	4.964	0		

*

*** COEF. OF CCFL COR.

*

*	K1	K2
060002	1.0	.46
060012	0.7	.47

*

*** BUBBLE DATA CARDS ***

*

*	ALPH	VBUB
---	------	------

* (FT/SEC)

060011 0.0 -1.
 060021 1.0 0.0
 060031 0.8 -1.0
 060041 1.0 -1.0
 060051 0.0 1.E6

*** HENRY-FAUSKE/HEM DIALS CARD ***

* DLHEM DLHRY DLEHRY DLXTFE

*82003 1.0 1.2 1.0 0.3

*** JUNCTION DATA ***

*	IW1	IW2	IPUMP	IVALVE	WP	AJUN	ZJUN	INERTA(L/A)
*	FROM	TO			(LB/SEC)	(FT**2)	(FT)	(1/FT)
080011	1	2	0	0	34.856	0.07678	4.160	3.08
080021	2	3	0	0	24.255	0.1013	4.964	1.787
080031	3	4	0	0	24.255	0.1013	11.61	8.71
080041	4	5	0	0	35.934	0.1610	17.602	9.14
080051	5	6	0	0	4.475	0.206	18.53	0.567
080061	1	7	0	0	1.078	1.892-3	0.8593	437.7
080071	7	8	0	0	1.078	0.0208	4.4383	19.0
080081	8	4	0	0	3.593	0.1557	11.77	21.8
080091	5	9	0	0	31.459	2.16	14.48	0.849
080101	9	10	0	0	11.549	0.0328	9.233	1.212+2
080111	10	11	0	0	11.549	1.8022-2	8.993	2.708+2
080121	11	1	0	0	17.967	0.04616	1.312	1.415+2
080131	9	12	0	0	6.418	0.0207	3.078	5.041+2
080141	13	14	-2	0	6.418	.0207	-7.333	7.506+2
080151	14	15	2	0	6.418	2.96-3	-8.186	5.654+2
080161	15	11	0	0	6.418	1.192-3	8.993	1.097+3
080171	9	16	0	0	11.549	0.03280	9.233	1.212+2
080181	16	17	0	0	11.549	1.8022-2	8.993	2.708+2
080191	17	1	0	0	17.967	0.04616	1.312	1.415+2
080201	9	18	0	0	6.418	0.0207	3.078	5.047+2
080211	18	19	-1	0	6.418	.0207	-7.333	4.463+2
080221	19	20	1	0	6.418	2.96-3	-8.186	6.955+2
080231	20	17	0	0	6.418	1.192-3	8.993	1.192+3
080241	2	8	0	0	2.516	5.648-3	4.59	44.
080251	0	9	3	0	0.0	1.	14.217	0.0 *FW
080261	0	22	1	0	0.0	0.1167	11.6	0.0 *LPCS H.P.
080271	0	8	1	0	0.0	0.5331	11.7	0.0*LPCS BYPS
080281	0	3	105	0	0.0	1.	11.6	0.0*DRPLT COR
080291	0	4	106	0	0.0	0.1013	11.7	0.0*STEAM U.P.
080301	0	8	2	0	0.0	1.0	11.66	0.0 *LPCI
080311	0	6	4	0	0.0	1.0	19.67	0.0 *MSL
080321	12	21	0	2	0.0	2.938-4	-1.643	5.039+2 *BRK
080331	13	21	0	4	0.0	0.005803	-1.643	5.039+2 *BRK
080341	12	13	0	0	6.418	0.02264	-1.481	63.3 *QSV
080351	0	9	7	3	4.475	1.0	14.217	0.0 *FW
080361	0	6	8	3	-4.475	1.0	19.67	0.0 *MSL ST
080371	2	22	0	0	8.085	0.03378	4.964	0.0
080381	22	4	0	0	8.085	0.03378	11.61	15.
080391	0	3	1	0	0.0	0.3502	11.6	0.0*LPCS A.P.
080401	0	22	109	0	0.0	1.	11.6	1.0 *DLOP.H.P.
080411	0	4	110	0	0.0	0.03378	11.7	1.0 *STEAM H.F
080421	6	21	0	5	0.0	3.488-3	19.67	0.0 *SRV

*	FJUNF	FJUNR	JVERTL	JCALC	DIAMJ	CONCO	ICHOKE	SRCOS	IFLOOD		
*			JCHOKE	MVMIX	(FT)	(CD)	IHQCOR		IADJUN		
080012	1.165	1.31	1	5	0	0	0.	0.	1	0	-231.
080022	3.500	0.879	1	5	3	0	0.	0.	1	0	-231.
080032	1.036	1.008	1	5	0	0	0.	0.	1	0	-231.
080042	.665	1.036	1	5	0	0	-0.4	0.	1	0	0
080052	1.5	1.5	1	5	0	0	0.	0.	1	0	0
080062	1.0	1.0	1	5	0	0	0.	0.	1	0	0
080072	1.83	2.40	1	5	0	0	0.	0.	1	0	0
080082	2.65	20.	1	5	0	0	0.	0.	1	0	-231.
080092	0.152	0.114	1	5	0	0	0.	0.	1	0	0
080102	.74	60.0	1	5	0	0	0.	0.	1	0	0
080112	2.093	7.9	1	5	0	2	0.	0.	1	0	0
080122	2.449	2.449	1	5	0	0	0.	0.	1	0	231.
080132	1.46	1.97	1	5	0	0	0.	0.	1	0	0
080142	2.	2.	1	5	0	0	0.	0.	1	0	0
080152	.1	.1	1	5	0	0	0.	0.	1	0	0
080162	0.069	1.4	1	5	0	2	0.	0.	1	0	0
080172	.74	60.0	1	5	0	0	0.	0.	1	0	0
080182	0.723	7.9	1	5	0	2	0.	0.	1	0	0
080192	1.409	1.409	1	5	0	0	0.	0.	1	0	231.
080202	3.052	3.052	1	5	0	0	0.	0.	1	0	0
080212	2.	2.	1	5	0	0	0.	0.	1	0	0
080222	.1	.1	1	5	0	0	0.	0.	1	0	0
080232	0.069	1.4	1	5	0	2	0.	0.	1	0	0
080242	1.5	1.5	1	5	0	0	0.	0.	1	0	0
080252	0.0	0.0	1	5	3	0	0.	0.	1	0	0
080262	0.0	0.0	0	5	3	0	0.	0.	1	0	0
080272	0.0	0.0	0	5	3	0	0.	0.	1	0	0
080282	0.0	0.0	0	5	3	0	0.	0.	1	0	0
080292	0.0	0.0	0	5	3	0	0.	0.	1	0	0
080302	0.0	0.0	0	5	3	0	0.	0.	1	0	0
080312	35.02	0.0	0	5	2	0	0.	0.	1	0	0
080322	1.698	0.0	1	5	0	0	0.	0.	1	0	0
080332	1.698	0.0	1	5	0	0	0.	0.	1	0	0
080342	0.0	0.0	1	5	0	0	0.	0.	1	0	0
080352	0.0	0.0	1	5	3	0	0.	0.	1	0	0
080362	0.0	0.0	0	5	3	0	0.	0.	1	0	0
080372	0.0	0.0	1	5	3	0	0.	0.	1	0	-231.
080382	1.036	1.008	1	5	0	0	0.	0.	1	0	-231.
080392	0.0	0.0	0	5	3	0	0.	0.	1	0	0
080402	0.0	0.0	0	5	3	0	0.	0.	1	0	0
080412	0.0	0.0	0	5	3	0	0.	0.	1	0	0
080422	0.0	0.0	0	5	3	0	0.	0.	1	0	0

*** PUMP DESCRIPTION ***

*	IPC	ITPMP	IRP	IPM	IMT	POMGAR	PRSAT	PFLOW	PHEAD	PTORKR
*						(RPM)	(RATIO)	(GPM)	(FT)	(LBF.FT)
090011	3	4	1	1	0	3600.	.502	132.	859.6	21.5
090021	3	4	1	1	0	3600.	.51	132.	859.6	21.5

*	PINRTA	VRHOI	TORKF(3)	TORKMR	TORKF(1)	TORKF(2)	TORKF(4)
*	(LBM.FT2)	(LBM/FT3)		(LBF.FT)			
090012	11.27	0.	5.58	0.	0.	0.	31.5
090022	11.27	0.	5.58	0.	0.	0.	31.5

*** PUMP HEAD MULTIPLIER

*	NPHM	PHDM(1)	PHDM(2)	-----								
*		(VOID)	(NLTPLR)									
091001	-11	0.0	.0	.1	.0	.15	.05	.24	.8	.3	.96	
091002		.4	.98	.6	.97	.8	.9	.9	.8	.96	.5	
091003		1.0	.0									

*** PUMP TORQUE MULTIPLIER ***

*	NPTM	PTKM(1)	PTKM(2)	-----			
*		(VOID)	(MLTPLR)				
092001	-2	0.0	0.0	1.0	0.0	* NOT USED	

*** PUMP CURVE INPUT INDICATOR ***

*	NC(1)	NC(2)	NC(3)	NC(4)
100000	0	0	16	0

*** PUMP HEAD OR TORQUE DATA CARDS ***

*	IT	IC	N	PHEAD(1)	OR	PTORK(1)	PHEAD(2)	OR	PTORK(2)	-----			
103011	1	1	5	0.0	0.92	0.2	0.94	0.4	0.97	0.6	1.0	1.0	1.0
103021	1	2	5	0.0	-0.2	0.25	0.0	0.4	0.12	0.7	0.5	1.0	1.0
103031	1	3	5	-1.0	1.2	-0.8	0.98	-0.6	0.94	-0.3	0.92	0.0	0.92
103041	1	4	5	-1.0	1.2	-0.8	0.7	-0.5	0.33	-0.2	0.16	0.0	0.26
103051	1	5	5	0.0	0.94	0.2	1.06	0.5	1.23	0.7	1.3	1.0	1.45
103061	1	6	5	0.0	0.26	0.4	0.3	0.7	0.7	0.9	1.1	1.0	1.45
103071	1	7	5	-1.0	0.2	-0.8	0.4	-0.5	0.65	-0.2	0.84	0.0	0.94
103081	1	8	5	-1.0	0.2	-0.8	-0.1	-0.5	-0.26	-0.2	-0.3	0.0	-0.2
103091	2	1	3	0.0	0.69	0.5	0.84	1.0	1.0				
103101	2	2	5	0.0	-0.03	0.1	0.01	0.3	0.13	0.8	0.71	1.0	1.0
103111	2	3	4	-1.0	0.76	-0.6	0.44	-0.4	0.44	0.	0.69		
103121	2	4	4	-1.0	0.76	-0.7	0.39	-0.2	0.1	0.	0.1		
103131	2	5	5	0.0	-0.72	0.54	-0.69	0.7	-0.58	0.9	-0.48	1.0	-0.33
103141	2	6	5	0.0	0.1	0.1	0.1	0.44	0.18	0.7	-0.1	1.0	-0.33
103151	2	7	5	-1.0	-1.23	-0.92	-0.82	-0.66	-0.9	-0.26	-0.72	0.0	-0.72
103161	2	8	5	-1.0	-1.23	-0.9	-0.95	-0.7	-0.6	-0.24	-0.1	0.0	-0.03

*** VALVE DATA CARDS ***

*	ITCV	IACV	LATCH	PCV	CV1	CV2	CV3					
110010	-4	1	0	0.	0.	0.	0.	* BYPASS MIXL CONTROL				
110020	-4	0	0	0.	0.	0.	0.	* BRK				
110030	4	0	0	0.	0.	0.	0.	* QSV				
110040	-7	0	0	0.	0.	0.	0.	* BLIND				
110050	-6	0	0	0.	0.	0.	0.	* SRV				

*** LEAK TABLE CARDS ***

*	NAREA	ITYPE	SINK	TAREA(1),TAREA(2),----								
*	ITLEAK		(PSIA)									
120100	-4	4	-2	14.7	0.0	1.0	7.0	1.0	7.1	0.0	*BYPS	
120101									8.0	0.0	*MIXL C.	

*** FILL TABLE DATA ***

*	ITFILL	ITYPE	NPTS	ICALC	ISATFL	UNITS	PORT	HORX
*								

130100	4	1	13	-104	0	'LBS/SEC'	57.35	.01736	*
130101	0.0		0.0		318.5	0.0	320.0	1.73	*
130102	361.9		1.86		400.	2.0	473.8	2.38	*
130103	487.7		2.4		496.9	2.38	560.	2.45	*
130104	609.2		2.49		640.	2.49	681.5	2.47	*
130105	696.2		2.23						*
*								* LPCS	*
*									*
130200	4	1	13	4	0	'LBS/SEC'	57.35	103.75	*
130201	0.0		0.0		406.6	0.0	408.1	4.87	*
130202	435.9		6.31		454.5	7.21	467.0	7.61	*
130203	486.2		7.89		534.9	8.18	571.2	8.33	*
130204	608.3		8.38		640.0	8.33	683.3	8.00	*
130205	694.1		6.86					* LPCI	*
*									*
130300	4	1	4	1	0	'LBS/SEC'	1087.8	340.294	*
130301	0.0		4.475		2.0	4.475	3.1	0.0	*
130302	1000.0		0.					* FW	*
*									*
130400	4	1	19	-406	0	'LBS/SEC'	552.3	1.0	*
130401	0.0		-4.475	1.6		-4.26	4.7	-5.0	*
130402	12.5		-4.92	20.3		-4.58	24.2	0.0	*
130403	155.7		0.0	160.0		-3.07	175.3	-2.56	*
130404	194.4		-2.2	240.0		-1.69	280.2	-1.35	*
130405	320.0		-1.09	356.7		-1.03	400.0	-0.913	*
130406	437.9		-0.772	480.0		-0.613	560.0	-0.522	*
130407	640.0		-0.536						*
*								* MSL	*
*									*
130500	4	1	2	-103	0	'LBS/SEC'	552.3	1.0	*
130501	0.0		0.0		2000.	0.		* DROPLET A.P.	*
*									*
130600	4	1	2	-203	0	'LBS/SEC'	552.3	1.0	*
130601	0.0		0.0		2000.	0.		* STEAM A.P.	*
*									*
130700	2	1	2	1	0	'LBS/SEC'	1087.8	340.29	*
130701	0.0		4.475			1000.0	4.475	*FW STEADY	*
*									*
130800	2	1	2	-406	0	'LBS/SEC'	552.3	1.0	*
130801	0.0		-4.475			1000.0	-4.475	*MSL STEADY	*
*									*
130900	4	1	2	-122	0	'LBS/SEC'	552.3	1.0	*
130901	0.0		0.0		2000.	0.		* DROPLET H.P.	*
*									*
131000	4	1	2	-222	0	'LBS/SEC'	552.3	1.0	*
131001	0.0		0.0		2000.	0.		* STEAM H.P.	*
*									*
*** KINETIC CONSTANTS ***									*
*									*
* NODEL KMUL BOVL RHOIN UDUF PROMPT LAMBDA TAU									*
*									*
140000 0 0. 0. 0. 0. *									*
*									*
*** SCRAM TABLE ***									*
*									*
* NSCR ITSCR									*
*									*
141000 -18 4									*
141001 0.0 1.0 8.8 1.0 12.2 0.8									*

141002	17.0	0.6	23.6	0.4	26.0	0.327	*
141003	27.3	0.3	39.0	0.248	50.0	0.203	*
141004	63.0	0.179	76.0	0.157	100.0	0.134	*
141005	150.0	0.110	200.0	0.085	300.0	0.069	*
141006	400.0	0.063	500.0	0.058	600.0	0.057	*

*** HEAT TRANSFER SURFACE ***

150000 2 0 0 0

*** HEAT SLAB DATA ***

	IVSL	IGOM	IXLO	IMCR	AHTL	AHTR	VOLS	HDML	HDMR			
	IVSR	ISB	IMCL	(FT2)	(FT2)	(FT3)	(FT)	(FT)				
150011	0	3	1	0	2	0	10	0.	18.72	0.1887	0.	0.
150021	0	3	1	1	2	0	10	0.	18.72	0.1887	0.	0.
150031	0	3	1	1	2	0	10	0.	18.72	0.1887	0.	0.
150041	0	3	1	1	2	0	10	0.	37.44	0.3774	0.	0.
150051	0	3	1	1	2	0	10	0.	18.72	0.1887	0.	0.
150061	0	3	1	1	2	0	10	0.	18.72	0.1887	0.	0.
150071	0	3	1	1	2	0	10	0.	18.72	0.1887	0.	0.
150081	0	22	1	0	2	0	10	0.	6.24	0.0629	0.	0.
150091	0	22	1	1	2	0	10	0.	6.24	0.0629	0.	0.
150101	0	22	1	1	2	0	10	0.	6.24	0.0629	0.	0.
150111	0	22	1	1	2	0	10	0.	12.48	0.1258	0.	0.
150121	0	22	1	1	2	0	10	0.	6.24	0.0629	0.	0.
150131	0	22	1	1	2	0	10	0.	6.24	0.0629	0.	0.
150141	0	22	1	1	2	0	10	0.	6.24	0.0629	0.	0.
150151	0	6	6	0	2	0	10	4.03	4.03	2.77	0.	0.
150161	0	6	3	0	2	0	10	9.5	8.21	1.6	0.	0.
150171	0	5	4	0	2	0	10	28.5	24.8	3.92	0.	0.
150181	0	9	5	0	2	0	10	75.5	64.9	9.22	0.	0.
150191	0	1	2	0	2	0	10	17.5	12.2	7.56	0.	0.
150201	0	1	7	0	2	0	10	4.090	4.09	2.42	0.	0.

	DHEL	DHER	CHNL	CHNR	ZBOT	ZTOP	IHXQF	PFR	HTC
	(FT)	(FT)	(FT)	(FT)	(FT)	(FT)			
150012	0.	0.	0.	0.	0.285	1.056			
150022	0.	0.	0.	0.	1.056	1.827			
150032	0.	0.	0.	0.	1.827	2.598			
150042	0.	0.	0.	0.	2.598	4.14			
150052	0.	0.	0.	0.	4.14	4.911			
150062	0.	0.	0.	0.	4.911	5.682			
150072	0.	0.	0.	0.	5.682	6.453			
150082	0.	0.	0.	0.	0.285	1.056			
150092	0.	0.	0.	0.	1.056	1.827			
150102	0.	0.	0.	0.	1.827	2.598			
150112	0.	0.	0.	0.	2.598	4.14			
150122	0.	0.	0.	0.	4.14	4.911			
150132	0.	0.	0.	0.	4.911	5.682			
150142	0.	0.	0.	0.	5.682	6.453			
150152	0.	0.	0.	0.	0.45	1.14			
150162	0.	0.	0.	0.	0.	1.14			
150172	0.	0.	0.	0.	0.	4.01			
150182	0.	0.	0.	0.	0.	12.8			
150192	0.	0.	0.	0.	0.	1.69			
150202	0.	0.	0.	0.	0.	0.591			

*** CORE SLAB DATA ***

8

```

*
*      ISLB  NODT1  NODT2  NODT3  CLTI  QFRAC
*      (FT)
160010  1      1      4      9      0.    .04137
160020  2      1      4      9      0.    .07675
160030  3      1      4      9      0.    .1032
160040  4      1      4      9      0.    .2388
160050  5      1      4      9      0.    .1032
160060  6      1      4      9      0.    .0765
160070  7      1      4      9      0.    .04137
160080  8      1      4      9      0.    .01932
160090  9      1      4      9      0.    .03585
160100 10      1      4      9      0.    .0482
160110 11      1      4      9      0.    .1116
160120 12      1      4      9      0.    .0482
160130 13      1      4      9      0.    .03585
160140 14      1      4      9      0.    .01932
*
*** CORE SLAB FOR EM 16XXXXY NOT USED ***
*
*
*** SLAB GEOMETRY DATA ***
*
*      01      IG  NR      IM  NDX  XO      XR      PF
*      02      IGP  IM  NDX      XR      PF
*
*      (FT)  (FT)
170101      2  4      1  3      0.0  0.009678  0.0  *HEATER
170102      0  2  1      0.001887  1.0  *
170103      0  3  1      0.004298  0.0  *
170104      0  4  3      0.004265  0.0  *
170201      2  1      5  3      1.148  0.509  0.0  *LP SIDE
170301      2  1      5  3      1.15  0.18  0.0  *SD SIDE
170401      2  1      5  3      0.984  0.148  0.0  *UDC
170501      2  1      5  3      0.807  0.131  0.0  *LDC
170601      1  1      5  3      0.0  0.689  0.0  *UPPER HED
170701      1  1      5  3      0.0  0.591  0.0  *LP BOTTOM
*
*
*** THERMAL CONDUCTIVITY DATA
*
*
*      NKP  TPK(1),TPK(2) -----
*      (DEGF) (BTU/FT-HR-F)
*
180101 -6 * SINTERED BORON NITRIDE
180102  260.3  13.29  440.3  13.00  800.3  12.42
180103  1160.3  11.85  1520.3  11.44  1880.3  11.04
*
180201 -6 * NICKROME 5
180202  122.1  5.95  212.1  6.47  572.1  8.55
180203  932.1  10.58  1292.1  12.71  1652.1  14.74
*
180301 -5 * PACKED BORON NITRIDE
180302  212.1  3.63  392.1  3.96  752.1  4.44
180303  1112.1  4.70  1472.1  4.84
*
180401 -9 * INCONEL 600
180402  70.0  8.58  200.0  9.08  400.0  10.1
180403  600.0  11.1  800.0  12.1  1000.0  13.2

```

180404	1200.0	14.3	1400.0	15.5	1600.0	16.7	*
*							*
180501	-2	* SUS					*
180502	32.	9.41	932.	12.1			*
*							*
180601	-11	* MGO					*
180602	392.	15.4	572.	11.9	752.	9.92	*
180603	932.	8.13	1112.	6.77	1292.	5.81	*
180604	1472.	5.08	1832.	3.99	2192.	3.63	*
180605	2252.	3.87	2912.	4.23			*
*							*
180701	1	32.	8.42				*
*							*
*							*
*** VOLUMETRIC HEAT CAPACITY ***							
*							*
*	NCP	TPC(1),TPC(2)	-----				*
*		(DEGF)	(BTU/FT3-F)				*
*							*
190101	-6	* SINTERED BORON NITRIDE					*
190102	260.3	30.01	440.3	35.84	800.3	43.44	*
190103	1160.3	48.74	1520.3	52.11	1880.3	54.49	*
*							*
190201	-2	* NICKROME 5					*
190202	122.1	54.56	1652.1	54.56			*
*							*
190301	-6	* PACKED BORON NITRIDE					*
190302	260.3	29.22	440.3	34.90	800.3	42.30	*
190303	1160.3	47.46	1520.3	50.74	1880.3	53.06	*
*							*
190401	-9	* INCONEL 600					*
190402	70.	55.7	200.	58.3	400.	60.9	*
190403	600.	63.6	800.	66.2	1000.	69.3	*
190404	1200.	73.5	1400.	76.2	1600.	78.3	*
*							*
190501	1	32.	59.3			* SUS	*
190601	1	32.	50.3			* MGO	*
190701	1	32.	54.3				*
*							*
*** CORE SPRAY MODEL DATA							
*							*
205000	1	3(0)	2	7(0)			*
205010	39282903	0.	10.0	1.0+6			*
205020	26404138	0.	10.0	1.0+6			*
205100	1000.						*
205110	144.	.5	.003	.5			*
205120	1000.	1000.	0.	1000.	.05		*
205210	2.5						*
205220	2.5						*
205310	0.004265						*
205320	0.004265						*
205410	1.						*
205420	1.						*
*							*

付録C BWR/6 解析用入力データ

```

= ROSA3 / BWR 5% BREAK TEST ANALYSIS ; RUN912
* BWR/6 251,848 ( 3800MWT )
* DATA FILE : J3815.RLP4.DATA
* MODULE NAME : B5F03 ANALYSIS BY RELAP4/MOD6/U4/J3
*
*-----*
* PROBLEM DIMENSION
*
* LDMP NTC NVOL NTDV NPUMP NLK NSLB NMATNHTX?*
* NEDI NTRP NBUB NJUN NCKV NFILL NGDMNCORISPROG*
010001 -2 9 5 13 20 5 0 40 2 10 5 8 18 10 5 14 0 0 1
*
* POWER OMEGA
010002 3800. 1.0
*
* EDIT VARIABLES
* 1 2 3 4 5 6 7 8 9
020000 AP 11 ML 1 ML 12 ML 11 ML 13 JW 24 JW 25 JW 17 NQ 0
*
*-----*
* TIME STEP CONTROL CARD
*
* NMIN NMAJ NDMP NCHK DELTM DTMIN TLAST ENDCPU
030010 10 30 1 0 1.0-2 1.0-6 1.0 7100.
030020 40 25 1 0 5.0-2 1.0-5 1.0+2
030030 40 25 1 0 5.0-2 1.0-5 3.0+2
030040 40 25 1 0 5.0-2 1.0-5 5.0+2
030050 40 25 1 0 5.0-2 1.0-5 1.0+3
*
*-----*
* TRIP CONTROL CARD
*
* 040010 1 1 0 0 2.0+3 0.0 * PROBLEM END
* 040020 2 1 0 0 0.0 0.0 * FW, MSL
* 040030 3 1 0 0 1.0-3 0.0 * BREAK
* 040040 4 1 0 0 2.0-3 0.0 * SCRAM, MRP, QSV, SRV
* 040050 5 -5 2 0 5.11 0.0 * MSIV = MODIFIED L2
* 040060 6 1 0 0 1.0+3 0.0 *
* 040070 7 -5 4 0 21.72 4.0+1 * LPCS = MODIFIED L1
* 040080 8 1 0 0 0.0 0.0 * SLIP ON
* 040090 9 -5 4 0 21.72 1.2+2 * ADS
* 040100 10 1 0 0 35.01 0.0 *
* 040110 11 -5 4 0 21.72 4.0+1 * MODIFIED LEAKAGE FLOW ON
* 040120 12 -5 4 0 21.72 4.0+1 * LPCI, CCFL VALVE
* * = MODIFIED L1
* 040130 13 1 0 0 1.0+6 0.0 * LEAKAGE FLOW MODEL OFF

```

```

*-----*
*
*      VOLUME DATA
*
*      IBUB IREAD PRESSURE TEMP.   HORX   VOLUME
050011  2    0    1058.18  -1.    0.1303  2843.0  * UP + SS
050021  4    0    1055.91  -1.    0.0      3880.0  * U DOWNCOMER
050031  1    0    1054.07  -1.    0.9999  5580.0  * STM. DOME
050041  4    0    1061.42  535.0 -1.0     2147.0  * L DOWNCOMER
050051  0    0    1056.10  535.0 -1.0     106.8   * BRK LOOP, SUC.
050061  0    0    1180.92  535.0 -1.0     42.4   * BRK LOOP, MRP
050071  0    0    1252.35  535.0 -1.0    185.4   * BRK LOOP, DEL.
050081  0    0    1056.46  535.0 -1.0    149.2   * INT LOOP, SUC.
050091  0    0    1180.92  535.0 -1.0     42.4   * INT LOOP, MRP
050101  0    0    1252.35  535.0 -1.0    185.4   * INT LOOP, DEL.
050111  3    0    1088.19  535.0 -1.0    2694.25 * L PLENUM
050121  3    0    1075.16  -1.0  0.0780  151.0   * PER. CHANNEL
050131  2    0    1062.46  535.0 -1.0    862.0   * CORE BYPASS
050141  0    0    1080.51  535.0 -1.0    123.2   * INT JET PUMP
050151  0    0    1080.51  535.0 -1.0    123.2   * BRK JET PUMP
050161  0    0    1052.47  535.0 -1.0     42.4   * BRK LOOP, SUC.
050171  4    0     14.7    100.   0.6     1.98+8 * CONTAINMENT
050181  3    0    1073.21  -1.0  0.061   1099.0  * CENTRAL CHANNEL
050191  2    0    1066.97  535.0 -1.0   1547.0  * GUIDE TUBE
050201  2    0    1077.14  535.0 -1.0     95.75  * CORE INLT REGN
*

```

```

*
*      ZVOL      ZM      JTPMV FLOWA  DIAMV   ELEV   IAMBLO
050012  19.065    19.065    0    198.0   0.    31.725
050022  16.03      9.45      0    122.0   0.    36.89
050032  20.0       20.0      0    343.6   0.    52.92
050042  26.89     26.89     0    117.0   0.    10.0
050052  32.17     32.17     0     2.46   0.   -20.17
050062   2.0       2.0       0     2.46   0.   -20.17
050072  47.87     47.87     0     2.14   0.   -20.17
050082  32.17     32.17     0     2.46   0.   -20.17
050092   2.0       2.0       0     2.46   0.   -20.17
050102  47.87     47.87     0     2.14   0.   -20.17
050112  16.976    16.976    0    120.0   0.     0.
050122  13.7      13.7      0    11.00  0.04285 18.025
050132  14.794    14.794    0     58.4   0.    16.976
050142  17.2      17.2      0     7.163  0.    10.0
050152  17.2      17.2      0     7.163  0.    10.0
050162   2.0       2.0       0     2.46   0.    10.0
050172  250.0     0.0       1     1.0+5  1.0+2 -1.0+1
050182  13.7      13.7      0     80.28  0.04285 18.025
050192  12.726    12.726    0    121.6   0.     4.25
050202   1.049     1.049     0     91.28  0.    16.976
*

```

```

*-----*
*
*      CCFL CORRELATION COEF.
*
060002  1.0     .46
060012  0.7     .47
*

```

```

*
*      BUBBLE DATA
*
060011  1.0  0.0
060021  0.0 -1.0
*

```

060031 1.0 -1.0
 060041 0.0 1.E6
 060051 0.8 -1.0

2 *

JUNCTION DATA

IVALV

	IW1	IW2	IPUMP	WP	AJUN	ZJUN	
080011	1	2	0	0	34028.0	50.104	50.79 * SS OUTLET
080021	2	3	0	0	4542.	343.6	52.92 * UD TO SD
080031	2	4	0	0	29486.	122.0	36.89 * UD TO LD
080041	4	15	0	0	12057.	2.1264	27.2 * BRK JP SUCTION
080051	4	16	0	0	4957.	2.46	11.0 * B LOOP RECIRC. SU*
080061	5	6	-1	0	4957.	2.46	-19.17 * BRK PUMP INLET
080071	6	7	1	0	4957.	2.14	-19.17 * BRK PUMP OUTLET
080081	7	15	0	0	4957.	0.5032	27.2 * BRK JP DRIVE
080091	4	8	0	0	4957.	2.46	11. * I LOOP RECIRC. SU*
080101	8	9	-2	0	4957.	2.46	-19.17 * INTACT PUMP INLET*
080111	9	10	2	0	4957.	2.14	-19.17 * INTACT PUMP OUTLE*
080121	10	14	0	0	4957.	0.5032	27.2 * INTACT JP DRIVE
080131	4	14	0	0	12057.	2.1264	27.2 * INTACT JP SUCTION*
080141	20	12	0	0	2197.	6.92	18.025 * PERIPH. CH. INLET*
080151	12	1	0	0	2197.	7.091	31.725 * PERIPH. CH. OUT
080161	13	20	0	7	-2550.	4.884	17.5 * CORE BYPASS INLET*
080171	1	13	0	0	-3403.	14.4	31.725 * CORE BYPASS OUT
080181	14	11	0	0	17014.	14.1431	10.0 * INTACT JP DISCH. *
080191	15	11	0	0	17014.	14.1431	10.0 * BRK JP DISCHARGE *
080201	16	5	0	0	4957.	2.46	11.0 * QSV
080211	3	17	0	3	0.	0.484	54. * ADS
080221	16	17	0	4	0.	0.123	11.0 * VESSEL SIDE BREAK*
080231	17	5	0	6	0.	2.46	11.0 * PUMP SIDE BREAK
080241	0	4	1	0	4542.	4.712	34. * FEEDWATER LINE
080251	0	3	2	2	-4542.	14.75	54. * MAIN MTEAM LINE
080261	20	18	0	0	28428.	51.8	18.025 * CENTRAL CH. INLET*
080271	18	1	0	0	28428.	55.60	31.725 * CENTRAL CH. OUT
080281	0	18	4	0	0.	0.718	31.72 * CCEL FILL FOR CC *
080291	0	12	4	0	0.	0.096	31.72 * CCFL FILL FOR PC *
080301	0	13	4	8	0.	0.186	31.72 * CCFL FILL FOR BP *
080311	0	13	3	8	0.	1.0	31.72 * LPCI FILL
080321	0	18	105	0	0.	1.0	31.035 * LIQUID DROP FOR C*
080331	0	1	106	0	0.	51.80	31.8 * STEAM FOR CC
080341	0	12	107	0	0.	1.0	31.035 * LIQUID DROP FOR P*
080351	0	1	108	0	0.	7.091	31.8 * STEAM FOR PC
080361	3	17	0	9	0.	0.1993	72. * SRV
080371	3	17	0	10	0.	0.1993	72. * SRV
080381	11	20	0	0	30625.	25.52	16.976 * LTP REGION INLET
080391	19	13	0	0	853.	46.62	16.976 * GT TO BP
080401	19	11	0	5	-853.	0.5869	16.0 * BP TO LP

	INERTA	FJUNR	JCHOKE	MVMIX	CONCO	IHQCOR	IFLOOD				
	FJUNF	JVERTL	JCALCI	DIAMJ	ICHOKE	SRCOS					
080012	0.	3.3	3.3	0	5	2	0	0.	0.	1	0
080022	0.	90.0	90.0	1	5	2	0	0.	0.	1	0
080032	0.	0.	0.	1	5	3	0	0.	0.	1	0
080042	30.	0.2084	1.17	2	5	0	2	0.	0.	1	0
080052	0.	0.4	0.4	1	5	2	0	0.	0.	1	0
080062	0.	0.14	0.14	1	5	2	0	0.	0.	1	0
080072	0.	2.0	2.0	1	5	2	0	0.	0.	1	0

080082	47.	0.2373	6.8	1	5	0	2	0.	0.	1	0	*
080092	0.	0.4	0.4	1	5	2	0	0.	0.	1	0	*
080102	0.	0.14	0.14	1	5	2	0	0.	0.	1	0	*
080112	0.	2.0	2.0	1	5	2	0	0.	0.	1	0	*
080122	47.	0.2373	6.8	1	5	0	2	0.	0.	1	0	*
080132	30.	0.2084	1.17	2	5	0	2	0.	0.	1	0	*
080142	0.	0.	0.	1	5	3	0	0.	0.	1	0	-281.*
080152	0.	3.92	3.92	1	5	2	0	0.	0.	1	0	-281.*
080162	0.	18.402	18.402	1	5	2	0	0.	0.	1	0	*
080172	0.	17.0	17.0	1	5	2	0	0.	0.	1	0	*
080182	0.	0.6242	0.6242	1	5	2	0	0.0	0.	1	0	281.*
080192	0.	0.6242	0.6242	1	5	2	0	0.0	0.	1	0	281.*
080202	0.	0.	0.	1	5	3	0	0.	0.	1	0	*
080212	1.	1.	1.	1	5	3	0	0.	0.	1	0	*
080222	0.	1.	0.5	1	5	2	0	0.	0.	1	0	*
080232	0.	0.5	1.	1	5	2	0	0.	0.	1	0	*
080242	0.	0.	0.	1	5	3	0	0.	0.	1	0	*
080252	0.	0.	0.	1	5	3	0	0.	0.	1	0	*
080262	0.	0.	0.	1	5	3	0	0.	0.	1	0	-281.*
080272	0.	3.92	3.92	1	5	2	0	0.	0.	1	0	-281.*
080282	0.	0.	0.	0	5	3	0	0.	0.	1	0	0. 331*
080292	0.	0.	0.	0	5	3	0	0.	0.	1	0	0. 351*
080302	0.	0.	0.	0	5	3	0	0.	0.	1	0	0. -172*
080312	1.	0.	0.	0	5	0	0	0.	0.	1	0	*
080322	0.	0.	0.	0	5	0	0	0.	0.	1	0	*
080332	0.	0.	0.	0	5	0	0	0.	0.	1	0	*
080342	0.	0.	0.	0	5	0	0	0.	0.	1	0	*
080352	0.	0.	0.	0	5	0	0	0.	0.	1	0	*
080362	1.	1.	1.	0	5	1	0	0.	0.	1	0	*
080372	1.	1.	1.	0	5	1	0	0.	0.	1	0	*
080382	0.	1.34	0.74	1	5	2	0	0.	0.	1	0	-281.*
080392	0.	0.	0.	1	5	3	0	0.	0.	1	0	-281.*
080402	0.	2.568	2.568	1	5	2	0	0.	0.	1	0	*

*

 *HENRY FAUSKE HEM MODEL DIAL *
 *02003 1.0 1.2 1.0 0.3 *
 * *

* PUMP DESCRIPTION DATA *

	IPC	ITPMP	IRP	IPM	IMT	POMGAR	PRSAT	PFLOW	PHEAD	PTORKR
						(RPM)	(RATIO)	(GPM)	(FT)	(LBF.FT)
090011	3	4	1	1	0	1780.	1.0	47170.	810.	21540.
090021	3	4	1	1	0	1780.	1.0	47170.	810.	21540.

	PINRTA	VRHOI	TORKF(3)	TORKMR	TORKF(1)	TORKF(2)	TORKF(4)
	(LBM.FT2)	(LBM/FT3)		(LBFF.FT)			
090012	20450.	47.17	2154.	0.	0.	0.	0.
090022	20450.	47.17	2154.	0.	0.	0.	0.

* PUMP HEAD MULTIPLIER DATA *

091001	-11	0.	0.	.1	0.	.15	.05	.24	.8
091002		.3	.96	.4	.98	.6	.97	.8	.9
091003		.9	.8	.96	.5	1.	0.		

* PUMP TORQUE MULTIPLIER DATA *

*
092001 -2 0. 0. 1. 0. *

*
* PUMP STOP DATA *

*
095011 0. 0. 0. *
095021 0. 0. 0. *

*
* PUMP CURVE INPUT INDICATOR DATA *

*
100000 0 0 16 0 *

*
* PUMP HEAD AND TORQUE DATA *

103011	1	1	5	0.	1.31	.25	1.25	.5	1.20	.75	1.12	1.	1.0
103021	1	2	5	0.	-0.9	.25	-.5	.5	-0.05	.75	.4	1.	1.0
103031	1	3	5	-1.	2.1	-.75	1.775	-.5	1.54	-.25	1.4	0.	1.31
103041	1	4	5	-1.	2.1	-.75	1.50	-.5	1.13	-.25	.92	0.	.825
103051	1	5	5	0.	.4	.25	.53	.5	.625	.75	.8	1.	1.0
103061	1	6	5	0.	.825	.25	.79	.5	.815	.75	.9	1.	1.0
103071	1	7	5	-1.	-1.8	-.75	-1.	-.5	-0.4	-.25	.1	0.	0.4
103081	1	8	5	-1.	-1.8	-.75	-1.72	-.5	-1.54	-.25	-1.27	0.	-0.9
103091	2	1	5	0.	.55	.25	.63	.5	.71	.75	.86	1.	1.0
103101	2	2	5	0.	-.55	.2	-0.175	.4	.0	.75	.58	1.	1.0
103111	2	3	5	-1.	1.77	-.75	1.23	-.5	.83	-.25	.62	0.	.55
103121	2	4	5	-1.	1.77	-.75	1.52	-.5	1.32	-.25	1.13	0.	1.0
103131	2	5	5	0.	-0.8	.2	-.375	.5	-0.1	.75	.15	1.	.43
103141	2	6	5	0.	1.0	.25	0.88	.5	0.75	.75	0.61	1.	.43
103151	2	7	5	-1.	-3.45	-.75	-2.75	-.50	-2.0	-.25	-1.375	0.	-.8
103161	2	8	5	-1.	-3.45	-.75	-2.62	-.50	-1.583	-.25	-1.15	0.	-.55

*

* VALVE DATA *

110010	4	0	0	0.	0.	0.	0.
110020	5	1	0	0.	0.	0.	0.
110030	-9	0	0	0.	0.	0.	0.
110040	-3	0	0	0.	0.	0.	0.
110050	1300	19	0	0.	253.	1.7	0.
110060	-6	0	0	0.	0.	0.	0.
110070	1300	13	0	0.	735.	0.	0.
110080	12	3	0	0.	0.	0.	0.
110090	-4	4	0	0.	0.	0.	0.
110100	-4	5	0	0.	0.	0.	0.

*

* LEAK TABLE DATA *

120101	5	5	0	14.7						
120102	0.0	1.0	0.6	1.0	1.6	0.04	3.0	0.0	1000.0	0.0
120201	3	8	9	14.7	0.	1.	.01	.853	1000.	.853
120301	4	12	-2	14.7						
120302	0.0	1.0	14.7	1.0	14.79	1.0	14.794	1.0		

120401	12	4	1	14.7	1.	0.	1084.29	0.	*	
120402	1084.3				1.	1094.19	1.	1094.2	3.	*
120403	1104.19				3.	1104.2	5.	1114.09	5.	*
120404	1114.1				7.	1124.09	7.	1124.1	9.	*
120405	2000.				9.					*
*										*
120501	12	4	1	14.7	1.	0.	1139.69	0.	*	
120502	1139.7				1.	1189.49	1.	1189.5	3.	*
120503	1199.49				3.	1199.5	5.	1209.39	5.	*
120504	1209.4				7.	1219.39	7.	1219.4	9.	*
120505	2000.				9.					*

*
* FILL TABLE DATA
*

130100	2	1	4	4	0	'LBS/SEC'	1050.	420.18		
130101	0.	963.9219			2.	963.9219	4.	0.		
130102	10000.	0.								
*										
130200	2	2	4	3	0	'LBS/SEC'	548.	.99		
130201	0.	0.	940.	0.		1025.	-307.9322	3000.	-307.9322	
*										
*	LPCI	*	3							
130300	12	2	12	4	0	'GAL/MIN'	14.7	104.		
130301	0.0	22350.			35.7	22350.	64.7	20674.	89.7	18998.
130302	114.7	17210.			139.7	15198.	164.7	12963.	189.7	9834.
130303	202.2	8046.			214.7	4917.	224.7	0.	2000.	0.
*										
*	LPCS									
130400	7	2	11	-101	0	'GAL/MIN'	14.7	0.016103		
130401	0.0	7000.			136.7	7000.	164.7	6370.	189.7	5810.
130402	214.7	5180.			239.7	4410.	264.7	3500.	289.7	2240.
130403	302.2	1400.			303.7	0.	2000.	0.		
*										
130500	2	1	2	-118	0	'GAL/MIN'	14.7	0.016719		
130501	0.		0.			1000.	0.			
*										
130600	2	1	2	-218	0	'GAL/MIN'	14.7	0.016719		
130601	0.		0.			1000.	0.			
*										
130700	2	1	2	-112	0	'GAL/MIN'	14.7	0.016719		
130701	0.		0.			1000.	0.			
*										
130800	2	1	2	-212	0	'GAL/MIN'	14.7	0.016719		
130801	0.		0.			1000.	0.			

*
* KINETICS CONSTANTS DATA
*

140000 0 0 0. 0. 0.

* POWER CURVE
*

141001	-20	4								
141002	0.0	1.0000	0.1	0.9834	0.2	0.9265	0.4	0.7450		
141003	0.6	0.5919	1.0	0.3445	2.0	0.1628	3.0	0.1009		

141004 4.0 0.0810 5.0 0.0714 7.0 0.0648 8.0 0.0622 *
 141005 10.0 0.0576 20.0 0.0493 30.0 0.0456 40.0 0.0428 *
 141006 70.0 0.0383 100.0 0.0358 200.0 0.0313 500.0 0.0260 *

*
 * HTC CORRELATION OPTION *
 *
 150000 2 0 0 0 *

-----*
 *
 ***** HEAT SLAB DATA FOR BWR/6*****

	IVSL	IVSR	IGOM	ISB	IXLO	IMCL	IMCR	AHTL	AHTR	
150011	0	18	1	0	2	0	10	0	9192.9	* CENTRAL CH. BOTTOM
150021	0	18	1	1	2	0	10	0	9192.9	
150031	0	18	1	1	2	0	10	0	9192.9	
150041	0	18	1	1	2	0	10	0	18385.8	* CENTRAL CH. CENTER
150051	0	18	1	1	2	0	10	0	9192.9	
150061	0	18	1	1	2	0	10	0	9192.9	
150071	0	18	1	1	2	0	10	0	9192.9	* CENTRAL CH. TOP
150081	0	12	1	0	2	0	10	0	1256.9	* PERIPH. CH. BOTTOM
150091	0	12	1	1	2	0	10	0	1256.9	
150101	0	12	1	1	2	0	10	0	1256.9	
150111	0	12	1	1	2	0	10	0	2513.9	* PERIPH. CH. CENTER
150121	0	12	1	1	2	0	10	0	1256.9	
150131	0	12	1	1	2	0	10	0	1256.9	
150141	0	12	1	1	2	0	10	0	1256.9	* PERIPH. CH. TOP
150151	0	3	3	0	2	0	10	1256.	1256.	*P.V.S.D*
150161	0	2	2	0	2	0	10	1007.	1007.	*P.V.U.D.C*
150171	0	4	2	0	2	0	10	1690.	1690.	*P.V.L.D.C*
150181	0	11	2	0	2	0	10	628.	628.	*P.V.L.P. *

	VOLS	HDML	HDMR	DHEL	DER	CHNL	CHNR	ZBOT	ZTOP	
150012	94.416	0	0.04285	0	0.04285	0	12.32	0.69	2.23	*CC BOTTOM
150022	94.416	0	0.04285	0	0.04285	0	12.32	2.23	3.77	
150032	94.416	0	0.04285	0	0.04285	0	12.32	3.77	5.31	
150042	188.831	0	0.04285	0	0.04285	0	12.32	5.31	8.39	*CC CENTER
150052	94.416	0	0.04285	0	0.04285	0	12.32	8.39	9.93	
150062	94.416	0	0.04285	0	0.04285	0	12.32	9.93	11.47	
150072	94.416	0	0.04285	0	0.04285	0	12.32	11.47	13.01	*CC TOP

150082	12.909	0	0.04285	0	0.04285	0	12.32	0.69	2.23	*PC BOTDOM
150092	12.909	0	0.04285	0	0.04285	0	12.32	2.23	3.77	
150102	12.909	0	0.04285	0	0.04285	0	12.32	3.77	5.31	
150112	25.819	0	0.04285	0	0.04285	0	12.32	5.31	8.39	*PC CENTER
150122	12.909	0	0.04285	0	0.04285	0	12.32	8.39	9.93	
150132	12.909	0	0.04285	0	0.04285	0	12.32	9.93	11.47	
150142	12.909	0	0.04285	0	0.04285	0	12.32	11.47	13.01	*PC TOP

150152	643.	0	0.	0	0.	0	0.	20.00	*	7.95-5	1.89
150162	526.	0	0.	0	0.	0	0.	16.03	*	6.38-5	1.89
150172	882.	0	0.	0	0.	0	0.	26.89	*	1.07-4	1.89
150182	328.	0	0.	0	0.	0	0.	10.00	*	3.97-5	1.89

***** CORE SLAB DATA FOR BWR/6 *****
 *
 * ISLB NODT CLTI QFRAC

160010	1	7	9	15	0.002833	0.055564	* CENTRAL CHANNEL BOTTOM	*
160020	2	7	9	15	0.002833	0.103107		*
160030	3	7	9	15	0.002833	0.138622		*
160040	4	7	9	15	0.002833	0.320780	* CENTRAL CHANNEL CENTER	*
160050	5	7	9	15	0.002833	0.138622		*
160060	6	7	9	15	0.002833	0.103107		*
160070	7	7	9	15	0.002833	0.055564	* CENTRAL CHANNEL TOP	*
*								*
160080	8	7	9	15	0.002833	0.005137	* PERIPHERAL CHANNEL BOTTOM	*
160090	9	7	9	15	0.002833	0.009533		*
160100	10	7	9	15	0.002833	0.012817		*
160110	11	7	9	15	0.002833	0.029659	* PERIPHERAL CHANNEL CENTER	*
160120	12	7	9	15	0.002833	0.012817		*
160130	13	7	9	15	0.002833	0.009533		*
160140	14	7	9	15	0.002833	0.005137	* PERIPHERAL CHANNEL TOP	*

*
*
***** SLAB GEOMETRY DATA FOR BWR/6*****

	IG	IGP	NR	IM	NDX	XO	XR	PF
170101	2		3	1	6	0.0	0.017333	1.0
170102		0		2	2		0.000375	0.0
170103		0		3	8		0.002833	0.0
*								
170201	1		2	4	3	0.0	0.512	0.
170202		0		5	1		0.0104	0.
*								
170301	1		1	4	3	0.0	0.512	0.0
*							*	
170401	1	1	5	3	0.	.125	0.	
170501	1	1	5	3	0.	.33	0.	
170601	1	1	5	3	0.	.0138	0.	
170701	1	1	5	3	0.	.0625	0.	
170801	1	1	5	3	0.	.042	0.	
170901	1	1	5	3	0.	.08	0.	
171001	1	1	5	3	0.	.0234	0.	

*
* THERMAL CONDUCTIVITY DATA

180100	-20	500.	3.341	650.	2.971	800.	2.677	950.	2.439	1100.	2.242
180101	1250.	2.078	1400.	1.940	1550.	1.823	1700.	1.724	1850.	1.639	
180102	2000.	1.568	2150.	1.507	2300.	1.457	2450.	1.415	2600.	1.382	
180103	3100.	1.323	3600.	1.333	4100.	1.406	4600.	1.538	5100.	1.730	
*											
180200	2		32.		.41562	5400.		.41562			
*											
180300	18	32.	7.812	212.	7.992	392.	8.208				
180301	572.	8.784	752.	9.540	932.	10.404					
180302	1112.	11.268	1292.	12.492	1472.	13.176					
180303	1652.	13.968	1832.	14.796	2012.	16.128					
180304	2192.	17.784	2372.	19.656	2552.	21.780					
180305	2732.	24.048	3092.	28.908	3360.	33.120					

*											
180400	-8	* RUSSIAN	STEE	12MKH							
180401	121.6	29.3	236.3	29.5	329.9	29.6	557.6	29.8			
180402	735.8	28.4	928.4	27.3	1117.	26.6	1294.	25.5			

180500 -2 *SUS
 180501 32. 9.41 932. 12.1

*
 * VOLUMETRIC HEAT CAPACITY DATA
 *

190100	16	32.	34.45	122.	38.35	212.	40.95
190101		392.	43.55	752.	46.8	2012.	51.35
190102		2732.	52.65	3092.	56.55	3452.	63.05
190103		3812.	72.8	4352.	89.7	4532.	94.25
190104		4712.	98.15	4892.	100.1	5144.	101.4
190105		8000.	101.4				

*
 190200 2 32. .000075 5400. .000075
 *

190300	9	32.	25.92	212.	28.755	392.	30.375
190301		572.	31.57	932.	33.615	1292.	35.235
190302		1742.	36.855	1743.	35.235	3360.	35.235

*
 190400 -7 *RUSSIAN STEEL *
 190401 121.6 52.5 301.6 57.7 481.6 62.3 661.6 67.
 190402 841.6 71.6 1021.6 80.5 1201.6 88.9

*
 190500 -1 32. 59.3
 *

*
 ***** CORE SPRAY MODEL DATA FOR BWR/6*****

* JSTK(1,1)----- JSTK(2,1)-----
 205000 1 0 0 0 2 0 0 0 0 0 0 0

* JON TON ZLL TOF
 205010 28323327 0. 14.0 1.E6
 205020 29343515 0. 14.0 1.E6

* RECRIT
 205100 1000.

* TDIF BTM DDROP EMDRY
 205110 144. 0.5 0.003 0.5

* HWETB HWETR HSPUT; HFLD XCRFL
 205120 1000. 1000. 0. 1000. 0.05

* HCONV(1,X)
 205210 2.50
 205220 2.50

* WALLTK
 205310 0.002833

205320 0.002833
 * AFRAT

205410 1.
 205420 1.

END OF INPUT
