

JAERI - M
82-161

ALARM-P1コードによるLPWR LOCA時の
ブローダウンの解析

1982年11月

佐々木 忍・新谷 文将

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。
入手の問い合わせは、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, 1982

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 いばらき印刷機

ALARM-P1コードによるLPWR LOCA 時のブローダウンの解析

日本原子力研究所 東海研究所 安全解析部

佐々木 忍・新谷 文将

(1982年10月25日受理)

本報は、原子炉安全性コードの開発・整備の一環として、これまで進めてきたPWR用LOCAコードALARM-P1の総括報告である。

本コードは、開発以来、多くのNEA国際標準問題で改良がなされ、その性能が国際比較を通して明らかになった。これらの経験に基づいて、開発所期の目標とされた実プラントの解析を行った。本報においては、その結果を紹介する。解析結果は、RELAP4-EMコードの結果と照合され、ALARM-P1コードの実プラントへの適用可能なことが確認された。これをもってALARM-P1コードの整備・検証に一段落をつけることができた。

なお、入力マニュアルが新しく書き換えられたので、今後利用の便宜を計る目的から本報付録に掲載した。

A Blowdown Analysis on LPWR LOCA by ALARM-P1

Shinobu SASAKI and Fumimasa ARAYA

Division of Nuclear Safety Evaluation,
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received October 25, 1982)

Presented in this report is the results of an LPWR LOCA blowdown analysis by the ALARM-P1 and their comparisons with the RELAP4-EM. Up to the present, the ALARM-P1 code has been improved and refined by solving a various type of calculational exercises given as the CSNI Standard Problems.

As a result, confidence of the analytical models in it was proved to be sufficient through the international comparison.

Based on such experiences accumulated, therefore, the analysis of a typical PWR plant was attempted here. The results of two codes agreed fairly well, thus showing that the ALARM-P1 could be applicable to actual power plants. With the capabilities as successfully demonstrated herein, this report concludes the development work of the ALARM-P1.

Keywords: LOCA, PWR, Blowdown, NEA-CSNI, ALARM-P1, RELAP4-EM

目 次

1. はじめに	1
2. RELAP4-EM計算コードの紹介	3
3. 計算モデルと仮定	7
4. 解析結果の検討	31
4.1 ベース・ケースの計算結果	31
4.2 感度解析	37
5. 結 論	88
謝 辞	88
参考文献	89
付 録	93

Contents

1. Introduction	1
2. Description of RELAP4-EM Computer Code	3
3. System Models and Assumptions	7
4. Calculated Results and Discussions	31
4.1 Base-Case Results	31
4.2 Sensitivity Analysis	37
5. Conclusions	88
Acknowledgements	88
References	89
Appendices	93

List of Tables

Table 1	Geometrical Description of Control Volumes in LPWR
Table 2	Geometrical Description of Junctions in LPWR
Table 3	Heat Slab Identification for LPWR
Table 4	Bubble Parameters
Table 5	UO ₂ Thermal Conductivity (95% Theoretical Density)
Table 6	UO ₂ Volumetric Heat Capacity
Table 7	Zircaloy Thermal Conductivity
Table 8	Zircaloy Volumetric Heat Capacity
Table 9	Comparison of Input Modelling between the Two Codes
Table 10	Operational Conditions Assumptions
Table A	List of Variable Identification Names Used in ALARM-P1
Table B	Built-in Equations in SPLPLOT

List of Figures

- Fig. 1 Typical Large PWR Piping
- Fig. 2 ALARM-Pl Model Schematic for Typical PWR Plant
- Fig. 3 Single Phase Head Curves for Westinghouse Canada Ltd. Pump
- Fig. 4 Single Phase Torque Curves for Westinghouse Canada Ltd. Pump
- Fig. 5 Two-phase Homologous Head Differences Curves for Westinghouse Canada Ltd. Pump
- Fig. 6 Head Multiplier Curve for Westinghouse Canada Ltd. Pump
- Fig. 7 Critical Flow Model
- Fig. 8 Discharge Flow Rate at Broken Loop Hot Leg Break Plane
- Fig. 9 Discharge Flow Rate at Broken Loop Cold Leg Break Plane
- Fig. 10 Junction Quality at Broken Loop Hot Leg Break Plane
- Fig. 11 Junction Quality at Broken Loop Cold Leg Break Plane
- Fig. 12 Junction Flow from Downcomer to Broken Loop Cold Leg
- Fig. 13 Average Density at Break Node (Pump side)
- Fig. 14 Average Density at Break Node (Vessel side)
- Fig. 15 Average Pressure in Broken Loop Hot Leg and Cold Leg
- Fig. 16 Average Pressure in Lower-Plenum
- Fig. 17 Fluid Temperature in Lower-Plenum
- Fig. 18 Fluid Quality in Lower-Plenum
- Fig. 19 Average Pressure in Upper-Plenum and Upper-Head
- Fig. 20 Junction Flow from Upper-Head to Upper-Plenum
- Fig. 21 Differential Pressure from Upper-Head to Upper-Plenum
- Fig. 22 Average Pressure in Upper-Head
- Fig. 23 Junction Flow from Upper-Head to Upper-Plenum
- Fig. 24 Mixture Level in Pressurizer
- Fig. 25 Average Pressure in Pressurizer and Intact Loop Hot Leg
- Fig. 26 Surge-line Outlet Flow
- Fig. 27 Pump Head (Intact Loop)
- Fig. 28 Pump Speed (Intact Loop)
- Fig. 29 Pump Head (Broken Loop)
- Fig. 30 Pump Speed (Broken Loop)
- Fig. 31 Pump Node Quality
- Fig. 32 Volumetric Flow Rate at Pump Inlet and Outlet
- Fig. 33 Steam Generator Secondary Pressure
- Fig. 34 Mixture Level in Steam Generator Secondary

- Fig. 35 Accumulator Injection Flow Rate and Mixture Level (Intact Side)
- Fig. 36 Junction Flow from Intact Loop Cold Leg to Downcomer
- Fig. 37 Downcomer Flow
- Fig. 38 Lower Downcomer Density History
- Fig. 39 Accumulator Injection Flow Rate and Mixture Level (Broken Side)
- Fig. 40 Average Pressure in Accumulator
- Fig. 41 Core Inlet Flow Rate
- Fig. 42 Differential Pressure between Lower-Plenum and Upper-Plenum
- Fig. 43.A Clad Surface Temperature History at Lower Region
- Fig. 43.B Clad Surface Temperature History at Lower Region by Revised Version
- Fig. 44.A Heat Transfer Coefficient at Lower Region
- Fig. 44.B Heat Transfer Coefficient at Lower Region by Revised Version
- Fig. 45 Heat Transfer Mode of Clad Surface at Lower Region
- Fig. 46.A Clad Surface Temperature History at Middle Region
- Fig. 46.B Clad Surface Temperature History at Middle Region by Revised Version
- Fig. 47.A Heat Transfer Coefficient at Middle Region
- Fig. 47.B Heat Transfer Coefficient at Middle Region by Revised Version
- Fig. 48 Heat Transfer Mode of Clad Surface at Middle Region
- Fig. 49.A Clad Surface Temperature History at Upper Region
- Fig. 49.B Clad Surface Temperature History at Upper Region by Revised Version
- Fig. 50.A Heat Transfer Coefficient at Upper Region
- Fig. 50.B Heat Transfer Coefficient at Upper Region by Revised Version
- Fig. 51 Heat Transfer Mode of Clad Surface at Upper Region
- Fig. 52 Power History
- Fig. 53 Total Reactivity
- Fig. 54 Pellet Center Temperature and Surface Temperature at Middle Region
- Fig. 55 Average Pressure in Containment
- Fig. 56 Total Mass in Containment
- Fig. 57 Vessel Side Discharge Flow Rate and Upper-Plenum Pressure
- Fig. 58 Fluid Quality at Middle Region of Core
- Fig. 59 Normalized Power History
- Fig. 60 Clad Surface Temperature and Heat Transfer Coefficient at Upper Region

- Fig. 61 Clad Surface Temperature and Heat Transfer Coefficient at Middle Region
- Fig. 62 Clad Surface Temperature and Heat Transfer Coefficient at Lower Region
- Fig. 63 Pump Head and Pump Node Quality (Broken Loop)
- Fig. 64 Pump Speed (Intact and Broken Loop)
- Fig. 65 Pump Head and Pump Node Quality (Intact Loop)
- Fig. 66 Vessel Side Discharge Flow Rate and Intact Cold Leg Flow Rate
- Fig. 67 Differential Pressure from Upper-Head to Upper-Plenum
- Fig. 68 Core Inlet Flow Rate
- Fig. 69 Clad Surface Temperature and Fluid Quality at Middle Region
- Fig. 70 Discharge Flow Rate at Vessel Side Break Plane
- Fig. 71 Average Pressure at Vessel Side Break Node
- Fig. 72 Average Density at Vessel Side Break Node
- Fig. 73 Discharge Flow Rate at Pump Side Break Plane
- Fig. 74 Average Pressure at Pump Side Break Node
- Fig. 75 Average Density at Pump Side Break Node
- Fig. 76 Volumetric Flow Rate at Broken Loop Hot Leg Break Plane
- Fig. 77 Junction Flow Rate from Upper-Plenum to Intact Loop Hot Leg
- Fig. 78 Fluid Quality in Intact Loop Hot Leg
- Fig. 79 Pressurizer Surge Line Flow Rate
- Fig. 80 Pump Head and Pump Speed of Intact Loop
- Fig. 81 Accumulator Injection Flow Rate (Intact and Broken Side)
- Fig. 82 Downcomer Flow Rate
- Fig. 83 Core Inlet Flow Rate
- Fig. 84 Reactor Power and Total Reactivity
- Fig. 85 Clad Surface Temperature at Upper Region
- Fig. 86 Discharge Flow Rate at Pump Side Break Plane
- Fig. 87 Discharge Flow Rate at Vessel Side Break Plane
- Fig. A Graphic Description of Geometrical Input Data
- Fig. B Relation between ALARM-Pl and Other Codes and Data Flow

1. はじめに

わが国のエネルギー事情は、1973年のオイル・ショックを機として、急迫してきた国際石油情勢の先行き不安の下で、深刻な立場に立たされている。資源の乏しいわが国にとって、そのほとんどが、輸入によって賄われていることから、安定したエネルギー確保とその自立に対して、これまでに、いくつかの対策が検討されてきた。特に、太陽・地熱・水素・石炭等の有効利用に関心が集まり、次期主力エネルギーとして、国家的規模で計画され推進されてきた。しかし今日までこれら代替エネルギーの開発は、それぞれ困難な問題を有し、石炭を除いて実用化にまではまだ程遠く、全発電エネルギーへの占める割合は、極めて小さい。

これに比べて、原子力発電は、既に内外で実用化されており20数年の実績を有するエネルギー源である。U-235の核分裂により生成される膨大なエネルギーは、現在及び将来にわたって代替できる（実現可能な）定着したエネルギー源として最も有望視されていることから、わが国にとって原子力発電の必要性は論をまたない。しかし、原子力を語る場合必ず安全性の問題が登場する。米国スリーマイル島原子力発電所の歴史的な事故は安全に対する懸念を一層強める結果となった。確かに原子力発電は、潜在的に多くの危険性を含んでいるため、他の産業にみられないほど厳重な安全対策が各所に講じられており、放射性物質の危険性を顕在化させない為の多大な技術的努力が払われている。

現在わが国においては、軽水型原子炉（加圧水型と沸騰水型）による発電方式が主流である。その安全性評価に対して考慮すべき多くの事象の中から最も緊急を要する課題として想定冷却材喪失事故（LOCA）が取り上げられてきた。この事故では、原子炉1次冷却系配管が何らかの原因で破断するという仮定の下に、1つのシナリオを設定し、事故の経過とその影響を解析することが一般的取り扱い方である。原子炉1次系配管の破断は、冷却材の流出により、系全体にわたって急激な減圧をきたす。冷却材の流出に伴い、炉心に到達する冷却材の流量は、大巾に減少して炉心の熱除去が低下する。そこで最悪の場合には、燃料棒が溶融又は破損する。炉心が溶融すれば、大量の核分裂生成物（FP）が環境に放出され、一般公衆に障害を及ぼす。このような不測の事態を未然に防止する為に各種の工学的安全施設が設けられており、中でも非常用炉心冷却系（ECCS）は、圧力容器内に冷却材を注入して、炉心の熱除去を行う為に、1次系に付設されている。PWRのECCSは、高圧注入系（HPIS）、低圧注入系（LPIS）、蓄圧注入系（AIS）の3系統からなり、大破断時には、後者の2系統が有効に働くことにより炉水位を回復させることになっている。

このような冷却材喪失事故における熱水力現象の解明及び上記のECCSの有効性は、実験的裏付けと解析的な検証両面から追究することにより明らかにされる。通常事故の詳細分析に当たっては、実験データを十分に追跡調査することと並行して、実験データとして観測不可能なパラメータや正確な測定が技術的に困難でかなりの曖昧さを伴う因子に対しては解析コードがその範囲を受け持ち多くの貴重な情報を提供することが期待されている。このためには、当然使用する計算コードの信頼性が問われ、コードに取り入れられた解析モデルと多くの実験データの照合が必須

となる。こうした LOCA 解析は、米国を中心として各国で実施されており、これまで数多くの計算コードが開発され、セミスケールやロフト等を中心とする実験データとその解析結果から多くの知見が集積されてきた。

日本原子力研究所においては、1973年から本格的なブローダウン解析コードの開発に着手し、併せて ROSA-I, II, III 等の実験装置を使って、多くのブローダウン実験が行われてきた。本報は、これまで原研で開発された各種コードの内、広範な検証問題で改良されてきた LOCA/EC CS コード ALARM-P1^{[1]*}による実炉の解析とその検討結果について報告するものである。本コードは、開発以来内外の実験との比較、特に OECD-CSNI (Committee on Safety of Nuclear Installations) が実施している標準問題の国際比較でその妥当性が十分に立証され高く評価されてきた。^[2]

しかしながら実際に実炉の冷却材喪失事故の情報及びプラント・データを得ることは、殆んど不可能なことである。幸い米国原子力規制委員会 (NRC) が、規制用コード・パッケージ WREM (Water Reactor Evaluation Model)^[3] を使って 2・3 の商用プラントの LOCA 解析を行い、その結果が既に公表されている。^[4] このコード・パッケージは、国内外において今日まで広範な使用経験が蓄積され、信頼性が高いと思われるものである。そこで、このコード・パッケージと ALARM-P1 の解析結果を比較することにより、実炉に対する ALARM-P1 への適用性を確認することが、ここに報告されている解析の目的である。第 4 章に述べる通り、解析結果は 1・2 のパラメータを除いてブローダウン終了まで RELAP4-EM (WREM の中でブローダウン解析を行うコード) の結果と良く一致し、ALARM-P1 コードの信頼性が、確認された。

今回の解析、及びこれまでの各種の実験解析とそれに伴う改良、修正の結果、ALARM-P1 は、十分に実用の域に達していると判断される。よって、本コードの開発作業は、本報をもって収束させる方針である。この意味で本報は、ALARM-P1 開発の総括報告書となるものである。

尚上述した通り、ALARM-P1 は今日まで多くの改良、修正が施されており、その結果、入力データの作成マニュアルも書き換えられている。そこで最新の入力マニュアルを付録として添付し、利用者の便を図ることとした。

*) [] 内の数字は、参考文献の番号を示す。

2. RELAP4-EM計算コードの紹介

本報で検討される ALARM-P1 の内容及び主要な仮定等については、既に報告されているので、^[1]ここでは、それらについて繰り返すことはしないことにする。ALARM-P1 の比較の対象である RELAP4-EM とその計算に当ってのオプションの選定等について、ALARM-P1 との対比において、特に注目すべきものを以下に述べることにする。

RELAP4コード^[6]は、1973年に第1次版が公表されて以来、多数の改良版が、今日まで公表されており、その使用経験は、世界中にわたって最も広範に蓄積されている。今回の解析で取り上げたものは RELAP4/Mod 3 であって、この中に含まれている EM オプション (米国の 10 CFR 50 Appendix K^[7] に準拠した計算を行うように意図されたオプション) を採用したものである。これは前述した WREM パッケージにおいて、RELAP4-EM と呼ばれているものである。RELAP4-EM の特に注目すべきモデル及び仮定等は、以下の如くである。

(1) 熱伝達係数相関式

- 従来用いられていた Groeneveld 5.9^[8] 膜沸騰熱伝達係数の相関式

$$h = 0.00327 \frac{k_g}{De} Pr^{1.32} \left\{ Re_g \left[x + \frac{\rho_g}{\rho_f} (1-x) \right] \right\}^{0.901} \times \\ \left[1.0 - 0.1(1-x)^{0.4} \left(\frac{\rho_f}{\rho_g} - 1 \right)^{0.4} \right]^{-1.50} \quad (1)$$

は、次のように変更されて、安定膜沸騰の領域 (モード5) で使用される。(Groeneveld 5.7)

$$h = 0.052 \frac{k_g}{De} Pr^{1.26} \left\{ Re_g \left[x + \frac{\rho_g}{\rho_f} (1-x) \right] \right\}^{0.688} \times \\ \left[1.0 - 0.1(1-x)^{0.4} \left(\frac{\rho_f}{\rho_g} - 1 \right)^{0.4} \right]^{-1.06} \quad (2)$$

- 一方、上の膜沸騰領域で、500 Ps_i 以下の低い圧力では、Dougall-Rohsenow の相関式^[9] が使用される。

$$h = 0.023 \frac{k_g}{De} Pr^{0.4} \left\{ Re_g \left[x + \frac{\rho_g}{\rho_f} (1-x) \right] \right\}^{0.8} \quad (3)$$

ここで、 h : 熱伝達係数 (Btu/ft²-hr-°F)
 k_g : 飽和蒸気の熱伝導率 (Btu/ft-hr-°F)
 De : 等価直径 (ft)
 Pr : プラントル数
 Re : レイノルド数
 ρ_f, ρ_g : 飽和水及び飽和蒸気の密度 ($\ell b_m/ft^3$)
 x : クオリティ

- クオリティ x が 0.1 以下の時、上の Groeneveld/Dougall-Rohsenow の 2 つの相関式は、実験値より低く見積るので、 $x = 0.1$ での値を下限値として適用する。

- CHF (限界熱流束) に到達後、核沸騰熱伝達モード (モード2) への復帰は認めていない。強制対流熱伝達領域が使われる。CHF を越えた場合、コードでは、熱伝達モードに10を加えている。
- 流体温度と被覆材表面温度の差が300°Fより大きくなると、遷移沸騰領域 (モード4) の代わりに安定膜沸騰領域 (モード5) が利用される。遷移沸騰への復帰を除外するチェックとしてコードでは、熱伝達モードに20を加算して、プリントアウトとプロッタで示されている。

(2) 核分裂エネルギー

中性子による核分裂エネルギーとして、RELAP4-EMでは次の式を取り扱う。

- 核分裂エネルギー

RELAP4モデルとして、組み込まれたもので、反応度変化と核特性について計算される。

- アクチノイド崩壊熱 (中性子捕獲生成物の崩壊に伴う発生熱)

プラント稼働中に発生するU-238の中性子捕獲生成物として、U-239やNP-239の放射性崩壊熱は、次のようにして計算される。

$$\frac{P_{actinide}}{P_0} = K (2.28 \times 10^{-3} - 7 \times 10^{-3} (2.17 \times 10^{-3})) e^{-4.91 \times 10^{-4} t_s} + K (2.17 \times 10^{-3}) (1 + 7 \times 10^{-3}) e^{-2.41 \times 10^{-6} t_s} \quad (6)$$

ここで、Kは入力定数で総核分裂中U-238の中性子捕獲の割合を示す。

t_s は、原子炉停止後の時間(秒)で、 $P_{actinide}$ 、 P_0 はアクチノイド崩壊熱と原子炉停止前の熱出力を表わす。

- 核分裂生成物(FP)の崩壊に伴う発生熱

U-235のFPによる崩壊熱は、11群の崩壊方程式の和として(7)式のように表わされる。

$$\frac{P}{P_0} = \sum_{j=1}^{11} E_j e^{-\lambda_j t_s} \quad (7)$$

- したがって全体の崩壊熱は、(6)と(7)を加えて、

$$\frac{P}{P_{total}} = \sum_{j=1}^{11} E_j e^{-\lambda_j t} + K (2.2648 e^{-4.91 \times 10^{-4} t_s} + 2.18519 e^{-2.41 \times 10^{-6} t_s}) \times 10^{-3} \quad (8)$$

となる。この核分裂生成物の放射性崩壊熱は、RELAP4-EMコードにおいて、無限時間運転した上のANS (American Nuclear Society) 提案値⁽¹¹⁾に対して20%増加させることを要求している。

ここで E_j 、 λ_j はj群の崩壊熱発生割合及びj群の崩壊定数である。

(3) ギャップ・コンダクタンス・モデル

ギャップ・コンダクタンス・モデルは、GAPCON⁽¹²⁾モデルを拡張したものである。EMモデルでは、次のような式を採用している。

$$h_g = h_c + \frac{k_{gas}}{g + R} + h_{rad} \quad (9)$$

ここで、 h_g : 実効ギャップ・コンダクタンス (Btu/ft²-hr-°F)

h_c : 被覆材と燃料棒の接触点を通しての有効なコンダクタンス (一定値を入力する)

h_{rad} : ギャップ内のガスを通しての輻射によるコンダクタンス

- R : ギャップの厚さ (ft)
 g : 温度ジャンプ距離 (ft) (入力)
 k_{gas} : ガスの熱伝導率 (Btu / hr - ft - °F)

(4) 臨界流モデル

破断口から流出する冷却材の流量を計算するモデルは、サブクール領域において、Henry - Fauske の相関式^[13]が、また飽和に到達後 Moody モデル^[14]が適用されている。

(5) 炉心流量の平滑化

0.1 秒より小さな周期で振動する炉心流量に対しては、一種のフィルターを通して、平滑化され、急激な流量の変化が除去される。ホット・アセンブリの温度計算時、熱伝達係数が大きく変化しない為にこの振動阻止のモデルが採用される。

(6) ポンプ・モデル

- 2相領域でのポンプ・モデルは、標準 RELAP 4 モデル^[6]と同一であるが、これ以外に、RELAP4-EMでは、米国セミスケール実験に使用したポンプとウェスチングハウス (カナダ)社のポンプデータが与えられている。2相ポンプ・モデルのトルクの特長データは考慮されていないので、トルク Multiplier に対して形式的に零が入力されてある。
- モーター・トルク・モデルは、電動機のトルクの影響をポンプの回転挙動により表現しようとしてコード内に取り入れられた。即ち角運動量保存式に、モーターの効果を検討したモデルは、

$$I \frac{d\omega}{dt} = -T_h - T_{fr} + T_m \quad (10)$$

として表現される。ここで、 T_h 、 T_{fr} 、 I 、 ω は、水力トルク、摩擦トルク、ポンプ回転子及びモーターの慣性モーメントと角速度を表わす。モーター・トルク (T_m) は、回転数の関数として定められており、コードでは、回転数対トルクのデータ・テーブルで入力するようになっている。

- ポンプ停止モデルは、経過時間、最大正回転数又は最大の逆回転数の関数として、ポンプ回転子をロックするオプションである。ポンプ・スピードは、ポンプがロックした後零に設定される。

(7) ECC バイパス・モデル

PWR のバイパスの修了は、上向き蒸気流が減少し、もはやエントレインできないので、下向きの冷却材が下部プレナムに流入する時刻をもって定義される。指針では、ECC 注入後、ダウンカマー入口に一旦下向き流が形成されると、ECC 水のバイパスは、再び発生しないという仮定を設けている。この EOB (End of Bypass) のチェックは、ダウンカマー領域で利用者の与える流速 (零もしくは負すなわち上向) と計算コードによる平均流量から算出された流速の比較により決定される。即ち、計算された流速が、入力値より大きな値を取る時、EOB が成立したとしている。

EOB が確立されると、指定されたコントロール・ボリューム (健全側蓄圧タンク) の残存水量が定まる。初期の蓄圧タンクにあった水量からこの残存水量を差引いたものが費された ECC の水量であり、この水量がコールド・レグ、ECC ライン、ダウンカマー及び下部プレナムの合計し

たインベントリーと比較される。後者が前者より大きい場合には、コールド・レグ・ECCラインから下部プレナムまでに残存する水量は、前者を差引いた量として新しく設定される。逆に前者が後者より大きい場合、注入ラインから下部プレナムまでの残存水量は、零で飽和蒸気が存在するものとして計算される。EOB後、システムにとって、この厳しい状態の下で次のステップが計算されていく。

(8) 金属-水反応

ジルコニウム金属-水反応は、Baker-Justの式⁽¹⁵⁾を使って生成熱、水素発生量、被覆材酸化量が計算される。

LOCA時、燃料棒被覆材の破裂が生じると、被覆材内側においても破損箇所を中心として反応が内面周囲に進行していくことがモデル化されている。(軸長3インチまで)

各時間ステップで、反応により生じた被覆材上の酸化層の厚さは、被覆管の膨張(スウェリング)に従って、減少するように調整される。

反応で生じた熱は被覆材の外側表面に提供される。この反応においては、蒸気の供給に制限がないものとしている。

(9) 水位計算

等価的な水位計算モデルは、指針において要求していないが、下部プレナムの実効水位(コラプスト水位)が求められるようになっている。

(10) 燃料棒被覆管のスウェリングと破裂及び流路閉塞

半径方向と軸方向への被覆材の膨脹は、被覆管内側と外側の圧力差によるひずみと被覆材に対する平均温度を仮定した熱的ひずみの和として求められる。

燃料棒内のガス圧は、空間的に一様で、ガスのモル数とモデル化した各燃料棒領域内の温度と体積の値から理想気体の法則を使って計算される。破裂は、被覆材内外の圧力差と被覆材(破損)温度の相関により発生する。コードでは、入力テーブルとして与えることになっている。計算された被覆材温度が、破損温度より高く予測されると、破裂が起こったと仮定される。

次のステップで燃料棒内圧は、炉心破断ノードでの冷却材圧力まで減少し、以後この圧力と同じ値をとる。

破断によりホット・アセンブリでの流路閉塞は ΔP と流路閉塞の入力データから定められる。

一方破損前のホット・アセンブリのスウェリングは次式で与えられる。

$$\epsilon = 0.2 F e^{-0.0153 \Delta T} \quad (11)$$

ここで ϵ : 塑性ひずみ

ΔT : 破損温度-被覆材温度 ($\Delta T \leq 200$ (°F))

F : 被覆材外側半径の変化

一旦塑性ひずみが計算されると、このコンポーネントにおける塑性ひずみの減少は許されない。

破損後、圧力ひずみは計算されず、熱的ひずみが、過渡時の温度関数として計算される。

燃料棒モデルに対しては、FRAPコード⁽¹⁶⁾のそれに準拠している。

3. 計算モデルと仮定^{[3],[4]}

ALARM-P1 及び RELAP4-EM コードを用いて解析されたプラントのモデルと解析条件の概要について次に述べる。計算に用いられた対象プラント (Westinghouse Electric Company の Trojan 炉^[5]—Fig. 1 参照) は、一連のコントロール・ボリューム (領域) とそれをつなぐジャンクション (流路) に模擬され、その概念図が Fig. 2 に示される。このプラントは、典型的な 4 ループ商用炉 (電気出力 110 万 kw。級の加圧水型原子炉) で、低温側配管が完全なギロチン破断 (両端破断) を起こすという解析条件で計算が進められる。Fig. 2 に示された左側の単一ループは、3 つの健全ループを模擬し、破断が生じた箇所 (コールド・レグ) を含む 1 ループは、右側に示されている。

RELAP4-EM 計算モデルにおいては、炉心部分はホット・アセンブリ (最大発熱部分) と平均アセンブリに区別され、かつ軸に沿ってそれぞれ 3 等分されているが、ALARM-P1 による計算では、炉心中央部のホット・チャンネルの領域 (平均チャンネルの約 $\frac{1}{200}$ の体積) が、極めて小さくなる為を生ずる数値解法上の不安定性を回避するために、平均チャンネルのみとして取り扱った。RELAP4-EM の計算モデルでは、更に両チャンネル間にジャンクションを設け横流の効果を検討しているが、摩擦係数やモーメント等が果して 1 次元モデルでどれ程意味ある値として与えられるものか疑問があるので、こうした意味でも、ホットチャンネル領域に係わるモデルは、全て割愛された。他の箇所は、RELAP4-EM で取り扱った体系に原則として準じている。したがって ALARM-P1 の計算体系は、全体を合計 41 ボリューム・55 ジャンクション (RELAP4-EM モデルでは、44 ボリューム・62 ジャンクション) に分けて解析された。Table 1 と 2 は、この実規模プラントに対する各流体ボリュームと流路の幾何学的形状データで、ALARM-P1 のインプット・データとして使用されている。流路データは、フィル・ジャンクション 8 個、リーク・ジャンクション 2 個、バルブを模擬したジャンクション 9 個とノーマル・ジャンクション 36 個から構成されている。各ジャンクションでは、全て流体の運動方程式の内、モーメント・フラックスによる影響は、取り除かれて計算されている。又、各ボリューム間の流動抵抗は、RELAP4-EM の入力データを採用しているが、形状損失係数 (Form Loss Coefficient) として、計算コード内で自動的に計算されるものを RELAP の入力データから採用する場合、注意が必要であった。(参照 Table 9 の項目 9)

炉心内の諸元として有効な発熱長さは、3.656 (m) で、発生する熱出力は、3479.2 (MW)、燃料棒の本数は、39372 (本) である。ペレットの半径、ギャップの巾及び被覆管の厚さは、それぞれ 4.6226×10^{-3} (m)、 0.1196×10^{-3} (m)、 0.6172×10^{-3} (m) である。炉心領域は、前にも述べたように、軸方向 3 つに分割され、各コンポーネントには、燃料棒を模擬した発熱体を取り付けてあり、ループ内配管を含めて冷却材との熱伝達が考慮されている。Table 3 は、これら熱源構造体の詳細を示す。

各コントロール・ボリューム内での水-蒸気は、殆んどの場合、均質に混り合っていると仮定されるが、プレナムや蓄圧器、格納容器等に対して、均質流体条件の仮定は、必ずしも十分でな

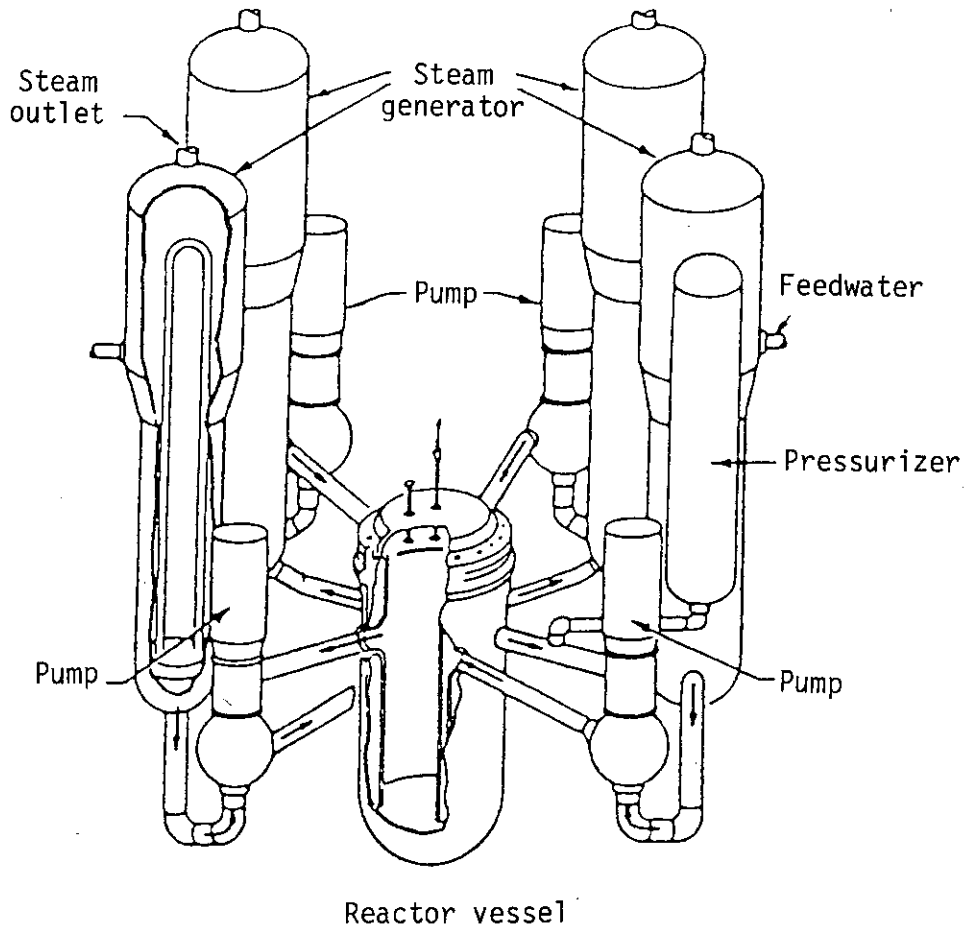


Fig. 1 Typical Large PWR Piping

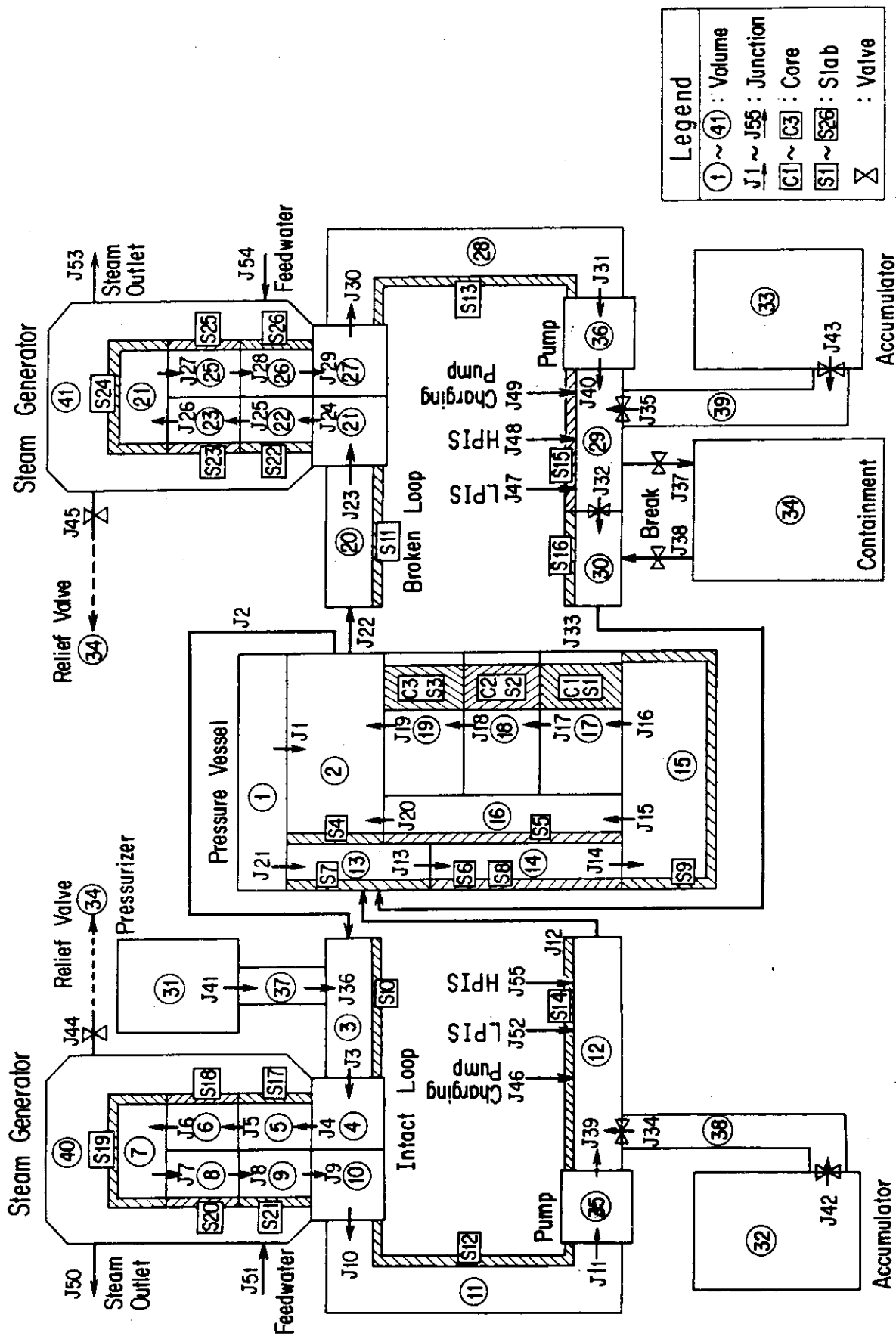


Fig. 2 ALARM-P1 Model Schematic for Typical PWR Plant

Table 1 Geometrical Description of Control Volumes in LPWR

<u>Control Volume NO.</u>	<u>Description</u>	<u>Volume (m³)</u>	<u>Flow Area (m²)</u>
1	Upper-Head	14.103	3.855
2	Upper-Plenum	41.376	9.290
3	Intact Loop Hot Leg Piping	6.712	1.278
4	Steam Generator Inlet Plenum	14.449	8.695
5	Steam Generator U-bend Tube	13.509	2.976
6	Steam Generator U-bend Tube	13.509	2.976
7	Steam Generator U-bend Tube	8.411	2.976
8	Steam Generator U-bend Tube	13.509	2.976
9	Steam Generator U-bend Tube	13.509	2.976
10	Steam Generator Outlet Plenum	14.449	8.695
11	Pump Inlet Piping	10.705	1.461
12	Intact Loop Cold Leg Piping	7.222	1.150
13	Upper-Downcomer	9.068	3.379
14	Lower-Downcomer	11.351	2.480
15	Lower-Plenum	29.623	4.859
16	Core-Bypass	8.269	2.267
17	Lower Section of Core	5.984	4.831
18	Middle Section of Core	5.984	4.931
19	Upper Section of Core	5.984	4.931
20	Broken Loop Hot Leg Piping	2.237	0.426
21	Steam Generator Inlet Plenum	4.823	2.898
22	Steam Generator U-bend Tube	4.503	0.992
23	Steam Generator U-bend Tube	4.503	0.992
24	Steam Generator U-bend Tube	2.804	0.992
25	Steam Generator U-bend Tube	4.503	0.992
26	Steam Generator U-bend Tube	4.503	0.992
27	Steam Generator Outlet Plenum	4.823	2.898
28	Pump Inlet Piping	3.568	0.487
29	Pump Outlet Piping	1.204	0.383
30	Broken Loop Cold Leg Piping	1.204	0.383

Table 1 (Contd.)

<u>Control Volume NO.</u>	<u>Description</u>	<u>Volume (m³)</u>	<u>Flow Area (m²)</u>
31	Pressurizer	50.976	3.577
32	Accumulator (Intact Side)	114.696	23.690
33	Accumulator (Broken Side)	38.232	7.897
34	Containment	56073.600	92.900
35	Pump (Intact Side)	7.137	0.575
36	Pump (Broken Side)	2.379	0.192
37	Pressurizer Surge Line Piping	1.965	0.067
38	Accumulator Injection Line	14.231	0.116
39	Accumulator Injection Line	4.744	0.039
40	Steam Generator Secondary System	311.378	2.787
41	Steam Generator Secondary System	103.793	0.465

Table 2 Geometrical Description of Junctions in LPWR

Junction NO.	Volumes		Junction Flow Area (m ²)	Junction Inertia (1/m)	Form Loss Coefficients	
	(From)	(To)			Forward	Reverse
1	1	2	0.0706	0.3232	5.0556	5.0393
2	2	3	1.2784	2.2247	0.3881	0.7437
3	3	4	1.2784	2.1401	0.7276	0.3839
4	4	5	2.9762	0.8678	0.2960	0.4326
5	5	6	2.9762	1.5617	0.0	0.0
6	6	7	2.9762	1.7303	0.0	0.0
7	7	8	2.9762	1.7303	0.0	0.0
8	8	9	2.9762	1.5617	0.0	0.0
9	9	10	2.9762	0.8678	0.4326	0.2960
10	10	11	1.4609	3.4301	0.3744	0.6922
11	11	35	0.5749	6.0269	1.0E-7	1.0E-7
12	12	13	1.1496	3.1506	1.0E-7	1.0E-7
13	13	14	2.4823	1.3747	1.0E-7	1.0E-7
14	14	15	2.4823	1.0771	1.0E-7	1.0E-7
15	15	16	0.2991	0.9636	1.1758	1.2713
16	15	17	2.9547	0.2796	0.3384	0.3364
17	17	18	4.9027	0.2486	2.5891E-3	2.5891E-3
18	18	19	4.9027	0.2486	2.5891E-3	2.5891E-3
19	19	2	4.9027	0.2958	0.2282	0.2138
20	16	2	0.2991	0.9806	1.3273	1.1890
21	1	13	0.0016	0.7293	1.5151	1.5151
22	2	20	0.4261	6.3310	0.4294	0.9104
23	20	21	0.4261	6.4196	0.7276	0.3838
24	21	22	0.9921	2.6030	0.2960	0.4326
25	22	23	0.9921	4.6850	0.0	0.0
26	23	24	0.9921	3.7672	0.0	0.0
27	24	25	0.9921	3.7672	0.0	0.0
28	25	26	0.9921	4.6850	0.0	0.0
29	26	27	0.9921	2.6030	0.4326	0.2960
30	27	28	0.4870	10.3034	0.3744	0.6922

Table 2 (Contd.)

Junction NO.	Volumes		Junction Flow Area (m ²)	Junction Inertia (1/m)	Form Loss Coefficients	
	(From)	(To)			Forward	Reverse
31	28	36	0.1916	8.9173	1.0E-7	1.0E-7
32	29	30	0.3832	1.1247	0.0	0.0
33	30	13	0.3832	1.8894	1.0E-7	1.0E-7
34	38	12	0.1165	524.9344	0.0	0.0
35	39	29	0.0388	1574.8032	0.0	0.0
36	37	3	0.0670	218.1759	0.8979	0.4264
37	29	34	0.3832	8.1529	1.0	0.5
38	34	30	0.3832	4.0764	0.5	1.0
39	35	12	0.5749	2.7838	1.0E-7	1.0E-7
40	36	29	0.1916	1.6739	1.0E-7	1.0E-7
41	31	37	0.0670	218.1759	0.4416	0.9629
42	32	38	0.1165	524.9344	0.4478	0.9902
43	33	39	0.0388	1574.8032	0.4478	0.9902
44	40	34	0.0929	3.2808	0.0	0.0
45	41	34	0.0929	3.2808	0.0	0.0
46	0	12	0.0465	0.3281	0.0	0.0
47	0	29	0.0465	0.3281	0.0	0.0
48	0	29	0.0465	0.3281	0.0	0.0
49	0	29	0.0465	0.3281	0.0	0.0
50	40	0	0.0697	3.2808	0.0	0.0
51	0	40	0.0697	3.2808	0.0	0.0
52	0	12	0.0465	0.3281	0.0	0.0
53	41	0	0.0232	3.2808	0.0	0.0
54	0	41	0.0232	3.2808	0.0	0.0
55	0	12	0.0465	0.3281	0.0	0.0

Table 3 Heat Slab Identification for LPWR

Heat slab NO.	Heat Slab Identification	Volume		Surface Area (m ²)		Slab Volume (m ³)
		Left	Right	Left	Right	
1	Core Region (Averaged-Power)	0*	17	0.0	1616.4739	4.3330
2	Core Region (Averaged-Power)	0	18	0.0	1616.4739	4.3330
3	Core Region (Averaged-Power)	0	19	0.0	1616.4739	4.3330
4	Upper-Plenum	2	13	40.6809	34.9304	2.1764
5	Core-Barrel	16	14	43.1985	55.6285	2.9240
6	Middle Vessel	0	14	0.0	36.6676	1.3039
7	Upper Vessel	13	0	39.6311	0.0	8.9803
8	Middle Vessel	14	0	63.1163	0.0	14.2988
9	Lower Vessel	15	0	30.3319	0.0	4.4038
10	Intact Loop Hot Leg Piping	3	0	35.9523	0.0	2.4808
11	Broken Loop Hot Leg Piping	20	0	11.9841	0.0	0.8269
12	Pump Suction Leg Piping (Intact Side)	11	0	54.3465	0.0	2.9453
13	Pump Suction Leg Piping (Broken Side)	28	0	18.1155	0.0	1.3225
14	Intact Loop Cold Leg Piping	12	0	42.1766	0.0	2.7612
15	Broken Loop Pump Discharge Piping	29	0	7.0140	0.0	0.4602
16	Broken Loop Cold Leg Piping	30	0	7.0140	0.0	0.4602
17	Steam Generator U-bend Tubes	5	40	2501.6112	2824.4387	3.3831
18	Steam Generator U-bend Tubes	6	40	2501.6112	2824.4387	3.3831
19	Steam Generator U-bend Tubes	7	40	1557.4685	1758.3183	2.1064

Table 3 (Contd.)

Heat Slab No.	Heat Slab Identification	Volume		Surface Area (m ²)		Slab	
		Left	Right	Left	Right	Volume (m ³)	Volume (m ³)
20	Steam Generator U-bend Tubes	8	40	2501.6112	2824.4387	3.3831	3.3831
21	Steam Generator U-bend Tubes	9	40	2501.6112	2824.4387	3.3831	3.3831
22	Steam Generator U-bend Tubes	22	41	833.8704	941.4486	1.1277	1.1277
23	Steam Generator U-bend Tubes	23	41	833.8704	941.4486	1.1277	1.1277
24	Steam Generator U-bend Tubes	24	41	519.1438	586.1154	0.7021	0.7021
25	Steam Generator U-bend Tubes	25	41	833.8704	941.4486	1.1277	1.1277
26	Steam Generator U-bend Tubes	26	41	833.8704	941.4486	1.1277	1.1277

* Zero implies that the slab is indulated and does not conduct heat

い。そこで、水-蒸気2相が分離している（即ち水位が形成されている）モデルが適用される。現在の解析では、加圧器、蓄圧タンク、蒸気発生器2次系及び格納容器内で当該モデルが適用され、気水分離のパラメータは、Table 4 に与えられる。

Table 4 Bubble Parameters

	密度勾配 (ALPH)	離脱速度 (VBUB)
加 圧 器	0.8	0.9144 (m/sec)
健全ループ側蓄圧器	0.8	0.9144 (m/sec)
破断ループ側蓄圧器	0.8	0.9144 (m/sec)
健全ループ側蒸気発生器2次系	0.8	0.9144 (m/sec)
破断ループ側蒸気発生器2次系	0.8	0.9144 (m/sec)
格 納 容 器	0.8	3.048×10^5 (m/sec)

ALPHは、ボイドの勾配が、コントロールボリューム内で、水面以下垂直方向に変化する係数で、一方VBUBは、水面上で蒸気の形成を行う為に水面下より上昇する気泡の離脱速度である。Table中で、0.0の係数は、均質2相混合流体を表わし、通常0.8が推奨されている。

一方0.0の速度は、コントロールボリューム内での蒸気ドームの形成に寄与しないことを意味し、通常3 (ft/sec) がよく使われる。格納容器で採用された大きな値は、瞬時に気液分離が達成されることを意味する。

ALARM-P1 コードにおいて、垂直につながったボリューム内で、相分離を許す気泡モデルは、最上部のボリューム内でしか利用できない。これは、水-蒸気がそれぞれのノードで独立に形成され、所謂layer-cake situation を呈して、非現実的な結果を招くからである。一方、RELAP コードでは、気液のスリップモデルを採用してこの矛盾を解決している。

尚この解析に先立って、気泡の上昇速度(V_B)をノード内のボイド率の関数として表現したモデルがALARM-P1 コード内に導入されたので一言触れておく。これはWilson等により行われた実験から決定された相関式である。^[17]

即ち

$$V_B = \left[\frac{\alpha}{0.136} \frac{B}{A} (gd)^{0.89} \right]^{1/78} \quad (\alpha \leq 2.7 AB^{0.19}) \quad (12)$$

$$V_B = \left[\frac{\alpha}{0.78} \frac{B^{0.20}}{A} (gd)^{0.39} \right]^{1/78} \quad (\alpha \geq 2.7 AB^{0.19}) \quad (13)$$

但し

$$A = \left(\frac{\rho_g}{\rho_f - \rho_g} \right)^{0.32}, \quad B = \frac{1}{d} \sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_f - \rho_g)}} \quad (14)$$

d : volume 直径(ft), σ : 表面張力($\ell b_f/ft$),
 g : 重力加速度(ft/sec^2), ρ_f : 水の密度($ft^3/\ell b_m$),
 α : ボイド率(水面下の平均値), ρ_g : 蒸気の密度($ft^3/\ell b_m$)

健全側と破断側に配置された再循環ポンプの挙動は、規格化された特性曲線 (homologous curve) と定格運転時の回転数、流量、ヘッド、トルク及び慣性モーメントを使って計算される。

従来、ALARM-P1 コードでは、単相流に対して、このモデルを適用していたが、今回の計算に入る前に、2相流領域に対してもこの特性曲線法を適用できるようにモデルの拡張が行われた。

2相状態のポンプの特性を考慮したモデルは、ALARM-P1コードにおいて一応用意されているが、これは、キャビテーションによる効果を1つの項にまとめたもので、 $P_2 = P_1 - \sigma X$ で表現されている。ここで P_1 , P_2 , X 及び σ は、単相状態のヘッド、2相状態でのヘッド、インペラのクオリティ、及びキャビテーション係数である。この場合、圧力の次元を持った σ を如何に与えるかが、問題とされており、データ・ベースは皆無にひとしい。したがってこの式をLOCA計算に直接適用することは、実用的でないと考えられる。一方RELAPコード等で用いられているホモログス法則に従ったモデルは単相、2相統一してポンプの流動特性が取り扱え、その上データの入手が比較的容易であるという利点がある為に、今までALARM-P1では単相領域にしか採用されなかったこの手法を2相領域にまで適用範囲が広げられた。使用したウエスチングハ

ウス社 (カナダ) 製ポンプ・データは次のようである。

- 回転数 = 124.1 [rad/sec]
- 吐出流量 = 5.5829 [m³/sec]
- ヘッド = 97.54 [m]
- 水力トルク = 4.410×10^3 [kg_m/rad]
- 慣性モーメント = 3.455×10^3 [kg_m・m²]

このポンプは、Fig. 2 で示されたようにコントロール・ボリューム35と36で代表され、単相のポンプ特性は、Fig. 3 と Fig. 4 で与えられたヘッドとトルク・カーブにより評価される。曲線の各セグメントは、例えば HAN のような3つの文字で識別される。Hはヘッド比 (即ち $H = h/h_r$, h_r = 定格ヘッド), Aは α^2 で割ることを意味する ($\alpha = n/n_r$, 回転数比)。また Nは、逆流領域 R, タービン領域 T に対して、通常のポンプ回転領域を示す。ポンプが2相状態で稼動する時、その特性は、次の式で与えられる。

$$\text{ヘッド比 } H = \frac{h_1}{h_r} - M(\alpha) \frac{(h_1 - h_2)}{h_r} \quad (15)$$

ここで、 h_1 : 単相ヘッド (m), h_2 : 2相ヘッド (m), h_r : 定格ヘッド (m),

$M(\alpha)$: ボイド・フラクシオン α の関数

ヘッド差・ホモログス曲線 (単相ヘッド - 2相ヘッド) は、Fig. 5 に示される。ウェイティング・ファクターとして用いられるヘッド乗数 $M(\alpha)$ は、Fig. 6 で示されたものを使用する。トルクについても同じモデルが適用されるが、今回の計算では、トルク・データは、もともと与えられていなかったので無視された。摩擦トルクは、ALARM-P 1 コードにおいて考慮されていない為、その入力データは省略された。

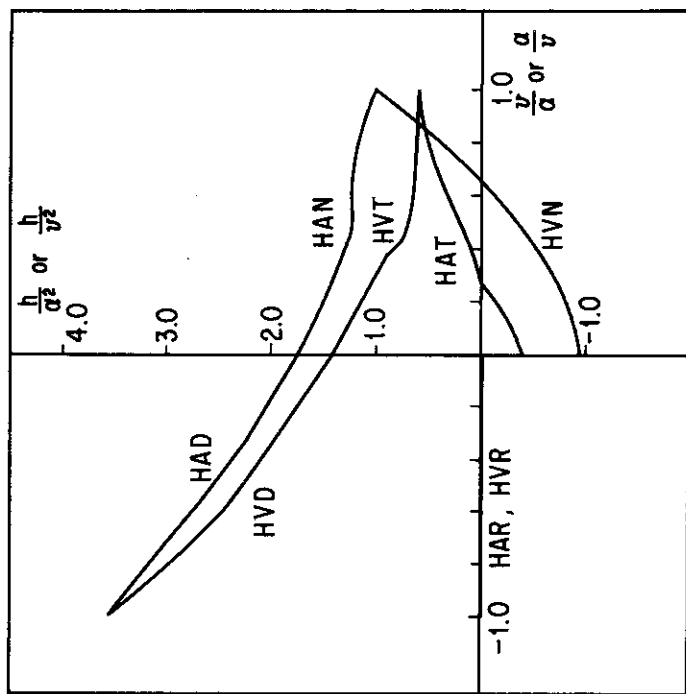
破断口を通しての臨界流モデルは、未飽和領域で計算される Zaloudek の式と、飽和時の Moody モデルが境界で滑らかにつながるように工夫されている。(Fig. 7 参照) 即ち、サブクールから飽和への移行の際、ALARM-P1 では、SATAN 流^[18]の連続化を採用している。この方法で計算された質量速度に放出係数 C_D を掛けて、臨界流量を定めた場合、この C_D の値が、図の3つの領域に対して、一律に掛かることになる。飽和領域に対して一般に $C_D = 0.6$ が、過去の経験から比較的良好に一致するといわれているが、この値をサブクール領域で使用すると、実際より過少評価してしまうことがある。そこで、図の2つの領域 (サブクールと飽和) で別々に放出係数を与えるように改善し、0~2%までの所謂遷移領域では、上で求められた2つの領域の臨界流をクオリテイで内挿するように定められた。

未飽和領域での質量速度 G は、 $G = C_1 \sqrt{2g_c \rho_f (P - C_2 P_{sat})}$ と表現され、 C_1 (放出係数に相当) 及び C_2 を入力する。^[11] RELAP4-EM モデルでは、この未飽和領域に対して Henry - Fauske のデータ・テーブルを利用し、飽和に移行後 Moody モデルによって計算された。放出係数は 1.0 と入力データで与えられた。放出係数の変化については 4.2 節でとりまとめて報告される。

熱出力を計算する為に、一点近似原子炉動特性方程式から定数、スクラムカーブ及び反応度係数等が、入力データとして必要になるが、本解析では、スクラムの寄与を考慮していない。原子炉停止後の崩壊熱に関して、核分裂生成物の崩壊に伴う発生熱のモデル化は、ALARM-P1 コー

ドの中に用意されてあるが、U-238 から中性子捕獲を通して生成される U-239, NP-239 等の所謂アクチノイド系崩壊熱に対して特別の相関式は考慮されておらず、単に一定の入力データ（又はコード内蔵データ）により表現されている。コンサーバティブな結果を導く為に崩壊熱の20%増にすることが、両コードで実行された。この項目についても4.2節の感度解析で明らかにされる。

流体と熱源構造体（ヒート・スラブ）間の熱伝達を計算する為の材料の物性値（熱伝導率、熱容量）が続いて入力される。Table 5から8は、一例として燃料棒を構成する二酸化ウラン・ペレットとジルカロイ製被覆管の特性値を示す。^{[20][21][22]}尚、使用した両コード間に入力モデルに関する比較とプラント内に配置された各機器の操作条件はTable 9とTable 10に記述されている。本章で述べたこれらの入力データを使いベース・ケースの解析が実施された。詳細な入力データのリストはAppendix II-2に添付されている。使用したVersionは、ALARM-P1 (Mod 2 / version 5) である。



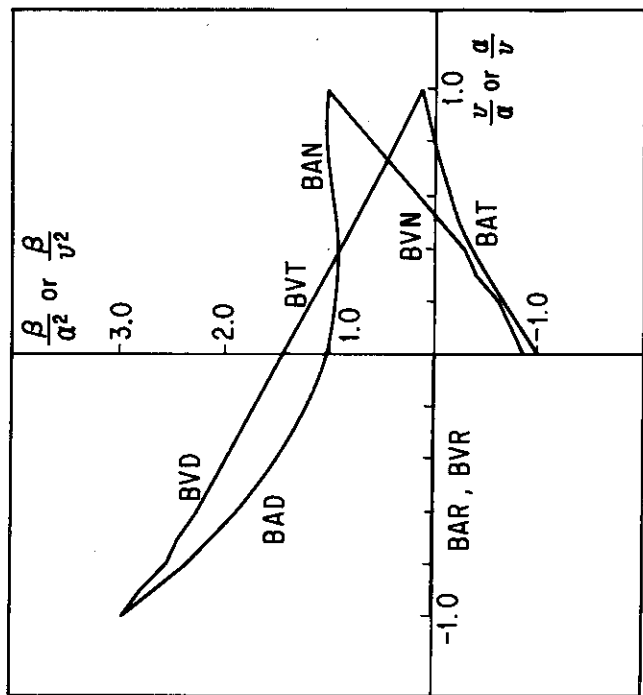
Axis Notation

- $h = H/Hr$ (Head Ratio)
- $\beta = T/Tr$ (Torque Ratio)
- $v = Q/QR$ (Flow Ratio)
- $\alpha = N/Nr$ (Speed Ratio)

Region Notation

- H - Head Ratio
- B - Torque Ratio
- N - Normal Speed Zone
- D - Zone of Energy Dissipation
- R - Zone of Reverse Flow Operation
- T - Zone of Turbine Operation
- A - Indicates Division by α or α^2
- V - Indicates Division by v or v^2

Fig. 3 Single Phase Head Curves for Westinghouse
Canada Ltd. Pump



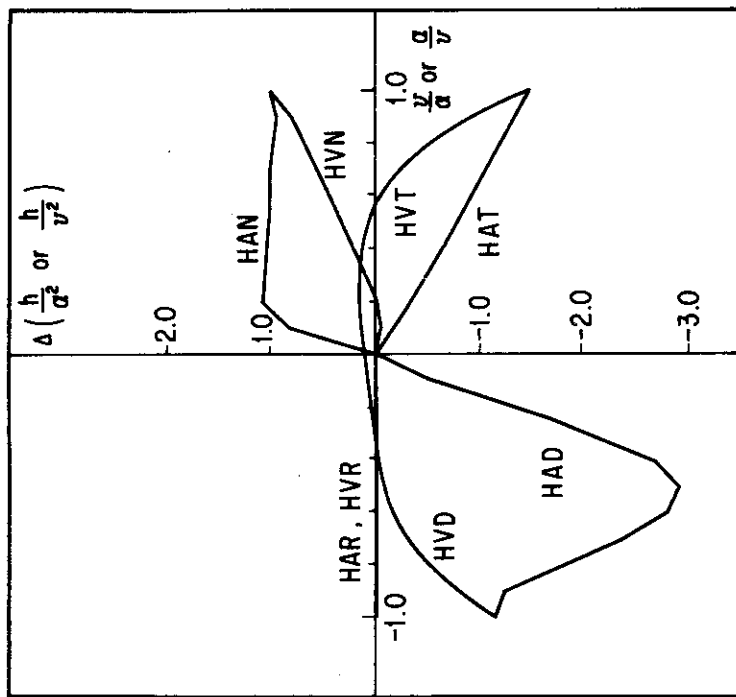
Axis Notation

- $h = H/Hr$ (Head Ratio)
- $\beta = T/Tr$ (Torque Ratio)
- $v = Q/QR$ (Flow Ratio)
- $\alpha = N/Nr$ (Speed Ratio)

Region Notation

- H - Head Ratio
- B - Torque Ratio
- N - Normal Speed Zone
- D - Zone of Energy Dissipation
- R - Zone of Reverse Flow Operation
- T - Zone of Turbine Operation
- A - Indicates Division by α or α^2
- V - Indicates Division by v or v^2

Fig. 4 Single Phase Torque Curves for Westinghouse
Canada Ltd. Pump



Axis Notation

- $h = H/Hr$ (Head Ratio)
- $\beta = T/Tr$ (Torque Ratio)
- $v = Q/QR$ (Flow Ratio)
- $a = N/Nr$ (Speed Ratio)

Region Notation

- H - Head Ratio
- B - Torque Ratio
- N - Normal Speed Zone
- D - Zone of Energy Dissipation
- R - Zone of Reverse Flow Operation
- T - Zone of Turbine Operation
- A - Indicates Division by a or a^2
- V - Indicates Division by v or v^2

Fig. 5 Two-phase Homologous Head Differences Curves for Westinghouse Canada Ltd. Pump

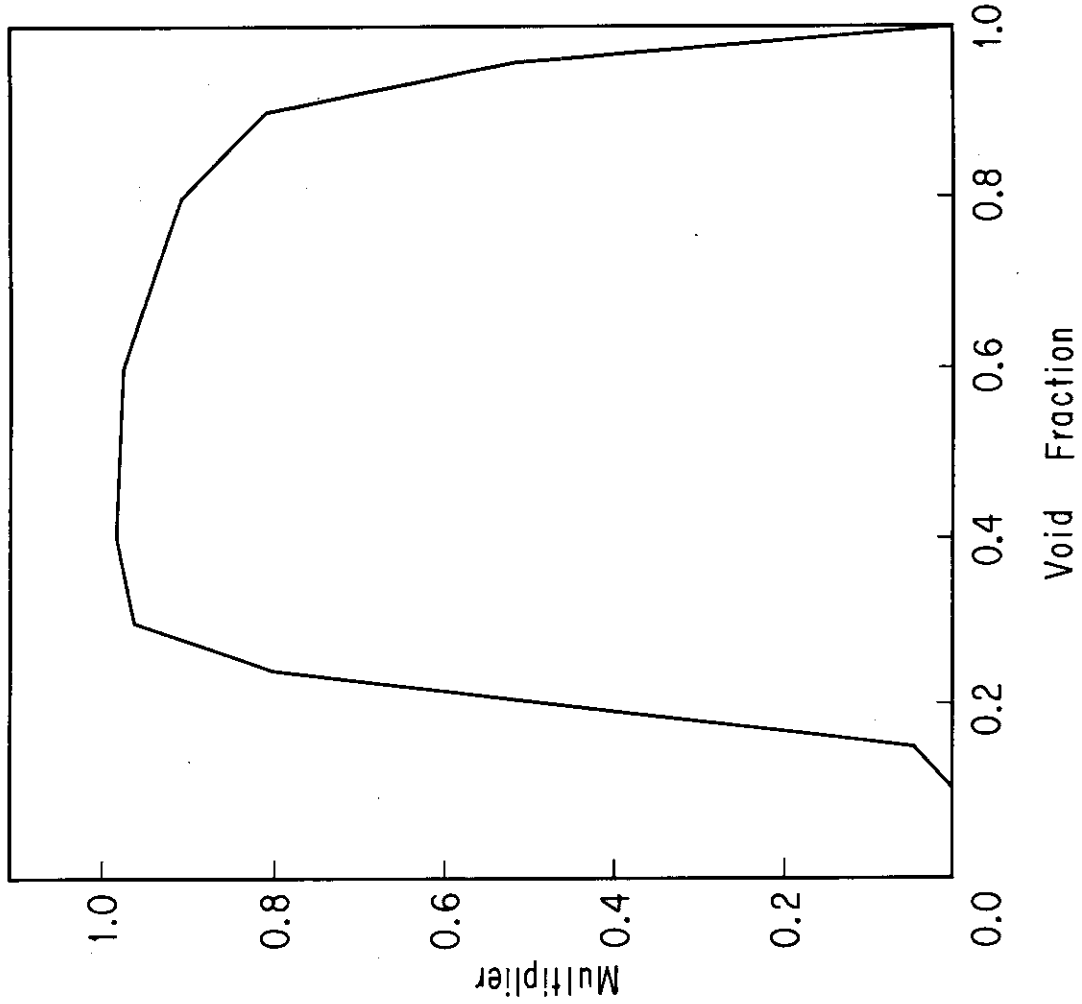


Fig. 6 Head Multiplier Curve for Westinghouse Canada Ltd. Pump

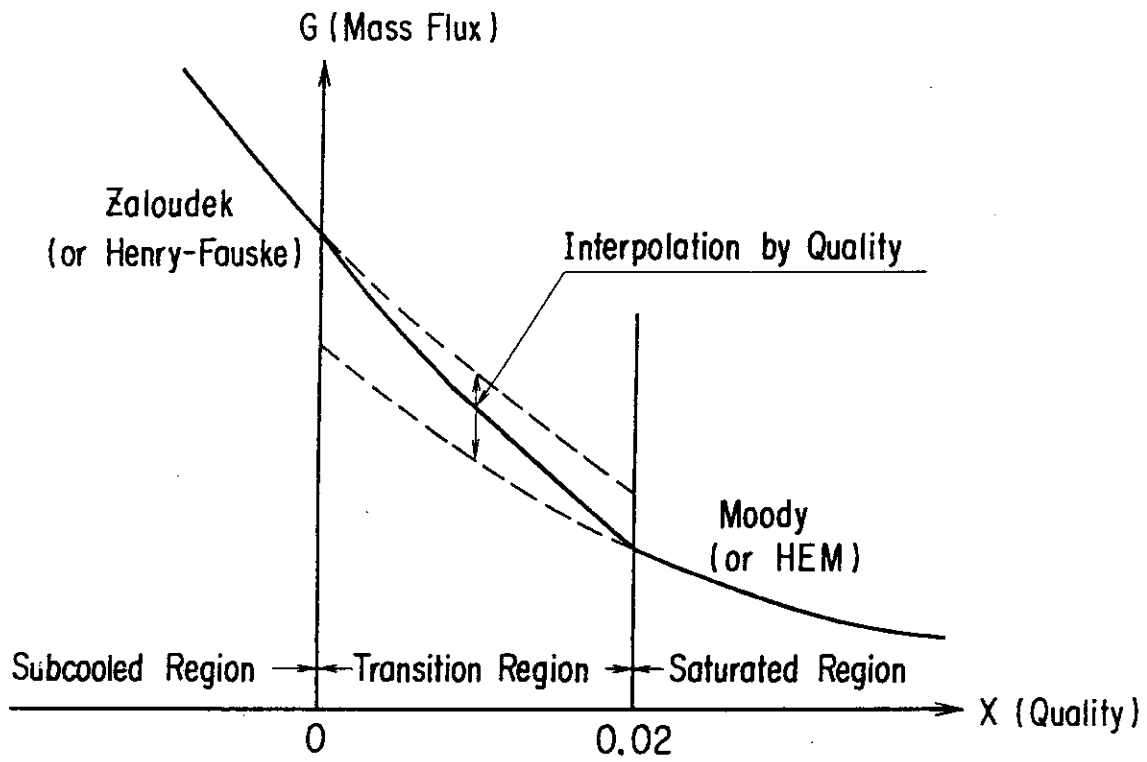


Fig. 7 Critical Flow Model

Table 5 UO₂ Thermal Conductivity (95% Theoretical Density)

Temperature (°F)	Conductivity (BTU/hr-ft-°F)
0	3.341
500	3.341
650	2.971
800	2.677
950	2.439
1100	2.242
1250	2.078
1400	1.940
1550	1.823
1700	1.724
1850	1.639
2000	1.568
2150	1.507
2300	1.457
2450	1.415
2600	1.382
3100	1.323
3600	1.333
4100	1.406
4600	1.538
5100	1.730

Table 6 UO₂ Volumetric Heat Capacity

Temperature (°F)	Volumetric Capacity (BTU/ft ³ -°F)
32	34.45
122	38.35
212	40.95
392	43.55
752	46.80
2012	51.35
2732	52.65
3092	56.55
3452	63.05
3812	72.80
4352	89.70
4532	94.25
4532	98.15
4892	100.10
5144	101.40
8000	101.40

Table 7 Zircaloy Thermal Conductivity

Temperature (°F)	Thermal Conductivity (BTU/hr-ft-°F)
32	7.812
212	7.992
392	8.208
572	8.784
752	9.540
932	10.404
1112	11.268
1292	12.492
1472	13.176
1652	13.968
1832	14.796
2012	16.128
2192	17.784
2372	19.656
2552	21.780
2732	24.048
3092	28.908
3360	33.120

Table 8 Zircaloy Volumetric Heat Capacity

Temperature (°F)	Volumetric Heat Capacity (BTU/ft ³ -°F)
0.	28.392
1480.3	34.476
1675.0	85.176
1787.5	34.476
3500.0	34.476

Table 9 Comparison of Input Modelling between
the Two Codes

No.	記述項目	ALARM-P1	RELAP4-EM															
1	ノーディング	41 ボリューム・55 ジャンクション	44 ボリューム・62 ジャンクション															
2	気泡分離モデル	蒸気発生器 2 次系, 加圧器蓄圧タンク, 及び格納容器内で密度勾配と上昇速度を与える。	左に同じ															
3	チェック・バルブ	9 箇所	9 箇所															
4	フィル・システム	8 箇所	10 箇所															
5	リーク・システム	2 箇所 (RELAP の負のフィルシステムをモデル化した)	0															
6	熱源構造体 (ヒート・スラブ)	26 箇所	29 箇所															
7	炉心領域	3 (平均チャンネルのみ)	6 (ホット・チャンネル 3 平均チャンネル 3)															
8	運動量方程式のタイプ	モーメント・フラックスを除去したジャンクション 1, 2, 12~16, 19~22, 33~36, 44, 47~56, 57~59, 61, 62																
9	抵抗 (損失) 係数及び慣性モーメントの入力	<p>右の如きインデックスによる内蔵計算かユーザ指定かの区別はない。</p> <p>(注) 慣性モーメント (INETA) 及び損失係数 (FRIF, FRI FR) は 0.0 を入力すると, 内蔵計算を意味するので, 摩擦零を入力したい場合, 十分 0 に近い値が用いられた。</p>	<p>JCALCI というインデックスにより次の様な計算を指定する。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>JCALCI</th> <th>慣性モーメント</th> <th>損失係数</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>利用者が入力する</td> <td>利用者が入力する</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>利用者が入力する</td> <td>内蔵計算</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>内蔵計算</td> <td>利用者が入力する</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>内蔵計算</td> <td>内蔵計算</td> </tr> </tbody> </table>	JCALCI	慣性モーメント	損失係数	0	利用者が入力する	利用者が入力する	1	利用者が入力する	内蔵計算	2	内蔵計算	利用者が入力する	3	内蔵計算	内蔵計算
JCALCI	慣性モーメント	損失係数																
0	利用者が入力する	利用者が入力する																
1	利用者が入力する	内蔵計算																
2	内蔵計算	利用者が入力する																
3	内蔵計算	内蔵計算																
10	ジャンクション流路断面	平滑化パラメータ JENTH = 1 又は 2 を使用	<p>垂直に分布していないと仮定 (JVERTL = 0)</p> <p>しかし単相, 2 相のエンタルピー平滑化は行われる。</p>															
11	エンタルピー・輸送 (炉心部分)	JENTH = 2	<table border="1"> <thead> <tr> <th>ジャンクション No.</th> <th>入口</th> <th>出口</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>16, 44</td> <td>off</td> <td>on</td> </tr> <tr> <td>17, 45</td> <td>on</td> <td>on</td> </tr> <tr> <td>18, 46</td> <td>on</td> <td>on</td> </tr> <tr> <td>19, 47</td> <td>on</td> <td>off</td> </tr> </tbody> </table>	ジャンクション No.	入口	出口	16, 44	off	on	17, 45	on	on	18, 46	on	on	19, 47	on	off
ジャンクション No.	入口	出口																
16, 44	off	on																
17, 45	on	on																
18, 46	on	on																
19, 47	on	off																

Table 9 (Continued)

No.	記述項目	ALARM-P1	RELAP4-EM
12	<ul style="list-style-type: none"> ・ポンプ・モデル ・ポンプ逆回転オプション ・ポンプ摩擦トルクモデル ・ポンプモータ・トルクモデル ・ポンプ停止モデル ・NPSH 	①単相・2相ホモログガスモデル ②Thomaのキャビテーションモデル なし なし なし なし 2相ホモログガスモデル 可 では使用しない。	単相・2相ホモログガスモデル 逆回転した時、回転数零とする。 可(本解析で未使用) 可(本解析で未使用) 可(本解析で未使用) なし
13	反応度計算	同一モデル(ALARM-P1には別のモデルもある。)	
14	アクチノイド崩壊熱 (NP-239, U-239)	定数として取り扱っている。 (入力/内蔵データ)	相関式により求める。(2章式(6)参照)
15	崩壊熱をANSの20%増とする。	同 一 デ ー タ	
16	スクラム・モデル	本解体では、スクラムによる反応度の変化を考慮していない。	
17	ギャップ・コンダクタンス	RELAPとモデルが異なり、ギャップ間のRELAPの温度差に一致させるように、ギャップコンダクタンス・データを入力した。	EM-モデル採用
18	Zr-被覆管と燃料棒が、水蒸気の介在により反応する。 (金属-水反応)	なし	可
19	データの内外挿	内挿のみ	内挿データから外挿をゆるす。
20	臨界流モデル	①Zaloudek-Moody -Murdock-Bauman (本解析で使用) ②Henry-Fauske-HEM	Henry-Fauske-Moody (本計算に用いてあったEMオプション)
21	2相摩擦係数(ϕ^2)	Martinelli-NelsonとThomのモデル	Baroczyモデル
22	入力データによる熱伝達係数の選択	入力データで指定するオプションはない。	①ヒート・スラブ左側表面での膜沸騰熱伝達係数は、スラブNo.4,5,7~26に対してDougall-Rohsenowを用い、スラブNo.6では、

Table 9 (Continued)

No.	記述項目	ALARM-P1	RELAP4-EM
			Groeneveld ⁵⁹ 相関式を用いるように指定された。 ②ヒート・スラブ右側表面での膜沸騰熱伝達係数は、全ての構造材で Dougall-Rohsenow を使用する。
23	線膨脹モデル	なし	可（本解析で使用）
24	EMモデル	特に用意していない。	①評価計算用熱伝達ロジック ②燃料ピンのふくれと流路閉塞 ③ ECC 水のバイパス (①, ②, ③共本計算で使用)
25	時間依存ボリューム・モデル	なし	可（本解析で未使用）
26	計算時間メッシュの自動計算	不可（入力で指定）	可（本解析で利用）
27	数値解法	主として陽解法	主として陰解法

Table 10 Operational Conditions Assumptions

No.	トリップ項目	モデリング	設定条件
1	健全側蒸気発生器2次系出口流量	リーク系(j 50 ^{**}) (時間対流量のテーブルを与える。)	計算開始から5秒まで定常値1423.057 (kg _m /sec)を維持し,5秒でリーク閉鎖。
2	破断側蒸気発生器2次系出口流量	リーク系(j 53) (時間対流量のテーブルを与える。)	計算開始から5秒まで定常値474.357 (kg _m /sec)を維持し,5秒でリーク閉鎖。
3	健全側蒸気発生器給水系	ファイル系(j 51) (時間対流量のテーブルを与える。)	計算開始から5秒まで定常値1423.057 (kg _m /sec)を維持し,5秒でファイル系停止。
4	破断側蒸気発生器給水系	ファイル系(j 54) (時間対流量のテーブルを与える。)	計算開始から5秒まで定常値474.352 (kg _m /sec)を維持し,5秒でファイル系停止。
5	健全側蒸気発生器2次系リリーフ・バルブ	バルブ(j 44)	系圧力が設定圧力77.36 (kg _f /cm ²)より大きくなったら弁が開く。
6	破断側蒸気発生器2次系リリーフ・バルブ	バルブ(j 45)	
7	スクラム	トリップ信号	計算開始後0.01002秒で作動する。 (スクラムの寄与は考慮しない。)
8	健全側循環ポンプ	ポンプ・ボリューム(No.35)	計算開始後0.01002秒でコストダウンを開始する。
9	破断側循環ポンプ	ポンプ・ボリューム(No.36)	
10	健全側チャージングポンプによる注入	ファイル系(j 46) (圧力と流量のテーブルを与える。)	計算開始後0.01秒で,トリップし,その後25秒遅れて所内非常用発電機の起動と同時に作動する。
11	破断側チャージングポンプによる注入	ファイル系(j 49) (圧力と流量のテーブルを与える。)	
12	健全側高圧注入系 [*] (HPIS)	ファイル系(j 55) (圧力と流量のテーブルを与える。)	計算開始後0.01秒で,トリップし,その後25秒遅れて所内非常用発電機の起動と同時に作動する。
13	破断側高圧注入系 [*] (HPIS)	ファイル系(j 48) (圧力と流量のテーブルを与える。)	
14	健全側低圧注入系 [*] (LPIS)	ファイル系(j 52) (圧力と流量のテーブルを与える。)	計算開始後0.01秒で,トリップし,その後25秒遅れて所内非常用発電機の起動と同時に作動する。
15	破断側低圧注入系 [*] (LPIS)	ファイル系(j 47) (圧力と流量のテーブルを与える。)	
16	破断口	チェック・バルブ(j 37, j 38 及び j 32)	計算開始後破断点(j 37, j 38)が0.01002秒で開き,同時にj 32が閉じる。
17	健全側蓄圧注入系入口	チェック・バルブ(j 34)	下流側コントロール・ボリューム(No.12)の設定圧力が43.23 (kg _f /cm ²)になったとき開く。

Table 10 (Continued)

No.	トリップ項目	モデリング	設定条件
18	破断側蓄圧注入系入口	チェック・バルブ(j35)	下流側コントロールボリューム(No.29)の設定圧力が43.23 (kg _f /cm ²) になった時開く。
19	健全側蓄圧器出口	チェック・バルブ(j42)	蓄圧器(コントロール・ボリューム32)の水・蒸気-混合相水位が0.305m 以下になった時注入を停止する。
20	破断側蓄圧器出口	チェック・バルブ(j43)	蓄圧器(コントロール・ボリューム33)の水・蒸気-混合相水位が0.305m 以下になった時, 注入を停止する。

*) これらの動的機器の作動においては単一故障を考慮して評価することになっている。

**) jnはジャンクションn番目を示す。

4. 解析結果の検討

実規模大の商用炉で想定した1次冷却材喪失事故をALARM-P1コードで解析し、RELAP4-EMの結果と照合することにより、コードの性能に関して評価及び検討がなされた。以下にその概要を記述する。今回の計算では、定常状態が、約0.01秒間維持され、その後ジャンクション32のバルブが閉じ、同時に破断を模擬したジャンクション37及び38が開となる。減圧過程は、この時点から始まることになる。

ベース・ケースの解析結果から、コードとデータ双方に問題点が発見され、予測能力向上に役立った。4.1節では、ベース・ケースについてまた4.2節では、その感度解析の結果が検討される。Figs. 8から87のプロット・データに対して、AP1 SM2 V5と記されているものが、ALARM-P1の計算結果である。

4.1 ベース・ケースの計算結果

(1) 破断ループの特性

低温側配管（以下「コールド・レグ」という。）が、完全に破断すると、圧力容器及びループ内の流体は、破断箇所を通して格納容器に流出する。この時の高温及び低温側からの流出流量の計算結果がFig. 8とFig. 9に示されている。またそれぞれの流出クオリティは、Fig. 10とFig. 11に描かれている。破断ループのポンプ側における流出流量は破断と同時に急激に減少し、0.05秒以内に飽和に到達する。対応する破断近傍での圧力の低下は、飽和臨界流の発生で、若干もち直し、その後経過時間と共に飽和状態を維持しながら減少していく。

計算終了時までの飽和2相臨界流は、ALARM-P1コードにおいて、Moodyのデータ・テーブルを用いて計算された。

一方RELAP4-EMでは、サブクール領域に対してHenry-Fauskeのモデルがまた飽和に移行後、ALARM-P1と同様Moodyモデルが適用された。Fig. 8とFig. 9を比べてみて、コールド・レグからの流出流量が、ポンプ側を通してのそれに比較して、圧倒的に大きい。高温側配管（以下「ホット・レグ」という。）を通して流れる高エンタルピーの冷却材は、上部プレナムから破断口に至る管路の途中にある蒸気発生器やポンプ等の大きな流動抵抗に起因して、Fig. 8とFig. 9の間に顕著な差が現われた。コールド・レグ側を通しては、特に問題となる流動抵抗は存在しない。したがってFig. 12に示されたコールド・レグ入口流量と破断流量は、概ね類似していることが判る。即ち、破断開始後、約3秒迄未飽和が存在し、約1秒位の遷移領域を経過した後、Moodyの飽和領域へと移行している。

破断ループの蓄圧タンクからの流れは、約1.3秒でポンプ側破断ノードに注がれる。しかしこの流量は、ポンプ側を通して流入するループ流量に比べると極めて小さいので、Fig. 8では、その影響が明確に現われておらず、体系全体にさして重要な影響を及ぼしていないようである。

一方Fig. 9で、健全ループコールド・レグへのECC（非常用炉心冷却）水の注入は、13.5秒か

ら始まり、その影響は17秒以降の破断流量の増加によって示されている。Fig. 8 と Fig. 9 の 2 図から、RELAP4-EMとALARM-P1双方の臨界流モデルに対して殆んど差がないことが明らかになった。

次に破断ノードの密度の計算は、Fig. 13及びFig. 14に示される。Fig. 13の密度は、破断と同時に沸騰を開始し、急激な減少を経て、流出流量とほぼ、類似した挙動を呈している。RELAPの計算では、ECC水の影響で、20秒以降（ループ流量が十分減少した後）に大きな立ち上りが見られる。一方ALARM-P1のベース・ケースの解析では、約20秒までしか計算がなされていなかった。これは、現在のコードでは、未飽和水と配管内の冷却材が瞬時にして一様に混合するモデルを採用している為に、ECC水の正確な挙動追跡が困難なためである。Fig. 20に示されるように、ALARM-P1の解析結果は、注入当初の厳しい物理状態は、乗り切ったものの、上部ヘッドと上部プレナム間で非現実的な挙動として、臨界流が発生し、20秒で“steam table failure”を招き、計算が停止した。

一方Fig. 14に示された圧力容器側破断口での密度挙動は、破断後約3秒で、コールド・レグが沸騰を開始することから徐々に小さくなり16秒まで減少を続けるが、以後健全側に配置された蓄圧タンクからの冷却材の影響を受け始める。両破断口近くの圧力挙動は、Fig. 15に示される。2つのコード間での結果の一致は図に示されるように、極めて良好である。

(2) 圧力容器内の特性

Fig. 16は、原子炉圧力容器内の減圧状況を示したものである。圧力容器内の圧力挙動は、殆んど類似しており下部プレナムと上部プレナムの計算結果もほぼ一致している。

下部プレナムは、約1.5秒で飽和に到達し、以後ゆっくり減圧する。安定した飽和ブローダウンの解析結果は、図に示す如く、RELAP4-EMとALARM-P1コードで、極めてよい一致が見られた。一方Fig. 17に示す冷却材温度は、破断と同時に炉心入口での逆流の影響で直ちに上昇し始める。しかし1.5秒で下部プレナムのフラッシング後、系の圧力に追随して流体温度は降下していく。

RELAP4-EMでは、23秒以降炉心からの熱い蒸気流が下部プレナムに流入する為に、急激に温度が上昇する。しかし、その後ダウンカマを貫通してECC水が流入してくることにより、26.5秒でリフィルの徴候を示し、飽和温度にまで急激に下がっている。これはFig. 18のクオリティの計算結果を見ても明らかである。

Fig. 19に示したものは、上部プレナム及びその上方に位置する上部ヘッド内の圧力挙動である。上部プレナムの圧力は図のように2つのコード間で一致した予測がされているが、上部ヘッドについて問題が生じ、本計算において、RELAP4-EMとの最大の相違を示した。このことは、Figs. 20や21に示すジャンクションの流れや、差圧にも現われている。

ALARM-P1の計算では、上部プレナムと上部ヘッド間で1ステップ毎に大きな振動が発生し臨界流が形成されていることが判明した。ジャンクション流路断面は、かなり小さく絞られてはいるが、この領域で、臨界流の発生は、まず考えられないことである。このような数値的不安定性は、タイムステップ巾の選択が不適当であったことに起因している。時間巾を十分小さくして再計算するとFig. 22とFig. 23に示されるようにこの問題は、完全に解決され、更にベース・ケースよりも5秒程長く計算を続けることができた。しかしながら、上部ヘッドにのみこの様

な特異な挙動を呈した要因として、タイムステップは確かに大きな因子であるが、これに加えて上部プレナムの上方に位置するこの領域は Dead-end になっており、流体が停滞して死水領域になっていることも影響している。ALARM-P 1 コードで解析する場合（タイムステップ巾や、この種のノーディングを回避する等）十分注意して取り扱う必要がある。

(3) 加圧器内の挙動

Fig. 24は、加圧器内の水位（Mixture Level）の時間変化を示したものである。入力モデルの中で説明したように、加圧器は破断前水一蒸気が各領域で一様に、飽和状態にあると仮定して気泡分離モデルを用いて計算された。

破断と共に水位が減少し、8秒を少し過ぎた辺りで、加圧器内の水位がベッセルの底即ちサージラインノズルに到達する。この時から水位は殆んど零を示している。加圧器内の圧力は Fig. 25に示されるように、破断後概ね直線的に低下するが、ベッセル内の水が殆んどなくなって、蒸気放出が始まると、減圧の割合は著しく加速される。

蒸気の放出量が急激に減少するにつれ、12秒以降1次系圧力に近づいていくことが示されている。6秒頃から14秒頃にかけて、RELAPコードによる圧力の予測がALARM-P 1による予測値より若干下回っていた。

Fig. 26に示されるサージラインを通しての流量は、3秒前後まで双方とも大きく変動していたが、両コード間で、よく一致している。その後2つのコード間で、健全ループホット・レグへ流入する2相流の差は、上に述べた加圧器の圧力の差となって反映されたものと考えられる。

RELAP4-EMコードで取り扱われる運動方程式を調べて見ると、単相状態で計算された圧損項（即ち Fanning 及び断面変化による摩擦損失+チェックバルブによる損失+ポンプ圧力差+剰余項）は、2相状態に移行後、乗数 ϕ^2 (> 1) をこの値に掛け合わせている。一方現在のALARM-P 1コードでは、 ϕ^2 が、Fanningの摩擦損失と剰余項の和に対して掛けられるというモデル上の相違がある。

又コード内に取り入れられた ϕ^2 の値は、RELAPコードにおいては Baroczy モデルにより求められているが、ALARM-P 1では、Maltinelli-Nelson と Thomのモデルから引出されている。この様に解析モデル上の若干の差異はあるものの、典型的な PWR プラントにおける加圧器の特性は2つのコードの比較によりほぼ満足した挙動を示していることが判る。尚、計算中臨界流はサージ・ラインを通して形成されなかった。

(4) ポンプ挙動

Table 10に記されているように、ポンプは破断が生じた時をもって、駆動電源が停止し、時間と共にコスト・ダウンしていく。その挙動は、Fig. 27から Fig. 32に示される。Fig. 27で健全側ポンプ・ヘッドは、破断後低下を始め、約4秒で2相流体がポンプ吸入側に入ると、キャビテーションを生じる為、急激にヘッドが減少している。(Fig. 31参照)

6秒頃から10秒頃にかけて見られる両コード間のヘッド差は、蒸気発生器を通しての分水嶺の形成に相違が生じた結果、発生したものと考えられる。

一方17秒以降に現われた差は、ECC水の影響である。即ちウォーター・パッキングによりポンプ吐出側に流れ込んだ冷却材は、駆動力を失ったポンプにエネルギーを提供することによりタービン領域として急激に増加している。Fig. 28に示されたポンプの回転数は、ALARM-P 1

が、17秒以後若干上回っているものの、ほぼ両コード間で一致していると思われる。

Fig. 29 は、破断ループのポンプ特性を示す。ポンプ・ヘッドは破断口から大量の冷却材が流出する為、直ちに負の領域に転じ、タービンとしてポンプを駆動させることから回転数が上昇している。破断ループ側のヘッドは、Fig. 32で示された体積流量の変化に追随していることが判る。

(5) 蒸気発生器 2 次系

蒸気発生器 2 次系内の圧力の計算結果は、Fig. 33に示される。健全側及び破断側に配置された蒸気発生器は、破断後5秒まで、給水系からの補給とタービンへの蒸気放出が、バランスを保ち、系全体として大きな変化を示していない。このことは、バルブが閉められた5秒以降についても同様である。定常状態で一致していた圧力は、4～5秒以降計算終了時まで、両コード間でほぼ一定の差を維持していた。

原因としては、2つのコード間でエンタルピー平滑化の相異によると思われる。蒸気発生器の水位の挙動は、RELAP4コードと比較して、十分満足な結果を与えている。

(6) ECC 水の挙動

健全ループ コールド・レグにつながった蓄圧器からの流入流量の時間変化は、Fig. 35 で示される。コールド・レグの圧力が $43.22 \text{ (kg}_r/\text{cm}^2)$ 以下に低下すると蓄圧注入系に備えられた逆止弁が開き、(破断から約13.5秒後)冷却材はコールド・レグに注入される。この図に描かれているように、注入は約24秒でピークに到達後、減少し始めるが蓄圧タンクの水位が1フィートに降下するまで続く。前述したように、この辺の現象の推移は、ALARM-P 1 コードでは、計算されなかった。

注入された冷却材は、コールド・レグを通して圧力容器の方に向かって流れると考えられるが、この状況を明らかにしたものがFig. 36である。ECC 水の影響は、図において17秒辺りでの急激な流量の増加により説明される。

即ちコールド・レグに注入された ECC 水はまずこの領域を満水にした後、急きょ圧力容器及びポンプ側に排出している。(Water packing 現象)

一方 Fig. 37 は、上部ダウンカマーの流量の変化を示したものである。この図から注入された ECC 水は、コールド・レグを通りダウンカマー入口までくるが、下部プレナムの方へ下向き流となって貫通せず、破断口の方にバイパスしている。その後の冷却材の行方は、Fig. 9に示されるように流出流量の増加によって明らかである。

このことは、ECC 注入水が、ダウンカマーをバイパスして直接破断口から流出していたことを示唆している。Fig. 37で示されるように、RELAP4では、25秒で下向き流が発生しバイパス現象の終了を示している。続いてダウンカマーへの流入により Fig. 38の密度の増加は、概ね ECC 水注入後15秒～17秒経過して予測された。

一方 Fig. 39 は、破断ループに付設された蓄圧タンクからの流量を示す。破断口に近いことから圧力が、早く降下する為に計算開始後約2秒以内に注入を開始する。破断ループ側の ECC 水の流量は、健全側コールド・レグに流入するものの約 $\frac{1}{3}$ 程度であるから、RELAP4-EM の計算では、大体29秒で蓄圧器の水位が1フィートまで降下し、流量停止を示している。

他の ECCS として HPIS, チャージング・ポンプ及び LPIS は、トリップ後、25秒の遅延時間

を想定して、構内に設けられた非常用ディーゼル発電機が起動した結果、一定の流量が注入される。これらは、3系統含めても、蓄圧タンクからの流量に比べてはるかに小さい。ALARM-P1の計算において、これらの系統が正常に動作する時刻までは解析できなかった。各タンク内の圧力の挙動は、Fig. 40に示される。

Fig. 35とFig. 39に示された蓄圧器の水位について、空気の存在するノードでの気泡上昇モデルの適用は、RELAP4-EMコードにおいて水位以下に気泡の存在を認めておらず、直ちに表面上で蒸発してしまうと仮定している為にバブルの存在する分だけ水位の差となって現われた。

(7) 炉心の挙動

LOCAの解析で、最も注目すべき重要な因子は、炉心の温度挙動、特に燃料棒被覆材の温度特性である。ALARM-P1コードにおいては、ホット・アセンブリ（最大発熱部分）の解析が実施されなかったため、平均チャンネルの炉心特性（被覆材表面温度、燃料棒中心温度）によって代表され、本コードによる解析結果の信頼性について検討が加えられた。

Fig. 41は炉心入口流量の変化を示す。初期の大きな逆流は、コールド・レグ破断口を通しての流出流量が直接引き金となって現われたものである。図に示す如く、破断開始と共に急激に減少し約0.25秒で逆流は、最大値に到達する。この頃、炉心では、減圧沸騰が開始する。炉心から下部プレナムに流れ込んだ高いエンタルピーの飽和水は、未飽和状態にある下部プレナムの圧力を一時的に上昇させ、炉心からの逆流増加を阻止しようとする。一方炉心領域では、減圧沸騰でボイドが増大し、飽和減圧した圧力を一時的に回復させる動きを示す。下部プレナムと炉心の圧力差が減少することに対応して、逆流は小さくなる。1.5秒近くで、下部プレナムの未飽和減圧が終了し下部プレナムフラッシングが発生する。

下部プレナムのボリュームは、相当大きい為に飽和減圧に必要な流出流量は破断口からのそれ以外に炉心入口にも放出されることになり、1.5秒以降再び炉心の流れが正流となる。正流期間は、5秒辺りまで続き、以後再び逆流が維持される。RELAP4の解析結果の中で、炉心入口流が10秒近辺で一時的逆流を強めているが、これは上部プレナムと下部プレナム間の差圧の影響と見られる。(Fig. 42参照)

Figs. 43A, 46A, 及び49Aは、平均アセンブリでの燃料被覆管表面温度の変化を示している。計算された熱流束が、限界熱流束（CHF）を越えた時、熱伝達モードは核沸騰熱伝達領域から膜沸騰熱伝達領域へと移行している。

DNB（Departure from Nucleate Boiling）を発生するまでの最初の1秒間は、破断直後を除き、圧力の急激な変化がない為に熱伝達係数は、圧力を独立変数とするThomの相関式の領域で計算されることから、ほぼ一定となり、温度の変化がみられない。(Figs. 44A, 47A, 50A参照)炉心内で発生したボイドの影響で、分割した3領域は何れも、約2秒以内にDNBに到達し、表面温度の急上昇を示している。これら温度挙動に大きな影響を及ぼす熱伝達係数とその熱伝達モードをFigs. 44A, 47A, 50A及びFigs. 45, 48, 51に示す。

DNB発生から、しばらくして温度はピークに達するが、その後炉心流量の変化に追従して熱伝達係数は増大し、その結果、温度は徐々に下っていく。20秒以降、RELAP4-EMでは、再び上昇傾向を示している。Fig. 43Aに示すALARM-P1の表面温度の計算結果は1.5秒から10秒位までRELAP4の2つの計算結果（平均チャンネルとホット・チャンネルでの値）と比較して

これらの計算値より下回っているが、これは、用いた2つの解析コードの入力モデルに起因している。即ち、RELAP4-EMでは炉心構造材右表面（左側は断熱）での熱伝達係数が膜沸騰領域に達すると保守的な結果を得る為に、Dougall-Rohsenowの相関式を利用するように入力で定めてある。しかしながらALARM-P1には、このような入力のオプションが用意されていない。Fig. 45を見て判るように、この時間領域（1.5秒～10秒）に対して、ALARM-P1では、Berensonモデル（モード6）で計算されており、Dougall-Rohsenowを指定したRELAP4-EMの結果よりも高い熱伝達係数を予測している。

次にFigs. 43A, 46A, 及び49Aの15秒以降の温度差はFigs. 44A, 47A及び50Aに示された15秒から17秒間のALARM-P1における熱伝達係数の予測値と関係している。この領域は、熱伝達モードとしてDougall-Rohsenowを示しているにも拘らず、（Figs. 45, 48, 及び51参照）熱伝達係数は、極めて小さく評価されている。コード内を調査した結果、Dougall-Rohsenowの正しい相関式は

$$h = 0.23 \left(\frac{k_g}{D_e} \right) (Pr)^{0.4} \left[\left(\frac{GD_e}{\mu_g} \right) \left(x + \frac{\rho_g}{\rho_f} (1-x) \right) \right]^{0.8} \quad (16)$$

であるが、プログラム内では、式 $\left(x + \frac{\rho_g}{\rho_f} (1-x) \right)$ が、 $\left(\frac{GD_e}{\mu_g} \right)$ の乗数でなく巾数として表現されていた。

したがって、ALARMの熱伝達係数は低く計算され、ブローダウンの後半で今迄とは逆にRELAPの2つの結果を上回ることになった。

RELAP4-EMの入力デースで、炉心の発熱長さは、3等分した領域に対して、それぞれ4フィートと入力するべきところが各領域で12フィートのチャンネル・レングスが与えられていた。ALARM-P1では炉心全体の発熱長さ12フィートを3等分した4フィートを各領域に対して入力した。この差はDNBの発生時刻に若干の相違を生じると思われるが結果的には、殆んど変化がなかった。

また、ALARM-P1では、モード5のGroeneveld 5.9式

$$h = 3.27 \times 10^{-3} \left(\frac{k_g}{D_e} \right) (Pr)^{1.32} \left[\left(\frac{GD_e}{\mu} \right) \left(x + \frac{\rho_g}{\rho_f} (1-x) \right) \right]^{0.901} Y^{-1.5} \quad (17)$$

$$Y = 1.0 - 0.1 (1-x)^{0.4} \left(\rho_f / \rho_g - 1 \right)^{0.4} \quad (18)$$

において、Yの制約条件として $Y \geq 1.0$ となっていたがRELAP4の条件に従って、 $Y \geq 0.1$ と書き換えられた。これらの点を修正した再計算の結果は、Figs. 43B, 44B, 46B, 47B, 49B 及び50Bに示され、両者の一致は著しく改善された。

炉心出力カーブは、Fig. 52に与えられる。炉心で発生するボイド及び燃料温度の変化は、反応度の変化をもたらす、出力につながる。図にみられるように、この熱出力は、最初の1秒以内に定常時の10%以下にまで減衰している。現在の入力モデリングの中には、スクラムの効果は考慮されていないので、破断初期におけるこのような急激な出力変化は、減速材中のボイド形成による負のフィード・バック反応度で低下すると考えられる。Doppler効果による反応度は、燃料温度が低下することから（微少であるが）正の反応度を示している。したがって、熱出力抑制には、ボイドの効果が最も顕著である。スクラム信号のトリップ後、原子炉スクラムシステムの時間遅れを考えると、実際には、炉内で発生する気泡が、制御棒を挿入する以前に原子炉を停止にまで導く

ことになる。全反応度の計算結果は、Fig.53に与えられる。1秒以降の炉出力は、燃料棒核分裂生成物（FP）により発生する熱量に依頼しており、両コード間での計算値は、よく一致している。崩壊熱の検討は、次節で述べられる。

尚 ALARM-P1 コードで計算されていない Zr 金属と水蒸気の反応による熱量は、RELAP 4-EM の結果によると、ブローダウン過程で、せいぜい 2% 弱で、崩壊熱の影響に比べて無視できることが判る。

最後に、ペレット中心温度の解析結果について考察する。Fig.54で示されるように、燃料棒表面温度が、一時的に上昇している間も燃料棒中心温度は、破断後降下の一途を辿っている。これは、Fig.52で示されるように炉心の出力が大きく影響して減少したものである。

(8) 格納容器の特性

Figs.55と56では、格納容器の挙動を示す。両コード間で、圧力やインベントリーの計算値は極めてよく一致している。これは、1つの理由として、空気の流れこそ仮定していないが、Figs. 8と9に示されたように、破断流量が正しく予測されていたことに他ならない。

4.2 感度解析

RELAP4-EMとの比較計算に先立っていくつかの解析モデルの拡張及び修正がなされた。ここでは、これらのうち一部についてのモデルの組込みが正しく行われているか、またその特性はどのようなかを検討する為に行った感度解析の結果が述べられる。行った計算は、下記の4種類であり、それぞれの計算は、4.1節で述べたベース・ケースと比較・検討される。

1. FP崩壊熱の影響

FP崩壊熱としてANS標準値を用いた計算（RUN # 1）

2. ポンプ2相特性の影響

ポンプ2相特性を無視した計算（RUN # 2）

3. 破断口での放出係数 C_D の影響

(i) $C_D = 0.8$ の場合（RUN # 3）

(ii) $C_D = 0.6$ の場合（RUN # 4）

4. 臨界流モデルの改良による影響

未飽和臨界流と飽和臨界流の連続化手法を修正したモデルによる計算（RUN # 5）

このうち3番目の項目“破断口での放出係数 C_D の影響”は新しく拡張及び修正されたモデルではないが、評価計算上重要なパラメータであるので取り上げることにした。

以上の計算は、全てベース・ケース・データを基に上記のパラメータだけを変更してベース・ケース計算に用いたプログラムにより行った計算である。4.1節で述べたように、ベース・ケースには入力データのタイムステップ巾が不適切であることと、プログラミング・エラーとがあったが、以下の理由でこれらの修正を行わずに感度解析の検討を行うことにした。即ち

- 1) 熱伝達モード5と9にプログラミング・エラーがあったが、ベース・ケースでの検討によればこのエラーによる流動への影響は殆んどないことがわかっている。
- 2) 上部ヘッドと上部プレナム間の流量の振動はタイムステップ巾を変えることにより改善さ

れるが、他の部分への影響は顕著ではなく、しかも計算に要する計算機のCPU時間が1ケース当たり4時間から8時間に増える。

以上のことから修正されたプログラムでかつタイムステップ巾を変えた計算を再度行わなくても、各感度解析で着目しているパラメータの影響を検討するのに十分な情報が得られていると判断し再計算は行わなかった。

(1) FP崩壊熱の影響

ベース・ケースではFPの崩壊熱としてANS標準値の20%増しとして計算しているが、この20%増加分の影響について検討するため、この増分を見込まない計算(RUN #1)を行った。

流動への影響

Fig.57に示されたベッセル側破断流量と上部プレナム圧力から判るようにベース・ケースとRUN #1との流動の差は殆んど見られない。取り立てて言うならば炉心内のクオリティーに若干の違いが見られる程度である。Fig.58に炉心中央部の流体クオリティーが示されているが、RUN #1の方が炉心発熱量が少い分だけクオリティーの上昇が遅れている。

炉心熱挙動

Fig.59に炉心発熱量を示す。ベース・ケースとRUN #1との差は、0.3秒以降顕著になり始め0.5秒で最大値43.6MW_tに達し、以後徐々にその差は小さくなる。

熱伝達係数と被覆管表面温度はFigs.60~62に示されている。熱伝達係数の差はそれほど明確ではないが、炉心上部と中央部の被覆管温度は4秒以降ベース・ケースの方が一貫して高い。炉心下部ではRUN #1の方が熱伝達モード6に移行する時刻が早かった分だけ1.5秒以降高くなっている。しかしRUN #1の発熱量の方が小さいので、2秒以降両者の温度差は小さくなり、被覆管最高温度は両方ともほぼ同一の値を示している。これ以後は、逆に発熱量の大きいベース・ケースの被覆管の方が高くなっている。前に述べたようにプログラミング・エラーがあるため、定量的議論は避けなければならないが、FPの崩壊熱を大きく見積る方が、被覆管温度を保守的に評価する傾向が強い(炉心下部のように熱伝達モードにも影響するので一概にこのように言い切ることはできないが)ことが以上の結果から判る。

(2) ポンプ2相特性の影響

ベース・ケースではRELAP4-EMと同様、ポンプの2相効果を考慮した解析がなされている。本節では、この2相効果がどの程度影響するかを検討する為に、この効果を見捨てた単相特性のみによる計算(RUN #2)を行った。

ポンプ挙動

ベース・ケースとRUN #2の結果に差が生じるのは、ポンプ・ノードが飽和に到達してからで、破断側は1.5秒、健全側は4.5秒以降である。(Figs.63~65参照)

破断側は破断と同時にヘッドが負になり、ポンプ・ノードが飽和に到達する1.5秒以降はRUN #2の方が常に小さな負のヘッドを計算した。(Fig.63)しかるにFig.64に示されるように回転数は両者ともほぼ同一の値を示した。これは、ベース・ケースではヘッドに対する2相効果は考慮しているが、トルクに対する効果は無視された入力データになっているためである。

健全側はFig.65に示されるように4.5秒で飽和に到達後差が生じるが、その差は5秒以降顕著になる。ベース・ケースでは5秒から6秒にかけて急激にヘッドが減少し約7秒で負に転じる。

これは、5秒から6秒にかけてボイド率が0.2を通過することにより2相効果が顕著になったものである。(Fig.6参照)一方、RUN #2において、5～6秒でベース・ケースのような急激なヘッドの減少が現われないのは、2相効果が無視された事に他ならない。回転数の差は6秒以降に現われている。RUN #2の回転数がベース・ケースよりも減少割合が小さくヘッドの差と矛盾しているようであるが、これはベース・ケースにおいてヘッドに対する2相効果は考慮しているものの、トルクに対する2相効果は無視されたことによるものである。

ループの流動

破断ループの流動へ直接影響するのは破断側ポンプであるが、破断側ポンプのベース・ケースとRUN #2の相違、特にヘッド差の破断ループの流動への影響は顕著ではなかった。健全側ループ・コールド・レグは6～10秒ではヘッドが大きい分だけRUN #2の方がベース・ケースより大きな正流になっている。このため、健全側の水量がRUN #2の方が早く失われ、クオリティの上昇は早くなっている。特に加圧器が空になって以降この現象が顕著になっている。これらの冷却材挙動の相違はFig.66に示されるように、ベッセル側破断流量の差としても現われている。

ベッセル内流動

健全側ポンプ挙動の相違による影響が、炉心の流動に現われている。即ち、Fig.67に示されるように、RUN #2の6秒以降におけるヘッドの減少がゆるやかな為に、下部プレナムと上部プレナムの差圧が正から負に移行する時刻はベース・ケースより遅れている。このため、両者の計算で4秒以降ほぼ停滞していた炉心流量が逆流に転じる時刻にも差が現われる。(Fig.68参照)この炉心流量の逆流は上部プレナムの低クオリティ水の炉心流入を意味するので、燃料棒の冷却もRUN #2の方が遅れる。(Fig.69参照)炉心流量の相違は、健全側ポンプのヘッドに差がある12秒まで見られ、以後はほぼ同一な挙動を示している。

燃料棒挙動

前述した炉心流動の相違に対応して、Fig.69が示すように、6秒以降に燃料棒被覆管温度に相違が見られた。RUN #2の場合、炉心流量が逆流に移行する時刻が遅れるため、炉心クオリティの降下が遅れる。このため熱伝達モードが8から6へ移行する時刻にも遅れを生じ、熱伝達率の悪い状況が長時間持続すると計算された。この事により被覆管温度の下降を始める時刻が遅れ、被覆管最高温度は、ベース・ケースより高くなっている。被覆管最高温度が高い分だけ以後も一貫してRUN #2の方が高い温度を示している。この状況はFig.69で明らかである。炉心発熱量への影響は殆んど見られなかった。

以上のようにポンプ挙動は、炉心流動に大きな影響を及ぼすので、今後より精度の高い計算をするために、より詳細な解析モデルと同時に、信頼性のある特性データが要求されるであろう。

(3) 破断口での放出係数 C_D の影響

ECCS性能評価解析で重要なパラメータの1つである破断口での臨界流に対する放出係数 C_D を変更した計算を行った。今回の計算で用いた臨界流モデルは、ベース・ケースで用いたSATANコード^[18]と同一なZaloudekとMoodyの臨界流を飽和点で連続化するモデルである。(詳細は参考文献〔1〕及び本報の第3章を参照されたい。)このモデルで臨界流量に影響するパラメータはZaloudekの飽和圧力に対する係数 C_2 とMoodyの臨界流に対する係数 C_D の2つである。本

節ではブローダウン全過程に影響を及ぼす C_D についてのみ検討を行った。計算したケースは $C_D = 0.8$ (RUN # 3) と $C_D = 0.6$ (RUN # 4) の2ケースである。以下で示すように、両ケースともブローダウン過程を支障なく計算することができた。

破断流量

Figs. 70～72に示されるようにベッセル側破断口の流出流量は、破断初期においては C_D が小さい程小さく、このため圧力の降下割合も小さい。また、破断口近傍の流体の飽和到達時刻も C_D が小さくなるにつれて遅れる。破断後8～10秒において破断流量の大きさは破断初期と逆転し、 C_D の小さいもの程大きくなっている。これは C_D が小さいもの程、破断初期において破断流量が小さかったためこの時点までの圧力降下が遅れ、しかも流体クオリティーの上昇がゆるやかになったためである。ベース・ケースでは約17秒、RUN # 3では約18秒、RUN # 4では約22秒に流量の増加が見られる。これは健全側蓄圧器からの注入水が破断口へ到達したことによる。また、この時刻の違いは、ループの圧力挙動の違いにより蓄圧器の逆止弁作動時刻と蓄圧器からの注入流量に差を生じたためである。

Fig. 73に示すようにポンプ側破断流量はベッセル側破断流量に比べてほぼ同一な挙動を示している。しかしながらFigs. 74及び75に見られるように破断口近傍の圧力や密度がかなり違っており、流出流量はほぼ同一であるがその熱力学的状態量はかなり違っていることが判る。従ってFig. 76に示されるように体積流量には明確にその相違が現われている。

炉心及び健全ループの流動

上部プレナムから健全側ホット・レグへの流れは破断の影響で激しく振動するが、約2秒でこの振動はおさまり、以後小さな正流に落ち着く。この時期の挙動は主として健全側ポンプの影響によるものであるが、この効果が弱まるにつれて逆流に転ずる。この逆流に移行する時刻は C_D の小さいもの程遅れる。これは、 C_D が小さい程破断口への流量が減少するためである。

Fig. 78には健全側ホット・レグの流体クオリティーが示されている。10秒までは、ほぼ同一の挙動を示すが、これ以降に差が生じている。この時点は蒸気発生器に分水嶺が生じ、低クオリティーの流体がホット・レグに逆流して、クオリティーの低下をもたらす時刻である。従って10秒以降の差は、 C_D の差に起因した分水嶺の生ずる時刻の差によるものであることが判る。

Fig. 79には加圧器サージラインの流量が示されているが、この図から判るようにどのケースもほぼ同一の結果を示している。これまでに示したように1次系に違いがあるにもかかわらずほぼ同一の挙動を示しているのは、サージラインが細いため、1次系の影響を受けにくくなっているためである。

健全側ポンプのヘッドはFig. 80に示されるようにどのケースもほぼ同様な傾向をしている。ヘッドが負に転じる時刻は C_D が小さい程遅れる。これは C_D が小さい程破断口への流れが減少するためである。このことは、回転数の挙動にも表われている。この相違にもかかわらず健全側コールド・レグ出口流量には大きな差は生じなかった。

蓄圧器は破断側健全側とも同一の傾向を有し、 C_D が小さい程、注入開始時刻が遅れ注入流量が小さくなる。(Fig. 81参照)これは、 C_D が小さい程1次系の圧力降下がゆるやかなためである。

Fig. 82に示すように、ダウンカマー流量はベッセル側破断流量と同様の傾向を有し、8秒までは C_D が小さい程逆流傾向が弱く、8秒以降はどのケースもほぼ同一の値を示している。一方、

炉心入口流量も8秒まではダウンカマ流量と同様な傾向を示している。(Fig.83参照)しかし、8秒以降は、 C_D が小さい程下部プレナムの残存水量が多いためダウンカマへ逆流するものの炉心入口流量は停滞傾向が強くなっている。

炉心温度挙動

Fig.84に炉心発熱量と反応度が示されている。この図から判るように4秒から8秒にかけてボイドによる反応度に差が生じているため、この影響がわずかながら発熱量の差として現われている。

上部炉心の燃料棒被覆管温度がFig.85に示されている。4.1節のベース・ケースの検討のところで指摘したように、本解析に使用したプログラムの熱伝達係数の計算に誤りがあったため、この結果は必ずしも十分ではないかも知れない。従ってここでは定性的な議論に止めることにする。 C_D が小さい程、破断と同時に炉心を逆流する流量の絶対値が小さくなり、この事によりDNBの発生する時刻が早まる可能性のあることをこの図は示唆している。このためRUN #4のDNB到達後の温度上昇割合は他のケースより大きくなっている。一方、下部プレナムが飽和に到達してからは逆に C_D が小さいもの程炉心入口で正流が強いのでこの時刻ではRUN #4の被覆管温度は急激に低下する。この時間帯におけるベース・ケースの炉心流量はほぼ停滞しているためピークを記録している。このように炉心流量挙動に従い、燃料棒被覆管温度のピークを記録する時刻に差が生じることが示された。

以上のように、本コードにより C_D をパラメータとした感度解析をすることにより対象とするプラントの燃料棒温度の応答を解析できることが示された。

(4) 臨界流モデルの改良による影響

第3章で述べたようにSATAN流の臨界流モデルを改良して、放出係数を未飽和飽域と飽和領域(クオリティが2%以上の領域)に分けて取り扱えるようにした。このようにした理由は、例えば参考文献(23)で指摘したように、SATAN流の臨界流モデルでは現実の破断流量の模擬が困難な場合があることによる。ここでは、改良した臨界流モデルを用いて、Zaloudekの式に対する放出係数を1.0とした計算(RUN #5)を行い、臨界流モデルの変更による影響を検討した。

ポンプ側破断流量はFig.86に示されている。この図において破断口近傍での流体のクオリティが2%以下で臨界流モデルの違っている部分は最初の0.1秒であり、以後は両者ともMoodyの臨界流モデルを用いており同一である。両者のモデルの違っている部分は短時間なので、モデルの相違による結果の相違は明確には表われていない。RUN #5において2秒付近の流量の増加は蓄圧器からの低クオリティ水の注入による影響であり直接には臨界流モデルの相違によるものではない。3秒以降は両者ともほぼ同一の結果が得られている。

ベッセル側破断流量はFig.37に示されている。RUN #5の場合約4.5秒で破断口近傍の流体クオリティが2%に到達している。一方、ベース・ケースにおいて、この時刻は約4秒であった。したがって4.5秒以前で両者のモデルが相違しており、この時点以降は共通してMoodyモデルが使われる。2.5秒までは両者のモデルの相違にもかかわらず、ほぼ同一の結果が得られているのは、ベース・ケースにおいてZaloudekの式に対する放出係数が1に近い値に設定されたためである。2.5秒から4.5秒にかけて、RUN #5の方が小さな臨界流量を与えている。これは、

RUN #5においてはZaloudekの係数(第3章参照) $C_1=1.0$, $C_2=0.9$ で一定として扱われているためZaloudekの式の形から流体が飽和に近づくと流量を小さく見積るようになる。一方、ベース・ケースではコード内で C_1 が1より大きな値に設定されたため流量を大きく見積った。このために生じた差である。RUN #5において、3秒から4.5秒で、圧力が減少し、流体クオリティーが上昇しているにもかかわらず、流量が増加するという不自然な挙動を計算している。これは、入力データ C_1 , C_2 の値が適切でなかったため飽和到達時のZaloudekの式による流量がMoodyのモデルによる流量よりも小さくなり、これをクオリティーで重みづけをして最終的な流量としたためである。

以上述べたように今回の計算では臨界流モデルの改良による破断流量への影響は顕著ではなかった。このため、健全ループや炉心の挙動にも大きな影響は見られなかった。しかし、入力データ C_1 及び C_2 を適切に変えることにより、参考文献[23]に示されているように、この改良による影響が明確に現われる場合がある。

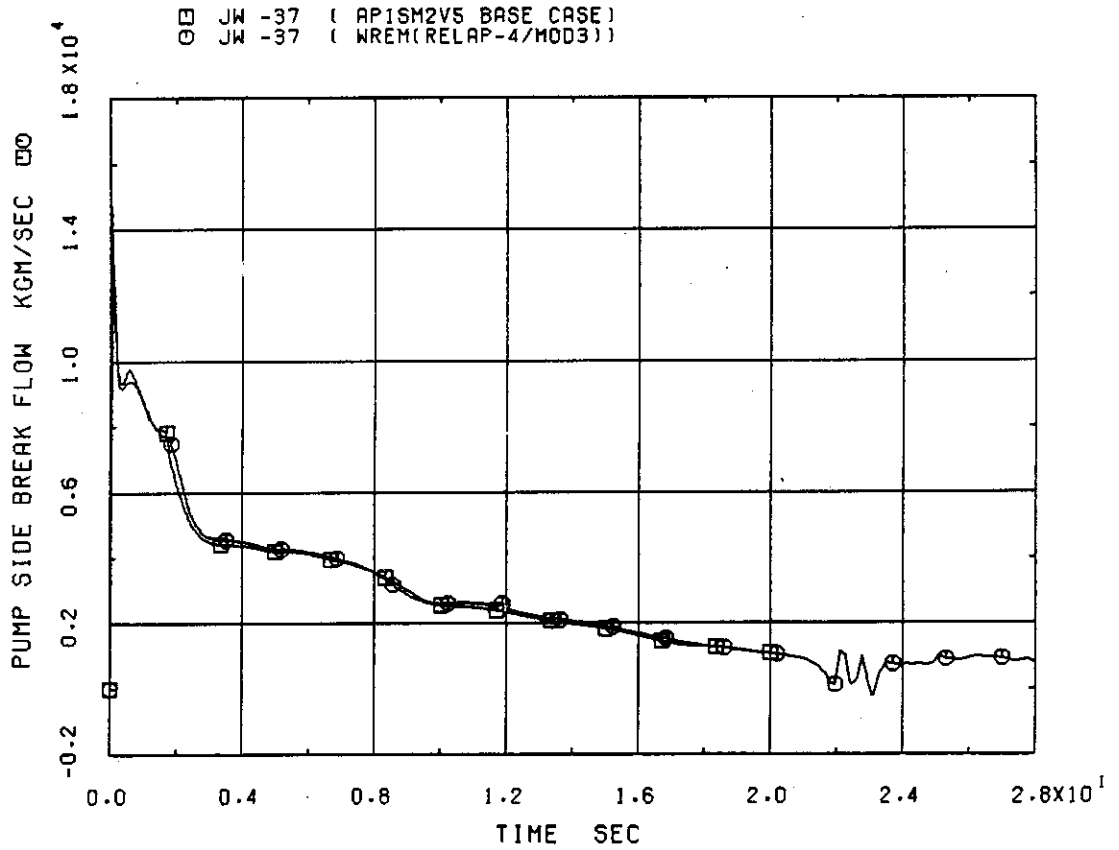


Fig. 8 Discharge Flow Rate at Broken Loop Hot Leg Break Plane

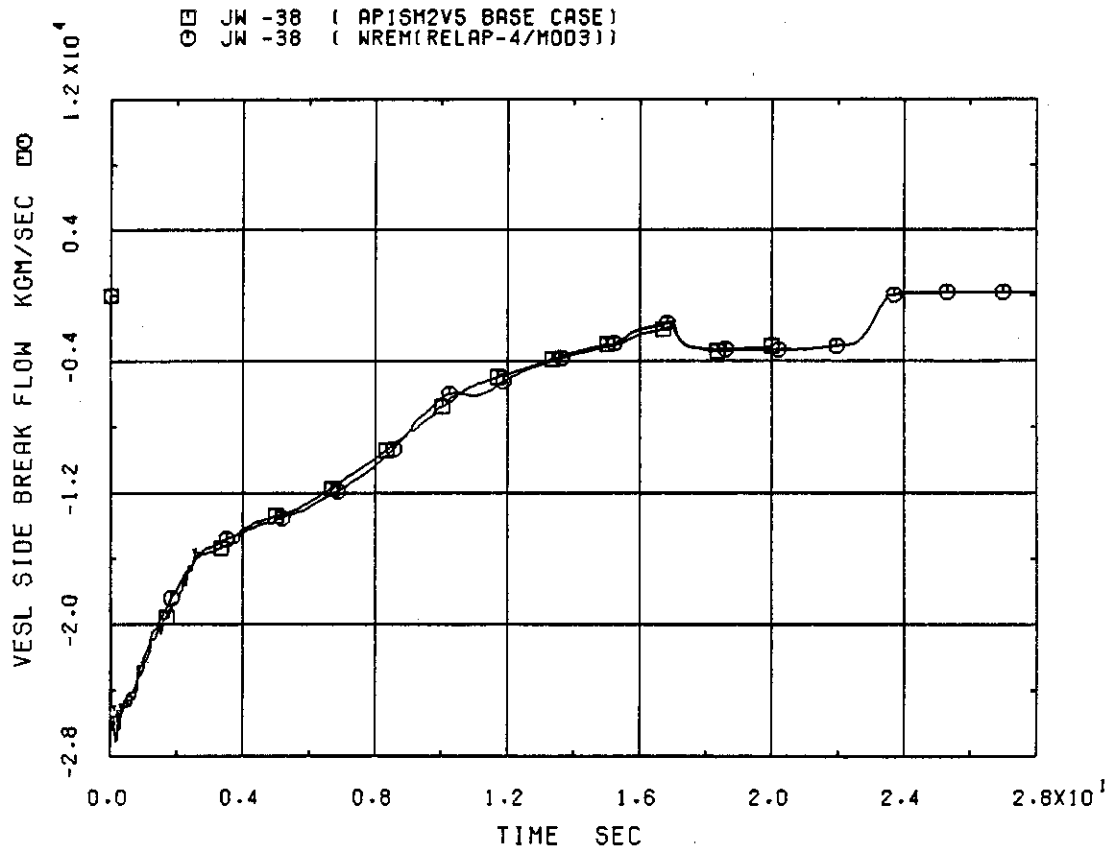


Fig. 9 Discharge Flow Rate at Broken Loop Cold Leg Break Plane

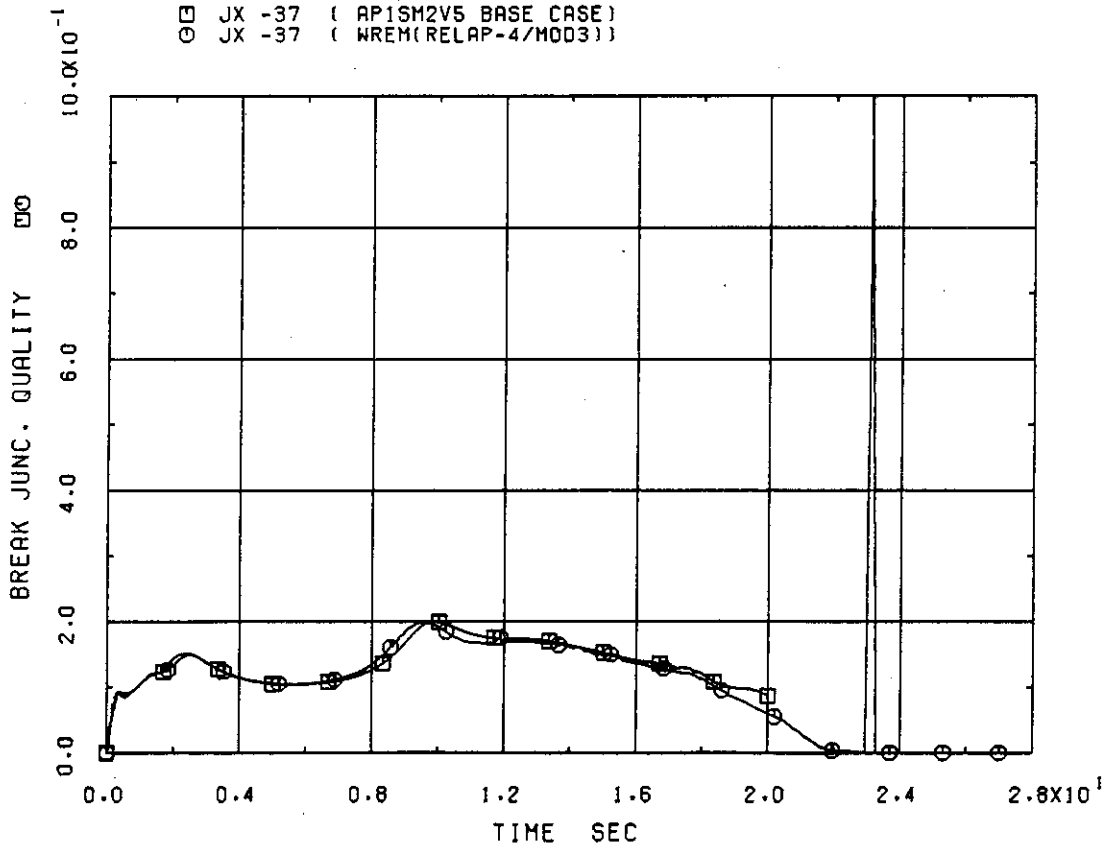


Fig. 10 Junction Quality at Broken Loop Hot Leg Break Plane

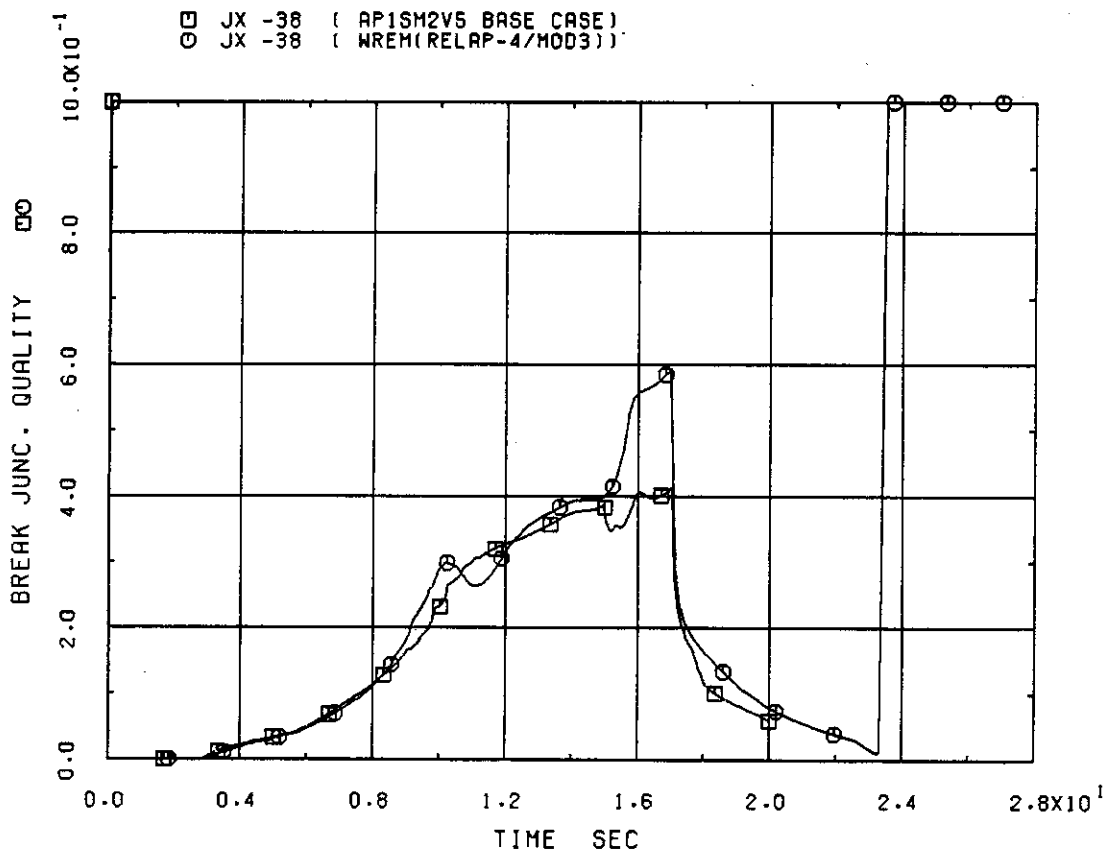


Fig. 11 Junction Quality at Broken Loop Cold Leg Break Plane

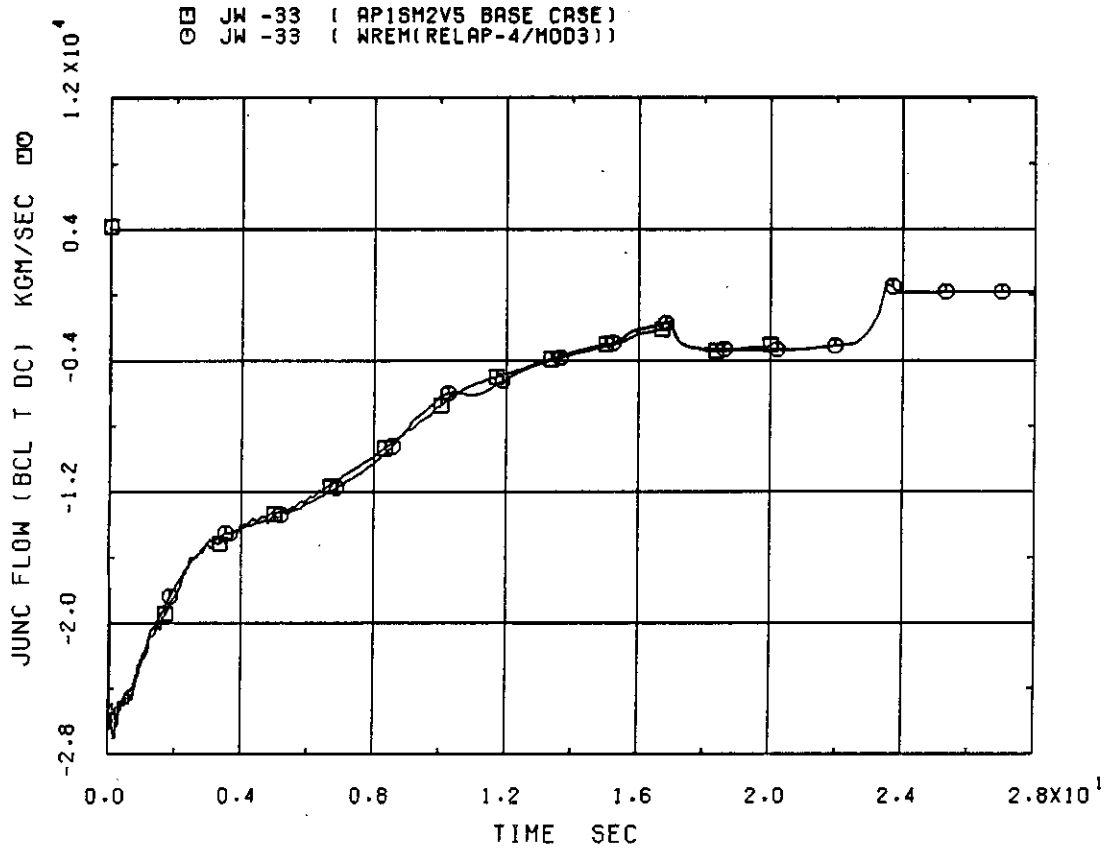


Fig. 12 Junction Flow from Downcomer to Broken Loop Cold Leg

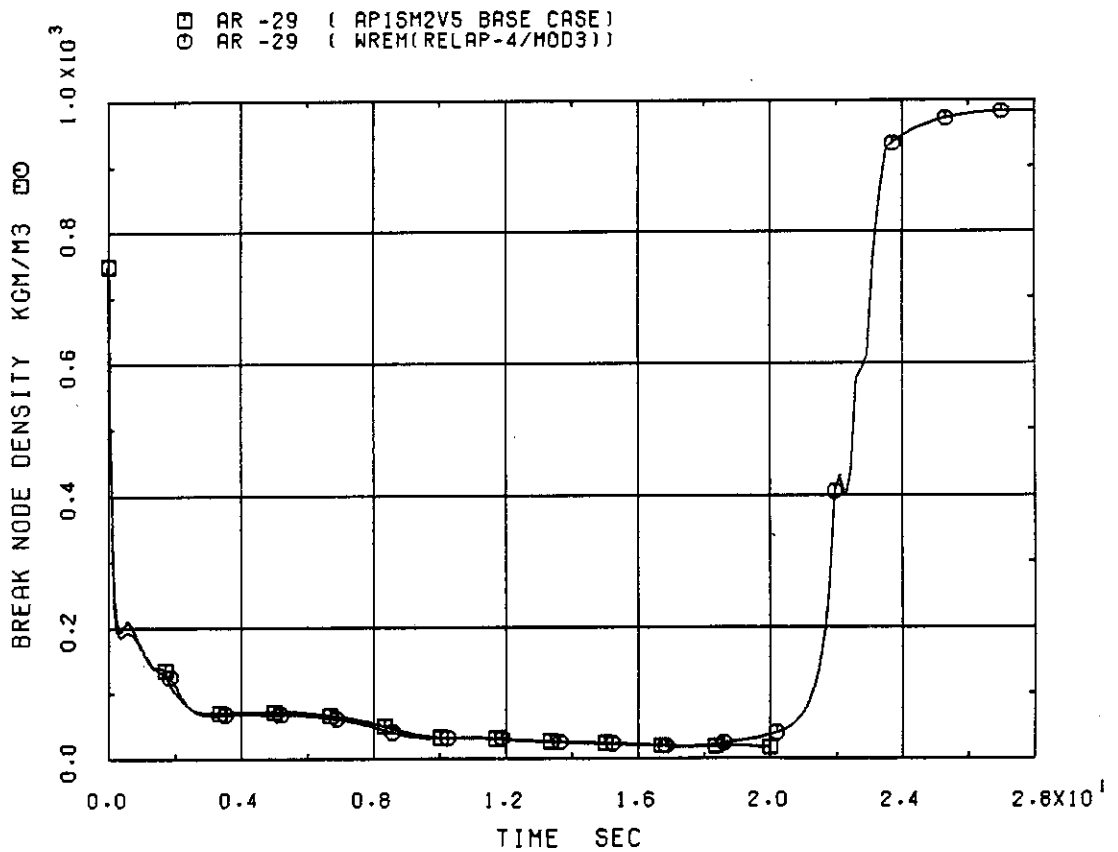


Fig. 13 Average Density at Break Node (Pump side)

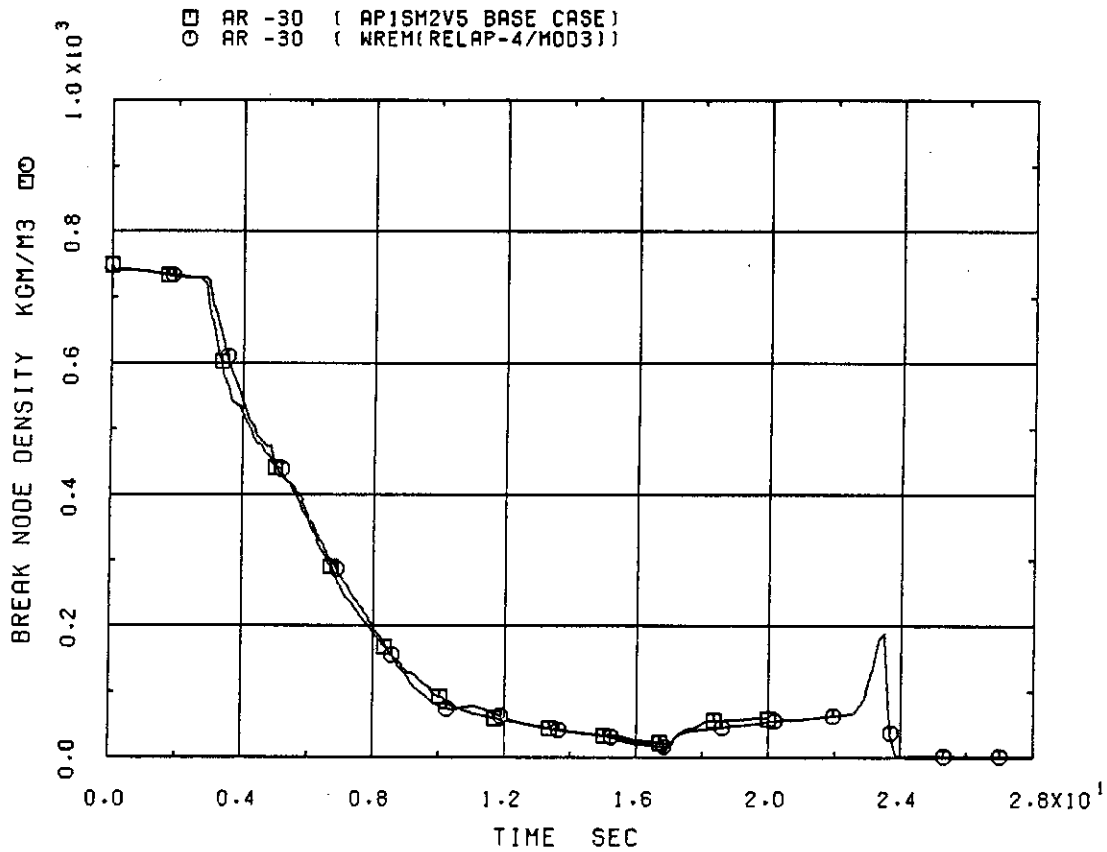


Fig. 14 Average Density at Break Node (Vessel side)

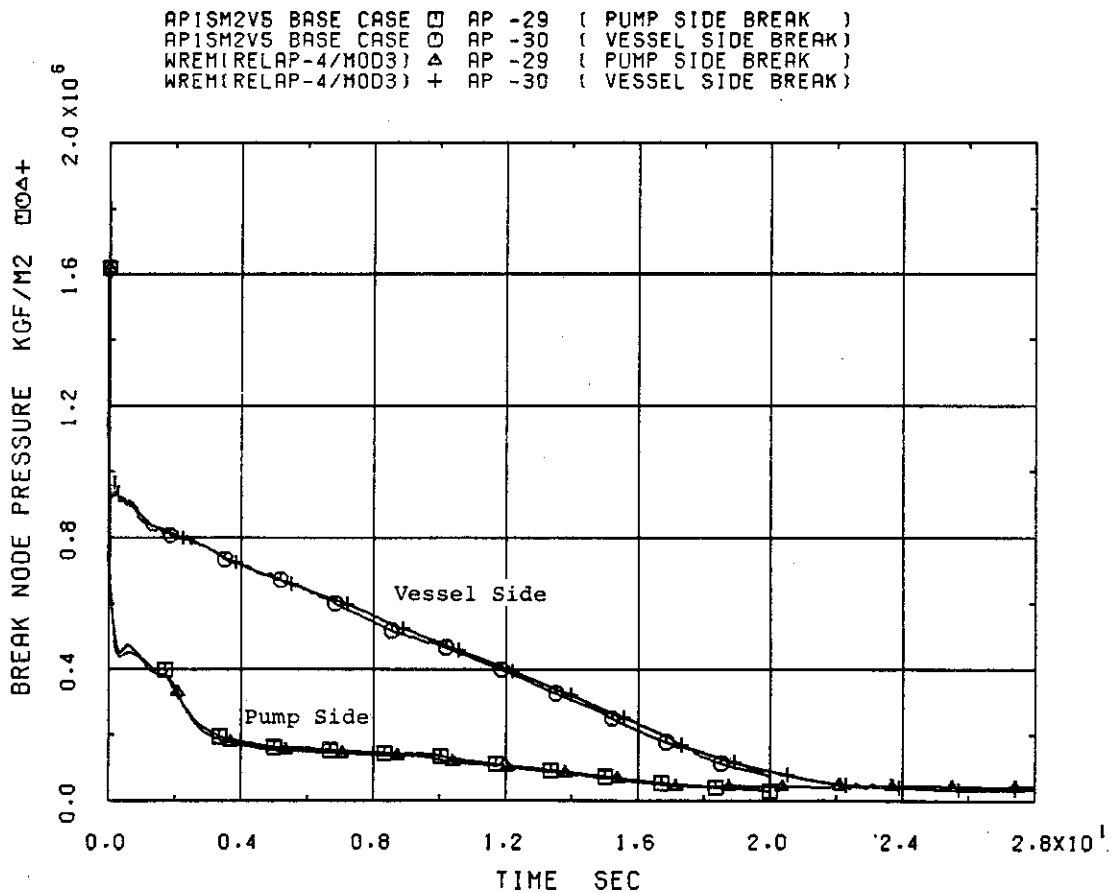


Fig. 15 Average Pressure in Broken Loop Hot Leg and Cold Leg

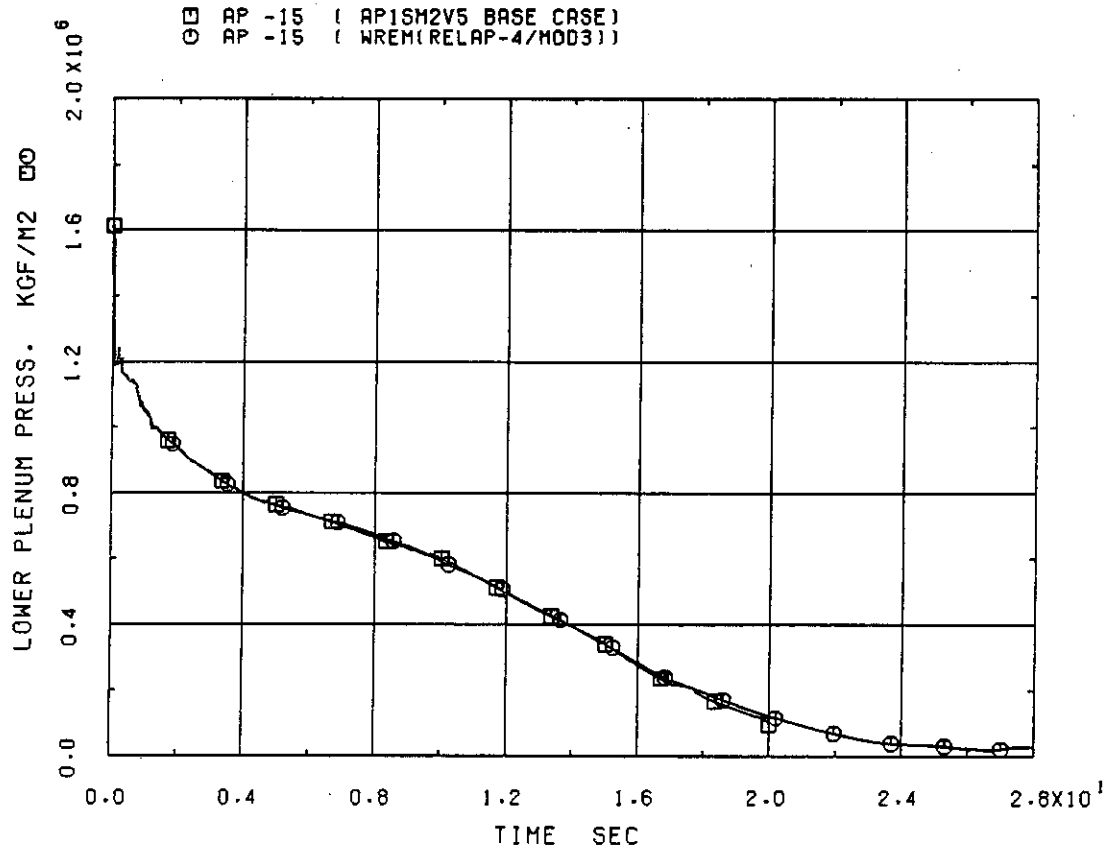


Fig. 16 Average Pressure in Lower-Plenum

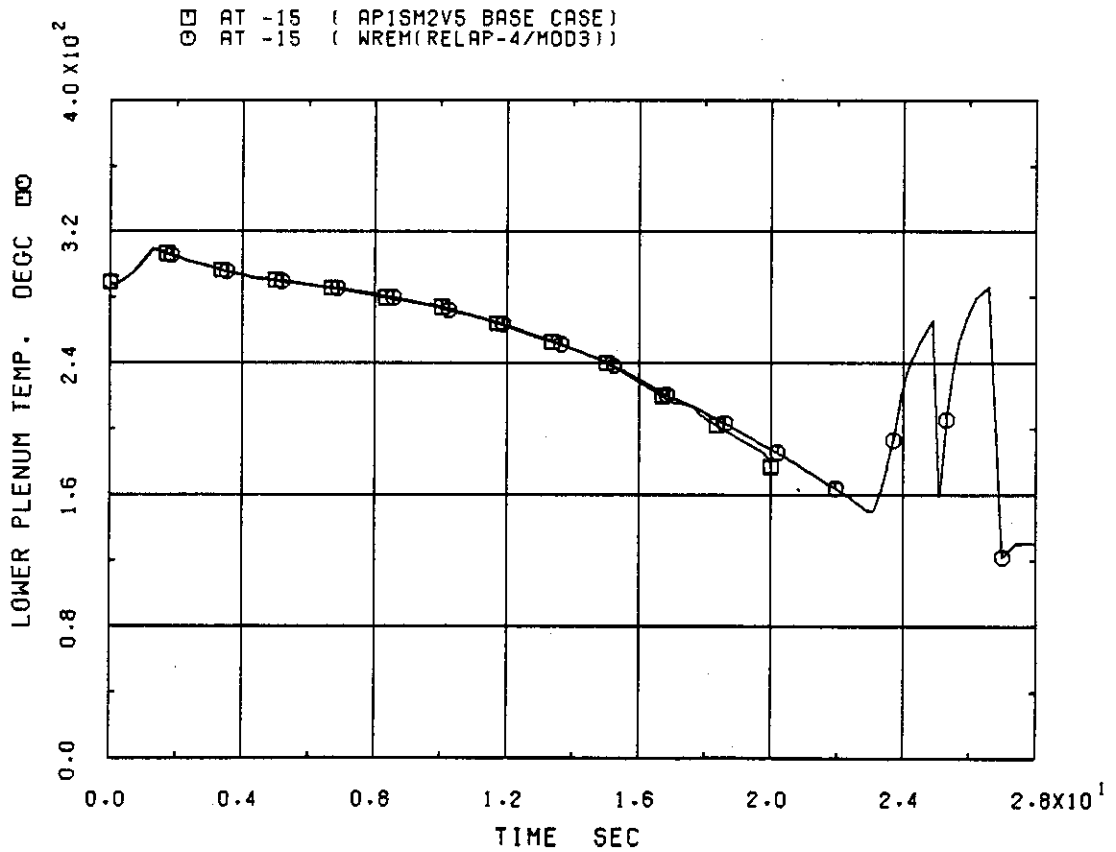


Fig. 17 Fluid Temperature in Lower-Plenum

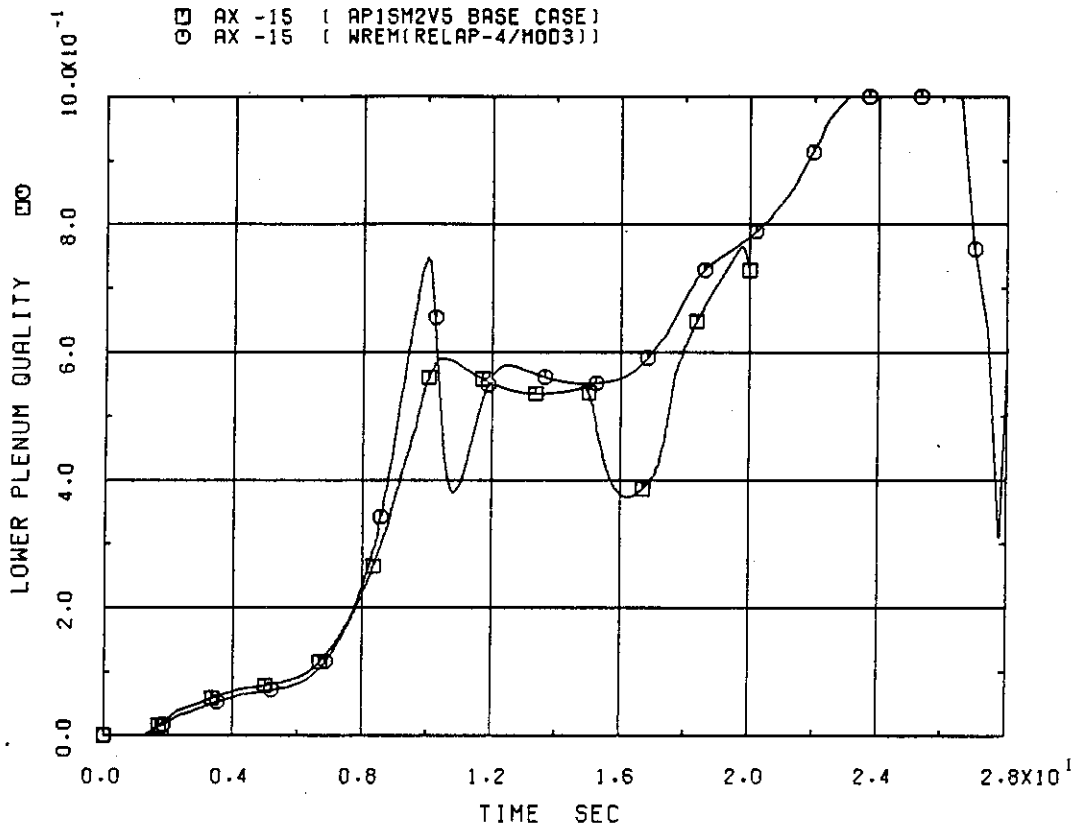


Fig. 18 Fluid Quality in Lower-Plenum

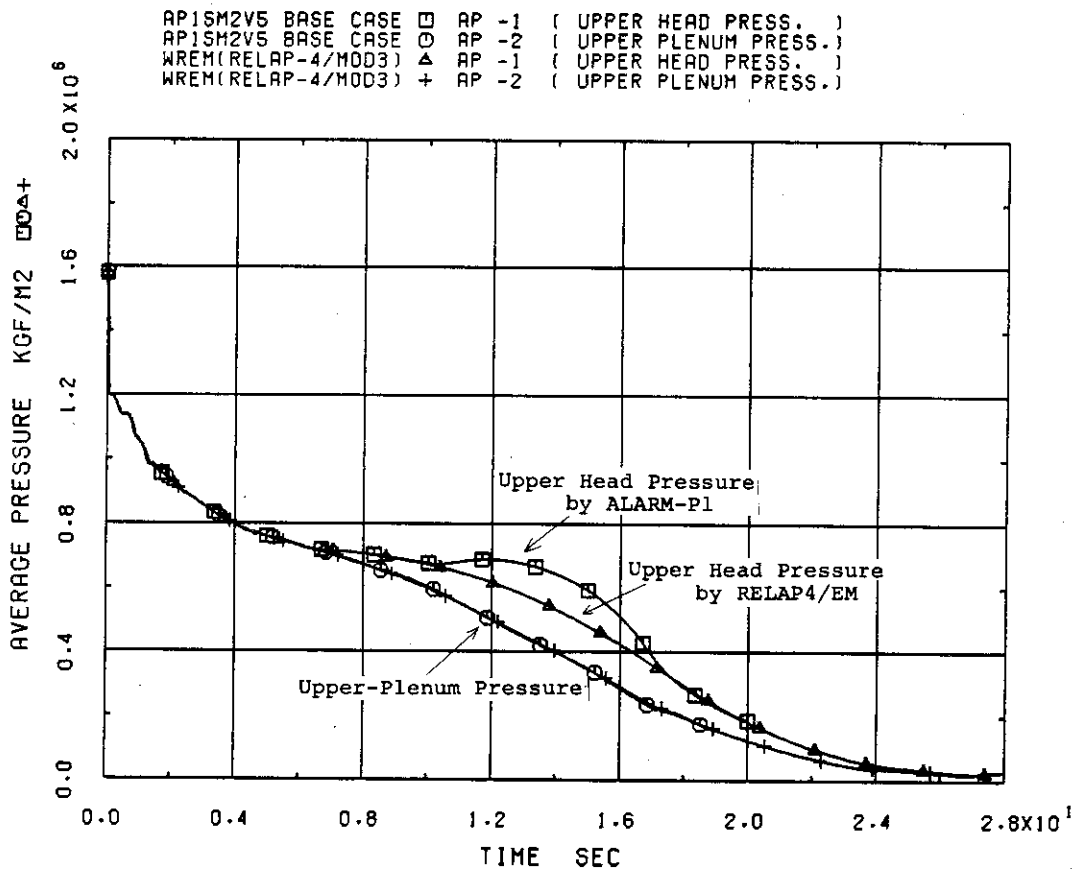


Fig. 19 Average Pressure in Upper-Plenum and Upper-Head

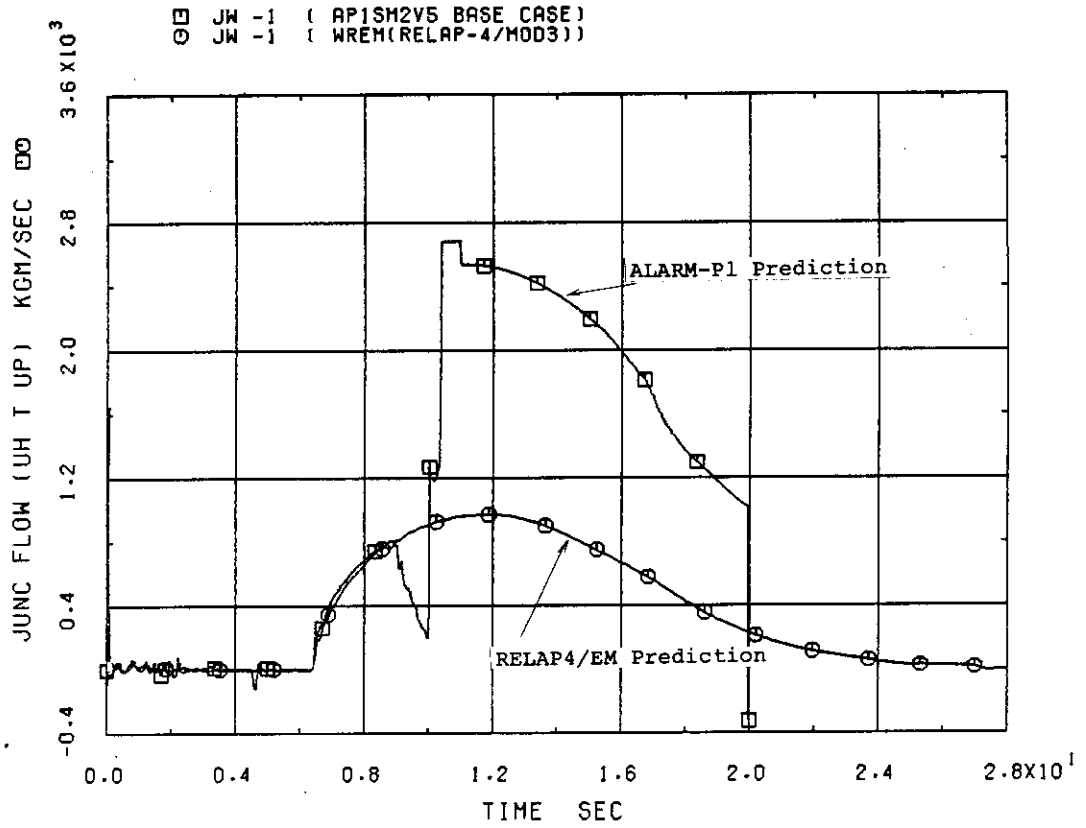


Fig. 20 Junction Flow from Upper-Head to Upper-Plenum

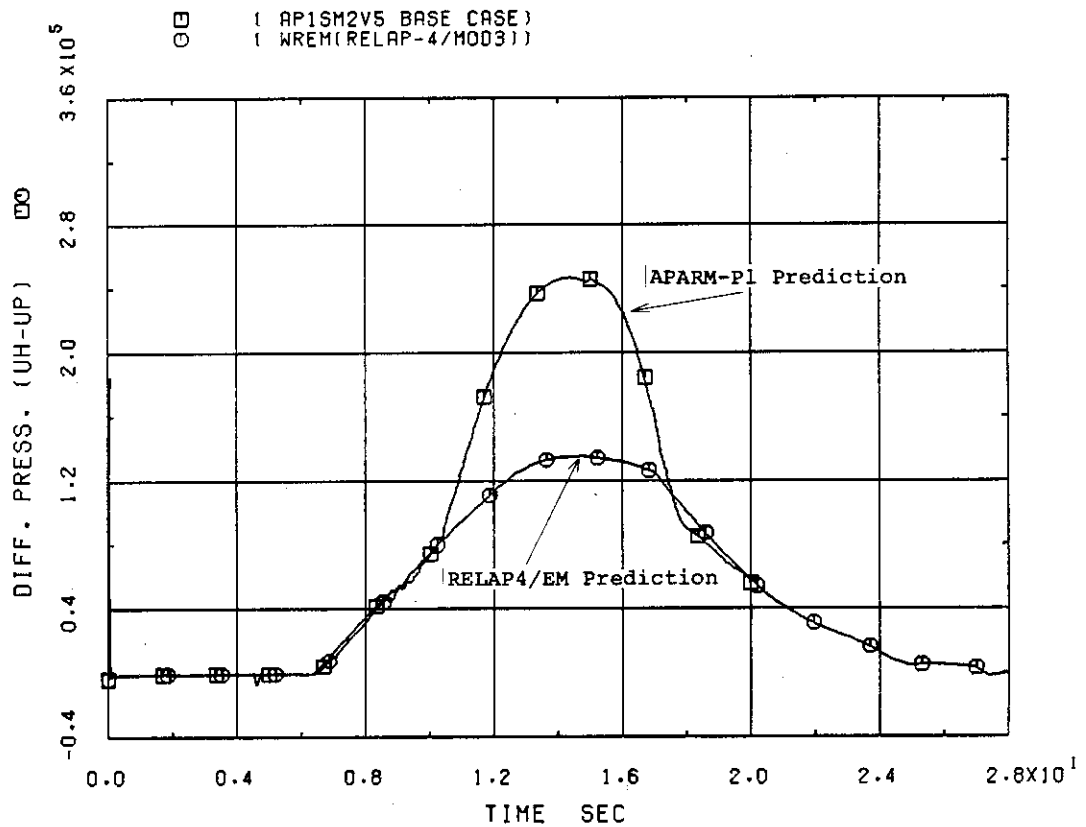


Fig. 21 Differential Pressure from Upper-Head to Upper-Plenum

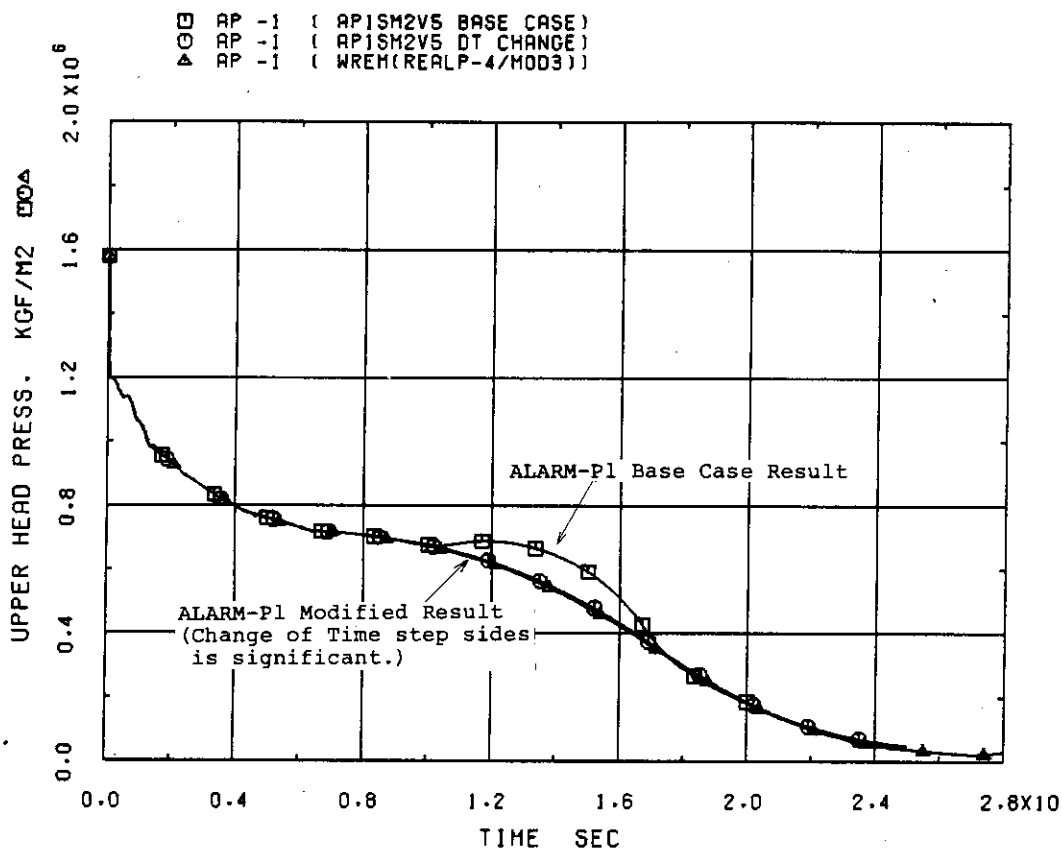


Fig. 22 Average Pressure in Upper-Head

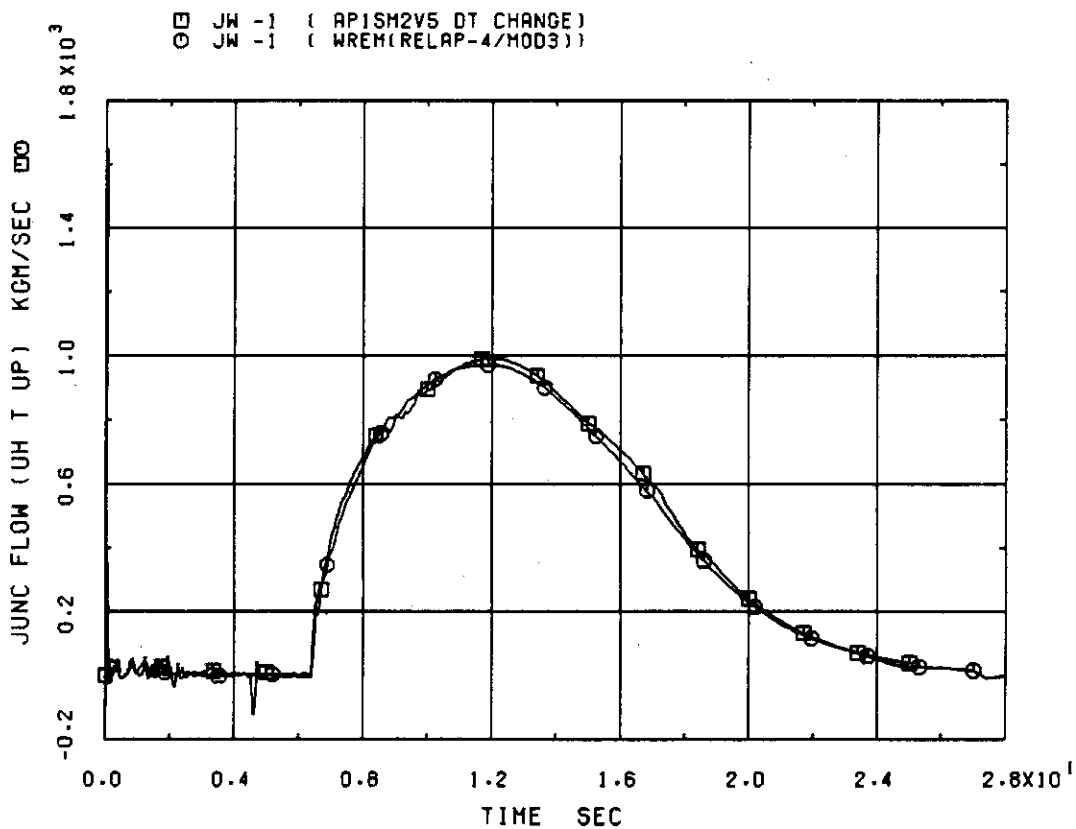


Fig. 23 Junction Flow from Upper-Head to Upper-Plenum

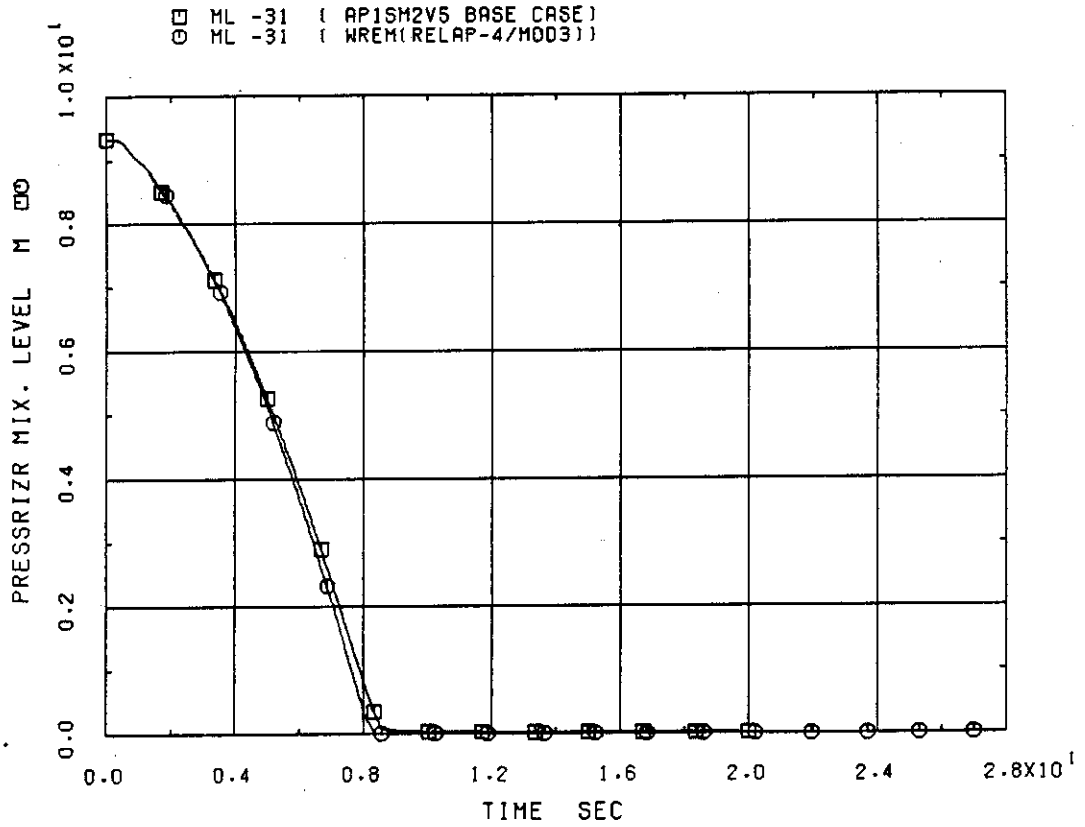


Fig. 24 Mixture Level in Pressurizer

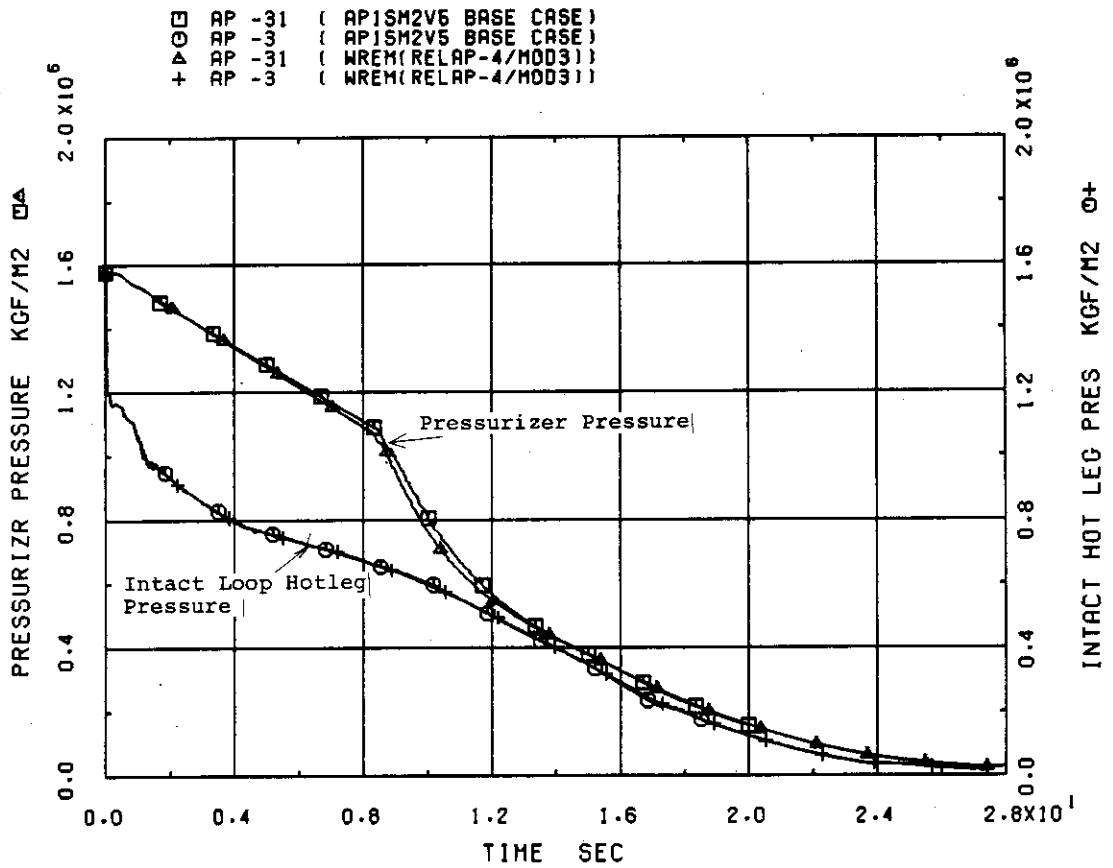


Fig. 25 Average Pressure in Pressurizer and Intact Loop Hot Leg

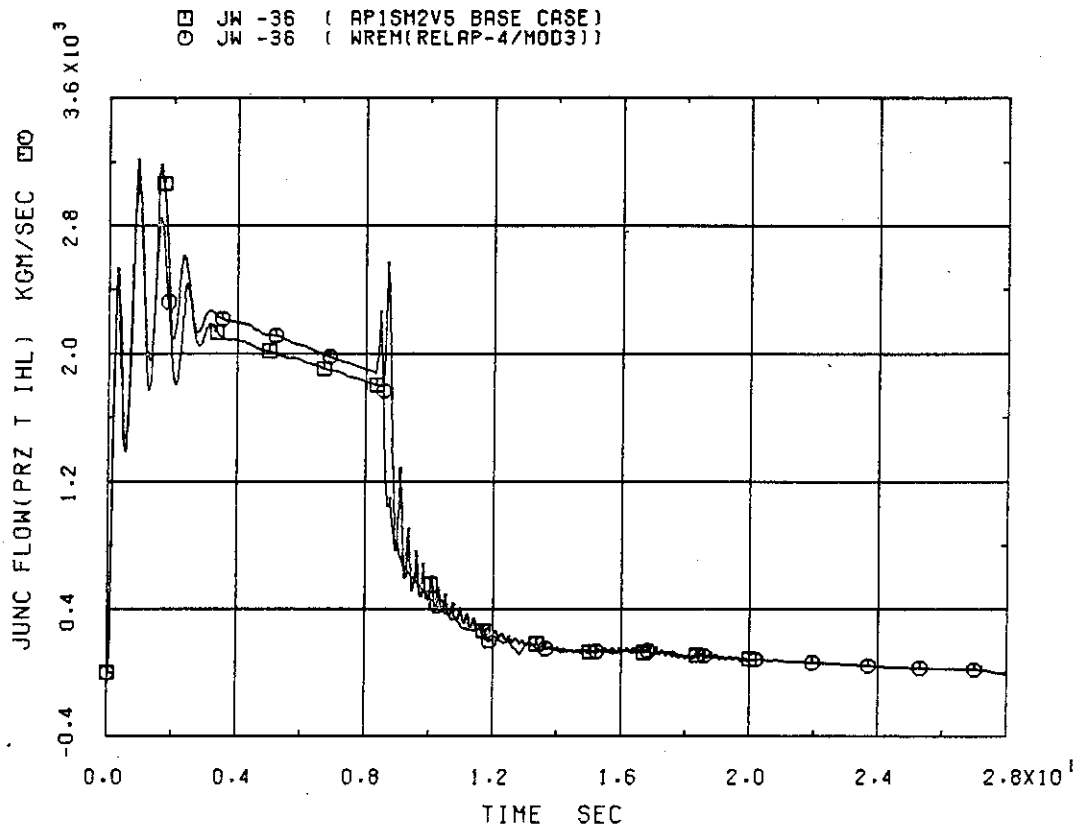


Fig. 26 Surge-line Outlet Flow

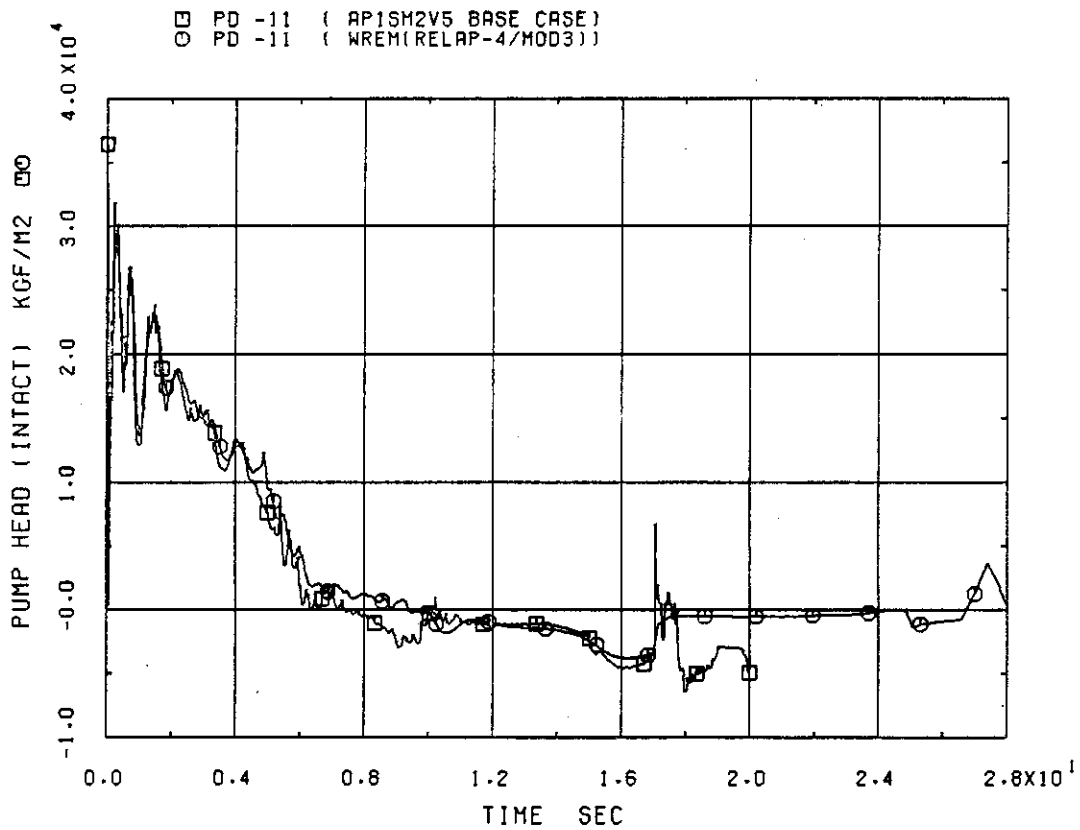


Fig. 27 Pump Head (Intact Loop)

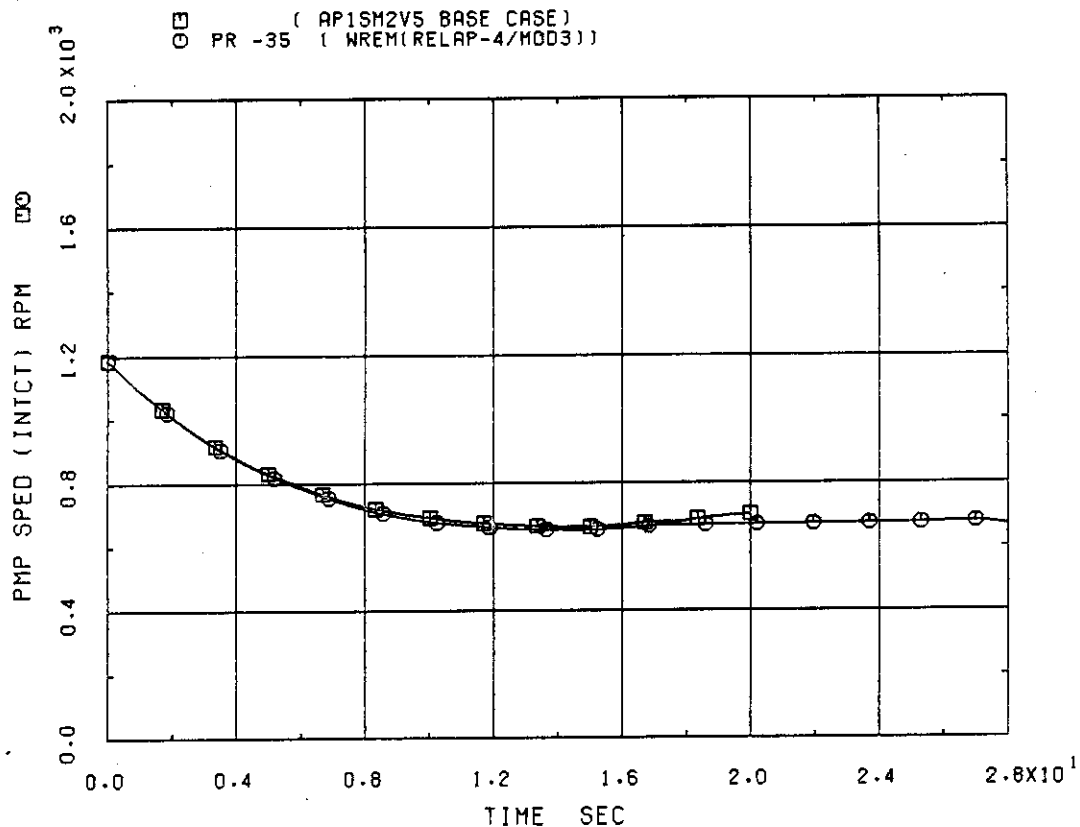


Fig. 28 Pump Speed (Intact Loop)

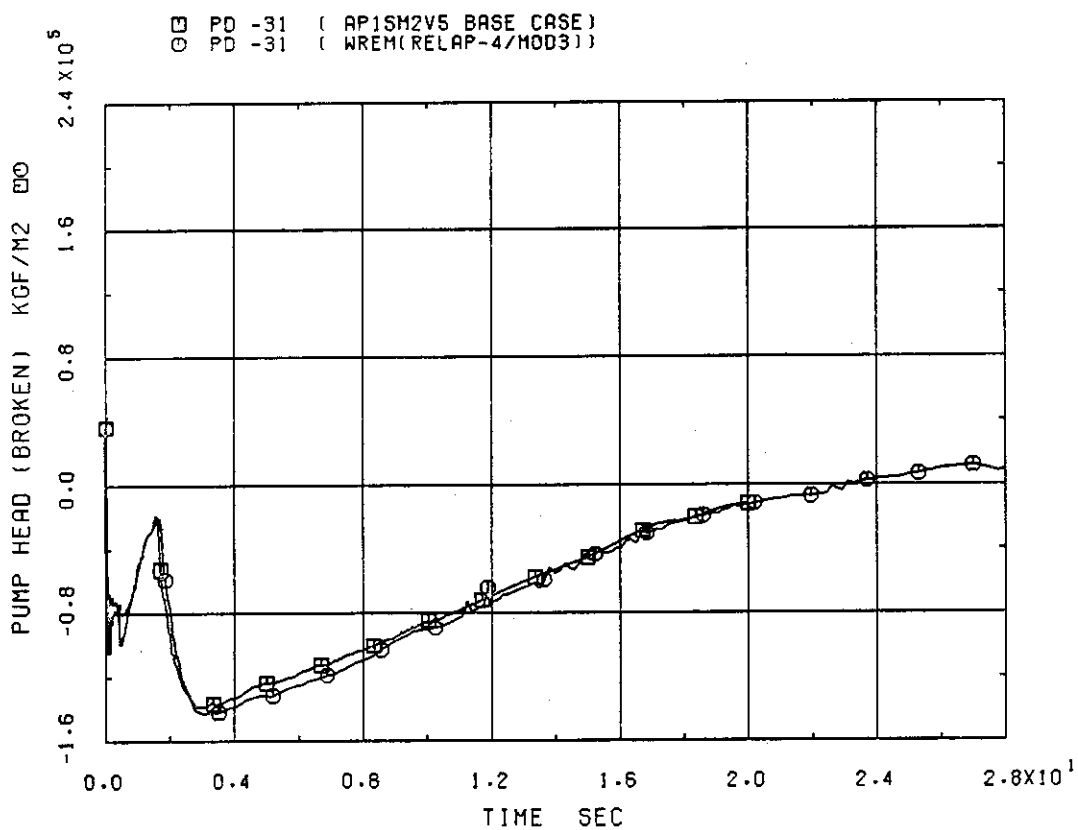


Fig. 29 Pump Head (Broken Loop)

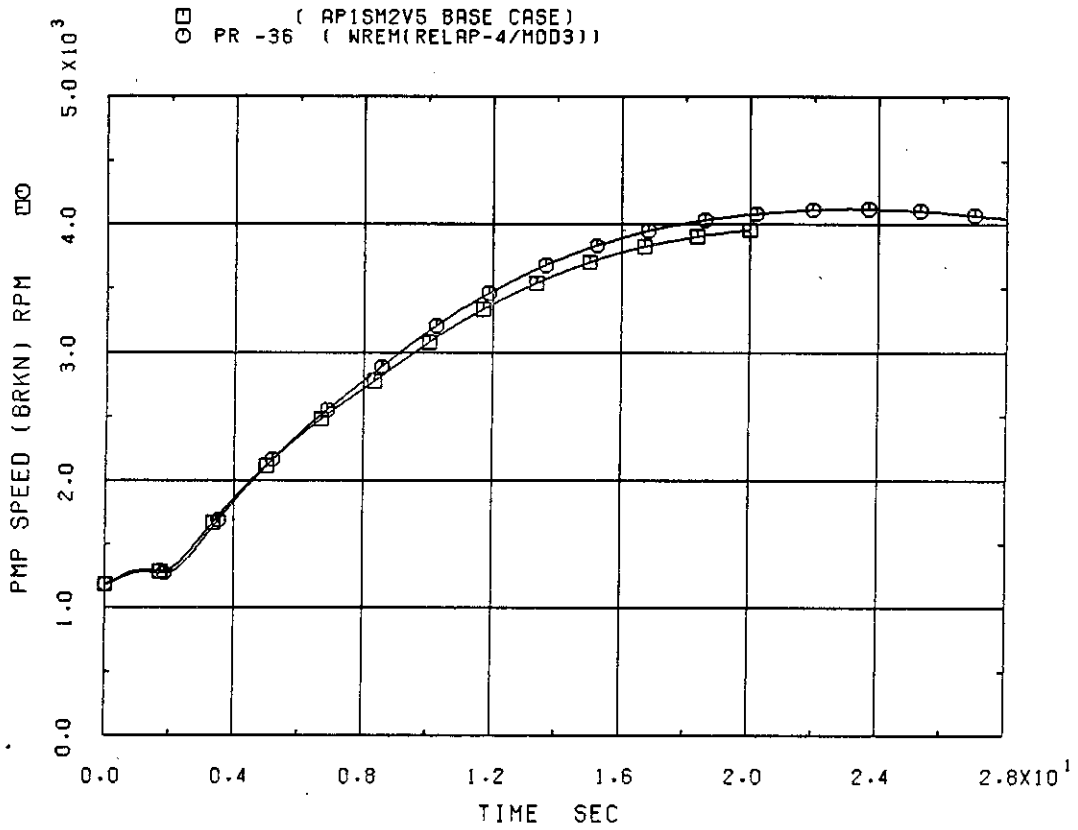


Fig. 30 Pump Speed (Broken Loop)

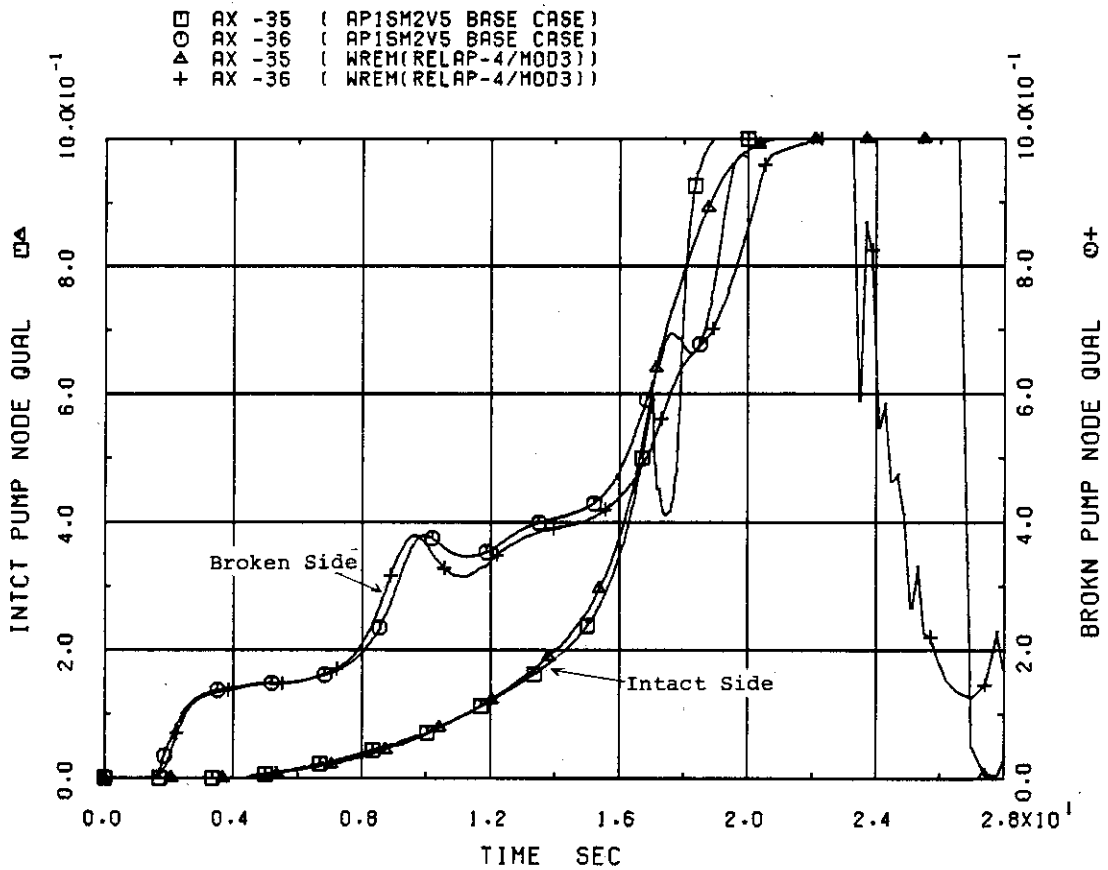


Fig. 31 Pump Node Quality

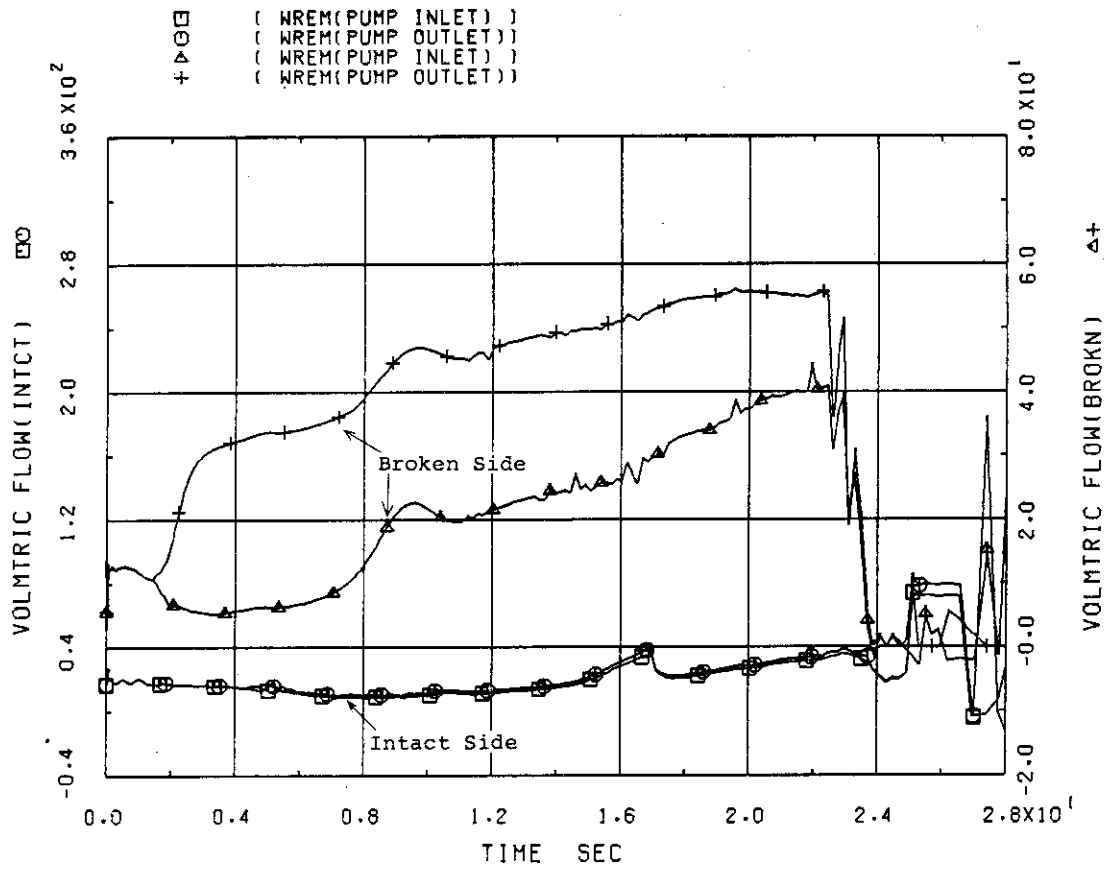


Fig. 32 Volumetric Flow Rate at Pump Inlet and Outlet

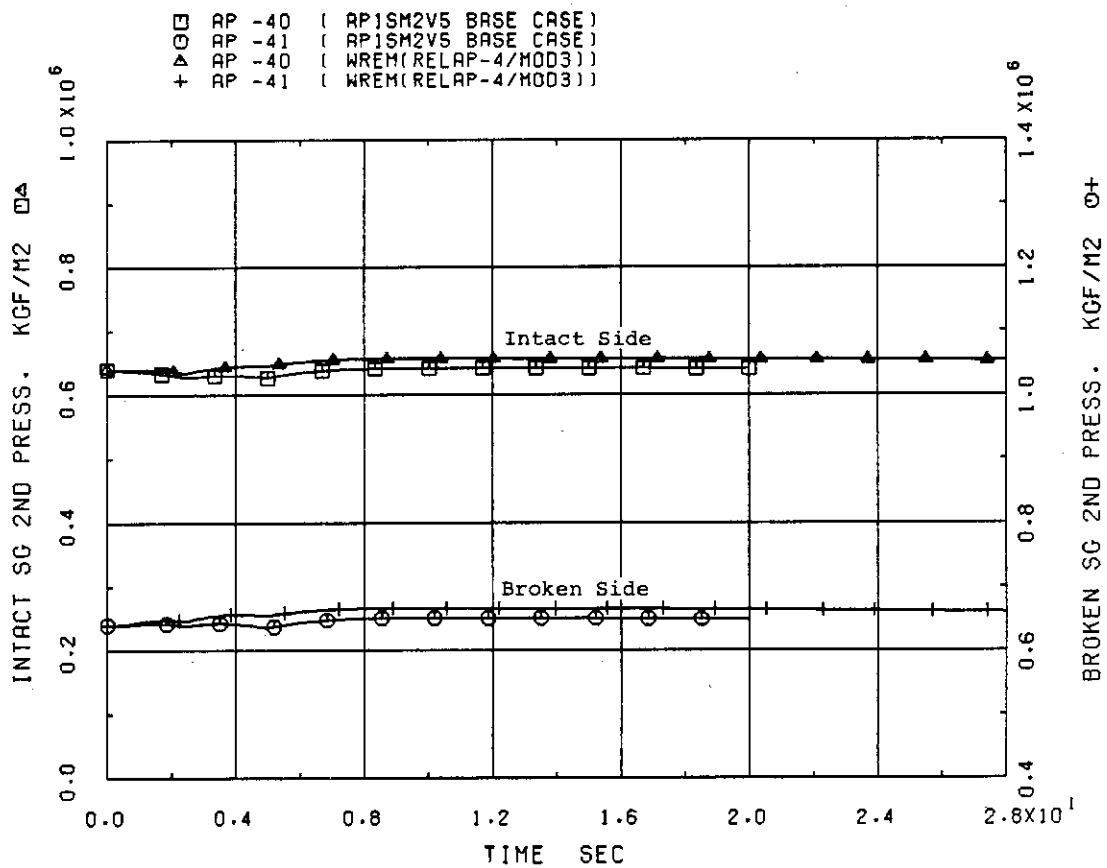


Fig. 33 Steam Generator Secondary Pressure

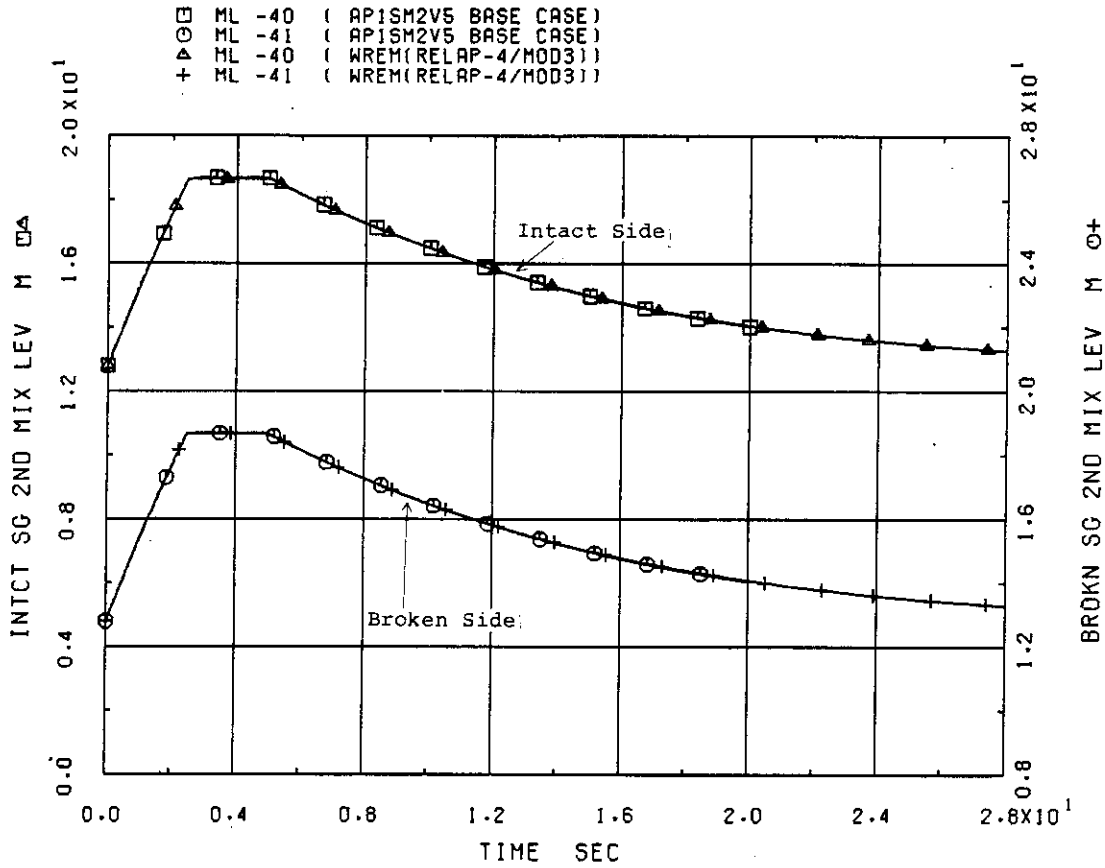


Fig. 34 Mixture Level in Steam Generator Secondary

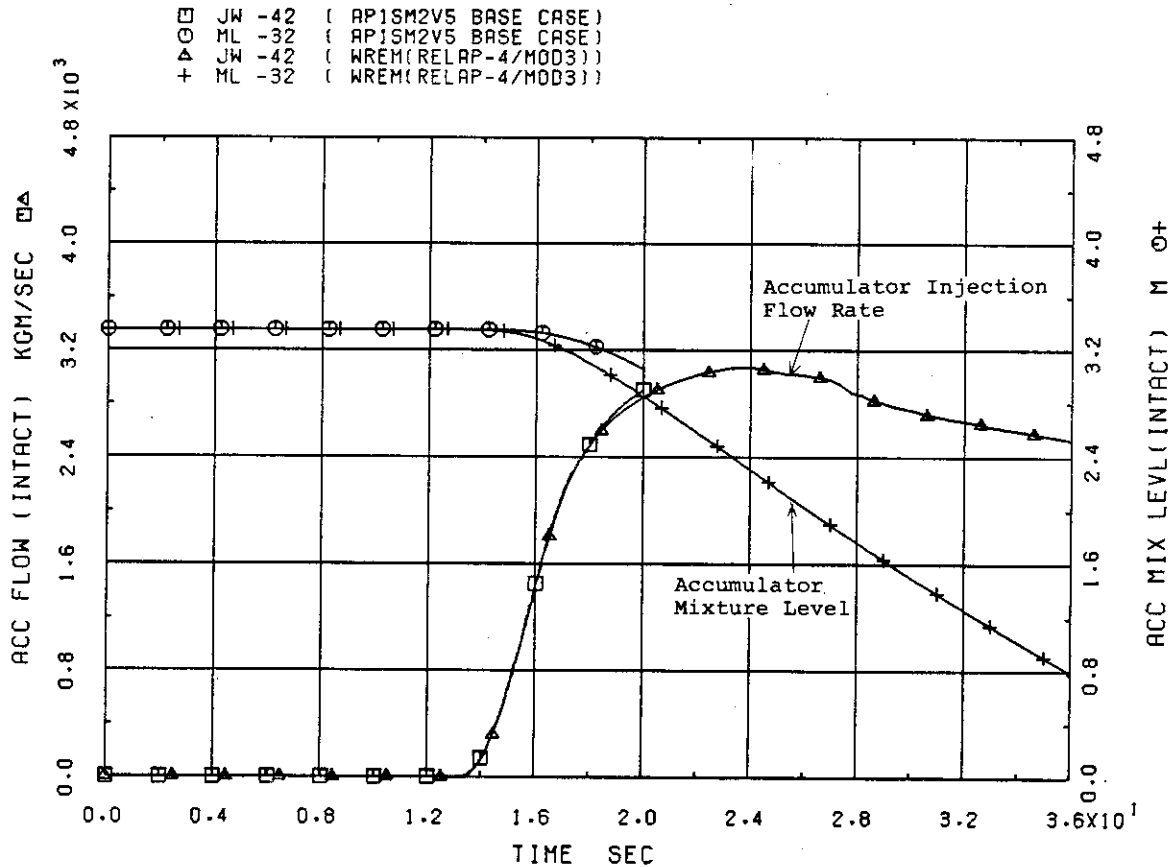


Fig. 35 Accumulator Injection Flow Rate and Mixture Level (intact Side)

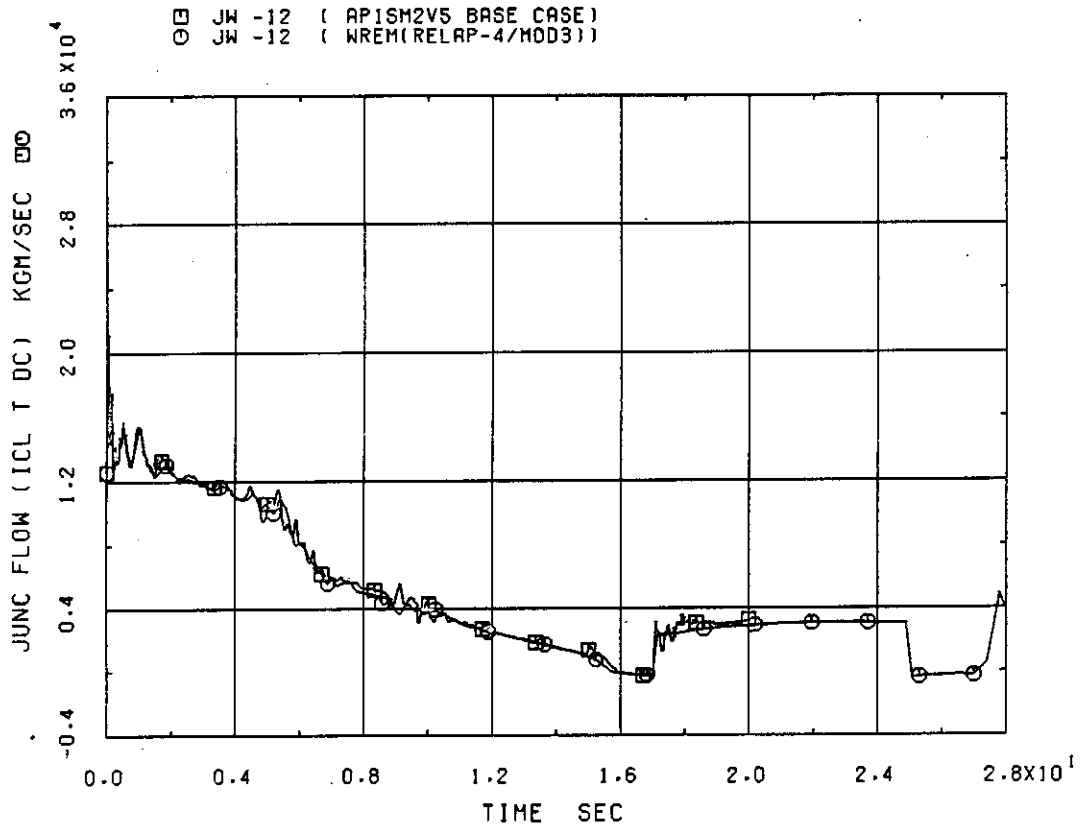


Fig. 36 Junction Flow from Intact Loop Cold Leg to Downcomer

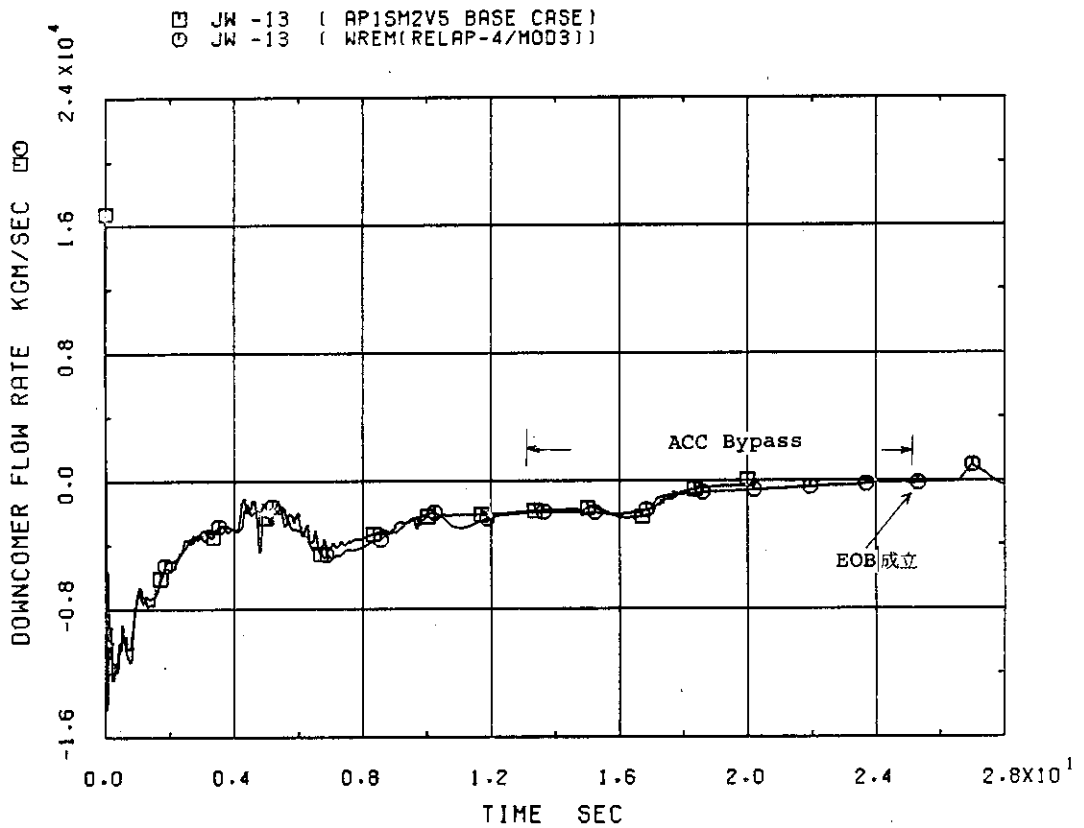


Fig. 37 Downcomer Flow

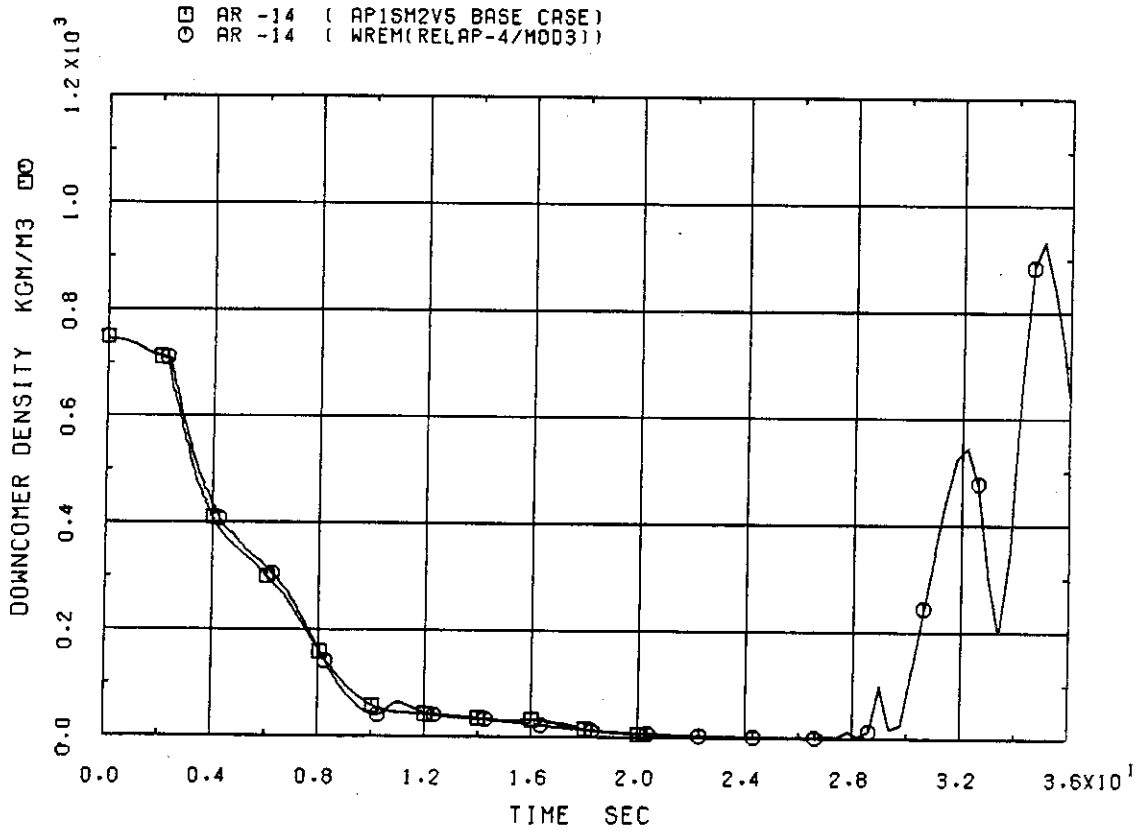


Fig. 38 Lower Downcomer Density History

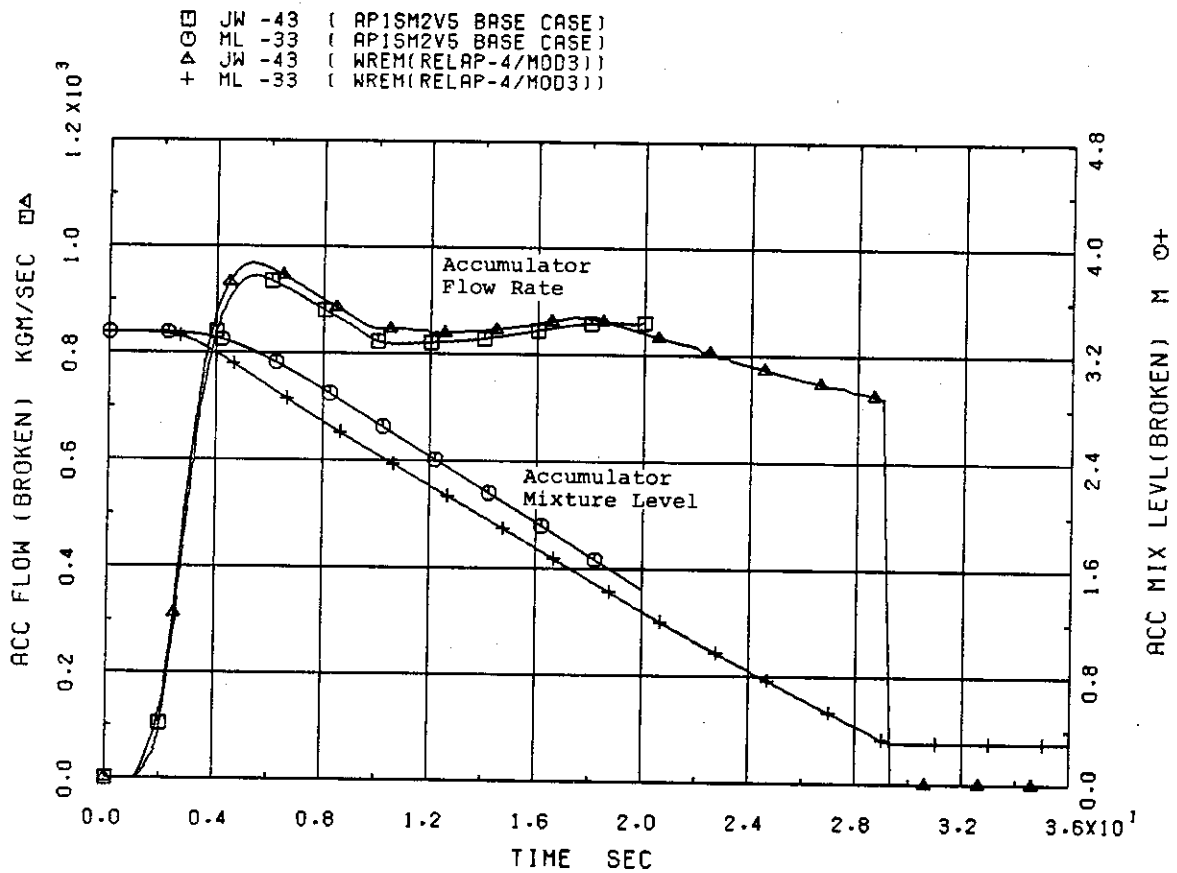


Fig. 39 Accumulator Injection Flow Rate and Mixture Level (Broken Side)

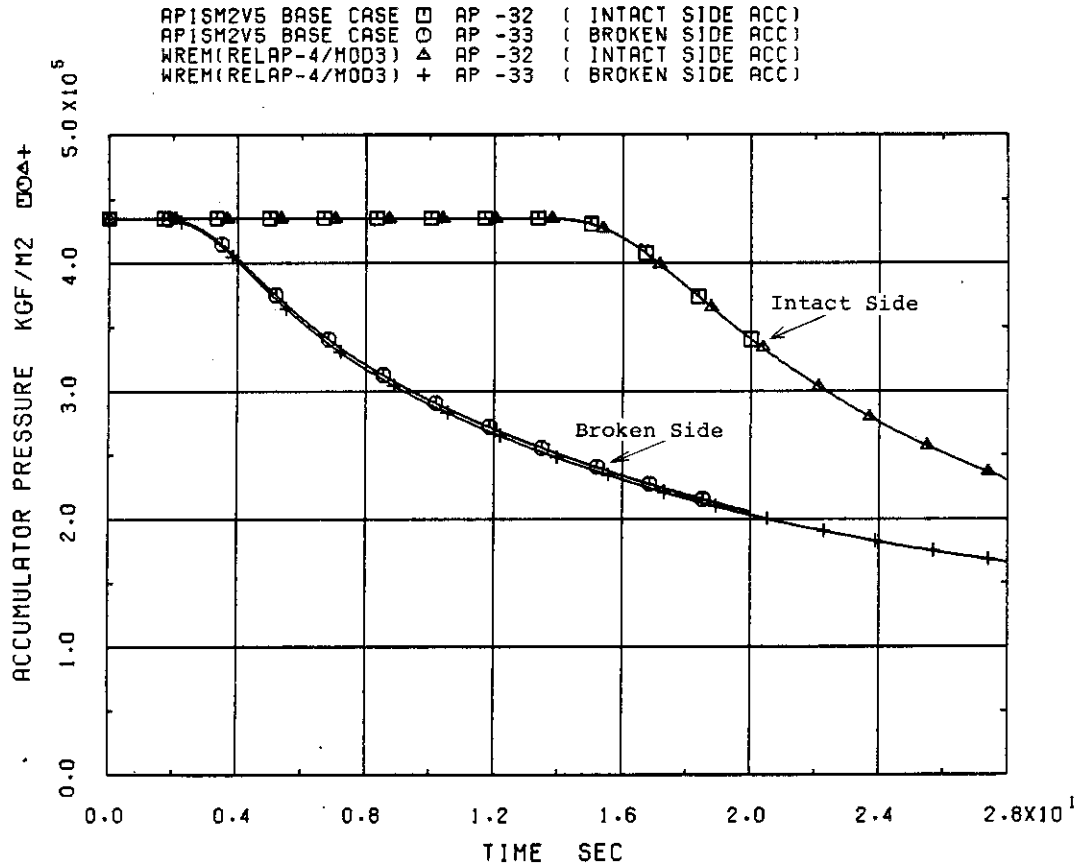


Fig. 40 Average Pressure in Accumulator

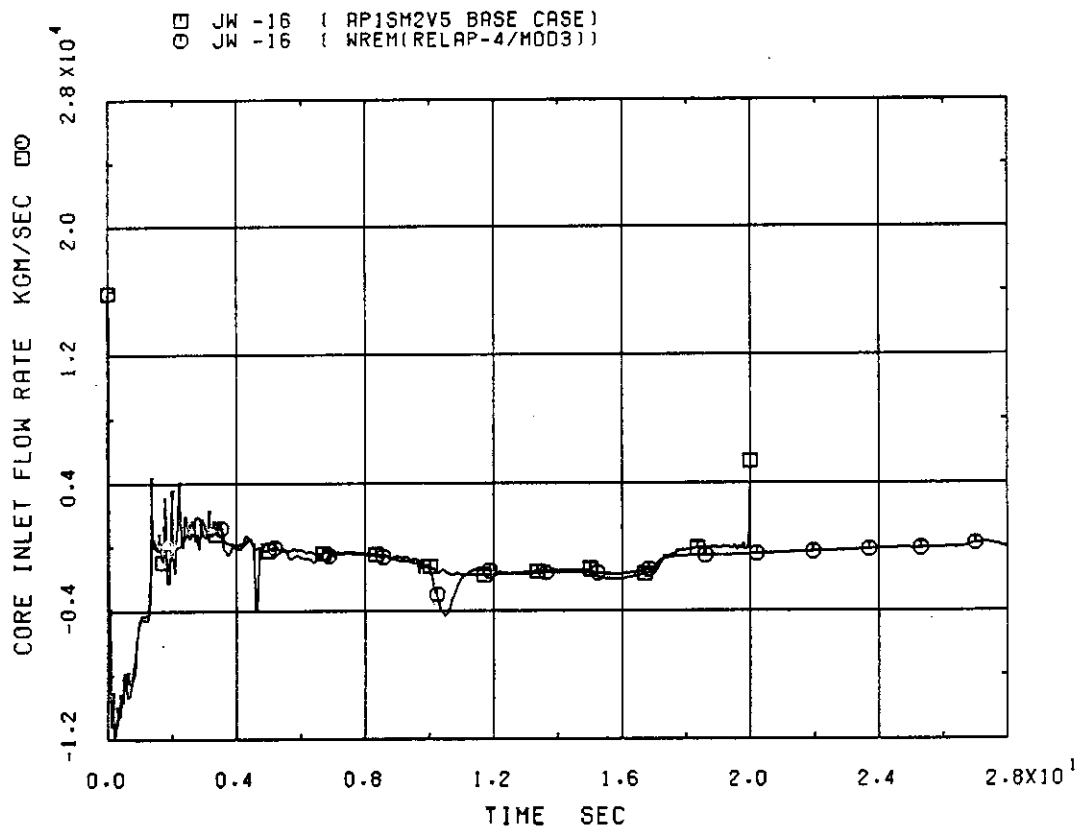


Fig. 41 Core Inlet Flow Rate

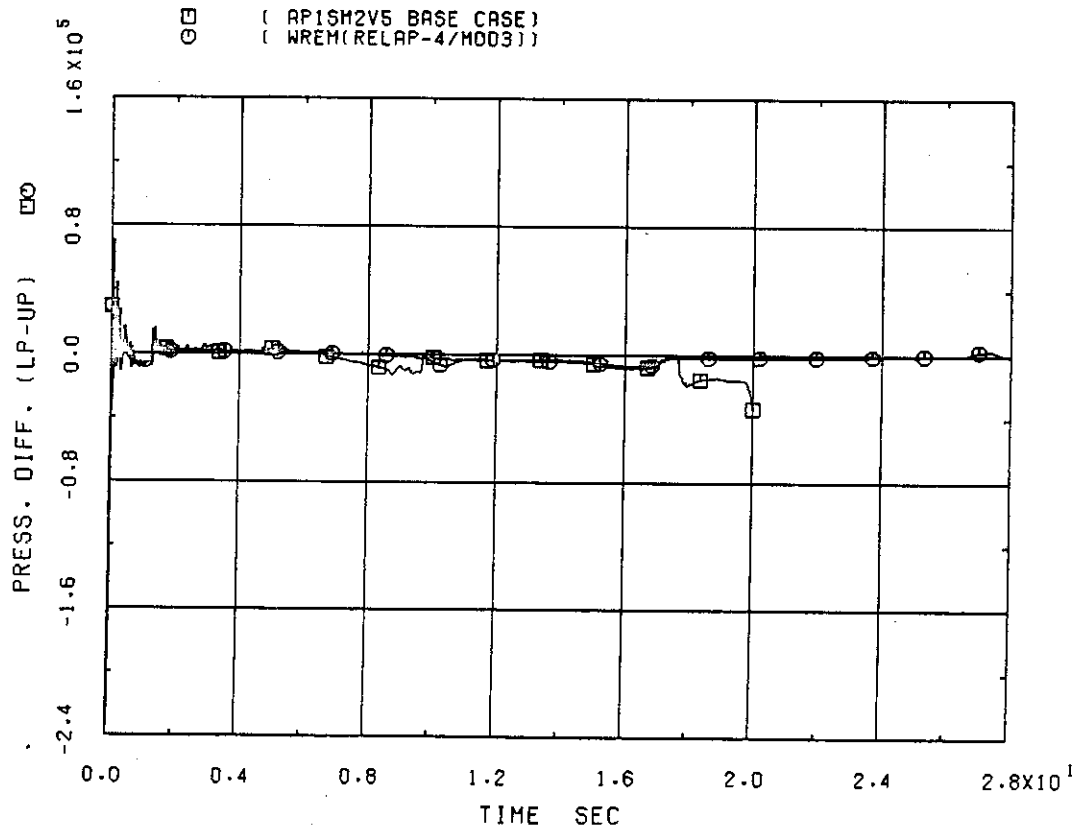


Fig. 42 Differential Pressure between Lower-Plenum and Upper-Plenum

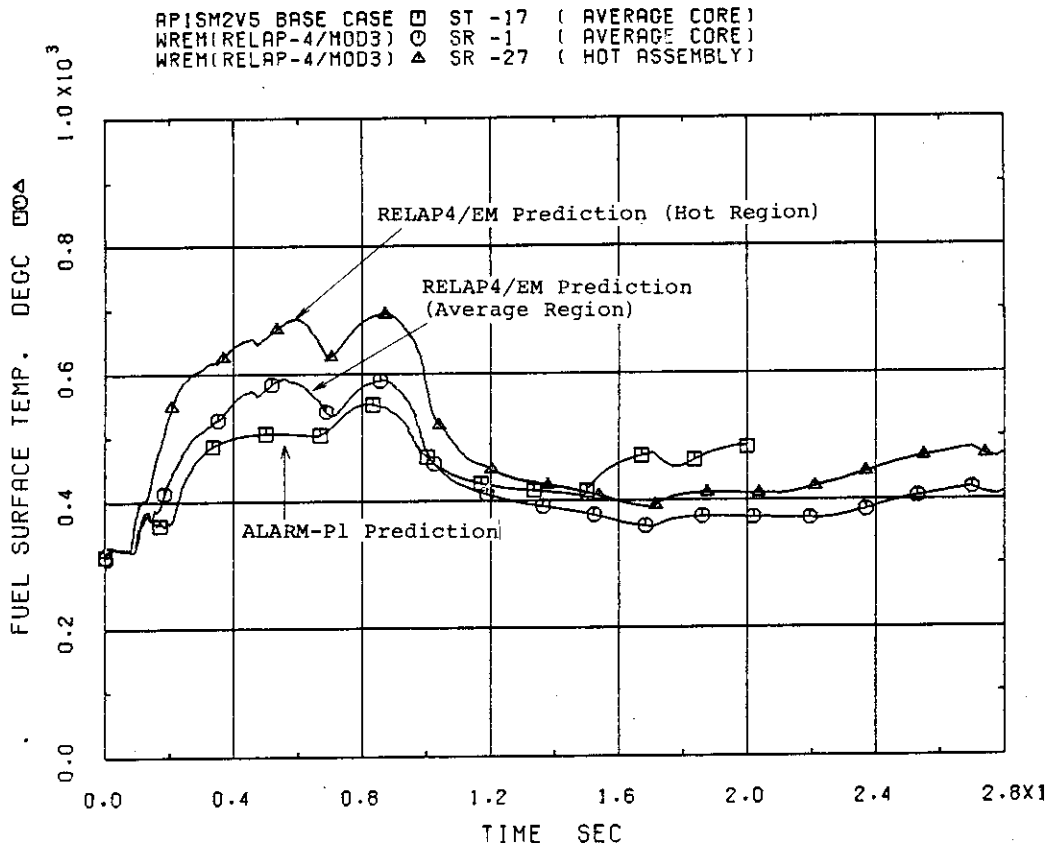


Fig. 43.A Clad Surface Temperature History at Lower Region

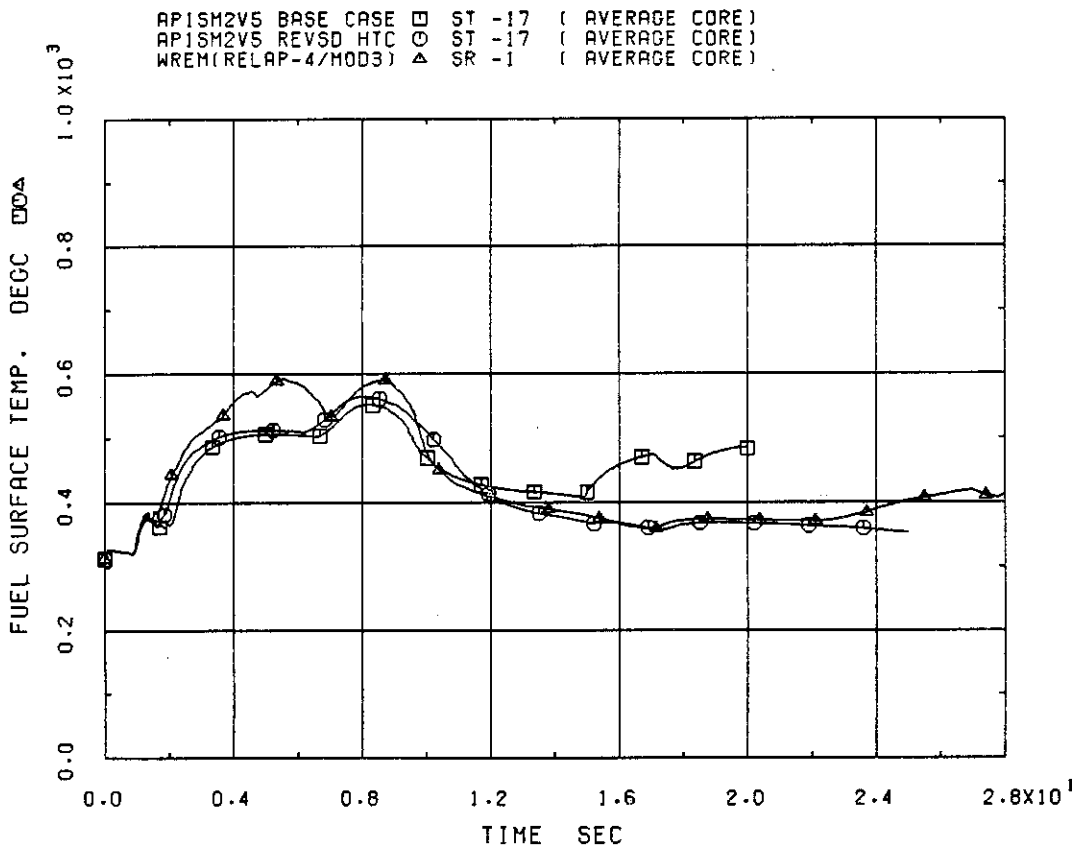


Fig. 43.B Clad Surface Temperature History at Lower Region by Revised Version

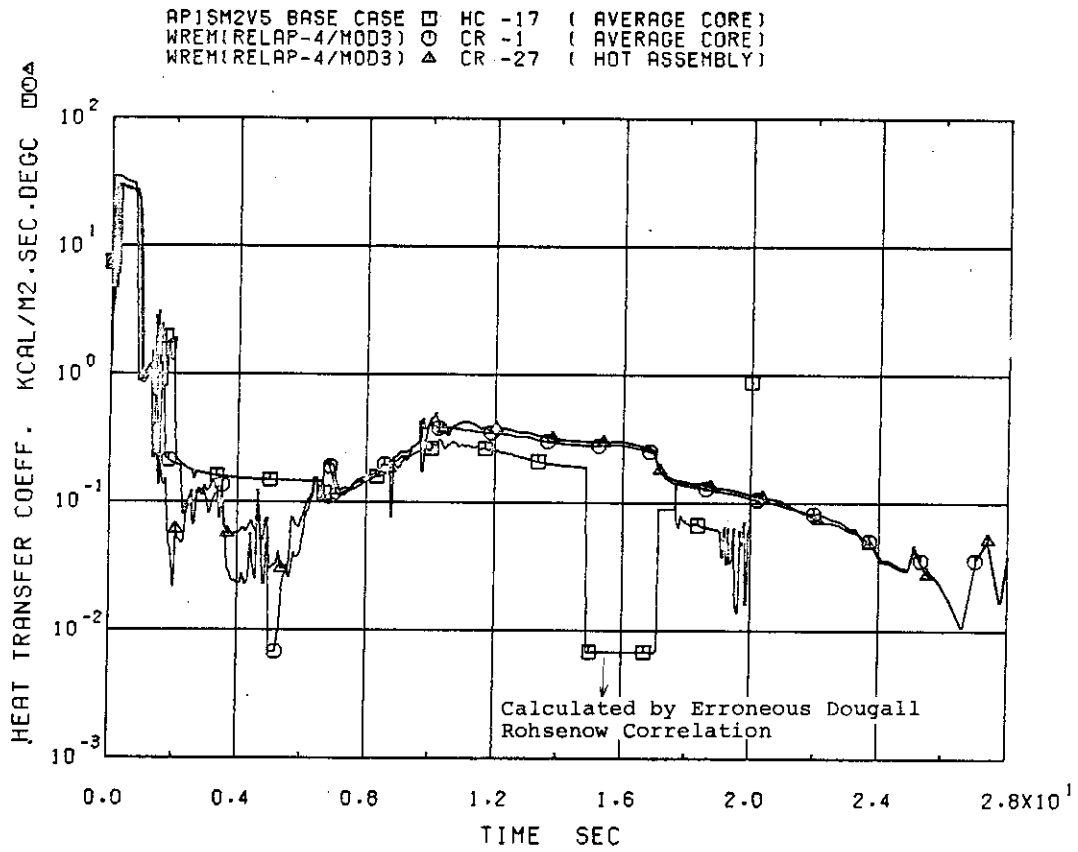


Fig. 44.A Heat Transfer Coefficient at Lower Region

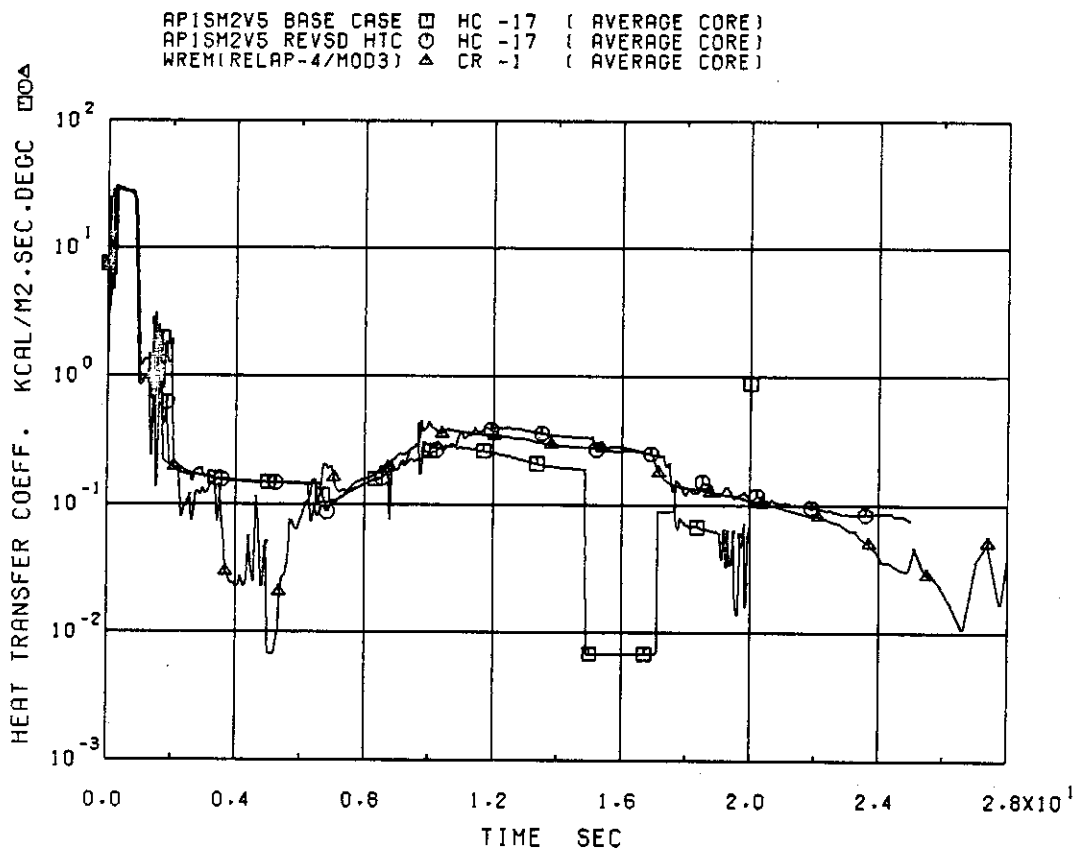


Fig. 44.B Heat Transfer Coefficient at Lower Region by Revised Version

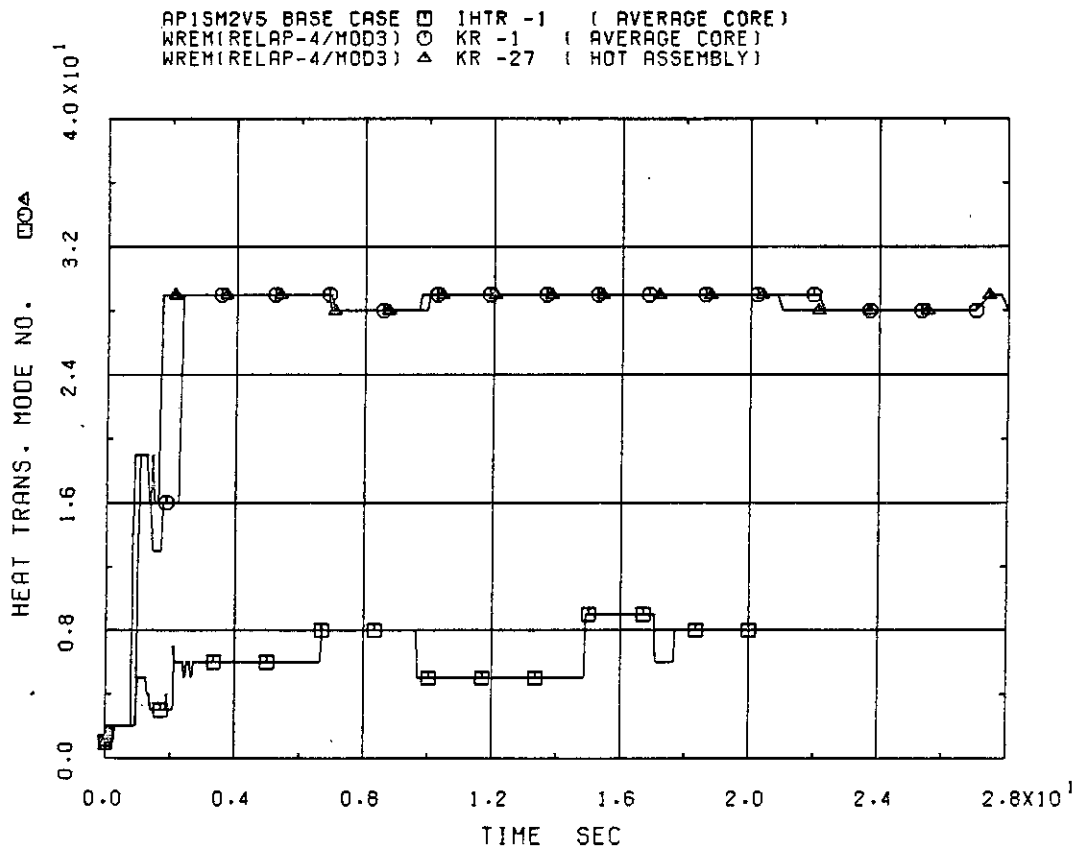


Fig. 45 Heat Transfer Mode of Clad Surface at Lower Region

(Note)

- Mode 1: Forced convection in subcooled liquid
- Mode 2: Nucleate boiling
- Mode 3: Forced convection vaporization
- Mode 4: Transition boiling
- Mode 5: Stable film boiling
- Mode 6: Pool film boiling
- Mode 7: Transition pool boiling
- Mode 8: Forced convection in superheated vapor
- Mode 9: Low pressure flow film boiling

RELAP4-EMの熱伝達モードは、CHFを越えた場合、便宜上その熱伝達モードに10を加え、又、遷移沸騰への復帰を除外するために（過熱度が300°Fを越えると遷移沸騰領域への回避条件として）20を加算している。

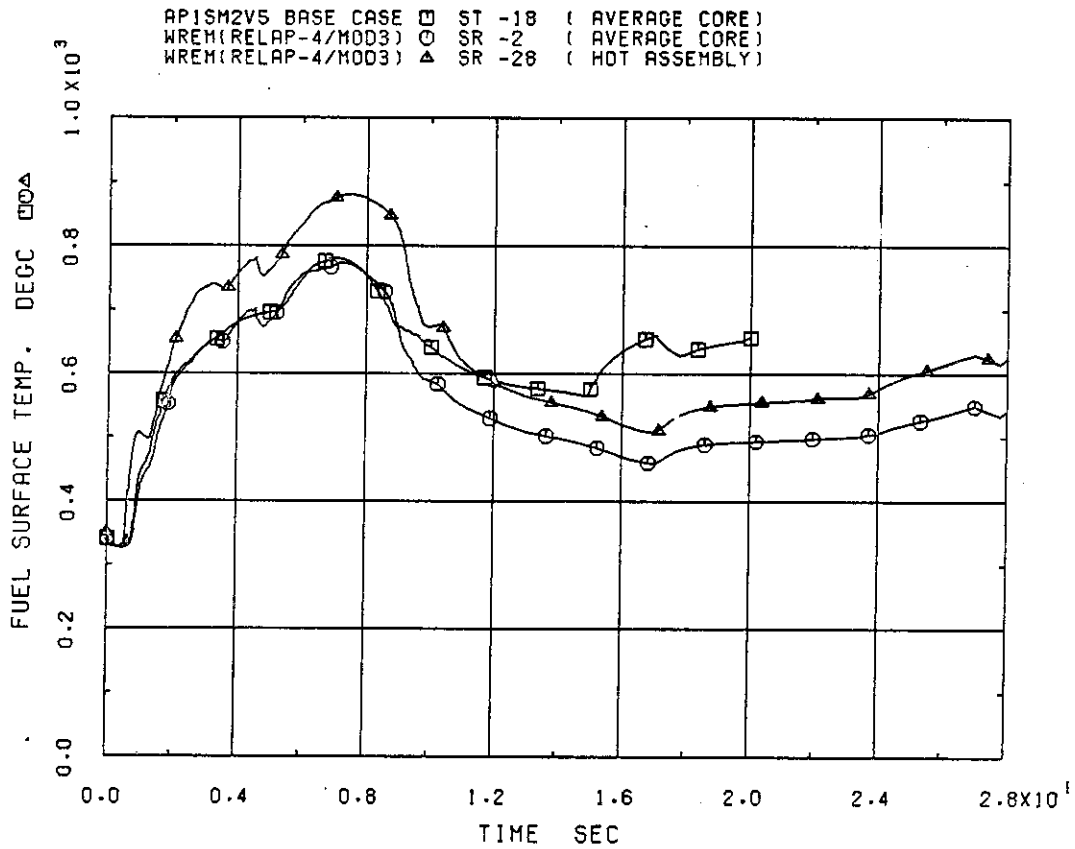


Fig. 46.A Clad Surface Temperature History at Middle Region

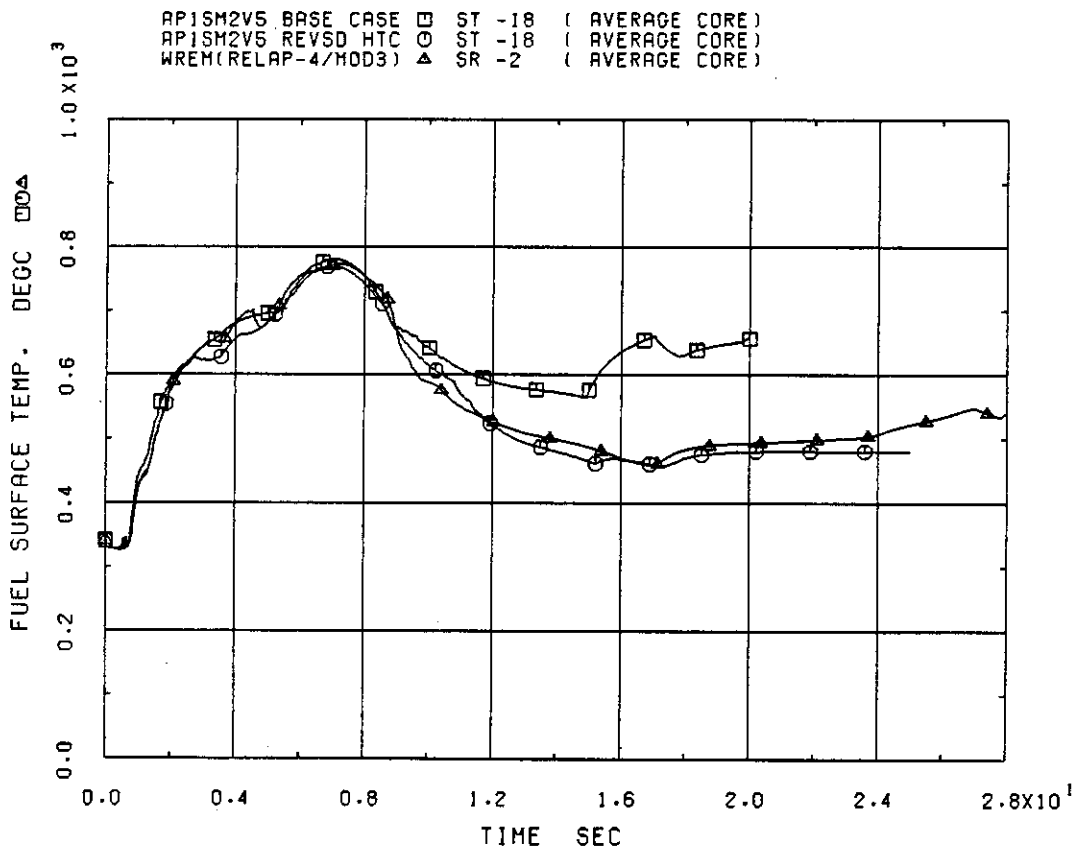


Fig. 46.B Clad Surface Temperature History at Middle Region by Revised Version

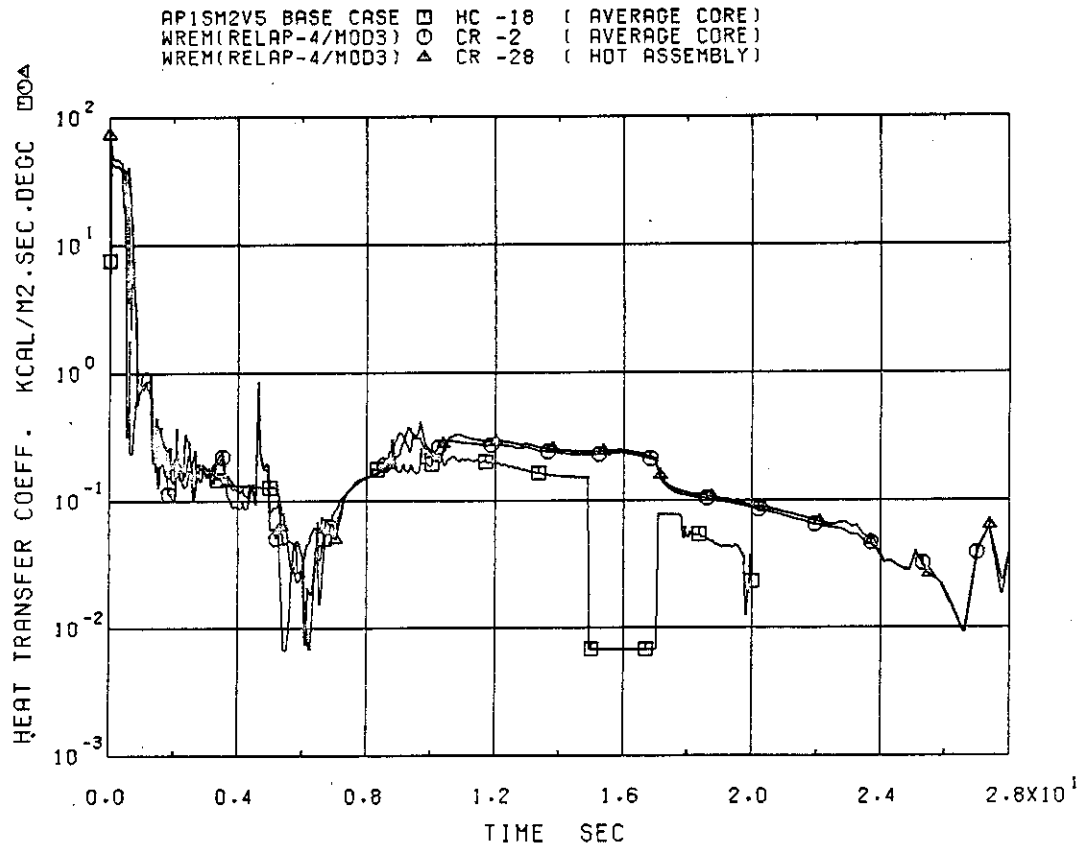


Fig. 47.A Heat Transfer Coefficient at Middle Region

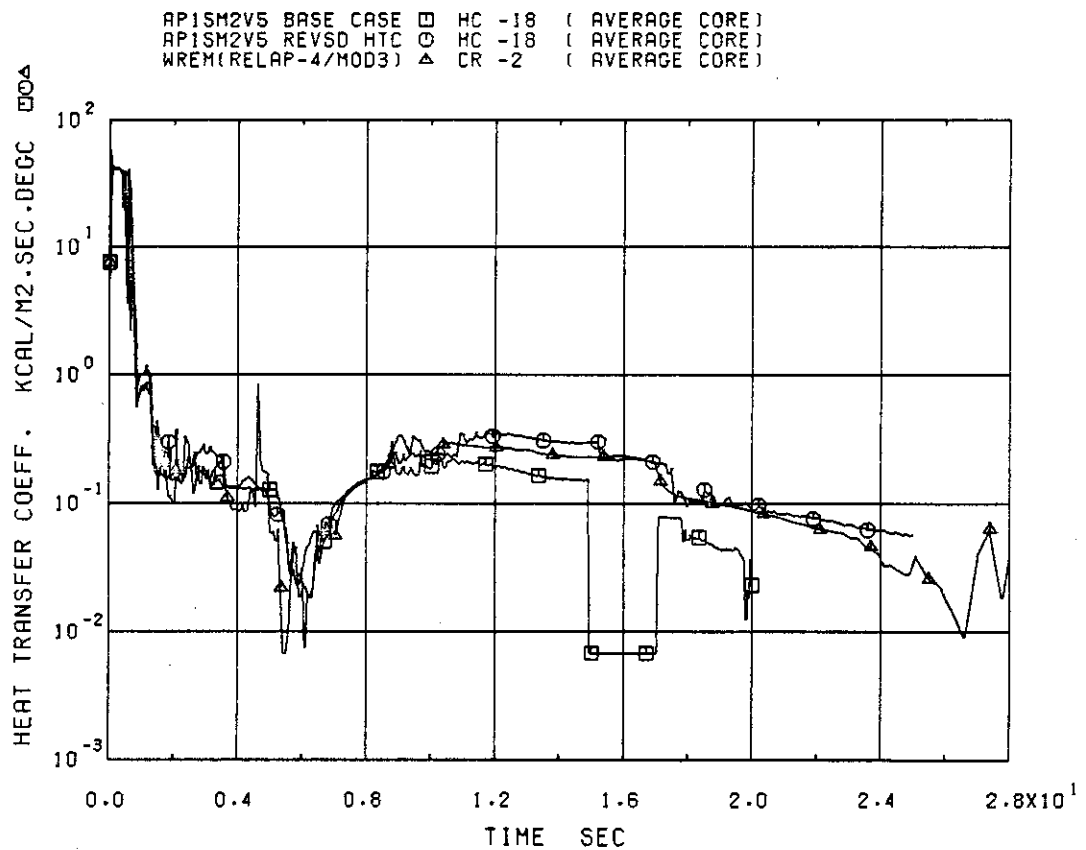


Fig. 47.B Heat Transfer Coefficient at Middle Region by Revised Version

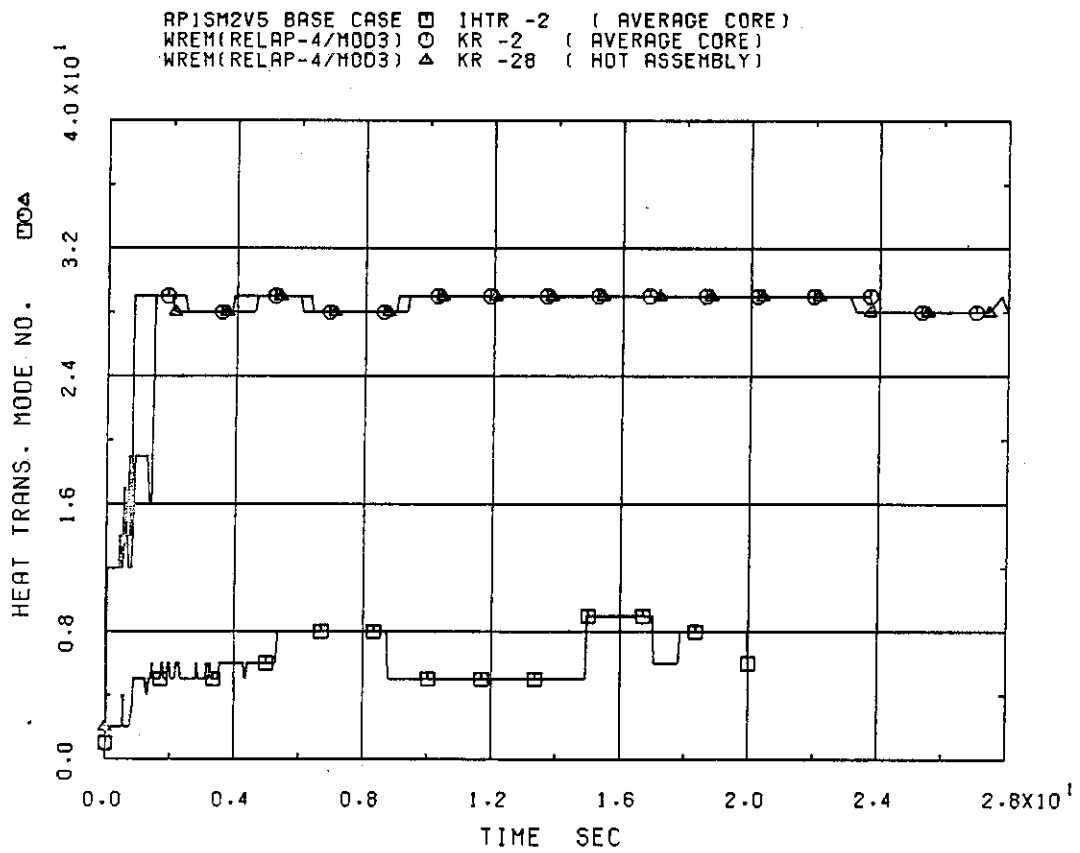


Fig. 48 Heat Transfer Mode of Clad Surface at Middle Region

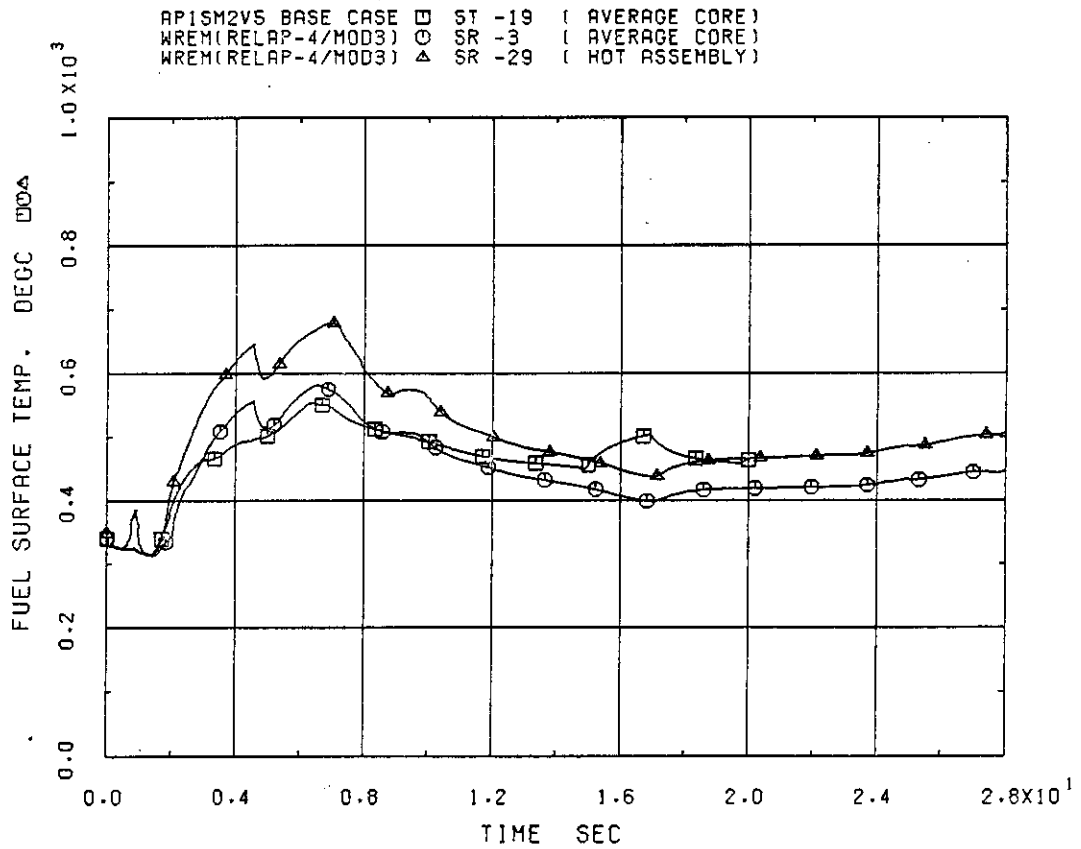


Fig. 49.A Clad Surface Temperature History at Upper Region

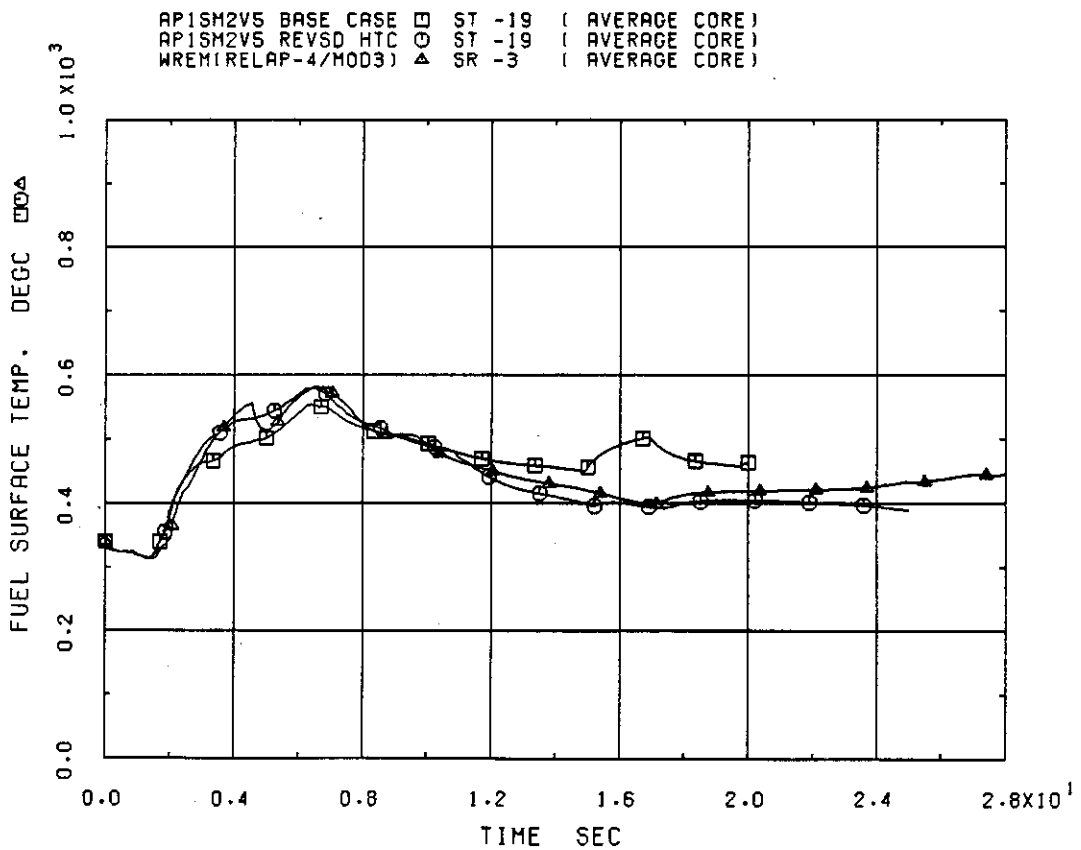


Fig. 49.B Clad Surface Temperature History at Upper Region by Revised Version

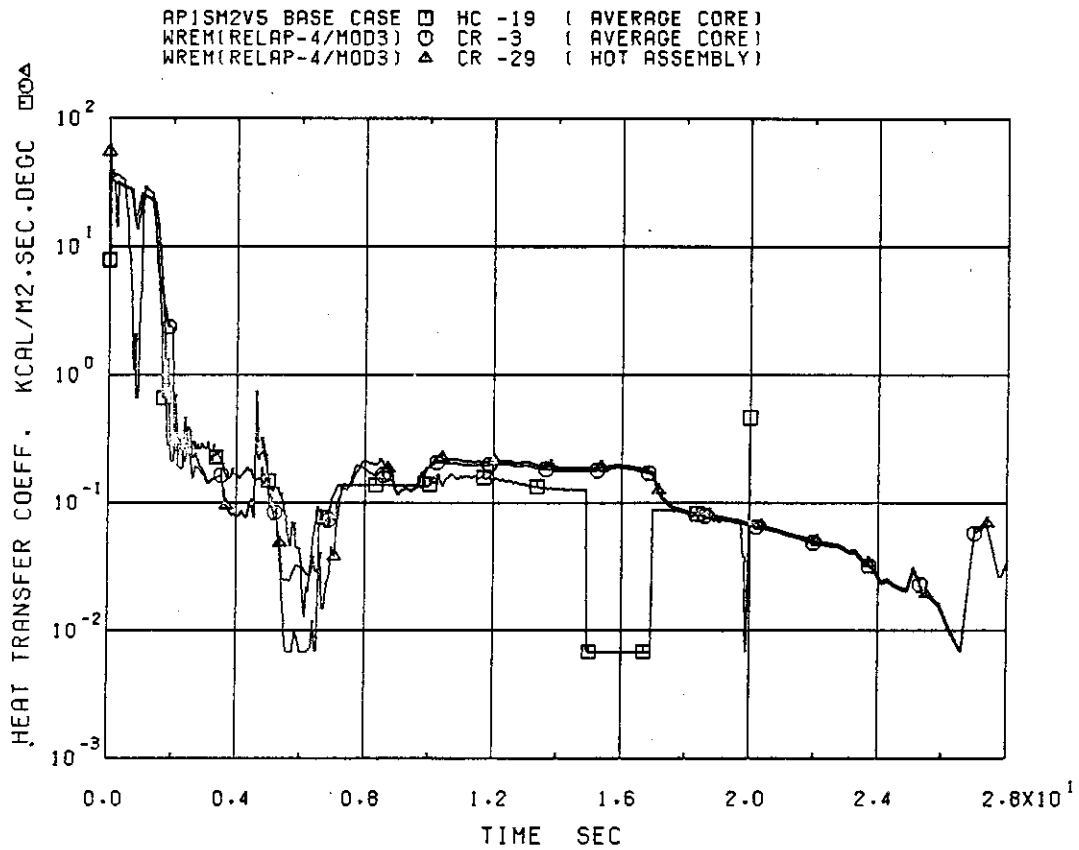


Fig. 50.A Heat Transfer Coefficient at Upper Region

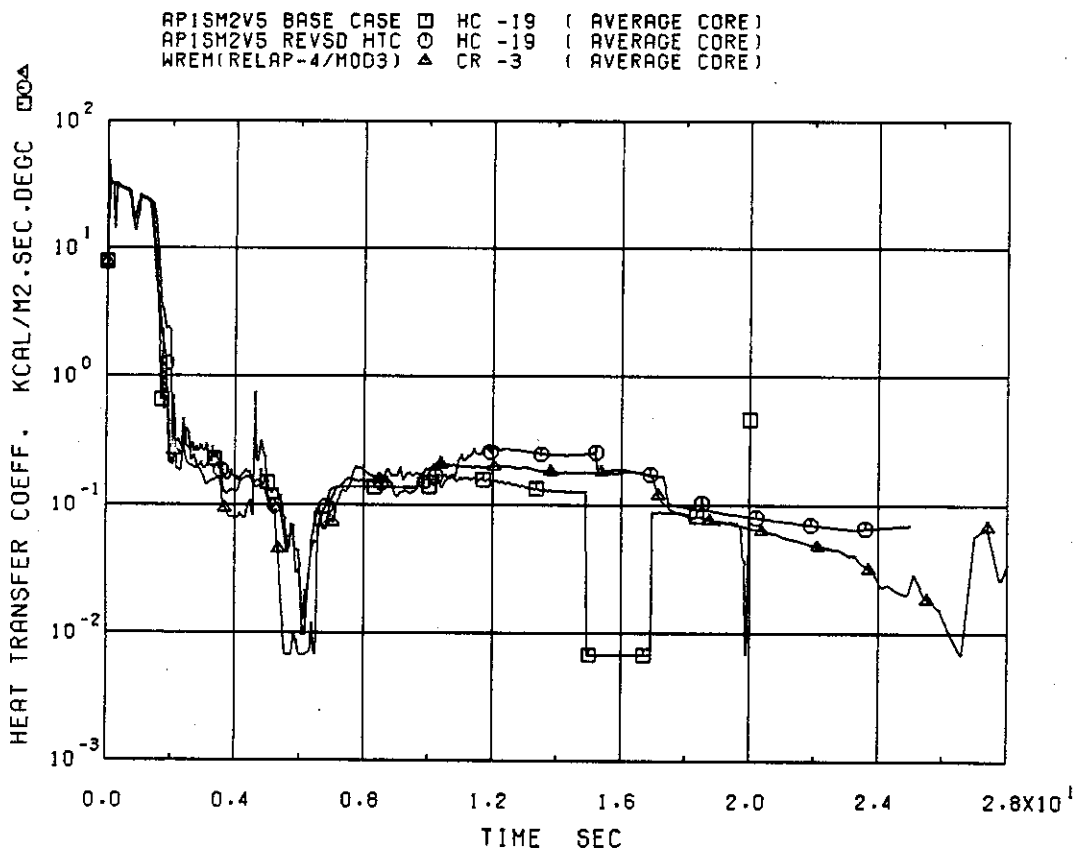


Fig. 50.B Heat Transfer Coefficient at Upper Region by Revised Version

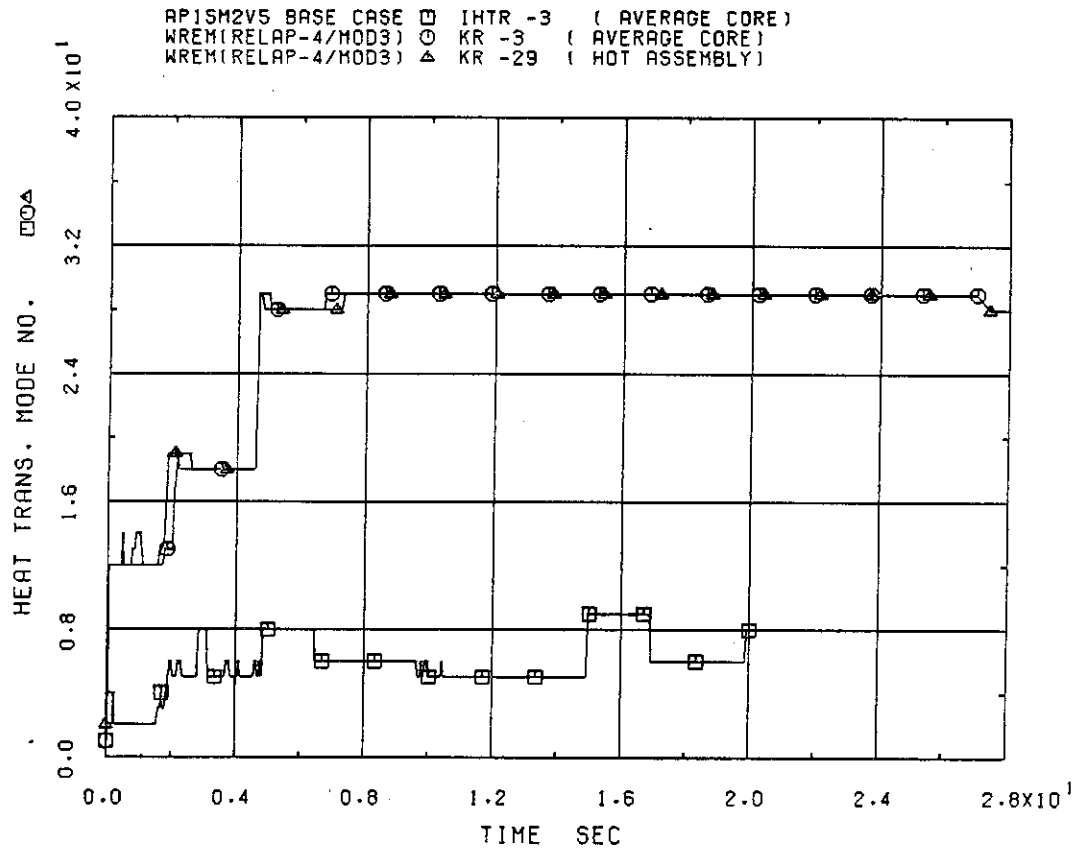


Fig. 51 Heat Transfer Mode of Clad Surface at Upper Region

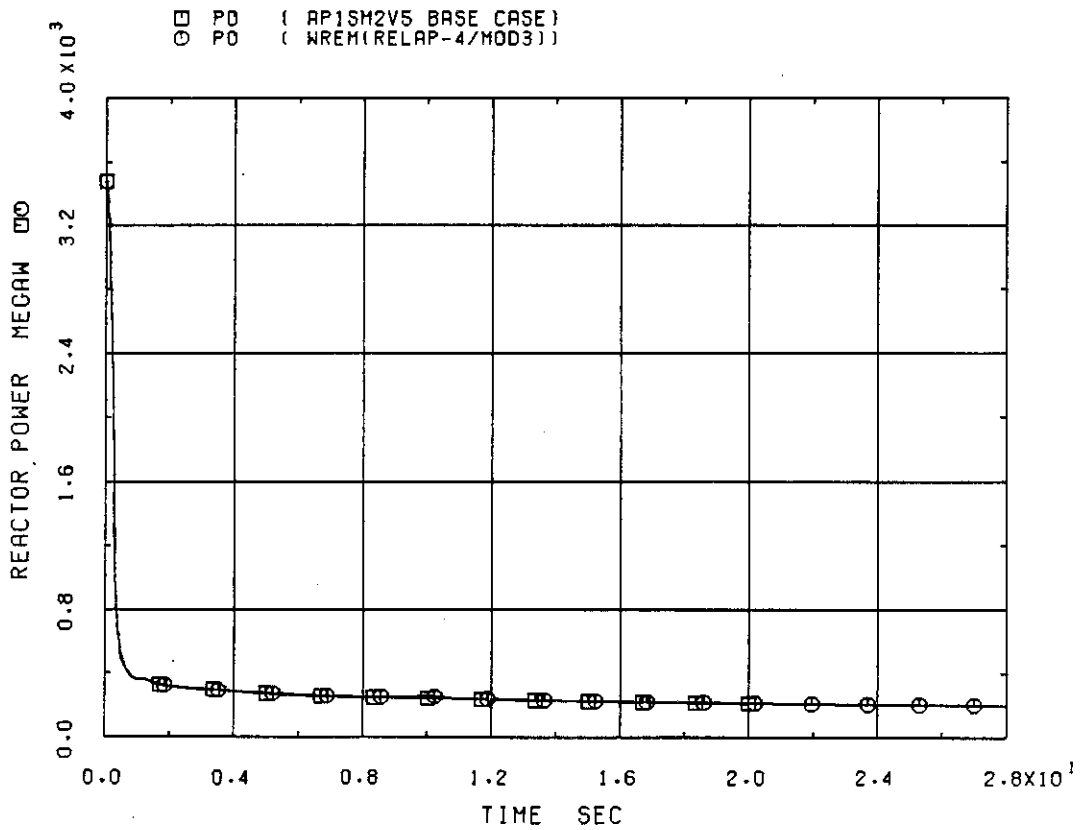


Fig. 52 Power History

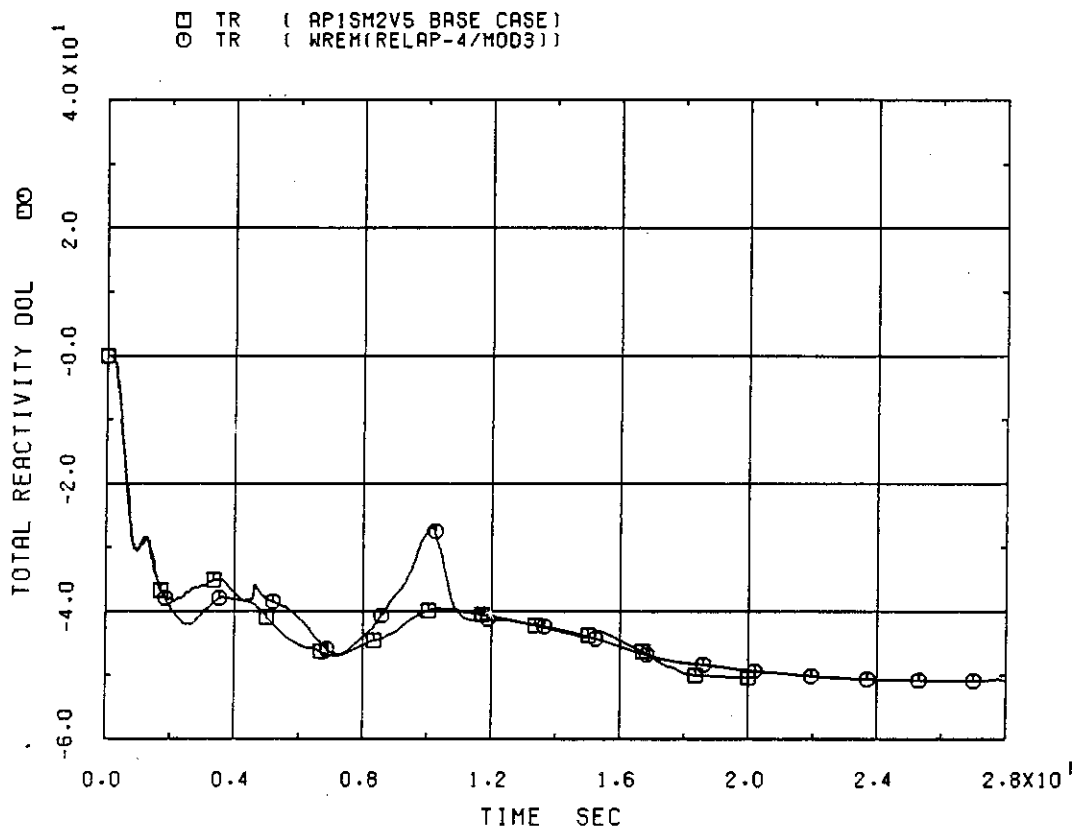


Fig. 53 Total Reactivity

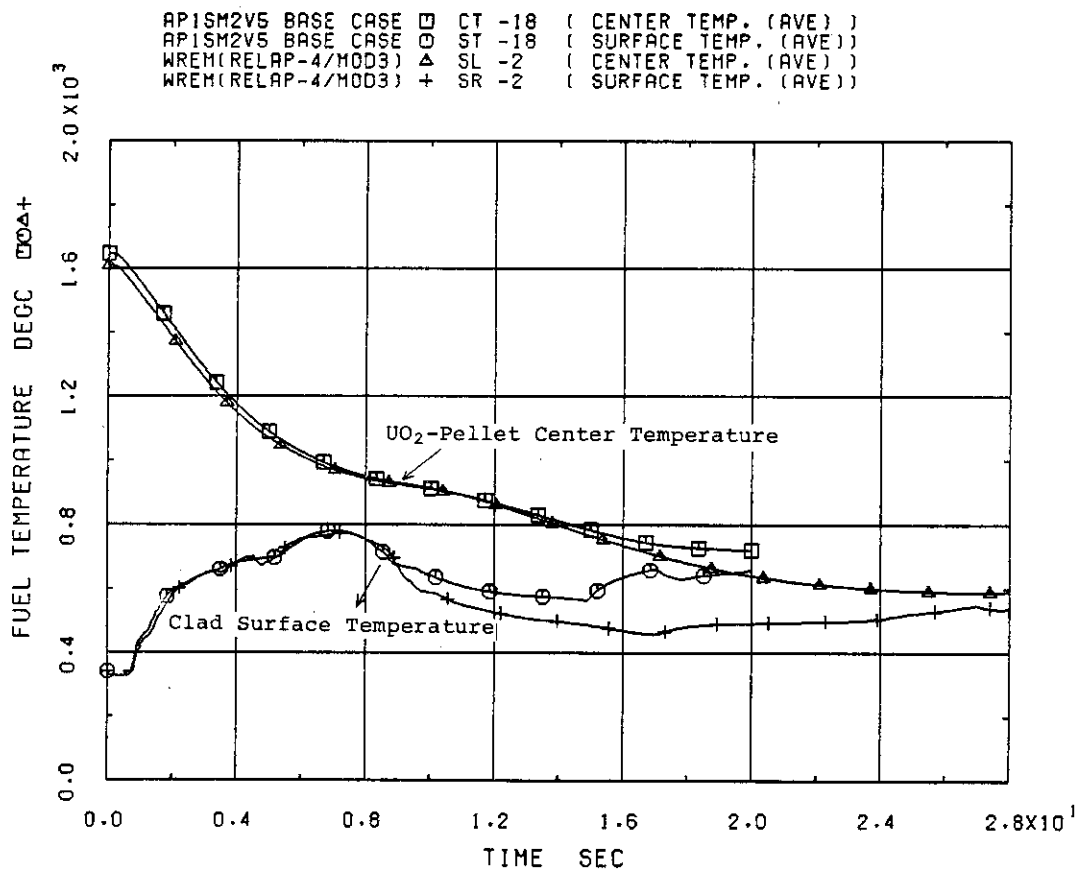


Fig. 54 Pellet Center Temperature and Surface Temperature at Middle Region

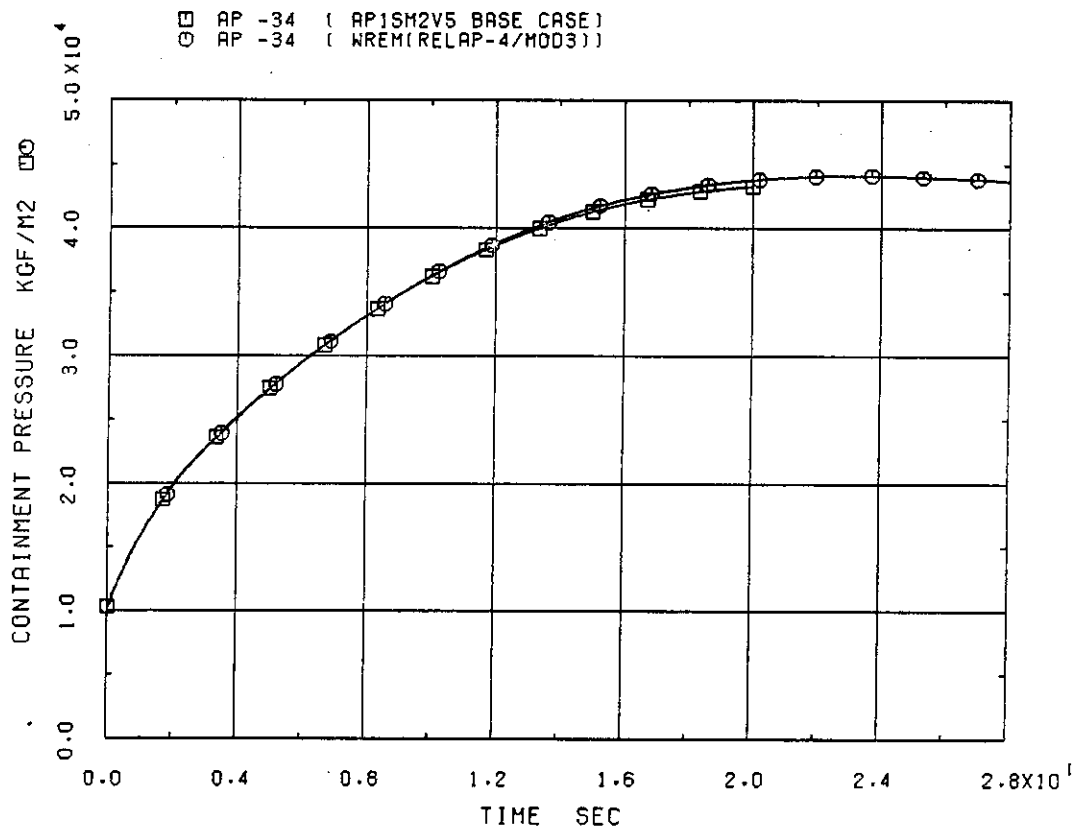


Fig. 55 Average Pressure in Containment

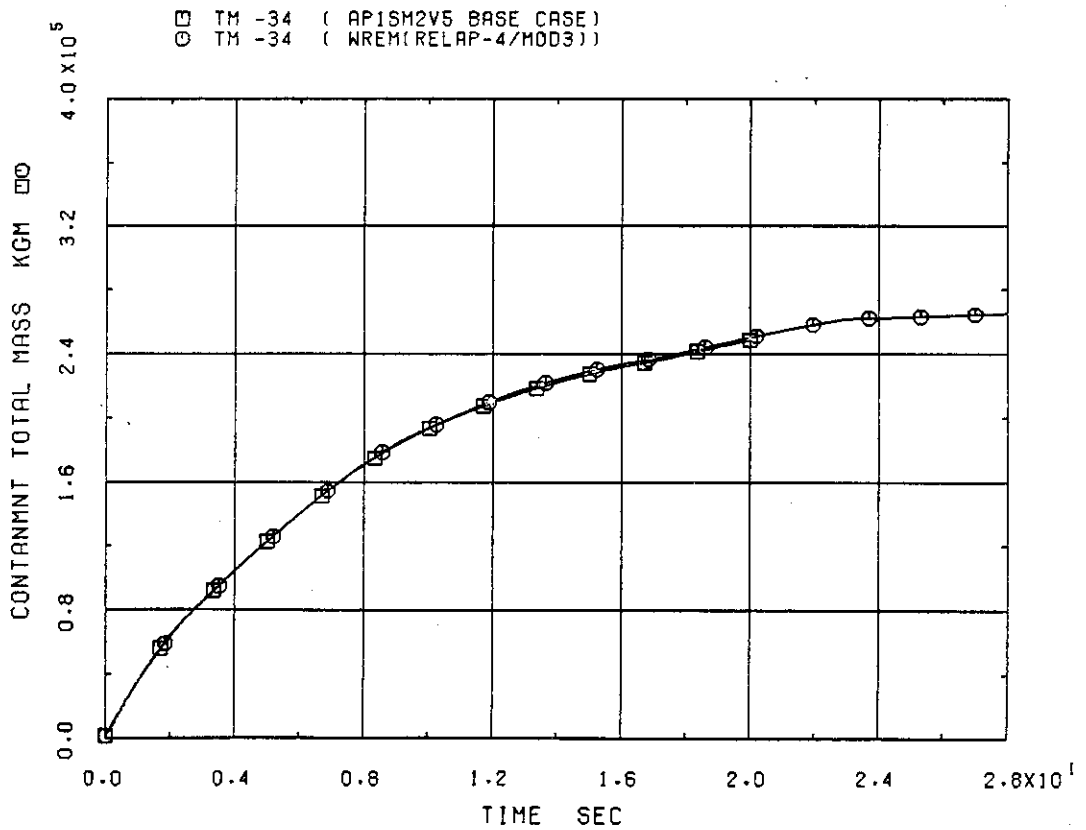


Fig. 56 Total Mass in Containment

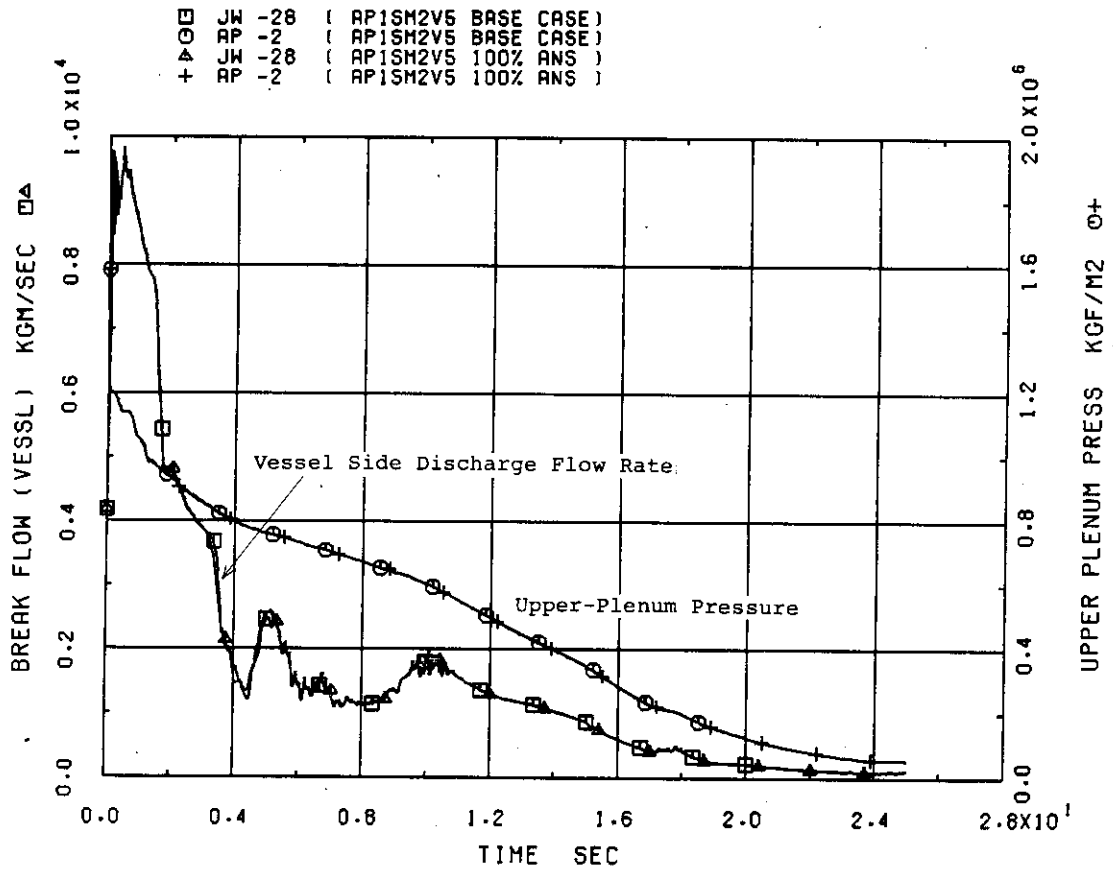


Fig. 57 Vessel Side Discharge Flow Rate and Upper-Plenum Pressure

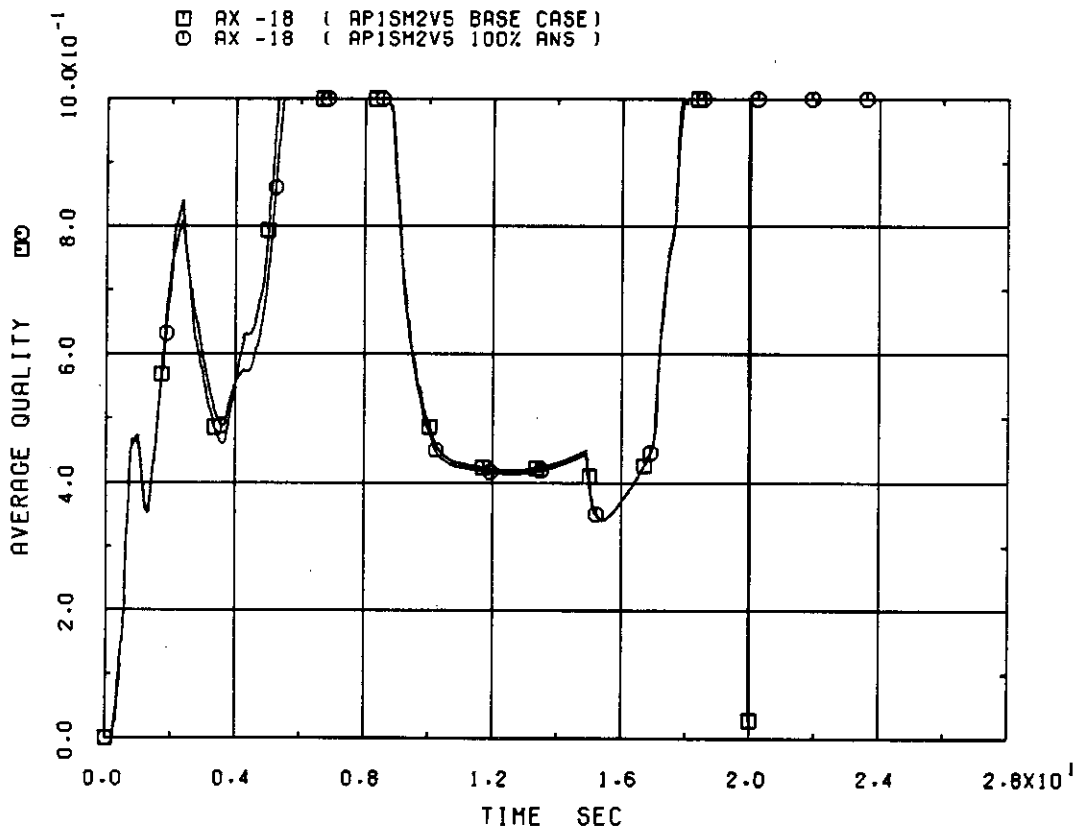


Fig. 58 Fluid Quality at Middle Region of Core

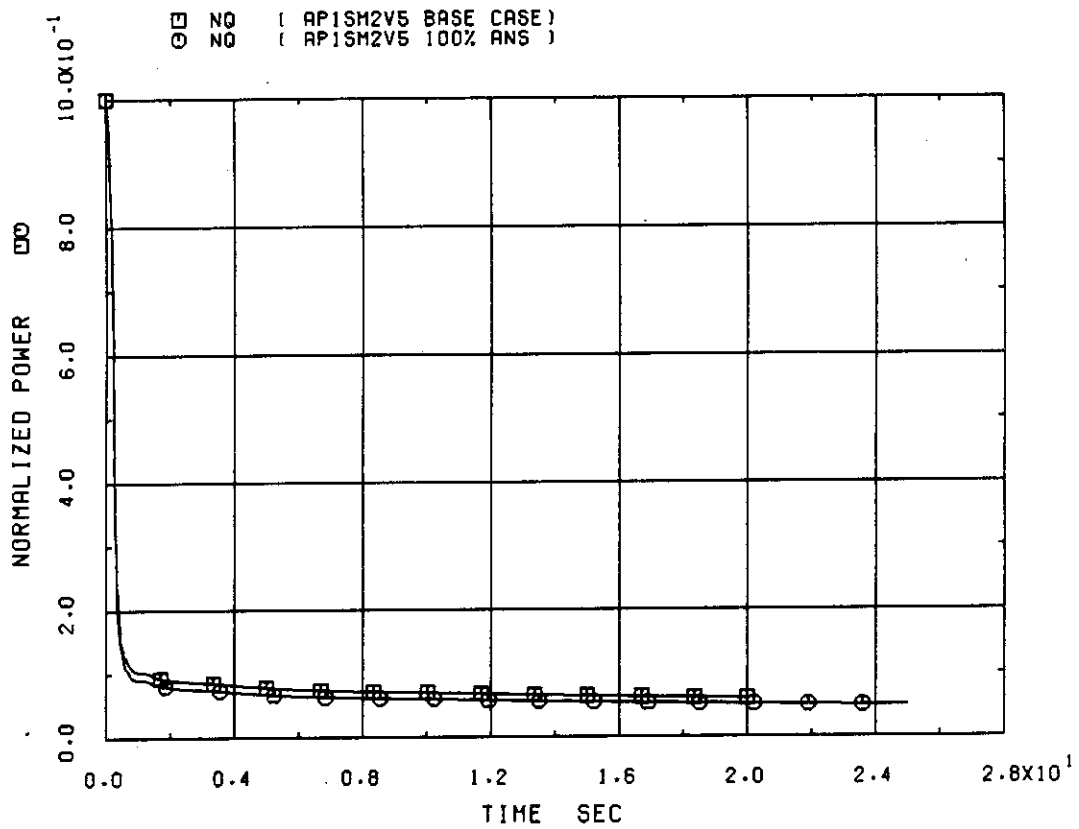


Fig. 59 Normalized Power History

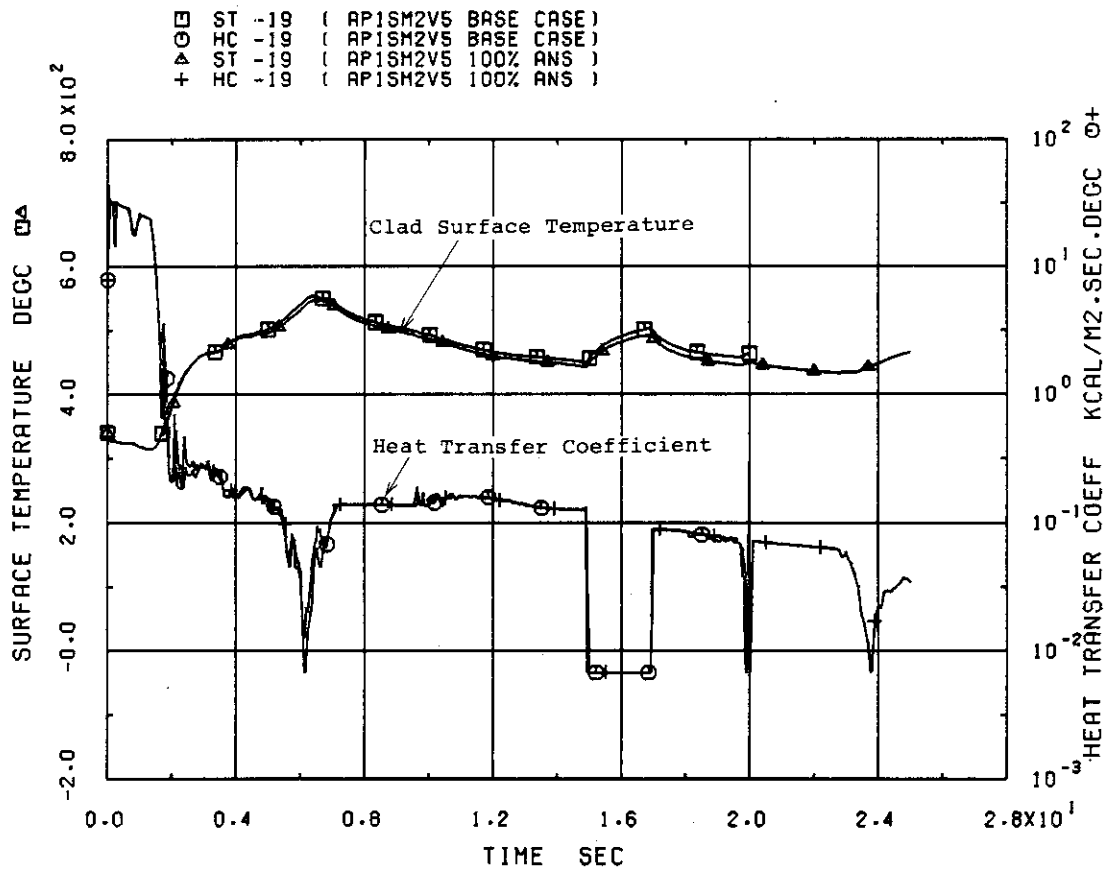


Fig. 60 Clad Surface Temperature and Heat Transfer Coefficient at Upper Region

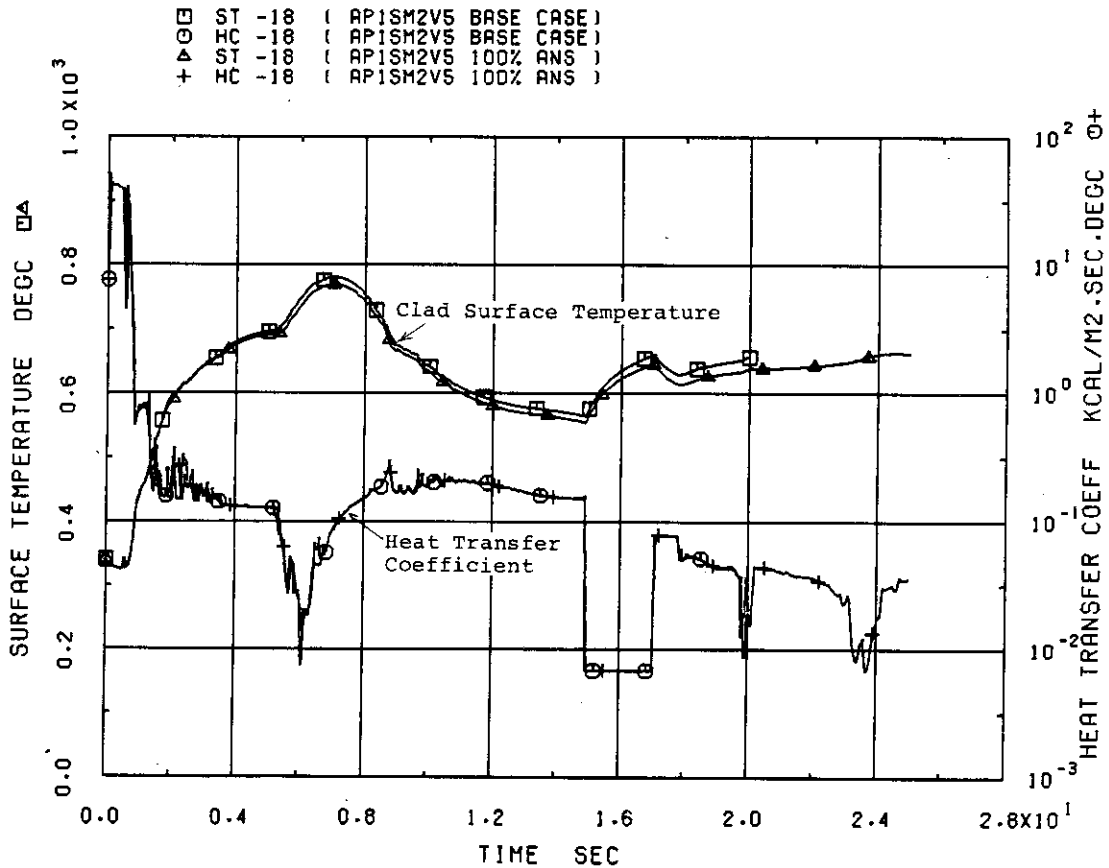


Fig. 61 Clad Surface Temperature and Heat Transfer Coefficient at Middle Region

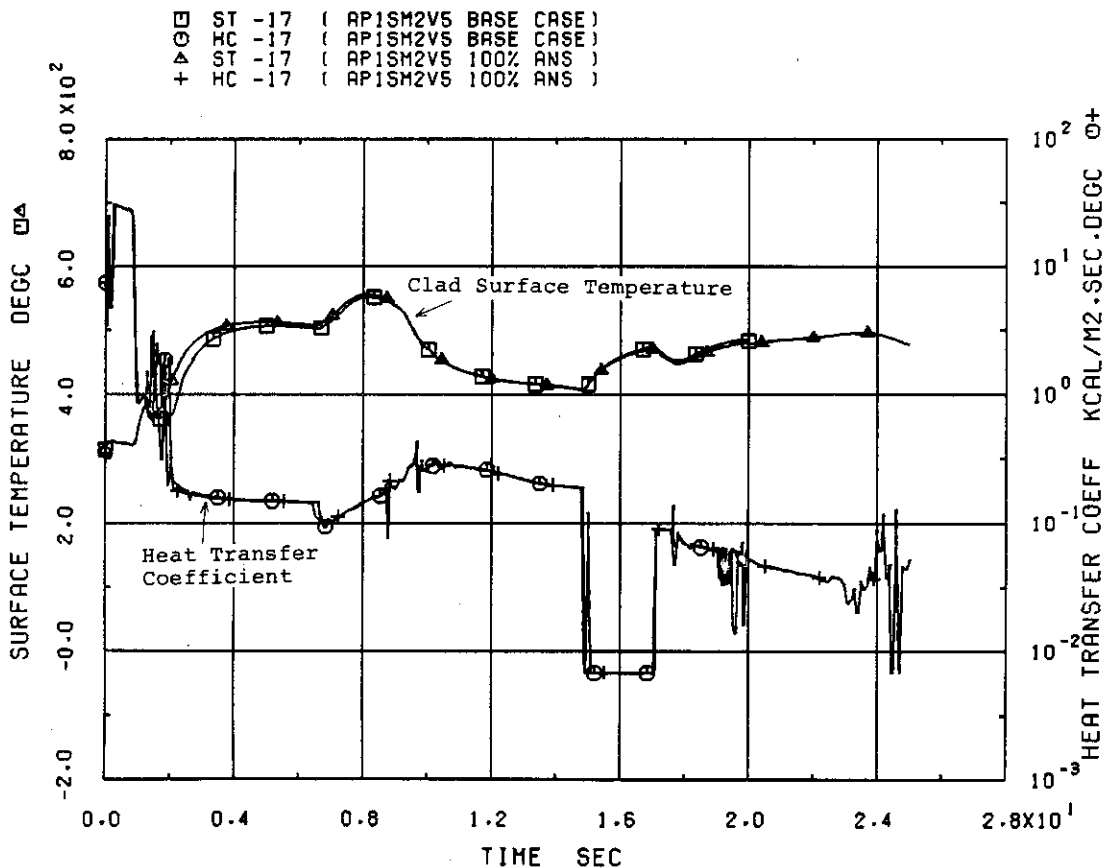


Fig. 62 Clad Surface Temperature and Heat Transfer Coefficient at Lower Region

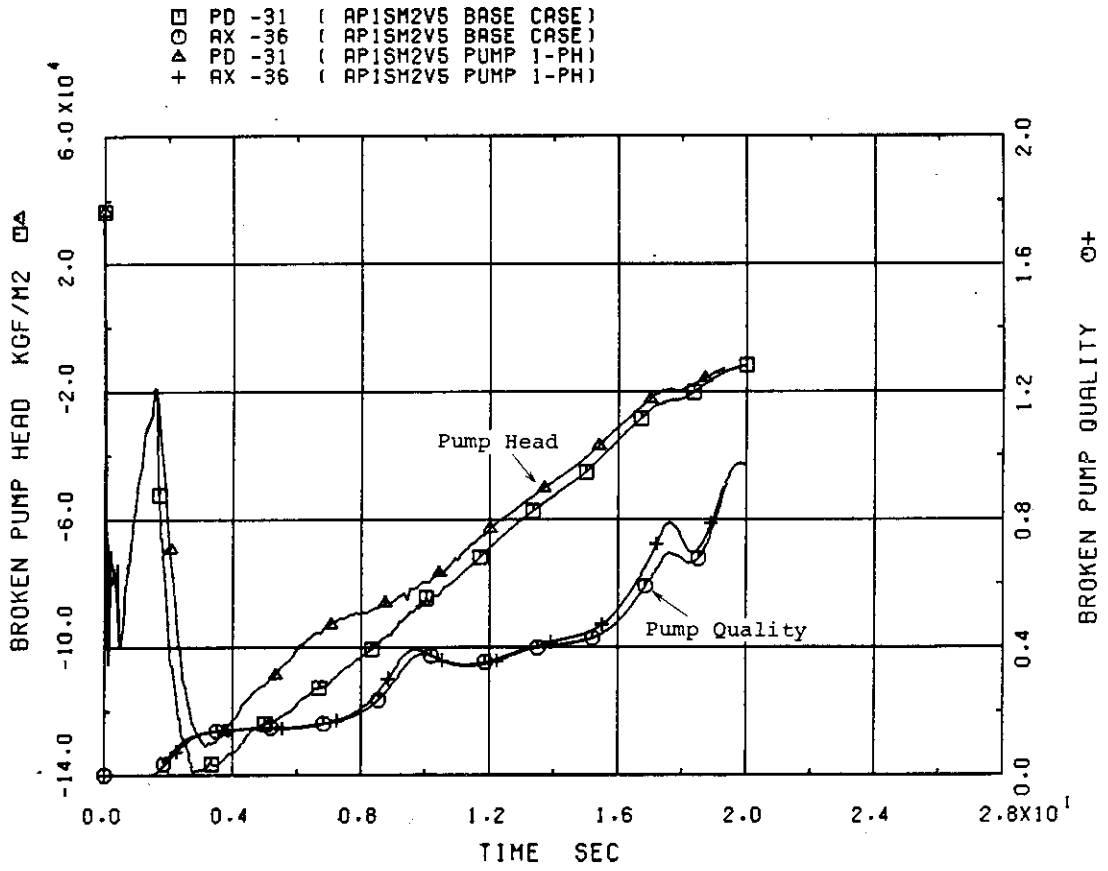


Fig. 63 Pump Head and Pump Node Quality (Broken Loop)

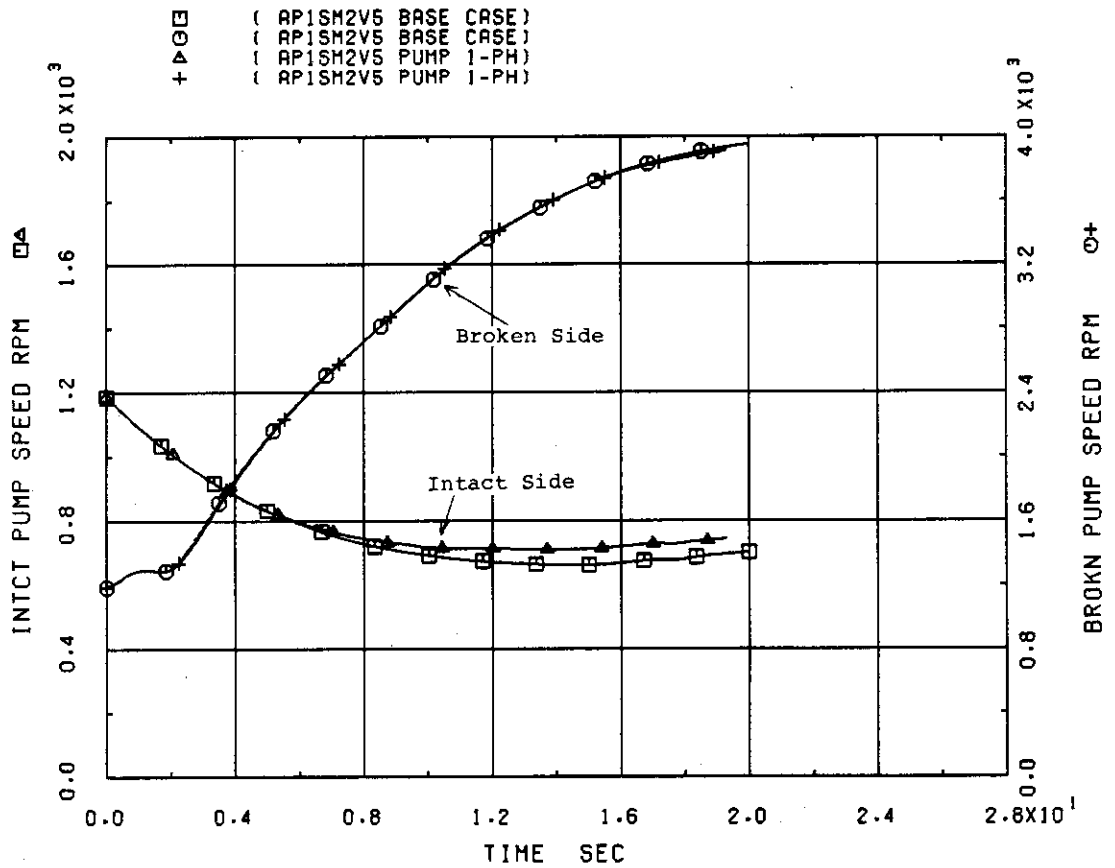


Fig. 64 Pump Speed (Intact and Broken Loop)

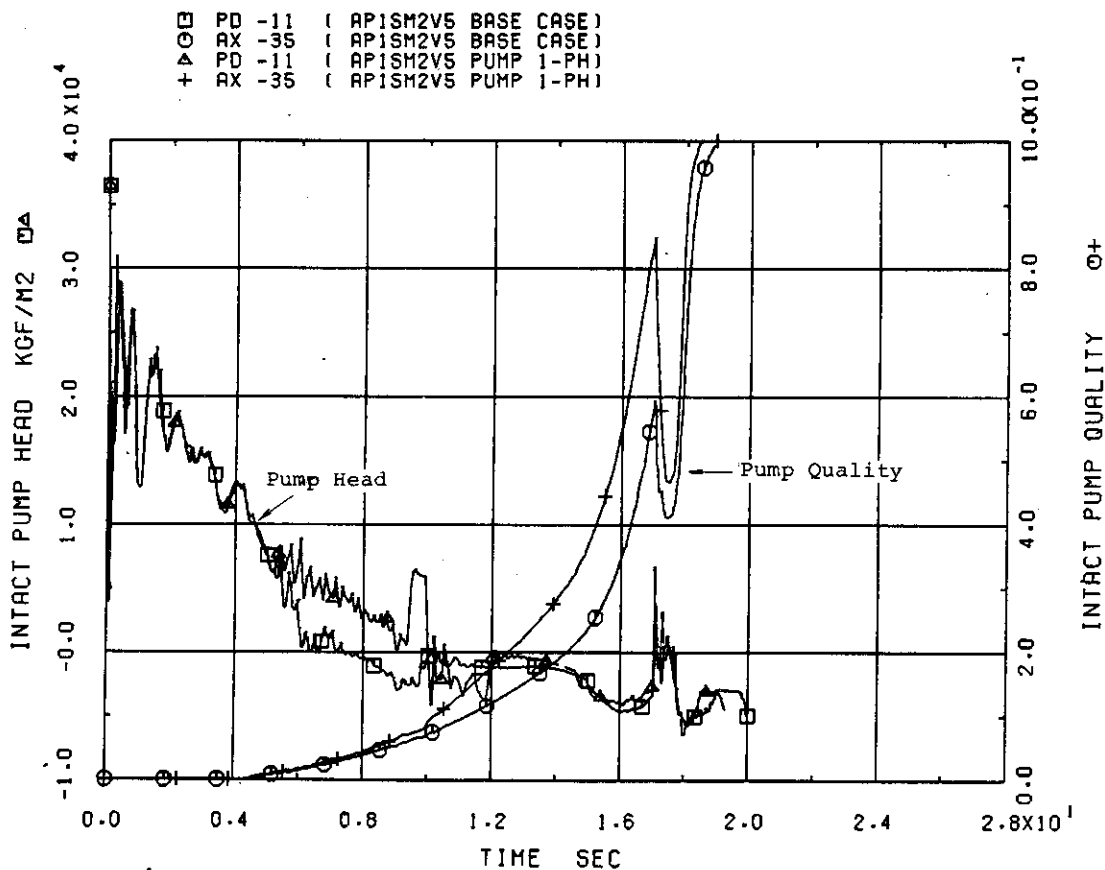


Fig. 65 Pump Head and Pump Node Quality (Intact Loop)

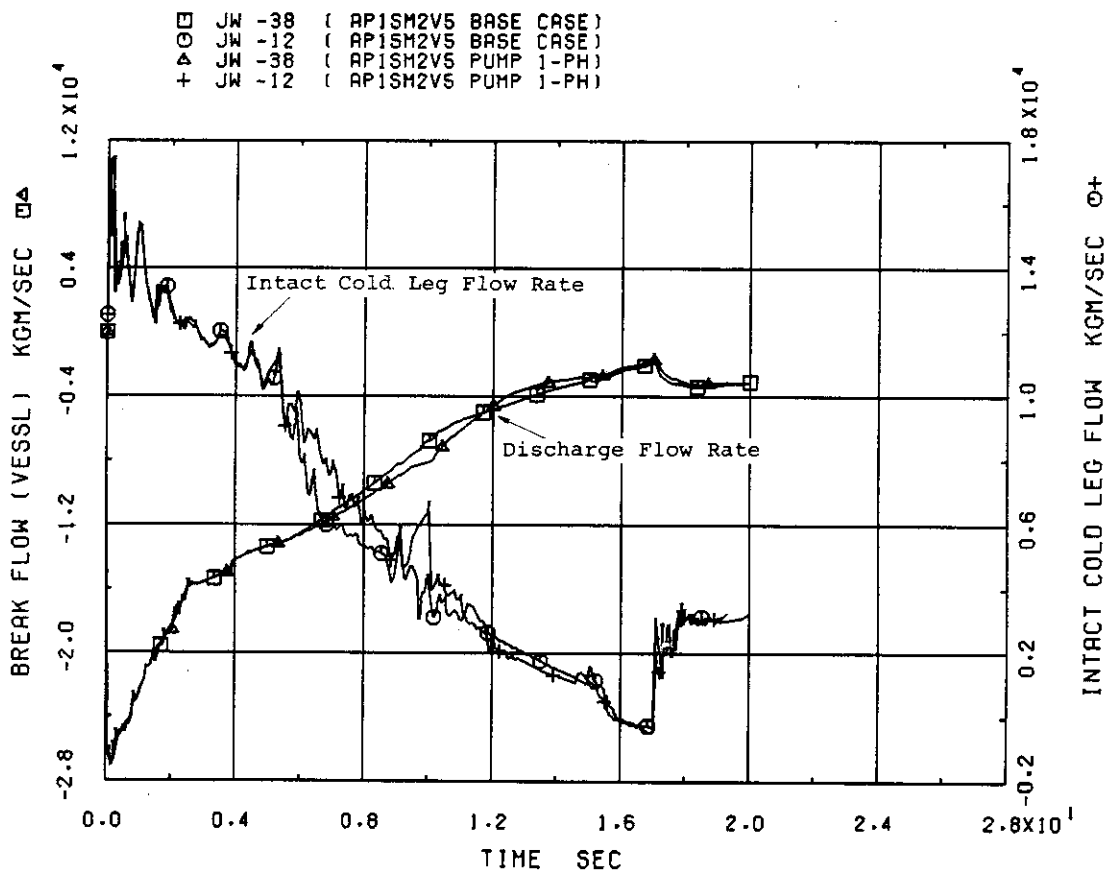


Fig. 66 Vessel Side Discharge Flow Rate and Intact Cold Leg Flow Rate

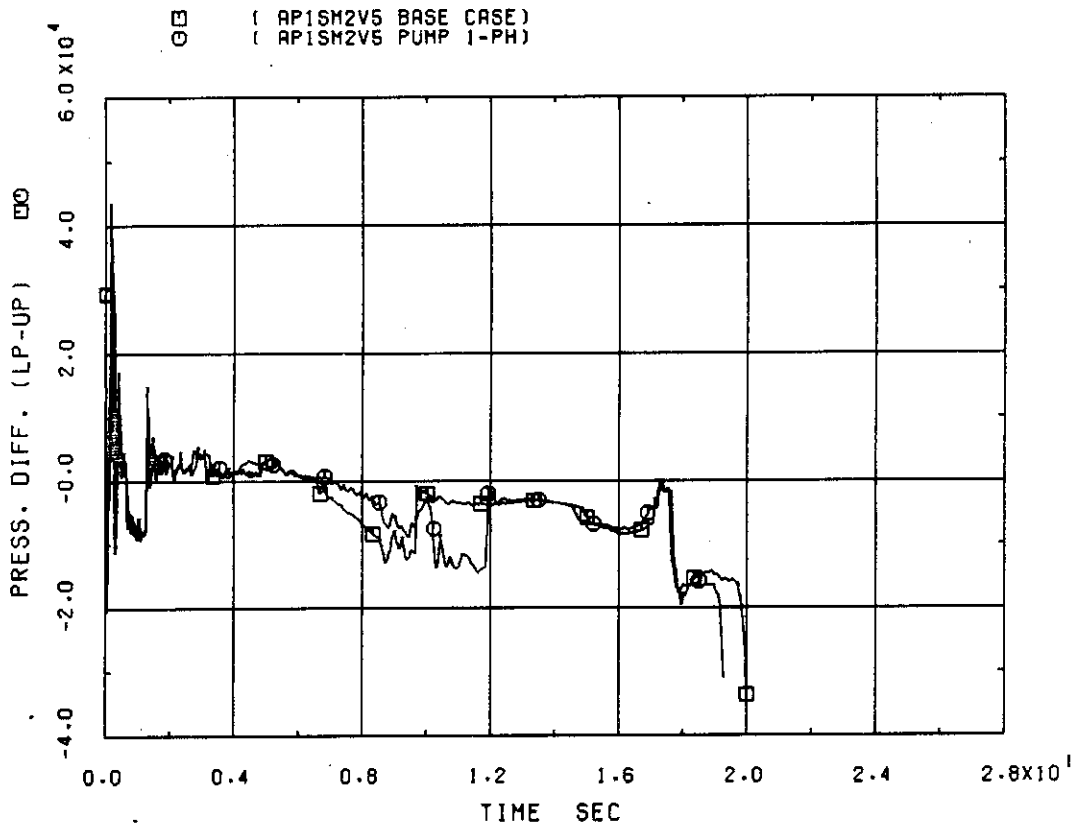


Fig. 67 Differential Pressure from Upper-Head to Upper-Plenum

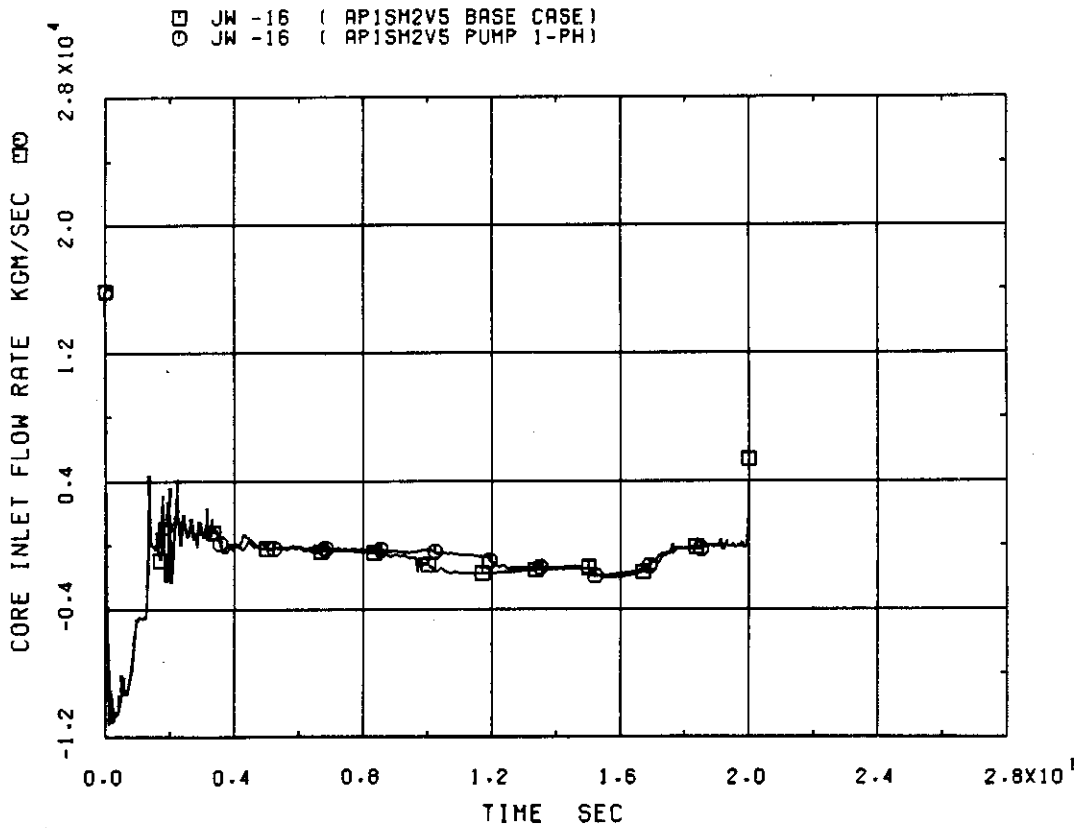


Fig. 68 Core Inlet Flow Rate

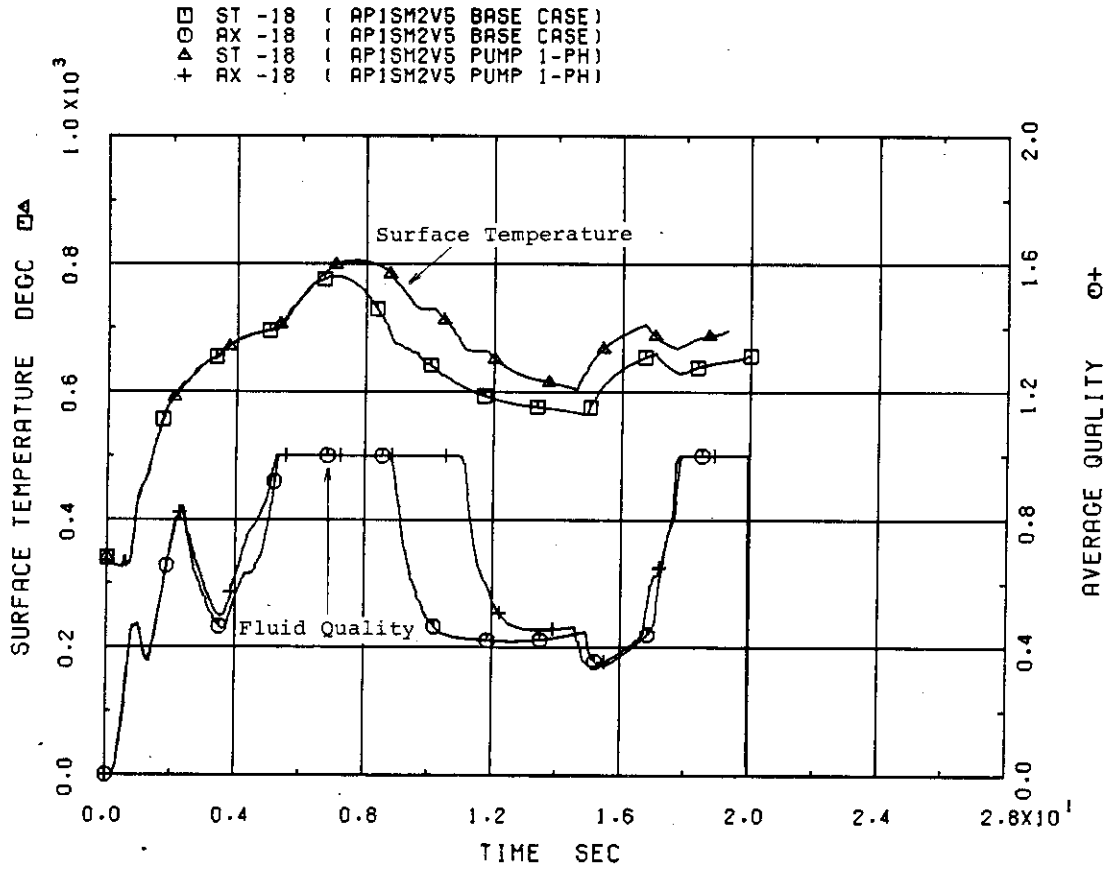


Fig. 69 Clad Surface Temperature and Fluid Quality at Middle Region

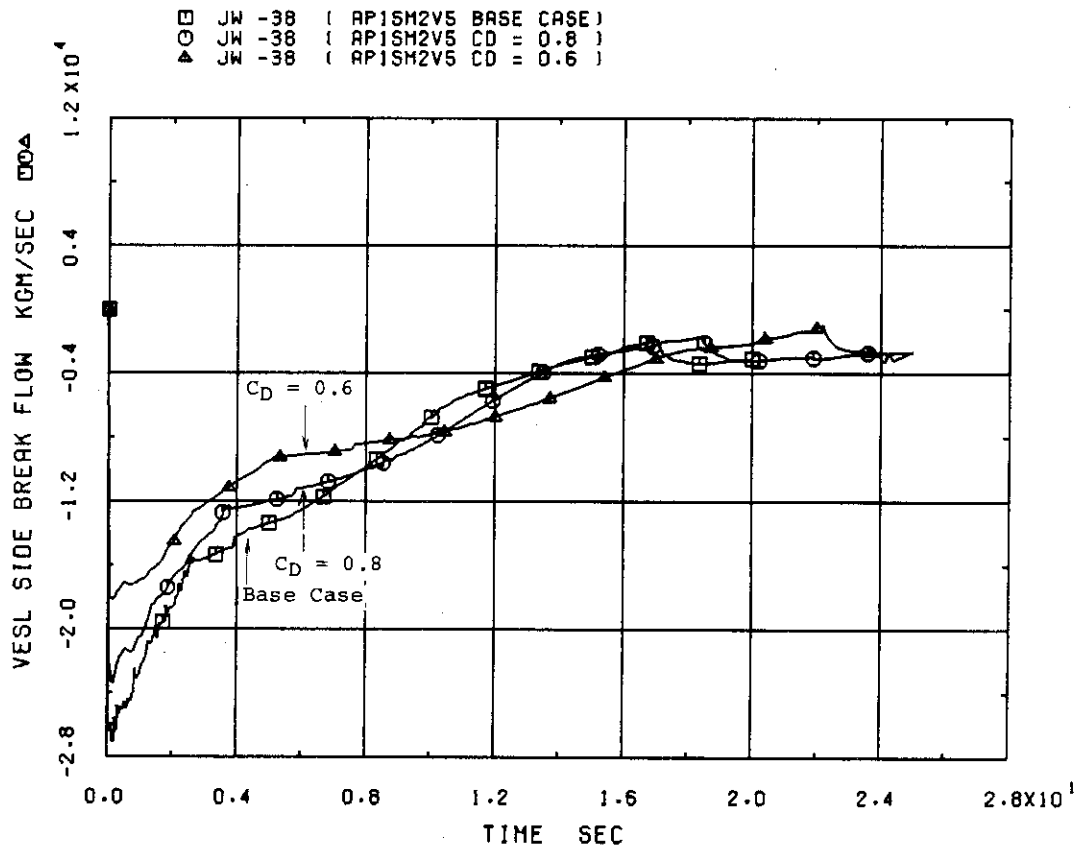


Fig. 70 Discharge Flow Rate at Vessel Side Break Plane

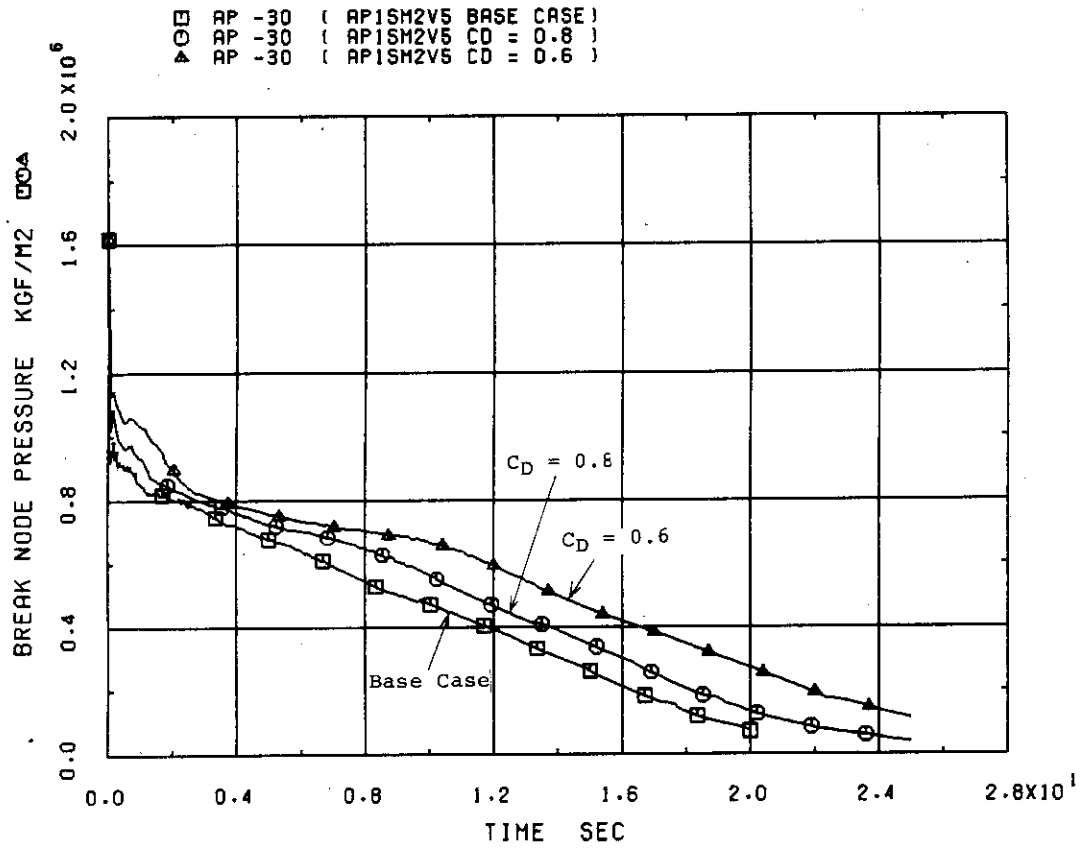


Fig. 71 Average Pressure at Vessel Side Break Node

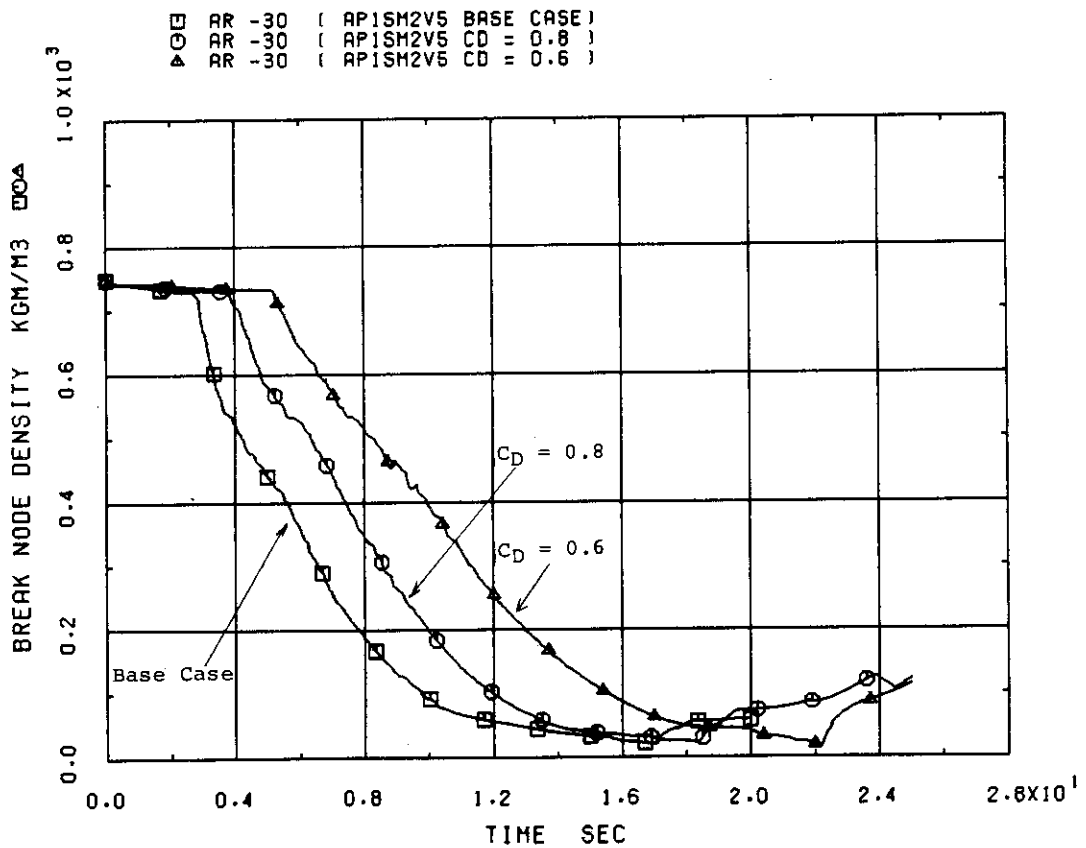


Fig. 72 Average Density at Vessel Side Break Node

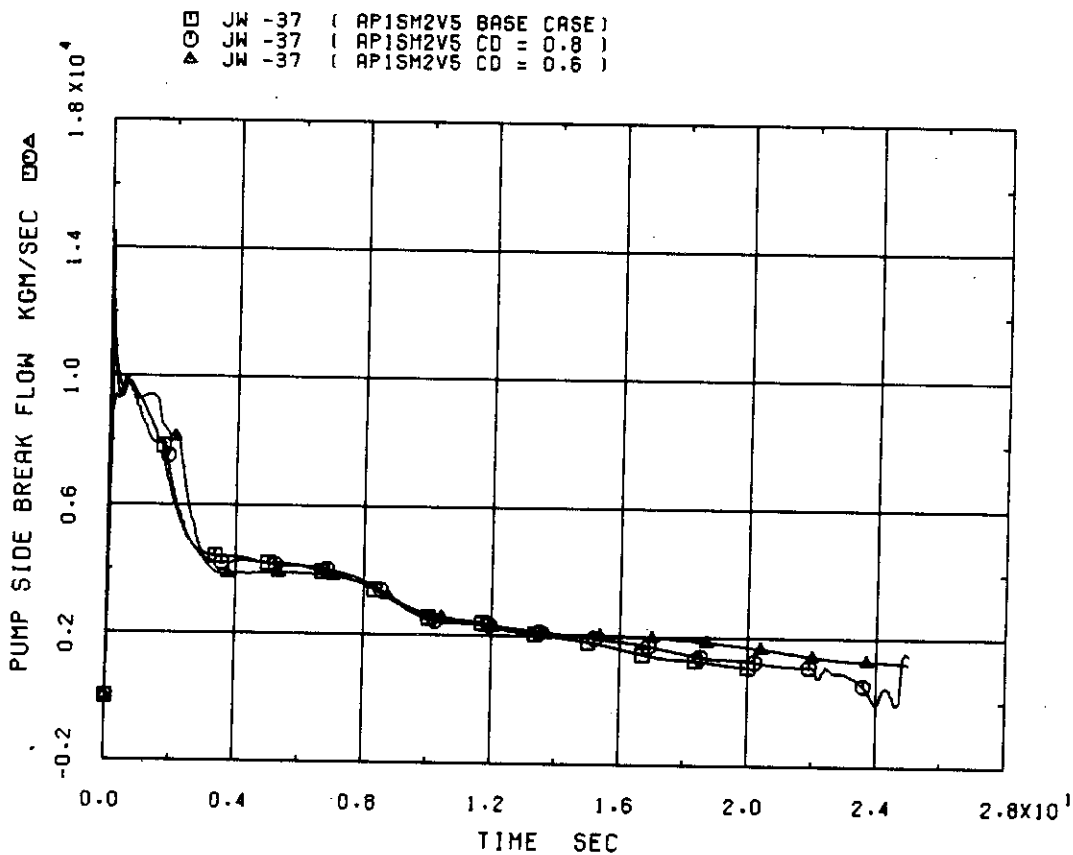


Fig. 73 Discharge Flow Rate at Pump Side Break Plane

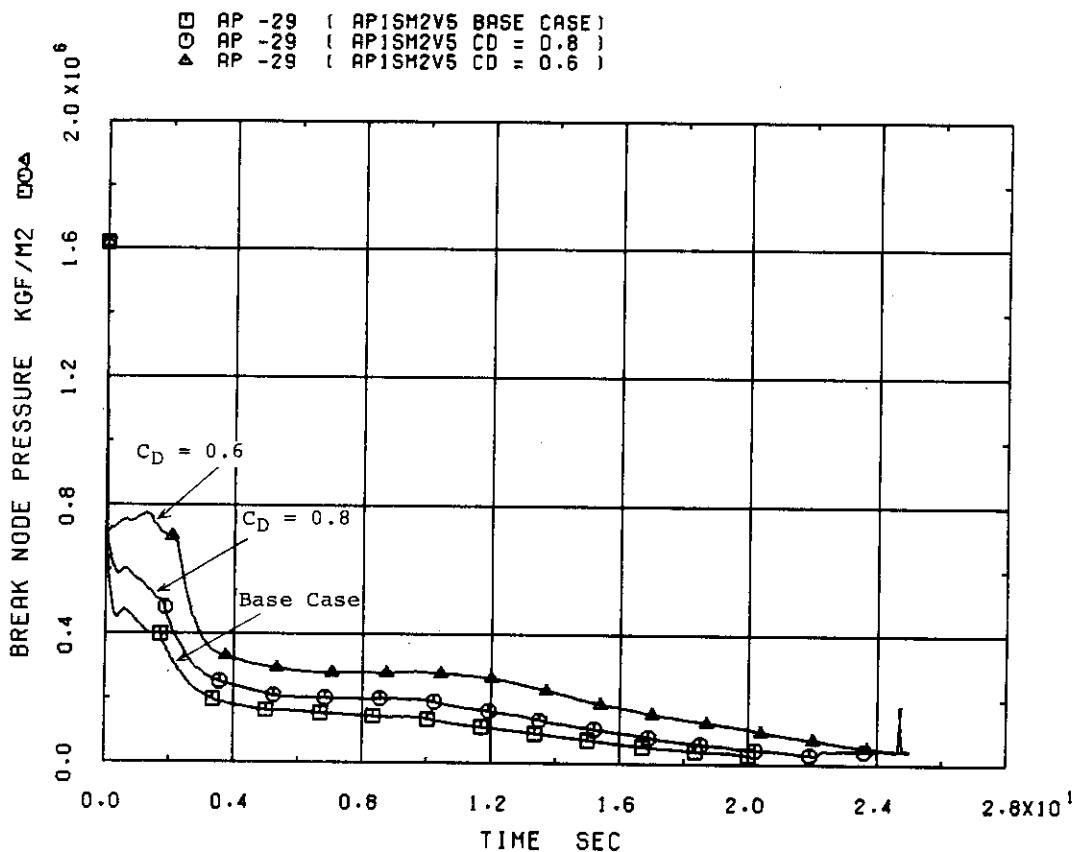


Fig. 74 Average Pressure at Pump Side Break Node

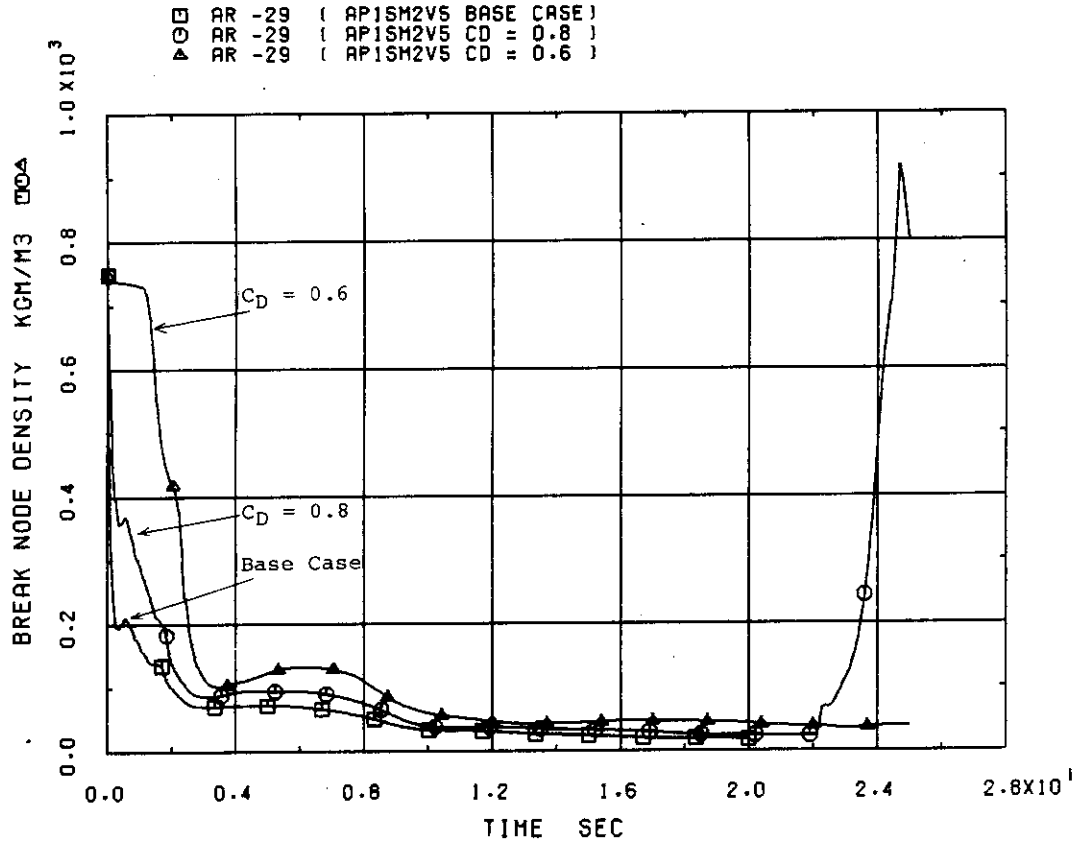


Fig. 75 Average Density at Pump Side Break Node

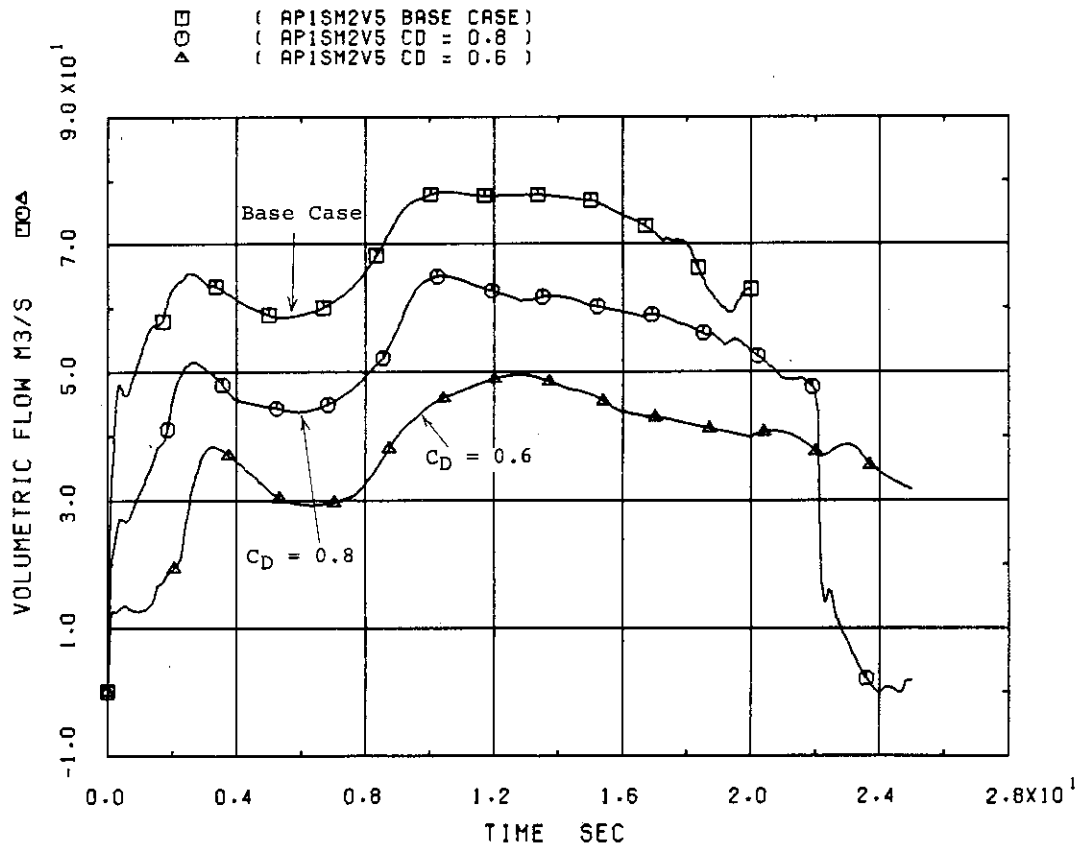


Fig. 76 Volumetric Flow Rate at Broken Loop Hot Leg Break Plane

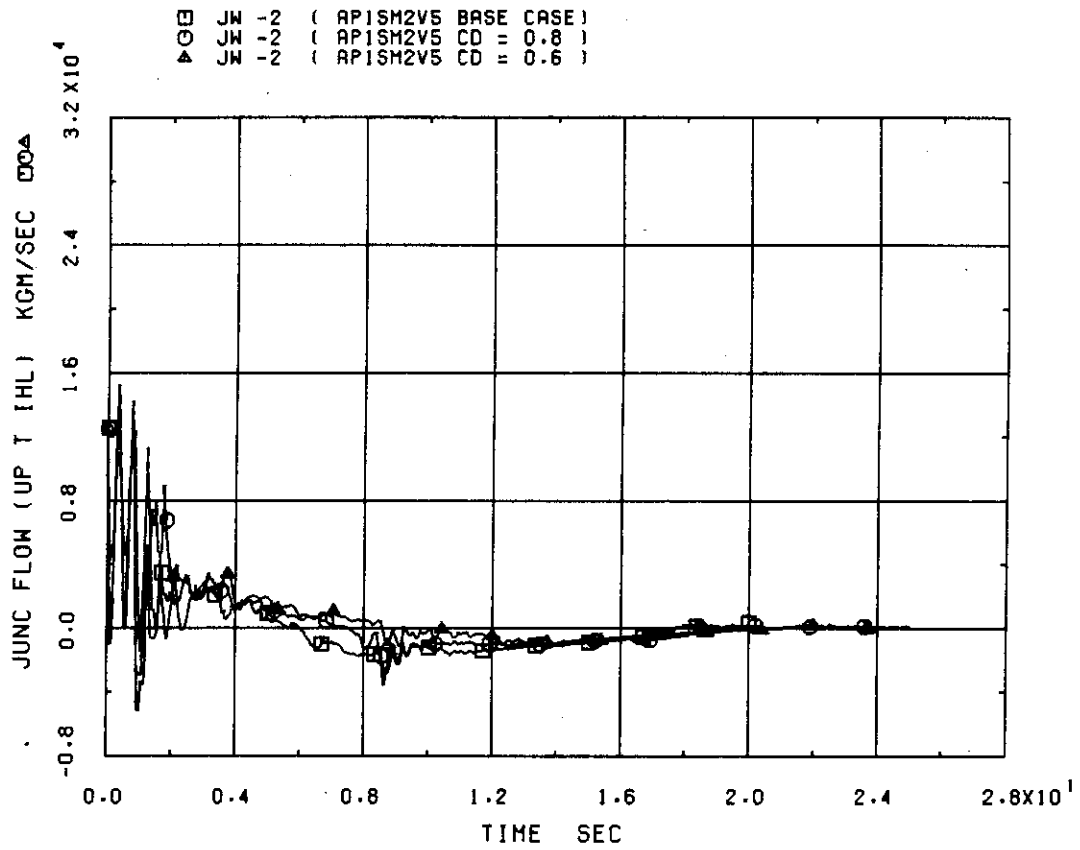


Fig. 77 Junction Flow Rate from Upper-Plenum to Intact Loop Hot Leg

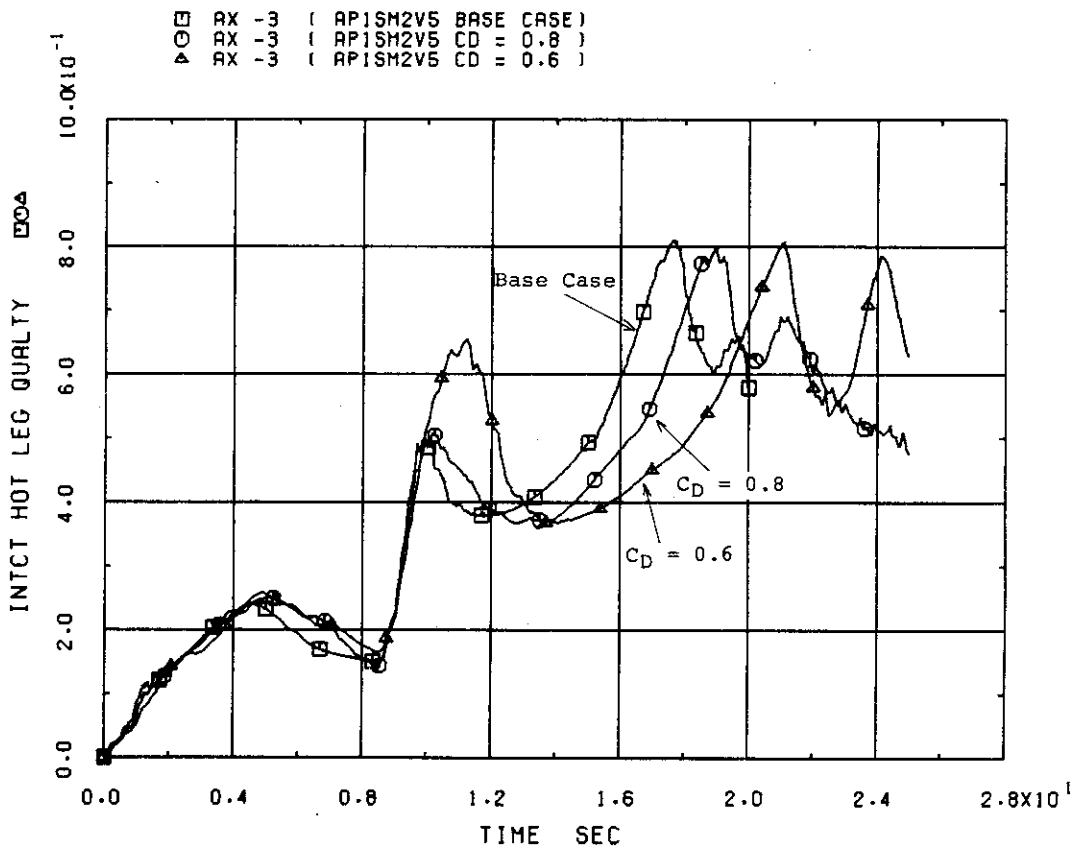


Fig. 78 Fluid Quality in Intact Loop Hot Leg

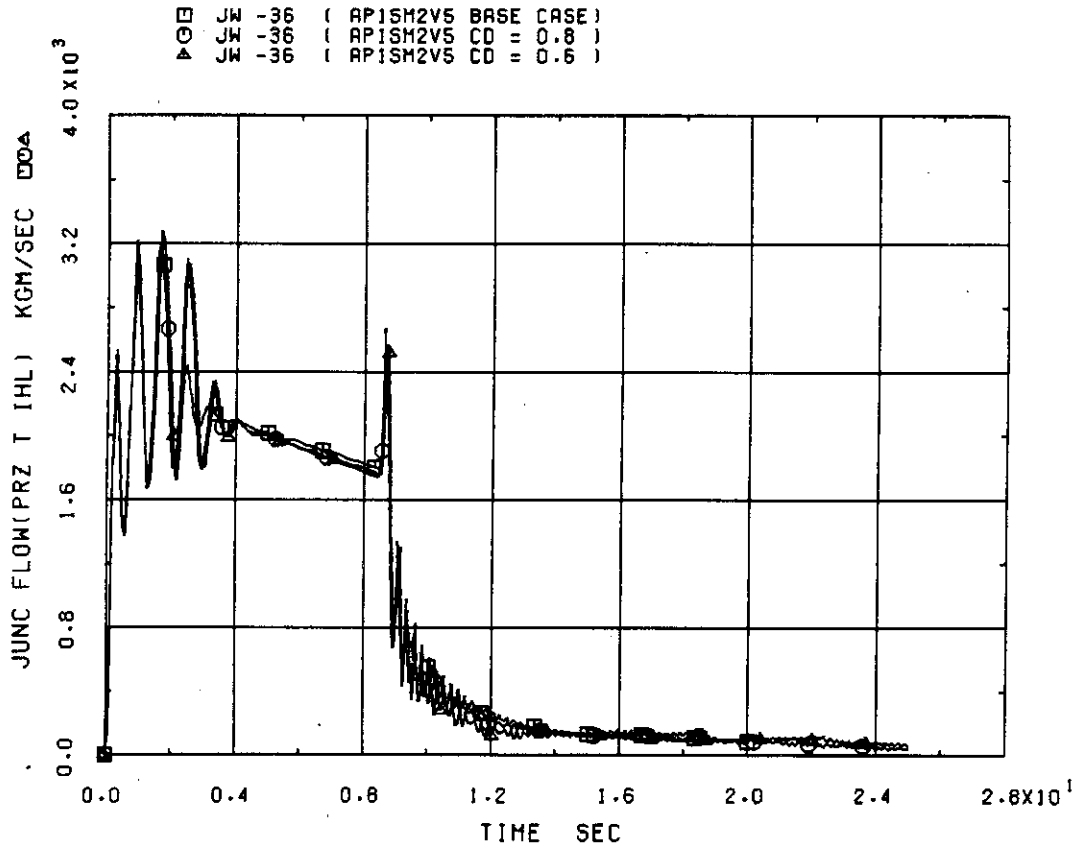


Fig. 79 Pressurizer Surge Line Flow Rate

□	PD -11	(AP1SM2V5 BASE CASE)	+	(AP1SM2V5 CD = 0.8)
○	PD -11	(AP1SM2V5 BASE CASE)	x	PD -11 (AP1SM2V5 CD = 0.6)
△	PD -11	(AP1SM2V5 CD = 0.8)	◇	(AP1SM2V5 CD = 0.6)

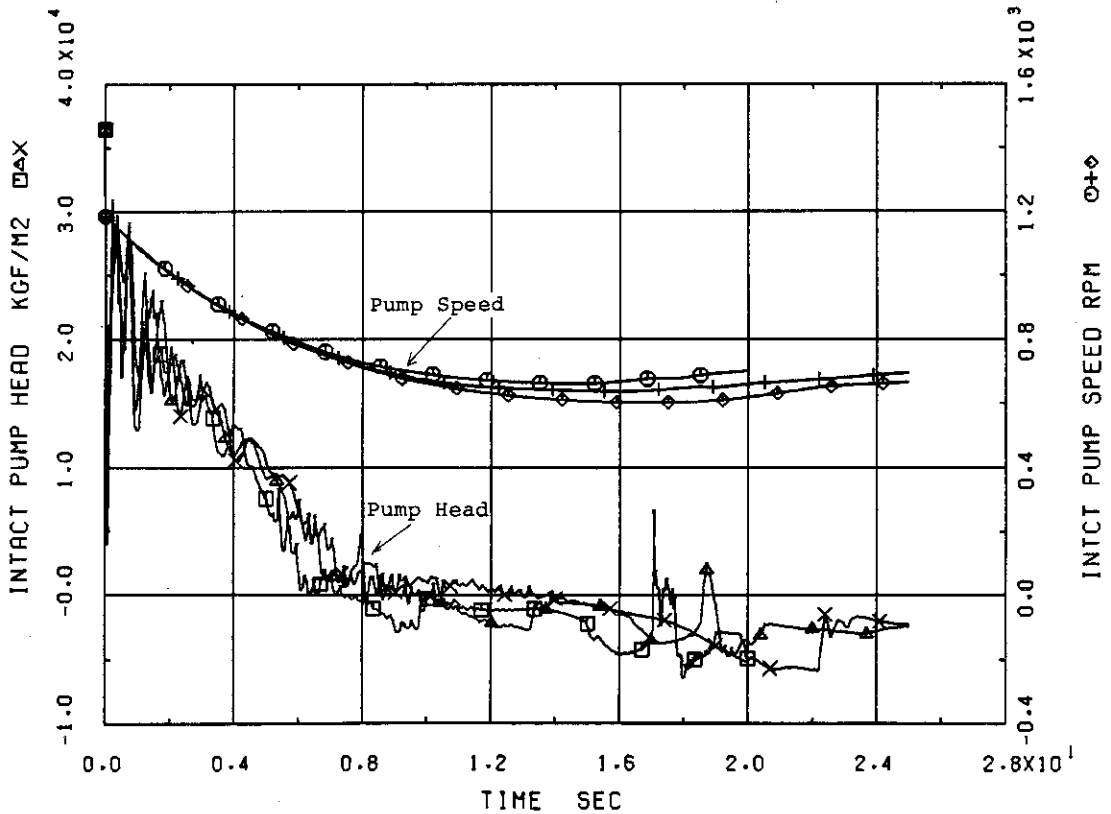


Fig. 80 Pump Head and Pump Speed of Intact Loop

□	JW -35 (AP1SM2V5 BASE CASE)	+	JW -34 (AP1SM2V5 CD = 0.8)
△	JW -34 (AP1SM2V5 BASE CASE)	×	JW -35 (AP1SM2V5 CD = 0.6)
○	JW -35 (AP1SM2V5 CD = 0.8)	◇	JW -34 (AP1SM2V5 CD = 0.6)

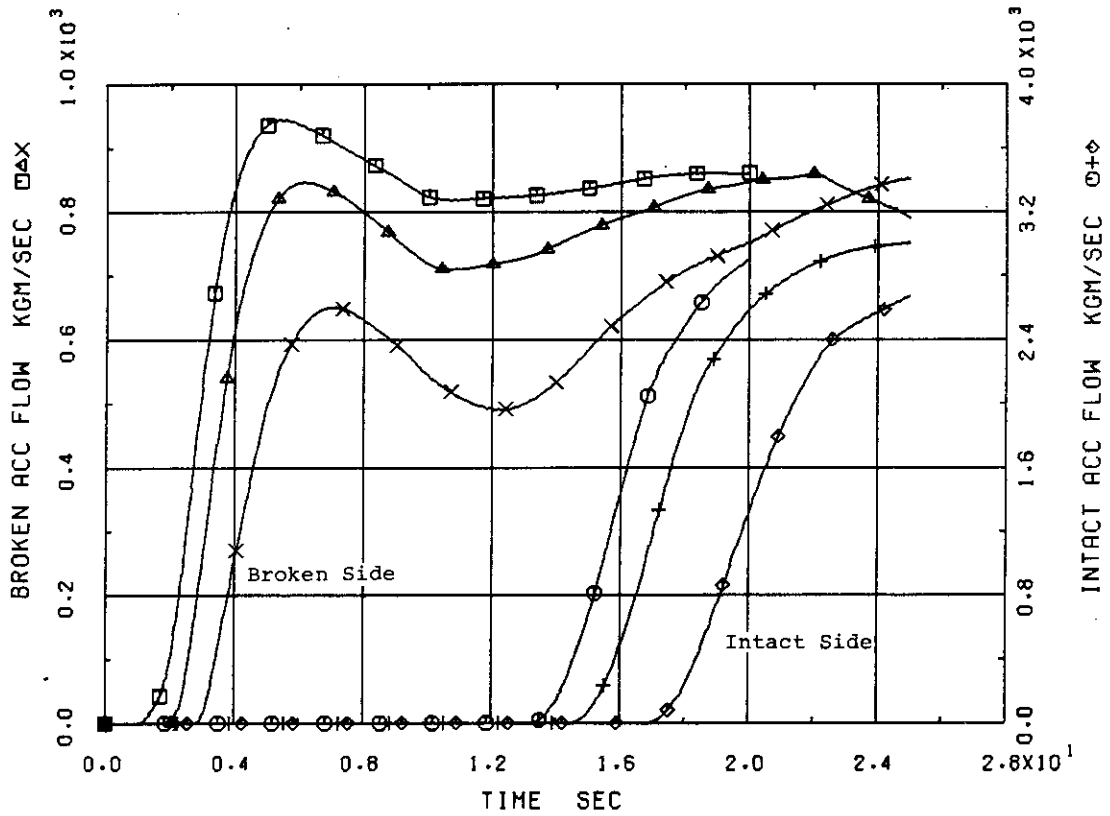


Fig. 81 Accumulator Injection Flow Rate (Intact and Broken Side)

□	JW -13 (AP1SM2V5 BASE CASE)
○	JW -13 (AP1SM2V5 CD = 0.8)
△	JW -13 (AP1SM2V5 CD = 0.6)

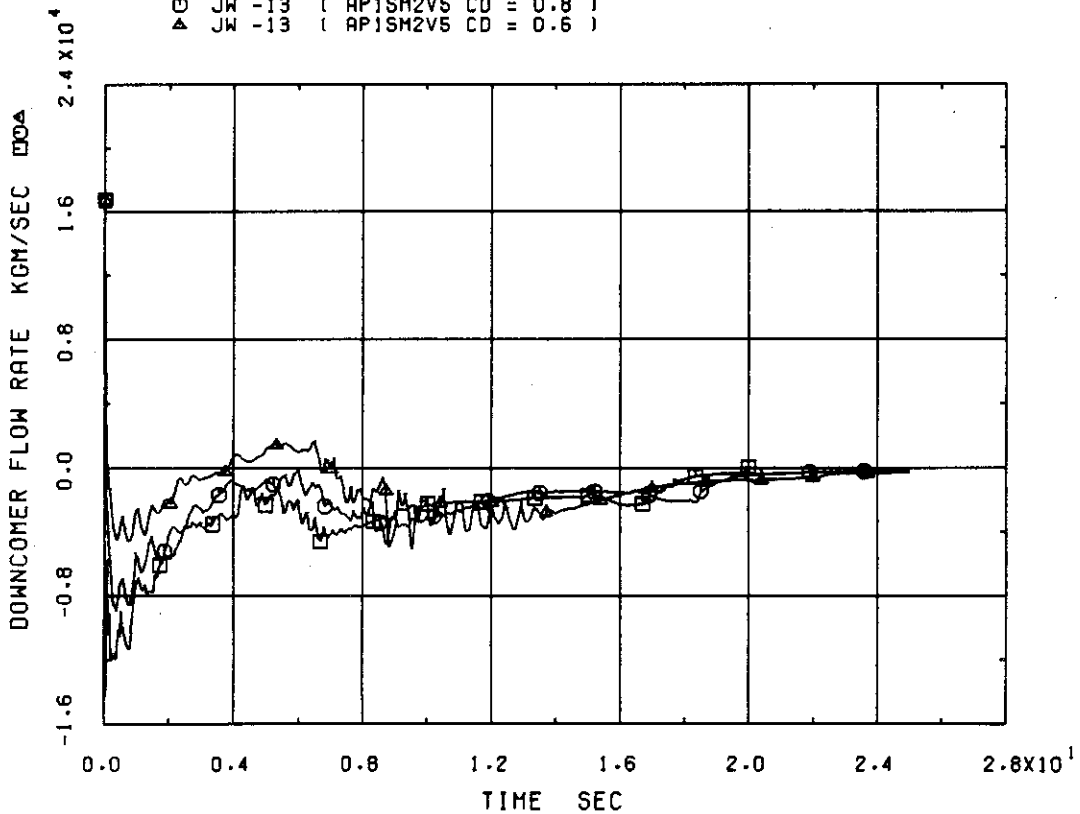


Fig. 82 Downcomer Flow Rate

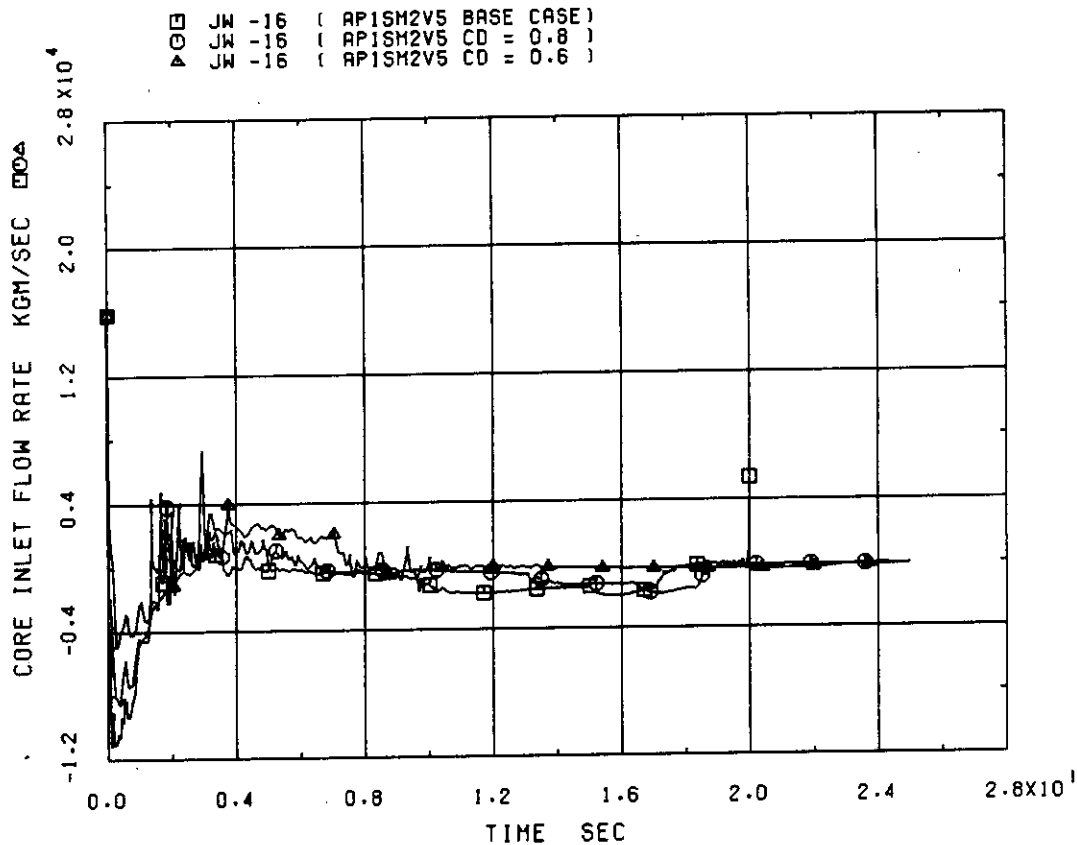


Fig. 83 Core Inlet Flow Rate

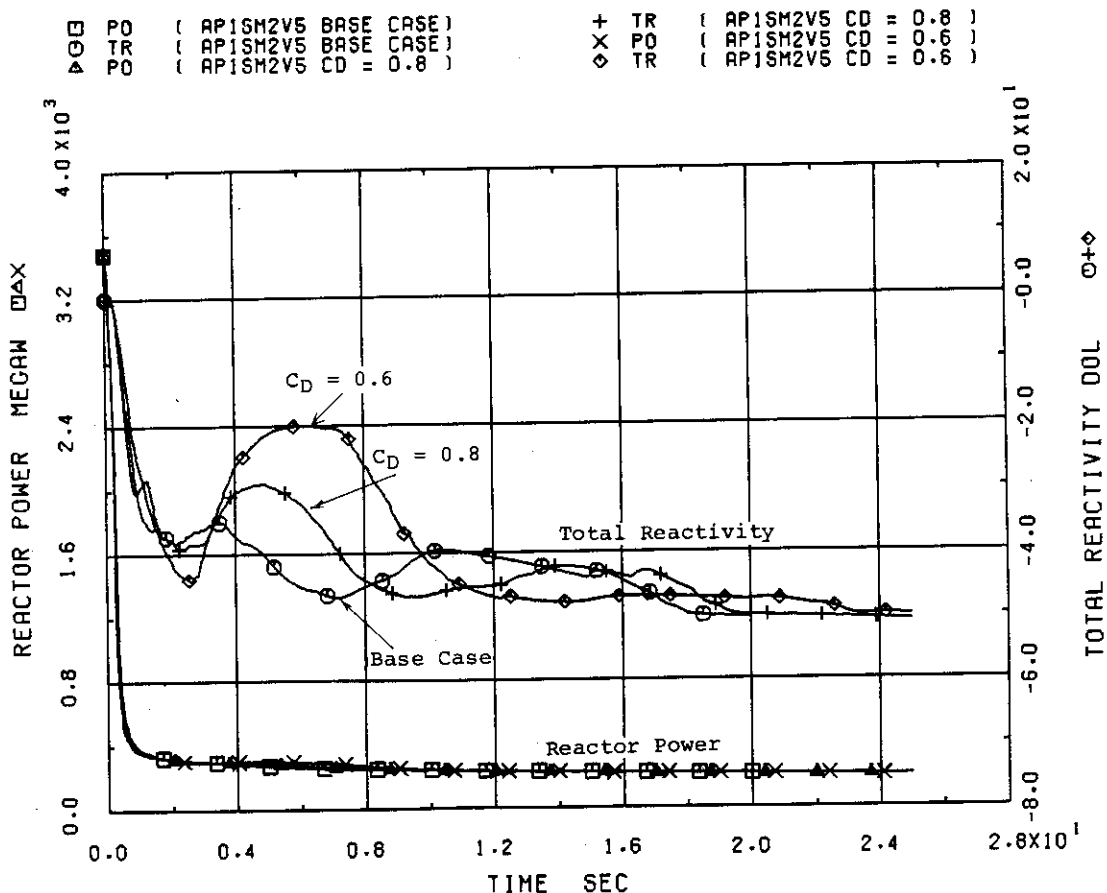


Fig. 84 Reactor Power and Total Reactivity

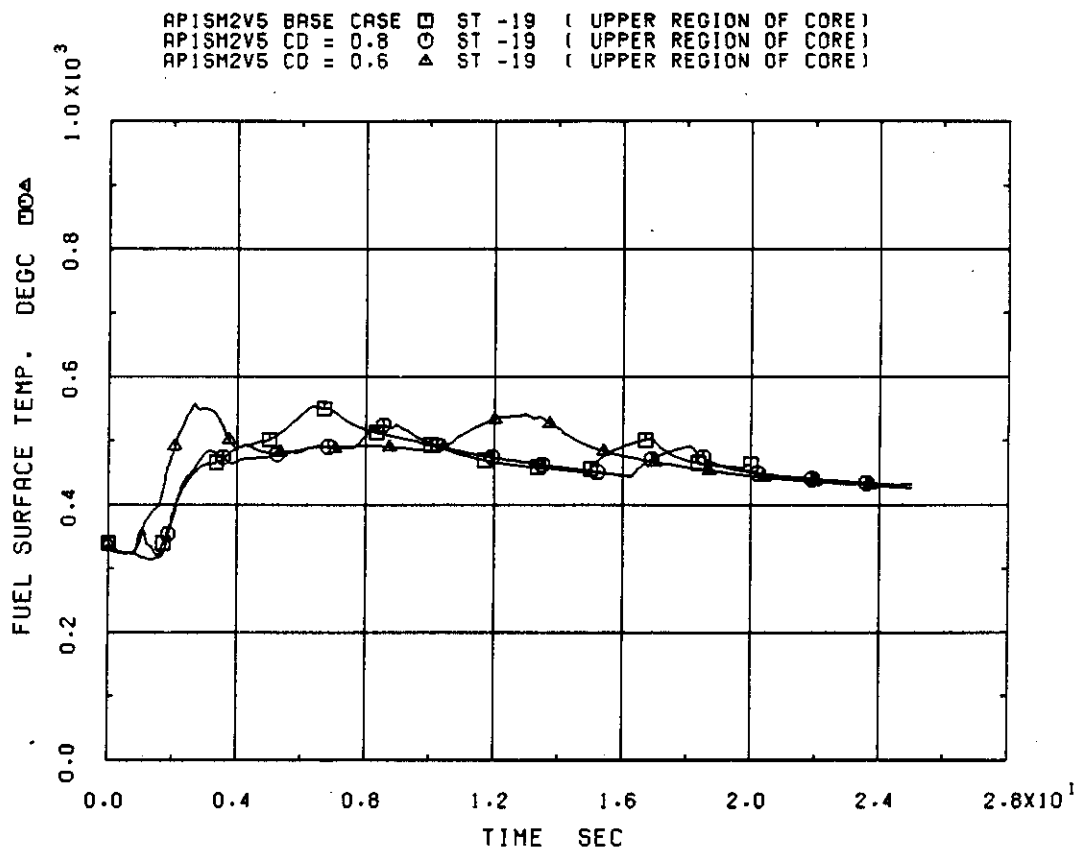


Fig. 85 Clad Surface Temperature at Upper Region

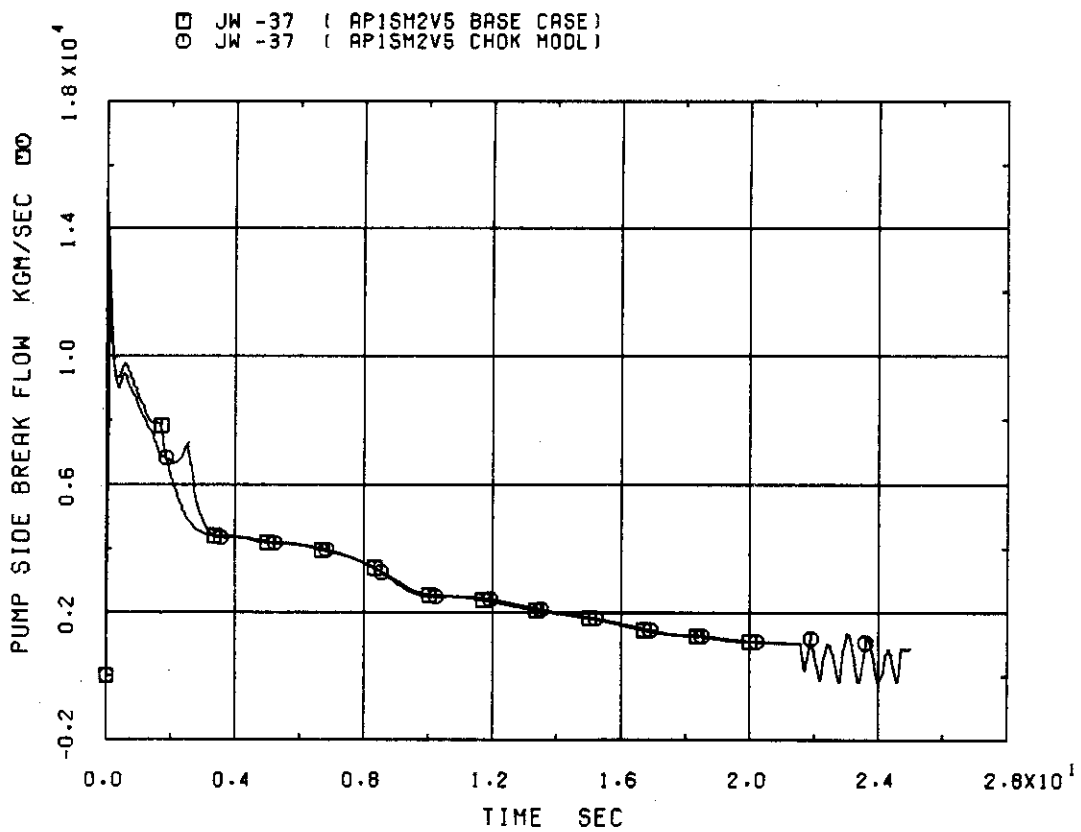


Fig. 86 Discharge Flow Rate at Pump Side Break Plane

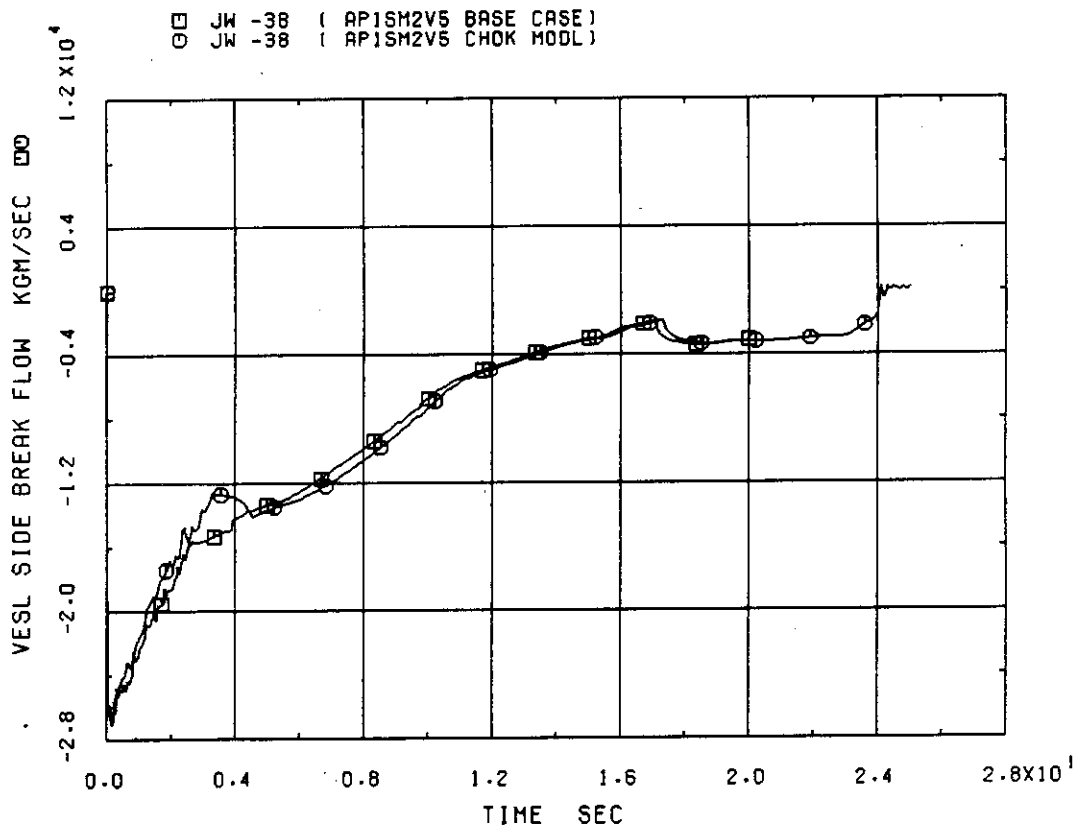


Fig. 87 Discharge Flow Rate at Vessel Side Break Plane

5. 結 論

軽水炉（PWR）における仮想的な冷却材喪失事故の模擬は、これまで ALARM-P1 コードにより数多く手掛けられてきたが、なかでも CSNI 国際標準問題への参加は、本コードにとって極めて貴重な経験となり、解析モデルの妥当性及び適用範囲が明確にされた。

今度行った実炉の模擬解析においては、RELAP4-EMコードとの照合により、良好な結果を得ることができた。併せて実施した感度解析では、着目したパラメータの影響が明らかになり、コードの使用法に有益な知見が得られた。ALARM-P1コードに対する実炉の LOCA 解析は、この RELAP4-EMコードとの比較計算で、十分にその性能を立証することができたと考えられる。例えば、旧 ECCS 指針に述べられた「ブローダウン中に注入された蓄圧器からの水は、炉心の冷却に対して無効とする。」という要求に対してバイパス流が正しく予測されていたことで、LOCA/ECCS 評価コードとして実用に供し得ると思われる。現在まで行ってきた検証過程の中で、本コードに内在する数多くの問題点、特にプログラミング・ミスや解析モデルの不備・不適切さは、その都度解決され更に実験結果に接近させる意図からモデルの改良及び拡張が進められ、予測能力向上に大きく貢献した。

このことから、コードは所期の目標に一応到達したと判断される為に、本解析をもって原型版（ALARM-P1）に対するコードの検証を終了することとした。システム・パフォーマンスの改善と共に数多くの技術の蓄積ができたことも大きな収穫であり、これらは今後のコード開発への足掛かりとして寄与することであろう。

謝 辞

ALARM-P1コードの開発は、昭和49年以来長きにわたって行われてきた。この間、種々の状況の変化により、本コードの負う役割が当初とはかなり違ったものになってきたものの、多数の実験との比較により本コードの信頼性向上への努力が、一貫して払われてきた。この作業の開始から本報の査読に至るまで、種々の助言をいただいた安全性コード開発室室長佐藤一男氏に心から感謝の意を表す。また ALARM-P1の原著者である安全性コード開発室秋元正幸氏をはじめ室員各位からの有益なコメントを賜った。更に原子炉データ解析室田辺文也氏にも WREM データの提供等で協力していただいた。ここに心から感謝の意を表す。

5. 結 論

軽水炉（PWR）における仮想的な冷却材喪失事故の模擬は、これまで ALARM-P1 コードにより数多く手掛けられてきたが、なかでも CSNI 国際標準問題への参加は、本コードにとって極めて貴重な経験となり、解析モデルの妥当性及び適用範囲が明確にされた。

今度行った実炉の模擬解析においては、RELAP4-EMコードとの照合により、良好な結果を得ることができた。併せて実施した感度解析では、着目したパラメータの影響が明らかになり、コードの使用法に有益な知見が得られた。ALARM-P1コードに対する実炉の LOCA 解析は、この RELAP4-EMコードとの比較計算で、十分にその性能を立証することができたと考えられる。例えば、旧 ECCS 指針に述べられた「ブローダウン中に注入された蓄圧器からの水は、炉心の冷却に対して無効とする。」という要求に対してバイパス流が正しく予測されていたことで、LOCA/ECCS 評価コードとして実用に供し得ると思われる。現在まで行ってきた検証過程の中で、本コードに内在する数多くの問題点、特にプログラミング・ミスや解析モデルの不備・不適切さは、その都度解決され更に実験結果に接近させる意図からモデルの改良及び拡張が進められ、予測能力向上に大きく貢献した。

このことから、コードは所期の目標に一応到達したと判断される為に、本解析をもって原型版（ALARM-P1）に対するコードの検証を終了することとした。システム・パフォーマンスの改善と共に数多くの技術の蓄積ができたことも大きな収穫であり、これらは今後のコード開発への足掛かりとして寄与することであろう。

謝 辞

ALARM-P1コードの開発は、昭和49年以来長きにわたって行われてきた。この間、種々の状況の変化により、本コードの負う役割が当初とはかなり違ったものになってきたものの、多数の実験との比較により本コードの信頼性向上への努力が、一貫して払われてきた。この作業の開始から本報の査読に至るまで、種々の助言をいただいた安全性コード開発室室長佐藤一男氏に心から感謝の意を表す。また ALARM-P1の原著者である安全性コード開発室秋元正幸氏をはじめ室員各位からの有益なコメントを賜った。更に原子炉データ解析室田辺文也氏にも WREM データの提供等で協力していただいた。ここに心から感謝の意を表す。

参 考 文 献

- [1] M. Akimoto, et al.: ALARM-Pl; A Computer Program for Pressurized Water Reactor Blowdown Analysis, JAERI-M 8004, December 1978
- [2] S. Sasaki: Analysis of CSNI International Standard Problems (to be published)
- [3] NRC: WREM; Water Reactor Evaluation Model (Revision 1), NUREG-75/056, May 1978
- [4] 原子力委員会月報, Vol. 20, No. 10, 1975年10月
- [5] Trojan Nuclear Plant, Portland General Electric, FSAR, Docket No. 50-344
- [6] K.V. Moore and W.H. Rettig: RELAP-4, A Computer Program for Transient Thermal-Hydraulic Analysis, ANCR-1127, December 1973
- [7] 10CFR Part 50: Acceptance Criteria for Emergency Core Cooling System for Light Water-Cooled Nuclear Power Plants, Federal Register, Vol.39, No.3, January 4, 1974
- [8] D.C. Groeneveld: An Investigation of Heat Transfer in the Liquid Deficient Regime, AECL-3281 (Rev.), December 1968, revised August 1969
- [9] R.S. Dougall and W.M. Rohsenow: Film-Boiling on the Inside of Vertical Tubes with Upward Flow of the Fluid at Low Qualities, MIT Report 9079-26, Cambridge, Massachusetts, September 1963
- [10] G.C. Shifer and J.E. Hensch: Loss-of-Coolant Accident and Emergency Core Cooling Models for General Electric Boiling Water Reactors, Report NEDO-10329, GE, April 1971
- [11] American Nuclear Society Proposed Standard: Decay Energy Release Rates Following Shutdown of Uranium-Fueled Thermal Reactors, ANS 5.1, Rev. (October 1973)
- [12] C.R. Hann, C.E. Beyer and L.J. Parchen: GAPCON-THERMAL-1: A Computer Program for Calculating the Gap Conductance in Oxide Fuel Pins, BNWL-1778, UC-78, September 1973
- [13] R.E. Henry and H.K. Fauske: The Two-Phase Critical Flow of One-Component Mixture in Nozzles, Orifices and Short Tubes, Journal of Heat Transfer ASME, May 1971
- [14] F.J. Moody: Maximum Flow Rate of a Single Component, Two-Phase Flow, Journal of Heat Transfer, Trans. ASME, Vol.87, Ser. C, No.1,

February 1965

- [15] L. Baker and L.C. Just: Studies of Metal Water Reactions at High Temperatures, III. Experimental and Theoretical Studies of the Zirconium-Water Reaction, ANL-6548, page 7, May 1962
- [16] J.A. Dearien, L.J. Siefken, M.P. Bohn, R.C. Young and R.L. Benedetti: FRAP-T2, A Computer Code for the Transient Analysis of Oxide Fuel Rods (Vol.1), I-309-3-53, 1, ANC, July 1975
- [17] J.F. Wilson, R.J. Grenda and J.F. Patterson: The Velocity of Rising Steam in a Bubbling Two-phase Mixture, Trans. ANS. May 1962
- [18] F.M. Bordelow: A Comprehensive Space-Time Analysis of Loss-of-Coolant (SATAN Digital Code), USAEC Report, WCAP-7236, 1969
- [19] F.R. Zalondek: The Critical Flow of Hot Water through Short Tubes, HW-77594, May 1966
- [20] M.F. Lyons, et al.: UO₂ Pellet Thermal Conductivity from Irradiations with Central Melting, GEAP-4624, July 1964
- [21] H.C. Brassfield, et al.: Recommended Property and Reaction Kinetics Data for Use in Evaluating a Light-Water Cooled Reactor Loss-of-Coolant Incident Involving Zircaloy-4 on 304-SS-Clad UO₂, GE-482, April 1968
- [22] E.A. Eldridge and H.W. Deem: Specific Heats and Heat of Transformation of Zircaloy-2 and Low-Nickel Zircaloy-2, BMI-1903, May 31, 1967
- [23] S. Sasaki and F. Araya: Re-analysis of CSNI Standard Problem No.8, JAERI-M 9842, December 1981

CONTENTS OF APPENDICES

- APPENDIX I Information for Users 93
 - 1. ALARM-P1 Code Description 93
 - 2. Data Card Summary 96
 - 3. Input for Restarting 116
 - 4. Information Related to Plotter 118
 - References of Appendix I 132
- APPENDIX II List of JCL Cards and Input Data 133
 - 1. List of JCL Cards 133
 - 2. List of Input Data (Base Case) 134

APPENDIX I Information for Users

1. ALARM-P1 Code Description1.1 Program organization

ALARM-P1 is written in FORTRAN-IV for FACOM M-200 computer. This code uses double precision floating point arithmetic and does not have any overlay structure, executable in a computer having more than 1276 kB core storage. The compiler must be used without optimization.

The ALARM-P1 code has the functions such as restarting, and editing for restart and plot. Sections 2 through 4 in Appendix I describes the sets of input cards for normal and restart problem, and plotter running.

Up to eight standard FORTRAN input or output units may be required. Unit 5 and 6 are used for card input and print out respectively. Unit 1 and 9 are used as a scratch unit for plot data editing and for input data processing, respectively. Unit 2 is used for the input for restarting which is obtained from a restart tape previously written on Unit 3. Unit 4 is the output file of plot information. Unit 10 is used to read the steam table generated by the STEM^[1]* package.

1.1.1 Problem dimension

Since ALARM-P1 employs variable dimensioning, the program allows the optimum use of available storage and there are no particular restrictions on the number of nodes and junctions, etc. as far as the computer memory allows. Basic integer data required for the dimensioning are read in immediately following the title card. After all data are read in, the required core memories are compared with available storage.

1.1.2 Restart and dump options

ALARM-P1 generates a dump/restart data file on FORTRAN unit 3, which contains every necessary information at the specified intervals during problem execution. Any one of these dumped informations may be used to initialize the whole system for subsequent calculations. The dump interval is specified on the Time Step Cards.

To use a dump file in restarting for a subsequent calculation, the file must be mounted on FORTRAN unit 2. The dump number from which the restart is desired must be specified on the Problem Dimension Card. The

*) Numbers in brackets designate References of Appendix I.

other data required for the restart are only those included on the Time Step Data Card, the Edit Data Variable Card and the Trip Control Cards.

1.1.3 Editing and plotting

ALARM-P1 provides two kinds of edits, which are similar to those in RELAP4^[2]. One is edited with a fixed format and another allows a user to choose calculated variables to be edited without restriction on the number of variables. The frequency of both edits is specified by two integer data on the Time Step Data Card (refer to section 2 in Appendix I).

A large number of calculated variables for plotting is stored on the FORTRAN unit 4 at the frequency specified by one integer on the Time Step Data Card. The SPLPACK data plotting system^[3] developed in JAERI is used for plotting. The plotting program can be used for paper plotting as well as graphic display.

1.1.4 Trip control options

The control functions are usually required to simulate a reactor system. For instance, the pump is tripped at the time when the electric power is lost. These actions may be simulated by the trip control specified on the Trip Control Data Cards.

Trip can be controlled by the elapsed time, node pressure, mixture level, water temperature, or junction flow. Each controlling variable can control multiple actions such as leak area opening, valve action, fill water injection and so on. Trip control parameters are compared with specified set points and if the set point is reached, the trip action is generated after a specified delay time.

Trip control parameters not yet actuated may be changed or reset at a restart. (refer to section 2.5 of Appendix I)

1.2 Required resources

The ALARM-P1 code uses some generally available routines and environmental routines provided by the JAERI computer center.

STH20 routines contained in RELAP4 are used in ALARM-P1 to determine thermodynamic water properties.

SPLPACK data plotting system^[3] is available for plot data editing and plotting. SPLPACK can plot on microfilm and graphic-display in user specified unit system using the unit conversion package UCL2^[4] which had

been developed independently of SPLPACK.

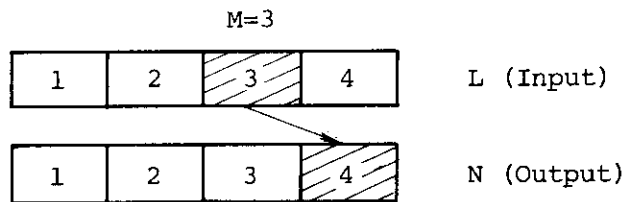
Both PACK and UNPACK written by FACOM M-200 assembler language, which manipulate characters are used in the input subroutine REAG^[5] for free format. Two routines are used as following manner:

CALL UNPACK (L,M,N)

L a word to be unpacked

M location of a character in L ($1 \leq M \leq 4$)

N a word in which a character is put at the last byte.

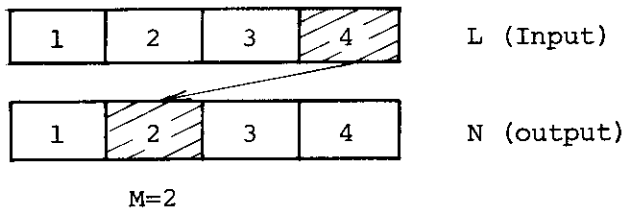


CALL PACK (L,M,N)

L the last character of L is moved

M location of a character in N ($1 \leq M \leq 4$)

N a word in which a character is put at M-th byte.



2. Data Card Summary

All input data are read into the ALARM-P1 program in free format via the subroutine REAG, which converts BCD information to integer or floating binary information. Data punched on a card may be delimited by blank column or comma. The slash (/) indicates the end of the BCD field to be converted. If no slash is present 72 columns of the first card are scanned and scanning the columns of the following cards is continued so far as to satisfy the number of required data. In the read-in process, the bracket () or asterisk * are allowed and defined as follows:

2(1.0, 1.5 E-3) = 1.0, 1.5 E-3, 1.0, 1.5 E-3

3(0) = 0, 0, 0

1.0, 3*0.2, 2* - 0.1 = 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.5, 1.4

/* or /¥ appearing in the first and second columns are identified as a comment card. The order of the data (W1, W2, ...), the format (I or R), the variable name and the input data requirements are given where applicable.

2.1 Title Card (one card)

The information punched in the first column to the 72nd of a card will be printed at the top of the page of output.

2.2 Problem Dimension Card

Number of entries are 17 integers and one floating point number.

W1-I	LDMP	Restart control
		=0 No store restart and plot information
		=-1 Store only restart information on FORTRAN Unit 3
		=-2 Store only plot information on FORTRAN Unit 4
		=-3 Store both restart and plot information on FORTRAN Unit 3 and 4 respectively
		=N Restart at restart number N using the restart information on FORTRAN Unit 2
		After initialization of restart the value of LDMP for previous case is assigned to the symbol LDMP. In the restart calculation Edit Variable Card, Time Step Control Card and Trip Control

Card must be prepared, but the values of NEDI, NTC and NTRP must be same as those of the previous case.

W2-I	NEDI	Number of minor edit variables ($0 \leq \text{NEDI} \leq 50$)
W3-I	NTC	Number of time step cards ($\text{NTC} > 0$)
W4-I	NTRP	Number of trip control cards ($\text{NTRP} > 0$)
W5-I	NVOL	Number of control volumes ($\text{NVOL} \geq 1$)
W6-I	NBUB	Number of bubble-parameter sets ($\text{NBUB} \geq 0$) A set may be used in several volumes.
W7-I	NJUN	Number of junctions ($\text{NJUN} \geq 1$)
W8-I	NPMP	Number of pumps ($0 \leq \text{NPMP} \leq \text{MIN}(\text{NVOL}, 10)$)
W9-I	NPMPC	Number of pump characteristic curve sets ($\text{NPMPC} \geq 0$) A set may be used for a few pumps.
W10-I	NCKV	Number of check valve types ($0 \leq \text{NCKV} \leq \text{MIN}(\text{NJUN}, 14)$) A parameter set may be used for several junctions.
W11-I	NLK	Number of leak data sets ($0 \leq \text{NLK} \leq \text{MIN}(\text{NJUN}, 20)$)
W12-I	NFLL	Number of fill data sets ($0 \leq \text{NFLL} \leq \text{NJUN}$)
W13-I	NSLB	Number of heat slabs ($\text{NSLB} \geq 0$)
W14-I	NOCOR	Number of core regions ($0 \leq \text{NOCOR} \leq \text{NSLB}$)
W15-I	NGOM	Number of heat slab geometries ($\text{NGOM} \geq 0$)
W16-I	NMAT	Number of heat slab materials ($\text{NMAT} \geq 0$)
W17-I	NHTX	Number of heat exchangers ($\text{NHTX} \geq 0$)
W18-R	POWRO	Initial power (MW) ($\text{POWRO} \geq 0$)

2.3 Edit Variable Data Cards

NEDI is the number of the variable to be edited. The specification is made by using the following symbols.

Variables with reference to volume

Key word

AP	Average pressure	(kg_f/m^2)
TM	Total mass	(kg_m)
TE	Total energy	(kcal)
AT	Average temperature	($^{\circ}\text{C}$)
AR	Average density	(kg_m/m^3)
AH	Average enthalpy	(kcal/kg_m)
AX	Average quality	
BM	Bubble mass	(kg_m)

ML	Mixture level	(m)
VF	Specific volume of saturated water	(m ³ /kg _m)
VG	Specific volume of saturated steam	(m ³ /kg _m)
HF	Specific enthalpy of saturated water	(kcal/kg _m)
HG	Specific enthalpy of saturated steam	(kcal/kg _m)
TS	Saturation temperature	(°C)
PS	Saturation pressure	(kg _f /m ²)
WM	Liquid phase mass	(kg _m)

Variables with reference to heat slabs

SL	Left surface temperature	(°C)
SR	Right surface temperature	(°C)
HCL	Left heat transfer coefficient	(kcal/m ² -sec-°C)
HCR	Right heat transfer coefficient	(kcal/m ² -sec-°C)
FL	Left heat flux	(kcal/m ² -sec)
FR	Right heat flux	(kcal/m ² -sec)
WL	Left heat transfer rate to coolant	(kcal/sec)
WR	Right heat transfer rate to coolant	(kcal/sec)
IHL	Left heat transfer mode number	
IHR	Right heat transfer mode number	
DF	DNB heat flux (only calculated for core slabs)	(kcal/m ² -sec)
FT	Average slab temperature (only calculated for core slabs)	(°C)
FQ	Heat generation in fuel (only calculated for core slabs)	(MW)

Variables with reference to junction

JW	Mass flow rate	(kg _m /sec)
JH	Junction enthalpy	(kcal/kg _m)
JX	Junction quality	
LF	Dummy	
TD	Total pressure drop	(kg _f /m ²)
FD	Frictional pressure drop	(kg _f /m ²)
ED	Gravitational pressure drop	(kg _f /m ²)
PD	Pump head	(kg _f /m ²)
AD	Accelerative pressure drop	(kg _f /m ²)

Variables with reference to system balance

NQ	Normalized power	
AE	Total energy added during transient	(kcal)
FE	Energy stored in fuel	(kcal)
LE	Total energy leaked	(kcal)
HE	Energy removed by heat exchanger	(kcal)
EB	Energy balance term	(kcal)
TR	Total reactivity	(β)
RV	Reactivity due to coolant voids	(β)
RC	Reactivity due to control rod changes	(β)
RD	Reactivity due to Doppler effect	(β)
PO	Power	(MW)
HL	Total heat removed	(kcal/sec)
RP	Reactor period	(sec)

Symbols of available region number identification are as follows;

Volume data	N1, N2, etc.
Junction data	J1, J2, etc.
Slab data	S1, S2, etc.
System balance data	T

example

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Column number
A	P			N	1			J	W			J	2	0		

2.4 Time Step Control Cards

NTC data blocks are required. Each data block consists of 4 integer entries and 2 floating point number entries.

W1-I	NMIN	Number of time steps per minor edit (0 is interpreted as 1)
W2-I	NMAJ	Number of minor edits per major edit (0 is interpreted as 50)
W3-I	NDMP	Number of major edits per restart tape edit (0 is interpreted as 20)
W4-I	NPLT	Number of time steps per plot tape edit (0 is interpreted as 1)

W5-R DELTM Time step size (sec)
 W6-R TLAST End of current time step data (sec)

2.5 Trip Control Cards

NTRP data blocks are required. Each data block consists of 4 integer entries and 2 floating point number entries.

W1-I IDTRP Action to be taken
 = 1 End of problem
 =20+I Open leak from junction with I-th leak data set ($1 \leq I \leq NLK$)
 = 3 Start reactor scram
 =40+J Trip J-th pump ($1 \leq J \leq 10$)
 =50+K Start fill from junction with K-th fill data set ($1 \leq K \leq NFLL$)
 =6+N Open (or close) valve ($6 \leq N \leq (6+NCKV)$)

W2-I IDSIG Signal being compared
 = 1 Elapsed time (sec)
 = 2 Normalized reactor power
 = 3 Reactor period (sec)
 = 4 Pressure (kg_f/m^2)
 = 5 Mixture level in Volume IX1 (m)
 = 6 Liquid level in Volume IX1 (m)
 = 7 Water temperature in Volume IX1 ($^{\circ}\text{C}$)
 = 8 Cladding surface temperature in Core Volume IX1 ($^{\circ}\text{C}$)
 = 9 Metal temperature in Core Volume IX1 ($^{\circ}\text{C}$)
 =10 Junction flow in Junction IX1 (kg_m/sec)
 When the signal is less (greater) than SETPT under $\text{IDSIG} < 0$ (> 0), trip is on.

W3-I IX1 Node or junction index
 The node or junction number is checked as signal
 $1 \leq IX1 \leq \text{NOCOR}$ for $\text{IDSIG} = 8$ or 9
 $1 \leq IX1 \leq \text{NVOL}$ for $\text{IDSIG} = 4, 5, 6$ or 7
 $1 \leq IX1 \leq \text{NJUN}$ for $\text{IDSIG} = 10$

W4-I IX2 Optional node
 If $IX2 > 0$, the absolute difference value for IX1 and IX2 is checked as signal. (for $\text{IDSIG} = 4, -4, 7, -7$)

W5-R SETPT Signal set point
 W6-R DELAY Delay time for initiation of action after reaching
 setpoint (sec)

2.6 Volume Data Cards

NVOL data sets are required. Each data set consists of 2 integer entries and 10 floating point number entries. (See Fig.A concerning the geometry)

W1-I IBUB Bubble data index ($0 \leq \text{IBUB} \leq \text{NBUB}$)
 If two-phase separation model is not applied to the volume, set IBUB=0.

W2-I NPUMP Pump number index ($0 \leq \text{NPUMP} \leq \text{NPMP}$)
 If the voume contains no pump, set NPUMP = 0.

W3-R P Node pressure (kg_f/m^2) ($0.0 \leq P \leq 254.99 \times 10^4$)

W4-R TEMP Node temperature ($^{\circ}\text{C}$) or enthalpy (kcal/kg_m)
 TEMP > 0.0 ---- temperature ($0.0 < \text{TEMP} < 800.0$)
 TEMP \leq 0.0 ---- enthalpy |TEMP| (kcal/kg_m)

W5-R HORX Quality or humidity ($0.0 \leq \text{HORX} \leq 1.0$)
 If the volume contains subcooled liquid, HORX < 0.0.

W6-R V Volume (m^3) ($V > 0.0$)

W7-R ZVOL Volume height from the bottom to the top (m) ($\text{ZVOL} > 0.0$)

W8-R ZM Mixture level from the bottom (m) ($0.0 \leq \text{ZM} \leq \text{ZVOL}$)

W9-R FLOWA Flow area of volume (m^2)

W10-R DIAMV Equivalent diameter of flow area (m)
 If DIAMV = 0.0, set DIAMV = $2\sqrt{\text{FLOWA}/\pi}$.
 Used only for Fanning friction calculation.

W11-R ELEV Elevation at the bottom of the volume (m)

W12-R FLOWL Flow length of the volume (m)
 If FLOWL = 0.0, set FLOWL = V/FLOWA .

The following data is required only if NPUMP > 0 and this data block must be refreshed.

XN Initial pump speed (rad/sec)

2.7 Bubble Data Cards

NBUB data blocks are required. Each data block consists of two floating point number entries.

W1-R ALPH Bubble gradient parameter ($0.0 \leq \text{ALPH} \leq 1.0$)
 W2-R VBUB Bubble velocity ($0.0 < \text{VBUB}$) (m/sec)

If VBUB < 0.0, the Wilson model is applied.

Set Number (ALPH = 0.0, VBUB = 0.0) is built-in.

2.8 Pump Curve Data Cards

NPMPC data sets are required. Each data set consists of two data blocks and tabular input data.

(i) The first data block consists of 19 integer data entries

W1-I	IPOPT=	Option for pump model
	=1	Original ALARM-P1 Type Pump Model (single phase features only for homologous curves)
	=2	RELAP-4 Type Pump Model (Single phase + two phase features)
W2-I	N1	Number of data points for heads in the single phase flow (HAN, HAD)
W3-I	N2	Number of data points for heads in the single phase flow (HAT, HAR)
W4-I	N3	Number of data points for heads in the single phase flow (HVN, HVR)
W5-I	N4	Number of data points for heads in the single phase flow (HVD HVT)
W6-I	N5	Number of data points for torque in the single phase flow (BAN, BAD)
W7-I	N6	Number of data points for torque in the single phase flow (BAD, BAR)
W8-I	N7	Number of data points for torque in the single phase flow (BVN, BVR)
W9-I	N8	Number of data points for torque in the single phase flow (BVD, BVT)
W10-I	N9	Number of data points for NPSH (kg_f/m^2) vs. mass flow rate (kg_m/sec) (IPOPT = 1) (HAN, HAD) Number of data points for head differences in the two-phase flow (IPOPT = 2) (HAN, HAD)

For IPOPT = 2 (If IPOTP = 1, then data of the following item W11 to W19 are dummy)

W11-I	N10	Number of data points for head differences in the two-phase flow (IPOPT=2) (HAT, HAR)
W12-I	N11	Number of data points for head differences in the two-phase flow (IPOPT = 2) (HVN, HVR)

W13-I	N12	Number of data points for head differences in the two-phase flow (IPOPT = 2) (HVD, HVT)
W14-I	N13	Number of data points for torque differences in two-phase flow (IPOPT = 2) (BAN, BAD)
W15-I	N14	Number of data points for torque differences in two-phase flow (IPOPT = 2) (BAT, BAR)
W16-I	N15	Number of data points for torque differences in two-phase flow (IPOPT = 2) (BVN, BVR)
W17-I	N16	Number of data points for torque differences in two-phase flow (IPOPT = 2) (BVD, BVT)
W18-I	N17	Number of data points for head multiplier vs. void fraction (IPOPT = 2)
W19-I	N18	Number of data points for torque multiplier vs. void fraction (IPOPT = 2)

Note :

Normal Pump (Q, N) $\begin{cases} \text{HAN} \\ \text{HVN} \end{cases}$

Energy Dissipation (-Q, N) $\begin{cases} \text{HAD} \\ \text{HVD} \end{cases}$

Normal Turbine (-Q, -N) $\begin{cases} \text{HAT} \\ \text{HVT} \end{cases}$

Reverse pump (Q, -N) $\begin{cases} \text{HAR} \\ \text{HVR} \end{cases}$

In the notation, H and B refer to a head ratio, and a torque ratio, respectively. A means division by α^2 , and N is the normal zone speed. V means division by v^2 . D, T, and R are the zone of energy dissipation, turbine operation and reverse operation, respectively. ($\alpha = N/N_r$, $v = Q/Q_r$)

(ii) The second data block consists of 9 floating point number entries

W1-R	HLOSM	Maximum head loss (m) If HLOSM = 0.0, calculated in the code.
W2-R	CAVCON	Cavitation constant (kg_f/m^2)
W3-R	ROHO	Rated fluid density (kg_m/m^3)
W4-R	HO	Rated pump head (m)
W5-R	QO	Rated volumetric flow rate (m^3/sec)
W6-R	NO	Rated pump (rad/sec)
W7-R	TO	Rated hydraulic torque ($\text{kg}_f.\text{m}$)
W8-R	I	Inertia moment ($\text{kg}_m.\text{m}^2$)
W9-R	KSR	Loss coefficient of stalled rotor ($\text{kg}_f\text{-sec}^2/\text{kg}_m\text{-m}^5$)

(iii) As additional data, if IPOPT=1 (or IPOPT=2), then nine (or nineteen) data blocks are required. Entries for each block are twice the number of data points. For each pump characteristic curve, normalized values are used. On the other hand, for NPSH curve, tabular data are given by realistic value. Data must be arranged as follows;

independent variable X_1 , dependent variable Y_1 , -----
 -----, independent X_n , dependent Y_n .

2.9 Junction Data Cards

NJUN data blocks are required. Each data block consists of 7 integer entries and 10 floating point number entries. (See Fig. A concerning the geometry)

W1-I	IW(1)	Volume index at junction inlet ($0 \leq IW(1) \leq NVOL$)
W2-I	IW(2)	Volume index at junction outlet ($0 \leq IW(2) \leq NVOL$)
W3-I	IPUMP	(a) ($IW(1) > 0, IW(2) > 0$) Pump index $(0 \leq IPUMP \leq NPMP)$ IPUMP > 0 ----- Discharge side junction IPUMP < 0 ----- Suction side junction IPUMP = 0 ----- Junction disconnected to the pump (b) ($IW(1) > 0, IW(2) = 0$) Leak index $(1 \leq IPUMP \leq NLK)$ (c) ($IW(1) = 0, IW(2) > 0$) Fill index $(1 \leq IPUMP \leq NFLL)$
W4-I	IVALVE	Valve index ($0 \leq IVALVE \leq NCKV$) IVALVE = 0 ----- No valve IVALVE > 0 ----- Check valve
W5-I	IANGL	Mixing junction index = 0 No momentum mixing junction = 1 Momentum mixing junction = 2 No momentum flux calculation
W6-I	JENTH	Junction enthalpy index = 0 If the volume upstream is homogeneous, the change of enthlpy due to the heating is considered. If both the bubble rise model and heat slabs are applied to the volume upstream, only the

change of enthalpy due to phase separation is considered.

If the volume upstream is homogeneous with no phase separation, the average enthalpy of the volume upstream is adopted.

= 1 The change of enthalpy due to bubble rising is considered.

Others are similar to JENTH = 0.

= 2 This option is the same as the JENTH = 1 except for the model of enthalpy change due to heat slab (RELAP-4).

= 3 Junction enthalpy is estimated as the average enthalpy of the volume upstream.

W7-I	JCHOK	Option for choking model ==-1 SATAN model (Zaloudek, Moody and Murdock-Bauman) = 0 Modified ALARM-P1 model (Zaloudek, Moody and Murdock-Bauman) = 1 RELAP-4 model (Henry-Fauske and HEM)
W8-R	WP	Junction mass flow rate (kg_m/sec) ($WP \geq 0.0$)
W9-R	AJUN	Junction flow area (m^2) ($AJUN \geq 0.0$) For leak junction, AJUN is full leak area.
W10-R	ZJUN	Junction elevation (m)
W11-R	INERTA	Junction effective L/A ($1/\text{m}$) (a) $IW(1) > 0, IW(2) > 0$ $INERTA \geq 0.0$ (b) $IW(1) = 0$ or $IW(2) = 0$ $INERTA = 0.0$ If $IW(1) > 0, IW(2) > 0$ and $INERTA = 0.0$, INERTA is calculated from one-half of the length of each adjacent volume divided by the volume flow area where volume length is FLOWL.
W12-R	FRIFF	Form loss coefficient for forward flow
W13-R	FRIFR	Form loss coefficient for reverse flow Form loss coefficient is a dimensionless positive number due to geometric changes within flow control volume, if any.

Form loss coefficient is used as following form:

$$K \frac{v^2}{2}$$

where K is FRIFF or FRIFR and v is based on the junction area. If both FRIFF and FRIFR are zero, calculated in the code.

- W14-R ANGLE Cross angle for momentum mixing junction
($0.0 \leq \text{ANGLE} < 90^\circ$)
If IANGL \neq 1, set ANGL = 0.0.
- W15-R ZACOEFCoefficient for subcooled critical flow calculation of normal junction (IW(1) > 0, IW(2) > 0) by Zaloudek's equation (0.0 is interpreted as 0.9)
If JCHOK=1, this data is dummy.
- W16-R CONTCZ Adjusted coefficient for Zaloudek or Henry-Fauske model.
If JCHOK = -1, this data is dummy.
(0.0 is interpreted as 1.0)
- W17-R CONTCM Contraction coefficient for critical flow calculation of normal junction (IW(1) > 0, IW(2) > 0) by Moody's equation or HEM (0.0 is interpreted as 1.0)
If CONTCM < 0.0, critical flow check is not performed for normal junction.

2.10 Valve Data Cards

NCKV data blocks are required. Each data block consists of one integer entry and 4 float point number entries.

- W1-I ITCV Type of valve
= 0 Type 0 (without hysteresis)
= 1 Type 1 (with hysteresis)
 $-N \leq \text{ITCV} \leq -6$ a closed valve to open under trip control
 $6 \leq \text{ITCV} \leq N$ an open valve to close under trip control
- W2-R PBACK Back pressure for closure (kg_f/m^2)
- W3-R FRICF Forward flow friction coefficient ($\text{kg}_f\text{-sec}^2/\text{kg}_m\text{-m}^5$)
- W4-R FRICRO Reverse flow friction coefficient ($\text{kg}_f\text{-sec}^2/\text{kg}_m\text{-m}^5$)
(valve open)
- W5-R FRICRC Reverse flow friction coefficient ($\text{kg}_f\text{-sec}^2/\text{kg}_m\text{-m}^5$)
(valve closed)
- If ITCV \neq 0 or \neq 1, set PBACK, FRICF, FRICRO and FRICRC are zero.

2.11 Leak Table Data Cards

NLK data sets are required. Each data set consists of a data block having 3 integer and 4 floating point number entries and tabular input.

(i) The first data block

W1-I	ILAORF	Type of leak table data = 1 ----- Leak flow area vs. time (sec) = 2 ----- Leak mass flow rate (kg_m/sec) vs. time (sec)
W2-I	NAREAF	Number of data points
W3-I	LCHOK	Choking model choice at leak junction =-1 SATAN Model (Zaloudek, Moody and Murdock-Bauman) = 0 Modified ALARM-Pl model (Zaloudek, Moody and Murdock-Bauman) = 1 RELAP-4 model (Henry-Fauske and HEM)
W4-R	SINK	Sink pressure (kg_m/m^2)
W5-R	CONCOM	Contraction coefficient for critical flow calculation by Moody or HEM equation
W6-R	CONCOZ	Adjusted coefficient for Zaloudek or Henry-Fauske equation (If LCHOK=-1, this data is dummy.)
W7-R	C2	Coefficient for subcooled critical flow calculation by Zaloudek's equation ($C_2 \neq 1$) If LOCHOK = 1, C_2 is dummy.

(ii) The second data block has 2* NAREAF floating point number entries.

Data must be arranged as follows;

time t_1 (sec), normalized flow area A_1 (or mass flow rate (kg_m/sec)),
time t_2 (sec), normalized flow area A_2 (or mass flow rate (kg_m/sec)),
-----, time t_{NAREAF} , normalized flow area A_{NAREAF}
(or mass flow rate).

2.12 Fill Table Data Cards

NFLL data sets are required. Each data set consists of a data block having 2 integer and 2 floating point number entries and tabular input.

(i) The first data block

W1-I	NFILL	Number of data points
------	-------	-----------------------

W2-I	IX	Independent variable index IX = 0 ----- time (sec) IX > 0 ----- pressure (kg _f /m ²) (P _{vol} + P _{grav}) IX < 0 ----- differential pressure (kg _f /m ²) (P _{fill} - P _{vol} - P _{grav})
W3-R	FILPRS	Pressure in fill reservoir (kg _f /m ²)
W4-R	FILTEM	Temperature, quality or enthalpy in fill reservoir 1.0 < FILTEM ----- temperature (°C) 0.0 ≤ FILTEM ≤ 1.0 -- quality 0.0 > FILTEM ----- FILTEM enthalpy (kcal/kg _m)

(ii) The second data block has 2* NFILL floating point number entries. Data arrangement is the same as in the Leak Table Data Cards;

independent variable t_1 , mass flow rate w_1 (kg_m/sec), independent variable t_2 , mass flow rate w_2 (kg_m/sec), -----, independent variable t_{NFILL} , mass flow rate w_{NFILL} .

2.13 Kinetics Constants Data Cards

Required only if NOCOR > 0. Data set consists of the following three parts.

(i) The first block has 2 integer entries and 3 floating point number entries.

W1-I	IPCT	Normalized power (P(t)/P(0)) calculation indicator = 0 -- One prompt neutron group plus six groups of delayed neutrons plus eleven fission gamma emitters = 1 ---P(t)/P(0) vs. time table (If IPCT=1, data of W2-I to W5-R are dummy.)
W2-I	ITBL	Kinetics parameter indicator = 0 --- use built-in data = 1 --- use input data for decay constants and yields of both delayed neutron groups and fission gamma emitters
W3-R	BETABL	Effective delayed neutron fraction over mean lifetime (sec ⁻¹)
W4-R	REACO	Initial reactivity (β)
W5-R	ANS	Multiplying factor for decay energy (0.0 is interpreted as 1.0.)

(ii) The second data set is required only if IPCT = 1.

(a) one integer entry

W1-I NTVSNP Number of data points for power vs. time table

(b) 2* NTVSNP floating point number entries

Data arrangement is as follows;

time t_1 (sec), normalized power $(P(t_1)/P(0))$, time t_2 (sec),
normalized power $(P(t_2)/P(0))$, -----, time t_{NTVSNP} (sec),
normalized power $(P(t_{\text{NTVSNP}})/P(0))$.

Time values are in ascending order.

(iii) The third data set is required only if IPCT = 0 and ITBL = 1.

(a) 6 floating point number entries

Normalized effective delayed neutron fraction $(\beta_{\text{ieff}}/\beta_{\text{eff}})$

(b) 6 floating point number entries

Decay constants of delayed neutron group (λ_i) (sec⁻¹)

(c) 12 floating point number entries

Energy Fraction of fission gamma groups and total fraction
 $(\alpha_i, \Sigma\alpha_i)$

(d) 11 floating point number entries

Decay constants of fission gamma groups (λ_{Dj}) (sec⁻¹)

(e) One floating point number entry

Energy fraction of actinide decay heat (α_{act})

2.14 Scram Table Data Cards

Required only if NOCOR > 0 and IPCT = 0

This data set consists of the following two blocks.

(i) The first data block has one integer entry.

W1-I NSCRAM Number of data points for scram data table

(ii) The second data block has 2* NSCRAM floating point number entries.

Data arrangement is as follows;

time t_1 (sec), reactivity ρ_1 (\$), time t_2 (sec), reactivity
 ρ_2 (\$), -----, time t_{NSCRAM} (sec), reactivity
 ρ_{NSCRAM} (\$).

(i) The first data block has one integer entry.

W1-I IDOPOP Doppler reactivity calculation indicator
 = 1 -- option 1 (use fitting equation for Doppler reactivity)
 = 2 -- option 2 (use Doppler table data)

(ii) The second data block is required if IDOPOP = 1, and has one floating point number entry.

W1-R RFT Constant in fitting equation for Doppler feedback reactivity (RFT < 0.0)

(iii) The third data block is required if IDOPOP = 2, and has one integer entry and NOCOR floating pint number entries.

W1-I NTEREA Number of data points for Doppler table data
 W2-R WFT(1) Doppler reactivity weighting factor for the first core region
 W3-R WFT(2) :
 : :
 : :
 : :
 : WFT(NOCOR) :

(iv) The fourth data block is required if IDOPOP = 2, and has 2*NTEREA floating point number entires. Data arrangement is as follows:

temperature T_1 (°C), Doppler reactivity R_{ft_1} (\$),-----
 -----, Temperature T_{NTEREA} , Doppler reactivity $R_{ft_{NTEREA}}$.

Temperature values are in ascending order.

2.17 Heat Slab Data Cards

NSLB data sets are required.

(i) The first data block has 3 integer entries and 5 floaint point number entries.

W1-I IVSL Volume number at left slab surface
 (-1 ≤ IVSL ≤ NVOL)
 W2-I IVSR Volume number at right slab surface
 (-1 ≤ IVSR ≤ NVOL)

A zero value for either IVSL or IVSR means that the slab surface does not conduct heat.

A -1 value for either IVSL or IVSR means that there is a constant heat sink on the -1 side.

For this case, two more input quantities are needed: a constant heat transfer coefficient and a removal fraction of the total power initially generated. At least one of the quantities IVSL or IVSR must be greater than zero if a heat slab is a core section, IVSL must be zero.

W3-I	IGOM	Geometry index ($1 \leq \text{IGOM} \leq \text{NGOM}$)
W4-R	AHTL	Heat transfer area at left slab surface (m^2)
W5-R	AHTR	Heat transfer area at right slab surface (m^2)
W6-R	VOLS	Volume of heat slab (m^3)
W7-R	HDML	Left side hydraulic diameter (m) If $\text{IVSL} > 0$ and $\text{HDML} = 0.0$, HDML will be set equal to DIAMV (on 2.6 volume data)
W8-R	HDMR	Right side hydraulic diameter (m) If $\text{IVSR} > 0$ and $\text{HDMR} = 0.0$, HDMR will be set equal to DIAMV (on 2.6 volume data)

(ii) The second data block is required if either IVSL or IVSR equal to -1, and has 2 floating point number entires.

W1-R	PFR	Removal fraction of the total power initially generated
W2-R	HTC	Constant heat transfer coefficient ($\text{kcal}/\text{m}^2\text{-sec-}^\circ\text{C}$)

2.18 Core Section Data Cards

NOCOR data sets are required if $\text{NOCOR} > 0.0$. This data set has one integer entry and 3 floating point number entires.

W1-I	ISLB	Slab number ($1 \leq \text{ISLB} \leq \text{NSLB}$)
W2-R	CHANL	Channel length (m) ($\text{CHANL} > 0.0$)
W3-R	HEDIA	Heated equivalent diameter (m) ($\text{HEDIA} > 0.0$)
W4-R	POWER	Fraction of power generated in core section

NOCOR

($0.0 \leq \text{POWER} \leq 1.0$), $\sum_1 \text{POWER}_i = 1.0$

2.19 Slab Geometry Data Cards

NGOM data sets are required and this data set consists of the following three parts.

(i) The first data block has 5 integer entries and 3 floating point number entries.

W1-I	JGOM	Geometry type = 1 -- Rectangular = 2 -- Cylindrical
W2-I	NREG	Number of region ($1 \leq \text{NREG}$)
W3-I	IHTMOD	Heat conduction calculation indicator = 0 -- Heat conduction model = 1 -- Point heat transfer model
W4-I	IMATID(1)	Material index of the first region ($1 \leq \text{IMATID} \leq \text{NMAT}$)
W5-I	ISPST(1)	Number of space steps for the first region ($1 \leq \text{ISPST}$)
W6-R	WREG(1)	Region width of the first region (m) Negative region width is also permitted.
W7-R	POFRRG(1)	Fraction of slab power generated in the first region
W8-R	RDLFT	Radial distance to left surface (m) RDLFT = 0.0 for a solid rod (or Rectangular) If WREG(1) < 0.0, RDLFT means outer radius.

(ii) The second data set is required if $\text{NREG} \geq 2$. These data must be set for the second region to NREG-th region. Data for each region have 3 integer entries and 2 floating point number entries.

W1-I	IGAP(J)	Gap indicator = 0 -- no gap region = 1 -- gap region
W2-I	IMATID(J)	Material index ($1 \leq \text{IMTID}(J) \leq \text{NMAT}$)
W3-I	ISPST(J)	Number of space steps ($1 \leq \text{ISPST}(J)$) If IGAP(J)=1, set ISPST(J)=1.
W4-R	WREG(J)	Region width (m)
W5-R	POFRRG(J)	Fraction of slab power generated

(iii) The third data set is required in IHTMOD=1.

W1-R	HTCL (or HTCR)	Heat transfer coefficient at the heat slab left side (right side) ($\text{kcal/m}^2\text{-sec-}^\circ\text{C}$)
------	----------------	---

2.20 Thermal Property Data Cards

NMAT data sets are required. Each data set consists of the following 6 data blocks.

(i) one integer entry

W1-I NTATK Number of data points for thermal conductivity

(ii) 2* NTATK floating point number entries

Data arrangement is as follows:

temperature T_1 ($^{\circ}\text{C}$), thermal conductivity k_1 ($\text{kcal/m-sec-}^{\circ}\text{C}$),

-----, temperature T_{NTATK} , thermal conductivity k_{NTATK} .

Temperature values are in ascending order.

(iii) one integer entry

W1-I NTAHC Number of data points for volumetric heat capacity

(iv) 2* NTAHC floating point number entries

Data arrangement is as follows;

temperature T_1 ($^{\circ}\text{C}$), volumetric heat capacity ρc_{p1} ($\text{kcal/m}^3\text{-}^{\circ}\text{C}$),

-----, temperature T_{NTAHC} , volumetric heat capacity $\rho c_{p\text{NTAHC}}$.

Temperature values are in ascending order.

(v) one integer entry

W1-I NTAGAP Number of data points for gap conductance

(vi) 2* NTAGAP floating point number entries

Data arrangement is as follows;

temperature T_1 ($^{\circ}\text{C}$), gap conductance $h_{\text{gap}1}$ ($\text{kcal/m}^2\text{-sec-}^{\circ}\text{C}$),-----

-----, temperature T_{NTAGAP} , gap conductance $h_{\text{gapNTAGAP}}$.

2.21 Heat Exchanger Data Cards

NHTX data sets are required. Each data set consists of the following 5 data blocks.

(i) 3 integer entries

W1-I JVOL Volume number of primary side ($1 \leq \text{JVOL} \leq \text{NVOL}$)

W2-I JHEAT Heat exchanger model indicator

= 0 -- static model

= 1 -- transient heat conduction model

W3-I JVOLS Volume number of secondary side ($1 \leq \text{JVOLS} \leq \text{NVOL}$)

(ii) This data block is required if JHEAT = 0, and has 5 floating point number entries.

W1-R ASG Heat transfer area of primary side (m^2)
 W2-R HTSCD Constant heat transfer coefficient of secondary when heat flows from secondary to primary ($\text{kcal}/\text{m}^2\text{-sec-}^\circ\text{C}$)
 W3-R XQHED Equivalent heated diameter of primary side (m)
 W4-R XQHDM Equivalent hydraulic diameter of primary side (m)
 W5-R XQL Channel length of primary side (m)
 Used for CHF calculation

(iii) This data block is required if JHEAT=1, and has 4 integer entries.

W1-I JSLB Slab number ($1 \leq \text{JSLB} \leq \text{NSLB}$)
 W2-I JHTCOM Heat transfer coefficient calculation indicator
 = 0 -- input heat transfer coefficients of both primary and secondary side
 = 1 -- calculates heat transfer coefficients of both primary and secondary side in the code
 W3-I NTAHT1 Number of data points for primary heat transfer coefficient ($\text{kcal}/\text{m}^2\text{-sec-}^\circ\text{C}$) vs. time table
 $\text{NTAHT1} \geq 1$ if JHTCOM = 0, $\text{NTAHT1} = 0$ if JHTCOM = 1
 W4-I NTAHT2 Number of data points for secondary heat transfer coefficient ($\text{kcal}/\text{m}^2\text{-sec-}^\circ\text{C}$) vs. time table
 $\text{NTAHT2} \geq 1$ if JHTCOM = 0, $\text{NTAHT2} = 0$ if JHTCOM = 1

(iv) This data block is required if both JHEAT = 1 and JHTCOM = 0, and has $2 * \text{NTAHT1}$ floating point number entries. Data arrangement is as follows;

time t_1 (sec), primary heat transfer coefficient h_{p1} ($\text{kcal}/\text{m}^2\text{-sec-}^\circ\text{C}$)
 -----, time t_{NTAHT1} , primary heat transfer coefficient $h_{p_{\text{NTAHT1}}}$.
 Time values, are in ascending order.

(v) This data block is required if both JHEAT = 1 and JHTCOM = 0, and has $2 * \text{NTAHT2}$ floating point number entries.
 Data arrangement is as follows;

time t_1 (sec), secondary heat transfer coefficient h_{s_1}
 (kcal/m²-sec-°C), -----, time t_{NTAHT2} , secondary heat
 transfer coefficient $h_{s_{\text{NTAHT2}}}$.

Time values are in ascending order.

3. Input for Restarting

An old restart data tape to be used must be mounted on FORTRAN Unit 2 and a blank tape must be mounted on Unit 3. The following input for restarting are required.

3.1 Title Card

The information punched in the first column to the 72nd of a card will be printed at the top of the page of output. The information on this card must be identical to the title of the previous case.

3.2 Problem Dimensions Data Card

Number of entries are 17 integers and one floaint point number.

W1-I	LDMP	N, the restart number of the old problem where restart is to begin ($N \geq 1$)
W2-I	NEDI	Number of minor edit variables NEDI must be less than or equal to that of the old problem.
W3-I	NTC	Number of time step data cards NTC must be less than or equal to that of the old problem.
W4-I	NTRP	Number of trip control data cards NTRP must be less than or equal to that of the old problem.

The following 13 integer entries (NVOL, NBUB, NJUN, NPMP, NPMPC, NCKV, NLK, NFLL, NSLB, NOCOR, NGOM, NMAT, NHTX) and a floaint point number entry (POWERO) must be equal to those of the old problem.

3.3 Edit Variable Data Cards

NEDI variables are to be edited, and the same rules are applied as for the original problem. The quantities being edited on the new run need not have any relation to those of the original run.

3.4 Time Step Data Cards

NTC data blocks must be entered. The same rules are applied as for the original problem.

3.5 Trip Control Data Cards

NTRP data blocks are required. Data blocks for any trips to remain actuated once the signals are received, must be reentered with the same specifications as for the old problem, while for a trip not yet actuated, the specifications which are not same as for the old problem, may be entered.

4. Information Related to Plotter

SPLPACK data plotting systems^[3] developed to plot the calculated results by various computer codes, is also available to display the ALARM-P1 results. In this section, only the input data requirements are presented. The detailed descriptions are explained in reference [3]. Section 4.1 gives the information to plot the calculated results of ALARM-P1 using the plotter program SPLPLOT which is a component of SPLPACK code system. Section 4.2 contains the information to merge any number of plot data files made by sequential restart runs into one data file through the component code MERGE. The relation between ALARM-P1 and these is shown in Fig. B.

4.1 Input Data Requirements and JCL Cards for SPLPLOT

The plot output by SPLPLOT is available in any form of a microfilm, laser printer or graphic display. The input data cards required to execute SPLPLOT and an example of the job control library (JCL) cards for FACOM M-200 computer at JAERI are described below.

4.1.1 Data Card Summary

The input data must be written according to the format specified in the following. The sign " " and b indicate the alphanumeric data and a blank, respectively. The paragraphs (1) to (6) (Card 1 to Card 7) in the following description are the information common to every run, and the cards 1 to 7 are needed only one time. The paragraphs (7) to (9) (Card 8 to Card 10) give the data for individual figures, and the block of the Card 8 to Card 10 must be input repeatedly for each figure. When a certain calculation is needed, a pair of Card 11 and Card 12 (or Card 13 and 14) explained in the paragraphs (10) (or (11)) is used instead of Card 8.

(1) Plotting options common to all figures (Card 1)

Card 1: FORMAT (I2, A4, I4, I2, 6I1, 2(F6.0, I4), F6.0)

Columns	Variable Name	Description
1-2	NTAPE	Number of tapes to be used
3-6	USYSP	System of unit "bbbb": System of unit used in the 1-st data tape "MKSA" : MKS Absolute "MKSC" : MKS Conventional "CGSA" : CGS Absolute "CGSC" : CGS Conventional "FPSA" : FPS Absolute "FPHA" : FPH Absolute "FPHC" : FPH Conventional when M = meters, K = kilo-grams, C = centi-meters, G = grams, F = feet, P = pounds, S = seconds, H = hours.
7-10	NPMAX	Maximum number of data points to be plotted bbb0 is interpreted as 500.
11-12	IOPT3	Selection of output form = b0 : plotting only = b1 : both plotting and print out = -1 : print out only
13	IOPTFF	Plot of out side frame = 0 : no = 1 : yes
14	IOPTFT	Plot of title = 0 : no = 1 : yes
15	IOPTCT	Tape number to be used for plotting of title 1 ≤ IOPTCT ≤ INTAPE : Title on the OPPTCT-th tape is plotted. IOPTCT=0 : Title is not plotted.

Columns	Variable Name	Description
16	IOPTCD	Tape number to be used for plotting of date $1 \leq \text{IOPTCD} \leq \text{NTAPE}$: Date on IOPTCD-th tape is plotted. IOPTCD=0 : Date is not plotted.
17	IOPTLM	Selection of identification mark in used plot curves. = 0 : special mark (□, ○, ×, +, -----) = 1 : number (1, 2, 3, -----)
18	IOPTSN	Plot of identification name implying array number = 0 : no plot = 1 : plot
19-24	DX	Width of grid of X-axis (mm) = 0.0 : interpreted as 10.0
25-28	NX	Grid number of X-axis = 0 : interpreted as 18
29-34	DY	Width of grid of Y-axis (mm) = 0.0 : interpreted as 10.0
35-38	NY	Grid number of Y-axis = 0 : interpreted as 12
39-44	FACTR	Multiplying factor of figure size = 0.0 : interpreted as 1.0

(2) Data format of input data tape (Card 2 and 3)

The data format on each input tape is specified by the Card 2 and 3. The NTAPE pairs of Card 2 and 3 are required.

Card 2: FORMAT (A4, 3A4, 5A4)

Columns	Variable Name	Description
1-4	IIPFMT	Data format b5b5 : standard data format of SPLPACK STND : standard data format of SPLPACK R4M5 : output data from RELAP4/MOD5 ^[6] LOFT : plot data for LFTPLT7 plotter program ^[7]

Columns	Variable Name	Description
5-16	NTPID	Title used for check on whether the tape is relevant or not. The first 12 characters must be input. If these columns left blank, tape check is not performed.
17-26	ITPTIT	Title to be plotted. If these columns left blank, title is not plotted.

Card 3: Blank Card

This card is dummy, but needed because it is used as a pause signal in TSS operation.

(3) Plot of title (Card 4)

This card is required only when IOPTCT \neq 0. The title is plotted above the figure frame.

Card 4: FORMAT (18A4)

Columns	Variable Name	Description
1-72	ITITLE	Title to be plotted. If these columns left blank, the title on the IOPTCT-th tape is plotted.

(4) Main title (Card 5)

This card is required only when IOPTFT=1. The title is written below the figure.

Card 5: FORMAT (18A4)

Columns	Variable Name	Description
1-72	FTIT	Main title If these columns left blank, it is not plotted.

(5) Specification of variable number to be plotted on one figure and frame size (Card 6)

Card 6: FORMAT (11I2, 2(F6.0, I4))

Columns	Variable Name	Description
1-2	NOV(1)	Number of curves plotted from the NOV(1)-th tape on one figure
⋮	⋮	⋮
19-20	NOV(10)	Number of curves plotted from the NOV(10)-th tape on one figure
21-22	NOV(11)	Number of variables used for calculation by subroutine CALC21
23-28	DXF	Width of grid of X-axis (mm) = 0.0 : DX is used.
29-32	NXF	Grid number of X-axis = 0 : NX is used.
33-38	DYF	Width of grid of Y-axis (mm) = 0.0 : DY is used.
39-42	NYF	Grid number of Y-axis = 0 : NY is used.

(6) Information of X-axis (range, caption, ---) (Card 7)

Card 7: FORMAT (I1, 2E10.2, 5A4, 5A4)

Columns	Variable Name	Description
1	LOGX	Logarithmic scale flag = 0 : linear scale = 1 : logarithmic scale
2-11	XMIN	Minimum value of X-axis
12-21	XMAX	Maximum value of X-axis If XMIN=XMAX, automatic scale control is performed.

Columns	Variable Name	Description
22-41	XTIT	Label to be given X-axis If these columns left blank, the label on the first tape is used.
42-61	XUNIT	Unit of X-axis If this field left blank, the unit specified by USYSP in Card 1 is used. XUNIT must be written according to the data format used in UCL2[4]. For example: "KCAL/SEC" as kcal/sec "MEGAW.SEC" as MW.sec

(7) Variables to be plotted (Card 8)

When the conversions of the unit are desired for the data being plotted, Card 8 is required. In particular, the transformations of the data by means of any calculation need both Card 11 and 12 (or both Card 13 and 14) instead of Card 8.

Card 8: FORMAT (A8, 3I4, 6A4)

Columns	Variable Name	Description
1-8	VARID	Identification name of variables to be plotted. The identification names allowed in ALARM-P1 are listed in Table A.
9-12	SUF(1)	Array number of variables to be plotted.
}	}	
17-20	SUF(3)	
21-44	COMMENT	Comment for plot variables This data is written on the right side of the identification mark.

(8) Selection of Y-axis (Card 9)

Card 9: FORMAT (I2)

Columns	Variable Name	Description
1-2	KNDO	Number of Y-axis ($KNDO \leq 4$) If $KNDO=0$, Y-axis is newly made according to Card 10. The maximum number of Y-axis is four.

(9) Information for Y-axis (Card 10)

Card 10: FORMAT (I1, 2E10.2, 5A4, 5A4)

Columns	Variable Name	Description
1	LOGY	Logarithmic scale flag = 0 : linear scale = 1 : logarithmic scale
2-11	YMIN	Minimum value of Y-axis
12-21	YMAX	Maximum value of Y-axis If $YMIN=YMAX$, scale of Y-axis is automatically determined in the code.
22-41	YTIT	Caption of Y-axis If these columns left blank, the caption stored in the tape is plotted.
42-61	YUNIT	Unit of Y-axis YUNIT must be written according to the data format used in UCL2. If these columns are blank, the unit specified by USYSP is used.

(10) Use of subroutine CALC11 (Card 11 and 12)

When a certain calculations are required between variables stored in one data tape, the variables and the number of equation used for that calculation are given by Card 11 and 12 instead of Card 8. Both Card 11 and 12 are used to produce one plot curve.

Card 11: FORMAT (A8, 3I4, 6A4, I6, 2E10.2)

Columns	Variable Name	Description
1-8	VARID	Key word for subroutine CALC11 Set VARID="C1b5b5b5b".
9-12	NODT1	Number of variables to be used for calculation.
13-16	ICALC1	Number of equation to be used for calculation. The built-in equations in the code are listed in the Table B. By replacing the subroutine CALC11, it is also possible to give the user specified equation.
17-20	IDUMMY	Dummy input Set IDUMMY="b5b5b"
21-44	COMMNT	Comment for the variable name VARID.
45-50	IL	Integer parameter used in calculation.
51-60	CL(1)	Real number used in calculation. (See Table B.)
61-70	CL(2)	Reel number used in calculation. (See Table B.)

Card 12: FORMAT (A8, 3I4, I4, I6, 2E10.0)

This card must be input NODT1 times.

Columns	Variable Name	Description
1-8	VARID	Variable identification name used for calculation. (See Table A.)
9-12	SUF(1)	} Array number of plot variable
13-16	SUF(2)	
17-20	SUF(3)	
21-24	IDUMMY	Dummy input Set IDUMM="b5b5b"
25-30	ID	Integer parameter used in calculation.
31-40	CD(1)	Reel number used in calculation. (See Table B.)

Columns	Variable Name	Description
41-50	CD(2)	Real number used in calculation (See Table B.)

(11) Use of subroutine CALC12 (Card 13 and 14)

When a certain calculation is required between the data taken from one data tape and one from other tapes, the variables and the equation used for calculation are given by Card 13 and 14 instead of Card 8. Both Card 13 and 14 are used to produce one plot curve.

Card 13: FORMAT (A8, 3I4, 6A4, I6, 2E10.0)

Columns	Variable Name	Description
1-8	VARID	Key word for subroutine CALC12 Set VARID="C2555555"
9-12	NODT2	Number of variables to be used for calculation
13-16	ICALC2	Number of equation to be used for calculation
17-20	IDUMMY	Dummy input Set IDUMMY="5555"
21-44	COMMNT	Comment for the variable VARID
45-50	IL	Integer parameter used in calculation
51-60	CL(1)	Real number used in calculation
61-70	CL(2)	Real number used in calculation

Card 14: FORMAT (A8, 3I4, 6A4, I6, 2E10.0)

Card 14 must be input NODT2 times.

Columns	Variable Name	Description
1-8	VARID	Variable identification name (See Table A.)
9-12	SUF(1)	} Array number of plot variables
13-16	SUF(2)	
17-20	SUF(3)	

Columns	Variable Name	Description
21-24	NTPNO2	Number of tape in which the variable VARID is stored
25-30	ID	Integer parameter used in calculation
31-40	CD(1)	Real number used in calculation
41-50	CD(2)	Real number used in calculation

4.1.2 Example of Job Control Library (JCL) Card for SPLPLOT

An example of JCL cards for compiling and executing the SPLPLOT code is given below. The data for plotting produced by ALARM-P1 are read from FORTRAN logical unit 11 through 20.


```

//*   COMPILE STEP
//   EXEC FORTHE,SO='J3080.¥SPLPLOT',A='ELM(*)',
//   B='NOSOURCE,BYNAME'
//*
//*   STEAM TABLE SUBROUTINES      ¥STHTAB.FORT
//*   SUBROUTINE STHTAB CALLS STH20.. SUBROUTINES OF RELAP4 CODE
//*   FOR THE CALCULATION OF WATER PROPERTY. IF STEAM TABLE IS
//*   NOT USED ,THIS SUBROUTINE CAN BE REPLACED BY A DUMMY FOR
//*   THE REDUCTION OF CORE MEMORY SIZE. THIS ROUTINE CAN NOT
//*   BE USED ON TSS, BECAUSE OF LIMITATION OF MEMORY SIZE(1024K)
//*   EXEC FORTHE,SO='J3080.¥STHTAB',A='ELM(DUMMY)',
//   EXEC FORTHE,SO='J3080.¥STHTAB',A='ELM(STHTAB)',
//   B='NOSOURCE,BYNAME',DISP=MOD
//   EXEC FORTHE,SO='J3080.SYMBOL',A='ELM(*)',
//   B='NOSOURCE,BYNAME',DISP=MOD
//   EXEC FORTHE,SO='J3080.¥SPLEDIT',A='ELM(*)',
//   DISP=MOD,B='NOSOURCE,BYNAME'
//   EXEC FORTHE,SO='J2695.UCL2',A='ELM(*)',
//   DISP=MOD,B='NOSOURCE,BYNAME'
//   EXEC FORTHE,SO='J3080.¥UNTCNA',A='ELM(¥UNTCN)',
//   DISP=MOD,B='NOSOURCE,BYNAME'
//*   LINK STEP
//   EXEC LKED,GRLIB=PNL
//*   GO (RUN)
//   EXEC GO
//   EXPAND DISKTO,DDN=FT08F001,DSN='J3080.¥SPLLBL',
//   Q='.DATA(SPLLABEL)',DISP=SHR
//   EXPAND DISKTO,DDN=FT04F001,DSN='J3080.STHTBL',DISP=SHR
//   EXPAND DISK,DDN=FT01F001,SPC='1000,10'
//   EXPAND DISKTO,DDN=FT11F001,DSN='J3080.¥EXAMPLE',DISP=SHR
//   EXPAND GRNLP
//   EXPAND DISKTO,DDN=SYSIN,DSN='J3080.¥SPLPACK',Q='.DATA(PLOT)',
//   DISP=SHR
++
//

```

The underlined data files must be supplied by the code user.

4.2 Information for MERGE

Some plot data tapes are made by sequential restart runs of ALARM-P1. The program MERGE is used to merge any sequential plot data tape into one data tape. The data required to execute MERGE and the example of JCL cards are described below.

4.2.1 Data Card Summary

Three kinds of data are required.

(1) Tape number and selection of label and title (Card 1)

Card 1: FORMAT (I5, 2A4, 2X, 3I5)

Columns	Variable Name	Description
1-5	NTAPE	Number of tapes to be merged ($1 \leq \text{NTAPE} \leq 20$)
6-13	GRPID	Group identification name of independent variable Set GRPID="TTTTTT" for ALARM-P1 plot files.
16-20	NUFILE	Number of tape in which the label information copied to the output file is stored. ($0 \leq \text{NUFILE} \leq \text{NTAPE}$) 0 is interpreted as NTAPE.
21-25	NUDATE	Number of tape in which the date copied to the output file is stored =-1 : The date when MERGE is run is copied. = 0 : NUDATE is set as NTAPE.
26-30	NUTITL	Number of tape in which the title copied to the output file is stored. =-1 : Title is given by Card 2. = 0 : NUTITL is regarded as NTAPE.

(2) Input of title (Card 2)

This card is required only when NUTITL=-1. This title corresponds to that given by Card 4 in Subsection 4.1.1.

Card 2: FORMAT (20A4)

Columns	Variable Name	Description
1-80	TITL(i) i=1,20	Title copied to the output file

(3) Indication of Sampling (Card 3)

The arbitrary number of cards up to the maximum number of 30 are allowed.

Card 3: FORMAT (I5, F10.3)

Columns	Variable Name	Description
1-5	NTSTP	Interval to pick up the data from the input tape = 0 : 0 is regarded as 1. = 1 : All data are copied on the output tape. = 2 : Choice is done every 2 data points. : : :
6-15	TMAX	End value at sampling interval (time (sec) for ALARM-P1 run) The unit of TMAX is the same as the unit of the independent variable stored in the input data tape.

4.2.2 Example of JCL Cards for MERGE Code

An example of JCL cards for running MERGE is specified below. The plot data to be merged are read from the FORTRAN logical unit 11 through 20, and the output data of MERGE are written on the FORTRAN logical unit 4.

```

//      EXEC FORTHE,SO='J3080.¥MERGE',A='ELM(*)',B=BYNAME
//      EXEC FORTHE,SO='J3080.¥UNTCNA',A='ELM(DUMMY)',
//      DISP=MOD,B='BYNAME,NOSOURCE'
//      EXEC FORTHE,SO='J3080.¥SPLEDIT',A='ELM(*)',
//      B='NOSOURCE,BYNAME',DISP=MOD
//      EXEC LKED
//      EXEC GO
//SYSIN DD *
      2TIME
      1 10.
      10 20.
/*
//      EXPAND DISKTO,DDN=FT11F001,DSN='J3080.¥EXAMPLE'
//      EXPAND DISKTO,DDN=FT12F001,DSN='J3080.¥EXAMPL1'
//      EXPAND DISKTO,DDN=FT04F001,DSN='J3080.¥MERGED'
//      EXPAND DISK,DDN=FT01F001,SPC='1000,10'
#+
//

```

The underlined items must be supplied by the code user.

References of Appendix I

- 1) K.V.Moore:ASTEM --- A Collection of Fortran Subroutines to Evaluate the 1976 ASME Equations of State for Water/Steam and Derivatives of these Equations, ANCR-1026, Oct. 1971.
- 2) K.V.Moore and W.H.Retting: RELAP4---A Computer Program for Transient Thermal-Hydraulic Analysis, ANCR-1127,Dec.1973.
- 3) K.Asai and S.Katsuragi: Modular Programming Method at JAERI, JAERI 1274, Feb. 1982.
- 4) K.Abe: Manual on Unit Conversion Program Library UCL2, JAERI-M 9592, July 1981.
- 5) K.Asai and K.Tsuchihashi: A Subroutine Reading Data in Free Format (in Japanese), JAERI-M 4458, May 1971.
- 6) Aerojet Nuclear Company: RELAP4/MOD5---A Computer Program for Transient Thermal-Hydraulic Analysis of Nuclear Reactor and Related Systems---User's Manual,ANCR-NUREG-1335, Sep.1976.
- 7) K.Soda et al.: LFTPLT7-LOFT Plotter Program (in Japanese), JAERI-M 7695, April 1978.

APPENDIX II List of JCL Cards and Input Data

1. List of JCL Cards

```

//JCLG JOB
// EXEC JCLG
//SYSIN DD DATA,DLM='++'
// JUSER ,FU.ARAYA,0952.110,ALARM.PB
    T.1 W.1 C.4 P.0 I.4 OPN
    OPTP PASSWORD=
//FORT1 EXEC FORTHE,SO='J3080.¥UNTCNA',A='ELM(DUMMY),OPTIMIZE(O)'
//      B='NOSOURCE,LINECOUNT(O),BYNAME'
//FORT2 EXEC FORTHE,SO='J3080.¥SPLEDIT',A='ELM(*)',OPTIMIZE(O)',
//      B='NOSOURCE,LINECOUNT(O),BYNAME',DISP=MOD
//FORT3 EXEC FORTHE,SO='J3205.AP1SM2V5',A='ELM(*)',OPTIMIZE(O)',
//      B='NOSOURCE,LINECOUNT(O)',DISP=MOD
//LINK1 EXEC LKED
//RUN EXEC GO
//DATA EXPAND DISKTO, DDN=SYSIN,DSN='J3013.PWRPLANT',
//      Q='.DATA(V5BASEDT)'
//DISK09 EXPAND DISK,DDN=FT09F001
//DISK01 EXPAND DISK,DDN=FT01F001
//DISK02 EXPAND DISK,DDN=FT02F001
//DISK03 EXPAND DISK,DDN=FT03F001,SPC='30,10'
//DISK04 EXPAND DISK,DDN=FT04F001,SPC='30,10'
//STMTBL EXPAND DISKTO,DDN=FT10F001,DSN='J0285.RLP4ST',
//      DCB='RECFM=VS,LRECL=796,BLKSIZE=800'
++
//

```

The underlined item must be supplied by the code user.

2. List of Input Data (Base Case)

ALARM-P1 (MOD.2(VERSION 05) DATE 81.10.20) PWR LOSS OF COOLANT ANALYSIS PROGRAM

```

***** LISTING OF INPUT DATA *****
NO. 1 .....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8
/* 0000100
/* 0000200
/* 0000300
/* 0000400
/* 0000500
/* 0000600
/* 0000700
/* 0000800
/* 0000900
/* 0001000
/* 0001100
/* 0001200
/* 0001300
/* 0001400
/* 0001500
/* 0001600
/* 0001700
/* 0001800
/* 0001900
/* 0002000
/* 0002100
/* 0002200
/* 0002300
/* 0002400
/* 0002500
/* 0002600
/* 0002700
/* 0002800
/* 0002900
/* 0003000
/* 0003100
/* 0003200
/* 0003300
/* 0003400
/* 0003500
/* 0003600
/* 0003700
/* 0003800
/* 0003900
/* 0004000
/* 0004100
/* 0004200
/* 0004300
/* 0004400
/* 0004500
/* 0004600
/* 0004700
/* 0004800
/* 0004900
/* 0005000

/* PWR PLANT CALCULATION BY ALARM-P1 CODE (AP1SM2V5)
/* INPUT DATA WERE SELECTED FROM WREM SAMPLE PROBLEM
/* ALARM-P1 SAMPLE PROBLEM WITH 41 VOLUME-MODEL
/* ***** PROBLEM DIMENSION *****
/* -3 18 10 23 41 2 55 2 2 9 2 8 26 3 11
/* 9 0 3479.2
/* ***** EDIT VARIABLE *****
/* JW J21 JW J38 AP N15 AP N2 JW J16 JW J2 JW J22 HC N19 JW J12
/* JW J1 JW J33 CT N19 WQ N19 ML N31 JH J3 JH J10 TR T FE T
/* ***** TIME STEP SIZE *****
/* 100 4 1 400 0.000025 0.01
/* 2000 2 1 1000 0.00001 0.05
/* 2000 1 1 400 0.000025 0.10
/* 2000 2 1 200 0.00005 0.30
/* 2000 1 1 100 0.0001 0.50
/* 400 5 1 40 0.00025 5.00
/* 200 10 1 20 0.0005 10.00
/* 200 10 1 20 0.0005 20.00
/* 400 10 1 40 0.00025 22.00
/* 200 50 1 50 0.0002 60.00
/* ***** TRIP CONTROL *****
/* 1 1 0 0 0 50.0 0.0 0.0 / END OF PROBLEM
/* 21 1 0 0 0 0.0 0.0 0.0 / STEAM OUTLET J50
/* 22 1 0 0 0 0.0 0.0 0.0 / STEAM OUTLET J53
/* 3 1 0 0 0 0.010002 0.0 0.0 / REACTOR SCRAM
/* 41 1 0 0 0 0.010002 0.0 0.0 / PUMP SHUNT OFF
/* 42 1 0 0 0 0.010002 0.0 0.0 / PUMP SHUNT OFF
/* 51 1 0 0 0 0.01 25.0 0.0 / CHARGING PUMP J46
/* 52 1 0 0 0 0.01 25.0 0.0 / CHARGING PUMP J49
/* 53 1 0 0 0 0.01 25.0 0.0 / HPIS J48
/* 54 1 0 0 0 0.01 25.0 0.0 / HPIS J55
/* 55 1 0 0 0 0.01 25.0 0.0 / LPIS J47
/* 56 1 0 0 0 0.01 25.0 0.0 / LPIS J52
/* 57 1 0 0 0 0.0 0.0 0.0 / FEED WATER J51
/* 58 1 0 0 0 0.0 0.0 0.0 / FEED WATER J54
/* 6 1 0 0 0 0.010002 0.0 0.0 / BREAK VALVE J37
/* 7 1 0 0 0 0.010002 0.0 0.0 / BREAK VALVE J38
/* 8 1 0 0 0 0.010002 0.0 0.0 / CLOSED VALVE J32
/* 9 -4 12 0 43.2278E4 0.0 0.0 / ACC LINE J34
/* 10 -4 29 0 43.2278E4 0.0 0.0 / ACC LINE J35

```

ALARM-P1 (MOD.2(VERSION 05) DATE 81.10.20) PWR LOSS OF COOLANT ANALYSIS PROGRAM

***** LISTING OF INPUT DATA *****

NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	
51	11	4	40	0	77.3558E4	0.0	/ RELIEF VALVE J44	00005100	
52	12	4	41	0	77.3558E4	0.0	/ RELIEF VALVE J45	00005200	
53	13	-5	32	0	0.3051	0.0	/ ACC LEVEL(J42)	00005300	
54	14	-5	33	0	0.3051	0.0	/ ACC LEVEL(J43)	00005400	
55	/*	***** VOLUME DATA *****							00005500
56	/*	*****							00005600
57	/*	*****							00005700
58	/*	*****							00005800
59	/*	*****							00005900
60	/*	IBUB NPUMP	P	TEMP	HORX	V	ZVOL	FLOWL	
61	/*	FLOWA		ELEV		ZM			
62	0	157.9546E4	289.2	-1.0	14.103	2.07264	2.07264	00006000	
63	3.855	UPPER-PLENUM	0.4572	1.8031968				00006100	
64	0	158.3439E4	325.7	-1.0	41.376	3.4436304	3.4436304	00006200	
65	9.290	INTACT LOOP	0.3048	-1.639824				00006300	
66	0	158.0028E4	325.7	-1.0	6.712	1.79832	1.79832	00006400	
67	1.278	SG INLET	0.7367	-0.368808				00006500	
68	0	158.1153E4	325.7	-1.0	14.449	1.5855696	1.5855696	00006600	
69	8.695	UPPER-PLENUM	1.9202	0.48768				00006700	
70	0	157.5668E4	319.4	-1.0	13.509	4.6488096	4.6488096	00006800	
71	2.976	SG U-TUBE	0.0197	2.07264				00006900	
72	0	156.8917E4	308.3	-1.0	13.509	4.6488096	4.6488096	00007000	
73	2.976	SG U-TUBE	0.0197	6.72084				00007100	
74	0	156.3987E4	301.3	-1.0	8.411	1.2701016	1.2701016	00007200	
75	2.976	SG U-TUBE	0.0197	11.36904				00007300	
76	0	156.3416E4	296.2	-1.0	13.509	4.6488096	4.6488096	00007400	
77	2.976	SG U-TUBE	0.0197	6.72084				00007500	
78	0	156.3500E4	291.4	-1.0	13.509	4.6488096	4.6488096	00007600	
79	2.976	SG U-TUBE	0.0197	2.07264				00007700	
80	0	156.4688E4	289.2	-1.0	14.449	1.5855696	1.5855696	00007800	
81	2.976	PUMP INLET	1.9202	0.48768				00007900	
82	0	155.9480E4	289.2	-1.0	10.705	4.965192	4.965192	00008000	
83	1.461	INTACT LOOP	0.7873	-3.53568				00008100	
84	0	161.8291E4	289.2	-1.0	7.222	0.6998208	0.6998208	00008200	
85	1.150	UPPER-DOWNCOMER	0.6986	-0.3499104				00008300	
86	0	161.1252E4	289.2	-1.0	9.068	2.8706064	2.8706064	00008400	
87	3.379	LOWER-DOWNCOMER	0.5212	-1.0668				00008500	
88	0	161.1442E4	289.2	-1.0	11.351	4.5726096	4.5726096	00008600	
89	0							00008700	
90	0							00008800	
91	0							00008900	
92	0							00009000	
93	0							00009100	
94	0							00009200	
95	0							00009300	
96	0							00009400	
97	0							00009500	
98	0							00009600	
99	0							00009700	
100	0							00009800	

***** LISTING OF INPUT DATA *****

NO.	1	2	3	4	5	6	7	8
101	2.480	0.1920	-5.6388					00010100
102	0	LOWER-PLENUM				0.0		00010200
103	0	161.2827E4	289.2	-1.0	29.623	3.0333696	3.0333696	00010300
104	4.859	0.1524	-8.330184			0.0		00010400
105	0	BYPASS						00010500
106	0	159.7897E4	289.2	-1.0	8.269	3.6582096	3.6582096	00010600
107	2.267	0.0305	-5.297424			0.0		00010700
108	0	CORE						00010800
109	0	160.3903E4	294.8	-1.0	5.984	1.2198096	1.2198096	00010900
110	4.931	0.0134	-5.297424			0.0		00011000
111	0	CORE						00011100
112	0	159.7187E4	309.3	-1.0	5.984	1.2198096	1.2198096	00011200
113	4.931	0.0134	-4.078224			0.0		00011300
114	0	CORE						00011400
115	0	159.0499E4	322.6	-1.0	5.984	1.2198096	1.2198096	00011500
116	4.931	0.0134	-2.859024			0.0		00011600
117	0	BROKEN LOOP HOT LEG						00011700
118	0	157.9733E4	325.7	-1.0	2.237	1.79832	1.79832	00011800
119	0.426	0.7367	-0.368808			0.0		00011900
120	0	SG INLET PLENUM						00012000
121	0	158.0872E4	325.7	-1.0	4.823	1.5855696	1.5855696	00012100
122	2.898	1.9202	0.48768			0.0		00012200
123	0	SG U-TUBE						00012300
124	0	157.5415E4	319.4	-1.0	4.503	4.6488096	4.6488096	00012400
125	0.992	0.0197	2.07264			0.0		00012500
126	0	SG U-TUBE						00012600
127	0	156.8723E4	308.3	-1.0	4.503	4.6488096	4.6488096	00012700
128	0.992	0.0197	6.72084			0.0		00012800
129	0	SG U-TUBE						00012900
130	0	156.3848E4	301.3	-1.0	2.804	1.2701016	1.2701016	00013000
131	0.992	0.0197	11.36904			0.0		00013100
132	0	SG U-TUBE						00013200
133	0	156.3277E4	296.2	-1.0	4.503	4.6488096	4.6488096	00013300
134	0.992	0.0197	6.72084			0.0		00013400
135	0	SG U-TUBE						00013500
136	0	156.3361E4	291.4	-1.0	4.503	4.6488096	4.6488096	00013600
137	0.992	0.0197	2.07264			0.0		00013700
138	0	SG OUTLET PLENUM						00013800
139	0	156.4549E4	289.2	-1.0	4.823	1.5855696	1.5855696	00013900
140	2.898	1.9202	0.48768			0.0		00014000
141	0	PUMP INLET PLENUM						00014100
142	0	155.9341E4	289.2	-1.0	3.568	4.965192	4.965192	00014200
143	0.487	0.7873	-3.53568			0.0		00014300
144	0	BREAK NODE						00014400
145	0	161.8467E4	289.2	-1.0	1.204	0.6998208	0.6998208	00014500
146	0.383	0.6986	-0.3499104			0.0		00014600
147	0	BROKEN LOOP COLD LEG						00014700
148	0	161.8115E4	289.2	-1.0	1.204	0.6998208	0.6998208	00014800
149	0.383	0.6986	-0.3499104			0.0		00014900
150	0	PRESSURIZER						00015000

ALARM-P1 (MOD.2(VERSION 05) DATE 81.10.20) PWR LOSS OF COOLANT ANALYSIS PROGRAM

```

***** LISTING OF INPUT DATA *****
.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....*.....8
151 1 0 0.0 344.6 0.0 50.976 15.5448 9.32688 00015100
152 3.577 2.1336 3.6576 0.0 00015200
/**** VOL.32 ACCUMULATOR ***** 00015300
153 1 0 43.5007E4 51.7 0.0 114.696 5.15112 3.3528 00015400
154 23.690 3.1699 -4.572 0.0 00015500
/**** VOL.33 ACCUMULATOR ***** 00015600
155 1 0 43.5007E4 51.7 0.0 38.232 5.15112 3.3528 00015700
156 7.897 3.1699 -4.572 0.0 00015800
/**** VOL.34 CONTAINMENT ***** 00015900
157 2 0 1.0338E4 37.8 0.6 56073.600 76.2 0.0 00016000
158 92.900 30.4800 -15.240 0.0 00016100
/**** VOL.35 PUMP ***** 00016200
159 0 2 156.2785E4 289.2 -1.0 7.137 0.6998208 0.6998208 00016300
160 0.575 124.1 0.3505 -0.3499104 0.0 00016400
161 00016500
/**** VOL.36 PUMP ***** 00016600
162 1 156.2785E4 289.2 -1.0 2.379 0.6998208 0.6998208 00016700
163 0 0.192 124.1 0.3505 -0.3499104 0.0 00016800
164 00016900
/**** VOL.37 SURGE LINE ***** 00017000
165 0 158.1090E4 344.8 0.0 1.965 3.3204912 3.3204912 00017100
166 0.067 0.2926 0.3377184 0.0 00017200
/**** VOL.38 ACC LINE ***** 00017300
167 0 43.4402E4 51.7 -1.0 14.231 4.2672 4.2672 00017400
168 0.116 0.2225 -4.2672 0.0 00017500
/**** VOL.39 ACC LINE ***** 00017600
169 0 43.4402E4 51.7 -1.0 4.744 4.2672 4.2672 00017700
170 0.039 0.2225 -4.2672 0.0 00017800
/**** VOL.40 SECONDARY SYSTEM ***** 00017900
171 1 0 0.0 278.5 0.0 311.378 18.8976 12.8016 00018000
172 2.787 0.0305 2.07264 0.0 00018100
/**** VOL.41 SECONDARY SYSTEM ***** 00018200
173 1 0 0.0 278.5 0.0 103.793 18.8976 12.8016 00018300
174 0.465 0.0305 2.07264 0.0 00018400
175 00018500
/**** BUBBLE DATA ***** 00018600
176 0.8 0.9144 00018700
177 0.0 3.048E5 00018800
178 00018900
179 00019000
/**** PUMP DESCRIPTION DATA AND CURVE DATA ***** 00019100
180 ***** 00019200
/**** PUMP DATA SET NO.1 ***** 00019300
181 /* IPOPT--PUMP MODEL INDICATOR =1:ORIGINAL ALARM TYPE,=2:RLP TYPE 00019400
182 2 00019500
183 /* N1 N2 N3 N4 N5 N6 N7 N8 N9 / FOR ORIGINAL MODEL 00019600
184 1 00019700
185 13 12 11 14 17 9 9 10 2 0 0 0 0 0 0 0 00019800
186 /* N1 N2 N3 N4 N5 N6 N7 N8 N9 N10 N11 N12 N13 N14 N15 N16 N17 N18 00019900
187 /* 00200000

```


ALARM-P1 (MOD.2<VERSION 05) DATE 81.10.20) PWR LOSS OF COOLANT ANALYSIS PROGRAM

```

***** LISTING OF INPUT DATA *****
.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8
NO. / *
251 / * -1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.20 -0.34 0.40 -0.65 00025100
252 / * 0.60 -0.93 0.80 -1.19 1.0 -1.47 00025200
253 / * -1.0 0.0 0.0 0.0 0.10 0.20 0.0 0.80 0.0 00025300
254 / * 0.30 0.10 0.40 0.21 0.80 0.67 0.90 0.80 0.0 00025400
255 / * 1.0 1.0 -1.0 -1.16 -0.90 -0.78 -0.80 -0.50 -0.70 -0.31 00025500
256 / * -0.60 -0.17 -0.50 -0.08 -0.35 0.0 -0.20 0.05 00025600
261 / * -0.10 0.08 0.0 0.11 0.10 0.13 0.25 0.15 00026100
262 / * 0.40 0.13 0.50 0.07 0.60 -0.04 0.70 -0.23 00026200
263 / * 0.80 -0.51 0.90 -0.91 1.0 -1.47 00026300
264 / * TORQUE DIFFERENCE CURVE ***** 00026400
265 / * -1.0 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 00026500
266 / * -1.0 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 00026600
267 / * -1.0 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 00026700
268 / * -1.0 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 00026800
269 / * TORQUE HEAD MULTIPLIER ***** 00026900
270 / * 0.0 0.0 0.10 0.0 0.15 0.05 0.24 0.80 0.0 00027000
271 / * 0.30 0.96 0.40 0.98 0.60 0.97 0.80 0.90 0.0 00027100
272 / * 0.90 0.80 0.96 0.50 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 00027200
273 / * TORQUE MULTIPLIER ***** 00027300
274 / * 0.0 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 00027400
275 / * ***** 00027500
276 / * ***** 00027600
277 / * ***** 00027700
278 / * ***** 00027800
279 / * ***** 00027900
280 / * ***** 00028000
281 / * ***** 00028100
282 / * ***** 00028200
283 / * ***** 00028300
284 / * ***** 00028400
285 / * ***** 00028500
286 / * ***** 00028600
287 / * ***** 00028700
288 / * ***** 00028800
289 / * ***** 00028900
290 / * ***** 00029000
291 / * ***** 00029100
292 / * ***** 00029200
293 / * ***** 00029300
294 / * ***** 00029400
295 / * ***** 00029500
296 / * ***** 00029600
297 / * ***** 00029700
298 / * ***** 00029800
299 / * ***** 00029900
300 / * ***** 00030000

```

ALARM-P1 (MOD.2 (VERSION 05) DATE 81.10.20) PWR LOSS OF COOLANT ANALYSIS PROGRAM

***** LISTING OF INPUT DATA *****

NO.	1	2	3	4	5	6	7	8
301	-0.46	2.20	-0.20	1.73	0.0	1.40		00030100
302	0.37	0.80	0.43	0.74	0.50	0.68	0.64	00030200
303	0.64	0.62	0.70	0.61	1.00	0.59		00030300
304	/**** TORQUE 1-PHASE DATA *****/							
305	-1.0	2.98	-0.82	2.40	-0.60	1.87	-0.46	00030500
306	-0.34	1.40	-0.20	1.21	-0.10	1.10	0.0	00030600
307	0.1	0.96	0.20	0.92	0.30	0.90	0.89	00030700
308	0.50	0.91	0.70	0.99	0.80	1.02	1.02	00030800
309	1.0	1.0						00030900
310	/*							
311	-1.0	0.0	-0.1E-5	0.0	0.0	-1.0	0.25	00031000
312	0.40	-0.37	0.50	-0.25	0.60	-0.16	0.80	00031100
313	1.0	0.11						00031200
314	/*							
315	-1.0	0.0	-0.1E-5	0.0	0.0	-0.87	0.1	00031400
316	0.2	-0.63	0.3	-0.48	0.4	-0.31	0.74	00031500
317	1.0	1.0					0.4	00031600
318	/*							
319	-1.0	2.98	-0.91	2.80	-0.80	2.60	-0.70	00031800
320	-0.60	2.25	-0.42	2.0	0.0	1.42	0.6	00031900
321	0.80	0.35	1.0	0.11			0.61	00032000
322	/**** NPSH CURVE *****/							
323	0.0	0.0	1.58	0.0				00032200
324	/*							
325	/**** PUMP 2-PHASE DATA *****/							
326	/**** HEAD DIFFERENCE CURVE *****/							
327	-1.0	-1.16	-0.90	-1.24	-0.80	-1.77	-0.70	00032600
328	-0.60	-2.79	-0.50	-2.91	-0.40	-2.67	-0.25	00032700
329	-0.10	-0.50	0.0	0.0	0.10	0.83	0.20	00032800
330	0.50	1.02	0.70	1.01	0.90	0.94	1.0	00032900
331	/*							
332	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.20	-0.34	0.40	00033100
333	0.60	-0.93	0.80	-1.19	1.0	-1.47	-0.65	00033200
334	/*							
335	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.10	-0.04	0.20	00033400
336	0.30	0.10	0.40	0.21	0.80	0.67	0.90	00033500
337	1.0	1.0					0.80	00033600
338	/*							
339	-1.0	-1.16	-0.90	-0.78	-0.80	-0.50	-0.70	00033800
340	-0.60	-0.17	-0.50	-0.08	-0.35	0.0	-0.20	00033900
341	-0.10	0.08	0.0	0.11	0.10	0.13	0.05	00034000
342	0.40	0.13	0.50	0.07	0.60	-0.04	0.25	00034100
343	0.80	-0.51	0.90	-0.91	1.0	-1.47	0.70	00034200
344	/**** TORQUE DIFFERENCE CURVE *****/							
345	-1.0	0.0	1.0	0.0				00034400
346	-1.0	0.0	1.0	0.0				00034500
347	-1.0	0.0	1.0	0.0				00034600
348	-1.0	0.0	1.0	0.0				00034700
349	/**** HEAD MULTIPLIER *****/							
350	0.0	0.0	0.10	0.0	0.15	0.05	0.24	00034800
							0.80	00034900
								00035000

ALARM-P1 (MOD.2(VERSION 05) DATE 81.10.20) PWR LOSS OF COOLANT ANALYSIS PROGRAM

***** LISTING OF INPUT DATA *****

NO.	1	2	3	4	5	6	7	8
351	0.30	0.96	0.40	0.98	0.60	0.80	0.90	00035100
352	0.90	0.80	0.96	0.50	1.0	0.0		00035200
353	/**** TORQUE MULTIPLIER *****/							
354	0.0	0.0	1.0	0.0				00035400
355	/**** JUNCTION DATA *****/							
356	/* IW1 IPUMP IANGL JCHOKE							
357	/* IW2 IVALVE JENTH W							
358	/* FRIFF FRIFR ANGLE ZACOEJ AJUN ZJUN INERTA							
359	1	2	0	0	2	3	-1	0.0706
360	5.0356	5.0393	0.0	0.9	1.0	1.0	1.0	0.3232
361								/J1
362	2	3	0	0	2	3	-1	1.2784
363	0.388108	0.743717	0.0	0.9	1.0	1.0	1.0	2.2247
364								/J2
365	3	4	0	0	0	3	-1	1.2784
366	0.727576	0.383874	0.0	0.9	1.0	1.0	1.0	0.88392
367								/J3
368	4	5	0	0	0	2	-1	1.2540.112
369	0.295976	0.432601	0.0	0.9	1.0	1.0	1.0	0.8678
370								/J4
371	5	6	0	0	0	2	-1	1.2540.112
372	0.0	0.0	0.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.5617
373								/J5
374	6	7	0	0	0	2	-1	1.2540.112
375	0.0	0.0	0.0	0.9	1.0	1.0	1.0	0.037300
376								0.037400
377	7	8	0	0	0	2	-1	1.2540.112
378	0.0	0.0	0.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.7303
379								/J6
380	8	9	0	0	0	2	-1	1.2540.112
381	0.0	0.0	0.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.7303
382								/J7
383	9	10	0	0	0	2	-1	1.2540.112
384	0.432601	0.295976	0.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.5617
385								/J8
386	10	11	0	0	0	3	-1	1.2540.112
387	0.374394	0.692203	0.0	0.9	1.0	1.0	1.0	0.8678
388								/J9
389	11	35	-2	0	0	3	-1	1.2540.112
390	1.0E-7	1.0E-7	0.0	0.9	1.0	1.0	1.0	3.4301
391								/J10
392	12	13	0	0	2	3	-1	1.2540.112
393	1.0E-7	1.0E-7	0.0	0.9	1.0	1.0	1.0	6.0269
394								/J11
395	13	14	0	0	2	3	-1	1.2540.112
396	1.0E-7	1.0E-7	0.0	0.9	1.0	1.0	1.0	3.1506
397								/J12
398	14	15	0	0	2	3	-1	1.2540.112
399	1.0E-7	1.0E-7	0.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.3747
400								/J13

ALARM-P1 (MOD.2 (VERSION 05) DATE 81.10.20) PWR LOSS OF COOLANT ANALYSIS PROGRAM

***** LISTING OF INPUT DATA *****

NO.	1	2	3	4	5	6	7	8				
401	15	16	0	0	2	3	-1	755.471	0.2991	-5.2971192	0.9636	00040100
402		1.17578	1.27127	0.0	0.9	1.0	1.0				/J15	00040200
403												00040300
404	15	17	0	0	2	2	-1	15855.996	2.9547	-5.2971192	0.2796	00040400
405		0.338370	0.336389	0.0	0.9	1.0	1.0				/J16	00040500
406												00040600
407	17	18	0	0	0	2	-1	15855.996	4.9027	-4.0779192	0.2486	00040700
408		2.5891E-3	2.5891E-3	0.0	0.9	1.0	1.0				/J17	00040800
409												00040900
410	18	19	0	0	0	2	-1	15855.996	4.9027	-2.8587192	0.2486	00041000
411		2.5891E-3	2.5891E-3	0.0	0.9	1.0	1.0				/J18	00041100
412												00041200
413	19	2	0	0	2	2	-1	15855.996	4.9027	-1.6395192	0.2958	00041300
414		0.228182	0.213782	0.0	0.9	1.0	1.0				/J19	00041400
415												00041500
416	16	2	0	0	2	3	-1	755.471	0.2991	-1.6395192	0.9806	00041600
417		1.32725	1.18899	0.0	0.9	1.0	1.0				/J20	00041700
418												00041800
419	1	13	0	0	2	3	-1	0.0	0.0016	1.8035016	0.7293	00041900
420		1.5151	1.5151	0.0	0.8	1.0	1.0				/J21	00042000
421												00042100
422	2	20	0	0	2	3	-1	4180.037	0.4261	0.0	6.3310	00042200
423		0.429358	0.910364	0.0	0.9	1.0	1.0				/J22	00042300
424												00042400
425	20	21	0	0	0	3	-1	4180.037	0.4261	0.88392	6.4196	00042500
426		0.727576	0.383841	0.0	0.9	1.0	1.0				/J23	00042600
427												00042700
428	21	22	0	0	0	2	-1	4180.037	0.9921	2.0729448	2.6030	00042800
429		0.295976	0.432601	0.0	0.9	1.0	1.0				/J24	00042900
430												00043000
431	22	23	0	0	0	2	-1	4180.037	0.9921	6.7211448	4.6850	00043100
432		0.0	0.0	0.0	0.9	1.0	1.0				/J25	00043200
433												00043300
434	23	24	0	0	0	2	-1	4180.037	0.9921	11.3693448	3.7672	00043400
435		0.0	0.0	0.0	0.9	1.0	1.0				/J26	00043500
436												00043600
437	24	25	0	0	0	2	-1	4180.037	0.9921	11.3693448	3.7672	00043700
438		0.0	0.0	0.0	0.9	1.0	1.0				/J27	00043800
439												00043900
440	25	26	0	0	0	2	-1	4180.037	0.9921	6.7211448	4.6850	00044000
441		0.0	0.0	0.0	0.9	1.0	1.0				/J28	00044100
442												00044200
443	26	27	0	0	0	2	-1	4180.037	0.9921	2.0729448	2.6030	00044300
444		0.432601	0.295976	0.0	0.9	1.0	1.0				/J29	00044400
445												00044500
446	27	28	0	0	0	3	-1	4180.037	0.6870	0.88392	10.3034	00044600
447		0.374394	0.692203	0.0	0.9	1.0	1.0				/J30	00044700
448												00044800
449	28	36	-1	0	0	3	-1	4180.037	0.1916	0.0	8.9173	00044900
450												00045000

ALARM-P1 (MOD.2(VERSION 05) DATE 81.10.20) PWR LOSS OF COOLANT ANALYSIS PROGRAM

***** LISTING OF INPUT DATA *****

NO.	1	2	3	4	5	6	7	8					
451	1.0E-7	1.0E-7	0.0	0.9	1.0	1.0	/J31	00045100					
452								00045200					
453	29	30	0	3	0	3	-1	4180.037	0.3832	0.0	1.0	1.1247	00045300
454		0.0	0.0	0.0	0.9	1.0						/J32	00045400
455													00045500
456	30	13	0	0	2	3	-1	4180.037	0.3832	0.0	-1.0	1.8894	00045600
457		1.0E-7	1.0E-7	0.0	0.9	1.0						/J33	00045700
458													00045800
459	38	12	0	4	2	3	-1	0.0	0.1165	-0.0003048	524.9344	00045900	
460		0.0	0.0	0.0	0.9	1.0				-1.0	/J34	00046000	
461													00046100
462	39	29	0	5	2	3	-1	0.0	0.0388	-0.0003048	1574.8032	00046200	
463		0.0	0.0	0.0	0.9	1.0				-1.0	/J35	00046300	
464													00046400
465	37	3	0	0	2	3	-1	0.0	0.0670	0.36576	218.1759	00046500	
466		0.897908	0.426411	0.0	0.9	1.0				1.0	/J36	00046600	
467													00046700
468	29	34	0	1	0	1	-1	0.0	0.3832	0.0	8.1529	00046800	
469		1.0	0.5	0.0	0.9	1.0				1.0	/J37	00046900	
470													00047000
471	34	30	0	2	0	1	-1	0.0	0.3832	0.0	4.0764	00047100	
472		0.5	1.0	0.0	0.9	1.0				1.0	/J38	00047200	
473													00047300
474	35	12	2	0	0	3	-1	12540.112	0.5749	0.0	2.7838	00047400	
475		1.0E-7	1.0E-7	0.0	0.9	1.0				1.0	/J39	00047500	
476													00047600
477	36	29	1	0	0	3	-1	4180.037	0.1916	0.0	1.6739	00047700	
478		1.0E-7	1.0E-7	0.0	0.9	1.0				1.0	/J40	00047800	
479													00047900
480	31	37	0	0	0	2	-1	0.0	0.0670	3.6579048	218.1759	00048000	
481		0.441569	0.962881	0.0	0.9	1.0				1.0	/J41	00048100	
482													00048200
483	32	38	0	8	0	2	-1	0.0	0.1165	-4.2668952	524.9344	00048300	
484		0.447787	0.990189	0.0	0.9	1.0				-1.0	/J42	00048400	
485													00048500
486	33	39	0	9	0	2	-1	0.0	0.0388	-4.2668952	1574.8032	00048600	
487		0.447787	0.990189	0.0	0.9	1.0				-1.0	/J43	00048700	
488													00048800
489	40	34	0	6	2	2	-1	0.0	0.0929	20.7264	3.2808	00048900	
490		0.0	0.0	0.0	0.9	1.0				1.0	/J44	00049000	
491													00049100
492	41	34	0	7	2	2	-1	0.0	0.0929	20.7264	3.2808	00049200	
493		0.0	0.0	0.0	0.9	1.0				1.0	/J45	00049300	
494													00049400
495	0	12	1	0	2	2	-1	0.0	0.0465	0.0	0.3281	00049500	
496		0.0	0.0	0.0	0.9	1.0				1.0	/J46	00049600	
497													00049700
498	0	29	5	0	2	2	-1	0.0	0.0465	0.0	0.3281	00049800	
499		0.0	0.0	0.0	0.9	1.0				1.0	/J47	00049900	
500													00050000

ALARM-P1 (MOD.2(VERSION 05) DATE 81.10.20) PWR LOSS OF COOLANT ANALYSIS PROGRAM

```

***** LISTING OF INPUT DATA *****
.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8
NO.      0 29 3 0 2 2 -1 0.0 0.0465 0.0 0.3281 00050100
501      0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 1.0 1.0 7J48 00050200
/*      0 29 2 0 2 2 -1 0.0 0.0465 0.0 0.3281 00050300
503      0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 1.0 1.0 7J49 00050400
/*      40 0 1 0 2 2 -1 1422.943 0.0697 20.7264 3.2808 00050600
506      0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 1.0 1.0 7J50 00050700
/*      0 40 7 0 2 2 -1 1422.943 0.0697 2.10312 3.2808 00051000
510      0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 1.0 1.0 7J51 00051100
/*      0 12 6 0 2 2 -1 0.0 0.0465 0.0 0.3281 00051200
512      0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 1.0 1.0 7J52 00051300
/*      41 0 2 0 2 2 -1 474.466 0.0232 20.7264 3.2808 00051500
515      0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 1.0 1.0 7J53 00051600
/*      0 41 8 0 2 2 -1 474.466 0.0232 2.10312 3.2808 00051800
518      0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 1.0 1.0 7J54 00051900
/*      0 12 4 0 2 2 -1 0.0 0.0465 0.0 0.3281 00052100
521      0.0 0.0 0.0 0.0 0.9 1.0 1.0 7J55 00052200
/*      ***** CHECK VALVE DATA *****
525      -6 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 / J37 00052400
526      -7 0.0 0.0 0.0 0.0 / J38 00052500
/*      8 0.0 0.0 0.0 0.0 / J32 00052600
528      -9 0.0 0.0 0.0 0.0 / J34 00052700
529      -10 0.0 0.0 0.0 0.0 / J35 00052800
530      -11 0.0 0.0 0.0 0.0 / J44 00052900
531      -12 0.0 0.0 0.0 0.0 / J45 00053000
532      13 0.0 0.0 0.0 0.0 / J42 00053100
533      14 0.0 0.0 0.0 0.0 / J43 00053200
/*      ***** LEAK DATA *****
536      /* ILAORF NAREAF LCHOKE SINK CONCOM NONCOZ C2 00053300
537      2 4 -1 70.3235E4 1.0 1.0 0.9 00053400
538      0.0 1423.057 5.0 1423.057 5.001 0.0 200.0 0.0 /J500054100
539      2 4 -1 70.3235E4 1.0 1.0 0.9 00054200
540      0.0 474.352 5.0 474.352 5.001 0.0 200.0 0.0 /J5300054300
541      ***** FILL DATA *****
542      /* NFILL IX FILPRS FILTEM 00054400
543      1 1.0338E4 37.8 00054500
544      12.658E4 17.814 50.633E4 15.676 75.949E4 14.251 00054600
545      00054700
546      00054800
547      00054900
548      00055000
549
550

```

ALARM-P1 (MOD.2 (VERSION 05) DATE 81.10.20) PWR LOSS OF COOLANT ANALYSIS PROGRAM

```

***** LISTING OF INPUT DATA *****
NO. 1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8
551 101.266E4 12.826 137.131E4 9.976 162.447E4 6.906 00055100
552 176.512E4 3.563 185.654E4 1.425 / CHARGING PUMP 00055200
553 /* 00055300
554 8 1 1.0338E4 37.8 75.949E4 14.251 00055400
555 12.658E4 17.814 50.633E4 15.676 / CHARGING PUMP 00055500
556 101.266E4 12.826 137.131E4 9.976 162.447E4 6.906 00055600
557 176.512E4 3.563 185.654E4 1.425 / CHARGING PUMP 00055700
558 /* 00055800
559 8 1 1.0338E4 37.8 75.949E4 14.251 00055900
560 9.845E4 26.310 40.788E4 21.925 67.511E4 15.661 00056000
561 82.278E4 12.529 91.421E4 10.023 92.827E4 7.517 00056100
562 100.563E4 5.011 103.727E4 2.506 / HPIS 00056200
563 /* 00056300
564 8 1 1.0338E4 37.8 75.949E4 14.251 00056400
565 9.845E4 26.310 40.788E4 21.925 67.511E4 15.661 00056500
566 82.278E4 12.529 91.421E4 10.023 92.827E4 7.517 00056600
567 100.563E4 5.011 103.727E4 2.506 / HPIS 00056700
568 /* 00056800
569 8 1 1.0338E4 37.8 75.949E4 14.251 00056900
570 1.125E4 146.584 1.969E4 140.947 5.556E4 112.757 00057000
571 8.368E4 84.568 10.549E4 56.379 11.392E4 42.284 00057100
572 11.744E4 28.189 12.025E4 14.095 / LPIS 00057200
573 /* 00057300
574 8 1 1.0338E4 37.8 75.949E4 14.251 00057400
575 1.125E4 146.584 1.969E4 140.947 5.556E4 112.757 00057500
576 8.368E4 84.568 10.549E4 56.379 11.392E4 42.284 00057600
577 11.744E4 28.189 12.025E4 14.095 / LPIS 00057700
578 /* 00057800
579 4 0 70.3235E4 226.7 474.352 5.001 0.0 200.0 0.0/J5100058000 00057900
580 0.0 1423.057 5.0 1423.057 5.001 0.0 200.0 0.0/J5100058100 00058000
581 4 0 70.3235E4 226.7 474.352 5.001 0.0 200.0 0.0/J5400058200 00058100
582 /0.0 474.352 5.0 474.352 5.001 0.0 200.0 0.0/J5400058300 00058200
583 /* 00058300
584 /***** KINETICS CONSTANT DATA *****/ 00058400
585 /** CANS 00058500
586 /* 0 0 300.0 0.0 1.2 00058600
587 /** SCRAM CURVE DATA *****/ 00058700
588 /* 00058800
589 /* 00058900
590 2 0.0 0.0 200.0 0.0 00059000
591 /* 00059100
592 /***** COOLANT DENSITY REACTIVITY DATA *****/ 00059200
593 /* 00059300
594 /* 00059400
595 /* 00059500
596 /* 00059600
597 2 0.26802 0.46396 0.26802 0.146 -34.30 0.292 -20.97000059800 00059700
598 0.0 -52.22 0.0729 -42.68 0.729 -1.80 0.875 -0.28000059900 00059800
599 0.437 -11.66 0.583 -5.41 1.000 0.0 1.166 -0.28 1.312 -0.35000060000 00059900
600 1.000 0.0 1.02 0.0 1.166 -0.28 1.312 -0.35000060000 00060000

```

ALAPM-P1 (MOD.2(VERSION 05) DATE 81.10.20) PWR LOSS OF COOLANT ANALYSIS PROGRAM

NO.	***** LISTING OF INPUT DATA *****											*****7*****8	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
601	1.458	-0.14										00060100	
602	/*											00060200	
603	/*	***** DOPPLER REACTIVITY DATA *****											00060300
604	/*											00060400	
605	2											00060500	
606	4											00060600	
607	0.26802	0.46396	0.26802									00060700	
608	21.1	1.72	260.0	1.07	1648.9	-2.68	5537.8	-13.18				00060800	
609	/*											00060900	
610	/*											00061000	
611	/*	***** HEAT SLAB DATA *****											00061100
612	/*											00061200	
613	/*											00061300	
614	/*											00061400	
615	0	17	1	0.0	0.0	1616.4739						00061500	
616				0.0	0.0	1.3572E-2	4.3330					00061600	
617	0	18	10	0.0	0.0	1616.4739	4.3330					00061700	
618				0.0	0.0	1.3572E-2						00061800	
619	0	19	11	0.0	0.0	1616.4739	4.3330					00061900	
620				0.0	0.0	1.3572E-2						00062000	
621	2	13	4	0.0	40.6809	34.9304	2.1764					00062100	
622				0.0	0.0							00062200	
623	16	14	4	0.0	43.1985	55.6285	2.9240					00062300	
624				0.0	0.0							00062400	
625	0	14	5	0.0	0.0	36.6676	1.3039					00062500	
626				0.0	0.0							00062600	
627	13	0	6	0.0	39.6311	0.0	8.9803					00062700	
628				0.0	0.0							00062800	
629	14	0	6	0.0	63.1163	0.0	14.2988					00062900	
630				0.0	0.0							00063000	
631	15	0	7	0.0	30.3319	0.0	4.4038					00063100	
632				0.0	0.0							00063200	
633	3	0	8	0.0	35.9523	0.0	2.4808					00063300	
634				0.0	0.0							00063400	
635	20	0	8	0.0	11.9841	0.0	0.8269					00063500	
636				0.0	0.0							00063600	
637	11	0	9	0.0	54.3465	0.0	2.9453					00063700	
638				0.0	0.0							00063800	
639	28	0	9	0.0	18.1155	0.0	1.3225					00063900	
640				0.0	0.0							00064000	
641	12	0	2	0.0	42.1766	0.0	2.7612					00064100	
642				0.0	0.0							00064200	
643	29	0	2	0.0	7.0140	0.0	0.4602					00064300	
644				0.0	0.0							00064400	
645	30	0	2	0.0	7.0140	0.0	0.4602					00064500	
646				0.0	0.0							00064600	
647	5	40	3	0.0	2501.6112	2824.4387	3.3831					00064700	
648				0.0	0.0							00064800	
649	6	40	3	0.0	2501.6112	2824.4387	3.3831					00064900	
650				0.0	0.0							00065000	

ALARM-P1 (MOD.2(VERSION 05) DATE 81.10.20) PWR LOSS OF COOLANT ANALYSIS PROGRAM

```

***** LISTING OF INPUT DATA *****
.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8
NO.      7  40  3  1557.4685  1758.3183  2.1064  00065100
651      8  40  3  2501.6112  2824.4387  3.3831  00065200
652      9  40  3  2501.6112  2824.4387  3.3831  00065300
653     22  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00065400
654     23  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00065500
655     24  41  3  519.1438  586.1154  0.7021  00065600
656     25  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00065700
657     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00065800
658     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00065900
659     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00066000
660     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00066100
661     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00066200
662     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00066300
663     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00066400
664     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00066500
665     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00066600
666     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00066700
667     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00066800
668     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00066900
669     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00067000
670     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00067100
671     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00067200
672     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00067300
673     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00067400
674     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00067500
675     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00067600
676     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00067700
677     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00067800
678     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00067900
679     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00068000
680     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00068100
681     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00068200
682     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00068300
683     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00068400
684     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00068500
685     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00068600
686     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00068700
687     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00068800
688     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00068900
689     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00069000
690     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00069100
691     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00069200
692     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00069300
693     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00069400
694     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00069500
695     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00069600
696     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00069700
697     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00069800
698     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00069900
699     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00070000
700     26  41  3  833.8704  941.4486  1.1277  00070000

/* ***** CORE SECTION DATA *****
/*
/* ISLB   CHANL   HEDIA   POWER
/* 1      1.2192  0.01072  0.26802
/* 2      1.2192  0.01072  0.46396
/* 3      1.2192  0.01072  0.26802
/*
/* ***** SLAB GEOMETRY DATA *****
/*
/* JGOM  NREG  IHTMOD  IMATID  ISPST  WREG  POFRRG  RDLFT
/* ***** GEOMETRY INDEX 1 ***
/* 1      0      1      6      4.6226E-3  1.0  0.0  /  UO2
/* 2      0      2      1      0.1196E-3  0.0  /  HELIUM GAP
/* 3      0      3      8      0.6172E-3  0.0  /  ZR-4
/* ***** GEOMETRY INDEX 2 ***
/* 1      0      2      0      4      5      0.1270E-1  0.2  0.3493  /  ST #1
/* 2      0      4      5      0.4761E-1  0.8  /  ST #1
/* ***** GEOMETRY INDEX 3 ***
/* 1      0      7      6      1.2700E-3  1.0  9.8426E-3  /  INCONEL
/* ***** GEOMETRY INDEX 4 ***
/* 1      0      5      9      0.5715E-1  1.0  1.8797  /  ST #2
/* ***** GEOMETRY INDEX 5 ***
/* 1      0      5      7      0.3556E-1  1.0  0.0  /  ST #2
/* ***** GEOMETRY INDEX 6 ***
/* 2      0      4      4      0.3968E-2  0.018  2.1970  /  ST #1
/* 6      10      0.2159  0.982  /  MN-MO-NI-ST
/* ***** GEOMETRY INDEX 7 ***
/* 2      0      4      4      0.3968E-2  0.028  2.1946  /  ST #1
/* 6      8      0.1365  0.972  /  MN-MO-NI-ST
/* ***** GEOMETRY INDEX 8 ***

```

ALARM-P1 (MOD.2(VERSION 05) DATE 81.10.20) PWR LOSS OF COOLANT ANALYSIS PROGRAM

```

***** LISTING OF INPUT DATA *****
.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8
NO. 2 2 0 4 5 0.1270E-1 0.2 0.3682 / ST #1
701 0 4 5 0.5081E-1 0.8 / ST #1
702 /* *** GEOMETRY INDEX 9 ***
703 2 2 0 4 5 0.1270E-1 0.2 0.3938 / ST #1
704 0 4 5 0.5462E-1 0.8 / ST #2
705 /* *** GEOMETRY INDEX 10 ***
706 2 3 0 1 6 4.6226E-3 1.0 0.0 / UO2
707 1 8 1 0.1196E-3 0.0 / HELIUM GAP
708 0 3 8 0.6172E-3 0.0 / ZR-4
709 /* *** GEOMETRY INDEX 11 ***
710 2 3 0 1 6 4.6226E-3 1.0 0.0 / UO2
711 1 9 1 0.1196E-3 0.0 / HELIUM GAP
712 0 3 8 0.6172E-3 0.0 / ZR-4
713 /*
714 /* *** MATERIAL THERMAL PROPERTY DATA ***
715 /*
716 /*
717 /***** THERMAL CONDUCTIVITY OF UO2 *****(INDEX 1)
718 ( KCAL/M/SEC/°C )
719 20
720 260.0 1.3811E-3 343.3 1.2282E-3 426.7 1.1066E-3
721 510.0 1.0082E-3 593.3 0.9268E-3 676.7 0.8590E-3
722 760.0 0.8020E-3 843.3 0.7536E-3 926.7 0.7127E-3
723 1010.0 0.6775E-3 1093.3 0.6482E-3 1176.7 0.6230E-3
724 1260.0 0.6023E-3 1343.3 0.5849E-3 1426.7 0.5713E-3
725 1704.4 0.5469E-3 1982.2 0.5510E-3 2260.0 0.5812E-3
726 2537.8 0.6358E-3 2815.6 0.7152E-3
727 /*
728 /* HEAT CAPACITY OF UO2
729 ( KCAL/M3/°C )
730 /*
731 16
732 0.0 551.784 50.0 614.250 100.0 655.894
733 200.0 697.538 400.0 749.593 1100.0 822.470
734 1500.0 843.292 1700.0 905.758 1900.0 1009.869
735 2100.0 1166.034 2400.0 1436.720 2500.0 1509.597
736 2600.0 1572.064 2700.0 1603.272 2840.0 1624.119
737 4426.7 1624.119
738 /*
739 /* GAP CONDUCTANCE DATA
740 /*
741 2
742 0.0 0.0 2000.0 0.0
743 /*
744 /***** GAP CONDUCTANCE DATA (HELIUM GAS) *****(INDEX 2)
745 /*
746 2
747 0.0 0.0 2000.0 0.0
748 2
749 0.0 0.0 2000.0 0.0
750 2

```


ALARM-P1 (MOD.2(VERSION 05) DATE 81.10.20) PWR LOSS OF COOLANT ANALYSIS PROGRAM

```

***** LISTING OF INPUT DATA *****
.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8
NO. 801 426.7 1075.282 537.8 1107.380 1093.3 1283.919 00080100
/* 802 /*
/* 803 /* GAP CONDUCTANCE DATA 00080200
/* 804 /* 00080300
805 2 0.0 0.0 2000.0 0.0 00080400
806 /* 00080500
807 /* 00080600
808 /****** THERMAL CONDUCTIVITY OF MN-MO-NI-STEEL ***** (INDEX 6) 00080700
809 /* 00080800
810 6 0.0 1.2402E-2 100.0 1.2195E-2 200.0 1.1699E-2 00081000
811 /* 300.0 1.0996E-2 400.0 1.0211E-2 1000.0 0.5501E-2 00081100
812 /* HEAT CAPACITY OF MN-MO-NI-STEEL 00081200
813 /* 00081300
814 /* 6 75.0 974.311 225.0 997.856 275.0 1045.106 00081400
815 /* 325.0 1076.499 375.0 1123.589 1000.0 1712.214 00081500
816 /* 00081600
817 /* 00081700
818 /* 00081800
819 /* GAP CONDUCTANCE DATA 00081900
820 /* 00082000
821 /* 2 0.0 0.0 2000.0 0.0 00082100
822 /* 00082200
823 /* 00082300
824 /****** THERMAL CONDUCTIVITY OF INCONEL-600 ***** (INDEX 7) 00082400
825 /* 00082500
826 /* 5 37.8 3.5138E-3 148.9 3.9602E-3 315.6 4.6093E-3 00082600
827 /* 593.3 5.6427E-3 1000.0 7.1561E-3 00082700
828 /* HEAT CAPACITY OF INCONEL-600 00082800
829 /* 00082900
830 /* 00083000
831 /* 5 37.8 915.849 204.4 979.276 315.6 1021.401 00083100
832 /* 426.7 1063.686 1000.0 1281.886 00083200
833 /* 00083300
834 /* 00083400
835 /* 00083500
836 /* GAP CONDUCTANCE DATA 00083600
837 /* 00083700
838 /* 2 0.0 0.0 2000.0 0.0 00083800
839 /* 00083900
840 /* 00084000
841 /****** GAP CONDUCTANCE DATA (HELIUM GAS) ***** (INDEX 8) 00084100
842 /* 00084200
843 /* 2 0.0 0.0 2000.0 0.0 00084300
844 /* 00084400
845 /* 2 0.0 0.0 2000.0 0.0 00084500
846 /* 00084600
847 /* 2 0.0 0.0 2000.0 0.0 00084700
848 /* 0.0 0.96754 2982.2 0.96754 00084800
849 /* 00084900
850 /* 00085000
    
```

ALARM-P1 (MOD.2(VERSION 05) DATE 81.10.20) PWR LOSS OF COOLANT ANALYSIS PROGRAM

```

***** LISTING OF INPUT DATA *****
.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8
NO.      .....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8
851      /**** GAP CONDUCTANCE DATA (HELIUM GAS) *****(INDEX 9)
852      /*
853      2
854      0.0 0.0 2000.0 0.0
855      2
856      0.0 0.0 2000.0 0.0
857      2
858      0.0 0.71962 2982.2 0.71962
859      /*
860      /* END OF DATA
861      /*
00085100
00085200
00085300
00085400
00085500
00085600
00085700
00085800
00085900
00086000
00086100

```

END OF INPUT DATA

Table A List of Variable Identification Names used in ALARM-PI

VAR ID.	---	ARRAY	DIMENSION	-----	-----	CAPTION-----
TI		0	0	0		ELAPSED TIME
NQ		0	0	0		NORMARIZED POWER
AE		0	0	0		ENERGY-NUCL
FE		0	0	0		FUEL-ENERGY
LE		0	0	0		ENERGY-LEAKED
HE		0	0	0		ENERGY-HTXQ
EB		0	0	0		ENERGY-BALANCE
LM		0	0	0		WATER LEAK MASS
MB		0	0	0		WATER MASS BALANCE
TR		0	0	0		TOTAL REACTIVITY (DDL)
RV		0	0	0		VOID REACTIVITY (DDL)
RC		0	0	0		CONTROL ROD REACTIVITY
RD		0	0	0		DOPPLER REACTIVITY
PO		0	0	0		REACTOR POWER
HL		0	0	0		HEAT REMOVAL
RP		0	0	0		REACTOR PERIOD
AP		VOL	0	0		AVERAGE PRESSURE
TM		VOL	0	0		TOTAL WATER MASS
TE		VOL	0	0		TOTAL ENERGY
AT		VOL	0	0		AVERAGE TEMPERATURE
AR		VOL	0	0		AVERAGE DENSITY
AH		VOL	0	0		AVERAGE ENTHALPY
AX		VOL	0	0		AVERAGE QUALITY
BM		VOL	0	0		BUBBLE MASS
ML		VOL	0	0		MIXTURE LEVEL
VF		VOL	0	0		SAT. SPECIFIC VOL. LIQUID
VG		VOL	0	0		SAT. SPECIFIC VOL. STEAM
HF		VOL	0	0		SAT. SPECIFIC ENTH.
HG		VOL	0	0		SAT. SPECIFIC ENTH.
TS		VOL	0	0		SATURATE TEMPERATURE
PS		VOL	0	0		SATURATE PRESSURE
WM		VOL	0	0		LIQUID MASS
WQ		VOL	0	0		HEAT SOURCE
PR		VOL	0	0		PUMP SPEED
DF		SLAB	0	0		CRITICAL HEAT FLUX
FL		SLAB	0	0		HEAT FLUX AT LEFT
FR		SLAB	0	0		HEAT FLUX AT RIGHT
HCL		SLAB	0	0		LEFT HEAT TRANSFER COEFF.
HCR		SLAB	0	0		RIGHT HEAT TRANSFER COEFF.
WL		SLAB	0	0		LEFT HEAT TRANSFER RATE
WR		SLAB	0	0		RIGHT HEAT TRANSFER RATE
SL		SLAB	0	0		LEFT SURFACE TEMP.
SR		SLAB	0	0		RIGHT SURFACE TEMP.
FT		SLAB	0	0		FUEL AVERAGE TEMP.
FQ		SLAB	0	0		CORE GENERATED POWER
JW		JUNC	0	0		MASS FLOW RATE
JH		JUNC	0	0		JUNC. ENTHALPY
JX		JUNC	0	0		JUNC. QUALITY
LF		JUNC	0	0		ATTACHED PUMP SPEED
TD		JUNC	0	0		TOTAL PRESS. DIFF
FD		JUNC	0	0		FRIC. PRESS. DIFF
ED		JUNC	0	0		ELEV. PRESS. DIFF
PD		JUNC	0	0		PUMP HEAD
AD		JUNC	0	0		ACCEL. PRESS. DIFF
IHL		SLAB	0	0		HEAT TRANS MODE NO AT LEFT
IHR		SLAB	0	0		HEAT TRANS MODE NO AT RIGHT

Table B Built-in Equations in SPLPLOT

Equation No. (JCALC1)	Equations Used
1	$Y = \sum_{I=1}^{NODT1} X(I)$
2	$Y = \sum_{I=1}^{NODT1} X(I)$
3	$Y = X(1) - X(2)$
12	$Y = X(1)*CL(1)+CL(2)$
13	$Y = \rho(X(1), X(2))$ <p>ρ: density of saturated water, X(1): pressure, X(2): quality</p>
15	$Y = \sum_{I=1}^{NODT1} \{X(2)*CD(1)_I+Cd(2)_I\}$

Note 1) Y: Output variable, X(I)(I=1,NODT1): Input variables

Note 2) When user specifies the optional equation, the subroutine CALC11 must be replaced by another subroutine CALC11 given by user.

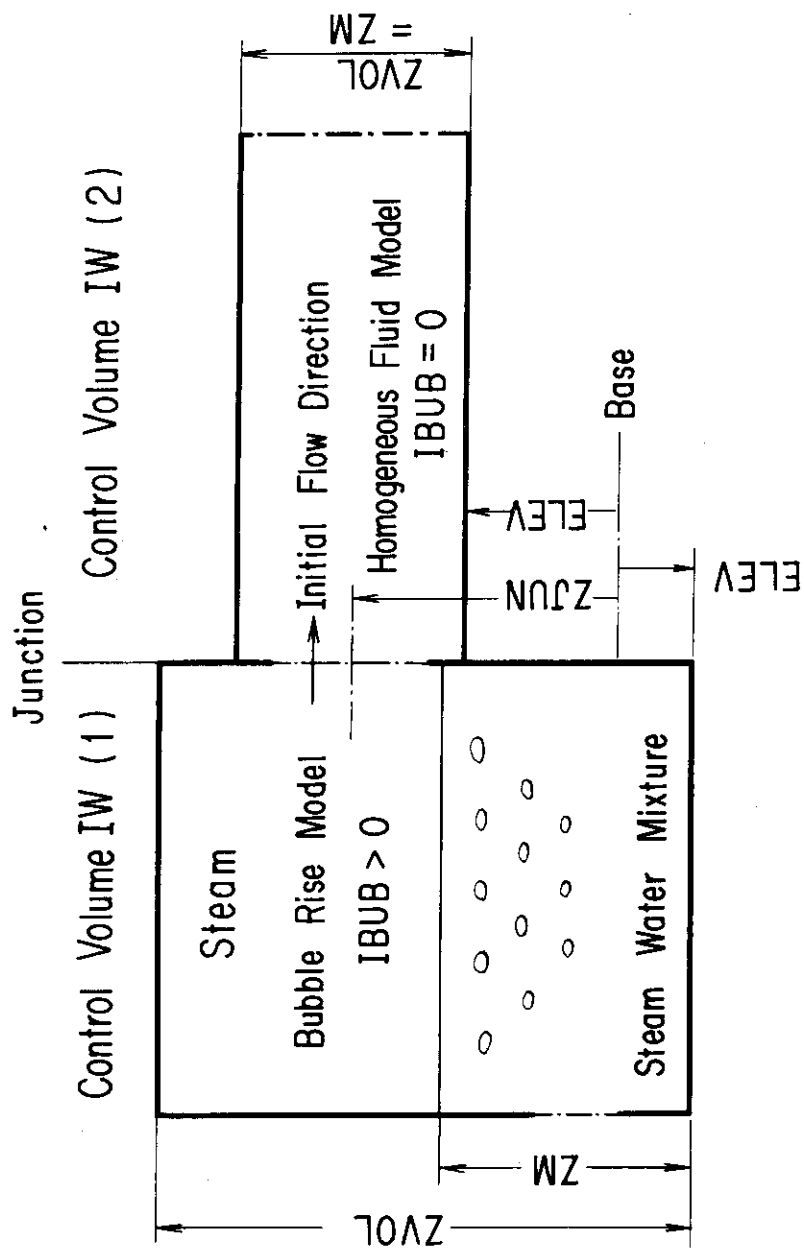
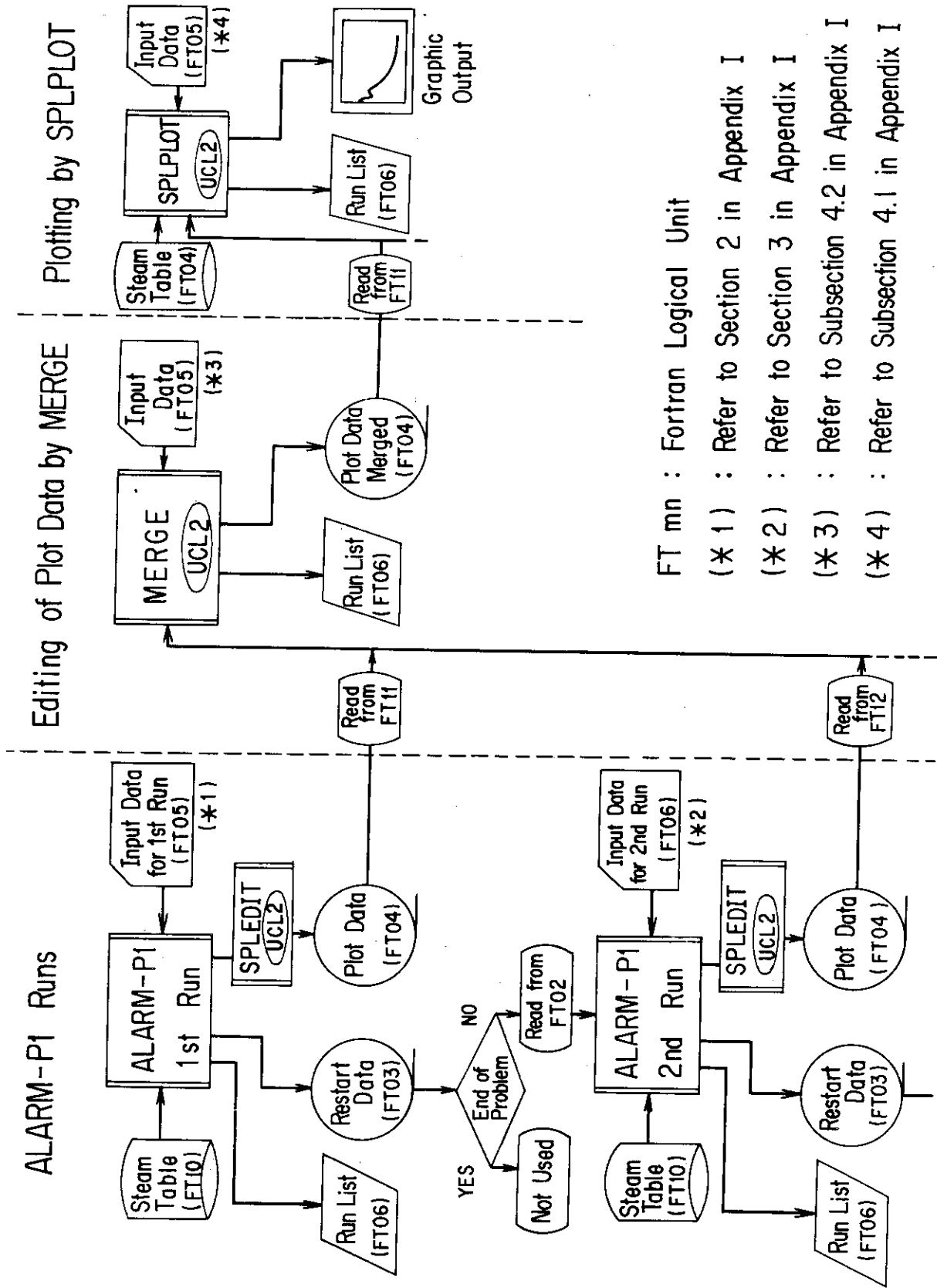


Fig. A Graphic Description of Geometrical Input Data



FT mn : Fortran Logical Unit
 (* 1) : Refer to Section 2 in Appendix I
 (* 2) : Refer to Section 3 in Appendix I
 (* 3) : Refer to Subsection 4.2 in Appendix I
 (* 4) : Refer to Subsection 4.1 in Appendix I

Fig. B Relation between ALARM-P1 and Other Codes and Data Flow