

JAERI-M

6707

ROSA-IIによる上部ヘッド注入系  
(UHI)の挙動に関する試験研究

1976年9月

安全工学第一研究室 ROSAグループ

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

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

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

ROSA-IIによる上部ヘッド注入系

(UHI)の挙動に関する試験研究

日本原子力研究所東海研究所安全工学部

安全工学第一研究室 ROSAグループ

(1976年8月18日受理)

ROSA-II試験装置に上部ヘッド注入系(UHI)およびUHI用の各種炉内構造物を取付けて、  
UHI付きPWRの冷却材喪失事故(LOCA)における一次系内の熱水力学的挙動の基本的な特性について実験的に確認した。

9 RUNの低温側配管の最大口径両端破断実験および1 RUNの中口径部分破断実験を行ない、次の2つの事実を明らかにした。

- (1) 上部ヘッド内の流体の混合は完全ではない。
- (2) 蒸気または二相流中への冷水の注入は大きな凝縮減圧をひきおこす。

これらの事実は、LOCA時的一次系内の流れのパターンに強く影響する。

安全工学第一研究室 室長 斯波正謙  
ROSAグループ

解析グループ： 安達公道・岡崎元昭・田坂完二・鈴木光弘・傍島真  
実験グループ： 松本巖・村田秀男・千葉辰夫・伊藤秀雄・大崎秀機

## Experiment on Performance of Upper Head Injection System with ROSA-II

## Reactor Safety Laboratory 1, ROSA Group

## Division of Reactor Safety, Tokai, JAERI

(Received August 18, 1976)

Thermo-hydraulic behavior in the primary cooling system of a pressurized water reactor with an upper head injection system (UHI) in a postulated loss-of-coolant accident (LOCA) has been studied with ROSA-II test facility. Simulated UHI and internal structures of the pressure vessel were installed to the facility for the experiment.

Nine maximum-sized double-ended break tests and one medium-sized split break test were performed for the cold-leg break condition. The results are as follows:

- (1) Fluid mixing in the upper head is not perfect.
  - (2) Cold water injection into the steam or two-phase fluid causes violent depressurization due to the condensation.

Flow pattern in the primary cooling system is largely influenced by the above two.

## Reactor Safety Laboratory 1, Chief M. Shiba

ROSA Group

Analysis Group: H. Adachi, Experimental group: I. Matsumoto,  
M. Okazaki, K. Tasaka, H. Murata, T. Chiba,  
M. Suzuki, M. Sobajima H. Itoh, H. Osaki

## 目 次

1. 緒 言 .....	1
2. 試験装置と試験条件 .....	3
2.1 試験装置の概要 .....	3
2.2 主な試験条件 .....	6
3. 試験結果 .....	8
3.1 圧力容器内の流体挙動 .....	8
3.2 ループ内の流体挙動 .....	13
3.3 燃料棒の温度挙動 .....	16
4. 考察および結論 .....	19
5. 参考文献 .....	21

**FIGURES :**

- Fig. 1.1 LOCA of a PWR with Upper Head Injection System (UHI) by 60% Double-Ended Cold Leg Break
- Fig. 2.1 Flow Sheet of ROSA-II Test Facility
- Fig. 2.2 Structure of Pressure Vessel and Its Internals (Upper Side)
- Fig. 2.3 Structure of Pressure Vessel and Its Internals (Lower Side)
- Fig. 2.4 Arrangement of Simulated Fuel Rods (UHI)
- Fig. 2.5 Power Distribution of Simulated Fuel Rod (UHI)
- Fig. 2.6 Heater Rod with Instrumentation in Simulated Fuel Assembly (UHI)
- Fig. 2.7 Structure of Tie Rod with Instrumentation in Simulated Fuel Assembly (UHI)
- 
- Fig. 2.9 Controlled Electric Powers Supplied to Simulated Fuel Assembly of Each Test Run
- Fig. 2.10 Flow Sheet of Upper Head Injection Line
- Fig. 2.11 Structure of UHI-Tank
- Fig. 2.12 N<sub>2</sub> Gas Storage Tank
- Fig. 2.13 Total Electric Power and Peak Surface Heat Flux of Rods Corresponding to the Power No.2 ... Run 603
- Fig. 2.14 Total Electric Power and Peak Surface Heat Flux of Rods Corresponding to the Power No.2 ... Run 604
- Fig. 2.15 Electric Power and Peak Surface Heat Flux of Rods Corresponding to the Power No.1 ... Run 607
- Fig. 2.16 Electric Power and Peak Surface Heat Flux of Rods Corresponding to the Power No.2 ... Run 607
- Fig. 2.17 Electric Power and Peak Surface Heat Flux of Rods Corresponding to the Power No.1 ... Run 608
- Fig. 2.18 Electric Power and Peak Surface Heat Flux of Rods Corresponding to the Power No.2 ... Run 608
- Fig. 2.19 Electric Power and Peak Surface Heat Flux of Rods Corresponding to the Power No.1 ... Run 609
- Fig. 2.20 Electric Power and Peak Surface Heat Flux of Rods Corresponding to the Power No.2 ... Run 609
- Fig. 2.21 Electric Power and Peak Surface Heat Flux of Rods Corresponding to the Power No.1 ... Run 610
- Fig. 2.22 Injection Flow Rates of ACC1 and ACC2 ... Run 603

- Fig. 2.23 Injection Flow Rate of LPCI ... Run 603  
Fig. 2.24 Injection Flow Rates of ACC1 and ACC2 ... Run 604  
Fig. 2.25 Injection Flow Rate of LPCI ... Run 604  
Fig. 2.26 Injection Flow Rate and Tank Pressure of UHI ... Run 604  
Fig. 2.27 Injection Flow Rates of ACC1 and ACC2 ... Run 607  
Fig. 2.28 Injection Flow Rate of LPCI ... Run 607  
Fig. 2.29 Injection Flow Rate and Tank Pressure of UHI ... Run 607  
Fig. 2.30 Injection Flow Rates of ACC1 and ACC2 ... Run 608  
Fig. 2.31 Injection Flow Rate of LPCI ... Run 608  
Fig. 2.32 Injection Flow Rate and Tank Pressure of UHI ... Run 608  
Fig. 2.33 Injection Flow Rates of ACC1 and ACC2 ... Run 609  
Fig. 2.34 Injection Flow Rate of LPCI ... Run 609  
Fig. 2.35 Injection Flow Rate and Tank Pressure of UHI ... Run 609  
Fig. 2.36 Injection Flow Rates of ACC1 and ACC2 ... Run 610  
Fig. 2.37 Injection Flow Rate of HPCI ... Run 610  
Fig. 2.38 Injection Flow Rate of LPCI ... Run 610  
Fig. 2.39 Injection Flow Rate and Tank Pressure of UHI ... Run 610  
Fig. 2.40 Pump Revolution Number ... Run 603  
Fig. 2.41 Pump Revolution Number ... Run 604  
Fig. 2.42 Pump Revolution Numbers ... Run 607  
Fig. 2.43 Pump Revolution Numbers ... Run 608  
Fig. 2.44 Pump Revolution Numbers ... Run 609  
Fig. 2.45 Pump Revolution Numbers ... Run 610  
Fig. 3.1 Pressure in Pressure Vessel Upper Head, Pressure Vessel Lower Plenum and Pressurizer ... Run 603  
Fig. 3.2 Pressure in Pressure Vessel Upper Head, Pressure Vessel Lower Plenum and Pressurizer ... Run 604  
Fig. 3.3 Pressure in Pressure Vessel Upper Head, Pressure Vessel Lower Plenum and Pressurizer ... Run 607  
Fig. 3.4 Pressure in Pressure Vessel Upper Head, Pressure Vessel Lower Plenum and Pressurizer ... Run 608  
Fig. 3.5 Pressure in Pressure Vessel Upper Head, Pressure Vessel Lower Plenum and Pressurizer ... Run 609  
Fig. 3.6 Pressure in Pressure Vessel Upper Head, Pressure Vessel Lower Plenum and Pressurizer ... Run 610  
Fig. 3.7 Differential Pressure between Top and Bottom of Pressure Vessel ... Run 603

- Fig. 3.8 Differential Pressure between Top and Bottom of Pressure Vessel  
... Run 604
- Fig. 3.9 Differential Pressure between Top and Bottom of Pressure Vessel  
... Run 607
- Fig. 3.10 Differential Pressure between Top and Bottom of Pressure Vessel  
... Run 608
- Fig. 3.11 Differential Pressure between Top and Bottom of Pressure Vessel  
... Run 609
- Fig. 3.12 Differential Pressure between Top and Bottom of Pressure Vessel  
... Run 610
- Fig. 3.13 Fluid Temperatures at Upper Head Position No.0, No.2, No.3  
... Run 603
- Fig. 3.14 Fluid Temperatures at Upper Plenum and in the Control Rod Guide  
Tube ... Run 603
- Fig. 3.15 Fluid Temperatures in UHI Column No.1~No.4 ... Run 603
- Fig. 3.16 Fluid Temperatures at Upper Head Position No.0~No.3 ... Run 604
- Fig. 3.17 Fluid Temperatures at Upper Plenum and in the Control Rod Guide  
Tube ... Run 604
- Fig. 3.18 Fluid Temperatures in UHI Column No.1~No.4 ... Run 604
- Fig. 3.19 Fluid Temperatures at Upper Head Position No.0~No.3 ... Run 607
- Fig. 3.20 Fluid Temperatures at Upper Plenum and in the Control Rod Guide  
Tube ... Run 607
- Fig. 3.21 Fluid Temperatures in UHI Column No.1~No.4 ... Run 607
- Fig. 3.22 Fluid Temperatures at Upper Head Position No.0~No.3 ... Run 608
- Fig. 3.23 Fluid Temperatures at Upper Plenum and in the Control Rod Guide  
Tube ... Run 608
- Fig. 3.24 Fluid Temperatures in UHI Column No.1~No.4 ... Run 608
- Fig. 3.25 Fluid Temperatures at Upper Head Position No.0~No.3 ... Run 609
- Fig. 3.26 Fluid Temperatures at Upper Plenum and in the Control Rod Guide  
Tube ... Run 609
- Fig. 3.27 Fluid Temperatures in UHI Column No.1~No.4 ... Run 609
- Fig. 3.28 Fluid Temperatures at Upper Head Position No.0~No.3 ... Run 610
- Fig. 3.29 Fluid Temperatures at Upper Plenum and in the Control Rod Guide  
Tube ... Run 610
- Fig. 3.30 Fluid Temperatures in UHI Column No.1~No.4 ... Run 610
- Fig. 3.31 Level Meter Signal at Upper Head No.1~No.3 ... Run 607
- Fig. 3.32 Level Meter Signal at Upper Plenum No.1~No.3 ... Run 607
- Fig. 3.33 Level Meter Signal at Downcomer No.1~No.6 ... Run 602

- Fig. 3.34 Level Meter Signal at Downcomer No.1, No.2, No.3 and No.6  
... Run 603
- Fig. 3.35 Level Meter Signal at Downcomer No.1, No.2, No.3, No.5 and No.6  
... Run 606
- Fig. 3.36 Fluid Temperatures in Blowdown Loop ... Run 603
- Fig. 3.37 Fluid Temperatures in Blowdown Loop ... Run 604
- Fig. 3.38 Fluid Temperatures in Blowdown Loop ... Run 607
- Fig. 3.39 Fluid Temperatures in Blowdown Loop ... Run 608
- Fig. 3.40 Fluid Temperatures in Blowdown Loop ... Run 609
- Fig. 3.41 Fluid Temperatures in Blowdown Loop ... Run 610
- Fig. 3.42 Level Meter Signal at Upper Plenum No.1~No.3 ... Run 604
- Fig. 3.43 Fluid Temperatures in Operating Loop ... Run 603
- Fig. 3.44 Fluid Temperatures in Operating Loop ... Run 604
- Fig. 3.45 Fluid Temperatures in Operating Loop ... Run 607
- Fig. 3.46 Fluid Temperatures in Operating Loop ... Run 608
- Fig. 3.47 Fluid Temperatures in Operating Loop ... Run 609
- Fig. 3.48 Fluid Temperatures in Operating Loop ... Run 610
- Fig. 3.49 Surface Temperatures of No.1 Rod at the Center of Core  
... Rung 603
- Fig. 3.50 Surface Temperatures of No.38 Rod in the Middle of Core  
... Run 603
- Fig. 3.51 Surface Temperatures of No.125 Rod at the Outer Part of Core  
... Run 603
- Fig. 3.52 Surface Temperatures of No.146 Rod at the Outer Part of Core  
... Run 603
- Fig. 3.53 Surface Temperatures of No.44 Tie Rod in the Middle of Core  
... Run 603
- Fig. 3.54 Surface Temperatures of No.1 Rod at the Center of Core  
... Run 604
- Fig. 3.55 Surface Temperatures of No.38 Rod in the Middle of Core  
... Run 604
- Fig. 3.56 Surface Temperatures of No.125 Rod at the Outer Part of Core  
... Run 604
- Fig. 3.57 Surface Temperatures of No.146 Rod at the Outer Part of Core  
... Run 604
- Fig. 3.58 Surface Temperatures of No.44 Tie Rod in the Middle of Core  
... Run 604
- Fig. 3.59 Surface Temperatures of No.1 Rod at the Center of Core  
... Run 607

- Fig. 3.60 Surface Temperatures of No.38 Rod in the Middle of Core  
... Run 607
- Fig. 3.61 Surface Temperatures of No.125 Rod at the Outer Part of Core  
... Run 607
- Fig. 3.62 Surface Temperatures of No.146 Rod at the Outer Part of Core  
... Run 607
- Fig. 3.63 Surface Temperatures of No.44 Tie Rod in the Middle of Core  
... Run 607
- Fig. 3.64 Surface Temperatures of No.1 Rod at the Center of Core  
... Run 608
- Fig. 3.65 Surface Temperatures of No.38 Rod in the Middle of Core  
... Run 608
- Fig. 3.66 Surface Temperatures of No.125 Rod at the Outer Part of Core  
... Run 608
- Fig. 3.67 Surface Temperatures of No.146 Rod at the Outer Part of Core  
... Run 608
- Fig. 3.68 Surface Temperatures of No.44 Tie Rod in the Middle of Core  
... Run 608
- Fig. 3.69 Surface Temperatures of No.1 Rod at the Center of Core  
... Run 609
- Fig. 3.70 Surface Temperatures of No.38 Rod in the Middle of Core  
... Run 609
- Fig. 3.71 Surface Temperatures of No.125 Rod at the Outer Part of Core  
... Run 609
- Fig. 3.72 Surface Temperatures of No.146 Rod at the Outer Part of Core  
... Run 609
- Fig. 3.73 Surface Temperatures of No.44 Tie Rod in the Middle of Core  
... Run 609
- Fig. 3.74 Surface Temperatures of No.1 Rod at the Center of Core  
... Run 610
- Fig. 3.75 Surface Temperatures of No.38 Rod in the Middle of Core  
... Run 610
- Fig. 3.76 Surface Temperatures of No.125 Rod at the Outer Part of Core  
... Run 610
- Fig. 3.77 Surface Temperatures of No.146 Rod at the Outer Part of Core  
... Run 610
- Fig. 3.78 Surface Temperatures of No.44 Tie Rod in the Middle of Core  
... Run 610

- Fig. 3.79 Comparison of Exposure Time between Run 603 and Run 604  
Fig. 3.80 Comparison of Quench Time between Run 603 and Run 604  
Fig. 3.81 Comparison of Exposure Time between Run 604, Run 606 and Run 607  
Fig. 3.82 Comparison of Quench Time between Run 604, Run 606 and Run 607  
Fig. 3.83 Comparison of Exposure Time between Run 607 and Run 609  
Fig. 3.84 Comparison of Quench Time between Run 607 and Run 609  
Fig. 4.1 Coolant Behavior in Pressure Vessel during ROSA-II UHI Test

## TABLES :

- Table 2.1 Design Data of ROSA-II(UHI) Facility and LPWR ————— Comparison of Major Design Parameters  
Table 2.2 Dimension of Major Components  
Table 2.3 Volume Distribution  
Table 2.4 Thermal Design Data  
Table 2.5 Thermal Design Data (cont'd)  
Table 2.6 Emergency Core Cooling System  
Table 2.7 Instrumentation List for ROSA-II Test (A)  
Table 2.8 Instrumentation List for ROSA-II Test (B)  
Table 2.9 Major Test Conditions of All Runs  
Table 2.10 Test Conditions for Run 603  
Table 2.11 Test Conditions for Run 604  
Table 2.12 Test Conditions for Run 607  
Table 2.13 Test Conditions for Run 608  
Table 2.14 Test Conditions for Run 609  
Table 2.15 Test Conditions for Run 610  
Table 4.1 Comparison between UHI Behavior in ROSA-II(UHI) Test and the Fig. 1.1 Model

## 1. 緒 言

加圧水型原子炉（PWR）の一次冷却系配管の両端破断にともなう冷却材喪失事故（LOCA）において、冷却材の急激な流出に基づく原子炉圧力の急激な減少は、原子炉圧力が格納容器圧力と平衡となる時点で終了する。このプローダウン過程の主な部分においては低温側配管に注入された非常炉心冷却系（ECCS）からの水は、安全解析上は原子炉圧力容器から流出する「ECCS バイパス」と仮定される。

UHI (Upper Head Injection) のECCSへの追加は、プローダウン過程に於て炉心内の逆流にのせて炉心の上部に水を注入し、最も厳しい結果を与えると考えられる一次冷却系低温側配管の両端破断事故においても、UHIの水により炉心の冷却を図り、燃料被覆管最高温度の低減を狙ったものである。在来型ECCSによる冷却が期待できなかった期間についての炉心の冷却能力が増加すれば、より高い線出力での運転が可能となり、さらに大きな運転余裕度が得られる。

ウェスティングハウス社はUHIを装備したPWRの安全解析のためSATAN-VIコードに改良を加えた<sup>(1)</sup>。UHI付きプラントのLOCA解析がUHIのないプラントのモデルと主に異なっている点は次のとおりである。

- (1) プローダウン期間中、炉心上部ヘッドは平衡状態にある1つのコントロール・ボリュームで表わし、UHI支柱および制御棒案内管もそれぞれ1つのコントロール・ボリュームで代表する。そして流体条件は質量保存式、エネルギー保存式、および運動量保存式を解いて求める。したがって解析方法はUHIのないプラントと基本的には同じである。
- (2) プローダウン終了後は、上部ヘッドは系から切り離される。そして上部ヘッド部の水が炉心で発生した蒸気と置換する過程については、別途理論計算により求め、得られた結果をSATAN-VIコードに入力する。
- (3) 上部ヘッドが空になるまで、炉心部には未飽和水が注入されるので、未飽和領域および低クオリティ領域で適用可能な熱伝達相関式を用いる。
- (4) 再冠水開始時には被覆管温度はUHIの注入のない場合に比べ低いので、FLECHTによる燃料棒被覆管温度が低い場合の実験からエントレインメント割合の相関式を求め、これを解析に用いている。

UHI付きのプラントに於ける、一次系低温側配管の60%両端破断による圧力の時間変化のSATAN-VIによる解析結果の一例を、流動パターンと比較してFig.1.1に示す<sup>(2)</sup>。①は破断前の状態であり、上部ヘッドへはバイパス孔を通してダウンカマーの水が一部流入する。また上部ヘッドの水は一部はUHI支柱を通して炉心へ、一部は制御棒案内管を通して上部プレナムあるいは炉心へ流出する。②はUHI注入停止までの流動パターンであり、上部ヘッド内の水はUHI支柱および制御棒案内管を通して炉心へ注入される。また一部はバイパス孔を通してダウンカマーへ流出する。炉心部では下向流である。③はUHI注入停止からプローダウン終了までの流動パターンである。UHI支柱および制御棒案内管から上部ヘッドに流入した二相流は凝縮し、バイパス孔を通して流出する。④はリフィル前期であり、制御棒案内管を上昇して上部ヘッドへ流れ込んだ蒸気は凝縮し、炉心へはUHI支柱を通して蒸気と等しい質量の水が流入する。原子炉圧力は格納容器の内圧とバランスしており、バイパス孔を通しての

流れはない。⑤はリフィル後期であり、上部ヘッド内の制御棒案内管より上の部分は飽和している。したがって制御棒案内管を通して上部ヘッドへ流入した蒸気は凝縮せず、炉心へは蒸気と等しい体積の水がUHI支柱を通して流入する。炉心部では再び下向流になると考えられる。

UHIは大きく一次系の挙動を変え、プローダウン期間およびリフィル期間において新しい熱水力メカニズムをもたらし、複雑な流動パターンが変化する。さらに再冠水挙動にも重要な変化をもたらす。これらの挙動を、現在のループコードを用いて解析するにあたって、その妥当性を実験的に検証しておく必要がある。

そこでウェスティングハウス社では、G-1ループ<sup>(2)(3)</sup>、G-2ループ<sup>(2)</sup>によるプローダウンおよびリフィル過程の熱伝達に関する実験、UHI注入時のUHI支柱および制御棒案内管を通っての流れの分布に関する実験<sup>(2)</sup>、FLCHT実験装置による再冠水過程の熱伝達に関する実験<sup>(2)</sup>など、UHIを附属した場合の炉心熱伝達に関する実験を行った。また、上部ヘッドの水の落下現象についても確認実験<sup>(2)</sup>が行なわれている。

ただし、これらの実験はいずれも、UHI付PWRのLOCA過程の一部を取り出し、流動状態もしくは熱伝達を調べたものである。LOCAのような非定常の二相流を伴なう現象においては、ある時点における冷却材の熱水力学的挙動は、固体側の温度分布を含むそれ以前の熱水力現象の推移に強く影響されるものと考えられ、上記のような実験だけで十分であるとは云い難い。

また、これらの実験における初期条件は、いずれもSATAN-VIによる代表的な解析結果に基づいている。この事は、妥当性を検証しようとする解析コードを用いて実験の初期条件を定めるという矛盾を含むものである。

またUHI付PWRのLOCAにおいては、上部ヘッドおよび上部プレナムを貫通する多数の制御棒案内管およびUHI支柱からなる多チャンネル系の、きわめて複雑な単相流および二相流の挙動によって、炉心の流動および熱伝達が支配される。このような多チャンネル系の流動挙動は、上部ヘッドや上部プレナム内の流体温度やボイド率の分布に強く影響されるものと推定されるが、上述の複雑な構造物の形状に加えて、有限個のノズルから有限の速度をもって冷水が注入されるというUHI個有の条件があるので、それらの分布はきわめて複雑な変化を示すものと思われる。さらに蒸気相ないし高ボイド率の二相流体中への冷水の注入は、熱力学的に非平衡な状態でのきわめて速やかな凝縮をひきおこすから、これに伴なう強い減圧作用によって、炉心を含む圧力容器内の流動パターンが変化してしまう可能性も考えられる。

以上の考察により、UHI付PWRの系を模擬する試験装置を用いて、一次系内の熱水力学的挙動を総合実験によって確認する必要がある事がわかる。そこで、PWRのLOCAを模擬する試験装置であるROSA-II<sup>(4)</sup>、<sup>(5)</sup>にUHIを付け、UHI付PWRのLOCA総合実験を行う事にした。

本実験の目的は、下記の項目について実験的に見通しを得ることである。すなわち

- (1) UHI付きのPWRのLOCA過程の確認。とくに、UHI注入時の流体条件、炉心上部における流動パターンの時間変化、および上部ヘッド内の水の非均質効果の影響に注意する。
- (2) UHI注入条件および破断条件を変えて実験し、炉心冷却に対する影響を調べる。また条件により予想していなかった現象が生ずるか否かを調べる。
- (3) 実験結果をもとに既存のループコードのUHI付きPWRのLOCA解析に対する適用の妥当性を調べる。

## 2. 試験装置と試験条件

### 2. 1 試験装置の概要

#### 2. 1. 1 装置の基本設計方針

ROSA-II試験装置は動力用の加圧水型原子炉（PWR）を模擬して作られており、PWRの安全評価において想定される冷却材喪失事故（LOCA）を模擬した実験において、流体の流出過程と非常用炉心冷却系（ECCS）作動時における流体の熱水力学的現象に関する試験データを得ることを目的として作られたものである。圧力容器と一次系循環ループとは、原則として米国WH社のTROJAN炉をモデルとして作られたが、今回の一連のUHI（上部ヘッド注入系）の試験では、次の部分に改造が加えられた。従来のROSA-II試験装置の上部プレナムに上部炉心板と上部炉心支持板、制御棒案内管、UHI支柱等が設けられており、また模擬燃料棒の本数、直径配列ピッチ、電源の引出し方向等も従来のROSA-II装置と異なっている。

実炉のLOCA時の冷却材のプローダウン過程および再冠水過程において、推定される装置各部の圧力、温度、クオリティの時間変化をできるだけよく模擬するために、以下のような基本方針に基づいてROSA-II試験装置が設計されている。

- (1) 実炉の一次系主要機器の構成を模擬する。
- (2) 定常運転時の圧力、温度を実炉に合わせる。
- (3) 実炉の一次系4ループのうち1つに配管破断が生じたと想定し、健全な3ループを1つにまとめ、冷却材流量や蒸気発生器の容量を1:3にした2つのループを設ける。
- (4) 装置各部の容積比を実炉の場合に合わせる。
- (5) 主要機器の設置高さの関係をなるべく実炉に合わせる。
- (6) 炉心流速を実炉に合わせたと仮定した時に生じる各部の圧力損失を実炉の場合に合わせる。
- (7) 放出開始前の各部のエンタルピ分布を実炉に合わせる。
- (8) 炉心内模擬燃料棒の直径、ピッチ、配列及び熱出力を実炉に合わせる。
- (9) ECC水を実炉と同等以上の圧力・温度、流量条件で注入できるようにする。
- (10) 両端ギロチン破断やスプリット破断等の模擬ができ、破断位置も低温側配管、高温側配管、ポンプ吸込側配管を選ぶことができる。最大破断口径は、実炉の最大口径破断時の減圧速度を上まわれるようにする。

電源設備の容量や装置設置場所の制約、製作上の困難さもあったが、できるだけ上記の基本方針に沿って製作されている。UHI試験用に改造された圧力容器内部の構造についても、同様にできるだけ上記の基本方針に沿うようにした。特に上部ヘッド、上部プレナム部における以下の寸法、面積、容積については、上記方針の(4)(5)、(7)に基づき、更にUHI水が注入された場合にも制御棒案内管やUHI支柱を流れる流体の挙動を実炉に合わせることを目標にして設定された。具体的には、

- A) 炉心の冷却材容積に対する上部ヘッド内容積および上部プレナム内容積の比
- B) 上部ヘッド内容積に対する制御棒案内管内容積およびUHI支柱内容積の比
- C) 上部ヘッド内高に対する制御棒案内管の高さの比
- D) 炉心流路断面積に対する制御棒案内管、UHI支柱およびバイパス孔それぞれの最小面積の比

を ROSA-II 装置と実炉とで合わせた。また、構造の複雑な制御案内管については、実炉と同様の構造とした。UHI 支柱については、実炉では平均して 1 つの制御棒案内管につき 1.5 本程度の UHI 支柱がついているが、ROSA-II 装置では UHI 支柱を 4 等分し、各 4 本を制御棒案内管の周りに対称的に配置し、炉心へ流下する流体ができるだけ 1 ケ所に偏らないようにした。試験装置の主要諸元を、Table 2.1 ~ 2.6 に示す。実炉条件に合わせることのできなかったのは、装置の大きさ、炉心の長さ、一次系構造材の熱容量と冷却材熱容量との比、一次系の構造材表面積と冷却材容積との比、ダウンカマーの間隙と軸長、燃料棒の熱容量と熱伝導率、グリッドとスペーサーの形状と寸法、破断直前の炉心流速、ポンプの減衰特性等である。

### 2.1.2 試験装置の主要機器

試験装置は、Fig. 2.1 のフローシートに示すように圧力容器を中心に 2 つの 1 次系循環ループをもち、そのうちの 1 つ、健全ループには加圧器、蒸気発生器と循環ポンプがついており、他の 1 つ、破断ループには蒸気発生器、循環ポンプと破断機構とがついている。圧力容器内には、上述の内部構造物と 9.5 mm の模擬発熱燃料棒 140 本を含む模擬炉心があり、最高出力 2200 kW を出せる。ECCS としては従来の蓄圧注入系 (ACC)、低圧注入系 (LPCI)、高圧注入系 (HPCI) に加えて上部ヘッド注入系 (UHI) が設置されている。以下に主要装置の概略を示す。

#### 2.1.2.1 圧力容器とその内部構造

圧力容器は従来の ROSA-II 試験と同じものであり、160 atm, 325°C の使用条件で約 200 回の放出試験に耐えるよう設計<sup>(5)</sup>されたものである。圧力容器は、内高 4.85 m、上・下部内径 380 mm、胴部内径 280 mm の大きさを有し、内部には Fig. 2.2, 2.3 に示すような構造物が設置されている。

従来の ROSA-II 試験装置と異なるのは次の諸点である。圧力容器上部に炉心板支持体を設け、上部ヘッドと上部プレナムに分割した。UHI 注入ノズル (25 mm 内径の円管) が上部ヘッド内に突き出ており、ノズルの先端は制御棒案内管の上端より 50 mm 下にある。制御棒案内管が 1 本上部ヘッドから上部プレナムを通って上部炉心板へと接続されており、その構造は実炉のそれと同様に、穴のあいた竹の節のような板が内部に合計 12 段取りつけられている。制御棒案内管下部の側面には 32 ケの穴があいており、上部プレナムと案内管内部との流体の移動は容易に行われる。4 本の UHI 支柱はそれぞれ上部ヘッド内に炉心板支持体より 50 mm 突き出しており、その先端の側面には 16.2 mm 内径の穴が 2 ケあいている。また UHI 支柱の下端は先細ノズルとなっており、そのノズル下端と周囲の上部炉心板との間には 18.3 mm の間隙がある。ノズル下端の位置は上部炉心板の厚さの中間にある。上部ヘッドとダウンカマーとの間には 4 ケのバイパス孔があり、破断前の定常運転時には、ダウンカマーよりこれらのバイパス孔を通して上部ヘッドへ流体が流れ、上部ヘッド内の流体の循環に寄与しているものである。基本方針の D)に基づいて設計された制御棒案内管上端、各 4 本の UHI 支柱下端、各 4 ケのバイパス孔それぞれの最小流動面積部の口径は 19.6 mm, 12.2 mm, 3.5 mm である。上部炉心板の下には模擬燃料集合体があり、この導線は従来の ROSA-II 装置とは異なり、圧力容器下端のフランジから外へ通じている。サポートチューブの下端の側面には、内径 80 mm の穴が 8 ケあいており、破断前の定常運転時にはダウンカマーを流下した流体がこれらの穴を通って炉心に上昇していく。ダウンカマー部の間隙 (圧力容器内壁とコアバレル外壁との間隙) は 21 mm である。

#### 2.1.2.2 炉心構造と模擬燃料集合体

炉心には、電気間接発熱の模擬燃料棒 140 本とタイロッド 9 本、および炉心部の冷却材容積を設計

値に合わせるために設けられたダミーロッド 28 本、上下グリッド、スペーサーから成る燃料集合体と、それを保護するサポートチューブ、その外周にあるコアドレルとが入っている。この炉心の横断面図を Fig. 2.4 に示す。模擬燃料棒の外径、配列、ピッチは実炉の  $1.7 \times 1.7$  燃料集合体のそれに合わせてある。模擬発熱燃料棒 140 本（うち 7 本は計装用）はいずれも軸方向にコサイン発熱分布（Fig. 2.5）を持ち、最大出力は  $2240 \text{ kw}$ （1 本当り  $16.0 \text{ kw}$ ）であり、最大出力時のピーク線出力は  $16.5 \text{ kw/m}$ （熱流束は  $4.75 \times 10^5 \text{ kcal/m}^2 \text{ hr}$ ）である。また電源の関係上、33 本の模擬発熱燃料棒は No.1 電源に、107 本の模擬発熱燃料棒は No.2 電源に接続されている。計装用の模擬発熱燃料棒とタイロッドの構造を Fig. 2.6, 2.7 に示す。いずれも熱電対を軸方向に 5 点配置している。模擬発熱燃料棒の場合には熱電対を被覆管外表面に埋め込み、先端をティグ溶接にしており、タイロッドの場合には熱電対を外表面から突き出している。

LOCA 過程の炉心発熱については、崩壊熱と遅発中性子の効果の他に燃料棒の蓄積熱の効果も考えた実炉の場合に解析上プローダウン過程で炉心の冷却材に熱伝達されると予測されたエネルギー量を、ROSA-II 試験装置では燃料集合体の発熱量として与えた。冷却材への想定熱伝達量と同じ時刻において発熱量として与えた場合、もし燃料棒表面が実際に露出して熱伝達量が著しく小さくなったりすると、ROSA-II 装置でのこの発熱模擬は過大に評価されることになり、従って燃料棒の温度は安全側に評価されることになる。ROSA-II 装置では電源に制約があるため、定常運転時の出力密度は実炉のそれの約 40% にしか相当しない。それで今回の一連の Run では、Fig. 2.9 に示すように、破断後 10 数秒間最高出力を維持し、その出力と冷却材への想定熱伝達量とが一致した時刻からこの熱伝達量に沿って出力を変化させ、崩壊熱と遅発中性子だけの出力曲線と交わる 36 秒以降は、崩壊熱と遅発中性子の効果を入れた出力曲線に沿って変化させた。

### 2.1.2.3 1 次系循環ループ

従来の ROSA-II 装置<sup>(5)</sup>の 1 次系循環ループと同じであり、健全ループと破断ループより成る。総循環流量は標準で  $1860 \text{ l/min}$  であり、最高出力の場合に炉心出入口温度差は計算上  $17^\circ\text{C}$  となる。この時炉心流速は  $1.7 \text{ m/sec}$  となり、実炉の約 36% である。破断試験の際には、できるだけ破断前の炉心上下温度差を実炉条件に近づけるために流量を低下させている。

### 2.1.2.4 非常炉心冷却系 (ECCS)

従来の ROSA-II 試験装置の ECCS、即ち蓄圧注入系 (ACC)、低圧注入系 (LPCI)、高圧注入系 (HPCI) の 3 系統に加えて、上部ヘッド注入系 (UHI) が設置された。これらの系統の特徴は Table 2-6 に示してある。なお、従来の ROSA-II 試験の ECCS の中でも、注入条件が異っているのは ACC 注入圧が低くなった事、LPCI 注入作動開始は加圧器圧力が  $125 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$  に低下した時から 2.5 秒おくらして入れるのではなく、格納容器圧上昇の検出が早いことから破断後 26.2 秒とした事である。UHI は蓄圧注入系の 1 種で、1 次系圧力が UHI タンク圧力より低くなった時点で上部ヘッド内に注入されるものである。UHI 注入系のフローシート、UHI タンク、及び窒素ガスタンクを Fig. 2.10~2.12 に示す。なお、UHI 注入ラインには、UHI タンクと上部ヘッドの間にチェック弁と電動弁があり、電動弁は加圧器圧力がある設定圧力になってから約 2 秒間かかる。なお、電動弁を破断前より開けておけば、破断前にはチェック弁のみで 1 次系の圧力を支えており、破断後に 1 次系圧力が低下して UHI タンク圧力以下になった時直ちに UHI 水が注入されることになる。

### 2.1.3 ROSA-II 試験装置の計測系統

ROSA-II 装置には、破断前の定常時における監視および制御系統と、破断とそれ以後のプローダウン過程およびECCS注入による再冠水過程の諸現象を測定するデータ収録系統とがある。データ収録系統にも2種類あり、1つはTable 2-7に示す、120チャンネル、50 Hz/チャンネルの収録容量をもつシステムであり、他の1つはTable 2-8に示す100チャンネル、1 Hz/チャンネルの収録容量のシステムである。従来のROSA-II 試験の計測系統に比べて追加された主なものは上部ヘッドと上部プレナム内の流体温度(TU-1, TU-7~TU-9)と水位(LU-1~LU-6), 制御棒案内管とUHI支柱(4本)内の流体温度(TU-2~TU-6), およびUHI注入流量(F-14)とUHIタンク圧力(P-14), 水温(TU-10), 破断信号(S-13)である。水位計の構造、作動原理等は前掲の参考資料(5)を参照されたい。

### 2.1.4 試験の手順

1つの試験を終了するまでに以下のような作業が行われる。放出試験に先立ち、6~7時間かけて徐々に投入電力を増し、1次系の温度、圧力を上げつつ同時に膨張して余分になった水を抜く。2次系を作動させ、定格流量で最高電力を投入し、1次系が定常状態になったのち、炉心上下温度差を大きくするために徐々に循環流量を低下させ試験条件にセットする。計測系統、データ収録装置の健全性を確認し、実験に入る。破断の数秒前よりデータ収録装置が作動を開始し、CWTより冷却水が凝縮装置に注入され、その直後に破断を起こす。破断と同時に電力が関数制御され、破断確認後に急速遮断弁の作動(Run 610では開のまま)、循環ポンプ電力の遮断となる。各ECCSについては、ACCとUHIは1次系圧力が設定圧まで下がれば自動的に作動するが、LPCI, HPCIは破断後26.2秒という時間セットにより注入される。模擬燃料棒の表面温度が上昇し、その任意の2点の温度計測点が設定温度(700°C)を越えた場合には、炉心への電力供給を停止する。データ収録は5分~10分間行われる。

## 2.2 主な試験条件

今回の一連の試験は、主としてECCSの1つである上部ヘッド注入系(UHI)が及ぼす効果を調べることに目的がある。破断条件としては、最大口径の両端ギロチン破断、中口径のスプリット破断の2種類を考えた。破断場所として低温側配管の他に高温側配管も予定していたが、低温側配管破断の10 Runs を終了した段階で燃料集合体に故障が生じて試験は中断の止むなきに至り、高温側配管破断の試験は行われなかった。試験した10 Runs の主な特徴をTable 2-9に示す。Run 601~609のECCSの中でHPCIの注入場所が抜けているのは、それらのRuns ではHPCIとLPCIとが同じ注入時刻、注入時間、注入場所となるために両者の合計注入流量をLPCI注入流量として与えていることによるものであり、HPCIを注入しなかったことに対応するものではない。なお、試験した10 Runs のうち、今回の報告書ではRuns 603, 604, 607, 608, 609, 610の計6 Runsについて現象の解釈が行われている。Run 601は最初の試験であり、燃料集合体とUHI系統の作動についての検査試験もある。発熱特性はFig. 2.9に示すように、他のRuns とは異っている。また、UHI注入流量も若干他のRuns と異っている。Run 602は全てのECCSを注入させない場合であり、プローダウン現象のみを見ることの他に、他のRuns と比べることにより、ECCSの効果を調べる上で役立つものである。Run 603と604は対になっており、ともにNo.2電源のみを使用して140

### 3. 試験結果

#### 3.1 圧力容器内の流体挙動

##### (1) 圧力挙動

ROSA-II試験における圧力容器内の圧力挙動におよぼすUHIの影響には、炉心および炉内構造物の構造、寸法によるものと、UHIからの注水それ自体の効果との2つがある。前者については、炉心および炉内構造物の構造、寸法以外の全ての試験条件を従来のRUNのそれと合せた放出試験を行なわなかったので明らかでない。後者については、Fig. 3.1とFig. 3.2の比較によって、UHIからの注水があったRUN604の方が、それがなかったRUN603に較べてブローダウン過程の末期に圧力容器内の圧力が下がりにくくことがわかる。UHIからの注水の効果には、凝縮減圧効果と残存水量の増加による圧力降下遅れとの2つがあると考えられ、上記の結果は後者によるものであろう。

RUN604に較べて炉心発熱が大きかったRUN607(Fig. 3.3)をRUN604(Fig. 3.2)と比較してみると、初期温度の違いによる飽和圧力の違いが認められる。ブローダウン末期の圧力降下はRUN607の方が遅いが、他の事例では炉心発熱が小さい方がブローダウン過程末期の圧力降下が遅くなる事も多い。

UHIの注入圧力や注入水温度の影響については、それぞれRUN608(Fig. 3.4)およびRUN609(Fig. 3.5)の結果をRUN607(Fig. 3.3)の結果と比較する事によって明らかにする事ができる。すなわち、UHIの注入圧力は圧力容器の圧力挙動にはあまり影響を与えない。一方、注入水温度が高いRUN609では破断後15~40secで減圧がやや遅く、40sec以降では逆に速くなっている。これは、UHI注入による凝縮減圧が緩和された効果と、残存流体の蒸発による押出し作用が強化された効果とが競合した結果であると考えられる。

最後に、破断面積が他のRUNの約1/10であるRUN610(Fig. 3.6)においては、流出流量が小さいため、圧力降下はきわめて遅くなった。しかしブローダウン時間は10倍までは延びておらず、ACC注入水の無効流出量の減少およびブローダウン過程におけるLPCIの注入総量の増大による凝縮量の増大が減圧をやや速めた事がわかる。

##### (2) 差圧挙動

圧力容器の上下差圧(下部プレナム圧力-上部ヘッド圧力)は、炉心を通る経路の静圧差、流路摩擦損失および加速圧力降下の3者からなる。一般的にいえば流動の激しいブローダウン過程では後者が支配的であり、再冠水過程では静圧差が主体となるであろうが、EOCSの注入の影響はかなり複雑な流れをひきおこすから、差圧のデータは十分注意深く評価する必要がある。

標準のデータとしてRUN607(Fig. 3.9)を取上げて説明する。放出前に約0.48kg/cm<sup>2</sup>あった差圧は、流出、炉心流れの逆転、および上部ヘッドからUHI支柱や制御棒案内管を通じて上部プレナムや炉心に向う流れの発生のために、約-0.1kg/cm<sup>2</sup>まで低下する。なおこの途中で差圧が一時的に回復するのは、ラプチャーディスクが破られた直後には2つの流出経路が導通していたのが、急速遮断弁QSVが閉じる事によって隔離され、完全な両端破断の流出形式になった事による。

続いて、UHIの注入によって上部ヘッドや上部プレナムで凝縮減圧が起り、炉心の少なくとも上端では流れの方向が上向きになって差圧が一時的に回復する。しかし、上部ヘッド内の流れが整定し、

さらに未飽和水がUHI支柱だけでなく制御棒案内管をも流下するようになると、上部ヘッドは一種の水封状態になり、凝縮減圧の影響は著しく弱まり、反対にUHI支柱や制御棒案内管の下向き未飽和水流の影響が出てきて、再び負の差圧となる。もちろんこのような状態になつても上部プレナムでは激しい凝縮が進行しており、炉心上端では上向き流になつてゐる筈であるが、炉心の流動抵抗はUHI支柱と制御棒案内管の並列結合抵抗に較べてはるかに小さいので（最小流路面積が約6.7倍）、この影響はかくされてしまう。この状態で上部ヘッドの水位は上昇し、徐々に差圧は正に転じ、増大する。

破断後約33secでUHIの注入が停止すると、その瞬間にきわめて高いパルス状の差圧（本例では約0.57kg/cm<sup>2</sup>）が発生する。これは次項で述べるように上部ヘッド内の凝縮減圧によりUHI支柱および制御棒案内管できわめて強い上向き蒸気流を生ずるためである。

この後ただちにUHI支柱は下向き未飽和水流に転じ、制御棒案内管は上向き蒸気流が継続する。この気液の体積交換のため上部ヘッド内の水は徐々に減少する。しかるに次項で述べるようにUHI支柱を通じて流下した未飽和水の大部分は破断ループの高温側配管を通じて流出してしまうので、炉心を通る経路の保有水量は全体として減少し、圧力容器上下差圧は下降する。

しかし、やがてLPCI注入水がダウンカマをへて下部プレナムに蓄水するようになり、差圧は110sec頃から再び上昇し始める。この差圧上昇開始がLPCI注入開始（26sec頃）から約85secも遅れている事、および、これに先立つて約60secもの間差圧がほとんどゼロに保たれてゐる事はこの間のダウンカマの流動挙動についての重要な示唆を与えるが、これについては後に詳しく述べる。

下部プレナムが蓄水され、やがて炉心の有効発熱部まで水位が進入すると、炉心の膨大な蓄積熱が進入水に伝達され、進入水の一部が激しく蒸発する。この時の膨張圧によって水位は押下げられ、蒸発は止まる。しかるに蒸気が流出して炉心部圧力が下ると、再び水位が上昇し、炉心に進入する。このような現象がくり返される結果、不規則な、あるいは時にはやや規則的なチャギング振動を発生する事になる。180sec以降の差圧の挙動は主としてこのチャギング振動によるものである。

RUN604(Fig.3.8)ではLPCI注入水温が42°Cで、RUN607の22.8°Cより高かったために、下部プレナム蓄水開始がやや遅れた。また、炉心発熱が小さかったために発熱停止時刻が遅く、すでに1次系内の保有水がほとんど無くなってしまった事が関係して、発熱停止以後の燃料棒温度はRUN607よりかえつて高温に保たれた。この事とLPCI注入水温が高かった事とに起因して、圧力容器内の蓄水量がやや少なく、チャギング振動がやや規則的になり、振巾および周期が減少した。

RUN608(Fig.3.10)ではUHI注入圧力が高く、その結果、UHI注入時間帯がやや前にずれた。このため例えばUHI注入時の差圧パルスの発生時刻が早くなつた等の違いが出た。

以上の2RUNが基本的にはRUN607と同じ特性を示したのに対して、UHI注入水温が高かった(120°C)RUN609(Fig.3.11)では少し違う差圧挙動が得られた。すなわち、UHI注入開始からしばらくは系圧力がかなり高く、したがつて注入水はかなり大きな未飽和度を持っている事になり、上部ヘッドにおける凝縮減圧による差圧の回復が見られた点はRUN607と同様であるが、系圧力が下つて來るとこの効果は急速に弱まり、固体壁の蓄積熱をうばつて蒸発する事による押し出し効果の方が主体になって來る。この時点では、UHI支柱は微弱未飽和水の下降流であり、制御棒案内管は飽和蒸気の下降流になつてゐるものと思われる。すなわち上部ヘッドはこの場合は加圧器として作用している。これらの下降流の流動損失のために、圧力容器上下差圧は大巾に負になる（本図では

-0.10 kg/cm<sup>2</sup> 以下は示されていないが、測定範囲の広い別の計器では -0.4 kg/cm<sup>2</sup> まで下っている)。UHI注入停止時の圧力回復もごくわずかで、かつそれほど瞬間的ではない。上部ヘッド内の水が流下しつくせば上述の流動損失がなくなり、負の差圧は解消される。その後の差圧変化の特性は、RUN 607 等と基本的には同じである。

RUN 610 (Fig. 3.12) では破断面積が小さかったために、残存水量が多く、負の差圧は表れていない。またすべての現象が時間的にひきのばされている。しかしその特性は基本的には RUN 607 等と同じである。

RUN 603 (Fig. 3.7) では UHI の注入がなかったために、上部ヘッドや上部プレナムにおける凝縮減圧の影響がなく、大きい負の差圧が検出されている。また当然の事であるが、UHI注入停止時のパルスも存在しない。RUN 609 と同様に、上部ヘッドの水が流下しつくせば負の差圧は解消され、その後は RUN 604 (Fig. 3.8) に近い挙動となっている。

### (3) UHI注入水の挙動

Fig. 3.19 に RUN 607 の例を示すように、上部ヘッド内の流体温度は破断後少しの間は各時点の圧力に対応する飽和温度に従って変化するが、UHI注入によりまず最下位の測定点である TU-9 が、続いて中間点の TU-8 が未飽和状態になる。このように下位の点ほど早く、かつ強く未飽和状態になるのは、UHI注入水がかなり高流速（本例では最大約 8.8 m/s）で下向きに注入される事、および注入水の比重量が残流水のそれの約 1.37 倍である事のために、注入水が直接上部ヘッドの底の方に流下する傾向が強いからである。UHI注入開始時に上部ヘッドの水位がどこにあったかは、Fig. 3.31 の中間点（点 2）の水位計が故障していたため確実にはわからない。Fig. 3.31 では上位（点 1）の水位計が水信号から蒸気信号へ変化し始めるのが 5 sec で、UHI注入開始時点と偶然ほぼ一致しているが、水位計はぬれにより露出後も水信号を出し続ける傾向があるので、そのままは信用できない。RUN 602, RUN 603 等、UHI を注入しなかった場合の下位（点 3）の水位計が水信号から蒸気信号へ変化した時刻（20~22 sec）をもとに RUN 607 の UHI注入開始時の水位を推定してみると、点 1 から約 100 mm 下った位置となる。これは点 3 の水位計のぬれ特性を無視した値であるから、実際の水位はもう少し下であったと思われる。この事から、Fig. 3.19 の上位点の TU-7 および制御棒案内管キャップの直上の T-1 は、UHI注入開始以前にすでに蒸気中に露出していた事がわかる。このためこれらの点における流体温度は長時間にわたって飽和温度曲線に従っている。なお TU-7 が 21 sec 以後しばらくの間過熱状態になっているが、わずか 100 mm 程度しか離れていない T-1 と TU-7 とでこのように違った挙動を示すのは、もちろん圧力容器や内部構造物との位置関係によるものであるが、上部ヘッド内の混合が案外不完全なものである事を示唆する。

次にこの頃までの制御棒案内管および UHI 支柱内の流れを調べてみる。Fig. 3.20 に制御棒案内管内の流体温度を示す。放出後 UHI 作動以前は UHI 支柱および制御棒案内管は下向きの飽和水、二相流からしたいに蒸気流に移行するものと考えられるが、上述のように UHI 注入開始時には制御棒案内管上端は蒸気中に露出している。UHI が注入されると上部ヘッド内で激しい凝縮が起る。この凝縮による体積減少をおぎなう形で制御棒案内管を通じて炉心から上部プレナムに向う飽和蒸気流が発生するから、制御棒案内管の流体温度は UHI 作動後もしばらくは飽和関係に従う。しかし Fig. 3.19 に示したように上部ヘッドの流体温度は注入水の混合によって未飽和となる。そうして UHI 支柱の流体温度が、Fig. 3.21 に示すように上部ヘッド下位（TU-9）とほとんど同じである事から、UHI

支柱は未飽和水の下向き流となっている事がわかる。やがて上部ヘッド内の水位が上昇して制御棒案内管上端が冠水すると、上部ヘッド全体が水封状態になり、UHI支柱だけでなく、制御棒案内管をも下向きに未飽和水が流れようになる。上部ヘッドへの蒸気の流入がなくなるから、凝縮も弱まり、現象はきわめて静かになる。Fig. 3.31に示すように、上位（点1）の水位計は蒸気信号を出し続けているから、蒸気の溜りが存在する事がわかるが、前述したようにUHI注入水の速度と密度の影響で注入水は直接上部ヘッドの底の方に流下してしまうので、気液界面の伝熱は悪く、界面温度は飽和温度に保たれ、圧力容器壁などの蓄積熱によって蒸気域は容易に依持され、時によってはTU-7のように過熱蒸気にさえなる。

このような状態での上部ヘッド内の体積バランスを考えてみると、

#### UHI注入+蓄積熱による蒸発

$$+ \text{未飽和水の流出} + \text{混合による凝縮} = 0$$

となる。ここに前2項は体積増（正）、後2項は体積減（負）である。

さて、破断後33secに約2secの弁作動時間で突然UHIの注入が停止するが、注入ノズル直下の下向き未飽和水流は慣性によって流れ続けようとするから、その部分の流体が流下した後の空間を埋めるために、周囲から水平に流れが集中して来る。このような水平流はUHI注入中にはきわめて弱かったもので、UHIの急速な停止によってひきおこされる一過的な現象であるが、これによって蒸気の溜りの近傍における気液混合は著しくよくなる。これにより上式の第4項の凝縮量が劇的に増大し、第2項の増大による打消し分を差引いても、第3項は瞬間に正の大きな値（すなわち炉心からの飽和蒸気の流入）になる。炉心からの蒸気の流入は上部ヘッド内の水を攪拌すると共に水位を盛り上げるので、上記の凝縮を一層促進する。このような挙動は多くのデータに見られる。すなわち、Fig. 3.21のUHI支柱の流体温度には炉心からの飽和蒸気の流入を示す正のスパイクが現れ、Fig. 3.19の上部ヘッド下部温度（TU-9）は流入蒸気の潜熱を受取って若干の温度上昇を示す。逆に上部ヘッド上部のTU-7, T-1等には未飽和水の盛上りの影響を受けて負のスパイクが現れる。Fig. 3.31の点1の水位信号にもこの盛上りの影響によるスパイクが現れている。Fig. 3.20の制御棒案内管温度にもこれに対応した温度の回復が見られるが、制御棒案内管の流路面積が大きく、かつ上端で絞られているという特殊形状のため、蒸気温度の検出は若干遅れている。また、Fig. 3.9の圧力容器上下差圧にも同種のスパイクが見られる事は先に述べた通りである。

しかし、何れにせよこの現象は一過的なものであり、凝縮が停止すれば上向き蒸気流も停止する。上部ヘッド内は再び静かになり、圧力容器壁の蓄積熱の影響もあって再び蒸気域が形成される。するとUHI支柱を下向きに未飽和水が流れ、制御棒案内管を上向きに飽和蒸気が流れる体積交換形の気液交換流が起り、上部ヘッド内の水は自然落下する。上部ヘッドの液相部には依然として垂直方向の温度勾配が残っているので、同一点で測定すれば時間と共に流体温度が回復する事になり、またこの回復は下位の点ほど遅れる事になる。これはFig. 3.19にはっきりと表れている。また、UHI支柱が未飽和水の下向き流である事は、Fig. 3.21の各曲線がFig. 3.19のTU-9とほとんど同じ挙動を示す事からわかり、制御棒案内管が飽和蒸気の上向き流である事は、Fig. 3.20の制御棒案内管温度が飽和に保たれている事からわかる。この気液交換流は上部ヘッドに水がなくなる約60secまで続くが、Fig. 3.31の点3が58secで水信号から蒸気信号に変化する事がこれに対応していると考えられる。

上部プレナムの流体温度は、Fig. 3.20に示すようにほぼ飽和曲線に従って変化する。Fig. 3.31の水位信号の記録からわかるように、上部プレナム上（点1）、水位計は破断後間もなく蒸気信号を出すようになり、また下端（点3）も上部ヘッドに水がなくなるとまもなく蒸気信号になってしまふ。この事から点3で検出された水信号は、主として上部ヘッドからUHI支柱をへて流下した水によるものと判断される。UHI支柱を通って流下して来た水はそのまま炉心に向う筈であるが、かえってこのように上部プレナム下部に存在しており、また後述するようにこの間で有効な炉心冷却は得られておらず、むしろ露出時刻が早まるという結果が出ているので、次のような現象が推定される。すなわち、上部ヘッドからUHI支柱を通って流下して来た未飽和水による凝縮作用により、炉心の少なくとも上端において強い上向き蒸気流を生ずる。UHI支柱を出た未飽和水はこの蒸気流によりただちに反転して上部プレナムに入り、そこで細かく粉碎、混合されて炉心から来た蒸気を凝縮する。凝縮の大部分が上部プレナムで行なわれるため、上部プレナムの圧力が下り、上部炉心板を貫通する蒸気流速はきわめて大きくなる。また上部プレナム内で細かい液滴となって混合するために凝縮後大部分は蒸気流にキャリオーバーされるのであろう。ただし一部の水は飽和温度になった後、落下して炉心からの蒸気流を妨げない位置に溜るものと考えられ、Fig. 3.32の点3はこのような水を検出したものと解釈される。

次にRUN607以外のものについて概観する。RUN604, RUN608, RUN610については、UHIの注入期間や全体の現象の時間的推移に差があるものの、基本的にはRUN607と全く相似の挙動を示した。特に、UHI注入圧力が上部ヘッドの飽和圧力より高く、したがって上部ヘッドで減圧沸騰が開始する以前にUHIが注入開始したRUN608においても同様の現象が確認された事は特筆に値する。RUN609については、UHI注入水温が高かったために凝縮効果が弱く、UHI注入停止時の上向き蒸気流は流体温度や水位計の記録には現れていない。差圧の項で触れたように、UHI停止後上部ヘッドが加圧器的に作用し、いわゆる気液の体積交換流が見られなかった事も特徴である。またRUN603ではUHIを注入しなかったので、上述のUHI固有の流体挙動は全く見られず、単に飽和から露出により過熱状態に移行するだけであった。Fig. 3.13～Fig. 3.18およびFig. 3.22～Fig. 3.30に、上記各RUNの上部ヘッド、制御棒案内管、上部プレナム、UHI支柱の流体温度挙動を示す。

#### (4) ダウンカマの流体挙動

ダウンカマの流体挙動については、水位計の記録などから大ざっぱに推定できる。

Fig. 3.33はUHIも在来型ECCSも作動しなかったRUN602の、健全ループ出口ノズル方向のオンオフ水位計の指示である。破断直後に減圧沸騰によるボイド発生で蒸気単相に近い指示になるが、下部プレナムから流れて来る二相流によって次第に水の指示に近づく。この間の指示はきわめて振動的であり、水位計の取付高さによる差があるが、取付高さによる系統的傾向は認められない。20 sec以降は下部プレナムから来る流れが蒸気単相流になるため、急速に蒸気単相の信号になる。

Fig. 3.34はUHIが作動しなかったRUN603の例である。点4, 5の指示は点3, 6のそれと近似しているので、図には記していない。また点1, 2では水単相に近い指示が得られたが、これは検出端の絶縁劣化による可能性が強い。この場合も減圧沸騰によるボイド発生と下部プレナムから流れて来た二相流とが検出されているが、後者の指示がRUN602に較べて小さい。その理由は、RUN603の方が炉心発熱小さく、したがって炉心部での蒸発による押出し効果が小さかったためと思われる。

れる。30 sec 以後，在来型 ECCS の作動の影響を受けてある程度の水の存在を検出しているが、平均的には蒸気が多くなっている。この時間帯はいわゆる気液対向二相流によって ECCS (主として LPCI) 注入水の流下量が制限されているものと判断される。165~187 sec 頃ダウンカマ全域にわたって水単相に近い信号が出ている。これは Fig. 3.7 の第 1 回目の急激な差圧回復に対応しており、下部プレナムからの蒸気流量やダウンカマ壁の蓄積熱の解放が減衰して対向二相流の制限が緩和され、LPCI 注入水の流下量が急増したものと思われる。しかし Fig. 3.7 から明らかなように、この後チャギング振動が発生し、炉心に進入した水が蒸発して下部プレナムを経由してダウンカマに流れ来る所以、再び対向二相流の流量制限がきつくなり、やや蒸気分の多い水位信号に移行している。なお 180 sec を中心とした LPCI 注入水のダウンカマ流下の影響は、すぐに又はやや遅れて上部プレナム水位計の指示や、燃料棒のクエンチ現象などに伝播している。

次に、Fig. 3.35 は、RUN 607 とほとんど同じ試験条件で行なった RUN 606 の例である。点 4 の指示は点 3, 5 のそれとほぼ同じであり、点 1, 2, 6 の指示は検出端の絶縁劣化によると思われる。本図は定性的には RUN 603 とほぼ同様であるが、炉心発熱が RUN 602 の場合と同じであったにもかかわらず破断後 5~15 sec 頃の下部プレナムからの二相流の検出信号が RUN 602 よりはもちろん炉心発熱の小さい RUN 603 よりもさらに小さい。これは UHI の注入による上部ヘッドや上部プレナムでの凝縮減圧の影響で炉心内の流れの方向が逆転し、炉心から下部プレナムを経てダウンカマに向う二相流が減少したものと考えられる。また、本例でも 150~180 sec に LPCI 注入水の顕著なダウンカマ流下が見られる。

最後に、ROSA-II 実験でダウンカマに水位計を取り付けた実験としては、RUN 324~RUN 326 の 3 A 次模擬炉心による例があるが、今回の UHI 実験の方が一般にダウンカマ内の水量が多いようと思われる。その理由は明らかではないが、

- 1) 下部プレナムに多数の電流リード線がついた事や、上部炉心板、UHI 支柱、制御棒案内管などがあるとはいえ上部プレナムの多数の電流リード線がなくなった事などにより流動抵抗の分布が変り、炉心の逆流傾向が緩和され、下部プレナムを経てダウンカマに向う蒸気流が減少したと推定される事。
  - 2) LPCI の注入開始時刻が早まり、ACC の注入時間が長くなった事。
  - 3) UHI 注入による凝縮減圧効果が炉心の流れ方向を順流にひきもどした事。
- 等が挙げられよう。

### 3. 2 ループ内の流体挙動

#### (1) 破断ループの流体挙動

Fig. 3.36~Fig. 3.41 にいろいろの RUN における破断ループの流体温度挙動のデータを示す。UHI 作動の有無以外の試験条件がほぼ等しかった RUN 603 (Fig. 3.36) と RUN 604 (Fig. 3.37) を比較してみると、SGI 入口温度が RUN 603 では破断後約 17 sec (210°C) まで飽和曲線に従って下降し、その後過熱状態に移行しているのに対して、RUN 604 では約 55 sec (130°C) まで飽和曲線に従って下降し続けている事がわかる。これはこの時点までは上部プレナムから流出する流れが二相流である事を意味しており、UHI 注入水の大部分が上部プレナムを経由して破断ループに流出したという解釈を指示するものである。すなわち、上部プレナムの下位 (点 3) 水位

計が、UHI支柱を流下して炉心からの上向き蒸気流により上部プレナムに反転流入した水の一部を検出する事はすでに述べたが、Fig. 3.42に明らかなように丁度この時点頃から上部プレナム点3水位計が蒸気信号を検出し始めているのである。この事はRUN607(Fig. 3.38とFig. 3.32との比較)でも同様であるといえる。

次に、SG1出口およびP1出口温度は、SG1の蓄積熱を受取るために、SG1入口温度よりもずっと早い時期から過熱蒸気になり、二次系の温度より数十°C低いほぼ一定の値になる(Fig. 3.37ではSG1出口温度が計測系の故障のため記録されていない)。これらの温度が二次系の温度より低いのは、上部プレナムから流出する流体の温度が飽和またはそれに近いのに、SG1を通過する時間が比較的短いので、二次系の温度まで加熱されないうちにSG1を流出してしまうからである。

圧力容器入口温度については、全体としては飽和曲線に従って降下するが、37sec以後ではしばしば未飽和側へのスパイクが見られる。Fig. 3.37とFig. 3.8とを比較してみると、圧力容器入口温度のスパイクとやや対応して圧力容器上下差圧が急上昇しているので、チャギング現象との関連が疑われる。しかし他のRUNでは必ずしもそうなっていないし、次項で述べるように健全ループの流体温度挙動との対応が強いため、健全ループ低温側配管に注入されたLPCI注入水が圧力容器に間歇的に流れこんだものと解釈する方が自然である。もちろんチャギング現象も健全ループの流体挙動に強く影響するであろうが、これとは別の健全ループ自体の複雑な自励振動があるのであろう。これについては次項で詳しく述べる。

RUN607(Fig. 3.38), 608(Fig. 3.39), 609(Fig. 3.40)は、何れもRUN604と定性的にはほぼ同様の流体温度挙動を示している。これらのRUNではSG1入口温度が160sec頃(RUN609では190sec頃)からしばらくの間飽和温度まで下っている。これは下部プレナムから炉心に進入した水が発生蒸気に持ち上げられて上部プレナムに達したからで、上部プレナムの水位計の記録や燃料棒のクエンチ時刻などによってもこの事は確認されている。

RUN610(Fig. 3.41)においても、現象が時間的にゆっくり進行しているだけで、基本的には他のRUNと同様である。圧力容器入口温度のスパイクと上下差圧のデータ(Fig. 3.12)に現れたチャギング振動との対応は割合よいように見受けられる。

## (2) 健全ループの流体挙動

Fig. 3.43~Fig. 3.48にいろいろのRUNにおける健全ループの流体温度挙動のデータを示す。健全ループの流体温度挙動はきわめて複雑なので、まず典型的な例としてRUN604を挙げて現象の推移を説明し、その後に他のRUNとの比較を行なう。

Fig. 3.44のSG2入口温度を見ると、破断後160sec頃を境にして、主として飽和曲線に従う特性から二次系温度に近い温度一定の特性に移行している。前期はSG2の中で激しい蒸発が生じており、始めは低クオリティの、次第に高クオリティの二相流がSG2から上部プレナムの方に逆流している時期である。この逆流がいつから始まったかは不明であるが、UHI注入水の凝縮減圧効果が大きい事を考えれば、少なくともUHI注入開始後はこの逆流が生じているのではないかと想像される。次に後期はSG2内の蒸気流がきわめて遅くなつて、二次系の蓄積熱を受取って熱的には平衡した時期である。この時期もきわめて低速ではあるが流れの方向としては逆流になっているものと考えられる。

両時期共に大きな温度振動が見られるが、その性質および原因は異なる。前期には飽和温度から過

熱状態に向って振動するもので、蒸気流が弱まったために SG2 出口側の水が U チューブを越えにくくなり、しばしば蒸気単相流となるものである。この場合、蒸気流速がある程度大きければそれほど強い過熱状態にならないが、蒸気流速が遅いと二次系の温度まではなる事ができる。一般に、健全ループの流体挙動は、SG2 の U チューブの上向きおよび下向き二相流の特性に強く影響される事に注意すべきである。次に後期の振動は過熱度が減少する方向に生ずる。この原因は LPCI 注入水の一部が間歇的に SG2 出口側から進入する事である。すなわち進入した水が蒸発して過熱度の小さい蒸気流となり、SG2 の内で過熱度を高めながら SG2 入口に到達したものである。

前期の始めの方を除けば、健全ループの温度振動の直接的原因は、LPCI 注入水の間歇的進入のようである。すなわち、ごくわずかの水が P2 ポンプを経て SG2 に進入すると、SG2 の構造物や二次側流体の蓄積熱を受取って激しく蒸発する。この膨張圧によって進入水は押しもどされ、蒸発は停止する。このような現象がくり返されるために、LPCI 注入水は SG2 に間歇的に進入する。一方、LPCI 注入水の間歇進入によって間歇的に多量の蒸気が発生するが、この蒸気は SG2 入口に向って逆流し、前期では SG2 出口側の残存水の一部を入口側に運んで過熱度を解消し、後期では過熱度の低い発生蒸気が逆流する事によってやはり過熱度を解消する。故に SG2 の入口と出口とでは、温度振動はほぼ逆位相になる。

LPCI 注入水の間歇進入については、SG2 入口、出口と P2 ポンプ出口の流体温度を比較するとよくわかる。今、後期の過程を例に挙げて説明する。P2 ポンプ出口やそれまで過熱状態にあった SG2 出口に未飽和水の進入による流体温度の急減が表れた後、蓄積熱を受けて P2 出口流体温度は未飽和状態から徐々に回復し、飽和温度になる。すると沸騰が開始してある時点からこの温度は一定温度に抑えられる。P2 出口や SG2 出口附近で蒸気が発生するためにこれらの点は飽和温度に保たれるが、一方その蒸気が SG2 を経由して SG2 入口まで流れ行く事によって、やや遅れてそれまではほぼ二次系温度に保たれていた SG2 入口温度が下り始める。この蒸発に伴なう膨張圧によって LPCI 注入水は押しもどされ、やがて SG2 出口附近に水がなくなると SG2 出口温度が過熱温度になる。それと同時に蒸発量が減少するので SG2 入口温度は再び二次系温度に向って回復し始める。SG 出入口温度差に必ず存在するから、このようなメカニズムで現象が進行する限り SG2 入口温度は出口温度より常に高い筈である。上述のように P2 出口や SG2 出口附近での蒸気発生により LPCI 注入水は一旦押しもどされるが、蒸気発生が弱まると再び進入して来る。この時すでに高温になった管壁に触れながら進入してるので、一部の水が液膜や水滴となって先行進入する。この液膜や水滴による先行冷却によって SG2 出口温度が下り始め、本格的な水の進入によって完全に冷却される。これが LPCI 注入水の間歇進入の 1 サイクルである。なお、SG2 の蓄積熱が減少して SG2 の奥深くまで水が進入するようになると、1 サイクルの周期が延び、かつ SG2 出口温度の急冷の後に若干のアンダーシュートが見られるようになる。

この LPCI 注入水の間歇進入の影響は当然破断ループ圧力容器入口温度にも現れる。これが前項で解れた未飽和域へのスパイクであって、始めは P2 ポンプ出口とほぼ逆位相で、やがてほぼ同位相で振動するようになる。このように振動の位相関係がずれて來るのも、LPCI 注入水の SG2 への進入の深さが深くなり、周期が延びて來るためだと考えられる。

さて、UHI 注入がなかった RUN603 (Fig. 3.4.3) と上述の RUN604 の結果とを比較してみると、RUN604 の方が SG2 入口の最初の温度スパイクが早く現れている。この事は UHI 注入水の凝

縮減圧効果によって健全ループの逆流傾向が強まり、SG2内の特に入口側の水が早く失われて行くためである。しかし、UHI注入水によって上部プレナムまわりの固体側の蓄積熱がうばわれる所以、上部プレナムの蒸気発生が低く抑えられ、UHI停止後も逆流傾向が比較的長く続き、前期の過程の継続時間は長い。それに対してRUN603では比較的早く後期の過程に移行している。この点の他は定性的にはほぼ同一の挙動といえる。

炉心発熱が大きかったRUN607(Fig. 3.45)では後期の過程で温度振動が少ない。次節で述べるように本実験の手順上の特性として、炉心発熱の大きい方が早く炉心発熱が停止され、その結果早く炉心部が冷却されるので、RUN607の方が炉心から上部プレナムに向かう蒸気流量が小さく、健全ループの逆流傾向が強かったためと考えられる。

次に、RUN607とほぼ同じ条件であるがUHI注入圧力が高かったRUN608(Fig. 3.46)や、UHI注入水温度が高かったRUN609(Fig. 3.47)では、RUN607と大差ない結果が得られた。

破断面積が小さいRUN610(Fig. 3.48)では全体の現象が時間的に引きのばされただけでなく、上述の諸RUNとは若干異なった特性が得られた。すなわち、68 sec頃からSG2入口側の水はなくなって流体温度は過熱温度になるが、LPCI注入水がP2ポンプ出口に到達する頃から飽和状態へ向かう振動が現れ、190 sec以後は主として飽和状態になり、あたかも飽和状態から過熱状態へ向かう振動しているような外見を見せるようになる。これはSG2出口側にかなり水が残っているからで、LPCI注入水がP2ポンプやSG2出口側に間歇進入する度に大量の蒸気が発生し、その膨張圧によってSG2出口側の残存水がUチューブを越えて入口側に到達するものである。従ってSG2入口と出口とでは温度振動は逆位相となる。SG2出口側の残存水の重量に抑えられているので、LPCI注入水が蒸発してもその蒸気は容易に流れ去る事ができず、停滞する傾向が生ずる。このためSG2出口やP2出口で過熱状態へ向かう振動が目立つ。

以上、健全ループ内の流体挙動を眺めて来たが、UHI実験全体を通じて、従来のROSA-II実験(たとえばRUN307<sup>(6)</sup>, 310など)に較べて健全ループの逆流傾向が強いように思われる。すなわち、従来の実験では多くの場合破断後しばらくは順流が続き、60~150 sec位たってから逆流へ移行しているが、今回のUHI実験では一般にかなり早い時期から逆流が起っているように思われる。この理由は明らかではないが、UHIが作動しなかったRUN603でも同様の傾向が現れているので、

- 1) 上部プレナムの多数の電流リード線の替りに4本のUHI支柱と1本の制御棒案内管だけとなり、SG2から上部プレナムを経て破断ループ高温側配管に向う流動抵抗が減少した事。
  - 2) UHI注入による凝縮減圧効果で上部プレナム圧力が低下した事。
  - 3) UHI注入水が上部プレナムまわりの固体側の蓄積熱をうばうので、UHI停止後も上部プレナムにおける蒸気発生が低く抑えられ、SG2の流体が上部プレナムへ流れ易い事。
- 等が挙げられる。

### 3. 3 燃料棒の温度挙動

Fig. 3.49~Fig. 3.78にいろいろのRUNにおける発熱および非発熱燃料棒の表面温度挙動を示す。これらの燃料表面温度挙動の典型的なパターンは、発熱燃料棒にあっては次の通りである。すなわち、破断後しばらくは核沸騰が持続するので飽和温度の降下にはほぼ平行して降下する。この間、場

所によってはDNBによる1～数回の一時的な温度上昇が見られる。燃料棒が本格的に蒸気中に露出すると、急激に燃料棒表面温度は上昇し始める。この時刻を以下では露出時刻と名付ける。炉心内の35点で測定した燃料棒表面温度のうち2点以上が700°Cを越えると、燃料棒保護のため炉心発熱を停止する。炉心発熱停止により燃料棒表面温度は下降はじめ、やがて急激に飽和温度附近まで低下する。この時刻を以下ではクエンチ時刻と名付ける。クエンチした以後は燃料棒表面温度は飽和温度附近に保たれる。

非発熱燃料棒の挙動も定性的には似ているが、露出以前のDNBは全く見られず、露出しない点も多い。また露出する場合でもその露出時刻はきわめて遅く、露出後の燃料温度の上昇速度も遅い。炉心発熱停止との相関は全くない。これらは何れも非発熱燃料棒の温度上昇の原因が周囲の発熱燃料棒からの輻射や対流による伝熱だからである。

さて、UHIを注入したRUN604(Fig. 3.54～Fig. 3.57)をUHIを注入しなかったRUN603(Fig. 3.49～Fig. 3.52)と比較してみると、UHI注入が発熱燃料棒の表面温度挙動に及ぼす影響がよくわかる。すなわち、炉心発熱量その他の試験条件がこれらのRUNではほとんど違っていないにもかかわらず、露出時刻は一般にRUN604の方が早くなっている。Fig. 3.79は炉心温度監視用のものを含む全ての測定点の発熱燃料棒露出時刻についてこれら2つのRUNの比較をしたものである。これによれば、平均30%程度RUN604の方が露出までの経過時間が短かいといえる。この理由は、UHI注入により上部ヘッドや上部プレナムが凝縮減圧されたため、破断後下向きになつた炉心部流れがひきもどされ、少なくとも炉心上端では上向き流になり、その結果炉心内できわめて低流速の所ができるか、あるいは最悪の場合、流れの中立点ができたためと判断される。

炉心発熱停止後の発熱燃料棒の冷却は、差があまりはっきりしないデータもあるが、一般的にはRUN604の方がよく冷えているように見える。クエンチ時刻もFig. 3.80にまとめたようにRUN604の方が早い。また、圧力容器上下差圧(Fig. 3.7とFig. 3.8)の比較によても、RUN604の方が圧力容器内蓄水量が多かったと見られ、これらの事実が裏づけられる。一般に炉心発熱停止後の燃料棒表面温度の降下速度が流体側の条件によって変わるのは当然であるが、その他に流体側の条件が同じでも、表面温度の絶対値の高い方がふく射、対流の効果が大きいため冷却速度も大きいという傾向がある。さらにROSA-II(UHI)試験では一定の制限温度を設けて炉心発熱を停止したので

- 1) 早く露出し、したがって早く発熱が停止されると、それだけ発熱停止時の残存水量が多く、冷却速度は大きくなる。
- 2) 早く炉心発熱が停止された方は、早い時点に炉心部の蓄積熱が小さくなり、これが1次系全体の流動を変化させて間接的に炉心冷却に影響する。

などの特性がある。故に燃料棒表面温度の降下速度だけで冷却性能を比較するのは危険である。Fig. 3.80を見ると、RUN603では160sec以内にクエンチする点は全くないのに、RUN604ではかなりの点が上部ヘッドの空になる60sec以内にクエンチしている。これは上部ヘッドから流下したUHI注入水の一部は上向き蒸気流にうちかって炉心に到達し、その時点であまり高温になつてない点をクエンチさせたものと解釈することができよう。ただし、いずれにせよ多くの点で炉心の発熱停止後かなりたってからクエンチするのでは、炉心の有効な冷却となつてゐるとはいえない。このようにクエンチが非常に遅れる理由は、ダウンカマーの気液対向流の影響でLPCI注入水の炉心到達が遅れるためであるが、それ以前の問題として、上部ヘッドから流下したUHI注入水の大部分が上部

プレナムから破断ループ高温側配管に流出してしまった事に注目すべきであろう。

次に、RUN604 (Fig. 3.54~Fig. 3.58) に比較して炉心発熱が大きかった RUN607 (Fig. 3.59~Fig. 3.63) を検討する。露出時刻は Fig. 3.81 に示すように、さらに若干早くなるが、露出以後は 2 つの RUN の炉心発熱の差はほとんどなくなるので、露出後の温度上昇速度はほぼ同じである。

炉心発熱停止後の冷却速度は上述の燃料温度降下速度の特性を考慮すればほぼ同程度である。クエンチ時刻については、Fig. 3.82 に示す通りであるが、UHI 注入水による直接の冷却の他に、160 ~ 190 sec 頃に多数の点でクエンチしているのが目立つ。これは Fig. 3.9 からわかるように圧力容器上下差圧の第 1 回目の急増大に対応しており、すでに述べたように LPCI 注入水が大量に下部プレナムを経由して炉心に進入したものである。炉心発熱が大きい RUN607 で特にこの現象が顕著に生じたのは、主として上述の 2) の特性によると思われる。

UHI 注入圧力が高かった RUN608 (Fig. 3.64~Fig. 3.68) は RUN607 (Fig. 3.59~Fig. 3.63) と全体的に見て同程度の冷え方である。

UHI 注入水温度が高かった RUN609 (Fig. 3.69~Fig. 3.73) ではかなりの点で露出が起っておらず、また露出した測定点についても露出時刻が RUN607 (Fig. 3.59~Fig. 3.63) に較べて数 sec 遅れている。クエンチ時刻については一部の点では遅くなったのもあるが、多くの点ではややまたは大巾に早まった。これらを Fig. 3.83 および Fig. 3.84 に示す。露出が遅れたのは UHI 注入水の凝縮減圧による炉心流れの停止作用が弱かったためであり、またクエンチが早まったのは炉心上向き蒸気流が弱かったために UHI 注入水が割合多く炉心に流下でき、その結果 70 sec 以内に多数の点でクエンチしたからである。何れにせよ、UHI 注入水温度は凝縮減圧効果にきわめて強い影響を与える、その結果炉心冷却を大巾に左右するものである事がわかる。

破断面積が小さかった RUN610 (Fig. 3.74~Fig. 3.78) では、破断により炉心に生ずる下向き流がきわめて弱く、きわめて早い時期に燃料棒の露出が発生し、UHI が作動する以前に一部の測定点で燃料棒保護のための温度制限値を越えてしまい、炉心発熱が停止してしまった。しかもその時点では圧力容器内にはかなりの水が存在し、破断口面積が小さい事もあってその後もかなりの水が存在し、破断口面積が小さい事もあってその後もかなりの水が存在しつづけていた。この事は圧力の容器上下差圧 (Fig. 3.12) で確認されており、ダウントカマ水位計の記録でもチェックされている。このためにきわめて早い時期にすべての点でクエンチされてしまったが、UHI の注入が炉心冷却にどういう影響を与えたかは確認できなかった。破断後 80 sec 頃、多くの測定点で温度のやや不規則な変化が見られるが、UHI 注入水の挙動と対応づける事はできなかった。

以上の他、各 RUN とも炉心の水平断面内で燃料表面温度の 2 次元的分布が見られた。健全ループと破断ループの高温側配管出口ノズル方向を比較するとすべての RUN で前者の方が燃料温度が高くなり、多くの RUN では健全ループ出口ノズルに最も近い 146 番燃料棒が熱的に最もきびしい条件となった。しかしそれと直角の方向については必ずしも傾向が一定しなかった。

#### 4. 考察および結論

前章で述べた ROSA-II (UHI) 試験において得られた多くの結論のうち、UHI の効果を考える上でとくに重要と思われる事故現象推移の基本パターンについてまとめて説明する。

- 一連の放出試験で明らかにされた諸現象は、本質的には次の 2 つの事実に起因している。すなわち、
- 1) 上部ヘッドにおける流体の混合はそれほど完全ではなく、熱的に大きな非平衡状態が生じ得る。
  - 2) 蒸気または二相流体中への冷水の注入は激しい凝縮減圧効果を持ち、それが一次系各部の流動のパターンを変化させる事がある。

緒言で紹介した UHI の挙動に関する Fig. 1.1 のモデル<sup>(2)</sup>に相当する ROSA-II (UHI) 試験における事故現象の推移は、大略 Fig. 4.1 に示す通りである。ここに両者の対応関係は Table 4.1 に示す。

Phase 1 は破断前の定常運転状態であるから、Fig. 1.1 モデルの①と全く同じである。

Phase 2, 3-1, 3-2 に相当する時期を Fig. 1.1 モデルでは一括して②としている。Phase 2 は UHI 注入前に上部ヘッドで減圧沸騰が起る場合に生ずるもので、上部ヘッドで減圧沸騰が始まる以前から UHI が注入されれば実現しない流動パターンである。しかし、上部ヘッド内の混合不良と固体側の蓄積熱がある限り、この流動パターンの有無は Phase 3-1 以降の実現にはほとんど無関係である事は、RUN 608 で確認された通りである。

Phase 3-1 は外見的には Phase 5 のエンプタイイングと似ている流動パターンである。ただ UHI 注入による激しい凝縮と水位の上昇がある点が異なっている。Phase 3-2 は Fig. 1.1 モデルの②と一見似ているが、上部ヘッド内に蒸気相がある点が違っている。Phase 3-1 もそうであるが、蒸気相と未飽和水が上部ヘッドの中で混在するのは、上述した 1) の不完全混合の影響である。もう 1 つこれらの流動パターンで注意しなければならないのは、炉心の少なくとも上端では上向き蒸気流がある事と、UHI 支柱や制御棒案内管を流下した水の大部分がこの上向き蒸気流にはこぼれて破断ループ高温側配管へ流出してしまう事（一部は炉心に到達するものもある）である。これらの現象は何れも上述の 2) の凝縮減圧効果の影響と考えられる。また、前章で詳しく述べたように、これが燃料棒の露出時刻を早め、あるいは UHI 注入水自身による直接の冷却効果を弱めた事にも注意すべきである。

Phase 4 は UHI 注入停止による混合不良の一時的解消と、それに触発された凝縮減圧効果にもとづく一過的流動パターンで、Fig. 1.1 モデルでは全く考慮されていない。しかし、この現象自体が炉心冷却に及ぼす影響はおそらく小さいであろう。

Phase 5 は炉心の流れ方向と、上部ヘッドから流下した水の大部分が上部プレナムを経由して破断ループ高温側配管に流出してしまう事を除けば Fig. 1.1 モデルの⑤と全く同じであるが、Fig. 1.1 モデルではこれに先立って③、④の流動パターンが考えられている。ROSA-II (UHI) 試験で③、④が存在しないのは、主として上述した 1) の不完全混合の影響で Phase 5 が実現する条件がすでに出来上っているからである。

これら各 Phase における現象を炉心冷却という観点から眺めれば、

- a) UHI 注入停止直後からエンプタイイングが開始する。（上部ヘッドにおける水の保持は起らない。）

b) 炉心の少なくとも上端では上向き蒸気流があり、この結果最悪の条件を考えれば炉心内に流れの中立点を生じ、そのために燃料棒の露出時刻が早まる。

c) 上部ヘッドから流下した水の大部分が上部プレナムを経由して破断ループ高温側配管に流出してしまう。

の3つが、重要なポイントとなるであろう。そして、これらが上述の1), 2) の事実に起因するものであり、かつ1), 2) が ROSA-II (UHI) 試験装置個別の特性ではなく、きわめて一般的な事実であるという認識に立つならば、UHI の安全評価においてこれらの事実を考慮に入れるべきである事は論をまたないであろう。

なお、ROSA-II (UHI) 試験それ自体についていえば、装置上の限界から構造物の蓄積熱、炉心発熱量および燃料棒の蓄積熱、ダウンカマ間隙、各部流動抵抗、ポンプ特性等いろいろの点で模擬が不完全であると考えられ、したがって、たとえば実験で得られた燃料棒表面温度の挙動をそのまま実炉にあてはめる事などは全く無意味であると云える。あくまでも、上述の1), 2) の事実を安全解析モデルに導入する事によって、a) ~ c) 等の現象の有無やその程度を評価すべきものである。この方向での研究が今後、各方面で強力に推進される事を期待する。

[謝辞] 本研究を遂行するに当り、安全工学第1研究室の早田邦久、鈴木紀男両氏の助力を得た事を記して、深く感謝の意を表する。

## 5. 参考文献

- (1) M. Y. Young, R. P. Vijuk; "Westinghouse Emergency Core Cooling System Evaluation Model Application to Plants Equipped with Upper Head Injection," WCAP-8480 (1975).
- (2) 関西電力株式会社; "大飯発電所原子炉設置変更許可申請書(1号及び2号原子炉施設の変更)本文及び添付書類の一部補正" (1976).
- (3) J. P. Cunningham, et al.; "ECCS Heat Transfer Experiments with Upper Head Injection, Volume I; Test Facility, Procedures and Data," WCAP-8432 (1974).
- (4) 斯波正誼, 安達公道, 生田目健, 他; "ROSA-II研究計画," JAERI-M 6362 (1976).
- (5) 斯波正誼, 安達公道, 松本巖, 他; "ROSA-II試験装置の概要," JAERI-M 6247 (1975).
- (6) ROSAグループ, "ROSA-II試験データ報告・2", JAERI-M 6241 (1975).

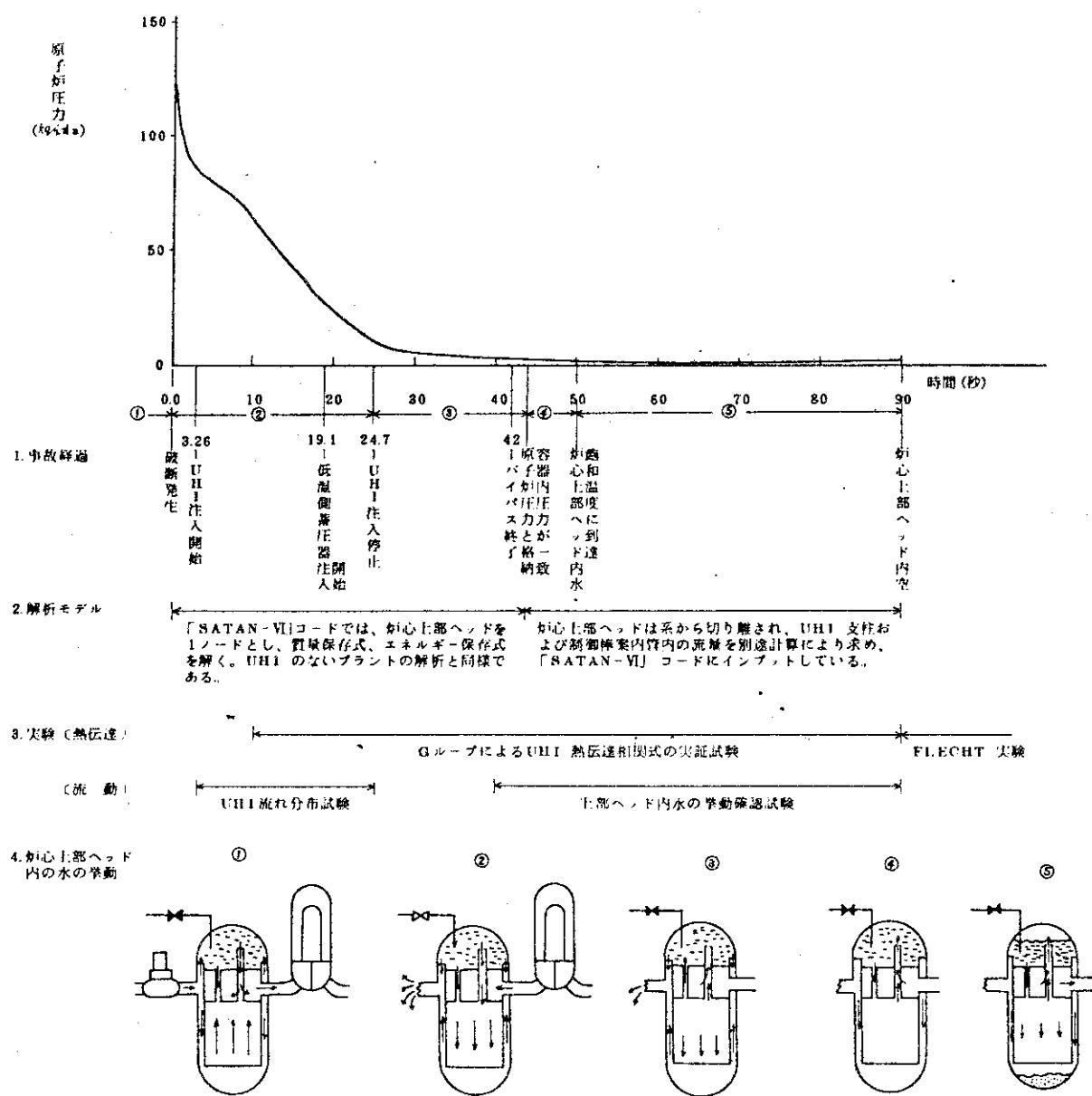


Fig. 1.1 LOCA of a PWR with Upper Head Injection System (UHI) by 60% Double-Ended Cold Leg Break

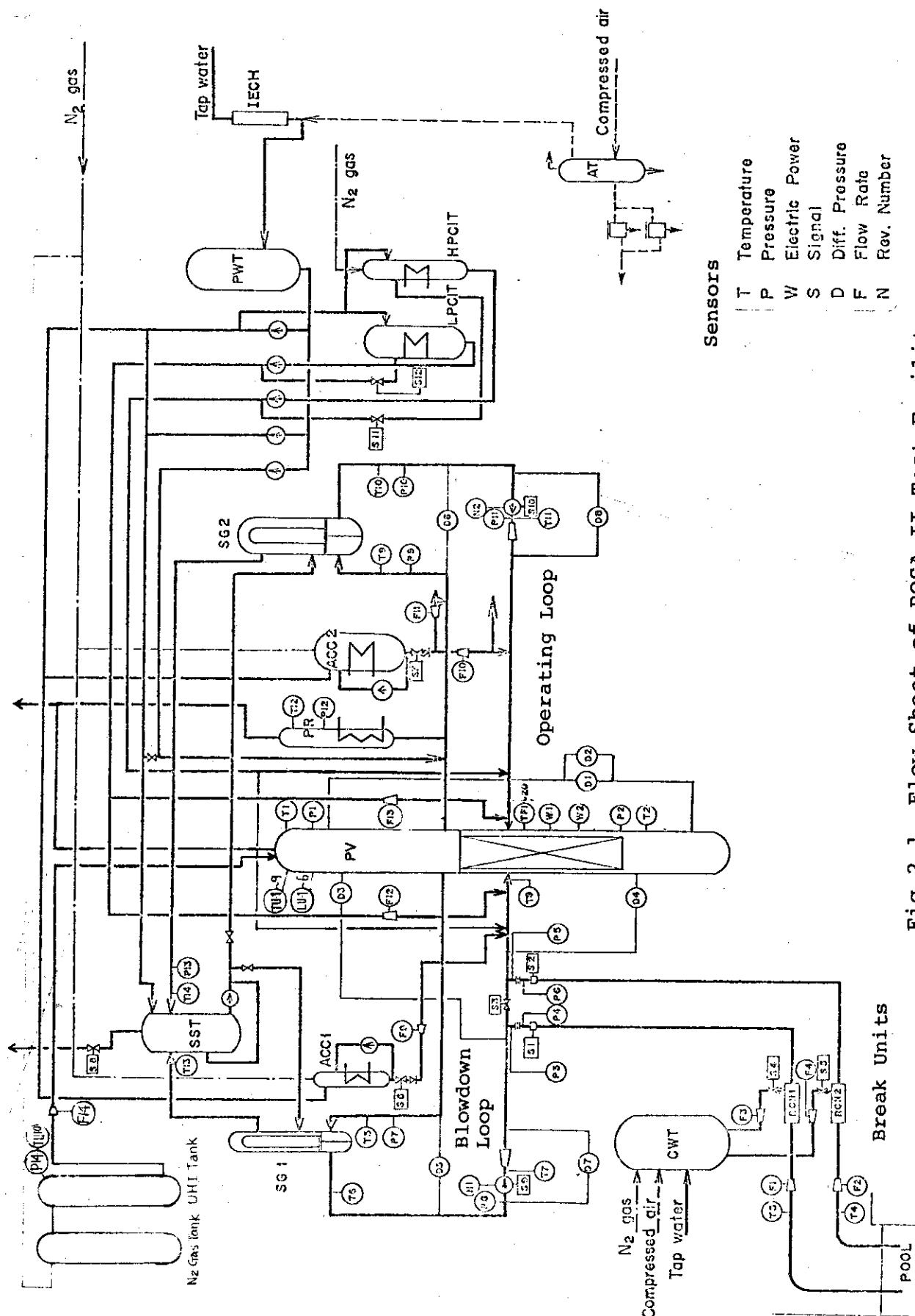
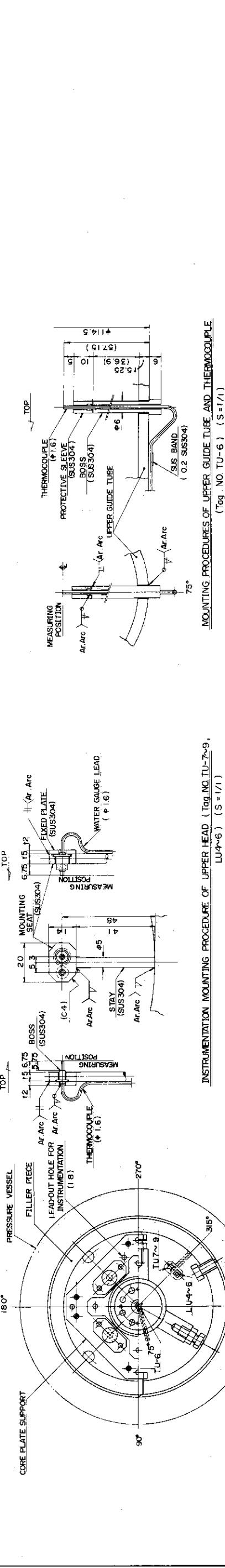
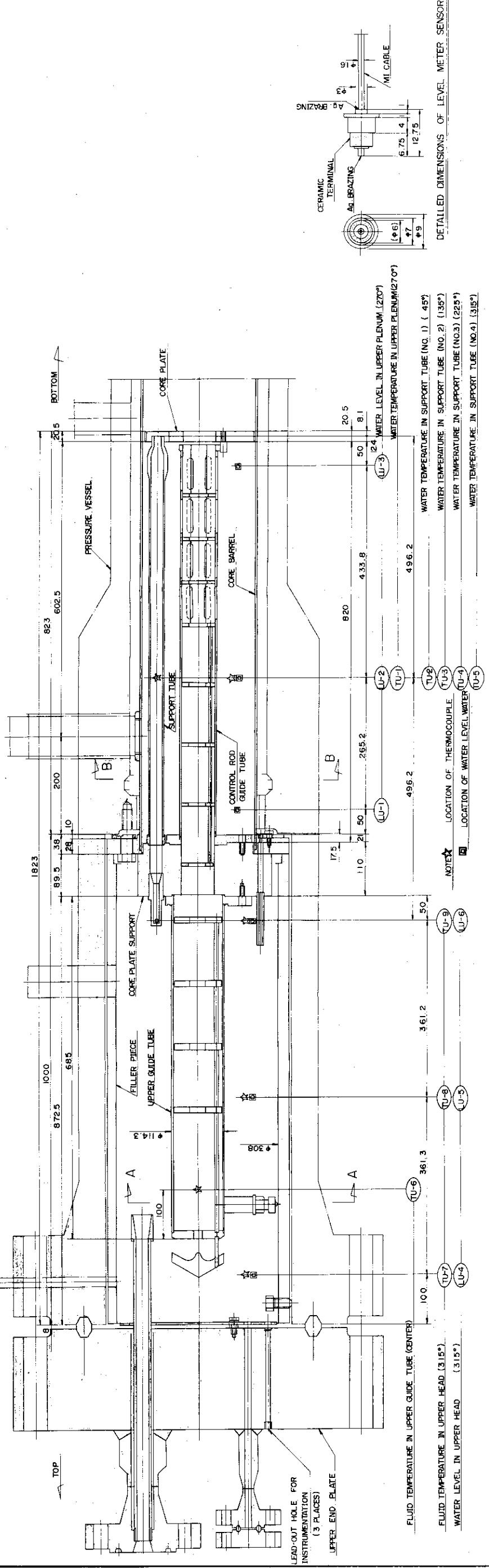
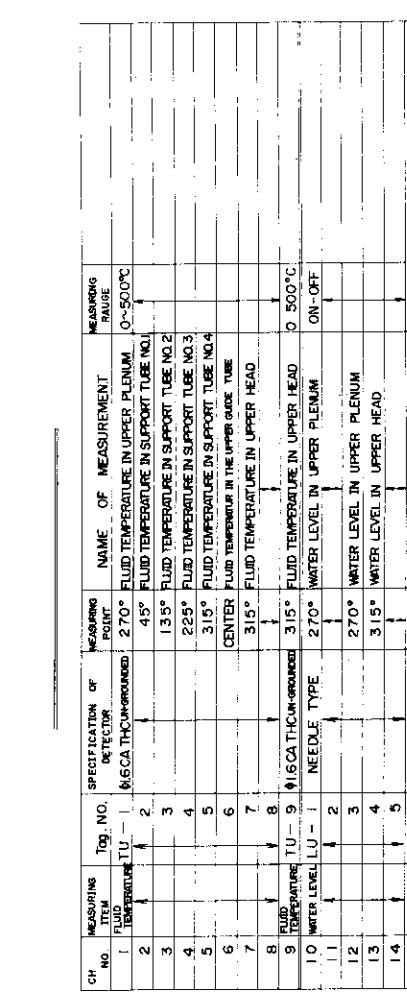


Fig.2.1 Flow Sheet of ROSA-II Test Facility



## ROUTING, PROCEDURES OF UPPER GUIDE TUBE AND THERMOCOUPLE



1



in ROSA-II UH Test Facility



**SECTION "B-B"  
INSTRUMENTATION LOCATION IN UPPER PLenum**

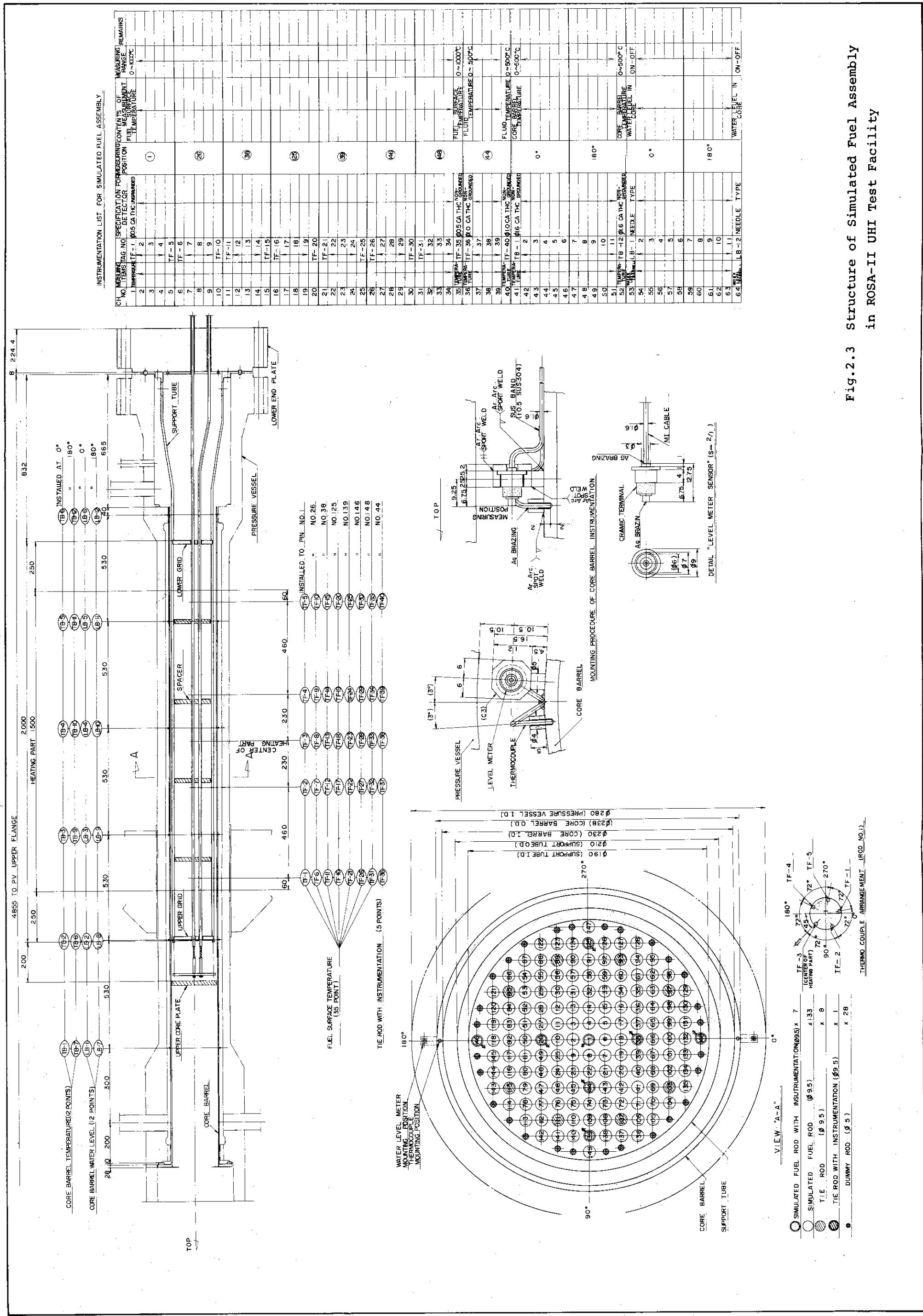
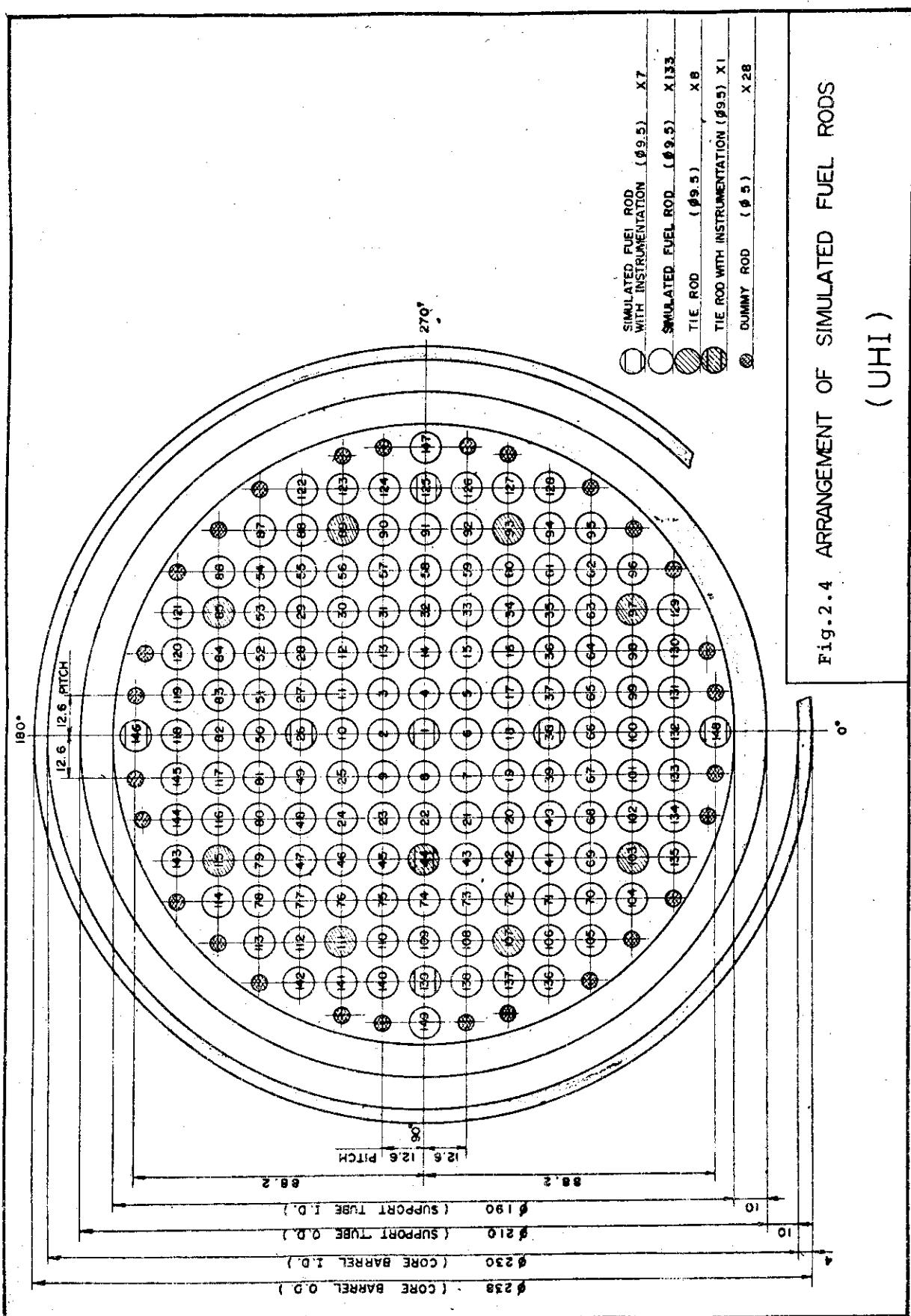
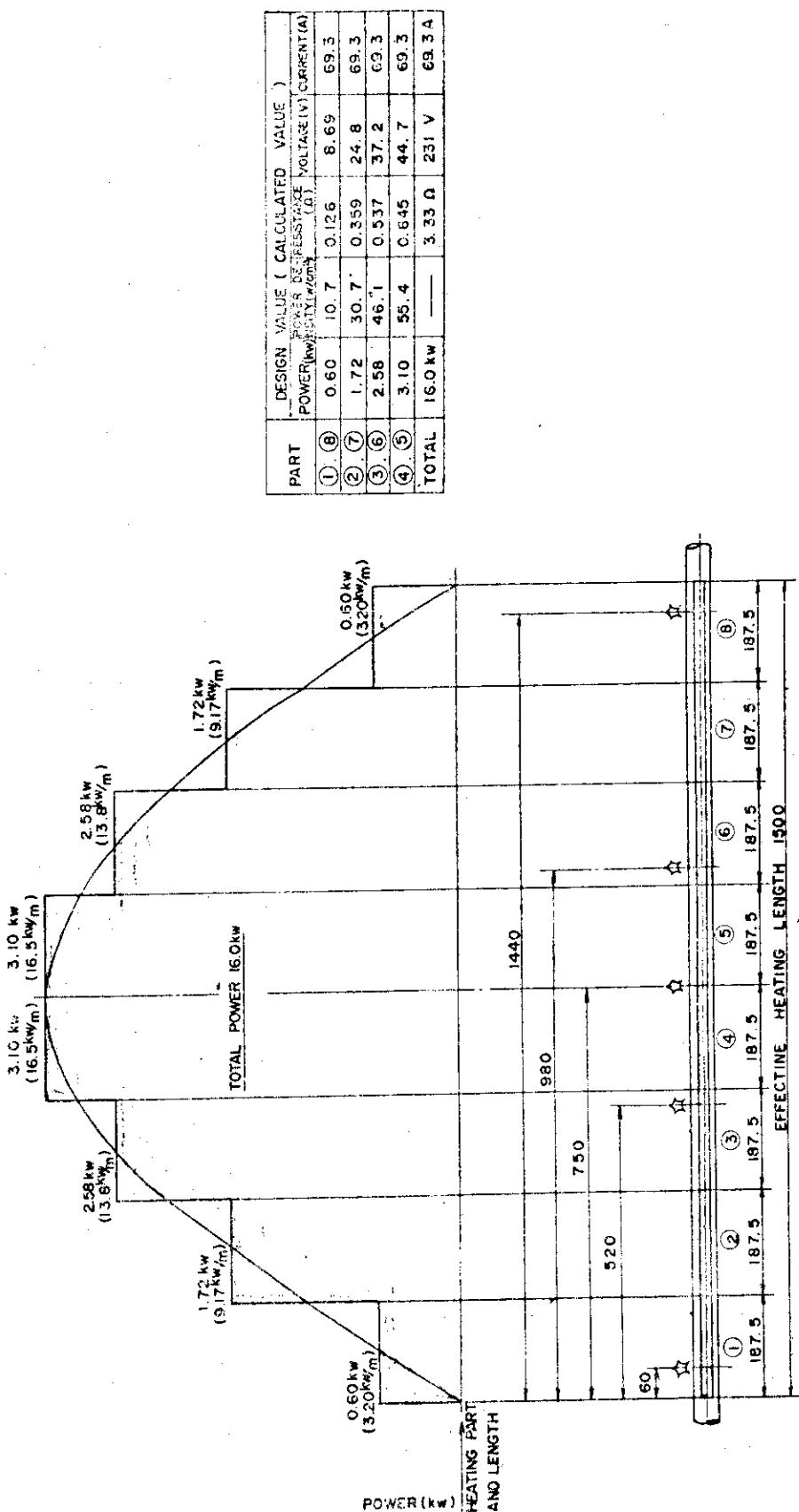
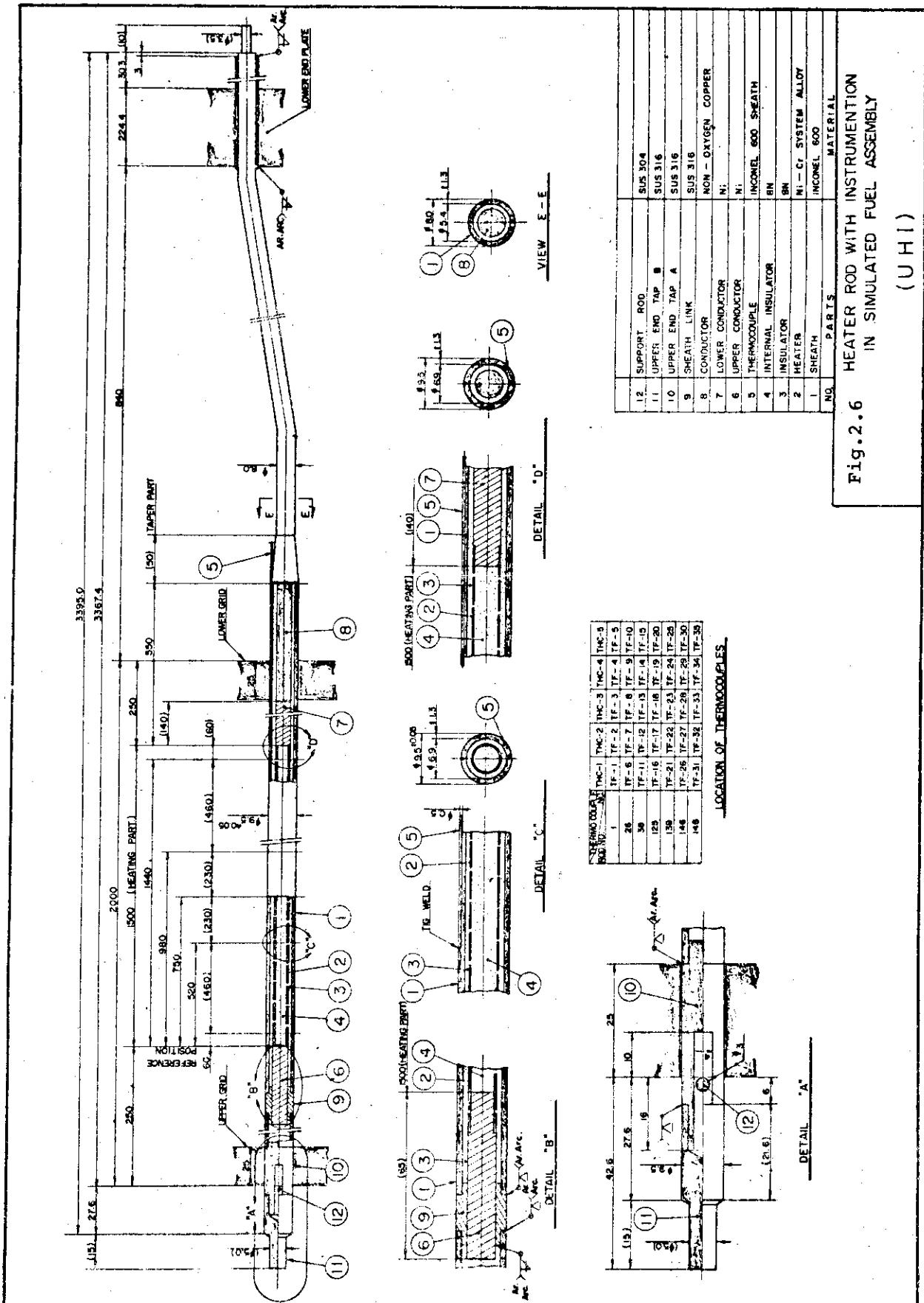


Fig.2.3 Structure of Simulated Fuel Assembly in ROSA-II UH Test Facility







**Fig.2.6 HEATER ROD WITH INSTRUMENTATION  
IN SIMULATED FUEL ASSEMBLY**

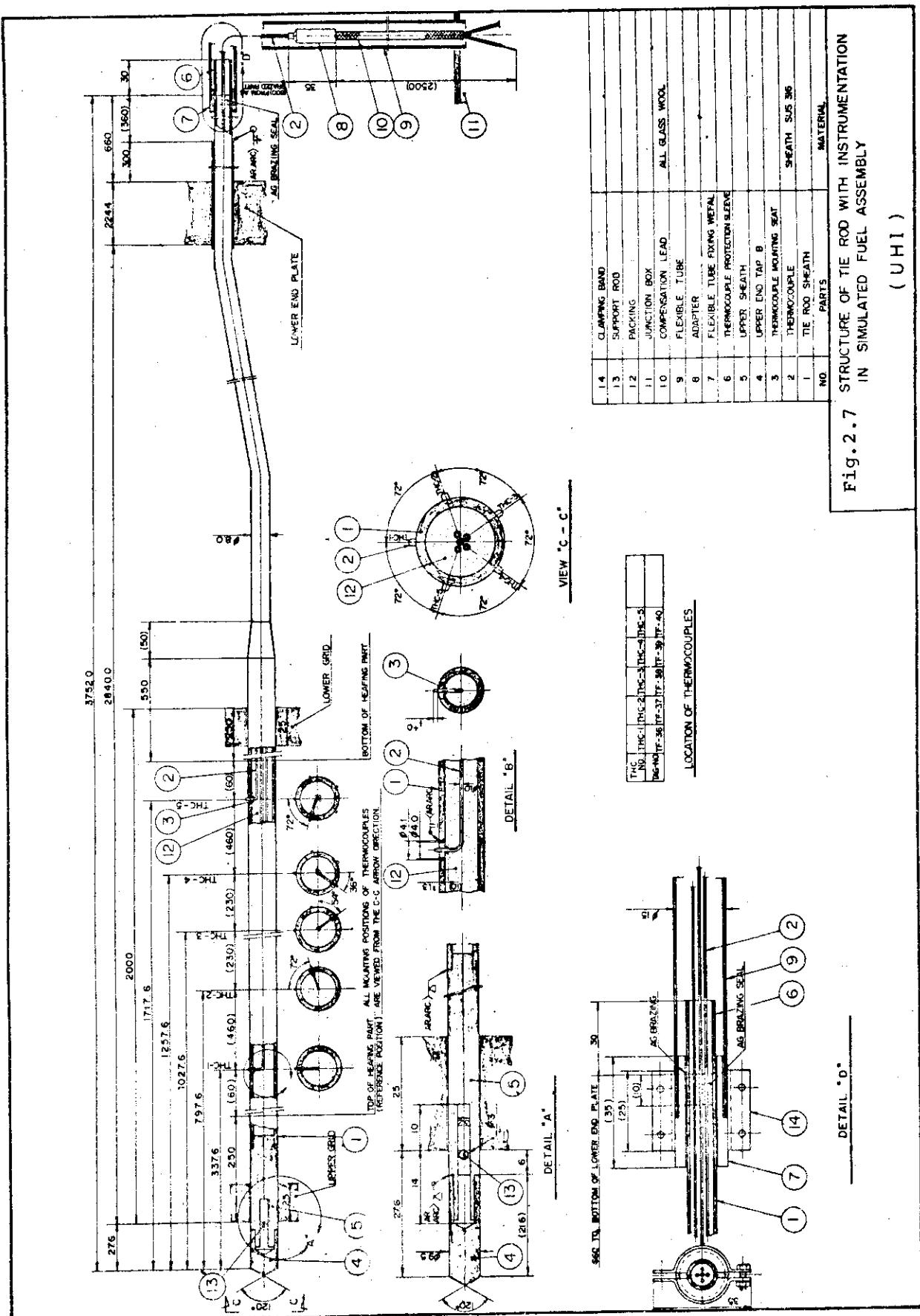


Fig. 2.7 STRUCTURE OF TIE ROD WITH INSTRUMENTATION  
IN SIMULATED FUEL ASSEMBLY (UHI)

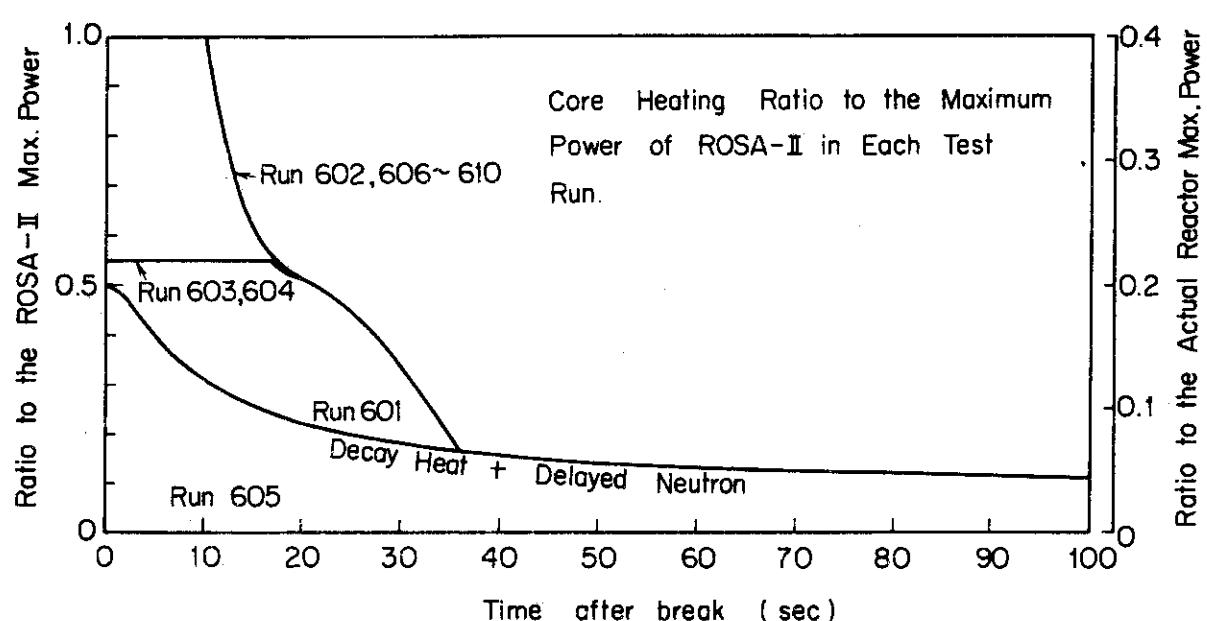


Fig.2.9 Controlled Electric Powers Supplied to Simulated Fuel Assembly in each ROSA-II Test Run

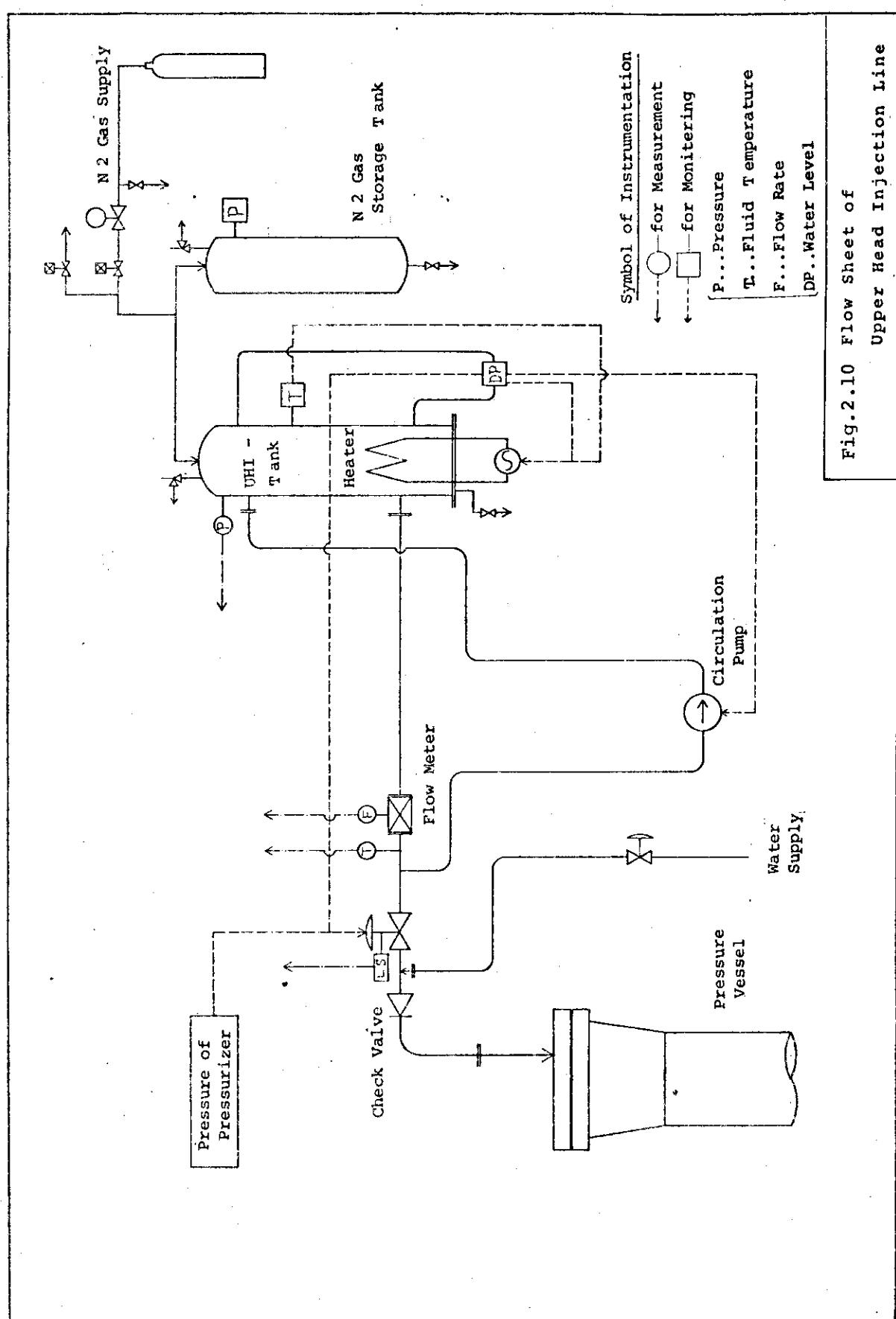
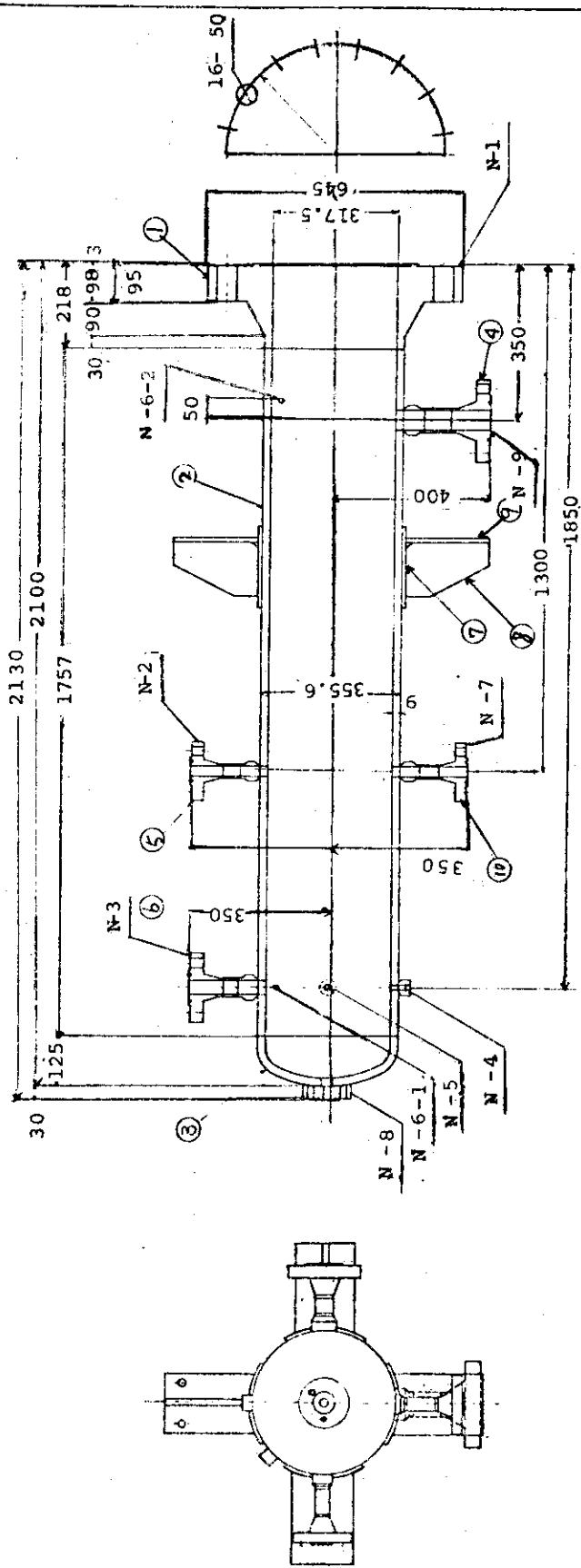
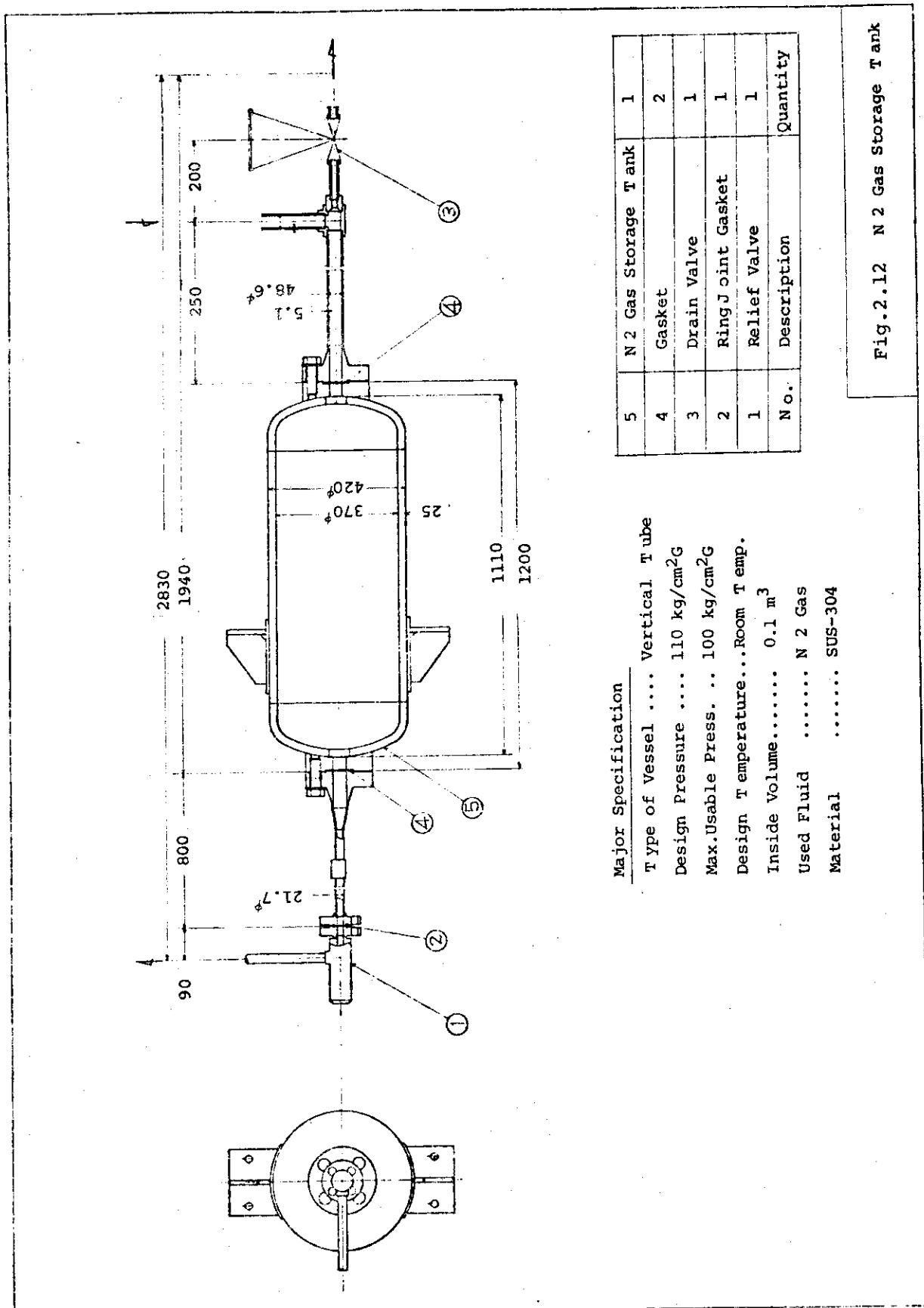


Fig. 2.10 Flow Sheet of  
Upper Head Injection Line



No.	Description	Size	Flange	SUS-304	1B
	Flange	9	Plate		16T
N-1	Nozzle for thermocouple	317.5			
N-2		1B	8	"	
N-3	"	N2 Gas Supply	7	"	SUS-304
N-4	"	Pressure Gaug.	6	Flange	12T
N-5	"	PT3/8	5	"	"
N-6-1	"	M18 P2	5	"	1-1/2B
N-6-2	"	Level Meter	4	"	1B
N-7	"	1/2B	3	"	1/2B
N-8	"	Circul. Water	1B	2	UHI-Tank
N-9	"	Relief Valve	1	Flange	"
	"	Injection	2B	No. Description	Material

Fig. 2.11 Structure of UH-Tank



RUN 603 COLD LEG BREAK      BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM    UHI ASSEMBLY  
 ECCS ---      HP1-      HP2-      AC1-COLD    AC2-COLD    LP1-COLD    LP2-COLD    UHI-UP, HEAD  
 CH- 35 @ W- 2 (Total Power Supply)      CH-120 @ 0- 2 (PEAK FLUX OF RODS (NO. 2))

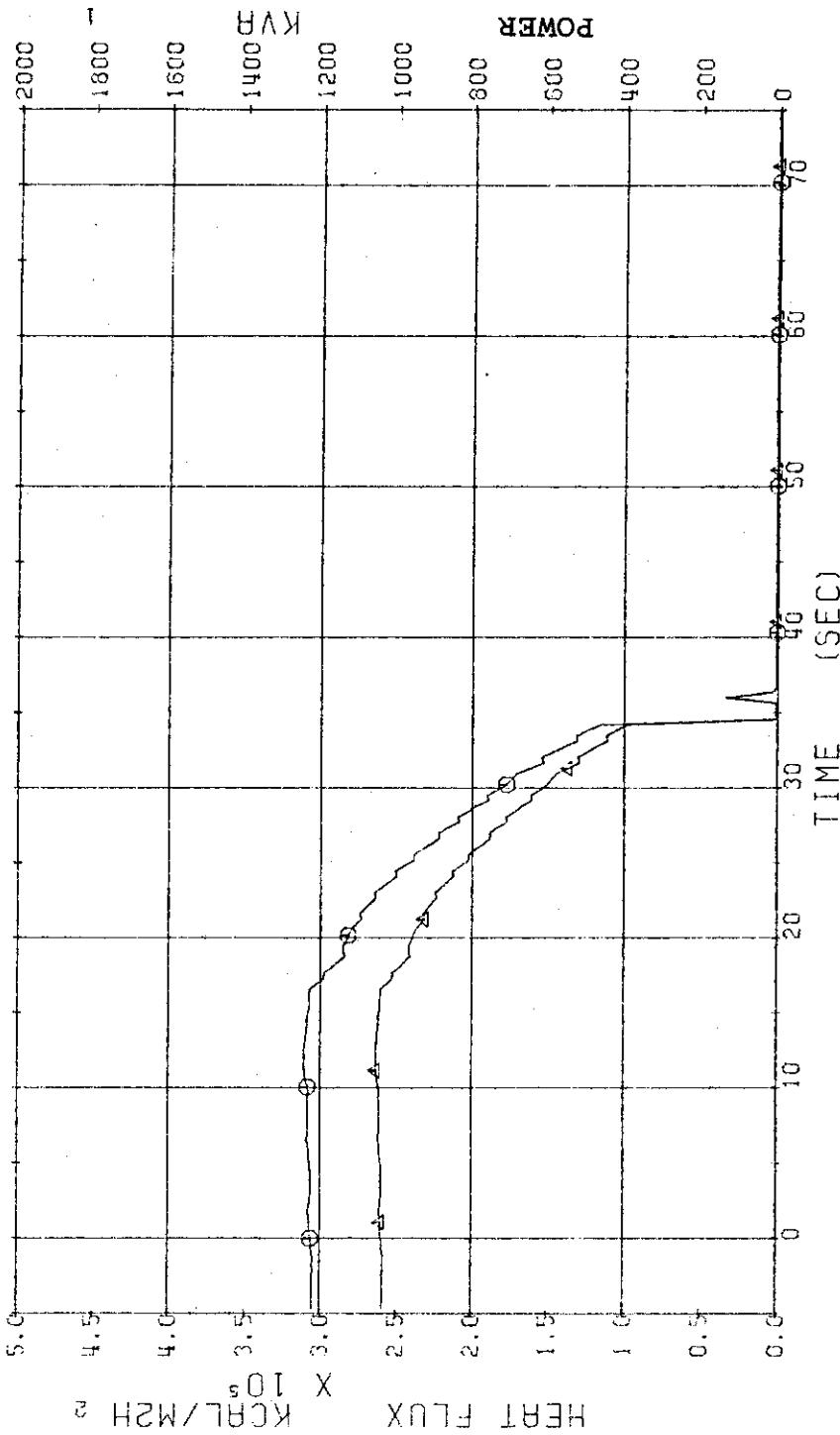


Fig. 2.13 Total Electric Power and Peak Surface Heat Flux of Rods  
 Corresponding to the Power No. 2 ... Run 603

RUN 604 COLD LEG BREAK      BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM      UH1 ASSEMBLY  
 ECOS ---      HP1-      HP2-      AC1-COLD      AC2-COLD      LP1-COLD      LP2-COLD      UH1-UP, HEAD  
 CH- 36 @ W- 2 (Total Power Supply )      CH-120 @ 0- 2 (PEAK FLUX OF RODS (NO.2))

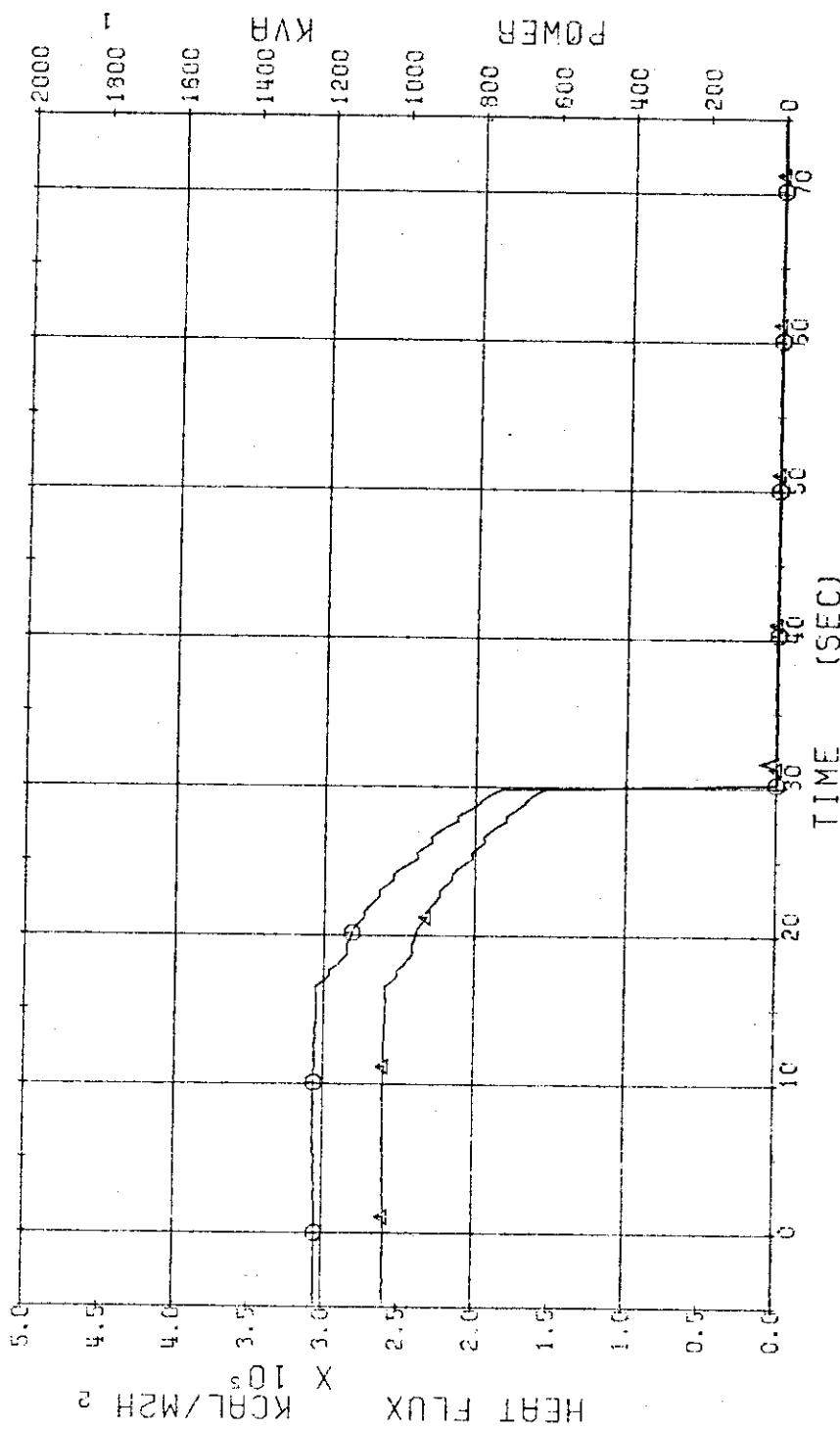


Fig.2.14 Total Electric Power and Peak Surface Heat Flux of Rods corresponding to the Power No.2 ...Run 604

RUN 607 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHT ASSEMBLY  
 ECGS ---- HP1+ HP2+ AC1-COLD AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD JHI-UP, HEAD  
 CH- 35 DI H- 1 (POWER SUPPLY NO. 1 ) CH-119 & 0-1 (PEAK FLUX OF RODS (NO. 1))

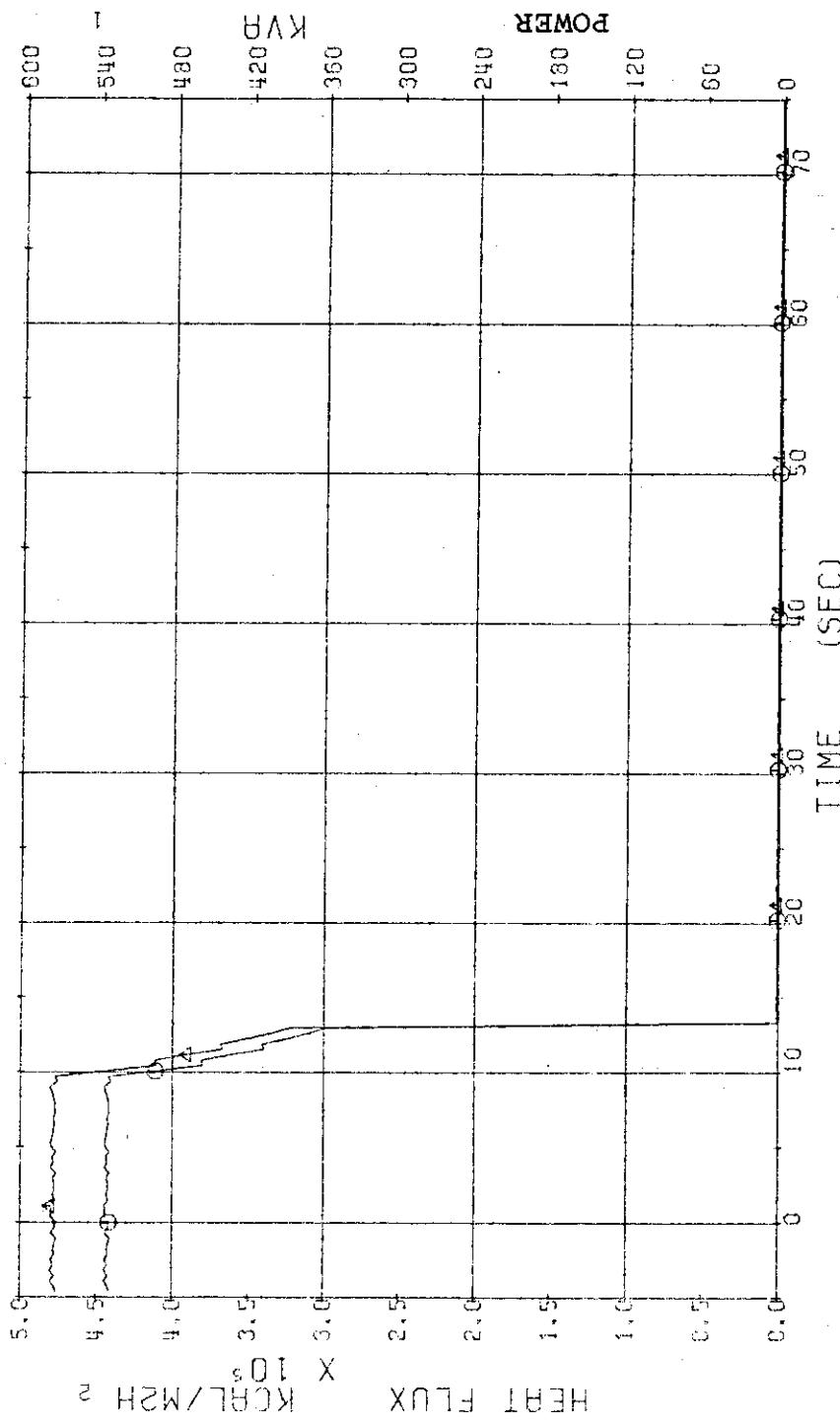


Fig.2.15 Electric Power and Peak Surface Heat Flux of Rods  
 Corresponding to the Power No.1 ...Run 607

RUN 607 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC1-COLD AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD UH1-UP. HEAD  
CH- 35 31 W- 2 (POWER SUPPLY NO. 2 ) CH-120 A2 0- 2 (PEAK FLUX OF RODS (NO. 2))

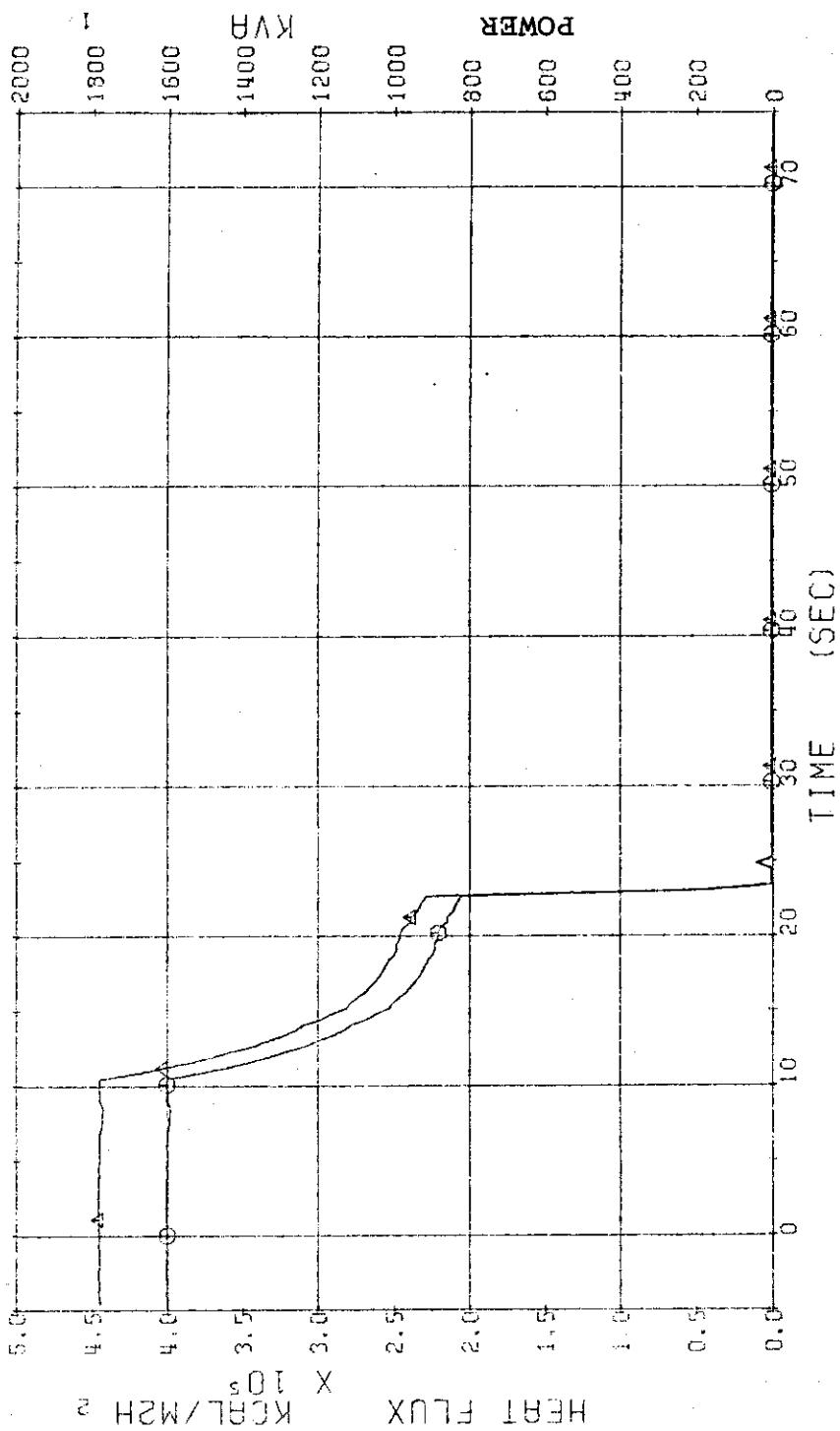


Fig. 2.16 Electric Power and Peak Surface Heat Flux of Rods

Corresponding to the Power No. 2 ... Run 607

RUN 608 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY  
 ECCS --- HP1- HP2- AC1-COLD AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD UHI-UP. HEAD  
 CH- 35 @ W- 1 (POWER SUPPLY NO.1 ) CH-119 A2 Q- 1 (PEAK FLUX OF RODS (NO.1))

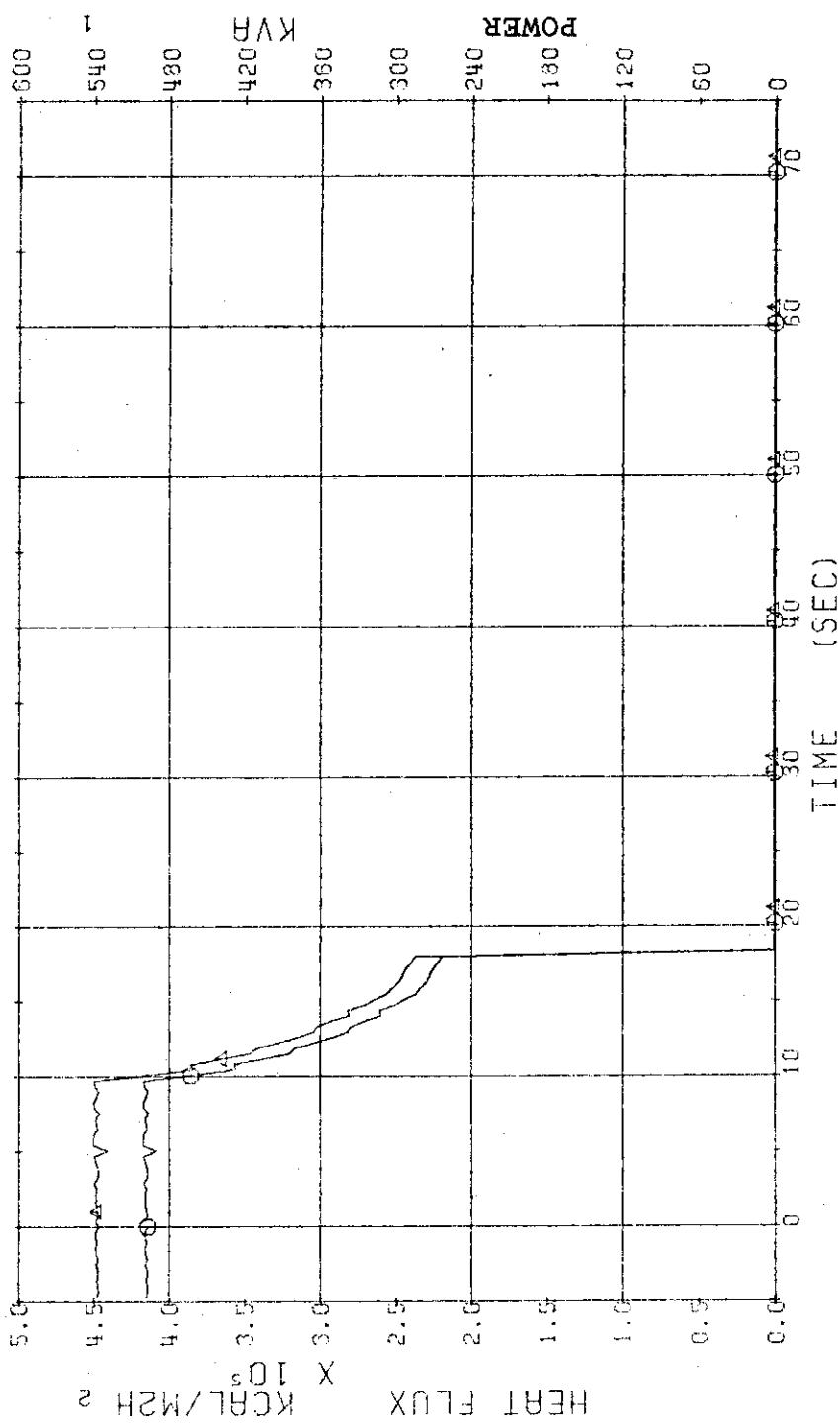


Fig.2.17 Electric Power and Peak Surface Heat Flux of Rods  
 Corresponding to the Power No.1 ...Run 608

RUN 608 COLD LEG BREAK      BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM      UHI ASSEMBLY  
 ECCS --- HP1-      HP2-  
 CH- 33Ω W- 2 (POWER SUPPLY NO.2)      AC1-COLD      AC2-COLD      LP1-COLD      LP2-COLD      UHI-UP, HEAD  
 1      CH-120 A2 0- 2 SPEAK FLUX OF RODS (NO.2)

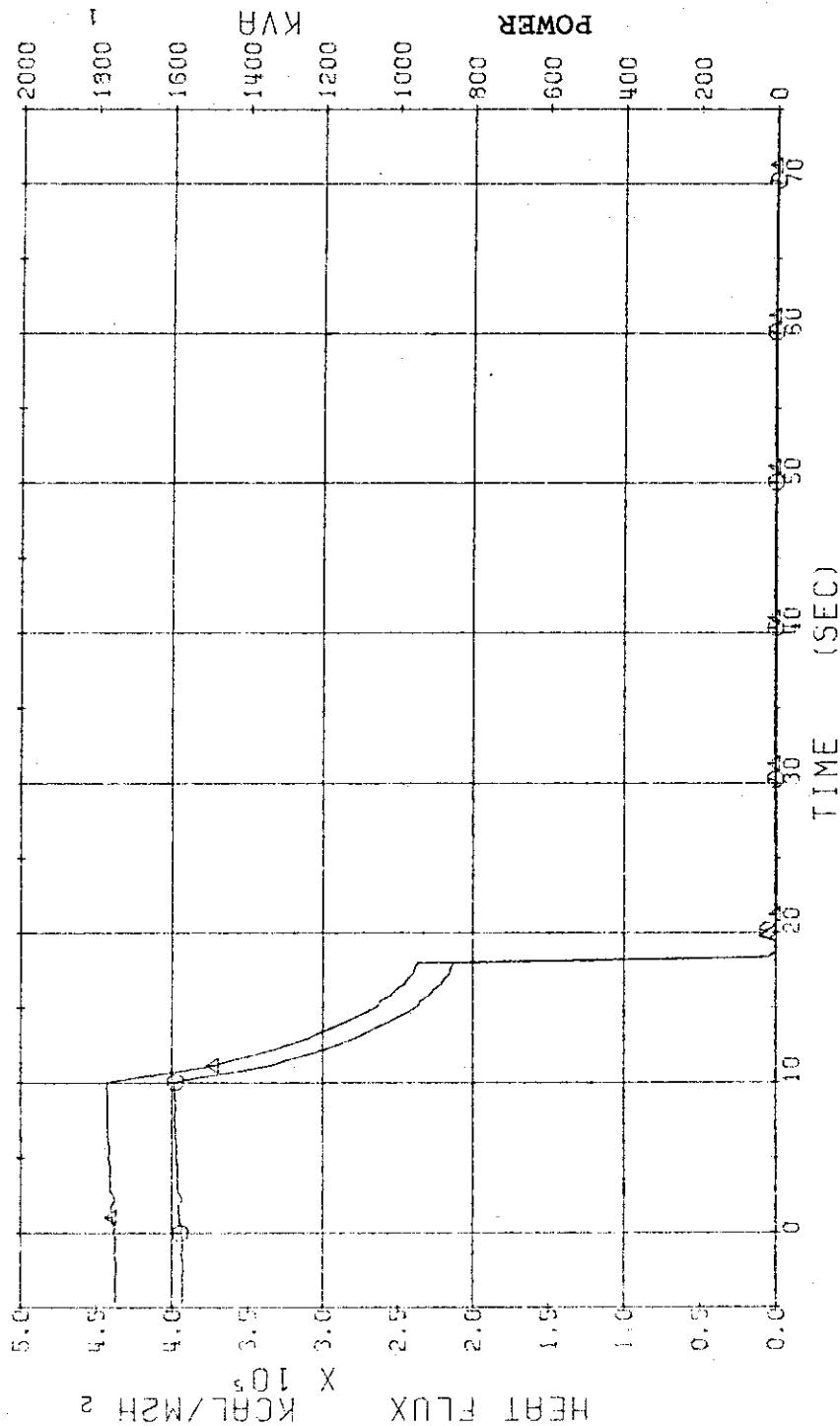


Fig.2.18 Electric Power and Peak Surface Heat Flux of Rods  
 Corresponding to the Power No.2 ...Run 608

RUN 609 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY

ECGS ---- HP1- HP2- AC1-COLD AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD UHI-UP.HEAD  
 CH- 35Ω W- 1 POWER SUPPLY No.1 ) CH-119 & Q- 1 PEAK FLUX OF RODS (NO.1)

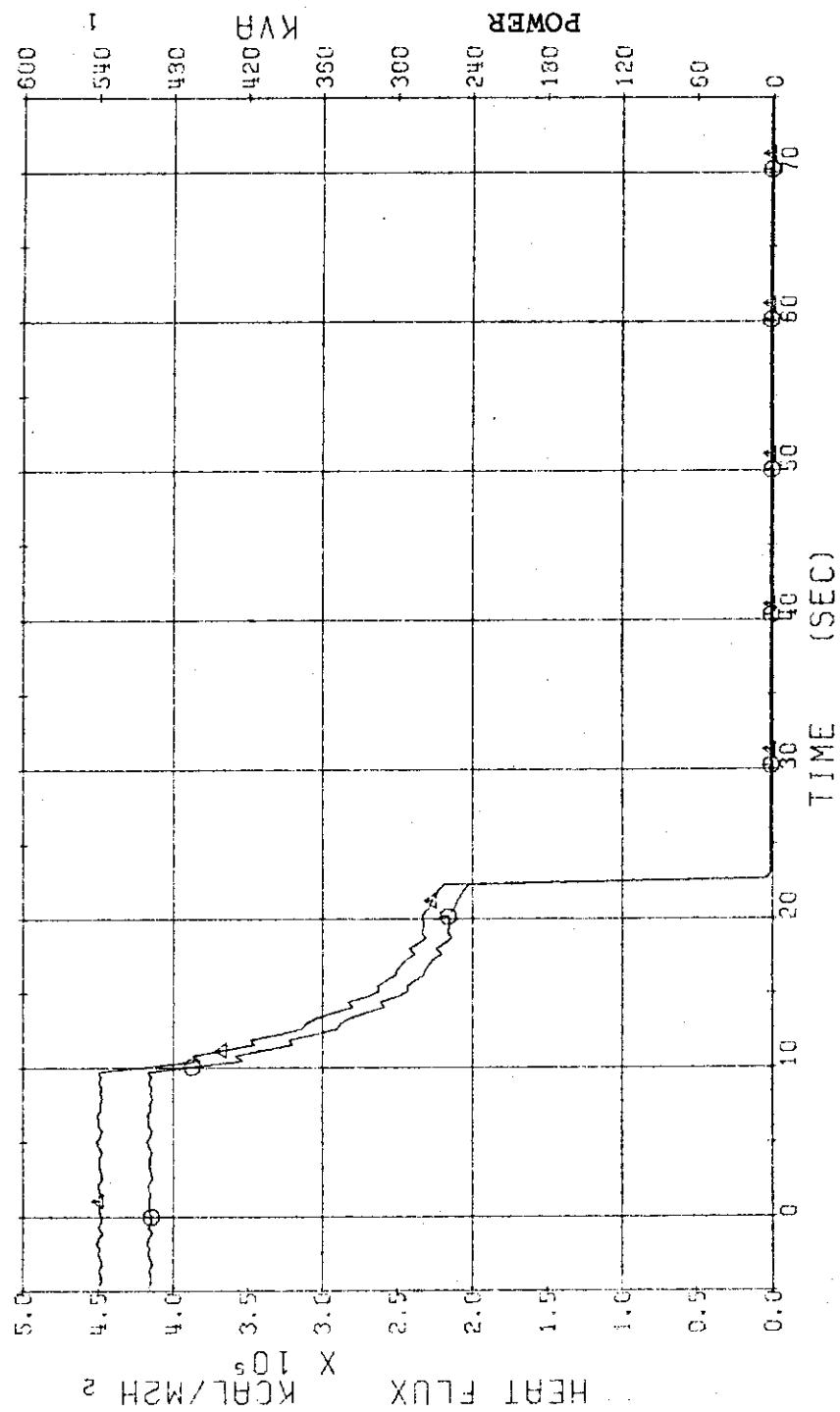


Fig.2.19 Electric Power and Peak Surface Heat Flux of Rods  
 Corresponding to the Power No.1 ...Run 609

RUN 609 GOLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHT ASSEMBLY  
 ECGS - - HP1 - HP2 - AC1-COLD AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD UHT-UP, HEAD  
 CH- 36 CI W- 2 POWER SUPPLY NO. 2 ) CH-120 42 0- 2 (PEAK FLUX OF RODS (NO. 2))

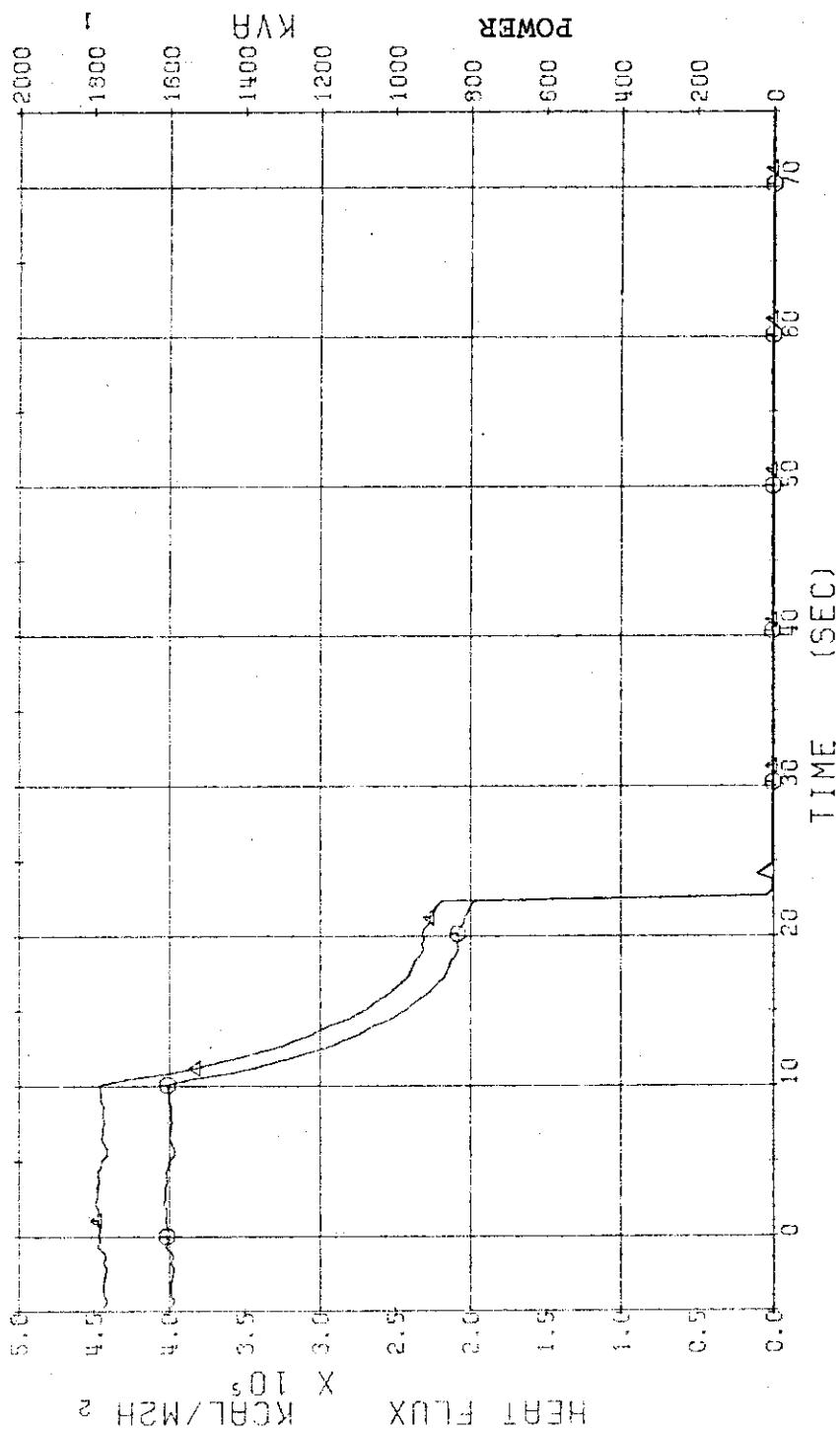


Fig.2.20 Electric Power and Peak Surface Heat Flux of Rods  
 Corresponding to the No.2 ... Run 609

RUN 610 COLD LEG BREAK      BREAK DIAMETER 0.0/16.5 MM      UH1 ASSEMBLY  
ECCS ---      HP1-COLD      HP2-COLD      AC1-COLD      AC2-COLD      LP1-COLD      LP2-COLD      UH1-UP. HEAD  
CH- 35 31 W- 1 (POWER SUPPLY NO.1 )      CH-113 EP G- 1 (PEAK FLUX OF RODS (NO.1))

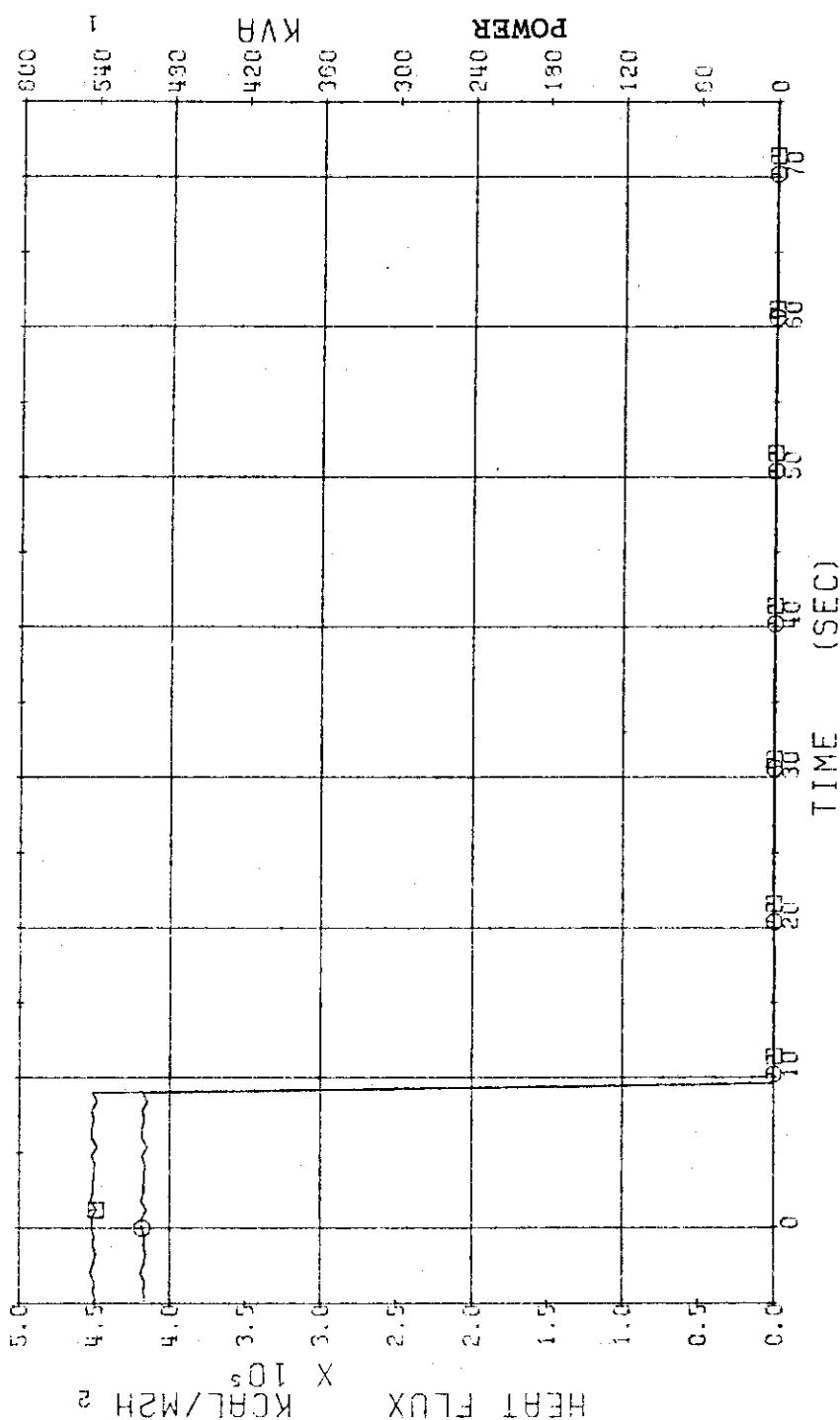


Fig.2.21 Electric Power and Peak Surface Heat Flux of Rods  
Corresponding to the Power No.1 ...Run 610

RUN 603 COLD LEG BREAK      BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM      UHI ASSEMBLY  
 FCGS --- HP1- HP2- AC1-COLD AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD UHI-UP.HEAD  
 CH- 30 @ F- 9 (ACC1)      )      CH- 31 & 2 F-10 (ACC2)      )

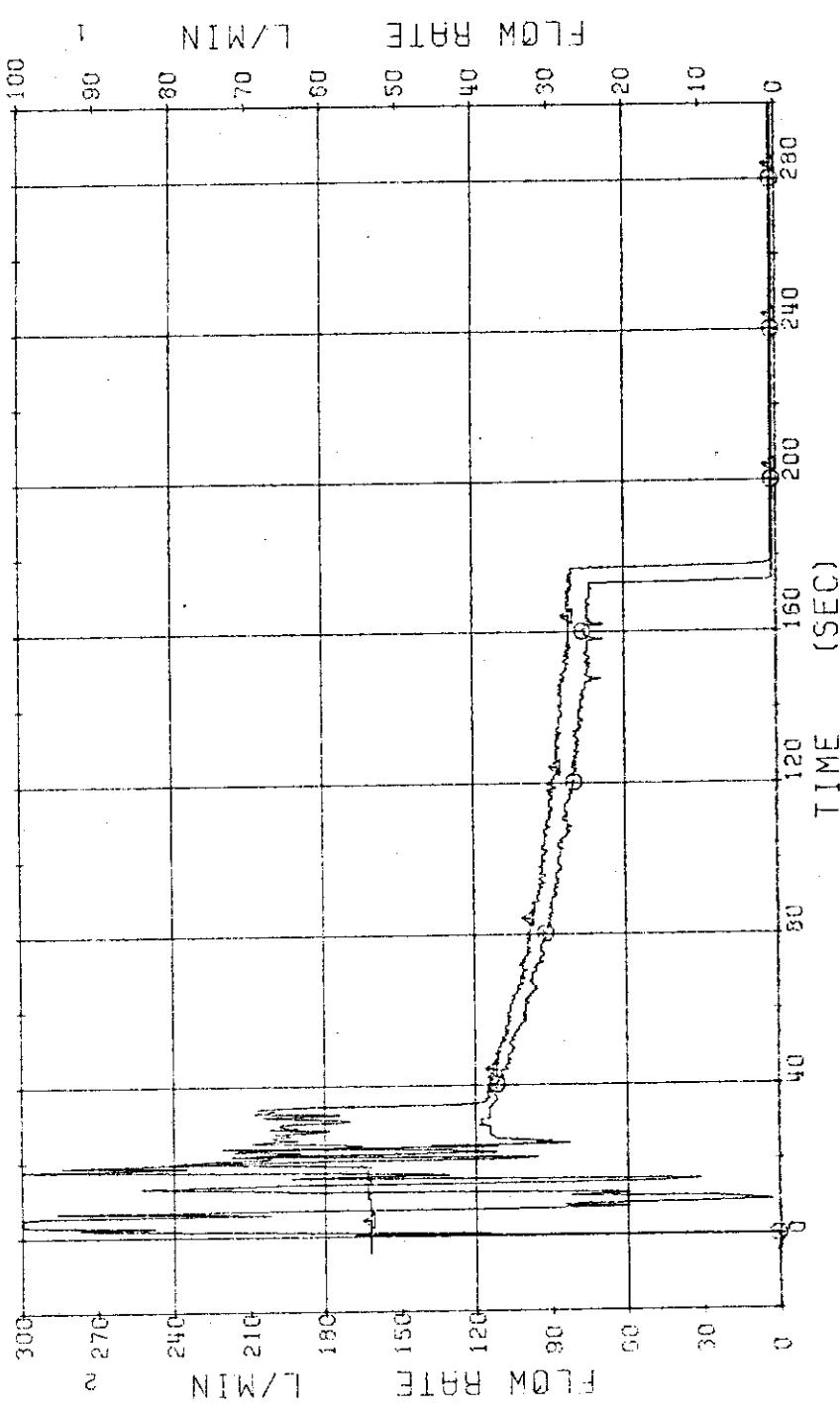


Fig.2.22 Injection Flow Rates of ACC1 and ACC2 ... Run 603

RUN 603 COLD LEG BREAK      BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM      UHI ASSEMBLY  
ECCS --- HP1-      HP2-      AC1-COLD      AC2-COLD      LP1-COLD      LP2-COLD      UHI-UP, HEAD  
CH- 33 @ F-12 (LPCI BLOWDOWN LOOP COLD )      CH- 34 @ F-13 (LPCI UNBROKEN LOOP COLD )

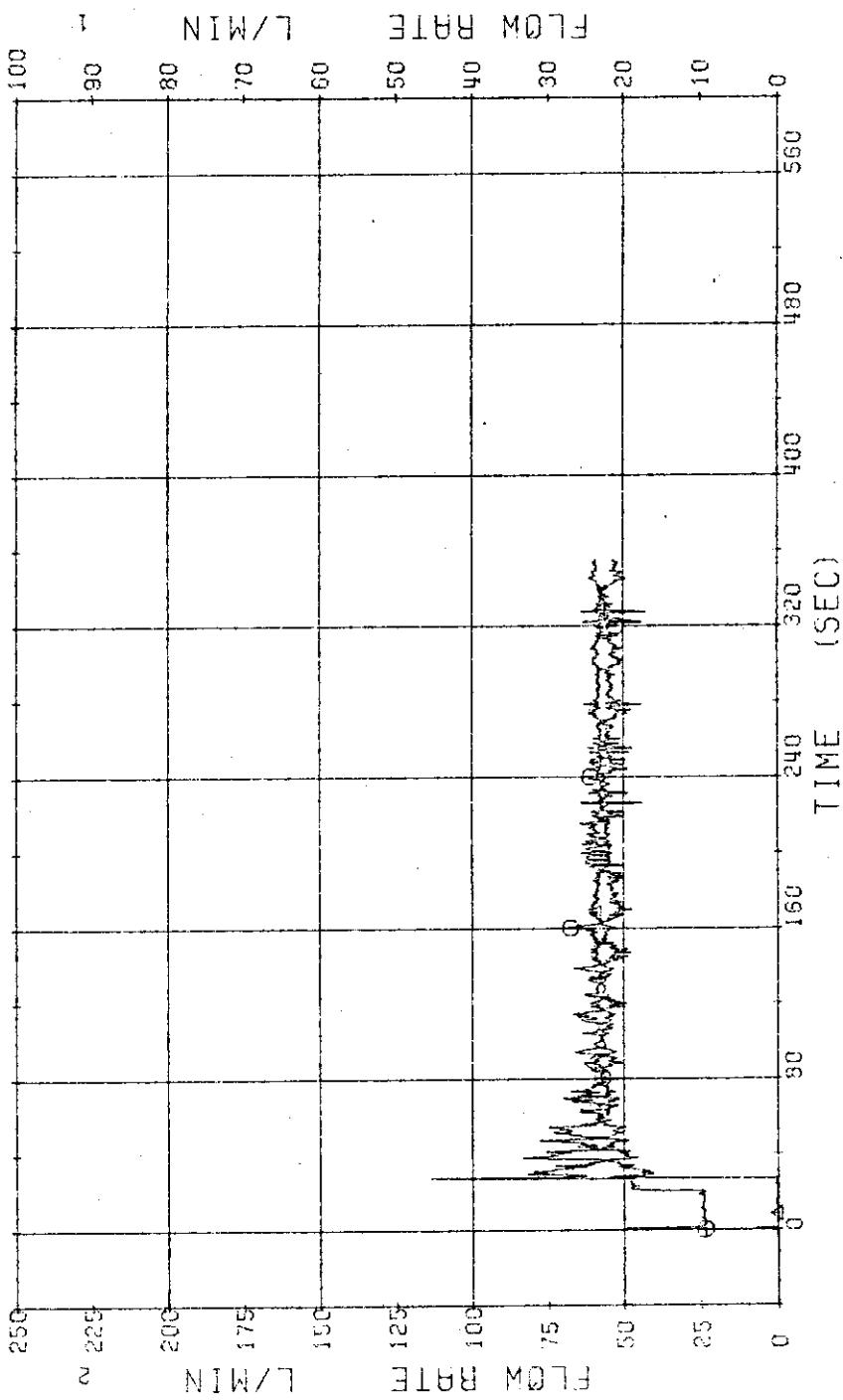


Fig.2.23 Injection Flow Rate of LPCI ... Run 603

RUN 604 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY  
 ECFS --- HP1- HP2- EC1-COLD EC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD UHI-UP, HEAD  
 CH- 30 31 F- 3 i ACC1 ) CH- 31 & F-10 iACC2 )

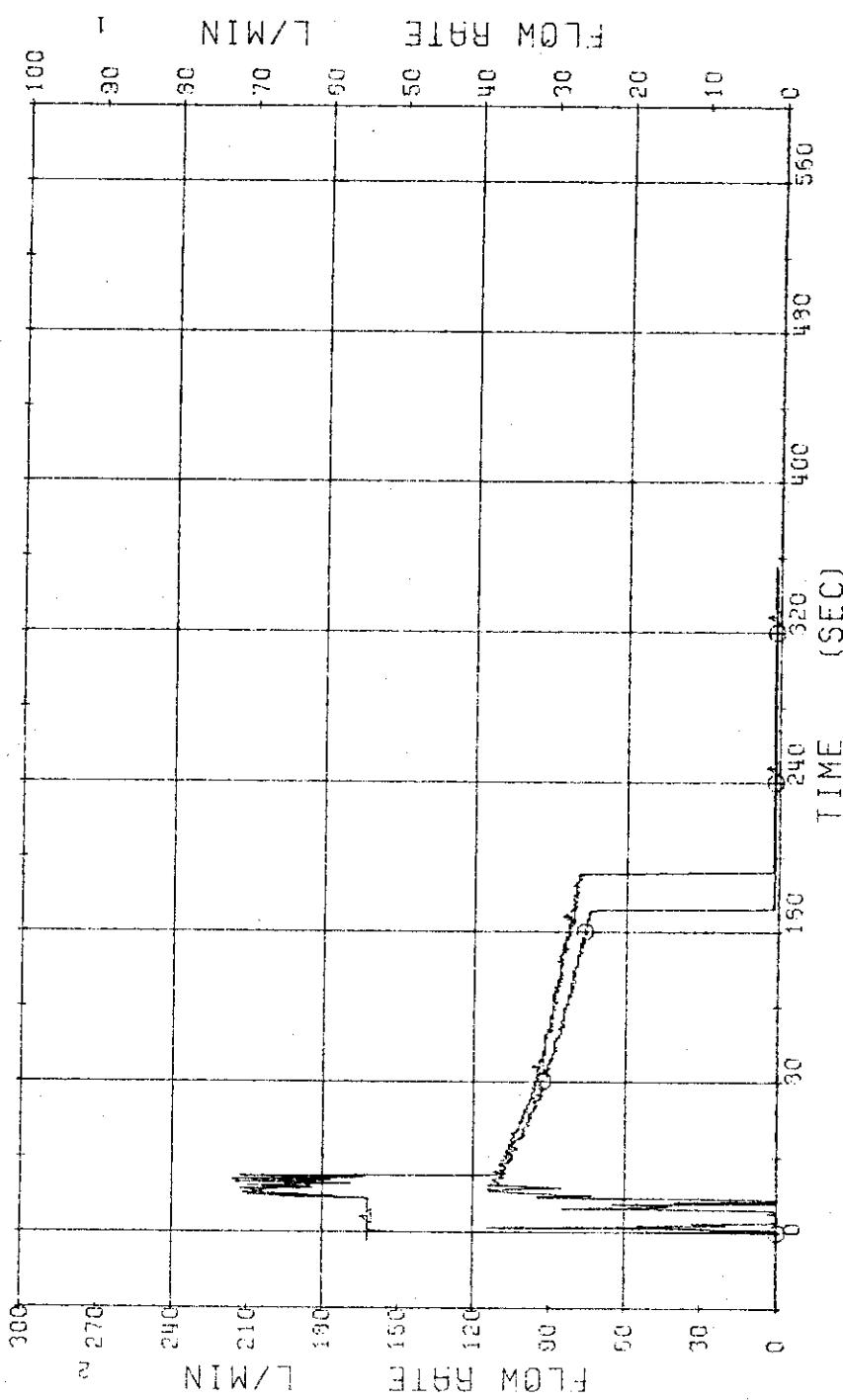


Fig.2.24 Injection Flow Rates of ACC1 and ACC2 ... Run 604

RUN 604 COLD LEG BREAK      BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM    UHI ASSEMBLY  
 ECCS ---      HP1-      HP2-      FC1-COLD    FC2-COLD    LP1-COLD    LP2-COLD    UHI-UP. HEAD  
 CH- 33 @I F-12 (LPCI BLOWDOWN LOOP COLD )      CH- 34 & F-13 (LPCI UNBROKEN LOOP COLD )

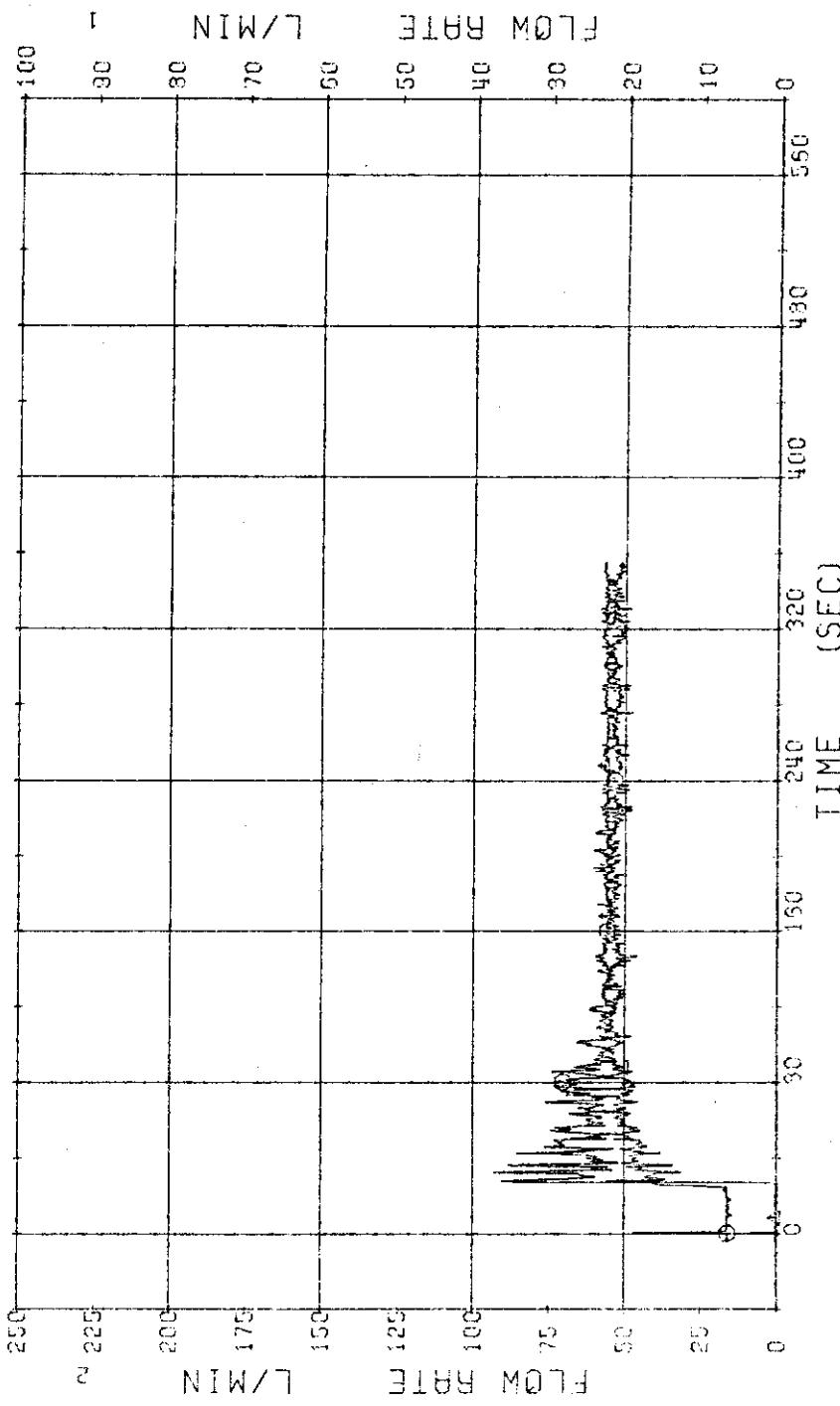


Fig.2.25    Injection Flow Rate of LPCI ... Run 604

RUN 604 COLD LEG BREAK      BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM      UHI ASSEMBLY  
 ECCS ---      HP1-      HP2-      HC1-COLD      HC2-COLD      LP1-COLD      LP2-COLD      UHI-UP, HEAD  
 CH-109 GI P-114      UHI TANK PRESSURE      )  
 CH-110 GI P-114      UHI FLOW RATE      )

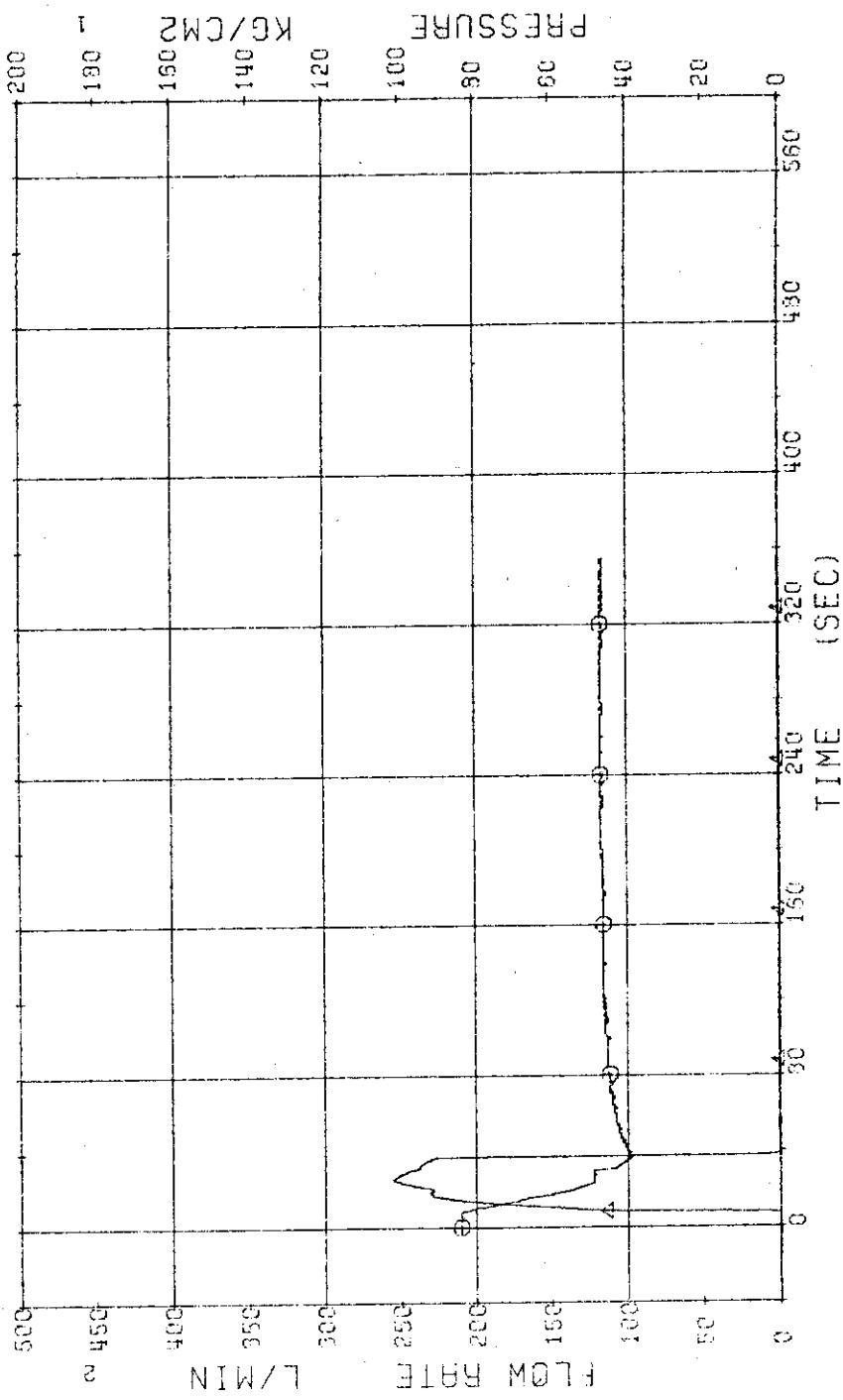


Fig.2.26 Injection Flow Rate and Tank Pressure of UHI ... Run 604

RUN 607 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY  
 EPCS --- HP1- AC1-COLD LP1-COLD LP2-COLD UHI-UP.HEAD  
 CH- 30 @ F= 9 (ACC1 ) CH- 31 & F=10 (ACC2 )

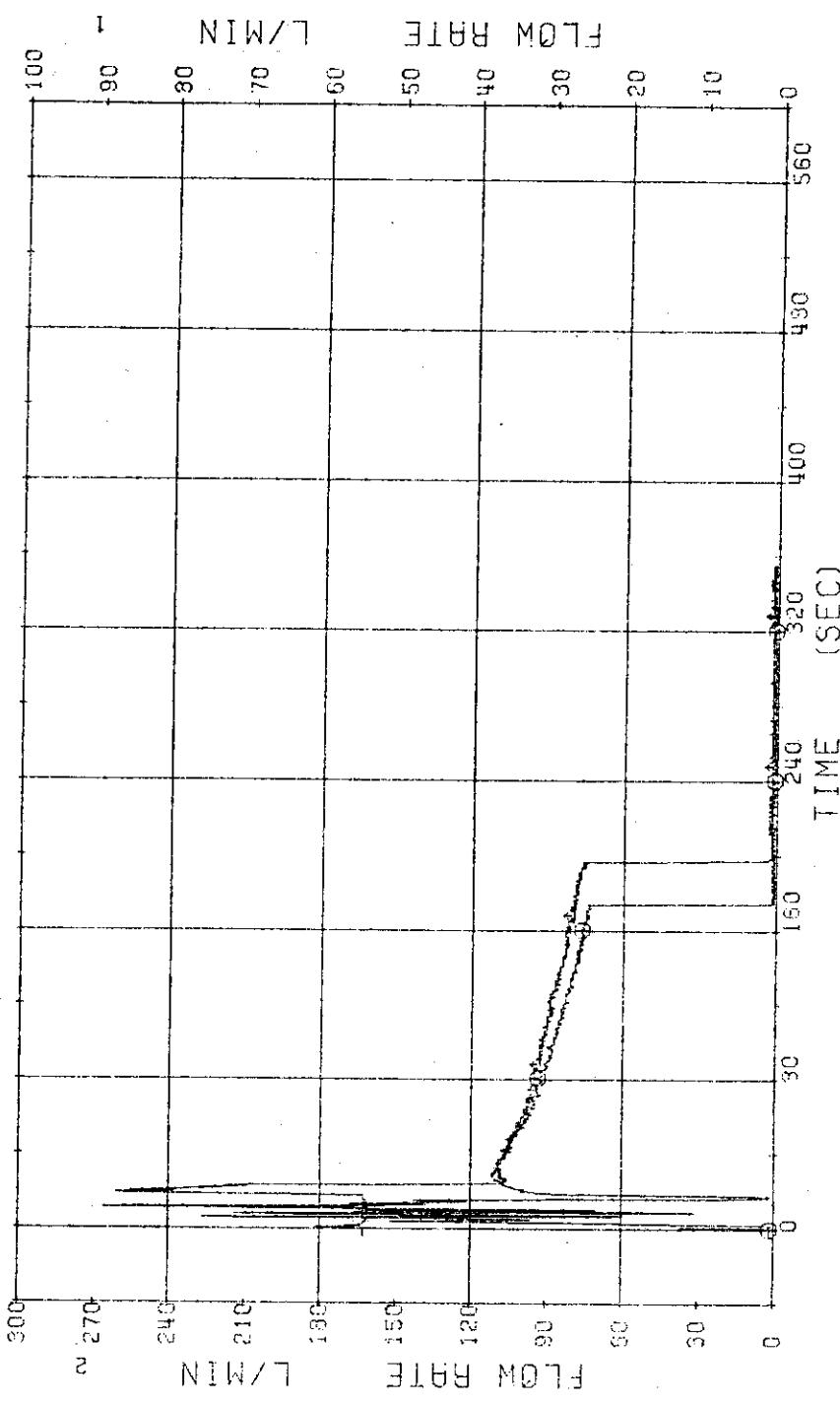


Fig.2.27 Injection Flow Rates of ACC1 and ACC2 ... Run 607

RUN 607 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UH1 ASSEMBLY  
ECCS --- HP1- HP2- AC1-COLD AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD UH1-UP, HEAD  
CH- 33 @ F-12 (LPCI BLOWDOWN LOOP COLD) CH- 34 & F-13 (LPCI UNBROKEN LOOP COLD)

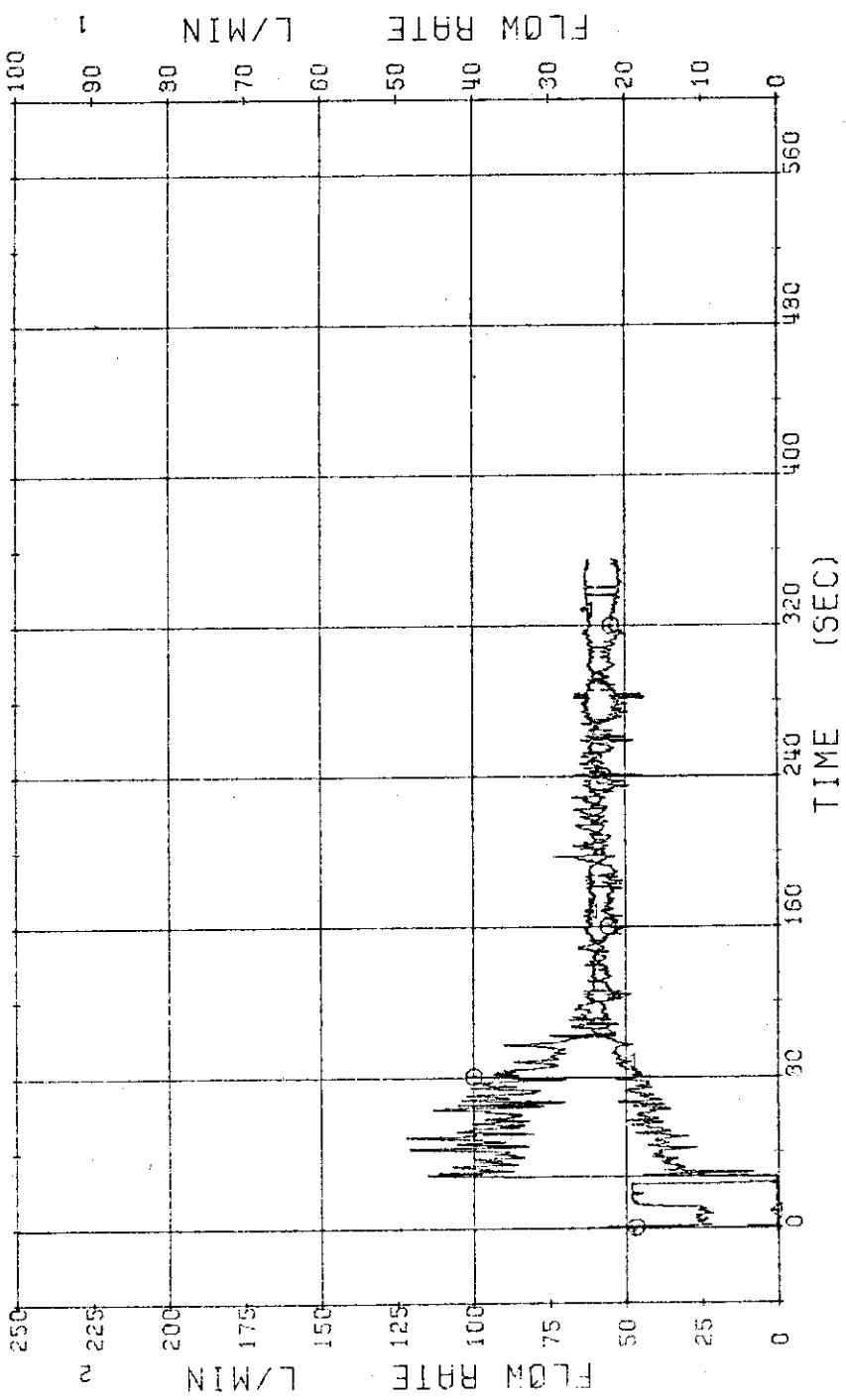


Fig.2.28 Injection Flow Rate of LPCI ... Run 607

RUN 607 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY  
 ECGS ---- HP1- HP2- AC1-COLD AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD UHI-UP.HEAD  
 CH-109 G1 P-114 (UHI TANK PRESSURE ) CH-110 42 F-114 (UHI FLOW RATE )

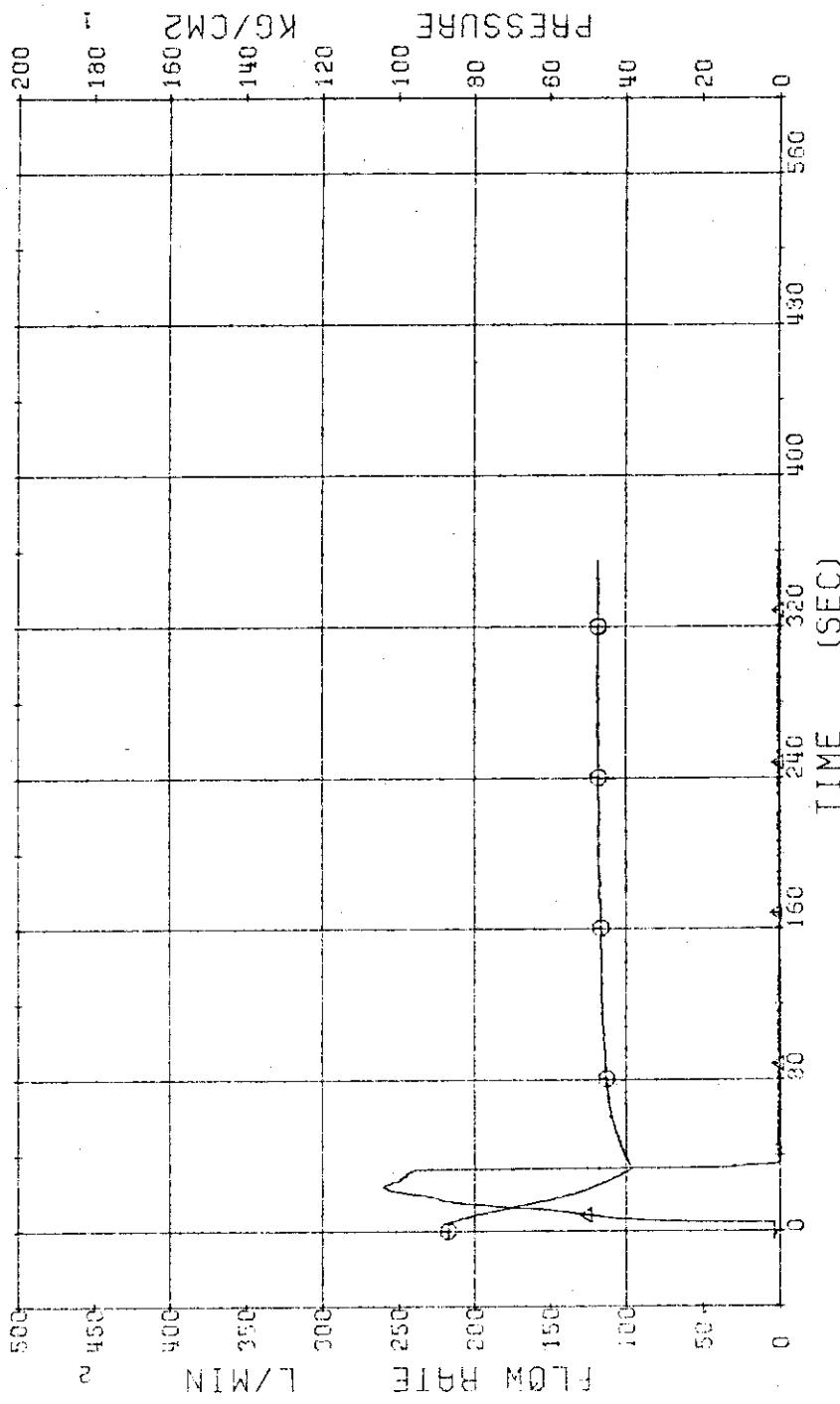


Fig. 2.29 Injection Flow Rate and Tank Pressure of UHI ... Run 607

RUN 608 COLD LEG BREAK      BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM      UHT ASSEMBLY  
ECCS ---      HP1-      HP2-  
CH- 30  $\Theta_1$       F- 9 (ACC1)      CH- 31  $\Theta_2$  F-10 (ACC2)

AC1-COLD      AC2-COLD      LP1-COLD      LP2-COLD      UHT-UP, HEAD

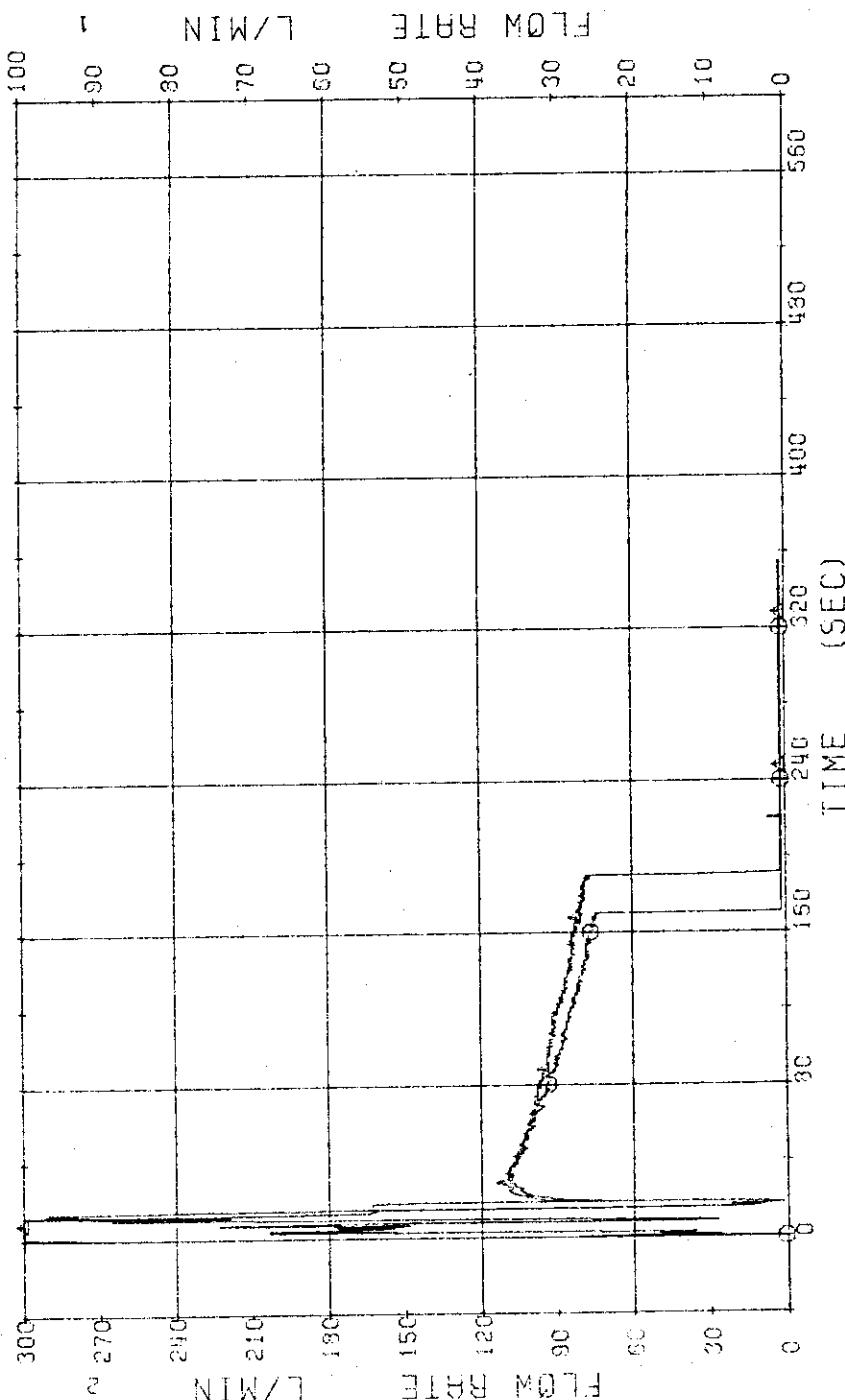


Fig.2.30 Injection Flow Rates of ACC1 and ACC2 ... Run 608

RUN 608 COLD LEG BREAK      BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM      UHI ASSEMBLY  
 ECCS ---      HP1-      HP2-      AC1-COLD      LP1-COLD      LP2-COLD      UHI-UP, HEAD  
 CH- 32 Q1      F-12 (LPCI BLOWDOWN LOOP COLD )      CH- 34 A2      F-13 (LPCI UNBROKEN LOOP COLD )

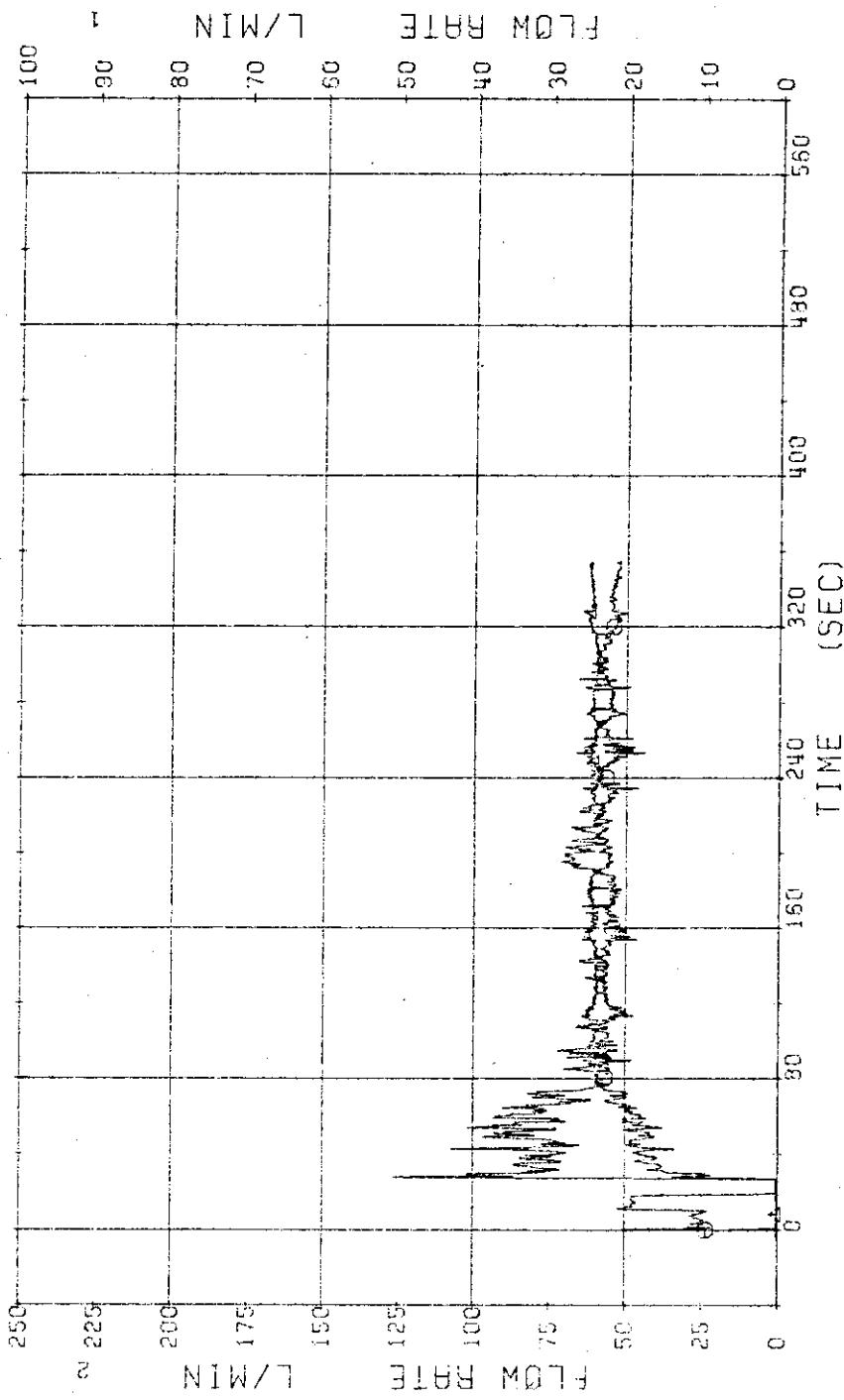


Fig 2.31 Injection Flow Rate of LPCI ... Run 608

RUN 608 COLD LEG BREAK      BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM      UHT ASSEMBLY  
 ECCS --- HP1-      HP2-  
 CH-109 @ P-14      UHT TANK PRESSURE      AC1-COLD      AC2-COLD      LP1-COLD      LP2-COLD      UHT-UP, HEAD  
 )      CH-110 @ F-14      UHT FLOW RATE  
 )

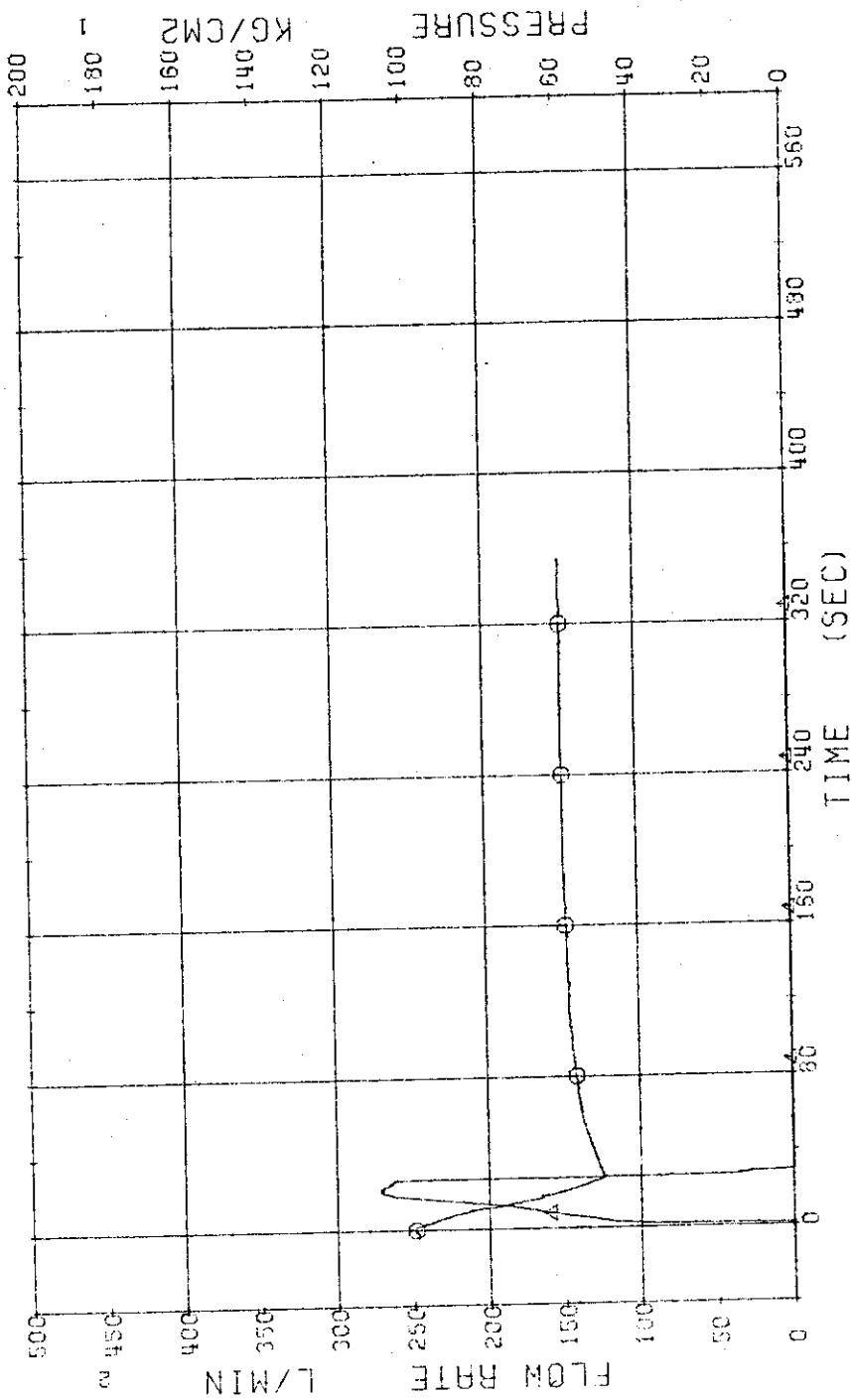


Fig.2.32 Injection Flow Rate and Tank Pressure of UHT ... Run 608

RUN 609 COLD LEG BREAK      BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM      UHI ASSEMBLY  
 EPCS ---      HP1-      HP2-  
 CH- 30 @1 F- 9 (ACC1      )      AC1-COLD      AC2-COLD      LP1-COLD      LP2-COLD      UHI-UP,HERD  
 CH- 31 @2 F-10 (ACC2      )

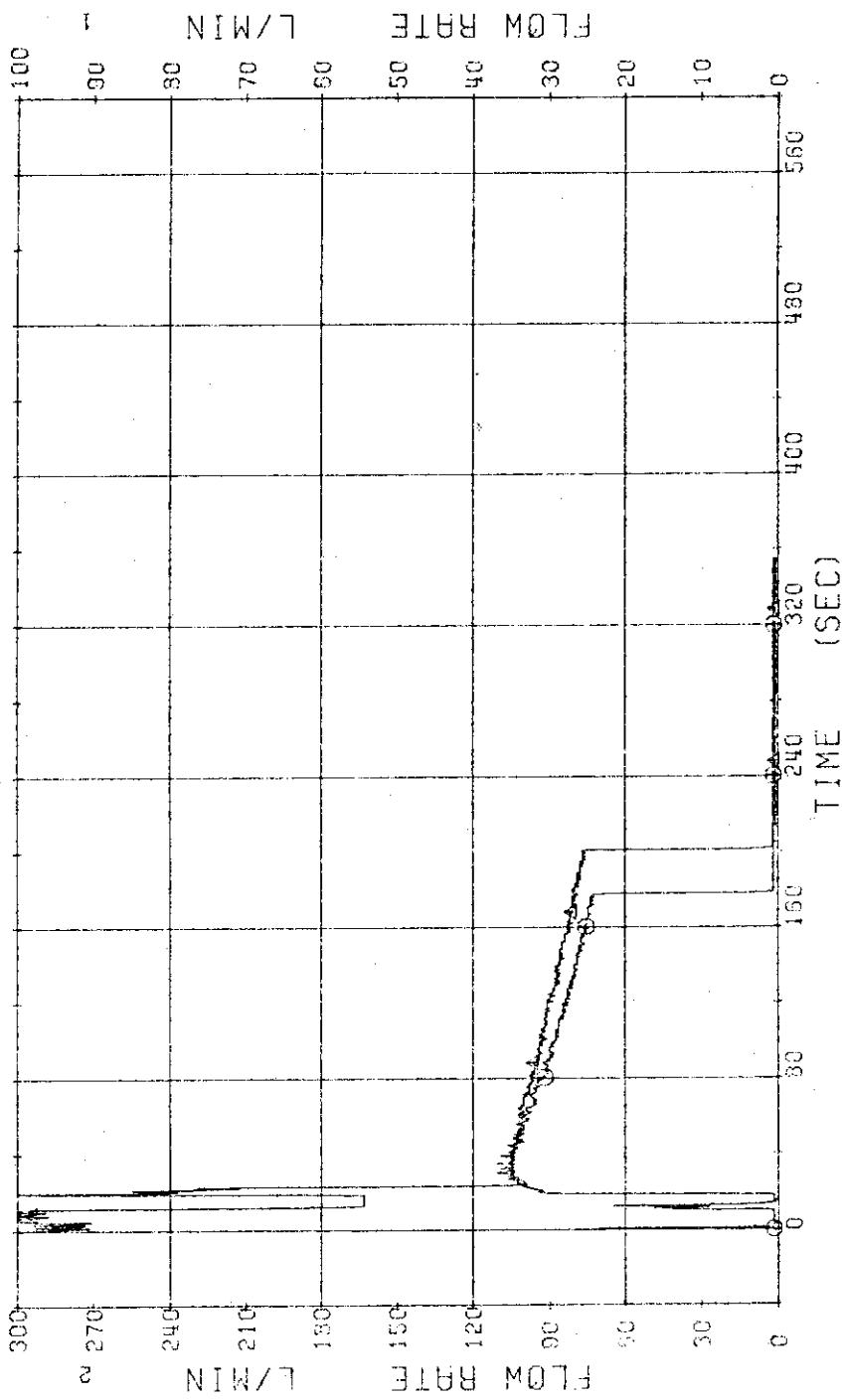


Fig. 2.33 Injection Flow Rates of ACC1 and ACC2 ... Run 609

RUN 609 COLD LEG BREAK    BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM    UHI ASSEMBLY  
 FCFS ---- HP1-    HP2-    AC1-COLD    AC2-COLD    LP1-COLD    LP2-COLD    UHI-UP. HEAD  
 CH- 33 @ F-12 (LPCI BLOWDOWN LOOP COLD )    CH- 34 @ F-13 (LPCI UNBROKEN LOOP COLD )

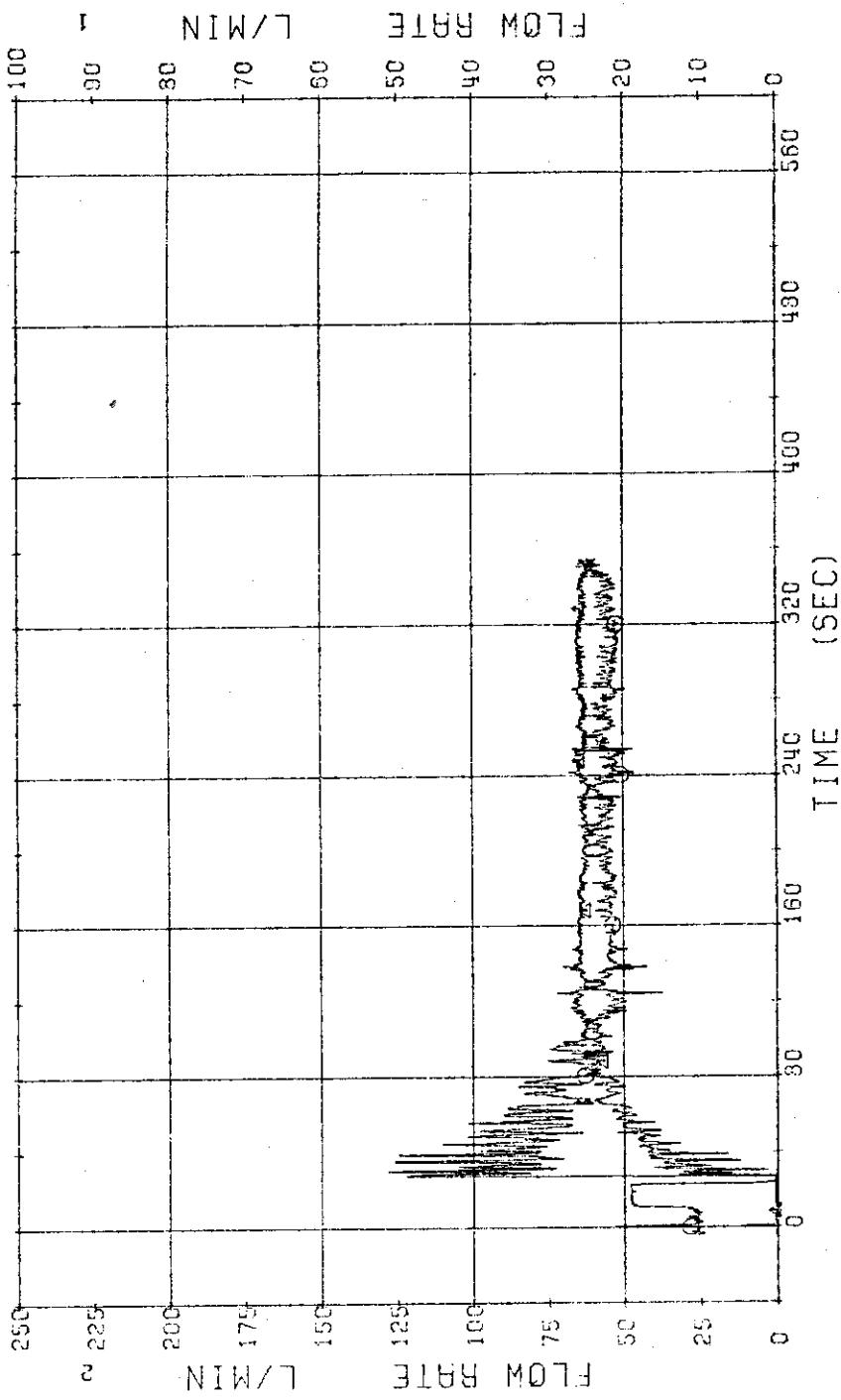


Fig. 2.34 Injection Flow Rate of LPCI ... Run 609

RUN 609 COLD LEG BREAK      BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM      UHI ASSEMBLY  
 EOC5 ---- HP1-      HP2-      AC1-COLD      AC2-COLD      LP1-COLD      LP2-COLD      UHI-UP. HEAD  
 CH-109 OI P-14 UHI TANK PRESSURE )  
 CH-110 A2 F-14 (UHI FLOW RATE )

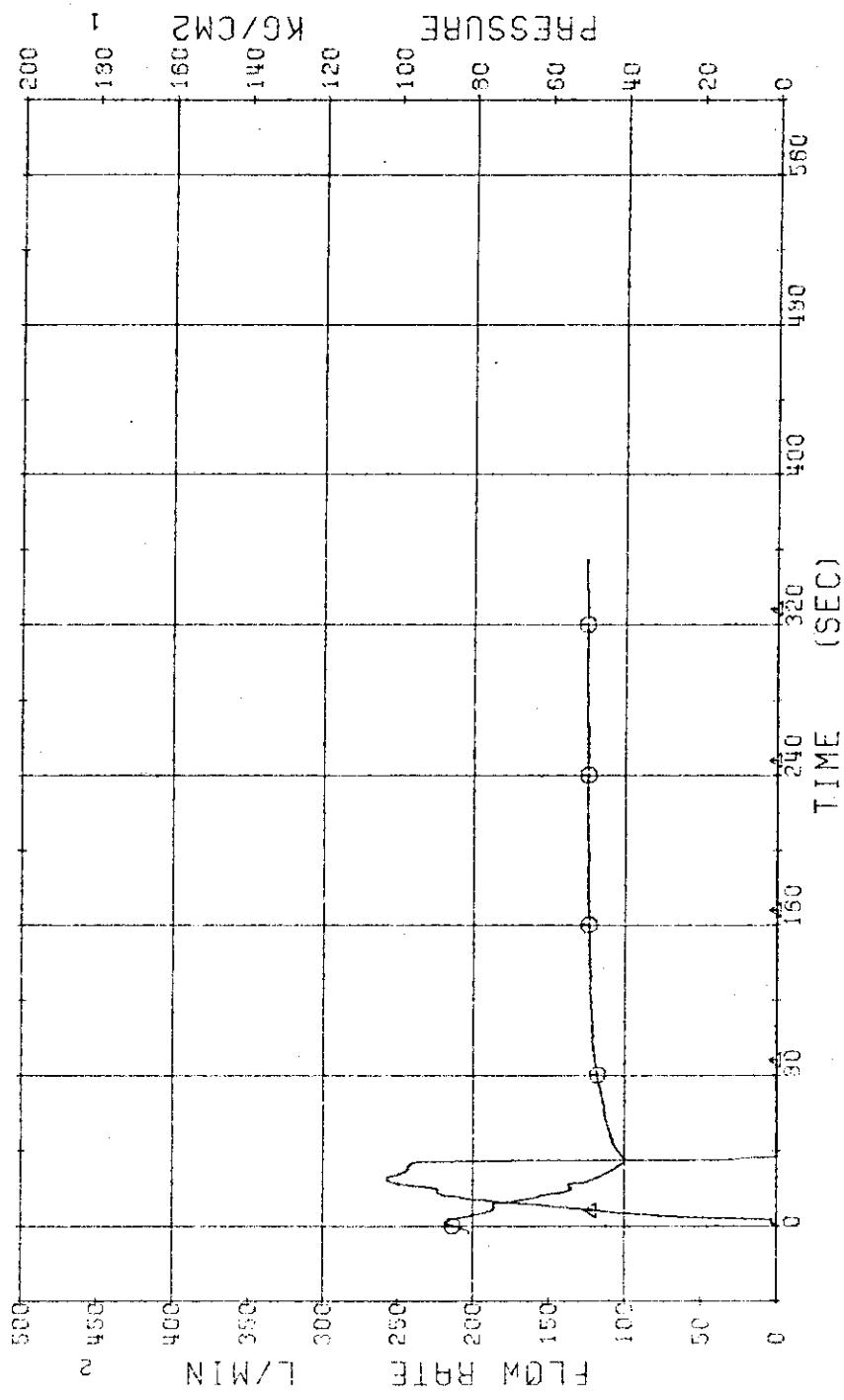


Fig.2.35 Injection Flow Rate and Tank Pressure of UHI ... Run 609

RUN 610 COLD LEG BREAK      BREAK DIAMETER 0.0/16.5 MM      UHI ASSEMBLY  
ECCS --- HP1-COLD HP2-COLD AC1-COLD AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD UHI-UP,HEAD  
CH- 30 31 F- 9 (ACC1 ) CH- 31 42 F-10 (ACC2 )

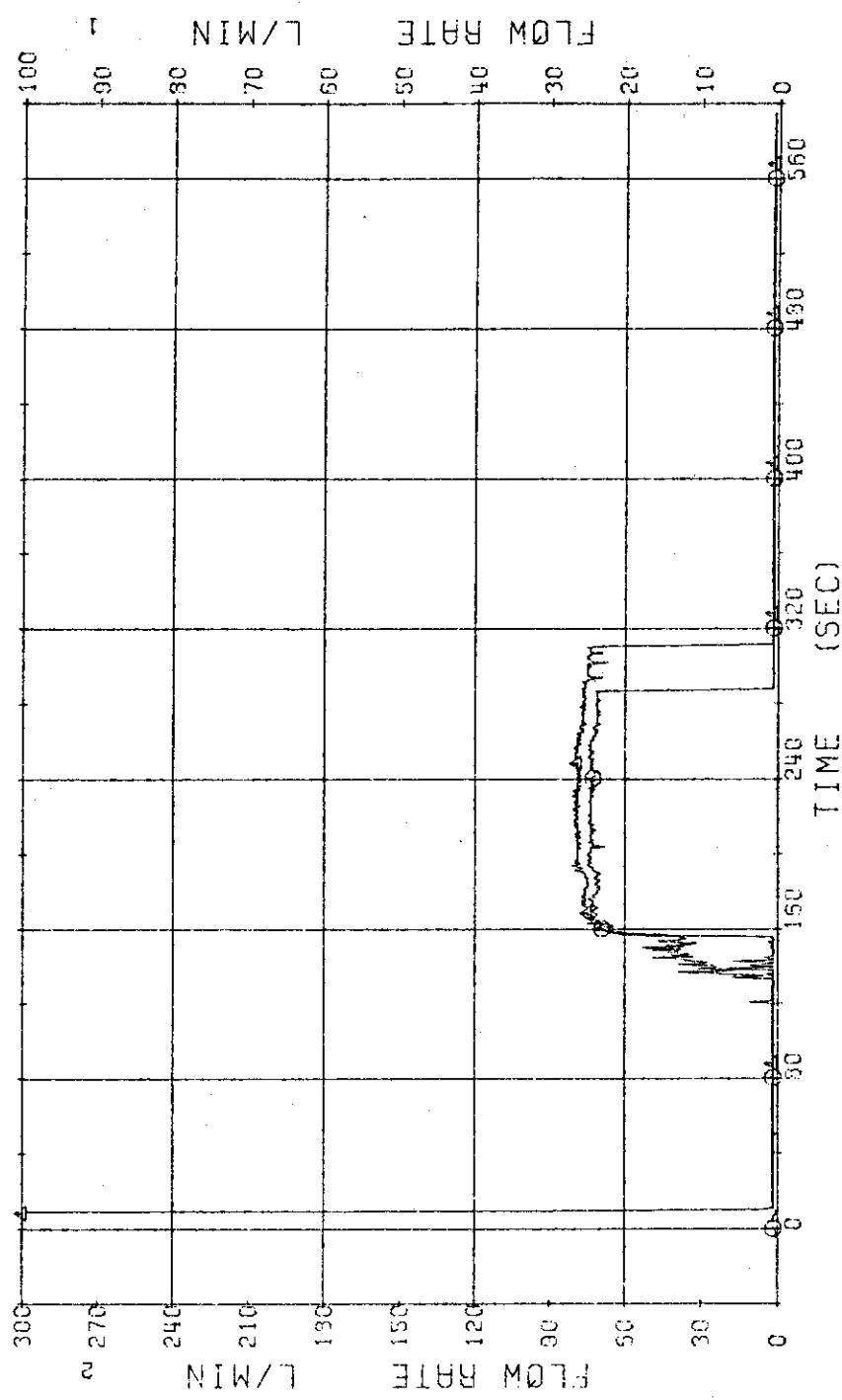


Fig.2.36 Injection Flow Rates of ACC1 and ACC2 ... Run 610

RUN 610 COLD LEG BREAK      BREAK DIAMETER 0.0/16.5 MM      UHI ASSEMBLY  
 ECG5 --- HP1-COLD HP2-COLD AC1-COLD AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD UHI-UP, HEAD  
 CH- 27 21 F- 6 (HPCI )      CH- 29 42 F- 7 (HPCI )

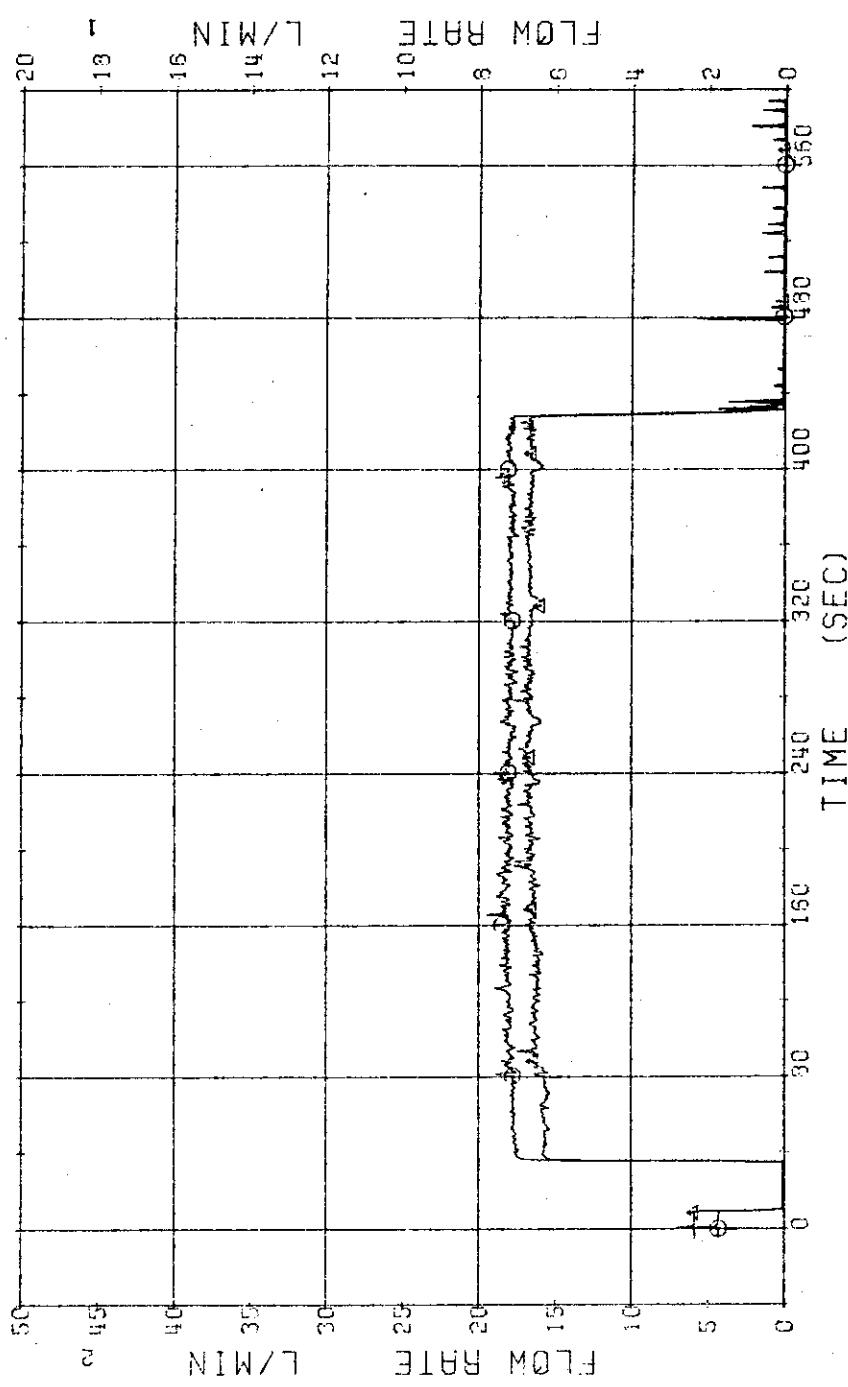


Fig. 2.37 Injection Flow Rate of HPCI ... Run 610

RUN 610 COLD LEG BREAK      BREAK DIAMETER 0.0/16.5 MM      UHI ASSEMBLY  
 FCFS ---- HP1-COLD HP2-COLD AC1-COLD AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD      UHI-UP, HEAD  
 CH- 33 @ F-12 (LPCI BLOWDOWN LOOP COLD)      CH- 34 42 F-13 (LPCI UNBROKEN LOOP COLD)

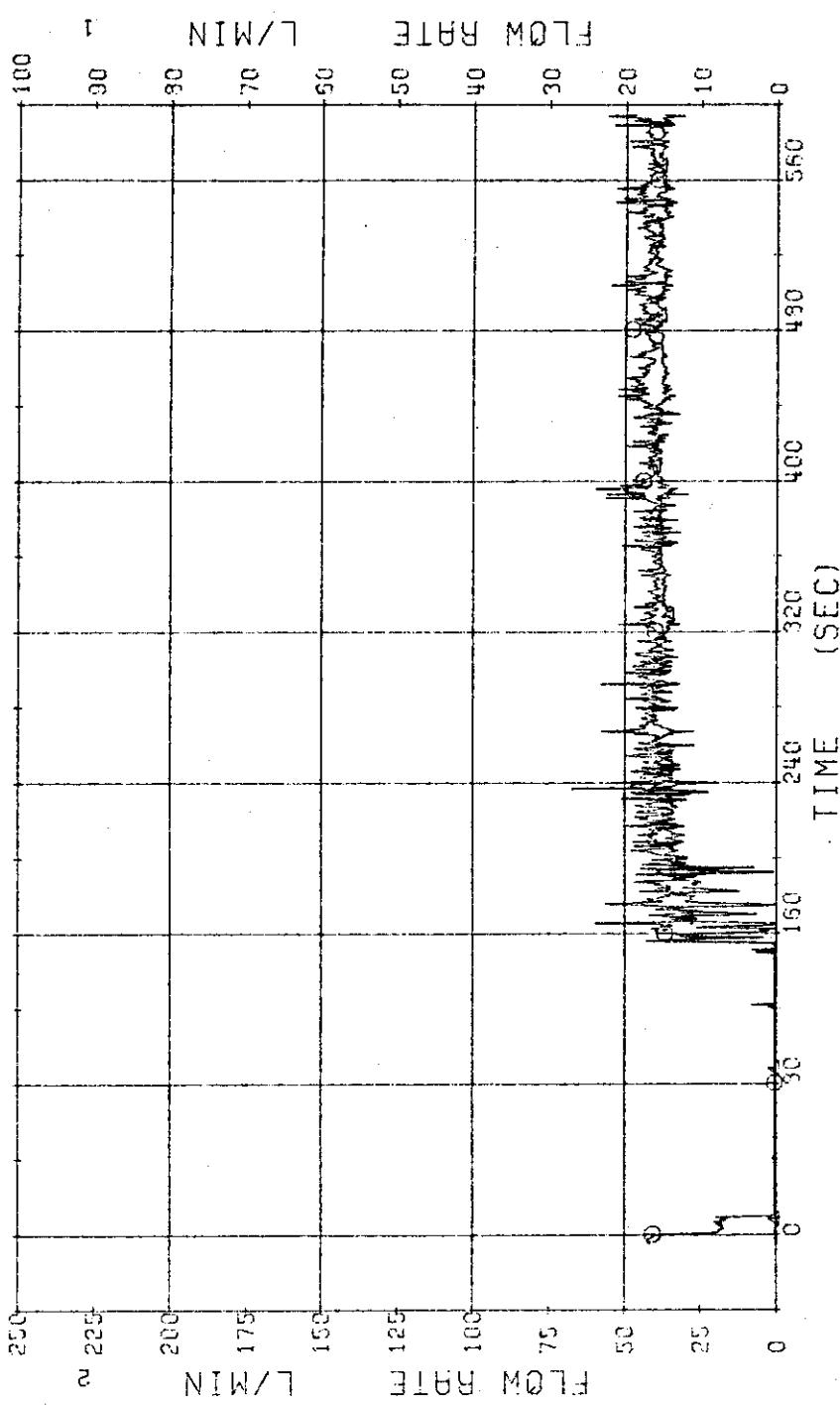


Fig. 2.38 Injection Flow Rate of LPCI ... Run 610

RUN 610 COLD LEG BREAK      BREAK DIAMETER 0.0/16.5 MM      UHI ASSEMBLY  
ECCS ---- HP1-COLD HP2-COLD AC1-COLD AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD UHI-UP,HEAD  
CH-109 Q1 P-14 (UHI TANK PRESSURE ) CH-110 42 F-14 UHI FLOW RATE )

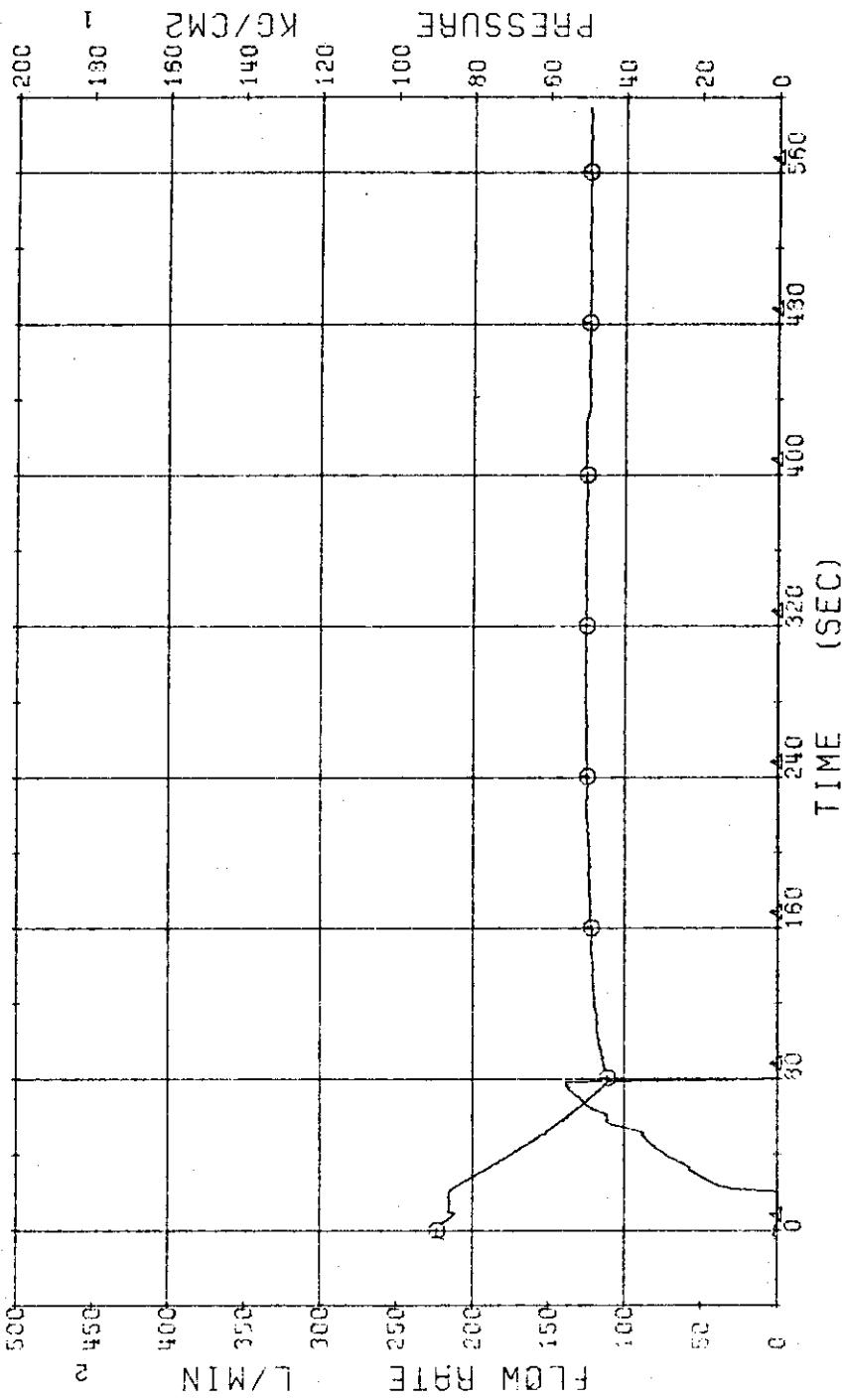


Fig. 2.39 Injection Flow Rate and Tank Pressure of UHI ... Run 610

RUN 603 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY  
 ECC5 --- HF1- HF2- AC1-COLD AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD UHI-UP, HEAD  
 CH-102 @ N= 2 (P2 PUMP REVOLUTION NUMBER)

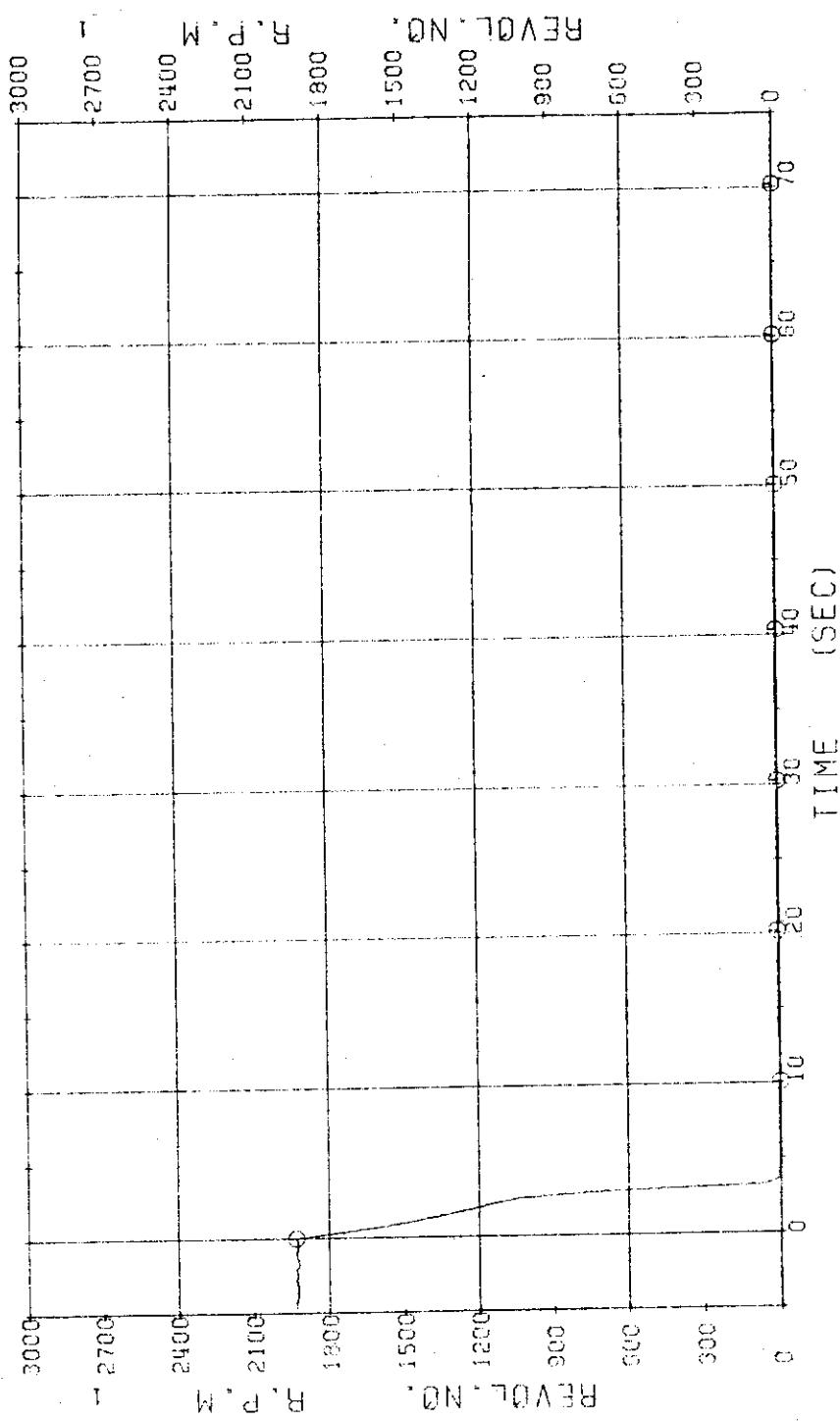


Fig. 2,40 Pump Revolution Number ... Run 603

RUN 604 COLD LEG BREAK    BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM    UHT ASSEMBLY  
ECCS ---    HP1-    HP2-    AC1-COLD    AC2-COLD    LP1-COLD    LP2-COLD    UHT-UP, HEDO  
CH-102 21 N- 2 IP2 PUMP REVOLUTION NUMBER,1

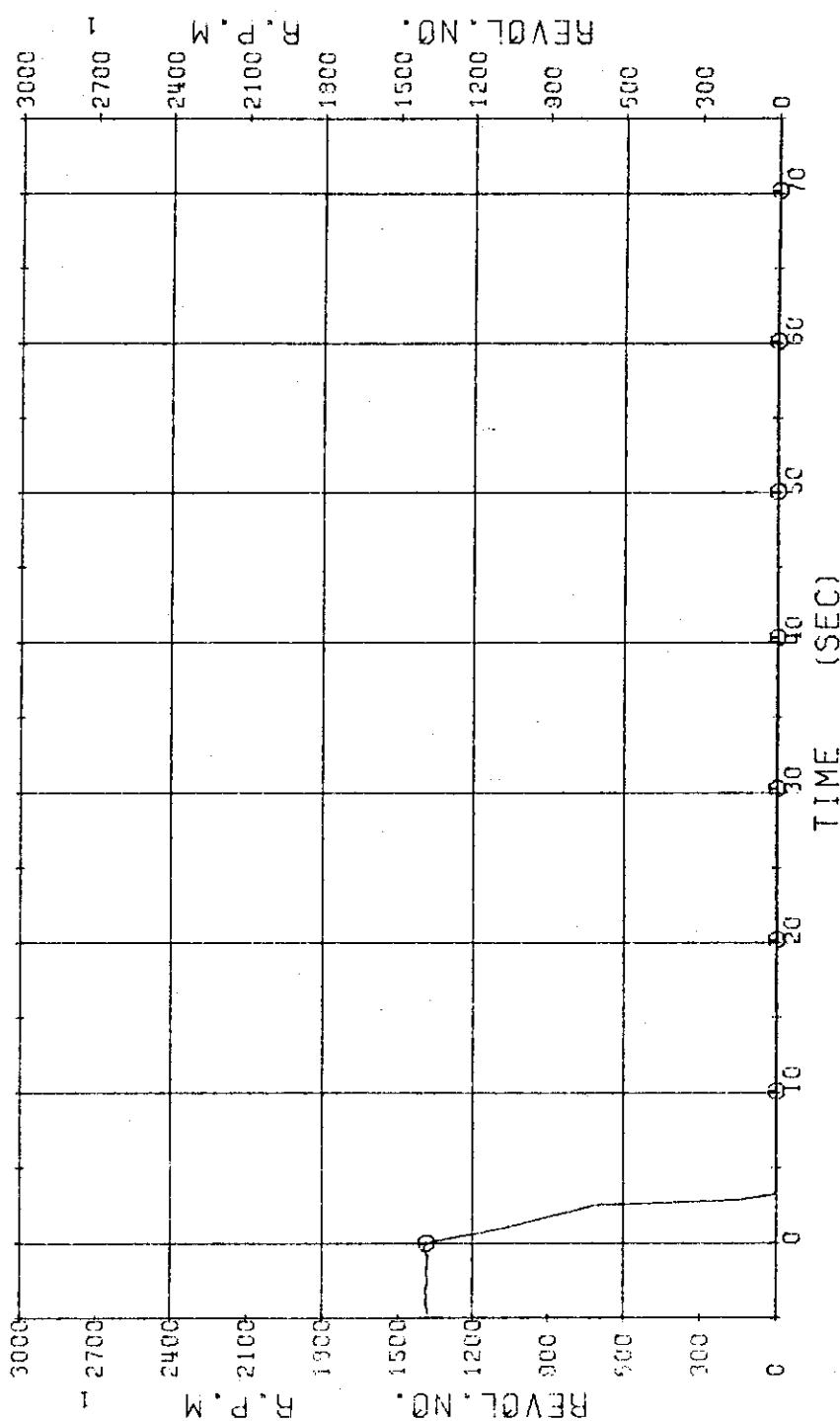


Fig.2.41 Pump Revolution Number ... Run 604

RUN 607 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY  
 ECCS --- HP1- HP2- AC1-COLD AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD UHI-UP.HEAD  
 CH-101 ① N- 1 (P1 PUMP REVOLUTION NUMB.) CH-102 ④ N- 2 (P2 PUMP REVOLUTION NUMB.)

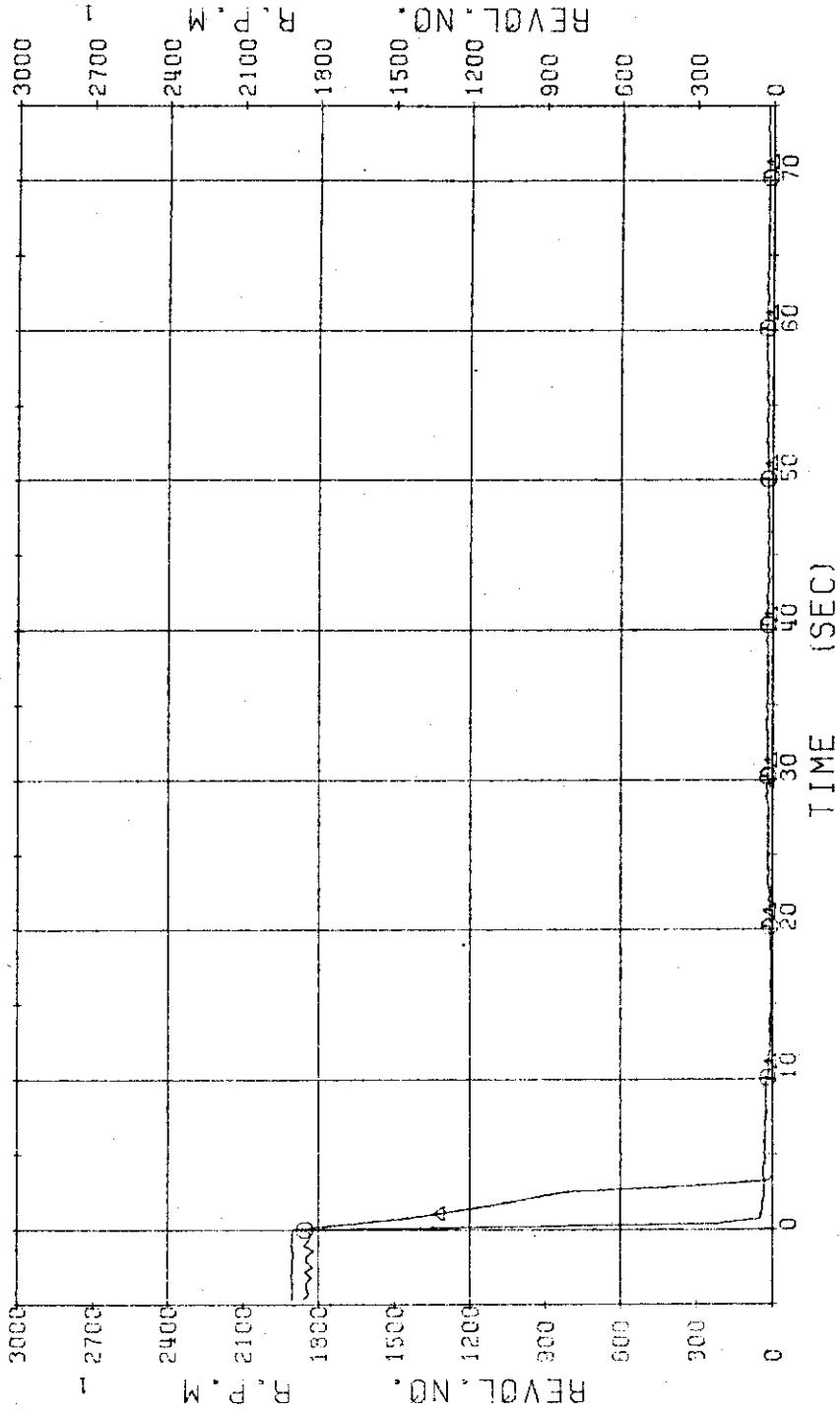


Fig. 2.42 Pump Revolution Numbers ... Run 607

RUN 608 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHT ASSEMBLY  
ECCS --- HPI- HP2- AC1-COLD AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD UHI-UP, HEAD  
CH-101 DI N- 1 (P1 PUMP REVOLUTION NUMB.) CH-102 & N- 2 (P2 PUMP REVOLUTION NUMB.)

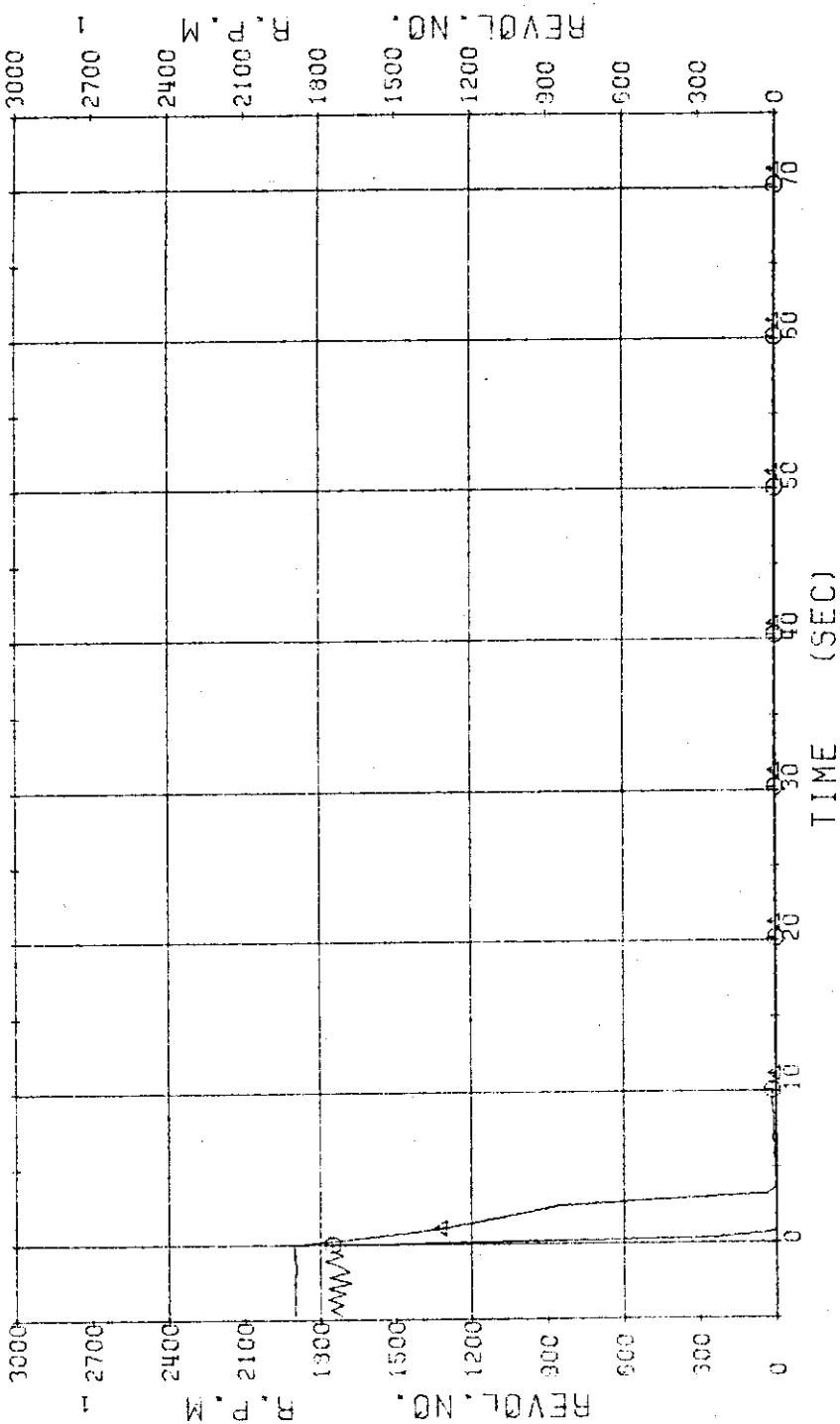


Fig.2.43 Pump Revolution Numbers ... Run 608

RUN 609 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD UHI-UP. HEAD

CH-101 (P1 N- 1 (P1 PUMP REVOLUTION NUMBER.) CH-102 (P2 PUMP REVOLUTION NUMBER.)

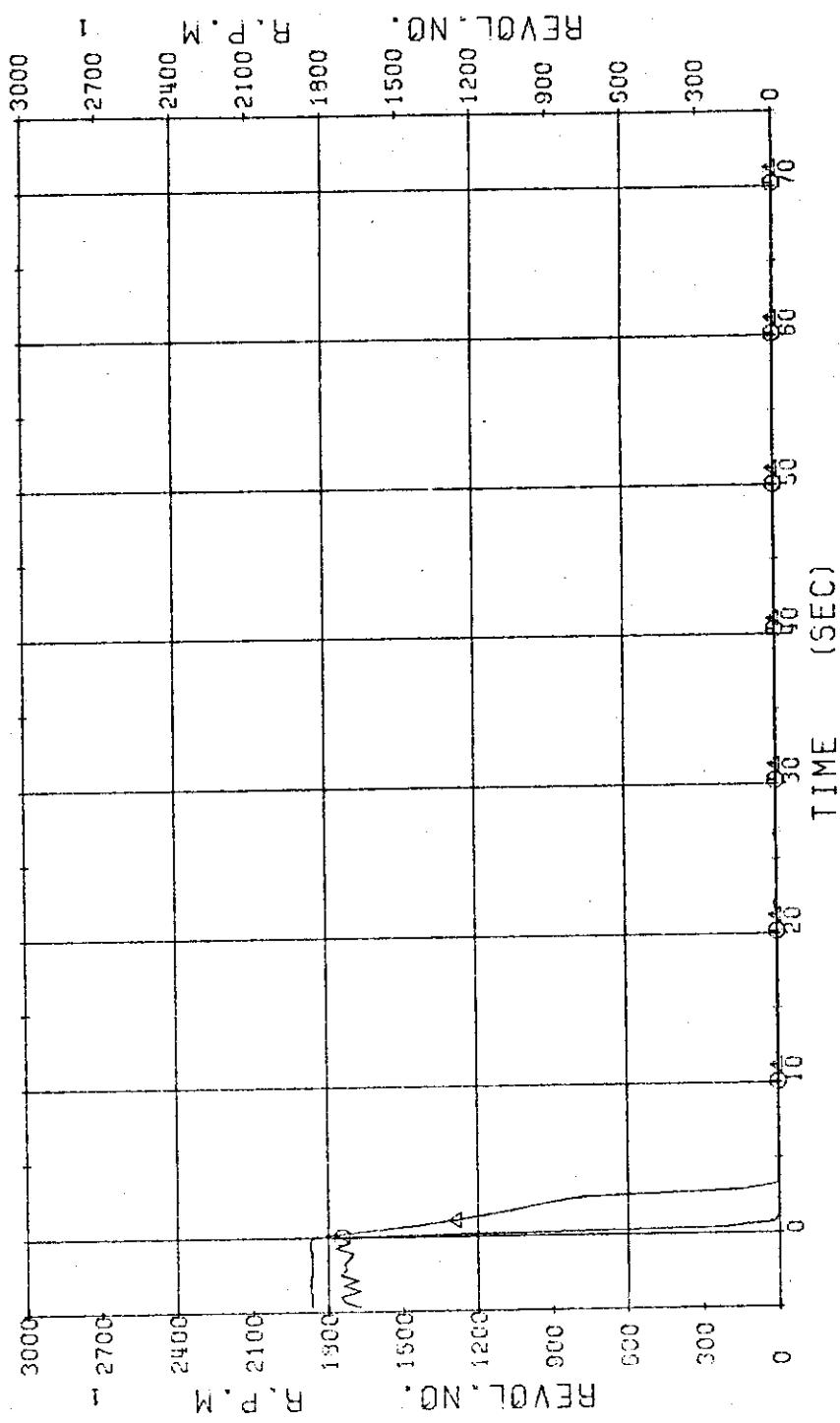


Fig.2.44 Pump Revolution Numbers ... Run 609

RUN 610 COLD LEG BREAK      BREAK DIAMETER 0.0/16.5 MM      UHI ASSEMBLY  
 ECCS --- HP1-COLD HP2-COLD AC1-COLD AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD UHI-UP, HEAD  
 CH-101 φ1 N- 1 (P1 PUMP REVOLUTION NUMB.)      CH-102 φ1 N- 2 (P2 PUMP REVOLUTION NUMB.)

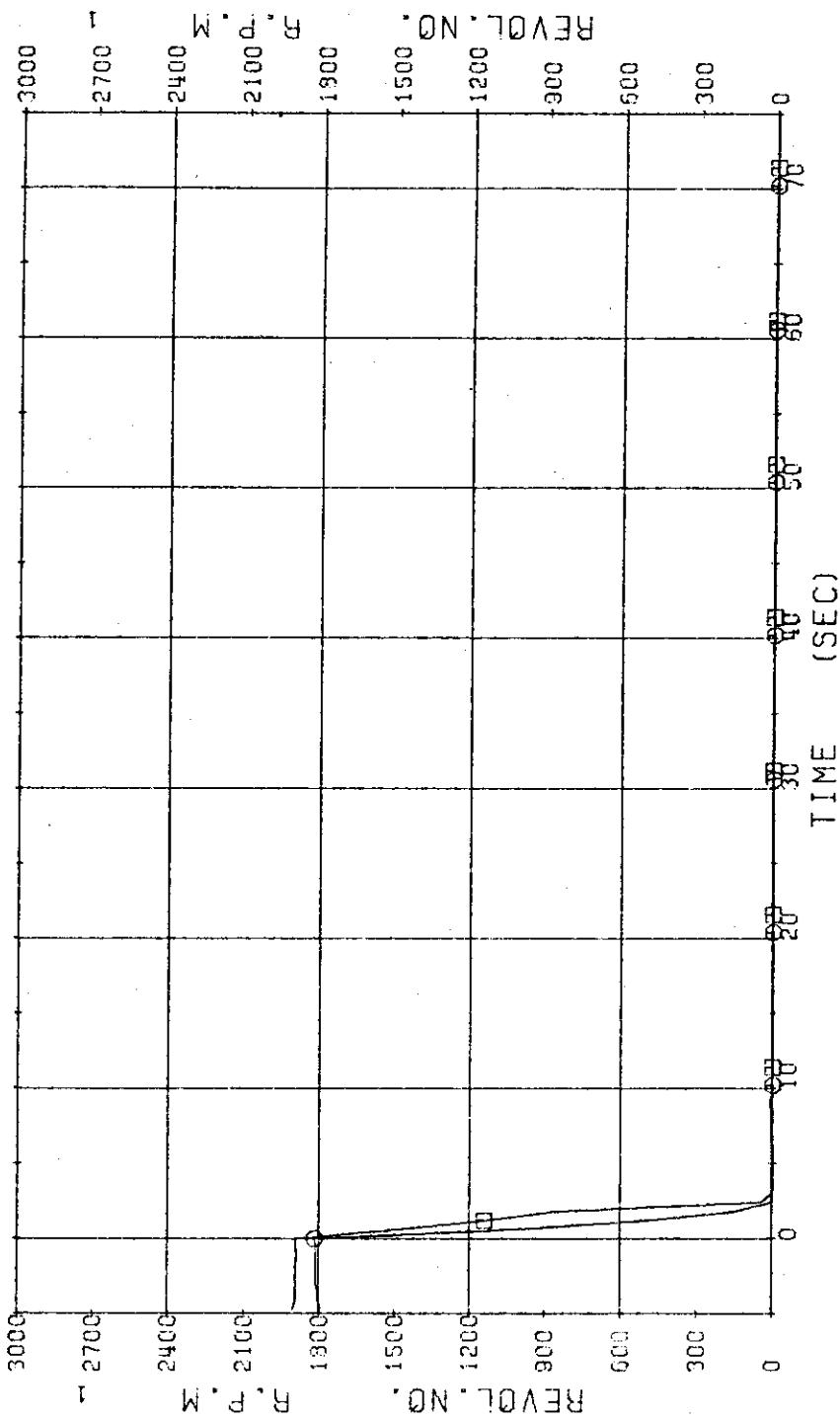


Fig. 2.45 Pump Revolution Numbers ... Run 610

RUN 603 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY  
 ECRS --- HP1- HP2- AC1-COLD AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD UHI-UP. HEAD  
 CH- 1 P- 1 (PV. UPPER HEAD ) CH- 2 P- 2 (PV. LOWER PLENUM )  
 CH- 12 P-12 (PRESSURIZER )

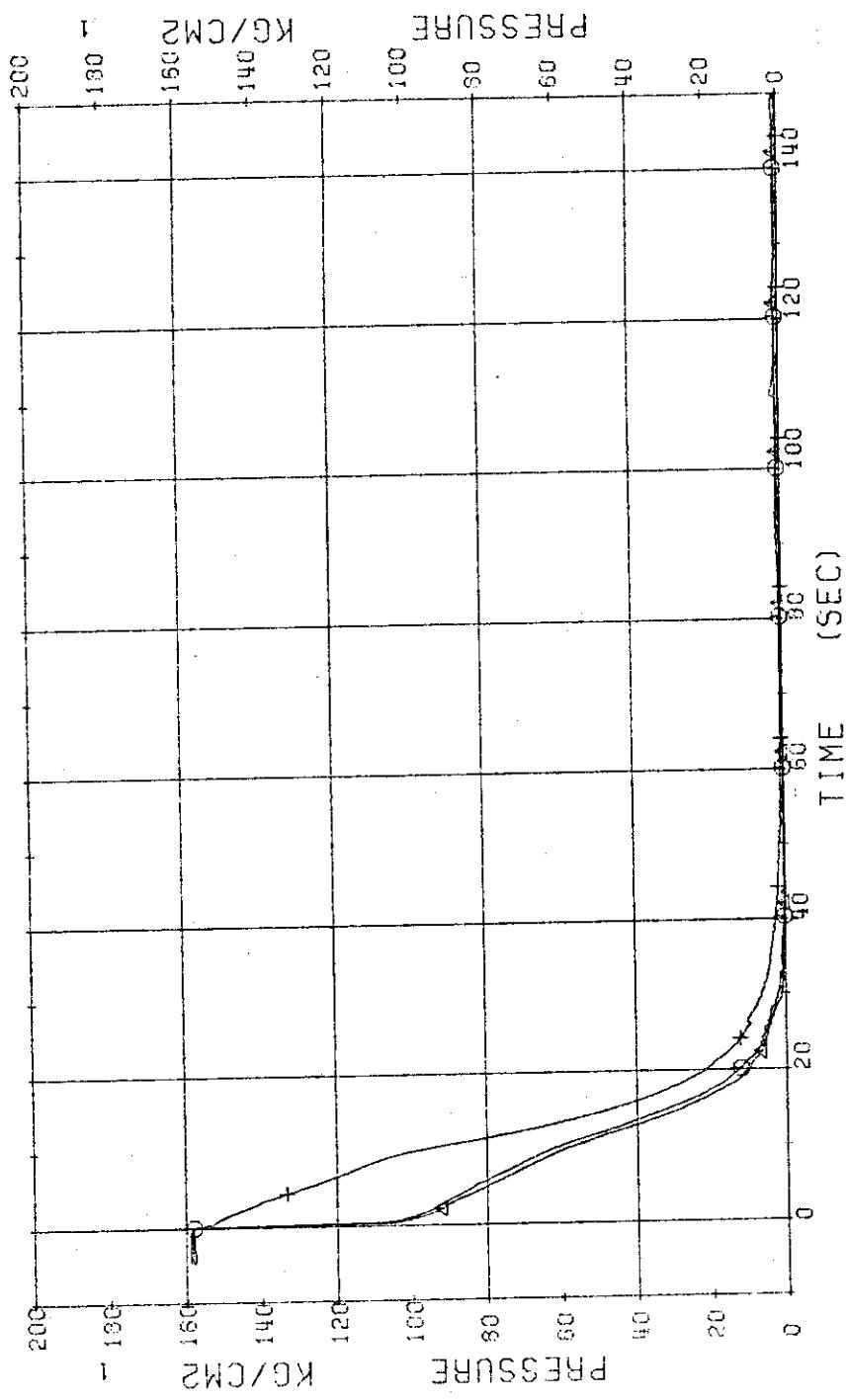


Fig. 3.1 Pressure in Pressure Vessel Upper Head, Pressure Vessel Lower Plenum and Pressurizer...Run 603

RUN 604 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY

ECCS ---	HP1-	HP2-	AC1-COLD	AC2-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	UHI-UP. HEAD
CH- 1 Ø1 P-1 CH- 2 Ø1 P-2 } PV. UPPER HEAD	CH- 12 +1 P-12 }	CH- 12 (PRESSURIZER) }	CH- 2 Ø1 P-2 (PV. LOWER PLENUM ) }				

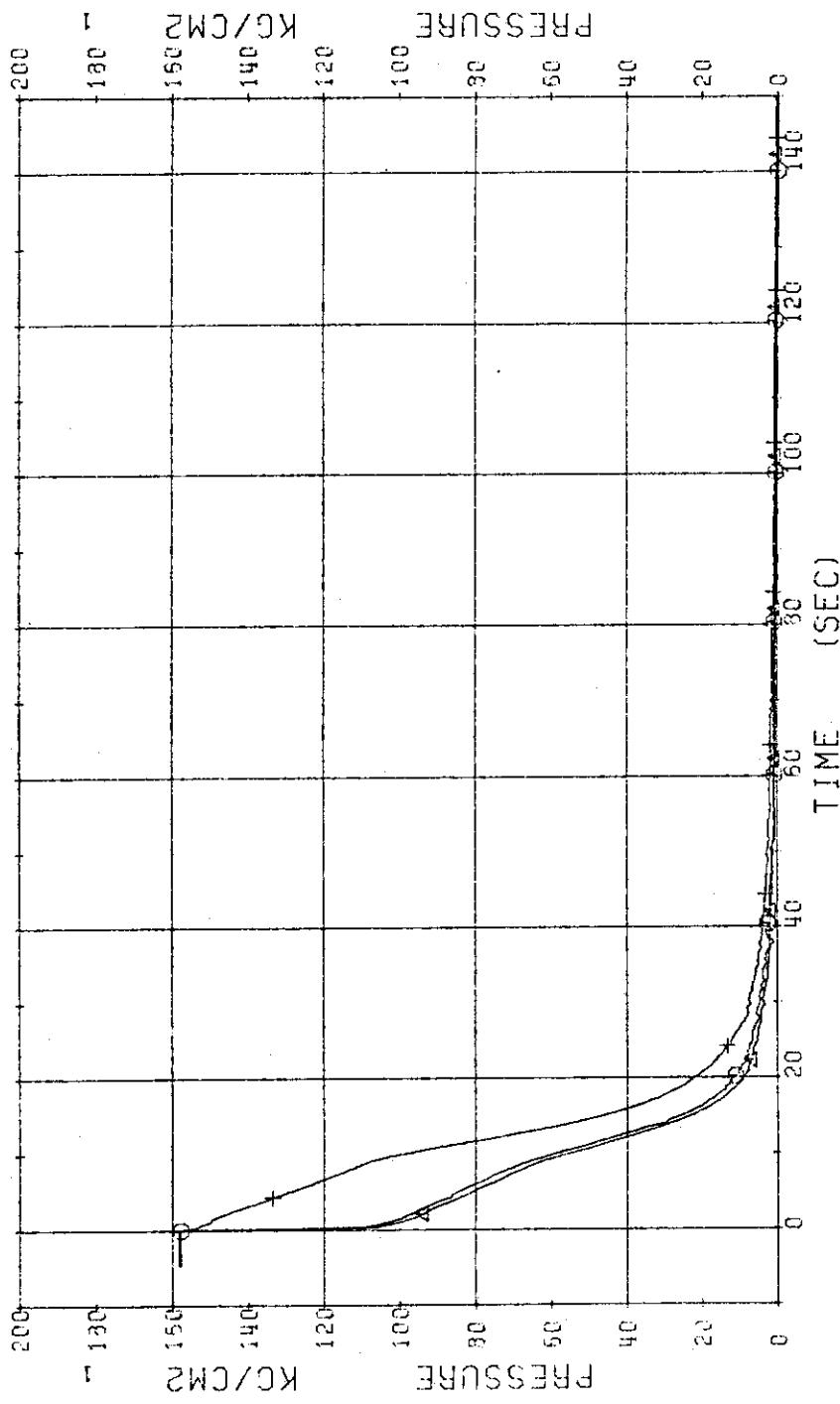


Fig.3.2 Pressure in Pressure Vessel Upper Head, Pressure Vessel Lower plenum and Pressurizer...Run 604

RUN 607 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHT ASSEMBLY  
 EEDCS --- HPT- HP2- AC1-COLD AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD UHT-UP. HEAD  
 CH- 1 @ P-1 (PV. UPPER HEAD )  
 CH- 12 @ P-12 (PRESSURIZER )  
 CH- 12 @ P-12 (PV. LOWER PLENUM )

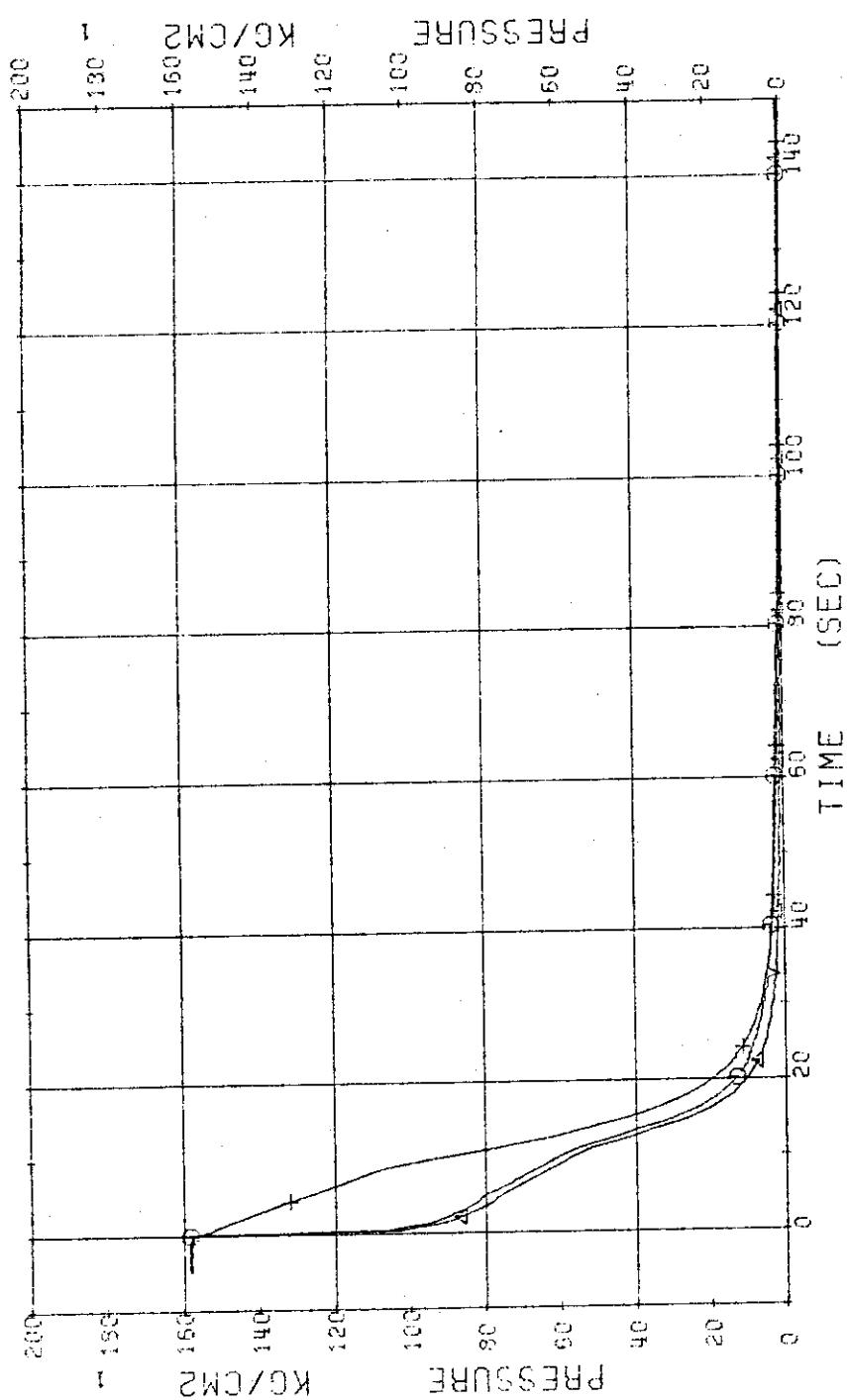


Fig. 3.3 Pressure in Pressure Vessel Upper Head, Pressure Vessel Lower plenum and Pressurizer...Run 607

## RUN 608 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC1-COLD AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD UHI-UP, HEAD  
 CH- 1 ① P- 1 (PV. UPPER HEAD )  
 CH- 12 ④ P- 12 (PV. LOWER PLenum )  
 CH- 12 ④ P- 12 (PRESSURIZER )

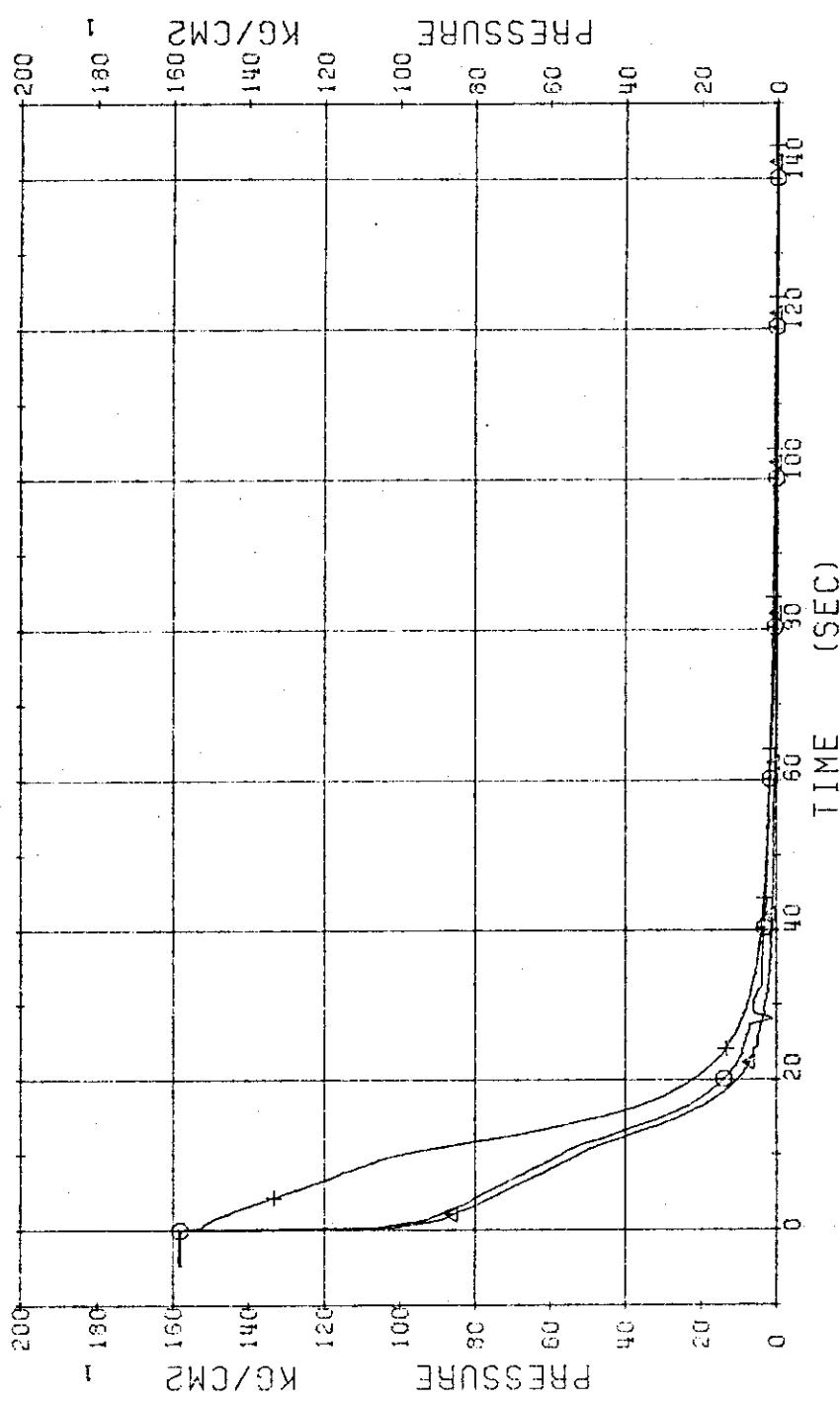


Fig. 3.4 Pressure in Pressure Vessel Upper Head, Pressure Vessel Lower plenum and Pressurizer... Run 608

RUN 609 COLD LEG BREAK      BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM      UHI ASSEMBLY

ECCS ---	HP1-	HP2-	AC1-COLD	AC2-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	UHI-UP.HEAD
CH- 1 $\oplus$	P- 1 (PV. UPPER HEAD)	P- 2 (PV. LOWER PLENUM)	CH- 2 $\ominus$	P- 2	(PV. LOWER PLENUM)		
CH- 12 $\pm$	P-12 (PRESSURIZER)						

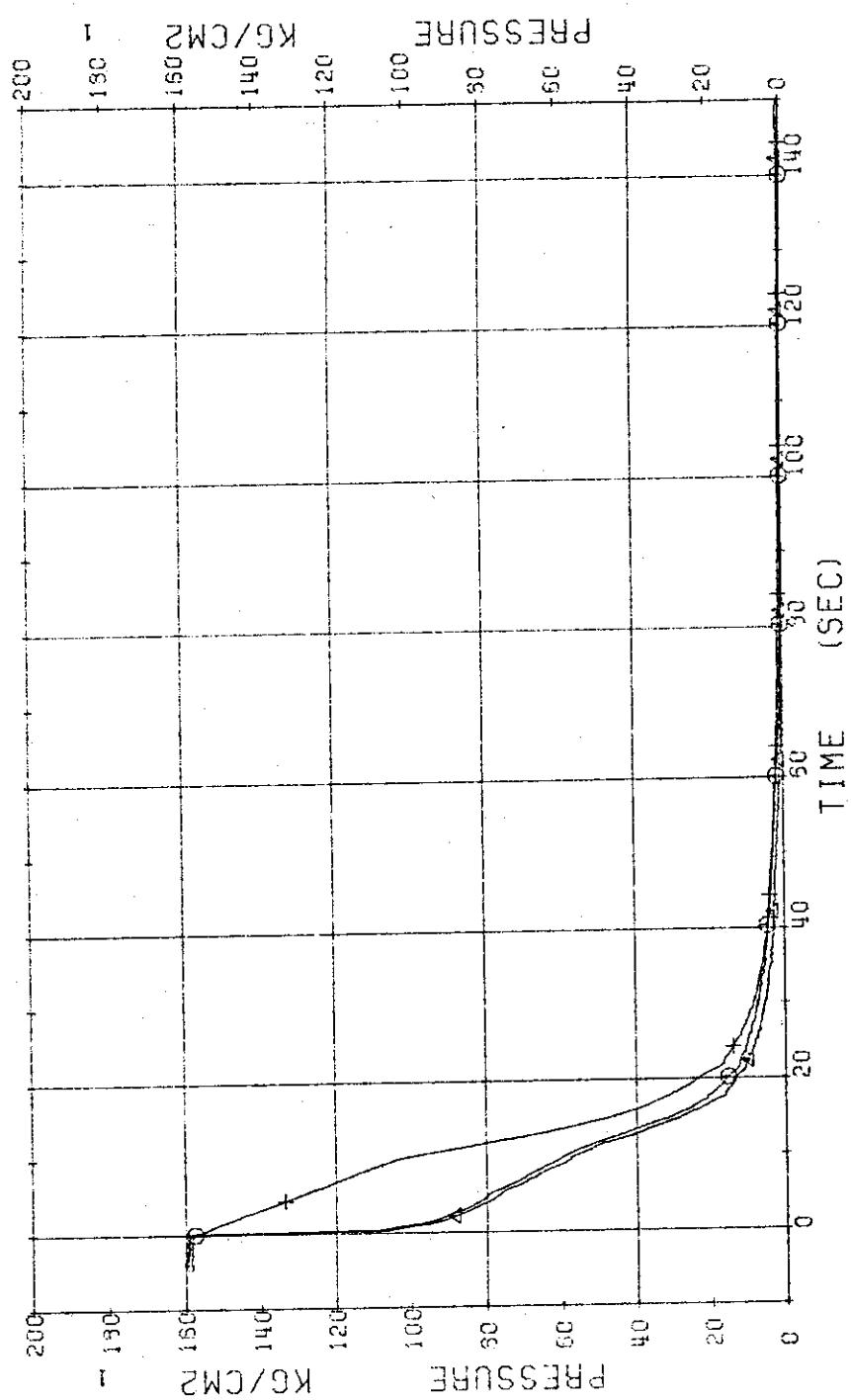


Fig.3.5 Pressure in Pressure Vessel Upper Head, Pressure Vessel  
Lower plenum and Pressurizer...Run 609

RUN S10 COLD LEG BREAK      BREAK DIAMETER 0.0/16.5 MM      UHI ASSEMBLY  
ECCS --- HPI-COLD HP2-COLD AC1-COLD LP1-COLD LP2-COLD UHI-UP, HEAD  
CH- 1 Ø P- 1 (PV. UPPER HEAD ) CH- 2 41 P- 2 (PV. LOWER PLENUM )  
CH- 12 +1 P-12 (PRESSURIZER ) }

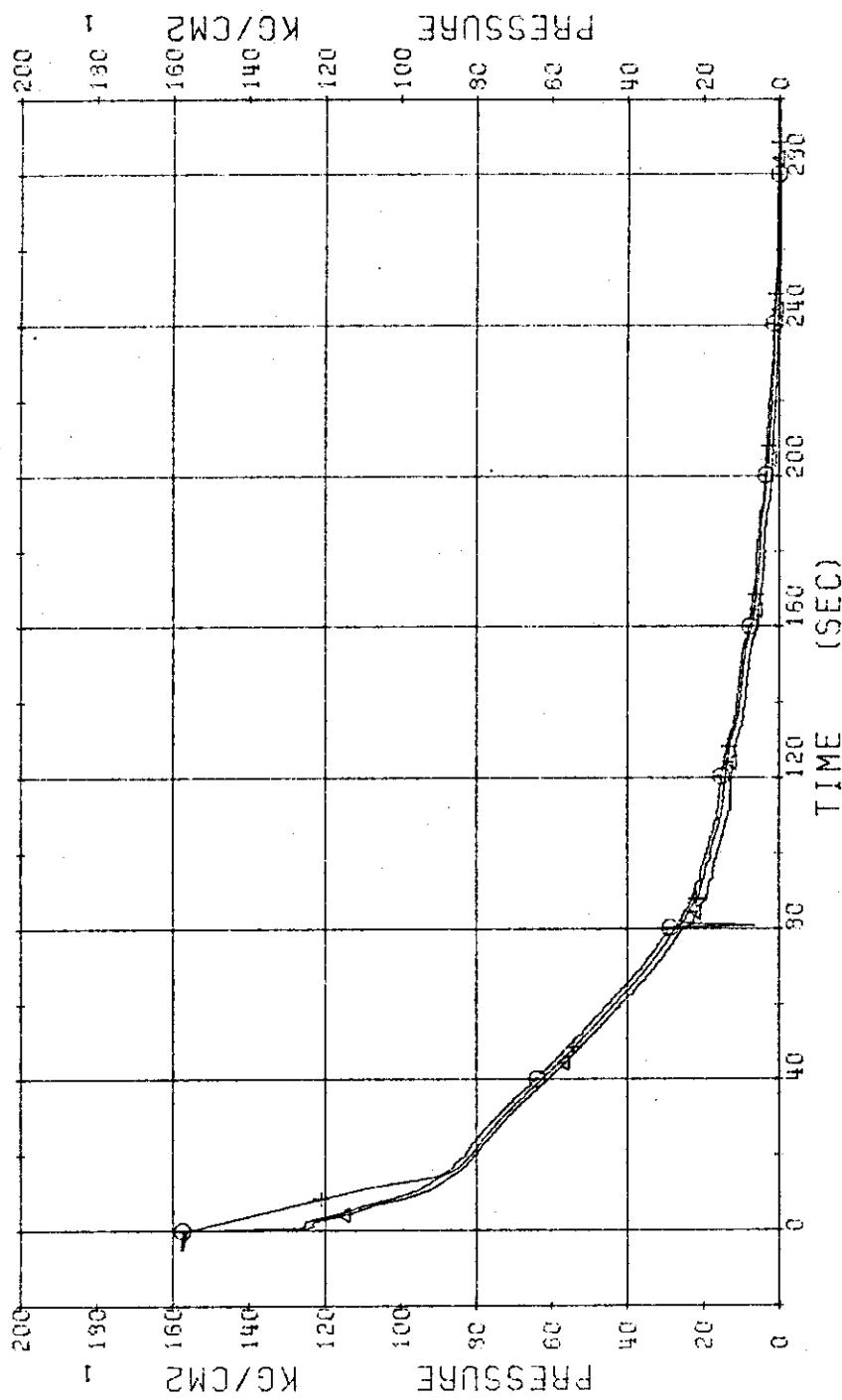


Fig. 3.6 Pressure in Pressure Vessel Upper Head, Pressure Vessel Lower plenum and Pressurizer...Run 610

RUN 603 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY  
 ECCS --- HP1- HP2- AC1-COLD AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD UHI-UP. HEAD  
 CH- 14 Ω D- 1 (PV. TOP-BOTTOM )

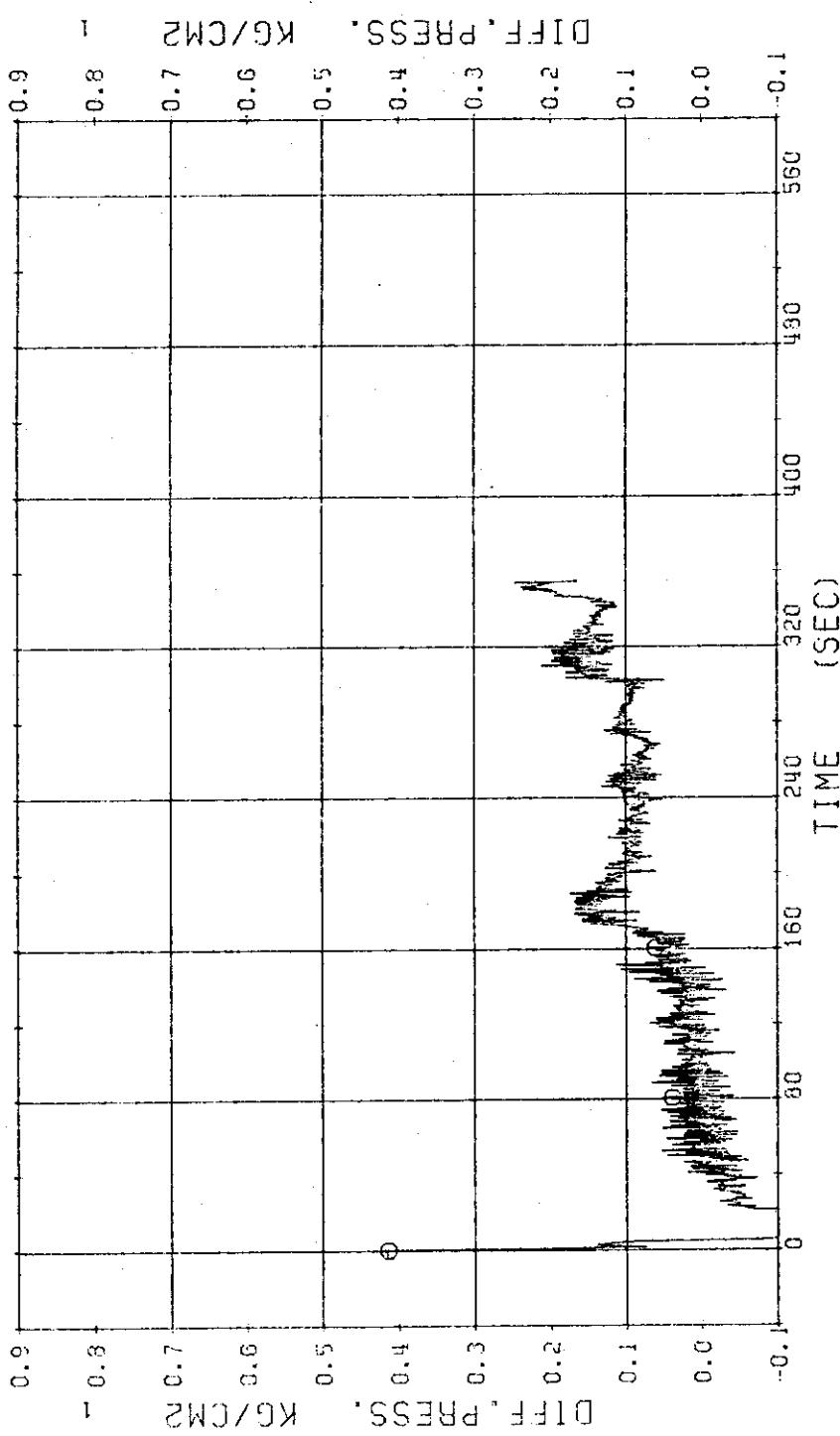


Fig.3.7 Differential Pressure between Top and Bottom of Pressure Vessel...Run 603

RUN 604 COLD LEG BREAK      BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM      UH1 ASSEMBLY  
 ECGS ---      HP1-      HP2-  
 CH- 14 Ω1      D- 1 (PV.TCP.BOTTOM )  
 EC1-COLD      EC2-COLD      LP1-COLD      LP2-COLD      UH1-UP.HEAD

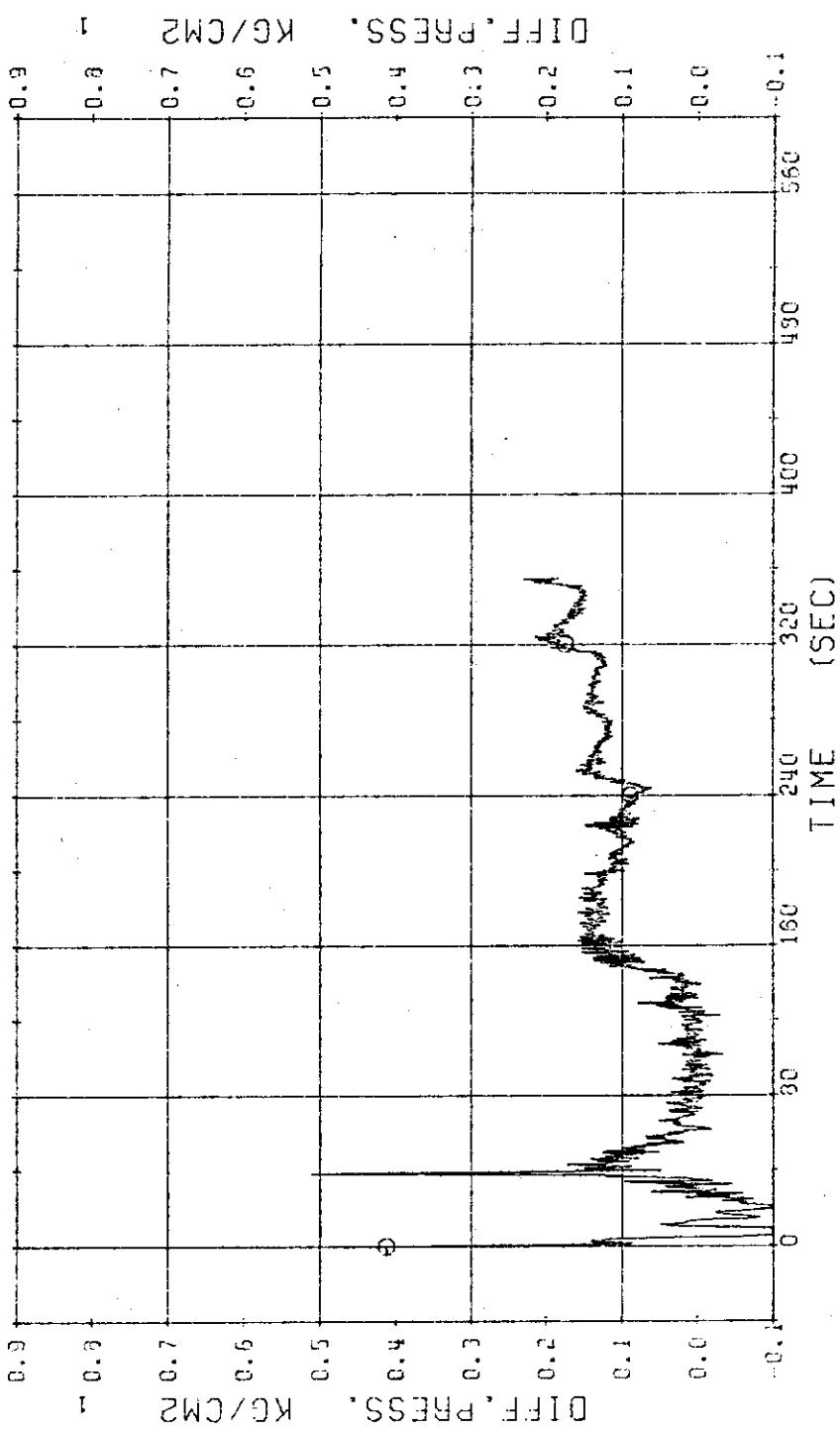


Fig.3.8      Differential Pressure between Top and Bottom of  
 Pressure Vessel...Run 604

RUN 607 COLD LEG BREAK      BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM      UHI ASSEMBLY  
 ECCS --- HP1-      HP2-  
 CH- 14 @ D- 1 (PV. TOP-BOTTOM )

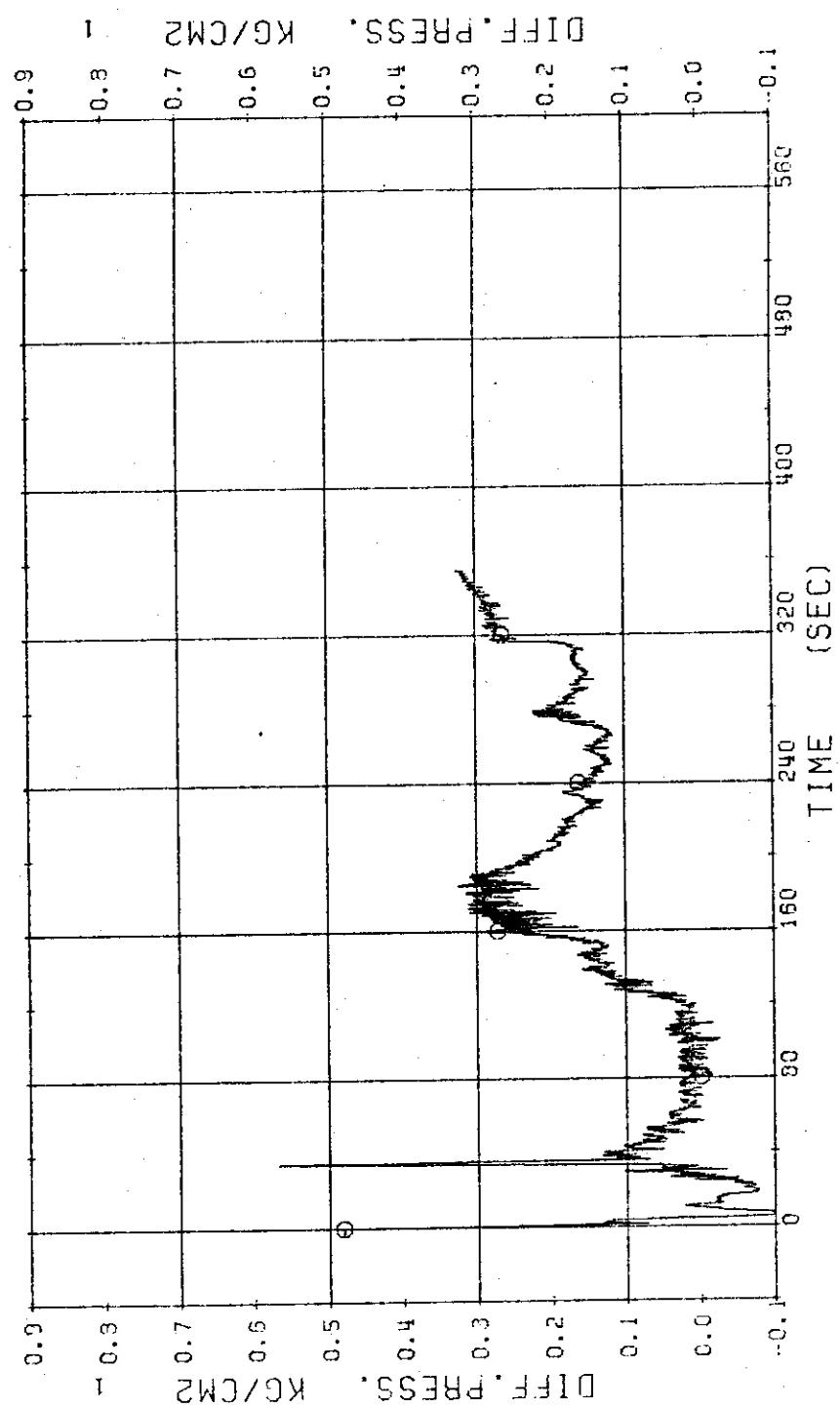


Fig. 3.9 Differential Pressure between Top and Bottom of Pressure Vessel...RUN 607

RUN 608 COLD LEG BREAK      BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM      UHI ASSEMBLY  
ECCS --- HP1-      HP2-      AC1-COLD      AC2-COLD      LP1-COLD      LP2-COLD      UHI-UP, HEAD  
CH- 14 @ D- 1 (PV, TOP-BOTTOM)

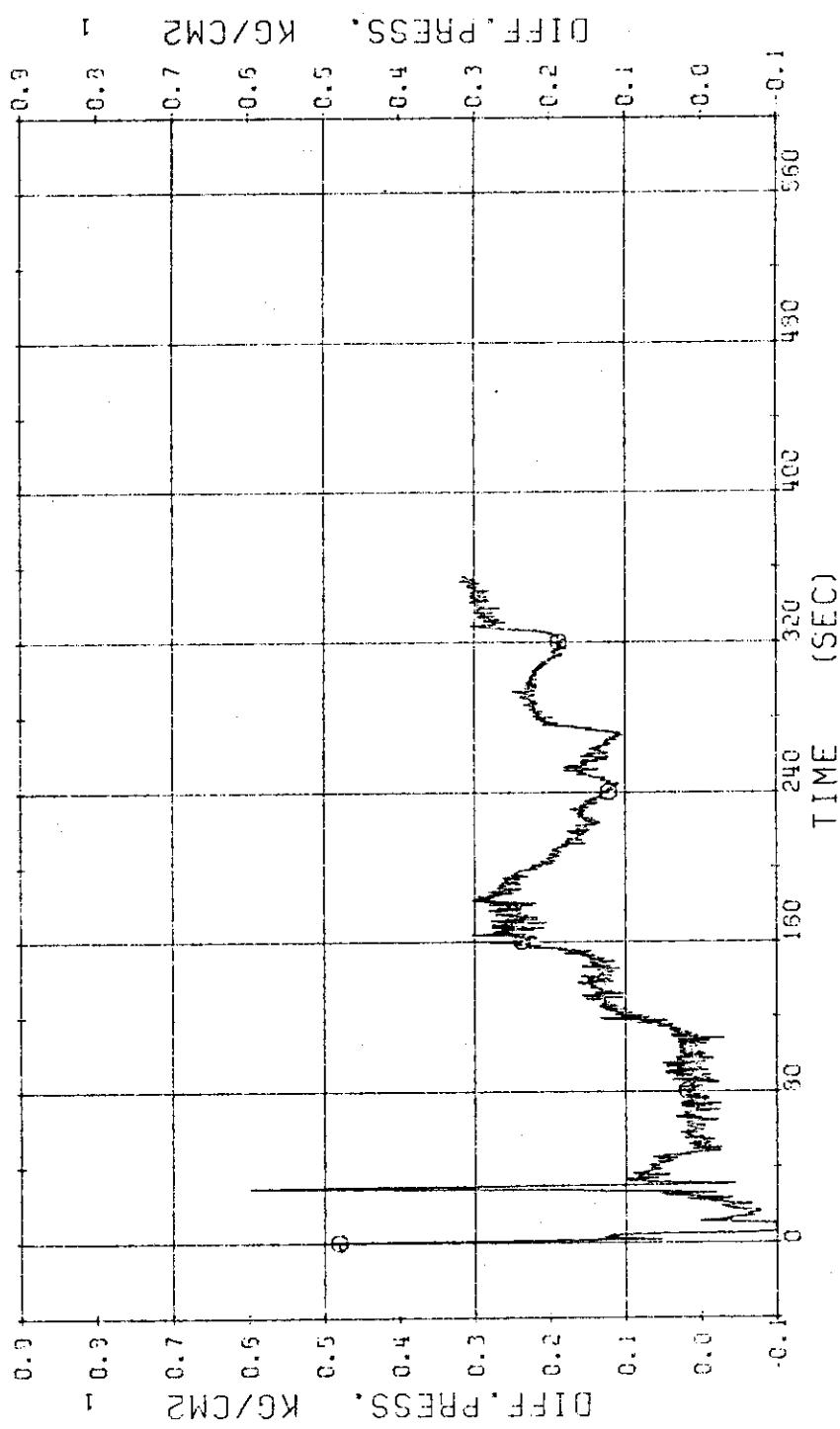


Fig.3.10 Differential Pressure between Top and Bottom of Pressure Vessel...Run 608

RUN 609 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY  
 ECCS --- HP1- HP2- AC1-COLD AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD UHI-UP.HEAD  
 CH- 14 GI D- 1 (PV. TOP-BOTTOM)

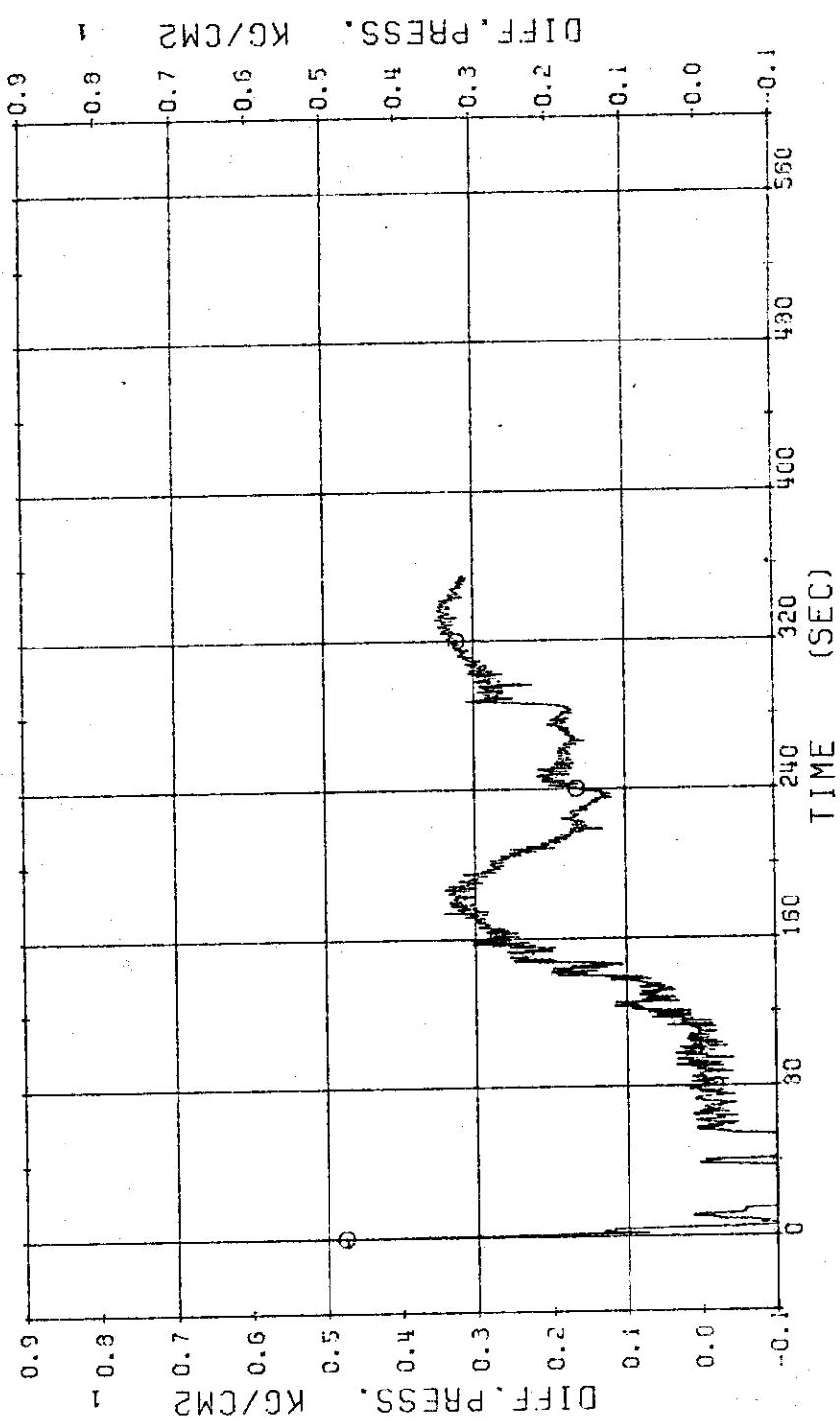


Fig. 5.11 Differential Pressure between Top and Bottom of Pressure Vessel...Run 609

RUN 610 COLD LEG BREAK      BREAK DIAMETER 0.0/16.5 MM      UHI ASSEMBLY  
ECCS --- HP1-COLD HP2-COLD AC1-COLD AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD UHI-UP.HEAD  
CH- 14 DI D- 1 (PV.TOP-BOTTOM )

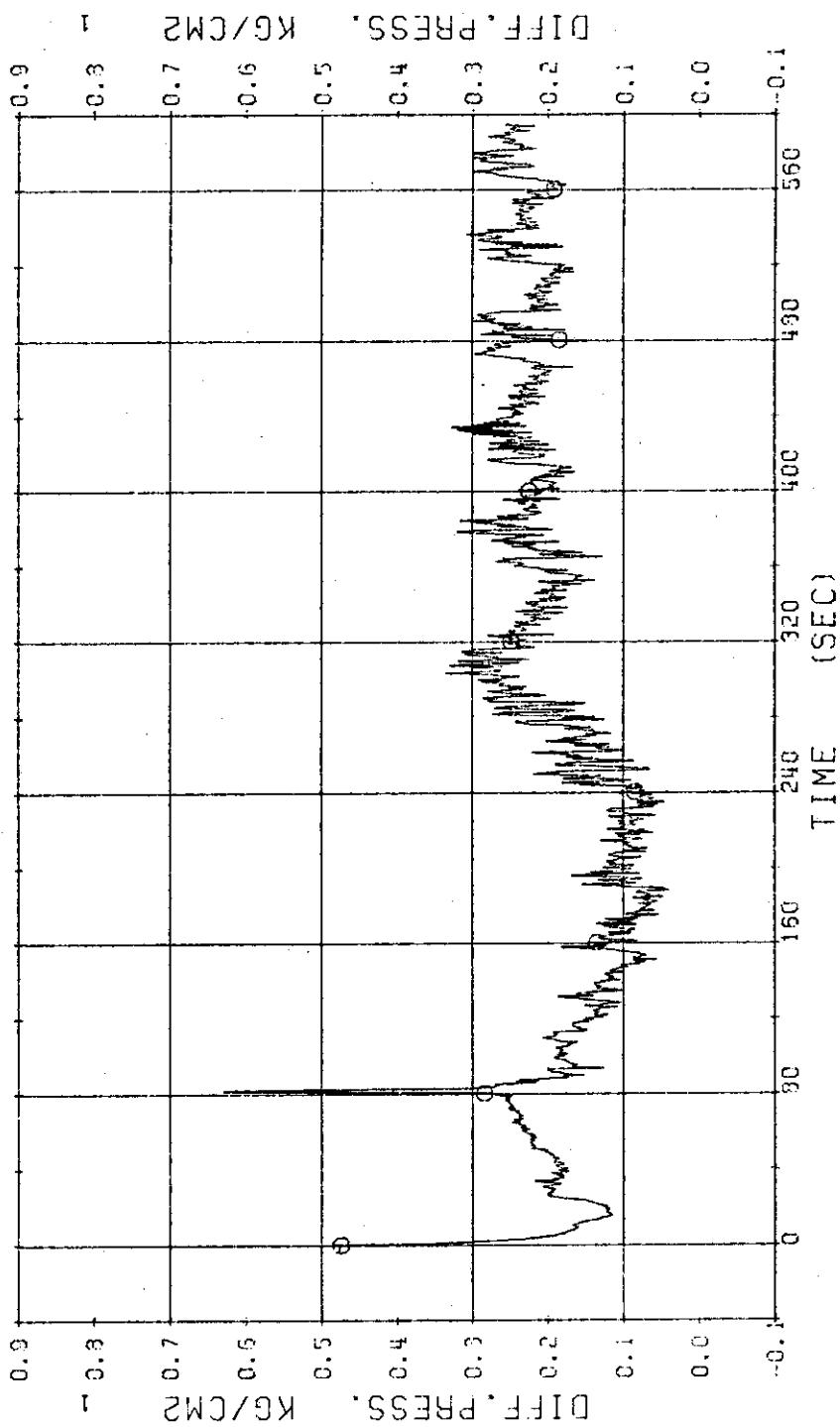


Fig.3.12 Differential Pressure between Top and Bottom of Pressure Vessel...Run 610

RUN 603 COLD LEG BREAK      BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM      UHI ASSEMBLY

ECCS ---	HP1-	HP2-	AC1-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	UHI-UP.HEAD
CH- 69 Q1	TU-8	(UPPER HEAD POSITION NO.2)		CH- 70 A1	TU-9	(UPPER HEAD POSITION NO.3)
CH- 72 H	T-1	(UPPER HEAD POSITION NO.0)				

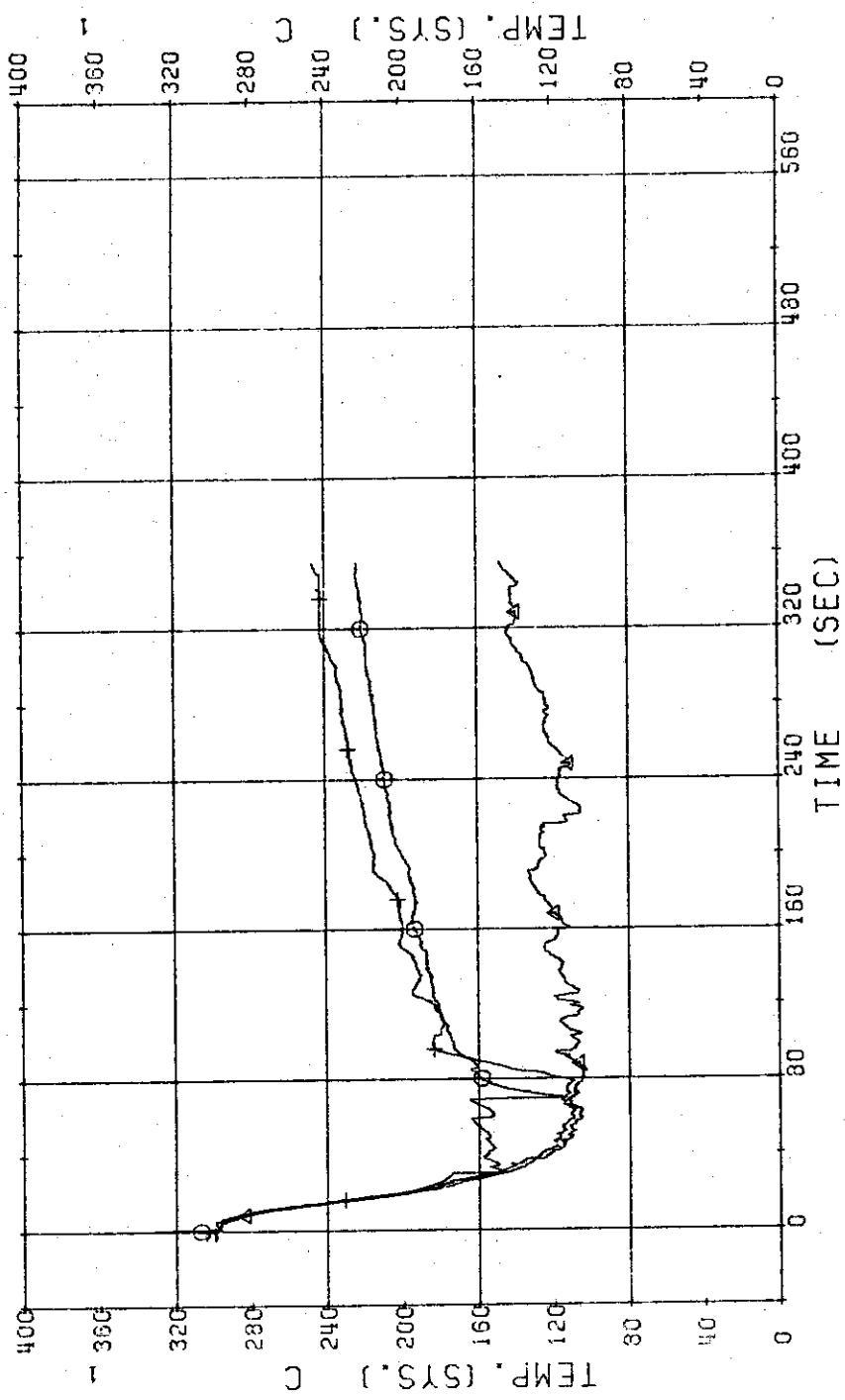


Fig.3.13 Fluid Temperatures at Upper Head Position No.0, No.2, No.3  
...Run 603

RUN 603 COLD LEG BREAK      BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM      UHI ASSEMBLY  
 ECCS --- HP1-      HP2-      AC1-COLD      LP1-COLD      UHI-UP, HEAD  
 CH- 62 CH TU-1      UPPER PLENUM      )  
 CH- 67 CH TU-6 (CONT. ROD GUIDE TUBE )

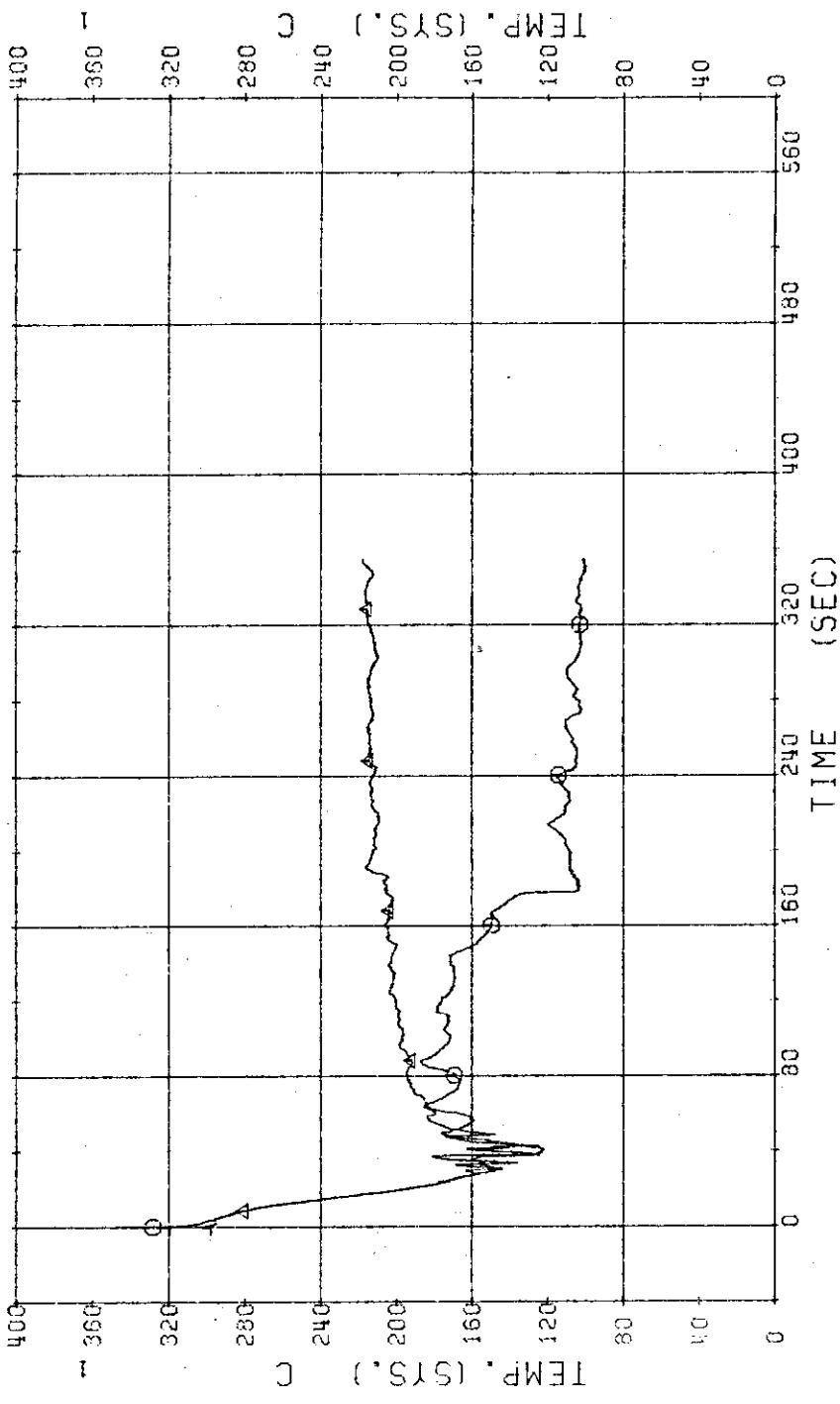


Fig.3.14 Fluid Temperatures at Upper Plenum and  
in the Control Rod Guide Tube....Run 603

RUN 603 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY

ECCS ---	HP1-	HP2-	AC1-COLD	AC2-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	UHI-UP. HEAD
CH- 53 φ	TU-2	{UHI COLUMN NO.1		CH- 64 φ	TU-3	{UHI COLUMN NO.2	
CH- 55 +	TU-4	{UHI COLUMN NO.3	}	CH- 66 *	TU-5	{UHI COLUMN NO.4	}

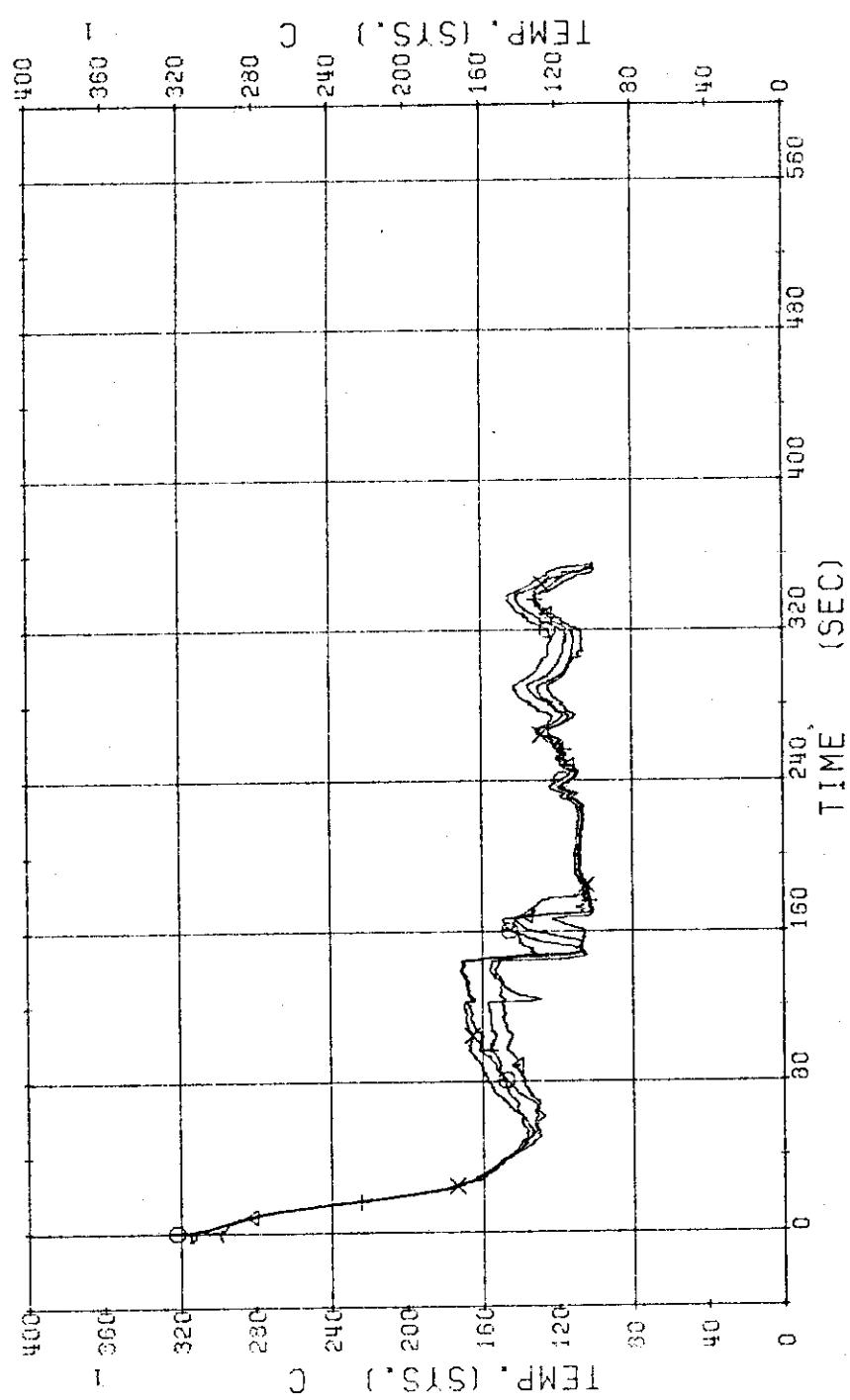


Fig. 3.15 Fluid Temperatures in UHI Column No.1 ~ No.4 . . . Run 603

RUN 604 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY  
 ECCS --- HP1- HP2- AC1-COLD AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD UHI-UP, HEAD  
 CH- 6<sup>2</sup> CH- TU-7 UPPER HEAD POSITION NO. 10 CH- 69 TU-3 UPPER HEAD POSITION NO. 20  
 CH- 76 CH- TU-9 UPPER HEAD POSITION NO. 30 CH- 72 TU-1 UPPER HEAD POSITION NO. 30

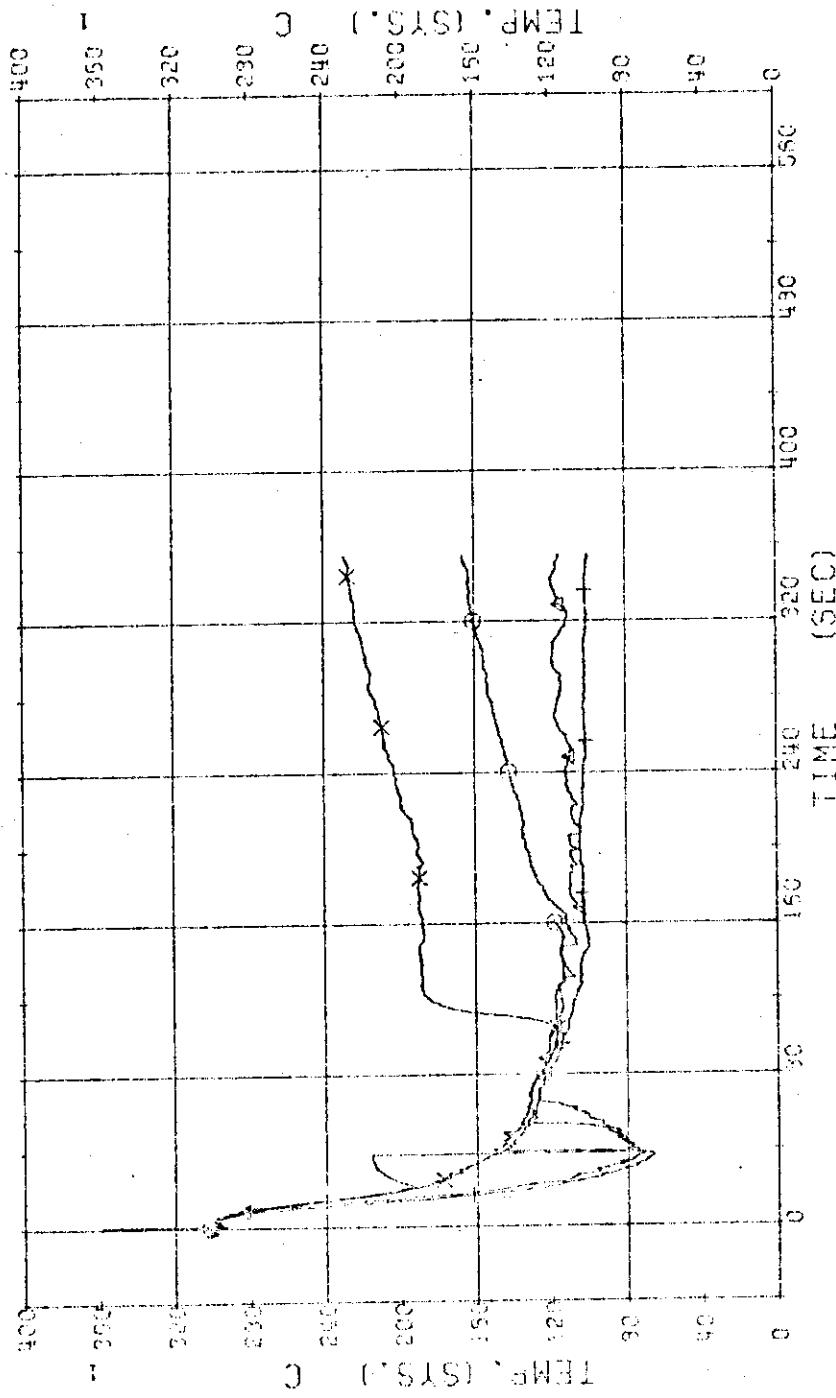


Fig. 3.16 Fluid Temperatures at Upper Head Position No. 0 ~ No. 3. ... Run 604

RUN 604 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHT ASSEMBLY  
ECCS --- HP1- HP2- AC1-COLD LP1-COLD LP2-COLD UHT-UP. HEAD  
CH- 52 AI TU-1 (UPPER PLenum) CH- 67 AI TU-5 (CONT. RED GUIDE TUBE )

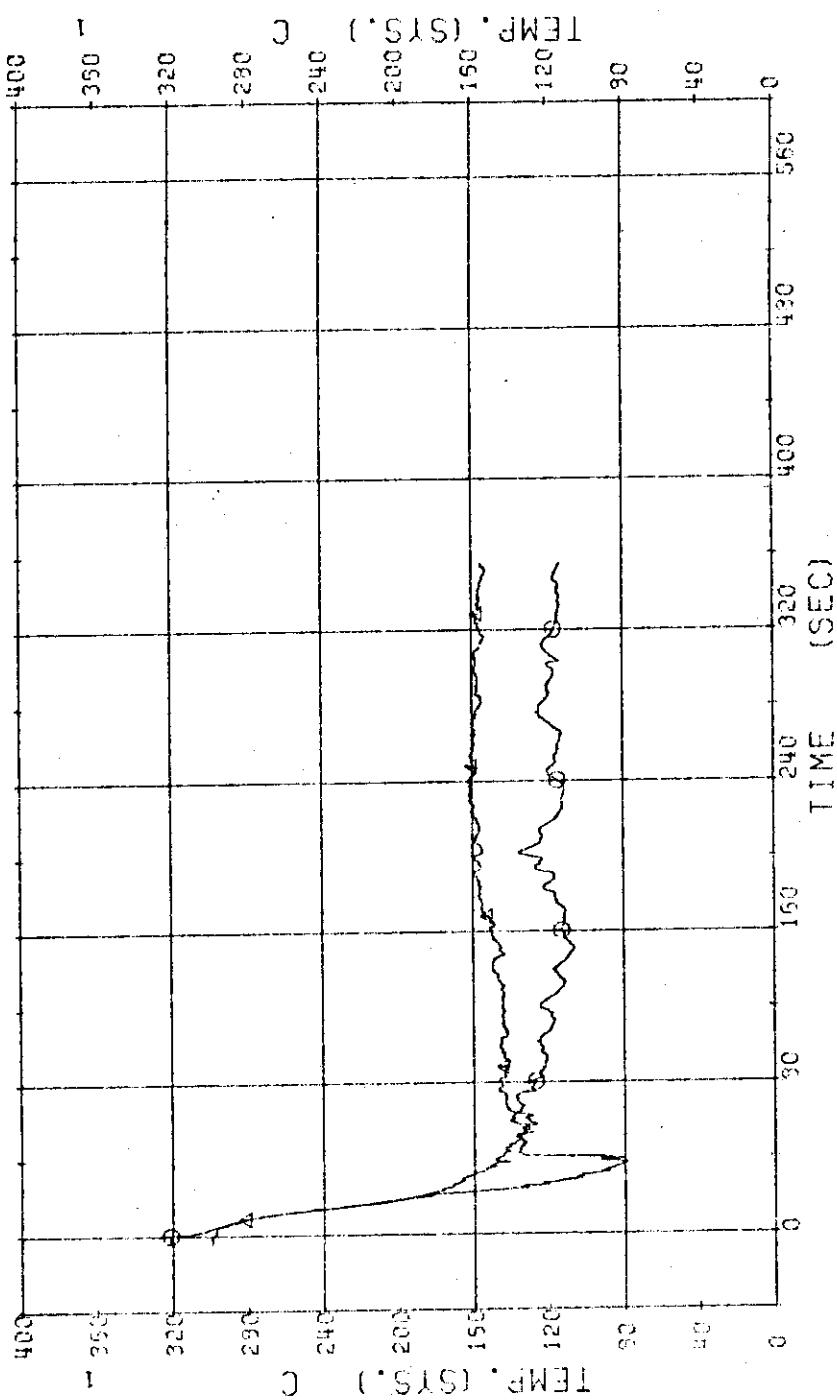


Fig.3.17 Fluid Temperatures at Upper Plenum and in the Control Rod Guide Tube. ...Run 604

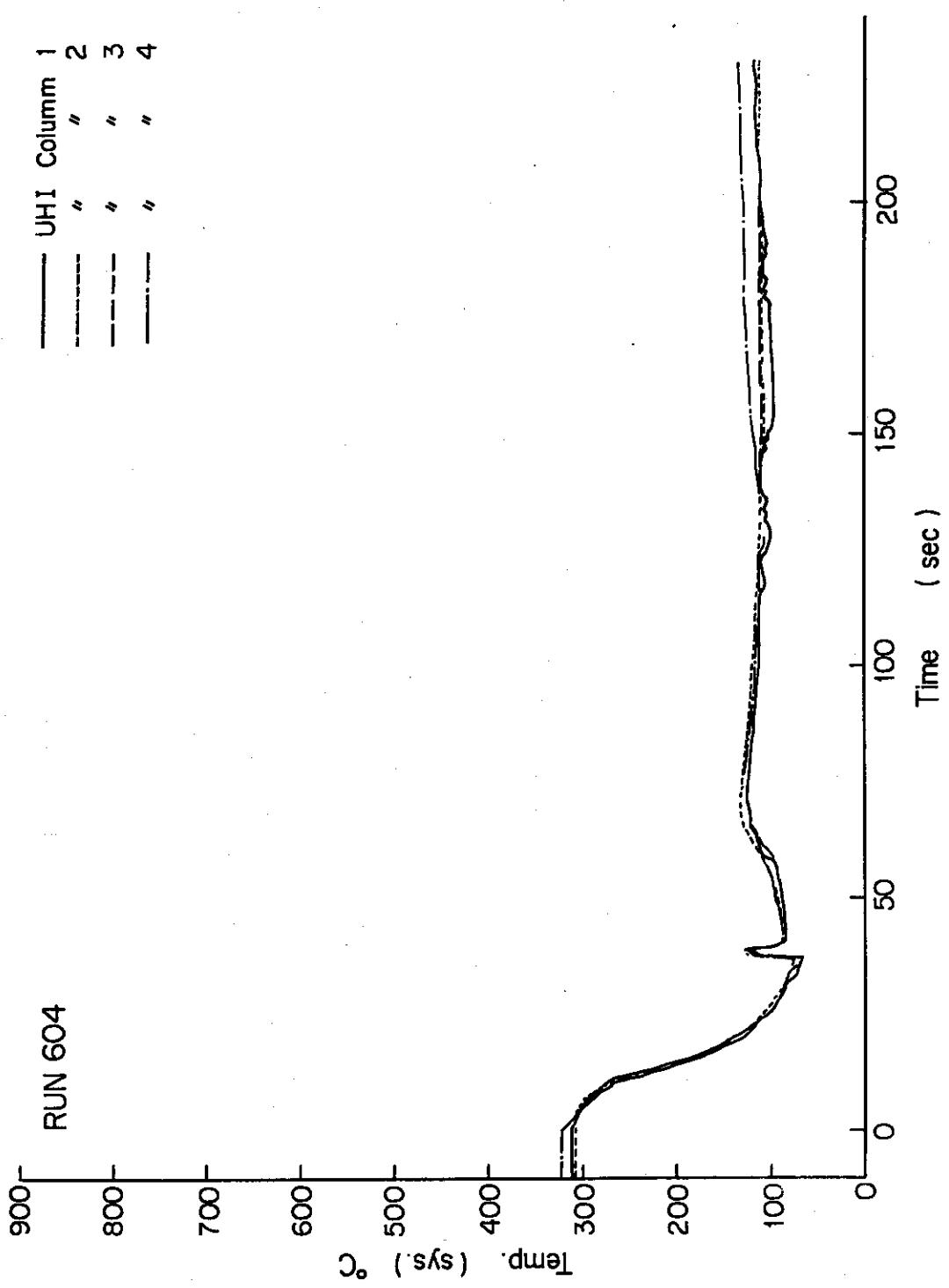


Fig. 3.18 Fluid Temperatures in UHI Column No. 1~No. 4 . . . Run 604

RUN 607 COLD LEG BREAK - BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY

ECCS ---	HP1-	HP2-	AC1-COLD	AC2-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	UHI-UP. HEAD
CH- 68 OI	TU-7	TU-8	UPPER HEAD POSITION NO.1)	CH- 69 AI	TU-3	UPPER HEAD POSITION NO.2)	
CH- 70 +I	TU-9	TU-1	UPPER HEAD POSITION NO.3)	CH- 72 X	T-1	UPPER HEAD POSITION NO.0)	

J A E R I - M 6 7 0 7

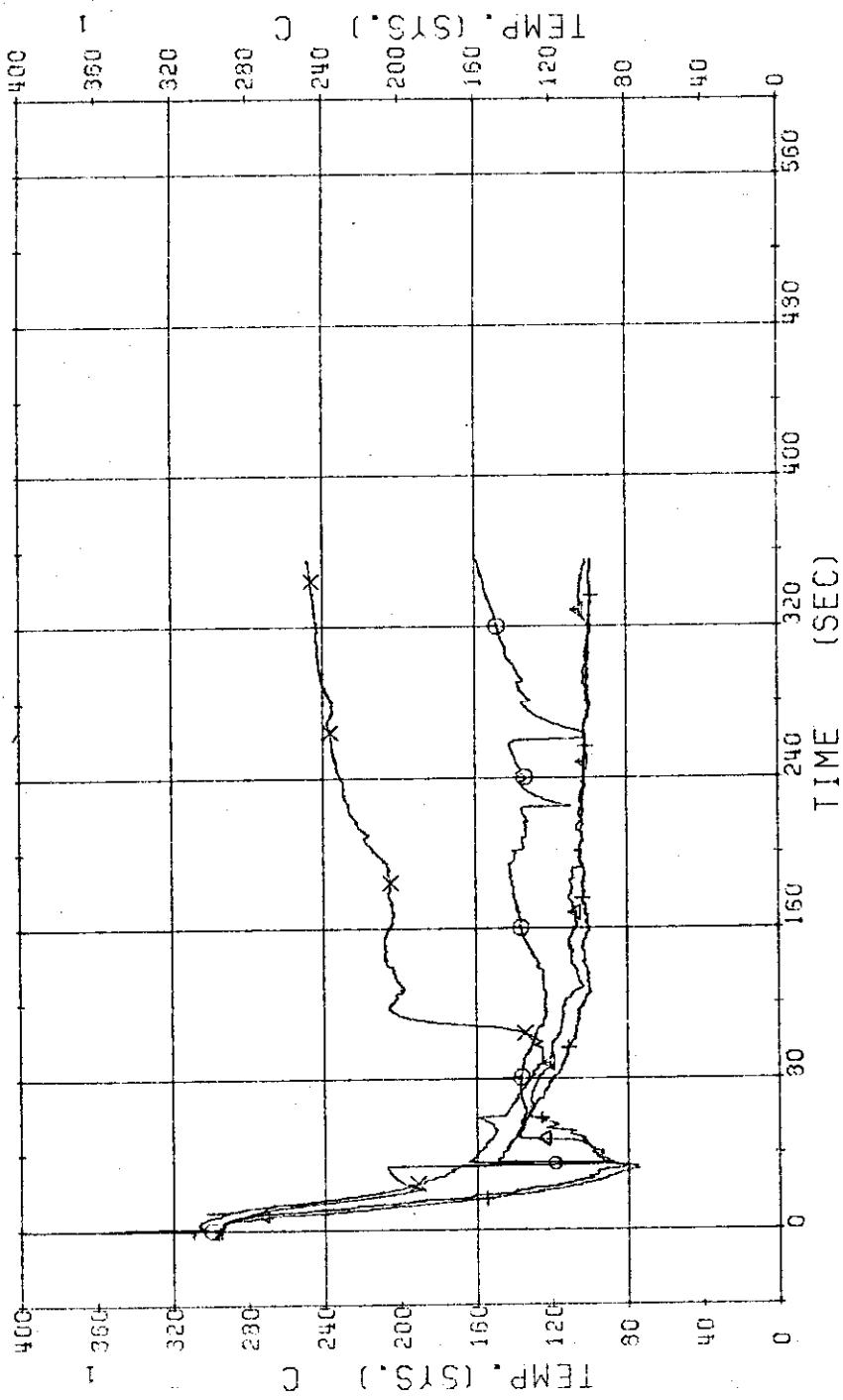


Fig.3.19 Fluid Temperatures at Upper Head Position No.0~No.3. . . Run 607

RUN 607 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UH1 ASSEMBLY  
 ECCS --- HP1- HP2- AC1-COLD AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD UH1-UP.HEAD  
 CH- 62 @ TU-1 (UPPER PLENUM ) CH- 67 @ TU-6 (CONT. ROD GUIDE TUBE )

JAERI-M 6707

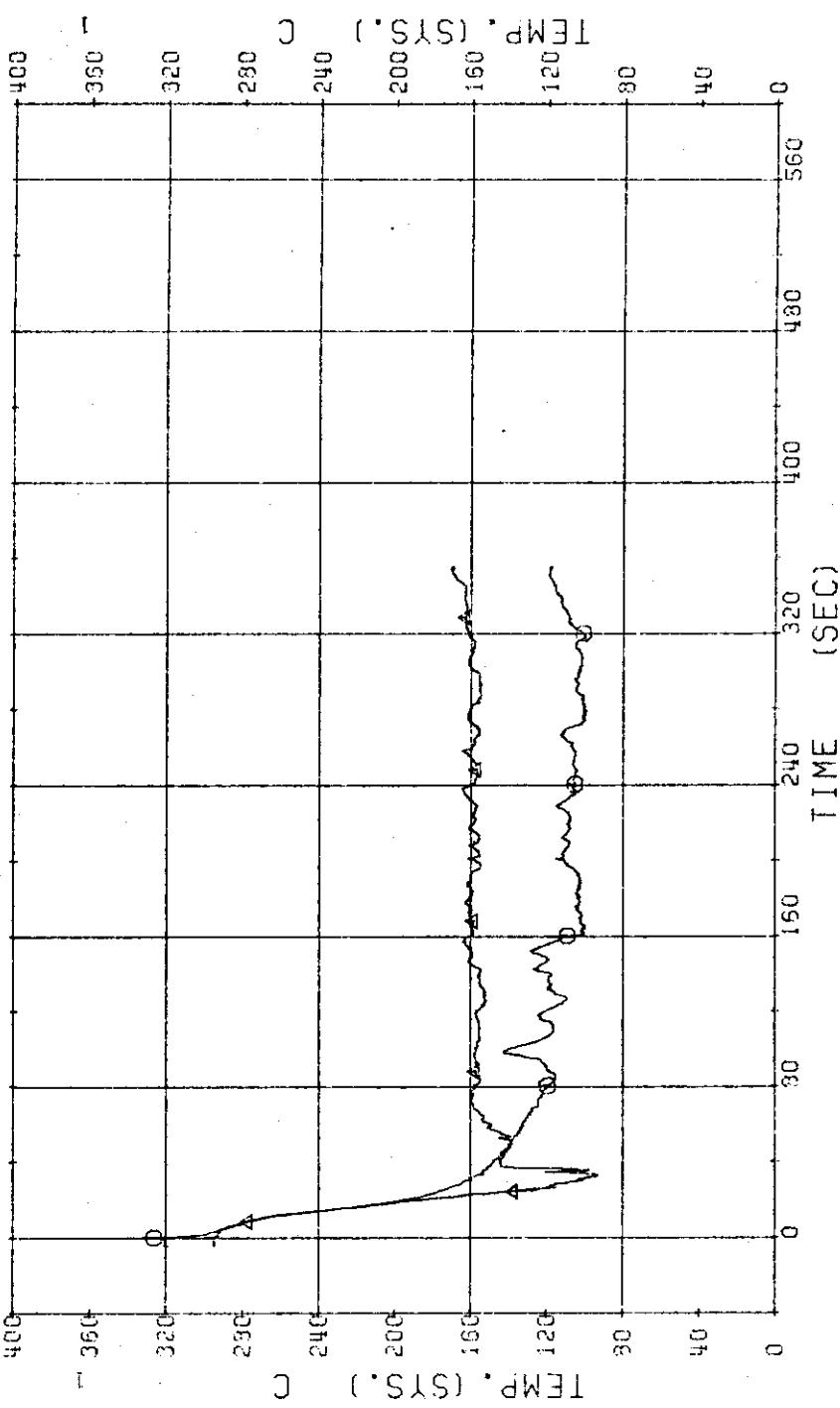


Fig. 3.20 Fluid Temperatures at Upper Plenum and in the Control Rod Guide Tube. . .Run 607

RUN 607 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY

ECCS ----	HP1- CH- 63	HP2- CH- 65	AC1-COLD TU-2 TU-4	AC2-COLD TU-1 TU-3 TU-5	LP1-COLD UHI COLUMN NO.1 UHI COLUMN NO.3	LP2-COLD UHI COLUMN NO.2 UHI COLUMN NO.4
	Ω	+				)

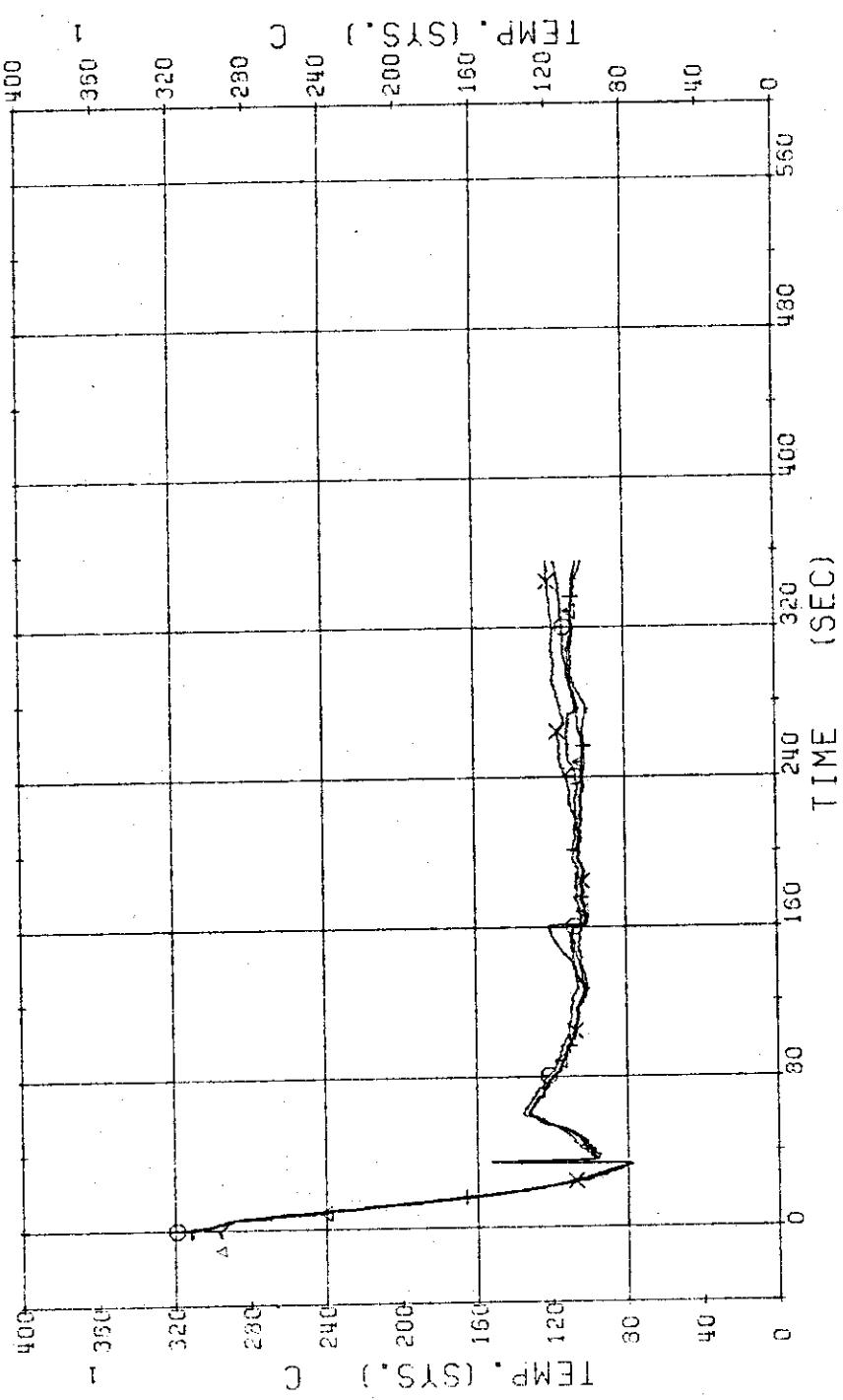


Fig. 3.21 Fluid Temperatures in UHI Column No.1~No.4 . . . Run 607

RUN 608 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY

ECCS ---	HP1-	HP2-	FC1-COLD	AC2-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	UHI-UP.HEAD
CH- 63 ①	TU-7	(UPPER HEAD POSITION NO.1)	CH- 69 ④	TU-9	T-1	(UPPER HEAD POSITION NO.2)	
CH- 70 +1	TU-9	(UPPER HEAD POSITION NO.3)	CH- 72 ②			(UPPER HEAD POSITION NO.0)	

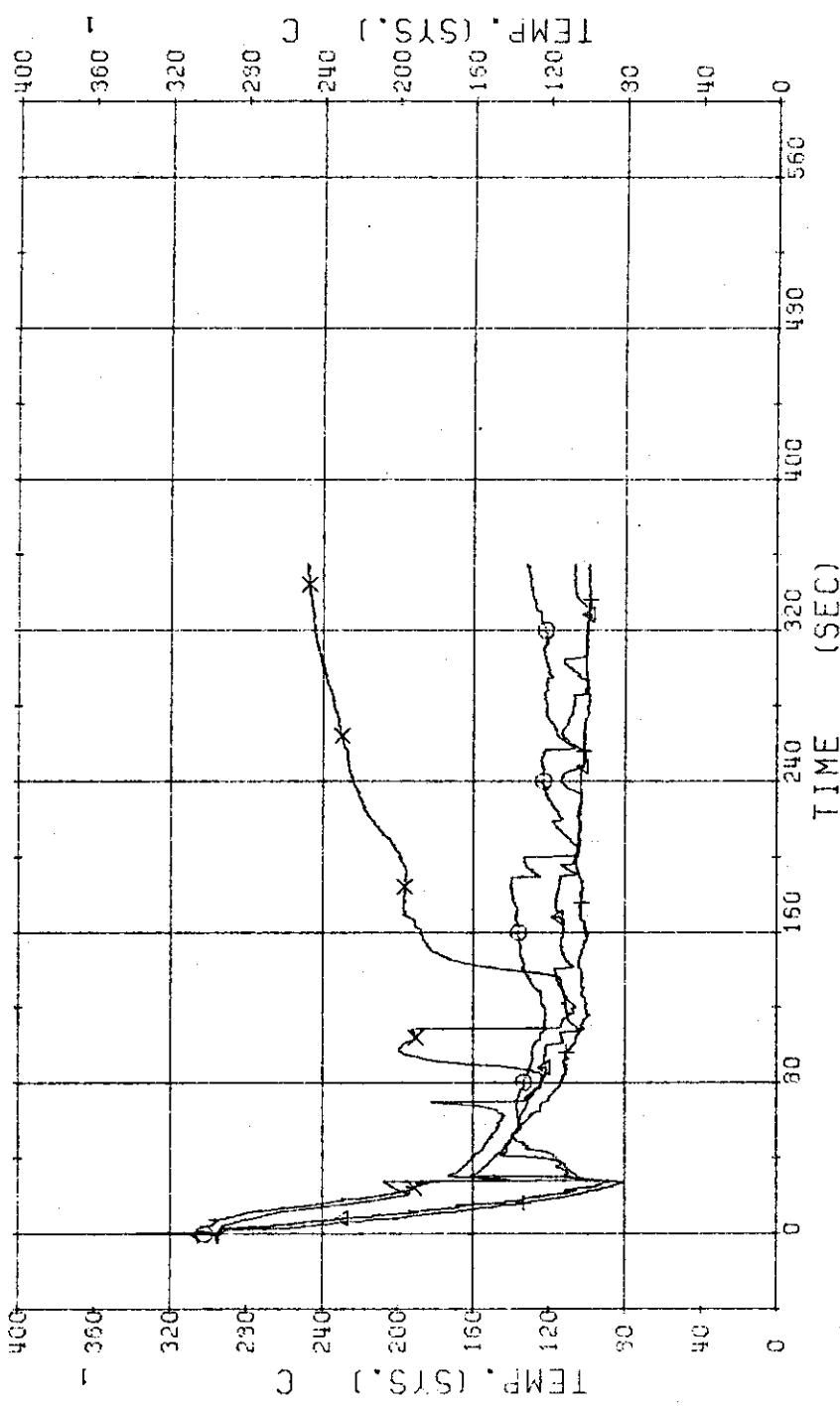


Fig.3.22 Fluid Temperatures at Upper Head Position No.0~No.3. . .Run 608

RUN 608 COLD LEG BREAK      BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM      UHI ASSEMBLY  
 ECCS --- HP1-      HP2-      AC1-COLD      AC2-COLD      LP1-COLD      LP2-COLD      UHI-UP. HEAD  
 CH- 62 @ TU-1 (UPPER PLENUM )      CH- 67 @ TU-6 (CONT. ROD GUIDE TUBE )

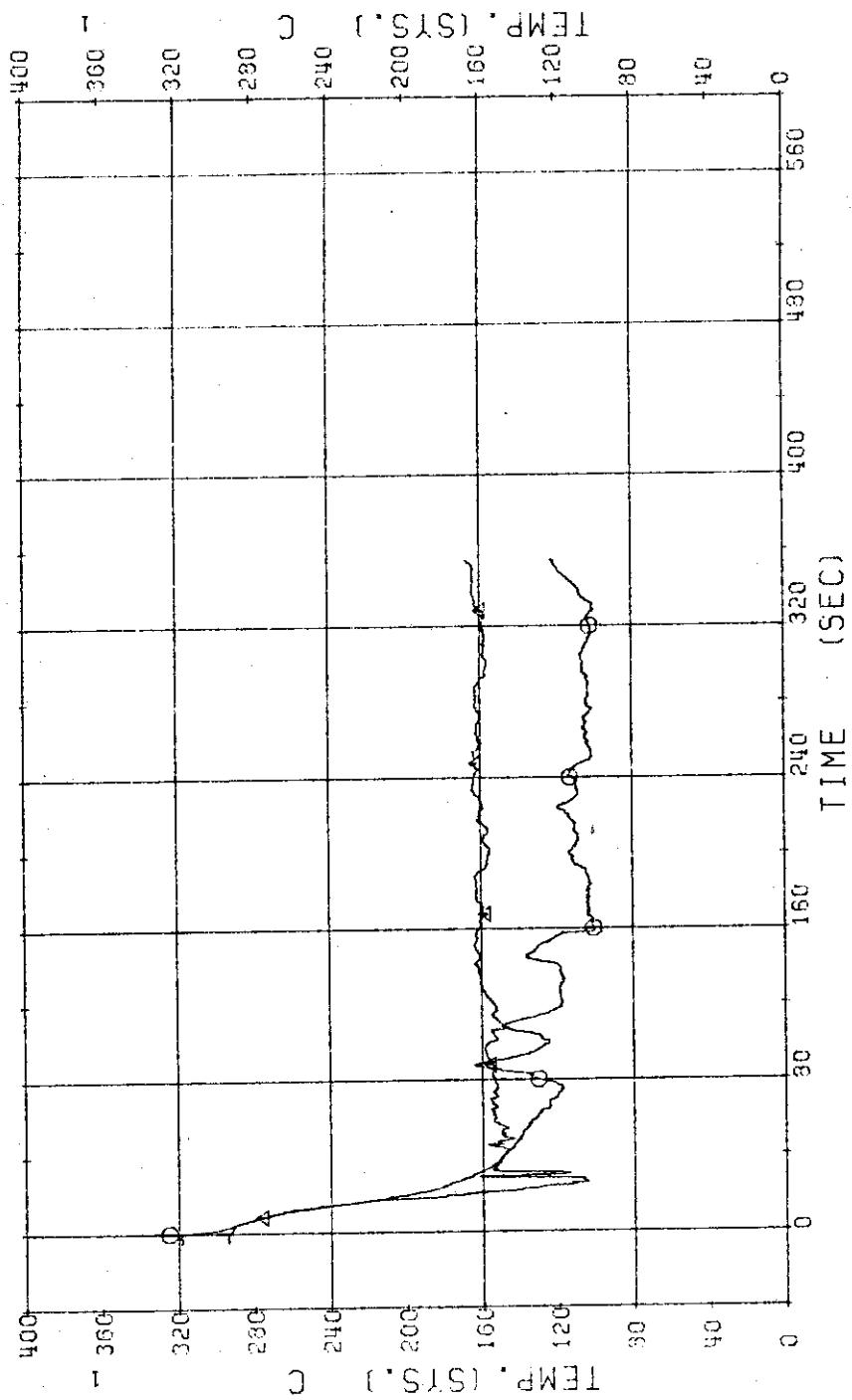


Fig. 3.23 Fluid Temperatures at Upper Plenum and in the Control Rod Guide Tube. ...Run 608

RUN 608 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY

ECCS ---	HP1-	HP2-	AC1-COLD	AC2-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	UHI-UP.HEAD
CH- 53 Q1	TU-2	UHI COLUMN NO.1	CH- 64	TU-3	UHI COLUMN NO.2		
CH- 55 +1	TU-4	UHI COLUMN NO.3	CH- 66 X1	TU-5	UHI COLUMN NO.4		

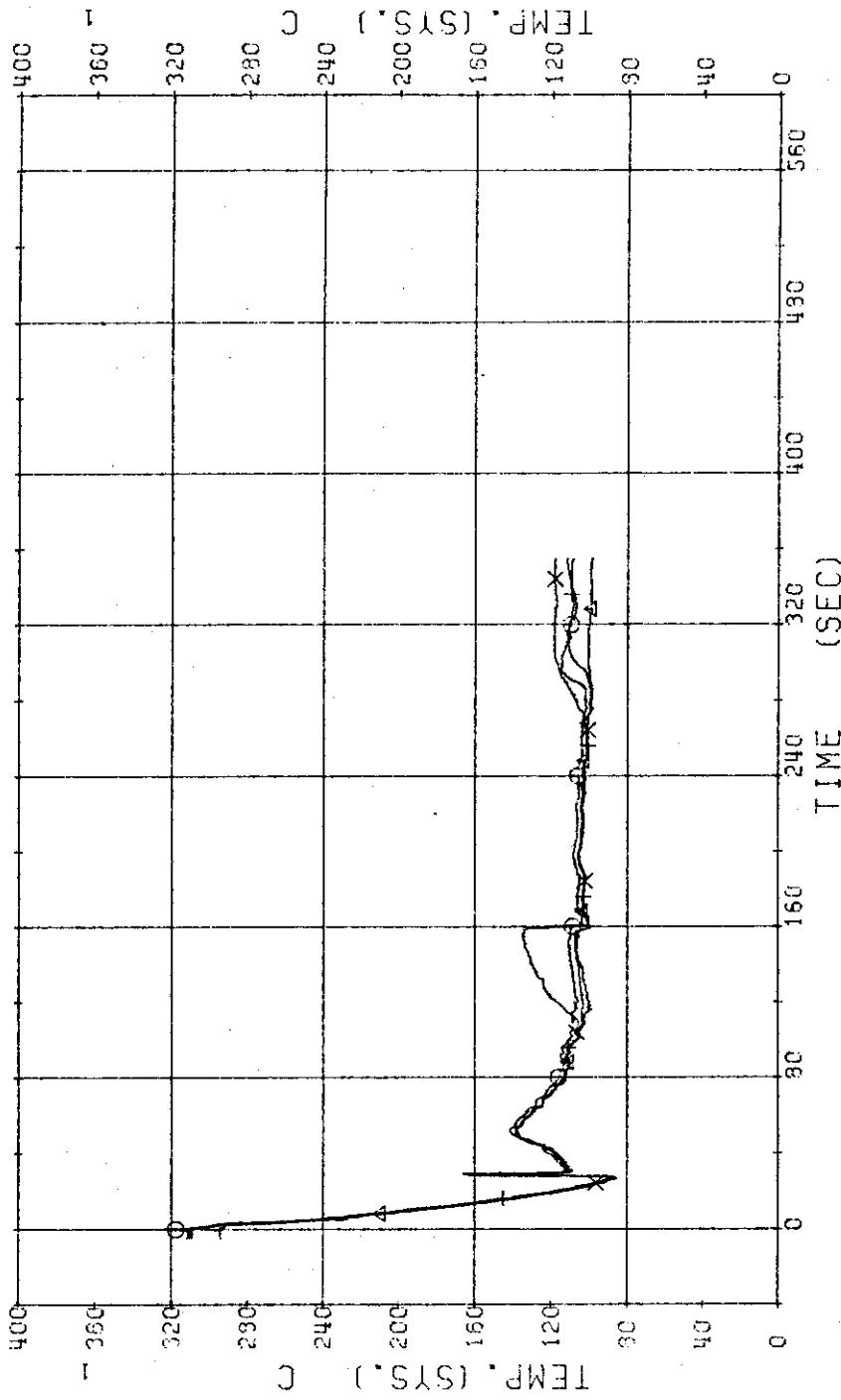


Fig.3.24 Fluid Temperatures in UHI Column No.1~No.4 . . . Run 608

RUN 609 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY

ECCS ----	HP1- -	HP2- -	AC1-COLD	AC2-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	UHI-UP. HEAD
CH- 63 φ	TU-7	UPPER HEAD POSITION NO.1)	CH- 69 φ	TU-3	UPPER HEAD POSITION NO.2)		
CH- 70 +	TU-9	UPPER HEAD POSITION NO.3)	CH- 72 X	T-1	UPPER HEAD POSITION NO.0)		

JAERI-M 6707

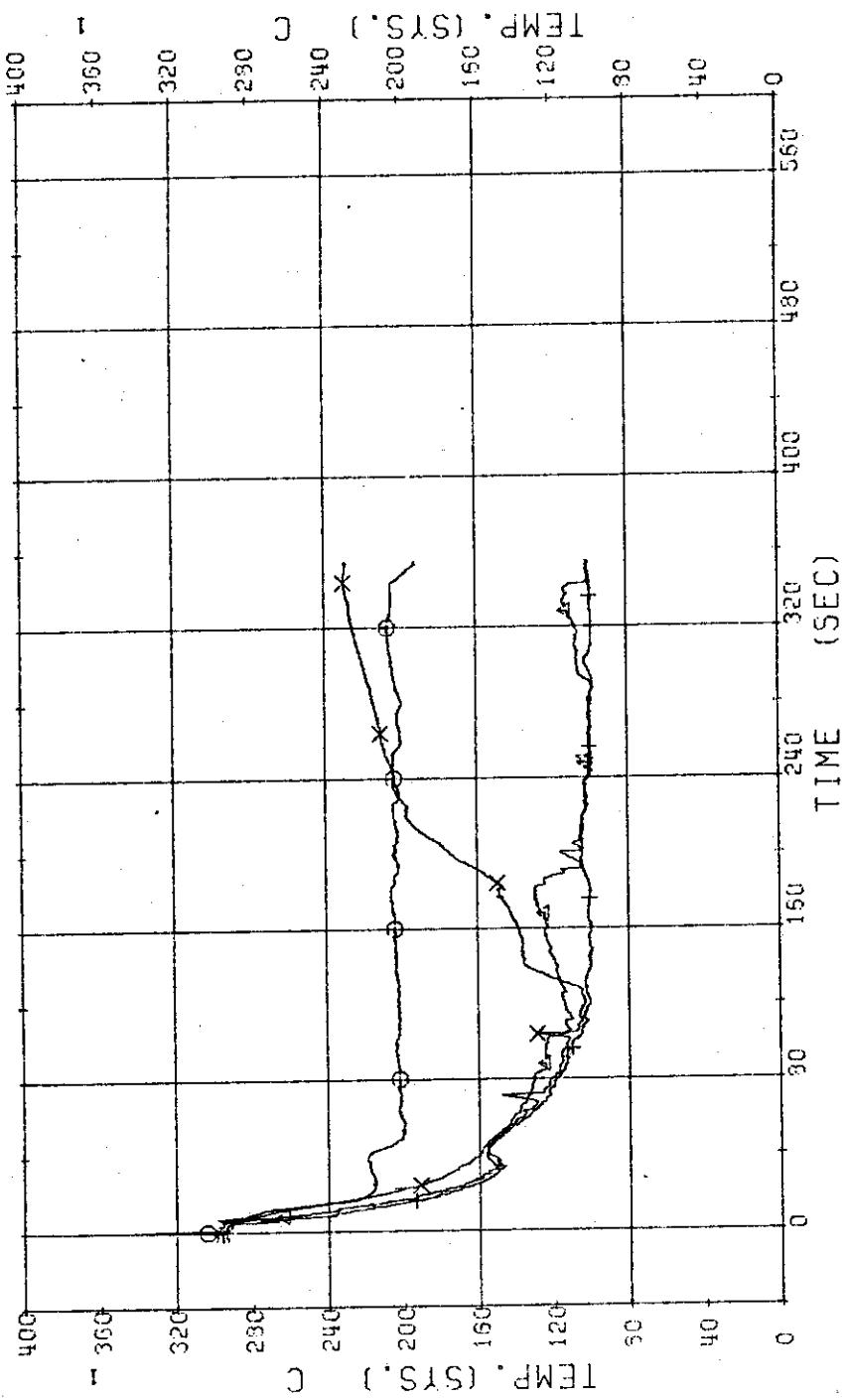


Fig. 3.25 Fluid Temperatures at Upper Head Position No.0~No.3. . .Run 609

RUN 609 COLD LEG BREAK      BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY  
 ECCS --- HP1-      AC1-COLD AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD JHI-UP.HEAD  
 CH- 62 @1 TU-1 (UPPER PLENUM )      CH- 57 & TU-6 (CONT. ROD GUIDE TUBE )

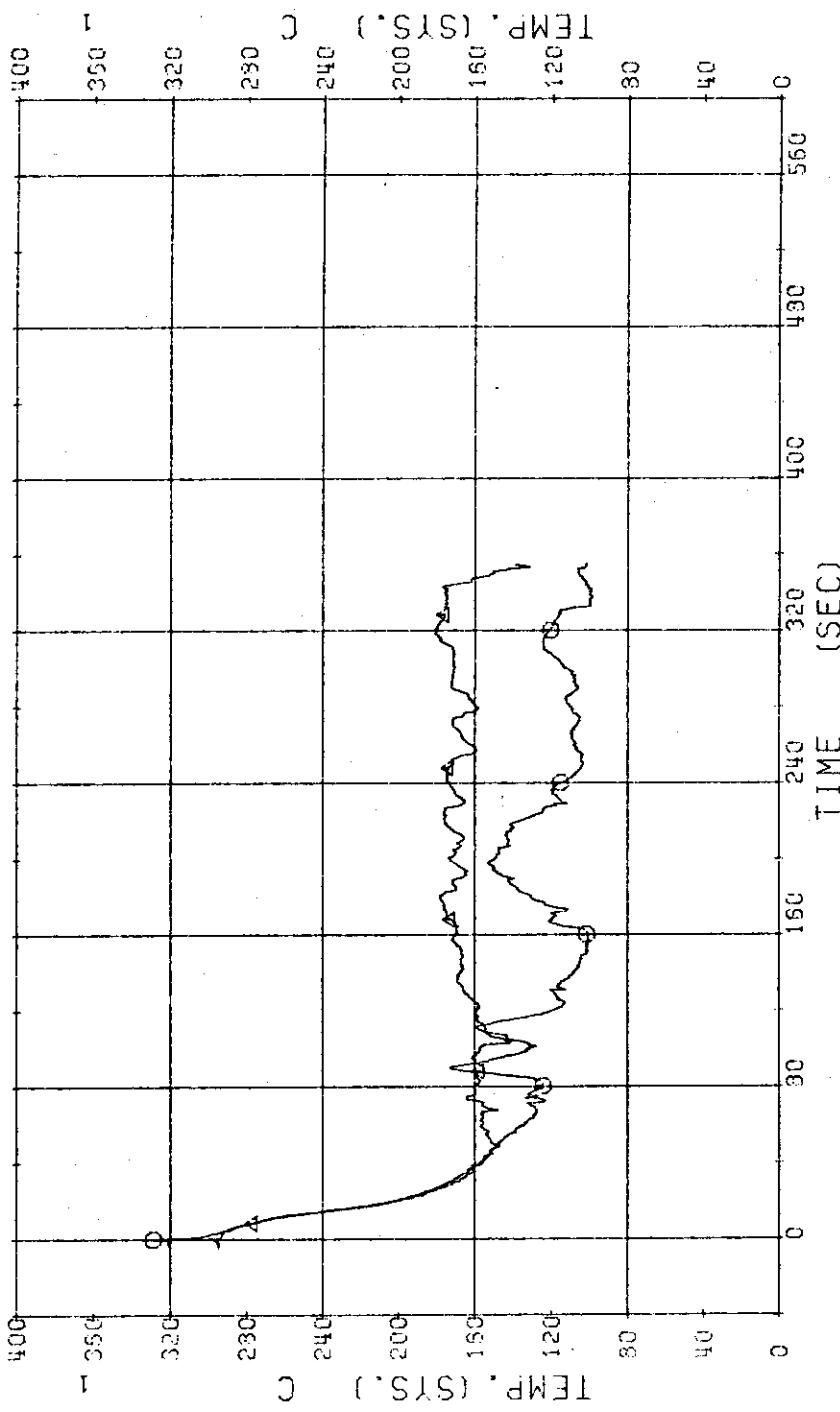


Fig. 3.26 Fluid Temperatures at Upper Plenum and  
in the Control Rod Guide Tube. ...Run 609

RUN 609 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY

ECCS ---	HP1-	HP2-	AC1-COLD	AC2-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	UHI-UP.HEAD
CH- 63 61	TU-2	UHI COLUMN NO.1		CH- 64 61	TU-3	UHI COLUMN NO.2	
CH- 65 61	TU-4	UHI COLUMN NO.3	)	CH- 66 X	TU-5	UHI COLUMN NO.4	)

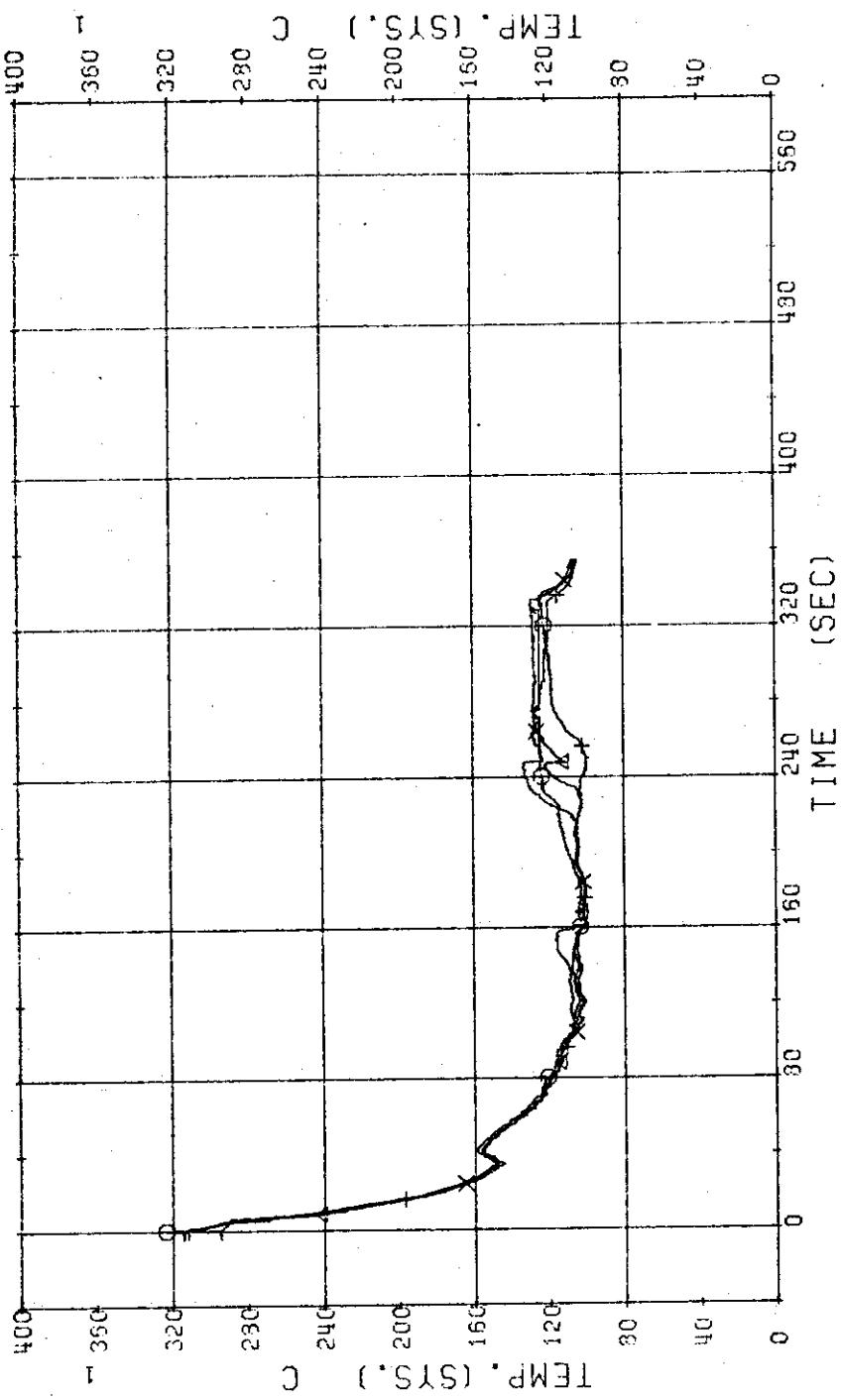


Fig.3.27 Fluid Temperatures in UHI Column No.1~No.4. . . Run 609

RUN 610 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 0.0/16.5 MM UHI ASSEMBLY  
ECCS --- HP1-COLD HP2-COLD AC1-COLD AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD UHI-UP, HEAD  
CH- 63 φ1 TU-7 (UPPER HEAD POSITION NO.1) CH- 62 φ1 TU-3 (UPPER HEAD POSITION NO.2)  
CH- 70 +1 TU-3 (UPPER HEAD POSITION NO.3) CH- 72 φ1 TU-1 (UPPER HEAD POSITION NO.0)

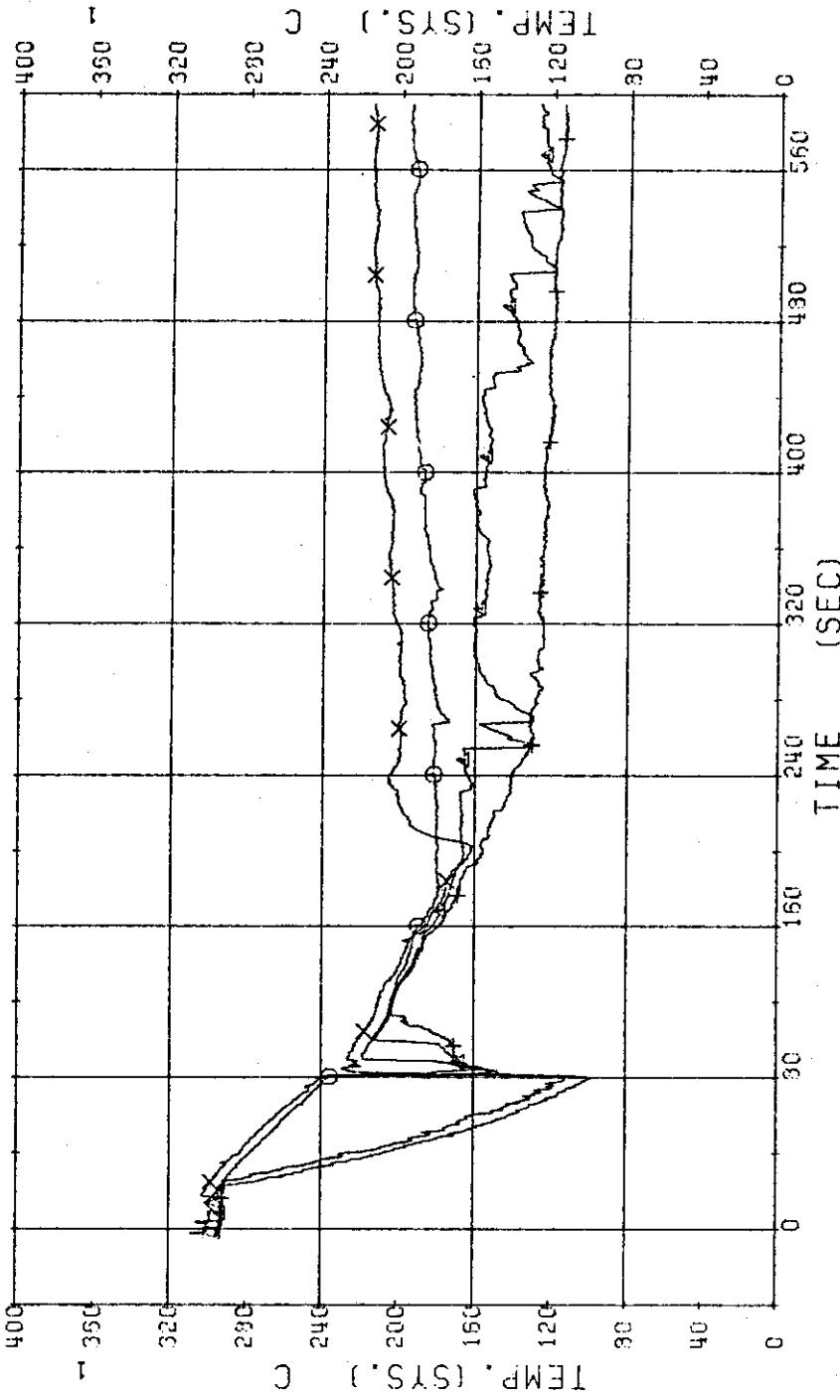


Fig.3.28 Fluid Temperatures at Upper Head Position No.0~No.3. ...Run 610

RUN 610 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 0.0/16.5 MM UHI ASSEMBLY  
ECCS ---- HP1-COLD HP2-COLD AC1-COLD AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD UHI-UP, HEAD  
CH- 62 CH TU-1 (UPPER PLenum ) CH- 67 TU-6 (CONT. ROD GUIDE TUBE )

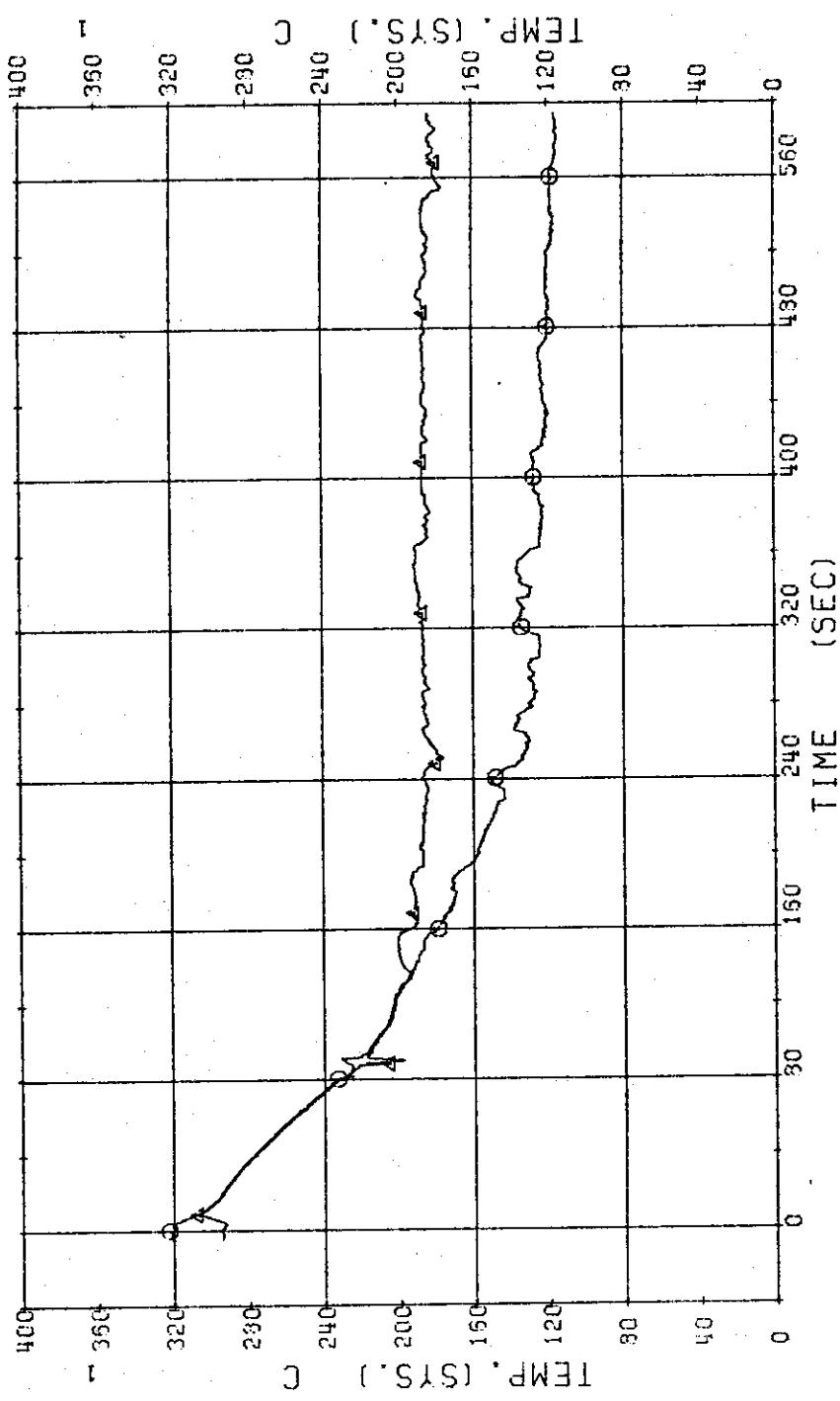


Fig. 3.29 Fluid Temperatures at Upper Plenum and in the Contorol Rod Guide Tube . . . Run 610

RUN 610 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 0.0/16.5 MM UHI ASSEMBLY

ECCS ----	HP1-COLD	HP2-COLD	AC1-COLD	AC2-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	UHI-UP. HEAD
CH- 63 Q1	TU-2	(UHI COLUMN NO.1)	)	CH- 64 A1	TU-3	(UHI COLUMN NO.2)	
CH- 65 H1	TU-4	(UHI COLUMN NO.3)	)	CH- 66 X1	TU-5	(UHI COLUMN NO.4)	)

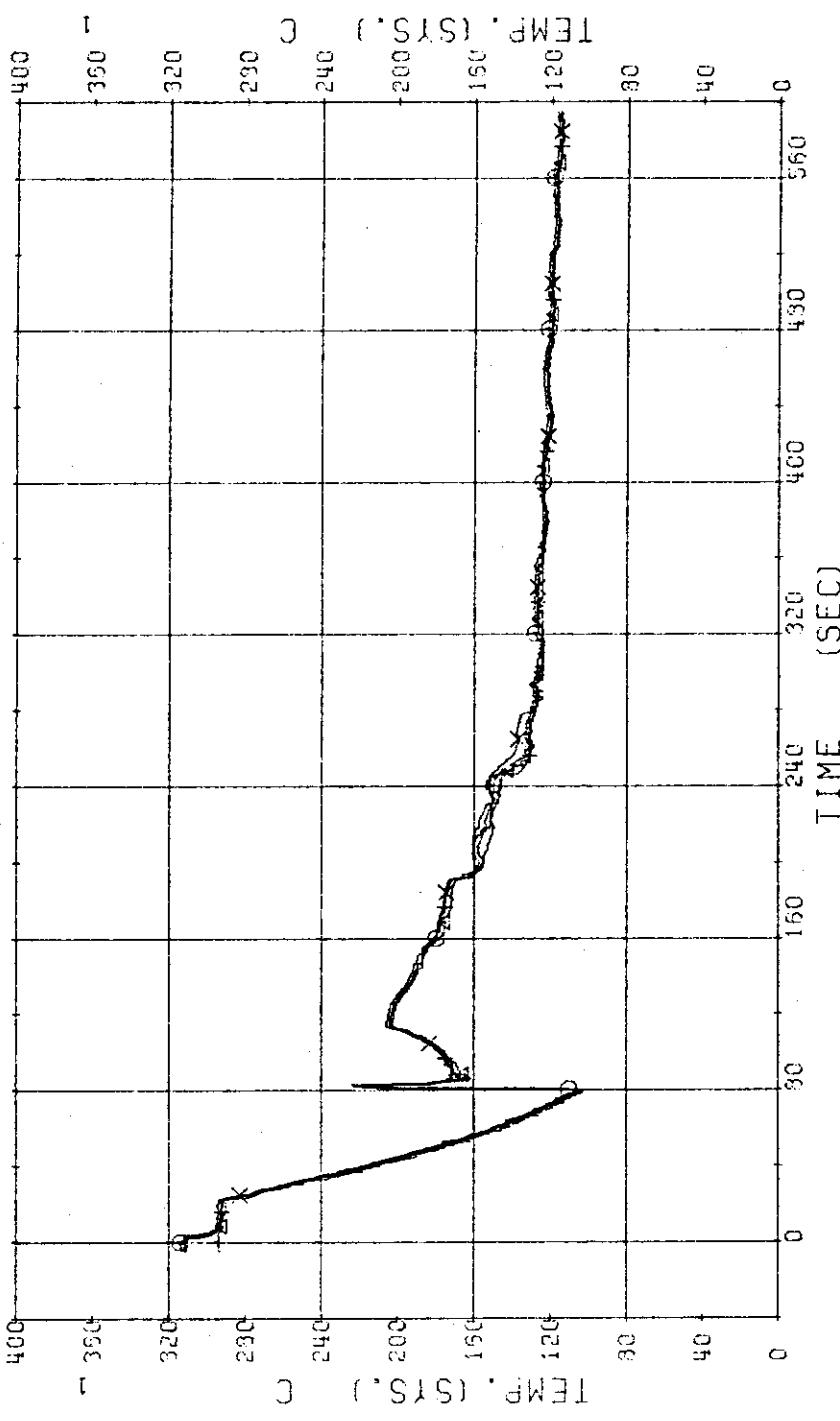


Fig.3.30 Fluid Temperatures in UHI Column No.1~No.4. . . Run 610

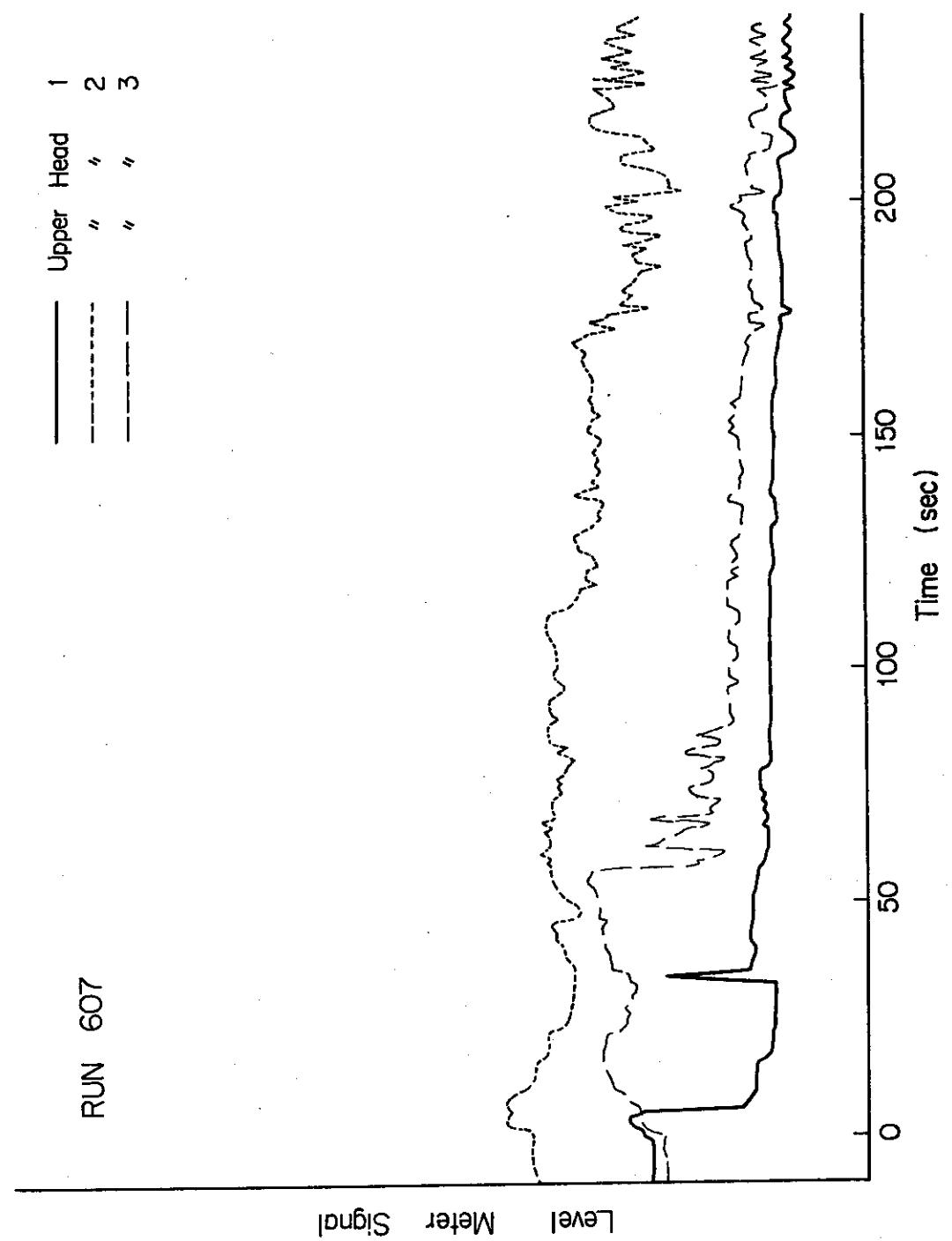


Fig.3.31 Level Meter Signal at Upper Head No.1~No.3. . .Run 607

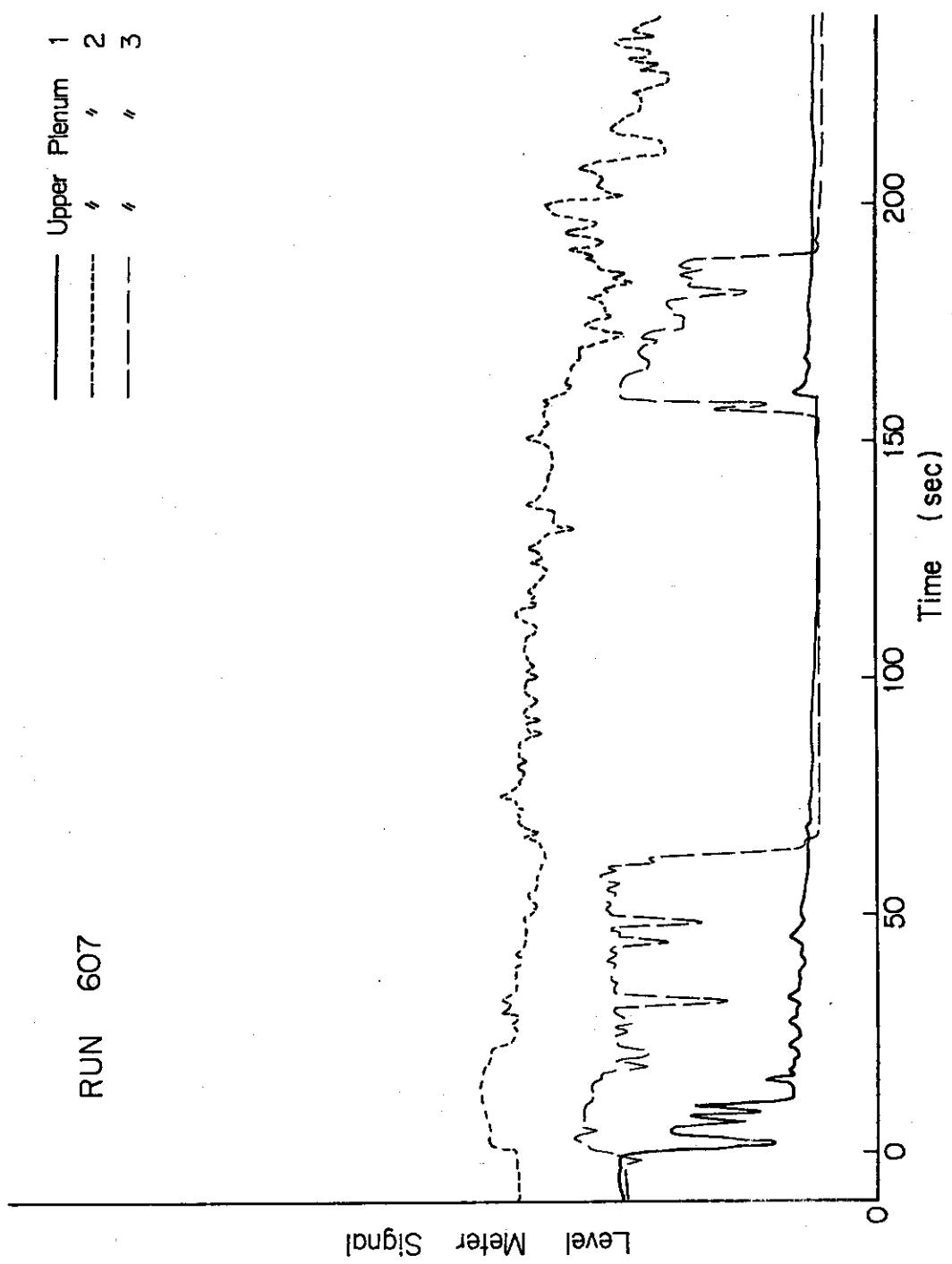


Fig.3.32 Level Meter Signal at Upper Plenum No.1~No.3. . . . Run 607

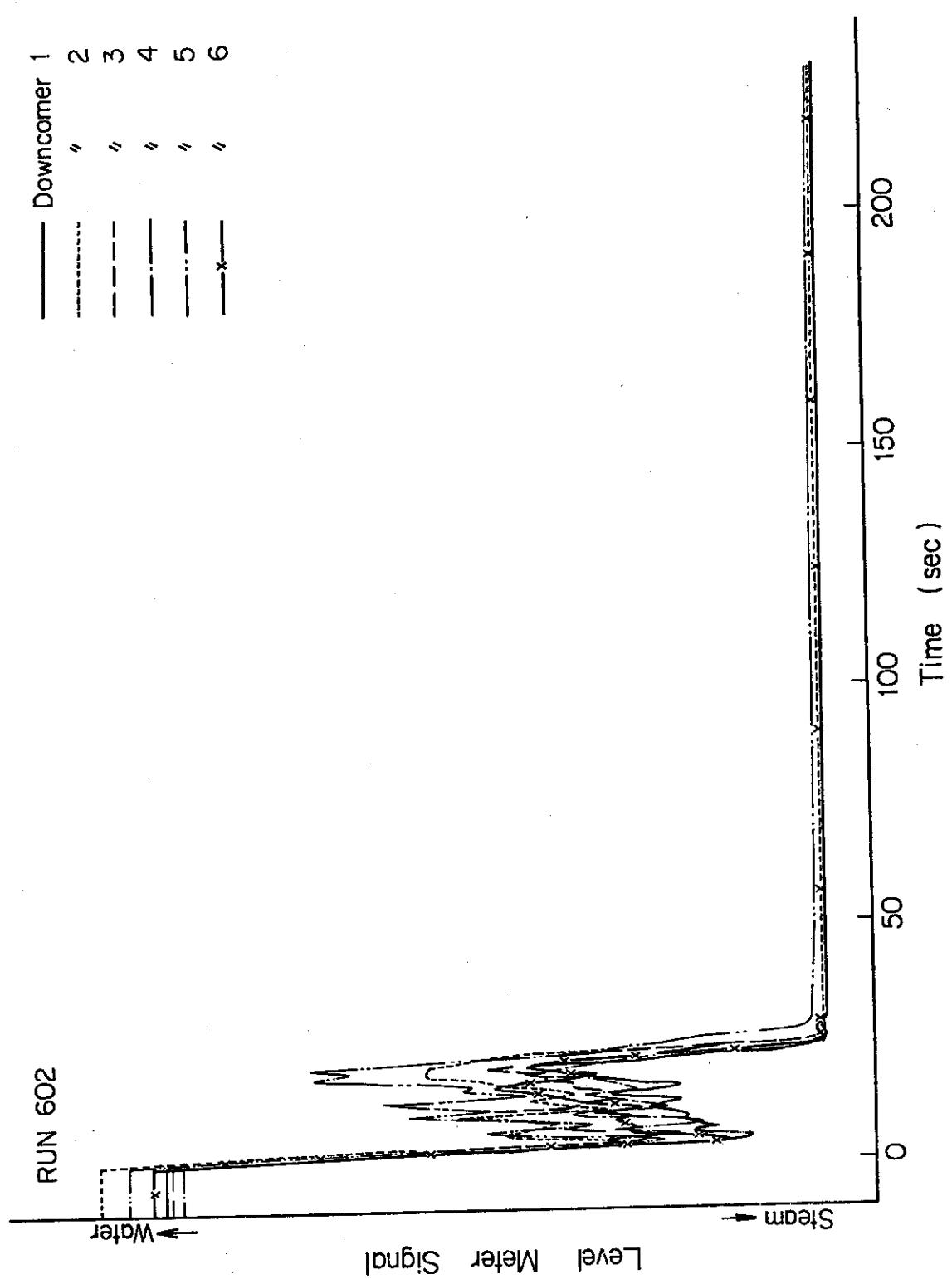


Fig. 3.33 Level Meter Signal at Downcomer No.1~No.6. ....Run 602

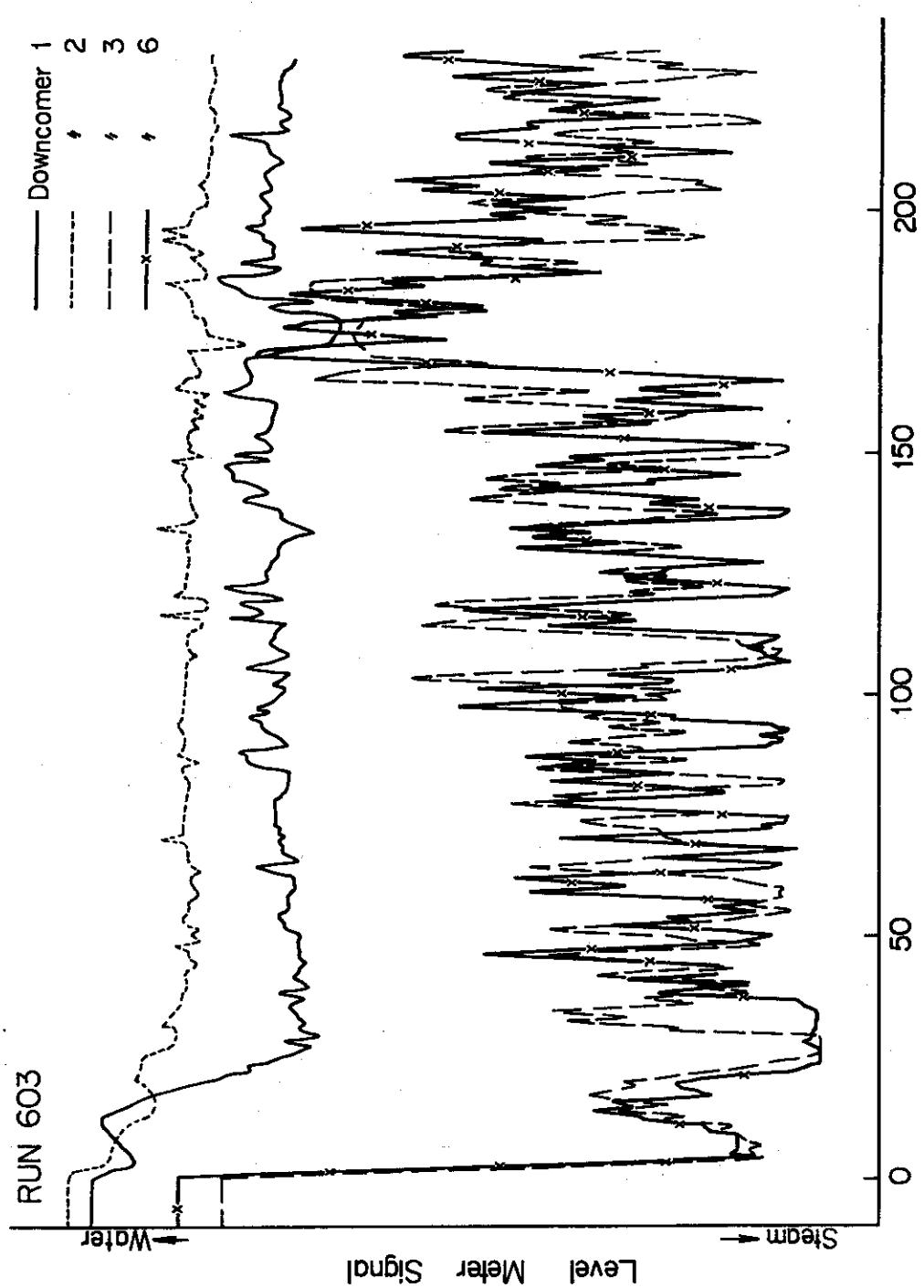


Fig. 3.34 Level Meter Signal at Downcomer  
No.1, No.2, No.3 and No.6. ... Run 603

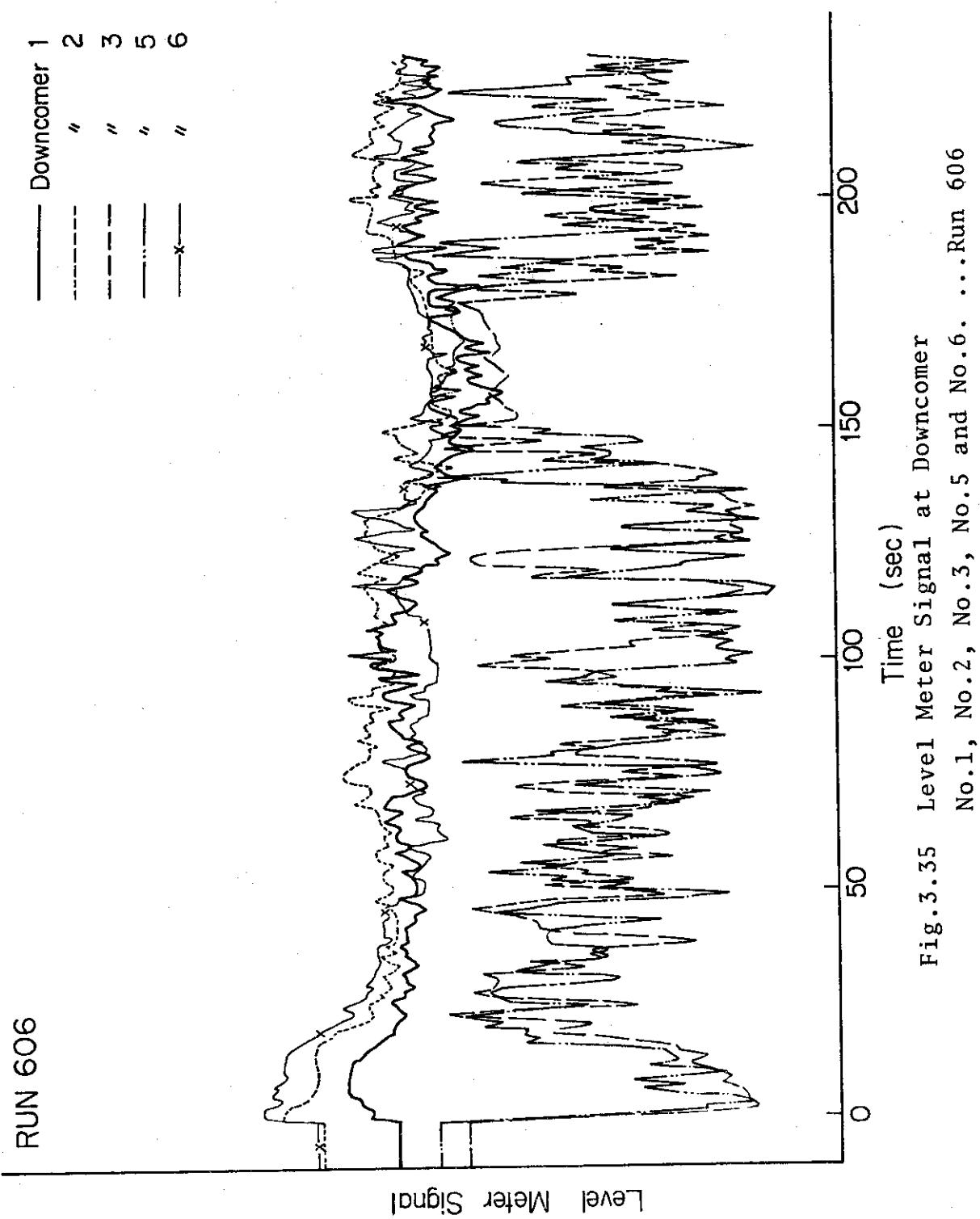


Fig. 3.35 Level Meter Signal at Downcomer No.1, No.2, No.3, No.5 and No.6. . . Run 606

RUN 603 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY

ECCS ---	HP1-	HP2-	AC1-COLD	AC2-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	UHI-UP. HEAD
CH- 76 $\oplus$	T- 5	{ SG 1 INLET					
CH- 78 $\oplus$	T- 7	(P1 PUMP DELIVERY	}				
			CH- 77 $\ominus$	T- 6	{ SG 1 OUTLET		
			CH- 79 $\times$	T- 3	(PV. INLET NOZZLE		)

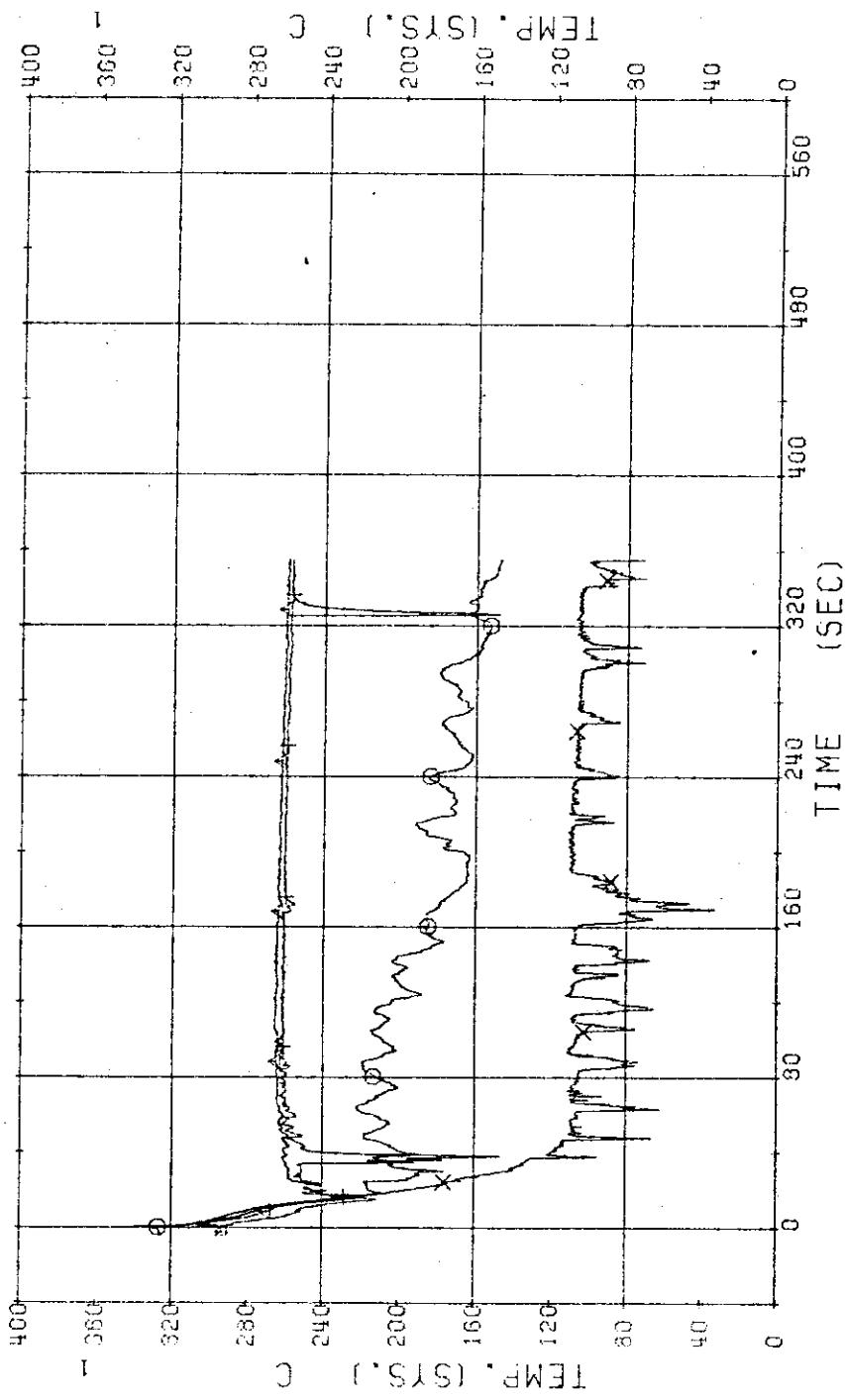


Fig. 3.36 Fluid Temperatures in Blow down Loop . . . Run 603

RUN 604 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHM ASSEMBLY  
ECCS --- HP1- HP2- AC1-COLD AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD UHM-UP, HEAD  
CH- 76 OR T- 5 SS INLET } CH- 77 OR T- 6 SS OUTLET  
CH- 73 + T- 7 (PV PUMP DELIVERY } CH- 79 OR T- 9 (PV, INLET NOZZLE ) }

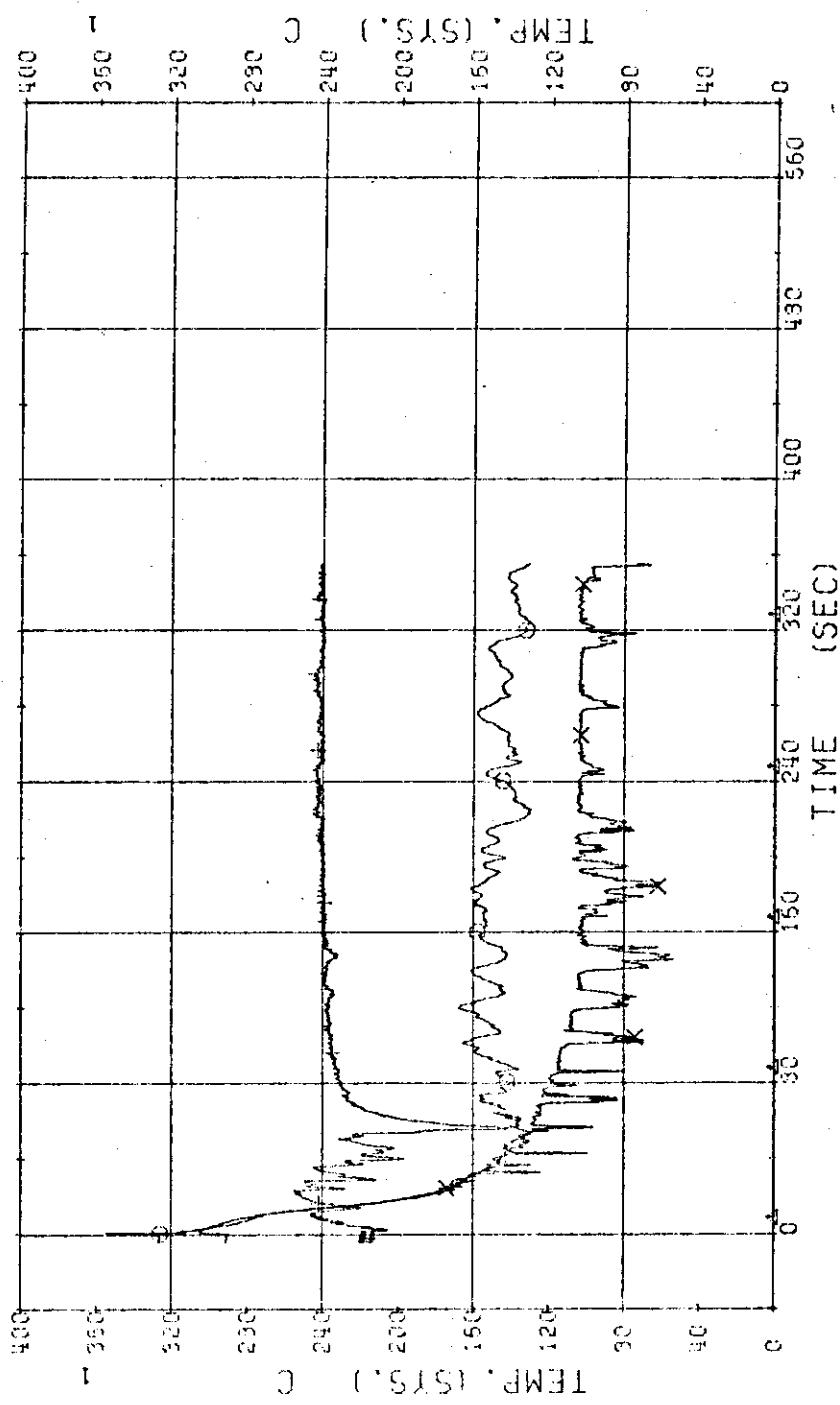


Fig. 3.37 Fluid Temperatures in Blow down Loop. . . Run 604

RUN 607 COLD LEG BREAK      BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY  
 ECCS --- HP1-      HP2-      AC1-COLD      AC2-COLD      LP1-COLD      LP2-COLD      UHI-UP, HEAD  
 CH-76 Q1 T-5 SG 1 INLET      CH-78+1 T-7 (P1 PUMP DELIVERY)      CH-77 A1 T-6 SG 1 OUTLET  
 CH-78+1 T-7 (P1 PUMP DELIVERY)      CH-79 X1 T-3 (PV. INLET NOZZLE) }

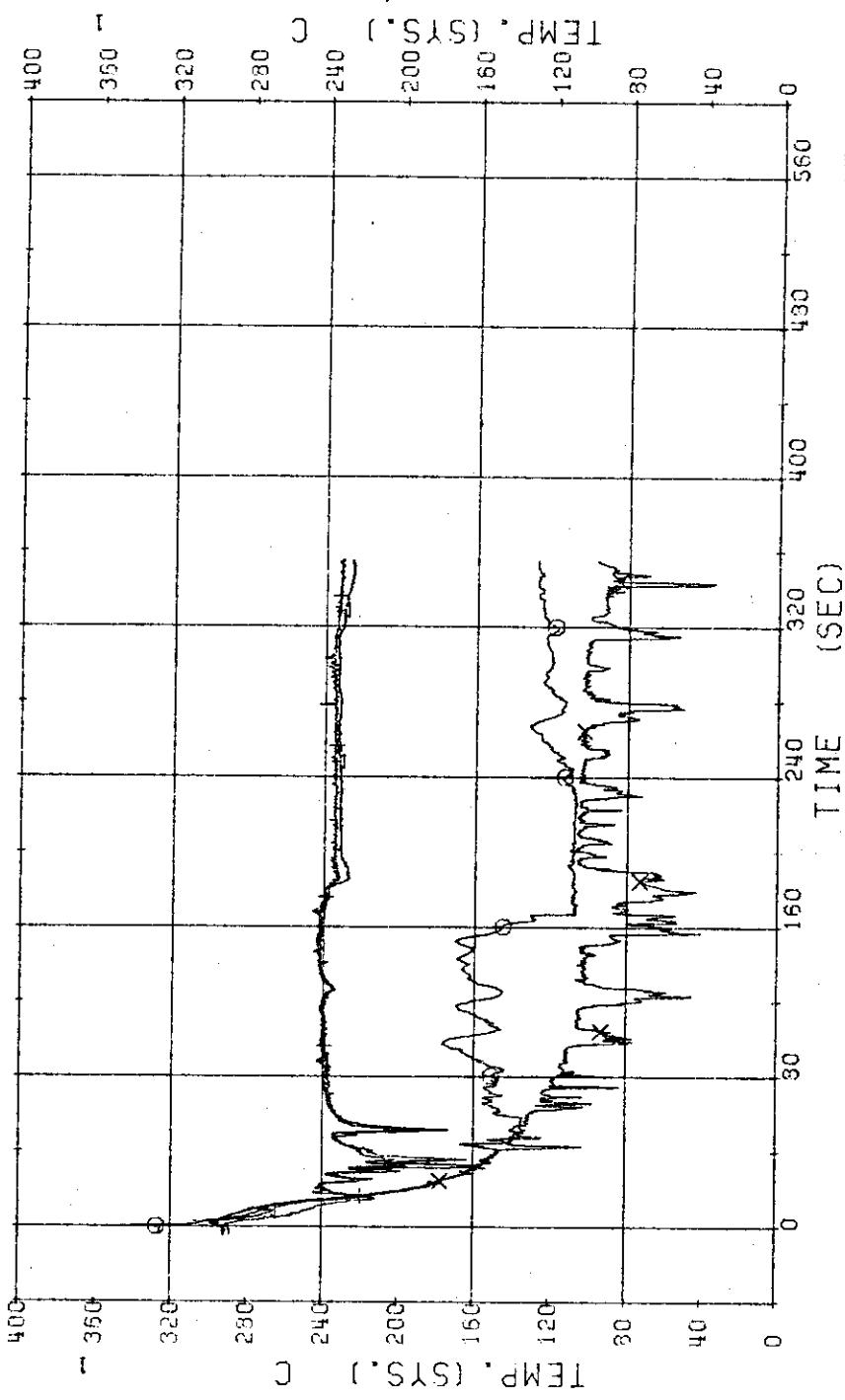


Fig.3.38 Fluid Temperatures in Blow down Loop. ....Run 607

RUN 608 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY  
 ECCS --- HP1- HP2- AC1-COLD AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD UHI-UP, HEAD  
 CH- 76 ④ T- 5 (SG 1 INLET ) CH- 77 ④ T- 6 (SG 4 OUTLET )  
 CH- 78 ④ T- 7 (P1 PUMP DELIVERY ) CH- 79 X T- 8 (PV. INLET NOZZLE )

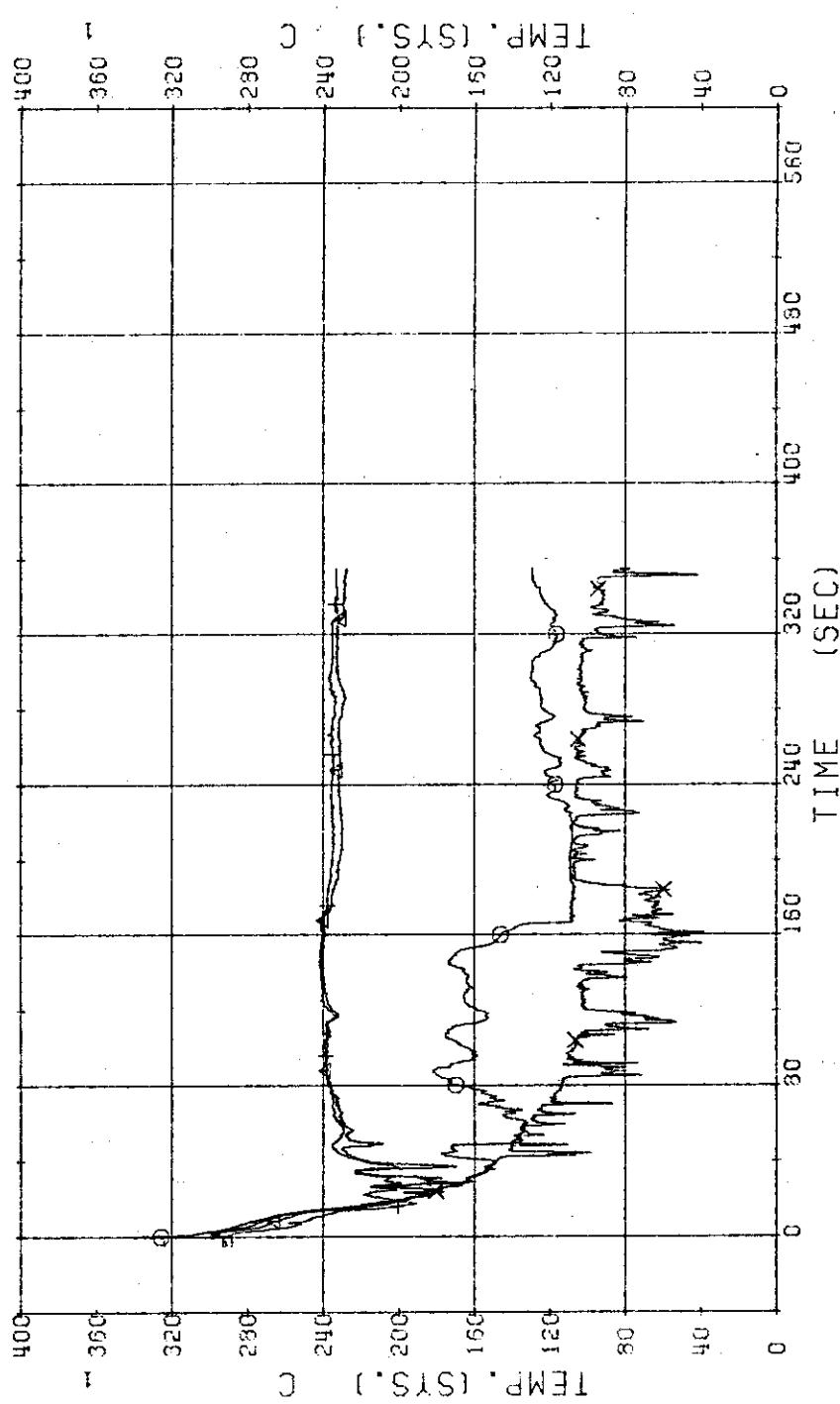


Fig. 3.39 Fluid Temperatures in Blow down Loop. . .Run 608

RUN 609 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHT ASSEMBLY

ECCS ---	HP1-	HP2-	AC1-COLD	AC2-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	UHT-UP. HEAD
CH- 76 ①	T- 5	{SG 1 INLET		CH- 77 ④	T- 6	{SG 1 OUTLET	
CH- 78 ④	T- 7	(P1 PUMP DELIVERY	)	CH- 79 ③	T- 3	(P1, INLET NOZZLE	)

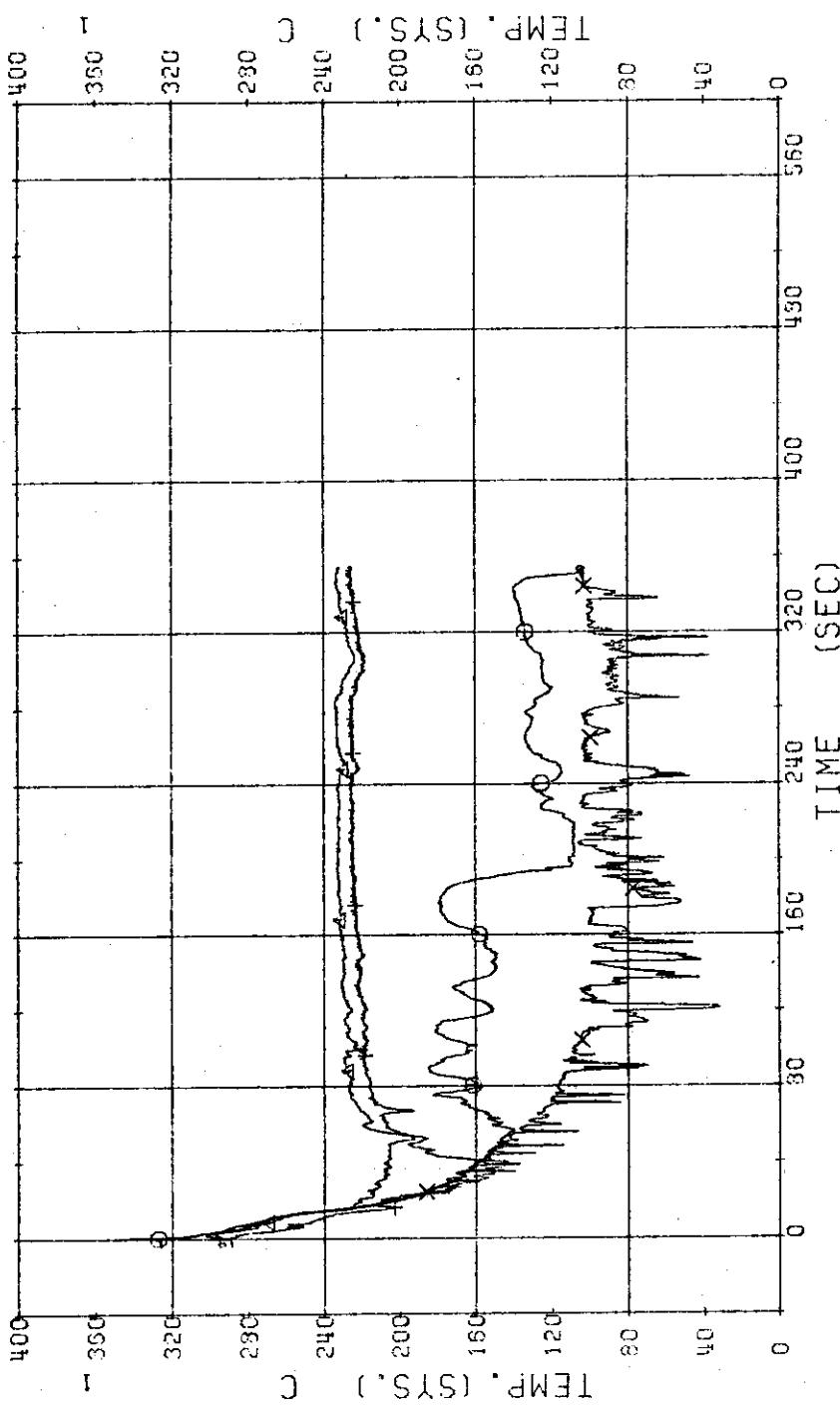


Fig. 3.40 Fluid Temperatures in Blow down Loop . . . Run 609

RUN 610 COLD LEG BREAK      BREAK DIAMETER 0.0/16.5 MM      UHI ASSEMBLY  
 ECCS ---- HP1-COLD      HP2-COLD      AC1-COLD      AC2-COLD      LP1-COLD      LP2-COLD      UHI-UP.HEAD  
 CH- 76 @ T- 5 {SC 1 INLET }      CH- 79 @ T- 6 {SC 1 OUTLET }  
 CH- 73 +1 T- 7 {PI PUMP DELIVERY }      CH- 70 @ T- 8 {PV. INLET NOZZLE }

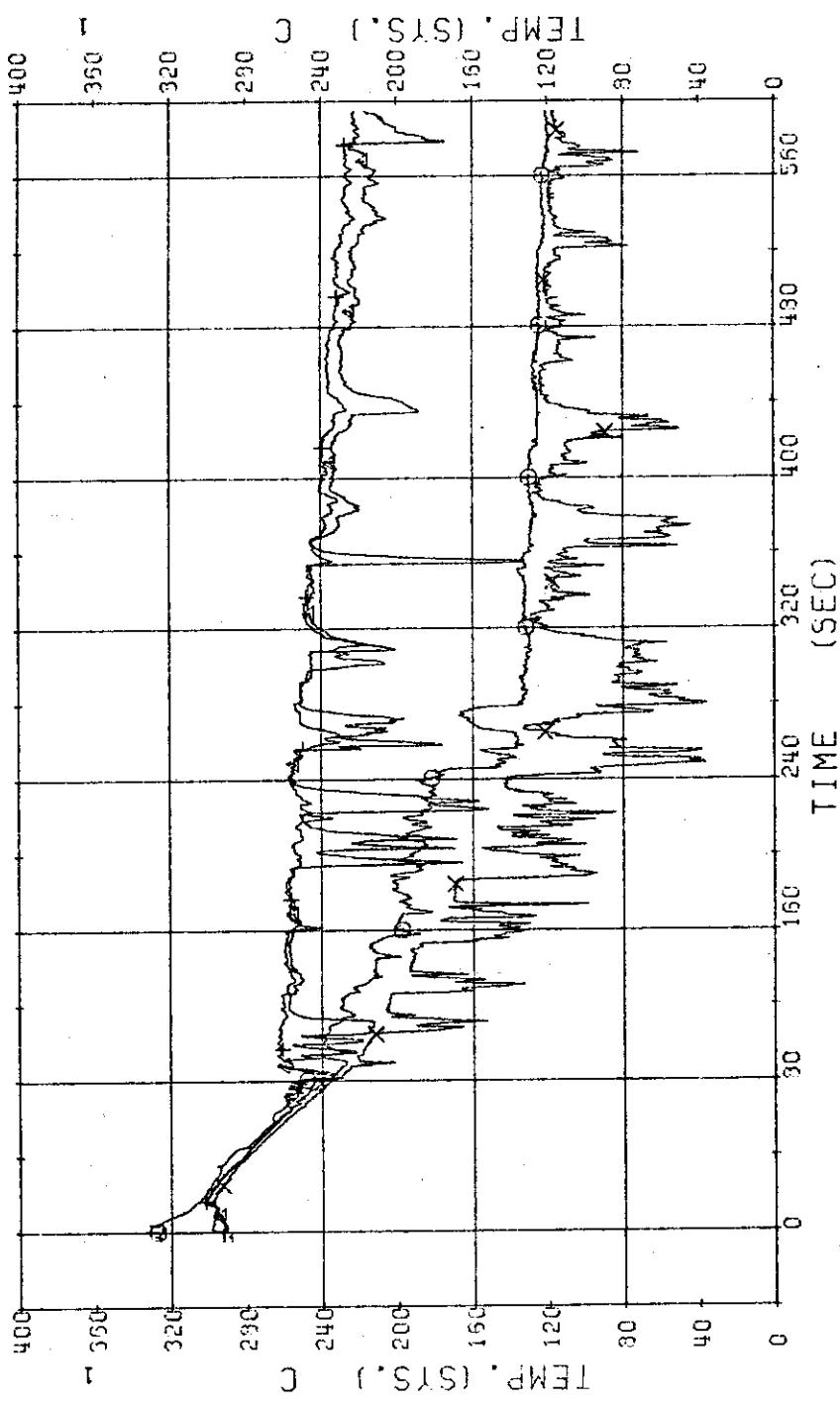


Fig. 3.41 Fluid Temperatures in Blow down Loop. . . . Run 610

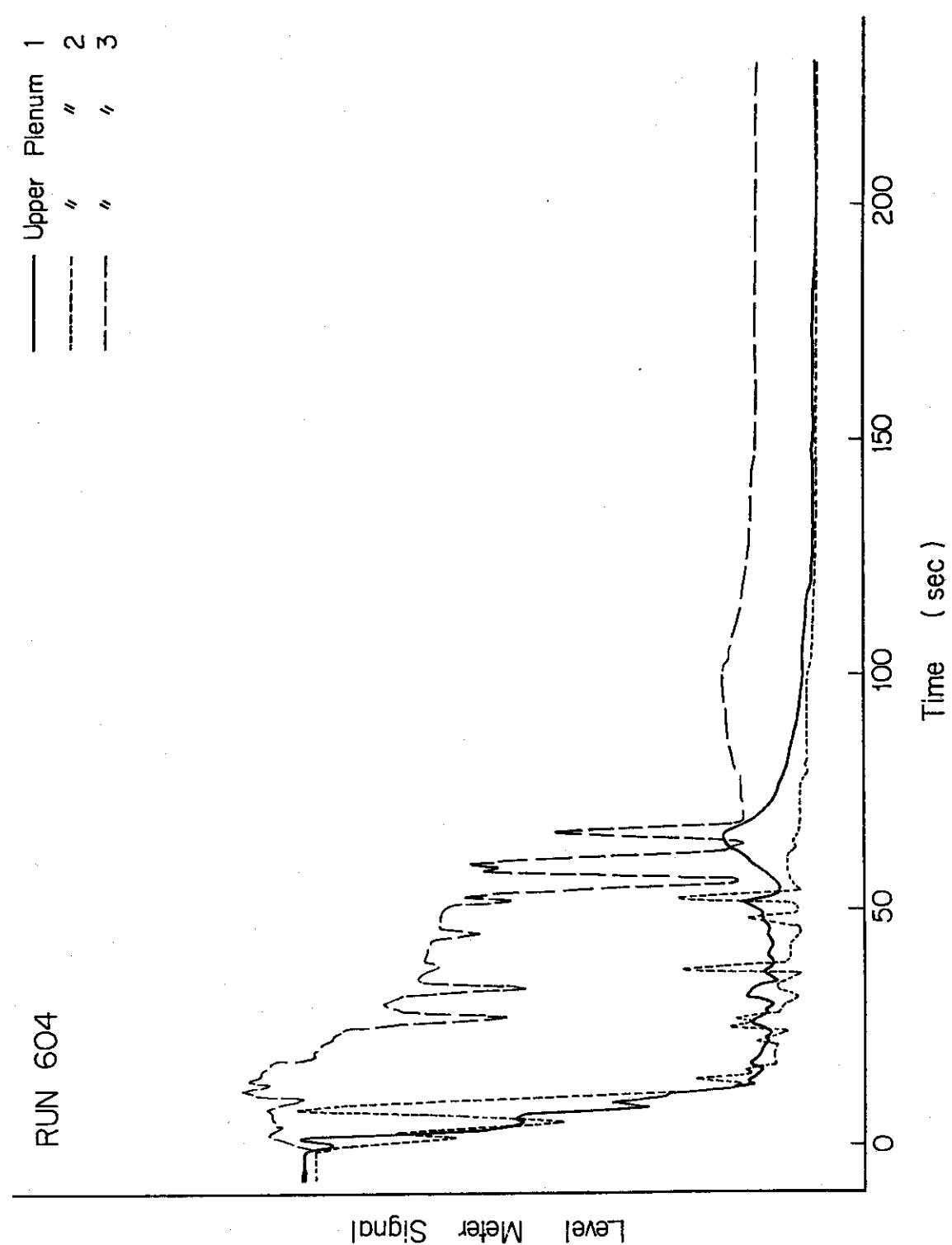


Fig.3.42 Level Meter Signal at Upper Plenum No.1~No.3...Run 604

RUN 603 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY  
ECCS --- HP1- HP2- AC1-COLD AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD UHI-UP. HEAD  
CH- 30 @ T-9 (SG 2 INLET ) CH- 81 & T-10 (SG 2 OUTLET )  
CH- 32 + T-11 (P2 PUMP DELIVERY )

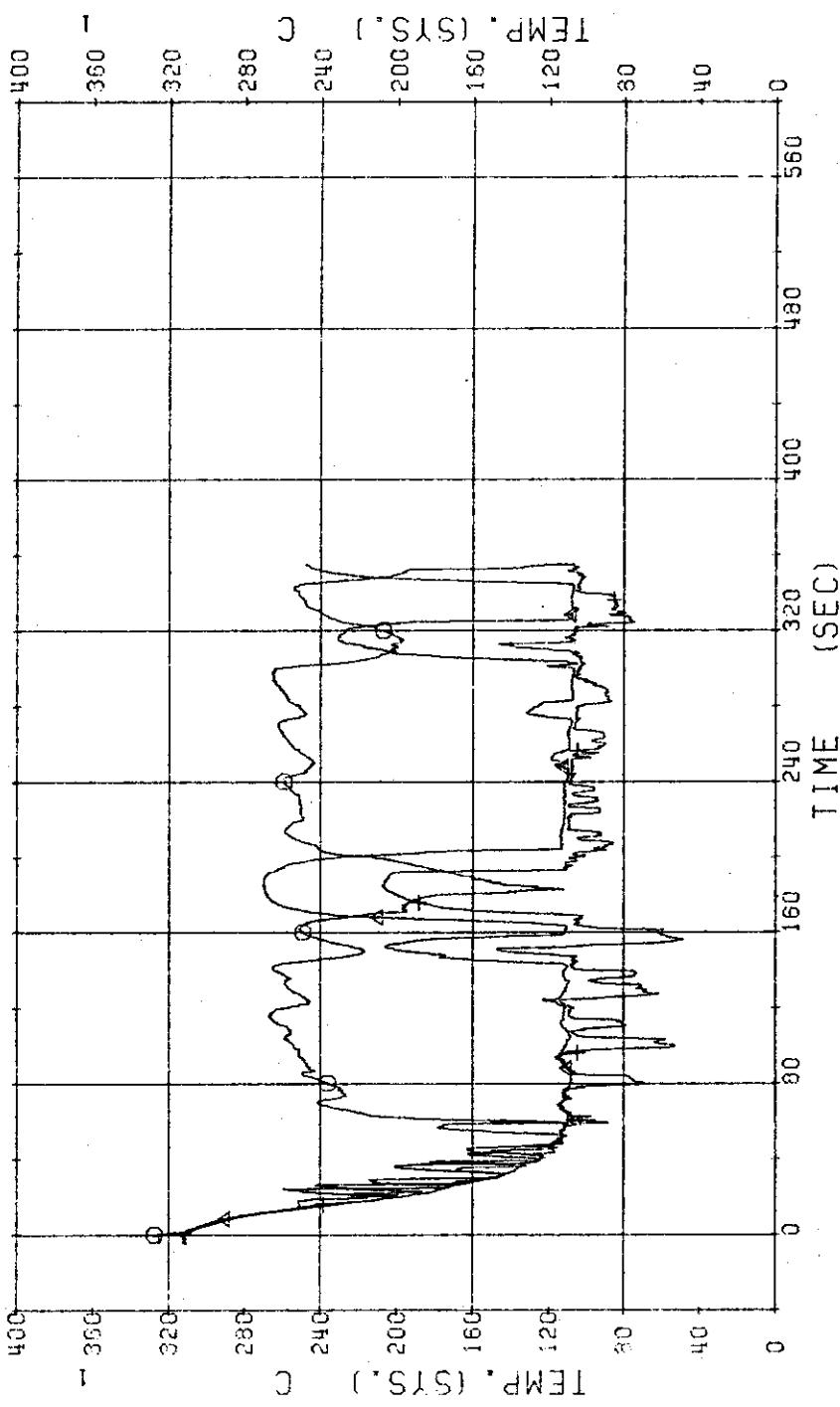


Fig.3.43 Fluid Temperatures in Operating Loop . . . Run 603

RUN 604 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY  
ECCS --- HP1- HF2- AC1-COLD AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD UHI-UP.HEAD  
CH- 90 & T- 9 (SG 2 INLET ) CH- 91 & T-10 (SG 2 OUTLET )  
CH- 92 & T-11 (P2 PUMP DELIVERY )

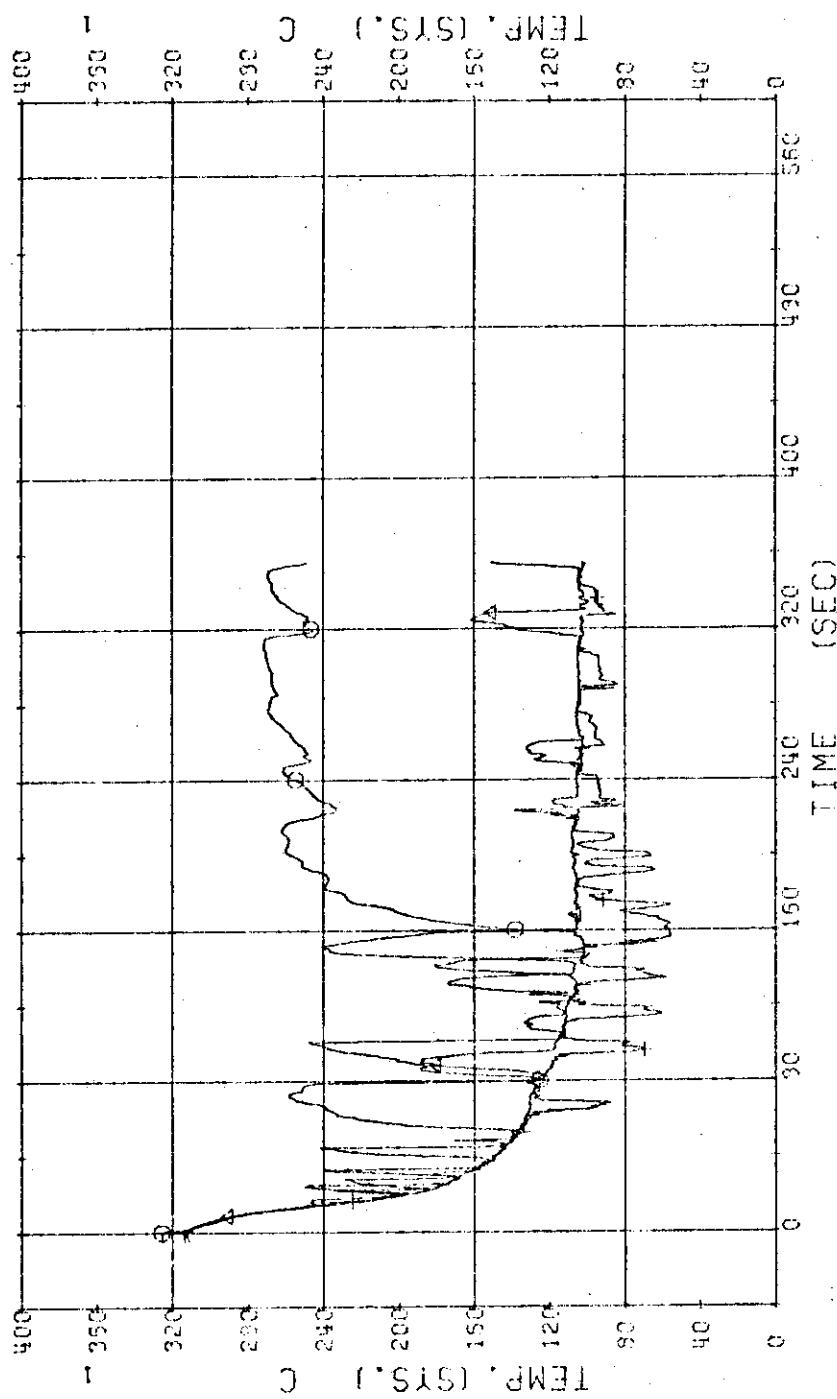


Fig.3.44 Fluid Temperatures in Operating Loop. . .Run 604

RUN 607 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHT ASSEMBLY  
 ECCS ---- HP1- HP2- AC1-COLD AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD UHT-UP. HEAD  
 CH- 30 ① I- 9 (SG 2 INLET } CH- 81 & I-10 (SG 2 OUTLET )  
 CH- 32 + I-11 (P2 PUMP DELIVERY }

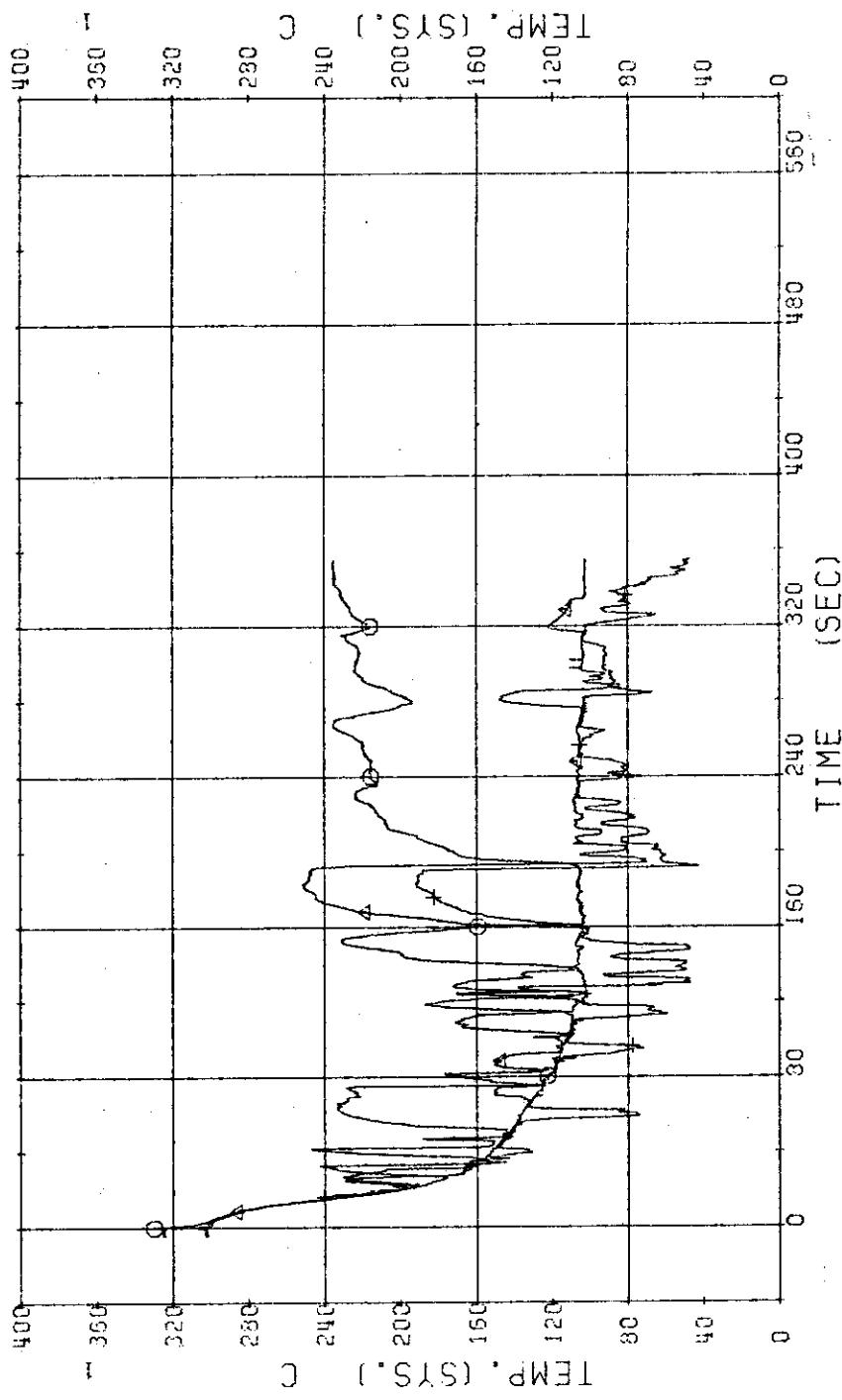


Fig. 3.45 Fluid Temperatures in Operating Loop. . . . RUN 607

RUN 608 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY  
ECCS --- HP1- HP2- FC1-COLD FC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD UHI-UP-HEAD  
CH- 30 Q1 T-9 (SG 2 INLET ) CH- 31 A1 T-10 (SG 2 OUTLET )  
CH- 32 +1 T-11 (P2 PUMP DELIVERY )

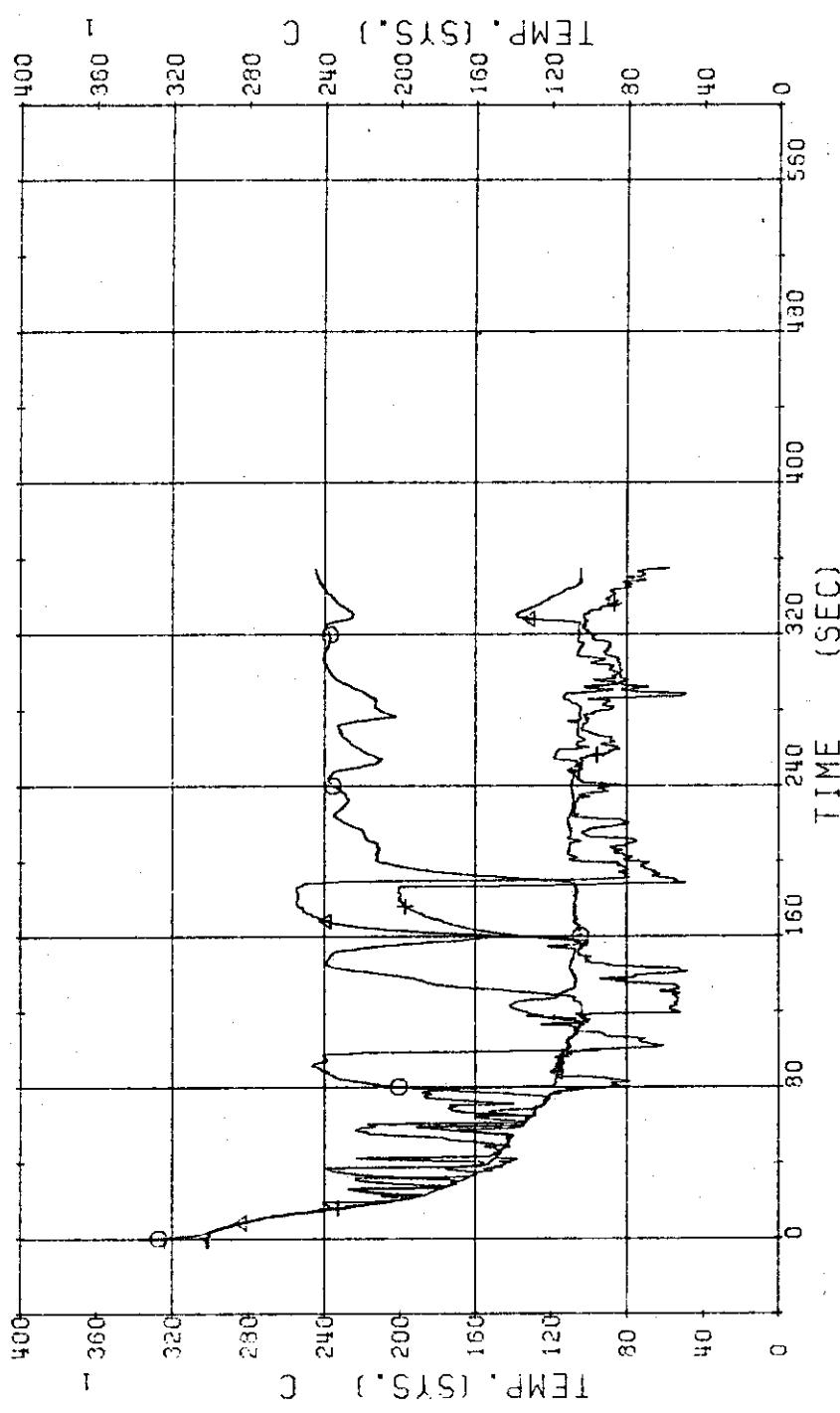


Fig.3.46 Fluid Temperatures in Operating Loop. . .Run 608

RUN 609 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY  
 ECCS --- HP1- HP2- AC1-COLD AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD UHI-UP.HEAD  
 CH- 30 Q1 T- 9 (SG 2 INLET ) CH- 31 41 T-10 (SG 2 OUTLET )  
 CH- 32 +1 T-11 (P2 PUMP DELIVERY ) }

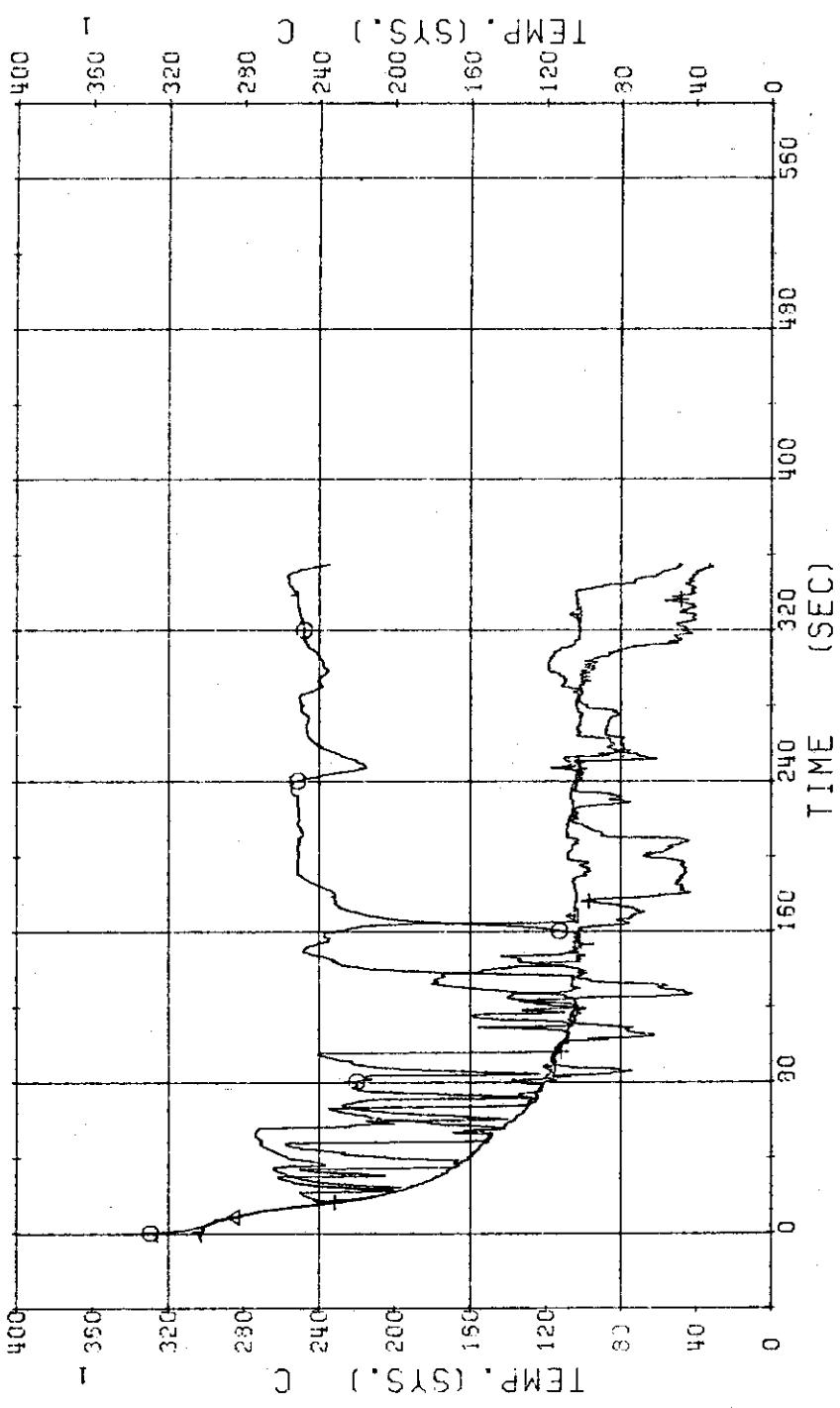


Fig.3.47 Fluid Temperatures in Operating Loop. . .Run 609

RUN 610 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 0.0/16.5 MM UHI ASSEMBLY  
 ECCS --- HP1-COLD HP2-COLD AC1-COLD LP1-COLD LP2-COLD UHI-UP. HEAD  
 CH- 30 G T- 9 (SG 2 INLET ) CH- 31 41 T-10 (SG 2 OUTLET )  
 CH- 32 H T-11 (P2 PUMP DELIVERY )

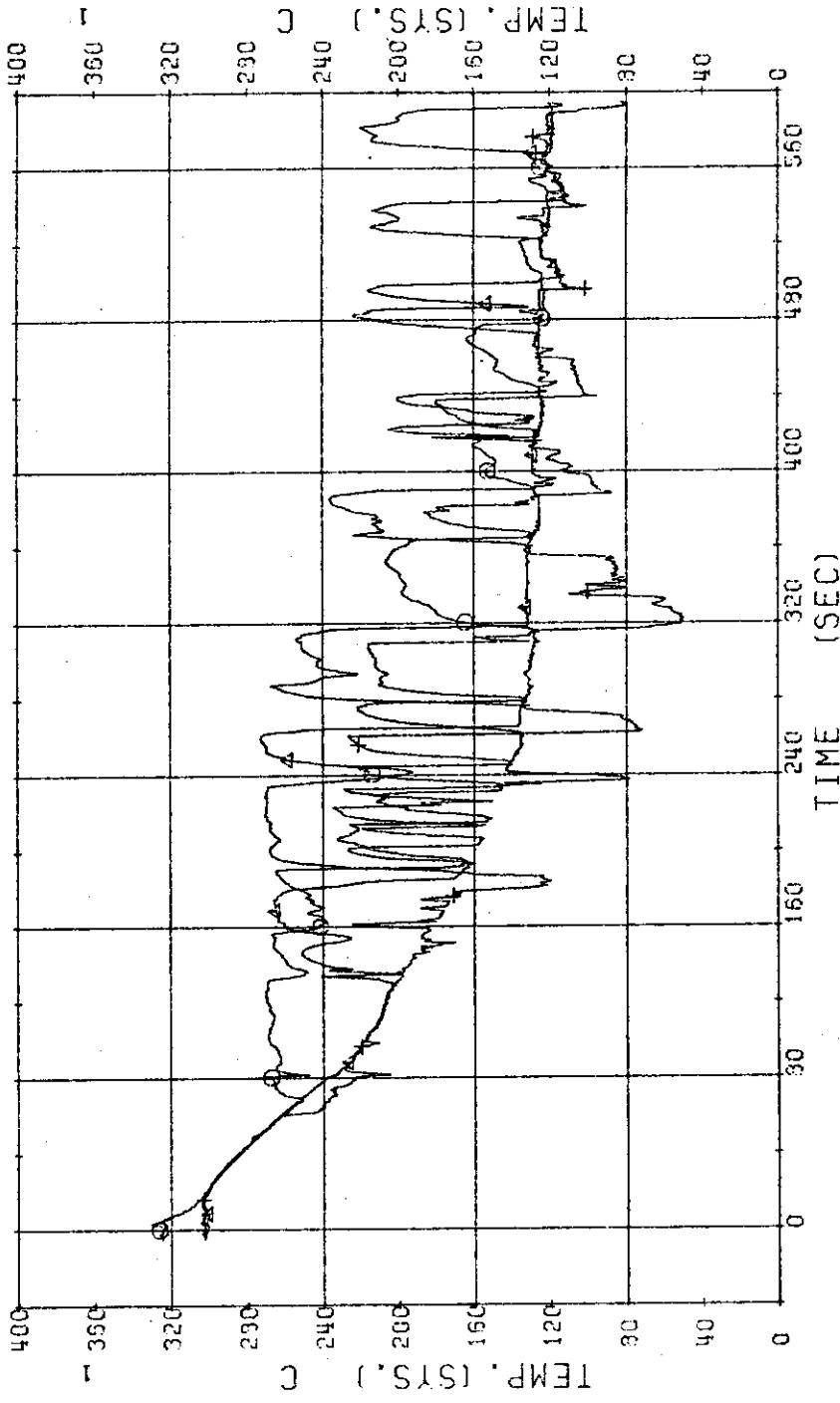


Fig.3.48 Fluid Temperatures in Operating Loop. . .Run 610

RUN 603 COLD LEG BREAK      BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM. UHI ASSEMBLY

ECCS ---	HP1-	HP2-	AC1-COLD	AC2-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	UHI-UP. HEAD
CH- 37 φ1	TF-1	(NO.1)	POSITION 1	CH- 38 φ1	TF-2	(NO.1)	POSITION 2
CH- 39 +1	TF-3	(NO.1)	POSITION 3	CH- 41 φ1	TF-5	(NO.1)	POSITION 5

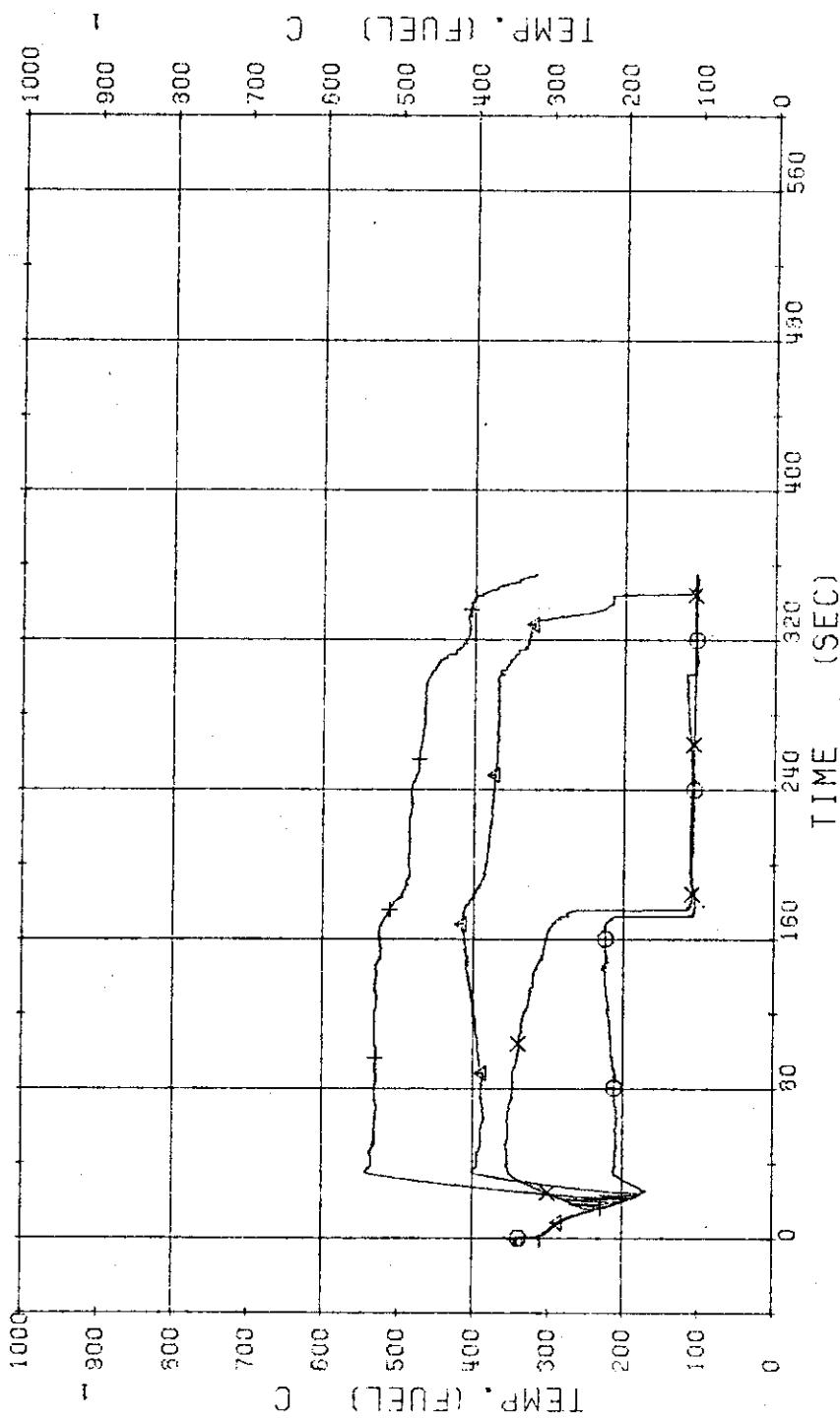
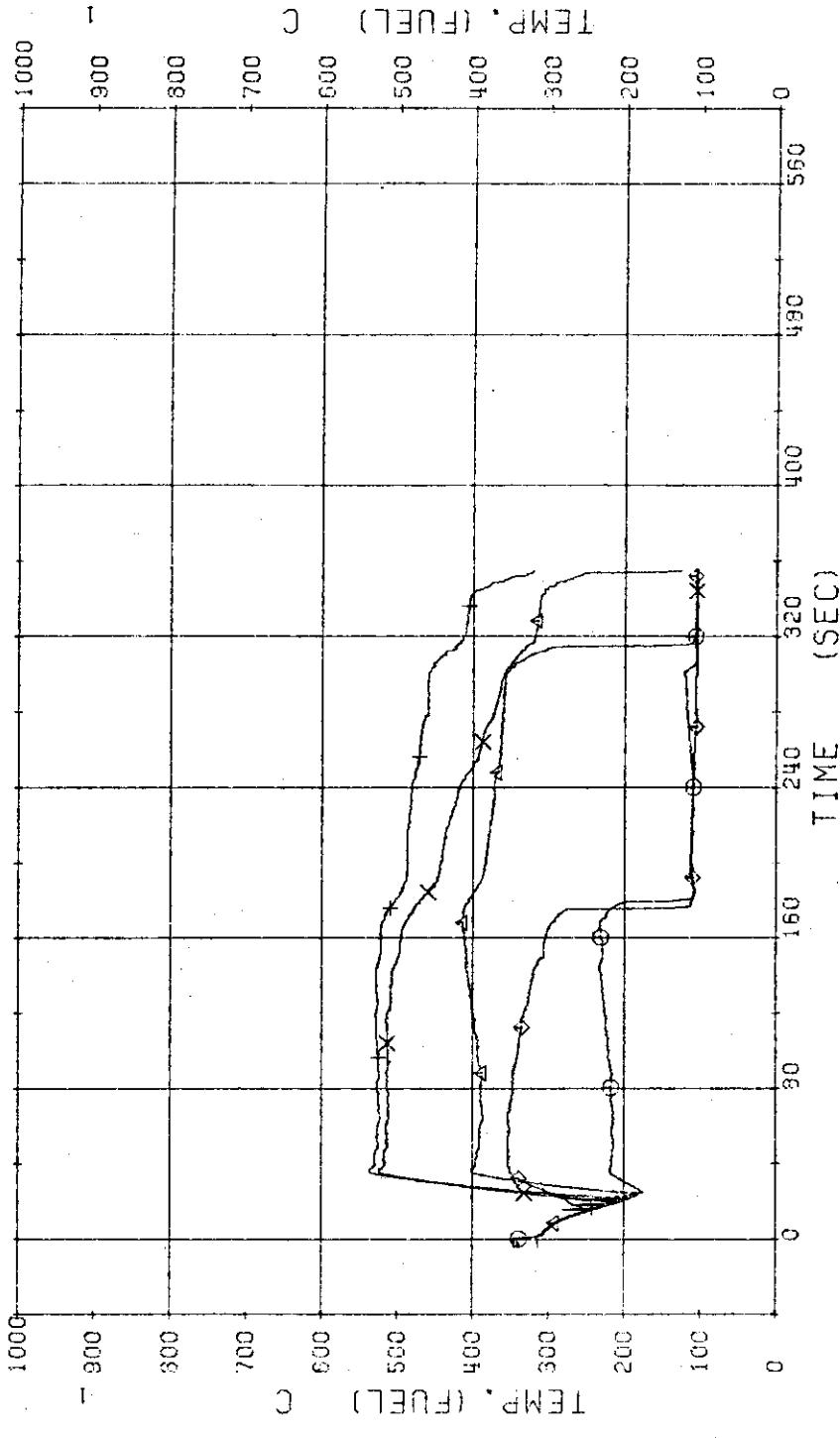


Fig.3.49 Surface Temperatures of No.1 Rod at the Center  
of Core. ...Run 603

## RUN 603 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC1-COLD AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD UHI-UP.HEAD  
 CH- 42 O1 TF-6 INO.33 POSITION1 CH- 43 Δ INO.38 POSITION2  
 CH- 44 +1 TF-8 INO.38 POSITION3 CH- 45 X INO.39 POSITION3  
 CH- 46 φ1 TF10 INO.38 POSITION5 CH- 46 POSITION4

Fig.3.50 Surface Temperatures of No.38 Rod in the Middle of Core  
...Run 603

RUN 603 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY

ECCS ---	HP1-	HP2-	AC1-COLD	AC2-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	UHI-UP, HEAD
CH- 47 Ø1	TF11	(NO.125 POSITION1	1	CH- 43 A1	TF12	(NO.125 POSITION2	)
CH- 49 +1	TF13	(NO.125 POSITION3	1	CH- 50 X	TF14	(NO.125 POSITION4	)
CH- 51 Ø1	TF15	(NO.125 POSITION5					

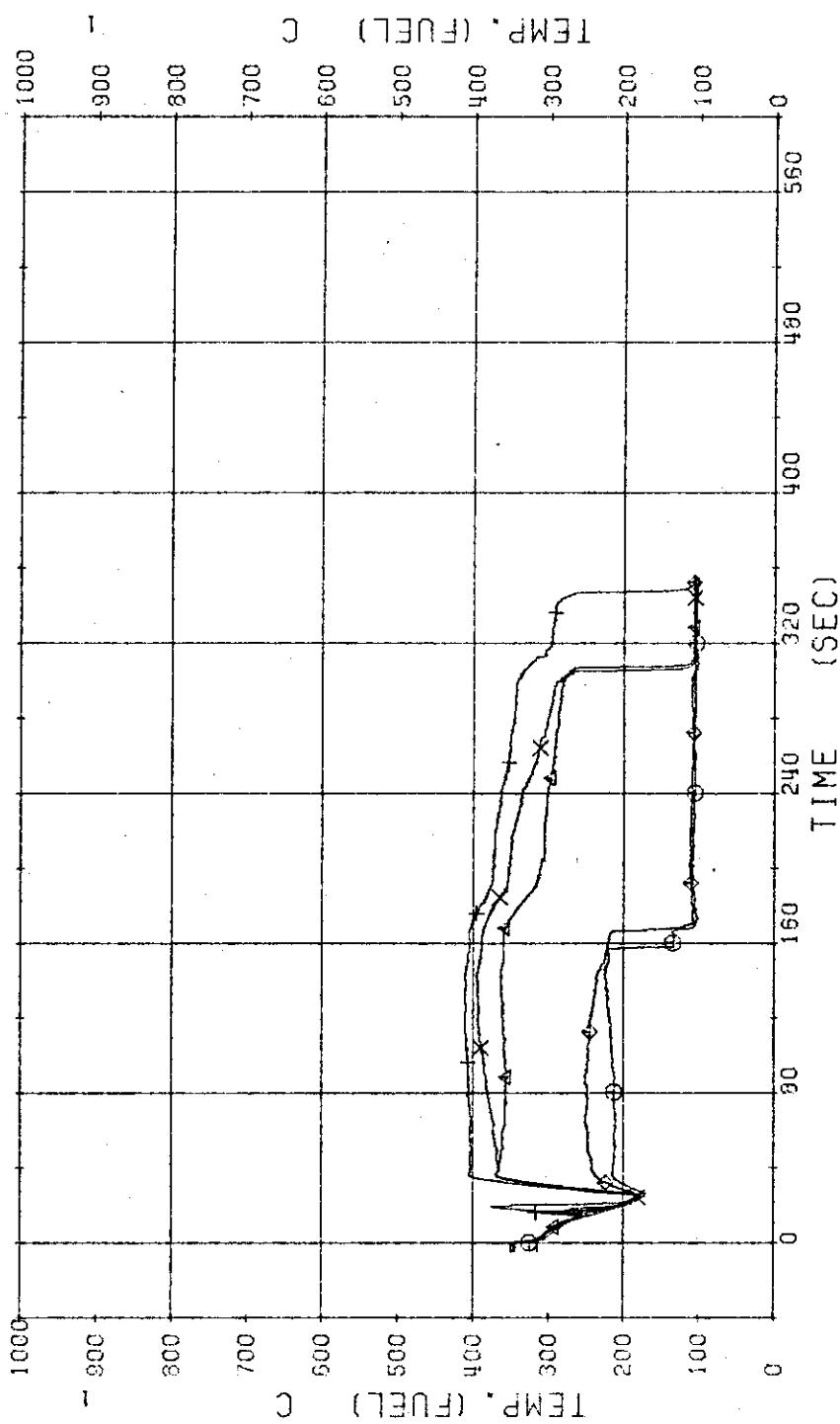


Fig.3.51 Surface Temperatures of No.125 Rod at the Outer Part of Core. ...Run 603

RUN 603 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY

ECCS ---	HP1-	HP2-	AC1-COLD	AC2-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	UHI-UP, HEAD
CH- 52 Q1	TF16	(NO. 146 POSITION1)		CH- 53 A1	TF17	(NO. 146 POSITION2)	
CH- 54 H1	TF18	(NO. 146 POSITION3)		CH- 55 X1	TF19	(NO. 146 POSITION4)	}
CH- 56 D1	TF20	(NO. 146 POSITION5)					

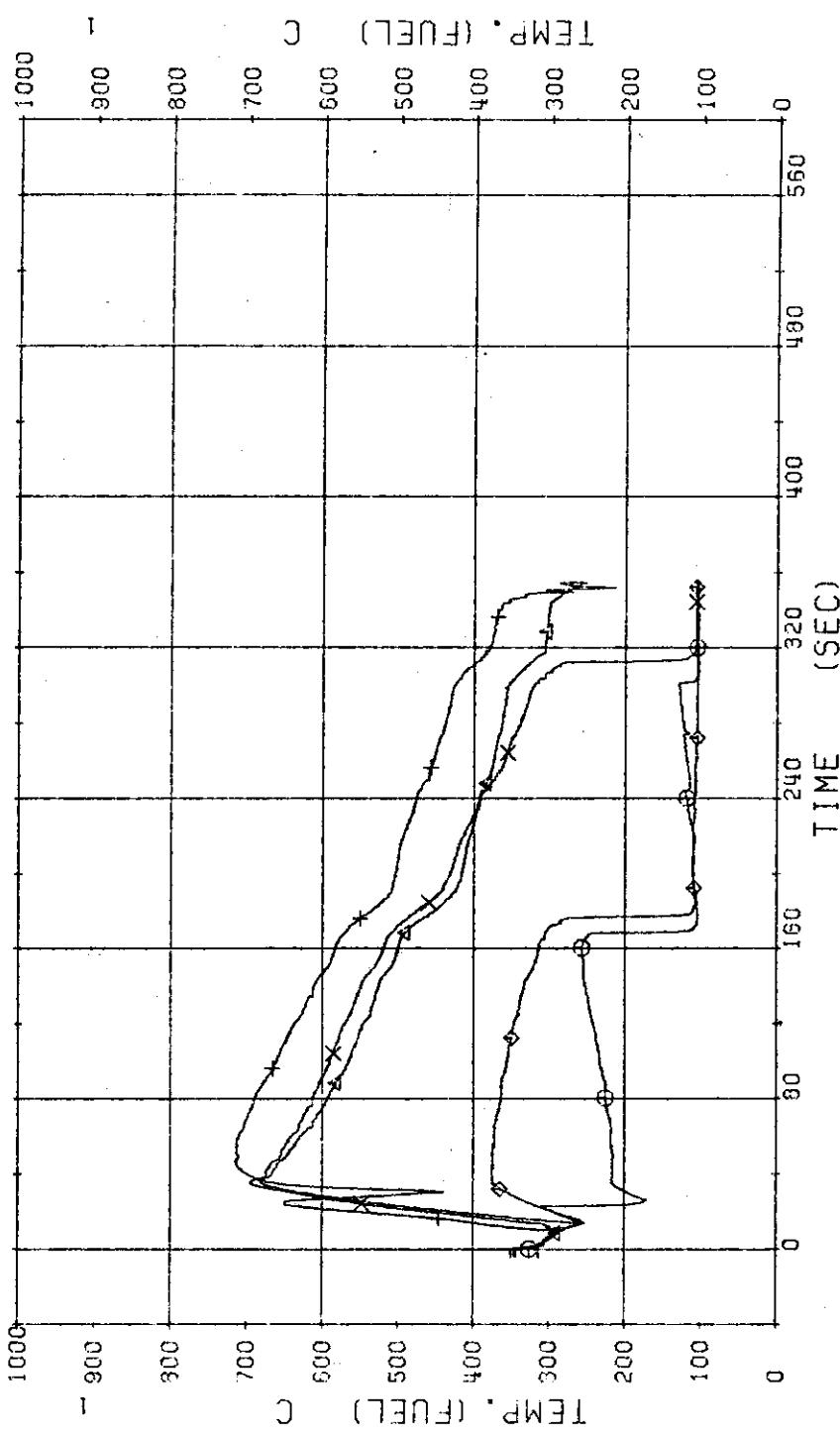


Fig.3.52 Surface Temperatures of No.146 Rod at the Outer Part of Core ...Run 603

## RUN 603 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHT ASSEMBLY

ECCS	---	HP1-	HP2-	AC1-COLD	AC2-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	UH1-UP, HEAD
CH- 57	CH	TF21	(NO. 44)	POSITION1		CH- 58	TF22	(NO. 44) POSITION2
CH- 59	CH	TF23	(NO. 44)	POSITION3		CH- 60	TF24	(NO. 44) POSITION4
CH- 61	CH	TF25	(NO. 44)	POSITION5				

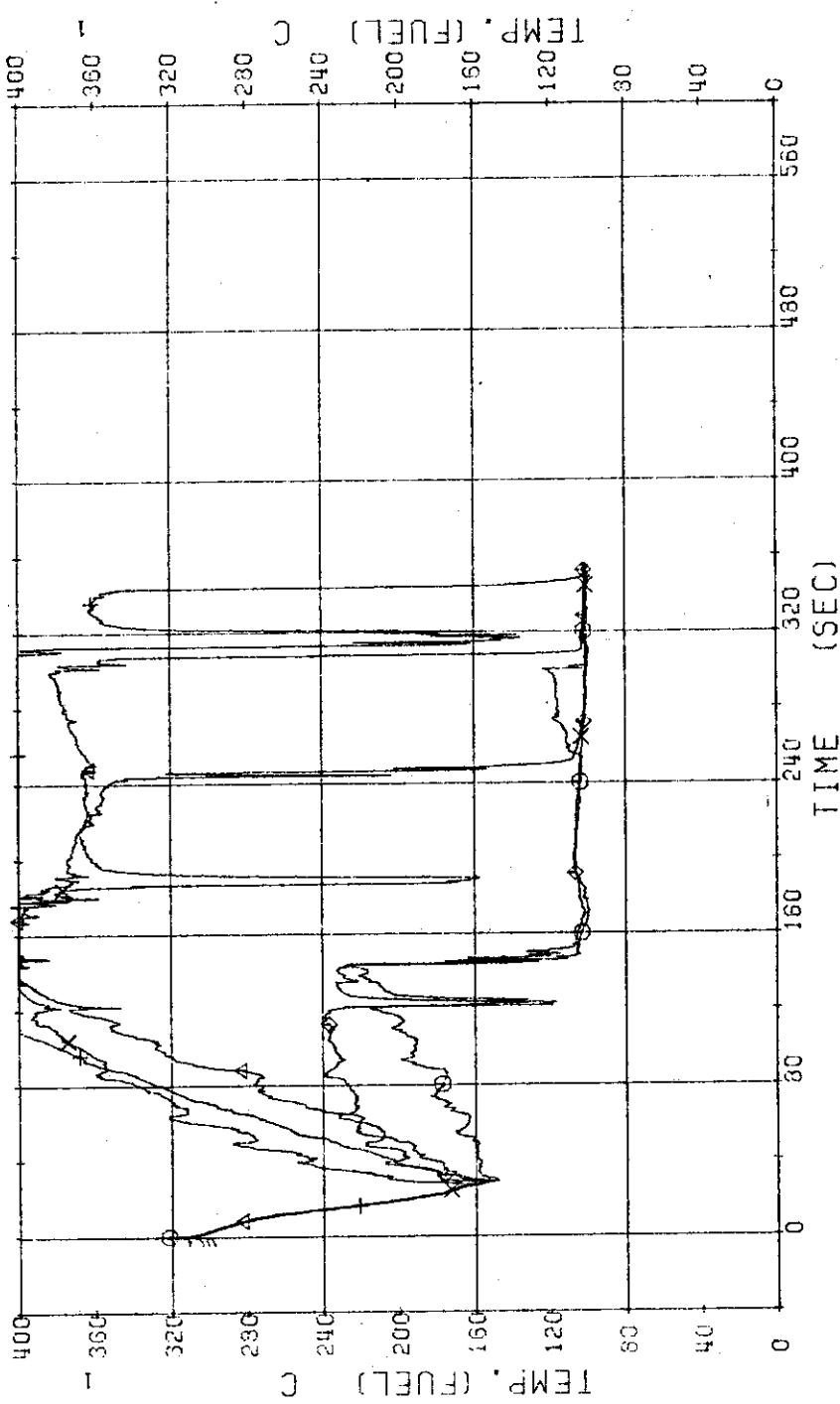


Fig.3.53 Surface Temperatures of No.44 Tie Rod in  
the Middle of Core. ...Run 603

RUN 6C4 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UH1 ASSEMBLY

ECCS ---	HP1-	HP2-	AC1-COLD	AC2-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	UH1-UP, HEAD
CH- 37 Q1	TF-1	INC.1	POSITION1	)	CH- 33 41	TF-2	INC.1 POSITION2
CH- 30 X1	TF-3	INC.1	POSITION3	)	CH- 41 X	TF-5	INC.1 POSITION3

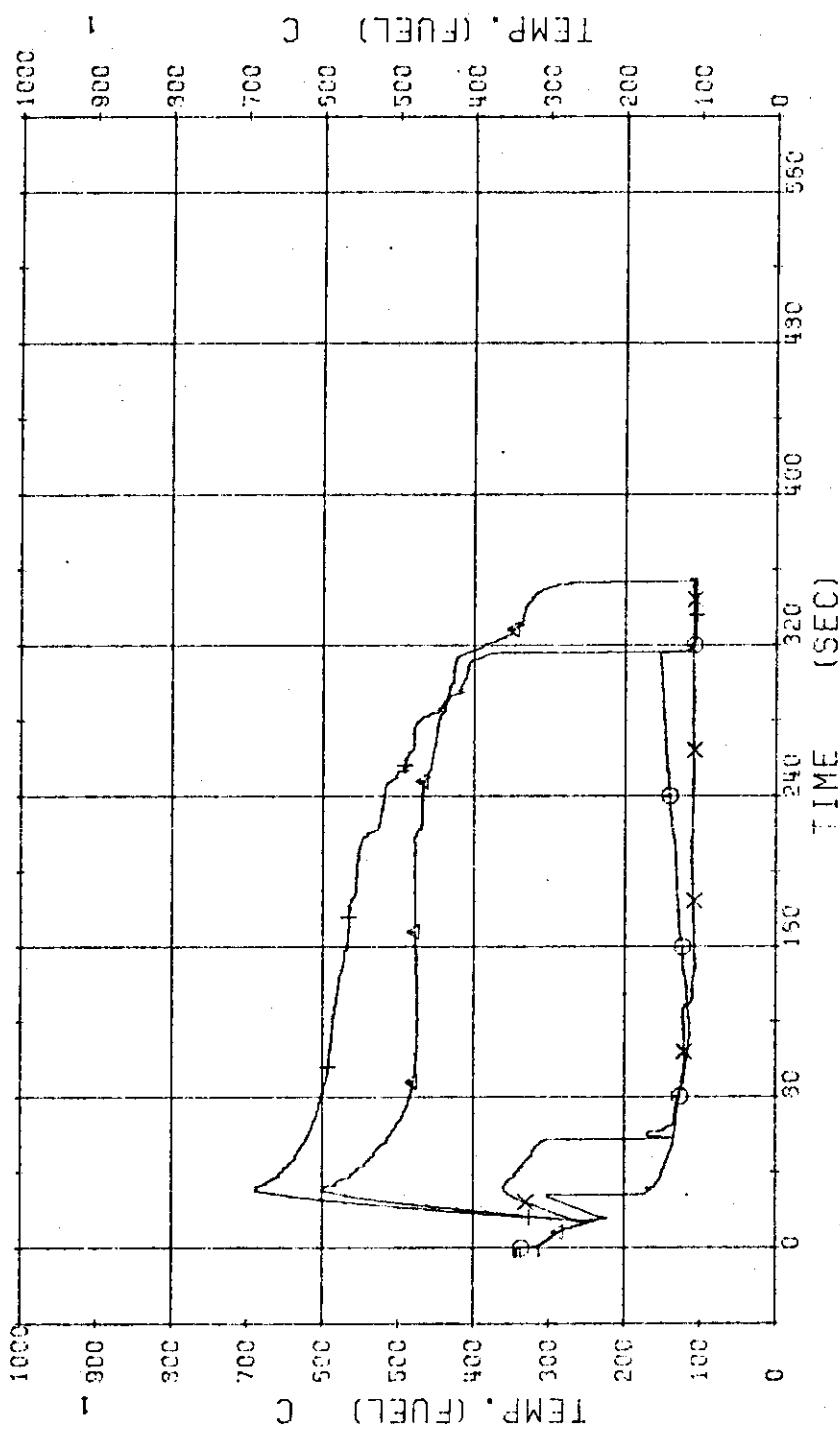


Fig.3.54 Surface Temperatures of No.1 Rod  
at the Center of Core. ...Run 604

## RUN 604 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHT ASSEMBLY

ECCS ---	HP1-	HP2-	HP2-COLD	AC1-COLD	AC2-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	UHT-UP. HEAD
CH- 42 21	TF-6 (NC.38 POSITION1)			CH- 43 A1	TF-7 (NC.38 POSITION2)			
CH- 44 21	TF-9 (NC.38 POSITION3)			CH- 45 X1	TF-9 (NC.38 POSITION4)			
CH- 46 21	TF10							

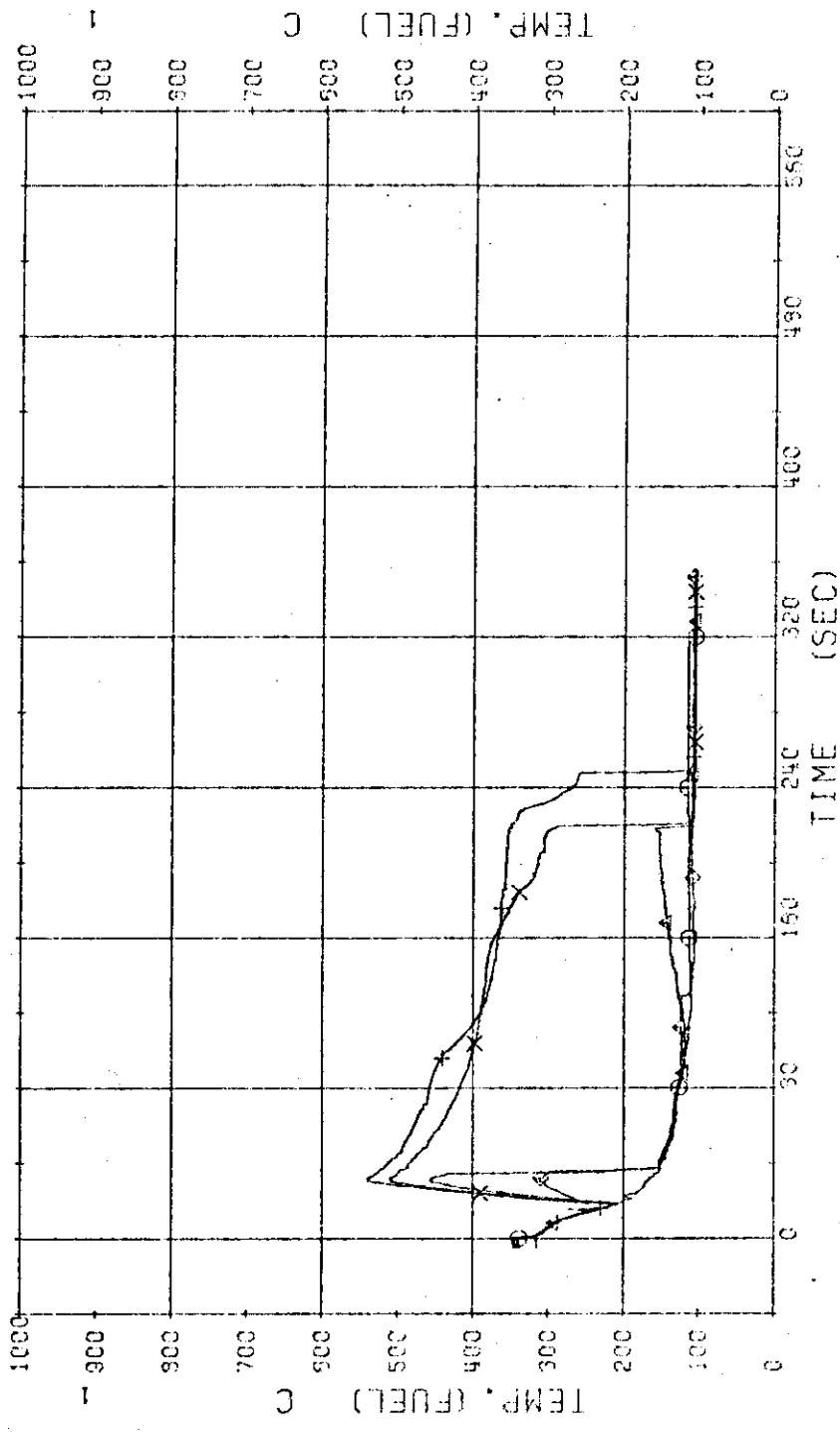


Fig. 3.55 Surface Temperatures of No.38 Rod in  
the Middle of Core . . . Run 604

RUN 604 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY

ECCS ---	HPI- ---	HPI2- ---	FC1-COLD	FC2-COLD	LPI1-COLD	LPI2-COLD	UHI-UP, HEAD
CH- 47 DA	TF11	{NG. 125 POSITION1			CH- 48 A	TF12	NG. 125 POSITION2
CH- 53 F	TF13	{NG. 125 POSITION3			CH- 50 X	TF14	NG. 125 POSITION4 }
CH- 51 G	TF15	{NG. 125 POSITION5					

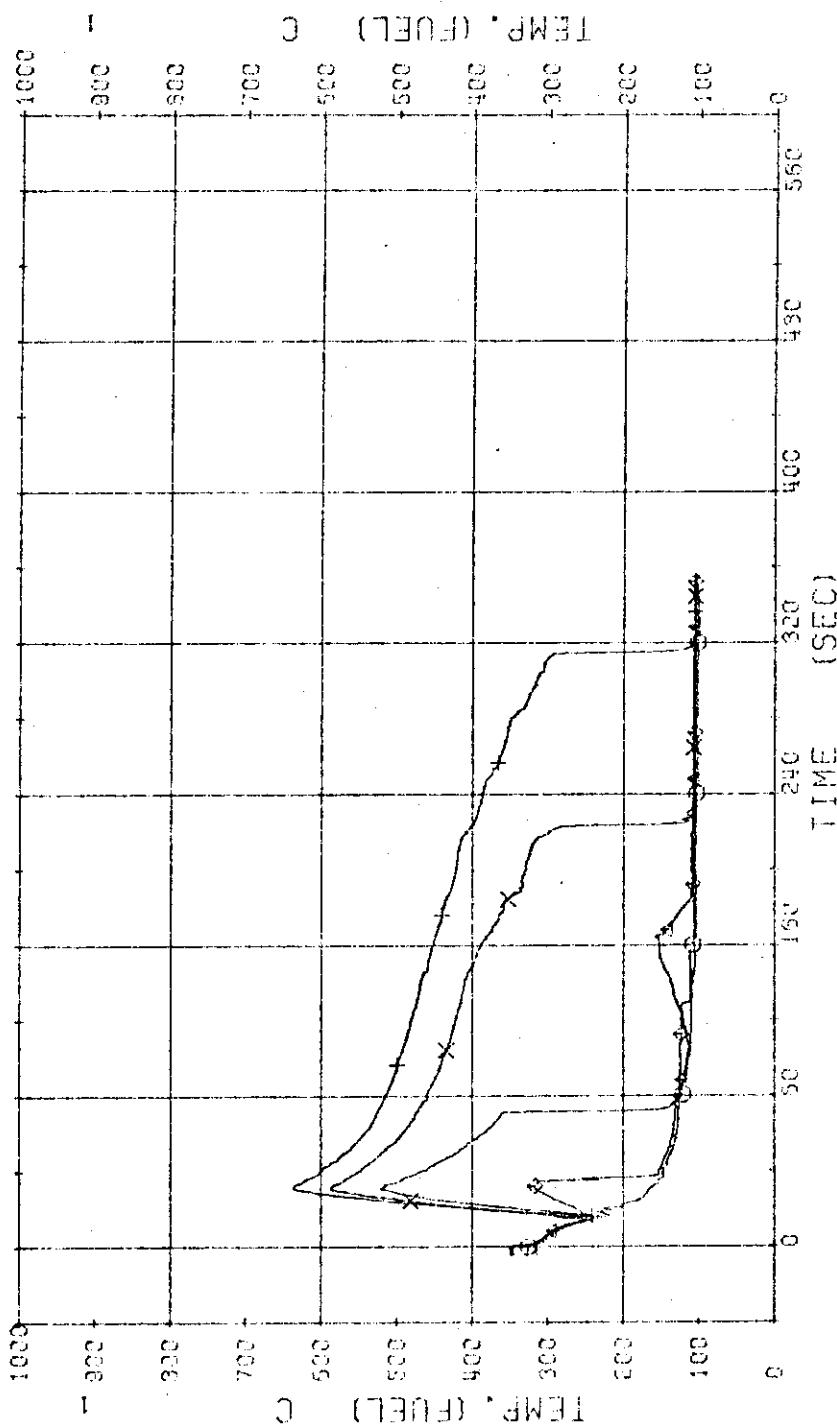


Fig.3.56 Surface Temperatures of No.125 Rod at the Outer Part of Core. .Run 604

RUN 604 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UH1 ASSEMBLY

ECCS ---	HP1- CH- 52	HP2- CH- 53	AC1-COLD CH- 54	AC2-COLD CH- 55	LP1-COLD CH- 56	LP2-COLD CH- 57	UH1-UP. HEAD CH- 58
	INC. 146	INC. 146	POSITION1	TF16	TF17	INC. 146	INC. 146 POSITION2
			)	INC. 146	X	INC. 146	INC. 146
			)	INC. 146	TF18	INC. 146	)

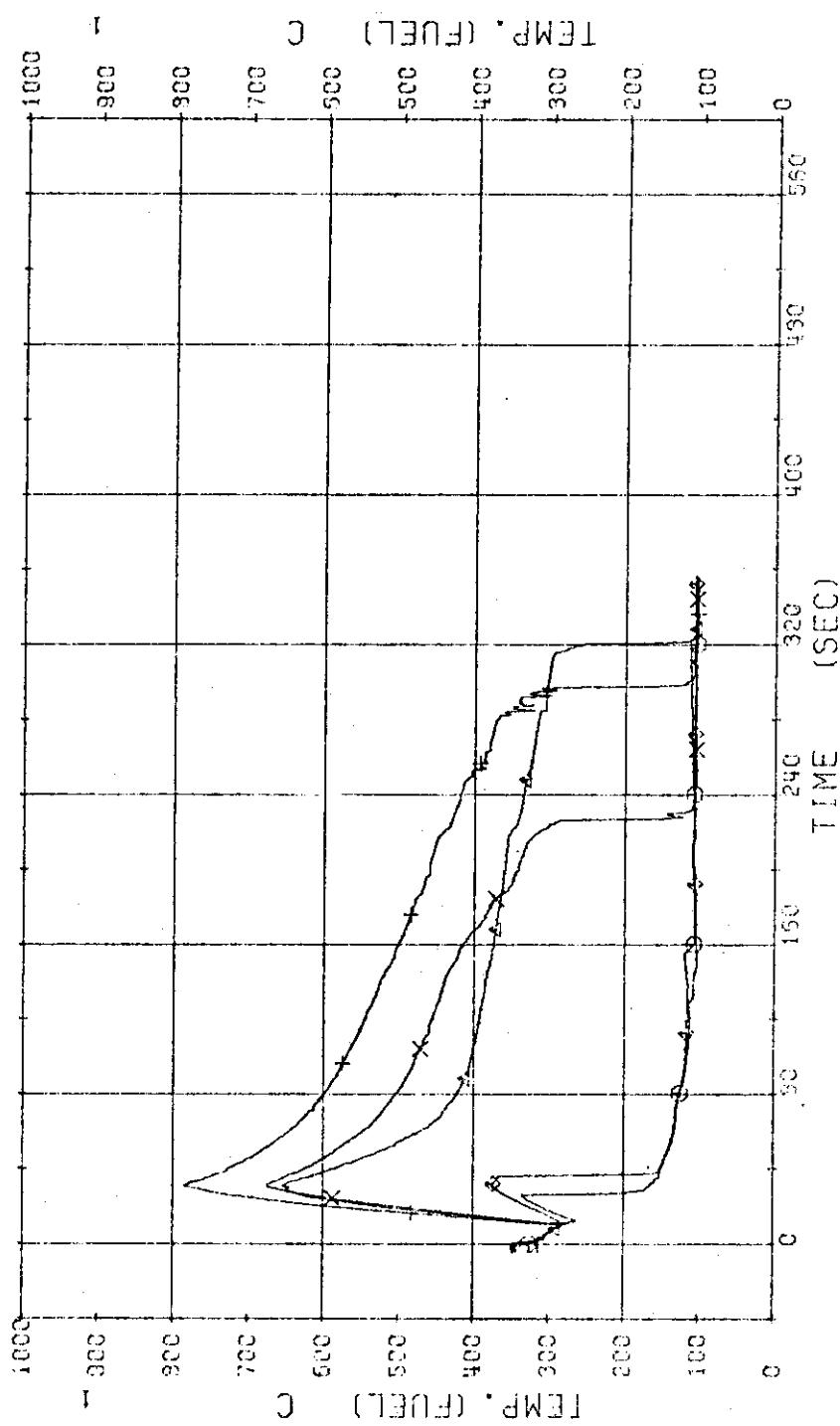


Fig. 3.57 Surface Temperatures of No. 146 Rod at the Outer Part of Core . . . Run 604

RUN 6C4 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHT ASSEMBLY  
 ECCS --- HP1- HP2- AC1-COLD EC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD CH1-UP, HEAD  
 CH- 57 01 TF21 UND. 44 POSITION1 CH- 53 A1 TF22 UND. 44 POSITION2  
 CH- 58 04 TF23 UND. 44 POSITION2 CH- 50 X1 TF24 UND. 44 POSITION3  
 CH- 51 04 TF25 UND. 44 POSITION3

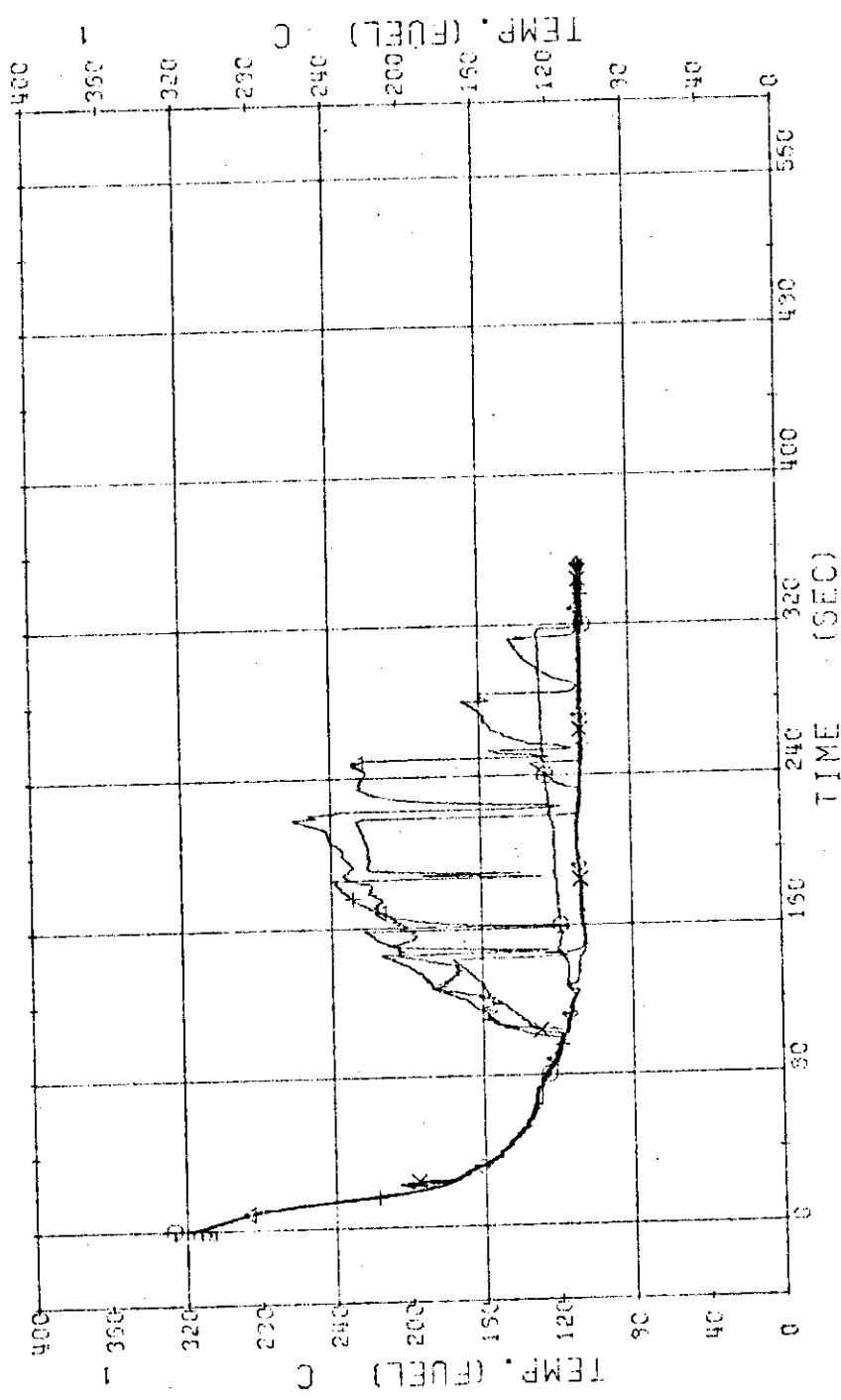


Fig. 3.58 Surface Temperatures of No. 44 Tie Rod in the Middle of Core. ...Run 604

RUN 607 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY

ECCS ---	HP1-	HP2-	AC1-COLD	AC2-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	UHI-UP, HEAD	
CH- 37 φ1	TF-1	{NO.1	POSITION1		CH- 38 φ1	TF-2	{NO.1	POSITION2
CH- 39 +1	TF-3	{NO.1	POSITION3		CH- 41 φ1	TF-5	{NO.1	POSITION5 }

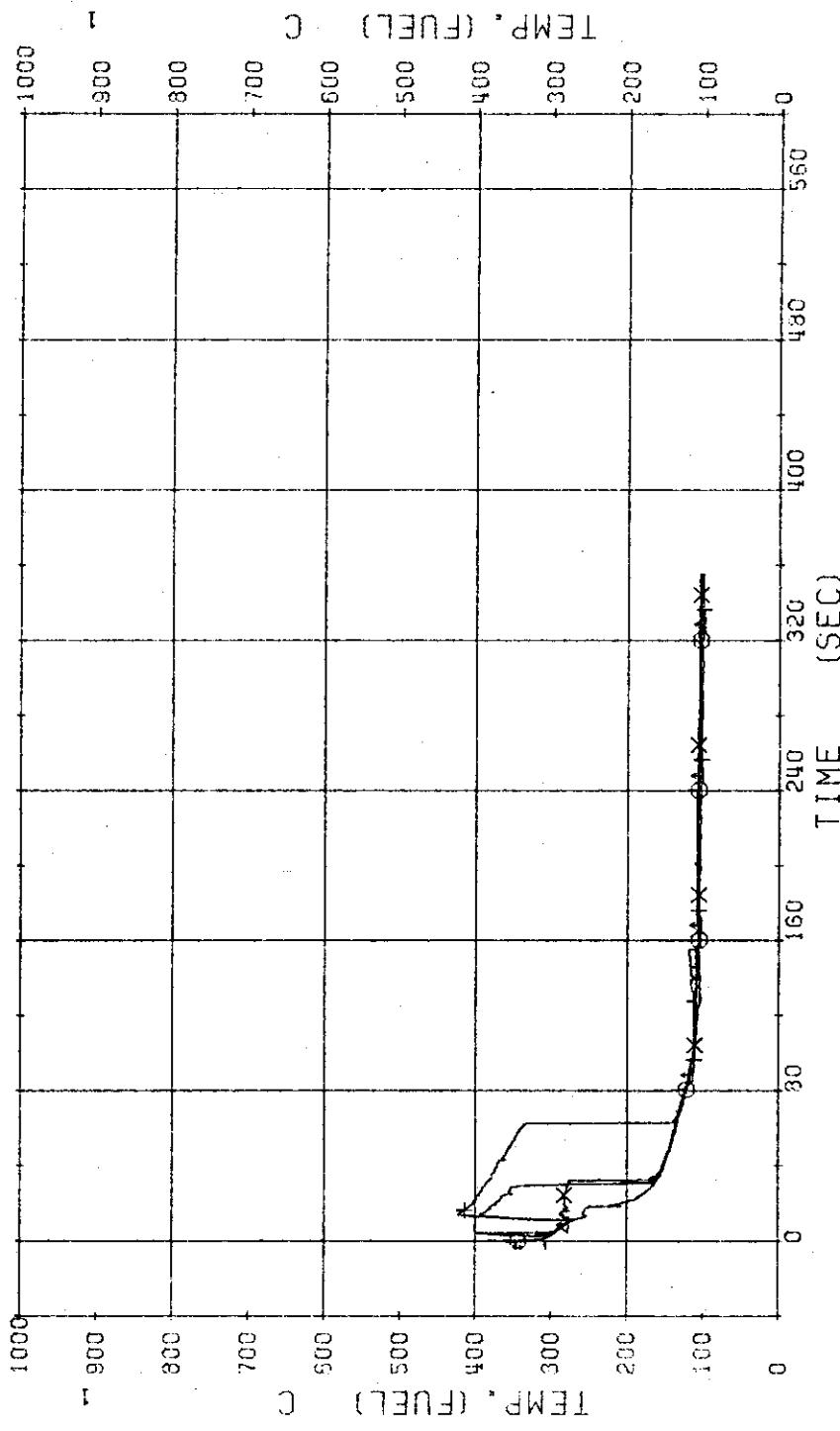


Fig.3.59 Surface Temperatures of No.1 Rod at  
the Center of Core. ...Run 607

## RUN 607 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UH1 ASSEMBLY

ECCS	---	HPI-	HP2-	AC1-COLD	AC2-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	UH1-UP. HEAD
CH-	42	TF-6	(NO. 38	POSITION 1	CH-	43	TF-7	(NO. 38 POSITION 2
CH-	44	TF-3	(NO. 38	POSITION 3	CH-	45	TF-9	(NO. 38 POSITION 4
CH-	46	TF10	(NO. 38	POSITION 5				)

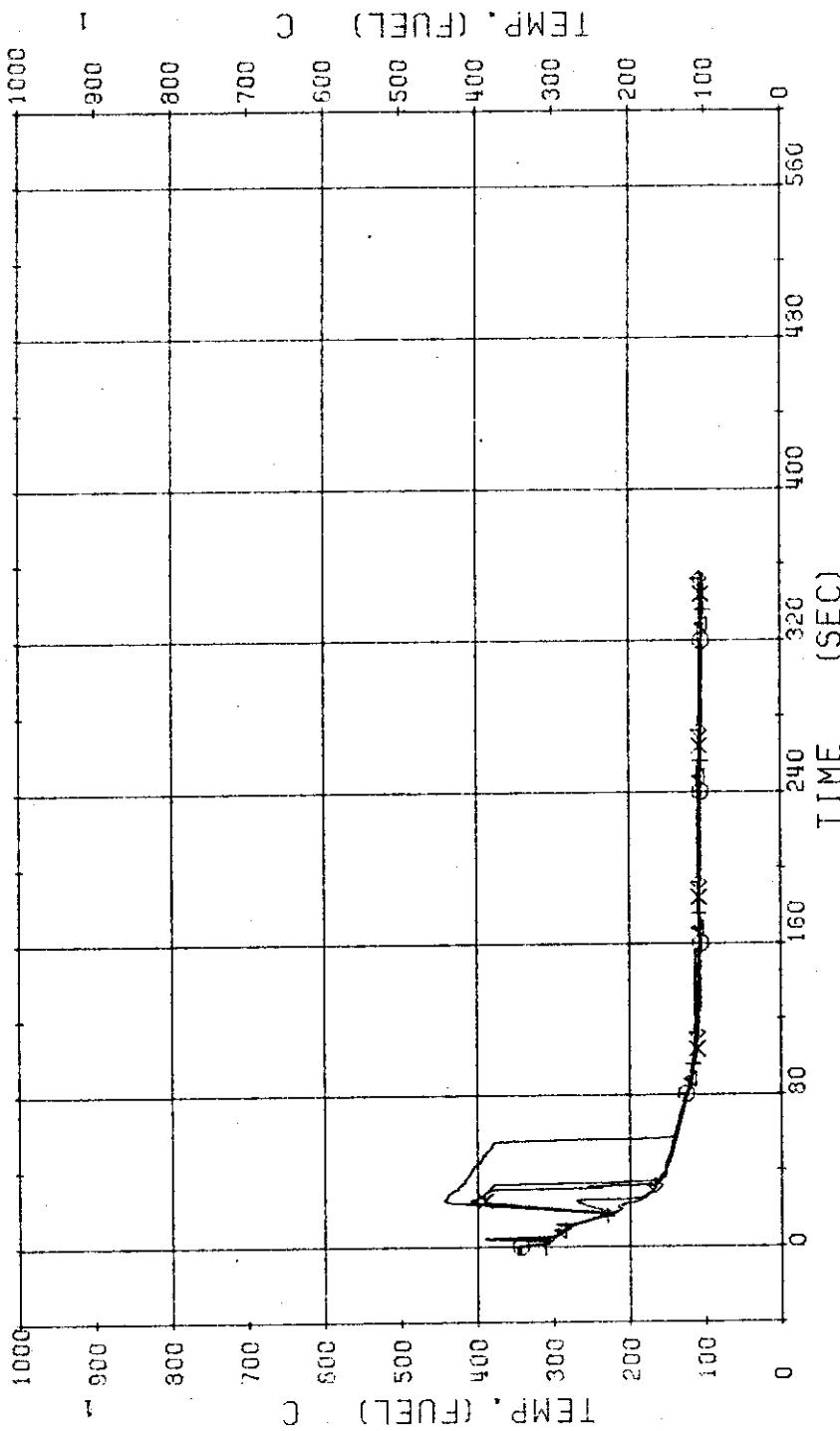


Fig. 3.60 Surface Temperatures of No. 38 Rod in the Middle of Core. ...Run 607

RUN 607 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY

ECCS ---	HP1-	HP2-	AC1-COLD	AC2-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	UHI-UP, HEAD
CH- 47 Q1	TF11 (NO. 125 POSITIONS)		CH- 48 A1	TF12 (NO. 125 POSITION <sup>2</sup> )			
CH- 49 H1	TF13 (NO. 125 POSITIONS)		CH- 50 X1	TF14 (NO. 125 POSITION <sup>4</sup> )			
CH- 51 G1	TF15 (NO. 125 POSITIONS)						

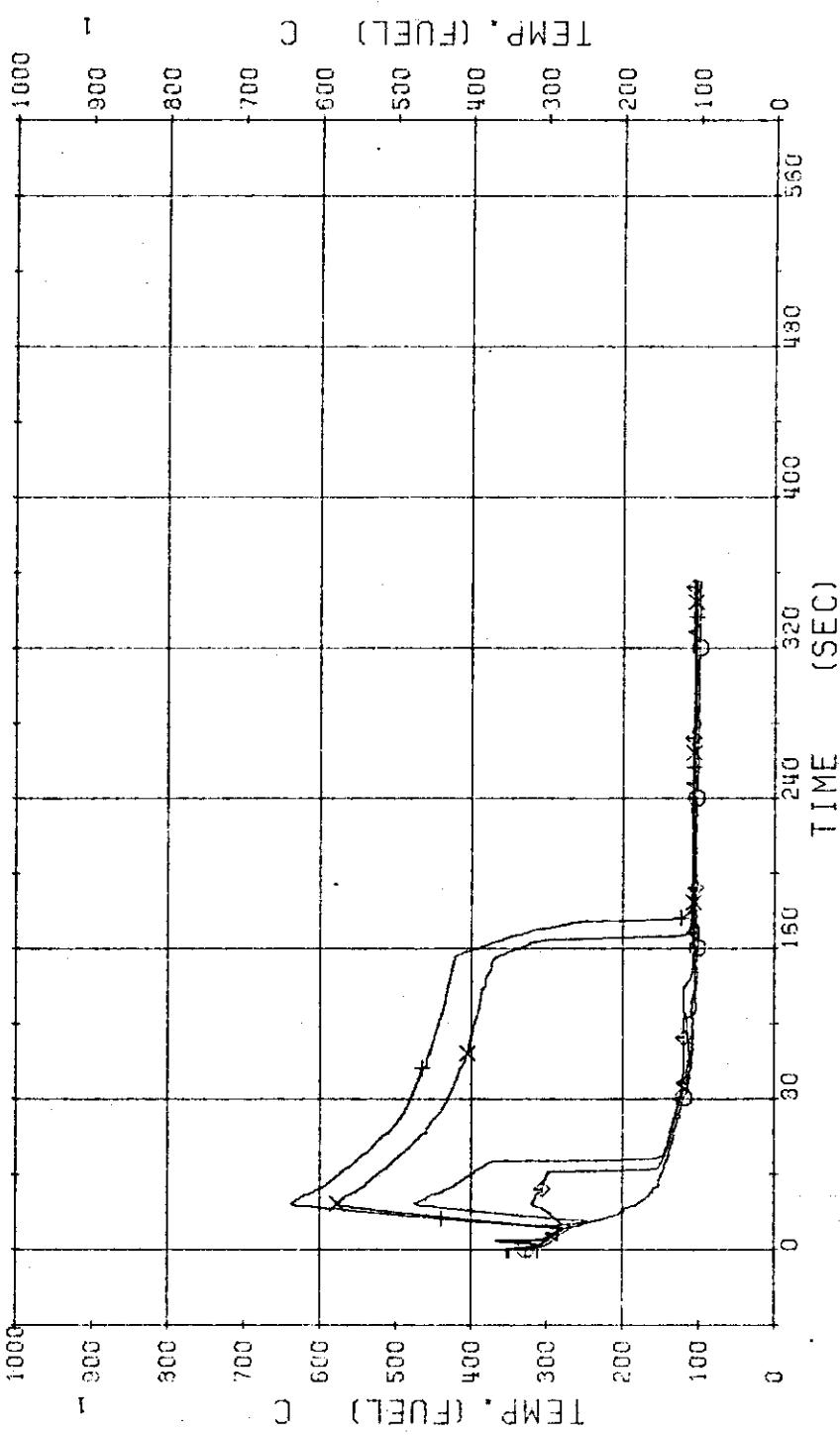


Fig.3.61 Surface Temperatures of No.125 Rod at  
the Outer Part of Core. ...Run 607

RUN 607 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY

ECCS ---	HP1-	HP2-	AC1-COLD	AC2-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	UHI-UP, HEAD
CH- 52 φ1	TF16 (NO. 146 POSITION1)			CH- 53 φ1	TF17 (NO. 146 POSITION2)		
CH- 54 +1	TF13 (NO. 146 POSITION3)			CH- 55 φ1	TF19 (NO. 146 POSITION4)		
CH- 56 φ1	TF20 (NO. 146 POSITION5)						

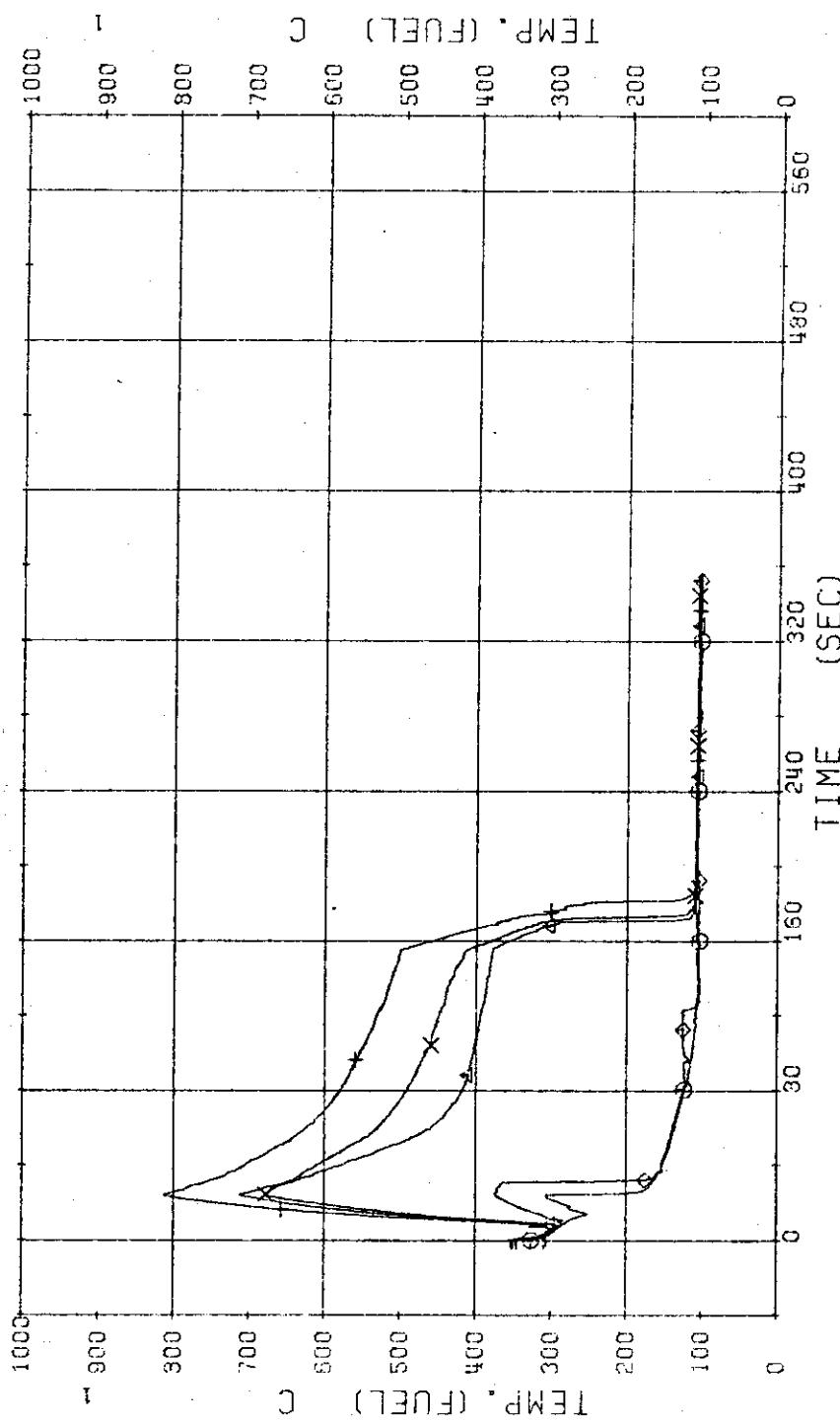


Fig.3.62 Surface Temperatures of No.146 Rod at the Outer Part of Core. ...Run 607

RUN 607 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHT ASSEMBLY

ECCS ---	HP1-	HP2-	AC1-COLD	AC2-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	UHT-UP. HEAD
CH- 57 φ1	TF21 (NO.44)	POSITION1		CH- 58 φ1	TF22 (NO.44)	POSITION2	
CH- 59 φ1	TF23 (NO.44)	POSITION3		CH- 50 φ1	TF24 (NO.44)	POSITION4	
CH- 61 φ1	TF25 (NO.44)	POSITION5					

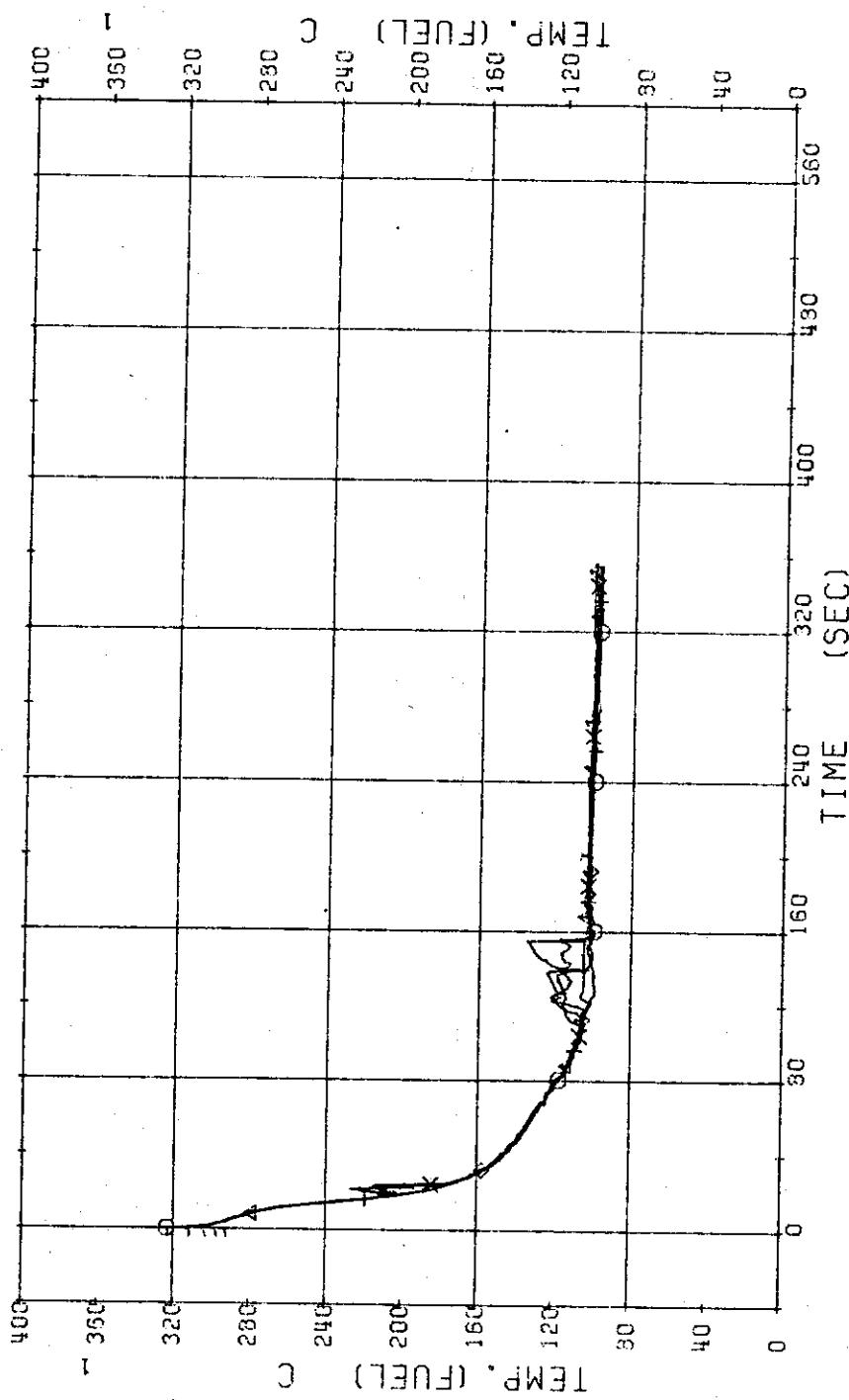


Fig. 3.63 Surface Temperatures of No.44 Tie Rod in the Middle of Core. ...Run 607

RUN 608 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UH1 ASSEMBLY  
ECCS --- HP1- HP2- AC1-COLD AC2-COLD LP1-COLD LP2-COLD UH1-UP, HEAD  
CH- 37 Q1 TF-1 (NG.1 POSITION1 ) CH- 39 41 TF-2 (NG.1 POSITION2 )  
CH- 39 +1 TF-3 (NG.1 POSITION3 ) CH- 41 X1 TF-5 (NG.1 POSITION5 )

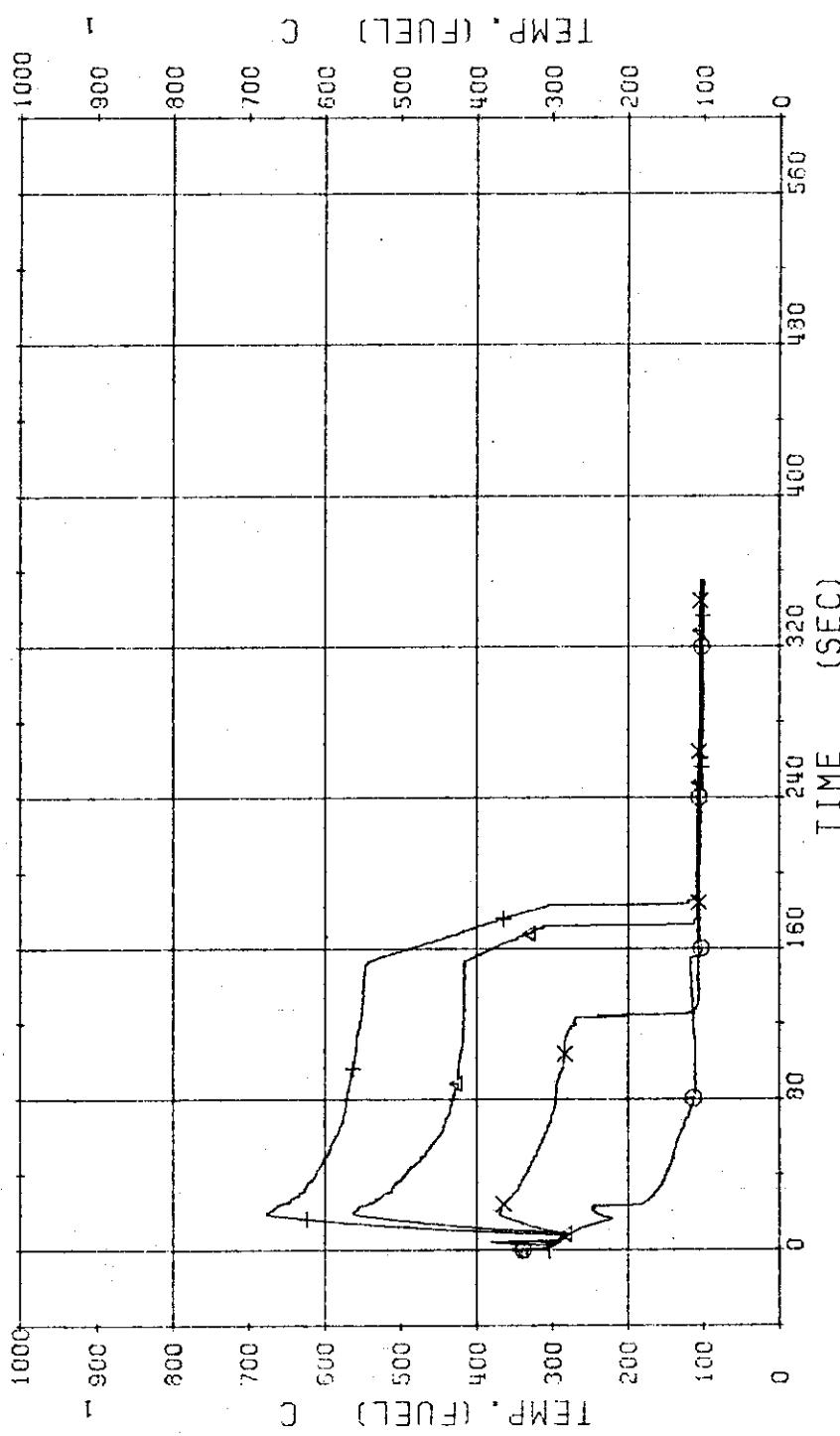


Fig.3.64 Surface Temperatures of No.1 Rod at the Center of Core. ...Run 608

## RUN 608 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHT ASSEMBLY

ECCS ---	HP1-	HP2-	AC1-COLD	AC2-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	UHT-UP. HEAD
CH- 42 φ1	TF-6	(INC. 36)	POSITION 1		CH- 43 φ1	TF-7	(NO. 36 POSITION 2)
CH- 44 φ1	TF-3	(INC. 36)	POSITION 3		CH- 45 φ1	TF-9	(INC. 36 POSITION 4)
CH- 46 φ1	TF10	(INC. 38)	POSITIONS				

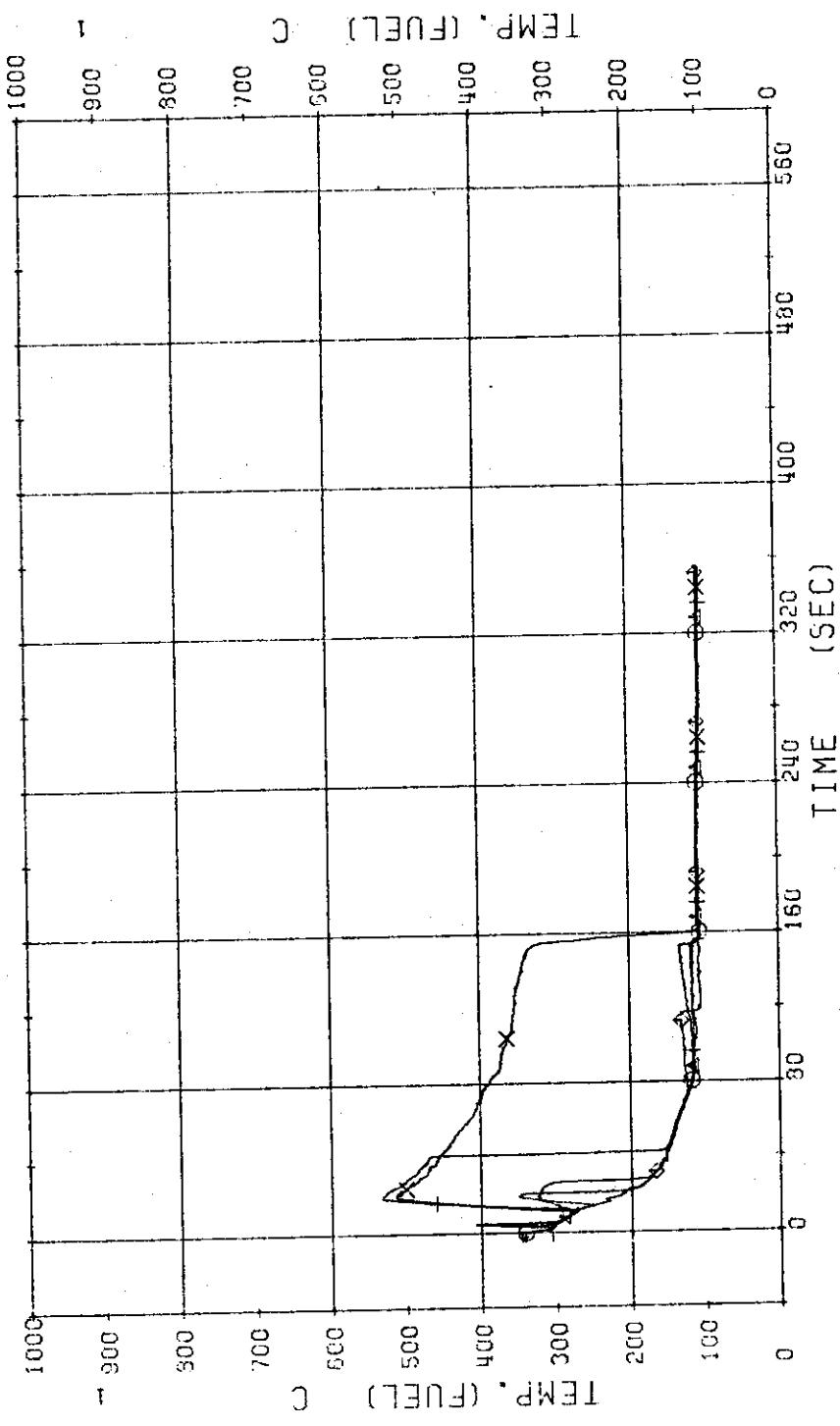


Fig. 3.65 Surface Temperatures of No. 38 Rod in the Middle of Core ...Run 608

## RUN 608 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UH1 ASSEMBLY

ECCS ---	HP1-	HP2-	AC1-COLD	AC2-COLD	LPI-COLD	LP2-COLD	UH1-UP, HEAD
CH- 47 Q1	TF11	(NO. 125 POSITION1)	)	CH- 48 A1	TF12	(NO. 125 POSITION2)	)
CH- 49 H1	TF13	(NO. 125 POSITION3)	)	CH- 50 X1	TF14	(NO. 125 POSITION4)	)
CH- 51 G1	TF15	(NO. 125 POSITION5)					

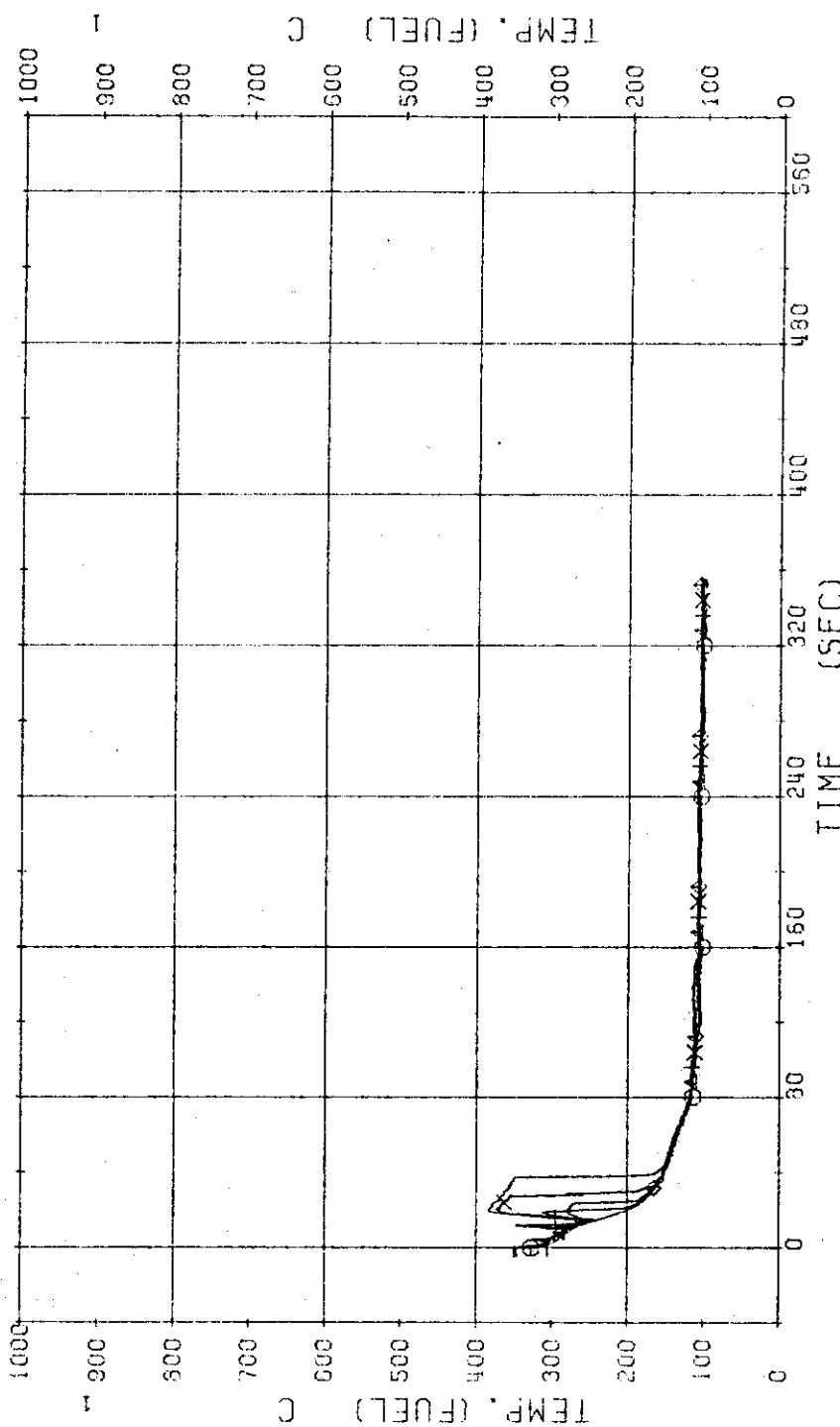


Fig.3.66 Surface Temperatures of No.125 Rod at  
the Outer Part of Core. ...Run 608

## RUN 608 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UH1 ASSEMBLY

ECCS ---	HP1-	HP2-	AC1-COLD	AC2-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	UH1-UP, HEAD
CH- 52 @	TF16	(NO. 146 POSITION1)			CH- 53 @	TF17	(NO. 146 POSITION2)
CH- 54 @	TF18	(NO. 146 POSITION3)			CH- 55 @	TF19	(NO. 146 POSITION4)
CH- 56 @	TF20	(NO. 146 POSITION5)					

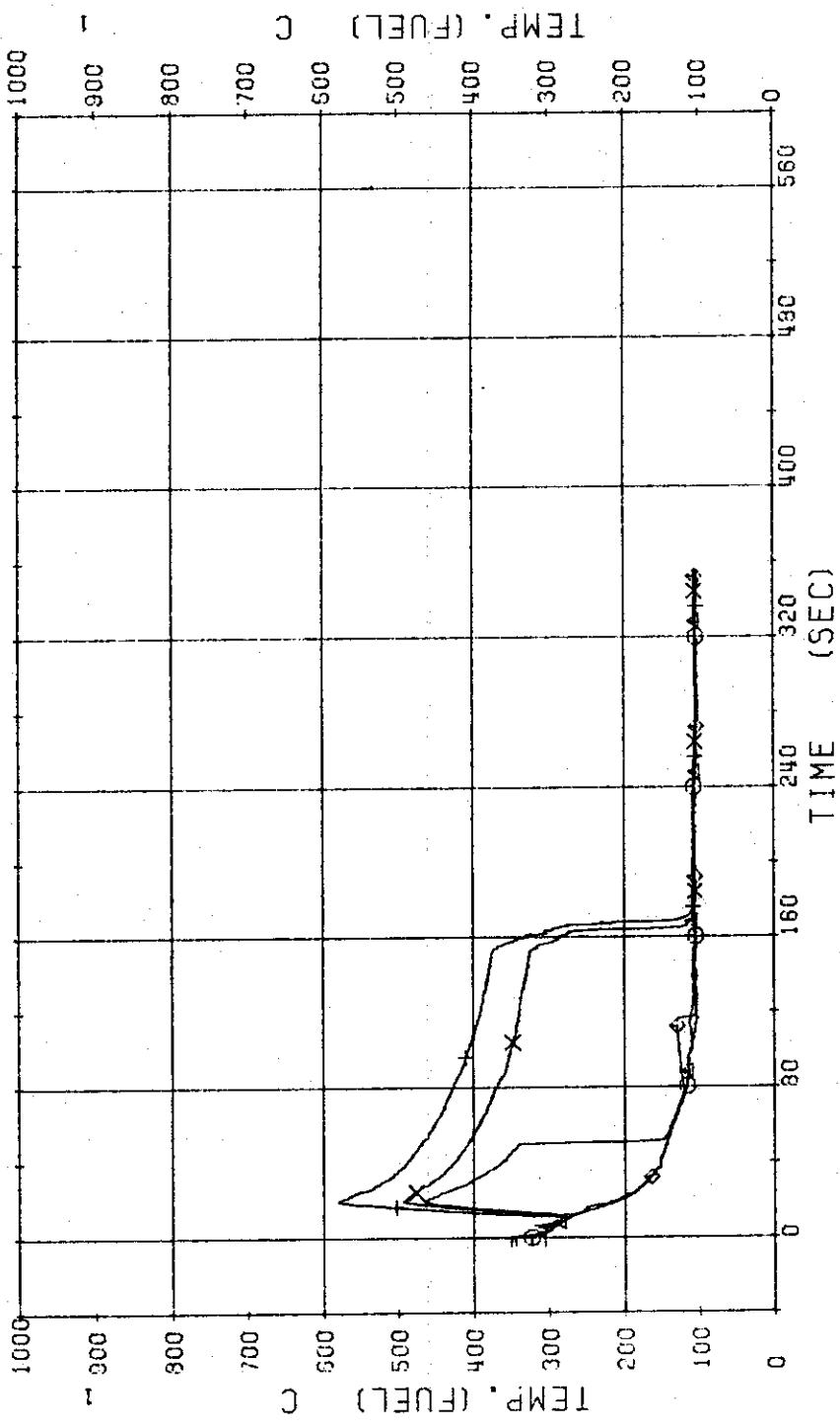


Fig.3.67 Surface Temperatures of No.146 Rod at  
the Outer Part of Core. ...Run 608

## RUN 608 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHM ASSEMBLY

ECCS ---	HP1-	HP2-	AC1-COLD	AC2-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	UHI-UP. HEAD
CH- 57 @1	TF21	(NO.44)	POSITION1	)	CH- 53 @1	TF22	(NO.44) POSITION2
CH- 59 +1	TF23	(NO.44)	POSITION3	)	CH- 60 @1	TF24	(NO.44) POSITION4
CH- 61 @1	TF25	(NO.44)	POSITION5	)			}

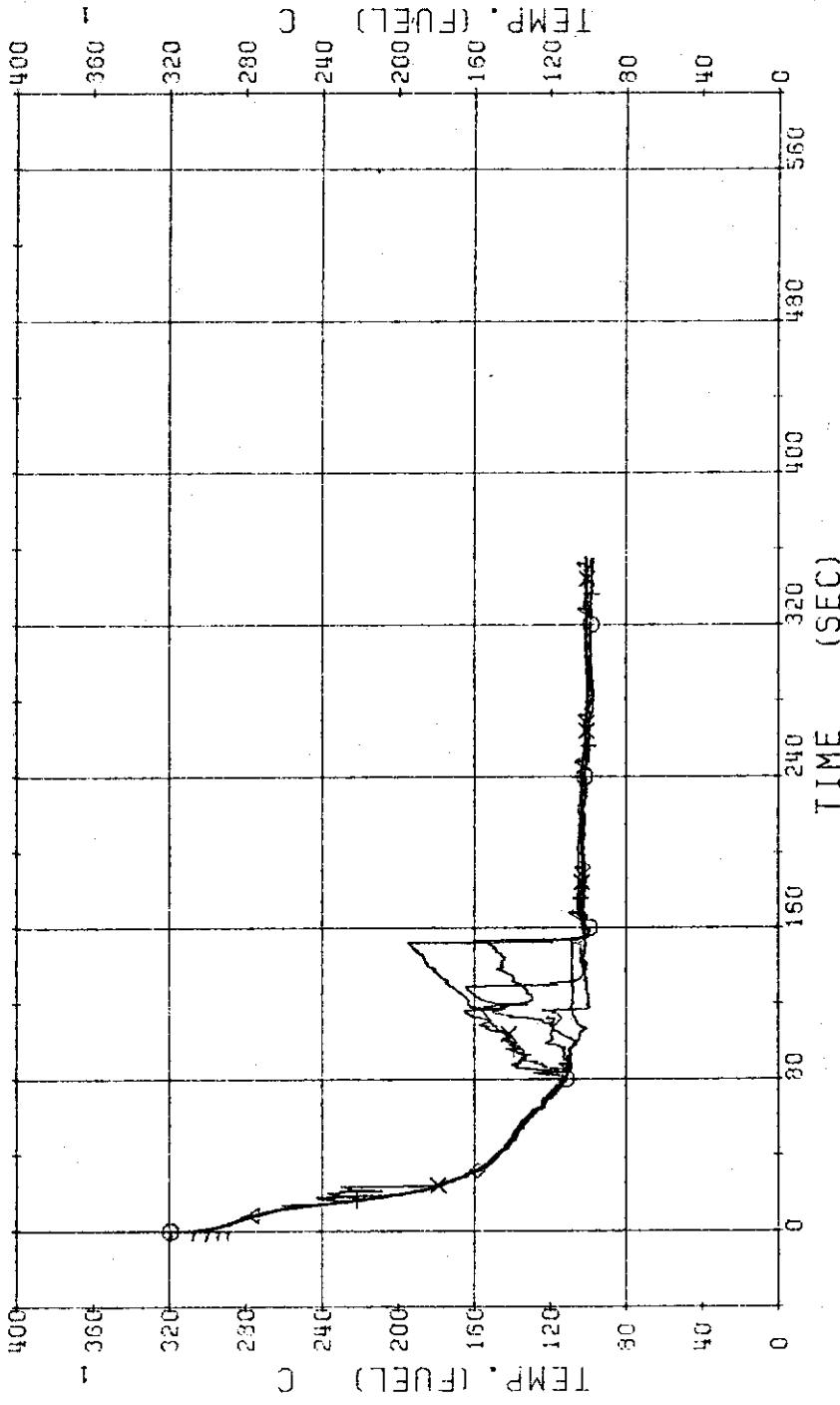


Fig.3.68 Surface Temperatures of No.44 Tie Rod in the Middle of Core. ...Run 608

RUN 609 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY

ECCS ---	HP1-	HP2-	AC1-COLD	AC2-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	UHI-UP, HEAD
CH- 37 @	TF-1 (NO.1)	POSITION1			CH- 38 @	TF-2 (NO.1)	POSITION2
CH- 39 +	TF-3 (NO.1)	POSITION3			CH- 41 X	TF-5 (NO.1)	POSITION3

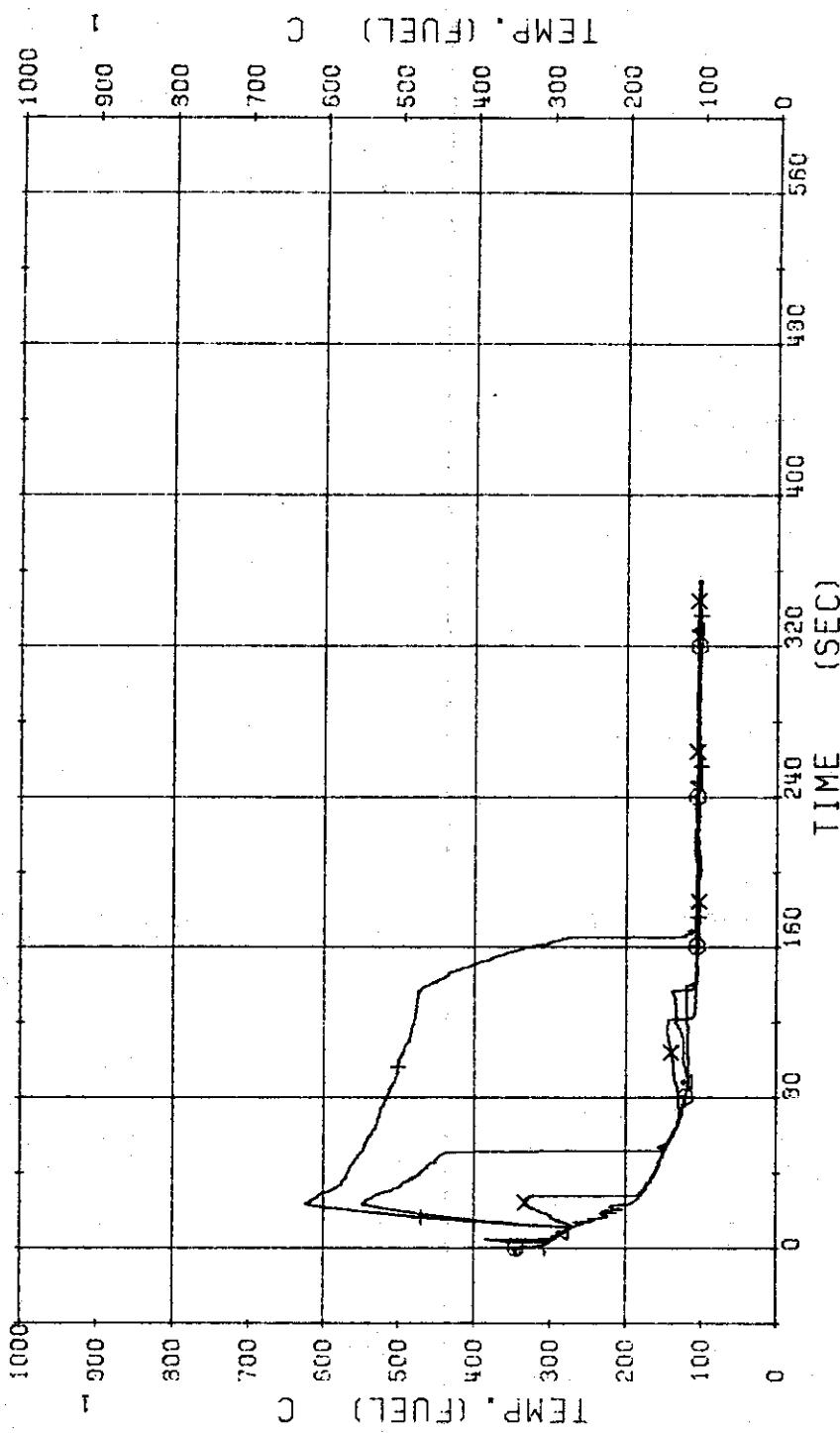


Fig. 3.69 Surface Temperatures of No.1 Rod at the Center of Core. ...Run 609

RUN 609 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY

ECCS ---	HP1-	HP2-	AC1-COLD	AC2-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	UHI-UP.HEAD
CH- 42 Q1	TF-6	(NO.38)	POSITION1	)	CH- 43 A1	TF-7	(NO.36 POSITION2
CH- 44 H1	TF-8	(NO.38)	POSITION3	)	CH- 45 X1	TF-9	(NO.36 POSITION4
CH- 46 Q1	TF10	(NO.38)	POSITION5	)			)

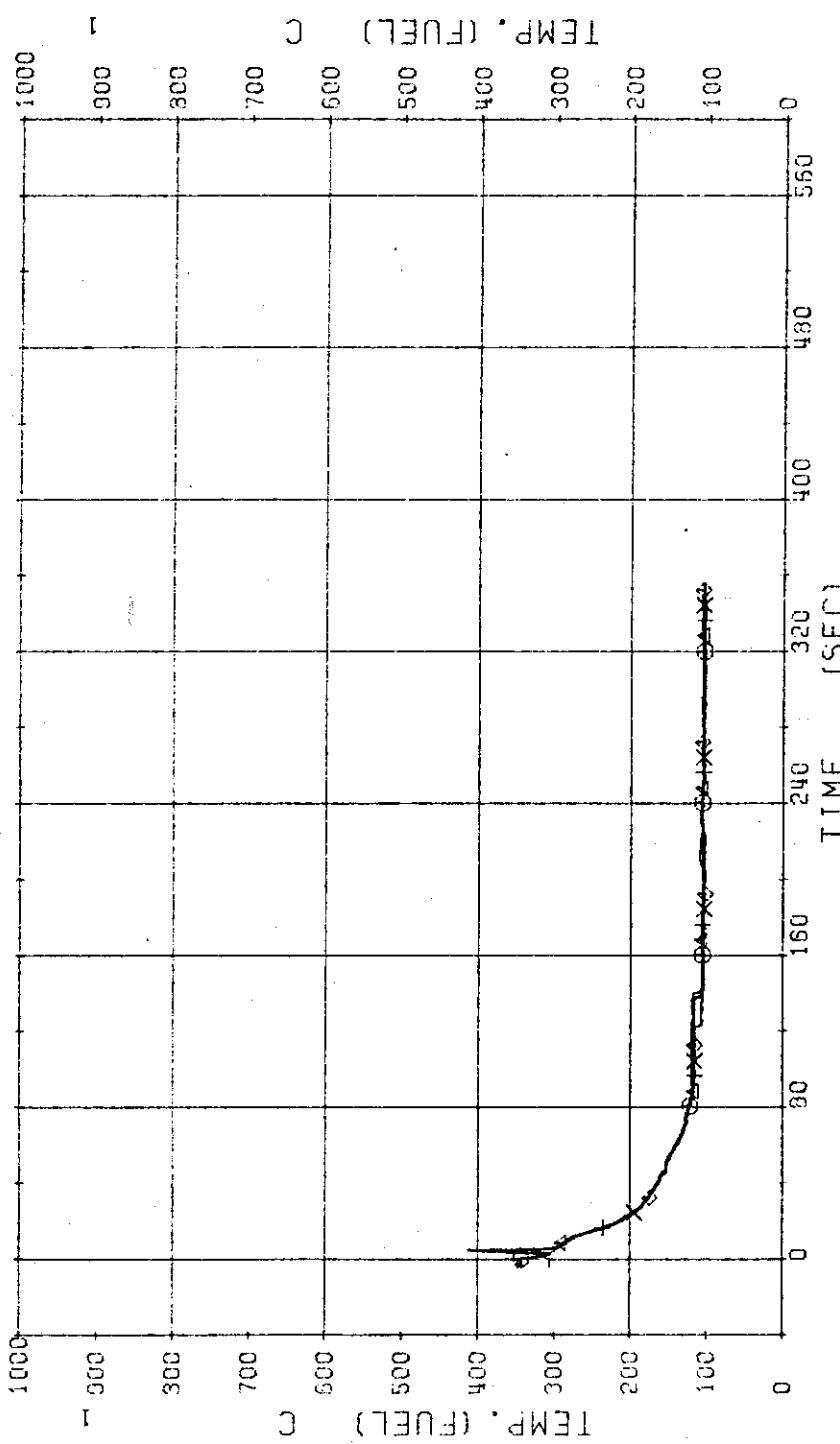


Fig. 3.70 Surface Temperatures of No.38 Rod in  
the Middle of Core. ...Run 609

RUN 609 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHI ASSEMBLY

ECCS ---	HP1-	HP2-	AC1-COLD	AC2-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	UHI-UP, HEAD
CH- 47 φ1	TF11	(NO. 125 POSITION1)			CH- 49 φ1	TF12	(NO. 125 POSITION2)
CH- 49 +1	TF13	(NO. 125 POSITION3)			CH- 50 φ1	TF14	(NO. 125 POSITION4)
CH- 51 φ1	TF15	(NO. 125 POSITION5)					

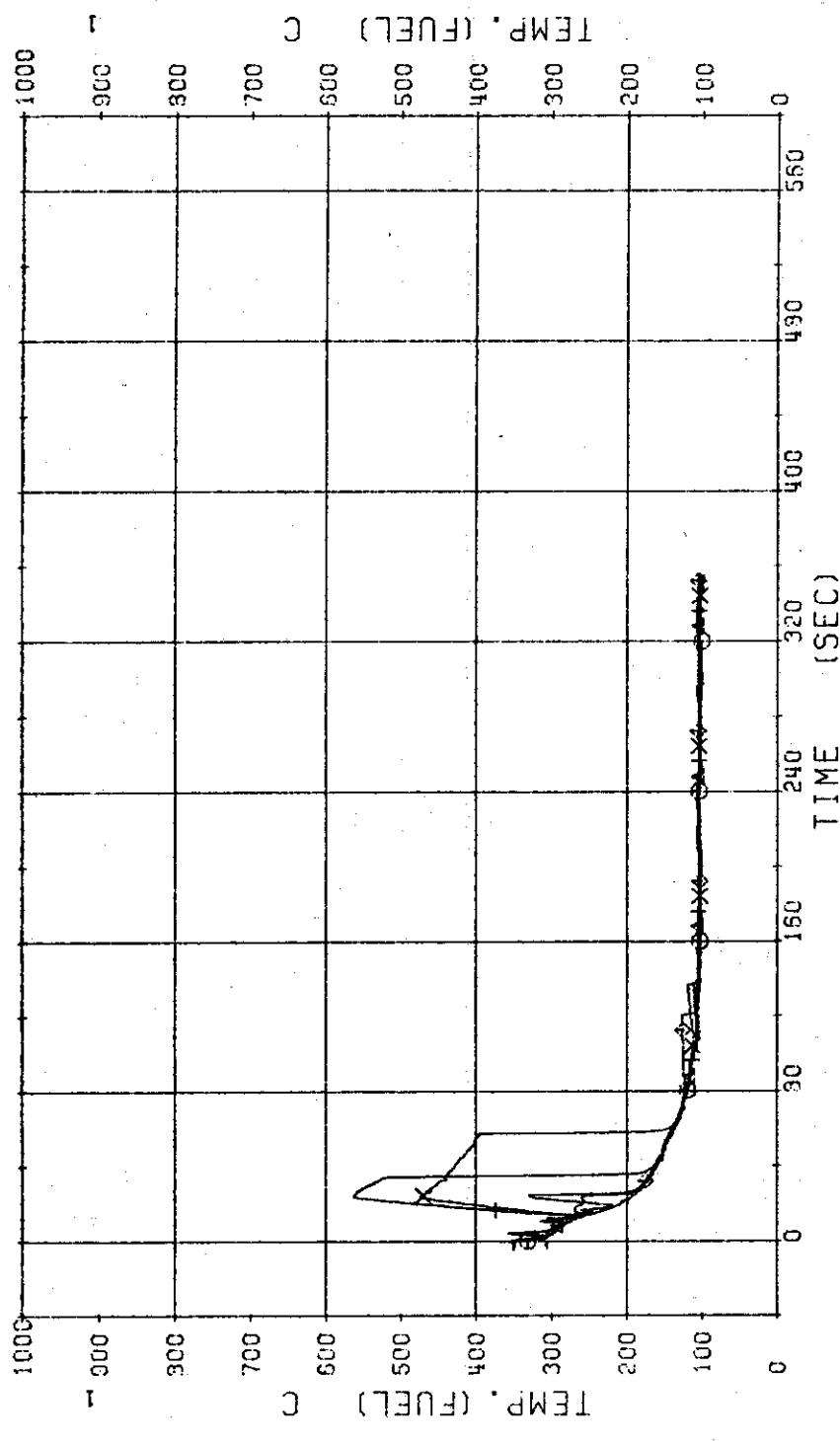


Fig. 3.71 Surface Temperatures of No. 125 Rod at the Outer Part of Core. ...Run 609

RUN 609 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UHT ASSEMBLY

ECCS ---	HP1-	HP2-	AC1-COLD	AC2-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	UHT-UP. HEAD
CH- 52 @	TF16	(INC. 146 POSITIONS)			CH- 53 A	TF17	(INC. 146 POSITION2)
CH- 54 +	TF13	(INC. 146 POSITIONS)			CH- 55 X	TF13	(INC. 146 POSITION4)
CH- 56 @	TF20	(INC. 146 POSITIONS)					

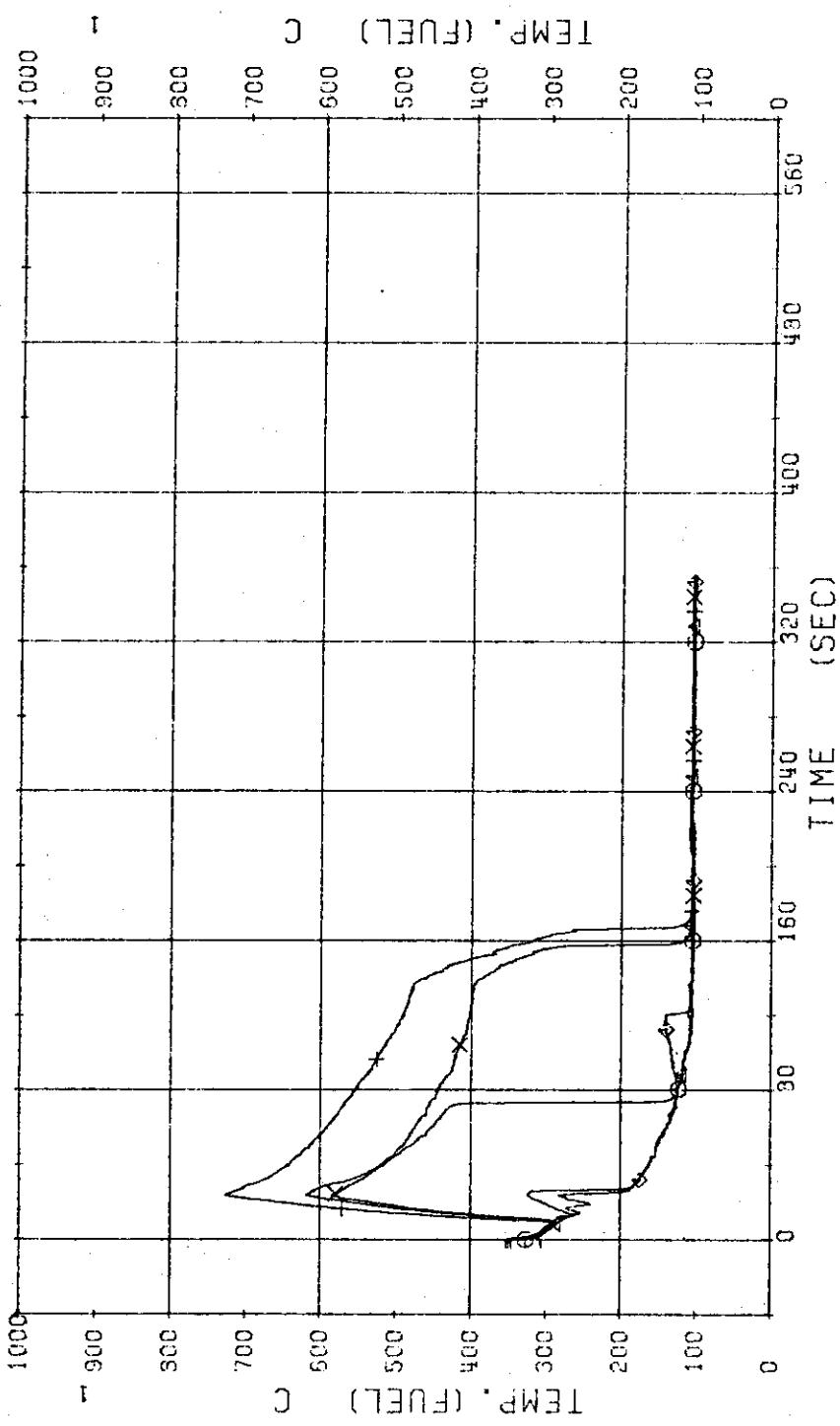


Fig.3.72 Surface Temperatures of No.146 Rod at the Outer Part of Core. ...Run 609

RUN 609 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM UH1 ASSEMBLY

ECCS ---	HP1-	HP2-	AC1-COLD	AC2-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	JH1-UP, HEAD
CH- 57 O1	TF21	(NO. 44 POSITION1)		CH- 53 A1	TF22	(NO. 44 POSITION2)	
CH- 59 +1	TF23	(NO. 44 POSITION3)		CH- 60 X	TF24	(NO. 44 POSITION4)	}
CH- 61 +1	TF25	(NO. 44 POSITION5)					

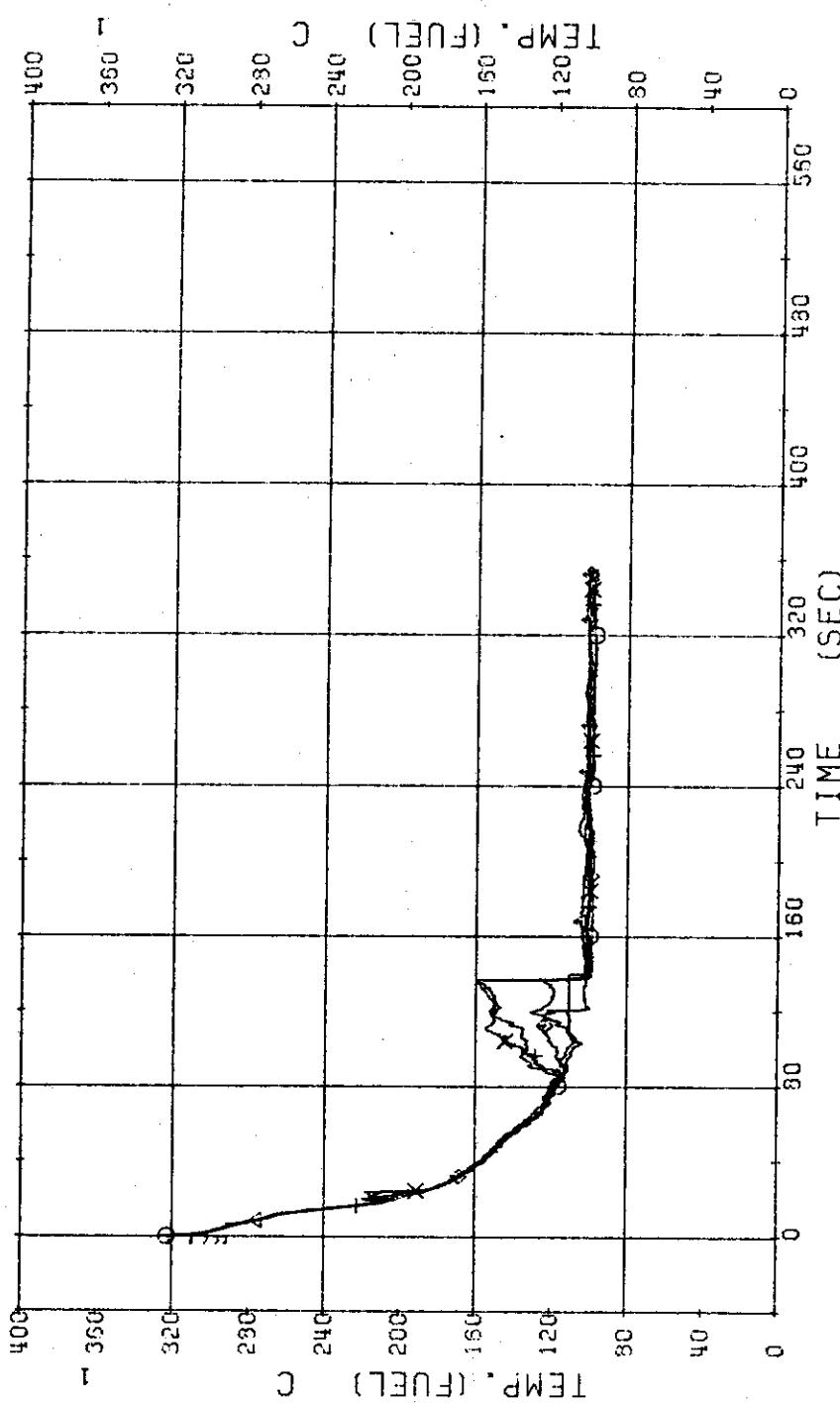


Fig.3.73 Surface Temperatures of No.44 Tie Rod in the Middle of Core . . . Run 609

RUN 610 COLD LEG BREAK      BREAK DIAMETER 0.0/16.5 MM      UH1 ASSEMBLY

ECCS ---	HP1-COLD	HP2-COLD	AC1-COLD	AC2-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	UH1-UP,HEAD
CH- 37 Q1	TF-1 NO.1	POSITION1			CH- 33 A1	TF-2 NO.1	POSITION2
CH- 39 H1	TF-3 NO.1	POSITION3	}		CH- 41 X1	TF-5 NO.1	}

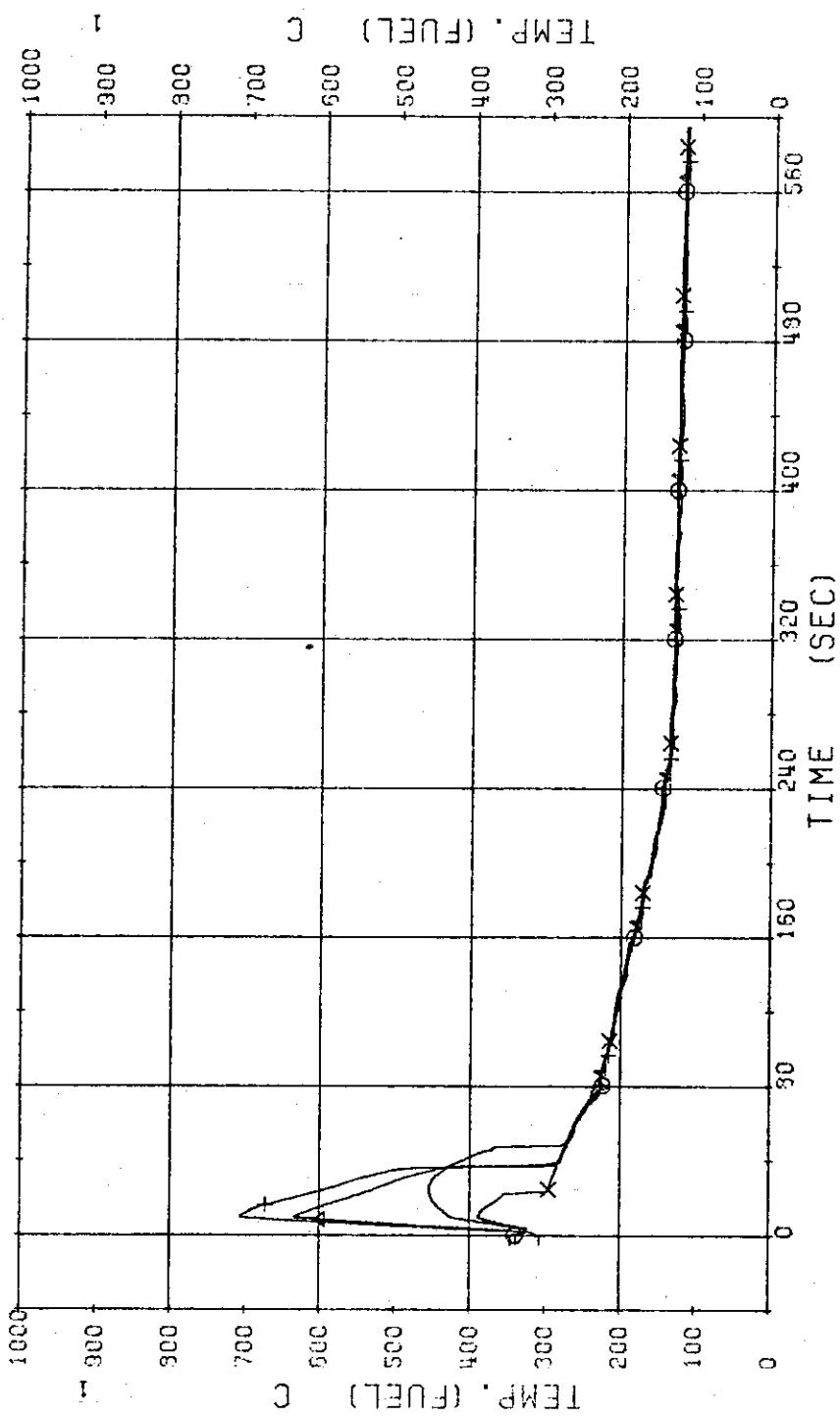


Fig.3.74 Surface Temperatures of No.1 Rod at  
the Center of Core. ...Run 610

RUN 610 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 0.0/16.5 MM UH1 ASSEMBLY

ECCS ---	HP1-COLD	HP2-COLD	AC1-COLD	AC2-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	UH1-UP, HEAD
CH- 42 φ1	TF-6	(NO. 38)	POSITION 1		CH- 43 φ1	TF-7	(NO. 38) POSITION 2
CH- 44 φ1	TF-8	(NO. 38)	POSITION 3		CH- 45 φ1	TF-3	(NO. 39) POSITION 4
CH- 45 φ1	TF10	(NO. 39)	POSITION 5				}

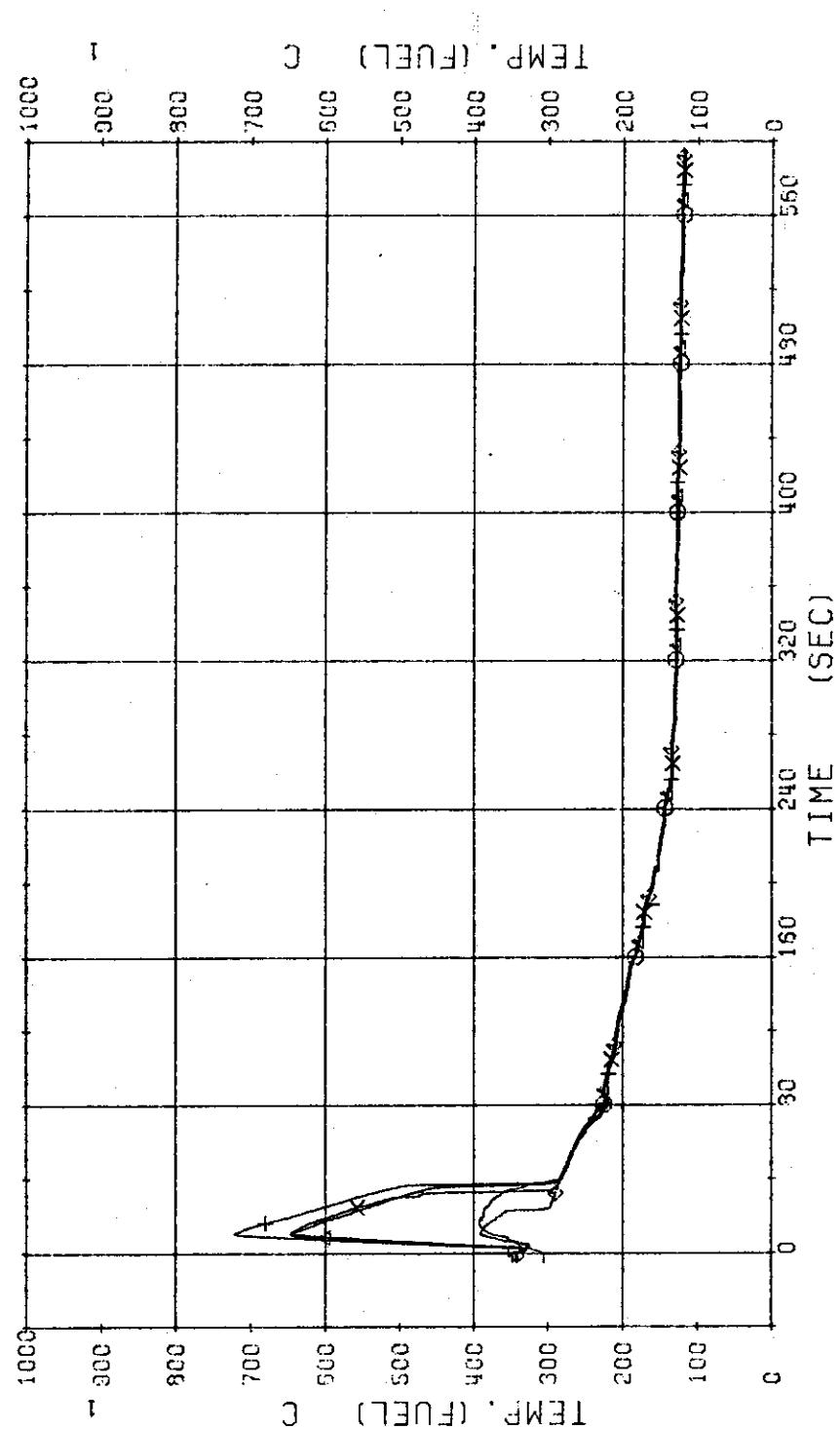


Fig.3.75 Surface Temperatures of No.38 Rod in  
the Middle of Core. ... Run 610

RUN 610 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 0.0/16.5 MM UHI ASSEMBLY

ECCS ---	HP1-COLD	HP2-COLD	AC1-COLD	AC2-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	UHI-UP.HEAD
CH- 47 Q	TF11	{NG.125 POSITION1}			CH- 43 A	TF12	{NG.125 POSITION2}
CH- 49 H	TF13	{NG.125 POSITION3}			CH- 50 X	TF14	{NG.125 POSITION4}
CH- 51 G	TF15	{NG.125 POSITIONS}					

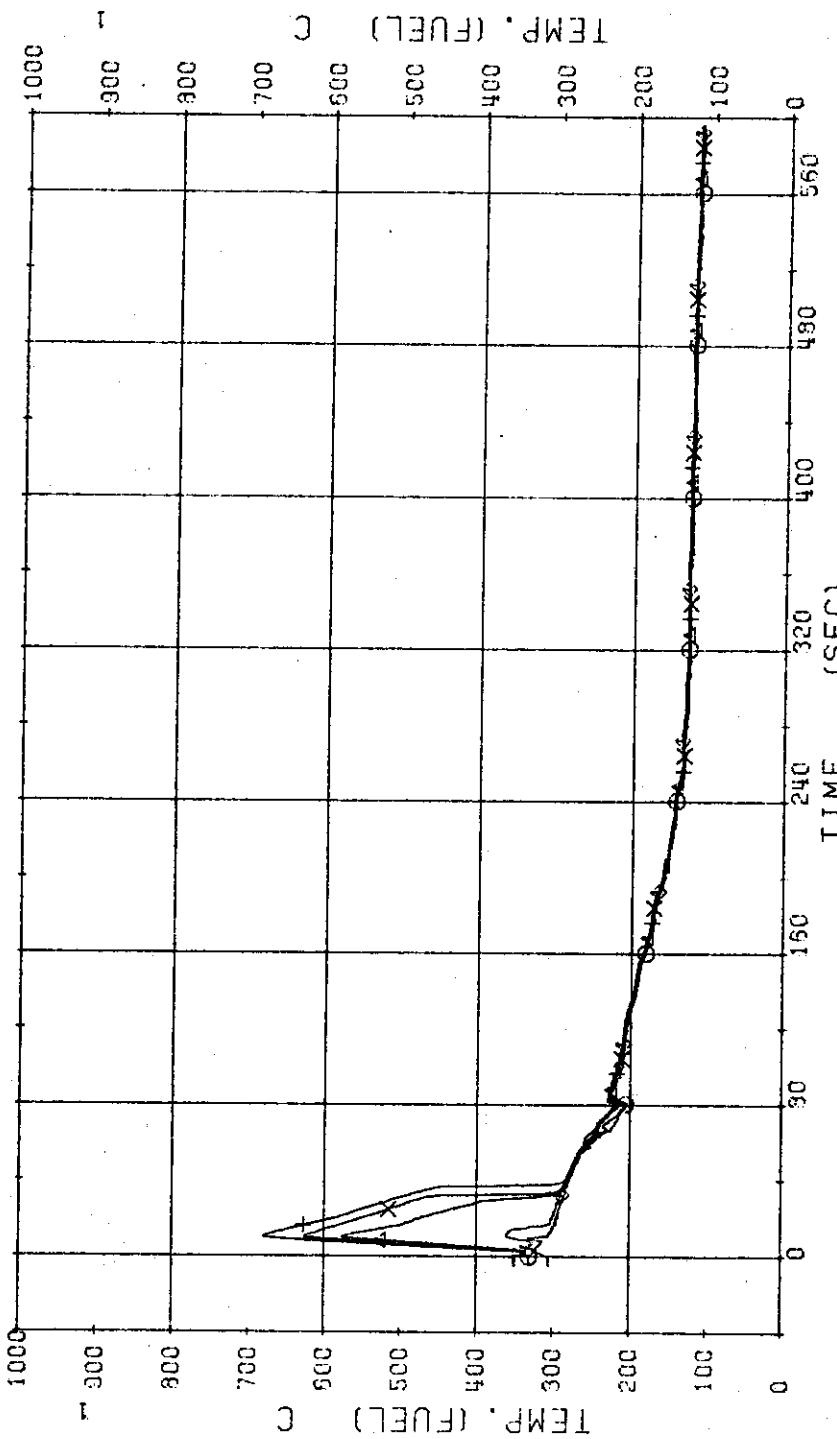


Fig.3.76 Surface Temperatures of No.125 Rod at  
the Outer Part of Core. ...Run 610

## RUN 610 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 0.0/16.5 MM UH1 ASSEMBLY

ECCS ---	HP1-COLD	HP2-COLD	AC1-COLD	AC2-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	UH1-UP, HEAD
CH- 52 O1	TF16	(NO. 146 POSITION1	)	CH- 53 A1	TF17	(NO. 146 POSITION2	
CH- 54 H1	TF19	(NO. 146 POSITION3	)	CH- 55 X1	TF19	(NO. 146 POSITION4	)
CH- 56 S1	TF20	(NO. 146 POSITION5	)				

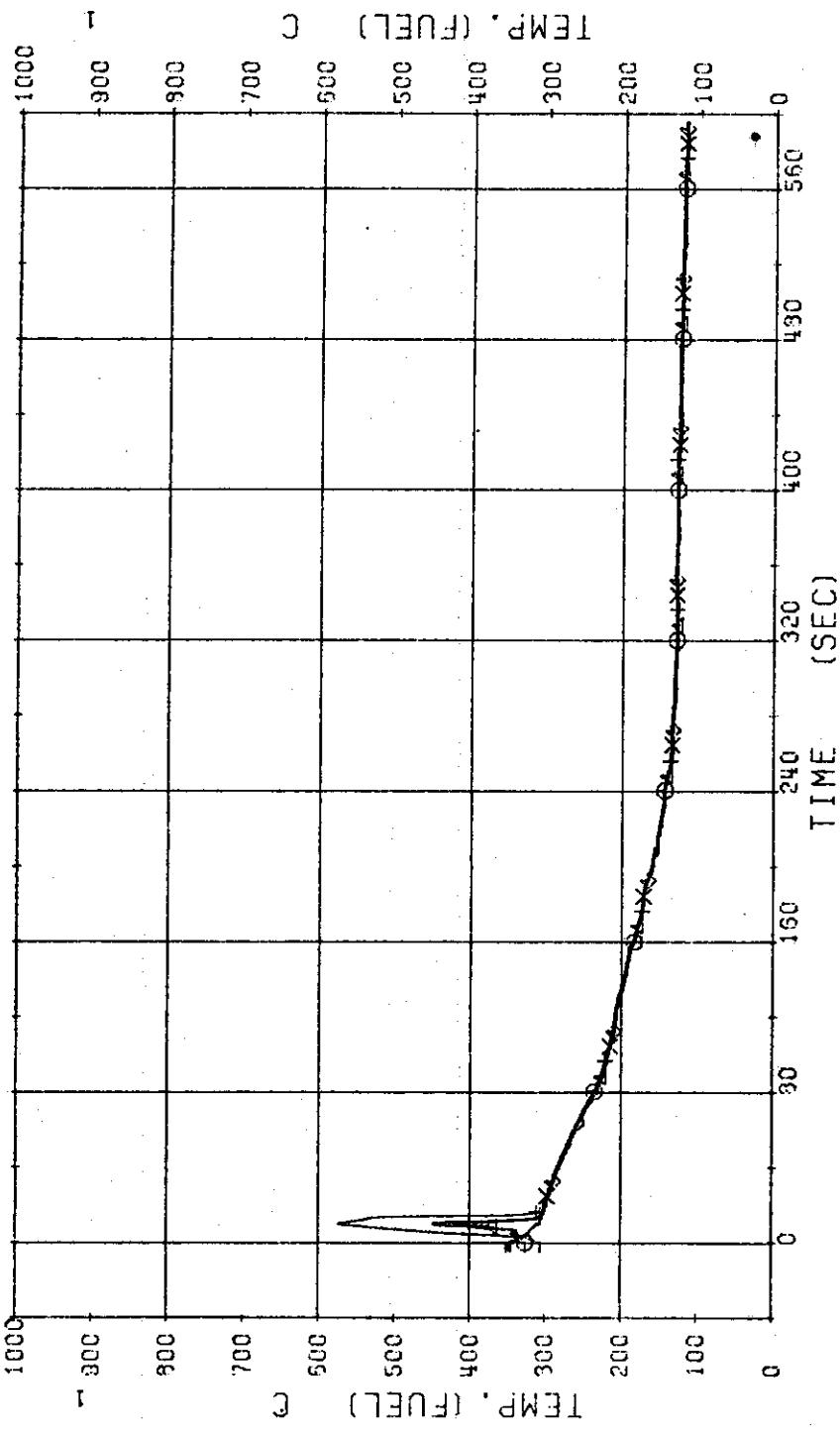


Fig.3.77 Surface Temperatures of No.146 Rod at  
the Outer Part of Core. ...Run 610

RUN 610 COLD LEG BREAK      BREAK DIAMETER 0.0/16.5 MM      UHI ASSEMBLY

ECCS ---	HP1-COLD	HP2-COLD	AC1-COLD	AC2-COLD	LP1-COLD	LP2-COLD	UHI-UP,HEAD
CH- 57 Q1	TF21	(NO. 44)	POSITION1	)	CH- 53 X1	TF22	(NO. 44) POSITION <sup>2</sup>
CH- 59 +1	TF23	(NO. 44)	POSITION3	)	CH- 60 X1	TF24	(NO. 44) POSITION <sup>4</sup>
CH- 61 G1	TF25	(NO. 44)	POSITION5	)			

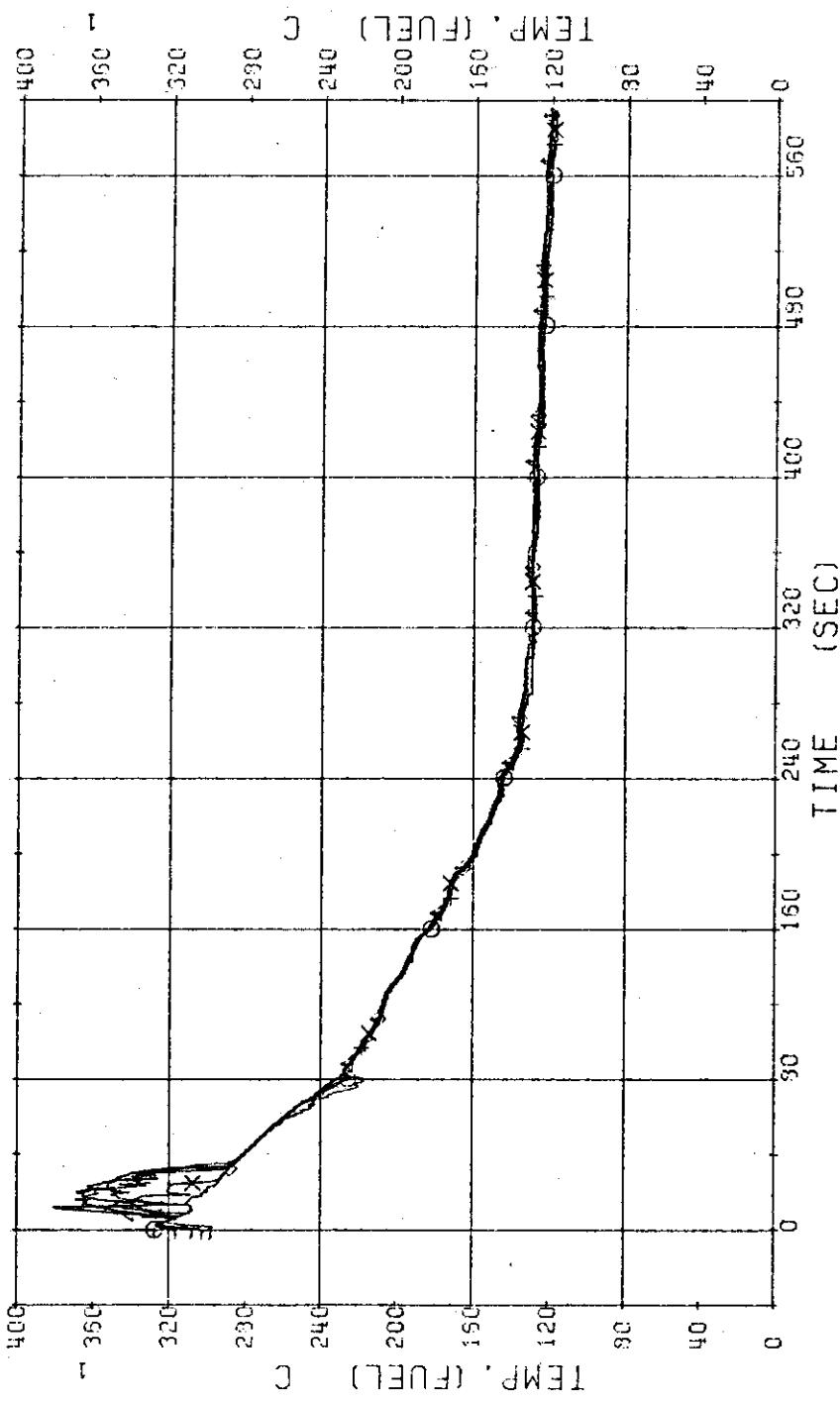


Fig.3.78 Surface Temperatures of No.44 Tie Rod in  
the Middle of Core. . .Run 610

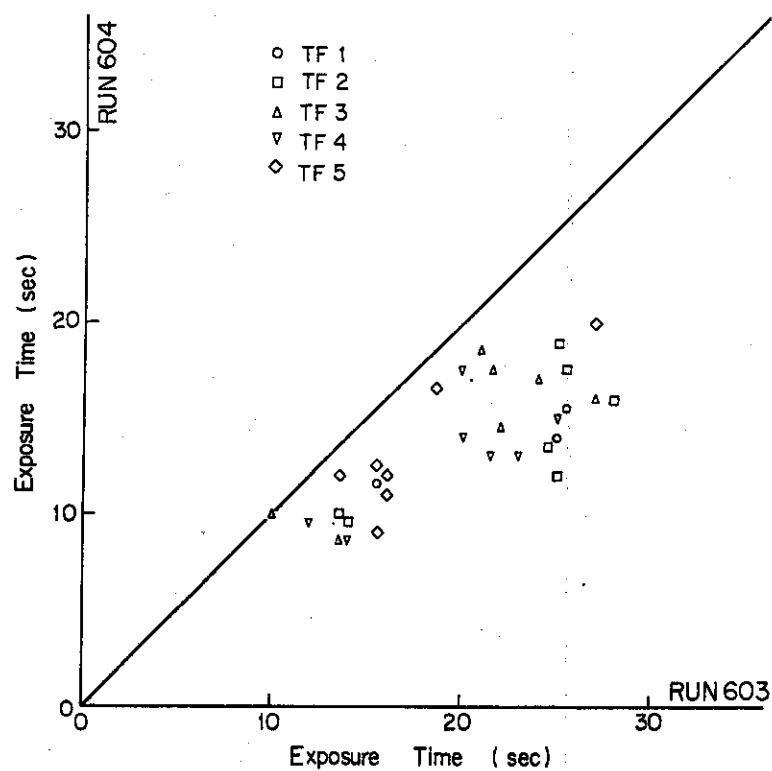


Fig.3.79 Comparison of Exposure Time between Run 603 and Run 604

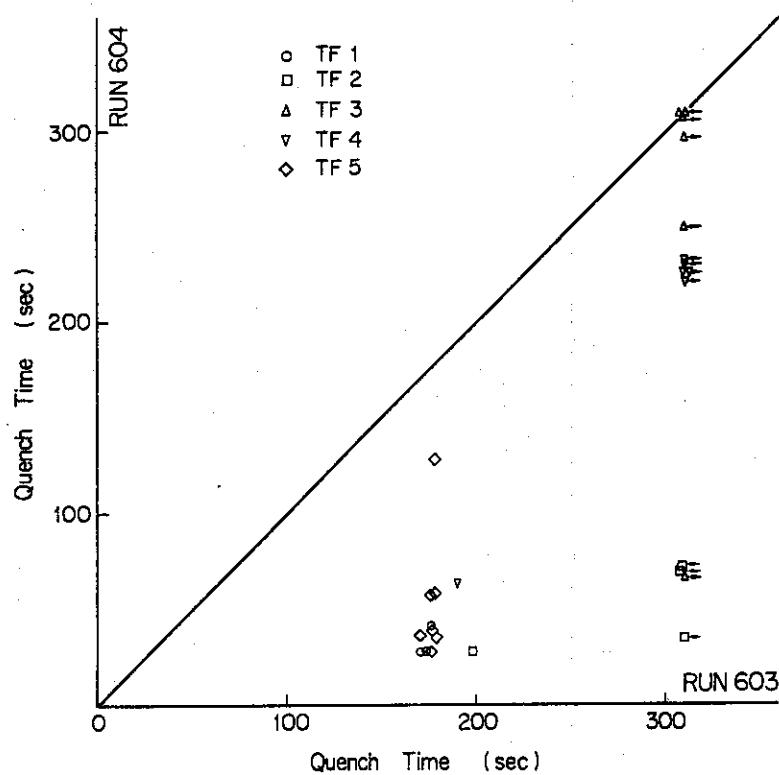


Fig.3.80 Comparison of Quench Time between Run 603 and Run 604

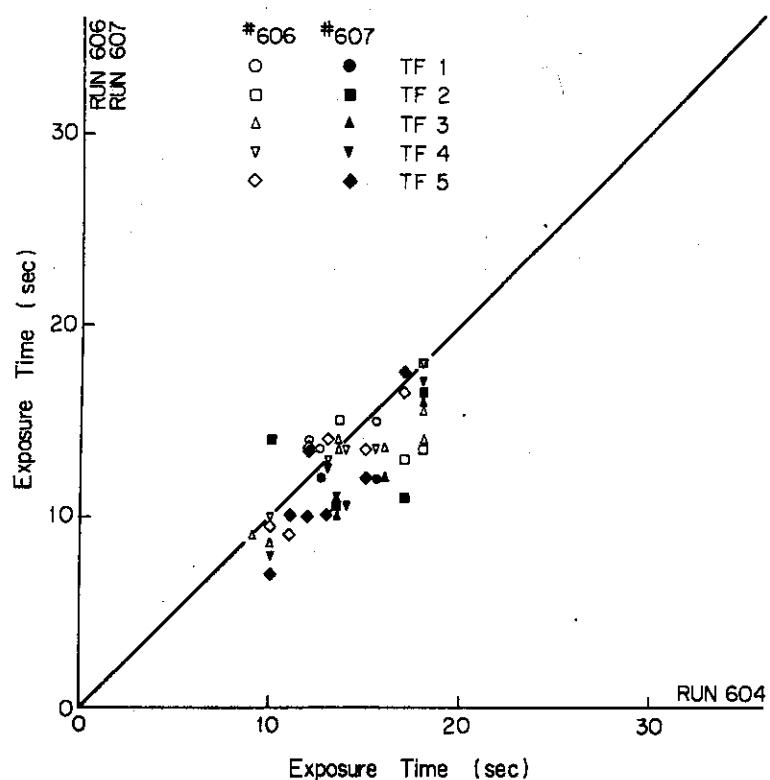


Fig.3.81 Comparison of Exposure Time between Run 604, Run 606 and Run 607

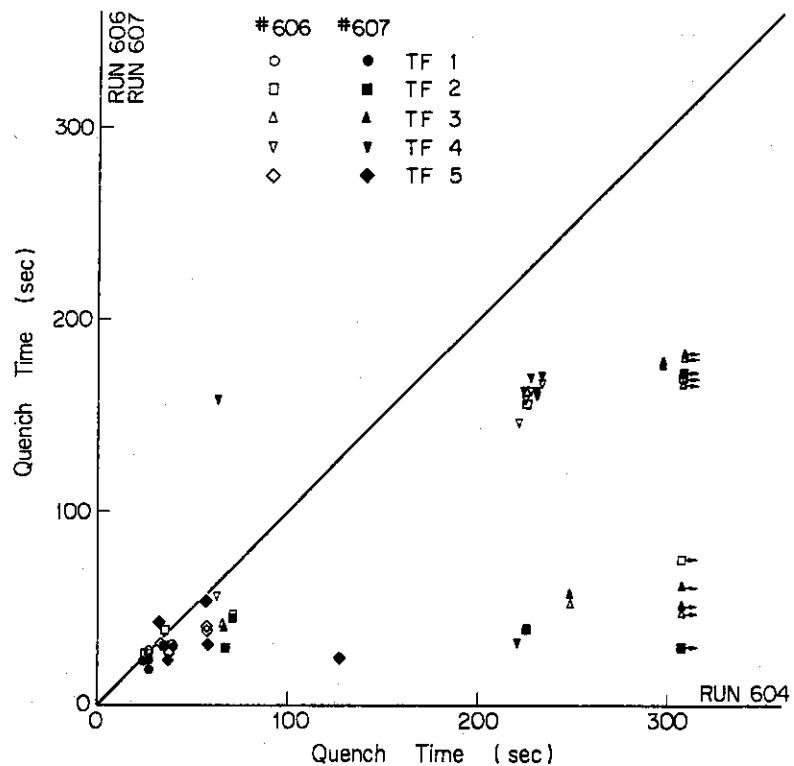
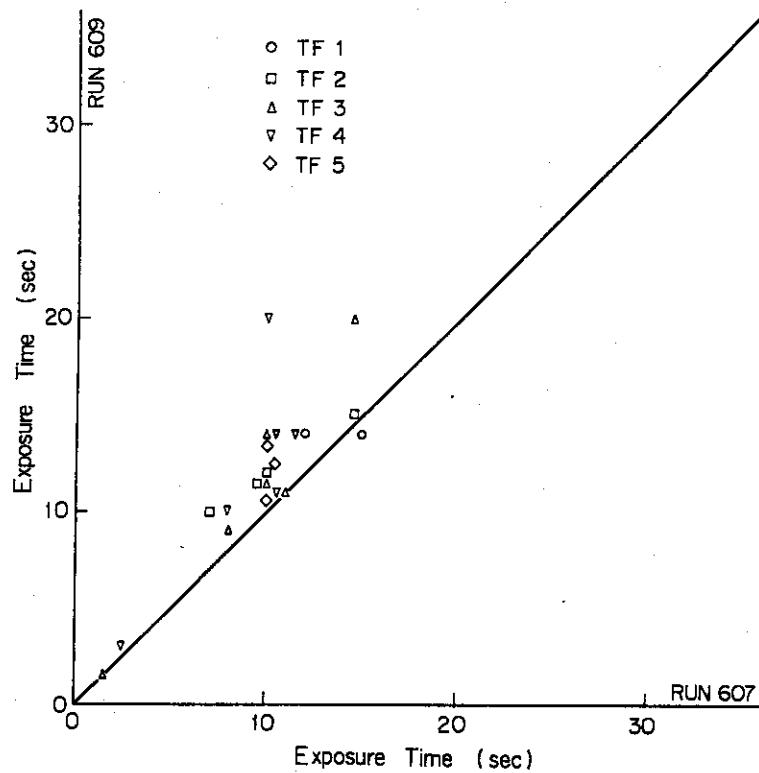


Fig.3.82 Comparison of Quench Time between Run 604, Run 606 and Run 607



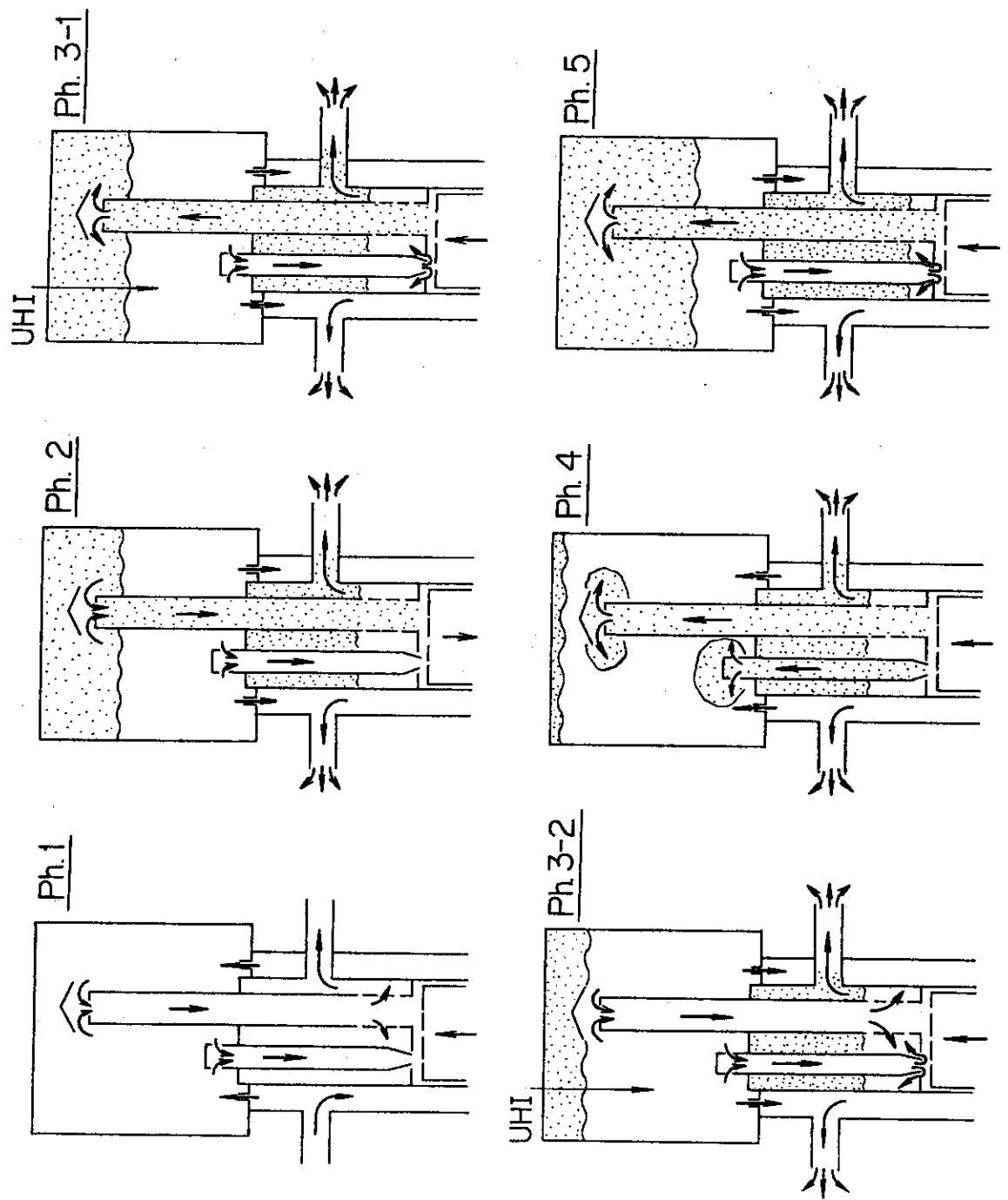


Fig. 4.1 Coolant Behavior in Pressure Vessel  
during ROSA-II UHI Test.

Table. 2.1 Design Data of the ROSA-II Facility and LPWR

Comparison of Major Design Parameters		
	ROSA-II	LPWR
Reactor type	Simulated PWR changeable to a simulated BWR	PWR
Number of primary loops	2 $\left( \begin{array}{l} \text{ratio of the volume} \\ \text{and the flow rate,} \\ l=3 \end{array} \right)$	4
Number of steam-generators	2 $\left( \begin{array}{l} \text{ratio of the volume} \\ \text{and the heat removal,} \\ l=3 \end{array} \right)$	4
Secondary cooling system	Pressurized open loop	Recirculating closed loop
Emergency core cooling system (ECCS)	High-pressure coolant injection system (HPCI) Accumulator (ACC) Low-pressure coolant injection system (LPCI) Upper head injection system (UHI)	High-pressure coolant injection system (SIS) Accumulator (ACC) Low-pressure coolant injection system (RHRS) Super-high pressure coolant injection system (CCP) Upper head injection system (UHI)
Core heatup	Electric	Nuclear
Core power (KW)	2,240	3,411,000
Total volume of primary system ( $m^3$ ) including steam volume in pressurizer	0.856	355
Primary system pressure ( $kg/cm^2 \cdot g$ )	160	158 (nominal value)
Primary system temperature ( $^{\circ}C$ )	325	325 (hot leg) 289 (cold leg)
Secondary system pressure ( $kg/cm^2 \cdot g$ )	60	64
Secondary system entrance temperature ( $^{\circ}C$ )	275	227
Secondary system exit temperature ( $^{\circ}C$ )	275	279

Table 2.2 Dimensions of Major Components

	ROSA-II	LPWR
Pressure vessel Inner height (m)	4.855 0.38 (top) 0.28 (middle) 0.38 (bottom)	12.6
Inner diameter (m)	4.39	
Nozzle elevation of the primary loop (m)	3.655	8.3
Core Core length (m)	2.0	4.06
Fuel rod heating length(m)	1.5	3.66
Fuel rod outer diameter(mm)	9.5	9.5
Fuel rod pitch (mm)	12.6	12.6
Cladding thickness (mm)	1.3	0.57
Core barrel inner diameter(m)	0.230	3.78
Primary loop pipe Inner diameter (cm) at pressure vessel inlet	5.73 (blowdown loop) 8.73 (unbroken loop)	70.0
at pressure vessel outlet	4.31 (blowdown loop) 10.80 (unbroken loop)	73.7
Primary loop total length(m) except the steam generator and the pumps	14.9 15.8(blown down loop) (blowdown loop) 12.7 (unbroken loop)	(unknown)
Steam generator Inner height (m)	3.6 (blowdown loop) 4.5 (unbroken loop)	22.4
U-tube inner diameter (mm)	14.4	19.7
U-tube outer diameter (mm)	19.0	22.2
U-tube mean length (m)	4.97 (blowdown loop) 6.45 (unbroken loop)	(unknown)
Inner diameter (m)	0.35 (blowdown loop) 0.50 (unbroken loop)	
Pressurizer inner height (m)	2.55	15

Table 2.3 Volume Distribution

	ROSA-II	LPWR
Pressure vessel (m <sup>3</sup> ) (with all internals)	0.2739	116.7
Steam generators (m <sup>3</sup> )	0.298 (0.073 + 0.225)	122 (30.64)
Pressurizer (m <sup>3</sup> )	0.133	51 (including steam 20.4)
Primary loops (m <sup>3</sup> ) (including the pumps & the surge line)	0.131 (0.034 + 0.097)	44.9
Total volume of the primary system (m <sup>3</sup> )	0.8359	340
Inside of the pressure vessel (I)	%	%
Upper head (m <sup>3</sup> )	0.0595 (21.7)	21.9 (18.7)
Upper plenum *** (m <sup>3</sup> )	0.0462 (16.9)	17.5 (15.0)
Core (m <sup>3</sup> )	0.0479 (17.5)	18.5 (15.9)
Lower plenum (m <sup>3</sup> )	0.0653 (23.8)	32.1 (27.5)
Downcomer (m <sup>3</sup> )	0.0550 (20.1)	26.7 (22.9)
Inside of the pressure vessel (II)		
Below the lower end of the core (m <sup>3</sup> )	0.071	
Below the upper end of the core (m <sup>3</sup> )	0.169	
Below the center of the primary loop nozzle (m <sup>3</sup> )	0.186	
Secondary side of the steam generators (m <sup>3</sup> )	0.64 (0.19 + 0.45)	355

\* Defined as (effective flow area) × (length of fuel rod assembly)  
\*\* Defined as the volume between the lower and the upper grids including the bypass.  
\*\*\* Including guide tube and UHI support tube volume

Table 2.4 Thermal Design Data

	ROSA-II	LPWR
Core power Total	below 2,240 kW	3,411 MW
Average rod power (kw/m)	10.67	17.8
Max. rod power (kw/m)	16.5	41.4
Average heat flux (Kcal/m <sup>2</sup> h) (W/cm <sup>2</sup> )	3.07x10 <sup>5</sup> (184)	0.5149x10 <sup>6</sup> (59.9)
Max. heat flux (Kcal/m <sup>2</sup> h) (W/cm <sup>2</sup> )	0.475x10 <sup>6</sup> (42)	1.19x10 <sup>6</sup> (139)
Number of heated rods	140	50,952 (289 rods x 193 assemblies)
Number of unheated rods	9	4,825
Min. DNBR	arbitrary	1.71
Total flow rate (l/min) (nominal value)	~2,700 (1,860)	3.1x10 <sup>6</sup>
Total mass flow rate (kg/min) (nominal value)	~2,000 (1,330)	2.2x10 <sup>6</sup>
Effective core mass flow (kg/min) (nominal value)	~1,800 (1,200)	2.1x10 <sup>6</sup>
Average mass velocity (kg/m <sup>2</sup> h) (nominal value)	7.6x10 <sup>6</sup> (4.6x10 <sup>6</sup> )	12x10 <sup>6</sup>
Average core flow rate (m/s) (nominal value)	2.6 (1.7)	4.72
Effective flow area (m <sup>2</sup> )	0.0172	4.75

Table 2.5 Thermal Design Data (cont'd)

	ROSA-II	LPWR
Heating surface area in the core ( $\text{m}^2$ )	6.267	
Coolnat temp. at the inlet ( $^{\circ}\text{C}$ )	below 325	289
Coolant temp. difference across the core ( $^{\circ}\text{C}$ )	17 (at max. power & nominal flow rate)	37.2
Pressure vessel		
Coolant temp. difference across the pressure vessel ( $^{\circ}\text{C}$ )	15.4 (at max. power & nominal flow rate)	35.7
Flow rate to achieve the same temp. difference as that in the TROJAN reactor		
( $\text{kg}/\text{min}$ )	573	-
( $\ell/\text{min}$ )	800	-
Coolant velocity in pipe ( $\text{m}/\text{s}$ )	2.95 (blowdown loop)	
pressure vessel inlet	3.84 (unbroken loop)	3.19
pressure vessel outlet	5.21 (blowdown loop)	3.99
	2.52 (unbroken loop)	
	(all at nominal flow rate)	
Steam generator		
Number of U tubes	51 (blowdown loop) 123 (unbroken loop)	3,388 x 4
Heating surface area ( $\text{m}^2$ )	15.1 (blowdown loop) 47.3 (unbroken loop)	4,780 x 4
Secondary coolant inlet temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	below 275	227
Secondary coolant outlet temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	below 275	279
Secondary coolnat flow rate ( $\ell/\text{min}$ )	~300	75,000 x 2

Table 2.6 Emergency Core Cooling System

	ROSA-II	LPWR
High pressure coolant injection system		
Injection location	{ Hot leg Cold leg Pressure vessel: top, middle & bottom	Hot leg Cold leg (super high pressure system)
Number of systems	1 (separable)	2
Injection pressure(kg/cm <sup>2</sup> g)	below 130	below 105
Injection rate (l/min)	below 60	below 2,460
Water temperature (°C)	below 165	3 ~ 32
Source of supply	Hot water tank (300l, 7 kg/cm <sup>2</sup> g)	Refueling water tank (1,300 m <sup>3</sup> )
Low pressure coolant injection system		
Injection location	{ Hot leg Cold leg Pressure vessel: top, middle & bottom	Cold Hot leg
Number of systems	1 (separable)	2
Injection pressure(kg/cm <sup>2</sup> g)	below 22.6	below 15
Injection rate (l/min)	below 290	below 24,200
Water temperature (°C)	below 100	3 ~ 32
Source of supply	Hot water tank (1,500 l)	Refueling water tank (1,300 m <sup>3</sup> )
Accumulator		
Injection location	{ Hot leg Cold leg Pressure vessel: top, middle & bottom	Cold leg
Injection pressure(kg/cm <sup>2</sup> g)	below 70	45.7
Water temperature (°C)	below 100	10 ~ 65
Volume (m <sup>3</sup> )	0.23 (blowdown loop) 0.67 (unbroken loop)	38 (water 24 nitrogen 14)
Upper Head Injection System		
Injection location	Upper Head	Upper Head
Injection Pressure(kg/cm <sup>2</sup> g)	below 100	84
Water Temperature (°C)	below 120	Room temperature
Water Tank Volume (m <sup>3</sup> )	0.151	51

Table 2-7(a) ECCS. MEASUREMENT LIST (System I)

DATA CH.NO	MEAS.ITEM	SYMBOL	NAME (MEASURING POINT)	SENSOR SPECIFICATION	MEAS. RANGE & OUTPUT	ACCURACY
						± 2.4 %
1	PRESSURE	P-1	PV. UPPER HEAD	SEMI CONDUCTIVE PRESSURER TRANSDUCER	PMS-10KTM-200H 0~165 kg/cm <sup>2</sup> , 0~± 5V	"
2	"	P-2	PV. LOWER PLENUM		"	"
3	"	P-3	ABOVE NO.1 ORIFICE		"	"
4	"	P-4	BELOW NO.1 ORIFICE		"	"
5	"	P-5	ABOVE NO.2 ORIFICE		"	"
6	"	P-6	BELOW NO.2 ORIFICE		"	"
7	"	P-7	SG 1 INLET		"	"
8	"	P-8	PI PUMP SUCTION		"	"
9	"	P-9	SG 2 INLET		"	"
10	"	P-10	SG 2 OUTLET		"	"
11	"	P-11	P2 PUMP DELIVERY		"	"
12	"	P-12	PRESSURIZER		"	"
13	"	P-13	SG SHELL SIDE	PMS-10KTM-100H EDH	PMS-10KTM-100H 0~60 kg/cm <sup>2</sup> , 0~± 5V EDH 0~0.6kg/cm <sup>2</sup> , 2~10V	"
14	DIFF.PRESS	D-1	PV. TOP-BOTTOM		"	± 1.0 %
15	"	D-2	"	HIGH DIFF-PRESSURE TRANSDUCER	"	"
16	"	D-3	PV. TOP-NO.1 ORIFICE *		"	"
17	"	D-4	PV. BOTTOM-NO.2 ORIFICE *		"	"
18	"	D-5	SG 1 INLET-OUTLET		-5~+54kg/cm <sup>2</sup>	"
19	"	D-6	SG 2 INLET-OUTLET		"	"
20	"	D-7	PI PUMP DELIVERY-SUCTION		-3~+3kg/cm <sup>2</sup>	"
21	"	D-8	P2 PUMP DELIVERY-SUCTION		"	"
22	FLOWRATE	F-1	CONDENSATE NO.1	ELECTROMAGNETIC FLOW. RATE METER 6159	0~250kg/sec	± 1.4 %
23	"	F-2	CONDENSATE NO.2		"	"
24	"	F-3	COOLING WATER NO.1		"	"
25	"	F-4	COOLING WATER NO.2		"	"
26	"	F-5	HPC 1 (1)		TURBINE FLOW RATE METER 0~20 l/min, 0~10V	± 1.2 %
27	"	F-6	(2)		"	"
28	"	F-7	(3)		0~50 l/min,	"
29	"	F-8	(4)		"	"
30	"	F-9	ACC 1		0~300 l/min,	"
31	"	F-10	ACC 2 (1)		0~1000 l/min,	"
32	"	F-11	ACC 2 (2)		"	"
33	"	F-12	LPC 1 (1)		0~110 l/min,	"
34	"	F-13	(2)		0~300 l/min,	"
35	POWER	W-1	POWER SUPPLY NO.1	POWER TRANSDUSER 2885	0~600kVA, 0~10V	± 1.0 %
36	"	W-2	POWER SUPPLY NO.2		0~1800kVA, 0~10V	"
37	TEMP(FUEL)	TF-1	NO.1 ROD 1	THERMOCOUPLE GA UNGROUND	0~1200°C, 0~10V	± 1.0 %
38	"	TF-2	" 2		"	"
39	"	TF-3	" 3		"	"
40	"	TF-4	" 4		"	"
41	"	TF-5	" 5		"	"
42	"	TF-6	NO.38 ROD 1	NO.125 ROD 1 NO.146 ROD 1	"	"
43	"	TF-7	" 2		"	"
44	"	TF-8	" 3		"	"
45	"	TF-9	" 4		"	"
46	"	TF-10	" 5		"	"
47	"	TF-11	NO.125 ROD 1		"	"
48	"	TF-12	" 2		"	"
49	"	TF-13	" 3		"	"
50	"	TF-14	" 4		"	"
51	"	TF-15	" 5		"	"
52	"	TF-16	NO.146 ROD 1		"	"
53	"	TF-17	" 2		"	"
54	"	TF-18	" 3		"	"
55	"	TF-19	" 4		"	"
56	"	TF-20	" 5		"	"
57	"	TF-21	TIE ROD (NO.44 ROD) 1	TIE ROD (NO.44 ROD) 1 UPPER PLENUM	0~500°C, 0~10V	"
58	"	TF-22	" 2		"	"
59	"	TF-23	" 3		"	"
60	"	TF-24	" 4		"	"
61	"	TF-25	" 5		"	"
62	TEMP(NUCLEAR)	TU-1	UPPER PLENUM	TU-1 UHI COLUMN NO.1	"	"
63	"	TU-2	UHI COLUMN NO.1		"	"
64	"	TU-3	UHI COLUMN NO.2		"	"
65	"	TU-4	UHI COLUMN NO.3		"	"
66	"	TU-5	UHI COLUMN NO.4		"	"

Table 2-7 (b) ECCS. MEASUREMENT LIST (System I)

DATA CHNO	MEAS ITEM SYMBOL	NAME (MEASURING POINT)	SENSOR SPECIFICATION	MEAS. RANGE & OUTPUT	ACCURACY
67	ITEM(SYSTEM) TU-6	GUIDE TUBE	THEMOCOUPLE C/A UNGROUND	0~500°C, 0~10V	± 1.4 %
68	- TU-7	UP. HEAD POSITION NO.1	-	-	-
69	- TU-8	UP. HEAD POSITION NO.2	-	-	-
70	- TU-9	UP. HEAD POSITION NO.3	-	-	-
71					
72	ITEM(SYSTEM) T-1	UP. HEAD POSITION NO.0	THEMOCOUPLE C/A UNGROUND	0~400°C, 0~10V	± 1.0 %
73	- T-2	PV. LOWER PLENUM	-	"	-
74	- T-3	CONDENSATE NO.1	-	-	-
75	- T-4	CONDENSATE NO.2	-	-	-
76	- T-5	SG 1 INLET	-	-	-
77	- T-6	SG 1 OUTLET	-	-	-
78	- T-7	PI PUMP DELIVERY	-	-	-
79	- T-8	PV. INLET NOZZLE	-	-	-
80	- T-9	SG 2 INLET	-	-	-
81	- T-10	SG 2 OUTLET	-	-	-
82	- T-11	P 2 PUMP DELIVERY	-	-	-
83	- T-12	PRESSURIZER	-	-	-
84	- T-13	SG 1 SHELL OUTLET	-	-	-
85	- T-14	SG 2 SHELL OUTLET	-	-	-
86	ON-OFF SIGNAL S-1	RUPTURE DISC NO.1	COPPER WIRE, VOLTAGE GENERATOR	RUPTURE, 0~10V	
87	- S-2	RUPTURE DISC NO.2	-	"	
88	- S-3	QUICK SHUT VALVE	LIMIT SW. CONTACT, VOLTAGE GENERATOR	OPEN-CLOSE, 0~10V	
89	- S-4	RCN VALVE NO. 1	-	CLOSE-HALF-OPEN 0~10V	
90	- S-5	RCN VALVE NO. 2	-	"	
91	- S-6	ACC 1 VALVE	-	" , 0~10V	
92	- S-7	ACC 2 VALVE	-	CLOSE-OPEN, 0~10V	
93	- S-8	HPC 1 VALVE	-	"	
94	- S-9	LPC 1 VALVE	-	"	
95	- S-10	SST DISCHARGE VALVE	-	CLOSE-OPEN, 0~10V	
96	- S-11	P 1 PUMP POWER SUPPLY	ELECTROMAGNETIC	ON-OFF, 0~10V	
97	- S-12	P 2 PUMP POWER SUPPLY	CONTACT	"	
98	FLOW DIRECTOR FD-1	IN CORE		+0,-10%~0~10V	
99	- FD-2	"		"	
100	- FD-3	"		"	
101	ITEM REVOLUTION N-1	P 1 PUMP	TACHO GENERATOR	0~5000r.p.m, 0~10V	
102	- N-2	P 2 PUMP	"	" "	
103					
104					
105					
106					
107					
108	ITEM(SYSTEM) TU-10	UHI WATER TEMPERATURE	THEMOCOUPLE C/A UNGROUND	0~200°C, 0~10V	
109	PRESURE P-14	UHI TANK PRESSURE	PMS-10KTM-100H	0~100 Kgf/cm², 0~10V	
110	FLOWRATE F-14	UHI FLOW RATE	TURBINE FLOW RATE METER	0~500 l/min, 1~5V	
111	ON-OFF SIGNAL S-13	UHI VALVE SIGNAL	LIMIT SW. CONTACT, VOLTAGE GENERATOR	OPEN-CLOSE, 0~10V	
112					
113					
114					
115					
116					

Note \* will be changed for hot leg break piping

Table 2-8(a) Instrumentation List for ROSA-2 Test (System II)

Data Ch.No.	Measur. Items	Symbol	Name (Meas.Point)	Specification	Range
1	Temp. (F)	TF- 1	No.1rod Pos.1	Ungrounded T/C(0.5) <sup>φ</sup>	0-1000°C
2	"	" 2	" 2	"	"
3	"	" 3	" 3	"	"
4	"	" 4	" 4	"	"
5	"	" 5	" 5	"	"
6	"	" 6	No.2rod Pos.1	"	"
7	"	" 7	" 2	"	"
8	"	" 8	" 3	"	"
9	"	" 9	" 4	"	"
10	"	" 10	" 5	"	"
11	"	" 11	No.38rod P. 1	"	"
12	"	" 12	" 2	"	"
13	"	" 13	" 3	"	"
14	"	" 14	" 4	"	"
15	"	" 15	" 5	"	"
16	"	" 16	No.125rod P.1	"	"
17	"	" 17	" 2	"	"
18	"	" 18	" 3	"	"
19	"	" 19	" 4	"	"
20	"	" 20	" 5	"	"
21	"	" 21	No.139rod P.1	"	"
22	"	" 22	" 2	"	"
23	"	" 23	" 3	"	"
24	"	" 24	" 4	"	"
25	"	" 25	" 5	"	"
26	"	" 26	No.146rod P.1	"	"
27	"	" 27	" 2	"	"
28	"	" 28	" 3	"	"
29	"	" 29	" 4	"	"
30	"	" 30	" 5	"	"
31	"	" 31	No.148rod P.1	"	"
32	"	" 32	" 2	"	"
33	"	" 33	" 3	"	"
34	"	" 34	" 4	"	"
35	"	" 35	" 5	"	"
36	Temp. (S)	TF-36	Tie-rod Pos.1	Ungrounded T/C(1.0) <sup>φ</sup>	0-500 °C
37	"	" 37	" 2		
38	"	" 38	" 3		
39	"	" 39	" 4		
40	"	" 40	" 5		
41	Temp. (S)	TU-41	Upper Plenum	Ungrounded T/C(1.6) <sup>φ</sup>	0-500 °C
42	"	" 2	Column No.1	"	"
43	"	" 3	" 2	"	"
44	"	" 4	" 3	"	"
45	"	" 5	" 4	"	"
46	"	" 6	Guide Tube	"	"
47	"	" 7	Up.Head Pos.1	"	"
48	"	" 8	" 2	"	"
49	"	" 9	" 3	"	"

Table 2-8(b) Instrumentation List for ROSA-2 Test (Cont'd) (System II)

Data Ch.No.	Measur. Items	Symbol	Name of Meas. Point	Specification	Range
50	Temp. (B)	TB- 1	Core Barrel-0P1	Ungrounded T/C(1.6)	0-500°C
51	"	" 2	" P.2	"	"
52	"	" 3	" 3	"	"
53	"	" 4	" 4	"	"
54	"	" 5	" 5	"	"
55	"	" 6	" 6	"	"
56	"	" 7	Core Barrel-18P1	"	"
57	"	" 8	" P.2	"	"
58	"	" 9	" 3	"	"
59	"	" 10	" 4	"	"
60	"	" 11	" 5	"	"
61	"	" 12	" 6	"	"
81	Level	LU- 1	Up. Plenum Pos.1	Probe Type Level M.	ON-OFF
82	"	" 2	" 2	"	"
83	"	" 3	" 3	"	"
84	"	" 4	Up. Head Pos.1	"	"
85	"	" 5	" 2	"	"
86	"	" 6	" 3	"	"
87	"	LB- 1	Downcomer Pos.1	"	"
88	"	" 2	" ( 0 ) 2	"	"
89	"	" 3	" 3	"	"
90	"	" 4	" 4	"	"
91	"	" 5	" 5	"	"
92	"	" 6	" 6	"	"
93	"	" 7	Downcomer Pos.1	"	"
94	"	" 8	" ( 180 ) 2	"	"
95	"	" 9	" 3	"	"
96	"	" 10	" 4	"	"
97	"	" 11	" 5	"	"
98	"	" 12	" 6	"	"

Table 2-9 Major Test Conditions of ROSA-2 UHI Tests

Run No.	Break Condition			Power		ECCS Condition			Remarks		
	Break Location	Type	Break Diam. (mm)	Simulation	Initial Total Power ( KW )	UHI Press. (kg/cm <sup>2</sup> G)	Temp. (°C)	Injection Loc.	Loc.	LPCI	HPCI
601	Cold Leg Double-ended	37.5 37.5	n	2211	84	18	c	c*	c	—	—
602	"	"	s	2210	—	—	—	—	—	Without ECCS	—
603	"	"	s	1230	—	—	c	c*	c	Low Power	Without UHI
604	"	"	"	1231	83	19	"	"*	"	Low Power	—
605	"	"	"	0	84	18	"	"*	"	Iso-thermal	—
606	"	"	s	2156	84	20.5	"	"*	"	Blowdown	—
607	"	"	"	2112	85	24	"	"*	"	Standard Condition	—
608	"	"	"	2078	100	22	"	"x	"	Standard C. (Repeatability)	—
609	"	"	"	2095	85	122	"	"x	"	High UHI Press.	—
610	"	Split	{ 0 16.5 "	2100	85	23.5	"	c	c	High UHI Temp.	Small Split Break

n: Decay Heat + Delayed Neutron

S: n + Stored Energy Release

c\*: Cold leg injection with the flow rate including that of HPCI.

Table 2-10: ROSA-II Test conditions for Run 603

Run No. 603			Date 1976.5.12						
Break conditions			ECCS conditions						
Location	C		HPCI inject. location	—	—				
Mode	2		Initiation Press.(atg)	—	—				
Diameter 1,2 (mm)	37.5	37.5	Injection delay (sec)	—	—				
Type	D-ended		Flow rate 1,2 (l/min)	—	—				
Fluid conditions			Flow rate PV (l/min)	—	—				
PR pressure (atg)	158		Water temp. (°C)	—	—				
Hot leg temp.1,2(°C)	323	323	LPCI inject. location	C	C				
Cold leg temp.1,2(°C)	305	305	Initiation press.(atg)	P1: 4					
Flow rate 1,2(l/min)	257	732	Injection delay (sec)	27					
Pump conditions			Flow rate 1,2 (l/min)	23	55				
Revolution No. (rpm)	,1920		Flow rate PV (l/min)	—	—				
Trip delay 1,2 (sec)	0	0	Water temp. (°C)	24.3					
Flow resistance			ACC injection location	C	C				
PR orifice (mm)	14.3		Pressure (atg)	27					
SG orifice 1,2 (mm)	57.3	63.0	Temperature 1,2 (°C)	19	18				
Core thermal conditions			Orifice diam.1,2 (mm)	4.4	7.7				
Assembly No.	UHI		Orifice diam. PV (mm)	—	—				
Set power No.1,2 (KW)	—	1230	UHI injec. location	—	—				
Trip delay 1,2 (sec)	—	0	Pressure (atg)	—	—				
Power Control 1,2*	—	S	Temperature (°C)	—	—				
Power off temp. (°C)	700		Orifice diam. (mm)	—	—				
Secondary side conditions			Abbreviations of location						
Pressure (atg)	60		H:Hot leg	C:Cold leg					
Temperature (°C)	275		Remarks						
Flow control valve	close		CWT Temperature: 19.2 °C						
Blow valve	close								
Blow orifice (mm)	—								
* Note, d:decay heat simulation,n:decay+delayed neutron,c:constant. S: n + stored energy release									

Table 2-11 ROSA-II Test conditions for Run 604

Run No. 604			Date 1976.5.10			
Break conditions			ECCS conditions			
Location	C		HPCI inject. location	—	—	
Mode	2		Initiation Press. (atg)	—	—	
Diameter 1,2 (mm)	37.5	37.5	Injection delay (sec)	—	—	
Type	D-ended		Flow rate 1,2 (l/min)	—	—	
Fluid conditions			Flow rate PV (l/min)	—	—	
PR pressure (atg)	158		Water temp. (°C)	—	—	
Hot leg temp. 1,2 (°C)	325	325	LPCI inject. location	C	C	
Cold leg temp. 1,2 (°C)	307	307	Initiation press. (atg)	Pl: 6		
Flow rate 1,2 (l/min)	258	720	Injection delay (sec)	26		
Pump conditions			Flow rate 1,2 (l/min)	23	55	
Revolution No. (rpm)	,1380		Flow rate PV (l/min)	—	—	
Trip delay 1,2 (sec)	0	0	Water temp. (°C)	42		
Flow resistance			ACC injection location	C	C	
PR orifice (mm)	14.3		Pressure (atg)	27		
SG orifice 1,2 (mm)	57.3	63.0	Temperature 1,2 (°C)	18	17	
Core thermal conditions			Orifice diam. 1,2 (mm)	4.4	7.7	
Assembly No.	UHI		Orifice diam. PV (mm)	—		
Set power No. 1,2 (KW)	—	1231	UHI injec. location	Up.Head		
Trip delay 1,2 (sec)	—	0	Pressure (atg)	84		
Power Control 1,2*	—	S	Temperature (°C)	19		
Power off temp. (°C)	700		Orifice diam. (mm)	9.5		
Secondary side conditions			Abbreviations of location			
Pressure (atg)	60		H:Hot leg	C:Cold leg		
Temperature (°C)	275		Remarks CWT Temperature : 18.4 °C			
Flow control valve	close					
Blow valve	close					
Blow orifice (mm)	—					
* Note, d:decay heat simulation,n:decay+delayed neutron,c:constant. S: n + stored energy release						

Table 2-12 ROSA-II Test conditions for Run 607

Run No. 607			Date 1976.6.2						
Break conditions			ECCS conditions						
Location	C		HPCI inject. location	—	—	—			
Mode	2		Initiation Press.(atg)	—	—	—			
Diameter 1,2 (mm)	37.5	37.5	Injection delay (sec)	—	—	—			
Type	D-ended		Flow rate 1,2 (l/min)	—	—	—			
Fluid conditions			Flow rate PV (l/min)	—	—	—			
PR pressure (atg)	158		Water temp. (°C)	—	—	—			
Hot leg temp.1,2(°C)	322	322	LPCI inject. location	C	C	—			
Cold leg temp.1,2(°C)	298	298	Initiation press.(atg)	P1:6.5					
Flow rate 1,2(l/min)	335	960	Injection delay (sec)	27					
Pump conditions			Flow rate 1,2 (l/min)	23	60	—			
Revolution No. (rpm)	1840,1900		Flow rate PV (l/min)	—	—	—			
Trip delay 1,2 (sec)	0	0	Water temp. (°C)	24					
Flow resistance			ACC injection location	C	C	—			
PR orifice (mm)	14.3		Pressure (atg)	27					
SG orifice 1,2 (mm)	57.3	63.0	Temperature 1,2 (°C)	21.4	20.6	—			
Core thermal conditions			Orifice diam.1,2 (mm)	4.4	7.7	—			
Assembly No.	UHI		Orifice diam. PV (mm)	—	—	—			
Set power No.1,2 (KW)	530	1582	UHI injec. location	Up.Head					
Trip delay 1,2 (sec)	0	0	Pressure (atg)	87					
Power Control 1,2*	S	S	Temperature (°C)	24					
Power off temp. (°C)	700		Orifice diam. (mm)	9.5					
Secondary side conditions			Abbreviations of location						
Pressure (atg)	59		H:Hot leg	C:Cold leg					
Temperature (°C)	274		Remarks						
Flow control valve	close		CWT Temperature : 22.3 °C						
Blow valve	close								
Blow orifice (mm)	—								
* Note, d:decay heat simulation,n:decay+delayed neutron,c:constant. S: n + stored energy release									

Table 2-13 ROSA-II Test conditions for Run 608

Run No. 608			Date 1976.6.7							
Break conditions			ECCS conditions							
Location	C		HPCI inject. location	—	—					
Mode	2		Initiation Press. (atg)	—	—					
Diameter 1,2 (mm)	37.5	37.5	Injection delay (sec)	—	—					
Type	D-ended		Flow rate 1,2 (l/min)	—	—					
Fluid conditions			Flow rate PV (l/min)	—	—					
PR pressure (atg)	158		Water temp. (°C)	—	—					
Hot leg temp. 1,2 (°C)	319	319	LPCI inject. location	C	C					
Cold leg temp. 1,2 (°C)	295	295	Initiation press. (atg)	P1:7.5	—					
Flow rate 1,2(l/min)	334	954	Injection delay (sec)	27	—					
Pump conditions			Flow rate 1,2 (l/min)	23	60					
Revolution No. (rpm)	1730,1890		Flow rate PV (l/min)	—	—					
Trip delay 1,2 (sec)	0	0	Water temp. (°C)	25						
Flow resistance			ACC injection location	C	C					
PR orifice (mm)	14.3		Pressure (atg)	28						
SG orifice 1,2 (mm)	57.3	63.0	Temperature 1,2 (°C)	20.7	19.2					
Core thermal conditions			Orifice diam.1,2 (mm)	4.4	7.7					
Assembly No.	UHI		Orifice diam. PV (mm)	—						
Set power No.1,2 (KW)	500	1578	UHI injec. location	Up.Head						
Trip delay 1,2 (sec)	0	0	Pressure (atg)	99						
Power Control 1,2*	S	S	Temperature (°C)	22						
Power off temp. (°C)	700		Orifice diam. (mm)	9.5						
Secondary side conditions			Abbreviations of location							
Pressure (atg)	59		H:Hot leg	C:Cold leg						
Temperature (°C)	274		Remarks CWT Temperature : 19.7 °C							
Flow control valve	close									
Blow valve	close									
Blow orifice (mm)	—									
* Note, d:decay heat simulation,n:decay+delayed neutron,c:constant. S: n + stored energy release										

Table 2-14 ROSA-II Test conditions for Run 609

Run No. 609			Date 1976.6.14							
Break conditions			ECCS conditions							
Location	C		HPCI inject. location	—	—					
Mode	2		Initiation Press.(atg)	—	—					
Diameter 1,2 (mm)	37.5	37.5	Injection delay (sec)	—	—					
Type	D-ended		Flow rate 1,2 (l/min)	—	—					
Fluid conditions			Flow rate PV (l/min)	—	—					
PR pressure (atg)	159		Water temp. (°C)	—	—					
Hot leg temp.1,2(°C)	322	322	LPCI inject. location	C	C					
Cold leg temp.1,2(°C)	298	298	Initiation press.(atg)	P1: 9						
Flow rate 1,2(l/min)	329	933	Injection delay (sec)	27						
Pump conditions			Flow rate 1,2 (l/min)	23	65					
Revolution No. (rpm)	1720,1870		Flow rate PV (l/min)	—	—					
Trip delay 1,2 (sec)	0	0	Water temp. (°C)	20.5						
Flow resistance			ACC injection location	C	C					
PR orifice (mm)	14.3		Pressure (atg)	28						
SG orifice 1,2 (mm)	57.3	63.0	Temperature 1,2 (°C)	19	18.1					
Core thermal conditions			Orifice diam.1,2 (mm)	4.4	7.7					
Assembly No.	UHI		Orifice diam. PV (mm)	—						
Set power No.1,2 (kW)	495	1600	UHI injec. location	Up.Head						
Trip delay 1,2 (sec)	0	0	Pressure (atg)	85						
Power Control 1,2*	S	S	Temperature (°C)	122						
Power off temp. (°C)	700		Orifice diam. (mm)	9.5						
Secondary side conditions			Abbreviations of location							
Pressure (atg)	59		H:Hot leg	C:Cold leg						
Temperature (°C)	274		Remarks CWT Temperature : 19.4 °C							
Flow control valve	close									
Blow valve	close									
Blow orifice (mm)	—									
* Note, d:decay heat simulation,n:decay+delayed neutron,c:constant. S: n + stored energy release										

Table 2-15 ROSA-II Test conditions for Run 610

Run No. 610			Date 1976.6.17			
Break conditions			ECCS conditions			
Location	C		HPCI inject. location	C C		
Mode	7		Initiation Press.(atg)	P1:70		
Diameter 1,2 (mm)	—	16.5	Injection delay (sec)	35		
Type	Split		Flow rate 1,2 (l/min)	7.2 17		
Fluid conditions			Flow rate PV (l/min)	—		
PR pressure (atg)	158		Water temp. (°C)	21		
Hot leg temp.1,2(°C)	321	321	LPCI inject. location	C C		
Cold leg temp.1,2(°C)	297	297	Initiation press.(atg)	P1:9.5		
Flow rate 1,2(l/min)	335	954	Injection delay (sec)	155		
Pump conditions			Flow rate 1,2 (l/min)	17 38		
Revolution No. (rpm)	1820,1890		Flow rate PV (l/min)	—		
Trip delay 1,2 (sec)	0	0	Water temp. (°C)	22		
Flow resistance			ACC injection location	C C		
PR orifice (mm)	14.3		Pressure (atg)	27.5		
SG orifice 1,2 (mm)	57.3	63.0	Temperature 1,2 (°C)	19.5 18.5		
Core thermal conditions			Orifice diam.1,2 (mm)	4.4 7.7		
Assembly No.	UHI		Orifice diam. PV (mm)	—		
Set power No.1,2 (KW)	500	1600	UHI injec. location	Up.Head		
Trip delay 1,2 (sec)	0	0	Pressure (atg)	89		
Power Control 1,2*	S	S	Temperature (°C)	23.5		
Power off temp. (°C)	700		Orifice diam. (mm)	9.5		
Secondary side conditions			Abbreviations of location			
Pressure (atg)	59		H:Hot leg C:Cold leg			
Temperature (°C)	274		Remarks CWT Temperature : 23.5 °C			
Flow control valve	close					
Blow valve	close					
Blow orifice (mm)	—					
* Note, d:decay heat simulation,n:decay+delayed neutron,c:constant. S: n + stored energy release						

Table 4.1 Comparison between UHI Behavior in ROSA-II(UHI)  
Test and the Fig. 1.1 Model

ROSA-II(UHI)*	The Fig. 1.1 Model**	Note
Phase 1	(1)	Before Blowdown
Phase 2		Before UHI Injection
Phase 3-1	(2)	During UHI Injection
Phase 3-2		
Phase 4	-	Just after UHI Closing
-	(3), (4)	After UHI Closing
Phase 5	(5)	Emptying

\* See Fig. 4.1.      \*\* See Reference (2).