

JAERI-M

6849

ROSA-II試験データ報告・6

(Runs 411, 314, 315, 316)

1976年12月

安全工学第一研究室ROSAグループ

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

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

ROSA - II 試験データ報告・6

(Runs 411, 314, 315, 316)

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12月1日受理)

本報は軽水炉の冷却材喪失事故(LOCA)の模擬試験であるROSA-II試験の結果の一部を
まとめたものであり、各テスト(Runs 411, 314, 315, 316)の実験条件、実験データ及び
その現象の解釈が示されている。

安全工学第1研究室 ROSA グループ

研究グループ	実験グループ
鈴木 光 弘	松 本 巖
安 達 公 道	鈴 木 紀 男
岡 崎 元 昭	村 田 秀 男
傍 島 真	千 葉 辰 夫
斯 波 正 誼	伊 藤 秀 雄
	大 崎 秀 機

ROSA-II Test Data Report, 6
(Runs 411,314,315,316)

Reactor Safety Laboratory 1, ROSA Group
Division of Reactor Safety, Tokai, JAERI
(Received December 1, 1976)

Results of the ROSA-II test simulating a loss-of-coolant accident in a light water reactor (LWR) are presented, including the test conditions and interpretation of the phenomena for test runs 411,314,315 and 316.

Reactor Safety Laboratory 1, ROSA Group	
Analysis Group	Experimental Group
M. Suzuki	I. Matsumoto
H. Adachi	N. Suzuki
M. Okazaki	H. Murata
M. Sobajima	T. Chiba
M. Shiba	H. Itho
	H. Osaki

目 次

1. はしがき	1
2. 実験装置と実験条件	2
2.1 装置の概要	2
2.2 実験条件	3
3. 実験結果	4
3.1 Run 411の結果	4
3.2 Run 314の結果	7
3.3 Run 315の結果	10
3.4 Run 316の結果	13
3.5 結 論	17
参考文献	19

Summary

The objective of the ROSA-II (Rig of Safety Assessment) test program is to investigate blowdown phenomena and ECCS (Emergency Core Cooling System) performance during a loss-of-coolant accident (LOCA) postulated to occur in a pressurized water reactor. For that purpose, a simulated experiment of LOCA including ECCS operation is performed with the use of the ROSA-II test facility which is designed to simulate the TROJAN reactor in terms of thermal hydraulic response. The facility consists of a pressure vessel with a simulated core, one operating primary loop and one blowdown primary loop both with a steam generator and a pump in addition to a pressurizer attached to the operating intact loop. ECCS is also provided to the facility with several injection locations. Normal operating conditions of the facility are 160 atg and 325 °C in hot legs and break configuration and ECC water injection conditions can be chosen as experimental parameters. The details of the ROSA-II program and the description of the facility should be referred to the previously published reports ^{(1), (2)}.

In the present report, a part of ROSA-II experimental results is given with the interpretations of data. The objectives of each run described in the report are to evaluate ECCS performance with respect to core cooling capability under various injection conditions and different power distributions in the core, under nearly same initial pressure and flow rate, and the same break type (double-ended cold leg break). The major characteristics of each test are shown in the next table.

Test Items	Run 411	Run 314	Run 315	Run 316
ECCS Injec. Loc.				
ACC-1	Cold Leg	Cold Leg	Cold Leg	——
ACC-2	Cold Leg	L.Plenum	L.Plenum	U.Plenum
LPCI Blowdown Loop	Hot Leg	Cold Leg	Cold Leg	Hot Leg
Intact Loop, PV	Hot Leg	L.Plenum	L.Plenum	Hot Leg
Initial Power (KW)	1635	1548	460	2161
Temp. Diff. in Core (°C)	12	11	4	17
Fuel Assembly No.	3	3	3	4
Break Diameter (mm)	37.5/37.5	37.5/37.5	23.6/37.5	37.5/37.5
Remarks	LPCI Inj. in 25sec			

The following conclusions were drawn from comparison of the results of each run.

(1) Injection of ACC water into the primary system promoted the depressurization, while it caused the increase of void fraction in the core and also caused rapid increase of fuel surface temperature because of the exposure of heater rod in the steam.

whether the heater rods were cooled and quenched earlier or not, depended strongly on the injection locations of ACC and LPCI. It was observed that the heater rods in run 316 were quenched earlier by ACC and LPCI water which were injected into upper plenum and hot legs respectively, and that heater rods in run 314 were quenched about 100 seconds later than run 316, mainly due to reflooding by LPCI water injected into lower plenum.

(2) Injection of ACC water into two phase flow of high quality caused changes of flow direction or flow rate in the pressure vessel and the intact loop with significant condensation effect. Moreover, it had noticeable influences upon flow in the broken loop where flow rate was relatively large.

(3) With respect to the effect of different injection locations of LPCI on the accumulation of water in the pressure vessel, the following phenomena were observed.

In run 316, some amount of LPCI water injected into hot leg of the intact loop flowed down non-uniformly and dispersedly through the core, and it became high quality two phase flow removing stored heat from the core. It became easy for the two phase flow to flow out from the lower plenum to the break location receiving stored heat of downcomer wall and lower plenum wall.

In run 314, subcooled LPCI water injected into lower plenum was able to cool well the lower plenum and downcomer wall comparing with run 316 and the water level rose up to the core by pressure head in the downcomer against steam binding in the core. Water accumulation in the pressure vessel was better than run 316 in the later reflooding phase.

(4) Two phase choking in the pump (P1) previously observed in run 411, 314 and 316 did not occur in run 315, when the break area at the pump side was slightly smaller comparing with the narrowest flow area at the P1 pump exit.

(5) When a fairly large un-heated region existed in the core (run 315), reflood of the core was achieved earlier than run 314, where all the heater rods were heated.

(6) Large amount of stored heat in the steam generator and the pressure vessel affected fluid passing through those region during reflooding phase.

1. は し が き

ROSA-II 試験は加圧水型炉 (PWR) の一次系配管破断による冷却材喪失事故 (LOCA) を模擬した実験で、冷却材の流出過程における一次系内の冷却材の挙動、模擬燃料棒の温度挙動および非常用炉心冷却系 (ECCS) の挙動とその有効性を実験的に調べることを目的としている。実験装置は、圧力容器とこれを中心に 1 対 3 の容積比率で構成された 2 つの循環ループを有し、その小さい方を破断ループとするものである。それぞれの循環ループには蒸気発生器とポンプが組み込まれており、また ECCS の水を装置の各所に注入しうようになっている。

実験条件として変化させることができるのは、①破断条件、②流体初期条件、③ポンプ回転、④ループ各部抵抗、⑤炉心加熱条件、⑥二次側流体条件、および⑦ECCS 注入条件である。これらの条件を種々変えた一連の実験を行い、データと共に各条件の影響を検討した結果を順次、報告するものである。また実験データの利用のために編集された磁気テープが別途用意されている。本報の各実験では⑦ECCS 注入条件のうち、ACC と LPCI の注入場所を変えてブローダウン現象に及ぼす種々の影響を調べることを主目的とし、また破断ループのポンプ出口部の二相臨界流閉そくを調べることも目的の 1 つにした。各 Run の実験条件は、いずれの Run も大口径の低温側配管両端破断であり、崩壊熱の他に遅発中性子の効果も含めた発熱模擬になっている。破断口径及び ECCS 注入場所を以下に示す。なお、今回の各 Run は上述の如く大口径両端破断であるので HPCI の効果は小さいものと考え、HPCI を除いて ACC、LPCI を注入した。

Run 411 破断口径：37.5/37.5, ECCS 注入場所
：LPCI (両ループ高温側配管), ACC (両ループ低温側配管)

Run 314 破断口径：37.5/37.5, ECCS 注入場所
：ACC1 と LPCI (破断ループ低温側配管), ACC2 と LPCI (下部プレナム)

Run 315 破断口径：23.6/37.5, ECCS 注入場所
：Run 314 と同じ、破断後低熱電源使用せず。

Run 316 破断口径：37.5/37.5, ECCS 注入場所
：LPCI (両ループ高温側配管), ACC2 (上部プレナム), ACC1 (注入せず)

実験装置の概略と詳しい実験条件については第 2 章に、実験データとその注釈および大まかな現象面の解釈については第 3 章に記す。

これらの Run のうち、Run 315 と 316 については、これまで測定してきた系圧力、差圧、温度、流量に加えて、両破断口よりの流出流量とクオリティの測定、算出に成功した。これらのデータは急速凝縮法により得られたものであり、破断初期のデータに不十分な点もあるが、大まかな流出流量とクオリティの傾向を見る上では役立つものである。今後、計算コードによる LOCA 解析と実験データの比較を行う上で、重要な測定量が得られたとすることができる。

なお、参考文献として、既報の ROSA-II 研究計画⁽¹⁾、試験装置の概要⁽²⁾、試験データ報告⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾ を参照されたい。

2. 実験装置と実験条件

2.1 装置の概要

ROSA-II試験装置の1次系の構成は、Fig. 2.1およびTable 2-1に示す圧力容器とFig. 2.2に示す一次循環系配管、および2つの循環系にそれぞれ設置された循環ポンプ(P_1 , P_2)と蒸気発生器(SG1, SG2), それに破断ループ側に設けられた破断機構, 健全ループ側に設置された加圧器(PR)から成っている。2つのループ或いは圧力容器の各所に注入されるECCSは、高圧注入系(HPCI), 蓄圧注入系(ACC), 低圧注入系(LPCI)の3系統用意されているが、本報の各RunではHPCIを注入していない。圧力容器上部から挿入される模擬燃料集合体は出力分布と計装の開発に応じて数体用意されている。本報の各実験では、Run 411, 314, 315には3次燃料集合体(Fig. 2.3)を用い、Run 316には第4次燃料集合体を用いたが、両者の違いは炉心内部の計測上の違いだけであり、冷却材の熱流動特性に与える違いはない。3次と4次の燃料集合体の特徴は、いずれも片側4ステップの軸方向コサイン出力分布(Fig. 2.4, 2.5)にしていること、および半径方向に内外2領域の独立な出力分布を与えることである。ただし、各領域への供給電力は、線出力または熱流束において実炉の定常出力の時の値を下まわっていて、もっぱらスクラム後の出力変化を模擬するように設計されている。内側領域の21本はすべて発熱し、外側領域では83本の発熱棒と8本の非発熱棒(タイロッド)、流れ方向計を装着した1本の非発熱棒、および直径の小さな16本のダミーロッドの計108本から成り、合計129本である。内側および外側領域の燃料棒は、それぞれ供給可能線出力の大小によって高熱流束および低熱流束燃料棒と呼ぶことがある。

計測用熱電対を取付けた燃料棒は、内側領域に4本、うち1本は温度監視装置用であり、外側領域には5本、うち2本は温度監視装置用である。Fig. 2.6~2.8に計装用の燃料棒とタイロッドを示す。計装用燃料棒では、内側領域、外側領域を問わず、熱電対の取付法は被覆管外表面うめこみである(Fig. 2.7)。第3次燃料集合体では、中心の $\#1$ 燃料棒のみにFig. 2.6に示すように熱電対の被覆管内表面うめこみを併用しており、被覆管内温度差を測定している。第4次燃料集合体においては、表面温度測定法の開発を考え、さやをかぶせた計装燃料棒(Run 316において表面温度を測定した $\#110$ 燃料棒)を試験的に採用した。熱電対取付位置はFig. 2.6~2.8に示すように、各計装棒ともに上端をポジション1、下端をポジション5とする5点である。この5点の熱電対の位置は棒表面の円周上同じ角度の位置ではなく、上端から下方をみて右まわりに 72° づつずれている。Fig. 2.3において、計装燃料棒についている矢印の方向は、ポジション3の熱電対の取付方向を示している。装置全体と圧力容器内部における実験中の計測量と計測箇所をそれぞれFig. 2.9, 2.10に示す。

これらのデータのうち、Fig. 2.9に示す計測量と、Fig. 2.10の計測量のうち、燃料表面温度と温度勾配はすべて磁気テープに収録され、電子計算機で処理される。Fig. 2.10の残りの計測量は計算機では処理されず、この報告書には載っていない。各計装の測定チャンネルと計測法、およびレンジをそれぞれの総合精度とともにTable 2-2に示す。それらの中で、ON-OFF信号や、現在開発中の計測量、明らかに現象の説明に役立たないと考えられるデ

-タ等はこのデータ報告書から除いてある。

2.2 各実験の条件

各Runの実験条件をTable 2-3~2-6に示す。燃料集合体は3次と4次であるが、構造、発熱分布は同様であり、各実験ともに遅発中性子の効果と崩壊熱とを考慮した出力変化を模擬した。2次系はいずれの実験でも破断と同時に閉じており、放出過程の後半には1次系の流体に対する熱源となっている。また、各RunともにP₁ポンプ出口部が24mm径の絞りになっているため、ここで二相臨界流が発生し、実質的にはポンプ側破断口口径が24mmである破断条件と同様なLOCA現象になると考えられるが、Run 314と315はその違いがあるかどうかを調べることを目的の1つにしているものである。またRun 315では、破断後に外側領域の燃料棒を発熱させていないが、これは炉心内の発熱分布による再冠水時の炉心冷却のちがいを考えることを考えたからである。

本報の各Runは、ECCSの注入場所を種々変えて、圧力容器内の蓄水割合、炉内冷却に及ぼす効果を調べることを主目的にしているため、これまでのECCS注入場所と異って圧力容器内への注入を考えた。各RunのACC、LPCI注入場所を以下の表に示す。

	破断ループ		健全ループ, 圧力容器内	
	ACC 1	LPCI	ACC 2	LPCI
Run 411	低温側配管	高温側配管	低温側配管	高温側配管
Run 314, 315	低温側配管	低温側配管	下部プレナム	下部プレナム
Run 316	——	高温側配管	上部プレナム	高温側配管

なお、注入流量、注入水温度はいずれのRunでもほぼ同じである。LPCIの注入開始は、Run 411では上部プレナム圧力(P₁)が105 atgに下がった時点から2.5秒後でかつ系圧力が15 atg以下になった時点からであり、Run 314~316では加圧器圧力(P₁₂)が125 atgに下がった時点から2.5秒後でかつ系圧力が15 atg以下の時点である。ACCの注入開始圧と、LPCIの注入開始時刻とがTable 2-3~2-6に示されている。

3. 実 験 結 果

本章では、実験において測定したデータについて、各 Run 毎にその注釈と現象面での解釈を述べ、末尾に他の Run のデータと比較することにより得た実験上の結論を述べる。ただし、本報で扱うのは ROSA-II 計画の中の一部の Run についてであり、多くの Run のデータとの比較によってはじめて得られる、より総合的な結論については追って漸次他の報告により紹介することにする。

実験データはすべて一旦磁気テープに集録し、実験終了後電子計算機によりプロットさせている。その際、明らかに測定器の故障によると判断されるデータを除いた上、一部のものには必要な修正を施した。時間零は全て破断時刻である。データのプロット点数は各測定量毎に最高 1000 点とした。また複数の線を同一のグラフに描く場合は線上の符号によって区別し、2 本以上の異なる縦軸を使用する場合は縦軸につけた番号が図の上部に示した符号の番号と対応させている。なお、Run 315 と 316 では 2 つの破断個所での流出流量が急速凝縮器を用いて測定されており、そのクオリティは、圧力と流出量、温度から計算により求めたものである。

3.1 Run 411 の結果

この Run は、Run 307 (JAERI-M 6241) と同じ破断条件、ECCS 注入条件であるが、燃料集合体の構成と熱流束の分布が異なり、発熱量は遅発中性子の効果を加えて大きくなり、より実炉の熱的条件に近づいている。またこの Run は 3 次燃料集合体の検収テストを兼ねたので、LPCI 注入を短時間で打ち切り、燃料温度の上昇した状態をつくり出した。

3.1.1 Run 411 の圧力 (Fig. 3.1.1 ~ 3.1.4)

加圧器内は破断と同時に飽和減圧となり、30 秒位まで他の 1 次系圧力より高く維持されている。

圧力容器内圧力は、破断直後のサブクール減圧を経て飽和減圧になり低下していくが、ACC の注入された後から LPCI の注入開始された時期にかけて圧力の一時的な回復がみられる。これは注入された ECC 水が燃料棒の発熱や 1 次系構造材の蓄熱を受けて一時的に大量の蒸気を発生させたためと考えられる。破断後 7.3 秒で燃料棒の発熱を停止した時期から系の減圧が早まっている。

破断ループにおいて、 $\#2$ オリフィス下流の圧力が破断後に激しい変動をしているのは、現象ではなく計器のトラブルによるものと考えられる。 $\#1$ オリフィス上流の圧力が、破断後 2.0 秒位まで、SG 1 入口、出口圧力の半分位になっているのは P_1 ポンプ出口部に直径 2.4 mm の狭い流路部分がありそこで臨界流閉そくが生じていることを示しているし、また破断口オリフィスでも臨界流が生じており、一つの流路に 2ヶ所の流量閉そくが生じていることを示している。LPCI の注入された後の系圧力の回復は、SG 1 入口及び P_1 ポンプ吸込側にもみられる。

健全ループの圧力はほぼ圧力容器内の圧力と同様である。 P_2 ポンプ出口の圧力が他の圧力より高く出ているのは計測器の系統誤差によるものである。

二次系圧力は全体的にやや減少するが、破断後約 10 秒間、初期圧力より高くなったのは、破断と同時に 2 次系を密閉したために 2 次系よりも高温の 1 次系流体からの熱を受けて一時的に温度が上り、それに対応した飽和圧力になったことによるものである。

3.1.2 Run 411 の差圧 (Fig. 3.1.5 ~ 3.1.7)

PV 上下差圧が破断前に若干低下するのは、破断前に QSV が閉まり炉心を上向きに流すのは P₂ ポンプのみになるためであり、破断直後に差圧が急速に低下し炉心に強い逆流が生じたことがわかる。この逆流は 40 秒頃まで維持され、その後 LPCI が上部プレナムから炉心に入っていくと徐々に圧力容器内に水がたまるが、LPC I 注入を停止した後は炉心内の水位は低下し、65 秒位には炉心はほぼ蒸気のみ状態になったことがこの差圧や燃料棒表面温度挙動から推測される。PV 上下差圧を Run 310 (JAERI-M 6709) と比べてみると、破断後 45 秒頃まではほぼ同じであるが、それ以後 Run 411 で LPCI を止めた 53 秒頃までは Run 411 の方の差圧がやや大きくなっており、高温側配管に LPCI を注入した Run 411 の方が圧力容器内の蓄水速度はやや大きいことを示している。

SG1 出入口間の差圧とその他のデータの傾向から通過する流体の流れを考えると、破断後 10 数秒間高速の二相流が流れて SG1 前後に大きな圧力差がついたが、その後圧力差が減少したのは蒸気がちな二相流が流れたものと考えられる。LPC I が高温側配管に注入された後に SG1 通過流量がやや増え、LPC I 停止後にそれよりやや遅くても通過流量は減少している。

健全ループの SG2 出入口間差圧、ポンプ出入口間差圧をみると、破断後に P₂ ポンプが停止し、流体は SG2 から P₂ ポンプを通りダウンカメラから破断口へと流れていることがわかる。その流れは破断初期と低温側配管に ACC が注入されている間、および高温側配管に注入されていた LPCI が停止した時期に差圧が増大している。

3.1.3 Run 411 の注入流量 (Fig. 3.1.8)

ACC1 は 14 秒より 26 秒間に総量 61 ℓ が破断ループ低温側配管に、ACC2 はややおくれて 13 秒間に総量 147 ℓ が健全ループ低温側配管に、LPC I は 28 秒から約 25 秒間に総量 79 ℓ が両ループ高温側配管に注入された。

3.1.4 Run 411 の電力 (Fig. 3.1.9, 3.1.10)

高熱流束燃料棒と低熱流束燃料棒には、崩壊熱と遅発中性子の効果を考えた発熱変化の電力を供給し、両者の燃料棒表面の熱流束が同じになるようにした。破断後 73 秒位で、温度監視装置のついた燃料棒の表面温度が、設定した 700℃ を越えたのでまず高熱流束燃料棒の電源を、次いで低熱流束燃料棒の電源を切った。その時、温度監視装置のついていない #19 燃料棒では最高温度 770℃ になった。

3.1.5 Run 411 の燃料棒温度 (Fig. 3.1.11 ~ 3.1.19)

この Run では発熱燃料棒のうち 6 本について外表面温度を、そのうちの 1 本については被覆管内面温度および内外面温度差をデータとして収録している。

炉心内の計測用発熱棒の温度挙動および炉心上下差圧、ECC 水注入流量等から次のようなことがわかる。まず、ACC が低温側配管に注入されるとその凝縮効果により、ダウンカメラ及び炉心下部の流体がダウンカメラ上部へ引き寄せられ、炉心では下部から中心部にかけて燃

燃料棒表面が露出したが、炉心の上端は全断面にわたって飽和温度に保たれていた。ACCに続いてLPCIが高温側配管に注入されると、炉心には下向き流れが続いているため炉心に流下するLPCIを伴った流体が上から順に燃料棒を冷却していく。その際、 $\#19$ 燃料棒と $\#111$ 燃料棒では炉心の中央部より下部の冷却が悪く、炉心内の流体の流れに大きな分布のあることが推測される。炉心を流下するLPCIは均一には流れず早く冷えた部分を通りやすいものと考えられる。約2.5秒間でLPCIを停止すると、 $\#19$ 、 $\#111$ 燃料棒の露出していた部分ではそれまである程度の蒸気流冷却効果のあったものがその効果も減少して温度上昇速度が大きくなったり、それまで冷却されていた燃料棒でも炉心最上端を除いて一斉に表面が露出し温度が上昇している。

炉心内で温度の最高点が熱電対のポジション3、4にあり、比較的下部に近い方にあることはこのRunの特徴である。このため電源を切った後も炉心上部では全断面一様に比較的低い温度になっているのに対して、炉心下部に近い所では主として周りの高温になっている燃料棒からの熱ふく射によって温度が徐々に上昇し炉心上部・中央部よりも高くなっている例もみられる。なお、 $\#3$ 燃料棒のポジション4、5の温度に周期的な変動のみられるのは、データ収録時にノイズが入ったものである。

各燃料棒の温度の上昇と下降はFig. 3.1.11をみるとよくわかる。上向き矢印は温度上昇の時刻を、下向き矢印はクエンチした時刻を示している。

次に、 $\#1$ 燃料棒の被覆管内外面温度差について検討する。

3次燃料集合体では中心にある $\#1$ 燃料棒の熱電対が5点円周上に等間隔に、但し燃料棒長さ方向にずれて設置されており、被覆管内面には、外面の熱電対に対応する高さでそれらと36度の角度がずれた位置に熱電対が設置されている。(Fig. 2.6参照)この内外面の温度差の値から、ブローダウン過程において燃料棒から冷却材に伝えられた熱量と熱伝達の機構とを、また冷却材の温度を用いて熱伝達率やクエンチの現象等をも解明することができるが、詳しくは別の報告に譲りここでは簡単な解釈にとどめる。

ポジション3では発熱分布のピークに当り熱流束が高いため、破断前も、ブローダウン過程でも内外面温度差が大きく、従って内面温度も他の位置に比べて高くなっていることがわかる。破断後の急速な減圧による気泡の発生と炉心の大きな逆流とにより、燃料棒表面は急冷されるが発熱量も時間と共に減少するためある時間遅れを伴って内側温度も低下している。ACC注入後、表面の露出した位置では内外面温度がともに上昇し温度差は小さくなっている。温度差の大きなピークはクエンチを示しており、クエンチが生じると表面は急冷され内外面温度差は最大200℃以上にも達している。電源を切った後には、下部ほど温度は上るが温度差はたかだか数度であり、ポジション4と5ではわずかながら外面の温度の方が内面より高く、周囲からのふく射熱をうけて温度の上ったことがわかる。

3.1.6 Run 411の流体温度 (Fig. 3.1.20 ~ 3.1.23)

下部プレナム温度が破断前後にかなり低い値を示しているのは、熱電対の測定端が冷水域にあったためであり、系圧力がその飽和温度に達したあとは他の場所と同様に減圧沸とうが始まり流体温度も低下していく。2.7秒位から一時的にみられる温度上昇は、ECC水注入後に上昇した系圧力に対応した飽和温度の上昇を示している。加圧器内温度が破断後7.5秒頃から

徐々に上昇するのは、飽和水がなくなって壁面からの熱の影響をうけたためと考えられる。

破断ループでは、高温側配管にLPCIが注入されたためSG1入口は飽和温度になっており、圧力の変化に対応している。SG1出口でも同じ挙動になっており、かつ110秒頃の露出による温度上昇がSG1入口における95秒の温度上昇よりも遅いことは、SG1出口温度測定用の熱電対が1次系配管内まで届いていなかったことによる可能性が高い。P₁ポンプ出口部は臨界流閉そくが生じていて圧力が低いため、その飽和温度は破断ループの他の場所の飽和温度よりもかなり低くなっている。P₁ポンプ出口温度が、16秒頃から50秒頃まで飽和温度より高くなっているのは、多分、ACCが低温側配管に注入されるとそこで大きな凝縮が生じるので一時的に圧力容器から破断ループ高温側配管へ流出する流量が減少し、SG1を通過する流出量も減少し、従ってSG1出口側から過熱蒸気が流出したものであろう。その間に一時的に急激な温度降下が見られるのは熱電対に一時的に飽和水が触れたためであろう。80秒から110秒頃にかけて、SG1に飽和水が到達しなくなったためにP₁ポンプ出口、SG1入口、出口温度は周囲の構造材の蓄熱や、上流側からの過熱蒸気によって上昇した。

健全ループでは、破断後SG2からP₂ポンプを経てダウンカメラに入る流れ、即ち順流が生じているが、ACCが低温側配管に注入されるとその大きな凝縮・減圧作用によりボイドの発生が多くなり、更にSG2の蓄熱を受けて過熱蒸気となった流体がSG2出口、P₂ポンプ出口を通過していくことがわかる。SG2入口が飽和温度になっているのは、上述の順流方向に加えて、高温側配管にLPCIが注入されたためである。

2次系は、その圧力に応じた飽和温度になっている。17秒前後に一時的な温度上昇があるのは、SG1から一時的な過熱蒸気の流れのあったことを示している。

3.2 Run 314の結果

このRunは、ACCとLPCIとを破断ループ低温側配管と下部プレナムそれぞれに注入した。ACCとLPCIを低温側配管に注入したRun 310 (JAERI-M 6709)や、前述のRun 411等と比較することにより、ECC水の注入場所の違いが炉心冷却や圧力容器内蓄水速度等に及ぼす効果、或いはダウンカメラ部における流動状態に及ぼす効果等を調べることができる。

3.2.1 Run 314の圧力 (Fig. 3.2.1 ~ 3.2.4)

各部の圧力の挙動はRun 411とはほぼ同じである。破断後約10秒に圧力容器内の減圧が速まったのは、上部プレナムまたはダウンカメラから破断ループへ蒸気がちな流出になったためと考えられる。またACCが注入された後にも減圧がやや速まっている。30秒以降に、注入したECC水が炉心に入り始め蒸気を大量に発生させたため、一時的に圧力がやや高くなった。

破断ループでは、P₁ポンプを通しての臨界流閉そくの影響により、P₁ポンプの下流側、つまり#1オリフィス上流の圧力が破断後直ちにSG1出入口の圧力の半分位に低下した。#2オリフィス上流で圧力のスパイクが見られるのは計器のトラブルによるものである。

健全ループでP₂ポンプ出口側の圧力が低圧域でやや高いのは計器の系統誤差によるものである。

2次系の圧力は、破断後2次系の流れが停止して1次系からの熱をうけるために一時的に上

昇するが、10秒以降には1次系流体温度も2次系温度以下になり、圧力は減少していく。

3.2.2 Run 314の差圧 (Fig. 3.2.5 ~ 3.2.7)

PV上下差圧をECC注入流量との関係でみると、ACC注入開始後約8秒で差圧は増加するが、この時点ではLPCIは注入されていない。下部プレナムに注入されたACC水及びLPCI水は、一部は破断口へ流出していくけれども、一部は下部プレナムにたまり、破断後30秒頃には炉心下端に到達したことがPV上下差圧と燃料棒表面温度挙動からわかる。PV上下差圧をRun 411と比べてみると、破断直後は同じであるが、ECC水注入後、Run 411では炉心逆流はむしろ促進され炉心水位の回復はほとんどないが、Run 314では下部プレナムにACC、LPCI水が入ったため炉心逆流は減少し、炉心の再冠水の行なわれたことが燃料棒表面温度からわかる。Run 411では破断後54秒でLPCIは停止しているが、その時刻までで比べても、Run 314のPV上下差圧の増加速度は比較的大きい。このことは、ACCを低温側配管に注入したRun 411、Run 310に対して、ACCを下部プレナムに注入することがその後注入されるLPCIの効果と合わさって炉心再冠水に効果的であったことを示している。

破断ループでは、SG1出入口間差圧とその流体温度から、SG1を通して破断後に入口側から出口側への大きな二相流の流れがあり、20秒以降に過熱蒸気のみが通過したと推定される。

健全ループにおいては、10秒以降、通過流量は小さいと推定される。

3.2.3 Run 314の注入流量 (Fig. 3.2.8)

ACC 1, 2は15秒から41秒まで、それぞれ総量的61ℓ, 157ℓが破断ループ低温側配管、下部プレナムに注入された。LPCIについては26秒より601秒まで、総量1170ℓが1対3の割合で破断ループ低温側配管と下部プレナムとに注入されたが、図には150秒までの注入流量が示されている。LPCI注入停止後にPV残存水量を測定したところ、167ℓあった。

3.2.4 Run 314の電力 (Fig. 3.2.9, 3.2.10)

2つの図面に高熱流束燃料棒と低熱流束燃料棒の総入力と、表面での熱流束を示す。両者の熱流束は同じであり、破断後に遅発中性子の効果と崩壊熱を模擬した電力制御を行い、実験終了まで電力を供給した。

3.2.5 Run 314の燃料棒表面温度 (Fig. 3.2.11 ~ 3.2.19)

温度測定は燃料集合体中の6ヶ所で行われているが、全体的な傾向としては、破断後の20秒頃に多くの個所が露出し温度が上昇した。そして炉心の大部分の領域が露出して、スチームバインディングの状態がしばらく続いた。燃料棒の温度上昇時刻はRun 411よりやや遅くれている。破断後約170秒頃には、下部プレナムから上昇していったECC水により、ほぼ炉心全体が冷却された。特徴的なことは、ECC水注入後、PV上下差圧があまり大きくない段階でも、より下方での燃料棒冷却の激しい沸とうによって飛散した液滴の先行冷却作用により燃料棒表面温度の上昇速度が遅くなり、表面温度の最高点を記録したあと、膜沸とう等により温度は下ってゆき、最後にはクエンチして核沸とうに移行していることである。燃料棒によって若干のパラッキはあるが、ほぼ全ての計測燃料棒で類似した挙動を示していることは、LPCI注入水が炉心に上部プレナムから流下して燃料棒を上から冷却する場合とは異なり、炉心が下

から冠水されていく時の冷却現象の特徴と考えられる。また、燃料棒が全部クエンチしたあとにも、各燃料棒の下端（ポジション5）は他の場所よりかなり低い温度を示している。Fig. 3.2.11には各計測燃料棒の温度上昇、下降時刻を示す。これにより上述の現象を詳しくみると、燃料棒の露出は炉心下部（ポジション5）が最も早く、炉心上部ほど遅くなっている。これは、この時点では炉心の流れが下向き流れであるために炉心下部ほどボイド率が高くなったことによるものと考えられる。クエンチしたのは下部からであるが、炉心上端（ポジション1）がポジション2よりも早く冷却されたのは、ポジション1の方が発熱密度が低く、しかも上部プレナムから炉心へ流下する冷却材による冷却効果が大きいためと考えられる。

燃料棒のクエンチした時刻からクエンチ点の上昇速度を出してみると、 $\#1$ 燃料棒を除いて大体 0.75 cm/sec になるが、炉心の上部ほど、同一断面内でもクエンチ時刻のばらつきが大きくなっている。このクエンチ点の上昇速度から炉心の再冠水流量を推定すると、ボイドによる液面の盛り上りも含めて 8.3 l/min となり、下部プレナムへ注入されたLPCI流量約 9.0 l/min に比べてかなり小さい。炉心進入後に蒸発した量を考えても、注入したLPCI水量のかなりの割合が下部プレナムからダウンカマへ流出したものと考えられる。

Fig. 3.2.19 は $\#1$ 燃料棒の被覆管内外面温度差であり、Fig. 3.2.18 と Fig. 3.2.12 の差をとったものである。Run 411と比べてみると、破断後20秒頃に下部から露出して温度差が小さくなった時点まではほぼ同じであるが、それ以後は変わっており、Run 314では下から上へとクエンチしていった。なお、クエンチ時の被覆管温度差がRun 314では 400°C にも達しており、外表面がクエンチしたあと内表面がクエンチするまでに10数秒間かかっている点もRun 411とは異なる。以前に行われた同じ3次燃料集合体のRun 310, 311等（JAERI-M 6709）では、内外面のクエンチ時刻の差は数秒であることなどから、これは、Run 314では $\#1$ 燃料棒の外表面半分埋め込み熱電対がやや流体側に浮き上がっていたために、外表面熱電対が早く冷却されたことによるものではないかと考えられる。

3.2.6 Run 314の流体温度（Fig. 3.2.20 ~ 3.2.23）

圧力容器内の流体温度を見ると、下部プレナムではECC水注入後に時々サブクール温度を示しているが、上部プレナムと加圧器内ではそれぞれ43秒、70秒以降過熱蒸気となり壁熱をうけて徐々に温度が上昇していることがわかる。上部プレナムで80秒頃にやや温度が低下するのは、その頃炉心で大量に発生した飽和蒸気が流入したものと考えられる。

破断ループでは、破断直後から P_1 ポンプ出口で臨界流閉そくが生じて圧力がその上流側の半分位に下るため、流体温度もそれに応じて低い値を示している。その後、ECC水が注入されると、圧力容器内が減圧されて破断ループ高温側配管への流出量が減少し、更に炉心部が露出して大量の過熱蒸気を発生するようになるため、SG1入口でも一時的に過熱蒸気に満たされ、SG1出口と P_1 出口部はSG1の蓄熱の効果も受けて過熱蒸気に長時間覆われる状況になった。SG1出口温度測定用の熱電対が1次系配管内に達していないため、その温度の記録は実際には温度計測用ノズル内の流体の温度を示しており、 P_1 ポンプ出口温度より遅く過熱蒸気温度になったり、或いは全体的におくれた鈍感な温度の対応になっている。一方、PV入口部には、ECCS注入開始後一時的にサブクール水が来たが、50秒頃からは飽和二相流が流れていたことがわかる。

健全ループでは、ECC水の注入がないため、SG2から蓄熱を受けてでてきた過熱蒸気がポンプを通りダウンカメラから破断ループへ流れるが、ブローダウン末期においてその量はダウンカメラを下から上ってくる二相流に比べて少いため破断ループのPV入口部は飽和温度になっていたものと考えられる。

2次系温度は圧力の変化に対応して、破断初期にわずかに上昇し、それ以後は減少している。SG1の2次系温度に、20秒前後に小さなピークが見られる。

3.2.7 Run 314のポンプ回転数 (Fig. 3.2.24)

P₁ポンプの回転数が破断前に減少するのは、その下流にある急速遮断弁が破断に先立ち閉まり、同時にP₁ポンプ電源が遮断されたためである。

P₂ポンプの特性は、破断直後に電源が遮断され、減衰していく状態を示している。

3.3 Run 315の結果

このRunは炉心断面内での発熱分布の影響を調べたものであり、Run 314との相違点は、破断後低熱流束燃料棒を加熱しなかったことである。なお、P₁ポンプ出口の最小流動面積部で2相臨界流閉そくが発生しない条件を確認するために、ポンプ側破断口口径を、上記P₁ポンプの最小出口口径24mmよりわずかに小さい23.6mmにした。また両破断口での流出流量が限られた時間内で測定されている。

3.3.1 Run 315の圧力 (Fig. 3.3.1~3.3.4)

PV内の圧力は、破断後、破断前の流体温度に相当する飽和圧力まで一たん下り、そのあとは緩やかな減少を示している。加圧器内圧力は破断時から飽和減圧になるが、8秒位で圧力曲線に肩がでているのは、加圧器内水位がノズル位置に達して1次系配管への蒸気放出になったものと考えられる。Run 314と比べると、Run 315のPR内圧力とPV内圧力がやや遅く低下している。

破断ループの圧力については、 $\phi 1$ オリフィスをはさんで大きな圧力差が生じているが、P₁ポンプ前後にはそれに比べてかなり小さい圧力差しか生じていない。このことは、2相臨界流閉そくがP₁ポンプ出口部では生じていなく、破断口のオリフィス部でのみ生じていることを示しており、Run 314ではそれらの2ヶ所で2相臨界流閉そくが生じたことと明確な違いになっている。二相臨界流の理論によると、1つの流出径路に2つの臨界流閉そくが生じた場合には上流側の臨界流閉そくによって流出流量が決まること、および臨界流量は上流側の圧力が高いほど、およびクオリティが小さいほど多いことがわかっている。従ってRun 314のポンプ出口部とRun 315のポンプ側破断口とにおいて生じた臨界流閉そくを比べてみると、それぞれの流路面積はほぼ同じであるが、臨界流発生点の上流側の圧力はRun 314の方が高く、もしSG1出口クオリティが同じならRun 314の方が上流側のクオリティは小さいので、ポンプ側破断口からの流出量はRun 314の方が多く、従ってRun 314の減圧も速かったものと考えられる。なお、破断ループ側の圧力がいずれも5.5秒位に一時的な急減少を示しているのは、何らかの原因で蒸気がちな流出になったためではないかと考えられる。これはSG1出入口間の差圧がその時刻から一時的に急に増加した事実 (Fig. 3.3.6) や、ポンプ側破断口からの流出流量がその時刻から減少し (Fig. 3.3.10)、流出クオリティが大きくなった (Fig. 3.3.11) ことか

らも推察される。

一方、健全ループ側圧力はPV内圧力と同様な傾向になっている。SG 2入口側で40秒から60秒までの間に圧力のスパイクが数回みられるのは、計器のトラブルではないかと考えられる。

2次系圧力は、破断後、1次系流体との熱交換と自然放熱によりやや減少している。

3.3.2 Run 315の差圧 (Fig. 3.3.5~3.3.7)

PV上下差圧は、破断前にQSVが閉まり破断ループの流れが止まるために、破断前に若干低下した。その後両破断口よりの放出が始まると、炉心に大きな下向き流れが生じ、PV上下差圧は負の値にもなるが、ECC水特にACC 2が下部プレナムに注入されたあと、より速く圧力容器内に水位が回復しており、ACC注入が停止したあともLPCIによって徐々に圧力容器内に水が蓄積していった。また燃料棒表面温度のクエンチ時刻から考えて、PV上下差圧が0.26 at位になった150秒頃には、炉心は上部までほぼ再冠水されたものと考えられる。

Run 314と比べてみると、圧力容器上下差圧の全体的傾向は似ているが、Run 315では破断直後に差圧の落ちこみが少くなっており、またLPCIの注入がつづいている60秒以降ではRun 315の差圧が徐々に増えている点が異なっている。破断直後の差圧の落ちこみについて、Run 315では炉心の発熱量が少いため破断直後の炉心での気泡発生量が少くなり、従って炉心を下向きに流れる流体の流動抵抗はRun 315の方が小さくなり、炉心上下の水頭との差し引きでPV上下差圧の減少が若干Run 315の方が小さくなったのではないかと考えられる。また、Run 315において炉心内水位回復が速いのはRun 314よりも発熱燃料棒が少く、非加熱燃料棒が多いためである。燃料棒1本当りの発熱量は2つのRunで同じであるが、Run 314では計104本が発熱しているのに対し、Run 315では21本にすぎずその比は5:1となっている。

SG 1出入口間差圧が破断前に一時的に落ち込むのは、破断に先だちQSVが閉まったためと考えられる。破断後、上部プレナムを経てボイド率の比較的大きな二相流がSG 1を通るために、その流動抵抗は破断前の単相時の値に比べて10倍にも達している。ECCSが高温側配管には注入されていないため、その後流量の減少とともにSG 1を通るのは蒸気がちな流れとなり差圧は零に近づく。

一方、健全ループでは、破断後P₂ポンプは止まるが、SG 2及びP₂ポンプを通して低温側配管からダウンカマ-部へ冷却材が流れていることが、差圧とSG 2出入口流体温度 (Fig.

3.3.28)の挙動からわかる。これは、破断ループにおいて、ポンプ側破断口よりも圧力容器側破断口が広いため、圧力容器側から流出する流量が多く、従って健全ループでも、ポンプから低温側配管、ダウンカマ-を経て圧力容器側破断口へ流出しやすいためである。

3.3.3 Run 315の流出流量とクオリティ (Fig. 3.3.8~3.3.14)

2つの破断口からの流出流量は、破断口下流にある急速凝縮装置において限られた時間以内だけ測定された。その方法は、高速で流出する二相流に管壁から冷却水を噴出させて完全に凝縮させ、その凝縮水の流量と冷却水の流量の差を求めるものである。その際に必要となる流出クオリティは圧力・流体温度のデータをもとにして計算により求められるが、流出部の流体の運動エネルギーを無視して計算した値である。流出流量とクオリティのデータの有効な範囲は、 $\#1$ 破断口で4秒から17秒まで、 $\#2$ 破断口で9秒から24秒までである。破断直後から数

秒間は測定がうまくいっていない。

№1破断口の流出流量が№2破断口よりかなり小さいのは、№1破断口径が23.6mmであり、№2破断口面積と比べて約半分になっていることによる。破断初期の流出クオリティは№2破断口側で小さくなっている。

Fig. 3.3.14には凝縮後の流体温度を示す。この図から、上記の測定時間内では凝縮が完全に行われていることがわかる。なお冷却水の温度は18℃であった。

3.3.4 Run 315の注入流量 (Fig. 3.3.15)

ACC1は15秒から50秒までに計62ℓが破断ループ低温側配管に注入されたことが、ACC1タンク水位の変化からわかる。図には計器のトラブルにより、ACC1の注入注量は示されていない。ACC2は、16秒より32秒まで177ℓが下部プレナムに注入された。LPCIは破断ループ低温側配管と下部プレナム両方に26秒より596秒まで、合計約1,100ℓが注入された。なお、LPCIを停止した後にPV内残存水量を測定したところ、169ℓあった。この測定には10分間以上要しているため、その間に蒸発して流出した量もかなりあると考えられる。

3.3.5 Run 315の電力 (Fig. 3.3.16)

このRunでは、低熱電源は使用していない。従って、低熱流束燃料棒の83本は非加熱である。図には高熱流束燃料棒に供給された、遅発中性子の効果と崩壊熱とを模擬した電力と、その時の燃料棒中央部の最高熱流束を示してある。

3.3.6 Run 315の燃料棒表面温度 (Fig. 3.3.17~3.3.25)

ACC2が下部プレナムに注入され始めてから数秒後に、模擬燃料棒は非発熱の低熱流束燃料棒も含めて、全体的に炉心下部から順に露出し、LPCIの注入後には下から順にクエンチして冷却された。露出の発生のしかたを見ると、燃料棒の上端(ポジション1)が下端(ポジション5)より約1~2秒早く露出している。これは炉心下向き流れの時には下部ほどボイド率が高い上に、ACC2が下部プレナムに注入されるとそこで強い凝縮減圧作用が生じて炉心下部も含めて気泡が大量に発生するためと考えられる。クエンチ時刻は発熱棒の方が概して遅くなっており、同一断面内では中央部ほど早い。また、炉心の上部ほどクエンチ時刻のばらつきが燃料棒間に見られる。ポジション5から1まで完全にクエンチするまでに発熱棒で最大約120秒かかっており、クエンチ時刻から考えた再冠水速度は約0.9cm/secである。炉心流路面積は174cm²であるから、その速度に相当する体積流量は、蒸発量を無視し、かつ水面下のボイドがないとして、9.4ℓ/minとなり、LPCIの下部プレナム流入流量約95ℓ/minに比べてかなり小さい。Run 314と比べるとクエンチ点の上昇速度がやや速く、これは低熱棒が非加熱であることが大きく効いているものである。

Fig. 3.3.25に示す№1燃料棒の被覆管内外面温度差は、内面温度 (Fig. 3.3.24) と外面温度 (Fig. 3.3.18) の差をとったものであり、Run 314と同様、燃料棒が露出して熱伝達が悪くなると温度差は小さくなり、クエンチの時には内面温度低下に時間おくれがあるために大きなスパイク状の温度差が生じている。Run 314と同様、内外面のクエンチ時刻の差が10数秒にもなっているのは、外表面の熱電対がやや流体側に浮き上っていたためではないかと考えられる。

3.3.7 Run 315の流体温度 (Fig. 3.3.26 ~ 3.3.29)

加圧器内と上部プレナム上端では、80秒頃から熱電対先端が露出し、それ以後は過熱蒸気に触れ、輻射熱も受けて温度が壁面に近い所まで上昇している。

破断ループで破断後20秒位にSG1入口とP₁ポンプ出口部に露出が生じたのは、ACCが破断ループの低温側配管と下部プレナムに注入され、その凝縮効果が炉心の流れを下向きに加速し、SG1の方には蒸気単相流が流れていき、壁熱等の効果で過熱された蒸気に覆われたものと考えられる。SG1出口温度については、Run 411, 314の節で述べたようにSG1出口の1次系流体の温度を正確に反映したものではないことがわかっている。Run 314と比べてRun 315のSG1入口温度の高い状態がつづくのは、Run 315では破断口のオリフィス口径が小さいため、SG1を通る流出流量が少いので一次系構造材の蓄熱の影響を受けやすくなったものである。

3.3.8 Run 315のポンプ回転数 (Fig. 3.3.30)

P₁, P₂ポンプの電源停止はRun 314と同じであり、両ポンプの減衰特性もRun 314と同じになっている。

3.4 Run 316の結果

このRunは、発熱分布を第3次燃料と同じにした第4次燃料を用い、ACC2を上部プレナムに注入してその影響をみることを目的にしている。ACC2, LPCIを下部プレナムに注入したRun 314に対して、このRunでは上部プレナムにACC2が入り、高温側配管にLPCIが入るので、炉心の上方からのECC水による冷却効果を見ることを狙ったものである。

またこのRunは第4次燃料集合体の検収試験でもあるので、破断前には全電力を投入し (SG出入口間温度差は17℃と最大)、破断後190秒でLPCI注入を止め、燃料棒の温度上昇をみて温度監視装置の機能を確認した。両破断口からの流出流量がブローダウン中の1時期測定されている。

なお、このRunでは全ての図面の破断時刻が1秒ずれており、正確な時刻は図面上の時刻に1秒加える必要がある。

3.4.1 Run 316の圧力 (Fig. 3.4.1 ~ 3.4.4)

PV内、PR内の圧力の変化は、破断口径が同じRun 411, 314とはほぼ同じであり、ACC注入後は、減圧は速くなっている。しかし、それらのRunでみられたようなECC水注入中の系圧力の1時の上昇はこのRunにはなく、LPCI注入時間中も緩やかながら減圧している。このことは、このRunでは、Run 314に比べてかなり早い時期に燃料棒が冷却されており、Run 314でみられた炉心でのスチームバイディング現象がないため、再冠水時の大量蒸気発生という現象も生じなかったことによるものである。

破断ループにおいては、Run 411, 314と同様に、破断後P₁ポンプ出口と破断口とで臨界流閉そくが生じたことが、それらの前後の圧力から判断できる。SG1入口とP₁ポンプ入口部において4.2秒頃から圧力振動が発生し、それが徐々に減衰している。また、この時間帯にはSG1, P₁ポンプ前後の差圧とLPCI注入流量にも同一周期の変動が見られる。これらと

SG 1前後の流体温度等を総合して考えてみると、その変動は、基本的には熱源であるSG 1に流入した水が蒸発・膨張して圧力を上げ、進入した水が押しもどされ、圧力が低くなれば再びSG 1内に進入し、同様のことがくり返されるというチャギング振動によるものである。これがRun 316で特に強く現われたのは、第1に、上部プレナムにACC 2が大量に注入されると大きな凝縮・減圧作用が発生し、SG 1内を通過する流量が一時的に減少し、その結果SG 1内の冷却が悪くなり一時的に露出した過熱壁面を作り出したと推測されること、第2に、注入したACC 2の一部はLPCI水と合わさりサブクール水のままSG 1に流れ込み、過熱壁面に接触し一時的に大量の蒸気が発生させ、チャギング振動が発生させたこと、第3に、LPCI注入配管が健全ループ高温側配管と破断ループ高温側配管に分岐して接続しているため、2つの注入場所に圧力差が存在すると流れが一方へ偏るし、また何らかの原因で注入場所に圧力や流れの振動が生じると、2つの注入流量の間に位相の逆な自励振動的な現象が生じ、これが持続するという特性があること、第4に、上部プレナムに注入されたACC 2の大きな凝縮作用により、SG 2から上部プレナムへ向かう流れが生じ、その結果健全ループ高温側配管をSG 2から出てきた過熱蒸気で満たし、そこへLPCI水が注入されると凝縮・減圧効果が生じて一層健全ループ側へLPCI水が注入されやすくなるという、第3の効果と関連した注入場所の条件、等が考えられる。

LPCI水をRun 316と同じに高温側配管に注入したRun 411と比べてみると、第3の点は両者に共通しているが、第2および第4の点はRun 411には見られない。第1の点については、Run 411でもACC注入開始時から約30秒間、 P_1 ポンプ出口温度が過熱蒸気がきたことを示しているので、似かよった現象が生じたと考えられる。しかし、Run 411ではACC注入場所は低温側配管であるので、高温側配管にはそれほど大きい減圧効果を及ぼさなかったものと思われる。これは、ACC注入時のSG 1及びSG 2入口温度を比べて、Run 316では過熱蒸気の温度を示しているが、Run 411では飽和温度になっていることからわかり、Run 411ではSGを通して出口側から入口側へ向かう流れが生じていなかったことを示している。このことから、ACCが非常に大きな凝縮作用を持っており、一次系の流れを大きく変化させる効果を持っていることがわかる。なお、 $\#2$ オリフィス下流の圧力(Fig. 3.42)には別なデータが入ったため、その場所の圧力を示していない。従って $\#2$ オリフィス下流圧力のデータは削除されるべきものである。

健全ループの圧力は、圧力容器内の圧力とほぼ同じであり、 P_2 ポンプ出口部の圧力は、これまでのRunの説明でも述べてきたように、計測器の系統誤差により若干高めになっている。

2次系圧力が破断後徐々に上昇するのは、破断と同時に2次系流体の流れが止まるため、1次系及び構造材の蓄熱の影響を受けて流体温度が上昇することに起因しており、時間の経過につれて1次系流体温度が低下すると2次系圧力も徐々に減少している。42秒頃から2次系圧力の減少がやや速くなっているのは、既にのべたSG 1における蓄熱の急激な1次流体への放出が生じて、2次側流体温度が下がったことに対応しているものと考えられる。

3.4.2 Run 316の差圧(Fig. 3.45~3.47)

破断前にQSVが閉まり、 P_1 ポンプも停止して駆動力もなくなるため、PV上下差圧は破断前に若干減少し、破断後は炉心に急激な下向き流が生じてPV上下差圧は負の値を示している。

破断直後のPV上下差圧の落ち込みはRun 411, 314よりも大きい、これはRun 316の炉心上下温度差がそれらのRunよりも大きく、従って破断後サブクール減圧の終了した時点で炉心上下により大きい圧力差が生じるためである。ACC 2が上部プレナムに注入されると、その凝縮作用により、PV上下差圧は若干回復し、34秒頃からは炉心は急速に冷却材で満たされていく。タイロッドの表面温度(Fig. 3.2.24)をみると、34秒頃から、炉心上端の $\#1$ ポジションはサブクール温度を示しており、下端の方ほどそのサブクール度は小さいことから、上部プレナムに注入されたACC 2及び高温側配管に注入されたLPCIが炉心に流下していることがわかる。

ACC 2の注入停止後、PV上下差圧で示される炉心水位は減少してゆき、LPCIが180秒頃に停止されると炉心水位は一層減少した。これは、下部プレナムにACC 2とLPCIを注入したRun 314, 315とは異った傾向を示している。このことは、Run 314, 315では注入されたECC水が下部プレナム、ダウンカマ-の蓄熱を奪い、圧力容器を下から順に冷却し、蓄水していくのに対し、Run 316ではECC水は全て炉心よりも上方に注入されているので、炉心を通って流下する間に蒸発してボイドを発生させ、しかも飽和2相流では下部プレナムやダウンカマ-の蓄熱を初期のうちに十分奪うことはできないため、それらの蓄熱を受けてボイド率の高い2相流としてダウンカマ-上部から流出しやすいものと考えられる。なお、実験終了後に圧力容器残存量を測った所29ℓしかなかった。

破断ループでは、破断後、 P_1 ポンプ出入口間差圧が臨界流閉そくのために著しく大きくなっており、またSG 1出入口間には高速の2相流が流れて、破断前の単相流よりもやや大きい程の圧力差が生じている。その後、ACC 2の注入開始された13秒頃から急速にSG 1差圧は減少し、流速が減少したことを示している。42秒頃から、圧力のデータ説明の所で詳しく述べたようにSG 1前後の差圧と、 P_1 ポンプ前後の差圧に同じ位相の振動が生じ、従ってSG 1と P_1 ポンプには全く逆向きの流れの振動が生じたことがわかる。そしてこの振動も80秒頃にはほぼおさまっている。LPCIの注入停止した180秒から20秒程おくらせて P_1 ポンプ前後の差圧は減少し、流出流量が少なくなったことがわかる。

健全ループでは破断ループ程の激しい流れの変動はないが、ACC 2の注入以前はSG 2前後差圧がやや正で入口から出口側へ向いていた流れも、ACC 2の注入以後差圧が正から負にかわり、出口から入口へ向かう流れに変わっており、また42秒以降、破断ループでの流れの振動に合わせてやや大きな差圧の振動が生じている。 P_2 ポンプの差圧もその間やや正になっており、 P_2 ポンプを通してSG 2へ向かう流れのあったことがわかる。

3.4.3 Run 316の流出流量とクオリティ(Fig. 3.4.8~3.4.14)

Run 315と同様にこのRunでも流出流量とクオリティの測定に成功した。妥当と考えられる範囲は、 $\#1$ 破断口で約3秒から7秒まで、 $\#2$ 破断口で3秒から17秒までである。流出流量は $\#2$ 破断口の方が多くなっている。破断初期の流出クオリティは $\#1$ 破断口の方が大きい。

Fig. 3.4.14に両破断口の流体温度を示す。注入された冷却水温度は22℃であった。

3.4.4 Run 316の注入流量(Fig. 3.4.15)

このRunではACC 2を上部プレナムに、13秒から47秒までに計161ℓを注入し、両ル

ープ高温側配管にはLPCIを25秒から190秒まで計298ℓ注入した。LPCIは同一のタンクから健全ループと破断ループに分岐して流れるので、注入場所の温度・圧力により注入流量に振動が生じやすい。このRunでは破断ループのSG1に大きな圧力振動が42秒から生じ、それに伴ってLPCIの配管系に自励振動が起り、2つのLPCI注入流量に逆位相の振動が生じている。

3.4.5 Run 316の電力 (Fig. 3.4.16, 3.4.17)

低熱流束および高熱流束燃料棒には、破断前に可能な全電力を投入したが、破断後はRun 411, 314と同様に崩壊熱と遅発中性子の効果を模擬した電力を供給し、三者の表面熱流束が等しくなるようにした。破断後277秒後に温度監視装置のついた燃料棒で表面温度が700℃を越えたため両電源を遮断した。

3.4.6 Run 316の燃料棒表面温度 (Fig. 3.4.18~3.4.25)

このRunは4次燃料集合体を用いているので燃料棒表面温度は燃料集合体外周の№110燃料棒を加えて計7本分となっている。ただし、№110燃料棒では、表面の熱電対の外側に0.25mm厚さの円筒をかぶせ、その外径を10.7mmにしているので、温度挙動は他の燃料棒に比べて若干異ってくる。各表面温度をみると、ブローダウンの経過に沿って、ACC2が上部プレナムに注入されたのち炉心下部から露出が生じ、それが炉心上方に伝わるが、どの燃料棒でも破断後60秒以内には再び冷却された。LPCI注入が破断後180秒位で停止したため、それ以後に各燃料棒は再び露出して温度が上昇し、277秒に電源を遮断した。更に詳しく温度挙動を調べてみると、ACC注入後の露出は炉心下部ほど大きく、炉心上部はほとんど露出していないばかりでなく30秒以降にはサブクール水が到達している。また炉心内には露出によるわずかな温度上昇しか見られない燃料棒も半分以上あるなど、炉心内の冷却材の流動にバラツキのあることがわかる。これらは冷却材が炉心上部から流れ落ちる場合に生じやすい不安定な冷却現象である。№41燃料棒と№111燃料棒では、他の燃料棒の表面がほぼ飽和温度になっている時でも、一時的な露出がしばしば見うけられ、それはその場所を他に比べてボイド率の大きな流れが通過していたものと考えられる。またその2つの燃料棒では他の燃料棒よりも早く、LPCI停止後の露出が生じている。LPCI停止後の露出はブローダウン初期の露出と若干異なり、熱流束の高い熱電対のポジション2~4の位置がどの燃料棒でも早く露出し、ポジション5がややおくれて、低温のECC水によりよく冷却されていたポジション1は最も遅く露出している。№110燃料棒ではポジション4の熱電対のデータが得られていないが、熱電対取付の特殊な構造により全体的に他の燃料棒の表面温度よりは高くなっている。

3.4.7 Run 316の流体温度 (Fig. 3.4.26~3.4.29)

圧力容器上部プレナムと加圧器内の流体温度はともに同様の傾向を示している。加圧器内の温度挙動はこれまでとほぼ同様であるので上部プレナム温度について考えてみる。ACC2は上部プレナムの高い位置に注入されるため、上部プレナムでの流体の混合が激しく生じ、ACC2の注入されている間上部プレナムは飽和温度になっている。約70秒からの温度上昇についてはACC2の停止により流体の混合は悪くなり、一方、加圧器からの過熱蒸気が上部プレナムに流入するようになり、またPV壁のふく射熱の影響を受けた結果と考えられる。上部プレナムは、配管ノズルの上に1.2mほどの高さを持ち、しかも上部はたまりになっている

ため、健全ループ高温側配管等からのECC水がそのまま炉心に流下してしまつて、上部プレナムの流体に大きな温度分布がついたことに注目する必要がある。なお、80秒以後、上部プレナムの過熱蒸気温度が変動するのは、周囲からの壁熱をうけて温度が上昇することと、他の場所から流入する飽和又は過熱蒸気による場合、および減圧等の効果が組み合わさっているためである。

破断ループの流体温度は、LPCI注入条件の似かよつたRun 411と定性的に同じである。Run 316では42秒頃からSG1前後に大きな流量振動が生じていること、およびLPCI注入時間が155秒でありRun 411の25秒に比べて長いこと、ACC注入場所が異なること等がRun 411との間に差がでてくる原因である。SG1出口温度は、熱電対先端が一次系配管内にとどいていないためSG1の熱を受けて出口から出ていく過熱蒸気の挙動を十分にはつかめていないが、SG1入口温度との間には若干の時間のずれを伴つて、温度挙動の逆方向への変化が現われている。SG1入口にはLPCI注入が終るまでサブクール水が到達している。P₁ポンプ出口では臨界流閉そくが生じていて他の場所より圧力が低いため、飽和温度も低くなっている。またそこでブローダウン初期にSG1入口よりも早く温度上昇が生じるのは、ACC2注入によって減圧がすすみ、かつSG1の入口で飽和温度であってもSG1を通過する間に加熱された蒸気が発生するためである。

破断後の健全ループSG2、P₂ポンプ出入口差圧とそれぞれの場所の流体温度とをあわせて考えてみると、破断後35秒位まではSG2からP₂ポンプの方への流れがあつてSG2入口は飽和温度になっているが、その後差圧が逆転し、SG2入口、P₂ポンプ出口温度も逆転していることから、流れが変わり、P₂ポンプからSG2、そして上部プレナムへの流れが生じたものと考えられる。120秒頃からSG2入口温度が過熱蒸気温度から飽和温度になり、時々LPCI水がサブクールのままその入口に達しているが、その水はSG2を越えてP₂ポンプの方へは流れることはできない。LPCIの注入が止まると数気圧あつた系圧力が減少し、それに伴い飽和温度も低下した。また、SG2入口が飽和温度になっているのに対しP₂ポンプ出口は230秒頃から過熱蒸気温度になったのは、系の減圧が進むにつれて再びSG2からP₂ポンプの方向に流れが生じたのではないかと考えられる。

2次系温度は2次系圧力の減少に伴つた値を示している。SG1の2次側出口部で1次的な温度上昇がしばしばみられる。

3.4.8 Run 316のポンプ回転数 (Fig. 3.4.30)

3.4.1で述べたように破断開始時刻が約1秒ずれており、P₂ポンプの回転数の低下開始時刻が破断時刻である。P₁ポンプが破断前にコーストダウンするのは破断モードによるものである。

3.5 結 論

本報における各実験の比較から明らかになつたROSA-II試験装置に関する結論は以下の通りである。

- (1) ACC水の注入は系の減圧に役立つが、反面、低温側配管、上部プレナム、下部プレナムいずれに注入しても炉心での気泡発生を増加させるため、燃料棒の露出による一時的な温度上昇を引き起こした。この燃料棒が直ちに冷却されるかどうかは、注入されたACC水、或

いはやや遅くれて注入されるLPCI水がどれだけ早く炉心に流入するか、及びその量と流れ込む方向にかかっており、そのことはACC及びLPCIの注入位置に大きく関連している。

上部プレナムに注入されたACC水と高温側配管に注入されたLPCI水は、早く炉心に流入し燃料棒を冷却した(Run 316)が、下部プレナムに注入されたACC水とLPCI水(Run 314)とは炉心を下から再冠水してゆき、前者(Run 316)より100秒近くおくらせて燃料棒を冷却した。

- (2) ACC水が高ボイド率の二相流中に注入されると大きな凝縮作用を生じさせるので、圧力容器内や健全ループの流体の流れを変える位の大きな影響を及ぼす。また流量の大きい破断ループの流れにも影響を及ぼす。
- (3) LPCI注入場所とPV内の蓄水量の関係をみると、高温側配管に注入されたLPCI水は、炉心を流下する際に流れが不均一で分散的になりやすく、しかも炉心の熱を受けて炉心下端では高ボイド率になる。そのような飽和二相流は下部プレナムやダウンカマ-を十分冷却できず、流体は下部プレナムからダウンカマ-を経て流出しやすく、PV内の残存水は少くなる(Run 316)。このため、LPCIを停止したあとまもなく炉心全体の露出が生じ、燃料棒表面温度は再び上昇した。一方、下部プレナムに注入されたLPCI水は、下部プレナムとダウンカマ-を冷却しつつ炉心を下から冷却していくが、Run 316の場合より比較的炉心断面内の冷却には分布が少い(Run 314)。またその際、炉心とダウンカマ-の下部が水栓されたので、炉心の流れは上向きになった。注入されたLPCI水はダウンカマ-の水頭圧によって、炉心での蒸気発生による圧力上昇に打ち勝ち、炉心を上昇するので、炉心の上昇流量は注入流量に比べてかなり小さくなったが、PV内残存水量は比較的安定して増えていった。
- (4) P_1 ポンプ側破断口を、 P_1 ポンプ出口部ノズルよりやや小さい面積に絞った場合(Run 315)には、 P_1 ポンプ出口での臨界流閉そくは生じなかった。このことから、ROSA-IIの最大口径両端破断でも、 P_1 ポンプ出口部を破断口よりやや大きく広げることにより、 P_1 ポンプ出口部での臨界流閉そくを生じさせなくできる可能性があることがわかる。
- (5) 炉心に大きな非加熱部分をもつ場合(Run 315)には、断面内一様発熱の場合(Run 314)に比べて炉心の再冠水された時刻は早くなった。
- (6) 一次系流体に及ぼす蒸気発生器の熱源としての影響は大きい。また、圧力容器壁の蓄熱も再冠水過程では流体に大きな影響を及ぼす。

参 考 文 献

- (1) 斯波正誼, 安達公道, 生田目健, 他; "ROSA-II研究計画" JAERI-M 6362 (1976)
- (2) 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)
- (3) 安全工学第一研究室, ROSAグループ; "ROSA-II試験データ報告・1 (Run 202, 203, 303, 304, 306)" JAERI-M 6240 (1975)
- (4) 安全工学第一研究室 ROSAグループ; "ROSA-II試験データ報告・2 (Run 307, 308, 309)" JAERI-M 6241 (1975)
- (5) 安全工学第一研究室 ROSAグループ; "ROSA-II試験データ報告・3 (Run 204, 301, 302)" JAERI-M 6512 (1976)
- (6) 安全工学第一研究室 ROSAグループ; "ROSA-II試験データ報告・4 (Run 401, 403, 404)" JAERI-M 6513 (1976)
- (7) 安全工学第一研究室 ROSAグループ; "ROSA-II試験データ報告・5 (Run 310, 311, 312, 313, 317)" JAERI-M 6709 (1976)

Table 2-1 Pressure Vessel Nozzles

Symbol	REQ' D No.	Diameter	Nozzle's Connection	Symbol	REQ' D No.	Diameter	Nozzle's Connection
N 1	1	4 ^B	Primary Water Inlet for BWR Simulation	N 19	1	1/2 ^B	Thermocouple (Branched from N7)
N 2	1	4 ^B	Primary Water Inlet for BWR Simulation	N 20	1	1/2 ^B	Thermocouple
N 3	1	2 1/2 ^B	Recirculation Water Outlet	N 21	1	1/2 ^B	Thermocouple
N 4	1	2 1/2 ^B	Recirculation Water Outlet	N 22	1	1/2 ^B	Thermocouple
N 5	1	4 ^B	Primary Water Inlet for PWR Simulation	N 23	1	1/2 ^B	Pressure Transducer
N 6	1	4 ^B	Primary Water Outlet for PWR Simulation	N 24	1	1/2 ^B	Pressure Transducer
N 7	1	2 1/2 ^B	Primary Water Inlet for PWR Simulation	N 25	1	1/2 ^B	Pressure Transducer
N 8	1	4 ^B	Primary Water Outlet for PWR Simulation	N 26	1	1/2 ^B	Pressure Transducer
N 9	1	1 ^B	Steam Blow Line	N 27	1	1/2 ^B	Water Level Meter
N 10	1	3 ^B	Safety Valve (Branched from N9)	N 28	1	1/2 ^B	Water Level Meter
N 11	1	3 ^B	Discharge Line (Spare)	N 29	1	1 ^B	Thermometer
N 12	1	3 ^B	Discharge Line (Spare)	N 30	1	1 ^B	Thermometer
N 13	1	2 ^B	ECCS Water Inlet	N 31	1	3 ^B	Water Outlet for Jet Pump
N 14	1	2 ^B	ECCS Water Inlet	N 32	1	3 ^B	Water Outlet for Jet Pump
N 15	1	2 ^B	ECCS Water Inlet	N 33	1	3 ^B	Spare
N 16	1	1/2 ^B	Drain	N 34	1	3 ^B	Spare
N 17	1	1/2 ^B	N ₂ Line (Branched from N9)	N 35	1	2 ^B	Core Spray Water Inlet
N 18	1	1/2 ^B	Thermocouple				

Design Conditions	
Volume (m ³)	0.375
Pressure (Kg/cm ² G)	1.65
Temperature (°C)	325
Weight (Kg)	5,600

Table 2-2 Instrumentation List of ROSA-II Test
(for No.3 and No.4 Assembly)

ECCS MEASUREMENT LIST 2-1

DATA CH-NO	MEASUREMENT SYMBOL	NAME (MEASURING POINT)	SENSOR SPECIFICATION	MEAS. RANGE & OUTPUT	ACCURACY
1	PRESSURE	PV UPPER PLENUM	PAIS-DITM-200H	0-1681kg/cm ² 0-1.0V	± 2.4 %
2		PV LOWER PLENUM			
3		ABOVE NO.1 ORIFICE			
4		BELOW NO.1 ORIFICE			
5		ABOVE NO.2 ORIFICE			
6		BELOW NO.2 ORIFICE			
7		NO.1 INLET			
8		P1 PUMP SUCTION			
9		NO.2 INLET			
10		NO.2 OUTLET			
11		P2 PUMP DELIVERY			
12		NO.3 INLET			
13		NO.3 SHELL SIDE			
14	OFF PRESS.	PA TOP-BOTTOM	PAIS-DITM-100H	0-60kg/cm ² 0-0.5V	± 1.0 %
15		PA TOP-NO.1 ORIFICE	EDM	0-10kg/cm ² 0-10V	
16		PA TOP-NO.2 ORIFICE	EDM-SP		
17		PA BOTTOM-NO.1 ORIFICE			
18		NO.1 INLET-OUTLET	HIGH PRESSURE TRANSDUCER		
19		NO.2 INLET-OUTLET			
20		P1 PUMP DELIVERY-SUCTION			
21		P2 PUMP DELIVERY-SUCTION			
22	FLOWRATE	CONDENSATE NO.1	ELECTROMAGNETIC FLOW RATE METER 6159		
23		CONDENSATE NO.2			
24		COOLING WATER NO.1			
25		COOLING WATER NO.2			
26		HPC1 (1)	TURBINE FLOW RATE METER	0-20mm ³ 0-10V	± 1.2 %
27		F-7 (2)			
28		F-7 (3)			
29		F-8 (4)			
30		ACC 1			
31		ACC 2 (1)			
32		ACC 2 (2)			
33		LPC 1 (1)			
34		F-13 (2)			
35	POWER	W-1 HIGH FLUX RODS	POWER TRANSDUCER 2885	0-6000VA 0-10V	± 1.0 %
36		W-2 LOW FLUX RODS		0-1800VA 0-10V	
37	TEMP./VEL.	TF-1 HIGH FLUX NO.1 ROD	THERMOCOUPLE CA UNBROUND	0-1800°C 0-10V	± 1.5 %
38		TF-2			
39		TF-3			
40		TF-4			
41		TF-5			
42		TF-6 NO.3 ROD			
43		TF-7			
44		TF-8			
45		TF-9			
46		TF-10 NO.9 ROD			
47		TF-11			
48		TF-12			
49		TF-13			
50		TF-14			
51		TF-15 LOW FLUX NO.12 ROD			
52		TF-16			
53		TF-17			
54		TF-18			
55		TF-19			
56		TF-20			
57		TF-21 NO.41 ROD			
58		TF-22			
59		TF-23			
60		TF-24			
61		TF-25 NO.111 ROD			
62		TF-26			
63		TF-27			
64		TF-28			
65		TF-29			
66		TF-30			

ECCS MEASUREMENT LIST 2-2

DATA CH-NO	MEASUREMENT SYMBOL	NAME (MEASURING POINT)	SENSOR SPECIFICATION	MEAS. RANGE & OUTPUT	ACCURACY
67	TEMP./VEL.	INNER SURFACE	THERMOCOUPLE CA UNBROUND	0-1200°C 0-10V	± 1.4 %
68					
69					
70					
71	TEMPERATURE	PV UPPER PLENUM		0-400°C 0-10V	± 1.0 %
72		PV LOWER PLENUM			
73		CONDENSATE NO.1			
74		CONDENSATE NO.2			
75		NO.1 INLET			
76		NO.1 OUTLET			
77		P1 PUMP DELIVERY			
78		P2 PUMP DELIVERY			
79		NO.2 INLET			
80		NO.2 OUTLET			
81		P2 PUMP DELIVERY			
82		PRESSURIZER			
83		NO.3 SHELL OUTLET			
84		NO.3 SHELL OUTLET			
85		RUPTURE DISC NO.1	COPPER WIRE VOLTAGE GENERATOR	RUPTURE 0-10V	
86		RUPTURE DISC NO.2			
87		QUICK SHUT VALVE	LIMIT SW CONTACT VOLTAGE GENERATOR	OPEN/CLOSE 0-10V	
88		RCV VALVE NO.1		CLOSE/HALF-OPEN 0-4V	
89		RCV VALVE NO.2			
90		ACC 1 VALVE		0-10V	
91		ACC 2 VALVE		CLOSE OPEN 0-10V	
92		HPC 1 VALVE			
93		LPC 1 VALVE			
94		SET DISCHARGE VALVE			
95		P1 PUMP POWER SUPPLY	ELECTROMAGNETIC CONTACT	CLOSE OPEN 0-10V	
96		P2 PUMP POWER SUPPLY		ON-OFF 0-10V	
97		IN CORE		40-1000-0-10V	
98					
99					
100			TACHO GENERATOR	0-5000r.p.m. 0-10V	
101		P1 PUMP			
102		P2 PUMP			
103	CORE FLOW VELOCITY	IN CORE	ELECTROMAGNETIC FLOW RATE METER	0-10mm ³ 0-10V	
104	TEMPERATURE	IN CORE	ELECTRIC RESISTANCE	ON-OFF 10V-D	
105					
106					
107					
108					
109					
110					
111					
112					
113					
114					
115					

Note : For No.4 assembly, data channels No.67 to 71 (TF-31 to TF-35) do not mean the inner surface temperatures of No.1 rod, but the surface temperatures of No.110 rod located at the outer region of core.

Table 2-3 ROSA-II Test conditions for Run 411

Run No. 411			Date 1975, 1, 24		
Break conditions			ECCS conditions		
Location	0		HPCI inject. location	—	—
Mode	4		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)	332	332	LPCI inject. location	H	H
Cold leg temp.1,2 (C)	319	319	Initiation press. (atg)	P1 ; 4	
Flow rate 1,2 (l/min)	478	1320	Injection delay (sec)	28	
Pump conditions			Flow rate 1,2 (l/min)	45	—
Revolution No. (rpm)	2500		Flow rate PV (l/min)	—	
Trip delay 1,2 (sec)	0	0	Water temp. (C)	64	
Flow resistance			ACC injection location	0	0
PR orifice (mm)	—		Pressure (atg)	45	
SG orifice 1,2 (mm)	57.3	63.0	Temperature 1,2 (C)	65	66
Core thermal conditions			Orifice diam.1,2 (mm)	10	15
Assembly No.	3		Orifice diam. PV (mm)	—	
Set power H,L (KW)	315	1320	Abbreviations of location		
Trip delay H,L (sec)	0	0	H:Hot leg C: Cold leg		
Power Control H,L*	n	n	U:Upper plenum,L:Lower plenum		
Power off temp. (C)	700		D:Downcomer		
Secondary side conditions			Remarks		
Pressure (atg)	59		* LPCI was injected during 25 seconds.		
Temperature (C)	274				
Flow control valve	close				
Blow valve	close				
Blow orifice (mm)	—				
* Note, d:decay heat simulation,n:decay+delayed neutron,c:constant.					

Table 2-4 ROSA-II Test conditions for Run 314

Run No. 314			Date 1975, 4, 23		
Break conditions			ECCS conditions		
Location	C		HPCI inject. location	—	—
Mode	4		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)	156		Water temp. (C)	—	
Hot leg temp. 1,2 (C)	313	313	LPCI inject. location	C	L
Cold leg temp. 1,2 (C)	302	302	Initiation press. (atg)	Pl ; 5	
Flow rate 1,2 (l/min)	475	1350	Injection delay (sec)	26	
Pump conditions			Flow rate 1,2 (l/min)	30	—
Revolution No. (rpm)	2600		Flow rate PV (l/min)	90	
Trip delay 1,2 (sec)	0	0	Water temp. (C)	63	
Flow resistance			ACC injection location	C	L
PR orifice (mm)	14.3		Pressure (atg)	45	
SG orifice 1,2 (mm)	57.3	63.0	Temperature 1,2 (C)	65	65
Core thermal conditions			Orifice diam. 1,2 (mm)	10	—
Assembly No.	3		Orifice diam. PV (mm)	15	
Set power H,L (KW)	314	1234	Abbreviations of location		
Trip delay H,L (sec)	0	0	H:Hot leg C: Cold leg		
Power Control H,L*	n	n	U:Upper plenum, L:Lower plenum		
Power off temp. (C)	700		D:Downcomer		
Secondary side conditions			Remarks		
Pressure (atg)	60		* Residual water was 166.5 l after about 10 minutes from break.		
Temperature (C)	275				
Flow control valve	close				
Blow valve	close				
Blow orifice (mm)	—				
* Note, d:decay heat simulation, n:decay+delayed neutron, c:constant.					

Table 2-5 ROSA-II Test conditions for Run 315

Run No.	315		Date	1975, 5, 26	
Break conditions			ECCS conditions		
Location	C		HPCI inject. location	—	—
Mode	4		Initiation Press. (atg)	—	
Diameter 1,2 (mm)	23.6	37.5	Injection delay (sec)	—	
Type	Distributed		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)	302	302	LPCI inject. location	C	L
Cold leg temp.1,2 (C)	298	298	Initiation press. (atg)	Pl ;8	
Flow rate 1,2 (l/min)	460	1350	Injection delay (sec)	26	
Pump conditions			Flow rate 1,2 (l/min)	27	—
Revolution No. (rpm)	2560		Flow rate PV (l/min)	96	
Trip delay 1,2 (sec)	0	0	Water temp. (C)	64	
Flow resistance			ACC injection location	C	L
PR orifice (mm)	14.3		Pressure (atg)	45	
SG orifice 1,2 (mm)	57.3	63.0	Temperature 1,2 (C)	64	66
Core thermal conditions			Orifice diam.1,2 (mm)	10	—
Assembly No.	3		Orifice diam. PV (mm)	15	
Set power H,L (KW)	460	*	Abbreviations of location		
Trip delay H,L (sec)	0	0	H:Hot leg C: Cold leg		
Power Control H,L*	n	n	U:Upper plenum,L:Lower plenum		
Power off temp. (C)	700		D:Downcomer		
Secondary side conditions			Remarks		
Pressure (atg)	61		* Power was not supplied.		
Temperature (C)	276		** Residual water was 169 g after about 10 minutes from break.		
Flow control valve	close				
Blow valve	close				
Blow orifice (mm)	—				
* Note, d:decay heat simulation,n:decay+delayed neutron,c:constant.					

Table 2-6 ROSA-II Test conditions for Run 316

Run No.	316		Date	1975, 6, 24	
Break conditions			ECCS conditions		
Location	C		HPCI inject. location	—	—
Mode	4		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)	316	316	LPCI inject. location	H	H
Cold leg temp. 1,2 (C)	298	298	Initiation press. (atg)	Pl; 8	
Flow rate 1,2 (l/min)	465	1320	Injection delay (sec)	26	
Pump conditions			Flow rate 1,2 (l/min)	17	106
Revolution No. (rpm)	2520		Flow rate PV (l/min)	—	
Trip delay 1,2 (sec)	0	0	Water temp. (C)	64	
Flow resistance			ACC injection location	—	U
PR orifice (mm)	14.3		Pressure (atg)	45	
SG orifice 1,2 (mm)	57.3	63.0	Temperature 1,2 (C)	—	67
Core thermal conditions			Orifice diam. 1,2 (mm)	—	—
Assembly No.	4		Orifice diam. PV (mm)	15	
Set power H,L (KW)	519	1642	Abbreviations of location		
Trip delay H,L (sec)	0	0	H:Hot leg C: Cold leg		
Power Control H,L*	n	n	U:Upper plenum, L:Lower plenum		
Power off temp. (C)	700		D:Downcomer		
Secondary side conditions			Remarks		
Pressure (atg)	61		* LPCI water was injected during about 3 minutes.		
Temperature (C)	276		** Residual water was 29 d after about 10 minutes from break.		
Flow control valve	close				
Blow valve	close				
Blow orifice (mm)	—				
* Note, d:decay heat simulation, n:decay+delayed neutron, c:constant.					

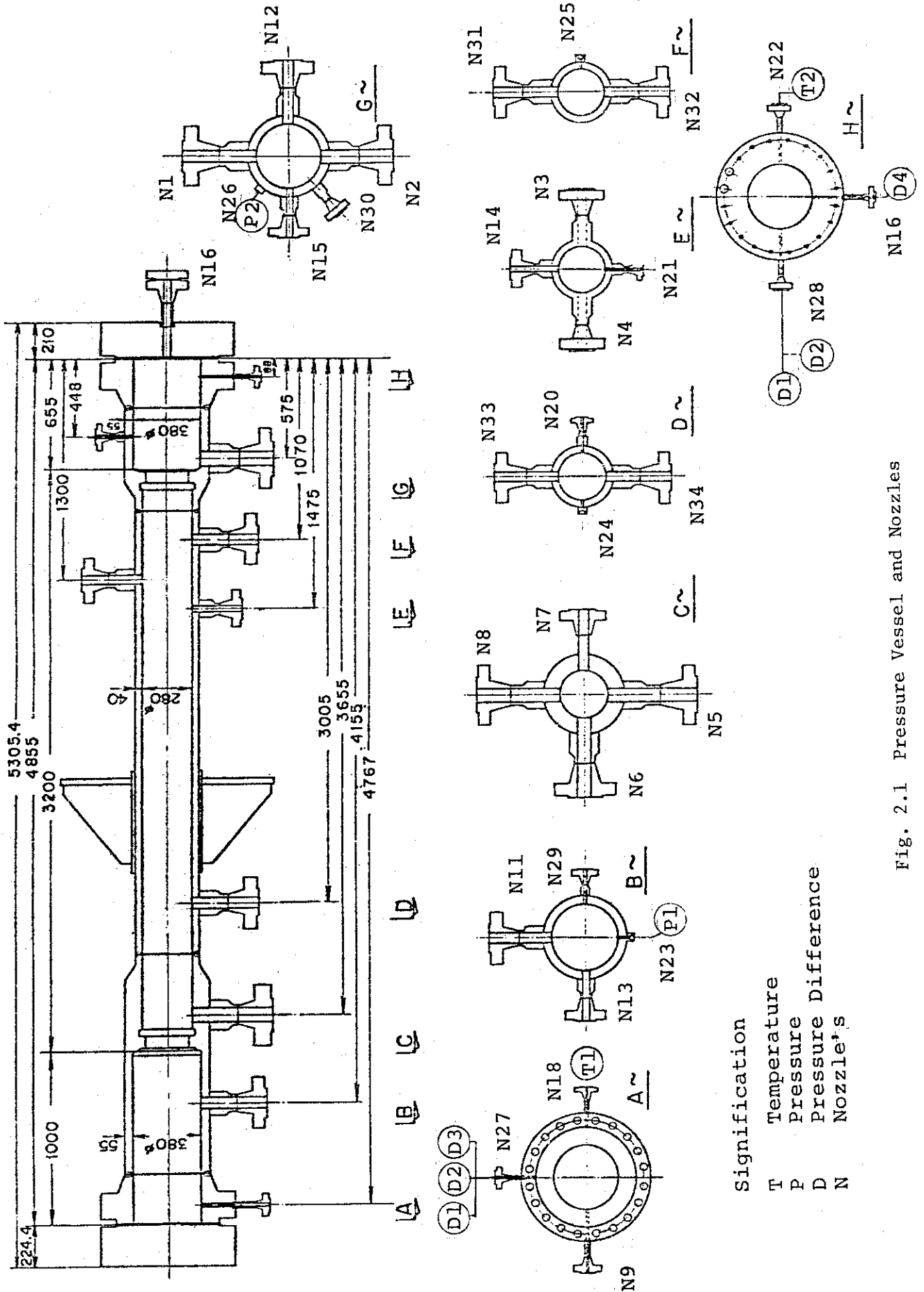


Fig. 2.1 Pressure Vessel and Nozzles

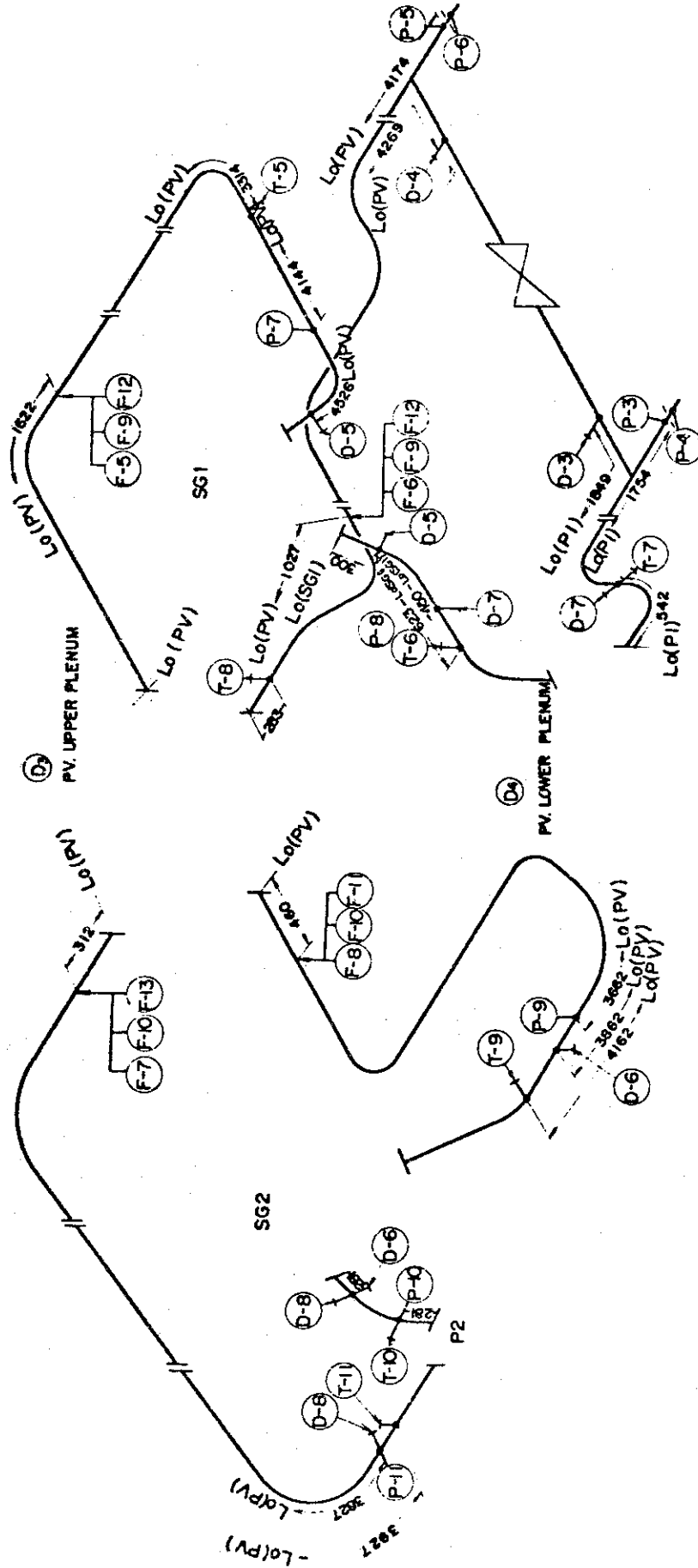
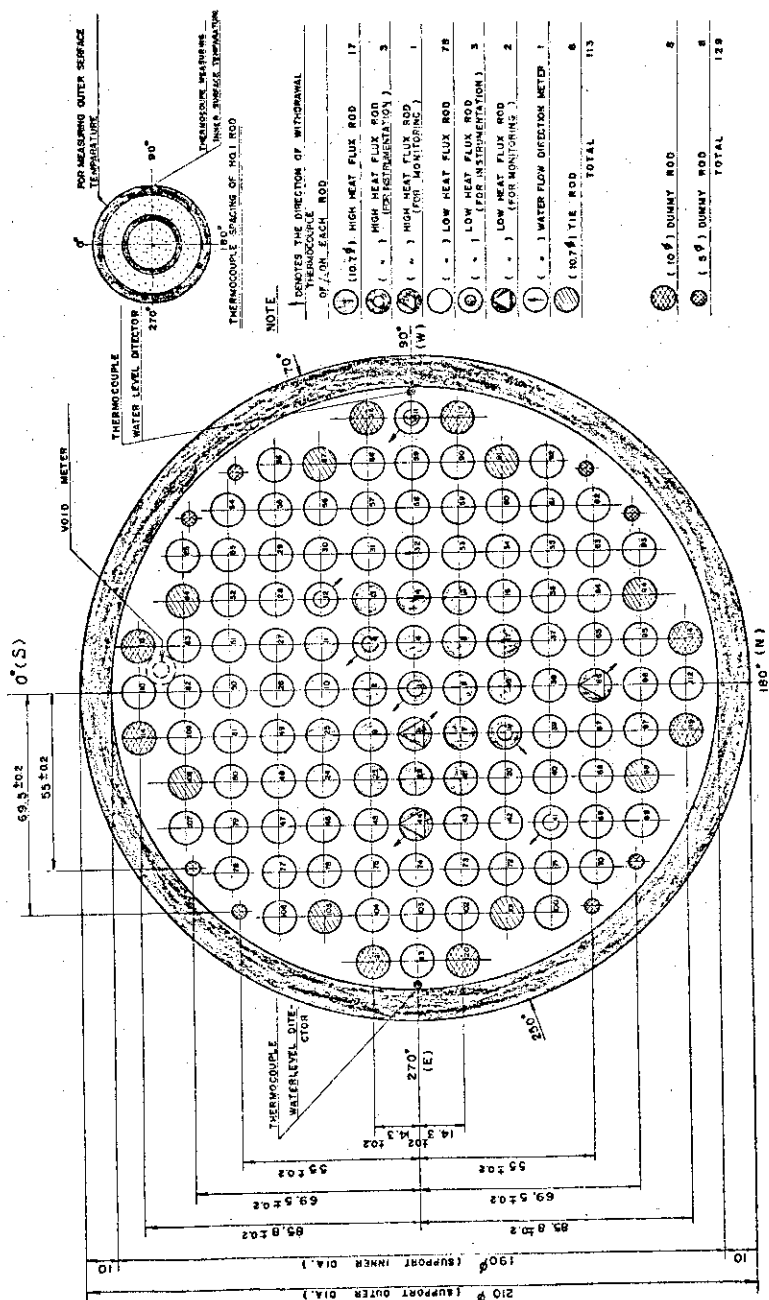
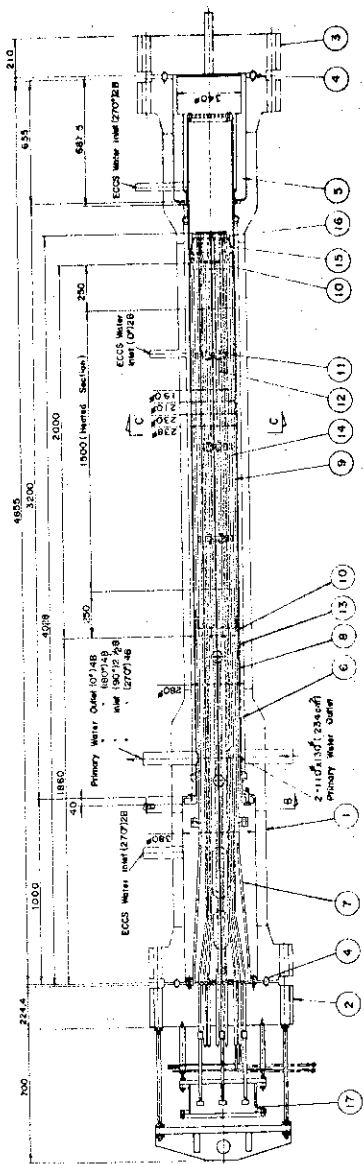


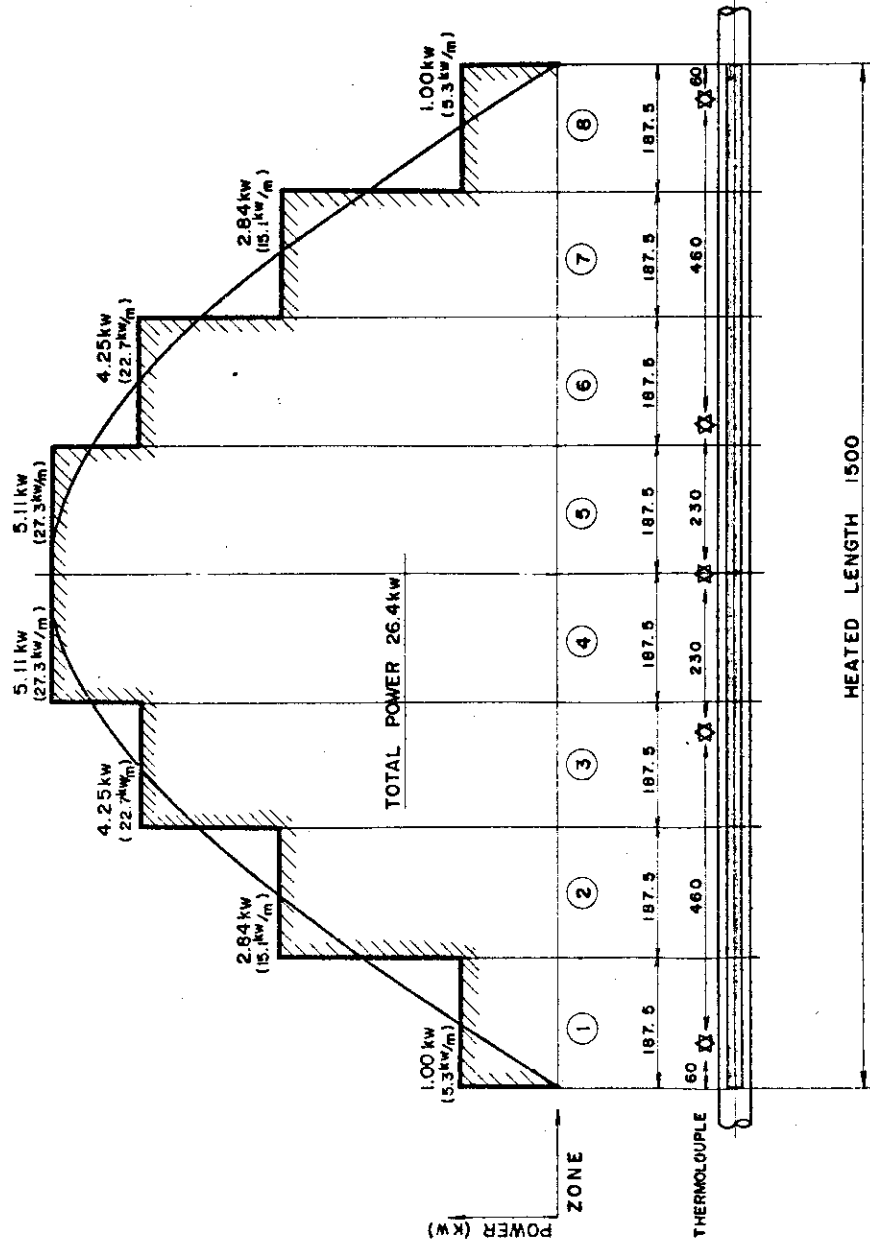
Fig. 2.2 Primary Loop (Cold-Leg Break)

17	Connection Box
16	Connection Pins
15	Insulated Wire
14	Heater Rod
13	Spacer Ring
12	In Rod
11	Upper Grid Plate
10	Lower Fuel Support Tube
9	Middle Fuel Support Tube
8	Upper Fuel Support Tube
7	Core Barrel
6	Dummy Block
5	Shear Ring
4	Lower Lid
3	Upper Lid
2	Pressure Vessel
1	No. 110 Simulated Fuel Assembly



For No. 4 assembly, No. 110 rod is instrumented with thermocouples.

Fig. 2.3 Arrangement of Simulated Fuel Rods in No. 3 and No. 4 Assembly



ZONE	DESIGN VALUE		
	POWER (kw)	HEAT FLUX (kw/m)	RESISTANCE VOLTAGE (V)
①, ⑧	1.00	15.9	0.077
②, ⑦	2.84	45.1	0.217
③, ⑥	4.25	67.5	0.325
④, ⑤	5.11	81.1	0.391
TOTAL	26.4		2.020

POWER SUPPLY AC 400V Y JUNCTION
 NO. OF RODS NO. 3 21, NO. 4 21
 TOTAL POWER 26.4 kW/ROD, 555 kW/21 RODS

Fig. 2.4 Heat Flux Distribution (Cosine) of High Heat Flux Rod in No.3 and No.4 Assemblies

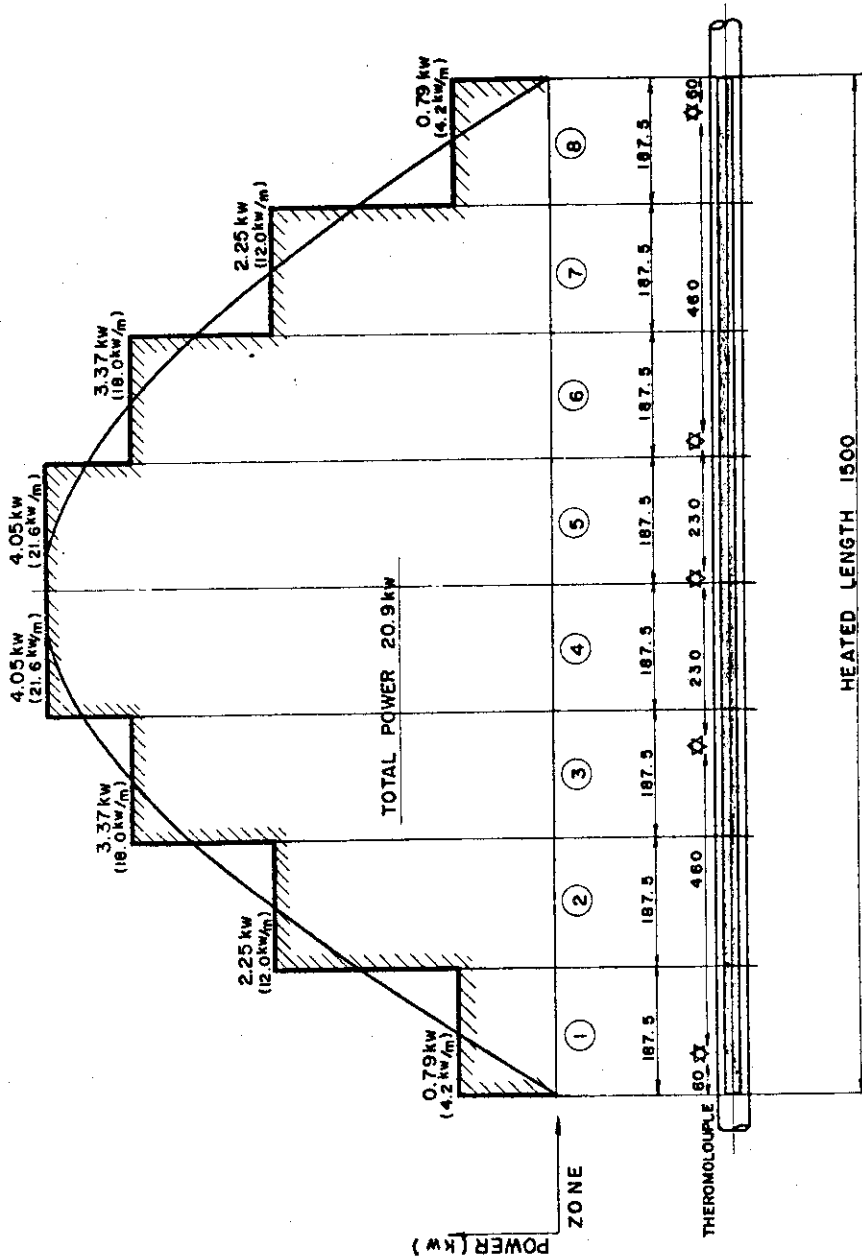


Fig. 2.5 Heat Flux Distribution (Cosine) of Low Heat Flux Rod in No.3 and No.4 Assemblies

ZONE	DESIGN VALUE		
	POWER (kw)	HEAT FLUX RESISTANCE (m^2/kw)	VOLTAGE (V)
①, ⑧	0.79	12.5	8.71
②, ⑦	2.25	35.7	24.83
③, ⑥	3.37	53.5	37.22
④, ⑤	4.05	64.3	44.73
TOTAL	20.9	—	231.0

POWER SUPPLY 400V Y JUNCTION
 NO. OF RODS NO.3 83, NO.4 83
 TOTAL POWER 20.9kW/ROD, 1.692kW/83.RODS

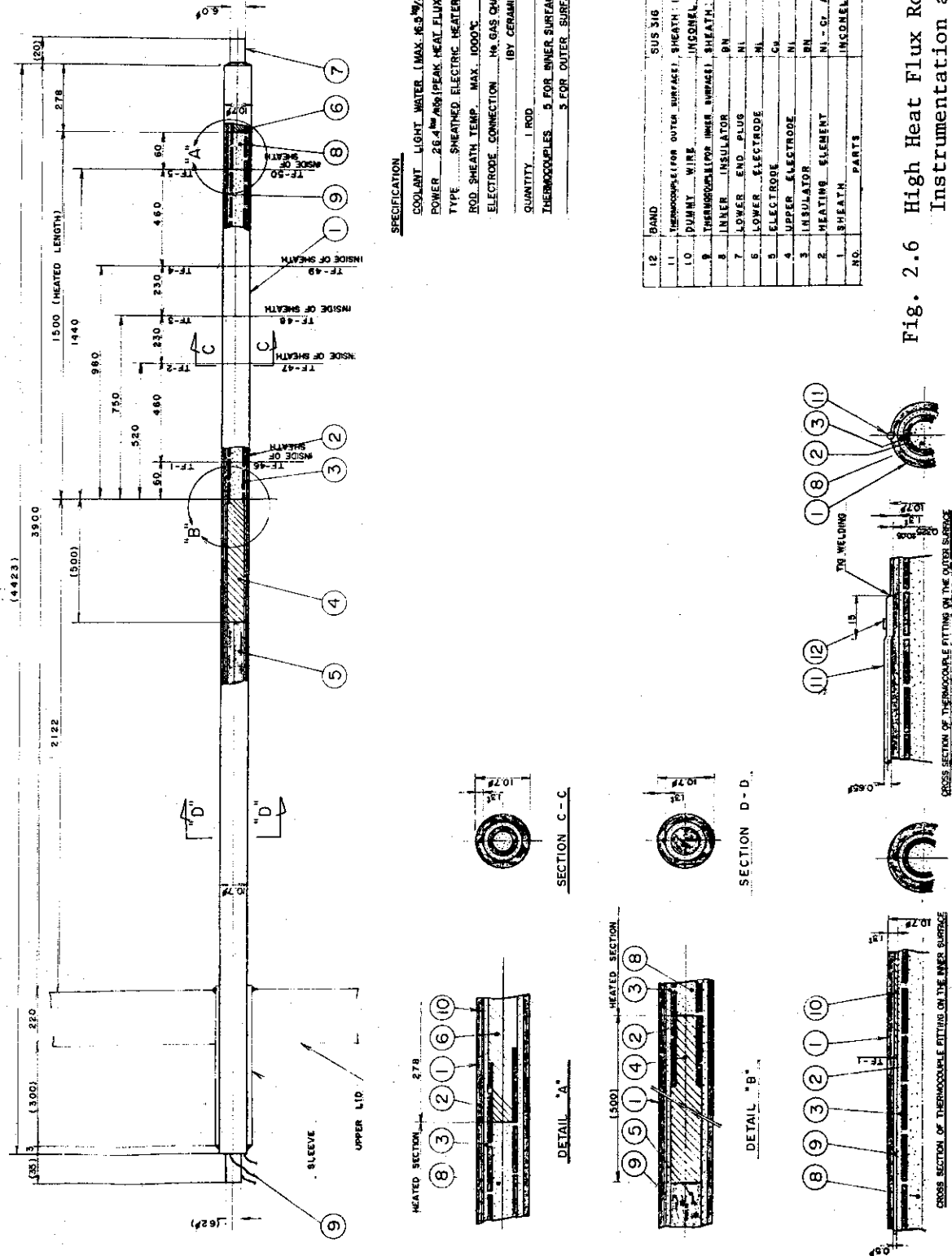


Fig. 2.6 High Heat Flux Rod with Instrumentation at Both Surfaces of Clad in No.3 Assembly

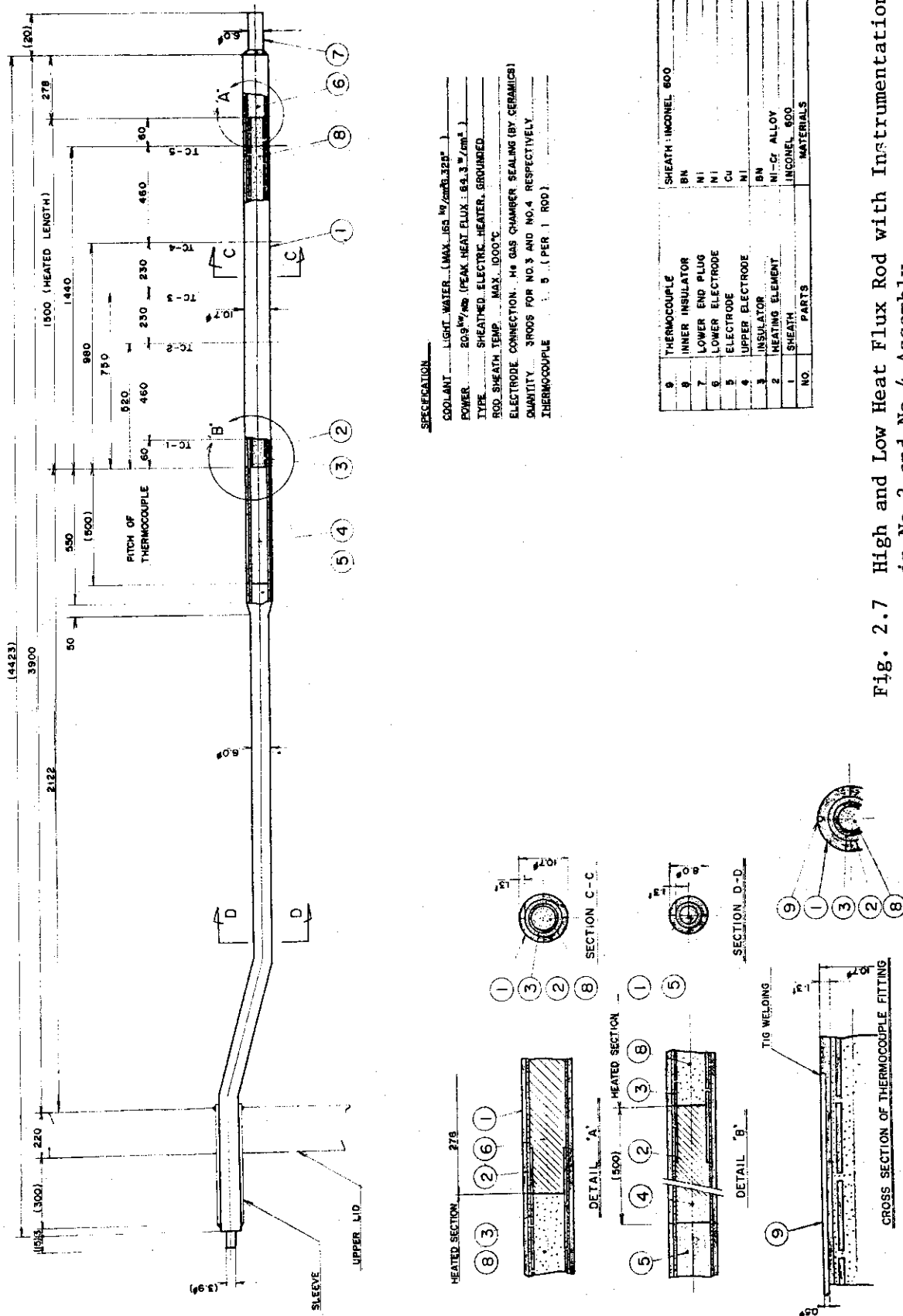


Fig. 2.7 High and Low Heat Flux Rod with Instrumentation in No.3 and No.4 Assembly

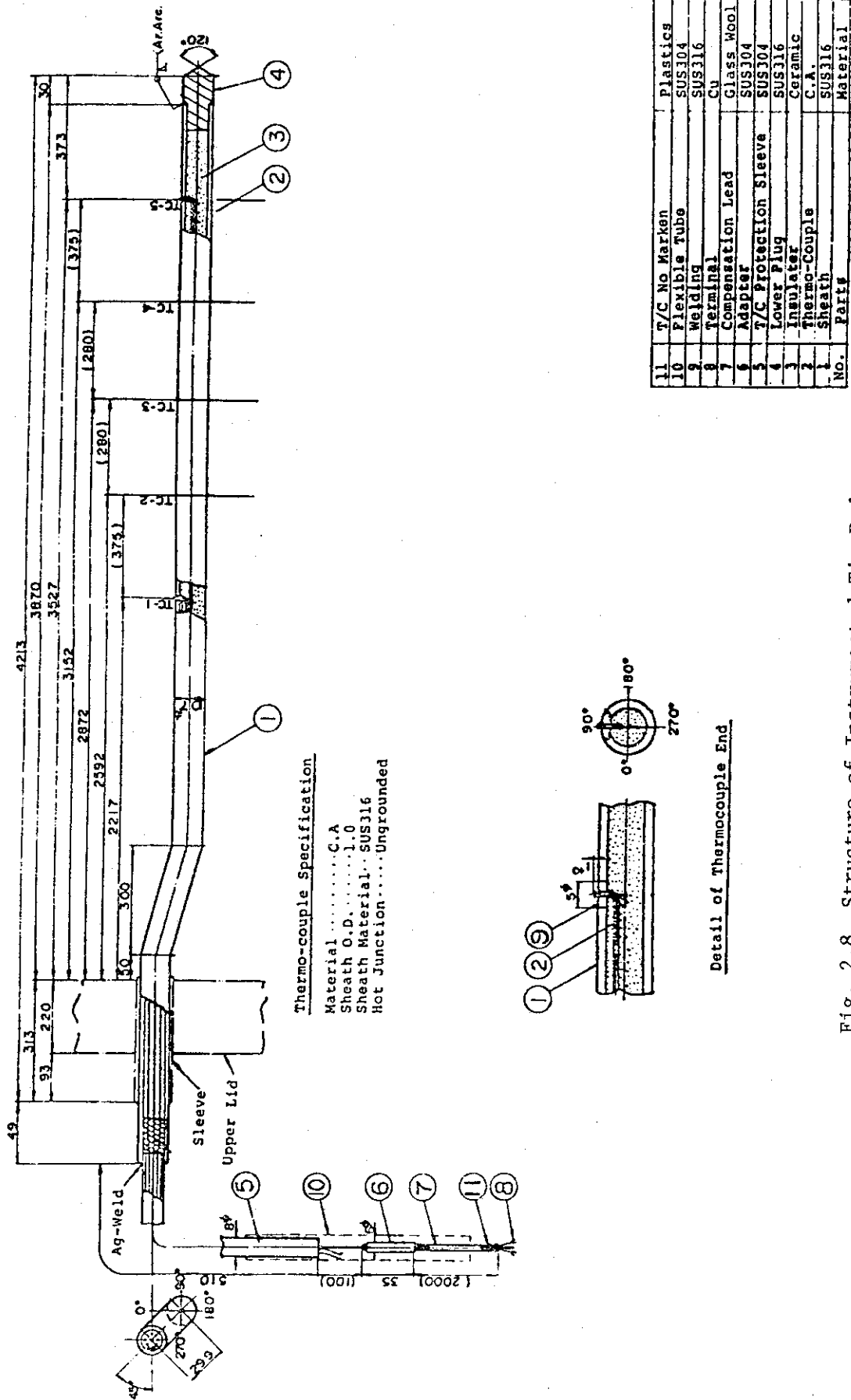


Fig. 2.8 Structure of Instrumented Tie Rod

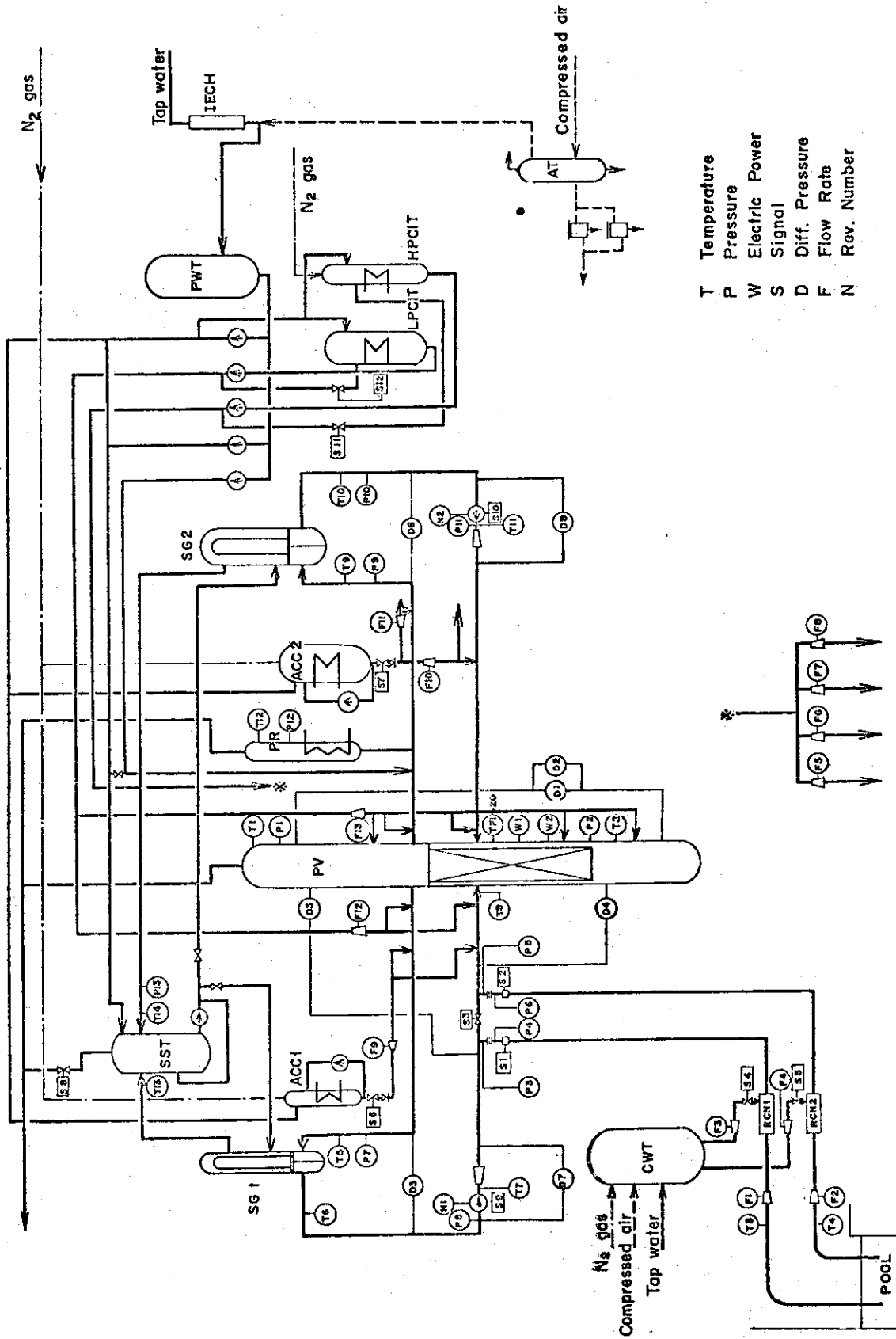


Fig. 2.9 Location of Sensors

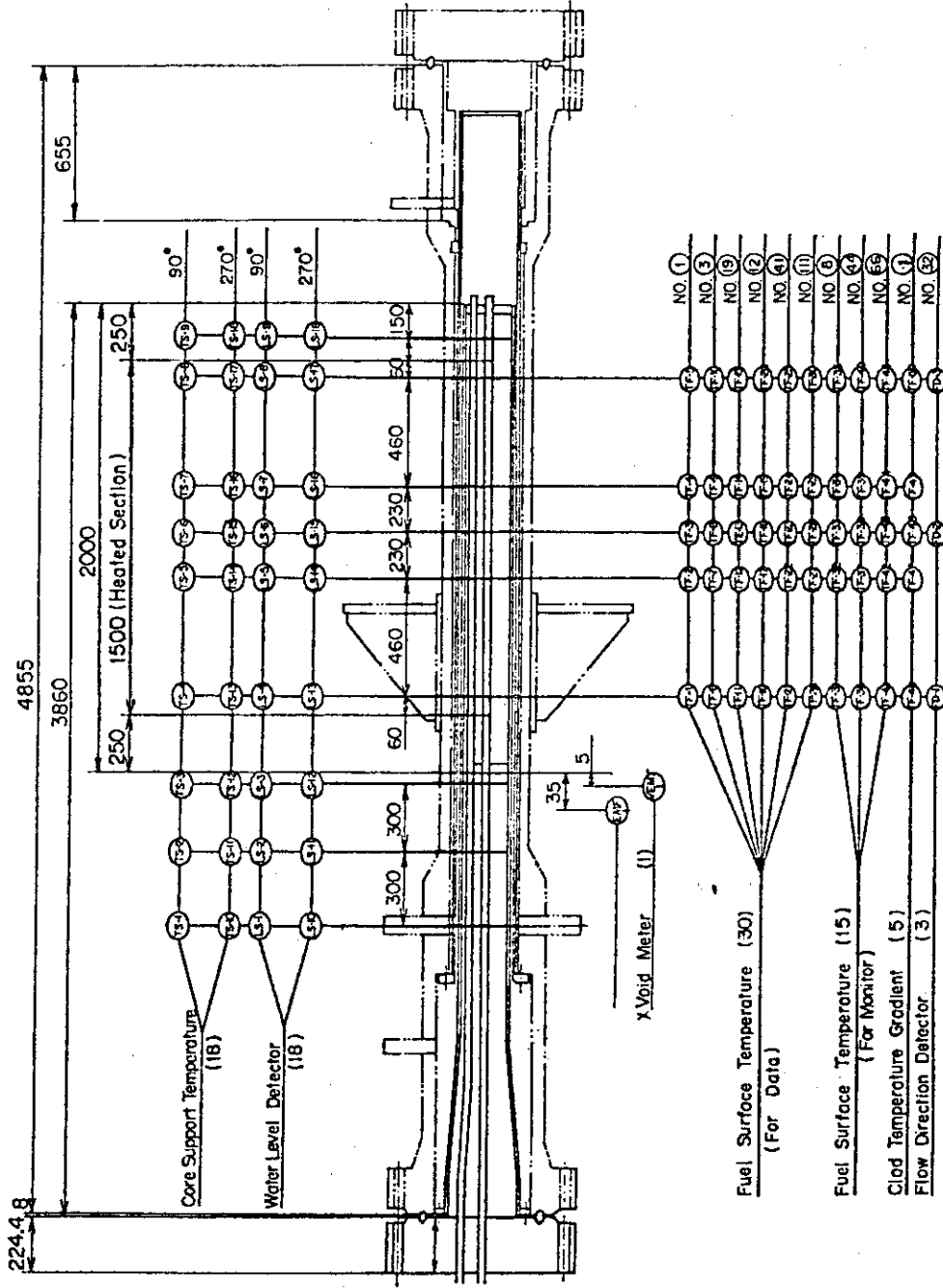


Fig. 2.10 Simulated Fuel Assembly No. III and Positions of Instrumentation

RUN 411 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

EGCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-C LP1-H LP2-H
 CH- 1 C P- 1 (PV UPPER PLENUM) CH- 2 A P- 2 (PV LOWER PLENUM)
 CH- 12 H P- 12 (PRESSURIZER)

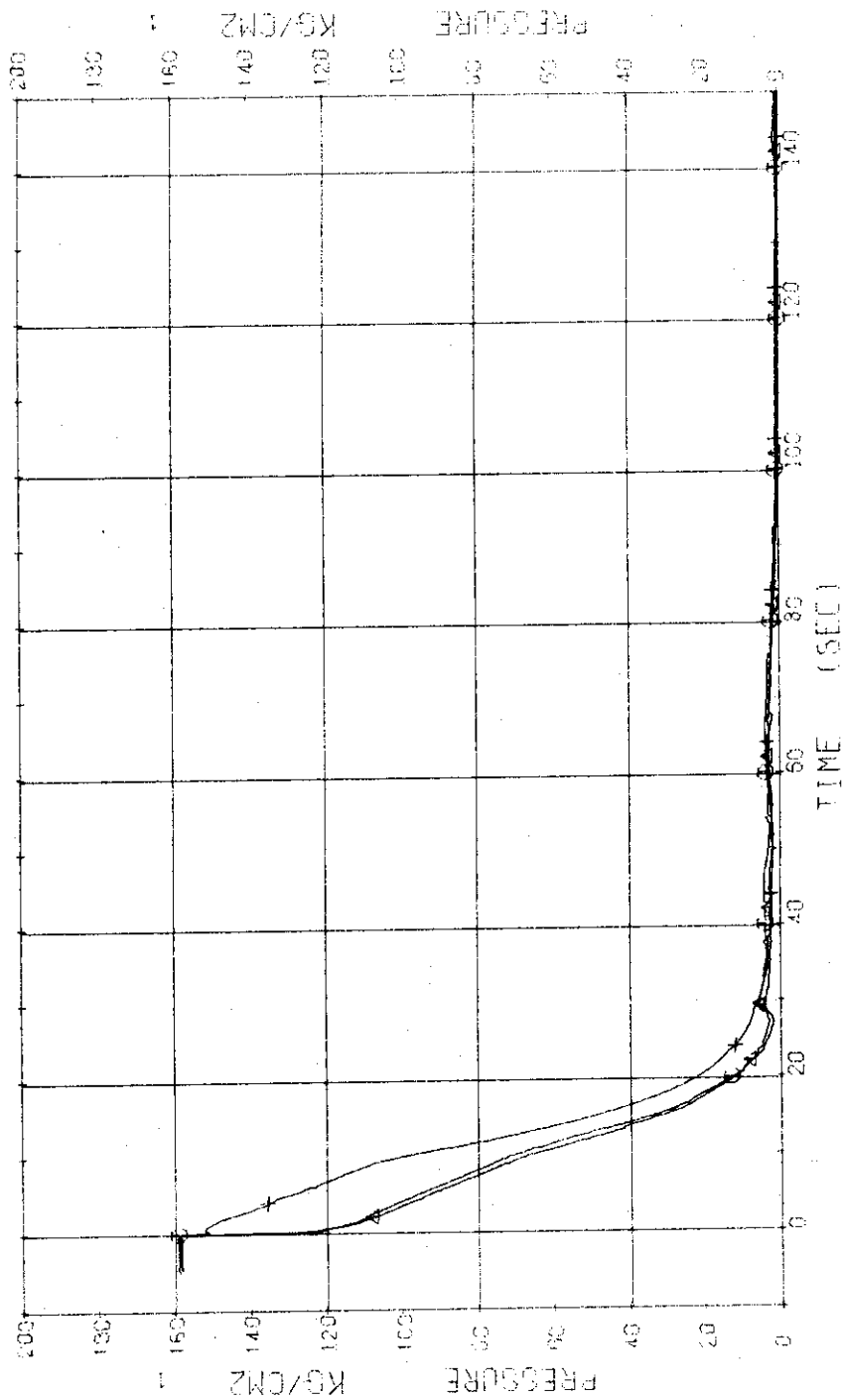


Fig. 3.1.1.1 Pressure in Pressure Vessel and Pressurizer --- Run 411

RUN 411 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-C LP1-H LP2-H
 CH- 3 (1) P- 3 (ABOVE NO.1 ORIFICE) CH- 6 (1) P- 6 (BELOW NO.2 ORIFICE)
 CH- 7 (1) P- 7 (SC 1 INLET) CH- 8 (X) P- 8 (P 1 PUMP SUCTION)

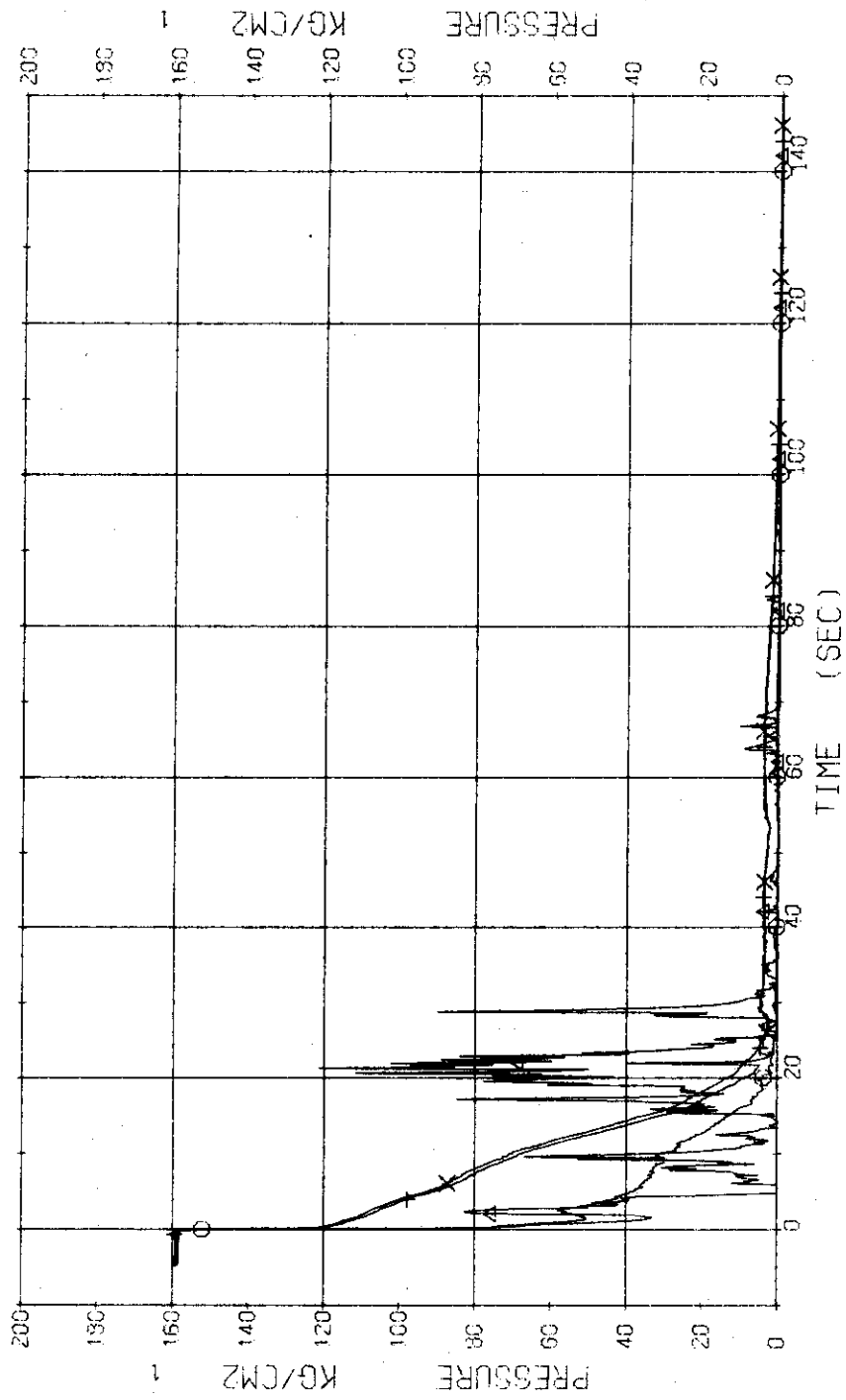


Fig. 3.1.2 Pressure in Blowdown Loop ---- Run 411

RUN 411 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
 ECCS ---- HP1- HP2- AC1-C AC2-C LP1-H LP2-H
 CH- 9 (P- 9 (SC-2 INLET
 CH- 11 (P- 11 (P- 2 PUMP DELIVERY
 CH- 10 (P- 10 (SG 2 OUTLET

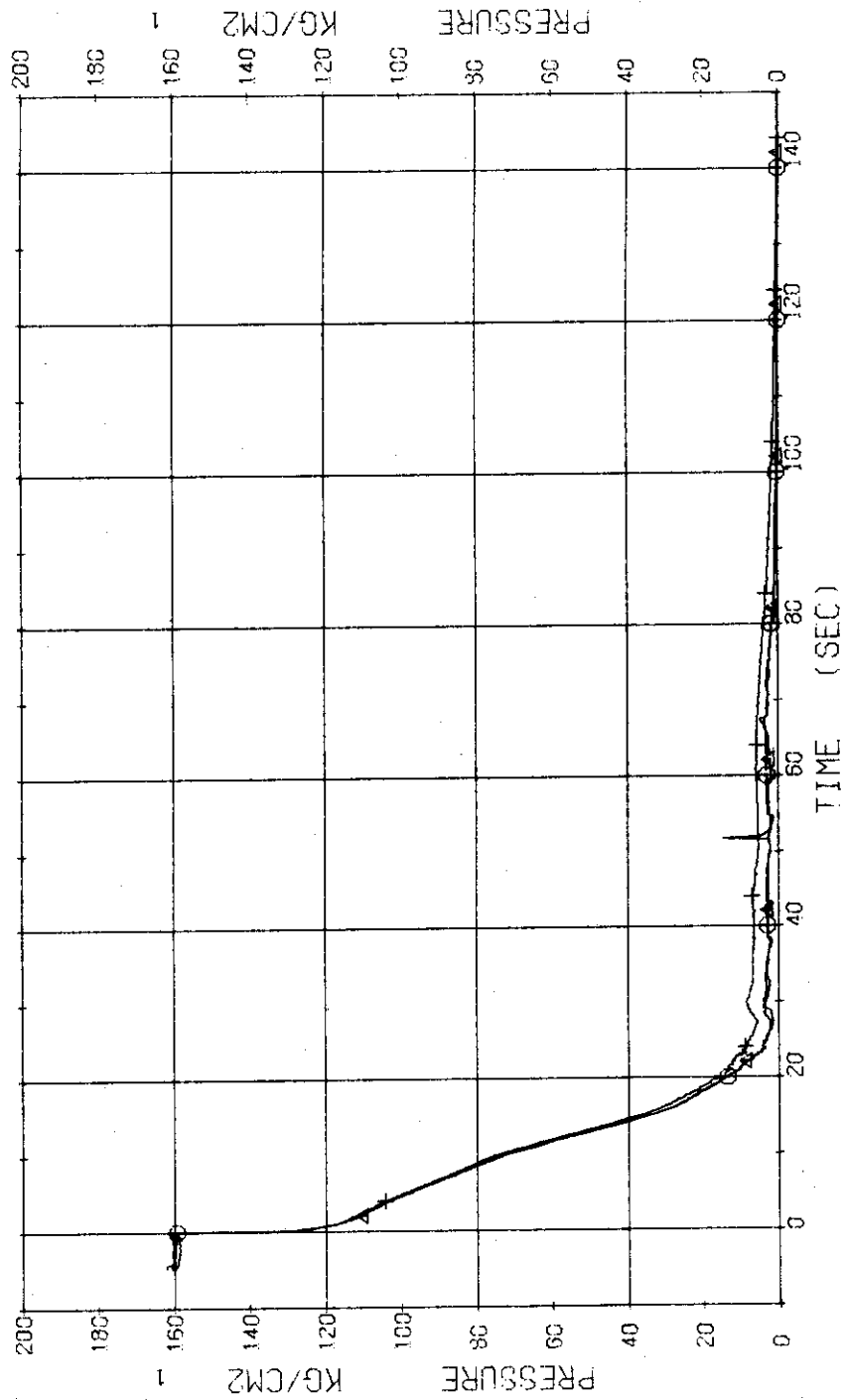


Fig. 3.1.3 Pressure in Intact Loop --- Run 411

RUN 411 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-C LP1-H LP2-H
 CH-13 P-13 (SS-SHELL SIDE)

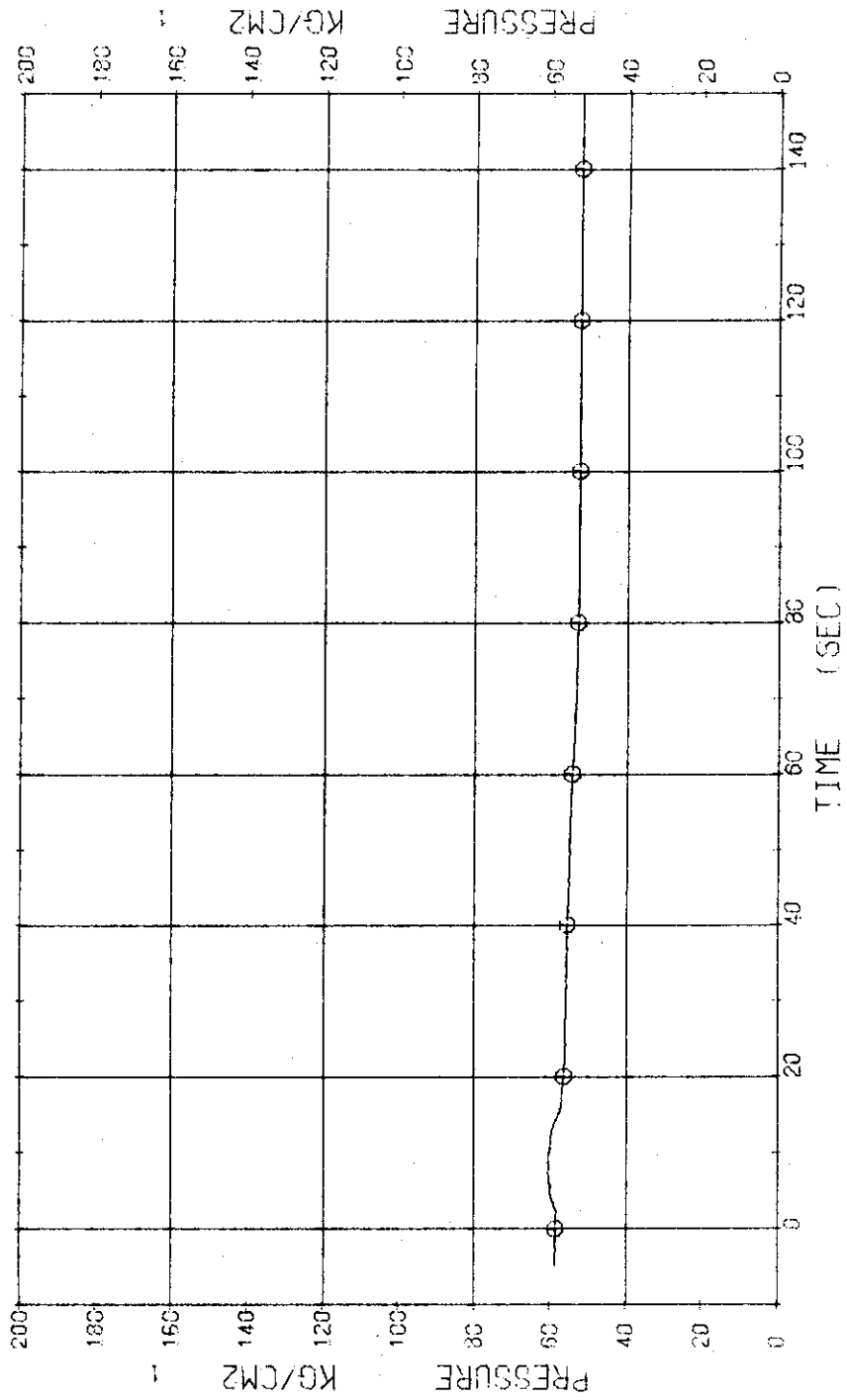


Fig. 3.1.4 Pressure in Secondary System --- Run 411

RUN 411 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-C LP1-H LP2-H
CH-14 D-1 (PV.TOP-BOTTOM)

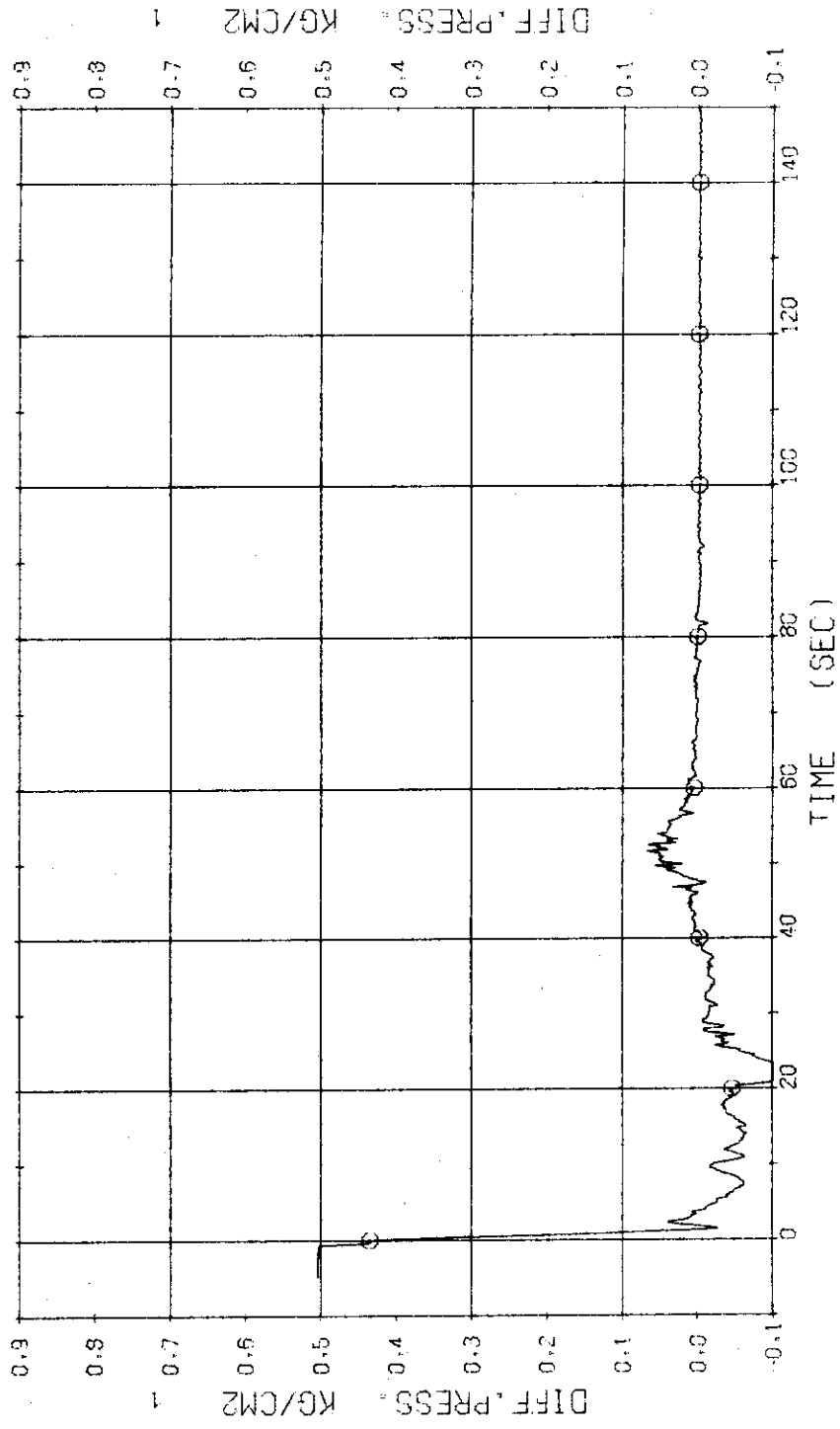


Fig. 3.1.5 Differential Pressure between Top and Bottom of Pressure Vessel --- Run 411

RUN 411 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-C LP1-H LP2-H
 CH-19-01 D-5 (SG 1 INLET-OUTLET)

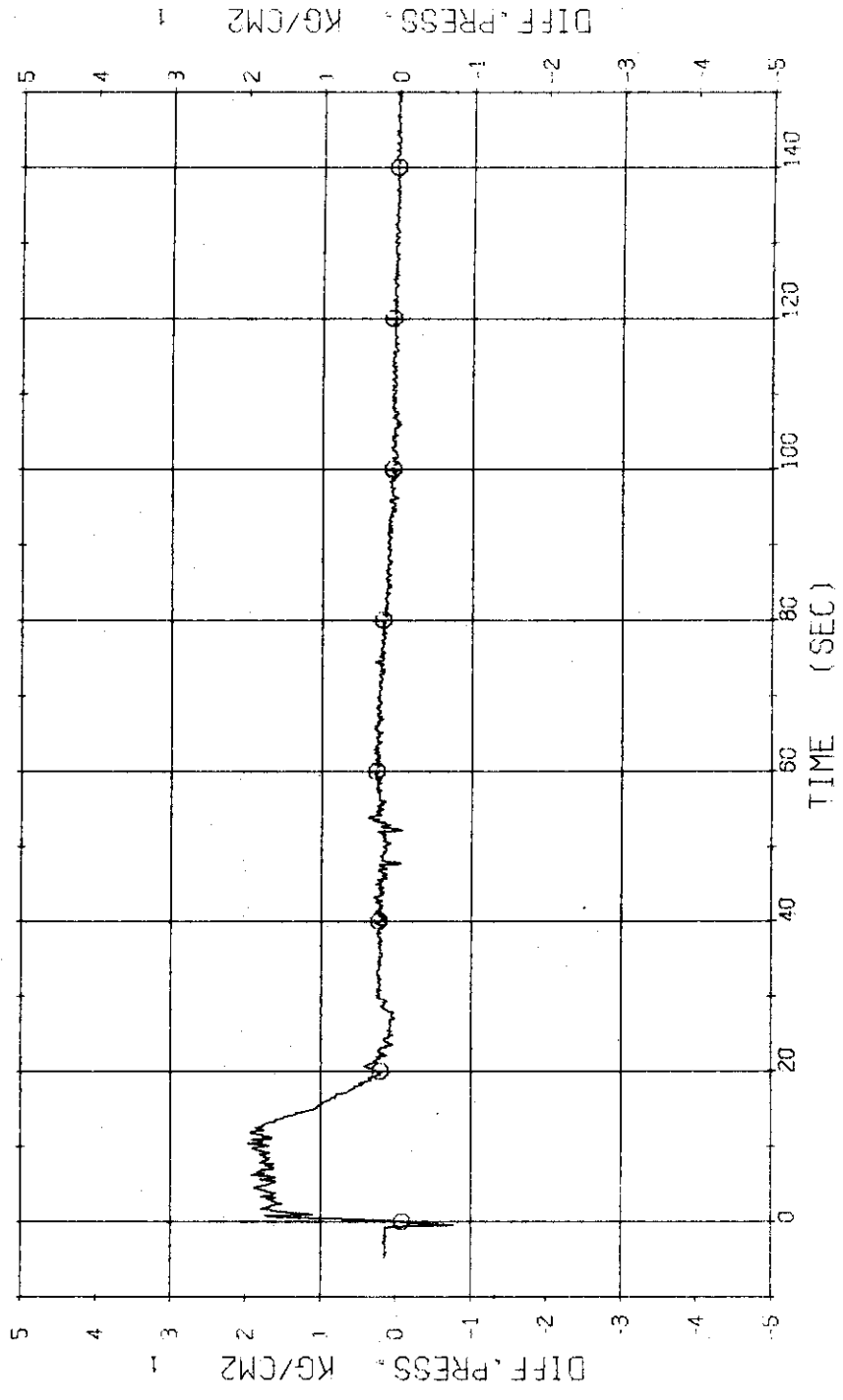


Fig. 3.1.6 Differential Pressure across SG1 ---- Run 411

RUN 411 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-C LP1-H LP2-H
 CH-19 (SG 2 INLET-OUTLET) CH-21 (P2 PUMP DELIVERY-SUCTION)

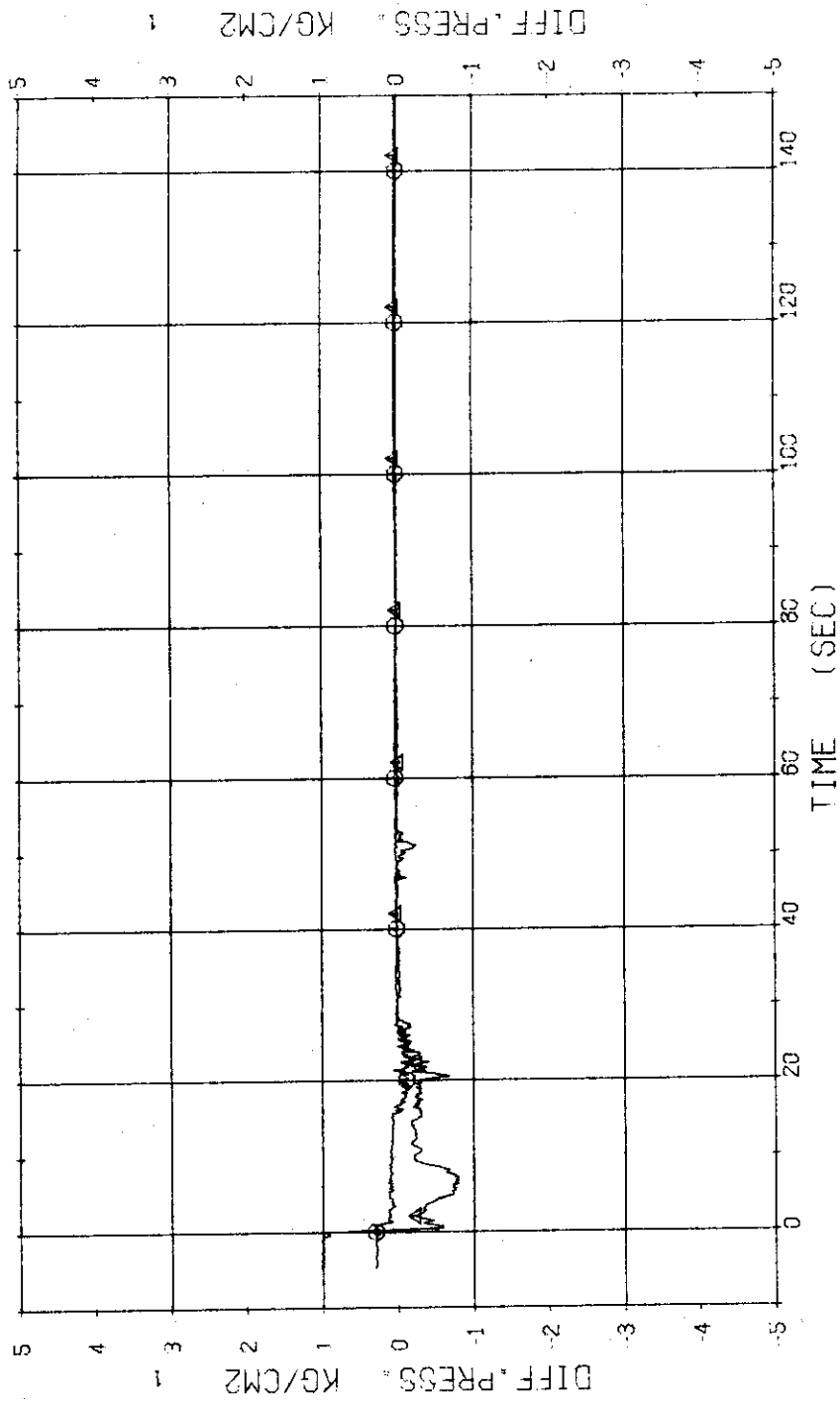


Fig. 3.1.7 Differential Pressure across P2 and SG2 --- Run 411

RUN 411 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-C LP1-H LP2-H

CH-30 (ACC 1) CH-31 (ACC 2) F-9 (LPCI) F-10 (LPCI) F-11 (LPCI) F-12 (LPCI) F-13 (LPCI) F-14 (LPCI) F-15 (LPCI) F-16 (LPCI) F-17 (LPCI) F-18 (LPCI) F-19 (LPCI) F-20 (LPCI) F-21 (LPCI) F-22 (LPCI) F-23 (LPCI) F-24 (LPCI) F-25 (LPCI) F-26 (LPCI) F-27 (LPCI) F-28 (LPCI) F-29 (LPCI) F-30 (LPCI) F-31 (LPCI) F-32 (LPCI) F-33 (LPCI) F-34 (LPCI) F-35 (LPCI) F-36 (LPCI) F-37 (LPCI) F-38 (LPCI) F-39 (LPCI) F-40 (LPCI) F-41 (LPCI) F-42 (LPCI) F-43 (LPCI) F-44 (LPCI) F-45 (LPCI) F-46 (LPCI) F-47 (LPCI) F-48 (LPCI) F-49 (LPCI) F-50 (LPCI) F-51 (LPCI) F-52 (LPCI) F-53 (LPCI) F-54 (LPCI) F-55 (LPCI) F-56 (LPCI) F-57 (LPCI) F-58 (LPCI) F-59 (LPCI) F-60 (LPCI) F-61 (LPCI) F-62 (LPCI) F-63 (LPCI) F-64 (LPCI) F-65 (LPCI) F-66 (LPCI) F-67 (LPCI) F-68 (LPCI) F-69 (LPCI) F-70 (LPCI) F-71 (LPCI) F-72 (LPCI) F-73 (LPCI) F-74 (LPCI) F-75 (LPCI) F-76 (LPCI) F-77 (LPCI) F-78 (LPCI) F-79 (LPCI) F-80 (LPCI) F-81 (LPCI) F-82 (LPCI) F-83 (LPCI) F-84 (LPCI) F-85 (LPCI) F-86 (LPCI) F-87 (LPCI) F-88 (LPCI) F-89 (LPCI) F-90 (LPCI) F-91 (LPCI) F-92 (LPCI) F-93 (LPCI) F-94 (LPCI) F-95 (LPCI) F-96 (LPCI) F-97 (LPCI) F-98 (LPCI) F-99 (LPCI) F-100 (LPCI)

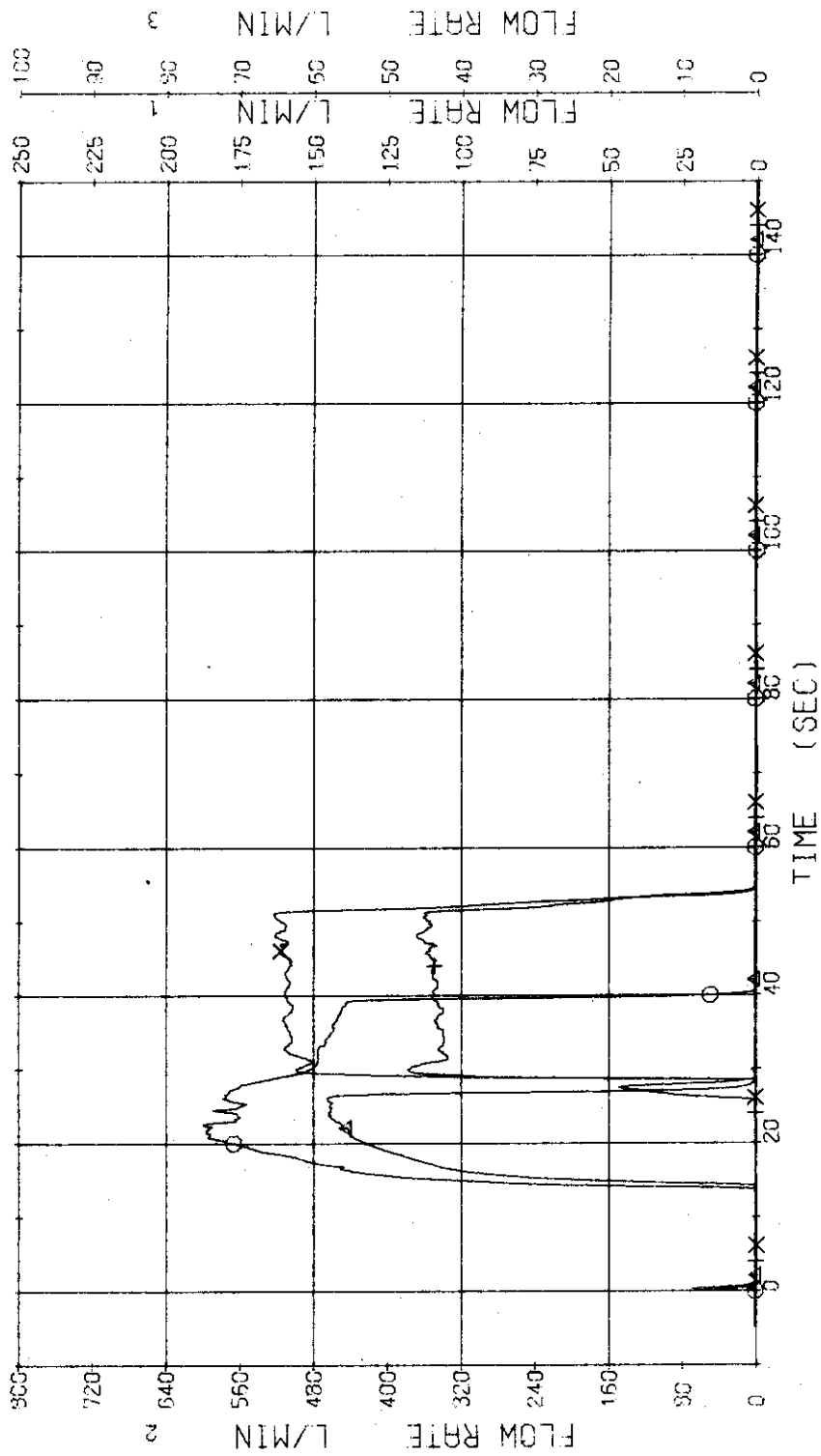


Fig. 3.1.1.8 Injection Flow Rates of ACC1, ACC2 and LPCI of Both Loops
 --- Run 411

RUN 411 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-C LP1-H LP2-H
 CH-35 ① W-1 (HIGH FLUX RODS) CH-119 ② Q-1 (PEAK OF HIGH FLUX RODS)

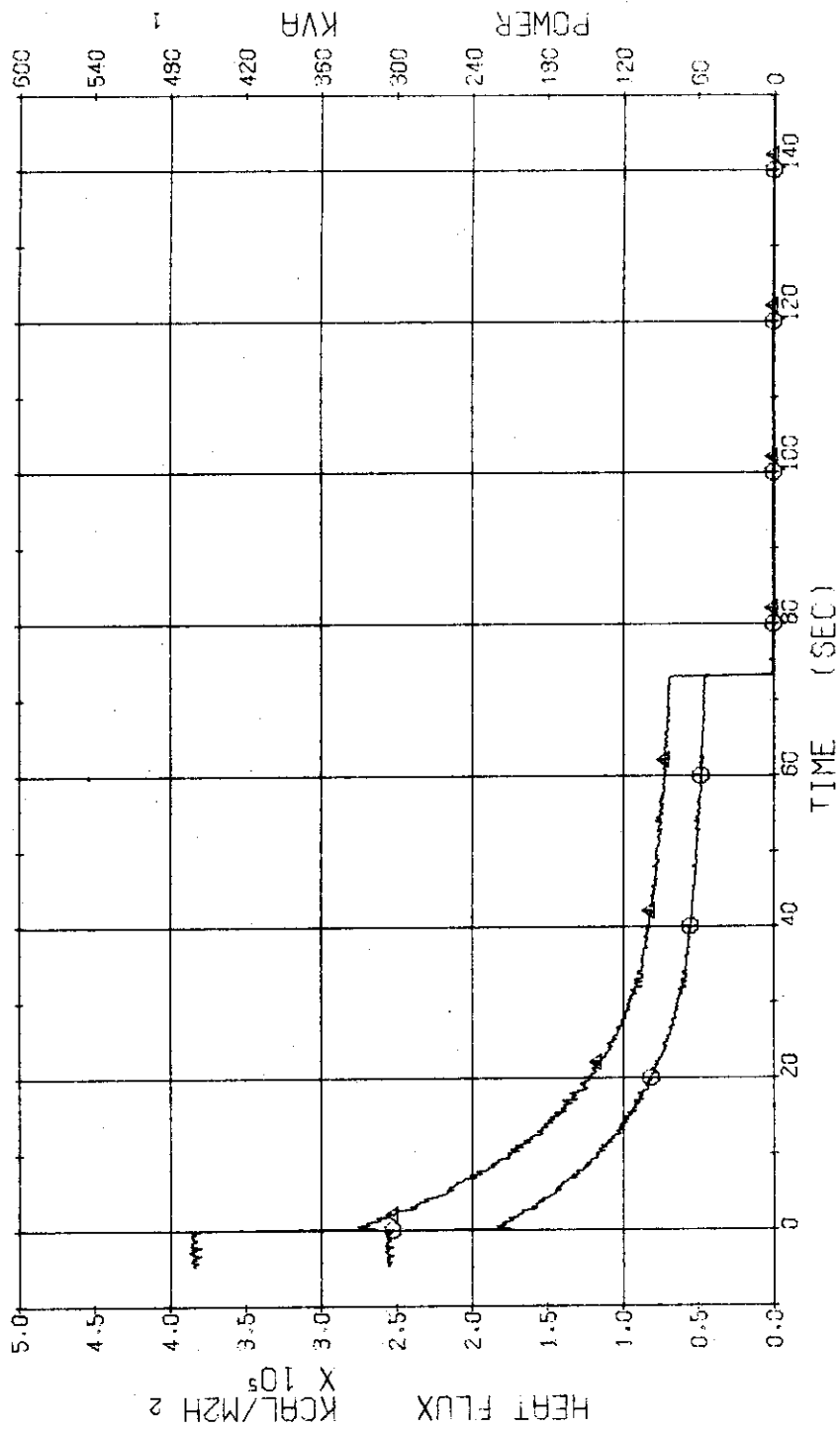


Fig. 3.1.9 Electric Power and Heat Flux for High Heat Flux Rods --- Run 411

RUN 411 COLD LEO BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
 EGCS --- HP1- HP2- RC1-C RC2-C LP1-H LP2-H
 CH-35 Q1 W-2 (LOW FLUX RODS) CH-120 A2 Q-2 (PEAK OF LOW FLUX RODS)

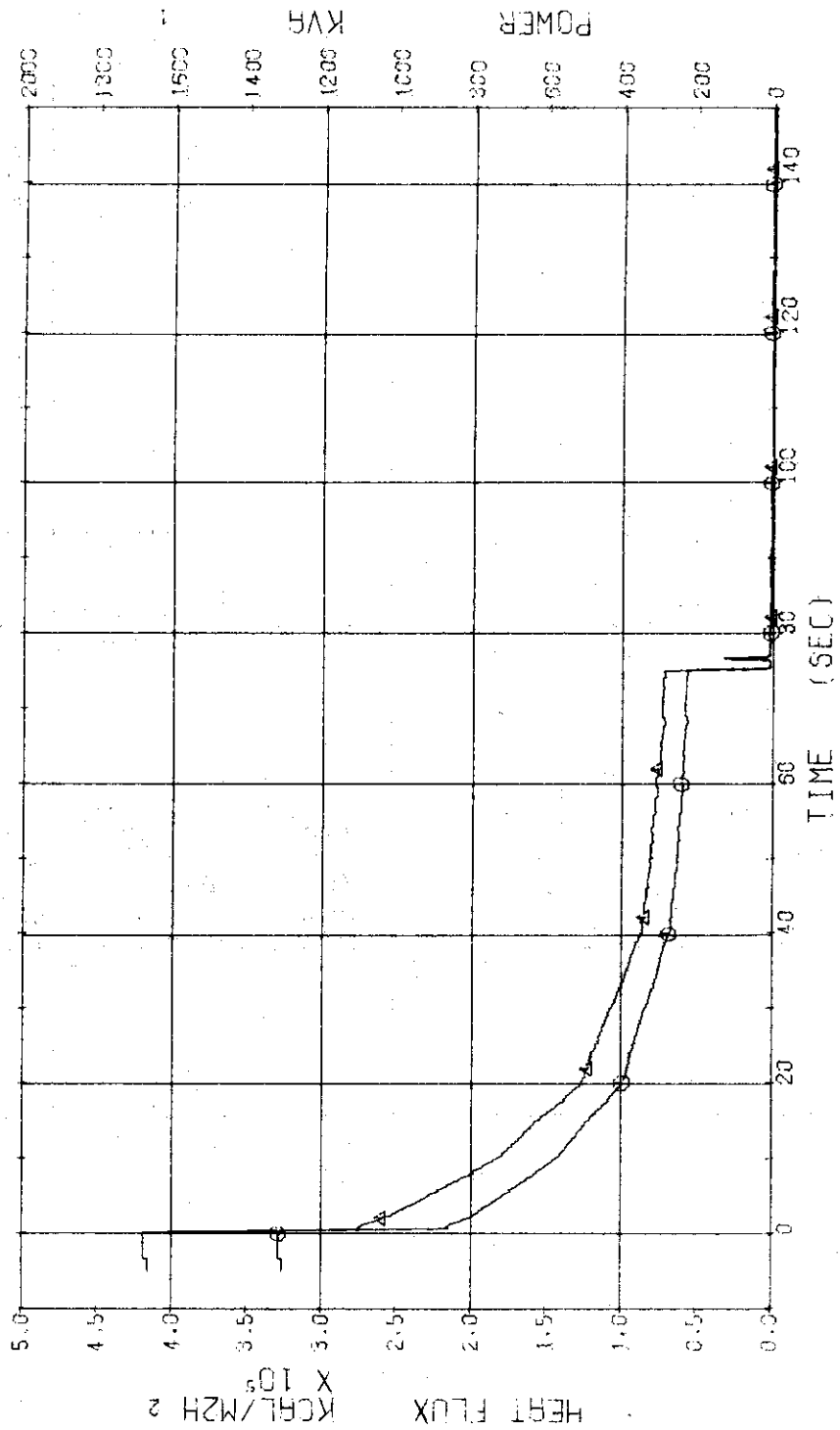


Fig. 3.1.10 Electric Power and Heat Flux for Low Heat Flux Rods ---- Run 411

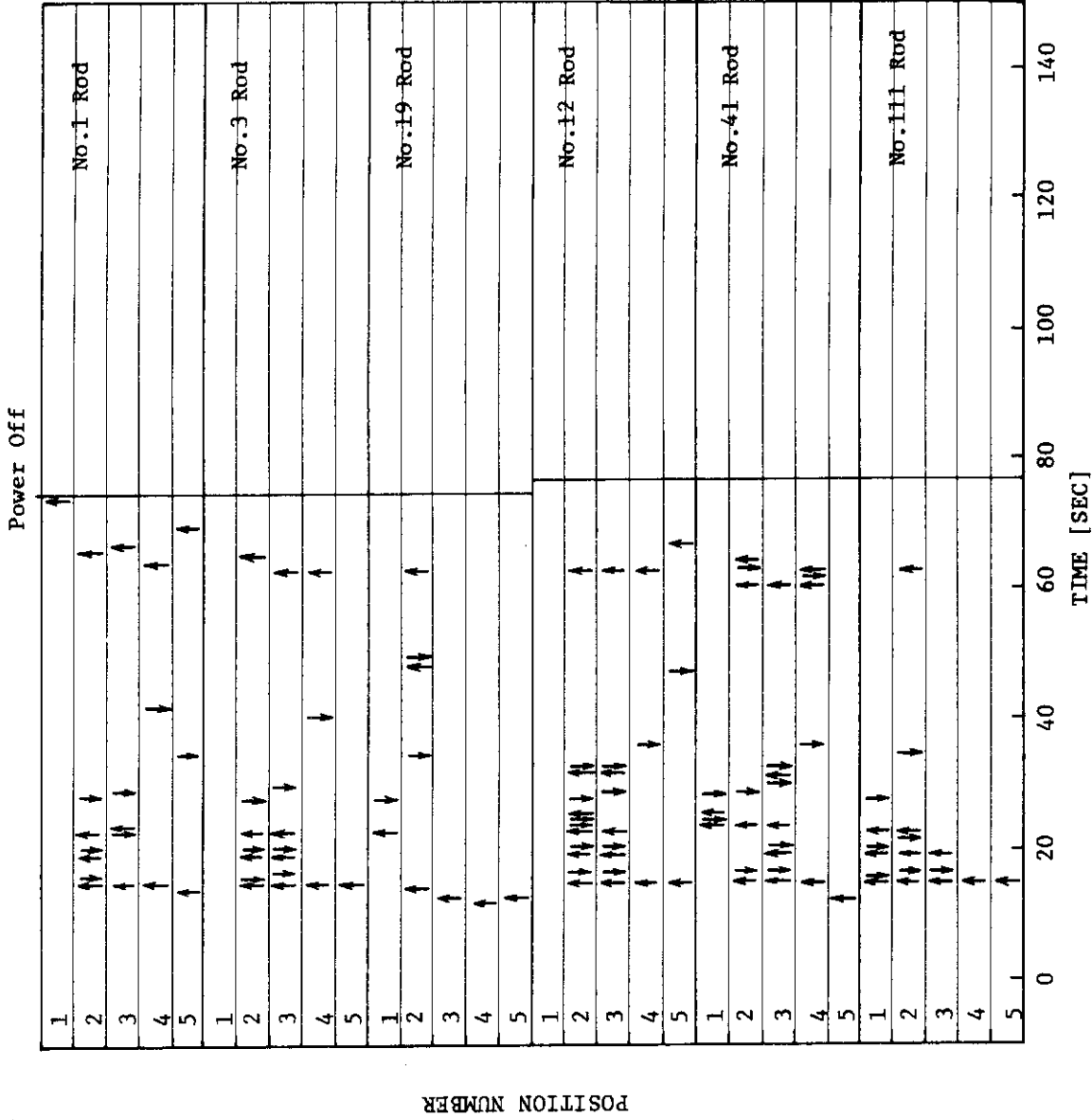


Fig. 3.1.11 Temperature Rise Time and Quench Time of Fuel Rods --- Run 411

(↑ : temperature rise
 ↓ : quench)

RUN 411 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-C LP1-H LP2-H
 CH-37 (X) TF-1 (NO.1 POSITION 1) CH-39 (Δ) TF-2 (NO.1 POSITION 2)
 CH-38 (+) TF-3 (NO.1 POSITION 3) CH-40 (X) TF-4 (NO.1 POSITION 4)
 CH-41 (Δ) TF-5 (NO.1 POSITION 5)

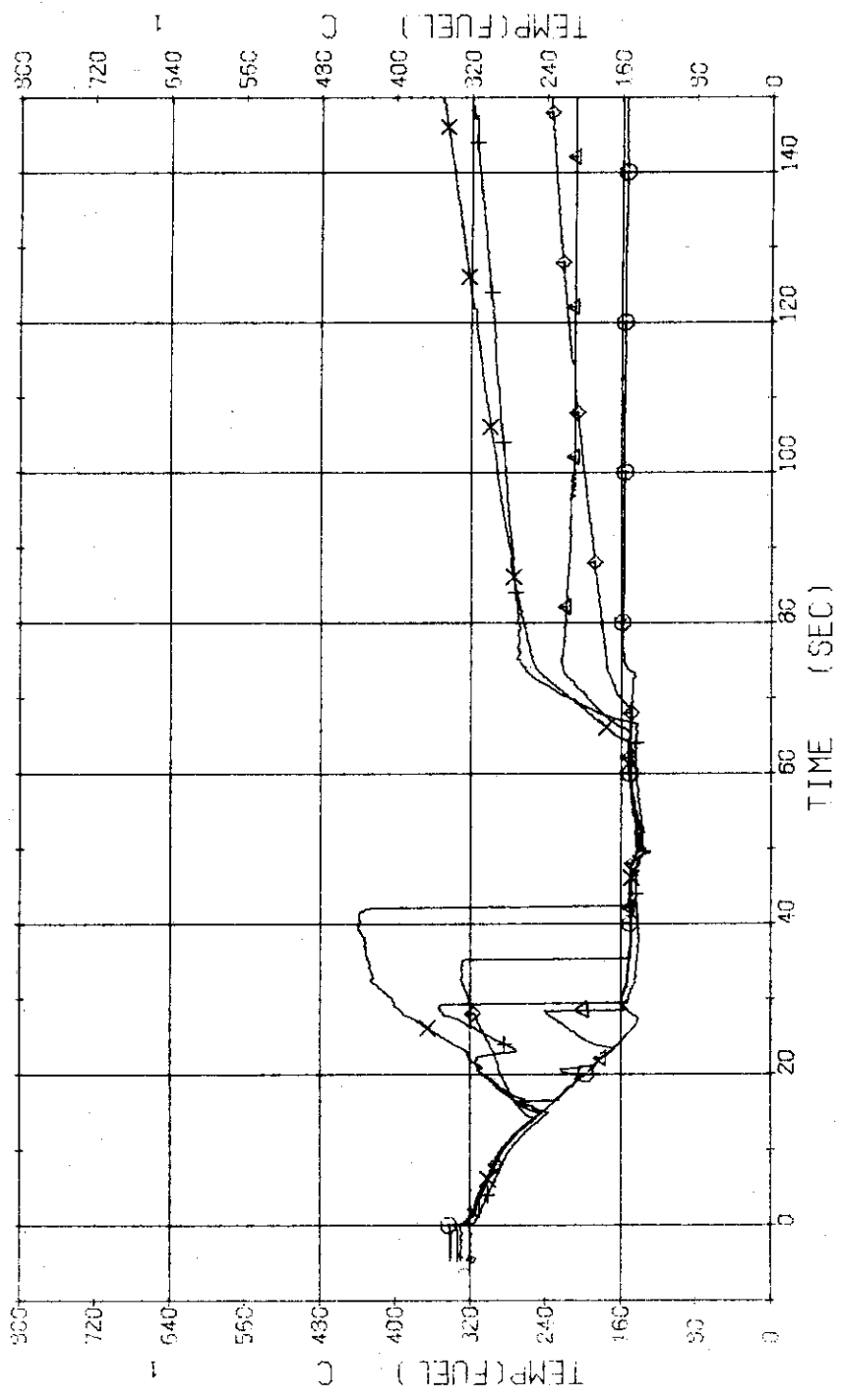


Fig. 3.1.1.12 Surface Temperatures of High Heat Flux Rod (No.1) at the Center of Core --- Run 411

RUN 411 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-C LP1-H LP2-H
 CH- 42 (O) TF-6 (NO.3 POSITION 1)
 CH- 44 (+) TF-8 (NO.3 POSITION 3)
 CH- 46 (X) TF-10 (NO.3 POSITION 5)
 CH- 43 (Δ) TF-7 (NO.3 POSITION 2)
 CH- 45 (X) TF-9 (NO.3 POSITION 4)

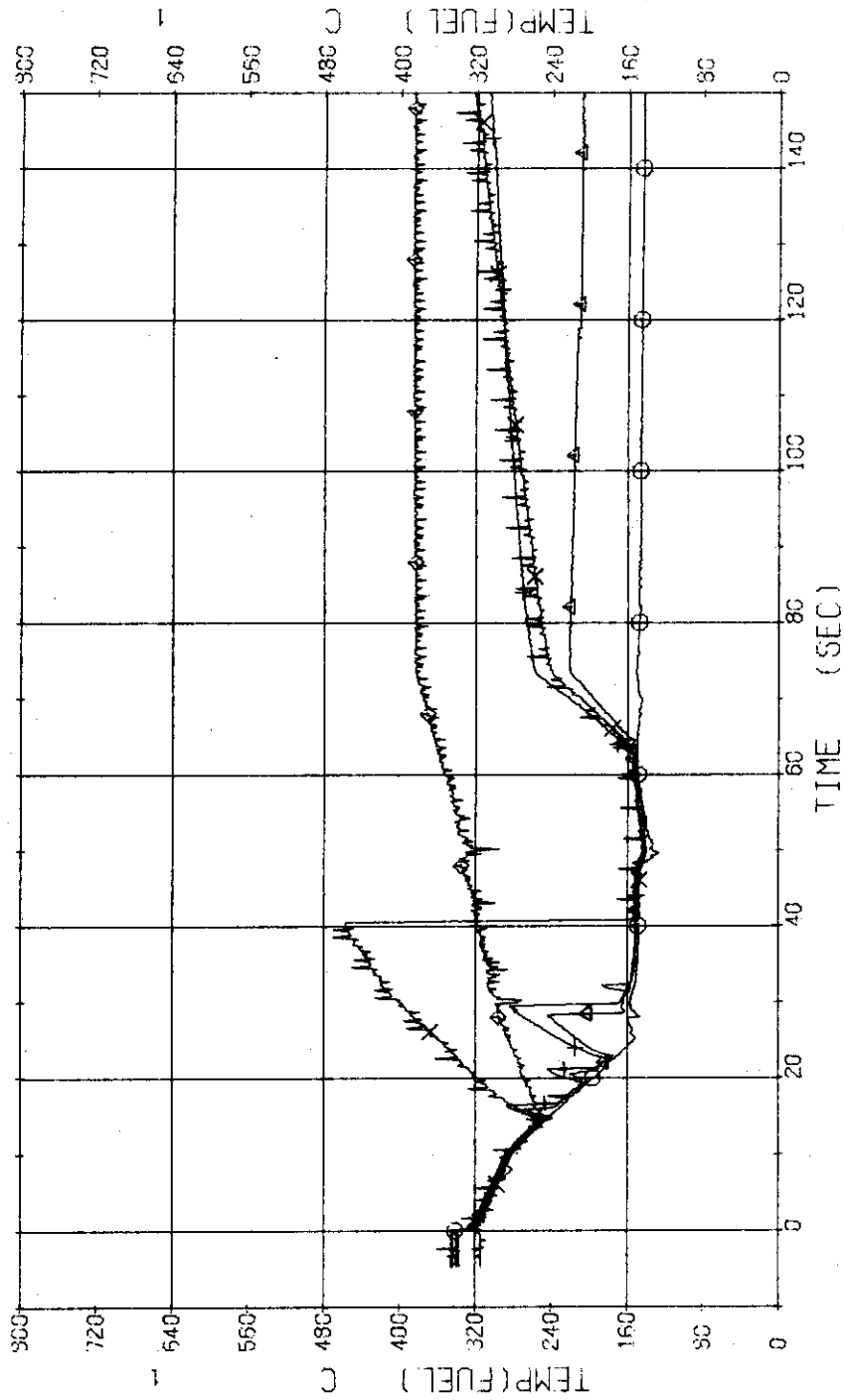


Fig. 3.1.13 Surface Temperatures of High Heat Flux Rod (No.3) near the Center of Core --- Run 411

RUN 411 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECCS --- HPI- HP2- AC1-C AC2-C LP1-H LP2-H
 CH- 47 (NO.19 POSITION 1) CH- 49 (NO.19 POSITION 2)
 CH- 48 (NO.19 POSITION 3) CH- 50 (NO.19 POSITION 4)
 CH- 51 (NO.19 POSITION 5) CH- 51 (NO.19 POSITION 4)

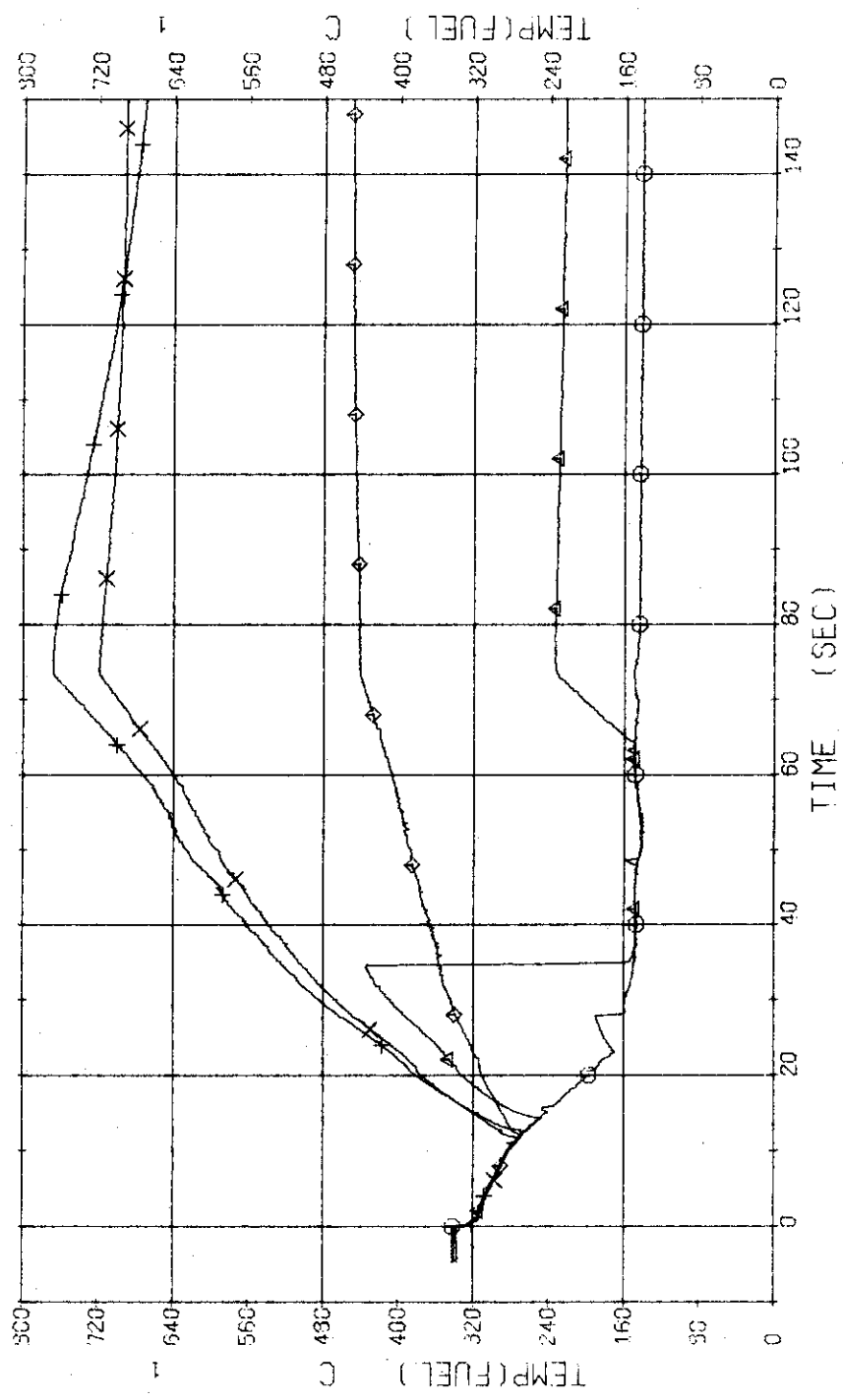


Fig. 3.1.1.14 Surface Temperatures of High Heat Flux Rod (No.19) in the Middle Part of Core --- Run 411

RUN 411 COLD LEC BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-C LP1-H LP2-H
 CH- 53 TF17 (NO.12 POSITION 2))
 CH- 55 TF19 (NO.12 POSITION 4))
 CH- 54 TF18 (NO.12 POSITION 3))
 CH- 56 TF20 (NO.12 POSITION 5))

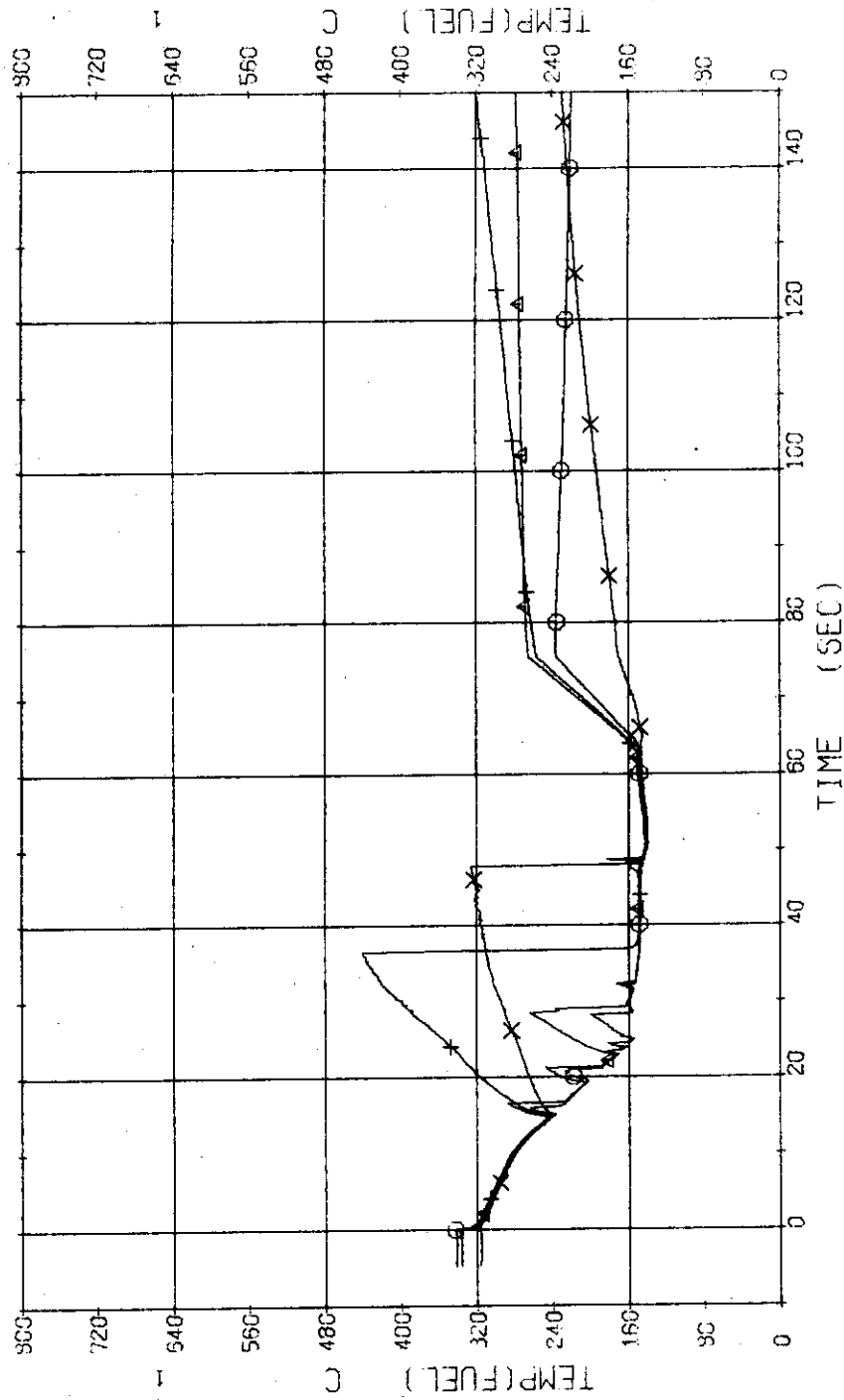


Fig. 3.1.15 Surface Temperatures of Low Heat Flux Rod (No.12) in the Middle Part of Core --- Run 411

RUN 411 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-C IP1-H LP2-H
 CH- 57 (O) TF21 (NO.41 POSITION 1)
 CH- 58 (+) TF23 (NO.41 POSITION 3)
 CH- 61 (X) TF25 (NO.41 POSITION 5)
 CH- 59 (Δ) TF22 (NO.41 POSITION 2)
 CH- 60 (X) TF24 (NO.41 POSITION 4)

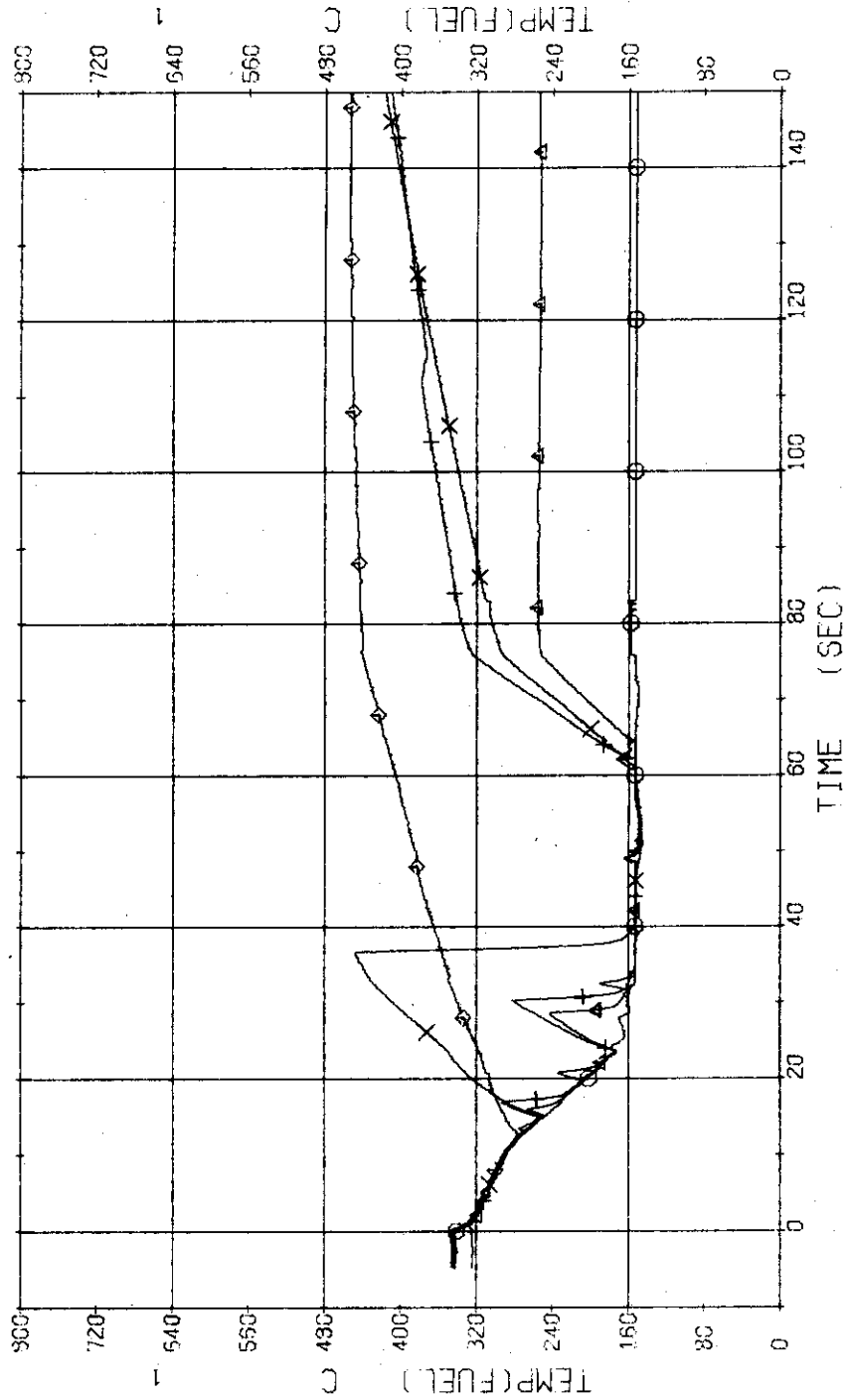


Fig. 3.1.16 Surface Temperatures of Low Heat Flux Rod (No.41) in the Middle Part of Core --- Run 411

RUN 411 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-C LP1-H LP2-H
 CH- 62 () TF26 (NO.111 POSITION 1) CH- 63 () TF27 (NO.111 POSITION 2)
 CH- 64 () TF28 (NO.111 POSITION 3) CH- 65 () TF29 (NO.111 POSITION 4)
 CH- 66 () TF30 (NO.111 POSITION 5)

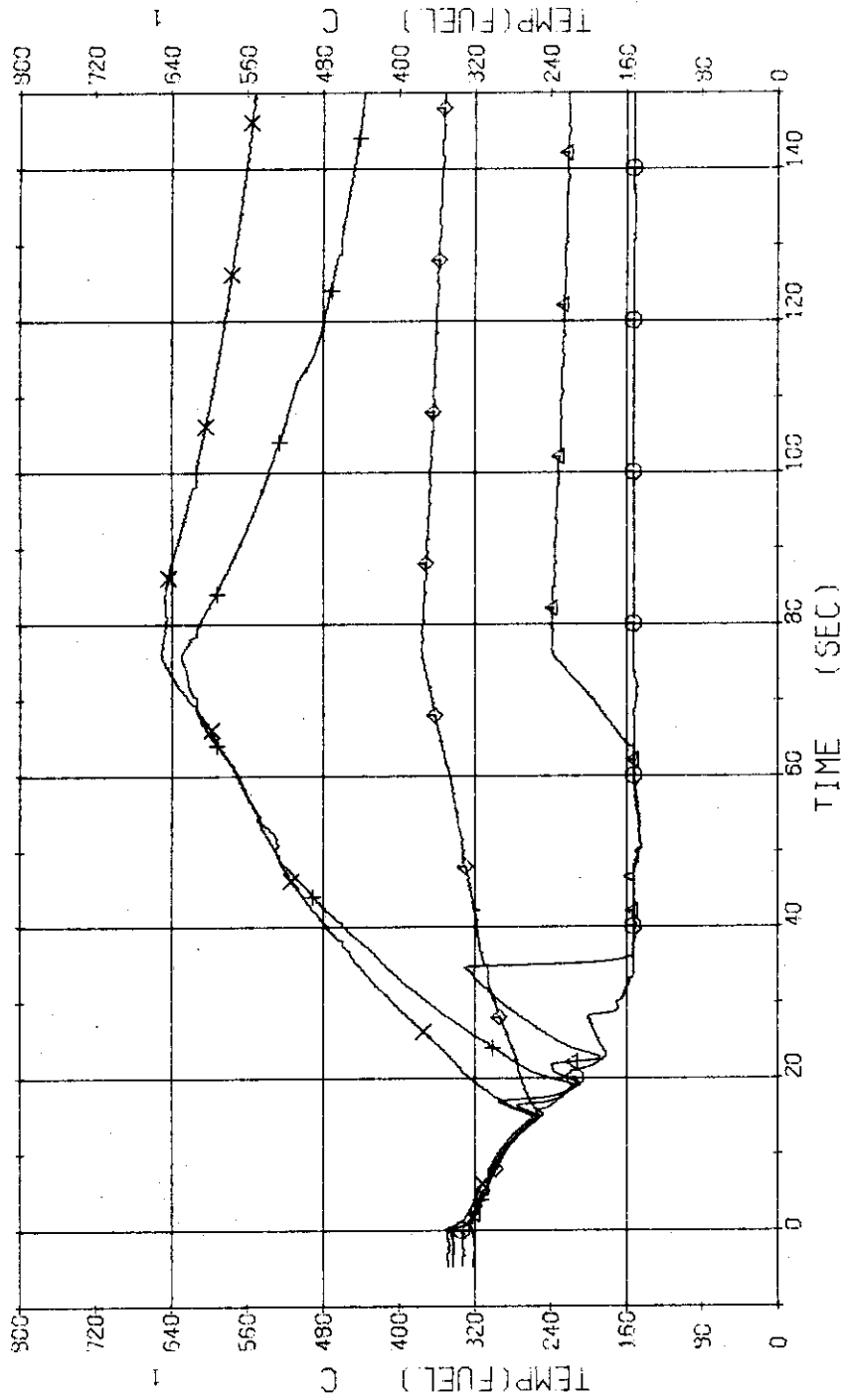


Fig. 3.1.17 Surface Temperatures of Low Heat Flux Rod (No.111) at the Outer Part of Core --- Run 411

RUN 411 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECCS ---- HP1- HP2- AC1-C AC2-C LP1-H LP2-H
 CH- 67 (X) TF31 (INNER SURFACE POS.1) CH- 68 (X) TF32 (INNER SURFACE POS.2)
 CH- 69 (+) TF33 (INNER SURFACE POS.3) CH- 70 (X) TF34 (INNER SURFACE POS.4)
 CH- 71 (X) TF35 (INNER SURFACE POS.5)

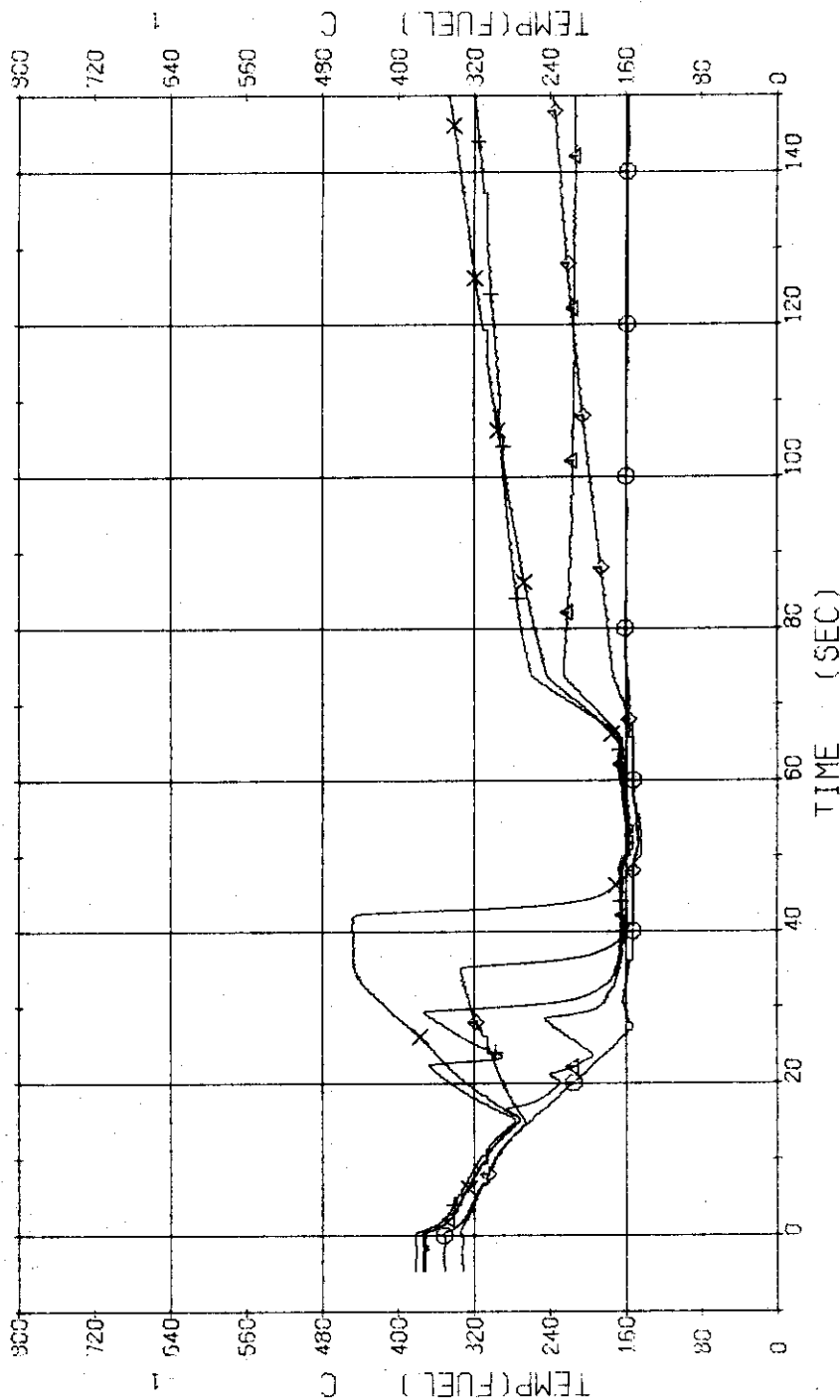


Fig. 3.1.18 Inner Surface Temperatures of Clad of No.1 Rod at the Center of Core ---- Run 411

RUN 411 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECCS --- HP1-- HP2- AC1-C AC2-C LP1-H LP2-H
 OH-114 ○ TD-1 (TEMPERATURE DIFFERENCE 1)
 OH-116 + TD-3 (TEMPERATURE DIFFERENCE 3)
 OH-118 ⊗ TD-5 (TEMPERATURE DIFFERENCE 5)
 OH-115 △ TD-2 (TEMPERATURE DIFFERENCE 2)
 OH-117 × TD-4 (TEMPERATURE DIFFERENCE 4)

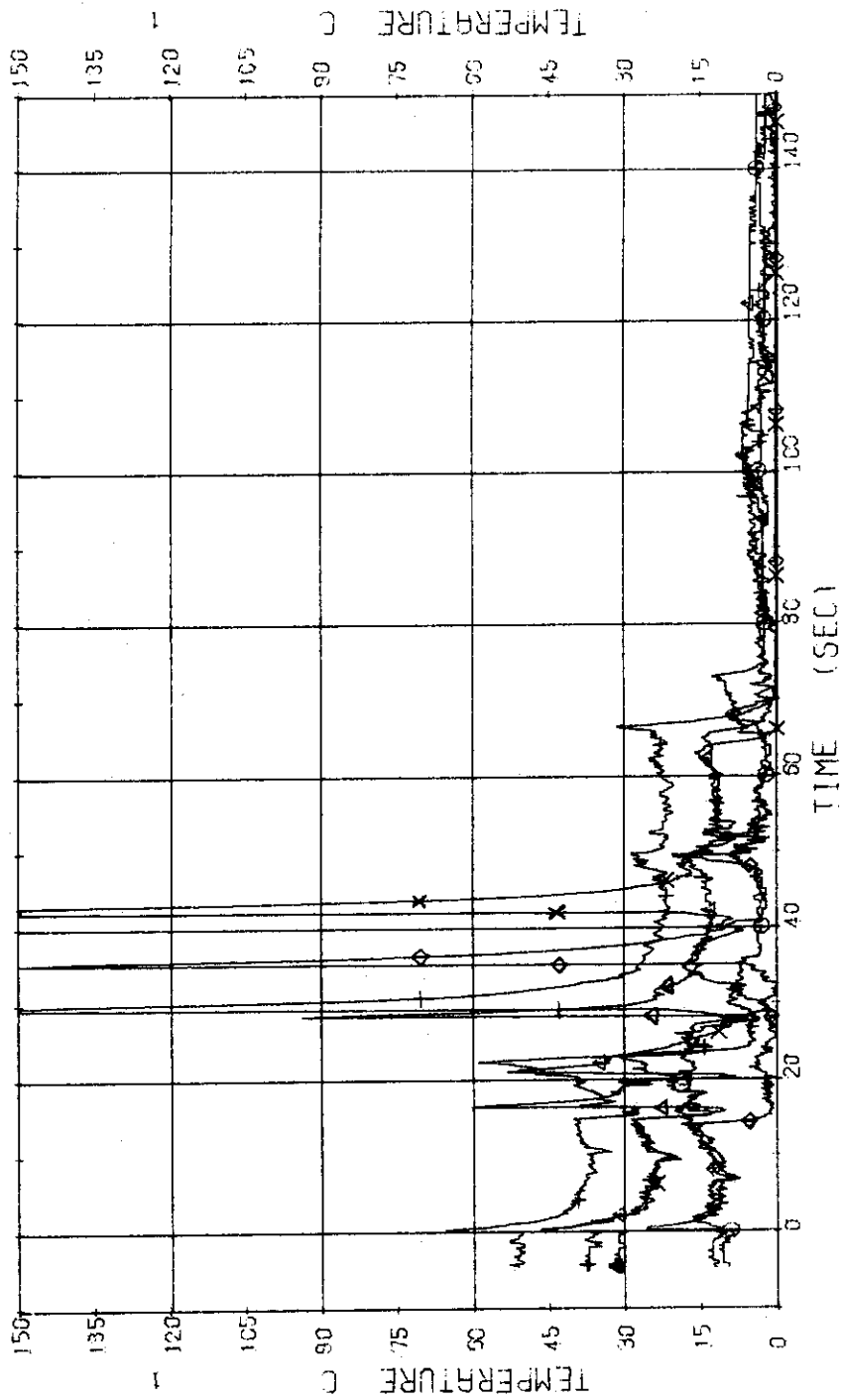


Fig. 3.1.19 Temperature Differences between Clad of No.1 Rod --- Run 411

RUN 411 COLD LEO BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-C LP1-H LP2-H
 CH- 73 T- 2 (PV-LOWER PLENUM) CH- 83 T- 12 (PRESSURIZER)

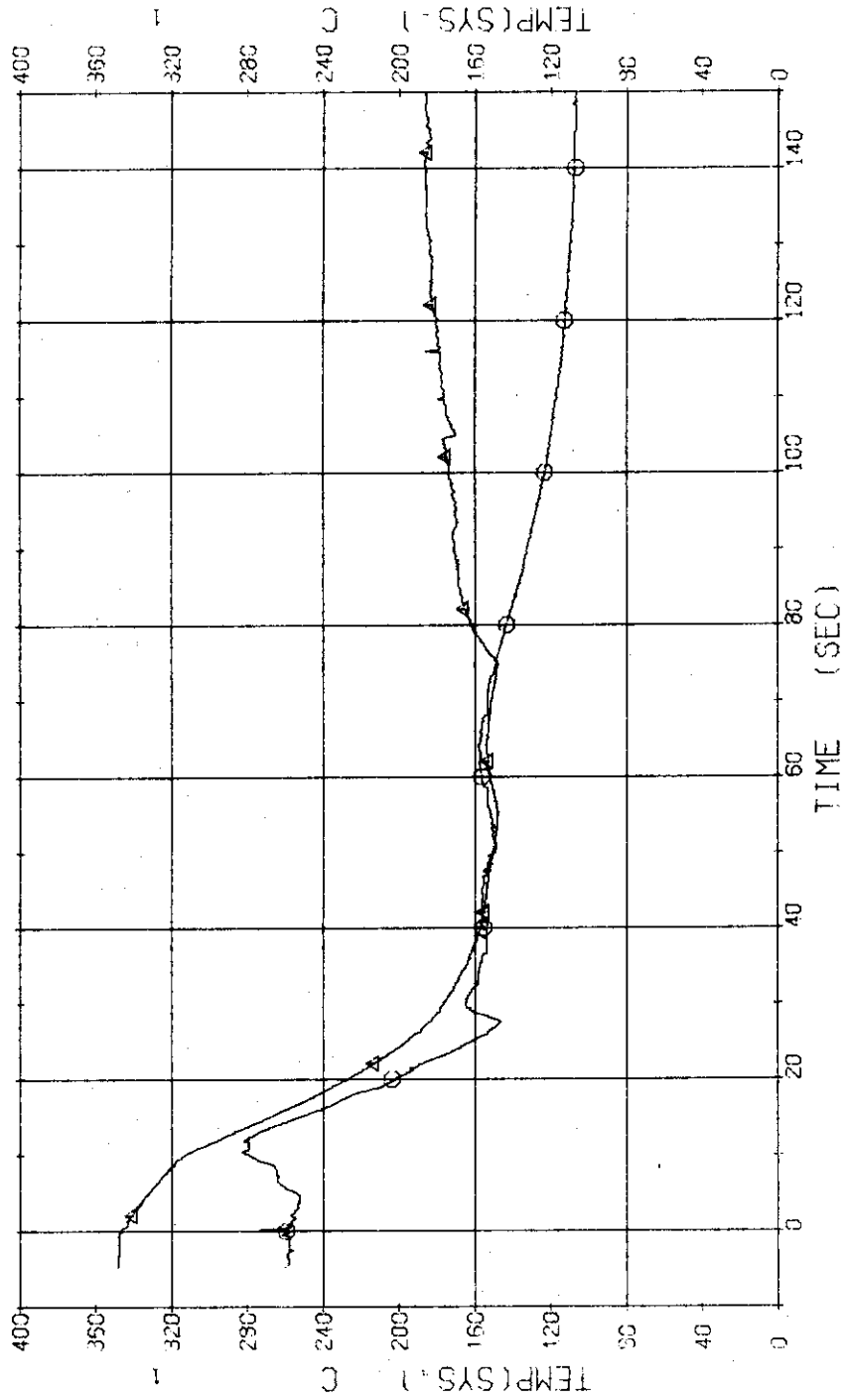


Fig. 3.1.20 Fluid Temperatures in Pressure Vessel and Pressurizer
 --- Run 411

RUN 411 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-C LP1-H LP2-H
 CH- 76 C T- 5 (SC 1 INLET)
 CH- 78 H T- 7 (P 1 PUMP DELIVERY)

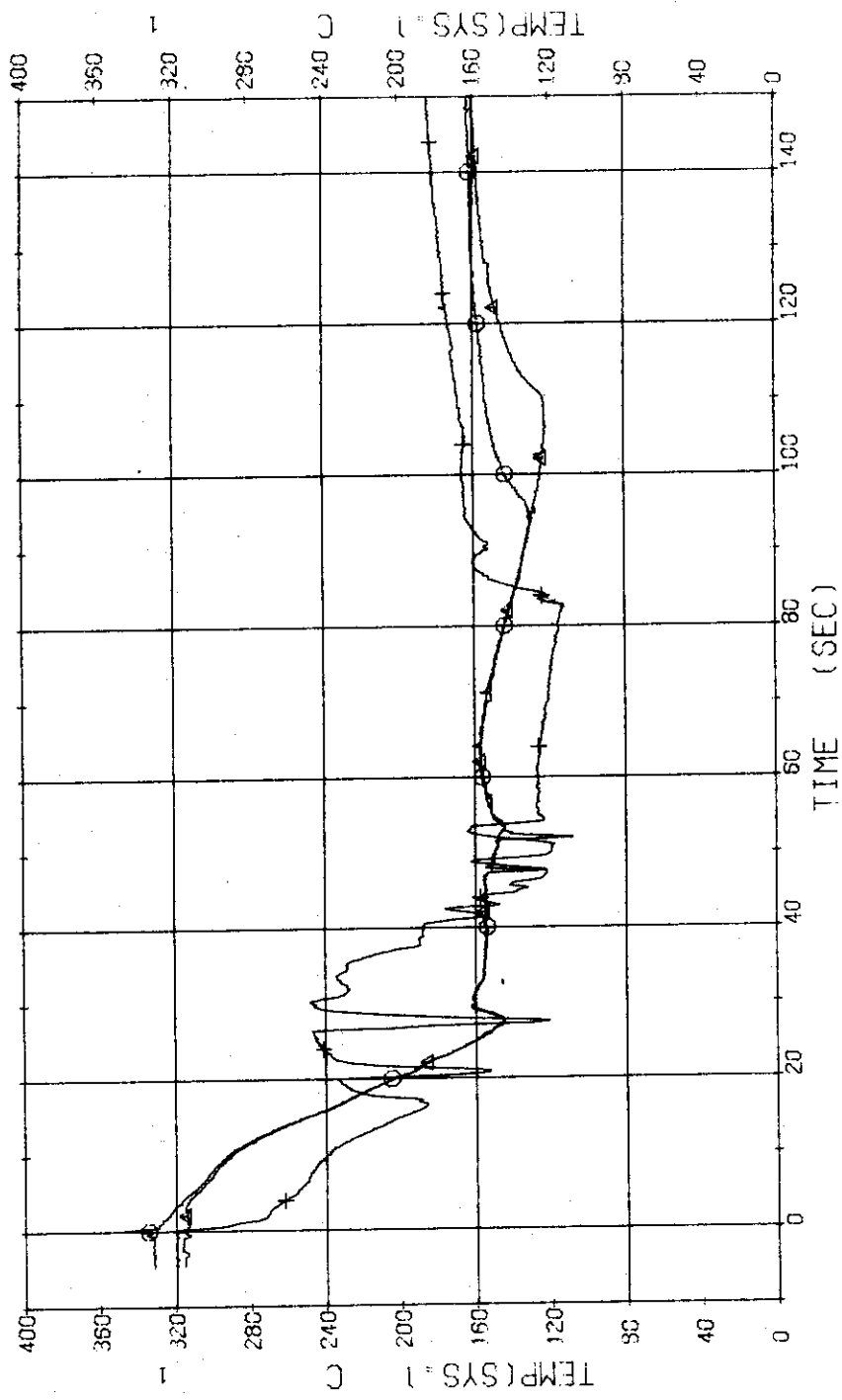


Fig. 3.1.21 Fluid Temperatures in Blowdown Loop ---- Run 411

RUN 411 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-C LP1-H LP2-H
 CH- 8C (T- 9 (SG 2 INLET))
 CH- 82 (T- 11 (P 2 PUMP DELIVERY))

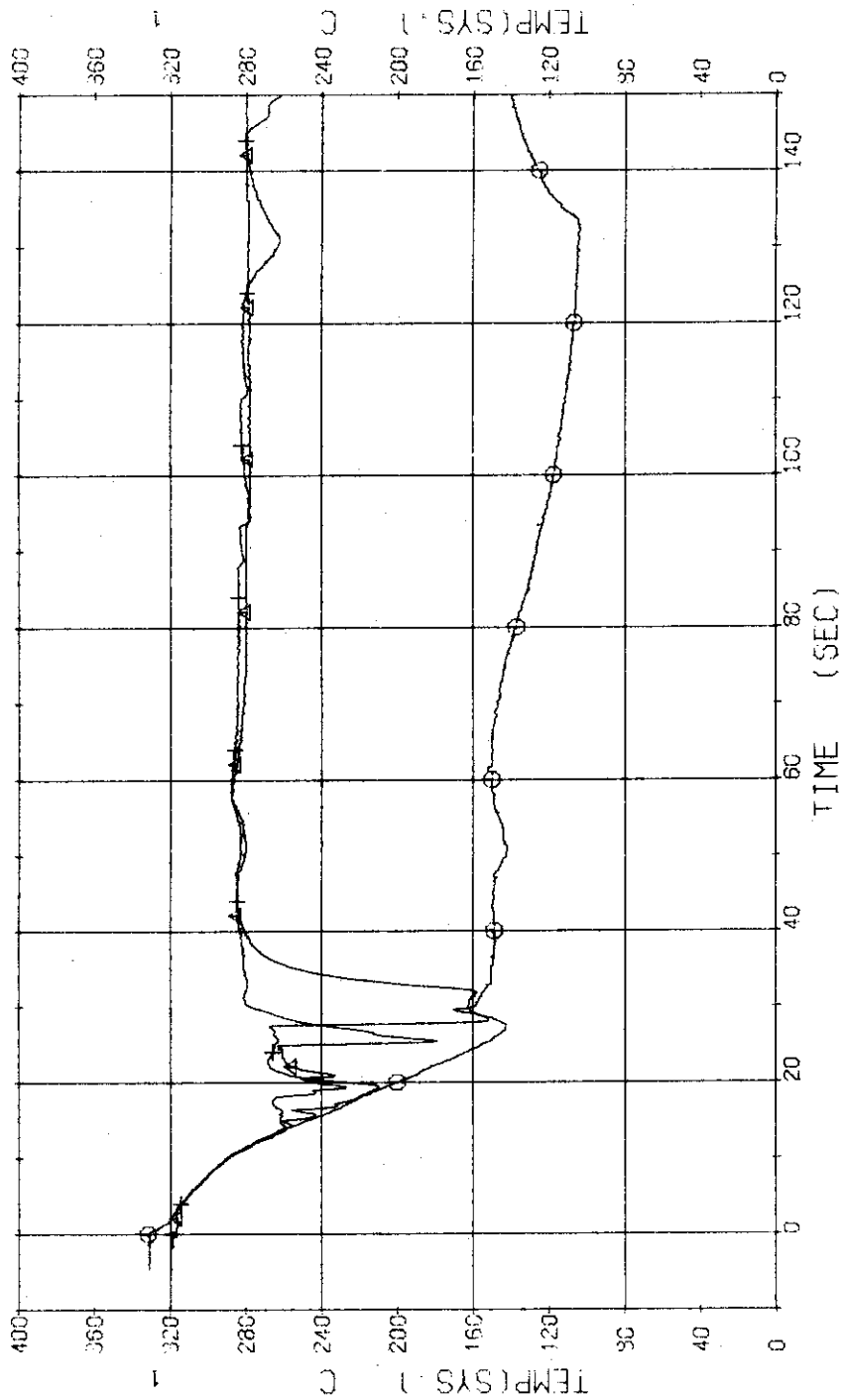


Fig. 3.1.22 Fluid Temperatures in Intact Loop ---- Run 411

RUN 411 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-C LP1-H LP2-H
 CH- 94 T-13 (SG 1 SHELL OUTLET)

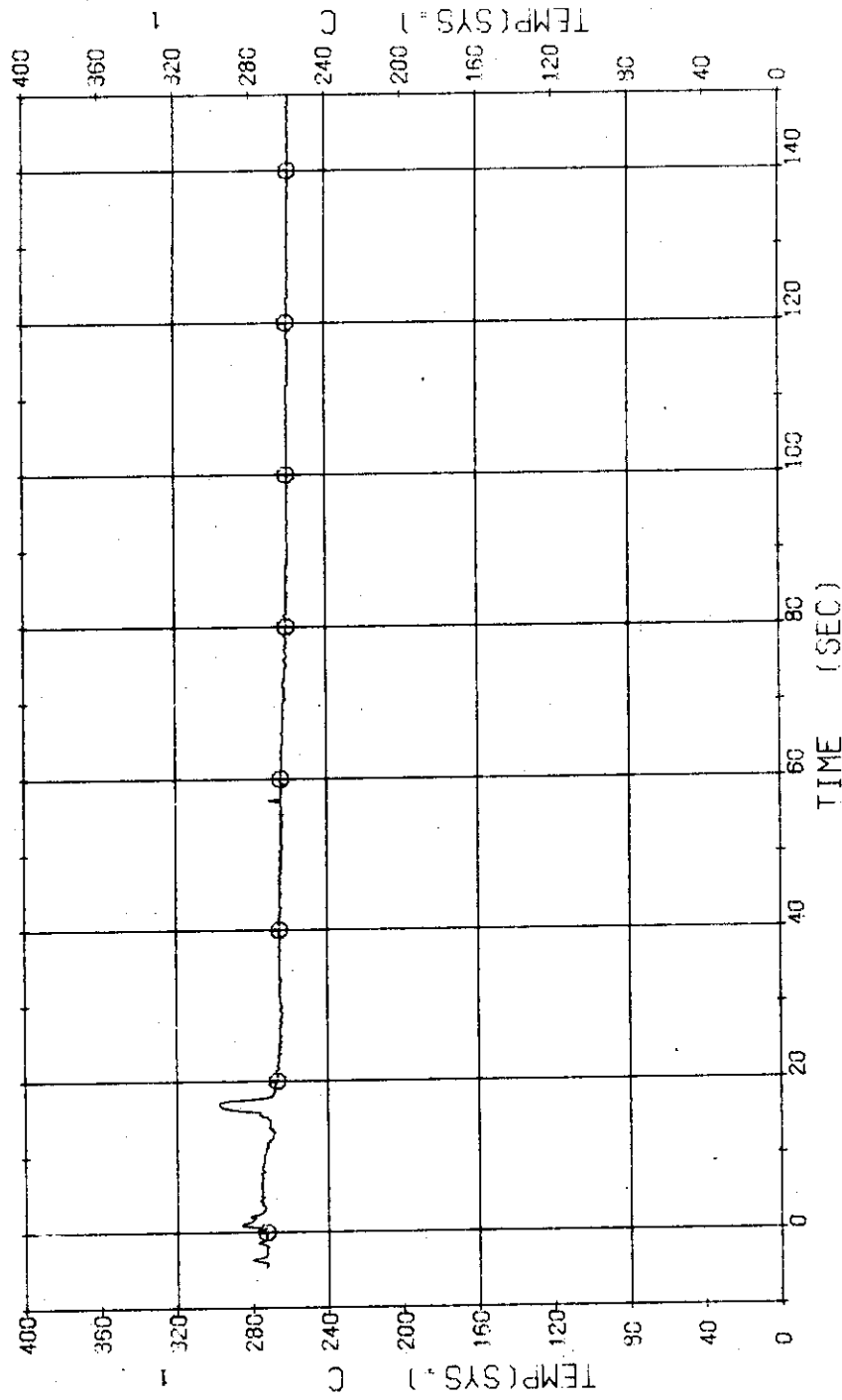


Fig. 3.1.23 Secondary Fluid Temperature at the Outlet of SG1 --- Run 411

RUN 314 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH- 1 OF P- 1 (PV UPPER PLENUM)
 CH- 12 +1 P-12 (PRESSURIZER)

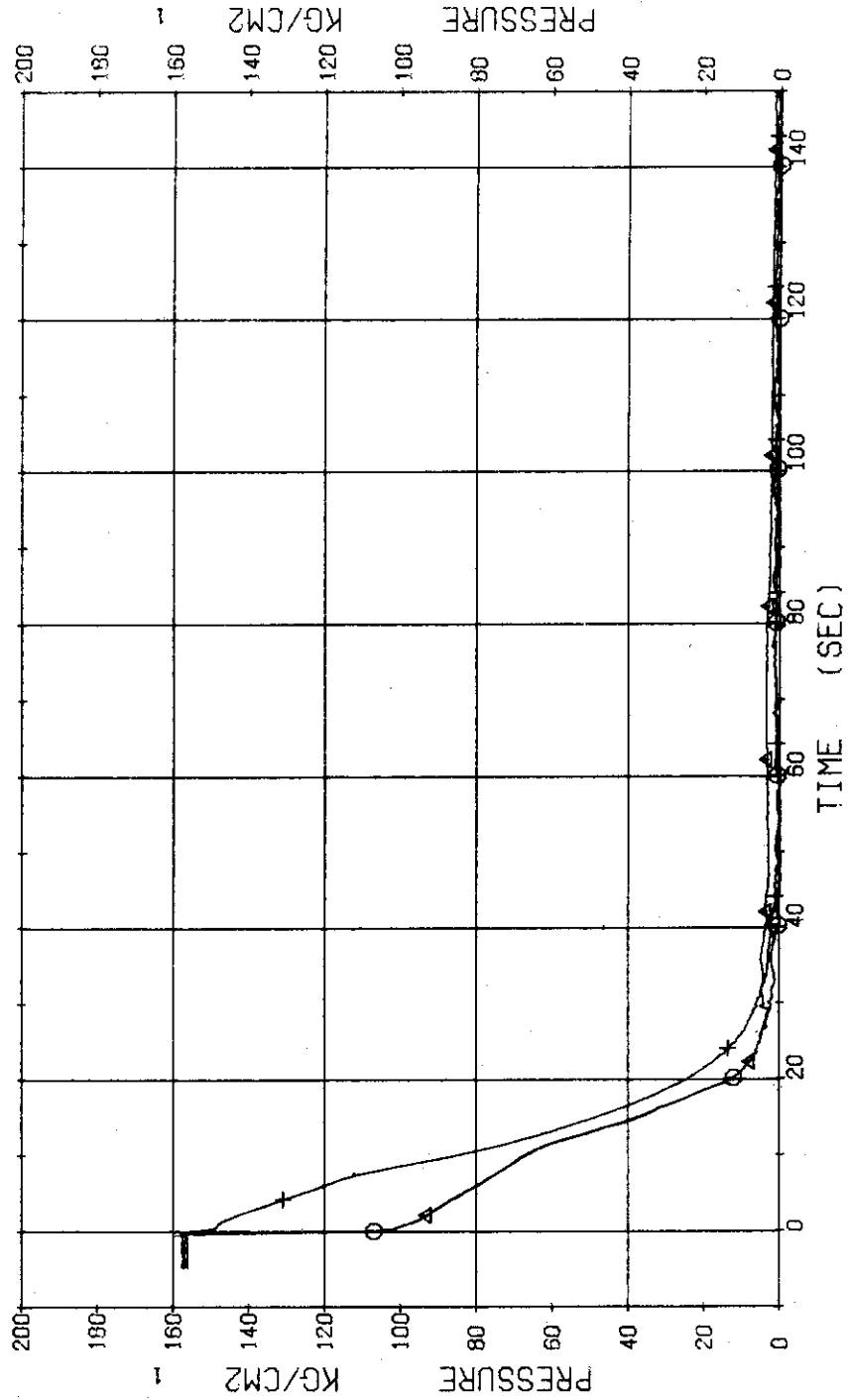


Fig. 3.2.1 Pressure in Pressure Vessel and Pressurizer ---- Run 314

RUN 314 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH- 3 O P- 3 (ABOVE NO.1 ORIFICE) CH- 5 Δ P- 5 (ABOVE NO.2 ORIFICE)
 CH- 8 + P- 8 (P.1 PUMP SUCTION)

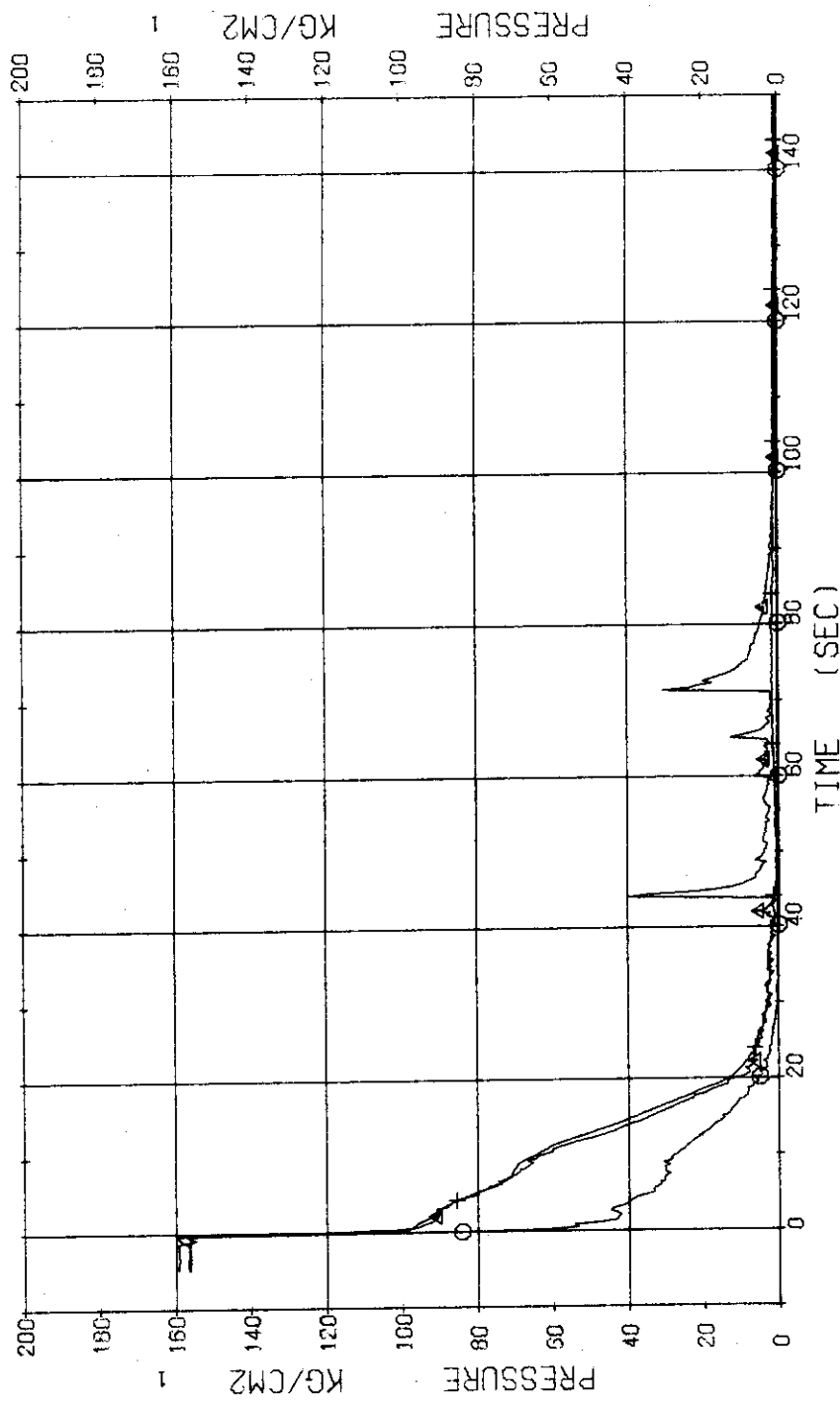


Fig. 3.2.2 Pressure in Blowdown Loop --- Run 314

RUN 314 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH- 9 (SG 2 INLET) CH- 10 (SG 2 OUTLET)
 CH- 11 (P 2 PUMP DELIVERY)

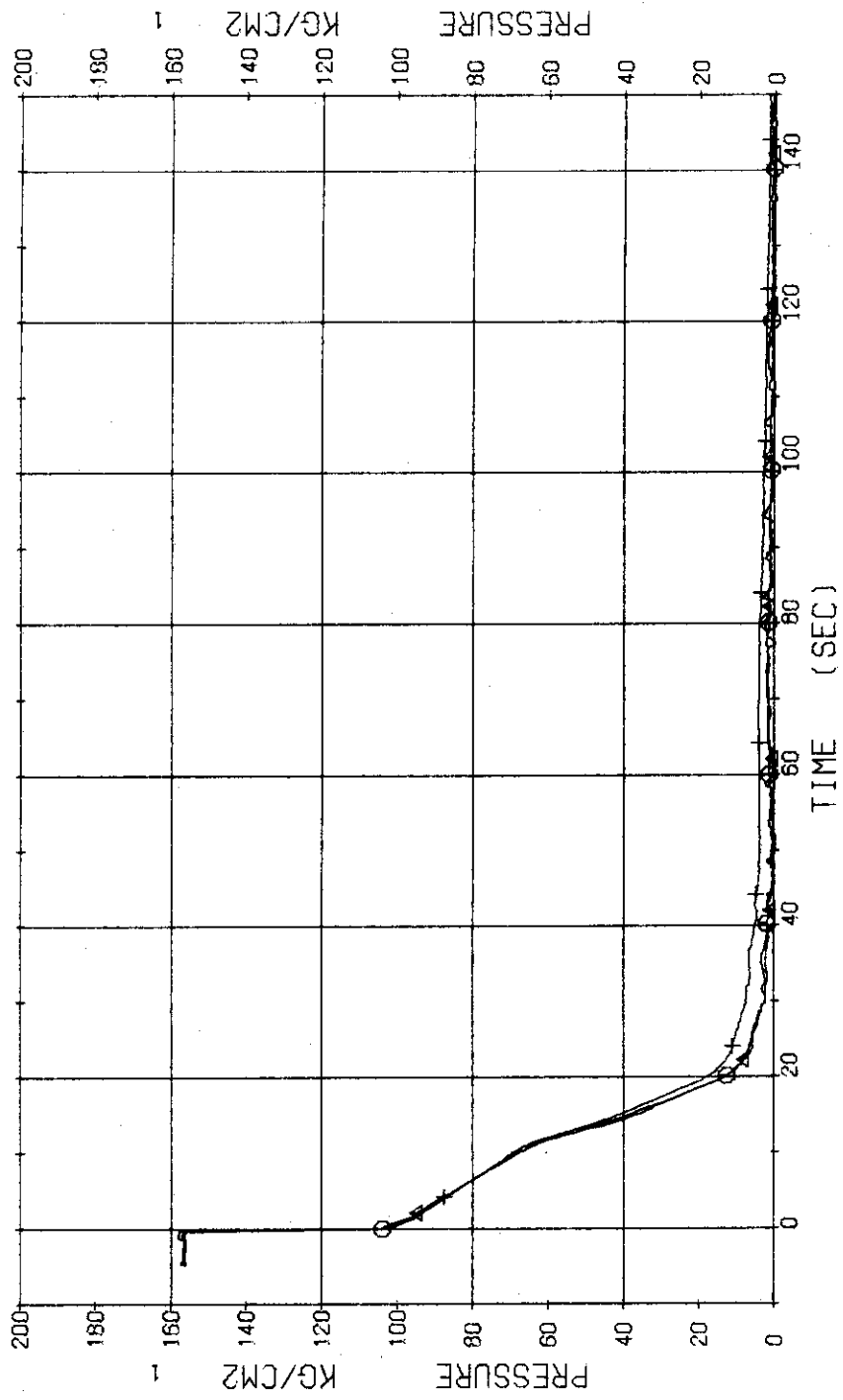


Fig. 3.2.3 Pressure in Intact Loop --- Run 314

RUN 314 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH-13 OF P-13 (SG-SHELL SIDE)

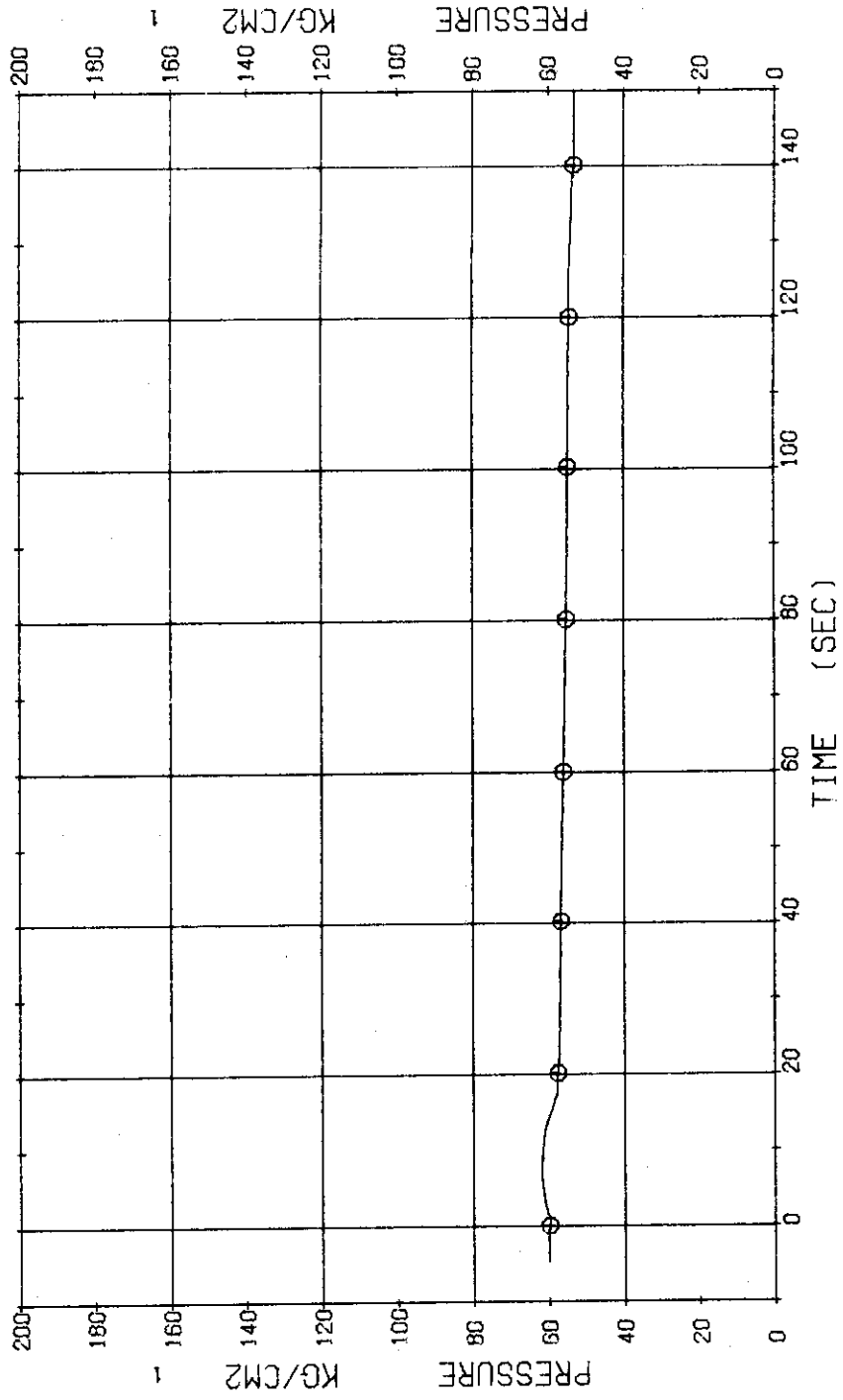


Fig. 3.2.4 Pressure in Secondary System --- Run 314

RUN 314 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH-14 ① D-1 (PV-TOP-BOTTOM)

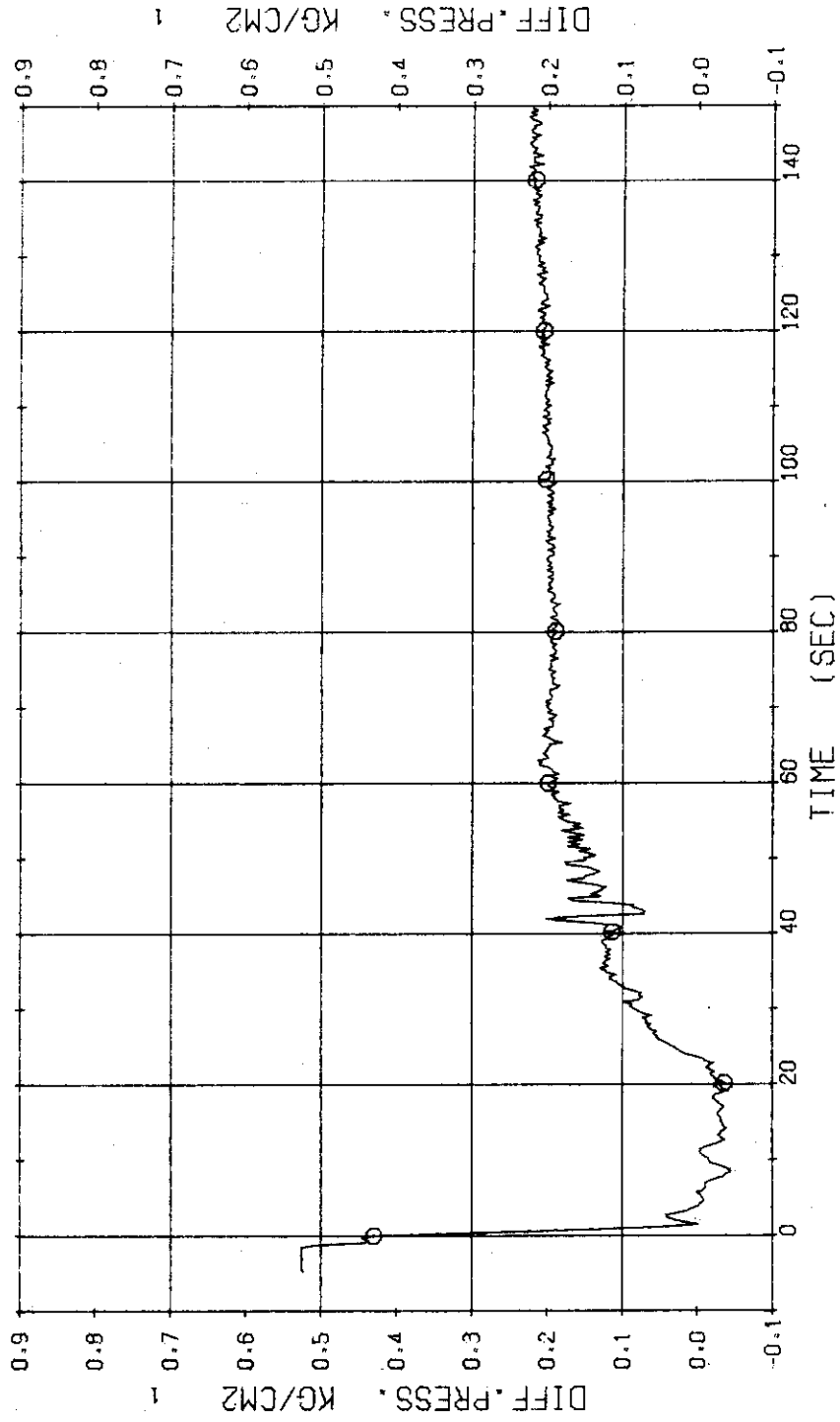


Fig. 3.2.5 Differential Pressure between Top and Bottom of Pressure Vessel --- Run 314

RUN 314 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
 EDCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH-18 01 D-5 (SG 1 INLET-OUTLET)

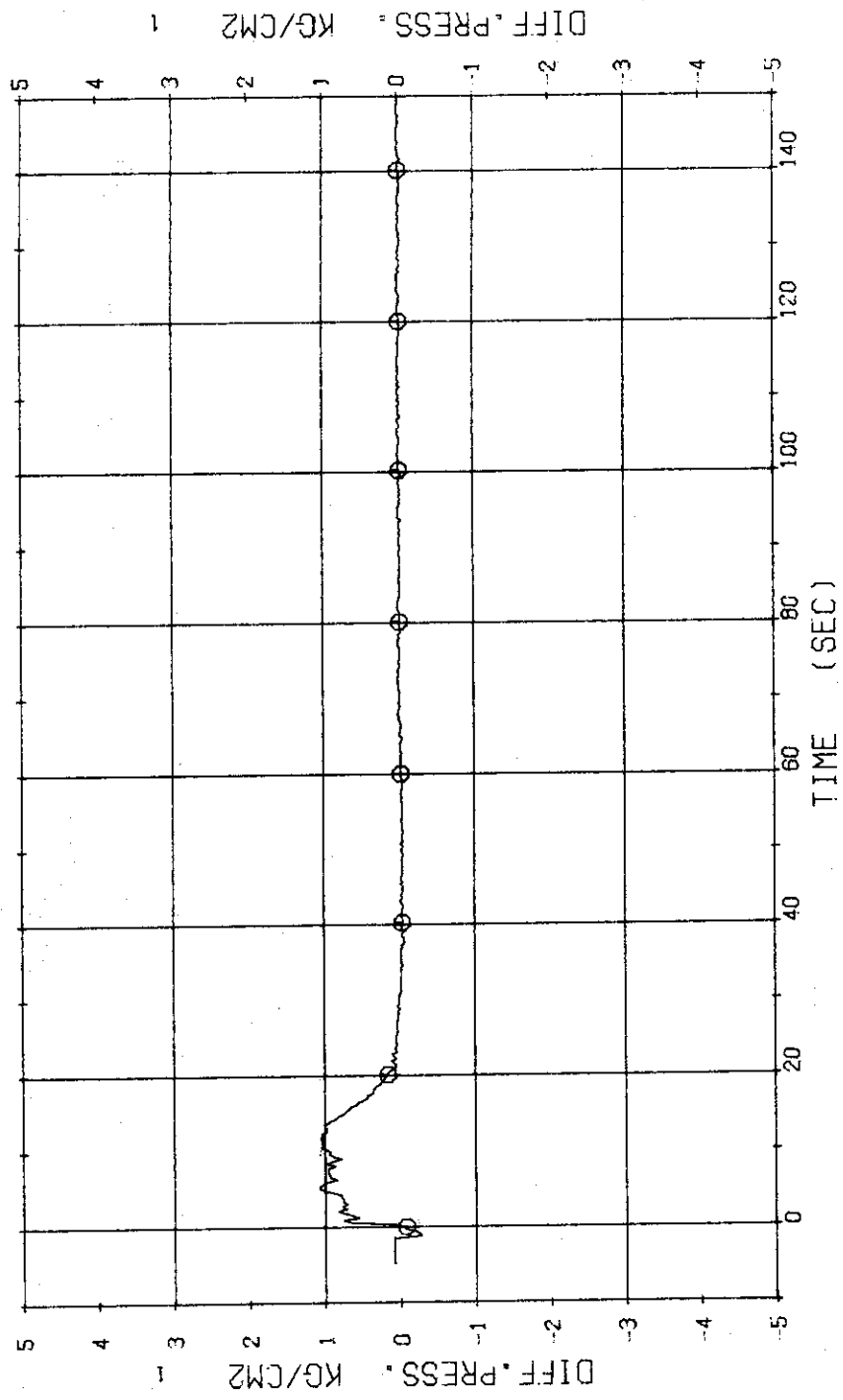


Fig. 3.2.6 Differential Pressure across SG1 ---- Run 314

RUN 314 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1-- HP2-- AC1-C AC2-I LP1-C LP2-L
 CH- 21 01 0- 8 (P2 PUMP DELIVERY-SUCTION)

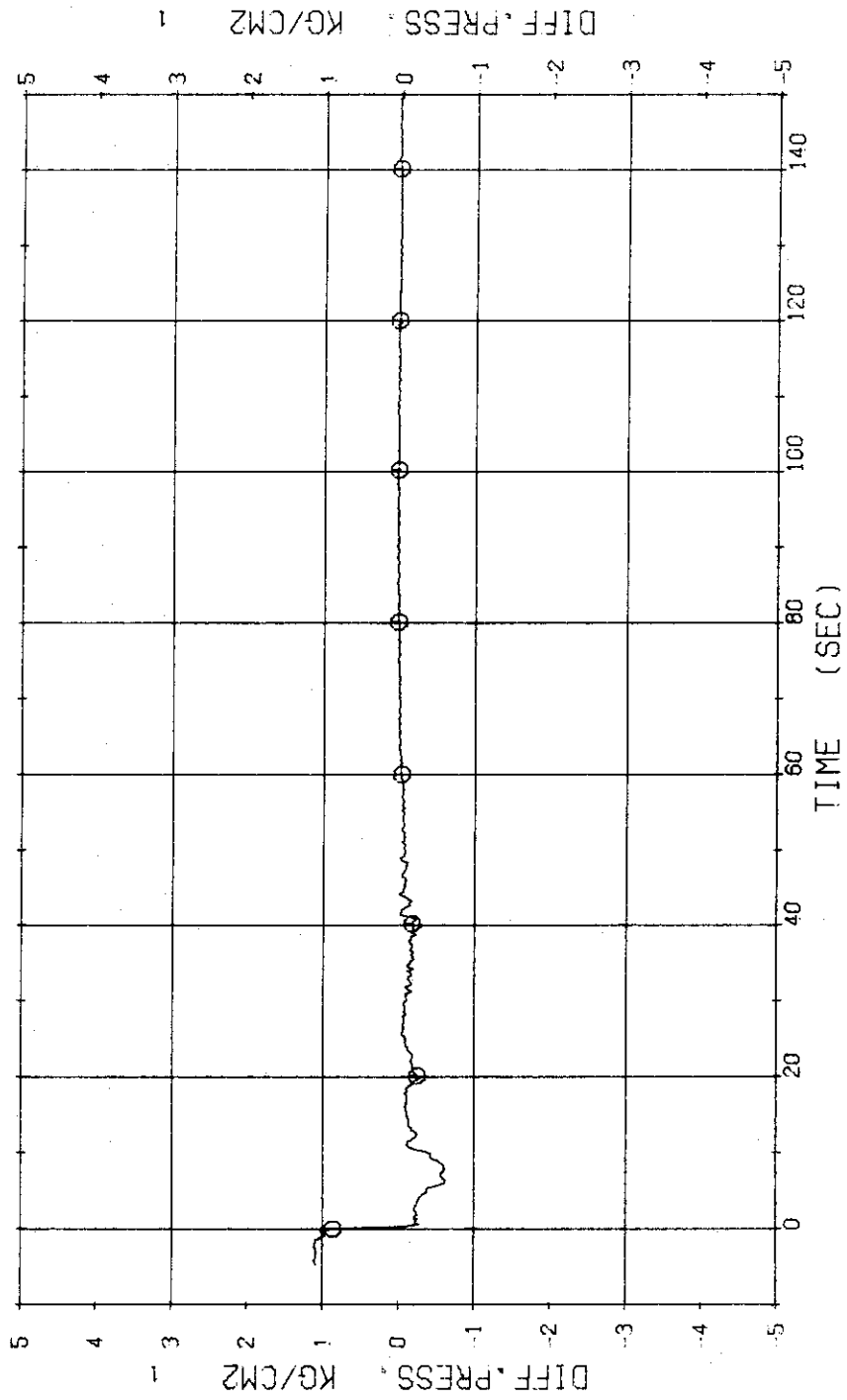


Fig. 3.2.7 Differential Pressure across P2 Pump --- Run 314

RUN 314 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L

CH-30 (1) F-9 (ACC 1))

CH-33 +3 F-12 (LPCI))

CH-31 (2) F-10 (ACC 2))

CH-34 X F-13 (LPCI))

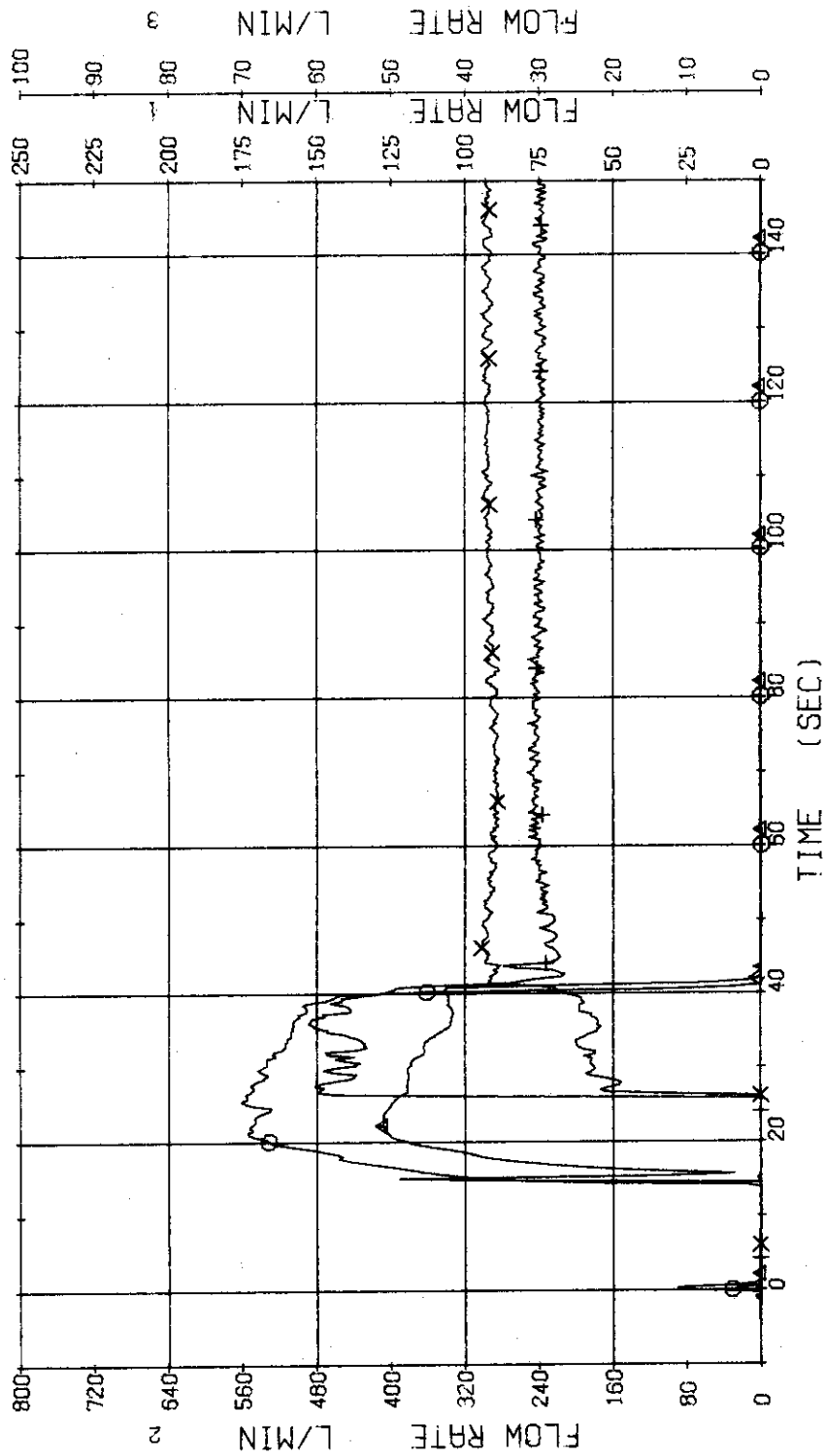


Fig. 3.2.8 Injection Flow Rates of ACC1, 2 and LPCI of two Injection Locations --- Run 314

RUN 314 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
 ECCS ---- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH-35 W-1 (HIGH FLUX RODS) CH-119 42 Q-1 (PEAK OF HIGH FLUX RODS)

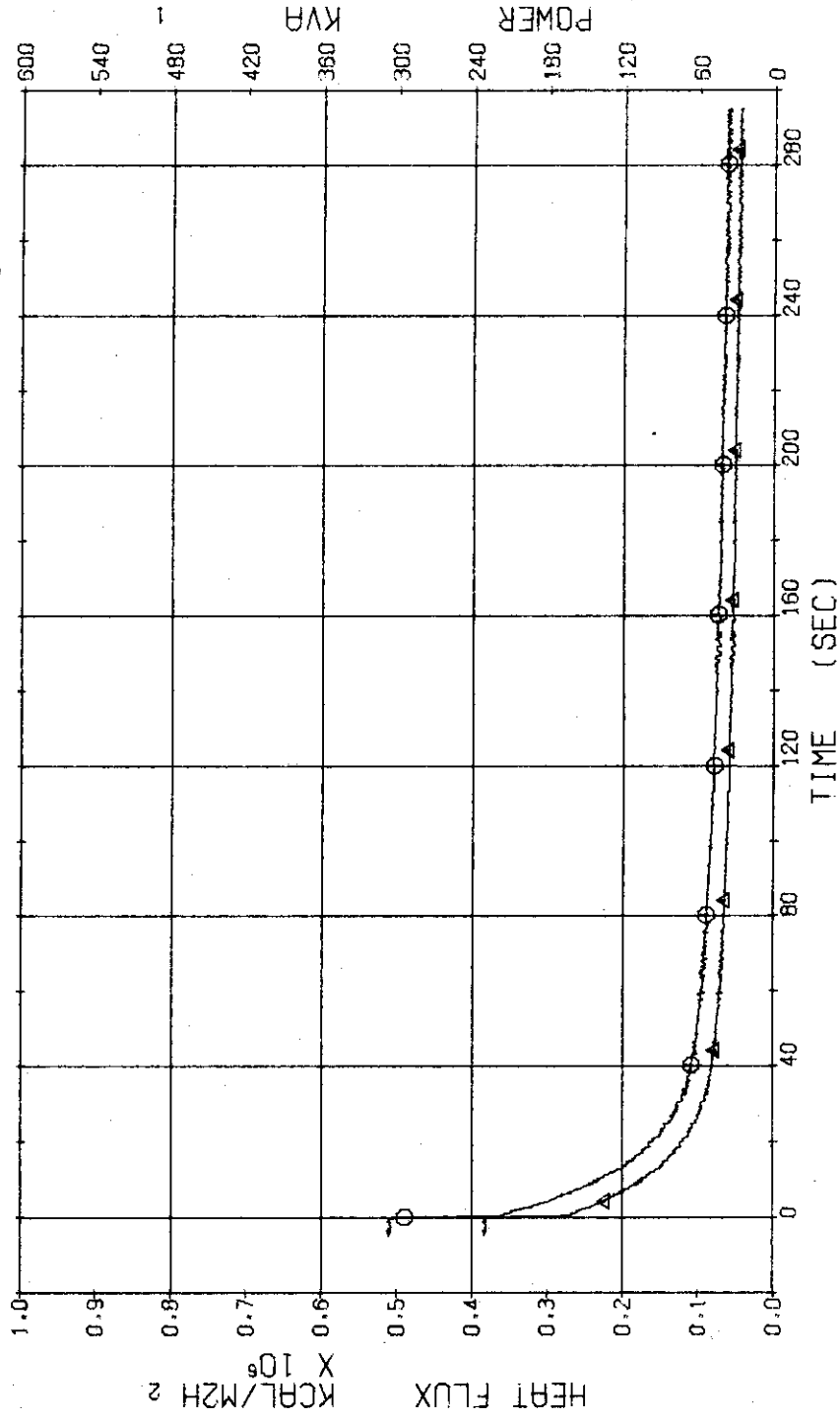


Fig. 3.2.9 Electric Power and Heat Flux for High Heat Flux Rods --- Run 314

RUN 314 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH-36 ① W-2 (LOW FLUX RODS) CH-120 ② Q-2 (PEAK OF LOW FLUX RODS)

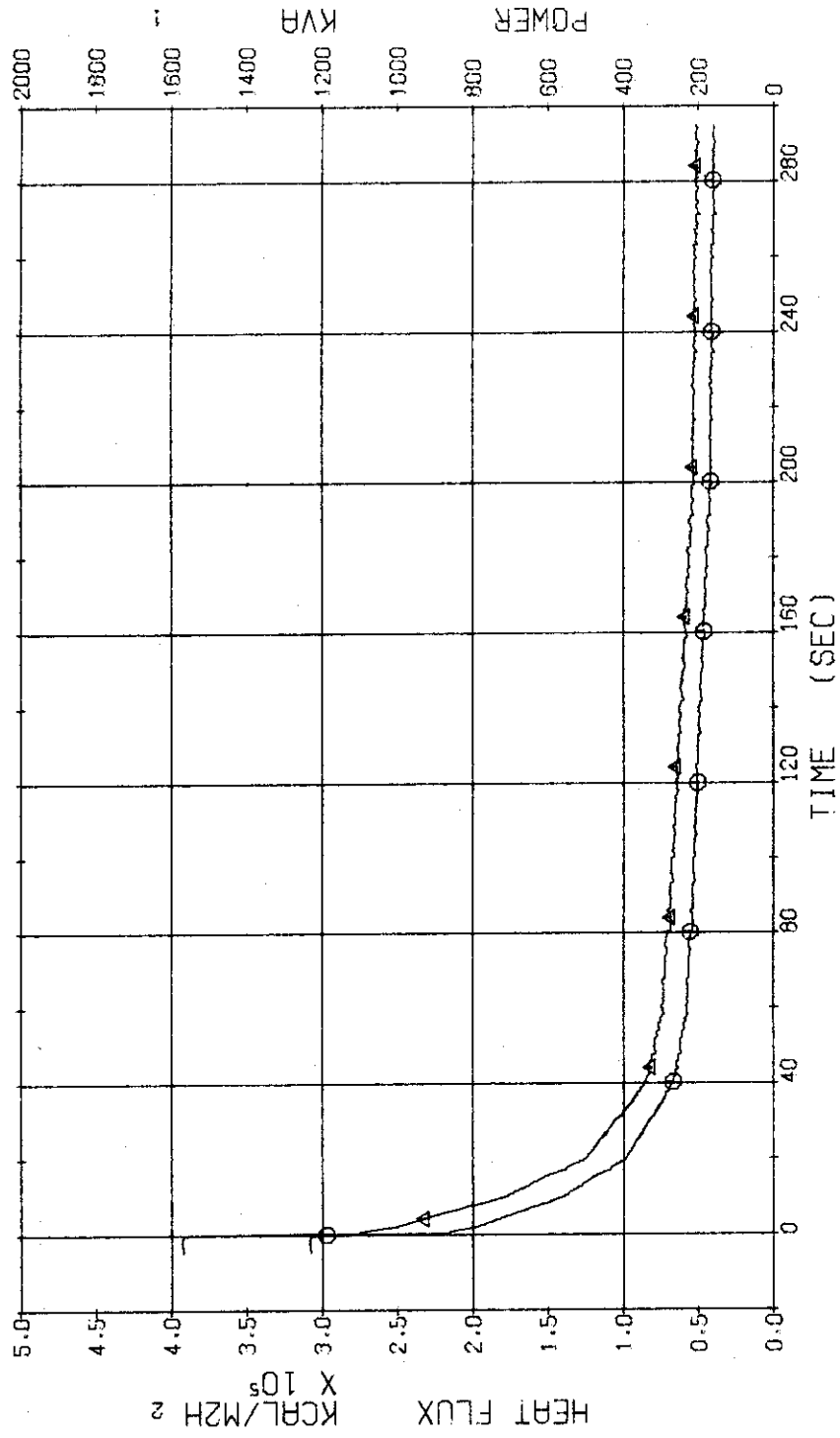


Fig. 3.2.10 Electric Power and Heat Flux for Low Heat Flux Rods --- Run 314

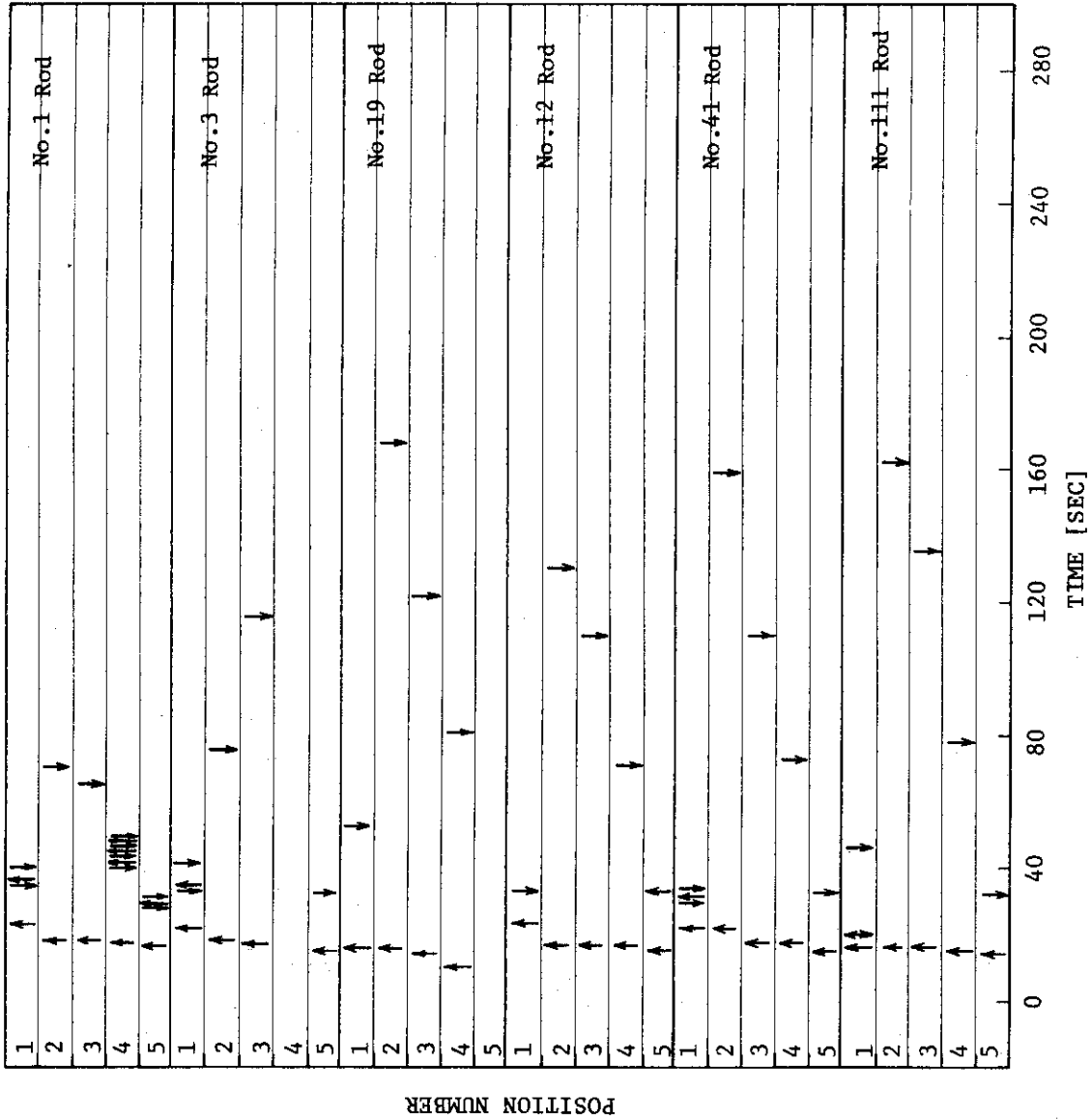


Fig. 3.2.11 Temperature Rise Time and Quench Time of Fuel Rods --- Run 314

(↑: temperature rise
 ↓: quench)

RUN 314 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH- 37 (X) TF-1 (NO.1 POSITION 1))
 CH- 39 (+) TF-3 (NO.1 POSITION 3))
 CH- 41 (X) TF-5 (NO.1 POSITION 5))
 CH- 38 (A) TF-2 (NO.1 POSITION 2))
 CH- 40 (X) TF-4 (NO.1 POSITION 4))

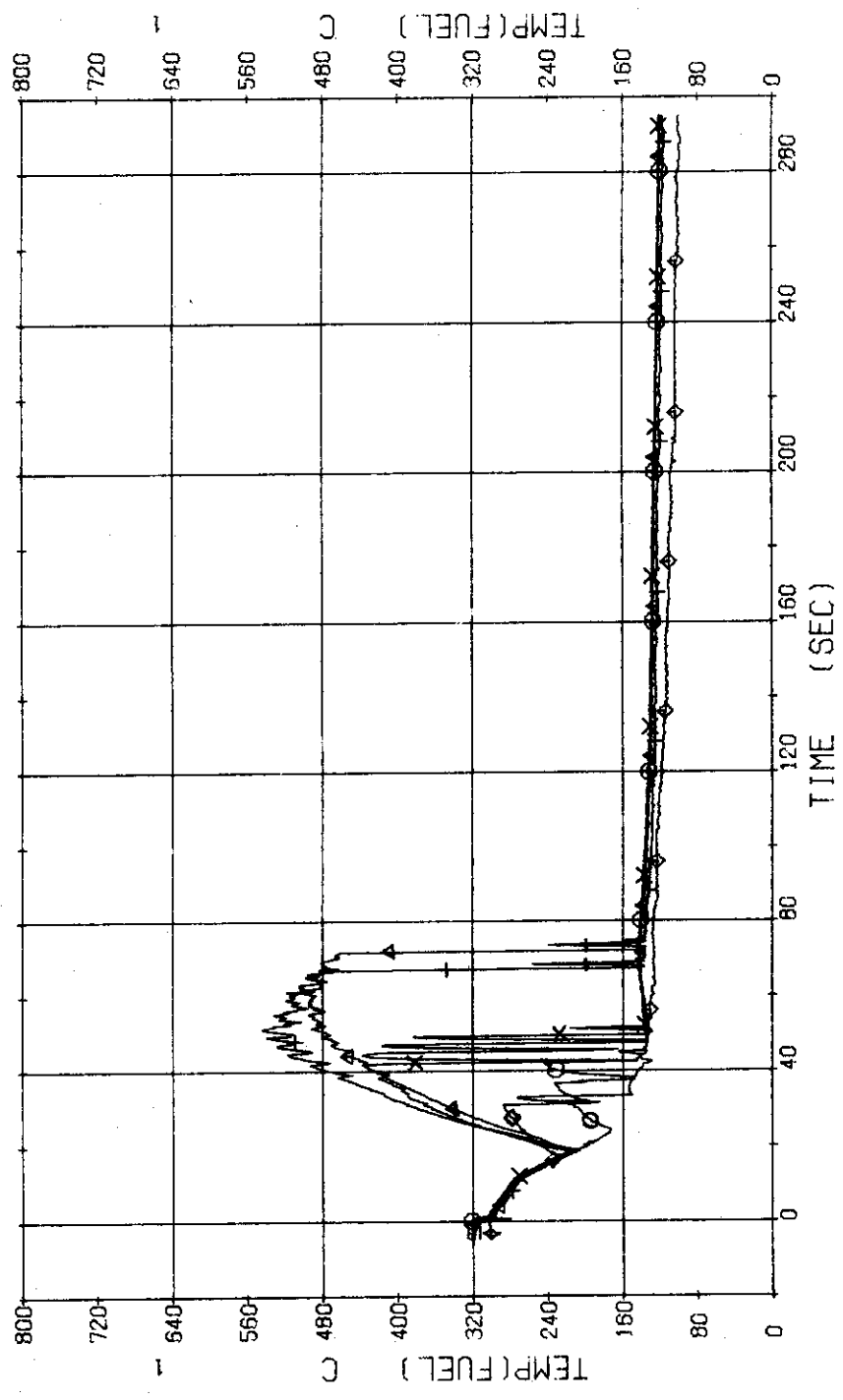


Fig. 3.2.12 Surface Temperatures of High Heat Flux Rod (No.1) at the Center of Core --- Run 314

RUN 314 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECCS ---- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH- 42 OI TF-6 (NO.3 POSITION 1) CH- 43 AI TF-7 (NO.3 POSITION 2)
 CH- 44 +I TF-8 (NO.3 POSITION 3) CH- 46 XI TF10 (NO.3 POSITION 5)

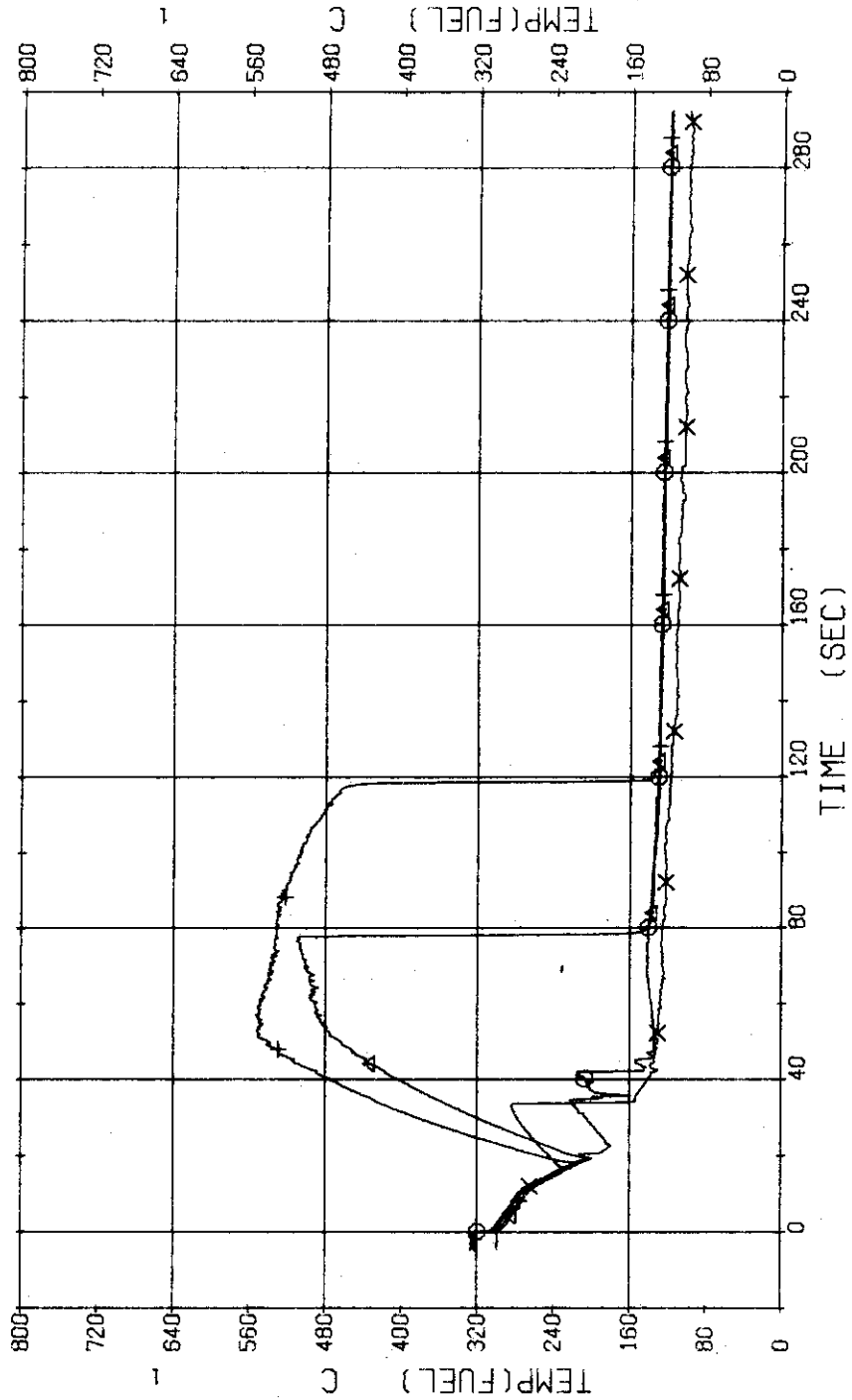


Fig. 3.2.13 Surface Temperatures of High Heat Flux Rod (No.3) near the Center of Core ---- Run 314

RUN 314 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH- 47 O TF11 (NO.19 POSITION 1) CH- 48 Δ TF12 (NO.19 POSITION 2)
 CH- 49 + TF13 (NO.19 POSITION 3) CH- 50 X TF14 (NO.19 POSITION 4)

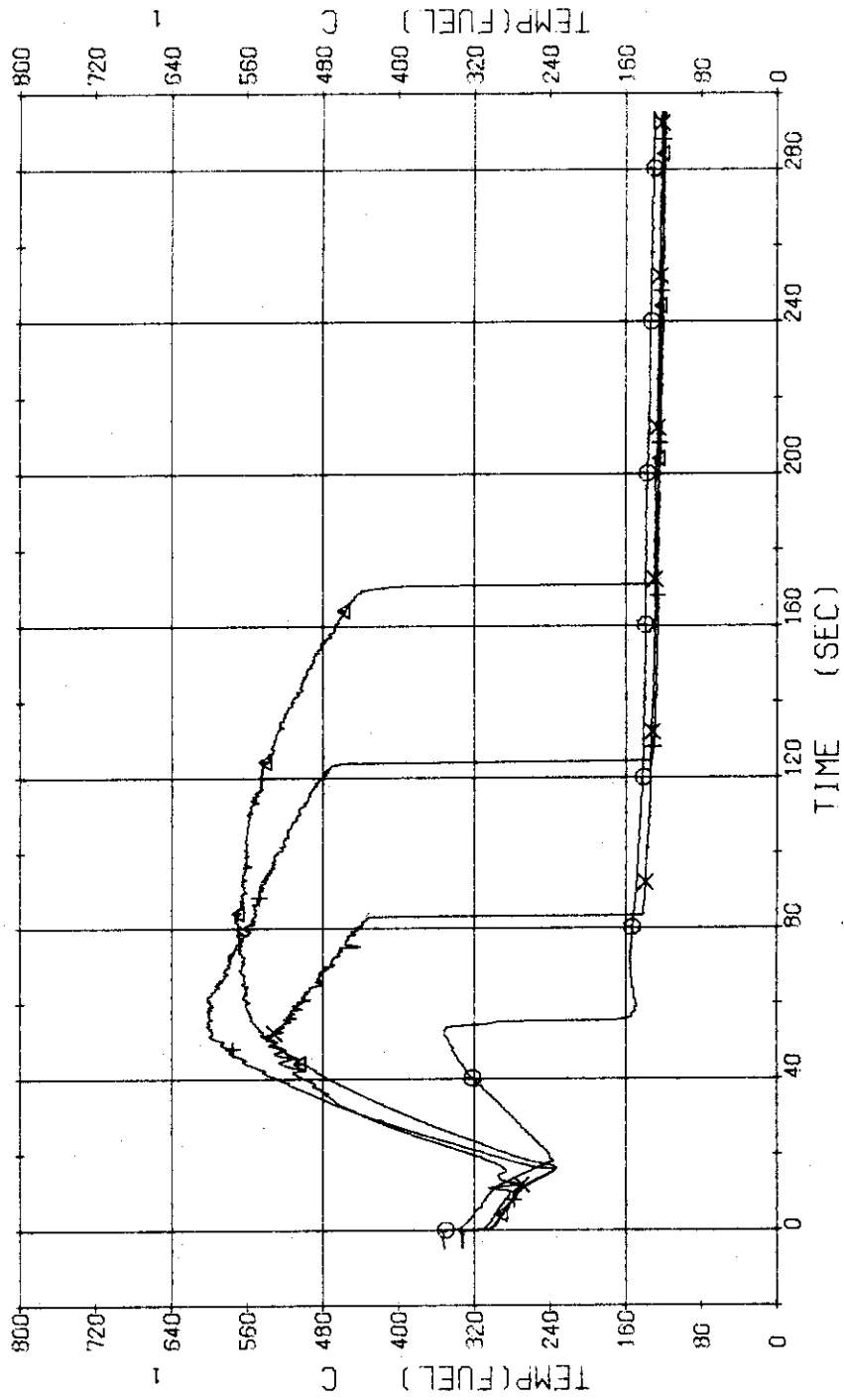


Fig. 3.2.14 Surface Temperatures of High Heat Flux Rod (No.19) in the Middle Part of Core --- Run 314

RUN 314 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECCS --- HP1-- HP2-- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH- 52 ◊ TF16 (NO.12 POSITION 1)
 CH- 54 + TF18 (NO.12 POSITION 3)
 CH- 56 ◊ TF20 (NO.12 POSITION 5)
 CH- 53 Δ TF17 (NO.12 POSITION 2)
 CH- 55 X TF19 (NO.12 POSITION 4)

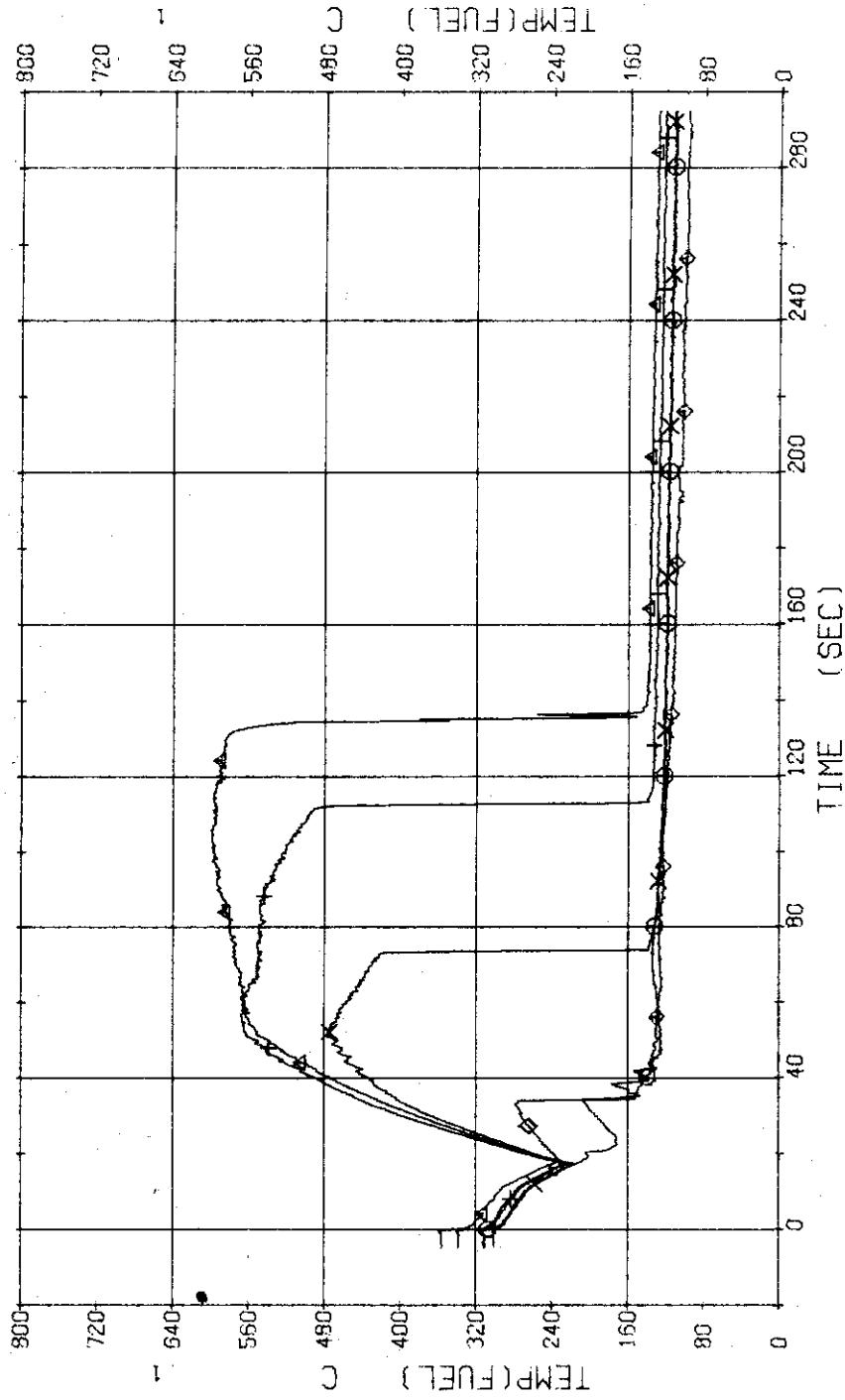


Fig. 3.2.15 Surface Temperatures of Low Heat Flux Rod (No.12) in the Middle Part of Core --- Run 314

RUN 314 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECCS ---- HP1-- HP2-- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH- 57 () TF21 (NO.41 POSITION 1)
 CH- 59 () TF23 (NO.41 POSITION 3)
 CH- 61 () TF25 (NO.41 POSITION 5)
 CH- 58 () TF22 (NO.41 POSITION 2)
 CH- 60 () TF24 (NO.41 POSITION 4)

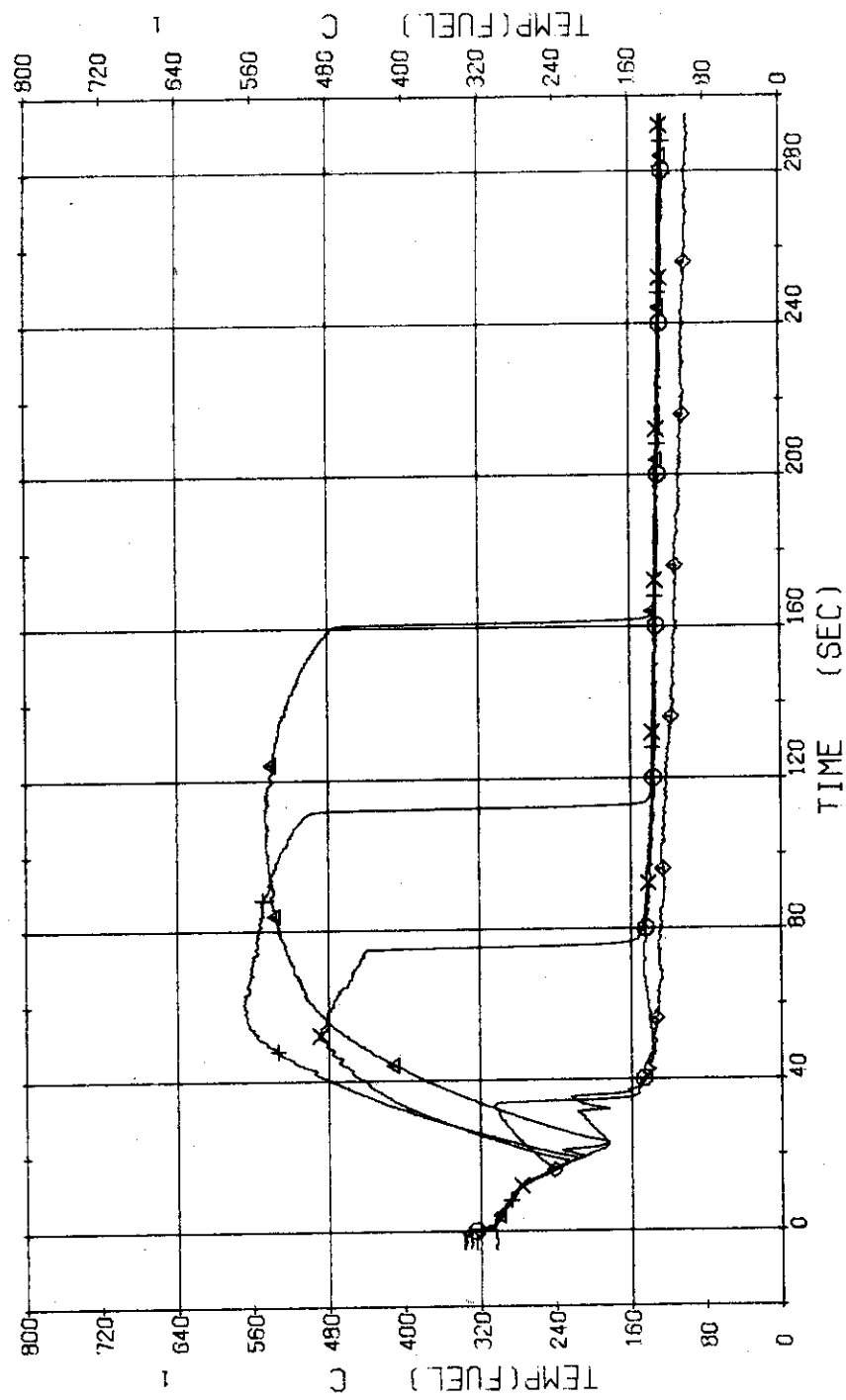


Fig. 3.2.16 Surface Temperatures of Low Heat Flux Rod (No.41) in the Middle Part of Core ---- Run 314

RUN 314 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-I
 CH- 62 ◊ TF26 (NO.111 POSITION 1)
 CH- 64 + TF28 (NO.111 POSITION 3)
 CH- 66 ◊ TF30 (NO.111 POSITION 5)
 CH- 63 Δ TF27 (NO.111 POSITION 2)
 CH- 65 X TF29 (NO.111 POSITION 4)

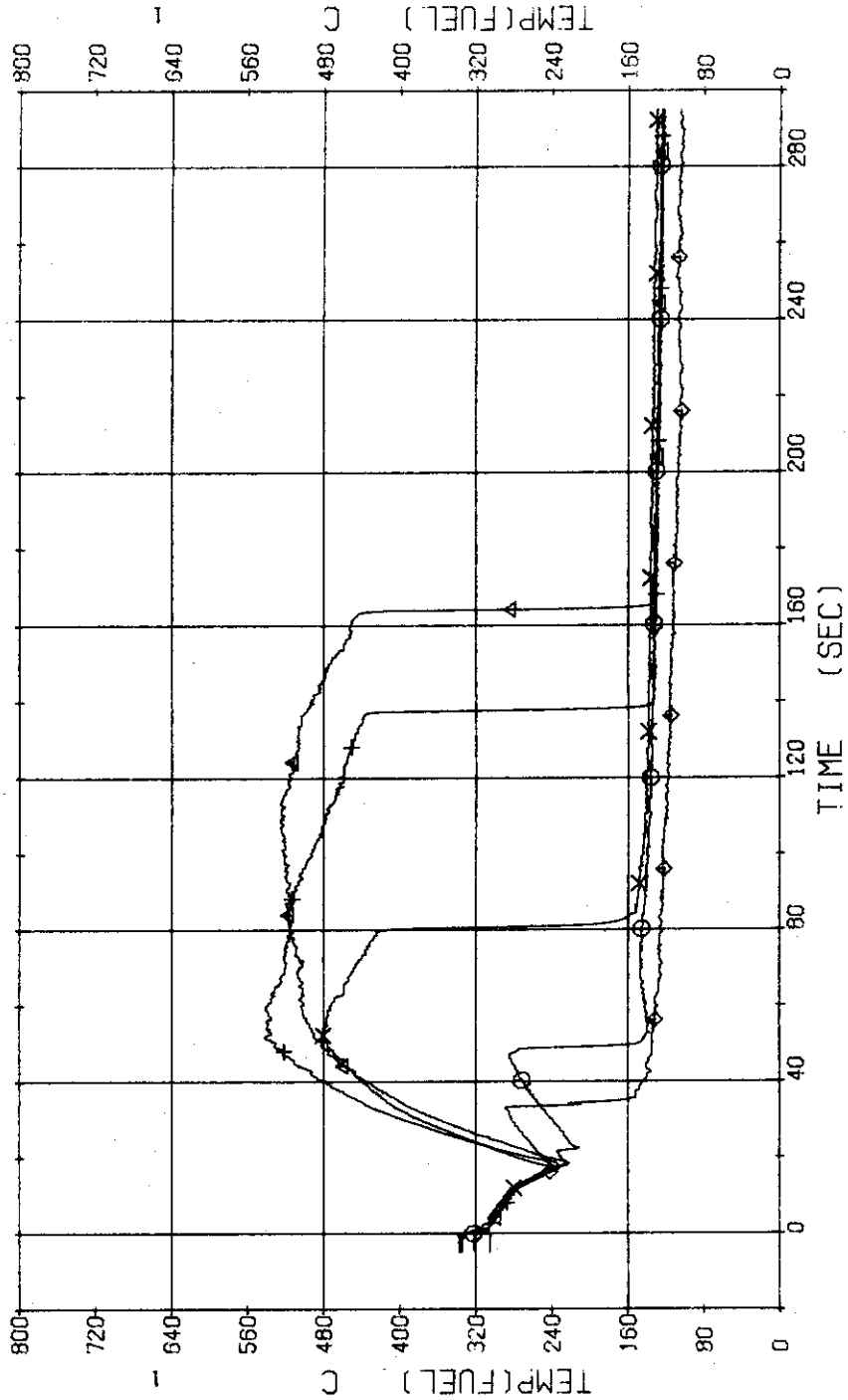


Fig. 3.2.17 Surface Temperatures of Low Heat Flux Rod (No.111) at the Outer Part of Core --- Run 314

RUN 314 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH- 67 (1) TF31 (INNER SURFACE POS.1) CH- 68 (Δ) TF32 (INNER SURFACE POS.2)
 CH- 69 (+) TF33 (INNER SURFACE POS.3) CH- 70 (X) TF34 (INNER SURFACE POS.4)
 CH- 71 (◇) TF35 (INNER SURFACE POS.5)

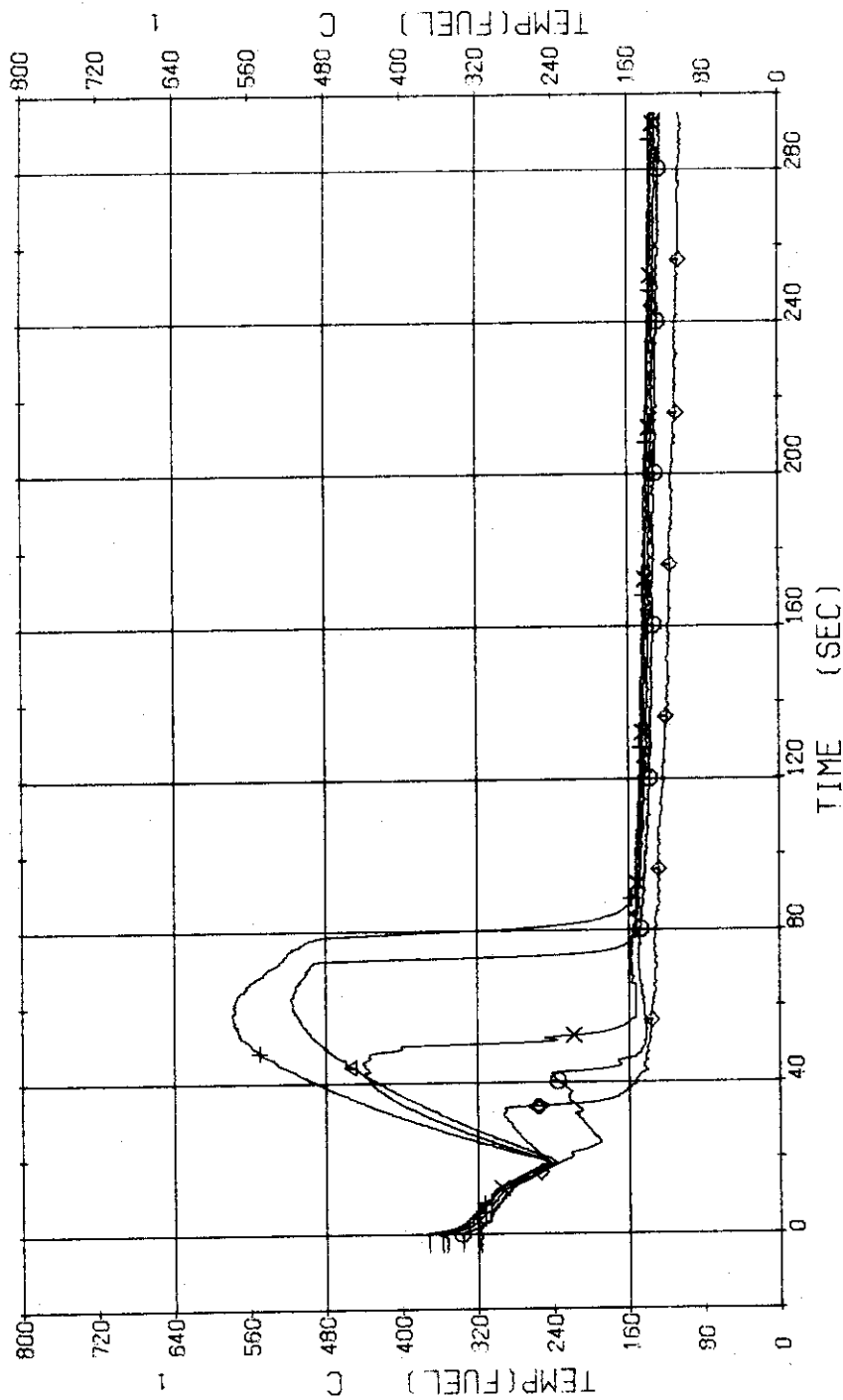


Fig. 3.2.18 Inner Surface Temperatures of Clad of No.1 Rod at the Center of Core --- Run 314

RUN 314 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH-114 ① TO-1 (TEMPERATURE DIFFERENCE 1)
 CH-116 +1 TO-3 (TEMPERATURE DIFFERENCE 3)
 CH-118 ② TO-5 (TEMPERATURE DIFFERENCE 5)
 CH-115 A1 TD-2 (TEMPERATURE DIFFERENCE 2)
 CH-117 X TD-4 (TEMPERATURE DIFFERENCE 4)

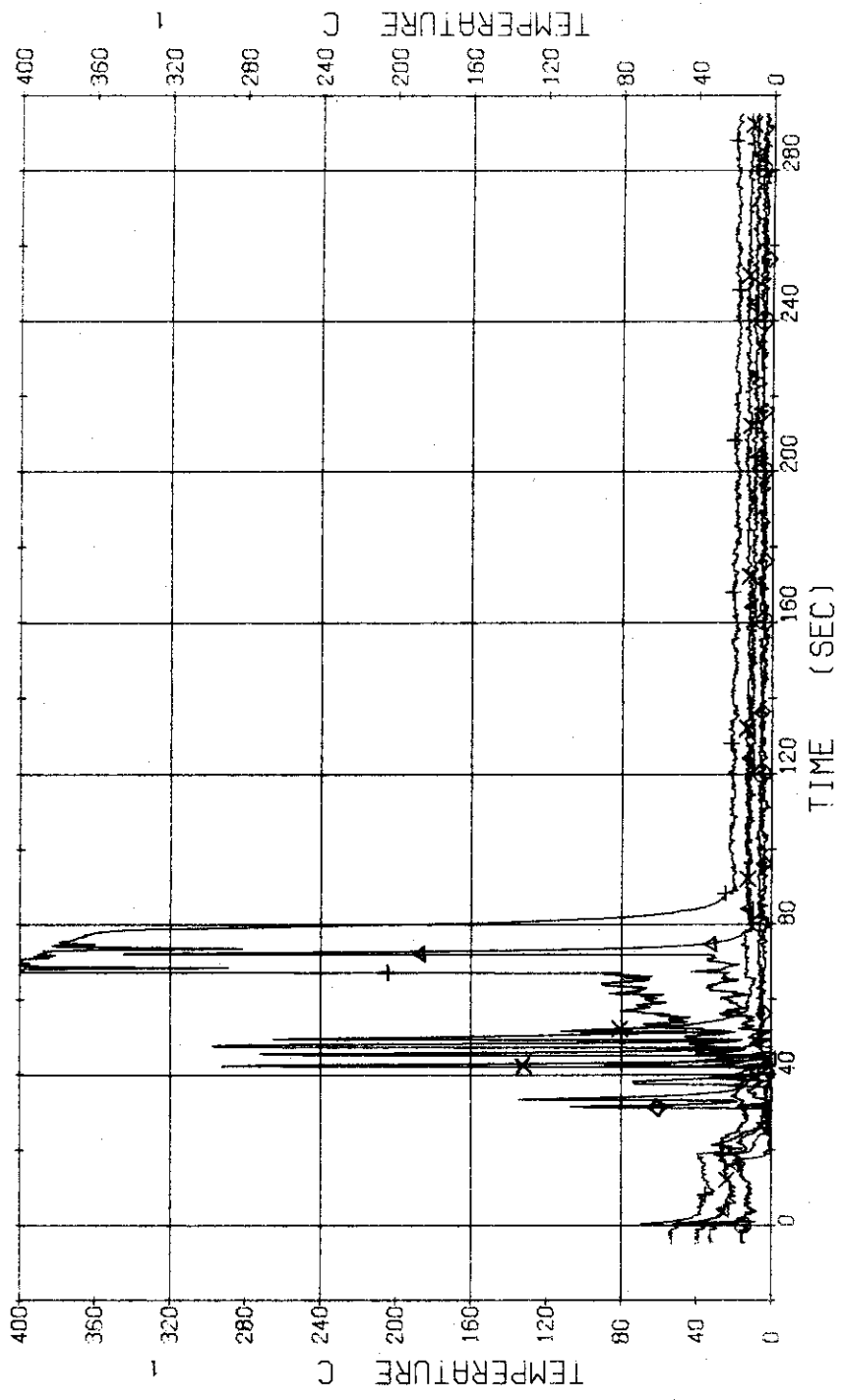


Fig. 3.2.19 Temperature Differences between the Clad of No.1 Rod --- Run 314

RUN 314 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH- 72 \square T- 1 (PV, UPPER PLENUM)
 CH- 83 \triangle T- 12 (PRESSURIZER)
 CH- 73 Δ T- 2 (PV, LOWER PLENUM)

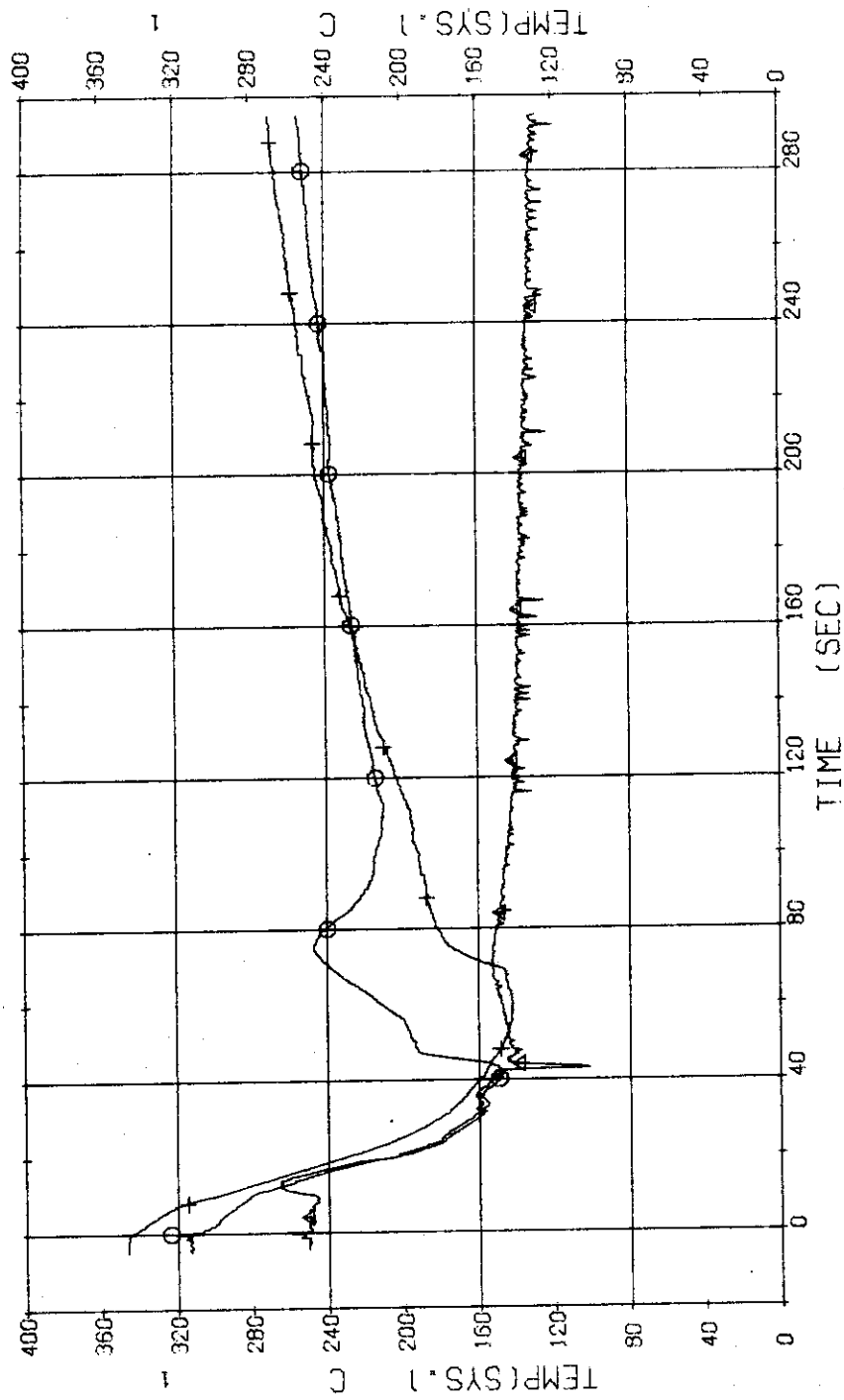


Fig. 3.2.20 Fluid Temperatures in Pressure Vessel and Pressurizer

RUN 314 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECCS --- HP1-- HP2-- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH- 76 (T- 5 (SG 1 INLET))
 CH- 78 (+) T- 7 (P 1 PUMP DELIVERY))
 CH- 77 (T- 6 (SG 1 OUTLET))
 CH- 79 (X) T- 8 (PV, INLET NOZZLE))

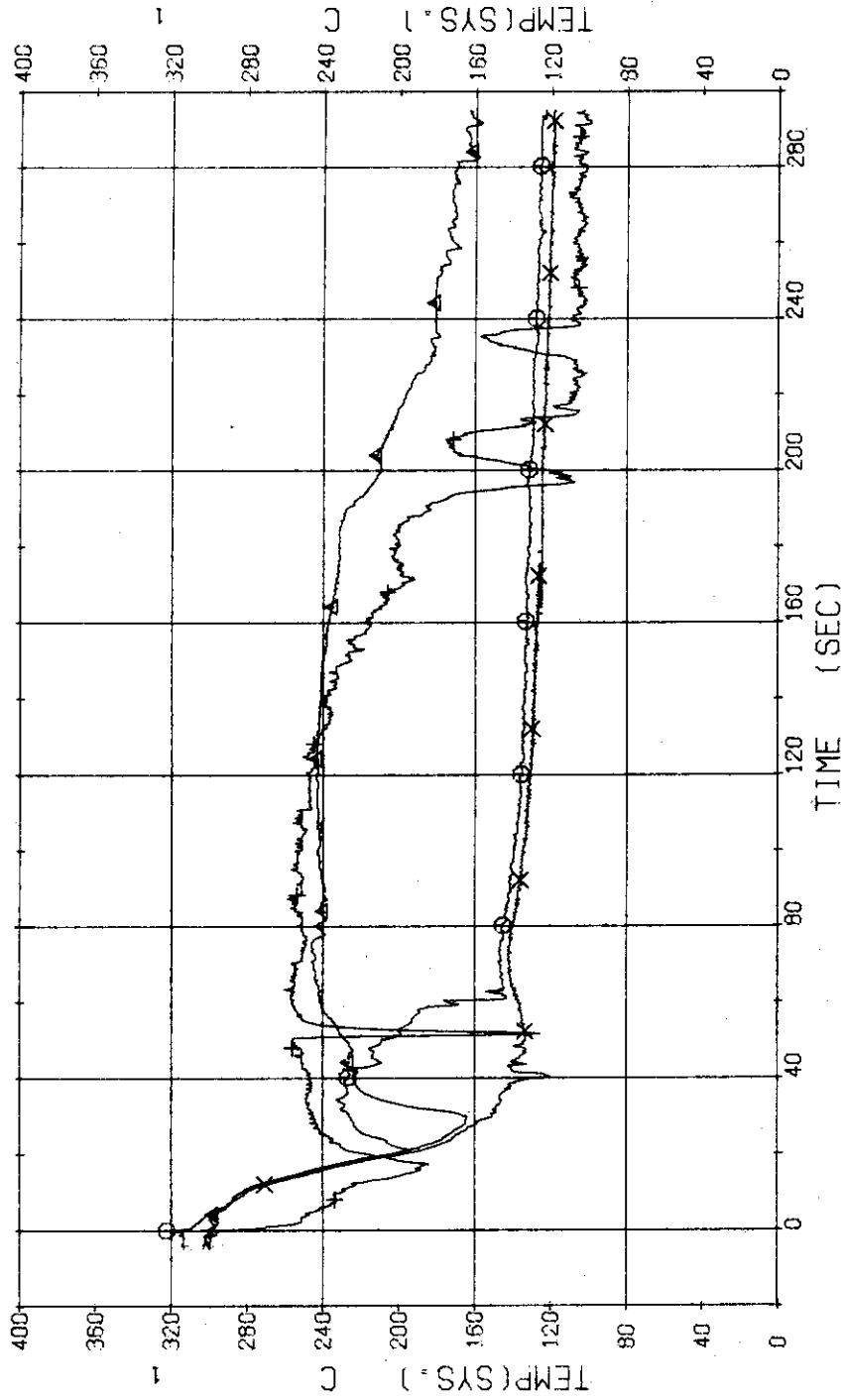


Fig. 3.2.21 Fluid Temperatures in Blowdown Loop --- Run 314

RUN 314 COLD LEO BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

EGCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-H LP1-C LP2-H
 CH- 80 2J T- 9 (SC 2 INLET))
 CH- 82 4I T-11 (P 2 PUMP DELIVERY)

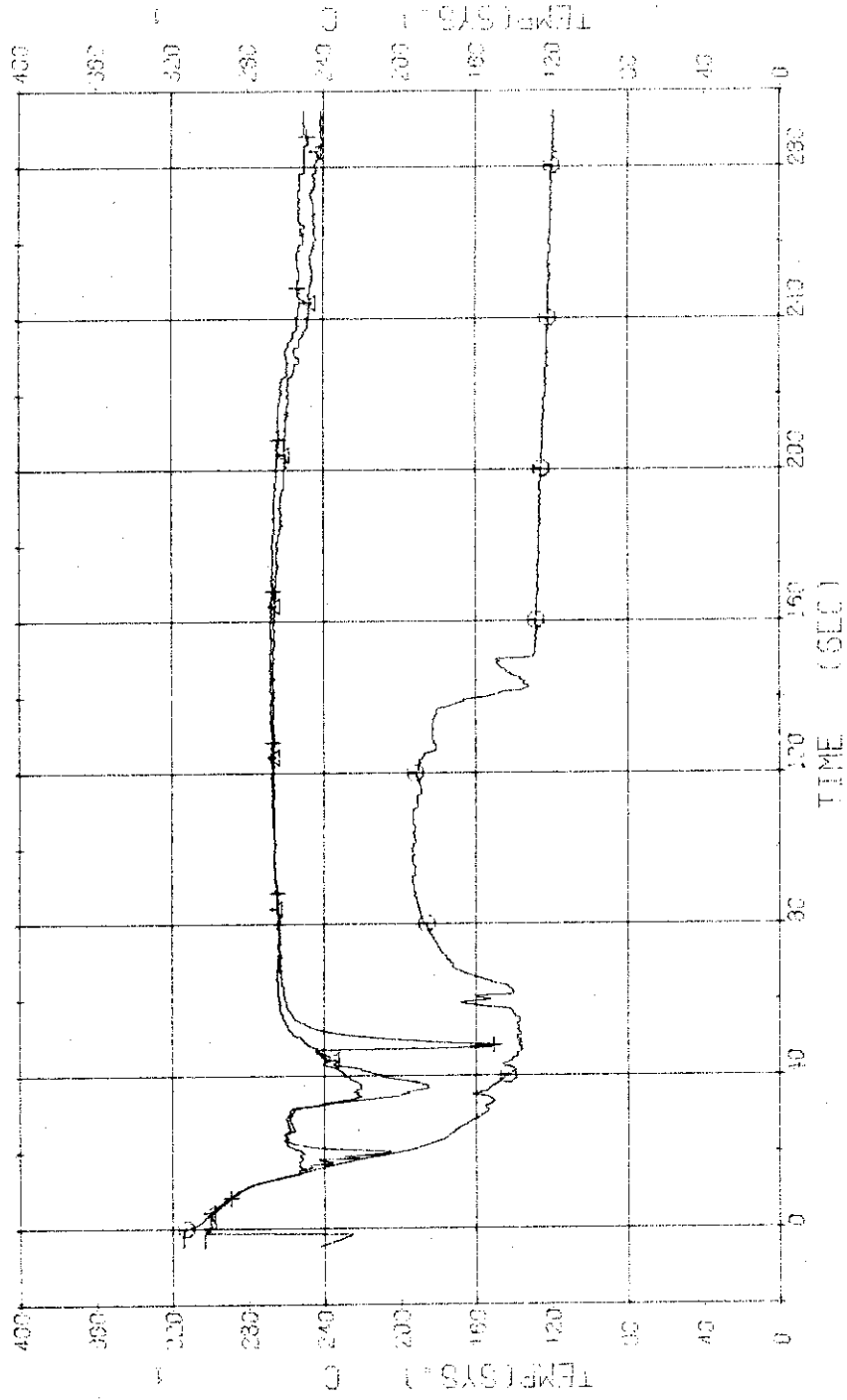


Fig. 3.2.22 Fluid Temperatures in Intact Loop --- Run 314

RUN 314 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH- 84 (S) T-13 (SG 1 SHELL OUTLET) CH- 85 (S) T-14 (SG 2 SHELL OUTLET)

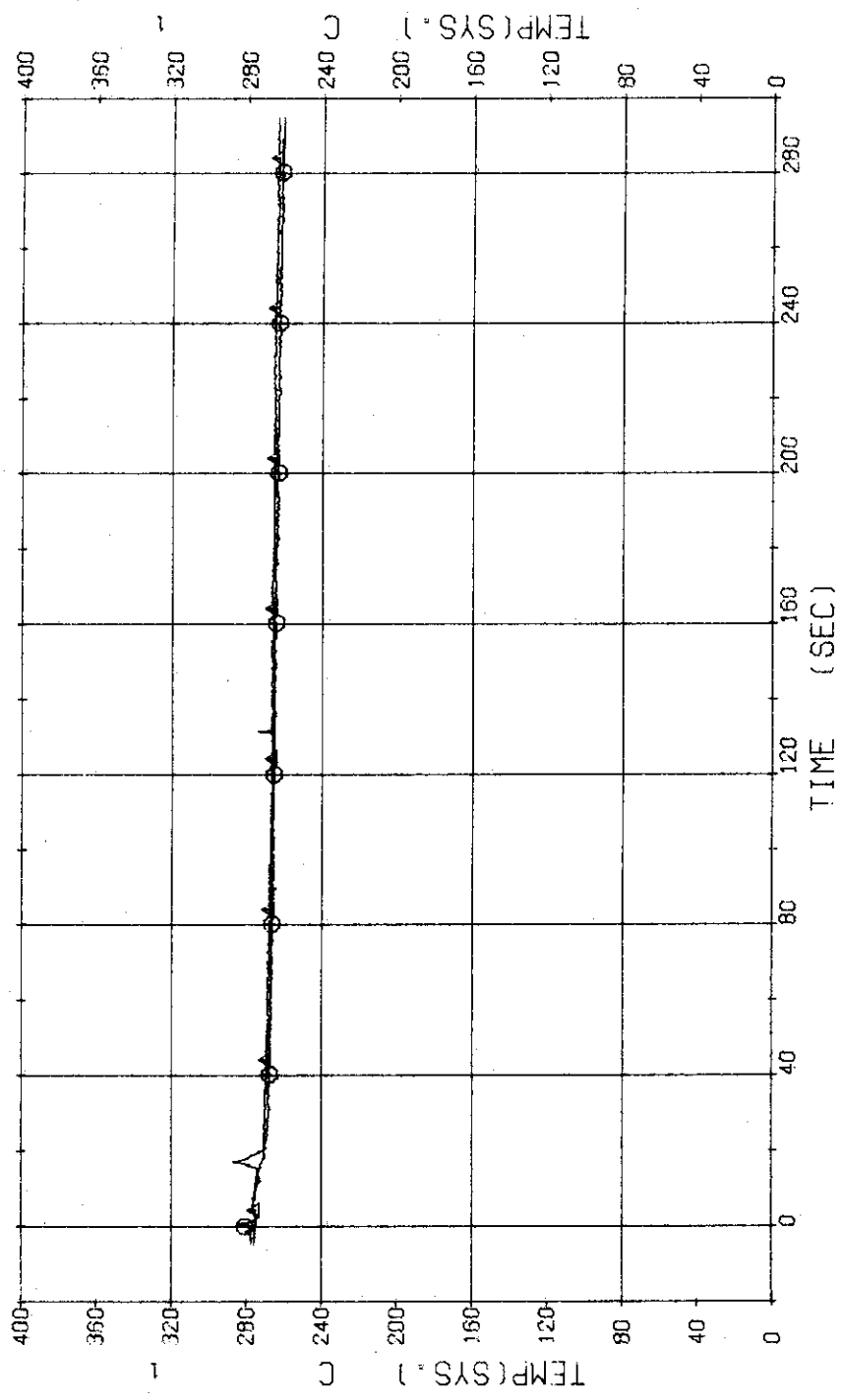


Fig. 3.2.23 Secondary Fluid Temperatures at the Outlet of SG1 and SG2 --- Run 314

RUN 314 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1-- HP2-- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH-101 @ N-1 (PUMP REVOLUTION NO. 1) CH-102 Δ N-2 (PUMP REVOLUTION NO. 1)

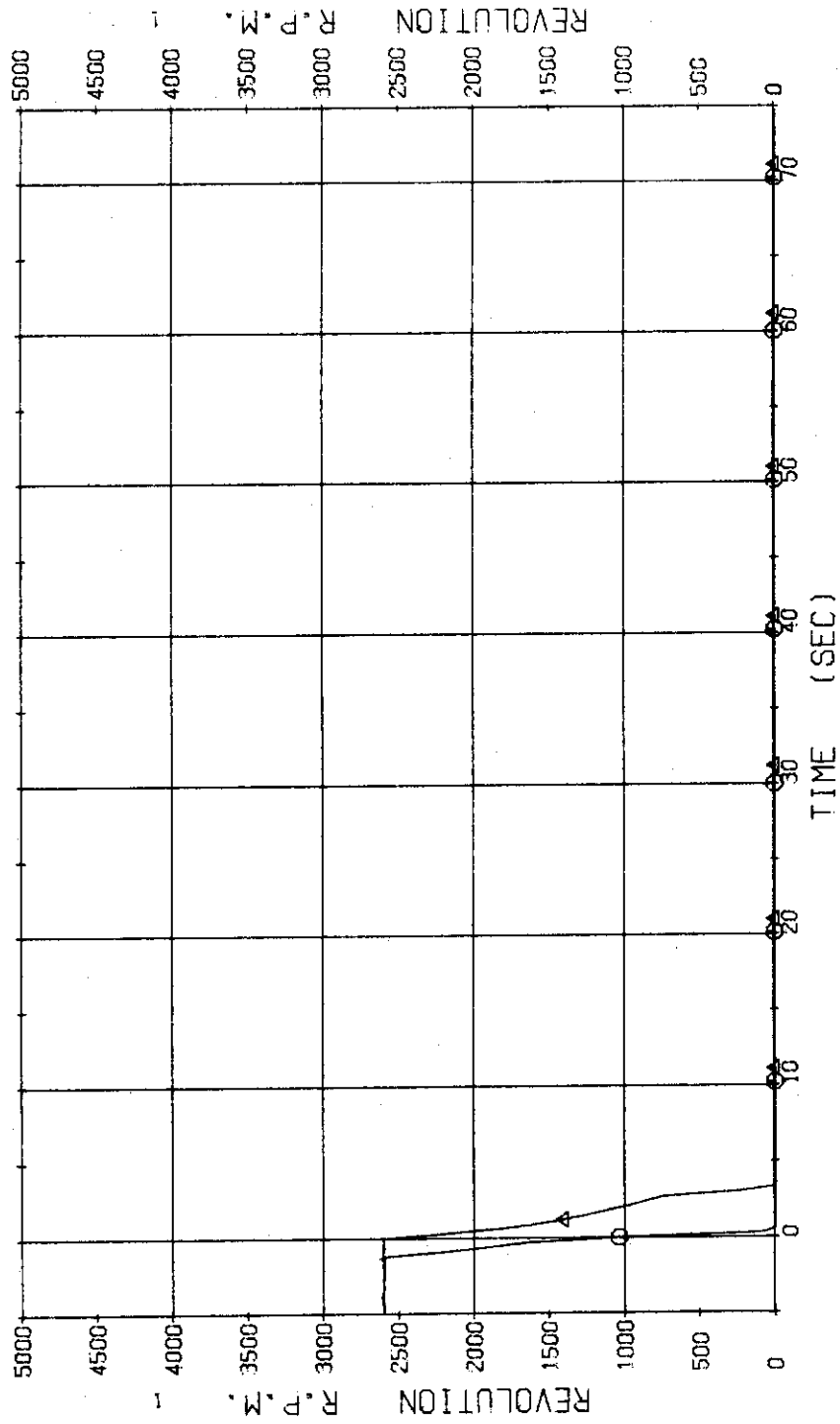


Fig. 3.2.24 Pump Revolution Numbers --- Run 314

RUN 315 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 23.6/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
 ECCS --- HF1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH- 1 (P- 1 (PV- UPPER PLENUM)
 CH- 12 (P- 12 (PRESSURIZER)

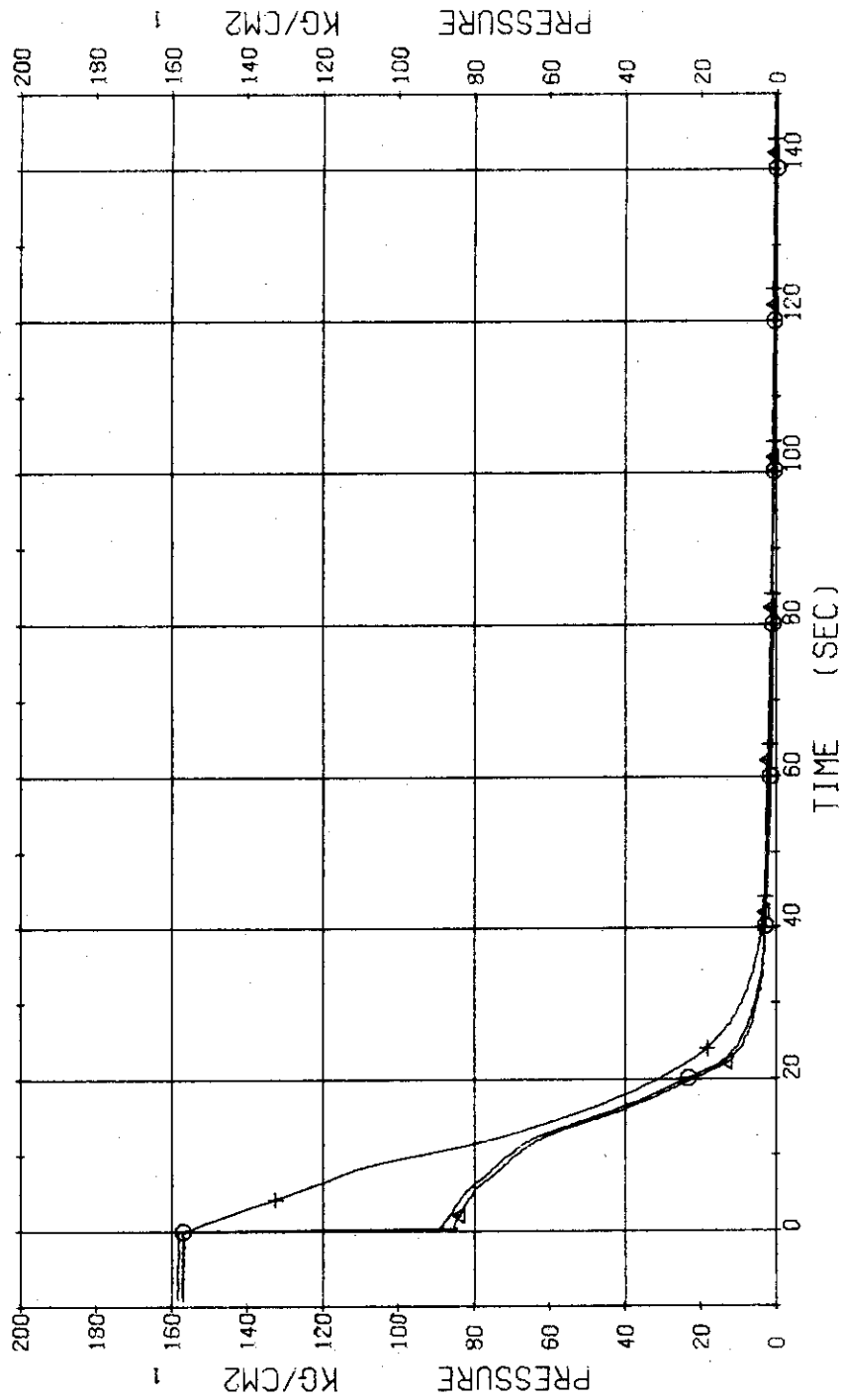


Fig. 3.3.1 Pressure in Pressure Vessel and Pressurizer --- Run 315

RUN 315 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 23.6/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L

CH- 3 () P- 3 () (ABOVE NO.1 ORIFICE)
 CH- 5 () P- 5 () (ABOVE NO.2 ORIFICE)
 CH- 8 () P- 8 () (P. 1 PUMP SUCTION)

CH- 4 () P- 4 () (BELOW NO.1 ORIFICE)
 CH- 7 () P- 7 () (SG 1 INLET)

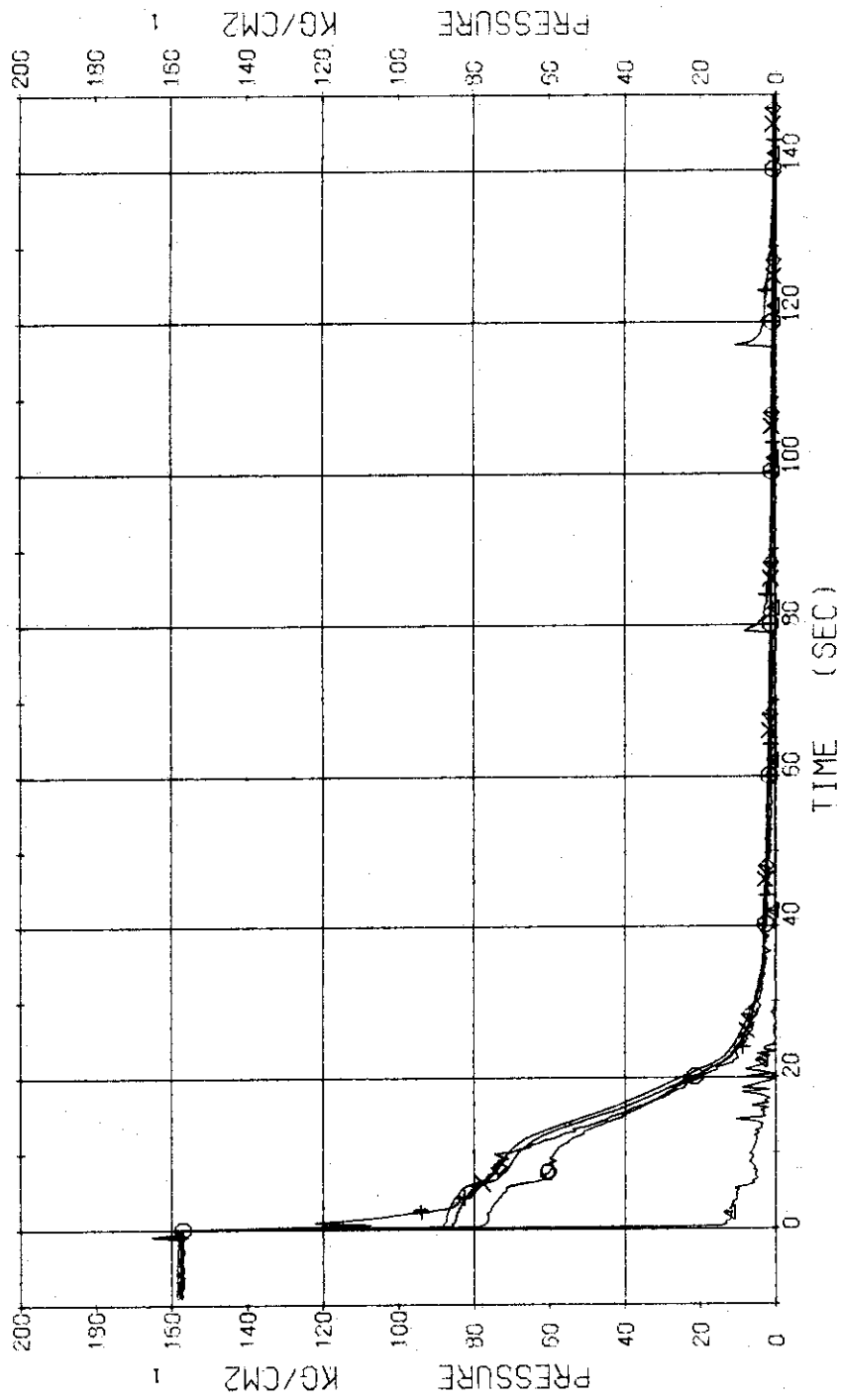


Fig. 3.3.2 Pressure in Blowdown Loop --- Run 315

RUN 315 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 23.6/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
 ECCS --- HF1-- HF2-- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH- 9 OH P- 9 (SC 2 INLET) CH- 10 AI P-10 (SC 2 OUTLET)
 CH- 11 HI P-11 (P 2 PUMP DELIVERY)

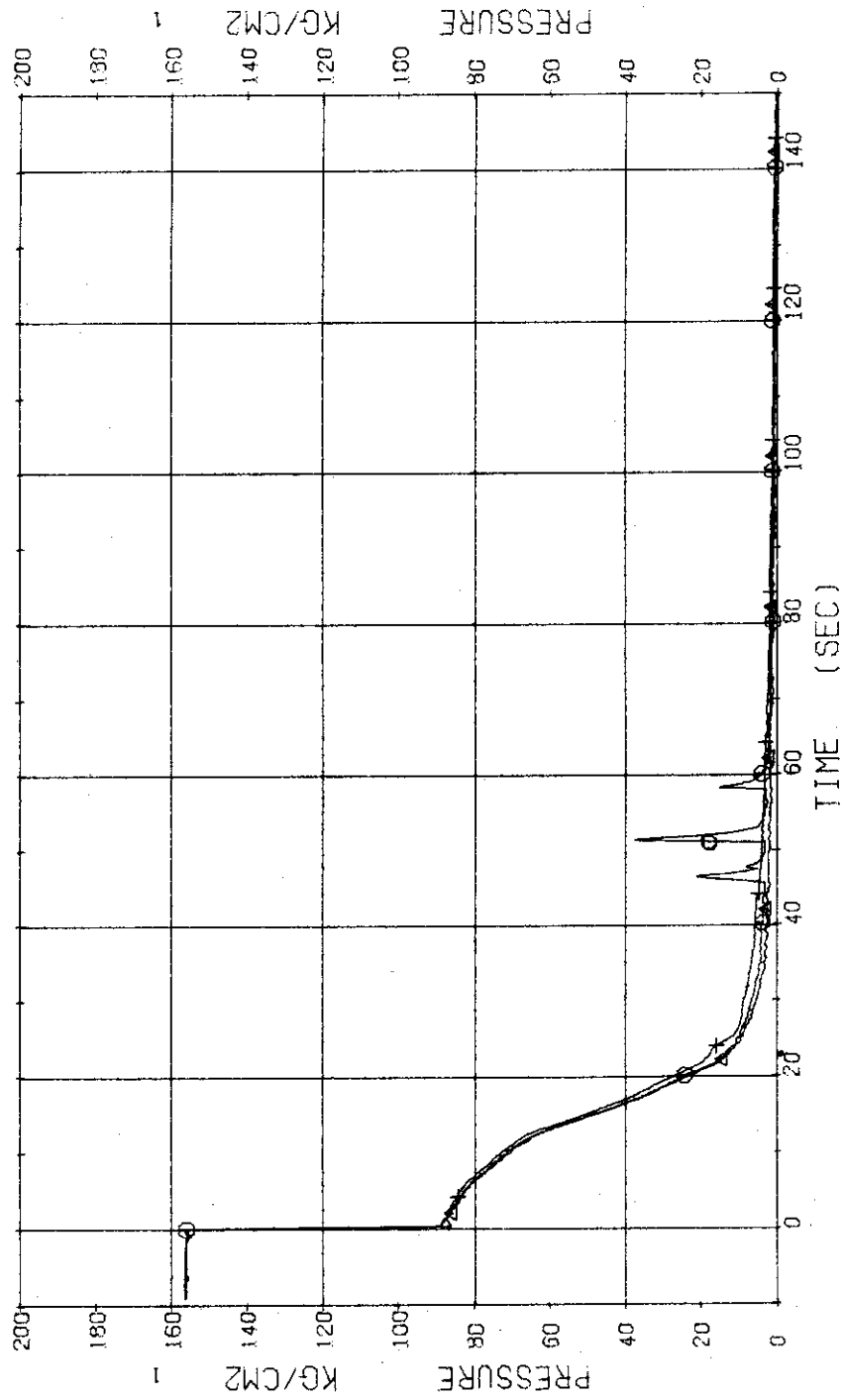


Fig. 3.3.3 Pressure in Intact Loop ---- Run 315

RUN 315 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 23.6/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH-13 01 P-13 (SC-SHELL SIDE)

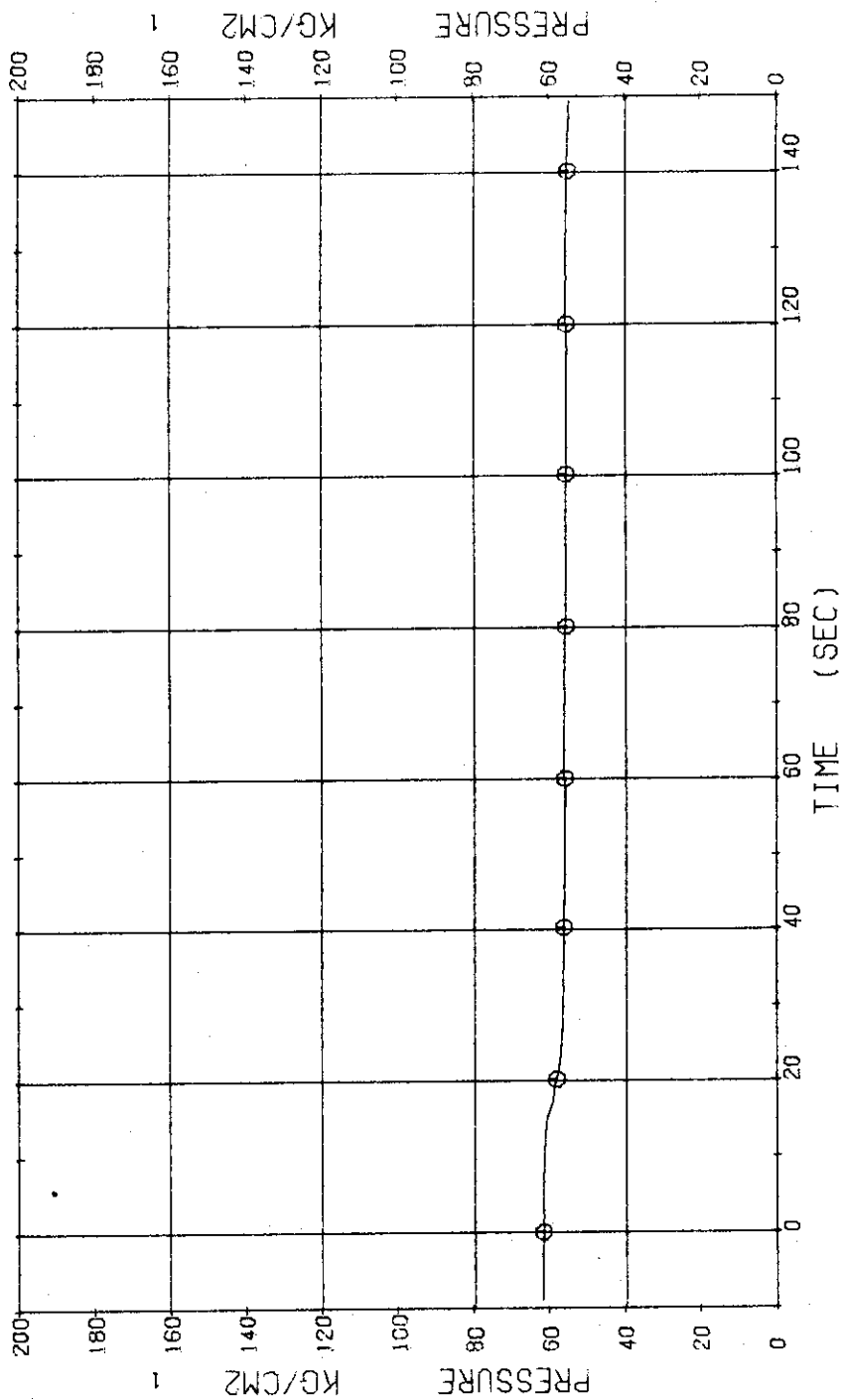


Fig. 3.3.4 Pressure in Secondary System --- Run 315

RUN 315 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 23.6/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
 ECCS ---- HP1-- HP2-- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH- 14 01 D- 1 (PV.TOP-BOTTOM)

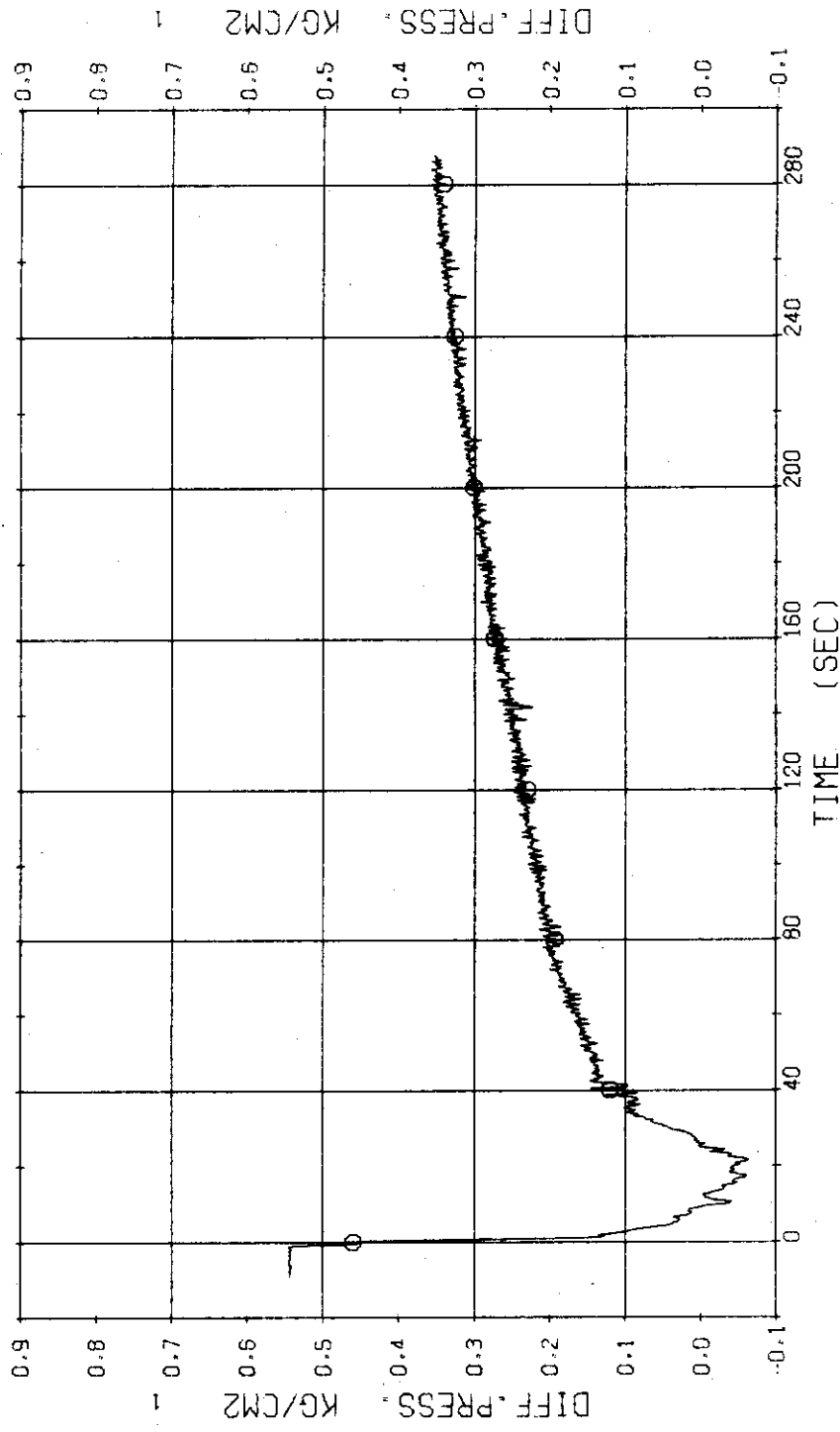


Fig. 3.3.5 Differential Pressure between Top and Bottom of Pressure Vessel --- Run 315

RUN 315 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 23.6/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH- 18 0- 5 (SC 1 INLET-OUTLET)

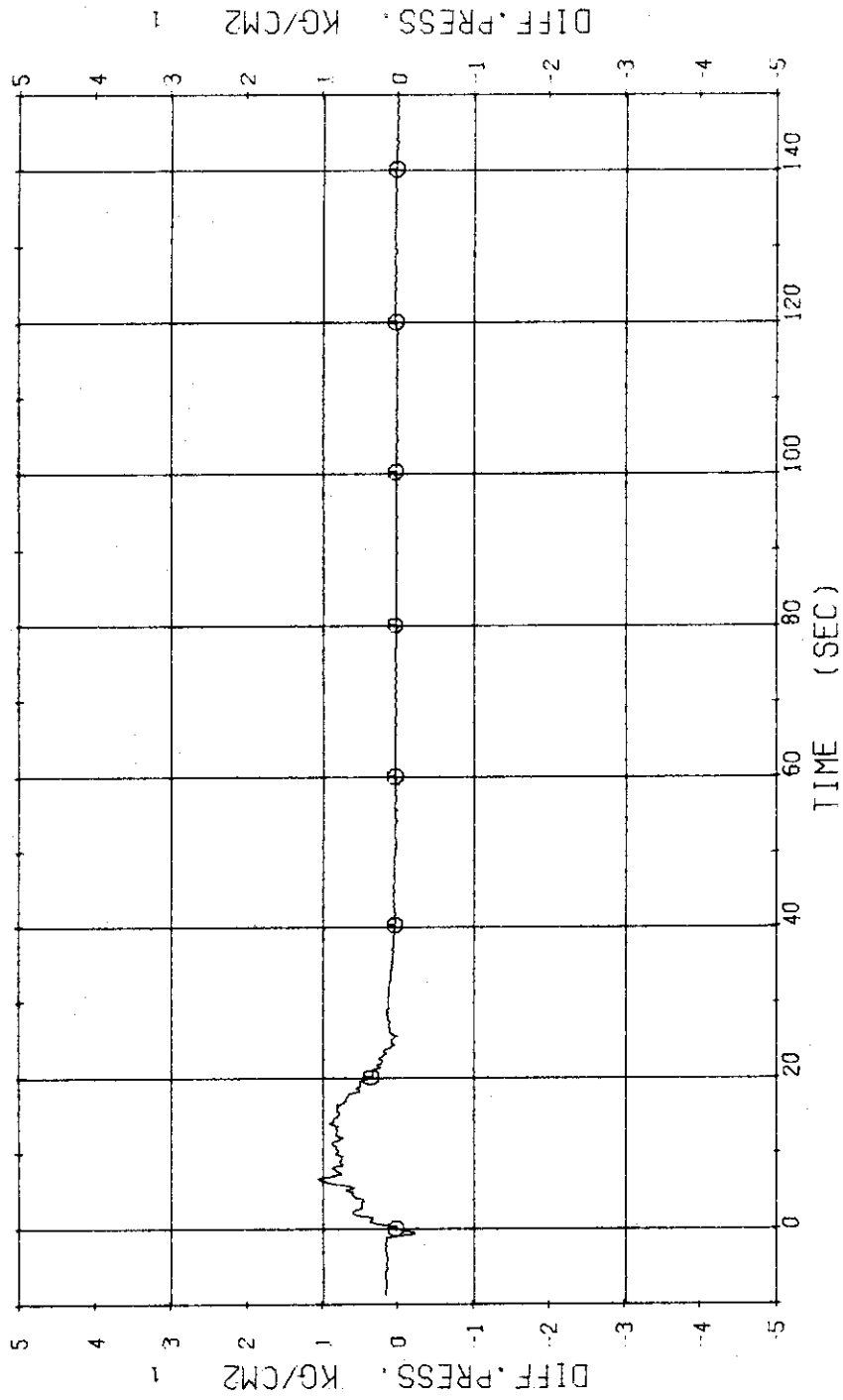


Fig. 3.3.6 Differential Pressure across SGI ---- Run 315

RUN 315 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 23.6/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH-19 0-6 (SC 2 INLET-OUTLET) CH-21 Δ 0-8 (P2 PUMP DELIVERY-SUCTION)

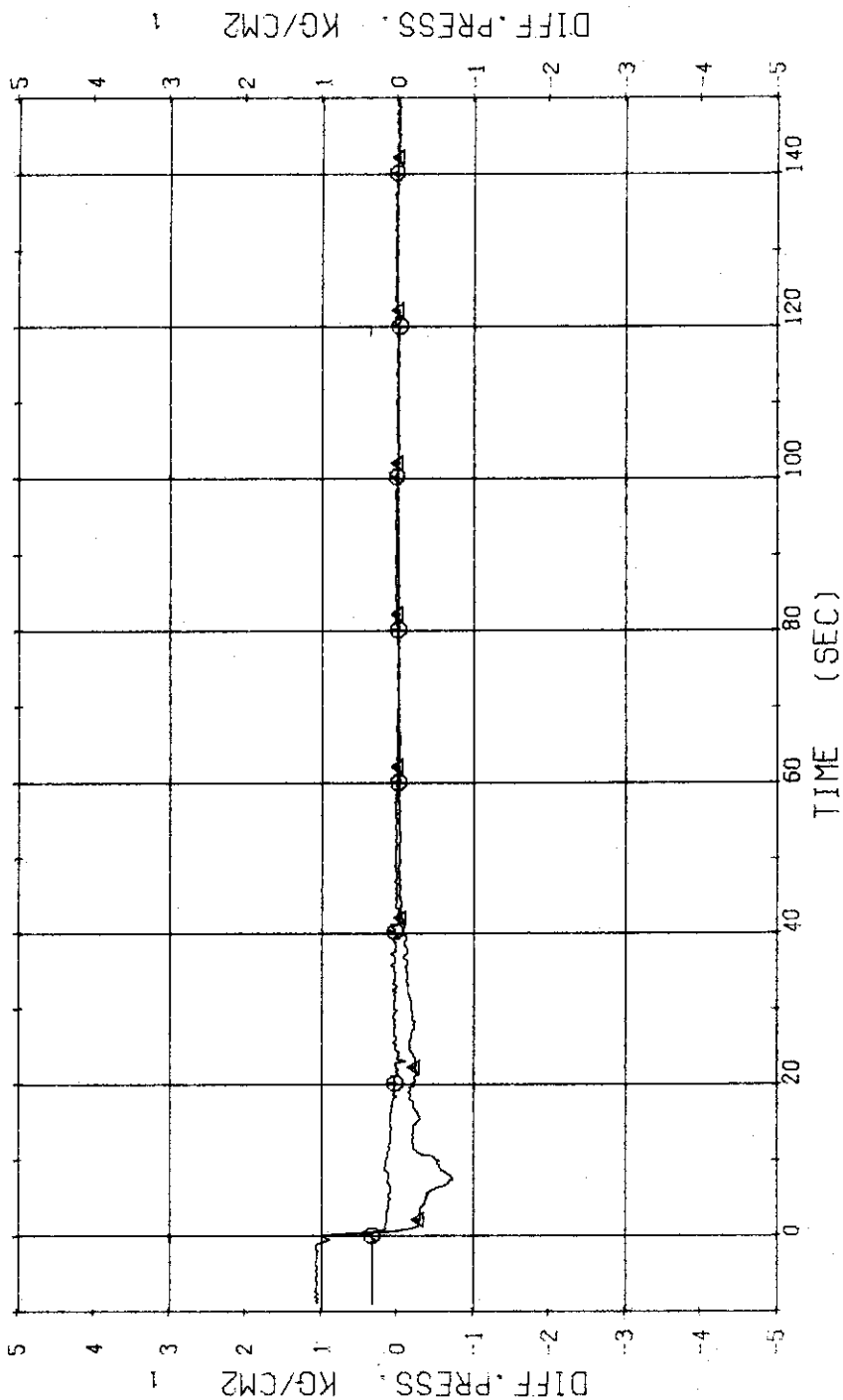


Fig. 3.3.7 Differential Pressure across SG2 and P2 Pump --- Run 315

RUN 315 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 23.6/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH- 22 @ F- 1 (CONDENSATE NO.1) CH- 24 Δ F- 3 (COOLING WATER NO.1)

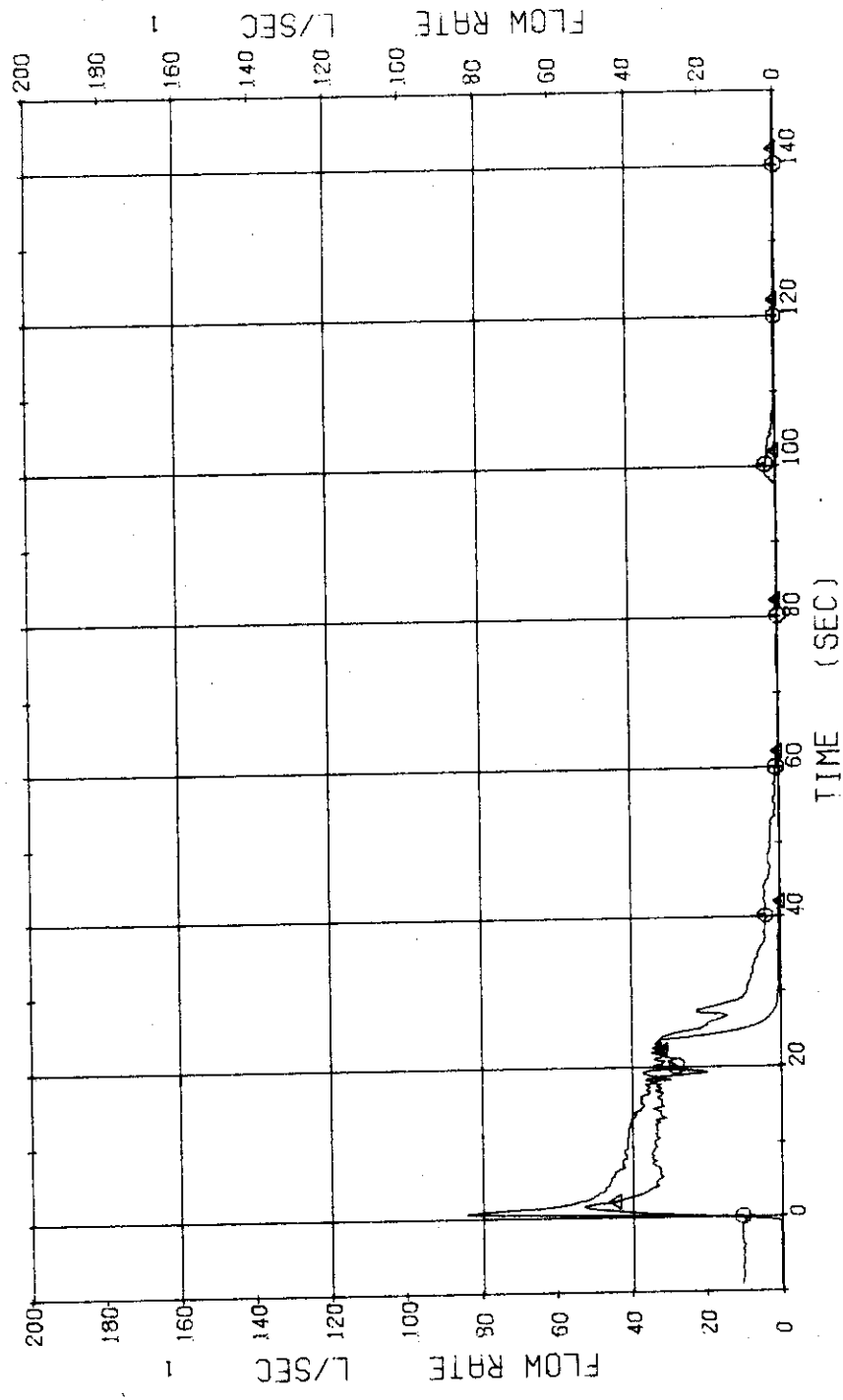


Fig. 3.3.8 Volumetric Flow Rates of Condensed Water and Cooling Water of No.1 Break Unit ---- Run 315

RUN 315 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 23.6/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH- 23 01 F- 2 (CONDENSATE NO.2) CH- 25 Δ1 F- 4 (COOLING WATER NO.2)

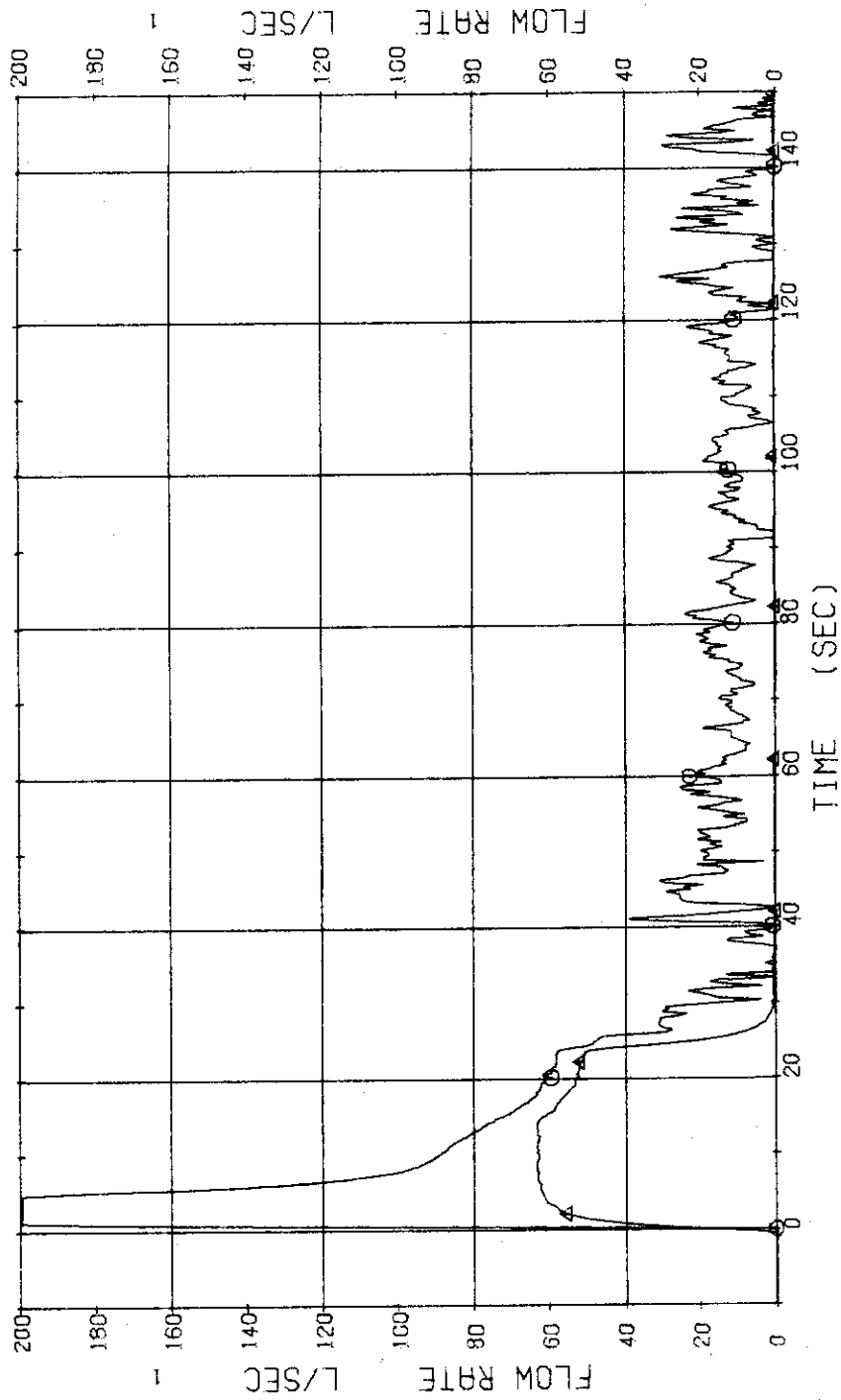


Fig. 3.3.9 Volumetric Flow Rates of Condensed Water and Cooling Water of No.2 Break Unit --- Run 315

RUN 315 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 23.6/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- HP2- AC1-C LP1-C LP2-L
 CH-110 (DISCHARGE FLOW RATE 1)

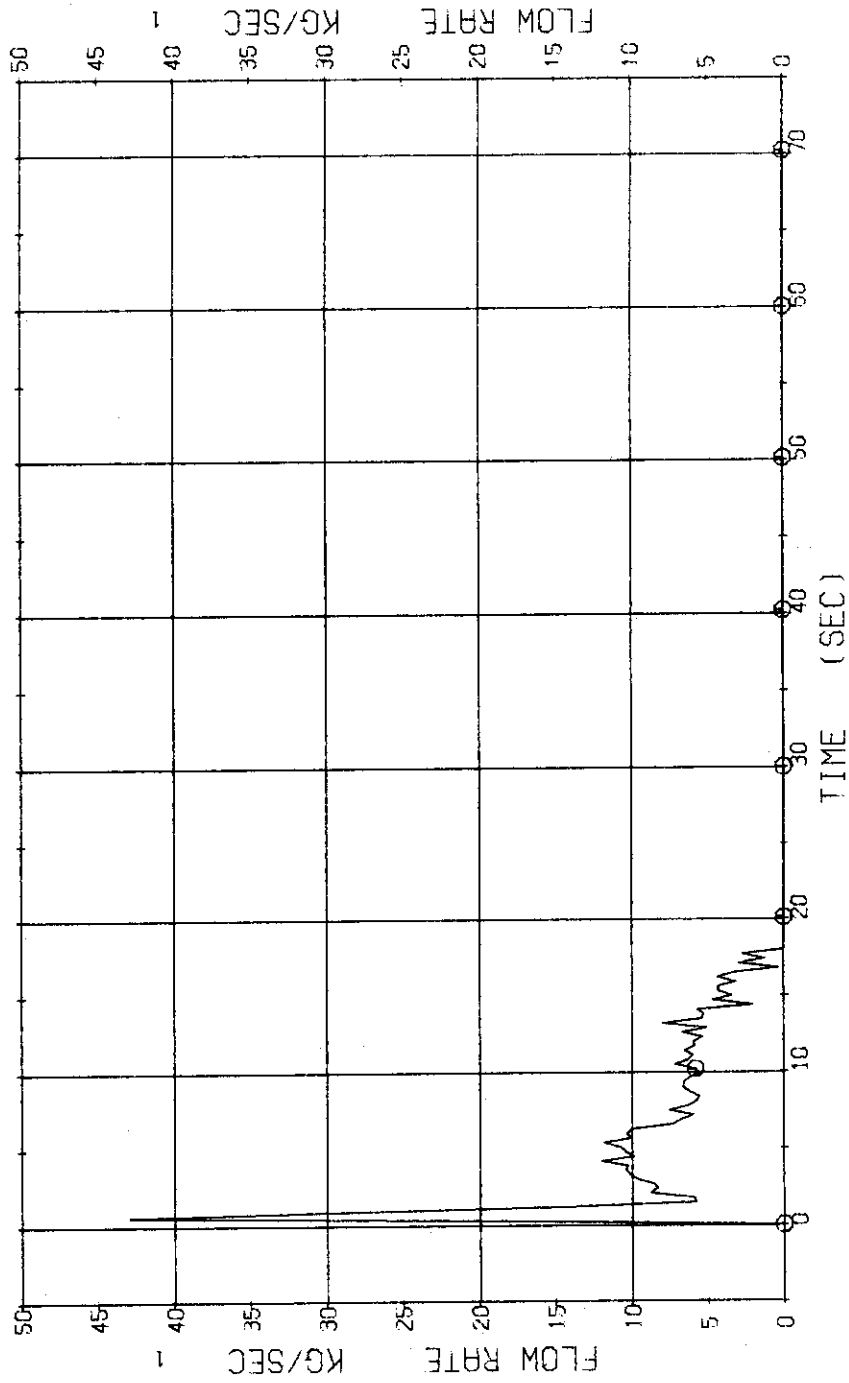


Fig. 3.3.10 Discharge Mass Flow Rate at No.1 Break Unit --- Run 315

RUN 315 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 23.6/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
 ECCS ---- HP1-- HP2-- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-I
 CH-111 CH X-1 (FLUID QUALITY 1)

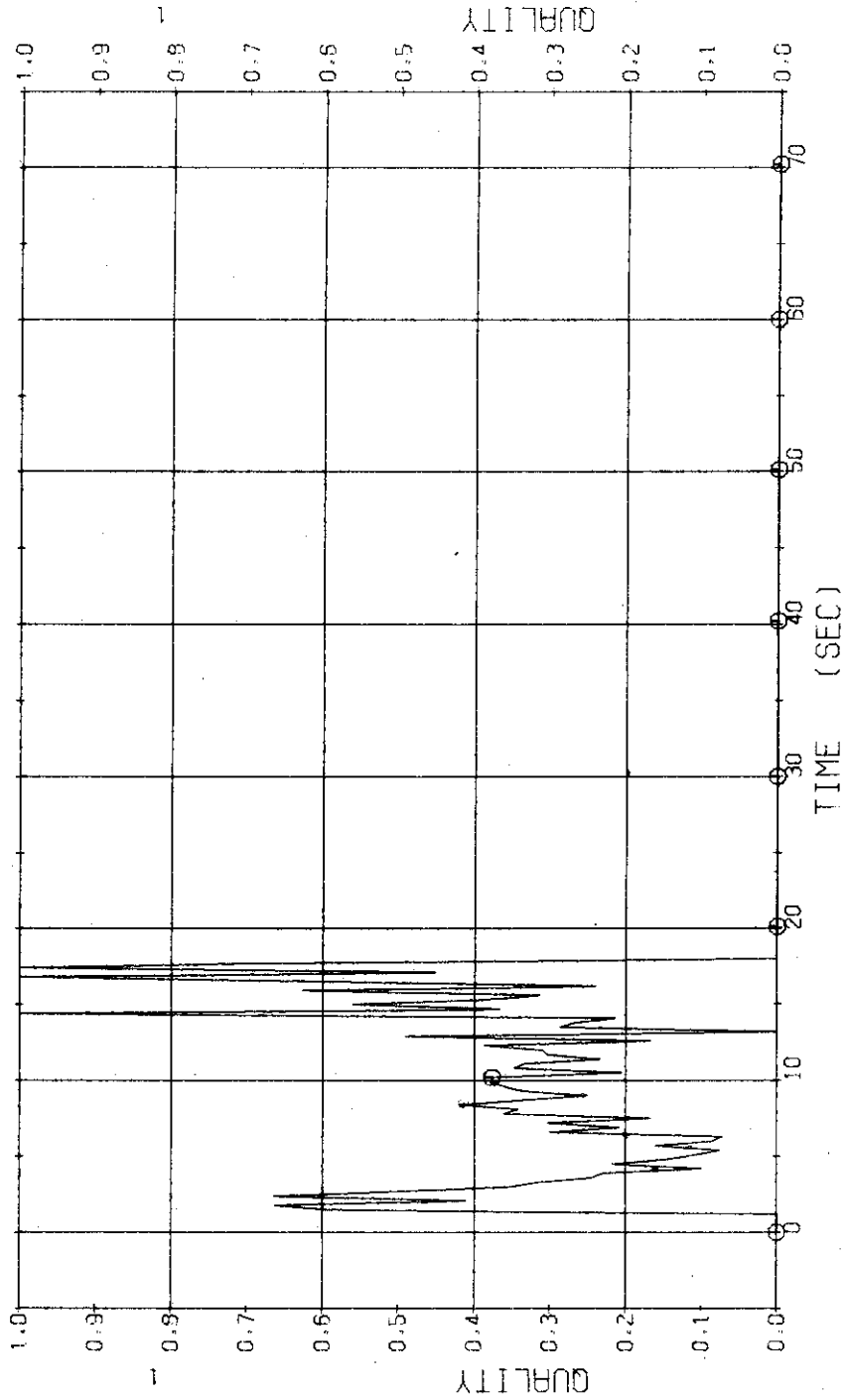


Fig. 3.3.11 Fluid Quality of Discharge Flow at No.1 Break Unit ---- Run 315

RUN 315 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 23.6/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L

CH-112 (F-15 (DISCHARGE FLOW RATE 2))

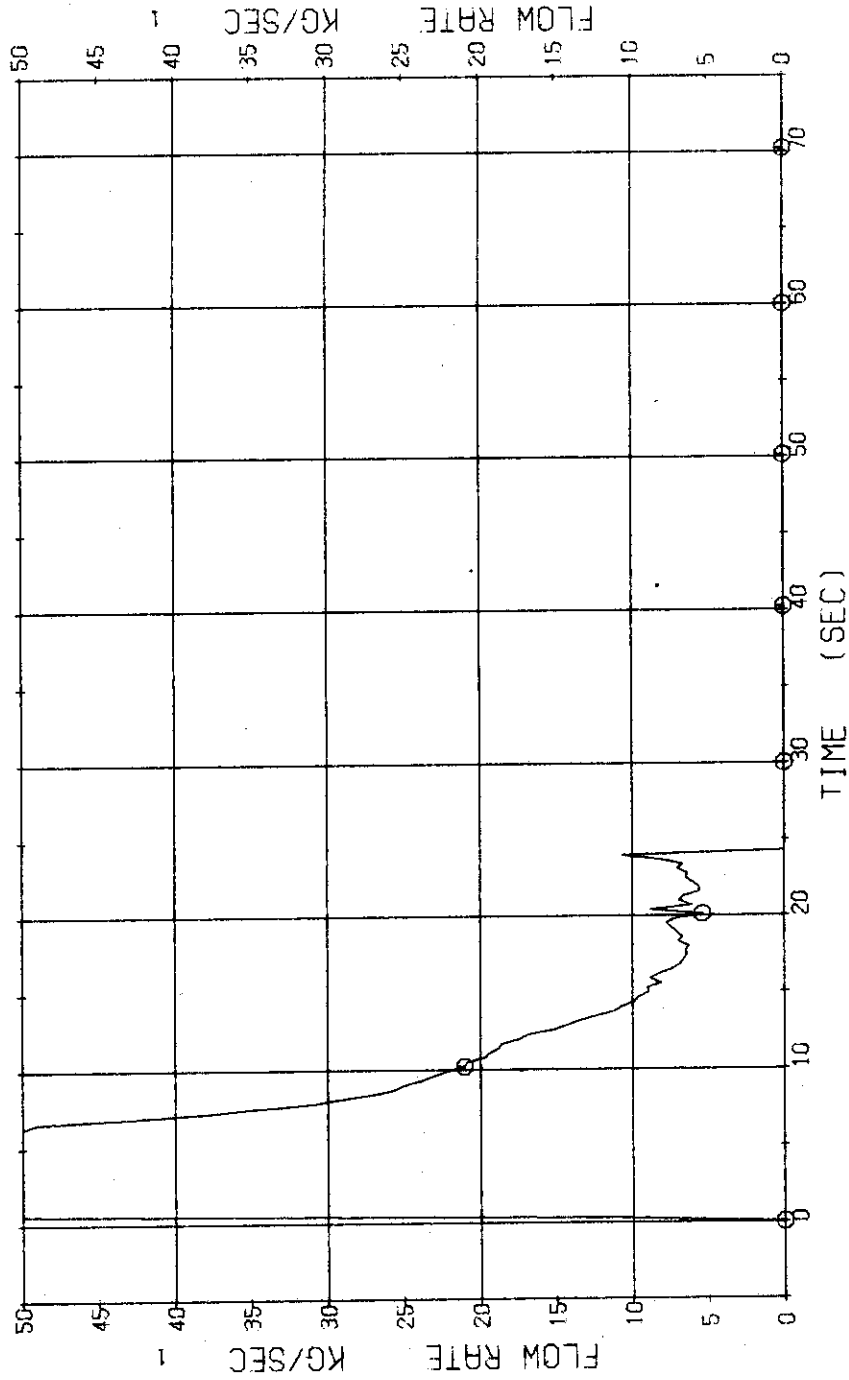


Fig. 3.3.12 Discharge Mass Flow Rate at No.2 Break Unit ---- Run 315

RUN 315 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 23.6/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1-- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH-113 01 X-2 (FLUID QUALITY 2)

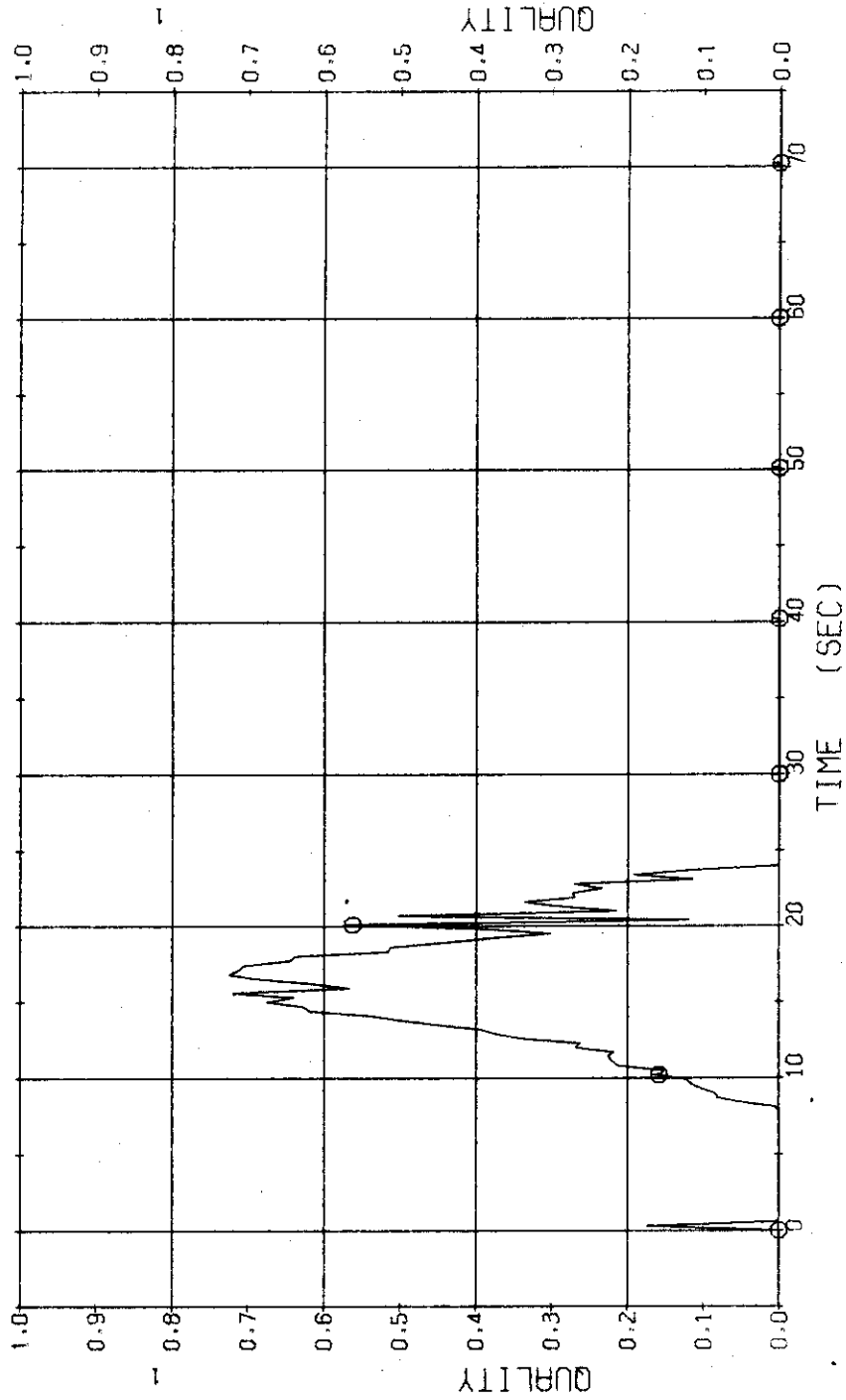


Fig. 3.3.13 Fluid Quality of Discharge Flow at No.2 Break Unit --- Run 315

RUN 315 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 23.6/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH- 74 (I- 3 (CONDENSATE NO.1)) CH- 75 (A) T- 4 (CONDENSATE NO.2)

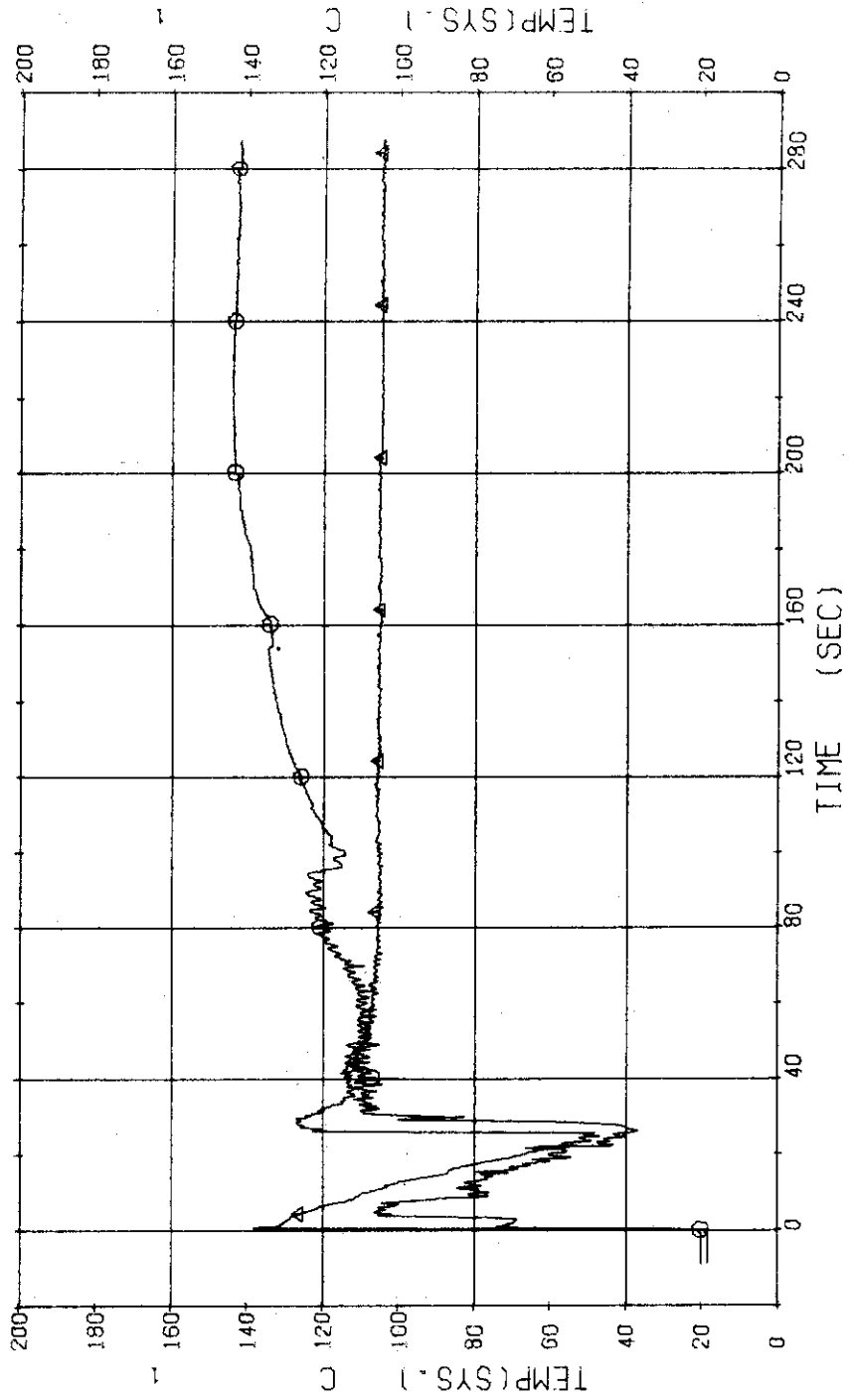


Fig. 3.3.14 Fluid Temperatures of Condensed Waters at No.1 and No.2
 Break Units --- Run 315

RUN 315 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 23.6/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-I
 CH-31 CH F-10 (ACC 2) }
 CH-34 #3 F-13 (LPCI) }
 CH-33 #2 F-12 (LPCI)

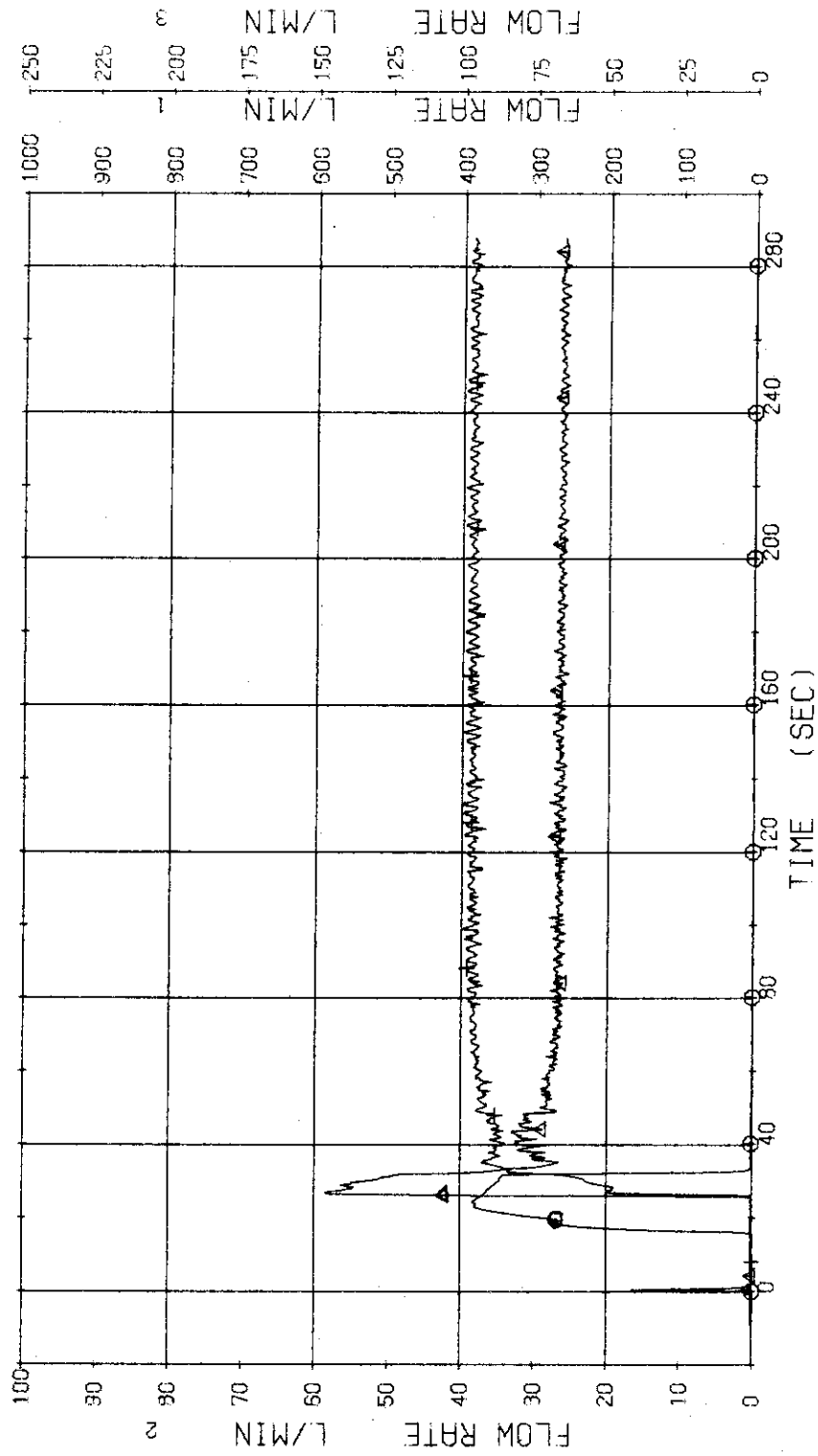


Fig. 3.3.15 Injection Flow Rates of ACC2 and LPCI of Two Injection Locations --- Run 315

RUN 315 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 23.6/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH-35 (W-1 (HIGH FLUX RODS) CH-119 (2 0-1 (PEAK OF HIGH FLUX RODS)

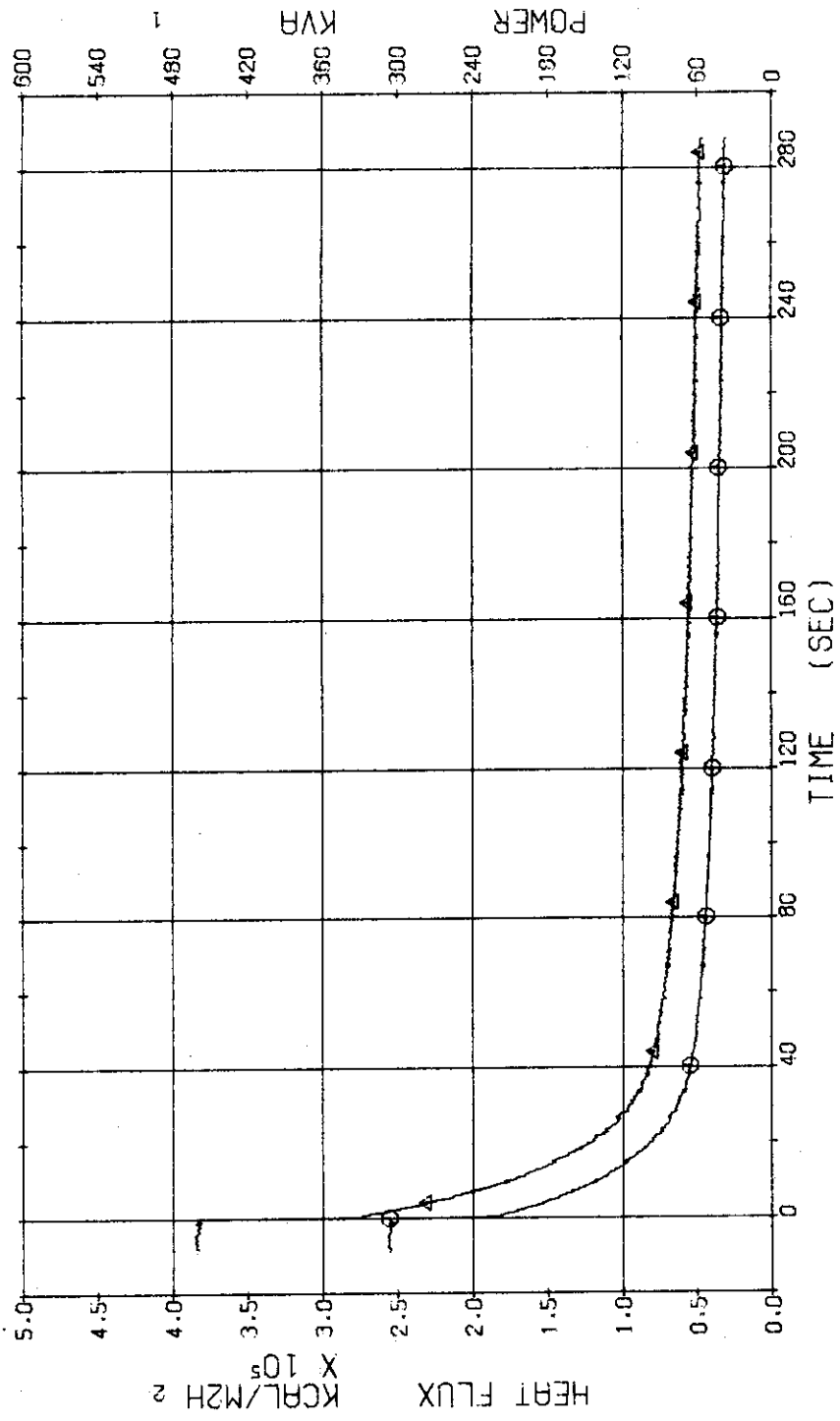


Fig. 3.3.16 Electric Power and Heat Flux for High Heat Flux Rods --- Run 315

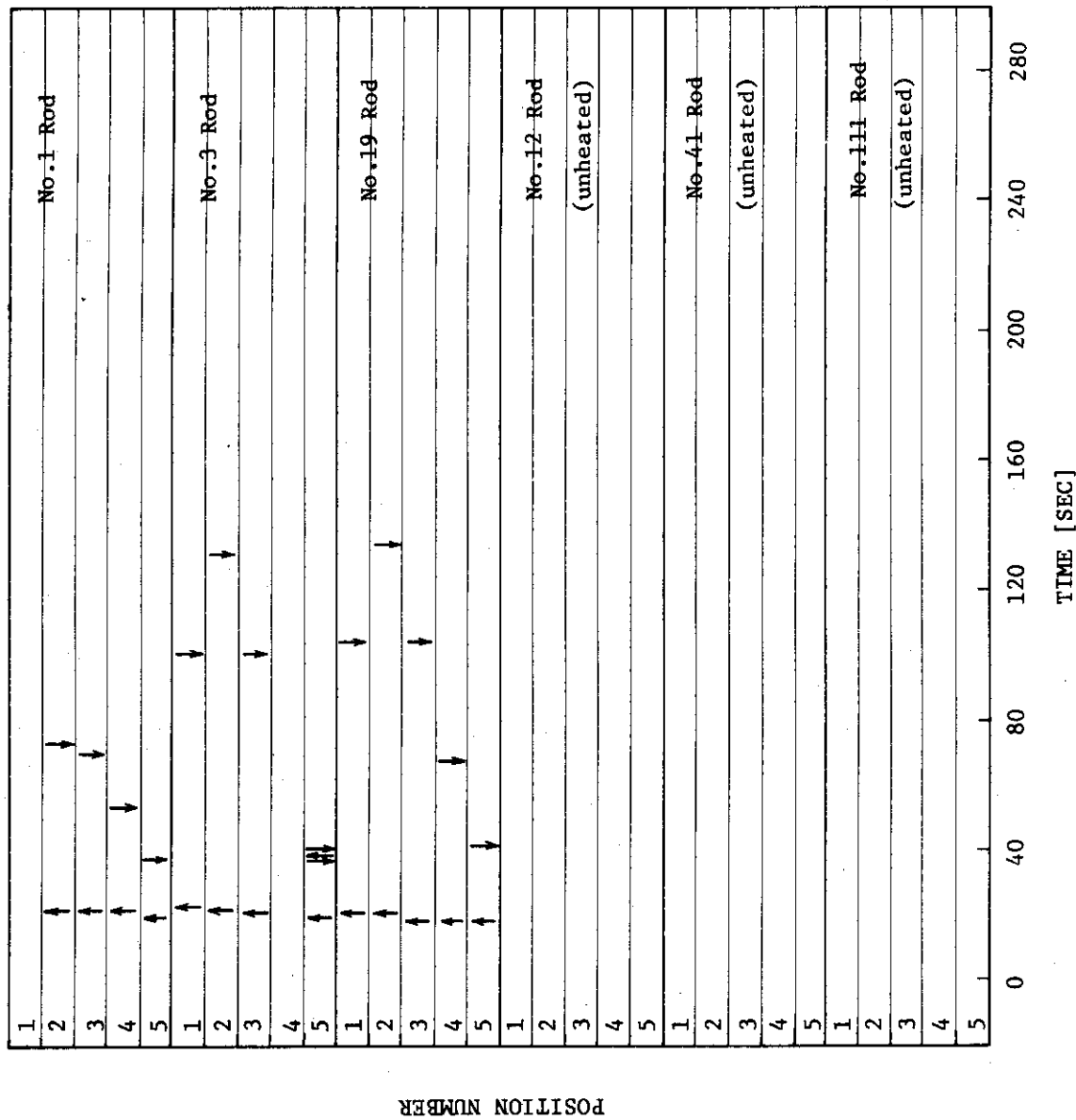


Fig. 3.3.17 Temperature Rise Time and Quench Time of Fuel Rods --- Run 315

↑: temperature rise
 (↓: quench)

RUN 315 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 23.6/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH- 38 OI TF-2 (NO.1 POSITION 2) CH- 39 ΔI TF-3 (NO.1 POSITION 3)
 CH- 40 +I TF-4 (NO.1 POSITION 4) CH- 41 XI TF-5 (NO.1 POSITION 5)

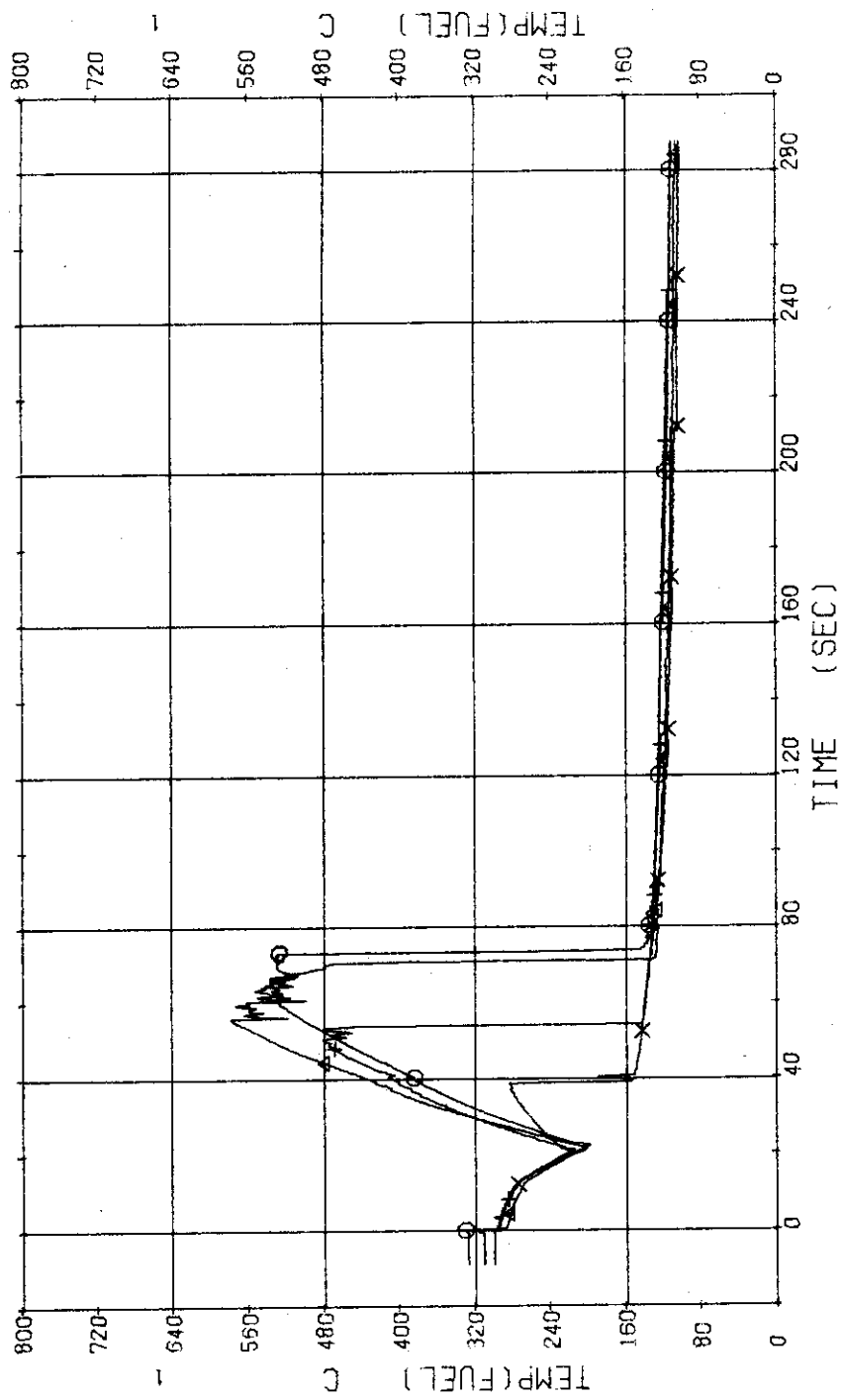


Fig. 3.3.18 Surface Temperatures of High Heat Flux Rod (No.1) at the Center of Core --- Run 315

RUN 315 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 23.6/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECCS --- HP1-- HP2-- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L

CH- 42 (1) TF-6 (NO.3 POSITION 1) CH- 43 (Δ) TF-7 (NO.3 POSITION 2)

CH- 44 (+) TF-8 (NO.3 POSITION 3) CH- 45 (X) TF-10 (NO.3 POSITION 5)

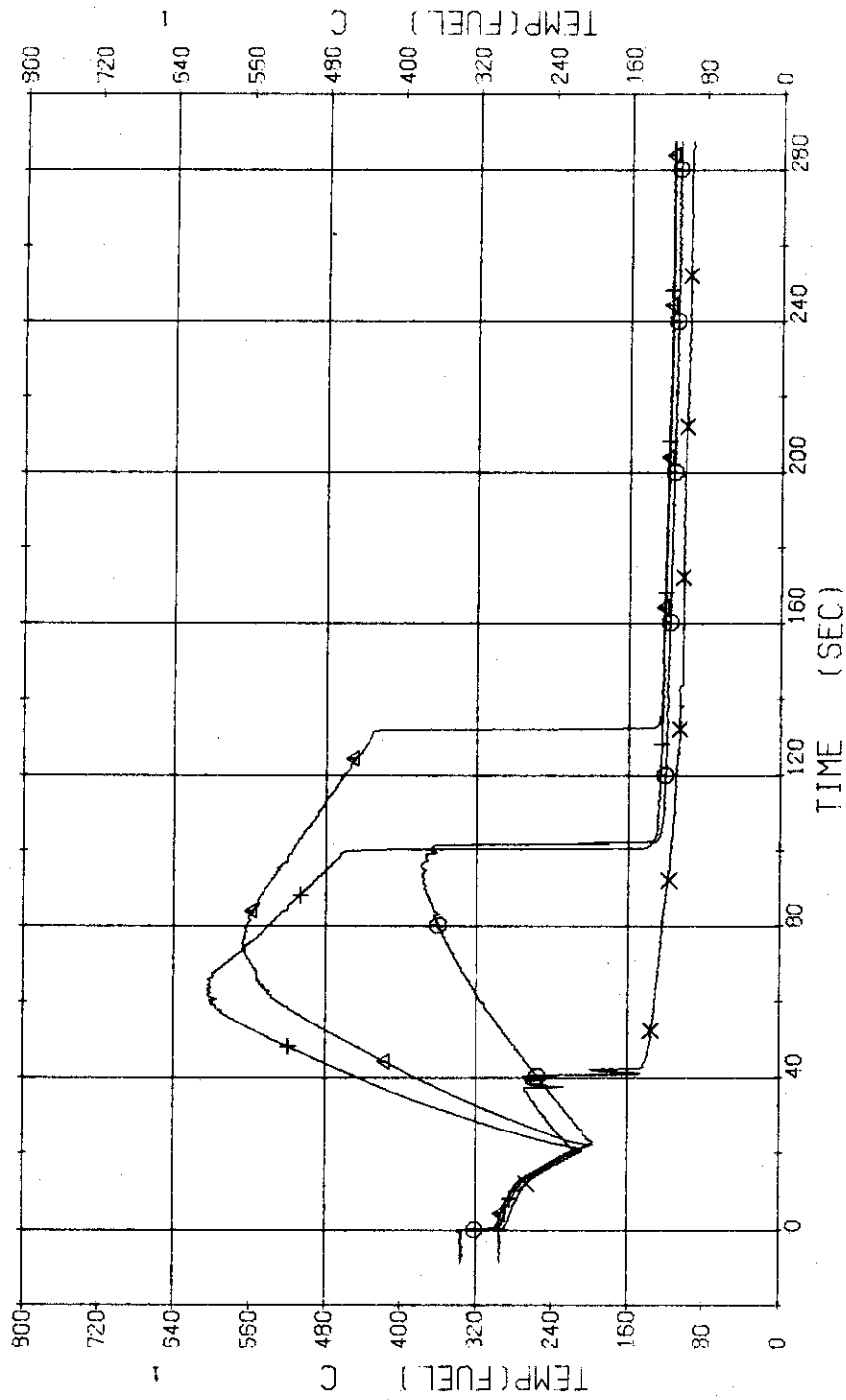


Fig. 3.3.19 Surface Temperatures of High Heat Flux Rod (No.3) near the Center of Core --- Run 315

RUN 315 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 23.6/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH- 47 ○ TF11 (NO.19 POSITION 1)
 CH- 49 + TF13 (NO.19 POSITION 3)
 CH- 51 ◊ TF15 (NO.19 POSITION 5)
 CH- 48 ▲ TF12 (NO.19 POSITION 2)
 CH- 50 × TF14 (NO.19 POSITION 4)

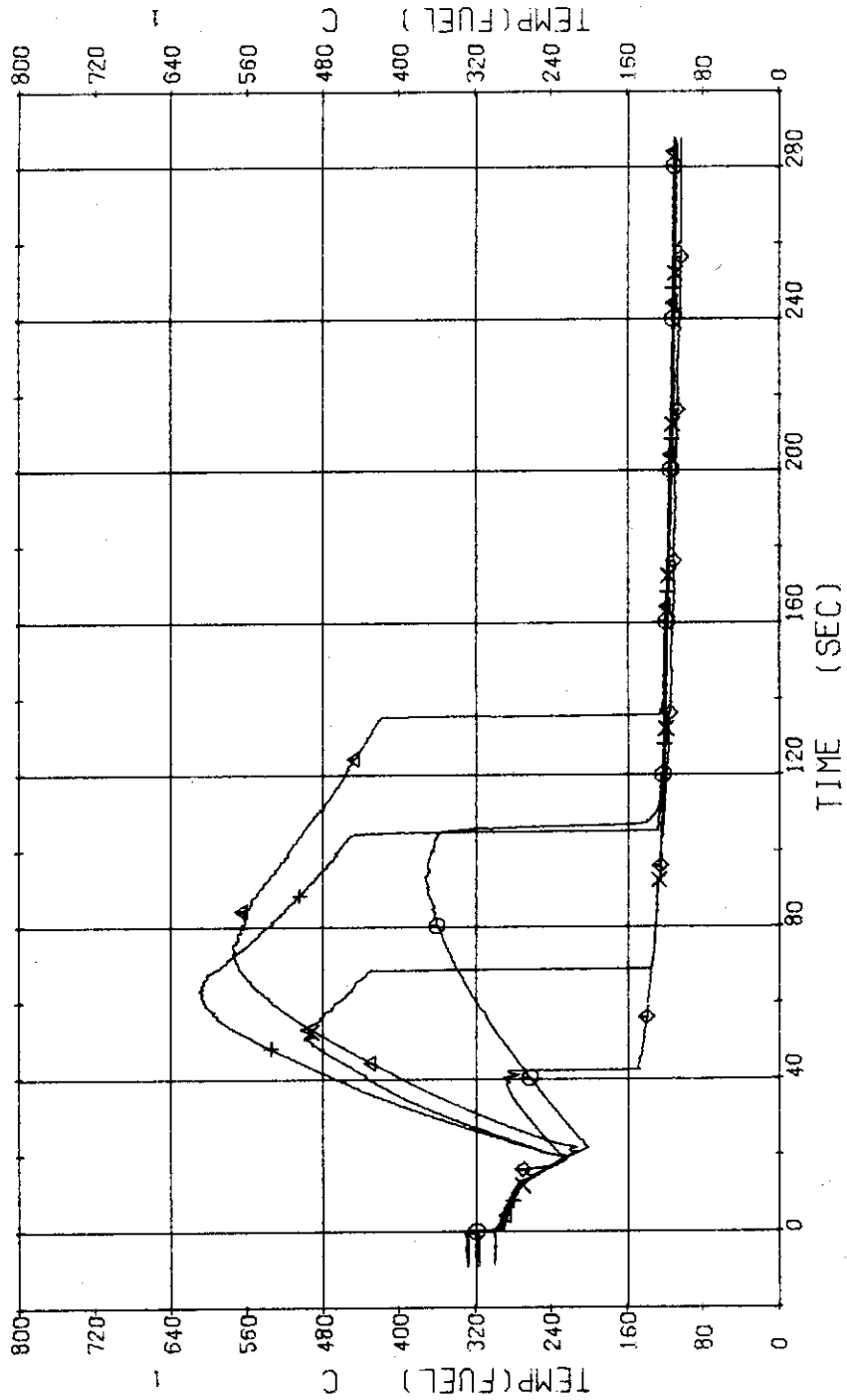


Fig. 3.3.20 Surface Temperatures of High Heat Flux Rod (No.19) in the Middle Part of Core --- Run 315

RUN 315 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 23.6/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECCS ---- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH- 53 OI TF17 (NO.12 POSITION 2))
 CH- 55 +I TF19 (NO.12 POSITION 4))
 CH- 54 AI TF18 (NO.12 POSITION 3)
 CH- 56 XI TF20 (NO.12 POSITION 5)

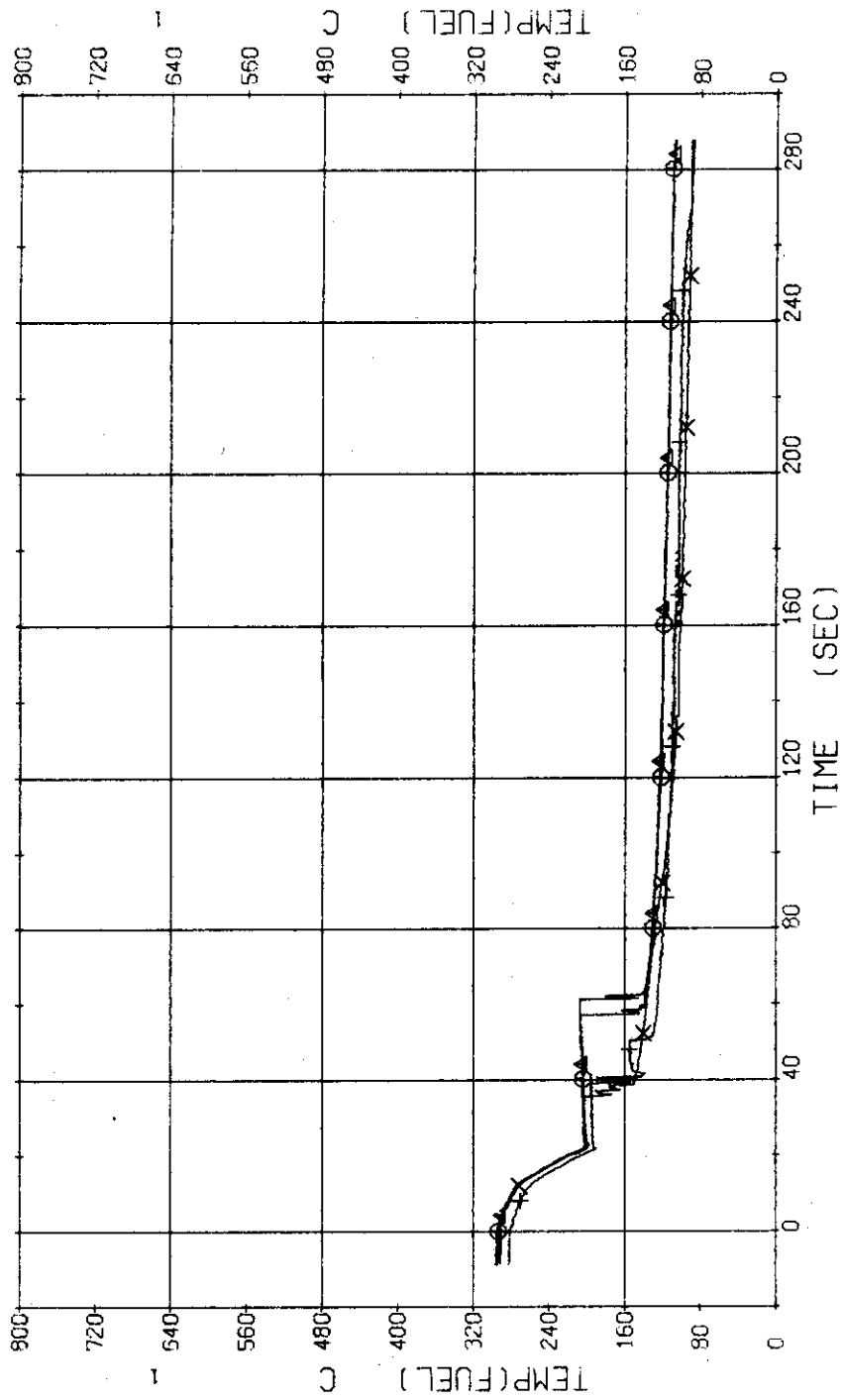


Fig. 3.3.21 Surface Temperatures of Un-heated No.12 Rod in the Middle Part of Core ---- Run 315

RUN 315 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 23.6/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH- 57 () TF21 (NO.41 POSITION 1)
 CH- 59 (+) TF23 (NO.41 POSITION 3)
 CH- 61 () TF25 (NO.41 POSITION 5)
 CH- 58 (Δ) TF22 (NO.41 POSITION 2)
 CH- 60 (X) TF24 (NO.41 POSITION 4)

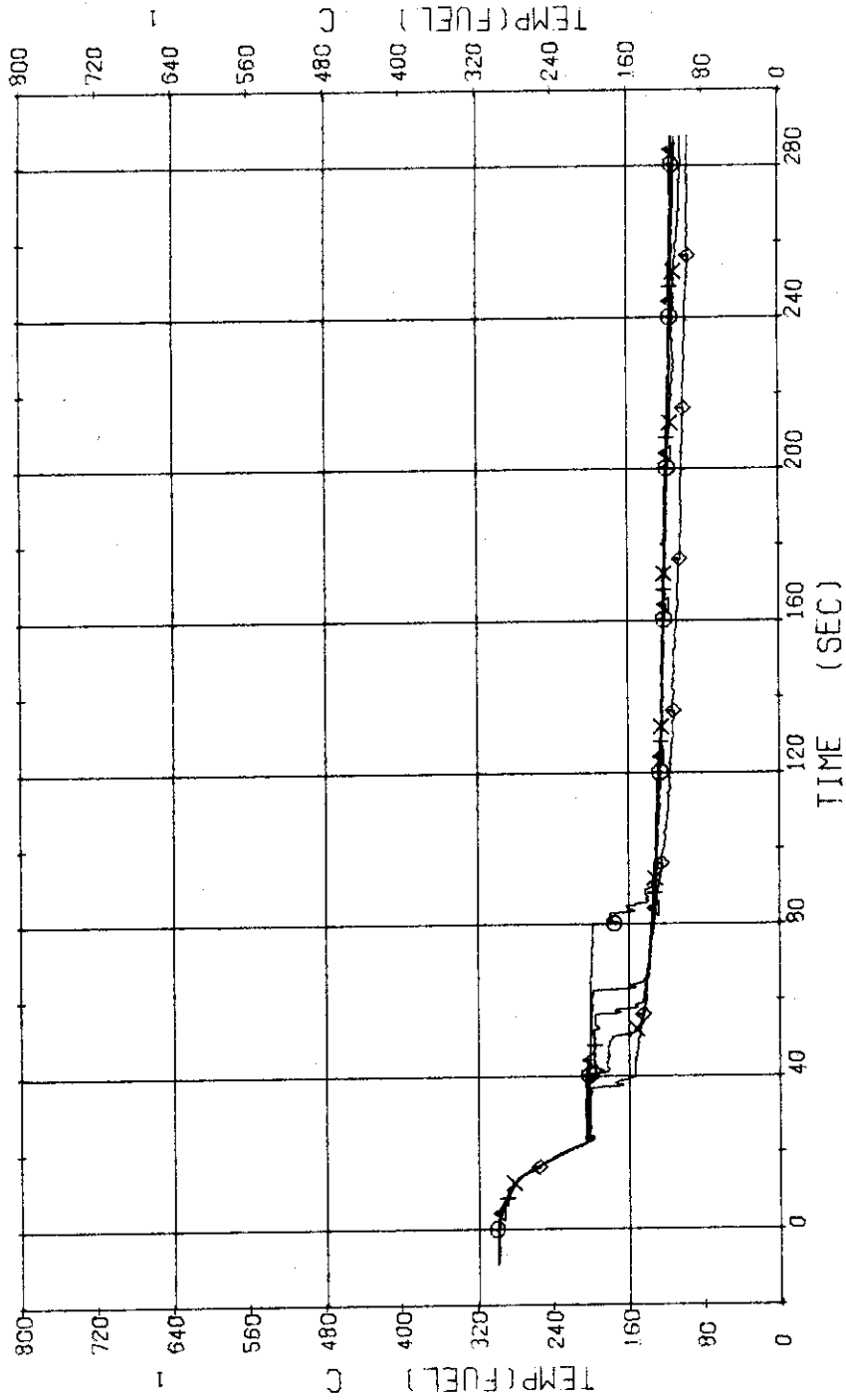


Fig. 3.3.22 Surface Temperatures of Un-heated No.41 Rod in the Middle Part of Core --- Run 315

RUN 315 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 23.6/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH-62 ◊ TF26 (NO.111 POSITION 1) CH-63 Δ TF27 (NO.111 POSITION 2)
 CH-64 + TF28 (NO.111 POSITION 3) CH-65 X TF29 (NO.111 POSITION 4)
 CH-66 ◊ TF30 (NO.111 POSITION 5)

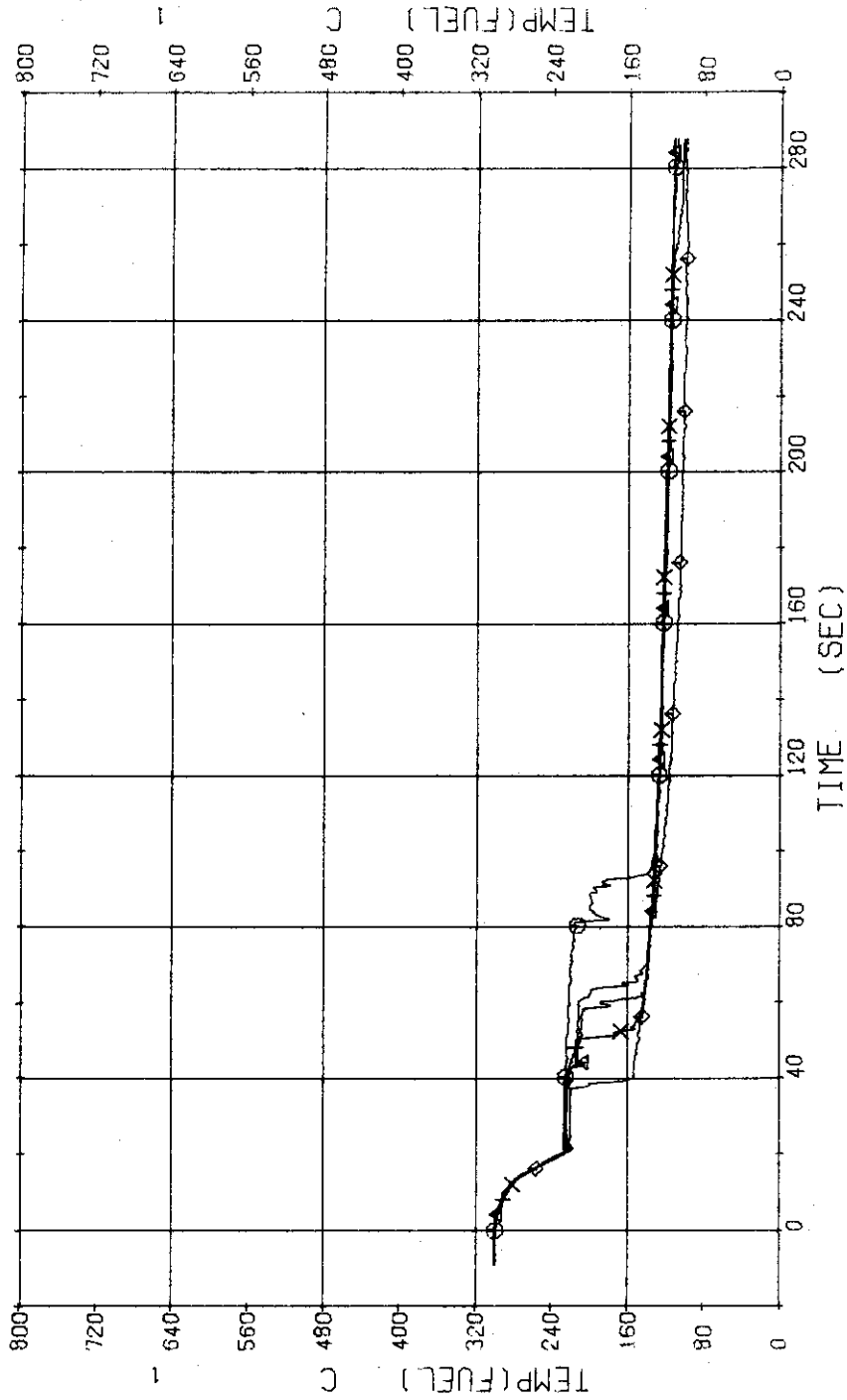


Fig. 3.3.23 Surface Temperatures of Un-heated No.111 Rod at the Outer Part of Core --- Run 315

RUN 315 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 23.6/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH- 67 ◊ TF31 (INNER SURFACE POS.1)
 CH- 69 + TF33 (INNER SURFACE POS.3)
 CH- 71 ◊ TF35 (INNER SURFACE POS.5)
 CH- 68 Δ TF32 (INNER SURFACE POS.2)
 CH- 70 X TF34 (INNER SURFACE POS.4)

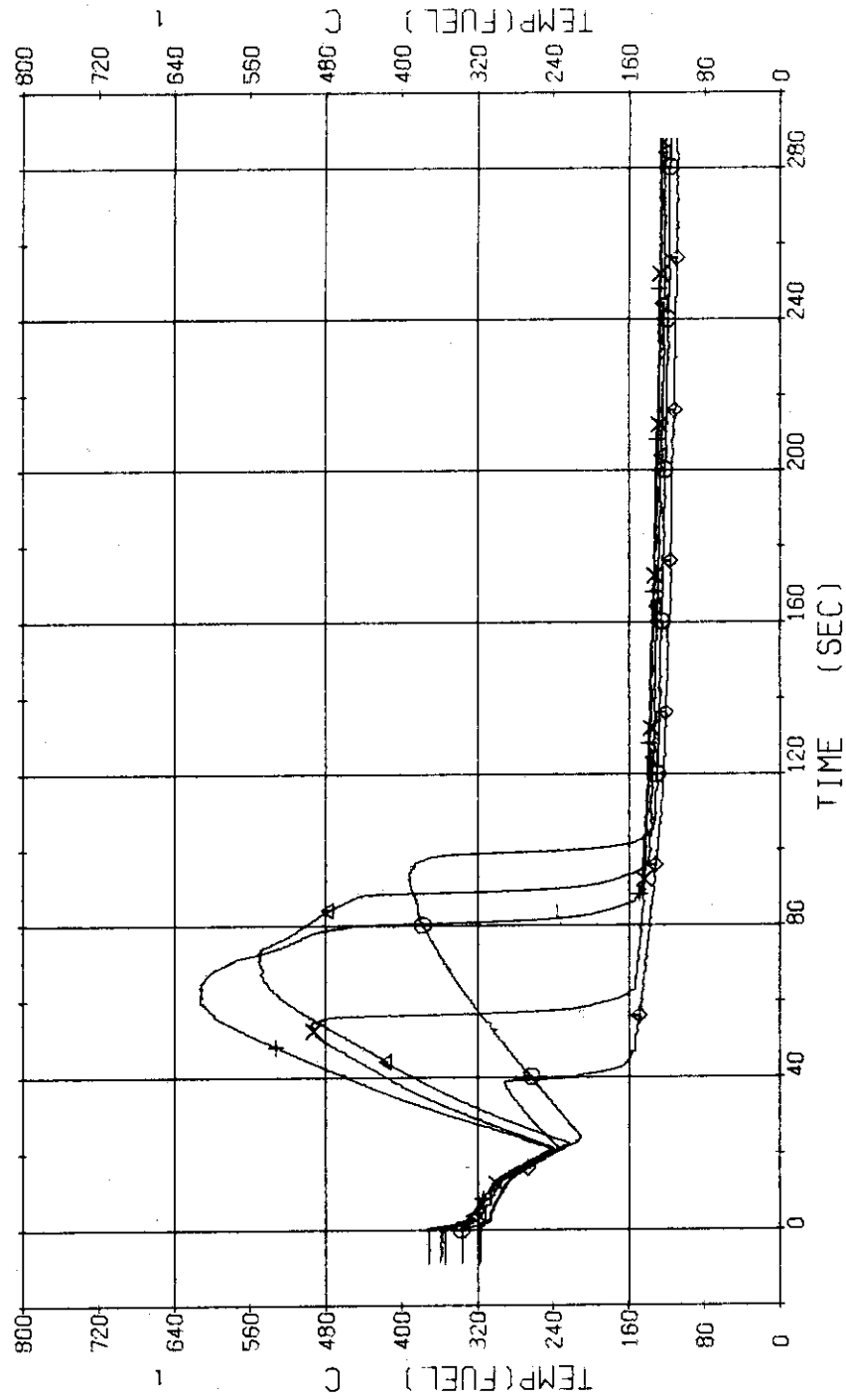


Fig. 3.3.24 Inner Surface Temperatures of Clad of No.1 Rod at the Center of Core ---- Run 315

RUN 315 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 23.6/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH-115 C1 TD-2 (TEMPERATURE DIFFERENCE 2) CH-116 A1 TD-3 (TEMPERATURE DIFFERENCE 3)
 CH-117 +1 TD-4 (TEMPERATURE DIFFERENCE 4) CH-118 X1 TD-5 (TEMPERATURE DIFFERENCE 5)

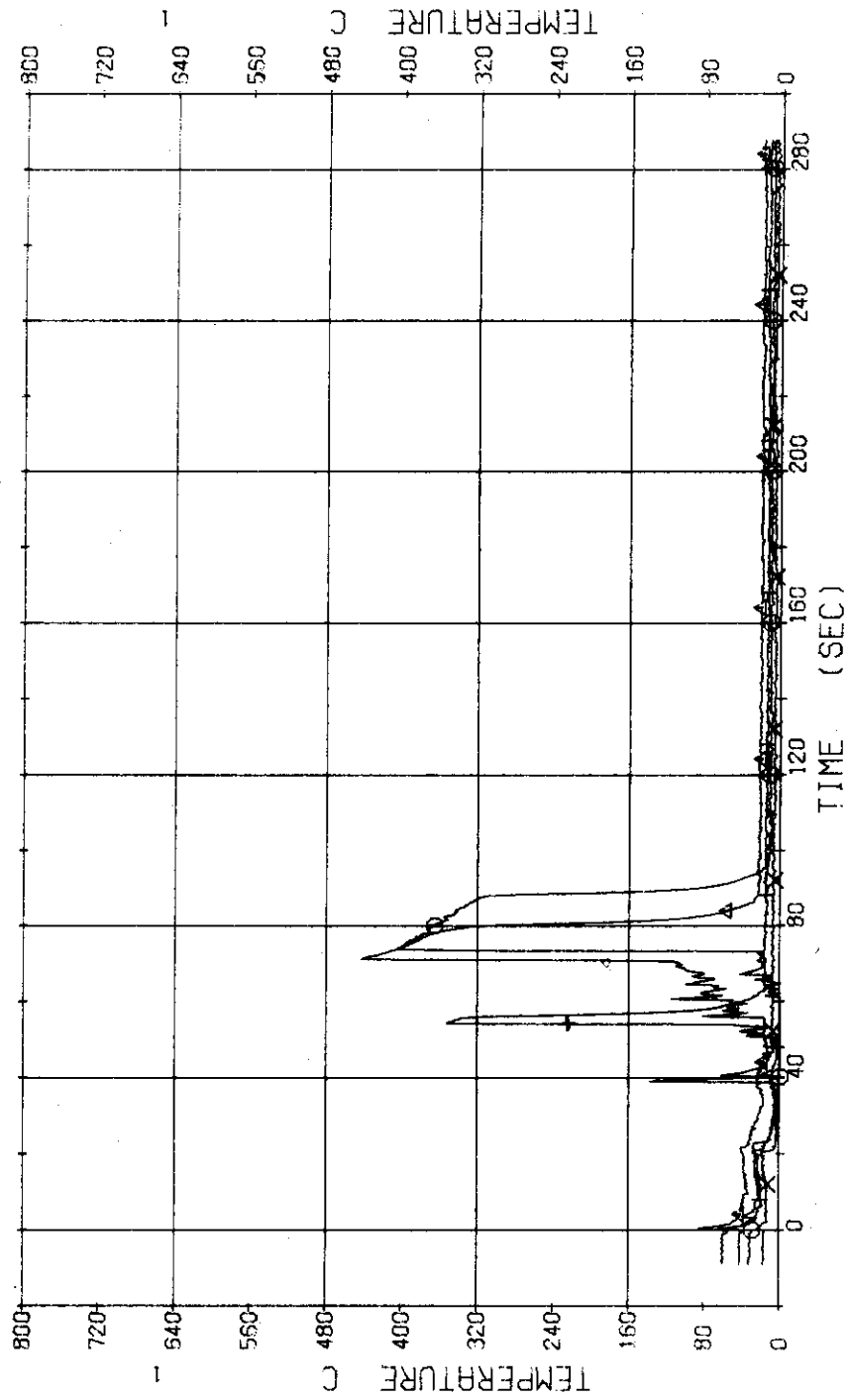


Fig. 3.3.25 Temperature Differences between the Clad of No.1 Rod --- Run 315

RUN 315 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 23.6/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH- 72 CH- 73 CH- 83 CH- 84 T-12 (PRESSURIZER)

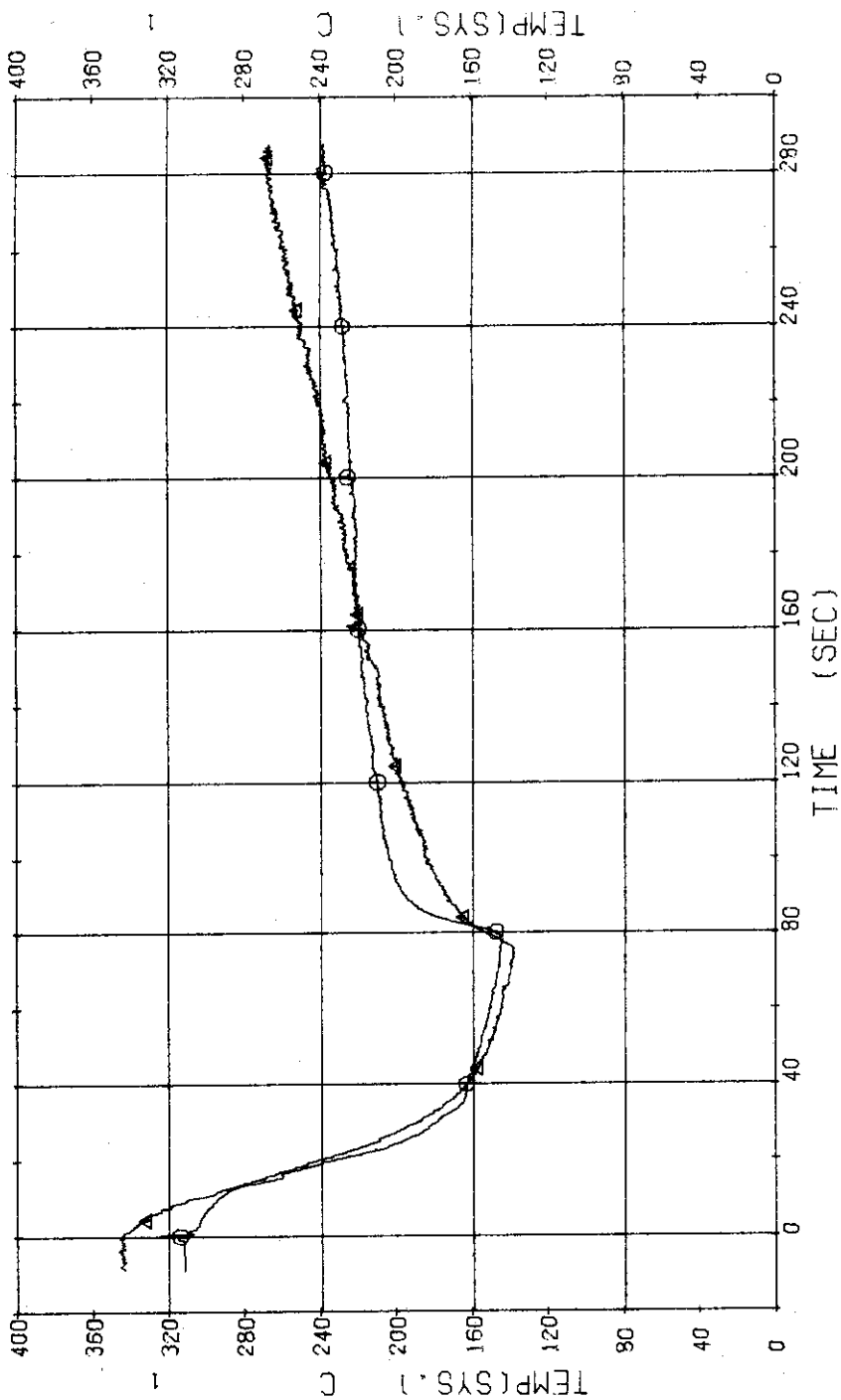


Fig. 3.3.26 Fluid Temperatures in Pressure Vessel and Pressurizer
 --- Run 315

RUN 315 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 23.6/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
 ECCS ---- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LPI-C LP2-L
 CH-76 (I) T-5 (SC 1 INLET)
 CH-78 (+) T-7 (P 1 PUMP DELIVERY)
 CH-77 (Δ) T-6 (SC 1 OUTLET)

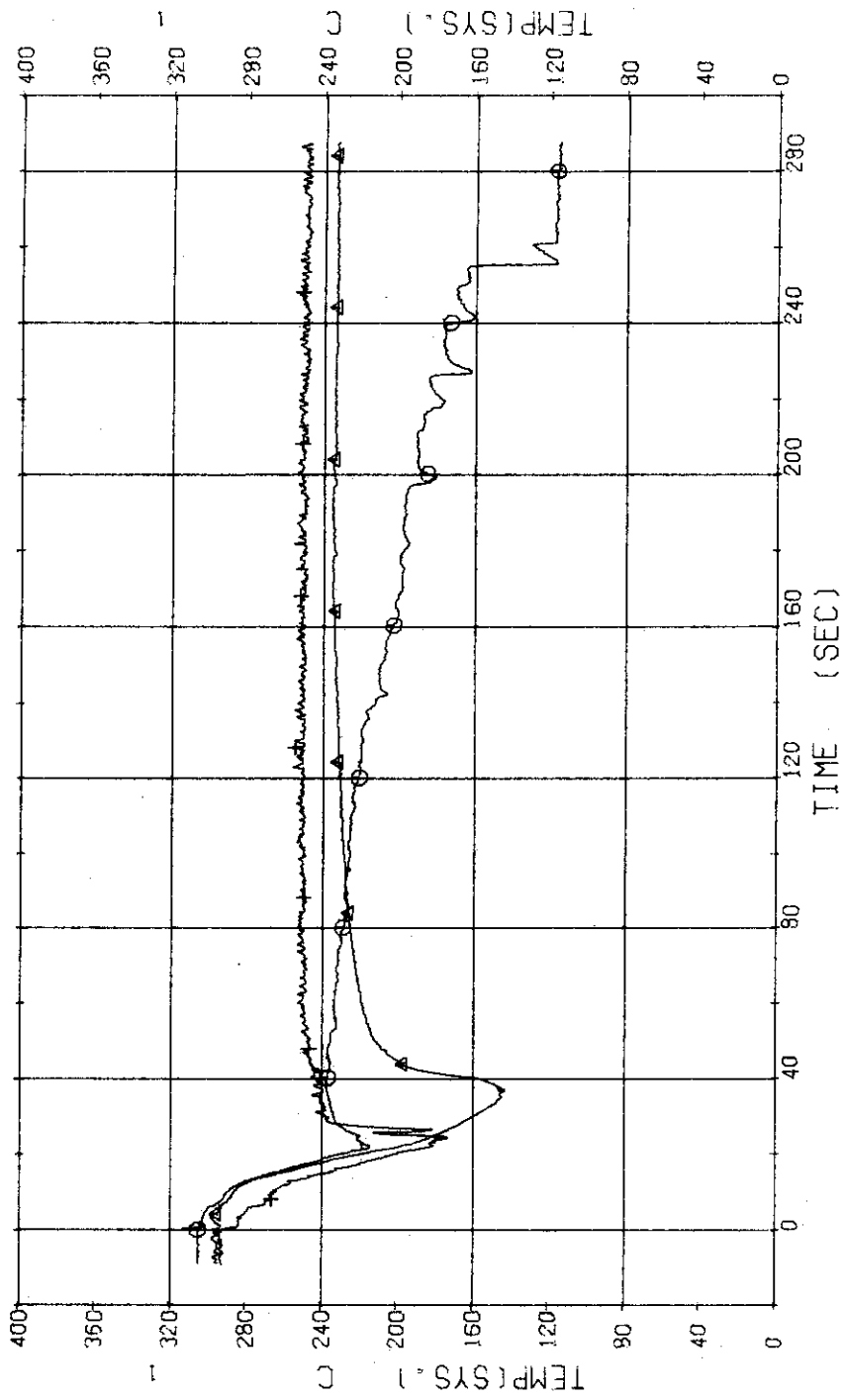


Fig. 3.3.27 Fluid Temperatures in Blowdown Loop ---- Run 315

RUN 315 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 23.6/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH-80 T-9 (SC 2 INLET) CH-81 T-10 (SC 2 OUTLET)

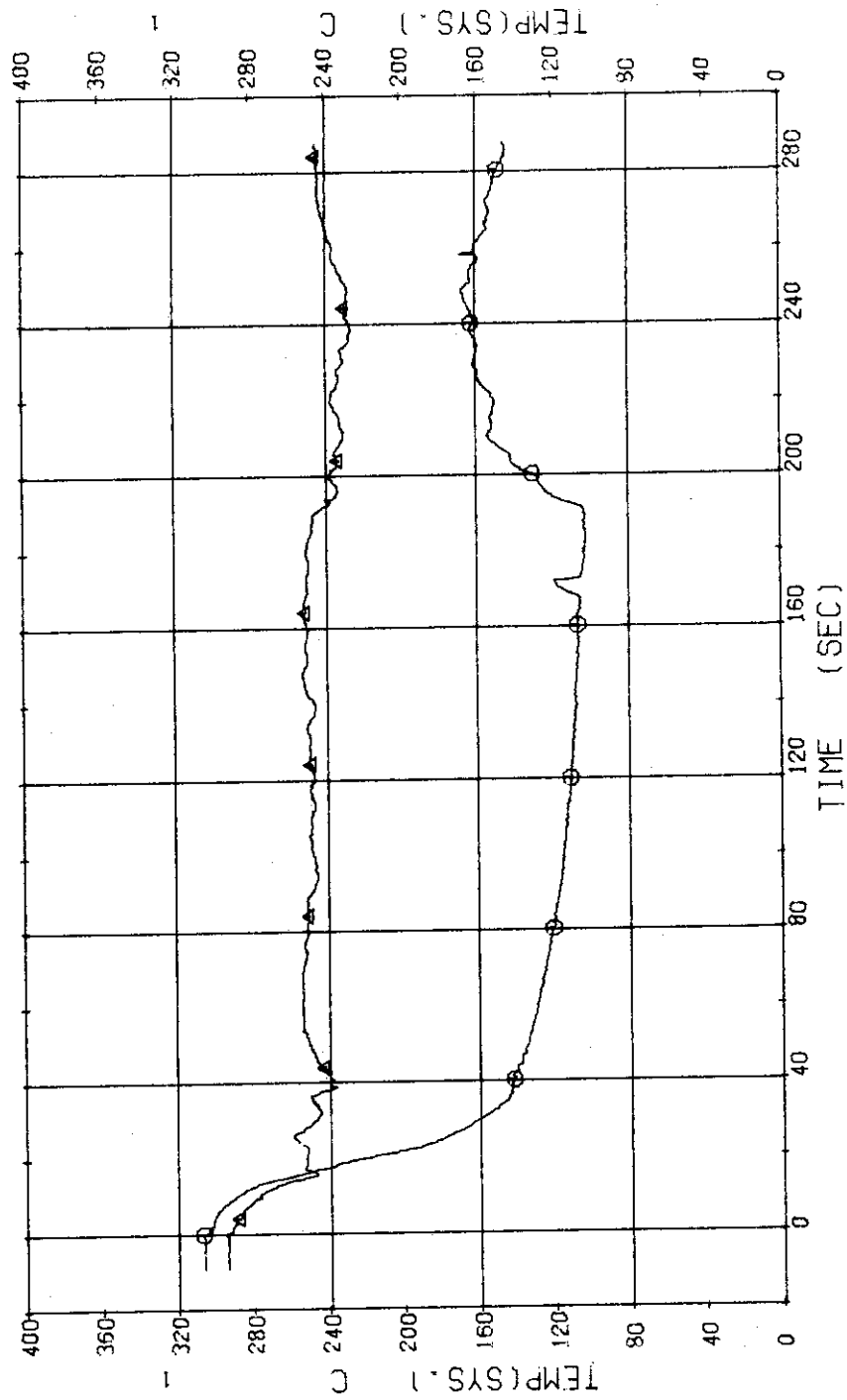


Fig. 3.3.28 Fluid Temperatures in Intact Loop --- Run 315

RUN 315 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 23.6/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH-84 (S1 SHELL OUTLET) CH-85 (S2 SHELL OUTLET) T-14 (S2 SHELL OUTLET)

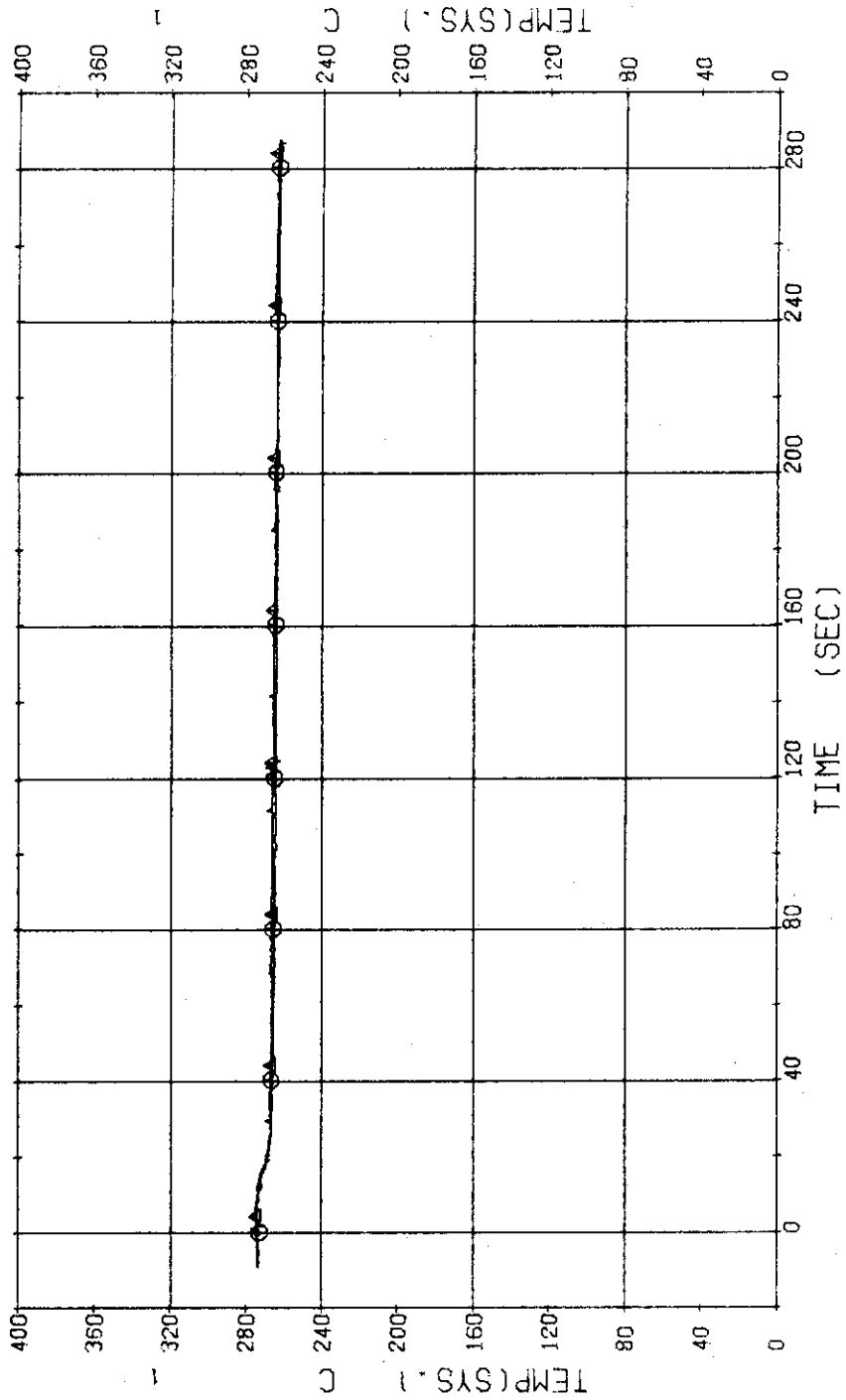


Fig. 3.3.29 Secondary Fluid Temperatures at the Outlet of SG1 and SG2 --- Run 315

RUN 315 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 23.6/37.5 MM NO 3 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- HP2- AC1-C AC2-L LP1-C LP2-L
 CH-101 01 N- 1 (PUMP REVOLUTION NO.) CH-102 01 N- 2 (PUMP REVOLUTION NO.)

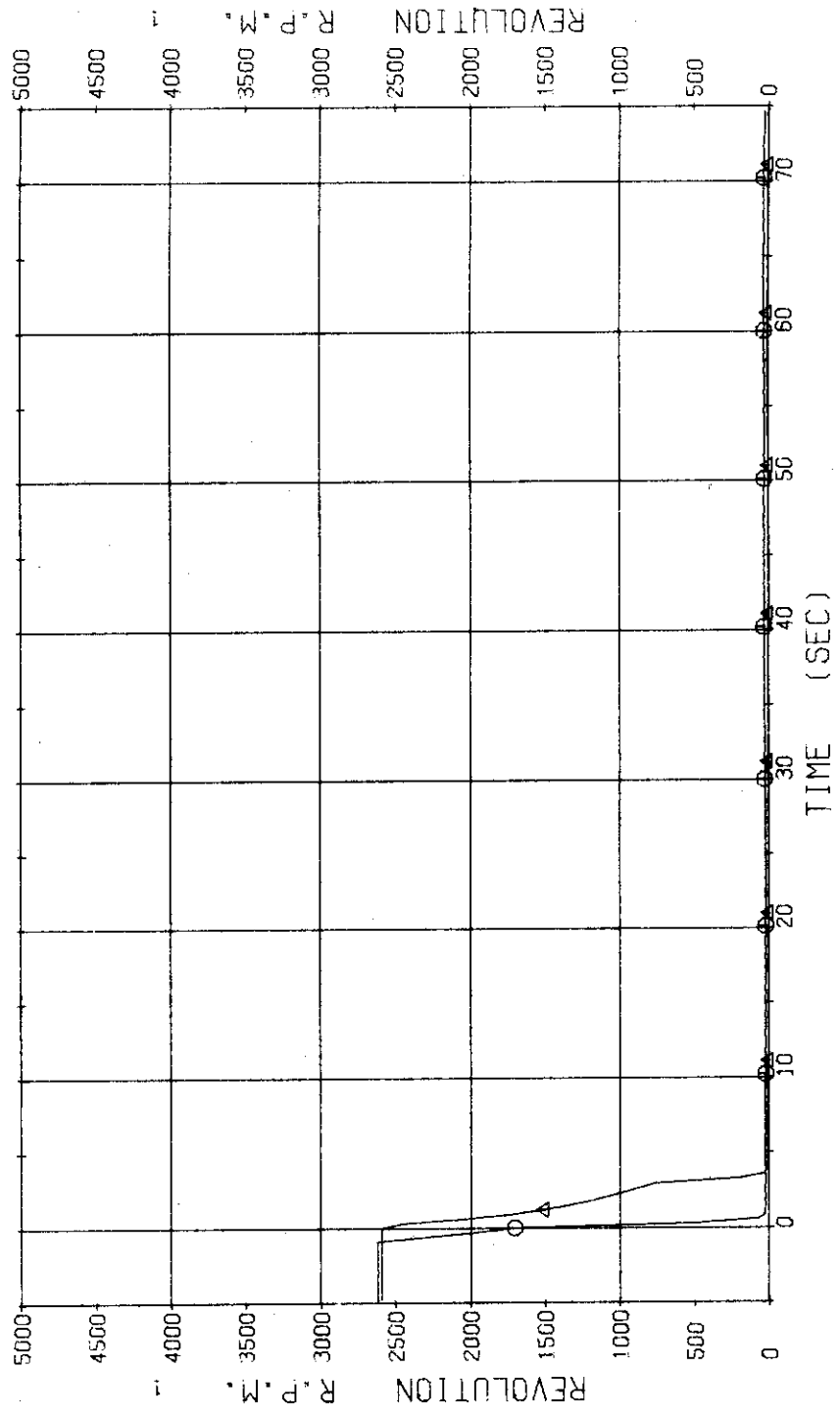


Fig. 3.3.30 Pump Revolution Numbers --- Run 315

RUN 316 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 4 ASSEMBLY
 ECCS ---- HP1- HP2- AC1- AC2-U LP1-H LP2-H
 CH- 1 O P- 1 (PV-UPPER PLENUM)
 CH- 12 +1 P- 12 (PRESSURIZER)
 CH- 2 Δ P- 2 (PV-LOWER PLENUM)

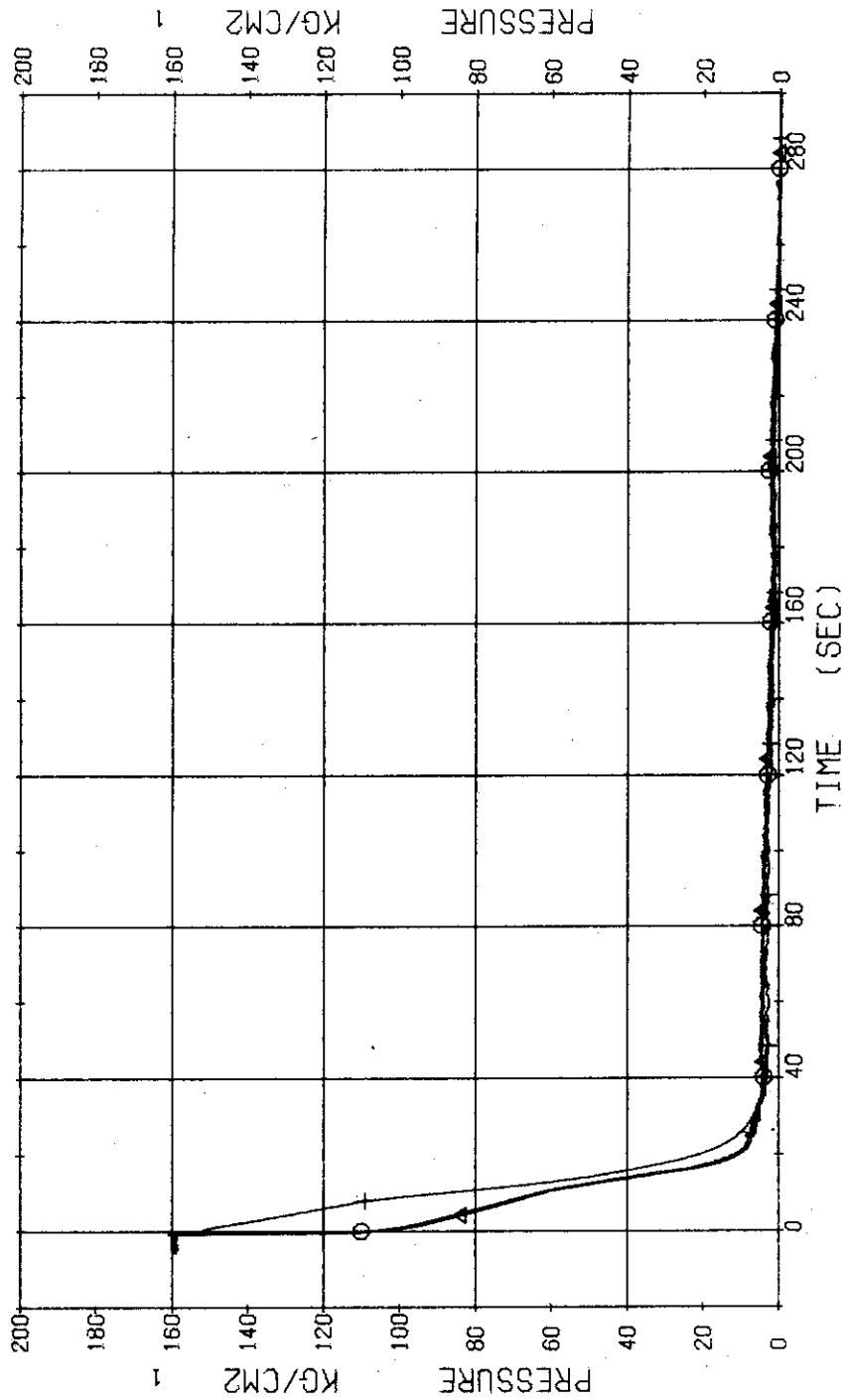


Fig. 3.4.1 Pressure in Pressure Vessel and Pressurizer ---- Run 316

RUN 316 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 4 ASSEMBLY

ECCS --- HP1-- HP2-- AC1-- AC2-U LP1-H LP2-H
 CH- 3 () P- 3 (ABOVE NO.1 ORIFICE)
 CH- 6 (+) P- 6 (BELOW NO.2 ORIFICE)
 CH- 8 (x) P- 8 (P.1 PUMP SUCTION)
 CH- 5 (Δ) P- 5 (ABOVE NO.2 ORIFICE)
 CH- 7 (X) P- 7 (SG 1 INLET)

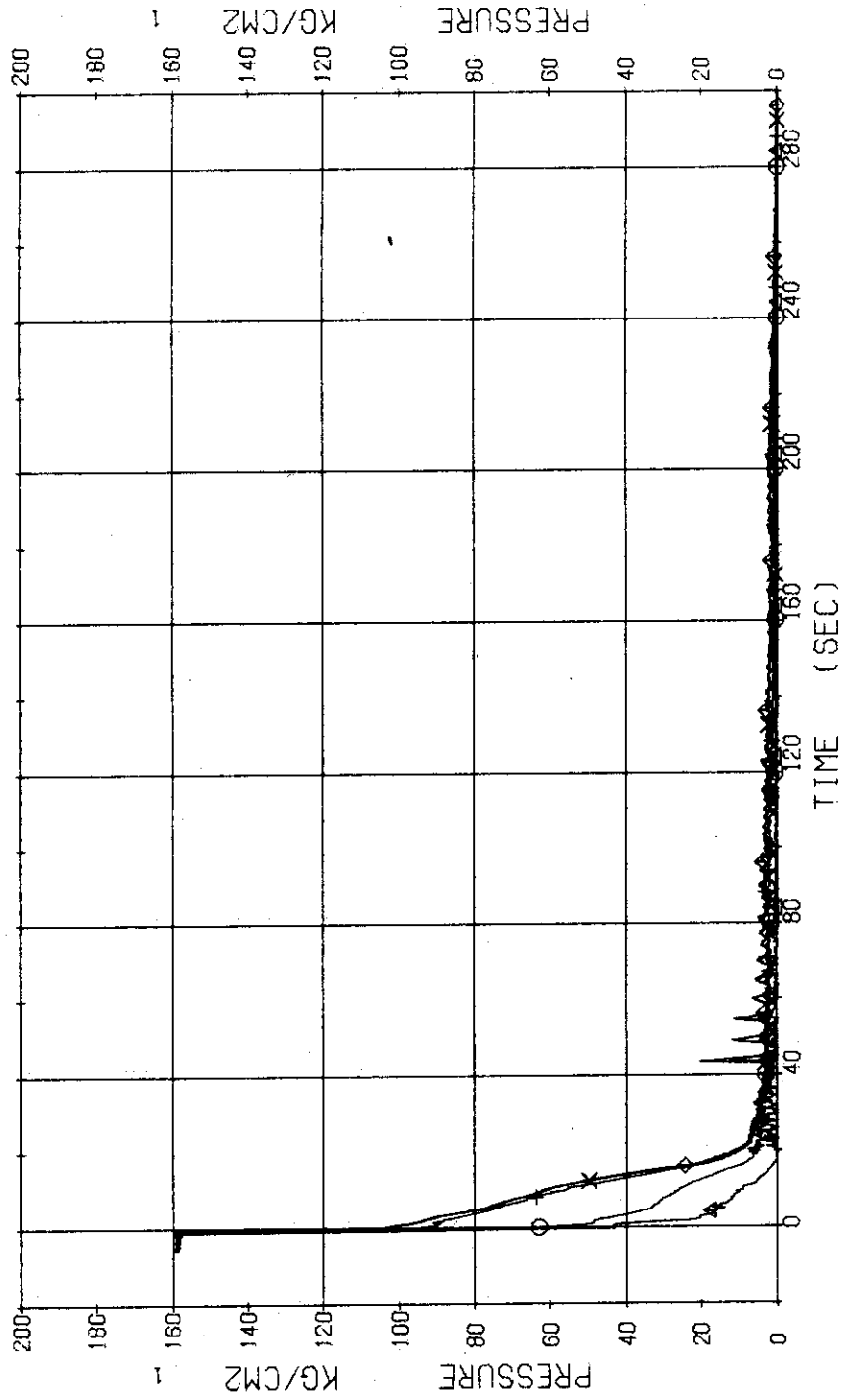


Fig. 3.4.2 Pressure in Blowdown Loop ---- Run 316

(Pressure data below No.2 orifice is not correct. It should be eliminated.)

RUN 316 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 4 ASSEMBLY
 ECCS ---- HP1- HP2- AC1- AC2-U LP1-H LP2-H
 CH-10 CM P-10 (SG 2 OUTLET) CH-11 Δ P-11 (P 2 PUMP DELIVERY)

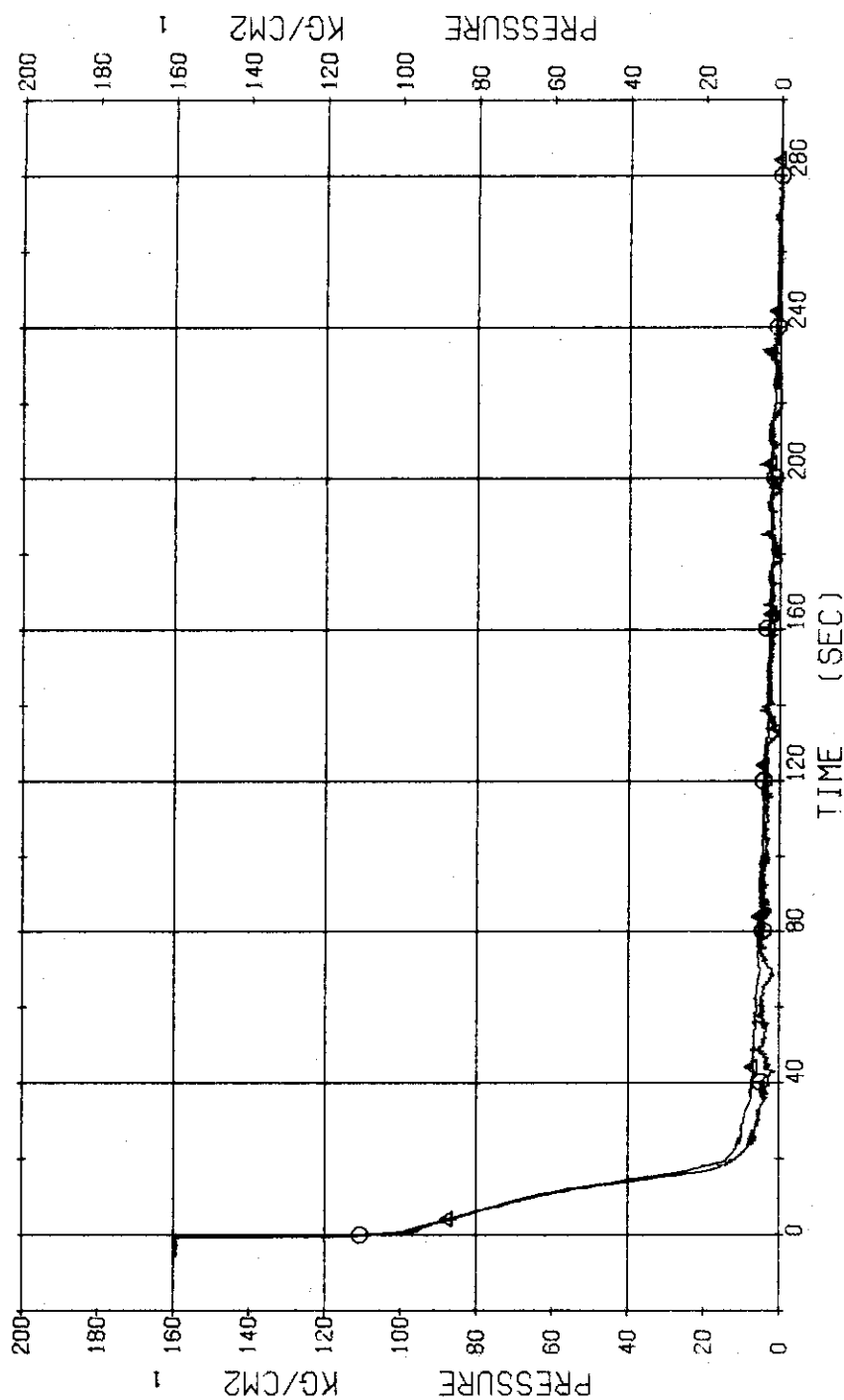


Fig. 3.4.3 Pressure in Intact Loop ---- Run 316

RUN 316 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 4 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- HP2- AC1- LP1-H LP2-H
 CH- 13 01 P-13 (SO-SHELL SIDE)

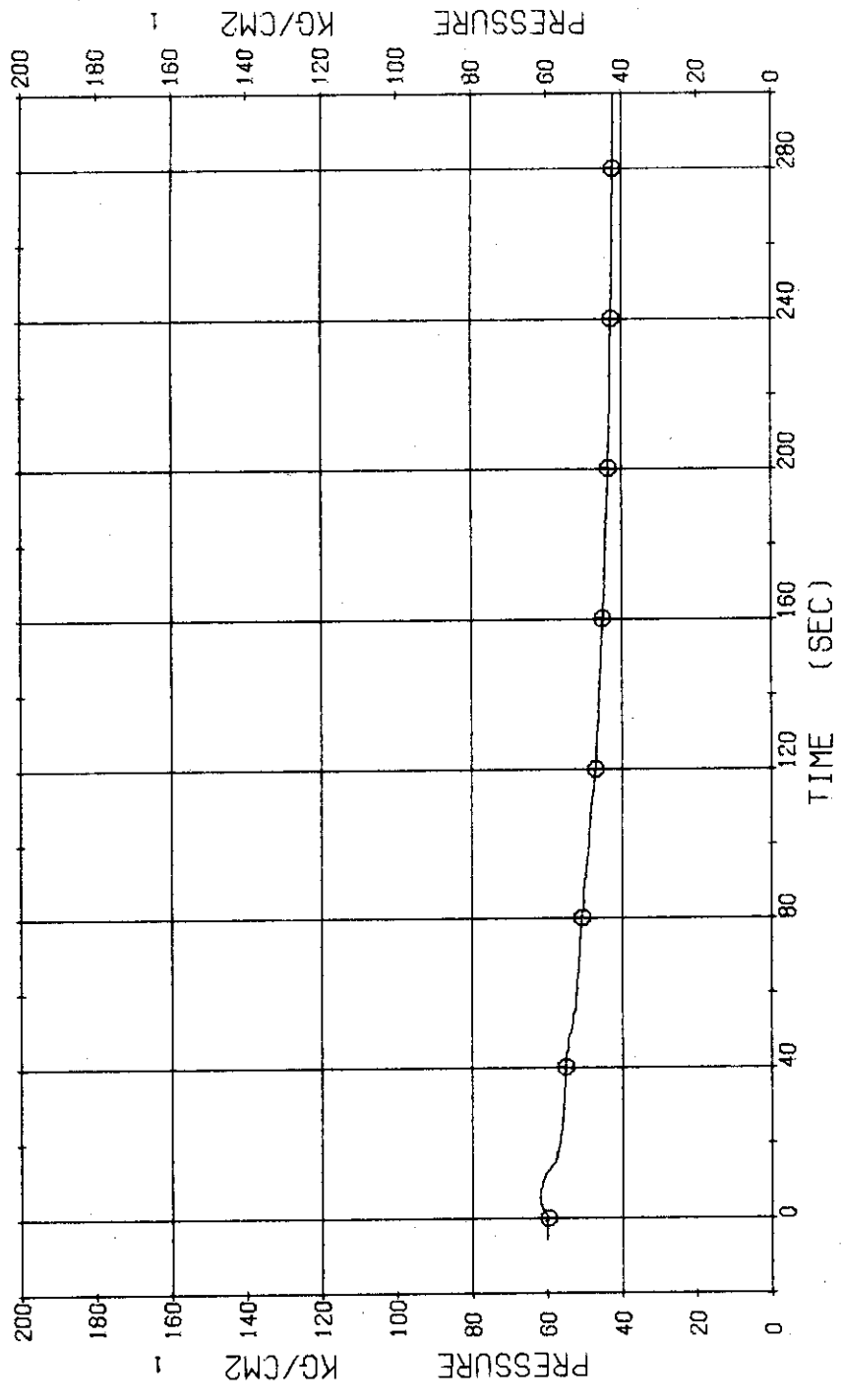


Fig. 3.4.4 Pressure in Secondary System --- Run 316

RUN 316 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 4 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- HP2- AC1- AC2-U LP1-H LP2-H
 CH- 14 ① D- 1 (PV.TOP-BOTTOM)

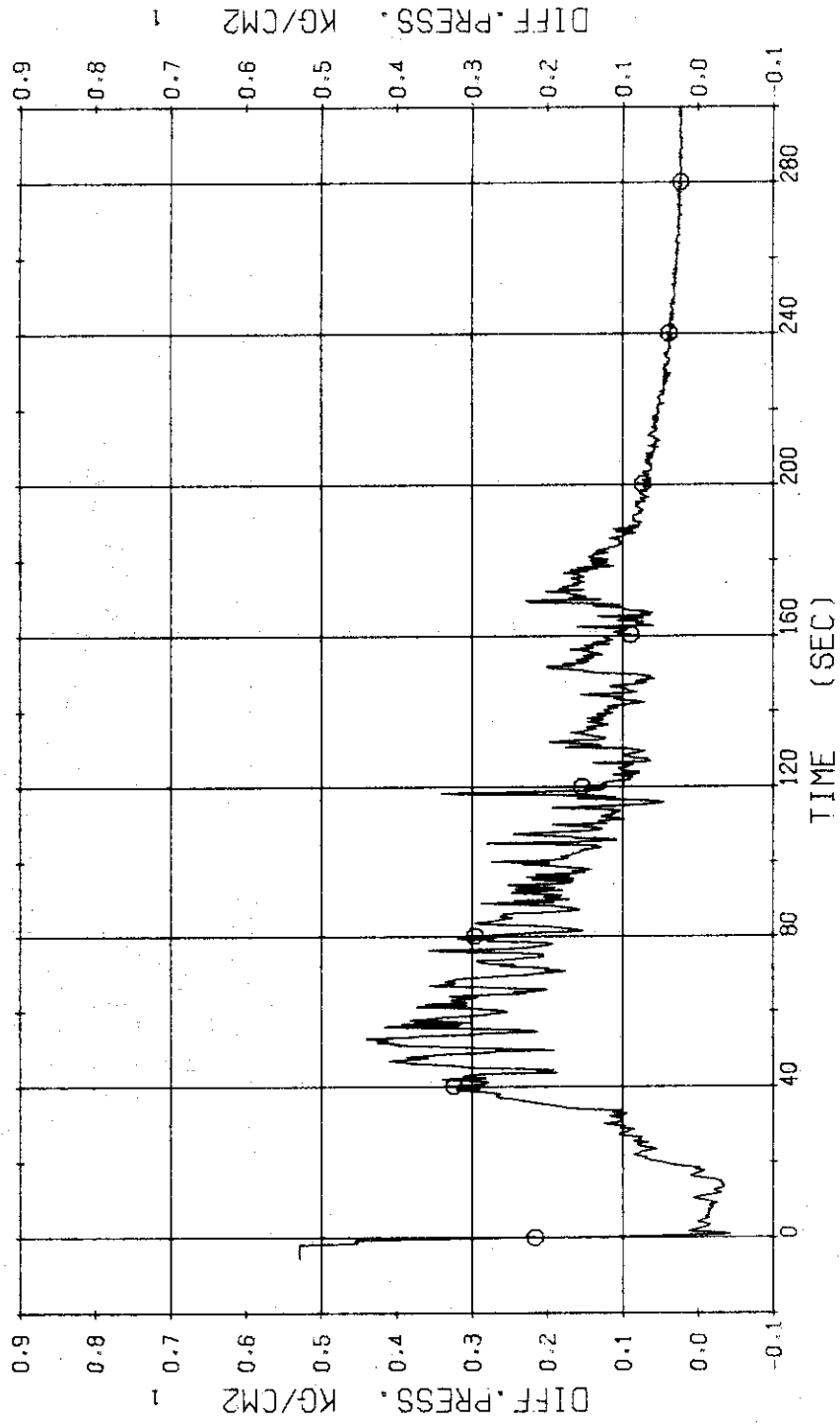


Fig. 3.4.5 Differential Pressure between Top and Bottom of Pressure Vessel --- Run 316

RUN 316 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 4 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- HP2- AC1- AC2-U LP1-H LP2-H
 CH- 18 0- 5 (SG 1 INLET-OUTLET) CH- 20 4- 1 0- 7 (P1 PUMP DELIVERY-SUCTION)

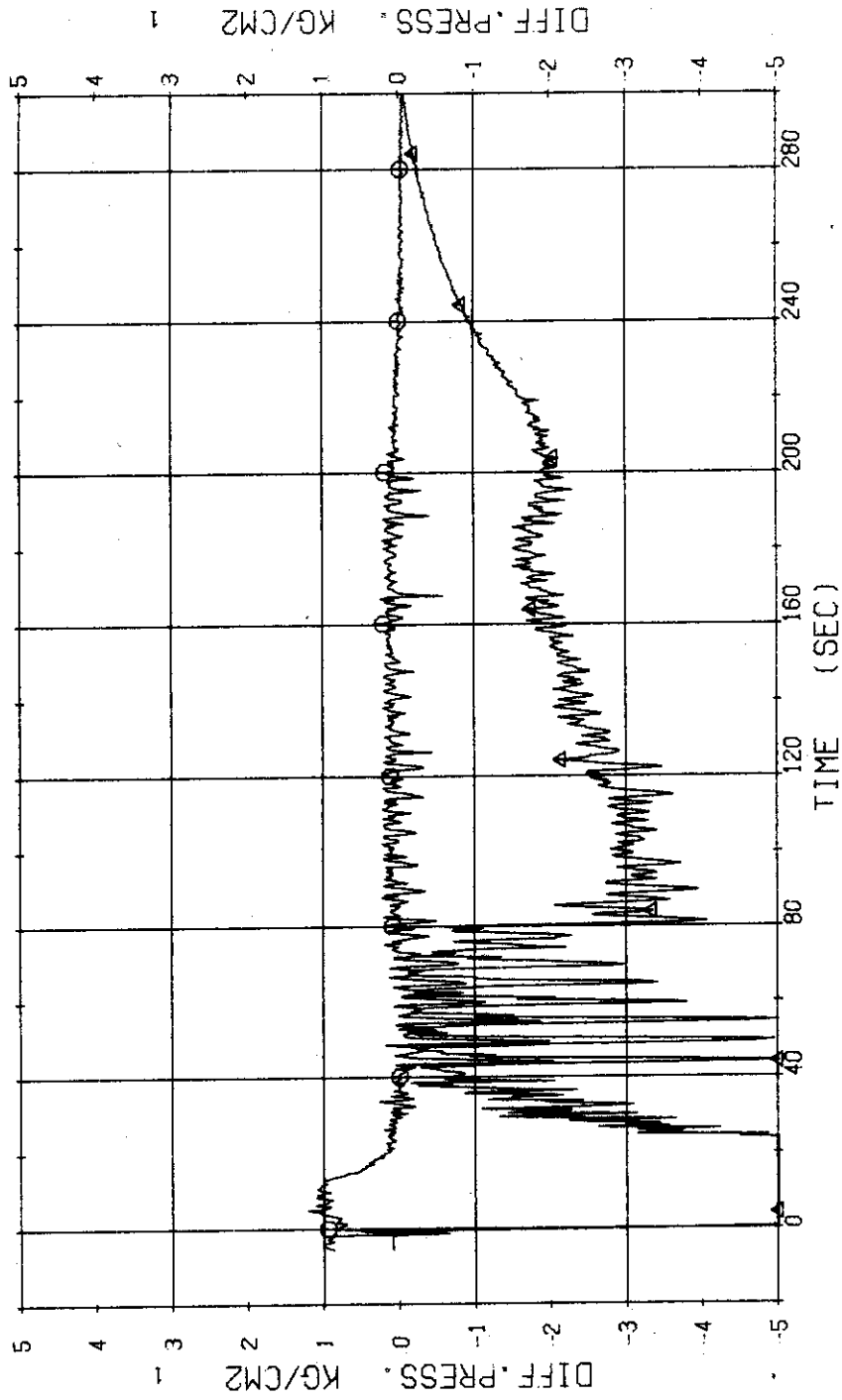


Fig. 3.4.6 Differential Pressure across SGI and P1 Pump --- Run 316

RUN 316 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 4 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- HP2- AC1- AC2-U LP1-H LP2-H
 CH- 19 01 D- 6 (SQ 2 INLET-OUTLET) CH- 21 01 D- 8 (P2 PUMP DELIVERY-SUCTION)

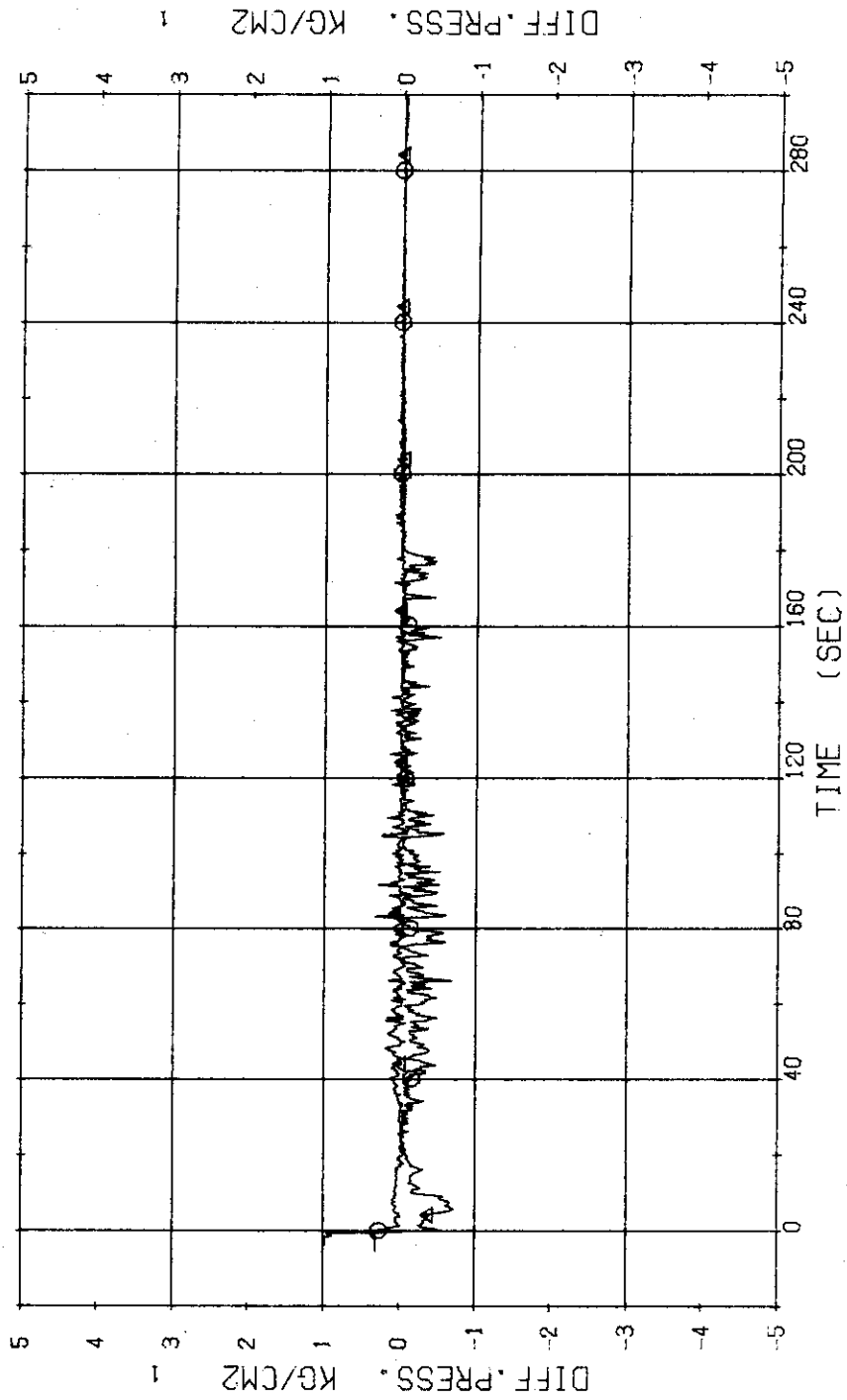


Fig. 3.4.7 Differential Pressure across SG2 and P2 Pump --- Run 316

RUN 316 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 4 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- HP2- AC1- AC2-U LP1-H LP2-H
 CH-22 (1) F-1 (CONDENSATE NO.1) CH-24 (1) F-3 (COOLING WATER NO.1)

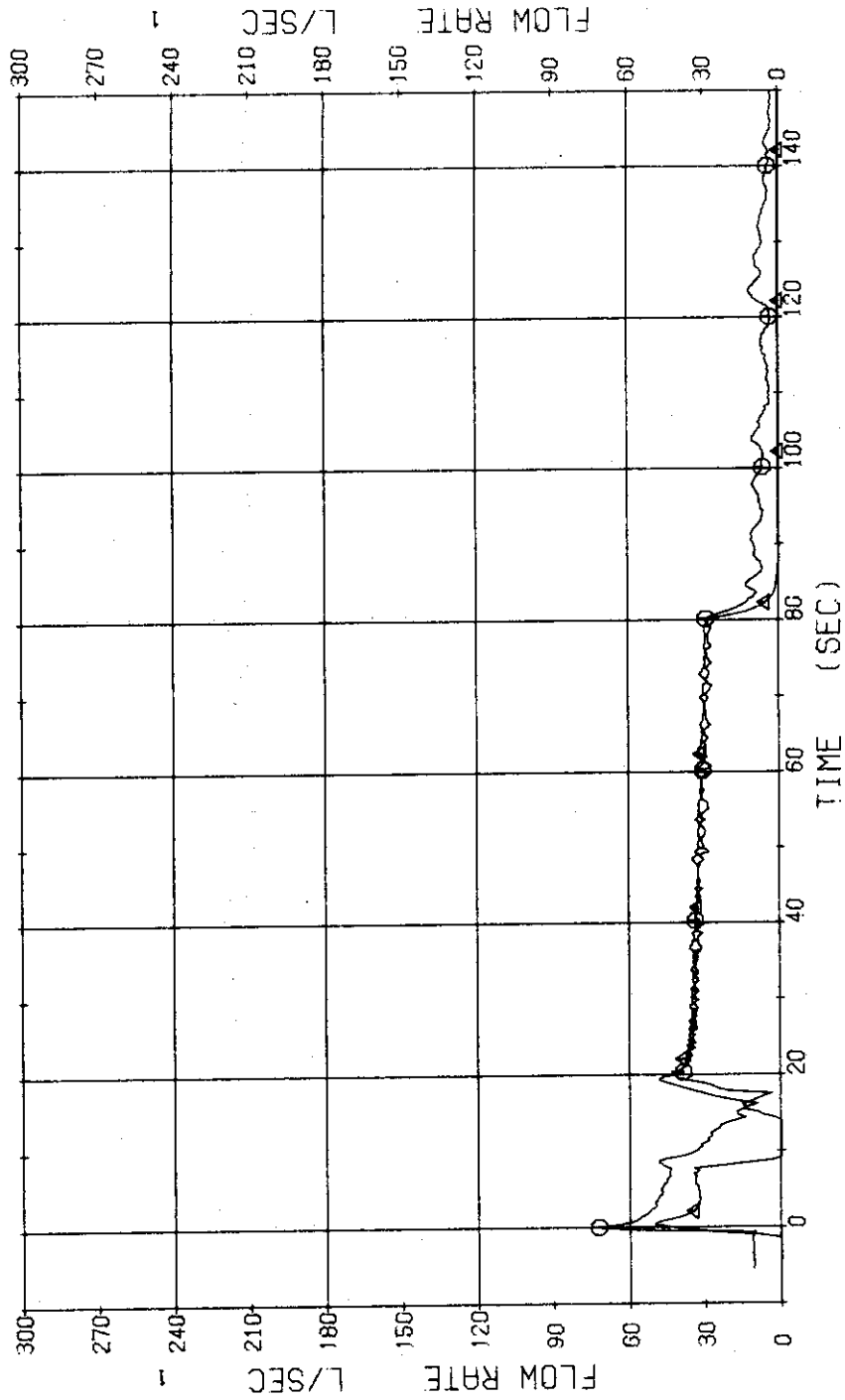


Fig. 3.4.8 Volumetric Flow Rates of Condensed Water and Cooling Water of No.1 Break Unit --- Run 316

RUN 316 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 4 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- HP2- AC1- LP2-H
 CH- 23 ① F- 2 (CONDENSATE NO.2) CH- 25 Δ F- 4 (COOLING WATER NO.2)

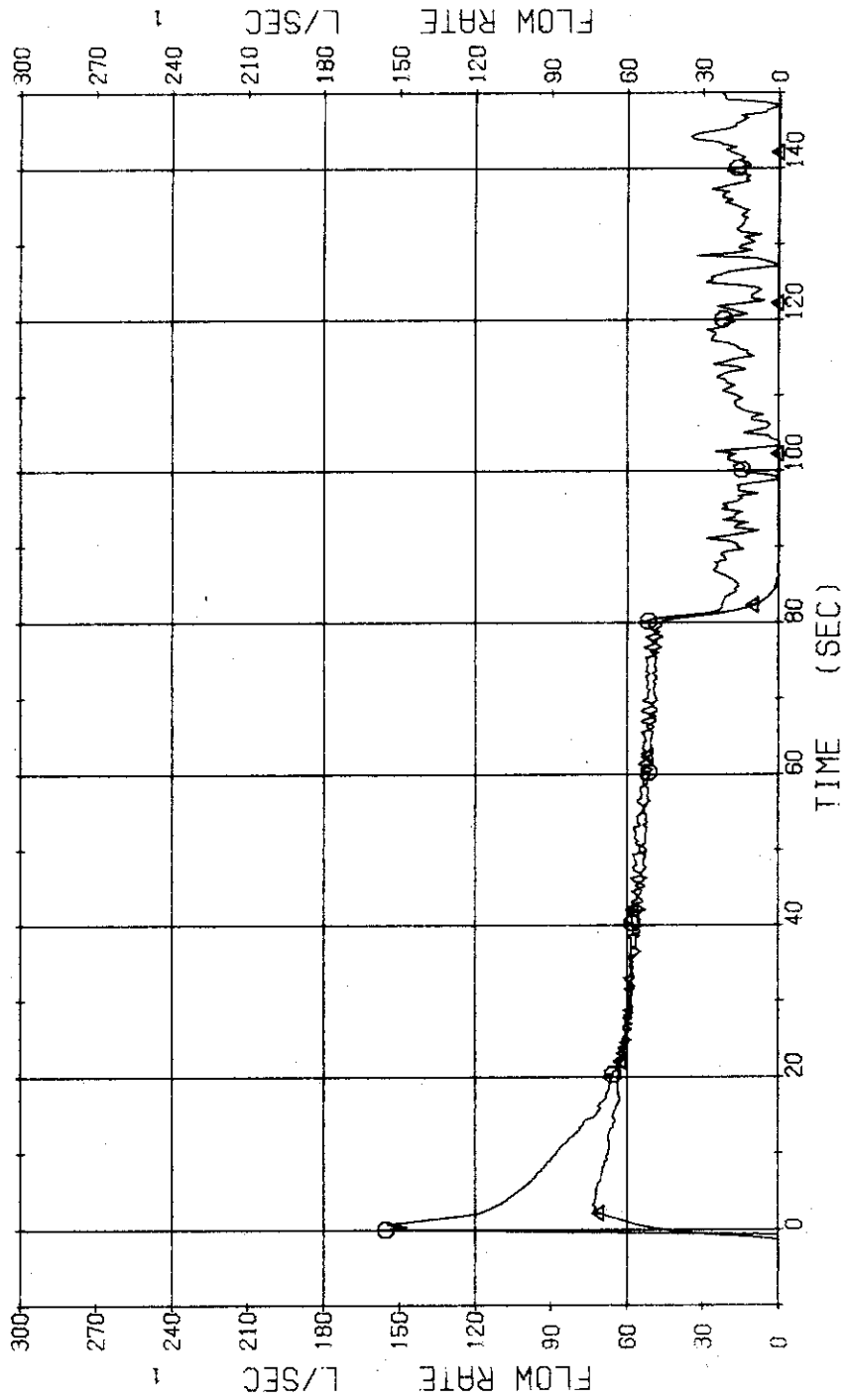


Fig. 3.4.9 Volumetric Flow Rates of Condensed Water and Cooling Water of No.2 Break Unit ---- Run 316

RUN 316 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 4 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- HP2- AC1- AC2-U LP1-H LP2-H
 CH-110 Q2 F-14 (DISCHARGE FLOW RATE : 1)

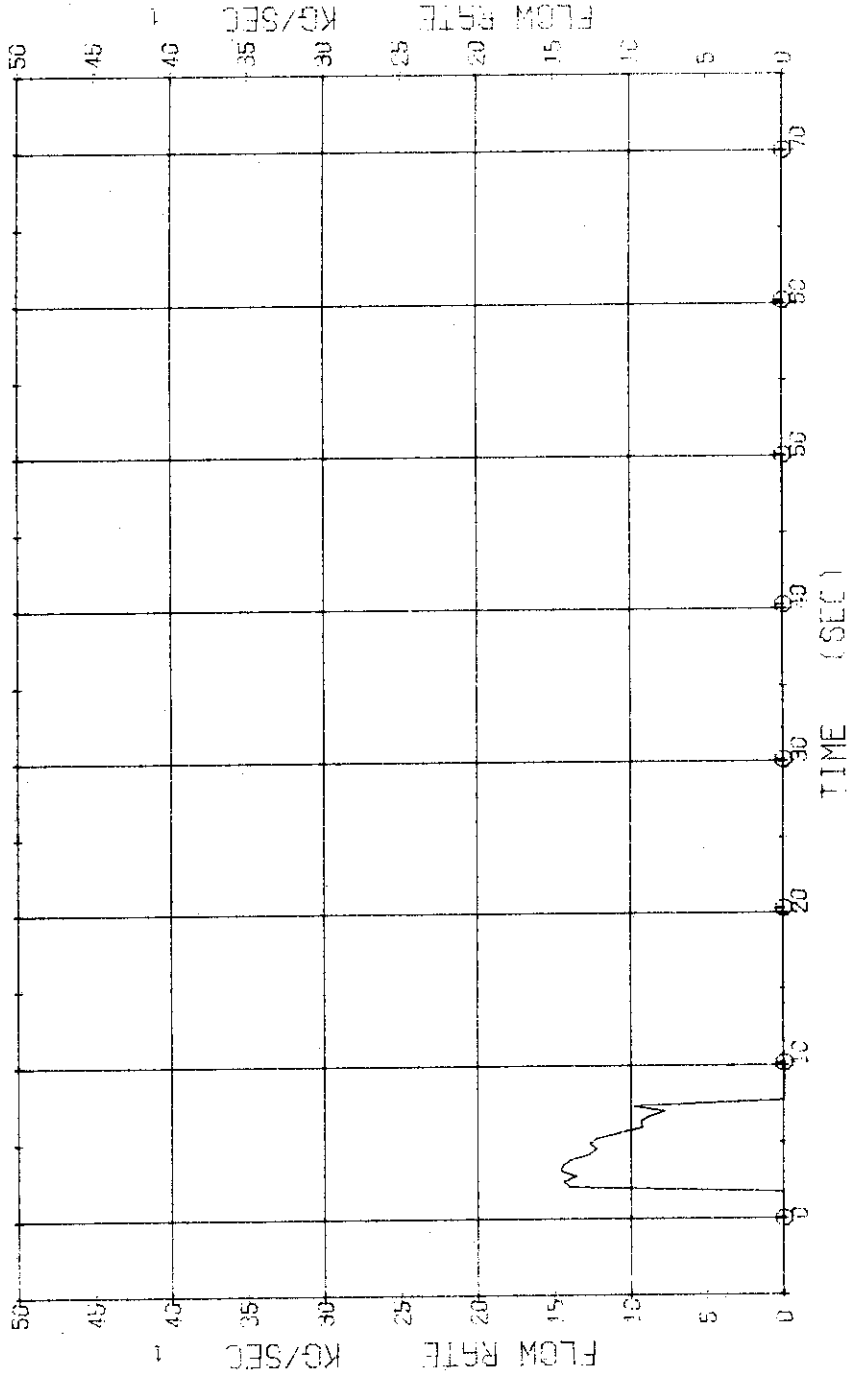


Fig. 3.4.10 Discharge Mass Flow Rate at No.1 Break Unit --- Run 316

RUN 316 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 4 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- HP2- AC1- LP1-H LP2-H
 CH-111 01 X-1 (FLUID QUALITY 1)

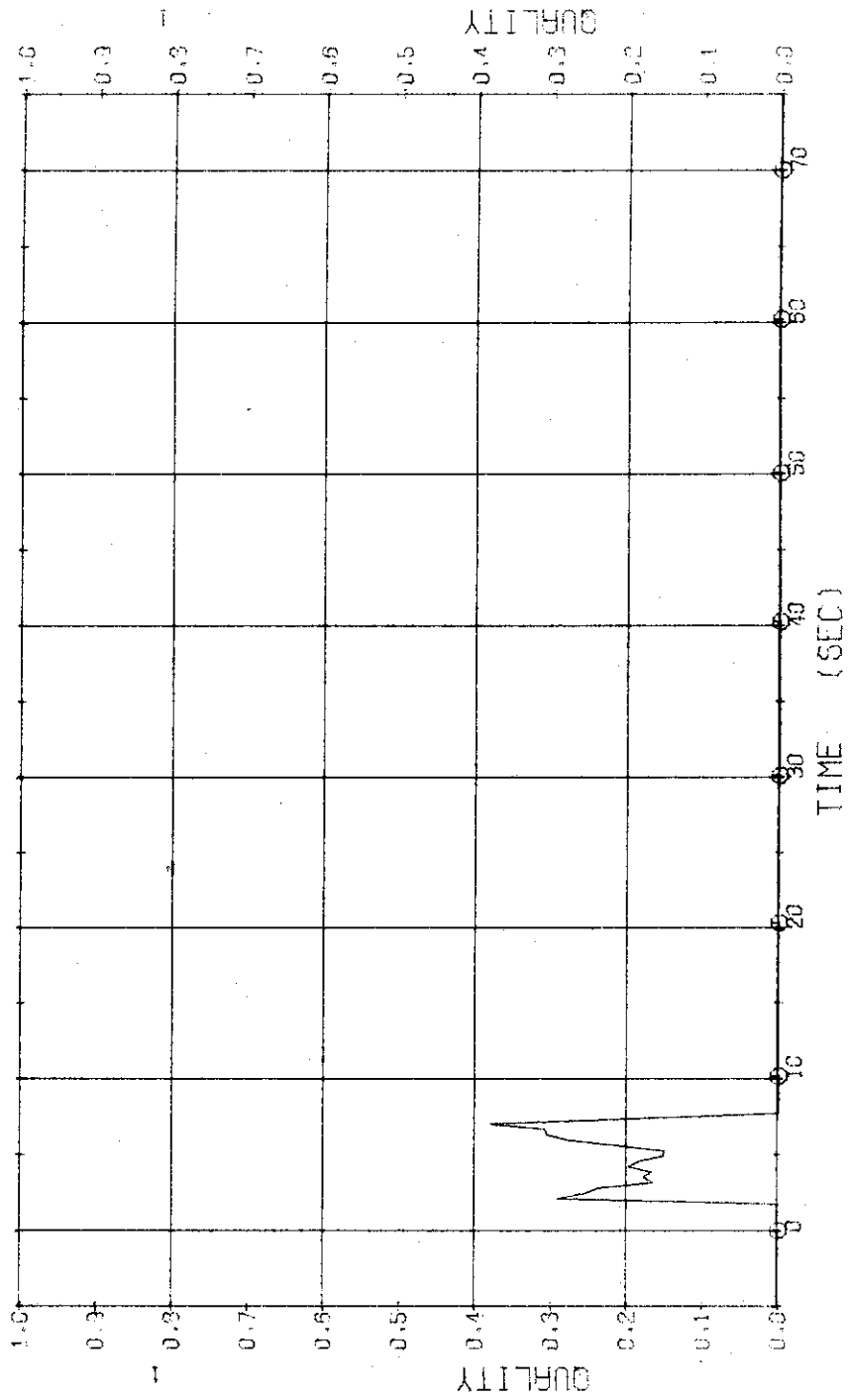


Fig. 3.4.11 Fluid Quality of Discharge Flow at No.1 Break Unit ---- Run 316

RUN 316 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 4 ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC1- AC2-U LP1-H LP2-H

CH-112 W F-15 (DISCHARGE FLOW RATE 2)

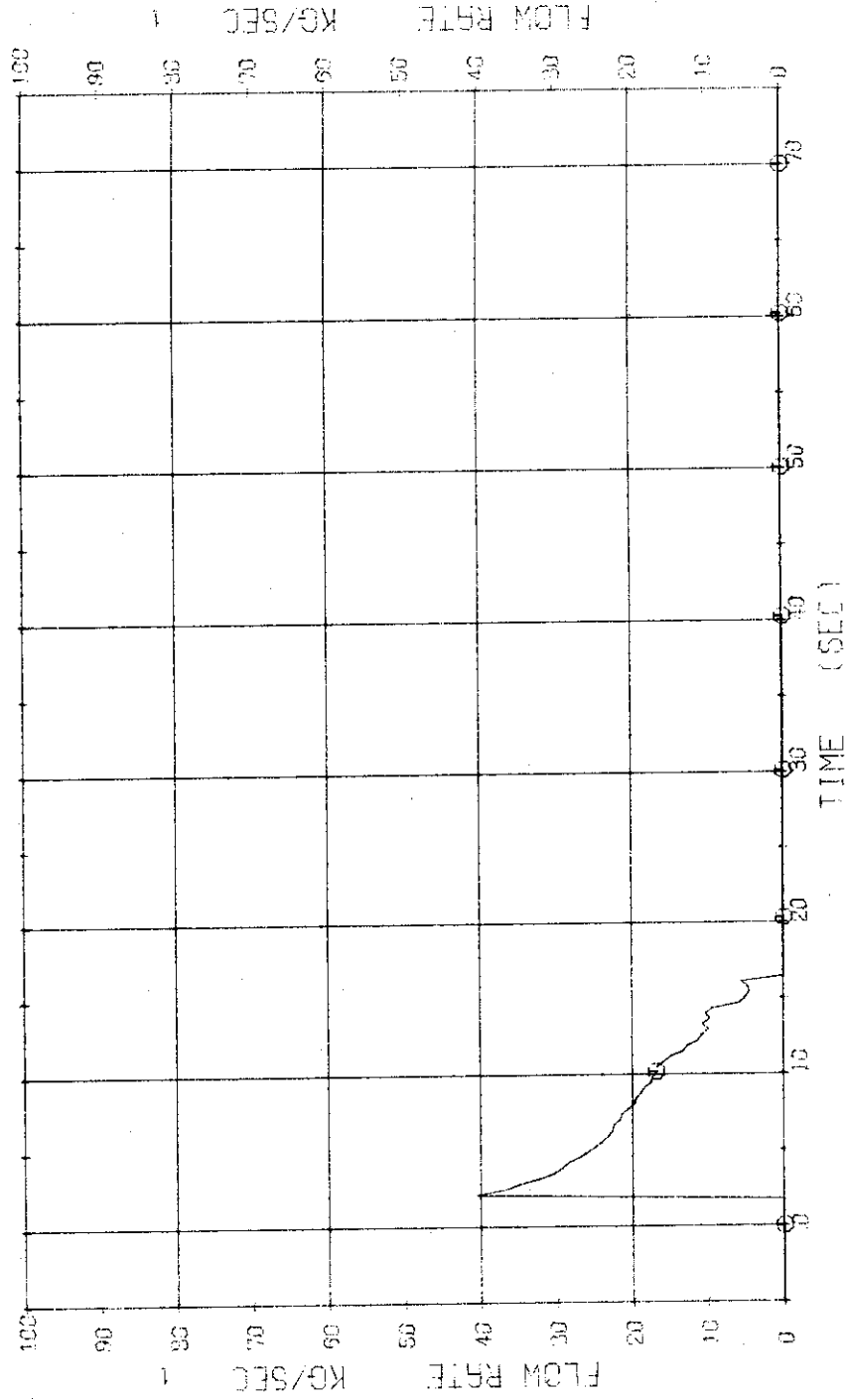


Fig. 3.4.12 Discharge Mass Flow Rate at No.2 Break Unit --- Run 316

RUN 316 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM. NO 4 ASSEMBLY
 EGCS --- HP1- HP2- AC1- AC2-U LP1-H LP2-H
 CH-113 (X-2 (FLUID QUALITY 2))

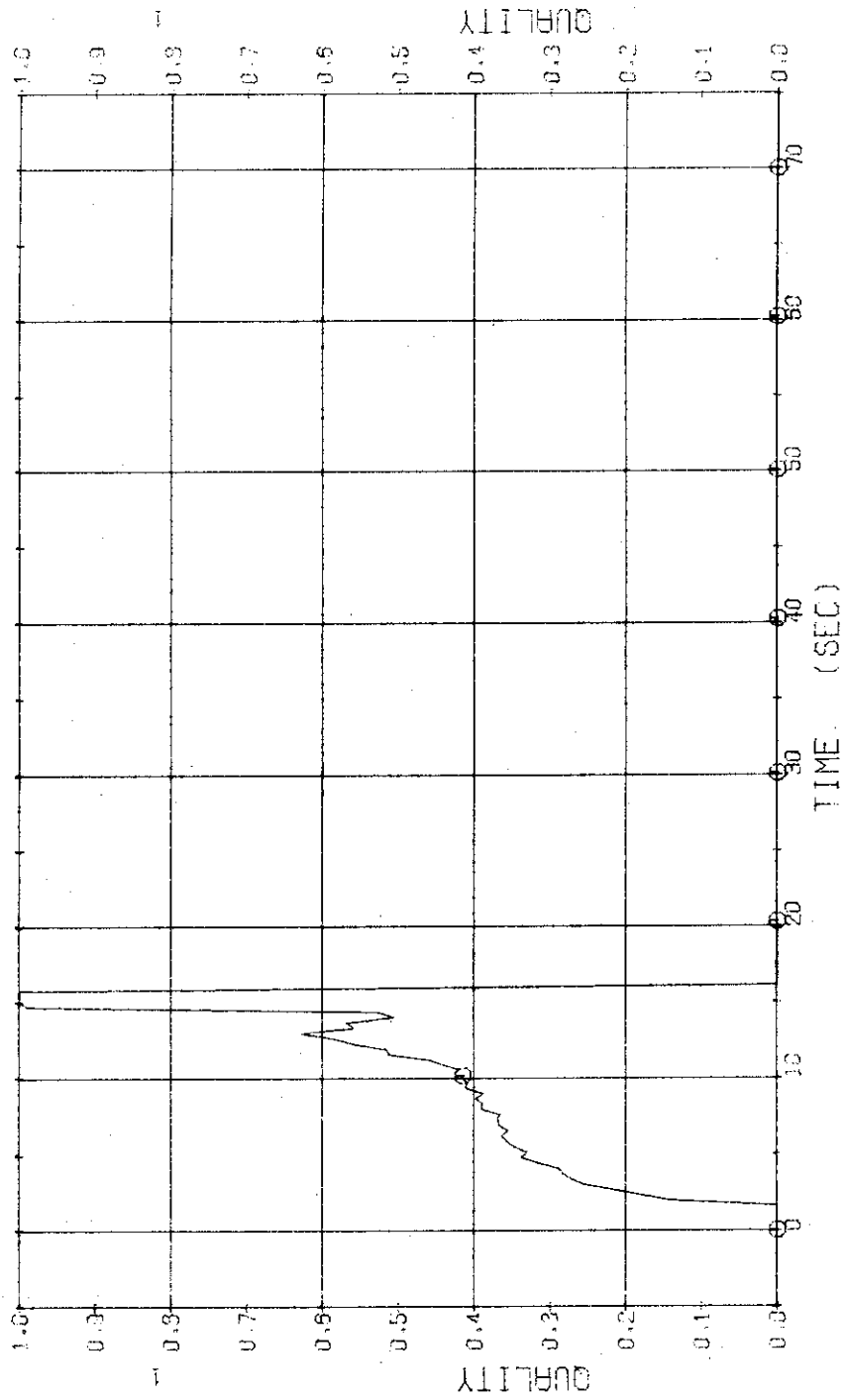


Fig. 3.4.13 Fluid Quality of Discharge Flow at No.2 Break Unit ---- Run 316

RUN 316 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 4 ASSEMBLY
 ECCS ---- HP1- HP2- AC1- LP2-H
 CH- 74 ① T- 3 (CONDENSATE NO.1) CH- 75 ② T- 4 (CONDENSATE NO.2)

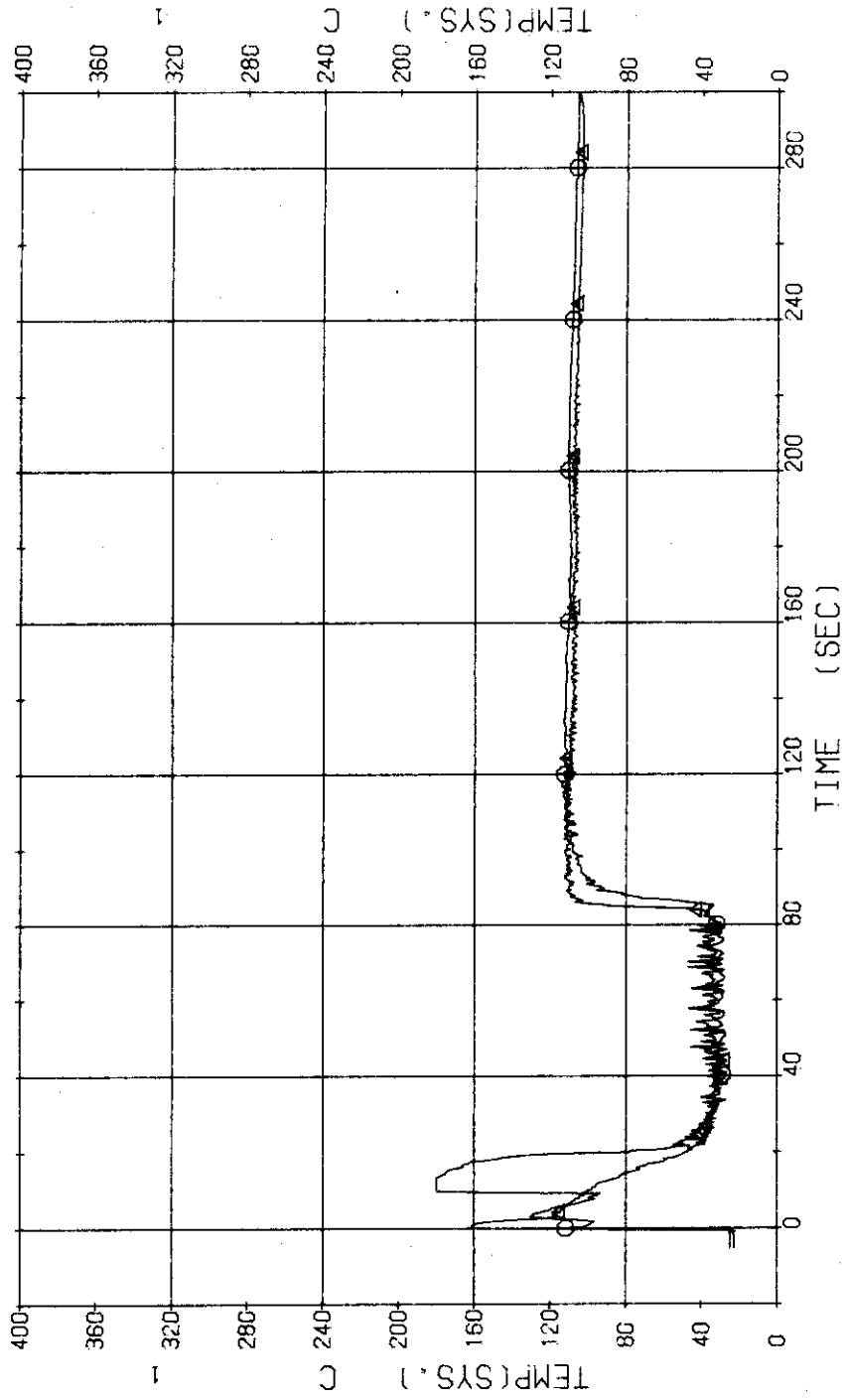


Fig. 3.4.14 Fluid Temperatures of Condensed Waters at No.1 and No.2
 Break Unit ---- Run 316

RUN 316 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 4 ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC1- AC2-U LP1-H LP2-H
 CH-31 CH F-10 (ACC 2)
 CH-34 #3 F-13 (LPCI)

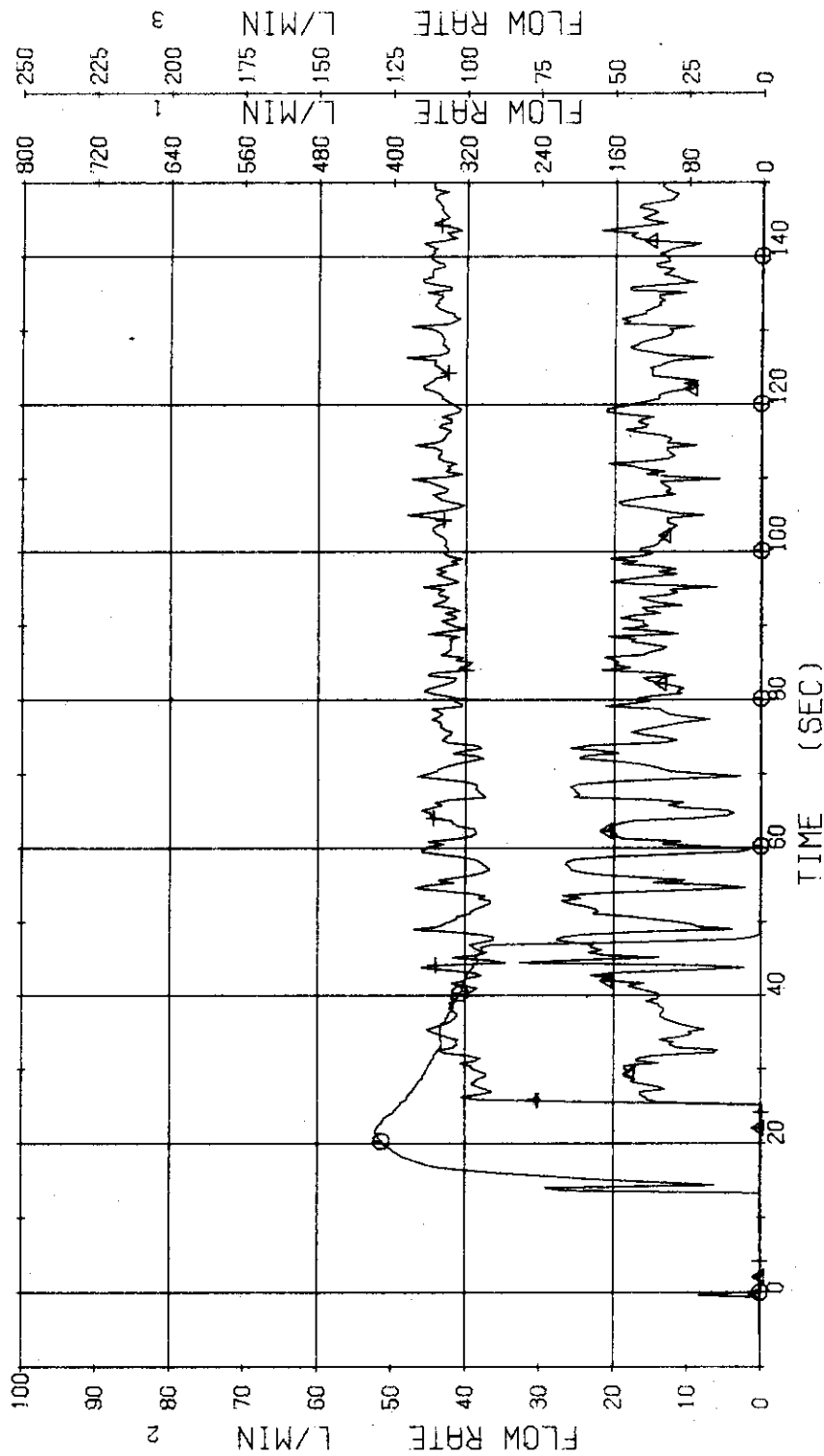


Fig. 3.4.15 Injection Flow Rates of ACC2 and LPCI of Two Injection Locations --- Run 316

RUN 316 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 4 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- HP2- AC1- LP2-H
 CH-35 W-1 (HIGH FLUX RODS) CH-119 A2 0-1 (PEAK OF HIGH FLUX RODS) LP1-H

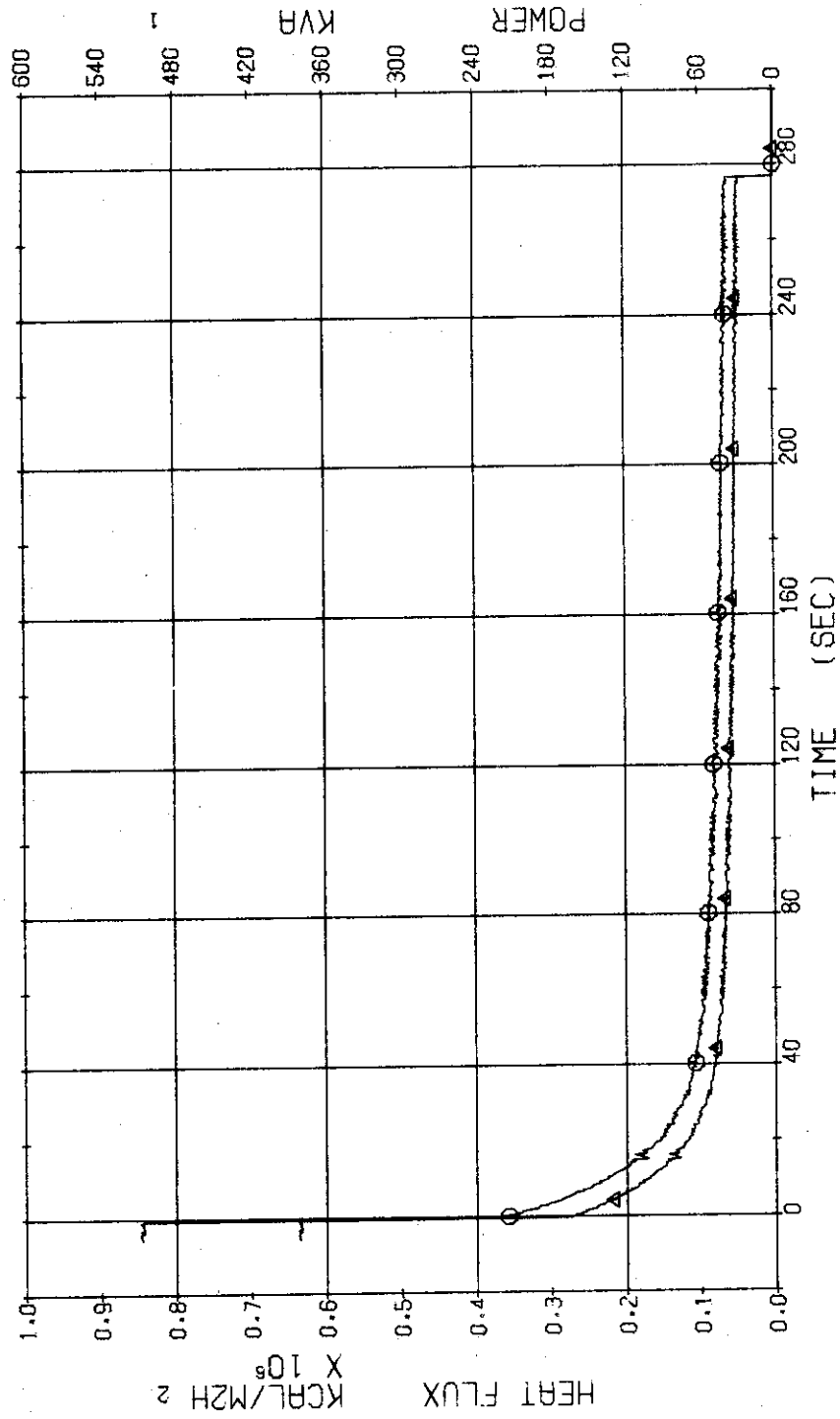


Fig. 3.4.16 Electric Power and Heat Flux for High Heat Flux Rods
 --- Run 316

RUN 316 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 4 ASSEMBLY
 ECCS ---- HP1- HP2- AC1- LP1-H LP2-H
 CH-36 01 K-2 (LOW FLUX RODS) CH-120 02 Q-2 (PEAK OF LOW FLUX RODS)

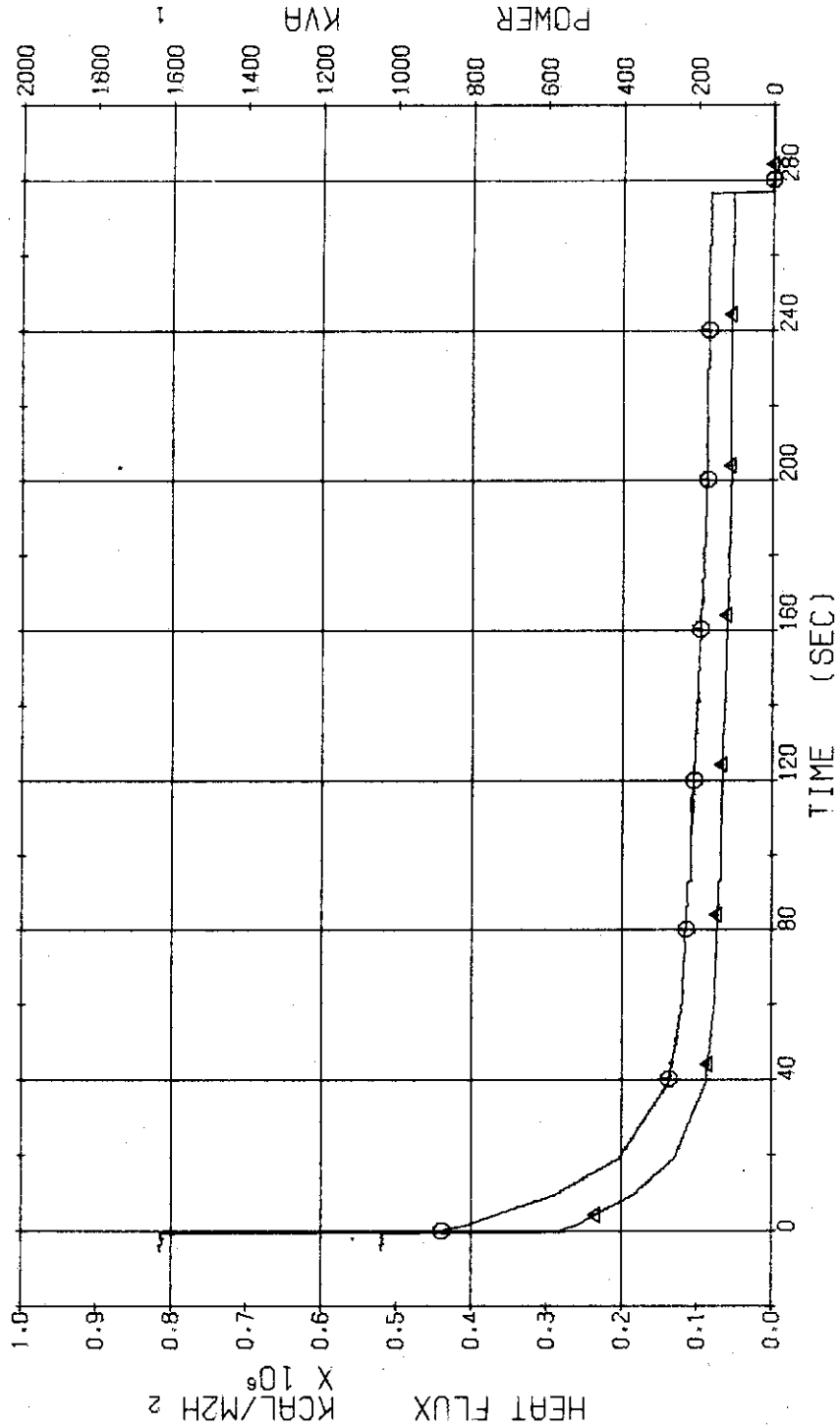


Fig. 3.4.17 Electric Power and Heat Flux for Low Heat Flux Rods --- Run 316

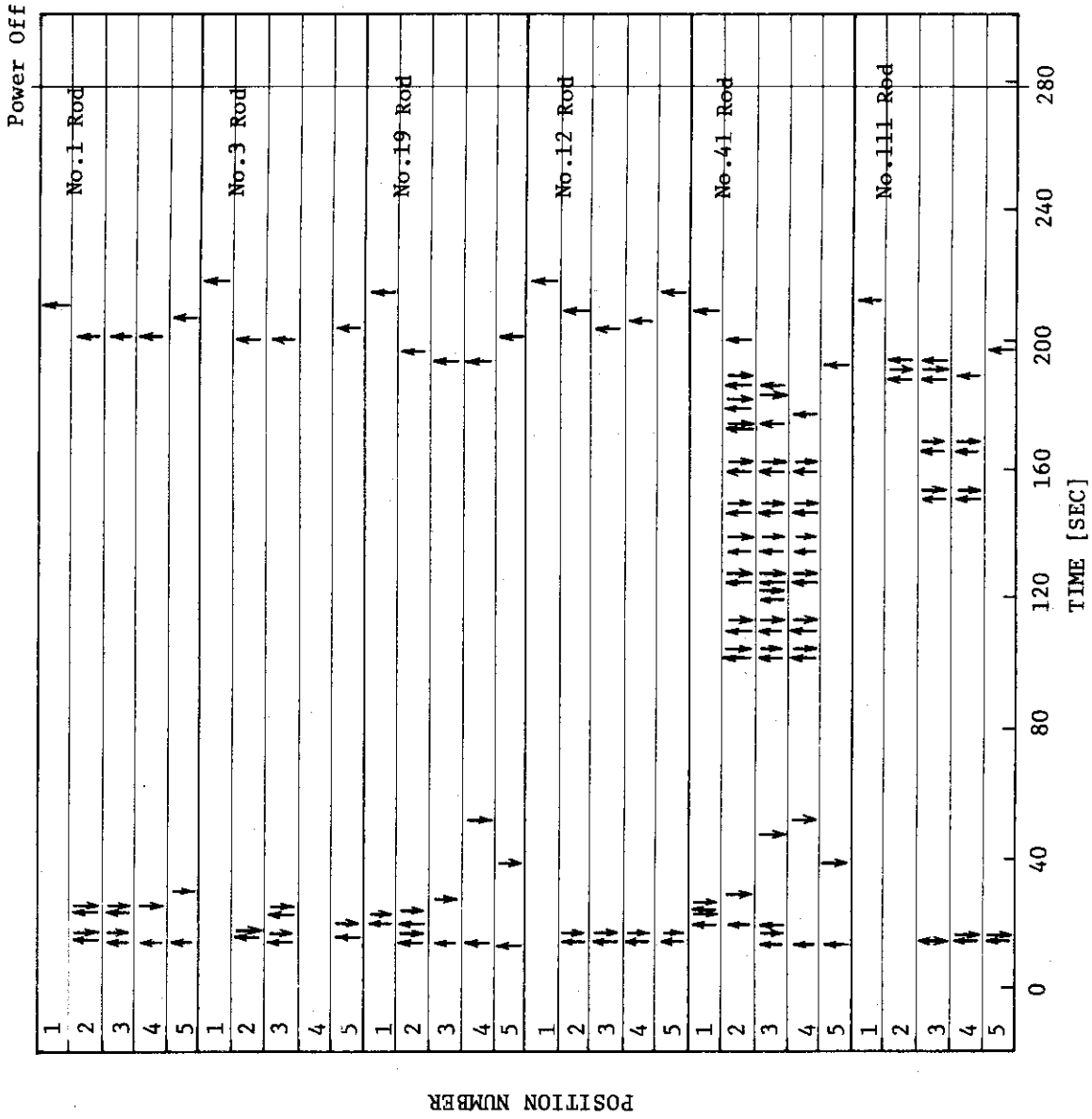


Fig. 3.4.18 Temperature Rise Time and Quench Time of Fuel Rods --- Run 316

(↑: temperature rise
↓: quench)

RUN 316 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 4 ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC1- AC2-U LP1-H LP2-H
 CH- 37 (O) TF-1 (NO.1 POSITION 1)
 CH- 39 (+) TF-3 (NO.1 POSITION 3)
 CH- 41 (◇) TF-5 (NO.1 POSITION 5)
 CH- 38 (△) TF-2 (NO.1 POSITION 2)
 CH- 40 (X) TF-4 (NO.1 POSITION 4)

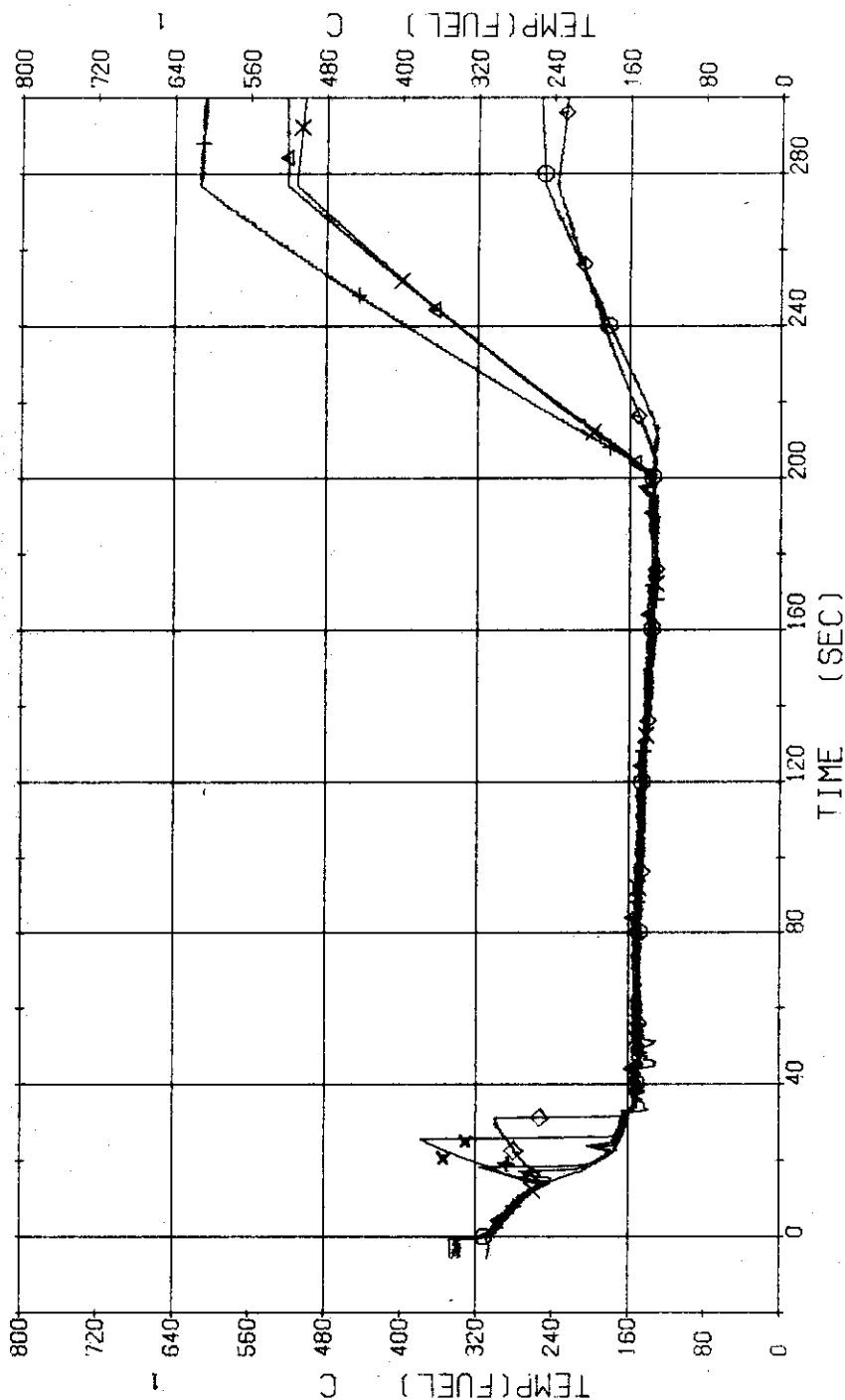


Fig. 3.4.19 Surface Temperatures of High Heat Flux Rod (No.1) at the Center of Core --- Run 316

RUN 316 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 4 ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC1- AC2-U LP1-H LP2-H
 CH- 42 OI TF-6 (NO.3 POSITION 1) CH- 43 ΔI TF-7 (NO.3 POSITION 2)
 CH- 44 +I TF-8 (NO.3 POSITION 3) CH- 46 XI TF-10 (NO.3 POSITION 5)

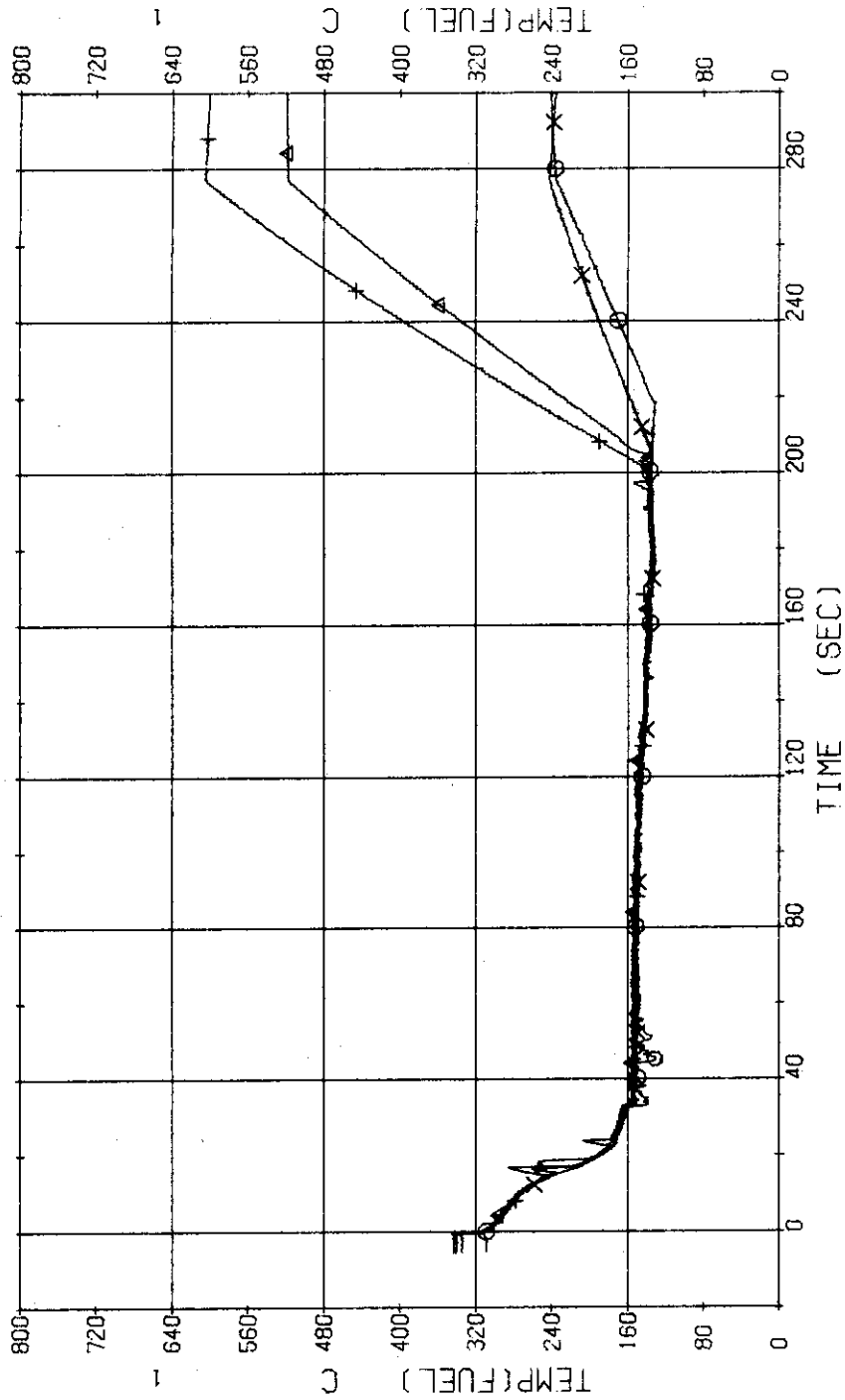


Fig. 3.4.20 Surface Temperatures of High Heat Flux Rod (No.3) near the Center of Core --- Run 316

RUN 316 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 4 ASSEMBLY

ECCS ---- HP1- HP2- AC1- AC2-U LP1-H LP2-H
 CH- 47 ◊ TF11 (NO.19 POSITION 1)
 CH- 49 + TF13 (NO.19 POSITION 3)
 CH- 51 ◊ TF15 (NO.19 POSITION 5)
 CH- 48 △ TF12 (NO.19 POSITION 2)
 CH- 50 X TF14 (NO.19 POSITION 4)

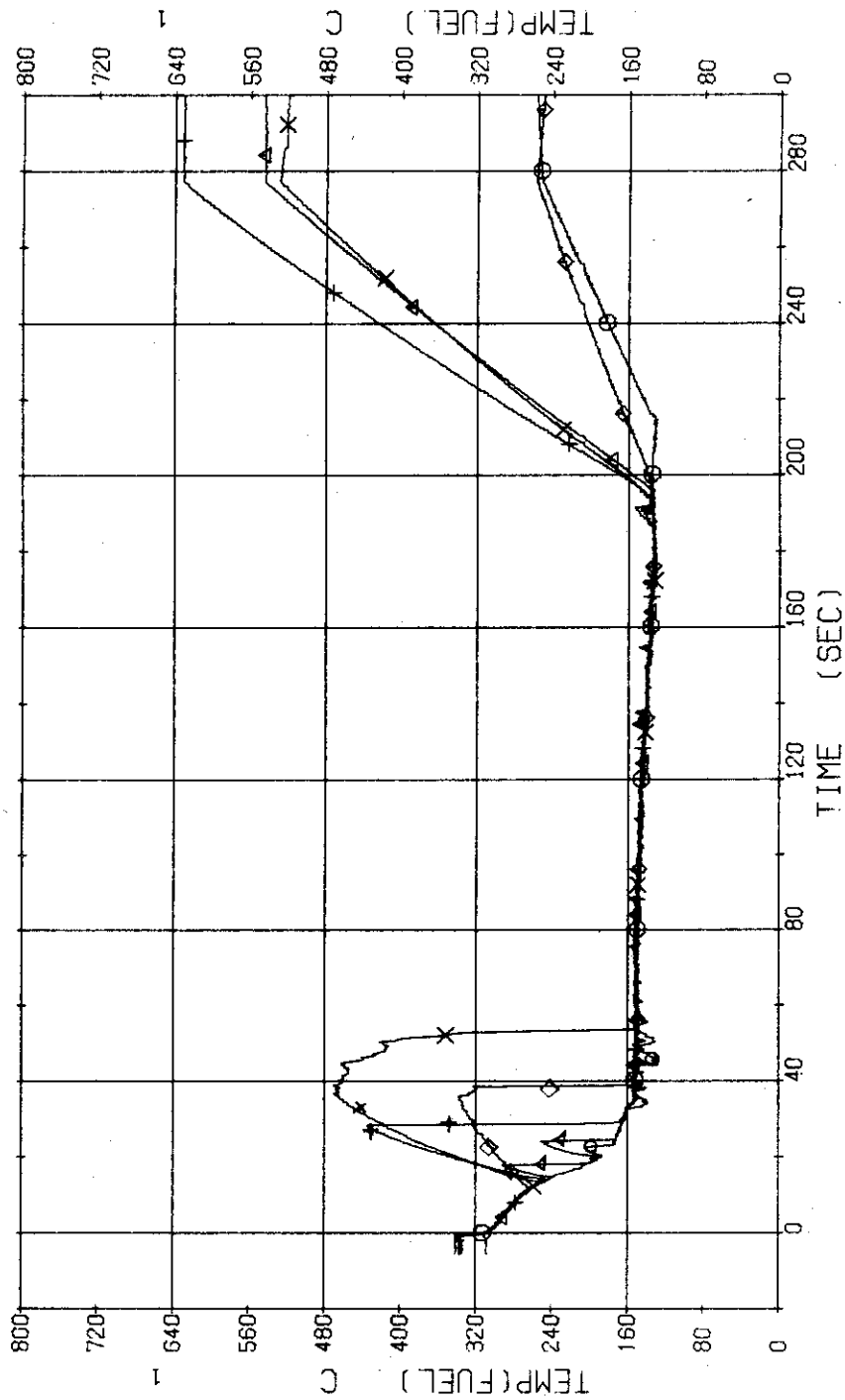


Fig. 3.4.21 Surface Temperatures of High Heat Flux Rod (No.19) in the Middle Part of Core ---- Run 316

RUN 316 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 4 ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC1- AC2-U LP1-H LP2-H
 CH- 52 (O) TF16 (NO.12 POSITION 1))
 CH- 54 (+) TF18 (NO.12 POSITION 3))
 CH- 56 (X) TF20 (NO.12 POSITION 5))
 CH- 53 (Δ) TF17 (NO.12 POSITION 2))
 CH- 55 (X) TF19 (NO.12 POSITION 4))

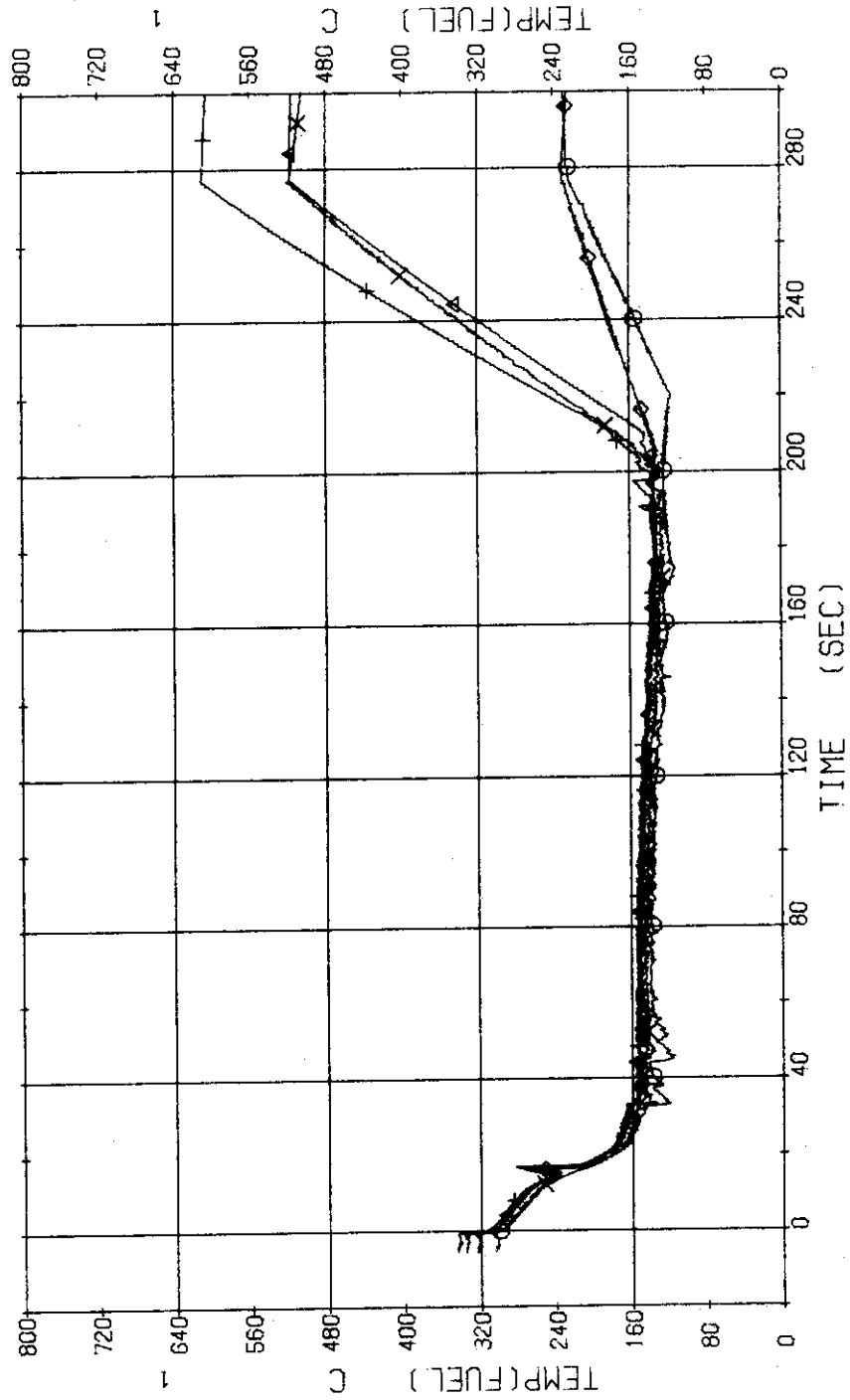


Fig. 3.4.22 Surface Temperatures of Low Heat Flux Rod (No.12) in the Middle Part of Core --- Run 316

RUN 316 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 4 ASSEMBLY

ECCS ---- HP1- HP2- AC1- AC2-U LP1-H LP2-H
 CH- 57 ◊ TF21 (NO.41 POSITION 1))
 CH- 59 + TF23 (NO.41 POSITION 3))
 CH- 61 ◊ TF25 (NO.41 POSITION 5))
 CH- 58 △ TF22 (NO.41 POSITION 2))
 CH- 60 X TF24 (NO.41 POSITION 4))

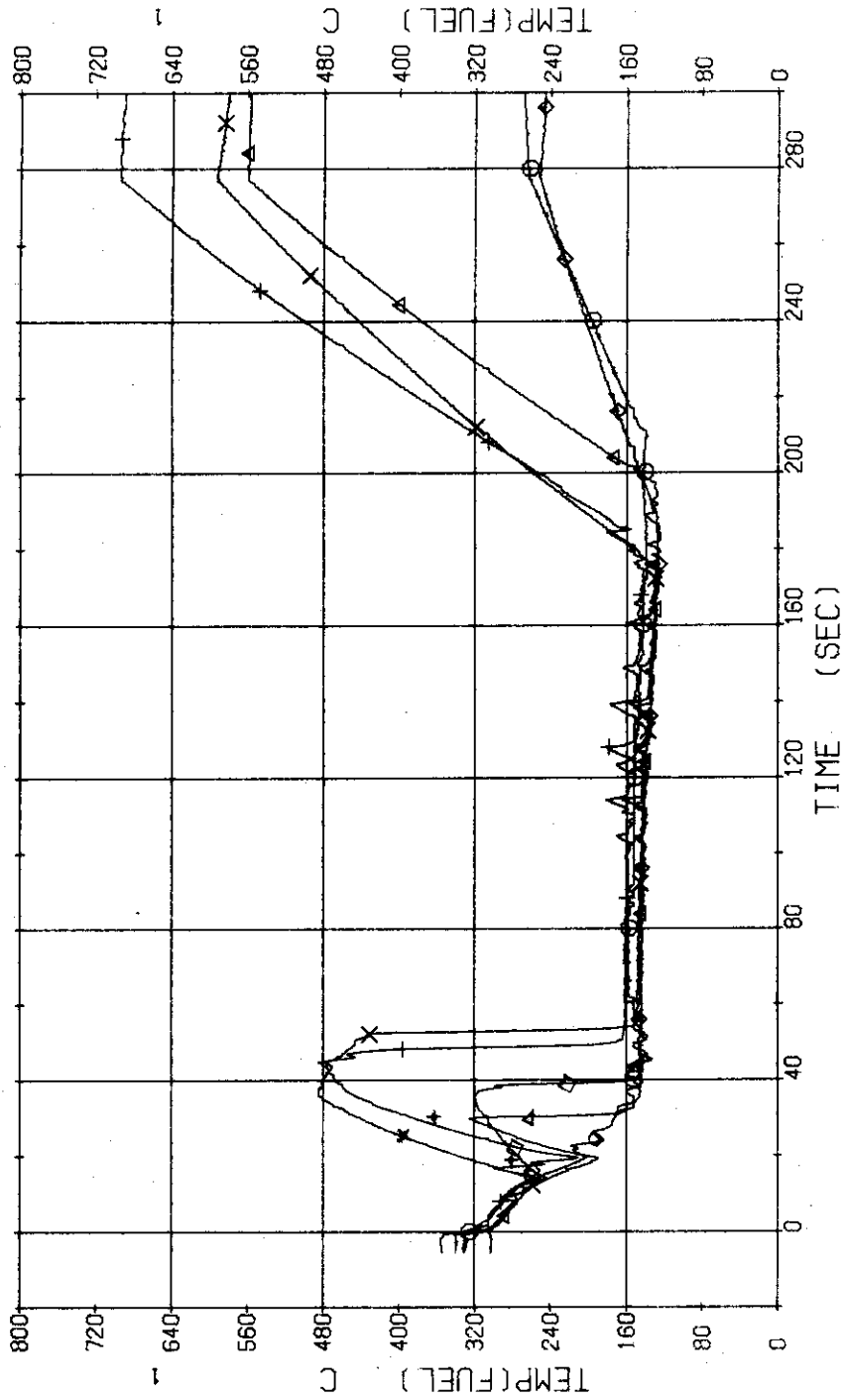


Fig. 3.4.23 Surface Temperatures of Low Heat Flux Rod (No.41) in the Middle Part of Core --- Run 316

RUN 316 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 4 ASSEMBLY

ECCS --- HP1- HP2- AC1- AC2-U LP1-H LP2-H
 CH- 62 () TF26 (NO.111 POSITION 1)
 CH- 64 (+) TF28 (NO.111 POSITION 3)
 CH- 66 (x) TF30 (NO.111 POSITION 5)
 CH- 63 (Δ) TF27 (NO.111 POSITION 2)
 CH- 65 (X) TF29 (NO.111 POSITION 4)

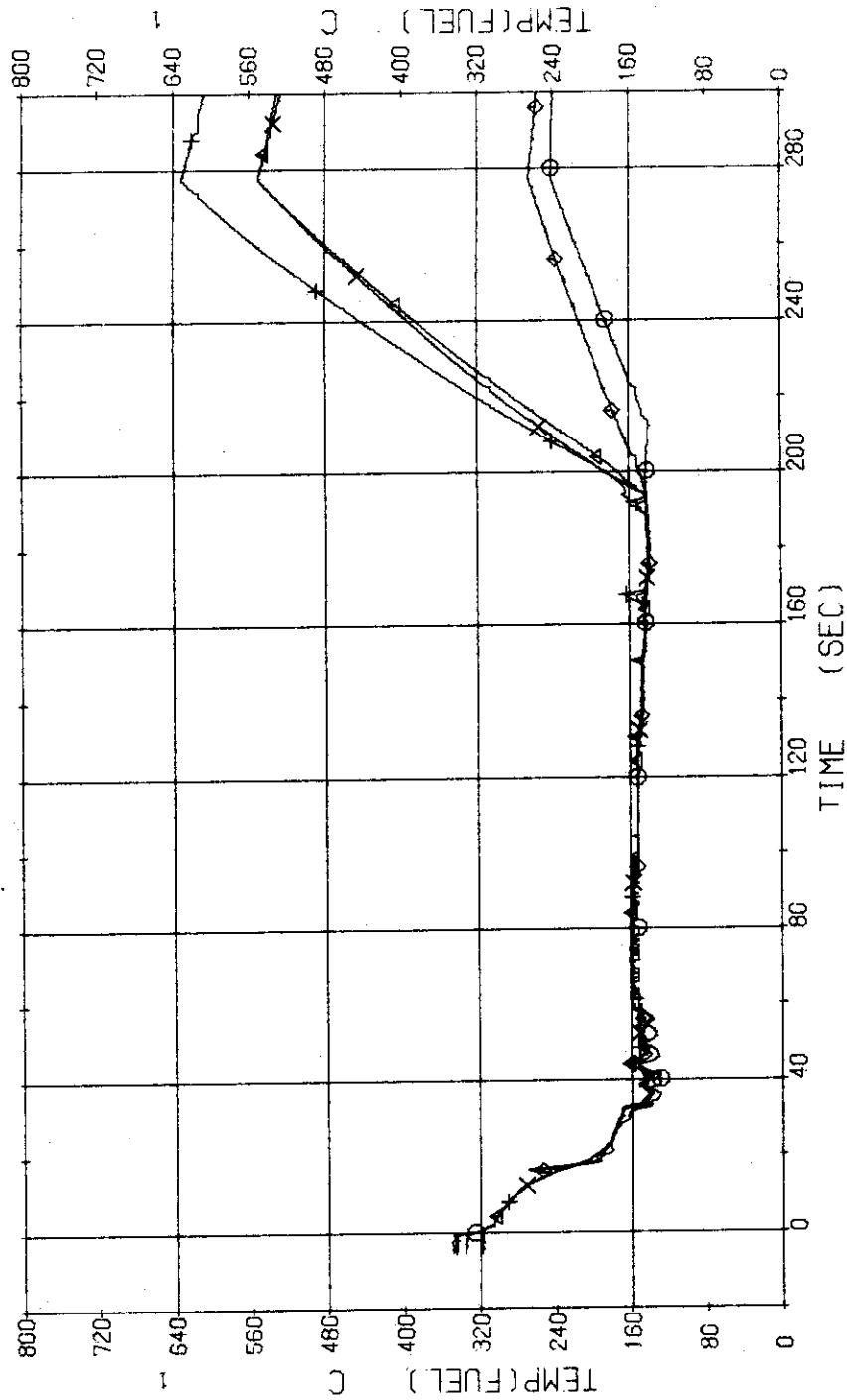


Fig. 3.4.24 Surface Temperatures of Low Heat Flux Rod (No.111) at the Outer Part of Core --- Run 316

RUN 316 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 4 ASSEMBLY

EOCs --- HP1- HP2- AC1- AC2-U LP1-H LP2-H
 CH- 67 () TF31 (NO.110 POSITION 1)
 CH- 69 () TF33 (NO.110 POSITION 3)
 CH- 71 () TF35 (NO.110 POSITION 5)
 CH- 68 (X) TF32 (NO.110 POSITION 2)
 CH- 70 (X) TF34 (NO.110 POSITION 4)

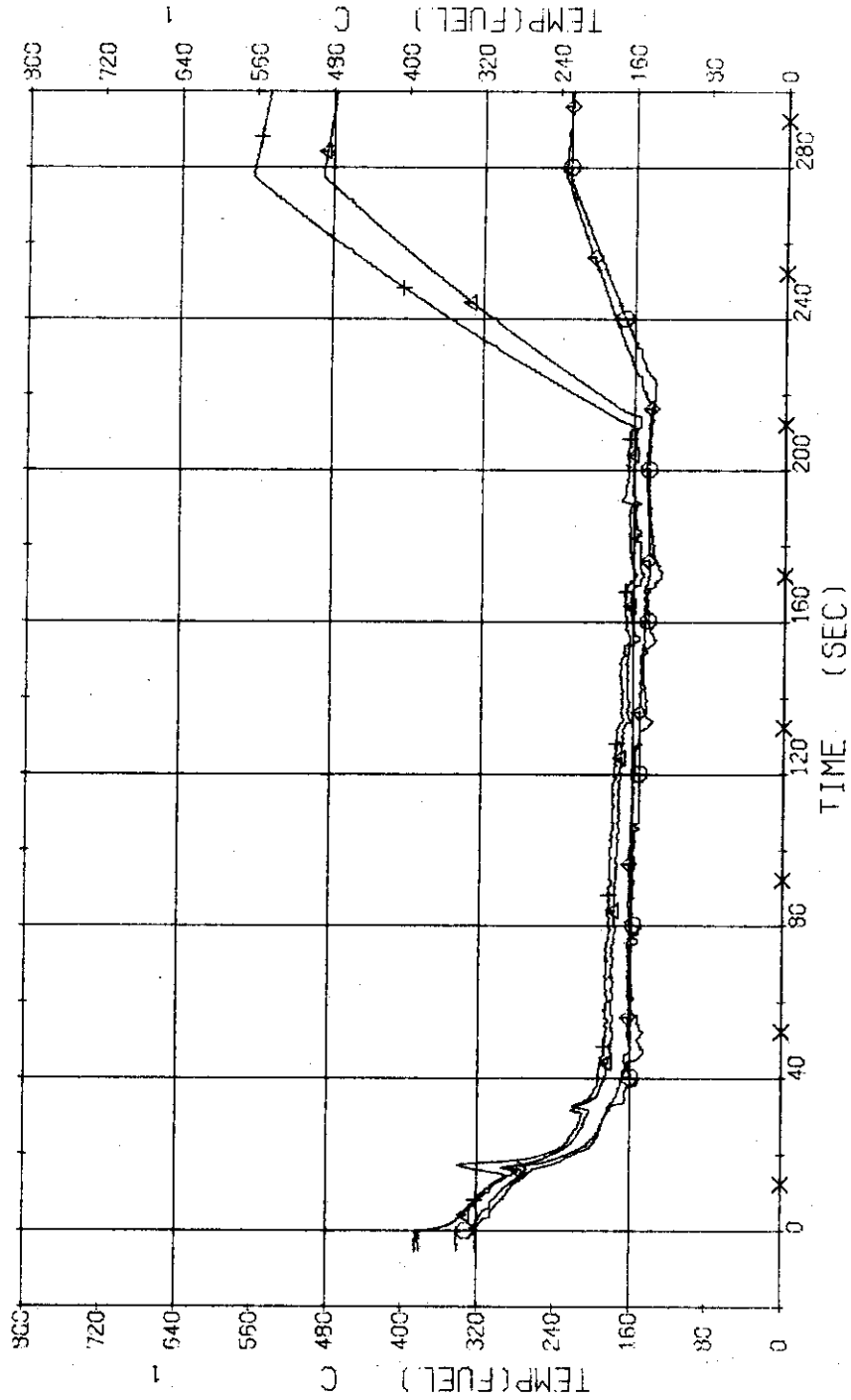


Fig. 3.4.25 Surface Temperatures of Low Heat Flux Rod (No.110) at the Outer Part of Core --- Run 316

RUN 316 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 4 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- HP2- AC1- LP1-H LP2-H
 CH- 72 U T- 1 (PV UPPER PLENUM) CH- 83 A T-12 (PRESSURIZER)

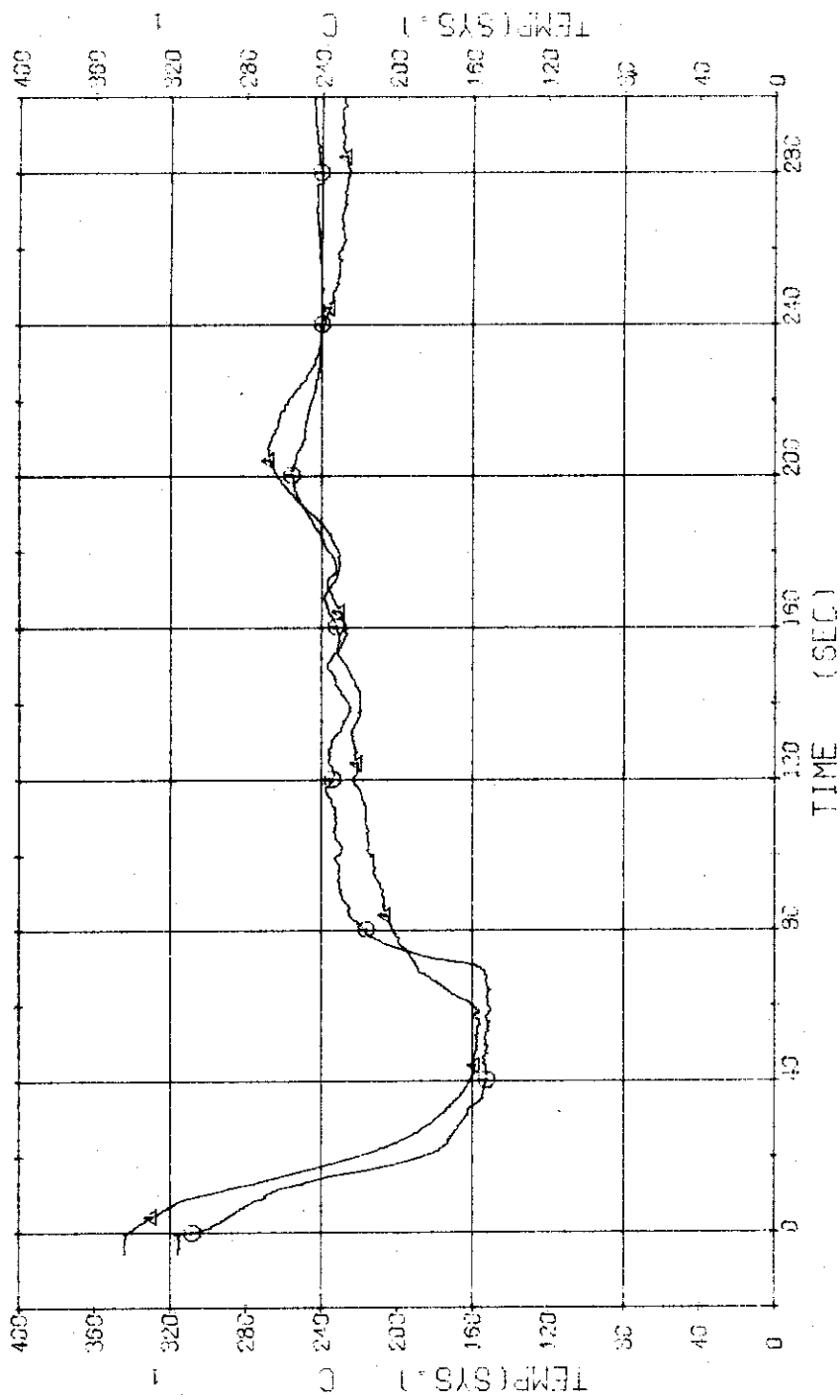


Fig. 3.4.26 Fluid Temperatures in Pressure Vessel and Pressurizer
 --- Run 316

RUN 316 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 4 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- HP2- AC1- AC2-U LP1-H LP2-H
 CH- 76 01 T- 5 (SC 1 INLET) CH- 77 01 T- 6 (SC 1 OUTLET)
 CH- 78 +1 T- 7 (P 1 PUMP DELIVERY)

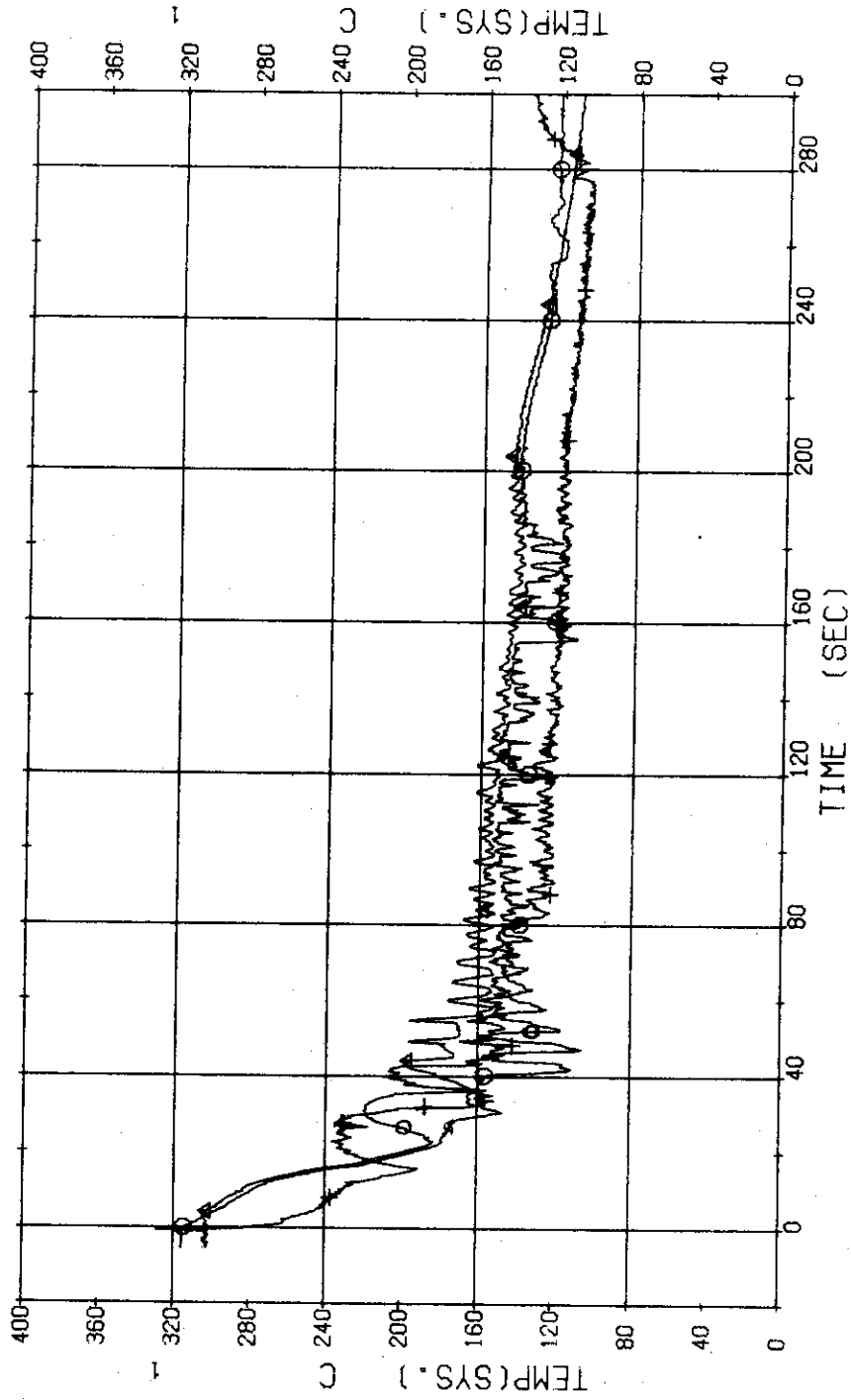


Fig. 3.4.27 Fluid Temperatures in Blowdown Loop ---- Run 316

RUN 316 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 4 ASSEMBLY
 ELOC --- HP1--- HP2--- AC1--- LP2-H
 CH- 80 2A T- 9 (SG 2 INLET) CH- 82 4A T-11 (P 2 PUMP DELIVERY)

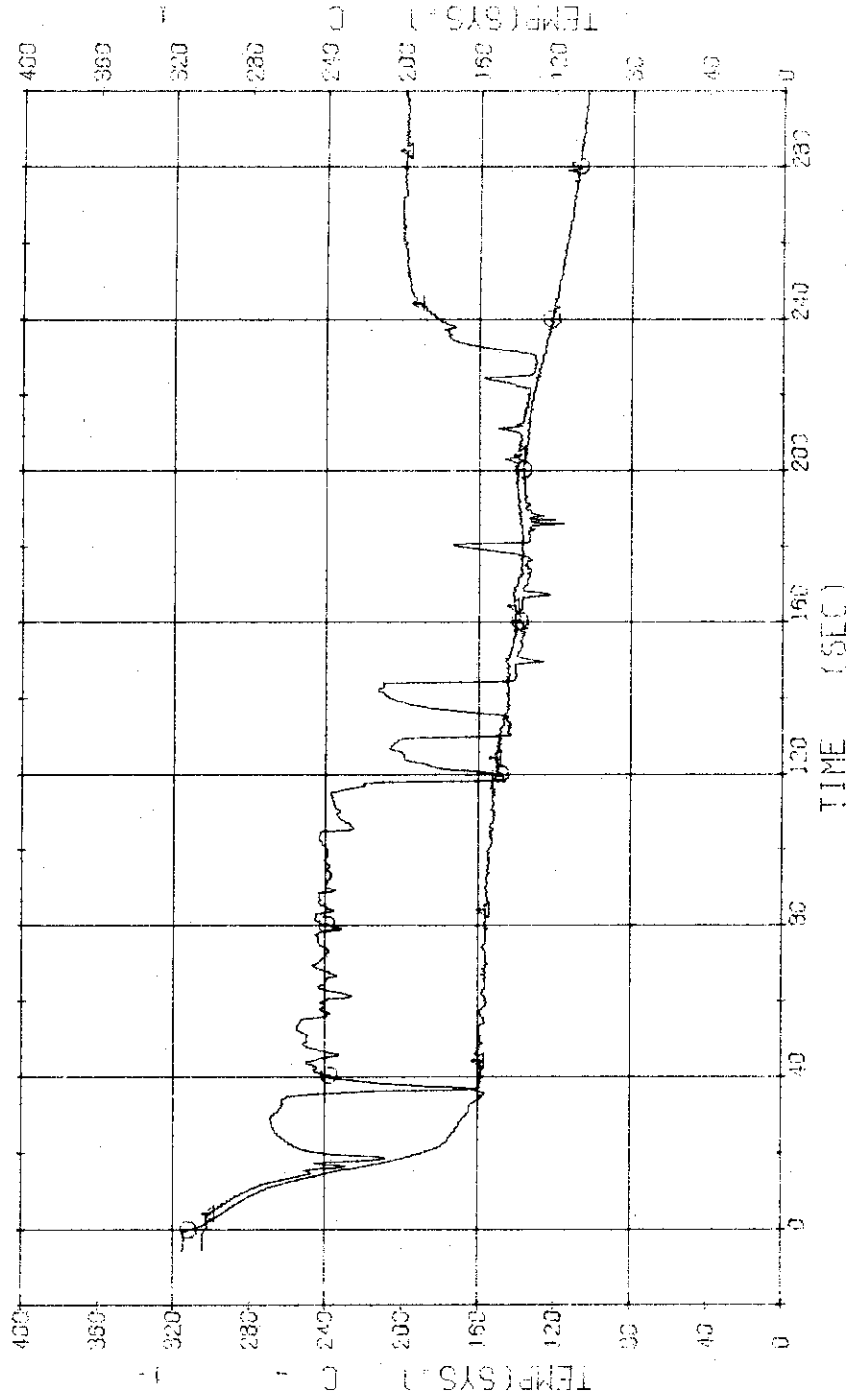


Fig. 3.4.28 Fluid Temperatures in Intact Loop --- Run 316

RUN 316 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 4 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- HP2- AC1- LP2-H
 CH- 84 01 T-13 (SG 1 SHELL OUTLET) CH- 85 01 T-14 (SG 2 SHELL OUTLET)

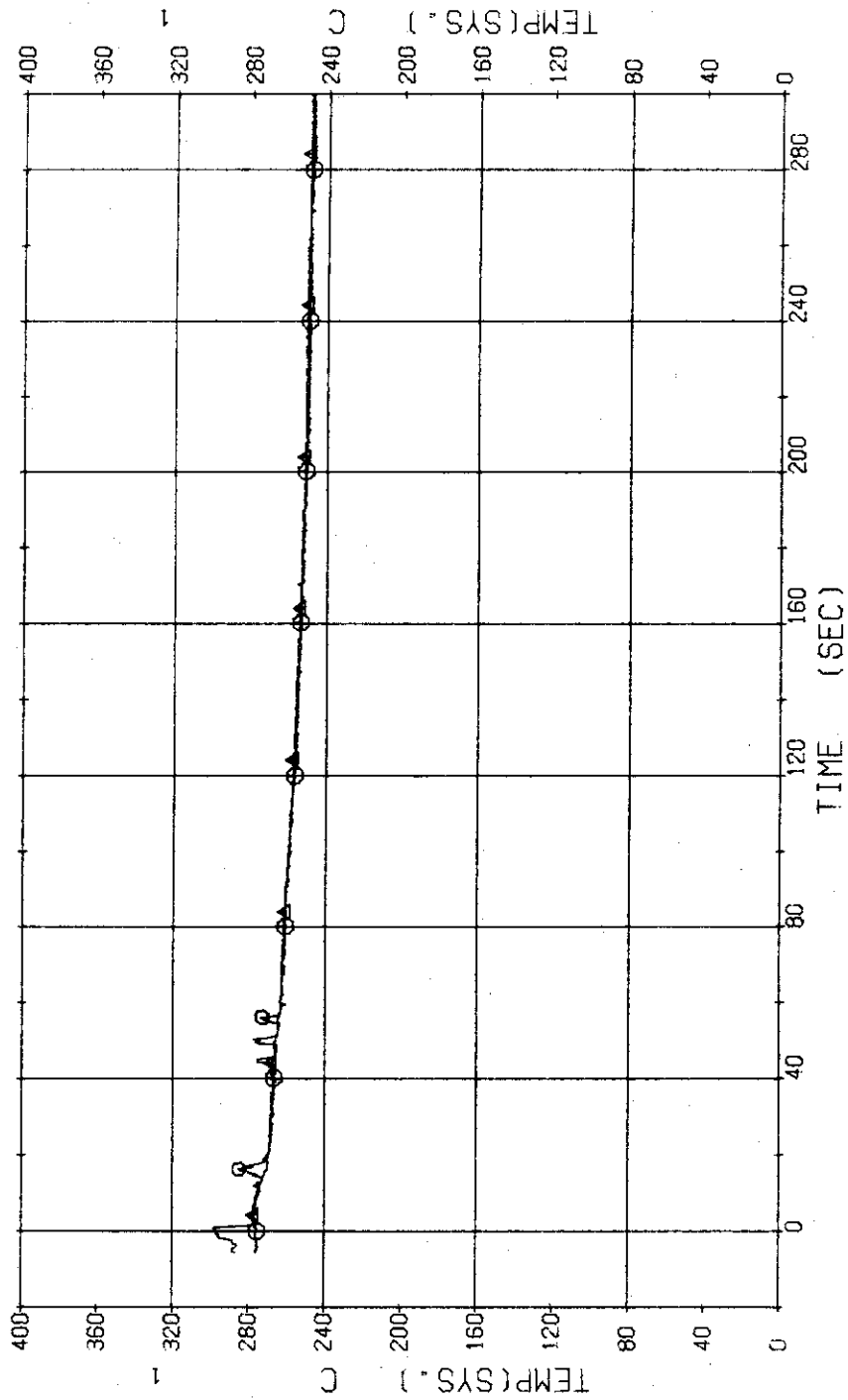


Fig. 3.4.29 Secondary Fluid Temperatures at the Outlets of SG1 and SG2 --- Run 316

RUN 316 COLD LEG BREAK BREAK DIAMETER 37.5/37.5 MM NO 4 ASSEMBLY
 ECCS --- HP1- HP2- AC1- AC2-U LP1-H LP2-H
 CH-101 N-1 (PUMP REVOLUTION NO.) CH-102 N-2 (PUMP REVOLUTION NO.)

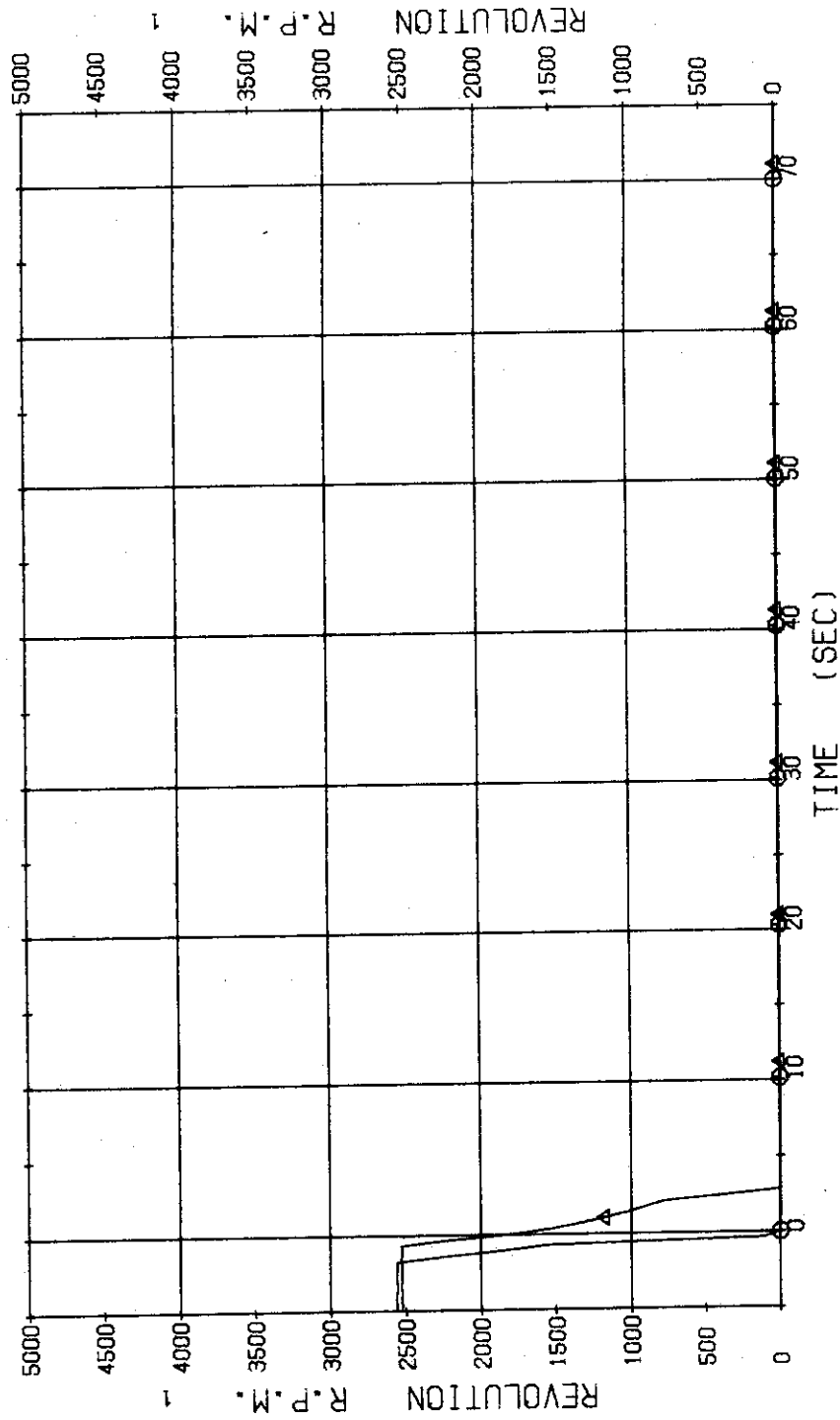


Fig. 3.4.30 Pump Revolution Numbers --- Run 316