

JAERI-M  
82-002

大型再冠水円筒炉心試験・  
第1次炉心・54年度試験  
—試験結果の解析—

1982年3月

村尾 良夫・秋本 肇・大久保 努  
須藤 高史・平野 見明

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

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

JAERI-M reports are issued irregularly.

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

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1982

編集兼発行 日本原子力研究所  
印 刷 いばらき印刷株

大型再冠水円筒炉心試験・第1次炉心・54年度試験  
—試験結果の解析—

日本原子力研究所東海研究所安全工学部

村尾 良夫・秋本 肇・大久保 努

須藤 高史・平野 見明

( 1982年1月29日受理 )

54年度分として行った19回の試験結果にもとづいて行った解析の結果について中間報告としてまとめたものである。

試験結果から次の事柄が見い出された。

- (1) ダウンカマ部の熱水力挙動を除き、試験結果は、全体としては現在の安全評価モデルを肯定し、かつ、その保守性を示すことが見い出された。
- (2) ダウンカマについては、水位の上昇速度が低く、飽和値又は溢水位に達するのに時間がかかったが、これは、ECC水の注水流量の設定値が保守的に低くすぎたためと考えられ、今後の注水流量を変えた試験によりこの点を確認することとした。

ループシール蓄水試験は、電源遮断設定温度が低くすぎたために試験中に電源が遮断し、中断した。今後再試験を行う。

これらの解析結果に基づき、今後行うべき試験についてまとめた。この中で、再浸水(リフィル)挙動の試験を提案した。

Large Scale Reflood Test with Cylindrical Core Test  
Facility (CCTF) • Core I • FY 1979 Tests

— Analysis of Test Results —

Yoshio MURAO, Hajime AKIMOTO, Tsutomu OKUBO

Takashi SUDOH and Kemmei HIRANO

Division of Reactor Safety,  
Tokai Research Establishment, JAERI  
(Received January 29, 1982)

This report presents the results of analysis of the data obtained in the CCTF Core I test series (19 tests) in FY. 1979 as an interim report.

The analysis of the test results showed that:

- (1) The present safety evaluation model on the reflood phenomena during LOCA conservatively represents the phenomena observed in the tests except for the downcomer thermohydrodynamic behavior.
- (2) The downcomer liquid level rose slowly and it took long time for the water to reach a terminal level or the spill-over level. It was presume that such a results was due to an overly conservative selection of the ECC flow rate. This presumption will be checked against a future test result for an increased flow rate.

The loop-seal-water filling test was unsuccessful due to a premature power shutdown by the core protection circuit. The test will be conducted again.

The tests to be performed in the future are summerized. Tests for investigation of the refill phenomena were also proposed.

Keywords : Reactor Safety, Loss-of-coolant Accident, Hydrodynamics, Reflood, ECCS, PWR, Downcomer

---

The work performed under contracts from Atomic Energy Bureau of Japan.

## 目 次

1. 序 論 .....	1
2. 試験装置と試験方法 .....	5
2.1 堆容器および内部構造物 .....	5
2.2 発熱棒集合体 .....	6
2.3 一次系ループおよびECCS .....	7
2.4 計測システム .....	7
2.5 試験方法 .....	8
2.6 試験条件 .....	9
3. 試験結果のまとめ .....	50
4. 試験結果の検討 .....	100
4.1 基準試験および再現性試験 .....	100
4.2 パラメータ効果試験 .....	115
4.3 結合試験 .....	129
4.4 特殊効果試験 .....	134
4.5 まとめと将来への課題 .....	141
5. 結 論 .....	144
謝 辞 .....	144
記号表 .....	145

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Test facility and test procedures .....	5
2.1 Presure vessel and internals .....	5
2.2 Heated rod assembly .....	6
2.3 Primary loops and ECCS .....	7
2.4 Instrumentation system .....	7
2.5 Test procedures .....	8
2.6 Test conditions .....	9
3. Summary of test results .....	50
4. Discussion of test results .....	100
4.1 Base case test and reproducability test .....	100
4.2 Parameter effect tests .....	115
4.3 Coupling tests .....	129
4.4 Special effect tests .....	134
4.5 Summary and subjects for a future study .....	141
5. Conclusions .....	144
Acknowledgement .....	144
Nomenclature .....	145

## Table list

Table 2.1	Component scaled dimensions of Cylindrical Core Test Facility	
Table 2.2	Test conditions of the base case test and their data bases	
Table 2.3	Parameter ranges of tests	
Table 3.1	Summary of CCTF test conditions	
Table 3.2.1	Summary of CCTF test Cl-SH3	
Table 3.2.2	"	Cl-SH4
Table 3.2.3	"	Cl-SH5
Table 3.2.4	"	Cl-1
Table 3.2.5	"	Cl-2
Table 3.2.6	"	Cl-3
Table 3.2.7	"	Cl-4
Table 3.2.8	"	Cl-5
Table 3.2.9	"	Cl-6
Table 3.2.10	"	Cl-7
Table 3.2.11	"	Cl-8
Table 3.2.12	"	Cl-9
Table 3.2.13	"	Cl-10
Table 3.2.14	"	Cl-11
Table 3.2.15	"	Cl-12
Table 3.2.16	"	Cl-13
Table 3.2.17	"	Cl-14
Table 3.2.18	"	Cl-15
Table 3.2.19	"	Cl-16
Table 3.3.1	Test conditions of CCTF Test Cl-SH3	
Table 3.3.2	"	Cl-SH4
Table 3.3.3	"	Cl-SH5
Table 3.3.4	"	Cl-1
Table 3.3.5	"	Cl-2
Table 3.3.6	"	Cl-3
Table 3.3.7	"	Cl-4
Table 3.3.8	"	Cl-5
Table 3.3.9	"	Cl-6
Table 3.3.10	"	Cl-7
Table 3.3.11	"	Cl-8
Table 3.3.12	"	Cl-9
Table 3.3.13	"	Cl-10

Table 3.3.14	Test conditions of CCTF Test Cl-11	
Table 3.3.15	"	Cl-12
Table 3.3.16	"	Cl-13
Table 3.3.17	"	Cl-14
Table 3.3.18	"	Cl-15
Table 3.3.19	"	Cl-16
Table 4.1.1	Comparison of test conditions between Test Cl-2 and Test Cl-11	
Table 4.2.1	Test conditions of flow rate effect tests	
Table 4.3.1	Comparison of test conditions between FLECHT 3105B and CCTF Test Cl-16	
Table 4.3.2	Comparison of test conditions between PKL K7A and CCTF Test Cl-SH5	
Table 4.4.1	Test conditions of "Refill simulation tests"	
Table 4.5.1	Summary of the system behaviors	

### Figure list

Fig. 1.1	Mass and momentum balance in PWR system
Fig. 2.1	Schematic diagram of cylindrical core test facility
Fig. 2.2	Dimensions of pressure vessel
Fig. 2.3	Cross section of pressure vessel
Fig. 2.4	Schematic of internals
Fig. 2.5	Baffle plates in control rod guide tubes
Fig. 2.6	Upper plenum control rod guide tube
Fig. 2.7	Arrangement of internals
Fig. 2.8	Arrangement of rods in core
Fig. 2.9	8×8 heater rod bundle
Fig. 2.10	Bundle arrangement
Fig. 2.11	Heater rod
Fig. 2.12	Power profile and thermocouple elevations of heater rods
Fig. 2.13	Primary loop piping
Fig. 2.14	Vertical view of primary loop
Fig. 2.15	Steam generator simulator
Fig. 2.16	Pump simulator

Fig. 2.17	Data acquisition system-I
Fig. 2.18	Data acquisition system-II
Fig. 2.19	Data acquisition system-III
Fig. 2.20	Locations of liquid level detectors
Fig. 2.21	Pressure, differential pressure and liquid level instrumentation locations in pressure vessel
Fig. 2.22	Location of instrumented rods
Fig. 2.23	Elevation of each sensor of liquid level detectors
Fig. 2.24	Thermocouple locations except pressure vessel and steam generator simulators
Fig. 2.25	Pressure, differential pressure and liquid level instrumentation locations except pressure vessel
Fig. 2.26	Thermocouple locations in pressure vessel
Fig. 2.27	Location of thermocouples installed on instrumented rods
Fig. 2.28	Thermocouple locations in steam generator simulator-I and -II
Fig. 2.29	Diagram of sequence of test
Fig. 3.1	Clad surface temperature (C1-SH3)
Fig. 3.2	" (C1-SH4)
Fig. 3.3	" (C1-SH5)
Fig. 3.4	" (C1-1)
Fig. 3.5	" (C1-2)
Fig. 3.6	" (C1-3)
Fig. 3.7	" (C1-4)
Fig. 3.8	" (C1-5)
Fig. 3.9	" (C1-6)
Fig. 3.10	" (C1-7)
Fig. 3.11	" (C1-8)
Fig. 3.12	" (C1-9)
Fig. 3.13	" (C1-10)
Fig. 3.14	" (C1-11)
Fig. 3.15	" (C1-12)
Fig. 3.16	" (C1-13)
Fig. 3.17	" (C1-14)
Fig. 3.18	" (C1-15)
Fig. 3.19	" (C1-16)
Fig. 4.1.1	Rod surface temperature just below the control rod guide tubes (bundle 4 and bundle 5)

- Fig. 4.1.2 Rod surface temperature just below the control rod guide tubes (bundle 29 and bundle 31)
- Fig. 4.1.3 Downcomer head and core head
- Fig. 4.1.4 Upper plenum water head
- Fig. 4.1.5 Total pressure drop across loop
- Fig. 4.1.6 ECC water injection rate into lower plenum
- Fig. 4.1.7 ECC water injection rate into each cold leg
- Fig. 4.1.8 Total power supplied to the core
- Fig. 4.1.9 Measured mass balance in system
- Fig. 4.1.10 Symmetry of core head
- Fig. 4.1.11 Symmetry of clad surface temperature histories to the center axis
- Fig. 4.1.12 Symmetry of downcomer head
- Fig. 4.1.13 Symmetry of upper plenum water head
- Fig. 4.1.14 Total pressure drop across loop
- Fig. 4.1.15 Steam mass flow rate at loop seal
- Fig. 4.1.16 Temperature in steam generator
- Fig. 4.1.17 Flow behavior around ECC port of intact 1
- Fig. 4.2.1 Effect of system pressure on clad surface temperature
- Fig. 4.2.2 Effect of system pressure on mass flow rate at core inlet
- Fig. 4.2.3 Effect of system pressure on pressure loss across loop
- Fig. 4.2.4 Effect of flow rate on clad surface temperature
- Fig. 4.2.5 Effect of ACC flow rate on water head and pressure loss
- Fig. 4.2.6 Effect of LPCI flow rate on water head and pressure loss
- Fig. 4.2.7 Effect of initial clad temperature on clad temperature history
- Fig. 4.2.8 Effect of initial clad temperature on pressure loss across loop
- Fig. 4.2.9 Effect of initial downcomer wall temperature on clad temperature history
- Fig. 4.2.10 Effect of initial downcomer wall temperature on fluid temperature at core inlet
- Fig. 4.2.11 Effect of initial downcomer wall temperature on downcomer water head
- Fig. 4.2.12 Pressure losses across loop in cold downcomer wall test
- Fig. 4.2.13 Pressure losses across loop in base case
- Fig. 4.2.14 Effect of loop flow resistance on clad surface temperature

- Fig. 4.2.15 Effect of loop flow resistance on pressure loss across loop
- Fig. 4.2.16 Effect of loop flow resistance on steam mass velocity in loop
- Fig. 4.2.17 Effect of loop flow resistance on clad surface temperature at highest thermocouple elevation
- Fig. 4.2.18 Effect of loop flow resistance on water accumulation on UVSP
- Fig. 4.2.19 Effect of ECC water temperature on clad surface temperature
- Fig. 4.3.1 Axial power profile
- Fig. 4.3.2 Core inlet velocity
- Fig. 4.3.3 Clad surface temperature
- Fig. 4.3.4 Comparison of quench envelope between FLECHT 3105B and CCTF Cl-16
- Fig. 4.4.1 Schematic diagram of primary loop
- Fig. 4.4.2 Results of loop seal water filling test
- Fig. 4.4.3 Differential pressure and liquid level transient in loop seal water filling test
- Fig. 4.4.4 Collapsed level of core and downcomer
- Fig. 4.4.5 Clad surface temperature history
- Fig. 4.4.6 Clad surface temperature history
- Fig. 4.4.7 Fluid temperature at core inlet
- Fig. 4.4.8 Collapsed water level in downcomer and core
- Fig. 4.4.9 Water level in upper plenum

## 1. 序 論

加圧水型原子炉（PWR）の一次冷却水喪失事故時の再冠水過程における非常用炉心冷却系（ECCS）の炉心冷却効果を調べるために、大型再冠水効果実証試験計画が進められてきた。本計画の目的は、

- (1) 現在の安全評価基準の安全余裕度の定量化
- (2) 再冠水現象の実験的把握のためのデータの供給
- (3) 原研、米国NRCで開発中の最適評価コード（REFLA, TRAC）の検証用データの供給、である。

これらの目的を達成するための一環として、円筒炉心試験装置（Cylindrical Core Test Facility, CCTFと呼ぶ）が建設され、試験が行われてきた。

円筒炉心試験の目的は、PWRのシステム内での再冠水現象の総合的把握を行い、安全評価基準の総合的評価を行うことである。それ故、円筒炉心試験装置は、PWRの有する主要機器、配管類を可能な限り現実的に模擬することとした。炉心流路断面積比で100万KW級PWRの1/21.4、垂直方向には実寸大、4ループの一次系を有する低温側配管のギロチン破断を想定した試験装置とした。

円筒炉心試験の進め方は、次の通りである。

- (1) 可能な限りPWRを総合的に模擬した試験装置の設計、建設を行う。
- (2) 現在の安全評価基準に基づく事故時の熱水力条件に近く、かつ現実的な事故時の熱水力条件からも大きくはずれていない条件を設定し、この条件で試験を行う。（基準試験と呼ぶ。）
- (3) 現在の安全評価基準に基づくモデル（EMモデルと称する。）を参照しながら試験データを検討し、EMモデルの有する安全余裕度を定量的に調べる。
- (4) 更に試験条件を拡大し、試験パラメータを広範囲に変化させた試験条件で調べる。
- (5) CCTF試験が、他の試験装置の試験結果と矛盾のないものかどうか調べるため、FLECHT-SET試験等と同様の条件で試験を行う。（結合試験と呼ぶ。）
- (6) その他、基準試験に対して初期条件を大幅に変えた試験（特殊効果試験と呼ぶ。）を行い、初期条件が、現象にどのような影響を与えるかを調べる。
- (7) これらの試験結果にもとづいて、現在の安全評価基準の安全余裕度の定量化を行う。

再冠水現象については、実炉の安全評価解析において燃料被覆管最高温度が再冠水過程において生ずると計算されることもあって重視され、精力的な研究がなされてきた。

特に、米国で行われたPWR-FLECHT実験、FLECHT-SET実験においては、広範囲に実験条件を変え、炉心入口流速を人為的に制御した実験、システム全体を模擬し炉心入口流速がシステム全体の熱水力挙動から決定されるシステム効果実験が行われた。それらのデータから得られた炉心熱伝達率の相関式、炉心出口での総質量流量と炉心入口質量流量の比を決定するキャリオーバレート率の相関式は、現在、安全評価のための計算のために用いられている。

キャリオーバレート率の相関式は、主として下記のような仮定と組合せられて、炉心入口流速、

炉心入口水温の計算に用いられている。

- (1) 炉心から排出された水-蒸気混合物は、上部ブレナムに蓄水することなく、高温配管側を通り、蒸気発生器に入る。蒸気発生器内で水は完全に蒸発し、出口蒸気は蒸気発生器二次側水温と同じ温度まで加熱され、低温配管側に入り、ECCSの水と混合し、原子炉容器内のダウンカマ部に蓄水する。ダウンカマ部実液位が破断低温側配管ノズル高さに達すると、水はオーバーフローする。
- (2) 炉心液位、ダウンカマ液位は、それぞれ一次元的である。
- (3) ループ内の圧力損失は、蒸気発生器下流のポンプ部で生ずる。
- (4) 複数の健全ループがあっても、各ループ同一の特性を有し、並列振動がループ間に生ずることはない。蒸気が ECCS の水と混合する際に、何ら動的に激しい水力振動が生ずることなく、準定常的な混合が行われる。

炉心入口流速、水温が決定されると、熱伝達率相関式 (FLECHT 相関式と呼ばれている。) 等を用いて炉心内被覆管温度が計算される。この計算において、炉心内熱水力挙動は一次元的と仮定され、燃料のバルーニングが生じない限り、流動は軸方向のみに生ずる。同一の炉心入口条件に対して、任意の発熱密度の燃料棒の温度計算を行うことができる。

このような安全評価のためのモデル (EM モデルと呼ぶ。) が妥当なものか、実際の現象には、どの程度の安全余裕度があるかを調べることを試験目標として設定した。

再冠水現象は、準定常的と考えられる程、ゆっくりした現象である。米国の PWR-FLECHT 実験等より、炉心熱伝達に及ぼす因子として、系圧力、冠水速度 (炉心入口流速)、炉心入口水温、初期被覆管温度、発熱密度が重要であることがわかっているが、実炉においては、再冠水時の系圧力は格納容器の設計に依存し、一次系システム全体の挙動に関するものとしては、冠水速度が最も重要な因子である。残りの因子は、炉心熱伝達に直接関係した因子である。ここでは、冠水速度とシステム効果との関係を調べることとする。

準定常状態で、Fig. 1.1 に示すシステムの質量、運動量バランスは次のように表わすことができる。

$$\dot{m}_F = \dot{m}_C + \dot{m}_U + \dot{m}_L \quad (1)$$

$$\dot{m}_L = \dot{m}_B + 3 \times \dot{m}_I \quad (2)$$

$$\Delta P_D - \Delta P_C - \Delta P_U = \Delta P_I \quad (3)$$

$$\Delta P_I = (K_I / 2 \rho_I S_L^2) \dot{m}_I^2 \quad (4)$$

$$\Delta P_B = (K_B / 2 \rho_B S_L^2) \dot{m}_B^2 \quad (5)$$

$$\Delta P_B - \Delta P_I = \Delta P_{BCN} \quad (6)$$

ここで、記号は Fig. 1.1 に示されているが、 $\dot{m}$  は質量流量又は質量変化速度、 $\dot{m}_F$  は、炉心入口質量流量、 $\Delta P$  は差圧、 $K$  はループ抵抗係数、 $S$  は断面積、 $\rho$  は蒸気密度を表わし、添字 F は炉心入口、 C は炉心、 U は上部ブレナム、 L はループ、 B は破断ループ、 I は健全ループ (1 ループ)、 D はダウンカマ、 BCN は破断コールドレグノズルを示す。

炉心入口質量流量は式(1)から(6)により次のように表わすことができる。

$$\dot{m}_F = \dot{m}_C + \dot{m}_U + (\sqrt{(1 + \Delta P_{BCN}/\Delta P_I) 2 \rho_B/K_B} + 3\sqrt{2 \rho_I/K_I}) S_L \\ \times \sqrt{\Delta P_D - \Delta P_C - \Delta P_U} \quad (7)$$

EMモデルにおいては、 $\dot{m}_U = 0$ 、 $\Delta P_{BCN} = 0$ 、 $\Delta P_U = 0$ 、 $\Delta P_{BCN} = 0$ と仮定し、蒸気密度 $\rho$ は、蒸気発生器二次側水温に等しい蒸気温度に対するものを用いる。又、Kはポンプの羽根車がロックした場合の値を用いている。

(7)式のように冠水速度は、各部分の蓄水率、差圧に依存していると考えられるので、PWRを可能な限り模擬した装置で、EMモデルでの仮定とを比較しながら試験を進めることとした。

本年度の試験としては、第1炉心の19回の試験(機能試験3回を含む)を行った段階であり、前年度分の2回の機能試験を含めても最終的な結論を出すためには、今後の試験結果を待たねばならない。そのため、本報告書では、各試験の概要と基準試験、パラメータ効果試験、結合試験、特殊効果試験の結果についてまとめ、中間的総括を行うこととする。

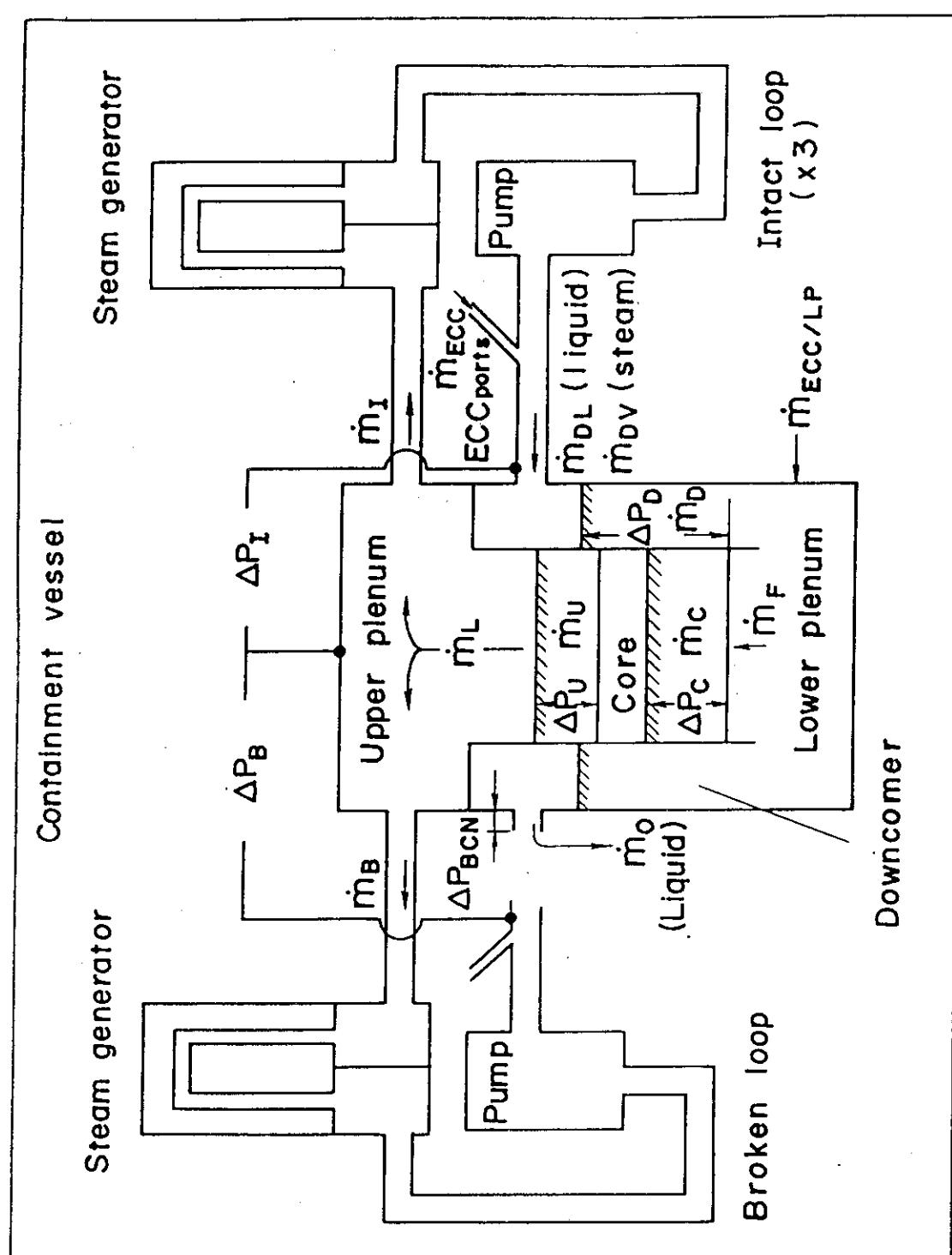


Fig. 1.1 Mass and momentum balance in PWR system

## 2. 試験装置と試験方法

円筒炉心試験装置（CCTF）は、下記の設計目標および設計基準を考慮の上設計された。

### 設計目標

- (1) PWR の LOCA 時の再浸水および再冠水過程中の一次冷却系のシステム全体の流動条件を合理的に模擬する。
- (2) 炉心を含むシステム全体の流動状況を把握するように計測器を合理的に配置し、能率的にデータ集録を行えるようにする。

### 設計基準

- (1) 参照炉は、米国の Trojan 炉および日本の大飯炉とする。
- (2) システムの高さ方向の寸法および位置は、可能な限り参照炉のそれに等しく取る。
- (3) システム機器の流路面積は、炉心流路面積の縮尺比に比例させて縮小する。
- (4) 試験機器は 4 つのループを持ち、3 つが健全ループで残りの 1 つが破断ループとする。
- (5) コールドレグ破断を模擬する。
- (6) ECCS は、蓄圧注水系と LPCI 注水系とから成る。
- (7) 装置の最大許容圧力は 0.6 MPa とする。
- (8) 模擬燃料棒の最大許容温度は、保証値としては 900 °C とするが、設計値としては可能な限り高くすること。
- (9) 模擬燃料集合体を除く一次系機器の最大許容温度は 350 °C とする。
- (10) 模擬燃料集合体としては、15 × 15 本型燃料集合体の燃料棒を模擬した約 2000 本の電気発熱棒を用いる。
- (11) 上部ブレナム構造物の設計は、17 × 17 本型燃料集合体用構造物の設計に基づく。
- (12) 各ループの流動抵抗は、ポンプ模擬体の中のオリフィスによって調節する。
- (13) 格納容器は、2 つのタンクで模擬する。

全体的な概略図を Fig. 2.1 に、各機器の寸法縮小比を Table 2.1 に示す。

### 2.1 炉容器および内部構造物

炉容器は、Fig. 2.2 に示すように、円筒形をしている。高さは、参照炉の炉容器と同じであり、半径方向は、炉心流路面積の縮小率に応じて縮小してある。

炉心は、8 × 8 本の電気発熱棒のバンドル 32 体よりなり、15 × 15 本型燃料集合体を模擬し、円筒的な配置に配列されており、非発熱棒も存在する。炉心の配列は、Fig. 2.3 に示されている。

ダウンカマは、Fig. 2.3 に示すように 61.5 mm のギャップを有する円環状のものである。炉心バッフル領域の断面積は、このダウンカマのギャップ幅に含まれている。従って、炉心バッフル領域は、ダウンカマ模擬部に含まれており、この炉容器の中では別個に模擬されていない。この領域は密封され、流体が流れないようになっている。

炉容器壁は、炭素棒で作られており、表面はステンレスが溶接されている。壁は 90 mm の厚さを持ち、温度制御可能な予熱系により再冠水時の壁内からの放熱ができる限り合理的に模擬できるようにしてある。

上部プレナム構造物の設計は、ウェスチングハウス社の旧型の  $17 \times 17$  本型燃料集合体用の設計に基づいている。内部構造物は、制御棒案内管、支持柱、短柱、オリフィス、開孔の 5 種類で、Fig. 2.4 にそれらが示されている。各々の内部構造物の半径は、実炉の物の  $8/15$  に縮小されている。C1-5 以降の試験においては、制御棒案内管の内には、流動抵抗バッフルが挿入されている。バッフルは、4 種類のバッフル板と支柱から構成されている。バッフル板は、Fig. 2.5 に示されており、Fig. 2.6 に示されるように案内管内に取り付けられている。内部構造物の配置は、Fig. 2.7 に示されている。

ホットレグとコールドレグの高さ（ノズルの下端）は、実炉のそれを模擬している。

## 2.2 発熱棒集合体

燃料集合体を模擬している発熱棒集合体は、Fig. 2.8 に示されるような 32 ケの  $8 \times 8$  の集合体から成っている。各々のバンドルは、電気発熱棒、非発熱棒、支持構造物、計測器類から構成されており、 $15 \times 15$  本型燃料集合体を模擬して作られている。炉心は、更に Fig. 2.8 に示されるような 3 つの領域に分かれる。中央領域は 4 つのバンドルから成り（M5）、中間領域は 12 のバンドルから成り（M6, M7, M8, M9）、周辺領域は 16 のバンドルから成っている（M1, M2, M3, M4）。各領域を別々に制御することも可能である。各バンドル内での発熱棒の局所ピーキング係数が Fig. 2.9 に、またバンドルの方向が Fig. 2.10 に示されている。

発熱棒は、ニクロムの発熱体、酸化マグネシウム（MgO）と窒化ホウ素（BN）の断熱材、インコネル-600 の被覆から成っている。Fig. 2.11 に示されているように、BN は、発熱棒の中央部分のみに用いられており、残りの部分には MgO が用いられている。発熱棒の発熱長および外径は、3.66 m および 10.7 mm であり、RWR の燃料棒と同一である。被覆は、1.0 mm の厚さで、実際の燃料の被覆より厚く、これは熱電対を付けるためである。発熱体は Fig. 2.12 に示されているような 17 段階のコサイン状の軸方向出力分布を持つようにピッチを変えて巻いてあるラセン状のコイルである。軸方向のピーキング係数は、約 1.49 である。

非発熱棒は、外径 13.8 mm のステンレス製のパイプまたは丸棒である。パイプは、全て、過熱蒸気温度計や熱電対等の計測器の取付けに用いられている。丸棒は、集合体の荷重を支えるのに用いられている。

発熱棒および非発熱棒は、軸方向の 5 ケ所の位置に付けられたグリッドスペーサによって横方向の位置が保たれている。ピッチは 14.3 mm で、PWR のそれと同じである。

グリッドスペーサは、高さ 40 mm、厚さ 0.4 mm および 0.8 mm のステンレス板で作られた格子である。

発熱棒の電力導入部は、炉容器の底板を貫通しており、電力を炉容器の底部より供給するようにしてある。発熱棒の電力導入部の外径は、下部プレナムでは 8.6 mm になっている。発熱棒の発熱には三相電流を用いており、電気的な中性点は、発熱体の上端に有り、そこで互いに柔軟な

より銅線によって結び付けられている。

### 2.3 一次系ループおよびECCS

一次系ループは、3つの健全ループと1つの破断ループから成る。各々のループは、ホットレグおよびコールドレグ配管、蒸気発生器模擬体、ポンプ模擬体から構成されている。破断ループでは、コールドレグ破断が模擬されている。破断コールドレグは、隔離弁を介して、2つの格納容器模擬タンクにつながれている。一次系ループの配置は、Fig. 2.13 および 2.14 に示されている。

配管の内径は、炉心流路面積の縮小比に応じて縮小されており、長さは、参照 PWR の対応する部分とほぼ同じになっている。

蒸気発生器模擬体は、U字管 - シェル型のもので Fig. 2.15 に示されている。U字管の長さは、参照炉のものより約 5 m 短くなっている。蒸気発生器模擬体の高さもまた 5 m 程度参照炉より低くなっている。一次冷却材は、管側を通過し、二次冷却材は、シェル側に留ったままである。2つのループの蒸気発生器模擬体が1つのシェル体の中に納められており、内部で各々別々に分れて2つになっている。U字管の厚さは、2.9 mm で、参照 PWR の 1.7 mm に比べて厚い。これは、模擬体の中での一次側と二次側との圧力差が実炉より大きいためである。

ポンプ模擬体は、ケーシングおよびダクト模擬体とオリフィス板から構成され、Fig. 2.16 に示す。各々のオリフィス板は、K ファクター 25 のものが 95 mm 直径、10 mm 厚の穴を持っている。(K ファクター 35 のものが 85 mm 直径である。)

ECCS は、蓄圧注水系および低圧注水系から構成され、注入口は、各々のコールドレグと下部プレナムである。コールドレグ注入口を ECC ポートと呼ぶこととする。

### 2.4 計測システム

計測システムは、検出器、信号調整装置、信号処理装置、記録装置、表示装置で構成される。全体のシステムは、Fig. 2.17, 2.18, 2.19 に示されている。Fig. 2.17 に示されているものは、原研が供給した計測器のものであり、Fig. 2.18, 2.19 に示されているものは、USNRC 供給または要求した計測器のものである。Fig. 2.17 の場合には、データは、実験時に磁気ディスクに記録され、実験後に物理量に変換される。Fig. 2.18 の場合には、デジタル化されたデータは直接磁気テープに記録され、実験後原研の大型計算機によって物理量に変換される。

Fig. 2.19 にある USNRC 提供の液位計からのデータは、アナログ量として磁気テープに記録され、実験後 USNRC 提供の専用小型計算機によって、物理量に変換され、データプロットが行われる。

計測系の検出器は以下のとおりである。

#### (1) 温 度

温度測定は、クロメル-アルメル型熱電対を用いて行なった。シースの外径は 0.5 mm で、予想誤差は ± 0.5 % である。

## (2) 圧 力

圧力測定は、差圧計を用いて行なわれ、予想誤差は±0.3 %である。

## (3) 差 圧

差圧測定は、差圧計を用いて行なわれ、予想誤差は±0.3 %である。

## (4) 液 位

炉心の液位測定は、Fig. 2.20, 2.21 に示すように、発熱棒集合体の各側壁の 7 つの高さ位置に付けた冷却ジャケット付導圧管を介して差圧計で行なわれる。上部プレナムでは、上部炉心板上端と炉容器上端 (A 点) との間の差圧を測定している (Fig. 2.21)。下部プレナムおよびダウンカマでも Fig. 2.20, 2.21 に示すように、炉容器壁の 6 つの位置に付けられた導圧管を介して差圧計により測定される。

ダウンカマ、下部プレナム、炉心、上部プレナム内の液位測定は、導電率プローブを有する USNRC 提供の液位計によっても行なわれる。3 本の液位計のセットが、ダウンカマ、下部プレナム、炉心広領域、炉心狭領域、上部プレナムに有り、各々 17, 5, 17, 17, 17 のプローブを含んでいる。液位計の位置は、Fig. 2.20, 2.22 に示されており、プローブの位置は Fig. 2.23 に示されている。

格納容器模擬タンク - I の液位測定は、サーボマノメータで行っており、最低可測流量は、2 ℓ/min である。格納容器模擬タンク - II での液位測定は、差圧計で行われている。

## (5) 流 量

ECC 流量の測定は、電磁流量計で行っており、予想誤差は±0.5 %である。

蒸気発生器模擬体出口ノズルでの流量測定は、ピトー管で行っている。

ダウンカマから炉心への流量測定は、ドラッグディスク流量計を用いて行っている。4 個の原研で開発されたドラッグディスクは、1979 年 9 月に USNRC 提供のものと交換されたが、その後 2 個は、再び原研のものと交換された。

## (6) 二相流

一次系ループ内の二相流は、USNRC 提供のスプールピースで測定される。

蒸気発生器模擬体を除く一次系ループに取り付けられた計測器の位置は、Fig. 2.24, 2.25 に示されている。炉容器内に取り付けられた計測器の位置と高さは、Fig. 2.21, 2.26 に示されている。炉心の計測棒の位置は、Fig. 2.22 に示されており、発熱棒表面温度を測定する熱電対の位置は、Fig. 2.27 に示されている。一般的に、各々の計測発熱棒 (Fig. 2.27 の type A) や計測非発熱棒には、発熱体表面温度や流体温度を測定するため、5 つの熱電対が取り付けられている。しかし、60 個の熱電対は、12 本の低出力発熱棒に 6 組の対を形成して取り付けられている (Fig. 2.27 の type B)。即ち、Fig. 2.27 の右側のように、上の 5 つの熱電対が一方の発熱棒に付いており、下の 5 つの熱電対が他方の発熱棒に付いている。各々の蒸気発生器模擬体に付けられた計測器の位置は、Fig. 2.28 に示されている。

## 2.5 試験方法

試験の遂行にあたっては、試験の初期条件の適切な設定が重要である。試験方法は、以下の通

りである。

- (1) 系の予熱および加圧を行なう。炉容器および一次系ループを設定圧力の飽和温度まで予熱し、ダウンカマ壁も設定温度に予熱する。系内圧力は、設定圧力に保持し、注水用タンクの内圧も設定値に保つ。
- (2) 系内圧力を保持しつつ蒸気により構造材を飽和温度に保つ。
- (3) 上記(1)および(2)で試験前の初期条件の設定を終え、その状態を保持しつつ、以下に示す試験シーケンスに入って行く (Fig. 2.29)。以下に述べるシーケンスは、システム効果試験で用いているものであり、リフィル試験および下部プレナム注水試験では多少相違が有る。
- (4) 飽和水タンクより、飽和水を下部プレナムに 0.9 mm の水位まで注水し、系内が安定するまで、その状態を保持する。
- (5) 系内の安定を確認した後、燃料体に電力を投入し、同時にデータの集録を始める。これが試験の開始となる。
- (6) 炉心出力が設定値となり、かつ炉心の最高出力発熱棒の表面温度が設定値に達すると同時に、下部プレナムの注水口から ACC の注水を開始する。
- (7) あらかじめ計算された注水開始時刻から炉心内水位が炉心発熱部下端到達時刻（再冠水開始時）までの時間の経過後、燃料体へ供給する電力を崩壊熱曲線に沿って減少させ始める。
- (8) 設定時間後に ACC 注水を終了させ、同時に LPC I 注水を開始させる。
- (9) 設定時間後に、注水口を下部プレナムからコールドレグに切換える。
- (10) LPC I の注水が続けられ、炉心が十分に冷却された後電源を遮断し、一定時間後 LPC I 注水を終了させ、その後、データ集録を停止し、試験を終了する。

## 2.6 試験条件

### 1. 基準試験

基準試験の試験条件を Table 2.2 に示す。条件の決定根拠は、表中に示してあるように、系圧力は、高浜 3, 4 号炉の再冠水期間での平均値である。再冠水時の系圧力は格納容器の減圧装置の有無等の設計条件によるので、大飯 1 号炉の場合は、多少低い値であるが、新しいものを基準とした。炉心発熱密度については、高浜 3, 4 号炉、大飯 1 号炉での遅発中性子を含めた崩壊熱曲線 (ANS × 1.2 + アクチニド) のシャットダウン 30 秒後の定常時出力に対する比を 2 % 過負荷時の Trojan 炉に適用した結果に基づいて決定された。

ECC 水の注水条件は、FLECHT-SET 実験の注水流量決定用に参照した流量曲線に基づいて決定された。ACC 流量は、再冠水開始から ACC 注水終了までに  $378 \sim 287 \text{ m}^3/\text{h}$  に変化しているので、保守的にとり  $280 \text{ m}^3/\text{h}$  とした。LPC I 流量は、安全側にとるため、参考値の 3/4 とした。なお、試験開始前に下部プレナムに飽和水を 0.9 m 高さまで満したが、初期に下部プレナムよりサブクール水を注入する際、サブクール水と蒸気が直接接觸して凝縮を起すことを防

ぐ為、サブクール水の上に飽和水が存在するようにするためであり、下部プレナム ECC 注水口より高い位置まで飽和水を満した。

被覆管初期最高温度は、発熱体の保証温度が 900 °C のため、再冠水期間中に保護回路が働いて電源遮断が起きないように低目の 600 °C とした。初期被覆管温度効果を調べる試験では、それまでの効果を見ながら、700 °C, 800 °C とした試験も行った。また最高温度を高くしないでシステム効果を出来るだけ実際に近いものとするため、炉心平均線出力密度としては、実炉より多少高めに設定したが、局所最高線出力密度としては、実際の値に近いピーキング係数を用いることによって低目に設定された。

ダウンカマ壁温については、熱伝導計算によって、内壁温が運転温度又は飽和温度、22 ~ 40 秒の再浸水期間断熱の仮定のもとに求めた実炉での放熱量対流路断面積の比と等価な比を与える壁温である 176 °C より多少高めの 200 °C に設定した。（熱流束で 80 % 大きい値に設定したことになる。）

一次系ループ抵抗係数は、FLECHT-SET の設計根拠に用いられた値（FLECHT-SET の参考値のうち、コールドレグの抵抗係数は、蒸気が過熱されることを考慮して 1.4 倍されているので、この値のみ 1/1.4 倍した）24.45 を参照して 25 とした。このうち、ポンプ部での抵抗は約 15 である。

崩壊熱曲線は、遅発中性子分も考慮したものとすべきであるが、ANS × 1.2 + アクチニドのみで規格化した方が安全側であるので、ANS × 1.2 + アクチニドの規格化曲線を用いた。

一般の構造材の温度は飽和温度とし、蒸気発生器二次側水の水温圧力は、実炉と同じ水温圧力とした。

## 2. バラメータ効果試験

主として、(1)被覆管初期最高温度、(2)系圧力、(3)ECC 注水流量を変化させて試験を行った。特に注水流量が被覆管最高温度に与える影響が大であることがわかり、流量を広範囲に変えて試験を行った。

試験条件範囲を Table 2.3 に示す。

## 3. 結合試験

結果試験においては、FLECHT-SET, PKL ともに軸方向出力分布が異なり、CCTF は両者の中間であった。PKLにおいては、半径方向出力分布を平坦にして、軸方向出力分布が比較的平坦であり局所最高出力密度が低いことを模擬させた。PKLにおいては、ECCS 注水流量が時間の関数であるが、CCTF は、模擬できないので、ステップ状の関数で模擬した。その他は、可能な限り試験条件を合せて試験を行った。

Table 2.1 COMPONENT SCALED DIMENSIONS OF CYCLINDRICAL CORE TEST FACILITY

COMPONENT	PWR	JAERI	RATIO
<b>PRESSURE VESSEL</b>			
VESSEL INSIDE DIAMETER (mm)	4394 (173")	1084	
VESSEL THICKNESS (mm)	216 (8 1/2")	90	
CORE BARREL OUTSIDE DIAMETER (mm)	3974	961	
CORE BARREL INSIDE DIAMETER (mm)	3760	929	
THERMAL SHIELD OUTSIDE DIAMETER (mm)	4170		
THERMAL SHIELD INSIDE DIAMETER (mm)	4030		
DOWNCOMER LENGTH (mm)	4849	4849	1/1
DOWNCOMER GAP (mm)		61.5	
DOWNCOMER + CORE BUFFLE FLOW AREA (m <sup>2</sup> )	4.23	0.197	1/21.44
LOWER PLENUM VOLUME (m <sup>3</sup> )	29.6	1.38	1/21.44
UPPER PLENUM VOLUME (m <sup>3</sup> )	43.6	2.04	1/21.44
<b>FUEL (HEATER ROD) ASSEMBLY</b>			
NUMBER OF BUNDLES (—)	193	32	
ROD ARRAY (—)	15 × 15	8 × 8	
ROD HEATED LENGTH (mm)	3660	3660	1/1
ROD PITCH (mm)	14.3	14.3	1/1
FUEL ROD OUTSIDE DIAMETER (mm)	10.72	10.7	1/1
THIMBLE TUBE DIAMETER (mm)	13.87	13.8	1/1
INSTRUMENT TUBE DIAMETER (mm)	13.87	13.8	1/1
NUMBER OF HEATER RODS (—)	39372	1824	1/21.58
NUMBER OF NON-HEATED RODS (—)	4053	224	1/18.09
CORE FLOW AREA (m <sup>2</sup> )	5.29	0.25	1/21.2
CORE FLUID VOLUME (m <sup>3</sup> )	17.95	0.915	1/19.6
<b>PRIMARY LOOP</b>			
HOT LEG INSIDE DIAMETER (mm)	736.6 (29")	155.2	1/4.75
HOT LEG FLOW AREA (m <sup>2</sup> )	0.426	0.019	1/22.54
HOT LEG LENGTH (mm)	3940	3940	1/1
PUMP SUCTION INSIDE DIAMETER (mm)	787.4 (31")	155.2	1/5.07
PUMP SUCTION FLOW AREA (m <sup>2</sup> )	0.487	0.019	1/25.77
PUMP SUCTION LENGTH (mm)	7950	7950	1/1

Table 2.1 (cont'd)

COMPONENT		PWR	JAERI	RATIO
COLD LEG INSIDE DIAMETER	(mm)	698.5 (27.5")	155.2	1/4.50
COLD LEG FLOW AREA	(m <sup>2</sup> )	0.383	0.019	1/20.26
COLD LEG LENGTH	(mm)	5600	5600	1/1
<b>STEAM GENERATOR</b>				
NUMBER OF TUBES	(—)	3388	158	1/21.44
TUBE LENGTH (AVERAGE)	(m)	20.5	15.2	1/1.35
TUBE OUTSIDE DIAMETER	(mm)	22.225 (0.875")	25.4	
TUBE INSIDE DIAMETER	(mm)	19.7 (0.05")	19.6	1/1
TUBE WALL THICKNESS	(mm)	1.27	2.9	
HEAT TRANSFER AREA	(m <sup>2</sup> )	4784 (51500 ft <sup>2</sup> )	192	1/24.92
TUBE FLOW AREA	(m <sup>2</sup> )	1.03	0.048	1/21.44
INLET PLENUM VOLUME	(m <sup>3</sup> )	4.25	0.198	1/21.44
OUTLET PLENUM VOLUME	(m <sup>3</sup> )	4.25	0.198	1/21.44
PRIMARY SIDE VOLUME	(m <sup>3</sup> )	30.50 (1077 ft <sup>3</sup> )	2.4	1/15.25
SECONDARY SIDE VOLUME	(m <sup>3</sup> )	157.33 (5556 ft <sup>3</sup> )	4.9	1/26.22
CONTAINMENT TANK - I	(m <sup>3</sup> )		30	
CONTAINMENT TANK - II	(m <sup>3</sup> )		50	
STORAGE TANK	(m <sup>3</sup> )		25	
ACC. TANK	(m <sup>3</sup> )		5	
SATURATED WATER TANK	(m <sup>3</sup> )		3.5	
<b>ELEVATION</b>				
BOTTOM OF HEATER BUNDLE	(mm)	0	0	
TOP OF HEATER BUNDLE	(mm)	3660	3660	0
TOP OF DOWNCOMER	(mm)	4849	4849	0
BOTTOM OF DOWNCOMER	(mm)	0	0	0
CENTER OF COLD LEG	(mm)	5198	4927	- 271
BOTTOM OF COLD LEG INSIDE DIAMETER	(mm)	4849	4849	0
CENTER OF LOOP SEAL LOWER END	(mm)	2056	2047	- 9
BOTTOM OF LOOP SEAL LOWER END	(mm)	1662	1959	+ 297

Table 2.1 (cont'd)

COMPONENT		PWR	JAERI	RATIO
CENTER OF HOT LEG	(mm)	5198	4927	- 271
BOTTOM OF HOT LEG INSIDE DIAMETER	(mm)	4830	4849	+ 19
BOTTOM OF UPPER CORE PLATE	(mm)	3957	3957	0
TOP OF LOWER CORE PLATE	(mm)	- 108	- 50	+ 58
BOTTOM OF TUBE SHEET OF STEAM GENERATOR	(mm)	7308	7307	- 1
PLENUM LOWER END OF STEAM GENERATOR	(mm)	5713	5712	- 1
TOP OF TUBES OF STEAM GENERATOR	(mm) (avg)	17952.7	14820	

Table 2.2 Test conditions of the base case test and their data bases

Item	Value	Data bases
System pressure	2 kg/cm <sup>2</sup> a	2.5 ~ 1.5 kg/cm <sup>2</sup> a (Takahama 3.4)
Initial average linear power	1.4 kw/m	1.34 ~ 1.37 kw/m (Trojan 2% over power) (30 sec after shutdown)
ECC injection		(Data referred) in FLECHT-SET
ACC flow rate	280 m <sup>3</sup> /h	378 ~ 287 m <sup>3</sup> /h
ACC water temp.	35 °C	35 °C
ACC injection period	14 sec	14 sec
LPCI flow rate	30 m <sup>3</sup> /h	40 m <sup>3</sup> /h
LPCI water temp.	35 °C	35 °C
Maximum initial clad temp.	600 °C	870 °C (Sendai 1)
SG secondary side water temp.	265 °C	265 °C
Downcomer wall temp. (wall temp. of vessel) (below cold legs)	198 °C	~ 176 °C (Equivalent) (wall temp.)
Wall temp. of non-specified structures	119 °C (Saturation temp.)	—
Kfactor of primary loops	~ 25	24.45 (FLECHT-SET)
Decay curve of power	ANS × 1.2 + Actinide × 1.1 (Delayed neutron effect is considered in the initial power)	ANS × 1.2 + Actinide × 1.1 + Delayed neutron
Radial power factor	1.15	1.435
Axial power factor	1.49	1.546
Local power factor	1.1	1.027
Total peaking factor	1.885	2.278
		(Sendai 1)

Table 2.3 Parameter ranges of tests

Linear power (core average)	<u>1.40</u> (kw/m)
Radial power factor	<u>1.15</u> ( - )
Axial power factor	<u>1.49</u> ( - )
Local power factor	<u>1.1</u> ( - )
System pressure	<u>1.5</u> , <u>2.0</u> , <u>3.0</u> (kg/cm <sup>2</sup> a)
ECCS	
ACC injection rate	<u>280</u> , <u>250</u> (m <sup>3</sup> /h)
LPCI injection rate	<u>30</u> , <u>60</u> (m <sup>3</sup> /h)
Injection water temp.	<u>35</u> , <u>65</u> , (°C)
Injection lines	<u>3</u> (without broken loop), <u>4</u>
Initial peak clad. temp.	<u>600</u> , <u>700</u> , <u>800</u> (°C)
Structure temperature	<u>T<sub>sat</sub></u>
Downcomer wall temp.	<u>T<sub>sat</sub></u> + 79 °C, <u>T<sub>sat</sub></u>
SG secondary side water temp.	<u>265</u> (°C)
Kfactor of primary loop	<u>~25</u> , <u>~35</u> ( - )

base case

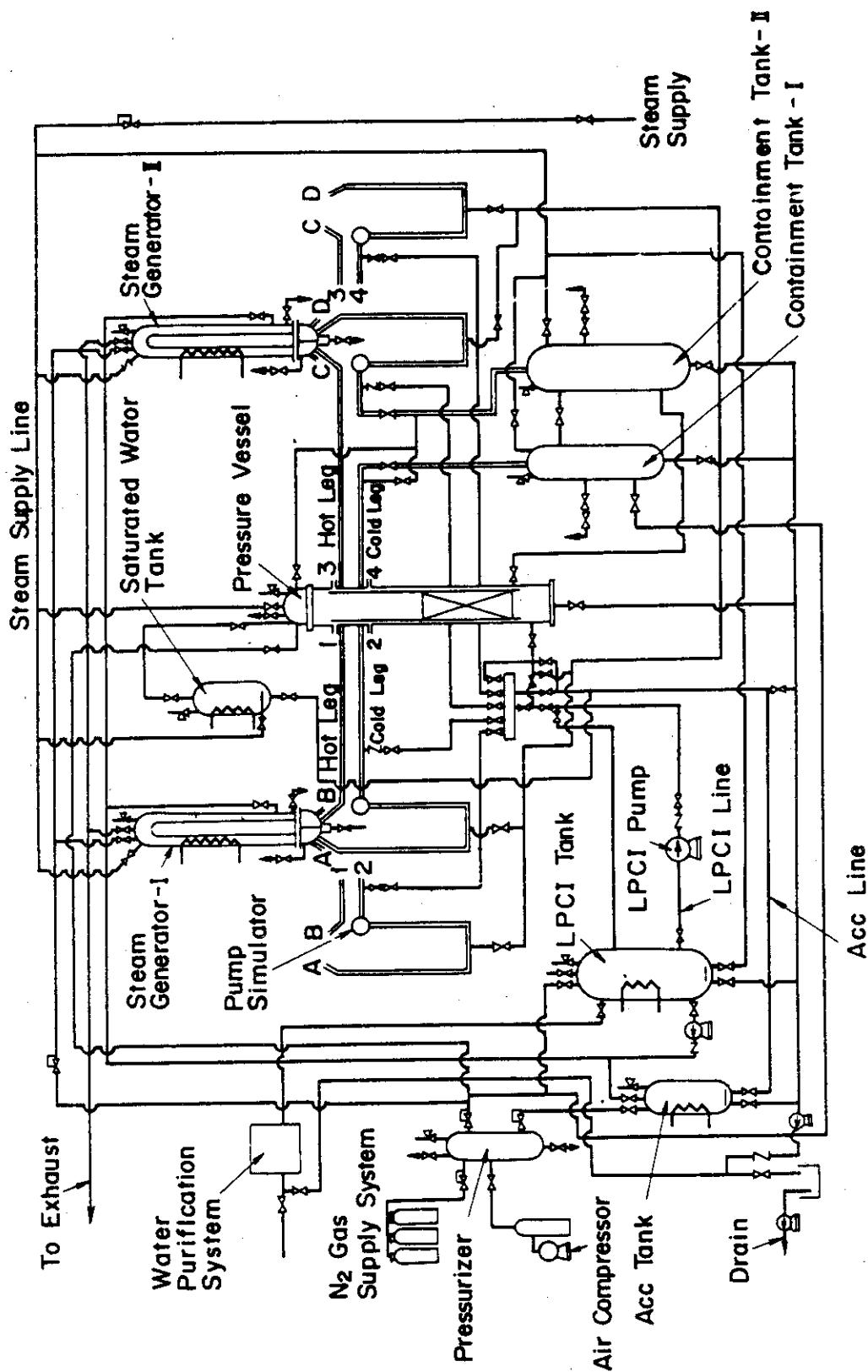


Fig. 2.1 Schematic diagram of cylindrical core test facility

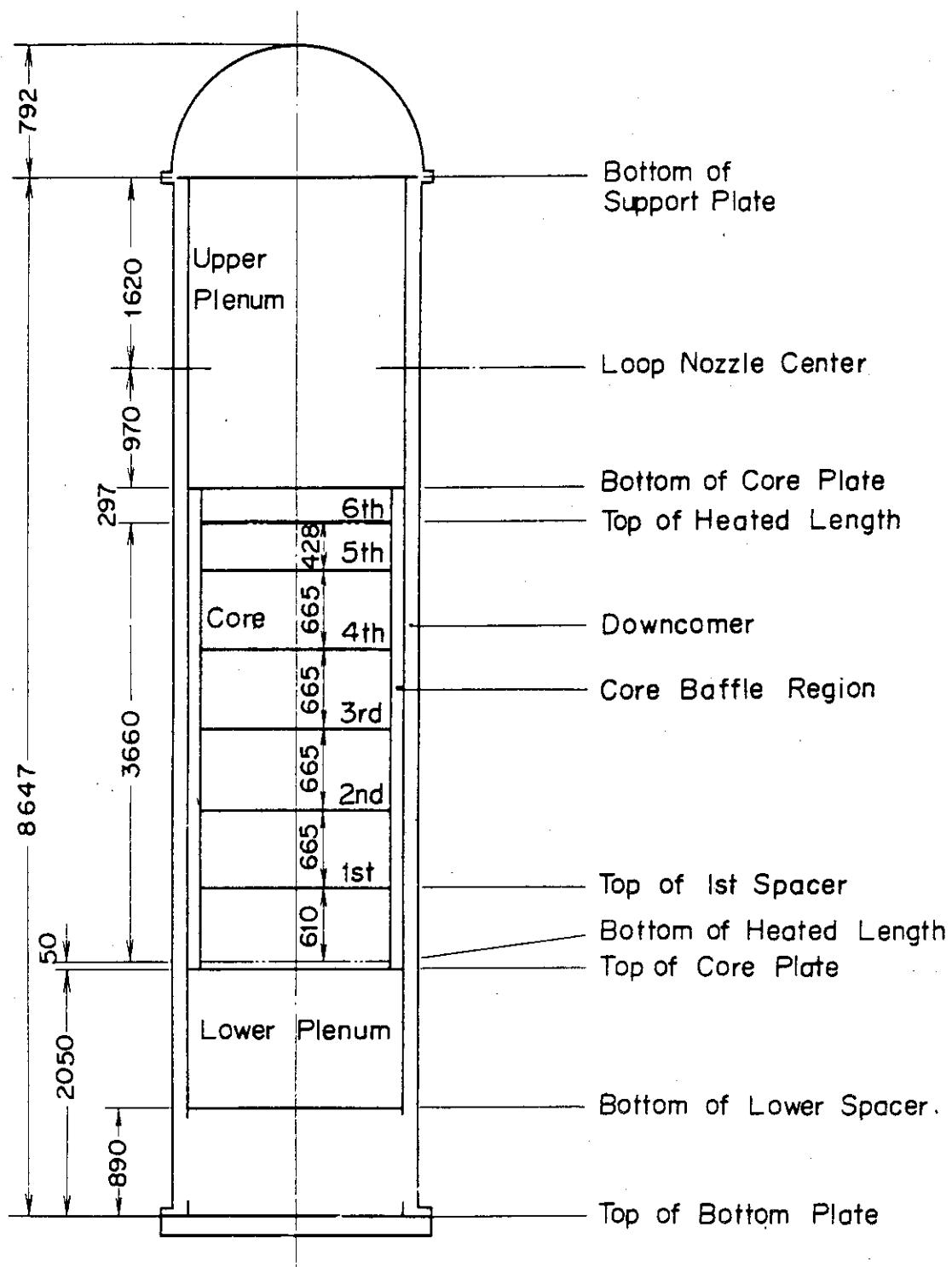


Fig. 2.2 Dimensions of pressure vessel

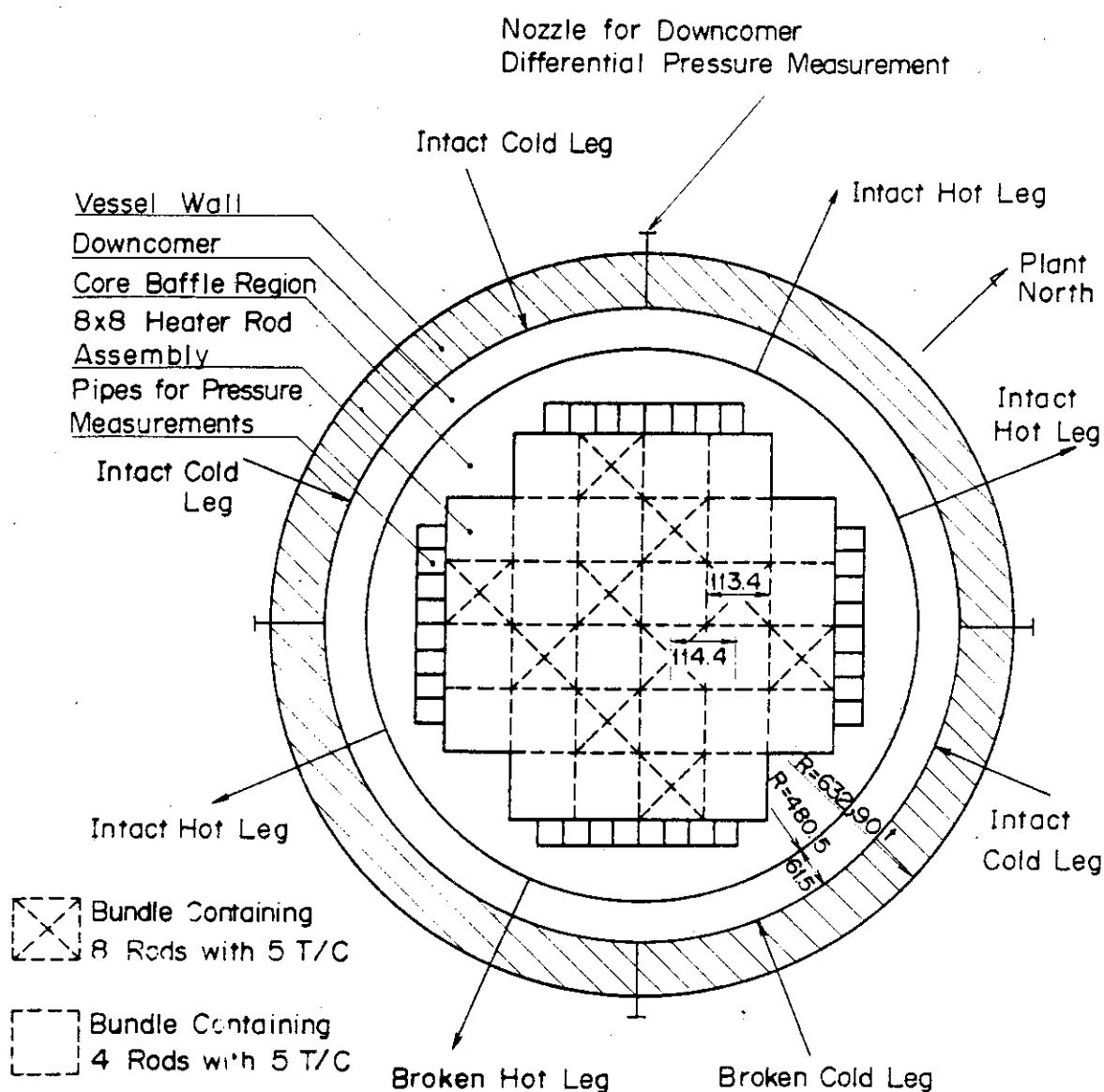


Fig. 2.3 Cross section of pressure vessel

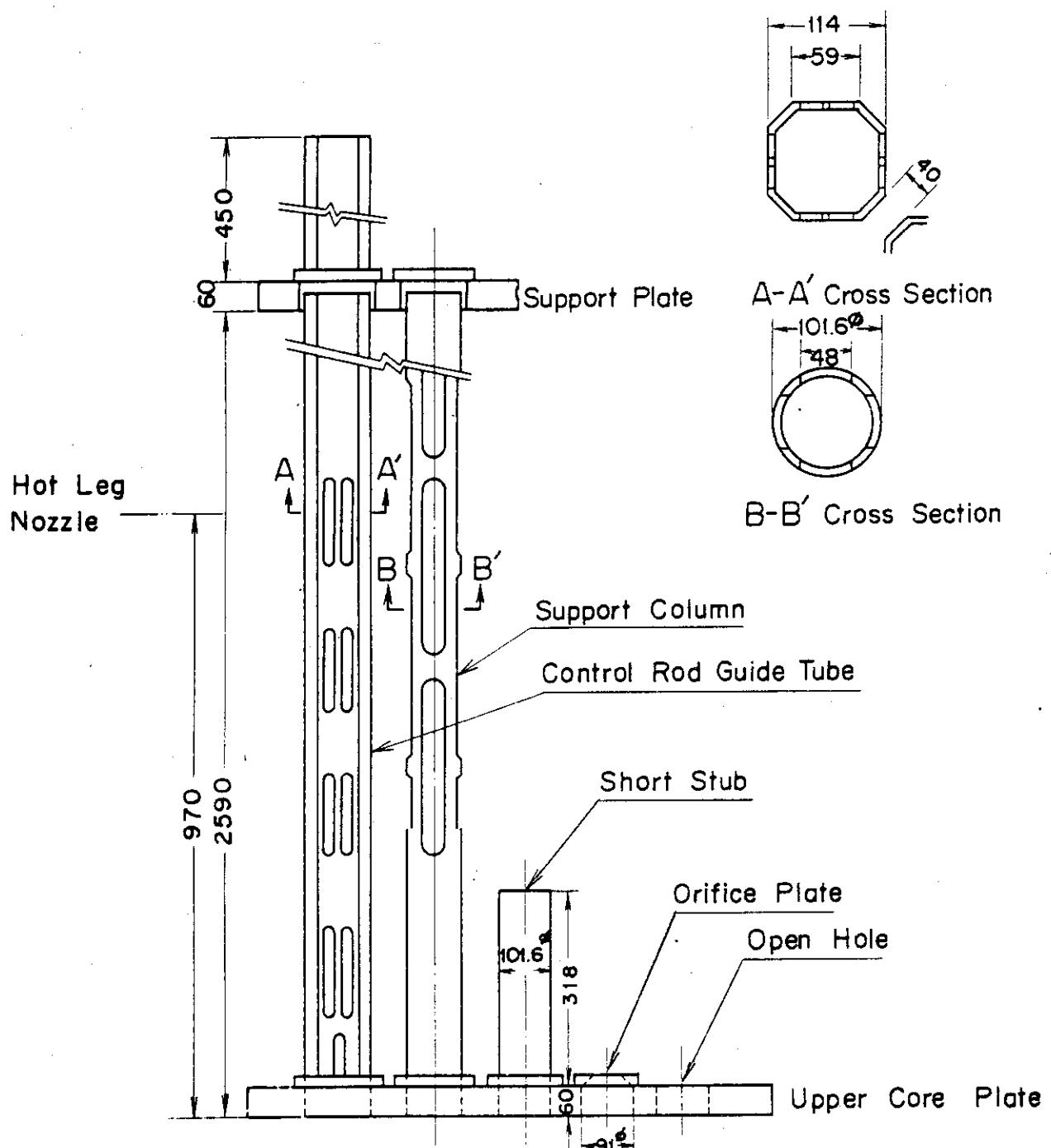


Fig. 2.4 Schematic of internals

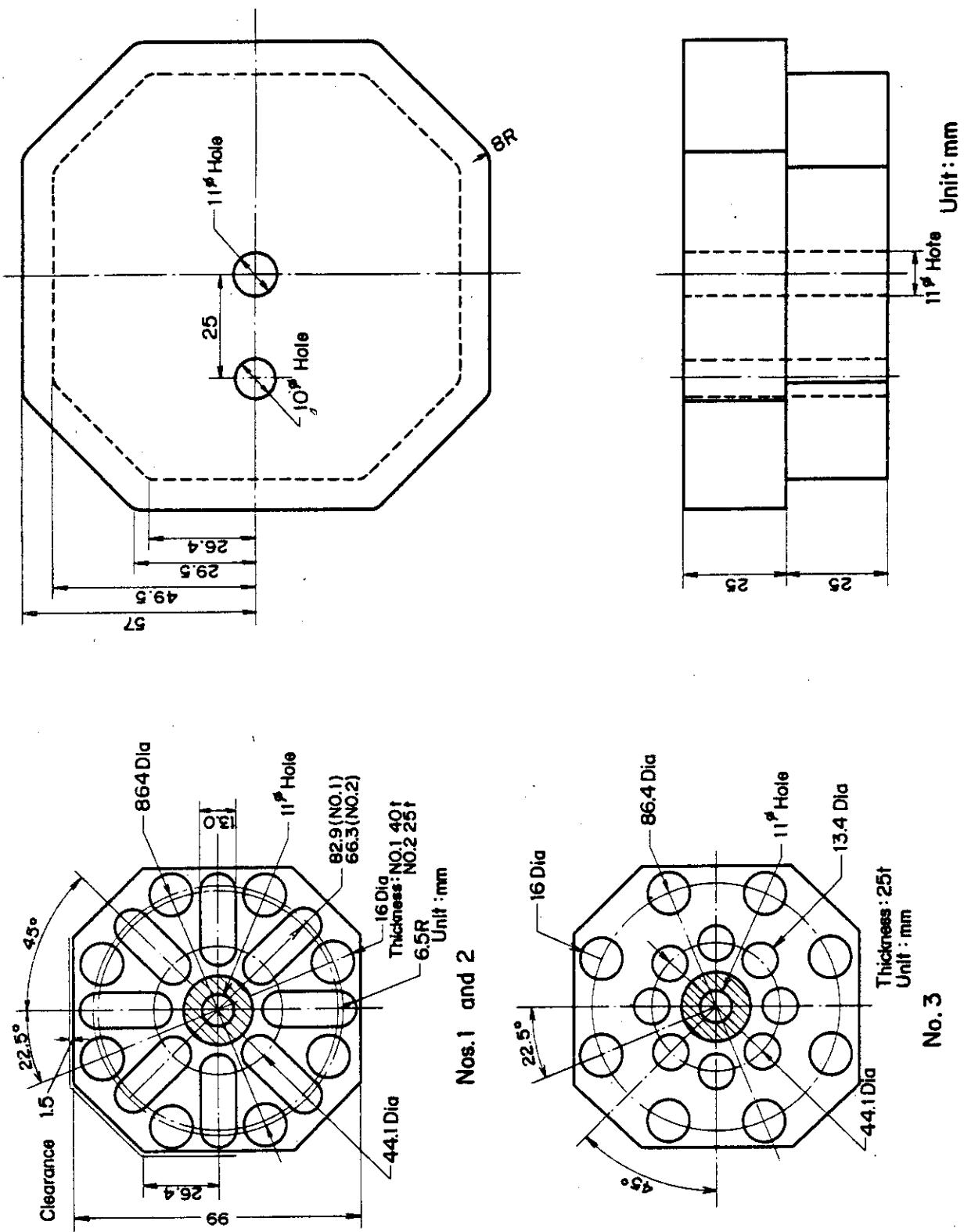


Fig. 2.5 Baffle plates in control rod guide tubes

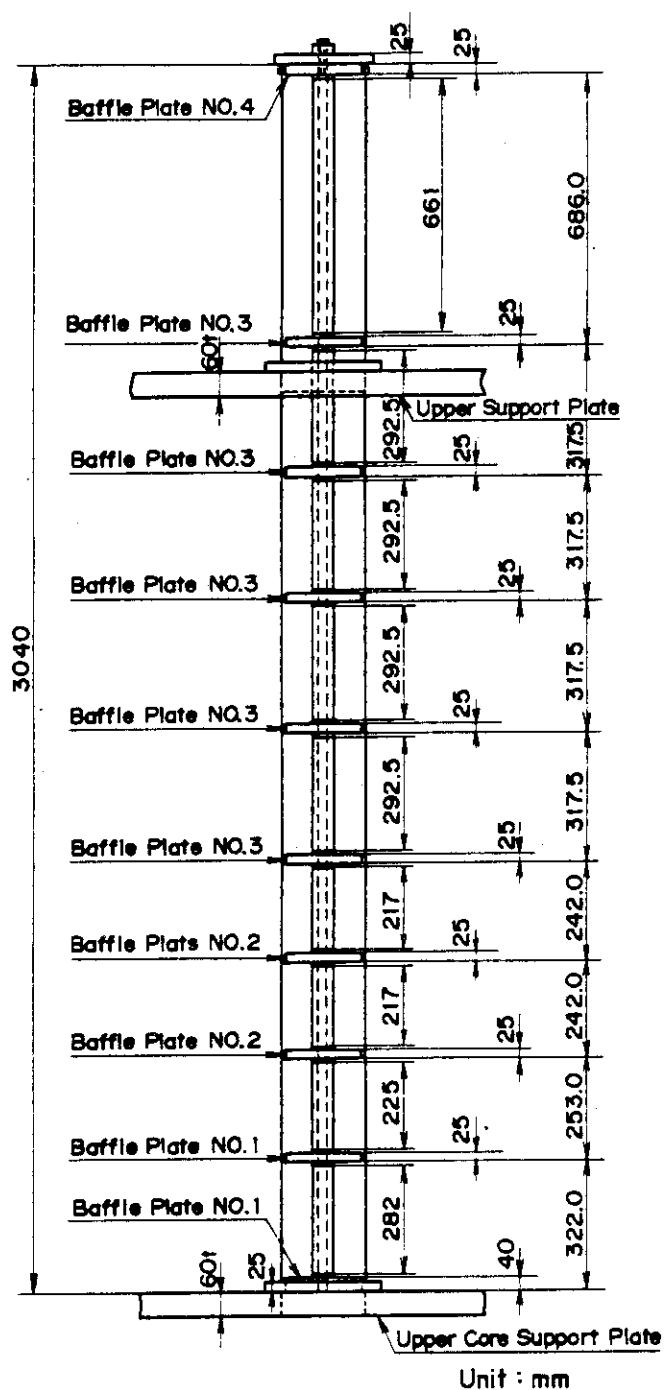


Fig. 2.6 Upper plenum control rod guide tube

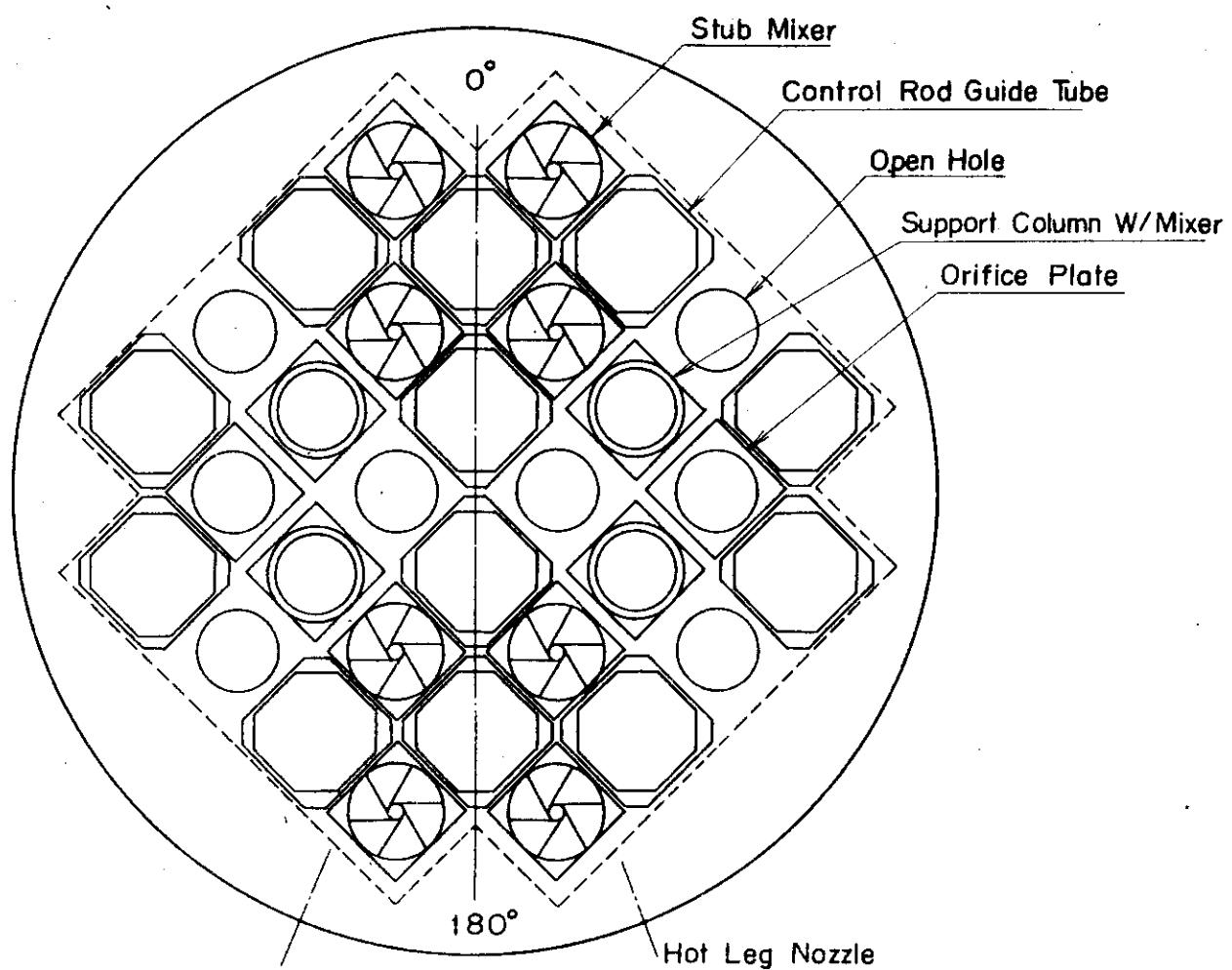
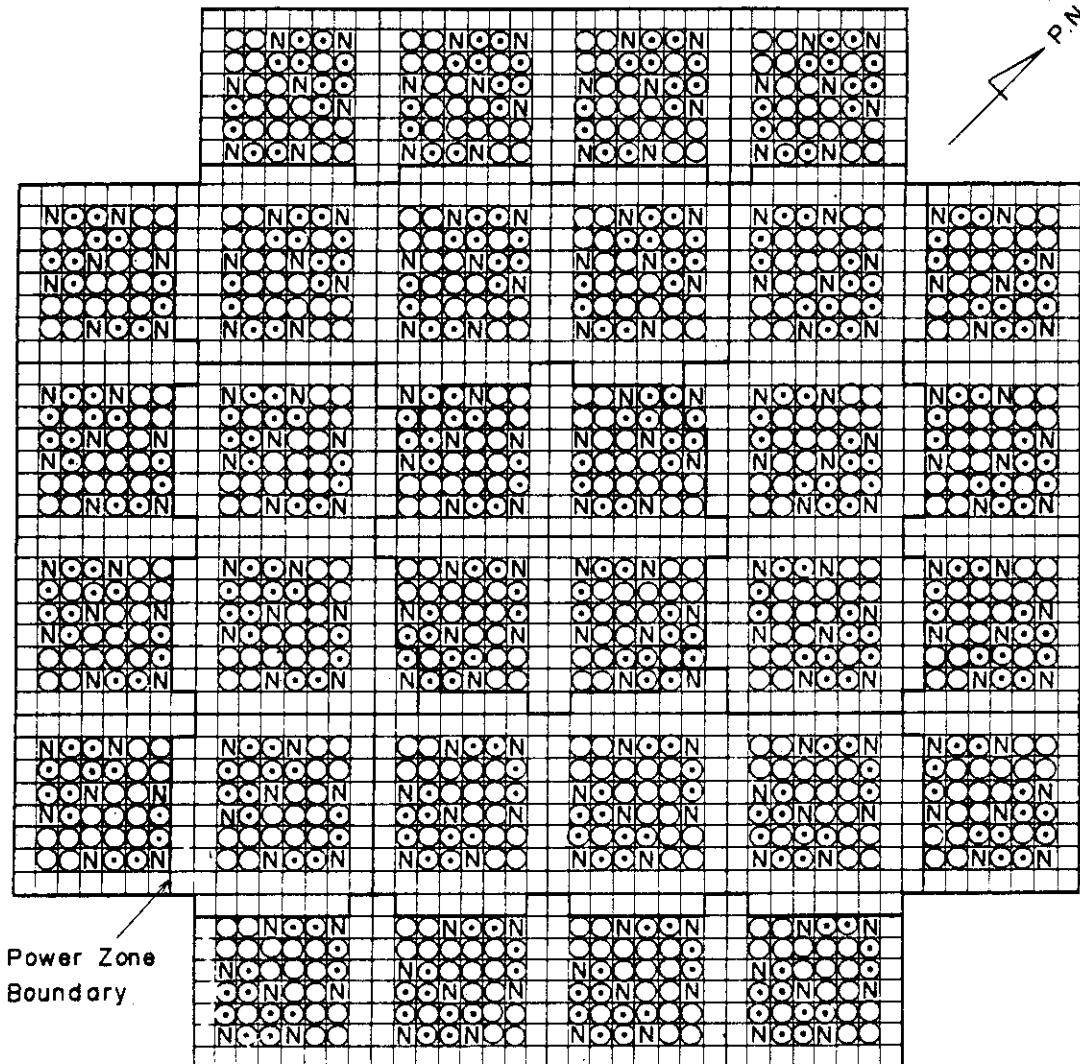


Fig. 2.7 Arrangement of internals

Symbols

- : High Power Heater Rod
- : Medium Power Heater Rod
- : Low Power Heater Rod
- N: Non-Heating Rod

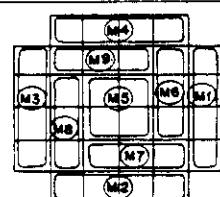
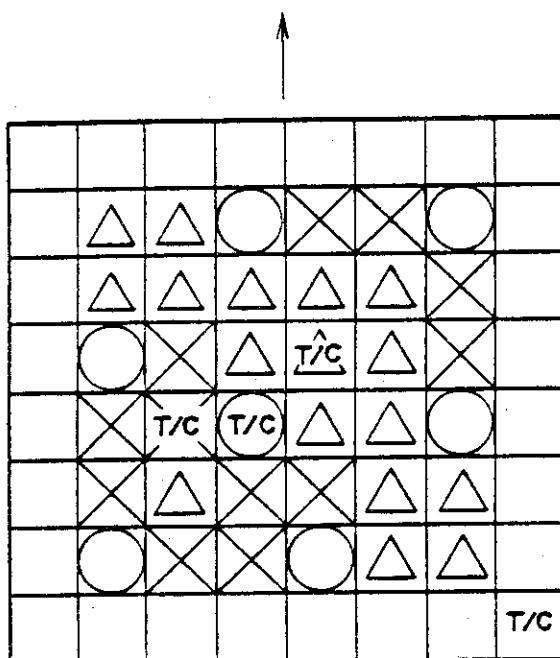
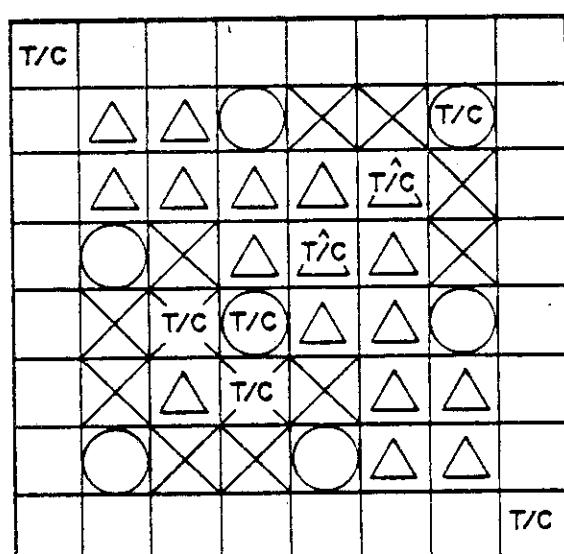
Name of Power Zones

Fig. 2.8 Arrangement of rods in core



CONTAINING 4 RODS WITH 5 T/C

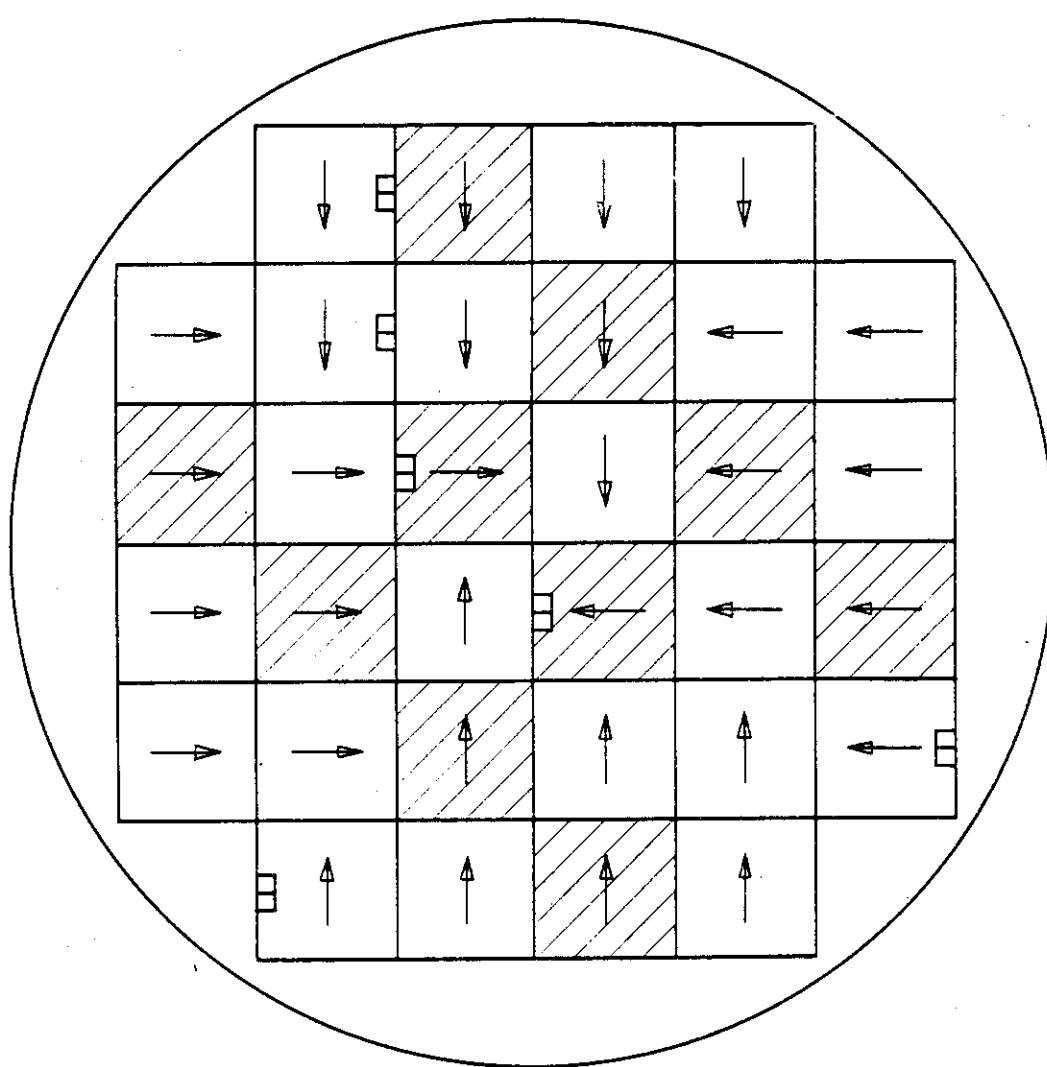


CONTAINING 8 RODS WITH 5 T/C

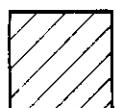
Symbols

- : LOW POWER ROD
- △ : MIDIUM POWER ROD
- × : HIGH POWER ROD
- : NON-HEATING ROD
- T/C : THERMOCOUPLE

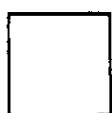
Fig. 2.9 8x8 Heater rod bundle



□ Two Rods with 5 T/C for Top or Bottom Half



Bundle containing 8 rods with 5 T/C



Bundle containing 4 rods with 5/C

Notes : 1) Each arrow shows bundle direction.

2) Total number of T/C are 900

Fig. 2.10 Bundle arrangement

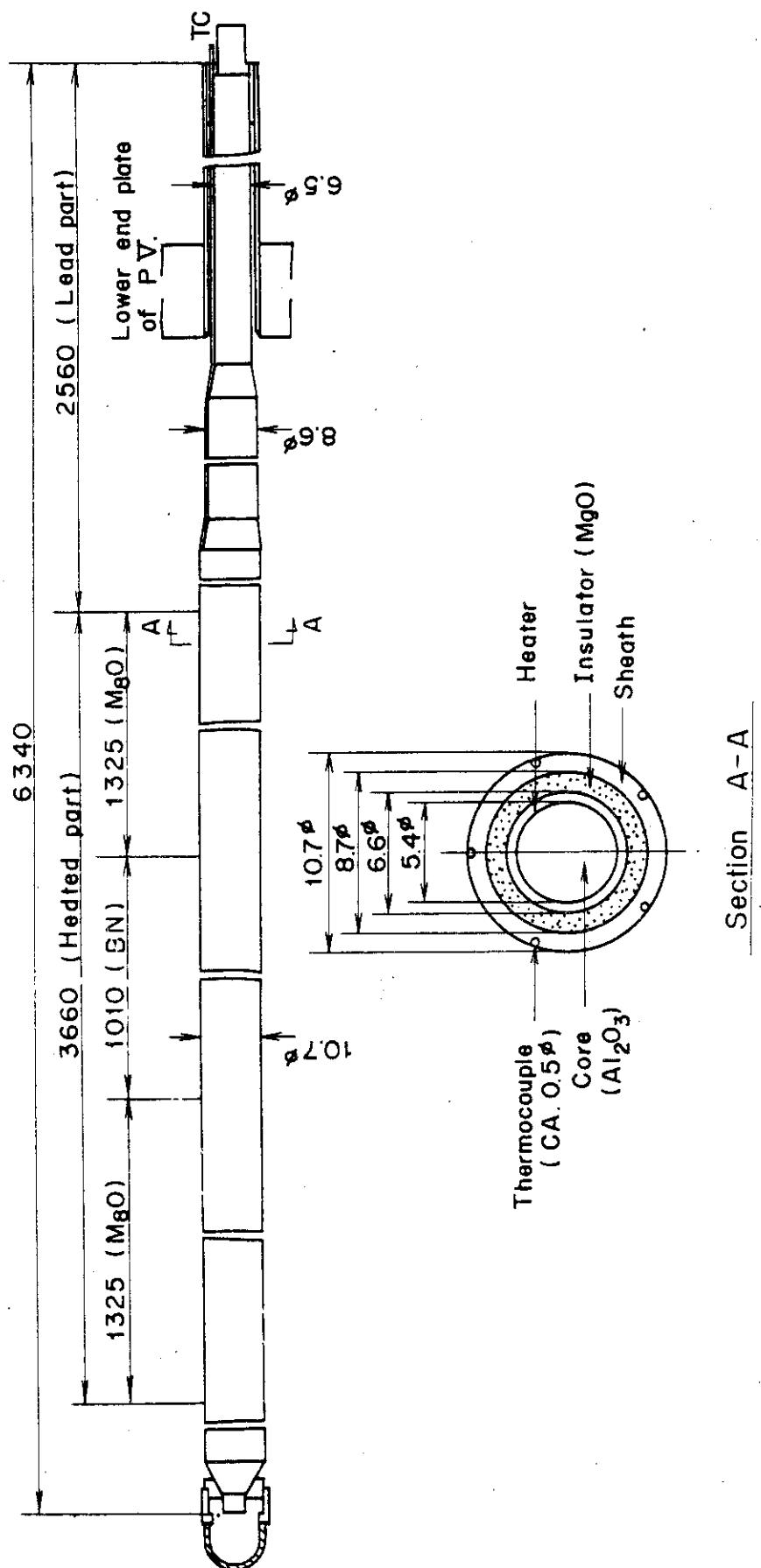


Fig. 2.11 Heater rod

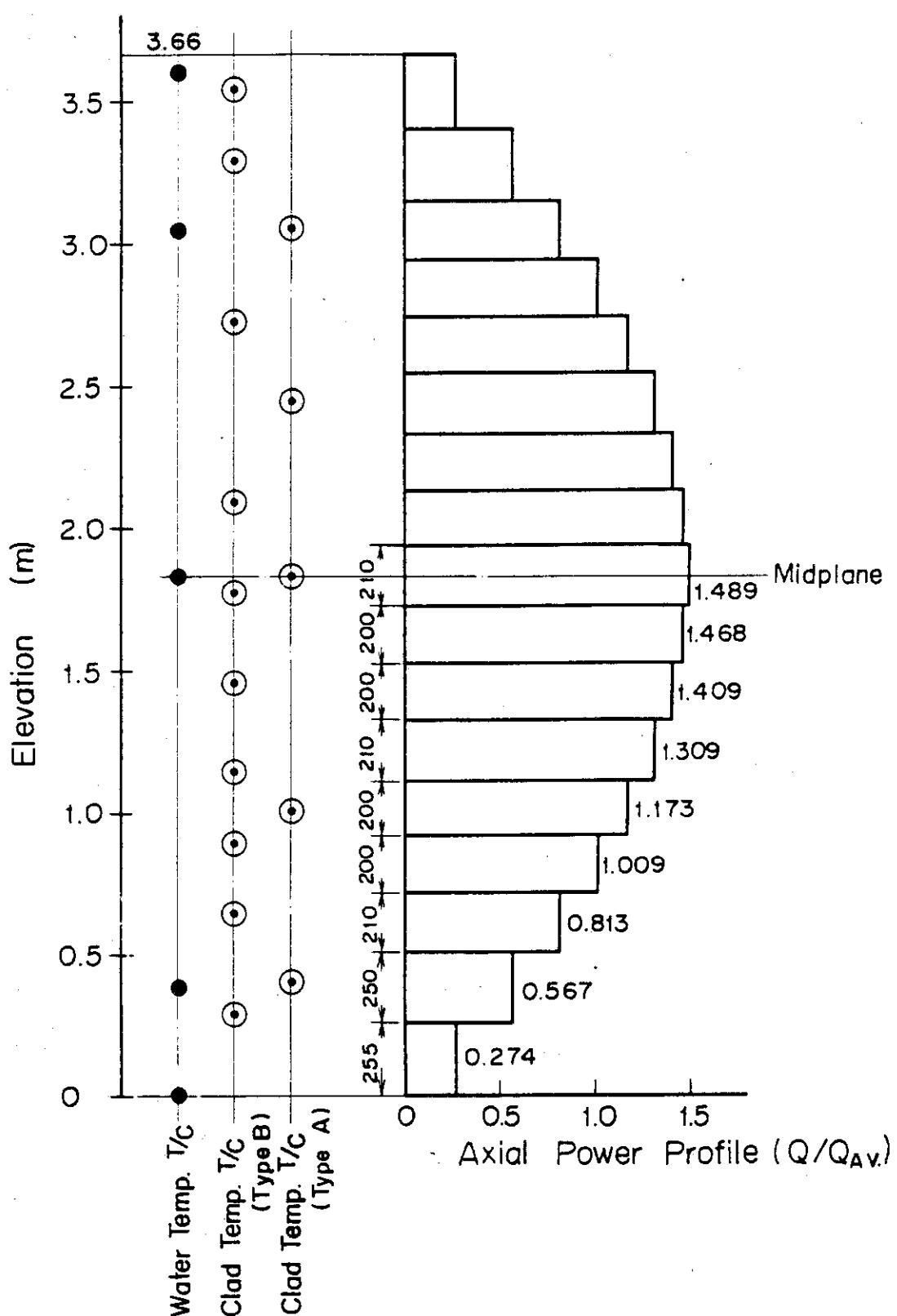
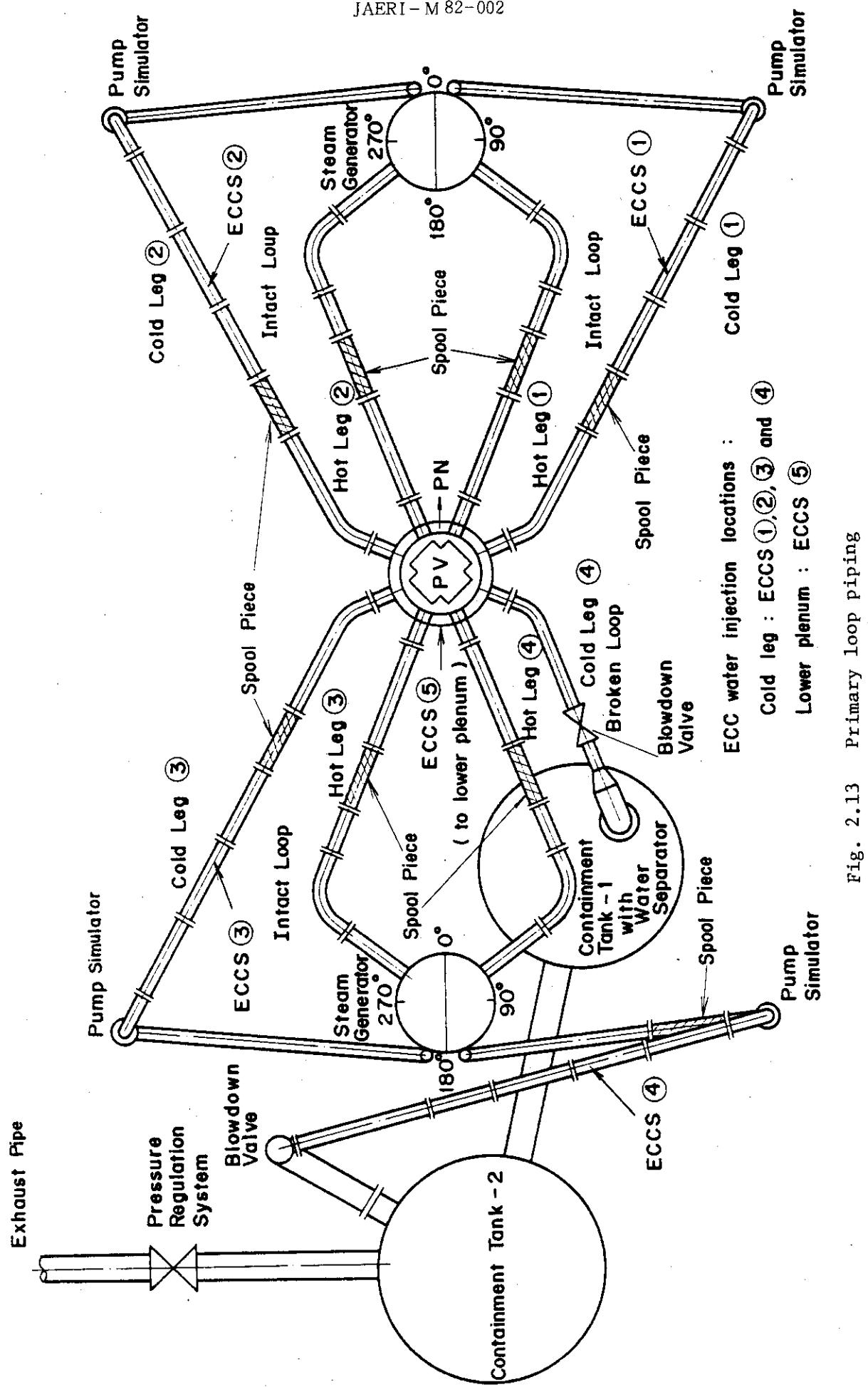


Fig. 2.12 Power profile and thermocouple elevations of heater rods



ECC water injection locations :  
 Cold leg : ECCS ①, ②, ③ and ④  
 Cold leg : ECCS ⑤  
 Lower plenum : ECCS ⑤

Fig. 2.13 Primary loop piping

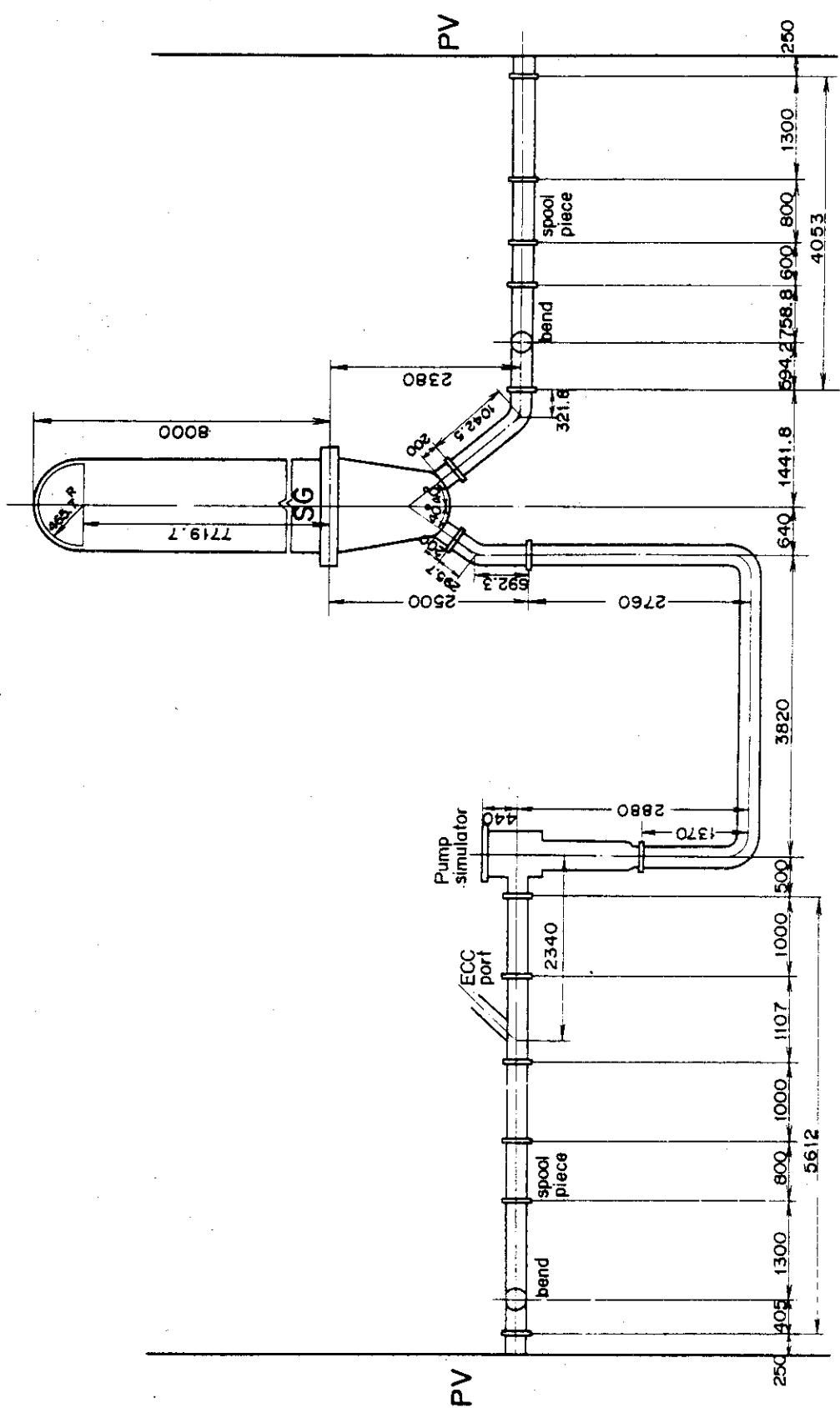


Fig. 2.14 Vertical view of primary loop

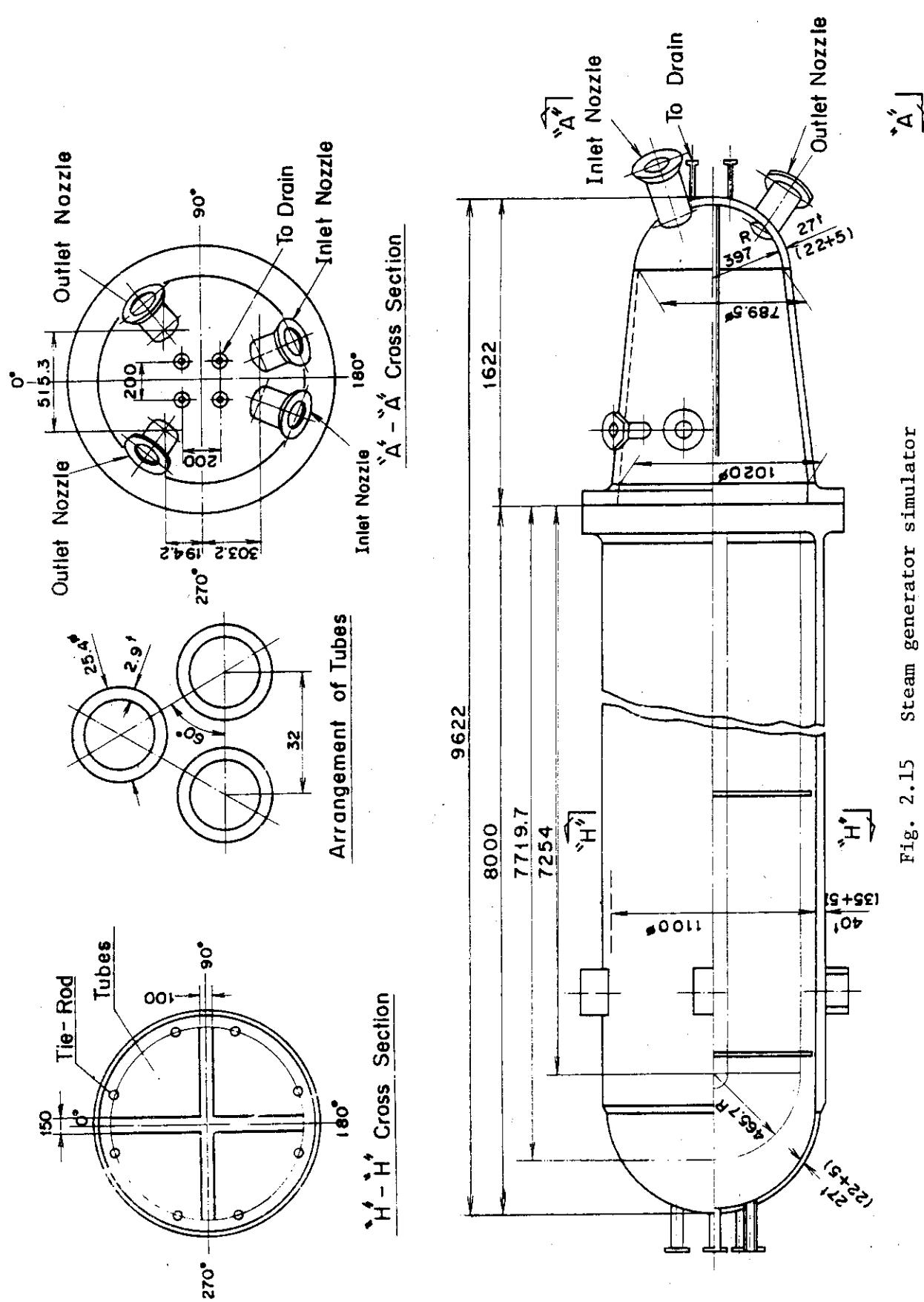


Fig. 2.15 Steam generator simulator

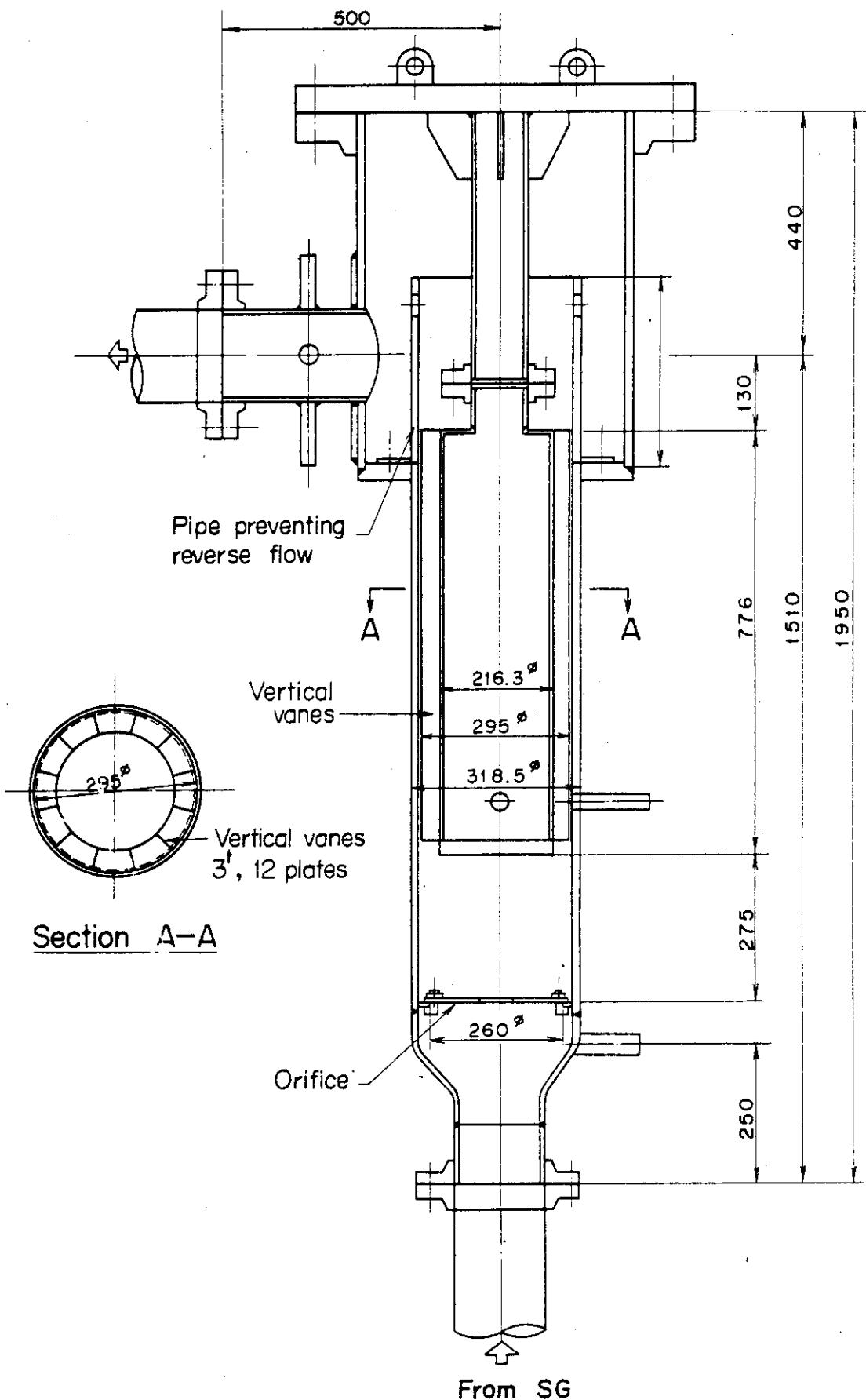


Fig. 2.16 Pump simulator

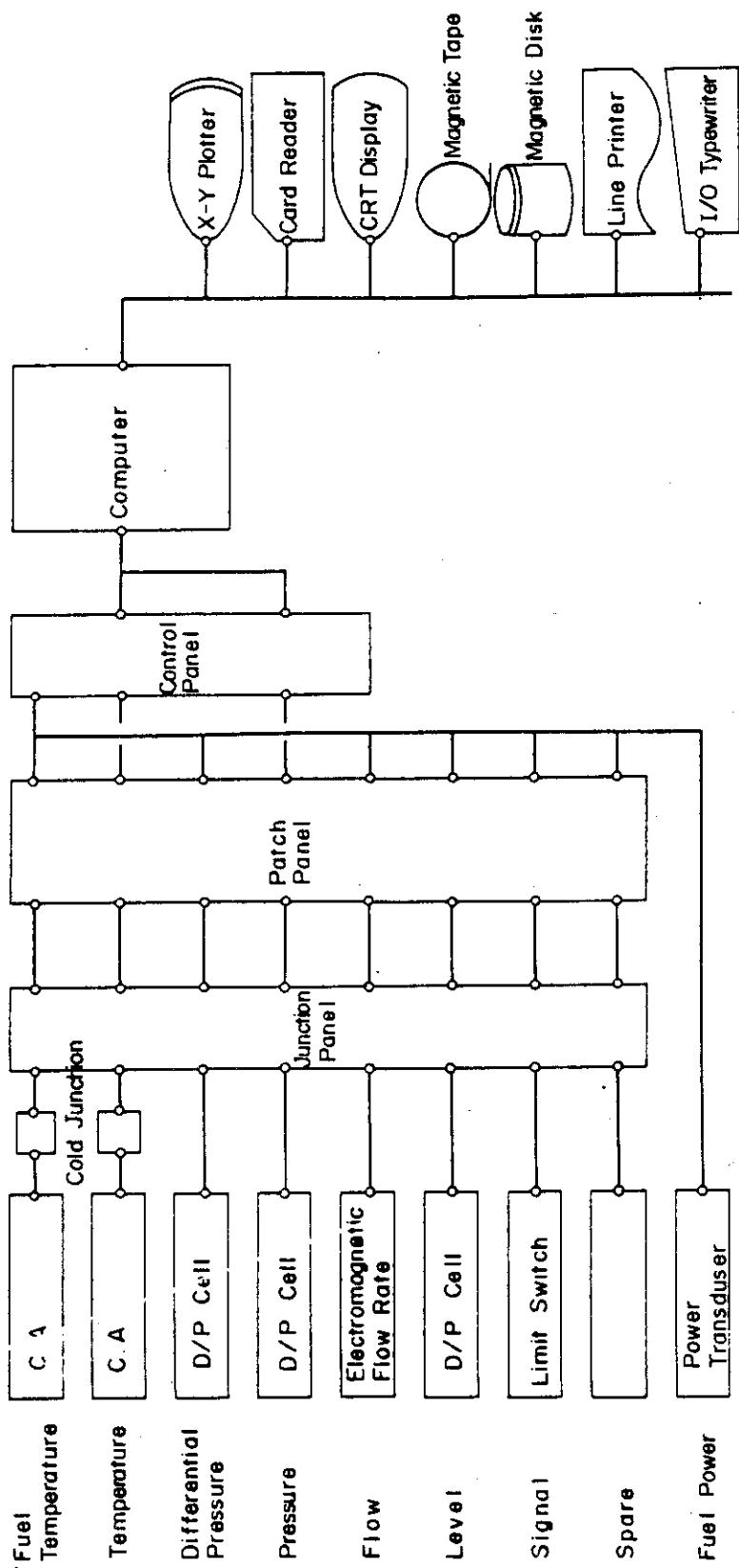


Fig. 2.17 Data acquisition system-I

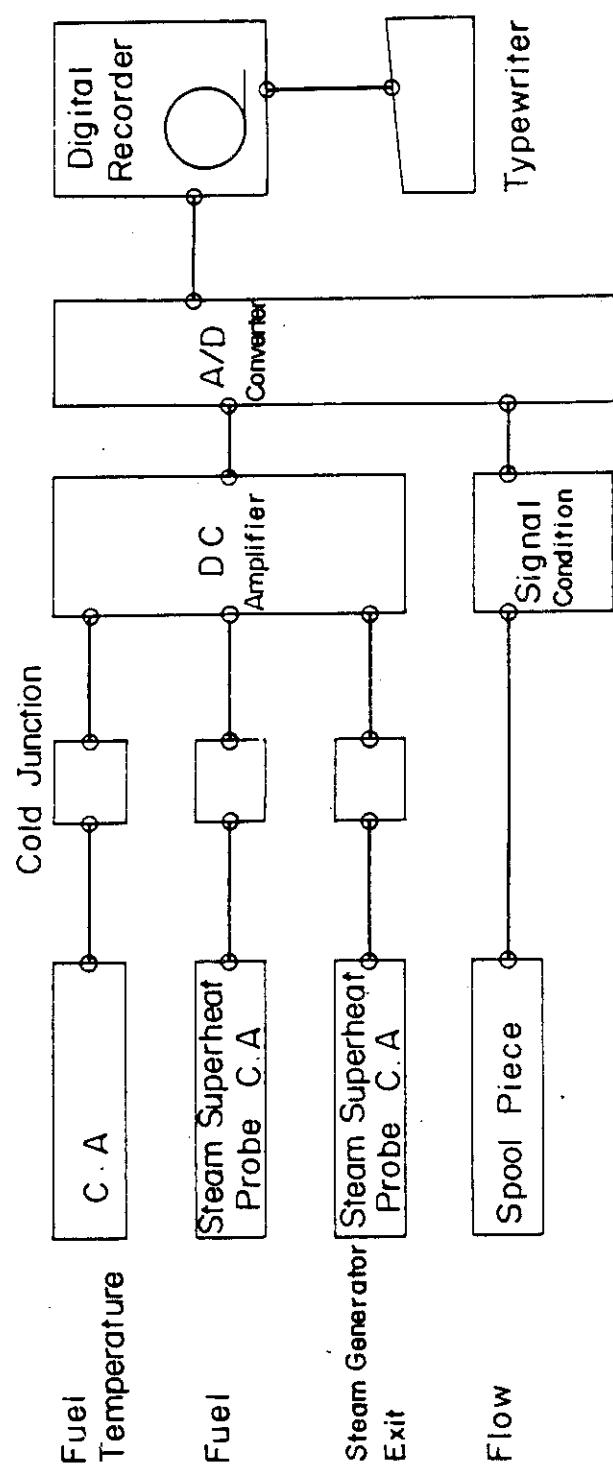


Fig. 2.18 Data acquisition system-II

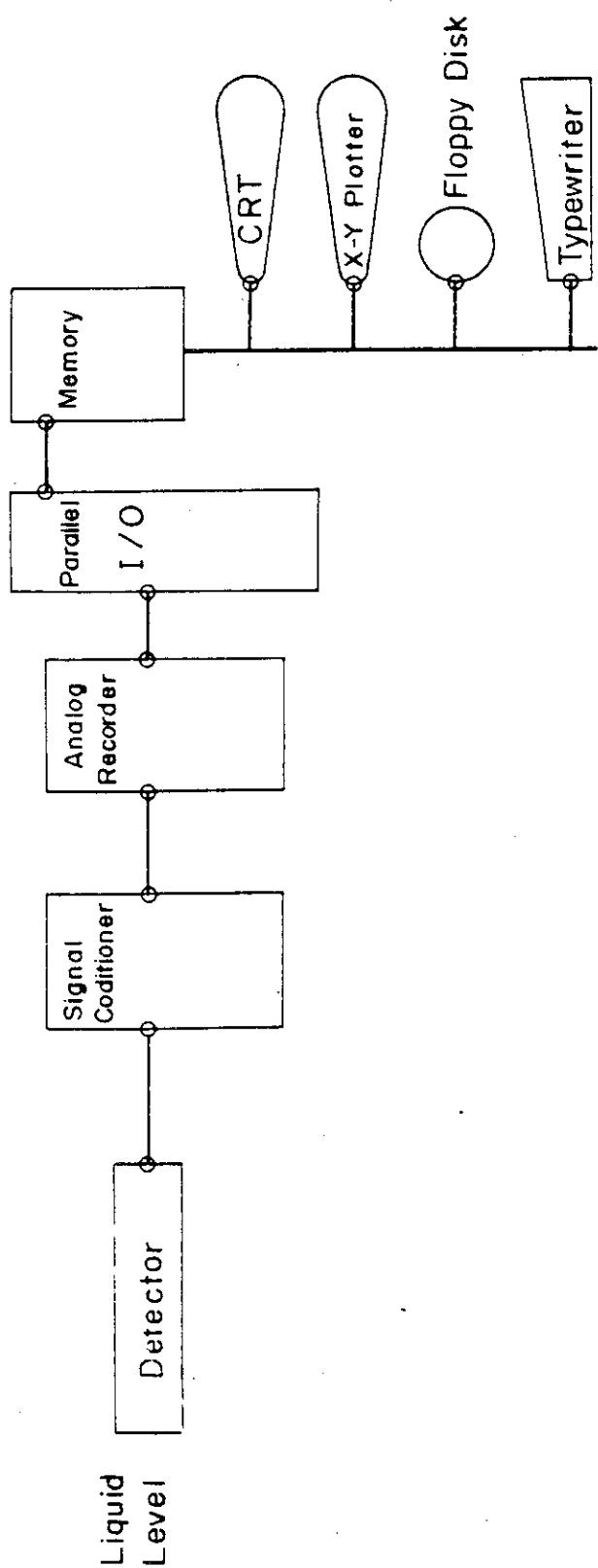
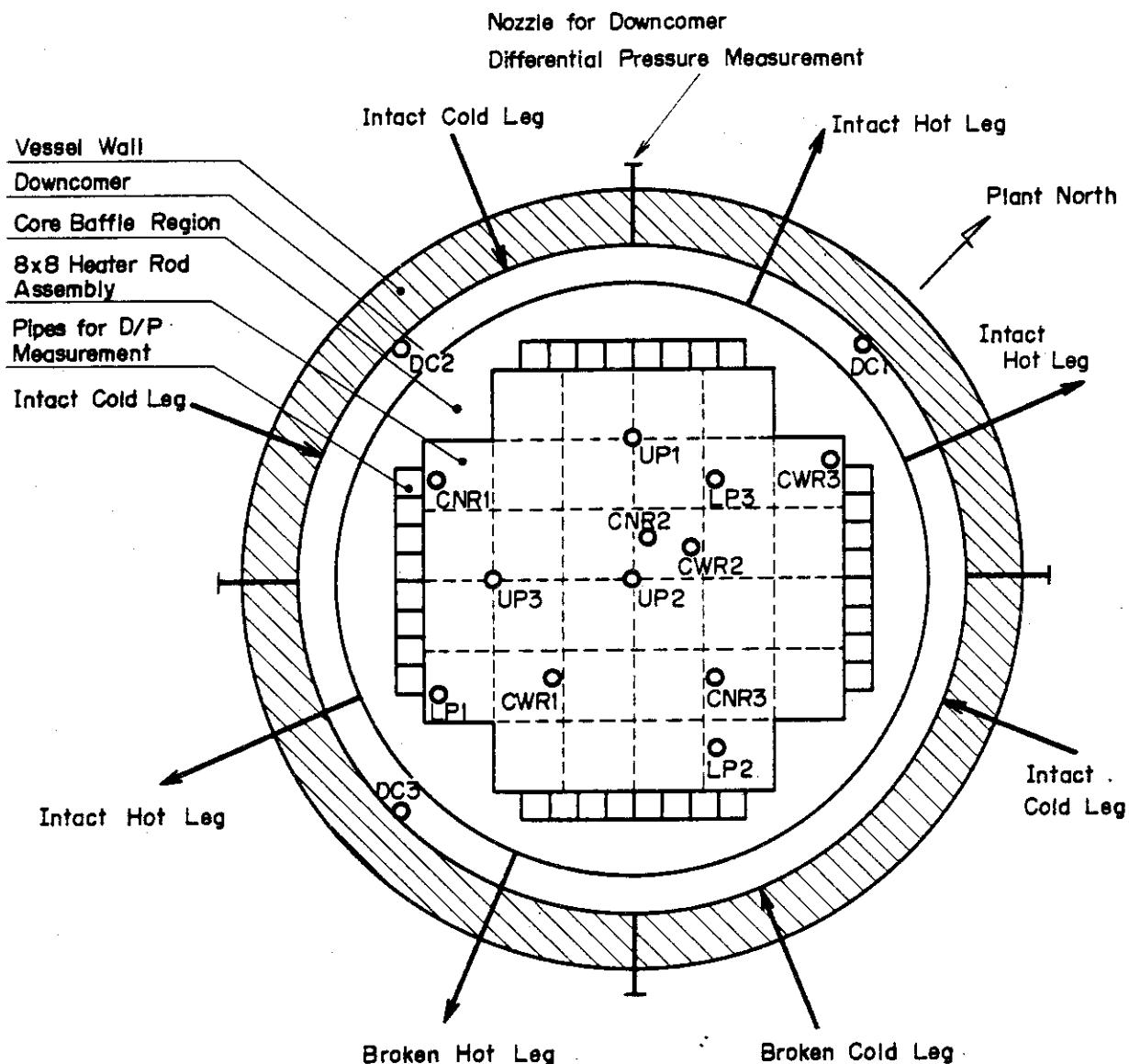
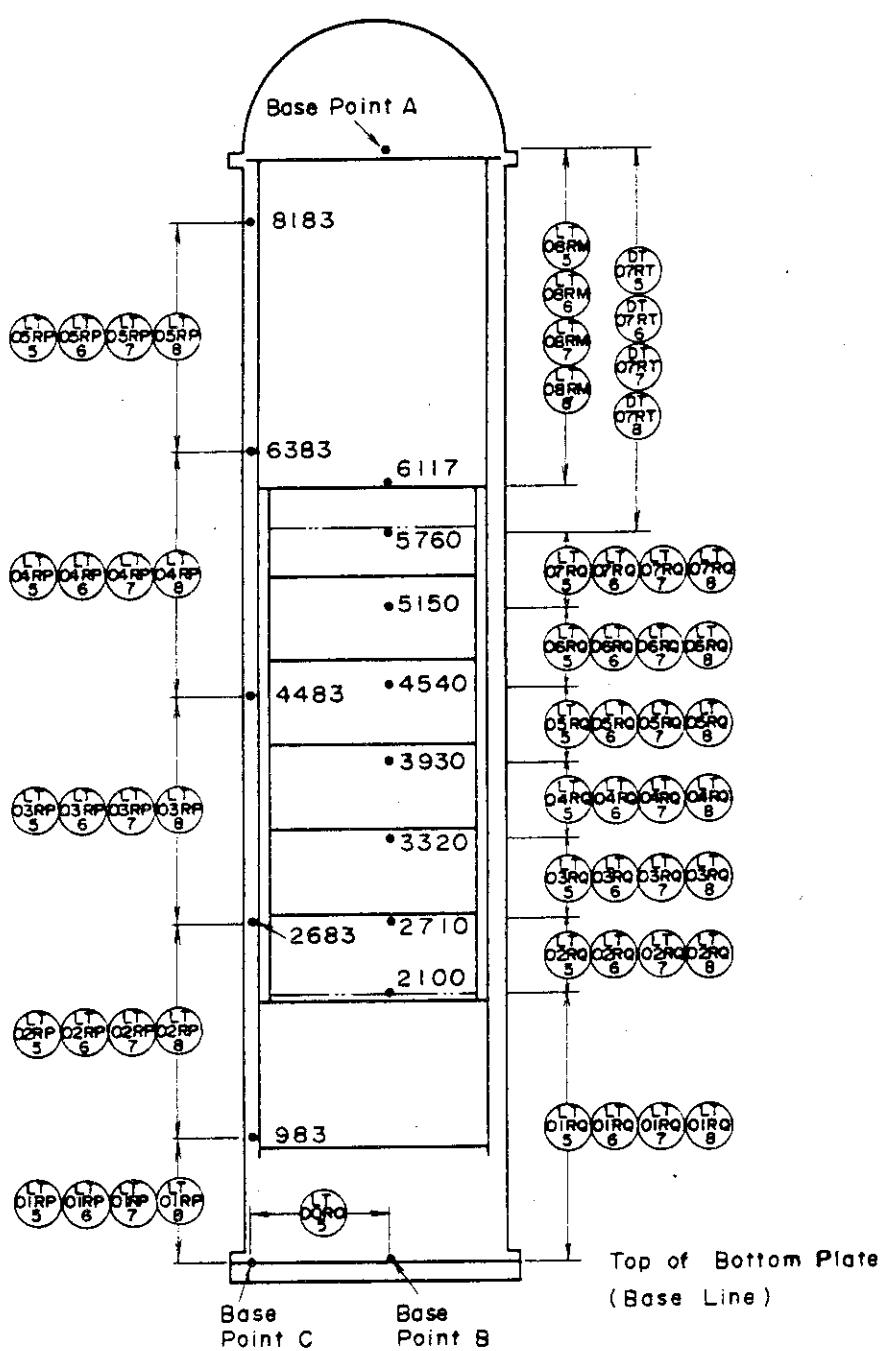


Fig. 2.19 Data acquisition system-III



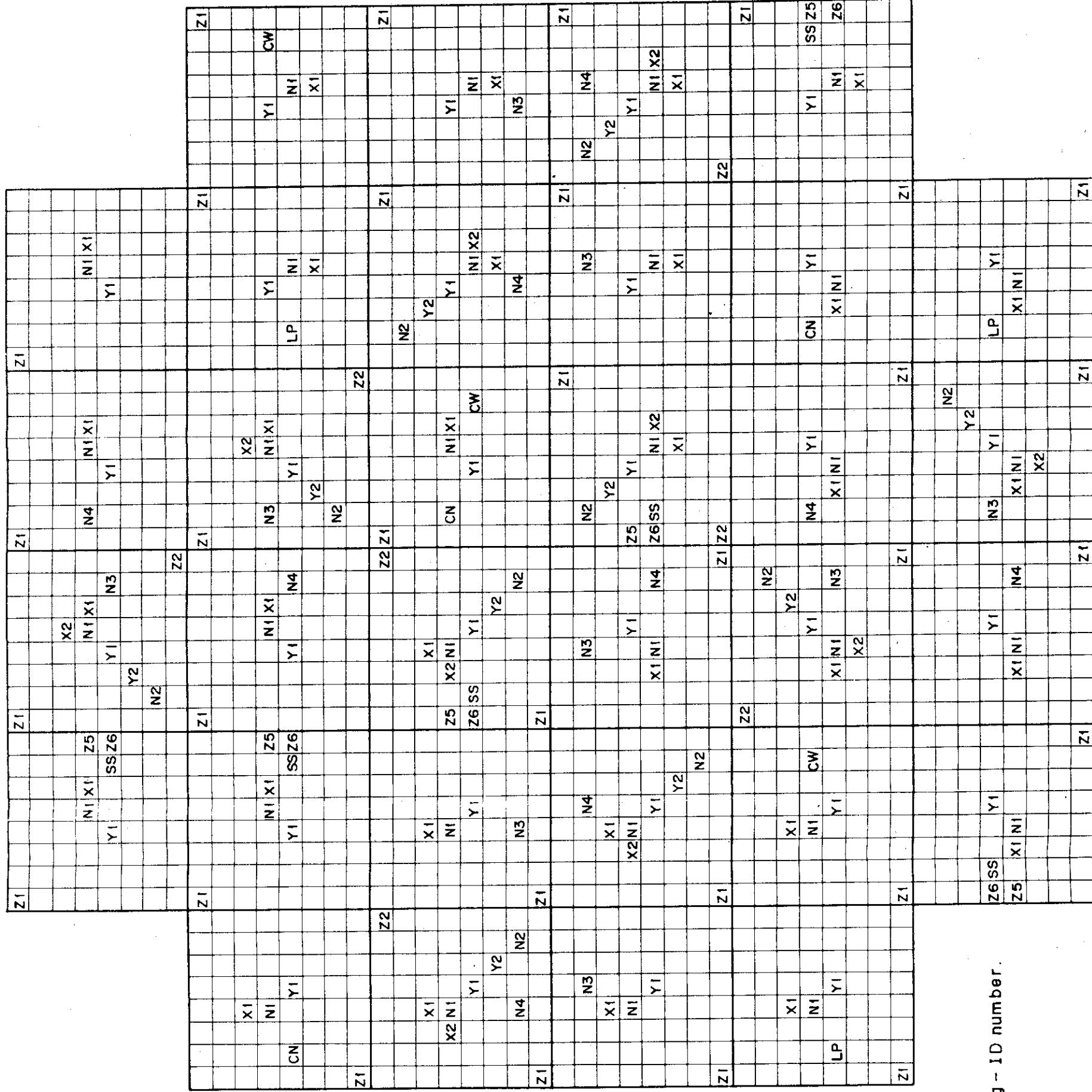
DC : Downcomer LLD  
 LP : Lower Plenum LLD  
 CNR : Core Narrow-range LLD  
 CWR : Core Wide-range LLD  
 UP : Upper Plenum LLD

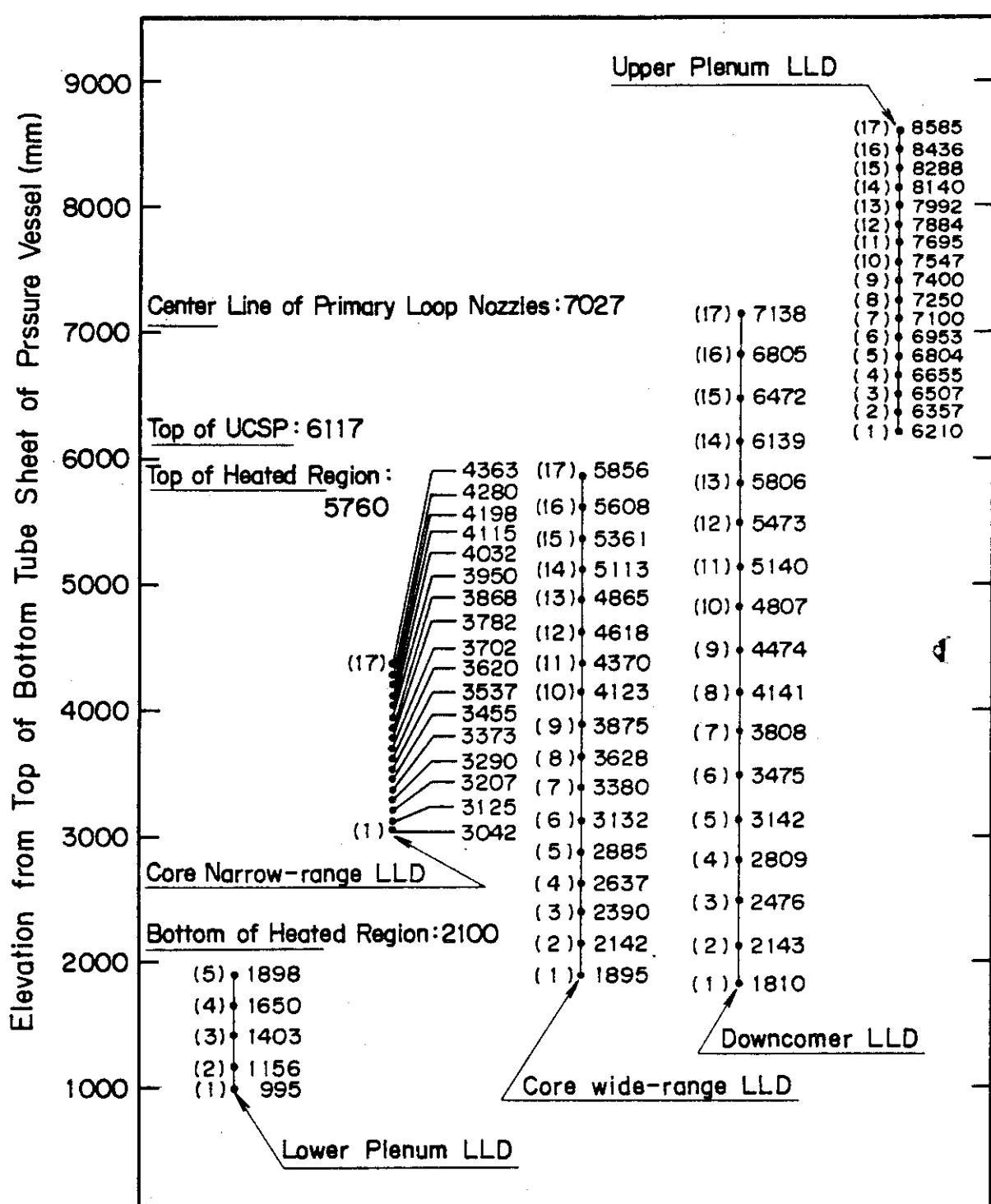
Fig. 2.20 Locations of liquid level detectors



Notes : • : Location of differential pressure taps  
(Number means elevation from base line in mm.)  
LT : Liquid level transmitter  
DT : Differential pressure transmitter

Fig. 2.21 Pressure, differential pressure and liquid level instrumentation locations in pressure vessel



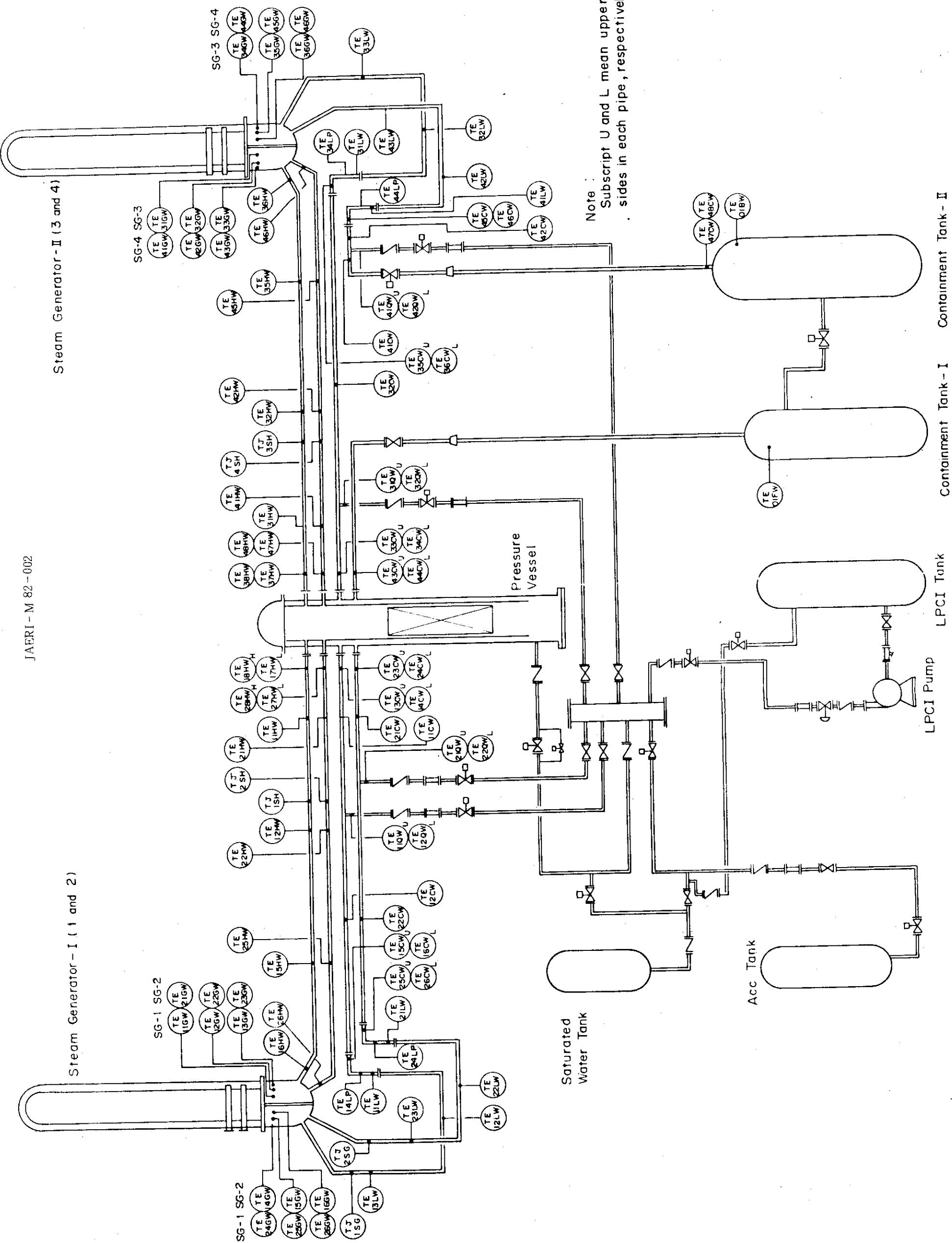


Note : Numbers in parenthesis denotes sensor number from the lowest to the highest.

Fig. 2.23 Elevation liquid level detectors

## Steam Generator - I (1 and 2)

## Steam Generator - II (3 and 4)



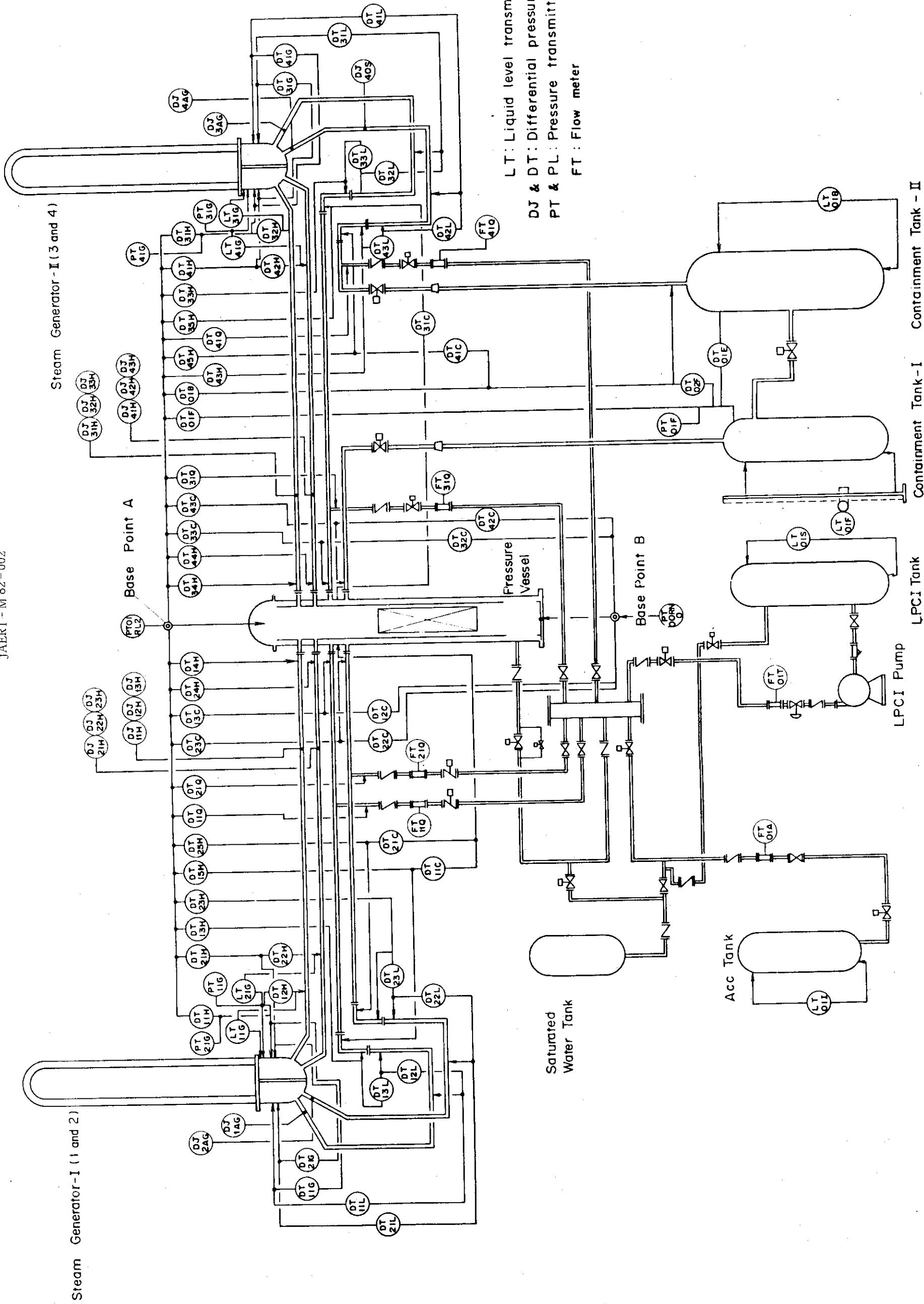


Fig. 2.25 Pressure, differential pressure and liquid level instrumentation locations except pressure vessel

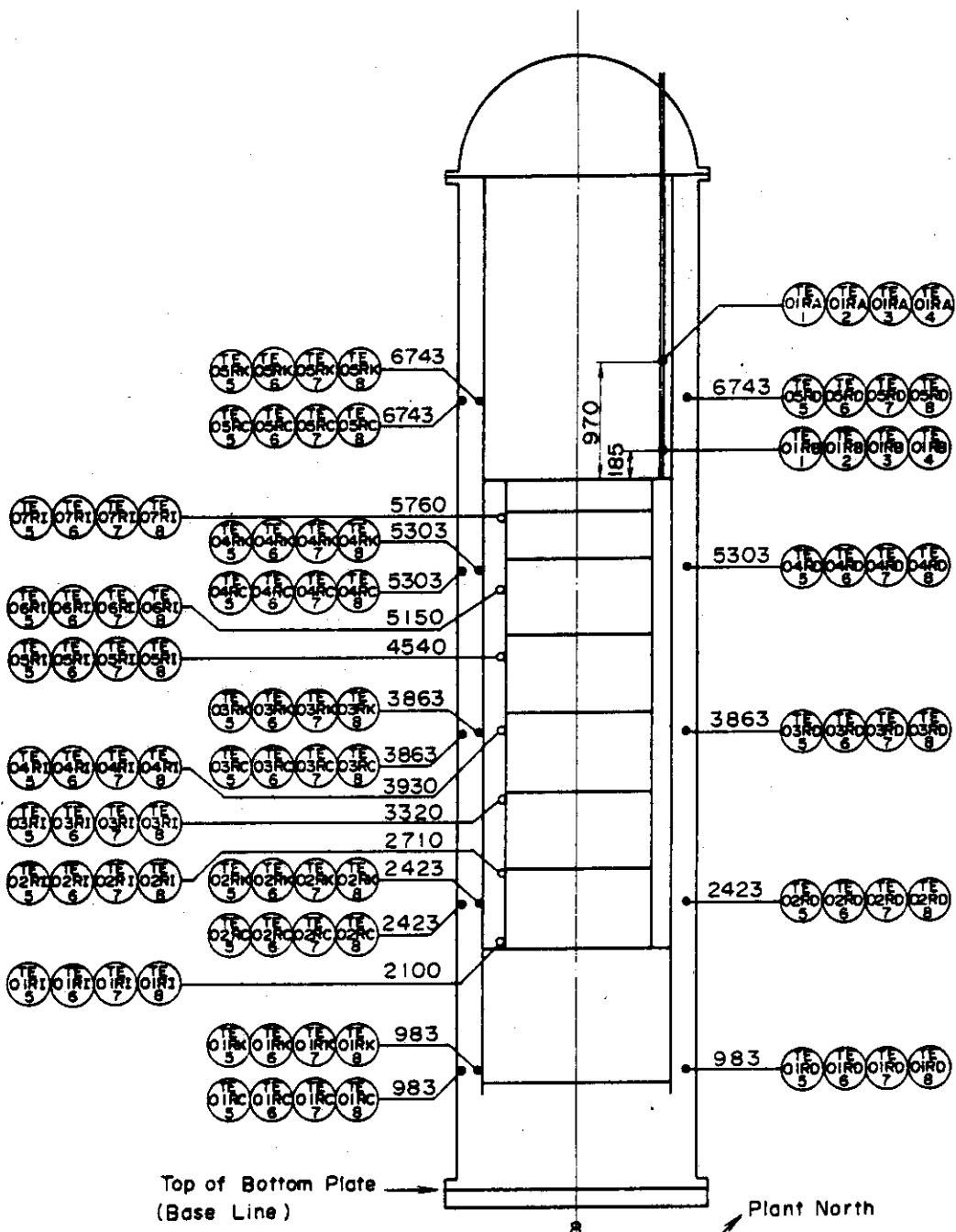


Fig. 2.26 Thermocouple locations in pressure vessel

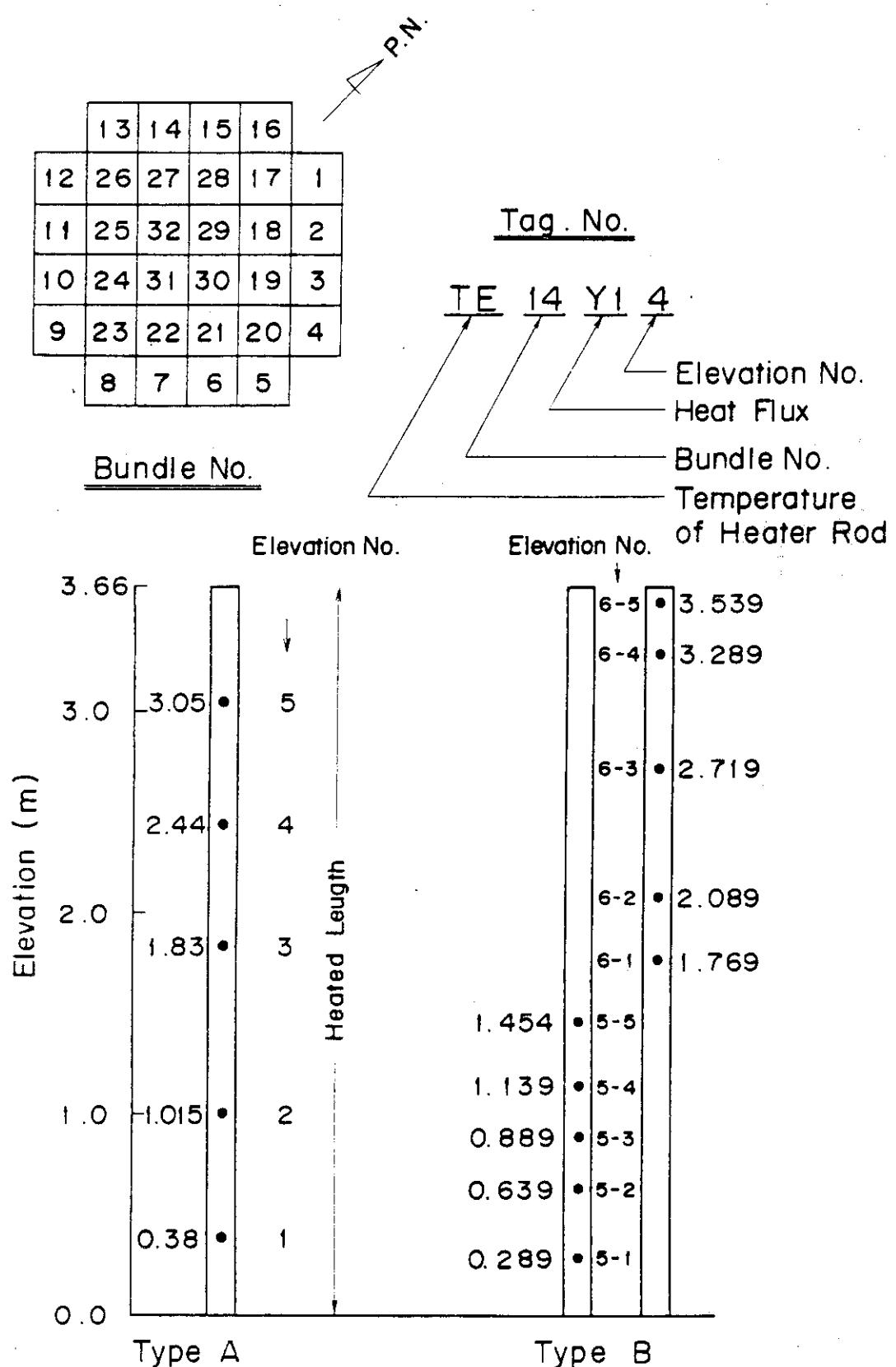
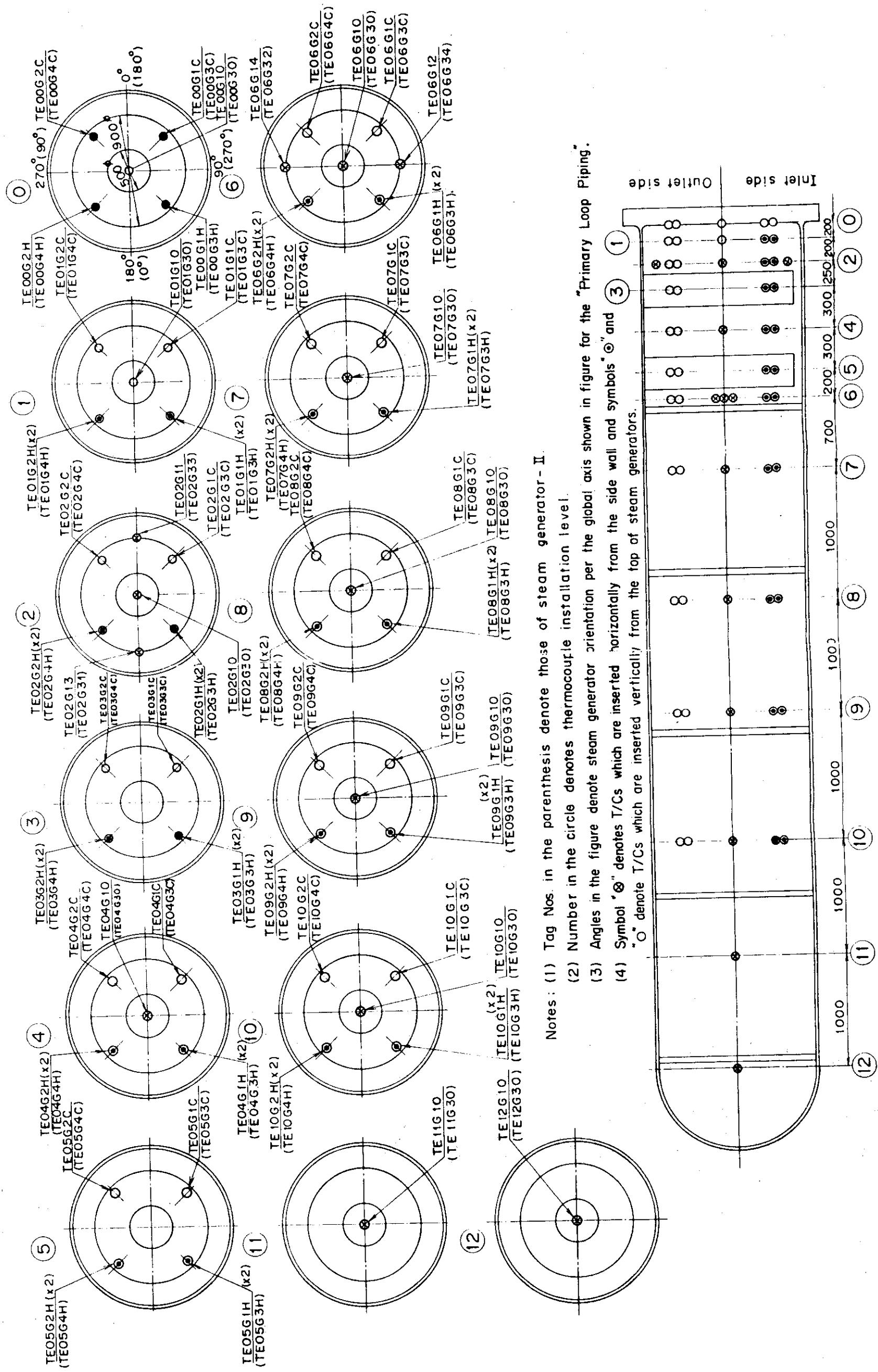


Fig. 2.27 Location of thermocouples installed on instrumented rods



Notes : (1) Tag Nos. in the parenthesis denote those of steam generator - II.  
(2) Number in the circle denotes thermocouple installation level.  
(3) Angles in the figure denote steam generator orientation per the global axis shown in figure for the "Primary Loop Piping".  
(4) Symbol '◎' denotes T/Cs which are inserted horizontally from the side wall and symbol '○' denotes T/Cs which are inserted vertically from the top of steam generators.

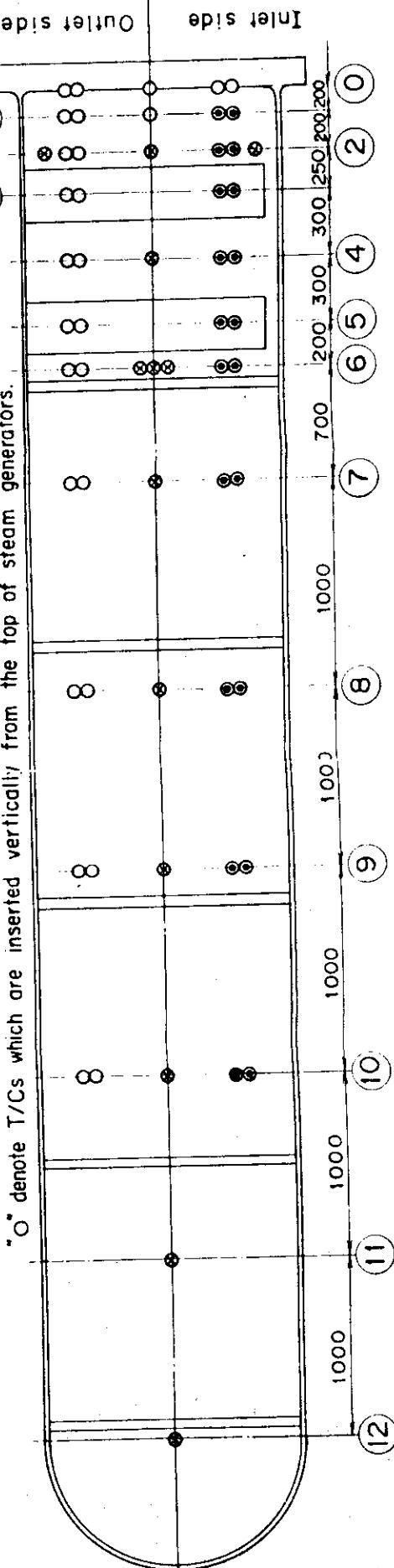


Fig. 2.28 Thermocouple locations in steam generator simulator-I and -II

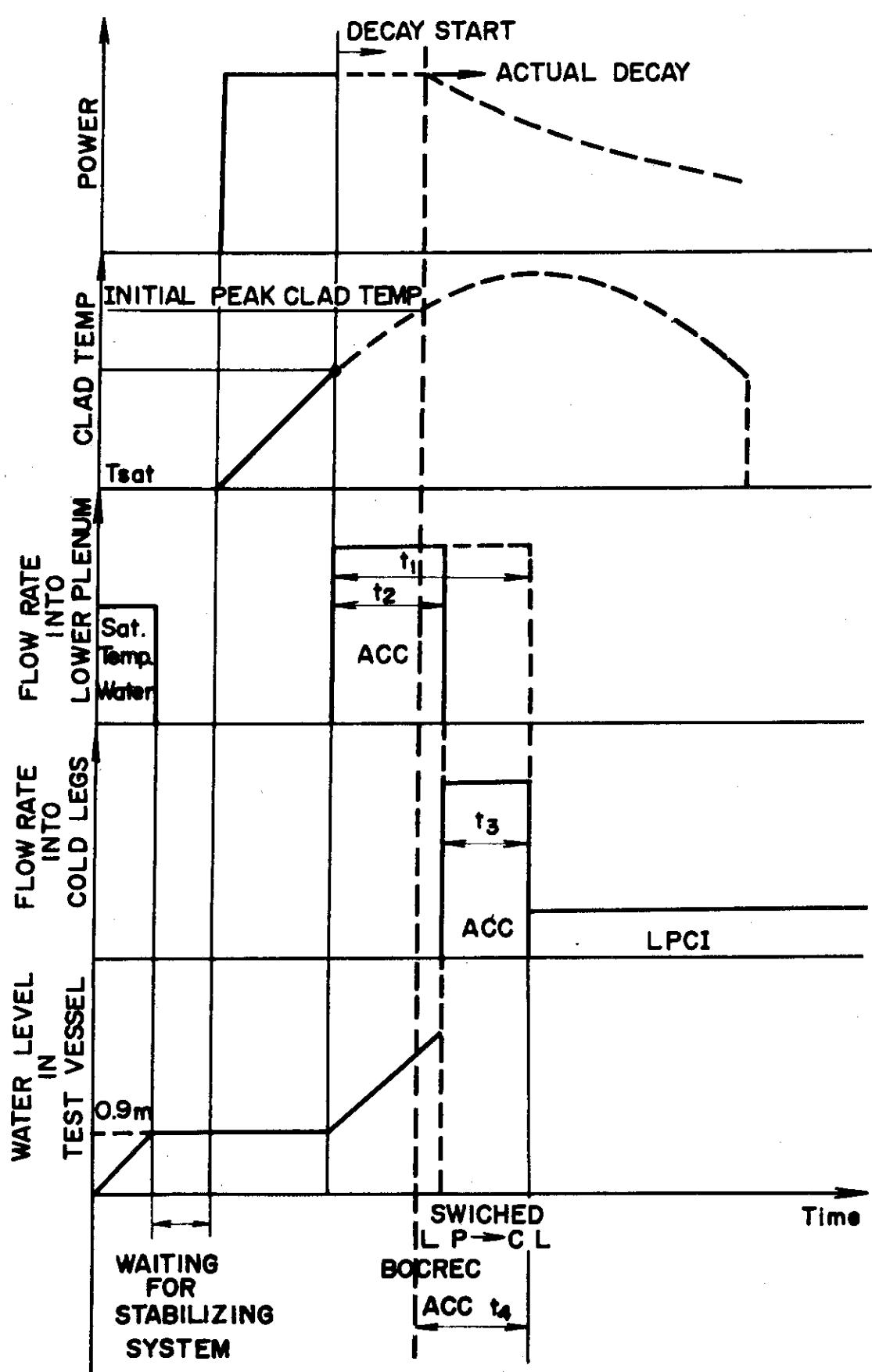


Fig. 2.29 Diagram of sequence of test

### 3. 試験結果のまとめ

昭和 54 年度分として行なった 19 回の試験の概要を Table 3.1 に示す。各試験は次のように分類させる。

(1) 基礎試験及び再現性試験 C 1-2, C 1-11

(2) バラメータ効果試験

系圧力 C 1-10 ( $P = 1.5$ ), C 1-12 ( $P = 3$ )

ECC 流量 C 1-5 ( $G_{ACC}$  大), C 1-9 ( $G_{LPC1}$  小)

C 1-13 (ACC 注入時間短), C 1-6 ( $G_{LPC1}$  大)

被覆管初期温度 C 1-7 (700 °C), C 1-14 (800 °C)

ダウンカマ壁温 C 1-3 (飽和温度)

ループ抵抗 C 1-1 ( $K \approx 35$ )

半径方向出力分布 C 1-SH3 (ピーキングファクター 1.44)

ECC 注入水温 C 1-SH4 (65 °C)

(3) 結合試験 (他の装置との特性の差を調べる。)

FLECHT C 1-SH2 (1708B), C 1-16 (3105B)

PKL C 1-SH5

(4) 特殊効果試験

リフィル模擬試験 C 1-4 (基準)

C 1-SH1 (炉心非加熱, トレーニング)

C 1-15 (+窒素ガス)

その他 C 1-9 (前出・4 ループ注水)

C 1-8 (ループシール蓄水試験)

基準試験は基準条件でのデータを収集し、他の試験結果との比較の基準となる試験である。バラメータ効果試験は再冠水現象のシステム挙動や炉心冷却効果に対して影響が顕著と考えられるバラメータの影響を調べることを目的とする試験である。試験は基準試験に対し着目するバラメータのみを変化させて実施した。昭和 54 年度には、系圧力・ECC 流量・被覆管初期最高温度・ダウンカマ壁温・ループ抵抗・ECC 注入水温の各バラメータの影響について試験した。結合試験では、試験装置による再冠水現象の差異を調べることを目的として、代表的な再冠水実験である米国の ELECHT-SET 実験と西独の PKL 実験と可能な限り同様な試験条件で試験を行なった。特殊効果試験としては、再冠水開始時の熱水力挙動をできるだけ現実的に模擬するため、短時間にブローダウン、リフィル過程を経過し、再冠水過程に到る方式のリフィル模擬試験を行なった。また再冠水過程以前に注入された非常用炉心冷却水が何らかの原因で逆流し、ループシール部に蓄水した場合でも炉心が冷却されるかを調べるためにループシール部に 1.5 m の高さまで蓄水させた試験 (ループシール蓄水試験) を行なった。破断ループへも非常用炉心冷却水を注入した場合のシステムに及ぼす影響を調べるための試験 (4 ループ注水試験) を行なった。

Fig. 3.1 から Fig. 3.19 に炉心中央部の高出力棒の各垂直高さでの温度履歴を示す。Table 3.2.1 から Table 3.2.19 に各試験ごとに試験の目的・実験条件及び結果の概要を示す。Table 3.3 に各試験の試験条件測定値を示す。

Table 3.1 Summary of CCTF test conditions

試験番号	実施日	試験の概要
SH 3	54.4.19	低出力 $Q = 1.26$ , 高圧 $P = 4.2$ , $Fr = 1.44$
SH 4	54.5.31	注入水温 = 65°C
SH 5	54.6.7	低出力 $Q = 1.26$ , 高圧 $P = 4.2$ , コールドレグ注水 PKL K7A 結合試験 (PKL K7A)
1	54.6.21	ループ抵抗大 $K = \sim 35$
2	54.7.4	基準試験
3	54.7.13	ダウンカマ非加熱
4	54.7.27	リフィルシミュレーション, $P = 6.0 \rightarrow 2.0$
5	54.10.19	基準試験 (再現性試験) 結果的には高ACC流量試験となった。
6	54.11.9	低圧注水系流量・増加 $G_{LPCI} = 20 \times 3$
7	54.11.15	被覆管初期壁温・高 $T_{init} = 700$
8	54.11.29	ループシール部への初期蓄水・1.5 m (電源トリップ)
9	54.12.13	破断コールドレグへの注水・追加 (4 ループへ注水) 結果的には、低LPCI流量試験となった。
10	54.12.20	低圧 $P = 1.5$
11	55.1.17	基準試験 (再現性試験) ( $G_{ACC}$ Run 2 に含せる)
12	55.1.24	高圧 $P = 3$
13	55.2.7	蓄圧注水系注水総量減少
14	55.2.15	被覆管初期壁温・高 $T_{init} = 800$
15	55.2.26	リフィルシミュレーション, $N_2$ ガス注入
16	55.3.6	高出力 $Q = 1.5$ , 高圧 $P = 4.2$ , 下部プレナム注水 FLECHT 3105B

$P$  : 系圧力 ( $\text{Kg}/\text{cm}^2 \text{a}$ ),  $G$  : 流量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ),  $K$  : K ファクター (ループ),

$T_{init}$  : 被覆管初期最高温度 ( $^\circ\text{C}$ ),  $Q$  : 炉心平均線出力密度 ( $\text{kw}/\text{m}$ )

・基準試験:  $P = 2$ ,  $G_{ACC} = 83.8 \times 3$  (14 sec),  $G_{LPCI} = 10 \times 3$

$Q = 1.4$ ,  $T_{init} = 600$ ,  $K = \sim 25$ , ダウンカマ壁温 =  $T_{sat} + 80^\circ\text{C}$

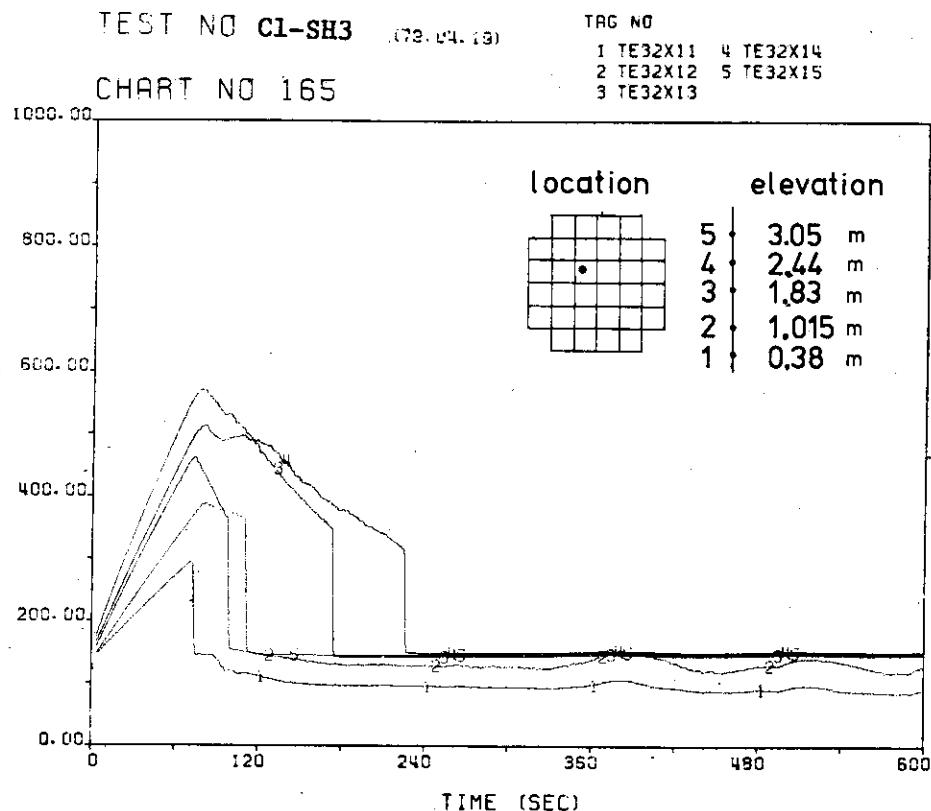


Fig. 3.1 Clad surface temperature (Test C1-SH3)

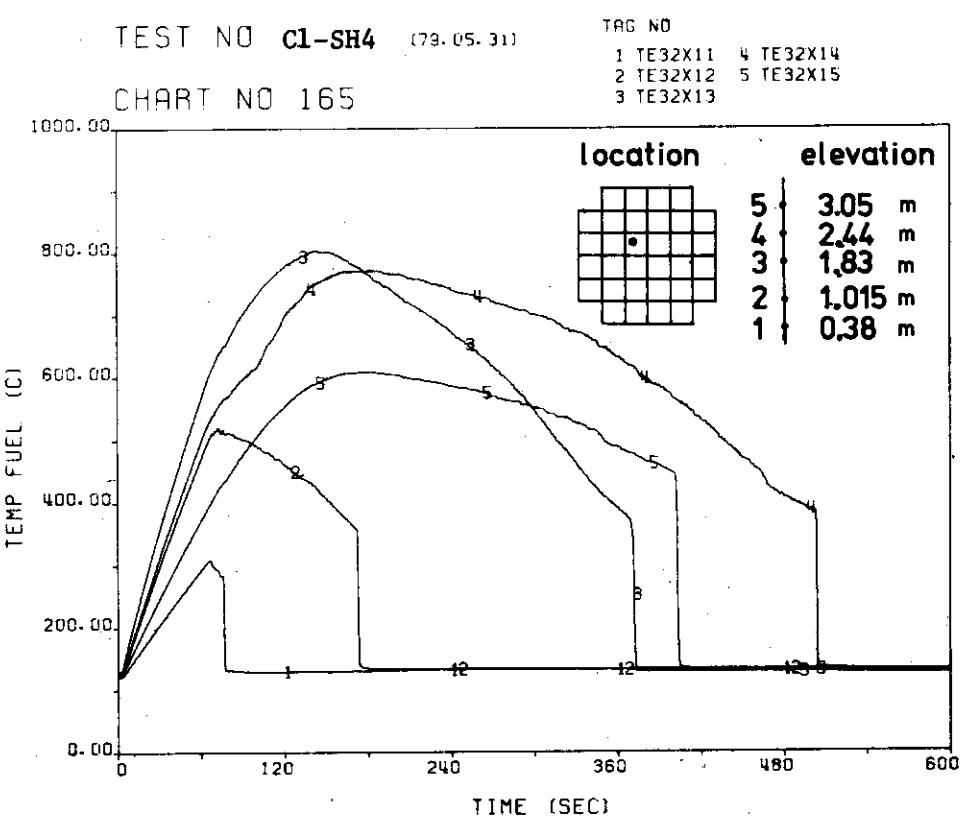


Fig. 3.2 Clad surface temperature (Test C1-SH4)

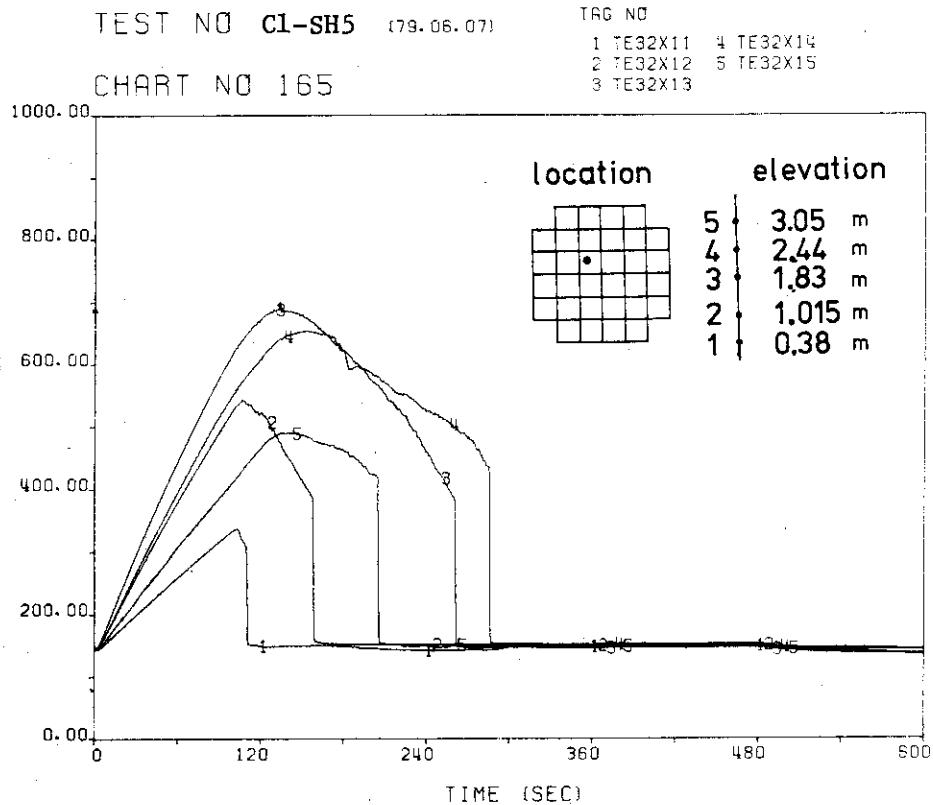


Fig. 3.3 Clad surface temperature (Test C1-SH5)

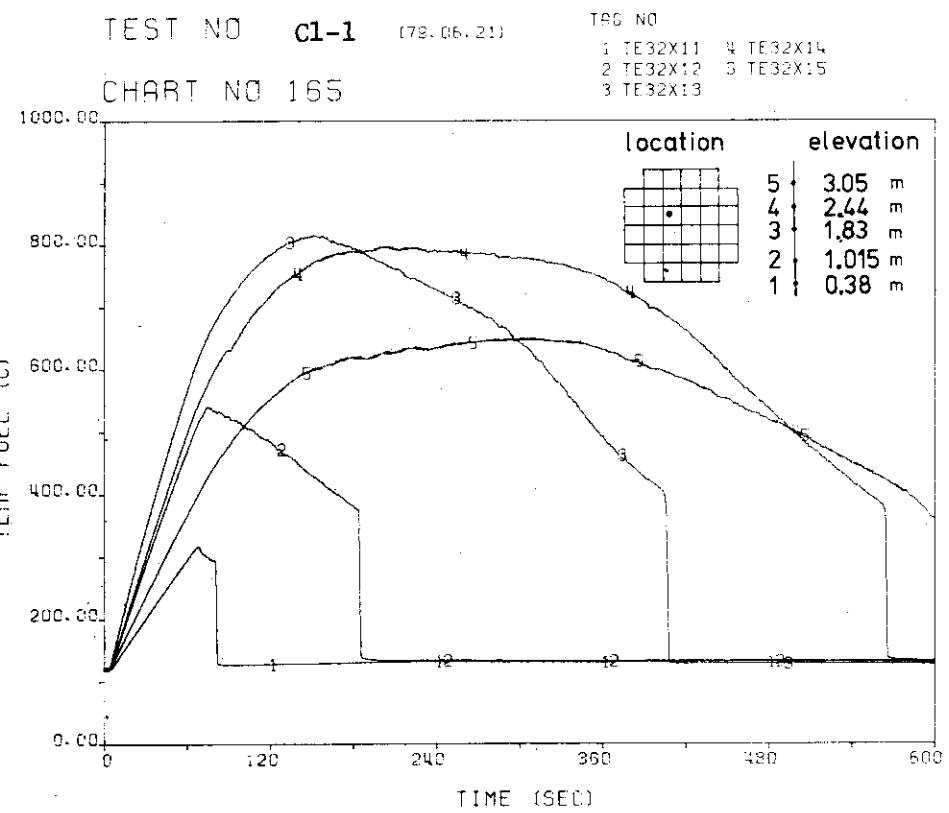


Fig. 3.4 Clad surface temperature (Test C1-1)

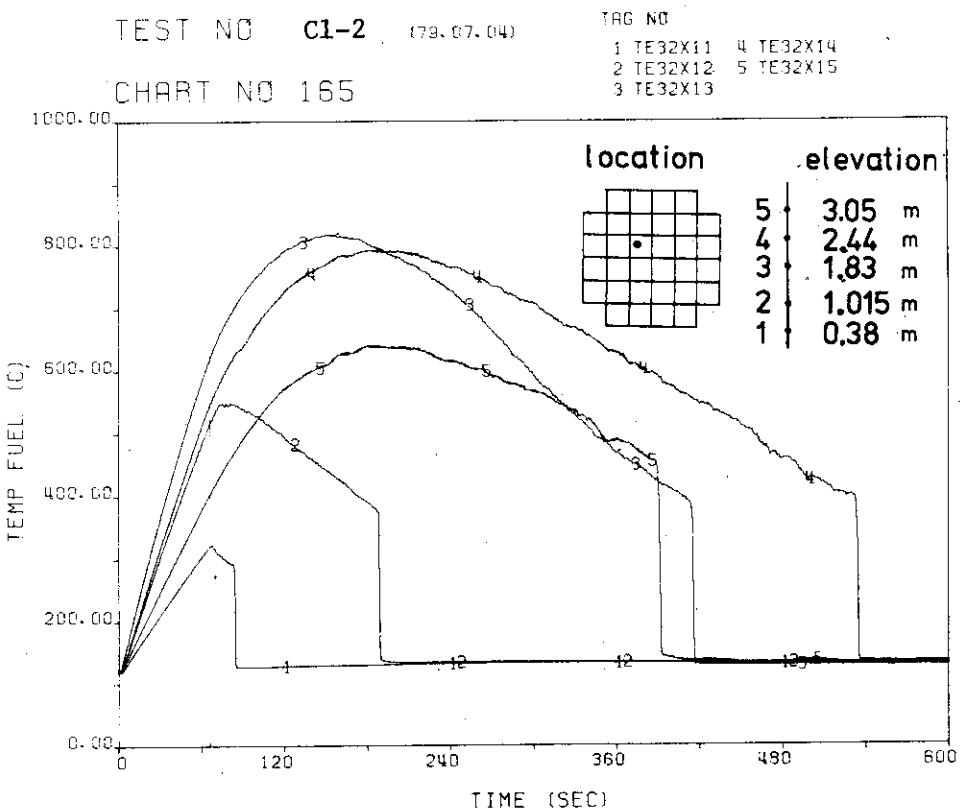


Fig. 3.5 Clad surface temperature (Test C1-2)

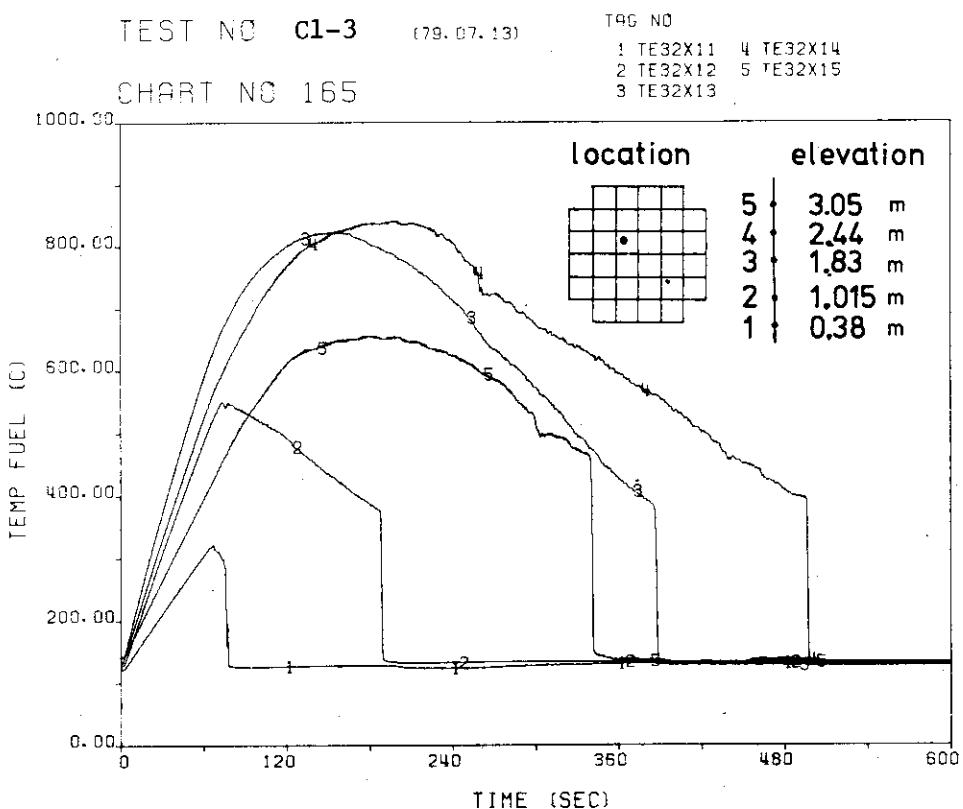


Fig. 3.6 Clad surface temperature (Test C1-3)

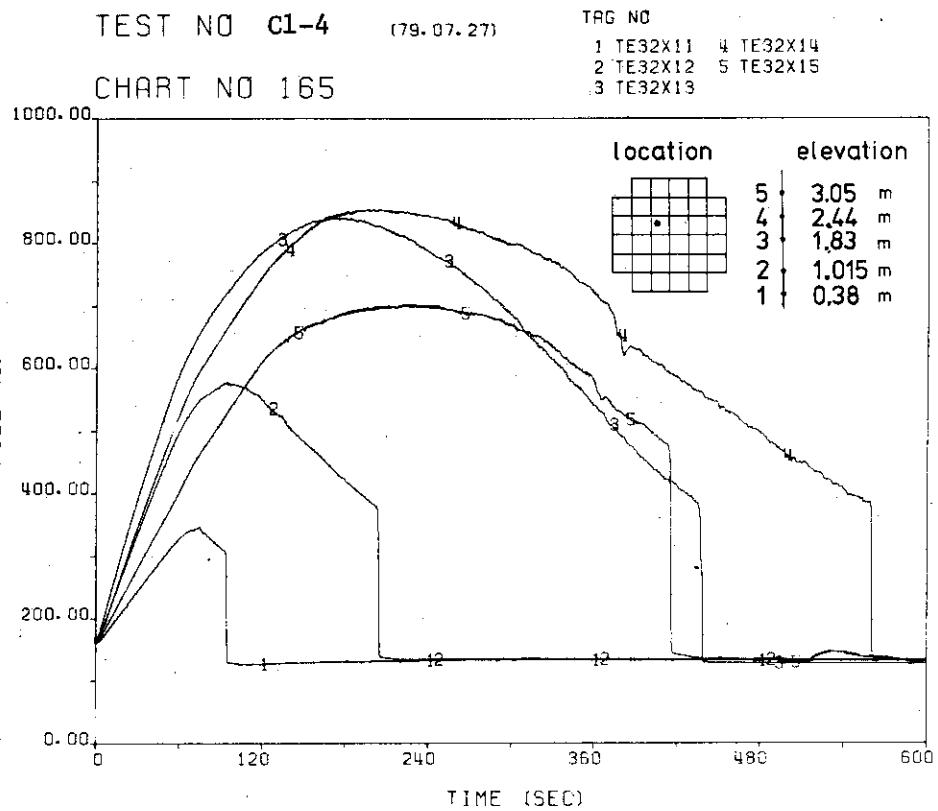


Fig. 3.7 Clad surface temperature (Test C1-4)

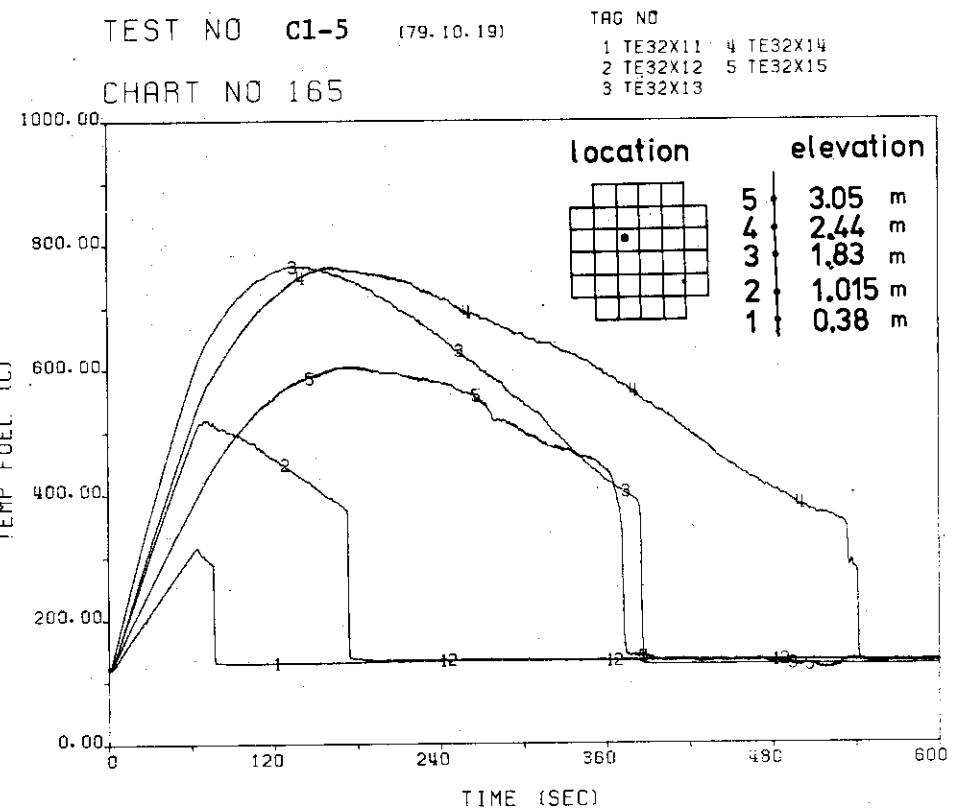


Fig. 3.8 Clad surface temperature (Test C1-5)

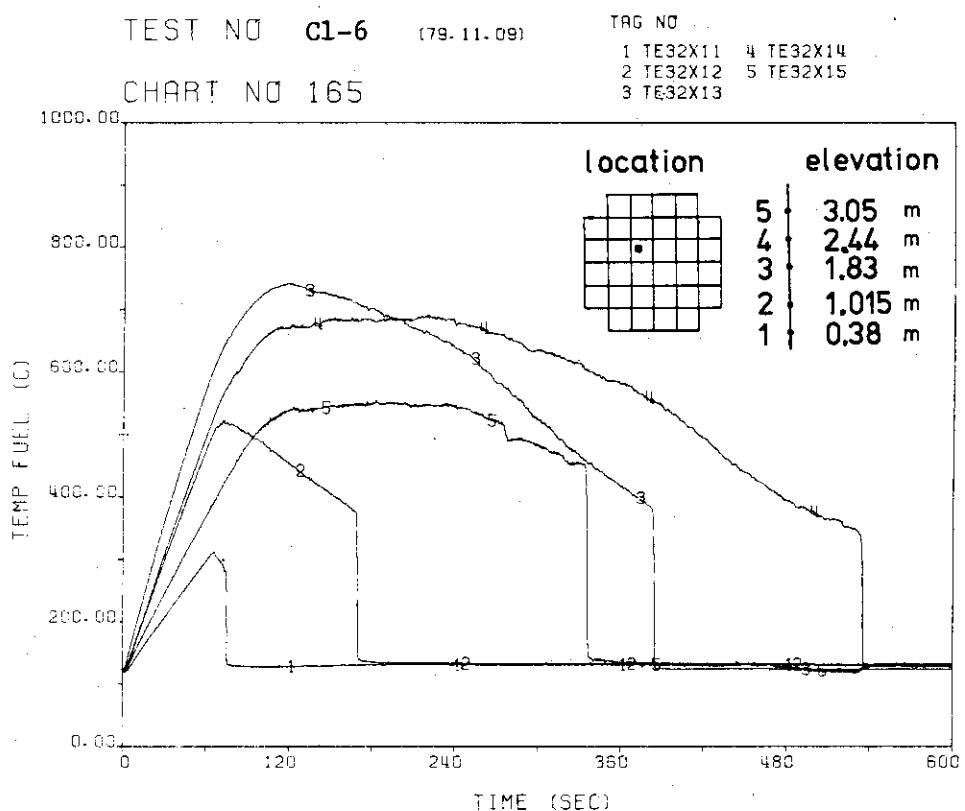


Fig. 3.9 Clad surface temperature (Test C1-6)

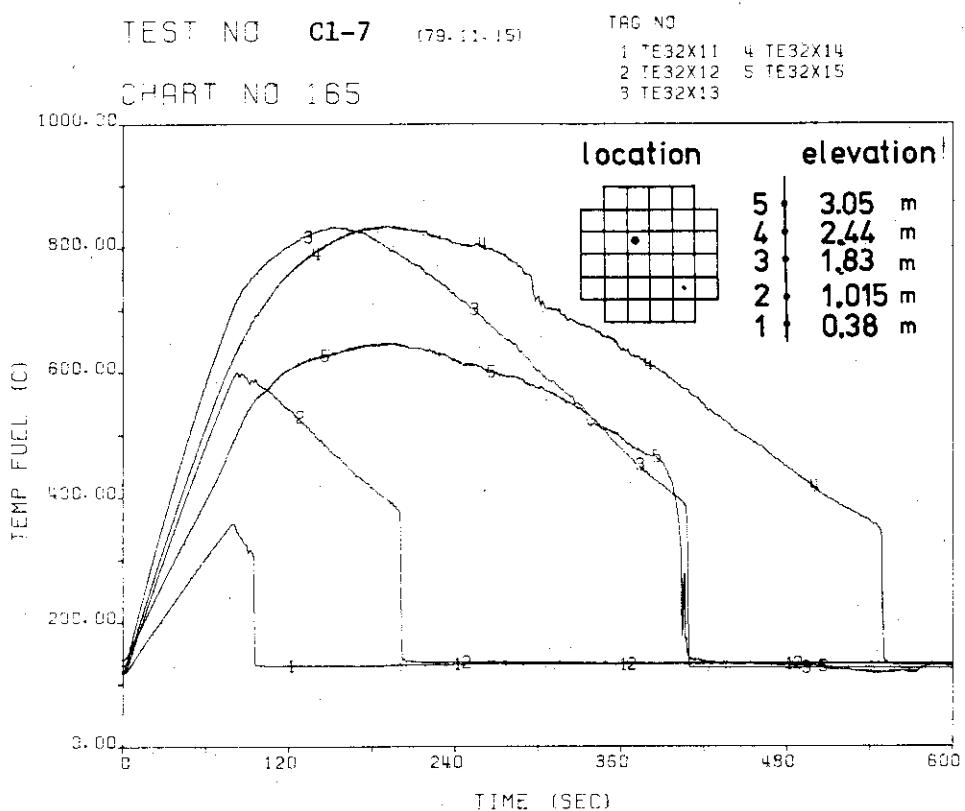


Fig. 3.10 Clad Surface temperature (Test C1-7)

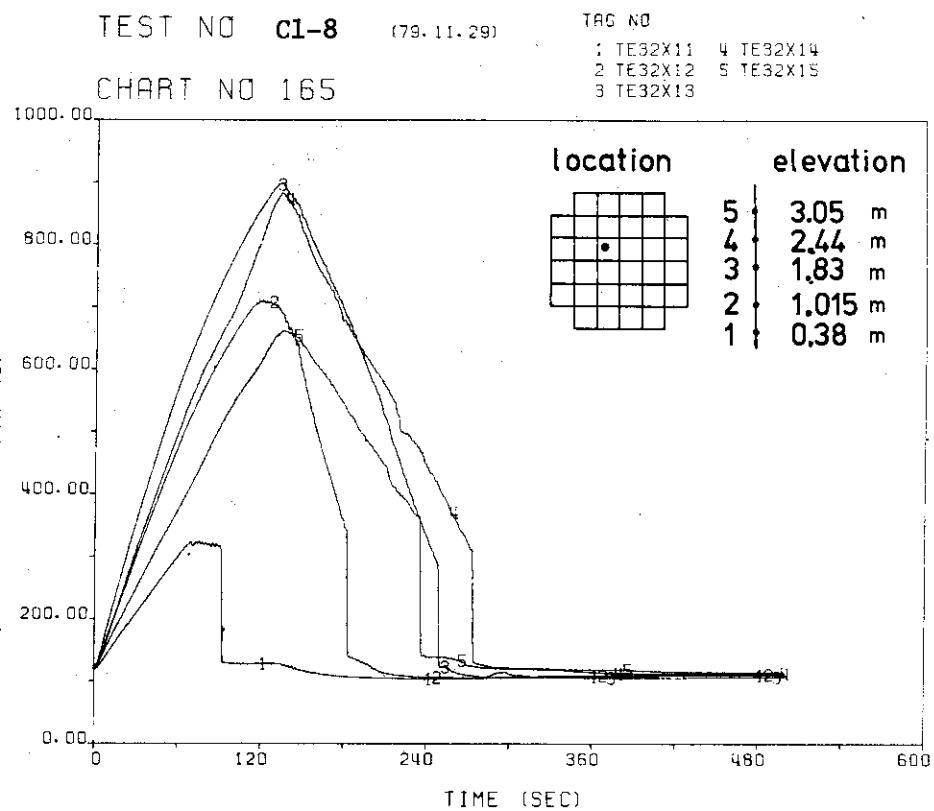


Fig. 3.11 Clad surface temperature (Test C1-8)

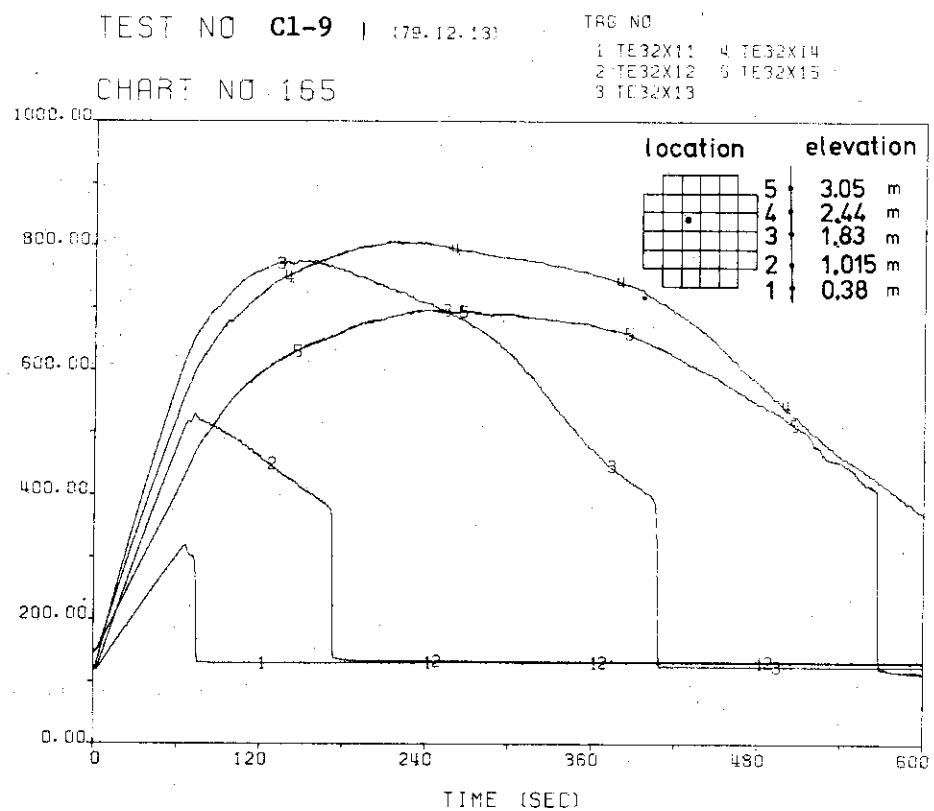


Fig. 3.12 Clad surface temperature (Test C1-9)

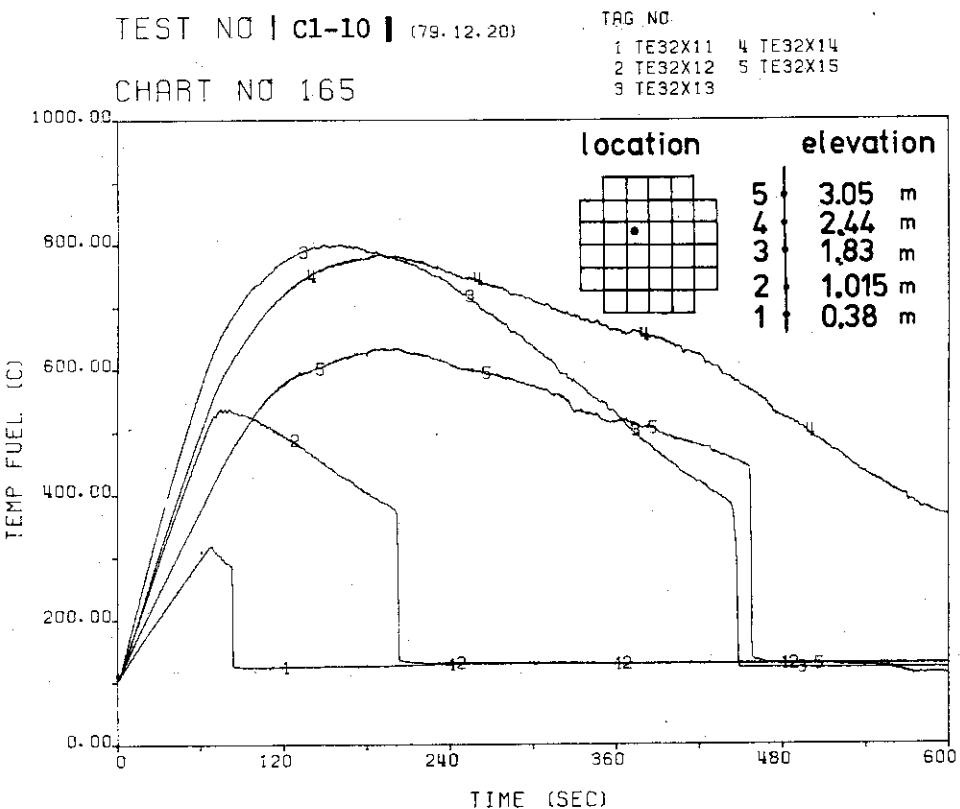


Fig. 3.13 Clad surface temperature (Test C1-10)

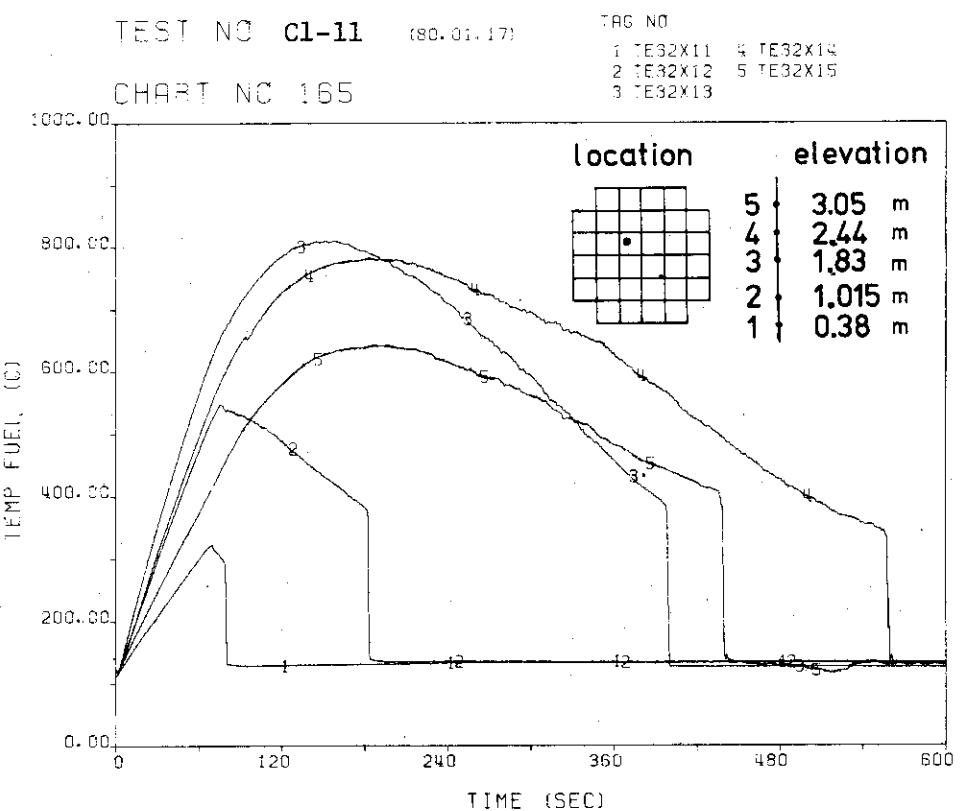


Fig. 3.14 Clad surface temperature (Test C1-11)

TEST NO C1-12 (80.01.24) TRG NO  
 CHART NO 165 1 TE32X11 4 TE32X14  
 2 TE32X12 5 TE32X15  
 3 TE32X13

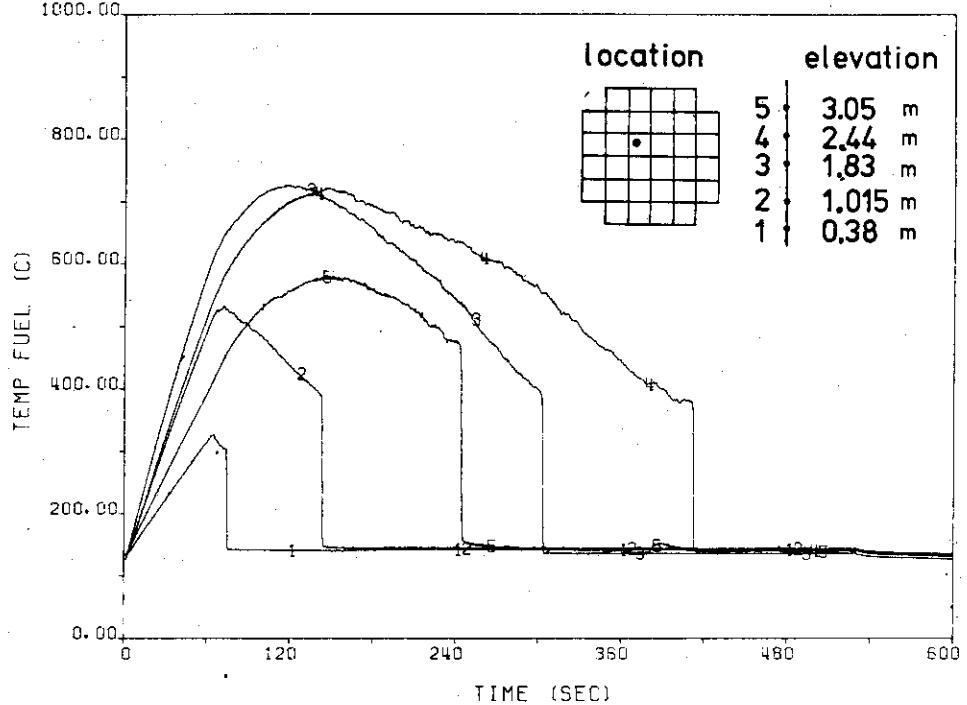


Fig. 3.15 Clad surface temperature (Test C1-12)

TEST NO C1-13 (80.02.07) TRG NO  
 CHART NO 165 1 TE32X11 4 TE32X14  
 2 TE32X12 5 TE32X15  
 3 TE32X13

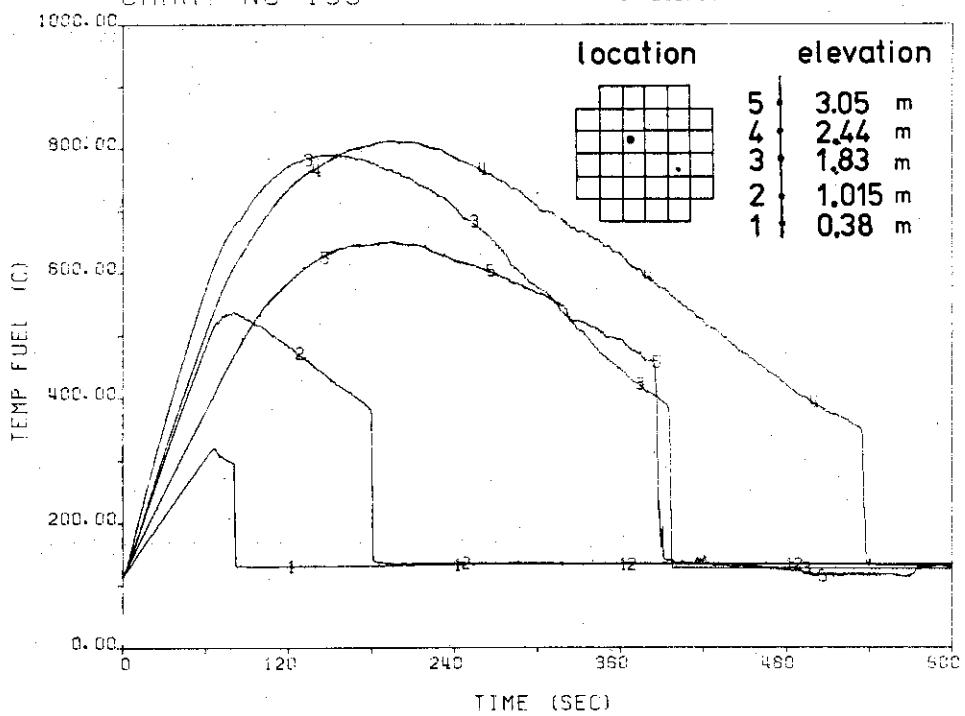


Fig. 3.16 Clad surface temperature (Test C1-13)

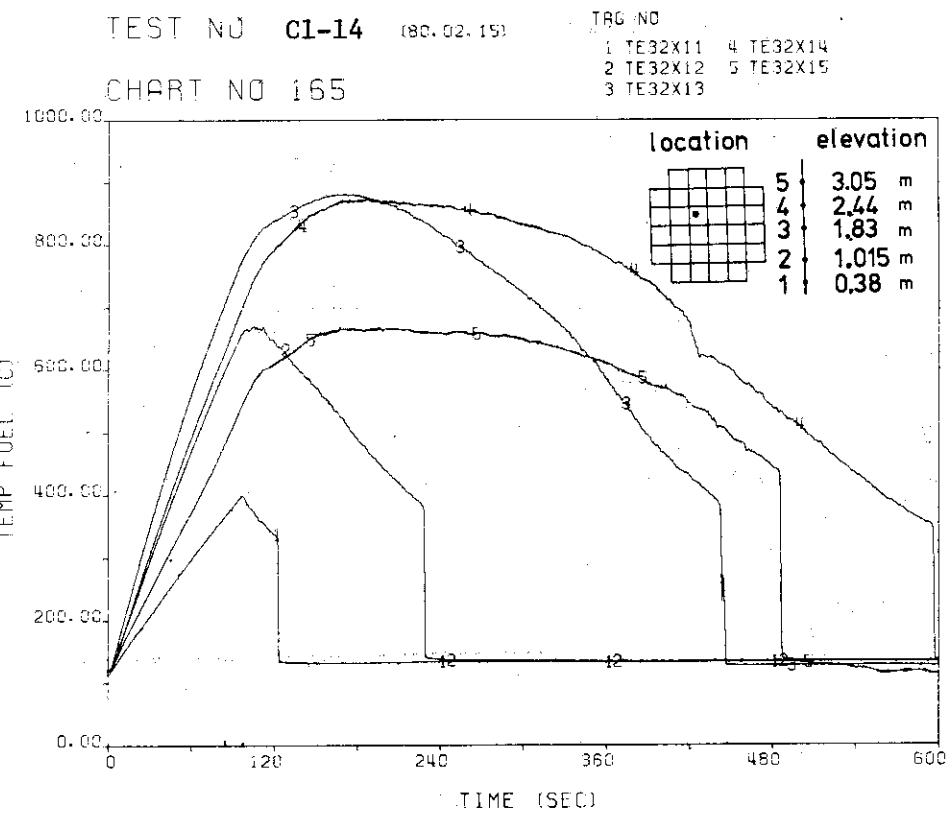


Fig. 3.17 Clad surface temperature (Test C1-14)

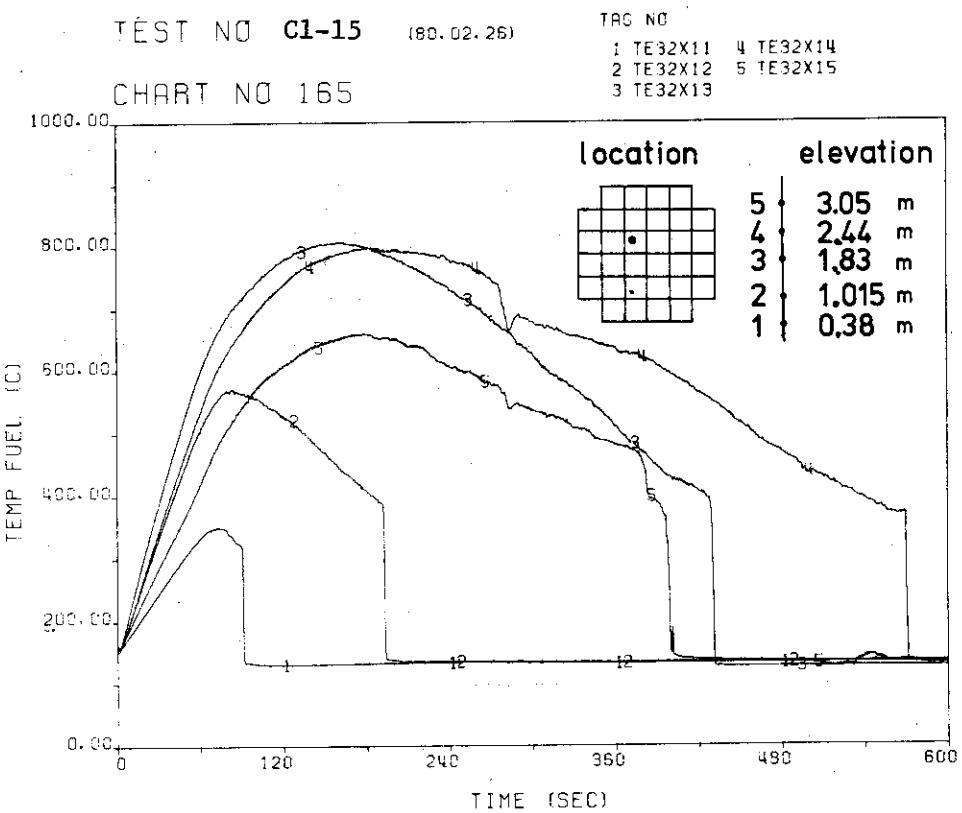


Fig. 3.18 Clad surface temperature (Test C1-15)

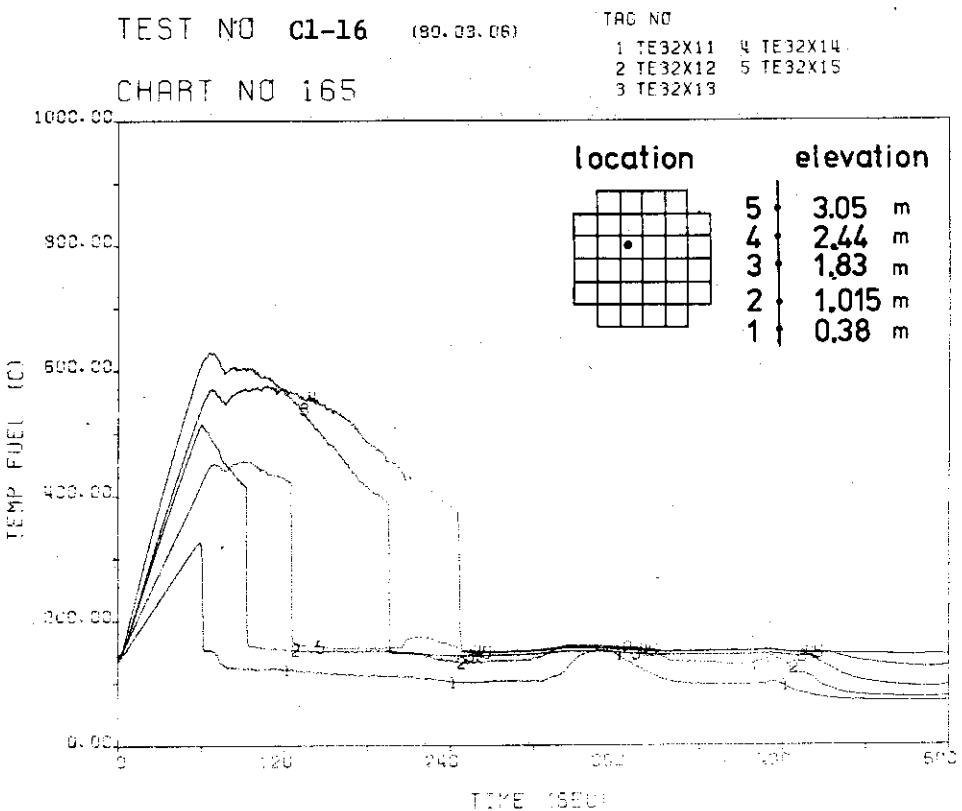


Fig. 3.19 Clad surface temperature (Test C1-16)

Table 3.2.1 Summary of CCTF Test C1-SH3

実験番号	C1-SH3		
実施日	昭和54年4月19日		
目的及び実験内容	C1-SH2(半径方向出力分布:平坦)に対して、半径方向出力分布を鋭くした(ピーキングファクタ: 1.44)の試験を行った。		
実験条件	系圧力 (kg/cm <sup>2</sup> a)	4.2	(SH2)
	平均線出力密度 (kw/m)	1.15	基準試験
	蓄圧注水系流量 (m <sup>3</sup> /h)	83.8 × 3	
	時間 (sec)	14	
	低圧注水系流量 (m <sup>3</sup> /h)	10.0 × 3	
	炉心初期最高温度(℃)	661	
	その他の重要事項	ピーキングファクタ: 1.44	
結果及び成績	炉心最高温度 (℃)	712.9	(SH2)
	全クエンチ時間 (sec)	188.0	基準試験
	中央部炉心最高温度(℃)	573.1	650.3
	中央部クエンチ時間 (sec)	103.0	126.5
	(成果)		
	炉心出力のピーキングファクタが 1.44 であるにも係らず、平坦出力分布とほぼ同じ炉心温度データが得られ、このことから炉心内の二次元的効果が小さいことが分った。		

Table 3.2.2 Summary of CCTF Test C1-SH4

実験番号	C1-SH4																
実施日	昭和54年5月31日																
目的及び 実験内容	出力を増加させ、基準試験と同一にした。 非常炉心冷却系(ECCS)の水温のシステムに及ぼす影響を調べるため、注入水温を65°Cとした。																
実験条件	系圧力 (kg/cm <sup>2</sup> ) 2 平均線出力密度 (kw/m) 1.4 蓄圧注水系流量 (m <sup>3</sup> /h) 83.8×3 時間 (sec) 14 低圧注水系流量 (m <sup>3</sup> /h) 10×3 炉心初期最高温度(C) 600 その他の重要事項 注入水温 = 65°C																
結果 及び 成績	<table> <thead> <tr> <th></th> <th>本試験</th> <th>(C1-1) 基準試験</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>炉心最高温度 (C)</td> <td>829.8</td> <td>818.3</td> </tr> <tr> <td>全クエンチ時間 (sec)</td> <td>534.5</td> <td>518.5</td> </tr> <tr> <td>中央部炉心最高温度(C)</td> <td>803.8</td> <td>818.3</td> </tr> <tr> <td>中央部クエンチ時間(sec)</td> <td>306.0</td> <td>348.0</td> </tr> </tbody> </table> <p>(成果)            本試験では、温度が設定限界を越えたため、途中から出力の一部が20%減少された。この点を考慮すると、基準試験より冷却効果が悪くなっていると考えられ、その原因はECC水のサブクール度であると考えられる。</p>		本試験	(C1-1) 基準試験	炉心最高温度 (C)	829.8	818.3	全クエンチ時間 (sec)	534.5	518.5	中央部炉心最高温度(C)	803.8	818.3	中央部クエンチ時間(sec)	306.0	348.0	
	本試験	(C1-1) 基準試験															
炉心最高温度 (C)	829.8	818.3															
全クエンチ時間 (sec)	534.5	518.5															
中央部炉心最高温度(C)	803.8	818.3															
中央部クエンチ時間(sec)	306.0	348.0															

Table 3.2.3 Summary of CCTF Test C1-SH5

実験番号	C1-SH5																
実施日	昭和54年6月7日																
目的及び 実験内容	装置による再冠水現象の差異を調べるため、PKL K7Aと可能な限り同様な試験条件で試験を行った。																
実験条件	系圧力 ( $\text{kg}/\text{cm}^2 \text{ a}$ ) 4.2 平均線出力密度 ( $\text{kW}/\text{m}$ ) 1.06 蓄圧注水系流量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) 111 時間 (sec) 21 低圧注水系流量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) 48 炉心初期最高温度(℃) 701 その他の重要事項																
結果 及び 成 果	<table> <thead> <tr> <th></th> <th>本 試 験</th> <th>基準試験</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>炉心最高温度 (℃)</td> <td>721.9</td> <td>818.3</td> </tr> <tr> <td>全クエンチ時間 (sec)</td> <td>245.0</td> <td>518.5</td> </tr> <tr> <td>中央部炉心最高温度 (℃)</td> <td>690.0</td> <td>818.3</td> </tr> <tr> <td>中央部クエンチ時間 (sec)</td> <td>160.0</td> <td>348.0</td> </tr> </tbody> </table> <p>(成果) 炉心の冷却は非常に良好であった。また、上部炉心板上に大量の蓄水が見られ、下部プレナムからの注水という注水方式の為であると考えられる。</p>		本 試 験	基準試験	炉心最高温度 (℃)	721.9	818.3	全クエンチ時間 (sec)	245.0	518.5	中央部炉心最高温度 (℃)	690.0	818.3	中央部クエンチ時間 (sec)	160.0	348.0	
	本 試 験	基準試験															
炉心最高温度 (℃)	721.9	818.3															
全クエンチ時間 (sec)	245.0	518.5															
中央部炉心最高温度 (℃)	690.0	818.3															
中央部クエンチ時間 (sec)	160.0	348.0															

Table 3.24 Summary of CCTF Test C 1-1

実験番号	C 1-1		
実施日	昭和 54 年 6 月 21 日		
目的及び実験内容	一次系ループの流動抵抗がシステムに及ぼす影響を調べるため、ポンプ模擬体のオリフィスを交換し、ループの K ファクターを 35 (推定値) とした。		
実験条件	系圧力 (kg/cm <sup>2</sup> a) 2 平均線出力密度 (kw/m) 1.4 蓄圧注水系流量 (m <sup>3</sup> /h) 83.8 × 3 時間 (sec) 14 低圧注水系流量 (m <sup>3</sup> /h) 10 × 3 炉心初期最高温度(℃) 600 その他の重要事項 K ファクタ = ~ 35		
結果及び成績	本試験	基準試験	
	炉心最高温度 (℃)	815.4	818.3
	全クエンチ時間 (sec)	556.5	518.5
	中央部炉心最高温度(℃)	815.4	818.3
	中央部クエンチ時間 (sec)	340.0	348.0
	(成果)	ループの K ファクタを基準試験の 2.5 に対して 3.5 と大きくし、炉心の冷却効果が悪くなる程度を調査したが、結果は、基準試験とほぼ同じ冷却効果が得られ、大きな影響は認められなかった。	

Table 3.2.5 Summary of CCTF Test C1-2

実験番号	C 1 - 2		
実施日	昭和 54 年 7 月 4 日		
目的及び 実験内容	基準条件でのデータを収集し、他の試験結果と比較するため。		
実験条件	系圧力 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) 2 平均線出力密度 ( $\text{kW}/\text{m}$ ) 1.4 蓄圧注水系流量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) $83.8 \times 3$ 時間 (sec) 14 低圧注水系流量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) $10 \times 3$ 炉心初期最高温度(℃) 600 その他の重要事項		
結 果 及 び 成 果	本 試 験	基準試験	
	炉心最高温度 (℃)	818.3	818.3
	全クエンチ時間 (sec)	518.5	518.5
	中央部炉心最高温度(℃)	818.3	818.3
	中央部クエンチ時間 (sec)	348.0	348.0
	(成果)	他の試験で調べられるパラメータ効果の基準となる試験であり、ほぼ設定条件通りに試験を行なうことができた。	

Table 3.2.6 Summary of CCTF Test C1-3

実験番号	C1-3		
実施日	昭和54年7月13日		
目的及び実験内容	圧力容器壁温が高い場合、ダウンカマ部において沸騰を生じ、発生した蒸気によりダウンカマ部蓄積水の重力による炉心押込み水頭が減少する恐れがある。この現象を調べる為に、圧力容器壁温*を飽和温度として、システムに及ぼす影響を調べる。（*ダウンカマ部のみ）		
実験条件	系圧力 ( $\text{kg/cm}^2 \text{a}$ ) 2 平均線出力密度 ( $\text{kW/m}$ ) 1.4 蓄圧注水系流量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) $83.8 \times 3$ 時間 (sec) 14 低圧注水系流量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) $10 \times 3$ 炉心初期最高温度(℃) 600 その他の重要事項 ダウンカマ部炉容器壁温 = 飽和温度		
結果及び成績	本試験	基準試験	
	炉心最高温度 (℃)	840.8	818.3
	全クエンチ時間 (sec)	505.5	518.5
	中央部炉心最高温度(℃)	840.8	818.3
	中央部クエンチ時間 (sec)	321.5	348.0
	(成果)		
	ダウンカマ部水頭は、徐々に増加し、飽和値になった。この飽和値は、破断コールドレグの下端までのダウンカマ部の静水頭より多少低いが、基準試験より高い値であり、ダウンカマ部の“hot wall effect”があることがわかった。		

Table 3.2.7 Summary of CCTF Test C1-4

実験番号	C 1-4																
実施日	昭和 54 年 7 月 27 日																
目的及び実験内容	<p>再冠水試験を行う場合、炉心において蒸気が発生する前にサブクール水を注水すると急激な凝縮が生じ、初期条件を乱す恐れがあり、初期には、下部プレナムより注水をしているが、試験方法に問題がないか調べる為、初期に下部プレナムフランシングにより蒸気を発生させ、直接サブクール水を注水した。</p>																
実験条件	<p>系圧力 (<math>\text{kg}/\text{cm}^2</math>) a) 初期 6 → 2 に減圧            平均線出力密度 (<math>\text{kW}/\text{m}</math>) 1.4            蓄圧注水系流量 (<math>\text{m}^3/\text{h}</math>) <math>8.38 \times 3</math>            時間 (sec) 14            低圧注水系流量 (<math>\text{m}^3/\text{h}</math>) <math>10 \times 3</math>            炉心初期最高温度(℃) 600            その他の重要事項</p>																
結果及び成果	<table> <thead> <tr> <th></th> <th>本 試 験</th> <th>基準試験</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>炉心最高温度 (℃)</td> <td>879.8</td> <td>818.3</td> </tr> <tr> <td>全クエンチ時間 (sec)</td> <td>563.7</td> <td>518.5</td> </tr> <tr> <td>中央部炉心最高温度(℃)</td> <td>840.8</td> <td>818.3</td> </tr> <tr> <td>中央部クエンチ時間 (sec)</td> <td>362.0</td> <td>348.0</td> </tr> </tbody> </table> <p>(成果)            基準試験に比べて、最高温度、クエンチ時間とも大きく、炉心の冷却が悪くなることが分った。これは、主として炉心入口でのサブクーリングが小さいことによると考えられる。</p>		本 試 験	基準試験	炉心最高温度 (℃)	879.8	818.3	全クエンチ時間 (sec)	563.7	518.5	中央部炉心最高温度(℃)	840.8	818.3	中央部クエンチ時間 (sec)	362.0	348.0	
	本 試 験	基準試験															
炉心最高温度 (℃)	879.8	818.3															
全クエンチ時間 (sec)	563.7	518.5															
中央部炉心最高温度(℃)	840.8	818.3															
中央部クエンチ時間 (sec)	362.0	348.0															

Table 3.2.8 Summary of CCTF Test C1-5

実験番号	C1-5		
実施日	昭和54年10月19日		
目的及び実験内容	再現性を調べるため、基準試験(C1-2)と同一条件に設定し、試験を行った。C1-4とC1-5との間で官庁検査等があり、設定値を変化させたので、同一条件下正しく設定出来るか否かを調べることも目的である。なお、上部プレナム構造物の一部分の改造を行った。		
実験条件	系圧力 ( $\text{kg/cm}^2 \text{a}$ ) 2 平均線出力密度 ( $\text{kw/m}$ ) 1.4 蓄圧注水系流量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) $8.38 \times 3$ 時間 (sec) 14 低圧注水系流量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) $10 \times 3$ 炉心初期最高温度(℃) 600 その他の重要事項		
結果及び成績	本試験	基準試験	
	炉心最高温度 (℃)	766.4	766.4
	全クエンチ時間 (sec)	531.5	531.5
	中央部炉心最高温度 (℃)	766.4	766.4
	中央部クエンチ時間 (sec)	321.5	321.5
	(成果)		
	システム全体の挙動は、基準試験(C1-2)とほとんど同じであったが、炉心の被覆管温度は多少低目であり、原因は、蓄圧注水系流量が多少大であるためとわかった。		

Table 3.2.9 Summary of CCTF Test C1-6

実験番号	C 1-6		
実施日	昭和 54 年 1 月 6 日		
目的及び実験内容	非常炉心冷却系 (ECCS) の流量がシステムに及ぼす影響を調べる為、その一試験として、低圧注水系の流量を 2 倍にして、その影響を調べた。		
実験条件	系圧力 (kg/cm <sup>2</sup> )	2	
	平均線出力密度 (kw/m)	1.4	
	蓄圧注水系流量 (m <sup>3</sup> /h)	8 3.8 × 3	
	時間 (sec)	1 4	
	低圧注水系流量 (m <sup>3</sup> /h)	2 0 × 3	
	炉心初期最高温度(℃)	6 0 0	
	その他の重要事項		
結果及び成績	本 試 験	基準試験	
	炉心最高温度 (℃)	7 4 2.9	7 6 6.4
	全クエンチ時間 (sec)	5 3 0.5	5 3 1.5
	中央部炉心最高温度(℃)	7 4 2.9	7 6 6.4
	中央部クエンチ時間(sec)	3 1 8.5	3 2 1.5
	(成果)		
	LPC I 注水後の良好な冷却効果が確認され、特にターンアラウンド時間が早くなることが分った。		

Table 3.2.1.0 Summary of CCTF Test C 1-7

実験番号	C 1-7		
実施日	昭和 54 年 1 月 15 日		
目的及び実験内容	炉心の初期温度がシステムに及ぼす影響を調べる為、その一試験として、炉心初期最高温度を 700°C として、その影響を調べた。		
実験条件	系圧力 (kg/cm <sup>2</sup> )	2	
	平均線出力密度 (kw/m)	1.4	
	蓄圧注水系流量 (m <sup>3</sup> /h)	8 3.8 × 3	
	時間 (sec)	1 4	
	低圧注水系流量 (m <sup>3</sup> /h)	1 0 × 3	
	炉心初期最高温度(°C)	7 0 0	
	その他の重要事項		
結果 及び 成 果	本 試 験	基準試験	
	炉心最高温度 (°C)	8 3 5.4	7 6 6.4
	全クエンチ時間 (sec)	5 3 1.5	5 3 1.5
	中央部炉心最高温度(°C)	8 3 3.5	7 6 6.4
	中央部クエンチ時間 (sec)	3 2 8.5	3 2 1.5
	(成果)		
	最高温度が約 70 °C 基準試験に比べて高くなつたが、初期温度の差 100°C よりは小さくなつており、初期温度の差が抑えられる傾向を持つことが分つた。		

Table 3.2.11 Summary of CCTF Test C1-8

実験番号	C1-8		
実施日	昭和54年11月29日		
目的及び 実験内容	ブローダウン又は、リフィル時に注入された非常用炉心冷却系(ECCS)の水が逆流し、ループシール部に蓄水した場合でも、炉心が冷却されるか調べる為にループシール部に1.5mの高さまで蓄水し試験を行った。		
実験条件	系圧力 (kg/cm <sup>2</sup> a) 2 平均線出力密度 (kw/m) 1.4 蓄圧注水系流量 (m <sup>3</sup> /h) 83.8×4 時間 (sec) 14 低圧注水系流量 (m <sup>3</sup> /h) 10×3 炉心初期最高温度(℃) 600 その他の重要事項 ループシール部に1.5mの高さまで蓄水		
結果 及び 成 果	本 試 験	基準試験	
	炉心最高温度 (℃)	900.5	766.4
	全クエンチ時間 (sec)	221.5	531.5
	中央部炉心最高温度(℃)	900.5	815.4
	中央部クエンチ時間 (sec)	183.5	280
(成果) 炉心保護のための電源トリップ設定温度が低かった為(900℃), 電源がトリップしてしまった。試験データから外挿すると, 短時間にループシール水は抜けるはずであり, 実証するため, 将来高い設定温度で試験を行う予定である。			

Table 3.2.12 Summary of CCTF Test C1-9

実験番号	C1-9		
実施日	昭和54年12月13日		
目的及び実験内容	一般に、冷却材喪失事故時（大破断）には、蓄圧注水系の水は再冠水過程開始前に流出し、低圧注水系の水も流出蒸気により格納容器に流出してしまうため、健全ループ3本に、非常用炉心冷却水を注水しているが、更に破断ループにも注水した場合のシステムに及ぼす影響を調べた。		
実験条件	系圧力 ( $\text{kg/cm}^2 \text{a}$ ) 2 平均線出力密度 ( $\text{kW/m}$ ) 1.4 蓄圧注水系流量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) $83.8 \times 4$ 時間 (sec) 14 低圧注水系流量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) $10 \times 4$ 炉心初期最高温度(°C) 600 その他の重要事項 破断ループを含む4ループへ注水		
結果及び成績	本試験	基準試験	
	炉心最高温度 (°C)	823	766.4
	全クエンチ時間 (sec)	628.5	531.5
	中央部炉心最高温度(°C)	775.3	815.4
	中央部クエンチ時間 (sec)	341.5	280
	(成果)	破断ループへ注水したサブクール水が格納容器模擬タンク内で蒸気を凝縮させ、タンクが減圧した為に、破断ループへの注水量が増加し、健全ループへの注水量が基準試験時の約1/2となり、炉心の最高温度を増加させた。実炉に較べ、格納容器が小さいためである。	

Table 3.2.13 Summary of CCTF Test C1-10

実験番号	C 1-10		
実施日	昭和54年12月20日		
目的及び 実験内容	システムの系圧力がシステム全体に及ぼす影響について調べるため、その一試験として、系圧力を $1.5 \text{ kg/cm}^2 \text{ a}$ として、その影響を調べた。		
実験条件	系圧力 ( $\text{kg/cm}^2 \text{ a}$ ) 1.5 平均線出力密度 ( $\text{kW/m}$ ) 1.4 蓄圧注水系流量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) $83.8 \times 3$ 時間 (sec) 14 低圧注水系流量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) $10 \times 3$ 炉心初期最高温度 (°C) 600 その他の重要事項		
結果 及び 成 果	本 試 験	基準試験	
	炉心最高温度 (°C)	800.0	766.4
	全クエンチ時間 (sec)	628.5	531.5
	中央部炉心最高温度 (°C)	800.0	815.4
	中央部クエンチ時間 (sec)	378.5	280.0
	(成果)		
	系圧力が低くなると、炉心の熱伝達が悪くなり炉心最高温度が高くなり、クエンチ時間（再冠水開始から燃料棒表面温度が急降下するまでの時間）が長くなることがわかった。		

Table 3.2.14 Summary of CCTF Test C 1-11

実験番号	C 1-11		
実施日	昭和55年1月17日		
目的及び実験内容	再現性試験 (C 1-5)においては、蓄圧注水系流量が基準試験 (C 1-2) に較べ、多少大であったため、流量調整試験を長時間行い、C 1-2 と同一の試験条件とし、再現性試験を行った。		
実験条件	系圧力 ( $\text{kg}/\text{cm}^2 \text{a}$ ) 2 平均線出力密度 ( $\text{kW}/\text{m}$ ) 1.4 蓄圧注水系流量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) $83.8 \times 3$ 時間 (sec) 14 低圧注水系流量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) $10 \times 3$ 炉心初期最高温度 (°C) 600 その他の重要事項		
結果及び成績	本試験	基準試験	
	炉心最高温度 (°C)	811.3	818.5
	全クエンチ時間 (sec)	520.5	518.5
	中央部炉心最高温度 (°C)	811.3	818.4
	中央部クエンチ時間 (sec)	330.5	348.0
	(成果)	上部プレナムの蓄水速度の増加を除いて、C 1-2 の実験結果との間に顕著な差異は認められず良好な再現性が得られていることが確かめられた。	

Table 3.2.15 Summary of CCTF Test C1-12

実験番号	C1-12																	
実施日	昭和55年1月24日																	
目的及び実験内容	システムの系圧力がシステム全体に及ぼす影響について調べる為、その一試験として、系圧力を $3 \text{ kg/cm}^2 \text{ a}$ として、その影響を調べた。																	
実験条件	系圧力 ( $\text{kg/cm}^2 \text{ a}$ ) 3 平均線出力密度 ( $\text{kW/m}$ ) 1.4 蓄圧注水系流量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) $8.3.8 \times 3$ 時間 (sec) 14 低圧注水系流量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) $1.0 \times 3$ 炉心初期最高温度 (°C) 600 その他の重要事項																	
結果及び成績	<table> <thead> <tr> <th></th> <th>本試験</th> <th>基準試験</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>炉心最高温度 (°C)</td> <td>726.9</td> <td>766.4</td> </tr> <tr> <td>全クエンチ時間 (sec)</td> <td>360.0</td> <td>531.5</td> </tr> <tr> <td>中央部炉心最高温度 (°C)</td> <td>726.9</td> <td>815.4</td> </tr> <tr> <td>中央部クエンチ時間 (sec)</td> <td>239.0</td> <td>280.0</td> </tr> </tbody> </table> <p>(成果) 基準実験に比べ、炉心最高温度は 39.5 °C 低くなり、全クエンチ時間も 171.5 sec 短くなった。系圧力が高くなると炉心の熱伝達が良好となることが確かめられた。</p>				本試験	基準試験	炉心最高温度 (°C)	726.9	766.4	全クエンチ時間 (sec)	360.0	531.5	中央部炉心最高温度 (°C)	726.9	815.4	中央部クエンチ時間 (sec)	239.0	280.0
	本試験	基準試験																
炉心最高温度 (°C)	726.9	766.4																
全クエンチ時間 (sec)	360.0	531.5																
中央部炉心最高温度 (°C)	726.9	815.4																
中央部クエンチ時間 (sec)	239.0	280.0																

Table 3.2.16 Summary of CCTF Test C1-13

実験番号	C 1-13		
実施日	昭和55年2月7日		
目的及び実験内容	非常炉心冷却系(ECCS)の流量がシステムに及ぼす影響を調べる為、その一試験として、蓄圧注水系の注水時間を減少して、その影響を調べた。		
実験条件	系圧力 (kg/cm <sup>2</sup> ) 2 平均線出力密度 (kw/m) 1.4 蓄圧注水系流量 (m <sup>3</sup> /h) 83.8 × 3 時間 (sec) 9 低圧注水系流量 (m <sup>3</sup> /h) 10 × 3 炉心初期最高温度 (C) 600 その他の重要事項		
結果 及び 成 果	本 試 験	基準試験	
	炉心最高温度 (C) 828.7	766.4	
	全クエンチ時間 (sec) 536.0	531.5	
	中央部炉心最高温度(C) 798.3	815.4	
	中央部クエンチ時間 (sec) 330.5	280.0	
	(成果)		
	蓄圧注水系の注水時間の減少により、再冠水過程の初期における炉心内の冷却が悪くなつた。このために、炉心最高温度は基準実験に比べて62°C高くなり、全クエンチ時間は45sec長くなつた。炉心最高温度に対して、再冠水過程の初期における冷却が重要であることが確かめられた。		

Table 3.2.17 Summary of CCTF Test C1-14

実験番号	C 1-14		
実施日	昭和 55 年 2 月 15 日		
目的及び 実験内容	炉心の初期温度がシステムに及ぼす影響を調べる為、その一試験として、炉心初期最高温度を 800°C として、その影響を調べた。		
実験条件	系圧力 (kg/cm²a)	2	
	平均線出力密度 (kw/m)	1.4	
	蓄圧注水系流量 (m³/h)	83.8 × 3	
	時間 (sec)	14	
	低圧注水系流量 (m³/h)	10 × 3	
	炉心初期最高温度 (°C)	800	
	その他の重要事項		
結果 及び 成 果	本 試 験	基準試験	
	炉心最高温度 (°C)	930.7	766.4
	全クエンチ時間 (sec)	559.5	531.4
	中央部炉心最高温度(°C)	881.3	815.4
	中央部クエンチ時間(sec)	346.0	280.0
	(成果)		
	基準試験では再冠水開始後の温度上昇が 169°C であったのに対し、初期温度の高い C1-14 では 107°C となった。再冠水開始時の温度が高い程温度上昇が少なくなることが確かめられた。		

Table 3.2.1.8 Summary of CCTF Test C1-15.

実験番号	C1-15		
実施日	昭和55年2月26日		
目的及び実験内容	C1-4は一種のリフィル過程末期模擬試験であるかつ、蓄圧注水系の水が全て流出してしまうと、蓄圧注水タンク内の窒素ガスがシステムに注入される現象が実炉には考えられるため、窒素ガスの注入とリフィル模擬を意図し、蓄圧注水タンクの水量を減少させた試験を行った。		
実験条件	系圧力 (kg/cm <sup>2</sup> a) 6→2 平均線出力密度 (kw/m) 1.4 蓄圧注水系流量 (m <sup>3</sup> /h) 8 3.8×3 時間 (sec) 15+10 低圧注水系流量 (m <sup>3</sup> /h) 10×3 炉心初期最高温度 (C) 600 その他の重要事項 ACC注入終了後10秒間の窒素ガス注入		
結果及び成績	本試験	基準試験	
	炉心最高温度 (C)	808.2	766.4
	全クエンチ時間 (sec)	546.5	531.5
	中央部炉心最高温度(C)	808.2	815.4
	中央部クエンチ時間(sec)	348.5	280.0
	(成績)		
	試験直後、窒素ガスは計画通り注入されたと考えられたが、その後の検討で、窒素ガスは、注入口の手前に設けたヘッダ内に貯り、窒素ガス注入期間にも蓄圧注水系の水が注水させ、ヘッダ内のガスのため、各ループへの注水量の配分を不均等になっていることが判明した。		

Table 3.2.19 Summary of CCTF Test C1-16

実験番号	C1-16		
実施日	昭和55年3月6日		
目的及び実験内容	装置による再冠水現象の差異を調べるために、FLECHT-SET 3105Bと可能な限り同様な試験条件で試験を行った。		
実験条件	系圧力 (kg/cm <sup>2</sup> a)	4.2	FLECHT
	平均線出力密度 (kw/m)	1.5	3105B
	蓄圧注水系流量 (m <sup>3</sup> /h)	360	
	時間 (sec)	14	
	低圧注水系流量 (m <sup>3</sup> /h)	40	
	炉心初期最高温度 (°C)	600	
	その他の重要事項	ECC水は下部プレナムのみより注入	
結果及び成績	本 試 験	基 準 試 験	
	炉心最高温度 (°C)	629.3	766.4
	全クエンチ時間 (sec)	196.5	531.5
	中央部炉心最高温度 (°C)	629.3	815.4
	中央部クエンチ時間 (sec)	137.0	280.0
	(成果)		
	平均出力、ピーク出力は、CCTFのほうが多少低いこと、模擬燃料棒の軸方向出力分布が多少異なるが、一般的に初期冷却はCCTFのほうがFLECT実験に比べ良好であることが見出された。		

Table 3.3.1 Test conditions of CCTF Test C1-SH3

1. 試験番号	C1-SH3 (Run 7)	2. 試験日	54.4.19
3. 試験概要	パラメータ効果試験(半径方向出力分布)		
4. 出力条件	全出力 7.64 MW 平均線出力密度 1.15 KW/m 半径方向出力分布 A:B:C = 0.70 : 1.0 : 0.47		
5. 初期温度	ダウシカマ壁温 135 °C コアバレル 136 °C 一次系ポンプ壁温 145 °C SG二次側流体温度 263 °C		
6. 系圧力	4.2 kg/cm <sup>2</sup> a		
7. 初期蓄水位	下部プレナム 0.84 m ループシール 0 m SG 二次側 7.2 m		
8. 注水条件	ECC水温 66 °C ACC流量 269 m <sup>3</sup> /hr LPCI流量 30.1 m <sup>3</sup> /hr 注水時刻 57.5 sec ~ 93 sec (ACC下部プレナム注水) — sec ~ — sec (ACCコールドレグ注水) — sec ~ — sec (LPCIコールドレグ注水) 93 sec ~ 984 sec (LPCI下部プレナム注水)		
9. 再冠水開始時刻	70.5 sec		
10. 炉心温度	炉心中央部初期温度 543 °C 炉心中央部最高温度 573 °C 炉心中央部クエンチ時刻 103 sec 炉心最高温度 713 °C 全クエンチ時刻 188 sec		
11. 備考			

Table 3.3.2 Test conditions of CCTF Test C1-SH4

1. 試験番号	C1-SH4 (Run 8)	2. 試験日	54.5.31
3. 試験概要	パラメータ効果試験 (ECC注入水温 65°C)		
4. 出力条件			
	全出力 9.37 MW	平均線出力密度 1.40 KW/m	
	半径方向出力分布 A:B:C = 1.08 : 1.0 : 0.82		
5. 初期温度			
	ダウシカマ壁温 177 °C	コアバール 118 °C	
	一次系ポンプ壁温 121 °C	SG二次側流体温度 264 °C	
6. 系圧力		2.06 kg/cm²a	
7. 初期蓄水位			
	下部プレナム 0.85 m	ループシール 0 m	
	SG 二次側 7.1 m		
8. 注水条件			
	ECC水温 67.5 °C		
	ACC流量 286 m³/hr		
	LPCI流量 30.5 m³/hr		
	注水時刻 53.5 sec ~ 70.5 sec (ACC下部プレナム注水)		
	70.5 sec ~ 77 sec (ACCコールドレグ注水)		
	77 sec ~ 798 sec (LPCIコールドレグ注水)		
	- sec ~ - sec (LPCI下部プレナム注水)		
9. 再冠水開始時刻	65 sec		
10. 炉心温度			
	炉心中央部初期温度 594 °C		
	炉心中央部最高温度 803.8 °C		
	炉心中央部クエンチ時刻 306.0 sec		
	炉心最高温度 829.8 °C		
	全クエンチ時刻 534.5 sec		
11. 備考			

Table 3.3.3 Test conditions of CCTF Test C1-SH5

1. 試験番号	C1-SH5 (Run 9)	2. 試験日	54.6.7
3. 試験概要	結合試験 (PKL-K7A)		
4. 出力条件			
	全出力 7.09 MW	平均線出力密度 1.06 KW/m	
	半径方向出力分布 A:B:C = 1.02 : 1.0 : 1.01		
5. 初期温度			
	ダウシカマ壁温 138 °C	コアバレル 144 °C	
	一次系ポンプ壁温 146 °C	SG二次側流体温度 268 °C	
6. 系圧力		4.26 kg/cm <sup>2</sup> a	
7. 初期蓄水位			
	下部プレナム 0.85 m	ループシール 0 m	
	SG 二次側 7.1 m		
8. 注水条件			
	ECC水温 43.1 °C		
	ACC流量 131 m <sup>3</sup> /hr		
	LPCI流量 48.3 m <sup>3</sup> /hr		
	注水時刻 83.5 sec ~ 119.5 sec (ACC下部プレナム注水)		
	119.5 sec ~ 133.5 sec (ACCコールドレグ注水)		
	133.5 sec ~ 484 sec (LPCIコールドレグ注水)		
	— sec ~ — sec (LPCI下部プレナム注水)		
9. 再冠水開始時刻	101 sec		
10. 炉心温度			
	炉心中央部初期温度 620 °C		
	炉心中央部最高温度 690.0 °C		
	炉心中央部クエンチ時刻 160 sec		
	炉心最高温度 721.9 °C		
	全クエンチ時刻 245 sec		
11. 備考			

Table 3.3.4 Test conditions of CCTF Test C 1-1

1. 試験番号	C 1-1 (Run 10)	2. 試験日	54.6.21
3. 試験概要	パラメータ効果試験(ループ抵抗 K~35)		
4. 出力条件			
	全出力 9.35 MW	平均線出力密度 1.40 KW/m	
	半径方向出力分布 A:B:C = 1.08 : 1.0 : 0.82		
5. 初期温度			
	ダウシカマ壁温 188 °C	コアバレル 117 °C	
	一次系ポンプ壁温 122 °C	SG二次側流体温度 263 °C	
6. 系圧力		2.07 kg/cm <sup>2</sup> a	
7. 初期蓄水位			
	下部プレナム 0.87 m	ループシール 0 m	
	SG 二次側 7.1 m		
8. 注水条件			
	ECC水温 38.4 °C		
	ACC流量 264 m <sup>3</sup> /hr		
	LPCI流量 30.6 m <sup>3</sup> /hr		
	注水時刻 54 sec ~ 69.5 sec (ACC下部プレナム注水)		
	69.5 sec ~ 75 sec (ACCコールドレグ注水)		
	75 sec ~ 75.95 sec (LPCIコールドレグ注水)		
	- sec ~ - sec (LPCI下部プレナム注水)		
9. 再冠水開始時刻	66 sec		
10. 炉心温度			
	炉心中央部初期温度 601 °C		
	炉心中央部最高温度 815.4 °C		
	炉心中央部クエンチ時刻 340 sec		
	炉心最高温度 815.4 °C		
	全クエンチ時刻 556.5 sec		
11. 備考			

Table 3.3.5 Test conditions of CCTF Test C1-2

1. 試験番号	C1-2 (Run 11)	2. 試験日	54.7.4
3. 試験概要	基準試験		
4. 出力条件	全出力 9.36 MW 平均線出力密度 1.40 KW/m 半径方向出力分布 A:B:C = 1.07 : 1.0 : 0.82		
5. 初期温度	ダウシカマ壁温 187 °C	コアバレル 120 °C	
	一次系ポンプ壁温 118 °C	SG二次側流体温度 263 °C	
6. 系圧力	2.06 kg/cm <sup>2</sup> a		
7. 初期蓄水位	下部プレナム 0.86 m	ループシール 0 m	
	SG 二次側 7.3 m		
8. 注水条件	ECC水温 38.8 °C		
	ACC流量 242 m <sup>3</sup> /hr		
	LPCI流量 30.9 m <sup>3</sup> /hr		
	注水時刻 53 sec ~ 69 sec (ACC下部プレナム注水)		
	69 sec ~ 78 sec (ACCコールドレグ注水)		
	78 sec ~ 727 sec (LPCIコールドレグ注水)		
	- sec ~ - sec (LPCI下部プレナム注水)		
9. 再冠水開始時刻	67 sec		
10. 炉心温度	炉心中央部初期温度 617 °C		
	炉心中央部最高温度 818.3 °C		
	炉心中央部クエンチ時刻 348.0 sec		
	炉心最高温度 818.3 °C		
	全クエンチ時刻 518.5 sec		
11. 備考			

Table 3.3.6 Test conditions of CCTF Test C1-3

1. 試験番号	C1-3 (Run12)	2. 試験日	54.7.13			
3. 試験概要	パラメータ効果試験(ダウンカマ壁温 非過熱)					
4. 出力条件						
	全出力 9.35 MW	平均線出力密度 1.40 KW/m				
	半径方向出力分布 A:B:C = 1.07 : 1.0 : 0.82					
5. 初期温度						
	ダウシカマ壁温 115 °C	コアバレル 110 °C				
	一次系ポンプ壁温 120 °C	SG二次側流体温度 264 °C				
6. 系圧力		205 kg/cm <sup>2</sup> a				
7. 初期蓄水位						
	下部プレナム 0.85 m	ループシール 0 m				
	SG 二次側 7.4 m					
8. 注水条件						
	ECC水温 38.0 °C					
	ACC流量 25.2 m <sup>3</sup> /hr					
	LPCI流量 30.8 m <sup>3</sup> /hr					
	注水時刻 52 sec ~ 67 sec (ACC 下部プレナム注水)					
	67 sec ~ 77 sec (ACC コールドレグ注水)					
	77 sec ~ 861 sec (LPCI コールドレグ注水)					
	- sec ~ - sec (LPCI 下部プレナム注水)					
9. 再冠水開始時刻	65 sec					
10. 炉心温度						
	炉心中央部初期温度 617 °C					
	炉心中央部最高温度 840.8 °C					
	炉心中央部クエンチ時刻 321.5 sec					
	炉心最高温度 840.8 °C					
	全クエンチ時刻 505.5 sec					
11. 備考						

Table 3.3.7 Test conditions of CCTF Test C1-4

1. 試験番号	C1-4 (Run 13)	2. 試験日	54.7.27
3. 試験概要	特殊効果試験(リフィルシミュレーション基準実験)		
4. 出力条件	全出力 9.31 MW 平均線出力密度 1.39 KW/m 半径方向出力分布 A:B:C = 1.03 : 1.0 : 0.82		
5. 初期温度	ダウシカマ壁温 185 °C コアバレル 158 °C 一次系ポンプ壁温 157 °C SG二次側流体温度 264 °C		
6. 系圧力	6.02 → 2.0 kg/cm <sup>2</sup> a		
7. 初期蓄水位	下部プレナム 0.82 m ループシール 0 m SG 二次側 7.4 m		
8. 注水条件	ECC水温 30.7 °C ACC流量 195 m <sup>3</sup> /hr LPCI流量 30.5 m <sup>3</sup> /hr 注水時刻 — sec ~ — sec (ACC下部プレナム注水) 46.5 sec ~ 74.5 sec (ACCコールドレグ注水) 74.5 sec ~ 885 sec (LPCIコールドレグ注水) — sec ~ — sec (LPCI下部プレナム注水)		
9. 再冠水開始時刻	75 sec		
10. 炉心温度	炉心中央部初期温度 654 °C 炉心中央部最高温度 840.8 °C 炉心中央部クエンチ時刻 362.0 sec 炉心最高温度 879.8 °C 全クエンチ時刻 563.7 sec		
11. 備考			

Table 3.3.8 Test conditions of CCTF Test C1-5

1. 試験番号	C1-5 (Run 14)	2. 試験日	54.10.19			
3. 試験概要	基準試験、パラメータ効果試験(高ACC流量)					
4. 出力条件						
全出力 9.36 MW 平均線出力密度 1.40 KW/m						
半径方向出力分布 A:B:C = 1.07 : 1.0 : 0.82						
5. 初期温度						
ダウシカマ壁温 182 °C コアバール 115 °C						
一次系ポンプ壁温 120 °C SG二次側流体温度 262 °C						
6. 系圧力						
1.99 kg/cm <sup>2</sup> a						
7. 初期蓄水位						
下部プレナム 0.87 m ループシール 0 m						
SG 二次側 7.3 m						
8. 注水条件						
ECC水温 39.4 °C						
ACC流量 278 m <sup>3</sup> /hr						
LPCI流量 30.2 m <sup>3</sup> /hr						
注水時刻 52.5 sec ~ 67 sec (ACC下部プレナム注水)						
67 sec ~ 76 sec (ACCコールドレグ注水)						
76 sec ~ 738 sec (LPCIコールドレグ注水)						
- sec ~ - sec (LPCI下部プレナム注水)						
9. 再冠水開始時刻	63 sec	10. 炉心温度				
炉心中央部初期温度 595 °C						
炉心中央部最高温度 766.4 °C						
炉心中央部クエンチ時刻 321.5 sec						
炉心最高温度 766.4 °C						
全クエンチ時刻 531.5 sec						
11. 備考						

Table 3.3.9 Test conditions of CCTF Test C1-6

1. 試験番号	C1-6 (Run 15)	2. 試験日	54.11.9
3. 試験概要	パラメータ効果試験(高LPCI流量)		
4. 出力条件	全出力 9.37 MW 平均線出力密度 1.40 KW/m 半径方向出力分布 A:B:C = 1.07 : 1.0 : 0.82		
5. 初期温度	ダウシカマ壁温 179 °C コアバレル 112 °C 一次系ポンプ壁温 119 °C SG二次側流体温度 263 °C		
6. 系圧力	2.02 kg/cm <sup>2</sup> a		
7. 初期蓄水位	下部プレナム 0.88 m ループシール 0 m	SG 二次側 7.2 m	
8. 注水条件	ECC水温 36.8 °C ACC流量 279 m <sup>3</sup> /hr LPCI流量 61.5 m <sup>3</sup> /hr 注水時刻 52.5 sec ~ 65 sec (ACC下部プレナム注水) 65 sec ~ 76 sec (ACCコールドレグ注水) 76 sec ~ 770 sec (LPCIコールドレグ注水) — sec ~ — sec (LPCI下部プレナム注水)		
9. 再冠水開始時刻	67 sec		
10. 炉心温度	炉心中央部初期温度 599 °C 炉心中央部最高温度 742.9 °C 炉心中央部クエンチ時刻 318.5 sec 炉心最高温度 742.9 °C 全クエンチ時刻 530.5 sec		
11. 備考			

Table 3.3.10 Test conditions of CCTF Test C1-7

1. 試験番号	C1-7 (Run 16)	2. 試験日	54.11.15
3. 試験概要	パラメータ効果試験(被覆管初期温度 700 °C)		
4. 出力条件	全出力 9.38 MW 平均線出力密度 1.41 KW/m 半径方向出力分布 A:B:C = 1.07 : 1.0 : 0.82		
5. 初期温度	ダウシカマ壁温 180 °C コアバレル 108 °C 一次系ポンプ壁温 120 °C SG二次側流体温度 264 °C		
6. 系圧力	1.98 kg/cm <sup>2</sup> a		
7. 初期蓄水位	下部プレナム 0.86 m ループシール 0 m SG 二次側 7.4 m		
8. 注水条件	ECC水温 39.0 °C ACC流量 27.9 m <sup>3</sup> /hr LPCI流量 30.4 m <sup>3</sup> /hr 注水時刻 68 sec ~ 85 sec (ACC下部プレナム注水) 85 sec ~ 91.5 sec (ACCコールドレグ注水) 91.5 sec ~ 888 sec (LPCIコールドレグ注水) — sec ~ — sec (LPCI下部プレナム注水)		
9. 再冠水開始時刻	79.5 sec		
10. 炉心温度	炉心中央部初期温度 693 °C 炉心中央部最高温度 833.5 °C 炉心中央部クエンチ時刻 328.5 sec 炉心最高温度 835.4 °C 全クエンチ時刻 531.5 sec		
11. 備考			

Table 3.3.11 Test conditions of CCTF Test C1-8

1. 試験番号	C1-8 (Run 17)	2. 試験日	54. 11. 29
3. 試験概要	特殊効果試験（ループシール初期蓄水 1.5 m）		
4. 出力条件	全出力 9.37 MW 半径方向出力分布 A : B : C = 1.07 : 1.0 : 0.82		
5. 初期温度	ダウシカマ壁温 183 °C 一次系ポンプ壁温 120 °C		
6. 系圧力	2.08 kg/cm <sup>2</sup> a		
7. 初期蓄水位	下部プレナム 0.87 m SG 二次側 7.45 m		
8. 注水条件	ECC水温 36.9 °C ACC流量 279 m <sup>3</sup> /hr LPCI流量 30.9 m <sup>3</sup> /hr 注水時刻 53 sec ~ 70.5 sec (ACC下部プレナム注水) 70.5 sec ~ 77 sec (ACCコールドレグ注水) 77 sec ~ 408 sec (LPCIコールドレグ注水) - sec ~ - sec (LPCI下部プレナム注水)		
9. 再冠水開始時刻	65 sec		
10. 炉心温度	炉心中央部初期温度 597 °C 炉心中央部最高温度 900.5 °C 炉心中央部クエンチ時刻 183.5 sec 炉心最高温度 900.5 °C 全クエンチ時刻 221.5 sec		
11. 備考			

Table 3.3.12 Test conditions of CCTF Test C 1 - 9

1. 試験番号	C 1-9 (Run 18)	2. 試験日	54.12.13
3. 試験概要	特殊効果試験(4ループへの注水), パラメータ効果試験(低LPCI流量)		
4. 出力条件	全出力 9.34 MW 半径方向出力分布 A:B:C = 1.07 : 1.0 : 0.82		
5. 初期温度	ダウシカマ壁温 180 °C	コアバレル 107 °C	
	一次系ポンプ壁温 119 °C	SG二次側流体温度 267 °C	
6. 系圧力	2.03 kg/cm <sup>2</sup> a		
7. 初期蓄水位	下部プレナム 0.86 m	ループシール 0 m	
	SG 二次側 7.4 m		
8. 注水条件	ECC水温 37.5 °C ACC流量 283 m <sup>3</sup> /hr LPCI流量 40.4 m <sup>3</sup> /hr 注水時刻 54 sec ~ 70 sec (ACC下部プレナム注水) 70 sec ~ 77 sec (ACCコールドレグ注水) 77 sec ~ 873 sec (LPCIコールドレグ注水) - sec ~ - sec (LPCI下部プレナム注水)		
9. 再冠水開始時刻	65 sec		
10. 売心温度	売心中央部初期温度 607 °C 売心中央部最高温度 775.3 °C 売心中央部クエンチ時刻 341.5 sec 売心最高温度 823.0 °C 全クエンチ時刻 6285 sec		
11. 備考			

Table 3.3.13 Test conditions of CCTF Test C 1-10

1. 試験番号	C 1-10 (Run 19)	2. 試験日	54.12.20
3. 試験概要	パラメータ効果試験(系圧力 低 1.5 Kg/cm <sup>2</sup> a)		
4. 出力条件	全出力 9.39 MW 半径方向出力分布 A : B : C = 1.07 : 1.0 : 0.82		
5. 初期温度	ダウシカマ壁温 172 °C 一次系ポンプ壁温 115 °C		
6. 系圧力	1.55 kg/cm <sup>2</sup> a		
7. 初期蓄水位	下部プレナム 0.89 m SG 二次側 7.3 m		
8. 注水条件	ECC水温 39.3 °C ACC流量 269 m <sup>3</sup> /hr LPCI流量 30.4 m <sup>3</sup> /hr 注水時刻 55 sec ~ 72.5 sec (ACC下部プレナム注水) 72.5 sec ~ 78 sec (ACCコールドレグ注水) 78 sec ~ 85.8 sec (LPCIコールドレグ注水) - sec ~ - sec (LPCI下部プレナム注水)		
9. 再冠水開始時刻	66.5 sec		
10. 炉心温度	炉心中央部初期温度 606 °C 炉心中央部最高温度 800.0 °C 炉心中央部クエンチ時刻 378.5 sec 炉心最高温度 800.0 °C 全クエンチ時刻 628.5 sec		
11. 備考			

Table 3.3.14 Test conditions of CCTF Test C1-11

1. 試験番号	C1-11 (Run 20)	2. 試験日	55.1.17
3. 試験概要	基準試験(再現性試験)		
4. 出力条件	全出力 9.40 MW 半径方向出力分布 A:B:C = 1.07 : 1.0 : 0.82	平均線出力密度 1.41 KW/m	
5. 初期温度	ダウシカマ壁温 178 °C 一次系ポンプ壁温 120 °C	コアバール 113 °C SG二次側流体温度 266 °C	
6. 系圧力	2.04 kg/cm²a		
7. 初期蓄水位	下部プレナム 0.88 m SG 二次側 7.3 m	ループシール 0 m	
8. 注水条件	ECC水温 39.0 °C ACC流量 242 m³/hr LPCI流量 30.1 m³/hr 注水時刻 55 sec ~ 72.5 sec (ACC下部プレナム注水) 72.5 sec ~ 79 sec (ACCコールドレグ注水) 79 sec ~ 948 sec (LPCIコールドレグ注水) - sec ~ - sec (LPCI下部プレナム注水)		
9. 再冠水開始時刻	68 sec		
10. 炉心温度	炉心中央部初期温度 610 °C 炉心中央部最高温度 811.3 °C 炉心中央部クエンチ時刻 330.5 sec 炉心最高温度 811.3 °C 全クエンチ時刻 520.5 sec		
11. 備考			

Table 3.3.15 Test conditions of CCTF Test C1-12

1. 試験番号	C1-12 (Run 21)	2. 試験日	55. 1. 24
3. 試験概要	パラメータ効果試験(系圧力高 3 Kg/cm <sup>2</sup> a)		
4. 出力条件	全出力 9.40 MW 平均線出力密度 1.41 KW/m 半径方向出力分布 A : B : C = 1.07 : 1.0 : 0.82		
5. 初期温度	ダウシカマ壁温 190 °C コアバレル 131 °C 一次系ポンプ壁温 133 °C SG二次側流体温度 265 °C		
6. 系圧力	3.05 kg/cm <sup>2</sup> a		
7. 初期蓄水位	下部プレナム 0.86 m ループシール 0 m	SG 二次側 7.4 m	
8. 注水条件	ECC水温 39.9 °C ACC流量 289 m <sup>3</sup> /hr LPCI流量 30.7 m <sup>3</sup> /hr 注水時刻 52 sec ~ 69.5 sec (ACC下部プレナム注水) 69.5 sec ~ 76.5 sec (ACCコールドレグ注水) 76.5 sec ~ 808 sec (LPCIコールドレグ注水) sec ~ sec (LPCI下部プレナム注水)		
9. 再冠水開始時刻	63.5 sec		
10. 炉心温度	炉心中央部初期温度 601 °C 炉心中央部最高温度 726.0 °C 炉心中央部クエンチ時刻 239 sec 炉心最高温度 726.9 °C 全クエンチ時刻 360.0 sec		
11. 備考			

Table 3.3.16 Test conditions of CCTF Test C1-13

1. 試験番号	C1-13 (Run 22)	2. 試験日	55.2.17
3. 試験概要	パラメータ効果試験 (ACC注入時間短)		
4. 出力条件	全出力 9.40 MW 半径方向出力分布 A:B:C = 1.07 : 1.0 : 0.82		
5. 初期温度	ダウシカマ壁温 176 °C	コアバール 121 °C	
	一次系ポンプ壁温 119 °C	SG二次側流体温度 265 °C	
6. 系圧力	2.03 kg/cm <sup>2</sup> a		
7. 初期蓄水位	下部プレナム 0.86 m	ループシール 0 m	
	SG 二次側 7.5 m		
8. 注水条件	ECC水温 40.3 °C ACC流量 277 m <sup>3</sup> /hr LPCI流量 30.3 m <sup>3</sup> /hr 注水時刻 53.5 sec ~ 70 sec (ACC下部プレナム注水) 70 sec ~ 74.5 sec (ACCコールドレグ注水) 74.5 sec ~ 85.8 sec (LPCIコールドレグ注水) - sec ~ - sec (LPCI下部プレナム注水)		
9. 再冠水開始時刻	65 sec		
10. 炉心温度	炉心中央部初期温度 601 °C 炉心中央部最高温度 798.3 °C 炉心中央部クエンチ時刻 330.5 sec 炉心最高温度 828.7 °C 全クエンチ時刻 536 sec		
11. 備考			

Table 3.3.17 Test conditions of CCTF Test C1-14

1. 試験番号	C1-14 (Run 23)	2. 試験日	55.2.15			
3. 試験概要	パラメータ効果試験(被覆管初期温度 800 °C)					
4. 出力条件						
全出力 9.40 MW 平均線出力密度 1.41 KW/m						
半径方向出力分布 A:B:C = 1.07 : 1.0 : 0.82						
5. 初期温度						
ダウシカマ壁温 176 °C コアバレル 122 °C						
一次系ポンプ壁温 118 °C SG二次側流体温度 264 °C						
6. 系圧力						
2.04 kg/cm <sup>2</sup> a						
7. 初期蓄水位						
下部プレナム 0.86 m ループシール 0 m						
SG 二次側 7.5 m						
8. 注水条件						
ECC水温 40.4 °C						
ACC流量 277 m <sup>3</sup> /hr						
LPCI流量 30.4 m <sup>3</sup> /hr						
注水時刻 85.5 sec ~ 102.5 sec (ACC 下部プレナム注水)						
102.5 sec ~ 109.5 sec (ACC コールドレグ注水)						
109.5 sec ~ 948 sec (LPCI コールドレグ注水)						
- sec ~ - sec (LPCI 下部プレナム注水)						
9. 再冠水開始時刻	96.5 sec					
10. 炉心温度						
炉心中央部初期温度 772 °C						
炉心中央部最高温度 881.3 °C						
炉心中央部クエンチ時刻 346 sec						
炉心最高温度 930.7 °C						
全クエンチ時刻 559.5 sec						
11. 備考						

Table 3.3.18 Test conditions of CCTF Test C1-15

1. 試験番号	C1-15 (Run 24)	2. 試験日	55.2.26
3. 試験概要	特殊効果試験(リフィルシミュレーション 窒素ガス注入)		
4. 出力条件			
	全出力 9.40 MW	平均線出力密度 1.41 KW/m	
	半径方向出力分布 A:B:C = 1.07 : 1.0 : 0.82		
5. 初期温度			
	ダウシカマ壁温 175 °C	コアバレル 158 °C	
	一次系ポンプ壁温 157 °C	SG二次側流体温度 264 °C	
6. 系圧力		6.06 → 2.08 kg/cm²a	
7. 初期蓄水位			
	下部プレナム 0.86 m	ループシール 0 m	
	SG 二次側 7.5 m		
8. 注水条件			
	ECC水温 39.6 °C		
	ACC流量 237 m³/hr		
	LPCI流量 29.8 m³/hr		
	注水時刻 - sec ~ - sec (ACC 下部プレナム注水)		
	47 sec ~ 82.5 sec (ACC コールドレグ注水)		
	82.5 sec ~ 864 sec (LPCI コールドレグ注水)		
	- sec ~ - sec (LPCI 下部プレナム注水)		
9. 再冠水開始時刻	81 sec		
10. 炉心温度			
	炉心中央部初期温度 689 °C		
	炉心中央部最高温度 808.2 °C		
	炉心中央部クエンチ時刻 348.5 sec		
	炉心最高温度 808.2 °C		
	全クエンチ時刻 546.5 sec		
11. 備考			

Table 3.3.19 Test conditions of CCTF Test C1-16

1. 試験番号	C1-16 (Run 25)	2. 試験日	55. 3. 6
3. 試験概要	結合試験 (FLECHT 3105B)		
4. 出力条件	全出力 9.88 MW 平均線出力密度 1.47 KW/m 半径方向出力分布 A:B:C = 1.06 : 1.0 : 0.79		
5. 初期温度	ダウシカマ壁温 134 °C	コアバレル 134 °C	
	一次系ポンプ壁温 145 °C	SG二次側流体温度 263 °C	
6. 系圧力	4.22 kg/cm <sup>2</sup> a		
7. 初期蓄水位	下部プレナム 0.90 m	ループシール 0 m	
	SG 二次側 7.4 m		
8. 注水条件	ECC水温 67 °C		
	ACC流量 361 m <sup>3</sup> /hr		
	LPCI流量 40.1 m <sup>3</sup> /hr		
	注水時刻 49 sec ~ 75 sec (ACC 下部プレナム注水)		
	- sec ~ - sec (ACC コールドレグ注水)		
	- sec ~ - sec (LPCI コールドレグ注水)		
	75 sec ~ 590 sec (LPCI 下部プレナム注水)		
9. 再冠水開始時刻	58 sec		
10. 炉心温度	炉心中央部初期温度 593 °C		
	炉心中央部最高温度 629.3 °C		
	炉心中央部クエンチ時刻 137.0 sec		
	炉心最高温度 629.3 °C		
	全クエンチ時刻 196.5 sec		
11. 備考			

## 4. 試験結果の検討

### 4.1 基準試験及び再現性試験

#### 1. 再現性のチェック

C 1-2 試験と同一試験条件で C 1-11 試験を行った。Table 4.1.1 に C 1-2 試験と C 1-11 試験の試験条件を比較して示す。但し試験 C 1-4 の終了後に円筒炉心試験装置の一部の改良が行なわれた。改良点は(1)上部プレナム構造物の制御棒案内管の各々のバッフル板が挿入されたこと(2)一次系配管の各ホットレグとコールドレグにスプールピースが取付けられたことである。C 1-2 と C 1-11 の試験結果を比較することで試験の再現性と改良点の影響について検討を行う。

Fig. 4.1.1 と Fig. 4.1.2 に燃料棒表面の温度履歴の比較結果を示す。Fig. 4.1.1 は低出力領域に属し制御棒案内管の直下に位置するバンドル 4 とバンドル 5 の燃料棒表面温度の比較結果である。横軸は時間を表わし、注水開始時刻は 5 秒、再冠水開始時刻は 18 秒、下部プレナム注水からコールドレグ注水への切換時刻は 23 秒、ACC モードから LPCI モードへの切換時刻は 29 秒にそれぞれ対応している。C 1-2 と C 1-11 の温度応答はほぼ一致している。Fig. 4.1.2 は高出力領域に属する燃料棒の表面温度に対する同様の比較結果である。高出力領域に属する燃料棒表面温度もよい一致がみられ、制御棒案内管へのバッフル板の挿入と一次系配管へのスプールピースの取付けが燃料棒の温度応答にはほとんど影響しないことがわかる。

Fig. 4.1.3 にダウンカマと炉心の差圧換算の蓄積水位の比較を示す。時間軸は、注水開始時刻を 5 秒に対応させて表わした。ダウンカマと炉心の蓄積水位は、C 1-2, C 1-11 の両試験においてよい一致を示している。

Fig. 4.1.4 に上部プレナムの差圧換算の蓄積水位の比較を示す。C 1-11 では、C 1-2 に比べて、上部プレナムの蓄水量が大である。炉心の温度応答が C 1-2, C 1-11 でほぼ同一であることから、炉心内および炉心出口での流動状況に差異があるとは考えられず、上部プレナム内の蓄水挙動が制御棒案内管内へのバッフル板の挿入により変化したものと考えられる。

Fig. 4.1.5 に破断ループと健全ループでのトータルの圧力損失の比較結果を示す。200 秒以前では C 1-2 と C 1-11 の間に顕著な差異はない。200 秒以後において C 1-2 に比べ C 1-11 の破断ループの圧力損失は約 20 % 低い。ポンプ部での抵抗が大きくループ部の圧力損失は主としてポンプで起こり、スプールピースの取付られたホットレグとコールドレグ部での圧力損失は高々数 % であり、両試験のループ抵抗はほぼ等しいと考えられる。それ故、C 1-2 に比較して C 1-11 の破断ループの圧力損失が小なる理由は破断ループの流量の小なるためと考えられる。

このように、上部プレナムの蓄水挙動ならびに破断ループの流量の多少の減少を除けば、C 1-2 と C 1-11 との間にはよい再現性が有ることがわかる。

## 2. 基準試験

### 2.1 基準試験の概要と流動観察結果

圧力容器と一次系配管内に蒸気を満たして系圧力を 0.2 MPa に維持し、下部プレナムに飽和水を 0.9 m 満たした状態から試験を開始した。炉心の温度上昇により炉心内の燃料棒表面温度が設定温度 600 °C 以上に達した後に ECC 水の注入を開始した。Fig. 4.1.6 に下部プレナムへの注水速度を示す。下部プレナムへの注水を試験開始後 52.5 秒から 67 秒までの 23.5 秒間行なった後注入口を健全コールドレグの三ヶ所の ECC ポートへ切換え注水を行った。なお、破断ループへの注水は行わなかった。

Fig. 4.1.7 にコールドレグ ECC ポートでの流量測定結果を示す。図からわかるように 67 秒に流量が急増している。三個所の健全ループ流量はほぼ等しい。試験開始後 76 秒に流量の急減がみられるが、これは注水モードが ACC モードから LPCI モードに変換されたことによる。LPCI モードでの注水流量は時間に依らずほぼ一定である。下部プレナムの液位は、下部プレナム注水期間中の試験開始後 63 秒に炉心発熱部下端に達した。Fig. 4.1.8 に炉心へ供給された全電気出力を示す。初期の電気出力は 9.36 MW であり、平均線出力密度 1.40 kW/m に相当する。電気出力の減衰は試験開始後 64.5 秒すなわち再冠水開始後 1.5 秒に開始されていて、ANS × 1.2+ アクチニドの崩壊熱曲線で規格化された出力減衰曲線にしたがって制御された。試験開始後 200 秒で初期出力の 76 %、400 秒で 61 % まで出力は減衰する。

試験時の流動挙動はビデオカメラと 16 ミリ撮影によりモニターされ、以下に示す流れが観察された。

上部プレナムでは試験開始後 66 秒に蒸気流が確認された。81 秒には上部プレナムの構造材に沿って落下してくる液膜がみられた。上部プレナムには蓄水が起こり、106 秒には液面は上部炉心板の上面に達した。ホットレグでは試験開始後 65 秒に蒸気流が確認でき、それ以降は噴霧流や環状流が観察された。ループシール部では液を確認することができず、蒸気単相流ないしは水の混合割合の少ない噴霧流であると思われる。ECC ポートから ACC モードで注水されている期間に、ポンプ部では、ECC ポートからの水の逆流が観察された。ポンプ部分を逆流した水は垂直管部で一種のフラッディング現象の起こっているためループシール水平管部まで到ることはなかった。試験始後 86 秒ちかくでポンプ部分での逆流水の勢いは弱くなり、その後は間欠的に液滴が窓ガラスに付着し、蒸発する過程を繰り返した。破断コールドレグでは、試験開始後 66 秒に一時的に水の存在が確認されたが、77 秒付近までは蒸気単相流かと思われる流れが持続した。77 秒に再び水の存在が確認され、その後水の割合が増加してゆき、照明光が散乱され画面が黒ずんだ状態に到了。黒ずんだ部分は試験開始後 77 秒から 180 秒前後までは管底部に偏存していたが、175 秒ないし 185 秒以降では管断面全体を満たす様になった。基準試験ではダウンカマ部分での流動観察は行わなかったが、参考のために他の試験で得られた流動観察結果を述べると、下部プレナム注水が開始されて数秒後に圧力容器底部から 3 m の高さで蒸気流の発生が確認され、ついで液面の通過が確認された。液面通過後の状態は、基準試験と同程度のダウンカマ壁初期過熱度をもつ試験では気泡がわずかに混入する低ボイド率の流れであった。

混入する気泡は上向きに流れることもあるが、下向きに流れることもあり、ダウンカマ内に複

雑な二次流れ場の存在していることを示していた。Fig. 4.1.9 に LPCI モード期での CCTF 各部での流れを模式的にまとめた。

## 2.2 炉心熱水力学挙動

Fig. 4.1.10 に炉心上部（圧力容器底面からの高さ 5.75 m）と圧力容器底面の差圧を示す。図中の 4 点は炉心外周の 90 度ごと回転した場所での差圧をそれぞれ表わしている。炉内での差圧は方位角によらず一致しており、良好な一次元性（軸対称性）の得られていることがわかる。炉心差圧は下部ブレナムから ACC 水が注水開始される（52.5 秒）ことにより増加する。燃料棒の発熱部下端の高さは圧力容器底面から 2.1 m である。水の密度補正をすると 2.0 mAq の水頭差が圧力容器底面と発熱部下端の間が飽和水で満たされた差圧に相当する。区間ごとに求めた差圧の測定結果により発熱部下端より下方はほぼ水により満たされ、ポイドの混入が無視し得る程度であることが確かめられた。63 秒に液位は発熱部下端に達した。67 秒に ACC の注水場所は、下部ブレナムから健全ループの ECC ポートに変換された。また 76 秒に ACC モードから LPCI モードに変換され、注入水量が約 1/9 となった。炉心の差圧変化は上記の注水モードにほぼ対応して変化していることがわかる。100 秒以後では炉心差圧の変化は小さい。

Fig. 4.1.11 に、中出力領域に属する燃料棒の中心面での温度応答を示す。よい対称のみられていることがわかる。最高温度は約 800 °C であり、クエンチ時刻は約 360 秒である。クエンチフロントは半径方向の出力分布にはよらずほぼ一次元的に進行していた。また炉心上方ではトップクエンチ現象がみられた。現状ではトップクエンチ現象は明確には把握できていない。しかしながら、システム全体のオーバオールの特性を検討する上では、第一近似としてトップクエンチ現象は無視できると思われる。

以上のことから、炉心での熱水力学現象はほぼ一次元問題として取扱えることがわかった。

## 2.3 ダウンカマ熱水力学挙動

Fig. 4.1.12 にダウンカマ頂部と圧力容器底部との差圧を示す。図中の四種類の差圧測定結果はダウンカマ周方向を 90 度ごとに分割した各点でのデータを示す。ダウンカマ 水頭は周方向の位置によらず同一であることがわかる。ダウンカマ部での流動観察によれば、前述のように二次流れが観察されている。この二次流れによる周方向の圧力差の非対称性は、炉心入口流速に対して直接関係するダウンカマ水頭に対してはほとんど影響していない。したがってオーバオールなシステム挙動を考える際にはダウンカマでの現象を一次元問題として取扱えると考えられる。

Fig. 4.1.12 でダウンカマ水頭の時間変化は次に述べるように ECC 水の注水モードの変化と密接に関係づけられる。下部ブレナムからの注水開始（52.5 秒）とともにダウンカマ水頭はダウンカマ部への蓄水により増加する。63 秒に液位は炉心の発熱部下端に達し炉心での蒸気発生が開始されると思われる。67 秒に ECC 水の注入場所はコールドレグに切換えられた。また 76 秒には注水モードは ACC モードから LPCI モードに切換えられ、ECC 水の冷却水量は約 1/9 となった。コールドレグへの注水が LPCI モードに切換えられることにより、SG からの蒸気流を完全に凝縮しきれなくなる。このため凝縮されずに残った蒸気がコールドレグからダウンカマ頂部に流入するようになる。破断コールドレグへ流出する水流量は LPCI モードに変わると同時に

に開始された。流出流量が増すことでダウンカマの蓄水速度が小さくなる。180秒以降ではダウンカマ水頭はほぼ一定となる。この一定となるのは、ダウンカマの蓄水位が破断コールドレグのレベルまで達し、直接オーバーフローするようになったためと考えられる。圧力容器底面から破断コールドレグのレベルまで飽和水が満たされると仮定する時その水頭は約 6.6 mAq である。この値に比べ実験で観察された飽和レベルは約 6.0 mAq であり約 0.6 mAq 低い値である。この原因是、ダウンカマ壁表面での沸騰により生成するボイドの蓄積・ダウンカマ液面での横向き蒸気流の水力学的作用によることが考えられるが詳しい解釈は現段階では出来ない。

本試験において、ECCS注水流量は、かなり保守的に設定され、そのため、ACC注水期間中に十分サブクール水が、ダウンカマに蓄水しなかったものと考えられる。ダウンカマ壁からの熱伝導解析によると、ダウンカマ壁から流体に伝えられる単位時間あたりの熱量は低く、オーダーとして  $0.5^{\circ}\text{C/sec}$  程度の水温上昇を与えるにすぎない。すなわち、安全評価解析で計算される程度の流量の ACC 水が注入されたならば、ダウンカマ部は、短時間にはほぼ水で満たされ、その水は、徐々に加熱されるが、100秒以上の間、サブクール状態であり、十分なるダウンカマ水頭を生じさせると考えられる。この考えは、今後実験的に確認する必要がある。ダウンカマ、炉心の蓄積水による有意なマノメータ振動は観測されず、現象は全体としては、おだやかなものであることが認められた。

#### 2.4 上部プレナム蓄水挙動

Fig. 4.1.13 に上部プレナムの水頭  $\Delta P_u$  を示す。上部プレナムの水頭もダウンカマや炉心の水頭と同様に周方向によらず一定である。差圧の上昇から求めた蓄水速度は、 $0.2 \text{ kg/s}$  ないし  $0.8 \text{ kg/s}$  の範囲にあり、炉心入口流量の 5 % から 15 % 程度に相当する量の水が上部プレナムに蓄積されていることがわかる。炉心での蒸気発生は炉心に供給される電力と燃料棒の蓄積熱の放出により起こる。現状では蓄積熱の放出による蒸気発生量を正確に評価できないので炉心出口から放出された水流量に対する上部プレナムでトラップされる水の割合は正確に評価できていない。蓄積熱の放出による蒸気発生量は、炉心温度測定結果を元に評価した結果によれば、300秒から400秒の間で約  $1 \text{ kg/s}$  であった。この値を用いて上部プレナムでトラップされる水の割合を求めるとき  $50\%$  が上部プレナムでトラップされることに対応している。

上部プレナムでの蓄水  $\dot{m}_u$ 、上部プレナムの圧力損失  $\Delta P_u$  は第1章の Eq.(7) に示した様にそれぞれ炉心入口流量を增加、減少させる傾向にあるが、本試験の場合は差引き増加する方向なので安全側の現象であると考えられる。

#### 2.5 ループ熱水力学挙動

Fig. 4.1.14 に健全ループの圧力損失  $\Delta P_I$  と破断ループの圧力損失  $\Delta P_B$  を示す。健全ループは3ループ存在するが、それぞれのループでの圧力損失はほぼ等しい。Fig. 4.1.15 には SG 出口プレナムの下流に取付けたピトー管による蒸気流量測定結果を示す。健全ループを流れる蒸気流量は健全ループ3ループともにほぼ同一の特性をもっており、健全ループ3ループ間でのバラレルチャンネル振動等の動的な結合現象が起こっていないことが確かめられた。

Fig. 4.1.15 で下部プレナム液位が炉心発熱部下端に達する 63 秒から健全ループの圧力損失

$\Delta P_I$  と破断ループの圧力損失  $\Delta P_B$  は上昇を開始する。 $\Delta P_B$  と  $\Delta P_I$  の曲線は 77 秒で分離し始める。 $\Delta P_B$  と  $\Delta P_I$  の差は、Eq. (6) からもわかる様に破断コールドレグノズルに於ける圧力損失に対応している。そしてこの分離の起こる時刻は破断コールドレグノズルに於いて水の流出が確認された時刻とも対応している。破断コールドレグノズルを通って流出する水流量と蒸気流量が増すとともに、破断コールドレグノズルにおける圧力損失は増加する。破断コールドレグノズルにおける圧力損失は、ダウンカマより流出する蒸気-水二相流について均質流モデルを仮定して求めた加速損失と比較してほぼ同程度のオーダである。破断コールドレグノズルでの圧力損失は破断ループを通って流れる流量  $m_B$  と健全ループを通って流れる流量  $m_I$  の割合を変える。破断コールドレグノズルでの圧力損失の変化は、 $m_B$  を増加させ Eq. (7) に示す様に炉心入口流速増加させる効果を持つ。

Fig. 4.1.16 に SG 入口プレナムと出口プレナムと二次側の代表温度を示す。SG 入口プレナムの圧力から算定した飽和温度は入口プレナムの流体温度とほぼ一致した。また SG 出口プレナムの圧力より求めた飽和温度も入口プレナムの飽和温度よりも少し低めの値であるが、その差違は無視できる程度であった。SG の出口プレナムにおける流体温度は再冠水開始時刻 63 秒にあがりはじめ、120 秒以降ではほぼ 220 °C 前後に達し、その後ほぼ一定である。SG の一次側の流れに対して蒸気単相流の熱伝達率を仮定したモデルによる SG 出口プレナムの温度は 216 °C で実験結果とほぼ一致する結果であった。加圧水型炉の安全解析では、出口蒸気に対して SG 二次側の流体温度に等しくなることを仮定して解析されている。したがって SG から流出する蒸気の密度  $\rho_g$  を低めに見積り解析されることになる。この仮定を用いると Eq. (7) に示す様に、炉心入口流速は低めに評価される。

Fig. 4.1.17 に健全コールドレグにおける ECC 注水速度・SG からの蒸気流量・流体温度・ECC ポートをはさんでの圧力差を示す。76 秒に注水モードが ACC モードから LPCI モードに変換されたために、ECC 注水速度は約 1/9 となった。ACC モードでは、注入水と SG からの蒸気に対して完全混合と熱平衡を仮定すると SG からの蒸気は完全凝縮される状態にある。この時期には、ECC ポートから上流側への水の逆流現象が観察された。ECC ポート下流での流体温度は、熱平衡を仮定して求めた流体温度とほぼ等しい。

Table 4.1.1 Comparison of test conditions between  
Test Cl - 2 and Test Cl - 11

	Cl - 2	Cl - 11
Test Date	July 4, 1979	Jan. 17, 1980
System Pressure (MPa)	0.2	0.2
Linear Power (kw/m)	1.40	1.41
ACC Flow Rate (m <sup>3</sup> /hr)	242	242
LPCI Flow Rate (m <sup>3</sup> /hr)	31	30
ECC Water Temperature (°C)	39	39
Duration Time of ACC Injection (sec)	24	24
Control Rod Guide Tube	without baffle plate	with baffle plates
Spool Piece	no spool piece	8 spool pieces

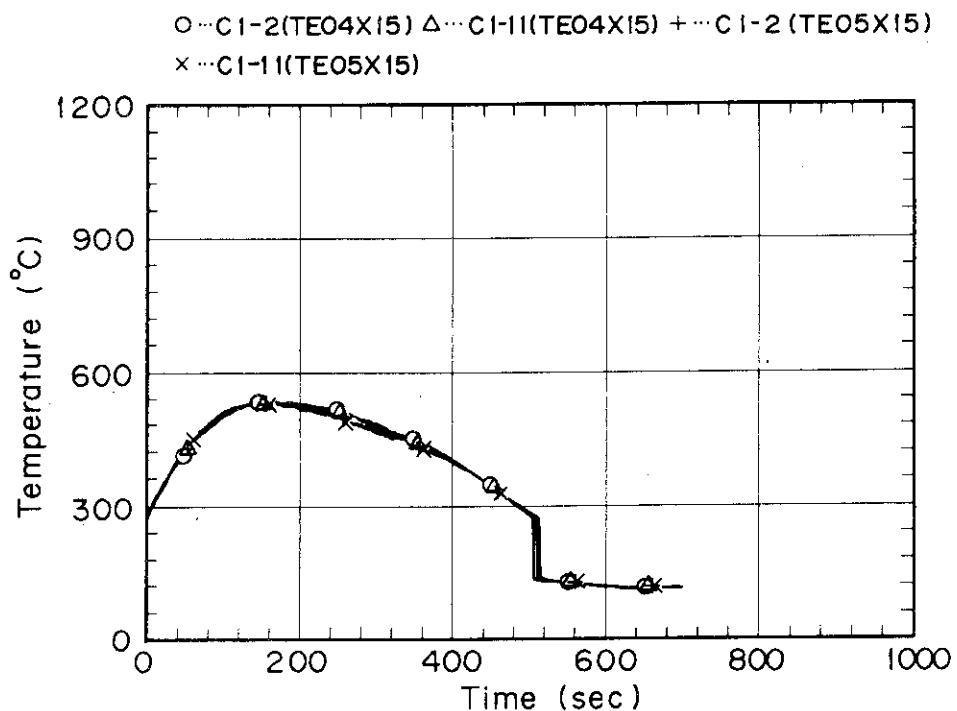


Fig. 4.1.1 Rod surface temperature just below the control rod guide tubes (bundle 04 and 05)

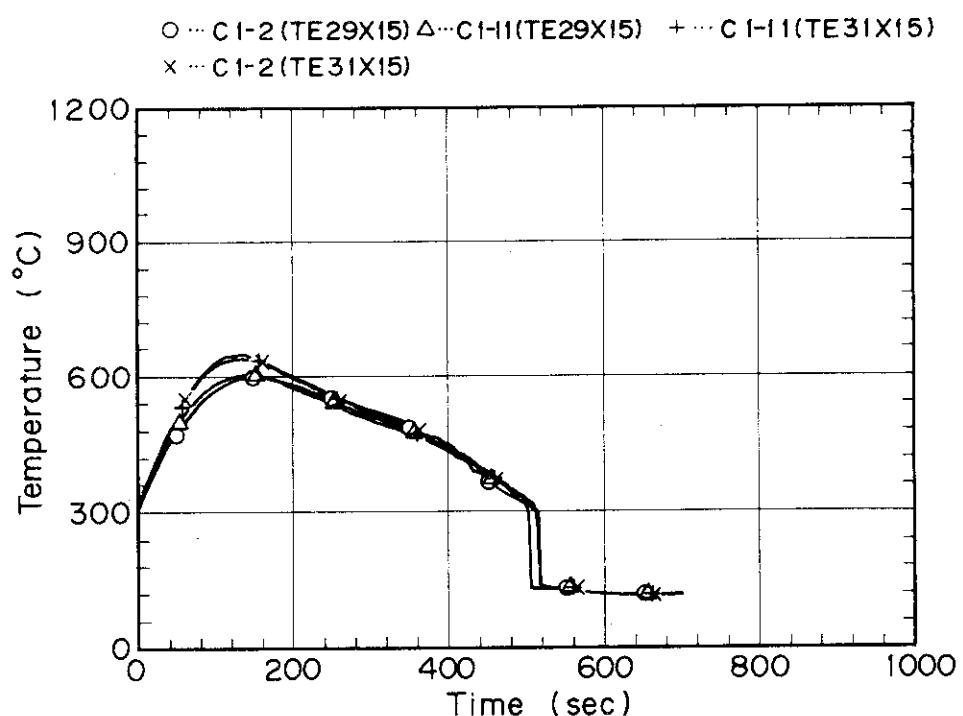


Fig. 4.1.2 Rod surface temperature just below the control rod guide tube (bundle 29 and bundle 31)

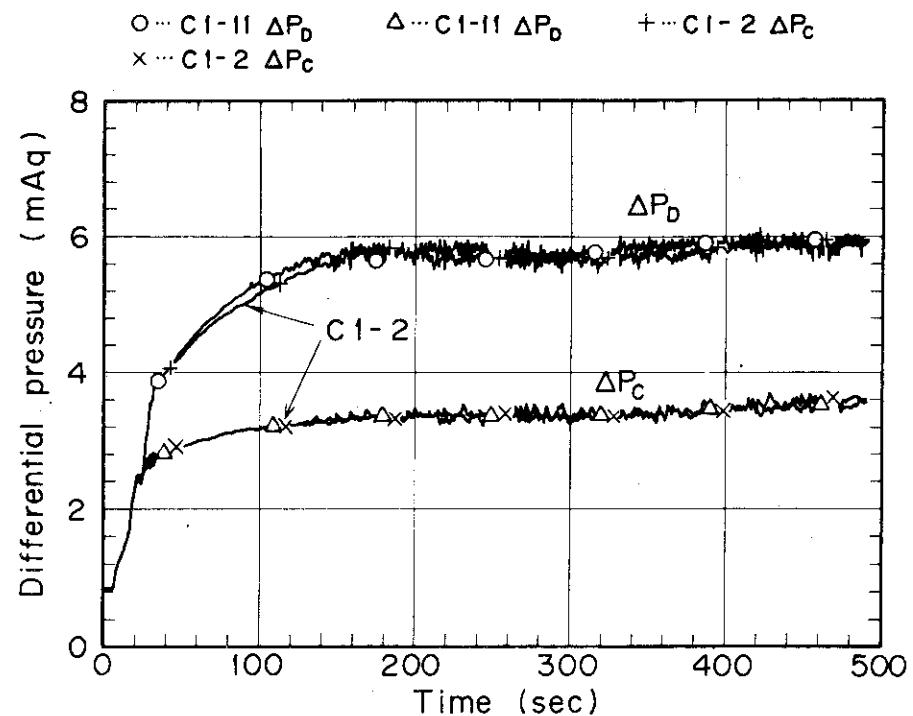


Fig. 4.1.3 Downcomer head and core head

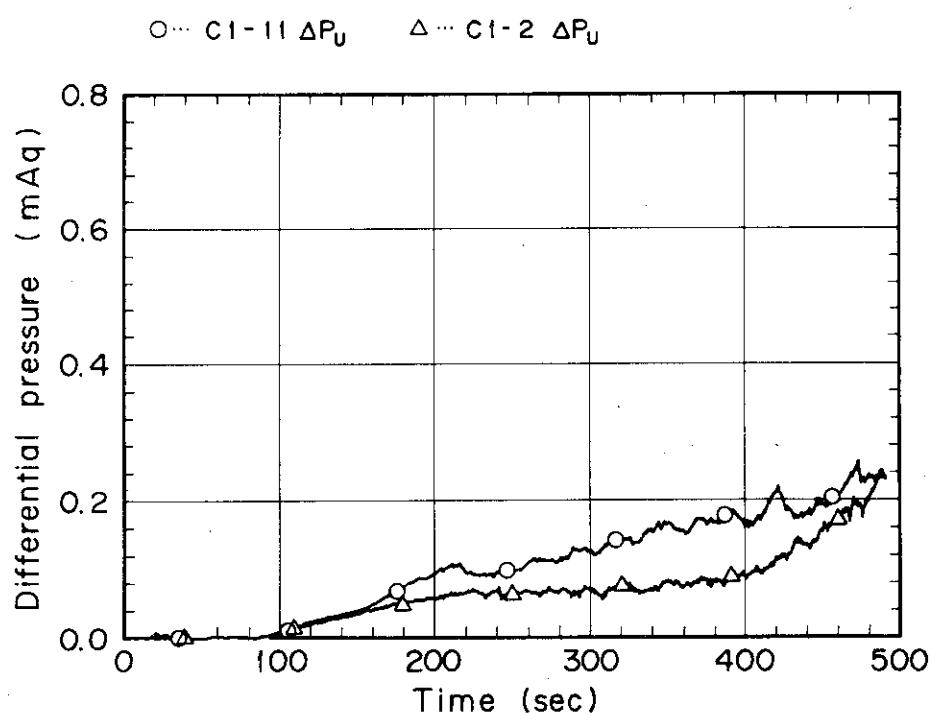


Fig. 4.1.4 Upper plenum water head

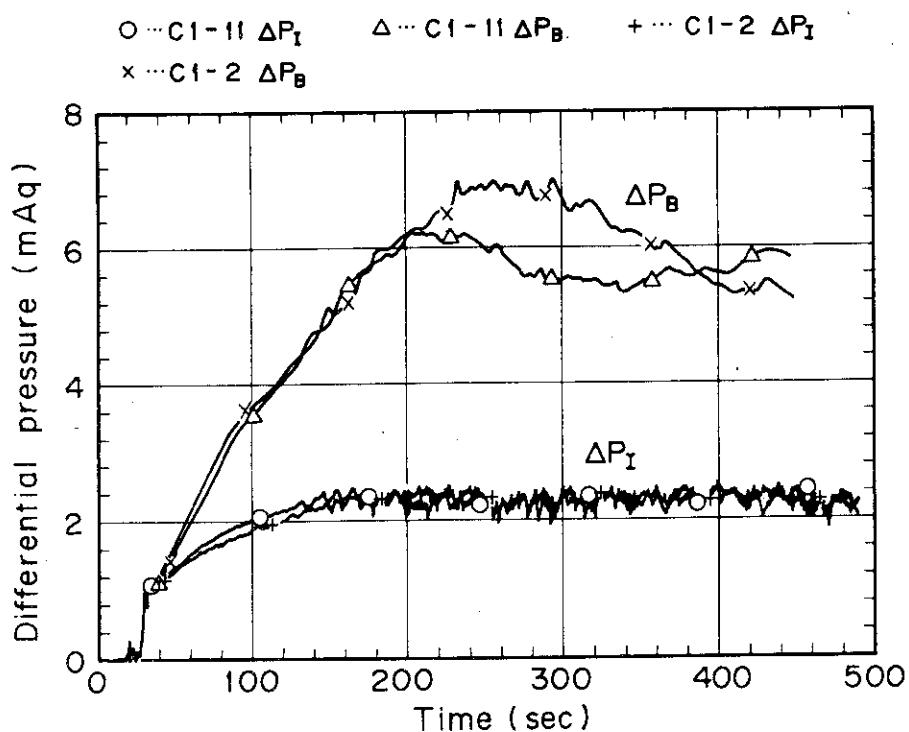


Fig. 4.1.5 Total pressure drop across loop

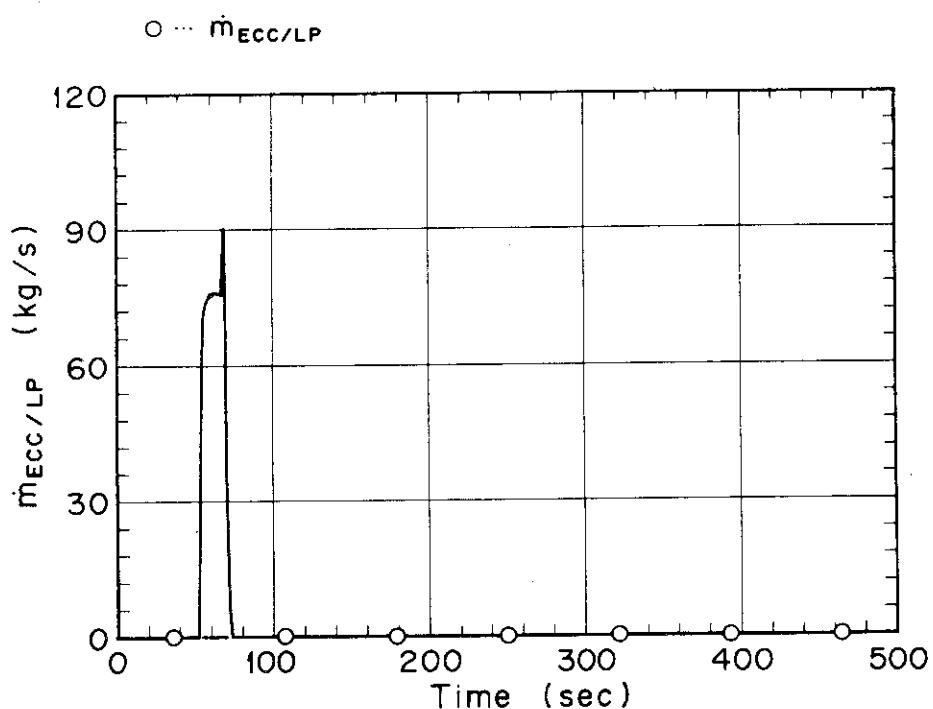


Fig. 4.1.6 ECC water injection rate into lower plenum

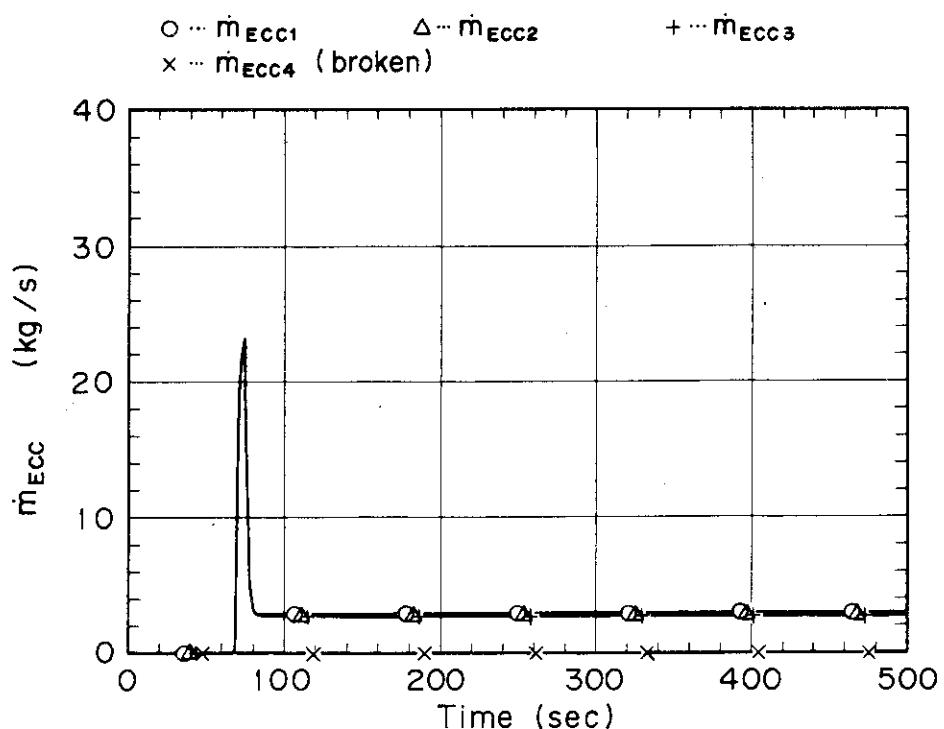


Fig. 4.1.7 ECC water injection rate into each cold leg

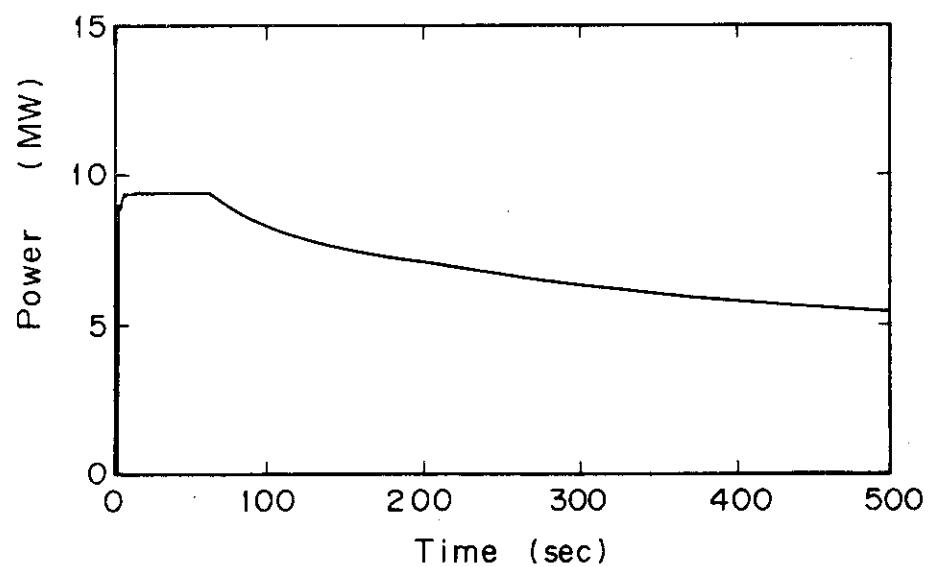


Fig. 4.1.8 Total power supplied to the core

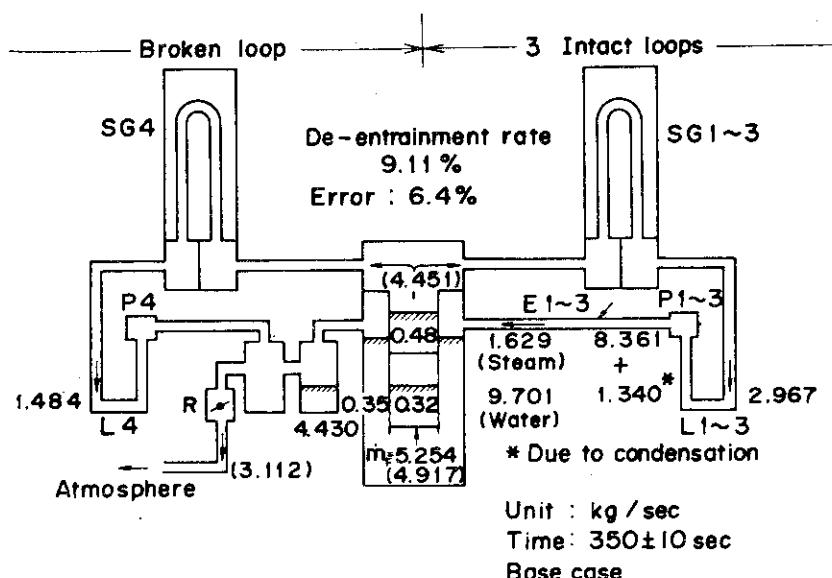


Fig. 4.1.9 Measured mass balance in system

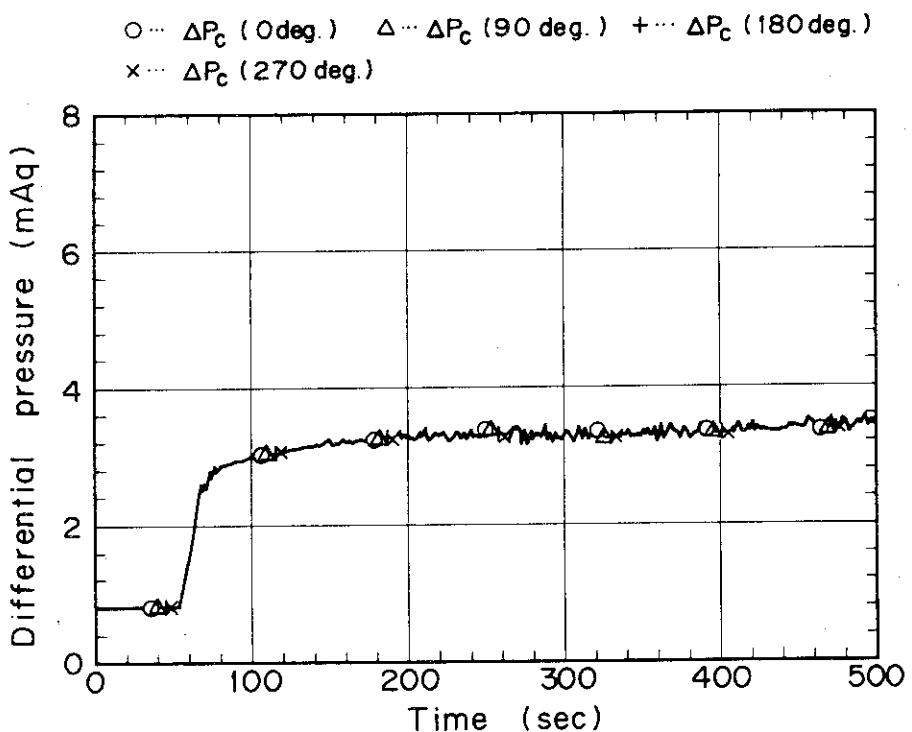


Fig. 4.1.10 Symmetry of core head

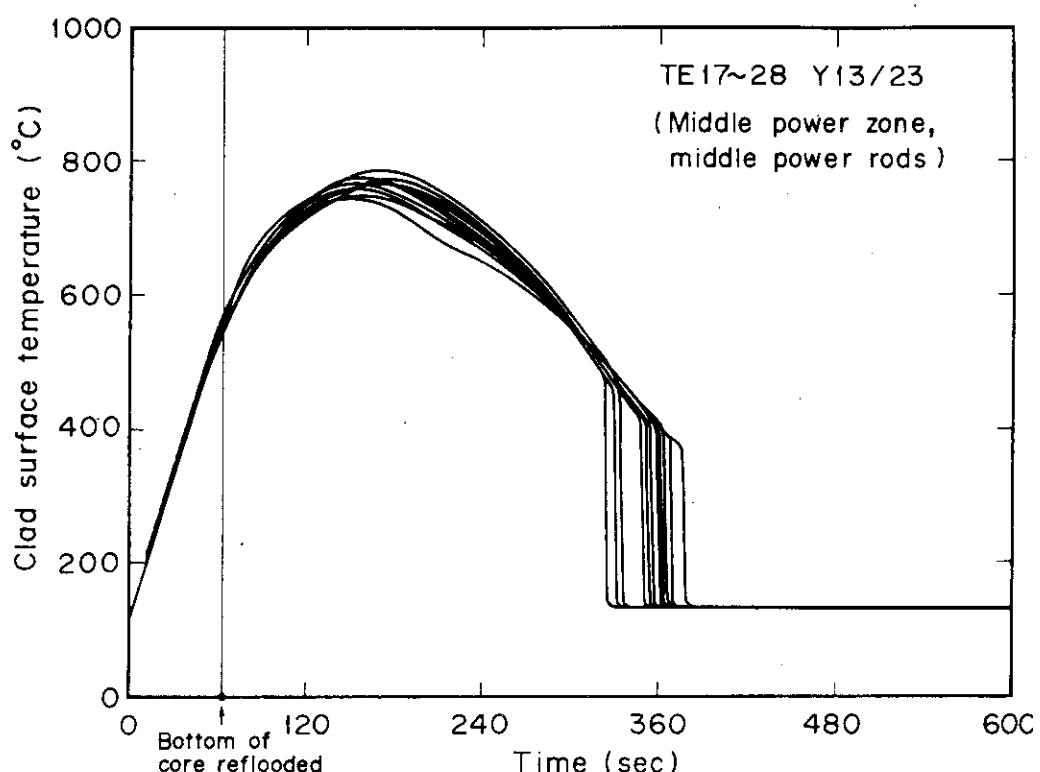


Fig. 4.1.11 Symmetry of clad surface temperature histories to the center axis (CCTF)

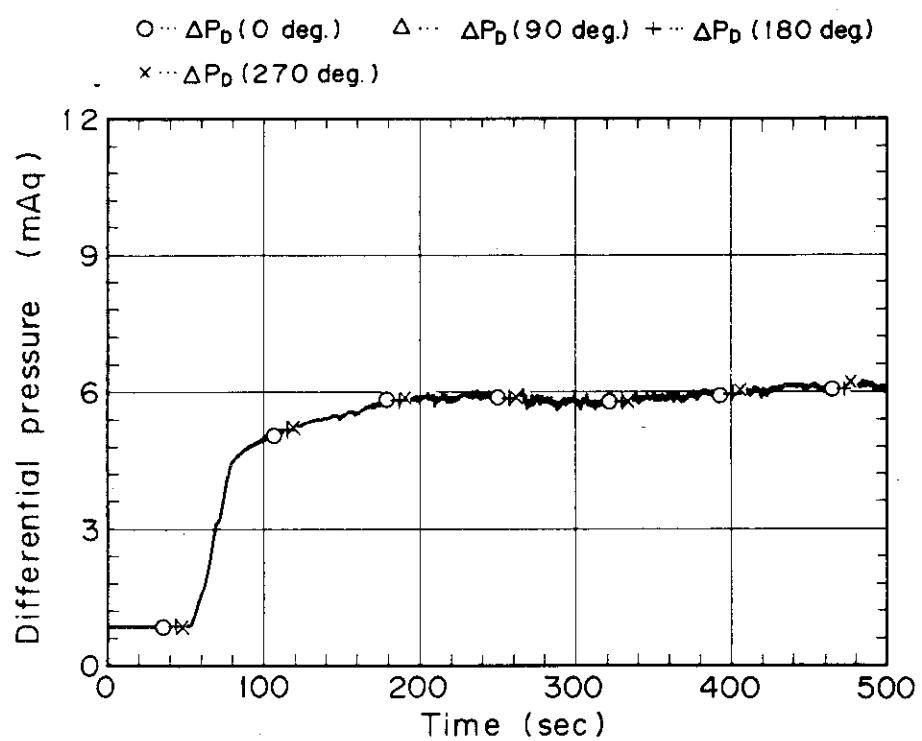


Fig. 4.1.12 Symmetry of downcomer head

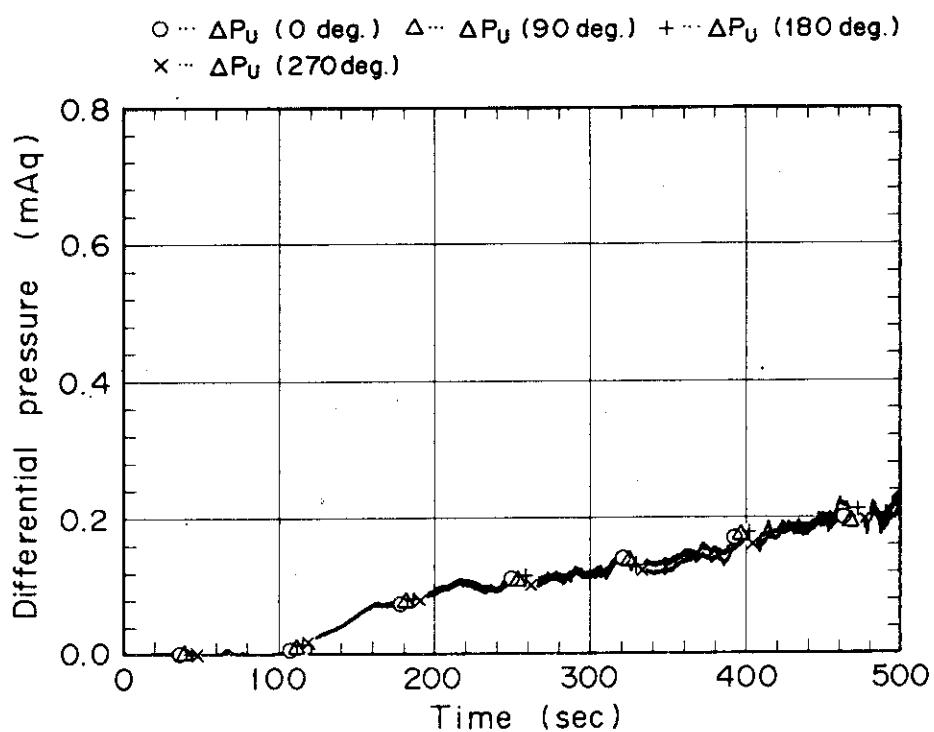


Fig. 4.1.13 Symmetry of upper plenum water head

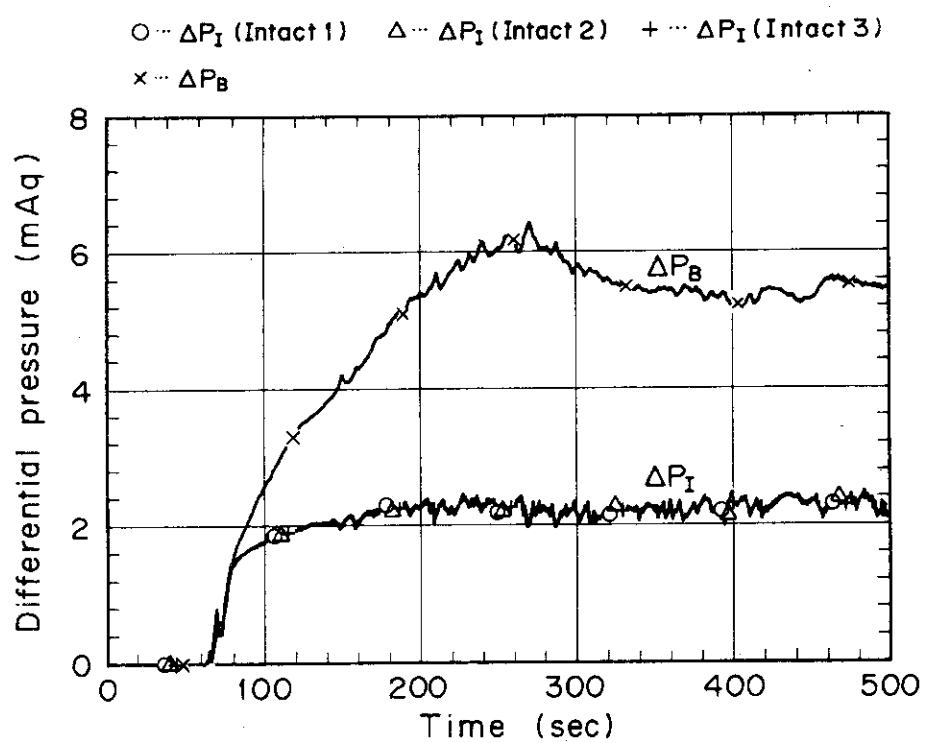


Fig. 4.1.14 Total pressure drop across loop

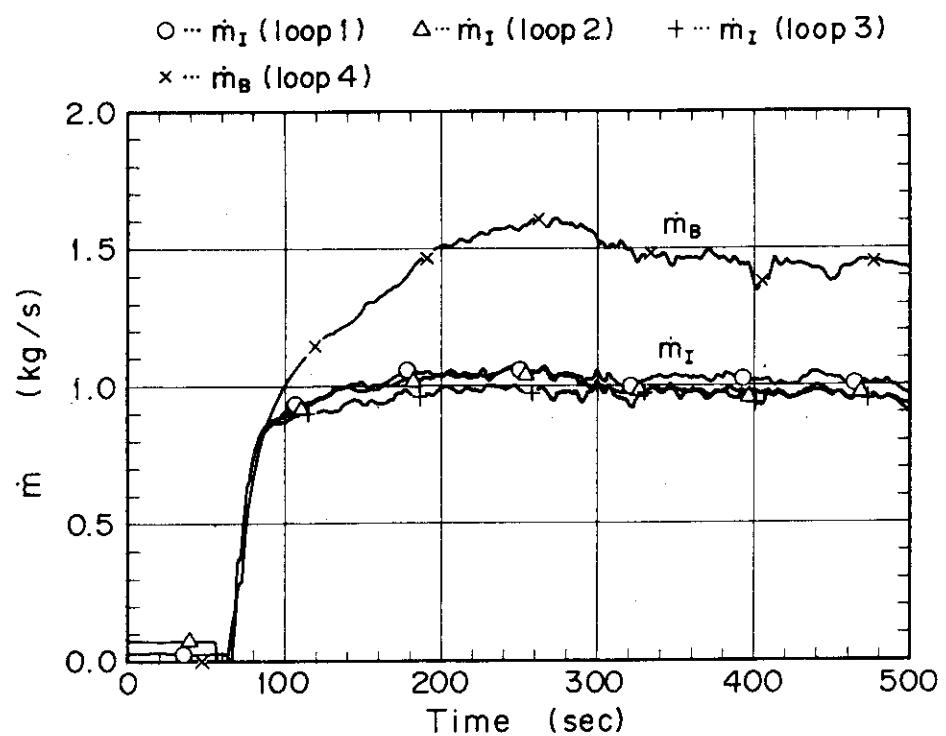


Fig. 4.1.15 Steam mass flow rate at loop seal

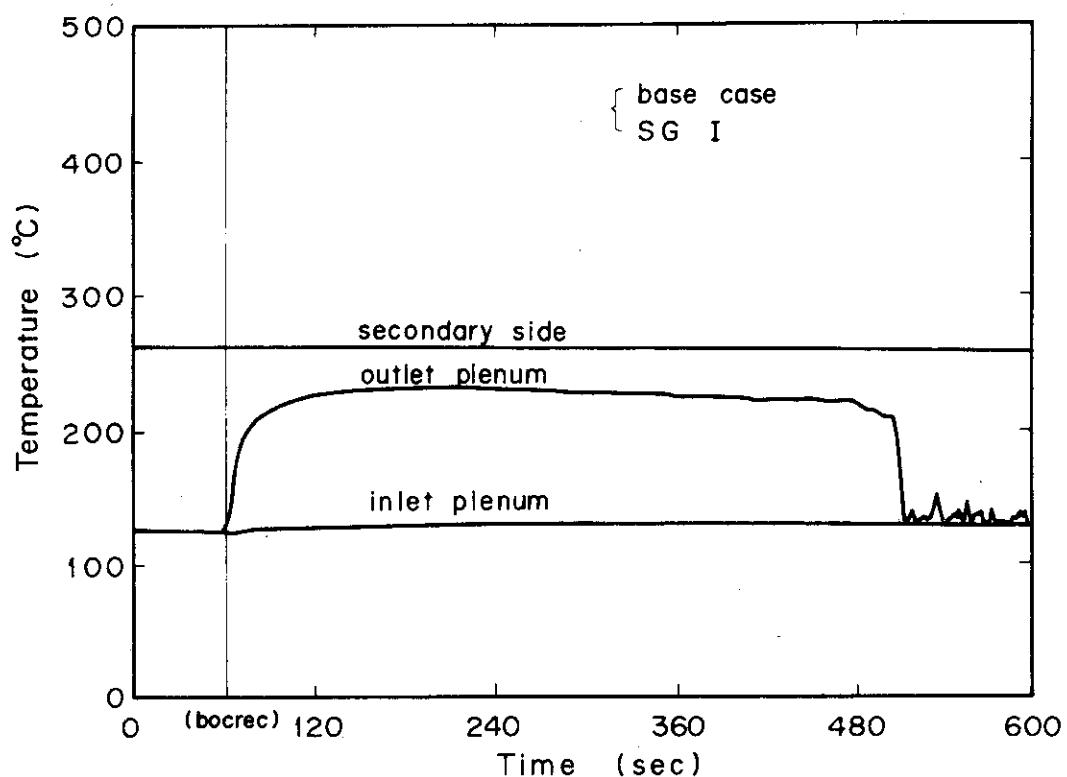


Fig. 4.1.16 Temperature in steam generator

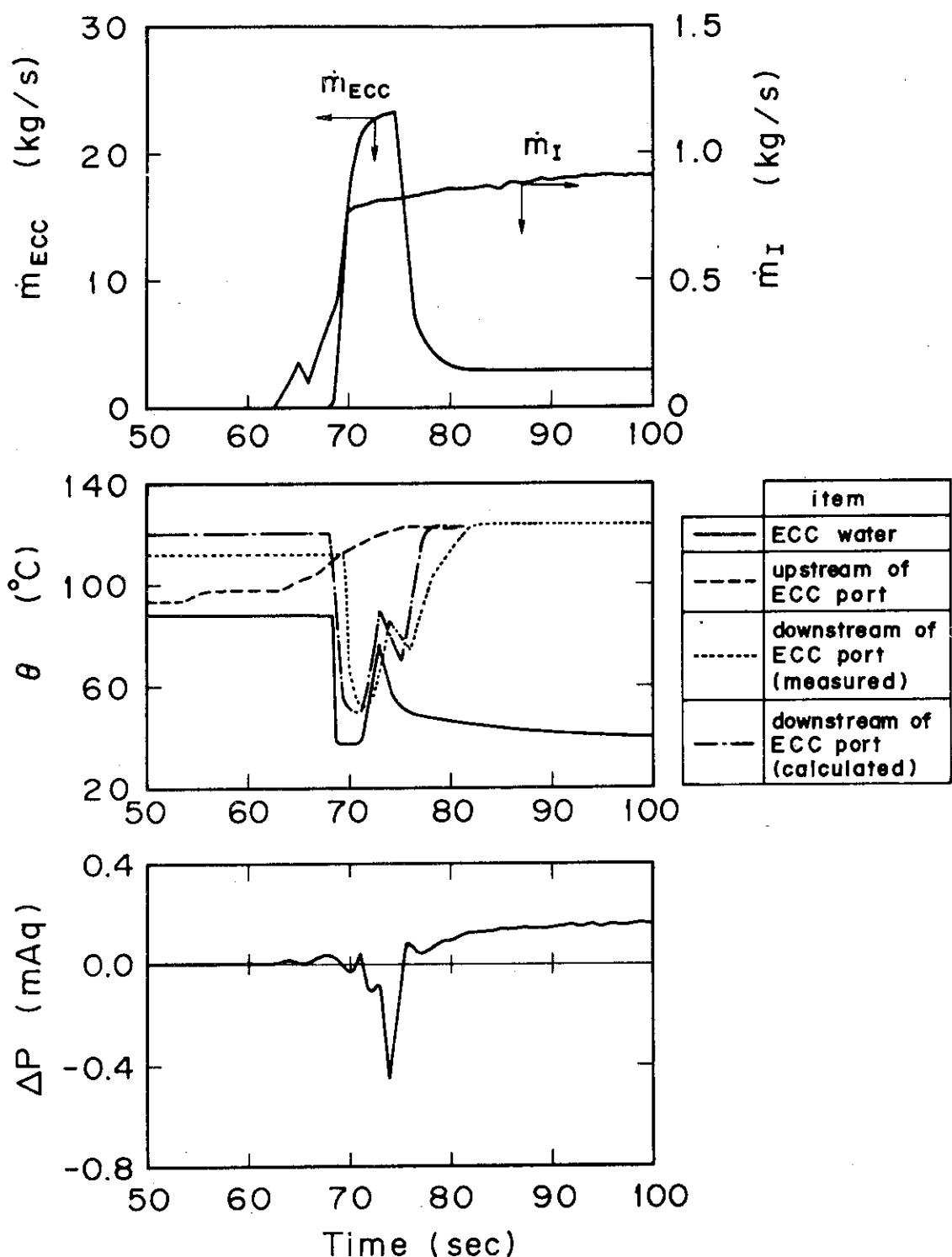


Fig. 4.1.17 Flow behavior around ECC port of intact 1

## 4.2 パラメータ効果試験

### 1. 圧力パラメータ効果

圧力をパラメータとして行った3つの試験の燃料体表面温度を比較したのがFig. 4.2.1である。このデータから明らかなように、圧力が高い程、ターンアラウンド温度が低く、クエンチ時間が短くなり、炉心冷却が良好になっている。Fig. 4.2.2に示すように、圧力が高い程、炉心入口流量が大きいことが良好な炉心冷却の原因の一つであると考えられる。なぜならば、圧力が高い程蒸気の密度が高く、Eq.(7)から明らかなように、炉心入口流量が大となるからである。また系圧力が高くなることで炉心内での熱伝達率そのものが高くなることも炉心冷却を良好にしていると考えられる。

### 2. 流量パラメータ効果

流量をパラメータとして行なった5つの試験の燃料体表面温度の比較をFig. 4.2.4に示す。試験条件をTable 4.2.1に示す。基準試験に比較して、LPCI流量が大きい場合( $62 \text{ m}^3/\text{h}$ )ターンアラウンド温度が低く、クエンチ時間も短かくなり、炉心の冷却が良くなり、ターンアラウンド温度に与える効果が大きいことが分かる。LPCI流量が小さい時(健全ループに $17 \text{ m}^3/\text{h}$ 注水)には、ターンアラウンド後の冷却がかなり悪い。一方、ACC流量が約10%小さい場合には、ターンアラウンド温度が $50^\circ\text{C}$ 程度高く、ターンアラウンド後の冷却も悪く、クエンチ時間も長い。ACCの注水時間の短い場合にも、ターンアラウンド温度が高く、クエンチ時間も長くなっている。ACCの流量が小さい場合と、注水時間が短い場合とでは、ACC注水量がほぼ同じであった。両者の挙動が150 sec以降では一致している。

炉心入口流量は、前項の場合と同様に、冷却の良い場合程大きくなっている。流量がパラメータの場合の炉心入口流量を決定する因子としては、ダウンカマ水頭を考えられ、ACCに関しては、Fig. 4.2.5に示すように、初期のダウンカマ内の蓄水の大小が、またLPCIに関してもFig. 4.2.6に示すようにダウンカマ水頭の差が炉心入口流量に影響を与え、炉心の冷却を左右している。これらのことから、ACC流量が安全評価解析の計算値により近い、より高い流量の場合、ダウンカマ水頭が増し、炉心冷却が改善されることが予想される。

### 3. 初期壁温パラメータ効果

初期壁温をパラメータとした3つの試験の燃料体表面温度を比較したものがFig. 4.2.7である。このデータから明らかなように、初期壁温が高い程、ターンアラウンド温度が高く、クエンチ時間も長いことが分かる。しかし、初期壁温とターンアラウンド温度の差は、初期壁温が高くなる程低くなっている。これは、冷却の初期において、初期温度が高い程、冷却材に与えられる熱量が大きく、炉心での蒸気の発生量およびエントレインメントが大きくなるため、炉心の冷却がより良くなるためである。このため、冷却の初期においては、Fig. 4.2.8に示すように、初期壁温が高い場合程、一次系ループでの圧力損失が大きい、即ち、一次系ループを流れる流体の流量が大きくなっている。

#### 4. ダウンカマ壁温バラメータ効果

ダウンカマ壁温をバラメータとした2つの試験の燃料体表面温度をFig. 4.2.9に示す。ターンアラウンド過ぎまでは、両者は非常に一致しており、後半になって多少差が生じ、低ダウンカマ壁温の場合が早くクエンチしている。ダウンカマ壁温の差は、炉心入口での流体のサブクールに影響を与える、Fig. 4.2.10に示すように低ダウンカマ壁温の場合の方がサブクールが大きい。またFig. 4.2.11に示すように、実験後半のダウンカマの水頭も、ダウンカマ壁温の低い場合に大きくなる。この2つの効果により実験後半に炉心の冷却が良くなり、早くクエンチする。しかし、初期においては、両者のダウンカマ水頭はほぼ等しく、やがて、低ダウンカマ壁温の方が小さくなり、その後に逆転して大きくなっている。この原因は現在検討中である。

一次系ループでの圧力損失を、両試験についてFig. 4.2.12およびFig. 4.2.13に示す。これらのデータは、炉心からの蒸気流量を意味するもので、Fig. 4.2.12に示すように低ダウンカマ壁温試験では80 sec頃にFig. 4.2.13に示すダウンカマ壁温が高い試験には見られないスパイクが見られ、急激な蒸気発生を示している。これは、サブクール度の大きな冷却水が炉心に入るため、炉心での突沸による蒸気発生が生ずるためではないかと想像される。

#### 5. 流動抵抗バラメータ効果

ループの流動抵抗をバラメータとした試験(Kファクタが25および35)の燃料体表面温度をFig. 4.2.14に示す。このデータから、両者は、かなり似た冷却挙動を示し、流動抵抗の大なる場合の方が後半に冷却が悪くなるが、その後には再び同じになり、クエンチ時間では、むしろ早くなっている。一次系ループでの圧力損失と蒸気の流量をFig. 4.2.15およびFig. 4.2.16に示す。これらのデータから、流動抵抗の大なる場合には、一次系ループでの圧力損失は大であり、ループを流れる流体の流量は小となっていることがわかる。従って、流動抵抗の大なる場合、炉心入口流速は低下し、炉心冷却が悪くなると考えられる。エントレインメント量が少なくなり、Fig. 4.2.17に示した燃料体表面温度の比較からわかるように炉心上部での冷却が悪く、Fig. 4.2.18に示したように上部炉心板上の蓄水も少なくなると考えられる。従って、流動抵抗の相違は、炉心上部の挙動に大きな影響を与え、流動抵抗が大きくなると、炉心上部での冷却が悪くなる。

#### 6. ECC水温バラメータ効果

ECC水温をバラメータとした試験の燃料体表面温度を基準試験と比較してFig. 4.2.19に示す。このデータから分かるように、両者は約800°Cのターンアラウンド温度に達するまではほぼ等しいが、それ以降では、ECC水温の高い場合の方が冷却が良く、クエンチ時間も短くなっている。しかし、これは、バラメータの効果によるものではなく、ECC水温の高い場合において、最高温度の許容値が800°Cであり、141 secにこの温度を越えたため、この領域の出力が炉心保護のため20%減じられたことによっている。ECC水の注入口の水温には、30°Cの差があるが、炉心入口水温には、全く差が出ていない。これは、ECC水が、ループを流れる蒸気と混合したり、構造材から熱を受け取ったりしてほぼ飽和温度に達している為であり、その結果、両者の炉心冷却効果は全く同じになると考えられ、もしパワーが下げられなかった場合、燃料体表面

温度は等しくなったと予想される。

#### 7. パラメータ効果試験のまとめ

試験結果をまとめると次のように示すことができる。

1. 系圧力の増加 → 蒸気密度の増加  
 ↘ 炉心入口流量の増加  
 ↗ 炉心熱伝達率の増加 ↗ 炉心冷却能力の増加
2. ECC 流量の増加 → ダウンカマ水頭の増加 → 炉心入口流量の増加  
 → 炉心冷却能力の増加
3. 炉心初期壁温の増加 → 炉心内蒸気発生量の増加  
 → 炉心冷却能力の増加
4. ダウンカマ壁温の低下 → 炉心入口サブクール度の増加  
 → 実験後半に炉心冷却能力の増加
5. ループ流動抵抗の増加 → ループ内蒸気流量の低下 → 炉心入口流量の低下  
 → 炉心冷却能力の低下
6. ECC 水温の増加 → ほとんど影響なしと思われるが、試験条件が途中で変化したため  
 結論を出すことはできない。

Table 4.2.1 Test conditions of flow rate effect tests

RUN NO.	System Pressure (ata)	Power Density (kw/m)	ECC Water Temp. (°C)	ACC Flow Rate (m <sup>3</sup> /h)	ACC Period (sec)	LPCI Flow Rate (m <sup>3</sup> /h)	Note
14	2.0	1.4	39	278	24	30	Base Case
15	2.0	1.4	37	279	24	°62	High LPCI Flow Rate
18	2.0	1.4	38	°283	24	°40(17)	Low LPCI Flow Rate
20	2.0	1.4	39	°242	23	30	Low ACC Flow Rate
22	2.0	1.4	40	277	°21	30	Short ACC Injection Period

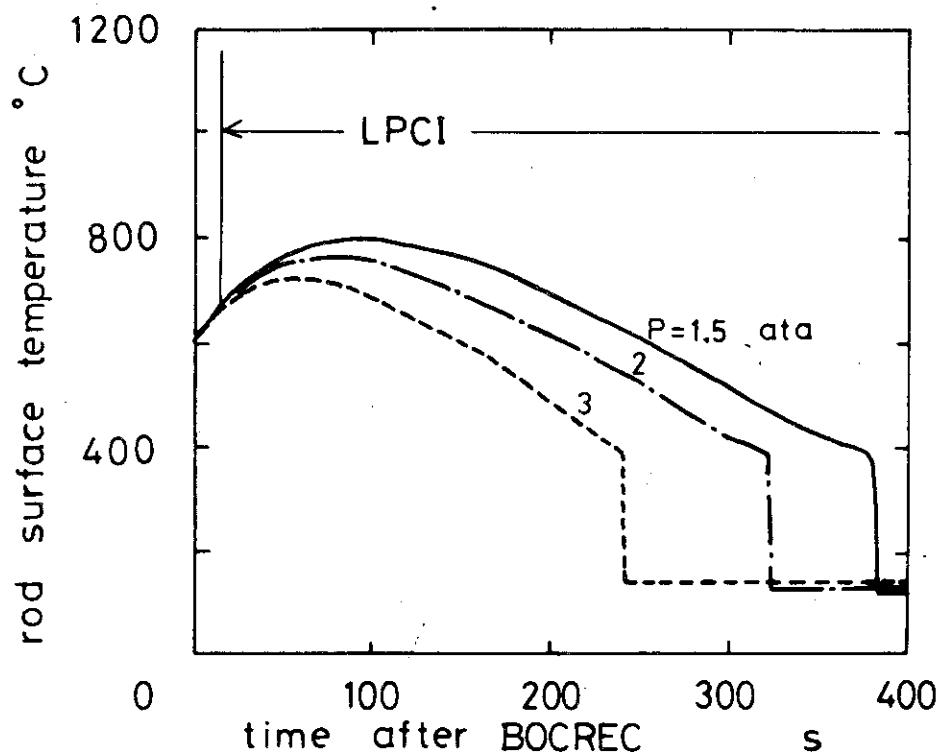


Fig. 4.2.1 Effect of system pressure on clad surface temperature

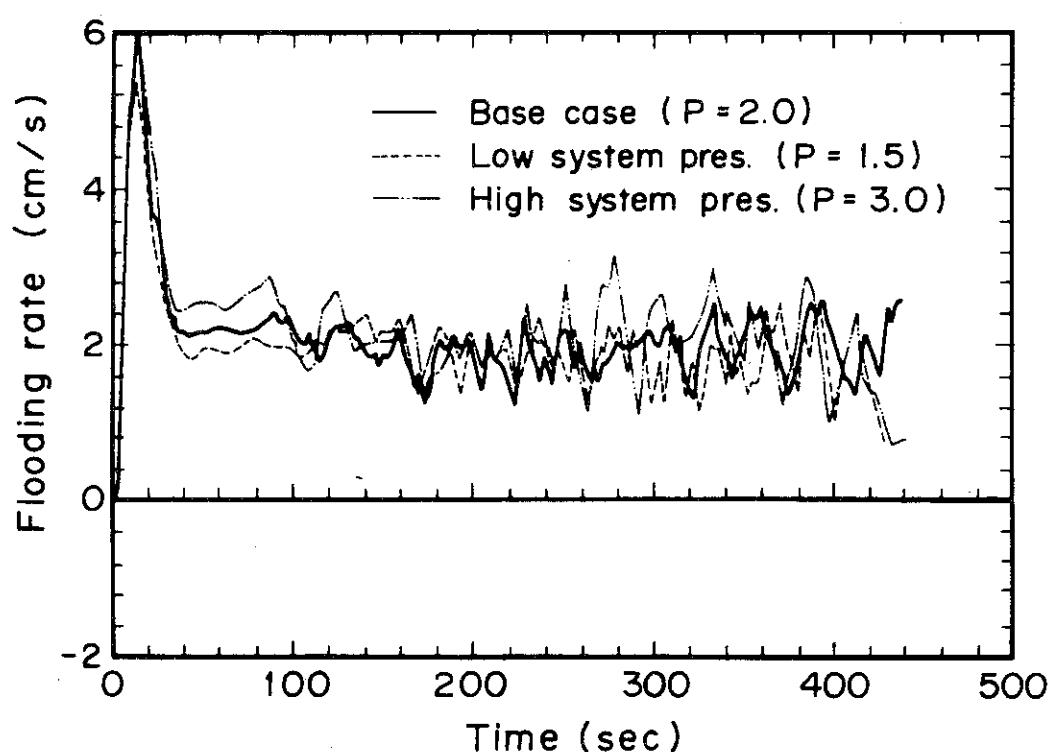


Fig. 4.2.2 Effect of system Pressure on mass flow rate at core inlet

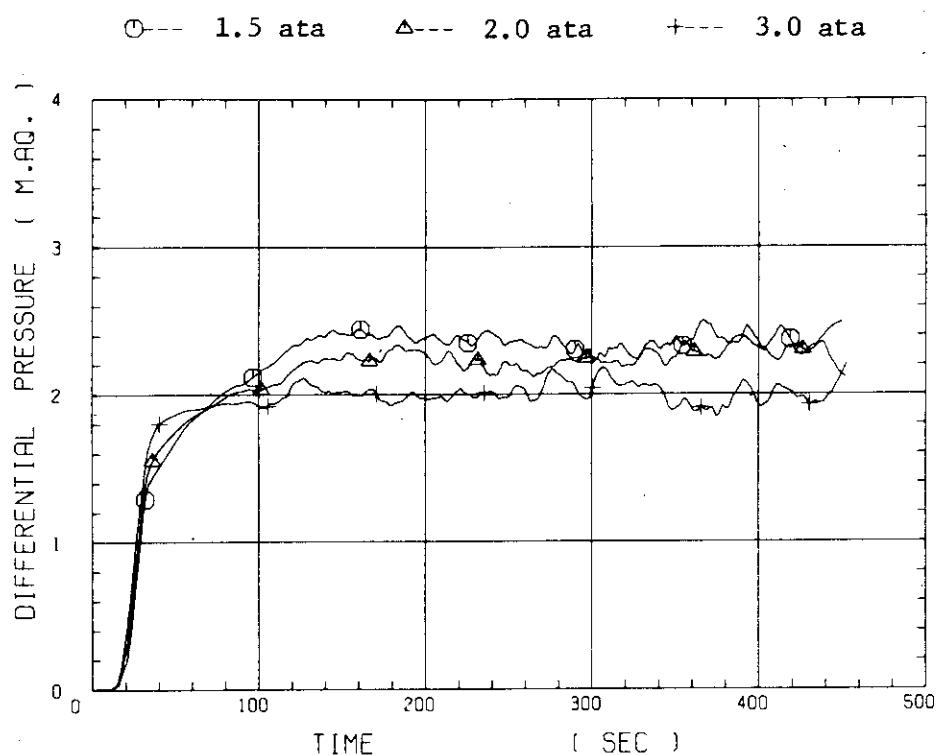


Fig. 4.2.3 Effect of system pressure on pressure loss across loop

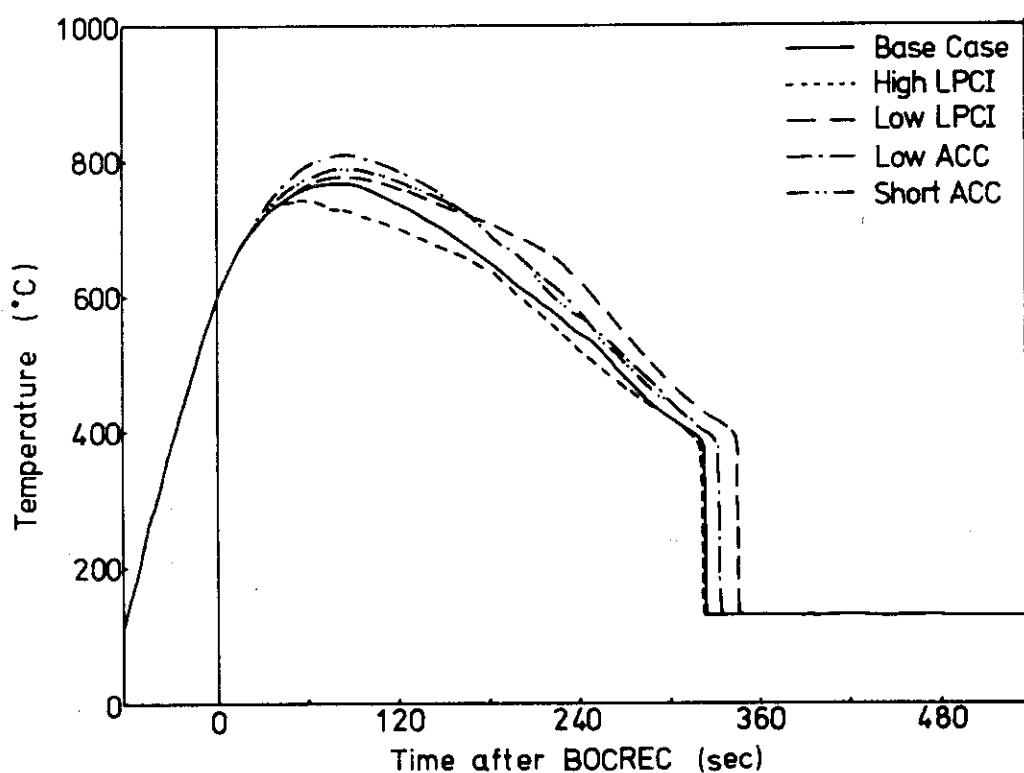


Fig. 4.2.4 Effect of flow rate on clad surface temperature

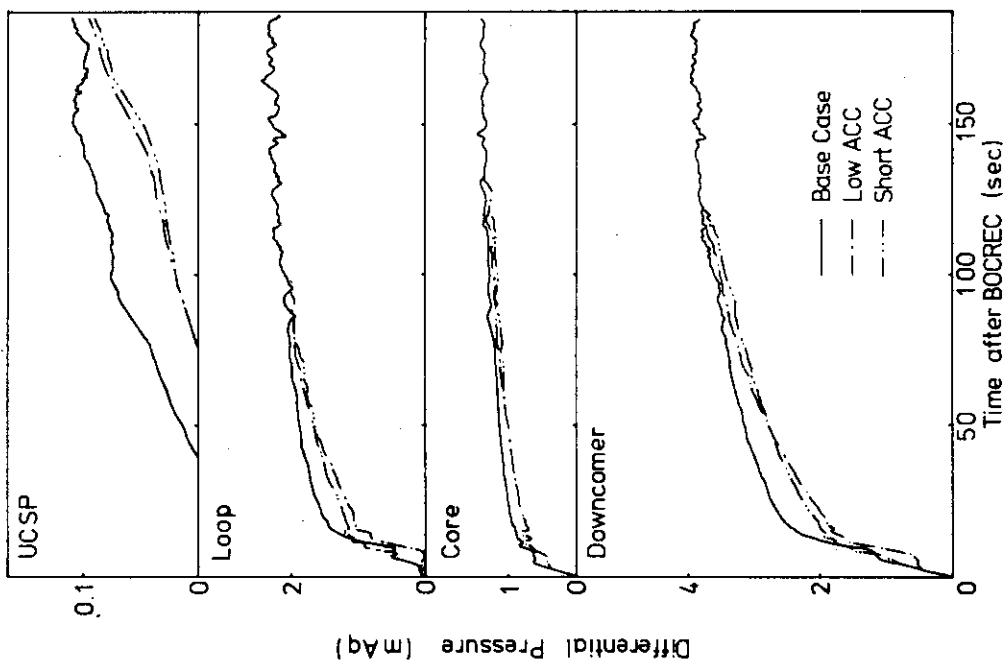


Fig. 4.2.5 Effect of ACC flow rate on water head and pressure loss

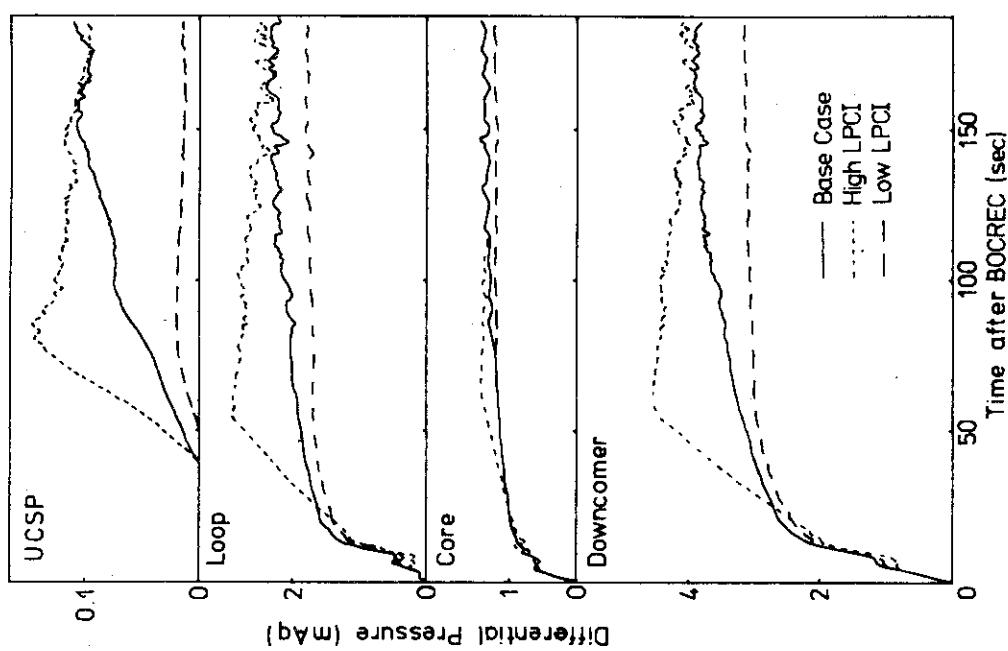


Fig. 4.2.6 Effect of LPCT flow rate on water head and pressure loss

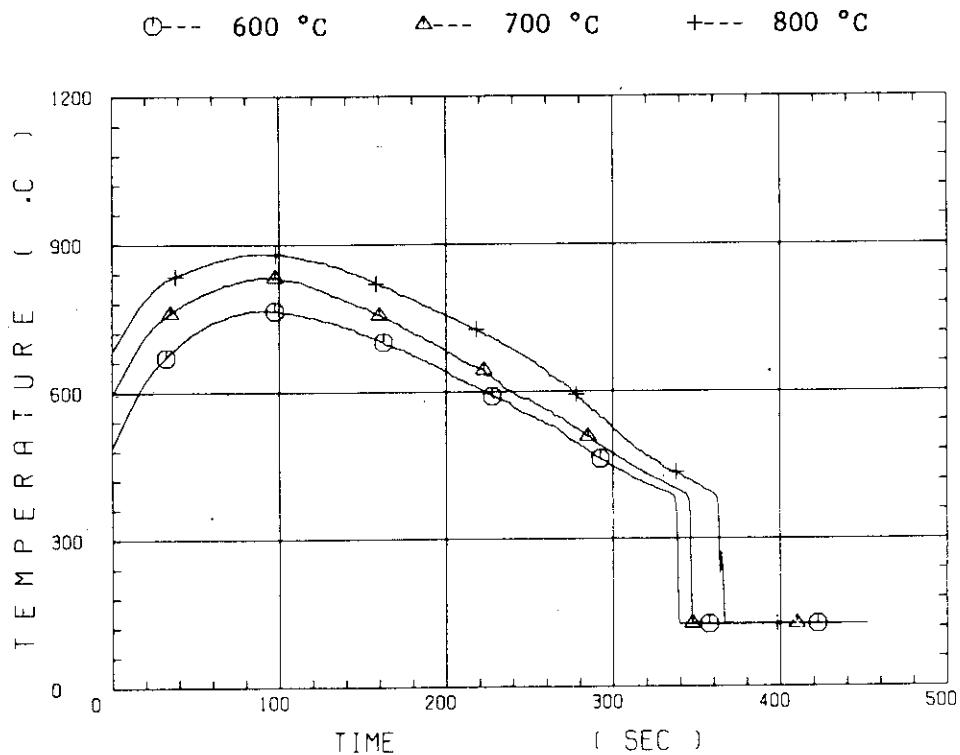


Fig. 4.2.7 Effect of initial clad temperature on clad temperature history

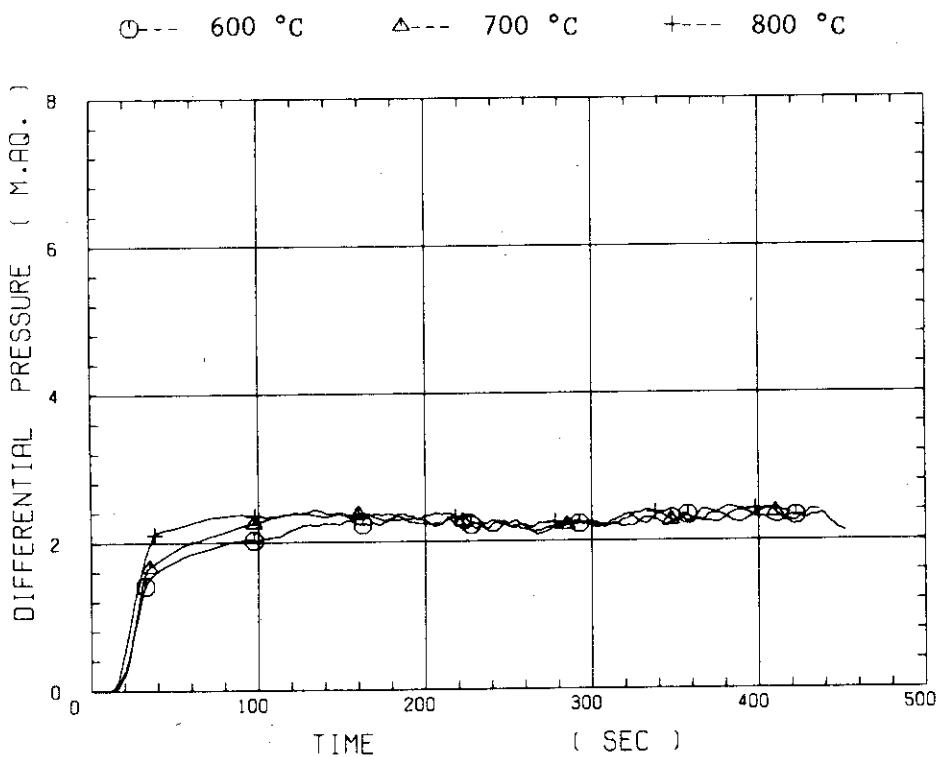


Fig. 4.2.8 Effect of initial clad temperature on pressure loss across loop

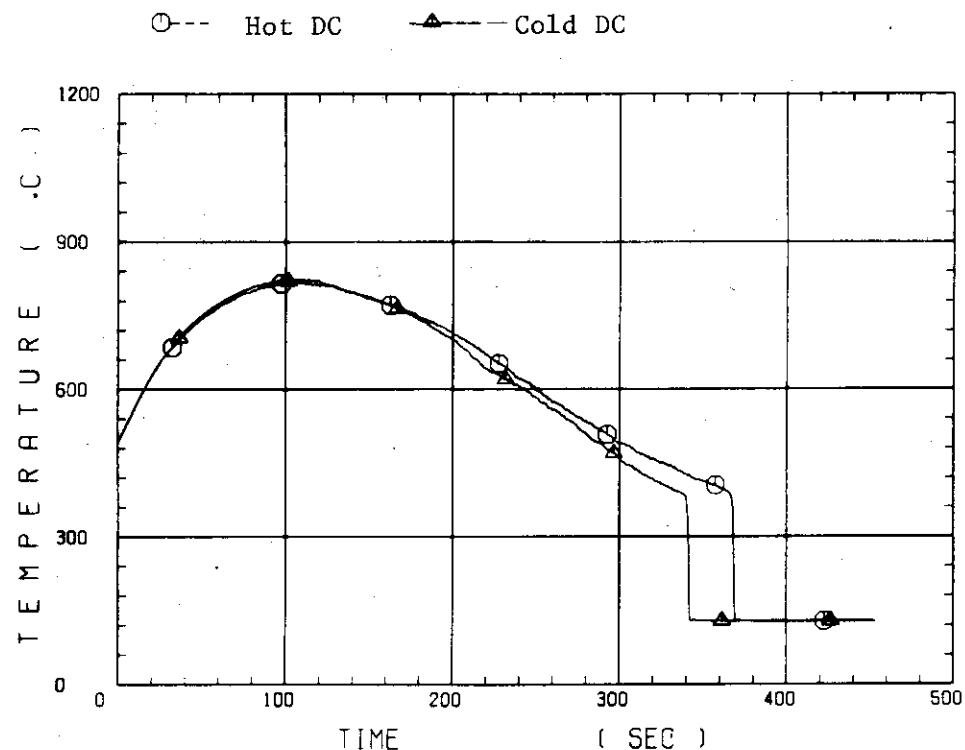


Fig. 4.2.9 Effect of initial downcomer wall temperature on clad temperature history

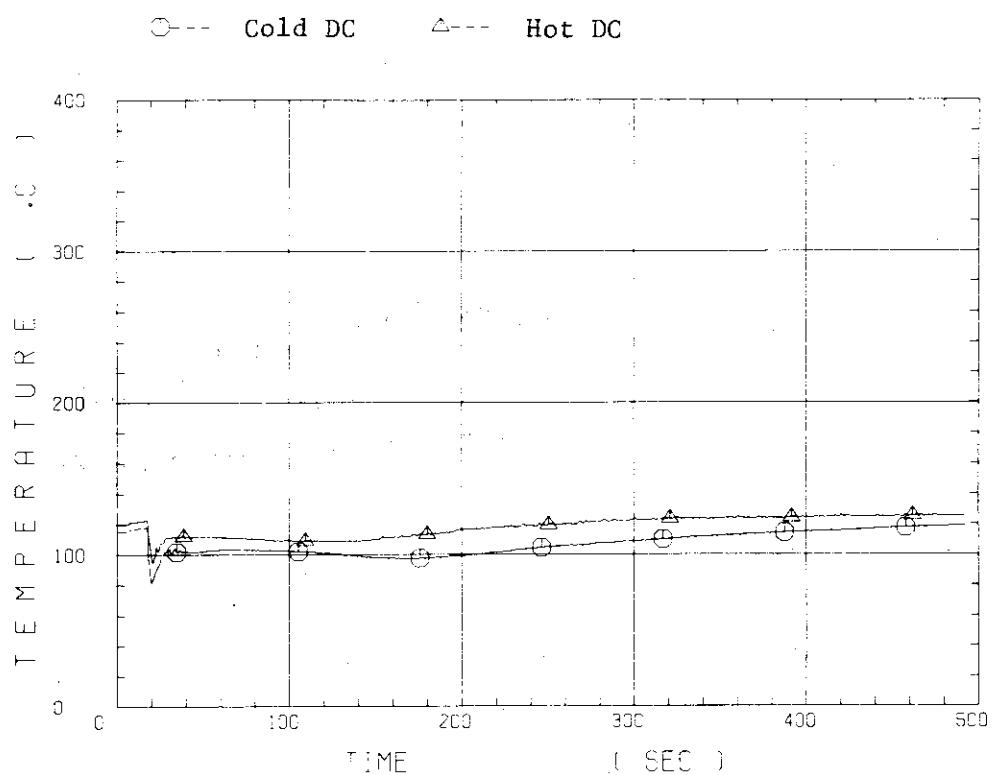


Fig. 4.2.10 Effect of initial downcomer wall temperature on fluid temperature at core inlet

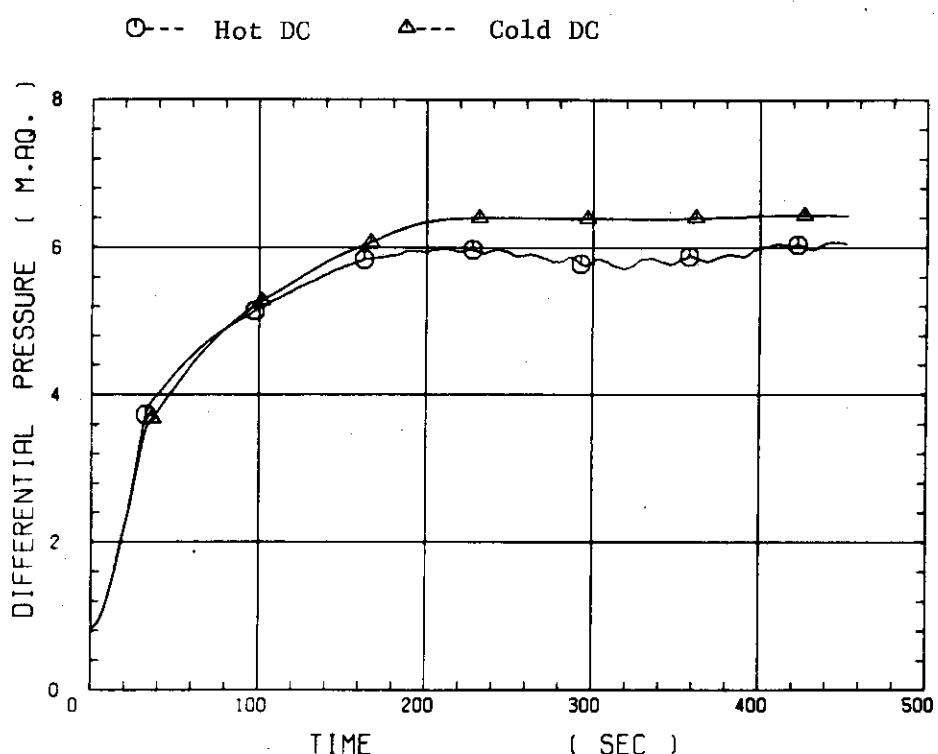


Fig. 4.2.11 Effect of initial downcomer wall temperature on downcomer water head

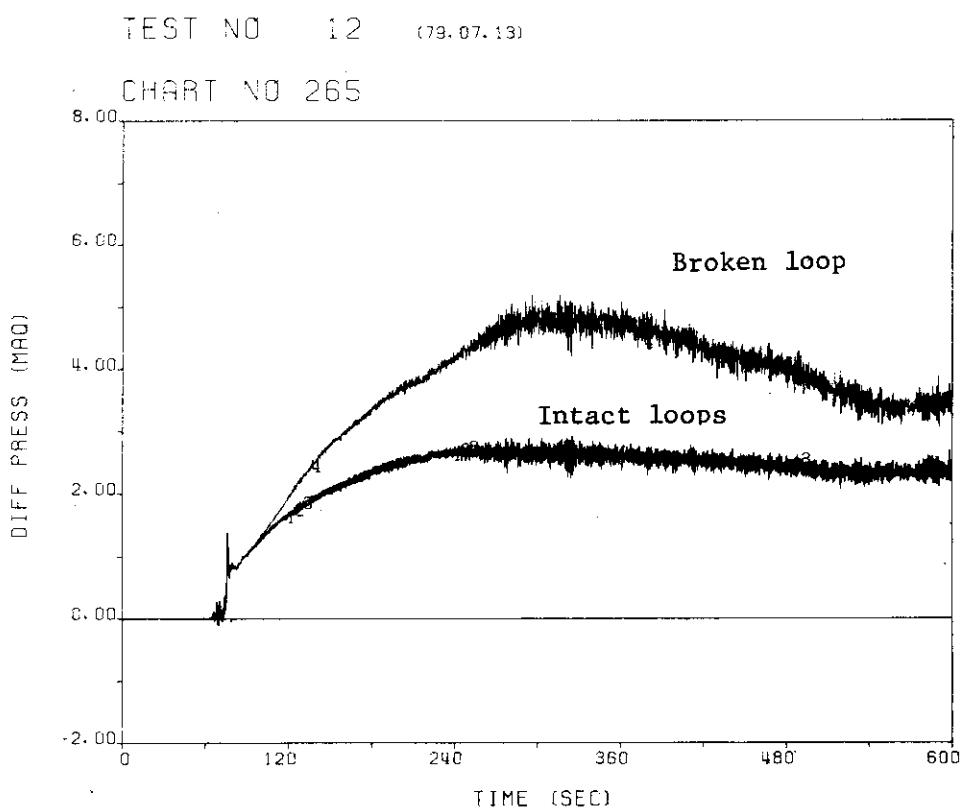


Fig. 4.2.12 Pressure losses across loop in cold downcomer wall test

TEST NO 11 (79.07.04)

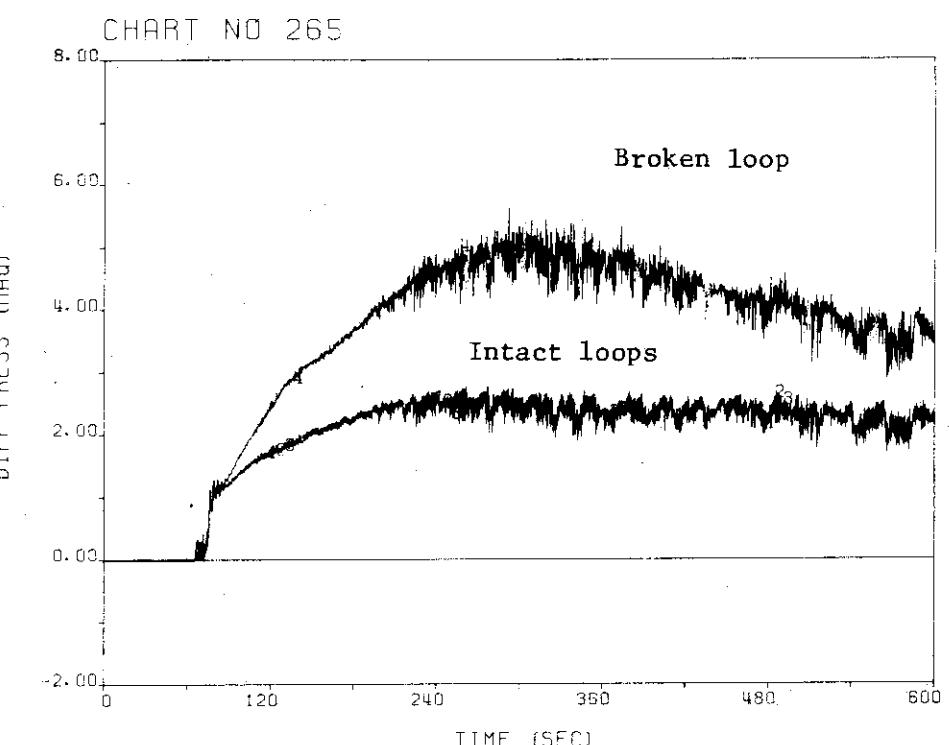


Fig. 4.2.13 Pressure losses across loop in base case

○--- K = 25      △--- K = 35

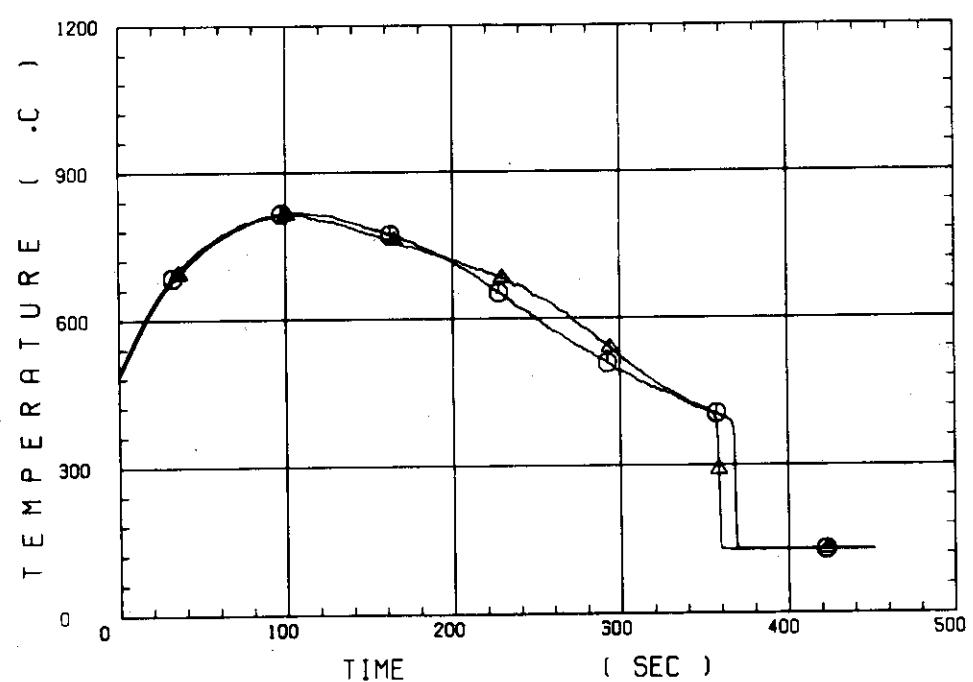


Fig. 4.2.14 Effect of loop flow resistance on clad surface temperature

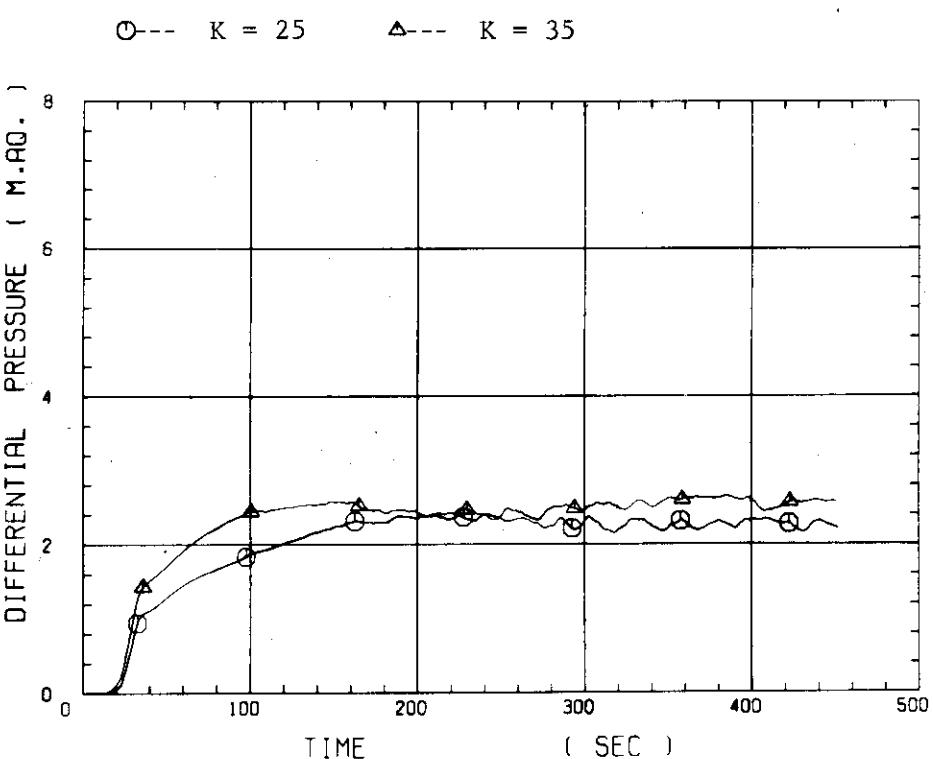


Fig. 4.2.15 Effect of loop flow resistance on pressure loss across loop

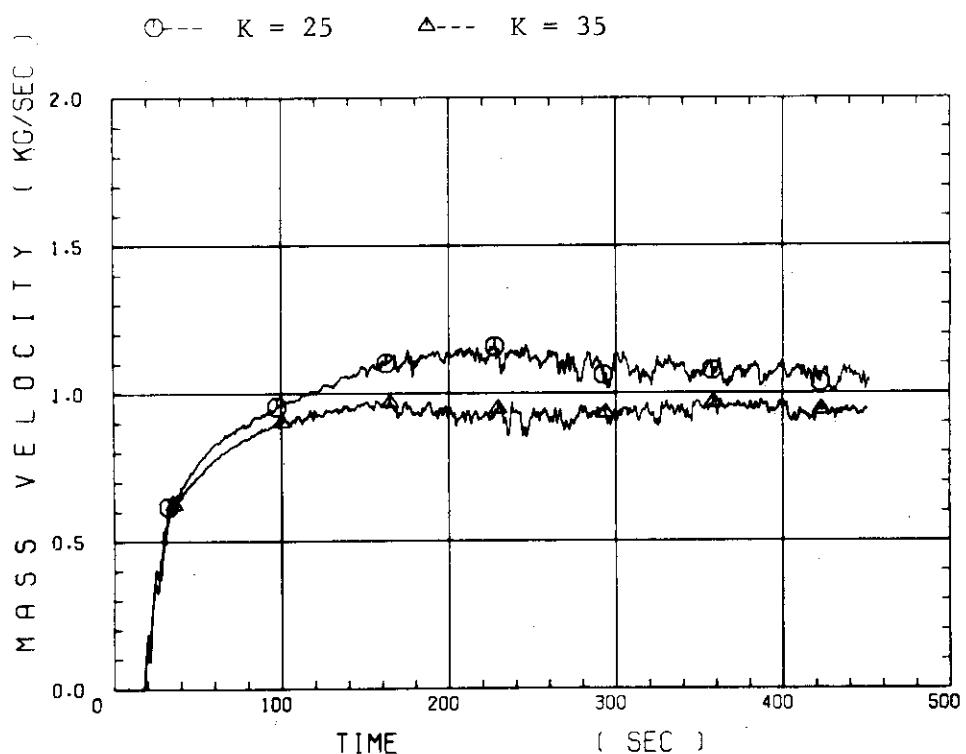


Fig. 4.2.16 Effect of loop flow resistance on steam mass velocity in loop

○--- K = 25      △--- K = 35

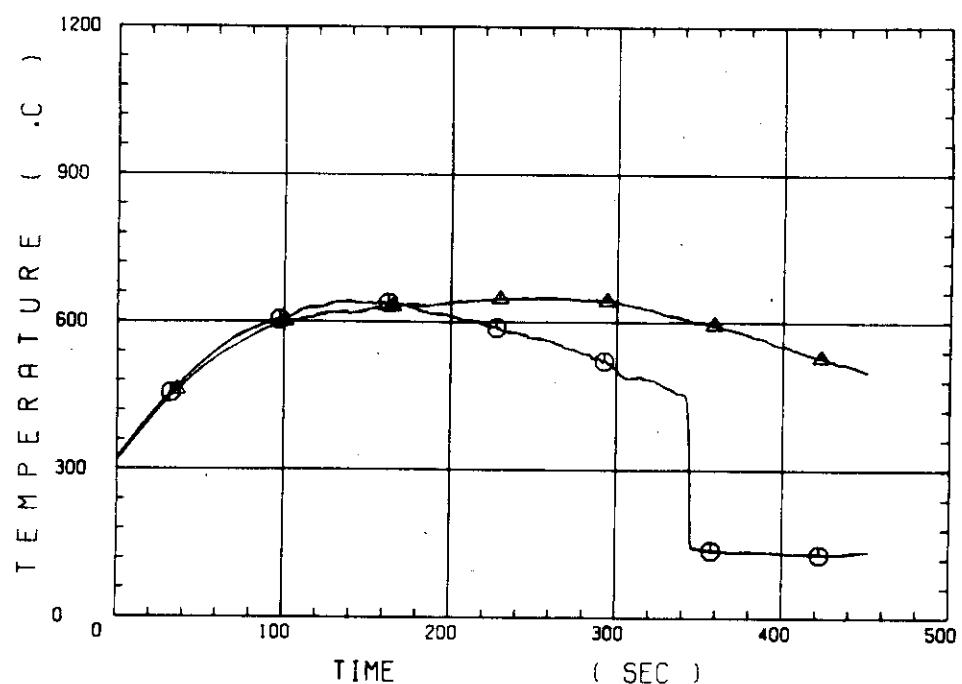


Fig. 4.2.17 Effect of loop flow resistance on clad surface temperature at highest thermocouple elevation

○--- K = 25      △--- K = 35

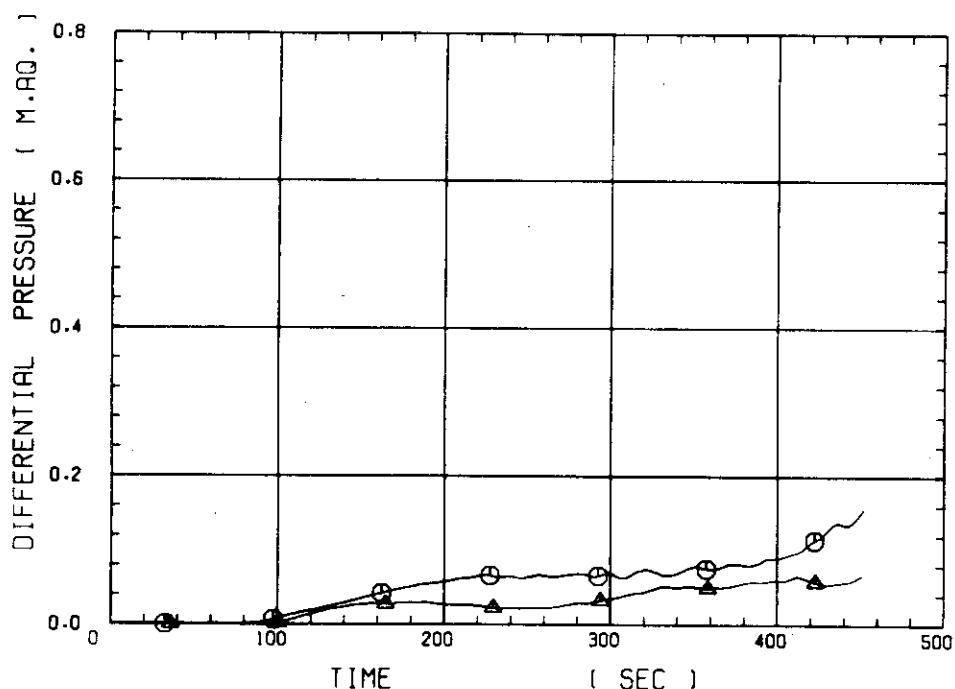


Fig. 4.2.18 Effect of loop flow resistance on water accumulation on UCSP

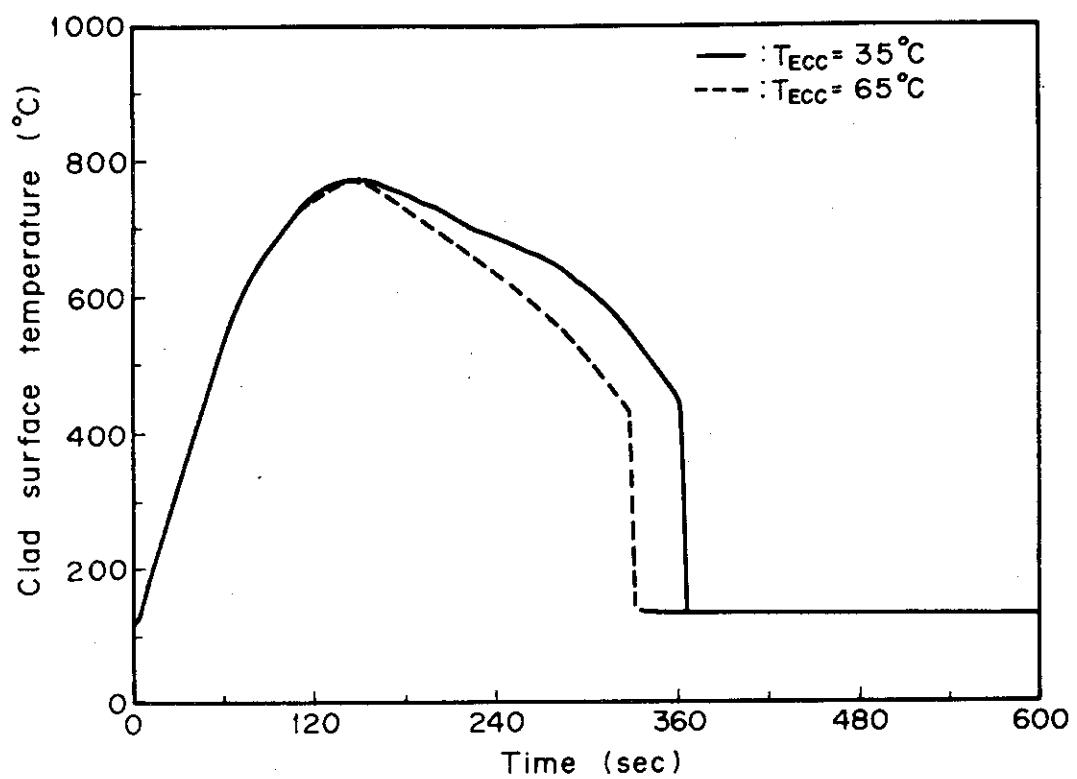


Fig. 4.2.19 Effect of ECC water temperature on clad surface temperature

#### 4.3 結合試験

結合試験の目的は、従来行われた他の試験装置での代表的な再冠水システム効果試験と可能な限り試験条件を一致させて試験を行うことにより、他の試験装置の試験結果と矛盾がないか否かを調べることである。

結合試験として FLECHT 結合試験と PKL 結合試験を行った。Table 4.3.1 に FLECHT 結合試験 C1-16 と FLECHT 3105B の試験条件を比較して示す。注水流量は、試験装置のスケールのちがいを炉心断面積により考慮し、みかけの炉心入口流速が等しくなる様定めた。炉心出力については、炉心中心部の最高熱出力が一致するように定めた。Fig. 4.3.1 に軸方向の出力分布を比較して示す。FLECHT の出力分布に比べ、CCTF の出力分布は平坦である。それぞれの軸方向ビーキングファクターは 1.67 と 1.49 である。Fig. 4.3.2 に炉心入口流速の比較結果を示す。ACC 注入時の炉心入口流速はほぼ一致しているとみなせる。LPCI 注入時の炉心入口流速は、FLECHT 実験では変動が大きいが、平均値でみればほぼ同程度である。FLECHT 実験ではダウンカマから破断ループにオーバフローさせない様に LPCI 流量を人為的に制御している。このため炉心入口流速も変動していると考えられる。Fig. 4.3.3 に最高熱出力位置における温度履歴を比較して示す。再冠水初期（0 秒～30 秒）における冷却は、CCTF の方が FLECHT に比べてよいことがわかる。Fig. 4.3.4 にクエンチエンベロープの比較結果を示す。クエンチ時刻は全体に CCTF のほうが遅めの傾向があり、CCTF の平均値と FLECHT の最大値がほぼ一致している。これらの炉心冷却特性の差異に対しては、軸方向の出力分布のちがいや、スペーサ構造のちがいが影響していると思われる。今後さらに詳細な検討が必要である。

Table 4.3.2 に PKL K7A 試験と PKL 結合試験 C1-SH4 の試験条件を比較して示す。FLECHT 結合試験に比べ試験条件の一一致はよくない。これは PKL 装置がドイツ型 PWR 模擬の装置であることによる。炉心被覆管初期温度は、試験実施時に最高可能温度と判断された 620 °C を選んだ。炉心クエンチ挙動、ダウンカマコールドレグノズルでの圧力損失等にいくつかの知見が得られたが、装置構成によるものか、初期条件設定によるものかの判定がむずかしく、今後さらに検討する必要がある。

Table 4.3.1 Comparison of test conditions between  
FLECHT 3105B and CCTF Test Cl-16

RUN NO. COMMENTS	FLECHT 3105B	CCTF Cl-16
Containment Pressure (MPa)	0.407	0.415
Peak Power (kw/m)	2.76	2.78
Averaged Power (kw/m)	1.37	1.47
Axial peaking factor (-)	1.67	1.49
(*) ACC flow rate (kg/m <sup>2</sup> s)	392	386
(*) LPCI flow rate (kg/m <sup>2</sup> s)	variable	42.8
ACC injection time (sec)	14	17
ECC water temperature (°C)	66.7	67
SG secondary water level (m)	7.3	7.4
SG secondary temperature (°C)	267	263
Initial clad temperature (°C)	593	593

Note: (\*) ; Flow rate is determined based  
on core flow area.

Table 4.3.2 Comparison of test conditions  
between PKL K7A and CCTF Test C1-SH5

	PKL K7A	CCTF C1-SH5
全出力(MW)	1.422	7.09
発熱棒本数(=)	337	1824
非発熱棒本数(=)	0	224
発熱部長さ(m)	3.9	3.66
半径方向出力分布	1.17 : 1.0 : 0.92	1.02 : 1.0 : 1.01
軸方向ピーピングファクタ	1.19	1.49
平均線出力密度(KW/m)	1.08	1.06
炉心初期温度(℃)	720/650/630	620
ECC注水方法	ACCモードよりLPCI モードへ連続変化	ACCモードよりLPCI モードへステップ変化
ECC水温(℃)	35	43
系圧力(MPa)	0.43	0.43
ループKファクター	single intact 38 double intact 37 broken 72	intact 1 ~35 intact 2 ~35 intact 3 ~35 broken ~35

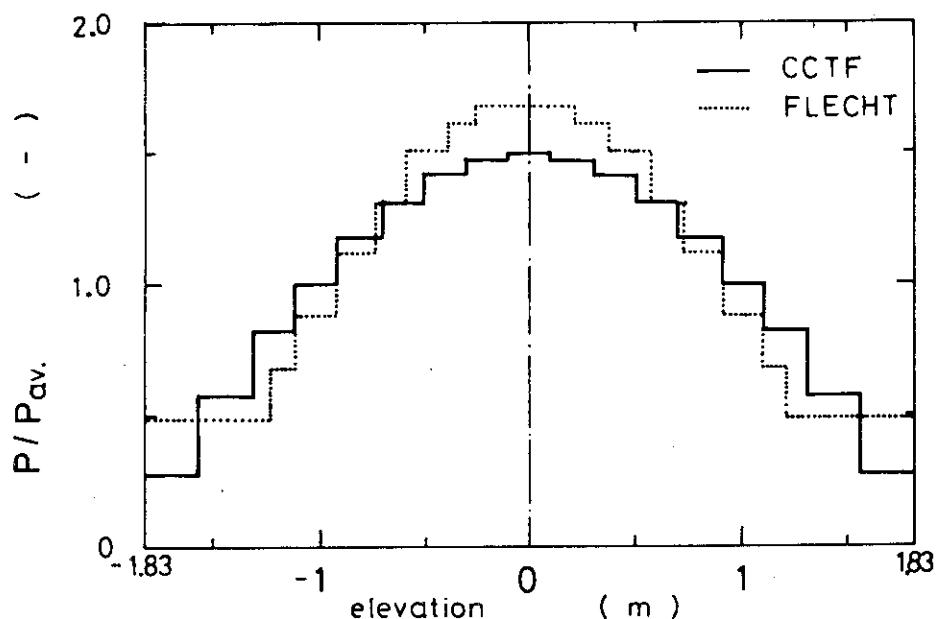


Fig. 4.3.1 Axial power profile

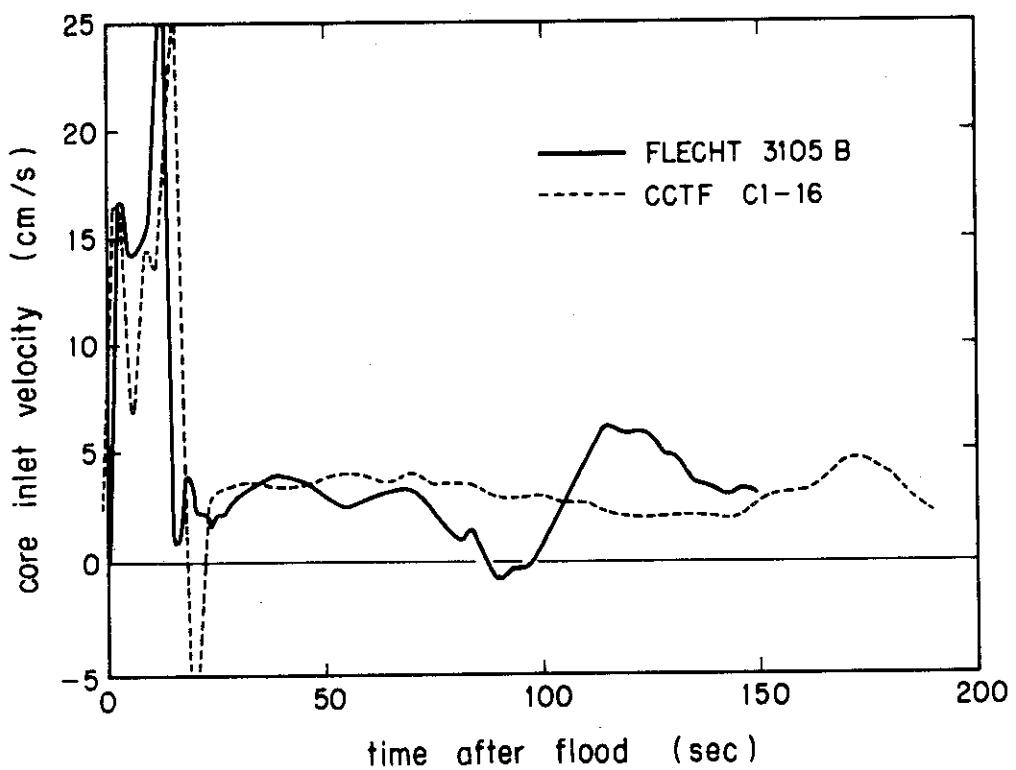


Fig. 4.3.2 Core inlet velocity

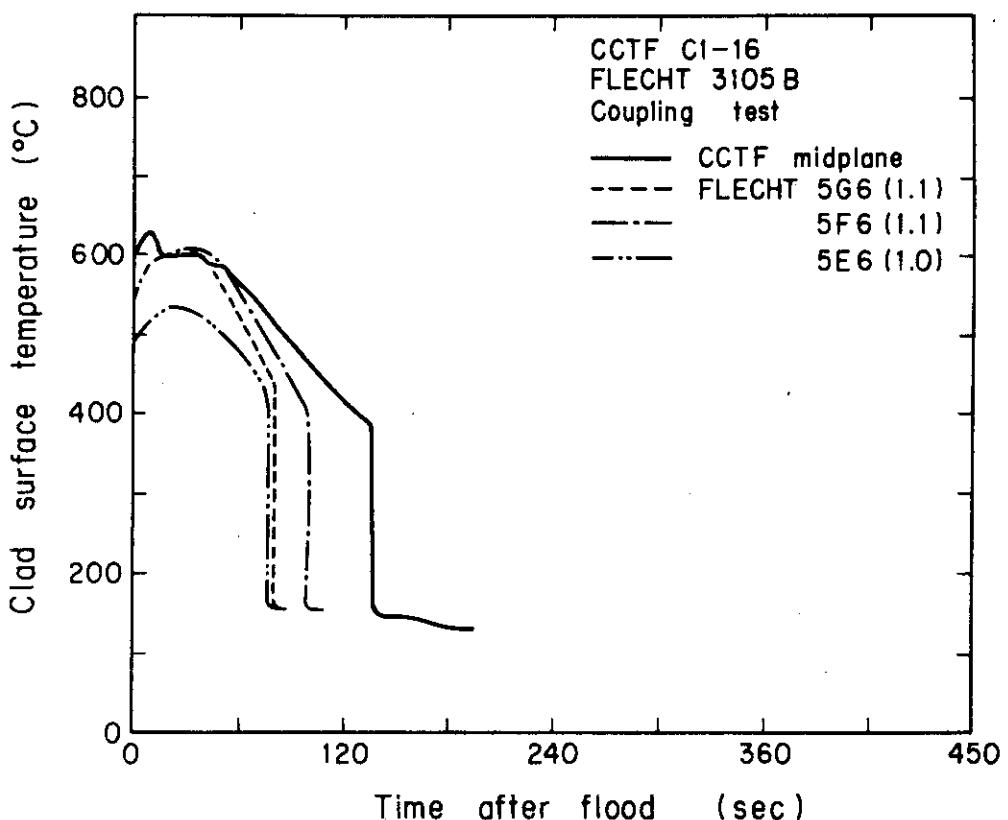


Fig. 4.3.3 Clad surface temperature

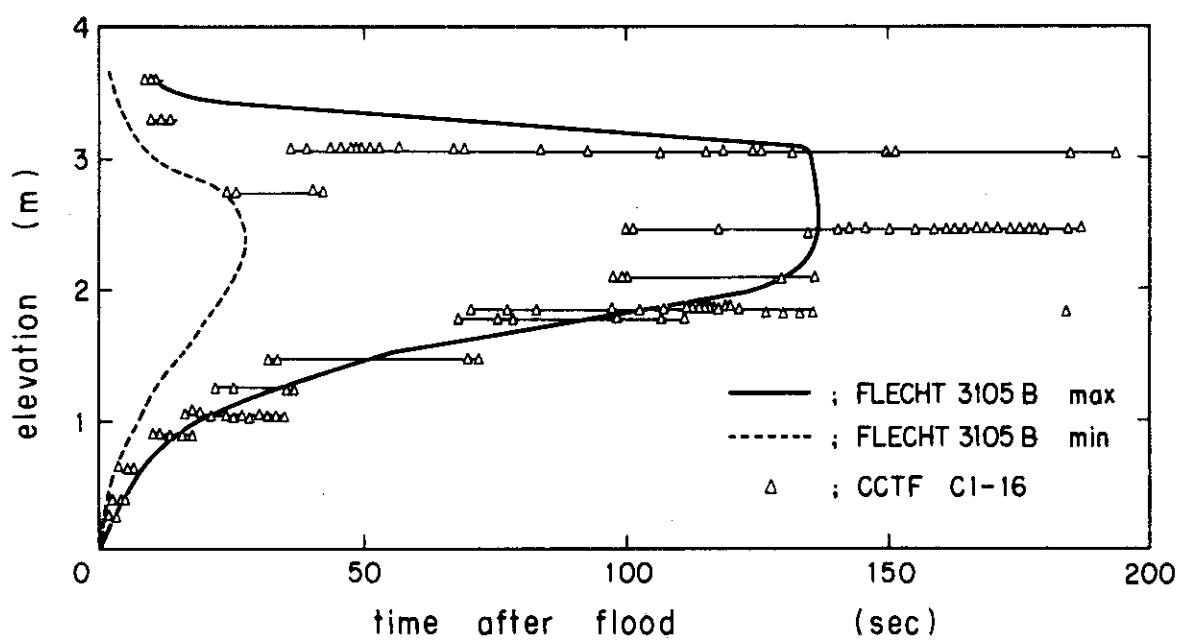


Fig. 4.3.4 Comparison of quench envelope between FLECHT 3105B and CCTF C1-16

#### 4.4 特殊効果試験

##### 1. ループシール部蓄水試験

Fig. 4.4.1 に示すループシール部（蒸気発生器とポンプ模擬部との間の U 字型の配管部分）に、初期に 1.5 m の高さまで飽和水を満し、その他は、基準試験と同一条件にし、再冠水試験を行った。本試験の目的は、再冠水過程以前に注水された蓄圧注水系の水が、何らかの原因により逆流してポンプを通りループシール部に蓄水した場合、その水が、再冠水過程にどのような影響を与えるか調べることにある。1.5 m の高さとした理由は、ループシールの高さが 2.88 m であり、満水とした場合と同じ差圧が働くかぎりループシールは破れないで、十分なる高さであると考えられるからである。

最高出力発熱棒の温度履歴と出力変化とを Fig. 4.4.2 に示す。図からわかるように、最高温度が設定温度（ここでは 900 °C）を越え、出力が遮断された。

ループシール部付近の水の動きを調べると Fig. 4.4.3 のように示される。記号  $\triangle P_1 \sim \triangle P_4$  は Fig. 4.4.1 に示されている。再冠水開始とともに、先ず、 $\triangle P_1$  が変化し始め、ループシール内の水が、蒸気発生器側からの圧力によりポンプ側に移動し始め、蒸気発生器側の液位が低下しポンプ側ループシールの上半分の差圧  $\triangle P_3$  が増加することが観察される。

しかし、健全ループの蒸気発生器側のループシール水の液位が下端に達し、ループシールが破れる前に炉心の最高被覆管温度が設定値に達して電源が遮断された。

破断ループにおいては、Fig. 4.4.3 の時刻 A において  $\triangle P_2$  の低下、 $\triangle P_4$ （蒸気発生器内圧力損失）の増加が生じ、破断ループのループシールは破れ、蒸気が流れ始めたことを示している。

ループシール部の差圧  $\triangle P_{LS}$  は、ダウンカマ - 炉心間の差圧  $\triangle P_D - \triangle P_C$  と等しいと考えられる。Fig. 4.4.4 にダウンカマ部と炉心部との差圧を示す。この差圧がループシール部最大差圧  $\triangle P_{LS\ max}$  に達する前に炉心の最高被覆管温度が設定値に達したことがわかる。

よって、設定温度を 950 °C 程度にすれば、全てのループシールは破れ、各ループを蒸気が円滑に流れようになり、炉心の冷却は行われるようになるものと考えられる。

なお、電源遮断後、炉心内での蒸気発生量の変化の為上部プレナム圧力の振動が生じ、ループシール水の U 字管振動が誘起され、ループシールは破れた。

##### 2. リフィル模擬試験

Table 4.4.1 に示すように 2 回のリフィル模擬試験を行った。

試験方法として、次の二つの方式がリフィル試験に用いられている。すなわち

- 1) 下部プレナム注水 + コールドレグ注水
- 2) 下部プレナムフラッシング + コールドレグ注水

第 1 の方式は、先ず下部プレナムに飽和水を下部プレナム注水ノズル直上（0.9 m 高さ）まで満し、その後、注水開始信号により下部プレナムに注水を始め、液位が炉心に達し（予定水位 0.5 m）炉心で蒸気発生が生じた後、コールドレグ注水に切換えている。下部プレナム注水時間を設定して、制御を行っている。一般的の試験は、この方式で行われている。

第 2 の方式は、先ず、系の圧力を加圧し、下部プレナムに飽和水を設定高さまで満し、系を急

激に減圧し、下部プレナムの水のフラッシングを生じさせ、同時にコールドレグ注水を開始する。本方式は、ブローダウン終了からリフィルまでを短時間に生じさせ、下部プレナムで蒸気を発生させ、再冠水時にコールドレグにサブクール水を注水した時に生ずると考えられる系内蒸気の急速凝縮による減圧を抑えることを目的としている。この方式をリフィル模擬試験と呼ぶことにする。

C1-4, C1-15について、それぞれの試験と同じ条件で行われた第1の方式の試験（すなわちC1-2, C1-5）の最高出力部の被覆管温度履歴をFig. 4.4.5, Fig. 4.4.6に示す。リフィル模擬試験の方が多少温度が高いことがわかる。

Fig. 4.4.7にC1-4, C1-2の炉心入口水温の比較を示す。リフィル模擬試験の方が、水温が高く、ほぼ飽和温度を示していることがわかる。Fig. 4.4.8にダウンカマ部水頭、炉心部水頭の時間変化を示す。ダウンカマと炉心の水頭差はリフィル模擬試験の方がわずかに大であり、リフィルの方が炉心への水の流入量は大と考えられるが、入口水温が高いため、蒸気発生量が多く、炉心内での水の存在割合が低いものと思われ、このことが、リフィル時の炉心の熱伝達を低下させている。水の少ないことは、上部プレナムへの蓄水率の低さ（Fig. 4.4.9）からも推定される。

Table 4.4.1 Test conditions of Refill simulation tests

Items	Units	RUN NO.			
		C1-4		C1-15	
System pressure	( kg/cm <sup>2</sup> a )	<	6	→	2 >
Average linear power	( kw/m )	<		1.4	>
Radial power ratio	( - )		< 1.17 : 1.10 : 0.90 >		
Initial peak temp.	( °C )			600	
Downcomer wall temp.	( °C )		198		198
Lower plenum water height	( m )		0.9		0.9
Total ACC coolant volume	( m <sup>3</sup> )			1.6	
ACC flow rate	( m <sup>3</sup> /h )		240		240
ACC injection period	( sec )		14		14 + <u>10*</u>
ACC coolant temp.	( °C )		35		35
N <sub>2</sub> injection			w/o		<u>4sec*</u>
LPCI flow rate	( m <sup>3</sup> /h )	<		30	>
LPCI coolant temp.	( °C )	<		35	>

N<sub>2</sub> gas injection was intended to continue 10 sec, however it continued only about 4 sec.

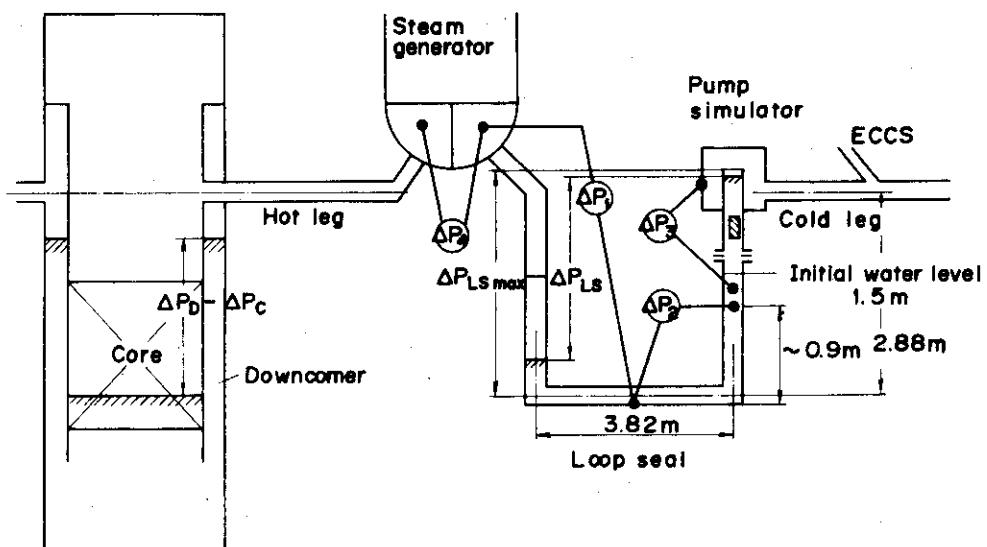


Fig. 4.4.1 Schematic diagram of primary loop

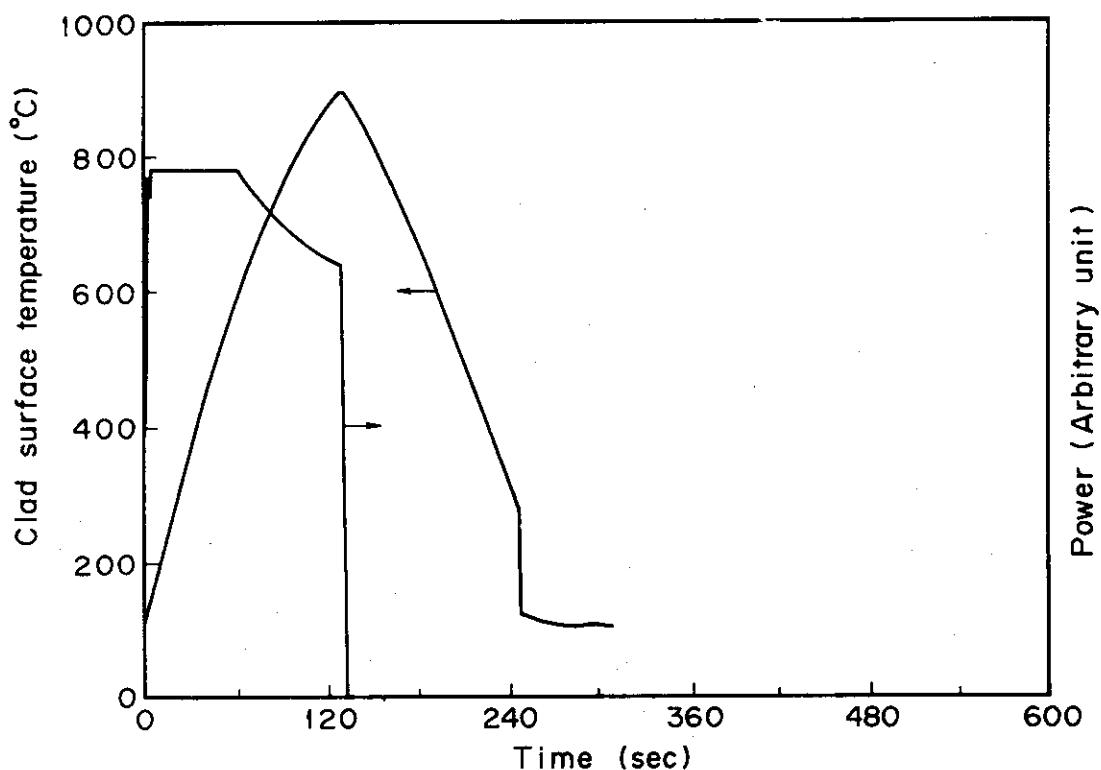


Fig. 4.4.2 Results of loop seal water filling test

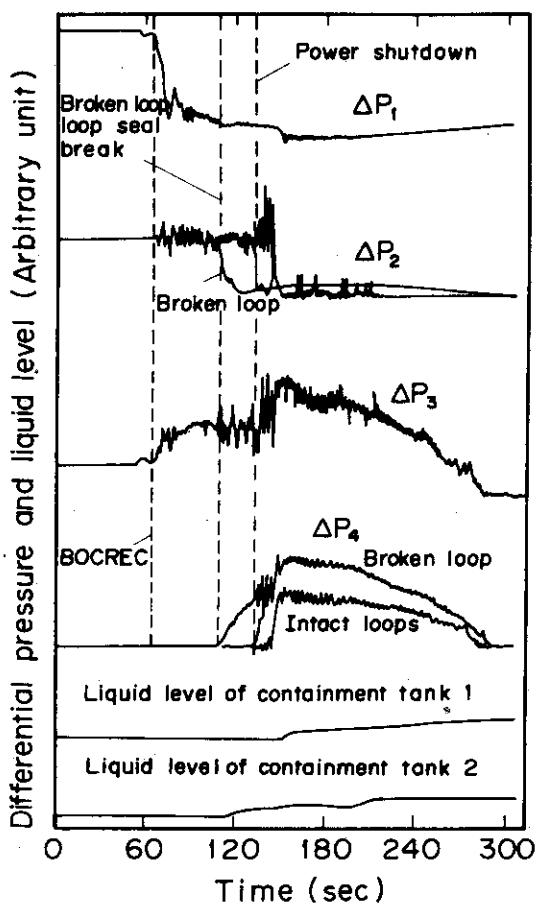


Fig. 4.4.3 Differential pressure and liquid level transient in loop seal water filling test

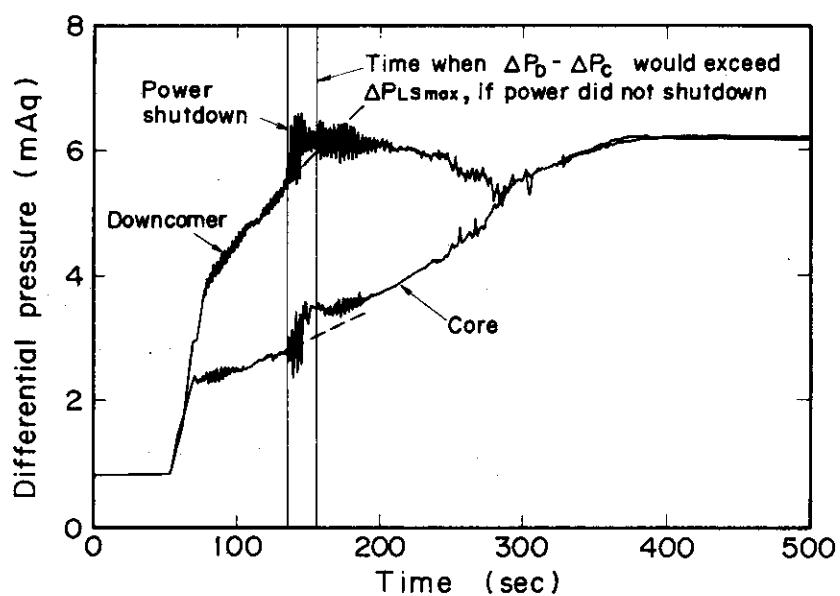


Fig. 4.4.4 Collapsed level of core and downcomer

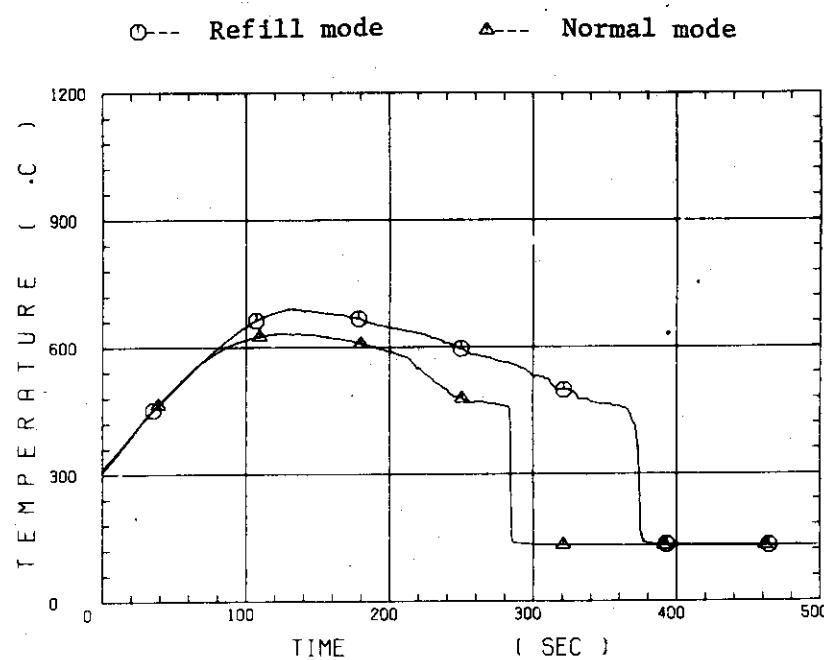


Fig. 4.4.5 Clad surface temperature history

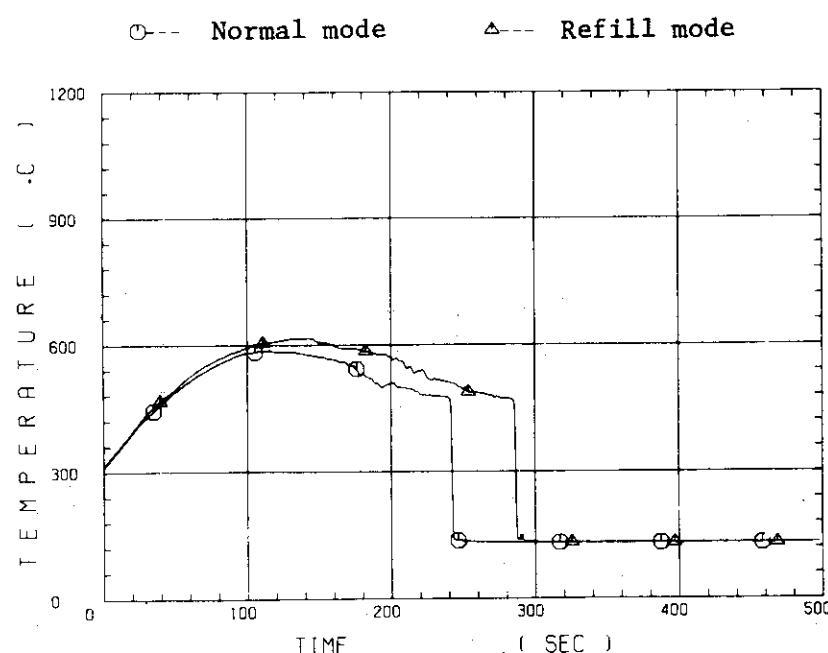


Fig. 4.4.6 Clad surface temperature history

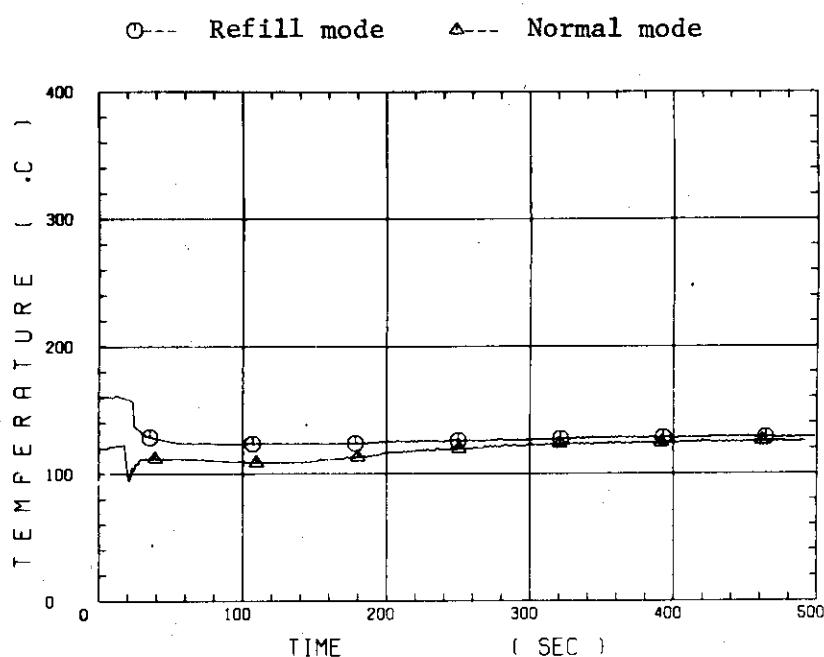


Fig. 4.4.7 Fluid temperature at core inlet

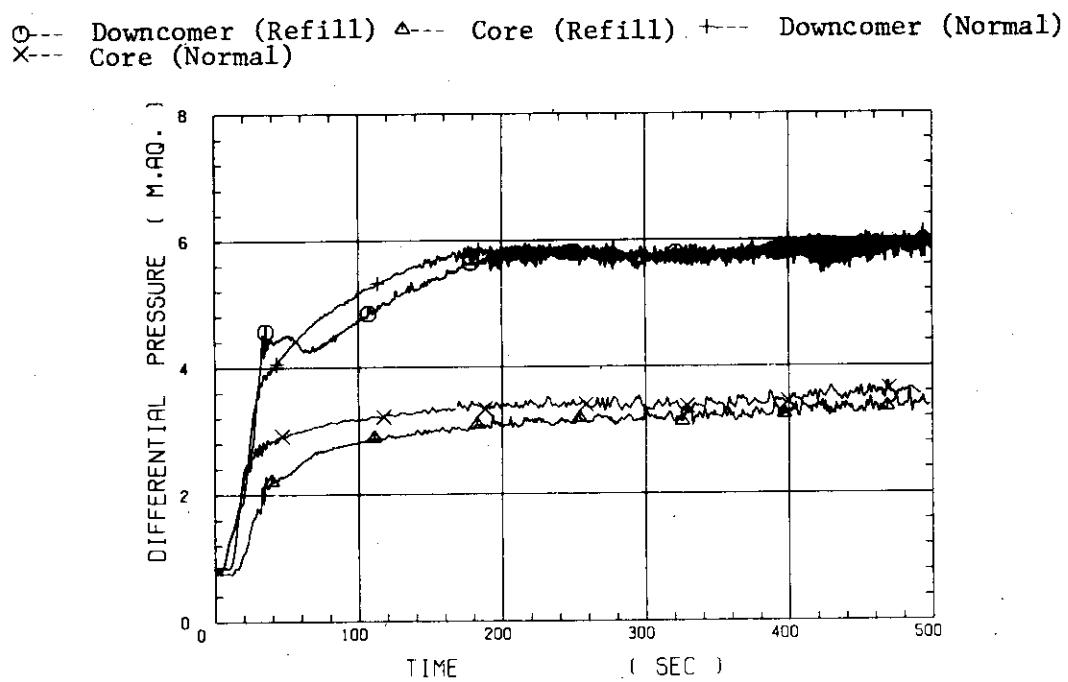


Fig. 4.4.8 Collapsed water level in downcomer and core

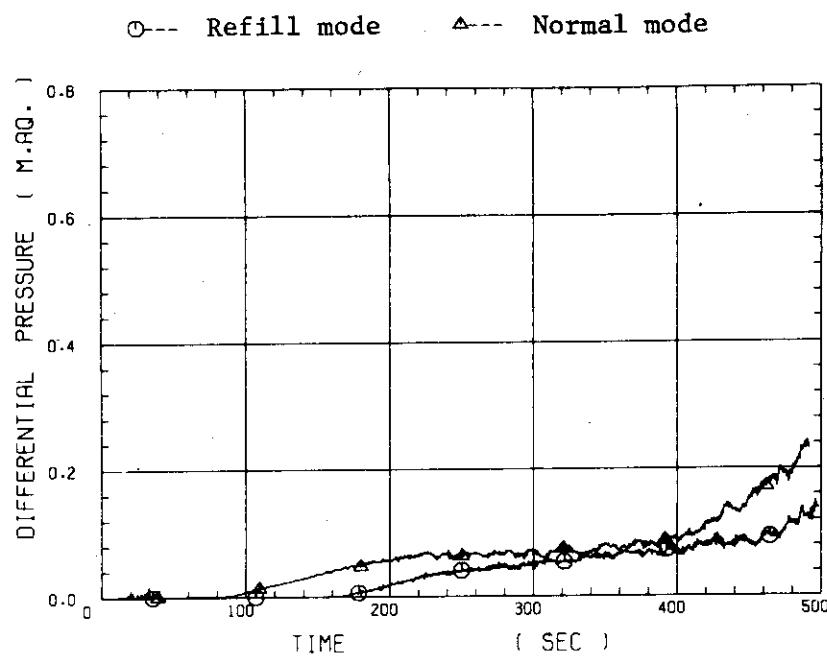


Fig. 4.4.9 Water level in upper plenum

#### 4.5 まとめと将来への課題

##### 1. まとめ

安全評価に用いられているモデル（EMモデル）と、円筒炉心試験において観測された現象との比較をTable 4.5.1に示す。

炉心ダウンカマ部の熱水力挙動は一次元的であり、EMモデルの仮定と同様である。炉心については、クエンチフロントの進行はほぼ一次元的であるが、各発熱体の被覆管表面温度の応答は、ほぼ発熱体の出力密度によっていることが確かめられ、EMモデルで用いられている手法に問題のないことがわかった。ダウンカマ部の有効水頭については、ダウンカマ内ECCバイパスが生じ、蓄水速度が低下し、飽和値に達するのに時間がかかった。又、飽和値も破断コールドレグの高さから推定される値より低くなることが観測された。ダウンカマ壁からの放熱量の計算によると、放熱量は少なく、十分なサブクール水が蓄圧注水系から注水されれば、ほぼダウンカマ水が満水されることがわかった。ほとんどの試験においては、注水流量は、かなり保守的に低く設定され、そのため、初期に十分なる水がダウンカマ部に蓄水しなかったことが、ダウンカマ部の有効水頭を低くしたものと考えられる。この考えは、今後の試験で確かめる予定である。

炉心—ダウンカマ間に、有意なマノメータ振動は見い出されなかった。

上部プレナム部では、蓄水が観測された。蓄水率 $\dot{m}_U$ は、炉心出口全質量流量( $\dot{m}_L + \dot{m}_U$ )の5～15%であり、上部プレナム圧力損失 $\Delta P_U$ が炉心—ダウンカマ差圧 $\Delta P_D - \Delta P_C$ の5～15%程度であり、第1章のEq.(7)から考えれば、約2.5～7.5%冠水速度をEMモデルより増加させることができた。

ループ部においては、各健全ループは、ほぼ同等の流動特性を示し、ループ内の並列振動は見い出されなかった。蒸気発生器に入った水は中で蒸発し、蒸気発生器下流では、ほとんど水滴は存在しないことがわかった。特に健全ループでは、蓄圧注水系の作動している極く初期の間を除いて全く水滴は観測されなかった。各ループとも、蒸気は過熱蒸気となつたが、蒸気発生器の二次側水温よりも低い温度であり、蒸気密度は、EMモデルより大であり、冠水速度をEMモデルより増加させることができた。

又、ECCポートでの凝縮による流れの振動は実用上無視できることがわかり、EMモデルが適用できることがわかった。

破断コールドレグノズルにおいては、大きな圧力損失が見い出された。この圧力損失は、破断ループの流量を健全ループのものより増加させる効果を有しているが、Eq.(7)よりわかるようにこの圧力損失の存在により、冠水速度は、EMモデルより増加することがわかった。

以上述べたように、各部分において、EMモデルより速い冠水速度を与える現象が生じていることがわかった。しかし、蓄圧注水系の流量を保守的に設定しすぎたためダウンカマの水位は、安全評価解析で計算されているように短時間に溢水位に達しないで、ダウンカマ水位は徐々に上昇した。故にダウンカマ水頭は十分でなく、ダウンカマと炉心との水頭差が小となり、冠水速度を低下させる作用をした。

バラメータ効果試験においても、上述した現象と同様の現象が観測され、これらの現象が一般性のあるものであることが確認された。特に注水流量の多少がダウンカマ水頭の高低に大きく関

係することが見出され、ダウンカマ挙動について上述したことの傍証が得られた。

結合関係においては、CCTFとFLECHT-SET、PKLの結果とは、類似性があり、CCTFのデータに一般性があることが認められた。

特殊効果試験のうち、ループシール試験は、保護装置が働き電源が切れ、中断したが、データの分析により電源遮断のための温度上限値を950°C程度に高くすれば、炉心は十分冷却されるものと予想された。リフィル模擬試験においては、炉心入口水温がほぼ飽和温度となり、被覆管最高温度を多少高くすることがわかった。

## 2. 将来への課題

安全評価基準の安全余裕度の定量化のためには、今後次のような試験を行う必要がある。

- (1) 注水流量を安全評価解析において計算される流量まで高めた試験
- (2) 炉心の再冠水時初期温度分布又は出力分布に三次元的な歪みがある場合の、炉心熱水力挙動の一次元性を確認するための試験
- (3) 電源遮断用炉心最高温度設定値を高めた炉心冷却の確認のためのループシール蓄水試験

これらの試験は、CCTF第1次、第2次炉心で実施される予定である。

現在日本のPWRで採用されているコールドレグ注水型ECCS以外の方式の試験も、より高性能なECCS方式を開発し、より安全でかつ経済的なPWRの設計を行うために必要である。

(CCTF第2次炉心で試験が行われる。)

現在の安全評価解析においては、再冠水開始時の炉心燃料被覆管最高温度は、約870°Cと計算されている。しかし、約890°Cの燃料のバルーニングが生じ、計算上の最高温度は、このバルーニングの生じた燃料体の上方で生ずることになり、CCTFで870°Cで試験を行い、890°C以下の最高温度が現われない限りCCTFの試験では、直接的な「安全余裕度の定量化の実証」は出来ない。バルーニングの生じた燃料体の冷却の能力を実証するためには、広範囲な変形量、形状に対して試験を行わねばならず、事実上実証は困難である。むしろ、再冠水以前の再浸水期間でのECCSの挙動を詳しく調べ、現在非常に保守的な仮定により計算される再冠水開始時の被覆管初期最高温度（約870°C）を、より現実的に引下げる為に役立つデータを蓄積することが、「安全余裕度の定量化」の近道であると思われる。

幸い、三国研究協力により米国、西独の協力も得られる状況であるので、特に米国での再浸水研究の成果を利用し、その延長上にどのような試験が必要かを考えてCCTFによる再浸水の試験を行い、再浸水期間が短いことを実証することは、現実的な方法であると考えられる。

Table 4.5.1 Summary of the system behaviors

項目	EM モデル	本試験の結果	EMモデルによる冠水速度に与える影響
炉心熱水力	一次元的 最高出力部 別途温度計算	一次元的 温度応答に 半径方向出力依存性あり	
ダウンカマ熱水力	一次元的	一次元的 有効水頭の減少 ダウンカマ内ECCバイパス 有意なマノメータ振動なし	減少* 減少*
上部プレナム	蓄水無視 (保守的仮定)	蓄水あり 上部プレナム圧損あり	増加
ループ部	健全ループ 多チャンネル効果なし エントレインメントの 蒸気発生器内完全蒸発 出口蒸気温度 = 二次側水温  ループの並列振動なし  ECCポートでの凝縮によ る振動なし	健全ループ 多チャンネル効果なし エントレインメントの 蒸気発生器内完全蒸発 出口蒸気温度 > 飽和温度 出口蒸気温度 < 二次側水温  ループの並列振動なし  ECCポートでの凝縮によ る振動なし	増加
破断コールドレグ ノズルでの圧力損失	考慮せず (保守的仮定)	あり	増加

\* 本試験においては、ECC 注水流量がかなり保守的に設定されたためダウンカマ蓄水量が少なかったものと思われる。今後、流量を安全評価解析結果に近い値にして、流量大の時のダウンカマ蓄水量を調べる予定である。

## 5. 結 論

現在までに機能試験を含め 21 回（前年度分 2 回も含む）の試験を行ったが、結論を出すためには、今後の試験結果を待たねばならない。以下述べることは、中間段階としての成果の概要である。

- (1) 安全評価基準に基づくモデル（EM モデル）と試験結果との比較により、ダウンカマ部を除き全体としては、現在の EM モデルは現象を定性的に正しく把えており、かつ各部分に、保守性があることが見出された。
- (2) ダウンカマ蓄水位については、水位の上昇速度が低く、飽和又は溢水位に達するのに時間がかかったが、これは ECC 水の注水流量の設定値が保守的で低すぎるためと考えられ、この点の注水流量を変えた試験により確認することとした。
- (3) ループシール蓄水試験は、炉心保護のための電源遮断系の最高温度設定値が低かったため、炉心の冷却が十分に行われる前に試験が中断した。今後、設定値を高くして、再試験を行う。
- (4) 今後行うべき試験についてまとめた。この中で、再浸水（リフィル）挙動の試験が提案された。

## 謝 辞

本試験解析のまとめについて御指導戴いた安全性試験研究センター長能澤正雄センター長と安全工学部桂木学部長、石川迪夫次長に感謝致します。

解析用のデータの収集は、装置の設計、製作、運転、保守に多くの方々の深い経験にもとづく細心の注意を傾けた作業があつてはじめて達成されたものである。これらの作業をされた安全試験技術室関口一雄室長、深谷好夫、鈴木紀男、大山 勉、伊藤秀雄、松本 順、錦沢友俊、園部久夫氏、安全工学第 2 研究室井口 正、数土幸夫、杉本 純、若林隆雄、新妻 泰氏、石川島播磨重工株式会社の関係者の方々に感謝致します。

又、本試験研究は、日、米、独三国による大型再冠水研究協定の一環として行われたものであり、そのプロジェクトのメンバーである米国原子力規制委員会 L. S. Tong 博士、西独ハノーバー工科大学 F. Mayinger 教授はじめ多くの方々に対して有益な御意見、御検討いただいたことに感謝致します。又、本研究協定の下に日本原子力研究所に派遣された C. K. Lewe, H. G. Herdtle, R. K. Fujita 氏にも、有益なる御示唆いただいたことに感謝致します。

本研究は、電源開発促進対策特別会計法に基き、科学技術庁から日本原子力研究所への委託研究、昭和 54 年度大型再冠水効果実証研究として行われたものである。

## 5. 結 論

現在までに機能試験を含め 21 回（前年度分 2 回も含む）の試験を行ったが、結論を出すためには、今後の試験結果を待たねばならない。以下述べることは、中間段階としての成果の概要である。

- (1) 安全評価基準に基づくモデル（EM モデル）と試験結果との比較により、ダウンカマ部を除き全体としては、現在の EM モデルは現象を定性的に正しく把えており、かつ各部分に、保守性があることが見出された。
- (2) ダウンカマ蓄水位については、水位の上昇速度が低く、飽和又は溢水位に達するのに時間がかかったが、これは ECC 水の注水流量の設定値が保守的で低すぎるためと考えられ、この点の注水流量を変えた試験により確認することとした。
- (3) ループシール蓄水試験は、炉心保護のための電源遮断系の最高温度設定値が低かったため、炉心の冷却が十分に行われる前に試験が中断した。今後、設定値を高くして、再試験を行う。
- (4) 今後行うべき試験についてまとめた。この中で、再浸水（リフィル）挙動の試験が提案された。

## 謝 辞

本試験解析のまとめについて御指導戴いた安全性試験研究センター長能澤正雄センター長と安全工学部桂木学部長、石川迪夫次長に感謝致します。

解析用のデータの収集は、装置の設計、製作、運転、保守に多くの方々の深い経験にもとづく細心の注意を傾けた作業があつてはじめて達成されたものである。これらの作業をされた安全試験技術室関口一雄室長、深谷好夫、鈴木紀男、大山 勉、伊藤秀雄、松本 順、錦沢友俊、園部久夫氏、安全工学第 2 研究室井口 正、数土幸夫、杉本 純、若林隆雄、新妻 泰氏、石川島播磨重工株式会社の関係者の方々に感謝致します。

又、本試験研究は、日、米、独三国による大型再冠水研究協定の一環として行われたものであり、そのプロジェクトのメンバーである米国原子力規制委員会 L. S. Tong 博士、西独ハノーバー工科大学 F. Mayinger 教授はじめ多くの方々に対して有益な御意見、御検討いただいたことに感謝致します。又、本研究協定の下に日本原子力研究所に派遣された C. K. Lewe, H. G. Herdtle, R. K. Fujita 氏にも、有益なる御示唆いただいたことに感謝致します。

本研究は、電源開発促進対策特別会計法に基き、科学技術庁から日本原子力研究所への委託研究、昭和 54 年度大型再冠水効果実証研究として行われたものである。

## 記 号 表

$G$	; volume flow rate ( $\text{m}^3/\text{hr}$ )
$G_{\text{ACC}}$	; ACC volume flow rate ( $\text{m}^3/\text{hr}$ )
$G_{\text{LPCI}}$	; LPCI volume flow rate ( $\text{m}^3/\text{hr}$ )
$\dot{m}_B$	; total mass flow rate through the broken loop ( $\text{kg/s}$ )
$\dot{m}_C$	; water accumulation rate in the core ( $\text{kg/s}$ )
$\dot{m}_D$	; water accumulation rate in the downcomer ( $\text{kg/s}$ )
$\dot{m}_{\text{DL}}$	; liquid mass flow rate from three intact cold legs to downcomer ( $\text{kg/s}$ )
$\dot{m}_{\text{DV}}$	; steam mass flow rate from three intact cold legs to downcomer ( $\text{kg/s}$ )
$\dot{m}_{\text{ECC}}$	; ECC water injection rate into a cold leg ( $\text{kg/s}$ )
$\dot{m}_{\text{ECC/LP}}$	; ECC water injection rate into lower plenum ( $\text{kg/s}$ )
$\dot{m}_I$	; total mass flow rate through a intact loop ( $\text{kg/s}$ )
$\dot{m}_L$	; total mass flow rate through four loops See Eq. (2) ( $\text{kg/s}$ )
$\dot{m}_O$	; water mass flow rate through broken cold leg nozzle ( $\text{kg/s}$ )
$\dot{m}_U$	; water accumulation rate in upper plenum ( $\text{kg/s}$ )
$K$	; loop K factor (-)
$Q$	; average linear power ( $\text{kW/m}$ )
$P$	; pressure (MPa)
$\Delta P_B$	; pressure drop across broken loop (mAq)
$\Delta P_{\text{BCN}}$	; pressure drop across broken cold leg nozzle (mAq)
$\Delta P_C$	; core head i.e. core collapsed level (mAq)
$\Delta P_D$	; downcomer head i.e. downcomer collapsed level (mAq)
$\Delta P_I$	; pressure drop across a intact loop (mAq)
$\Delta P_U$	; upper plenum water head (mAq)
$S_L$	; flow area of loop piping ( $\text{m}^2$ )
$T_{\text{init}}$	; initial clad surface temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{\text{sat}}$	; saturation temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )
$\rho_I$	; steam density in a intact loop ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
$\rho_B$	; steam density in a broken loop ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )