

JAERI-M

6 2 4 7

ROSA-II 試験装置の概要

1975年12月

斯波正誼・安達公道・松本 嶽・鈴木紀男・村田秀男
千葉辰夫・伊藤秀雄・大崎秀機・山本信夫

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

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

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

ROSA - II 試験装置の概要

日本原子力研究所東海研究所安全工学部

斯波正誼・安達公道・松本 嶽・鈴木紀男・村田秀男

千葉辰夫・伊藤秀雄・大崎秀機・山本信夫

(1975年11月5日受理)

このレポートは、日本原子力研究所で行なわれている加圧水型炉の冷却材喪失事故の模擬試験であるROSA - II 計画に使用している、ROSA - II 装置の詳細な説明である。説明はとくにROSA - II 計画の実験解析を行なうさいに必要と考えられる装置の諸元等の紹介に重点をおいている。計測器についても詳しく紹介する。

* 装置の諸元についてさらに詳細な情報は、主要機器の製作図や電気系統の結線図等をマイクロフィッシュ化して保存してあるので、必要に応じてとり出すことができる。

Description of the ROSA-II Test Facility*

Masayoshi SHIBA, Hiromichi ADACHI, Iwao MATSUMOTO,

Norio SUZUKI, Hideo MURATA, Tatsuo CHIBA,

Hideo ITO, Hideki OSAKI and Nobuo YAMAMOTO

Division of Reactor Safety, Tokai, JAERI

(Received November 5, 1975)

The present report gives a detailed description of the ROSA-II (Rig of Safety Assessment-II Test Facility) used for the ROSA-II Program which is a simulated Test Program of a loss-of-coolant accident (LOCA) in a pressurized water reactor (PWR) in JAERI. Emphasis of the description is placed on providing informations on the Facility to be needed for analysis of the ROSA-II data. Instrumentation is also described in detail.

* More detailed descriptions such as drawings of major components, diagrams of electric circuit, and etc., are available as microfilms.

目 次

| | |
|-------------------------------|----|
| 第1章 試験装置の概要 | 1 |
| 1.1 装置の構成 | 1 |
| 1.2 主要機器の配置 | 2 |
| 1.3 実験装置の設計方針 | 4 |
| 第2章 各主要機器の説明 | 6 |
| 2.1 模擬圧力容器 | 6 |
| 2.2 模擬燃料集合体および炉内構造物 | 6 |
| 2.3 加圧器、蒸気発生器、2次系サージタンク | 9 |
| 2.4 循環ポンプ | 10 |
| 2.5 非常炉心冷却系（ECCS） | 11 |
| 2.6 破断機構および放出配管 | 12 |
| 2.7 電源設備 | 13 |
| 2.8 模擬一次冷却系配管 | 16 |
| 第3章 装置の運転 | 17 |
| 3.1 装置のプロセス制御 | 17 |
| 3.2 連動、警報 | 19 |
| 第4章 計測について | 21 |
| 4.1 計測の種類と測定位置 | 21 |
| 4.2 データの集録装置 | 22 |
| 4.3 各計測機器 | 23 |
| 4.4 開発中の計測法 | 25 |
| あとがき | 26 |

Contents of Table

| | | |
|---------------|--|----|
| Table 1.1 | Design Data of the ROSA-II Facility and LFWR | 27 |
| Table 1.2 | Dimensions of Major Components | 28 |
| Table 1.3 | Volume Distribution | 29 |
| Table 1.4 | Thermal Design Data | 30 |
| Table 1.5 | Thermal Design Data (Cont'd) | 31 |
| Table 1.6 | Emergency Core Cooling System | 32 |
| Table 2 | Pressure Vessel Nozzles | 33 |
| Table 3 | Major Dimensions of Simulated Fuel Assemblies | 34 |
| Table 4 | In Vessel Instrumentation of the ROSA-II | 36 |
| Table 5 | Break Size Simulation Orifice | 39 |
| Table 6 | Discharge Pipe Exit Orifice | 39 |
| Table 7.1~7.3 | Instrumentation for ROSA-II Operation | 40 |
| Table 8 | Flow Resistance Simulation Orifice of Inlet and Exit of SG1 and SG2 | 43 |
| Table 9 | Orifice in SST Exit Piping | 43 |
| Table 10 | Orifice in Acc Injection Piping | 44 |
| Table 11 | ECCS Flow Control Orifice | 45 |
| Table 12 | Break Mode of ROSA-II Break Unit | 45 |
| Table 13 | Interlock Action of ROSA-II Facility | 46 |
| Table 14 | ECCS Measurement List 2-1, 2-2 | 47 |
| Table 15 | DATAAC-2000B Magnetic Tape Unit | 48 |
| Table 16 | Specification of Analog Data Recorder | 49 |
| Table 17 | Specification of Core Temperature Monitor | 53 |
| Table 18 | Instrumentation List of Simulated Fuel Rod Assemblies ... | 53 |

Contents of Figure

| | | |
|---------|--|----|
| Fig. 1 | ROSA-II Test Facility Flow Sheet | 54 |
| Fig. 2 | ROSA-II Test Facility Arrangement | 55 |
| Fig. 3 | Arrangement and Piping of ROSA-II Facility | 56 |
| Fig. 4 | Arrangement and Piping of ROSA-II Facility | 57 |
| Fig. 5 | Arrangement and Piping of ROSA-II Facility | 58 |
| Fig. 6 | Arrangement and Piping of ROSA-II Facility | 59 |
| Fig. 7 | Arrangement and Piping of ROSA-II Facility | 60 |
| Fig. 8 | Position of Measurement in the Primary Loop (Cold-Leg Break) | 61 |
| Fig. 9 | Position of Measurement in the Primary Loop (Hot-Leg break) .. | 62 |
| Fig. 10 | Position of measurement in the Primary Loop (P1-SG1 Break) .. | 63 |
| Fig. 11 | Comparison of Pressure Loss of Each Part of the Loop between the ROSA-II and the LPWR with the Same Core Flow Velocity | 64 |
| Fig. 12 | Pressure Vessel | 65 |
| Fig. 13 | Arrangement of Simulated Fuel Assembly | 66 |
| Fig. 14 | Arrangement of Simulated Fuel Rods in No.I Assembly | 67 |
| Fig. 15 | Arrangement of Simulated Fuel Rods in No.II Assembly | 68 |
| Fig. 16 | Arrangement of Simulated Fuel Rods in No.III Assembly | 69 |
| Fig. 17 | Arrangement of Simulated Fuel Rods in III-A Assembly | 70 |
| Fig. 18 | Arrangement of Simulated Fuel Rods in IV Assembly | 71 |
| Fig. 19 | Structure of Tie Rod | 72 |
| Fig. 20 | Structure of Instrumented High Heat Flux Rod, No.1 Assembly. | 73 |
| Fig. 21 | Structure of Instrumented High Heat Flux Rod in No.I Assembly | 74 |
| Fig. 22 | Structure of Instrumented High Heat Flux Rod in No.II Assembly | 75 |
| Fig. 23 | Distribution of Heating and Measuring Points, No.I Assembly .. | 76 |
| Fig. 24 | Distribution of Heating and Measuring Points, No.II Assembly. | 76 |

| | | |
|---------|--|----|
| Fig. 25 | Distribution of Heating and Measuring Points No.III, III-A, IV Assembly | 77 |
| Fig. 26 | Distribution of Heating and Measuring Points, No.V Assembly | 77 |
| Fig. 27 | Simulated Fuel Assembly No.III and Positions of Instrumentation | 78 |
| Fig. 28 | Simulated Fuel Assembly No.III-A and Positions of Instrumentation | 79 |
| Fig. 29 | Simulated Fuel Assembly No.IV and Positions of Instrumentation | 80 |
| Fig. 30 | Core Barrel | 81 |
| Fig. 31 | Preesurizer | 82 |
| Fig. 32 | Steam Generator 1 | 83 |
| Fig. 33 | Steam Generator 2 | 84 |
| Fig. 34 | Secondary Surge Tank | 85 |
| Fig. 35 | Circulation Pump 1 | 86 |
| Fig. 36 | Circulation Pump 2 | 87 |
| Fig. 37 | Flow RATE (M3/H, P1 Pump) | 88 |
| Fig. 38 | Flow RATE (M3/H, P2 Pump) | 88 |
| Fig. 39 | Rupture Disc Device | 89 |
| Fig. 40 | Discharge Piping | 90 |
| Fig. 41 | Rapid Condenser | 90 |
| Fig. 42 | Block Diageam of Power Control System for High Heat Flux Rods | 91 |
| Fig. 43 | Block Diageam of Power Control System for Low Heat Flux Rods | 91 |
| Fig. 44 | Primary Loop (Cold-Leg Break) | 92 |
| Fig. 45 | Primary Loop (Hot-Leg Break) | 93 |
| Fig. 46 | Primary Loop (P1-SG1 break) | 94 |
| Fig. 47 | Flow Sheet with Measurement Positions for Operation of the ROSA-II | 95 |
| Fig. 48 | Location of Sensors | 96 |
| Fig. 49 | Position of Measurement in the Discharge Pipings | 97 |

| | | | |
|---------|---|-------|-----|
| Fig. 50 | Instrumentation Network | ..... | 98 |
| Fig. 51 | Block Diagram of Core-Temperature Monitor | ..... | 99 |
| Fig. 52 | Flow Direction Meter for #3 and #4 Simulated Fuel Assemblies | 100 | |
| Fig. 53 | Probe Type Void Meter | ..... | 101 |
| Fig. 54 | Level Meter | ..... | 102 |
| Fig. 55 | Schematic of Electrostatic Void Meter | ..... | 103 |
| Fig. 56 | Schematic of Electromagnetic flow Meter and Void Meter for #3 and #4 Simulated Fuel Assembly | ..... | 104 |

Photographs

| | | | |
|-----------|---|-------|-----|
| Photo. 1 | Primary Loop Connection Nozzles | ..... | 105 |
| Photo. 2 | ROSA-II Facility | ..... | 105 |
| Photo. 3 | Circulation Pump of Unbroken Loop | ..... | 106 |
| Photo. 4 | Break Unit and Quick Shut Valve | ..... | 106 |
| Photo. 5 | Discharge Pipings | ..... | 107 |
| Photo. 6 | Turbine Meters and Pipings for ECCS | ..... | 107 |
| Photo. 7 | Upper Head of the Simulated Fuel Assembly | ..... | 108 |
| Photo. 8 | Simulated Fuel Assembly | ..... | 108 |
| Photo. 9 | Control Panel | ..... | 109 |
| Photo. 10 | Data Acquisition Unit | ..... | 109 |

1. 試験装置の概要

1.1 装置の構成

Fig. 1 に示したように、ROSA-II 試験装置は、わが国に現在建設されつつある大型の加圧水型の発電用原子炉の 1 次冷却系および非常炉心冷却系 (ECCS) を、模擬した構造になっている。装置の中心になるのは、円筒形をした模擬圧力容器で、これに容積の異なる 2 つの循環ループが附置されている。各々のループにはそれぞれ、蒸気発生器、循環ループ、流量計がついている。さらに一方のループには、配管破断を模擬するための、2 つのラプチャーディスク・アセンブリーと 1 ケの急速しゃ断弁からなる破断機構がくみこまれており、いま一方のループには加圧器が連結されている。このループの容積は $1 = 3$ の割合になるように決めてあり、のちにくわしくのべるように、4 つのループをもつ PWR が、いづれか 1 つのループに破断を生じたときの状態を模擬するようにしている。

模擬圧力容器には模擬炉心、コア・シラウド、および若干の充てん物をそう入する。模擬炉心はシーズヒーターを利用した模擬燃料棒や少數のタイ・ロッドからなり、タイプレートおよびスペーサーによって束ねてある。シーズヒーターは発熱する部分の長さは 1.5 m であるが、それよりもずっと長いリード部をもち、発熱部すなわち模擬炉心が適当な位置にくるようにしている。リード部は模擬圧力容器の上ぶたを貫通し、容器の外で電源と接続される。実炉では炉心上部にロッドクラスター制御機構の制御棒案内管等が存在するが、この装置には上記の模擬燃料棒のリード部が多数存在するため、とりつけることができなかった。コア・シラウドは上端にハブがついている円管で、炉心や上部プレナムとダウンカマーの間をしきるとともに炉心が左右にふれるのを防いでいる。

高温高圧水は 2 台の循環ポンプの働きによって、下部プレナムから炉心へ入り、上部プレナムを通って模擬圧力容器外へ出していく。そして炉心による加熱で上昇した温度は、蒸気発生器を通過する際、冷却され再びもとの温度にもどる。高温高圧水はさらに循環ポンプを通り、ダウンカマー上部から模擬圧力容器にもどる。模擬圧力容器とループを連絡するノズルは全部で 4 ケ、Photo. 1 に示したように、実炉と同じく同一のレベルに配置されている。

破断機構をくみこんでいないループ（健全ループ）には、加圧器が接続されている。加圧器の働きによって、模擬 1 次冷却系内の高温高圧水は未飽和の状態におかれることとなる。

模擬非常炉心冷却 (ECCS) は、実炉と同じく、高圧および低圧注入系 (HPCI および LPCI)、および蓄圧式注入系 (ACC) の 3 種類の系統からなる。これらのうち高圧および低圧注入系はそれぞれ 1 台のポンプからなるが、蓄圧式のみは健全ループおよび破断ループの各々について別々の蓄圧タンクをもうけてある。作動開始条件、注入流量、注入箇所等は、実炉の作動条件をふくむかなり広い範囲にわたって変化させることができるようになっている。また注入流量を計測するための流量計は流量の変化する範囲が広いので数箇の流量計をきりかえて使っている。流量計のきりかえおよび注入箇所の変更は弁によらず配管のくみかえによって行っている。

破断機構はラプチャーディスク・アセンブリーにより、2 ケ所で同時に破断を生じさせるとともに、2 ケ所の破断発生箇所の中間にもうけた、空気圧作動弁をとじ、いはゆる両端破断を模擬する。実験の目的によってはいづれか一方のラプチャーディスク・アセンブリーだけを作動させ空気作動弁を開放のままにし、いわゆるスプリット破断を模擬することは可能である。また、破断機構がくみこまれているのは、Fig. 1 によれば、蒸気発生器と循環ポンプの中間であるが、のちにくわしくふれるよう

に、配管のくみかえにより破断機構を蒸気発生器や循環ポンプと圧力容器の間にくみこむことができるようになっている。

破断機構によって配管破断が生じると、模擬1次冷却系内の高温高圧水はラプチャー・ディスクアセンブリーを通って流出し始める。これを実験実施上の安全と流出流量を測定するために、大口径の配管を通して屋外のプールに導く。配管の口径は、流出流量が大であることを考慮しても十分に大きく管内に背圧を生ずるような事はない。放出用の配管にはまた、急速凝縮器と云うものがついていて、流出している蒸気一水混合物と冷却水を混合し、蒸気を完全に凝縮して流量やエンタルピを計測できるようにしてある。冷却水は容積20 m³の大型のタンクにため、空気圧またはN₂ガスでおし出すよくなっている。

2ヶの蒸気発生器の2次側は、いずれも実験開始直前の状態は実炉と同じ温度、圧力条件におかれ。このため、2次系サージタンクを中心とした模擬2次系をもうけた。この系統はマークアップ系からサージタンクに水をくみあげる高揚程ポンプと、くみあげた水をサージタンクと蒸気発生器の間に循環する2次循環ポンプおよび発生した蒸気を大気に放出し、かつタンク内の圧力を高圧にたもつための制御弁からなる。

この他にROSA-II試験装置を構成する主要な機器としては、電源装置、マークアップ系がある。制御盤は装置の運転に関わる一切の操作、計測、制御を集中的に行なうためのものである。また電源装置は模擬炉心に電力を供給するためのもので、大小2系統の装置よりなり合計で2240KWの電力を供給する事ができる。マークアップ系は水道水を純水製造装置で純化し、1次冷却系、2次冷却系、ECCS等に供給する。装置の各所にとりつけた計測器の信号はデータ集録装置に集められ記録される。

1.2 主要機器の配置

Fig.2はROSA-II試験装置を上方から見た場合の主要機器の配置図である。図の上方が南、下方が北である。装置は深さ6mの半地下式ピットの中にくみたてられていて、主要な構成機器をIビームを使ってくみたてた丈夫な架構の上に適宜に配置されている。またマークアップ系、放出系用冷却水タンク等は屋外（ピットからみるとプールをはさんで西側）に設置されてある。プールは深さ8mの長方形をしており、放出用配管の末端はプールの東西の中央点で90°おれまがっている。

ピットの南側は制御室との境界をなしている。装置の運転中、運転要員は制御室にいて遠隔操作で運転を行なうので、その安全を確保するため、ピットの南側の境界および東側境界の南半分は厚いコンクリートの防護壁でおおっている。なおECCS関係の2つのポンプおよび2次系循環ポンプは、架構の北側の床面におかれ、電源装置はピットの東側に、ピットに隣接して設置してある。Photo.2はFig.2に示した段階のとりつけ附近から装置をふかんしたところで、装置の南東隅にある模擬圧力容器はここでは見えない。

Fig.3は架構を北側から見た所である。架構は3層からなっており、最上層にはFig.2にも示したように健全ループの蒸気発生器、2次系サージタンク、LPCIおよびHPCI用冷却水タンクがならんでいる。次の層には健全ループの循環ポンプがとりつけられ、さらに次の層には蓄圧式注入系の大小2つのタンク（健全ループおよび破断ループ用）がとりつけられている。ピット床面にはすでにのべたように3つのポンプがすえつけられている。図の中に記入してあるのは主要機器の略号（Fig.2参照の事）と、プロセス制御用の空気圧作動式遠隔操作弁の位置を示す略号である。また架構の左側に

書いてある数字は床面からの高さを示している。このことは引きつづいて説明するFig. 4～Fig. 7についても同じである。

Fig. 4 もまたFig. 3と同じく架構を北側から眺めたところであるが、Fig. 3と異なるのは、Fig. 3に示した各機のかけになった機器を示したことである。換言すればFig. 2で架構を南北に半分にわった断面図がFig. 4と云うことになる。図の左端つまり東側の最上層に加圧器がとりつけられている他、最上層には破断ループの蒸気発生器がとりつけられている。次の層には破断ループの循環ポンプならびに破断機構、放出用配管がとりつけられている。破断機構ならびに放出用配管は図示のもの以外にもう1系統、図示のものと平行してとりつけられている。図中BUIとかいてあるのがラプチャーディスクアセンブリーでRCNIとかいてあるのが急速凝縮器である。加圧器および蒸気発生器のななめ下にあるのが模擬圧力容器であり、とくべつビームに支持されている。図にはBWRの模擬実験のために、模擬圧力容器と架構の上部にとりつけた場合も記入してある。また床面には蓄圧式ECCSにたくわえられた冷却水のはん用のポンプ2台と、2次系循環ポンプ、ECCSの注入箇所ならびに流量計のきりかえ用の配管がとりつけられている。安全弁は加圧器ならびに模擬圧力容器にそれぞれ1ヶづつ接続されている。とりつけ位置は架構の最頂部である。

Fig. 5ないしFig. 7は、Fig. 2と同様装置を上方よりみた所であるが、Fig. 2より詳細に機器や配管の位置が示してある。まずFig. 5は架構最上層で加圧器、2ヶの蒸気発生器、2次系サージタンク、LPCIおよびHPCI用のタンクの配置が示されている。

Fig. 6が平面図のうちでは最も重要であるのでややくわしく説明する。まず架構の南東隅に模擬圧力容器がおかれ、これをとりまくように2ヶの蒸気発生器がおかれている。模擬圧力容器の4ヶのノズルのうち、北側のノズルから出発するのが、健全ループのいわゆるhotlegで熱応力軽減のため一たん大きく西側にう回したあと、蒸気発生器に達する。蒸気発生器出入口の配管はFig. 3の立面図で容易にわかるであろう。蒸気発生器と循環ポンプをすぎると健全ループは、まず東から南へ90°転じて、模擬圧力容器にもどる。一方破断ループを同様の要領で説明すると次のようになる。模擬圧力容器の南側にあるノズルから出発し、一たん架構の外に出、右に2度、左に1度90°まがって破断機構に達する。破断機構を出ると配管は90°まがって、蒸気発生器、循環ポンプを通って模擬圧力容器にもどる。photo. 3に健全ループの循環ポンプ、蒸気発生器附近の配管を示す。

以上のべたのは、いわゆるhot-leg配管破断を模擬する場合であるが、いわゆるleg配管破断を模擬する場合には、循環ポンプを蒸気発生器の北側にうつし、かつむきを180°まわしてとりつける。この場合、流れは西側のノズルから出て南に90°転じ、さらに右に2度90°転じ、蒸気発生器に達する。循環ポンプ以降は図示の配管のままであるが、流れのむきが逆になる。

破断機構の西側には放出用配管がとりつけられている。図中RD1とRD2とかいてあるのがラプチャーディスク・ユニットでありディスクを破断させるまえは、ディスクの東側にある模擬1次冷却系内は高圧にたもたれる。2つのラプチャーディスク・ユニットの中間に位置するのが急速しゃ断弁、ユニットの西側に位置するのが急速凝縮器である。急速凝縮器に冷却水をみちびく配管も図中に示してある。放出用配管はなるべくまがりを少くし、流動抵抗を小さくするようにしている。photo. 4および5にそれぞれ、西側よりみた破断機構と北側よりみた放出用配管ならびに冷却水用配管、空気圧式遠隔操作弁などを示す。

ECCS配管は多少複雑である。まず健全ループの方から説明する。Fig. 6の模擬圧力容器の北側お

および東側ノズル附近にそれぞれ、ACC 2からくる冷却水配管およびLPCIおよびHPCIからくる冷却水配管と模擬1次冷却系との接続点が示してある。冷却水配管はFig. 7に示したようにそこから模擬圧力容器の東側および南側をまわり、破断機構のちょうど下のところで流量計につながる。ECCSによる冷却水の注入箇所はFig. 1に※印で示したように、数箇所に変更が可能である。Fig. 6に示してあるのは以上のべた2本のECCS配管に平行している配管であって、ACC 2からくる冷却水を健全ループにみちびくかわりに直接ダウンカマーへ注入する場合である。

破断ループについてはFig. 6に示してあるように、模擬圧力容器の西側ノズル附近と、架構の南側の外縁にそってはしつている部分にそれぞれ、ACC 1およびLPCIからくる冷却水配管との接続点がある。

Fig. 7にはECCS用流量計とそのきりかえ用フランジを示す。東側の2列がACC 2用、西側の1列がACC 2用、中央の6列がLPCI用である。すでにのべたようにきりかえはフランジ部をきりはなしたりつないだりして行う。photo. 6はこの部分はこの部分を西よりみたところである。

1.3 実験装置の設計方針

1.3.1 基本方針

ROSA-II 装置を設計するにあたって採用した基本方針は、LOCA時のブローダウン過程及び再冠水の過程において、装置各部の圧力、温度、クオリティ等の時間変化が実炉におけるそれらとなるべく一致するように設計することである。そしてモデルにしたのは、原則として米国WH社のTROJAN炉（以下実炉と記す。）である。具体的には、

- ① 実炉の一次系主要機器の構成を模擬する。
- ② 定常運転時の圧力、温度を実炉の場合に合わせる。
- ③ 実炉の一次系4ループのうち1つに配管破断が生じたと想定し、健全な3ループを一つにまとめ、流量や蒸気発生器の容量を1:3にした2つのループを設ける。
- ④ 装置各部の容積比を実炉の場合に合わせる。
- ⑤ 主要機器の設置高さの関係をなるべく実炉に合わせる。
- ⑥ 炉心流速を実炉に合わせたと仮定した時に生じる各部の圧力損失を実炉に合わせる。
- ⑦ 放出開始前の各部のエンタルピ分布を実炉に合わせる。具体的には炉心温度差、蒸気発生器の出入口温度差を合わせる。
- ⑧ 炉心内模擬燃料棒の直径、ピッチ、配列及び熱出力を実炉に合わせる。
- ⑨ ECC水を実炉と同等以上の圧力、温度、流量条件で、圧力容器内、健全ループと破断ループの高温側と低温側それぞれに注入できる。
- ⑩ 両端（ギロチン）破断、部分（スプリット）破断、面積配分両端破断、及び片側破断の破断形式を模擬できる。また破断位置を、高温側配管、ポンプ吸込側配管、低温側配管のいずれかに設定できる。最大破断口径は、実炉の最大口径破断のブローダウン時間を下まわるようにする。等の方針がとられた。電源設備の容量や装置設置場所の制約条件、製作上の困難もあったが、できるだけROSA-II試験目的に沿うようにした。しかし、装置の大きさ、一次系の構造材熱容量との比、一次系の構造材表面積と冷却材容積との比、ダウンカマーの間隙と軸長、燃料棒の熱容量と熱伝導率、グリッドとスペーサー等の形状と寸法、破断直前の炉心流量、ポンプの減衰特性等を実炉条件に合わ

せるということは、基本方針にはとり入れることはできなかった。なお、試験装置には、温度、流量、圧力、ボイド率、流れ方向等を測定する計測器具を取りつけるようにした。

1.3.2 一次系ループ

前項でのべた基本方針にのっとり、装置の各部分の寸法あるいは作動条件をきめた結果をTable 2 に示す。

すでにのべたようにROSA II実験装置は、それぞれ循環ループ、蒸気発生器をそなえた2つの循環ループをもっているところに特徴がある。2つの循環ループの各部分の容積の比は、それぞれ3にとっている。これは4つの循環ループを有する百万キロワット級の実炉を模擬しようとしたためであり、実験装置に4つのループをつける事がスペースの関係で困難であり、配管破断をおこすのは、4つのうちの1つのループである点を考慮し、残りの3つのループを1つにまとめたものである。

容積の小さな方の循環ループすなわち破断をおこさせる方のループは、あらかじめ予備の配管をそろえておき、また循環ポンプの位置を変えることにより、破断機構および放出配管をうごかす事なく、cold leg hot leg および蒸気発生器入口とポンプ吸込口の間にそれぞれ破断機構をくみこむことができる。これに対して容積の大きな方のループすなわち健全ループはかかる配管のくみかえは一切しない。

Fig.9, Fig.10, Fig.11はそれぞれhot leg 破断、SGとpu2—mpの間の配管破断およびcold leg 破断を模擬する場合の配管図である。すでに前節において第6図によりhotleg 破断について説明したので、ここではFig.10 についてはとくにふれず、その他の図面についてもhot leg 破断の場合との相異についてだけ説明する。

Fig.9とFig.10 を比較すると異なる点が2つある。1つは循環ポンプの吸込口が蒸気発生器とではなく2破断機構とつながっていること、いま1つは模擬圧力容器の南側ノズルが破断機構とではなく蒸気発生器とつながっていることである。またFig.10とFig.11を比較すると異なる点はやはり2つである。1つは破断機構が循環ポンプを介すことなく直接模擬圧力容器西側のノズルとつながっていること、いま1つは蒸気発生器と破断機構が直接でなく循環ポンプを介してつながっていることである。その際循環ポンプのとりつけ方が逆向きになるのでFig.9, Fig.10 とFig.11 は破断発生前の流体の流动方向が逆になる。なお、これらの3つの場合を通じ模擬圧力容器、蒸気発生器、破断機構のとりつけ位置は変わらない。

破断ループの配管は一部をのぞいて2.5B である。したがって蒸気発生器、循環ポンプおよび急速破断ループの配管は、Cold Leg 破断の場合は、Hot Leg 配管が2B, SG1—P1間, P1—BUI およびcold Leg 配管が2.5B である。またBU 1の内部は2B である。Hot Leg 破断の場合は、PV—BU 1 およびBU 1 の内部が2B で、その他は2.5B である。ポンプ吸込み側破断の場合も、Hot Leg 配管およびBU 1 の内部が2B で、その他は2.5B である。

健全ループ配管は、Hot Leg配管はPV側の半分が5B で、その他は4B である。

以上、すべての配管はsch 160 である。

なお、破断ループの各機器の接続ノズルは、PV出口は4B (スリーブがあるため、実効内径は5.77mm ϕ), SG 1 出入口およびP 1 入口およびPV入口が2.5B, P 1 出口およびBU 1 出入口が2B である。また、健全ループ側は、PV出口 (スリーブがあるため、実効内径は6.80mm ϕ), 入口, SG 2 出入口, P 2 出口が4B で、P 2 入口のみ5B である。配管と各機器の接続ノズルの口径が合わない場合は、機器のすぐ近くで連続的に配管口径を拡大または縮小する。

2. 各主要機器の説明

2.1 模擬圧力容器

模擬圧力容器はFig. 13に示すように、円筒形をしており、直径が中央部が $280\text{mm}\phi$ （以下いずれも内のり）、両端で $380\text{mm}\phi$ 、軸長が 4855mm である。ステンレス製で（SUS-304），肉厚は中央部で 40mm 、両端で 55mm である。Table 2に示すように全部で35ヶのノズルがついている。ノズルの大部分は模擬1次冷却系との接続用が、各種計測器を挿入するためのものである。模擬1次冷却系用ノズルのうち一部は、この模擬圧力容器を加圧水型炉のための実験ばかりでなく、沸騰水型炉のための実験にも使用できるようにもうけたもので、加圧水型炉のための実験には全く使用しない。

容器の両端は、ボルトで容器と同じ材質の肉厚が約 200mm のたいらな円板をとりつけ、ふたをする。模擬燃料棒はのちほど詳しく説明するように、この上ふたに多数の穴をあけ、1本1本をこれに通してリード部末端の接続部を容器外にとり出したうえ、ふたの上で電源設備からくるブスバーと接続する。

模擬圧力容器は他の模擬1次冷却系を構成する機器と同様、最高 $165\text{kg/cm}^2\text{abs}$, 325°C の条件で使用する。さらに破断発生後は流体温度の急激な低下により大きな熱応力が、実験を行うたびに加わるおそれがある。このような点を考慮しさらにさびの発生により模擬燃料棒の表面がよごれることをできるだけされるため、容器はステンレス製とした。

模擬圧力容器の最も上の部分は内径が $380\text{mm}\phi$ であるが中央部は 280mm と細くなっている。内径に段差のつく肩の部分に上端にハブのついたコア・バールをとりつける。コア・バールの内側がダウンカマーになる。循環ループとの連絡用ノズルはcold leg用, hot leg用とも実炉と同じく同一のレベルに設けた。このうちhot leg接続ノズルからはダウンカマーを貫通する円管が延びており、コア・バールの壁に達している。バレルおよびスリーブにはこの部分に穴をあけるので、上部プレナムとhot legはつながっている。

2.2 模擬燃料集合体および炉内構造物

2.2.1 模擬燃料集合体本体

模擬燃料集合体はその名称を示すように、間接加熱型電気加熱棒を主要構成要素として、核燃料を用いることなく、実用炉に於ける燃料集合体の発熱を模擬するものである。模擬燃料集合体本体には、各種計測出端がついており、また主要な附帯設備として、2系統の電源設備とECCS炉心温度監視装置がある。各種計測出端、及び計測法の詳細は第4章を、また電源設備については、第2章の2, 7項を参照されたい。

模擬燃料集合体は現在* 第1次～IV次模擬燃料集合体まで同V次の改造VA次模擬燃料集合体を含めて5体が実験に供され、1体（同V次模擬燃料集合体）が製作中である。模擬燃料集合体の外観をphoto.8に、同全断面図をFig. 13に、また主要諸元をTable 3に示す。模擬燃料集合体は、模擬燃料棒、グリット・スペーサ鏡板、模擬燃料集合体支持体、および電力導入部端子箱等によって構成

*) 1975. 11. 10 現在

される。主要構成要素である模擬燃料棒には、発熱の有無および熱流束の高低によって、ダミーロッド・タイロットおよび高低熱流束模擬燃料棒の4種類があり、更にタイロッド及び発熱燃料棒には、計装の有無によって無計装および計装付タイロッド、無計装および計装付高低熱流束模擬燃料棒合計6種があり、結局7種類の模擬燃料棒があることになる。

模擬燃料棒の配列は14.3mmピッチの正方格子状であるが前述の各種模擬燃料棒の配置は、各集合体によってそれぞれ異なる。Fig.14~18参照。

第Ⅲ次、ⅢA次、およびⅣ次模擬燃料集合体は高熱流束燃料棒が炉心中央部に集っている。また第Ⅰ次、Ⅱ次およびⅤ次模擬燃料集合体は実用炉なみの熱流束（最高61.6kw/m）を有する。高熱流束模擬燃料棒を低熱流束模擬燃料棒の中に分散させた型となっている。計装タイロッドとしては、第Ⅰ次およびⅡ次模擬燃料集合体では流体温度測定用計装熱電計を装着したが、(Fig.19参照)、第Ⅲ次ⅢA次、およびⅣ次集合体では、流れ方向計がまたⅤ次集合体では、これら2者に加えて静電容量型相関ボイド計がそれぞれとりつけられている。

模擬燃料棒は、発熱体にニクロム-Vを絶縁材に窒化硼素BNを、被覆材にインコネル600を用いた外径10.7mm ϕ 、有効発熱長1500mmの間接加熱電気である。必要に応じ最高61.6kw/mの線出力密度を得ることができる。

模擬燃料棒の軸方向の発熱分布は、第Ⅰ次模擬燃料集合体と第Ⅱ次模擬燃料集合体における低熱流束模擬燃料棒を除いて、片側4ステップ単純コサイン分布近似による発熱分布を有する。模擬燃料棒の熱出力は、軸方向について発熱分布のある場合は最高59.6kwの熱出力を得ることができる。模擬燃料集合体の総合熱出力は2240kwであり、電流導入部の発熱割合は公称熱出力のたかだか1.5%以下である。

模擬燃料棒の構造および計装熱電対の装着法はFig.20~22に示すとおりであるが、軸方向発熱分布と計装熱電対装着点との関係はFig.23~26に示すとおりである。尚、計装熱電対の装着方法の推移およびその詳細は第4章の3、7項を参照されたい。

模擬燃料棒単体の定常状態における被覆管表面温度は350°C程度であるが、放出試験時においては最高1000°Cまで使用することができる。しかもECCS作動により被覆管表面温度は最高1000°Cから100°C近傍まで瞬時に冷却される場合に加えられるであろう大きな熱衝撃にも耐えることができる。なお、放出試験時において模擬燃料集合体に投入される電力は、電力自身を操作量としてあらかじめ定められた関数形に従って制御された電力が投入され、模擬燃料棒が高温になる場合の線出力密度は放出後の経過時間にもよるが、通常数kw/m以下である。

模擬燃料集合体の圧力損失は、実用炉流速換算値(4.65m/s)にて、圧力容器出入口で $\Delta P = 3.5 \text{ kg/cm}^2$ 、炉心出入口で $\Delta P = 2.0 \text{ kg/cm}^2$ を目標として設計してある。圧力損失は主として上下部両グリッドおよび下部整流板の設計によって所定の値に調節される。模擬燃料集合体の各種計装検出端はTable 4に示すとおりである。また各種計装検出端の相互関係はFig.14, 15及びFig.27~29に示すとおりである。詳細は第4章参照のこと。

模擬燃料棒の発熱体は、一方の端を被ふく管にアースしており、他の一方は末端から外部にとり出している。発熱長は前述のごとく1500mmであるが全長は4350mmもあって、発熱部分でない所には、発熱体のかわりに銅合金製の導電体が入っており、これを介して電導から発熱体へ電気がおこられる。発熱長に較べ、導電部の長さがきわめて長いのは、模擬炉心の位置を実炉との対応上、かな

り低い位置にもってく必要があったのと、導電体と電源設備との接続は絶縁を確保する必要上、模擬圧力容器の外で行なう必要があったためである。模擬燃料棒の末端は上ぶたを貫通する。

発熱体の一端は被ふく管や炉内構造物、模擬圧力容器を介してアースされる。いま一方の端は模擬圧力容器の上ぶたを貫通し、電源設備と接続される。その際高熱流束および低熱流束燃料棒の各々を3本づつのグループにわけ、各グループそれぞれスターに結線し、さらに各グループを並列に結線する。電源設備はのちに詳しく説明するのが、2系統の独立な設備からなりそれぞれ高熱流束および低熱流束燃料棒に電力を供給する。2つの電源設備とも変圧器の2次側は、負荷である模擬燃料集合体同様、中心点をアースされたスター結線になっている。さらに負荷例にサイリスターを利用した電流制御装置がついており、電力を事故発生時の発熱量の時間的変化を模擬して変化させられるようになっている。

模擬燃料棒は模擬圧力容器の上ぶたに溶接されているので、自重を支持することができる。しかし燃料棒相互の間隔を一定にたもち、横ぶれを防ぐためにいくつかの構造物が必要となる。このうち上部および下部タイププレート、スペーサーは燃料棒をたばねるためのもので実炉で使用されているものとほぼ同じ形状のものである。ただし実炉と異なり炉心断面は4角形でなく円であるのでこれらの構造物もそれに応じた形をしている。燃料棒の発熱長は前述の通り実炉の場合より短いが、スペーサー等のとりつけの間隔は実炉と同じである。

109本の模擬燃料棒は、上ぶたによって支持され、上部および下部タイププレート、スペーサーによって束ねてあるが、さらに全体をステンレス製のスリーブの中におさめている。このスリーブは上の部分がろうと状をしており上ぶたに固定してある。スリーブのろうと状の部分には穴があいており流体が自由に入出できるようになっている。タイププレート、スペーサーはタイロッドによって固定しており、スリーブの内側の表面上を滑動できるようになっている。下部タイププレートとスリーブは可ぎょう性のある銅線のあみ線で接続されておりアースの役割をはたしている。

スリーブの下の部分約3mは円筒形をしており、コア・バレルとよぶ円筒形の構造物の中に挿入される。バレルの内径とスリーブの外径は一致しておりスリーブが横にゆれることはない。コア・バレルは上端に固定用のハブのついた円筒で模擬圧力容器との間にダウンカマーを模擬したスペースをつくる。バレルの上端近くには上部プレナムとhot legを結ぶ配管があり、これがダウンカマーを貫通している。

模擬燃料棒の発熱体は、一方の端を被ふく管にアースしてあり、他の一方は末端から外部にとり出している。発熱長は前述のごとく1500mmであるが全長は4350mmもあって、発熱部分でない所には、発熱体のかわりに銅合金製の導電体が入っており、これを介して電源から発熱体へ電気がおくれる。発熱長に較べ、導電部の長さがきわめて長いのは、模擬炉心の位置を実炉との対応上、かなり低い位置にもってく必要があったのと、導電体と電源設備との接続は絶縁を確保する必要上、模擬圧力容器の外で行なう必要があったためである。模擬燃料棒の末端は上ぶたを貫通する。

発熱体の一端は被ふく管や炉内構造物、模擬圧力容器を介してアースされる。いま一方の端は模擬圧力容器の上ぶたを貫通し、電源設備と接続される。その際高熱流束および低熱流束燃料棒の各々を3本づつのグループにわけ、各グループそれぞれスターに結線し、さらに各グループを並列に結線する。電源設備はのちに詳しく説明するが、2系統の独立な設備からなり、それぞれ高熱流束および低熱流束燃料棒に電力を供給する。2つの電源設備とも変圧器の2次側は、負荷である模擬燃料集合体

同様、中心点をアースされたスター結線になっている。さらに負荷側にサイリスターを利用した電流制御装置がついており、電力を事故発生時の発熱量の時間的変化を模擬して変化させられるようになっている。

模擬燃料棒は模擬圧力容器の上ぶたに溶接されているので、自重を支持することができる。しかし燃料棒相互の間隔を一定にたもち、横ぶれを防ぐためにいくつかの構造物が必要となる。このうち上部および下部タイププレート、スペーサーは燃料棒をたばねるためのもので実炉で使用されているものとほぼ同じ形状のものである。ただし実炉と異なり炉心断面は4角形でなく円であるのでこれらの構造物もそれに応じた形をしている。燃料棒の発熱長は前述の通り実炉の場合より短いが、スペーサー等のとりつけの間隔は実炉と同じである。

109本の模擬燃料棒は、上ぶたによって支持され、上部および下部タイププレート、スペーサーによって束ねてあるが、さらに全体をステンレス製のスリーブの中におさめてある。このスリーブは上の部分がろうと状をしており上ぶたに固定してある。スリーブのろうと状の部分には穴があいており流体が自由に入出できるようになっている。タイププレート、スペーサーはタイロッドによって固定しており、スリーブの内側の表面上を摺動できるようになっている。下部タイププレートとスリーブは可撓性のある銅線のあみ線で接続されており、アースの役割をはたしている。

スリーブの下の部分約3mは円筒形をしており、コア・バレルとよぶ円筒形の構造物の中に挿入される。バレルの内径とスリーブの外径は一致しておりスリーブが横にゆれることはない。コア、バレルは上端に固定用のハブのついた円筒で模擬圧力容器との間にダウンカマーを模擬したスペースをつくる。バレルの上端近くには上部プレナムとhot legを結ぶ配管があり、これがダウンカマーを貫通している。

2.3 加圧器、蒸気発生器、2次系サージタンク

加圧器はFig.18に示すように、円筒形をしており、上端には半球形の鏡板、下端には8インチのノズルが付いている。加圧器の主要寸法は胴部直径が280mm ϕ （内のり）、内面軸長が2544mm、肉厚は円筒部が45mm、鏡板は25mmである。内容積0.14m³のステンレス製(SUS-304)容器には合計10ヶのノズルが付いている。加圧器のN2ノズル(1B)は模擬1次冷却系の健全ループ(cold leg部)と接続して、系内の加圧を行なう。この接続配管の間にオリフィスを挿入して種々の抵抗模擬をする。加圧に必要なヒータは下端のN5ノズルに20kWの内装シースヒータと、外周に巻き付けた約10kWの外装シースヒータを用いる。これらのヒータは放出後すみやかに加熱停止するように設定水位(下下限)で電源OFFとなる。この他に安全弁や圧力制御用の調節弁が接続している。また運転、計測用として圧力、温度(気部、液部)の測定および水位は差圧式のものと、ガラス管式の直視できるもの、更に最上部にあるN6ノズルを利用して沸騰液面計による3通りの測定ができる。

蒸気発生器はFig.19、20に示すように、堅型のU字管式熱交換器で、模擬1次冷却系の破断ループ、健全ループのそれぞれにある。Fig.19に示す蒸気発生器は破断ループ側のもので、主要寸法は胴部直径が350mm ϕ （内のり）、軸長が3609mm、肉厚は胴部が14mm、内部には外径/内径が19.0mm ϕ /14.3mm ϕ のUチューブが正三角形配列に51本並んで、この伝熱面積は15.1m²である。主な材質は1次系側ではチャンネル部鏡板が炭素鋼鍛鋼(SF45)、Uチューブがボイラ・熱

交換器用ステンレス鋼管 (SUS 27 TB), 2次系側の胴部, 鏡板はボイラ用鋼板 (SB 42) を用いている。

Fig. 20 に示す健全ループ側の蒸気発生器は構造上, 破断ループ側のものと同じである。各部の主要寸法は胴部直径が $500\text{mm}\phi$ (内のり), 軸長が 4486.7mm , 肉厚は胴部で 20mm , 内部には破断ループ側と同じ径のUチューブ 123本があり, 伝熱面積は約3倍の 47.3m^2 である。材質も同じものを使用している。

1次系冷却材はそれぞれの蒸気発生器の下部にあるN 1ノズルから2つに仕切られたチャンネルの入口側部に入る。冷却材はここから多数のUチューブに入り出口側チャンネル内に戻る間に2次系により冷却が行なわれ, N 2ノズルから出していく。2次系は後述の2次系サージタンクからポンプで必要な量の冷却水がN 3ノズルより案内板で底部に導びかれ, Uチューブ内の1次系冷却材から熱を奪い蒸気となって上部にあるN 4ノズルから出していく。2基の蒸気発生器から出る蒸気は1本の配管に集まり, 一部は2次系サージタンクに戻る。この他に水位検出器用としてそれにN 6-1, 2ノズルがある。

2次系サージタンクはFig. 21 に示すように, 堅型の円筒容器である。各部の主要寸法は胴部直径が $500\text{mm}\phi$ (内のり), 軸長が 2686mm (上・下端のノズルは除く), 肉厚は胴部が 20mm , 両端の鏡板が 23mm で容積は約 0.5m^3 である。内部には補給水の受皿用に2重管式のものが1段と, その下方に散布用受皿として底板に正三角形配列に $4\text{mm}\phi$ の穴が多数あいているものが5段に設けている。主な材質は胴部, 両端の半隔円鏡板がボイラ用鋼板 (SB 42), 受皿が一段構造用圧延鋼 (SS 41) である。

2次系サージタンク内に蓄えた水は均一の温度になるようポンプで循環する。下端のN 2ノズルから出た2次系冷却水はポンプと流量調節弁で流量制御し, それぞれの蒸気発生器の2次側に給水する。蒸気発生器から出る蒸気の大部分はバイパス弁から大気中に放出する。残りの蒸気はN 3ノズルから2次系サージタンク内に戻り受皿の周囲を上昇する。蒸気の大気放出に伴ない水位が減少するので, 外部から補給を必要とする。この補給水は常温であるため直接注入は水撃現象を生ずる恐れがあるので前述の受皿に注入し, ここから順次トレー式に落下給水する。この時にN 3ノズルからの戻りの蒸気が接触し補給水を予熱する。蒸気は更に上端のN 4ノズルから圧力制御弁を通り大気に放出する。この他に温度測定用にN 6ノズル, 水位検出用としてN 5-A, -Bノズルがある。また蒸気発生器と2次系サージタンクを結ぶ配管途中に安全弁, 計測用の圧力, 温度計取付ノズルがある。

2.4 循環ポンプ

循環ポンプはFig. 22, Fig. 24 に示すように, 堅型のノンシールポンプである。Fig. 21 に示す循環ポンプは破断ループ側のもので, 吸込側口径 65A , 吐出側口径は 50A で, 軸長 1160mm で吸込圧力が $160\text{kg/cm}^2\text{G}$, 吐出圧力が $161.8\text{kg/cm}^2\text{G}$, 全揚程が 28m (液比重 0.66), 流量が $28\text{m}^3/\text{H}$ で3相, 出力 7.5kW のモータで回転数は最高 3600RPM である。継液部の主な材質はステンレス鋼 (SUS 304) を使用している。

Fig. 23 には健全ループ側の循環ポンプ示しており, 構造上は全く同じものである。吸込側口径 125A , 吐出側口径 100A で, 軸長が 1455mm , 吸込圧力 $160\text{kg/cm}^2\text{G}$, 吐出圧力 $161\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$, 全揚程が 28m (液比重 0.66), 流量は $84\text{m}^3/\text{H}$ で3相, 出力 22kW のモータで最高回

転数は 3600RPM である。接液部は同様に主としてステンレス鋼 (SUS 304) を使用している。

循環ポンプはモータが下にある逆置型で、模擬 1 次系配管で固定し、振動、伸び等の変位はバネ架台で受ける。ポンプは単段の遠心ポンプでインペラ、ケーシング、ライナディスクでポンプ部を形成する。モータ冷却、ペアリング潤滑のサーキュレーションはロータ室前部の補助インペラで 1 次系冷却材の一部を用いて行なう。また下端のシャフトにモジュール 1.5 の歯車を付け、電磁型回転検出器と回転方向弁別をリレー接点で識別することで、定常運転時および放出過程で回転数と回転方向を知ることができる。実に循環ポンプは逆置型にし、アダプタ部を狭くしたことでドライ状態での運転ができる。実際に循環ポンプは逆置型にし、アダプタ部を狭くすることでドライ状態での運転が 15 秒（通常は 3 秒）まで行なえる。実験ではタイマを設定し、放出後任意の時間に停止する。

循環ポンプの特性は Fig. 23, Fig. 25 に示す。2 台の循環ポンプは周波数可変のサイリスタ制御で任意の回転数（流量）が得られるが、操作信号が 1 つであるので、任意の回転数の時にも流量比が 1 : 3 になるよう設計してある。

2.5 非常炉心冷却系 (ECCS)

非常炉心冷却系は高圧注入系、蓄圧器系、低圧注入系で構成している。

高圧注入系は高圧注入タンク、高圧注入ポンプ、バイパス弁、ポンプ締切り弁、ターピンフローメータ、逆止弁、販管ヒータとこれを接続する配管系から成る。

蓄圧器系は破断ループ、健全ループ側のそれぞれにあり、蓄圧器、循環ポンプ、注入弁、ターピンフローメータ、逆止弁、配管ヒータと配管系から成る。

低圧注入系は低圧注入タンク、低圧注入ポンプ、バイパス弁、流量制御弁、ターピンフローメータ、逆止弁、配管ヒータと配管系から成る。

高圧注入系の高圧注入タンクは堅型の円筒容器で上部は皿形鏡板、下部にはヒータ挿入用の内径 216.3mm ϕ のノズルがある。胴部直徑が 500mm ϕ (内のり)、軸長が 2050mm (上・下端ノズルを含む)、肉厚は胴部、鏡板とも 4mm で内容積は約 0.3m³ である。主な材質はステンレス鋼 (SUS-304) である。内部には加熱用の 20kW のヒータを下端ノズルから挿入する。高圧注入ポンプは入口、出口径 $1\frac{1}{2}$ B、吸込側圧力 6.4 kg/cm²G、最大吐出圧力 125 kg/cm²、最大流量 50ℓ/m、モータは 4 極、30kW である。高圧注入ポンプは 3 連式のプランジャーポンプで回転数制御することで任意の流量が得られる。高圧注入タンクに蓄えた冷却水は内部のヒータで加熱し、バイパス弁を開き、高圧注入ポンプを作動すると冷却水は循環し均一の所定温度になる。実験条件に応じ窒素ガスで加圧することもできる。加圧器の圧力設定信号と時間遅れをタイマ設定で模擬した操作信号を受けるとバイパス弁が閉じて注入が開始する。注入流量を測定するターピンフローメータは破断ループ、健全ループ側にそれぞれ 2 系統ずつあり、流量を電気信号に変えて集録装置に送る。流量計の先で配管は更に分岐し、組み替えを行なうことで破断ループ、健全ループの hot leg, cold leg 部および圧力容器の上部、ダウンカマ一部、下部のいずれにも注入することができる。この分岐配管にはそれぞれ逆止弁が付いており、これにオリフィスを挿入して各系統の注入流量を制御する。これらの配管にはヒータを巻いて高圧注入タンクの液温と同じに加熱する。高圧注入系は高圧注入タンクの設定水位で高圧注入ポンプが停心し、ポンプ出口の締切り弁が閉じて注入が終了する。

蓄圧器系の破断ループ側蓄圧器は堅型円筒容器で上部は皿形鏡板、下部にはヒータ挿入用の 8B ノズルがある。胴部直徑が 383.7mm ϕ (内のり)、軸長が 4088.6mm (上・下端ノズルを含む)、肉

厚は胴部、鏡板とも 17.4mm で内容積は約 0.23m^3 である。主な材質はステンレス鋼 (SUS-304) である。内部には 10 kW の加熱用ヒータを挿入する。健全ループ側蓄圧器も構造、材質は同じで、胴部直径が 500mm ϕ (内のり)、軸長が 4149mm (上・下端ノズルを含む)、肉厚は胴部が 21 mm、鏡板が 23mm で内容積は約 0.67m^3 で 20 kW の加熱用ヒータが挿入している。均一加熱するようそれぞれに循環ポンプがついている。また窒素ガスで最高 $70\text{kg/cm}^2\text{G}$ まで加圧でき、放出前に隔離弁で各蓄圧器を切り離す。加圧器の圧力設定信号でそれぞれ蓄圧器の出口にある注入弁が開くと加圧用窒素ガス注入が開始する。破断ループ側の蓄圧器は破断ループの hot leg 部、cold leg 部に他方の蓄圧器で健全ループの hot leg 部、cold leg 部と圧力容器の各部のいずれにも配管の組み合わせで注入できる。注入弁はそれぞれの蓄圧器の設定水位で閉じ注入が終る。

低圧注入系の低圧注入タンクは堅型の円筒容器で、両端は平板の鏡板がついている。加圧用ヒータの 8B 插入ノズルは底部から 350mm の位置で側面にある。胴部直径が 1000mm ϕ (内のり)、軸長が 2116mm、肉厚は胴部が 4mm で内容積は約 1.5m^3 である。材質は主にステンレス鋼 (SUS-304) である。加熱用として 20 kW のヒータが挿入している。低圧注入ポンプは入口径 3B、出口径 2B、吸込側圧力 $0.3\text{kg/cm}^2\text{G}$ 、吐出側圧力 $20.3\text{kg/cm}^2\text{G}$ (最大)、吐出流量 $17.4\text{m}^3/\text{H}$ でモータは 2 極、30 kW である。定速回転の直線ラジアルオーブンインペラを使った単段の遠心ポンプである。高圧注入系と同様に低圧注入ポンプは最初循環用として作動している。操作信号でバイパス弁が閉じ注入が開始するが、流量はポンプ出口弁で制御し、更に各系統の制御はそれぞれの配管中のオリフィスで行なう。低圧注入ポンプは低圧注入タンクの設定水位で自動停止するか、注入時間で手動停止すると共に出口制御弁を閉じて注入を終了する。低圧注入タンクは大気圧以上にならないようベント管が付いている。

2.6 破断機構および放出配管

Fig.25 に破断機構を示す。破断機構は大別すると、放出オリフィス、破裂板、オリフィス直上流・直下流圧力検出器用タップ、破断確認信号線と取付部、破断槍とその駆動用装置で構成し、2 系統から成る。実験条件で定めた口径の SUS-304 の放出オリフィス (薄力オリフィス、口径 7.5mm ϕ) と破裂板を重ねて装着し、ボルトで固定する。破裂板は口径 3B のステンレス製板 (SUS-316L) を皿形に成形したものを 2 枚重ねにし周辺をスポット溶接したものである。板厚は上流側が 0.5mm、下流側が 0.6mm で主に上流側破裂板で模擬 1 次系内の圧力を支持する。下流側破裂板の外側表面に十文字の欠切溝が付いている。これは確実に全面破断するよう種々改良した結果のもので、数多くの実験で破断形状は満足するものである。破断槍の先端は四角錐に似たもり状で最先端部に 0.2mm ϕ の穴を明けて破断確認信号線 (0.05mm ϕ ホルマル鋼線) を貫通し、電圧をかけておく。放出時槍作動により信号線が切断し作動確認できる。中央部は長径 24mm、短径 12mm のほぼ 円形をし、他端は 27.5mm ϕ の円筒棒で、軸長が 595mm である。材質は炭素工具鋼 (SK 3) を用い、先端から 150mm まで表面処理 (焼入れ) をし硬度を高く (Hrc 50) している。破断槍は中心軸と 15° の角度をなし、破裂板に接触する時にその中心部にくる。破裂板のセットは表面の切欠溝が槍のかどと一致するようけがき線を入れて行なう。破断槍はシリンダ式の駆動装置のピストンと直結し、破裂板のセット時や実験初期は誤操作しないようシリンダの下部に電磁弁を通して圧空を入れ、ピストンを押し上げて外部からロックする。放出実験前にロックをはずしそれぞれの圧縮空気の注入圧力を同じ

に設定する。破断信号で電磁弁を開放し、シリンダ内の圧空を急速放出すると同時に、ピストン上部に設けてあるスプリングでピストンを瞬時に押し下げてこれに直結した槍が破裂板を破る。このピストン（破断槍）の作動時間は約 50m sec である。破断槍は破裂板を破くとシリンダに圧空が再び入り槍が戻り、流出冷却材の流れをさまたげないようになる。

Fig. 27 に示すように放出配管は主に 6B の高圧配管用炭素鋼鋼管 (STPG 38 Sch 40) を使用し破断機構の下流側に接続し、急速凝縮器、電磁流量計、冷却材温度測定管、末端オリフィスとこれらを結ぶ配管で構成している。急速凝縮器は破断機構から流出する蒸気一水二相流を凝縮し、下流にある電磁流量計で流量測定が出来るようにするもので Fig. 26 に示すように T 型管で冷却材の通過する方は 2 重管になっている。図に見るように急速凝縮器の入口側はスリットになっている。T 型管のもう一つの配管から凝縮に必要な常温の冷却水が注入し、スリットを通り流出冷却材と直接混合して冷却凝縮させる。内側のパイプは 3B と 6B の 2 種類あり、6B の方はスリット巾を最大 20mm まで可変できるリングが装着している。急速凝縮器で凝縮した冷却材は電磁流量計で流量を測定し、更にその下流側では管内の同一断面で種々の半径方向の温度を測定している。この温度は一系統で 7 点測定し平均したもの求めている。流出冷却材は末端オリフィスから屋外の凝縮プールに放出する。この末端オリフィスは急速凝縮器下流側の圧力を制御するもので口径は放出オリフィス口径、スリット巾等により実験毎に定める薄刃オリフィスである。また凝縮が不十分で放出配管内の圧力が上昇すると、電磁流量計等の損傷のおそれがあるので、急速凝縮器の下流に破裂圧 12 kg/cm² G の破裂板を設けた圧力逃し管から放出させて機器を保護する。

2.7 電源設備

電源設備は装置本体関係のものと模擬燃料集合体用とに別けられる。装置本体関係はポンプ、ヒータ等の動力用で 50 Hz, 200V を使用し、自立形動力盤内にまとめてある。その他はプロセス関係で計器電源、各種バルブ電源、リレー用等に 50 Hz, 100V を使用し、制御室のプロセス盤内にまとめてある。これらいずれの電源も大実験室の既設 75 kVA トランスを利用していている。

動力用として循環ポンプが 7.5 kW と 2.2 kW、2 次系給水ポンプが 38.3 kW、高圧注入ポンプが 30 kW、低圧注入ポンプが 30 kW、加圧器ポンプが 5.5 kW、給水ポンプが 7.5 kW、2 次系循環ポンプが 1.5 kW、蓄圧器搅拌ポンプが 0.75 kW × 2 台、加圧器ヒータが 20 kW、高圧注入タンクが 20 kW、低圧注入タンクヒータが 20 kW、破断ループ側蓄圧器ヒータが 10 kW、健全ループ側蓄圧器ヒータが 10 kW である。

プロセス関係では、計量電源、リレー電源、バルブ電源、加圧器液面計照明用、その他である。

模擬燃料集合体の電源設備は高熱流束模擬燃料要素用と低熱流束模擬燃料用の 2 系統があり、模擬燃料集合体に電力を供給するもので、試験時に燃料集合体の電力を数制御させる事ができる電力制御装置を有している。

数制御した電力値は時間経過とともに減って行き、実炉の炉心燃料要素の崩壊熱出力を電力で模擬するものである。サイリスタ式電力制御装置とこれを操作するための操作盤及び燃料集合体に任意の電力を自動的に設定可変させるためのテープリーダ式任意数発生装置等より構成される。

これら電源設備は以下の主要機器から構成されている。

高熱流束模擬燃料用電源設備

- 高圧受電盤 × 1
(3相 50Hz 3.3kV)
- 誘導電圧調整器 × 1
(3相 50Hz 定格電圧 2次側 5980V)
- 油入変圧器 × 1
(定格 610kVA 50Hz 3相)
(定格電圧 1次 6600V)
(〃 〃 2次 440V)
- サイリスタ式電力制御装置 × 1
(定格 550kVA 50Hz 3相)
(定格電圧 400V)
(電力設定電圧 DC : 0~10V (電流 10mA)
(変換比率が 555 kW/DC 10V)
- 高熱流束電源操作盤 × 1
- 低熱流束模擬燃料用電源設備
- 高圧受電盤 × 1
(3相 50Hz 3.3kV)
- 誘導電圧調整器 × 1
(3相 50Hz 定格電圧 2次側 5790V)
- 油入変圧器
(定格 2150kVA 50Hz 3相)
(定格電圧 1次 5785V)
(定格電圧 2次 448V)
- サイリスタ式電力制御装置 × 1
定格出力: 1800kVA 定格電流: 2600A 50Hz 3相)
定格電圧 400V
- 低熱流束電源操作盤 × 1

以上が主要機の仕様がある。これらのプロックダイヤクロムをFig.4.2 及びFig.4.3 に示す。

次に模擬燃料集合体の電源設備の電力制御装置、並びに操作盤の機能について説明する。

電力制御はサイリスタ式で行い、出力制御はサイリスタの波形変化によって行っている。先づ冷却材喪失事故信号（模擬配管破断信号）を受けて 数発生器がスタートする（スタートはタイマー設定で 60 sec 以内で任意の遅延が可能である）

数発生器はテープにハンチされた出力信号をサイリスタゲートに与へ、波形の位相制御を行ない、電力量を変化させる。高熱低熱流束とともに電力制御装置の制御方式は、外部信号（模擬配管破断信号）で定格の 100% から 7.8% へ出力を低下させる。低下に要する時間は 0.155 sec 以内である。また定格の 7.8% ~ 100% の範囲の任意の出力から、定格の 7.8% に低下させることも出来る。

更に 7.8% に低下させた出力を次の数式で行なっている。

$$P = P_0 T^{-0.20}$$

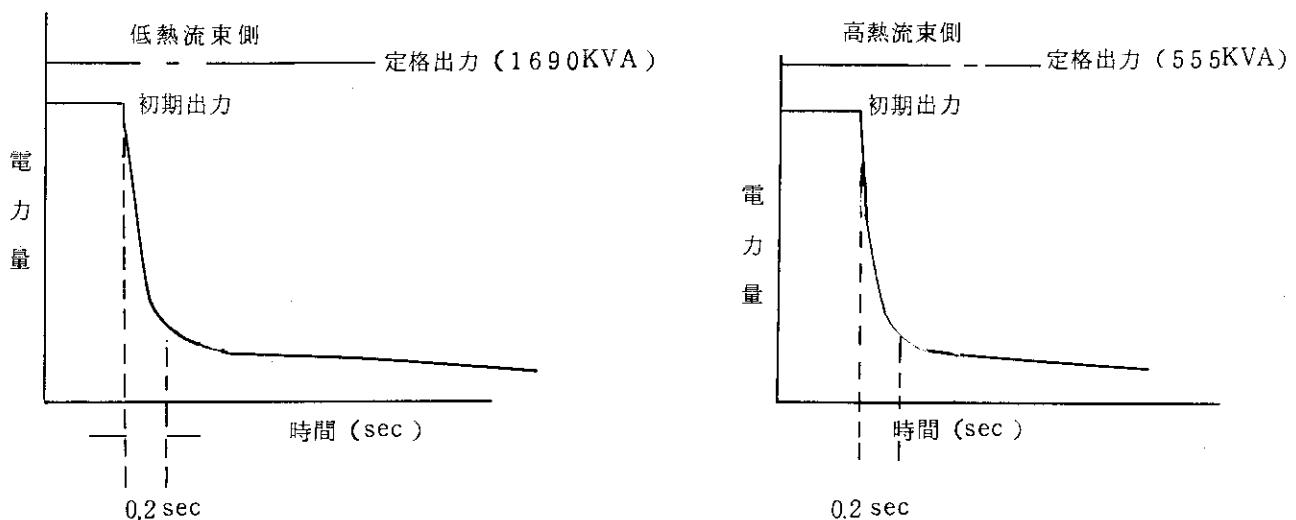
P = 時間Tに於ける出力

P₀ = 初期出力

T = 時間

これらの電力制御装置の精度は±0.5%以内である。遅発中性子熱制御は下記の変化量に従って行っている。

| 時 間 (sec) | 0 | 0.1 | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 40 | 60 | 100 |
|------------------|----------|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|------|
| 最大出力比% | 100~21% | 21 | 20 | 18.5 | 16.5 | 13 | 9.0 | 6.0 | 5.2 | 4.7 |
| 電力 (KW) 高熱流束側 | 500~105 | 105 | 100 | 93 | 83 | 65 | 45 | 30 | 26 | 23.5 |
| 電力 (KW) 低熱流束側 | 1680~905 | 905 | 860 | 796 | 710 | 560 | 387 | 258 | 224 | 202 |



数発生装置は、模擬燃料要素の崩壊熱出力に対応したプログラムのパンチテープの信号を発生させるものである。実験条件に対応するパンチテープを各種用意する事によって、放出試験時の崩壊熱出力の模擬は可能である。

操作盤は高熱流束用、低熱流束用の2面が制御室にある操作盤の機能は概ね次のものを備えている。高圧受電盤、誘導電圧調整器、サイリスタ電力制御盤などの遠方操作ができ、計器による監視ができる。また、ROSA-II試験装置1次系ポンプ流量低下による電源トリップのインターロック、及び燃料温度設定値で電源トリップ、並びに負荷側運電流による電源トリップ等の回路が組み込まれている。

盤面上部にはサイリスタ式電力制御装置等の各種警報表示があり、計器としては電源受電及び模擬燃料集合体に電力供給量を表示する各種計器、模擬燃料温度を表示、監視する温度指示警報器（高熱流束用）が設けられている。盤面中央部には破断指令遅延タイマー、電力設定器誘導電圧調整器のスイッチ、高圧受電盤の投入遮断のスイッチ等があり模擬燃料集合体の電力制御に関するものは本操作盤ですべて出来る仕組である。

2.8 模擬一次系配管

模擬1次系配管はFig. 44～46に示す。模擬1次系配管は破断ループと健全ループからなり体積比は約1：3である。これは4ループの実用炉と模擬している。

破断ループは模擬圧力容器と流量計、循環ポンプ、破断機構、急速締切弁、蒸気発生器を接続しており、内容積は約 0.034m^3 で2Bと $2\frac{1}{2}\text{B}$ の配管用ステンレス鋼管(SUS-27TP, sch 160)を使用し、継手部は金属シールのリングジョイントである。

健全ループは模擬圧力容器と流量計、循環ポンプ、蒸気発生器を接続し、内容積は約 0.097m^3 で4Bと5Bの配管を使用している。

模擬1次系配管の設計製作で重視した点は、模擬圧力容器出入口ノズルのレベルを同一にし、出口ノズルはコアバレルを取り外し可能な接続をした。各ループの内容積を実用炉で同じ比率にしそれぞれの配管長さも可能な限り合せる。配管内容部の流動抵抗を実用炉に合せる。破断機構、蒸気発生器等は固定したままで、配管組み替えによってcold leg破断、SG-Pump間破断、hot leg破断のいずれも行なうことができる。またこのいずれの配管系の場合でも配管内容積、流動抵抗は同じになるようになってある。また配管系の要所には計装用の圧力、差圧、温度等の検出部が、装置運転用としては流量、温度等の計器が接続している。

3. 装置の運転

3.1 装置のプロセス制御

ROSA-II 試験装置を大別すると、1次系、2次系、ECC 系に別けることができる。装置の制御は、ポンプや弁操作によりこれら各部分の温度、圧力、水位、流量を手動または自動で制御することである。以下Fig. 4.7 とTable 7.1~7.3 により装置、制御の概略について記す。

1次系は最高温度 325°C (ただし PR 内をのぞく)、圧力 $160\text{kg/cm}^2\text{G}$ で使用する。1次系は模擬圧力容器を中心に破断ループ（第1ループ）、健全ループ（第2ループ）を有し、第1ループは蒸気発生器 (SG1) 及び循環ポンプ (P_1) 及び破断機構 (BU-1) を含めたものである。第2ループは蒸気発生器 (SG2) 及び第2ループ循環ポンプ (P_2) がある。系内の昇温昇圧に加圧器 (PR) と加圧器給れポンプ (PRP) がある。模擬圧力容器内 PV に装置されている模擬燃料集合体は、最大 2.240kW の熱出力がだせる。

装置系内の給水は純水タンク (PWT) から1次系にあっては1次系給水弁 (AU-10) から給水泵 (WSP) で、第2ループ SG に入口配管から系内に給水される。

2次系にあっては、手動弁 (V15) から2次系給水ポンプ (SWSP) で2次系サージタンク (SST) に給水する。

水位は1次系にあっては PR 水位検出 (LX11) で2次系では SST 水位検出 (LX21) で行ない記録される。

1次系内の昇温昇圧には PR に内されたヒータで行ない設定温度によってヒータが自動で ON-OFF する。1次系内の温度検出は第1ループにあっては SG1 出入口 (TE31, TE32) で行ない第2ループでは SG と出入口 (TE41, TE42) であり更に PR 温度検出 (TE13) し PV については上部で (TE11) 下部 (TE12) の2箇所で検出し記録される。

PR の圧力制御は、PR 圧力検出 (PX11) し PR 圧力調節弁 (CV-1) で手動または自動で制御する。

PV 内の圧力検出 (PX21) してこれを記録する。

1次系内の水位制御は PR 水位検出 (LX11) し水位上限のときは、PV 上部取付の1次系ドレン弁 (AV5) で制御する。AV5 は手動または自動制御ができ自動の場合は PRP と連動しており 3点制御ができる。

1次系の流量制御には、ポンプによる流量制御とオリフィスによる制御方法がある。第1ループ、第2ループの循環ポンプ ($P_1 P_2$) は通常 2500RPM で運転され、第1ループ流量は $460\ell/\text{min}$ 第2ループ流量は $1400\ell/\text{min}$ で系内を循環する。ポンプ $P_1 P_2$ による流量制御はポンプ回転数を手動または自動で可変させることができる機能をもち、回転数変化で流量制御はできる。系内の流量検出 (EX11, EX12) はベンチュリーフローメーターで検出記録される。流量制御とは別ではあるがポンプ $P_1 P_2$ による一次系の循環力の影響を調べるためにブローダウン発生後にポンプモータの電源を切る時刻を遅延タイマにより設定できる機能をもっている。

オリフィスによる流量制御は第1ループの SG1 出入口 (OR21, OR22) に、また第2ループの SG2 出入口 (OR31, OR32) に丸型オリフィスを取付けによって制御は出来る。(Table 8)

模擬燃料要素の通電は PR ヒータで系内の温度、圧力が規定値に達した段階で、低熱流束燃料棒に通

電および高熱流束燃料棒に通電する。

系内の温度、圧力が上昇し安定した状態で、ポンプ R P₂ の制御、PR 圧力制御および SG 1.2 の 2 次系流量調節弁 (CV 3.4) の動体は自動制御させて、実験条件を確立させる。

2 次系は最高 275°C, 60 kg/cm² G で負荷模擬をする。蒸気発生器 (SG 1.2) の胴側と、実炉ではタービンにあたる 2 次系サージタンク (SST) 内はトレー式の熱交換器になっており、発生した蒸気を 2 次系給水ポンプ (SWSP) からの常温の給水された水が十分混合接触する構造になっている。余った蒸気は屋外に放出される。また SST の圧力調節弁 (CV 5) は放出後は、破断信号により全閉から全開の間の任意の開度に設定することができ、これにより放出後の 2 次系からの影響 (逆熱源等) を知ることができる。

SST 内の温度を均一し、更に蒸気発生器に給水するための循環ポンプ (SP), 流量調節弁 (CV 3.4) は蒸気発生器 (SG 1.2) の出口温度によって手動または自動制御し、その時の流量は、オリフィス流量計 (EX 21, 22) で指示、記録する。CV 3.4 も放出後は、任意の開度で操作するよう設定できる。それにこれら結ぶ 2 次系配管から構成している。(Table 9)

非常冷却装置のECC 系は最高注入圧 125 kg/cm² G をもつ高圧注入系、同 70 kg/cm² G の低圧注入系を備えてあり、高圧注入系は 125 kg/cm² G の注入圧をもつフランジャー型の高圧注入系ポンプ (HPCIP) と予熱用ヒータを内蓄した高圧注入系のタンク (HP CIT) で通常は系内温度を均一にするためにバイパス弁 (AV-3) 間で循環し、放出により 1 次系圧力が設定圧力に達するとバイパス弁が閉じて、指定した注入口に注入する。注入流量は回転数制御を行ない、HPCIT 水位の下限設定値に達すると HPCZP は自動停止する。

蓄圧器系の各ループにそれぞれ蓄圧器 ACC 1.2 が設けてあり、蓄圧器は実炉と同様 N₂ ガスで最高 70 kg/cm² G まで加圧することができ、他の系統と同じく攪拌ポンプ (ACCP 1.2) で循環している。実炉では蓄圧器系は他の系統と異なる点は注入開始のための信号や操作するための動力源を必要とせず、1 次系の圧力との差圧で逆止弁を挿し開いて注入が行なわれていることであるが本装置では 1 次系の圧力を 1 つの逆止弁 (実炉では直別に 2 台備えている) で完全に止められない場合を見込んで、上流側に ON-OFF 動作の注入弁 (AV 1.2) を設け、蓄圧器内圧力より若干高い圧力 (5 kg/cm² G 程度) で開くよう設定している。

これにより実炉と同様に 1 次系圧力が蓄圧器の圧力より下まると逆止弁を開いて注入するわけで流量は角オリフィスで制御する。(Table 10~11)

低圧注入系は高圧注入系と同じで最高 20 kg/cm² G の注入開始信号を受けるとバイパス弁 (AV-4) が閉じる。低圧注入系ポンプ (LPCIP) は定格 7500 RPM の渦巻型で流入流量は調節弁 (CV 6) で制御し、オリフィス流量計 (FX 31) で指示記録する。LPCIT も予熱用ヒータを内蓄し最高 100°C まで加熱でき発生した蒸気はベレト管から放出し、常任に保もたれている。

これらの各注入系はタービン式流量計 (高圧注入系 FE 81~84, 蓄圧器系 FE 71~73, 低圧注入系 FE 91~93) で検出し、データ集録装置に記録させる。またそれぞれの系統は角オリフィスによつて 1:3 に制御して、第 1 ループ、第 2 ループ、あるいは PV に直接注入する。更に各系統の注入口まで配管ヒータによって各タンク内温度と同じに予熱する。

その他の系統として、1 次系、2 次系に給水するための純水製造装置 (IECH) は最大 3 m³/h の処理能力をもち純水タンク (PWT) に貯水され必要に応じて給水ポンプ (WSP) で給水する。各種バ

ルブの駆動用、冷却水タンク (CWT) の加圧用として空気圧縮機 (COMP) と空気タンク (AT) および空気フィルターがある。冷却水タンク、高圧系注入系タンクと蓄圧器を加圧するための N_2 ガス供給系があり、電磁弁 (SLV 1.2) で蓄圧系注入タンク SLV 4.5 で蓄圧器の圧力を制御する。放出に伴なう蒸気を凝縮し流量を測定するための急速凝縮器 (RCN) 原研独自の精造で冷却水と蒸気が直接混合するようになっていて凝縮用冷却水の流量を制御するための内部のスリーブは 3^B と 6^B があり更に注入スリット巾を任意に設定できる冷却水タンクからの凝縮用冷却水量は手動弁で任意に設定し放出弁 (AV 8.9) を開けることで急速凝縮器に流れ込むが、それぞれの系統の流量は電磁流量計 (EX41.42) で検出する。更に凝縮器の流量も同様に電磁流量計 (FX 61, 62) で測定しデータ集録装置に記録される。凝縮水は屋外プール (POOL) に放出する。

3.2 連動、警報

連動回路はラプチャーデスク (RD) 破断スイッチを入れた後の各機器の作動を自動的に連続して行なわせる制御回路で、破断機構作動、RD破断後の2次系の作動、ECCS 作動等がある。破断機構作動については次項の破断回路で述べることにし、ここではRD破断後の2次系の作動とECCS 作動について説明する。RD破断後の2次系の作動は2次系流量調節弁 (CV 3.4) および2次系サージタンク (SST) 蒸気放出弁 (CV 5) 開度がRD破断と同時に自動的に任意設定開度となる。ECCS は高圧注入系、蓄圧器、低圧注入系からなり、その作動は高圧注入系、低圧注入系の場合、ラプチャーデスクが破断してから圧力容器の圧が注入圧力に達した時にHPCI バイパス弁 (AV 3) LPCI バイパス弁 (AV 4) が自動的に閉となる。蓄圧器の場合はラプチャーデスクが破断してから圧力容器の圧が注入圧力に達した時にACC 1.2 の冷却水注入弁 (AV 1.2) が自動的に開となる。

破断回路については、軽水炉の最大想定事故と考えられている1次冷却系配管がギロチン両端破断による冷却材喪失事故を模擬するため、ROSA - II 試験装置には配管の両端同時破断可能な破断機構 (BU 1) が設置されている。この破断機構は配管破断を模擬する破断機構 (RD 1.2) と2ヶ所の破断口と急速遮断弁 (QSV) で構成されている。また本試験では破断口からの流出流量を測定するために放出蒸気を冷却水と直接混合させる瞬間凝縮法を採用している。このため本装置には冷却水タンク (CWT) 冷却水出口バルブ (AV 8.9) 急速凝縮器 (RCN 1.2) が設置されている。

破断回路はこれらの機器を自動的に連続して作動させる機能を持っている。破断回路 (Table 12) を大別すると定常破断回路と強制破断回路がある。更に定常破断回路を別けると、手動回路と自動回路があり、自動回路には8通りの破断様式がある。この様式には両端破断が6通り、片側破断が2通りからなり、すべてRD 1.2 QSV AV 8.9 の作動順序が異なるものである。尚片側破断は1様式破断で破断口を2ヶ所選択できるため実質は4様式の破断様式である。定常破断自動回路はRD 破断スイッチを入れた後RD 1.2 QSV AV 8.9を選択した破断様式の作動順序で且つ設定したタイミングで作動する。更にRD破断後は2次系、ECCS が前述の通り自動連続して作動する回路である。強制破断回路はスイッチを入れると直ちに、RD 1.2、QSV閉AV 8.9開が作動し、模擬燃料要素に通電中の電源が切れ、加圧器ヒーター (PRヒータ) HPCIT, LPCIT, ACC 1.2 の各ヒーターは切れる。更に1次主循環ポンプ (P_1, P_2 ポンプ) 高圧系注入ポンプ (HPCZP) 低圧系注入ポンプ (LPEP), 加圧器ポンプ (PRP) は停止する。RD破断信号で2次系の流量調節弁CV 3.4.5は設定開度となる。強制破断時の圧力がACC 1.2 の注入圧力より高いときは冷却水注入弁AV 1.2は開らく、HPCIのAV 3, LPCI,

AV 4 は閉じるがポンプ停止しているので冷却水の注入はない。

3.2.2 装置のインターロック

本体装置と各機器とのインターロック (Table 13) は機器の保護とこれらの動作を条件付きで作動させるために設けたものである。インターロックを各回路別にすると、(1)ヒータ回路、(2)弁回路、(3)ポンプ回路、(4)模擬燃料用電源装置、(5)定常破断回路である。ここではインターロックの条件の概略を述べる。

(1) ヒータ回路

本体装置の加圧器 (PR) 高圧系注入タンク (HPCIT) 低圧系注入タンク (LPCIT)、蓄圧器 (ACC 1.2) のフランジヒータは、強制破断スイッチONでまた定常破断位置確認信号で、更には上記タンク水位低下信号のうち、いずれかの条件下ではヒータには通電されない。

(2) 弁回路

ACC 1.2 の水位低下信号で、注入弁 (AV 1.2) は閉じる。

冷却水タンク (CWT) の注入弁 (AV 8.9) は模擬圧力容器 (PV) の圧力低下の信号で閉じる。

ACC 1.2 の加圧用 N₂ ガス出入口弁 (SLV 4.5) 均圧弁 (SLV 6) は破断位置確認信号で閉じる。

(3) ポンプ回路

PRP, HPCIP, LPCIP P₁ P₂ 及び 2 次系給水ポンプ (SWSP) は強制破断スイッチONで停止する。定常破断スイッチONで、PRP, P₁ P₂ (タイマー動作させない時) は停止する。

タンク水位低下で停止するポンプは、HPCIP LPCIP および 1 次系給水ポンプ (WSP) である。

(4) 模擬燃料用電力制御装置と電源については

崩壊熱模擬に電力制御装置を使用しているが、定常通電中はこの装置は作動しないで定常破断スイッチONでこのインターロックは解除される。

ブローダウン後燃料棒の発熱温度が設定温度に達すれば炉心温度監視装置で、燃料用電源はOFFとなる一次系循環ポンプ P₁ P₂ ポンプの流量低下信号で燃料用電源はOFFとなる。燃料棒通電中に過負荷继電器が動作すれば電源はOFFとなる。

(5) 定常破断回路

定常破断回路の動作は、破断装置 (BV 1) のシリンダーの駆動に圧縮空気を使用しているので空気槽 (AT) 圧力下限では作動しない。またCWT水位低下では作動しない。

3.2.3 警報

警報は本位装置の運転状態の重要度に合せて、ABC の 3 段階に類別した。A を重警報とし装置の運転に支障をきたす状態を示めず、その範囲は 1 次系の温度、圧力、流量及び空気槽の圧力等を選んだ。

B を中警報とし本位装置の運転に直ちに支障をきたさないものでその範囲は主にECCS のACC 1.2 の圧力水位、また純水タンク (PWT) の水位を選んだ。

C を軽警報とし装置の運転状態が直接支障をきたさないものでその範囲は、CWTの圧力、水位及び SST の水位とPWT の純水電導度とした。A,B,C の警報種別は A をブザー、B をチャイム、C を運転表示盤のランプフリッカー表示とした。

4. 計測について

4.1 計測の種類と測定位置

ROSA-II試験においては、試験装置の1次冷却系配管を破断して、LOCA現象を現出させ、ECCSから非常冷却水を注入して、以下の各量の時間的変化を測定する。

(1) LOCA前の運転状態

- a 1次系代表圧力
- b 1次系代表流体温度
- c 1次系循環流量
- d 燃料発熱量
- e 2次系代表圧力
- f 2次系代表流体温度

(2) 破断の条件

- a 破断タイミング
- b 各種連動々作の作動タイミング

(3) 破断直前からLOCA終了までの事故現象

- a 1次系各部圧力（圧力波測定を含む）
- b 破断口オリフィス前後圧力
- c 1次系各部差圧
- d 1次系各部流体温度
- e 燃料棒表面温度または被覆材内面温度
- f 炉心流速、流れ方向、クオリティ、ボイド率等（計測技術を開発中）
- g 流出流量
- h 流出二相流のクオリティ
- i 燃料発熱量
- j 1次系循環ポンプ回転数
- k 2次系代表圧力
- l 2次系代表流体温度

(4) ECCS作動条件

- a 注入開始および終了タイミング
- b 注入流量
- c 注入総量
- d 注入水温度

(5) LOCA終了時の状態

- a 破断 10min 後のP V 残存水量

これらのうち、(1)、(2)の一部、(4)の一部および(5)は、3.1節で述べたプロセス制御用の計器または専用の指示計により測定するもので、ここでは詳細を省略する。(2)の一部、(3)および(4)の一部は、次節で述べるデータ集録装置により自動記録するもので、本章ではこれらについて記述する。

ROSA-Ⅱのフローシート上の計測点位置は、Fig.48に示す。また、1次系配管および放出系配管における圧力、差圧、流体温度、ECCS注入流量、流出流量、急速凝縮器用冷却水流量等の測定位置は、Fig.44～46、49に示す。P V等タンク類の圧力、差圧、流体温度の測定位置は、それぞれの構造図の中示す。

Table 14に、次節で述べるDATA-C 2000Bにより集録している各測定量の種類、記号(Fig.中の記号に対応)、測定位置、検出端、測定範囲と出力信号、および測定系の総合精度(公称値)を示す。これらの合計104チャンネルの測定結果が、ROSA-Ⅱ実験データの主要な部分となるが、この他に、炉心温度監視装置を使用した。最高100チャンネルまでのデータ集録(燃料棒温度、炉心流体温度、炉心水位等)も行なっている。さらに、一部のRUNでは、衝撃波の測定を行ない。アナログデータレコーダを用いて記録している。

4.2 データの集録装置

ROSA-Ⅱのデータ集録システムは、

- (1) DATA-C 2000B (岩崎通信機製)
- (2) FR-1800L (Ampex製)
- (3) 炉心温度監視装置 (進和貿易製)

の3者から成る。(1)はデジタルのデータ集録装置で、ROSA-Ⅱのデータ集録装置の中心をなすものである。(2)はアナログのデータ集録装置で、衝撃波のような特に速く変化する量の計測に使用する。また(3)は本来は燃料棒のバーンアウトを防止するための安全装置であるが、遅いサンプリング速度でのデータ集録に使用できる。

Fig.50に、DATA-C 2000BおよびFR-1800Lを用いたデータ集録のプロック線図を示す。

燃料温度、流体温度、圧力、差圧、ポンプ回転数、流量、各種作動信号、圧力波、炉心流速等の各種検出量は電圧信号として、直接または中継箱を経て増幅器に導かれる。増幅された電圧信号は、制御盤を経てそれぞれのデータ集録装置に導かれる。

DATA-C 2000Bは、±10voetのアナログ電圧信号をデジタル化し、磁気テープに記録する装置で、その構成および仕様はTable 15に示す通りである。

DATA-C 2000Bで磁気テープに記録したデジタル信号は、電子計算機FACOM-230-60又は-75で処理し、グラフまたは数値としてアウトプットする。

FR-1800Lは、±1voetまたは±10voetのアナログ信号を磁気テープに記録する装置で、その仕様はTable 16に示す通りである。FR-1800Lで磁気テープに記録したアナログ信号は、フォトコーダ等によってグラフとしてアウトプットするが、DATA-C 2000Bを用いてデジタルテープに変換して、数値化することも可能である。

上述の2系統のデータ集録装置は、カタログに記載されている標準品であるが、次の炉心温度監視装置は試作品であるのでやや詳しく説明する。

炉心温度監視装置は、何等かの原因により模擬燃料棒が異常な高温となった場合、あらかじめ設定された一連の制御動作を行なうことによって、これを保護する装置である。一方、独立した2系統のデータ記憶装置を備えており、データ集録装置としても使用することができる。

炉心温度監視装置の基本系統図をFig.51に、また同主要諸元をTable 19に示す。機械的な方法

によって高精度で高速スキャンされた熱電対等の入力信号は、絶縁増幅器を経てAD変換された後、コア・メモリとカセット・テープ・レコーダに同時に書込まれる。コア・メモリに集録されたデータは、マニアルあるいはオートアクセスによって、容易に再生することができる。前者はチャンネル番号および時刻を指示することによってデジタル・ディスプレイにより4ケタの有効数値で、また後者はアナログ信号として同時に2チャンネル実時間の $\frac{1}{10}$ で再生することができる。カセット・テープ・レコーダからコア・メモリへのデータ・トランスマッフはできるが、この逆はできない。総合誤差（データ再生時）はたかだか1%程度である。

炉心温度監視装置として使用する場合には、AD変換されデジタル・コンパレータに送り込まれた信号と、あらかじめ設定された熱電対断線チェック・アラーム・セット・バック、およびトリップの各設定値との比較が行なわれる。もし、異常があった場合はこれを直ちに報知すると共に電力遮断等あらかじめ設定された一連の制御動作を行なう。なお、コア・メモリは常時320秒間のデータを記憶しているから、万一燃料棒の熔損等が起った場合は、320秒前に遡ってデータを再生することができ、その原因の究明に資することもできる。

4.3 各計測機器

本節では、4.1で述べた現在使用中の各計測機器の作動原理、特性、較正方法等の概要について説明する。

4.3.1 半導体圧力計

1次系および2次系各点の流体圧力の変化は、半導体式の圧力変換器（豊田工機製PMS-10KTM-200H）により電気抵抗の変化として検出し、直流増幅器（豊田工機製THA-3A）で増幅した後、データレコーダ（岩崎通信機製DATAC-2000B）の磁気テープ上にデジタル信号として記録する。

圧力変換器自体の固有振動数は100kHz以上であり、直流増幅器の周波数特性はゲイン2000倍のとき、DC～10kHzの周波数範囲で偏差が±10%以下であるが、測定系全体としての応答周波数の上限は、データレコーダのサンプリング速度で制限される。

ROSA-II実験においては、圧力変換器はきわめて苛酷な条件にさらされるので、その特性が不变であるとは断言できない。そこで、放出実験に先立つ水圧試験時に、加圧器に取付けられた超精密ブルドン管圧力計（東京航空計器製3000）を標準圧力計として最大振れ幅を較正し、中間の圧力は直線的に内挿する。

4.3.2 半導体差圧計

1次系各点間の差圧は、ダイアフラム式の高差圧伝送器（横河電機製EDHE11DM-SP）により検出し、絶縁形ディストリビュータ（横河電機製5225-0450）を経てデータレコーダで記録する。

本差圧計の応答速度は、高差圧伝送器のそれで制限され約1Hzである。

4.3.3 電磁流量計

急速凝縮器の冷却水流量および凝縮水流量は、電磁流量検出器（横河電機製6159）で検出し、電磁流量変換増幅器（横河電機製6149）を経てデータレコーダで記録する。

本流量計の応答特性は、検出端の応答速度は十分に高いが、6149のダンピング定数によって制限され、その値は0.3secである。

本流量計の測定結果をもとに、ブローダウン過程における流出流量と流出クオリティを算出する。

4.3.4 タービン流量計

ECCS の注入流量はタービン流量計（トキコ製RE 53）で検出し、パルス変換器（トキコ製RE100 UIA）を経て、データレコーダで記録する。

タービン流量計の応答速度は 0.5 sec である

タービン流量計は、ECCS の貯水タンクの水位低下や、適当な配管替えをして 1 次系ベンチュリ流量計を標準流量計として利用することにより、必要に応じて較正することができる。

4.3.5 電力計

模擬炉心の加熱電力は、帰還形時分割掛算器方式の電力変換器（横河電機製 2885）により検出しデータレコーダで記録する。

本変換器の応答時間は、力率が 1 の場合、50~60 Hz の周波数領域に対して、定格電力の ± 0.02 % の誤差範囲内に達するまでの時間が 1.4 sec、50~500 Hz の周波数領域に対しては、定格電力の ± 0.05 % の誤差範囲内に達するまでの時間が 1.4 sec である。

4.3.6 流体温度計

流体温度は、外径 1.6 mm φ のステンレスシース、非接地型 CA 熱電対で検出し、直流増巾器（横河電機製 WDA 4、および Hewlett 製 8875 A）で増巾して、データレコーダで記録する。熱電対は保護管の中に納められ、感温部の約 10 mm が測定流体中に露出している。

熱電対の応答時間は約 200 ms である。WDA 4 の応答速度はローパスフィルタにより 0~2 Hz から 0~20 KHz まで 4 段階に変化する。また、8875 A の応答速度は 0~75 KHz であるが、実際にはローパスフィルターの特性によって制限されその値は 2 Hz である。

流体温度については、必要に応じて、白金一白金ロジウム標準熱電対を用いた較正装置（島津電気計測器製 CH-1）により較正する。

4.3.7 燃料温度計

模擬燃料棒の温度も、ステンレスシース、非接地型 CA 熱電対で検出しているが、熱電対の取付方法は、燃料棒の種類および炉心番号によって異っている。

まず、非発熱タイロッドの温度は、燃料被覆管を貫通して、シース外径 1 mm φ の熱電対を長さ 1 mm だけ露出させ TIG 溶接している。

発熱燃料棒の温度は、第 1 次炉心では、肉厚 1.3 mm のインコネル 600 製被覆管の内面 5 箇所に設けた、巾 0.5 mm、深さ 0.5 mm の縦ミゾに、シース外径 0.5 mm φ の熱電対を共引き加工により圧着している。この方法では、被覆材表面温度よりやや高めの温度を検出するだけでなく、流体側の速い冷却状態の変化に十分追従するか疑問であり、さらに熱電対の圧着状態による接触熱抵抗にもとづく測定誤差を生ずるおそれもある。そこで第 2 次炉心では、被覆管の外表面に設けた、半径 0.325 mm、長さ 15 mm の半円断面の縦ミゾに、シース外径 0.65 mm φ の熱電対をおさめ、先端を TIG 溶接している。この方法なら上記の欠点は解決できるが、再冠水過程では、非発熱の熱電対を伝って ECCS 注入水が熱電対感温部に導かれて測定誤差の原因になるのみならず、導かれた ECCS 注入水の先行冷却効果により、燃料棒の冷却過程そのものを変えるおそれがある。そこで、第 3 次炉心以降では、被覆管外表面に設けた、巾 0.5 mm、深さ 0.5 mm の U 形断面の縦ミゾに、シース外径 0.5 mm φ の熱電対をおさめてスエージ圧着し、先端を TIG 溶接している。予備実験によれば、この方法があらゆる点で最も

よいという結果が得られている。

これらのシース熱電対の信号は、直流増巾器（横河電機製 3125）で増巾して、データレコーダで記録する。

熱電対の応答時間は、シース外径 1mmφ のもので約 100ms, 0.65mmφ のもので約 60ms, 0.5mmφ のもので約 35ms 程度である。3125 の応答速度は 0 ~ 2.5 KHz であるが、ローパスフィルターの特性により、0 ~ 2 Hz の応答周波数範囲に制限されている。

4.3.8 ポンプ回転数

主循環ポンプの回転数は、パルス計数方式の検出器で検出し、直流増巾器（三栄測器製 6L5）で増巾して、データレコーダで記録する。6L5 の応答速度は 0 ~ 5 KHz である。

4.3.9 各種信号

破断信号、ECCS注入用弁、急速凝縮器冷却水注入用弁の作動、主循環ポンプ駆動電源の通電・遮断等の各種状態は、電圧発生器、リミットスイッチ、マグネットリレー等により状態指示信号をつくり、データレコーダで記録する。

4.4 開発中の計測法

本節では、炉心部の二相流状態を主目的とする開発中の新しい計測法について紹介する。一部の計測法については既に実用に供されている。

(1) 流れ方向計 (Fig.54)

スプリングにより燃料棒表面に支えられたフイン付管の動きを差動変圧器の原理で検出して電気信号として外部に取出すもので、±1 m/s 以上の流れの方向を検出することができる。流れの方向だけでなく流速それ自身についても定性的な情報が得られる。今のところ温度ドリフトにやや問題があるが、ほぼ実用段階に入っている。また、これと別にタービン流量計の原理による流れ方向計も開発中である。

(2) 触針式ボイド計 (Fig.55)

主として炉心内のボイドの変化を検出することを目的とするが、水位計としても使用することができる。(Fig.56) 原信号は ON-OFF 的であるが、波形整形、積分回路によりボイド率としてとり出すことも可能である。

すでに水位計としての性能は確立されているが、ボイド率の絶対値を測定するためには、測定流体の温度や純度の変化の補償等の点で改良すべき点がある。

(3) 静電容量式ボイド計 (Fig.57)

円筒形検出端を持つ静電容量式ボイド計により、サブチャンネル内の平均ボイド率を測定する。検出端は非加熱燃料棒の一部を構成する。今のところ、測定流体の温度や純度の変化の補償等の点で改良すべき点がある。なお、近接した 2 個の円筒形検出端からの信号の相互関係をとることによって、気液界面の移動速度、すなわち分散相の流速が測定できる事を期待している。

(4) 小型電磁流量計 (Fig.58)

円筒形永久磁石を用いた直流式の小型電磁流量計を用いて、炉心内の液相の流速（方向共）を測定することを計画している。この方法は液相が連続相であるかぎり使用可能で、(2)又は(3)項で述べたボイド率の測定と組合せれば液流量の測定も可能である。今のところ永久磁石の表面の電気絶縁の点で

問題がある。

Table 18 に、第1次から第4次模擬燃料集合体における炉心計装点の推移の一覧表を示す。

あとがき

実験装置の詳細については以上のべた通りであるが、なお、さらに詳しい情報を要望されるときは直接著者たちに連絡していただきたい。この装置の製作にあたり種々ご指導下さった故島宗前室長および解作グループの傍島真、岡崎元昭両氏、また装置の製作に当って種々協力を願った東海研技術部の方々および、住友重機、助川電気工業、オリジン電気、岩崎通信機の技術者にも謝意を表する。

なお計測については、今後ともさらに充実をはかるつもりであるが、その結果については本稿とは別に発表するつもりである。

問題がある。

Table 18 に、第1次から第4次模擬燃料集合体における炉心計装点の推移の一覧表を示す。

あとがき

実験装置の詳細については以上のべた通りであるが、なお、さらに詳しい情報を要望されるときは直接著者たちに連絡していただきたい。この装置の製作にあたり種々ご指導下さった故島宗前室長および解作グループの傍島真、岡崎元昭両氏、また装置の製作に当って種々協力を願った東海研技術部の方々および、住友重機、助川電気工業、オリジン電気、岩崎通信機の技術者にも謝意を表する。

なお計測については、今後ともさらに充実をはかるつもりであるが、その結果については本稿とは別に発表するつもりである。

Table 1.1 Design Data of the ROSA-II Facility and LPWR

| Comparison of Major Design Parameters | | |
|---|--|---|
| | ROSA-II | LPWR |
| Reactor type | Simulated PWR changeable to a simulated BWR | PWR |
| Number of primary loops | 2 $\left(\begin{array}{l} \text{ratio of the volume} \\ \text{and the flow rate,} \\ l=3 \end{array} \right)$ | 4 |
| Number of steam-generators | 2 $\left(\begin{array}{l} \text{ratio of the volume} \\ \text{and the heat removal,} \\ l=3 \end{array} \right)$ | 4 |
| Secondary cooling system | Pressurized open loop | Recirculating closed loop |
| Emergency core cooling system (ECCS) | High-pressure coolant injection system (HPCI) Accumulator (ACC) Low-pressure coolant injection system (LPCI) | High-pressure coolant injection system (SIS) Accumulator (ACC) Low-pressure coolant injection system (RHRS) Super-high pressure coolant injection system (CCP) |
| Core heatup | Electric | Nuclear |
| Core power (KW) | 2,240 | 3,411,000 |
| Total volume of primary system (m^3) including steam volume in pressurizer | 0.854 | 355 |
| Primary system pressure ($kg/cm^2 \cdot g$) | 160 | 158 (nominal value) |
| Primary system temperature ($^{\circ}C$) | 325 | 325 (hog leg) 289 (cold leg) |
| Secondary system pressure ($kg/cm^2 \cdot g$) | 60 | 64 |
| Secondary system entrance temperature ($^{\circ}C$) | 275 | 227 |
| Secondary system exit temperature ($^{\circ}C$) | 275 | 279 |

Table 1.2 Dimensions of Major Components

| | ROSA-II | LPWR |
|---|---|--------------|
| Pressure vessel | | |
| Inner height (m) | 4.855 0.38 (top) 0.28 (middle) 0.38 (bottom) | 12.6 4.39 |
| Nozzle elevation of the primary loop (m) | 3.655 | 8.3 |
| Core | | |
| Core length (m) | 2.0 | 4.06 |
| Fuel rod heating length(m) | 1.5 | 3.66 |
| Fuel rod outer diameter (mm) | 10.7 | 10.7 |
| Fuel rod pitch (mm) | 14.3 | 14.3 |
| Cladding thickness (mm) | 1.3 | 0.61 |
| Core barrel inner diameter (m) | 0.23 | 3.74 |
| Primary loop pipe | | |
| Inner diameter (cm) at pressure vessel inlet | 5.73 (blowdown loop) 8.73 (unbroken loop) | 70.0 |
| at pressure vessel outlet | 4.31 (blowdown loop) 10.80 (unbroken loop) | 73.7 |
| Primary loop total length(m) except the steam generator and the pumps | 14.9 15.8(blown down loop) (blowdown loop) 12.7 (unbroken loop) | (unknown) |
| Steam generator | | |
| Inner height (m) | 3.6 (blowdown loop) 4.5 (unbroken loop) | 22.4 |
| U-tube inner diameter (mm) | 14.4 | 19.7 |
| U-tube outer diameter (mm) | 19.0 | 22.2 |
| U-tube mean length (m) | 4.97 (blowdown loop) 6.45 (unbroken loop) | (unknown) |
| Inner diameter (m) | 0.35 (blowdown loop) 0.50 (unbroken loop) | |
| Pressurizer inner height (m) | 2.55 | 15 |

Table 1.3 Volume Distribution

| | ROSA-II | LPWR |
|--|------------------------|-------------------------------|
| Pressure vessel (m ³) (with all internals) | 0.292 | 132 |
| Steam generators (m ³) | 0.298 (0.073+0.225) | 122 (30.6 4) |
| Pressurerizer (m ³) | 0.133 | 5.1 (including steam 20.4) |
| Primary loops (m ³) (including the pumps & the surgeline) | 0.131 (0.034+0.097) | 44.9 |
| Total volume of the primary system (m ³) | 0.854 | 355 |
| Inside of the pressure vessel vessel (I) | % | % |
| Upper plenum (m ³) | 0.117 (40.0) | |
| Core (m ³) | 0.051** (17.5) | 19.3* (14.6) |
| Lower plenum (m ³) | 0.050 (17.1) | |
| Downcomer (m ³) | 0.074 (25.4) | |
| Inside of the pressure vessel (I) | % | % |
| Below the lower end of the core (m ³) | 0.071 (27.3) | 29.2 (22.3) |
| Below the upper end of the core (m ³) | 0.163 (55.7) | 63.9 (49.1) |
| Below the center of the primary loop nozzle (m ³) | 0.184 (63.0) | 89.2 (68.6) |
| Secondary side of the steam generators (m ³) | 0.64 (0.19+0.45) | 355 |

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

Table 1.4 Thermal Design Data

| | ROSA-II | LPWR |
|---|---|--|
| Core power Total | below 2,240 | |
| Average rod power (kw/m) | below 62 (high heat flux rod) | 23 |
| Max. rod power | below 12.5 (low heat flux rod) | 55.5 |
| Average heat flux (Kcal/m ² h) (W/cm ²) | 1.58×10 ⁶ (high heat flux rod) (184) | 0.59×10 ⁶ (68.6) |
| Max. heat flux (Kcal/m ² h) (W/cm ²) | 0.36×10 ⁶ (low heat flux rod) (42) | 1.41×10 ⁶ (164) |
| Number of heated rods | 6 (high heat flux rod) 90 (low heat flux rod) | 39,372 (204 rods × 193 assemblies) |
| Number of unheated rods | 13 | 4,054 |
| Min. DNBR | arbitrary | 1.71 |
| Total flow rate (l/min) (nominal value) | ~2,700 (1,860) | 3.1×10 ⁶ |
| Total mass flow rate (kg/min) (nominal value) | ~2,000 (1,330) | 2.2×10 ⁶ |
| Effective core mass flow (kg/min) (nominal value) | ~1,800 (1,200) | 2.1×10 ⁶ |
| Average mass velocity (kg/m ² h) (nominal value) | ~6.5×10 ⁶ (4.3×10 ⁶) | 12×10 ⁶ |
| Average core flow rate (m/s) (nominal value) | 2.4 (1.6) | 4.72 |
| Effective flow area (m ²) | 0.0185 | 4.75 |

Table 1.5 Thermal Design Data (cont'd)

| | ROSA-II | LPWR |
|--|--|--------------|
| Heating surface area in the core (m ²) | 4.83 4.53 (low heat flux rod) 0.30 (high heat flux rod) | 4,850 |
| Coolant temp. at the inlet (°C) | below 325 | 289 |
| Coolant temp. difference across the core (°C) | 17 (at max. power & nominal flow rate) | 37.2 |
| Pressure vessel | | |
| Coolant temp. difference across the pressure vessel (°C) | 15.4 (at max. power & nominal flow rate) | 35.7 |
| Flow rate to achieve the same temp. difference as that in the TROJAN reactor | | |
| (kg/min) | 573 | — |
| (l/min) | 800 | — |
| Coolant velocity in pipe (m/s) | | |
| pressure vessel inlet | 2.95 (blowdown loop) | |
| pressure vessel outlet | 3.84 (unbroken loop) 5.21 (blowdown loop) 2.52 (unbroken loop) (all at nominal flow rate) | 3.19 3.99 |
| Steam generator | | |
| Number of U tubes | 51 (blowdown loop) 123 (unbroken loop) | 3,388 × 4 |
| Heating surface area (m ²) | 15.1 (blowdown loop) 47.3 (unbroken loop) | 4,780 × 4 |
| Secondary coolant inlet temp. (°C) | below 275 | 227 |
| Secondary coolant outlet temp. (°C) | below 275 | 279 |
| Secondary coolant flow rate (l/min) | ~300 | 75,000 × 2 |

Table 1.6 Emergency Core Cooling System

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

Table 2 Pressure Vessel Nozzles

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

| Design Conditions | |
|-----------------------------------|-------|
| Volume (m ³) | 0.375 |
| Pressure (Kg/cm ² G) | 165 |
| Temperature (°C) | 325 |
| Weight (Kg) | 5,600 |

Table 3 Major Dimensions of Simulated Fuel Assemblies

| Dimensions | Items | Assembly Numbers | | | | | Comments |
|--------------------|---|------------------------|-----------|----------|-------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| | | I | II | III | IIIA | IV | |
| Area | Rod Diameter (mm) | 10.7φ | 10.7φ | 10.7φ | 10.7φ | 10.7φ | 10.7φ |
| | Effective Heated Length (mm) | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,500 |
| | Core Support I.D. (mm) | 190φ | 190φ | 190φ | 146φ | 190φ | 190φ |
| | Core Support O.D. (mm) | 210φ | 210φ | 210φ | 165φ | 210φ | 210φ |
| Volume | Pitch for Arrangement (mm) | 14.3 | " | " | " | " | " |
| | Effective Flow Area (m ²) | 0.0153 | " | 0.0174 | 0.0105 | 0.0174 | 0.0174 |
| | Effective Heat Transfer Area (m ²) | 48.4 | " | 5.24 | 3.02 | 3.24 | 5.14 |
| | Effective Volume ×10 ³ (m ³) | 49.6 | 49.8 | 47.8 | 23.2 | 47.8 | " |
| Materials | Heater Element | NiCr-1 | " | " | " | " | Whole core |
| | Insulator | BN(Mgo) | " | BN | " | " | (*) Denotes Low Heat Flux Assembly |
| | Sheath | Inconel #600 | " | " | " | " | |
| | Core Support | SUS304 | " | " | " | " | |
| Power Distribution | Axial Direction | Low Heat Flux Assembly | uniform | " cosine | " | " | Cosine: 4 steps in one side |
| | High Heat Flux Assembly | uniform cosine | " | " | " | " | Minimum Heat Flux/Maximum Heat Flux |
| | Radial Type | Distributed | 2-Regions | " | Distributed | Outer Heat Flux/ Central Heat Flux | |
| | Distribution Ratio | - | - | 0.791 | " | " | |
| Heat Flux | Low Heat Flux Rod (kw/m) | 12.5 | 12.5 | 21.5 | " | 18.8 | Minimum at the Center |
| | High Heat Flux Rod (kw/m) | 61.6 | " | 27.3 | 27.3 | 61.6 | Position for Cosine Power Rod |
| | Average Heat Flux (kw/m) | 15.1 | 13.8 | 14.4 | 15.2 | 14.4 | 14.6 |
| | Low Heat Flux Rod with Instrumentation | 0 | 0 | 5 | 4 | 6 | 3 |
| Numbers | without Instrumentation | 90 | 90 | 78 | 35 | 77 | 90 |

Table. 3 つづき

| Numbers | Items | Assembly Numbers | | | | | Comments |
|--|---|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--|
| | | I | II | III | IIIA | IV | |
| | High Heat Flux Rod with Instrumentation without Instrumentation | 3 6 | 6 3 | 5 17 | 5 17 | 4 17 | 5 4 |
| | Tie Rod with Instrumentation without Instrumentation | 1 12 | 1* 12 | 1* 8 | 1* 8 | 1** 8 | *Flow direction detector *Flow direction detector & void Meter |
| | Dummy Rod O.D. 5 mmφ O.D. 10 mmφ | 0 0 | 0 0 | 8 0 | 0 0 | 8 8 | |
| | Total | 112 | 112 | 129 | 79 | 129 | 129 |
| Electric Power | Low Heat Flux Rods (kw/Rod) | 18.8 | 18.8 | 20.9 | 20.9 | 20.9 | 18.2 |
| | High Heat Flux Rod (kw/Rod) | 92.4 | 59.6 | 26.4 | 26.4 | 26.4 | 59.6 |
| | Total Heat Flux (kw) | 2,240 | 2,050 | 2,240 | 1,370 | 2,240 | 2,240 |
| | | | | | | | |
| Thermal Shock | Low Heat Flux Rod Heater Element (°C) Clad Surface (°C) | 800 700 | 800 700 | 1,200 1,000 | 1,200 1,000 | 1,200 1,000 | 1,200 1,000 |
| | High Heat Flux Rod Heater Element (°C) Clad Surface (°C) | 800 700 | 1,200 1,000 | 1,200 1,000 | 1,200 1,000 | 1,200 1,000 | 1,000 1,000 |
| | Maximum Temperature Change at Clad Surface (°C) | $\Delta T=600$ | $\Delta T=-600$ | $\Delta T=-900$ | " | " | " |
| | Maximum Input Power Change | $\Delta Q=-100$ | " | " | " | " | " |
| Nominal Operating Conditions of Coolant | Pressure (kg/cm ² G) | 160 | " | " | " | " | " |
| | Temperature (°C) | 325 | " | " | " | " | " |
| | Flow Rate (g/min) | 1,860 | " | " | " | " | " |
| | Velocity (m/s) | 1.69 | " | 1.78 | 2.94 | 1.78 | 1.78 |
| | Mass Flux (kg/m ² h) | 4.0×10^6 | 4.2×10^6 | 7.05×10^6 | 4.27×10^6 | 4.27×10^6 | |
| | Pressure Drop (kg/cm ²) | | | | | | |

Table 4(1/3) In-Vessel Instrumentation of the ROSA-II

| DATA CH. NO. | MEAS. ITEM | SYMBOL | NAME (MEASURING POINT) | SENSOR SPECIFICATION | MEAS. RANGE & OUTPUT | NOTE |
|--------------|--------------|--------|---|------------------------------------|----------------------|--|
| 1 | TEMP. (FUEL) | TF- | ROD SURFACE TEMPERATURE (HIGH FLUX ROD) | TERMOCOUPLE C/A UNGROUNDED (0.65φ) | 0 ~ 1000°C | CONNECTED TO DATAAC 2000B & CORE TEMPERATURE MONITOR MONITOR |
| 2 | " | | "] | " (") | " | " |
| 3 | " | | "] 1 | " (") | " | " |
| 4 | " | | "] | " (") | " | " |
| 5 | " | | "] | " (") | " | " |
| 6 | " | | "] | " (0.5φ) | " | " |
| 7 | " | | "] | " (") | " | " |
| 8 | " | | "] 3 | " (") | " | " |
| 9 | " | | "] | " (") | " | " |
| 10 | " | | "] | " (") | " | " |
| 11 | " | | "] | " (") | " | " |
| 12 | " | | "] | " (") | " | " |
| 13 | " | | "] 19 | " (") | " | " |
| 14 | " | | "] | " (") | " | " |
| 15 | " | | "] | " (") | " | " |
| 16 | " | | " (LOW FLUX ROD) | " (") | " | " |
| 17 | " | | "] | " (") | " | " |
| 18 | " | | "] 12 | " (") | " | " |
| 19 | " | | "] | " (") | " | " |
| 20 | " | | "] | " (") | " | TO DATAAC 2000B & CORE TEMPERATURE MONITOR |
| 21 | " | | "] | " (") | " | TO DATAAC 2000B & CORE TEMPERATURE MONITOR |
| 22 | " | | "] | " (") | " | " |
| 23 | " | | "] 41 | " (") | " | " |
| 24 | " | | "] | " (") | " | " |
| 25 | " | | "] | " (") | " | " |
| 26 | " | | "] | " (") | " | " |
| 27 | " | | "] | " (") | " | " |
| 28 | " | | "] 111 | " (") | " | " |
| 29 | " | | "] | " (") | " | " |
| 30 | " | | "] | " (") | " | TO DATAAC 2000B & CORE TEMPERATURE MONITOR |
| 31 | " | | ROD SURFACE TEMPERATURE (HIGH FLUX ROD) | " (") | " | |

Table 4(2/3) In-Vessel Instrumentation of the ROSA-II

| DATA CH. NO. | MEAS. ITEM | SYMBOL | NAME (MEASURING POINT) | SENSOR SPECIFICATION | MEAS. RANGE & OUTPUT | NOTE |
|--------------|-----------------|--------|---|------------------------------------|----------------------|--|
| 32 | TEMP. (FUEL) | | ROD SURFACE TEMPERATURE (HIGH FLUX ROD) | THERMOCOUPLE C/A UNGROUNDED (0.5φ) | 0 ~ 1000°C | TO CORE TEMPERATURE MONITOR |
| 33 | " | | " 18 | " (") | " | " |
| 34 | " | | " | " (") | " | " |
| 35 | " | | " | " (") | " | " |
| 36 | " | | ROD SURFACE TEMPERATURE (LOW FLUX ROD) | " (") | " | " |
| 37 | " | | | " (") | " | " |
| 38 | " | | | " (") | " | " |
| 39 | " | | | " (") | " | " |
| 40 | " | | 44 | " (") | " | " |
| 41 | " | | | " (") | " | " |
| 42 | " | | | " (") | " | " |
| 43 | " | | | " (") | " | " |
| 44 | " | | | " (") | " | " |
| 45 | " | | | " (") | " | " |
| 46 | " | | CLAD TEMPERATURE GRADIENT | " (") | " | TO DATAAC 2000B & CORE TEMPERATURE MONITOR |
| 47 | " | | " | " (") | " | " |
| 48 | " | | " 66 | " (") | " | " |
| 49 | " | | " | " (") | " | " |
| 50 | " | | " | " (") | " | TO DATAAC 2000B & CORE TEMPERATURE MONITOR |
| 51 | TEMP. (SUPPORT) | | SUPPORT TEMP. | " (1.6φ) | 0 ~ 500°C | TO CORE TEMPERATURE MONITOR |
| 52 | " | | " | " (") | " | " |
| 53 | " | | " 90° | " (") | " | " |
| 54 | " | | " (WEST) | " (") | " | " |
| 55 | " | | " | " (") | " | " |
| 56 | " | | " | " (") | " | " |
| 57 | " | | " | " (") | " | " |
| 58 | " | | " | " (") | " | " |
| 59 | " | | " | " (") | " | " |
| 60 | " | | " | " (") | " | " |
| 61 | " | | " 270° | " (") | " | " |
| 62 | " | | " (EAST) | " (") | " | " |
| 63 | " | | " | " (") | " | " |

Table 4(3/3) In-Vessel Instrumentation of the ROSA-II

| DATA CH. NO. | MEAS. ITEM | SYMBOL | NAME (MEASURING POINT) | SENSOR SPECIFICATION | MEAS. RANGE & OUTPUT | NOTE |
|--------------|---------------------|--------|------------------------|--|----------------------|-----------------------------|
| 64 | TEMP. (SUPPORT) | | SUPPORT TEMP. | THERMOCOUPLE C/A UNGROUNDED " (1.6 φ) | 0 ~ 500°C | TO CORE TEMPERATURE MONITOR |
| 65 | " | | " | " (") | " | " |
| 66 | " | | " 270° | " (") | " | " |
| 67 | " | | " (EAST) | " (") | " | " |
| 68 | " | | "] | " (") | " | " |
| 69 | UQ. LEVEL (SUPPORT) | | CORE WATER LEVEL | TOP POINT SENSOR | ON-OFF | TO CORE TEMPERATURE MONITOR |
| 70 | " | | "] | " | " | " |
| 71 | " | | "] | " | " | " |
| 72 | " | | "] | " | " | " |
| 73 | " | | " 90° | " | " | " |
| 74 | " | | " (WEST) | " | " | " |
| 75 | " | | "] | " | " | " |
| 76 | " | | "] | " | " | " |
| 77 | " | | "] | " | " | " |
| 79 | " | | "] | " | " | " |
| 80 | " | | "] | " | " | " |
| 81 | " | | " 270° | " | " | " |
| 82 | " | | " (EAST) | " | " | " |
| 83 | " | | "] | " | " | " |
| 84 | " | | "] | " | " | " |
| 85 | " | | "] | " | " | " |
| 86 | " | | "] | " | " | " |
| 87 | FLOW RATE | CORE | | ELECTRO-MAGNETIC FLOW METER | | |
| 88 | VOID | " | | ELECTROSTATIC TYPE SENSOR | | |
| 89 | FLOW DIRECTION | " | | DTF TYPE | | |
| 90 | " | " | | " | 32 | |
| 91 | " | " | | " | | |

Table 5 Break Size Simulation Orifice

| Orifice | Flow Dia. mm | Flow Area m ² | Flow Area Ratio | Type |
|---------|--------------|--------------------------|-----------------|-------------|
| OR-1-1 | 7.5 | 0.0000442 | 0.0171 | Sharp-edged |
| OR-1-2 | 16.5 | 0.000214 | 0.0829 | " |
| OR-1-3 | 20.5 | 0.000330 | 0.1279 | " |
| OR-1-4 | 25.0 | 0.000491 | 0.1903 | " |
| OR-1-5 | 30.5 | 0.000730 | 0.2829 | " |
| OR-2-1 | 7.5 | 0.0000442 | 0.0171 | Sharp-edged |
| OR-2-2 | 16.5 | 0.00214 | 0.0829 | " |
| OR-2-3 | 20.5 | 0.000330 | 0.1279 | " |
| OR-2-4 | 25.0 | 0.000491 | 0.1903 | " |
| OR-2-5 | 30.5 | 0.000730 | 0.7829 | " |

(Flow Area Ratio) = (Orifice Area)/(Discharge Piping Area)

Table 6 Discharge Pipe Exit Orifice

| Orifice | Dia. mm | Area m ² | Type |
|---------|---------|---------------------|-------------|
| OR-8-1 | 15 | 0.0001767 | Sharp-edged |
| OR-8-2 | 20 | 0.0003142 | " |
| OR-8-3 | 25 | 0.0004909 | " |
| OR-8-4 | 30 | 0.0007068 | " |
| OR-8-5 | 50 | 0.001963 | " |
| OR-8-6 | 60 | 0.002827 | " |
| OR-8-7 | 75 | 0.004417 | " |
| OR-8-8 | 100 | 0.007853 | " |
| OR-8-9 | 125 | 0.01227 | " |
| OR-9-1 | 15 | 0.0001767 | Sharp-edged |
| OR-9-2 | 20 | 0.0003142 | " |
| OR-9-3 | 25 | 0.0004909 | " |
| OR-9-4 | 30 | 0.0007067 | " |
| OR-9-5 | 50 | 0.001963 | " |
| OR-9-6 | 60 | 0.002827 | " |
| OR-9-7 | 75 | 0.004417 | " |
| OR-9-8 | 100 | 0.007853 | " |
| OR-9-9 | 125 | 0.01227 | " |

Table 7.1~7.3 Instrumentation for ROSA-II Operation

| TAG NO. | NAME | DETECTORS & TRANSMITTERS | | | RANGE | NOTE. |
|--------------|---|--|--|---|--------------------------------|---|
| | | Through Type Detector for Liquid | Electrical Conductivity Detector for Liquid | Electrical Conductivity Detector for Liquid | | |
| CR1 - CE 11 | Electrical Conductivity of IECH. Exit | " | " | " | 0 ~ 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ | |
| CR1 - CE 12 | " of PWT | " | " | " | " | |
| CR1 - CTE 12 | Temperature at PWT | " | " | " | -5 ~ 45°C | For the Temperature Compensation of Electrical Conductivity |
| TR1 - TE 11 | " at Upper Part of PV | " | " | " (Pt, 100 Ω) | 0 ~ 400°C | |
| TR1 - TE 12 | " at Lower Part of PV | " | " | " | " | Also used for the Temperature Compensation of PR Water Level |
| TR1 - TE 13 | " at PR | " | " | " | " | Also used for the Temperature Compensation of both SST |
| TR1 - TE 14 | " at SST | " | " | " | " | Water Level and Flow Rate of Secondary Coolant. |
| TR1 - TE 15 | " of Secondary Coolant at SG 1 Outlet | " | " | " | " | Also used for the Temperature Compensation of SG1 Water Level |
| TR1 - TE 16 | Temperature of Secondary Coolant at SG 2 Outlet | " | " | " | " | Also used for the Temperature Compensation of SG2 Water Level |
| TR2 - TE 21 | Temperature at HPCIT | " | " | " | " | |
| TR2 - TE 22 | " at L PCIT | " | " | " | " | |
| TR2 - TE 23 | " at ACC 1 | " | " | " | " | |
| TR2 - TE 24 | " at ACC 2 | " | " | " | " | |
| TR2 - TE 25 | " Difference between PR and at Upper Part of PV | " | " | " | 0 ~ 50°C | TE 13 - TE 11 |
| TR2 - TE 26 | Temperature at CWT | " | " | " (Pt, 100 Ω) | " | |
| TRC3 - TE 31 | " of Primary Coolant at SG1 Outlet | " | " | " | " | 0 ~ 400°C |
| TRC3 - TE 32 | Temperature of Primary Coolant at SG1 Inlet | " | " | " | " | " |
| TRC4 - TE 41 | Temperature of Primary Coolant at SG2 Outlet | " | " | " | " | " |
| TRC4 - TE 42 | Temperature of Primary Coolant at SG2 Inlet | " | " | " | " | " |

Cont.

| TAG NO. | NAME | Pressure at PR | Upper Part of PV | Part of PV | DETECTORS & TRANSMITTERS | RANGE | NOTE |
|-------------|---|----------------|--------------------------|------------|--|--------------|--|
| PRC1-PX11 | | " | | | Electronic Pressure Indicator Transmitter | 0~200 atm | " |
| PR2 - PX21 | | " | at ACC1 | | " " " | " | " |
| PR2 - PX22 | " | " | at ACC2 | | " " " | 0~100 atm | " |
| PR2 - PX23 | " | " | SST | | " " " | " | " |
| PRC3 - PX31 | " | " | CWT | | " " " | 0~20 atm | " |
| PI4 - PIX41 | " | " | AT | | " " " | " | " |
| PI5 - PIX51 | " | " | HPCIT | | " " " | " | " |
| PI6 - PIX61 | " | " | Water Level | at PR | Electronic Pressure Difference Transmitter | 0~2 m | |
| LRC2-LX21 | " | " | at SST | | " " " | " | " |
| LR3 - LX31 | " | " | at ACC1 | | " " " | 0~3m | |
| LR3 - LX32 | " | " | at ACC2 | | " " " | " | " |
| LR3 - LX33 | " | " | at HPCIT | | " " " | " | " |
| LR3 - LX34 | " | " | at LPCIT | | " " " | " | " |
| LR4 - LX41 | " | " | at SG1 | | " " " | 0~4 m | " |
| LR4 - LX42 | " | " | at SG2 | | " " " | " | " |
| LR5 - LX51 | " | " | at CWT | | " " " | 0~3 m | " |
| LR5 - LX52 | " | " | at PWT | | " " " | " | " |
| LR5 - LX53 | " | " | at POO | | " " " | " | " |
| FRC1-FX11 | Flow Rate of Primary Coolant in the First Loop | " | " | " | Temperature Measuring Resistor (Pt. 100Ω) | 0~400 °C | For the Temperature Compensation of Flow Rate Venturi Tube is used |
| FRC1-FTE11 | Temperature of Primary Coolant in the First Loop | " | " | " | Electronic Pressure Difference Transmitter | 0~1500Pa/min | For the Temperature Compensation of Flow Rate Venturi Tube is used |
| FRC1-FX12 | Flow Rate of Primary Coolant in the Second Loop | " | " | " | Temperature Measuring Resistor (Pt. 100Ω) | 0~400 °C | For the Temperature Compensation of Flow Rate Orifice is used |
| FRC1-FTE12 | Temperature of Primary Coolant in the Second Loop | " | " | " | Electronic Pressure Difference Transmitter | 0~50 Pa/min | For the Temperature Compensation of Flow Rate Orifice is used |
| FR2 - FX21 | Flow Rate of Secondary Coolant in the First Loop | " | " | " | Electronic Pressure Difference Transmitter | 0~150 Pa/min | " " |
| FR2 - FX22 | Flow Rate of Secondary Coolant in the Second Loop | " | " | " | Electromagnetic Flow Rate Meter | 0~500 l/min | " " |
| FRC3 - FX31 | Flow Rate of LPCIP | " | " of Water flow from CWT | | | 0~250 Kg/sec | " " |
| FE41-FX41 | | | | | | | |

Cont.

| TAG NO. | NAME | DETECTORS & TRANSMITTERS | RANGE | NOTE |
|--------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------|------|
| FE 42 - FX42 | Flow Rate of Water flow from CWT | Electromagnetic Flow Rate Meter | 0 ~ 2500 kg/sec | " |
| FE 61 - FX61 | " " in Discharge System | " " | " | " |
| FE 62 - FX62 | " " in " of ACC 1 | " " | 0 ~ 300 l/min | " |
| FE 71 - FX71 | " " of ACC 2 | " " | 0 ~ 1000 l/min | " |
| FE 72 - FX72 | " " of HPCI | " " | 0 ~ 50 l/min | " |
| FE 73 - FX73 | " " of ACC 2 | " " | 0 ~ 20 l/min | " |
| FE 81 - FX81 | " " of " | " " | 0 ~ 110 l/min | " |
| FE 82 - FX82 | " " of " | " " | 0 ~ 300 l/min | " |
| FE 83 - FX83 | " " of " | " " | 0 ~ 5000 rpm | " |
| FE 84 - FX84 | " " of LPCI | " " | " | " |
| FE 91 - FX91 | " " of " | " " | " | " |
| FE 92 - FX92 | Revolution Number of P1 | Electromagnetic Tacho | Generator | " " |
| RI 1 - RX11 | " " of P2 | " " | " " | " |
| RI 2 - RX21 | " " | " " | " " | " |

Table 8 Flow Resistance Simulation Orifice at Inlet and Exit of SG1 and SG2

| Orifice | Flow Dia. mm | Flow Area m ² | Flow Area Ratio | Type |
|---------|--------------|--------------------------|-----------------|-------|
| OR-2-1 | 34.5 | 0.00093 | 0.360 | Round |
| OR-2-2 | 37.0 | 0.00107 | 0.415 | " |
| OR-2-3 | 57.3 | 0.00258 | 1.000 | " |
| OR-3-1 | 50.0 | 0.00196 | 0.328 | Round |
| OR-3-2 | 58.0 | 0.00264 | 0.442 | " |
| OR-3-3 | 63.0 | 0.00312 | 0.521 | " |

OR-2-1~OR-2-3 : SG1 Inlet and Exit Orifice

OR-3-1~OR-3-3 : SG2 Inlet and Exit Orifices

OR-2-1~OR-2-3 Piping Cross-Sectional 0.00258(m²)
AreaOR-3-1~OR-3-3 " 0.00598(m²)

Table 9 Orifice in SST Exit Piping

| Orifice | Flow Dia. mm | Flow Area m ² | Flow Area Ratio | Type |
|---------|--------------|--------------------------|-----------------|-------------|
| OR-6-1 | 26.2 | 0.000539 | 0.28 | Sharp-edged |
| OR-6-2 | 31.6 | 0.000784 | 0.41 | " |
| OR-6-3 | 36.9 | 0.001069 | 0.56 | Round |
| OR-6-4 | 26.9 | 0.000568 | 0.30 | " |
| OR-6-5 | 33.0 | 0.000854 | 0.44 | " |
| OR-6-6 | 40.4 | 0.001281 | 0.67 | " |
| OR-6-7 | 49.5 | 0.001923 | 1.00 | " |

Orifice in SST Piping

| Orifice | Flow Dia. mm | Flow Area m ² | Flow Area Ratio | Type |
|---------|--------------|--------------------------|-----------------|------|
| OR-7-1 | 5.9 | 0.0000273 | 0.055 | |

Table 10 Orifice in ACC Injection Piping

| Orifice | Flow Dia. mm | Flow Area m ² | Flow Area Ratio | Type |
|---------|--------------|--------------------------|-----------------|-------------|
| OR-4-1 | 12.9 | 0.000131 | 0.07 | Sharp-edged |
| OR-4-2 | 14.3 | 0.000161 | 0.08 | " |
| OR-4-3 | 17.0 | 0.000227 | 0.12 | " |
| OR-4-4 | 26.9 | 0.000568 | 0.295 | " |
| OR-4-5 | 33.0 | 0.000855 | 0.444 | " |
| OR-4-6 | 40.4 | 0.001281 | 0.666 | " |
| OR-4-7 | 49.5 | 0.001923 | 1.000 | " |
| OR-5-1 | 23.0 | 0.000415 | 0.097 | Sharp-edged |
| OR-5-2 | 25.6 | 0.000515 | 0.120 | " |
| OR-5-3 | 30.4 | 0.000726 | 0.169 | " |
| OR-5-4 | 40.2 | 0.001269 | 0.296 | " |
| OR-5-5 | 49.3 | 0.001908 | 0.445 | " |
| OR-5-6 | 60.3 | 0.002854 | 0.666 | " |
| OR-5-7 | 73.9 | 0.004287 | 1.000 | " |

OR-4-1 ~ OR-4-7 : ACC1 Injection Rate Control
 OR-5-1 ~ OR-4-7 : ACC2 "

Table 11 ECCS Flow Control Orifice

| Orifice | Flow Dia. mm | Flow Area m^2 | Flow Area Ratio | Type | Injection Location |
|---------|-----------------|--------------------|--------------------|--------------|---------------------------------------|
| OR-71-1 | 20.9 | 0.000343 | 0.178 | Square-edged | Broken Loop C.L. |
| OR-71-2 | 20.9 | 0.000343 | 0.178 | " | Broken Loop H.L. |
| OR-72-1 | 36.2 | 0.001028 | 0.240 | " | Unbroken Loop C.L. Pressure Vessel |
| OR-73-1 | 36.2 | 0.001028 | 0.240 | " | Unbroken Loop H.L. Pressure Vessel |
| OR-81-1 | 7.4 | 0.000043 | 0.114 | " | Unbroken Loop C.L. Pressure Vessel |
| OR-82-1 | 7.4 | 0.000043 | 0.114 | " | Unbroken Loop H.L. Pressure Vessel |
| OR-83-1 | 4.3 | 0.0000145 | 0.049 | " | Broken Loop H.L. |
| OR-84-1 | 4.3 | 0.0000145 | 0.049 | " | Broken Loop C.L. |
| OR-91-1 | 10.1 | 0.000080 | 0.163 | " | Broken Loop C.L. |
| OR-91-2 | 10.1 | 0.000080 | 0.163 | " | Broken Loop H.L. |
| OR-92-1 | 17.5 | 0.000240 | 0.125 | " | Unbroken Loop C.L. Pressure Vessel |
| OR-92-2 | 17.5 | 0.000240 | 0.125 | " | Unbroken Loop H.L. |

The first numbers in OR-71-1~OR-92-2 are the flow meter numbering

Table 12 Break Mode of ROSA-II Break Unit

| Mode No. | Sequence |
|----------|--|
| No.1 | Switch ON → AV 8,9 Open → (T1) → QSV Close → (T2) → RD 1,2 Break |
| No.2 | Switch ON → AV 8,9 Open → (T1) → RD 1,2 Break → (T2) → QSV Close |
| No.3 | QSV Close → QSV Close → (T1) → RD 1,2 Break → (T2) → AV 8,9 Open |
| No.4 | QSV Close → QSV Close → (T1) → AV 8,9 Open → (T2) → RD 1,2 Break |
| No.5 | Switch ON → RD 1,2 Break → (T1) → QSV Close → (T2) → AV 8,9 Open |
| No.6 | Switch ON → RD 1,2 Break → (T1) → AV 8,9 Open → (T2) → QSV Close |
| No.7 | Switch ON → AV 8 or 9 Open → (T1) → RD 1 or 2 Break (QSV is held open) |
| No.8 | Switch ON → RD 1 or 2 Break → (T1) → AV 8 or 9 Open |

Note 1 : T1 and T2 indicate time delayed relay switches.

Note 2 : No.7 and No.8 simulate split break.

Table 13 Interlock Action of ROSA-II Facility

| Apparatus | Interlock |
|----------------------------|--|
| PR Heater | Forced break, Confirmation of break, Switch off below the lower-lower-lower limit of PR water level |
| HPCIT Heater | Forced break, Confirmation of break, Switch off below the lower limit of HPCIT water level |
| LPCIT Heater | Forced break, Confirmation of break, Switch off below the lower limit of LPCIT water level |
| ACC1 Heater | Forced break, Confirmation of break, Switch off below the lower limit of ACC1 water level |
| ACC2 Heater | Forced break, Confirmation of break, Switch off below the lower limit of ACC2 water level |
| AV1 | Closed below the lower-lower limit of ACC1 water level |
| AV2 | Closed below the lower-lower limit of ACC2 water level |
| AV8 | Closed below the lower limit of CWT water level or PV pressure value |
| AV9 | Closed below the lower limit of CWT water level or PV pressure value |
| SLV4 | Closed after confirmation of break |
| SLV5 | Closed after confirmation of break |
| SLV6 | Closed after confirmation of break |
| PRP | Forced break, Stopped after confirmation of break |
| HPCIP | Forced break, Stopped below the lower-lower limit of HPCIT water level |
| LPCIP | Forced break, Stopped below the lower-lower limit of LPCIT water level |
| WSP | Stopped below the lower limit of PWT water level |
| P1 | Forced break, Switch off by the timer T3 |
| P2 | Forced break, Switch off by the timer T4 |
| SWSP | Forced break, Switch off by break switch ON |
| Interlock for Core Heating | Released by break switch ON |
| Normal Break | Not performed below the lower limit of AT pressure or CWT water level (But for cooling water flow, the interlock for CWT water level can be released.) |

Table 14

ECCS. MEASUREMENT LIST 2-1

ECCS. MEASUREMENT LIST 2-2.

| DATA CHNO/MES. | ITEM SYMBOL | NAME / MEASURING POINT | INNER SURFACE | SENSOR SPECIFICATION | | MEAS. RANGE & OUTUT 0~200°C, 0~10V | ACCURACY ± 1.4 % |
|-------------------|-------------|------------------------|-----------------------|----------------------|--------------|--|---------------------|
| | | | | THEMOCOUPLE | CA. UNGROUND | | |
| 67 | T/TIME | TE-31 | TE-31 | | | | |
| 68 | n | TF-32 | | 2 | | | |
| 69 | n | TF-33 | | 3 | | | |
| 70 | n | TF-34 | | 4 | | | |
| 71 | n | TF-35 | | 5 | | | |
| 72 | TEMPERATURE | T-1 | PV. UPPER PLenum | | | 0~400°C, 0~10V | ± 1.0 % |
| 73 | n | T-2 | PV. LOWER PLenum | | | | |
| 74 | n | T-3 | CONDENSATE NO. 1 | | | | |
| 75 | n | T-4 | CONDENSATE NO. 2 | | | | |
| 76 | n | T-5 | SS 1 INLET | | | | |
| 77 | n | T-6 | SS 1 OUTLET | | | | |
| 78 | n | T-7 | PV. PUMP DELIVERY | | | | |
| 79 | n | T-8 | PV. INLET NOZZLE | | | | |
| 80 | n | T-9 | SS 2 INLET | | | | |
| 81 | n | T-10 | SS 2 OUTLET | | | | |
| 82 | n | T-11 | P2 PUMP DELIVERY | | | | |
| 83 | n | T-12 | PRESSURIZER | | | | |
| 84 | n | T-13 | SG 1 SHELL OUTLET | | | | |
| 85 | n | T-14 | SG 2 SHELL OUTLET | | | | |
| 86 | one signal | S-1 | RUPTURE DISC NO. 1 | | | | |
| 87 | n | S-2 | RUPTURE DISC NO. 2 | | | | |
| 88 | n | S-3 | QUICK SHUT VALVE | | | LIMIT SW. CONTACT, ROTATE GENERATOR OPEN/CLOSE, 0~10V | |
| 89 | n | S-4 | RCN VALVE NO. 1 | | | CLOSE/HALF OPEN/HALF | |
| 90 | n | S-5 | RCN VALVE NO. 2 | | | | |
| 91 | n | S-6 | ACC 1 VALVE | | | | |
| 92 | n | S-7 | ACC 2 VALVE | | | 0~10V | |
| 93 | n | S-8 | HPC 1 VALVE | | | CLOSE: OPEN, 0~10V | |
| 94 | n | S-9 | LPC 1 VALVE | | | | |
| 95 | n | S-10 | SST DISCHARGE VALVE | | | CLOSE: OPEN, 0~10V | |
| 96 | n | S-11 | P 1 PUMP POWER SUPPLY | | | ON + OFF, 0~10V | |
| 97 | n | S-12 | P 2 PUMP POWER SUPPLY | | | | |
| 98 | n | FD-1 | IN CORE | | | +0~-10V + 0~10V | |
| 99 | n | FD-2 | | | | | |
| 100 | n | FD-3 | | | | | |
| 101 | n | PUMP CONTROLLER | N-1 | P1 PUMP | | 0~5000PPI, 0~10V | |
| 102 | n | | N-2 | P2 PUMP | | | |
| 103 | n | FLOW DENS. FLOW | F-14 | IN CORE | | 0~10MHz, 0~10V | |
| 104 | n | VELOCITY | V-1 | IN CORE | | ON + OFF : 10V - 0 | |
| 105 | n | REC. FRACTION | V-1 | IN CORE | | | |
| 106 | n | | | | | | |
| 107 | n | | | | | | |
| 108 | n | | | | | | |
| 109 | n | | | | | | |
| 110 | n | | | | | | |
| 111 | n | | | | | | |
| 112 | n | | | | | | |
| 113 | n | | | | | | |
| 114 | n | | | | | | |
| 115 | n | | | | | | |
| 116 | n | | | | | | |

Note * will be changed for hot leg break piping

| DATA ITEM (H.NO.) | NAME (MEASURING POINT) | SENSOR SPECIFICATION | MEAS. RANGE & OUTPUT | | ACCURACY |
|-------------------------|------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|----------|
| | | | FMS-101M-200N | O-NESI(0.001-0.025V) | |
| 1 | P-1 PRESSURE | PV. UPPER PLenum | " | " | ± 2.4 % |
| 2 | P-2 | PV. LOWER PLenum | " | " | " |
| 3 | P-3 | PV. INLET ORIFICE | " | " | " |
| 4 | P-4 | ABOVE NO.1 ORIFICE | " | " | " |
| 5 | P-5 | ABOVE NO.2 ORIFICE | " | " | " |
| 6 | P-6 | BELOW NO.2 ORIFICE | " | " | " |
| 7 | P-7 | SG 1. INLET | " | " | " |
| 8 | P-8 | PUMP SUCTION | " | " | " |
| 9 | P-9 | SG 2. INLET | " | " | " |
| 10 | P-10 | PUMP DELIVERY | " | " | " |
| 11 | P-11 | PUMP DELIVERY | " | " | " |
| 12 | P-12 | PRESSURIZER | " | " | " |
| 13 | P-13 | SG SHELL SIDE | " | " | " |
| 14 | D-1 | PV. TOP - BOTTOM | " | " | " |
| 15 | D-2 | PV. TOP - BOTTOM | " | " | " |
| 16 | D-3 | PV. TOP - NO.1 ORIFICE * | " | " | ± 1.0 % |
| 17 | D-4 | PV. BOTTOM - NO.2 ORIFICE * | " | " | " |
| 18 | D-5 | SG 1. INLET - OUTLET | " | " | " |
| 19 | D-6 | SG 2. INLET - OUTLET | " | " | " |
| 20 | D-7 | PI. PUMP DELIVERY - SUCTION | " | " | " |
| 21 | D-8 | PI. PUMP DELIVERY - SUCTION | " | " | " |
| 22 | FLOW RATE | | | | |
| 23 | F-1 | CONDENSATE NO.1 | | | |
| 24 | F-2 | COOLING WATER NO.1 | | | |
| 25 | F-3 | COOLING WATER NO.2 | | | |
| 26 | F-4 | TURBINE FLOW RATE METER | | | |
| 27 | F-5 | HPC 1 (1) | | | |
| 28 | F-6 | HPC 1 (2) | | | |
| 29 | F-7 | HPC 2 (1) | | | |
| 30 | F-8 | HPC 2 (2) | | | |
| 31 | F-9 | ACC 1 | | | |
| 32 | F-10 | ACC 2 (1) | | | |
| 33 | F-11 | ACC 2 (2) | | | |
| 34 | F-12 | LPC 1 (1) | | | |
| 35 | F-13 | LPC 1 (2) | | | |
| 36 | W-1 | HIGH FLUX RODS | | | |
| 37 | W-2 | LOW FLUX RODS | | | |
| 38 | TF-1 | TMF(SU) 1. ROD | | | |
| 39 | TF-2 | TMF(SU) 2. ROD | | | |
| 40 | TF-3 | TMF(SU) 3. ROD | | | |
| 41 | TF-4 | TMF(SU) 4. ROD | | | |
| 42 | TF-5 | TMF(SU) 5. ROD | | | |
| 43 | TF-6 | NO.3 ROD | | | |
| 44 | TF-7 | NO.4 ROD | | | |
| 45 | TF-8 | NO.5 ROD | | | |
| 46 | TF-9 | NO.6 ROD | | | |
| 47 | TF-10 | NO.7 ROD | | | |
| 48 | TF-11 | NO.8 ROD | | | |
| 49 | TF-12 | NO.9 ROD | | | |
| 50 | TF-13 | NO.10 ROD | | | |
| 51 | TF-14 | NO.11 ROD | | | |
| 52 | TF-15 | NO.12 ROD | | | |
| 53 | TF-16 | NO.13 ROD | | | |
| 54 | TF-17 | NO.14 ROD | | | |
| 55 | TF-18 | NO.15 ROD | | | |
| 56 | TF-19 | NO.16 ROD | | | |
| 57 | TF-20 | NO.17 ROD | | | |
| 58 | TF-21 | NO.18 ROD | | | |
| 59 | TF-22 | NO.19 ROD | | | |
| 60 | TF-23 | NO.20 ROD | | | |
| 61 | TF-24 | NO.21 ROD | | | |
| 62 | TF-25 | NO.22 ROD | | | |
| 63 | TF-26 | NO.23 ROD | | | |
| 64 | TF-27 | NO.24 ROD | | | |
| 65 | TF-28 | NO.25 ROD | | | |
| 66 | TF-29 | NO.26 ROD | | | |
| 67 | TF-30 | NO.27 ROD | | | |

Table 15 DATAAC-2000B Magnetic Tape Unit

I. Composition of DATAAC

| | |
|-----------------------------|-------|
| Multiplexer | 95 CH |
| A/D Convertor | 1 |
| D/A Convertor | 2 |
| Code Conversion Circuit | 1 |
| Memory Circuit | 2 |
| Control Circuit | 1 |
| MT Control Circuit | 1 |
| Control Panel | 1 |
| Automatic Voltage Regulator | 1 |

II. Specification of DATAAC

| | |
|----------------------------------|---------------------|
| Number of Input Channels | 120 CH |
| Input Range | +10.23 ~ -10.24V |
| Input Impedance | 10 KΩ |
| Integral Conversion Accuracy | ±0.4% |
| Quasi-Simultaneous Sampling | |
| Format of MT | |
| Density | 800 DPI |
| Number of Tracks | 9 |
| Record | 65 mm |
| Ambient Temperature and Humidity | 15 ~ 30°C, 40 ~ 80% |
| Input Power | 95 ~ 105V 50 Hz |

III. MT Unit

| | |
|------------------|--|
| TYPE | FACOM-603G |
| Tape Width | 12.7(1/2") mm |
| Tape Speed | 30.5 m/s |
| Data Speed | 96 KB |
| Density | 800 BPI |
| Starting Time | 2.5 ± 0.3 ms |
| Stopping Time | 2.3 ± 0.3 ms |
| Rewinding Time | 18 min |
| Recording Method | MRZI |
| Head | 9 track - 2 gap |
| Input Power | 3Φ 200±10% 50/60 Hz 1.6KVA(Stand-by) 2.5KVA(Operation) |
| Markers | Loading Point and End of Tape (Reflection Type) |

T: Table 16 Specification of Analog Data Recorder

| | | |
|---|--|---|
| (I) Specifications of FR-1800L Reacorder/Reproducer | Line Power: | 105 to 125 Vac without use of external transformer or voltage regulator. |
| Physical: | Height with dolly; 81.31 in. Height without dolly; 77.31 in. | 210 to 240 Vac utilizing tapped line transformer regulator. |
| Depth: | (with rear door and transport base plate closed) 27.38 in. | Frequency; 47 to 63 Hz, single phase Frequency Change Rate; $\pm 2.5\%$ per second |
| | (with rear door and cover door opened) 63.50 in. | Power Consumption; Not more than 1500 watts for a 7 channel system and shall be less than 2000 watts for a 14 channel system, exclusive of monitor scope bays and accessories. |
| | Width; 23.00 in. | |
| Environmental: | Temperature; Operating; $+5^{\circ}\text{C}$ to $+43^{\circ}\text{C}$ Nonoperating; -20°C to $+55^{\circ}\text{C}$ | Transport: 10 to 90% Noncondensing Altitude; Operating; to 10,000 feet Nonoperating; to 50,000 feet |
| | | Tape Speeds; 120, 60, 30, 15, 7-1/2, 3-3/4, and 1-7/8 ips |
| | | Tape Speed Accuracy; $\pm 0.2\%$ |
| | | Tape Widths; 1/2 in. or 1 in. |
| Salt Atmosphere; | | As encountered in coastal regions, sea locations, and during ocean transportation. |
| Sand and Dust Protection; | | Provided by Positive cabinet air pressures, dust filters and door seals. |

Table. 16 のつづき(1)

| | | | |
|-----------------|---|-----------------------|---|
| Transport: | Tape Thickness; 1.0 and 1.5 mil base polyester | Heads: | Number of Tacks; 1/2-in. tape - 7 tracks 1-in. tape - 14 tracks |
| Reel Size; | Up to 14 in. Ampex precision reels (NAB Hubs) | Track Width; | 0.050 (± 0.001) in. |
| Start Time; | 6 seconds maximum to reach stable speed of 60 ips | Track Spacing; | 0.070 (± 0.002) in. |
| Stop Time; | 4 seconds maximum at 120 ips | Head Spacing; | 1.500 (± 0.010) in. |
| Fast Wind Time; | Fast forward and fast reverse for 14 in. reel with 7200 feet of tape is less than 5 minutes (at ac line voltage of 117v). | Head Life; | 1000 hours minimum (When specified tape is used, see paragraph 3.2-3) |
| Flutter; | Peak-to peak instantaneous speed variation | Gap Azimuth; | ± 1 minute of arc |
| | % Peak-to-peak variation | Gap Scatter; | Less than .0001 in. |
| | | Capstan Servo System: | Standard Reference Frequency |
| | | Tape Speed (ips) | Frequency |
| | | Speed (ips) | |
| | | Bandpass | |
| | | Peak Flutter | 200 kHz |
| | | Tape Servo | 100 kHz |
| 120 | 0.2 Hz to 10 kHz | 0.20 | 50 kHz |
| 60 | 0.2 Hz to 10 kHz | 0.25 | 25 kHz |
| 30 | 0.2 Hz to 5 kHz | 0.35 | 12.5 kHz |
| 15 | 0.2 Hz to 2.5 kHz | 0.40 | 6.25 kHz |
| 1-1/2 | 0.2 Hz to 1.25 kHz | 0.45 | 3-7/8 |
| 3-3/4 | 0.2 Hz to 625 Hz | 0.60 | 3.12 kHz |
| 1-7/8 | 0.2 Hz to 312 Hz | 0.80 | |
| | | | Capstan Servo System: |
| | | | Warm Up Time; |
| | | | 15 seconds with equipment within specified operating temperature and with frequency standard stabilized |
| | | | Time Base Expansion and Contraction; |
| | | | Over entire transport speed range without modifications. |
| | | | ± 0.3 microseconds or less at 60 ips on adjacent tracks in the same head stack. |

Table. 16 ○○○(2)

Reference Track;

Reference signal can be recorded using direct system electronics on any data track in order to utilize tape servo on reproduction.

Time Base Error;
 The instantaneous difference in time base between the reproduced control track signal and the capstan servo reference signal will be 6 sec peak-to-peak at 60 ips and inversely proportional at other speeds.

(II) FM SYSTEM SPECIFICATIONS

| HEAD | Gap Scatter: | Trailing edges for record heads (or gap centers for reproduce heads) within a band 100 micro-inches wide (0.001 inch). | |
|-----------------------------------|---------------------------------------|---|---------------------------|
| Gap Azimuth: | | All stacks with 1 minute of arc perpendicular to head base plate. | |
| Track Dimensions: | | Track width is 0.050 inch; tape track spacing 0.070 center (IRIG Standard). Other heads on special order. | |
| Number of Tracks: | | 7 on 1/2 inch; 14 on 1 inch (IRIG Standard). Other heads on special order. | |
| Inter Spacing: | | 1.5 (± 0.0005) inches, gap to gap. | |
| FM RECORD/REPRODUCE SYSTEM | | | |
| Frequency Response: | | | |
| Tape Speed | Frequency Response (within 1.0 db) | RMS S/N Ratio | Total Harmonic Distortion |
| 60 ips | 0 to 20,000 cps | 44 db | 1.5% |
| 30 ips | 0 to 10,000 cps | 44 db | 1.5% |
| 15 ips | 0 to 5,000 cps | 42 db | 1.5% |
| 7-1/2 ips | 0 to 2,500 cps | 42 db | 1.5% |
| 3-3/4 ips | 0 to 1,250 cps | 40 db | 2.0% |
| 7-7/8 ips | 0 to 625 cps | 40 db | 2.0% |

RMS Signal-to-Noise (at center carrier): (See table)
 Harmonic Distortion (See table)

Table. 16 オーディオ(3)

DC Drift: Less than $\pm 0.5\%$ of full deviation over a fourhour period after warmup (10 minutes). Less than 2% in 8 hours with temperature variations between +40 F and +125 F.

Record/Reporudce Voltage Linearity:

$\pm 1.0\%$ of full band, of a zero-based straight line.

Input Level: Input of 1 volt rms (0 dBV) to produce $\pm 40\%$ deviation; adjustable from 0.5 to 25 volts rms by input potentiometer.

Input Impednace:

Minimum 20 K ohms resistive.

Output Level:

1.0 volt rms (nominal) into 10 K ohms or greater load impedance.

Output Impedance:

1,000 ohms, unbalanced to ground.

ENVIRONMENT**Temperature:**

Operating; -40 F to +125 F.
Storage/non-operating; -20 F to +160 F.

Altitude:

Operating; 15,000 feet.
Non-operating; 50,000 feet.

Relative Humidity: 5 to 95%, non-condensing, both operating and non-operating.

Vibration:

Operating; nil.
Non-operating; Normal handling and transportation only.

Voltage:

105 to 125 volts, single phase, 58 to 62 cps ac (48 to 52 cps ac on special order).

Power Consumption: Approximately 500 watts for a 14-track record/reproduce system.

Table 17 Specification of Core-Temperature Monitor

| | |
|----------------------------------|--------------------------|
| Input Range | 0±40 mV |
| Numbers of Channels | |
| T/C Inputs | 80 ch. |
| Conditional inputs | 20 ch. |
| Reference Junction | 50 °C |
| Scanning Speed | 100 ch/sec (Max) |
| Recording Time | 320 sec (For 100 ch/sec) |
| Memory Capacity | |
| Core Memories | 32 kW |
| Cassette Type MT | 32 kW |
| Access | |
| Manual Access (Digital Display) | 1 ch (4 characters) |
| Automatic Access (Analog Output) | |
| Number of Channels | 2 ch |
| Output Voltage | 0±5V (0 1000°C) |
| Scale Factor | 1/10 (of real time) |
| Integral Error | 1 % |

Table 18 Instrumentation List in Simulated Fuel Rod Assemblies

| Items | | Assembly Numbers | | | | | | Comments |
|-------------|-----------------------------|------------------|----|-----|------|----|----|----------------------------|
| | | I | II | III | IIIA | IV | V | |
| Temperature | Low Heat Flux Rod | - | - | 25 | 20 | 30 | 15 | Ungrounded CA Thermocouple |
| | High Heat Flux Rod | 15 | 36 | 25 | 25 | 20 | 25 | |
| | Tie Rod (Fluid Temperature) | 5 | 5 | - | - | - | 5 | |
| | Core Support | - | - | 18 | - | 18 | 18 | |
| Water Level | Tie Rod | - | 5 | - | - | - | 5 | ON-OFF Signal by Needle |
| | Core Support Inner Surface | - | - | 18 | - | 18 | 18 | |
| | Flow Direction Detector | - | - | 3 | 3 | 3 | 3 | Differential Transformer |
| | Flow Rate | - | - | 1 | - | 1 | - | Electromagnetic |
| | Void | - | - | 1 | - | 1 | - | Needle type |
| | Total | 20 | 46 | 91 | 48 | 91 | 89 | |

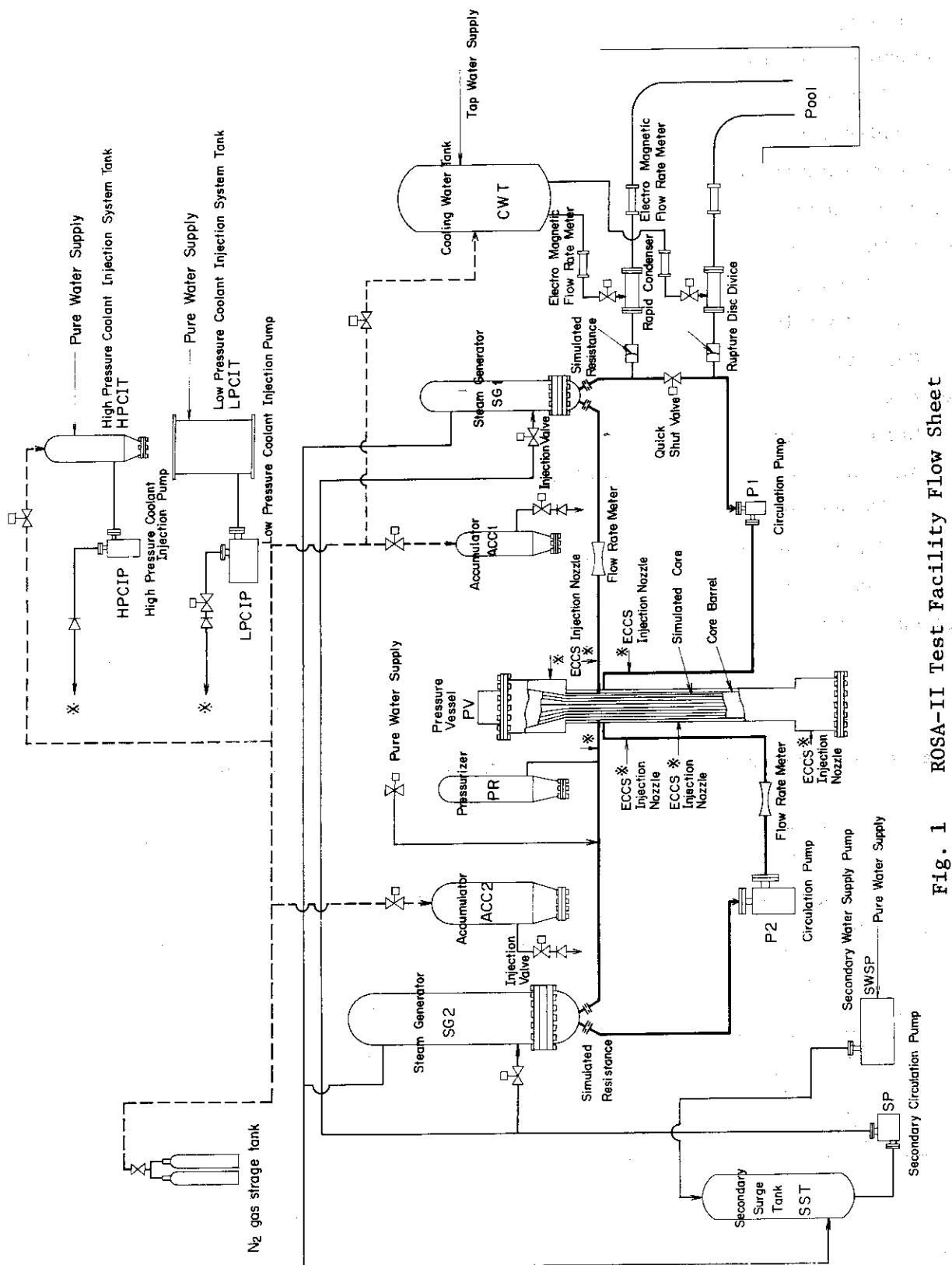
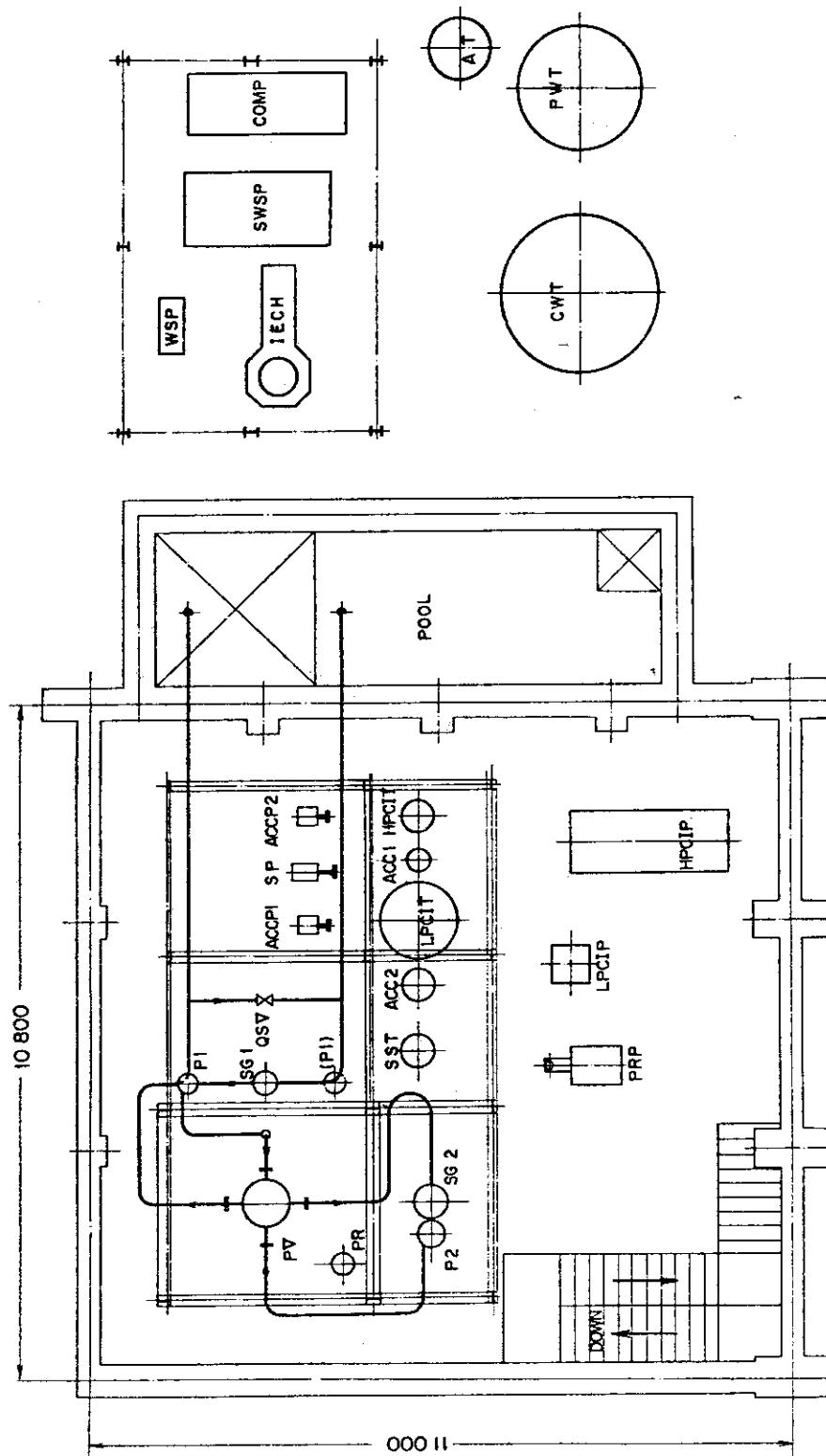


Fig. 1 ROSA-II Test Facility Flow Sheet



| NOTE | | NOTE | |
|-------|--|--------|---|
| PV | Pressure Vessel | LPCIT | Low Pressure Coolant Injection System Tank |
| PR | Pressurizer | ACCP 1 | ACC Pump 1 |
| SG 1 | Steam Generator 1 | ACCP 2 | ACC Pump 2 |
| SG 2 | Steam Generator 2 | HPCIT | HPCIT Pump |
| SST | Secondary Surge Tank | LPCIT | LPCIT Pump |
| ACC 1 | Accumulator 1 | PWT | Pure Water Tank |
| ACC 2 | Accumulator 2 | PRP | PR Supply Pump |
| HPCIT | High Pressure Coolant Injection System Tank | P 1 | Circulation Pump 1 |
| | | P 2 | Circulation Pump 2 |
| | | SP | Secondary Circulation Pump |
| | | COMP | Compressor |
| | | IECH | Ion Exchanger |
| | | POOL | POOL |

Fig. 2

ROSA-II Test Facility Arrangement

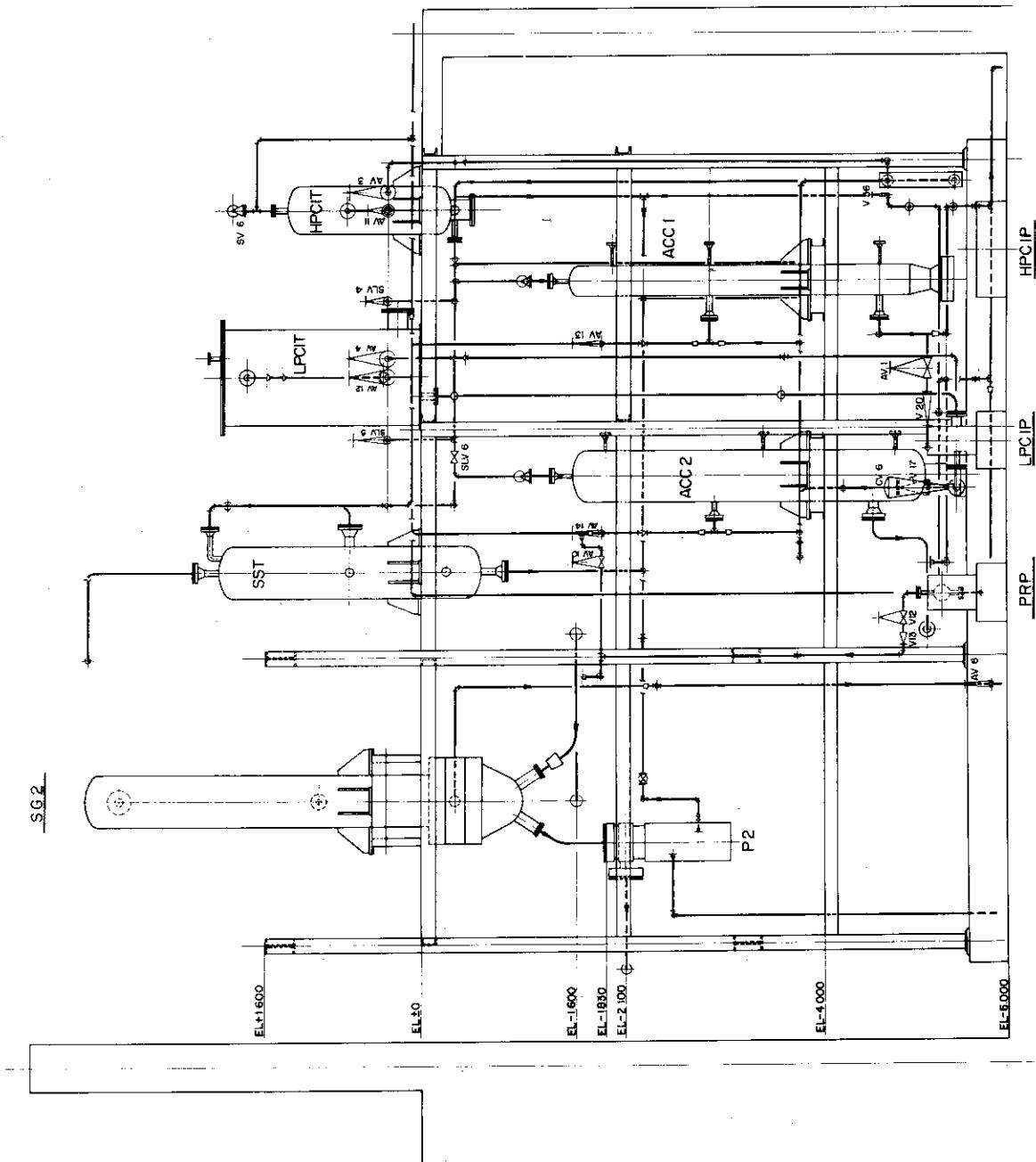


Fig. 3 Arrangement and Piping of ROSA-II Facility

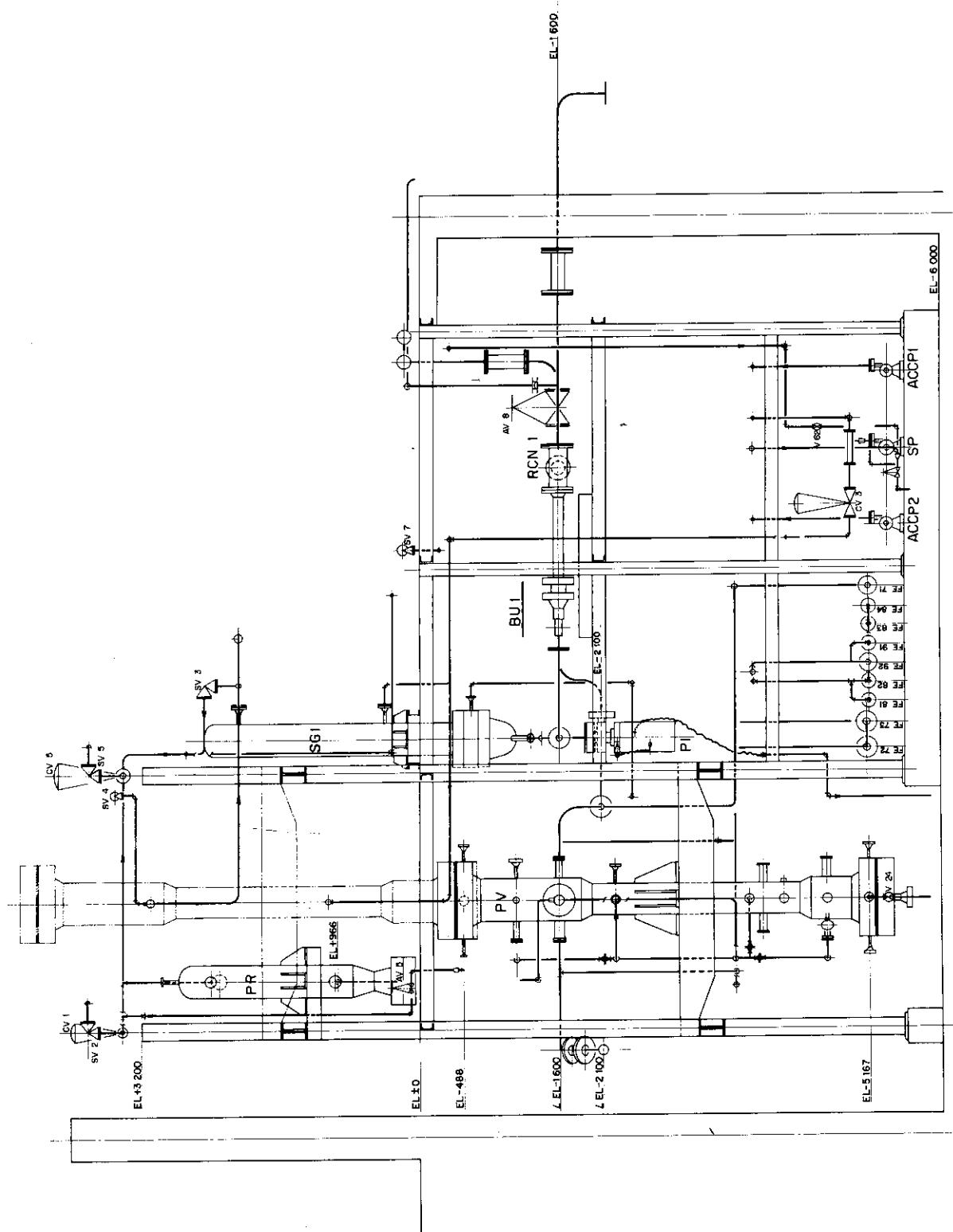


Fig. 4 Arrangement and Piping of ROSA-II Facility

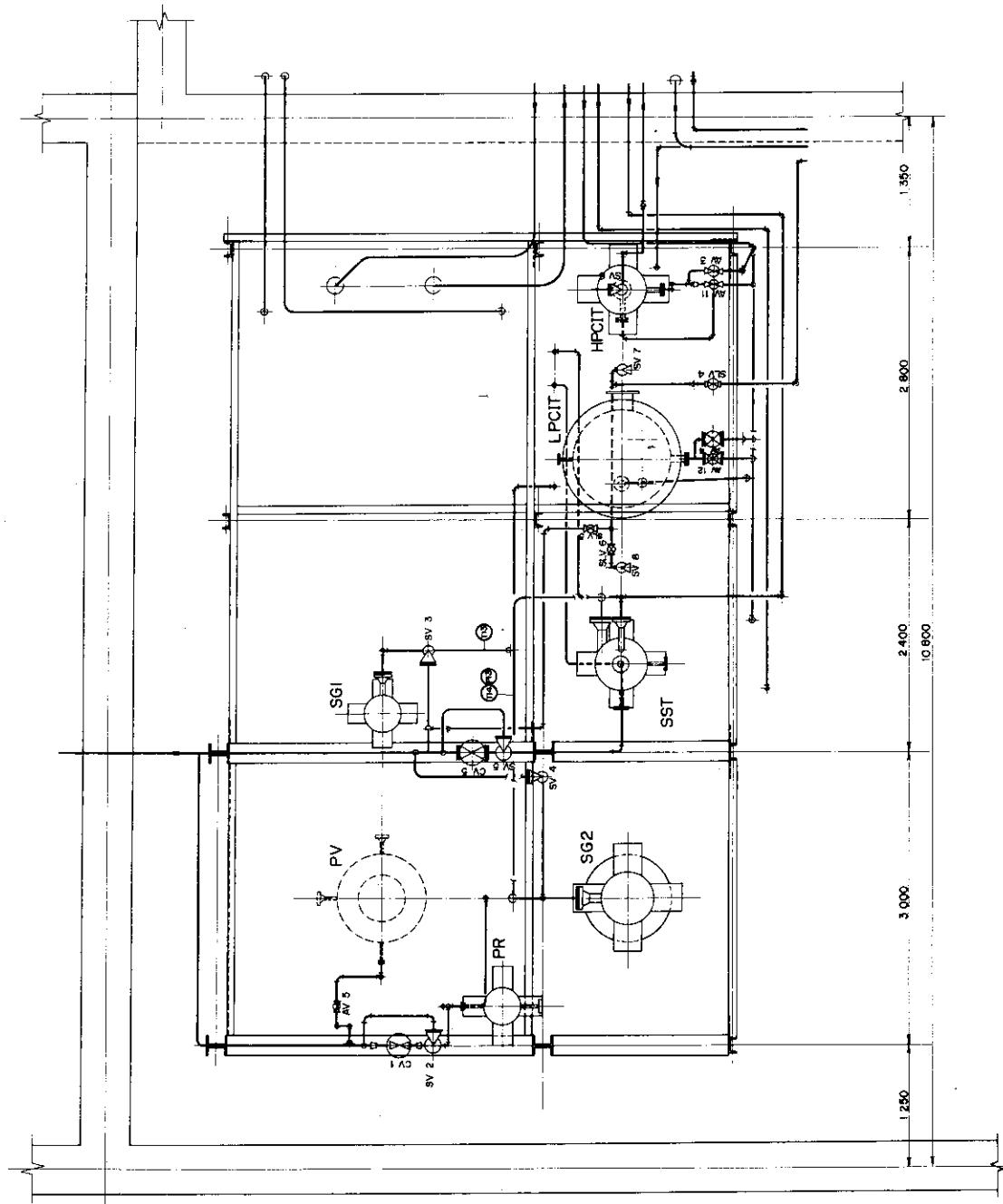


Fig. 5 Arrangement and Piping of ROSA-II Facility

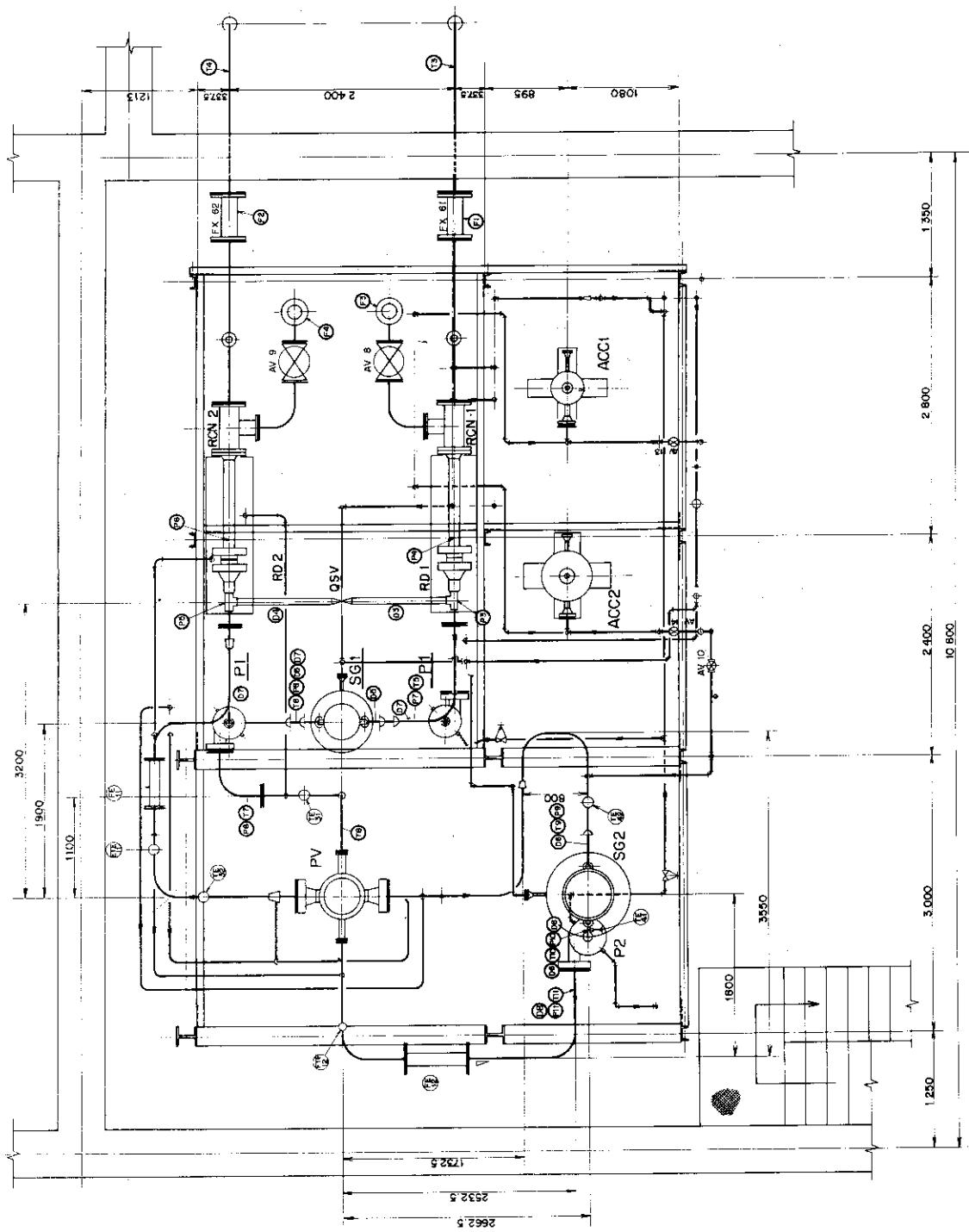


Fig. 6 Arrangement and Piping of ROSA-II Facility

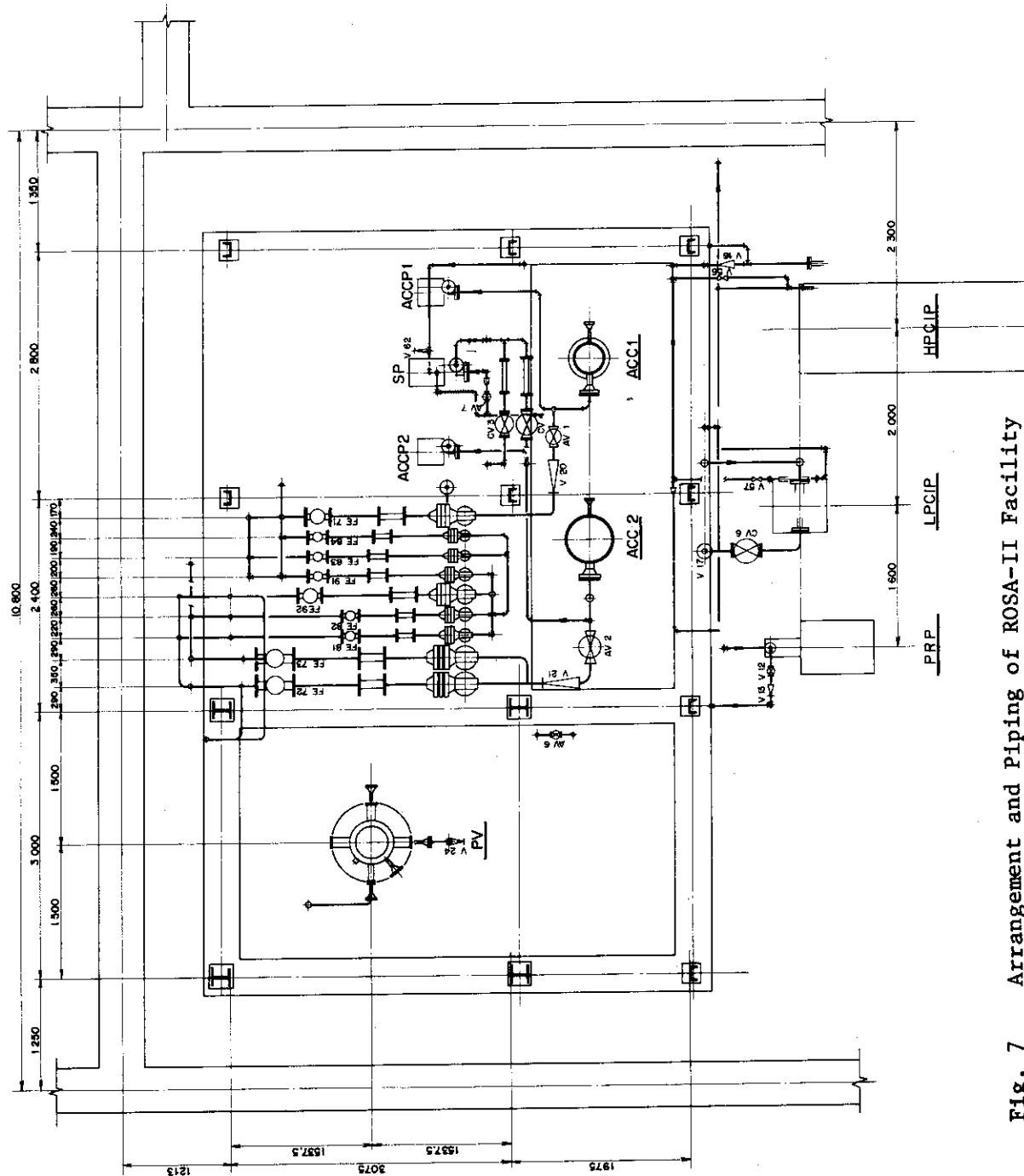


Fig. 7 Arrangement and Piping of ROSA-II Facility

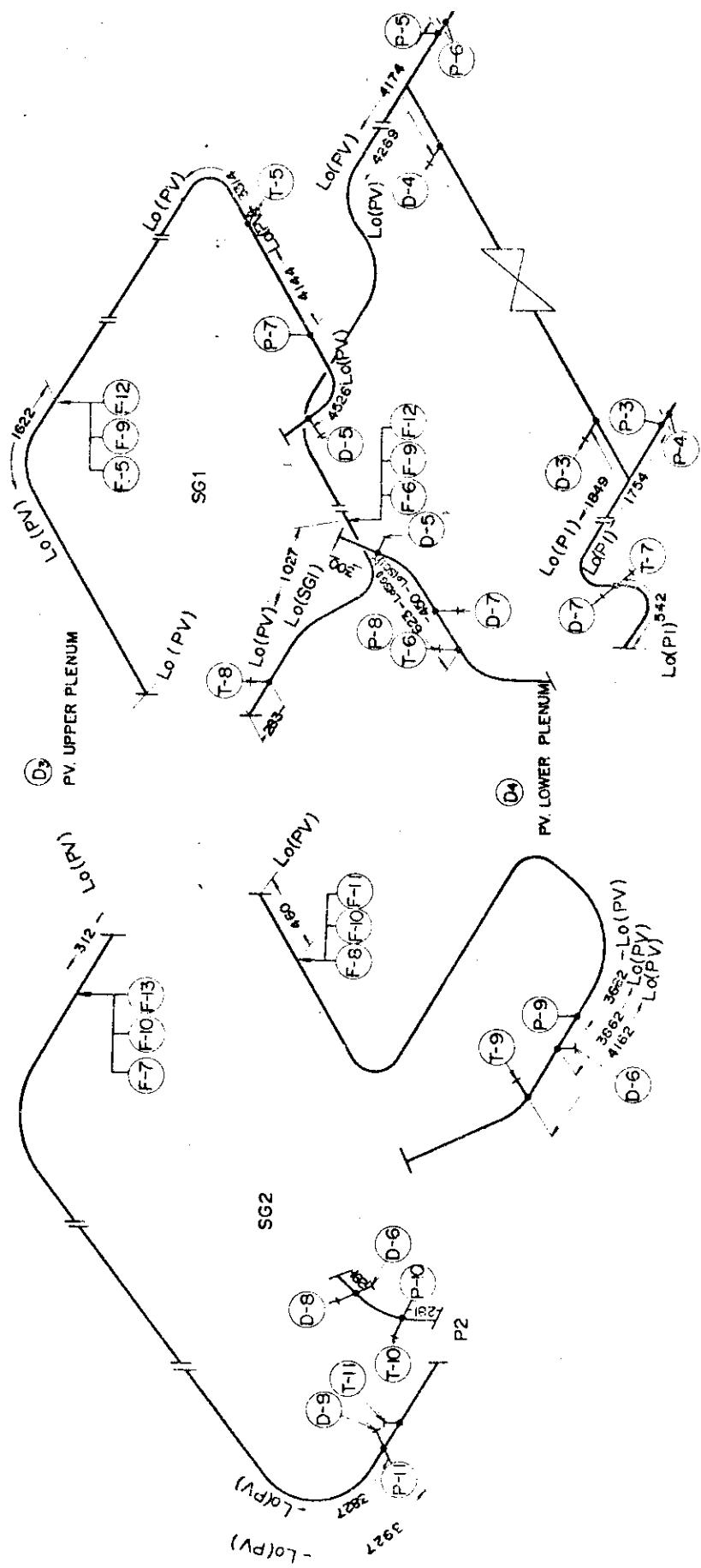


Fig. 8 Position of Measurement in the Primary Loop (Cold-Leg Break)

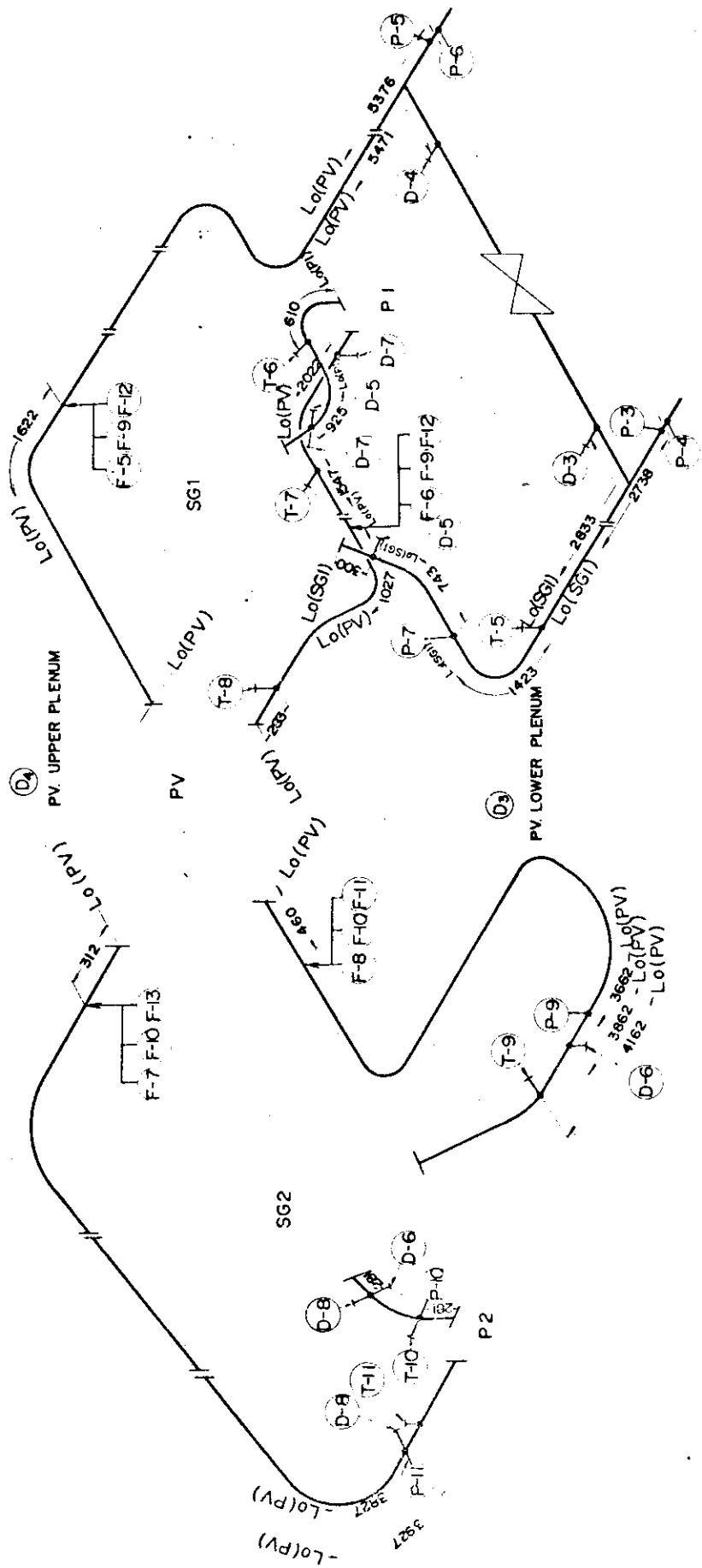


Fig. 9 Position of Measurement in the Primary Loop (Hot-Leg break)

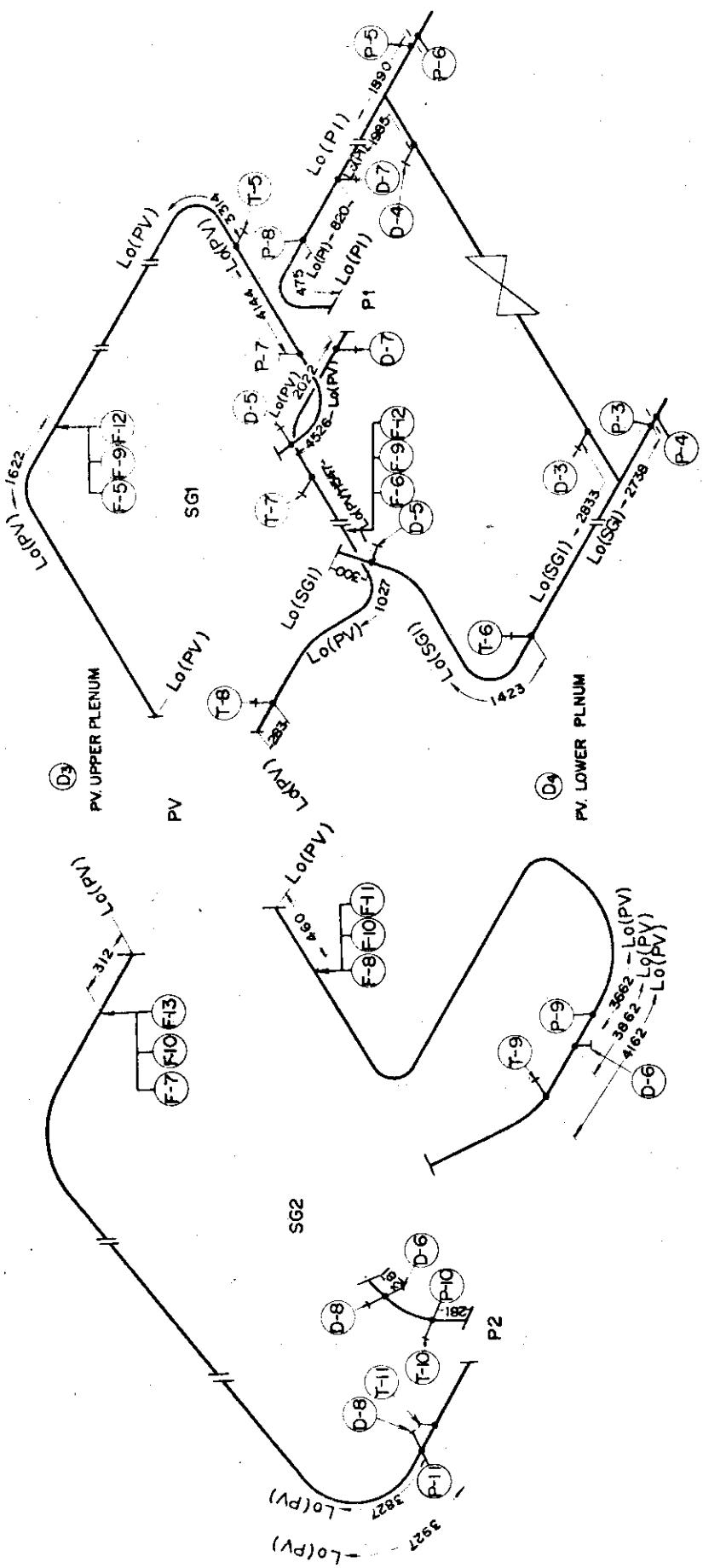


Fig. 10 Position of measurement in the Primary Loop (P1-SG1 Break)

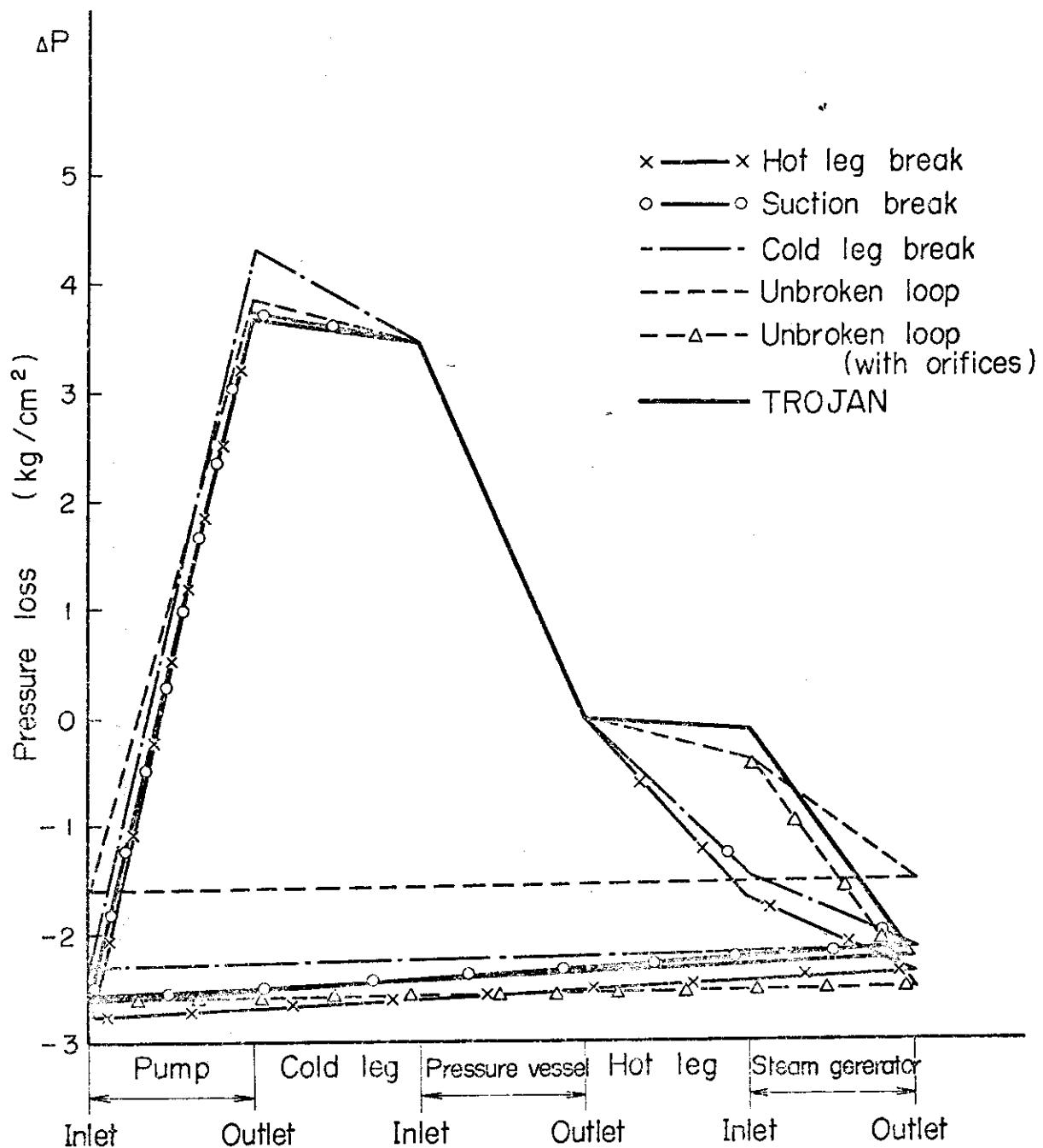


Fig. 11 Comparison of Pressure Loss of Each Part of the Loop between the ROSA-II and the LPWR with the Same Core Flow Velocity

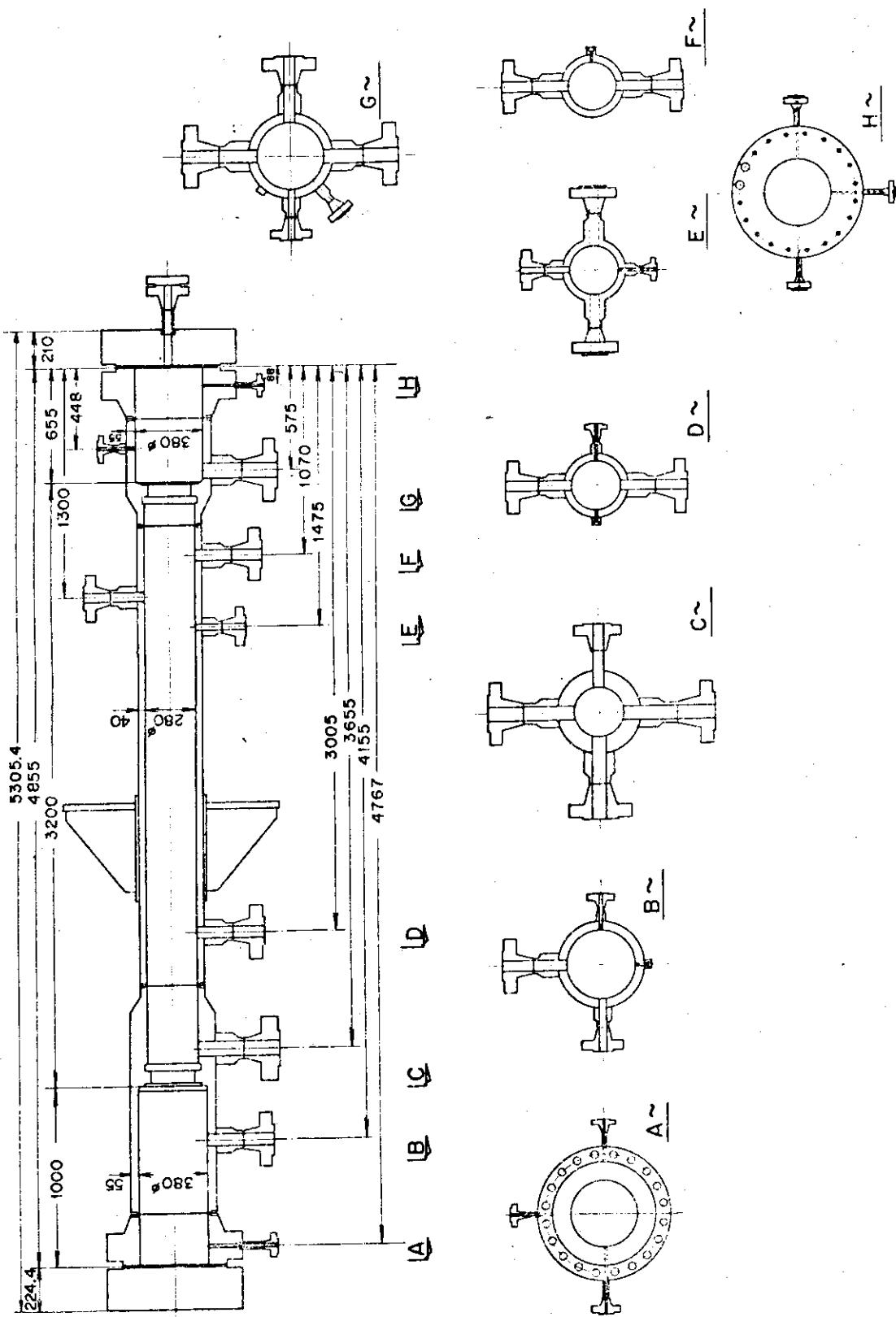


Fig. 12 Pressure Vessel

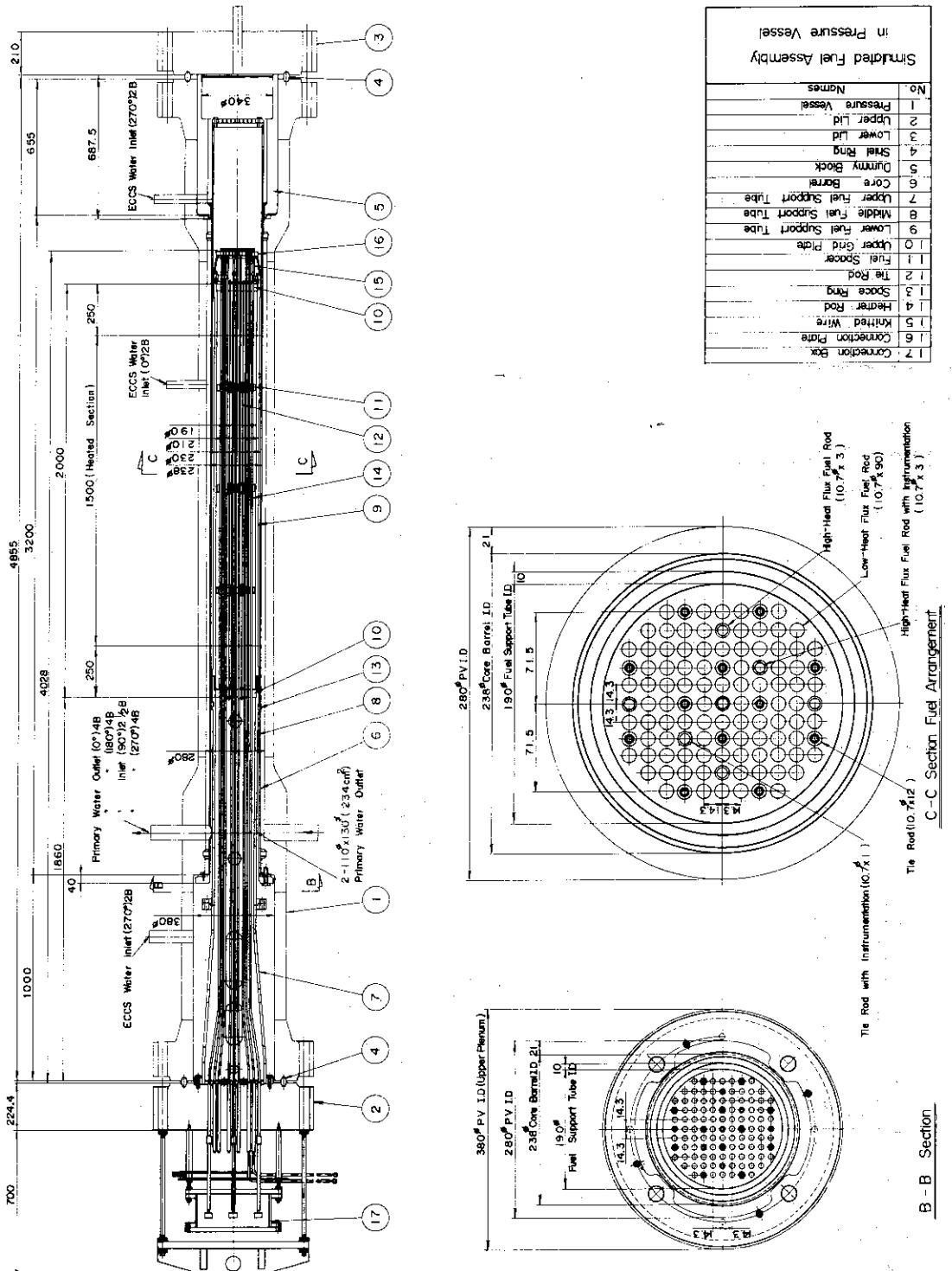


Fig. 13 Arrangement of Simulated Fuel Assembly

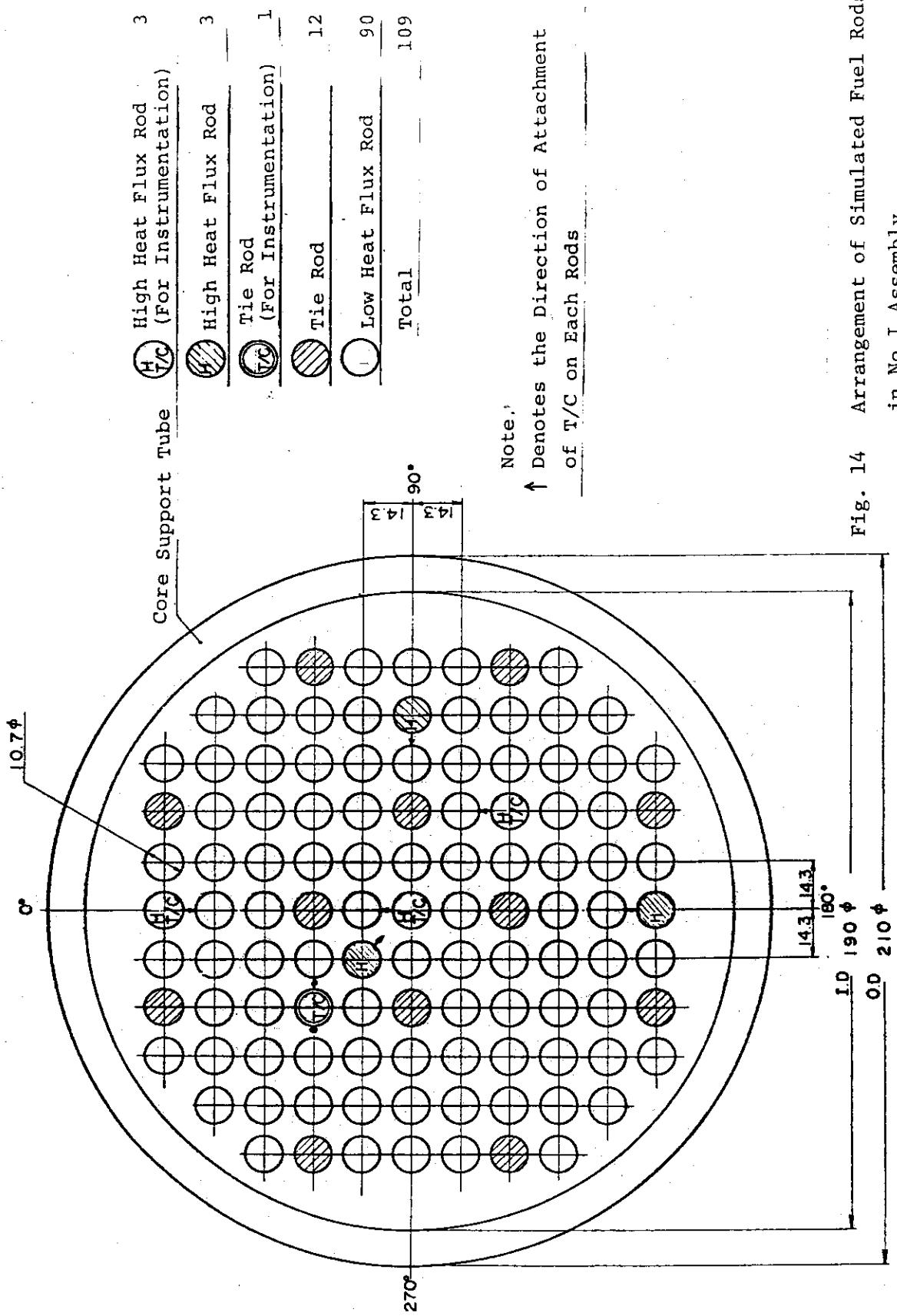


Fig. 14 Arrangement of Simulated Fuel Rods in No. I Assembly

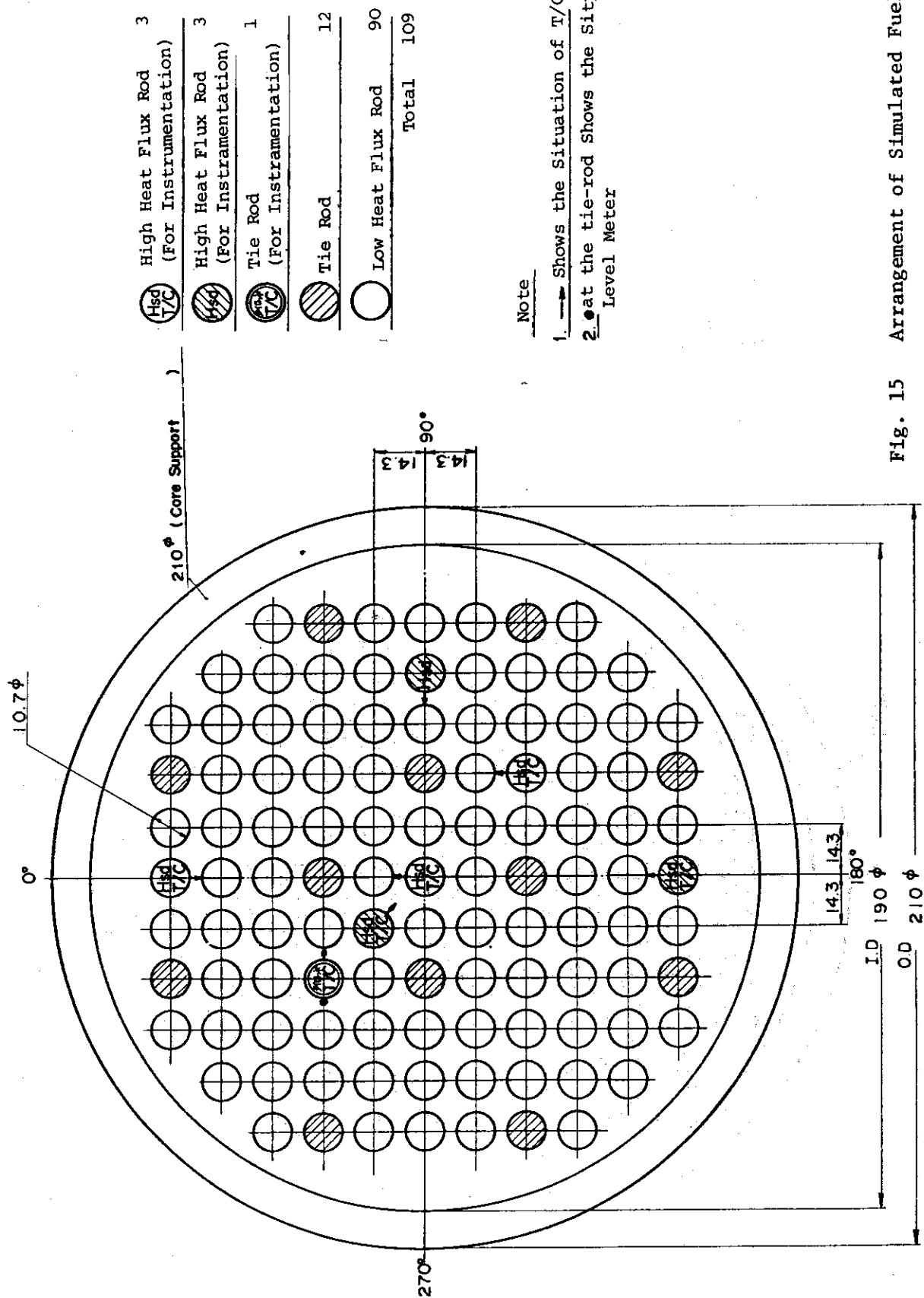


Fig. 15 Arrangement of Simulated Fuel Rods in No. II Assembly

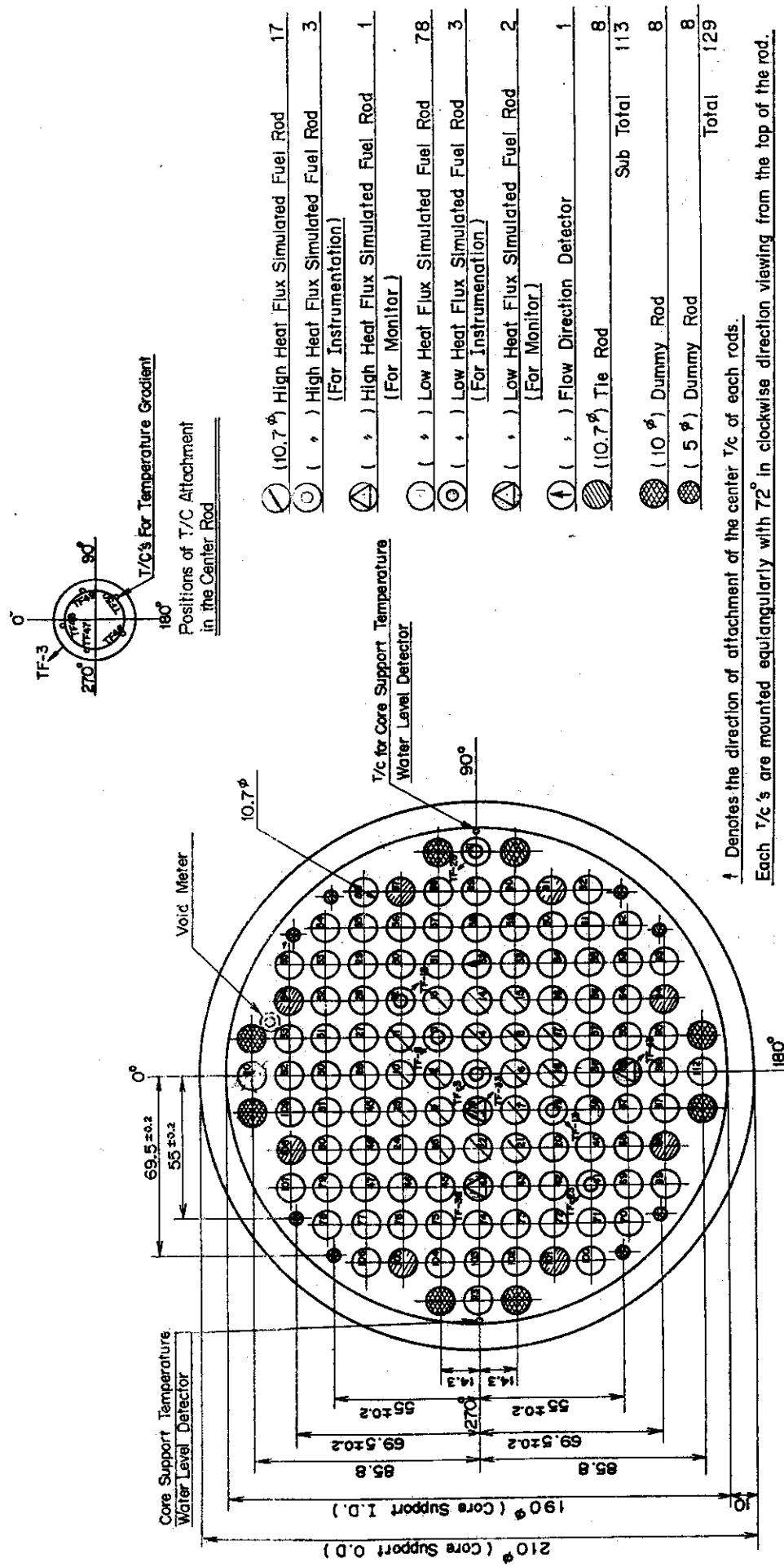


Fig. 16 Arrangement of Simulated Fuel Rods in No.III Assembly

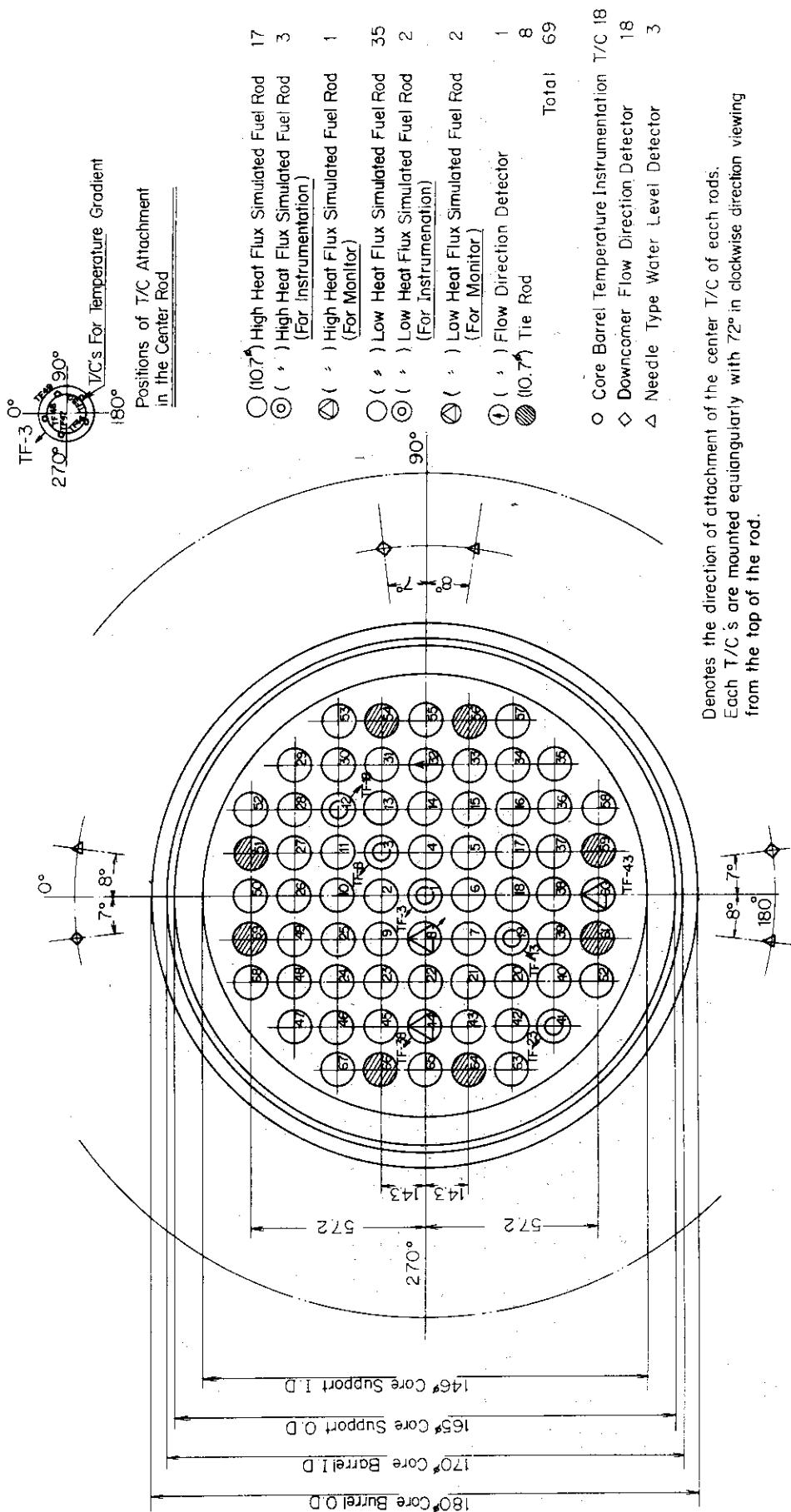


Fig. 17 Arrangement of Simulated Fuel Rods in III-A Assembly

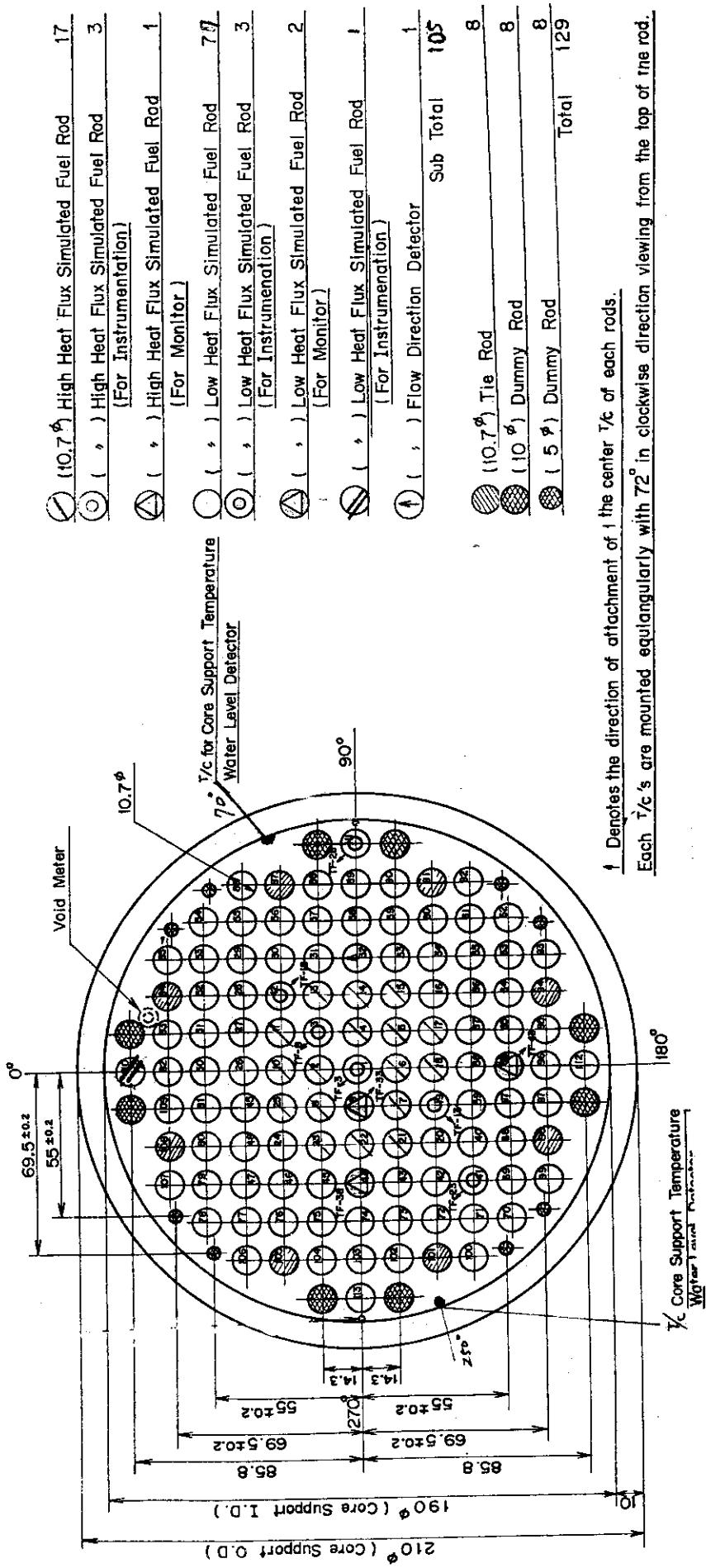


Fig. 18 Arrangement of Simulated Fuel Rods in IV Assembly

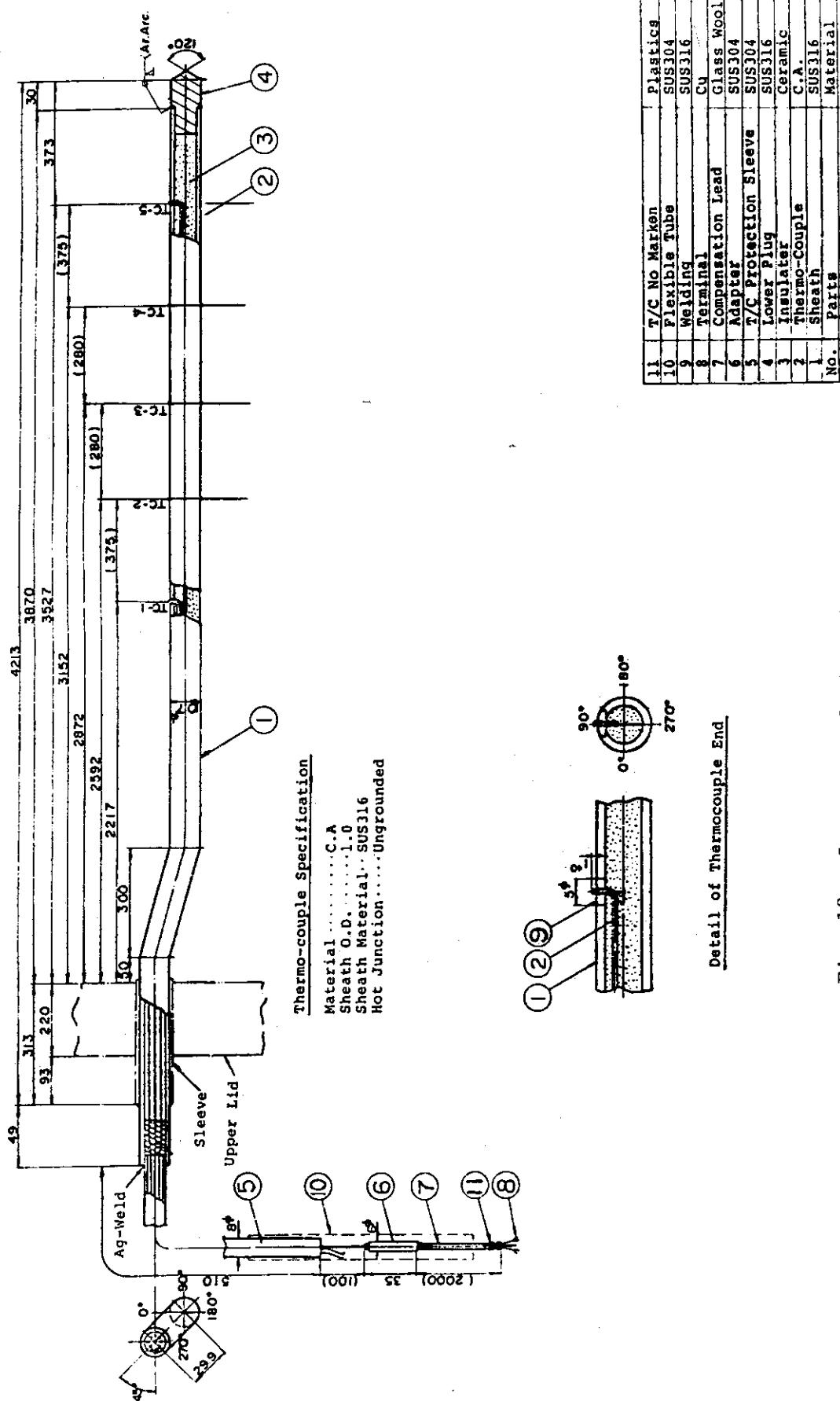


Fig. 19 Structure of Tie Rod

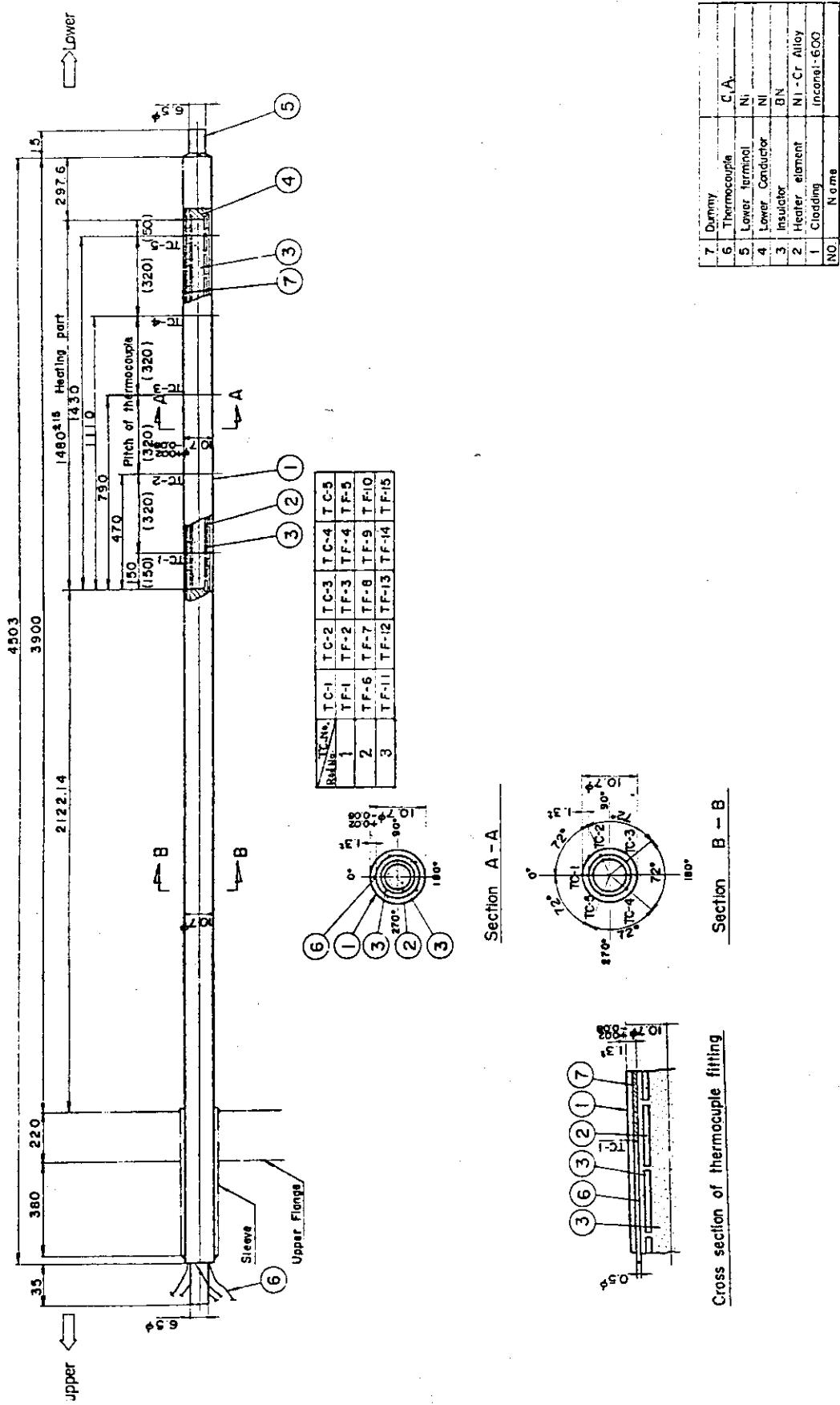
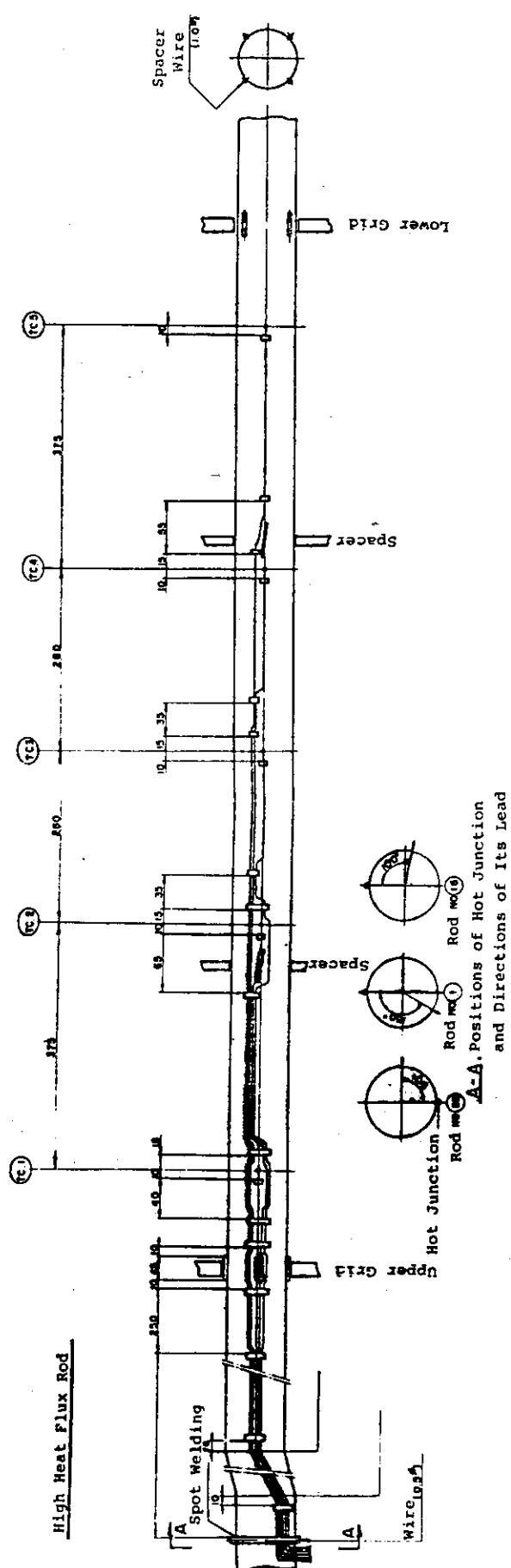
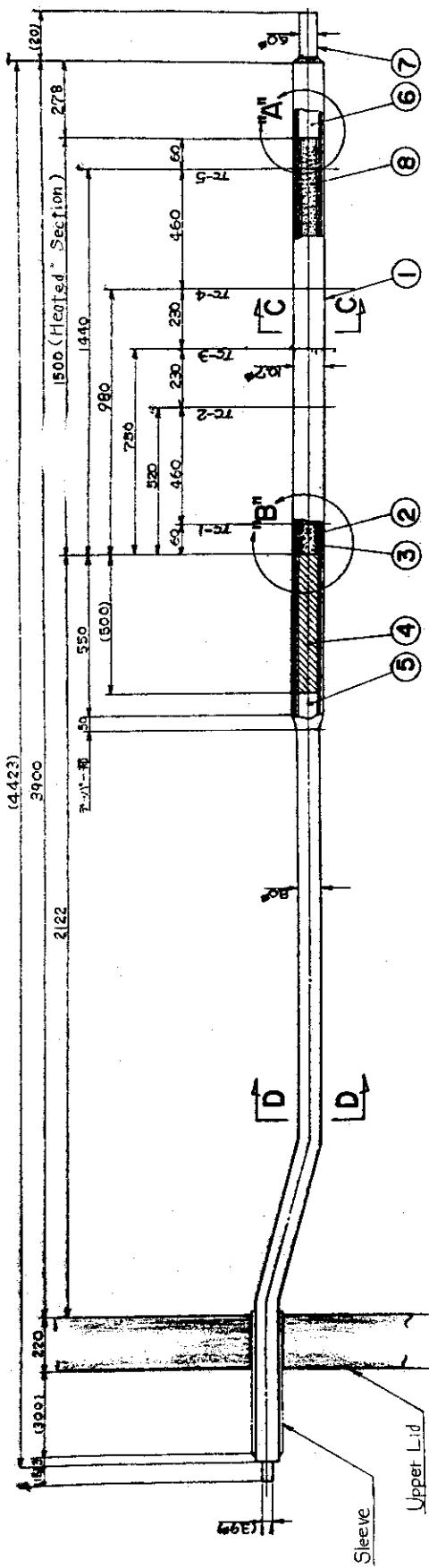
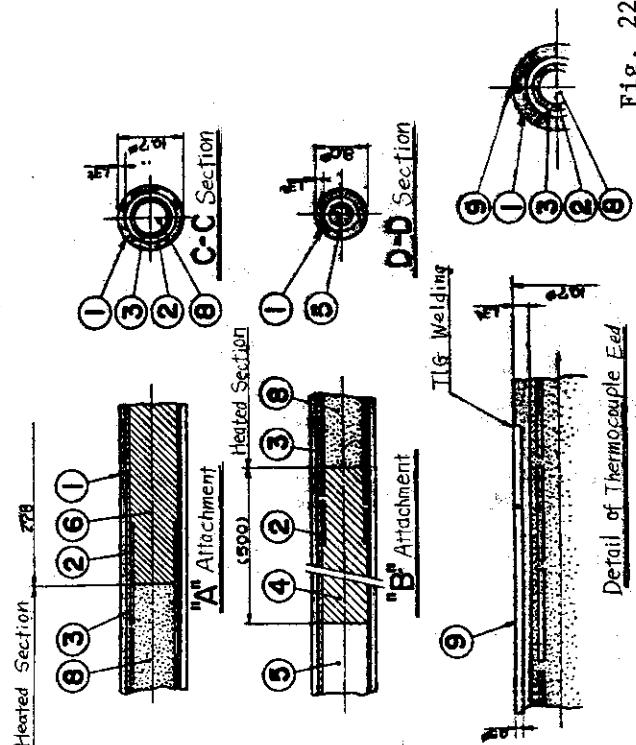


Fig. 20 Structure of Instrumented High Heat Flux Rod, No.1 Assembly





| | Thermo Couple | Incohe 1 -600 | C, A 0.5φ |
|---|-----------------|---------------|-----------|
| 9 | Insulator | BN | |
| 8 | Lower Plug | Ni | |
| 7 | Lower Conductor | Ni | |
| 6 | Lead Wire | Cu | |
| 5 | Upper Conductor | Ni | |
| 4 | Insulator | BN | |
| 3 | Heater Element | Ni-Cr Alloy | |
| 2 | Cladding | Incone 1 -600 | |
| 1 | Name | | |



Structure of Instrumented High Heat Flux Rod in No. II Assembly

Fig. 22

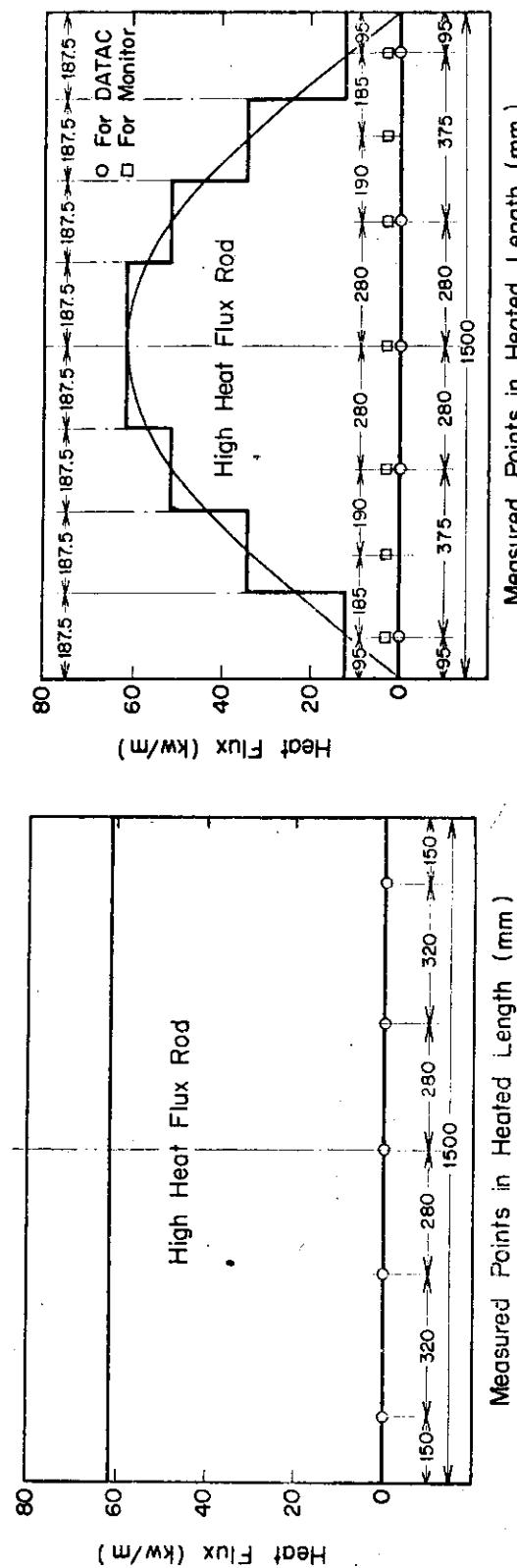
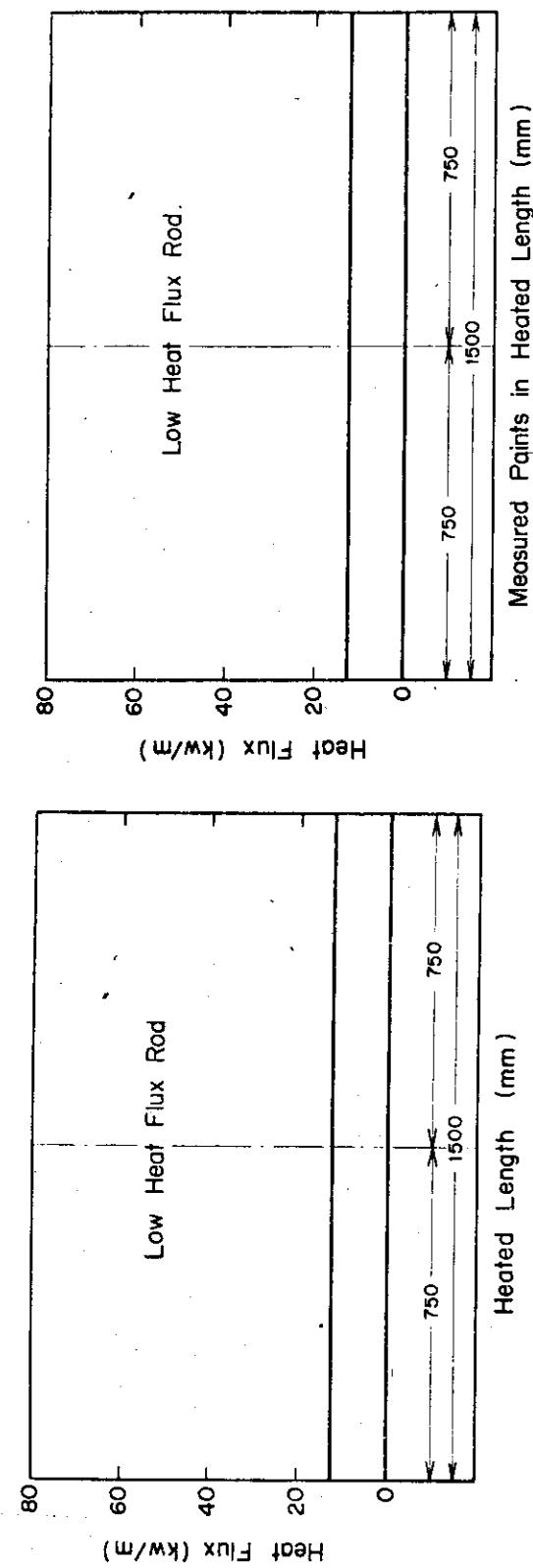


Fig. 23 Distribution of Heating and Measuring Points, No. I Assembly.
No. I Simulated Fuel Assembly.

Fig. 24 Distribution of Heating and Measuring Points, No. II Assembly.
No. II Simulated Fuel Assembly.

Fig. 24 Distribution of Heating and Measuring Points, No. II Assembly.

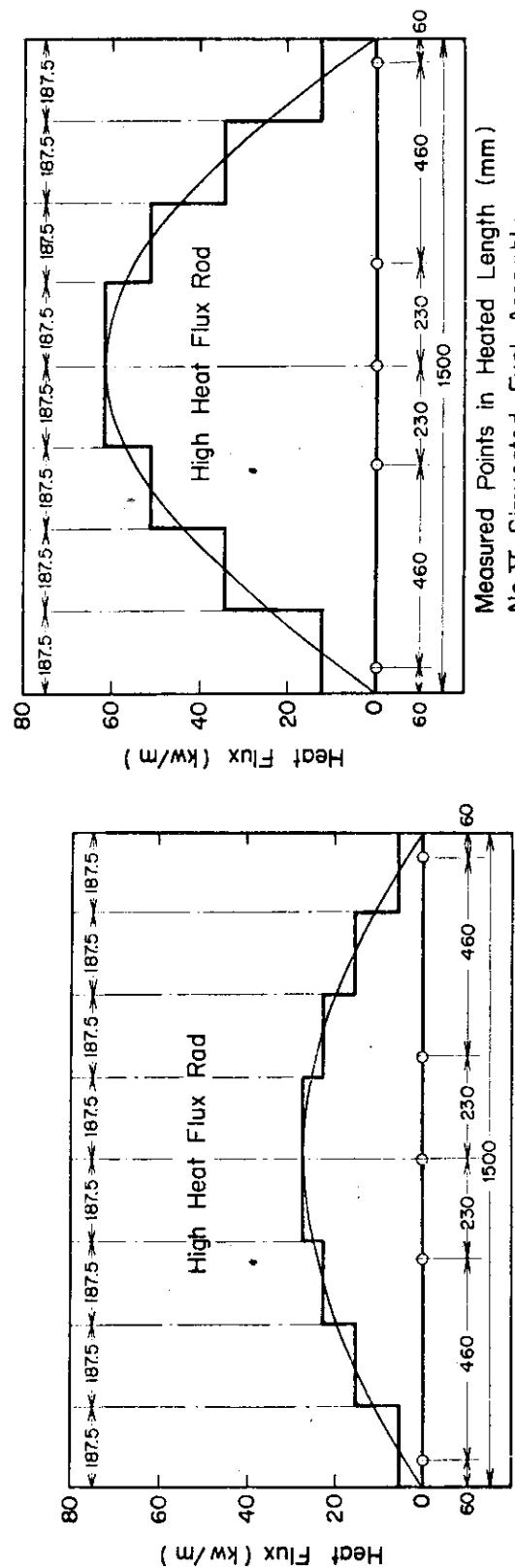
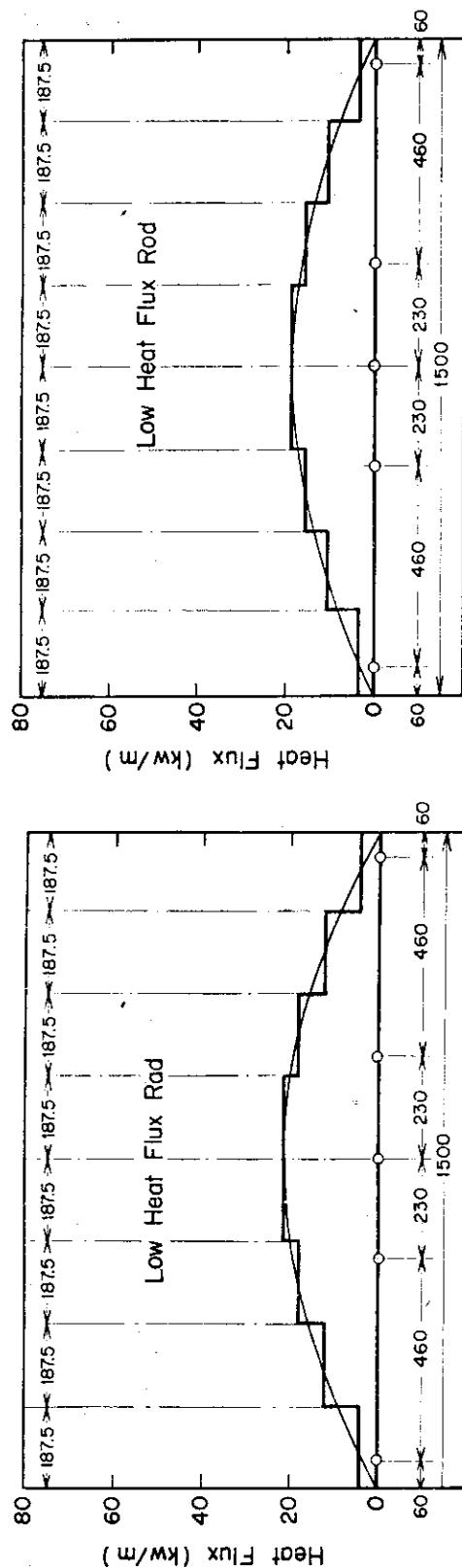


Fig. 25 Distribution of Heating and Measuring Points
No. III, III-A, IV Assembly

Fig. 26 Distribution of Heating and
Measuring Points, No. V Assembly

Measured Points in Heated Length (mm)
No. IIIA, IV. Simulated Fuel Assembly.

Measured Points in Heated Length (mm)
No.V Simulated Fuel Assembly.

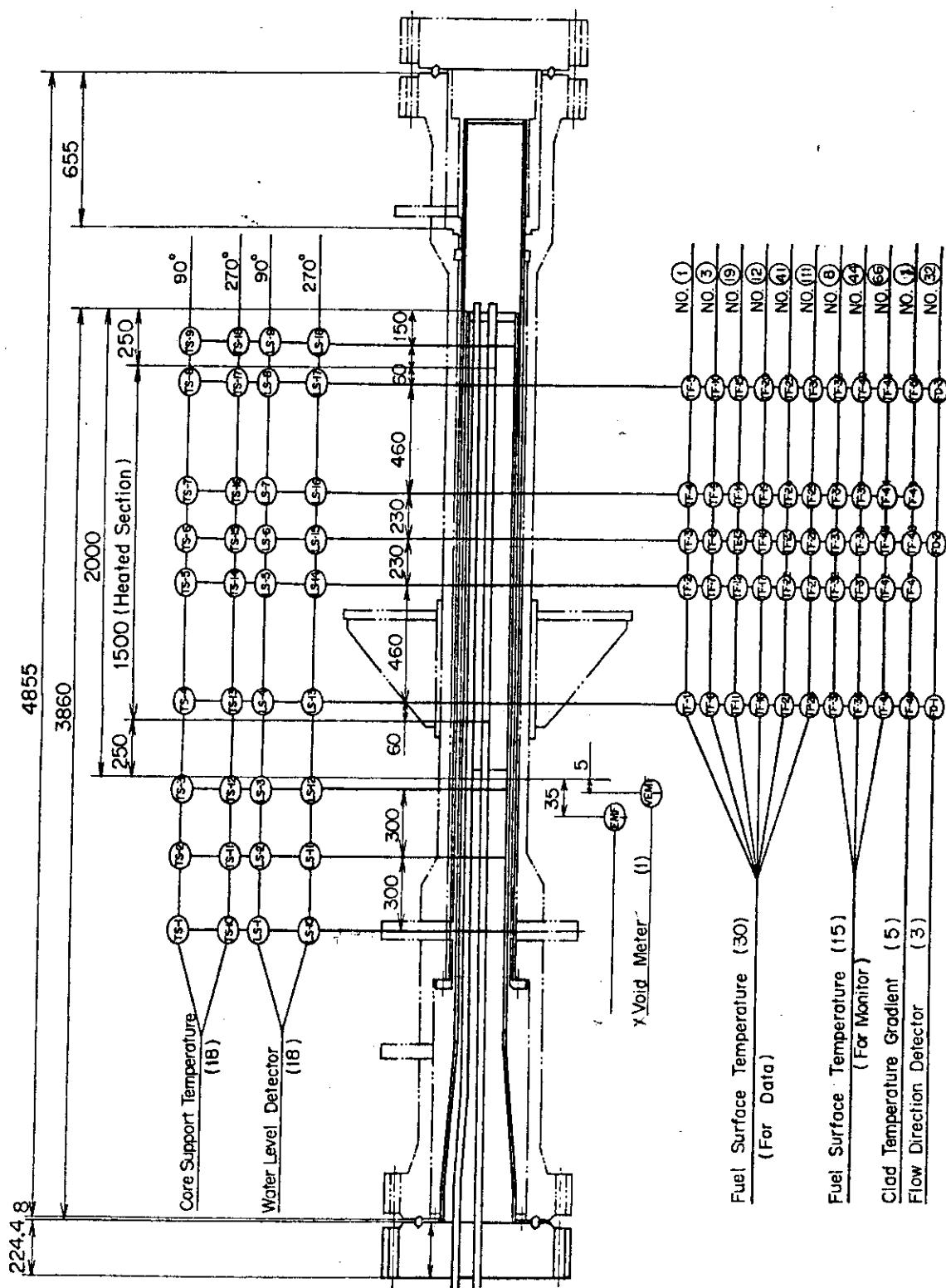


Fig. 27 Simulated Fuel Assembly No. III and Positions of
Instrumentation

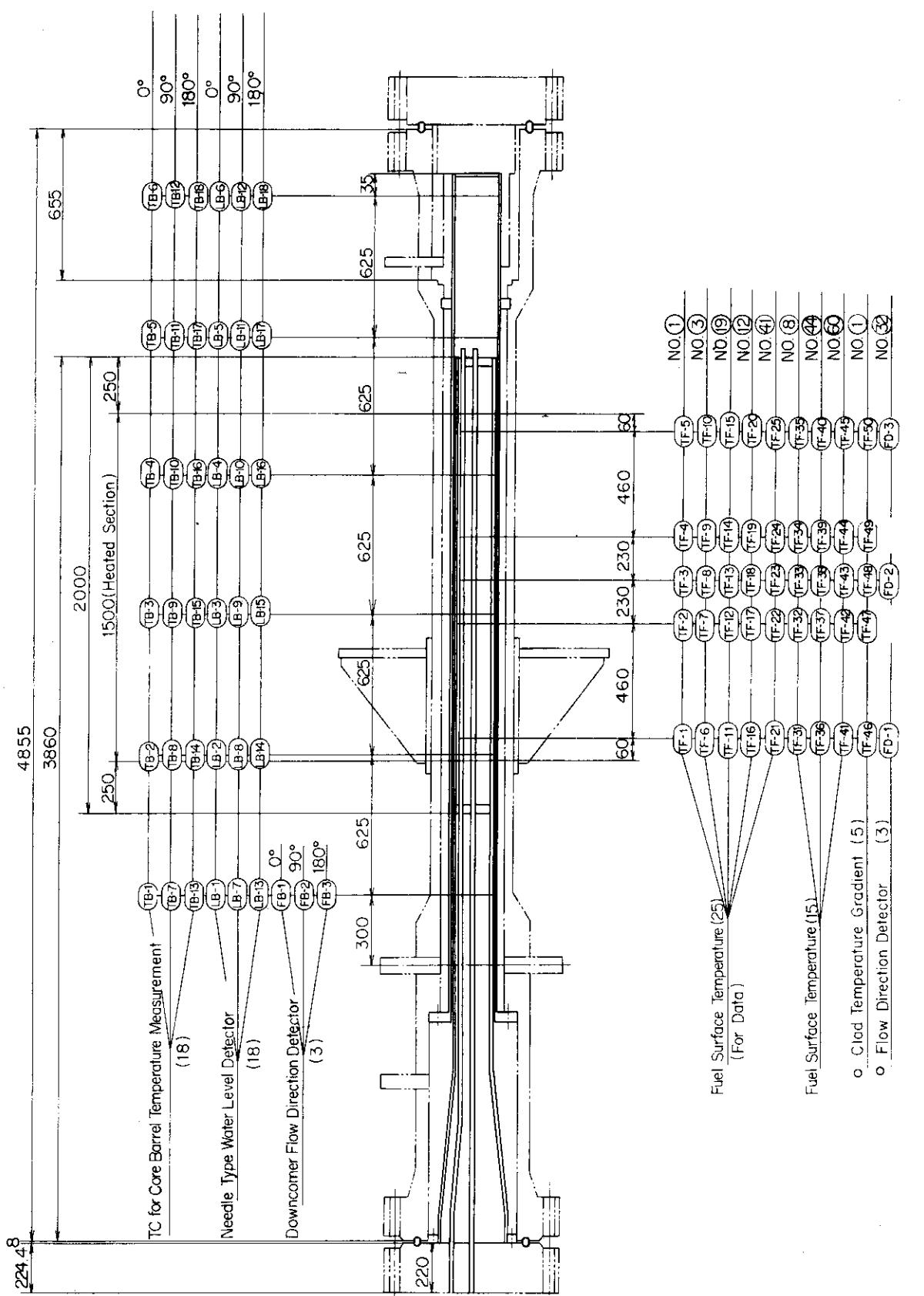


Fig. 28 Simulated Fuel Assembly No.III-A and Positions of
Instrumentation

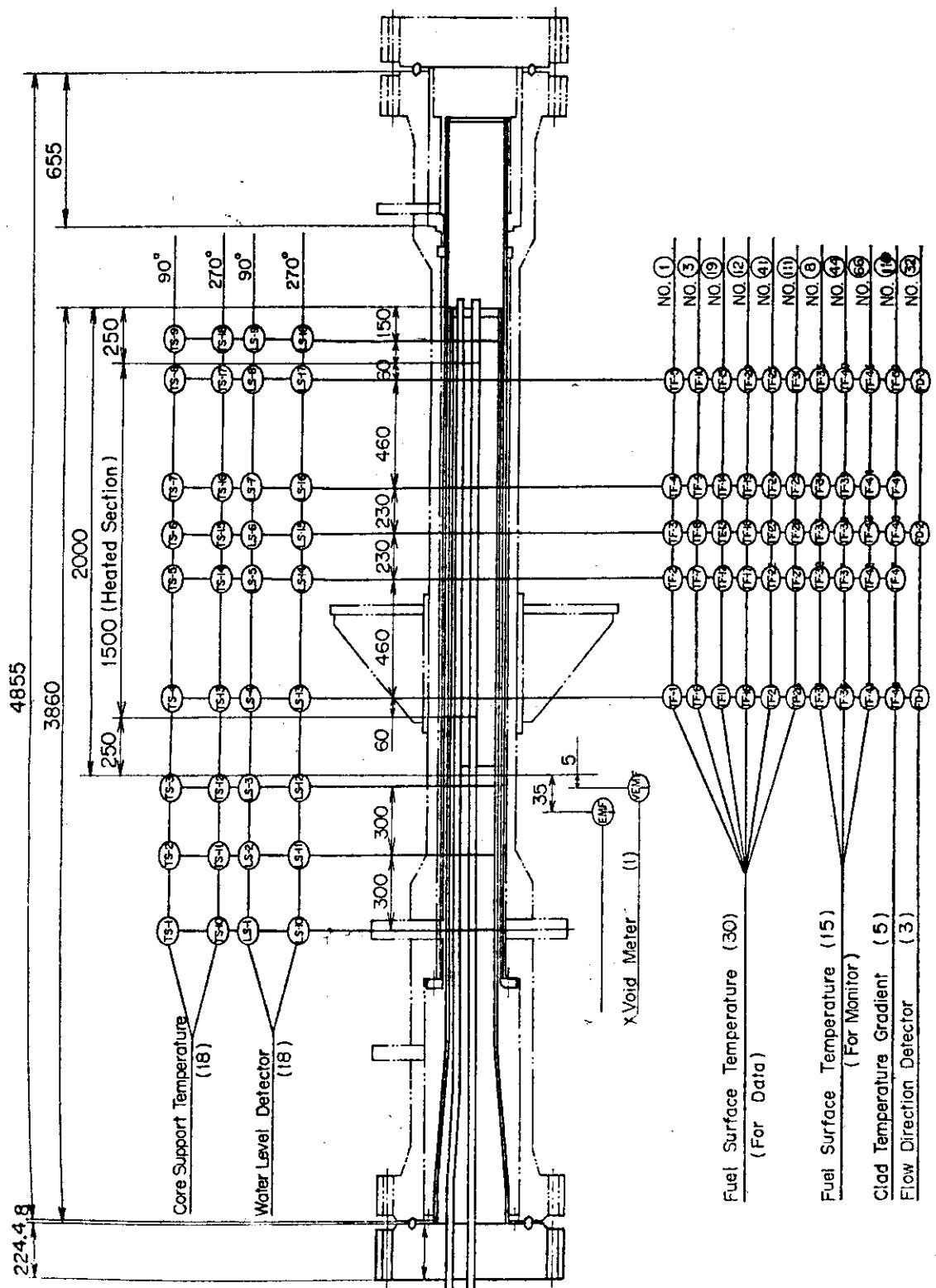


Fig. 29 Simulated Fuel Assembly No. IV and Positions of Instrumentation

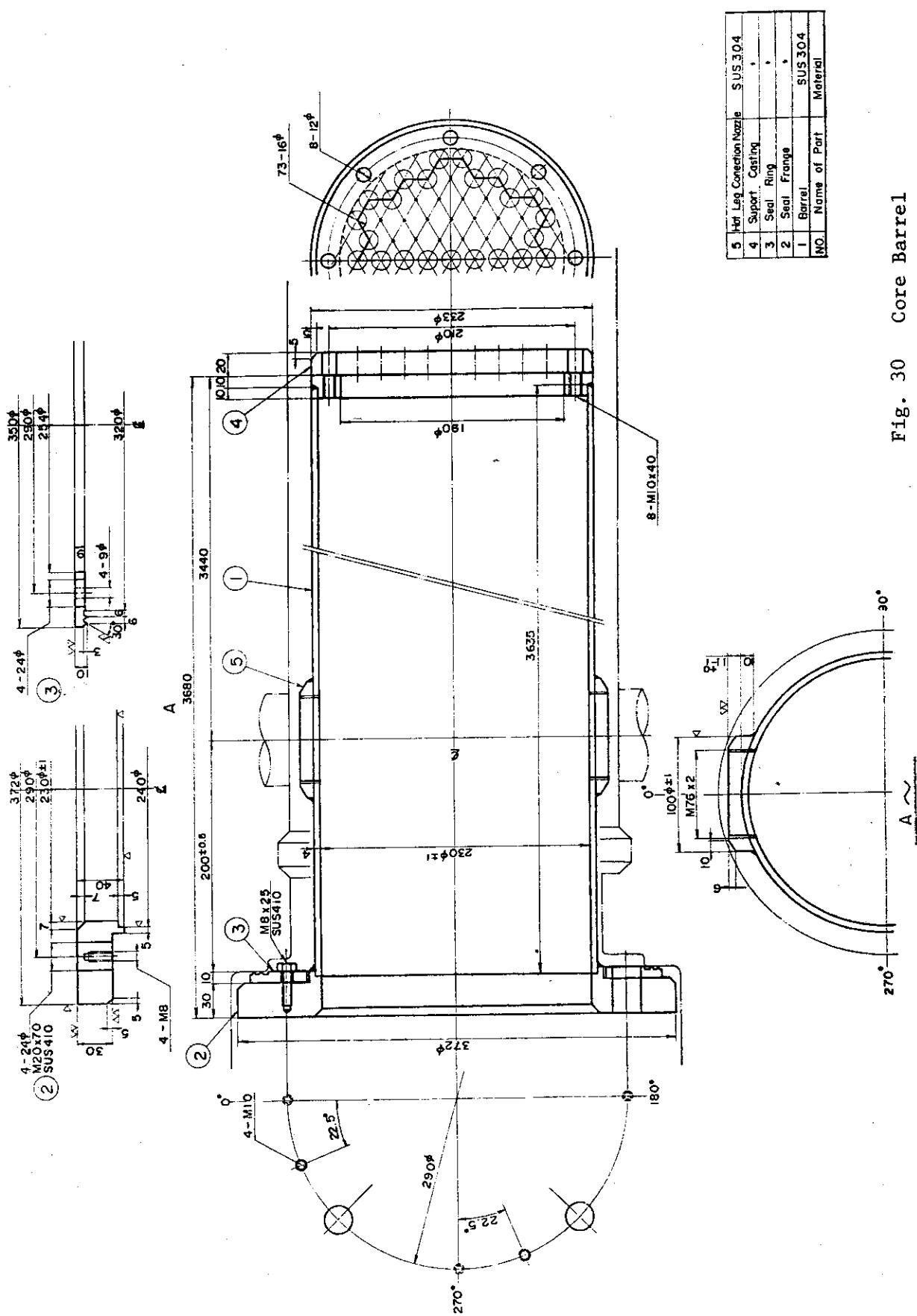


Fig. 30 Core Barrel

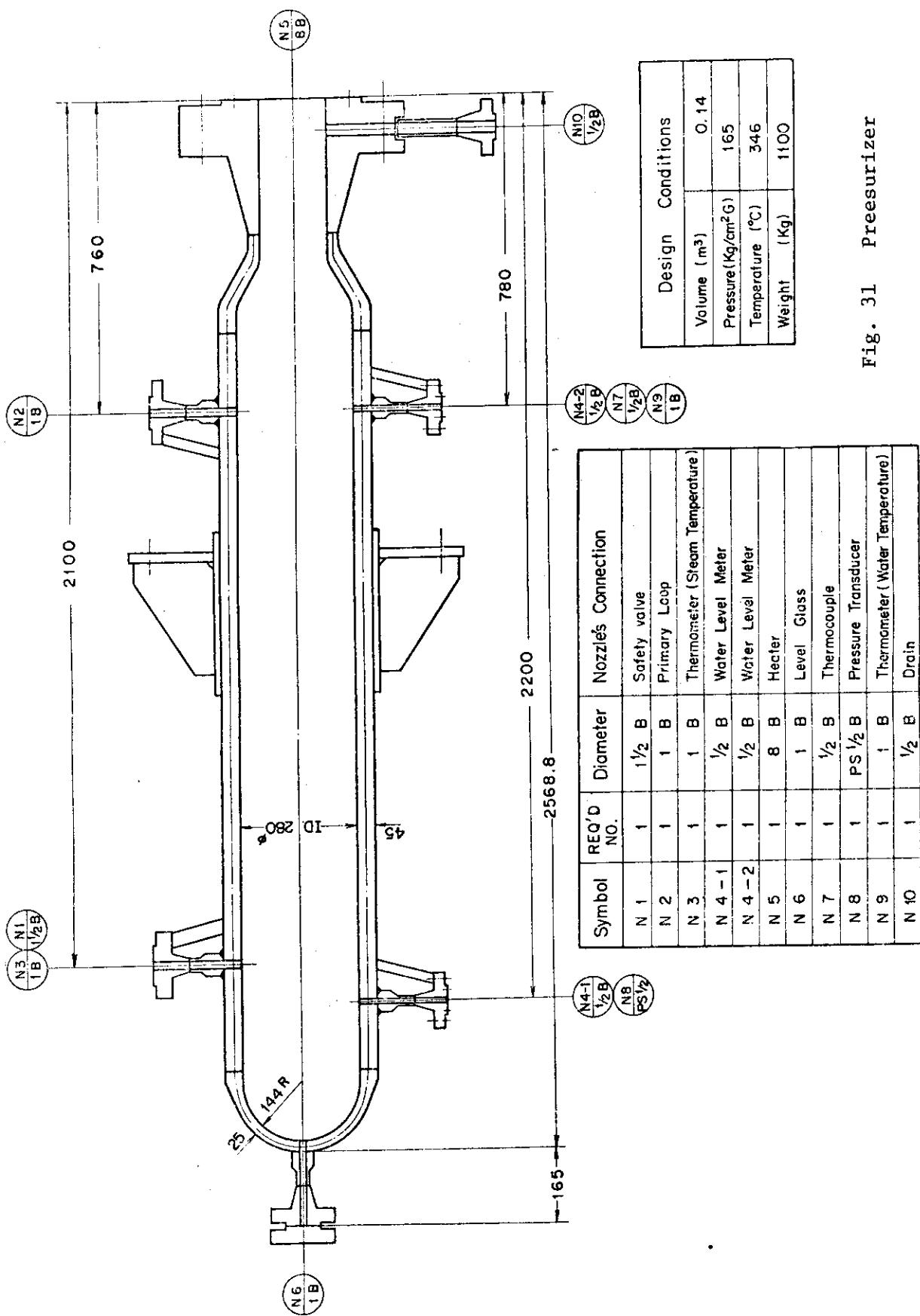
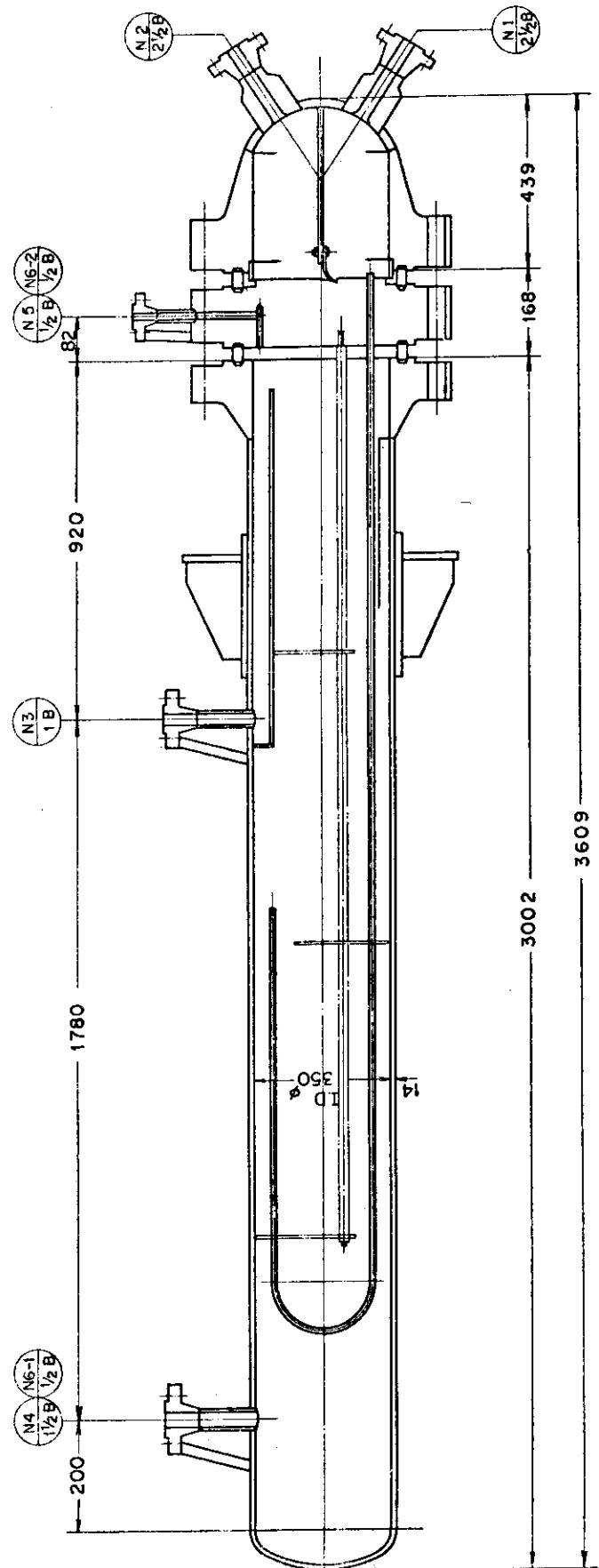


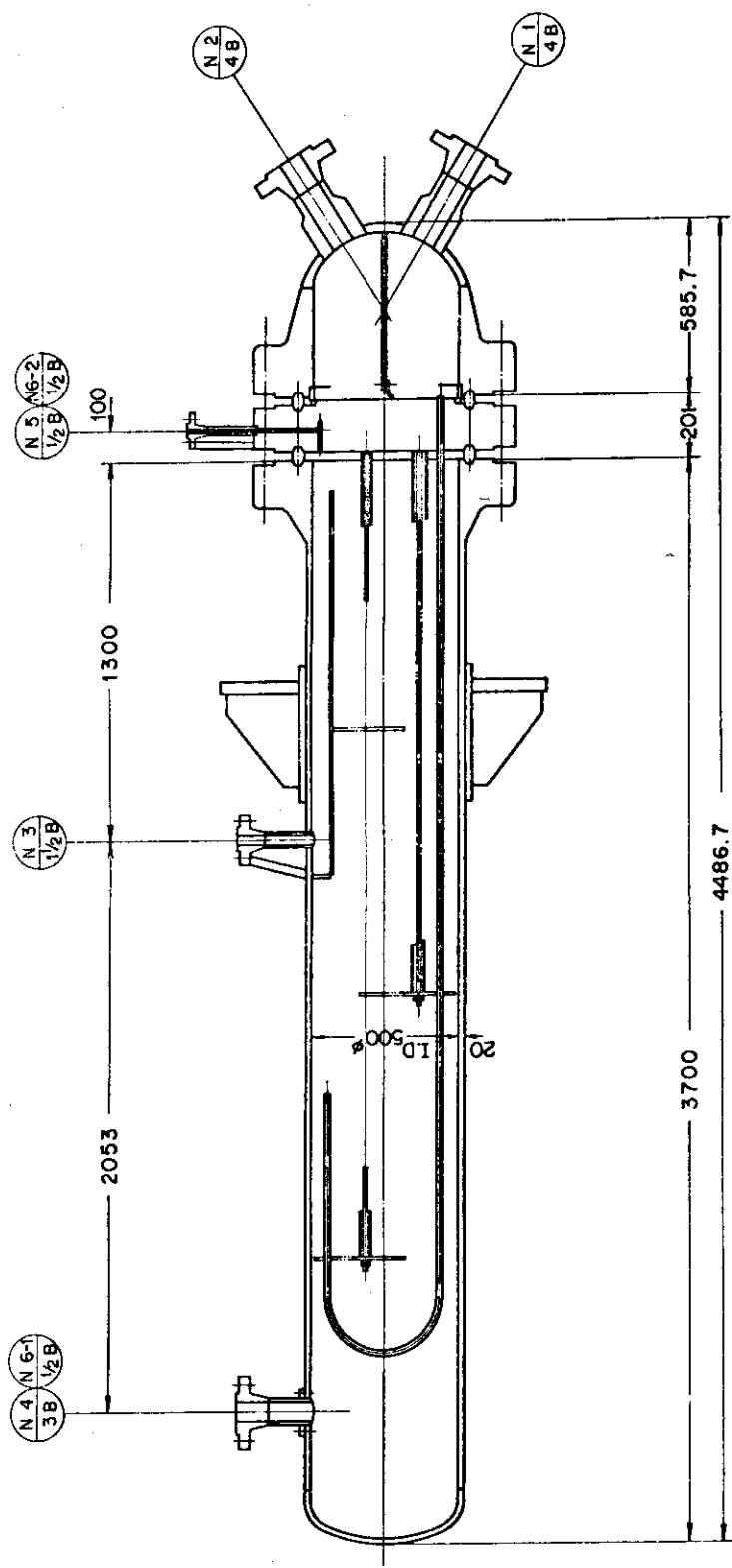
Fig. 31 Preesurizer



| Design Conditions | | |
|---------------------------------|------------|--------------------------|
| | Shell Side | Tube Side |
| Pressure (Kg/cm ² G) | 6.5 | 16.5 |
| Temperature (°C) | 325 | 325 |
| Volume (m ³) | 0.032 | 0.042 |
| Weight (Kg) | 1700 | |
| U-Tube | 19.0" | O.D./14.3" I.D.-51 tubes |

| Symbol | REQ'D NO. | Diameter | Nozzles Connection |
|---------|-----------|----------|------------------------|
| N 1 | 1 | 2 1/2 B | Primary Water Inlet |
| N 2 | 1 | 2 1/2 B | Primary Water Outlet |
| N 3 | 1 | 1 B | Secondary Water Inlet |
| N 4 | 1 | 1 1/2 B | Secondary Water Outlet |
| N 5 | 1 | 1 1/2 B | Drain |
| N 6 - 1 | 1 | 1/2 B | Water Level Meter |
| N 6 - 2 | 1 | 1/2 B | Water Level Meter |

Fig. 32 Steam Generator 1

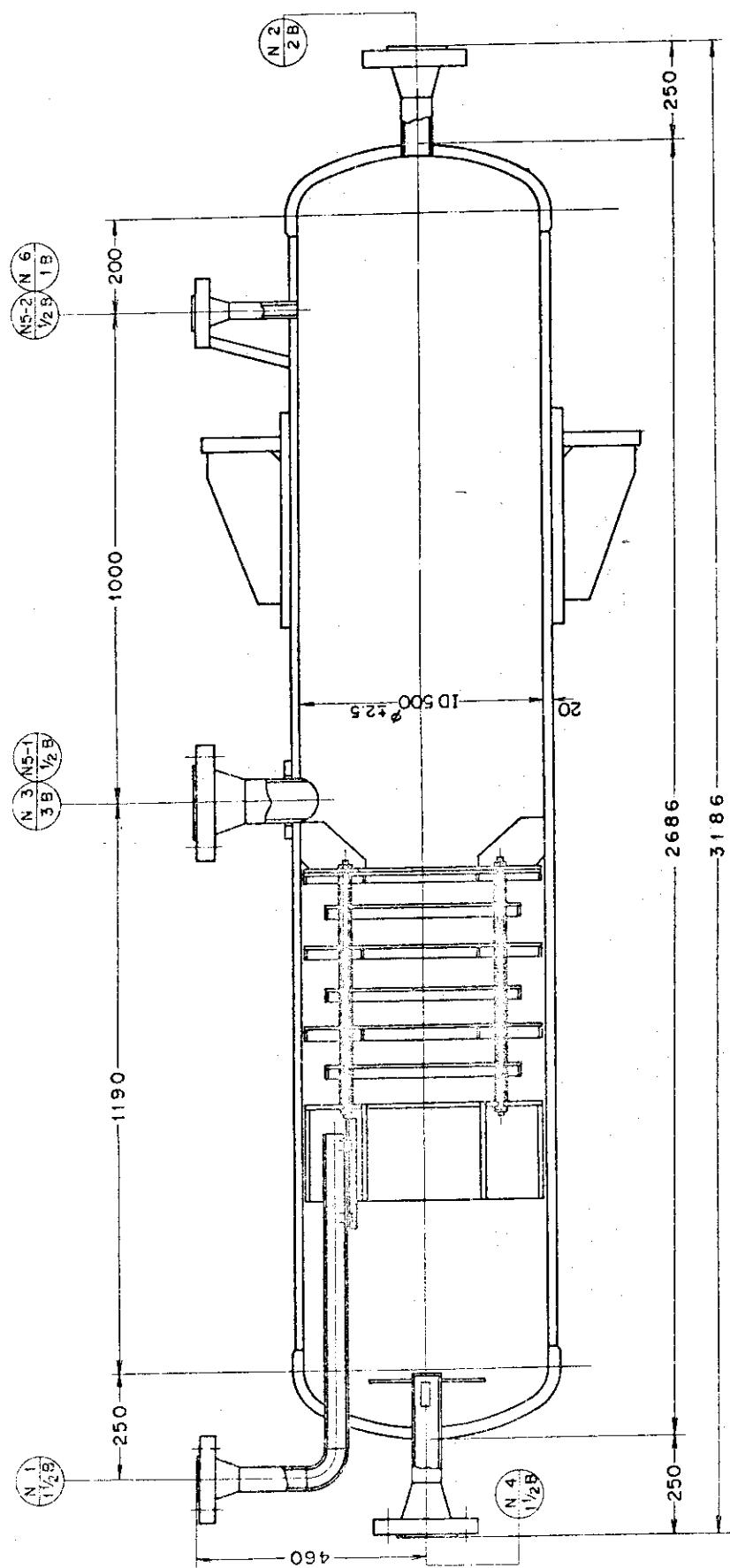


| Design Conditions | | | |
|-------------------|-----------|----------|------------------------|
| | Req'D NO. | Diameter | Nozzle's Connection |
| N 1 | 1 | 4 B | Primary Water Inlet |
| N 2 | 1 | 4 B | Primary Water Outlet |
| N 3 | 1 | 1 1/2 B | Secondary Water Inlet |
| N 4 | 1 | 3 B | Secondary Water Outlet |
| N 5 | 1 | 1/2 B | Drain |
| N 6-1 | 1 | 1/2 B | Water Level Meter |
| N 6-2 | 1 | 1/2 B | Water Level Meter |

U - Tube 19.0^Ø O.D / 14.3^Ø I.D ~123 tubes

| Symbol | REQ'D NO. | Diameter | Nozzle's Connection |
|--------|-----------|----------|------------------------|
| N 1 | 1 | 4 B | Primary Water Inlet |
| N 2 | 1 | 4 B | Primary Water Outlet |
| N 3 | 1 | 1 1/2 B | Secondary Water Inlet |
| N 4 | 1 | 3 B | Secondary Water Outlet |
| N 5 | 1 | 1/2 B | Drain |
| N 6-1 | 1 | 1/2 B | Water Level Meter |
| N 6-2 | 1 | 1/2 B | Water Level Meter |

Fig. 33 Steam Generator 2



| Symbol | REQ'D NO. | Diameter | Nozzle's Connection |
|--------|-----------|-----------------|---------------------|
| N 1 | 1 | $\frac{1}{2}$ B | Water Supply |
| N 2 | 1 | 2 B | Water Outlet |
| N 3 | 1 | 3 B | Steam Inlet |
| N 4 | 1 | $\frac{1}{2}$ B | Steam Outlet |
| N 5-1 | 1 | $\frac{1}{2}$ B | Water Level Meter |
| N 5-2 | 1 | $\frac{1}{2}$ B | Water Level Meter |
| N 6 | 1 | 1 B | Thermometer |

Fig. 34 Secondary Surge Tank

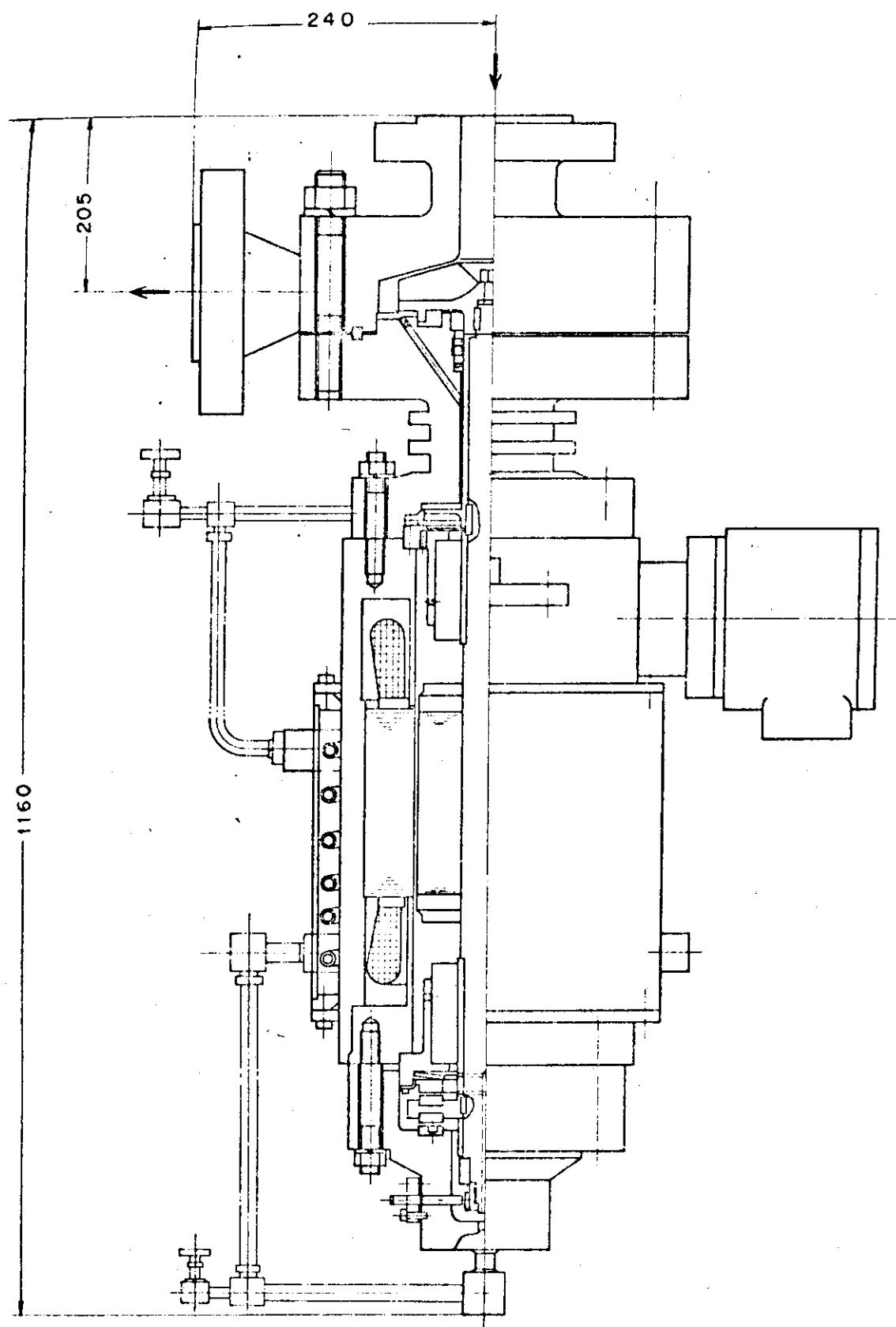


Fig. 35 Circulation Pump 1

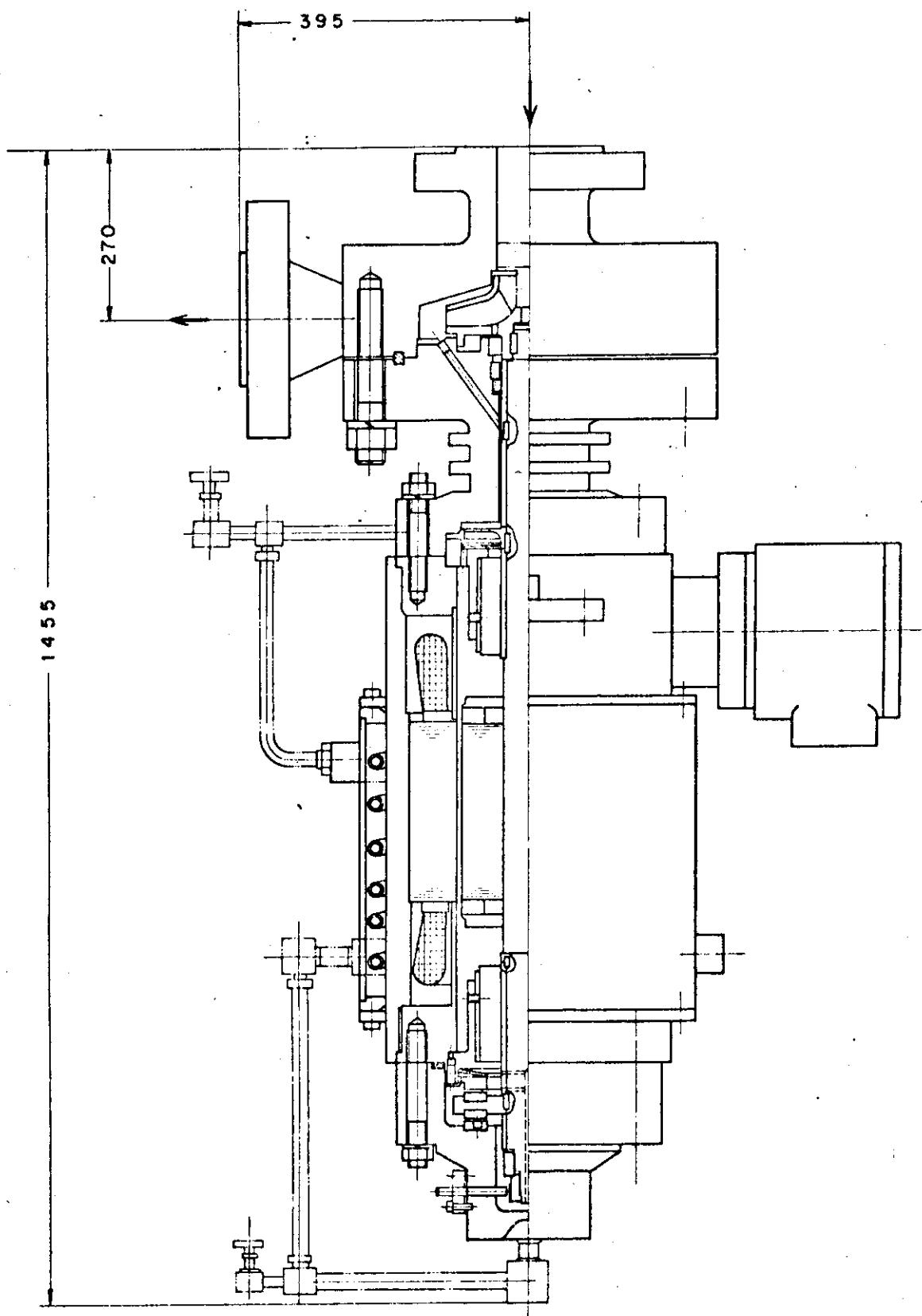
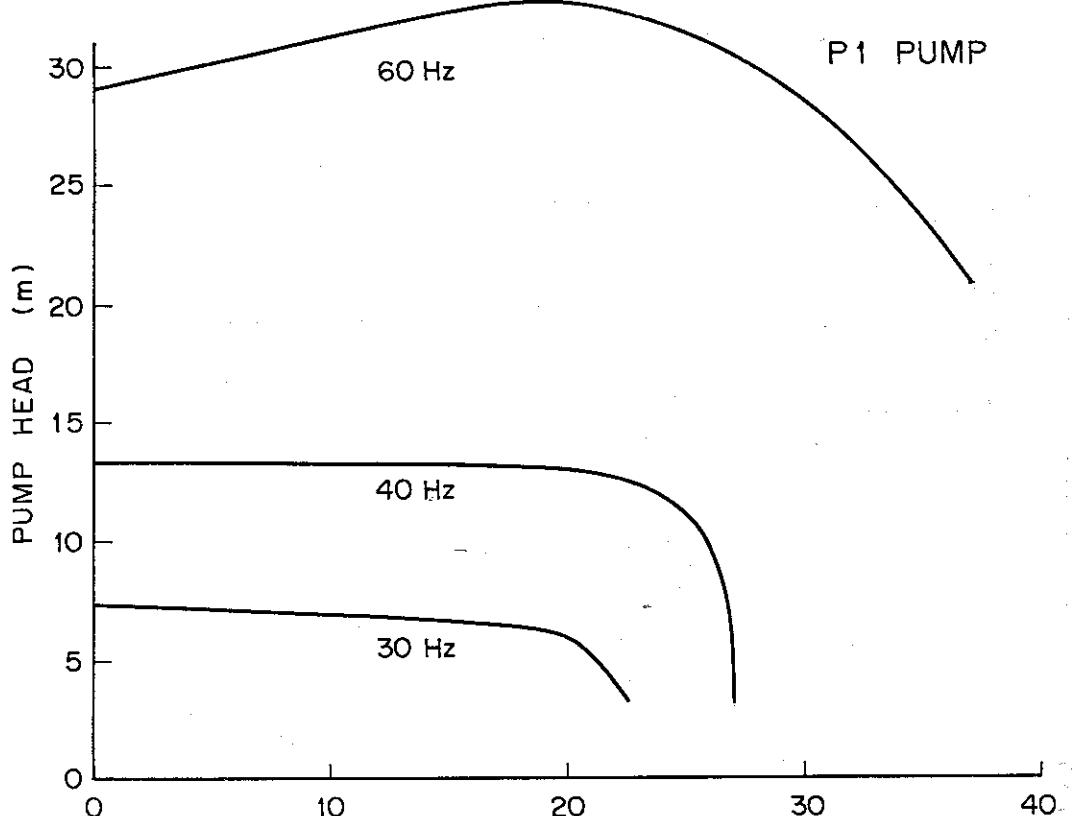
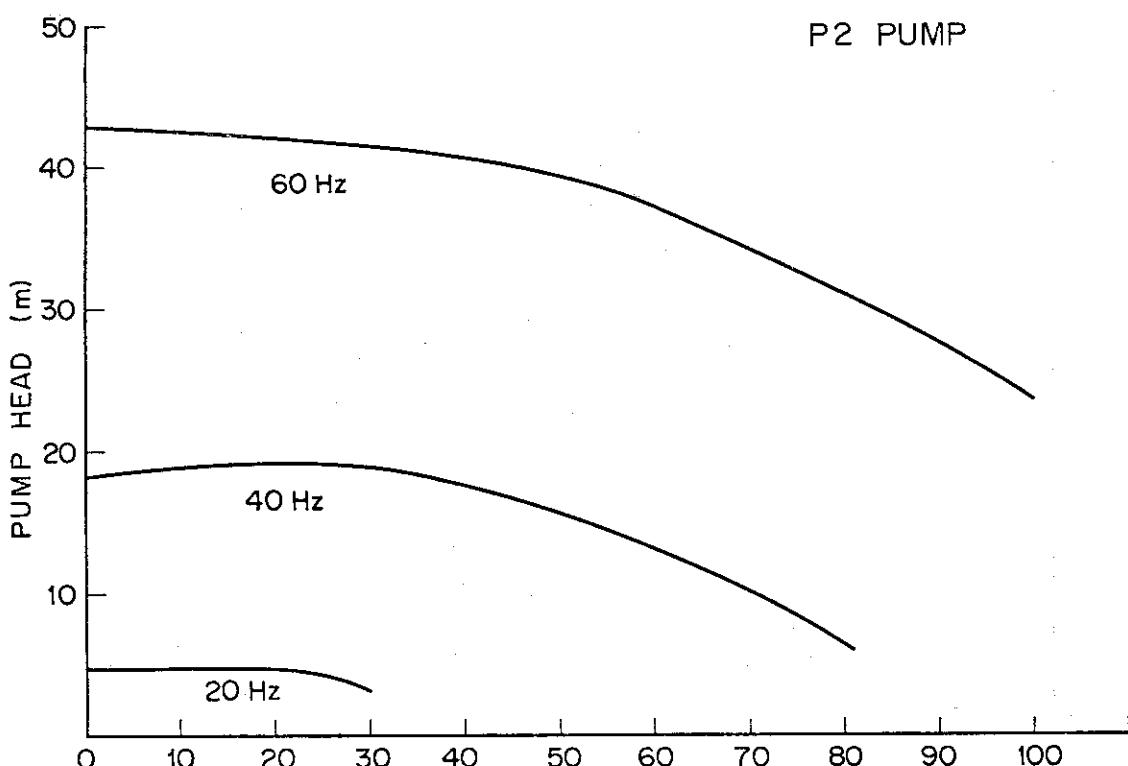


Fig. 36 Circulation Pump 2

Fig. 37 Flow RATE (M³/H, P1 Pump)Fig. 38 Flow RATE (M³/H, P2 Pump)

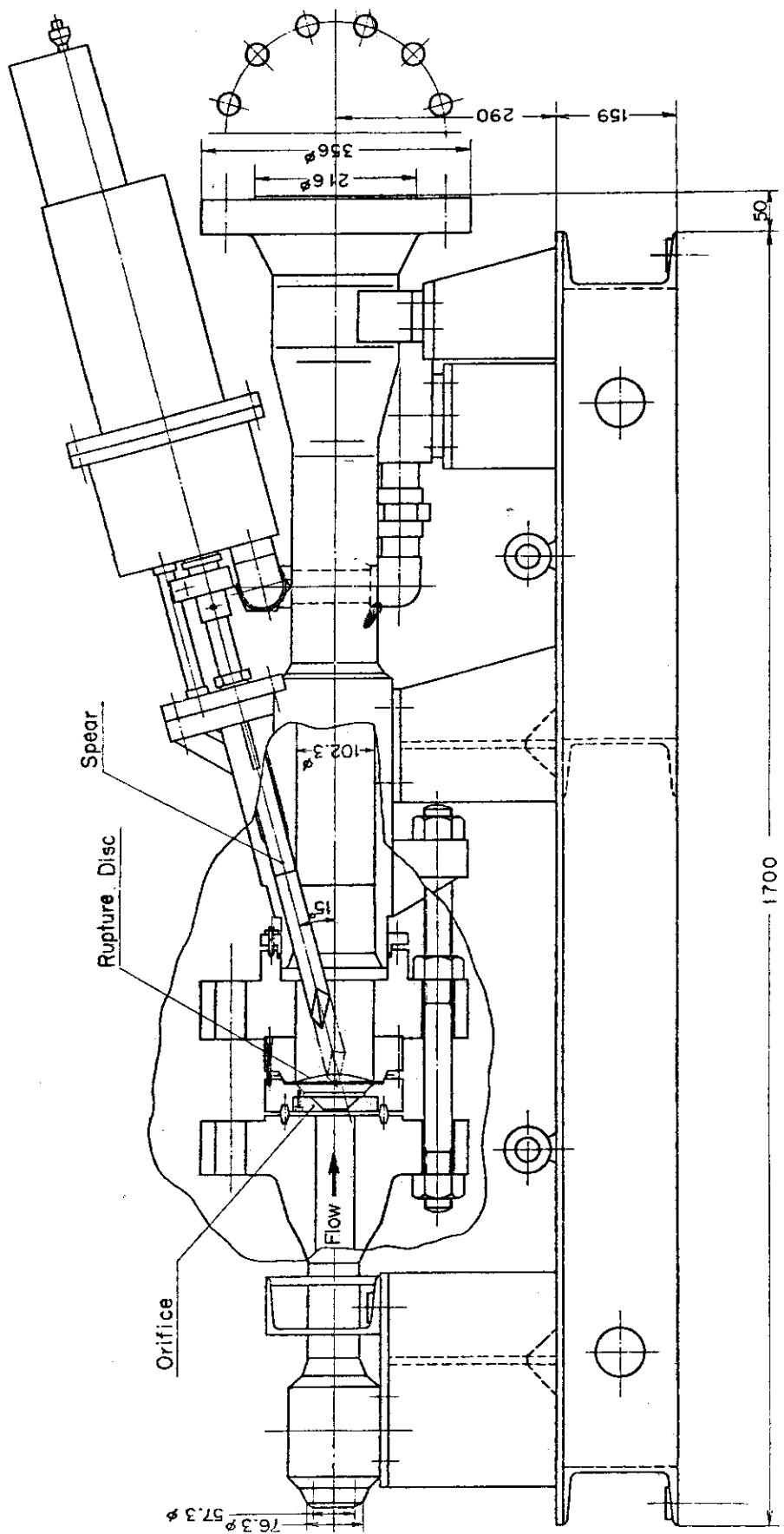


Fig. 39 Rupture Disc Device

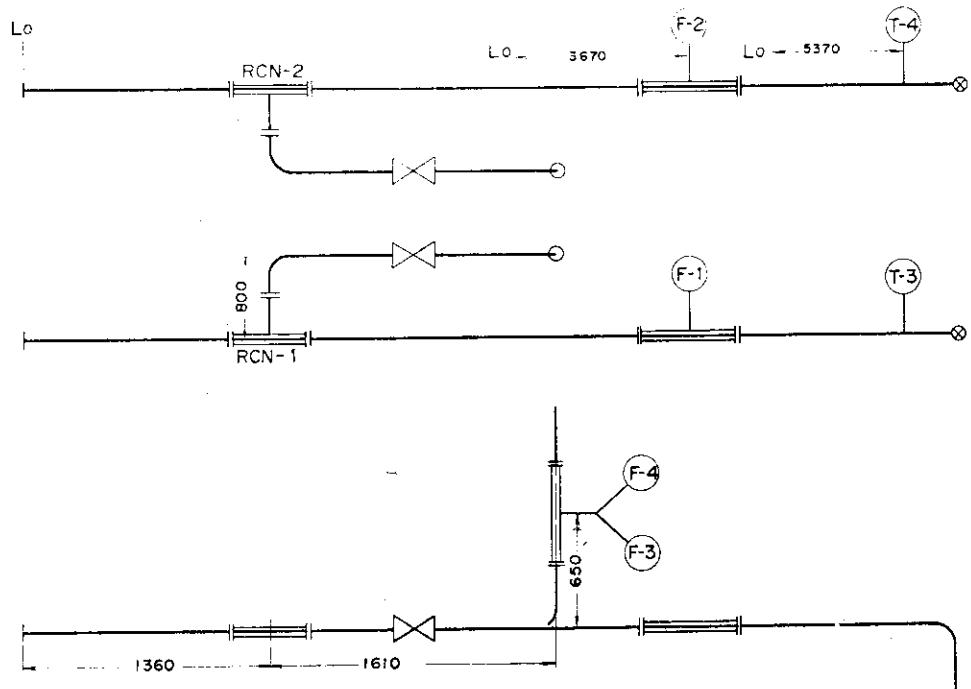


Fig. 40 Discharge Piping

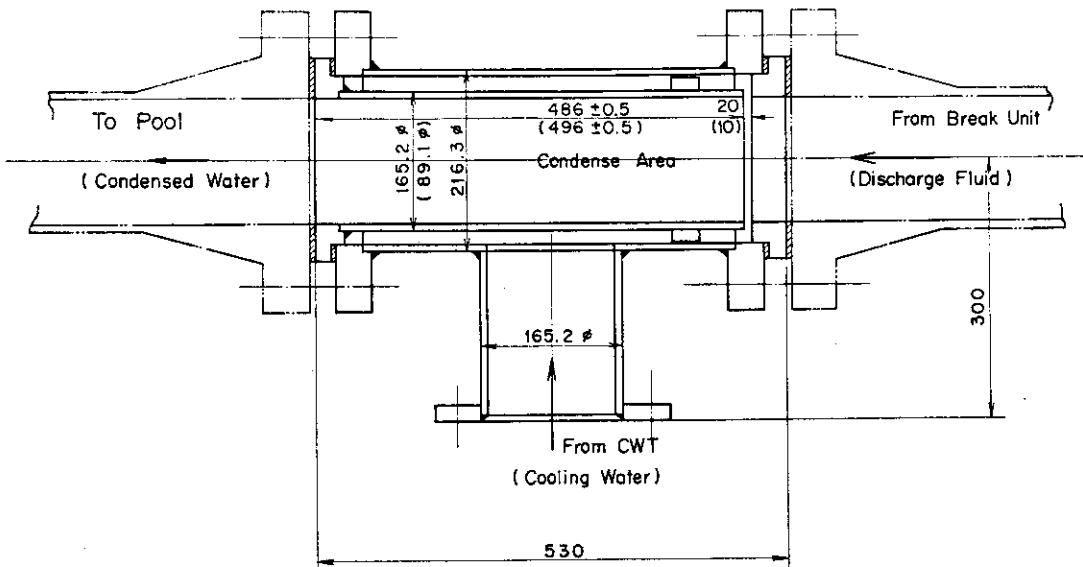


Fig. 41 Rapid Condenser

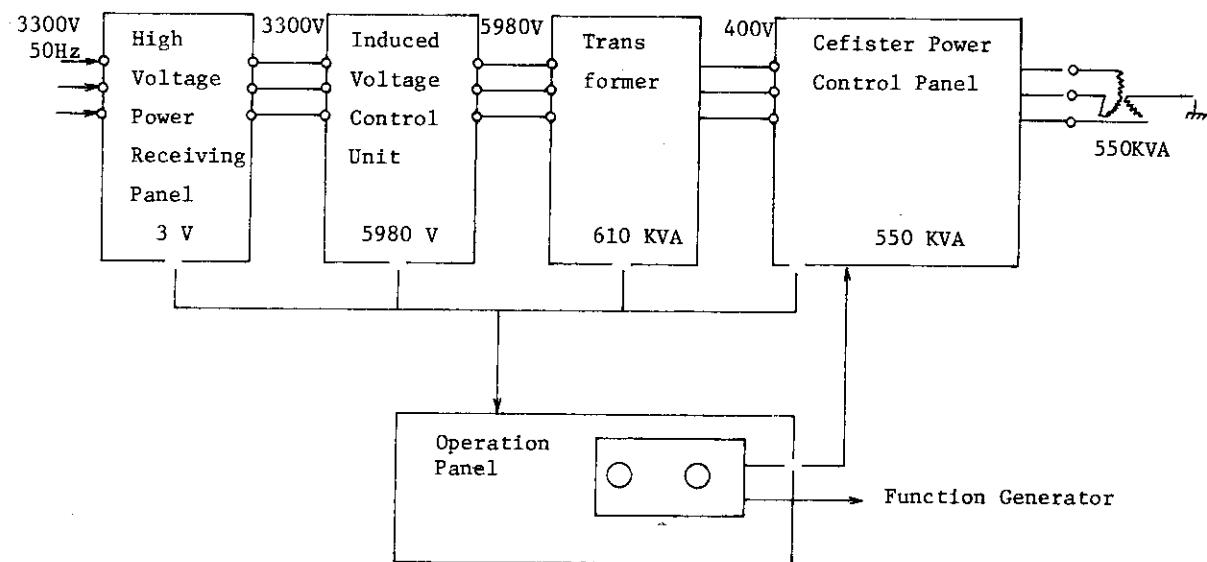


Fig. 42 Block Diagram of Power Control System for High Heat Flux Rods

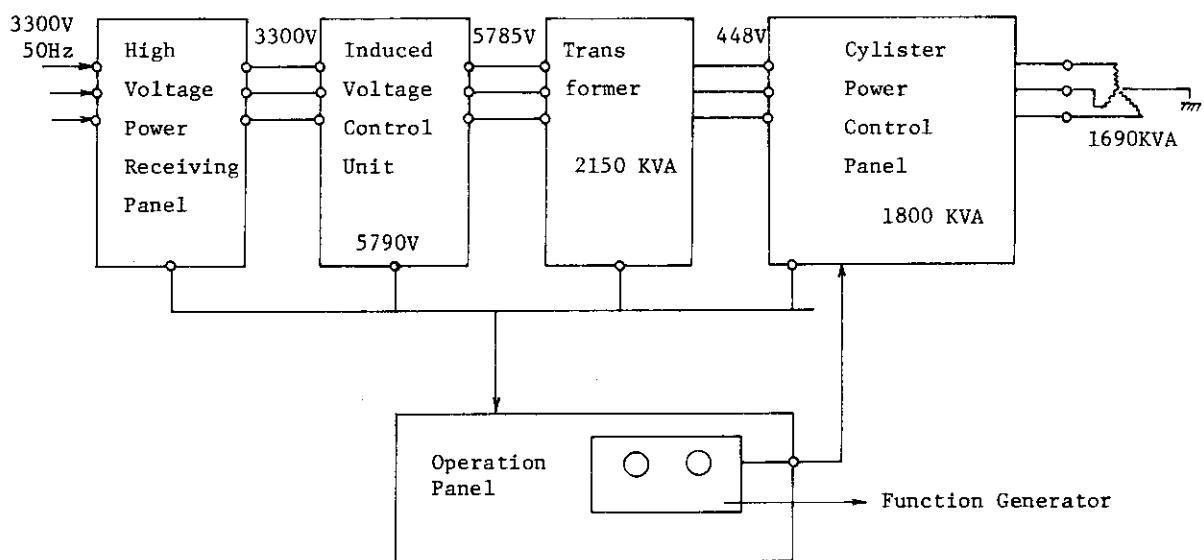


Fig. 43 Block Diagram of Power Control System for Low Heat Flux Rods

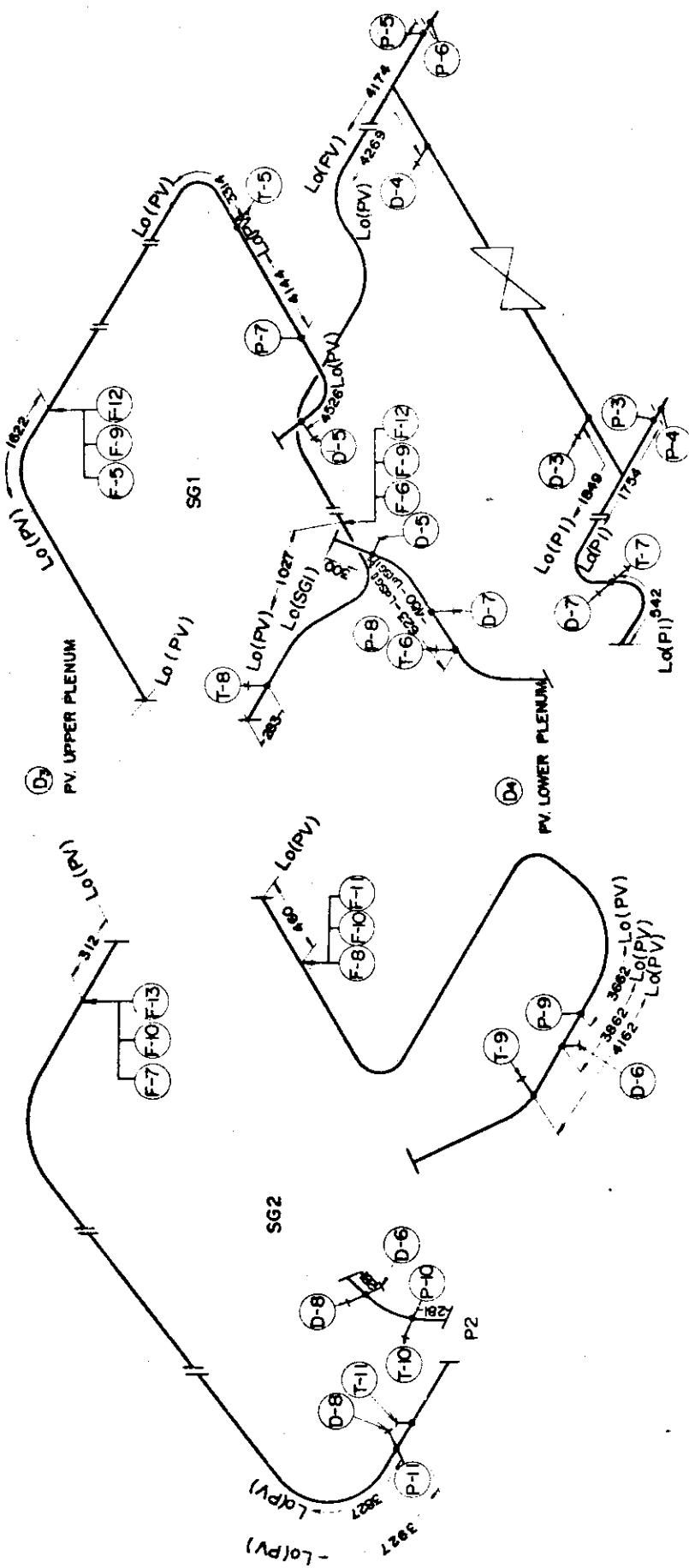


Fig. 44 Primary Loop (Cold-Leg Break)

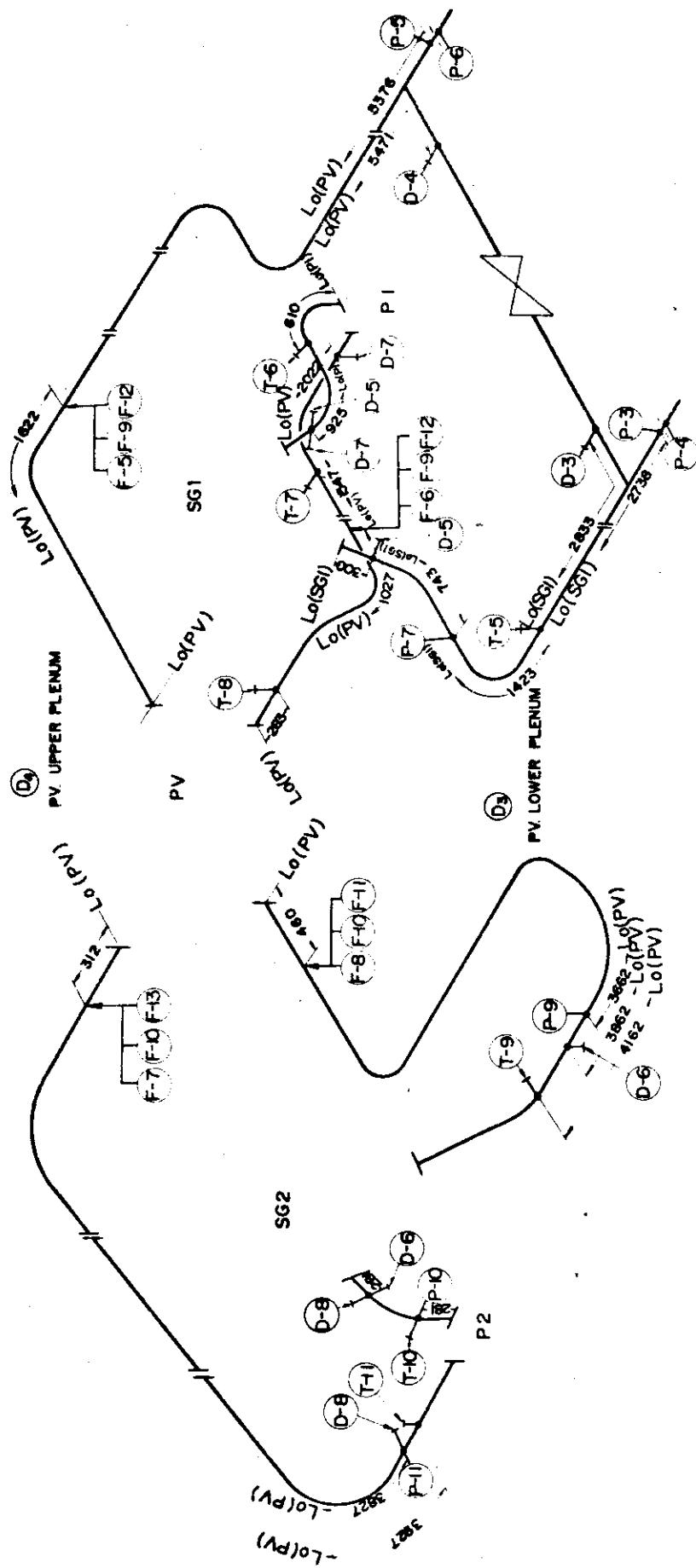


Fig. 45 Primary Loop (Hot-Leg Break)

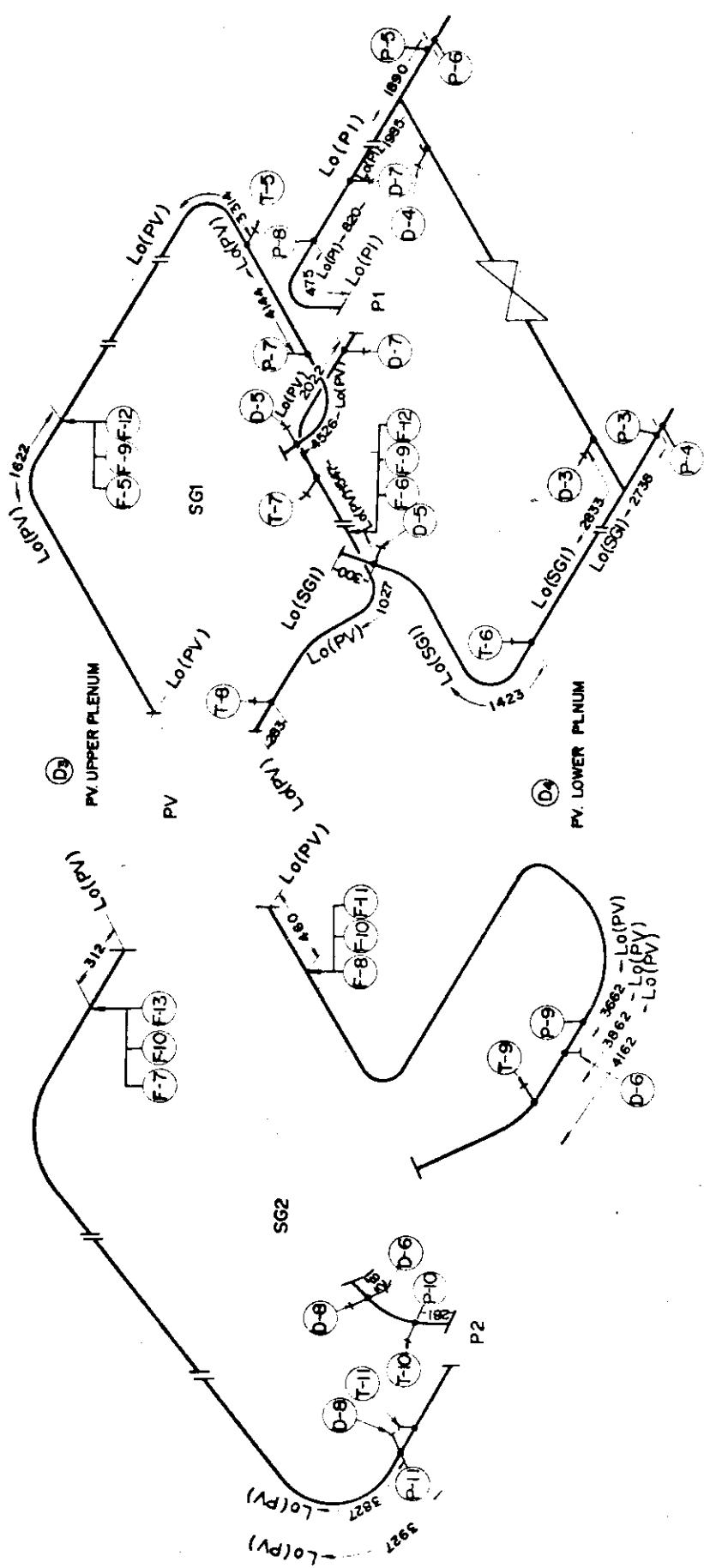


Fig. 46 Primary Loop (P1-SG1 break)

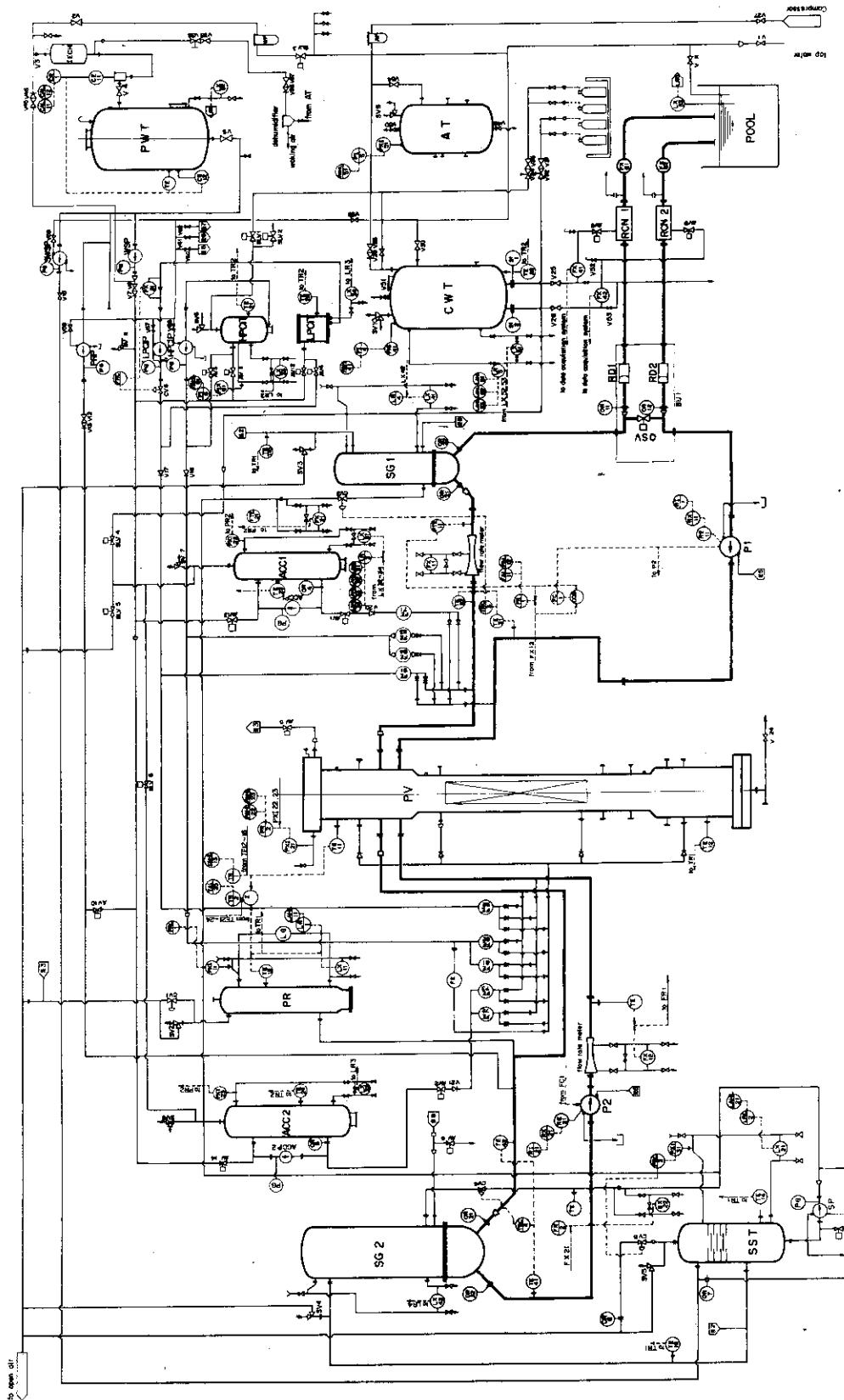


Fig. 47 Flow Sheet with Measurement Positions for Operation of the ROSA-II

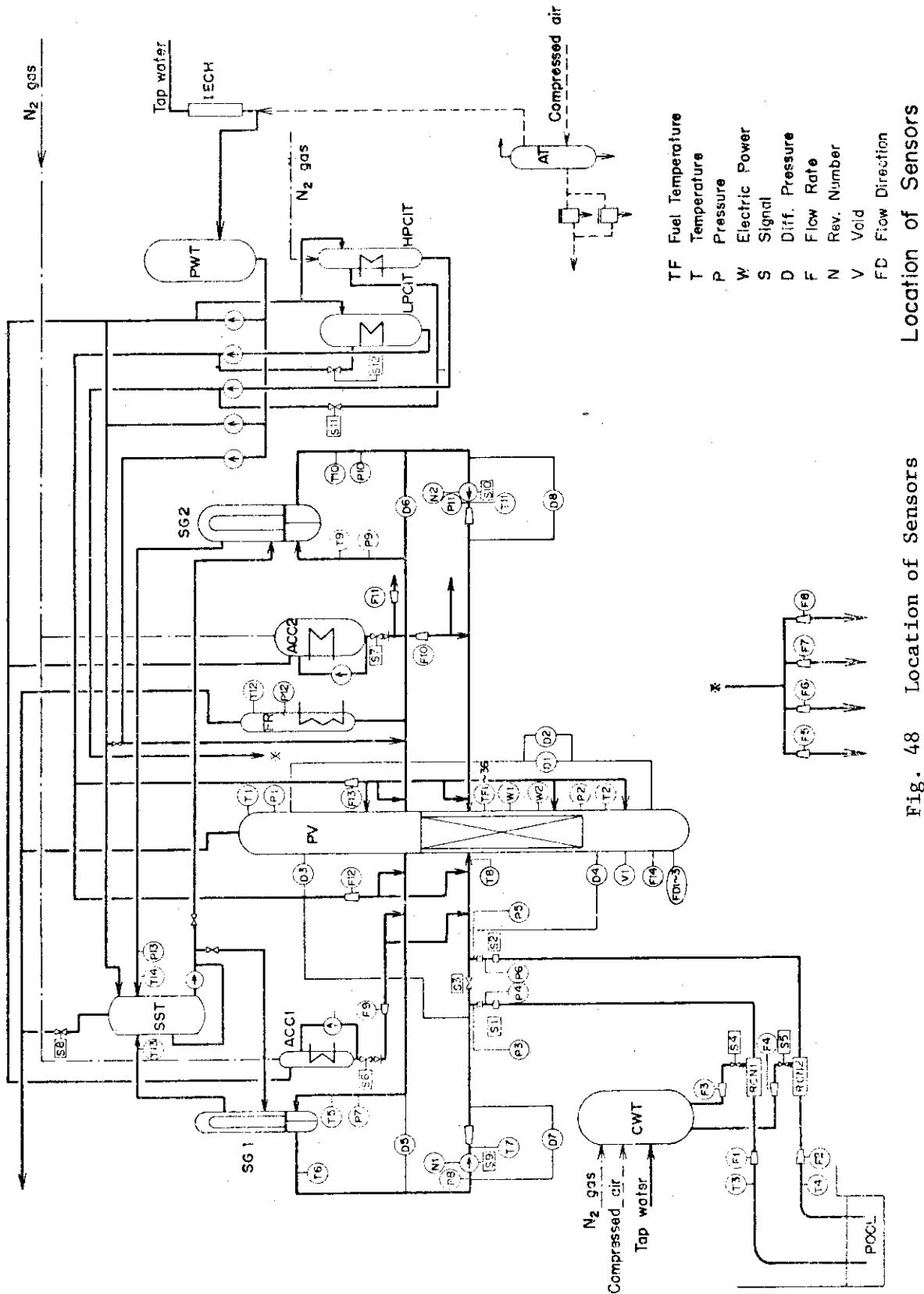


Fig. 48 Location of Sensors
Location of Sensors

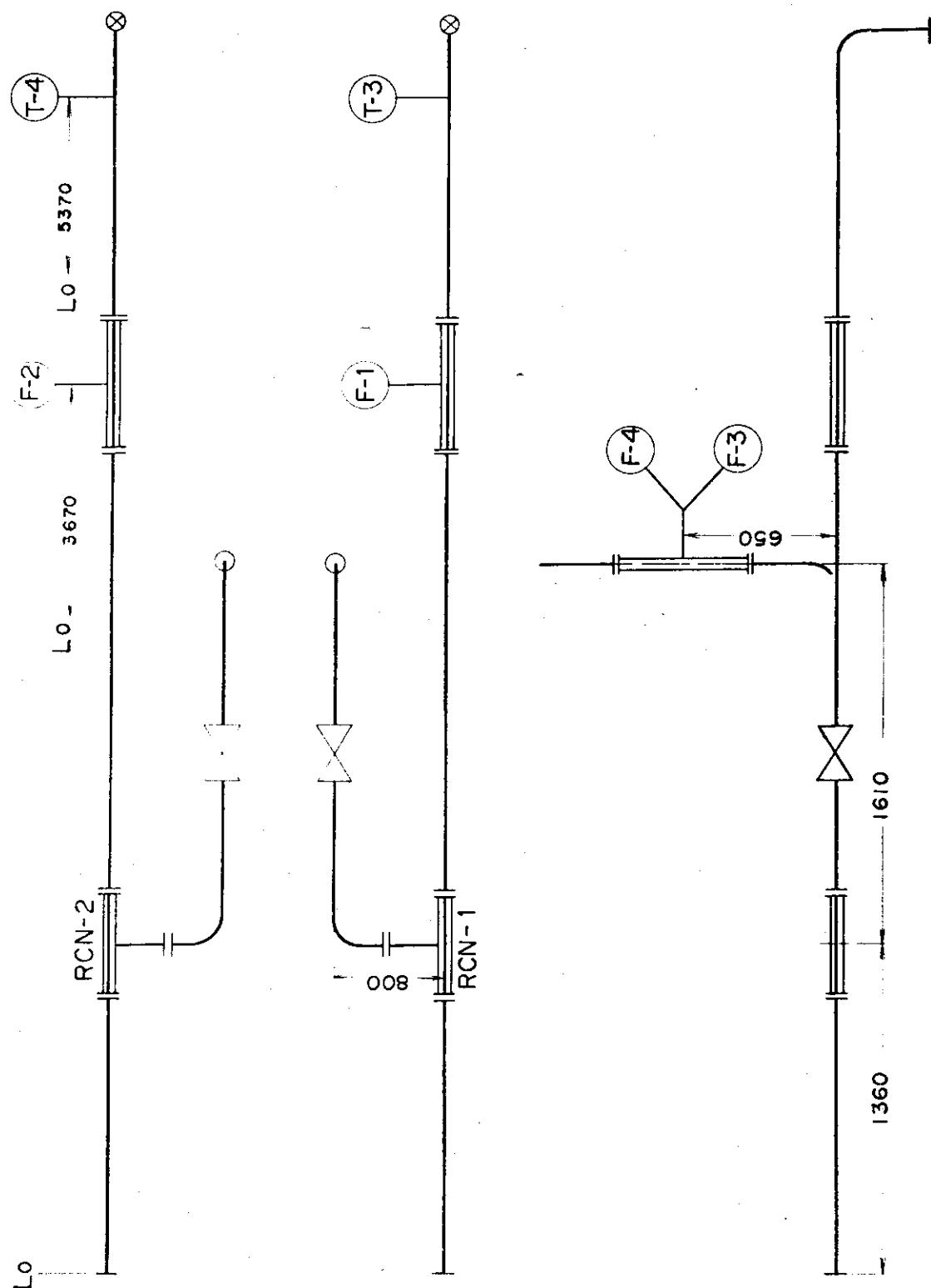
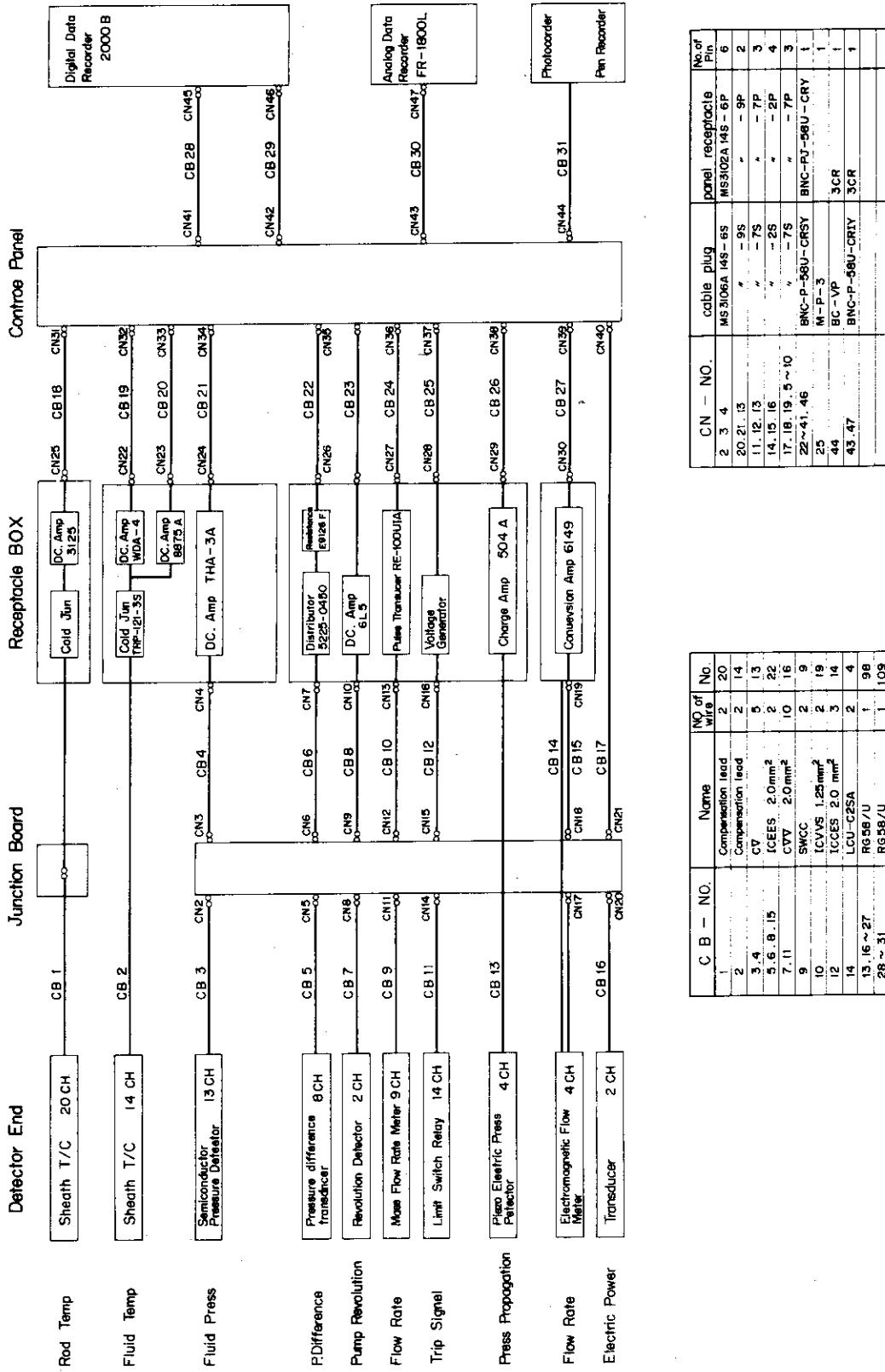


Fig. 49 Position of Measurement in the Discharge Piping



Instrumentation Network

Fig. 50 Instrumentation Network

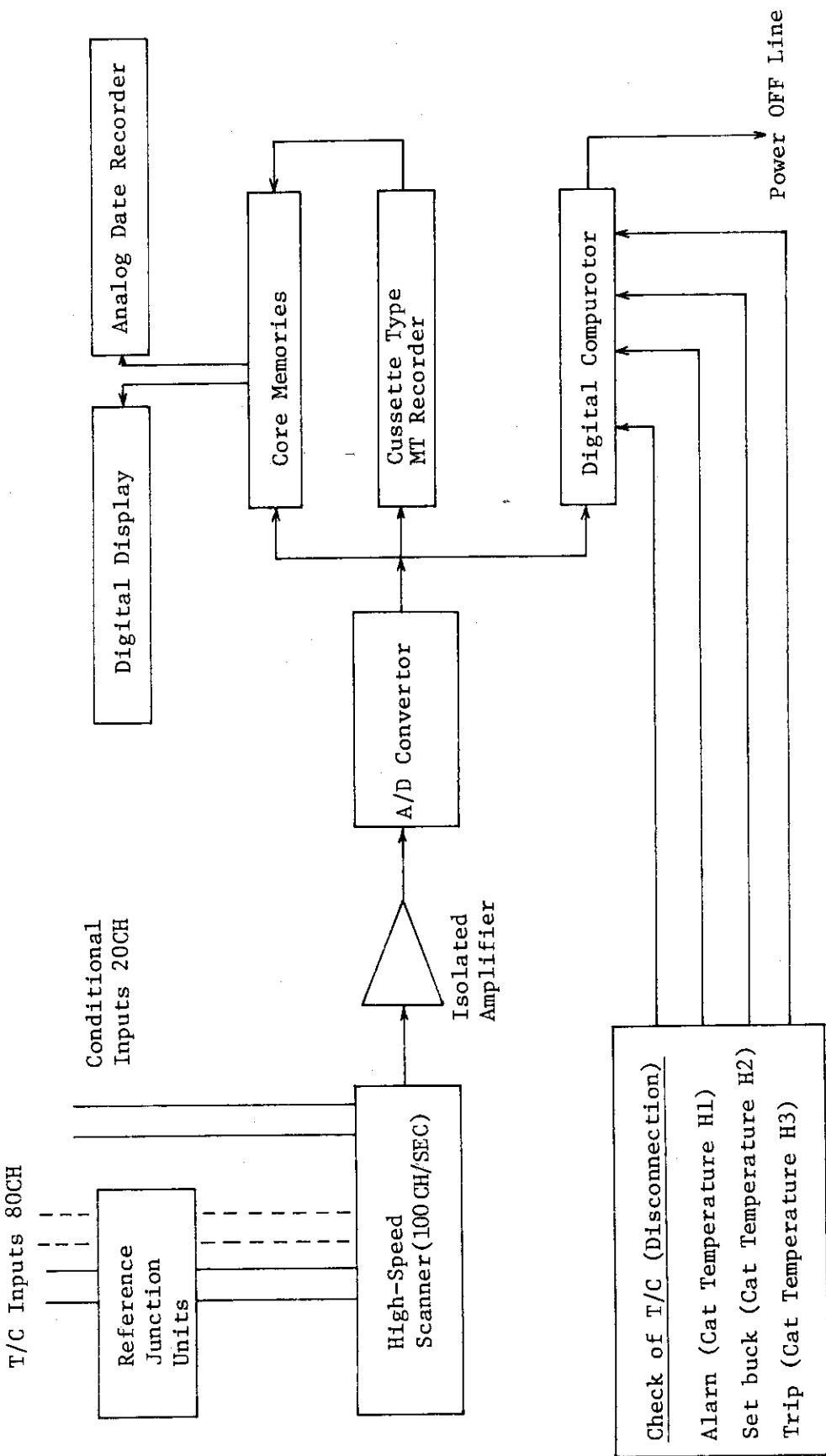


Fig. 51 Block Diagram of Core-Temperature Monitor

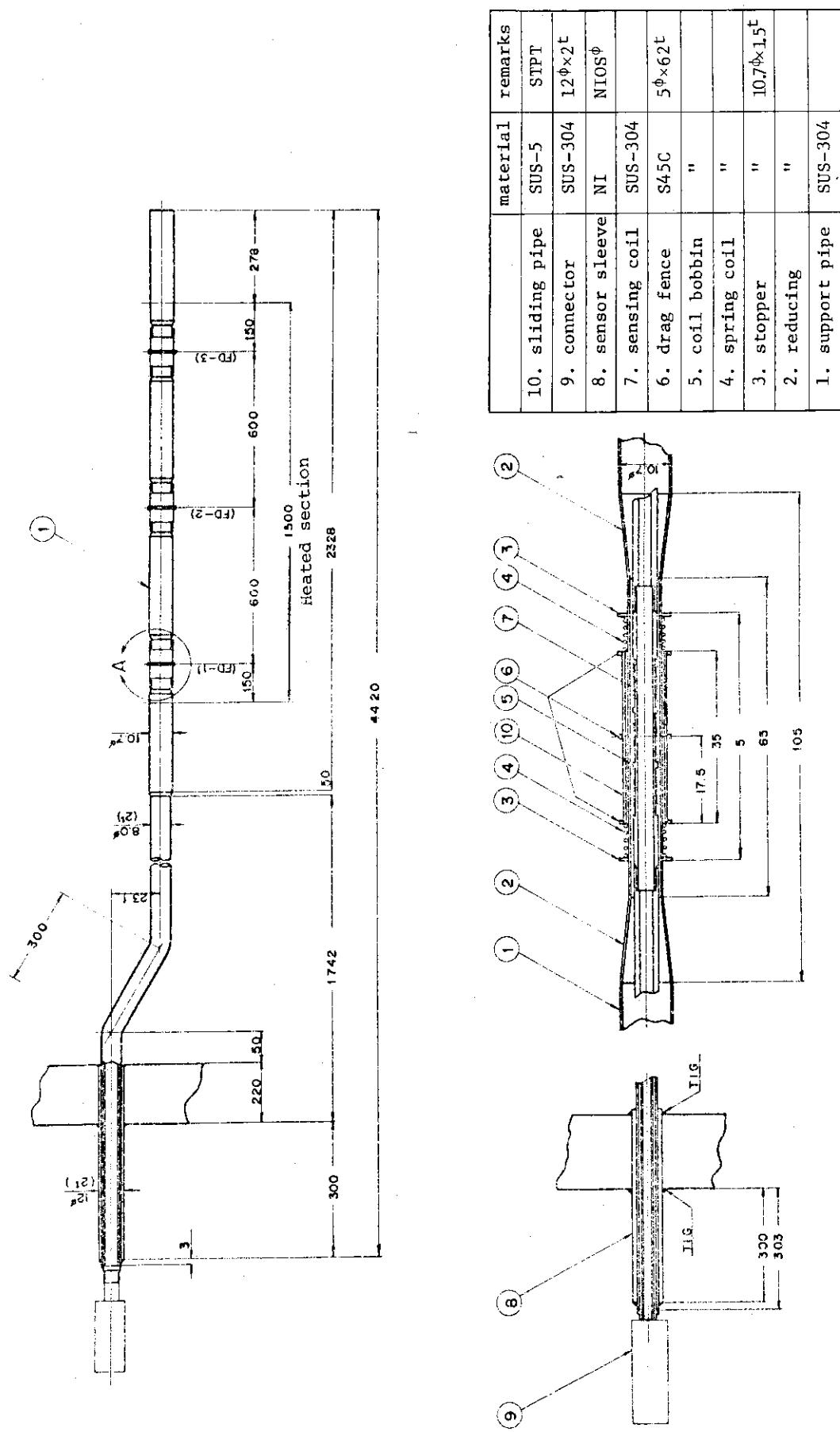
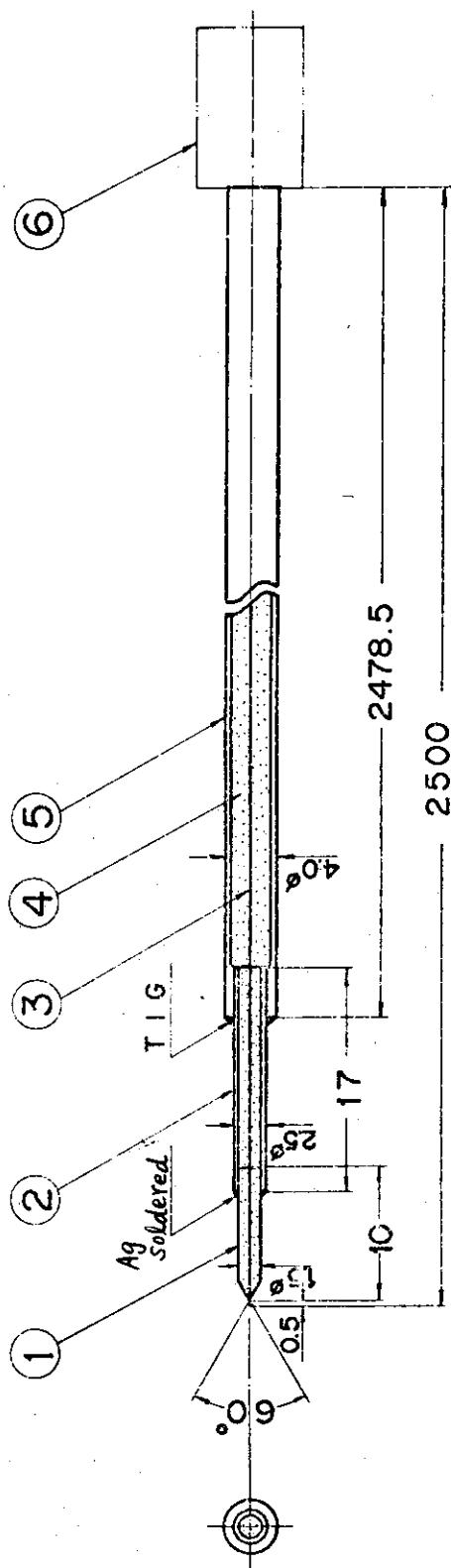


Fig. 52 Flow Direction Meter for #3 and #4 Simulated Fuel Assemblies



Specification

max. pressure : 170 kN/cm²
 fluid : purified water
 max. temperature : 550°C

| | material | remarks |
|------------------------|--------------------------------|---------|
| 6 connector | | |
| 5 guard sleeve | SUS 304 | |
| 4 insulation | Al ₂ O ₃ | |
| 3 signal line | Ni | |
| 2 sleeve | Fe Ni Co | |
| 1 electrode insulation | Al ₂ O ₃ | |

Fig. 53 Probe Type Void Meter

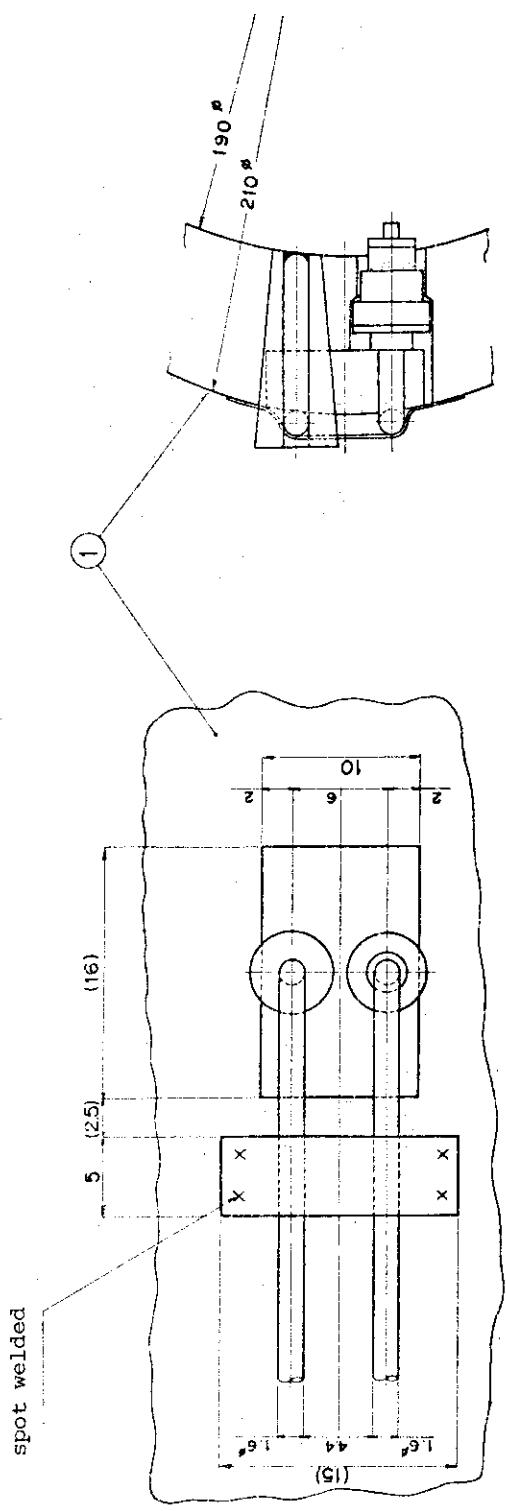
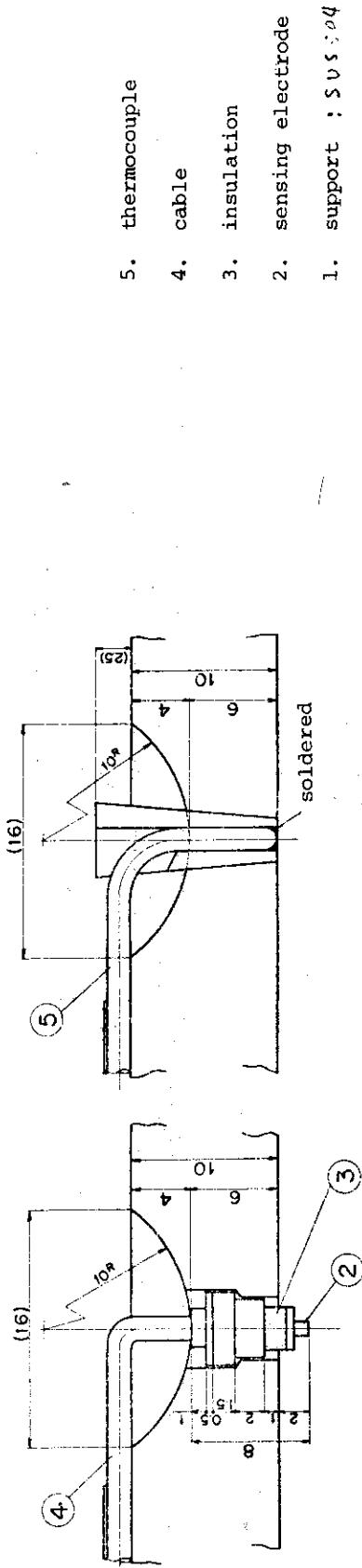


Fig. 54 Level Meter



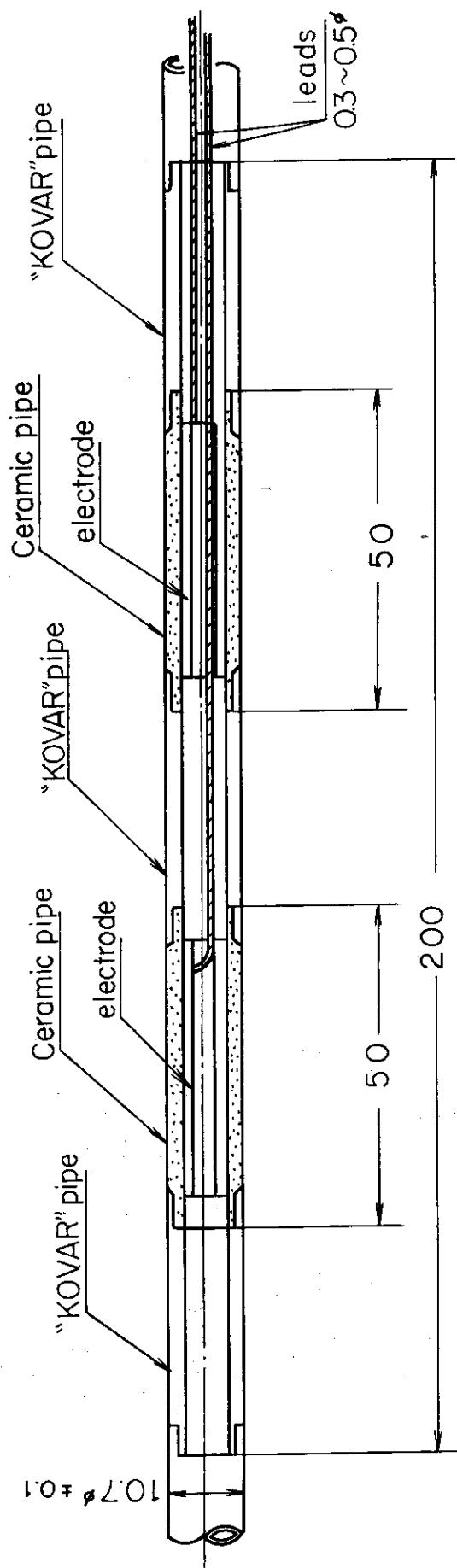


Fig. 55 Schematic of Electrostatic Void Meter

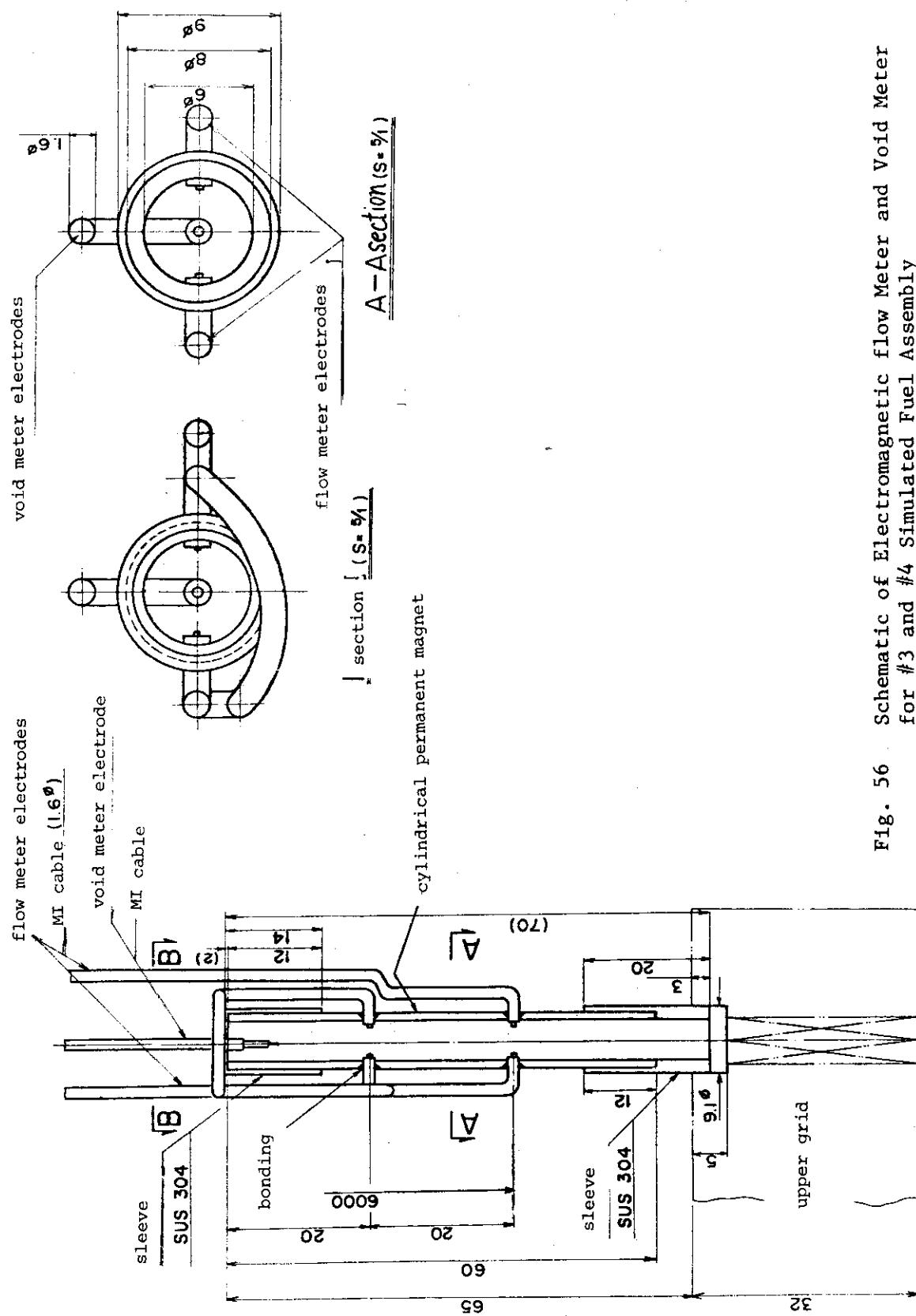


Fig. 56 Schematic of Electromagnetic flow Meter and Void Meter for #3 and #4 Simulated Fuel Assembly

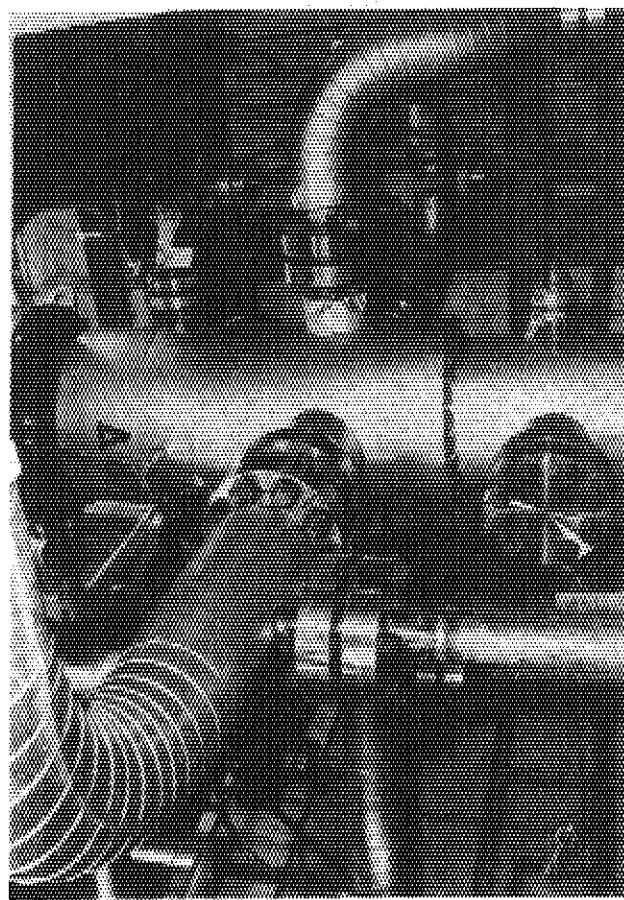


Photo. 1 Primary Loop Connection Nozzles

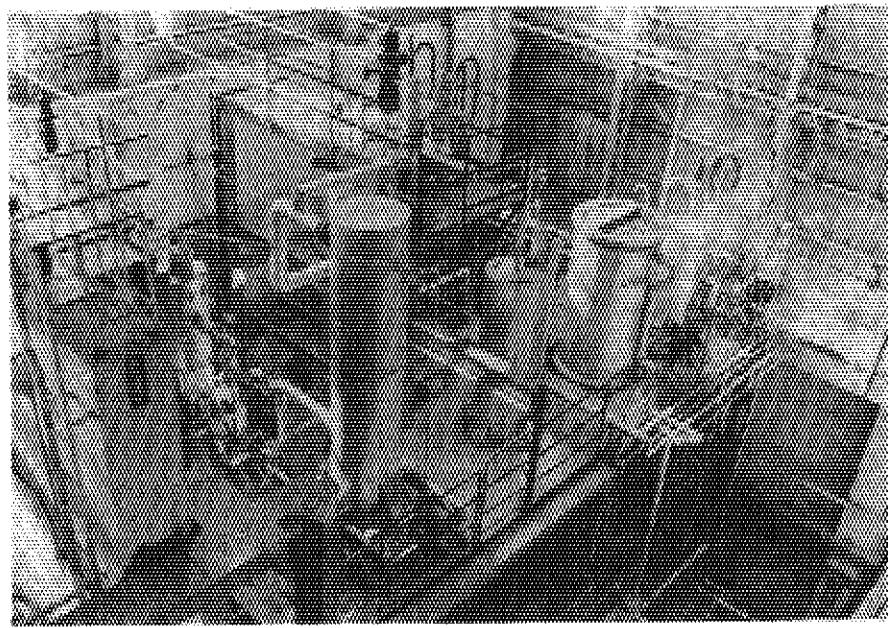


Photo. 2 ROSA-II Facility

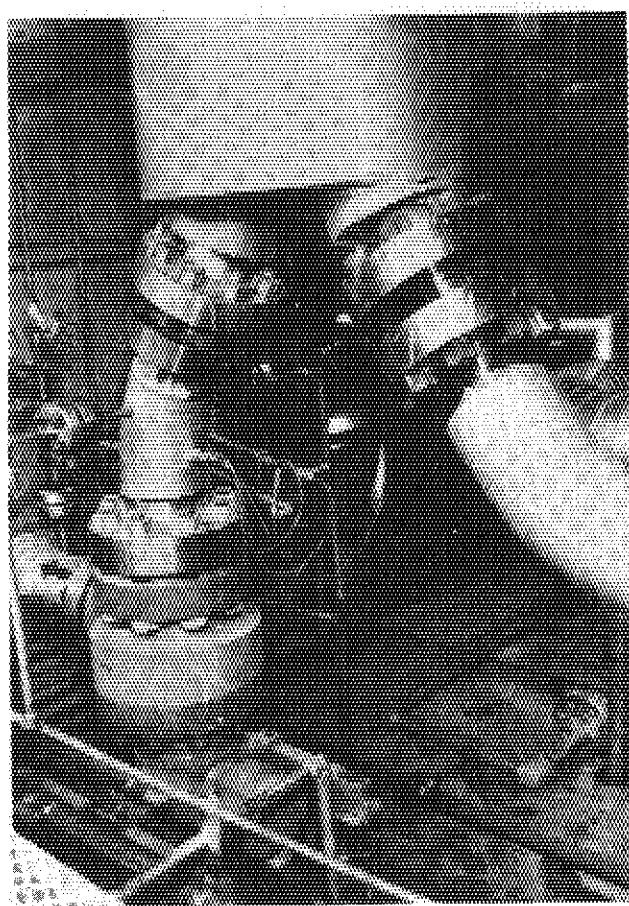


Photo. 3 Circulation Pump of Unbroken Loop

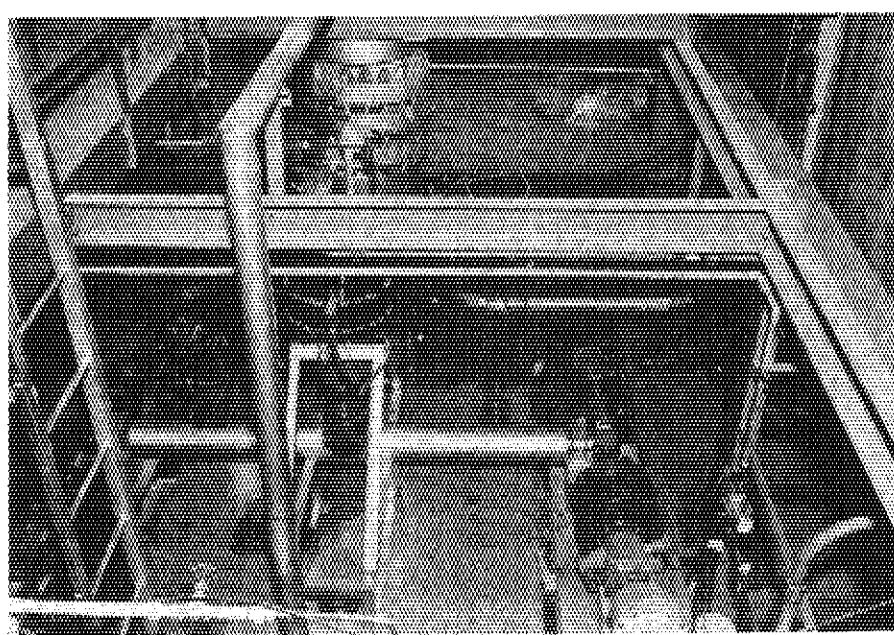


Photo. 4 Break Unit and Quick Shut Valve

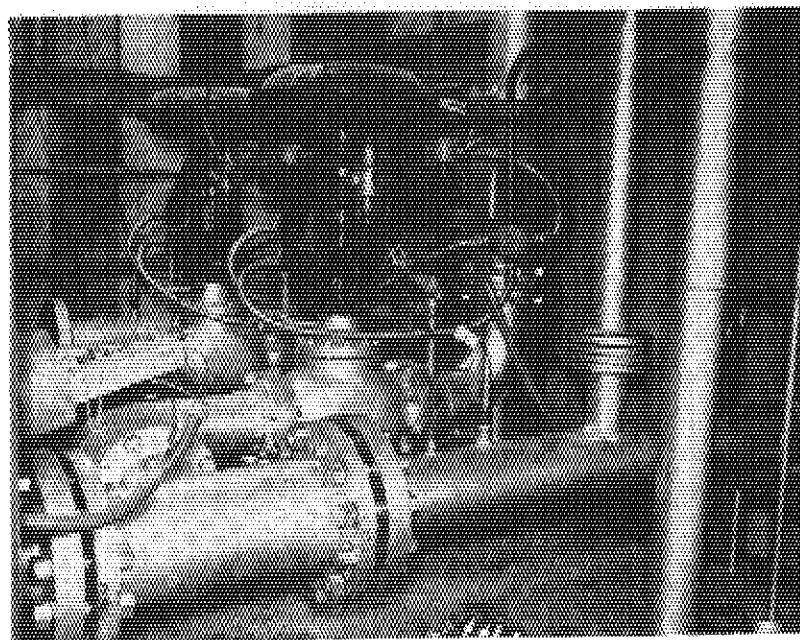


Photo. 5 Discharge Pipings

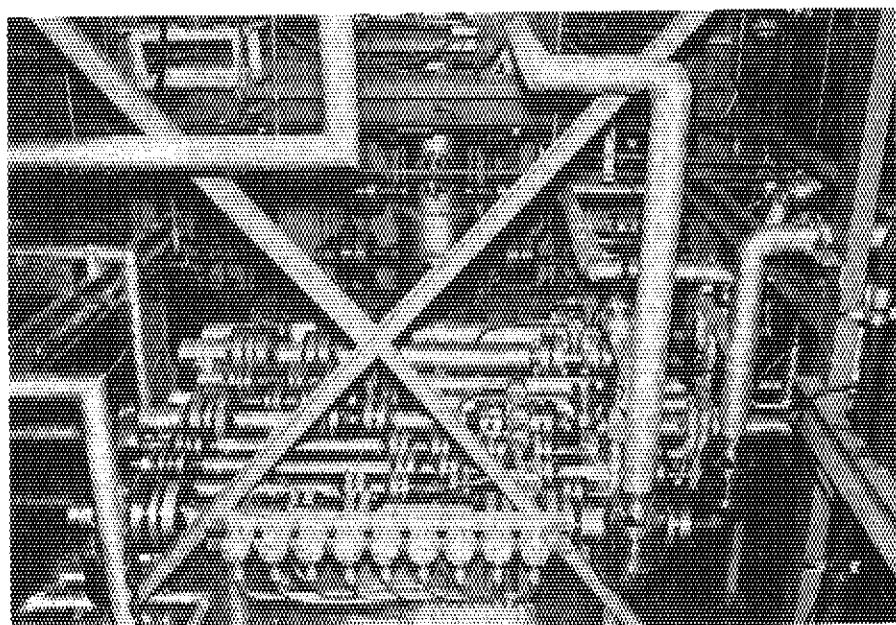


Photo. 6 Turbine Meters and Pipings for ECCS

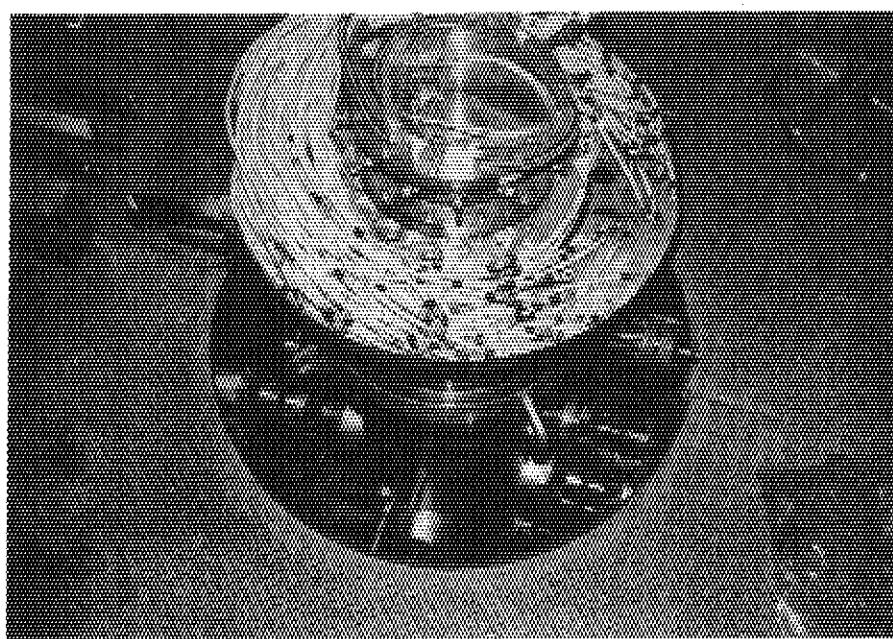


Photo. 7 Upper Head of the Simulated Fuel Assembly

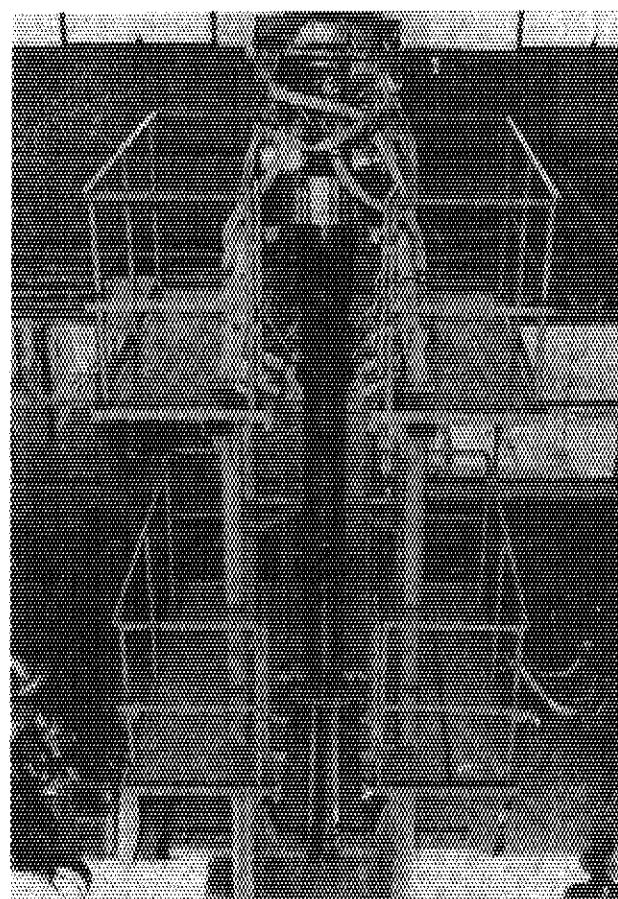


Photo. 8 Simulated Fuel Assembly

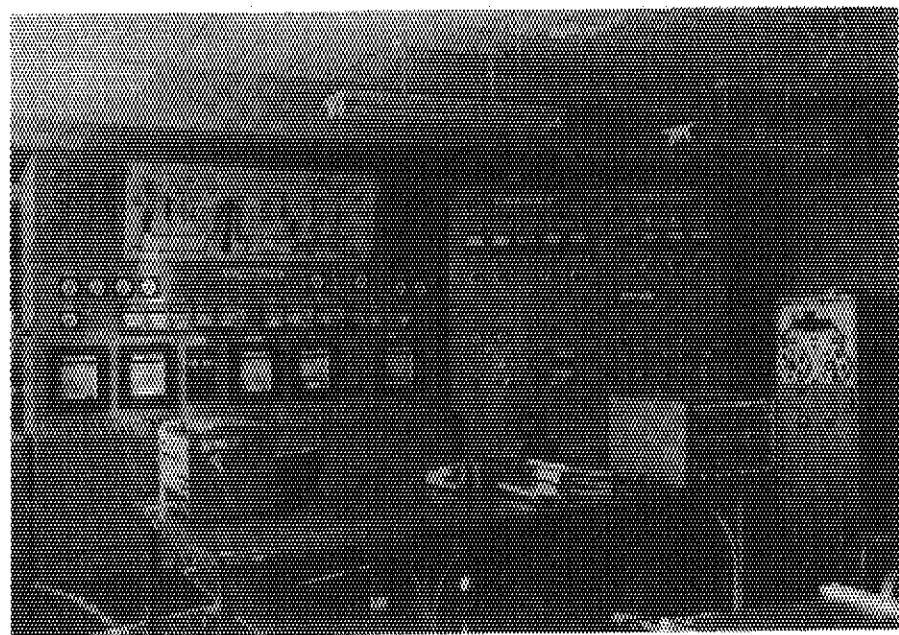


Photo. 9 Control Panel

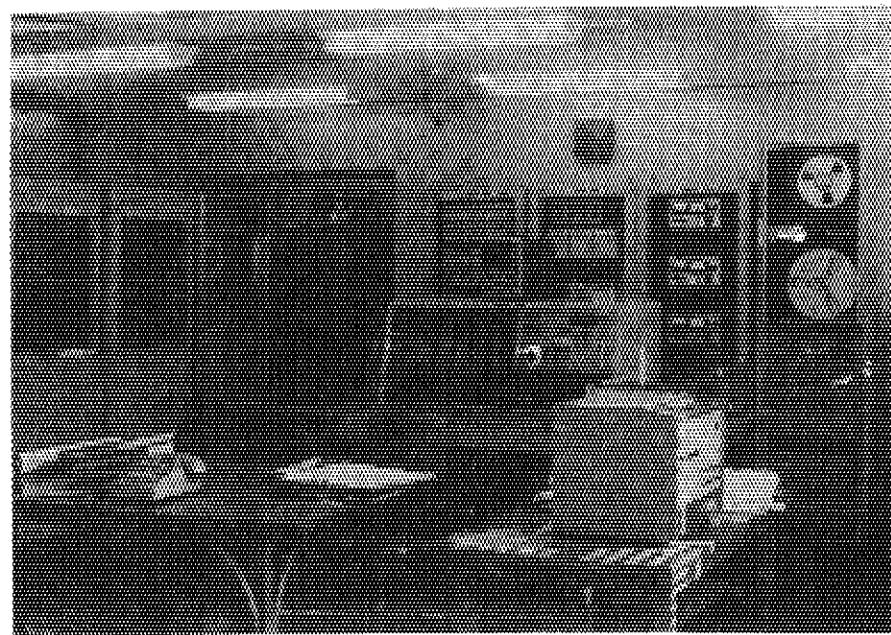


Photo. 10 Data Acquisition Unit