

JRR-2の制御系 冷却系機能試験

1962年9月

日本原子力研究所

Japan Atomic Energy Research Institute

日本原子力研究所は、研究成果、調査結果の報告のため、つぎの3種の刊行物を、それぞれの通しナンバーを付して、不定期に発行しております。

- | | | |
|---------|----------------------------------|-----------------|
| 1. 研究報告 | まとまった研究の成果あるいはその一部における重要な結果の報告 | JAERI 1001-3999 |
| 2. 調査報告 | 総説、展望、紹介などを含め、研究の成果、調査の結果をまとめたもの | JAERI 4001-5999 |
| 3. 資料 | 研究成果の普及、開発状況の紹介、施設共同利用の手引など | JAERI 6001-6999 |

これらの刊行物に関する版権、複写のお問合せは、日本原子力研究所図書館あてお申し越しください。

なお、上記3種の報告は、日本原子力研究所生活協同組合（茨城県那珂郡東海村）で実費頒布をいたしております。

Japan Atomic Energy Research Institute publishes the non-periodical reports with the following classification number.

1. JAERI 1001-3999 Research Reports.
2. JAERI 4001-5999 Survey Reports.
3. JAERI 6001-6999 Information and Guiding Booklets.

Any inquiries concerning copyright and reprint of the above mentioned reports should be addressed to the TECHNICAL LIBRARY of the Institute. (Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan)

JRR-2 制御系、冷却系機能試験**要 旨**

JRR-2 原子炉は、1956 年 11 月米国 AMF 社と契約を結び、1958 年 4 月より建設工事に着手した。建設工事期間には、他の報告*にみられるように、種々の問題があり、据付組立が完了したのは 1959 年 12 月末であった。その後引き続き、制御系、冷却系の機能試験が行われた。これはそれらの試験の報告である。

Efficiency Testing of the Control and Cooling Systems of JRR-2**Summry**

A contract for the construction of JRR-2 was signed in November 1956 between the JAERI and AMF Atomics; the actual construction, however, was started in April 1958. As seen in other reports on the reactor, various problems arose in the course of construction, and it was at the end of December 1959 that the construction and installment at the site was completed. Subsequently efficiency tests were performed on the control and cooling systems, the results of which are described in this report.

* JAERI 6009 JRR-2 の建設

序 文

日本原子力研究所における第2号研究用原子炉 JRR-2 は熱出力 10 MW, 平均熱中性子束密度 $2 \times 10^{14} \text{n/cm}^2 \text{scc}$ に設計された本格的研究用原子炉である。日本原子力研究所は AMF 社との契約によりこの建設に着手したのであるが、この規模の炉は、当時わが国ではもちろんのこと世界的にも第1級の研究用原子炉であった。1958年4月この原子炉の建設に着手して以来、幾多の困難な問題がおこり、かつその大部分が未知の分野であり未経験の問題であったので、これを解決するため担当者のみなみならぬ努力がはらわれたのである。1959年12月末原子炉の組立を完了、ひきつづき機能試験を開始したが、その後に第1次装荷燃料である 20% 濃縮ウラン燃料に問題が起り、この解決のために多くの努力がなされた。1960年10月1日 JRR-2 原子炉は臨界に達し翌年3月には第1次出力上昇目標である 1000 kW 運転に成功した。その後約半年間 1000 kW で 370,000 kWh 運転をおこなったが、さしたる問題も起らず良好な結果が得られている。

この報告は建設の当初から 1000 kW 運転にいたる間の技術的報告をまとめたものである。

なお、1961年11月には 20% 濃縮ウラン燃料を用い、第2次出力上昇試験で 3000 kW 運転に成功したことを見記す。(神原豊三)

1962年1月

本報告集は下記の諸編からなり、順次刊行の予定である。(太字は既刊)

No. 1 JRR-2 の建設	(JAERI 6009)	No. 5 JRR-2 の臨界実験と特性測定 (JAERI 1025)
No. 2 JRR-2 Cooling tower test	(JAERI 1022)	No. 6 JRR-2 第1次燃料の熱的検討 (JAERI 1026)
No. 3 JRR-2 の機能試験	(JAERI 1023)	No. 7 JRR-2 第1次燃料と出力上昇 (JAERI 1027)
No. 4 JRR-2 における水、ガスの 処理と分析	(JAERI 1924)	No. 8 放射線モニタリング (JAERI 1028)

本編の関係者はつぎのとおりである。

研究炉管理部長 神原豊三

JRR-2 管理課 荘田勝彦、平田 穂、庄司 務、萩野谷欣一、小早川透、八巻治恵、横田光雄、堀木欧一郎、柚原俊一、小金沢卓、吉川静雄、沢井 定、横尾 宏、宮坂靖彦、部 肇、石川迪夫、中井 靖、牛尾正二、上野三安、森田守人、市原正弘、小川雄一、北原種道、小山田六郎、上林有一郎、谷口 煙、大田黒寛治、高村三郎、田村和行、川上弘紀、菊地 雄、岩下 祥、笠原佑作、原 邦男

外来研究員 井上 実、鈴木頼二、早勢 哲、博田忠邦、豊田行雄、鹿毛量

目 次

1. JRR-2 の制御系機能試験

1.1 緒 言.....	1
1.2 制御系の概要.....	1
1.3 制御棒駆動機構.....	1
1.3.1 制御棒垂直部分.....	3
1.3.2 水平駆動軸.....	4
1.3.3 駆動装置.....	4
1.3.4 位置表示装置.....	5
1.3.5 安全增幅機.....	5
1.3.6 制御棒の操作.....	6
1.4 制御棒関係機能試験.....	6
1.4.1 励磁電流の調整.....	6
1.4.2 制御棒落下試験.....	6
1.5 中性子計測装置.....	7
1.5.1 線型指示中性子束計測系	11
1.5.2 対数指示中性子束計測系	12
1.5.3 安全回路計測系	12
1.6 プロセス計器	13
1.6.1 流量計	13
1.6.2 圧力計	14
1.6.3 温度計	15
1.6.4 水位計	16
1.6.5 電導度計	17
1.6.6 その他の機器	17

2. JRR-2 冷却系の機能試験

2.1 冷却系の概要	20
2.1.1 まえがき	20
2.1.2 重水系統	20
2.1.3 ヘリウム系統	21
2.1.4 热遮蔽系統	22
2.1.5 2次冷却水系統	22
2.1.6 空気系統	23
2.1.7 非常用冷却系統	23
2.2 燃料要素の流れ試験	25
2.2.1 まえがき	25
2.2.2 流量と圧力降下	27
2.2.3 流量と Guide tube array の中の水 位上昇量および水位変動量の関係	
2.2.4 燃料板集合部出口における流速分布	28
2.2.5 燃料要素の上部固定装置がはずれた 場合の状況	34
2.2.6 まとめ	37
2.3 炉心内の流れ分布試験	37
2.3.1 まえがき	37
2.3.2 Dummy fuel の流量測定.....	37
2.3.3 炉心内の流れ分布試験	38
2.3.4 重水タンク内の水位と LI-1 の指 示値の関係	65
2.3.5 まとめ	61
2.4 重水補助系統の流れ試験	61
2.4.1 試験のあらまし	61
2.4.2 重水精製系統および Sampling 系 統の流量配分	61
2.4.3 重水フィルター DF-1, 2 の圧力降 下	65
2.4.4 まとめ	65
2.5 热遮蔽冷却水系統の流れ試験	65
2.5.1 試験のあらまし	65
2.5.2 主系統, 精製系統, Sampling 系統 Lower plug および Thermal column 冷却管内の流量配分	65
2.5.3 PE-1, 2, PF-1, 2, PD 各要素の圧 力降下	68
2.5.4 まとめ	70
2.6 冷却系ポンプおよびプロアーの特性試験	70
2.6.1 まえがき	70
2.6.2 冷却系ポンプの特性試験	71
2.6.3 プロアーの特性試験	78
2.6.4 まとめ	80
2.7 JRR-2 冷却系の重水ポンプについて	86
2.7.1 まえがき	86
2.7.2 重水ポンプの構造と機能	87
2.7.3 運転経過と漏れ試験	88
2.7.4 メカニカルシールの一般的な問題に ついて	110

2.7.5 まとめ.....	115
2.8 緊急冷却系の機能試験.....	115
2.8.1 まえがき.....	115
2.8.2 重水ダンプ系.....	116
2.8.3 自然循環系.....	116
2.8.4 緊急外部冷却系.....	116
2.8.5 緊急軽水冷却系.....	116
2.8.6 緊急2次冷却系.....	117
2.8.7 He圧力逃がし弁.....	117
2.8.8 緊急空気供給系.....	120
2.9 配管系の色彩調節.....	120
2.10 まとめ	120

Contents

1. Efficiency Testing of the Control System

1.1	Introduction	1
1.2	Outline	1
1.3	Control-rod drive mechanism	1
1.3.1	Vertical part.....	3
1.3.2	Horizontal driveaxis	4
1.3.3	Driving device.....	4
1.3.4	Position indicator	5
1.3.5	Safety amplifier	5
1.3.6	Rod handling	6
1.4	Efficiency Testing of the Control System	6
1.4.1	Adjustment of the exciting current	6
1.4.2	Drop test of the rod	6
1.5	Neutron Measuring Device.....	7
1.5.1	Linear-type neutron-flux indicator	11
1.5.2	Logarithmic-type neutron-flux indicator	12
1.5.3	Safety-circuits measuring system	12
1.6	Process Instrumentation	13
1.6.1	Flow meter.....	13
1.6.2	Pressure gauge	14
1.6.3	Thermometer	15
1.6.4	Water gauge	16
1.6.5	Conductivity meter	17
1.6.6	Others	17

2. Efficiency Testing of the Cooling System

2.1	Outline of the cooling system.....	20
2.1.1	Introduction	20
2.1.2	Heavy water system.....	20
2.1.3	Helium system	21
2.1.4	Thermal shield cooling system	22
2.1.5	Secondary cooling water system	22
2.1.6	Irradiated air system	23
2.1.7	Emergency cooling system.....	23
2.2	Flow test of the fuel element	25
2.2.1	Introduction	25
2.2.2	Flow rate and pressure drop.....	27
2.2.3	Relation between flow rate and water level in the guide tube array and fluctuation of the water level.....	28
2.2.4	Flow distribution at the outlet of fuel plate assembly	34
2.2.5	The state of the fuel element which was released from the gripper at the bottom of guide tube array.....	35
2.2.6	Conclusion	37
2.3	Flow distribution test in the core	37
2.3.1	Introduction	37
2.3.2	Flow rate of the dummy fuel element.....	37
2.3.3	Flow distribution test in the core	39
2.3.4	Relation between the water level in the D ₂ O Tank. and the indication of LI-1	60
2.3.5	Conclusion	61
2.4	Flow test of the heavy water purification system	61
2.4.1	Outline	61
2.4.2	Flow rate of the heavy water purification system and sampling system	65
2.4.3	Pressure drop of heavy water filter DF-1 and DF-2	65
2.4.4	Conclusion	65
2.5	Flow test of the thermal shield cooling water system	65
2.5.1	Outline	65
2.5.2	Flow rate in the main line, purification line, sampling line, Lower plug and thermal column cooling line,	65

2.5.3	Pressure drop in PE-1, PE-2, PF-1, PF-2 and PD.....	68
2.5.4	Conclusion	70
2.6	Performance of pumps and blowers	70
2.6.1	Introduction	70
2.6.2	Performance test of the pumps.....	71
2.6.3	Performance test of the blowers	78
2.6.4	Conclusion	80
2.7	Pumps for JRR-2 cooling system	86
2.7.1	Introduction	86
2.7.2	Construction and function of heavy water pumps	87
2.7.3	Characteristics and leak rate of pumps	88
2.7.4	General problems of mechanical seals.....	110
2.7.5	Conclusion.....	115
2.8	Functional test of the emergency cooling water system	115
2.8.1	Introduction	115
2.8.2	Heavy water dump system	116
2.8.3	Natural circulation system	116
2.8.4	Emergency external cooling system.....	116
2.8.5	Emergency light water cooling system.....	116
2.8.6	Emergency secondary cooling water system.....	117
2.8.7	Helium relief valve	117
2.8.8	Emergency air supply system	120
2.9	Colour conditioning of piping system.....	120
2.10	Conclusion and acknowledgement.....	120

1. JRR-2 制御系機能試験

1.1 緒 言

JRR-2 原子炉は、1958 年 4 月建設工事が始まり、その間、熱交換器の不良などのことがあり、予定より約 1 年おくれて、組立が完了したのは 1959 年 12 月末であった。その後ただちに各部の機能試験がおこなわれ、10 月 1 日臨界に達した。

ここにのべる制御関係については、1959 年 8 月から組立調整が始まったが、完成された形で入荷した制

御台にも、ほとんど全部にわたって手を入れなければならなかった。このことは、制御台の一つ一つの装置は満足に働いたとしても、全体としての総合試験がおこなわれなかつたことが原因と思われる。

以下制御系の各系統についての概略と問題になった点をのべる。

1.2 制 御 系 の 概 要

JRR-2 の構造、仕様については他の資料にくわしいのではぶくが、制御系統のブロック図を Fig. 1 に示す。また、Fig. 2 は回路の動作配線図である。

制御台への電源は常時、15 kVA の電池浮動方式による無停電電源より供給され、また、別にポンプ類の運転のために、40 kVA のジーゼル発電機をそなえている。すなわち、平常時には制御台は無停電装置から

供給され、ポンプ、ファン類は商用電源より給電される。停電時は、主重水ポンプ、二次冷却水のポンプ、ファンなどは停止して、炉はスクラムされるが、制御台はそのままの状態で、非常用停止ポンプ DP-4 などは 40 kVA のジーゼル発電機から自動的に給電され、燃料の融解などの事故を防止するようになっている。

電源系統図を Fig. 3 に示す。

1.3 制 御 棒 駆 動 機 構

制御棒は Fig. 4 に示すように、炉心燃料格子内に半径 $9\frac{3}{32}''$ (23.1 cm) の同一円周上に 6 本配置されている。6 本の制御棒は同じ構造をもっており、そのうち 5 本 (C-1～C-5) はシム制御棒として、他の 1 本 (C-6) は調整用制御棒として用いられている。これらの制御棒はおのの炉壁面に取付けられている駆動装置

に機械的につながっている電磁石に吸引されて、上下に動く。電動機の回転は、ウォーム・ギヤおよび平歯車の組合せによって、1 分間 1 回転程度に減速されている。

この回転は水平駆動軸によって、制御棒垂直部分のほぼ中央部まで伝達され、ピニオン・ラックによって

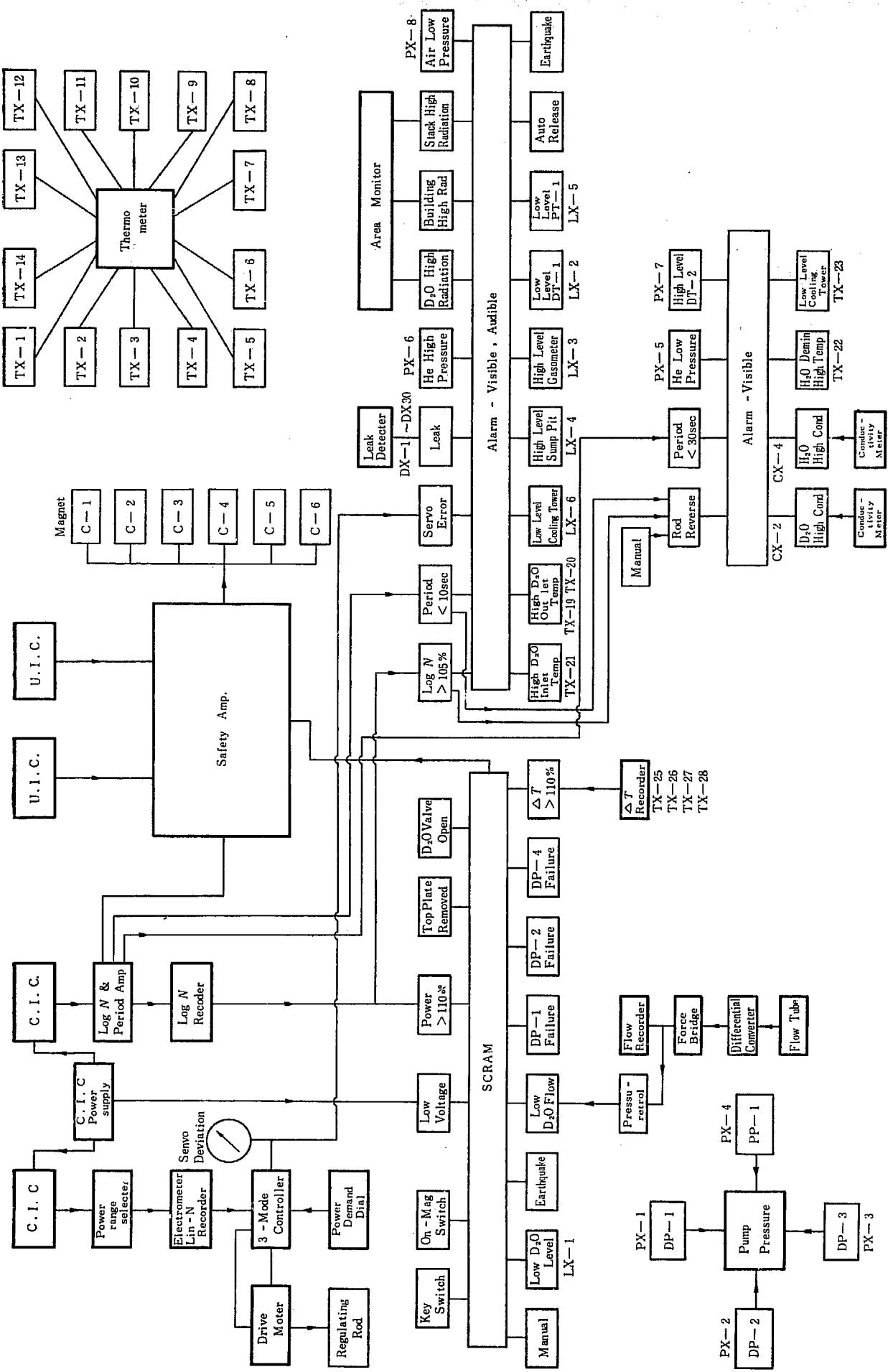
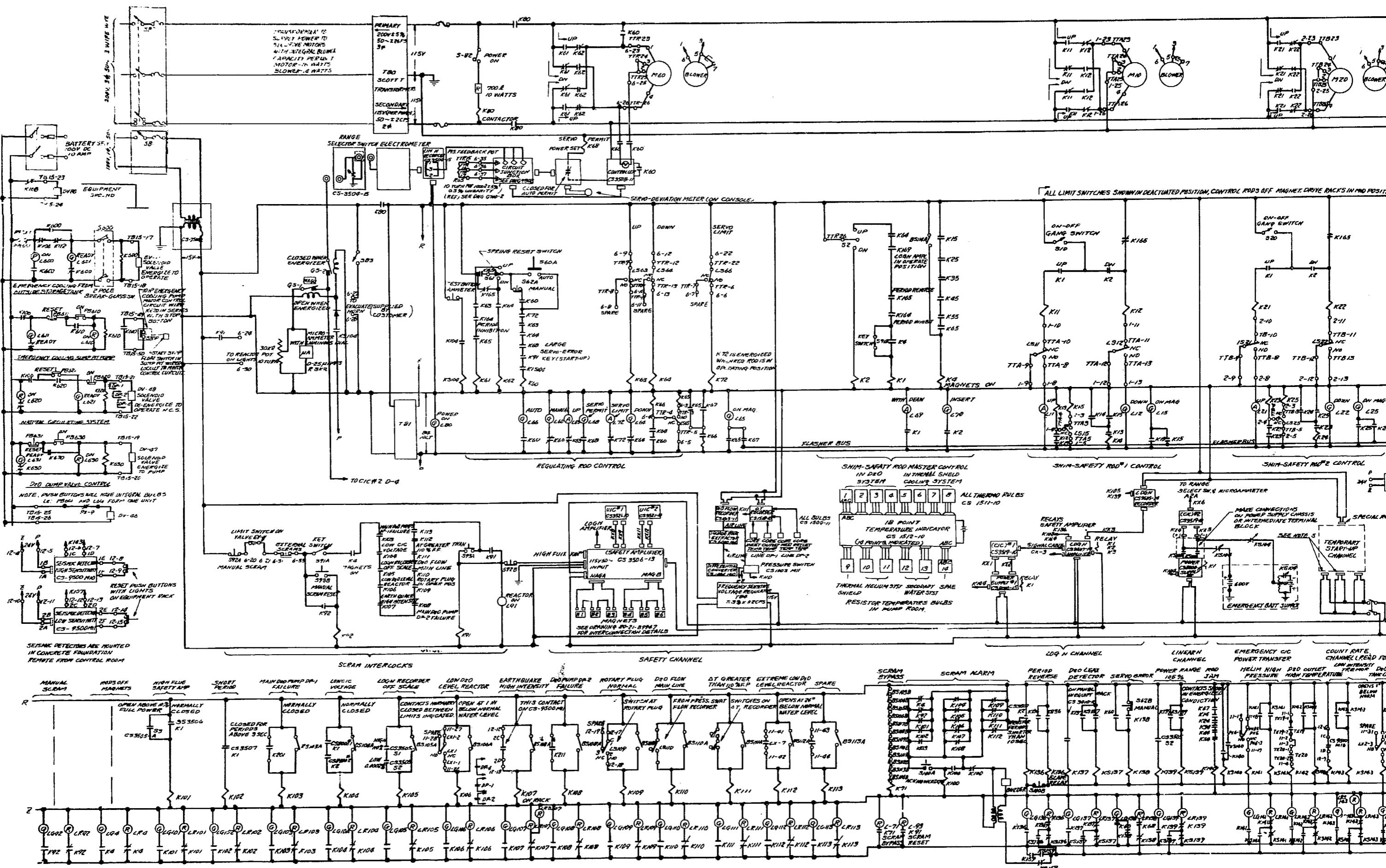


Fig. 1 Control system block diagram



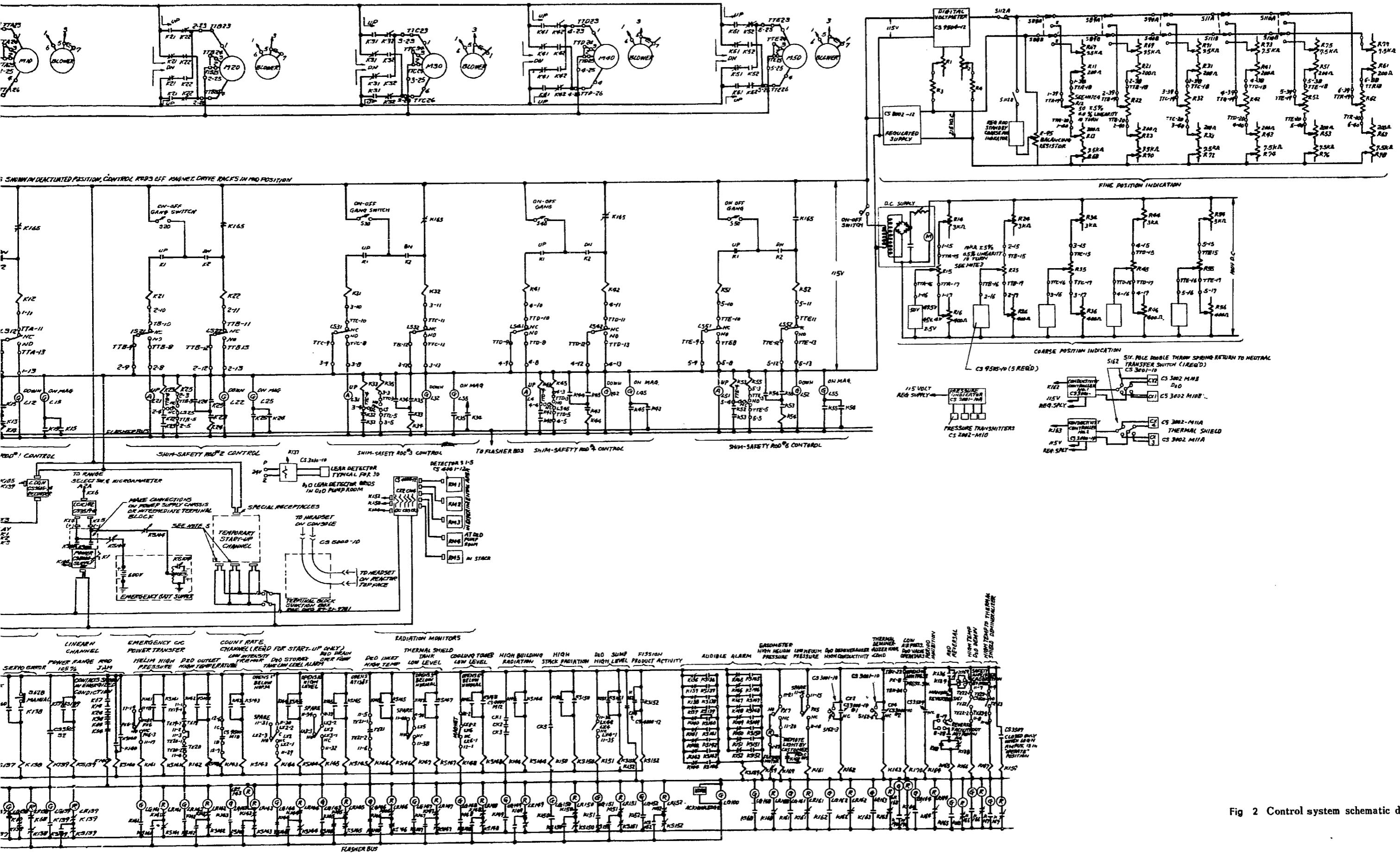


Fig. 2 Control system schematic diagram.

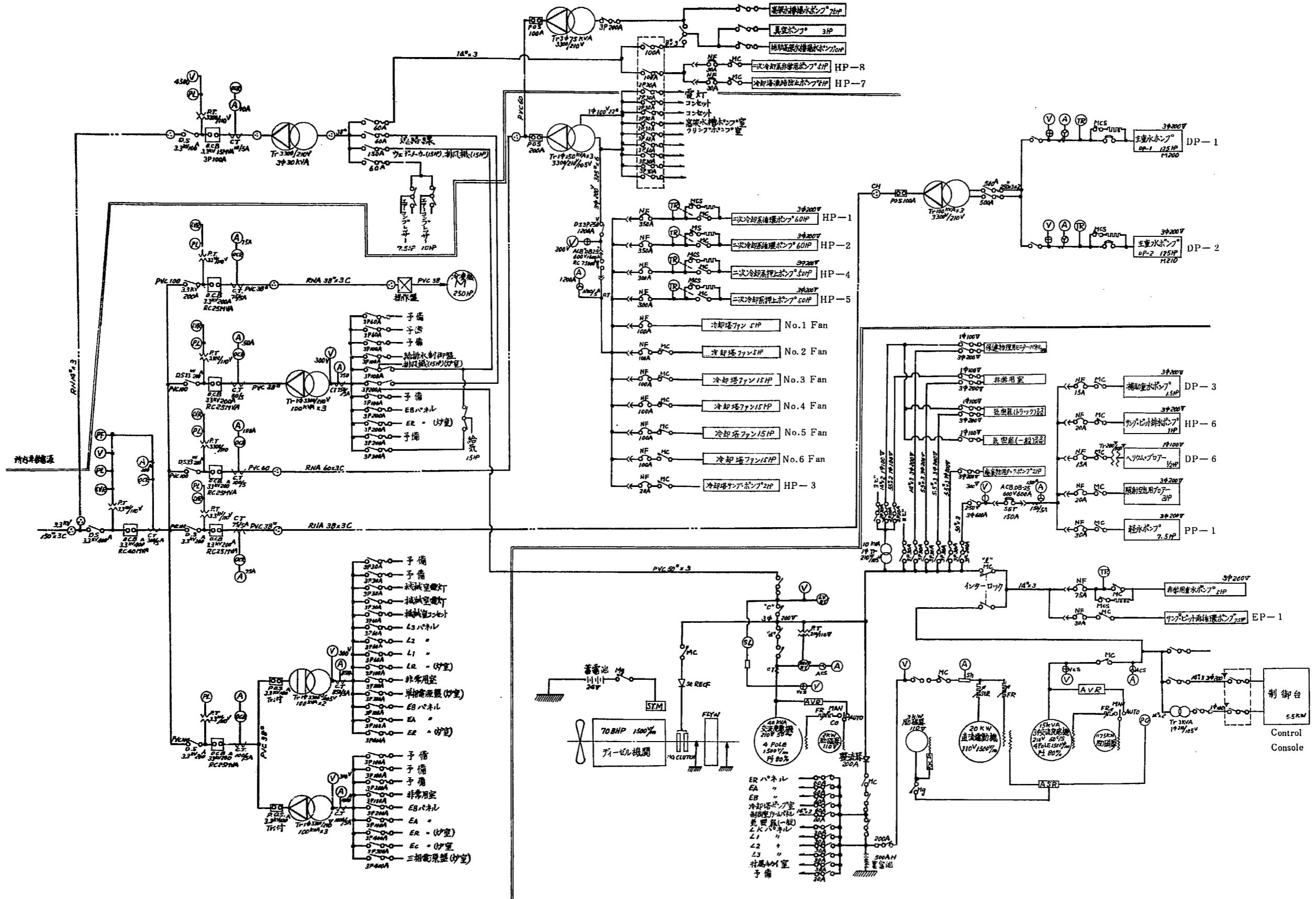


Fig. 3 JRR-2 electric power diagram

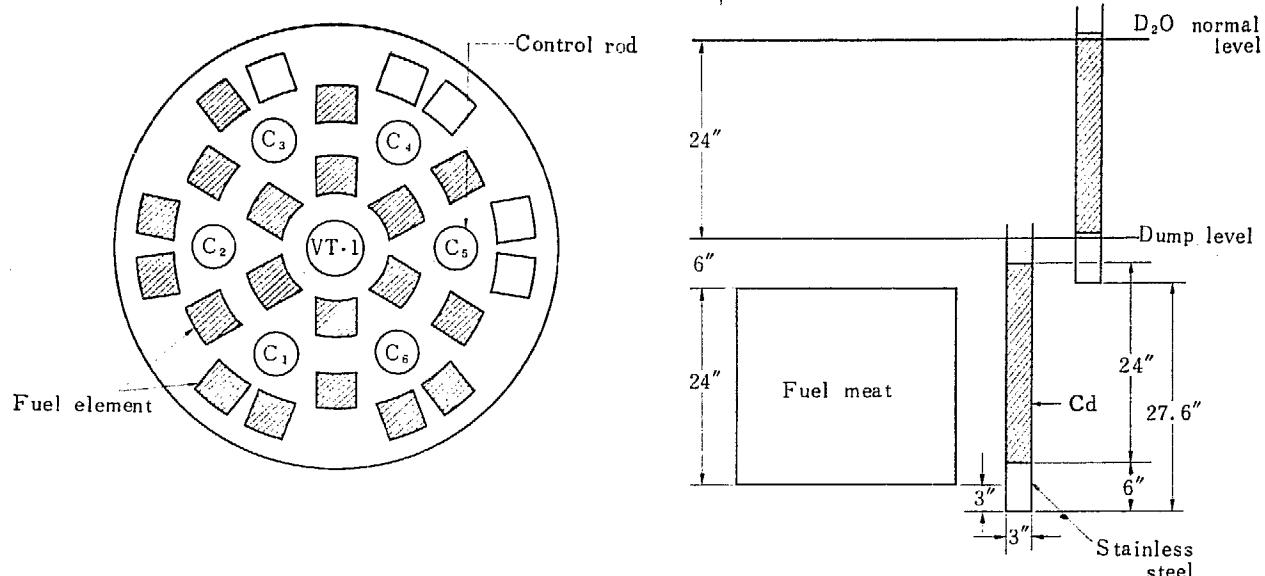


Fig. 4 Position of fuel elements and control rods

電磁石を垂直方向に動かす。電磁石のコイルは、安全増幅器 (safety amp.) に接続され、励磁される。

また、水平駆動軸に回転を伝える傘歯車に、もう一

つの歯車があって、ヘリカルポテンショメーターおよびリミットスイッチを動作させる送りネジ機構がついている。すなわち、制御棒の移動距離はポテンショメーターの抵抗変化より知ることができる。

また、リミットスイッチは、制御棒の上限、下限および自動制御可能範囲を指示する 3 つがついている。

1.3.1 制御棒垂直部分 (Fig. 5)

水平駆動軸の回転を垂直運動に変えるピニオン・ラック、それに連結される電磁石、アーマチュア、フレーム、制御棒本体などからなる。機構全体は直径 11.4 cm のアルミニウムの外套管の中に組みこまれている。制御棒が最下端にあるときの全長は約 2.6m である。

ピニオン・ラックは不銹鋼で、ピニオンの軸受けは不銹鋼製のボールベアリングになっている。

また、ラックは不銹鋼のフレームにネジ止めされ、その上端に電磁石がとりつけられている。また、電磁石の上には、電磁石とアーマチュアが接触しているときに作動するマイクロスイッチ（絶縁物は焼物）(ON-MAG SW) がついている。電磁石およびマイクロスイッチからの導線は、ダクロングラスワールの被覆銅線で、5 本たばねて、螺旋状に巻かれたグラスワール絶縁チューブの中を通って、外套管上端のフランジにあるコネクターに接続されている。このコネクターは炉壁面から操作できるアルミパイプの先端についているプラグに接続される。このコネクターおよびプラグの絶縁物は、ポリスチロールである。

アーマチュアは、クロームメッキされた軟鉄で、アルミ製のフレームの上端に付けられ、下端についてい

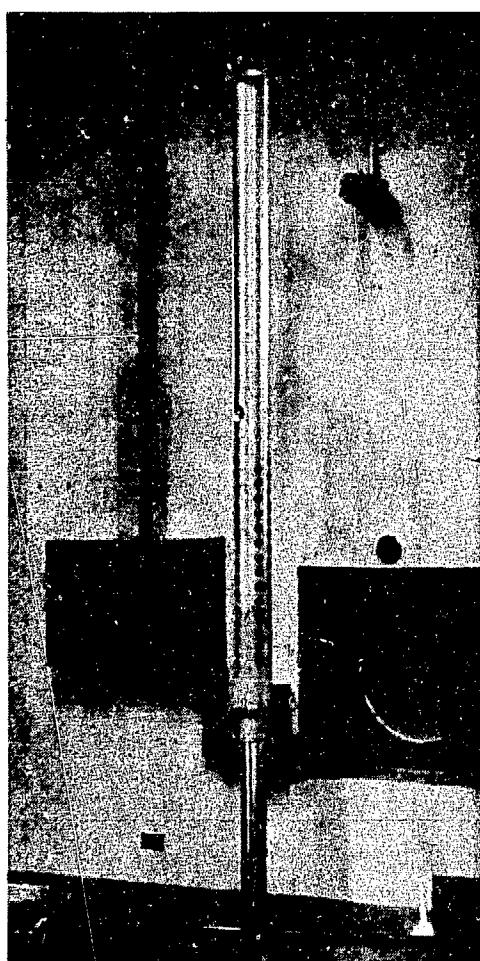


Fig. 5 Control rod vertical assembly

る制御棒本体との接合部と同じく、自由度を持たせてある。制御棒本体は、厚さ $1/16''$ (約 1.6 mm), 直径 $3''$ (約 7.6 cm), 長さ $24''$ (約 61 cm) のカドミウムに不銹鋼の被覆がなされた中空の円筒である。

この制御棒垂直部分で、組立て途上およびその後問題のあった点をのべると次のとおりである。

(1) ピニオン軸受け部分の溶接

ピニオンの軸受けには不銹鋼のボールベアリングが用いられているが、これを保持するのに外套管の肉厚が薄いので、この部分だけ、別のアルミブロックを溶接してある。この溶接が、歪を逃げるためか、縦方向の二面のみ溶接がなされていたが、この部分にはほとんど全部の制御棒にキ裂が見られた。全面を溶接しなおしたが、特に歪が多くなったとは認められない。

(2) ガイド・ローラー

ラック、電磁石が付いているフレームは、不銹鋼のアングル材で作られており、外套管との間には、バネで緩衝したローラーが付いていた。このローラーのすべりが悪く、運動が滑らかでないので、これを小さなボール・ベアリングに変えた。

(3) 電磁石および導線の故障

炉に組込まれた制御棒が試験中、電気リークが多くなり、制御棒を引き上げなくなってしまった。原因は電磁石の巻線のリークであった。電磁石は不銹鋼板の缶にはいっており撲線の導線の引き出し口をエポキシ樹脂で固めてあった。この部分の気密が悪く、水分の中にはいったものと思われたので、全部の電磁石をAMFに送り返した。新しくきた電磁石は、引き出し部は、コネクターのプラグを使用しており、特に水密のものではないが、ヘリウム漏洩試験でも、リークは認められず、その後使用中にも異状は起っていない。

また、電磁石、マイクロスイッチから上部のプラグへ結ばれているコイル状の導線は、制御棒の上げ下げのたびに、伸縮するので、絶縁物が摩擦で破壊することが多かった。対策として、摩擦する個所を、グラスウールテープとエポキシ樹脂で修理、補強し、なるべく無理のかからないように成型した。

その他に、使用してある部品のうち、ねじ、ナットなど一部に不銹鋼でないものがあつて、取換えたり、垂直プラグハンドラーで、制御棒の交換ができるように、下端にガイドを付けたり、上部の炉に固定させるためについていたボルト、プランジャーを取り除いたりした。

1.3.2 水平駆動軸

炉の外壁面にある駆動装置からの動力を、上述の垂

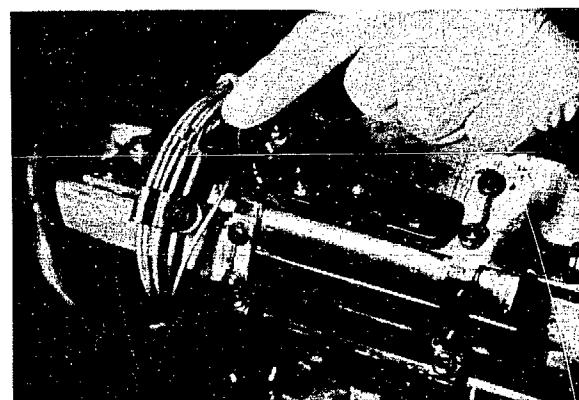


Fig. 6 Breakage of control rod

直部分のピニオンの軸に伝える部分で、それぞれの連結部分はある二つの自在接手、水平軸、ヘリウム・シールの軸受などからなる。全長は約 2.7m である。

1.3.3 駆動装置

駆動用電動機、空冷用ファン、減速歯車、スリップクラッチおよび位置表示用のポテンショメーター、マイクロ・スイッチなどからなり、 $22 \times 40 \times 13$ cm 位の大きさに組まれている。電動機は 115V, 2 相で駆動され、出力は 16 W、回転数は 1,500 rpm である。このとき制御棒は 7.0 cm/分の速度で動く。電動機の回転方向は 2 相入力の一つを逆相に接続換えすることによって変える。自動制御運転の場合は、自動制御器によって、位相、印加電圧を変化させて、回転数を連続的に制御する。スリップクラッチは、減速歯車列の中間にいって、無理な回転を防止している。クラッチのスリップ・トルクは 60 ポンド・インチ(69 kg·cm)に調整されている。なお、制御棒を上げるために要するトルクは最大 22 kg·cm であった。

ここで起った問題は、電動機駆動に要する電力の問題であった。すなわち、16 ワットの出力というのを入力と思い違って設計したものと思われる。

この電動機の仕様は次のようである。

Diehl Mfg. Co. Finderne. N.J. U.S.A.

A.C. CONTROL MOTOR

S.S. FPF 49 F.O.F.-949116

Volts 115 115 Cyc. 50 Ph. 2

Duty control watts output 16

Poles 4

冷却用のファンは

Diehl Mfg. Co. SS NO. FBE 21C-3

115 volts-60 cycles-0.10 amp.

3000 rpm-Fan duty-1 Ph-55°C. rise

入力は一相当り約 50 W、一台で約 100 W を必要

とする。手動運転で6本の制御棒を同時に操作し、自動制御器もこの系統から、電力を取っているので、全部で約1200 VA の容量を必要とする。ところが、付属していた3相-2相変圧器の容量は250 VA で当然過負荷になってしまった。このため、容量1500 VA の変圧器に交換した。

また、自動制御の場合1相は、自動制御器から供給されるが、当然約50W を必要とするわけであるが、自動制御器の仕様でも最大出力は12W でしかなく、その上始めは出力変成器の整合不良などで数W しかとれなかった。その後整合比を適当にしたりして、約8Wを得、また、電源電圧を上昇させて10W以上にもなるが、8Wの時でも電動機の回転数は手動運転の同期速度の87%になり、種々考えて実用上さしつかえないものとして現在この状態で用いている。

1.3.4 位置表示装置

駆動装置の中にある2つのヘリカル・ポテンショメーターの摺動片は、水平軸を駆動する傘歯車に連動している。すなわち、制御棒の位置によって抵抗値が決まり、制御台で、それを知ることができる。粗い位置表示用には、 $10\text{ k}\Omega$ のヘリポットを用い、100Vの直流電圧をかけて、分割された電圧を電圧計で読み、制御棒の位置を、1%の精度で読みとることができる。

こまかい位置表示には $50\text{ k}\Omega$ のヘリポットが使われ、デジタル・レシオメーターで、0.01%まで読みとることができる。

また、リミットスイッチは、下限を示すものと上限を示すものがあって、下限スイッチは、電磁石とアーマチュアの接触を示すON-MAGスイッチの動作後1~2秒たって働くように調整し、上限スイッチは制御棒が全駆動距離700 mm 上ったら働くように調整してある。これらのスイッチで、駆動用電動機を止め、また制御台に上限、下限の指示ランプをつけるようになっている。

ここで問題になったのは、デジタル・レシオメーターの動作不良と、配線の誘導であった。レシオメーターは動作が不安定で、原因はステッピング・スイッチの接触不良で米国に送り返し修理した。配線の誘導は、ポテンショメーター、つまり、炉壁から制御台への配線はシールド線を用いているが、制御台内部は、シールドのない導線を使っており、その間への誘導ハムが大きく、70 mV程度もあり、フィルターの追加と、一部シールド線との交換により、10 mV程度におさえ、ほぼ満足な結果を得ている。

1.3.5 安全増幅器

電磁石への電源は安全増幅器から供給される。安全増幅器については、中性子測定装置の項にものべるが

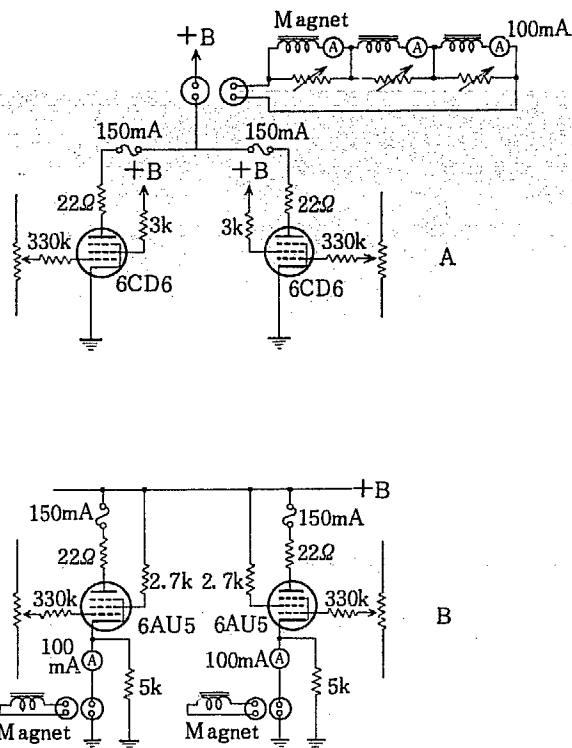


Fig. 7 Safety amp. magnet current supply circuits

電磁石の電源となる部分の概要をFig. 7に示す。Aは改造前のものであり、Bは改造後で現在使用中である。Aの回路では、3つの電磁石が直列につながり、2つの並列の真空管の陽極電流が流れている。おのおのの電磁石に流れる電流は、真空管の格子電圧およびおのおのの電磁石に並列にはいっている可変抵抗によって調整する。この回路では、電磁石のコイルの接地に対する電位が高く、リークの原因となること、break-away time（電磁石への供給電源がたたれてから実際にアーマチュアが離れ始めるまでの時間）が並列抵抗が少なくなると長くなることなどで適當でなかった。Bの回路ではこの点を改良し、1つの電磁石は1つの真空管の陰極電流で励磁され、電流の値は格子電圧だけで調整するようにした。

電磁石電流の遮断は、速いスクラムと遅いスクラムの2つの方法でおこなわれる。速いスクラムはスクラム・リレーの動作によって、電磁石励磁管(6AU5)の格子電圧をcut off電圧に下げるによりおこなうもので、遮断までに約6 m.secを要する。このスクラムは、a) 中性子束が定格の110%を越えたとき

(2本の非補償型電離箱からの信号) b) 原子炉周期が3秒以下になったとき(対数増幅器からの信号)に起る。

遅いスクラムは、励磁用真空管の、高圧電源を切ることによっておこなうもので、高圧電源は電磁石励磁部のみ単独に115Vを昇圧、整流して供給し、遮断は昇圧変圧器の一次側でおこなわれる。このスクラムは次の条件で起るようになっている。

- a) 対数記録計の指示が定格出力の110%以上、または、0.0002%以下となったとき
- b) 主重水ポンプ電動機が停止したとき
- c) 重水流量が低下したとき
- d) 炉心の重水の水位が低下したとき
- e) 設定値(100 gal)以上の地震のとき
- f) 温度差記録計の指示が定格出力の110%を超えたとき
- g) 補償型電離箱への供給電圧が低下したとき
- h) トップ・プレートがはずれているとき
- i) 電磁石から制御棒がはずれたとき
- j) 重水流路にある空気作動バルブが正常状態をはずれたとき
- k) 重水補助ポンプ(DP-4)電動機が停止したとき(200kW位の低出力のとき用いる)
- l) 安全スイッチを“安全”側にたおしたとき
- m) 手動スクラムボタンをおしたとき
- n) および、速いスクラムが働くとき同時に遅いスクラムも働く

1.3.6 制御棒の操作

手動運転中は電動機の駆動は制御盤にある。スナップ・スイッチを操作しておこなう。5本のシム制御棒(C-1~C-5)は、各5本おののに付いている“ギヤング・スイッチ”を通してシム棒駆動スイッチからの信号を受けて駆動される。すなわち、任意に何本のシム棒も同時に操作できる。

調整用制御棒(C-6)は、専用のスイッチで上下駆動操作される。C-6はその位置が75%以上抜けており、炉の出力と自動制御設定値との差が±5%以内にはいっていれば、自動制御運転に切り換えることができる。このときはC-6の電動機の電源の一相は自動制御器から供給される。(この75%以上であることは、さきに述べた、制御棒の上限、下限を設定するリミット・スイッチの中間に、今一つリミット・スイッチを設け、それによって設定する。また、この値は、安全のために自動制御にあずかる部分の制御棒の等価反応度を0.6%Δk/k以下とするためである。)

また、制御棒駆動回路には次の条件のときに働く、自動挿入回路(rod reverse)がある。

- a) 炉周期が10秒より短かくなったとき(log N増幅器からの信号)
- b) 炉の出力が定格の105%以上になったとき(log N記録計からの信号)
- c) 自動制御の際、偏差が±10%を超えたとき(自動制御器からの信号)
- d) 電磁石から制御棒がはずれたとき(ON-MAG.スイッチからの信号)

また、炉の周期が30秒以下となったとき働く、自動停止回路がある。

1.4 制御棒関係機能試験

1.4.1 励磁電流の調整

励磁電流は落下時間をなるべく短かくするために、必要最小限にするのが望ましく、使用の初期の頃は、制御棒を持ち上げるに要する電流(pick-up current)の120%を基準に調整されたが、現在安全増幅器改造後はbreak away時間は十分短かくなっているので全部同じ値で用いている。pick-up currentおよびdrop-out current(電流を少なくして制御棒が落下し

てしまうときの電流値)は、その時々の状態でいかに異なるが測定結果の一例を示せばTABLE 1のようになる。

この表からわかるように、drop-outの電流はあまりその時の状態にかかわりなくほぼ定まっている。

1.4.2 制御棒落下試験

- (1) スクラム信号がはいってから制御棒が落ちるまでの時間(over all drop time)の測定

TABLE 1 Magnet current

Control rod	Pick-up current		Drop-out current	
	Before remodeling	After remodeling	Before remodeling	After remodeling
C-1	31 mA	40	30	30
C-2	48	43	40	38
C-3	60	35*	51	22
C-4	43	50	37	37
C-5	46	48	40	37
C-6	45	48	36	34

* Control rod C-3 was exchanged.

TABLE 2 Rod drop time

制御棒	落下時間	
C-1	463 m/sec	この測定は安全増幅器は改造前、主重水ポンプ2台が廻っており、流量は約 6,000 gpm であった。
C-2	465	
C-3	446	
C-4	453	
C-5	432	
C-6	433	

測定すべき制御棒の近くに、マイクロフォンを置いて、その出力をシンクロオシロスコープの垂直入力としておく。一方安全増幅器のスクランム・テストボタンから微分回路を通して、外部トリガー端子に接続しておく。

制御棒を“UP”の位置におき、ボタンを押してスクランムさせると、制御棒は落下してショックアブソーバーで受けとめられるときに発する音を受けて、その間の時間をオシロスコープで読みとる。

測定の結果を TABLE 2 に示す。

(2) 電流が遮断されてから、電磁石からアーマチュアが離れ始めるまでの時間 (break away time) の測定

一般に原子炉では暴走などの場合、もちろん出力レベルによるスクランム、炉周期によるスクランムなど安全

TABLE 3 Magnet break away time

Control rod	Before remodeling of safety amplifier		After remodeling	
	Break away time (msec)	Magnet current (mA)	Break away time (msec)	Magnet current (mA)
C-1	65*	45	31	60
C-2	41	58	20	60
C-3	29	71	58	60
C-4	32	52	29	60
C-5	36	55	23	60
C-6	39	54	15	60

* 電流調整のための並列抵抗の値によって大幅に変る。

対策が備えられているが、この場合スクランム信号が出て、実際に負の反応度が加えられるまでの時間が重要な値となり、これは短ければ短かいほどよい。JRR-2 ではこの値を 50 msec 以下にするようにしている。

スクランムボタンを押して電磁石への電流を断つと、コイルの両端に逆起電力を生ずるが、電磁石のもつ自己誘導係数とそれに並列にはいる抵抗で決まる減衰曲線をもって減衰する。その途中もし電磁石からアーマチュアが離れ始めると誘導係数が急に変化するため、減衰曲線の形が変る。シンクロオシロスコープを使って、スクランム信号によりトリガーさせ、コイルの両端の電圧波型を観測し、電流が遮断されてから、変化があらわれ始めるまでの時間を求めれば break away time が知れる (Fig. 8, Fig. 9)。

Fig. 8 は安全増幅器が改造前のもので、電磁石のコイルが 3 箇つながっているために、ピークの見にくくものがある。Fig. 9 は改造後で、メモリースコープを用ひ、制御棒をつかままでに電流を切ったものと、比較してある。

測定の結果を TABLE 3 に示す。

1.5 中性子計測装置

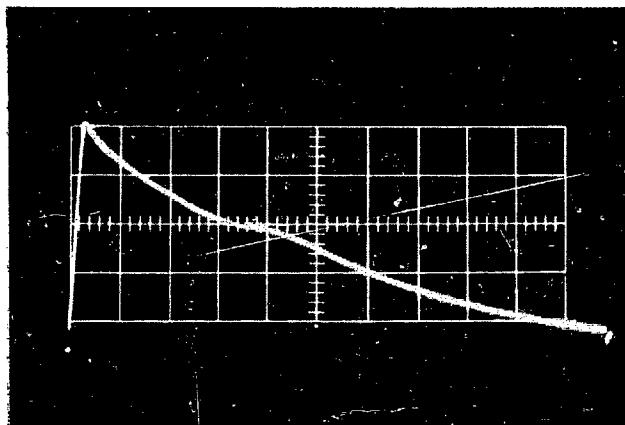
JRR-2 における中性子計測装置は、4 組の計測系が設けられている。出力線型指示中性子計測系・出力対数指示中性子計測系と 2 組の安全制御中性子計測系である。その他、最初の臨界実験から出力上昇によって中性子源が必要でなくなるまでの間、低出力用の中性子計測系を 1 組用いた。

線型計測系は、 γ 線補償型中性子用電離箱の出力を

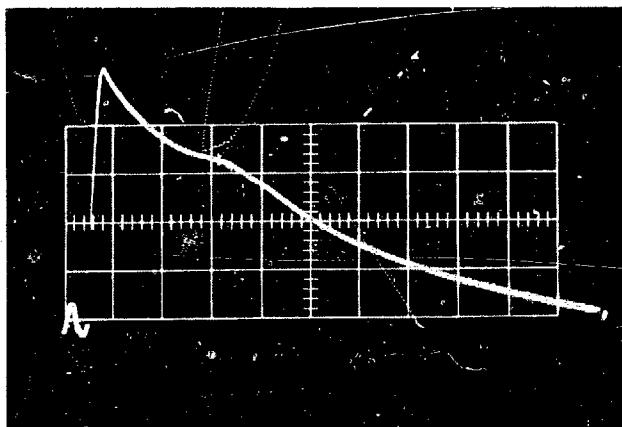
線型目盛に指示記録する。自動制御系もこの系に含まれている。

対数計測系は、 γ 線補償型中性子用電離箱の出力を対数化して、指示記録する。炉周期指示およびそれによる安全装置も含まれている。

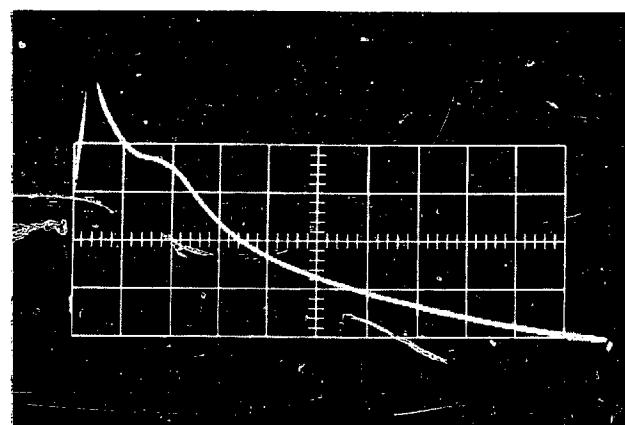
安全計測系は、安全増幅器 (safety amplifier) の中に同一の回路が 2 組あって、 γ 線非補償型中性子用



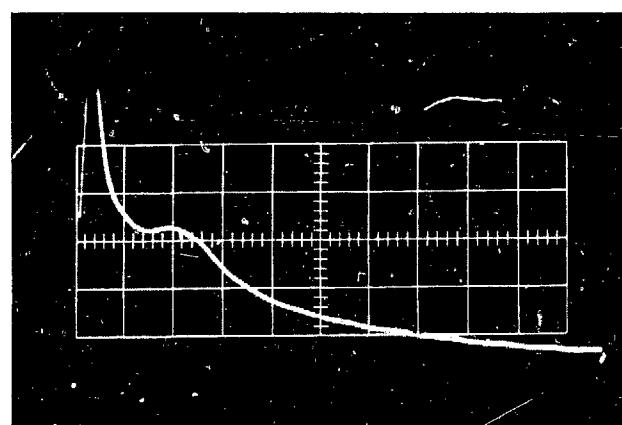
Rod No. 1



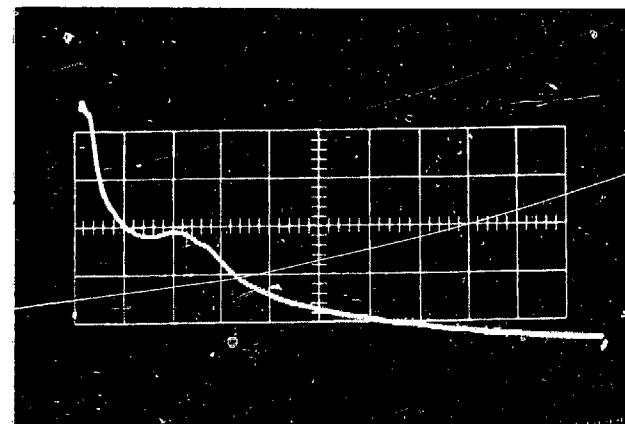
Rod No. 2



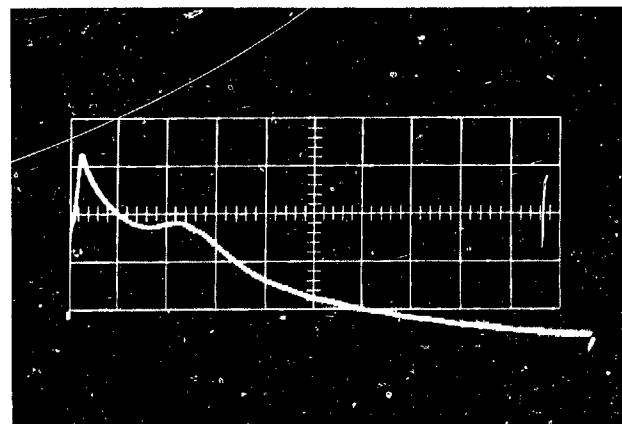
Rod No. 3



Rod No. 4



Rod No. 5



Rod No. 6

Fig. 8 Breakaway time

電離箱の出力を指示する。制御棒維持、安全回路も含まれている。

中性子計測孔として、炉面 #14 から炉面 #9 へと炉面 #2 から炉面 #7 へ貫通している 2 本の計測孔がある。これらは、熱遮蔽タンクに接している。この部分の熱遮蔽のための 1 インチ厚の不銹鋼板には、6 枚

とも窓があり、その部分に、重水タンクと熱遮蔽タンクにはさまれたグラファイト・ブロックがある。これは、測定する中性子のモデレーターの役をしている*。

計測孔は、それぞれ両側から電離箱が挿入されている。炉面 #14・炉面 #2 は、安全計測系用・炉面 #7

* 参照 JAERI 6003 第 18 図 JRR-2 垂直断面図

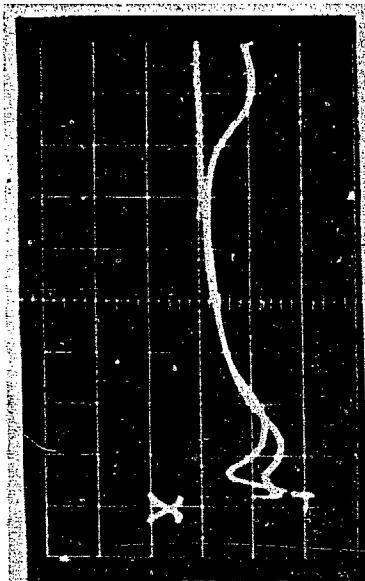
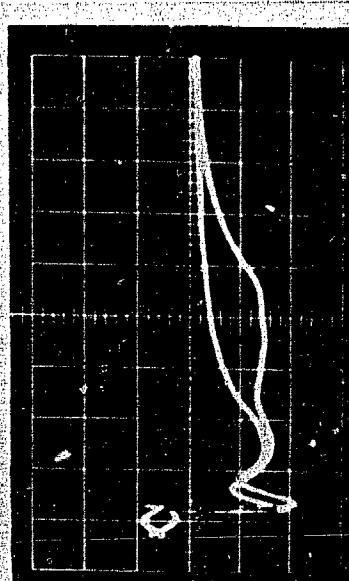
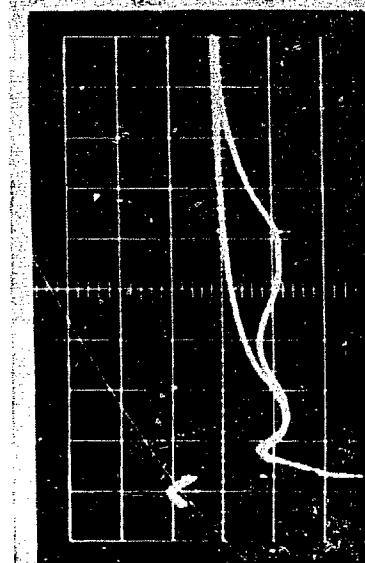
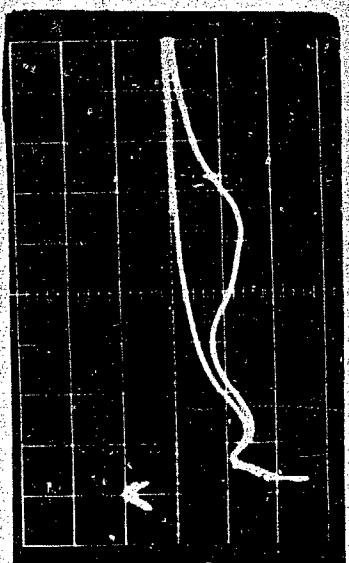
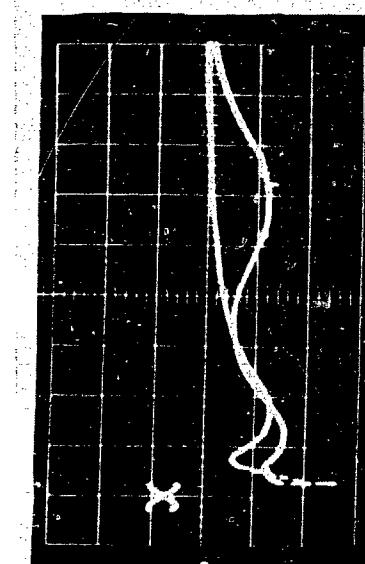
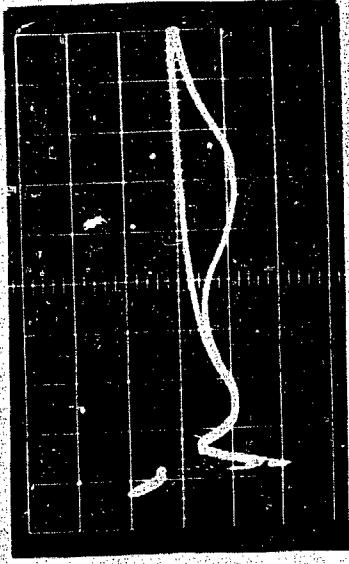
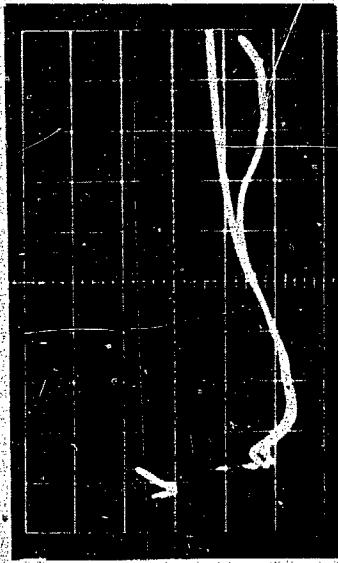
No. 1 Rod $I=60\text{mA}$ $T=31\text{m sec}$ No. 3 Rod $I=60\text{mA}$ $T=58\text{m sec}$ No. 2 Rod $I=60\text{mA}$ $T=20\text{m sec}$ No. 5 Rod $I=60\text{mA}$ $T=23\text{m sec}$ No. 4 Rod $I=60\text{mA}$ $T=29\text{m sec}$ No. 6 Rod $I=80\text{mA}$ $T=35\text{m sec}$ No. 6 Rod $I=100\text{mA}$ $T=46\text{m sec}$

Fig. 9 JRR-2 control rods
break away time measurement
Safety amp.:
model 4639-A-14 改造
 I : Magnetic current
 T : Break away time
Horizontal : 10m sec/deg

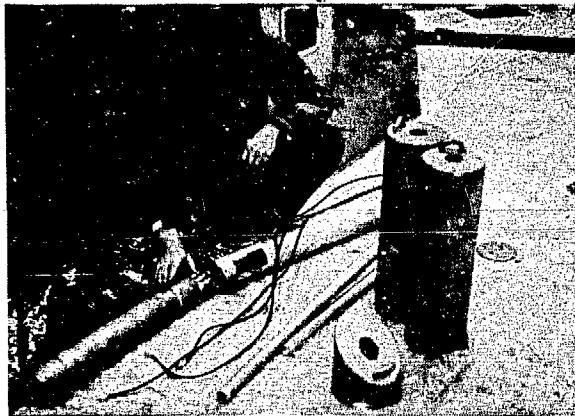


Fig. 10 Compensated ion chamber, shield block

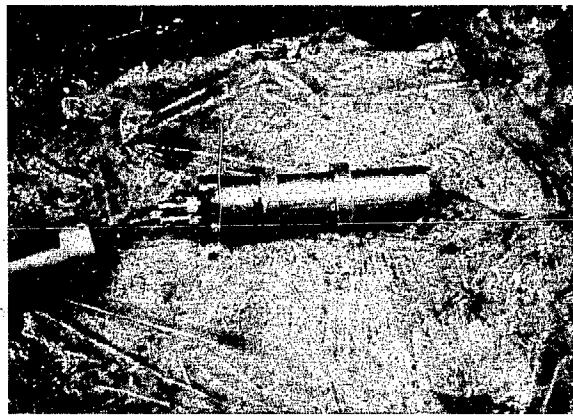


Fig. 11 Uncompensated ion chamber

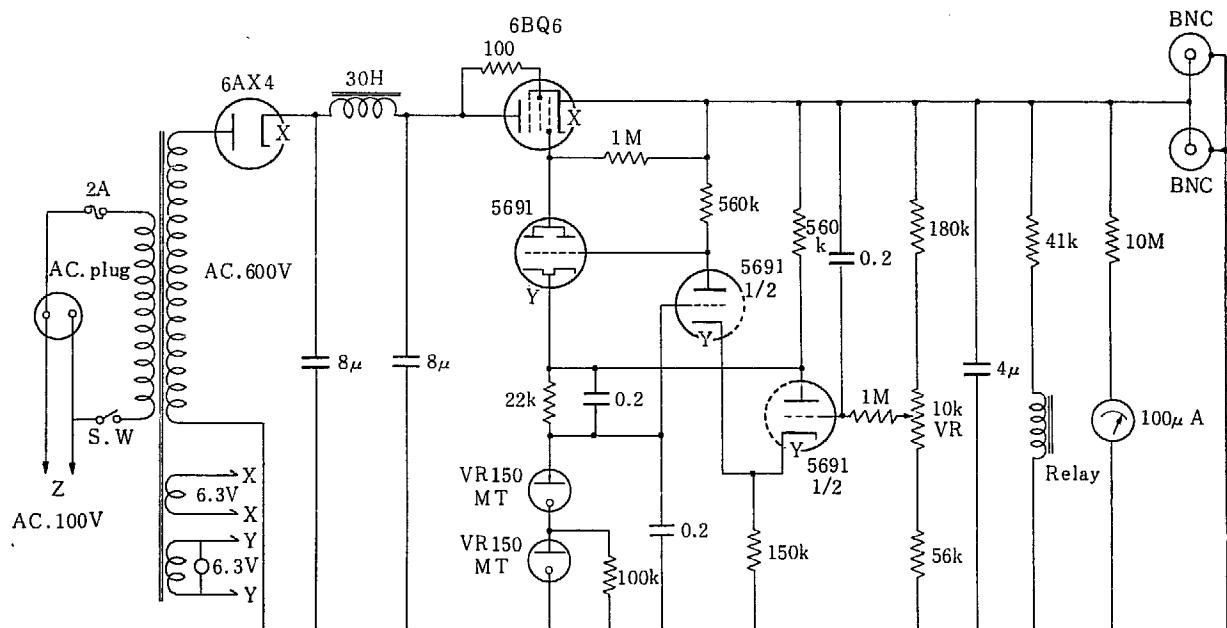


Fig. 12 CIC power supply (positive)

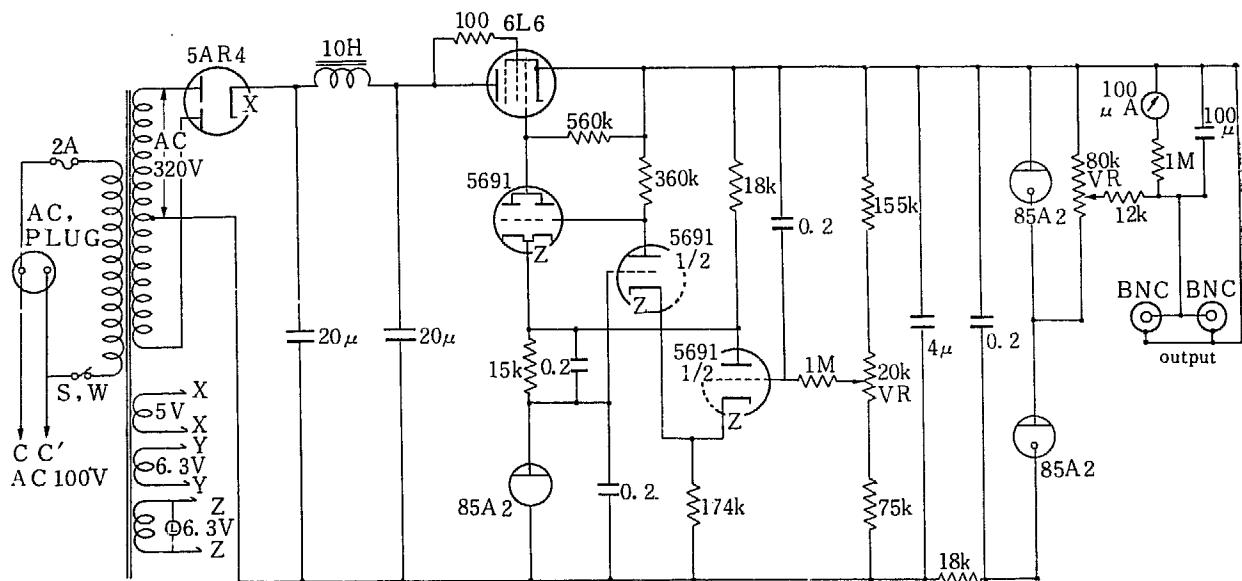


Fig. 13 CIC power supply (negative)

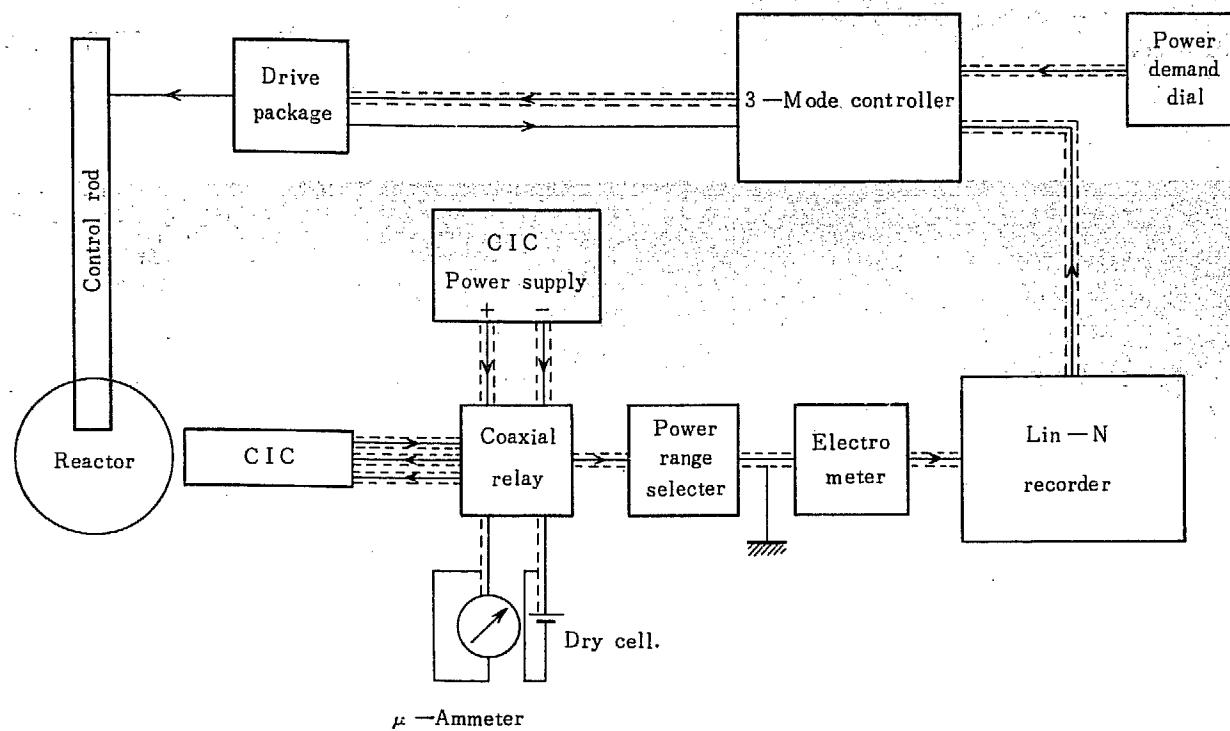


Fig. 14 Lin-N automatic control system

は線型計測系用そして、炉面 #9 は、対数計測系用である。電離箱は、炉体から絶縁されている。

γ 線補償型電離箱は Westinghouse 製、WL-6377 で、感度 $4 \times 10^{-14} \text{ A/n/cm}^2 \text{ sec}$ で、 γ 線非補償型電離箱は、WL-6937 で、感度 $4.4 \times 10^{-14} \text{ A/n/cm}^2 \text{ sec}$ である。(Fig. 10, 11)

対数計測系・線型計測系とともに γ 線補償型電離箱用電源として、最初放電管 4 本のシリーズ回路で安定化したものを使っていたが不安定で、計測系に誘導が多く使いものにならなかったので、あらたに直流安定電源回路 (Fig. 12, 13) を組み用いた。+600V と 0~−100V の出力で安定性もきわめてよくなつた。なお、一次電源回路に鉄共振および電子管式の交流電源安定装置を入れた。

炉面から制御室の間は、同軸ケーブル (Amphenol 12-541 Noise Free Coaxial Cable) で結ばれている。

1.5.1 線型指示中性子束計測系

簡単なブロックダイヤグラムを Fig. 14 に示した。炉面 #7 の電離箱よりの出力は、停電時切替えリレーを通り、出力範囲選択スイッチにはいる。これは $2.5 \times 10^9 \Omega$, $1 \times 10^9 \Omega$, $5 \times 10^8 \Omega$ ~ $2.5 \times 10^2 \Omega$ の 22 本の抵抗をもっている。抵抗を選択して、線型記録計のフルスケールを 2.5 W から 25 MW までの範囲が得られる。

選択した抵抗に電離箱の出力電流を通し、その電圧を振動容量型電位計で増幅し、記録計に入れる。

なお、入力を接地して、系のゼロ点を調整する機構がはいっている。このエレクトロメーターの変換効果は 300% 以上である。この出力は記録計にはいり、線型指示および記録がおこなわれる。

炉の自動制御は Minneapolis Honeywell Co. Model 4639-PA-1 のスリー・モード・ロントローラーでおこない、反応度変化があっても、炉の出力を希望値に維持し続ける。出力設定ダイヤルのヘリポットと記録計に組みこんであるスライド・ワイヤーを含むブリッジ回路からの出力を増幅して、制御棒駆動用の 2 相モーターの 1 相側に電圧を加える。この交流電圧の位相は、出力設定ダイヤルの位置と線型記録計指示位置の違いで、ブリッジ回路に生ずる電位差の極性によって、モーターに他の 1 相より 1/4 位相進むか遅れるとする。これによりモーターは左右に回転する。ブリッジ回路の出力は同時に自動制御偏差計に示され、差が $\pm 10\%$ 以上になると、自動制御がはずれ警報を発するとともに、そのままにしておけば制御棒は自動挿入となる。

コントローラーは、次の調節ができる。

- (1) プロポーショナル・バンド、制御棒の変化量を増幅回路の入力にフィードバックする。10%~200% の範囲がある。

(2) リセット・レイト、制御棒の変化するべき量を平衡点まで、何回にもわたって、調整する回路で、そのくり返し回数が、1分間に 0.5~100 回の範囲に調節できる。

(3) レイト・タイム、ブリッジ回路の出力電圧をダンプして増幅回路に入れる。このタイムコンスタンストを 0.5~11.5 秒に調節できる。

(4) 出力設定ダイヤル、線型記録計のフルスケールを 100% として 0~100% の間で調節できる。

手動制御から自動制御に切り換える条件は、

(1) 自動制御用制御棒 C-6 が動作範囲（可動領域の 75% 以上）にある。

(2) 自動制御偏差計が $\pm 5\%$ 以内に入っている。ある。

最初設計ではコントローラのブリッジ回路のは接地に対し 10 Meg Ω でついているため配線のリークその他でその動作が不安定であった。ブリッジ回路の接地に対する接続を逆に変えて、出力も逆にして、全体としての機能には支障なく、安定した動作が見られるようになった。

線型中性子計測系の接地は、最初各部品ごとにおこなわれていて、多くの誘導、ノイズをひろっていた。電離箱・電離箱電源回路・結線用同軸ケーブルのコネクターおよび出力選択スイッチにおける接地を浮かせてエレクトロメーターの入口端子において、系の 1 点接地をした。これにより最低出力範囲でも、不安定な針の動きは見られなくなった。

停電時出力切換リレーは、始め同軸コイル・スイッチで作られていたが、コイルを通る交流による誘導がひどく、線型記録計が不安定な指示をしたので、コイル部分と接点部分が離れた型のリレーに取替えて解決した。

1.5.2 対数指示中性子束計測系

この系のブロック・ダイヤグラムを Fig. 15 に示した。電離箱・電離箱用電源・対数原子炉周期増幅器 Minneapolis Honeywell 4639-CA-7・対数記録計からなっている。炉の中性子束を熱出力に換算して、10 MW の 0.0001%~300% を、対数目盛にて、全範囲にわたって指示記録し、同時に、炉周期の指示および出力レベル、炉周期による安全回路が含まれている。

γ 線補償型中性子電離箱の出力電流を 2 極管 9004 に流し、そのプレート電流の対数特性を用いて、対数化し、増幅回路を通じて、メーター指示および記録計で指示記録する。また、対数化された信号を増幅回路・

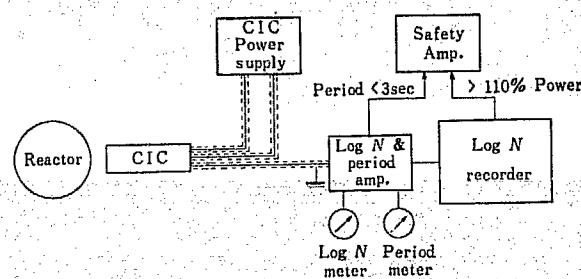


Fig. 15 Log N system

微分回路にとおして、原子炉周期として、メーターに指示する。この付属回路として、原子炉周期が 30 秒以下になると、制御棒の引上げ不可能、10 秒以下になると制御棒の自動挿入および 3 秒以下になるとスクランの信号を出す安全回路がある。対数記録計にも設計出力 10 MW の 0.0002% に、出力最低限 105% に制御棒の自動挿入および 110% にスクランの信号を出すリミット・スイッチが付いている。

炉の動作中も、増幅器および記録計の指示の較正ができるように、入力回路に、一定電位を与え、対数目盛の 3 点調整ができる。なお、この較正中は、安全回路はバイパスされ、炉の運転継続に支障をきたさないようになっている。しかし、この間は、表示灯によって表示され、シム制御棒 (C-1~C-5) は引き抜きができない。

この対数計測系の組立調整中、線型計測系と同様に電離箱用電源と系全体の接地が問題となった。線型計測系と平行して作業をおこない、電源は同一の回路である。接地は、各部品を浮かせ、対数原子炉周期増幅器の入口で、一点接地をした。その結果、炉周期メーターも安定した指示をするようになった。

1.5.3 安全回路計測系

Fig. 16 図にこの系の簡単なブロック・ダイヤグラムを示した。2 本の γ 線非補償型電離箱 (Westinghouse WL 6937) と安全増幅器 (Minneapolis-Honeywell 4639 A14) よりなっている。中性子計測と制御棒の電磁石の電源となり、また、スクランをおこなう安全動作を目的とする。

制御棒の電磁石の電源部としての機能は、前の制御棒駆動機構において説明してあるので、ここでははぶく。

この系の中性子計測は同一の 2 組の計測回路を持ち、主に出力レベルによる安全の確保を目的とし、比較的故障の少ないよう、簡単な増幅回路を用い、出力の指示範囲も最高出力レンジのみ直線目盛で指示し

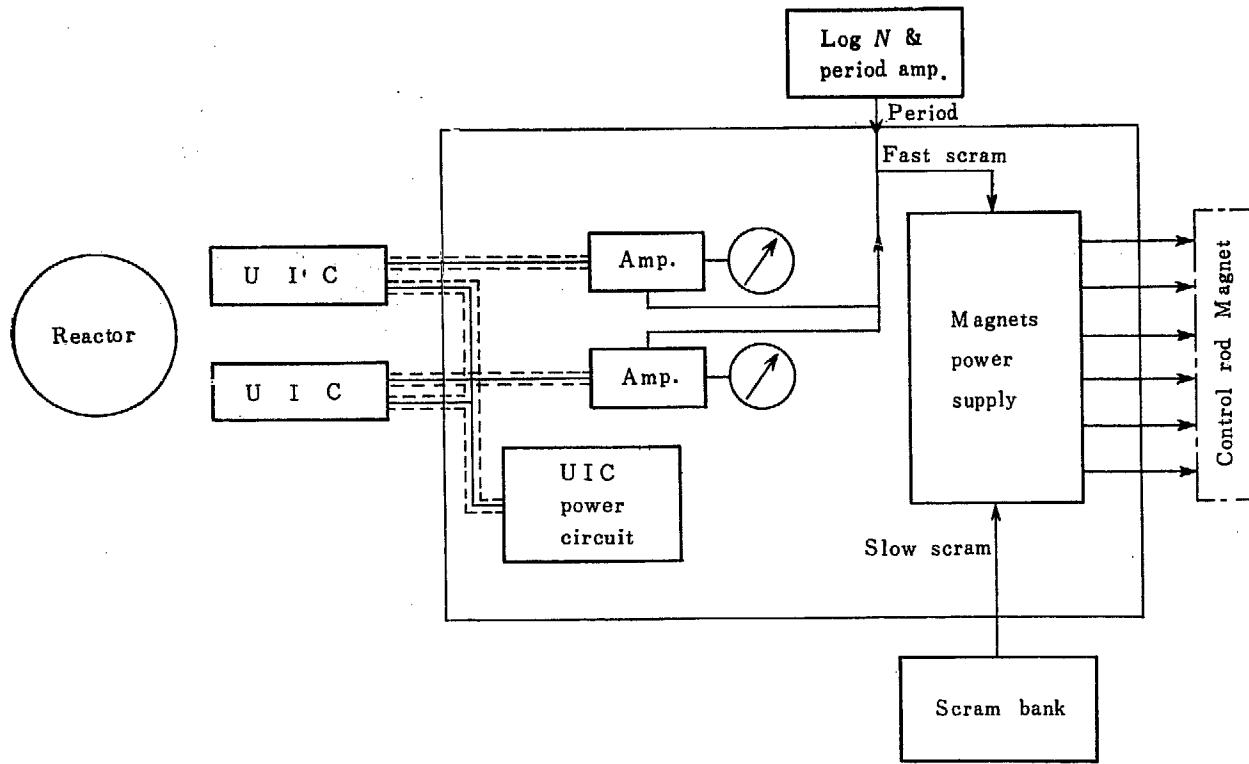


Fig. 16 Safety amp. system

ている。また、回路の電源電圧低下、電離箱への電気接続不完全による事故を防ぐため、それらによる、ス

クラム回路をもっている。

1.6 プロセス計器

1.6.1 流量計

JRR-2 に付けられた流量計は、次の 5 種類に分ける。

- 1) 重水主流量計 (FX-1)
- 2) 热遮蔽軽水流量計 (FI-5)
二次冷却水流量計 (FI-6, FI-6')
- 3) 重水精製系流量計 (FI-1)
- 4) 热遮蔽精製系流量計 (FI-2)
- 5) ヘリウム流量計 (FI-4)

このうち制御室に信号を送るのは FX-1 だけで、他は現場近くに設置してある。

ここで各計器につけた記号についてのべると、たとえば、FX-1 の F は流量計 (flow meter) を表わす。その他 C は電気伝導度 (conductivity), L は水位 (level), P は圧力 (pressure), T は温度 (temperature), D は重水を表わす。2 字目の X は発信器

(transmitter : X-mitter) を意味し遠隔指示をおこなうもので、I は指示器 (indicator) で現場指示の計器である。また、A は警報 (alarm) を出す機器を示している。

(1) 重水主流量計 (FX-1)

プロックダイヤグラムを Fig. 17 に示す。この流量計は重水タンク入口の流量を測るもので、熱除去および熱出力の算定に重要である。重水タンク入口の 12" 配管に、不銹鋼製の flow tube ("D" type. Foster Eng. Co. Union, N. J) が取り付けられ、流量を圧力差としてとり出し、差圧変換器に送り、空気圧に変換しこれを制御台にある force bridge に送り、ここで、流量による空気圧を直線目盛に変換して、記録計 (Tel-O-Set) に記録する。

流量計の校正は、flow tube の特性表を用い、空気圧により調整をおこない、この校正表は Fig. 18 のようになる。なお、現在、重水ポンプ一台運転のた

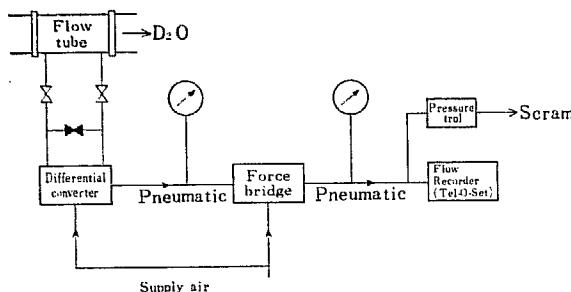


Fig. 17 FX-1 flow meter

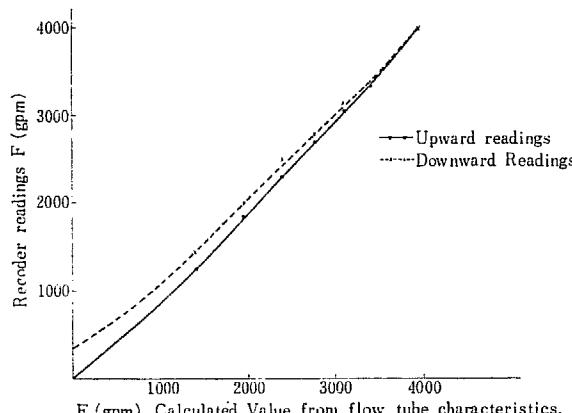


Fig. 18 FX-1 calibration curve

め、最大流量目盛は 4200 gpm に調整されている。

Force bridge から記録計にゆく配管に並列に、圧力スイッチ (pressuretrol) が取りつけられており、これは圧力が設定点より下ると、すなわち、流量が減ると、スイッチが動作し、“重水流量低下”として、スクランムがかかるようになっている。

(2) 热遮蔽軽水流量計 (FI-5)

二次冷却水流量計 (FI-6, FI-6')

これはいすれも国産の同じ型の流量計で、FX-1 と同じく、差圧式流量計で、差圧変換器より直接指示計に指示し、直線目盛にはっていない。FI-5 は 0~45 m³/hr. FI-6, FI-6' は 0~900 m³/hr となっている。較正の方法は前と同じである。

(3) 重水精製系流量計 (FI-1)

これは始め NIAGRA 型の流量計であったが、動作不良、洩れなどで具合が悪く、のちに浮子式の流量計に取り替えた。目盛は重水で 0~10 gpm である。

(4) 热遮蔽精製系流量計 (FI-2)

0~20 l/min のマグナスピンドル流量計で、プロペラの回転数に応じて、誘起された電圧を、電圧計で流量として読む。

(5) ヘリウム流量計

浮子式流量計で、0~300 l/min の目盛である。

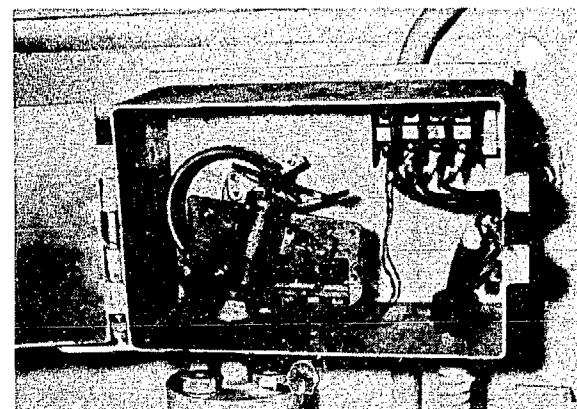


Fig. 19 Pressure transmitter

1. 6.2 圧力計

圧力計として、普通のブルドン管式の圧力計が約50箇所に用いられており、あらかじめ較正された圧力計により試験した。

各種ポンプの出口圧を制御台に指示するためには、差動変圧器を用いた圧力発信器により信号が制御室に送られる。発信器は Fig. 19 で明らかなように、コイルの中に入れられた可動鉄片が、ブルドン管によって動かされ、変位に応じた信号を出すようになっている。

制御台側の受信器にも差動変圧器があり、電動機の回転によって、いわゆる null balance 方式をとって、圧力を指示している (Fig. 20)。較正は空気圧でおこなった。

発信器は次の 4 箇所にとりつけられ、受信器側でスイッチの切換えにより、おのおのの値をよみとるようになっている。

PX-1 主重水ポンプ DP-1 出口

PX-2 " DP-2 出口

PX-3 重水補助ポンプ DP-3 出口

PX-4 热遮蔽系軽水ポンプ PP-1 出口

その他、被照射空気系に付けてあるフィルターのつ

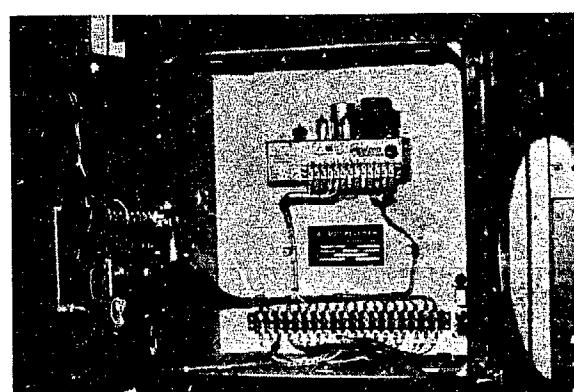


Fig. 20 Pressure receiver

まり具合を見るための、前後の圧力差を測定する。

Ring balance 式の圧力計を用いている。

また、空気作動バルブその他の空気源の圧力低下の警報装置として、圧力スイッチを用いている。

1.6.3 温度計

温度計は 3 種類に分けられる。その 1) は抵抗測温体を用い、電橋により温度を測定するもの、その 2) は 2 組の抵抗測温体を用いて、おのおのの温度の差をとり出して、記録計に記録するもの、およびその 3) は、警報を発するためのサーモ・スイッチである。

(1) 抵抗温度計 この温度計は、重水系、ヘリウム系、熱遮蔽系、2 次冷却系の 14 箇所に取りつけられている。

- TX-1 重水タンク出口 (DP-1 側)
- TX-2 重水タンク出口 (DP-2 側)
- TX-3 重水タンク入口
- TX-4 重水純化系出口
- TX-5 热遮蔽タンク入口
- TX-6 热遮蔽タンク出口
- TX-7 热遮蔽純化系入口
- TX-8 下部プラグ冷却水出口
- TX-9 热中性子柱冷却水出口
- TX-10 再結合器入口
- TX-11 再結合器
- TX-12 2 次冷却水出口
- TX-13 2 次冷却水入口
- TX-14 热遮蔽ポンプ出口

測温抵抗体は Alnor 42 ohm thermobulb で、抵抗体は白金である。温度と抵抗値の関係を Fig. 21 に示す。

抵抗体は、細い不銹鋼の管にはいっており、配管に溶接された、アルミニウムのスリーブに差し込まれている (Fig. 22)。測定は電橋回路に入れた、電流計により不平衡電流を測ることによりおこなわれる。測定は多接点の切換えスイッチで、おのおの測るが、このスイッチが悪く、国産のものに替えた。その後、運転上、温度の時間的変化が見たいので、近く記録計にする予定である。

(2) 温度差計 热出力計算に最も重要な要素は重水冷却水炉心入口と出口の温度測定装置である。抵抗体 2 対は次の 2 箇所に取りつけられている。

- 炉心入口 炉心出口
- ΔT -1 TX-26—TX-25 (DP-1 側)
- ΔT -2 TX-28—TX-27 (DP-2 側)

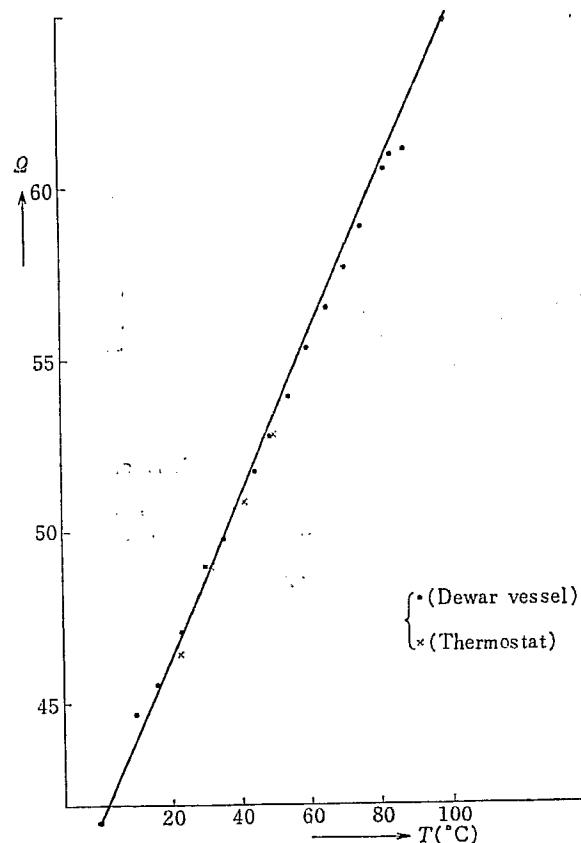


Fig. 21 Resistance bulb (temperature resistance)
(Jun. 1, 1959)

その温度差測定回路を Fig. 23 に示した。装置は測温抵抗体および記録計から構成されている。両者の抵抗値の差を電橋回路で検出しそれを増幅し、2 ペン式 ΔT 記録計に記録させる。

測温抵抗体は Brown high-speed resistance thermometer bulb. 355653-13 で抵抗体はニッケルと思われる。

この回路はゼロ・ドリフトが大きくて困ったので、ゼロ点調整のための標準抵抗を入れられるような回路を付加した。

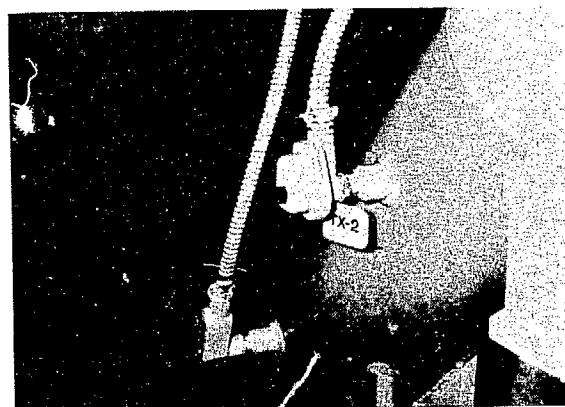


Fig. 22 Temperature TX-2, TX-20 (TA-2)

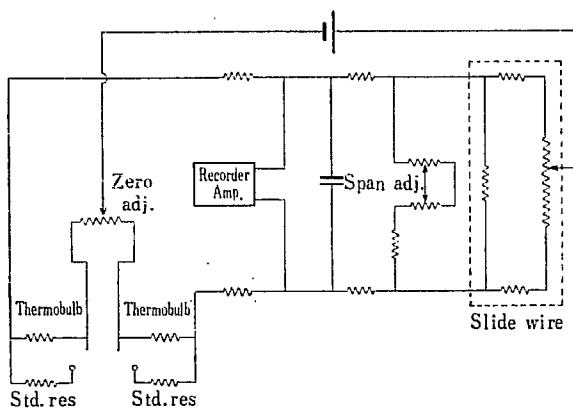
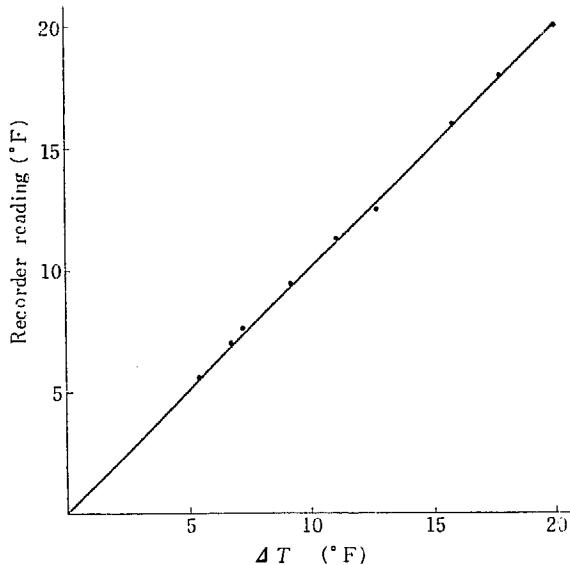


Fig. 23 Differential resistance thermometer

校正は、始め標準抵抗を用いて調整し、最後に水温により温度差をつけて、標準水銀温度計によっておこなった。その結果は Fig. 24 のようになる。

Fig. 24 ΔT calibration curve

なお、記録計には、接点がついており、定格値の 110% 以上になると、スクラム信号を出すようになっている。この値は 10 MW で 14.3°F である。

(3) 温度による警報

重水、熱遮蔽系の水の温度が、規定値以上に上昇した場合に警報を発する発信器が次の個所に付けられている。

- TX-19 (TA-1) 重水タンク出口 (DP-1 側)
- TX-20 (TA-2) 重水タンク出口 (DP-2 側)
- TX-21 (TA-3) 重水タンク入口
- TX-22 (TA-4) 重水精製系入口
- TX-23 (TA-5) 熱遮蔽精製系入口

発信器は Fenwal Inc. Thermoswitch # 1700 で、調節ネジで 100°F から 400°F の範囲で動作点を変え

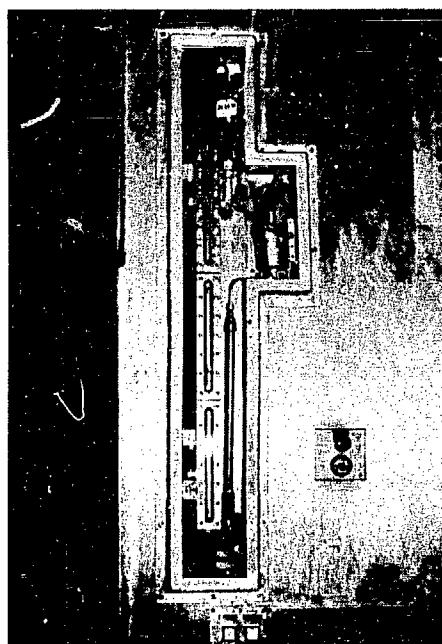
ることができる。設定点は、TX-19, TX-20 は 140°F (60°C)、TX-21 は 130°F (54.4°C)、TX-22, TX-23 は 120°F (48.9°C) である。

試験の結果は 0.3°C 以内で接点の開閉がおこなわれる。

1.6.4 水位検出器

重水系、熱遮蔽系および 2 次冷却系に、水位の異状を検出する水位検出器が 7 箇所取付けてある。

水位検出器 LX-1 が炉体 7 面の直視式水位計 (LI-1) のわきに取付けてある (Fig. 25)。これは重水タンクの水位が正常時水位より、 85 mm 低下した時に炉をスクラムさせると同時に、自然循環流路を開く働きをする。

Fig. 25 Level gauge LI-1
Level transmitter LX-1

水位検出器 LX-2 が重水貯蔵タンクに取付けてある。これは重水貯蔵タンクの水位が正常時水位より、 30 mm 低下した時に制御台の警報回路を働かせる。

水位検出器 LX-3 が重水ドレンタンクに取付けてある。これは重水ドレンタンクの水位がタンクの中心線より 50 mm 上昇した時に制御台の警報回路を働かせる。水位検出器 LX-4 が重水ポンプ室のサンプルピットに取付けてある。これは、このサンプルピットの水位が底より 200 mm 上昇した時に警報回路を働かせる。

水位検出器 LX-5 が軽水貯蔵タンクに取付けてある。これは軽水貯蔵タンクの水位が、正常時水位より 75 mm 低下した時に制御台の警報回路を働かせる。

水位検出器 LX-6 が冷却塔水槽に取付けてある。こ

れは冷却塔水槽の水位が正常時水位より 150 mm 低下した時に、警報回路を働かせる。

水位検出器 LX-7 が主重水ポンプ #2 の出口と炉心入口の間のパイプに取付けてある。これは重水タンクの水位が正常時水位より 648 mm 低下した時に、炉をスクラムさせる。

これらの検出器のうち、LX-1, LX-2, LX-3 および LX-5 の 4 箇は GORN ELEC. Co. NO. GF 5400-M5 で全気密型のフロート式のレベル・スイッチで、O リングでシールされたアルミニウムの缶にはいり、合成樹脂のフロートについている。永久磁石により、マイクロ、スイッチを働かせるようになっている。始めの頃、磁石のメッキが悪く、錆を生じたが、メッキをしなおし、その上に、合成樹脂を塗って、現在に至っている。

LX-1 については、設計では正常水位より 1" (約 25 mm) 下ったところで、動作するようになっているが、重水の温度の変化と、重水ポンプを作動したときの、水圧の変化を考えて現在の値にしてある。すなわち、水位計にくる重水は循環せず、ほぼ一定の温度である一方、炉心重水は、出力により変る。ここで水位計にくる循環しない重水の温度を室温 20°C 炉心温度を 50°C とし、30°C の温度差があるとすれば、重水密度の差から、約 20 mm くらい水位が異なるはずである。また、水位計の重水取り入れ口はダンプ系の配管についているが、ポンプの動作により動圧が作用し、75 mm くらい下るおそれがある。

このようなことを考えて、現在 85 mm 以下で働くようにしてあり現在のところ問題はないが、将来 10 MW で、重水ポンプ 2 台を運転した場合には、変更する必要があるかもしれない。

また、LX-7 は LX-1 のバック・アップになっており、炉心より大量の重水(約 1 ton)が失われたときに働き、スクラムおよび非常対策の機構の作動を可能にする。この水位計の型式は圧力スイッチ型であり、重水のヘッド圧を水位に換算するもので、動圧の影響を受け、ことに DP-2 側の入口配管に付いているので、DP-2 を運転する場合、問題を将来に残している。

LX-4, LX-6 はごくふつうに用いられる、浮子式のものである。

なお、重水タンク、重水貯槽、熱遮蔽タンク、およびその貯槽にそれぞれ直視式の水位計がつけてある。(LI-1, LI-2, LI-3, LI-4)

1.6.5 電気伝導度測定器

重水および熱遮蔽系軽水の燃料要素の破損、原子炉材料の腐食などによる冷却水の純度低下を制御台指示器に検出する。

電導度セルは、次の 4 箇所に取りつけられている。

- CX-1 重水主ライン重水タンク入口
- CX-2 重水イオン交換樹脂塔出口
- CX-3 热遮蔽主ライン軽水タンク入口
- CX-4 热遮蔽イオン交換樹脂塔出口

測定器は、重水系、熱遮蔽系おのおの 1 箇で、ふだんは電導度による警報を出すやうに CX-2, CX-4 側にあり、必要に応じスイッチを切換えて、CX-1, CX-3 を読みとることができる。なお、警報の設定点は、可変であるが、現在のところ次のようにしてある。

- | | |
|-------------|-----------------------------|
| CX-2 (CA-1) | 1.0 $\mu\text{V}/\text{cm}$ |
| CX-4 (CA-2) | 1.0 $\mu\text{V}/\text{cm}$ |

電導度セルは、Industrial Instruments INC. の CEL 101 (SS) と CEL 1101 (SS) で、CEL 101 はゲートバルブ付で、セルの部分を、抜き出すことができるようになっており、重水系に用いてある。電極は金メッキしたニッケル棒に、白金黒が塗ってあり、そのまわりを、ペークライトの保護管がかぶせてあったが、その材質が、問題となっているうちに、ポンプを動かして重水を回したところ、破碎されてしまったので、重水系には、不銹鋼の保護管を用い、再校正をおこなった(Fig. 26)。また、水密部分の洩れで困ったが現在、エポキシ樹脂およびネオプレン・ガスケットで補強して使用している。

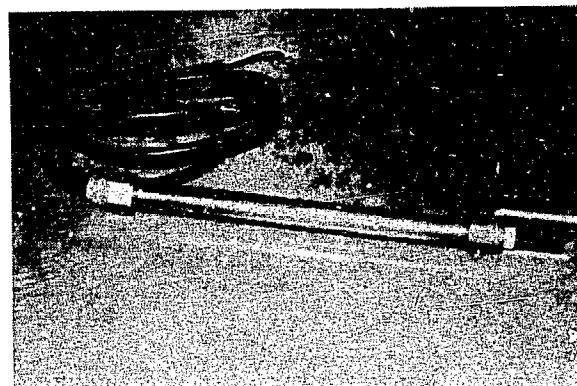


Fig. 26 Conductivity cell

1.6.6 その他の機器

(1) 重水洩れ検出器

重水洩れ検出器はトランジスター回路と、それに付属する洩れ検出板とからなっている。

30箇の重水洩れ検出板が重水ポンプのメカニカルシール、重水熱交換器、伸縮接手、重水樹脂塔、重水フィルター、バルブ、直視式水位計、重水貯蔵タンク、重水ドレンタンク、パイプなどの洩れのおそれのあるポート状の洩れ受の底におかれている。

洩れ検出板は $6\text{ cm} \times 8\text{ cm}$ のプラスチック板に、交互に櫛状の導体がプリント配線の板のようにはりつけてあり (Fig. 27)，この導体間には乾燥状態では導通がない。2組の導体の間隙は細く、また、プラスチック板には何か塗料が塗付してあるものと思われる。

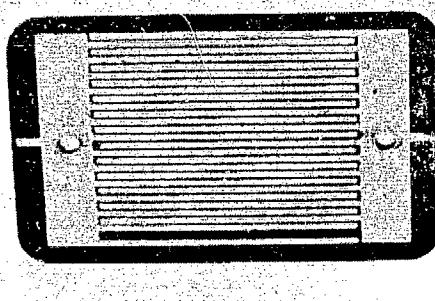


Fig. 27 Leak detector

検出板に重水のしづくが落ると、2箇の導体が導通してトランジスタ回路が働いて、どの検出板に重水の洩があったが指示され、警報装置が作動する。

洩れ検出器の試験は検出板上に水滴を落すことによってできる。回路のみの試験は制御台でテストボタンを押すことによって、30箇の回路を同時におこなうことができる。テストボタンを押すことは、検出板上の2箇の導体を短絡するのに等しい操作である。

なお、ここで使用してある電源変圧器が容量不足で焼損、交換した。

(2) 放射線モニター

炉室内の放射線量を監視するために炉体4面、9面13面に向い合った炉室1階の壁に電離箱が置かれている。

ファン室に主循環の重水と、精製系の重水が側路されて流れているコイル状のパイプがある (Fig. 28)。ここに電離箱があって、それぞれのコイル内に置くことによって、これらの重水の放射線量を測ることができる。

排気用煙突から排気される被照射空気および炉室内空気の放射線量を監視するために、ファン室から排気用煙突にゆくダクトの近くに電離箱が置かれている。

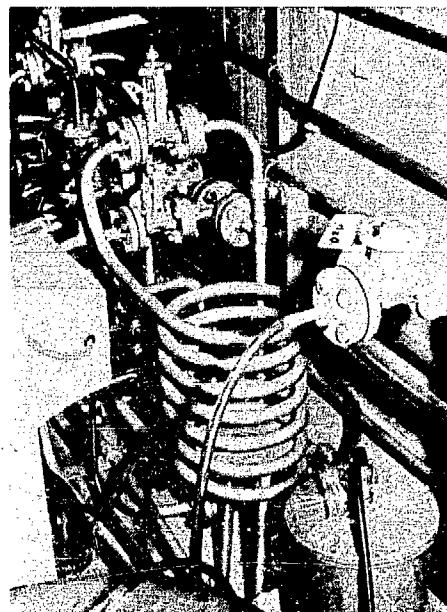


Fig. 28 D₂O activity monitor

電離箱の出力電流は制御台に取付けられている計器に指示される。この計器は $0.01\text{ mr/hr} \sim 10\text{ mr/hr}$ に目盛られている。計器はメーター・リレーになっていて、警報回路の働く放射線量をあらかじめ設定できる。このエリア・モニターは Victoreen Instrument Co. の 712 series のものであるが、使用部品の不適当(60サイクル用)、不良品などで、米国に送り返して修理、調整したが、まだ不満足な点がある。

(3) 地震検出器

JRR-2 には高感度および低感度の2種の地震検出

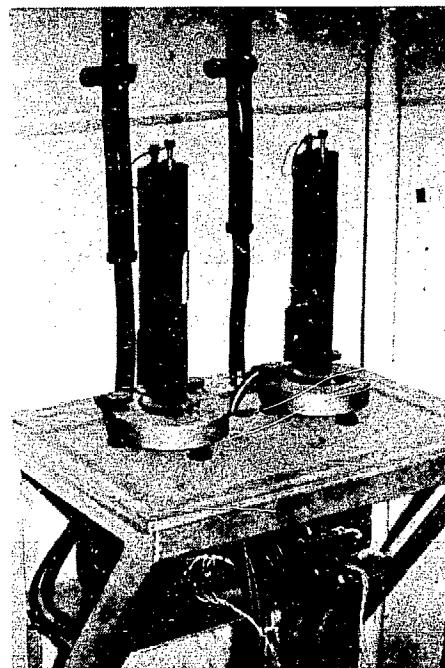


Fig. 29 Seismic detector

器がファン室の壁に取付けられた台の上におかれている。0.02 g 以上の地震は、高感度地震検出器に検出され制御台の警報回路が働く。

また、0.1 g 以上の地震は低感度検出器に検出され、スクラム回路につながっている。

地震検出器は振子が吊ってあり地震があると振子が振れて、周囲のスリパチ状の面と接触する、この接触でリレー回路が働いて、警報の信号を出す (Fig. 29)。

地震検出器の感度は振子と周囲の面との間隙による

ので、振子を上下することによって調整できる。

現在この間隙は高感度地震検出器では 0.01 インチに、低感度地震検出器では 0.02 インチに調整されている。リレー回路は米国から送ってきたものが悪かったので、JRR-2 で製作したものを使用している。

地震検出器に加速度を加えるような試験はしていないが、これまでの地震によれば、正確に働いているものと思われる。回路の試験は地震検出器をかたむけるか、端子を短絡することによってもできる。(庄司記)

2. JRR-2 冷却系の機能試験

JRR-2 冷却系の機能試験は流れの関係として、燃料要素の流れ試験、炉心内の流れ分布試験、重水系統配管の流れ試験、軽水系統配管の流れ試験、ポンプの関係としてはポンプ、ファン、ブロアーの特性試験、重水ポンプ機械シールのもれ試験を実施した。このほか緊急冷却系の機能試験を実施した。

本章ではまず冷却系の概要をのべ、ついで上記の各種試験の結果および JRR-2 に採用した配管系の色彩調節を記す。

2.1 冷却系の概要

2.1.1 まえがき

冷却系は大別して次の 6 つからなる。

- 1) 重水系統
- 2) ヘリウム系統
- 3) 熱遮蔽冷却水系統
- 4) 二次冷却水系統
- 5) 空気系統
- 6) 非常用冷却系統

以上のうち二次冷却水系統の大部分と非常用冷却系統の高架水槽が炉室建家の外にあるほかは主として地階の重水ポンプ室内に設置されている。

2.1.2 重水系統

重水タンク内の重水は冷却材のほか、減速材および反射材として用いられる。使用した重水の仕様は次のとおりである。

純度: 99.75 mol% 以上

電気伝導度: 15 $\mu\text{mho}/\text{cm}$ 以下

KMnO_4 Demand: $1.0 \times 10^{-5} \text{ gr/gr}$

密度: 1.105 gr/mol at 25°C

冰点: 3.82°C

所要量: 8.3 ton

重水系の系統図を Fig. 30 に示す。主重水系統の重水の流量は約 5000 gpm で重水タンクから主重水ポン

プ DP-1 および DP-2 により内径 250 mm の管からそれぞれ主熱交換器 DE-1 および DE-2 に送り込まれ、ついで 1 本の内径 300 mm の管にまとまって重水タンクに戻り 10 MW では DE-1, 2 の入口重水温度は 53°C 出口重水温度は 46°C である。この主重水系統のはかに重水の精製をおこなうため、重水タンクの溢水管から重水貯槽 DT-1 に流出した重水を重水補助ポンプ DP-3 により重水精製系をとうして精製する。その流量は 5 gpm である。精製系の重水は DP-3 から補助熱交換器 DE-3 を経てフィルター DF-1, 樹脂塔 DD および DF-2 を通って DP-1 の吸入側にはいる。各機器のドレンはすべてドレン貯槽 DT-2 につらなっている。DT-2 に溜まった重水はエゼクター DP-5 によって DT-1 にもどされる。重水タンクの水位は炉の第 7 壁にある水位計 LI-1 で、DT-1 の水位も送風機室の水位計 LI-2 で見ることができる。なお、主重水系統と精製系統から各 1 本 1/2" 管で重水を送風機室の赤外線吸収計、試料取出し口および分析計などに導きサンプリングしている。

重水系の主要機器およびその要目は次のとおりである。

(1) 主重水ポンプ (DP-1, DP-2)

流量: 5000 gpm

総揚程: 100 ft

流体: 重水

2. JRR-2 冷却系の機能試験

電動機: 125 HP, 200 V, 50㎐

材質: Worthite, leak は mechanical seal で防
止

(2) 補助重水ポンプ (DP-3)

流量: 15 gpm

総揚程: 80 ft

流体: 重水

電動機: 1 $\frac{1}{2}$ HP, 200 V, 50㎐材質: Worthite, leak は mechanical seal で防
止

(3) 重水非常用冷却ポンプ (DP-4)

流量: 200 gpm

総揚程: 45 ft

流体: 重水

電動機: 5HP, 200 V, 50㎐

材質: Worthite, leak は mechanical seal で防
止

(4) 主重水熱交換器 (DE-1, DE-2)

熱容量: 5 MW (17,065,000 BTU/hr)

	1次側 (管側)	2次側 (胴体側)
流 体	D ₂ O	H ₂ O
流 量	2,500 gpm	1,700gpm
比 重	1.1	1.0
入口温度	128°F	89°F
出口温度	115°F	109°F
設計圧力	75 psi	75 psi
圧力降下	15 psi	15 psi
材 質	3003-H14 に MIA clad	3003-H112 に MIAclad

(5) 重水貯槽 (DT-1)

寸法: 6 ft dia. × 12 ft high

材質: Al 5052

設計圧力: 15 psi

(6) 重水ドレンタンク (DT-2)

寸法: 12" dia. × 3 ft long

材質: Al 6061-T6

設計圧力: 15 psi

(7) 重水樹脂塔 (DD-1, DD-2)

寸法: 10" dia. × 5 ft long

材質: Al 6061-T6

設計圧力: 15 psi

流量: 5 gpm

樹脂: 0.0226 m³ ポリスチレン陽イオン IR-1200.0481 m³ ポリスチレン陰イオン IRA-400

(8) 重水フィルター (DF-1, DF-2)

流量: 5 gpm

フィルター孔径: 50 μ

フィルター面積: 5 ft²

材質: Al 6061-T6

(9) エゼクター (DP-5)

寸法: 圧力管 19 mmφ

吐出管 25.4 mmφ

吸込管 25.4 mmφ

材質: 18-8 不銹鋼

特性: 1 次水 5 gpm 25 psi

吐出圧力 大気

吸入高 18 ft

吸入量 2 gpm

(10) 補助熱交換器 (DE-3)

熱容量: 49,500 BTU/hr

	1次側 (管側)	2次側 (胴体側)
流 体	D ₂ O	H ₂ O
流 量	5 gpm	
比 重	1.1	1.0
入口温度	128°F	89°F
出口温度	105°F	109°F
圧力降下	5 psi	5 psi
材 質	6061-T6	6061-T6

2.1.3 ヘリウム系統

重水面の上はどこも水柱 2.5" 圧力のヘリウムで充満してある。重水の分解によってヘリウム中にできた重水素ガスは再結合器で重水になる。ヘリウム系には炉頂部、トッププラグなどに多くのネオプレンシールがありだいたい 15 l/hr の程度のもれがある。ヘリウム系内のヘリウム循環はヘリウムプロアーディー DP-6 でなされ、重水タンク上部からサンプリング系まで多くの分岐管に分れて循環する。この系統を Fig. 30 に示す。ヘリウムガスホールダー DT-6 が一杯になってヘリウム系内の圧力が 2.5" w.c. を越した時と、何かの事故によりヘリウム系の圧力が異状に高くなつて 18" w.c. を越した時にはヘリウムが空気系統に自動的に吹き出す。また、このヘリウム系の一部はヘリウム純化装置につらなつており、ヘリウム純度を上げられるようになっている。

ヘリウム系の主要機器およびその要目は次のとおりである。

(1) ヘリウムポンベ (DT-3, DT-4)

容量: 3 lb

比容積: 96.7 ft³/lb at atmospheric pr.

純度: 99.99%

ポンベ圧力: 2400 psi at 70°F

(2) ヘリウム、プロア (DP-6)

流体: ヘリウムガス

流量: 10 cfm

吐出圧力: 10" w.c.

吸入圧力: 2.5" w.c.

電動機: 1/4HP

材質: ケーシング 鋳鉄

軸 炭素鋼

(3) ヘリウムガスホールダー (DT-6)

容量: 6 ft dia. × 6 ft high 100 ft³

使用温度: 50°F~253°F

使用圧力: 2.5" w.c.

材質: Al

(4) 重水再結合器 (DT-5)

流体: ヘリウムガス (この中の D₂ ガスを 0.3% 以下, O₂ ガスを 0.15% 以下 N₂ ガスを 0.1 % 以下にする。)

使用温度: 140°F

触媒: 0.5% パラジウム入り, 1/8" alumina pellets

材質: Al

(5) ヘリウム、ガスヒーター

温度: 入口 95°F

出口 135°F

流量: 10 cfm

電力: 1.1 kW

2.1.4 热遮蔽系統

熱遮蔽系は軽水タンク内および生体遮蔽内の冷却水の系統で Fig. 31 に配管系が示されている。主系統は軽水ポンプ PP-1 により流量 150 gpm の軽水を軽水熱交換器 PE-1 を経て一部は軽水タンクに一部は上部プラグなどのそのほかの冷却管に導き軽水貯槽 PT-1 を経てふたたび PP-1 にもどす。またほかの一部 11 J/min は PP-1 を出たのち精製系に導き軽水補助熱交換器 PE-2, 軽水フィルター PF-1, PF-2, 軽水樹脂塔 PD-1 を経て PT-1 にもどす。この系の主要機器はつぎのようなものである。

(1) 軽水貯蔵タンク (PT-1)

寸法: 5 ft dia. × 11 ft high

使用温度: 60°C

材質: Al

(2) 軽水熱交換器 (PE-1)

	1 次側 (胴側)	2 次側 (管)
流 体	純軽水	2 次冷却軽水
流 量	137 gpm	204 gpm
入口温度	140°F	89°F
出口温度	112°F	109°F
材 質	18-8 不锈鋼	18-8 不锈鋼

(4) 軽水ポンプ (PP-1)

流量: 150 gpm

揚程: 70 ft

電動機: 5 HP

材質: 1.8-8 不锈鋼

(5) 軽水樹脂塔 (PD-1)

寸法: 10" dia. × 5 ft long

流量: 3 gpm

樹脂: 0.8 ft³ ポリスチレン陽イオン IR-120

1.7 ft³ ポリスチレン陰イオン IRA-400

材質: Al

(6) 軽水フィルター (PF-1, PF-2)

フィルター: 大きさ 50 μ

流量: 3 gpm

フィルター面積: 3 ft²

材質: Al

2.1.5 二次冷却水系統

Fig. 31 に示すように DE-1, DE-2, PE-1 などの 2 次側は炉室以外の冷却塔につらなる。冷却塔は JRR-2 建家外炉心より北 25m 東 32m の位置に設置され炉内で発生する全熱量約 12 MW を除去する。

設計条件および設備概要はつぎのとおりである。

(1) 設計条件

流量: 3800 gpm

入口水温: 109°F

出口水温: 89°F

湿球温度: 77°F

風速: 0~120 mph

(2) 設備概要

水槽: 9.3 × 13.6 × 深さ 1.8m

冷却塔: 7.3 × 13.6 × 高さ 7 m

循環ポンプ:

揚程 75 ft

水量 1900 gpm/ 1 台

馬力 60HP

台数 2 台 (HP-1, 2)

揚水ポンプ:

揚程 55 ft

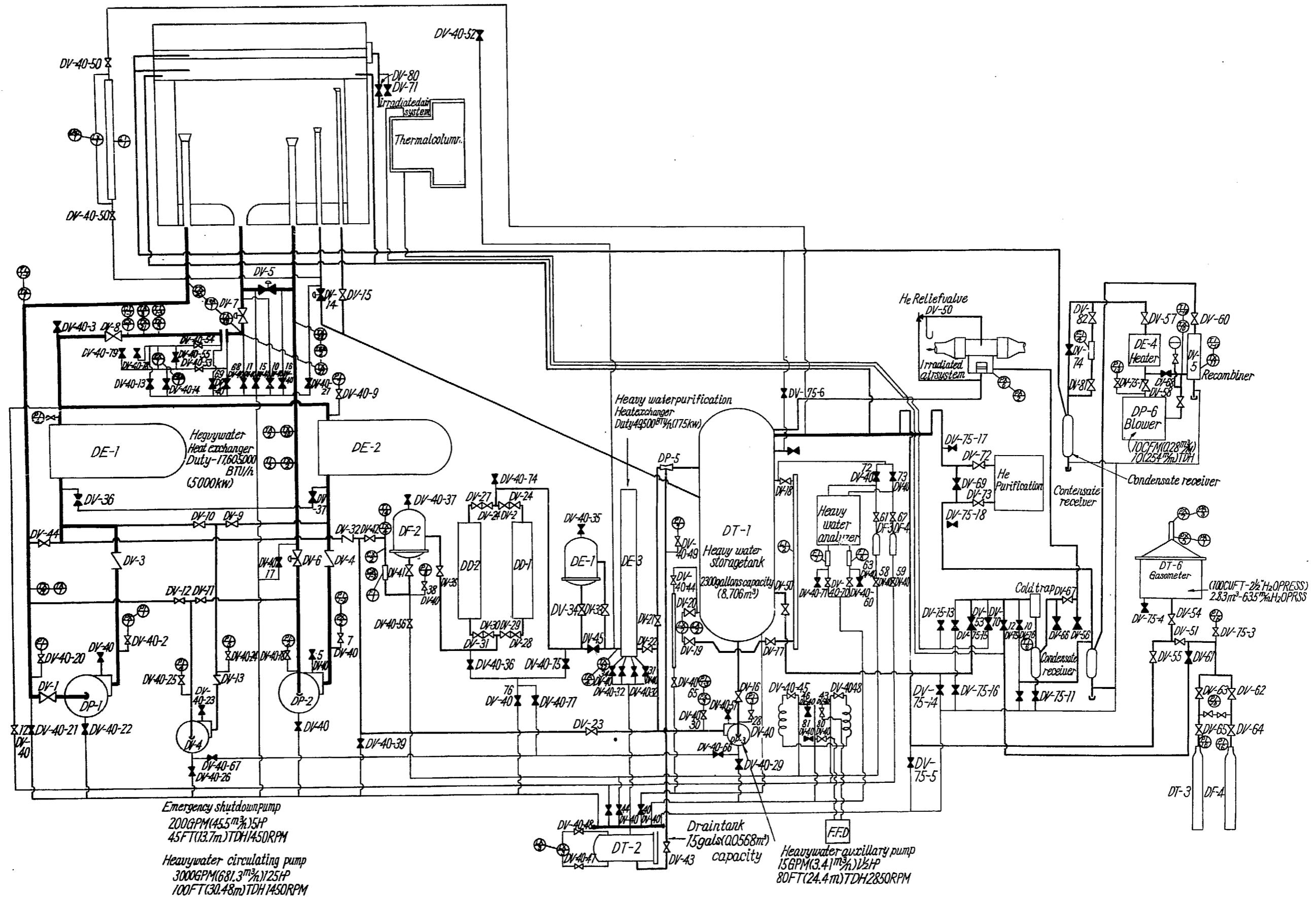
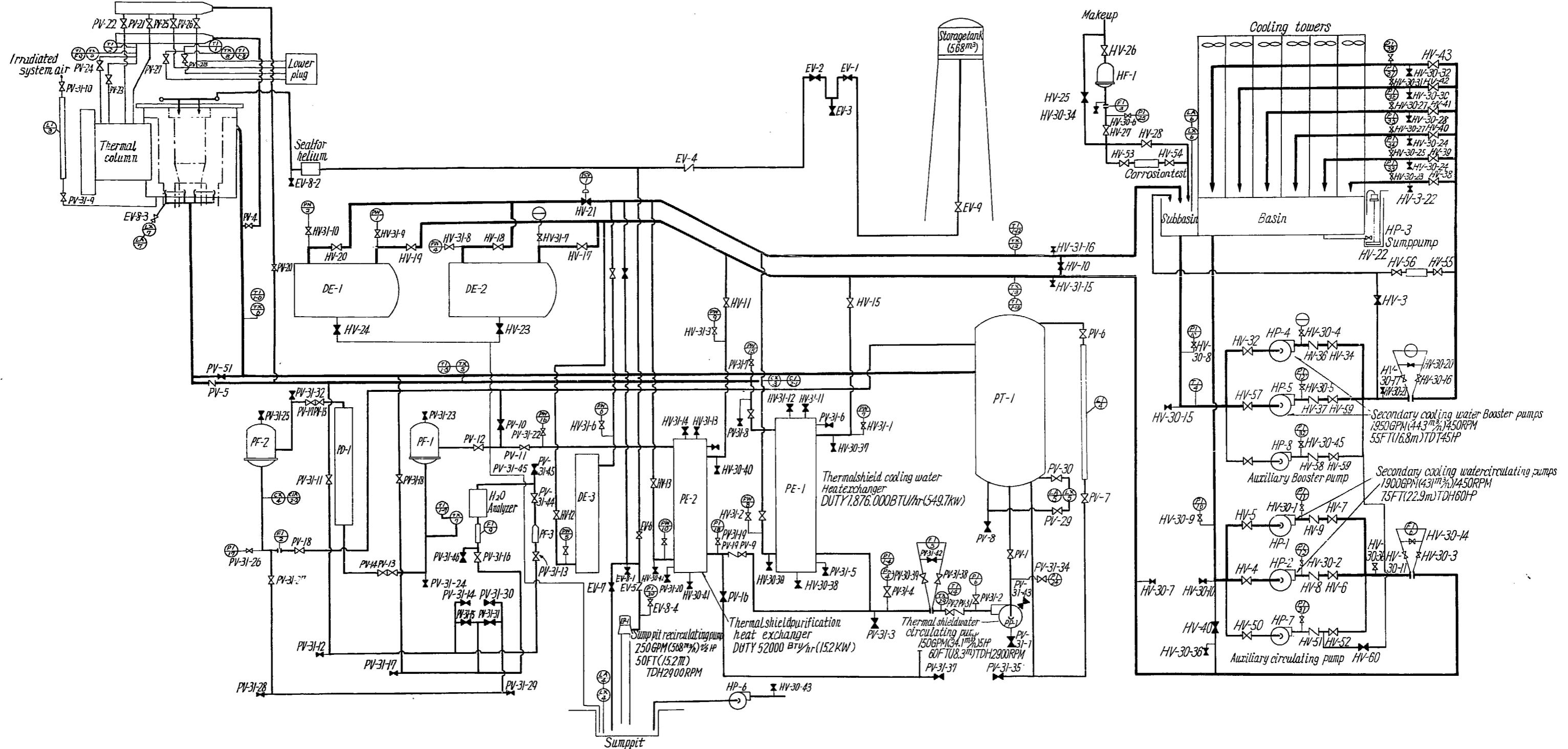


Fig 30 Heavy water system and helium system flow diagram.



水量 1950 gpm/1台
馬力 50HP
台数 2台 (HP-4, 5)

サンプポンプ:

揚程 25 ft

水量 50 gpm

馬力 2 HP

台数 1台 (HP-3)

補助循環ポンプ:

馬力 5 HP

台数 2台 (HP-7, 8)

このポンプは循環ポンプと並列に設置され凍結防止用をおもな目的としている。

冷却塔内の水槽は二つに分れており主槽内の冷却された水は HP-1, HP-2 によって DE-1, 2 に送られ、ここで原子炉内で発生した熱を取り補助水槽内に導かれ、ここから HP-4, 5 により冷却塔の上部に送られ 480 箇の口により冷却塔内に散布され主水槽内に落下する間に冷却される。したがって、この系内の水は蒸発飛沫損失および blow down により減少するから原子炉出力 10 MW の時最大約 25 ton/hr の割合で水を補給する。この補給水は、管材料の鉄および DE-1, 2 の材料 Al をともに腐食させぬよう水処理をおこない、系内の pH は 7.0~7.2 になるように保つ。また、防腐材としては、はじめに 500 ppm のレスコールを加え補給は毎日 10 ppm である。この腐食には特に留意し、さらに系内にサンプルをおいてその腐食をみるとともに pH 警報装置を設置し、pH 7.0~7.2 をはずれた時コントロール室に警報がなるようになっている。また、系内には放射線モニターも設置され放射線問題にも万全を期している。

2.1.6 空気系統

熱遮蔽系の水面の上、実験孔のすきま、炉の上面など放射性の空気はすべて空気系につながれてポンプ室内のフィルターを経て高さ 40m の排気用煙突から大気中に放出される。その系統は Fig. 32, 33 に示されるとおりである。炉室の換気は炉室の壁から新らしい空気が出て炉壁および炉室天井の吸込口に吸いこまれ主フィルターに導かれる。この系統の主要機器はつぎのようなものがある。

(1) ブロアー (1台)

流量: $22.7 \text{ m}^3/\text{min}$

吐出圧力: 25.4 cm w.c.

電動機: 3 HP, 230V, 50Hz

回転速度: 2900 rpm

(2) フィルター (2基)

型式: Cambridge 1 A-1000 および Model-3A-95

容器材質: Al

2.1.7 非常用冷却系統

事故時燃料溶融を防ぐため非常用冷却系統には、つぎのような方法がとられる (Fig. 31 参照)。

(1) 重水非常用ポンプ (DP-4) を使用する場合

主重水ポンプ DP-1, 2 が停電そのほかの原因で停止した場合自動的に DP-4 が動き出して炉心内を冷却するようになっている。

(2) 自然対流による熱除去

重水系配管などの一部にもれを生じ、重水をポンプで循環させることによって熱を除去することが不可能になった場合などには、制御室にあるボタンを操作するとただちに必要なバルブ DV-5, 6, 7 が開閉して重水タンクとその下部の配管で閉回路をつくり、自然対流により熱除去をおこなう。

(3) 非常用冷却ポンプ (EP-1) による熱除去

(2) の方法での熱除去で不十分の場合には、重水配管からもれて重水ポンプ室内のサンプピット内にたまつた重水を非常用冷却ポンプを用いて炉心タンク内に流し込み、炉の熱除去をおこなうことができる。

EP-1 の性能はつぎのとおりである。

流量: 250 gpm

全揚程: 50 ft

電動機: 7.5HP, 200 V, 3 相, 30Hz, 2,900 rpm

(4) 非常冷却用高架水槽内の軽水による冷却

この装置は燃料の溶融を防ぐための最終的安全装置で、Fig. 31 に示すように常時は EV-2, EV-1 が閉じ EV-3 が開いているが、事故の場合上記 (1)~(3) の方法でもなおかつ燃料溶融の危険のある場合、制御室の床に設けられた EV-3 を閉じ EV-1, 2 を手動で開くことにより炉室外の高架水槽内の軽水をその落差を利用して直接炉心タンク内に流し込むことにより熱除去をおこなう。

高架水槽の容量は 100 ton であるが、最悪の場合でも 40 ton の水がこの冷却に使用でき、炉停止後溶融を防ぐため $400 \text{ l}/\text{min}$ の水を流して 1.5 時間以上冷却が可能で、燃料溶融の心配はない。この場合 (3) の方法も併用できる。

(5) 2 次系の非常用冷却

2 次系の配管にもれが生じたりして DE-1, 2 内の

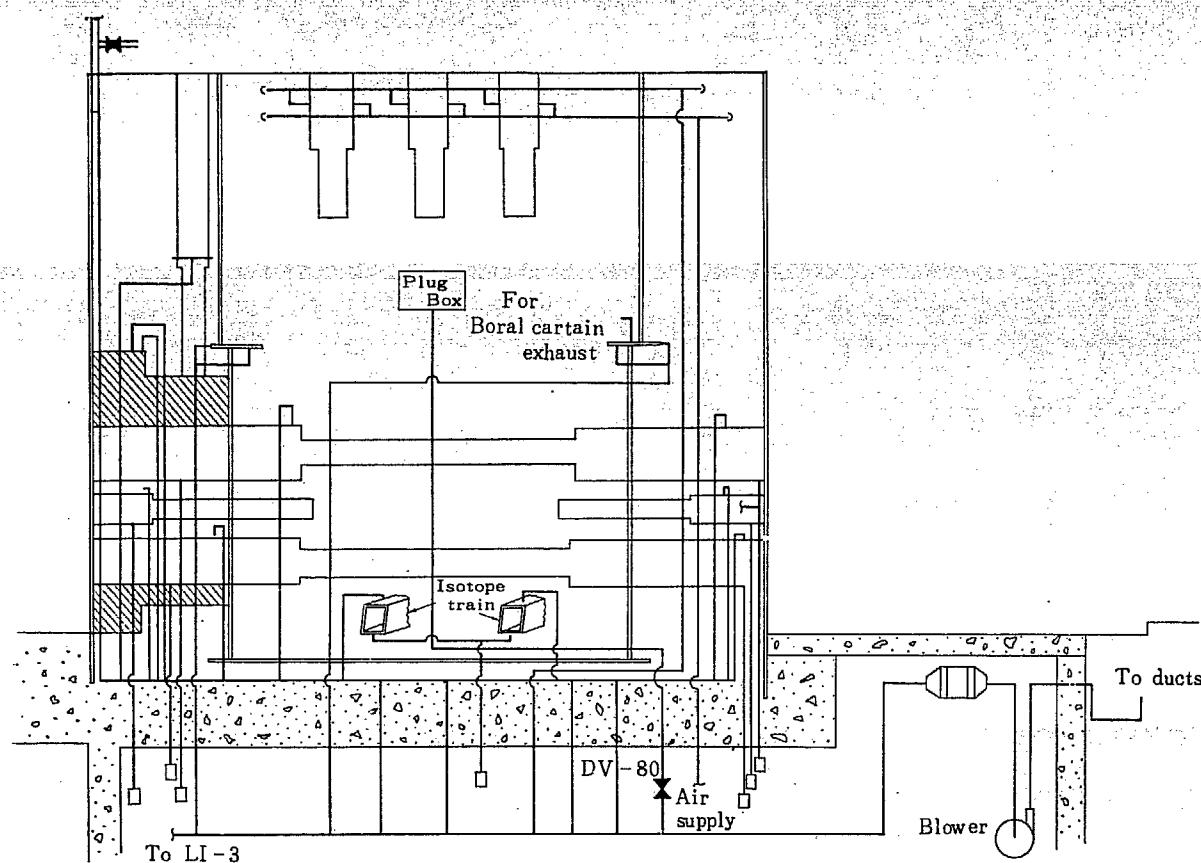


Fig. 32 Irradiated air system

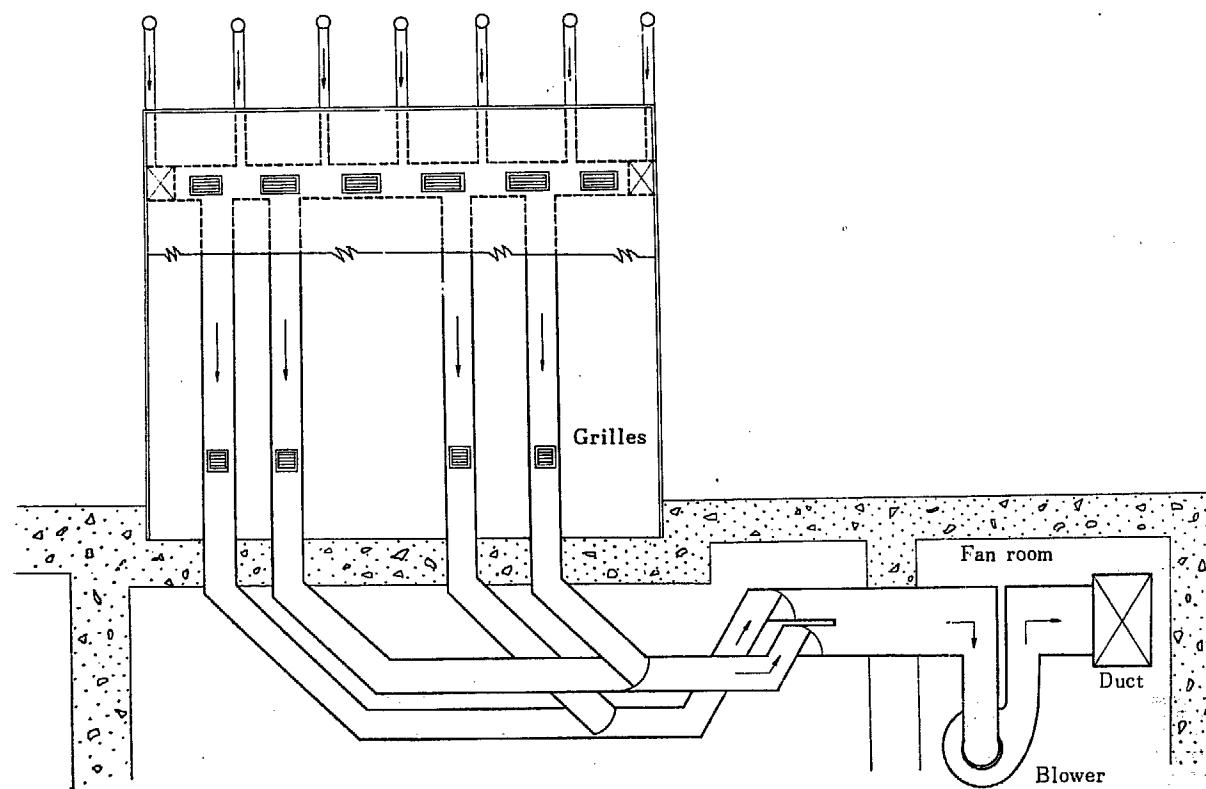


Fig. 33 Ventilation air exhaust system

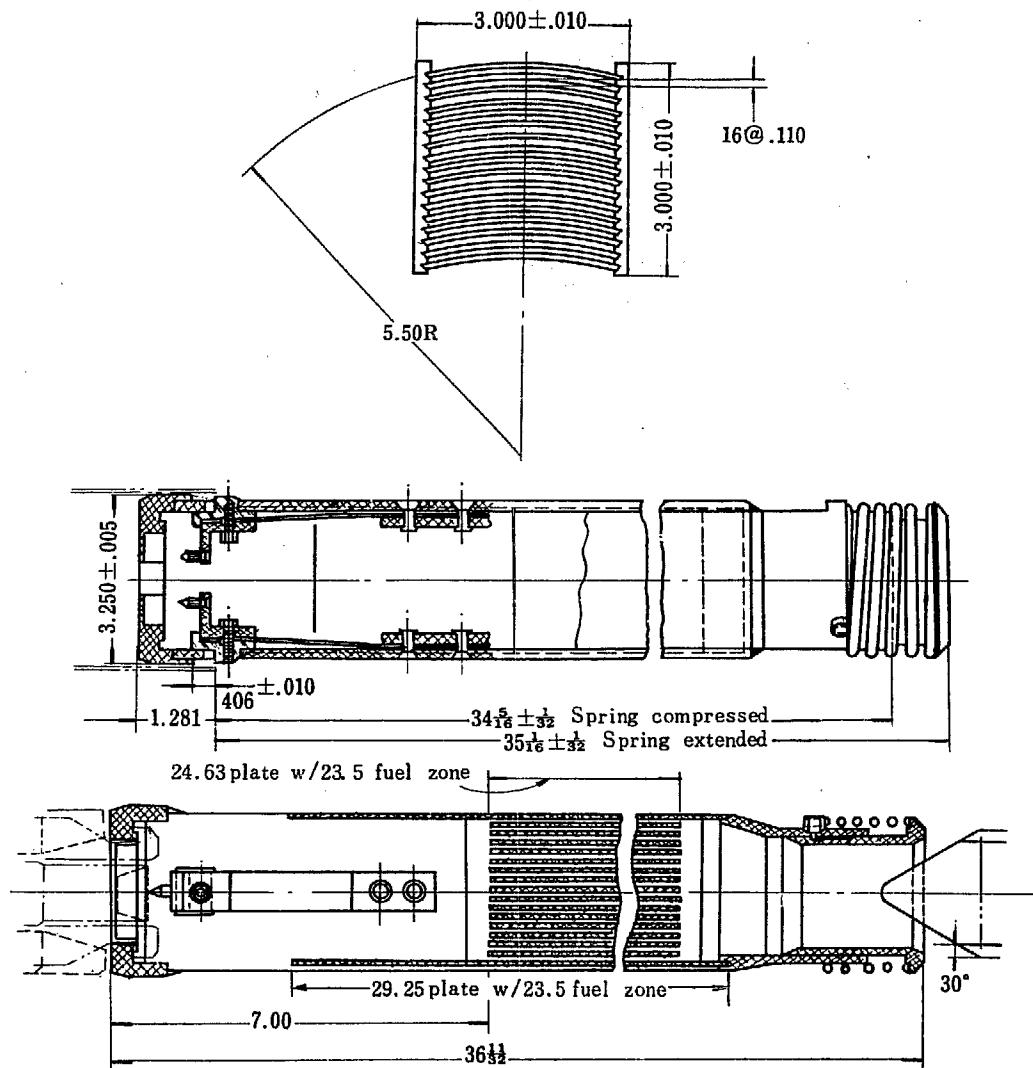


Fig. 34 JRR-2 fuel element ass'y (measurment, inches)

冷却が不可能になった場合、あるいは長時間 DP-1, 2 が停止して重水が飽和温度に達しこれ以上の沸騰を防ぐ場合には DE-1, 2 の drain valve HV-23 および HV-24 をひらき二次水を落差によってサンプル

トに落し、これを EP-1 でクーリングタワーのサブページにもどして DE-1, 2 内の重水を冷却することができる。

2.2 燃料要素の流れ試験

2.2.1 まえがき

JRR-2 の燃料要素は MTR 型式で、その形状は Fig. 34 に示すように $75\text{mm} \times 75\text{mm} \times 924\text{mm}$ の外形寸法をもち、この中に断面で $70\text{mm} \times 1.52\text{mm}$ の燃料板が 17 枚 2.7 mm の間隔でならべられており各燃料板は 140 mmR の弯曲をしている。重水入口

は $47.5\text{ mm}\phi$ の円形 nozzle から 45 mm の間に $68\text{ mm} \times 65\text{ mm}$ の四角断面に diffuse されており、重水出口は $66\text{ mm} \times 58\text{ mm}$ の口が 2 つあいて、流れは燃料板の長手方向と直角に曲げられて外に出るほか、一部は頂上の $46\text{ mm}\phi$ の孔から上方に出るようになっている。この燃料要素の流れ特性を見るためこれと同一寸法の proto type の燃料を Al で製作しこれを炉

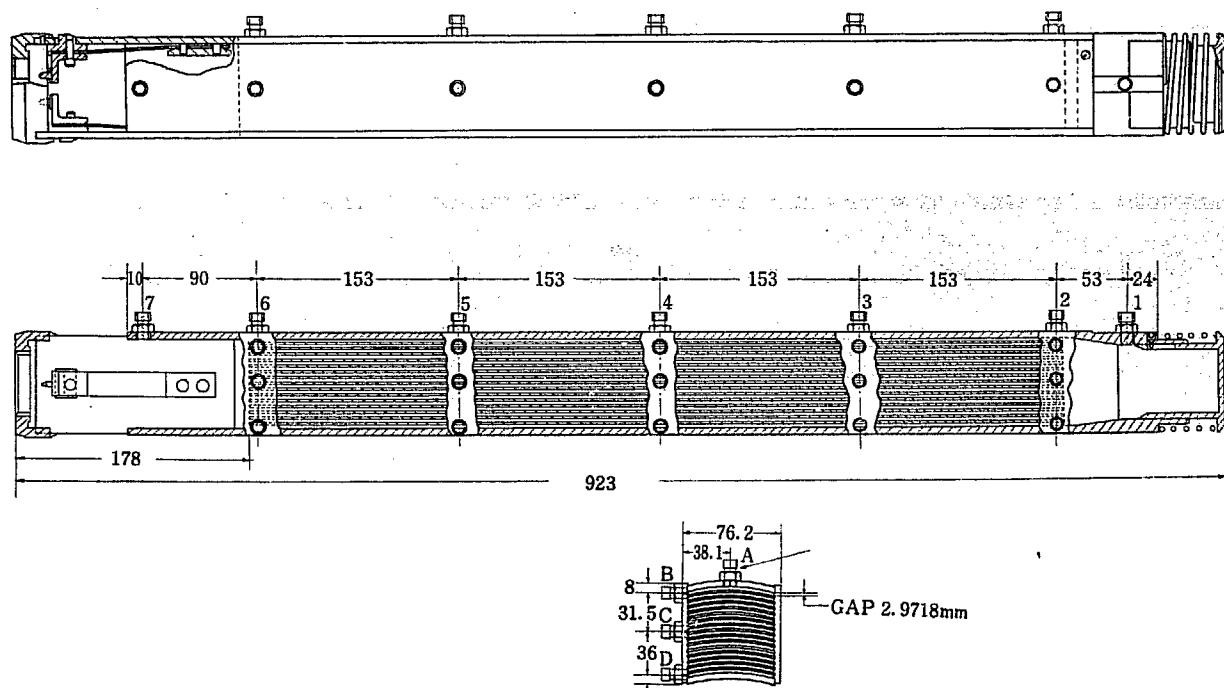


Fig. 35 JRR-2 dummy fuel element with tap

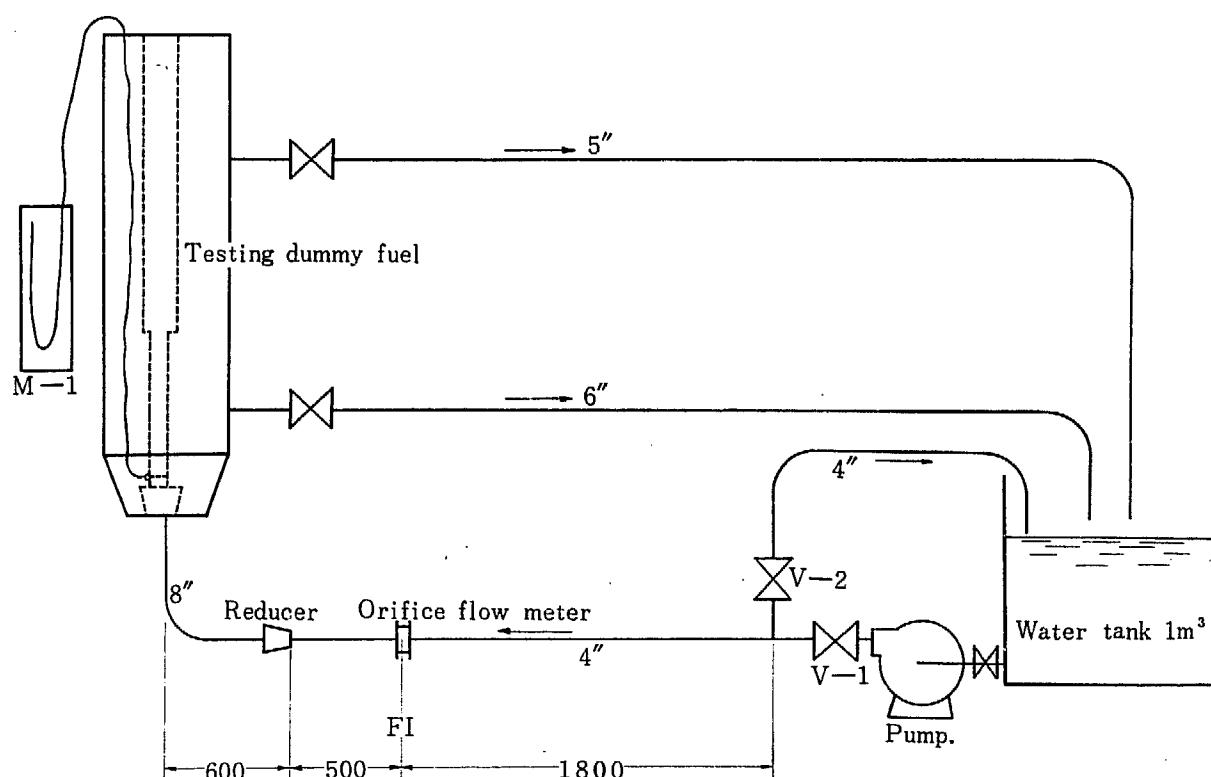


Fig. 36 Flow sheet for dummy fuel flow test

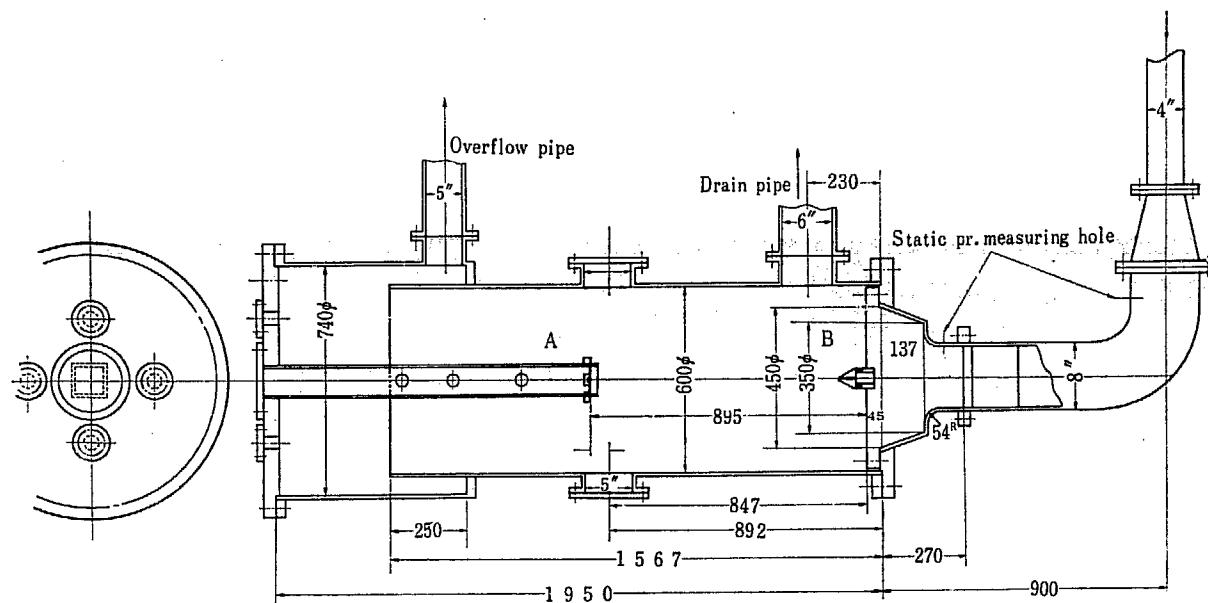


Fig. 37 Flow testing device for dummy fuel element

外の流れ試験装置に入れて流量と圧力降下の関係、guide tube内の水位上昇量ならびにその変動量、燃料板集合体出口における流速分布を測定し、上部固定装置が外れた場合の燃料要素の状況などを観察した。

2.2.2 流量と圧力降下

(1) 測定装置

i) Proto type 燃料要素

形状は Fig. 35 に示すように JRR-2 燃料要素と同じ寸法でこれに 22箇所の圧力測定用孔をつけてある。この各圧力測定孔から外径 4 mm ϕ の銅管およびビニール管を経てそれぞれ 1箇の水銀マノメーターにつなぎ、静圧を測定した。

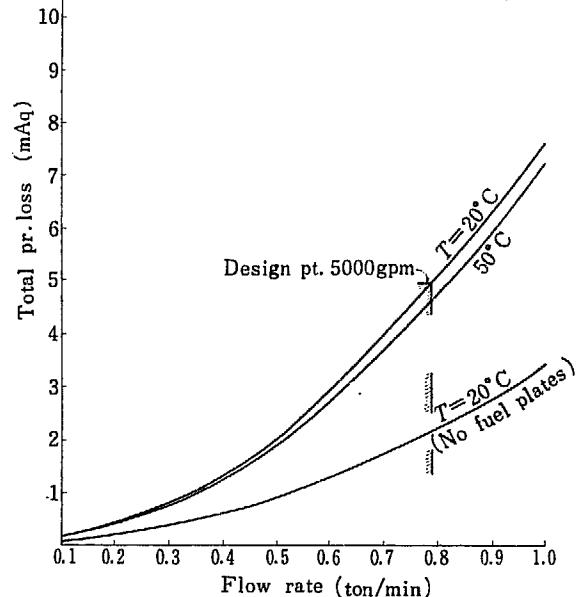
ii) 試験装置 (Fig. 36, 37 参照)

試験装置は Fig. 36 に示すように 20 PS, 1500 rpm の induction motor で centrifugal pump をまわし、V-1, V-2 で貯水槽にもどる流量と試験装置にゆく流量を加減する。試験装置は、Fig. 37 に示すように直徑 600 mm ϕ , 高さ 1950 mm のアクリル製のタンクで、この中に plenum chamber があり水は下から 8" の pipe ではいり、plenum chamber を経て proto type fuel にはいり、上部 adapter と guide tube の流出口からテストタンクの中に噴出し、5" のもどり管をとおって貯水槽にもどる。測定としてはオリフィス型流量計で fuel ass'y にゆく流量を出し、また、plenum chamber の流出口にあけた 1 ϕ の孔から外径 5 ϕ の Cu pipe を導き、そこの static head を測定して fuel ass'y をとおる pressure loss を出せるようになって

いる。この試験タンクは透明なので内部の流れが目で見られる便がある。なお、plenum chamber から guide tube array までのテスト通路の寸法は JRR-2 と等しくしてある。

(2) 測定結果

燃料要素全体圧力損失と流量の関係を水温 20°C と



$$\Delta H_{20^\circ\text{C}} = \frac{1.52 + 0.18 \cdot 10^{-3} Re}{Re^{1/4}} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$\Delta H_{50^\circ\text{C}} = \frac{1.80 + 0.0825 \cdot 10^{-3} Re}{Re^{1/4}} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$\Delta H_{20^\circ\text{C}} = \frac{0.7 + 0.07 \cdot 10^{-3} Re}{Re^{1/4}} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

(no fuel plate)

Fig. 38 Total pressure loss for fuel element.

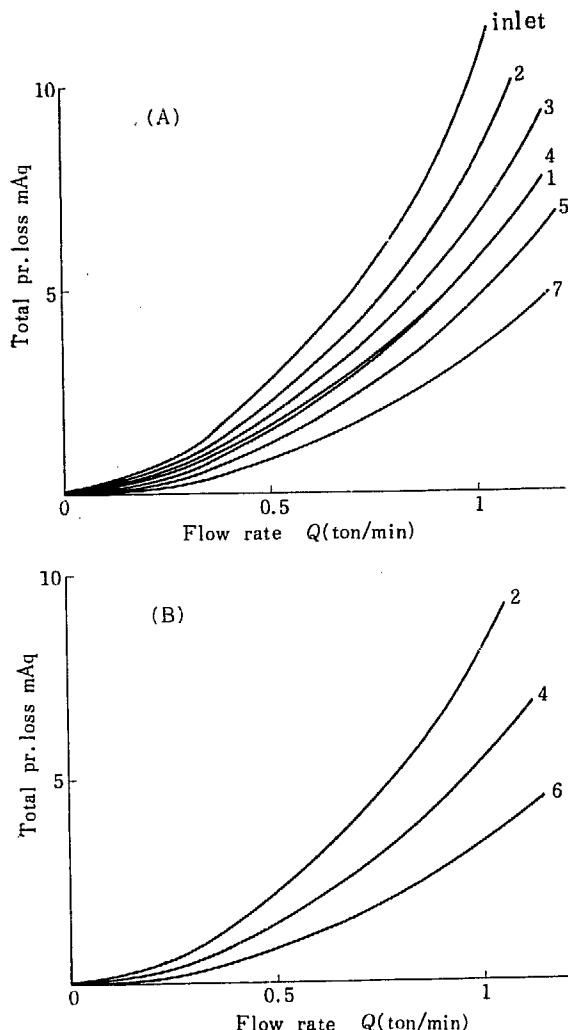


Fig. 39 Flow rate and total pressure loss for dummy fuel element 15°C

50°Cで測定した結果は Fig. 38 のようになり、実験式としてつぎの2式を得た。

$$\Delta H_{20^\circ\text{C}} = \frac{1.52 + 0.18 \cdot 10^{-5} Re}{Re^{1/4}} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (1)$$

$$\Delta H_{50^\circ\text{C}} = \frac{1.80 + 0.0825 \cdot 10^{-5} Re}{Re^{1/4}} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (2)$$

また、燃料板の内側15枚を除去した場合の全体圧力損失も Fig. 38 に示されており、この場合の実験式はつぎのとおりである。

$$\Delta H_{20^\circ\text{C}} (\text{no fuel plate}) = \frac{0.7 + 0.07 \cdot 10^{-5} Re}{Re^{1/4}} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (3)$$

ここで、流速および直徑は grid plate 上の fuel support の部分の値を取り、長さ l は燃料要素の全長 924 mm をとっている。Fig. 35 の各圧力測定点における全圧と流量の実測結果を Fig. 39~42 に示す。

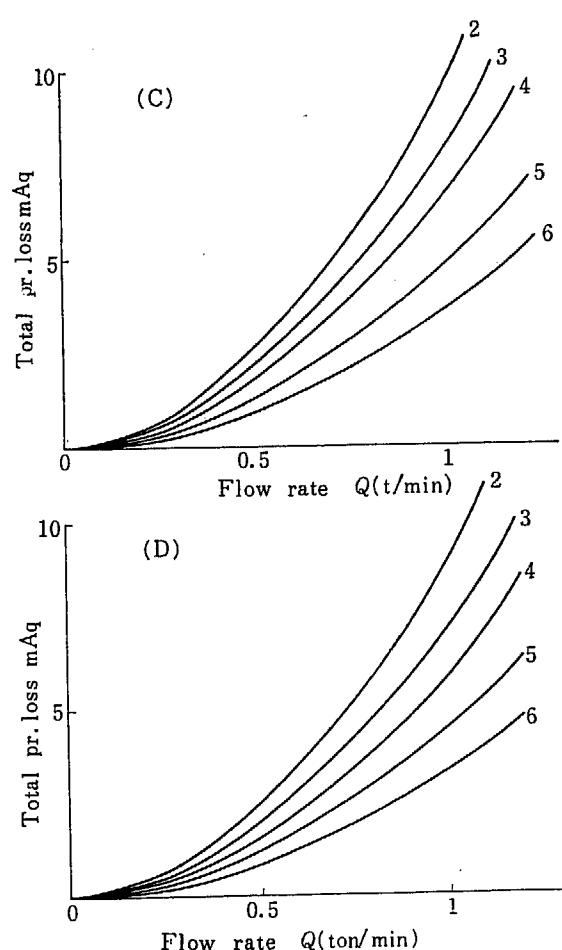


Fig. 40 Flow rate and total pressure loss for JRR-2 dummy fuel element 15°C

Fig. 43 は A. B. C. D 各測定点の平均圧力と流量の関係を示したものである。

(3) 検討

設計点流量 5000 gpm (この外燃料要素を 24 本入れると 1 本あたりの流量は 0.79 m³/min) のときの燃料要素の全体圧力損失は、水温 15°C~50°C の間ではほとんど変化せず約 0.48 kg/cm² である。このうち、燃料板集合体内部での損失が約 0.28 kg/cm² で出口孔での損失が約 0.05 kg/cm² である。したがって、入口 diffuser の損失が約 0.15 kg/cm² となりかなり大きい。これはこの diffuser の等価拡り角度が約 30° で流れが剥離しているため Fig. 43 の測定点 1 が非常に低くなっているのはこれを示している。燃料板集合体の横断面の A. B. C. D 測定箇所についてみると、C 列は全圧が大きく D. A. B 列の順に小さくなっている。全圧差は最大約 10% に達している。これは入口 adapter が円形断面をもち、燃料板のところは四角断面で両者の相対位置関係が Fig. 44 のようになり、C 列が入口 adapter の中心から最も近く、B 列は入口

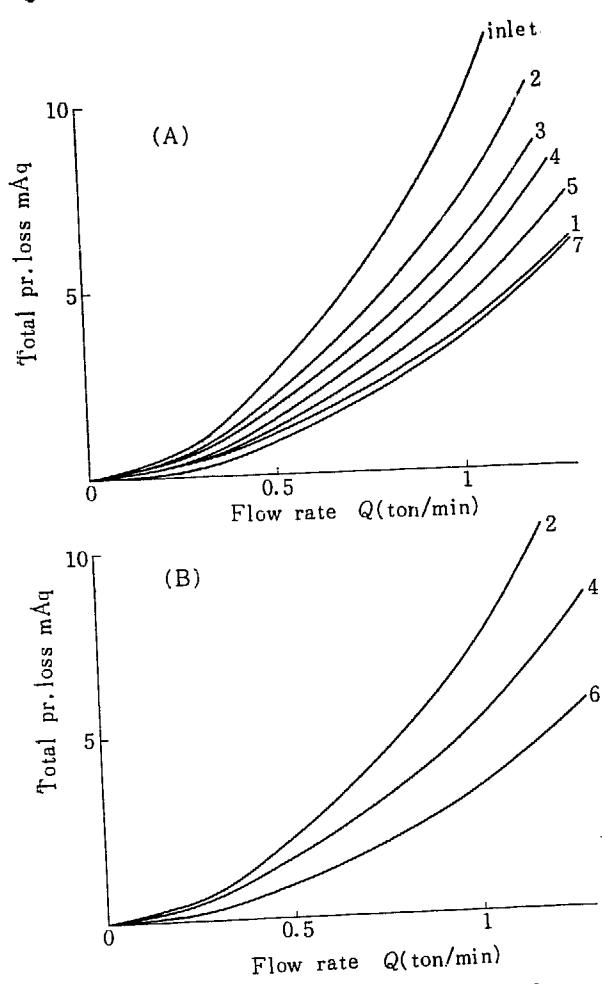


Fig. 41 Flow rate and total pressure loss for dummy fuel element $47^{\circ}\text{C} \sim 48^{\circ}\text{C}$

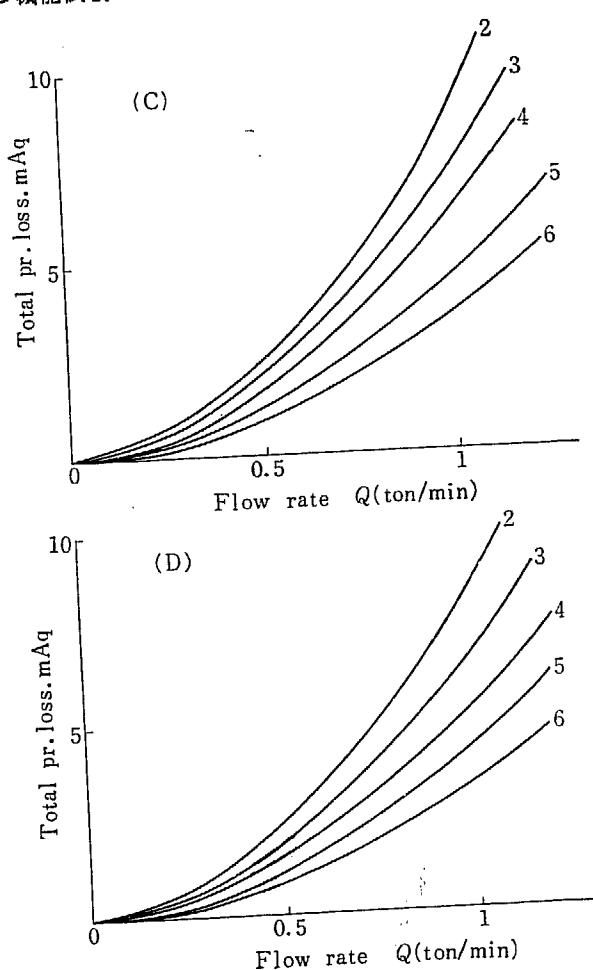


Fig. 42 Flow rate and total pressure loss for dummy fuel element $47^{\circ}\text{C} \sim 48^{\circ}\text{C}$

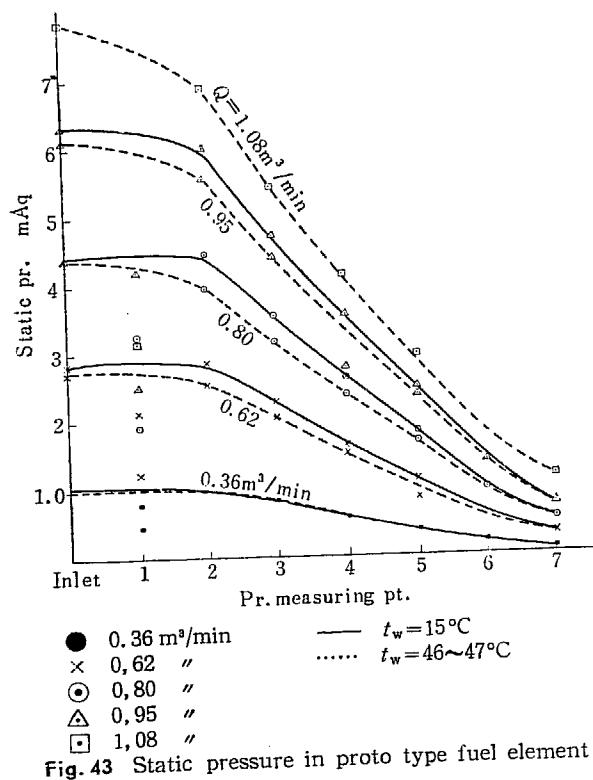


Fig. 43 Static pressure in proto type fuel element

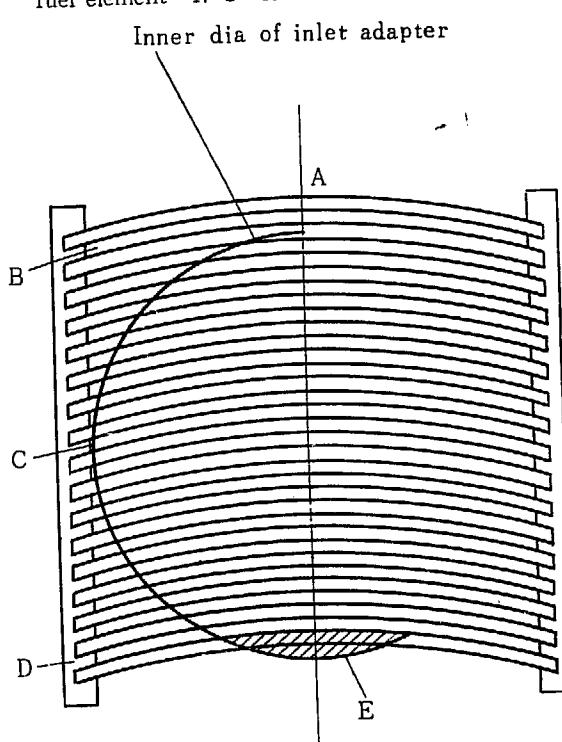


Fig. 44 Relative place between fuel plate assy and inlet adapter of fuel element

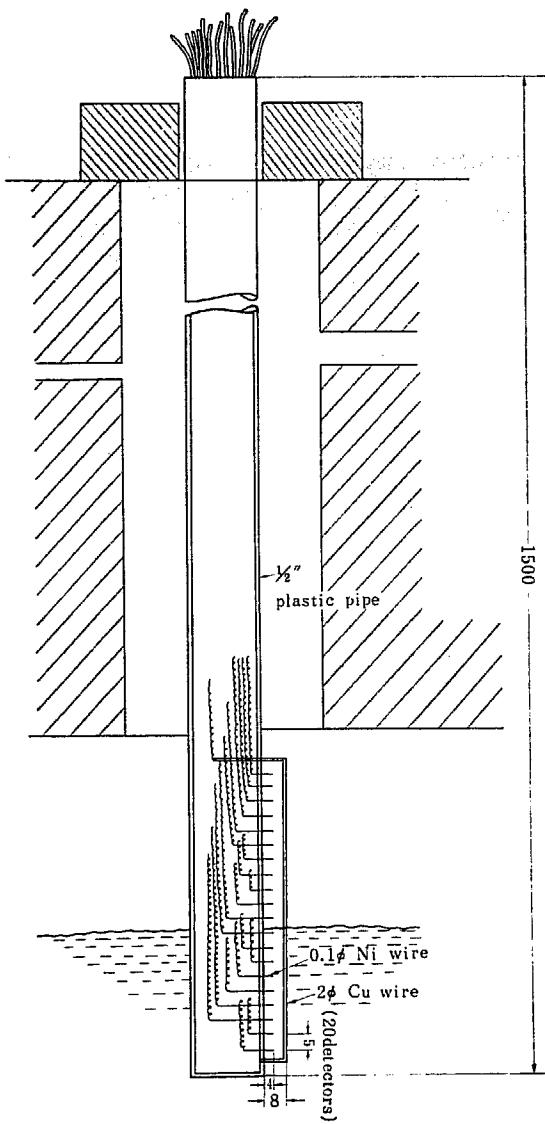


Fig. 45 Detail of electric level meter on off switch

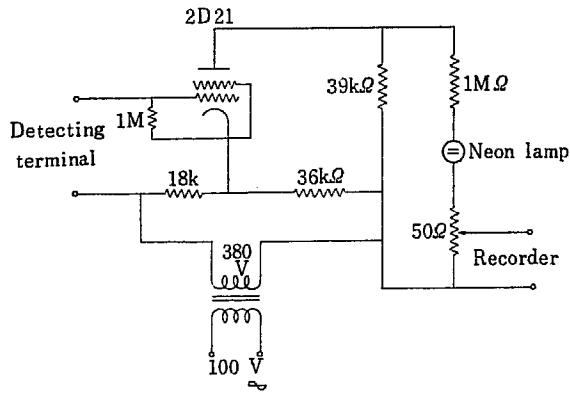


Fig. 46 Water level indicating circuit

adapter の中心から離れているが、ハッキングをした E 部の流れがおし出されているので全圧はかなり大きくなるようである。

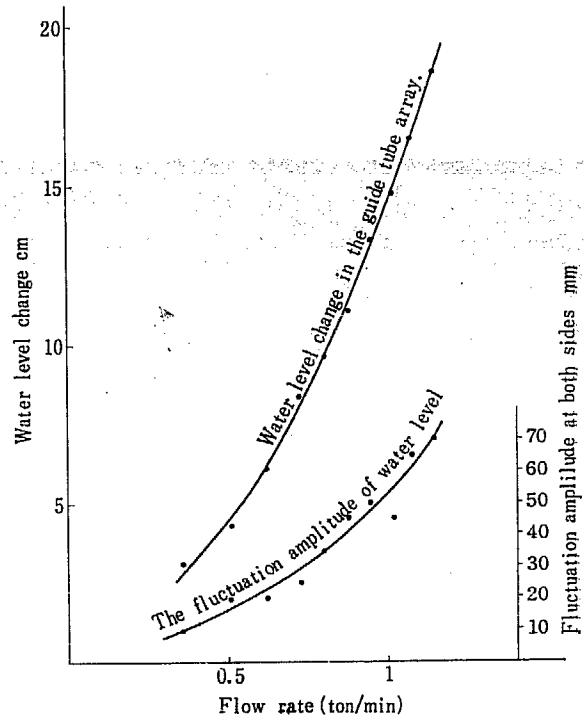


Fig. 47 Water level change and its fluctuation in the guide tube array

2.2.3 流量と guide tube array の中の水位上昇量および水位変化量の関係

(1) 測定方法

前節(1)で示した装置の外、水位上昇ならびに変動量を測定するためつぎの装置を利用した。

i) 浮子を利用する方法

72mmφ×300mm×0.2t mm の真鍮製の浮子の上面に 5mmφ×3,000ℓ mm の Al 棒をつけ、この浮子を guide tube array の水面上に浮べて Al 棒により水位を測定した。これによると、高調波の水面変動は測定できないけれども測定時間が短かく基本波の変動は容易に求められる。

ii) 電気的接点を利用する方法

Guide tube array の中の水面付近に上下 5 mm 間隔で接点をならべ、水面の変動により接点が on-off するので、これを接点と同数だけならべたそれぞの 2D21 の放電管の grid に導き、放電管の点滅によって水面の変動を見るようにした。接点部分は Fig. 45 のように、1/2" の塩化ビニール管の下端に管の外面から 8 mm 離して 2mmφ の Cu 線をはり、この Cu 線と塩化ビニール管の間に管の表面と直角に Ni 線(直径 0.1 mmφ) を 5 mm 間隔に 20 本植え、それぞ



Fig. 48



Fig. 49

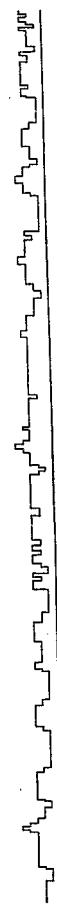


Fig. 50



Fig. 51

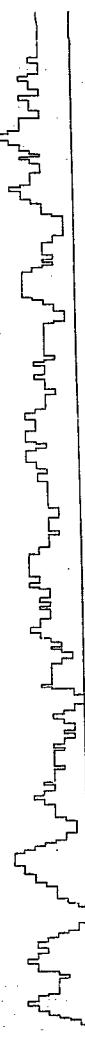


Fig. 52

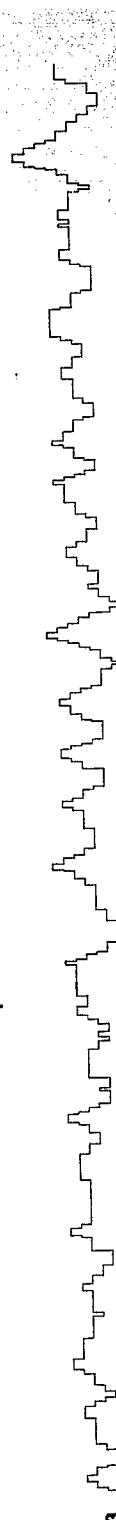


Fig. 53

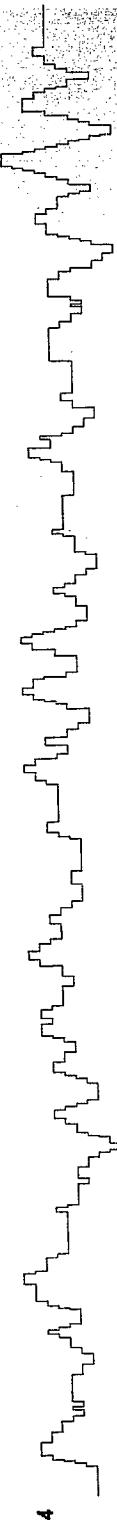


Fig. 54

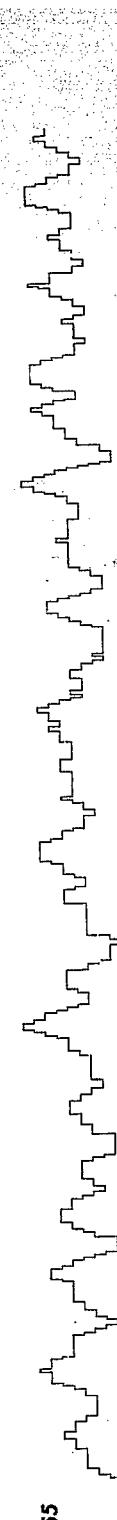


Fig. 55

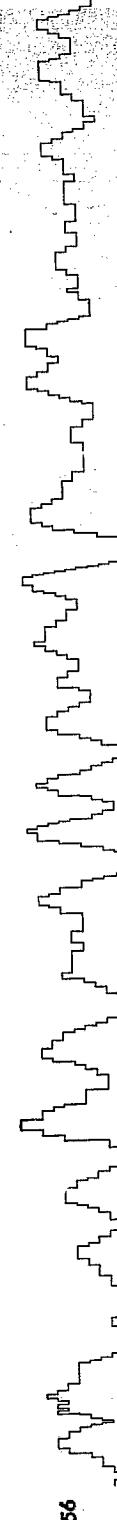


Fig. 56

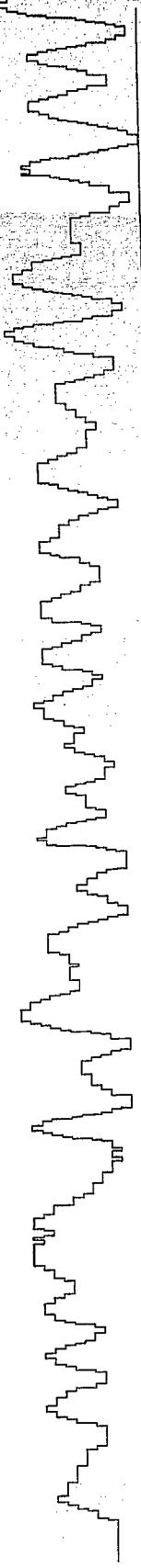


Fig. 57

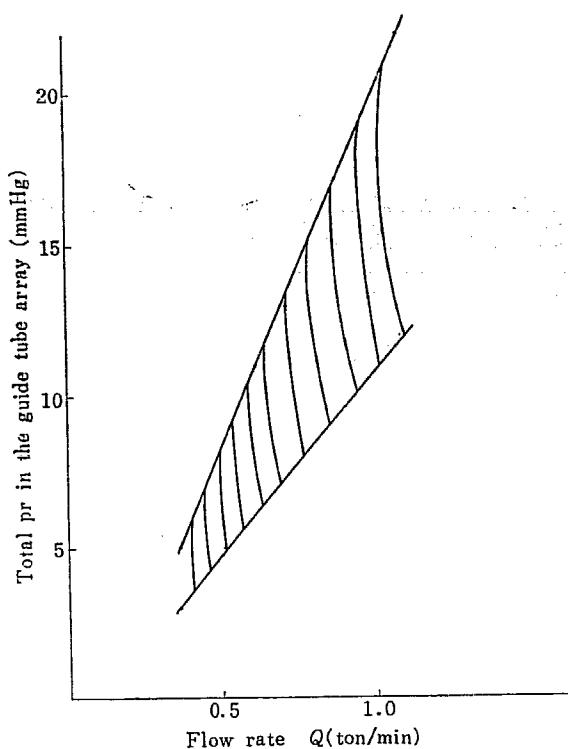


Fig. 58 Total pressure and flow rate in the JRR-2 guide tube array measured by pitot tube

れの Ni 線は管の内部で絶縁線に接ぎ上方に取出してある。水位および波形表示部は、Fig. 46 のような熱陰極グリッド制御放電管 2D21 とネオンランプからなる回路を 20 箇ならべ、各 2D21 のグリッドに上述の接点を 1 本ずつ入れてこの 20 箇のネオンランプの点滅によって水位変動を見られるようにした。

なお、水位の記録計としては Sanbon の AC-DC amp. Model 150-1000 の DC range を使用した。水位表示のネオン管の点滅が scale out する時には塩ビ管を上下に動かして調整した。

(2) 測定結果

浮子を使用して求めた guide tube array 内の水位上昇量ならびに電気的接点を利用して求めた水位変動振幅量の実測値を Fig. 47 に示す。

この実験式はつきのようになる。

$$Q = A_0 (0.08 + 0.59 \cdot 10^{-5} Re) \sqrt{2g(h+H)} \quad (4)$$

$$B = (-0.013 + 0.38 \cdot 10^{-6} Re) (h+H) \quad (5)$$

ここで

$$Q = \text{流量 } m^3/\text{sec}$$

$$A_0 = \text{燃料要素の流体出口面積 } 2 \times 0.0022 \text{ m}^2$$

$$Re = \text{燃料要素の流体出口でのレイノルズ数}$$

$$H = \text{流量のない時の guide tube array 中の水位と}$$

$$\text{燃料要素の流体出口の中心線との level 差}$$

$$0.648 \text{ m}$$

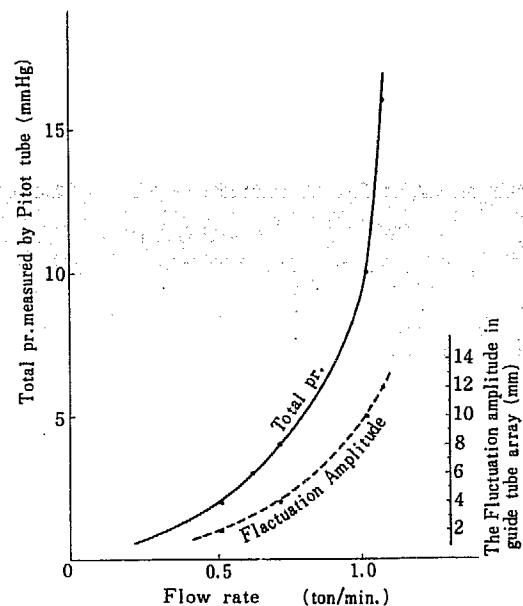


Fig. 59 water level change and its fluctuation of amplitude measured by pitot tube in the guide tube array with mesh stainless wire screen

h =guide tube array 中での水位上昇量 m

B =guide tube array 中での水位変動量（両振幅）m

水位変動の状況は TABLE 4 および Fig. 48~57 に示す。これは Sanbon の recorder に記録させたものである。

TABLE 4 Level change and fluctuation for the variation of water flow rate at the water surface in the guide tube array

Fig. No.	Flow rate (m³/min)	Fluctuation amplitude for both sides (mm)	Level change (mm)
48	0.36	10	31
49	0.51	20	43
50	0.62	20	61
51	0.72	25	83.5
52	0.80	35	96.5
53	0.88	45	110.5
54	0.95	50	133
55	1.02	45	148
56	1.08	65	160.5
57	1.15	70	176

以上のはか guide tube array の中に内径 2.5mm ϕ の pitot tube を上から挿入し、燃料要素上端から 92 mm 離れたところで固定して pilot tube を U 字マノメーターにつけ、流量と全圧変動との関係を測定して guide tube array の中の水位上昇量と変動量を求めてみたが、Fig. 58 のように乱れがはげしくかな

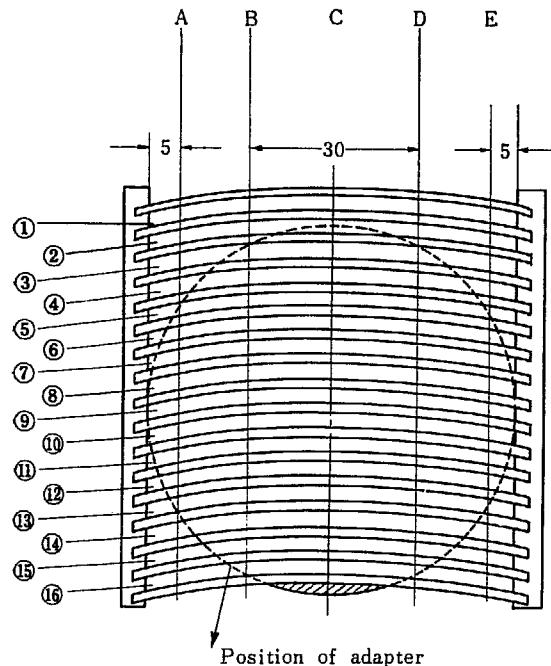


Fig. 60 Measuring point of total pressure in the fuel element ass'y

りの範囲にわたって測定点がちらばったので、pitot tube の先に 80 mesh の金網を取付けたところ、Fig. 59 のような結果を得、だいたい電気的測定結果 Fig. 47 との対応を得た。なお別に guide tube array に上ってゆく流量の燃料要素をとおる全体流量の比率を測定した結果 22.5% であった。

(3) 検討

以上の測定は、炉心に燃料要素を配置した場合に各燃料要素内をとおる流量を guide tube array 内の水位上昇量から判定するため、また guide tube array 内の水位変動量が上部反射材の幾何学的寸法を変化し、これにより炉の反応度に変化を与えるかどうかをしらべるためにおこなわれたものであって、これは炉心内の流れ分布の測定で利用され、満足すべき結果を得た。計測方法については簡単な浮子、pitot tube を利用する方法が測定が容易で、測定の精度も良好であった。電気的接点を利用する方法は、応答に時間遅れはともなわない長所はあるけれども、接点間隔が 5 mm でそれ以下の変動はわからないし、接点間隔をせばめると接点にロウをぬっても水の切れが悪く、ネオジン放電管の指示が不規則になる。また、記録装置としてはペン書きの自動記録装置は摩擦のため応答がおそく、Sanbon の amp. は記録に直線性がないため水位上昇 70 mm 以上は測定困難であった。したがって、この型の燃料要素に対しては各種の方法を併用するのが適当である。

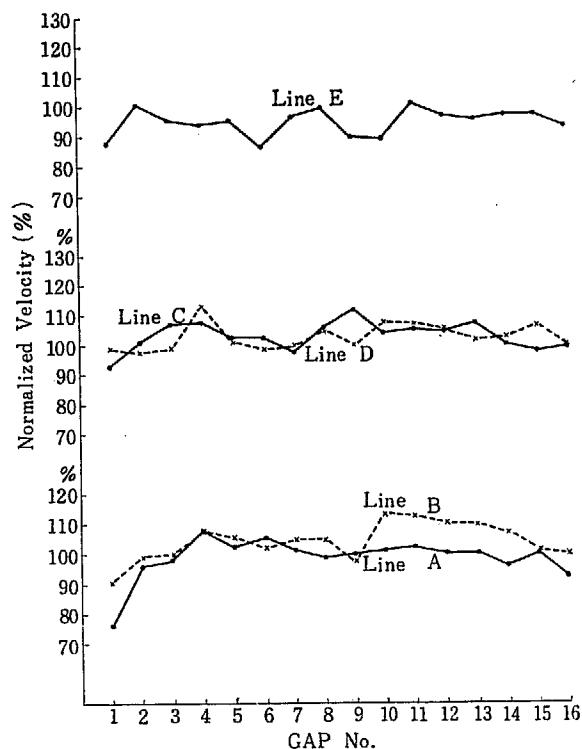


Fig. 61 Velocity distribution at the outlet of fuel plate ass'y

なお、浮子による方法と電気的接点を利用する方法との水位上昇量の比較測定の結果はよく一致した。しかし、水位変動振幅は浮子による方法は Fig. 59 に示すようにかなり低くである。

2.2.4 燃料板集合部出口における流速分布

(1) 測定方法

頂上より 170 mm のところで切断した proto-type 燃料要素の下部 adapter から流量 $2.5 \text{ m}^3/\text{min}$ の空気を送り、燃料板集合部出口に直径 $1.5 \text{ mm}\phi$ の Pitot tube を挿入して燃料板の隙間から出てくる空気の全圧と静圧を傾斜マノメーターにより測定して風速分布を求めた。測定点を Fig. 60 に示す。

(2) 測定結果

燃料板隙間は切断面だけでしか測定できなかったが $2.7 \pm 0.3 \text{ mm}$ の範囲内にあった。風速分布を Fig. 61 に示す。

(3) 検討

だいたいにおいて平均値に対して $\pm 12\%$ の範囲内で風速分布はかなり平坦化されているが、2.2.2(3) の検討でのべたように AE 列の隙間番号 1 の風速が平均値に対して $-12\sim-24\%$ の最低で、隙間番号 16 は -8% でそれほど少なくなっていない。AE 列の隙間番号 1 の風速が少なくなる傾向と、燃料要素の

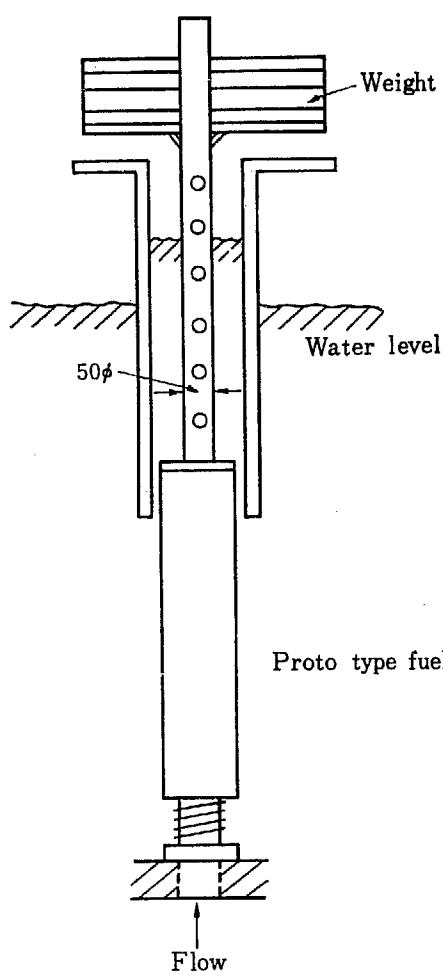


Fig. 62 Test method of lifting up force for the fuel element by water flow upward without fixing device to the guide tube array

隅で熱中性子束分布が高まる傾向とは hot channel factor を増加させる。

2.2.5 燃料要素の上部固定装置がはずれた場合の状況

Fig. 62 に示すように、proto type 燃料要素の上に 50 mmφ の孔あき管をつけ、その上に重りの鉄板をのせ、その鉄板の枚数を変化して燃料にかかる重量を加減する。燃料要素の上部固定装置は guide tube array からはずしておき、これを 2.2.2(1) の i) の流れ試験装置に入れて流量に対する燃料の浮上りはじめの重量を測定し、その後燃料要素にかかる重りを全部取り除いた状態で、燃料が下からの流れで浮き上った際に、どのような状況になるかを観察した。

つぎに、燃料要素の上部固定装置をはずしておいて流量を変化しながら燃料要素の浮び上り方とその時の状態を観察した。その結果は Fig. 63~66 に示されて

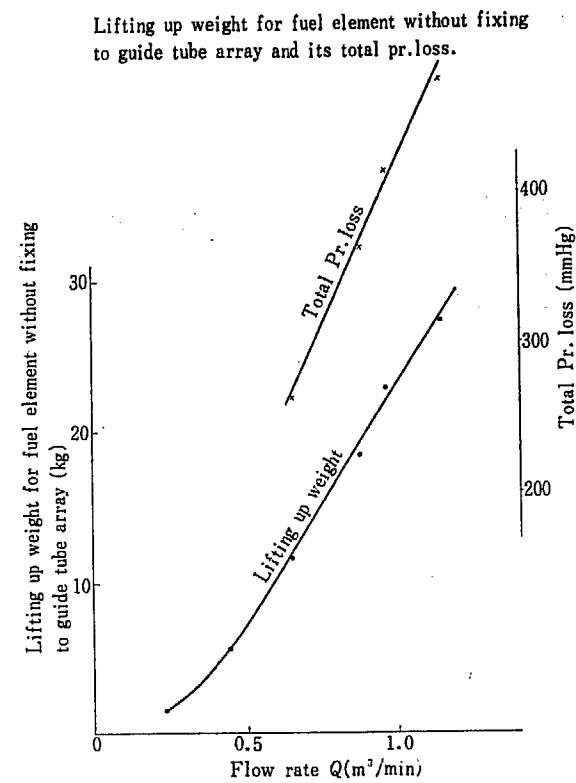


Fig. 63 Lifting up weight for fuel element without fixing to guide tube array and its total pressure loss

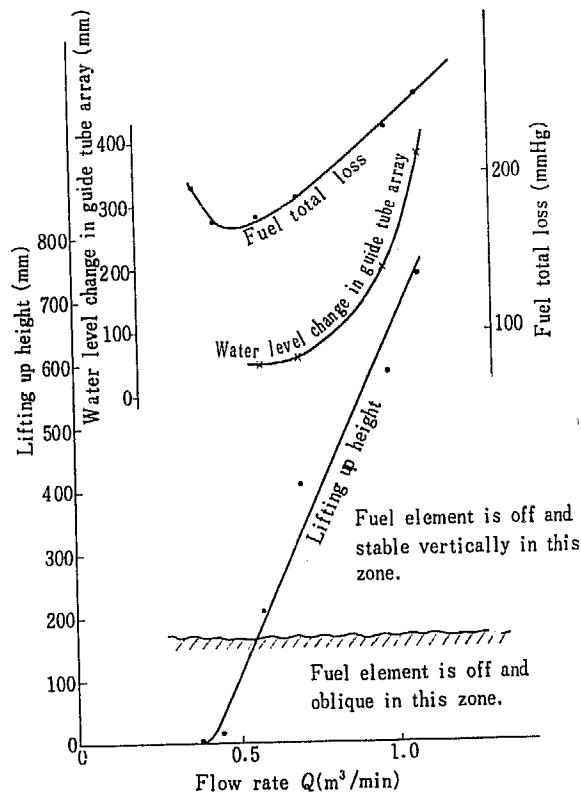


Fig. 64 Lifting up height of fuel element without fixing to guide tube array and flow rate

いる。燃料要素の浮び上りが 150 mm 以下では Fig.

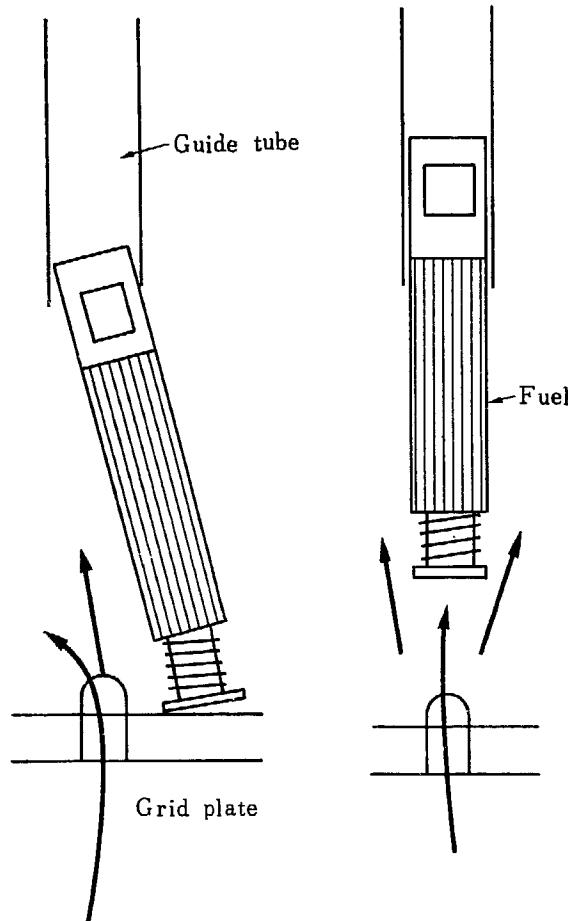


Fig. 65 State of fuel element when the fixing to guide tube array was off

65 の左の図のように燃料要素が grid plate からぬけるとすぐ斜に傾いた形になる。しかし、200 mm 以上燃料要素が浮び上ると右の図のように安定して垂直の形のままで浮いている。この場合の燃料要素を通る流量は測定できなかったが、観察の結果によればあまり減少しないようで、guide tube array 中の水位は Fig. 64 のように、燃料要素が大きく浮び上るとともに上昇する。これは実際の流量増加を示すものではなく重水出口孔が guide tube array によってさえぎられるためである。燃料要素の全体圧力損失は、Fig. 64 に示されるように流量が $0.4 \text{ m}^3/\text{min}$ 以上になると燃料要素は浮び上がるが、その後は流量とともにほとんど直線的に増加する。これは燃料の浮び上り量を考慮すると、たとえば、燃料要素が 100 mm 浮び上るのを、もし plenum chamber の圧力で検出するには 50mm Hg の圧力変化を判定せねばならない。Plenum chamber の圧力はだいたい $0.5 \text{ kg}/\text{cm}^2$ なので最低 10% の検出能力を必要とする。

このテスト結果からみると、燃料要素が guide tu-

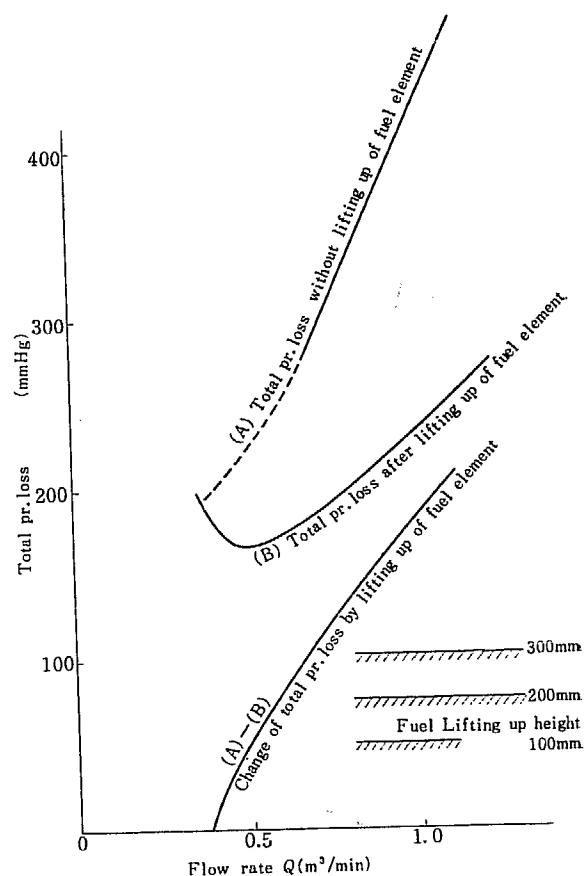


Fig. 66 Total pressure loss in the fuel element when the fixing to the guide tube array was off

be array からはずれてわずかに grid plate から浮いたような時は、燃料要素が grid plate の重水入口からはずれて傾くが、これは cooling からみると非常に危険であるし、燃料要素をもとの位置にもどすのが困難である。むしろ、燃料要素を大きく浮き上らせた方が cooling からはまだ安全であるし、炉の運転からみれば $\Delta k/k$ の変化で燃料要素が浮び上ったことがわかるだけ好都合であろう。いずれにしても、上部固定装置がはずれることは非常な危険をともなうが、同じ構造を使用した dummy fuel を炉心に挿入し、流れ試験をおこなった際 7 回にわたりこの上部固定装置がはずれたため、とくに本試験をおこない、その結果、自重 6.5 kg の燃料要素のほかに 30 kg の重量をかけければ上部固定装置がなくても燃料要素は grid plate から浮び上らないので、2800 gpm 以下の流量の場合をのぞき下部燃料プラグと燃料要素の間に間隔片を挿入して燃料要素に 30 kg 以上の重量をかけることになった。この場合に、現在の燃料交換キャスクをそのまま使用すると交換に要する時間が 2 倍必要になるが、これは将来燃料要素とキャスクの構造を改良する

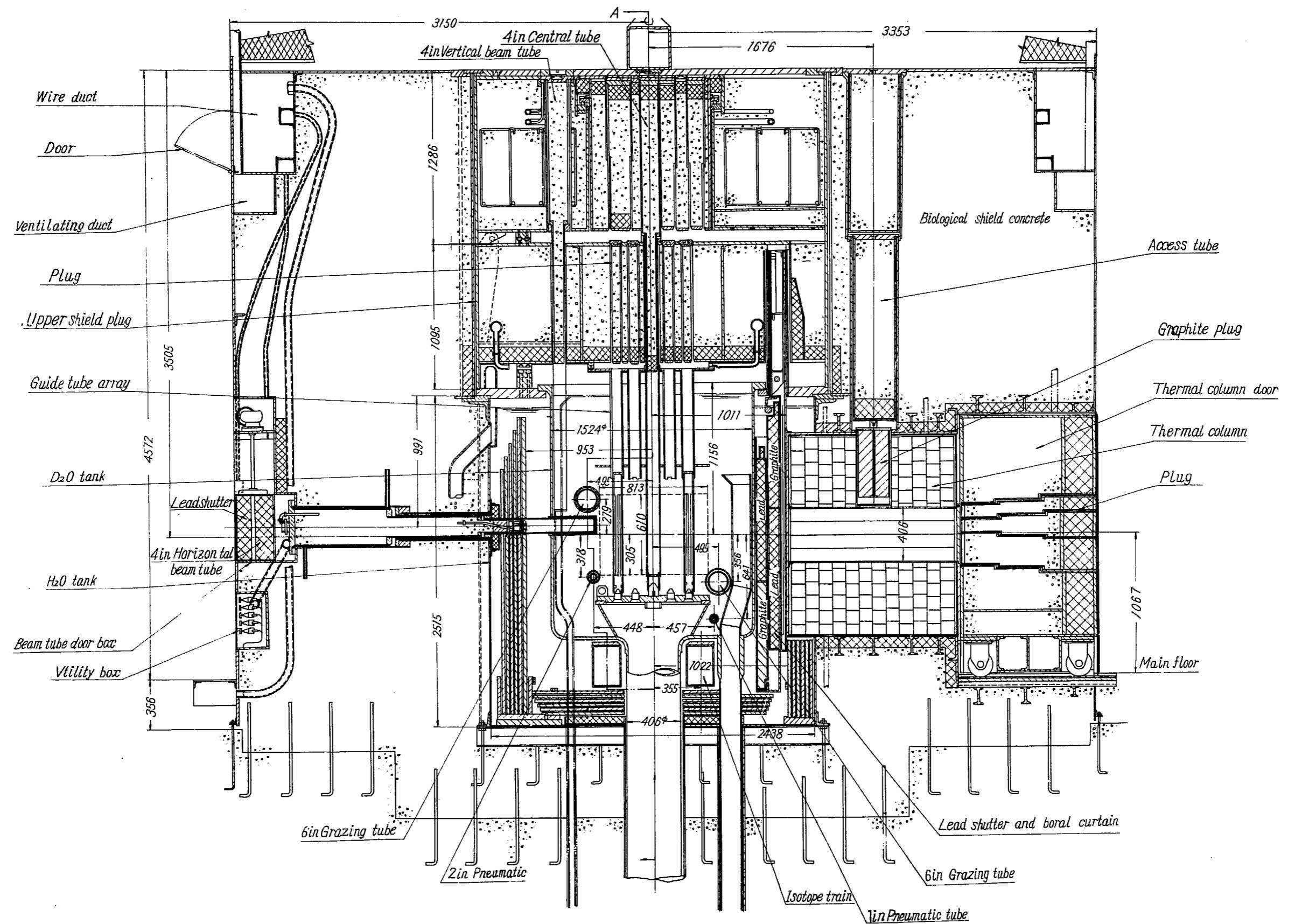


Fig 67 JRR-2 Vertical cross section.

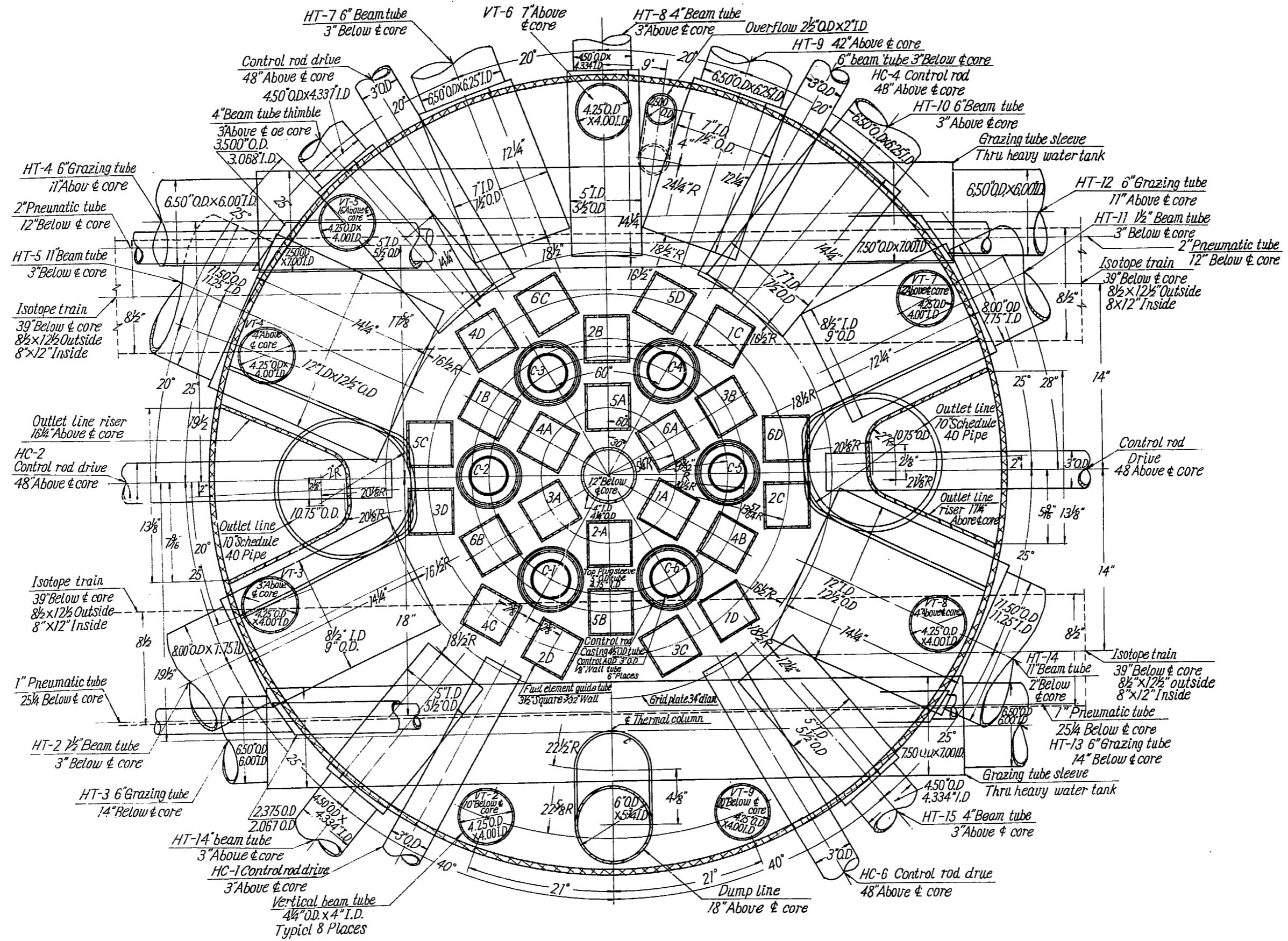


Fig 68 Core configuration radial pattern.

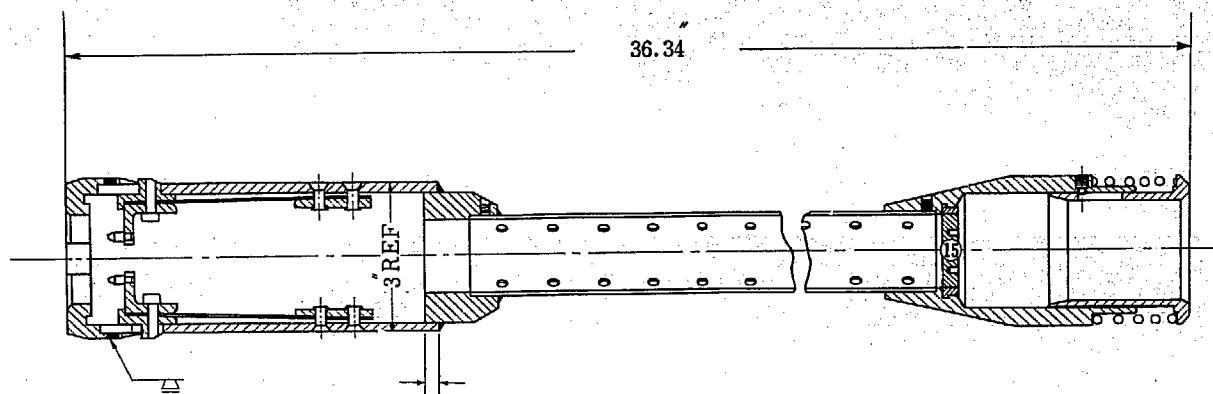


Fig. 69 Dummy fuel element (measurement, inches)

ことにより解決される予定である。

2.2.6 まとめ

MTR 型式の JRR-2 燃料要素と同一寸法の prototype 燃料要素に対して流れ試験をおこなった。その結果、流量と圧力損失の関係は (1)(2) 式であらわされ guide tube array 内の水位上昇量にたいしては (4), guide tube array 内の水位の変動量に対しては (5) 式が適用される。燃料板集合部出口における

流速の分布は、角の部分をのぞき $\pm 12\%$ の範囲内でだいたい平均化されている。また、上部固定装置がはずれた場合に燃料要素がどのような状態になるかを観察したが、これは炉の運転上かなり危険を伴うことがわかったので、将来は燃料要素の上部固定装置をはずし、間隔片を介して下部燃料プラグの重量によって燃料要素を grid plate におしつける方式が採用される予定である。

2.3 炉心内の流れ分布試験

2.3.1 まえがき

JRR-2 の炉心は、Fig. 67, 68 に示されるように、重水を満たした重水タンクの中に燃料要素を垂直にたて、その間に 6 本の制御棒を上から挿入することによって構成される。燃料要素は Fig. 34 に示した MTR 型式のものでその数は最大 24 本まで挿入できる。重水は減速材として重水タンクに充满されるが、このほか冷却材として plenum chamber から燃料要素を通じて各燃料板の除熱の役目もはたしている。この冷却材としての重水が各燃料素の中をどのような配分で流れかかるは、おもに燃料板の hot channel factor に影響し、炉心の冷却からは重要な問題となるので、この炉の運転中に予想される各種の燃料配置と流量の変化に対してそれぞれの場合の各燃料要素を通る流量率を測定した。また、重水タンクの重水面積とその変動は、guide tube array の中の水位上昇とその変動とともに炉の上部反射材効果および出力変動に影響をおよぼす可能性があるので、運転中の重水タンク内の重水面積の変化を測定した。これらの測定は JRR-

2 の重水タンクの中に純水を入れ、燃料要素のかわりに流れ特性のわかっている dummy fuel をならべたほかは炉の正常運転と同じ条件の下でおこなった。

2.3.2 Dummy fuel の流量測定

(1) 測定装置および測定法

Dummy fuel の形状は Fig. 69 のようなもので、全長と上部下部の adapter は燃料要素と同一寸法で、中央部の燃料板集合部が Al pipe で置きかえられている。Fig. 69 の ⑯ 盲 plug に孔をあけ、この nozzle の大きさを変えて流れの抵抗を加減できるようになっている。この dummy fuel を 2.2.2 (1) の試験装置の中に入れ、2.2.3 (1) の方法によって dummy fuel の流量を測定した。このほか、初期の実験では Fig. 70 のような真空 pipe を利用する on-off level 計を使用し、guide tube array の中の水位を測定して流量を求める方法も使用したが、測定時間が長くなるほか、最初に pipe の先端が水面についたところで計測されるため、水面変動の著しい場合にはこの方法は精度が不十分であった。

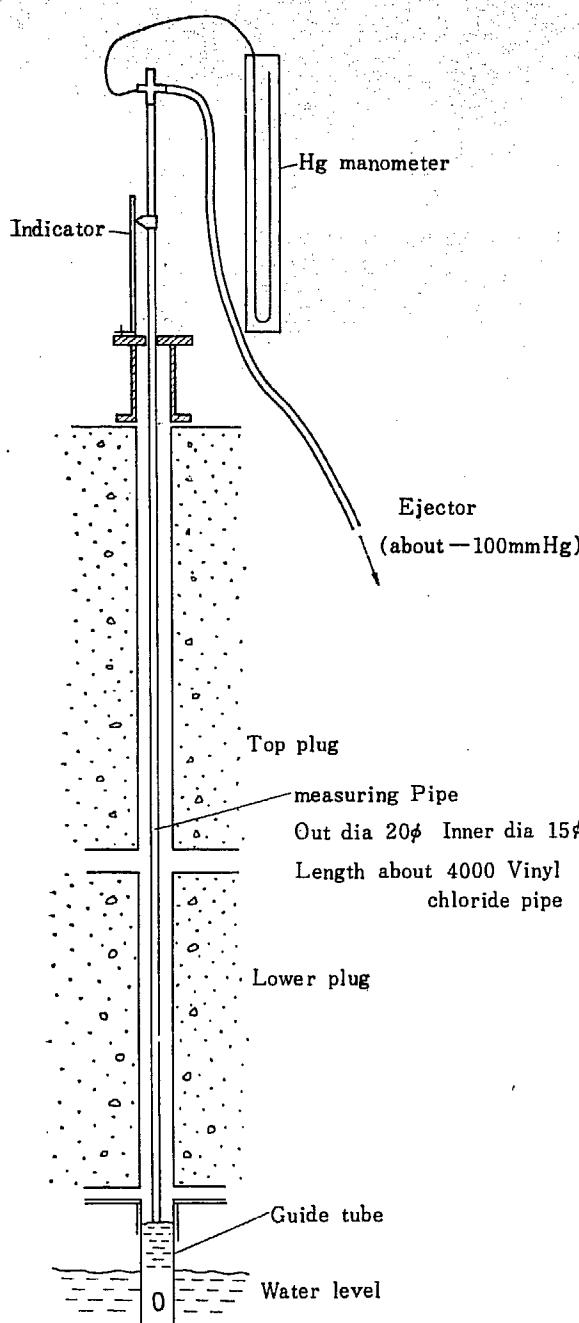


Fig.70 Water level gauge by vaccume tube

(2) 測定結果

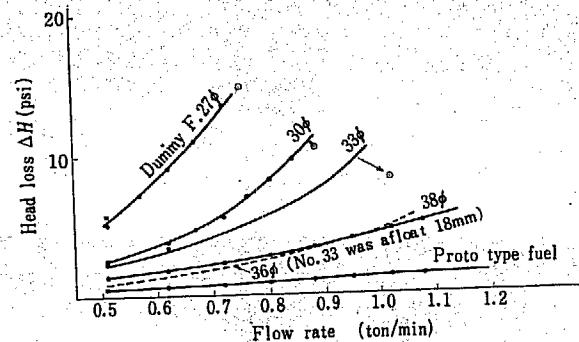
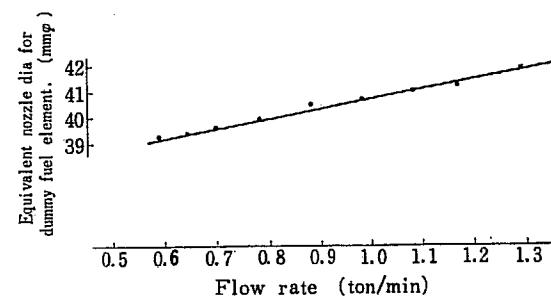
Nozzle dia. 27ϕ , 30ϕ , 33ϕ , 38ϕ の dummy fuelFig.71 Test result of pressure loss and flow rate for JRR-2 dummy fuel and proto type fuel element. The flow was unstable for points \circlearrowright , as the flow rate was too much. Water temp. was 15°C 

Fig.72 Flow rate and equivalent nozzle dia. for fuel element

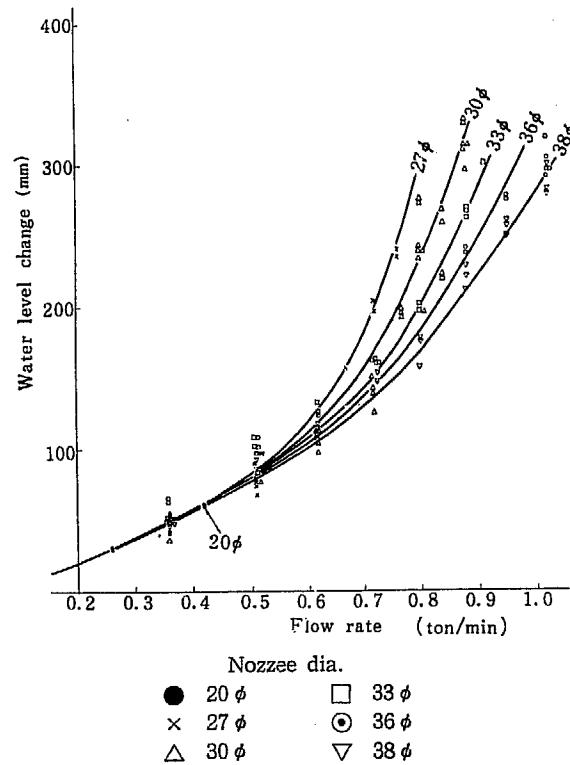


Fig.73 Flow rate and water level change in the guide tube array

と proto-type fuel に対して、流量と全体圧力損失と

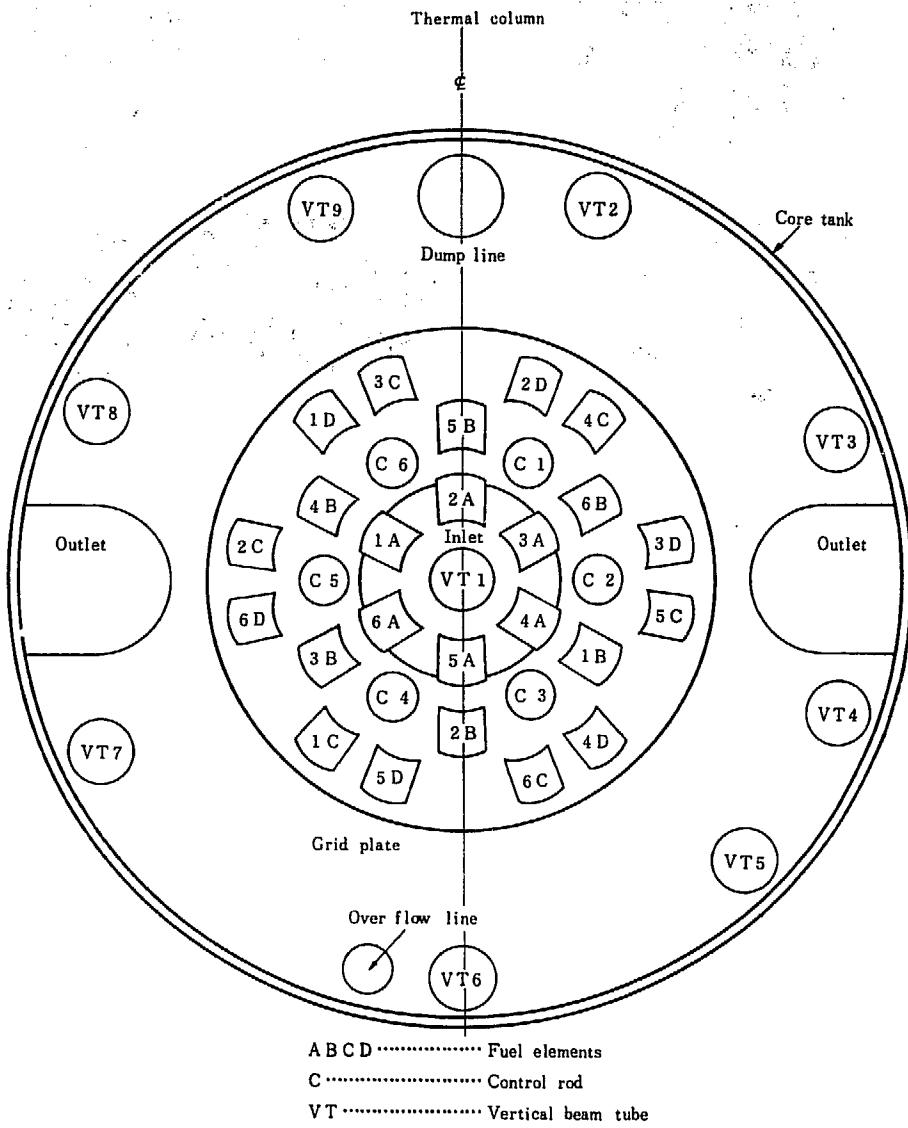


Fig. 74 JRR-2 core and vertical beam tube configuration

の関係を測定して Fig. 71 の結果を得、これから fuel の等価 nozzle 直径は、Fig. 72 のように流量の増加に対して直線的に増加して大体 $39\text{mm}\phi \sim 42\text{mm}\phi$ の間にあり、 $0.8 \text{ m}^3/\text{min}$ の設計点流量にたいしては大体 $40\text{mm}\phi$ となる。つぎに dummy fuel の流量と guide tube array 内の水位上昇量の関係は Fig. 73 のようになり、流量が $0.4 \text{ m}^3/\text{min}$ 以下では nozzle 直径に関係しないが、流量がこれより多くなると nozzle dia. が大きくなるにつれてその水位上昇量が低くなることがわかる。したがって、この dummy fuel を使用した場合、guide tube array 内の水位上昇量から流量を推定することができる。

2.3.3 炉心内の流れ分布試験

(1) 測定方法および測定装置

炉心内の燃料要素、制御棒、たて実験孔の固有番号を Fig. 74 に示す(以下この固有番号で呼ぶ)。

測定は grid plate の上に燃料要素をならべるかわりに 2.3.2 に記したような流れ特性のわかった dummy fuel をならべて挿入し、この dummy fuel の本数を 12, 18, 24 本とし、12, 18 本の場合は残りのそれぞれ 12 本、6 本の燃料要素挿入箇所には盲 plug をした dummy fuel をおき、各 dummy fuel を通る流量を測定した。また、これら dummy fuel の nozzle の直径を変化して抵抗の変化に対する流れ分布も求めた。制御棒は挿入せずにおき、guide tube array 上部の集合箱に水面があがってもこの制御棒の通る 6 箇の孔から容易に流出して、guide tube array の中の水位の変化におよぼす影響をなるべく少なくするようにした。流量の測定には 2.2.3 (1) の i) 浮子



Fig. 75 Core flow distribution test using float.

による方法と 2.2.3 (1) ii) の電気接点を利用する方法を併用したが、この測定を容易にする目的で top plug をはずし lower plug の上から測定した。このようにすると guide tube array 中の水位変動量とか、重水タンク内の水面の状況などもよく観察できる便があった。Fig. 75 は浮子を利用する流量計測中のものであり Fig. 76 は電気接点を利用する流量計測で

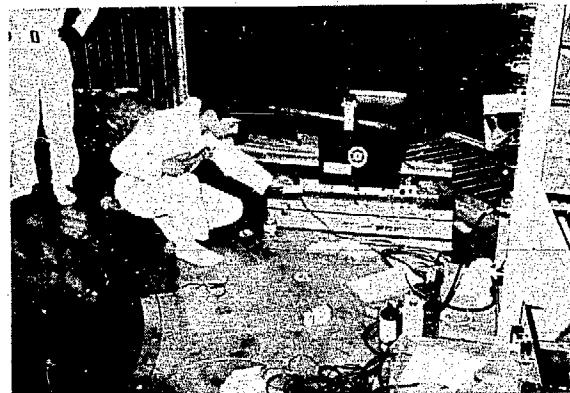


Fig. 76 Water level fluctuation test in the guide tube array using on off switch circuit

20箇のネオン管の点滅を見ているものである。

(2) 測定結果

計測は dummy fuel の本数、配置 nozzle の大きさなどを変えて 46 回の測定をおこなった。その測定番号および条件を TABLE 5 に、また、各測定番号の流量測定結果を Fig. 77 (1) ~ Fig. 77 (43) に示す。A.B.C.D 各 circle の平均流量をとり、これを % であらわして流れ分布を示したのが Fig. 78 (1) ~ Fig. 78 (4) で、これによればだいたい 5~15% の中高分布を示し、各 dummy 間の流れ分布のばらつきは fuel dummy fuel 24 本の時は ±12% 以内、18 本の時は ±5% 以内、12 本の時は ±3% 以内にだいたいおさまっている。

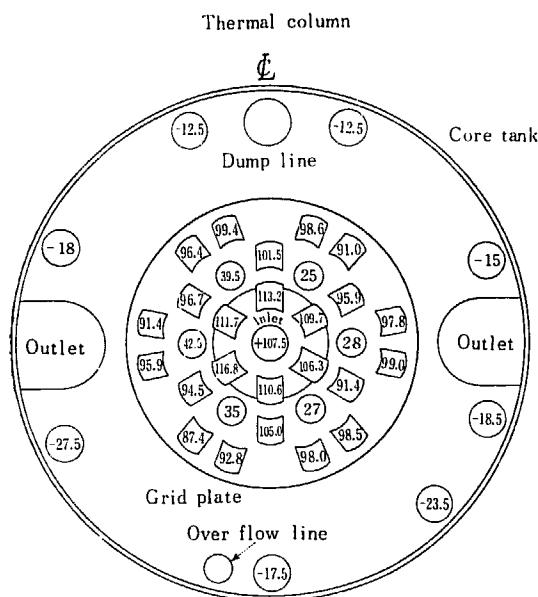


Fig. 77 (1) JRR-2 core flow distribution and water level test results

Test No. 1
Nozzle dia. 38.1 φ
Dummy 24
DP-1, 2, 3 op

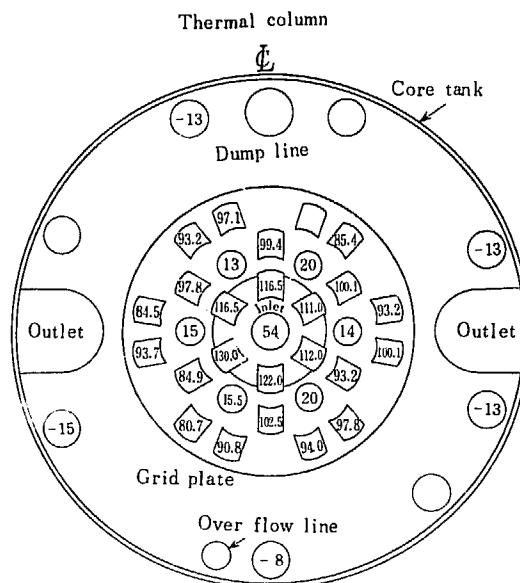


Fig. 77 (2)
Test No. 2
Nozzle dia. 38.1 φ
Dummy 24
DP-1, 3 operation

TABLE 5 Number and condition of the core flow distribution tests

Test No.	Nozzle dia./fuel No.	DP operation	FX-1 (gpm)	PX-1/PX-2 (psi)	Note
1	38.1/24	1. 2. 3	5500~5900/5700	55~59/54~56	
2	38.1/24	1. 3	3500~3700/3600	38~42/10	
3	38.1/24	2. 3	/3600	11/36	
4	38.1/18	1. 2. 3	5000~5100/(5050)	/58.5~59.5	
5	38.1/18	1. 3	/3500	(37)/10	B~4 がぬけた
6	38.1/18	2. 3	/3500	/39~40	
7	38.1/12	1. 2. 3	3800~4000/3900	/(665)	
8	38.1/12	1. 3	2800~2900/(2850)	(50)/10	
9	38.1/12	2. 3	/(3050)	/46~46.5	
10	36/24	1. 2. 3	5600~5700/(5650)	/50~51	
11	36/24	1. 3	/3600	(35)/10	
12	36/24	2. 3	/3500	/33	
13	36/18	1. 2. 3	/5000	58~60/58	
14	36/18	1. 3	/3300	41/9	
15	36/18	2. 3	3300~3400/(3400)	10/38~39	
16	36/12	1. 2. 3	/3900	67/67	
17	36/12	1. 3	/3000	49.5/10	
18	36/12	2. 3	/3000	10/49	
19	33/24	1. 2. 3	/5000	/56.5	
20	33/24	1. 3	/3400	(39.5)/9.5	
21	33/24	2. 3	/3400	/38	
22	33/18	1. 2. 3	/4300	/63	
23	33/18	1. 3	3100~3300/(3200)	(43)/9.5	
24	33/18	2. 3	/3100	/42	
25	33/12	1. 2. 3	/3000	/69	Surging
26	33/12	1. 3	/2800	/	
27	38/12	2. 3	2600~2800/(2700)	/53	
28	30/24	1. 2. 3	/4500	/63	
29	30/24	1. 3	/3300	(41)/10	
30	30/24	2. 3	/3300	/41	
31	30/18	1. 2. 3	/3800	/67	
32	30/18	1. 3	/3100	(46)/10	
33	30/18	2. 3	/3100	/48	
34	30/12	1. 2. 3	/2800	/74.5	Surging
35	30/12	1. 3	/2400	(58.5)/10	
36	30/12	2. 3	/2000	/59	
37	38.1/12 30/12	1. 2. 3	5300~5000/(5350)	/53 PI. 5=1.17 PI. 4=0.55	A.B. circle 38.1 φ C.D. circle 30 φ
38	38.1/24	4		/49.5	
39	38.1/24	1. 2. 3	/5800		
40	38.1/24	1. 2. 3	/5200	/56	
41	38.1/24	1. 2. 3	/4500	/61	
42	38.1/24	1. 2. 3	4300~4700/4500	/63	B-4 was off
43	38.1/24	1. 3			Changed A-1 and D-4
44	38.1/24	1. 3			Changed A-6 and C-1
45	1 Fuel(A-1) 38.1/23	1. 3			DP-1 impeller dia. was changed to 13 ^{1/4} "
46	38.1/24	1. 3	/2700		

() is the estimated value.

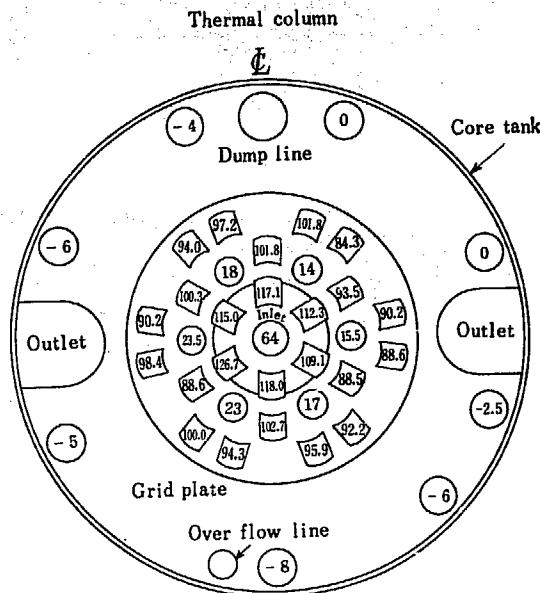


Fig. 77 (3)

Test No. 3

Nozzle dia. 38.1 φ
 Dummy 24
 DP-2, 3 operation

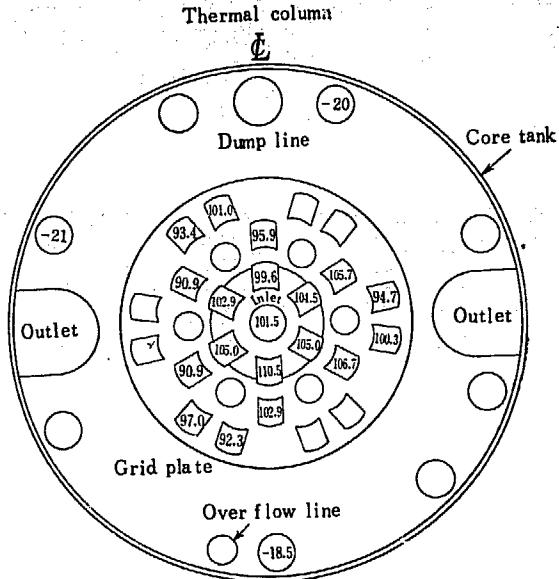


Fig. 77 (5)

Test No. 5

Nozzle dia. 38.1 φ
 Dummy 18
 DP-1, 3 operation

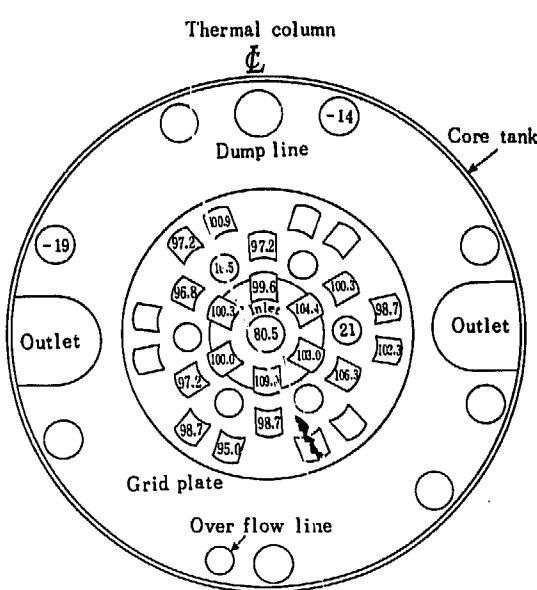


Fig. 77 (4)

Test No. 4

Nozzle dia. 38.1 ϕ
 Dummy 18
 DP-1, 2, 3 operation

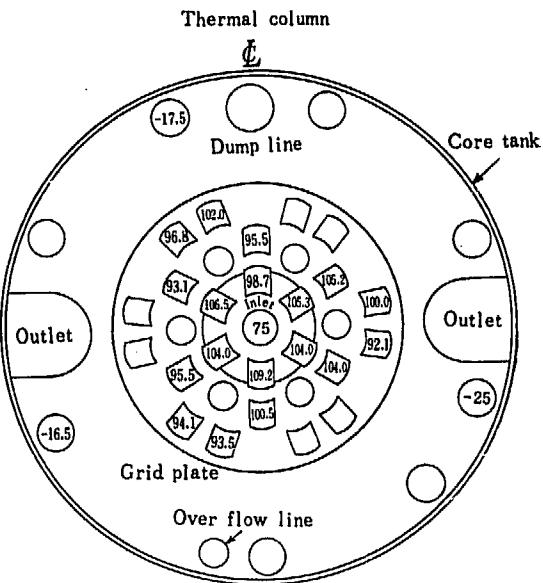


Fig. 77 (6)

Test No. 6

Nozzle dia. 38.1 φ
 Dummy 18
 DP-2, 3 operation

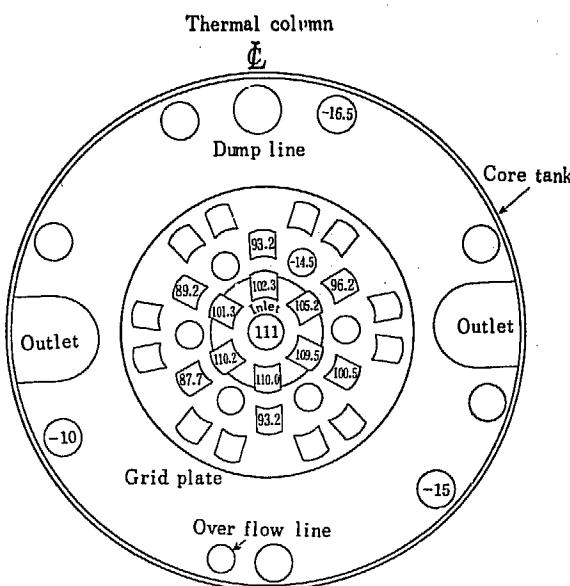


Fig. 77 (7)
Test No. 7
Nozzle dia. 38.1 φ
Dummy 12
DP-1, 2, 3 operation

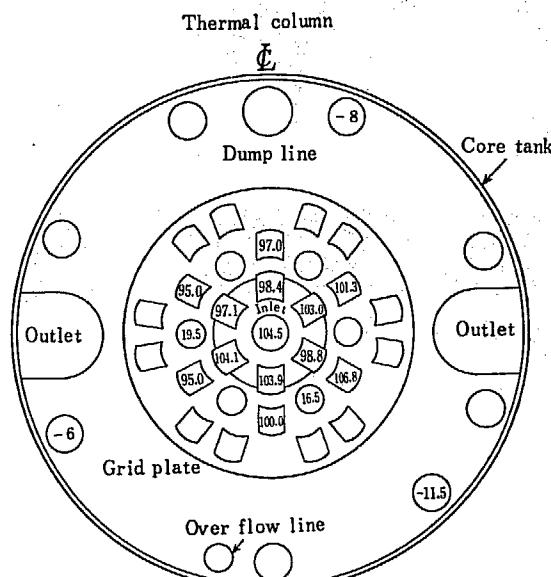


Fig. 77 (9)
Test No. 9
Nozzle dia. 38.1 φ
Dummy 12
DP-2, 3 operation

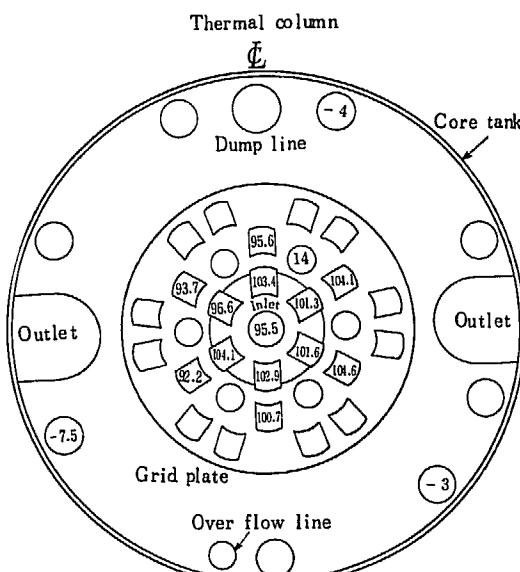


Fig. 77 (8)
Test No. 8
Nozzle dia. 38.1 φ
Dummy 12
DP-1, 3 operation

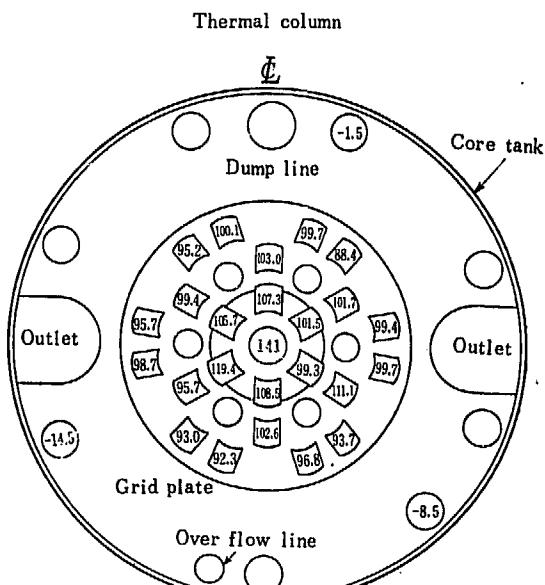


Fig. 77 (10)
Test No. 10
Nozzle dia. 36 φ
Dummy 24
DP-1, 2, 3 operation

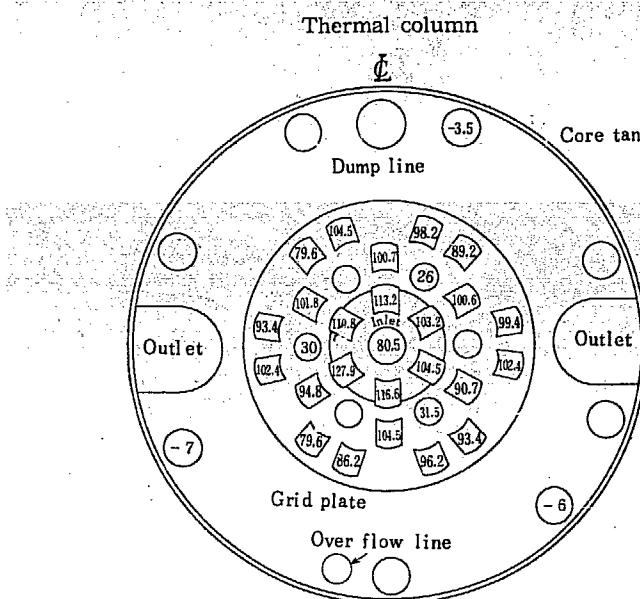


Fig. 77 (11)

Test No. 11
 Nozzle dia. 36 φ
 Dummy 24
 DP-1, 3 operation

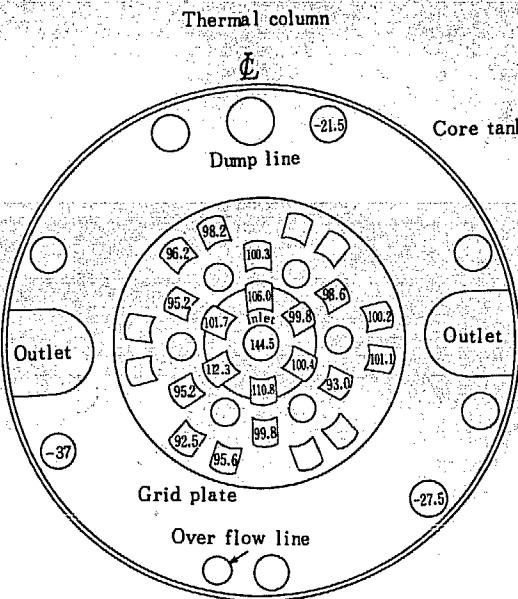


Fig. 77 (13)

Test No. 13
 Nozzle dia. 36 φ
 Dummy 18
 DP-1, 2, 3 operation

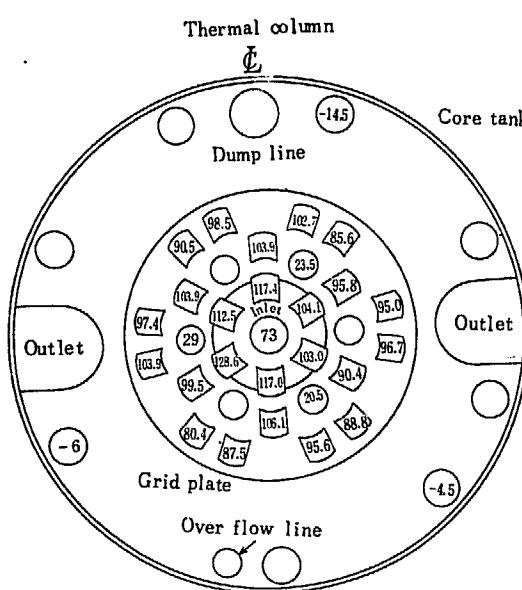


Fig. 77 (12)

Test No. 12
 Nozzle dia. 36 φ
 Dummy 24
 DP-2, 3 operation

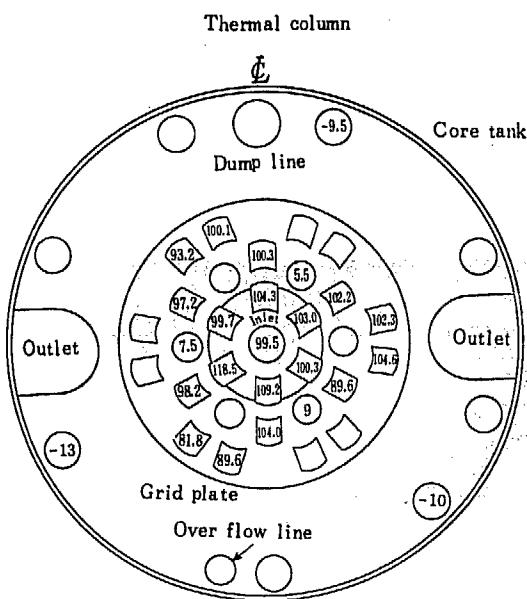


Fig. 77 (14)

Test No. 14
 Nozzle dia. 36 φ
 Dummy 18
 DP-1, 3 operation

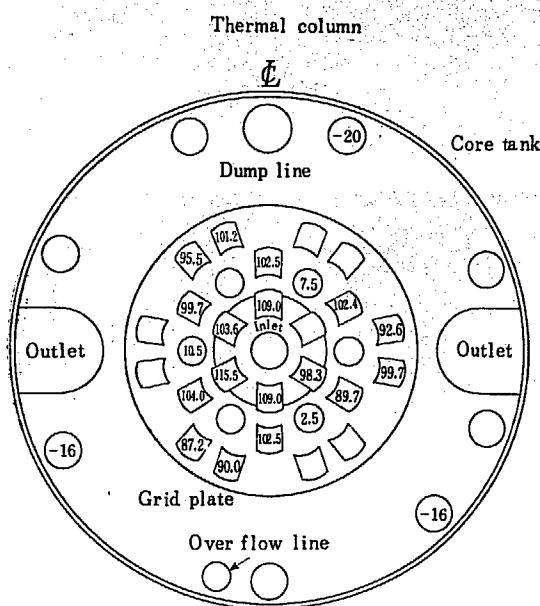


Fig. 77 (15)
Test No. 15
Nozzle dia. 36 ϕ
Dummy 18
DP-2, 3 operation

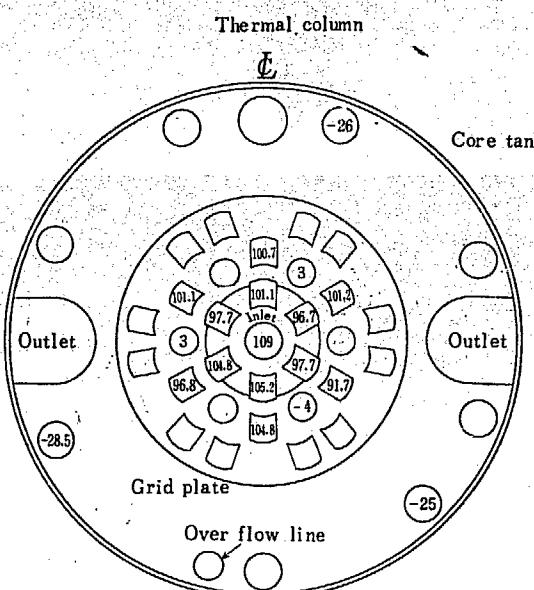


Fig. 77 (17)
Test No. 17
Nozzle dia. 36 ϕ
Dummy 12
DP-1, 3 operation

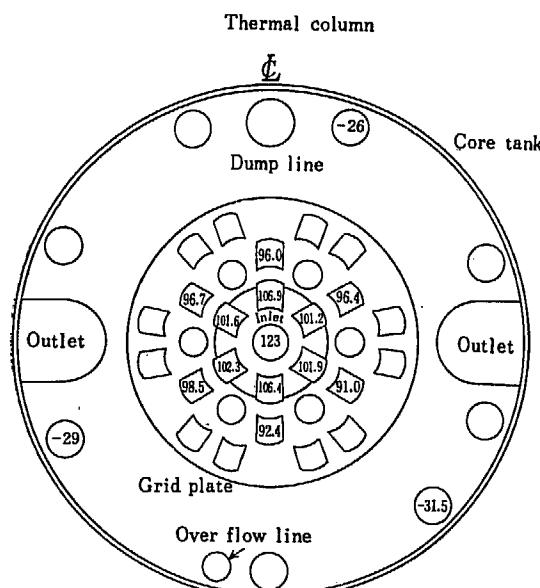


Fig. 77 (16)
Test No. 16
Nozzle dia. 36 ϕ
Dummy 12
DP-1, 2, 3 operation

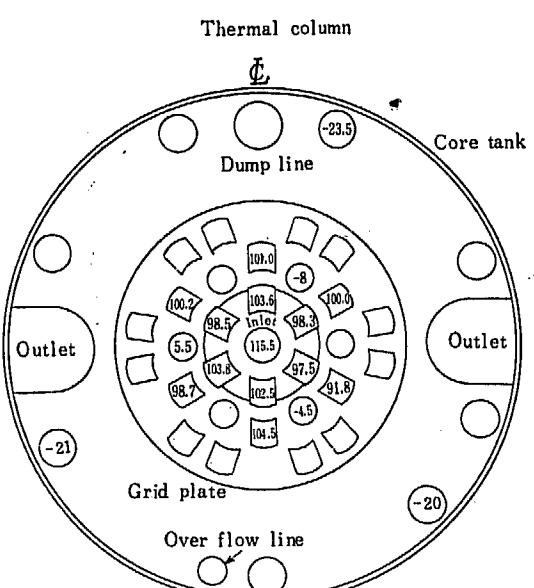
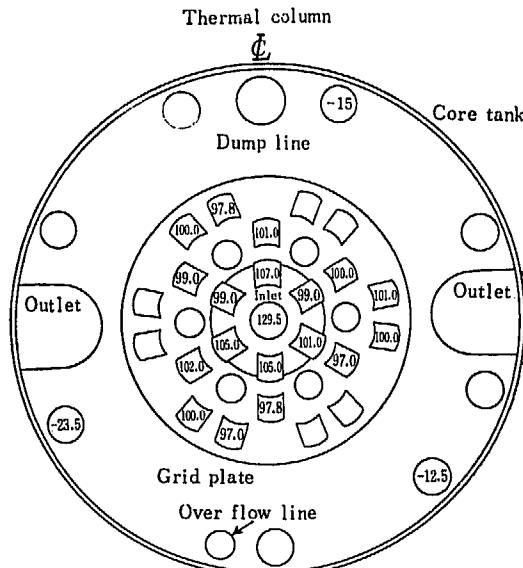
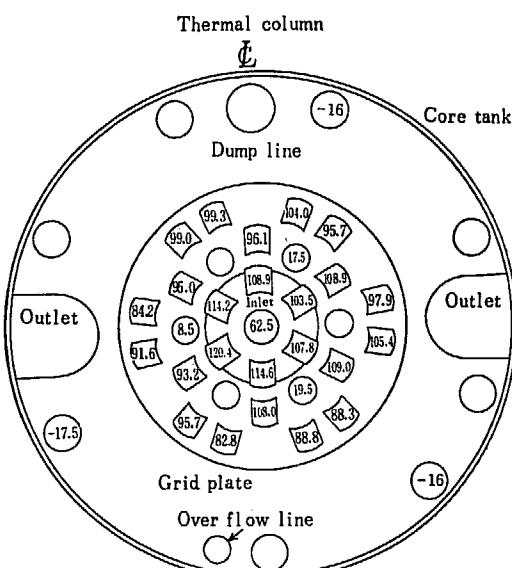
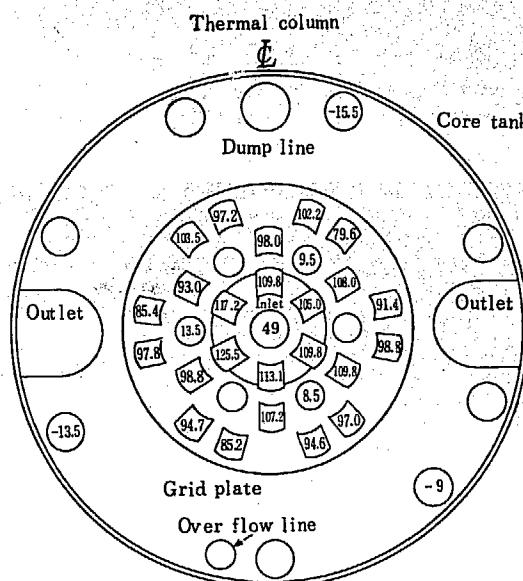
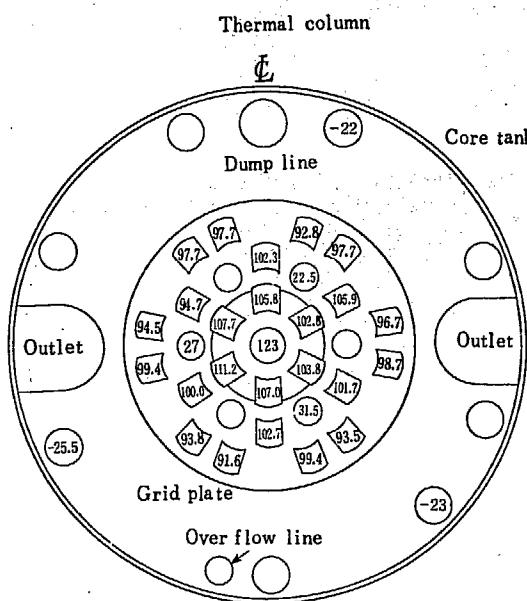


Fig. 77 (18)
Test No. 18
Nozzle dia. 36 ϕ
Dummy 12
DP-2, 3 operation



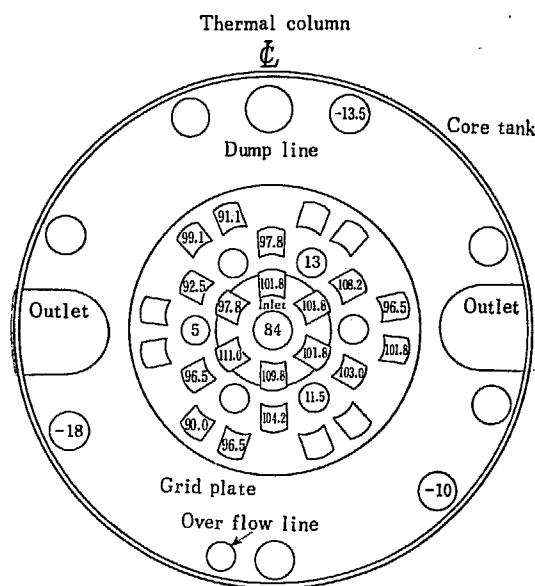


Fig. 77 (23)
 Test No. 23
 Nozzle dia. 33 φ
 Dummy 18
 DP-1, 3 operation

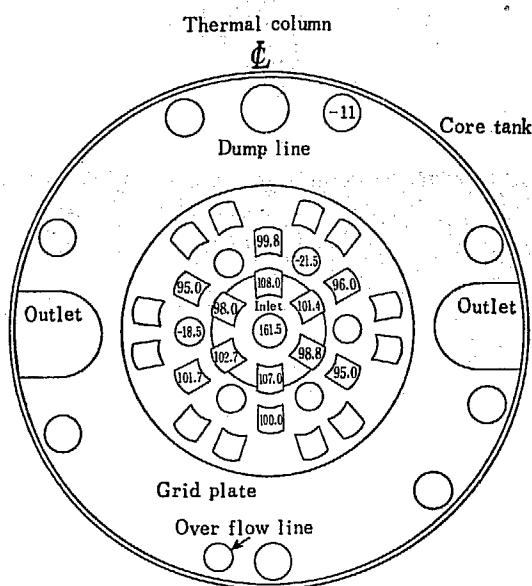


Fig. 77 (25)
Test No. 25
Nozzle dia. 33 φ
Dummy 12
DP-1, 2, 3 operation

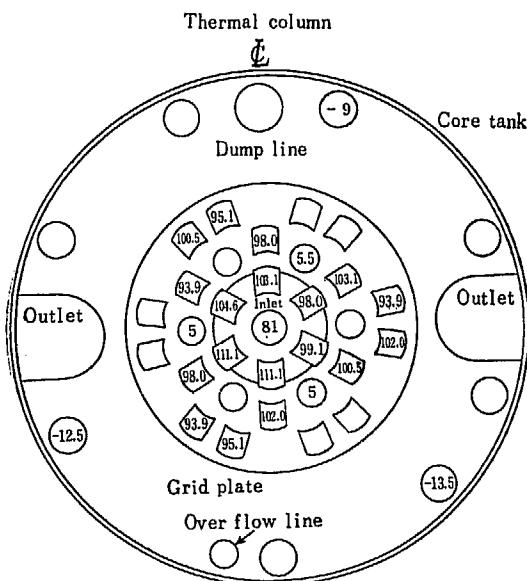


Fig. 77 (24)
Test No. 24
Nozzle dia. 33 φ
Dummy 18
DP-2, 3 operation

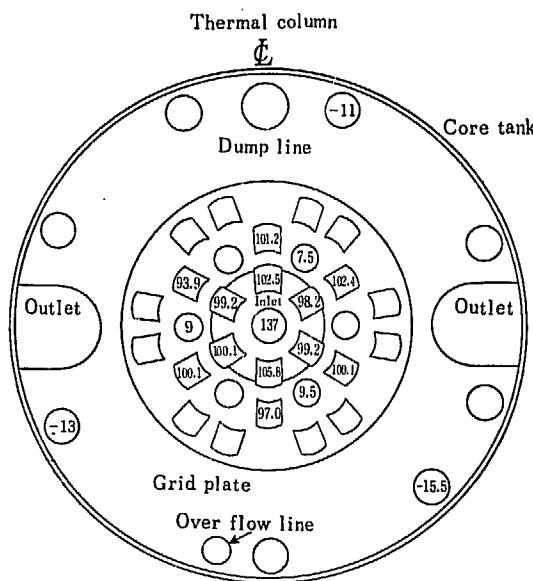


Fig. 77 (26)
 Test No. 26
 Nozzle dia. 33 φ
 Dummy 12
 P-1, 3 operation

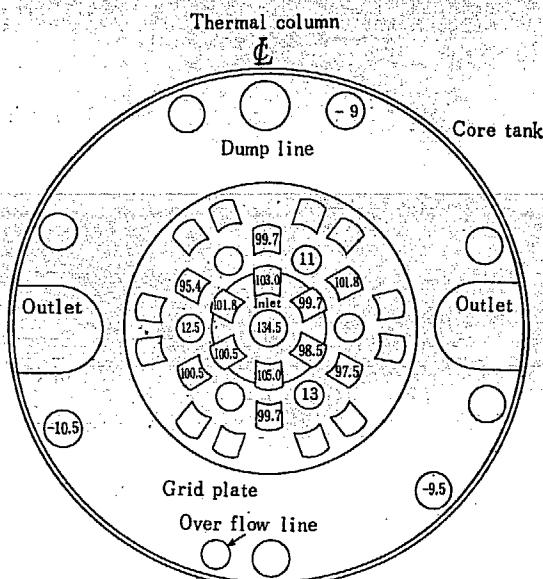


Fig. 77 (27)

Test No. 27

Nozzle dia. 33 φ
 Dummy 12
 DP-2, 3 operation

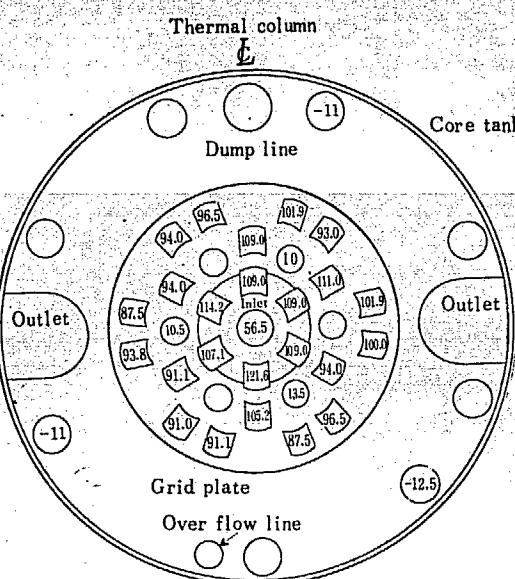


Fig. 77 (29)

Test No. 29

Nozzle dia. 30 φ
 Dummy 24
 DP-1, 3 operation

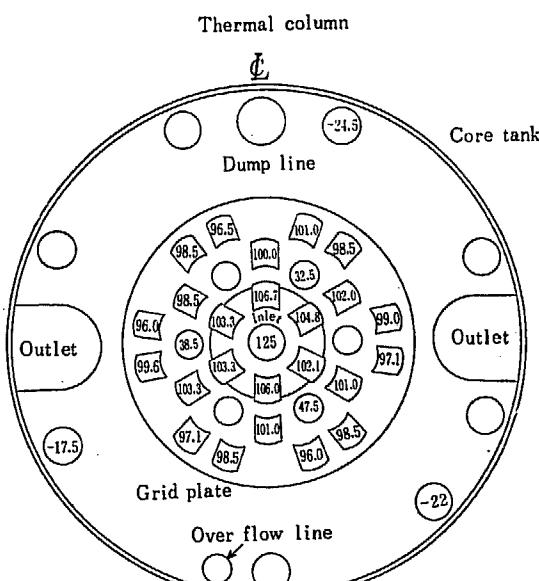


Fig. 77 (28)

Test No. 28

Nozzle dia. 30 φ
 Dummy 24
 DP-1, 2, 3 operation

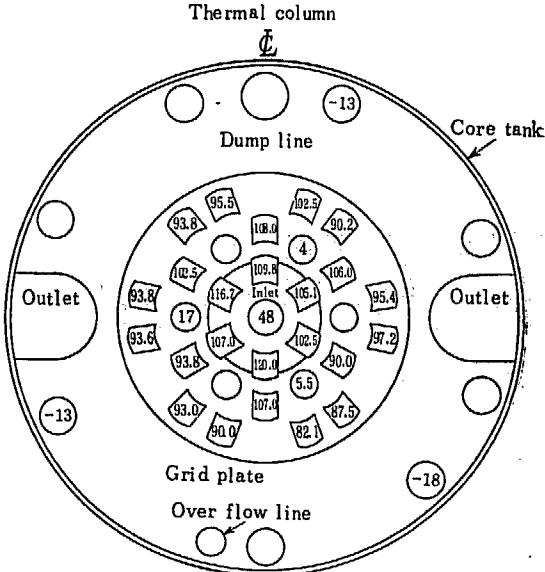


Fig. 77 (30)

Test No. 30

Nozzle dia. 30 φ
 Dummy 24
 DP-2, 3 operation

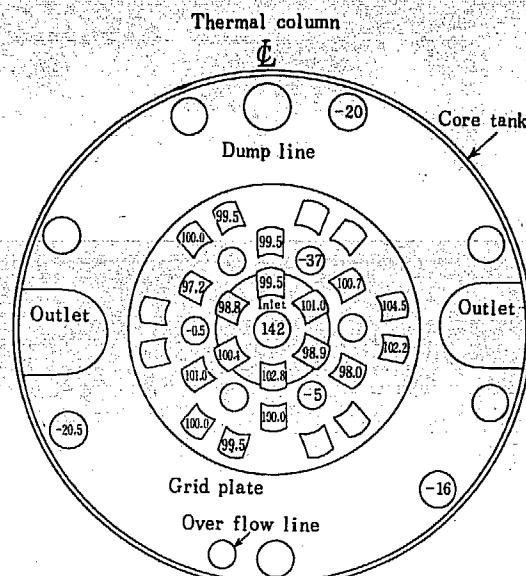


Fig. 77 (31)

Test No. 31

Nozzle dia. 30 φ

Dummy 1

DP-1, 2, 3 opération

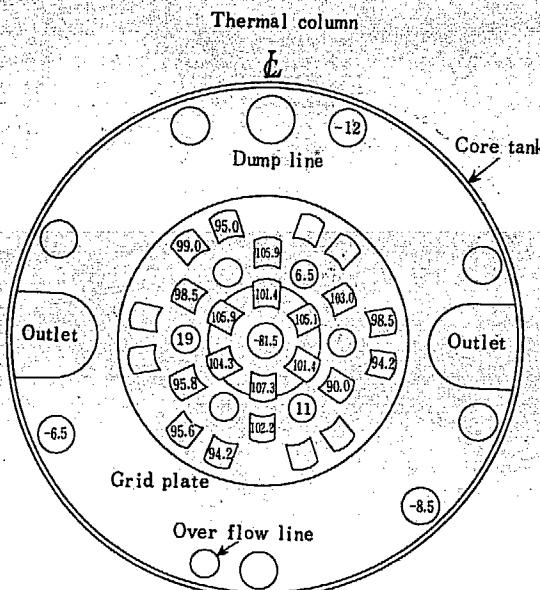


Fig. 77 (33)

Test No. 33

Test No. 35

Dummy 18

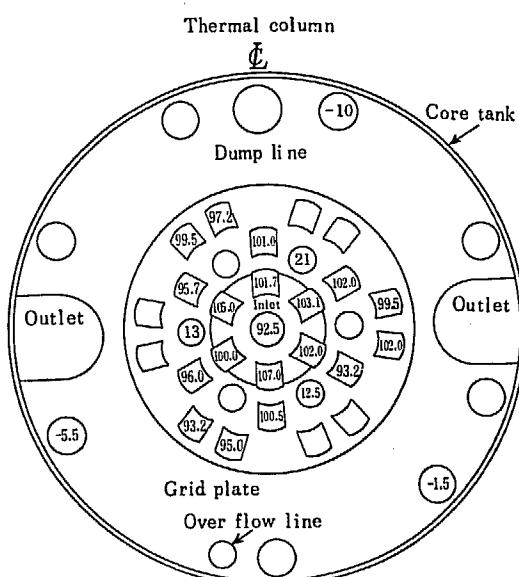


Fig. 77 (32)

Test No. 32

Nozzle dia. 30 φ

Dummy 1

DP-1, 3 operation

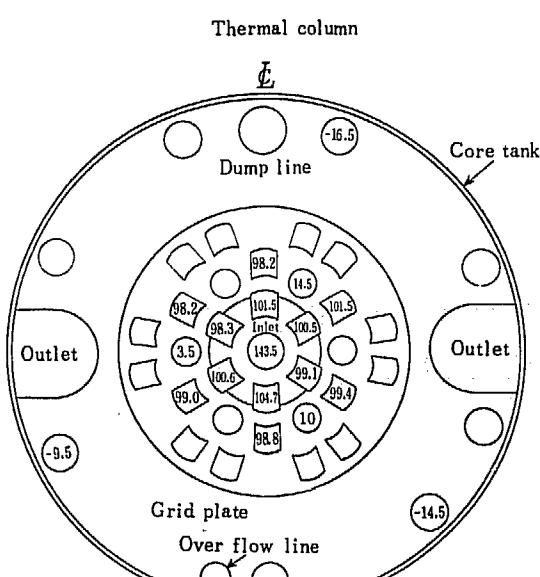


Fig. 77 (34)

Test No. 34

Nozzle dia. 30 φ

Dummy 12

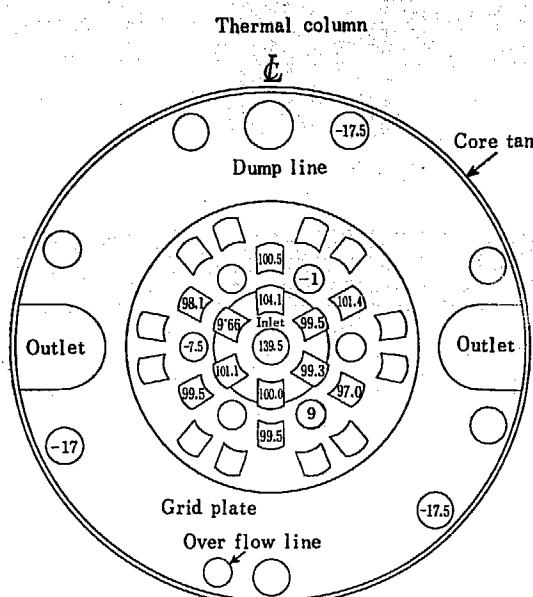


Fig. 77 (35)
Test No. 36
Nozzle dia. 30 ϕ
Dummy 12
DP-2, 3 operation

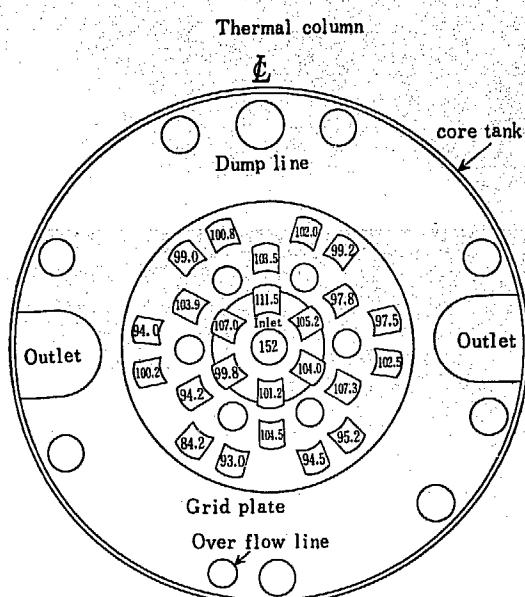


Fig. 77 (37)
Test No. 39
Nozzle dia. 38.1 ϕ
Dummy 24
DP-1, 2, 3 operation
Flow 5800 gpm

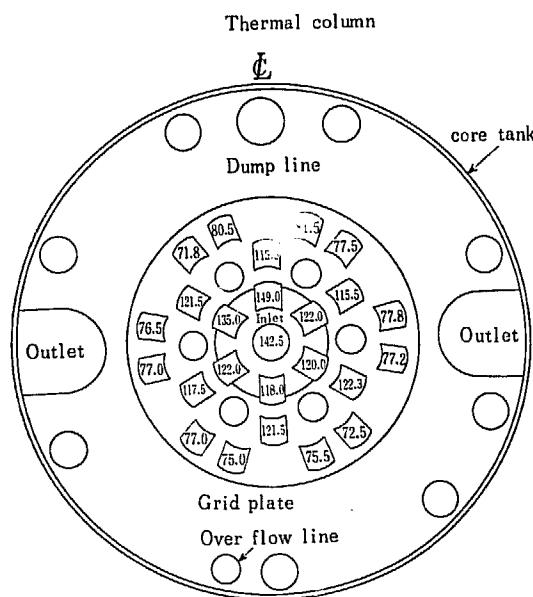


Fig. 77 (36)
Test No. 37
Nozzle dia. 38.1 ϕ -A. B circle
30 ϕ -C. D circle
Dummy 12+12
DP-1, 2, 3 operation

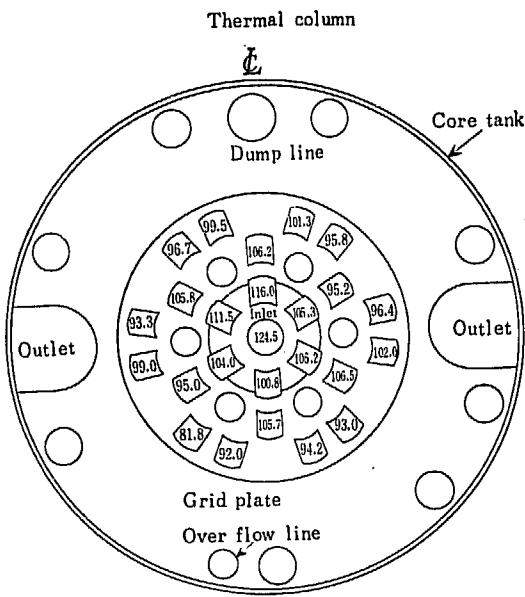


Fig. 77 (38)
Test No. 40
Nozzle dia. 38.1 ϕ
Dummy 24
DP-1, 2, 3 operation
Flow 5200 gpm

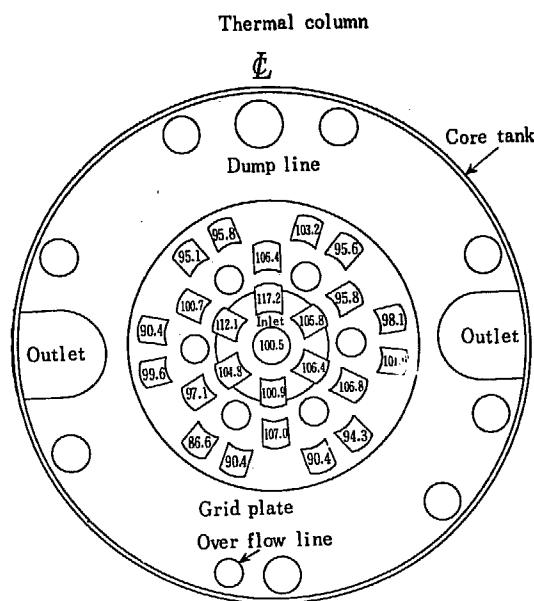


Fig. 77 (39)
Test No. 41
Nozzle dia. 38.1 ϕ
Dummy 24
DP-1, 2, 3 operation
Flow 4500 gpm

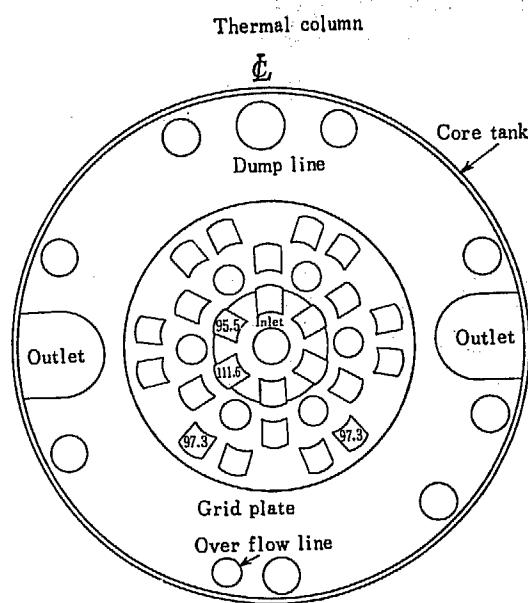
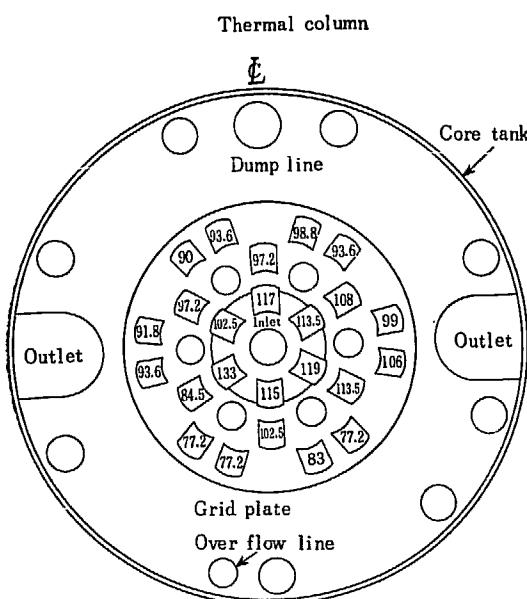


Fig. 77 (41)
Test No. 44
Nozzle dia. 38.1 ϕ
Dummy 24
DP-1, 3 operation



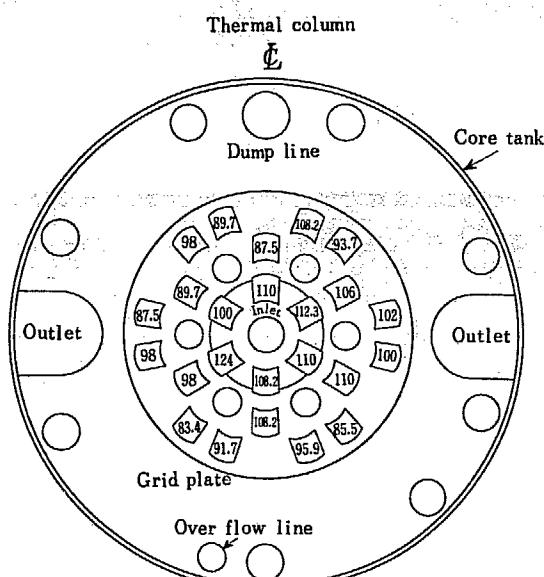


Fig. 77 (43)

Test No. 46

Nozzle dia. 38.1 ϕ

Dummy 24

DP-1, 3 op (DP-1 impeller dia.=13 $^{1/4}$)

Flow 2700 gpm

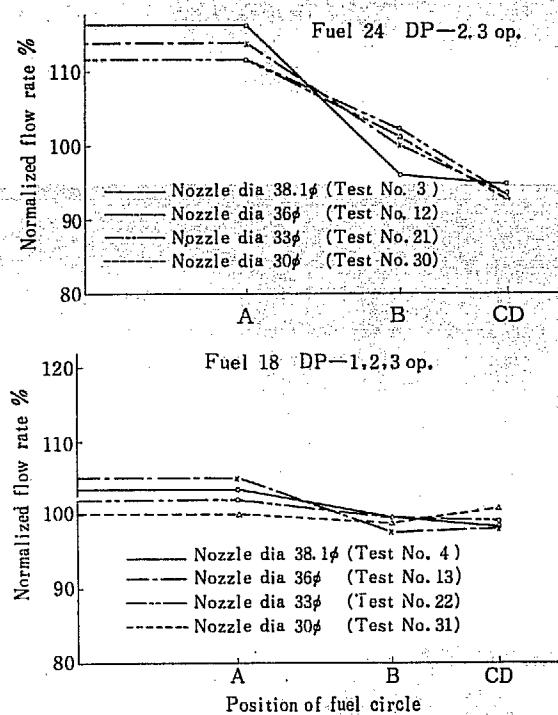


Fig. 78 (2) Flow distribution for each fuel circle

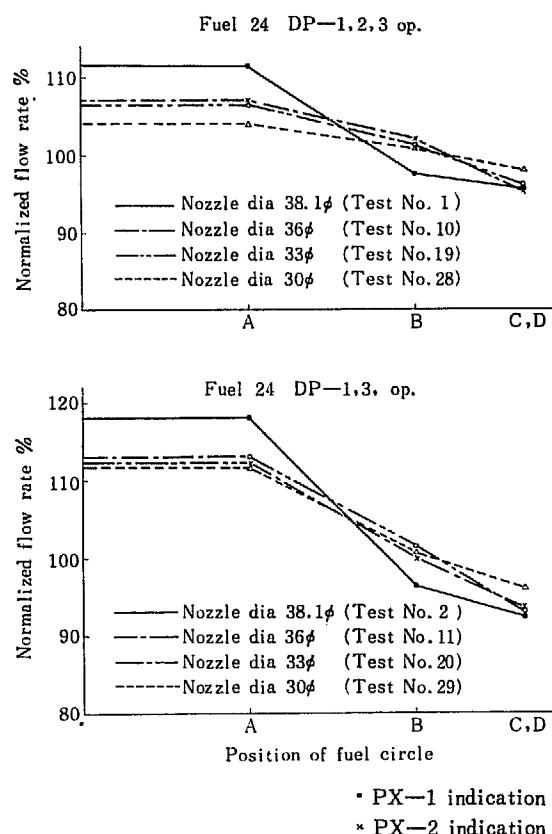


Fig. 78 (1) Flow distribution for each fuel circle

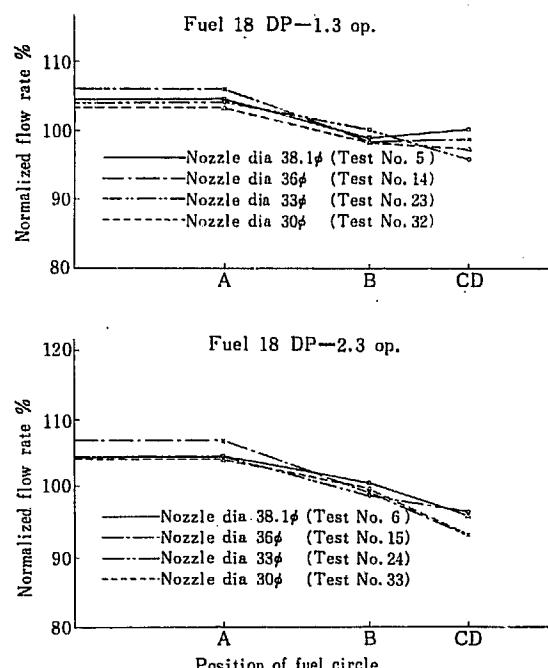


Fig. 78 (3) Flow rate for each fuel circle

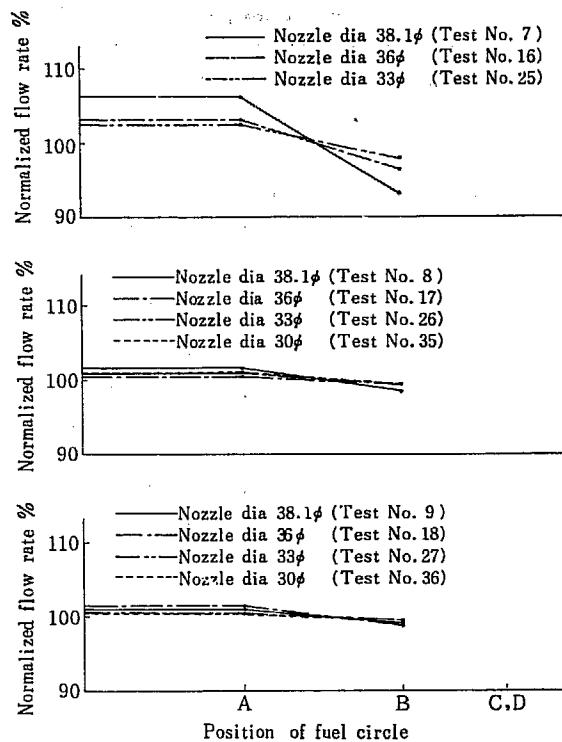


Fig. 78 (4) Flow distribution for each fuel circle

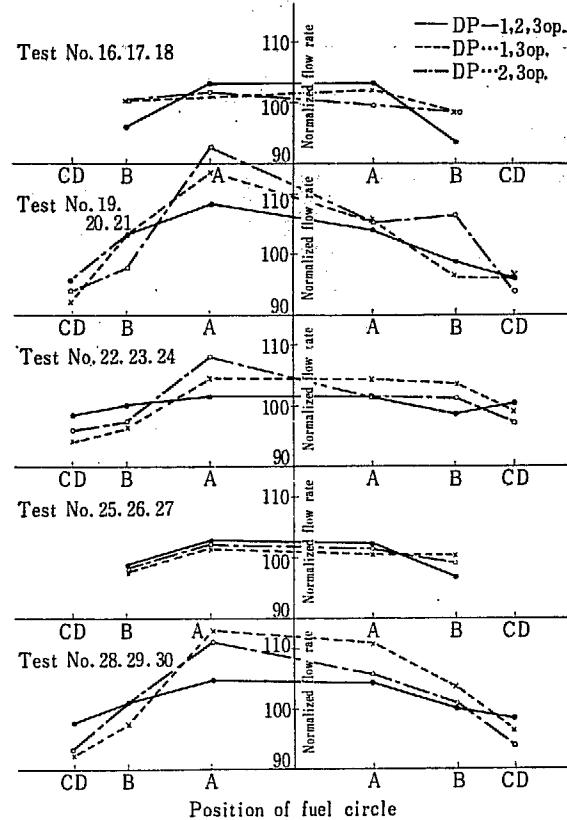


Fig. 79 (2) Flow distribution for both sides of thermal column

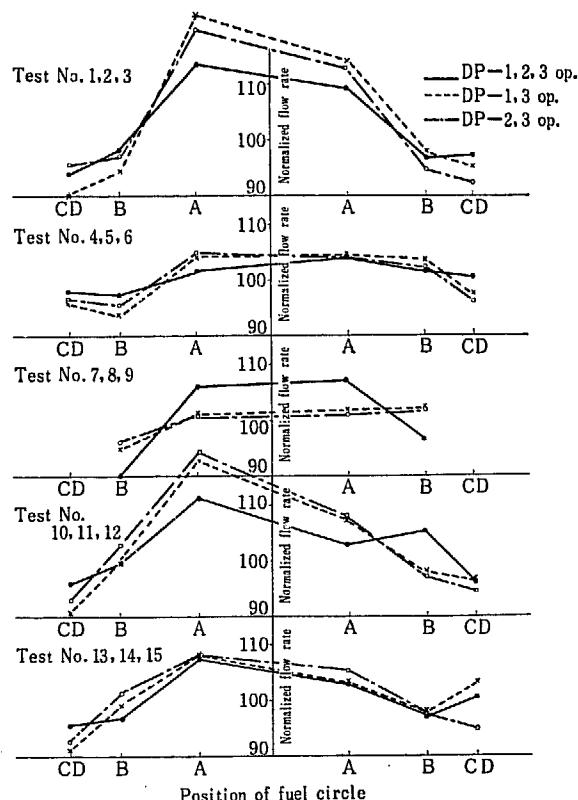


Fig. 79 (1) Flow distribution for both sides of thermal column

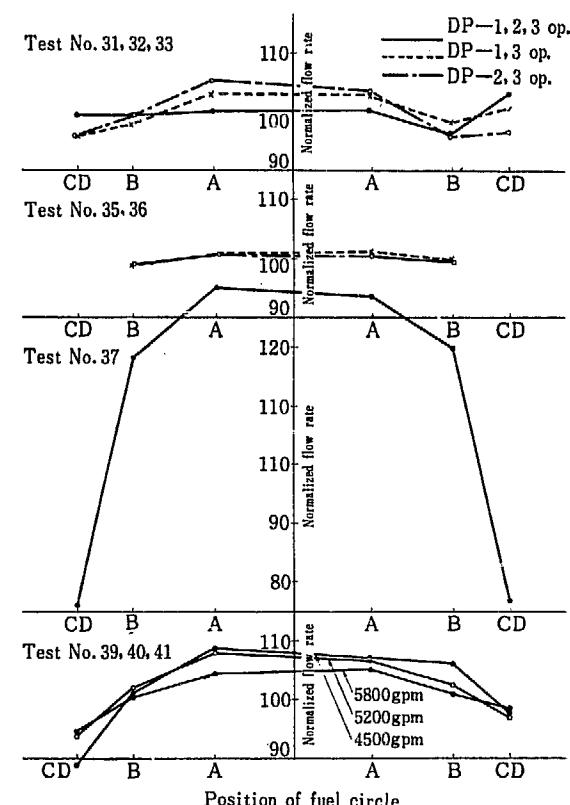


Fig. 79 (3) Flow distribution for both sides of thermal column

TABLE 6 Core flow distribution for

Test No. Fuel No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A-1	111.7	116.5	115.0	100.3	102.9	106.5	101.3	96.6	97.1	105.7	110.8	112.5	101.7	99.7	103.6	101.6	97.7	98.5	107.7	114.2
2	113.2	116.5	117.1	99.6	99.6	98.7	102.3	103.4	98.4	107.3	113.2	117.4	106.0	104.3	109.0	106.9	101.1	103.6	105.8	108.9
3	109.7	111.0	112.3	104.4	104.5	105.3	105.2	101.3	103.0	101.0	103.2	104.1	99.8	103.0	99.7	101.2	96.7	98.3	102.8	103.5
4	106.3	112.0	109.1	108.0	105.6	104.0	109.5	101.6	98.8	99.3	104.5	103.0	100.4	100.3	98.3	101.9	97.7	97.5	103.8	107.8
5	110.6	122.0	118.0	109.0	110.5	109.2	110.0	102.9	103.9	108.5	116.6	117.0	110.8	109.2	109.0	106.4	105.2	102.5	107.0	114.6
6	116.8	130.0	126.7	100.0	105.0	104.0	110.2	104.1	104.1	119.4	127.9	128.6	112.3	118.5	115.5	102.3	104.8	103.8	111.2	120.4
Mean value	111.5	118.0	116.3	103.5	104.5	104.6	106.4	101.6	101.0	107.0	112.2	113.7	105.3	106.1	108.0	103.3	100.5	100.6	106.4	113.0
B-1	91.4	93.2	88.5	106.3	106.7	104.0	100.5	104.6	106.8	111.1	90.7	90.4	93.0	89.6	89.7	91.0	91.7	91.8	101.7	109.0
2	105.0	102.5	102.7	98.7	102.9	100.5	93.2	100.7	100.0	102.6	104.5	106.1	99.8	104.0	102.5	92.4	104.8	104.5	102.7	108.0
3	94.5	84.9	88.6	97.2	90.9	95.5	87.7	92.2	95.0	95.7	94.8	99.5	95.2	98.2	104.0	98.5	96.8	98.7	100.0	93.2
4	96.7	97.8	100.3	96.8	90.9	93.1	89.2	93.7	95.0	99.7	101.8	103.9	95.2	97.2	99.7	96.7	101.1	100.2	94.7	95.0
5	101.5	99.4	101.8	97.7	95.9	95.5	93.2	95.6	97.0	103.0	100.7	103.9	100.3	100.3	102.5	96.0	100.7	101.0	102.3	96.1
6	95.9	100.1	93.5	100.3	105.7	105.2	96.2	104.1	101.3	101.7	100.6	95.8	98.6	102.2	102.4	96.4	101.2	100.0	105.9	108.9
Mean value	97.5	96.3	95.8	99.6	98.9	98.9	93.2	98.5	99.1	102.2	99.3	99.7	97.2	98.6	100.0	96.5	99.5	99.3	101.2	101.5
C-1	87.4	80.7	100.0	98.7	97.0	94.1					93.0	79.6	80.4	92.5	81.8	87.2			93.8	95.7
2	91.4	84.5	90.2								95.7	93.4	97.4						94.5	84.2
3	99.4	97.1	97.2	100.9	101.0	102.0					100.1	104.5	98.5	98.2	100.1	101.2			97.7	99.3
4	91.0	85.4	84.3								88.4	89.2	85.6						97.7	95.7
5	99.0	101.0	88.6	102.3	100.3	100.0					99.7	102.4	96.7	101.1	104.6	99.7			98.7	105.4
6	98.0	94.0	95.9								96.8	96.2	95.6						99.4	88.8
Mean value	94.4	89.9	92.6	100.0	99.5	98.7					94.2	93.7	92.5	97.4	95.5	95.9			96.8	91.6
D-1	96.4	93.2	94.0	97.2	93.4	96.8					95.2	79.6	90.5	96.2	93.2	95.5			97.7	99.0
2	98.6	101.7	101.8								99.4	98.2	102.7						92.8	104.0
3	97.8	93.2	90.2	98.7	94.7	92.1					99.4	99.4	95.0	100.2	102.3	92.6			96.7	97.9
4	98.5	97.8	92.2								93.7	93.4	88.8						93.5	88.3
5	92.8	90.8	94.3	95.0	92.3	93.5					92.3	86.2	87.5	95.6	89.6	90.0			91.6	82.8
6	95.9	93.7	98.4								98.7	102.4	103.0						99.4	91.6
Mean value	96.7	95.0	95.1	97.0	93.9	94.1					96.4	94.7	94.5	97.5	95.0	92.2			95.3	94.1

また、重水タンクの出口管が 2 管所についているので、thermal column と炉心中心をむすぶ方向を中心として左右の分布をしらべた結果は Fig. 79 (1)~79 (3) に示されている。これによれば、DP-1, 3 あるいは DP-2, 3 の片側運転の時に流れ分布が逆になってくるようなことはなく、また平坦化の程度も DP の運転状況によっては一定していない。Dummy fuel の本数、nozzle 直径および DP の運転状況を一定において DV-8 の調節で全流量を変えた結果は Fig. 80 のようになり、流量が多いほど平坦化の傾向が大きい。Dummy fuel 1 本 1 本の流量率については TABLE 6 に一括してまとめてあるが、dummy fuel の 12 本の時はかなりよく平坦化されて、DP-1, 2, 3 運転の時は ±10% DP-1 あるいは DP-2 だけの運転のときには ±5% であるが、18 本、24 本となるにつれて、この平坦化の程度は悪くなって ±20% に達するようになる。また、DP-1, 2, 3 の運転の時は比較

的流量分布の差が少ないが、DP の片側運転の時には並列運転ではそれほど流量のへらなかつた C-1, 2, 4, 5, 6, D-1, 4, 5, B-1 の流量がへっている。Nozzle の大きさによって平坦化の程度はたいして変わらないが、DP-1, 2, 3 の並列運転の時には dummy fuel の数に関せず、nozzle dia. を増すとわずかに流量差が増大する。DP の片側運転のときにはこのような傾向はあらわれない。だいたいの傾向として流量の少ない dummy は B-1, 3, 4, C-1, 2, 4, 5, 6, D-1, 4, 5 である。Dummy fuel の数と DP の運転条件べつに各 dummy fuel の流量を平均した値は TABLE 7 のようになり、このうち thermal column に面して右側と左側を平均したものが Fig. 81 に示されている。これによれば、nozzle dia. に関せず全部平均した場合には DP-1, 2, 3 運転の時の方が dummy fuel 24 本、18 本ともによく平坦化されるが、dummy fuel 12 本の場合には逆の傾向となり、DP-1 あ

each fuel and test number (%)

21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
117.2	99.0	97.8	104.6	98.0	99.2	101.8	103.3	114.2	116.7	98.8	105.0	105.9	98.3	99.6	135.0		107.0	111.5	112.1	
109.8	107.0	101.8	103.1	108.0	102.5	103.0	106.7	109.0	109.8	99.5	101.7	101.4	101.5	104.1	149.0		111.5	116.0	117.2	
105.0	99.0	101.8	98.0	101.4	98.2	99.7	104.8	109.0	105.1	101.0	103.1	105.1	100.5	99.5	122.5		105.2	105.3	105.8	
109.8	101.0	101.8	99.1	98.8	99.2	98.5	112.1	109.0	102.5	98.9	102.0	101.4	99.1	99.3	120.0		104.0	106.2	106.4	
113.1	105.0	109.8	111.1	107.0	105.8	105.0	106.0	121.6	120.0	102.8	107.0	107.3	104.7	100.0	118.0		101.2	100.8	100.9	
122.5	100.0	111.0	111.1	102.7	100.1	100.5	103.3	107.1	107.0	100.4	100.0	104.3	100.6	101.1	122.0		99.8	104.0	104.8	
111.5	102.0	104.0	104.5	102.7	101.0	101.2	104.0	111.7	111.5	100.2	103.1	104.4	101.0	100.7	122.5		104.8	107.3	108.0	
109.8	97.0	103.0	100.5	95.0	100.1	97.5	101.0	94.0	90.0	98.0	93.2	90.0	99.4	97.0	122.3		107.3	106.5	106.8	
107.2	77.8	104.2	102.0	100.0	97.0	99.7	101.0	105.2	107.0	100.0	100.5	102.2	98.8	99.5	121.5		104.5	105.7	107.0	
98.8	102.0	96.5	98.0	101.7	100.1	100.5	103.3	91.1	93.8	101.0	96.0	95.8	99.0	99.5	115.0		94.2	95.0	97.1	
93.0	99.0	92.5	93.9	95.0	93.9	95.4	98.5	94.0	102.5	97.2	95.7	98.5	98.2	98.1	117.5		103.9	105.8	100.7	
98.0	101.0	97.8	98.0	99.8	101.2	99.7	100.0	109.0	108.0	99.5	101.0	105.9	98.2	100.5	121.5		103.5	106.2	106.4	
108.0	100.0	108.2	103.1	96.0	102.4	101.8	102.0	111.0	106.0	100.7	102.0	103.0	101.5	101.4	115.5		97.8	95.2	95.8	
102.2	99.6	100.3	99.1	98.0	99.4	98.8	101.0	100.8	101.3	99.5	98.2	99.4	99.2	99.3	119.0		101.8	102.2	102.2	
94.7	100.0	90.0	93.9				97.1	91.0	9.30	100.0	93.2	95.6			77.0		84.2	81.8	86.6	
85.4							96.0	87.5	93.8						76.5		94.0	93.3	90.4	
97.2	97.8	91.1	95.1				96.5	96.5	95.5	99.5	97.2	95.0			80.5		100.8	99.5	95.8	
79.6							98.5	93.0	90.2						77.5		99.2	95.8	95.6	
98.8	100.0	101.8	102.0				97.1	100.0	97.2	102.2	102.0	94.2			77.2		102.5	102.0	101.0	
94.6							96.0	87.5	82.1						75.5		94.5	94.2	90.4	
92.0	99.2	94.2	96.7				97.0	92.6	92.0	101.0	97.6	95.3			77.5		95.7	94.5	93.4	
103.5	100.0	99.1	100.5				98.5	94.0	93.8	100.0	99.5	99.0			71.8		99.0	96.7	95.1	
102.2							101.0	101.9	102.5						81.5		102.0	101.3	103.2	
91.4	101.0	96.5	93.9				99.0	101.9	95.4	104.5	99.5	98.5			77.8		97.5	96.4	98.1	
97.0							98.5	96.5	87.5						72.5		95.2	93.0	94.3	
85.2	97.0	96.5	95.1				98.5	91.1	90.0	99.5	95.0	94.2			75.0		93.0	92.0	90.4	
97.8							99.6	93.8	93.6						77.0		100.2	99.0	99.6	
94.4	99.2	97.3	96.3				99.2	96.5	94.0	101.2	97.8	97.4			76.0		97.8	96.4	96.8	

るいは DP-2 の片側運転の場合には流量分布の差はほとんどないことがわかる。

実際の燃料要素は dummy fuel の nozzle dia. では Fig. 72 のような等価直径になるので、燃料要素を炉心に挿入した場合の流量を実測から推定したものが Fig. 82 である。nozzle dia. が大きくなると流量は増大するが、36 mm ϕ 以上では DP の大流量、低圧力比の限界点でおさえられて全流量は飽和している。この場合の全流量は、各 dummy fuel の流量を加えたものであるが、主流量計 FX-1 の指示値と DP-1, 2 の併列運転の特性から出した流量比較を TABLE 8 に示す。また、FX-1 の計測値のないものは DP-1, 2 の運転特性曲線 Fig. 83 からとったものである。

(3) 検討

本測定結果から見ると、流量分布は中心部の dummy fuel でだいたい 5~15% 平均値より多く、外側の dummy fuel で 5~10% 平均値より少なく、これ

は炉心半径方向の熱中性子束分布によく適合し、平均値を考えれば各燃料要素をとおる流量も適量であることがわかる。

しかし個々の dummy fuel を見ると、平均流量に対して約 -20% というものも出ている。各 dummy fuel の流れ分布のはらつきは、冷却材が dummy fuel を出たのち重水タンクの出口管に至る間の流動抵抗に起因すると思われる。実際に炉心内の流れを見ると dummy fuel の上部出口孔から出た流れがあるものは重水タンクの壁や制御棒に衝突し、またあるものは流れが互に衝突して重水タンクの出口管にいたる間の流れははげしく乱されている。また、guide tube array の中に観察すると水位がほとんど動かないでよどんでいるもの、下からはげしく吹き上げてくるもの、下に吸込まれているもの、あるいは渦流の非常にはげしいものなど各 guide tube array ごとにさまざまの状態を呈している。したがって、運転条件によって個々の

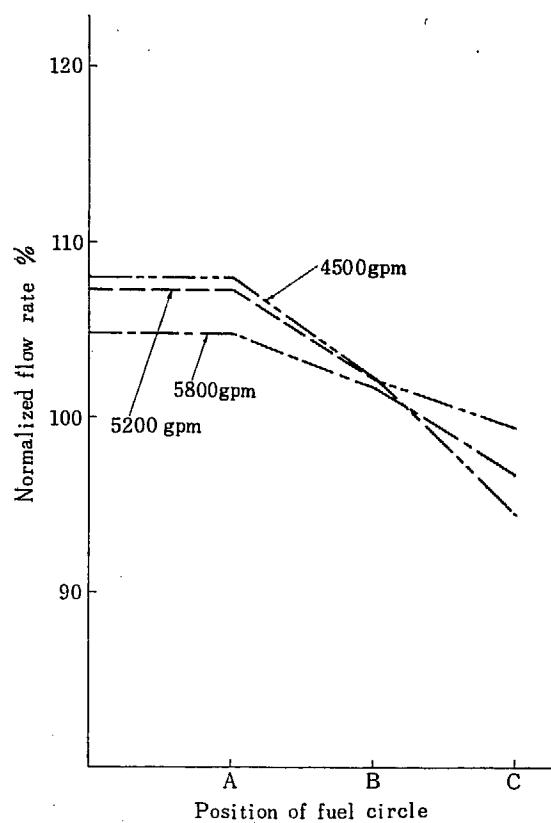


Fig. 80 Flow distribution for various flow rate

Fuel 24
Noyyle dia 38.1 φ
DP-1, 2, 3 operation
Flow rate was adjusted by DV-8

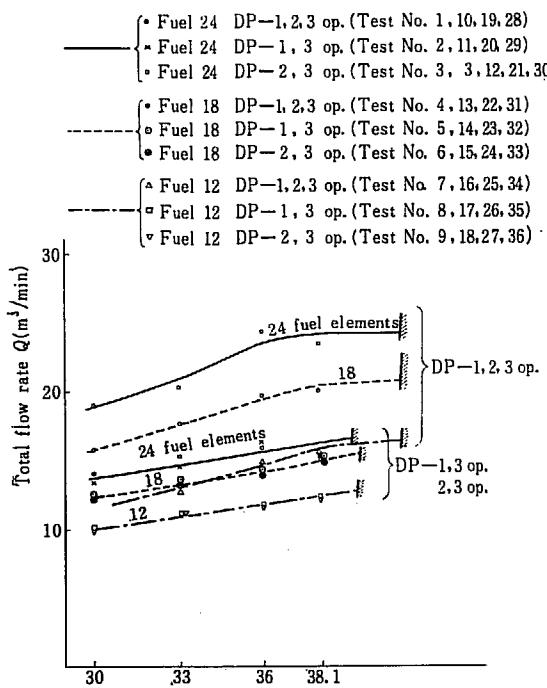


Fig. 82 Total core flow rate and nozzle dia. of dummy fuel elements

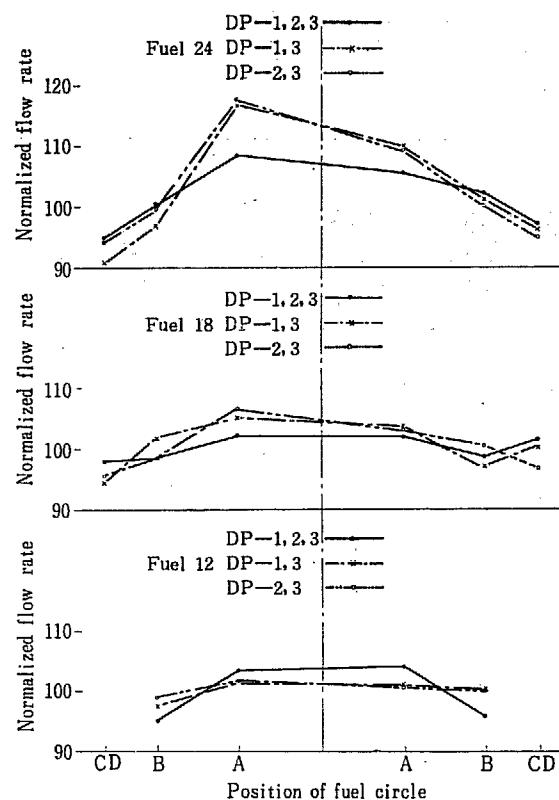


Fig. 81 Flow distribution for both sides of thermal column

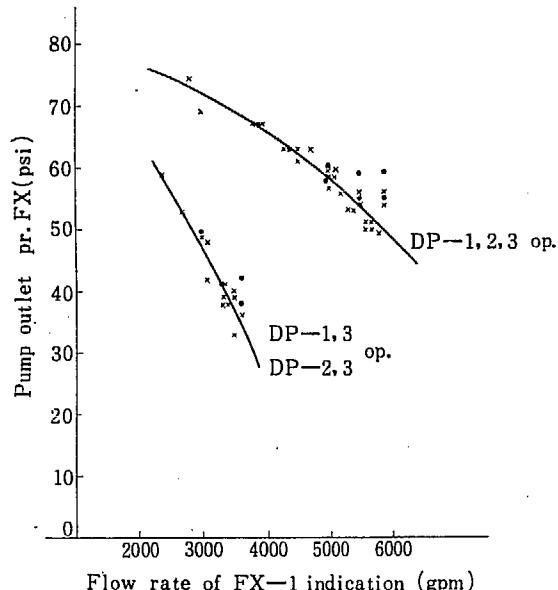


Fig. 83 Pump characteristic of DP-1, 2, 3

燃料要素からでたとの流動抵抗が変るわけで、これが複雑な炉心内の流れ分布のばらつきを形成しているようである。また、JRR-2 の構造上 guide tube の上部は緊急冷却水のための集合箱があり (Fig. 67 参照)。この中まで guide tube array 中の水位が上昇してしまうと水位が共通となり、したがって、この水位

TABLE 7 Core flow distribution for each fuel and test conditions of fuel numbers and pump operation

Fuel No.	24 fuels DP-1, 2, 3	24 fuels DP-1, 3	24 fuels DP-2, 3	18 fuels DP-1, 2, 3	18 fuels DP-1, 3	18 fuels DP-2, 3	12 fuels DP-1, 2, 3	12 fuels DP-1, 3	12 fuels DP-2, 3
A-1	108.7	113.9	115.4	100.0	101.4	105.2	100.3	98.0	99.3
2	111.1	112.1	113.5	103.0	101.9	103.1	103.9	102.1	102.3
3	105.0	106.7	106.6	101.1	103.4	102.1	102.6	100.3	100.1
4	104.0	108.3	106.1	100.8	102.4	100.8	103.4	99.4	98.5
5	105.0	118.2	117.0	106.1	109.1	109.2	107.8	104.7	102.9
6	108.5	121.4	122.0	103.2	108.6	108.7	104.2	102.4	102.4
Mean value	107.0	113.7	113.3	103.0	104.9	105.4	103.6	101.0	100.9
B-1	103.7	96.2	94.7	96.6	98.1	96.1	95.5	99.2	98.3
2	104.7	105.1	105.8	99.3	102.9	101.8	95.2	100.3	100.9
3	97.1	91.0	95.2	98.9	96.2	98.1	96.0	97.0	98.4
4	100.0	96.7	99.9	97.1	94.1	96.3	93.6	96.7	97.2
5	103.3	101.4	102.9	99.6	98.4	100.5	96.3	98.9	99.6
6	99.2	105.2	100.8	99.9	104.5	103.4	96.2	102.3	101.1
Mean value	101.2	99.4	99.8	99.0	99.0	99.5	95.9	99.2	99.1
C-1	89.1	86.8	92.0	97.8	90.5	92.7			
2	93.6	85.4	91.7						
3	98.5	99.4	97.1	99.6	97.4	98.3			
4	95.2	90.8	84.9						
5	100.0	102.2	95.3	101.4	102.2	99.0			
6	95.5	91.6	92.1						
Mean value	95.1	92.0	92.3	99.4	96.7	96.7			
D-1	96.9	91.5	95.5	98.4	96.3	98.0			
2	99.8	101.5	102.8						
3	97.7	98.1	93.0	101.1	98.3	94.3			
4	95.2	94.0	91.4						
5	92.9	87.7	89.3	96.4	93.4	93.2			
6	98.9	95.4	98.2						
Mean value	96.9	95.1	94.5	98.7	94.9	95.5			

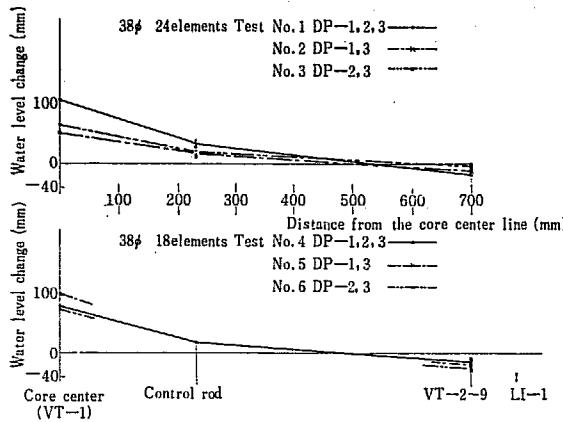
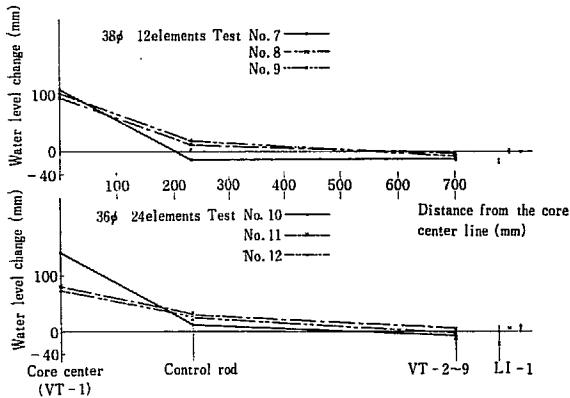
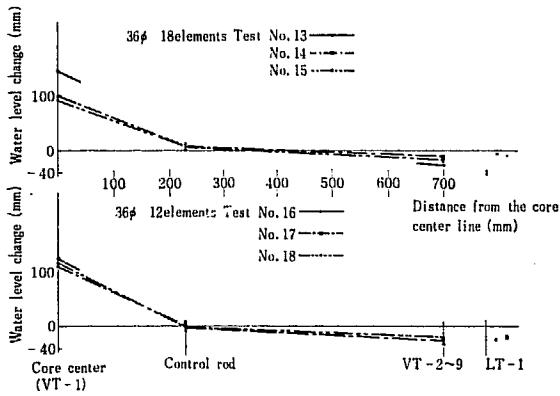
TABLE 8 Comparison of water flow rate measured by FX-1, core flow distribution test and pump performance curve

Test No.	by FX-1 (m³/min)	by core flow distri. test (m³/min)	by pump performance curve (m³/min)	(gpm)	Test No.	by FX-1 (m³/min)	by core flow distri. test (m³/min)	by pump performance curve (m³/min)	(gpm)
1	21.65	23.516	19.62		21	12.94	15.347	13.5	(3550)
2	13.70	15.325	12.40		22	16.33	17.68	16.25	(4275)
3	13.70	15.059	13.72	(3610)	23	12.15	13.45		
4	19.20	20.056	18.32	(4820)	24	11.8	13.27	12.98	(3410)
5	13.3	14.165			25	11.4	12.675	11.2	(2950)
6	13.3	13.767	13.30	(3500)	26	10.64	11.13		
7	14.8	15.576			27	10.27	11.11	9.52	(2500)
8	10.27	12.370			28	17.10	20.625	16.25	(4275)
9		12.208	12.4	(3260)	29	12.55	13.48		
10	21.45	24.303	21.2	(5575)	30	12.55	14.155		
11	13.7	15.374			31	14.45	15.872	13.30	(3500)
12	13.3	15.796	13.7	(3600)	32	11.79	12.538		
13	19.0	19.010	18.63	(4900)	33	11.79	12.227	10.76	(2830)
14	12.55	14.269	12.2	(3210)	34				
15	12.73	14.153	12.6	(3315)	35	9.13	10.084		
16	14.8	14.872	13.3	(3500)	36	9.13	9.879	9.67	(2550)
17	11.4	11.792	10.3	(2715)	37	20.35	22.316	20.23	(5325)
18	11.4	11.758	11.86	(3120)	38				
19	19.0	20.268	19.18	(5050)	39	22.05	24.902	21.48	(5650)
20	12.94	14.555			40	19.77	21.747	19.35	(5100)
					41	17.10	18.85	17.3	(4550)
					42				

TABLE 9 Water level change from the normal level at the vertical beam tubes and control rods in the heavy water tank

Test No.	1 max. min. mean	2	3	4	5
VT-1	135/ 80/107.5	54	66/ 62/64	88/ 73/80.5	133/ 70/101.5
2	-20/ -5/-12.5		3/ -3/0	-15/-13/-14	-20
3	-23/ -7/-15	-13	3/ -3/0		
4	-27/-12/-18.5	-13	0/ -5/-2.5	-17/-15/-16	
5	-30/-17/-23.5		3/ -9/-6		
6	-25/-10/-17.5	-8	-6/-10/-8		-27/-10/-18.5
7	-30/-25/-27.5	-15	-5		
8	-21/-15/-18		3/ -8/-6	-20/-18/-19	-27/-15/-21
9	-19/ -6/-12.5	-13	0/ -8/-4		
CR-1	44/ 6/25	25/ 15/20	16/ 12/14		
2	36/ 20/28	14/	18/ 13/15.5	30/ 12/21	
3	39/ 15/27	25/ 15/20	21/ 13/17		
4	47/ 23/35	19/ 12/15.5	27/ 19/23	22/ 15/18.5	
5	62/ 23/42.5	20/ 10/15	29/ 18/23.5		
6	50/ 29/39.3	13	22/ 14/18	22/ 15/18.5	
LI-1				-35/-45/-40	
Test No.	6	7	8	9	10
VT-1	80/ 70/75	154/ 68/111 -21/-12/-16.5	118/ 78/95.5 -8/ 0/-4	116/ 93/104.5 -11/ -5/-8	157/ 125/141 +4/ -7/-1.5
2					
3					
4	-25				
5		-22/ -8/-15	-5/ -1/-3	-13/-10/-11.5	-5/-12/-8.5
6					
7	-18/-15/-16.5	-18/ -2/-10	-14/ -3/-7.5	-8/ -4/-6	-12/-17/-14.5
8					
9	-20/-15/-17.5	-17/-12/-14.5	15/ 13/14	20/ 12/16	
CR-1					
2					
3					
4					
5					
6					
LI-1		-20~-50	0~+1	0~+1	-20~-24
Test No.	11	12	13	14	15
VT-1	88/ 73/80.5	78/ 68/43	159/ 136/144.5	115/ 84/99.5	97/ 87/92
2	-5/ -2/-35	-19/-10/-14.5	-18/-15/-21.5	-12/ -7/-9.5	-22/-18/-20
5	-10/ -2/-6	-7/ -2/-4.5	-25/-20/-27.5	-12/ -8/-10	-25/ -7/-16
7	-11/ -2/-7	-8/ -4/-6	-40/-34/-37	-16/-10/-13	-18/-14/-16
CR-1	29/ 23/26	26/ 21/23.5		11/ 0/5.5	10/ 5/7.5
3	36/ 27/31.5	26/ 15/20.5		13/ 5/9	5/ 0/2.5
5	36/ 24/30	33/ 25/29		10/ 3/7.5	15/ 6/16.5
LI-1	+5	+2~+10	-40~-42	-2~-7	-10
Test No.	16	17	18	19	20
VT-1	158/ 89/123	114/ 104/109	123/ 108/115.5	130/ 116/123	67/ 58/625
2	-29/-23/-26	-30/-22/-26	-27/-20/-23.5	-19/-25/-22	-17/-15/-16
5	-35/-28/-31.5	-30/-20/-25	-24/-16/-20	-20/-26/-23	-17/-15/-16
7	-35/-23/-29	-31/-26/-28.5	-23/-19/-21	-23/-28/-25.5	-20/-15/-17.5

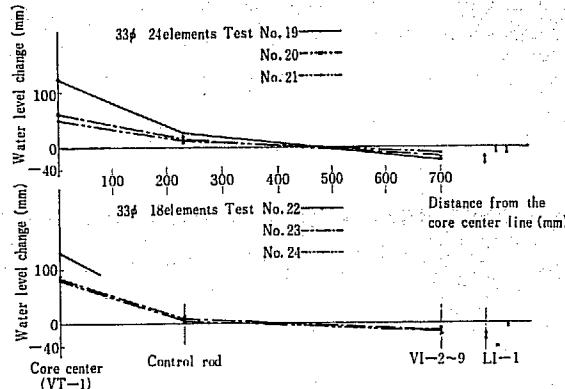
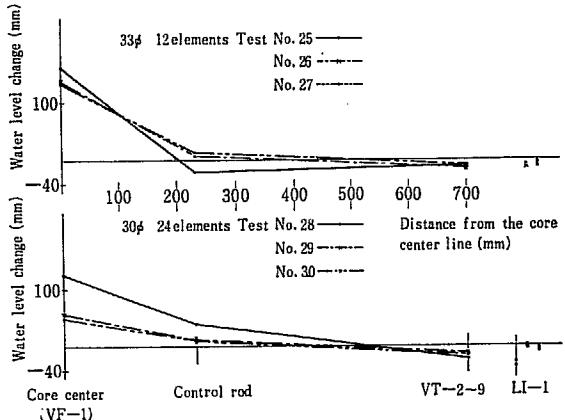
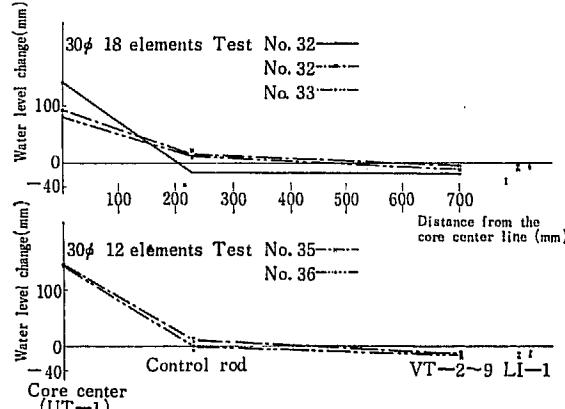
Test No.	16	17	18	19	20
CR-1		+1/-7/-3	-12/-4/-8	20/ 25/22.5	20/ 15/17.5
3		-10/2/-4	-7/-2/-4.5	40/ 23/31.5	24/ 15/19.5
5		+6/ 0/+3	+10/ +1/+5.5	31/ 23/27	10/ 7/8.5
LI-1	-20~-25	-25	-20~-21	-18~-30	-5~-7
Test No.	21	22	23	24	25
VT-1	50/ 48/49	138/ 121/129.5	88/ 80/84	88/ 74/81	182/ 141/161.5
2	-16/-15/-15.5	-26/-4/-15	-18/-9/-18.5	-8/-10/-8	-15/-7/-11
5	-12/-6/-9	-10/-15/-12.5	-13/-7/-10	-15/-12/-13.5	
7	-15/-12/-13.5	-10/-27/-23.5	-20/-16/-18	-13/-12/-12.5	
CR-1	13/ 6/9.5		16/ 10/13	7/ 4/5.5	-24/-19/-21.5
3	12/ 6/8.5		14/ 9/11.5	6/ 4/5	
5	15/ 5/13.5		7/ 3/5	7/ 3/5	-20/-17/-18.5
LI-1	-4~-11	-20/-30/-25	-42	-5/-7/-6	-18
Test No.	26	27	28	29	30
VT-1	151/ 123/137	138/ 121/134.5	132/ 118/125	60/ 53/56.5	51/ 45/48
2	-12/-10/-11	-12/-6/-9	-27/-22/-24.5	-12/-10/-11	-19/-7/-13
⑥	-18/-13/-15.5	⑥ -13/-6/-9.5	⑥ -25/-19/-22	⑥ -15/-10/-12.5	⑥ -20/-16/-18
7	-16/-10/-13	-15/-6/-10.5	-21/-14/-17.5	-13/-9/-11	-18/-8/-13
CR-1	3/ 12/7.5	15/ 7/11	41/ 24/32.5	11/ 9/10	6/ 2/4
3	7/ 12/9.5	20/ 6/13	49/ 46/47.5	15/ 12/13.5	8/ 3/5.5
5	5/ 13/9	14/ 11/12.5	48/ 29/38.5	15/ 6/10.5	18/ 16/17
LI-1	-9/-12/-10.5	-5/-10/-7.5	-28/-31/-29.5	+1/-4/-2.5	-5/-8/-6.5
Test No.	31	32	33	34	35
VT-1	152/ 132/142	100/ 85/92.5	87/ 76/81.5		163/ 124/143.5
2	-15/-25/-20	-15/-5/-10	-11/-13/-12		-18/-15/-16.5
5	-10/-22/-16	+5/-2/-1.5	-6/-11/-8.5		-16/-13/-14.5
7	-16/-25/-20.5	-13/ +2/-5.5	-5/-8/-6.5		-14/-5/-9.5
CR-1	-27/-47/-37	25/ 17/21	8/ 5/6.5		16/ 13/14.5
3	-10/ 0/-5	18/ 7/12.5	13/ 7/11		15/ 5/10
5	5/ -6/-0.5	18/ 8/13	22/ 16/19		7/ 0/3.5
LI-1	-28/-34/-31	-4/-9/-6.5	-4/-7/-5.5		-10/-14/-7
Test No.	36	37	38	39	40
VT-1	161/ 118/139.5	150/ 135/142.5		171/ 133/152	130/ 114/124.5
2	-20/-15/-17.5				
5	-20/-15/-17.5				
7	-19/-15/-17				
CR-1	+7/-5/-1				
3	+12/ +6/+9				
5	+12/ +3/+7.5				
LI-1	-8/-15/-11.5	-13		-22	-4/-6/-5
Test No.	41				
VT-1	110/ 91/100.5				
2					
5					
7					
CR-1					
3					
5					
LI-1	-5/-11/-8				

Fig. 84 (1) Water level change in the JRR-2 D₂O tankFig. 84 (2) Water level change in the JRR-2 D₂O tankFig. 84 (3) Water level change in the JRR-2 D₂O tank

から燃料要素内の流量を判定することが困難になる。このような現象をへらす目的から、制御棒と VT-1 をぬいて緊急冷却水のための集合箱に孔をあけて測定したが、精度がどの程度になっているかは別に mock up を製作して check してみないとわからない。

2.3.4 重水タンク内の水位と LI-1 の指示値の関係

重水タンク内の水位とこれを指示する LI-1 の値は炉心構成と DP の運転条件などによって変化するので

Fig. 84 (4) Water level change in the JRR-2 D₂O tankFig. 84 (5) Water level change in the JRR-2 D₂O tankFig. 84 (6) Water level change in the JRR-2 D₂O tank

2.3.3 の試験と同時に VT-1, 2, 5, 7, 制御棒 No. 1, 3, 5 の場所での水位を測定した。その結果は Fig. 77 (1)~77(43), TABLE 9 に示されている。またこれを平均して図示したものが Fig. 84 である。これによれば、重水タンク内は中央で約 100 mm 水位が上昇し、VT のところで約 20 mm 下がっている。LI-1 に表れる値はだいたい VT のところの値から dump line の上を横に流れる動圧分だけを差引いた値になっている。したがって DP-1 あるいは DP-2 のみの運転の

時は VT での水位そのままが指示される。重水タンク内の水位変動は 2.2.3 (1) ii) の方法をつかい、ネオン管の点滅を 16 mm カメラに撮影した。この波の変動は重水タンク内がはげしい渦流となっているので不規則な水位変動をしているが、振幅は VT のところで約 30 mm、中央および制御棒のところで 100 mm 近くになっている。この振幅からみると、LI-1 を ±1" 位の精度で信用することはできるが、それ以上を望むことは無理のようである。

2.3.5 まとめ

Dummy fuel 12 本、18 本、24 本の 3 とおりについて DP-1, 2 の運転条件を変え nozzle dia. を 30 ϕ , 33 ϕ , 36 ϕ , 38.1 ϕ の 4 種類に変えながら炉心の流れ分布試験を実施した結果、燃料要素を 24 本、18 本、12 本使用した場合には、だいたい ±10% の範囲で中高の分布をしていることがわかった。各 dummy fuel

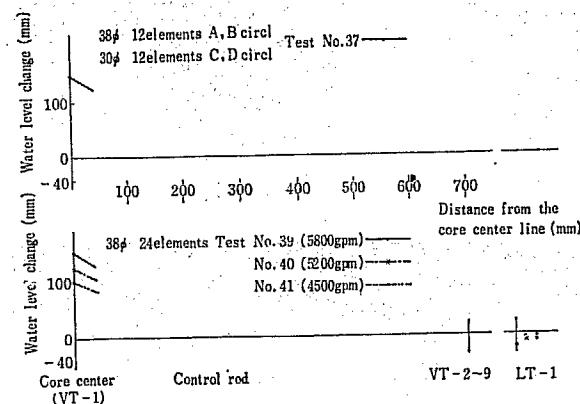


Fig. 84 (7) Water level change in the JRR-2 D₂O tank

をとおる流量の最大差は 35% に達する。全流量は DV-8 全開のとき約 6500 gpm でこれ以上多くはならない。重水タンク内の水位は中央で約 150 mm 側板のところで -10 mm 位の中高分布をしている。

2.4 重水補助系統の流れ試験

2.4.1 試験のあらまし

主重水 pump DP-1, 2 を併列運転したときと、DP-1 を単独運転したとき、それぞれの場合の重水精製系統、サンプリング系統に流れる重水の配分を測定するため、まず DV-41 を調節して FI-1 の流量を変化して精製系の流れ特性をしらべ、ついで、サンプリング系統への流量を調節した場合および DP-5 の吸上量を変化させた場合に精製系におよぼす影響を求めた。また別に陶磁製の filter の流動抵抗を測定した。

2.4.2 重水精製系統およびサンプリング系統の流量配分

(1) 測定の方法 (Fig. 1 参照)

i) DP-1, 2, 3, 5 を定常運転させ DV-41 を調節して FI-1 の流量を変えながら下記の計測点で測定した。

PI-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, PX-1, 2, 3, CX-1, 2, TX-3, FX-1, FI-1

このほか流量測定のため DV-40-52, DV-40-46, DV-40-43 からの流出量を bucket で受けて計量した。この場合 DV-40-12, DV-40-56 は全開にした。

ii) DP-1, 3, 5 を運転して i) と同じ計測をおこ

なった。

iii) DP-1, 2, 3, 5 を定常運転し、DV-41 を全開、全閉の 2 点について DV-40-56, DV-40-12 を調節してサンプリング系統への流量をしばったときの流量配分を i) の計測点で測定した。

iv) DP-1, 3, 5 を運転して、iii) と同じ計測をおこなった。

v) サンプリングラインの中 monitor line と infrared analizer line への流れの分配量を知るため、iii) の運転（ただし、DT-2 は大気に保つ）をしながら DV-40-46, DV-40-71, DV-40-43, DV-40-63 で流出量を秤量した。

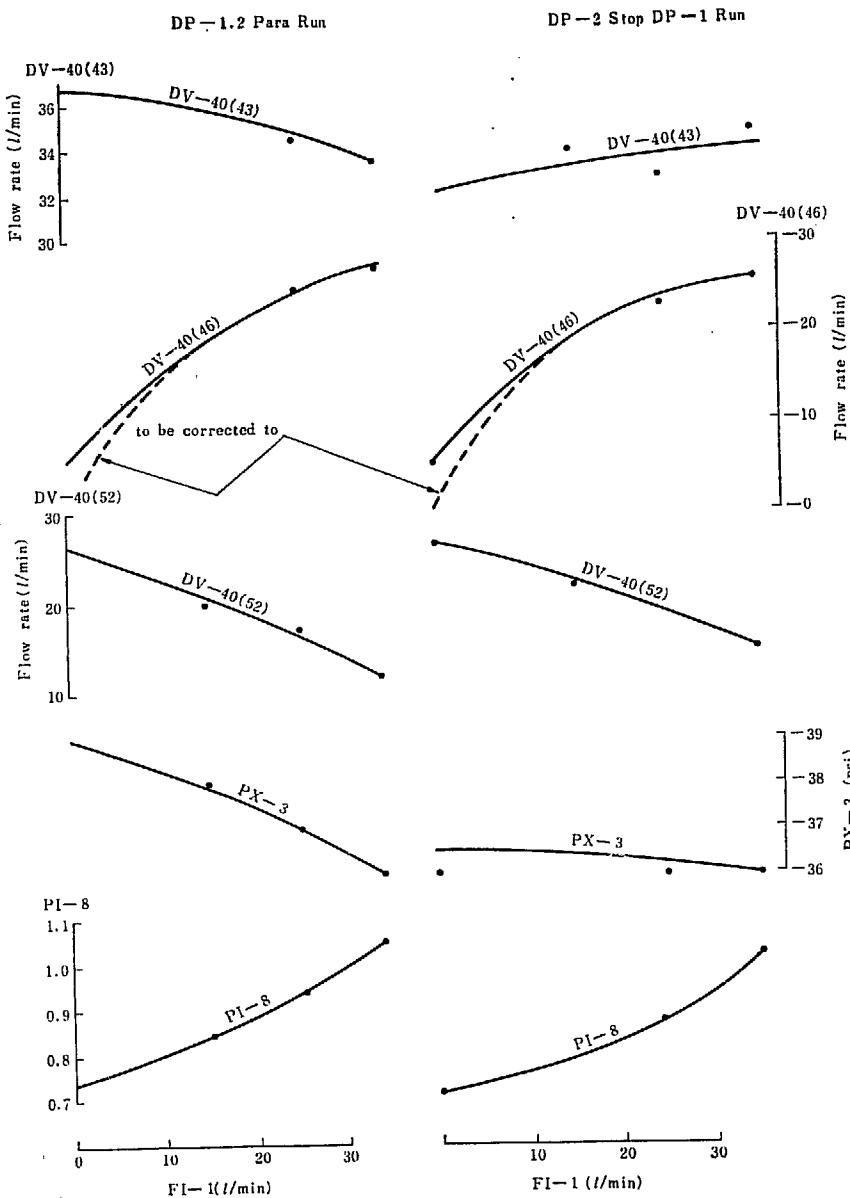
以上の測定では DF-1, 2 内の porcelain filter と DD-1, 2 内の resin ははいっていない。水は温度 14 °C の純水を使用し infrared analizer 中の恒温槽は調節中のため bypass した。

(2) 測定結果

i) サンプリングバルブを全開にした場合

DV-40-12 と DV-40-56 を全開にしてサンプリング系への流量を最大に保ったとき、その他の系への流量を測定したが、これは主重水系にゆく流量が最少の場合になる。その結果を Fig. 85 に示す。

ii) サンプリングバルブを絞った場合

Fig. 85 D_2O purification system flow test results

DV-40-12 と DV-40-56 をしづってサンプリングラインへの流量を実際の運転状態に近くした場合、精製系サンプリングラインの流量分布を測定した。その結果を Fig. 86 に示す。

iii) サンプリング系での流れの配分

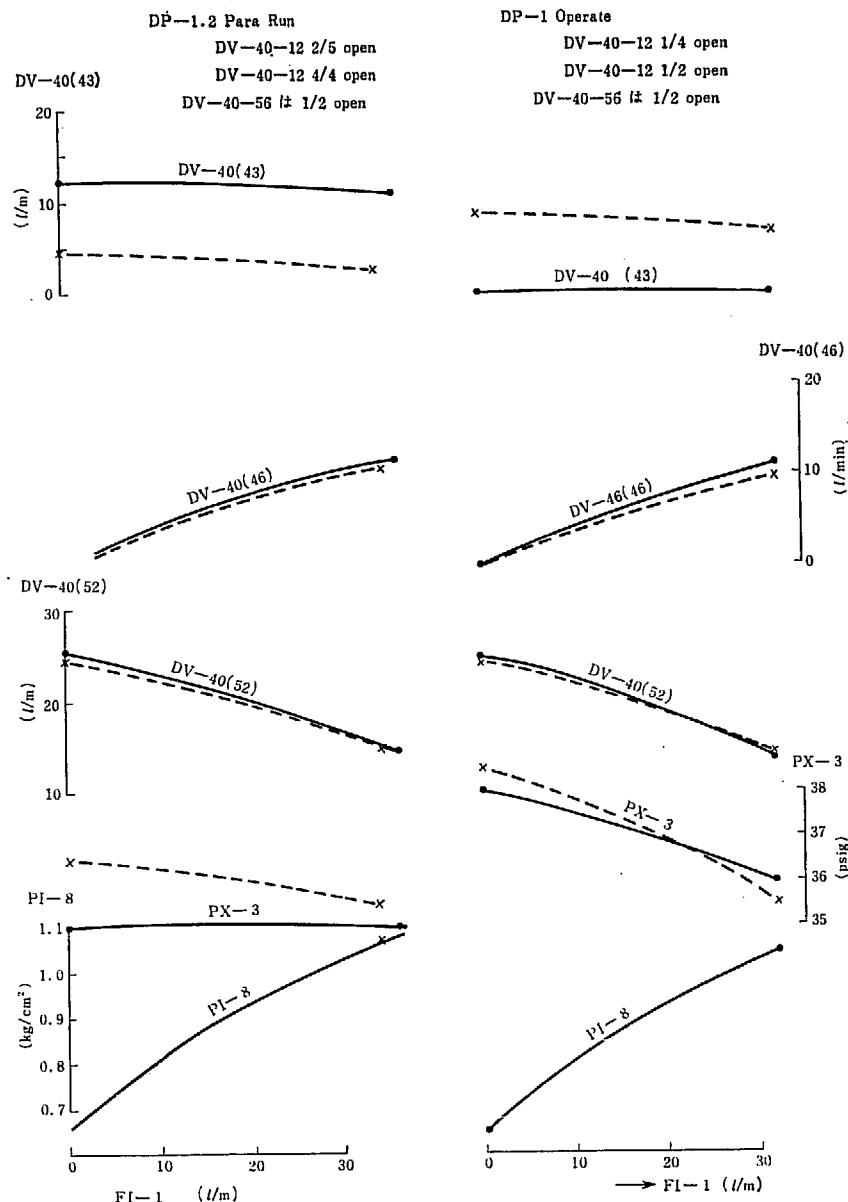
サンプリング系は main line からきたものは DV-40-42 を通る monitor line と DV-40-59 を通る analyzer line とに分かれ、精製系からきたものは DV-40-45 を通る monitor line と DV-40-58 を通る analyzer line に分れる。この main line からの流量と精製系からの流量はそれぞれ DV-40-43 と DV-40-46 で測定してあるので、配分量を DV-40-46, DV-40-71, DV-40-43, DV-40-63 の4点で流出量

TABLE 10 Flow distribution in the sampling system of heavy water

Measured location Condition	DV-40-46 (l/min)	DV-40-71 (l/min)	DV-40-43 (l/min)	DV-40-63 (l/min)
DV-40-45 close	4.8	0		
	13.0	2.9, 3.2		
DV-40-45 3/4 open	13.0	1.6		
DV-40-42 close			3.6	1.0
DV-40-42 1/2 open			3.6	0.25

を測ることによって求めた。このときの条件は DT-2 を大気に保ち DP-1, 2, 3, 5 は正規の運転をし DV-40-56, DV-40-12 は適当に調節した。この計測結果は TABLE 10 に示す。

iv) PI-9 を変化による FI-1, PX-3, PI-8 の影

Fig. 86 Results of D_2O purification system flow test

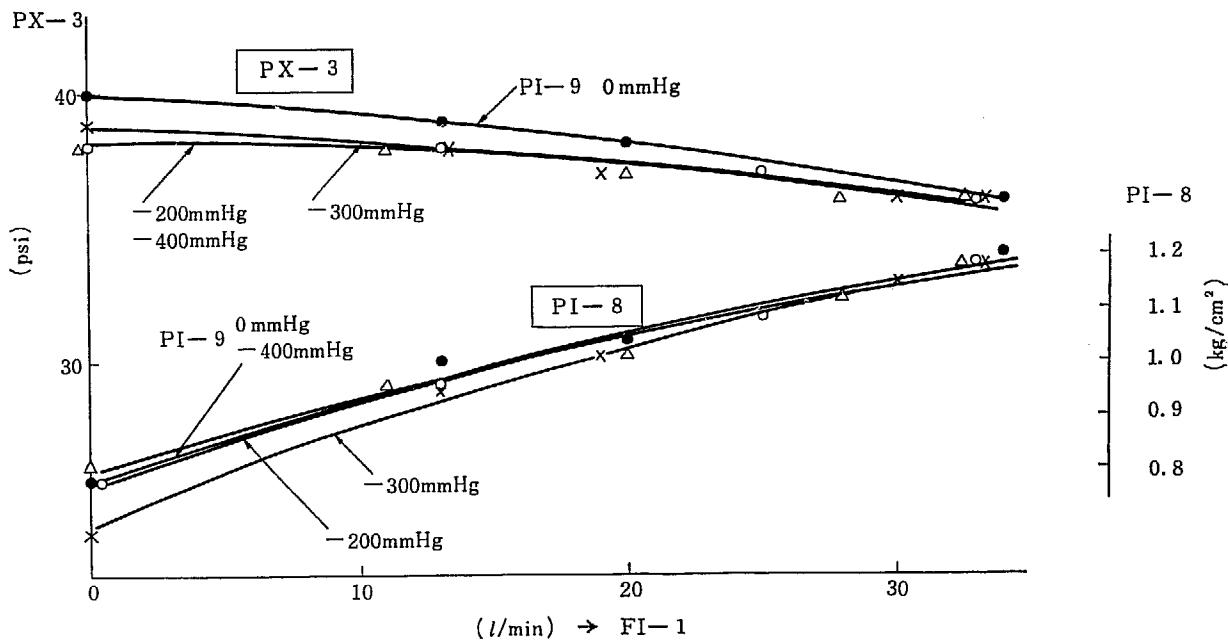
響

DP-3 を正規に運転し, DV-23 を全閉にし, 重水タンクの重水面を正規 level まで上げた場合, PI-9 を 0, -200, -300, -400 mmHg とそれぞれ一定に保ちながら, DV-41 の開度を調節して PX-3, PI-8, FI-1 の値を測定した。その結果を Fig. 87 に示す。

(3) 検討

Main line の流量は、正規運転状態で 5000 gpm, DP-1 の片側運転で 3000 gpm であるから、精製系、サンプリング系の流量変化の影響はまったく受けない。精製系の流量は 0~27 l/min, DV-40-43 で 0~33.6 l/min まで自由に変えられるが、infrared analyzer にゆく流量は monitor への流量のだいたい 1/10

なので infrared analyzer に重水を流すためには DV-40-46 で 5 l/min, DV-40-43 で 3 l/min 以上の流量を保たねばならない。Reactor top にゆく重水の量は、サンプリングラインの流量によってはあまり変らず、精製系の流量、すなわち DP-3 の出口圧力によって変り、FI-1 に 5 gpm 流れた場合に約 20 l/min である。この値は DP-1, 2 の併列運転のときも DP-1 の片側運転のときもほとんど変らない。Main line からサンプリングに流れ込む量は、DV-40-12 と DV-40-56 を絞った場合には FI-1 の量に無関係に一定であるが、DV-40-12 と DV-40-56 を全開にして抵抗を少なくしたときには、DP-1, 2 を併列運転した場合に FI-1 の量がますと PX-3 がさがり、したがって

Fig. 87 JRR-2 D₂O purification system flow test results

● PI-9 0
 ○ " -200 mmHg
 × " -300 "
 △ " -400 "

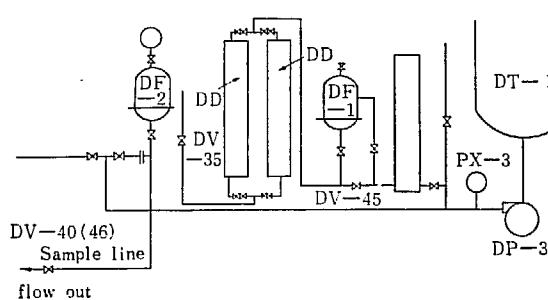
Fig. 88 D₂O purification system flow diagram

TABLE 11 Flow rate and pressure drop of DP-2

	PI (kg/cm ²)	Flow (l/min)	PX-3 (psi)	PX-3 (kg/cm ²)	Remarks
1	2.35	21.4	46	3.22	DV-35, DV-45 Full open
2	2.00	19.2	"	"	DV-35 adjust close
3	1.55	15.4	"	"	"
4	1.05	11.6	"	"	"
5	0.66	7.2	47	3.29	"
6	0.20	3.4	"	"	"
7	1.40	13.4	"	"	DV-35 Full open DV-45 close

DV-40-43 からの流出量がへる。しかし、DP-1 の片側運転のときには PX-3 の値は FI-1 の変化にはよらずほとんど一定の 36 psig に保たれ、したがって FI-1 がますと DV-40-43 の通過水量はわずかに増加する。

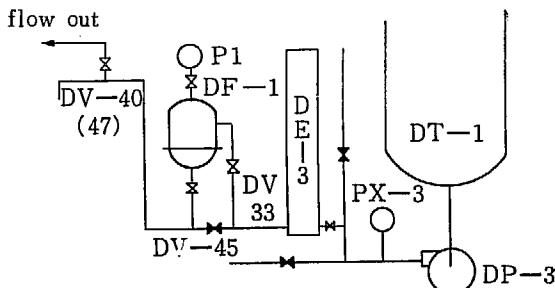


Fig. 89 Flow diagram of DF-1 flow test

TABLE 12 Test results of DF-1 flow test

	PI (kg/cm ²)	Flow (l/min)	PX-3 (psi)	PX-3 (kg/cm ²)	Remarks
1	2.56	22.7	46	3.22	DV-33 Full open DV-45 close
2	2.50	22.6	"	"	CV-33 adjust close
3	2.00	19.5	"	"	"
4	1.70	17.6	"	"	"
5	0.95	11.7	47	3.29	"
6	0.50	7.6	"	"	"

DP-5 は 1 gpm の容量しかないのでサンプリング系に流す全量は 1 gpm 以下に制限せねばならない。したがって、monitoring line と infrared analyzer に流れる量とはいねいに調節しておく必要がある。あるいは、連続測定せずに intermittent に測定することも考えられる。Monitoring line に満水させる必要が

あれば DV-40-45 と DV-40-42 は coil の出口においてはうがよい。PI-9 の真圧度が変っても FI-1 と PI-8 の関係および FI-1 と PX-3 の関係はほとんど変わらない。DT-2 に重水が溜まったときと空になったときでは、PI-9 は 200~300 mmHg 变化するから運転中はこの程度の真圧度がつねに変動していると考えられるが、そのようにして起った PI-9 の変動が精製系の流れにおよぼす影響はほとんどないことがわかる。

2.4.3 重水 filter DF-1, 2 の圧力降下

(1) 測定方法

DF-2 にたいしては Fig. 88 のように DP-3 を運転し、DF-2 の vent弁を利用して圧力計 PIをつけ、DV-35 を調節して PI の圧力を変化しながら DV-40-46 から流出する水量を計測した。DF-1 に対しては Fig. 89 のように DP-3 を運転し、DF-1 の vent弁を利用して圧力計 PIをつけ、DV-45 を全閉にし、DV-33 を調節して PI の圧力を変化しながら DV-40-47 から流出する水量を計測した。Filter の素子はいずれも 50 μ 孔径の陶磁器製の管を 19 本たてにならべたものである。

(2) 計測結果

測定した圧力降下は TABLE 11, 12 に示しこれを図示したものが Fig. 90 である。これによれば FI-1 の流量 20 l/min で圧力損失は約 2.0 kg/cm² であり DF-1 と DF-2 の圧力損失は流量のそれぞれ 1.485, 1.34 乗で増加する。

2.4.4 まとめ

重水精製系の流量は 0~35 l/min まで変化できるが、その場合のサンプリング系統への流量は DV-40-

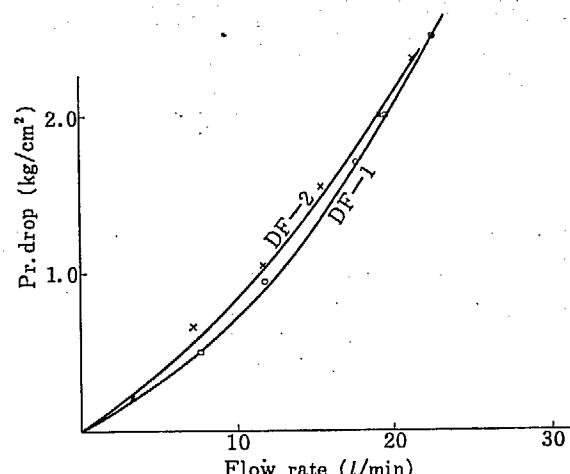


Fig. 90 Pressure drop for DF-1, 2

12 と DV-40-56 を全開にすると、DV-40-52 では 10~25 l/min, DV-40-43 は 30~35 l/min, DV-40-46 では 0~25 l/min 変化する。DV-40-12 を 2/5~1/4 open にし、DV-40-56 を 1/2~1/4 open にしづつサンプリング系統への流量を変えた場合には、DV-40-43 で 5~15 l/min, DV-40-46 で 0~10 l/min, DV-40-52 では 15~25 l/min の間で変化する。これらの流量変化の傾向は、DP-1, 2 の併列運転のときも DP-1 の片側運転のときもほとんど変わらない。Infrared analyzer への流量はサンプリングラインへの流量に比べてだいたい 1 術少ない。DP-5 の吸上げ圧力を変化させた場合に、PX-3, PI-8 におよぼす影響は非常に少なく、変化の最大のときでも数 % 以下である。したがって、DT-2 のなかに重水がはいっている場合と空のときでは PI-9 の指示値が -100 mmHg~ -300 mmHg ぐらいまで変化するが、これによって精製系とサンプリング系への流れはほとんど影響されないとみてよい。

2.5 热遮蔽冷却水系統の流れ試験

2.5.1 試験のあらまし

熱遮蔽冷却水系統の PP-1 を運転したとき、この系統の主系統、精製系統、サンプリング系統、lower plug および thermal column 冷却管内に配分される水の流量を測定し、ついで PE-1, 2, PF-1, 2 および PP の流量と圧力降下の関係を個別に測定した。

2.5.2 主系統、精製系統、サンプリング系統 lower plug および thermal column 冷却管内の流量配分

(1) 測定の方法 (Fig. 2 参照)

PP-1 を運転し主系の流量を PV-3 の調節により変化し、これらのそれぞれの場合における精製系の流量、サンプルラインの流量 lower plug, thermal column cooling pipe への流量を求めた。流量の測定で主系統

TABLE 13 Flow test results of thermal shield cooling system
The pressure and flow rate in the thermal shield cooling system is as follows adjusting PV-3

	Location	Measured value				
PI-6 (kg/cm ²)	PP-1 outlet pr.	2.05	2.1	2.2	2.3	24
PI-24 (kg/cm ²)	PP-1 inlet pr.	0.09	0.1	0.1	0.105	0.11
PX-4 (psi) (kg/cm ²)	Main PE-1 inlet pr. (1.68)	24 (1.68)	26 (1.82)	28 (1.96)	30 (2.1)	32 2.24
FI-5 (m ³ /hr)	Main flow	31	31.5	28	20.5	13
Flow rate estimated from PP-1 performance curve		35	33	27	20	14
PW-15 (kg/cm ²)	PE-1 outlet pr.	1.43	1.52	1.65	1.80	2.0
PI-18 (kg/cm ²)	PE-2 inlet pr.	1.78	1.88	2.0	2.12	2.31
PW-16 (kg/cm ²)	PE-2 outlet pr.	1.48	1.60	1.72	1.9	2.05
PI-17 (kg/cm ²)	PF-2 outlet pr.	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
FI-2 (l/min)	PF-2 flow rate	4.5	5.4	6.5	8.0	9.6
CX-3 ($\mu\text{g}/\text{cm}$)	Main conductivity	1.0		0.9		
CX-4 ($\mu\text{g}/\text{cm}$)	PF-2 conductivity	0.05		0.05		
Flow-1 (l/min)	PV-27, 28 plug cooling coil	6.8	6.5	6.25	6.1	5.95
Flow-2 (l/min)	PV-23, 24 thermal column	0	0	0	0	0
Flow-3 (l/min)	PV-31-30 purification sample	7	11	11.6	12.8	12.8
Flow-4 (l/min)	PV-31-14 main sample analyzer line	34.8	34.2	28.2	24.6	23.4
TX		14				

TABLE 14 Flow test results of thermal shield cooling system

	1	2	3	4	5
PI-6'	2.52 (kg/cm ²)	2.30	2.16	1.92	2.62
PI-24	0.13 (kg/cm ²)	0.12	0.095	0.07	0.13
PX-4	35 (psi) (2.45 kg/cm ²)	30.5 (2.14)	26.0 (1.82)	20.5 (1.44)	37.5 (2.62)
FI-5	— (m ³ /hr)	—	33	34	23
From PP-1 performance curve	86.0 (gpm) (19.5 m ³ /hr)	150 (34)	173 (39.2)	214 (48.5)	1.64 (0.40)
PW-15 modifying head	2.1 (kg/cm ²) 1.75	1.83 1.48	1.52 1.17	1.15 0.80	2.3 1.95
PW-16	2.2 (kg/cm ²)	1.9	1.6	1.3	2.35
PI-17	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
FI-2	5.9 (l/m) (1.56 gpm)	5.04 (1.33)	3.9 (1.03)	2.7 (0.715)	6.5 (1.72)
CX-3	1.5 ($\mu\text{g}/\text{cm}$)	1.5	1.5	1.5	1.5
CX-4	0.05 ($\mu\text{g}/\text{cm}$)	0.05	0.05	0.005	0.05
Flow at PV-4	10.6 (l/m)	12.2	13.8	15.6	0
Flow (thermal column)	7.6 (l/m)	9.0	10.0	11.6	0
Flow (lower plug)	3.0 (l/mm)	3.2	3.8	4.0	0
TX-6	12 (°C)	12	12	12	12

は FI-5 と PP-1 の pump 特性より求め、精製系統は FI-2 と精製系 pipe が PT-1 にもどるところの flange 部をはずして bucket で流出量を計量して求めた。サンプリングラインの中精製系のサンプリングラインは PV-31-30 を main line は PV-31-14 での pipe を一部はずして水を系外に取り出し、bucket で受けて計量した。Lower plug の冷却水流量は PV-27, PV-28 をはずして bucket で計量できたが、thermal

column の冷却水量はこのような方法では 0 であった。これは、冷却水管が約 1500 mm の高さで 10 回 thermal column のまわりをまわっており、このなかに溜った水が U 字管の連なりとなって PP-1 から reactor top にきた水圧では、この U 字管の連なりを押し出すことができなかったためであることがわかったので、Fig. 91 のように補給水入口から仮使用の pump で昇圧した水を PV-4 のところで bucket で

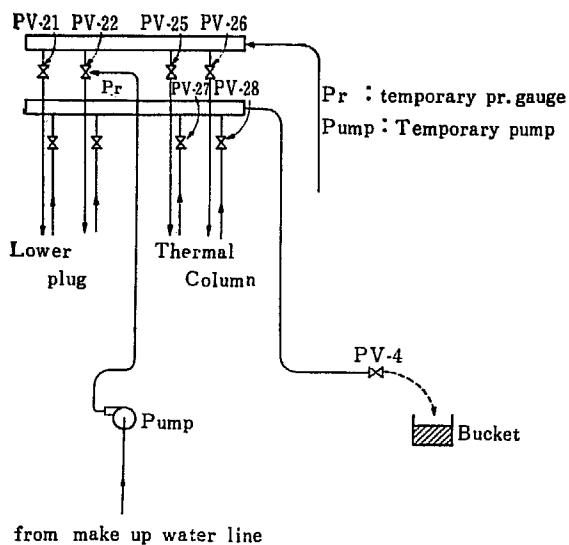


Fig. 91 Flow test diagram of thermal column cooling pipe

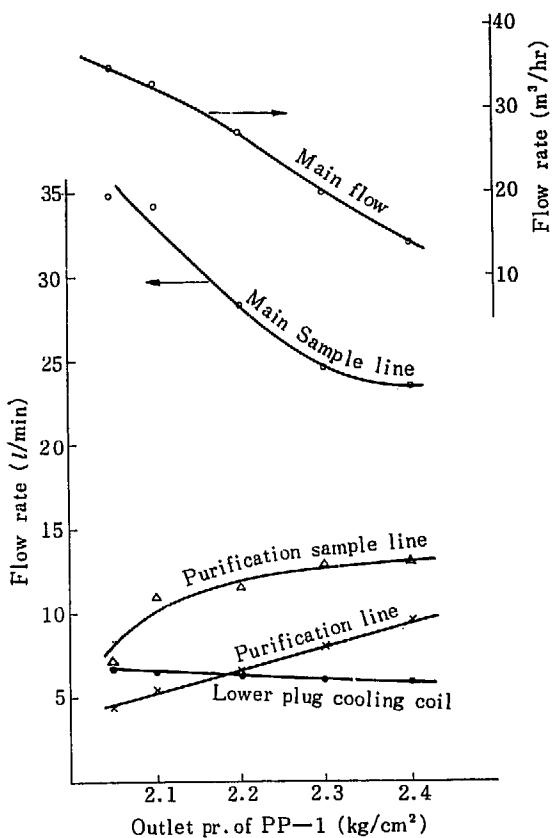


Fig. 92 Flow distribution test results of thermal shield cooling system

計量した。なお、PV-21, 22 のところには圧力計をつけ reactor top での圧力と流量の関係をついた。

以上の流量のほか、圧力は PI-6', PI-24, PX-4, PW-15, 16, PI-17, 18 で温度は TX-6 で水の伝導度は CX-3, 4 で測定した。PF には 50 μ の陶磁製 filter 素子が 7 本ずつはいっており PD には resin

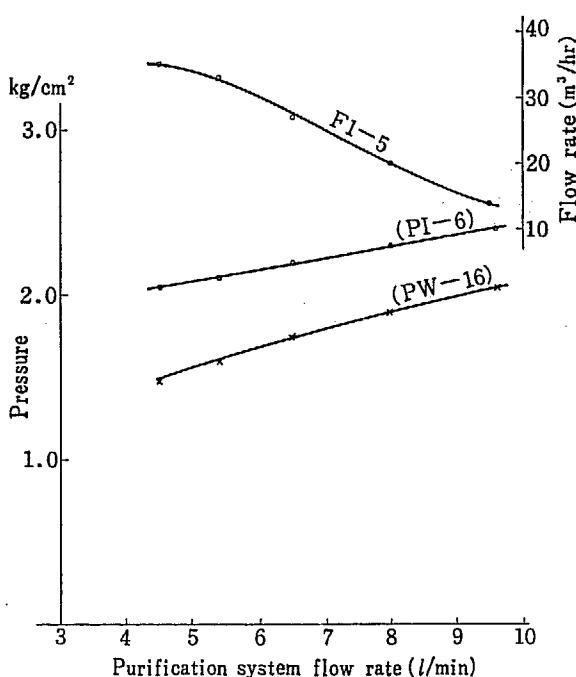


Fig. 93 Flow test results of thermal shield cooling system

が充満している。

(2) 測定結果

PP-1 を運転した場合、この系統の流量配分および各部の圧力・温度・電導度を TABLE 13, TABLE 14, Fig. 92~Fig. 94 に示す。Fig. 95 は PV-21, 22, 25, 26 から別々に加圧水を注入し PV-4 からの流出量を測定した結果を示している。

(3) 検討

各部の流量配分の最大値は主系で 48.5 m³/hr, 精製系で 12 l/min, 主系のサンプリングラインで 35 l/min, 精製系のサンプリングラインで 13 l/min, lower plng の cooling line で 4 l/min, termal column の cooling line で 12 l/min になっている。このうち、精製系の流量は PF-1, PF-2 の抵抗変化により簡単に減少し、上述の 12 l/min は陶磁製 filter 素子を入れかえた直後の値である。実際の JRR-2 の運転では、サンプリングラインの流量は非常に少ないので主系と精製系の流量はそれだけ増加する。Thermal column の cooling pipe は、はじめに水が充満していないときには PP-1 を運転しても水が流れないことがわかった。これはこの pipe が 3/4" で約 200 m の等価長をもち、さらに前述の U字管の連結という結果からもたらされるものであるから、この pipe の内部にはつねに満水しておく必要があり、PV-21, 22 の thermal column 側に圧力水注入口をつけ、あらかじめ加圧水を注入して

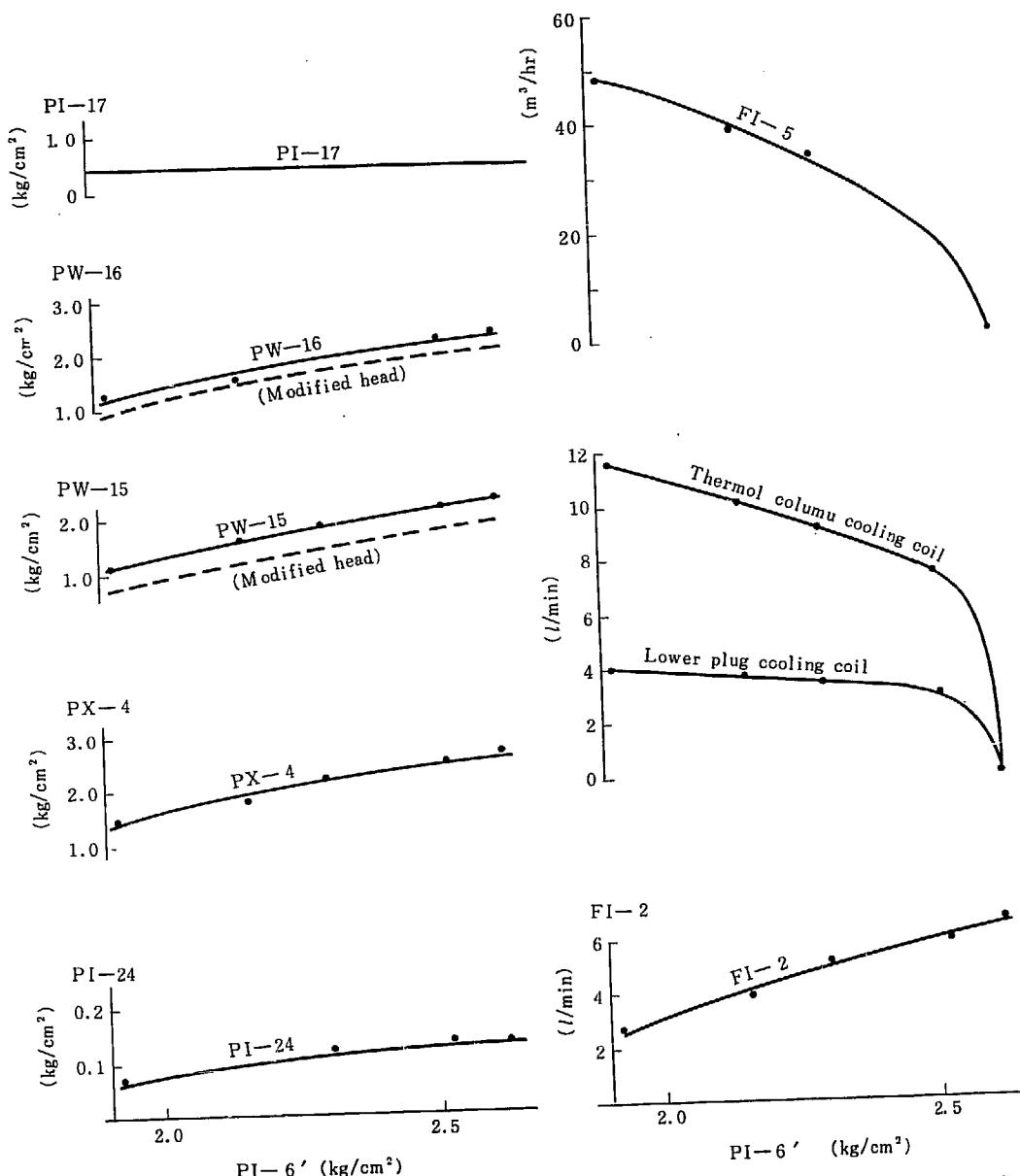


Fig. 94 Flow results of thermal shield cooling system (with no flow in the sampling line)

thermal column の cooling pipe に水を充満したのち PP-1 を運転するような改造をおこなった。

なお、圧力の測定にあたり PI-18, PW-15, 16 の static level の差を修正する必要がありそのため PV-11 を全閉とし PP-1 を運転して PI-6' との関係を求め (Fig. 96 参照) この結果を使用して PW-15, 16 の値を補正した。

2.5.3 PE-1, 2, PF-1, 2, PD 各要素の圧力降下

(1) PE-1 の圧力降下

i) 測定方法

PV-9 を全閉とし、PP-1 を運転し入口圧力を PX-4 で、出口圧力を PW-15 で測定した。流量は PI-6'

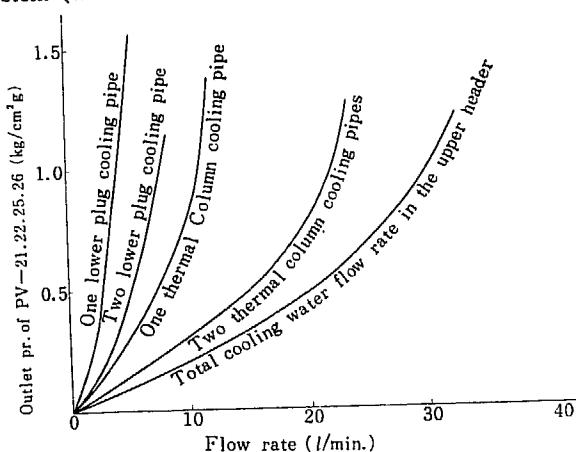


Fig. 95 Flow distribution test results in the thermal column cooling line and lower plug cooling line

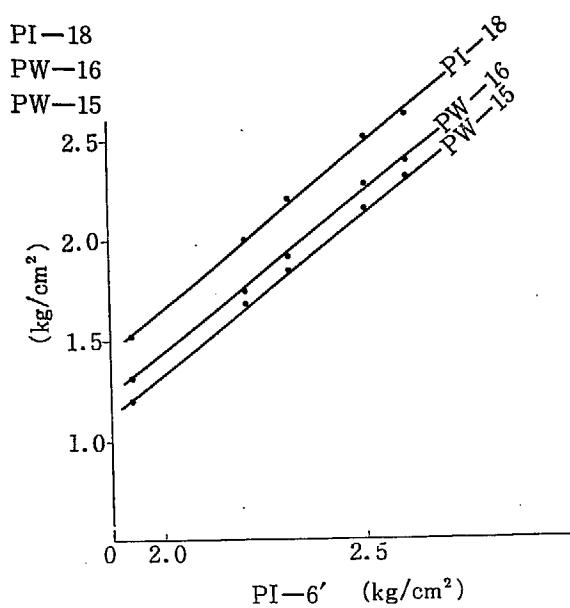


Fig. 96 Test results of PI-18, PW-15, PW-16 and PI-6'

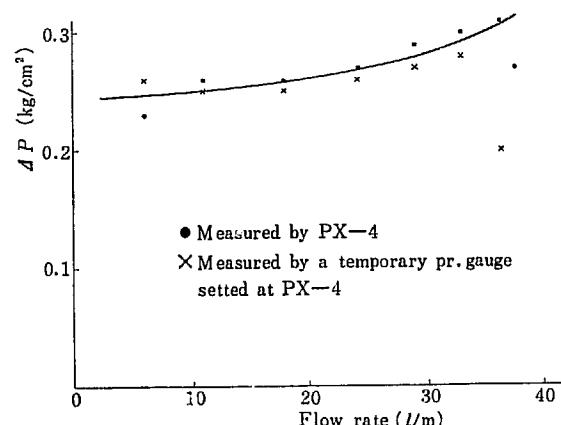


Fig. 97 Flow test results of PE-1

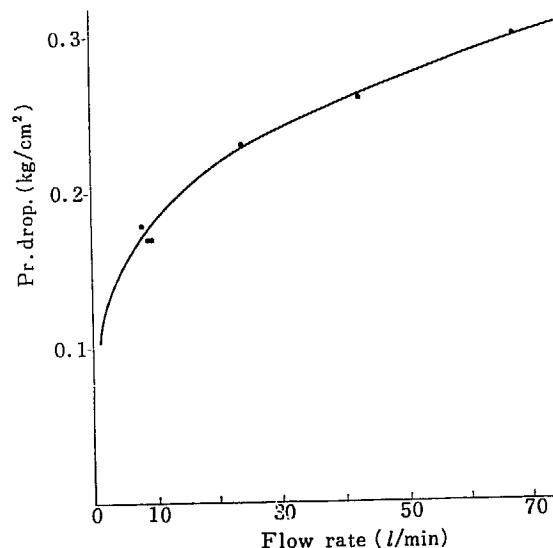


Fig. 98 Flow test results of PE-2

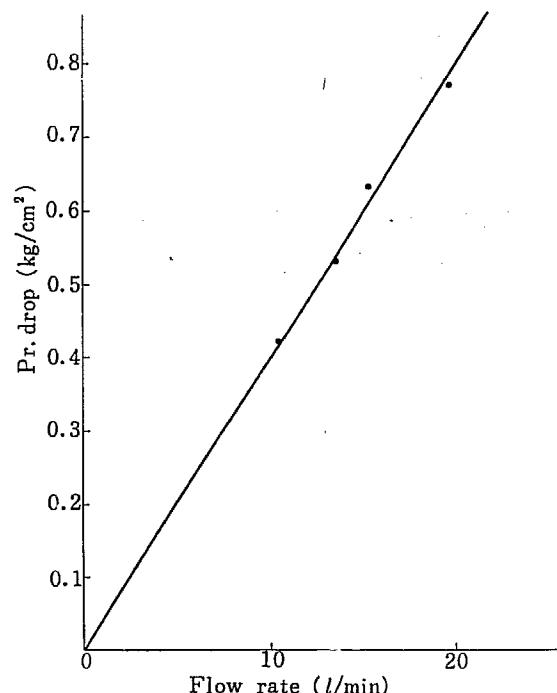


Fig. 99 Flow test results of PF-1

を読み PP-1 の特性より求めた。つぎに、PX-4のかわりに PX-4 の transmitter のところに圧力計 PI をつけてこれで測定した。

ii) 測定結果

Fig. 97 に示す。

(2) PE-2 の圧力降下

PV-3, PV-13 を全閉とし、PV-31-23 のさきに hose をつけて PP-1 を運転し、PE-2 の入口圧力は PI-18 で PE-2 出口圧力は PW-16 で流量は PV-31-23 からの流出量を bucket で計量して求めた。流量は PV-9 のしきりを変えることによって変化させた。測定結果を Fig. 98 に示す。

(3) PF-1 の圧力降下

PV-3, PV-13 を全閉とし、PV-31-24 を全開にし、PP-1 を運転した。入口圧力は PW-16 で測定し、出口圧力は大気に保ち流量は PV-31-24 からの流出量を bucket で計量した。測定結果を Fig. 99 に示す。

(4) PF-2 の圧力降下

PV-31-3, PV-31-24 を全開、PV-3, PV-9 を全閉とし、PV-31-3 のさきと PV-31-24 のさきを hose でつなぎ、PV-31-32 のさきに圧力計をつけ FI-2 をはずす。PP-1 を運転し、PF-2 入口圧力は PV-31-32 のさきにつけた圧力計で測定し、PF-2 出口圧力は PI-17 で測定し、流量は FI-2 のところから流出する量を bucket で計量した。測定結果を Fig. 100 に示す。

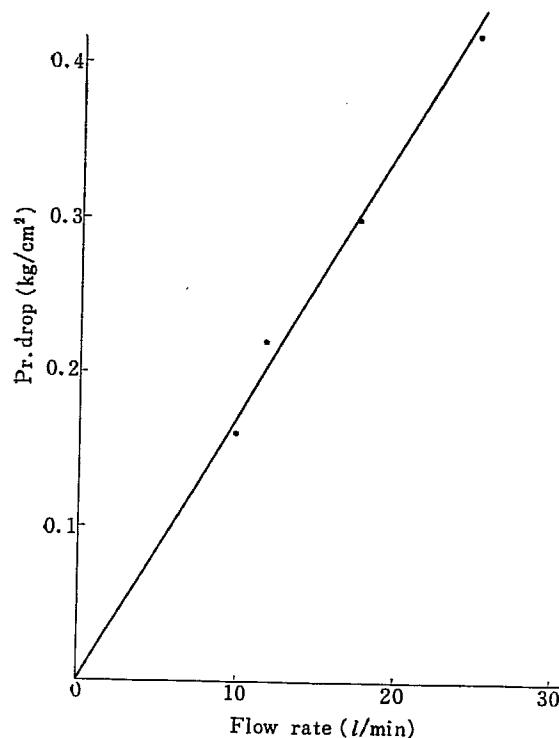


Fig. 100 Flow test results of PF-2

(5) PD の圧力降下

PV-3, PV-12 を全閉, PV-31-3, PV-31-24 を全開とし, PV-31-3 のさきと PV-31-24 のさきを hose でつなぎ, PV-31-32 のさきに圧力計をつけ FI-2 をはずす。PP-1 を運転し PD の入口圧力は PI-18 で出口圧力は PV-31-32 のさきにつけた圧力計で測定し, 流量は FI-2 からの流出量を bucket で測定した。測定結果を Fig. 101 に示す。

2.5.4 まとめ

熱遮蔽冷却水系の流量配分は PP-1 出口圧力を変えると大幅に変化するが, この出口圧力を 2.1 kg/cm^2

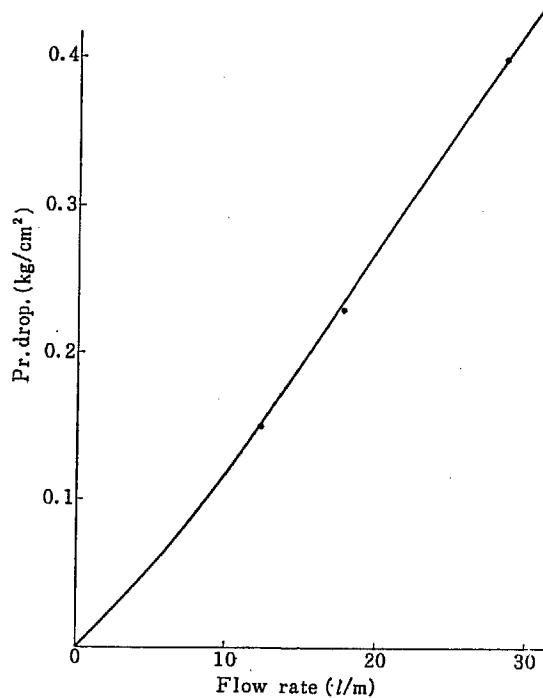


Fig. 101 Flow test results of PD

にすると主系の流量は $40 \text{ m}^3/\text{hr}$, 精製系の流量は $5 \sim 10 \text{ l}/\text{min}$, lower plug 冷却水は $4 \text{ l}/\text{min}$, thermal column 冷却水は $10 \text{ l}/\text{min}$ 程度である。サンプリングラインは主系側で最大約 $30 \text{ l}/\text{min}$, 精製系側で最大約 $12 \text{ l}/\text{min}$ の流量が得られる。各要素の圧力降下は, 正規の運転状態において PE-1 が $0.3 \text{ kg}/\text{cm}^2$, PE-2 が $0.18 \text{ kg}/\text{cm}^2$, PF-1, 2 はそれぞれ $0.2 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 以上, PD は $0.1 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 程度で, このうち PF-1, 2 は filter 素子の状態によってことなり, 陶磁製管の 50μ の孔がつまると圧力降下は 1 衍ぐらいすぐ増加する。この場合には FI-2 の値は $3 \text{ l}/\text{min}$ 以下になる。(中井記)

2.6 冷却系ポンプおよびプロアーの特性試験

2.6.1 まえがき

JRR-2 原子炉の本体, 冷却系機器ならびに配管などの組立工事の完了とともに、まず配管機器をふくむ冷却系全体の洗浄を実施した。まず、ヘリウム系では、系を細部に分割し乾燥窒素ガスを用いて blow out し、その出口にガーゼをおいてその汚れ具合から判断した。また、重水軽水系については純水装置 (20 ton/day) から採取した $8.0 \times 10^6 \Omega\text{cm}$ 以上の純水を

用い、各系を細部に分割した cleaning procedure にもとづいて blow out して AMF SPEC. に規定された conductivity $2.0 \mu\text{mho}/\text{cm}$, turbidity 10 ppm 以下となるまで洗浄を繰り返した。洗浄後の測定結果は、重水、軽水系とともに specific resistivity $1.4 \times 10^6 \Omega\text{cm}$ 以上 turbidity は 5 ppm 以下(ほとんどが 1 ppm 以下)であった。2 次系についてはポンプ室内の熱交換器の出入口にバイパスループを設け、系全体の酸洗い洗浄を実施した。しばらくして各系に規定量の純水を満た

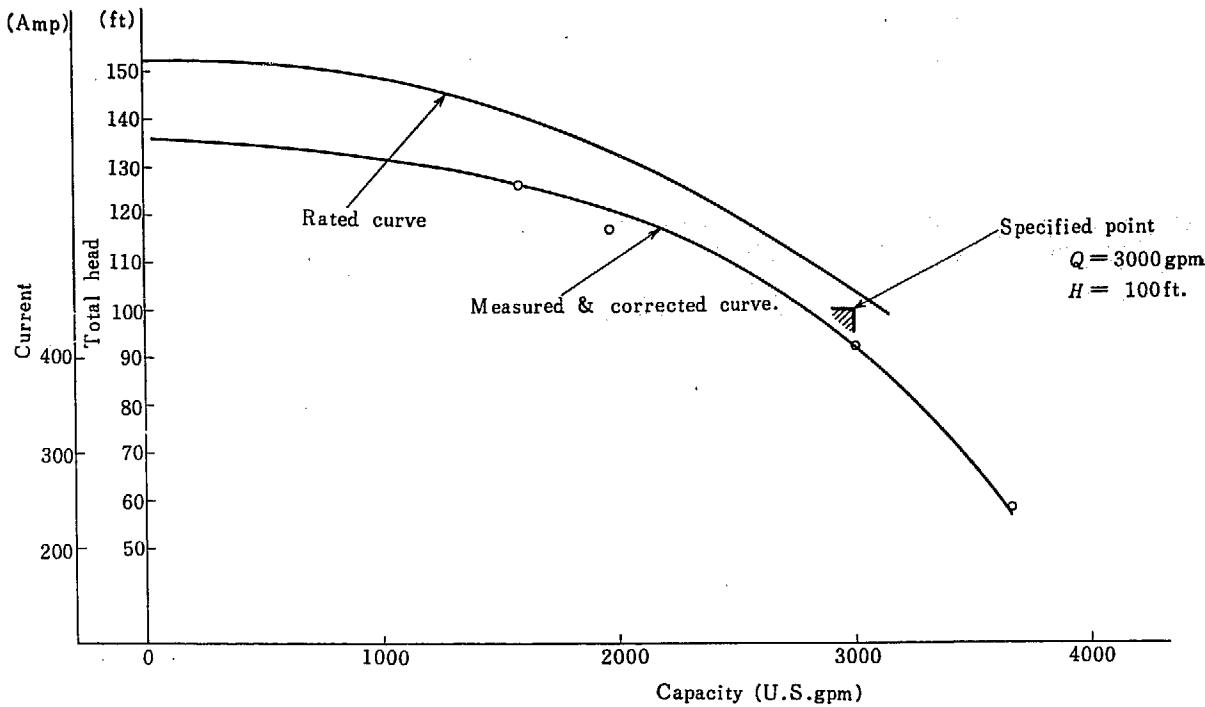


Fig. 102 DP-1 performance curve

しポンプの特性試験を実施した。ポンプおよびブロアーハーの特性試験は AMF Testing Manual にしたがっておこなわれ、主として揚程-流量曲線についてしらべた。運転状態におけるポンプおよびブロアーハーに数点の異なる負荷状態を与えたときの揚程と流量を測定しポンプおよびブロアーハーの特性曲線をえがいて、設計性能曲線と比較し、それぞれの仕様を満足していることをたしかめた。

2.6.2 冷却系ポンプの特性試験

(1) 試験のあらまし

JRR-2 冷却系ポンプの特性試験は、各系がほぼ完全に清浄にされたあとで demineralized water を循環して実施した。この試験は、吐出側バルブを開閉することによりポンプの負荷状態を変えたときのポンプ圧力、流量、回転数および電流値を測定してポンプの揚程-流量の性能曲線をえがき、ポンプの性能が定常運転において仕様を満たしていることを確かめるもので、ポンプの一般仕様については、この報告書の 2.1 「冷却系の概要」にのべてあるのでここには省略する。JRR-2 における試験は、おもに揚程-流量関係について調べるとともにモーター、ポンプなどの過熱、異音ならびに振動などの運転状態を観察したもので、特性曲線のほかの関係については工場試験結果を考慮した。

(2) 測定機器

ポンプの特性試験においては測定機器としてつぎのようなものを利用した。

a) ポンプ吸込圧力計

ブルドン管圧力計 $0 \sim 2.0 \text{ kg/cm}^2$

ベロー式微圧計 $0 \sim 0.4 \text{ kg/cm}^2$

b) ポンプ吐出圧力計

重水、軽水系

名称: Pressure Element Transmitter → Pressure Indicator

仕様: Scale $0 \sim 100 \text{ psi}$

メーカー: Automatic Temperature Control Co. Inc.

2 次系: ブルドン管圧力計 $0 \sim 4.0 \text{ kg/cm}^2$

c) 回転計

d) 流量計

重水系

名称: Foster Flow Tube. Differential Converter

仕様: Scale $0 \sim 6000 \text{ gpm}$ Square Root Extractor

メーカー: Foster Eng. Co.

Foster Flow Tube 12" Dia. Minneapolis

Honey Well Reg Co. # 292 N 764 Diff Conv.

軽水系

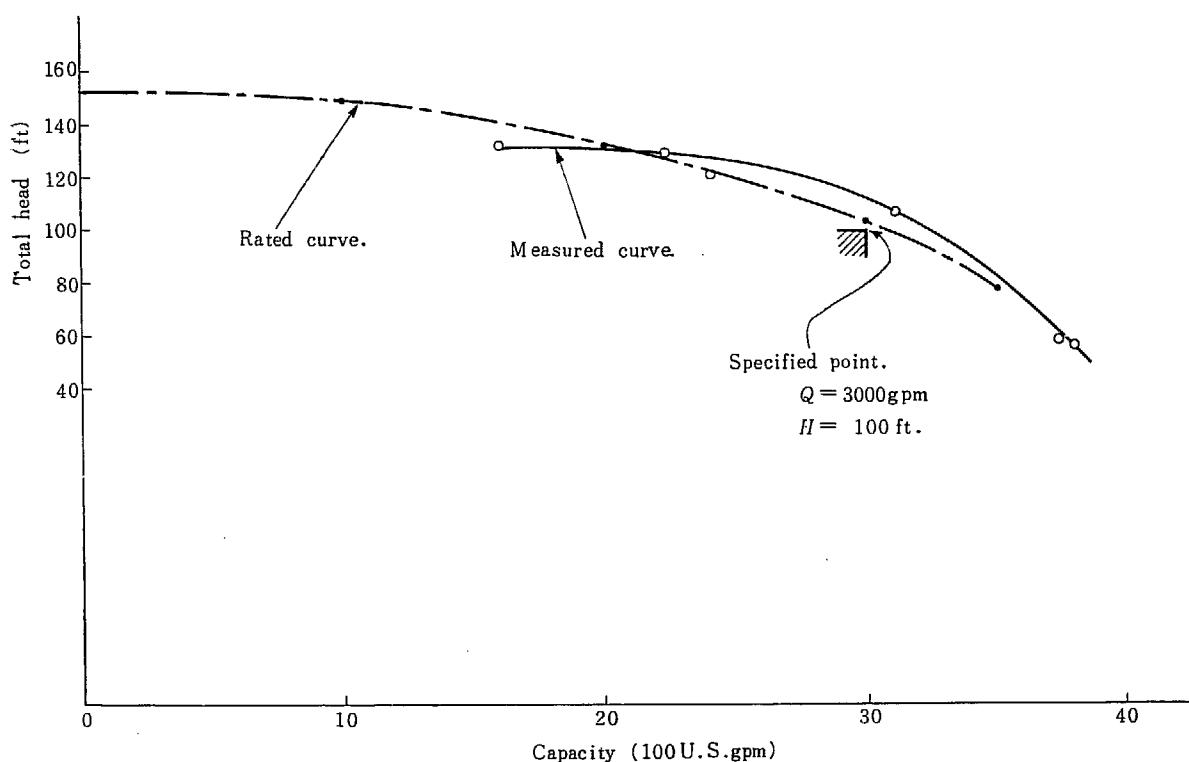
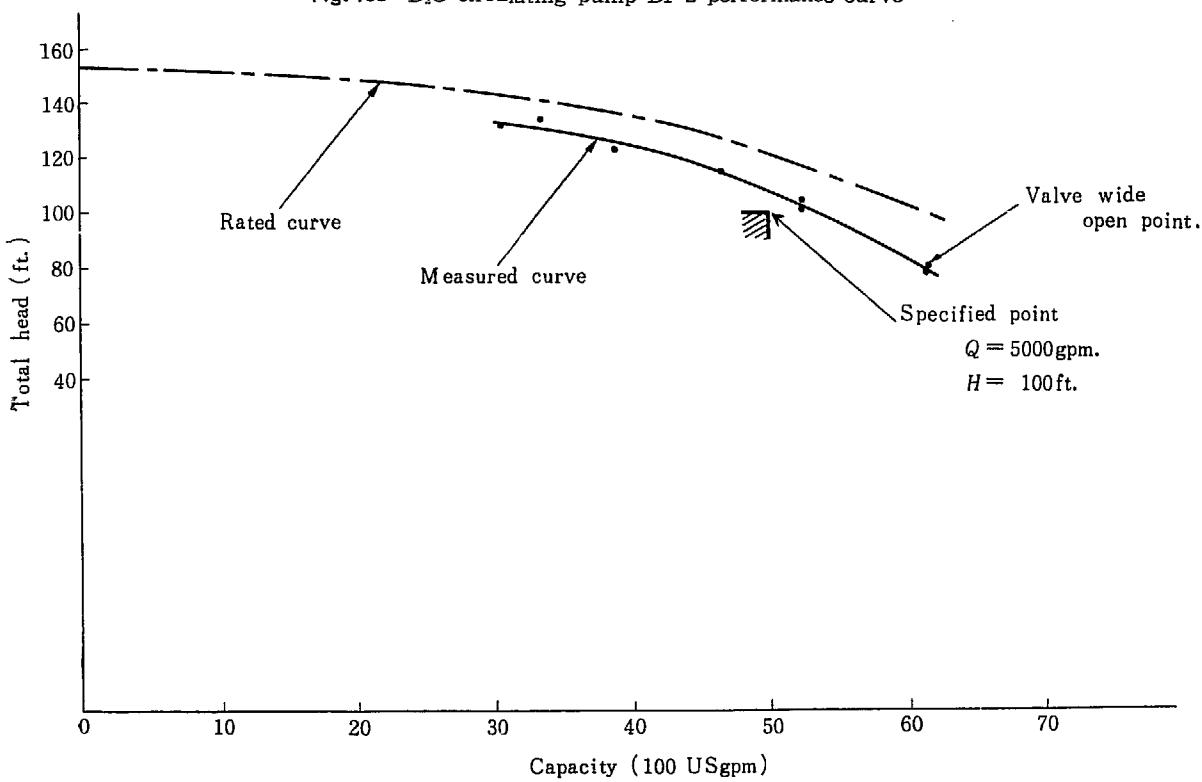
Fig. 103 D₂O circulating pump DP-2 performance curve

Fig. 104 DP-1, DP-2 parallel running performance curve

記号：差圧式流量計

仕様：0~45 m³/hr

メーカー：島津製作所

2次冷却系

記号：差圧式流量計

仕様：0~900 m³/hr

メーカー：島津製作所

ヘリウム系

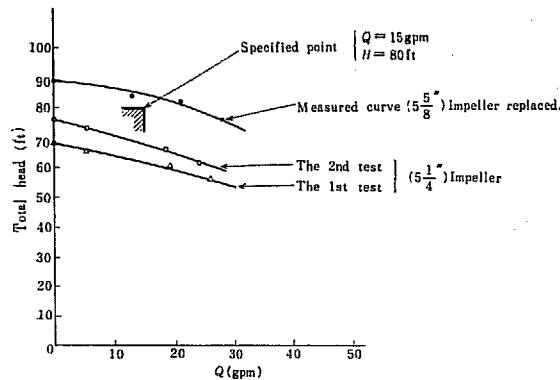
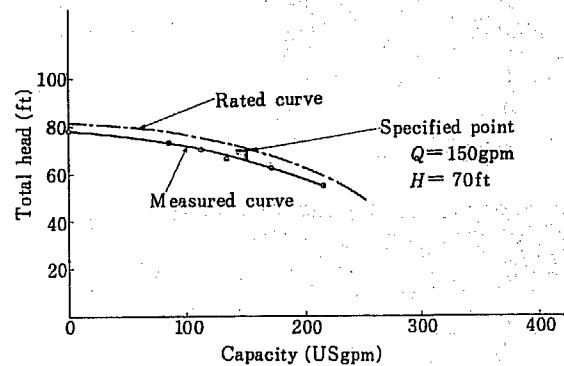
Fig. 105 D_2O auxiliary circulation pump DP-3 performance curve

Fig. 107 Thermal shielded pump PP-1 performance curve

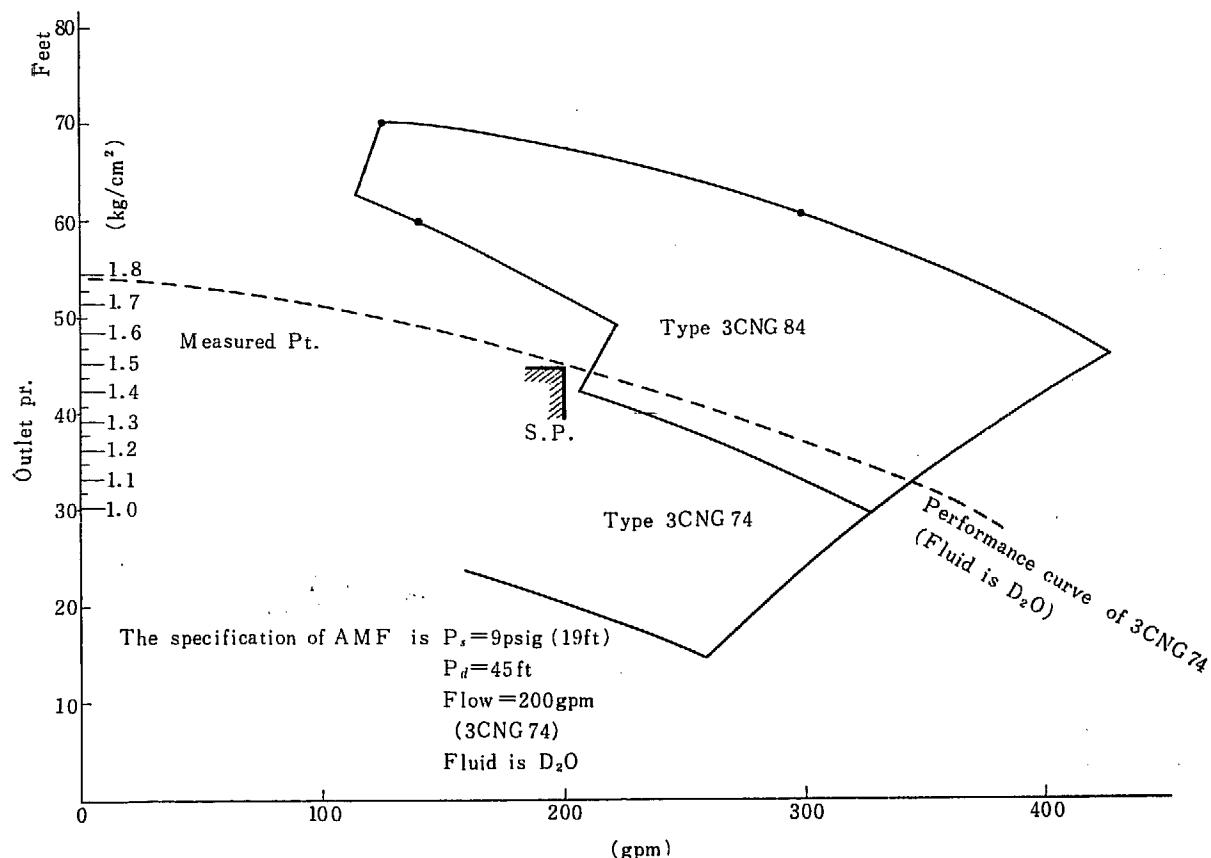


Fig. 106 DP-4 performance curve

名称：浮遊式流量計

仕様：30~300 l/min

メーカー：島津製作所 SR-53

e) 電流計

(3) 特性試験要領

ポンプ始動前に吐出側バルブを若干開き、ポンプが全速回転になったときに徐々に吐出側バルブを全開にする。この状態でポンプ吐出および吸入圧力、流量、回転数、および電動機電流を測定記録する。しばらく

して吐出側バルブ全開時の流量の $2/3$, $1/3$ の流量を得るように、吐出バルブを調節しておのおの測定値を記録する。なお、DP-1, 2 のポンプについては吐出バルブを全閉にし流量 0 なるときの揚程測定はポンプ漏れ止め装置に悪影響をおよぼすことを考慮しておこなわなかった。また、上記の結果によるポンプの実揚程-流量をあらわす曲線が得られるが、この場合次式により補正された。

$$H_t = h_d - h_s \quad h_d \dots \text{吐出揚程 (ft)}$$

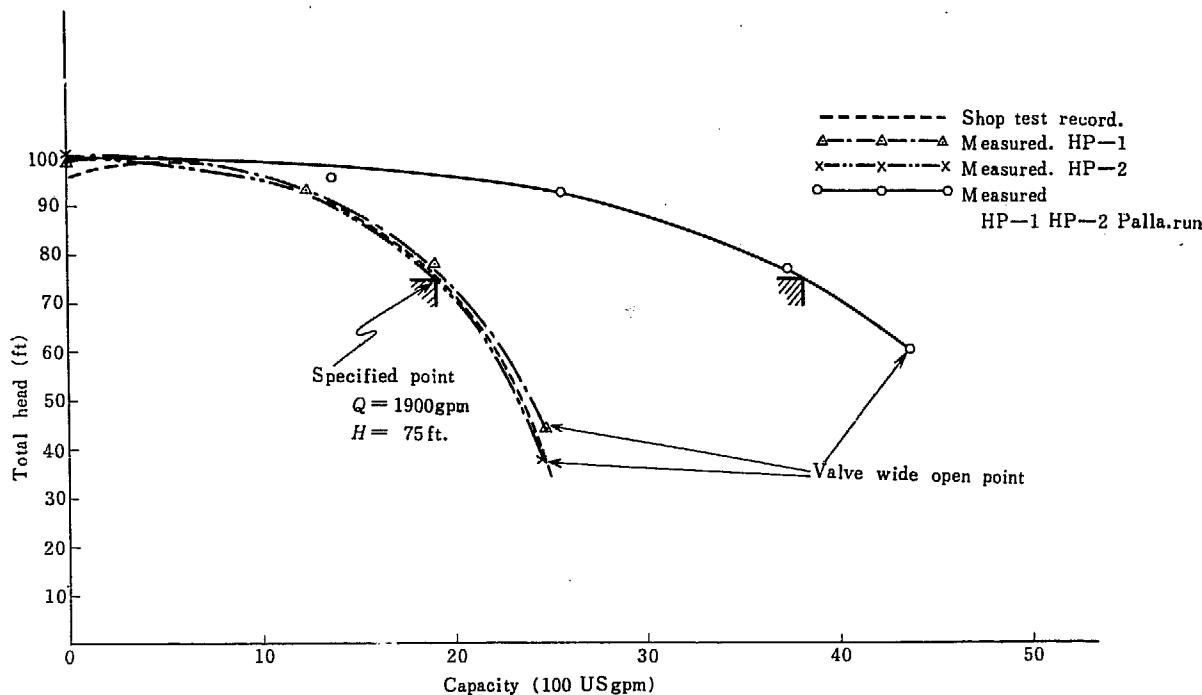


Fig. 108 Secondary cooling circulating pump HP-1 and HP-2 performance curve

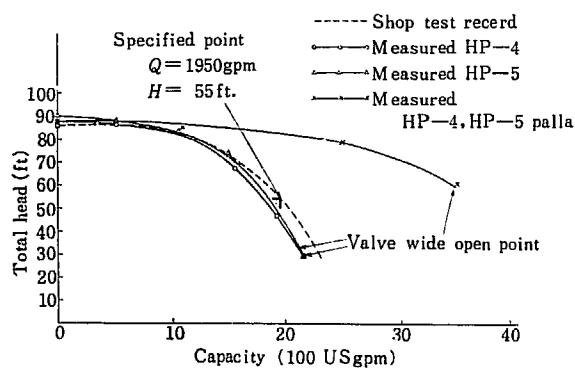


Fig. 109 Booster pump HP-4 and HP-5 performance curve

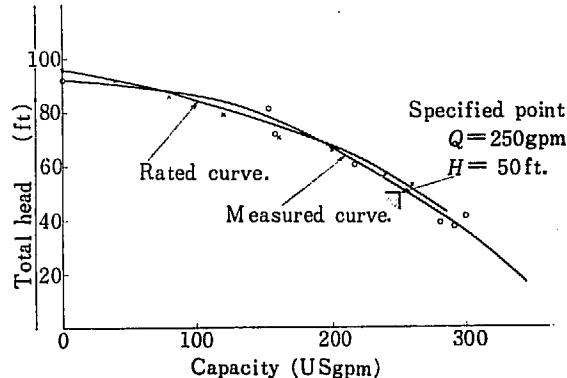


Fig. 110 EP-1 performance curve

-5) 重水非常用冷却ポンプ DP-4

TABLE 19 Fig. 106

-6) 热遮蔽軽水ポンプ PP-1

TABLE 20 Fig. 107

-7) 2次冷却水循環ポンプ HP-1

TABLE 21 Fig. 108

-8) 2次冷却水循環ポンプ HP-2

TABLE 22 Fig. 108

-9) 2次冷却水循環ポンプ HP-1, 2

(para running) TABLE 23 Fig. 108

-10) 2次冷却水吸上ポンプ HP-4

TABLE 24 Fig. 109

-11) 2次冷却水吸上ポンプ HP-5

TABLE 25 Fig. 105

-12) 2次冷却水吸上ポンプ HP-4, HP-5

(4) 各系のポンプ特性試験結果

ポンプ特性試験の測定結果は下記のとおりである。

-1) 主重水ポンプ DP-1 (Original)

TABLE 15 Fig. 102

-2) 主重水ポンプ DP-2 TABLE 16 Fig. 103

-3) 主重水ポンプ DP-1, 2 (para running)

TABLE 17 Fig. 104

-4) 重水補助ポンプ DP-3 TABLE 18 Fig. 105

TABLE 15 Pump check sheet

- (1) Date: Nov. 25 th 1959
 (2) Time: 10.30~12.00
 (3) Tested pump: D₂O circulating pump DP-1

Item	Unit	Meter	Rated value	Flow					Note
				1	2	3	4	5	
Pump rpm N_t	rpm		N_r 1450	1450	1450	1470	1470	1450	
Cap.	Set value	gpm							
	Meas. value Q_t	gpm	FX-1		3650	3000	2000	1600	3650
Suc. head H_s	ft	PI-1	9	11.8	11.8	14.75	14.75	11.8	$hG=3$ ft
Dis. head H_d	ft	PX-1		70.4	103.5	131.5	143.5	70.4	$hG=4$ ft
Total head H_t	ft			58.6	91.7	116.75	128.75	58.6	
Cal. value	$Q_r = Q_t (N_r/N_t)$	gpm		3000	3650	3000	1970	1577	3650
	$H_r = H_t (N_r/N_t)^2$	ft		100	58.6	91.7	115	125	58.6
Water temp.	°F	TX-1	128	83.2	84.0	85.5	85.4	86.2	
Motor	Power	HP	125						
	Current	amp.		275	270	250	235	275	
	Volt	volt	200	210	210	210	210	210	

(4) Flow arrangement

Open valves	DV-1, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 31, 32, 33, 34, 35, 41, 42, 43, 44
Close valves	DV-38, 45, Vent valves, Drain valves
Dis. valves	DV-8

(5) Note

- (i) DP-3 operates to insure constant head condition.
- (ii) All instruments lines and flow piping are full of water.
- (iii) The dummy fuel elements have not yet been inserted into the core position.
- (iv) "hG" is height from pump center line to pressure gauges.

TABLE 16 Pump check sheet

- (1) Date: Nov. 26 th 1959
 (2) Time: 11.00~11.30
 (3) Tested pump: D₂O circulating pump DP-2

Item	Unit	Meter	Rated value	Flow						Note
				1	2	3	4	5	6	
Pump rpm N_t	rpm		N_r 1450	1475	1440	1450	1490	1490	1490	
Cap.	Set value	gpm								
	Meas. value Q_t	gpm		3800	2200	2400	3200	3900	1700	
Suc. head H_s	ft	PI-2	9	7.45	17.9	16.4	7.45	7.45	19.4	$hG=2$
Dis. head H_d	ft	PX-2		67.1	146.0	136.4	113.4	67.1	157.5	$hG=4$
Total head H_t	ft			59.65	128.1	120.0	105.55	59.65	138.1	
Cal. value	$Q_r = Q_t (N_r/N_t)$	gpm		3000	3735	2216	2400	3120	3800	1597
	$H_r = H_t (N_r/N_t)^2$	ft		100	57.4	130.0	120.0	107.2	56.3	130.8

Item	Unit	Meter	Rated value	Flow						Note
				1	2	3	4	5	6	
Water temp.	°F	TX-2	128	69.8	68.9	68.0	68.0	66.2	74.3	
Motor	Power	HP		125						
	Current	amp.			275	240	250	270	285	220
	Volt	volt		200	200	200	200	190	203	

(4) Flow arrangement

Open valves	equal to DP-1
Close valves	equal to DP-1, Vent valves, Drain valves
Dis. valves	DV-8

(5) Note:

- (i) Equal to DP-1
- (ii) Flow rate was measured by orifice and mercury manometer.

TABLE 17 Pump check sheet

- (1) Date: Nov. 26 th 1959
- (2) Time: 13.00~14.30
- (3) Tested pump: DP-1, DP-2 running in parallel

Item	Unit	Meter	Rated value	Flow					Note
				1	2	3	4	5	
Pump rpm N_t	rpm		N_r 1450 1490	1490 1495	1495 1495	1495 1495	1495 1495	1495 1480	
Cap.	Set value	gpm							
	Meas. value Q_t	gpm		6300	5400	4700	4000	3100	
Suc. head H_s	ft	PI-1 PI-2	9	13.42 10.43	16.10 13.42	17.00 16.40	17.90 17.90	18.5 18.5	hG=3 hG=2
Dis. head H_d	ft	PX-1 PX-2		97.5 97.5	124 124	138.7 138.7	149.0 149.0	157.6 157.6	hG=4 hG=4
Total head H_t	ft			84.08 85.07	107.90 110.58	121.7 122.3	131.1 131.1	139.1 139.1	
Cal. value	$Q_t = Q_r (N_r / N_t)$	gpm		6140 6140	5240 5240	4655 4655	3880 3880	3050 3350	
	$H_t = H_r (N_r / N_t)^2$	ft	100	79.1 80.3	101.6 104.0	114 115.2	123.2 123.2	130.8 134.0	
Water temp.	°F	TX-1 TX-2	128	77 80.6	82.4 82.4	84.2 84.2	84.2 86.0	84.2 86.0	
Motor	Power	HP	125						
	Current	amp.		275 275	260 260	250 250	235 235	220 220	
	Volt	volt		205 195	205 198	210 200	205 200	205 200	

(4) Flow arrangement

Open valves	equal to DP-1
Close valves	equal to DP-1
Dis. valves	DV-8

(5) Note:

- (i) Equal to DP-1
- (ii) Adjust DV-1 if reading of PX-1 is different to PX-2
- (iii) Flow rate was measured by orifice and mercury manometer.

TABLE 18 Pump check sheet

- (1) Date: May 11, 1960
 (2) Tested pump: D₂O auxiliary circulating pump DP-3

Item	Unit	Meter	Rated value	Flow					Note
				1	2	3	4	5	
Pump rpm N_t	rpm		N_r 2880	2920	2940	2915	2900		
Cap.	Set value	gpm							
	Meas. value Q_t	gpm		0	13.2	21.2	28.2		
Suc. head H_s	ft	PI-3	3	5.2	4.8	4.3	4.5		
Dis. head H_d	ft	PX-3		96.5	90.1	86.9	80.4		
Total head* H_t	ft			92.3	86.3	83.6	76.9		
Cal. value	$Q_r = Q_t(N_r/N_t)$	gpm	15	0	13.0	21.0	28.0		
	$H_r = H_t(N_r/N_t)^2$	ft	80	88.6	84.0	81.6	75.8		
Water temp.	°F	TX-4	128	55.4	55.4	55.4	55.4		
Motor	Power	HP	1.5						
	Current	amp.							
	Volt	volt	200	200	200	200	200		

* Is calculated as $H_t = H_d - H_s + (G_d - G_s) = H_d - H_s + 1.0$ ft

(3) Note:

- (i) Resin of demineralizer (DD-1, 2) and porcelain candle of filter (DF-1, 2) were not installed.
- (ii) Flow rate is measured by dropping of LI-2.
- (iii) H_d is measured by the other pressure gauge installed instead of PX-3.

TABLE 19 Pump check sheet

- (1) Date: Nov. 26 th 1959
 (2) Time: 14.50~15.10
 (3) Tested pump: D₂O emergency pump DP-4

Item	Unit	Meter	Rated value	Flow					Note
				1	2	3	4	5	
Pump rpm N_t	rpm		N_r 1450	1475	1450				
Cap.	Set value	gpm		0	Max.				
	Meas. value Q_t	gpm							
Suc. head H_s	ft	PI-4	9	23.2	17.57				
Dis. head H_d	ft	PI-5		63.7	32.2				
Total head H_t	ft			40.5	14.63				
Cal. value	$Q_r = Q_t(N_r/N_t)$	gpm	200	0	Max.				
	$H_r = H_t(N_r/N_t)^2$	ft	45	39.15	14.63				
Water temp.	°F	TX-1	128	86.0	85.8				
Motor	Power	HP	5						
	Current	amp.							
	Volt	volt	200	206	206				

(4) Flow arrangement

Open valves	equal to DP-1, DP-2
Close valves	equal to DP-1, DP-2
Dis. valves	DV-8

(5) Note:

- (i) equal to DP-1

TABLE 20 Pump check sheet

- (1) Date: Nov. 27 th 1959
 (2) Time: 15.30~16.40
 (3) Tested pump: Thermal shield pump PP-1

Item	Unit	Meter	Rated value	Measured value					
				1	2	3	4	5	6
Pump rpm N_t	rpm		N_r 2900	2950	2920	2908	2910	2890	2890
Capacity Q_t	gpm			0	86	114	136	170	214
	m³/hr			0	19.6	25.9	31.0	38.7	48.6
Suction head H_s	ft			4.75	4.75	4.85	4.75	3.7	2
	kg/cm²	PI-24		0.145	0.145	0.148	0.145	0.112	0.06
Discharge head H_d	ft			85.5	78.6	75.4	72.2	65.5	56.4
	kg/cm²	PI-6		2.61	2.4	2.3	2.2	2.0	1.72
Total head H_t	ft			80.75	73.85	70.55	67.45	61.8	54.4
Cal. value	$Q_t = Q_r (N_r/N_t)$	gpm	150	0	85.4	113.5	135.2	171	215
	$H_t = H_r (N_r/N_t)^2$	ft	70	78	72.8	70.0	66.8	62.5	55.0
Water temperature	°F		60	73.4	73.4	73.4	73.4	73.4	73.4
Motor	HP	HP	5						
	Amp.	Amp.		5	5	5	5	5	5
	Volt	Volt	200	200	202	200	200	200	200

(4) Flow arrangement:

Test performed in the circuit including PP-1, PE-1, H_2O tank, PT-1 and their main pipe line.
 Adjusting of pressure for discharge side is done by closing and opening PV-2.

(5) Note:

Flow rate was measured by dropping of water level in storage tank PT-1.

(para running) TABLE 26 Fig. 109

-13) 非常用サンプピットポンプ EP-1

TABLE 27 Fig. 110

2.6.3 プロアーの特性試験

(1) 概要

JRR-2 冷却系に付ずいするプロアーとしては重水面をおおっている閉回路のヘリウムを循環させるヘリウムプロアー (DP-6) と、炉内の被照射空気を煙突を通じて大気中に排出する炉内被照射空気用プロアーがある。ヘリウムプロアーの仕様ならびにフローシート

は 2.1.3 「ヘリウム系統」および Fig. 30 に、また、被照射空気用プロアーのそれぞれについては 2.1.6 「空気系統」および Fig. 32 に記してある。

(2) 性能試験とその結果

i) ヘリウムプロアー

性能試験でのヘリウム系バルブの開閉は正常運転と同様にし (Fig. 30) 作動流体は空気でおこなった。流量はローターメーター型の流量計 (300 l/min) でプロアーの吸入および吐出圧力は水柱圧力計をつけて測定した。その試験結果を TABLE 28 に示す。

ii) 被照射空気用プロアー

TABLE 21 Pump check sheet

- (1) Date: Nov. 26 th 1959
- (2) Time: 16.00~16.20
- (3) Tested pump: Secondary cooling circulating pump HP-1

Item	Unit	Meter	Rated value	Flow					Note
				1	2	3	4	5	
Pump rpm N_t	rpm		N_r 1450	1495	1480	1480	1475	1465	
Cap.	Set value	gpm		0	700	1300	1900	2500	
	Meas. value Q_t	gpm		0	790	1260	1900	2500	
Suc. head H_s	ft	PI-10	2	2	1.5	1.5	0.65	0.65	$hG=1\text{ ft}$
Dis. head H_d	ft	PI-11		106.5	103.5	98.7	81.2	45.8	$hG=2\text{ ft}$
Total head H_t	ft			104.5	102.0	97.2	80.55	45.15	
Cal. value	$Q_r = Q_t(N_r/N_t)$	gpm		1900	0	773	1235	1870	2475
	$H_r = H_t(N_r/N_t)^2$	ft		75	99	98	93.3	78	44.3
Water temp.	°F	TX-13	89	54	54	54	54	54	
Motor	Power	HP		60					
	Current	amp.							
	Volt	volt		200	205	205	205	205	

(4) Flow arrangement

Open valves	HV-4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21
Close valves	HV-44, Vent valves, Drain valves
Dis. valves	HV-7

(5) Note:

- (i) The cooling tower basin filled to normal operating level.
- (ii) Flow rate was measured by orifice and mercury manometer.

TABLE 22 Pump check sheet

- (1) Date: Nov. 26 th 1959
- (2) Time: 16.30~16.50
- (3) Tested pump: Secondary cooling circulating pump HP-2

Item	Unit	Meter	Rated value	Flow					Note
				1	2	3	4	5	
Pump rpm N_t	rpm		N_r 1450	1490	1485	1480	1475	1475	
Cap.	Set value	gpm		0	700	1300	1900	2500	
	Meas. value Q_t	gpm		0	660	1275	1900	2500	
Suc. head H_s	ft	PI-10	2	2	1.5	1.3	1	0.65	$hG=1\text{ ft}$
Dis. head H_d	ft	PI-12		107.5	103	97.5	80	40	$hG=2\text{ ft}$
Total head H_t	ft			105.5	101.5	96.2	79	39.35	
Cal. value	$Q_r = Q_t(N_r/N_t)$	gpm		1900	0	644	1250	1870	2460
	$H_r = H_t(N_r/N_t)^2$	ft		75	100	97	92.5	76.4	38
Water temp.	°F	TX-13	89	54	54	54	54	54	

Item	Unit	Meter	Rated value	Flow					Note
				1	2	3	4	5	
Motor	Power	HP	60						
	Current	amp.							
	Volt	volt	200	205	205	205	205	205	

(5) Note:

- (i) Equal to HP-1
- (ii) Flow rate was measured by orifice and mercury manometer.

TABLE 23 Pump check sheet

- (1) Date: Nov. 27 th 1959
- (2) Time: 10.00~10.30
- (3) Tested pump: HP-1, HP-2 Running in parallel

Item	Unit	Meter	Rated value	Flow					Note
				1	2	3	4	5	
Pump rpm N_t	rpm		N_t 1450	1485	1485	1480	1480	1470	
Cap.	Set value	gpm			1400	2600	3800	5000	
	Meas. value Q_t	gpm		0	1400	2600	3800	4400	
Suc. head H_s	ft	PI-10	2	1.6	0.8	0.3	0.3	0.3	$hG=1\text{ ft}$
Dis. head H_d	ft	PI-11 PI-12		107 107	101.5 101.5	96.5 96.5	80 80	62.3 62.3	$hG=2\text{ ft}$ $hG=2\text{ ft}$
	Total head H_t	ft		105.4	100.7	96.2	79.7	62.0	
Cal. value	$Q_t = Q_t(N_t/N_i)$	gpm		0	1365	2550	3720	4340	
	$H_t = H_t(N_t/N_i)^2$	ft		100.0	96.0	92.5	76.5	60.5	
Water temp.	°F	TX-13	89	50	50	50	49	48	
Motor	Power	HP	60						
	Current	amp.							
	Volt	volt	200	200	200	200	200	200	

(4) Flow arrangement

Open valves	equal to HP-1, HP-2, except HV-10
Close valves	HV-44, HV-10, Vent valves, Drain valves
Dis. valves	HV-21

(5) Note:

- (i) The cooling basin should be filled to normal operating level.
- (ii) Adjust HV-4 if reading of PI-11 is different to PI-12.
- (iii) Flow rate was measured by orifice and mercury manometer.

この系統には流量計がついていないので、流量はプロアーチ出側の 8" パイプにオリフィス型流量計を臨時に取付けその特性曲線より流量を算出した。ただしこの測定時にはプロアーチ入口のフィルター箱にフィルターが未取付けであったので流量が規定値をはるかに越えている。

測定結果は TABLE 29 に、また流量オリフィス特性

曲線は Fig. 111 に示す。

2.6.4 まとめ

以上のように JRR-2 冷却系ポンプの特性試験の結果、仕様の 5% 前後の範囲で満足していることか確かめられたい良好な結果が得られた。ただし DP-3 ポンプについては仕様を満足する特性曲線が得られ

TABLE 24 Pump check sheet

- (1) Date: Nov. 27 th 1959
- (2) Time: 10.30~11.00
- (3) Tested pump: Booster pump PP-4

Item	Unit	Meter	Rated value	Flow						Note
				1	2	3	4	5	6	
Pump rpm N_t	rpm		N_r 1450	1490	1485	1475	1475	1480	1480	
Cap.	Set value	gpm								Full open
	Meas. value Q_t	gpm		0	500	1240	1550	1950	2160	
Suc. head H_s	ft	PI-10'	2	2.3	2.3	1.6	1.3	0.7	0.7	hG=1
Dis. head H_d	ft	PI-11'		95.0	92.5	85.2	70.9	49.2	35.4	hG=2
Total head H_t	ft			92.7	90.2	83.6	69.6	48.5	34.7	
Cal. value	$Q_r = Q_t(N_r/N_t)$	gpm	1950	0	489	1219	1525	1910	2116	
	$H_r = H_t(N_r/N_t)^2$	ft	55	87.9	85.9	80.8	67.2	46.5	33.3	
Water temp.	°F	TI-4	109	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	
Motor	Power	HP	40							
	Current	amp.								
	Volt	volt	200	200	200	200	200	200	200	

(4) Flow arrangement

Open valves	HV-32, 33, 34, 35, 38, 39, 40, 41, 42, 43
Close valves	HV-3, Vent valves, Drain valves
Dis. valves	HV-34

(5) Note:

- (i) Equal to HP-1, HP-2
- (ii) Flow rate was measured by orifice and mercury manometer.

TABLE 25 Pump check sheet

- (1) Date: Nov. 27 th 1959
- (2) Time: 11.00~11.30
- (3) Tested pump: Booster pump HP-5

Item	Unit	Meter	Rated value	Flow						Note
				1	2	3	4	5	6	
Pump rpm N_t	rpm		N_r 1450	1480	1480	1480	1480	1475	1470	
Cap.	Set value	gpm								Full open
	Meas. value Q_t	gpm		0	500	1050	1500	1950	2200	
Suc. head H_s	ft	PI-10'	2	2.3	2.3	2.0	1.6	0.7	0.7	hG=1
Dis. head H_d	ft	PI-12'		96.2	94.1	88.5	79.0	50.8	31.2	hG=2
Total head H_t	ft			93.9	91.8	86.5	77.4	50.1	30.5	
Cal. value	$Q_r = Q_t(N_r/N_t)$	gpm	1950	0	490	1030	1470	1918	2150	
	$H_r = H_t(N_r/N_t)^2$	ft	55	90.1	88.2	83.1	74.3	48.5	29.7	
Water temp.	°F	TI-4	109	50	50	50	50	50	50	

Item	Unit	Meter	Rated value	Flow						Note
				1	2	3	4	5	6	
Motor	Power	HP		40						
	Current	amp.								
	Volt	volt		200	200	200	200	200	200	

(4) Flow arrangement

Open valves	equal to HP-4
Close valves	equal to HP-4
Dis. valves	HV-35

(5) Note:

- (i) Equal to HP-1, HP-2
- (ii) Flow rate was measured by orifice and mercury manometer.

TABLE 26 Pump check sheet

- (1) Data: Nov. 27 th 1959
- (2) Time: 11.30~12.00
- (3) Tested pump: HP-4, HP-5 running in parallel

Item	Unit	Meter	Rated value	Flow					Note
				1	2	3	4	5	
Pump rpm N_t	rpm		N_t 1450	1490 1490	1490 1490	1480 1480	1480 1480		
Cap.	Set value	gpm						Full open	
	Meas. value Q_t	gpm			0	1100	2600	3500	
Suc. head H_s	ft	PI-10'	2	2.0	1.6	0	0		hG=1
Dis. head H_d	ft	PI-11' PI-12'		95.1 95.1	91.8 91.8	82.0 82.0	61.3 61.3		hG=2 hG=2
Total head H_t	ft			93.1	90.2	82.0	61.3		
Cal. value	$Q_t = Q_t(N_t/N_t)$	gpm			0	1070	2545	3430	
	$H_t = H_t(N_t/N_t)^2$	ft			88.2	85.5	78.7	58.9	
Water temp.	°F	TI-4	109	50	50	50	50		
Motor	Power	HP	40						
	Current	amp.							
	Volt	volt		200	200	200	200	200	

(4) Flow arrangement

Open valves	equal to HP-4, HP-5
Close valves	equal to HP-4, HP-5
Dis. valves	HV-34, 35

(5) Note:

- (i) Equal to HP-1, HP-2
- (ii) Adjust HV-34 and HV-35 so that reading PI-11' are equal to PI-12.
- (iii) Flow rate was measured by orifice and mercury manometer.

TABLE 27 Pump check sheet

- (1) Date: Jan. 19 th 1960
- (2) Time: 14.00~15.00
- (3) Tested pump: Sump pit pump EP-1

Item	Unit	Motor	Rated value	Flow					Note
				1	2	3	4	5	
Pump rpm N_t	rpm		N_r 2900						
Cap.	Set value	gpm							
	Meas. value Q_t	gpm		297	291	280	217	157	152
Suc. head H_s	ft			0	0	0	0	0	0
Dis. head H_d	ft			41.0	37.8	38.8	60.7	72.2	81.2
Total head H_t	ft			41.0	37.8	38.8	60.7	72.2	81.2
Cal. value	$Q_t = Q_r (N_r/N_t)$	gpm	250						
	$H_t = H_r (N_r/N_t)^2$	ft	50						
Water temp.	°F			51.8	51.8	51.8	51.8	51.8	51.8
Motor	Power	HP	7.5						
	Current	amp.							
	Volt	volt	200						

(4) Flow arrangement

Open valves	
Close valves	
Dis. valves	EV-6

(5) Note:

- (i) Water flow was checked by determining the time required to empty a sump pit which was filled with water of 277 gallon before the pump was tested.
- (ii) Contact of the pump shaft and tachometer was not so good therefore, tachometry of the pump was not done.

なかったので、ひとまわり大きい size の impeller と交換して再測定の結果、TABLE 18, Fig. 105 に示すように仕様を満たした。また、DP-3, PP-1 の特性試験においては流量計の指示がくるっていることが判明したので、ポンプの流量測定はおのおの貯槽のレベル降下より算出した。

付記 DP-1 ポンプの small size impeller の特性試験

DP-1 性能試験と関連して JRR-2 の core flow distor test なかに fuel の上部保持機構が coolant flow によってはずれる可能性が発見された。このため万一 fuel の上部保持機構がはずれた場合に燃料が浮かびあがらない流量を test した結果は 2.2.5 「燃料要素の上部固定装置がはずれた場合の状況」にのべたとおりで、2800 gpm 以下であれば安全と考えられ

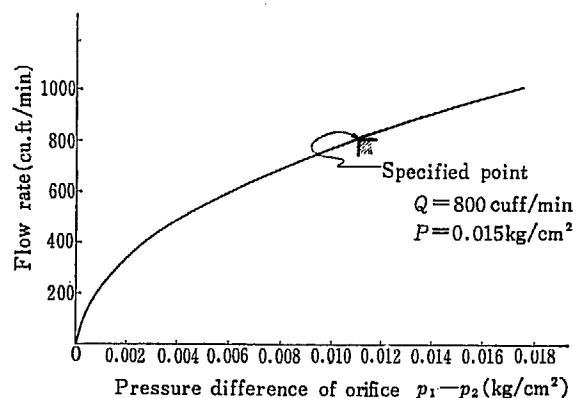


Fig. 111 Relation between pressure difference of

orifice and flow rate.

(Irradiated air blower 800 cuft/min 10" H₂O
8" pipe)

た。これにもづいて炉心入口のバルブ DV-8 をしば

TABLE 28 Blower check sheet

- (1) Date: Nov. 25 th 1959
- (2) Time: p.m. 4.10~4.30
- (3) Tested blower: He blower DP-6

Item	Unit	Meter	Rated value	Flow					Note
				1	2	3	4	5	
Blower rpm N_t	rpm		390						
Cap.	Set value	CFM							
	Meas. value Q_t	CFM	FI-4	9.85					
Suc. head H_s	inch	PI-13	2.5	-5.2					
Dis. head H_d	inch	PI-14		3.78					
Total head H_t	inch			8.98					
Cal. value	$Q_r = Q_t(N_r/N_t)$	CFM		10					
	$H_r = H_t(N_r/N_t)^2$	inch		10					
Water temp.	°F			66.4					
Motor	Power	HP	1/4						
	Current	amp.		5					
	Volt	volt		100					

(4) Flow arrangement

Open valves	DV-57, 58, 60
Close valves	DV-68, 54, 55, 51, 62, 63, 64, 65
Dis. valves	DV-59

(5) Note: In this test, working fluid is air.

TABLE 29 Blower performance testing sheet

- (1) Date: Nov. 25 th 1959
- (2) Time: p.m. 1.00~2.00
- (3) Test blower: Irradiated air blower

Item	Unit	Meter	Rated value	Flow	Note
Cap.	Press diff.	cmAq		25.8	
	Cap.	Cu ft/m	800	about 1200	
Suc. head	inch Aq			-1.61	
Dis. head	inch Aq			8.0	
Total head	inch Aq		10	9.61 245 mmAg	
Temp.	°F	TL-5		68	

って流量調整を実施した結果配管構造上 DV-8 を出した jet が CX-1 付近にぶつかり非常に激しい打撃音を発するので、三菱日本重工横浜造船所で DP-1 impeller を加工し、dia. $14\frac{5}{8}$ " から $13\frac{1}{4}$ " に小さくした。この $13\frac{1}{4}$ " impeller を使用した DP-1 の性能

試験結果を TABLE 30, Fig. 112 に示す。

なおこの場合 flow を変えてポンプの性能、振動および騒音などを調べた結果、DV-1 を full open して DV-8 を調節すると 2800 gpm~3300 gpm の領域にわたって surging は認められないが、大体 2800~

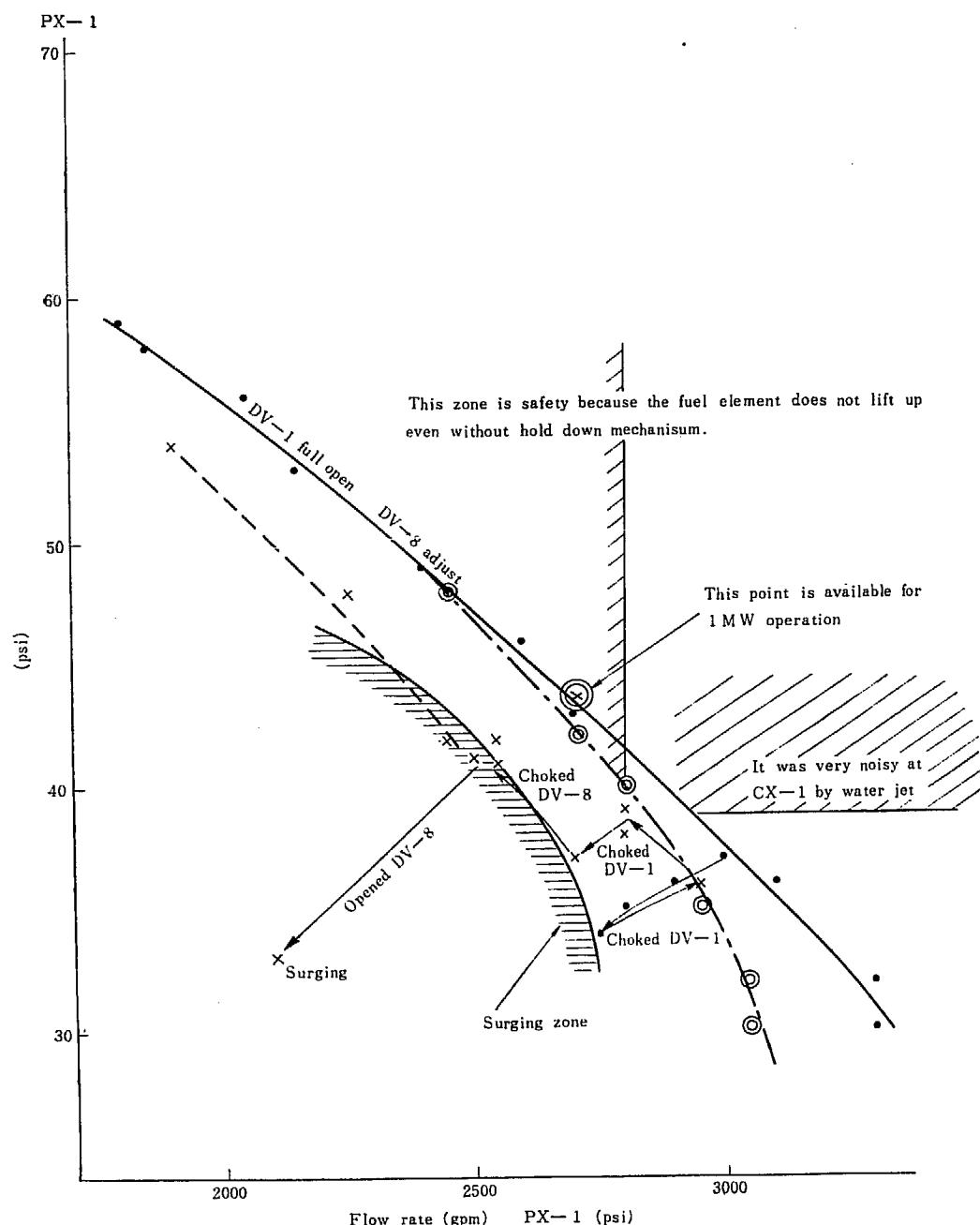
TABLE 30 DP-1 performance test data (impeller dia. 13^{1/4}')

Test No.	FX-1/FI at the converter of FX-1 (gpm)	PX-1/PI-1 (psi) (kg/cm ²)	Amp./Volt	N (rpm)	Note
1	3300/2750	30/0.52	242/210	—	
2	3300/2850	32/0.52	240/209	1495	
3	3100/2625	36/0.54	240/208	1500	
4	2700/2650	43/0.57	238/208	1497	
5	2600/2500	46/0.58	237/208	1500	
6	2400/2300	49/0.60	232/208	1500	
7	2150/2150	53/0.62	228/208	1500	
8	2050/2000	56/0.63	220/208	1500	
9	1850/1800	58/0.64	210/208	—	
10	1800/1700	59/0.65	210/208	—	
11	3000/2500	37/0.55			Choke DV-1 keeping DV-8 open
12	2900	36			
13	2800	35			
14	2750	34			
15	2950	36			Choke DV-8 keeping DV-1 set.
16	2800	39			Open DV-1 a little
17	2800	39			Choke DV-8 keeping DV-1 of the state
18	2800	38			
19	2700	37			Choke DV-1
20	2550	41			Choke DV-8 keeping DV-1 at the state
21	2500	41.2~41.3			DP-1 was surged
22	2500/2350	41	235/208		
23	2250/2200	48/0.61	230/208		
24	1900/1850	54/0.64	222/208		
25	2450/2450	42/0.58	238/208		
26	2550	42			
27	2500	41			
28	2100	33			
29	3050/2750	30/0.53	240/211	1500	
30	3050/2800	30/0.53	240/211	1500	
31	3050/2950	30/0.52	245/212	1500/1070	
32	3050/2950	32/0.53	242/212	1500/1180	
33	2950/2850	35/0.55	240/212	1500/1320	
34	2800/2650	40/0.56	240/212	1500/1540	It was very noisy at CX-1
35	2450/2400	48/0.60	235/212	1500/1800	
36	2700	42			

2900 gpm 以下では DV-8 をでた jet が (DV-8 は 8 割程度 close) CX-1 付近にぶつかり、かなりの打撃音を発する。DV-1 をしぼるとこの打音は幾分減少する傾向にあるが、DP-1 の surging zone にはいり piping 系に振動と騒音を発する。また、DP-4 出口の check valve の seat をはずしてバイパスをとったところ、流量 3000 gpm 以上では流量が減少するが 2700 gpm 以下では DP-1 出口の choke がへるため

pump 流量は増加しこの bypass 効果はほとんどなくなる。しかも、この場合 DP-4 は water turbine になつて 1500~2000 rpm で逆転するが非常停電時に軸に大きな逆転トルクを与えてかえって危険である。

以上を考慮して Fig. 112 の × 点で運転するのが最も適当と考えられ、DV-8 をしぼって流量調整を実施した。

Fig. 112 DP-1 performance test results (impeller dia.= $13\frac{1}{4}$ "")

2.7 JRR-2 冷却系の重水ポンプについて

2.7.1 まえがき

JRR-2 冷却系の重水ポンプには、主循環ポンプ DP-1, 2 精製系の補助ポンプ DP-3 および非常用冷却ポンプ DP-4 があり、各ポンプの仕様ならびに特性概要については 2.1 「冷却系の概要」および 2.6 「冷

却系ポンプの特性試験」に述べたとおりである。これらのポンプは JRR-2 の設計および建設を担当した AMF 社が米国において購入し、JRR-2 ポンプ室に据付けをおこなったもので、ポンプの漏れ止め装置からの漏水、ポンプ内面の赤サビなどが主として問題となりこの章では、上記ポンプの漏れ止め装置 (mecha-

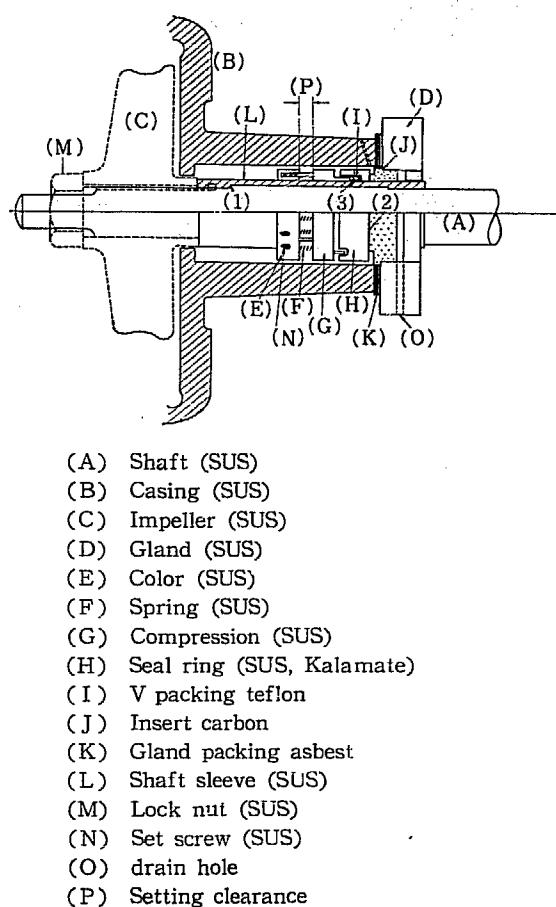


Fig. 113 Construction of mechanical seal of DP-1,2

nical seal) の構造と機能、運転経過と漏れ試験の結果ならびに運転実績についてのべる。

2.7.2 重水ポンプの構造と機能

(1) 重水主ポンプ DP-1, 2

これらのポンプは米国 Worthington 製の 8CG-1 の渦巻ポンプで、漏れ止め装置として米国 Dura Metallic Co. の Rott type (shaft dia. $3\frac{1}{4}$) を使用している。その構造の概略は Fig. 113 に示すように最も単純な型式のもので、アンバランス型、V型の軸パッキン、インサイドシングルシールの平面接触のメカニカルシールである。その回転部分のカラー (E) はセッタスクリューでスリーブ (L) 上に固定され、コンプレッションリング (G) およびシールリング (H) は 16 本のスプリング (F) によって押され、ドライブビンによって軸とともに回転する。その先端のシールリング (H) は固定部のグランドインサート (J) の端面 (2) において摺動接觸をする。

固定部のグラファイト・インサートは軸と無関係にグランドカバーに圧入されて固着し、グランドカバー

はパッキン (K) とともにケーシングにボルト締めされ、スタッピング・ボックスからの静止シールをしている。また、シャフトスリーブ (L) は impeller とともにロックナットでシャフトに共締めされ、シャフトとスリーブ間隙の軸方向の漏れ止めは接面 (1) の金属間面接触で（摺り合わせをおこなった）保たれる。スリーブ (L) とシールリング (H) との軸方向の漏れ止めにはテフロンの V パッキン (I) を使用している。

この構造においてポンプ運転中、あるいは停止時のシール部分 (2)(3) からの漏水はグランドにあつまり、ドレンホール (O) からドレンボックスに回収できる。しかし、この漏水がシール摺動面 (2) からの漏れかシャフトの V パッキンからのものかは判別することが困難な不便がある。また、シャフトとスリーブ接面 (1) からの漏水はポンプ停止時にスリーブ後端で検知できる。

(2) 重水補助ポンプ DP-3

このポンプは米国 Worthington 製の ICNG-52 型の渦巻ポンプで、漏れ止め装置は米国 Dura Metallic Co. のメカニカルシール Rott type を使用している。このメカニカルシールの構造型式は、DP-1, 2 ポンプと全く同様で（スリーブなし）、shaft dia. が $15/16$ " 316 SS stellite faced seal ring を使用している。漏水はグランドカバーにあつまりドレンボックスに回収できる。

(3) 重水非常用冷却ポンプ DP-4

このポンプは米国 Worthington 製の 3CNG-84 型の渦巻ポンプで Worthington seal の EA type のメカニカルシールを使用し、その shaft dia. は $1\frac{3}{8}$ " で Fig. 114 にその概略を示す。構造型式は V 型軸パッキン・アウトサイド・シングルシールで、カーボンブッシングとオールサイトシールリングの平面接觸のメカニカルシールである。

その回転部のバックアップリング (A) はセットスクリューでシャフトに固定され、シールリング (E) はスプリング (B) によって押されカーボンブッシング (F) の端面 (1) で接觸する。一方、カーボンブッシングはパッキン (G) を介してクランプ (H) によってポンプケーシング (K) に固定されている。シールリングはスプリングによって押されながらシャフトおよびバックアップリングとともに回転し、固定部のカーボンブッシングの接面 (1) で摺動接觸する。シャフトとシールリングの間にテフロンの V 型パッキンが取りついて軸方向の漏水を止めている。また、

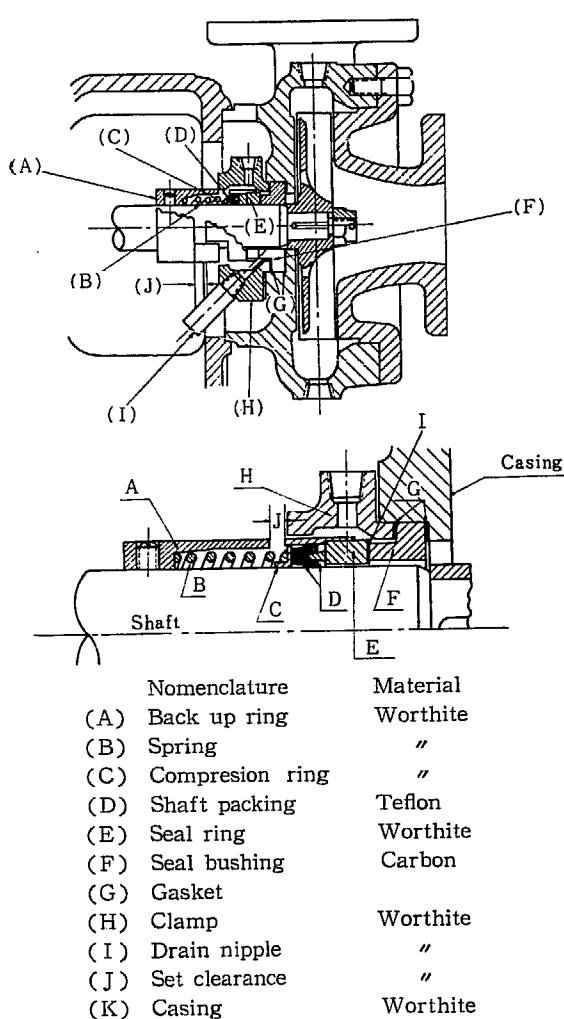


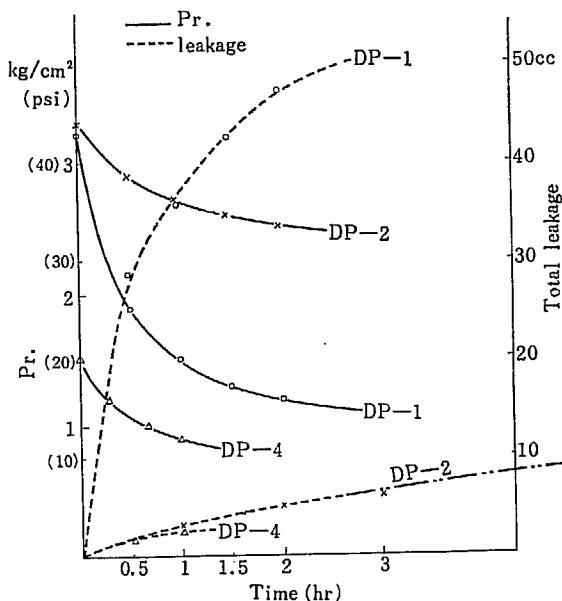
Fig. 114 Construction of mechanical seal of DP-4

シール面（1）とシャフトパッキンからの漏水はドレン箱に回収ができるこの構造においてはポンプの漏水は外から漏れ個所がわかる便利がある（停止中）。

2.7.3 運転経過と漏れ試験

（1）概要

JRR-2 重水ポンプは冷却系配管の工事進捗とともにない炉室地階のポンプ室に据付けられ、昭和 34 年 7 月中旬に demineralized water で flushing をおこなったのちにポンプ単独の静止漏れ試験を実施した。この試験方法はポンプの吸入・吐出フランジに盲板を取り付け、demineralized water で 3.2 kg/cm^2 (DP-1, 2) および 1.5 kg/cm^2 (DP-4) を加圧し、おもにメカニカルシールからの漏水および圧力降下を測定した。その結果は Fig. 115 に示すように、DP-2, DP-4 はだいたい良好であったが DP-1 の漏水が多く $50 \text{ cc}/3 \text{ hrs}$ で圧力降下もいちじるしかった。しばらくして impeller を取りはずしケーシング内のクリーニング



Note. The pr. in DP-4 reduced to zero in 12 hrs and total leakage was 3.5 cc

Fig. 115 Leak test results of DP

グの際にケーシング内、impeller 表面の鋸歯（材質はウォールサイト）に局部的に赤錆を認めたので三菱日本重工横浜造船所において分解酸洗いを実施した。またベント・ドレンパイプ取付け座の改良や DP-1, 2 の impeller の balancing の調整、シャフトとスリーブ取付け面の漏れ試験、メカニカル接面のラッピング取付けなどをおこなって 34 年 9 月中旬に現地に据付けをおこなった。重水ポンプの漏れ試験においては主として漏水量、軸受箱、表面温度、シール温度、水温、カーボン摩耗量、流量およびポンプ圧力などを測定した。漏水量はグランドのドレン孔下にビーカーで受け注射器で測り、カーボン量は沈殿をまつて蒸発乾固し天秤で秤量した。軸受温度およびシール温度は軸受箱表面（ペアリングに近い方）およびグランド表面のシールに最も近い部分に温度計をパテで取付けた。

以下に各ポンプの漏れ試験について述べる。

（2）重水主ポンプ DP-1, 2

i) 初期ならし運転の状態

これらのポンプはポンプケーシング、impeller の赤錆の洗浄をおこない、メカニカルシールのラッピングを終って 9 月中旬に現地に据付けを完了した。さらに重水、ヘリウム系全体の加圧漏れ試験を終って系に注水し、10 月中旬にポンプメカニカルシールのならし運転がおこなわれた。ポンプ試運転のはじめは、グランドの上部孔よりシールインサートに冷却水を通してシールを冷却しながら短時間のならし運転を繰り返えた。この結果は TABLE 31 に示すように、DP-1 にお

TABLE 31 The test results of water leakage of DP-1 and 2

Date	Pump state	DP-1		DP-2		Note
		Leakage	Leak rate (cc/hr)	Leakage	Leak rate (cc/hr)	
34. 10. 19	Operate	28 cc/15 min		0.5 cc/30 min		
	"	13 cc/10 min		0.2 cc/10 min		
	"	15 cc/10 min	mean 94	mean 1		
	"	16 cc/10 min				
	Stop	3 cc/1 min	180	1 cc/10 min	6	
11. 22	Operate	4.8 cc/2.5 hr	2.0	6.5 cc/2.5 hr	2.6	
	Stop	25 cc/43 hr	0.6			
12. 9	Operate	6.5 cc/6 hr	1.1	24.0 cc/6 hr	4.0	
12. 15	Stop	65.8 cc/24 hr	2.7	6.8 cc/6 hr 8.2 cc/24 hr	1.1 0.35	The leaking water from DP-2 was black and leak rate was not steady
12. 24	Operate	11.3 cc/3 hr	0.4	46 cc/3 hr	15.3	
	Stop	14.3 cc/16 hr		35.8 cc/16 hr	2.2	
12. 25	Operate	2.8 cc/2.5 hr	1.1	24.0 cc/1.5 hr	16.0	
	Stop	114 cc/16 hr	7.2	22.1 cc/16 hr	1.4	
35. 1. 9	Operate	3.2 cc/20 min	9.6	1.4 cc/20 min	4.2	
	"	1.3 cc/20 min	3.9	2.25 cc/20 min	6.7	
	Stop	55.8 cc/24 hr	2.3	14 cc/24 min	0.6	The leaking water from DP-2 was black

いては最初 15 cc/10 min 程度の漏水がしだいに減り、1 cc/hr 程度に好転し、DP-1 にあってはシール接面が良好となり、DP-2 ではシールの接触面が荒れた状態にあるとおもわれたが、一方停止状態における漏水は DP-1 が多く、DP-2 が少ないのはシール摺動面の良否のみからは推察できない。ことに DP-2 においてはカーボンがけずられて漏れ水が黒色をおび、黒色漏水と漏水率が不規則となって非常に憂うべき状態であった。また、この試験中に軸受箱表面温度も測定したが、Fig. 116 および 117 に示すように 6 時間の連続運転で 55°C 以上にも上昇したので、軸受箱に配管をおこない、冷却水を通して試験をおこなった結果は

Fig. 118 のように 41°C 程度で飽和値に達して問題はなかった。しばらくして AMF の recommend にもとづいて新潟ウオシントン K.K. 柏崎工場において DP-1, 2 の漏れ止め装置の補修が実施されるようになった。

ii) 新潟ウオシントンにおける重水ポンプのメカニカルシール補修について

つぎに新潟ウオシントンにおいての DP-1, 2 についておこなった試験および補修について述べる。

a) Alignment の調整

Coupling の alignment を点検した結果 coupling

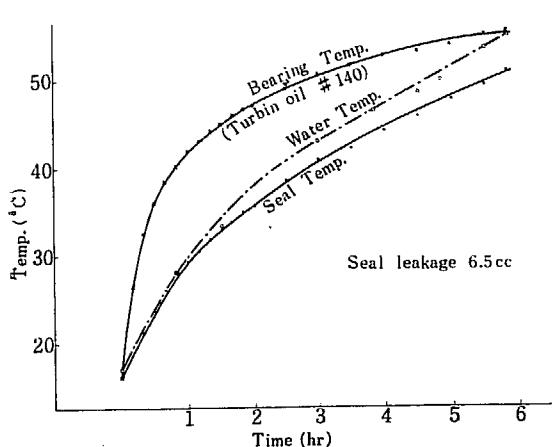


Fig. 116 Test results of DP-1 Dec. 9, 10.00~16.00

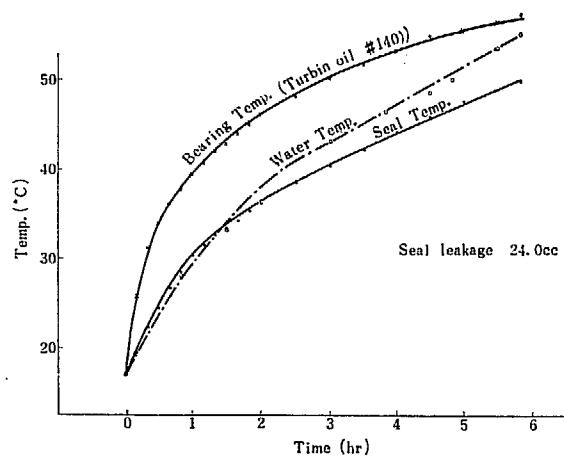


Fig. 117 Test results of DP-2 Dec. 9, 10.00~16.00

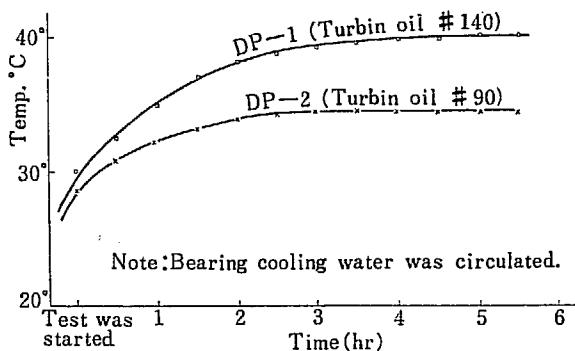
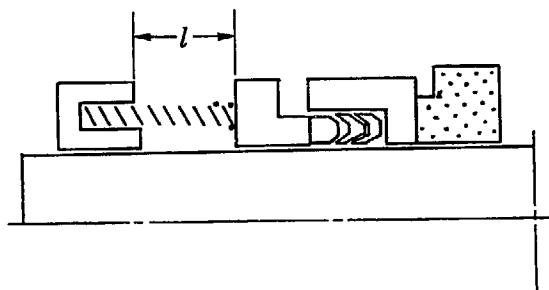


Fig. 118 Bearing temp. test results of DP-1, 2

Fig. 119 Seal setting clearance *l*

外周に相当の振れが見られた。これは key の接触が一様でなく、ボルト締めによって coupling の alignment がくるいを生ずる。DP-1 においては 0.38 mm のズレが 0.05 mm DP-2 においても 0.42 mm のズレが 0.015 mm に修正された。

b) DP-1, 2 の漏水について

柏崎工場においてはこのポンプを試運転する清浄水を循環できる装置がないので impeller を取りはずし、suction, discharge 側に盲板をして水道水で内圧 0.75 kg/cm² に加圧し運転中の漏れ試験を実施した。

この結果 DP-1 では 2.2 cc/4 hr の黒色漏水があり DP-2 では 3 cc/5 hr の漏水があった。

このあと DP-1, 2 ポンプを分解検査の結果

DP-1 の seal setting clearance (Fig. 119 参照)

$$l=6.5 \text{ mm}$$

DP-2 の seal setting clearance *l*=3.45 mm

で規定では $1/4''=6.4 \text{ mm}$ となっており、DP-2 は少し強く押し過ぎてカーボンが痛んでおり、シールリングも DP-1 では $1/100\sim2/100 \text{ mm}$ DP-2 では $0.2\sim0.3 \text{ mm}$ 擦り減っていた。

この結果 JRR-2 における初期のならし運転の運転状態では、DP-1 の接触状態が好転したのにくらべ DP-2 においては面圧が強いためえずカーボンが削られていた状態でその面も荒れていたと考えられる。また停止状態における漏水は DP-2 の面圧が大きいので、シャフトパッキンの edge が DP-1 より効いて

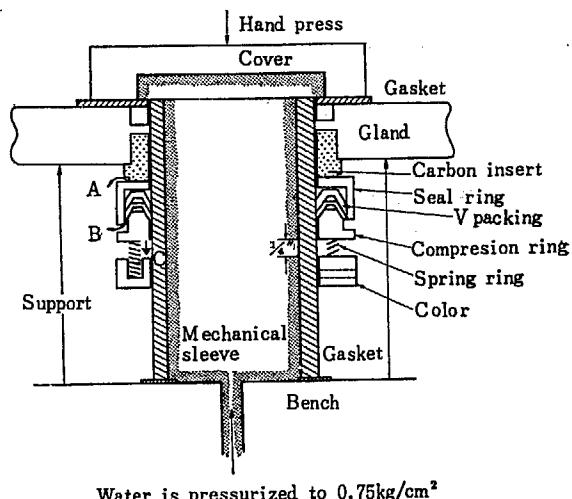


Fig. 120 Leak test device for mechanical seal proper

いたことが考えられる。

c) Impeller の balance 修正

Impeller の balancing 点検の結果、数 g の unbalance があったのでつぎのように修正された。

DP-1 残留アンバランス $4.2 \text{ g} \rightarrow 0.4 \text{ g}$

DP-2 残留アンバランス $3.8 \text{ g} \rightarrow 0.5 \text{ g}$

d) Mechanical seal 単体の漏れ試験

この試験方法としては Fig. 120 のようにベンチの上にスリープ上に Ass'y されたメカニカルシールをのせ上方よりカバーをしてハンドプレスで押さえた。またメカニカルシールのセットクリアランスが規定値 $1/4''=6.3 \text{ mm}$ となるようにグランド支持を調整した。しばらくしてベンチ下部から水圧 0.75 kg/cm^2 をかけ外部えの漏水箇所を調べた。

(注 この方法は V パッキンの逆サイドより加圧するので不都合とおもわれるが漏れる箇所を見出すためにあえておこなった。)

この結果、第1回のテストにおいてはシール接面 A からの漏水が非常に多く、つぎにシャフトパッキンの C 箇所、B 箇所からの漏れが多かった。つぎにシールリングおよびカーボン接面を完全にラッピングしましたスリープ面もラップして再試験の結果シールリングとシャフト・パッキン接面 B からのみ漏水がみられた。この状態でポンプに組込み静圧試験をおこなった結果 36 cc/hr の漏水があり、つぎにカーボンとシールリング接面にネオンプレンの O リングを入れて Ass'y し、接面 A からの漏れを完全にないようにして静圧試験をおこなった結果シャフトパッキンの嵌合が多少ゆるいことが考えられた (Ass'y する際のシャフトパッキンの嵌合のかたさからも感じられる)。また、セットク

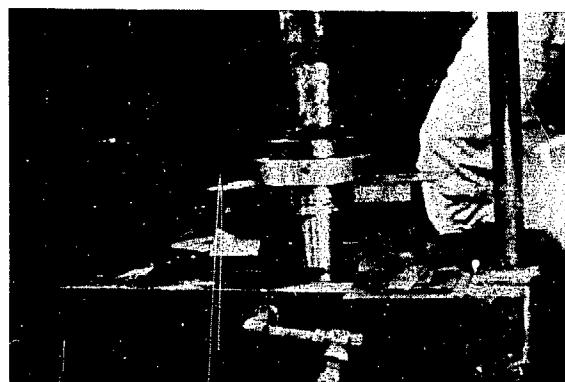


Fig. 121 (a) Leak test device for mechanical seal proper

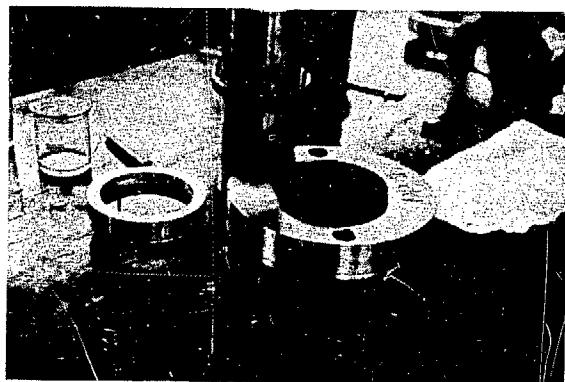


Fig. 121 (b) Parts of mechanical seal of DP-2
クリアランスを 4 mm にして静圧試験をおこなった結果
少しも良い結果が得られなかった。

また、この試験に続きシャフトパッキンからの漏水がないようにシャフトパッキングの間にグリースを充填し、静圧試験 (0.75 kg/cm^2) で 1 時間保持し漏れがないことを確めて運転試験をおこなった結果は $1\text{hr} \rightarrow 10.1 \text{ cc}$ となり、 $2\text{hr} \rightarrow 3.1 \text{ cc}$ 、 $3\text{hr} \rightarrow 0.4 \text{ cc}$ 、シール面の lapping が良くなるにつれて漏水も減少していくことがわかった。以上の結果から判断して、シャフトパッキンとシールリングの嵌合があまく、シールリング内周面に 0.3 mm 程度のクロームメッキを施して使用することにした。

e) PV 値について

このポンプシールのセットクリアランスを $1/4"$ にしたときの面圧 $P = 3,550 \text{ kg/cm}^2$ 、また面圧と周速の積 $PV = 1475 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{m/min}$ となり、セットクリアランスを 2 mm 短縮し、4.3 mm に set した場合は $P = 4.03 \text{ kg/cm}^2$ 、 $PV = 1681 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{m/min}$ で通常 $P = 5 \text{ kg/cm}^2$ および $PV = 2000 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{m/min}$ であれば問題はないので多少縮めて試験をおこなった。

f) セルフフラッシング装置 (Fig. 122)

摺動接触によって生じる温度上昇をおさえるために

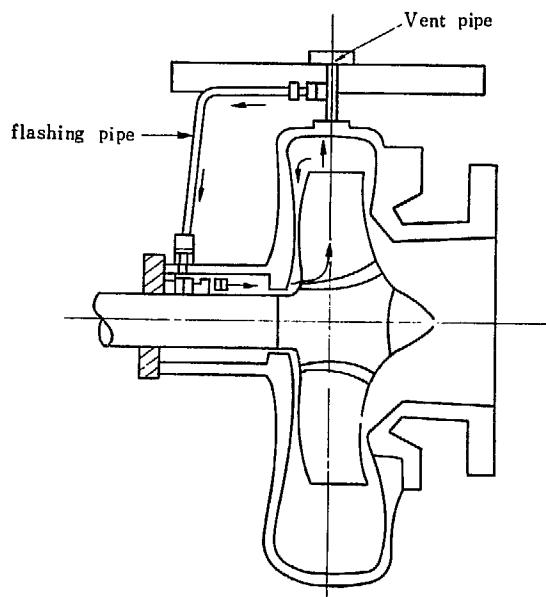


Fig. 122 Self flashing for mechanical seal

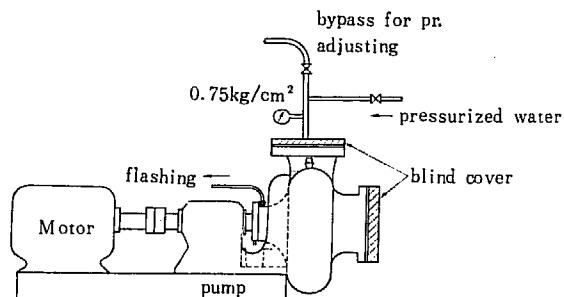


Fig. 123 Leak test method for mechanical seal of DP-1, 2

図のように吐出側（ポンプケーシング上部のベントパイプ）からバイパスをとってスタッフィングボックスに内径 $2 \text{ mm}\phi$ のステンパイプでつなねた。この配管の途中に $1 \text{ mm}\phi$ のニードルバルブを設け流量を調節する。

g) 最終の漏れ試験

以上のべた試験結果を考慮し、補修工事をおえてシールリングおよびカーボンインサート接面をハンドラッピングで平滑にし最終的なランニングテストをおこなった。テスト方法はつぎの Fig. 123 のようにポンプ吸入、および吐出側に盲蓋をし水道水で加圧した。加圧パイプ途中にバイパスを設け圧力計をみながらバイパスバルブにより内圧 0.75 kg/cm^2 に調節しながら 5 HP のモーターでポンプを駆動し、メカニカルシールの漏水試験をおこなった。

漏れ試験は 8 時間の連続運転を 4 日間にわたって実施し、DP-1, 2 とも運転前の静圧試験は 0.75 kg/cm^2 の加圧で 30 分間保ち漏水は認められなかった。そして運転直後の漏水はつぎのようだったものが、上記運

運転後の時間	漏 水	
	DP-1	DP-2
1 時 間	1.1cc	0.1 cc
2 時 間	8.3cc 黒色漏水	1.85cc
3 時 間	1.0cc	1.05cc
4 時 間	1.2cc	1.5 cc

最終日の8時間運転の結果はつぎのようになつた。

運転後の時間	漏 れ	
	DP-1	DP-2
1 時 間	1.2cc (黒い)	2.1cc (黒い)
2 時 間	0.5cc	0.6cc (黒い)
3 時 間	0.8cc	0.2cc (黒い)
4 時 間	0.8cc	1.1cc (黒い)
5 時 間	0.9cc	0.3cc } グランド水洗
6 時 間	0.95cc	0
7 時 間	1.10cc	0
8 時 間	1.2cc	0

転において DP-1 の漏水が多いので調べた結果、モーターのセンタリングが悪く数十分のランニングで漏水が認められないので柏崎工場においての漏れ運転を中止し JRR-2 に出荷された。

以上の一連の連続運転において始動直後は黒色漏水が認められるが時間の経過とともに透明となり漏水も減少したので JRR-2 においても同様な結果が予想された。

iii) JRR-2 に据付け後の漏水試験

新潟ウォシンソン柏崎工場で漏れ止補修をおわった DP-1, 2 ポンプは 3 月上旬に JRR-2 ポンプ室に据付けられた。

a) Fig. 123 の様式で impeller を取り付けない状態での 21 時間のランニングテストをおこなった結果は TABLE 32 (1), Fig. 124 のように DP-1 は 1.8 cc/hr, DP-2 は 0.5 cc/hr の平均漏水があり、DP-1 では黒色漏水が多くかった。このテスト終了後 impeller の取付け際にシャフトの振れをしらべた結果は、DP-1, 6/100 mm, DP-2, 4/100 mm (ダイヤルゲージの振れ) で DP-1 の方が多少わるかった。

b) つぎにポンプに impeller を取り付けて、7 時間の連続運転をおこなった。これは 2 次循環水を止め運転時間の経過とともに循環水が 46°C 程度までに上昇し、このときの平均漏水は DP-1 は 2.2 cc/hr (スタート時の漏水が多くこれを含まない), DP-2 は 1.7 cc/hr であった。結果は TABLE 32 (2), Fig. 125 に示す。

c) 同様な試運転をふたたび実施した結果は、TABLE 32 (3), Fig. 126 に示すように平均漏水が DP-1, 2 とともに 4.0 cc/hr 程度であり、状態としては始動直後に漏水が急激に多く黒色の漏水で、でてくるカーボン量を蒸発乾固して秤量で測ったところ、始動後数時間しても 10 mg 程度のカーボンが摩耗していることがわかった。また、impeller を取り付けた運転状態でのポンプモーターの主要な位置での振動を測定した結果はつぎのようであった。(Fig. 127)

位 置	DP-1	DP-2
A	1.5/1000m/m	0.4/1000m/m
B	5.0	3.5
C	2.0	3.6
D	2.2	1.8
E	4.0	3.8
F	2.5	3.6
G	0.6	0.5
H	0.6	0.5

測定器: Akashi, Telefibrometer-U1

測定範囲 0.0002~0.25mm

d) さらに HP-1, 4 の 2 次系ポンプを運転し、熱交 DE-1, 2 を動かさせて重水系水温を 10~15°C の低温状態に保ったときシールからの漏れを調べた結果は TABLE 32 (4), Fig. 128 のように、始動直後は漏れもやや多く、若干異色をおびているが低温運転では漏れも少なく、かつ、透明で安定した状態である。平均漏水は DP-1, 1.2 cc/hr, DP-2, 0.5 cc/hr で impeller なしの連続運転の結果とほぼ同様である。

e) つぎに 2 次冷却を補助ポンプで循環させ、重水系水温を 50° 前後に保ったときの漏れとカーボンの減量を検べた結果は TABLE 32 (5), Fig. 129 のとおりで始動時の漏水は多く、かつ真黒である。その後の定常状態では漏水の黒色もうすく DP-1 は 3.5 cc/hr, DP-2 は 2.1 cc/hr の平均漏水があり急激な状態の変化がみられない。また、3~5 mg のカーボンがたえず摩耗していた。

f) 热交 DE-1, 2 をはたらかせ低水温 15°C で数時間の漏れ試験をおこなった。これは高温水のランニングでは漏水が多く、またカーボンが常時削られている黒水があるので低温で試験した場合に、以前おこなった試験 d) と比較するために実施した。この結果は、TABLE 32 (6), Fig. 130 のように始動直後 15 分間は黒色で漏水は DP-1, 3.4 cc/hr, DP-2, 1.6 cc/hr で、カーボン量は DP-1 で約 100 mg (ビーカー破損のため測定不能) DP-2 で 56 mg であった。つぎの測定時からは漏水も透明となり DP-1 で 0.5

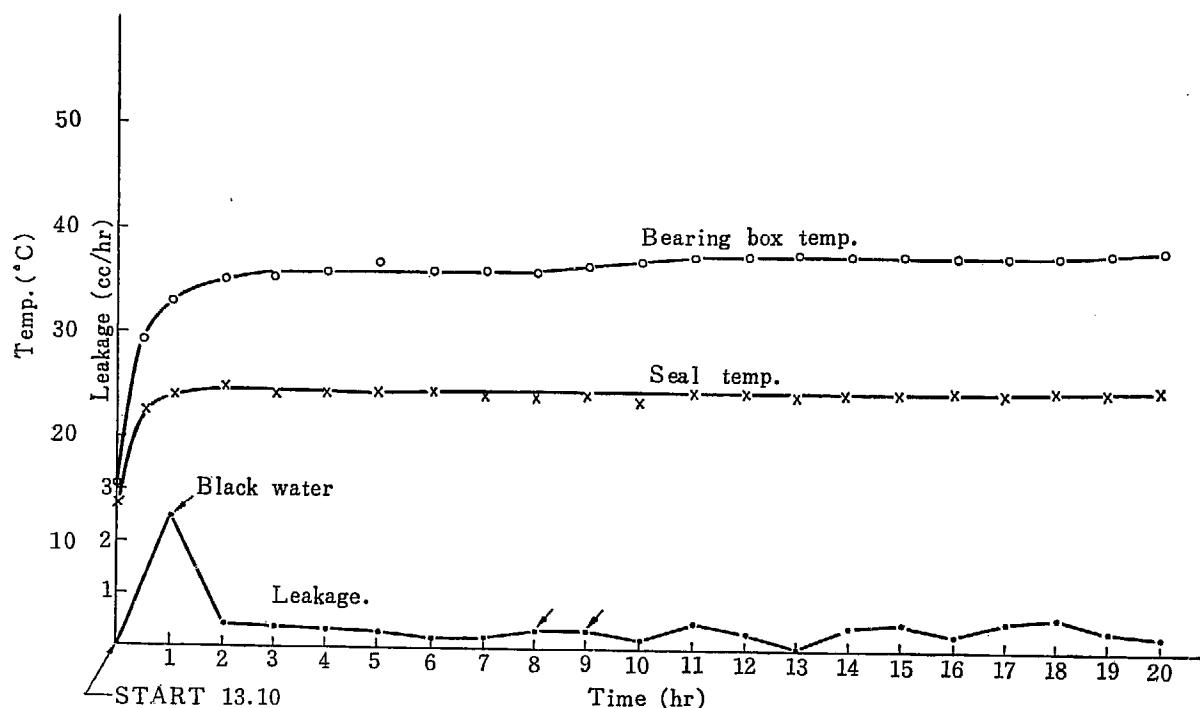


Fig. 124 (1) Leak tests results of DP-1 (without impeller) March 11~12, 1960

Room temp. 18.0~19.8°C

Water temp. 10~11.0°C

Flashing water temp 15°C

Lubricating oil is Turbine oil # 140

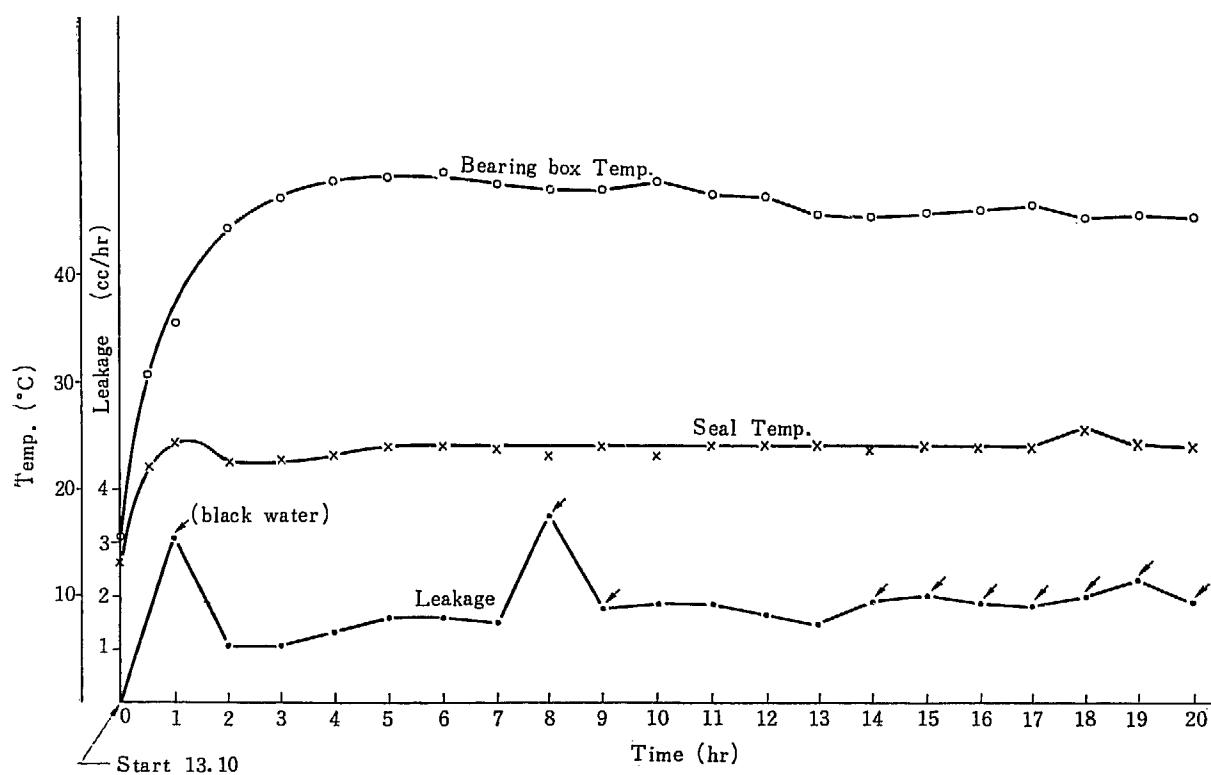
pressure 0.75 kg/cm²

Fig. 124 (2) Leak test results of DP-2 (without impeller) March 11~12, 1960

Room temp. 18.3~19.8°C

Water temp. 10.0~11.0°C

Flashing water temp. 15°C

Lubricating oil is Turbine oil # 140

Pressure 0.75 kg/cm²

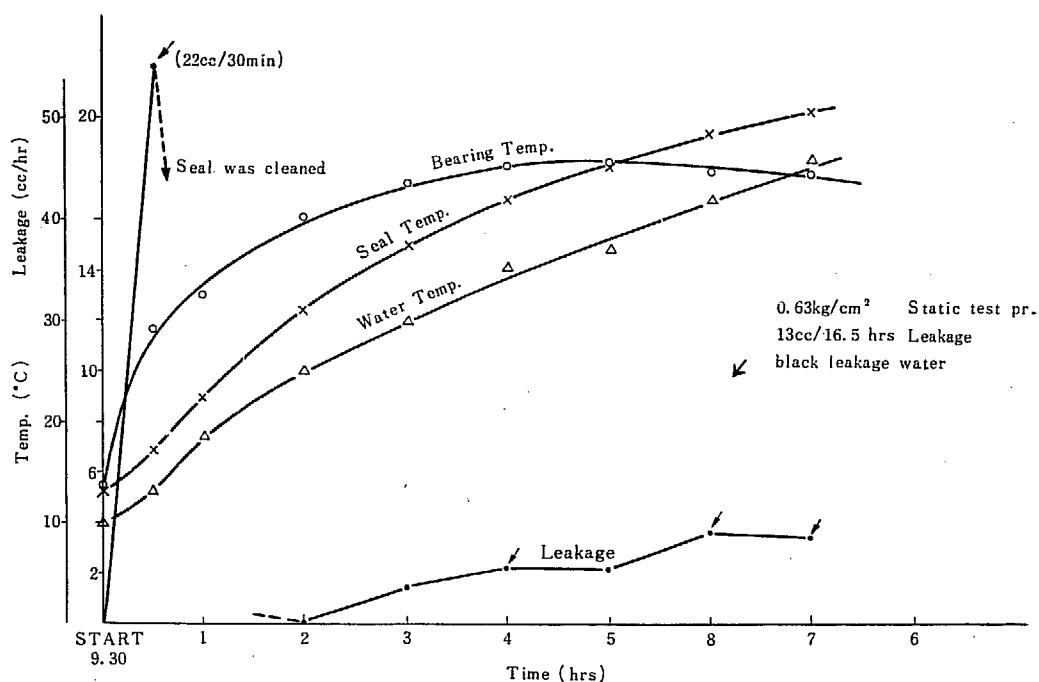


Fig. 125 (1) Leak test results of DP-1 (with impeller) March 15, 1960
 Suc. pr. 0.55 kg/cm²
 Delivery pr. 58 Psi
 Flow rate 5700 gpm
 Room temp. 15°C~23°C
 Lubricating oil Turbine oil # 140

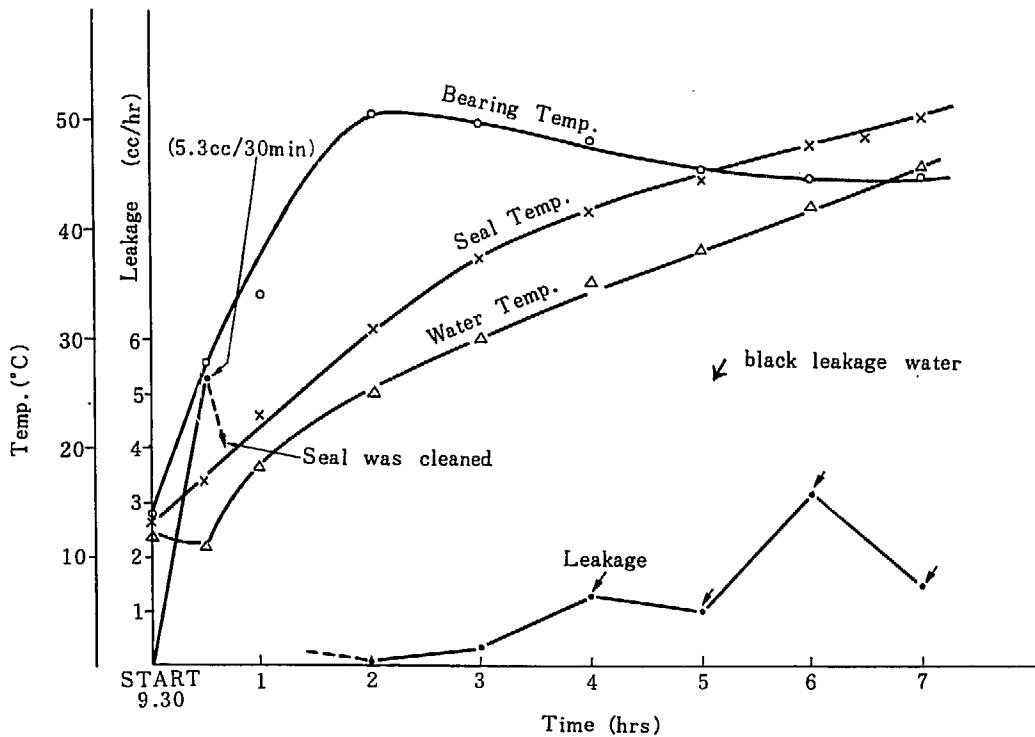


Fig. 125 (2) Leak test results of DP-2 March 15, 1960
 Suc. pr. 0.5 kg/cm² Delivery pr. 63 Psi
 Flow rate 5700 gpm Room temp. 15°C~23°C
 Lubricating oil Turbine oil # 140 Static leak test pr. 0.67 kg/cm²
 Leakage 0/16.5 hrs

TABLE 32(1) Test results of water leakage of DP-1 and 2 (without impeller) March 11~12, 1960

Time	DP-1			DP-2			Lubricating oil turbine oil 140			
	Leakage (cc)	Bearing temp.	Seal temp.	Leakage (cc)	Bearing temp.	Seal temp. at the surface of gland	Room temp.	Water temp.	Flashing water temp.	Note
13.10	(Start)	15.4°C	13.0°C	(Start)	15.5°C	13.5°C	17.3°C	"	"	
13.40		30.6	22.0		29.3	22.5	19.0	"	"	
14.10	3.10 black	35.4	24.3	2.50 black	33.0	23.8	18.3	11.0°C	15.0°C	
15.10	1.10	44.5	22.4	0.45	35.2	24.8	18.0	10.0	15.0	
16.10	1.10	47.0	23.0	0.40	35.8	24.2	19.4	"	"	
17.10	1.35	48.7	23.0	0.35	35.8	24.0	18.2	"	"	
18.10	1.60	49.0	24.0	0.30	36.8	24.3	19.5	"	"	
19.10	1.60	49.5	23.9	0.20	36.0	24.7	"	"	"	
20.10	1.50	48.3	23.6	0.20	35.9	24.0	19.6	"	"	
21.10	3.50 black	47.9	23.1	0.35 black	35.9	24.0	18.0	"	"	
22.10	1.80 black	47.9	24.0	0.35 black	36.5	24.2	19.0	"	"	
23.10	1.85 black	48.6	23.0	0.20	37.0	23.5	18.0	"	"	
0.10	1.85	47.5	24.0	0.50	37.5	24.5	"	"	"	
1.10	1.65	47.3	24.0	0.30	37.5	24.5	"	"	"	
2.10	1.50	45.5	23.9	0.05	37.8	24.0	19.0	"	"	
3.10	1.90 black	45.3	23.7	0.45	37.7	24.3	19.6	"	"	
4.10	2.00 black	45.9	24.0	0.50	37.7	24.5	"	"	"	
5.10	1.85 black	46.0	23.8	0.30	37.6	25.0	19.4	"	"	
6.10	1.80 black	46.6	24.0	0.55	37.6	24.5	"	"	"	
7.10	2.00 black	45.3	25.7	0.65	37.8	25.2	"	"	"	
8.10	2.30 black	45.5	24.0	0.40	38.2	25.0	19.8	"	"	
9.10	1.90 black	45.5	24.0	0.30	38.5	25.2	20.5	10.0	15.7	
(Stop) Mean leakage Static test	1.8 cc/hr			0.5cc/hr						
10.10	2.5 cc			0.05						
11.10	1.2			4.3						
Shaft whirl	6/100 mm			4/100 mm						

TABLE 32(2) Test results of water leakage of DP-1 and 2 (with impeller)

March 15, 1960

DP-1

Time	PI-1	PX-1	Bearing temp.	Seal temp.	TX-1	TX-3	Flow rate	Leakage	Room temp.	Note
Start	0.7 kg		13.8°C	13.5°C	10°C	12°C			15°C	
9.30	0.55	46 psi					gpm	6000		
10.00	"	58	29.0	17.2	13.0	10.0	5500	black	"	
10.30	"	"	32.5	22.5	18.5	19.0	"	22cc/30 min	"	シール洗滌
11.30	"	"	40.0	31.0	25.0	25.0	5700	0.07 cc/hr	18.8	
12.30	"	"	43.5	37.5	30.0	31.0	"	1.50		
13.30	"	"	45.2	42.0	35.0	36.0	"	2.30 black	20.5	
14.30	"	"	45.5	45.3	37.0	39.5	"	2.20		
15.30	"	"	44.8	48.7	42.0	43.0	"	3.70 black	23.0	
16.00	"	"	44.5	49.5	45.0	44.0	"			
16.30	"	"	44.6	50.6	46.0	46.5	"	3.45		
Stop	Mean leakage							5.3 cc/hr		
Static test	(0.63 kg/cm²)			13.0 cc/16.5 hrs			"	2.2 cc/hr	without starting state	

DP-2

Time \	PI-2	PX-2	Bearing temp.	Seal temp.	TX-2	TX-3	Flow rate	Leakage	Room temp.	Note
Start	0.75 kg/cm ²		13.8°C	13.5°C	12.0°C	12.0°C	gpm			
9.30	0.5	54 psi					6000	black		
10.00	"	63	27.8	17.0	11.0	10.0	5500	5.3 cc/30 min		
10.30	"	"	34.0	23.0	18.2	19.0	"	?		
11.30	"	"	50.5	31.0	25.0	25.0	5700	0.1 cc/hr	18.8	
12.30	"	"	49.5	37.4	30.0	31.0	"	0.35		
13.30	"	"	48.0	41.6	35.0	36.0	"	1.35 black	20.5	
14.30	"	64	45.3	44.5	38.0	39.5	"	1.05 black		{ DE-2 2ry drain temp. was 40°C
15.30	"	"	44.5	47.8	42.0	43.0	"	3.2 black	23.0	DE-2 2ry drain water temp. was 44°C
16.00	"	"	44.5	48.5	45.5	46.5	"			
16.30	"	"						1.5 black		
Stop	Static test	(0.67 kg/cm ²)			Leak rate 0/16.5 hrs		Mean leakage	1.7 cc/hr		

TABLE 32(3) Test results of water leakage of DP-1 and 2 (with impeller) March 16, 1960

DP-1

Time \	PI-1	PX-1	Bearing temp.	Seal temp.	TX-1	TX-3	Flow rate	Leak late	Room temp	Note
Before start	kg/cm ²									
Start	0.72									
9.30	0.56	58 psi	18.0°C	19.2°C	24.0°C	24.0°C	5500 gpm		17°C	
9.50	"	"	31.5	36.0	34.0	33.5	"	cc/hr		{ DE-1 2ry water temp was 28°C
10.30	"	"	36.0	41.0	36.0	37.0	"	9.0 black	20	
11.30	"	"	40.6	48.2	46.0	46.0	"	3.5 ("")		
12.30	"	"	43.0	36.0	27.5	28.0	"	3.5 ("")	21.3	
13.30	"	"	36.5	37.5	31.0	31.5	6200	4.2 ("")		
14.30	"	"	41.5	45.2	41.0	41.0	6000	2.15 ("")		
15.30	"	"	43.0	49.5	45.0	45.0	"	2.5 ("")	22.5	
16.30	"	"	43.5	49.6	47.0	47.0	"	3.9 ("")		
17.00	Stop	"	44.0	52.5	50.0	50.0		1.8 cc/30min	23.0	
Static test	Press	kg/cm ²	0.63				mean		4.0 cc/hr 17.0 cc/ 16 hrs	

DP-2

Time \	PI-2	PX-2	Bearing temp.	Seal temp.	TX-2	Flow rate	Leak rate	Room temp	Note
Before start	kg/cm ²								
Start	0.75								
9.30	0.50	65 psi	18.0°C	20°C	24°C	5500 gpm		17°C	
9.50	"	"	34.5	35.0	35.0	"			
10.30	"	"	38.0	42.0	38.0	"	14.8 black	20	
11.30	"	"	42.8	48.3	46.0	"	2.8 ("")		
12.30	"	"	45.5	39.3	27.5	6200	2.9 ("")	21.3	
13.30	"	"	38.2	37.3	31.0	6000	3.5 ("")		
14.30	"	"	43.5	43.8	41.0	"	1.1 ("")		
15.30	"	"	45.0	49.2	45.0	"	1.75 ("")	22.5	
16.30	"	"	45.8	49.7	47.0	"	2.4 ("")		
17.00	Stop	"	46.0	52.5	50.0	mean leak	1.9/30 min	23.0	
Static test	Press	kg/cm ²	0.67				4.1 cc/hr 0 cc/16 hrs		

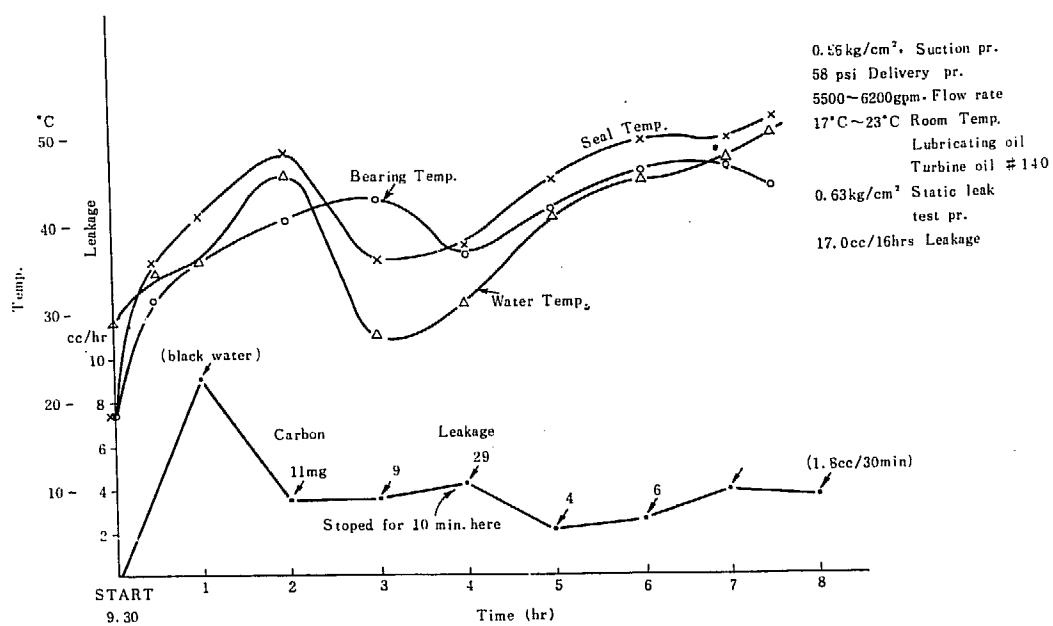


Fig. 126 (1) Leak test results of DP-1 March 16, 1960

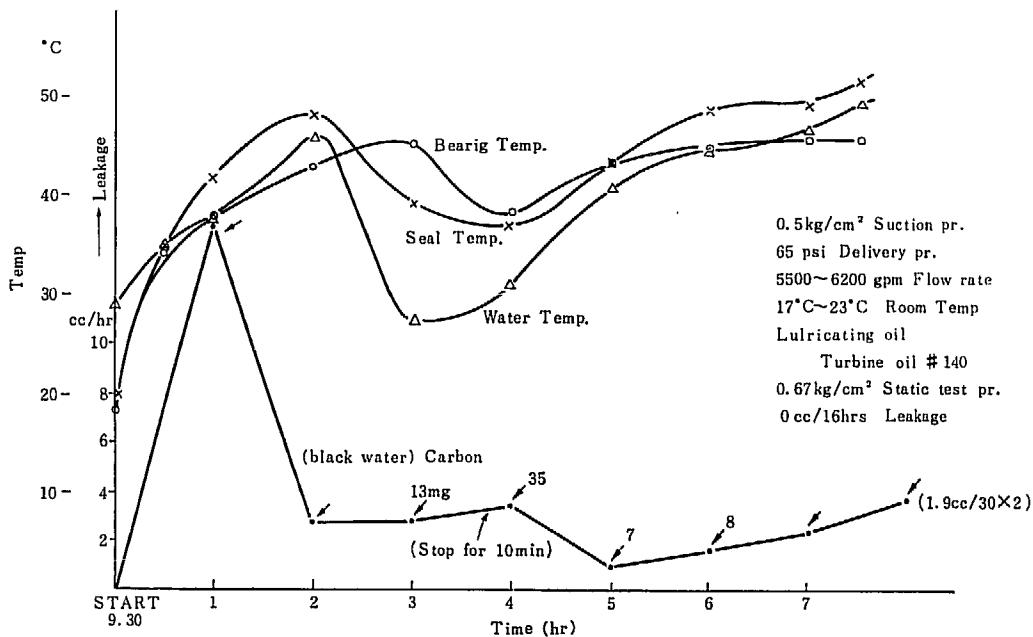


Fig. 126 (2) Leak test results of DP-2 March 16, 1960

cc/hr, DP-2 で 0.4 cc/hr に落ち着き以前の結果と同様であった。

また、この運転の後の停止状態での漏水は
DP-1 で 26.4 cc/15 hr 1.8 cc/hr
DP-2 で 6.2 cc/15 hr 0.4 cc/hr
であった。

g) Flow distribution test の中の DP-1, 2 の漏水記録
前述したように高温水、低温水における一連の試験

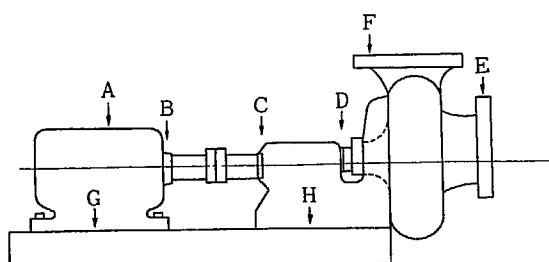


Fig. 127 Measuring points of vibration amplitude of DP-1, 2

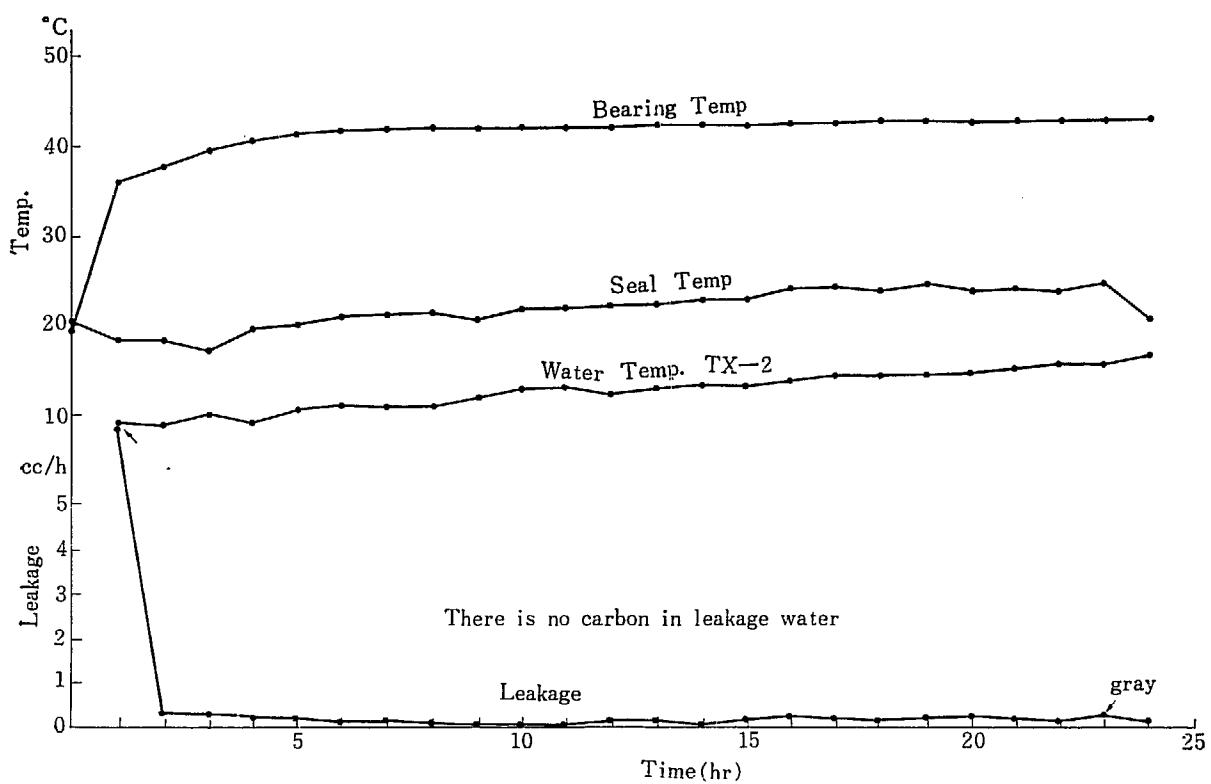


Fig. 128 (1) Leak test results of DP-2 (with impeller) March 17, 9.40~18, 9.40, 1960

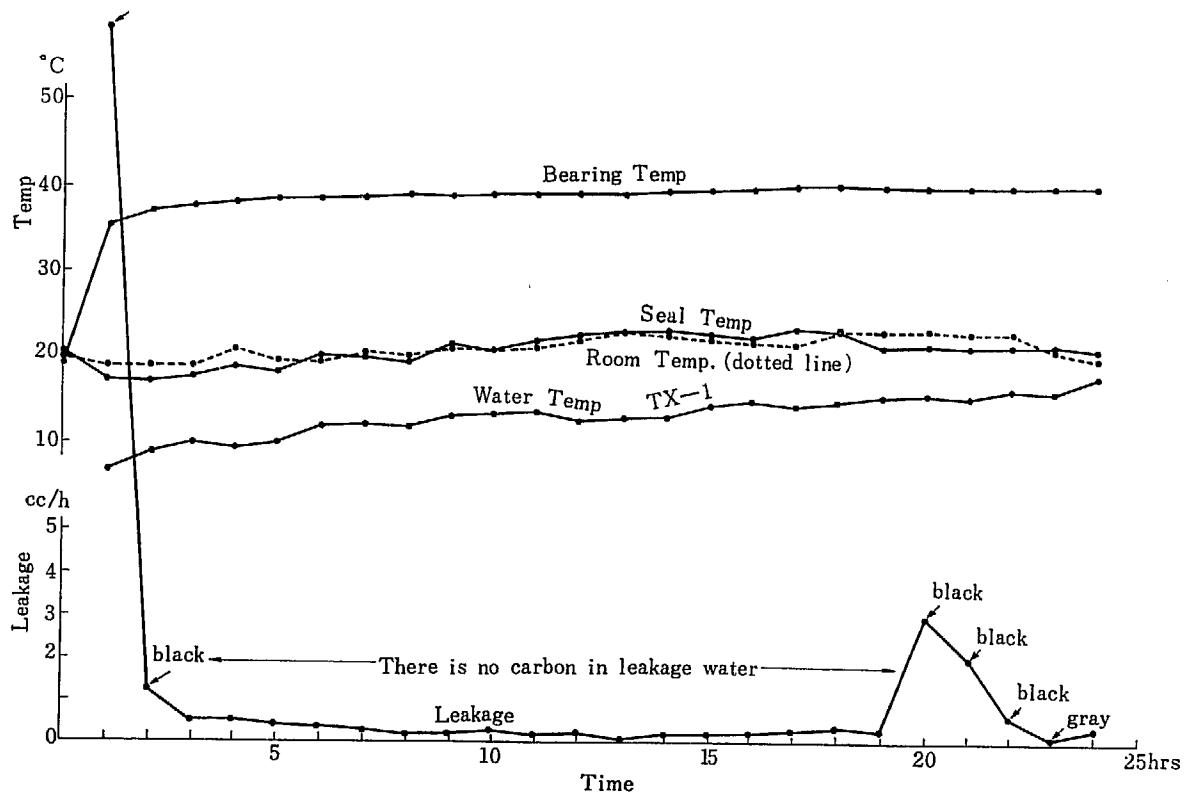


Fig. 128 (2) Leak test results of DP-1 (with impeller) March 17, 9.40~18, 9.40, 1960

TABLE 32(4) Test results of water leakage of DP-1 and 2 (with impeller) March 17~18, 1960

Time	DP-1							DP-2							Flow rate Q.gpm
	Bearing temp.	Seal temp.	Leak (cc/h)	TX-1 (°C)	Room temp.	PI-1 kg/cm²	PX-1 (psig)	Bearing temp.	Seal temp.	Leak (cc/h)	TX-2 (°C)	PX-1 (psig)			
9.40	19.5°C	20.5°C	black		20°C	0.5	"	19.5°C	20.5°C	black		"			6000
10.40	35.5	17.5	16.7	7	19	"	50	36	18.5	6.7	9	57		6200	
11.40	37.2	17.3	1.3	9	19.2	"	50	37.8	18.3	0.3	9	57		6200	
12.40	37.8	17.8	0.55	10	19	"	50	39.6	17.2	0.3	10	57		6100	
13.40	38.0	18.8	0.55	9.5	20.9	"	52	40.6	19.8	0.25	9	57		6100	
14.40	38.5	18.2	0.45	10	19.5	"	50	41.2	19.9	0.25	10.5	57		6000	
15.40	38.5	20.2	0.4	12	19.5	"	51	41.8	21	0.15	11	56		6200	
16.40	38.7	20.0	0.3	12	20.5	"	50	41.8	21.2	0.15	11	57		6200	
17.40	38.9	19.5	0.2	12	20	"	50	42.1	21.5	0.13	11	57		6200	
18.40	38.7	21.6	0.25	13	21	"	49	42	20.4	0.05	12	57		6200	
19.40	39.0	20.8	0.3	13.5	21	"	50	42.1	22	0.03	13	56.5		6200	
20.40	39.0	22.0	0.2	13.5	21	"	49.5	42.2	22.3	0.1	13	56.5		6200	
21.40	39.1	22.6	0.25	12.5	22.2	"	49.5	42.2	22.5	0.2	12.5	55		6200	
22.40	39.3	23.0	0.1	13	23.1	"	49.5	42.5	22.5	0.2	13	55		6200	
23.40	39.5	23.2	0.2	13	22.7	"	50	42.5	23	0.1	13.5	57		6200	
24.40	39.5	22.8	0.2	14.5	22	"	52	42.5	23.3	0.2	13.5	57		6200	
1.40	39.5	22.3	0.25	15	22	"	49	42.6	24.3	0.3	14.0	56.5		6200	
2.40	40.0	23.5	0.30	14.5	21.5	"	53	42.7	24.2	0.25	14.5	56.5		6200	
3.40	40.2	23.0	0.4	15	23.1	"	50	43.0	24.0	0.2	14.5	57		6200	
4.40	40.0	21.2	0.3	15.5	23.1	"	49	43.0	24.9	0.25	14.5	57		6200	
5.40	40.0	21.4	3.0	black	23.3	"	50	43.0	24.0	0.30	15.0	57		6300	
6.40	40.0	21.2	2.0	black	15.5	23.0	"	53	43.1	24.3	0.25	15.5	56.5		6300
7.40	40.0	21.3	0.7	gray	16.5	23.0	"	49	43.0	24.0	0.20	16.0	57.0		6100
8.40	40.0	21.5	0.2	16.0	21.0	"	52	43	25	0.35	16.0	56.5		6200	
9.40	40.0	21	0.4	18	20	"	52	43.3	21	0.2	17	57		6200	
9.40	Stop														

TABLE 32(5) Test results of water leakage of DP-1 and 2 (with impeller) March 18~20, 1960

Time	DP-1					Room temp. (°C)	DP-2					Flow rate (gpm)	Note
	Bear-ing temp. (°C)	Seal temp. (°C)	Leak rate (cc/hr)	TX-1 (°C)	PI-1/PX-1 (kg/cm²)		Bear-ing temp. (°C)	Seal temp. (°C)	Leak rate (cc/hr)	TX-2 (°C)	PI-2/PX-2 (kg/cm²)		
Start 3/18 11.00	21.8	24.2	black	19.0	0.5/48 psi	22.1	23.0	23.2	black	18.0	0.4/56 psi	6200	DE-1 2ry drain water temp 21°C
	38.5	35.8	11.0	28.0	0.5/50	22.7	37.8	32.5	11.5	28.0	"	"	
	42.0	44.2	2.2"	38.0	"	23.5	42.2	40.8	0.7"	37.5	"	"	
	44.2	50.0	2.3"	44.0	"	24.0	45.0	48.0	1.7"	43.5	"	"	
	45.2	51.6	4.0"	47.0	"	26.0	46.6	51.5	2.2"	46.0	"	"	
	45.8	54.5	3.2"	50.5	"	26.2	48.0	54.2	2.5"	51.0	"	"	
	46.0	54.0	4.1"	49.0	"	27.0	"	54.0	2.0"	49.0	/57	"	
	46.0	54.0	2.9"	"	"	"	"	"	2.1"	49.0	/56	"	
	46.3	53.2	3.2"	50.5	"	26.3	47.8	53.7	1.4"	51.0	"	"	
	46.5	53.5	1.85	51.0	"	26.0	47.4	54.0	0.85	51.0	"	"	
	46.8	54.1	2.7	51.5	"	26.3	47.7	54.2	0.9	51.5	"	"	
	47.0	54.8	3.2	52.0	"	26.0	47.2	54.9	1.4	52.0	"	"	
	47.0	55.0	3.0"	51.0	"	25.5	47.5	56.6	1.4	51.0	"	"	
3/19 24.00	47.2	54.8	1.7	51.0	"	"	47.2	54.5	3.5	51.0	"	"	

Time	DP-1					Room temp. (°C)	DP-2					Flow rate	Note
	Bearing temp. (°C)	Seal temp. (°C)	Leak rate (cc/hr)	TX-1 (°C)	PI-1/PX-1		Bearing temp. (°C)	Seal temp. (°C)	Leak rate (cc/hr)	TX-2 (°C)	PI-2/PX-2		
3/19	1.00	47.0	54.0	gray black	51.5 3.05	kg/cm ² 0.5/50 psi	25.5	47.0	55.4 " " " "	2.4 1.45 55.0 56.0	51.0 51.0 51.0 51.0	kg/cm ² 0.4/56 psi	6200 "
	2.00	47.0	55.0	gray	51.5	"	"	55.5	1.45 "	51.0	"	"	"
	3.00	47.0	55.0	1.9 gray	51.5	"	"	55.0	2.70 "	51.0	"	"	"
	4.00	47.0	54.0	3.1 black	51.5	"	"	56.0	1.5	51.0	"	"	"
	5.00	46.5	52.5	4.0	51.0	"	"	46.5	55.4	1.6 "	51.0	"	"
	6.00	46.8	53.6	3.8 "	50.5	"	25.3	"	54.2	1.7	50.5	"	"
	7.00	47.0	54.0	4.0 "	51.0	"	25.0	46.8	55.0	1.6 "	50.0	"	"
	8.00	47.2	54.4	3.5 "	50.5	"	25.0	"	54.0	1.3 "	50.5	"	"
	9.00	47.5	53.2	2.2 "	49.0	"	26	46.8	54.0	1.1 "	50.5	"	"
	10.00	47.5	54.0	3.5 "	50.0	"	"	47.0	54.9	0.8 "	51.5	"	"
	11.00	47.3	54.1	3.7 "	50.0	"	26.2	47.0	50.5	3.0 "	50.1	"	"
	12.00	47.5	54.5	3.0 "	50.0	"	"	47.1	54.5	1.65 "	50.1	"	"
	13.00	48.0	55.0	3.8 "	51.0	"	"	47.0	55.0	2.0 "	50.0	"	"
	14.00	48.0	55.0	4.2 "	50.0	"	26.5	47.1	54.6	1.4 "	50.0	"	"
	15.00	48.4	55.1	5.8 "	49.5	"	26.0	47.0	54.8	2.2 "	50.0	"	6100
	16.00	48.0	55.1	4.1 "	51.0	"	"	47.0	54.8	2.2 "	50.0	"	"
	17.00	48.3	55.1	4.6 "	50.0	"	26.1	47.0	54.8	1.9 "	50.5	"	"
	18.00	48.2	55.2	3.1 "	49.0	0.55/55	25.8	47.1	5g.8	2.4 "	50.0	"	"
	19.00	48.0	55.0	3.5 "	51.0	0.5/50	"	47.3	56.2	3.0 "	50.5	"	"
	20.00	47.8	55.0	3.6 "	50.5	"	"	47.3	55.5	2.8 "	49.5	"	"
	21.00	47.6	55.0	3.0 "	51.5	"	25.8	47.0	55.0	1.65 "	51.5	"	6300
	22.00	47.2	53.0	3.3 "	51.5	"	26.5	47.0	55.5	2.0 "	51.5	"	6200
	23.00	47.0	53.5	3.2 "	51.5	"	26.2	47.3	56.5	2.3 "	51.0	"	6100
	24.00	47.2	53.0	3.3 "	50.5	"	"	47.0	56.0	1.9 "	50.0	"	"
3/20	1.00	47.0	53.5	4.2 "	51.5	"	26.1	47.2	55.6	2.7 "	50.5	"	6300
	2.00	47.5	54.0	4.2 "	51.0	"	26.0	47.0	45.8	3.8 "	51.0	"	6200
	3.00	47.8	53.5	2.3 "	50.5	"	"	47.0	55.5	2.35 "	50.0	"	6200
	4.00	47.8	53.0	3.8 "	50.5	"	25.5	47.0	50.6	1.6 "	50.5	"	6300
	5.00	47.8	54.8	3.0 "	51.0	"	"	46.6	53.6	2.4 "	50.5	"	6200
	6.00	47.8	53.5	2.8 "	51.0	"	26.0	46.6	55.0	1.2 "	51.0	"	"
	7.00	47.8	54.0	2.5 "	50.0	"	"	46.6	54.8	1.8 "	50.5	"	6100

TABLE 32(6) Test results of water leakage of DP-1 and 2

DP-1

DP-2

hr	TX-1	G.temp.	Leak (cc/hr)	Carbon wt.	hr	TX-2	G.temp.	Leak (cc/hr)	Carbon wt.
Start 13.00	10.0°C	13.5°C			Start 13.00	10.0°C	13.5°C		
1	13.0	19.5	3.4 black	(100 mg)	1	12.5	21.0	1.6 black	56 mg
2	15.0	20.5	0.7		2	14.5	22.8	0.35 gray	
3	16.0	20.7	0.5		3	16.0	22.7	0.45	
4	17.0	21.5	0.4		4	17.5	23.0	0.1	
Stop					Stop				
Mean leakage			1.2 cc/hr		Mean leakage			0.6 cc/hr	
Leak rate after stop			6.8 cc/30min		Leak rate after stop			160 cc/30min	211 mg

The pressure, flow rate etc. was the same to that of Table 32(5)

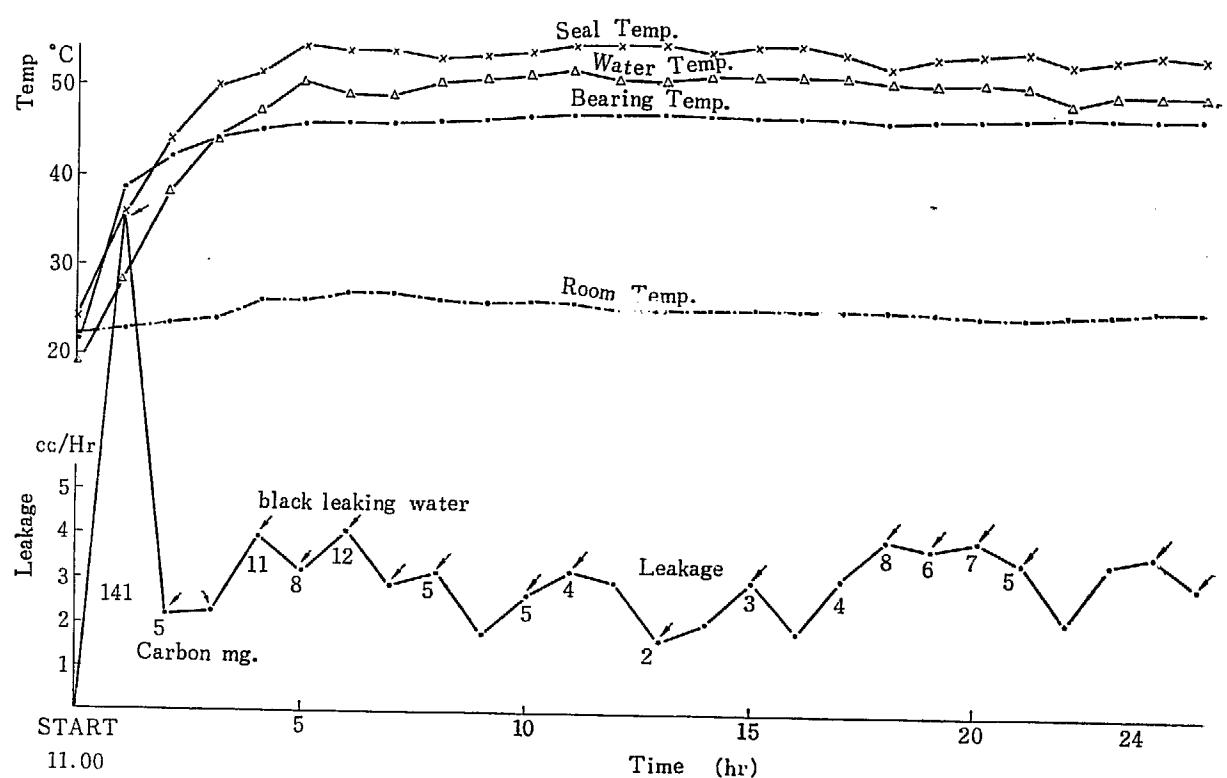


Fig. 129 (1) Leak test results of DP-1 (with impeller) March 18 10.00 1960

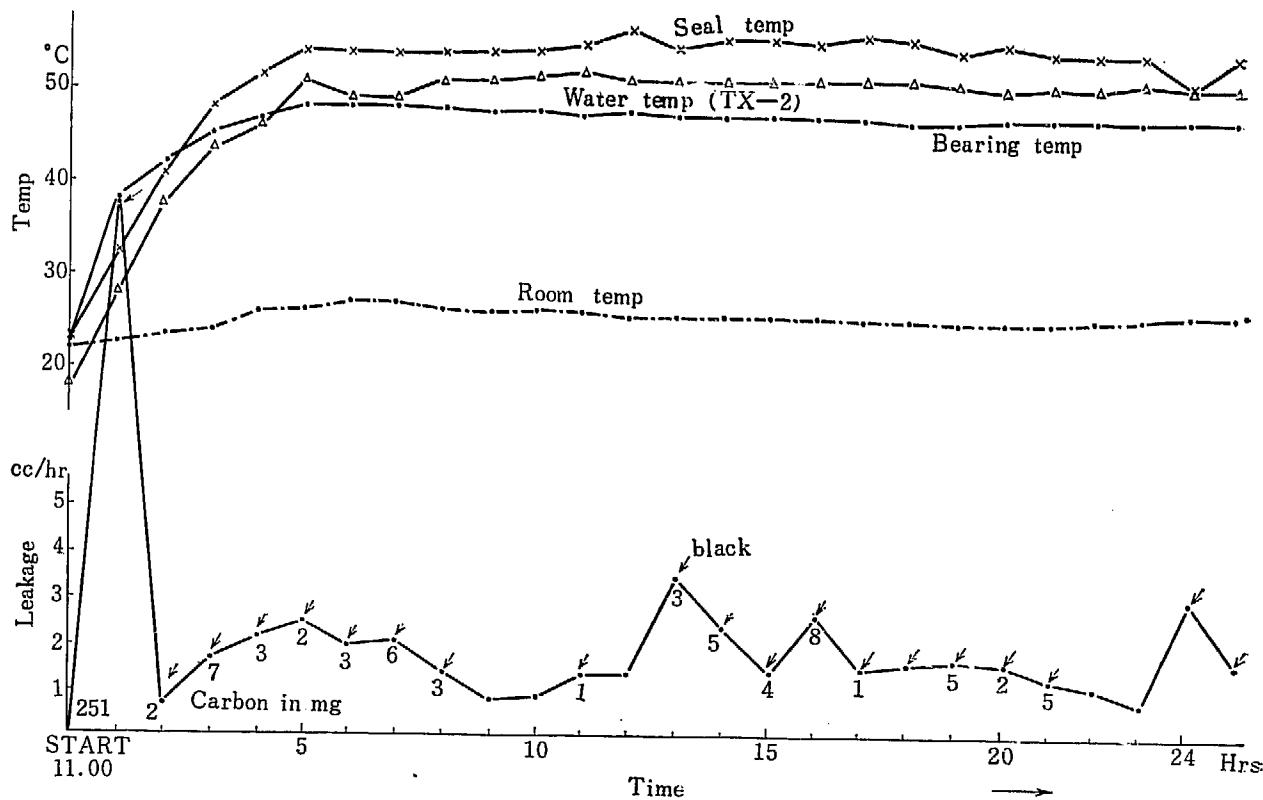


Fig. 129 (2) Leak test results of DP-2 (with impeller) March 18 11.00 1960

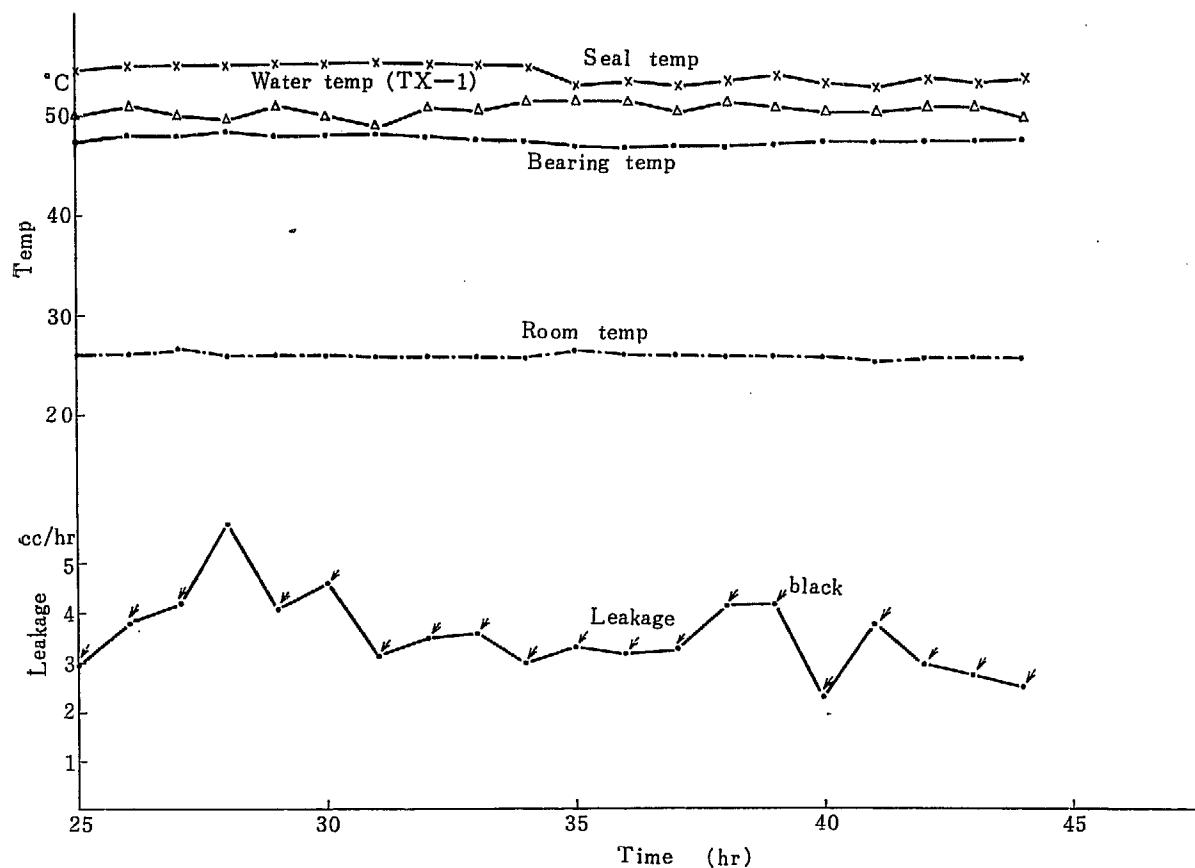


Fig. 129 (3) Leak test results of DP-1 (with impeller) March 20 1960 ~700

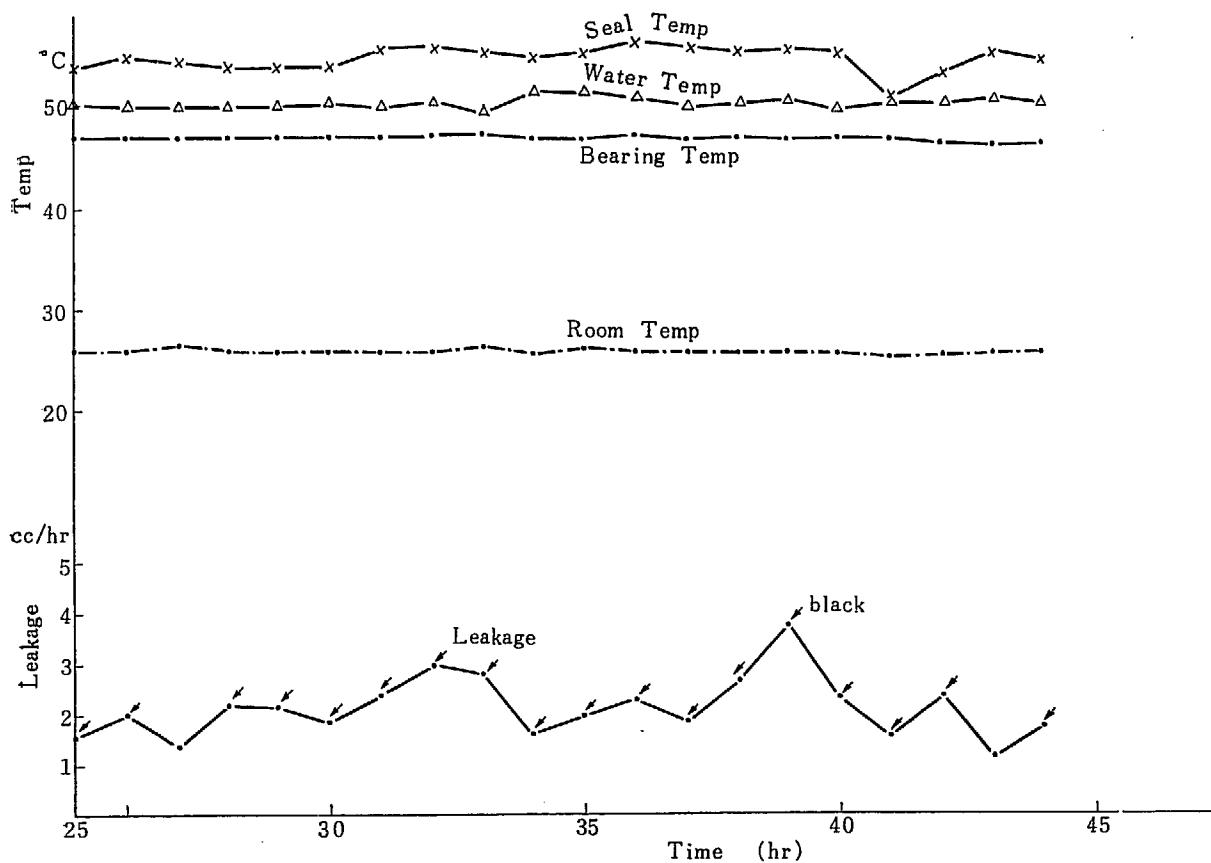


Fig. 129 (4) Leak test results of DP-2 (with impeller) March 20 1960 ~7.00

TABLE 32(7).a Test results of water leakage of DP-1 and 2

Time \ Seal temp. (°C)	DP-1					DP-2					Flow rate (gpm)	Room temp. (°C)
	Leak rate (cc/h)	Carbon wt. (mg)	TX-1 (°C)	PI-1/PX-1	Seal temp. (°C)	Leak rate (cc/h)	Carbon wt. (mg)	TX-2 (°C)	PI-2/PX-2			
Start 3/28, 10.30	14.7			0.55/57	14.5				0.5/55	5500		
11.30	4.6	21	10	0.55/58		12.2	23	10	"	"	19.5	
12.30	16.0	2.3	4	"	17.8	1.9			"	"		
13.30	16.3	1.5		0.55/54	19.0	0.2		11.5	"	"	21.0	
14.30	17.0	1.5		0.55/55	20.0	0.15		11.0	"	"		
15.30	17.5	1.7		0.55/57	20.0	0.2		12.5	0.5/55	"		
Stop 16.20	18.0	1.1		12.5	"	21.0	0.1		12.5	"		
Static press 16.20~17.20	0.8			0.72			1.2			0.75		
~18.20	1.3			"			8.5			"		
3/29, ~9.20	44.0/15hrs			"		79.0/15hrs			"			
9.30~11.30	2.4/2hrs			0.5		6.7/2hrs						
Start 11.20	14.0		10	0.55/55	14.0			10	0.45/54	5500		
~12.20	17.5	2.3	21	0.55/56	20.0	64.0	663	12	"	"		
~13.20	18.0	2.0	12	"	21.2	0.4		12	0.45/55	"		
~14.20	18.8	1.6	11	"	"	0.2		"	"	"		
Stop ~14.40	19.5	0.4	12	"	22.0	1.9		"	"	"		
Start 15.15												
Stop 15.20	1.0	7	12	0.55/56		4.6	16	13	0.45/55			
Start 15.30												
Stop 15.35	0.2	1		0.55/56		1.7	10		0.45/55			
Start 16.20~17.20	24.5	3.8	22		24.0	8.6	26					22.0
~18.20	29.5	0.6			26.0	0.1						
~18.35	30.0	0.4			28.3	0						
Static p. 3/29, 19.35												
3/30, ~9.35	13.5/15hrs			0.7		5.4/15hrs			0.7			
Start 10.00	17.0				18.0							
Stop 10.30	21.1	22.0	197	0.5/58	21.0	25.0	31		0.45/56	5500		
Static 10.30												
~16.30	15.5/6hrs			0.7		0.1/6hrs			0.7			
3/31, ~9.30	33.5/17hrs					2.7/17hrs						
Static p. 10.00	16.5			0.5/54	16.5				0.45/50			
~11.00	21.5	6.0	8	0.5/52	20.0	14.0	27	11	"	6000		
~12.00	22.5	1.0	13	"	22.0	0.2		13	0.45/51	"		
~13.00	23.8	0.4	14	"	22.2	0.1		14	"	"		
~14.00	24.5	0.5	15	"	20.5	0.1		15	"	"		
Stop 14.15	25.0	0.1		"	"	22.5	0		"	"	"	
Static p. 3/31, 14.15~												
4/1, ~9.15	98.0/19hrs			0.65		20.0/19hrs			0.7			
4/2, ~9.15	44.0/24hrs			"		12.0/24hrs			"			
Start 4/6, 10.07	14.0		11	0.55/56	14.0				12	0.5/54	4000	
11.07	23.0	10.4	82	12	"	22.0	10.8	45	"	"	"	
Stop 11.12	"	2.8	9	"	"	"			"	"	"	
Static p. 11.20~												
~15.00	8.6/3h40m			0.7		1.4						

Time	DP-1					DP-2					Flow rate (gpm)	Room temp. (°C)
	Seal temp. (°C)	Leak rate (cc/h)	Carbon wt. (mg)	TX-1 (°C)	PI-1 PX-1	Seal temp. (°C)	Leak rate (cc/h)	Carbon wt. (mg)	TX-2 (°C)	PI-2 PX-2		
Start 4/6, 15.00	16.0			12	0.55/54	16.0			12	0.5/53	4000	
Stop 16.00	20.5	15.0	63	12		19.5	22.2	31	12.5		4400	
Static p. 16.00～ ～17.30					0.7					0.7		
4/7, ～9.30	14.5	49/16				14.5	2.2/16					
Start 4/7, 9.50	15			12	0.5/57	15			12	/56	4200	
Stop 10.50	20	5.2		12	"	20	7.0	20	"		4400	
Static p. 10.50～ ～14.50					0.7							
Start 15.00	14.5						0.1/4hrs					
Stop 15.40		13.0	43				7.0	9				
Static p. 15.50～ ～16.50							0.2					
Start 16.50		3.7									4000	
Stop 17.40	25	15	36	10		23	18	16	10		4500	
4/8, ～9.40		41.0/16hrs					2.6/16hrs					
Start 10.25				13	0.55/54				13	0.45/50	4000	13.5
DP-2 stop 10.50						14	17.0	8	13	0.45/50	5000	
DP-1 stop 11.10	14	11	9	15	0.55/54							
Start 14.05	16.0			13	0.55/54	17.0			13	0.45/52	4200	
Stop 14.55		3.1	5	13.5	"		3.5	7	13.5	"		
Static p. 14.55～ ～15.55							4.0					
Start 18.00～ 18.00		0.4										
4/9, ～12.00		69.0/18hr					5.0/18hrs					
4/12, ～13.00		167.0/73 hrs					3.2/73hrs					

につづいて重水系の flow distribution test をおこなったが、そのときのポンプの漏水およびカーボンの摩耗量について調べその状態を観察した。その結果は TABLE 32 (7) に示し、また始動後 1 時間の漏水とカーボン量をまとめたものが TABLE 32 (7) b である。

測定結果は DP-1, 2 ともに始動後 10 分間の漏水が多く、連続した運転状態では 2 時間経たときは漏水は非常に少なく安定している。DP-1, 2 の始動後 1 時間ににおける平均漏水は DP-1, 10.5 cc/hr, DP-2, 20.2 cc/hr でまたカーボンの量（始動後 1 時間ににおける平均値）は DP-1 で 46 mg, DP-2 で 75 mg であった。この期間の停止状態の平均漏水は DP-1 2.6 cc/hr, DP-2, 0.65 cc/hr であった。

または 6 月 29 日～7 月 9 日の間におこなわれた flow distribution test 中の漏水記録をまとめたものが TABLE 37 (7) c で TABLE 32 (7) b の状態より良い結果がでている。TABLE 32 (7) b で平均漏水量 cc/hr の多いのは短時間の運転と始動回数が多かったためである。

iv) まとめ

1) DP-1, 2 ともに重水系水温が 15°C 前後の低温運転では始動時の漏れが多いとおもわれるが運転の継続につれて安定した状態となって漏れも 1 cc/hr 前後に落ち着いた。

2) 高温運転の場合は平均漏水量も多く 3 cc/hr 前後でカーボンも数 mg がでている。カーボンの削り

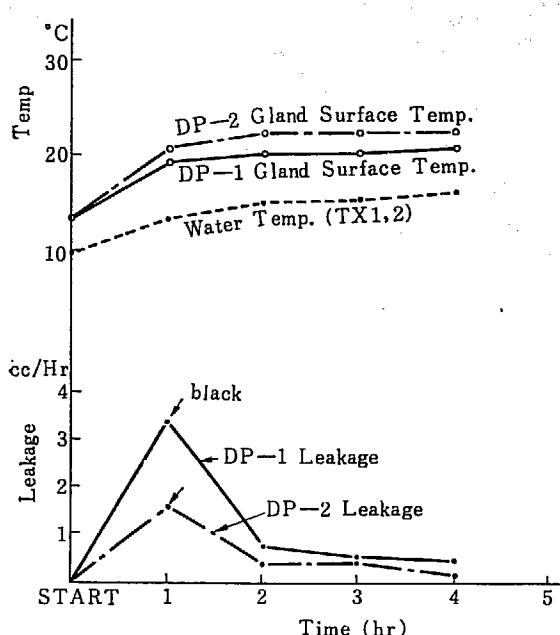


Fig. 130 Leak test results of DP-1, 2 March 23 1960

得る量が約 9 g なのでこの状態が続ければ 2~3 か月程度の連続運転でメカニカルシールを交換しなければならない。

3) ことに始動時のカーボン摩耗量が 50 mg 前後測定されたので DP-1, 2 ポンプの始動停止はできるかぎり避けたほうがよい。

4) DP-1, 2 を比較する場合、始動時の漏水およびカーボン量は DP-2 の方が多く、停止時の漏水は DP-2 の方が少ない。

5) 漏水量とカーボン量は特に関係はないともわれる。

6) 高温水運転において漏水が多くなり、またたえずカーボンが削りでているのはグランドがポンプスタッフイングボックスに 2 本のボルトで締め付けられ、またカーボンインサートがグランドに圧入されていることよりグランドの多少の変形を考えるとき運転上に発生する振動、振れなどに対する緩衝性にとぼしくカーボンとシールリングの接触面が不安定な状態にあるためと想像され、グランドおよびカーボンインサートに機構的な欠陥があると考えられる。

(3) 重水補助ポンプ DP-3

このポンプも DP-1, 2 と同様にクリーニングおよびシールラッピングをおわって現地に据付けられ、重水ヘリウム系全体の漏れ試験をおわって注水し、ポンプのならし運転にはじまり連続運転の漏れ試験がおこなわれた。まず最初は 34.10. 中旬にグランドの上部孔より注水しシールを冷却しながら数時間のならし運

TABLE 32(7) b Test results of water leakage of DP-1 and 2
(Leak rate during 1 hr after start) (1960)

Date	DP-1		DP-2	
	Leak rate (cc/hr)	Carbon wt. (mg)	Leak rate (cc/hr)	Carbon wt. (mg)
3/28	4.6	21	12.2	23
3/29	2.3	21	64.0	663
"	3.8	22	8.6	26
3/30	22.0 cc/ 30 min	197	25.0 cc/ 30 min	31
3/31	6.0 cc/hr	8	14.0 cc/hr	27
4/6	10.4	82	10.8	45
"	15.0	63	22.0	31
4/7	5.2	?	7.0	20
"	13.0 cc/ 40 min	43	7.0 cc/ 40 min	9
"	15.0 cc/ 50 min	36	18.0 cc/ 50 min	16
4/8	11.0 cc/ 45 min	9	17.0 cc/ 25 min	8
"	3.1 cc/ 50 min	5	3.5 cc/ 50 min	7
Total	111.4 cc/ 10 h 35m	507 mg	208.1 cc/ 10 h 15m	906 mg
Mean	10.5 cc/hr	46 mg/ one start	20.2 cc/hr	75 mg/ one start
Static leakage				
Total leakage	609.1/234 hr		155.4/234	
Mean leakage	2.6 cc/hr		0.65	

TABLE 32(7) c Test results of water leakage of DP-1 and 2

June 29~July 11, 1960

	DP-1	DP-2
During operation		
Operating (hr)	11.0	11.0
Total leakage (cc)	48.9	102
Mean leakage (cc/hr)	4.5	9.3
No. of start	21	20
Static leakage		
Total leakage (cc)	157.5	91.8
Total stopping (hr)	237.5	235.8
Mean leakage (cc/hr)	0.66	0.4

転の結果、TABLE 33 に示すのようにポンプ運転初期においては 1 cc/hr 程度の漏水があったが運転の経過につれてシール接面が良好となって運転および停止状態ともに漏水が見られないようになった。その後 12 月 10 日に長時間の連続漏れ試験をおこなったが運転開始または停止時に数滴の漏れが見られる程度で軸受表面温度もだいたい 41°C の飽和値に達し良好な結果が得られた。

その結果は Fig. 131 に示す。

TABLE 33 Test results of water leakage of DP-3

Oct. 13~20, 1959

Date	Suction pr. (kg/cm ²)	Leakage	Pump state	Note
34 10.13	0.15	1 drop/4 min	Operation	The leakage was 7~8 drop after stopping
	0.2	1 drop/15 min	"	
10.19	0.2	20 cc/48 hr	Stop	
10.19	0.17	2 drops/25 min	Operation	The leakage was several drops after stopping

Date	Time	Bearing temp.	Seal temp.	Leakage	Note
Start 10/20	10.10	19.5°C	19.0°C		
	10.30	31.7	23.6		
	10.40	34.3	26.5	0	
	10.50	36.0	37.0	0	
	11.00	36.7	43.5	0	
	11.06	37.0	45.5	0	
Start	13.15				There was no leakage after stopping
	13.25	27.3	21.8	0	
	13.35	32.0	23.1	0	
	13.45	35.0	23.2		
	13.55	36.5	24.0		
	14.05	36.8	23.6		

TABLE 34 Test results of water leakage of DP-4

March 23~April 9, 1960

Time	TX-3	Bearing temp.	Leakage (cc/hr)	Note
Start 10.20	0°C	16.0°C		
Stop 11.40		30.0		Suction press 0.6 kg/cm ²
Start 11.45	10.0	29.0		Discharge press 1.2 kg/cm ²
1	"	30.0	5.5	
2	12.5	31.8	2.8	
3	14.5	33.5	0	
4	16.5	34.8	0	
5	17.0	35.0	0	
Stop	Static leakage		3	

Static leakage was as follows.

Date	Time	PI-4	Leakage	Leak rate (cc/hr)	Note
3/28	9.30~ 11.30	0.7 kg/cm ²	2.4 cc/2 hrs	1.2	
	11.30~ 18.30	"	3.2/7	0.5	
3/29	18.30~3/30 9.30	"	1.8/15	0.12	
3/30	9.30~ 16.30	"	0.7/7	0.1	
3/30	16.30~3/31 9.30	"	1.4/17	0.08	
3/31	9.30~4/1 9.30	"	0.7/24	0.03	
4/1	9.30~ 17.30	"	0.1/8	0.01	
	17.15~4/2 9.30	"	0.1/16	0.01	
4/6	9.15~ 17.15	"	9.8/8	1.2	
	17.15~4/7 9.15	"	9.2/16	0.6	
	9.15~ 17.45	"	6.9/8.5	0.8	
4/7	17.45~4/8 9.45	"	3.7/16	0.23	
4/8	9.45~ 17.45	"	4.1/8	0.5	
4/8	18.00~4/9 12.00	"	3.8/18	0.2	
4/9	12.00~4/12 13.00	"	3.0/73	0.04	
	Total		50.9/243.5	0.2	

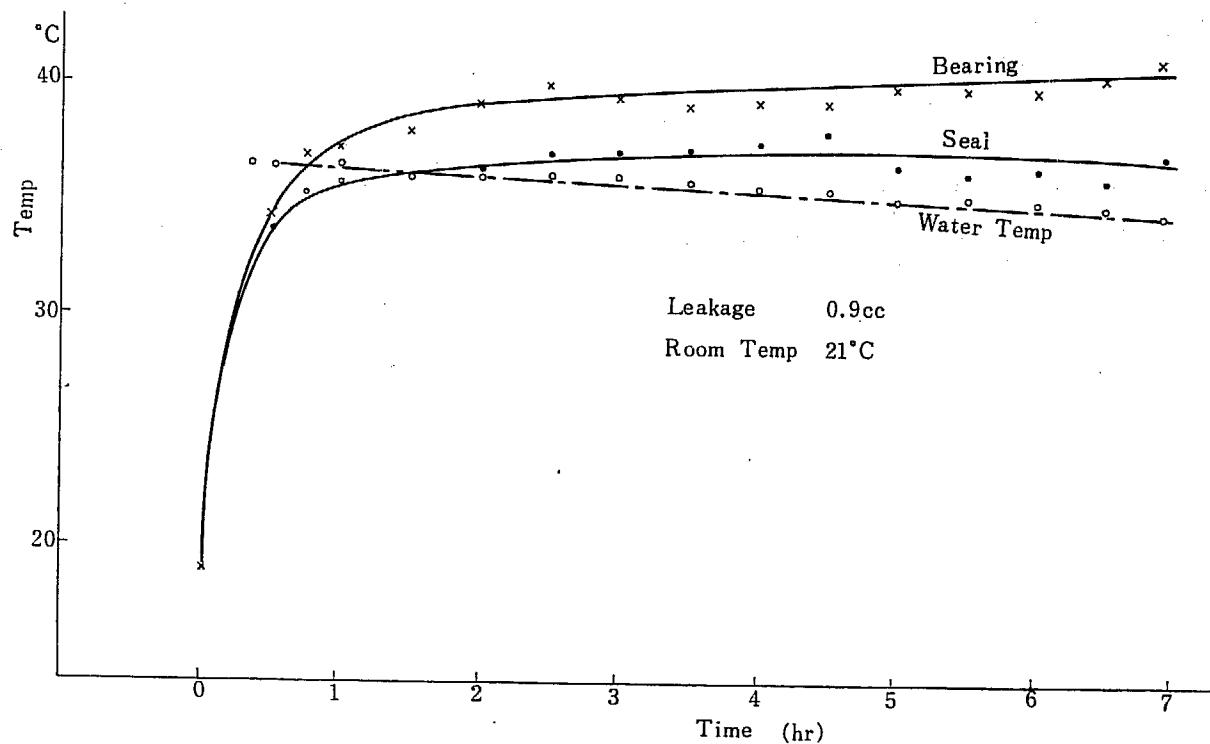


Fig. 131 Test results of DP-3 Dec. 10, 9.00~16.00, 1959

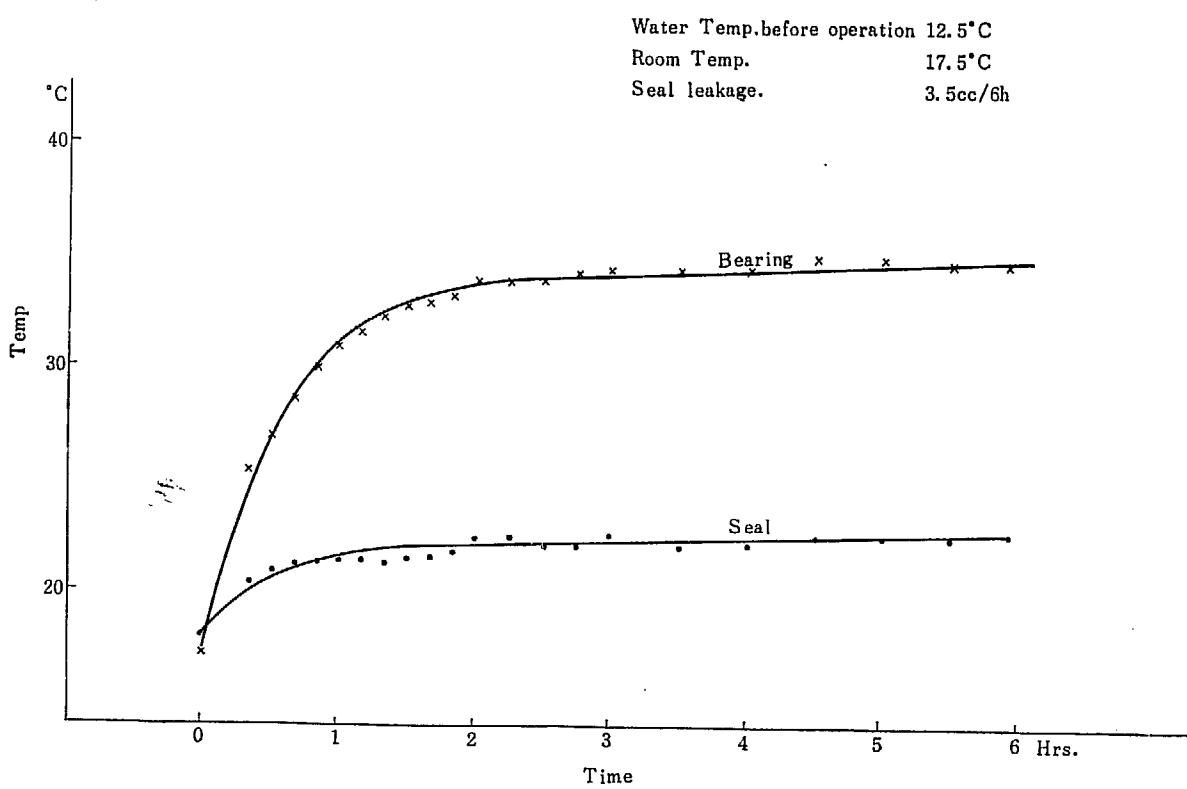


Fig. 132 Test results of DP-4 Dec 5, 10.00~16.00, 1959

TABLE 35 Leakage at the D₂O pump and its operational results

月日	漏 水		ポンプ運転実績			摘要
	重水全漏水	漏洩量 (l/day)	DP-1	DP-2	DP-4	
36-3-28 ↓ 4-22	15.69 l/28	0.56	運転時間/停止 55.0 hr/617 hr	運転/停止 0 hr/672 hr	運転/停止 90 hr/582 hr	連続運転 200 kW~15 hrs 300 kW~17 hrs 1000 kW~24 hrs
5-22	9.73 l/28	0.35	48.5/623.5	0/672	33/639	連続運転 1000 kW~30 hrs
6-29 ↓ 8-1	12.14 l/38	0.32	87.5/824.5	0/912	61/851	連続運転 1000 kW~27 hrs 1000 kW~33 hrs 10 kW~14 hrs
8-28 ↓ 8-1	6.66 l/33	0.20	151.2/640.8	0/792	76.6/715.4	連続運転 1000 kW~30 hrs 1000 kW~25 hrs 1000 kW~28 hrs 1000 kW~32 hrs
8-28	4.62 l/27	0.17	108.4/539.6	0/648	39.3/608.7	連続運転 1000 kW~32 hrs 1000 kW~32 hrs 1000 kW~32 hrs
		平均漏水 0.32 l/day (DP-1, 2, 4 の合計)				

DP-3 のもれ

3-28 ↓ 8-28	全漏水 0.15 l/154 day	漏洩量 1.0 cc/day	DP-3 運転時間/ 停止時間 785/2911	摘要
-------------------	-----------------------	-------------------	--------------------------------	----

DP-1, 2, 3, 4 におけるメカニカルシール交換後の運転実績

運転初め	35年3月 DP-1	35年3月 DP-2	34年10月 DP-3	35年3月 DP-4
35年1月末まで			58 hr	
35年9月 "	163.5 hr	157.0 hr	320	15.8 hr
36年3月 "	207.5 hr	"	1002	412.3
36年8月 "(合計)"	657.8 hr	157.0	1784	709.6

(4) 非常用冷却ポンプ

ポンプ単体の静圧漏れ試験の結果は Fig. 115 に示すように 1.5 kg/cm² 加圧し 1 時間経過して 2.5 cc の漏水でそのときの圧力は 0.9 kg/cm² に下った。このポンプにかかる停止時の静圧は 0.75 kg/cm² であり、主としてシャフトパッキングから漏れていた。最初のメカニカルシールのならし運転ではシールブッシングに外部より冷却水を注いで 30 分以上運転したあとで 6 時間の長時間漏れ試験をおこなった。その結果は、Fig. 132 に示すように漏れ量は 3.5 cc/6hr の良好な結果が得られた。このあとの running test の結果、シールからの漏れはほとんどなく停止状態での漏水は 10 cc/day 程度であった。

このあと 35 年 1 月に重水系の予備乾燥の結果シャフトがステックしメカニカルシールを調整したが運転および停止中の漏水が多くなり漏れ量が非常に不規則

でことに停止中はシャフトパッキンからの漏れが多かった。35 年 3 月中旬に新潟ウオシントン K. K. の技師が来所し分解検査の結果シャフトパッキンの取付けが正常でなく、またカーボン、ブッシングの接面が著しく荒れていたのでメカニカルシールアセンブリーの取替え作業をおこない、3 月 23 日の漏れ試験の結果 TABLE 34, Fig. 133 にしめすように運転初期においては 5 cc/hr の漏水があったが 3 時間後には漏れはなかった。運転時間の経過とともに摺動接触面がよくなつたためと推察される。またこの試験直後のポンプ停止中の漏れは 3 cc/hr であったが、その後 2 週間の停止時の漏洩は良好な結果を得、平均 0.2 cc/hr (蒸発量を含まない) 程度であった。この結果 DP-4 についての漏れ試験はその後とくにおこなわず、ビーカーに漏水をあつめてときどき状態を観察したがあまり大きな変化はなかった。

(5) JRR-2 の定常運転におけるポンプの運転実績

と重水の漏洩について

最後に重水注入後の critical test に始まり、 low power test, power-up および 1000 kW の連続運転における各ポンプの駆動時間と最近における(36年4月～8月の間)ポンプからの漏洩についてまとめると TABLE 35 のようになる。DP-1, 2, 4 から漏れた重水はポンプの(グランド) ドレンニップルからビニールホースで重水ドレンボックスにあつめられ回収できるようになっている。DP-3においても同様に、グランドのドレンニップルからビニールホースで別のドレンボットにあつめられ回収される。また、ポンプの駆動は 200 kW までの low power 運転においては原則として DP-3, 4 のみを運転し、1000 kW の運転においても DP-1 の片側運転を実施している。

この結果からみると、重水の漏洩量が多いが、ポンプ始動、停止状態を観察すると、DP-4 の teflon sh-

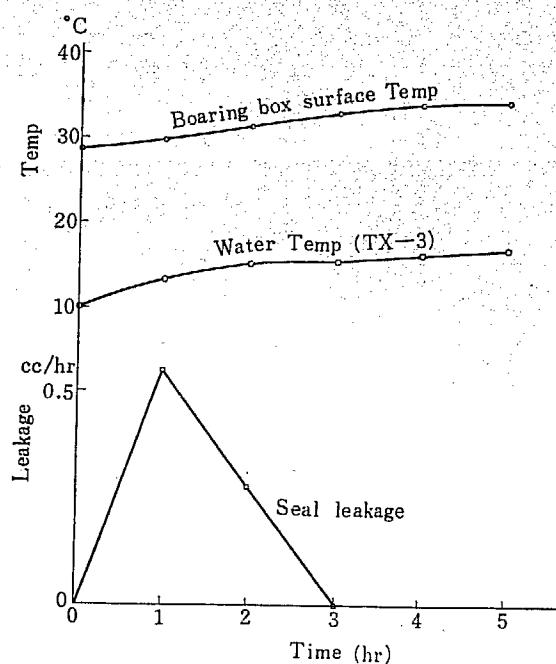


Fig. 133 Leak test results of DP-4 March 23, 1960

TABLE 36 Emergency systems tests

D₂O dump system

No.	Operation				Result				Mark	Note
	Term	Pos.	Sym.	Op.	Pos.	Term	Sym.	Result		
	Starting condition									
(1)	"D ₂ O dump valve ready" L.	P5	L 631	on					OK	
(2)	D ₂ O sight gage operations		LI-1	Normal					OK	
1	"D ₂ O dump valve on" button	P5	PB 630	Press	P5 " P2 " "	(G) Ready L. (R) On L. Buzzer (G) D ₂ O core lo level L. (R) "	L 631 L 630 LG 106 LR 106	off on sound off on	OK OK OK OK OK	
	ACK button after about 30 sec.	D 3	S 100	Press		D ₂ O sight gage	LI-1	24" stop	OK	
2	"D ₂ O dump valve ready" button	P 5	PB 631	Press	P 5 " "	(G) Ready L. (F) On I..	L 631 L 630	on off	OK OK	
3	Re-establish the normal operating levels in the core tank and in the storage tank by operating pump DP-3								OK	
					P 2 " "	(G) D ₂ O core lo level L. (R) " D ₂ O sight gage	LG 106 LR 106 LI-1	on off Normal	OK OK OK	

The time for start of level reduction being apparent at the core tank sight glass is 2.0 sec after the button PB 630 is pressed.

The entire dumping operation from the time PB 630 is pressed until the time the level has dropped 2 ft takes place within 18 sec. The necessary time for opening DV-14 completely after the button PB 630 is pressed is 4 sec. And the time for reset of DV-14 is 4 sec.

TABLE 37 Natural circulation system

No.	Operation				Result				Check		
	Term	Pos.	Sym.	Op.	Pos.	Term	Sym.	Result	Mark	Note	
(1)	Starting condition D ₂ O main pump "		DP-1 DP-2 L621	Operate " on					OK OK OK		
(2)	(G) "Natural ready" L.	P 5		Close: Open "					OK OK OK		
(3)	DV-5 DV-6 DV-7 Operations										
1	"Natural circ. on" button Measure the stroke time of valves	P 5	PB 620	Press 	P 5 " "	(G) Ready L. (R) On L. D ₂ O Main pump " DV-5 DV-6 DV-7	L621 L620 DP-1 DP-2 " Open Close	off on Stop " 15.1 sec 21.8 sec " 31.8 sec	OK OK OK OK within 30 sec		
2	"Natural circ. on" button	P 5	PB 621	Press	P 5 " "	(G) Ready L. (R) On L. DV-5 DV-6 DV-7 D ₂ O main pump "	L621 L620 Close Open " Start DP-1 DP-2	on off 16.5 sec Close Open " 27.4 sec OK OK			
3	D ₂ O main pump " D ₂ O emer'cy pump		DP-1 DP-2 DP-4	Stop " Start					OK OK OK		
4	"Natural circ. on" button Measure the stroks time of valves	P 5	PB 620	Press	P 5 " "	(G) Ready L. (R) On L. D ₂ O emer'cy pump DV-5 DV-6 DV-7	L621 L620 DP-4 Open Close " 32.5 sec	off on Stop Open Close " 32.5 sec	OK OK OK 15.2 sec 21.8 sec		
5	"Natural circ.	P 5	PB 621	Press	P 5 " "	(G) Ready L. (R) On L. DV-5 DV-6 DV-7 D ₂ O emer'cy pump	L621 L620 Close Open " Start DP-4	off on Close Open " 27.3 sec OK			
6	D ₂ O emer'cy pump		DP-4	Stop					OK		

aft packing からの漏洩が非常に多いようで4月以降次第に減少している。これは、連続運転の回数が多くなり、重水系の温度が運転中は30°C前後であり常時20°C付近の水温にあるときより shaft packing のなじみが良くなっている結果であると判断される。

DP-3 の漏洩においては問題がないようで始動停止

時に数滴漏れる程度であり、DP-1, 2においては大きな状態の変化は観察されない。

2.7.4 メカニカルシールの一般的な問題について

(1) あらまし

冷却材、反射材として貴重な重水を使用している原

卷之三

TABLE 38(1) Emergernal external circulation system

No.	Operation					Result			Mark	Note
	Term	Pos.	Sym.	Op.	Pos.	Term	Sym.	Result		
1	Starting condition									
1	D ₂ O level normal								OK	
2	DV-11			close					OK	
3	DV-12			"					OK	
4	Temporary piping from He seal to DV-13 with V _T and P ₂								OK	
5	Blind flange A								OK	
	Test procedure									
1	DV-11			open					OK	
	DV-12			"					OK	
	DP-4			operate					OK	
	V _T			adjust		Full open	PI-5	kg/cm ²	1.80	
				adjust		Shut completely	P ₂ Flow rate		1.20	
				adjust			PI-5	180 gpm.	1.97	
				adjust			P ₂ Flow rate		0.75	
				close			PI-5		0	
2	DV-11								OK	
	DV-12			"					OK	
	DP-4			stop					OK	

We can't estimate the max. flow rate because the max. outlet pressure indicated on the characteristic curve of DP-4 which Mr. Scerbo received from the Worthington corporation is 1.65 kg/cm^2 and 180 gpm is presumed if it is available to shift parallel from the original. Characteristic curve of DP-4 setting the outlet pressure at the shut off operation to 1.97 kg/cm^2 .

TABLE 38(2)

The second stage

No.	Operation					Result			Mark	Note
	Term	Pos.	Sym.	Op.	Pos.	Term	Sym.	Result		
1	Starting condition								OK	
1	Take off the pipe section between flange B and EV-6								OK	
2	Connect a 3" temporary piping between EV-6 and sump pit								OK	
Test procedure										
1	EV-6			open					OK	
	EP-1			start					OK	
	EV-6			adjust and mark			①	2.75 kg/cm ² (48 gpm)	OK	
							①	2.60 kg/cm ² (120 gpm)	OK	
							①	2.0 kg/cm ² (240 gpm)	OK	
2				stop					OK	

TABLE 39 Emergency light water cooling system

No.	Operation				Result			Mark	Note
	Term	Pos.	Sym.	Op.	Pos.	Term	Sym.		
Starting condition									
(1)	Disconnect piping at the flange A from EV-4 and connect 3" temporary pipe from flange A to sump pit.							OK	
(2)	Attach P ₂ at the flange A.							OK	
(3)	The removable spool piece is inserted in the line leading from EP-1 discharge to the cooling tower.							OK	
(4)	The emergency light water head tank is full of clean water (~80 ton).							OK	
(5)	EV-8			Close				OK	
	EV-6			"				OK	
	HV-45			"				OK	
	EV-9			"				OK	
	EV-1			Open				OK	
	EV-2			"				OK	
	EV-3			Close				OK	
	HV-10			"				OK	
	HV-16			"				OK	
	HV-13			"				OK	
	HV-14			"				OK	
	HV-21			"				OK	
(6)	One set of interphone is arranged between EV-9 and EP-1.								
(7)	A characteristic curve of EP-1 is provided to estimate flow rate of water through EV-9.								
Test procedure									
1	HV-45			Adjust		Level of sump pit is kept const.		48 gpm	OK
	EV-9			Open partially		P ₁	2.75 kg/cm ²	OK	
						P ₂	0	OK	
						Level of sump pit is kept const.		120 gpm	OK
						P ₁	2.60 kg/cm ²	OK	
						P ₂	0	OK	
						Level of sump pit is kept const.		240 gpm	OK
						P ₁	2.0 kg/cm ²	OK	
						P ₂	0		
2	Mark and record position of valve EV-9 for permanent reference.								

Note: P₂ showed always zero. This means the water was not filled up completely in the 3" temporary pipe. And we estimate the pressure loss between EV-9 and the flange A is out of question, because the head loss in the emergency piping and valves is almost negligible comparing 100 feet water head of the emergency water head tank.

子力プラントにおいては、ポンプの軸封部分の漏洩装置についてとくに関心がもたれる。漏洩装置の取替えが頻繁におこなわれるものであっては放射性物質の溶存の危険性、実験炉の使命である連続運転の点からも好ましいものではなく、装置取替え作業の特殊性を考えるとき無漏洩で長時間連続運転のできる軸封装置が強く要望される。(文献引用、メカニカルシールの活用 炭研永井著、化学装置 1959.11)

(2) 構造と機能

メカニカルシールとは、軸振にたいして適度の屈撓性と緩衝をもたせ、回転軸に垂直な端面で流体の流通

を防止する装置で漏洩の完全防止とその状態での長期運転をおこなうことを目的とする。

前記の構造よりわかるようにシールの急所は

- (i) 軸方向の漏れ……軸パッキン部のフローテングシール
- (ii) 固定部のカーボンインサートと回転部の摺動シールの2点にある。

(i) において問題となるのは軸パッキン V または O リングの内径と軸径(スリープ径)との嵌合程度と軸パッキン自体の損傷防護の点である。この部分のフローテングシール寿命は、パッキンのリップにあるの

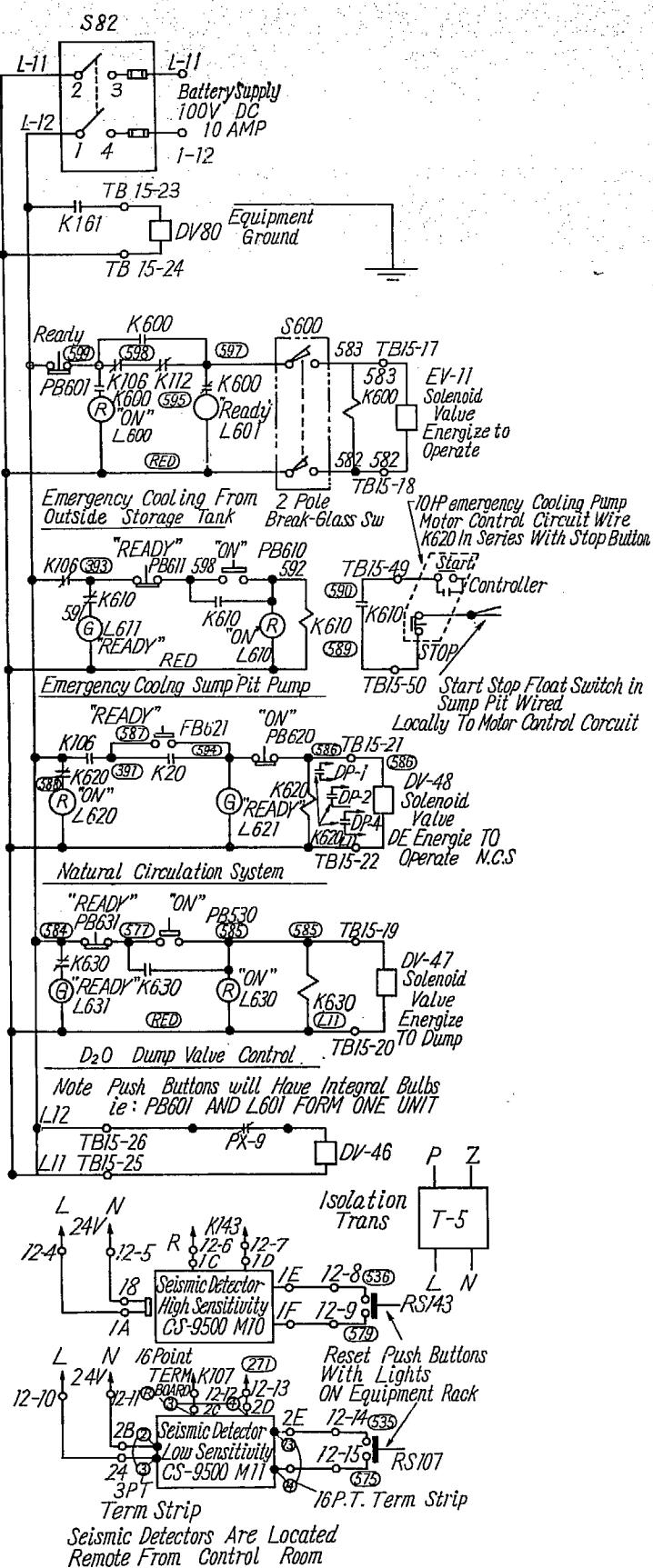


Fig. 134 Electric circuit of emergency system and seismic detectors

TABLE 40 Emergency gravity flow cooling system

No.	Operation					Result			Mark	Note
	Term	Pos.	Sym.	Op.	Pos.	Term	Sym.	Result		
Starting condition										
(1)	Water level in cooling tower basin is normal							OK		
(2)	All valves are positioned for normal operation as shown in Fig. 1.							OK		
(3)	All pumps are shut down							OK		
(4)	Insert spool piece to connect EP-1 discharge with cooling basin.							OK		
Test procedure										
1	HV-13			Closs				OK		
	HV-14			"				OK		
	HV-16			"				OK		
	HV-18			"				OK		
	HV-20			"				OK		
	HV-6			"				OK		
	HV-44			Open				OK		
	HV-45			"				OK		
	DV-14			"		D ₂ O sight gage	LI-1	No water in core tank dump level		
	HV-23			"				OK		
	HV-24			"				OK		
2	"Sump pit pump on" button	Press						OK		
	Before long					Sump pit pump	EP-1	Start	OK	11.00m start
	Determine total time during which pump EP-1 operates over the 30 minute.									
	Lest interval and measure pump total dynamic head.									
		Total time						30 minutes		
		Total head						8.21 ft (2.5 kg/cm ²)		
	From EP-1 performance curve	Pump flow						116 gpm		
		Pump flow × $\frac{\text{Total time}}{30}$	= 116 gpm							
		This rate ≥ 40 gpm						OK		
	"Sump pit pump ready" button	Press						OK	11.30a.m.	
									Stop.	

Note: Pump EP-1 operated at constant water level in sump pit.

でシールメーカーとポンプメーカーとの製作境界にある軸径と軸パッキンの内径との寸法公差が問題となる。また、軸パッキンの損傷も漏洩の原因となるので組立上の取り扱いはもちろん、軸表面の仕上げ程度にも注意しなければならない。

(ii) についてはこの摺動接触面においては液体分子を通過せしめない程度の液体薄膜で境界潤滑をおこなってシールするもので、ノーリーク、ロングランの使命にはその接觸状態の良否が問題である。

これには、面圧、周速、温度、軸振れ、およびシールの取付け状態などの非常に多くの考慮すべき条件がある。このほか摺動接觸による温度上昇を考慮してグランドカバーなどの通水冷却をおこなうことや、吐出側よりバイパスをとってスタッフィングボックスへセルフフラッシングをおこなうなどのアクセサリーも必要である。

a) 面圧、周速は摺動材料の組合せによって面圧(P)と周速(V)との積 PV 値により制限され、湿式接觸の場合、最大限度を $4000(\text{kg}/\text{cm}^2 \cdot \text{m}/\text{min})$ とする。

b) 軸関係においては軸径の寸法公差は(h_b)程度とし軸端および軸周面に鋭角部がないこと、軸振れが $4/100 \text{ mm}$ 以下で振動のないこと、スラストは $1/10 \text{ mm}$ 以下とする。

c) スタッフィングボックスを組立てた場合、その端面が軸心にたいして垂直であること。また構造上からは運転中のシール破損による漏洩事故を考えると、低圧使用のポンプにおいてもダブルシール様式とするか、特殊のグランドパッキンによる補助の漏洩装置を併用することが必要でポンプ吸入側バルブの開閉は自動式にした方が好ましい。

(3) ポンプ運転上の注意

TABLE 41 Helium pressure relief system

No.	Operation				Result				Mark	Note
	Term	Pos.	Sym.	Op.	Pos.	Term	Sym.	Result		
Starting condition										
(1)	Helium system valves are positioned as shown in Fig. 2.								OK	
(2)	Helium blower		off						OK	
(3)	The water level in D ₂ O storage tank is below the helium purge line.								OK	
(4)	Gasometer	PX-5	2.5" H ₂ O						OK	
					(G) Gasometer					
					Hi. press. L.				on	OK
(5)	DV-80 is de-energized no voltage at TB-15-23, 24									OK
Test operations										
1.	He Supply valves (DV-75(4))		Open						OK	
2.			Gasometer piston			up		OK		
	If the gasometer piston rise is too slow, increase DV-75(4)							OK		
3.	When the gasometer piston reaches top position				(R) Gasometer Hi. Press L.	on		OK		
					(G) "	off		OK		
					(R) Remote L.	on		OK		
					DV-80		energize	OK		
					Relief valve	DV-50	open	OK		
4.	DV-51		Close		Relief valve	DV-50	Close	OK		
					Gasometer press	PX-5	2.5" H ₂ O	OK		
					(G) Gasometer		on	OK		
					Hi. Press. L.					
					(R) Gasometer Hi. Press. L.	off		OK		
					(R) Remote L.	off		OK		

The time for open is 37.8 sec and for close is 5.5 sec operating DV-50 at the gasometer volume 2.48 m³

ポンプの運転はじめにあってはポンプ配管内を充分に清浄にし、シール部分に雑物がはいらぬよう注意し吸入側にこしあみなどを取り付けるのも一方法である。また、ポンプの運転は間歇運転ができるだけさけることがのぞまれる。

2.7.5 むすび

JRR-2 の重水系ポンプについての構造、漏洩運転および経過ならびに現状についてのべ最後にメカニカルシールの一般的な問題について記述した。

JRR-2 に使用しているメカニカルシールは最も simple なもので種々の条件により充分な modifica-

tion もほどこされないまま running test を実施し、期待する結果が得られなかつたが、当分の使用には支障をきたさないとの結論のもとに今日にいたつた。小型のポンプにおいては合理的なメカニカルシールの使用および運転管理をおこなえば問題は少ないようであるが、大型のポンプにおいては保守ならび種々の観点から条件が許すなら canned pump を使用した方がよいとおもう。現在使用しているメカニカルシールについては、運転実績が 1500~2000 時間になつたらその状態に注意しメカニカルシールの交換も考慮しなければならない。

(牛尾記)

2.8 緊急冷却系の機能試験

2.8.1 まえがき

JRR-2 の緊急冷却系およびこれに関連した機器の

機能を検査するため、つきの 7 項目にわたる試験をおこなつた。

(1) 重水ポンプ系

- (2) 自然循環系
- (3) 緊急外部冷却系
- (4) 緊急軽水冷却系
- (5) 緊急 2 次冷却系
- (6) Ne 壓力逃がし弁
- (7) 緊急空気供給系

これらの試験の際あわせて関係したランプ、リレー、制御室の電気系統の点検もおこなった。

2.8.2 重水ダンプ系

重水ダンプ弁 DV-14 を開いて、重水タンク内の水位を 2 ft 急激に下げる、炉の反応度を短時間に低下させる試験である。この DV-14 の操作は制御室の dump panel の “D₂O dump valve on” のボタンをおしてソレノイド弁 DV-47 に空気を導き、空気作動弁 DV-14 を開閉するものであって、DV-14 が開いたときには重水タンク内の重水は 6" のダンプ管を通り DT-1 におちる。重水タンク内の重水水位が dump line の入口の線まで下がるとここで dump はとまる。このボタンをおしてから水位が 2 ft おちるまでの時間は 18 秒で LI-1 のみえなくなる時間は 2 秒であった。check sheet を TABLE 36 に示す。(電気系統図 Fig. 134 参照)

2.8.3 自然循環系

重水タンク、重水入口管、DP-2 側の重水出口管、および DV-5, 6, 7 で構成される自然循環系をつくり、正規の運転状態にしたりするのに必要な DV-5, 6, 7 の開閉時間を測定する試験である。正規の運転状態では DV-6, 7 は全開で DV-5 は全閉であるが、自然循環系にするときには DV-5 を全開 DV-6, 7 は全閉にする。これらの弁はみな空気作動弁でソレノイド弁 DV-48 で制御され、操作は制御室の “Natural circulating on, off.” のボタンをおしておこなわれる。測定結果は DV-5 は全開となるのに 15.1 秒、全閉となるのに 16.5 秒、DV-6 は全開となるのに 17.3 秒全閉に 21.8 秒、DV-7 は全開に 27.4 秒、全閉に 31.8 秒を要した。

Check sheet を TABLE 37 に示す。

2.8.4 緊急外部冷却系

この試験は sump pit にたまつた重水を EP-1 で重水タンク内にもどす機能を点検するもので、つぎの 2 段階にわけて実施した。

第 1 段階 Fig. 135 のように、DV-13 の出口に弁

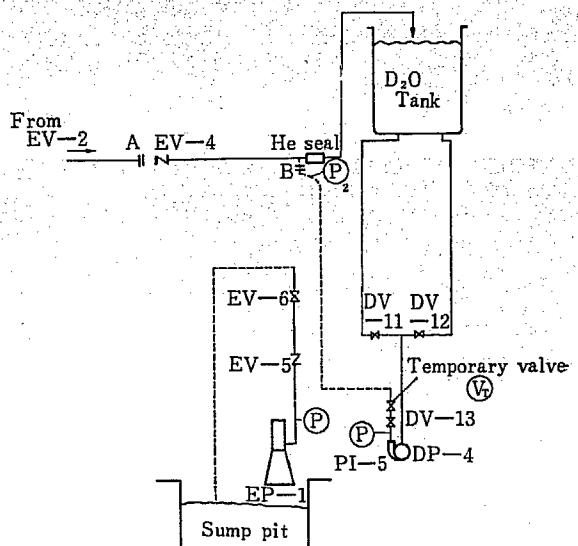


Fig. 135 Functional test method of emergency cooling system

V_T をつけ、He seal と V_T の出口の間に 3" の配管をした。また、He seal の近くに圧力計 P_2 をつけた。これによって重水タンク DP-4 He seal の loop が構成されるので、 V_T を調節しながら DP-4 の特性曲線を利用して loop に 48 gpm, 120 gpm, 240 gpm の水を流して循環試験をする。

第 2 段階 EP-1 の出口 EV-6 の出口に配管をして sump pit に水がもどるような loop をつくる。EP-1 を運転し、EV-6 を調節して EP-1 の特性曲線と出口圧力から流量を 48 gpm, 120 gpm, 240 gpm にして循環試験をする。

以上二つの試験を総合すれば EP-1 で sump pit の水をくみあげ炉心タンクにもどしたことになる。これは重水系の cleaning が十分におこなわれており、sump pit 内はそれほど清浄とは思われないからである。

このようにして EV-6 の出口圧力と流量の関係は 48 gpm のときは 2.75 kg/cm^2 , 120 gpm のときは 2.6 kg/cm^2 , 240 gpm のときには 2.0 kg/cm^2 と測定されたので EV-6 のハンドルのところにこの圧力を示す開度目盛を記入した。Check sheet を TABLE 38 に示す。

2.8.5 緊急軽水冷却系 (Fig. 136 参照)

2.8.4 の緊急外部冷却系をはたらかせてもなお不十分のときに、高架水槽の水を EV-1, 2 を通って炉心に流し込み燃料要素の除熱をするのがこの系の機能の目的である。試験としては EV-1, 2 を通った水を EV-4 の前で sump pit におとし、EP-1 でこの水を

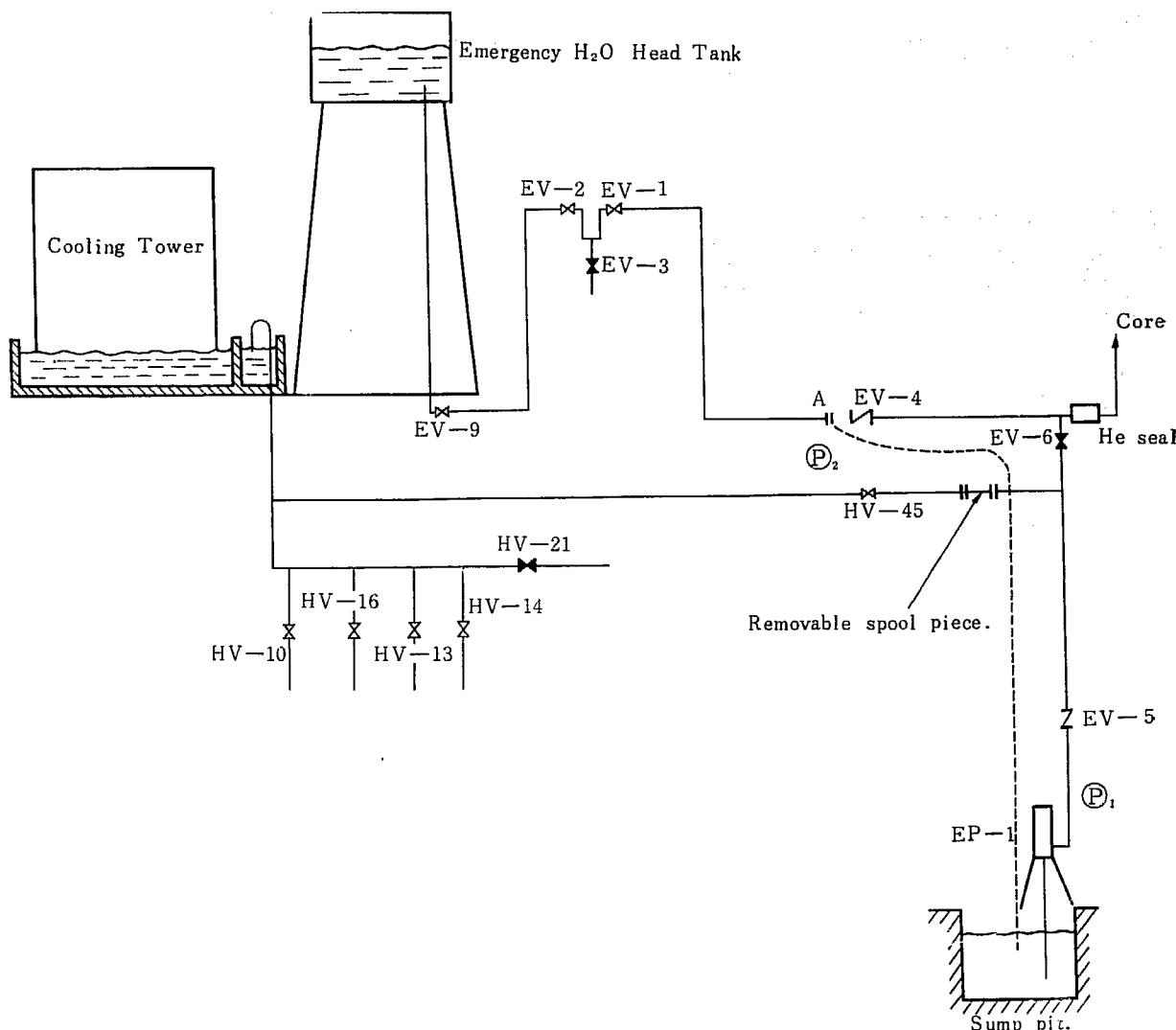


Fig.136 Functional test method of emergency cooling system

cooling tower にもどした。流量は 48, 120, 240 gpm の 3 とおりとし、この調節は EV-9 によった。流量の決定は 8-4 で弁開度の目盛をうった EV-6 を利用し sump pit の水位が一定になって上昇、下降しないように EV-9 をしづらすことによっておこなった。また、EV-9 の弁ハンドルのところにも 48, 120 240 gpm の流量の弁開度目盛を記録した。

Check sheet を TABLE 39 に示す。

2.8.6 緊急 2 次冷却系

長時間の停電により DP-1, 2 が停止し重水系全体が燃料の decay heat によって飽和温度になったあと重水沸騰を防止する手段として DE-1 と DE-2 の 2 次冷却水を水位の差によって HV-23, HV-24 を通して sump pit に流し、この水を EP-1 により cooling tower にもどすことができる。HV-23, HV-24 を全

開した場合の流量は 116 gpm であった。この場合の check sheet を TABLE 40 に示す。

2.8.7 He 圧力逃がし弁

He 系の He gas は 2000 psi の He ボンベ 2 本から水柱 2.5" まで減圧されて He gasometer を経て He 系統に注入され、炉の運転中 He 系はこの圧力に保たれる。この He 系の圧力の安全弁としてはつきの 3 種のものが用意されている。

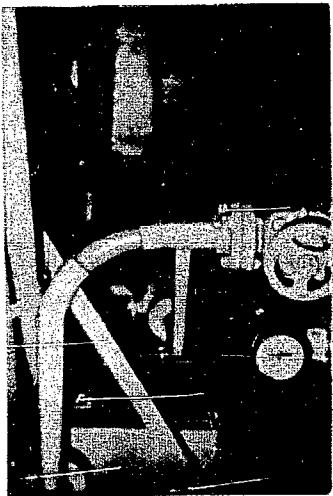
(1) DV-50

He gasometer に He gas が充満しそのピストンが上端に達すると、ソレノイド弁 DV-80 が作動し、空気作動により DV-50 を全開とし、He 系の He gas を irradiated air system に放出する。DV-50 は He gas を放出する場合以外は全閉である。

(2) He 逃がし弁

番号	系 統	標識及び色彩 (マンセル記号)
1	重水系	黄 2.5Y 8/12
2	重水 (緊急)系	黄と赤(両側に黒線の入った)バンド N-1.5 5R4/13 N-1.5 2.5Y 8/12
3	熱遮蔽 冷却系	青地に白1本 2.5PB5/6 N-9.5 2.5PB5/6
4	二次冷却系	青地に白2本 N-9.5 2.5PB5/6
5	軽水系(雑)	青 2.5PB5/6
6	二次冷却 (緊急)系	青と赤(両側に黒線の入った)バンド N-1.5 5R4/13 2.5PB5/6
7	He 系	黄赤 2.5YR6/13
8	Irradiated air system	白にうすい黄赤1本 N-9.5 2.5YR7/6
9	Ventilation air system	白 N-9.5
10	Irradiated Ventilation air system	白にうすい黄赤1本 N-9.5 2.5YR7/6
11	Compressed air system (Pneumatic を含む)	白地に黒で文字を入れる N-9.5
12	空気(雑)系	白 N-9.5
13	ガス(雑)系	暗い黄赤 7.5YR5/6
14	蒸 気 (Hot Caveのみ)	暗い黄赤 7.5YR5/6
15	炭酸ガス	緑 5G5.5/6

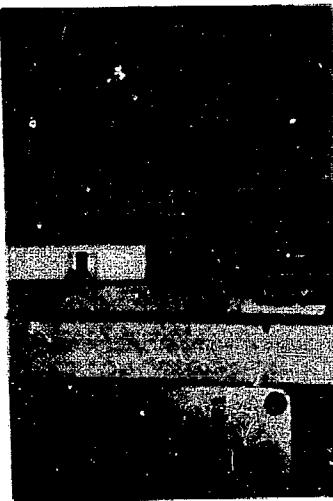
Fig. 137



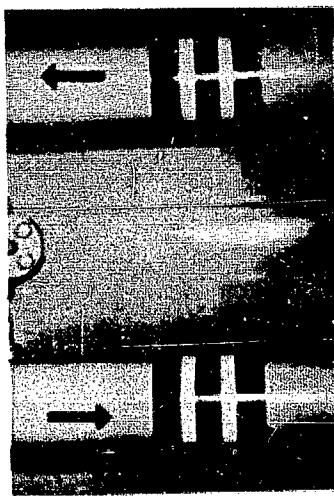
Heavy water and helium system



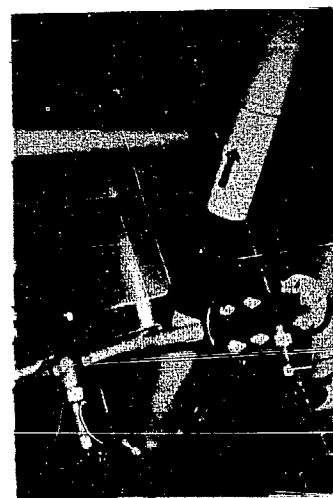
Heavy water and thermal shielding
water system piping in the pit



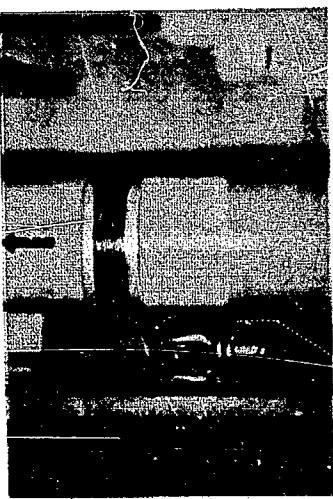
Pneumatic system



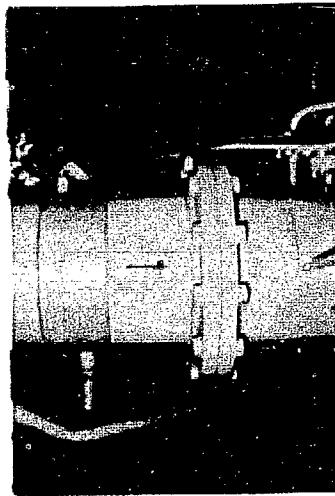
Secondary cooling system



Helium system and emergency cooling system



Irradiated air system

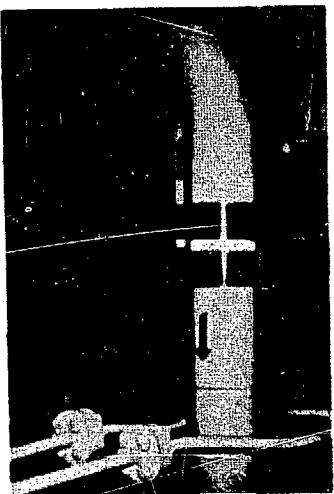


Heavy water system



Emergency cooling system

The pump at the left side is EP-1



Thermal shield cooling system

TABLE 42 The emergency supply air system

No.	Operation					Result			Mark	Note
	Term	Pos.	Sym.	Op.	Pos.	Term	Syn.	Result		
(1)	Starting condition Press. gage on air capacity 140 psi tank								OK	
(2)	(G) Lo air press. D ₂ O valve L.	LG 170	on						OK	
(2)	"	LR 170	off						OK	
(3)	(R) "	DP-1	operate						OK	
(3)	D ₂ O main pump	DP-2	"						OK	
	Test operation									
1	Supply valve			reduce		Air press. (G) Lo air press. D ₂ O valve L. (R) "	LG 170 off LR 170 on	133 psi OK OK	OK	
2	Supply valve			reduce		Air press. DV-46 Tank press.		130 psi close Constant	OK OK OK	kg/cm ² 8.8
3	"Natural circ. on" button	PB 620	Press			(R) "Natural circ. on" L.		off	OK	(The remained pr.)
						DV-5 DV-6 DV-7	Operates through full stroke	OK	kg/cm ² 6.2	
							"	OK	6.2	
							"	OK	6.2	
4	"Dump valve on" button	PB 630	press			(R) "Dump valve on" L. DV-14	LR 630 on	OK	kg/cm ² 6.1	
							Operates through full stroke	OK		
5	"Dump valve ready" button	PB 631	press			DV-14 Core tank level	LX-1 rises	close OK	kg/cm ² 6.1	
6	"Natural circ. ready" button	PB 621	press			DV-5 DV-6 DV-7		close open open	kg/cm ² 4.3	
							"	OK	"	
							"	OK	"	
7	Repeat 3-6 "Natural circ. on" button	PB 620	press			DV-5 DV-6 DV-7	Operates through full stroke	OK	kg/cm ² 3.2	
							"	OK	"	
							"	OK	"	
8	"Dump valve on" button	PB 630	press			DV-14		"	OK	kg/cm ² 3.2
9	"Dump valve ready" button	PB 631	press			DV-14 Core tank level	LX-1 rises	close OK	kg/cm ² 3.2	
							"	OK	"	
10	"Natural circ. ready" button	PB 621	press			DV-5 DV-6 DV-7		close open open	kg/cm ² 2.2	
							"	OK	"	
11	Raise supply air pressure to normal					(G) Lo air press. D ₂ O valve L. (R) "	LG 170 on LR 170 off	OK OK	kg/cm ² 2.2	

He 系内の圧力が水柱 18" 以上になると irradiated air system の cambridge filter 箱についている He 逃がし弁が作用し, He gas が irradiated air system に放出される。

(3) 水シール

He 系内の圧力が水柱 33" になり DV-50 He 逃がし弁で十分に He gas を放出しきれないときに, DV-50 と irradiated air system の間にについている U 字型の水シールを破り He gas がポンプ室に放出されるようになっている。これらの 3 種の安全弁に対して、現地で試験したのは DV-50 についてだけであってその結果を TABLE 41 に示す。He 逃がし弁が水柱 18" でひらく機能試験は、製作メーカーにおいて実施ずみであった。水シールの試験はとくに実施していない。

2.8.8 緊急空気供給系

Fan room の 5 ft³ の空気貯槽の空気は主として DV-5, 6, 7, 14 の開閉に使用されているのでこの供給空気をつねに十分確保するため、空気源の圧力が 130 psi 以下になると圧力スイッチ PX-9 がはたらきソレノイド弁 DV-46 が切れて空気貯槽に供給される空気系が閉じ、この貯槽はつねに 130 psi 以上の圧力を保つようになっている。ここではこの空気貯槽の空気を使用して DV-5, 6, 7, 14 を何回作動させることができるともしらべた。その試験結果は 2 回であった。この check sheet は TABLE 42 に示されている。

(牛尾記)

2.9 配管系の色彩調節

原子炉配管系の色彩調節については、まだ一定の基準はないので JIS に定められた一般配管の色彩基準を参考にして定めた。炉本体はアルミニウム地金そのままであり、ポンプ室は配管機器はすべて銀白色に統一され、天井は N 9.4、床は 7.5 YR6/1、壁は 2.5

Y9/1 になっている。この銀白色の配管系を識別するため目につきやすいところに下記のような標式をぬつてある。

これらの実際の色彩を Fig. 137 に示す。

2.10 まとめ

おわりにこれら機能試験は JRR-2 管理課のほとんど全員の作業でおこなわれたものであるが、このほかポンププロアーの特性試験重水ポンプのもれ試験および緊急冷却系の機能試験は JRR-2 建設を担当した AMF および三菱関係会社の多くの方々の作業による

ものであり、また配管系の色彩調節については三菱原子力工業ならびに村上色彩研究所の御援助をいただいたことを付記してこれらの関係者に感謝する。

(中井記)