

# 「常陽」MK-II 材料照射リグの水, Na流動試験

試作CMIRとSMIRの圧力損失測定とNa中浸漬

1984年3月

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

## 「常陽」MK-II 材料照射リグの水, Na流動試験 試作CMIRとSMIRの圧力損失測定とNa中浸漬

金沢 光雄 \* 阿部 定好 \*\*  
大坪 章 \* 井口 達郎 \*

### 要 旨

試作「常陽」MK-II 炉心材料照射リグおよび燃料材料照射リグの水中での圧力損失測定試験と高温 Na 中での浸漬試験を1983年4月から1983年5月の間に実施した。

本試験の結果, 以下の事項が明らかになった。

- (1) 試作 CMIR の圧力損失測定試験では, 定格レイノルズ数  $1.58 \times 10^4$  のときの圧力損失係数は, 75.6 であった。この値は, 設計値とほぼ一致した。
- (2) 試作 SMIR の圧力損失測定試験では, 定格流量での全体圧損値は,  $0.5806 \text{ kg/cm}^2$  (実験値に対して設計値は 12.5%大) 又, この時のオリフィスの圧損値は,  $0.5194 \text{ kg/cm}^2$  (実験値に対して設計値は 32%小) であった。
- (3) 試作 CMIR と SMIR の Na 浸漬, Na ドレイン, 予熱保持を実機使用条件下で実施し, その後の諸検査に供する試験体として燃料材料試験部へ提供した。

今回の試験データは, 別に実施される試作 CMIR と SMIR の洗浄および解体検査結果と共に実機の照射後試験に反映される予定である。

---

(\*) 大洗工学センター, 高速炉安全工学部, 高速炉工学室  
(\*\*) 大洗工学センター, 高速実験炉部, 技術課

Mar. 1984

Hydraulic Characteristics and Sodium Flow Tests on  
"JOYO" MK-II Irradiation Test Assemblies

Pressure Loss Measurement and Sodium Steeping  
of CMIR and SMIR

M. KANAZAWA\*, S. ABE\*\*  
A. OHTSUBO\*, and T. IGUCHI\*

Abstract

Hydraulic test and sodium soaking were carried out for "JOYO" MK-II Core Materials Irradiation Test Assembly (CMIR) and Structural Materials Irradiation Test Assembly (SMIR).

The results were as follows.

- (1) The pressure loss coefficient of CMIR was 75.6 at Reynolds number of  $1.58 \times 10^4$ . This result agreed well with its design value.
- (2) The total pressure loss of SMIR was  $0.5806 \text{ kg/cm}^2$  at  $0.5 \text{ kg/sec}$ . And the pressure loss of the orifice of SMIR was  $0.5194 \text{ kg/cm}^2$  at  $0.5 \text{ kg/sec}$ .
- (3) Sodium soaking, sodium draining and preheating tests of CMIR and SMIR were performed under simulated plant conditions.

The test result obtained will be reflected to the actual post irradiation examinations together with the cleaning test and disassembling test to be conducted by other sections.

---

(\*) Reactor Engineering Section, FBR Safety Engineering Division, O-arai Engineering Center, PNC.  
(\*\*) Technology Section, Experimental Fast Reactor Division, O-arai Engineering Center, PNC.

## 目 次

1. まえがき .....	1
2. 供試材料照射リグ .....	2
3. 試作 CMIR および SMIR の水流動試験 .....	3
3.1 試験装置 .....	3
3.2 試験方法 .....	3
3.3 試験結果 .....	3
3.3.1 試作 CMIR 水流動試験結果 .....	3
3.3.2 試作 SMIR 水流動試験結果 .....	4
4. 試作 CMIR および SMIR の Na 流動試験 .....	5
4.1 試験装置 .....	5
4.2 試験方法 .....	5
4.3 試験結果 .....	6
5. あとがき .....	7
謝 辞 .....	8
参考文献 .....	9

## List of Figures and Tables

Fig. 1-1	CMIR Irradiation Test Assembly (1) .....	11
Fig. 1-2	CMIR Irradiation Test Assembly (2) .....	13
Fig. 1-3	SMIR Irradiation Test Assembly .....	15
Fig. 1-4	Orifice of SMIR .....	17
Fig. 2-1	Flow Chart of Fuel Subassembly Water .....	18
	Simulation Test System	
Fig. 2-2	General of Test Section (No. 2) .....	19
Fig. 2-3	Flow Diagram of Sodium Flow Test Loop .....	20
Fig. 2-4	Arrangement of "JOYO" MK-II Test Section .....	21
Fig. 3-1	Experimental Result of Water Flow Test with CMIR .....	22
Fig. 3-2	Water Flow Rate and Pressure Loss of SMIR .....	23
Fig. 4-1	Sodium Purity Control Record of CMIR .....	24
Fig. 4-2	Sodium Purity Control Record of SMIR .....	25
Table 3-1	Water Flow Test Result (empirical formula) .....	26
Table 4-1	Sodium Flow Test Conditions .....	27

## 1. ま え が き

高速実験炉「常陽」MK-II に装荷される CMIR および SMIR は共に、6 本のコンパートメントとラッパ管中心部に位置する 1 本の軸心管から構成されている。また SMIR のみ、冷却材流量を低下させるオリフィスが、エントランス部に組込まれている。

本試験では、試作 CMIR および SMIR を用い、実機定格レイノルズ数範囲での水流動試験(全体圧力損失測定)、実機使用条件下での Na 流動試験 (Na 中浸漬, Na ドレイン試験および予熱保持試験) を行った。これらの結果は、実機の設計値との確認および照射後試験に反映される。また本研究に使用した試作 CMIR および SMIR は、本試験終了後、機器開発室および照射燃料集合体試験室で、湿り窒素洗浄、解体検査が実施される。

## 2. 供試材料照射リグ

本試験に用いられた供試材料照射リグは、試作CMIRおよびSMIRの計2体である。試作CMIRおよびSMIRの全体構成をFig 1-1, 1-2, 1-3, 1-4に示す。

試作CMIRおよびSMIRは、昭和58年12月に東京芝浦電気㈱および原子燃料工業㈱で製作納入されたものである。これら2体共、これまで開発されたB型照射用特殊燃料集合体とほぼ同様な構造であるが、コンパートメント内部の試料部は、各コンパートメントで異なっている。即ち試作CMIRのコンパートメント内部は、目標の照射温度(500～700℃)を達成するためNa冷却材が流れにくい構造になっており、2重管でスリットがついていない。一方試作SMIRのコンパートメントは、1重管でスリットをつけている。試作SMIRは、試作CMIRと違って入口のエントランスノズル部に試作SMIR(オリフィスなし)の定格Na流量の約 $\frac{1}{3}$ (設計値)に落とすための4段、内径12.6mmのオリフィスが組込まれている。なお試作CMIRおよびSMIRとも、照射後試験施設での取扱(Na洗浄性、解体・組立性)を考慮して設計製作されている。



### 3. 試作CMIRおよびSMIRの水流動試験

#### 3.1 試験装置

試作 CMIR および SMIRの水流動試験は、動燃大洗工学センター内水流動試験室の燃料集合体水流動試験装置を用いて行った。試験ループのフロシートおよび今回用いたNo.2 テストセクションの概念図を Fig. 2-1, 2-2 に示す。

流動試験時の水の流れは、サージタンク→循環ポンプ→電磁流量計→流調弁→テストセクション→タービン流量計→サージタンクといった方向である。循環ポンプは、定格 $120\text{m}^3/\text{hr}$  および $30\text{m}^3/\text{hr}$  の2機を測定流量によって選択される。水の流量調節は、テストセクション入口側の流調弁によって行われる。またテストセクション内負圧防止としてテストセクション出口弁によって内圧の調節を行っている。本試験では、流量範囲 $0.5\sim 30\text{m}^3/\text{hr}$  の電磁流量計、タービン流量計を用いた。これら流量計の検定は、計量タンクとサージタンク間の切換弁を計量タンク側に切換えて、規定時間内の流入重量および水温測定により行うことが出来る。サージタンクには、 $20\text{Kw}$  のヒータ5基が挿入されており、高温運転( $40^\circ\text{C}$ 以上)の場合は、サージタンク内温度を検出してヒータをON-OFF制御することにより水温を自動制御する。また低温運転( $40^\circ\text{C}$ 未満)の場合は、クーラの流量調節により、水温を一定に保つことが出来る。試験体の差圧データは、テストセクション各部に据付られた静圧タイプとこれとビニルチューブにより連結された差圧伝送器により検出されコンピュータへ伝送される。

#### 3.2 試験方法

試作 CMIR および SMIR を燃料集合体水流動試験装置No.2 テストセクションに装荷後、実機定格 Re 数が得られるように、入口流動および水温をセットし、全体圧力損失特性試験を行った。また試作 SMIR については、オリフィス有と無の2ケースで行った。

以下に試作 CMIR および SMIR の試験条件を示す。

試作 CMIR : 水温約 $70^\circ\text{C}$ , 流量範囲 $2.0\sim 10\text{m}^3/\text{hr}$   
 試作 SMIR (オリフィス有): 水温約 $70^\circ\text{C}$ , 流量範囲 $0.5\sim 10\text{m}^3/\text{hr}$   
 試作 SMIR (オリフィス無): 水温約 $70^\circ\text{C}$ , 流量範囲 $0.5\sim 10\text{m}^3/\text{hr}$

#### 3.3 試験結果

##### 3.3.1 試作 CMIR 水流動試験結果

本試験での全体圧力損失特性試験データは、圧力損失係数とレイノルズ数の関係で整理した。整理に必要な、流速、代表寸法は、試作 CMIR の G-G 断面のバンドル部で定義した。なおデータ整理に用いたバンドル等価直径は、 $4.9475\times 10^{-3}\text{ (m)}$ 、流路断面積は、 $1.1416\times 10^{-3}\text{ (m}^2\text{)}$

である。定格流量  $1.04 \text{ kg/sec}$  (Na 温度  $400^\circ\text{C}$ ) における  $Re$  数は、 $1.58 \times 10^4$  である。圧力損失係数  $\zeta$  とレイノルズ数  $Re_B$  の導出式を以下に示す。

$$Re_B = V \times D / \nu \quad (V = Q/A)$$

$$\zeta = \frac{\Delta P}{r v^2 / 2g}$$

(添字)

$\Delta P$ : 圧力損失 ( $\text{kg/m}^2$ )	$\nu$ : 動粘性係数 ( $\text{m}^2/\text{sec}$ )
$r$ : 比重量 ( $\text{kg/m}^3$ )	$Q$ : 流量 ( $\text{m}^3/\text{sec}$ )
$V$ : 代表流速 ( $\text{m/sec}$ )	$A$ : 流路断面積 ( $\text{m}^2$ )
$g$ : 重力加速度 ( $\text{m/sec}^2$ )	
$D$ : 等価直径 (m)	

全体圧力損失特性試験結果を Fig. 3-1 に示す。なお Table 3-1 に最小 2 乗法 (平均 2 乗誤差) により求めた圧力損失係数とレイノルズ数の関係式および計算精度を示す。

定格レイノルズ数  $1.58 \times 10^4$  における圧力損失係数は、75.6 であり、この値と設計値とは、+1.455% でほぼ一致した。

### 3.3.2 試作 SMIR 水流動試験結果

本試験で得たオリフィス有と無の 2 ケースの全体圧力損失特性試験データを、オリフィスの圧力損失の効果を見るために、全体圧力損失と流量の関係で整理した。Fig. 3-2 に全体圧力損失特性試験結果を示す。なお同 Fig. 中に最小 2 乗法<sup>(4)</sup> (平均 2 乗誤差) により求めた圧力損失と流量の関係式および計測精度を示す。以上の結果より、オリフィス有りの定格流量  $0.5 \text{ kg/sec}$  での圧力損失値は、 $0.5806 \text{ kg/cm}^2$  であり、定格流量時の設計値 ( $0.6530 \text{ kg/cm}^2$ ) は、実験値に対して 12.5% 過大であった。次に試作 SMIR のオリフィス有と無の全体圧力損失データから得られたオリフィスの圧損値は、 $0.5194 \text{ kg/cm}^2$  (定格時) であり、この値に対する設計値 ( $0.3530 \text{ kg/cm}^2$ ) は、32% 過小であった。

## 4. 試作CMIRおよびSMIRのNa流動試験

### 4.1 試験装置

試作CMIRおよびSMIRのNa流動試験は、動燃大洗工学センター内高速炉工学室のNa流動伝熱試験装置を用いて行った。試験ループのフローシートおよび本試験に用いた「常陽」MK-IIテストセクションの概念図をFig. 2-3, 2-4に示す。

流動試験時のNaの流れは、循環ポンプ→主冷却器→熱交換器→主加熱器→「常陽」MK-IIテストセクション→循環ポンプの方向である。循環ポンプは、主循環ポンプ(110~5000ℓ/min)と補助ポンプ(0~300ℓ/min)の2台を保有している。今回の試験は、低流量なので補助ポンプを用いた。この時のNa流量の検出は、「常陽」MK-IIテストセクション下部入口側にある電磁式流量計FR-T2により、また流量の調節は、「常陽」MK-IIテストセクション入口側止め弁の開閉、補助ポンプの電圧制御、およびNaのバイパス運転により行われた。試験部およびループを流れるNaの純度管理は、水素濃度計、プラグング計およびコールドトラップにより行われる。試験ループおよび試験部へのNaチャージは、真空充填法により、ガス溜りを残さず、完全に行われる。試験部を流れるNaの温度コントロールは、主加熱器の燃焼バーナの本数およびバーナ油量の増減により行われる。「常陽」MK-IIテストセクション各部温度は、テストセクション各部に挿入された熱電対にて、また試験体の全体圧力損失は、テストセクションの上部、下部プレナム間に据付けられた差圧伝送器にて検出される。検出されたテストセクション各部温度、全体圧力損失、Na純度信号およびNa流量信号は、中央制御室に指示記録される。なお解析に必要なデータは、ON-LINEでコンピュータ処理される。

### 4.2 試験方法

試作CMIRおよびSMIRのNa洗浄性試験の一環として、Na流動伝熱試験ループを用い、Na浸漬試験、Naドレイン試験および予熱保持試験を行った。また各試験条件は下記のとおりである。

#### 試作CMIR試験条件

Na浸漬試験：Na流量0.5kg/sec, Na入口温度370℃, 浸漬時間約24hr

Naドレイン試験：Na温度約200℃, ドレイン速度100mm/sec

予熱保持試験：予熱保持時間1hr, 予熱保持温度約200℃

#### 試作SMIR試験条件

Na浸漬試験：Na流量1.04kg/sec, その他試作CMIRと同じ

Naドレイン試験：試作CMIRと同じ

予熱保持試験：試作CMIRと同じ

なお上記の試験条件は、実機使用条件とほぼ同一な値である。

### 4.3 試験結果

試作 CMIR および SMIR の Na 流動試験は、前項 4.2 の試験方法为目标として行い、Table 4-1 に示す実績を得た。なお全体の試験期間中のテストコンデションを Fig. 4-1, 4-2 に示す。

## 5. あ と が き

試作 CMIR および SMIR による水流動試験（全体圧力損失試験）および Na 流動試験（Na 浸漬試験→Na ドレイン試験→予熱保持試験）を実施した。本試験のうち水流動試験は、定格レイノルズ範囲で本試験体の流動特性の確認を主目的としたものである。次に Na 流動試験は、本試験体の Na ドレイン性、洗浄性を確認する試験の一環として、実機使用条件下で行われた。本試験の結果は、以下の通りである。

- (1) 試作 CMIR の水流動試験結果、定格レイノルズ数  $1.58 \times 10^4$  における圧力損失係数は、7.56 であり、この値は、設計値とほぼ一致した。
- (2) 試作 SMIR の水流動試験結果、オリフィス有での圧力損失値は、 $0.5806 \text{ kg/cm}^2$ （定格流量  $0.5 \text{ kg/sec}$  時）であった。定格流時の設計値は、 $0.6530 \text{ kg/cm}^2$  であり、実験値に対して 12.5% 過大であった。次に定格流量でのオリフィスの圧力損失値は、 $0.5194 \text{ kg/cm}^2$  であり、この値に対する設計値は  $0.353 \text{ kg/cm}^2$  であり、32% 過小であった。
- (3) 試作 CMIR および SMIR の Na 中浸漬試験、Na ドレイン試験および予熱保持試験を、実機使用条件下で実施した。

## 謝 辞

本試験の実施にあたり、計画および実施に御協力頂いた、FBR 本部燃料グループの湯谷順明副主任研究員、実験炉照射課の関係者、また本試験を実施するために燃料集合体水流動試験装置およびNa 流動伝熱試験装置の運転保守に携った諸氏に厚く御礼申し上げます。

## 参 考 文 献

- (1) 高速増殖炉開発本部：「常陽」MK-II材料照射リグのモックアップ試験計画 PNCレポ-1.  
PN 244 82-06 1982年11月
- (2) 原子燃料工業(株)：高速実験炉「常陽」構造材料照射用反射体の製作(熱流力計算書)  
1982年5月
- (3) 東京芝浦電気(株)：高速実験炉「常陽」燃料材料照射用試料部の詳細設計 1982年3月
- (4) 森田健造著 理工図書：土木技術者のための最小2乗法演習

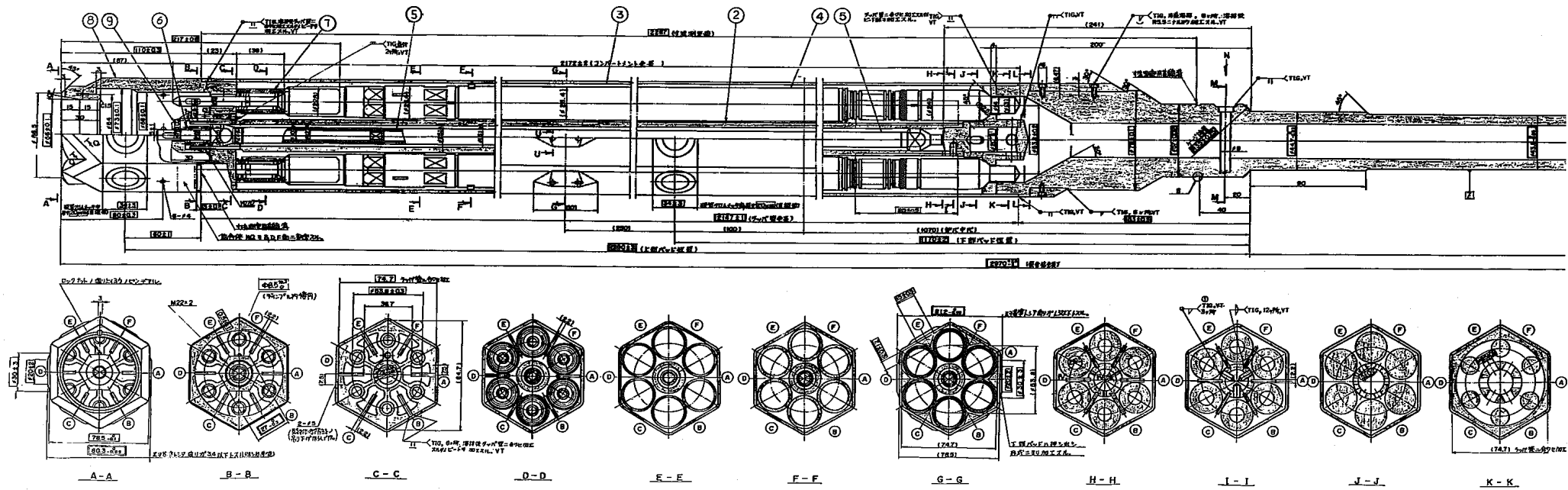


Fig. 1-1 CMIR Irradiation Test Assembly (1)



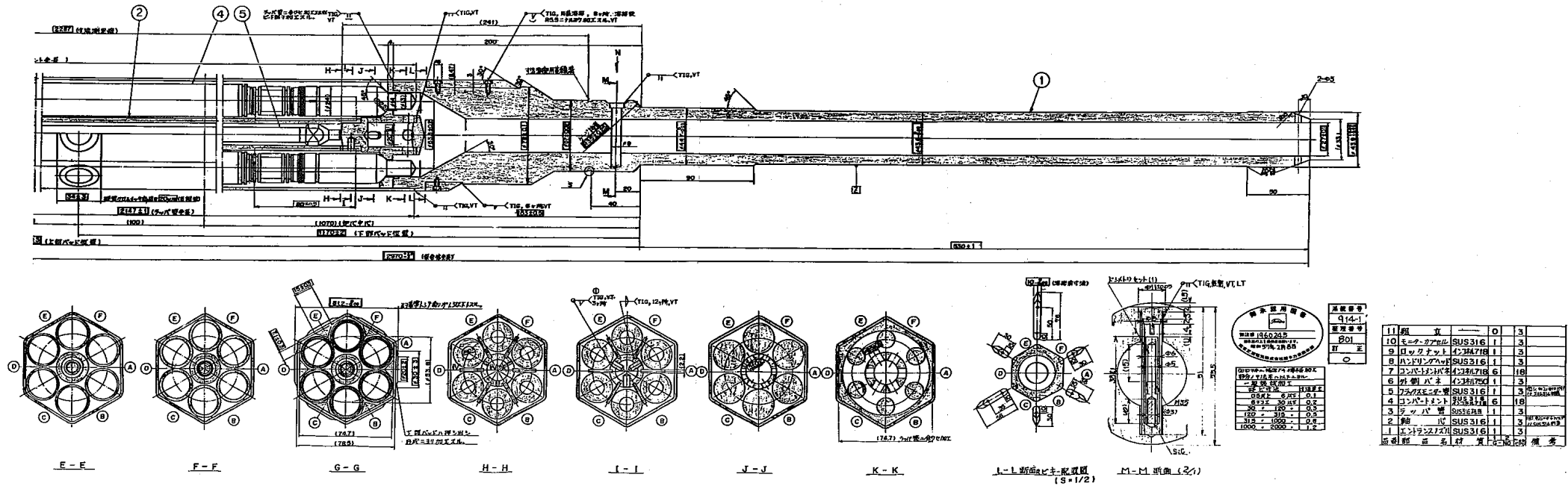


Fig. 1-2 CMIR Irradiation Test Assembly (2)

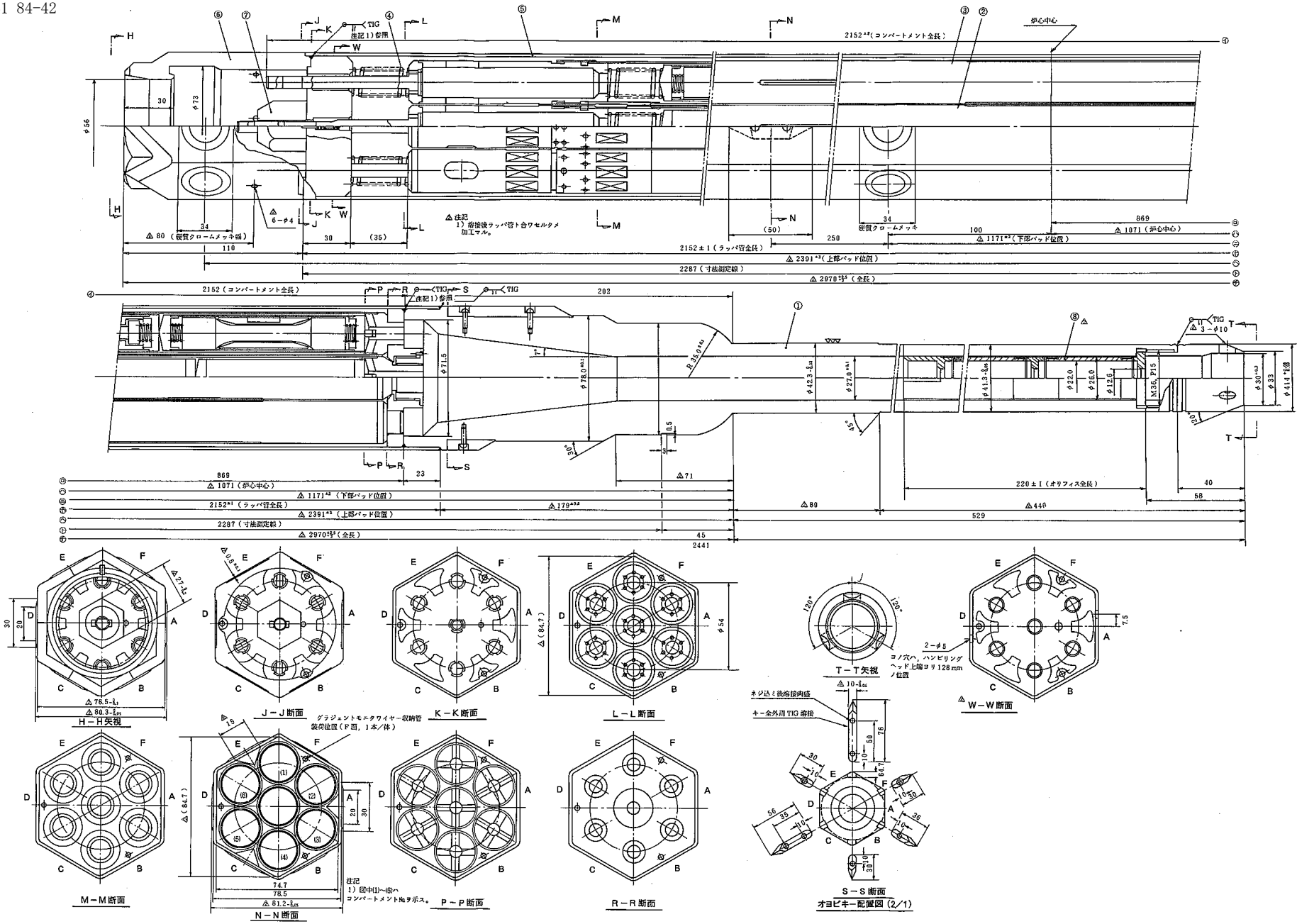
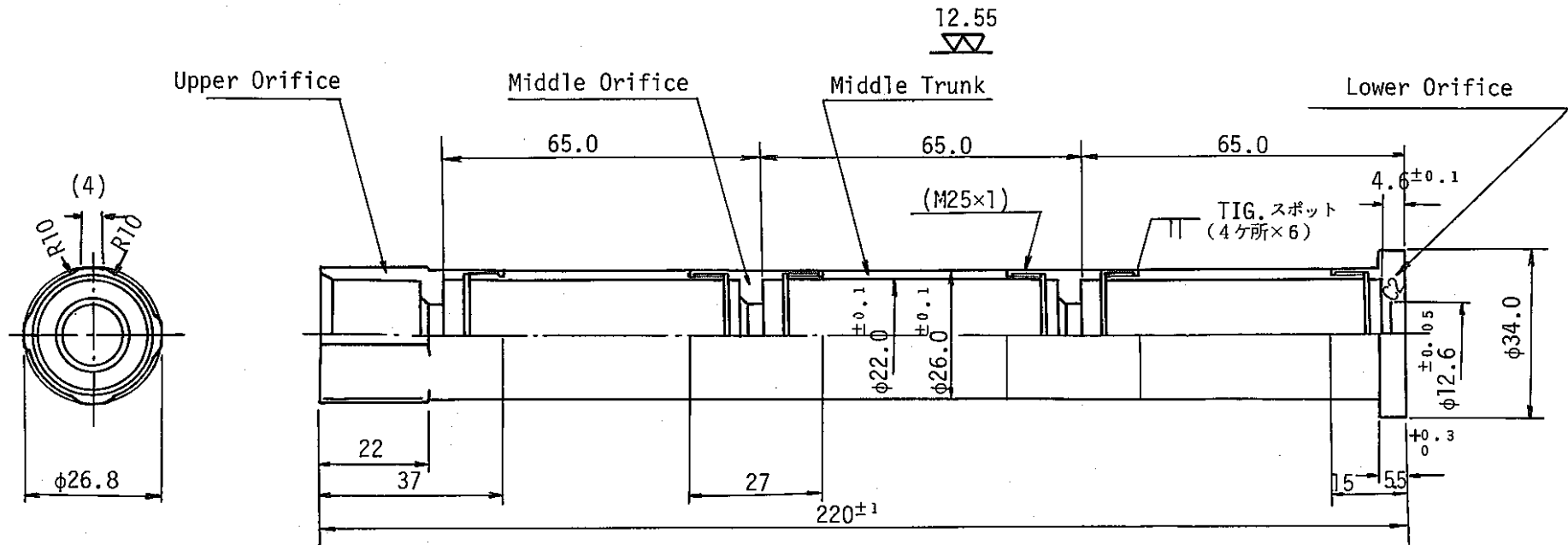


Fig. 1-3 SMIR Irradiation Test Assembly



Material : SUS304

Fig. 1-4 Orifice of SMIR

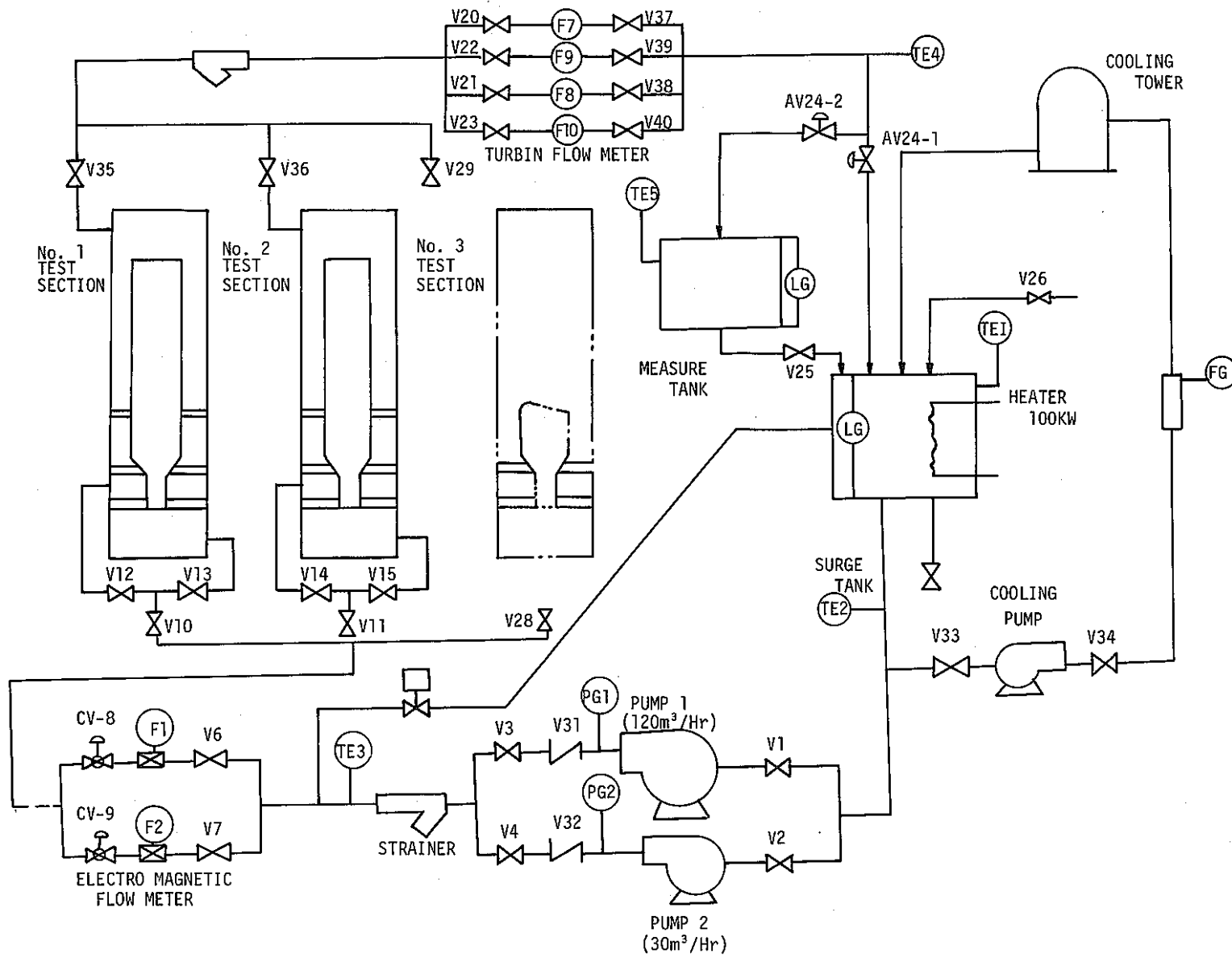


Fig. 2-1 Flow Chart of Fuel Subassembly Water Simulation Test System.

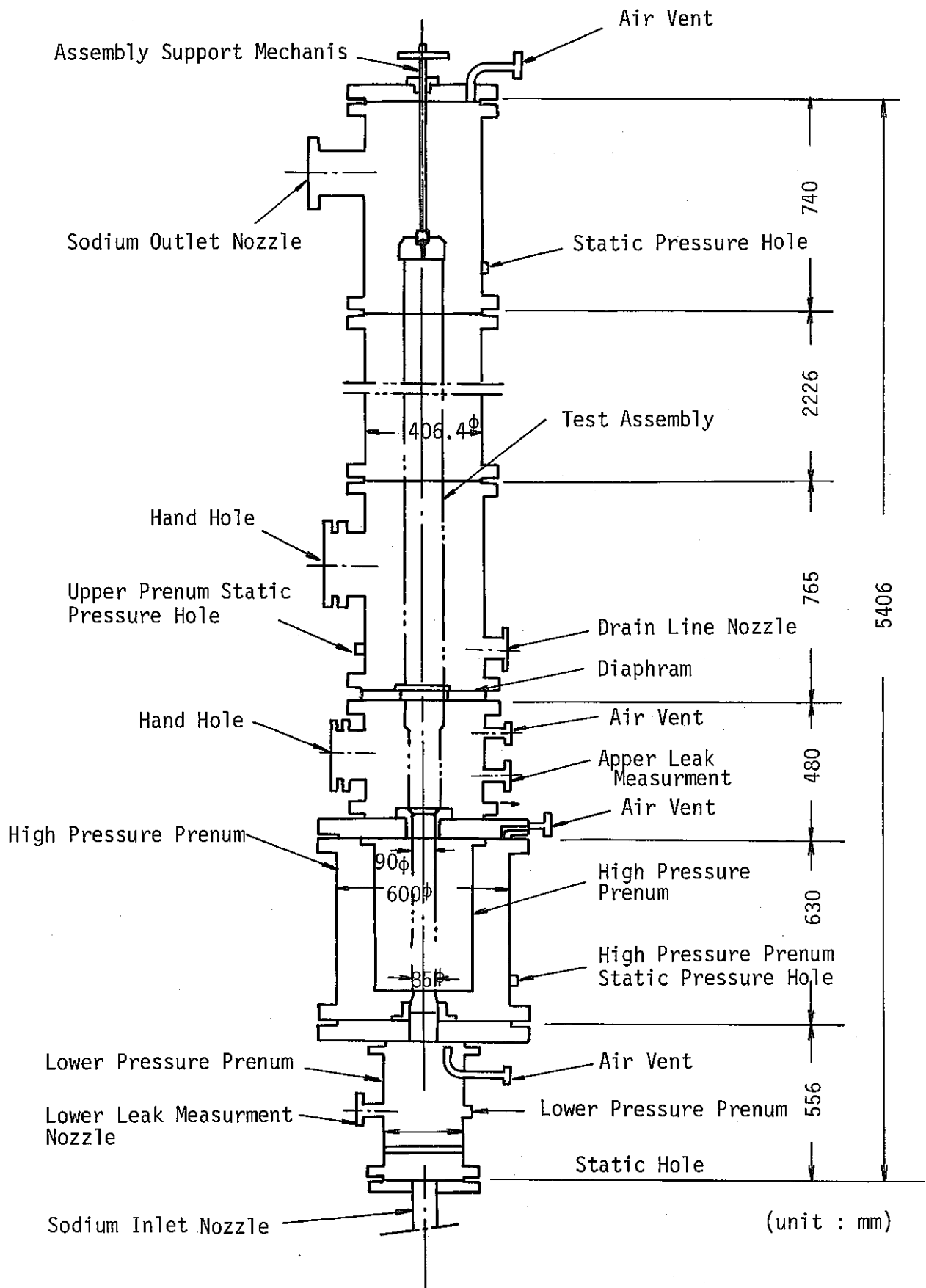


Fig. 2-2 General of Test Section (No. 2)

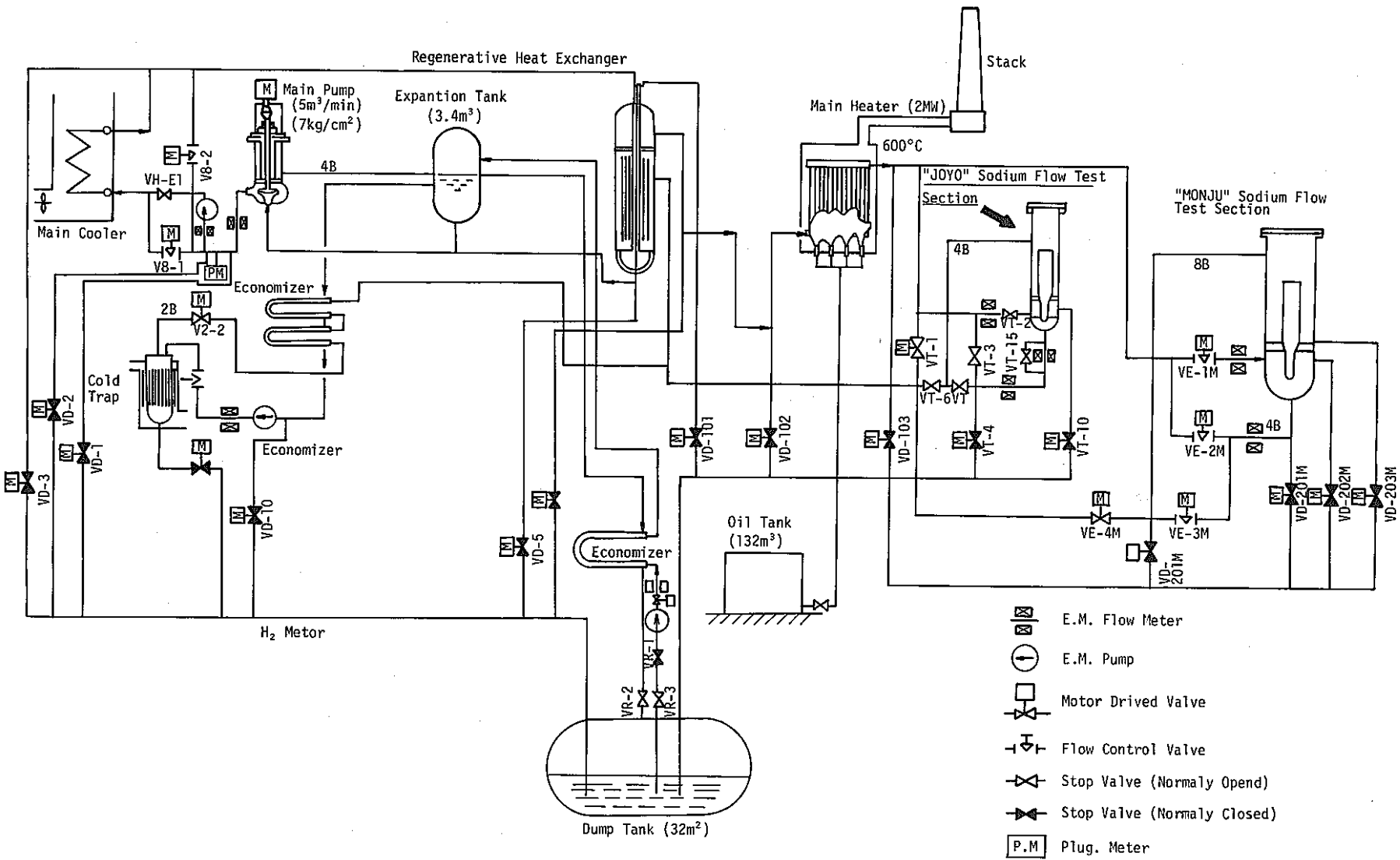


Fig. 2-3 Flow Diagram of Sodium Flow Test Loop

$T_{1\sim 5}$  ; Thermometer  
 $\Delta P_T$  ; Ditterential Pressure Gauge  
 FR ; Flow Meter

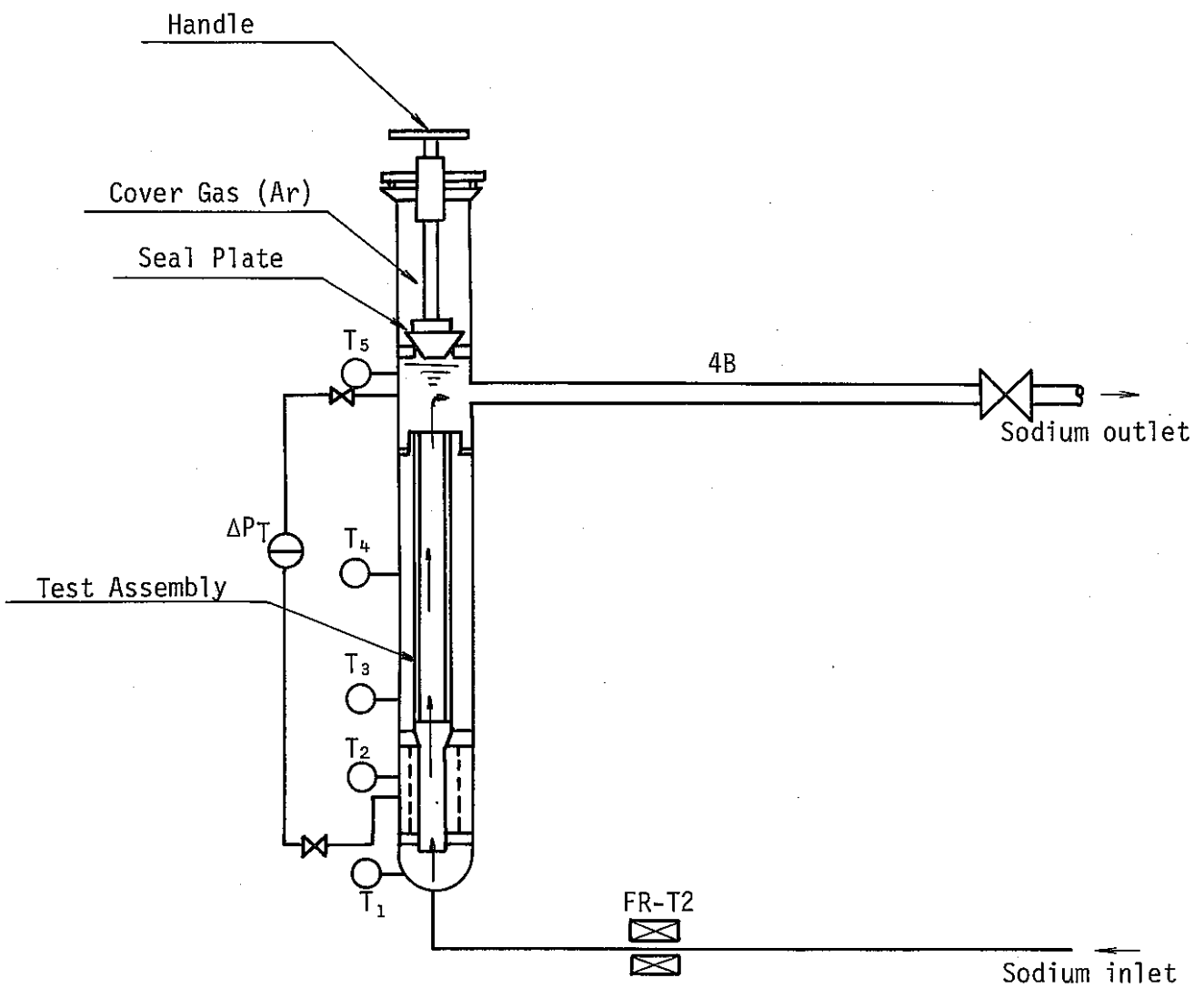


Fig. 2-4 Arrangement of "JOYO" MK-II Test Section.

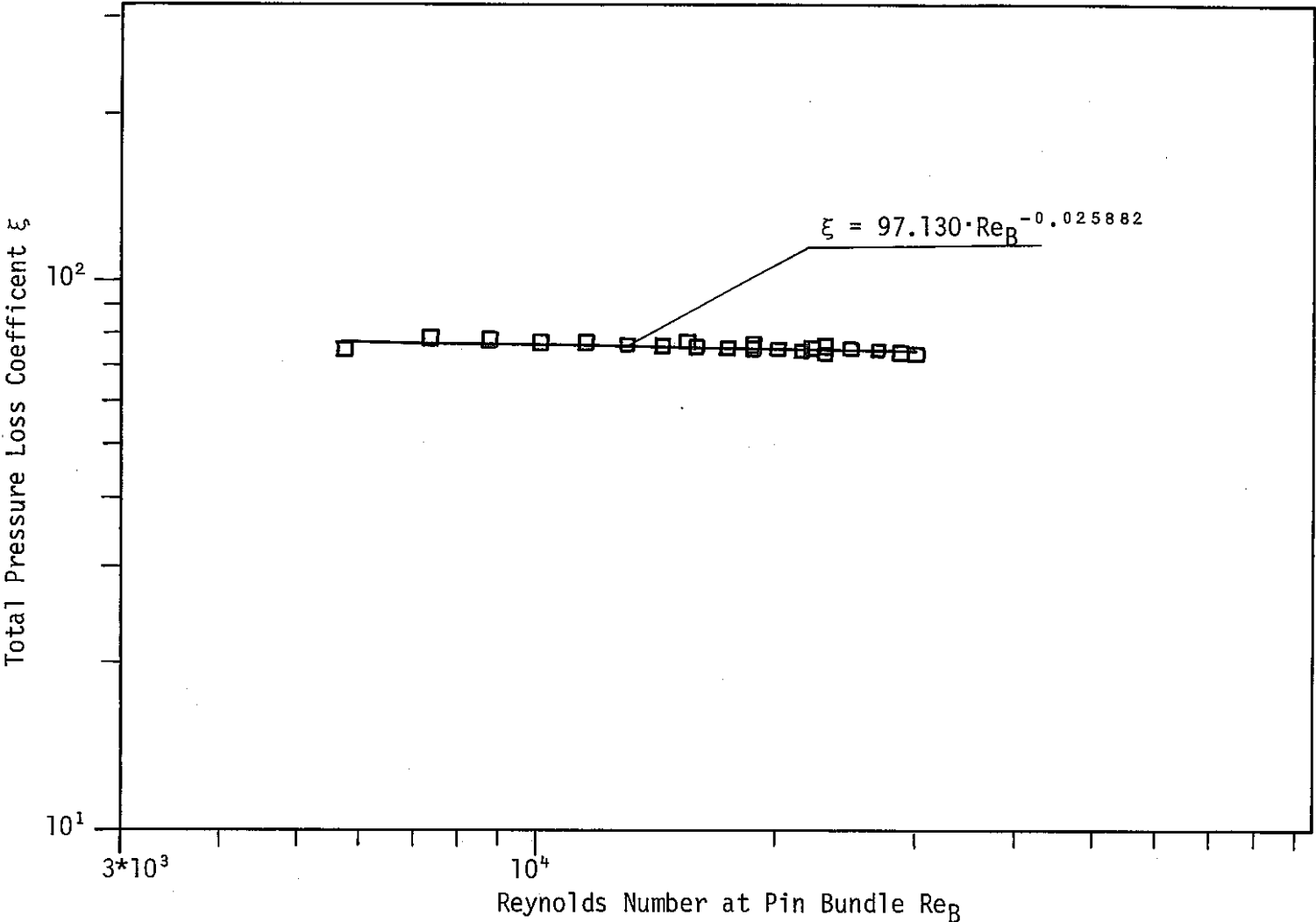


Fig. 3-1 Experimental Result of Water Flow Test of CMIR



1983, 04, 21

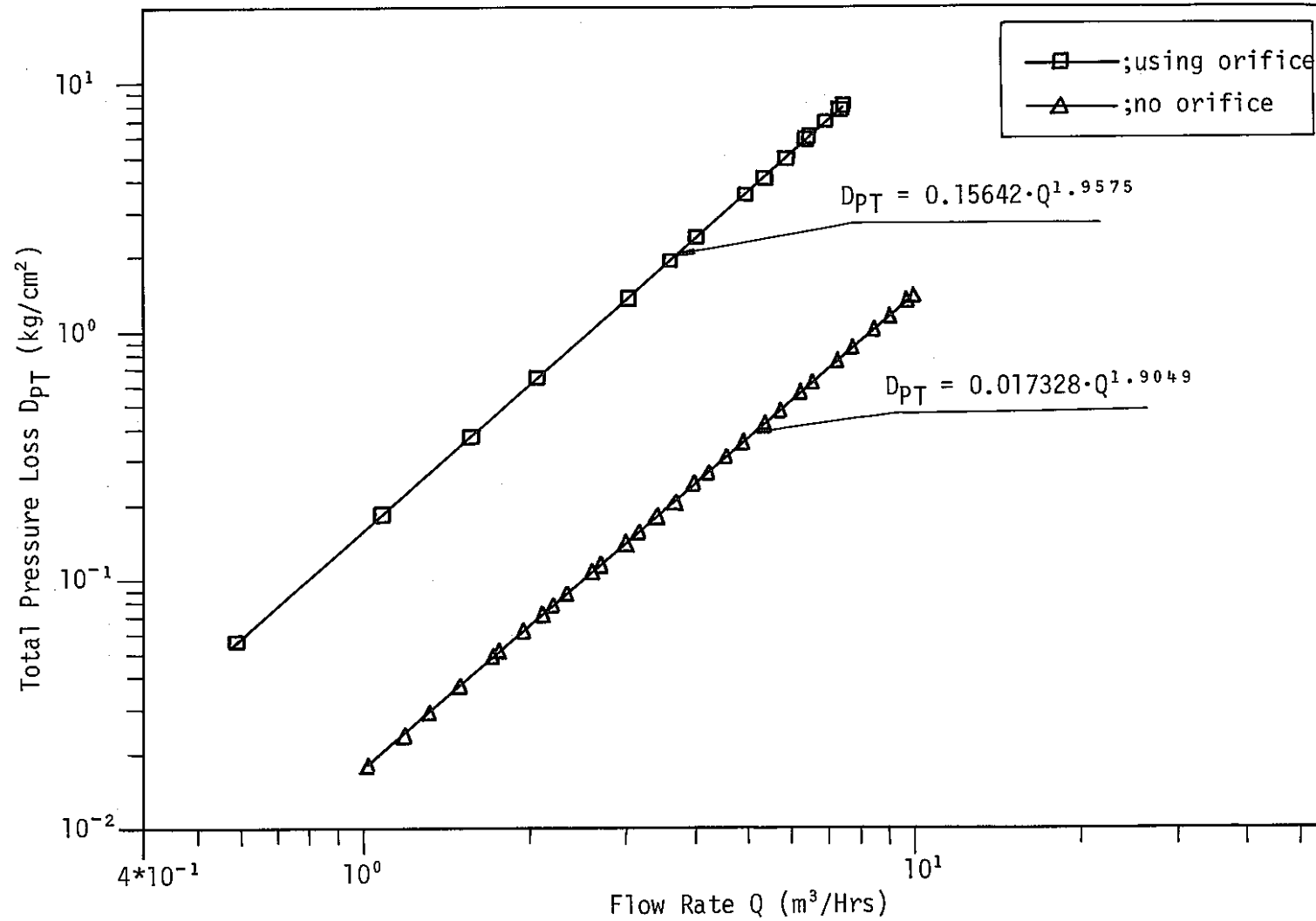


Fig. 3-2 Water Flow Rate and Pressure Loss of SMIR

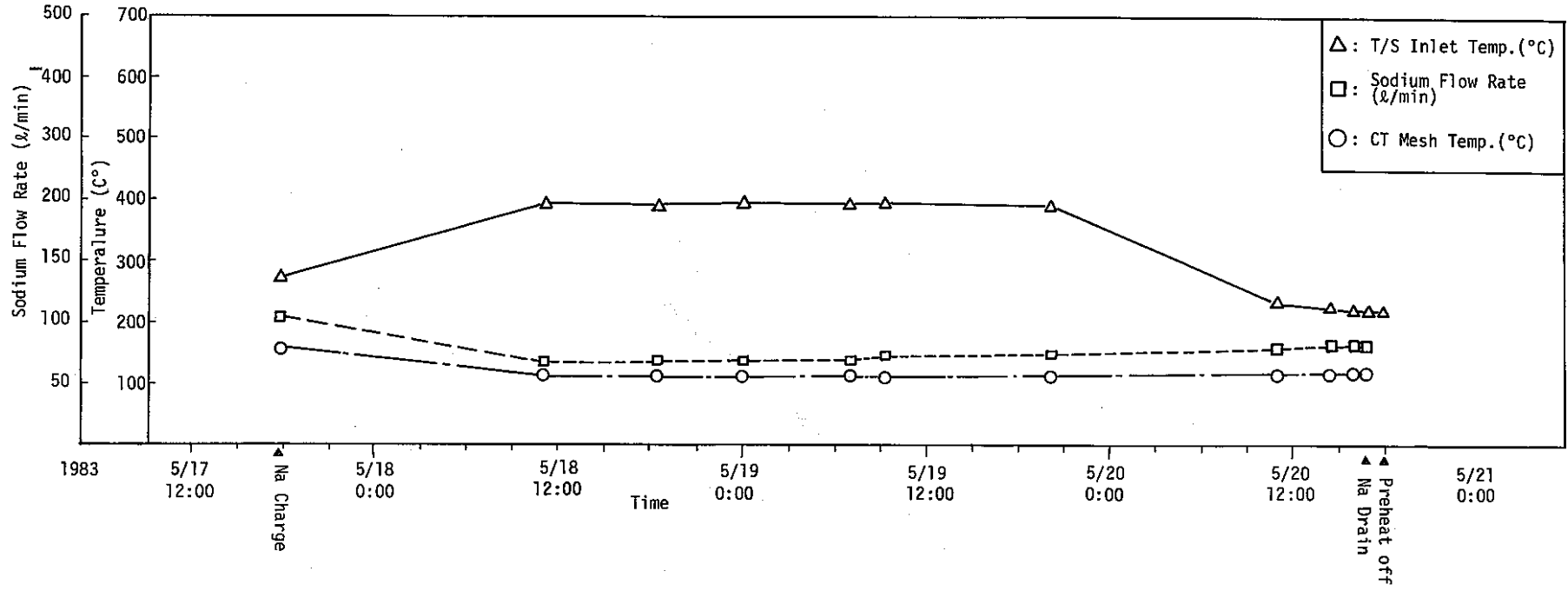


Fig. 4-1 Sodium Purity Control Record of CMIR

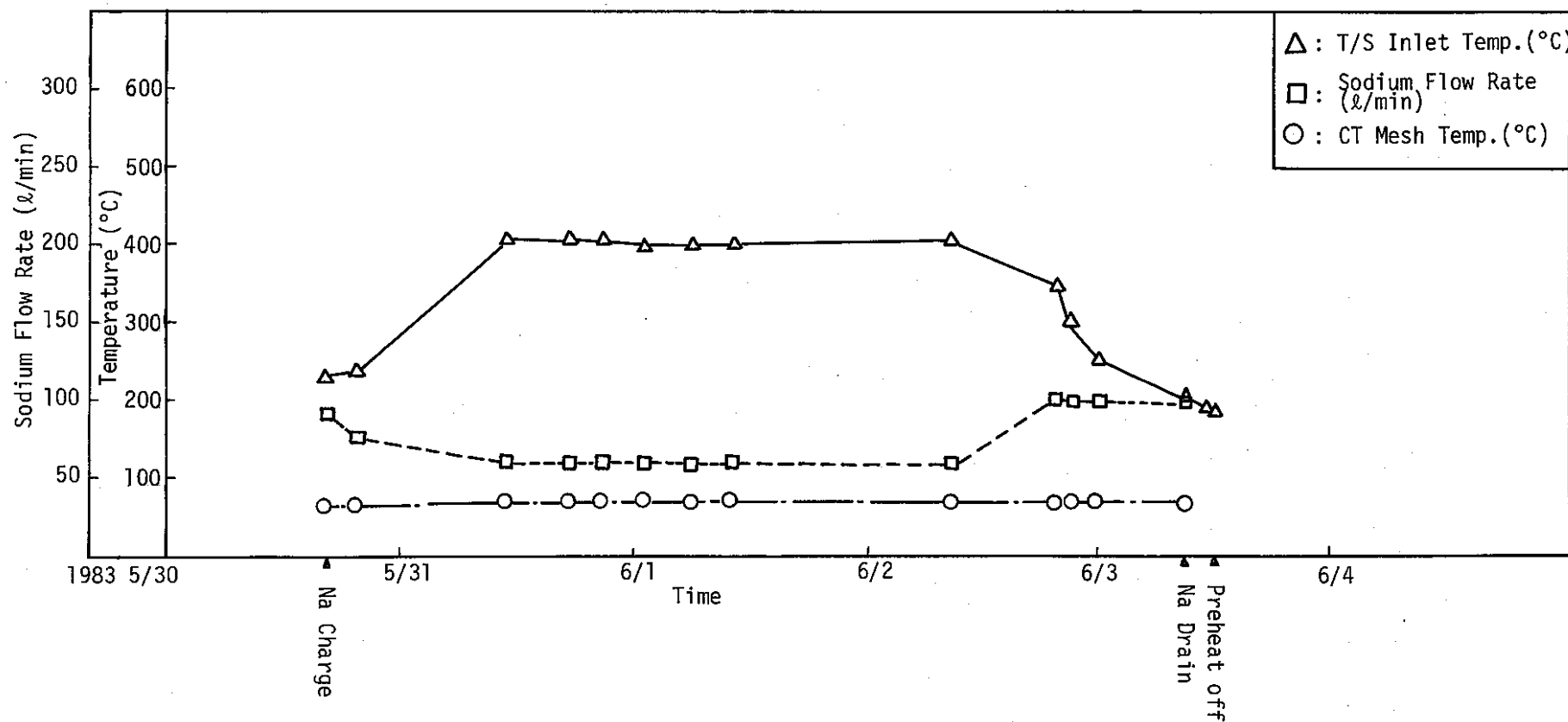


Fig. 4-2 Sodium Purity Control Record of SMIR

Table 3-1 Water Flow Test Result (empirical formula)

Test Assembly	Flow Characteristic Empirical Formula	Accuracy for Empirical Formula
CMIR	$D_{pT} = 0.023442 \times Q^{1.9719}$ $\zeta = 97.13 \times Re_B^{-0.025882}$	0.6 %
SMIR (using orifice)	$D_{pT} = 0.15642 \times Q^{1.9575}$ $\zeta = 1680.1 \times Re_B^{-0.043331}$	1.3 %
SMIR (no orifice)	$D_{pT} = 0.017328 \times Q^{1.9049}$ $\zeta = 270.01 \times Re_B^{-0.094667}$	0.6 %
<p> <math>D_{pT}</math> : Pressure Loss (kg/cm<sup>2</sup>)  <math>Q</math> : Sodium Flow Rate (m<sup>3</sup>/hour)  <math>\zeta</math> : Pressure Loss Coefficient  <math>Re_B</math> : Reynolds Number at Pin Bundle </p>		

Table 4-1 Sodium Flow Test Conditions

Test Assembly	Test Item	Test Condition	Effect
CMIR	Sodium Steeking Test	Sodium Flow Rate : 1.04 Kg/sec	$1.04^{+4.5 \times 10^{-3}}_{-2.6 \times 10^{-2}}$ Kg/sec
		Sodium Temp. : 400 °C	$400^{+4}_{-3}$ °C
		Steeking Time : about 24 hours	30 hours
		CT Mesh Temp. : 120 °C	120 °C
	Sodium Draining Test	Sodium Drain Speed : 100 mm/sec	about 100 mm/sec
		Sodium Drain Temp. : 200 °C	$200^{+24.5}_{-0.0}$ °C
	Preheating Test	Temp. : 200 °C	$200 + 24.5$ °C
		Time : 1 hour	1 hour
SMIR	Sodium Steeking Test	Sodium Flow Rate : 0.5 Kg/sec	$0.5^{+9.4 \times 10^{-2}}_{-0.0}$ Kg/sec
		Sodium Temp. : 400 °C	$400^{+6.7}_{-1.0}$ °C
		Steeking Time : about 24 hours	45 hours
		CT Mesh Temp : 120 °C	120 °C
	Sodium Draining Test	Sodium Drain Speed : 100 mm/sec	about 100 mm/sec
		Sodium Drain Temp. : 200 °C	$200^{+5.2}_{-0.0}$ °C
	Preheating Test	Temp. : 200 °C	$200^{+5.2}_{-20.0}$ °C
		Time : 1 hour	1 hour
Charging sodium to test section were performed by the vacuum pomp.			