

「常陽」特殊燃料集合体ナトリウム流動耐久試験(3)

A型試作体の耐久性と圧力損失測定

1983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」特殊燃料集合体ナトリウム流動耐久試験(3)

A型試作体の耐久性と圧力損失測定

金沢光雄^{*}，高橋伸友^{*}，
大坪章^{*}，井口達郎^{*}，

要 旨

「常陽」MK-II照射炉心試作特殊燃料集合体(A型)の高温ナトリウム中における流動耐久試験および水とアルコールによるナトリウム洗浄試験を実施した。ナトリウム流動耐久試験は、ナトリウム温度600℃、流量10kg/sec、コールドトラップ温度120℃の条件で通算1278時間実施した。

本試験の結果、以下の事項が明らかになった。

- (1) ナトリウム流動試験によって得た圧力損失係数は、レイノルズ数 1.7×10^6 のとき6.56であった。この値は、水流動試験結果とほぼ一致した。
- (2) 高温ナトリウムでの流動耐久試験期間中、圧力損失の経時変化は認められなかった。
- (3) 試験終了後、試験体の洗浄によって除去したナトリウム量は、約48gであった。また洗浄後の目視検査では、異常は認められなかった。

以上の結果、今回の試験の範囲において、試作特殊燃料集合体(A型)の流動特性、耐久性および洗浄性には、問題ないと言える。また、今回の試験データは、別に実施される解体検査結果と共に実機のA型特殊燃料集合体の設計および製作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

Sodium Flow Endurance Test on "JOYO" Special Type Dummy Fuel Assembly(3)

Durability and Pressure Drop of Trial Product Type A

M.KANAZAWA*, N.TAKAHASHI*, A.OHSUBO*
and T.IGUCHI*

Abstract

Sodium flow endurance and cleaning tests were carried out for special A-type dummy fuel assembly. The endurance test was performed for 1278 hours with the sodium temperature of 600°C, the flow rate of 10 kg/sec, and the cold trap temperature of 120°C. The sodium cleaning for the assembly was performed by using water and alcohol.

The results of this test are as follows.

- (1) The pressure loss coefficient was 6.56 at Reynolds number of 1.7×10^6 . This result agreed well with that of measured water flow test.
- (2) Any time-depending change of the pressure loss coefficient was not observed during the sodium flow endurance test.
- (3) The weight of remaining sodium in the assembly after the tests was about 48 grams. Neither deformation nor defect were found by visual inspection of the assembly after the tests.

Therefore, it is concluded that the assembly does not have any difficulty in the flow characteristics, the durability and the cleaning characteristics. The test results obtained will be reflected to the actual design and fabrication of A-type fuel assembly.

(*) Reactor Engineering Section, FBR Safety Engineering-Division, OEC

目 次

1.	ま え が き	1
2.	試 験 装 置	2
2.1	ナトリウム流動伝熱試験装置	2
2.2	供試燃料集合体	2
2.3	測定器と精度評価	2
3.	試 験	4
3.1	試験方法および経過	4
3.2	ナトリウム流動試験結果	4
3.3	ナトリウム洗浄試験結果	5
4.	あ と が き	6
謝 辞	7
参 考 文 献	8

図 ・ 表 ・ 写真 目 次

Fig. 1-1	Flow Diagram of Sodium Flow Test Loop	9
Fig. 1-2	Arrangement of "JOYO" MK-II Test Section	10
Fig. 2-1	Special Type Dummy Fuel Assembly of A-Type (1)	11
Fig. 2-2	Special Type Dummy Fuel Assembly of A-Type (2)	12
Fig. 2-3	"JOYO" MK-II Fuel Pin of A-Type Fuel Assembly	13
Fig. 2-4	"MONJU" Fuel Pin of A-Type Fuel Assembly	14
Fig. 3-1	Differential Pressure Gauge	15
Fig. 4-1	Sodium Purity Control Record of A-Type Fuel Assembly ..	16
Fig. 5-1	Results of Sodium and Water Flow Test	17
Fig. 6-1	Result of Sodium Flow Test (F-1)	18
Fig. 6-9	Result of Sodium Flow Test (F-9)	26
Fig. 6-10	Variation of Total Pressure Loss Coefficient of A-Type Fuel Assembly	27
Table 1-1	Specification of Sodium Flow Test Loop	28
Table 2-1	Specification of A-Type Fuel Assembly	29
Table 3-1	Sodium Flow Test Conditions	29
Table 4-1	Nomenclature and Unit	30
Table 5-1	Sodium Flow Test Result of A-Type Fuel Assembly	31
Table 6-1	Sodium Cleaning Test of A-Type Fuel Assembly	32
Photo. 1-1	Sodium Cleaning Equipment	33
Photo. 2-1	Surface of Fuel Assembly before Sodium Cleaning	34
Photo. 2-2	Surface of Fuel Assembly after Sodium Cleaning	35

1. ま え が き

高速実験炉「常陽」MK-II照射炉心試作特殊燃料集合体（以後、略称をA型試作体とする）は、中央部に「もんじゅ型」の燃料要素が配置されている試料部と、その外周のドライバ燃料要素束部から構成されている。

本試験は、A型試作体を用い高温ナトリウム流動下での耐久性とナトリウム洗浄性のデータを得、実機的设计、製作に反映させる目的で実施された。なおA型試作体は、ナトリウム洗浄後、照射燃料集合体試験室で解体検査を行う予定である。

2. 試験装置

2.1 ナトリウム流動伝熱試験装置

A型試作体の流動耐久試験は、大洗工学センターのナトリウム流動伝熱試験装置で行われた。本試験装置のフローシートをFig. 1-1に示す。また主要仕様をTable 1-1に示す。本試験装置は、1969年8月に完成して以来、実験炉「常陽」炉心およびブランケット模擬燃料集合体の流動耐久試験をはじめとして各種のナトリウム機器の特性試験等に用いられて来た。1977年3月に、「常陽」MK-II燃料集合体の流動耐久試験の開始に伴ないそれまでの「常陽」燃料集合体流動試験部を撤去し、新しい試験部を設置した。この試験部は、燃料集合体の各部の圧力損失測定が精度よく測定出来るものであった。さらにこの試験部は、1982年8月に、全体圧力損失測定用に改造された。今回用いた試験部は、この全体圧力損失測定用のものである。Fig.1-2に流動試験部を示す。

2.2 供試特殊燃料集合体

A型試作体の構造をFig.2-1～4に示す。また、主仕様をTable 2-1に示す。A型試作体の外観寸法は、「常陽」MK-II炉心燃料集合体と全く同じであるが、ラップ管内中央部には、7本のワイヤラッピングされた原型炉「もんじゅ」サイズの模擬燃料要素が、照射試験体として設置されている。また分解可能なように各箇所は、ビスで固定されている。

A型試作体は、三菱原子力工業(株)にて、1979年から1980年の間、設計が行われた。そして1981年11月に製作が完了し、その後、大洗工学センター水流動試験装置での燃料集合体各部および全体圧力損失特性試験が行われた。この水流動試験のためA型試作体外部には、いくつかの静圧タップが取付けられていたが、今回のナトリウム流動耐久試験前に、全ての静圧タップの除去と切除部の盲溶接が行われた。

2.3 測定器と精度評価

(1) 差圧計

A型試作体の全体圧力損失測定に用いた差圧計をFig.3-1に示す。この差圧計は、差圧校正用ガス配管を持ちナトリウムドレン時に、単独校正が出来るように考

慮されている。今回の差圧計の校正は、ナトリウムがドレンされた状態で、差圧計受圧部温度を試験時と同じ200℃に設定してアルゴンガスにより行った。このときの基準圧力計は、超精密圧力計（東京航空計器機製・精度±0.2%）を用いた。

以下に求めた校正式を示す。

$$\Delta P_T = 1.50864 \times E - 1.49879$$

ΔP_T : 全体圧力損失 (kg/cm²)

E : 差圧計出力 (V)

なお上記差圧計の校正式精度は、±0.7%以下の誤差である。

(2) 流量計

試験部入口流量計 (FR-T1) は、4 B 励磁型電磁流量計である。また試験部下部漏洩流量計 (FR-T2) は、1 B 永久磁石型電磁流量計である。これらの流量計の校正式は、「常陽」MK-II 第3次試作炉心集合体 (JII3CP) の流動耐久試験時に得たものを使用した。

以下に校正式を示す。

$$FR-T1 : Q_T = 0.12857 \times E_T + 0.005335$$

$$FR-T2 : Q_L = 8.344 \times E_L - 0.9395$$

Q_T, Q_L : 流量 (m³/min)

E_T, E_L : 流量計出力 (mV)

上記校正式の精度は、FR-T1 : ±1.8%の誤差である。FR-T2の誤差は、入口流量に対し下部漏洩流量は1%以下なので無視した。

以上の結果、全体圧力損失係数 C_D の精度評価は、次のとおりである。

C_D は、次式に示すように、 ΔP_T と $\frac{\rho}{2g} \cdot V^2$ との関係で無次元化される。

$$C_D = \Delta P_T / \left(\frac{\rho}{2g} \cdot V^2 \right)$$

測定値 ΔP_T 、および $\frac{\rho}{2g} \cdot V^2$ より C_D 値を求める間接測定において、 ΔP_T および V の測定誤差を $e_{\Delta P_T}$ および e_V とするとき、 C_D の誤差値 e_{C_D} は、Gauss の誤差の伝播の法則⁽¹⁾により次式で表わされる。

$$e_{C_D} = \pm \sqrt{(e_{\Delta P_T})^2 + (2 \times e_V)^2}$$

今ここで、 $e_{\Delta P_T} = \pm 0.007$ 、 $e_V = 0.018$ であるので、 $e_{C_D} = \pm 0.037$ となる。

よって圧力損失係数 C_D 値の誤差は、±3.7%である。

3. 試 験

3.1 試験方法および経過

A型試作体を用いて、Table 3-1の試験条件でナトリウム流動耐久試験を1982年9月20日から11月14日の間実施した。ナトリウム流動耐久試験の積算時間は、1327時間であり、うちナトリウム温度600℃での流動時間は、1278時間であった。この間、全体圧力損失特性を9回測定し、既に実施されたA型試作体の水流動試験結果と比較すると共に、A型試作体全体圧力損失の経時変化を検討した。試験中のナトリウム純度管理は、コールドトラップ温度120℃に保持して行った。またこの時のプラグ温度は、約105℃から110℃（ナトリウム純度約1ppm）であった。ナトリウム流動耐久試験終了時のナトリウムドレンを流量11ℓ/min、ナトリウム温度250℃で行った。またドレン後A型試作体の予熱保持を温度200℃、約24時間で行った。

1982年11月17日にA型試作体を試験部より引き抜き、アルゴンガス入りのビニール袋内に納め、クレーンにて洗浄装置へ移した。この日から11月24日までの間、水とアルコールによるA型試作体のナトリウム洗浄を実施した。

なお今回のナトリウム流動耐久試験開始直後は、主循環ポンプ動作不良のため、A型試作体を試験部へ装荷したまま、一時ナトリウムをドレンし、主循環ポンプが復旧するまでの間、A型試作体をアルゴンガス雰囲気、温度200℃の試験部に保管した。また今回のナトリウム流動耐久試験開始から終了するまでの間の、テストコンデションをFig.4-1に示す。

3.2 ナトリウム流動耐久試験結果

今回行った全体圧力損失特性試験のデータは、圧力損失係数とレイノルズ数との関係で整理した。整理に要用な流速、代表寸法等は、前回実施した実験炉「常陽」試作特殊燃料集合体（B型）と同様、全てエントランスノズル部で定義した。なおデータ整理に用いたエントランスノズル内径の値は、600℃におけるSUS304の熱膨張係数（ $\alpha = 1.87 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ）を考慮して、 $3.44089 \times 10^{-2} \text{ (m)}$ である。またこの時の流路断面積は、 $9.29888 \times 10^{-4} \text{ (m}^2\text{)}$ である。したがって定格流量10kg/secにおけるレイノルズ数 R_{EE} は、約 1.7×10^6 である。圧力損失係数 C_D とレイノルズ数 R_{EE} の導出式をTable 4-1に示す。

圧力損失特性試験結果を Table 5-1 に示す。なお同表中に最小 2 乗法により求めた圧力損失係数とレイノルズ数の関係式を示す。

A 型試作体の圧力損失係数を水流動試験で得た値と比較したところ、定格レイノルズ数約 1.7×10^6 で、ナトリウム流動試験では 6.56、水流動試験では 6.23 であり、両者は、誤差値約 5% の値で一致した。なお Fig. 5-1 に両者の比較を示す。

A 型試作体の圧力損失特性と経時変化を Fig. 6-1~9 に示す。図中破線で示した特性は、第 1 回圧力損失特性試験により求めたものである。今回の試験での経時変化は、第 3 回から低レイノルズ数領域でわずかに減少する傾向がみられた。第 2 回から第 9 回までの第 1 回圧力損失特性を基準として得た変化率を表わしたのを Fig. 6-10 に示す。これをみると定格レイノルズ数における圧力損失係数の変化は、最大 -1.9% である。この値は、ナトリウム流動耐久試験での測定精度 $\pm 3.7\%$ を考慮すると非常にわずかな変化であり、経時変化は認められないと言える。なお、過去に実施された実験炉「常陽」試作特殊燃料集合体 B 型および C 型についても、A 型試作体と同様に経時変化は認められていない。

3.3 ナトリウム洗浄試験結果

ナトリウム流動耐久試験終了後、ナトリウム流動試験部より引き抜かれた A 型試作体の内外に残存しているナトリウムを水（純水）およびアルコール（変性アルコール）で洗浄した。洗浄は、横置型循環式洗浄装置（Photo. 1-1 参照のこと）を用いて行われた。なお洗浄装置の洗浄液循環方向は、入口がエントランスノズル側、出口がハンドリングヘッド側である。A 型試作体の洗浄は、洗浄性を考慮して全体で 3 回行われた。第 1 回はアルコール、第 2 回はアルコール + 水、第 3 回は水を洗浄液とした。洗浄液中のナトリウム量の算出は、中和滴定装置（Model RAT-11・平沼産業㈱製 1982 年 11 月校正済）を用いた。以上の結果、洗浄された全ナトリウム量は、約 48g であった。また洗浄完了後、A 型試作体の外観目視検査を行ったところ、特に変形などの異常は認められなかった。Table 6-1 に洗浄条件および洗浄結果を、Photo. 2-1, 2 に洗浄前後の A 型試作体の外観を示す。

4. あとがき

A型試作体のナトリウム流動耐久試験およびナトリウム洗浄試験を実施した。今回の試験は、実験炉「常陽」特殊燃料集合体（A型）の設計、製作に関する最終確認という観点から、「常陽」の1サイクル運転に相当する45日間を目標として高温ナトリウムによる流動耐久試験を行い、その耐久性および供試体のナトリウム洗浄性を確認することを主目的とした。

本試験の結果は以下に示す通りである。

- (1) 第1回圧力損失特性試験で得られた実験式は、 $C_D = 19.64 R_{EE}^{-0.0764}$ であり、レイノルズ数 1.7×10^6 における圧力損失 C_D は 6.56 であった。これと水流動試験で得られた値を比較すると約5%の誤差で一致する。
- (2) 圧力損失の経時変化については、レイノルズ数 1.7×10^6 で最大-1.9%と計測した。しかしこの変動は、計測誤差の範囲内であり経時変化は認められなかった。
- (3) ナトリウム流動耐久試験後のA型試作体洗浄ナトリウム量は、約48gであった。
- (4) 耐久性に関しては、洗浄終了時において外観目視検査を行ったが、特に変形などの異常は認められなかった。

以上の結果をまとめると、A型試作体に関して、本条件で得られたデータの範囲においては、流動特性、耐久性および洗浄性に特に問題はなかった。

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本部燃料材料グループの湯谷順明副主任研究員、実験炉部照射課寺沼保主査・研究員、宮川俊一研究員、また本試験を実施するために長期間にわたるナトリウム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) 佐藤，他：「もんじゅ」二次試作燃料集合体水流動試験(1)
PNCレポート SN941 76-69 1976
- (2) 石橋，他：ナトリウム流動伝熱試験装置の概要
PNCレポート SN941 71-15 1971
- (3) 姫野，他：「常陽」MK-II第3次試作炉心集合体流動試験(Ⅳ)
PNCレポート SN941 78-161 1978
- (4) 佐々木，他：「常陽」特殊燃料集合体ナトリウム流動耐久試験(1)
PNCレポート SN941 79-73 1979
- (5) 佐々木，他：「常陽」MK-II燃料集合体流動試験(Ⅳ)
PNCレポート SN941 80-42 1980
- (6) 西沢，他：「常陽」特殊燃料集合体ナトリウム流動耐久試験(2)
PNCレポート SN941 81-117 1981
- (7) 大坪，他：「常陽」特殊燃料集合体水流動試験(Ⅴ)
PNCレポート作成中

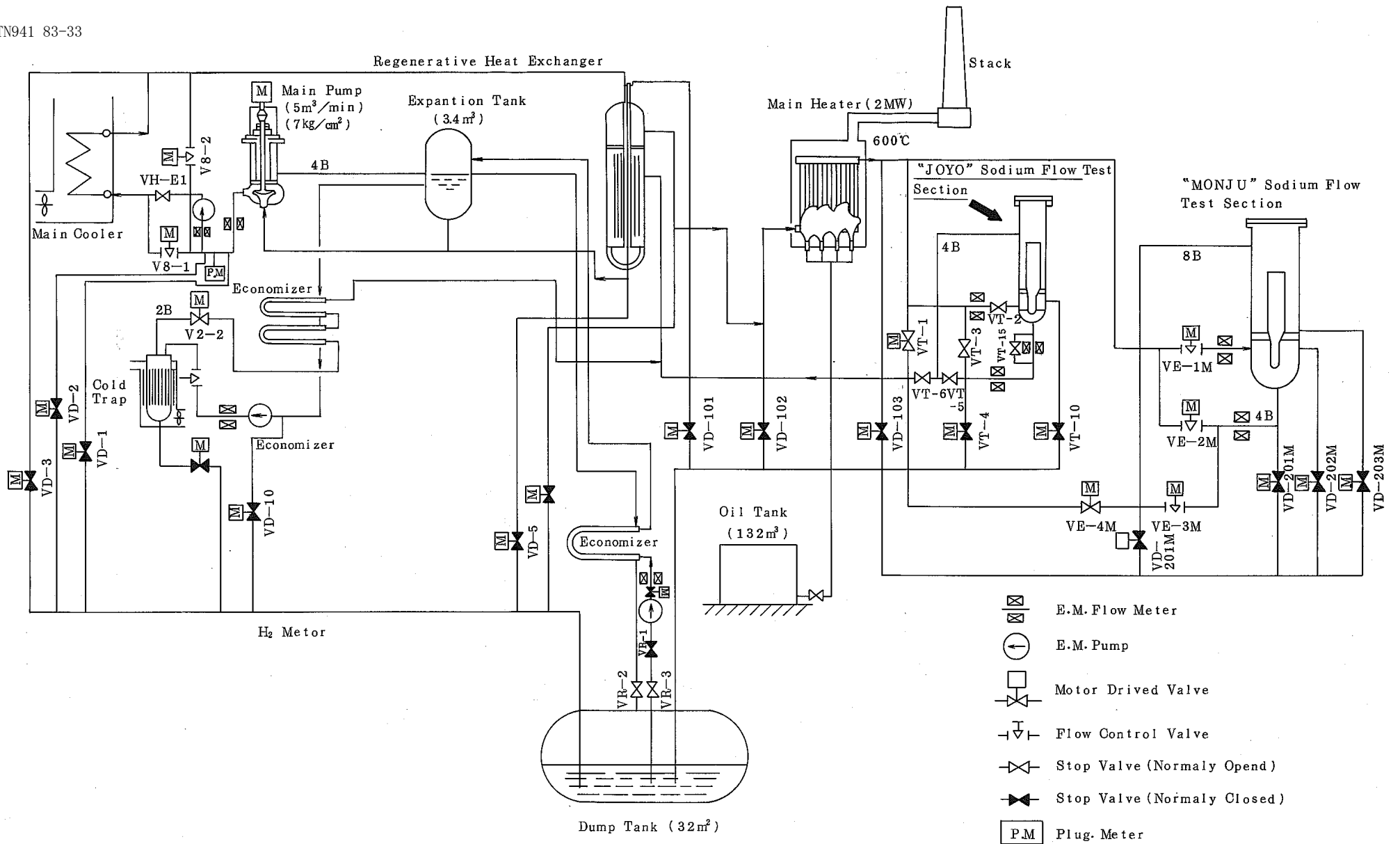


Fig.1-1 Flow Diagram of Sodium Flow Test Loop

$T_1 \sim 5$; Thermometer
 ΔP_T ; Ditterential Pressure Gauge
 FR ; Flow Meter

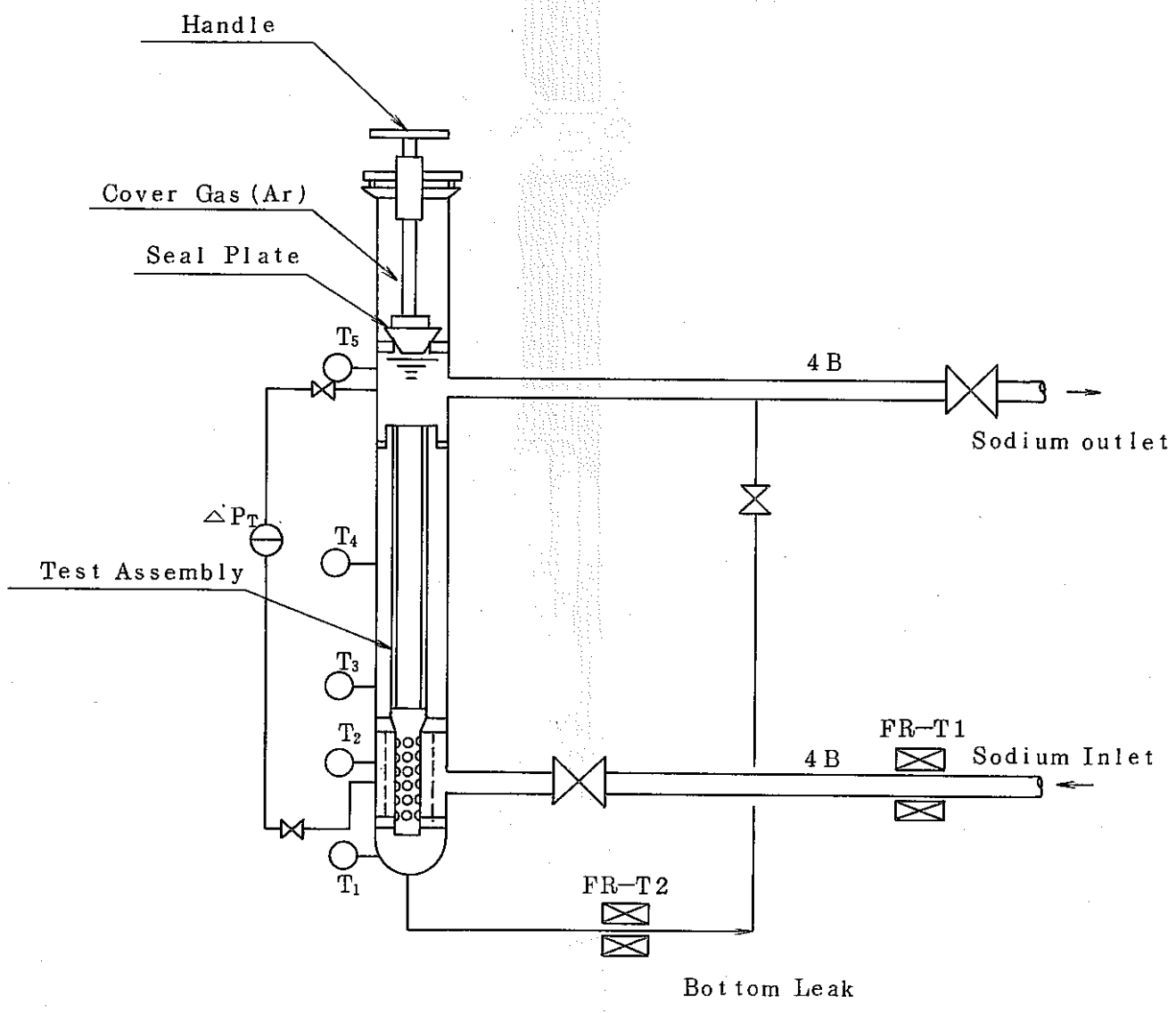


Fig.1-2 Arrangement of "JOYO" MK-II Test Section

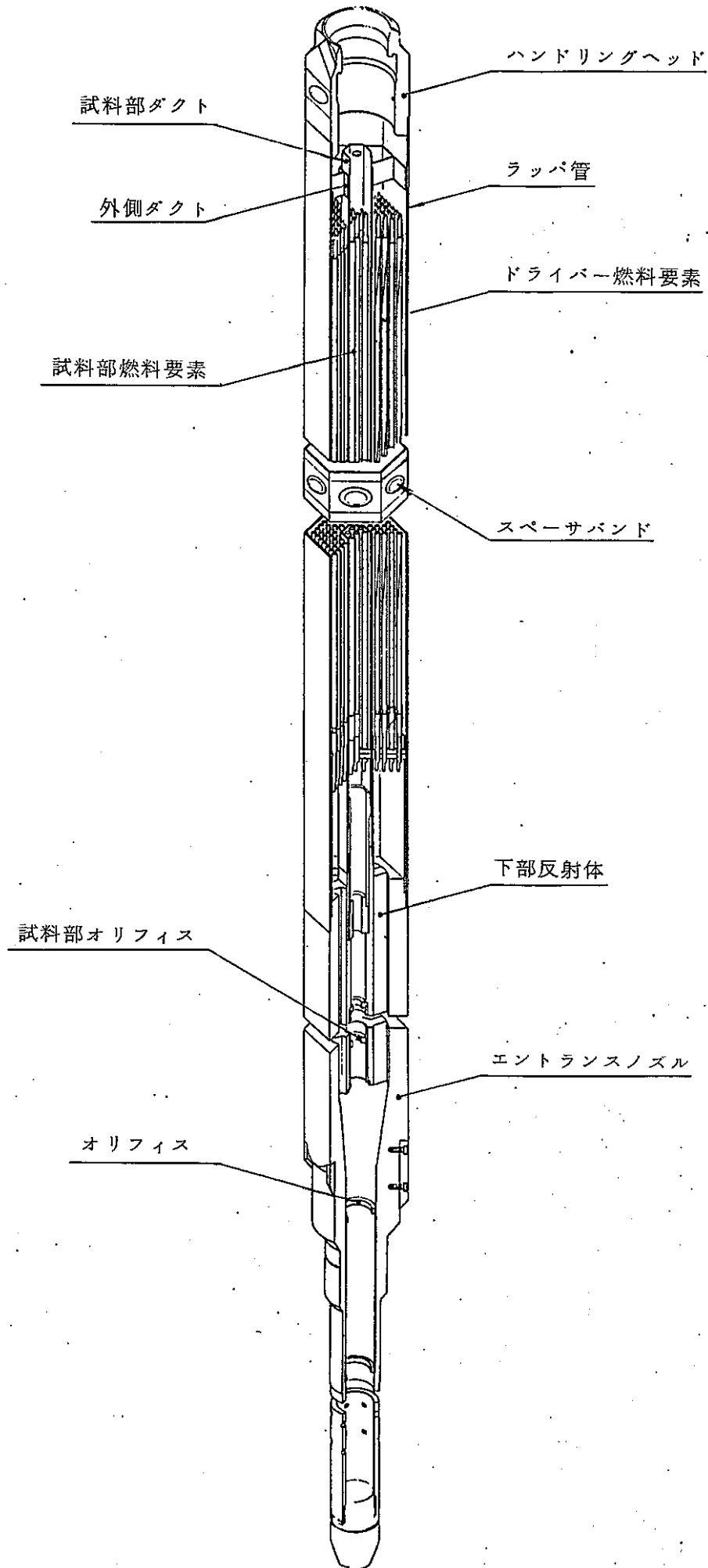


Fig.2-1 Special Type Dummy Fuel Assembly of A-Type (1)

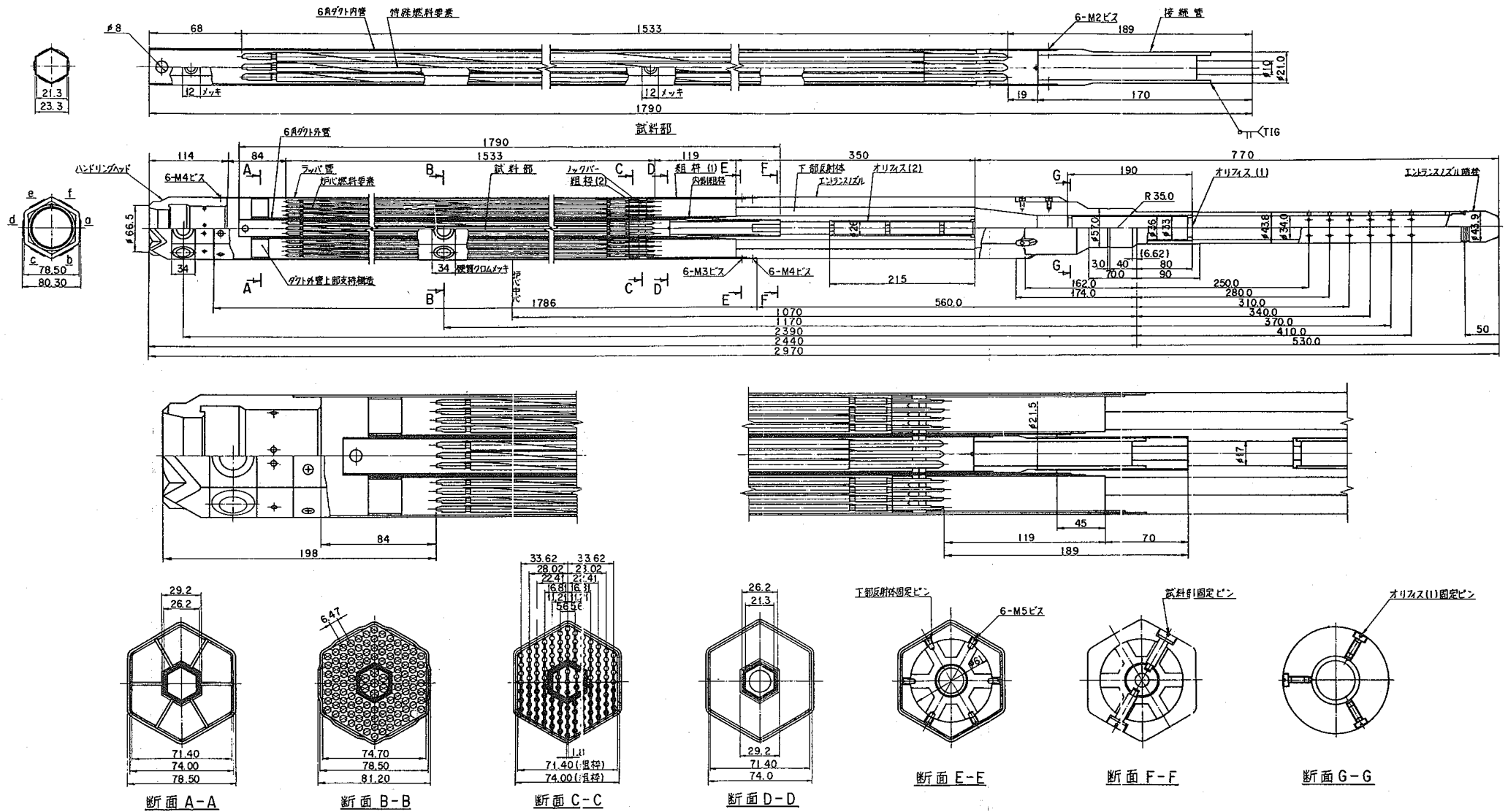
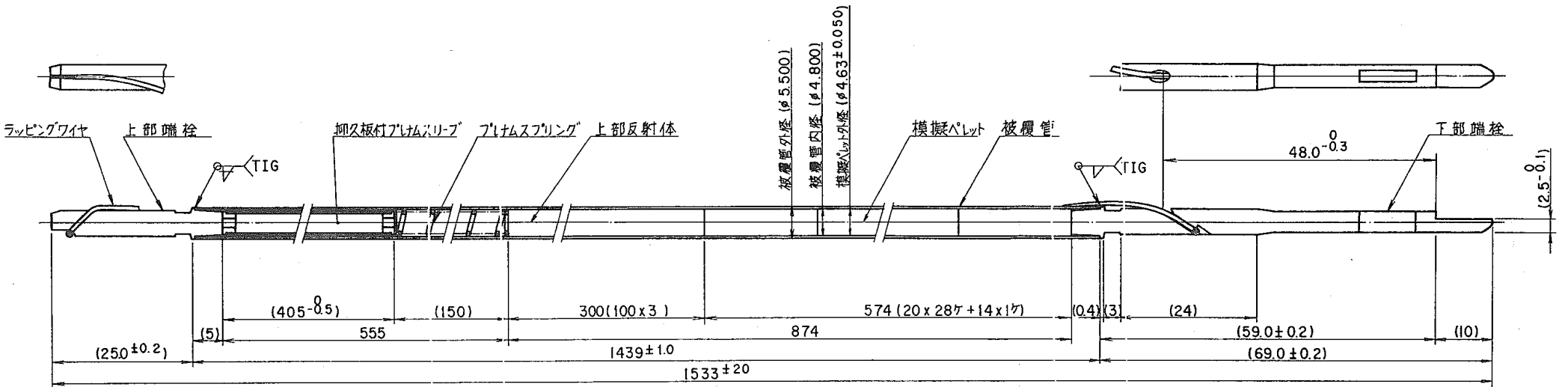
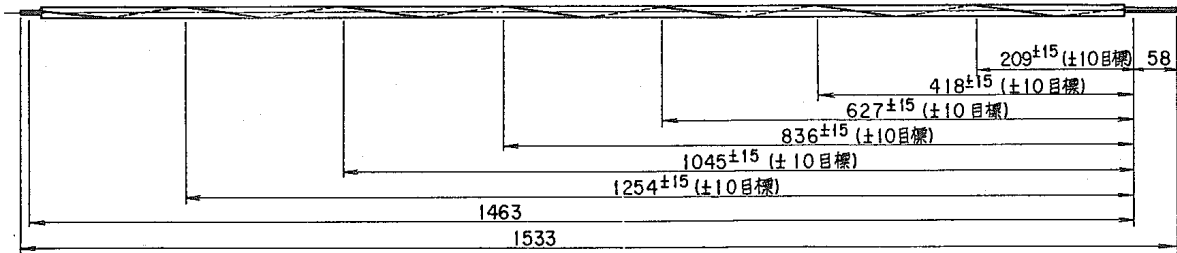


Fig.2-2 Special Type Dummy Fuel Assembly of A-Type (2)

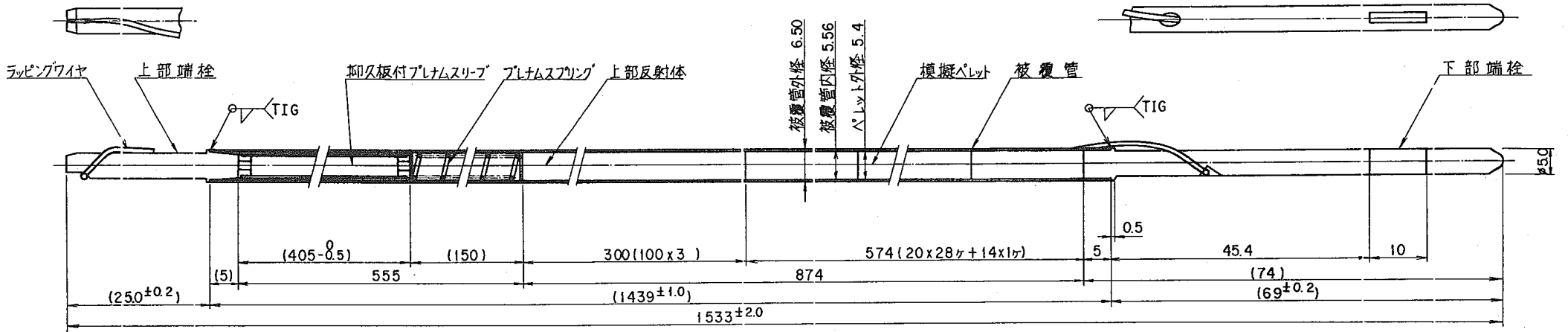


S = 2 / 1

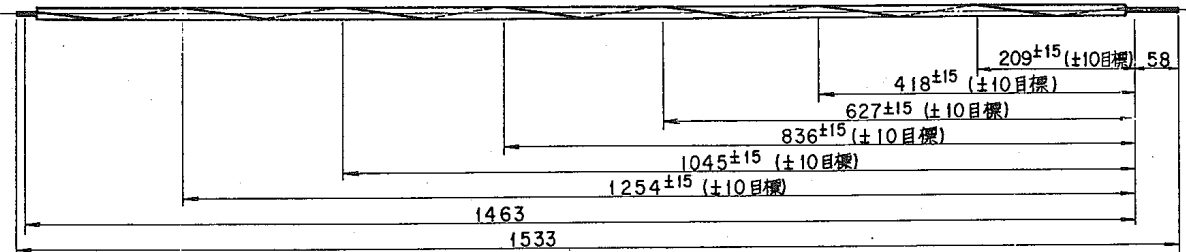


ワイヤラッピング全体図 S = 1 / 5

Fig.2-3 "JOYO" MK-II Fuel Pin of A-Type Fuel Assembly



S = 2 / 1



ワイヤラッピング全体図 S=1/5

Fig.2-4 "MONJU" Fuel Pin of A-Type Fuel Assembly

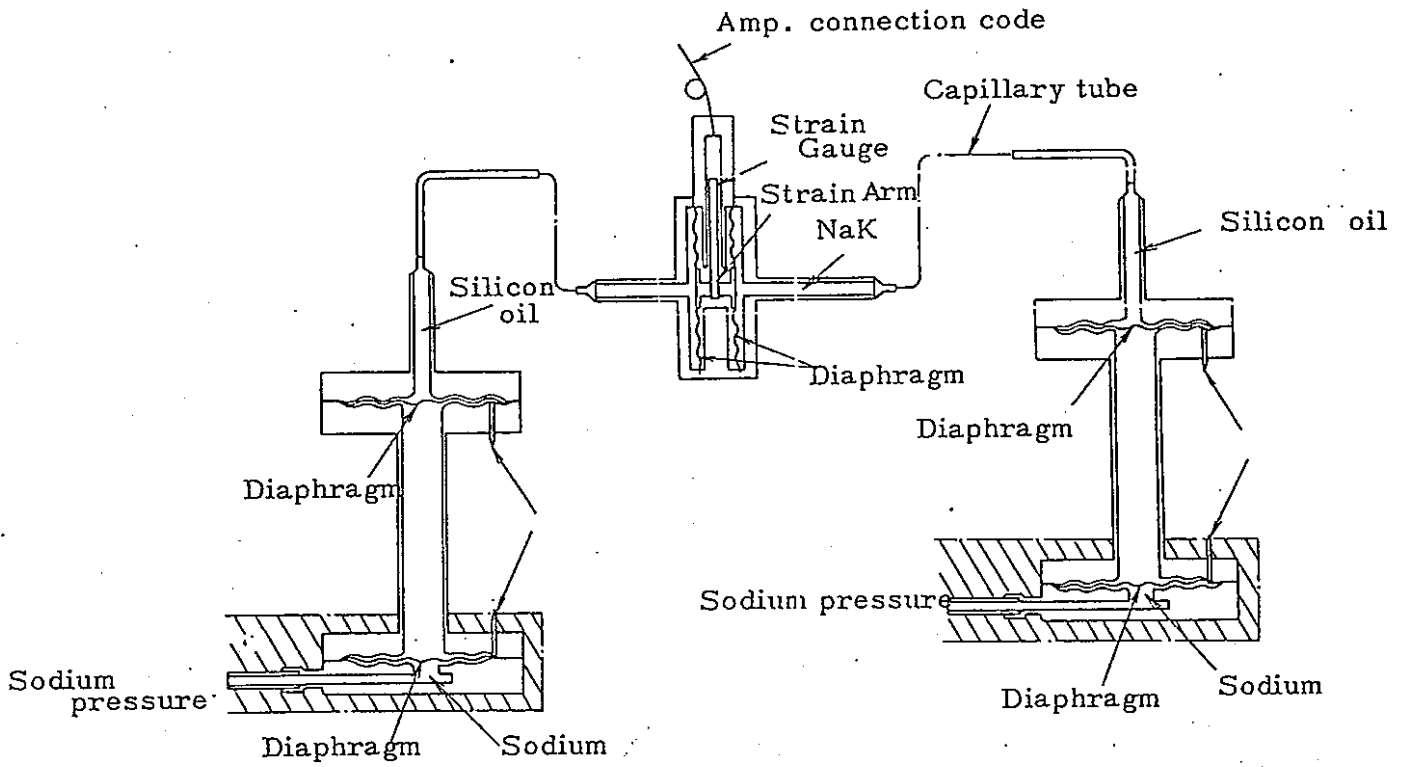
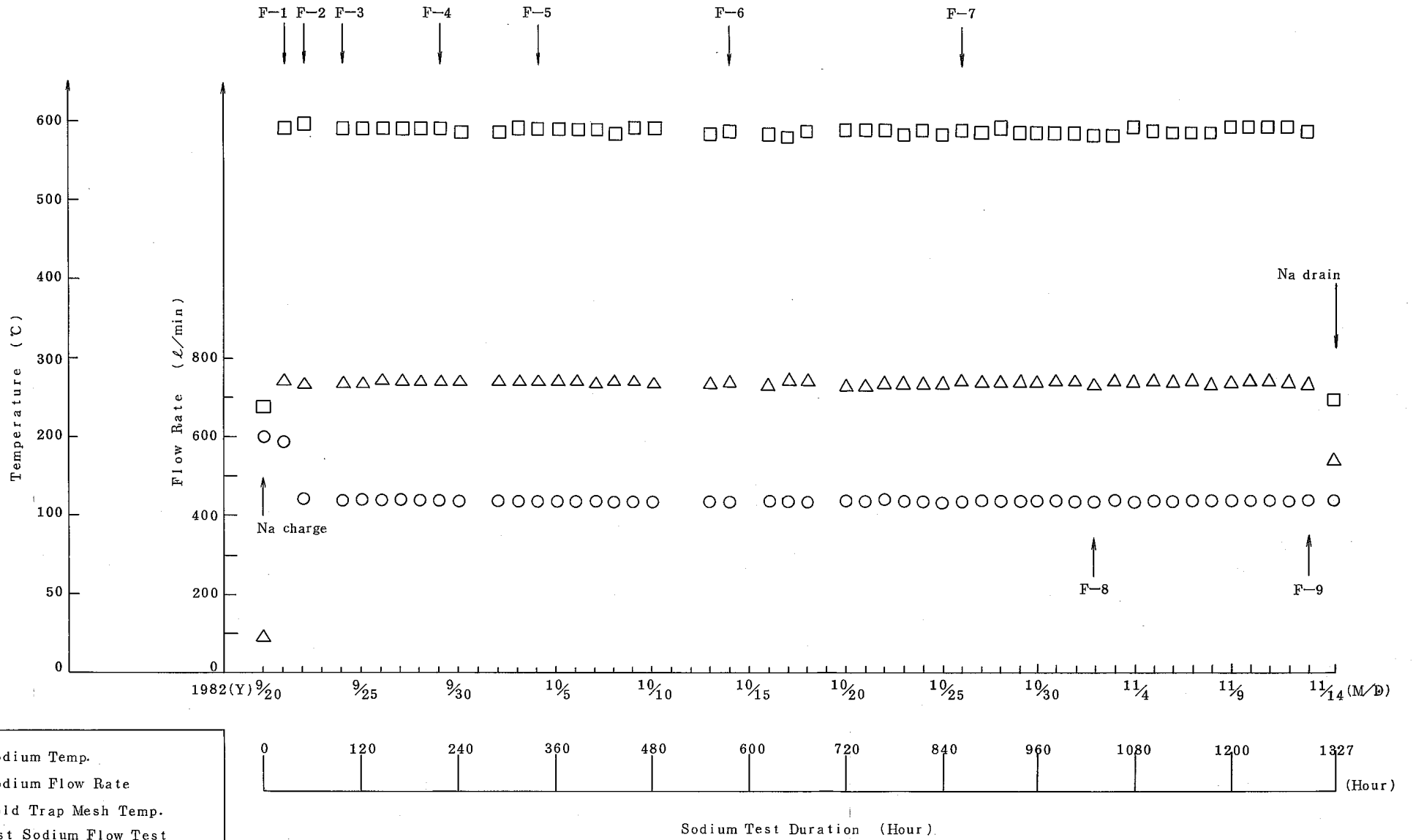


Fig.3-1 Differential Pressure Gauge



- : Sodium Temp.
- △ : Sodium Flow Rate
- : Cold Trap Mesh Temp.
- F-1 : 1st Sodium Flow Test
- F-2 : 2nd Sodium Flow Test
- F-3 : 3rd Sodium Flow Test
- F-4 : 4th Sodium Flow Test
- F-5 : 5th Sodium Flow Test
- F-6 : 6th Sodium Flow Test
- F-7 : 7th Sodium Flow Test
- F-8 : 8th Sodium Flow Test
- F-9 : 9th Sodium Flow Test

Fig.4-1 Sodium Purity Control Record of A-Type Fuel Assembly

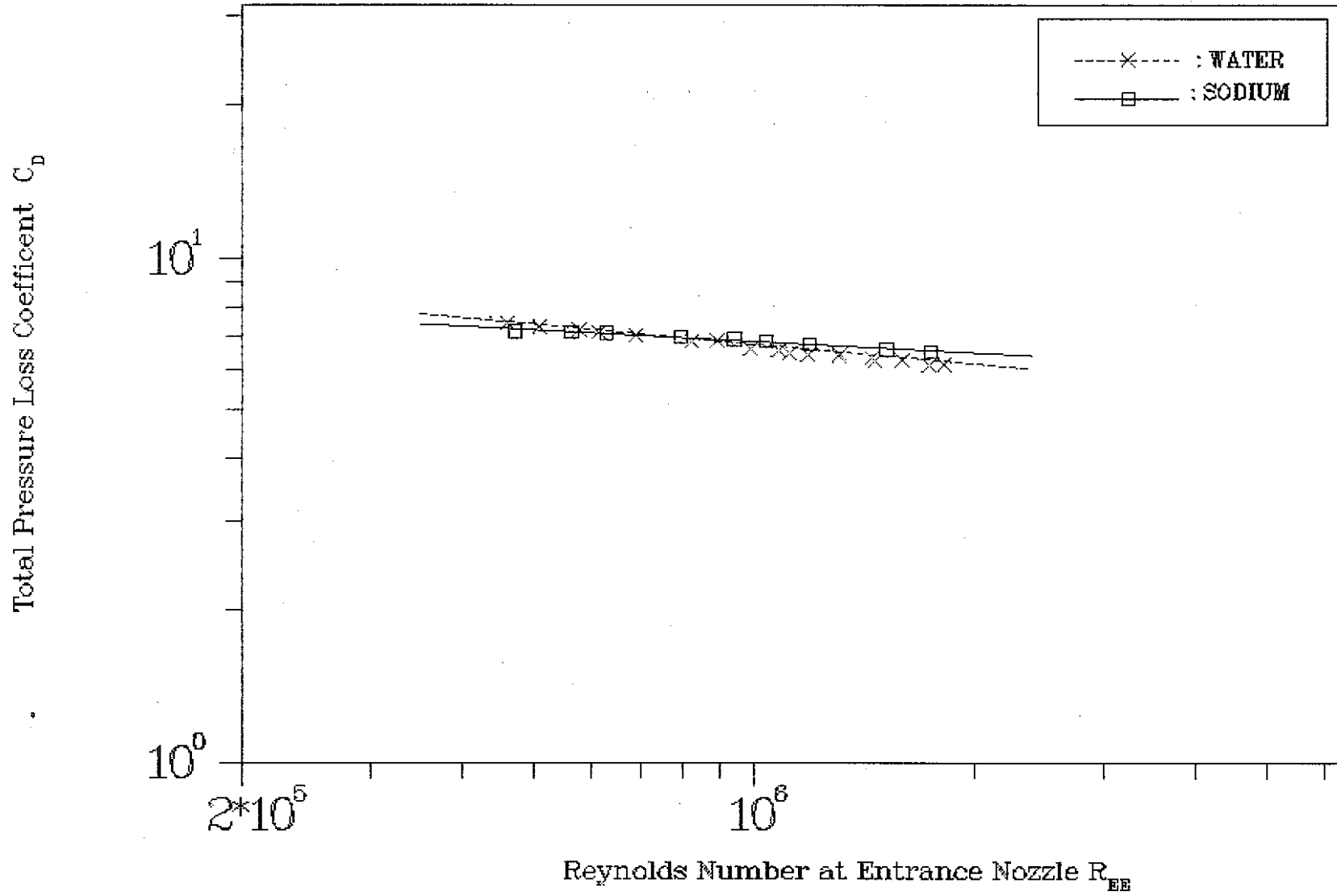


Fig.5-1 Results of Sodium and Water Flow Test

1982, 9,21

11 HRS

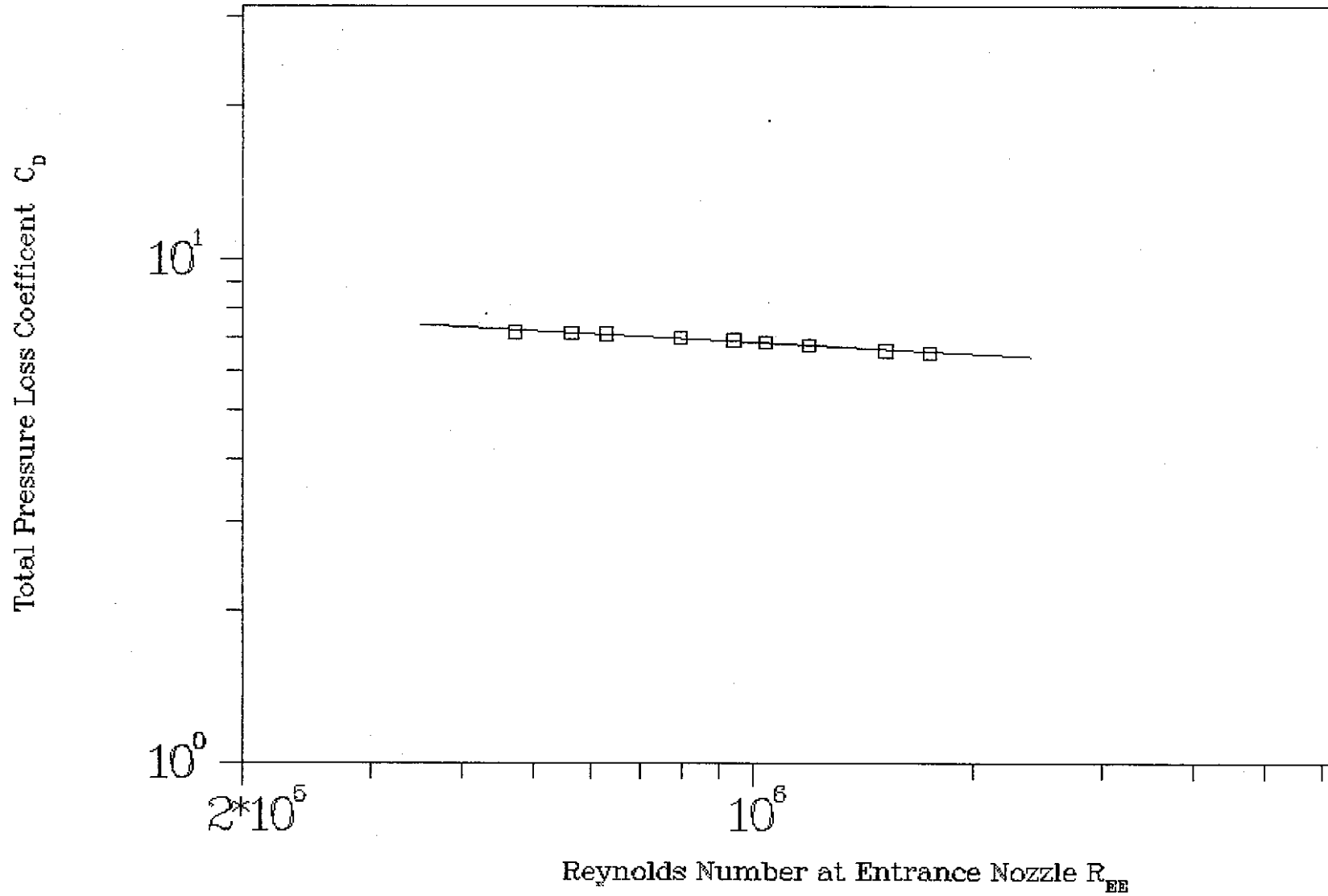


Fig.6-1 Result of Sodium Flow Test (F-1)

Total Pressure Loss Coefficient C_p

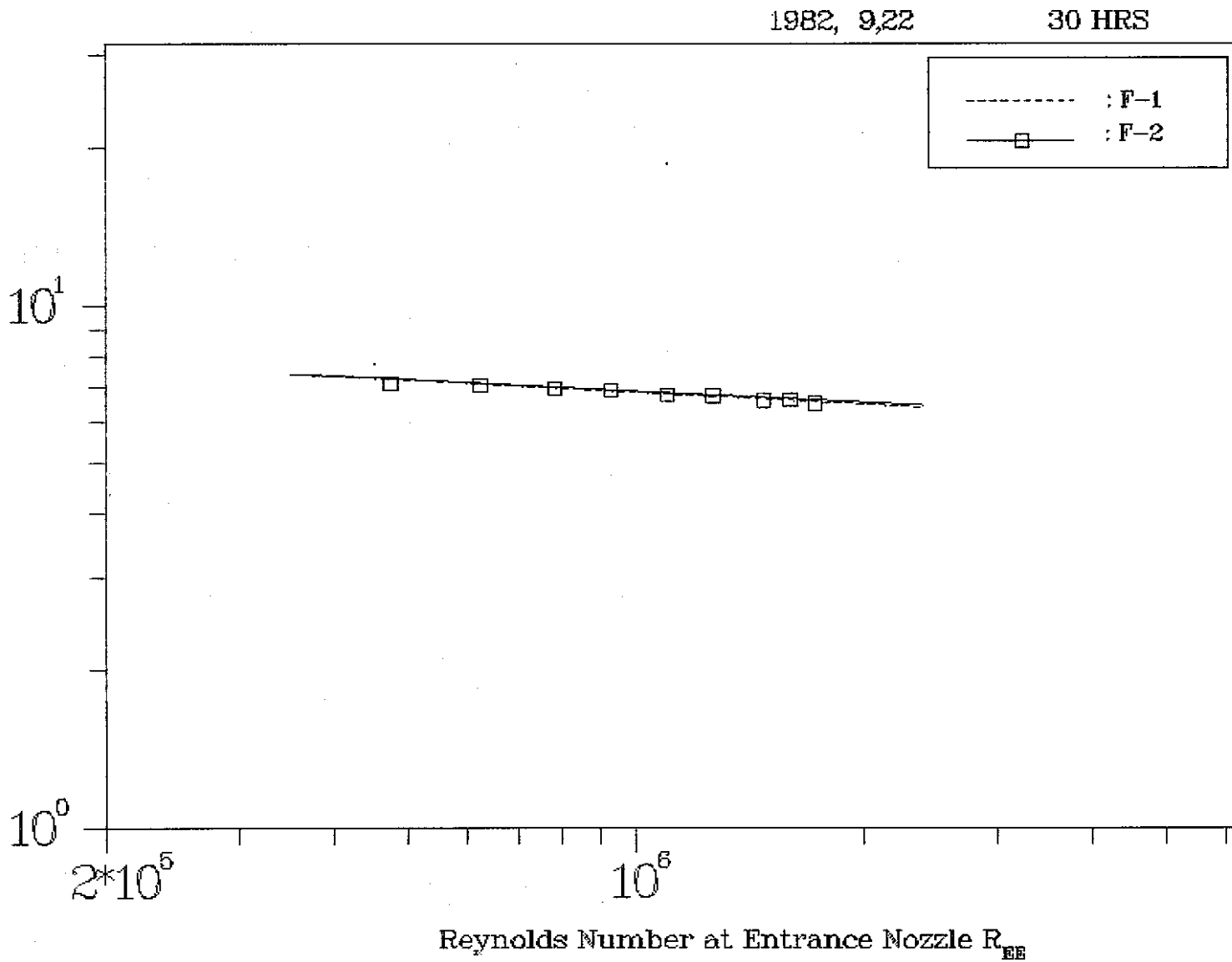


Fig.6-2 Result of Sodium Flow Test (F-2)

1982, 9,24

78 HRS

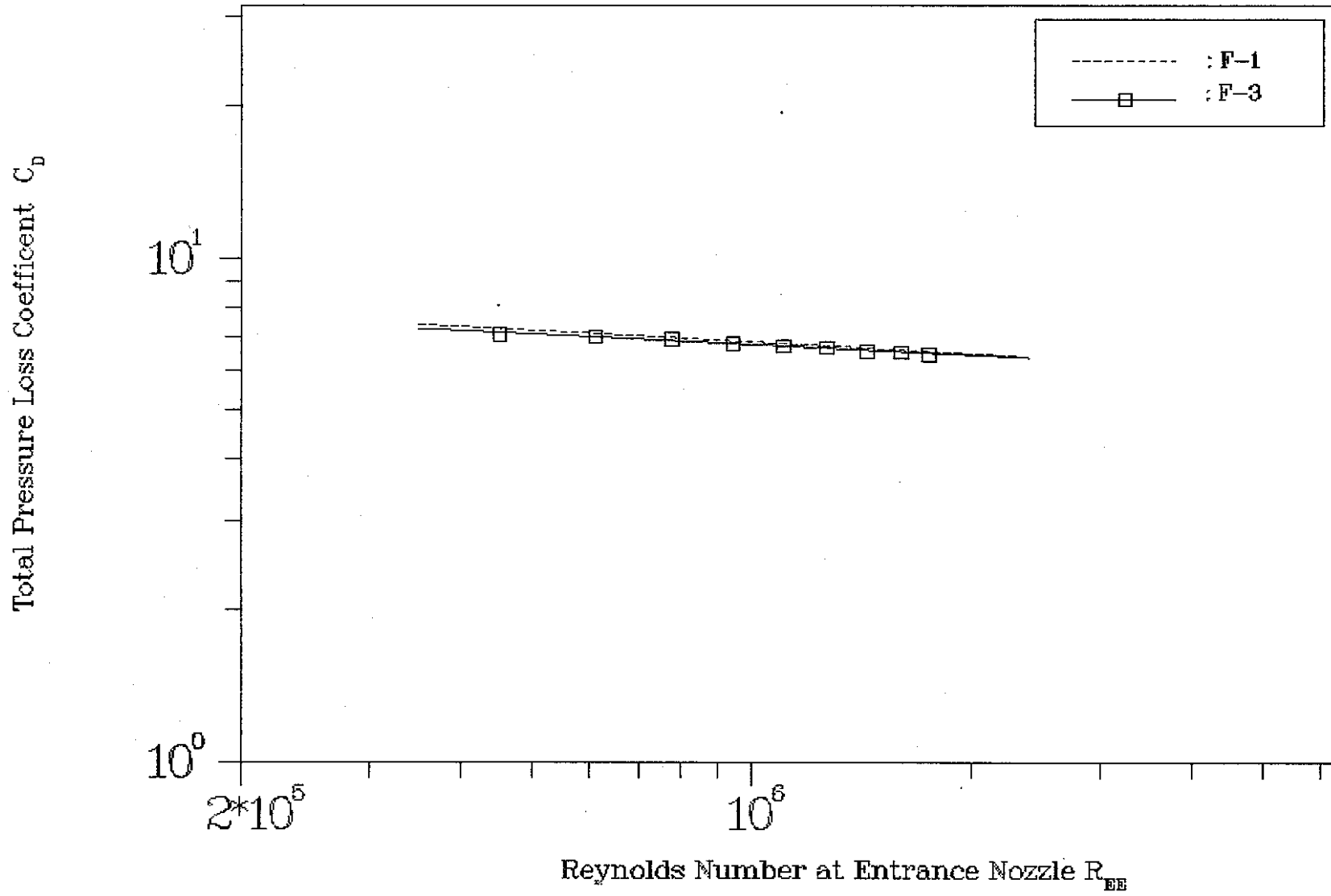


Fig.6-3 Result of Sodium Flow Test (F-3)

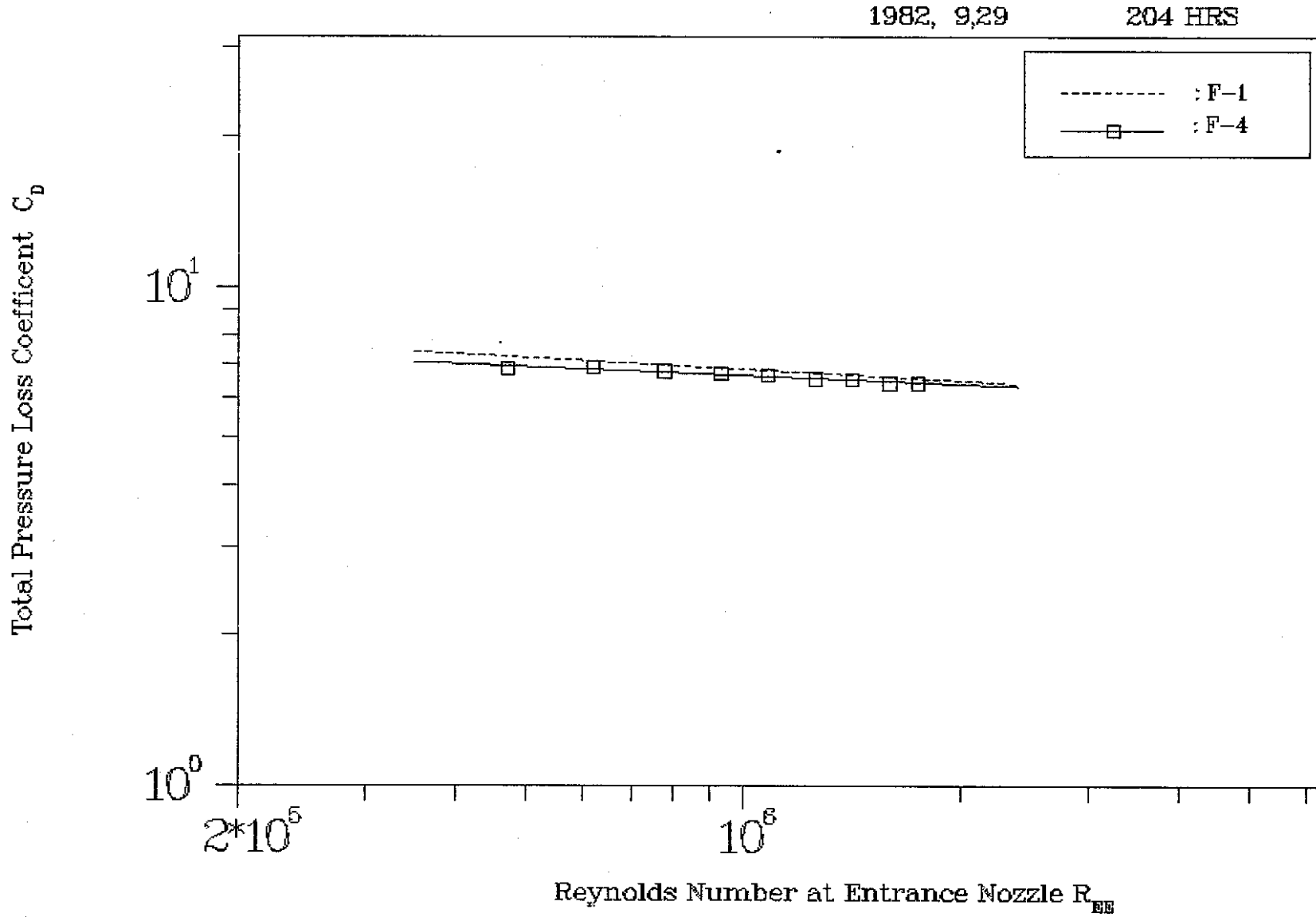


Fig.6-4 Result of Sodium Flow Test (F-4)

1982, 10,4

320 HRS

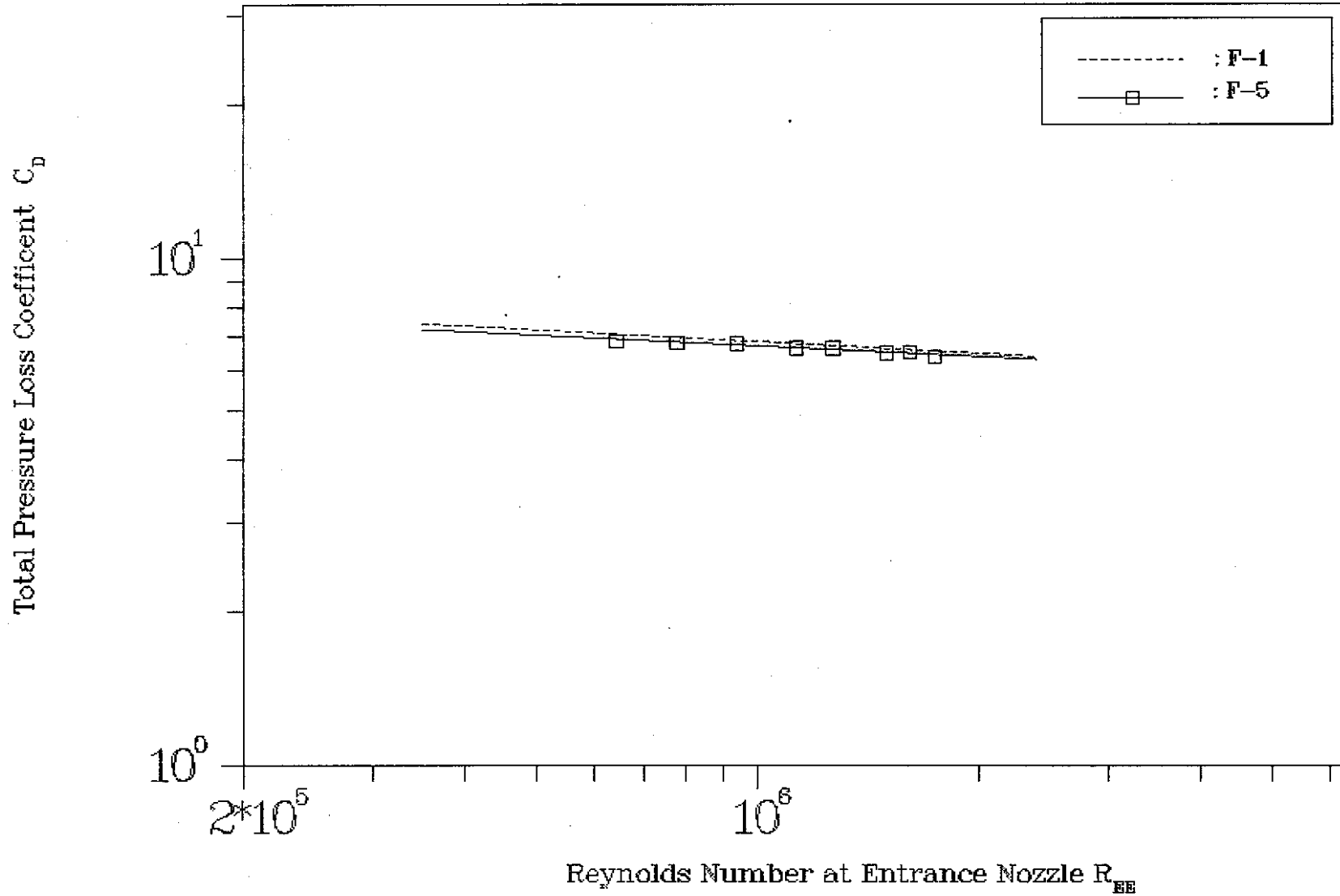


Fig.6-5 Result of Sodium Flow Test (F-5)

1982, 10,14

560 HRS

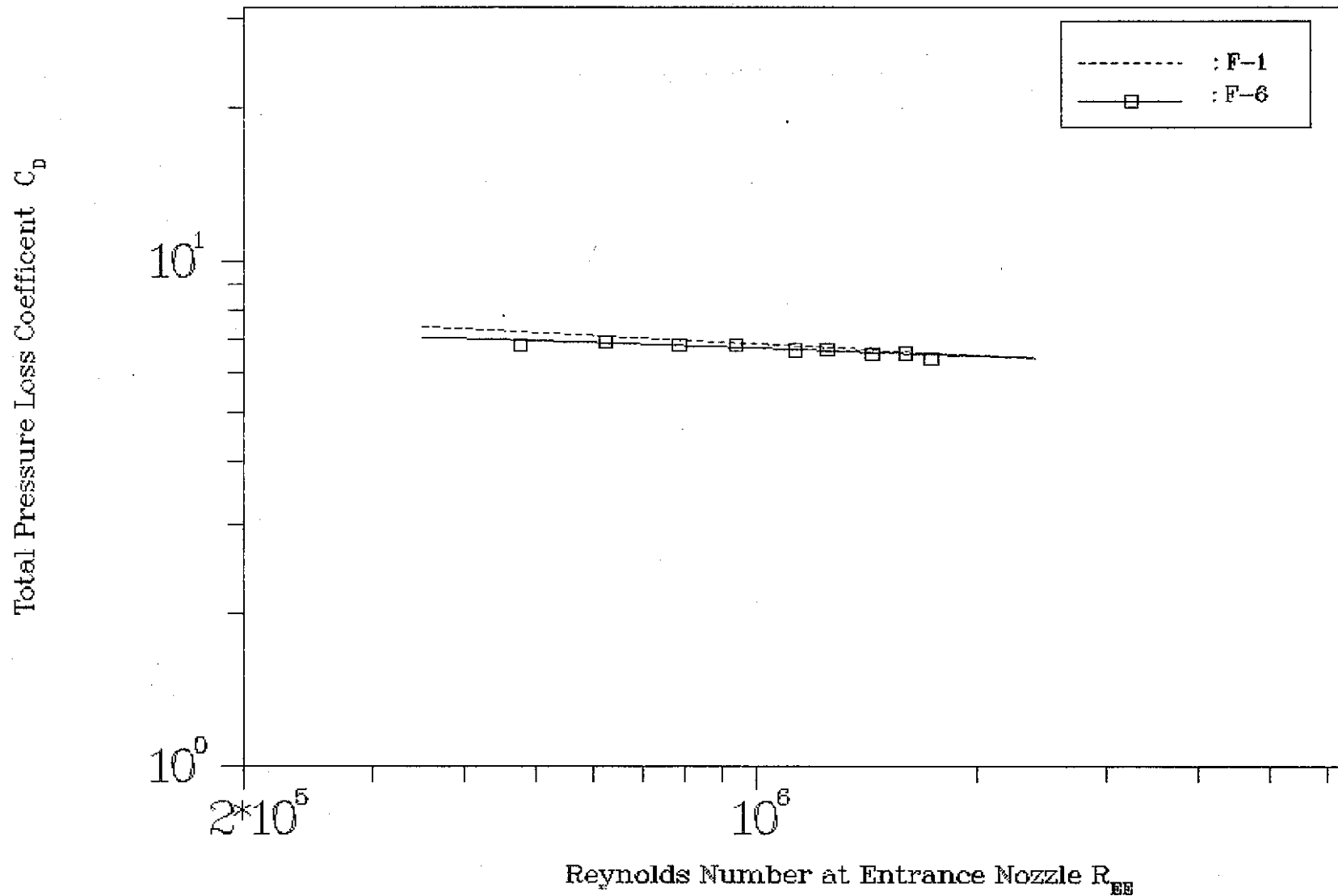


Fig.6-6 Result of Sodium Flow Test (F-6)

1982, 10,26

830 HRS

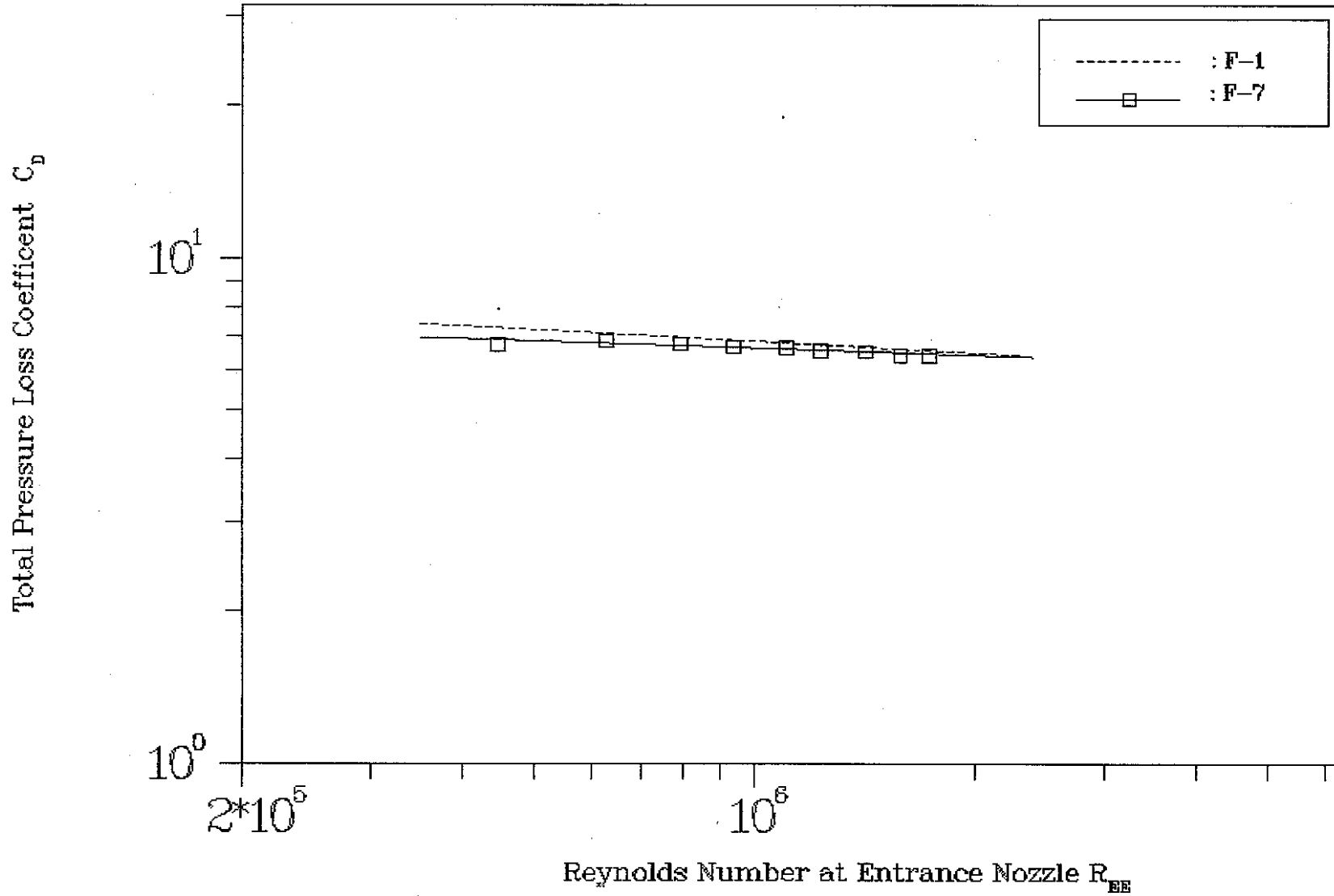


Fig.6-7 Result of Sodium Flow Test (F-7)

1982, 11,2

1020 HRS

Total Pressure Loss Coefficient C_D

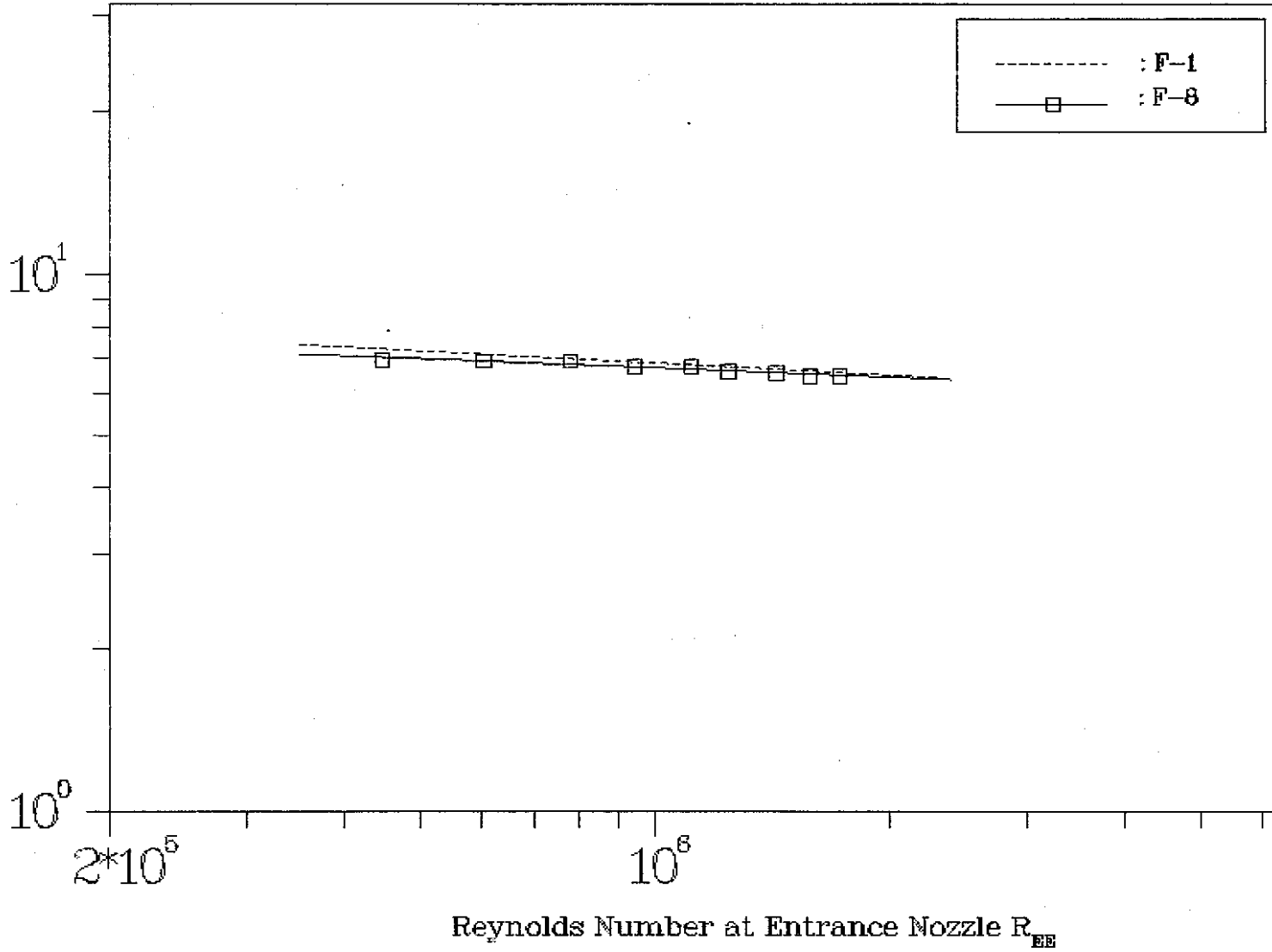


Fig.6-8 Result of Sodium Flow Test (F-8)

1982, 11,13

1278 HRS

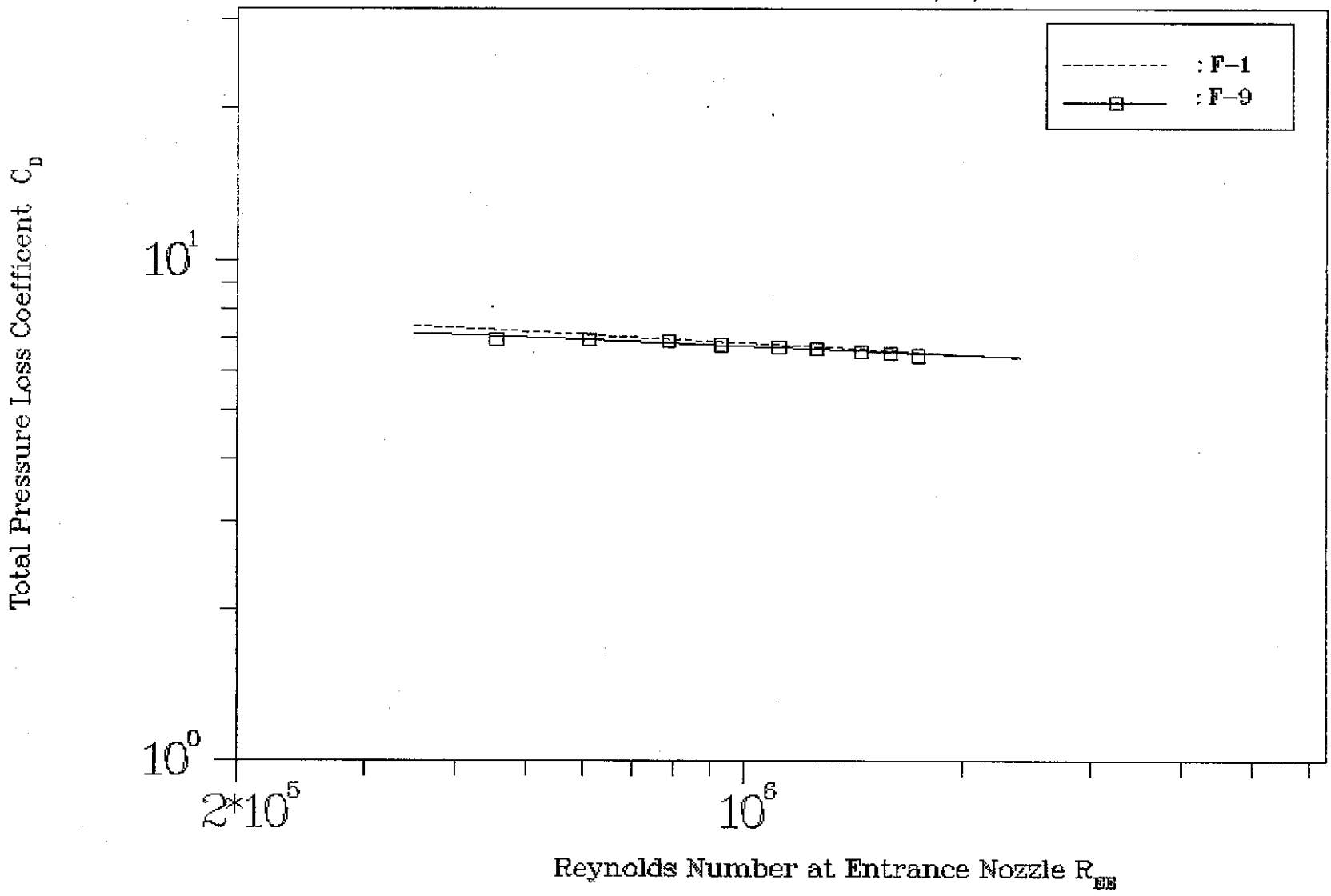


Fig.6-9 Result of Sodium Flow Test (F-9)

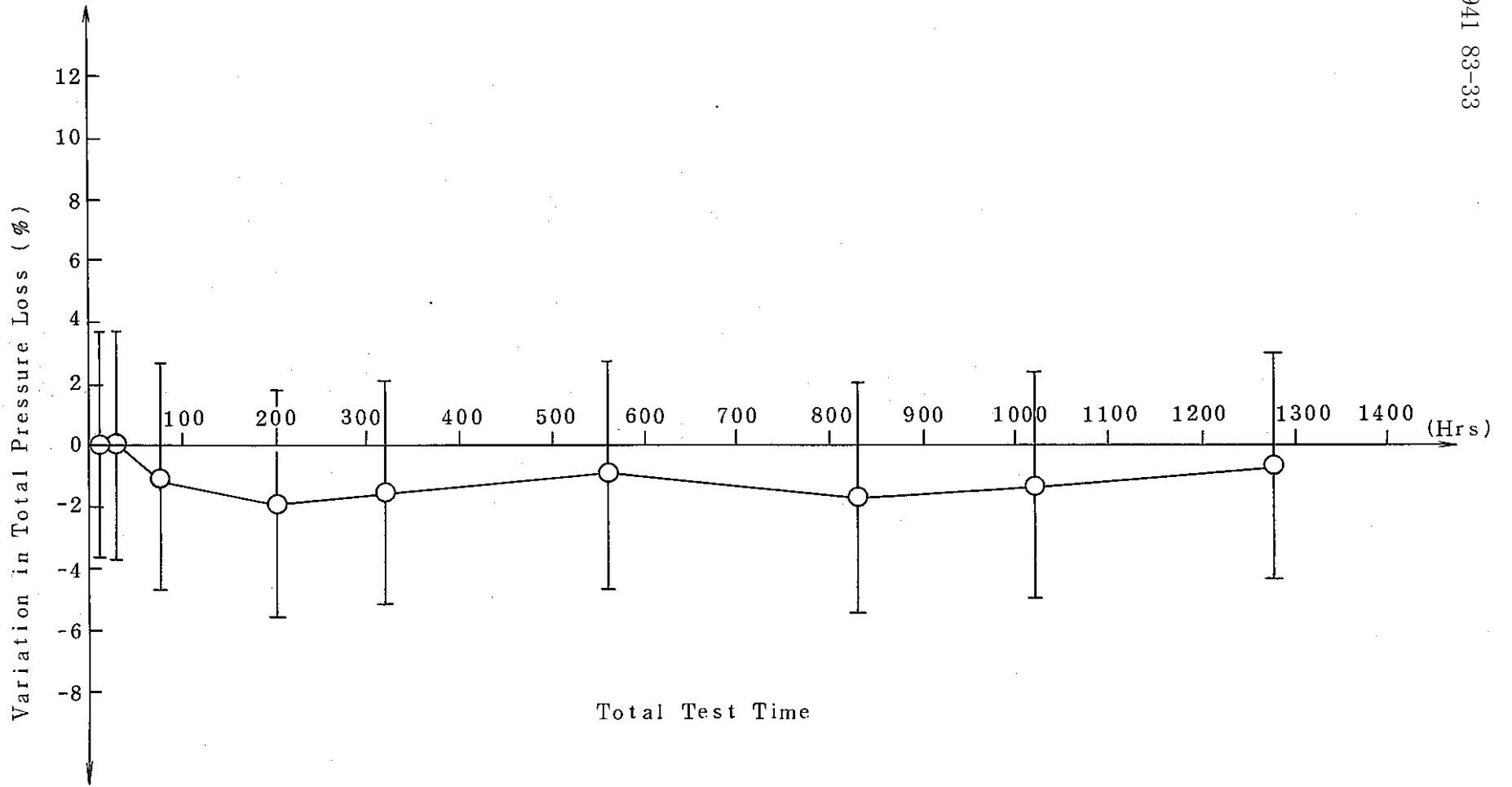


Fig.6-10 Variation of Total Pressure Loss Coefficient of A-Type Fuel Assembly

Table 1-1 Specification of Sodium Flow Test Loop

Maximum Sodium Flow Rate	5.0m ³ /min. at 450°C
Hot Leg Sodium Temp.	600°C (Main Heater Outlet)
Cold Leg Sodium Temp.	450°C (Main Pump Inlet)
Main Tube Dia	8B sch20S
Auxiliary Line	Recircurate Line 4B/2B/1B Purification Line 2B/1B Dump Tank Purification Line 1B Plug. Meter Line 1B Drain Line 4B/2B/1B Cover Gas Line 4B/2B/1B
Materials	SUS 304
Total Sodium Inventory	About 24 ton
Main Components	Main Circulation Pump Centrifugal Pump with Free Surface Type Nominal Hed Rated 7.0kg/cm ² Nominal Flow Rated 5.0m ³ /min Maximum Electrical Input 105 kW Main Heater Oil Burner Gas Heated Type Heating Capacity 2MW Main Cooler Force Cooled by Air, Multi Fin-Tube Type Cooling Capacity 2.25MW Regenerative Heat Exchanger Non-Surface Shell & Tube Type Heat Exchange Rate 13.3MW Cold Trap Force Cooled by Air, Circulation Type Plug. Meter Force Cooled by Air, Oriffice Type

Table 2-1 Specification of A-Type Fuel Assembly

Item	Specification
Length of Fuel Subassembly	2970 mm
Number of Fuel Pins	108 (JOYO), 7 (MONJU)
Length of Fuel Pins	1533 mm
Diameter of Fuel Pins	5.5 mm (JOYO), 6.5 mm (MONJU)
Arrangement Pitch of Fuel Pins	6.47 mm
Diameter of Spacer Wire	0.9 mm
Wrapping Pitch of Spacer Wire	209 mm
Facing Distance of Wrapper Tube	74.7 mm
Equivalent Diameter in Entrance Nozzle	34.0 mm

Table 3-1 Sodium Flow Test Conditions

	Data
Data of Test	Sept. 20, 1982 ~ Nov. 14, 1982
Sodium Temp.	600°C
Test Duration	Total ; 1320 hours
	600°C ; 1278 hours
Sodium Flow Rate	10 kg/sec (742 l/min at 600°C)
Cold Trap Temp.	120°C (Oxygen Concentration ; about 1 ppm)

Table 4-1 Nomenclature and Unit

Reynolds Number, R_{EE}	Pressure Loss Coefficient, C_D
$V_E = \frac{Q_E}{A_E}$ $R_{EE} = \frac{V_E \times D_e}{\nu}$ <p>Q_E : Flow Rate at Entrance Nozzle (m^3/s)</p> <p>A_E : Flow Area at Entrance Nozzle (m^2)</p> <p>V_E : Velocity at Entrance Nozzle (m/s)</p> <p>D_e : Equivalent Diameter at Entrance Nozzle (m)</p> <p>ν : Sodium Kinematic Viscosity (m^2/s)</p>	$\Delta P = P_m + r_1 h_1 - r_2 h_2 - r_3 h_3$ $C_D = \frac{\Delta P}{\frac{r \times V_E}{2g}}$ <p>P_m : Measurement Pressure Drop (kg/m^2)</p> <p>ΔP : Pressure Loss (kg/m^2)</p> <p>h_1 : Distance of Differential Pressure Gage High Tap (m)</p> <p>h_2 : Distance of Differential Pressure Gage Low Tap (m)</p> <p>h_3 : Distance of Differential Pressure Taps (m)</p> <p>r : Sodium Density at Pin Bundle (kg/m^3)</p> <p>r_1 : Sodium Density at Test Section (kg/m^3)</p> <p>r_2 : Sodium Density at Measurement Tube (High) (kg/m^3)</p> <p>r_3 : Sodium Density at Measurement Tube (Low) (kg/m^3)</p> <p>g : Acceleration of Gravity (m/s^2)</p>

Table 5-1 Sodium Flow Test Result of A-Type Fuel Assembly

Empirical Formula $C_D = A \times R_{EE}^B$

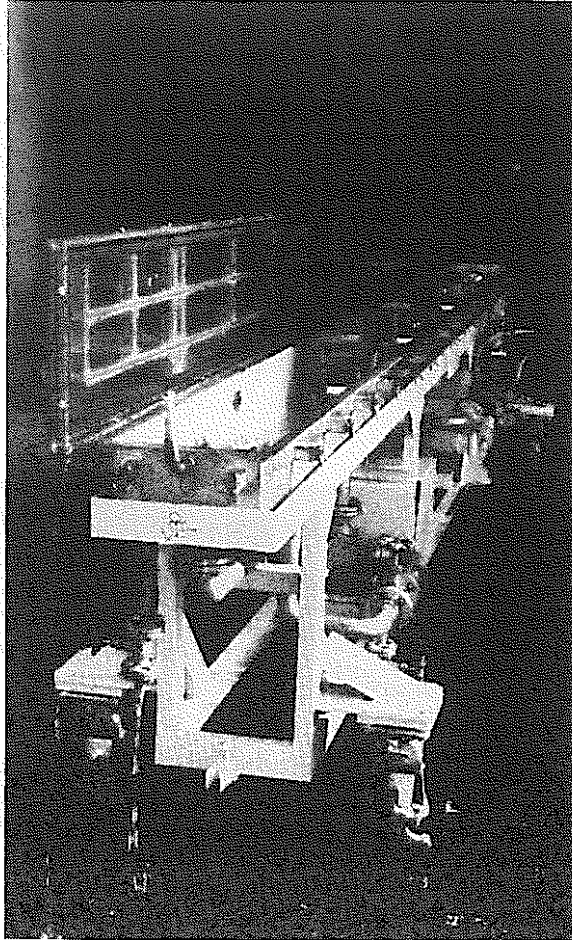
No.	Tested Time at 600°C (hours)	Sodium Temp(°C)	Total Drop Coefficient C_D		C_D Value at $R_{EE} = 1.7 \times 10^6$
			A	B	
F-1	11	600	19.64	-0.0764	6.560
F-2	30	600	17.22	-0.0672	6.563
F-3	78	600	17.38	-0.0686	6.494
F-4	204	600	14.95	-0.0587	6.436
F-5	320	600	16.85	-0.0668	6.459
F-6	560	600	13.19	-0.0493	6.501
F-7	830	600	12.31	-0.0450	6.453
F-8	1020	600	14.97	-0.0584	6.475
F-9	1278	600	14.77	-0.0570	6.518

Water Flow Test Result

$$C_D = 4.76 + 964.973 \times R_{EE}^{-0.4522}$$

Table 6-1 Sodium Cleaning Test of A-Type Fuel Assembly

No	Sodium Cleaning liquid	Sodium Cleaning Time (Hour)	Sodium Cleaning Quantity (g)	Cleaning liquid Quantity (ml)
W-1	alcohol	40	4381	176500
W-2	alcohol and water	1	0.98	About 176500
W-3	water	14	284	About 176500
Total Sodium Cleaning Quantity about 48gram				



Poto.1-1 Sodim Cleaning Equipment

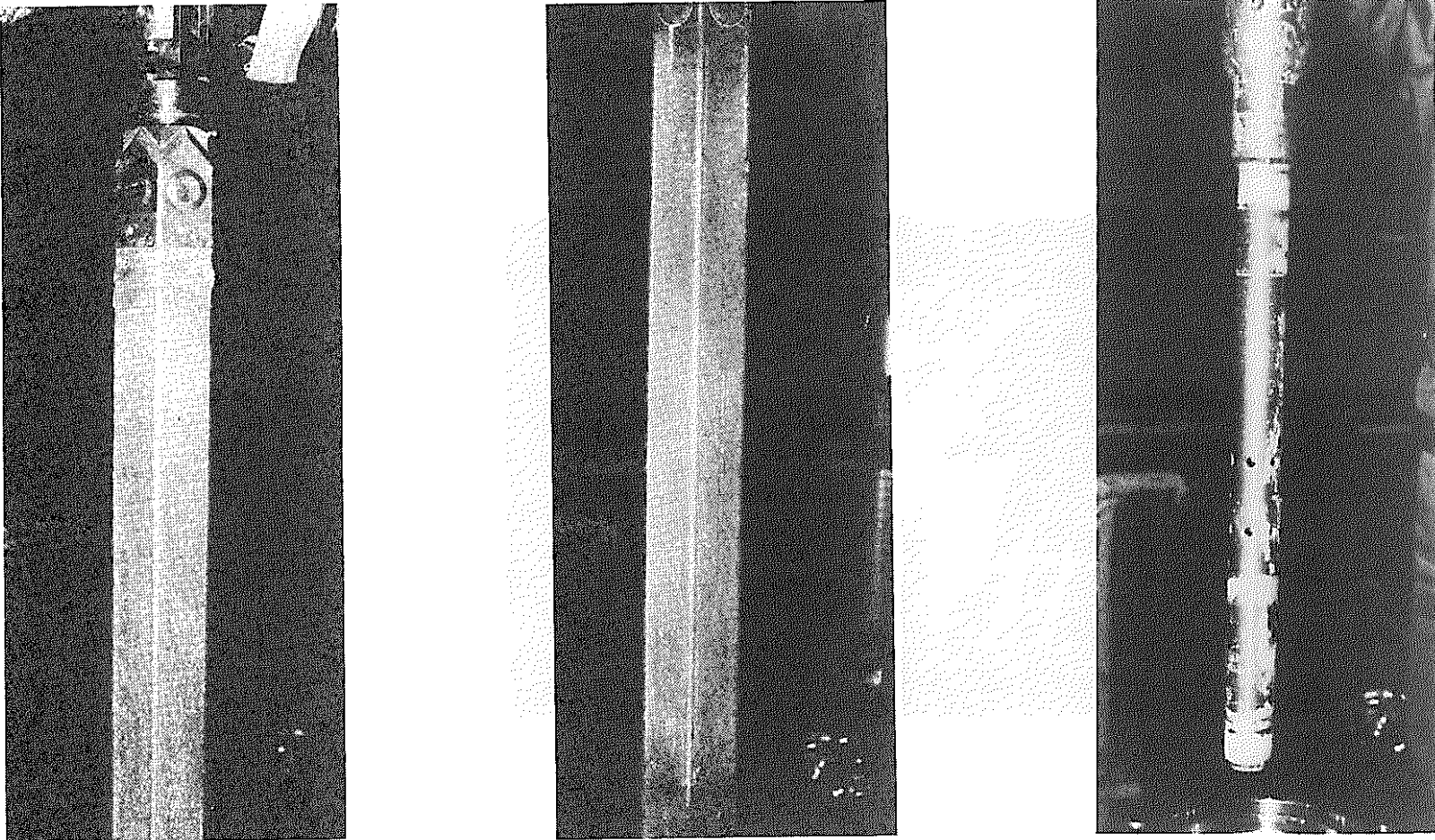
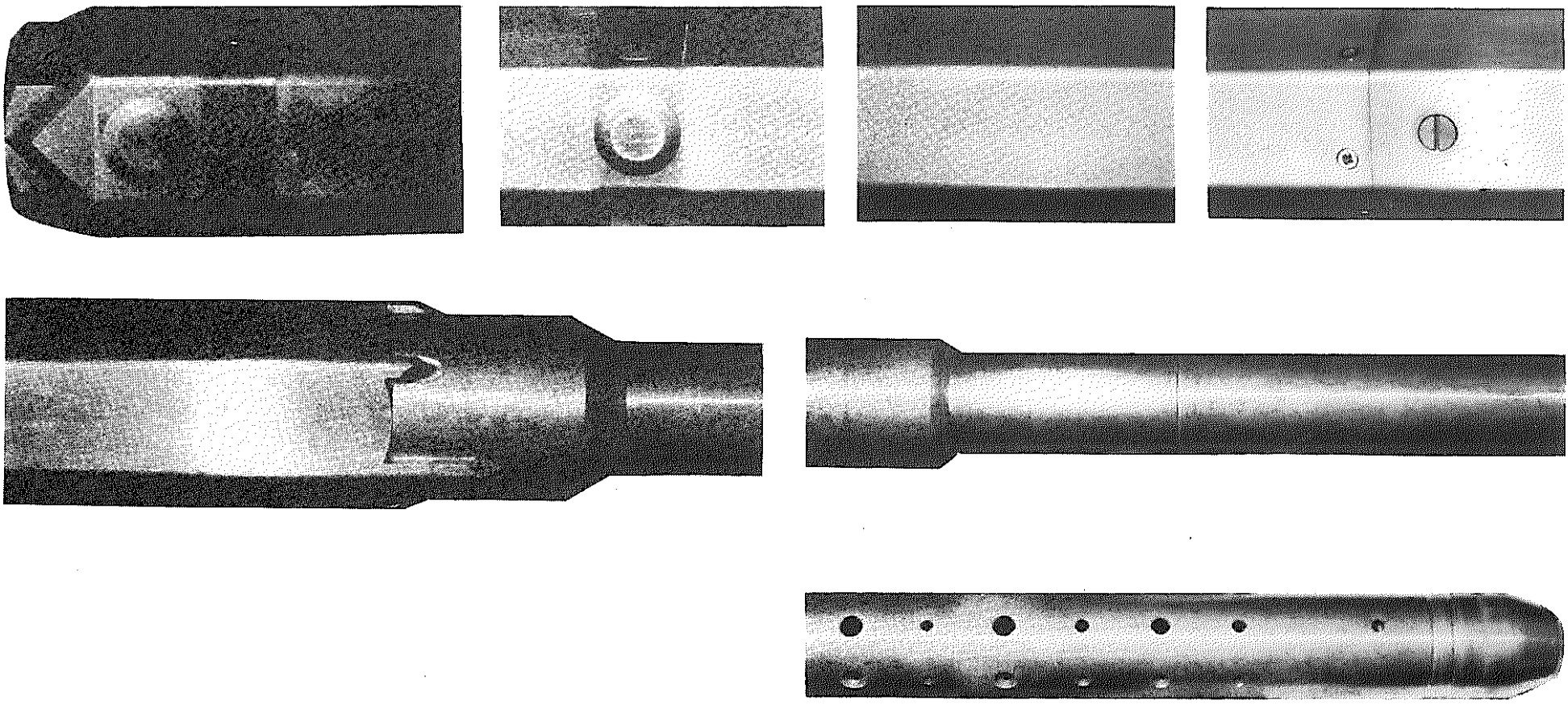


Photo 2-1 Surface of Fuel Assembly before Sodium Cleaning.



Poto 2-2 Surface of Fuel Assembly after Sodium Cleaning