

# 耐衝撃試験後の変形燃料束の圧力損失特性

1984年4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)

## 耐衝撃試験後の変形燃料束の圧力損失特性

阿部定好 \*\*, 大坪 章 \*

井口達郎 \*\*\*

### 要 旨

仮想事故時の炉心冷却材流量を評価する際に、ラッパ管が不規則に変形した燃料束の圧力損失特性を知ることが必要である。従来、これに関する知見が乏しいため本試験を実施した。

本試験では、「もんじゅ」ブランケット燃料集合体の燃料束部を模擬した供試体を用いた。「ラッパ管耐衝撃性評価試験」でラッパ管等に不規則な変形を与えた供試体3体と、変形のない供試体1体について、圧力損失特性を測定した。

本試験で得られた主な結論は次の通りである。

燃料束部で定義したイノルズ数  $Re \approx 10^3 \sim 3 \times 10^4$  で、変形による平均流路断面の減少が正常燃料束の17%以下で、正常燃料束に対する変形燃料束の圧力損失  $\Delta P$  は、平均流路断面積  $A$  を用いて、近似的に次式で表わされる。

$$\frac{\Delta P (\text{変形})}{\Delta P (\text{正常})} = \left\{ \frac{A (\text{正常})}{A (\text{変形})} \right\}^2 \quad (\text{但し同一 } Re \text{ 数時})$$

上記の関係を用いて正常燃料束より求めた変形燃料束の圧力損失予測誤差は、 $Re \approx 10^3 \sim 8 \times 10^3$  で±8%以下であり、 $Re \approx 8 \times 10^3 \sim 3.5 \times 10^4$  では±3%以下であった。

---

\* 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

\*\*\* 現在，東芝原子力技術研究所

April 1984

## Pressure Loss Characteristics of Deformed Fuel Assembly

S. Abe\*\*, A. Ohtsubo\* and T. Iguchi\*\*\*

## Abstract

The objective of this experimental study is to obtain the data on pressure loss characteristics of the fuel assembly which must be deformed during hypothetical core disruptive accident (HCDA). Three of deformed bundle and one of normal shaped bundle were used in the experiment. These bundles had the same geometry as the fuel bundle part of "Monju" blanket assembly.

The main conclusions are as follows:

The pressure loss ( $\Delta P$ ) of deformed bundle at the same Reynolds numbers as normal bundle can approximately predicted by using the ratio of cross sectional flow area (A), as shown below.

$$\frac{\Delta P(\text{deformed})}{\Delta P(\text{normal})} = \left\{ \frac{A(\text{normal})}{A(\text{deformed})} \right\}^2$$

This equation is applicable with the following limitations.

1. Reynolds numbers defined at bundle area is  $10^3$  to  $3 \times 10^4$ .
2. Reduction of flow area is within 17% of flow area of normal bundle.

Prediction area of the equation is less than 8% and 3% for the range of Reynolds number of  $10^3$  to  $8 \times 10^3$  and  $8 \times 10^3$  to  $3 \times 10^4$ , respectively.

---

\* Reactor Engineering Section, FBR Safety Engineering Division, OEC

\*\* Reactor Technology Section, Experimental Fast Reactor Division, OEC

\*\*\* Present, Toshiba Nuclear Technology Laboratory.

## List of Tables

Table 1	Specification of Test Bundle .....	8
Table 2	Test Data for Pressure Loss Measurement of Formed Assembly (ID00) .....	9
Table 3	Test Data for Pressure Loss Measurement of Deformed Assembly (ID01) .....	10
Table 4	Test Data for Pressure Loss Measurement of Deformed Assembly (ID02) .....	11
Table 5	Test Data for Pressure Loss Measurement of Deformed Assembly (ID03) .....	12

## List of Figures

Fig. 1	Flow Sheet of Test Loop .....	13
Fig. 2	Calibration Curve of Electromagnetic Flow Meter and Differential Pressure Transducers ...	14
Fig. 3	Test Bundle and Test Section .....	15
Fig. 4	Flow Rate versus Pressure Loss of Deformed Assembly (Q versus $\Delta P$ ) .....	17
Fig. 5	Reynolds Number versus Pressure Loss Coefficient of Deformed Assembly ( $Re$ versus $\zeta$ ) .....	18
Fig. 6	Reynolds Number versus Revised Pressure Loss Coefficient of Deformed Assembly ( $Re$ versus $\zeta'$ ) .....	19
Fig. A-1	Reference Figure Used to Calculate Pressure Loss from High Pressure Plenum to Bundle Inlet .....	21
Fig. A-2	Reference Figure Used to Calculate Pressure Loss from Bundle Inlet to Bundle Outlet .....	22
Fig. A-3	Reference Figure Used to Calculate Pressure Loss from Bundle Outlet to Low Pressure Plenum .....	23

## 目 次

1. ま え が き .....	1
2. 試 験 装 置 お よ び 試 験 方 法 .....	2
3. 試 験 結 果 お よ び 検 討 .....	3
3.1 試 験 条 件 お よ び 測 定 デ ー タ .....	3
3.2 正 常 燃 料 束 の 圧 力 損 失 の 試 計 算 .....	3
3.3 変 形 燃 料 束 の 圧 力 損 失 .....	3
4. 結 論 .....	5
5. 謝 辞 .....	6
6. 参 考 文 献 .....	7
付 録 .....	20

## 1. ま え が き

高速増殖炉では、安全解析上、仮想炉心崩壊事故（HODA）後も崩壊した炉心の冷却機能は保持される必要があり、そのためには、冷却材流路が確保されねばならない。HODA時には炉心領域の崩壊に伴って発生する大きな衝撃圧によって、周囲のブランケット燃料集合体に変形する。本研究では、このとき変形するブランケット燃料集合体の圧損特性を評価する為に、FBR本部炉心安全Grが実施した耐衝撃試験に使用され変形した燃料束3体および正常な燃料束1体を用いて、水流動試験を行った。本報告書は、この水流動試験で測定された圧力損失データにつき報告する。



## 2. 試験装置および試験方法

試験装置のフローシートをFig. 1に示す。作動流体は、ポンプ、電磁流量計、テストセクションおよびサージタンクを循環する。試験ループの制御対象は、温度および流量であり、温度制御はサージタンク内のヒータ（100kW）と工業用水の給水で行い、流量制御は電磁流量計下流の空気作動弁で行なった。

計測には、測温抵抗体（3体）、電磁流量計（3台）および差圧変換器（6台）を用いた。

Fig. 2に校正結果を示す。各検出器の誤差は、フルスケールに対して0.5%以内である。

試験に用いた供試体は、4体でFBR本部、炉心安全Grで実施した「ラッパ管耐衝撃性評価試験」に使用された全長750mmの燃料束である。これらの供試体は「もんじゅ」ブランケット燃料集合体の燃料束部を模擬したものである。

試験装置のテスト・セクションには、高・低圧プレナムがあり、供試体の上流側が高圧プレナムで、下流側が低圧プレナムである。各供試体につき高・低圧プレナム間の差圧から圧力損失を求めた。

Table 1に供試体の主要目を示す。表中の識別番号（ID00, ID01, ID02およびID03）は、正常な形状から変形の大きくなる順に付けた。

Fig. 3に供試験およびテストセクションの形状を示す。Fig. 3（1/2）には、変形燃料束の外観写真を、Fig. 3（2/2）には、正常燃料束の形状および寸法を示す。

### 3. 試験結果および検討

#### 3.1 試験条件および測定データ

作動流体として約30℃の工業用水を使用した。試験流量範囲は2~70m<sup>3</sup>/hrである。これは実機の定格レイノルズ数の6~200%に相当する。Table 2~5に正常および変形燃料束の測定データを示す。

#### 3.2 正常燃料束の圧力損失の試算

正常燃料束について高・低圧プレナム間の圧力損失 $\Delta P$ または圧力損失係数 $\zeta$ （以後単に圧力損失または圧力損失係数とのみ記す）を試算で求めた。試算は、(A)高圧プレナム→燃料束入口、(B)燃料束入口→燃料束出口および(C)燃料束出口→低圧プレナムの3つの区間に分けて行った。AおよびC区間ではハンドブック<sup>(1)</sup>、B区間では「もんじゅ」試作燃料集合体試験で得られた実験式<sup>(2)</sup>を引用して行った。詳細は付録に記す。但し、この試算では、ノックバー部および燃料束流入部の圧力損失ならびに燃料束流入部の速度助走区間<sup>(3)</sup>の影響を無視した。

Fig. 4~6中に実線で試算結果を示す。計算結果は正常燃料束(ID100)の試験結果と、6%の範囲で一致した。

#### 3.3 変形燃料束の圧力損失

正常および変形燃料束の圧力損失測定データを比較すると同一流量において圧力損失比と平均流路断面積比の間には、相関がみられた。ここでは、次に説明する修正圧力損失係数を使用して、変形燃料束の圧力損失を計算する方法について述べる。

正常燃料束のぬれ縁長さの87%が燃料ピンである。燃料ピンには実機燃料を模擬したMgOが充填されているため衝撃波による燃料ピン自身の変形は抑制されている。従って、変形燃料束の供試体のぬれ縁長さは、衝撃波によるラッパ管変形後もほとんど変わらないと思われる。それ故ここでは供試体のぬれ縁長さが正常燃料束の値と等しいと仮定して、諸量を以下のように定義する。

$$A_i \equiv \frac{V_i}{L}$$

$$De_i = \frac{4A_i}{\ell} = \frac{4 \cdot V_i}{\ell \cdot L}$$

$$\zeta_i = \frac{2g}{r_i \cdot Q_i^2} \times \Delta P_i \times A_0^2 \quad \zeta'_i \equiv \frac{2g}{r_i \cdot Q_i^2} \times \Delta P_i \times A_0^2 \times \left(\frac{V_i}{V_0}\right)^2$$

$$= \zeta_i \times \left(\frac{V_i}{V_0}\right)^2$$

$$Re_i = \frac{1}{\nu} \times \frac{De_i}{A_i} \times Q_i = \frac{Q_i}{\nu \cdot l}$$

(レイノルズ数は、LおよびVに依存しない。)

ここに、

g : 重力加速度	l : ぬれ線長さ
r : 比重量	A : 平均流路断面積
$\nu$ : 動粘性係数	De : 水力等価直径
L : 燃料束部全長 (0.75m)	V : 流路容積
i = 0 : 正常な燃料束	Q : 流量
i = 1 : 供試体	$\zeta$ : 圧力損失係数
	$\zeta'$ : 修正圧力損失係数
	Re : レイノルズ数

ここで、圧力損失係数 $\zeta$ は、変形燃料束に対しても代表面積として正常燃料束の流路断面積を用いたものである。また、修正圧力損失係数 $\zeta'$ は、代表面積として衝撃波による変形後の平均流路断面積を用いたものである。

このように定義された圧力損失係数 $\zeta$ と修正圧力係数 $\zeta'$ を使用して、試験データを整理する。Fig. 5に圧力損失係数 $\zeta$ とレイノルズ数との関係を示し、Fig. 6に修正圧力損失係数 $\zeta'$ とレイノルズ数との関係を示す。これらの図から正常供試体と変形供試体には、同一レイノルズ数で以下のような関係があるのがわかる。

$$\zeta'(\text{正常}) \approx \zeta'(\text{変形})$$

$$\frac{\Delta P(\text{変形})}{\Delta P(\text{正常})} = \frac{\zeta(\text{変形})}{\zeta(\text{正常})} \approx \left\{ \frac{A(\text{正常})}{A(\text{変形})} \right\}^2$$

上記の関係によって、変形燃料束の圧力損失を平均流路断面積の変化で推定できる。この関係を用いた変形燃料束の圧力損失の予想値には、試験データのバラッキ等を考慮すると以下のような誤差がある。

低レイノルズ数域 ( $Re=10^3 \sim 8 \times 10^3$ ) 予測誤差±8%以下

高レイノルズ数域 ( $Re=8 \times 10^3 \sim 3 \times 10^4$ ) 予測誤差±3%以下

ここで、レイノルズ数域によって分割したのは、 $R \approx 8 \times 10^3$ で、 $Re-\zeta'$ 特性の勾配およびデータのバラッキに特性の変化が見られたためである。同様な特性の変化は、「もんじゅ」試作燃料集合体試験<sup>(2)</sup>でも得られている。

## 4. 結 論

本試験の主要な結果を以下に示す。

- (1) 簡易的な試計算により正常燃料束の圧力損失係数を推定した。試計算結果と正常供試体の試験結果との差は、6%以内であった。
- (2) 正常供試体 (ID00) と変形供試体との圧力損失比は、平均流路断面積比の逆数の2乗に比例する。

$$\frac{\Delta P (\text{変形})}{\Delta P (\text{正常})} = \left( \frac{A (\text{正常})}{A (\text{変形})} \right)^2 \quad (\text{但し同一レイノルズ数時})$$

なお、この関係は、 $Re \approx 10^3 \sim 3 \times 10^4$  の範囲で、適用できる。適用に伴う誤差は、低レイノルズ数域 ( $Re = 10^3 \sim 8 \times 10^3$ ) で8%以下、高レイノルズ数域 ( $Re = 8 \times 10^3 \sim 3 \times 10^4$ ) で3%以下である。

## 5. 謝 辞

本試験研究の遂行にあたり、計画および実施に御協力戴いたFBR本部吉江伸二副主任研究員  
(現 川崎重工業株式会社)はじめ関係者各位に謝意を表します。

供試体の加工を担当して戴いたプラント安全工学館の方々に感謝します。

## 6. 参 考 文 献

- (1) I. E. Idel'chick: HANDBOOK OF HYDRAULIC RESISTANCE  
AEO-tr-6630, LMEC-68-4
- (2) 古川 他: 「もんじゅ」燃料集合体水流动试验 (VII)  
PNC SN941 82-94, 1982.4.
- (8) 佐藤 他: "もんじゅ"燃料集合体水流动试验 (IV)  
PNC SN941 77-193, 1977.12.

Table 1 Specification of Test Bundle

燃料要素数	N	61本				
// 外径	$D_f$	11.6mm $\phi$				
// 全長	L	750 mm				
ワイヤ外径	$d_{w1}, d_{w2}$	1.5mm $\phi$ $\times$ 37本, 0.9mm $\phi$ $\times$ 24本				
// 巻きピッチ	$l_w$	250 mm				
ラッパ-管対面間距離	$D_w$	104.6mm				
ピン内部		MgO充填				
		<sup>*3</sup> 設計	ID00	ID01	ID02	ID03
流路面積 * 1	$A [\times 10^{-3}m^2]$	2.924	2.92 <sub>27</sub>	2.78 <sub>03</sub>	2.71 <sub>47</sub>	2.50 <sub>13</sub>
水力等価直径 * 1	$D_e [\times 10^{-3}m]$	4.138	4.13 <sub>61</sub>	3.94 <sub>74</sub>	3.84 <sub>17</sub>	3.53 <sub>08</sub>
流路容積 * 2	$V [\times 10^{-3}m^3]$	2.19 <sub>3</sub>	2.19 <sub>2</sub>	2.09 <sub>2</sub>	2.03 <sub>6</sub>	1.87 <sub>6</sub>
平均流路面積比	$V_o / V_i$	1	1.00 <sub>0</sub>	1.04 <sub>8</sub>	1.07 <sub>7</sub>	1.16 <sub>9</sub>

\* 1 ねれ長さ  $l = 2.8265$  [m]として各燃料束のA,  $D_e$ を算出した。

\* 2 供試体の流路容積の実測値である。

\* 3 参考資料(2)で得られた実測値を引用した。

Table 2 Test Conditions for Pressure Loss Measurement of Formed Assembly

- I D 0 0 -

NO	TW °C	QT m <sup>3</sup> /hr	VB m/sec	DP kg/m <sup>2</sup>	RE1	CD1	CD2
1	30.13	2.072	0.1968	40.84	1023.	20.77	20.75
2	30.96	2.622	0.2491	55.76	1316.	17.72	17.70
3	31.11	3.241	0.3079	77.31	1632.	16.08	16.06
4	31.15	3.290	0.3125	79.29	1658.	16.00	15.99
5	31.38	4.005	0.3804	105.8	2027.	14.41	14.39
6	31.43	4.998	0.4748	146.6	2532.	12.82	12.81
7	31.50	6.006	0.5706	193.7	3048.	11.73	11.72
8	31.65	7.616	0.7235	283.0	3876.	10.66	10.65
9	31.75	8.982	0.8533	367.4	4580.	9.950	9.941
10	33.51	10.96	1.041	507.7	5789.	9.235	9.227
11	31.11	18.24	1.733	1234.	9184.	8.099	8.091
12	32.00	20.71	1.968	1543.	0.1062E 05	7.855	7.848
13	32.01	23.16	2.210	1905.	0.1192E 05	7.692	7.686
14	31.80	26.91	2.556	2478.	0.1374E 05	7.478	7.472
15	32.00	34.52	3.279	3916.	0.1769E 05	7.181	7.174
16	32.29	41.35	3.928	5458.	0.2132E 05	6.975	6.968
17	32.30	53.77	5.108	8898.	0.2772E 05	6.724	6.718
18	32.41	68.83	6.538	0.1409E 05	0.3557E 05	6.500	6.495

## Symbol Unit

TW	°C	Fluid temperature
QT	m <sup>3</sup> /hr	Flow rate
VB	m/sec	Average velocity in a bundle
DP	kg/m <sup>2</sup>	Pressure loss between upper and lower plenums
RE1	-	Reynold's number in a bundle
RE2	-	Revised Reynold's number in a bundle, RE2=RE1
CD1	-	Pressure loss coefficient
CD2	-	Revised pressure loss coefficient



Table 3 Test Conditions for Pressure Loss Measurement of Deformed Assembly

-ID01-

NO	TW °C	QT m <sup>3</sup> /hr	VB m/sec	DP kg/m <sup>2</sup>	RE1	CD1	CD2
1	32.16	1.991	0.1892	44.30	1024.	24.41	22.22
2	29.92	1.970	0.1871	44.83	968.0	25.23	22.96
3	28.29	1.978	0.1879	45.92	939.8	25.62	23.31
4	26.53	3.169	0.3011	92.80	1451.	20.15	18.34
5	26.78	3.174	0.3015	92.49	1461.	20.03	18.22
6	26.82	3.176	0.3017	92.61	1463.	20.03	18.23
7	27.00	4.976	0.4727	177.6	2300.	15.65	14.24
8	27.84	4.978	0.4729	176.2	2343.	15.51	14.12
9	28.37	4.990	0.4741	176.0	2375.	15.43	14.04
10	28.68	7.521	0.7145	326.7	3603.	12.61	11.47
11	28.91	7.533	0.7156	326.6	3626.	12.56	11.43
12	29.16	11.54	1.096	661.6	5583.	10.85	9.872
13	18.19	11.54	1.096	662.9	5470.	10.87	9.890
14	28.22	20.29	1.928	1729.	9628.	9.161	8.336
15	29.32	22.80	2.166	2119.	0.1107E 05	8.897	8.096
16	29.90	46.10	4.380	7652.	0.2265E 05	7.860	7.153
17	30.24	45.94	4.364	7616.	0.2273E 05	7.881	7.171
18	31.08	70.25	6.674	0.1677E 05	0.3535E 05	7.420	6.752
19	31.86	53.49	5.081	0.1011E 05	0.2734E 05	7.723	7.028
20	32.39	36.34	3.452	4925.	0.1877E 05	8.150	7.417
21	31.37	26.20	2.489	2718.	0.1326E 05	8.647	7.869
22	31.39	18.27	1.736	1450.	9251.	9.493	8.639
23	31.05	11.14	1.058	607.8	5602.	10.70	9.736
24	30.89	11.22	1.066	616.2	5625.	10.69	9.727
25	31.65	17.20	1.634	1277.	8752.	9.431	8.582
26	32.51	5.991	0.5691	220.9	3102.	13.45	12.24
27	32.57	5.978	0.5679	220.4	3099.	13.48	12.26
28	32.83	4.022	0.3821	121.4	2096.	16.40	14.92
29	32.93	4.024	0.3823	121.4	2101.	16.38	14.89
30	33.09	4.017	0.3817	120.8	2104.	16.36	14.89
31	33.25	2.549	0.2421	62.32	1339.	20.97	19.08
32	33.47	2.535	0.2409	61.90	1338.	21.05	19.15
33	33.63	2.542	0.2415	61.94	1346.	20.95	19.07

Table 4 Test Conditions for Pressure Loss Measurement of Deformed Assembly

- ID 02 -

NO	TW °C	QT m <sup>3</sup> /hr	VB m/sec	DP kg/m <sup>2</sup>	RE1	CD1	CD2
1	28.29	2.116	0.2010	47.19	1005.	23.01	19.84
2	27.66	2.108	0.2003	46.53	988.6	22.84	19.69
3	27.63	2.113	0.2007	46.17	989.9	22.57	19.46
4	27.92	3.242	0.3080	90.70	1529.	18.83	16.23
5	28.46	3.251	0.3088	89.70	1550.	18.52	15.97
6	28.98	3.250	0.3087	89.42	1566.	18.48	15.93
7	29.51	4.960	0.4712	169.1	2417.	15.00	12.93
8	30.06	4.959	0.4711	167.9	2444.	14.90	12.85
9	30.53	4.958	0.4710	167.6	2467.	14.89	12.83
10	30.65	7.550	0.7173	321.7	3767.	12.32	10.62
11	30.67	9.876	0.9383	491.9	4929.	11.01	9.494
12	30.30	9.887	0.9393	495.7	4897.	11.07	9.544
13	29.02	21.52	2.044	1943.	0.1038E 05	9.160	7.896
14	31.00	22.90	2.175	2160.	0.1150E 05	8.996	7.754
15	31.79	47.34	4.497	7988.	0.2417E 05	7.787	6.712
16	31.90	70.15	6.665	0.1665E 05	0.3589E 05	7.393	6.372
17	32.32	55.76	5.297	0.1097E 05	0.2876E 05	7.708	6.644
18	32.50	70.34	6.683	0.1681E 05	0.3641E 05	7.425	6.400
19	32.87	36.40	3.458	4980.	0.1898E 05	8.212	7.078
20	32.68	25.94	2.465	2700.	0.1348E 05	8.766	7.556
21	33.10	16.67	1.584	1236.	8734.	9.720	8.378
22	31.58	9.741	0.9254	494.6	4951.	11.39	9.816
23	30.79	9.740	0.9253	496.2	4873.	11.43	9.848
24	31.43	5.981	0.5682	226.6	3031.	13.84	11.93
25	31.96	5.959	0.5661	224.9	3052.	13.84	11.93

Table 5 Test Conditions for Pressure Loss Measurement of Deformed Assembly

-ID03-

NO	TW °C	QT m <sup>3</sup> /hr	VB m/sec	DP kg/m <sup>2</sup>	RE1	CD1	CD2
1	22.54	2.032	0.1931	63.37	851.4	33.43	24.46
2	23.42	2.031	0.1929	63.04	867.7	33.32	24.39
3	23.88	2.028	0.1927	62.54	875.8	33.14	24.25
4	24.76	2.474	0.2350	83.04	1089.	29.58	21.65
5	25.38	2.482	0.2358	82.80	1108.	29.31	21.45
6	26.51	2.518	0.2392	83.64	1152.	28.78	21.06
7	26.92	3.212	0.3051	120.2	1482.	25.41	18.60
8	27.90	3.234	0.3073	119.7	1524.	24.97	18.27
9	29.03	3.215	0.3054	117.7	1551.	24.85	18.18
10	30.17	3.951	0.3753	158.7	1951.	22.20	16.25
11	30.62	3.963	0.3764	159.1	1975.	22.13	16.19
12	30.91	3.980	0.3781	160.0	1996.	22.05	16.14
13	31.11	4.932	0.4685	215.2	2483.	19.33	14.14
14	31.11	4.912	0.4666	213.6	2473.	19.34	14.15
15	31.13	4.910	0.4664	213.3	2473.	19.32	14.14
16	31.16	5.910	0.5614	286.2	2979.	17.90	13.10
17	31.11	5.912	0.5617	286.6	2977.	17.91	13.11
18	31.05	7.424	0.7052	412.1	3733.	16.33	11.95
19	30.54	9.742	0.9255	641.2	484.	14.75	10.80
20	26.74	13.82	1.313	1004.	6355.	11.46	8.389
21	28.23	13.86	1.316	996.3	6576.	11.32	8.285
22	28.78	16.96	1.611	1469.	8142.	11.15	8.156
23	29.56	21.39	2.033	2278.	0.1044E 05	10.87	7.951
24	30.41	23.03	2.188	2605.	0.1143E 05	10.73	7.849
25	30.16	25.67	2.439	3206.	0.1268E 05	10.63	7.775
26	31.20	36.42	3.460	5914.	0.1837E 05	9.740	7.128
27	31.24	36.43	3.461	5903.	0.1839E 05	9.714	7.108
28	31.47	45.44	4.317	9070.	0.2304E 05	9.597	7.023
29	31.42	45.74	4.345	9146.	0.2317E 05	9.550	6.988
30	31.61	56.56	5.373	0.1379E 05	0.2876E 05	9.418	6.892
31	32.03	70.19	6.668	0.2068E 05	0.3600E 05	9.170	6.711

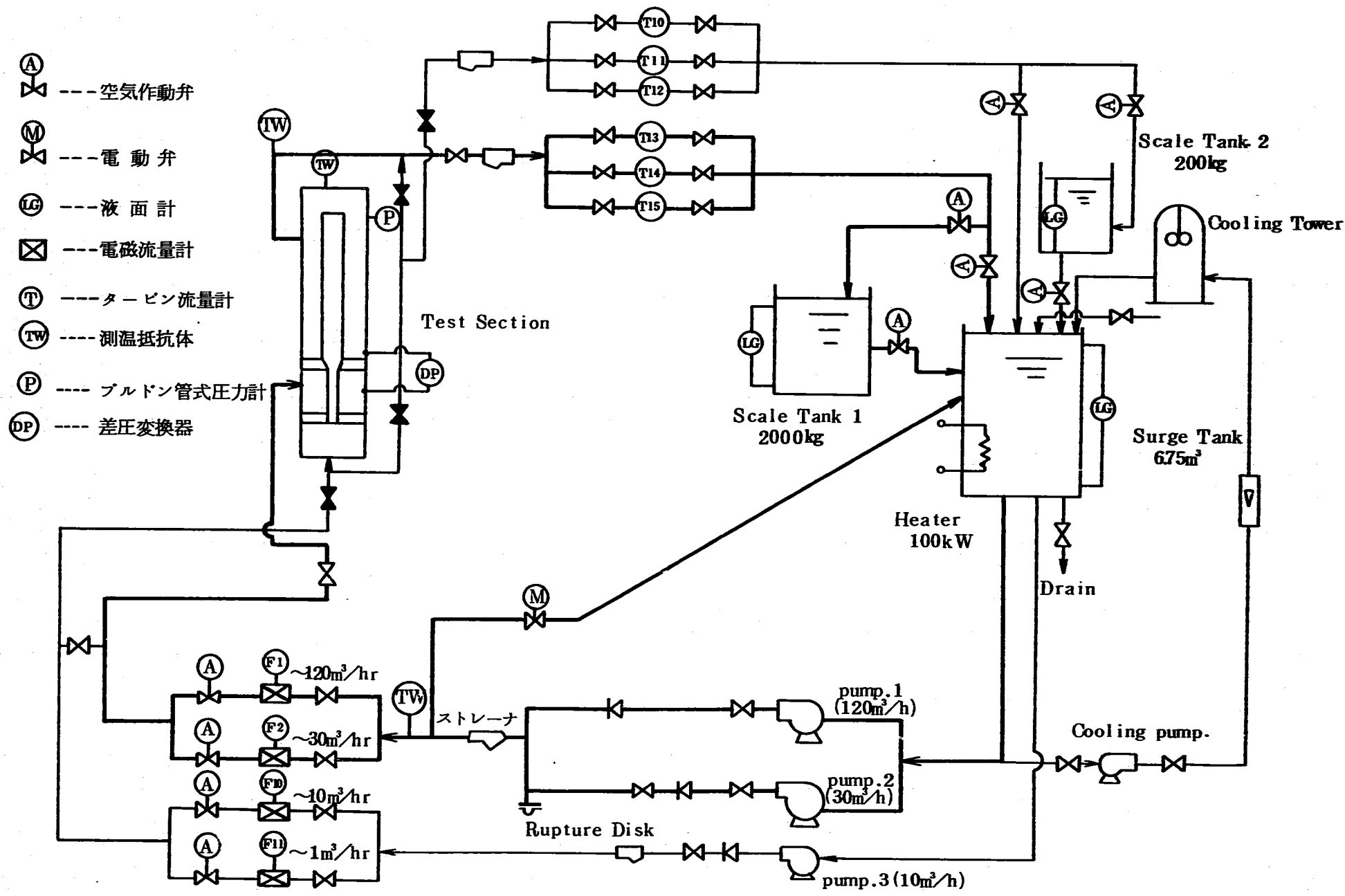
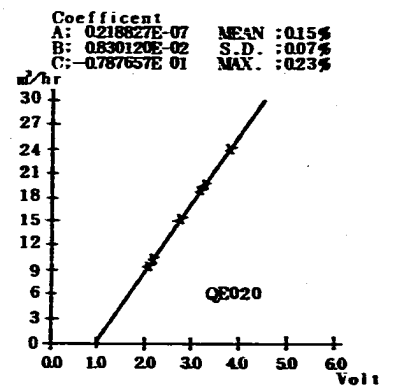
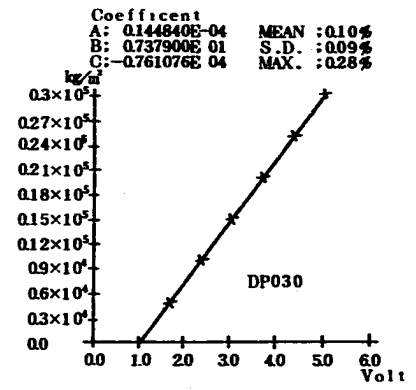
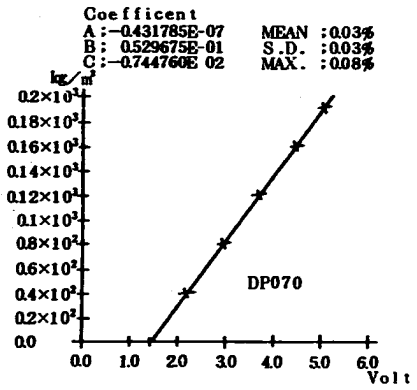
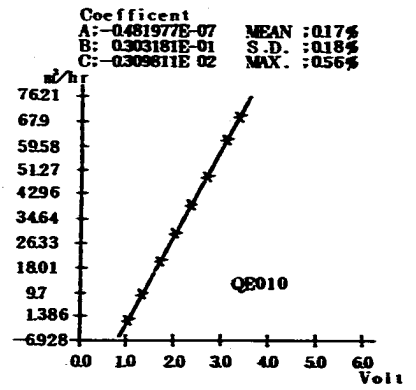
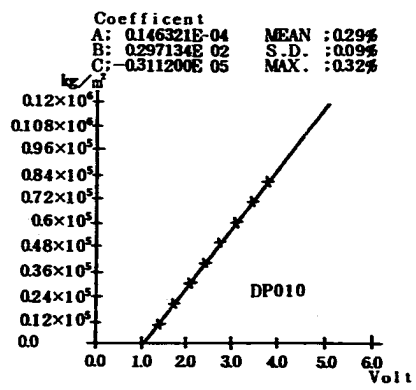
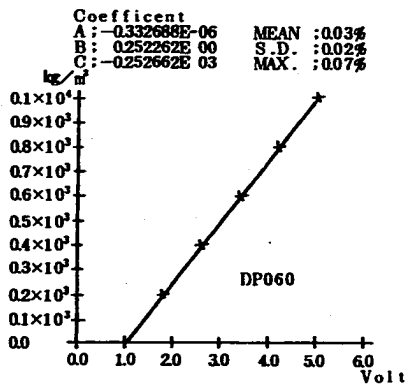


Fig.1 Flow Sheet of Test Loop



	CH.1D	スパン	単位
電磁 流量計	QE010	120	m³/hr
	QE020	30	
	QE030	10	
差圧 変換器	DP010	12×10⁴	kg/m²
	DP030	3×10⁴	
	DP040	5×10³	
	DP060	1×10⁴	
	DP070	2×10²	

\* スパンが50 kg/m²の差圧変換器及び流量計は、校正を行っていない。

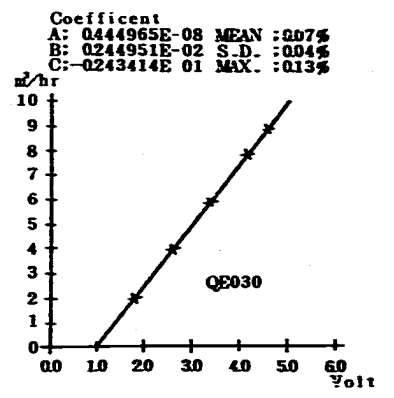
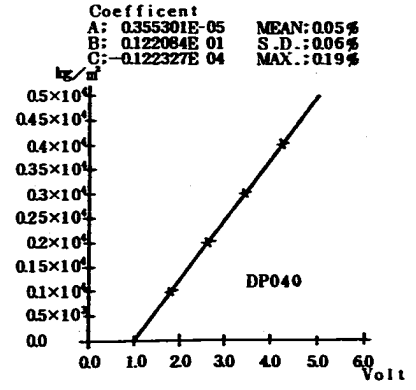
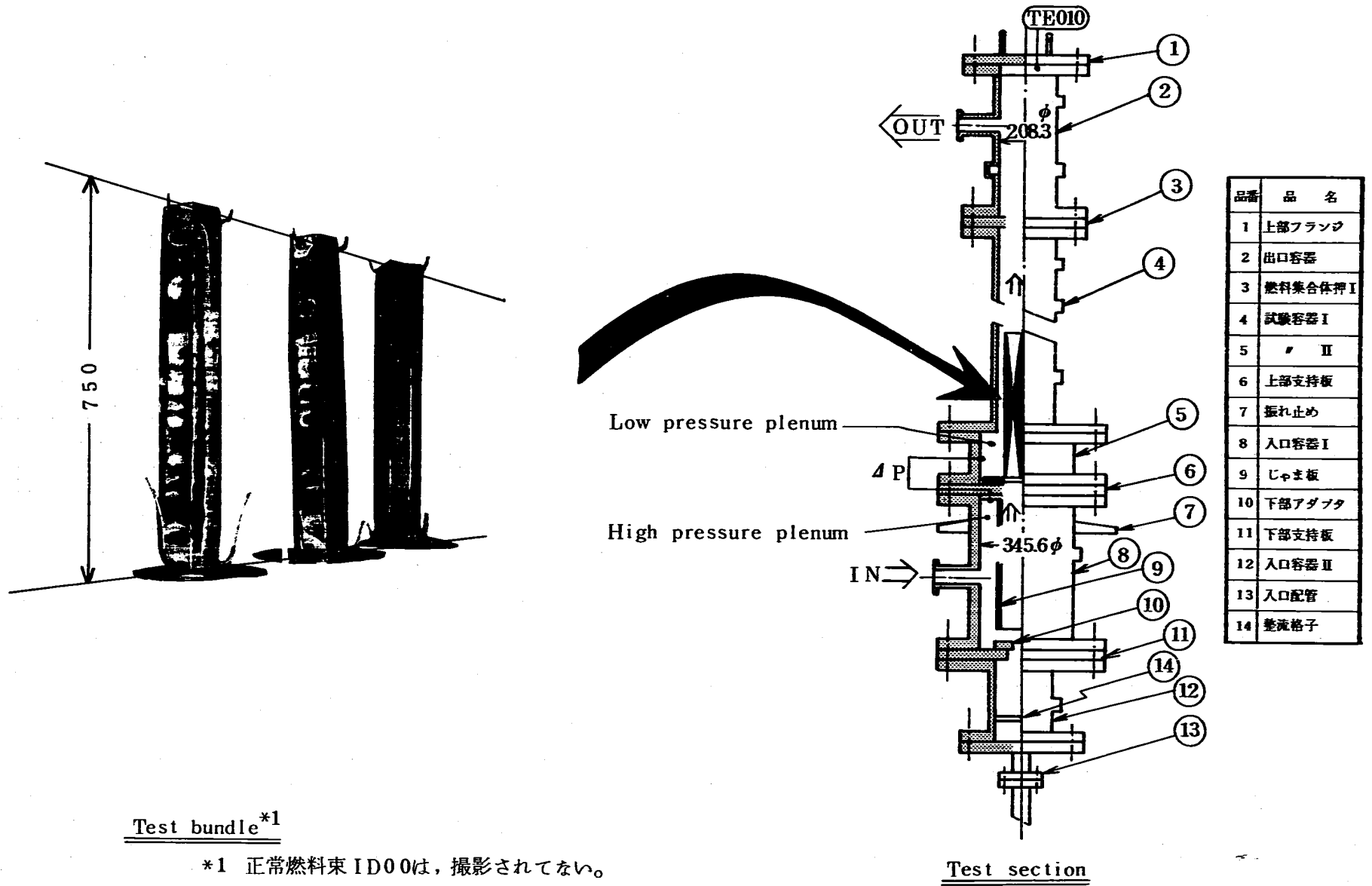


Fig.2 Calibration Curve of Electromagnetic Flow Meter and Differential Pressure Transducers

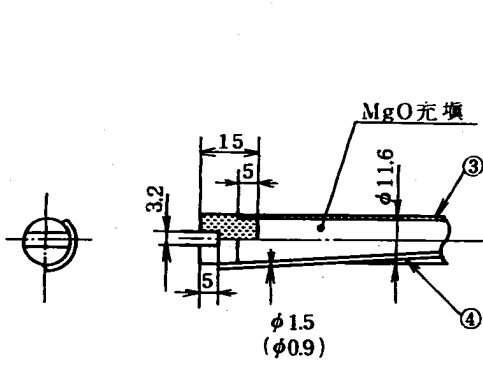
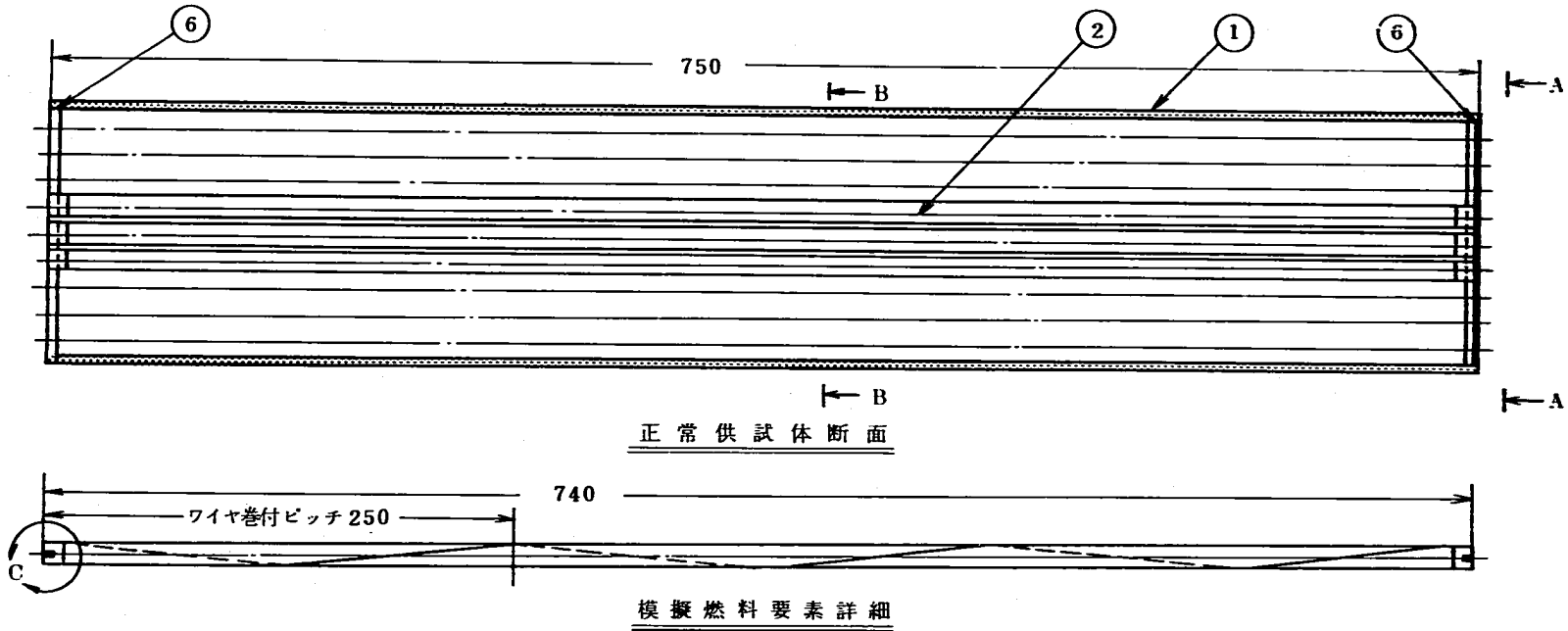


Test bundle<sup>\*1</sup>

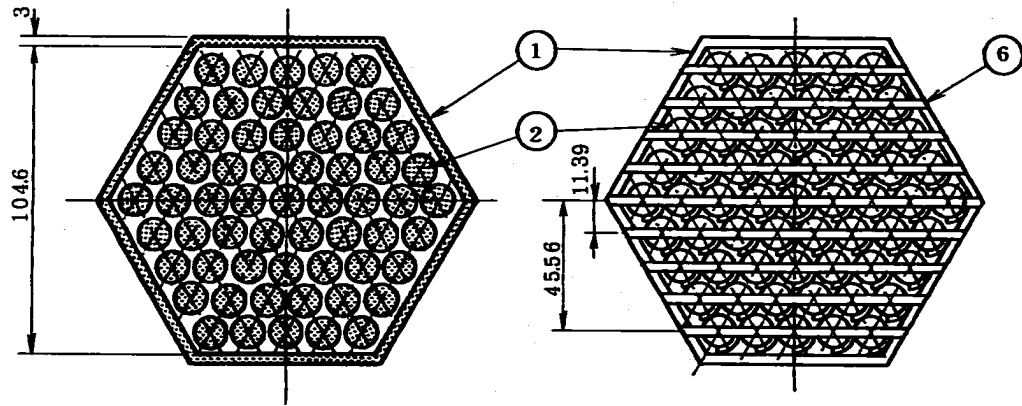
\*1 正常燃料束 ID00は、撮影されてない。

Test section

Fig.3 Test Bundle and Test Section (1/2)



C部詳細



B - B 失視  
(ピン配列図)

A - A 失視  
(ロックバー取付図)

- ① ラッパー管
- ② 模擬燃料要素
- ③ 被覆管
- ④ ワイヤ
- ⑤ 端栓
- ⑥ ノックバー

材質 SUS 316

Fig.3 Test Bundle and Test Section [2/2]

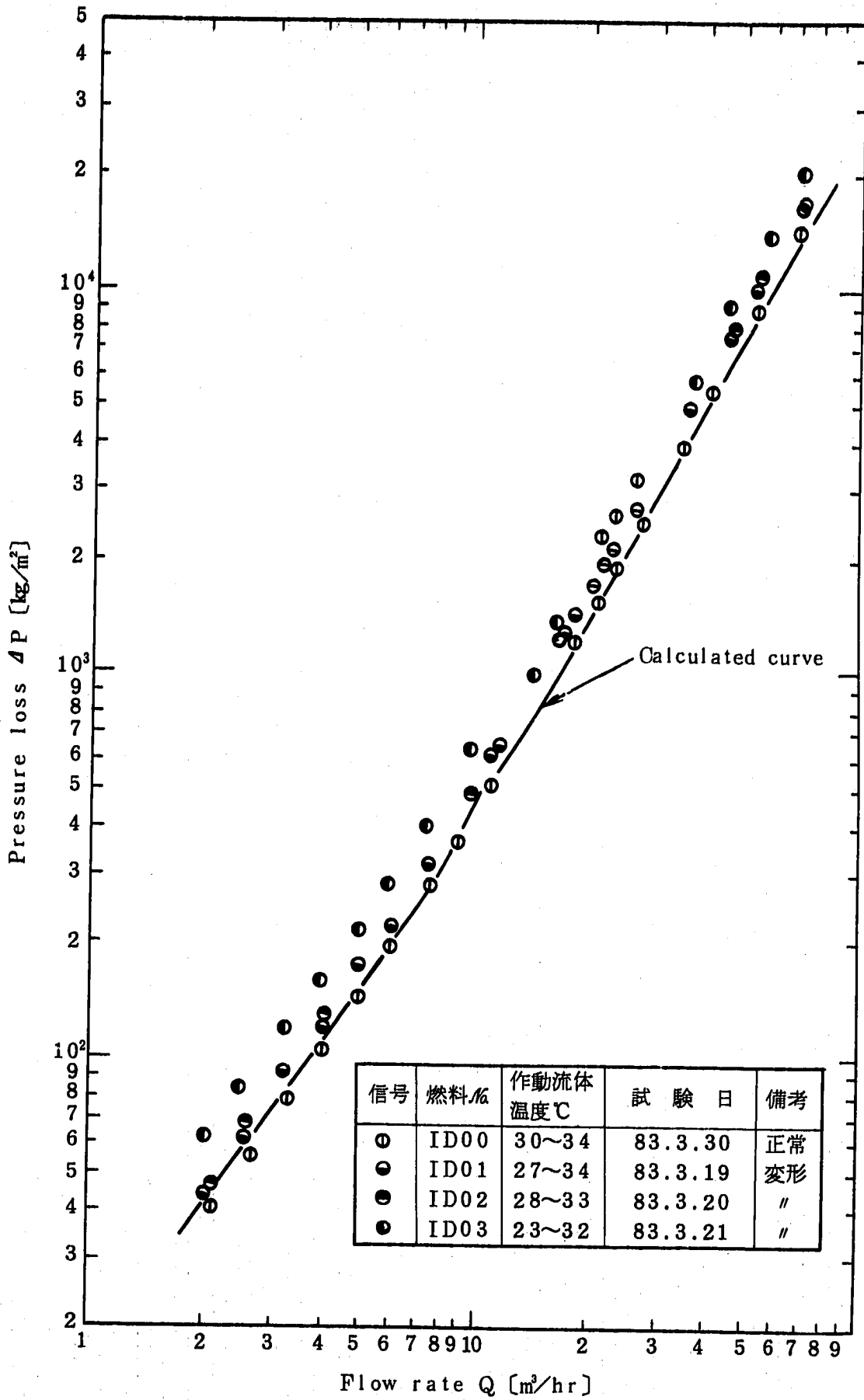


Fig.4 Flow Rate versus Pressure Loss of Deformed Assembly [ $Q$  versus  $\Delta P$ ]



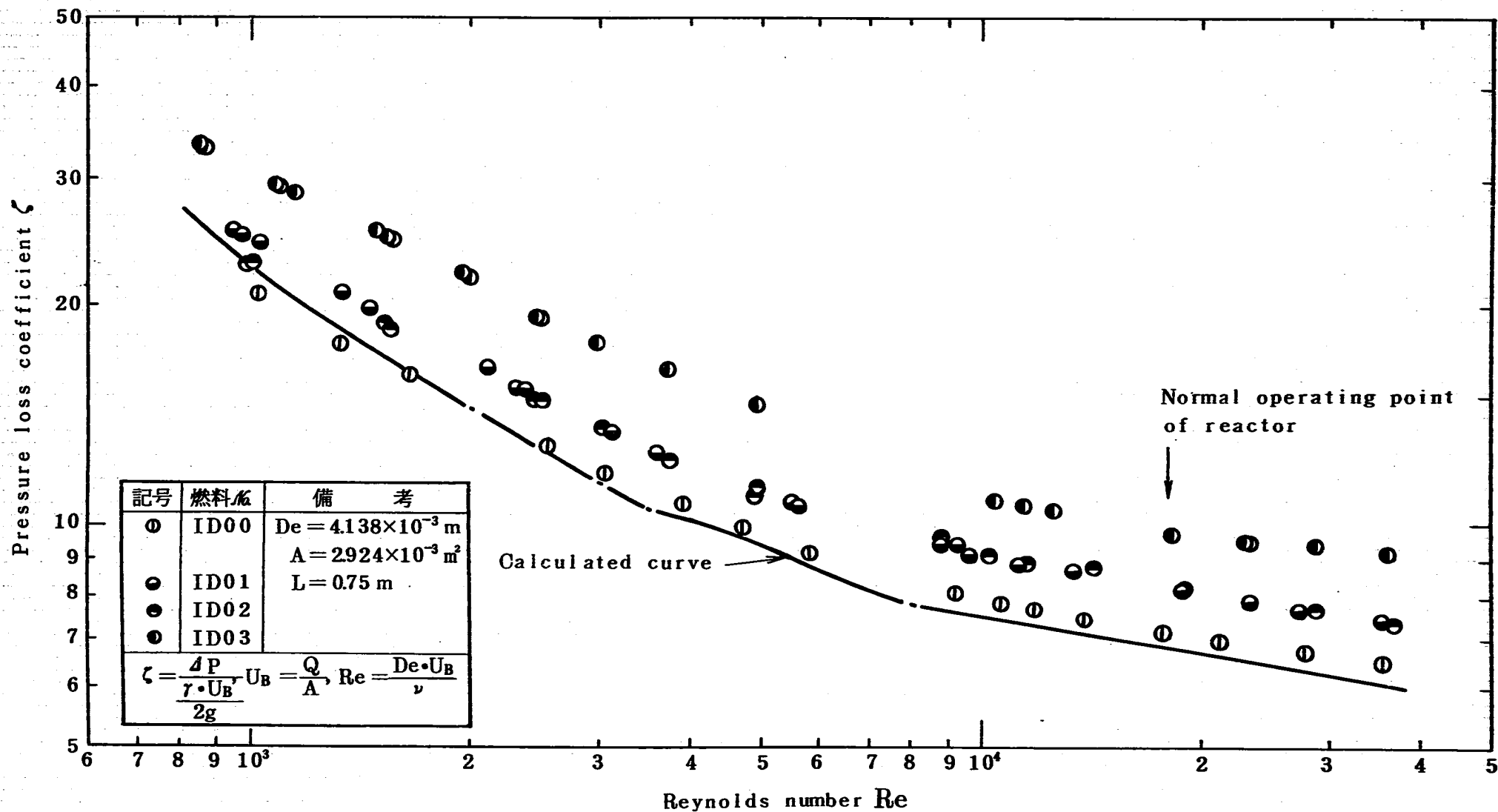


Fig.5 Reynolds Number versus Pressure Loss Coefficient of Deformed Assembly [Re versus  $\zeta$ ]

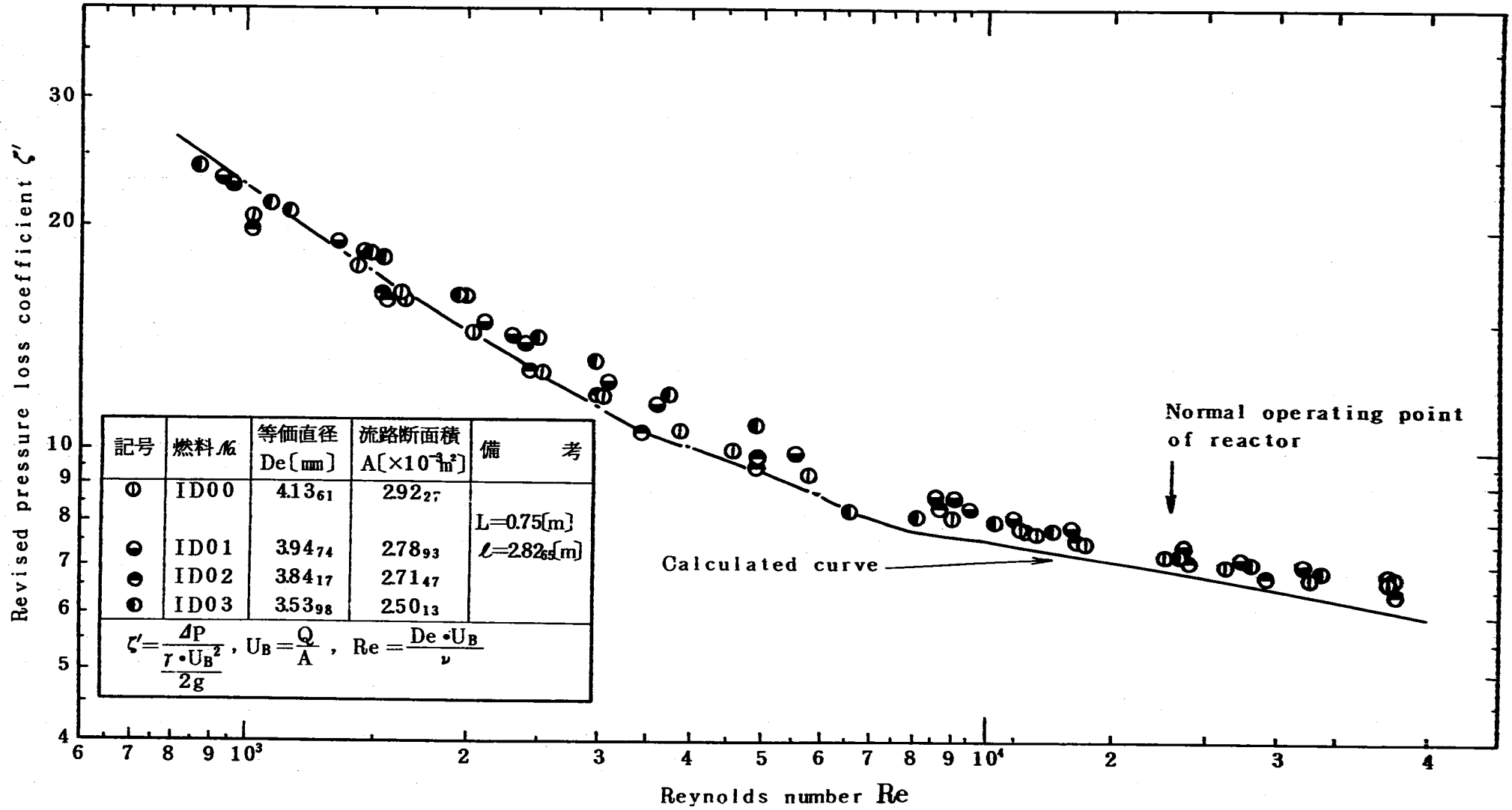


Fig.6 Reynolds Number versus Revised Pressure Loss Coefficient of Deformed Assembly [Re versus ζ']

## 付 録

第3章2節“正常燃料束の圧力損失の試算”で用いた各部分の圧力損失係数について説明する。  
高圧プレナムから燃料束入口への急縮小部については、参考文献(1)のP. 99の圧力損失係数値を用いた。使用した数値をFig. A-1に示す。

燃料束入口より燃料束出口バンドル部については、参考文献(2)で求めた圧力損失係数の実験式を用いた。この実験式をFig. A-2に図示する。

燃料束出口から低圧プレナムへの急拡大部については、参考文献(1)のP. 128の圧力損失係数値を用いた。使用した数値をFig. A-3に示す。

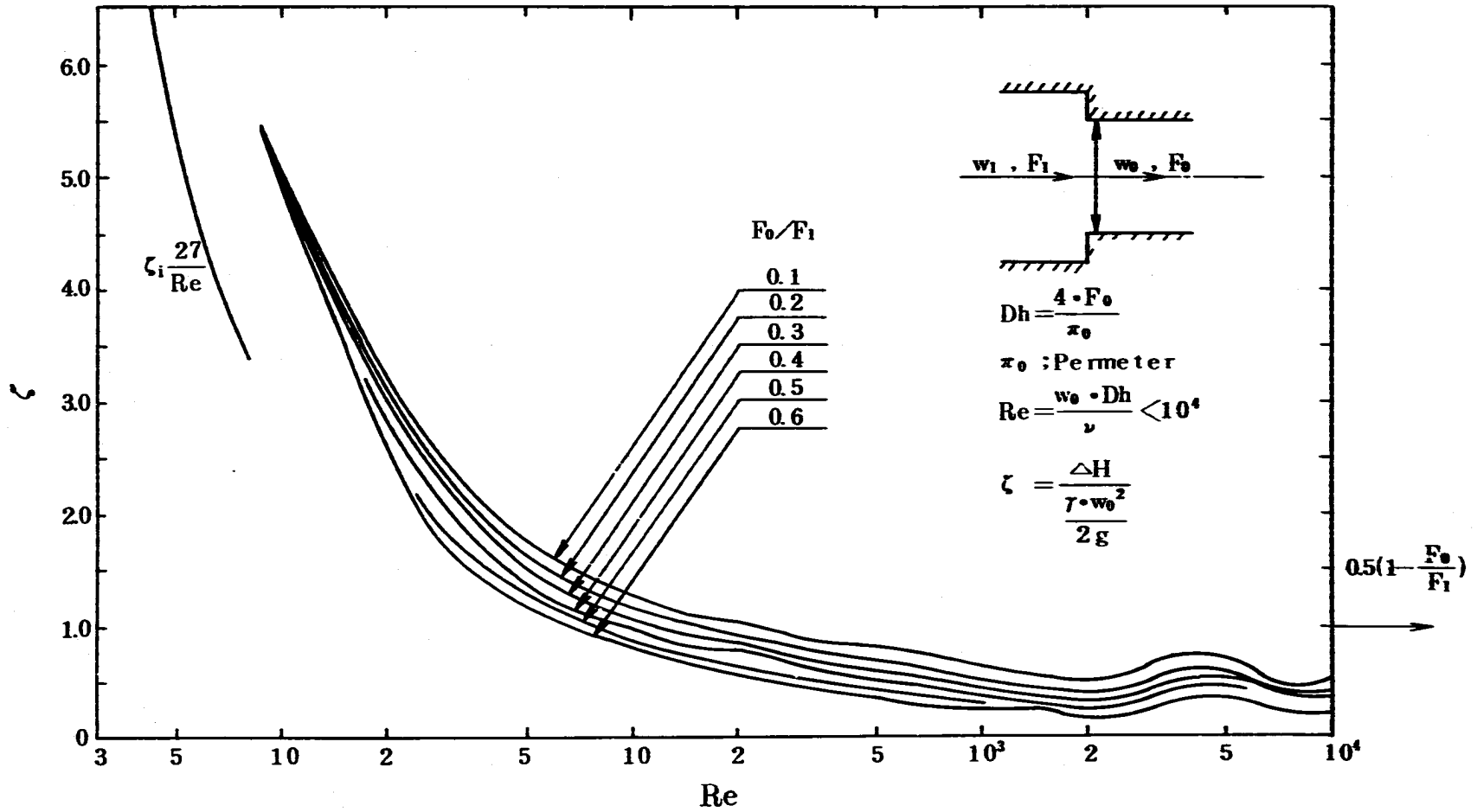


Fig.A-1 Reference Figure Used to Calculate Pressure Loss from High Pressure Plenum to Bundle Inlet[Sudden contraction loss, Reference 1]

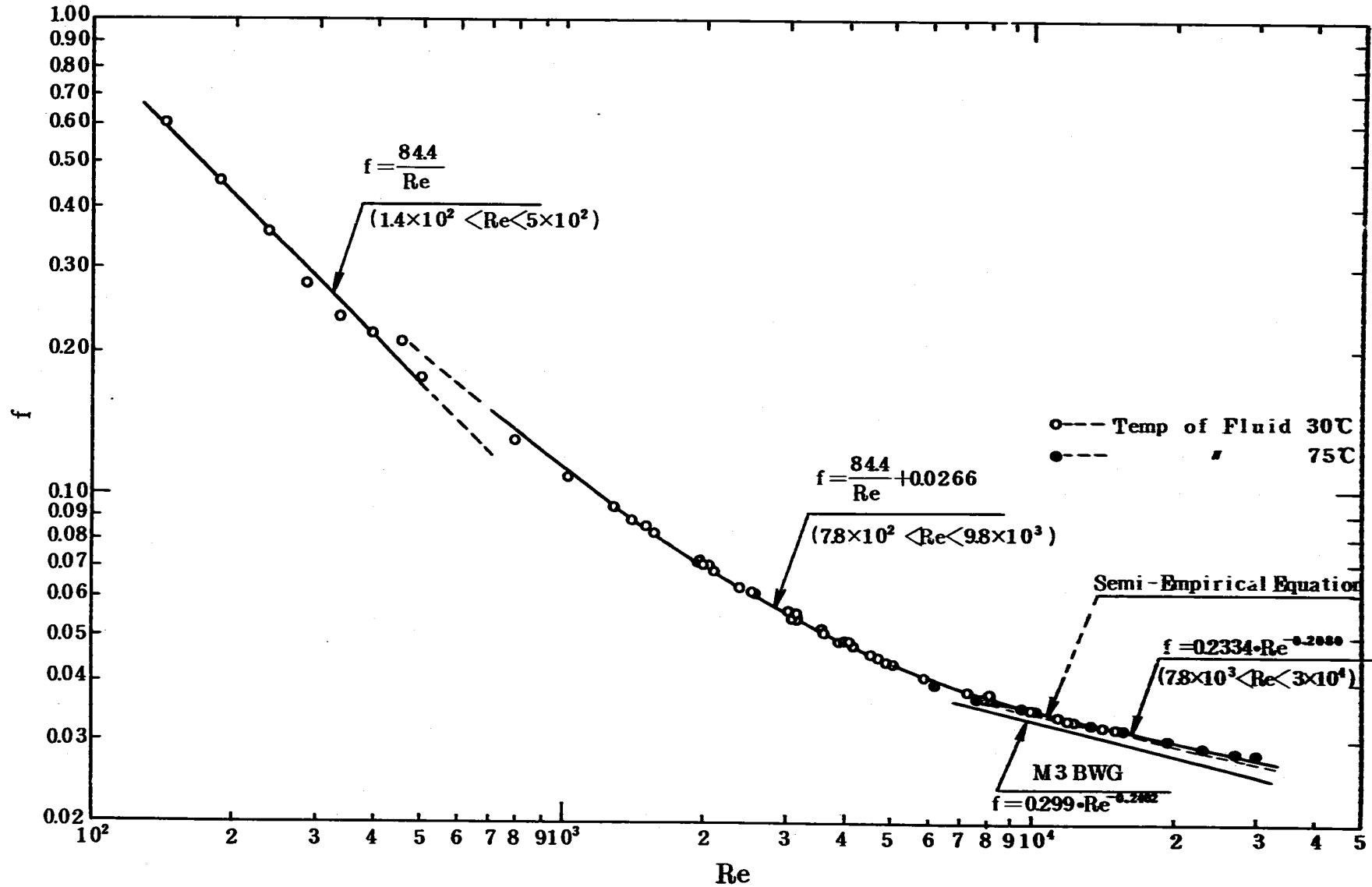


Fig.A-2 Reference Figure Used to Calculate Pressure Loss from Bundle Inlet to Bundle Outlet  
 [Friction loss through bundle part, Reference 2]

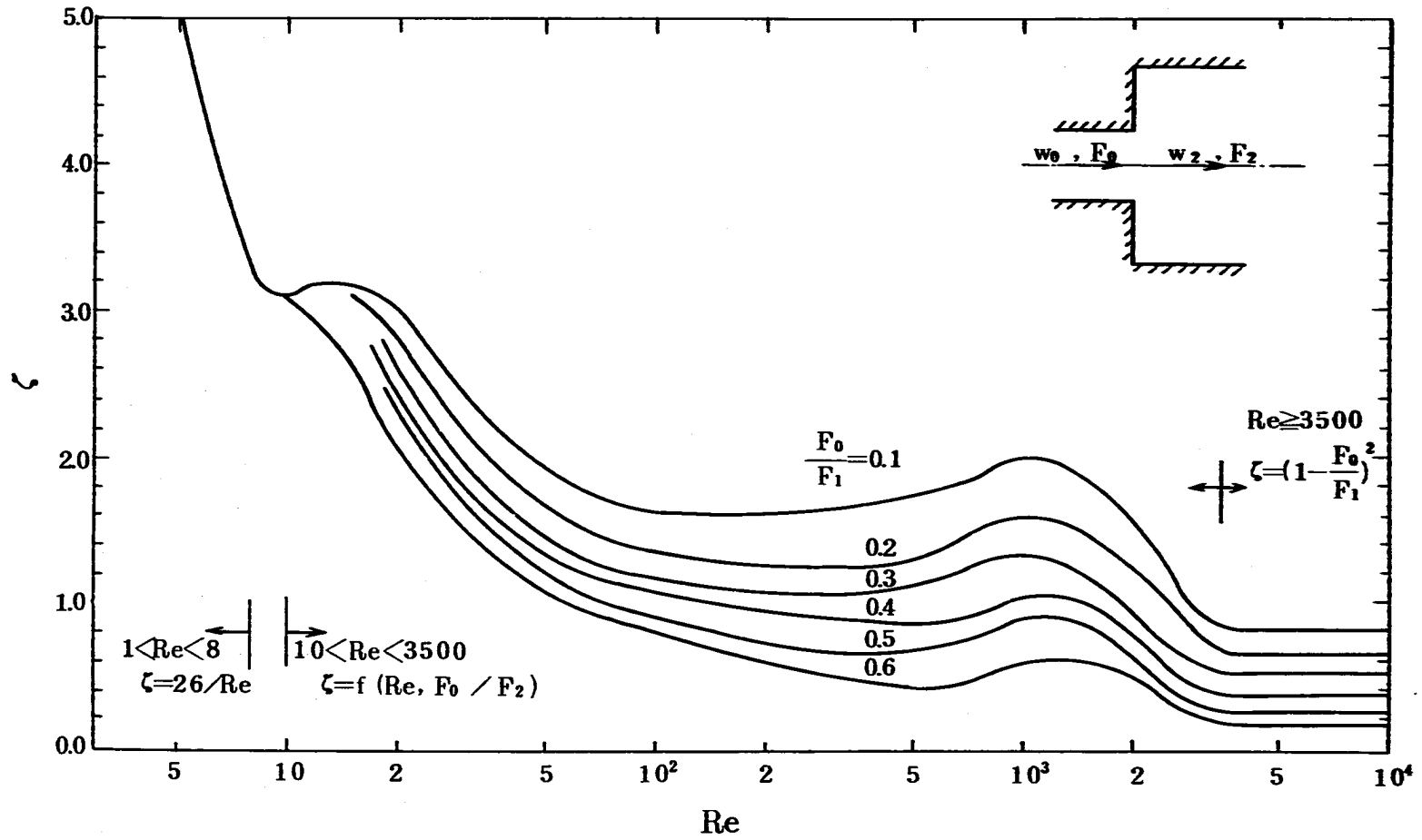


Fig.A-3 Reference Figure Used to Calculate Pressure Loss from Bundle Outlet to Low Pressure Plenum  
 (Sudden expansion loss, Reference 1)