

本資料は 年 月 日付けで登録区分、
変更する。

2001. 7. 31

[技術情報室]

開示制限

AETR-1038

動力炉・核燃料開発事業団殿

高速炉用燃料チャンネル破損検出器の試験研究

そのIII 1000 ℓ/min 燃料チャンネル流量計組込試験

1972年12月

 **富士電機製造株式会社**

この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、限られた範

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

高速炉用燃料チャンネル破損検出器の試験研究

そのⅢ．1000ℓ/min燃料チャンネル流量計組込み試験

燃料集合体出口に設置された炉内流量計の出力信号と，燃料集合体内実流量の対応づけを知るため，7集合体分に相当する炉心出口部を模擬した体系をNa試験容器の中に組込み，差動コイル式流速計及び永久磁石式流量計について，燃料チャンネル閉塞，EPガス注入をシミュレートした試験を行なった。1972年3月に全流量250ℓ/minの試験を行なって報告したが，本報告書はNa試験装置の電磁ポンプを増強し，全流量1000ℓ/minまでの試験を実施した結果について記述するものである。

得られた結果の概略は次の通りである。

- 1) 試験した範囲で，経時特性試験の結果，とくに特性変化はなかった。
- 2) 燃料チャンネル流量閉塞模擬試験：ギャップがますと，周辺からのNa流入によって，閉塞チャンネルの炉上部の流量計，流速計の信号は，燃料集合体の実際値より増加する。もれがないときは，流量比1：1近傍では炉上部の流量変化率は，燃料内の変化率の半分近くである。
- 3) 模擬FPガス注入試験：単発注入の方が連続注入より出力変化は大きい。当該チャンネル炉上部の流量計，流速計も感じる。ギャップが大きくなると周辺にも影響が現われている。

1972年12月

中野秀男
大串幸三
早川茂

本報告書は，富士電機製造株式会社が，動力炉・核燃料開発事業団の委託により行なった研究成果である。

Development of Fuel Failure Detection and Location Systems for LMFBRs

III. Seven Subassembly Tests of In-core Flowmeters at 1000 ltr./min.

Abstract

In-Core permanent magnet flow-through type flowmeters and in-core eddy current probe-type flowsensors were provided in an instrumentation plate above the subassembly outlets.

Simulation experiments, such as fuel channel blockage and FP gas release, on a seven assembly array were performed to correlate the flow rate signals from flowsensors with the actual corresponding values existing in the fuel subassemblies under the conditions of increased axial spacing between the subassembly heads and flowstraighteners.

Results were summarized as follows.

- 1) No sensitivity change was observed after stability tests.
- 2) Under conditions of simulated fuel channel blockage, the flowmeter signals become different from the actual values in the subassembly as the axial spacing increases.
- 3) The flowmeter signals were affected more by a single impulsive gas injection than by a continuous gas injection.

The increase rate of output has linear relations with void fraction.

December, 1972

Hideo NAKANO
Kozo OGUSHI
Shigeru HAYAKAWA

目 次

	ページ
(1) ま え が き	1
(2) 試 験 研 究	3
(3) あ と が き	27
(4) 謝 辞	29
(5) 参 考 文 献	30
(6) 附 録	31

図 表 リ ス ト

1. 図 リ ス ト

〔 図 番 号 〕	〔 名 称 〕	〔 頁 〕
図 1	ナトリウム試験装置フローシート	35
図 2	永久磁石式炉内流量計概略図	36
図 3	渦電流式流速計概略図	37
図 4	模擬7集合体流量計測定装置	38
図 5	配管部永久磁石式炉内流量計(F-9)出力 較正特性	39
図 6	プロセス型電磁流量計(全流量測定用F-1) 出力較正特性	40
図 7	配管部の永久磁石式炉内流量計(F-9)出 力較正特性	41
図 8	配管部の永久磁石式炉内流量計(F-11) 出力較正特性	42
図 9	プロセス型電磁流量計(中央チャンネル流量 測定用F-10)出力較正特性	43
図 10	配管部の渦電流式流速計(①-1)出力較正 特性	44
図 11	燃料頭部模擬部永久磁石式炉内流量計 (F-⑤)出力較正特性	45
図 12	炉上部模擬部永久磁石式炉内流量計(F-②) 出力較正特性	46
図 13	炉上部模擬部渦電流式流速計(F'-②)出力 較正	47
図 14	燃料頭部模擬部永久磁石式炉内流量計(周辺 チャンネル)出力較正特性	48

〔 図 番号 〕	〔 名 称 〕	〔 頁 〕
図 15	炉上部模擬部永久磁石式炉内流量計(周辺チャンネル)出力較正特性	49
図 16	炉上部模擬部渦電流式流速計(周辺チャンネル)出力較正特性	50
図 17	経時特性試験結果	51
図 18	経時特性(出力相対変化)	52
図 19	燃料チャンネル閉塞模擬試験特性-1	53
図 20	燃料チャンネル閉塞模擬試験特性-2	54
図 21	燃料チャンネル閉塞模擬試験特性-3	55
図 22	燃料チャンネル閉塞模擬試験特性-4	56
図 23	計算値と実験値の比較	57
図 24	燃料チャンネル閉塞(中央)計算値	58
図 25	燃料チャンネル閉塞(周辺)計算値	59
図 26	F P ガス注入特性(1集合体)	60
図 27	F P ガス注入特性(7集合体)-1	61
図 28	F P ガス注入特性(7集合体)-2	62
図 29	F P ガス注入特性(7集合体)-3	63
図 30	F P ガス注入特性(7集合体)-4	64
図 31	F P ガス注入特性(7集合体)-5	65
図 32	F P ガス注入特性(7集合体)-6	66
図 33	F P ガス注入特性(7集合体)-7	67
図 34	F P ガス注入特性(7集合体)-8	68
図 35	F P ガス注入特性(7集合体)-9	69
図 36	F P ガス注入特性(7集合体)-10	70
図 37	F P ガス注入特性(7集合体)-11	71
図 38	F P ガス注入特性(7集合体)-12	72
図 39	F P ガス注入特性(7集合体)-13	73

〔 図 番 号 〕	〔 名 称 〕	〔 頁 〕
図 4 0	F P ガス注入特性 (7 集 合 体) - 1 4	7 4

2. 表 リ ス ト

〔 表 番 号 〕	〔 名 称 〕	〔 頁 〕
第 1 表	N a 試 験 装 置 の 概 略 仕 様	3
第 2 表	永 久 磁 石 式 流 量 計 の 主 要 設 計 仕 様	4
第 3 表	渦 電 流 式 流 速 計 の 主 要 設 計 仕 様	5
第 4 表	7 集 合 体 組 込 部 の 主 要 仕 様	6
第 5 表	模 擬 F P ガス注入に対する流量出力反応	7 5

3. 写 真 リ ス ト

〔 写 真 番 号 〕	〔 名 称 〕	〔 頁 〕
写 真 1	模 擬 7 集 合 体 チ ャ ン ネ ル 流 量 測 定 装 置	7 8
写 真 2	F P ガス注入特性 (7 集 合 体) - 1	7 9
写 真 3	F P ガス注入特性 (7 集 合 体) - 2	8 0
写 真 4	F P ガス注入特性 (7 集 合 体) - 3	8 1
写 真 5	F P ガス注入特性 (7 集 合 体) - 4	8 2

[1] ま え が き

高速炉の炉心では、ボイドの発生や溶融による Core Compaction の結果、大きな反応度が投入され、核逸走などの重大な結果を生じる可能性をもっている。このため、これらの事故に至る第1原因として考えられるサブチャンネルの異物による閉塞、bowing などに基くサブチャンネルの狭まり、冷却材流量の減少、ギャップコンダクタンス減少などの局所的な外乱あるいはその結果をできるだけ早期に検出し、事故の拡大伝播を抑制するための保護措置をとることが、安全上から重要である。

これらを検知する手段として、反応度計、Na 沸騰検出器などのバルク検出器、熱電対、流量計、ボイド計、FFDL 圧力検出器などの局所的検出器が、海外、国内の各方面で、活発に開発が進められている。

このうち、永久磁石式流量計、差動コイル式流速計（以下最近の呼び方に従って渦電流式流速計と云う）について、動力炉・核燃料開発事業団より受託し、試作単体性能試験を行なってきた。これらの結果については、1971年3月、1972年3月、1972年12月に報告したところである。

しかし、実際の高速炉への適用を考えた場合、これらの炉内流量計はリードの炉外取出しと燃料交換などとの関連などもあり、燃料集合体出口の計装板に取付けられることに落付かざるを得ないようである。

この場合、流量計の出力信号と、燃料集合体内の実際の流量との対応関係を知ることが、不可欠である。

この目的で、燃料集合体7本分に相当する燃料出口部を模擬した体系をNa試験容器内に組込み、永久磁石式流量計と渦電流式流速計について、燃料チャンネル閉塞、FPガス注入をシミュレートした試験を、全流量250ℓ/minまでについて実施し、1972年3月報告した。

今回は、電磁ポンプを増強して、全流量1000ℓ/minまでの試験を行なった。前回の試験では整流管集合体からの漏洩が少なかったため、

漏れの流体抵抗を増し，極力漏れを少くなるように改造した。

しかし，試験容器内への組込み及び整流管と燃料集合体とのギャップを可変にする関係上での裕度のため，余り期待した改善は得られなかった。

試験結果については，次章以下に議る。

〔 2 〕 試 験 研 究

2.1 試 験 装 置

図 1 に , N a 試 験 装 置 の フ ロ ー シ ー ト を 示 す。

今 回 の 試 験 で は , 増 設 さ れ た 電 磁 ポ ン プ N o 2 (リ ニ ア イ ン タ ク シ ョ ン ポ ン プ 1 0 0 0 ℓ / m i n) を 用 い た。

本 N a 試 験 装 置 の 概 略 仕 様 を 次 に 示 す。

第 1 表 N a 試 験 装 置 の 概 略 仕 様

N a 温 度	max 6 0 0 °C	
N a 循 環 流 量	max 1 0 0 0 ℓ / m i n (N o 2 電 磁 ポ ン プ に よ る)	
N a 循 環 流 量	max 2 5 0 ℓ / m i n (N o 1 ")	
循 環 時 N a 保 有 量	約 1 0 0 0 k g	
平 均 N a 昇 温 速 度	max 6 0 °C / h r	
模 擬 F P ガ ス 連 続 注 入 量	約 1.5 ~ 4 0 N ℓ / m i n	
模 擬 F P ガ ス 連 続 加 熱 温 度	約 3 5 0 °C	
装 置 構 成	1. 試 験 容 器 8 0 0 ∅ × 2 1 0 0 S U S 3 2 × 1	
	2. 電 磁 ポ ン プ N o 1 (A C フ ェ ラ デ ー 型) 2 0 0 ℓ / m i n × 1	
	N o 2 (リ ニ ア イ ン タ ク シ ョ ン 型) 1 0 0 0 ℓ / m i n × 1	
	3. N a 圧 力 計 電 磁 ポ ン プ N o 2 入 口 , 出 口 各 1	
	4. 電 磁 流 量 計	
	全 循 環 流 量 測 定 用	× 1
	中 央 チ ャ ン ネ ル 流 量 測 定 用	× 1
	5. N a 加 熱 器 2 0 K W	× 3
	6. 主 配 管 3 B S c h 1 0 S , S U S 3 2	
	7. F P ガ ス 注 入 系	× 1

8. 流量計試験部

永久磁石式流量計用		× 2
渦電流式流速計用	13.5 ϕ , 10.2 ϕ , 7.6 ϕ 各1	
相関式流速計用		× 1

2.2 被 試 験 体

2.2.1 永久磁石式流量計(単体)

1972年3月の報告書にて報告したものと同じであるが、参考のため再び述べることにする。

概略構造図は、図2に示す。

主な設計仕様は、次に示す通りである。

第2表 永久磁石式流量計の主要概計仕様

型 式	: Flow through type
目標使用温度	: ~ 600 $^{\circ}$ C
使用雰囲気	: Na中
流量測定範囲	: ~ 1000 ℓ /min
取付場所	: 燃料集合体出口部
主要寸法・材質	: フランジ部, 六角, 対向距離 79.3 mm SUS32 マグネット収納部 78.0 O. D. SUS32 流 管 43.0 O. D./40.0 I. D./258, SUS32 永久磁石 68 O. D./50 I. O. \times 100, ALNICO V 磁 極 68 O. D./50 I. D. \times 100, SUYBI リード線 2.3 ϕ Mg O絶縁 シース及び芯線 SUS32
封入ガス	: Ar + He

2.2.2 渦電流式流速計(単体)

本年度は，単体としては，ボビン外径10.2φ，7.6φの，より小型のものを試作し，性能試験を行なったが，これらの仕様試験結果については別の報告書で述べることにする。

ここに云う単体は，1972年3月に報告したもので，図3に概略構造を示す。

主な設計仕様を再述すると，次の通りである。

第3表 渦電流式流速計の主要設計仕様

型式	: Probe-type 渦電流式
使用温度	: ~600℃
使用雰囲気	: Na 中
取付想定場所	: 燃料集合体出口部
コイル数	: 1次コイル×3ヶ，2次コイル×2ヶ
1次コイル励磁電流	: 0.5 A
1次コイル励磁周波数	: 250~350 Hz
主要寸法，材質	: 案内管 17.3O. D/14.9 I. D, SUS32 コイル巻棒 13.5φ×102, SUYB1 1次コイル 1.0φ MgO 絶縁，シース SUS32 芯線 耐熱銅合金線 2次コイル 0.6φ MgO 絶縁，シース SUS32 芯線 耐熱銅合金線 コイル部先端設置 熱電対CA 1.6φ
封入ガス	: 空気，気密形

2.2.3 模擬燃料7集合体チャンネル流量測定装置(組込部)

この装置は，試験容器の内に組込んで，燃料集合体内流量と燃

料出口に設けられた流量計の出力信号との関連を知るために用いられるもので、本質的には1972年3月の報告書に記述したものと同一である。

たゞ、整流管7集合体以外への漏れ流量をできるだけ抑えるために、図4に示すように内筒を追加した。

次に本装置の構成の概要を示す。

第4表 7集合体組込部の主要仕様
装置の構成

1. 燃料頭部模擬部		× 1
永久磁石式流量計	× 3	
同模擬体	× 4	
2. 炉上部模擬部		× 1
a 永久磁石式流量計	× 3	
同模擬体	× 4	
b 渦電流式流速計用案内管	× 7	
3. 燃料頭部，炉上部両模擬部間空隙調節部		× 1
a 気密保持用ベローズ	× 1	
b スケーラ	× 3	
c 保持部	× 1	
空隙調節範囲	0 ~ 160 mm 連続手動	
集合体ピッチ	“常陽” とほぼ同一	

2.3 単体試験

2.3.1 較正試験

1) 試験方法

容積法により，配管上の永久磁石式流量計 F-9 を，Na 温度 300℃ から 540℃ の範囲で絶対較正した。

結果を図 5 に示す。なお，図 5 では 30 ℓ/min の絶対較正で得られたデータを，流量と出力電圧が実験の範囲で比例関係にあることを利用して，100 ℓ/min における出力電圧に換算して示してある。

この永久磁石式流量計 F-9，F-11，電磁流量計 F-1 により，ブートストラップ法を用いて，これらを約 1000 ℓ/min まで較正した。

他の流量計は，電磁流量計 F-1 との比較較正を行なった。

a 較正対象

i 配管上 流量計

電磁流量計	(F-10)	× 1
永久磁石式流量計	(F-9, 11)	× 1
渦電流式流速計	(①-1)	× 1

ii 試験容器内中央チャンネル流量計

永久磁石式流量計	燃料頭部模擬部	× 1
	(F-⑤)	
	炉上部模擬部	× 1
	(F-②)	
渦電流式流速計	(F'-②)	× 1

iii 試験容器内周辺チャンネル流量計

永久磁石式流量計	燃料頭部模擬部	× 2
	(F-④, ⑥)	

炉上部模擬部 × 2

(F - ① , ③)

渦電流式流速計 (F' - ① , F' - ③) × 2

b. 較正方法

i 試験容器中央チャンネル流量計

燃料頭部模擬部と炉上部模擬部（以下模擬部という言葉は略す）の空隙を 0 mm とし，図 1 の V - 3 を完全に締切り周辺チャンネルの流量を 0 にした状態で，中央チャンネルのみ流量を流して較正した。

ii 配管上流量計

i と同じ

iii 試験容器内周辺チャンネル流量計

空隙 0 mm とし，全流量を 1000 ℓ / min 一定として，中央： 周辺の流量比を変えて，組込み試験での流量範囲内についてのみ較正した。

但し，周辺 6 集合体への流量配分は均一と仮定し，

$$\text{周辺 1 集合体流量} = \frac{1}{6} \left(\text{全流量} - \text{中央チャンネル流量} \right)$$

F - 1 F - 10

と算出した。

c. 試験条件

i Na 温度 350 °C , 500 °C

ii Na 流量 0 ~ 1000 ℓ / min の計 5 点

2) 試験結果

試験結果を，図 5 から図 16 に示す。

図 5 は，永久磁石式流量計 F - 9 の感度の温度依存性を示す。

図 6 , 9 は，電磁流量計 F - 1 , F - 10 の出力直線性

図 7 , 8 は , 永久磁石式流量計 F - 1 1 の出力直線性

図 1 0 は , 渦電流式流量計 ㊦ - 1 の出力直線性

を , それぞれ示す。これらは , 何れも , N a 試験装置の配管上にとりつけられた流量計である。

なお , 図 1 0 は , N a 流量 0 時の不平衡電圧も含んだ直流出力電圧である。

これらの結果によると ,

1. 配管上に設けられた流量計は , 電磁流量計 , 永久磁石式流量計 , 渦電流式流速計の何れも , 流量対出力特性は直線性良好である。
2. 電磁流量計 , 渦電流式流速計の何れも 3 5 0 °C , 5 0 0 °C の温度における出力特性には差がない。

図 1 1 , 図 1 4 に , 燃料頭部模擬部内の中央 (F - ㊥) , および周辺 (F - ㊤ , F - ㊦) に設けた永久磁石式流量計の取付け位置での較正結果を示す。

この結果によると ,

1. 常温 (1 7 . 5 °C) にて測定した , 永久磁石式流量計管軸中心上での磁束密度のデータと , 今回の流量対出力感度の試験結果との直接的な関係は , 余りないようである。

流量計	磁束密度 (1 7 . 5 °C)		出力信号 (5 0 0 °C)	
	絶対値(G)	相対値	絶対値 (mV)	相対値
F - ㊤	5 3 5	1 0 6	2. 7 5	1 1 0
F - ㊥	5 1 5	1 0 2	2. 7 5	1 1 0
F - ㊦	5 0 5	1 0 0	2. 5 0	1 0 0

この差異は、1つは、このような配置に於ては流量計内の磁束密度空間分布は不均一で、管軸中心上の1点で代表させ難いこと、今1つは、周辺同志には各集合体への流量配分は均一であるとの仮定の精度に起因すると思われる。

図12, 15は炉上部模擬部内中央(F-②), 周辺(F-①, F-③)に設けた永久磁石式流量計の出力特性を示す。

また、図13, 16は、同じ位置の渦電流式流速計の出力特性を示す。

この結果によると、

1. 中央と周辺では、取付け位置での較正結果の出力の温度依存性は、逆転している。

周辺に於ては、永久磁石式流量計(F-①, F-③)も、渦電流式流速計(F'-①, F'-③)も、同一体積流量に対する出力電圧は、500°Cに於ての方が350°Cに於ける値より大きい。これは単体の特性と矛盾している。

このような現象は、次のように、温度によるギャップ変化に基づく漏洩流量に主として起因すると思われる。

- a. 体積流量Q, 温度Tに対する流量計出力電圧をEとし、その函数関係をfとすると、 $E = f(Q, T)$

基準流量 Q_0 , 基準温度 T_0 の囲わりにテール展開して、2次以上の項を無視すると、近似的に

$$E = f(Q_0, T_0) + \left. \frac{\partial f}{\partial Q} \right|_{Q_0, T_0} \cdot (Q - Q_0) + \left. \frac{\partial f}{\partial T} \right|_{Q_0, T_0} (T - T_0)$$

- b. 単体特性を考えた場合、

永久磁石式流量計では $\left. \frac{\partial f}{\partial Q} \right|_{Q_0, T_0} > 0$, $\left. \frac{\partial f}{\partial T} \right|_{Q_0, T_0} < 0$

渦電流式流速計では、最適励磁周波数近傍では

$$\left. \frac{\partial f}{\partial Q} \right\}_{Q_0, T_0} > 0, \quad \left. \frac{\partial T}{\partial T} \right\}_{Q_0, T_0} \doteq 0$$

である。

c. 7集合体試験の場合、中心集合体の囲わりの軸対称を仮定し、各部の実流量を次のように表わすと、

流 量 \ 場 所	燃料集合体模擬部内	炉上部模擬部内	空 隙
中 央	Q_c	$Q_{c'}$	—
周 辺	Q_p	$Q_{p'}$	—
中央→周辺のもれ	—	—	Q_{cp}
周辺→外部のもれ	—	—	Q_l

$$Q_{c'} = Q_c - 6 Q_{cp}(T) \doteq Q_c - 6 \left. \frac{\partial Q_{cp}}{\partial T} \right\}_{T_0} \cdot (T - T_0)$$

$$Q_{p'} = Q_p + Q_{cp}(T) - Q_l(T) \doteq Q_p + \left(\left. \frac{\partial Q_{cp}}{\partial T} \right\}_{T_0} - \left. \frac{\partial Q_l}{\partial T} \right\}_{T_0} \right) (T - T_0)$$

従って、燃料集合体模擬部内の体積流量を一定にしておいた場合の、炉上部模擬部内の流量計出力信号は、近似的に中央で

$$E_{c'} \doteq f(Q_c, T_0) + \left\{ \left. \frac{\partial f}{\partial T} \right\}_{Q_c, T_0} - 6 \left. \frac{\partial f}{\partial Q} \right\}_{Q_c, T_0} \cdot \left. \frac{\partial Q_{cp}}{\partial T} \right\}_{T_0} \right\} \cdot (T - T_0)$$

$$\text{周辺で} \quad E_{p'} \doteq f(Q_p, T_0) + \left\{ \left. \frac{\partial f}{\partial T} \right\}_{Q_p, T_0} + \left. \frac{\partial f}{\partial Q} \right\}_{Q_p, T_0} \cdot \left(\left. \frac{\partial Q_{cp}}{\partial T} \right\}_{T_0} - \left. \frac{\partial Q_l}{\partial T} \right\}_{T_0} \right) \right\} \cdot (T - T_0)$$

$$\text{もし, } \left. \frac{\partial f}{\partial T} \right\}_{Q_c, T_0} < 6 \left. \frac{\partial f}{\partial Q} \right\}_{Q_c, T_0} \cdot \left. \frac{\partial Q_{cp}}{\partial T} \right\}_{T_0}$$

$$\text{かつ, } \left. \frac{\partial f}{\partial T} \right\}_{Q_p, T_0} > \left. \frac{\partial f}{\partial Q} \right\}_{Q_p, T_0} \cdot \left(\left. \frac{\partial Q_{\ell}}{\partial T} \right\}_{T_0} - \left. \frac{\partial Q_{cp}}{\partial T} \right\}_{T_0} \right)$$

ならば，中央の炉上部模擬部流量計出力 E' は，温度とともに減少し，周辺の出力量 E_p は，温度とともに増加する。

このようなことは温度上昇と共に，ギャップが 0 mm でなくなり，中央から周辺へのもれが増し，かつ，その増し方が，周辺から外部へのもれの増し方より大きければ，起りうるものである。

ii 永久磁石式流量計に比して，渦電流式流速計の方が，温度変化が大きいが，これは次のようなことに起因すると思われる。

a. 温度上昇とともにギャップが 0 mm でなくなり，炉上部模擬部内流速分布が変化する。

永久磁石式流量計は，流量又は平均流速に出力が依存し，渦電流式流速計は，局所流速に出力が依存する。従って，流量の変化は大きくなくても流速分布が変化すれば，後者の出力変化は大きくなる。

b. 渦電流式流速計の不平衡電圧の温度依存性による。

など。

iii 炉上部模擬部の永久磁石式流量計および渦電流式流速計の出力特性は，前年度に比して，非直線性が小さくなっている。

これは，7 集合体からの漏洩を低減したことと無関係でないと思われる。

iv 炉上部模擬部内渦電流式流速計 ($F'-①$ ， $F'-②$ ， $F'-③$) は，配管上の渦電流式流速計に比し，同一体積流量に対する出力は著しく大きく，流速計単体の個体差のみでは説明つかない。

これは，本試験装置の構造上，炉上部模擬部内渦電流式流速計の

取付位置に於ける流速が，むしろ永久磁石式流量計内平均流速に近い
ためと思われる（次表参照）。

350°C，1000ℓ/minに於ける渦電流式流速計感度比

流量計	出力温度		平均流速			
	絶対値 (mV)	相対値	流速 (m/s)	相対値	流速 (m/s)	相対値
F'-②	0.635 mV	2.9	(整流管内) 0.368	1.14	(永久磁石内) 1.33	4.12
ⓕ-1	0.219 mV	1	0.322	1	0.322	1

2.3.2 経時特性試験

1) 試験対象

a. 試験容器内中央チャンネル流量計

永久磁石式流量計 燃料頭部 F-⑤

炉上部 F-②

渦電流式流速計 F'-②

b. 配管上

永久磁石式流量計 F-9

渦電流式流速計 ⓕ-1

2) 試験方法

予め絶対校正した電磁流量計を基準にして，今回の試験研究の開始直前，
中間時点に校正した。

経時特性試験期間中のNa試験装置の運転履歴は，図17の通りである。

3) 校正条件

a. Na温度 約350°C

b. Na流量 0~1000ℓ/minの間 計3点

4) 試験結果

実験誤差の範囲を超えた変化は認められなかった。（図17，
図18参照）

5) 結果の検討

本格的な経時特性は，十分長期の試験が必要で今後期待した
い。ただ渦電流式流速計の場合案内管内への流速計の設置のしか

たが与える幾何学的対称性実現の再現性によって変わるファクタの方が大きいようである。

2.4 組込み試験

2.4.1 燃料チャンネル閉塞模擬試験

中央集合体と周辺1集合体の内部の流量比（以下簡単のために単に流量比と云う）を変えたとき，炉上部と燃料頭部とのギャップが炉上部にとりつけた流量計，流速計に与える影響をしらべるための静的な試験が行なわれた。

1) 試験対象

a. 炉上部模擬部取付けの永久磁石式流量計 3ヶ

F-①，F-②，F-③

b. 炉上部模擬部内取付けの渦電流式流速計 3ヶ

F'-①，F'-②，F'-③

2) 試験条件

概略下記の通りである。

a. Na温度 : 約500℃ 一定

b. 全循環Na流量 : 1000ℓ/min 一定

c. 流量比(中央:周辺) 1:1, $\frac{2}{3}$:1, $\frac{1}{3}$:1

d. 炉上部模擬部と燃料頭部模擬部との対向距離

0, 50, 100, 150 mm

e. 渦電流式流速計励磁電流，周波数

0.5 A, 350 Hz 一定

但し，周辺1集合体流量は，6本の周辺集合体の各々に等分に流量配分が行なわれると仮定し，

燃料頭部での周辺1集合体流量

$$= \frac{1}{6} \left[\begin{array}{cc} \text{全流量} & - \text{中央チャンネル流量} \\ F-1 & F-10 \end{array} \right]$$

とした。

3) 試験結果

中央チャンネルの永久磁石式流量計，渦電流式流速計の出力測定の結果を図19，図20に示す。

周辺チャンネルの永久磁石式流量計，渦電流式流速計の出力測定結果を図21，図22に示す。

試験結果を要約すると次の通りである。

a. 永久磁石式流量計も渦電流式流速計も同様の傾向を示す。

(図19-a , 図20-a) (図21-a , 図22-a)

(図21-b , 図22-b)

すなわち，全流量一定で，流量比（中央：周辺）を小さくすると，整流管内で測定した永久磁石式流量計，渦電流式流速計の出力は，

中央で，小さくなる

周辺で，大きくなる

ギャップが小さい場合，整流管内での計測は，燃料集合体の現象に傾向として忠実である。

b. 流量比が小さい場合，ギャップが大きくなると，周辺集合体より中央整流管への流れ込みが見られる。

(図19-b , 図20-b)

c. 炉上部内の永久磁石式流量計，渦電流式流速計の信号から，ギャップが0でない場合，

Σ 渦電流式流速計出力 < Σ 永久磁石式流量計出力 < 全流量

中央 + 6 × 周辺

中央 + 6 × 周辺

d. 永久磁石式流量計，渦電流式流速計の出力は，流量比1の場合，ギャップ長と共にほぼリニアに減少している。

e. 即ち 250 l/min での試験と全く同様のことが確認された。

4) 結果の検討

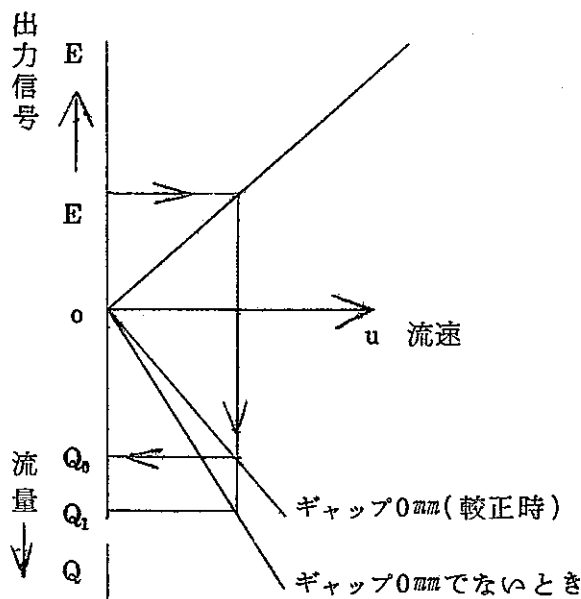
a. 3) - c. のような結果が生じるのは

イ) 整流管7集合体以外への漏れ流量の存在

ロ) ギャップがあいた場合の流速分布の変化による見掛の流量減少などが考えられる。

永久磁石式流量計の出力の減少は，中央，周辺ともに同様の比率であり，局所的流速による見かけの変化でなく漏れ流量が実際にあると思われる。

渦電流式流速計の出力と体積流量の関係は，ギャップが 0 mm でない場合，渦電流式流速計の近傍の流速分布が，助走区間不足のため十分発達した流れとならず，ギャップ 0 mm の場合の流速分布と変化するため，下図のようなことが起っていると思われる。



すなわち，ギャップ 0 mm でないとき，渦電流式流速計の出力信号 E に対応する流量は， Q_0 でなく Q_1 であるべきであるが，校正曲線からは Q_0 しか求まらない。一方，永久磁石式流量計は，平均流速もしくは体積流量と関係しているので，その出力から逆算した流量は Q_1 を示すことになる。

渦電流式流速計は，流速分布に Sensitive なので，このようなことが生じる。

実際の Na 冷却型高速炉へ渦電流式流速計をとりつける場合出力信号の絶対値から燃料集合体流量の定量的評価を目的とするならば次のようなことを考慮する必要がある。

単体試験の結果から，流速計 i の出力 E_i は，不平衡電圧補償後は流速計の近傍の Na 流速 U に比例すると考えうるので $E_i = k_i U$ (k_i : 単体較正で得られる値)

流速計 i の取付位置での流速 U と流速 Q の関係は $Q = k_i U$ 流速計が計装されていない部分 (ブランク燃料，制御棒チャンネル，試験孔，その他の漏れ) の全流量 $\sum Q_{MISC}$ 全流量 Q_T とすると，

$$\sum_i \frac{k_i E_i}{k_i} + \sum Q_{MISC} = Q_T$$

計装された S/A の流速と流量の関係は S/A によらず一定と仮定する。すなわち， $k_i = k (i=1, 2, 3)$

とすると
$$k = \frac{Q_T - \sum Q_{MISC}}{\sum_i \frac{E_i}{k_i}}$$

従って， i の流量は，

$$Q = k \frac{E_i}{k_i} = (Q_T - \sum Q_{MISC}) \frac{\frac{E_i}{k_i}}{\sum_i \frac{E_i}{k_i}}$$

すなわち，各 S/A の流量 Q の計測の精度は，

- a. 全流量，非計装部分の流量評価精度 Q_T ， $\sum Q_{MISC}$
- b. 計装 S/A の流量と流速の関係が，S/A によらず，一定 ($k_i = \text{const}$) という仮定の妥当性

によってきまる。

とくに，後者は，燃焼度の進んだ炉心における Swelling, bowing などによる燃料頭部の不整や，燃料集合体内流量の

バラツキの影響を確認しておく必要がある。

b. もれがない場合の推測

i 本年度の試験では，もれ流量を極力抑制するような対策を講じたが，それでも，ギャップ 0 mm でない場合，永久磁石式流量計の出力を信じるとすると，例えばギャップ 100 mm ，流量比 $1:1$ の条件に於ては，整流管7集合体を流れる $N a$ 流量は，中央， $114\ell/\text{min}$ ，周辺 ($120 + 118\ell/\text{min}$) $\times 3$ ，計 $828\ell/\text{min}$ で， $1000\ell/\text{min}$ のうちの約 17% が整流管7集合体外へ漏れていることになる。

ii この7集合体試験時の流量配分を説明するために，附録に示すような1.三次元，2.集中定数系，3.軸対称，4.静的なモデルを考える。

このモデルによる計算結果と実験値（永久磁石式流量計）の比較を，ギャップ 0 mm の場合について図24に示す。

この結果から，流量比が $1:1$ に近い場合には，このような簡単なモデルでも十分説明つくことが分る。

iii たゞ，7集合体でのモデルで，もれを0と仮定すると，整流管出口の流体抵抗が中央と周辺で異なると仮定しているため，一般の場合を得るには不都合を生じる。

例えば，燃料集合体内流量比 $1:1$ でも，整流管内流量比は $1:1$ でなく，中央：周辺 = $0.82:1.03$ となる。

iv 7集合体より大きな体系では，整流管出口における流体抵抗は，すべて等しいと仮定する方が妥当であろう。

このような体系では，少くとも静的なモデルでは，全流量は体系内の全燃料である N 集合体 ($N > 7$) 間で保存・再配分されることになろうが，閉塞の初期では，閉塞燃料集合体のごく周辺にのみ外乱が限定されている可能性もある。

V 従って、ここでは控え目に、閉塞集合体を含む7集合体に全流量が保存されると仮定し、かつ整流管出口流体抵抗が等しいと仮定して近似計算をすると、整流管内流量と流量比の関係は、図25、26に示す。図中 $\frac{R_{cp}}{R_s}$ の大きいことは、整流管・燃料頭部間ギャップの小さいことを示す。

この計算結果では、実際の場合の $\frac{R_{cp}}{R_s}$ の値が分からないので、パラメトリックに示すが、流量比が余り小さくない場合大体の傾向を示すと思われるが、これによると流量比が1:1の近傍では $\frac{R_{cp}}{R_s}$ の値に余り関係なく、整流管内流量比は0.5程度である。すなわち、集合体内流量変化10%（これは、文献3によると、オリフィス型の閉塞では約54%の流路変化に相当するが）を検出するには、5%以下の流量変化に対して、十分な感度をもつ必要がある。

2.4.2 模擬FPガス注入試験

1) 試験方法

試験は1集合体試験と7集合体試験を行なった。

FPガスの注入は、図1のフローシートの空気作動弁V-24を遠隔操作して、中央チャンネルへ行なった。FPガスの注入流量は、注入Arガス流量計の現場指示計を見ながら、流調弁によって概略値に調節した。

最終的には、ボイド率 β は、ガス流量指示値を温圧補正し

$$\frac{1}{\beta} = \frac{Na \text{ 流量}}{\text{ガス流量}} + 1$$

と定義して用いた。

単発注入は、空気作動弁操作用電磁弁の短時間開閉（閉→部分開→閉0.1sec）操作して行なった。

このときガス流量レコーダには，ガス流量の変化としてあらわれていない。単発注入についてのボイド率は，連続注入における同一ボイド率となるガス回路流体抵抗という意味で，実際のボイド率を示さない。

2) 試験対象

- a. 炉上部取付 永久磁石式流量計 F-①, F-②, F-③
渦電流式流速計 F'-①, F'-②, F'-③

3) 試験条件

概略次の通りである。

a. 1 集合体試験

- i アルゴンガス注入量 単発注入
連続注入 2~15Nℓ/min
- ii 注入ガス温度 約 350℃
- iii Na 温度 約 350℃
- iv Na 流量 1000ℓ/min 一定
- v 炉上部，燃料頭部間ギャップ 0 mm
- vi 流量比 (中央：周辺) 1 : 0
- vii 渦電流式流速計励磁電流，周波数
0.5 A，350 Hz 一定

b. 7 集合体試験

- i アルゴンガス注入量 単発注入
連続注入 2~15Nℓ/min
- ii 注入ガス温度 約 350℃
- iii Na 温度 350℃
- iv Na 流量 1000ℓ/min 一定
- v 炉上部—燃料頭部間ギャップ 50, 100, 150 mm
- vi 流量比 $1 : 1, \frac{2}{3} : 1, \frac{1}{3} : 1$
- vii 渦電流式流速計励磁電流，周波数
0.5 A，350 Hz 一定

4) 試験結果

図 27 に単発注入時の渦電流式流速計の 1 集合体試験結果を示す。

図 28 ~ 31 に、7 集合体試験における、単発注入時の渦電流式流速計の出力変化（流量換算値）を、また図 32 ~ 33 に同じ条件での試験の永久磁石式流量計の挙動を示す。

図 34 ~ 37 に、7 集合体試験における連続注入時の渦電流式流速計の出力変化（流量換算値）を、また図 38 ~ 41 に永久磁石式流量計の挙動を示す。

写真 2 ~ 3 に 7 集合体試験、単発注入時のビジオシロを、写真 4 ~ 5 に単発注入、連続注入時の多ペンレコーダの記録をそれぞれに示す。

なお、図 28 ~ 33 において、注入後出力の測定点に示した数値、1、2、3、4 は、第 1 回目、第 2 回目、第 3 回目、第 4 回目の単発注入時のデータを、それぞれ示し、これらの間隔は、第 1 回 - 第 2 回間 10 sec、第 2 回 - 第 3 回間、第 3 回 - 第 4 回間は何れも 3 sec である。

図 34 ~ 41 において、注入後の出力は、出力にゆらぎのある場合平均値を示す。また出力ゆらぎは Peak to peak 値を示す。

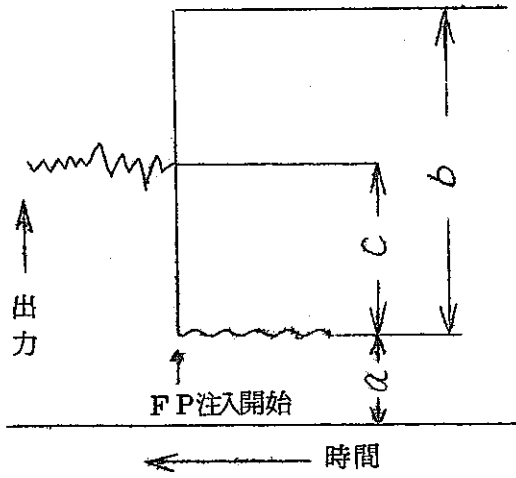
第 5 表に、FP ガス注入時の、炉上部模擬部に設置した渦電流式流速計 F' - ①、F' - ②、F' - ③および永久磁石式流量計 F - ①、F - ②、F - ③の定性的な応答を示す。

表中の記号については、次頁以降を参照されたい。

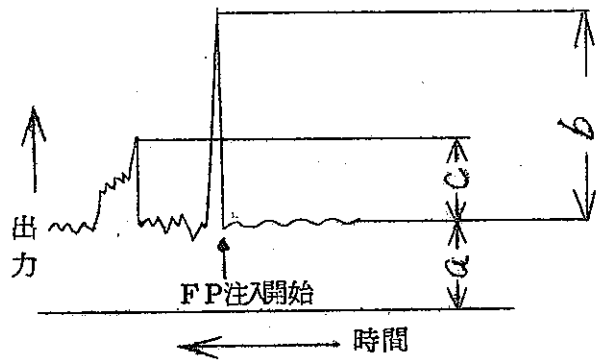
1. 出力反応を表わす記号 (表中の記号)

(1) 渦電流式流速計の場合

中央チャンネル (F'-②)

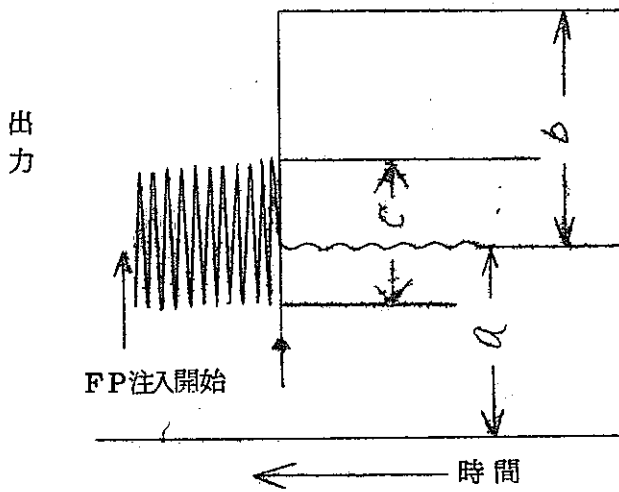


周辺チャンネル (F'-①, F'-③)

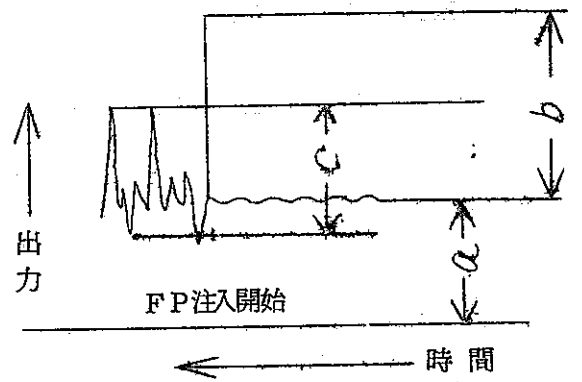


(2) 永久磁石式流量計の場合

中央チャンネル (F-②)



周辺チャンネル (F'-①, F'-③)



(3) 記号

(1), (2)の出力の変化値

$$\frac{b}{a} \quad (\text{注入直後}), \quad \frac{c}{a} \quad (\text{注入中})$$

0 の場合	O
0 ~ 0.5 の場合	A
0.5 ~ 1.0 の場合	B
1.0 ~ 2.0 の場合	C
2.0 以上の場合	D

2. ボイド率の定義

$$\frac{\text{FPガス流量(体積)}}{\text{燃料頭部中央チャンネルナトリウム流量} + \text{FPガス流量(体積)}} \times 100$$

3. 流量比

$$\frac{\text{燃料頭部中央チャンネル流量}}{\text{燃料頭部単位周辺チャンネル流量}}$$

4. ギャップ

炉上部模擬部と燃料頭部模擬部との対向距離

5. 試験条件

全ナトリウム流量	1000 ℓ/min 一定
ナトリウム温度	約 350 °C 一定
渦電流式流速計励磁電流	0.1 A 一定
渦電流式流速計励磁周波数	350 Hz 一定
出力測定	多ペンレコーダーの記録による。

参 考

流 量 比	中央チャンネル流量	周辺チャンネル流量
1 / 3	5 1 l/min	1 5 8 l/min
1 / 2	7 7 l/min	1 5 4 l/min
2 / 3	1 0 0 l/min	1 5 0 l/min
1 / 1	1 4 3 l/min	1 4 3 l/min

注入 F P ガス量	2 N l/min
	5 "
	1 0 "
	1 5 "

試験結果を要約すると

a. 1 集合体

1 9 7 2 年 3 月 の 報 告 に と く に つ け 加 え る こ と は な く , 大 流 量 で も 同 様 の こ と が 確 認 さ れ た。

i 単 発 注 入 の 方 が 連 続 注 入 よ り も 出 力 変 化 が 大 き い。

ii 注 入 前 の N a 流 量 が 大 き く な る と , 相 対 的 出 力 変 化 は 小 さ く な る 。 例 え ば , 渦 電 流 式 流 速 計 で , 連 続 注 入 の と き , 8 0 0 l/min に 1 % 注 入 す る と 約 1 0 % の 出 力 変 化 率 , 4 0 0 l/min で は 約 5 0 % の 出 力 変 化 で あ る 。

iii 連 続 注 入 の 場 合 , 相 対 的 出 力 変 化 は , 体 積 ボ イ ド 率 に 関 し て リ ニ ア に 変 化 す る 。

iv 励 磁 周 波 数 が 増 え る と , 単 発 注 入 時 の 出 力 変 化 の 割 合 は , 周 波 数 と と も に ほ ゝ リ ニ ア に 増 加 す る 。

b. 7 集合体

i F P ガ ス を , 燃 料 集 合 体 に 注 入 し た 場 合 , そ の 当 該 上 部 整 流 管 内 に 設 け た 永 久 磁 石 式 流 量 計 , 渦 電 流 式 流 速 計 の 出 力 は ,

イ) 単発注入の場合，ギャップ0～150mmで，著しく増加する。(図28～33)

たゞその増加の割合は，ギャップが0mmでない場合は，0mmの場合より小さい。

流量比が1:1から $\frac{1}{3}$:1の間では，注入後の出力は流量比，注入前流量によらず，ほぼ一定流量を示している。

ロ) 連続注入の場合，注入後の出力は，平均値，ゆらぎともになります(図34～41)。

平均出力の増加の割合は，単発注入の場合より小さい。

II FPガスを，燃料集合体に注入した場合，その当該上部整流管と隣接する整流管内の永久磁石式流量計，渦電流式流速計の出力は，

イ) 単発注入の場合，永久磁石式流量計では，ギャップ50mmから，渦電流式流量計では，ギャップ100mmから若干の影響が見られる。

ロ) 連続注入の場合，永久磁石式流量計ではギャップによらず影響が見られない。渦電流式流速計は，ギャップ150mm程度で若干の影響があらわれることがある。

5) 結果の検討

本試験に関する限り，渦電流式流速計，永久磁石式流量計とも，ガスに対して感応する。

しかしながら，実際の場合炉心燃料集合体内，燃料ピン1本当りのガスペナム体積は， $\frac{\pi}{4} \times 0.56^2 \times 110 = 27 \text{ cm}^3$ で，燃料度80,000MWD/Tで，内圧，約55kg/cm²，従って1ピンのプレナム破損時放出されるFPガス体積は，高々1.5ℓである。ピンホールからのFPの連続放出などは，本実験より遙かに少量と思われ，渦電流式流速計，永久磁石式

流量計が、実際の炉でもボイド検出として、有効か否かは、
さらに今後の検討を持つ必要がある。

[3] あ と が き

燃料集合体出口に設置された計装板にとりつけられた炉内流量計の出力信号と，燃料集合体内の実際の流量とを対応づける目的で，炉心燃料出口7集合体分を模擬した体系をNa試験装置に組込み，全流量1000ℓ/minで燃料チャンネル流量閉塞，FPガス放出をシミュレートした試験を行なった。その結果について，これまで述べてきた。

7集合体外へのNaの漏洩は，極力抑えるように改造したが，期待ほどの改善が得られなかった。漏洩のない場合については，計算によって推測した。実際および計算による補足の結果は，流量閉塞，FPガス放出に対しても，燃料出口に設けられた流量計で忠実に傾向をフォローしうると考えてよさそうである。

たゞ本試験研究は，簡単化した体系で行なっているため，複雑な条件が幾重にも重畳している実際の高速炉においての対応づけと必ずしも一致しないかも知れない。

実際の場合との違いは，

- 1) 実際には閉塞にせよFPガス放出にせよ動的な現象であり，過渡時には，流量配分，流速分布などはかなり不安定と思われる。
- 2) 構造的には，実際の炉では
 - a. 体系が大きい(7集合体ではない)
 - b. 制御棒チャンネルなどがある
 - c. 整流管の有無位置，長さ(助走区間小)など必ずしも同じでない。
 - d. 漏れ流量に相当するようなものがあるのか。その大きさは。
 - e. Swelling, bowingによる燃料頭部の上下不整，整流管と横方向のズレなどがありうる。などである。

検出された信号と燃料内の実流量とのより正確な対応づけには，これらのファクタの影響について，説明が今後必要である。

例えば、流速計取付位置の決定などの設計資料を得るためには、流速計の位置と、整流管と燃料頭部の相対位置（上下、水平）とが独立にかえられるような実験装置で、試験してみることが必要かと思われる。

また、出力信号の処理技術の確立も今後の課題であろう。

[4] 謝 辞

本試験研究の実施にあたっては、動力炉・核燃料開発事業団の関係各位に、御指導と御援助をいただきました。なかでも、高速増殖炉開発本部、三本保秀主任研究員、松宮正幸研究員のご両方には、計画段階から報告書作成まで終始ご指導いただきました。ここに記して感謝いたします。

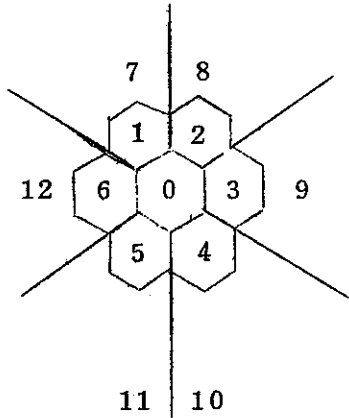
[5] 参 考 文 献

1. 中野秀男他 高速炉燃料チャンネル破損検出器の試験研究
その1 炉内流量計の研究 1971年3月
2. 中野秀男他 高速炉燃料チャンネル破損検出器の試験研究
(昭和45年度受託研究) 1972年3月
3. J. B. VAN ERP et al. Protection against Local
Core Accidents in Liquid Metal Fast Breeder
Reactors, Nucl. Engg. Design 15(1971), 441.

[6] 附 録

6.1 整流管における静的な流量配分

1) 記 号



ω_i : 第 i 集合体内流量

$\omega_{i'}$: 第 i 整流管内流量

ω_{ij} : 第 i 集合体より第 j 整流管内への流れ込み

(周辺から中央 : +
 周辺同志 : 反時計方向 +)

P_i : 第 i 集合体出口の圧力 (6 集合体より外へ +)

$P_{i'}$: 第 i 整流管出口の圧力

R_{ij} : 第 i 集合体出口, 第 j 集合体出口間流体抵抗

$R_{i'}$: 第 i 整流管内流体抵抗

2) 仮 定

- a. 流体抵抗は, 流量に無関係
- b. $R_{ij} = R_{ji}$
- c. 静的状態
- d. 整流管からの逆流は考えない。

3) 導 式

a. 中央
$$\omega'_0 = \omega_0 + \sum_i^6 \omega_{i0} \tag{1}$$

$$P_i - P_0 = R_{i0} \cdot \omega_{i0}^2 \operatorname{sgn}(\omega_{i0}) \tag{2}$$

$$P_0 - P_{0'} = R'_{0'} \cdot \omega_{0'}^2 \tag{3}$$

b. 周 辺

$$2 \leq i \leq 6$$

$$\omega_i' = \omega_i - \omega_{i0} - \omega_{i, i+1} + \omega_{i-1, i} - \omega_{i, i+6} \quad (4)$$

$$P_i - P_{i+1} = R_{i, i+1} \cdot \omega_{i, i+1}^2 \cdot \text{Sgn}(\omega_{i, i+1}) \quad (5)$$

$$P_i - P_{i+6} = R_{i, i+6} \cdot \omega_{i, i+6}^2 \cdot \text{Sgn}(\omega_{i, i+6}) \quad (6)$$

$$P_i - P_i' = R_i' \cdot (\omega_i')^2 \quad (7)$$

$$P_{i+6} - P_{i'+6} = R_{i'+6} \cdot \omega_{i, i+6}^2 \quad (8)$$

$$i = 1$$

$$\omega_1' = \omega_1 - \omega_{10} - \omega_{12} + \omega_{61} - \omega_{17} \quad (9)$$

$$P_1 - P_2 = R_{12} \cdot \omega_{12}^2 \cdot \text{Sgn} \omega_{12} \quad (10)$$

$$P_0 - P_1 = R_{61} \cdot \omega_{61}^2 \cdot \text{Sgn} \omega_{61} \quad (11)$$

$$P_1 - P_7 = R_{17} \cdot \omega_{17}^2 \quad (12)$$

$$P_1 - P_1' = R_1' \cdot (\omega_1')^2 \quad (13)$$

$$P_7 - P_7' = R_7' \cdot \omega_{17}^2 \quad (14)$$

c. 特別の場合

イ) 中央チャンネルに関して軸対称性を仮定すると,

$$\begin{aligned} R\ell &= R_{17} + R_7' = R_{28} + R_8' = R_{39} + R_9' = R_{410} + R_{10}' = R_{511} + R_{11}' \\ &= R_{612} + R_{12}' \end{aligned}$$

$$Rcp = R_{10} = R_{20} = R_{30} = R_{40} = R_{50} = R_{60}$$

$$Rs = R_1' = R_2' = R_3' = R_4' = R_5' = R_6' = R_0'$$

とおくことができ 3) - a, b の式は

$$\text{中央: } \omega_0' = \omega_0 + 6\omega_{pc} \quad (15)$$

$$P_p - P_0' = Rs (\omega_0 + 6\omega_{pc})^2 + Rcp \cdot \omega_{pc}^2 \cdot \text{Sgn}(\omega_{pc}) \quad (16)$$

$$\text{周辺: } P_p - P_p' = Rs' (\omega_p - \omega_{pc} - \omega_\ell)^2 \quad (17)$$

$$P_p - P_\ell' = R\ell \cdot \omega_\ell^2 \quad (18)$$

$$\left(\text{但 } \omega_\ell = \omega_{17} = \omega_{28} = \omega_{39} = \omega_{410} = \omega_{511} = \omega_{612} \right)$$

ロ) さらに $P_o' = P_p' = P_\ell'$ と仮定すると

$$R_{cp}/R_s = X, \left[\sqrt{\frac{R_\ell}{R_s}} / \left(1 + \sqrt{\frac{R_\ell}{R_s}} \right) \right]^2 = Y$$

$$\omega_o/\omega_p = \alpha, \omega_{cp}/\omega_p = \beta, \omega_\ell/\omega_p = \epsilon \quad \text{の置き}$$

かえを行なうと

$$X\beta^2 \operatorname{sgn} \beta + (\alpha + 6\beta)^2 = (1 - \beta - \epsilon)^2 \quad (19)$$

$$= \left(\frac{\sqrt{Y}}{1 - \sqrt{Y}} \right)^2 \epsilon^2 \quad (20)$$

これをとくと

$$\beta = \frac{-(6\alpha + Y) + \sqrt{(6\alpha + Y)^2 + (X - Y + 36)(Y - \alpha^2)}}{X - Y + 36} \quad (21)$$

$$(0 \leq \alpha \leq \sqrt{Y})$$

$$\beta = \frac{-(6\alpha + Y) + \sqrt{(6\alpha + Y)^2 + (X + Y - 36)(\alpha^2 - Y)}}{X + Y - 36} \quad (22)$$

$$(\sqrt{Y} \leq \alpha \leq 1)$$

これは、対称性を仮定できる静的実験でもれのある場合に相当する(特別な場合として $\frac{R_\ell}{R_s} \rightarrow \infty$ 即ち $Y \rightarrow 1$, もれのない場合が含まれている)。

流量比 α	$\frac{R_{cp}}{R_s} = 500, \frac{R_\ell}{R_s} = 100$			$\frac{R_{cp}}{R_s} = 500, \frac{R_\ell}{R_s} = 20$		
	整流管			整流管		
	中央 $\alpha + 6\beta$	周辺 $1 - \beta - \epsilon$	もれ ϵ	中央 $\alpha + 6\beta$	周辺 $1 - \beta - \epsilon$	もれ ϵ
1	0.9425	0.9178	0.0918	0.9041	0.8303	0.1857
$\frac{3}{4}$	0.8363	0.8960	0.0815	0.7943	0.8111	0.1814
	(0.8672)	(0.9292)	(0.0845)	(0.8237)	(0.8411)	(0.1881)

() 内は 7S/A 流量一定の場合

この結果は先に示した図 2 4 , 2 5 に示しておく。

ハ) 極端な場合として

i) $X \rightarrow \infty, Y \rightarrow 1$ の場合, 即ち整流管と燃料集合体の間に空隙がないとき

$$(21) \text{ より } \beta = 1$$

$$\text{中央整流管 } \alpha \left(7S / A \text{ 流量一定なら } \frac{7\alpha}{6+\alpha} \right)$$

$$\text{周辺 } 1 \left(\text{ " } \frac{7}{6+\alpha} \right)$$

ii) $X \rightarrow 0, Y \rightarrow 1$ もれがなくて, ギャップ ∞ の場合

$$(19) \text{ より } \alpha + 6\beta = 1 - \beta$$

即ち周辺も中央も整流管内流量同じとなる。

これらの極端な場合の結果は, われわれの直観と矛盾してはいない。

d. 本実験の場合

整流管間出口間の流体抵抗を $R' p$ とし,

$$\frac{R' p'}{36 R s} = Z \text{ とおくと}$$

(19), (20) 式に相当する式として

$$X\beta^2 \operatorname{sgn} \beta + (1+Z)(\alpha+6\beta)^2 = (1-\beta-\epsilon)^2 \quad (23)$$

$$= \left(\frac{\sqrt{Y}}{1-\sqrt{Y}} \right)^2 \epsilon^2 \quad (24)$$

を得る。これをといて

$$\beta = \frac{-[6(1+Z)\alpha+Y] + \sqrt{[6(1+Z)\alpha+Y]^2 - [(1+Z)\alpha^2 - Y][36(1+Z)+X-Y]}}{36(1+Z)+X-Y}$$

$$\left(0 \leq \alpha \leq \sqrt{\frac{Y}{1+Z}} \right) \quad (25)$$

$$\beta = \frac{Y+6\alpha(1+Z) - \sqrt{[Y+6\alpha(1+Z)]^2 - [Y-(1+Z)\alpha^2][X+Y-36(1+Z)]}}{X+Y-36(1+Z)}$$

$$\left(\sqrt{\frac{Y}{1+Z}} \leq \alpha \leq \right) \quad (26)$$

$\alpha = 1, \frac{2}{3}$ の場合の実験データをもとに計算した結果を図 2 3 に示す。

図 1 ナトリウム試験装置フロシート

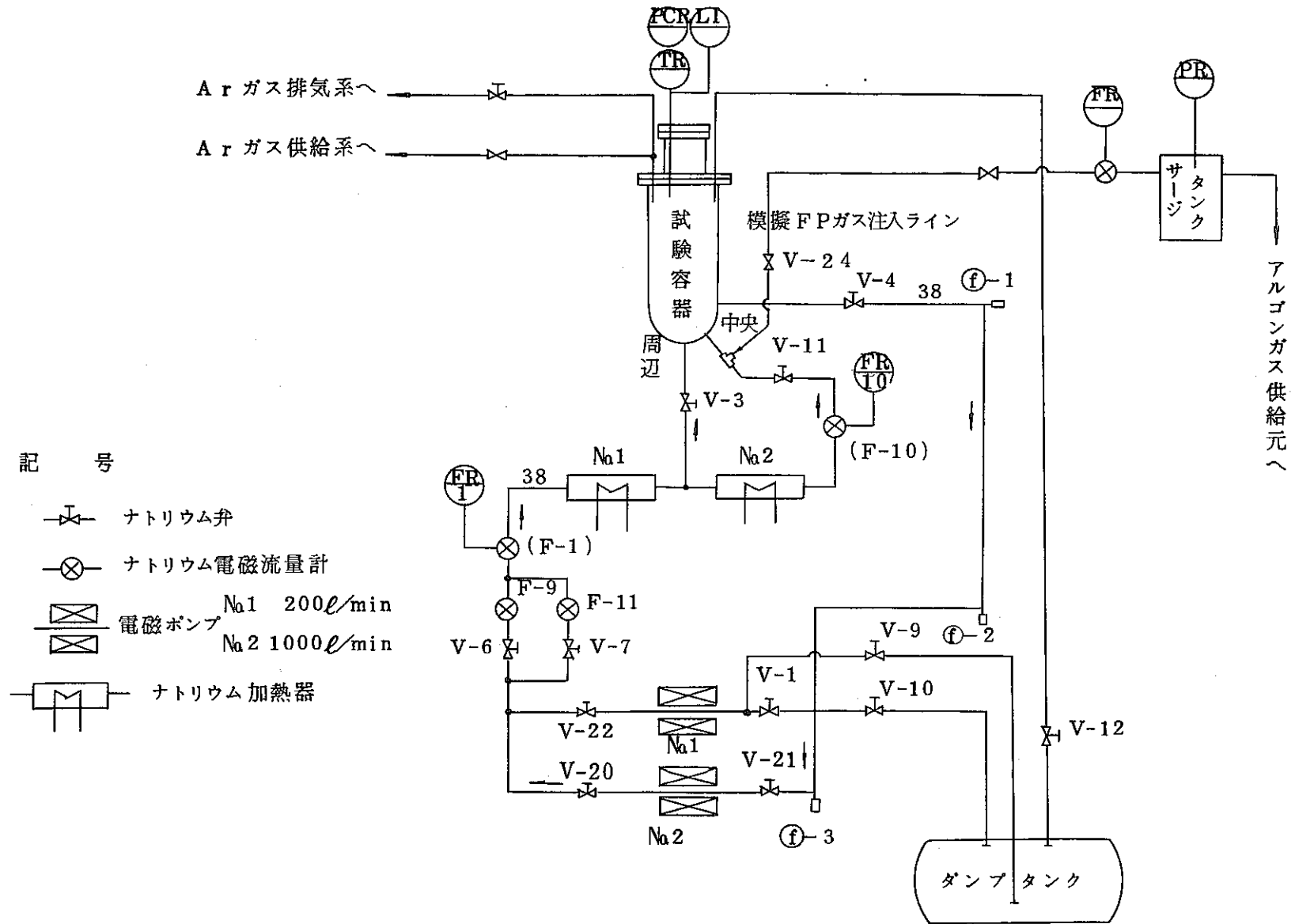
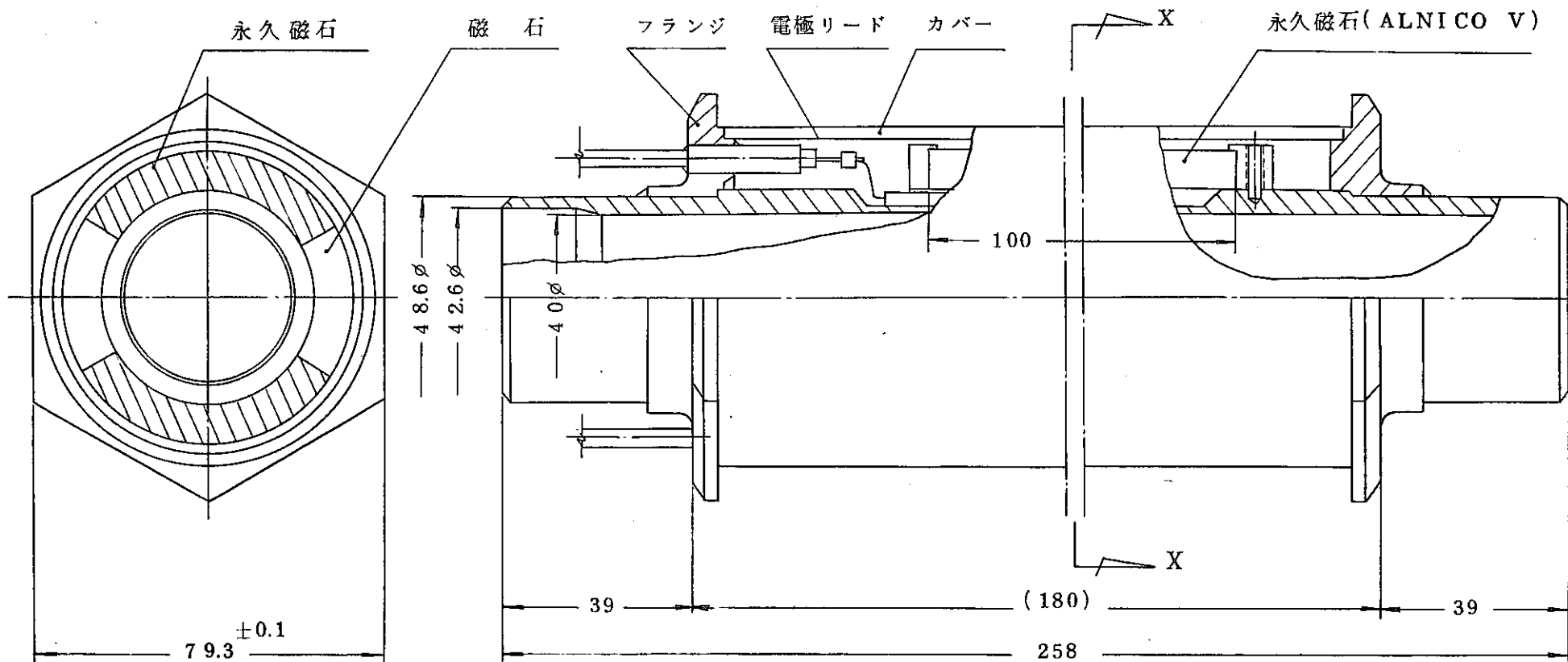


図 2 永久磁石式炉内流量計概略図

設 計 仕 様

- 1. 永久磁石式ナトリウム浸漬形
- 2. 使用温度 $\sim 600^{\circ}\text{C}$ (目標)
- 3. 流量範囲 $\sim 200\text{l}/\text{min}(1000\text{l}/\text{min})$
- 4. 出力, フルスケール 1mV 以上
- 5. 封入ガス Ar+Heガス

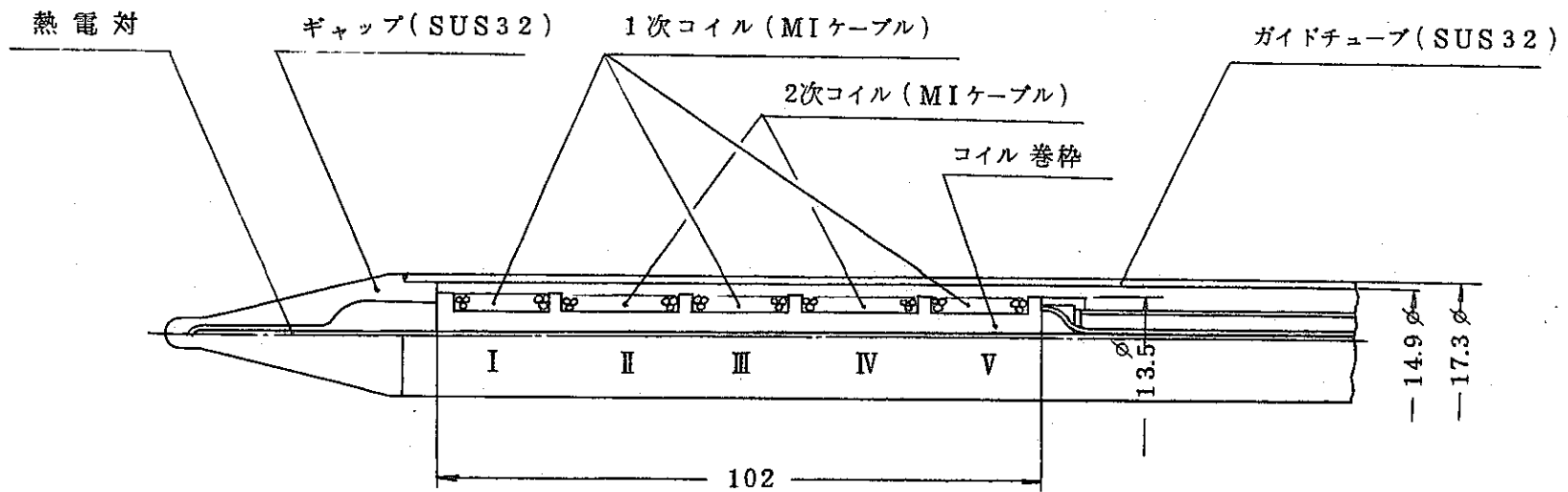


断 面 X X

図 3

渦電流式流速計概略図

試験体 No	I 領域巻数	II 領域巻数	III 領域巻数	IV 領域巻数	V 領域巻数
F' - ①	4 2.25	1 65.25	4 2	1 65	4 2
F' - ②	4 2.25	1 65.25	4 2	1 65	4 2
F' - ③	4 2.25	1 65.25	4 2	1 65	4 2
F' - ④	4 2.25	1 65.25	4 2	1 65	4 2
F' - ⑤	4 2.25	1 65.25	4 2	1 65	4 2
F' - ⑥	4 2.25	1 65.25	4 2	1 65	4 2
F' - ⑦	4 2.25	1 65.25	4 2	1 65	4 2
ⓕ - 1	4 2.25	1 65.25	4 2	1 65	4 2



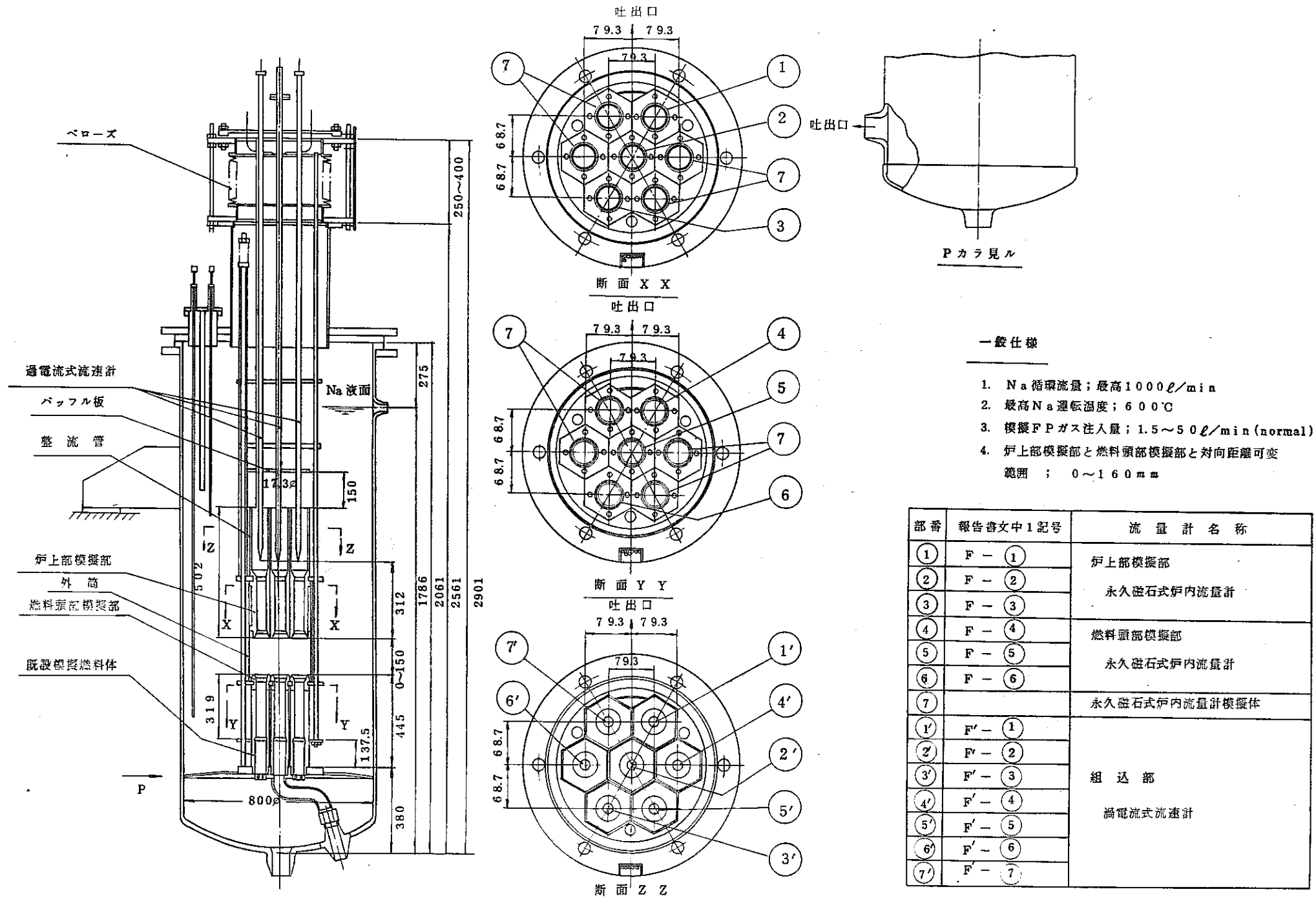


図4 模擬炉集合体流量測定装置

図 5

配管部永久磁石式炉内流量計 (F - 9)

出力較正特性

較正方法 ; 絶対較正 (容積法)

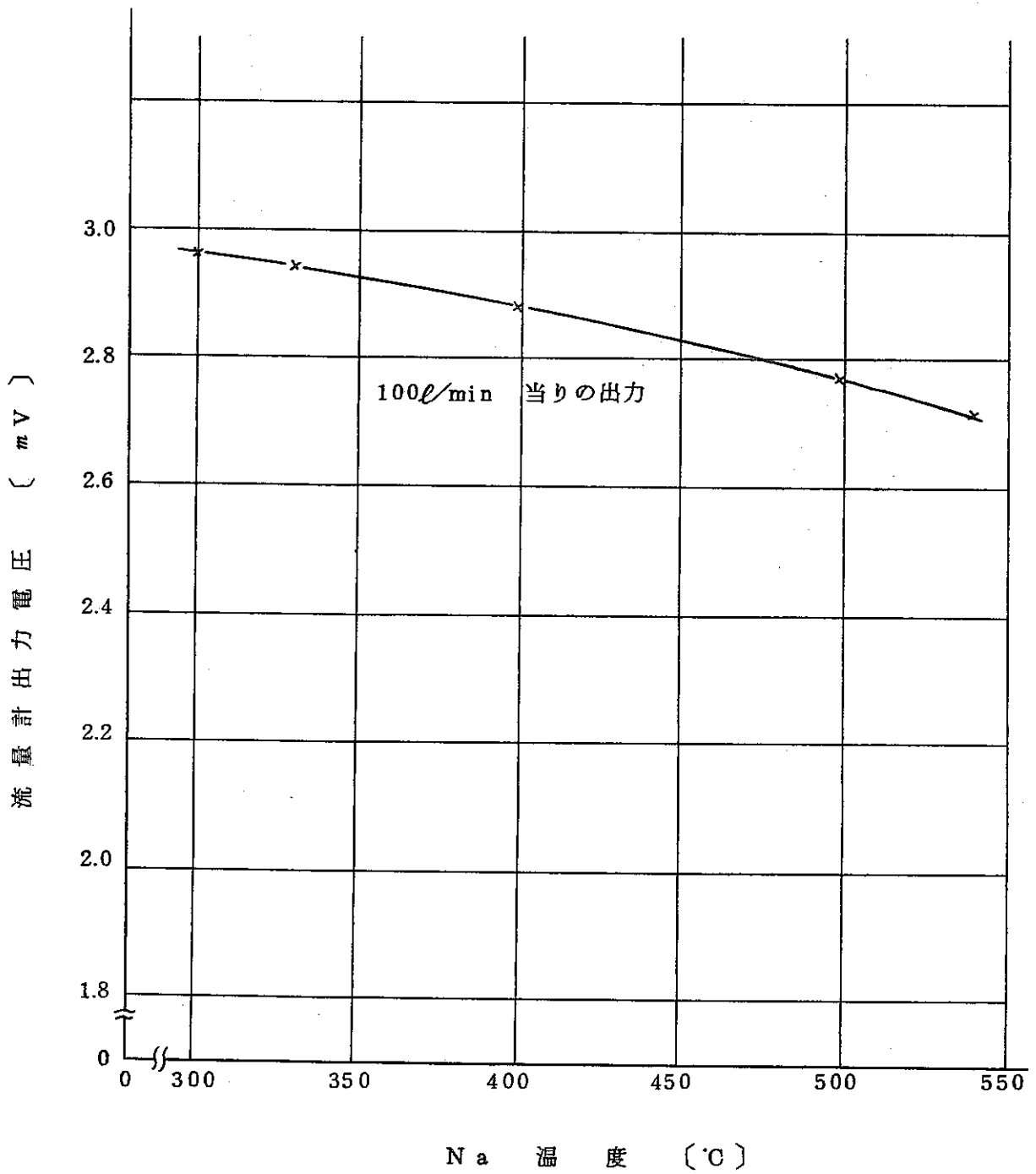


図 6 プロセス型電磁流量計 (全流量測定用 F-1)

出力較正特性

出力方法 ; ブートストラップ法 (F-11, F-9 使用)

励磁電流 ; 0.6 A

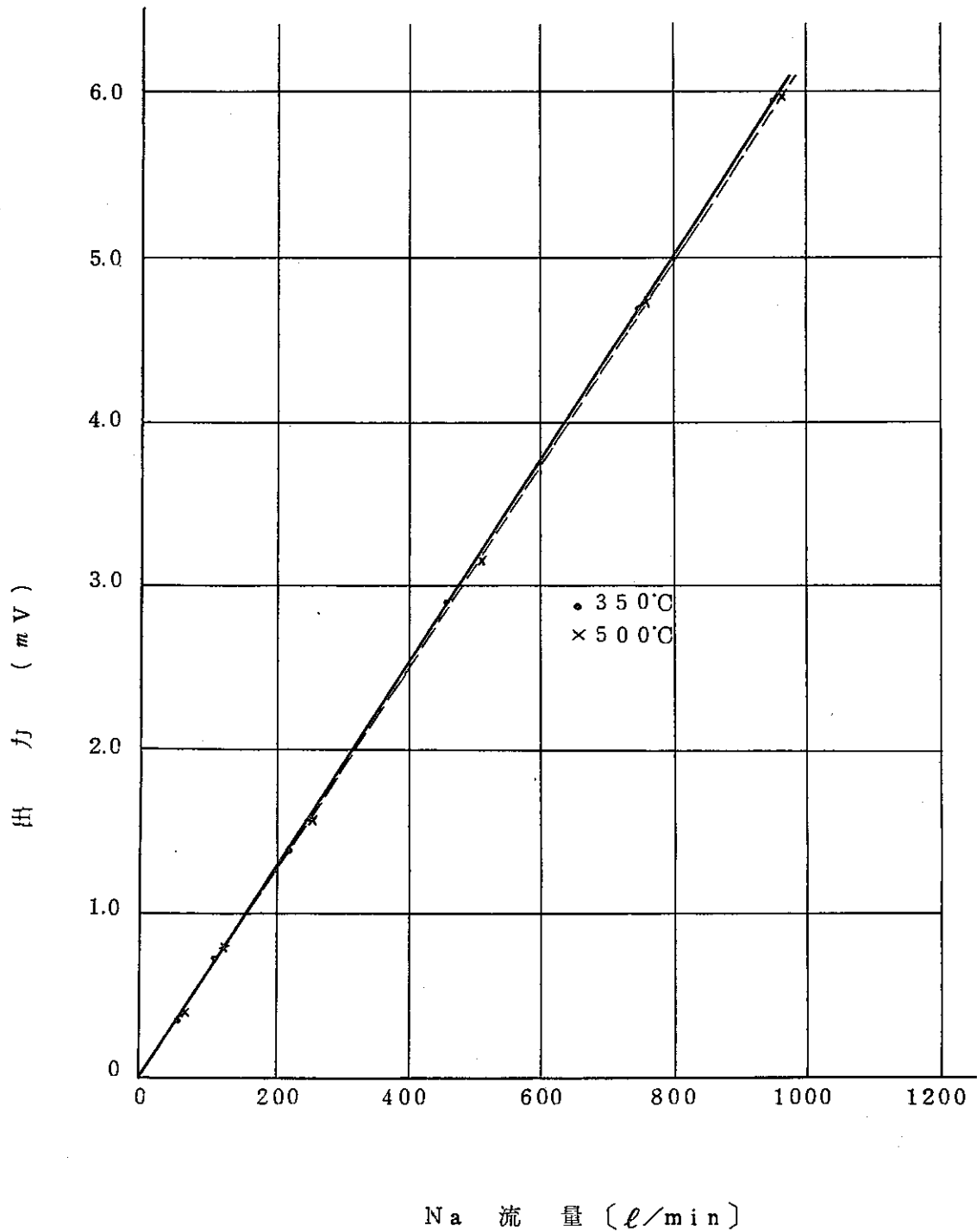


図 7 配管部の永久磁石式炉内流量計 (F-9)

出力校正特性

校正方法 ; フートストラップ法 (F-1, F-11使用)

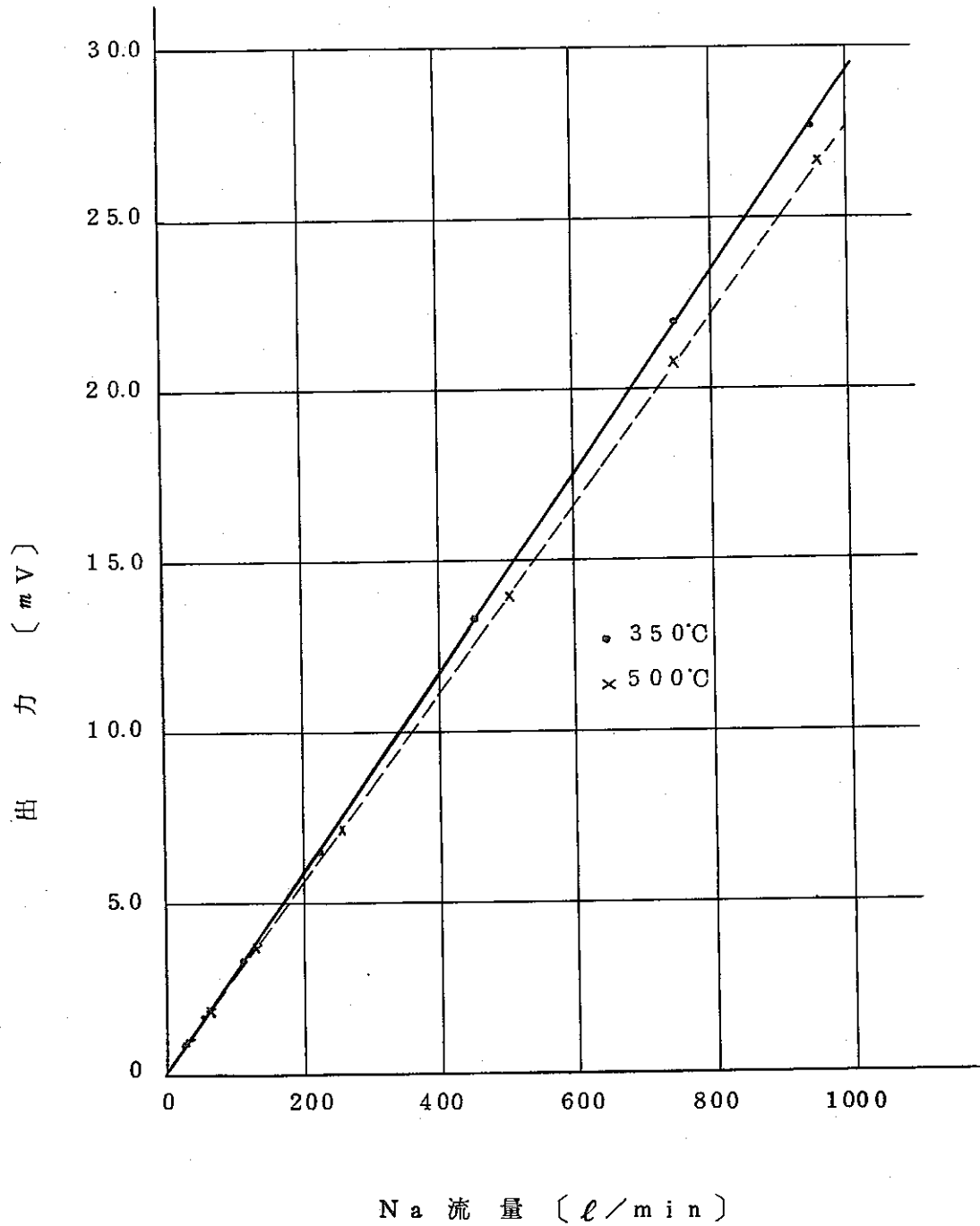


図 8 配管部の永久磁石式炉内流量計 (F-11)

出力較正特性

較正方法 ; ブートストラップ法 (F-1 , F-9 使用)

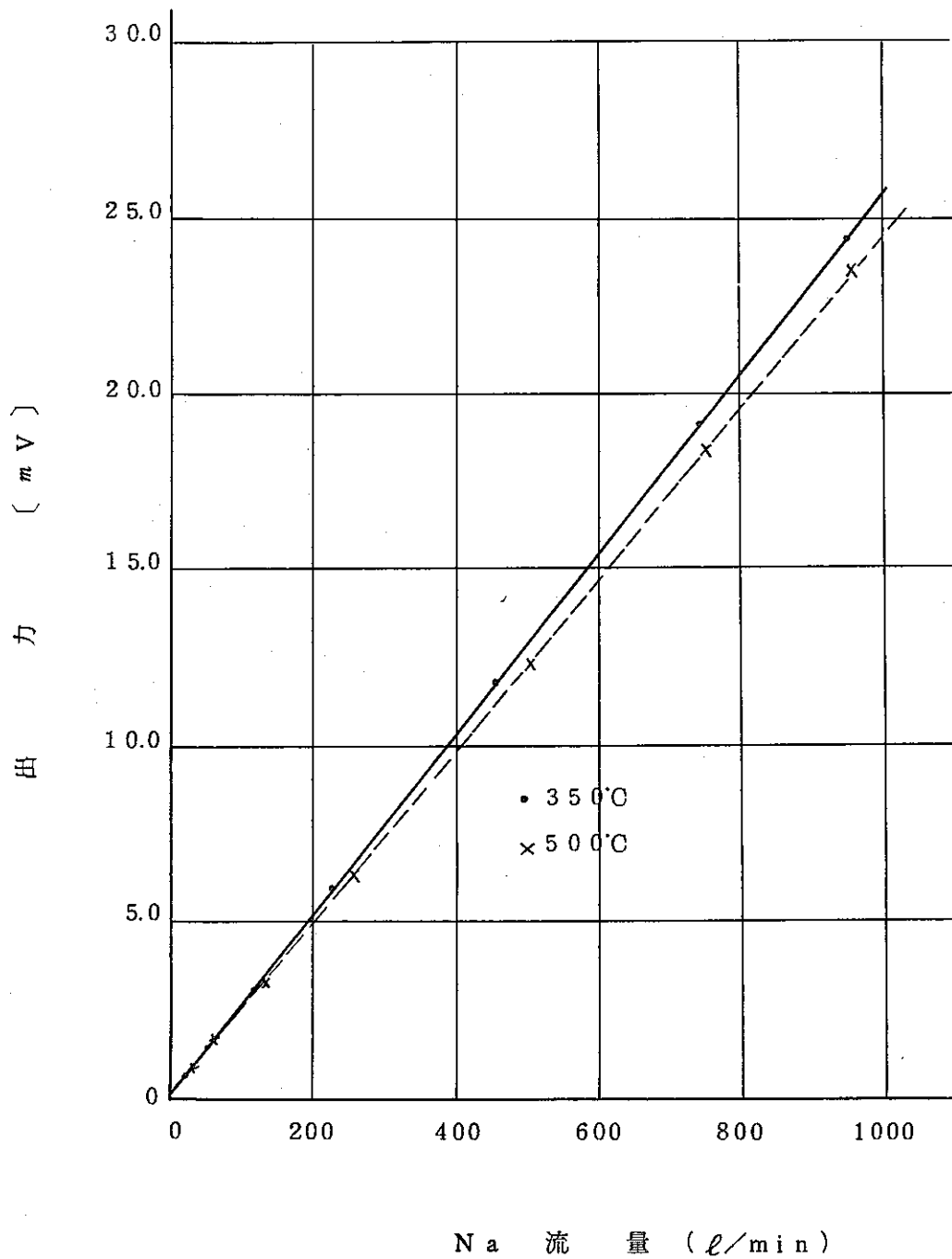


図 9 プロセス型電磁流量計 (中央チャンネル流量測定用 F-10)

出力較正特性

較正方法 ; 比較法 (F-1 基準)

励磁電流 ; 0.6 A

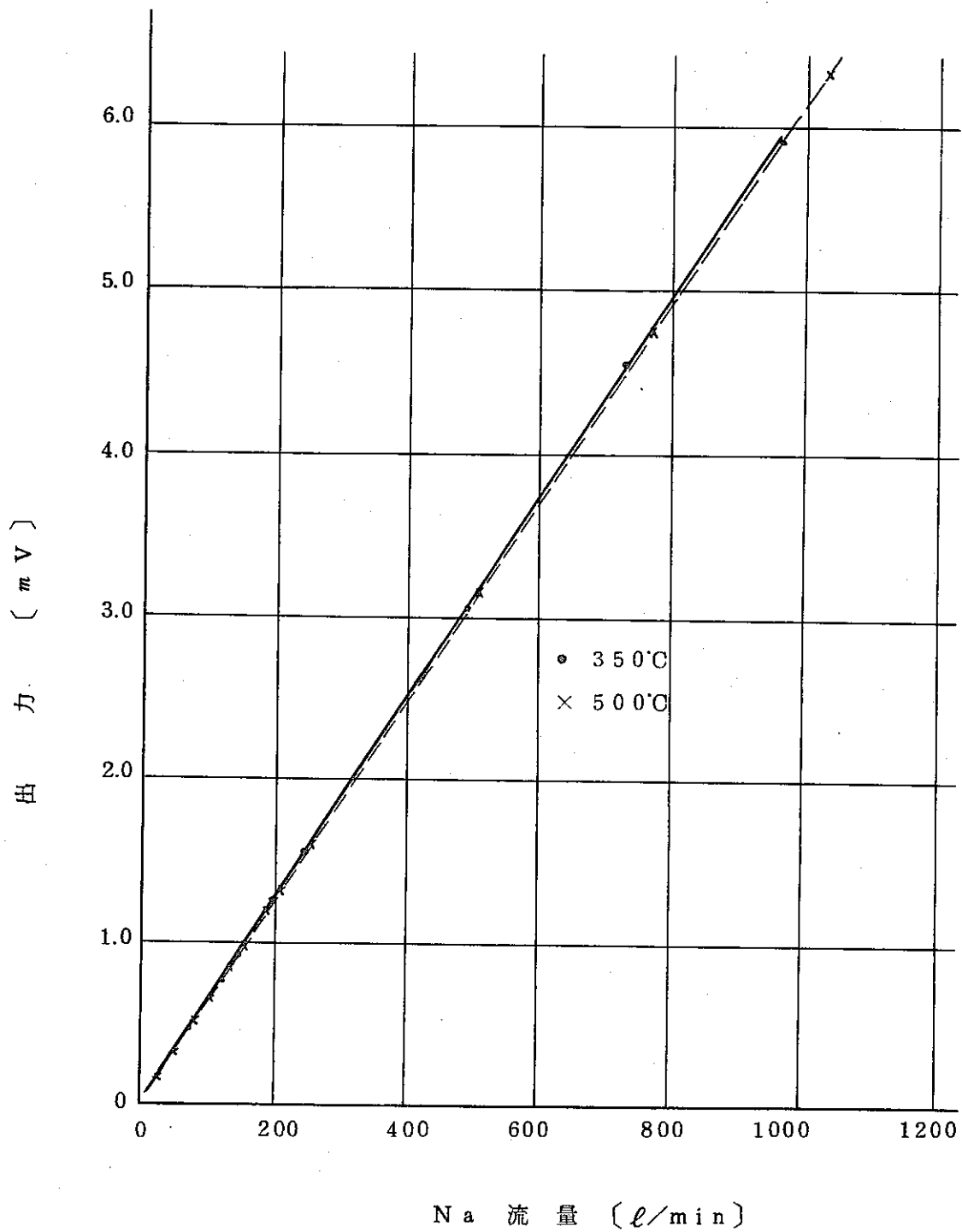


図 10 配管部の渦電流式流速計 (f - 1)

出力校正特性

校正方法 ; 比較法 (F - 1 基準)

励磁電流 ; 0.1 A

励磁周波数 ; 350 Hz

平均流速 ; $0.322 m/s / 100 l/min$

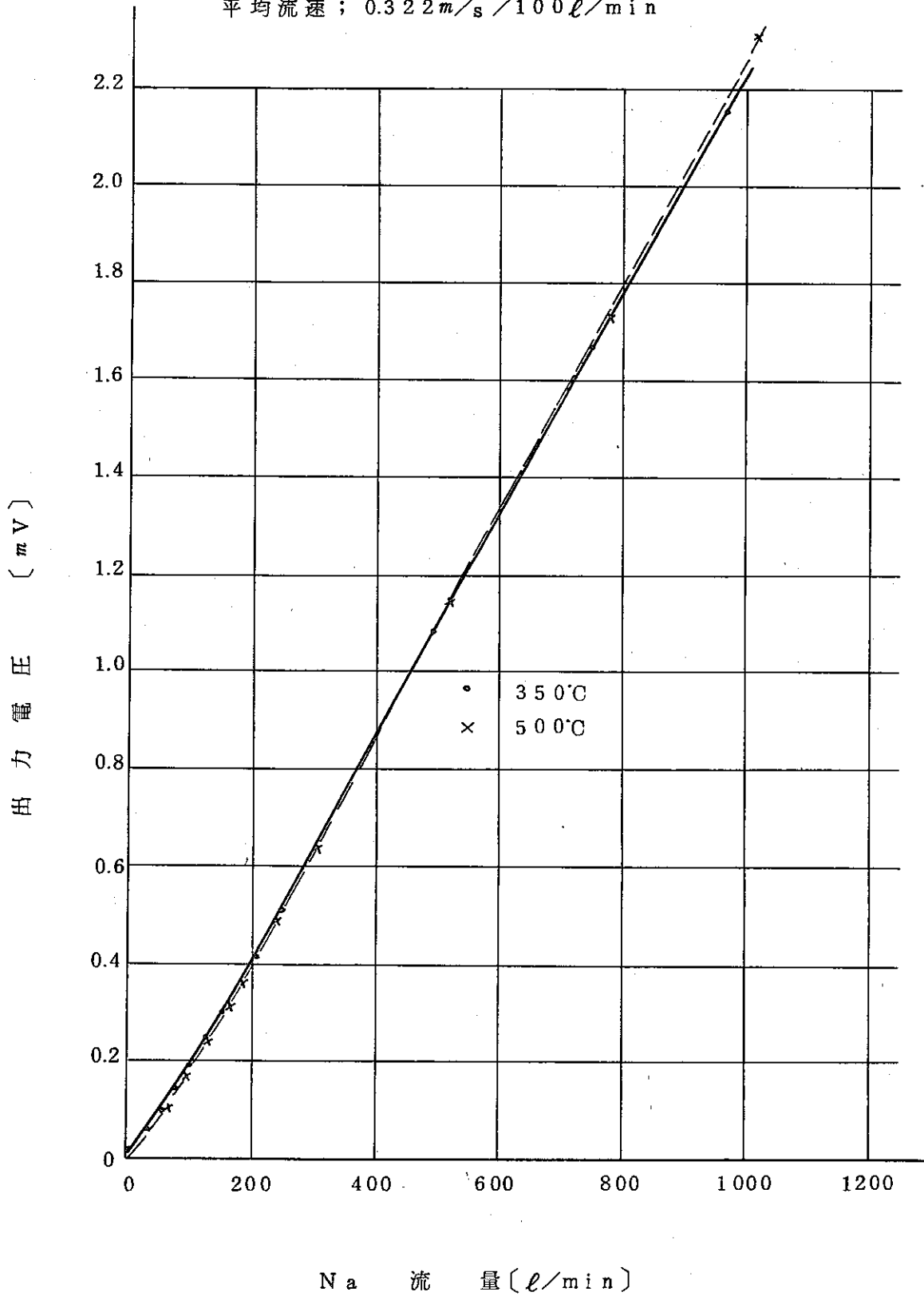


圖 11 燃料頭部模擬部永久磁石式炉内流量計 (F - ⑤)

出力較正特性

較正方法 ; 比較法 (F - 1 基準)

炉上部—燃料頭部模擬部对向距離 0 m m

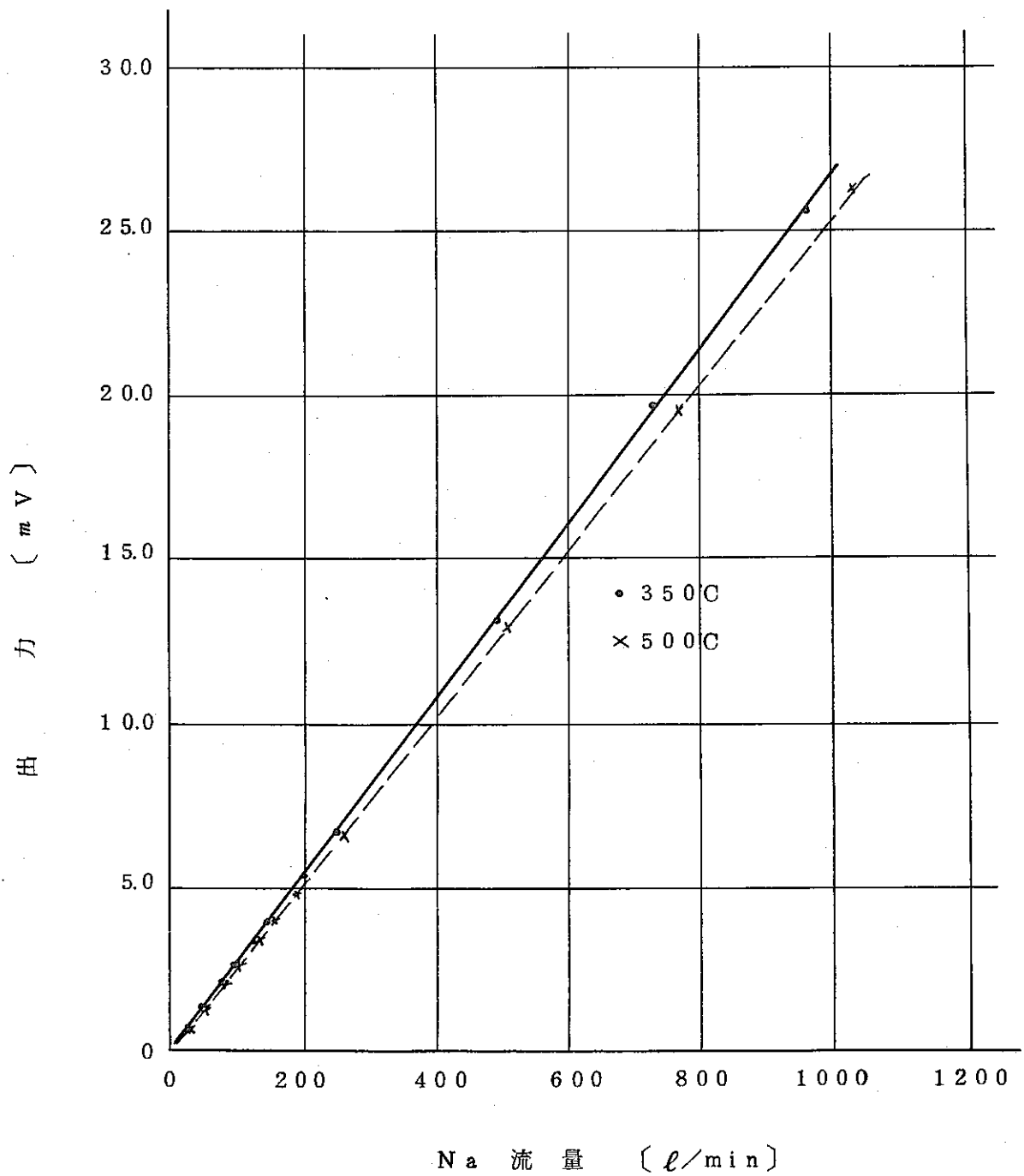


图 12 炉上部模拟部永久磁石式炉内流量计 (F - ②)

出力校正特性

校正方法 ; 比较法 (F - 1 基准)

炉上部—燃料头部模拟部对向距离 0 mm

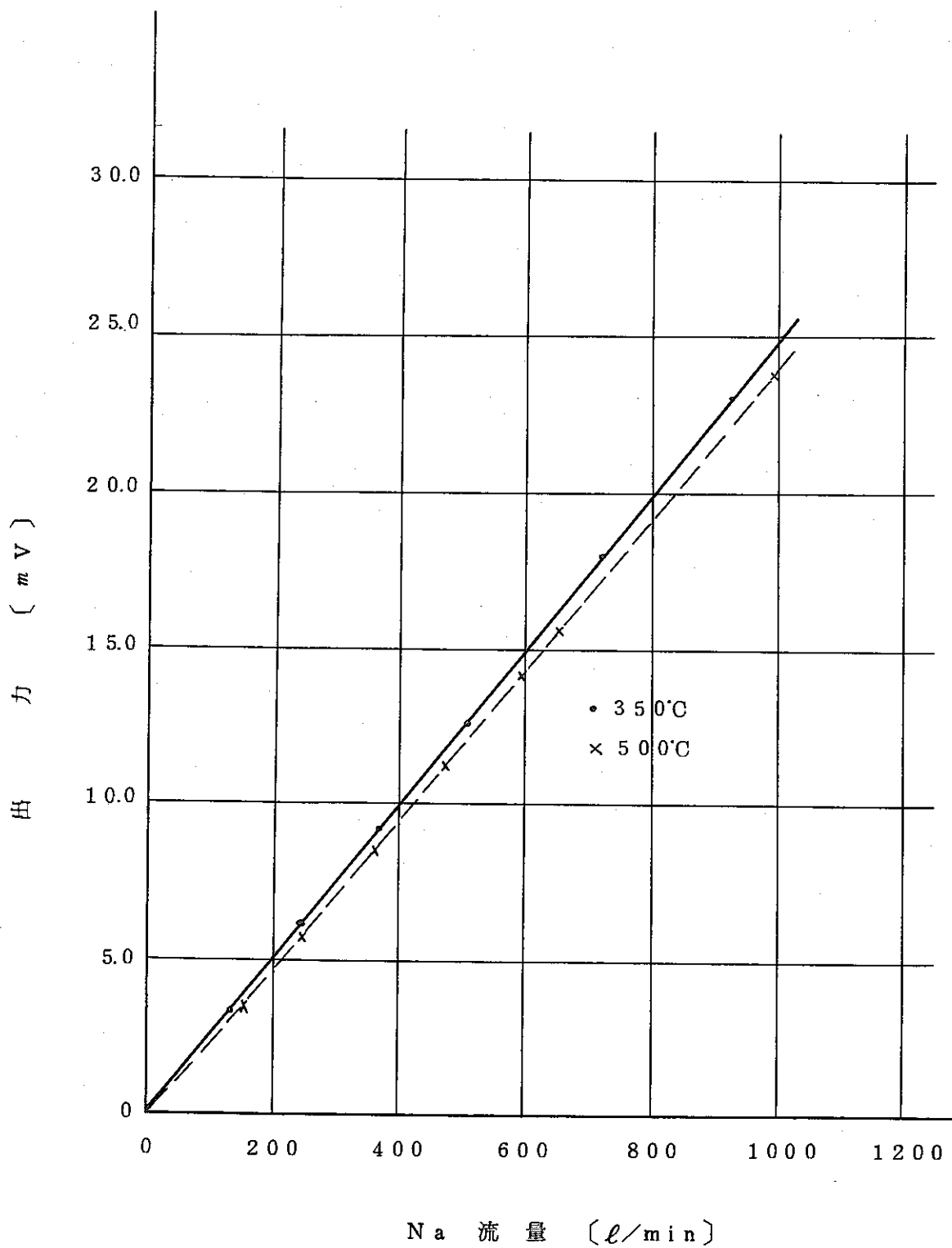


图 13 炉上部模拟部渦電流式流速計 (F' - ②)

出力較正特性

較正方法 ; 比較法 (F - 1 基準)

勵磁電流 ; 0.1 A

勵磁周波數 ; 350 Hz

炉上部—燃料頭部模擬部對向距離 0 mm

平均流速 $0.368 m/s$ $100 l/min$

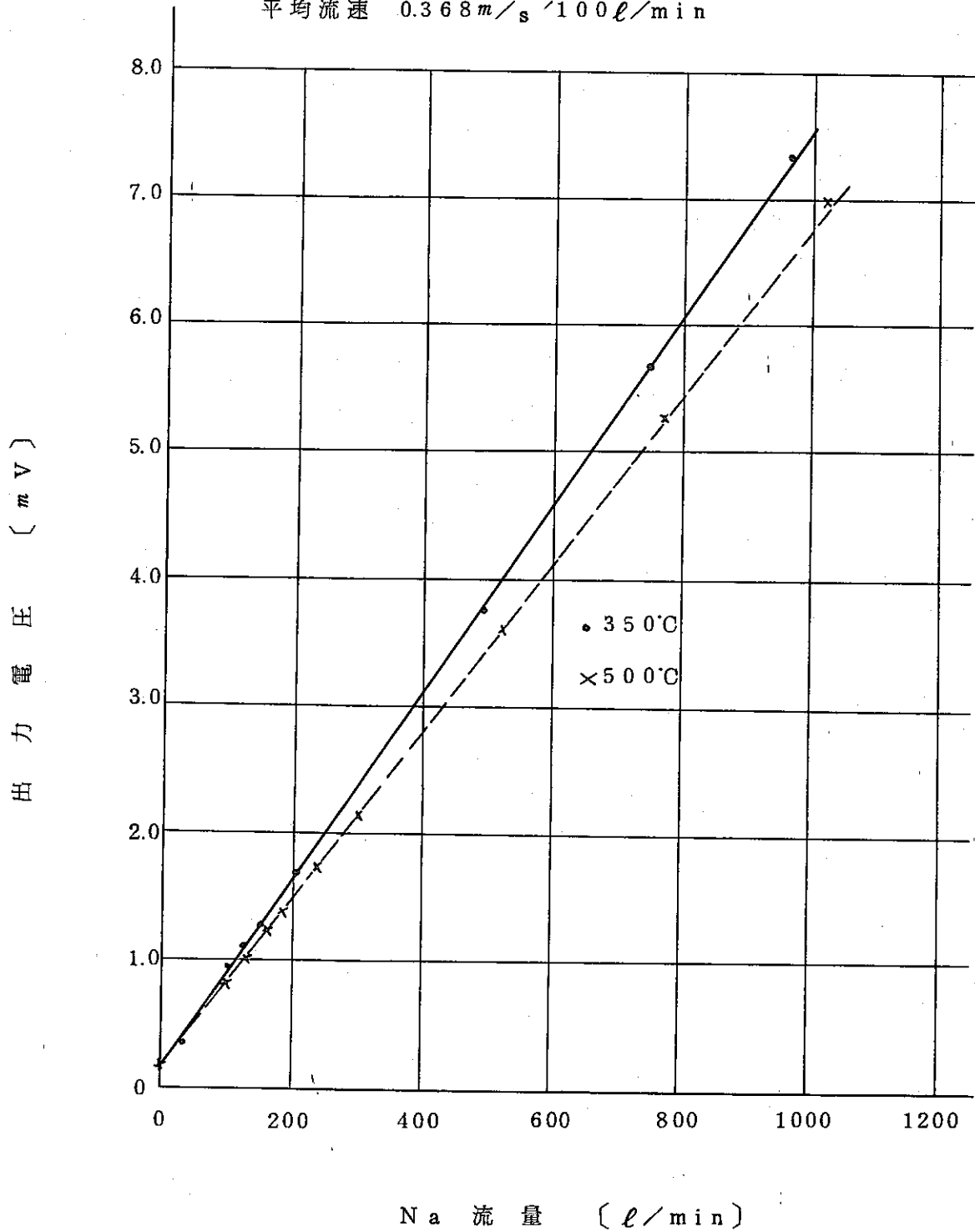


図 14 燃料頭部模擬部永久磁石式炉内流量計(周辺チャンネル)

出力校正特性

校正方法 ; 比較法 $\left(\frac{(F-1 \text{ 流量}) - (F-10 \text{ 流量})}{6} \right)$

炉上部—燃料頭部模擬部対向距離 0 mm

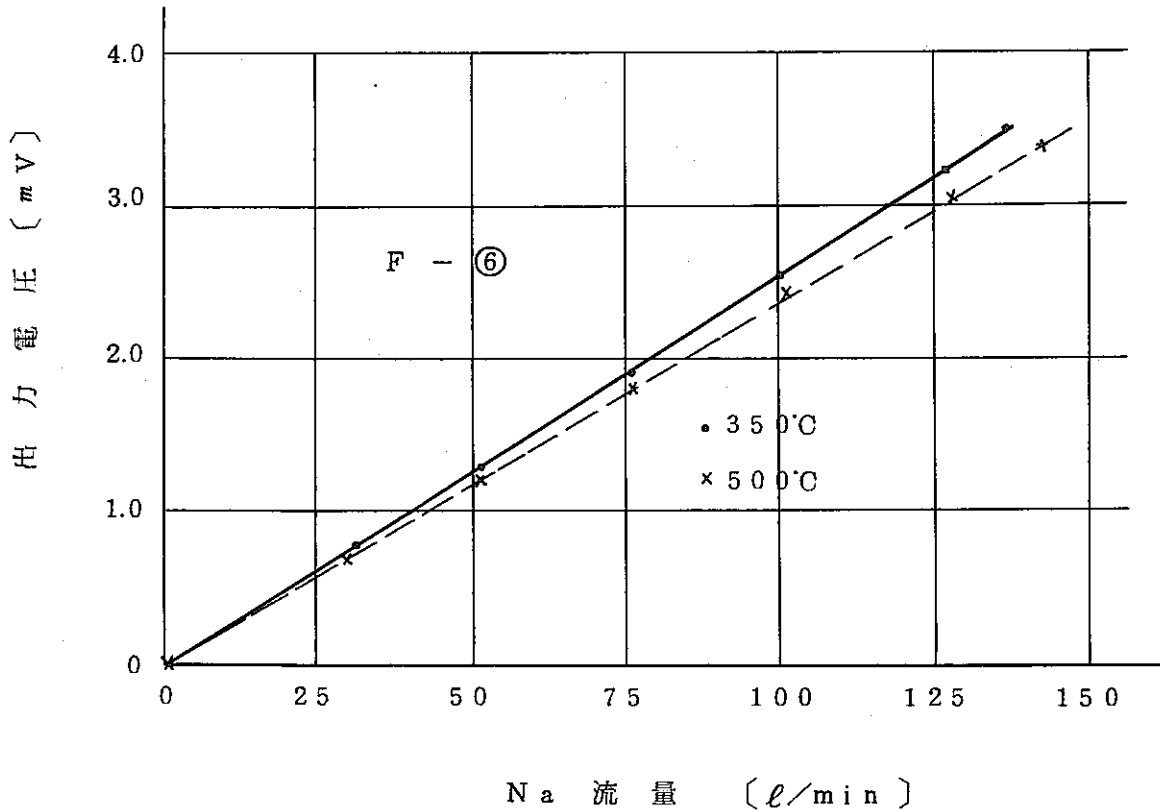
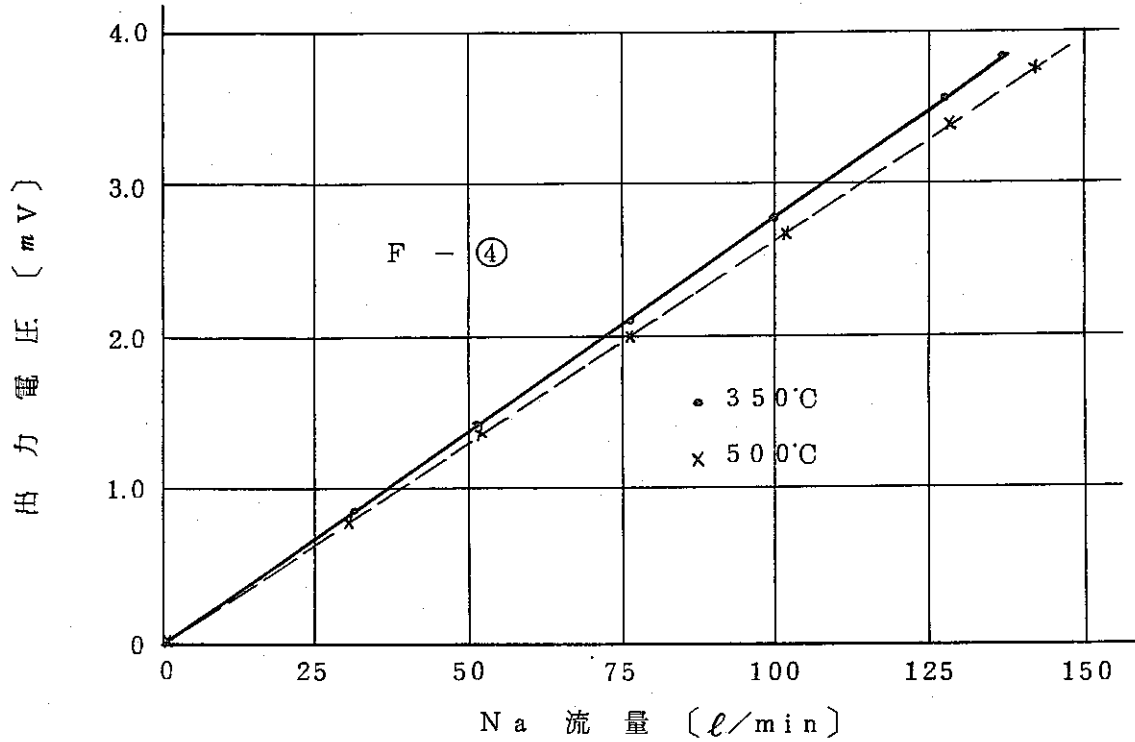


図 15 炉上部模擬部永久磁石式炉内流量計 (周辺チャンネル)

出力較正特性

較正方法 ; 比較法 $\left(\frac{(F-1 \text{ 流量}) - (F-10 \text{ 流量})}{6} \right)$

炉上部 — 燃料頭部模擬部対向距離 0 mm

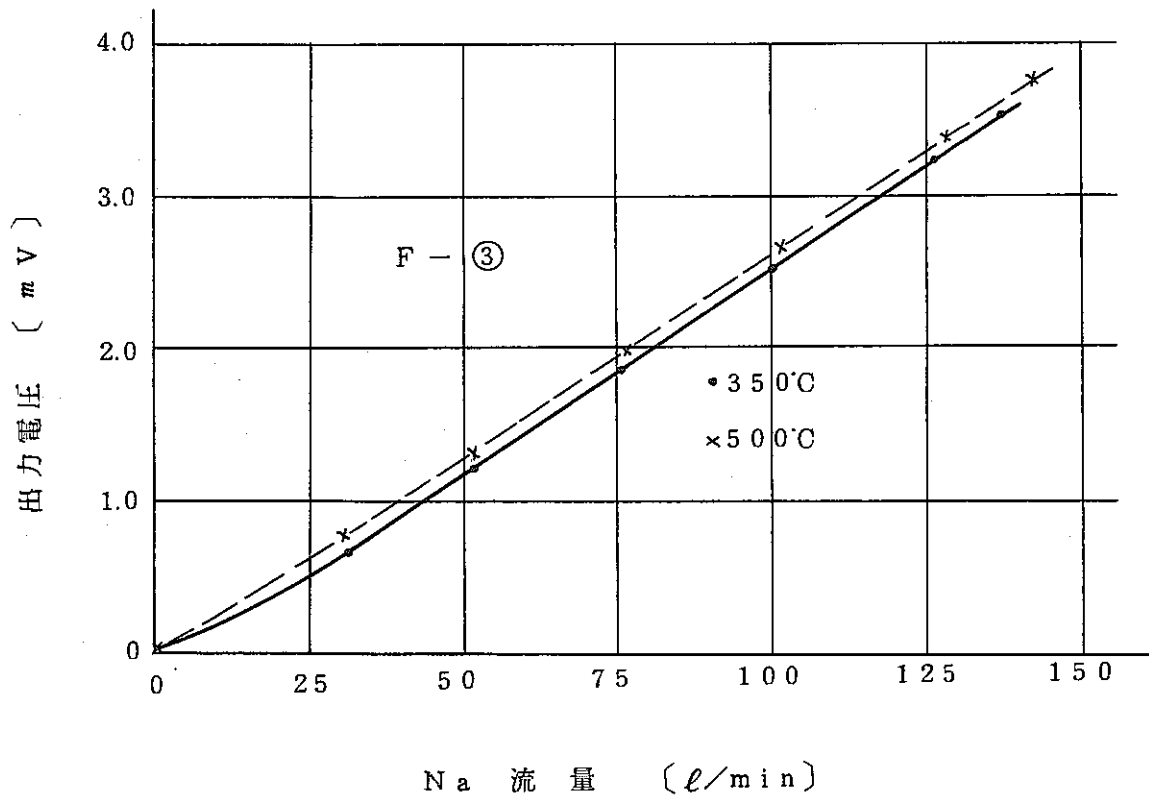
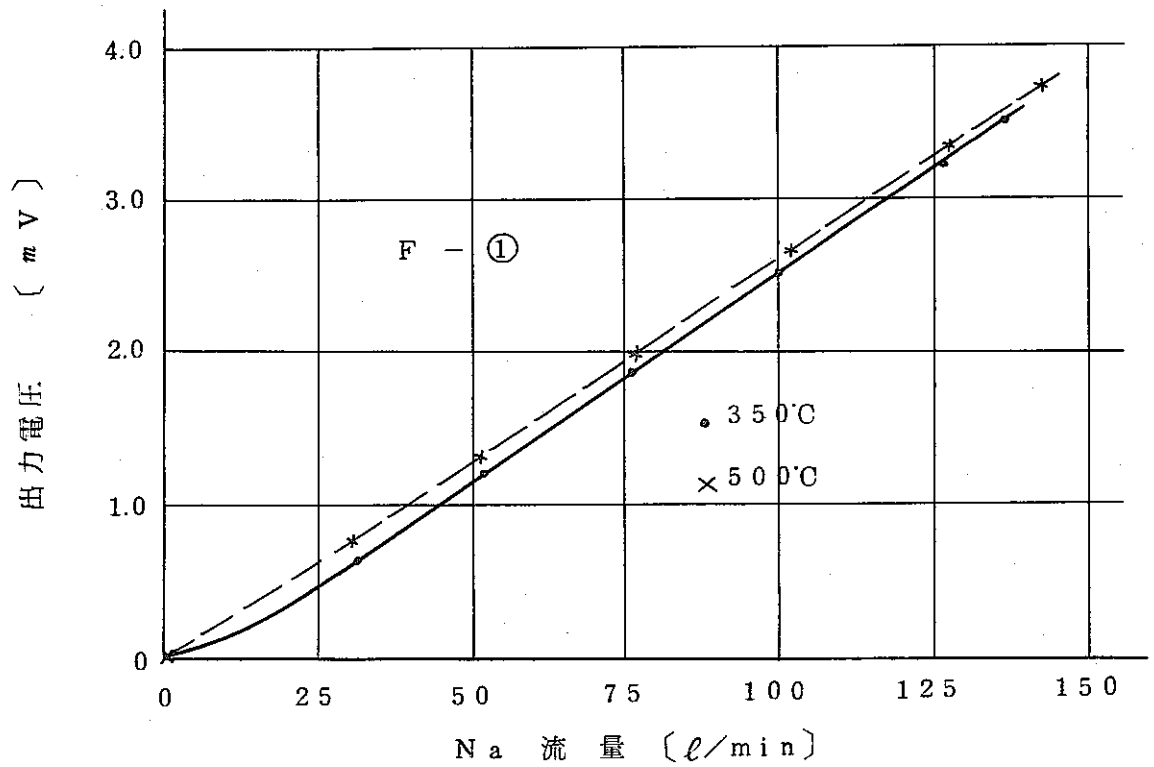


図 16 炉上部模擬部渦電流式流速計 (周辺チャンネル)

出力校正特性

校正方法 ; 比較法 $\left(\frac{(F-1 \text{ 流量}) - (F-10 \text{ 流量})}{6} \right)$

励磁周波数, 電流 ; 350Hz, 0.1A

炉上部 - 燃料頭部模擬部対向距離 0mm

平均流速 0.368m/s / 100ℓ/min

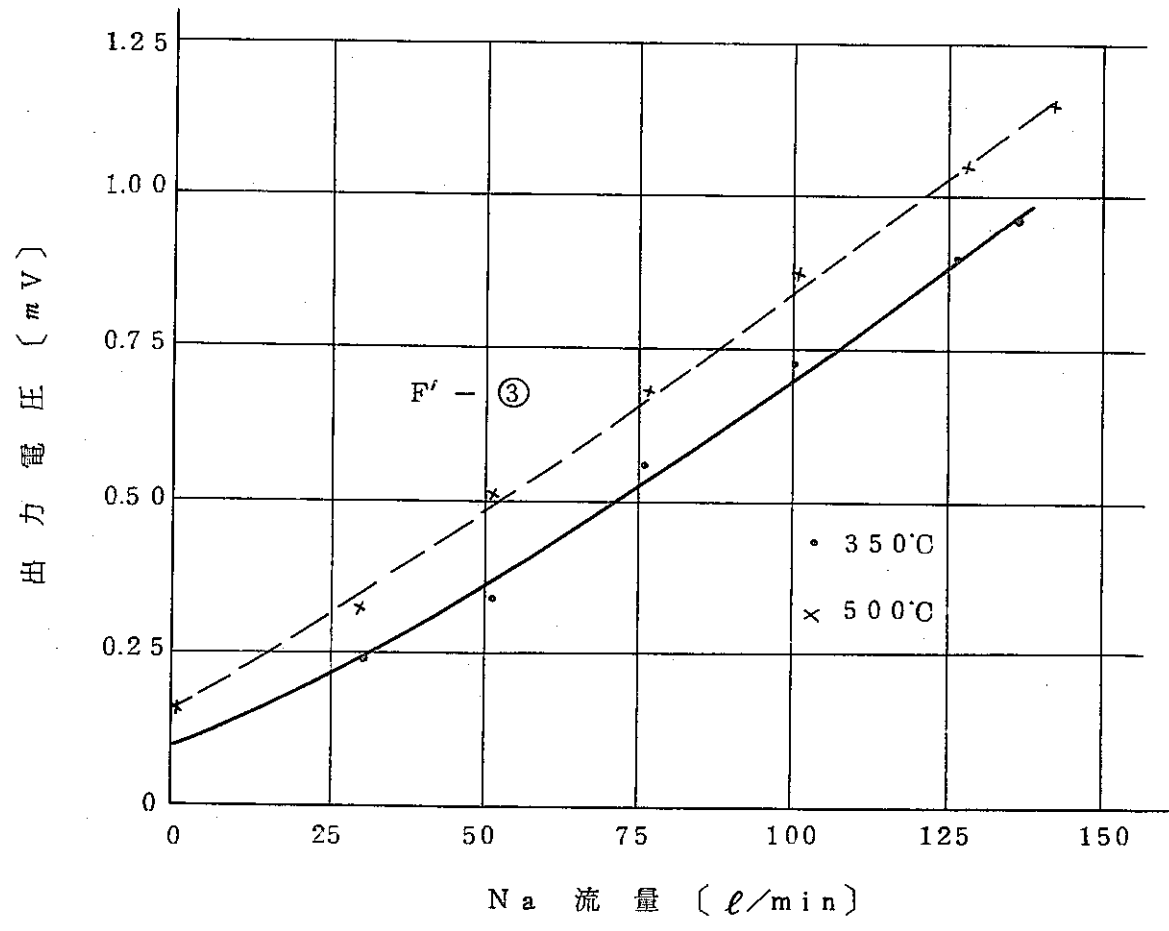
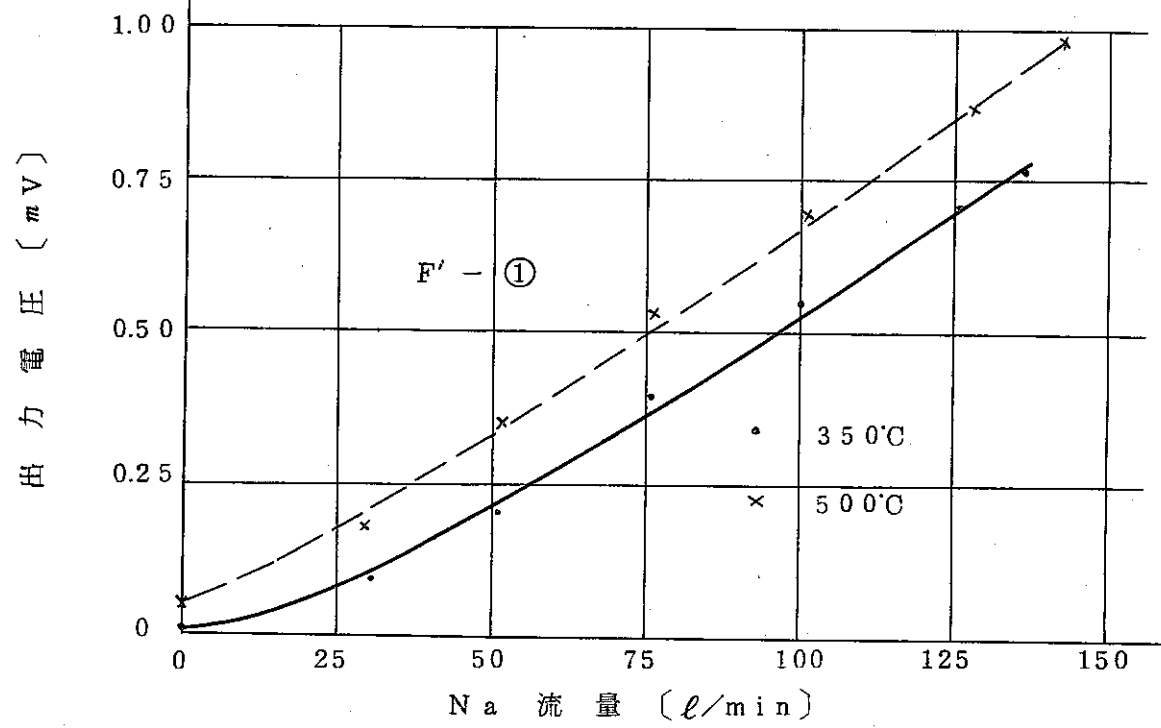


図 1.7 経時特性試験結果

試験体	試験時期 I			試験時期 II			試験時期 III		
	100eM	500eM	1000eM	100eM	500eM	1000eM	100eM	500eM	1000eM
F - 11	2.50mV	1.28mV	2.5.5mV	2.5 0mV	1.2.6mV	2.5.2mV	2.5 0mV	1.2.9mV	2.6.0mV
F - 9	2.95mV	1.4.7mV	2.9.3mV	2.9 8mV	1.4.9mV	2.9.5mV	2.9 4mV	1.4.7mV	2.9.4mV
F - ②	2.5.0mV	1.2.5mV	2.4.8mV	2.4 6mV	1.2.3mV	2.4.6mV	2.4 5mV	1.2.3mV	2.4.5mV
F - ⑤	2.7.0mV	1.3.3mV	2.6.6mV	2.6 0mV	1.3.0mV	2.6.7mV	2.6 5mV	1.3.4mV	2.6.7mV
ⓕ - 1	0.19mV	1.09mV	2.2 1mV	0.2 0mV	1.1 0mV	2.3 0mV	0.2 0mV	1.1 0mV	2.3 1mV
F' - ②	0.9.0mV	3.8.5mV	7.5 0mV	0.8 9mV	3.8 6mV	7.6 0mV	0.9 1mV	3.8 9mV	7.6 0mV

- 1) 出力較正はプロセス型電磁流量計を基準にして行なう。
- 2) 渦電流式流速計の測定条件
励磁周波数, 電流 350Hz, 0.1A
- 3) 渦電流式流速計の出力電圧は不平衡電圧も含む。
- 4) 測定時 Na 温度は 345~355°C

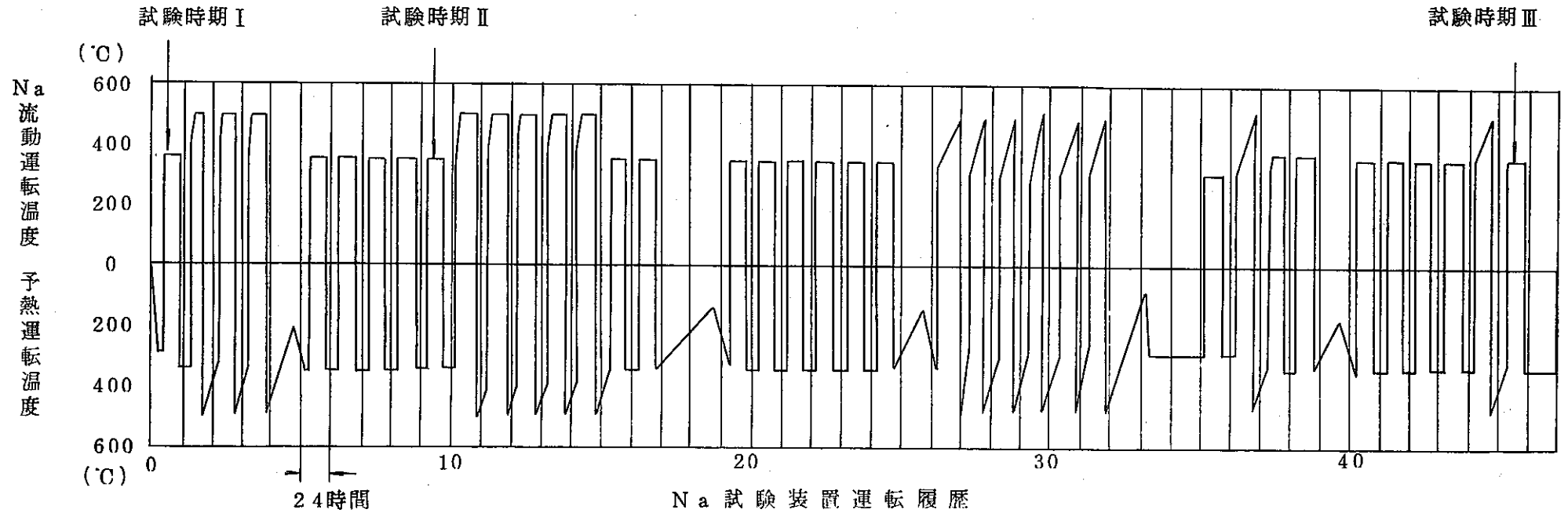
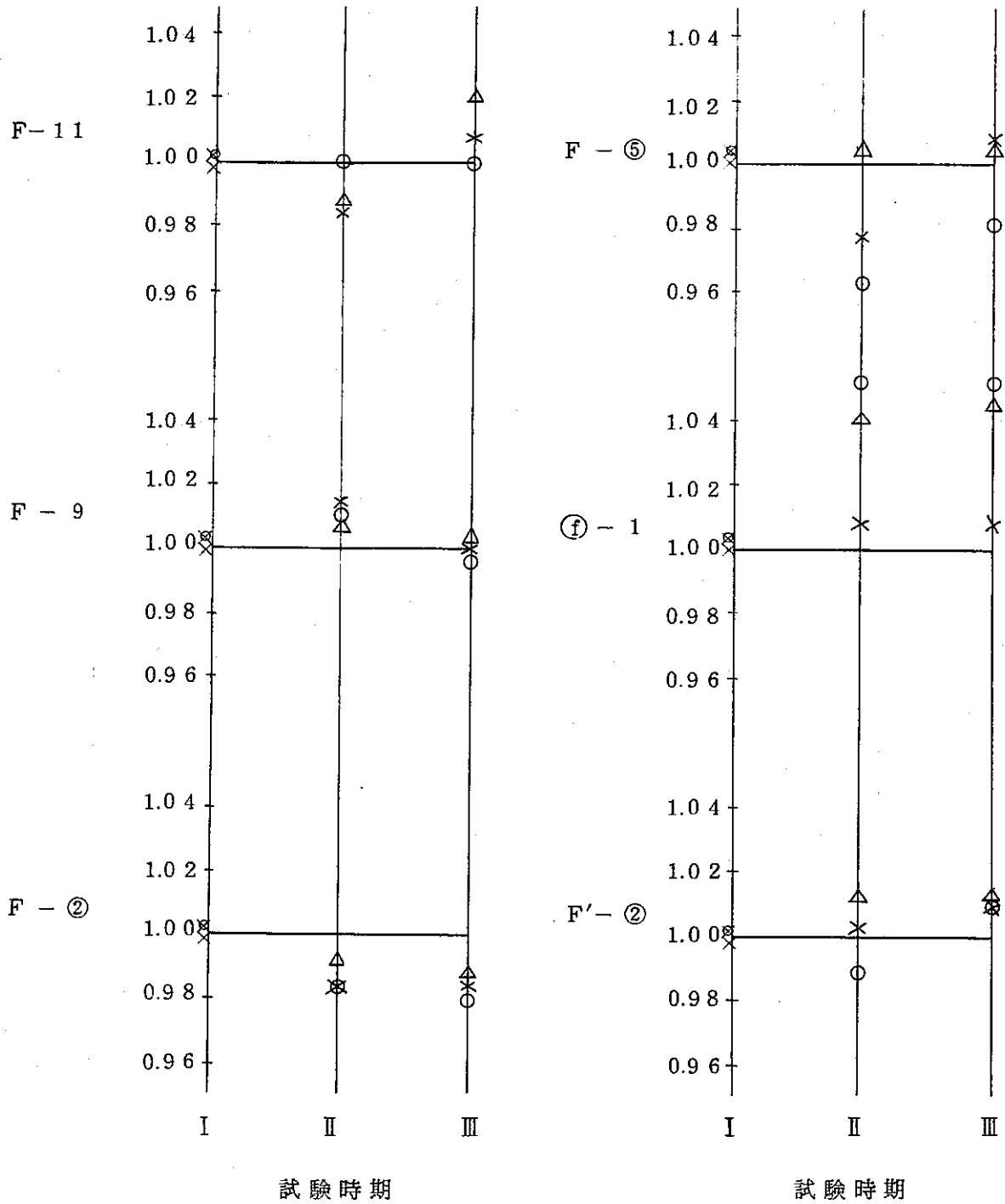


図 1 8 経時特性 (出力相対変化)



注) ○ Na流量 1000 l/min に於ける出力
 × Na流量 500 l/min に於ける出力
 △ Na流量 1000 l/min に於ける出力

図19 燃料チャンネル閉塞模擬試験特性 - 1

Na 温度 : 500°C

全循環流量 : 1000 l/min 一定

試験体 : 炉上部模擬部永久磁石式炉内流量計
(F-② 中央チャンネル)

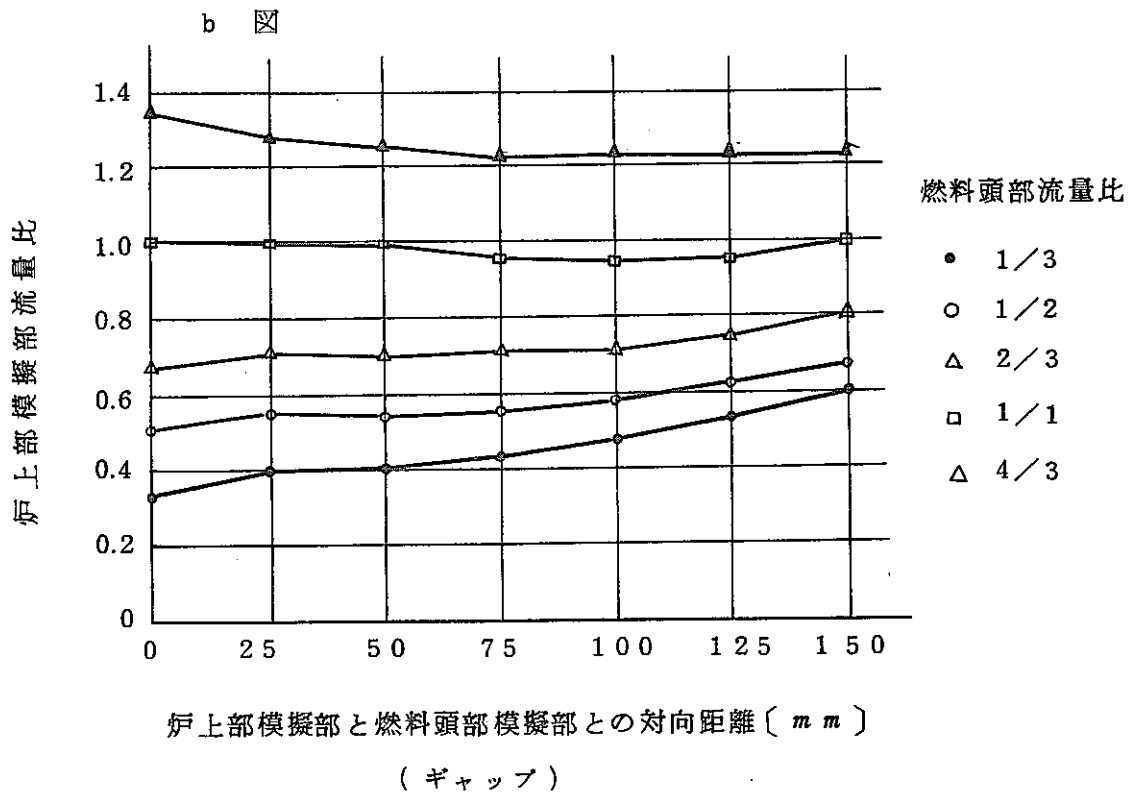
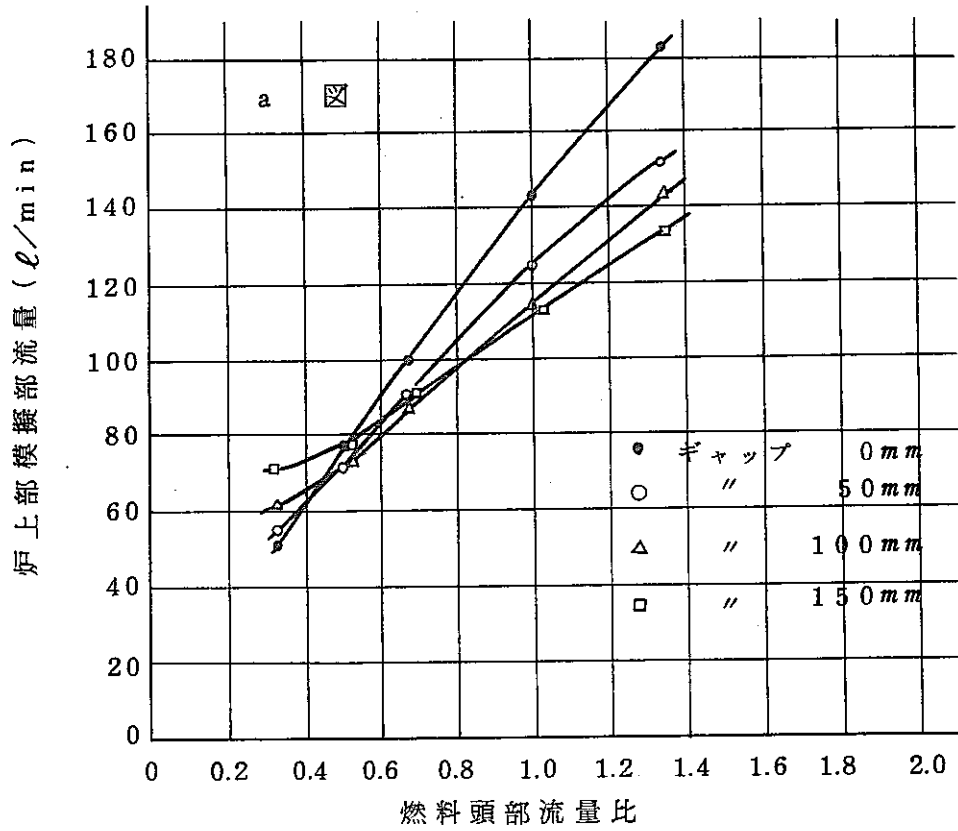


図 2 0

燃料チャンネル閉塞模擬試験特性 - 2

Na 温度 : 500°C

全循環流量 : 1000ℓ/min 一定

試験体 : 炉上部模擬部渦電流式流速計

(F-② 中央チャンネル)

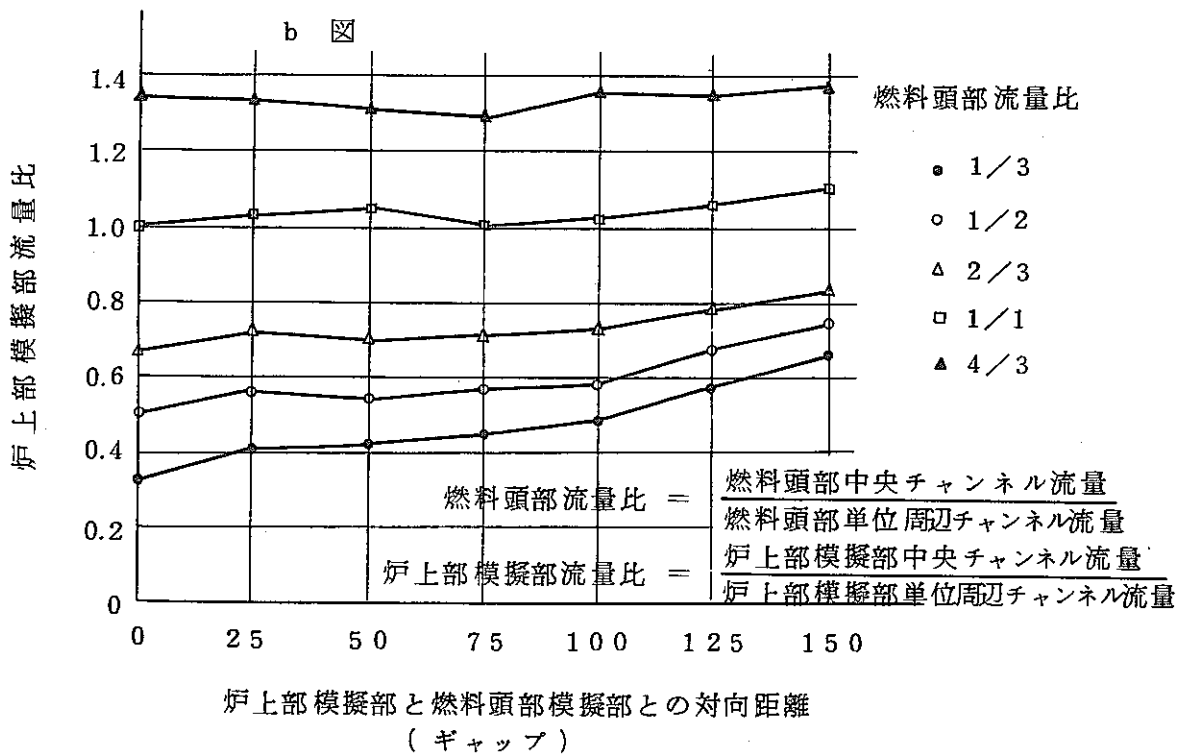
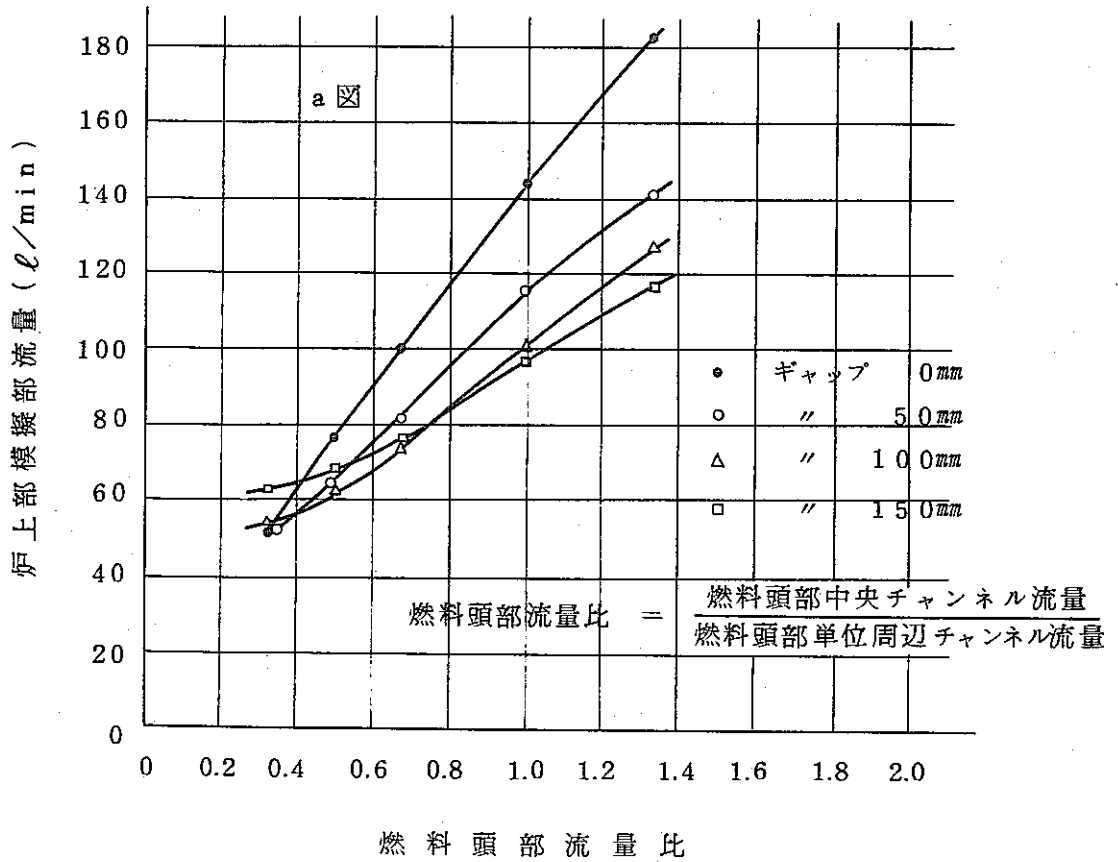


図 2 1 燃料チャンネル閉塞模擬試験特性 - 3

Na 温度 : 500°C

全循環流量 : 1000 ℓ/min 一定

試験体 : 炉上部模擬部永久磁石式炉内流量計 (周辺チャンネル)

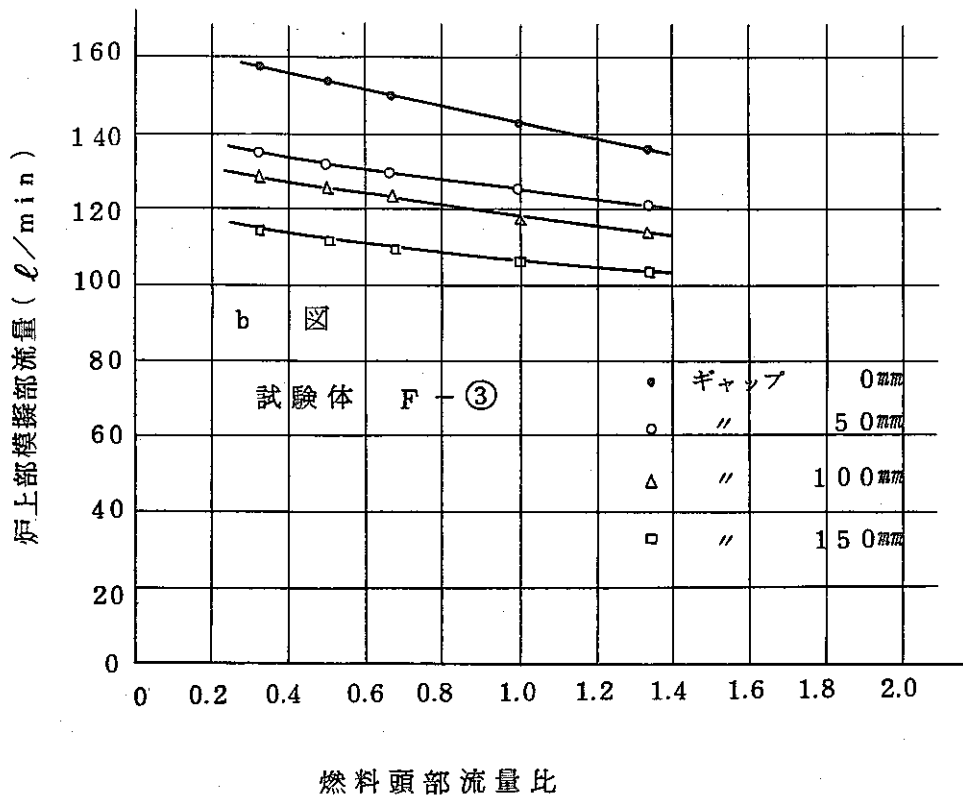
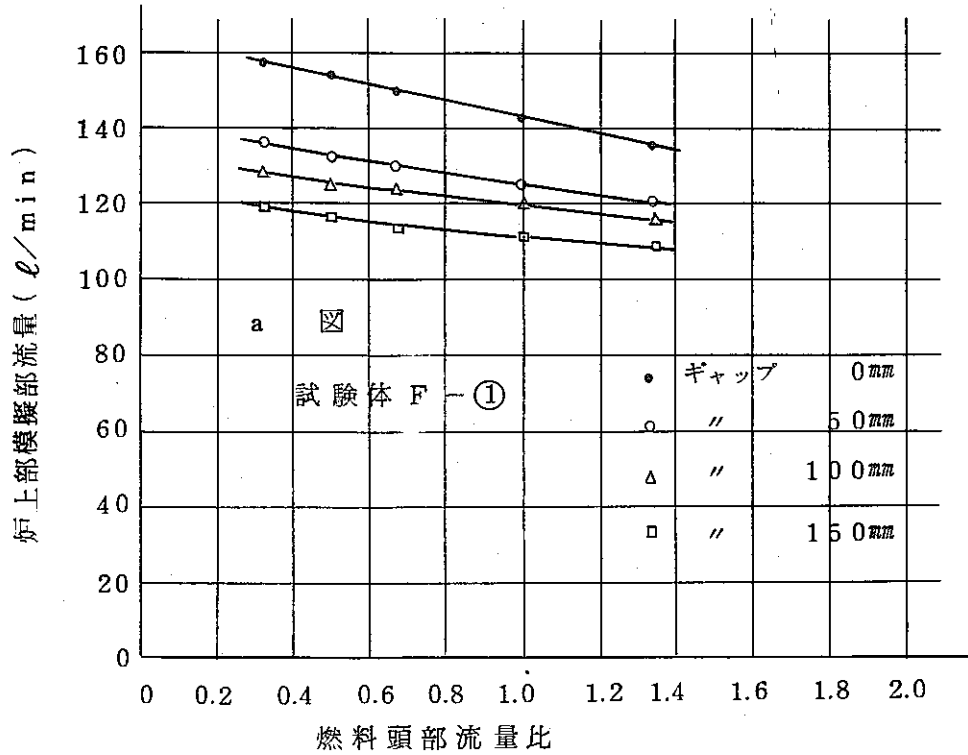


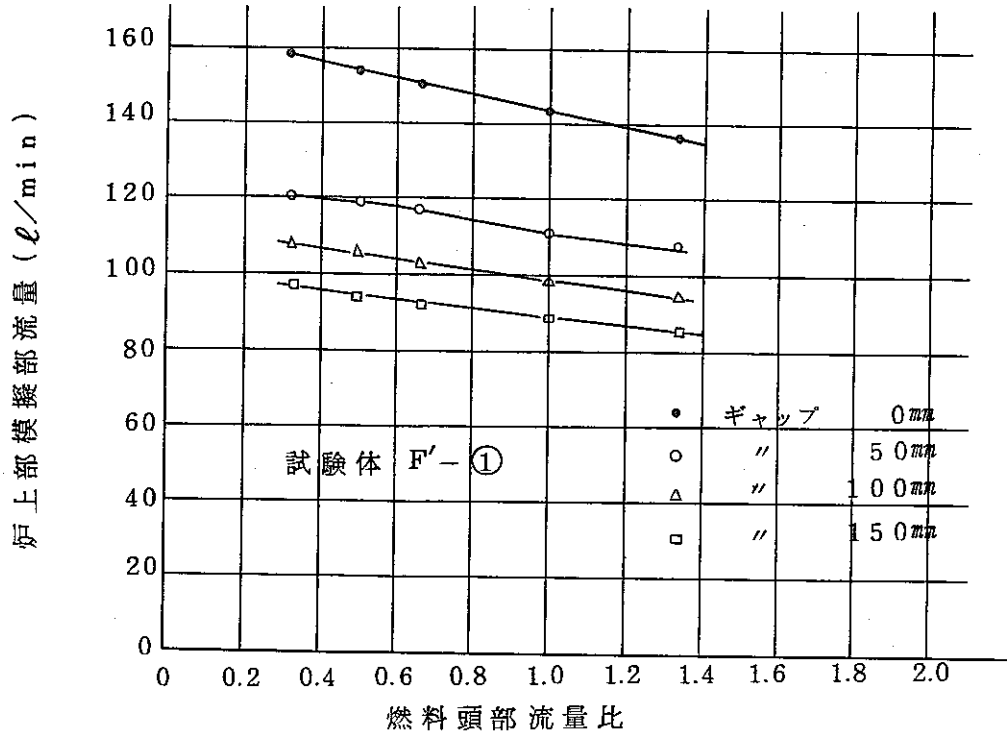
図 2 2 燃料チャンネル閉塞模擬試験特性 - 4

Na 温度 : 500°C

全循環流量 : 1000ℓ/min 一定

試験体 : 炉上部模擬部渦電流式流速計(周辺チャンネル)

a 図



b 図

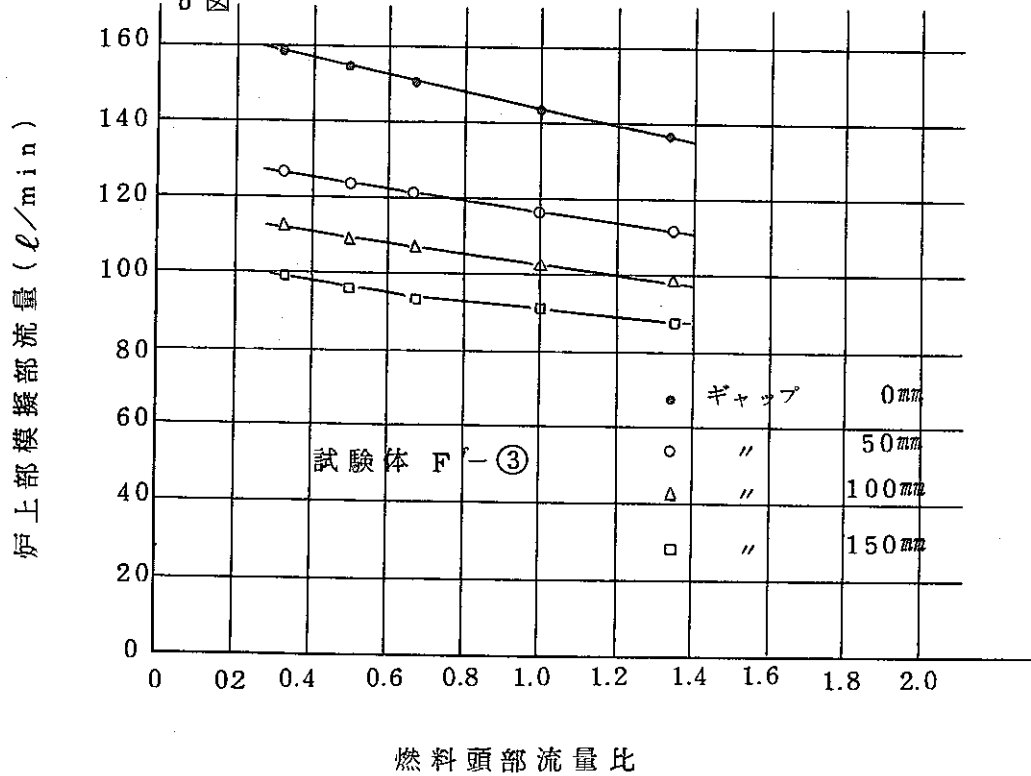


図 2 3 計算値と実験値の比較

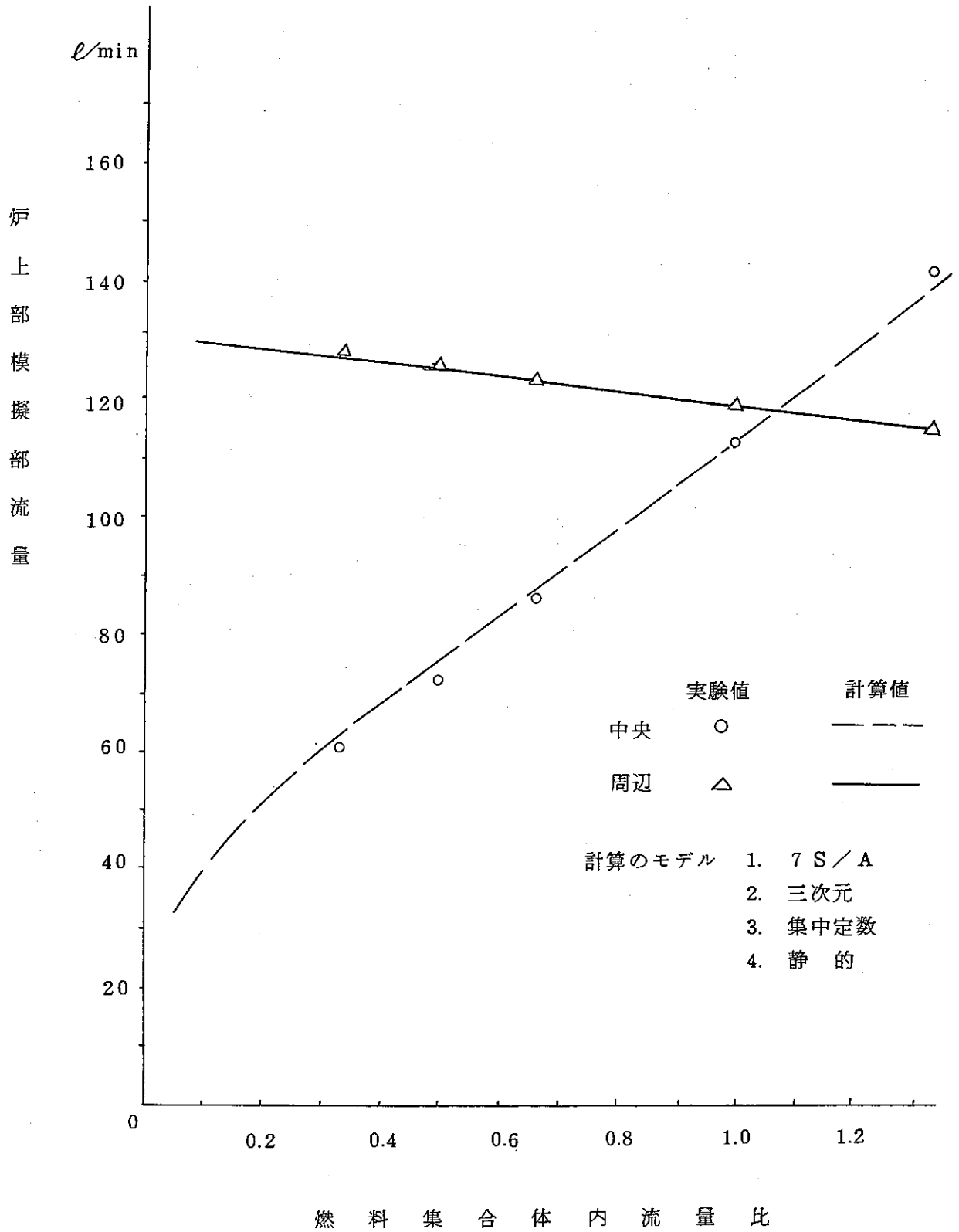


図24 燃料チャンネル閉塞(中央)
計算値

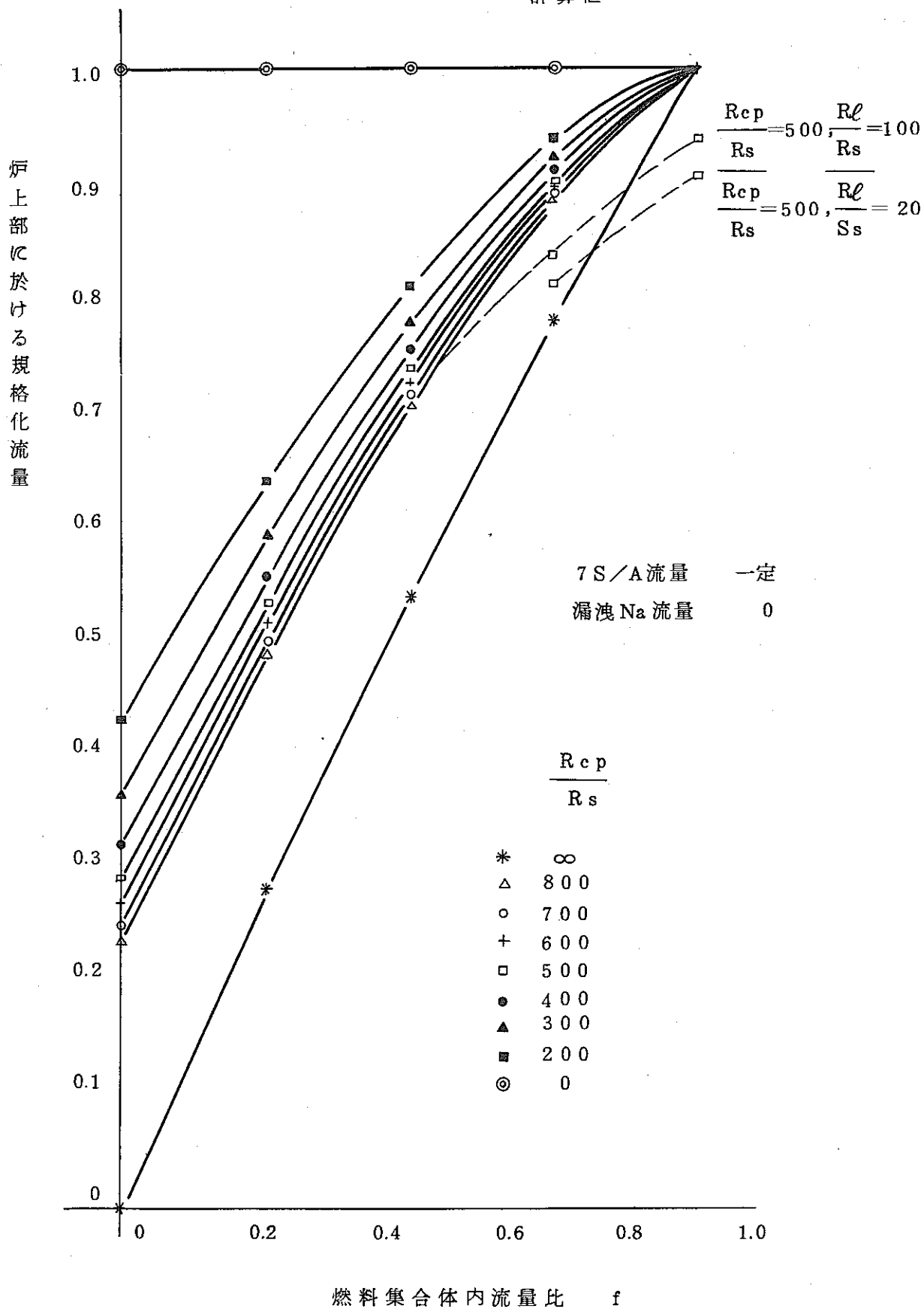
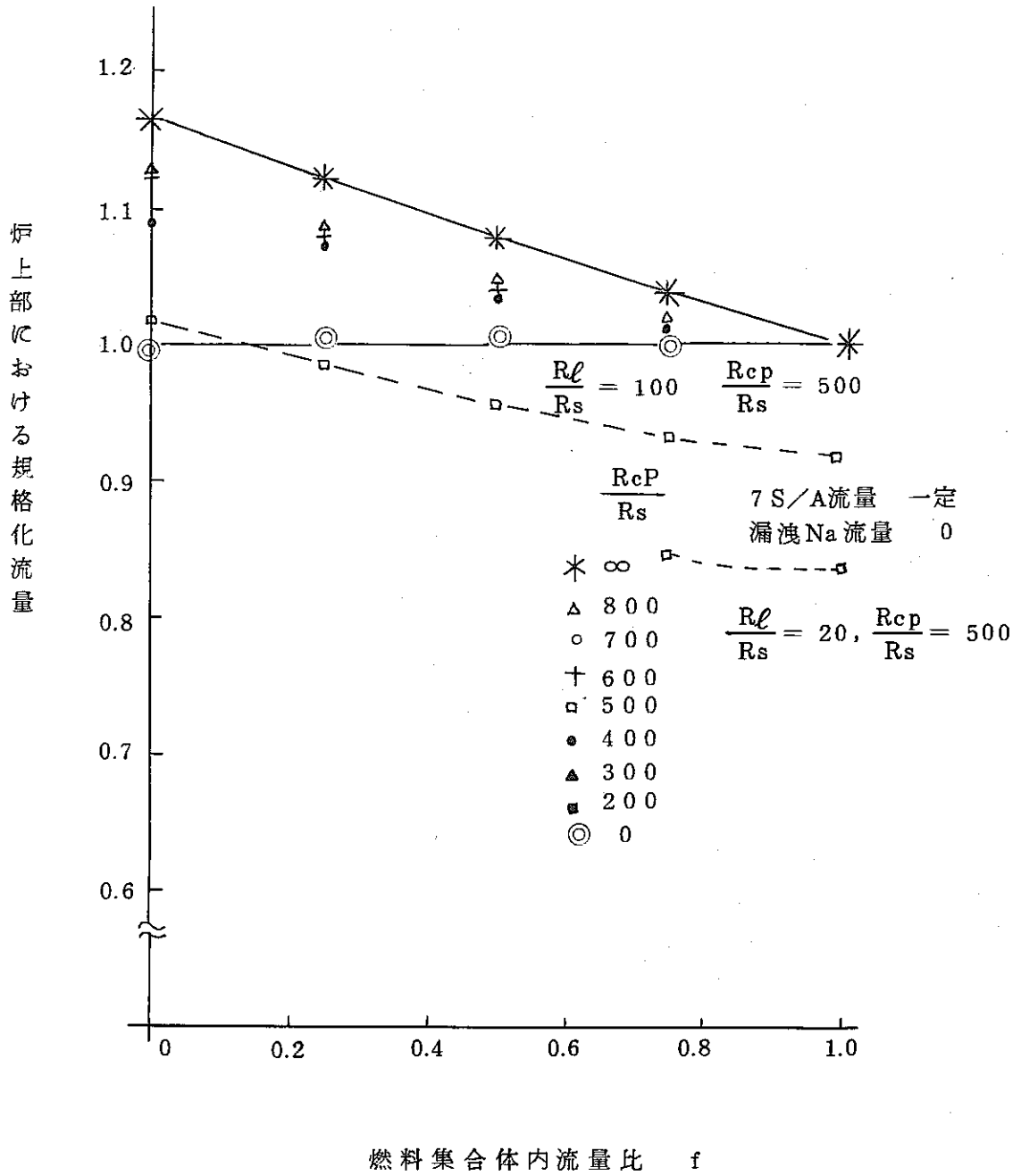


図 2 5 燃料チャンネル閉塞 (周辺) 計算値



被試験体 ; 渦電流式流速計 F'-②

Na 温度 ; 350℃

軸方向スペーシング ; 0 mm

圧力磁電流 ; 350 Hz, 0.1 A

● }
× } 連続注入
□ }
○ }
△ } 単発注入
□ }

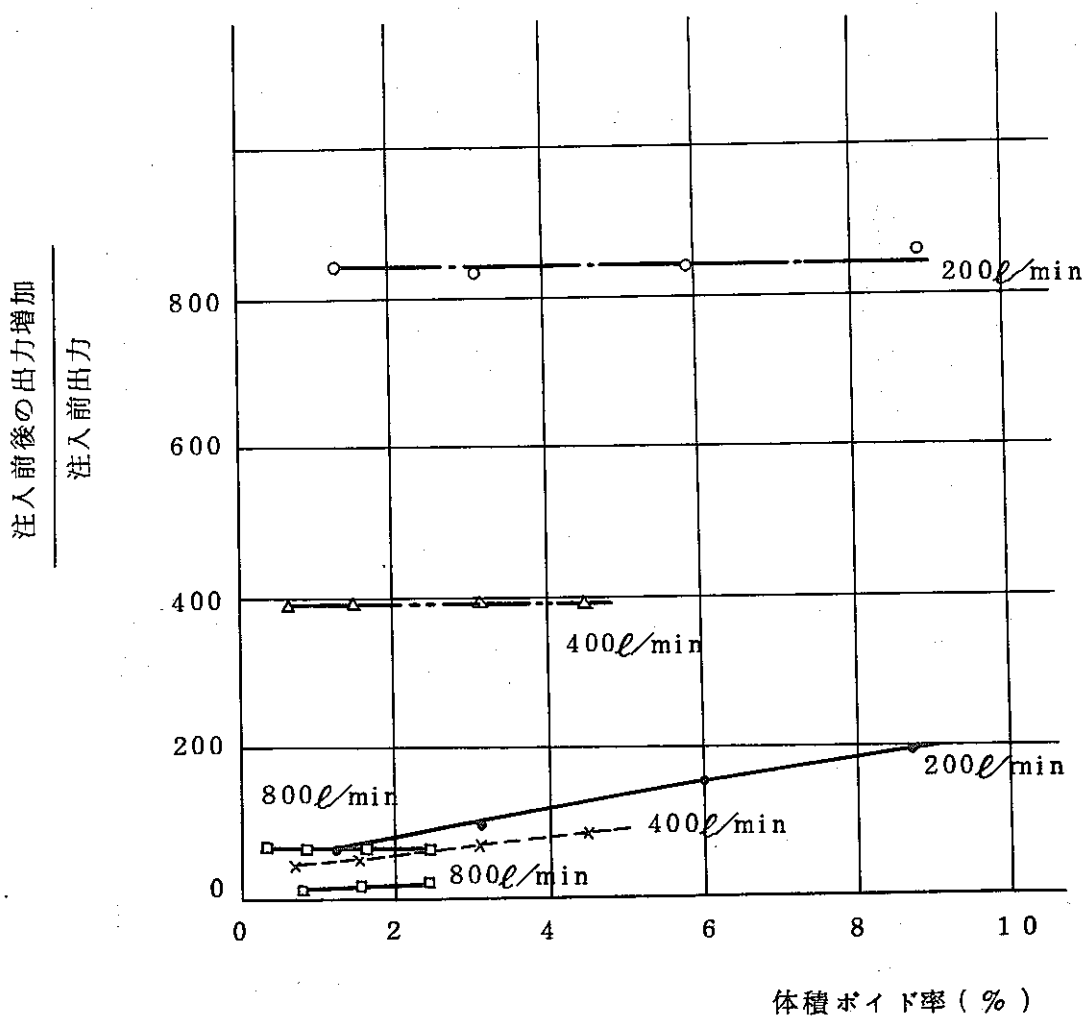


図 26 F P ガス注入特性 (1 集合体)

被試験体；渦電流式流速計 (F' - ②)

流量比 (中央 : 周辺) α ; 1 : 1

ポイド率 β ; 2.1 %

励磁周波数 , 電流 ; 350 Hz , 0.1 A

N a 温度 ; 350 °C

全 N a 流量 ; 1000 ℓ / min

注入条件 ; 単発

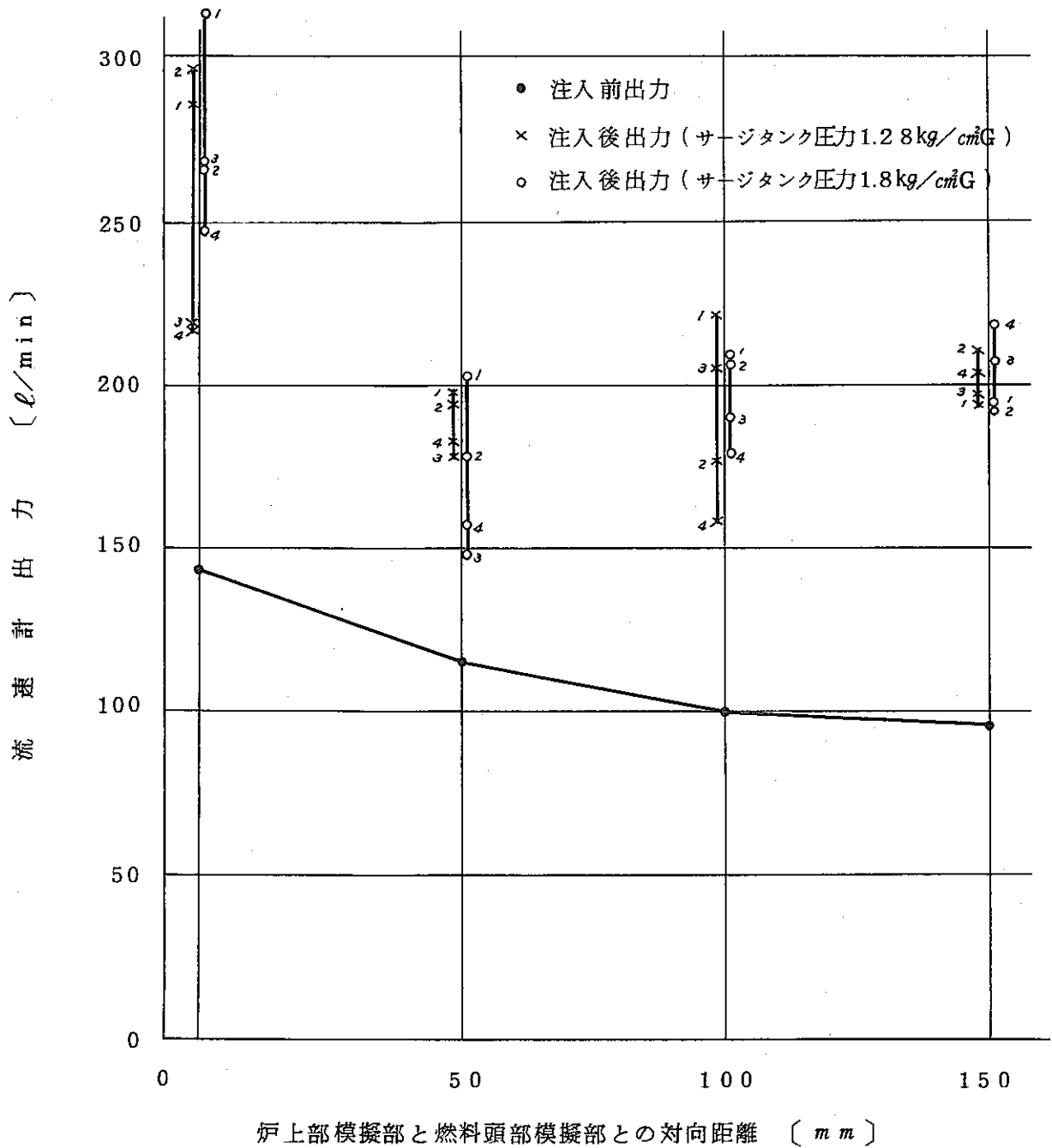


図 27 F P ガス 注入 特性 (7 集 合 体) - 1

被試験体；渦電流式流速計 (F' - ②)

流量比 (中央 : 周辺) α ; $\frac{2}{3} : 1$

ポイド率 β ; 2.96%

励磁周波数 , 電流 ; 350 Hz , 0.1 A

N a 温度 ; 350 °C

全 N a 流量 ; 1000 ℓ / min

注入条件 ; 単発

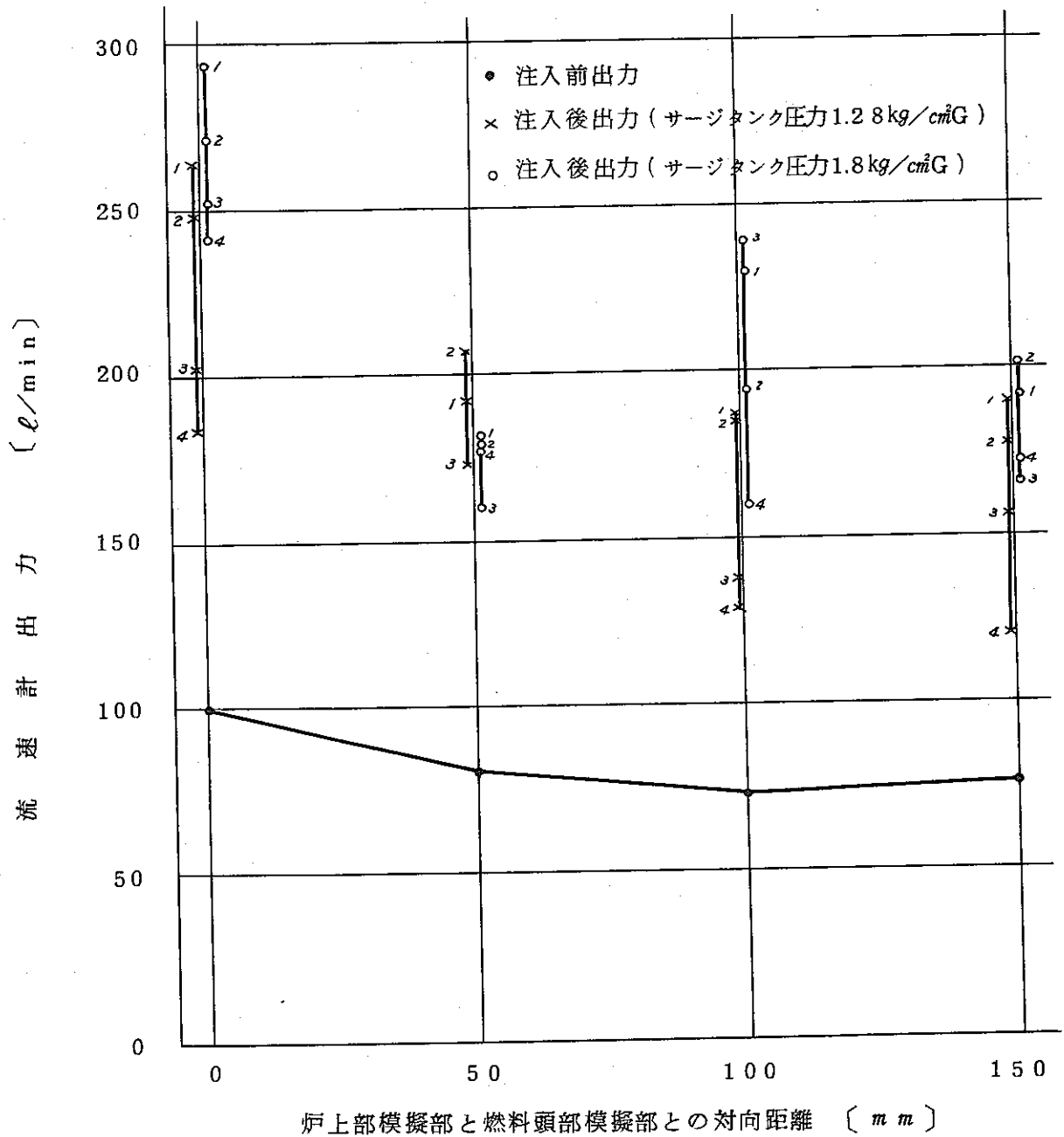


図 28 F P ガス注入特性 (7 集合体) - 2

被試験体；渦電流式流速計 (F' - ②)

流量比 (中央 : 周辺) α ; $\frac{1}{2} : 1$

ポイド率 β ; 3.8 %

励磁周波数 , 電流 ; 350 Hz , 0.1 A

Na 温度 ; 350 °C

全 Na 流量 ; 1000 l/min

注入条件 ; 単発

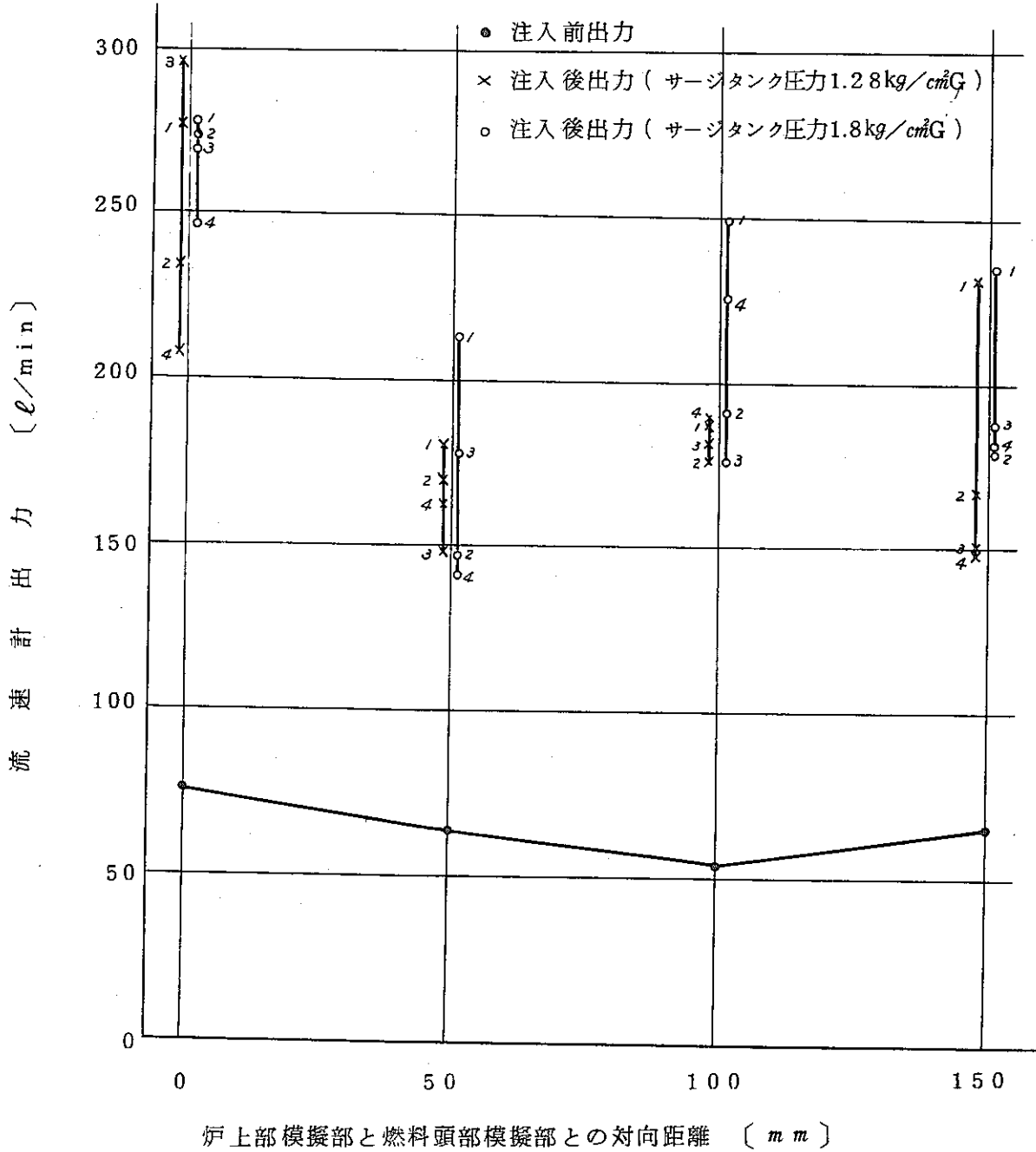


図 29 F P ガス 注入 特性 (7 集 合体) - 3

被試験体：渦電流式流速計 (F' - ②)

流量比 (中央 : 周辺) α ; $\frac{1}{3} : 1$

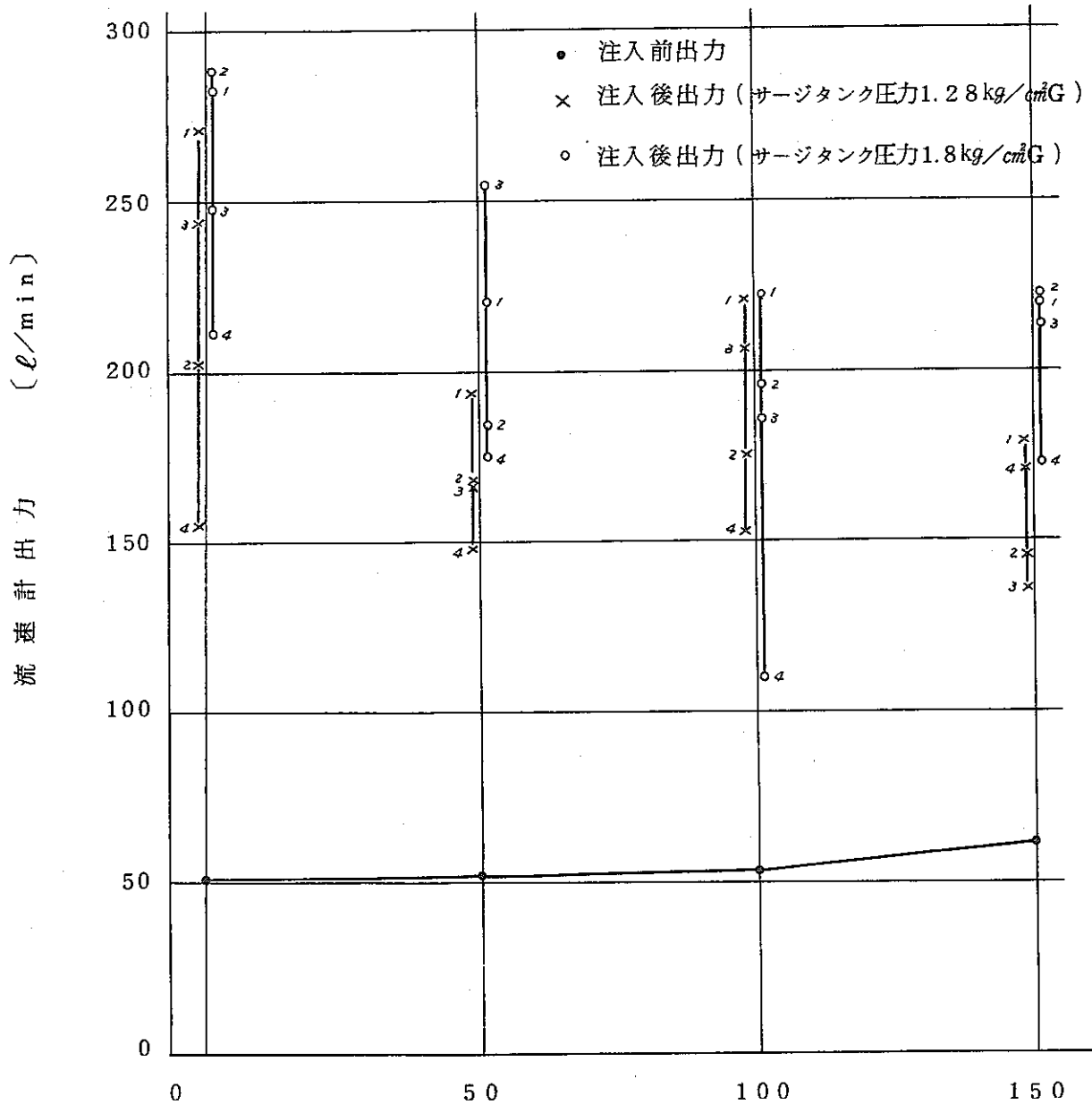
ボイド率 β ; 5.6 %

励磁周波数 , 電流 ; 350 Hz , 0.1 A

N a 温度 ; 350 °C

全 N a 流量 ; 1000 ℓ / min

注入条件 ; 単発



炉上部模擬部と燃料頭部模擬部との対向距離 (mm)

図 30 F P ガス 注入 特性 (7 集合体) - 4

被試験体；永久磁石式炉内流量計 (F - ②)

流量比 (中央 : 周辺) α ; 1 : 1

ボイド率 β ; 2.1 %

Na 温度 ; 350 °C

全 Na 流量 ; 1000 ℓ / min

注入条件 ; 単発

○ 注入前出力

× 注入後出力 (サージタンク圧力 1.28 $\text{kg/cm}^2\text{G}$)

○ 注入後出力 (サージタンク圧力 1.8 $\text{kg/cm}^2\text{G}$)

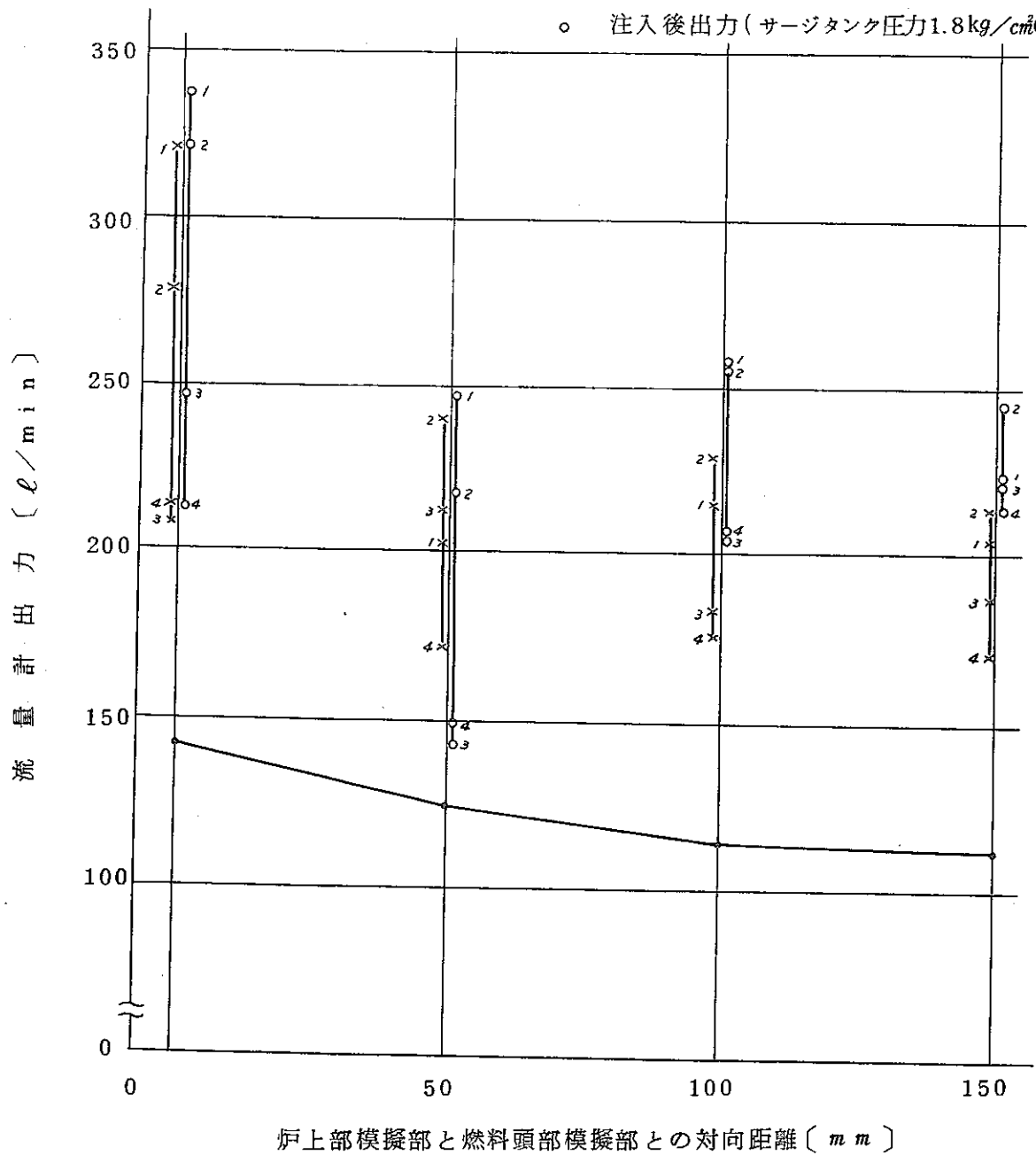


図 3 1 F P ガス注入特性 (7 集合体) - 5

被試験体；永久磁石式炉内流量計（F-②）

流量比（中央：周辺） α ； $\frac{1}{3}$ ：1

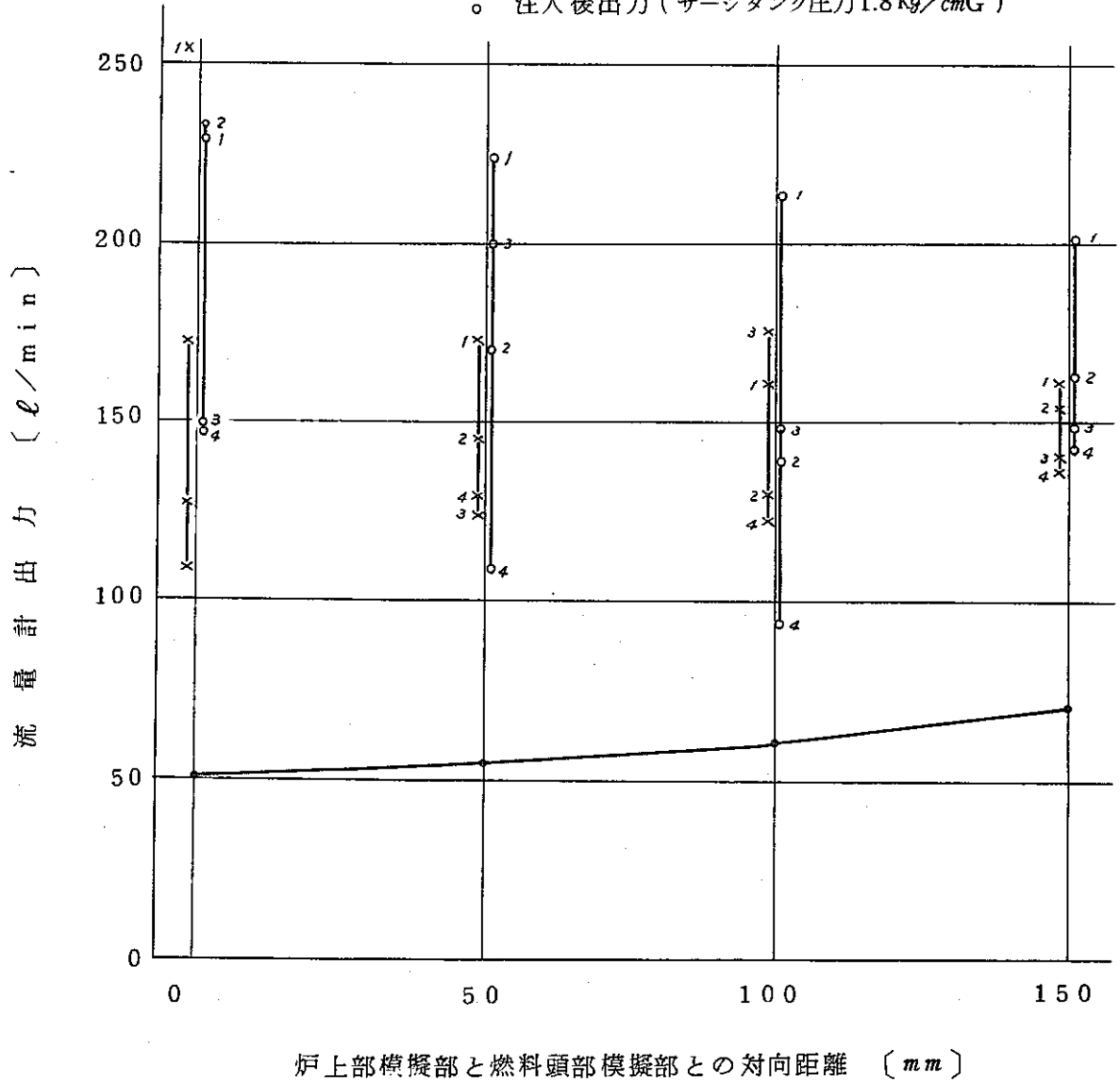
ボイド率 β ；5.6%

Na温度；350℃

全Na流量；1000ℓ/min

注入条件；単発

- 注入前出力
- × 注入後出力（サージタンク圧力1.28kg/cm²G）
- 注入後出力（サージタンク圧力1.8kg/cm²G）



炉上部模擬部と燃料頭部模擬部との対向距離〔mm〕

図3.2 FPガス注入特性（7集合体）-6

被試験体：渦電流式流速計 (F' - ②)

流量比 (中央 : 周辺) α : 1 : 1

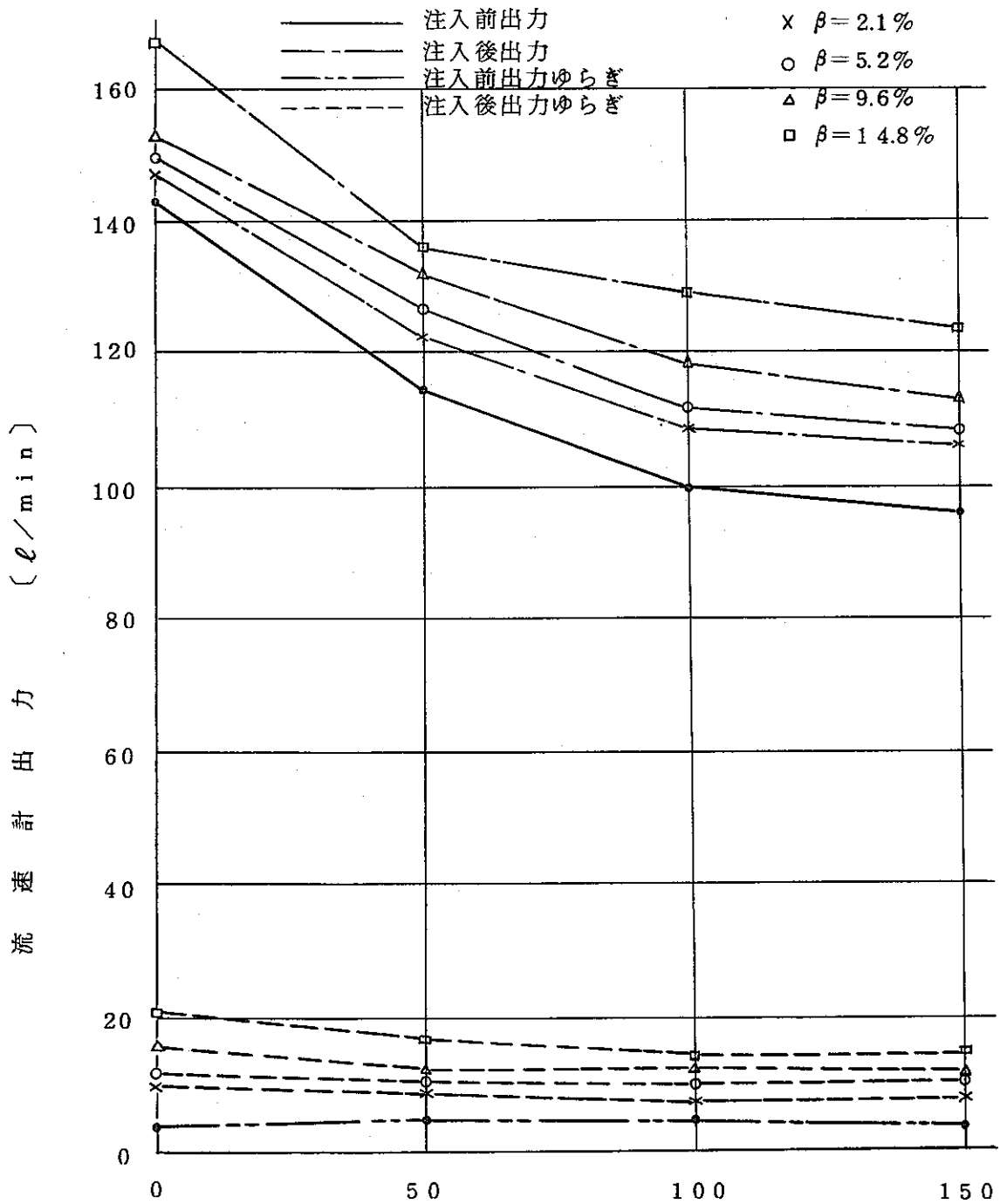
ポイド率 β : 下記

励磁周波数 , 電流 : 350 Hz , 0.1 A

Na 温度 : 350 °C

全 Na 流量 : 1000 ℓ / min

注入条件 : 連続注入



炉上部模擬部と燃料頭部模擬部との対向距離 (mm)

図 33 F P ガス注入特性 (7 集合体) - 7

被試験体 ; 渦電流式流速計 (F' - ②)
 流量比 (中央 : 周辺) $\alpha : \frac{2}{3} : 1$
 ボイド率 β : 下記
 励磁周波数 , 電流 : 350 Hz , 0.1 A
 Na 温度 : 350 °C
 全 Na 流量 : 1000 ℓ / min
 注入条件 : 連続注入

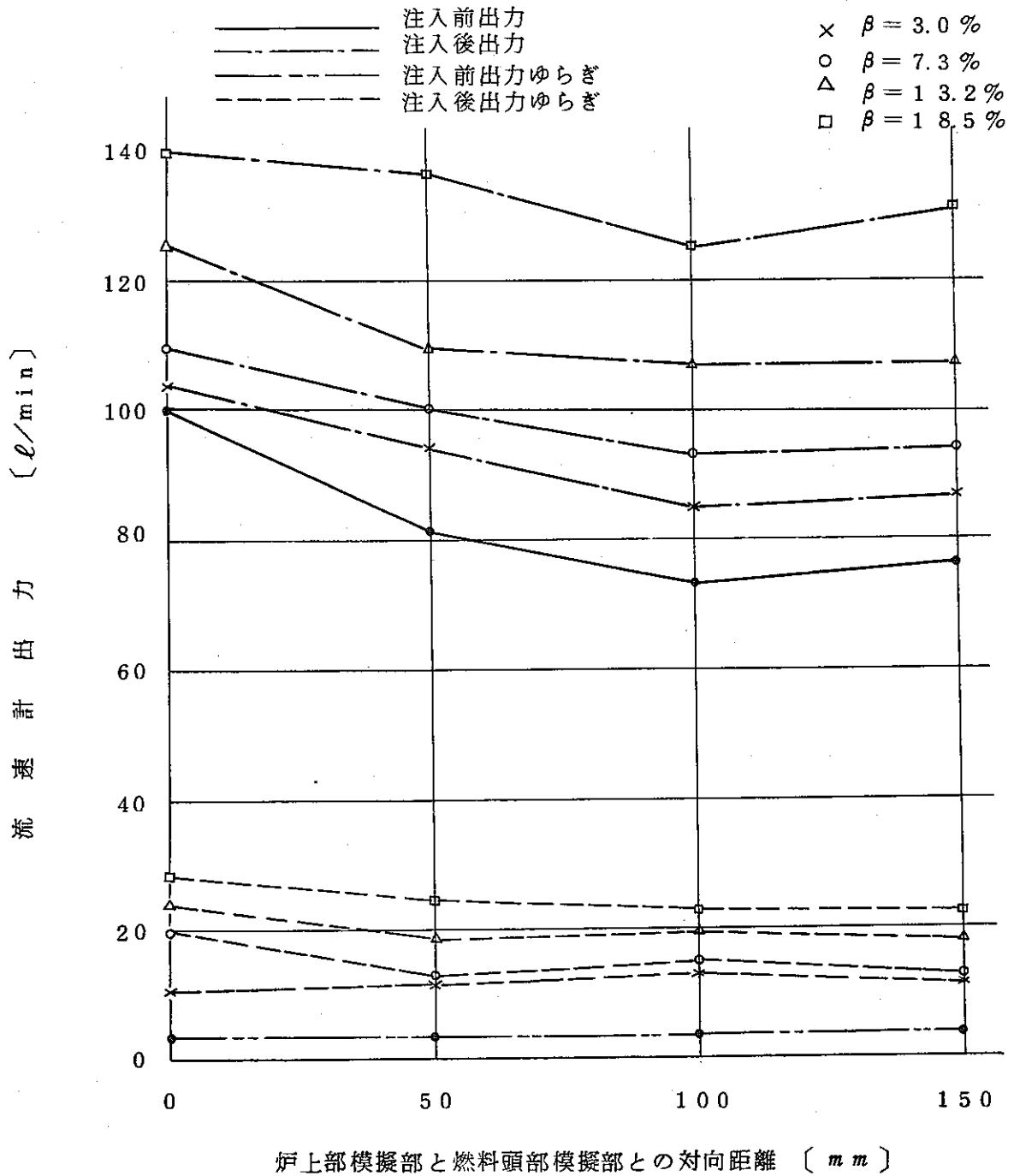


図 3 4 F P ガス 注入 特性 (7 集合体) - 8

被試験体：渦電流式流速計 (F'-②)

流量比 (中央 : 周辺) $\alpha : \frac{1}{2} : 1$

ボイド率 β : 下記

励磁周波数 , 電流 : 350 Hz , 0.1 A

Na 温度 : 350 °C

全 Na 流量 : 1000 l/min

注入条件 : 連続注入

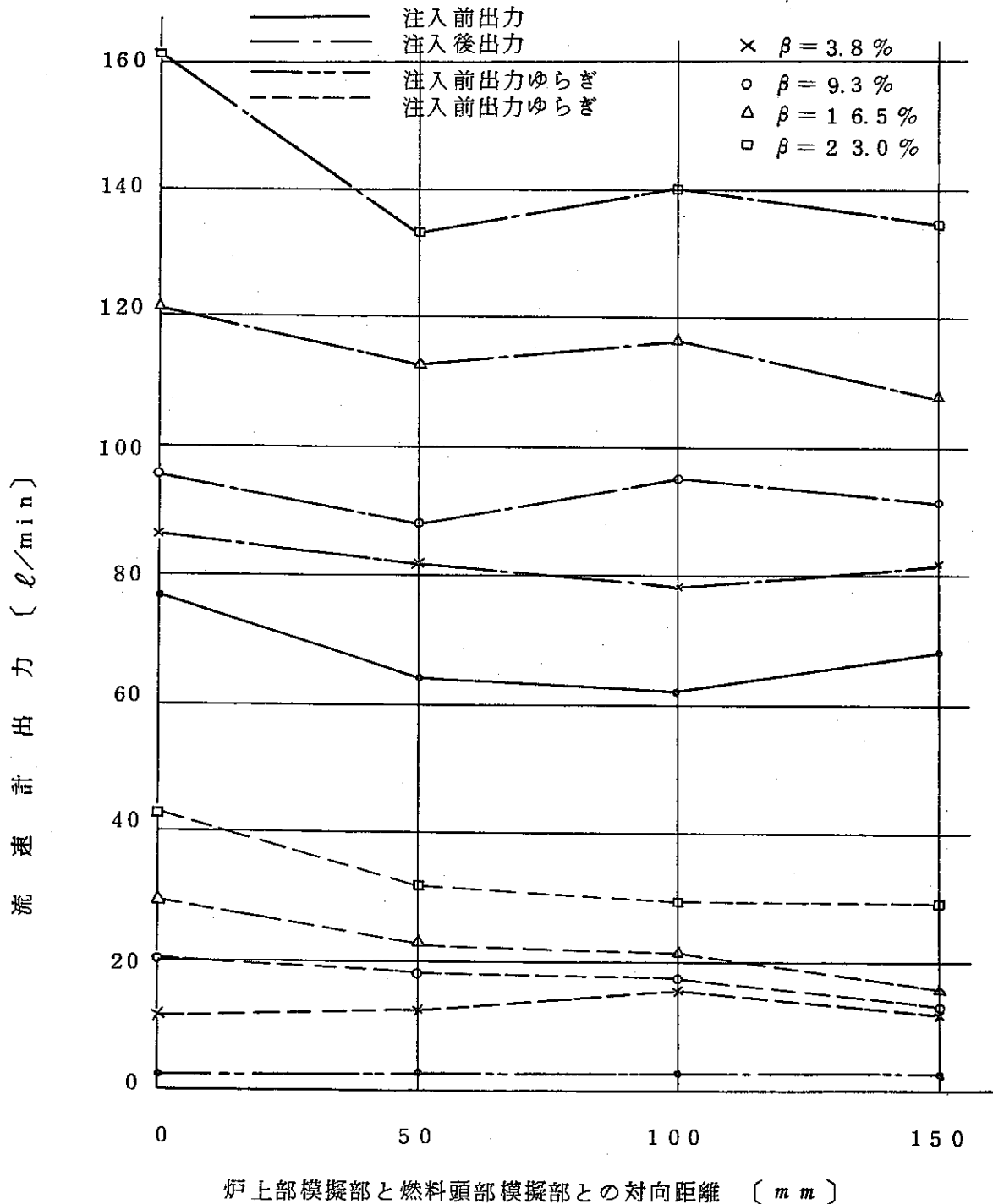


図35 F P ガス注入特性 (7 集合体) - 9

被試験体 ; 渦電流式流速計 (F' - ②)

流量比 (中央 : 周辺) α ; $\frac{1}{3} : 1$

ボイド率 β ; 下記

励磁周波数 , 電流 ; 350 Hz

Na 温度 ; 350 °C

全 Na 流量 ; 1000 l/min

注入条件 ; 連続注入

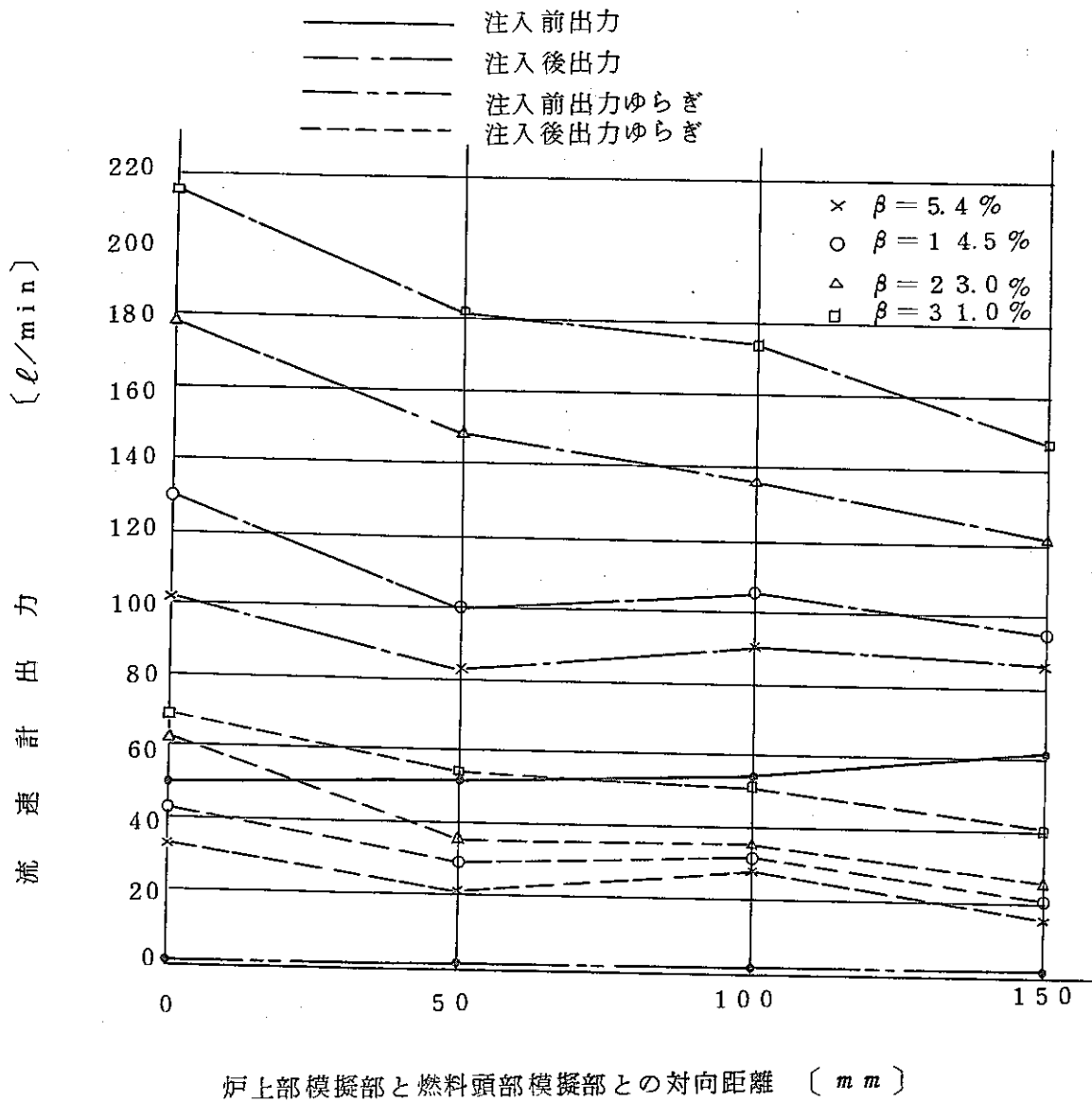


図 36 FP ガス 注入 特性 (7 集合体) - 10

被試験体：永久磁石式炉内流量計 (F - ②)

流量比 (中央 : 周辺) $\alpha : 1 : 1$

ポイド率 β : 下記

N a 温度 : 350 °C

全 N a 流量 : 1000 ℓ / min

注入条件 : 連続注入

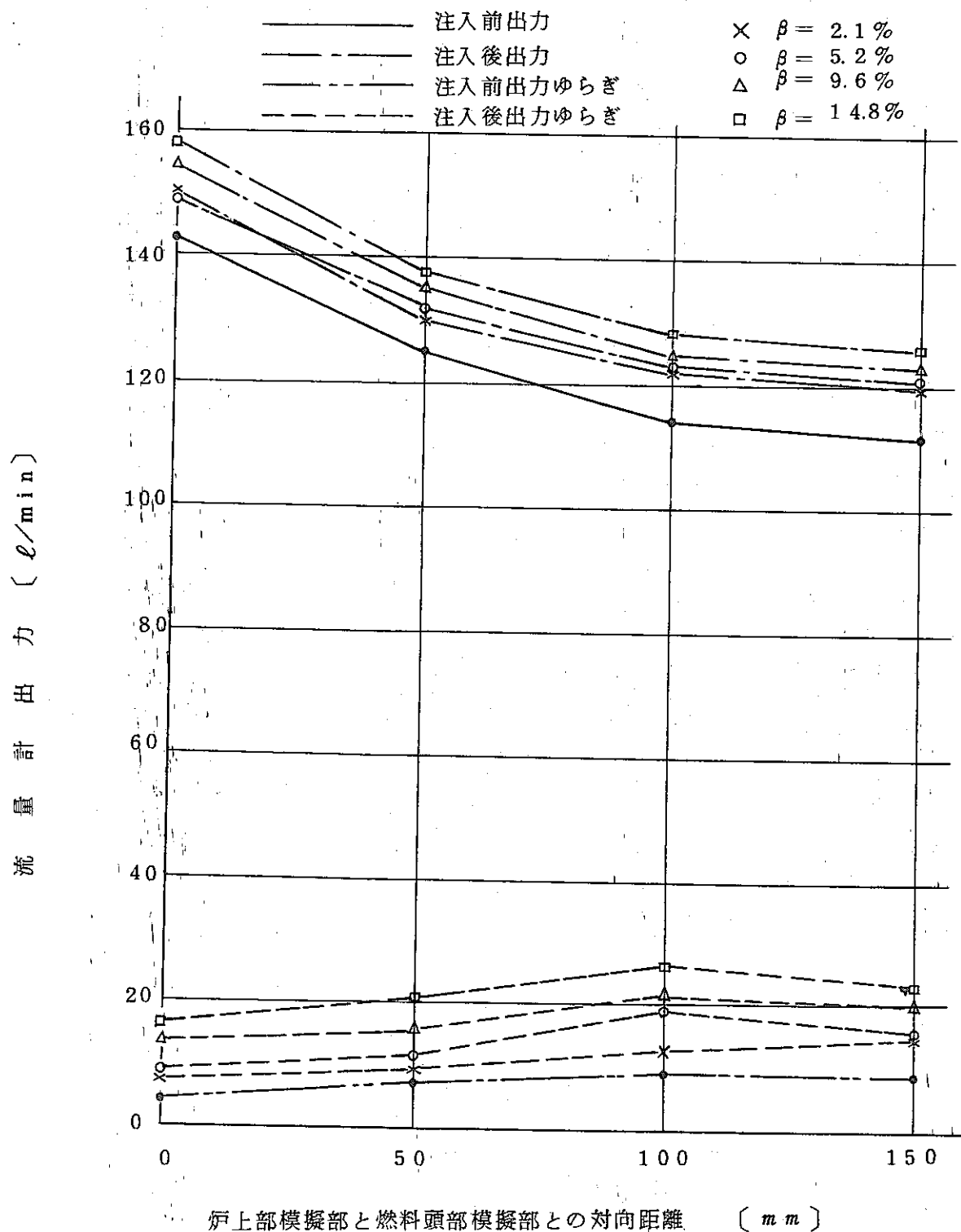


図 37 F P ガス 注入 特性 (7 集合体) - 1 1

被試験体 : 永久磁石式炉内流量計 (F - ②)

流量比 (中央 : 周辺) α ; $\frac{2}{3} : 1$

ボイド率 β ; 下記

N a 温度 ; 35.0°C

全 N a 流量 ; 1000 ℓ / min

注入条件 ; 連続注入

—————	注入前出力	\times $\beta = 30\%$
-----	注入後出力	\circ $\beta = 7.3\%$
-----	注入前出力ゆらぎ	Δ $\beta = 13.2\%$
-----	注入後出力ゆらぎ	\square $\beta = 18.5\%$

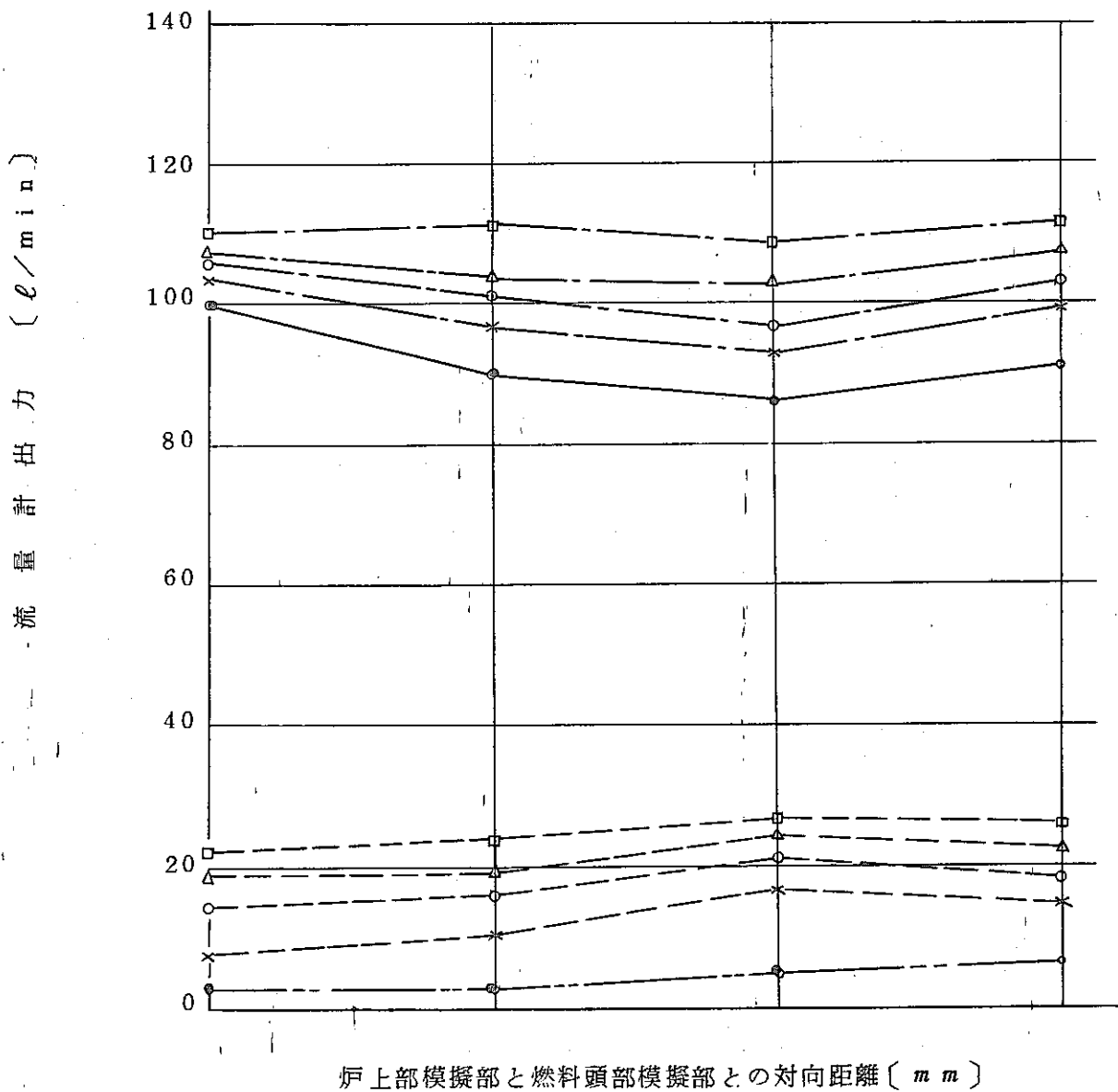


図 38 F P ガス注入特性 (7 集合体) - 1 2

被試験体；永久磁石式炉内流量計 (F - ②)

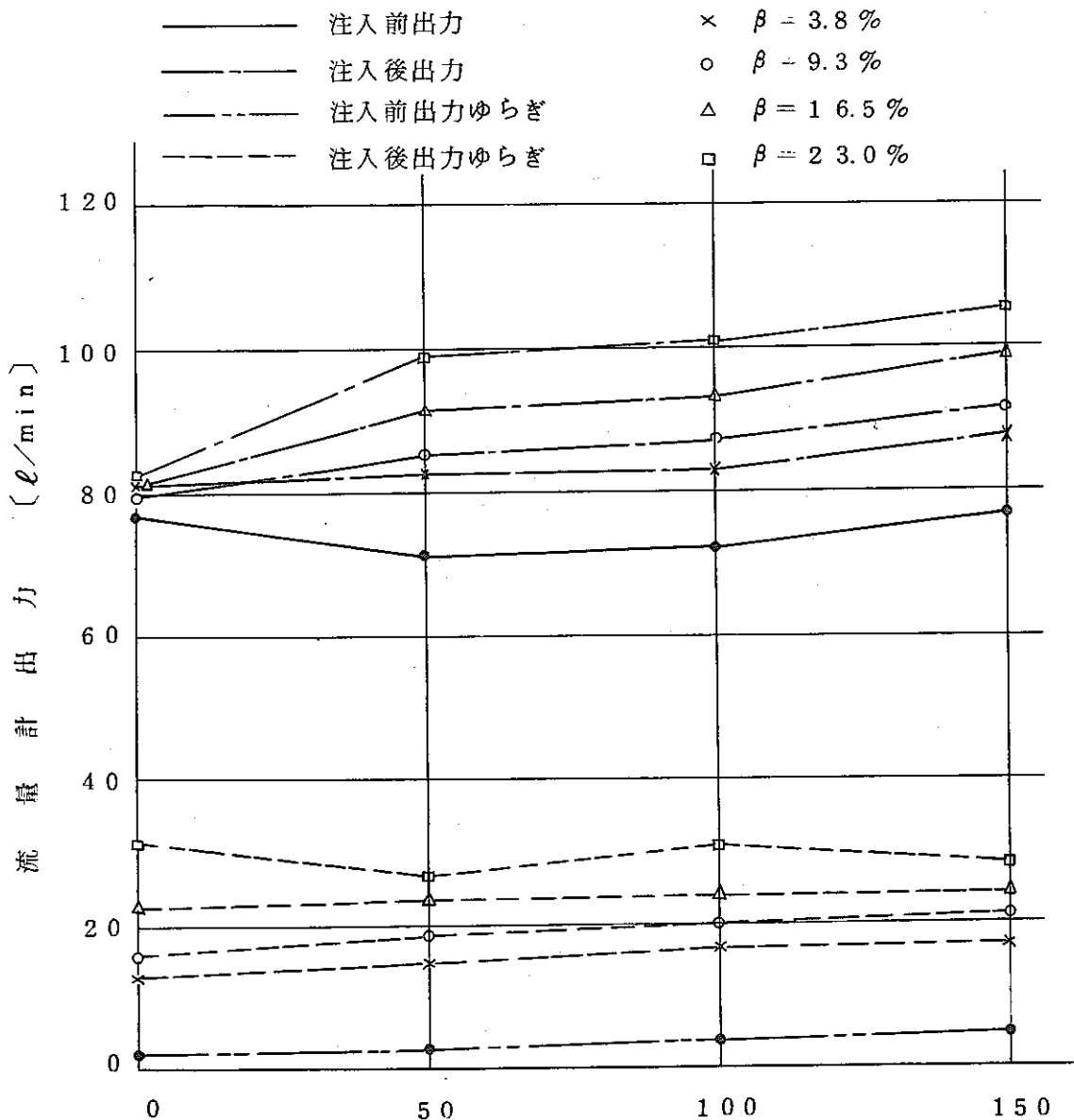
流量比 (中央 : 周辺 α ; $\frac{1}{2} : 1$

ボイド率 β ; 下記

N a 温度 ; 350°C

全 N a 流量 ; 1000 l/min

注入条件 ; 連続注入



炉上部模擬部と燃料頭部模擬部との対向距離 [mm]

図39 F P ガス注入特性 (7 集合体) - 13

被試験体；永久磁石式炉内流量計（F-②）

流量比（中央：周辺） α ； $\frac{1}{3}$ ：1

ボイド率 β ；下記

Na 温度；350℃

全 Na 流量；1000ℓ/min

注入条件；連続注入

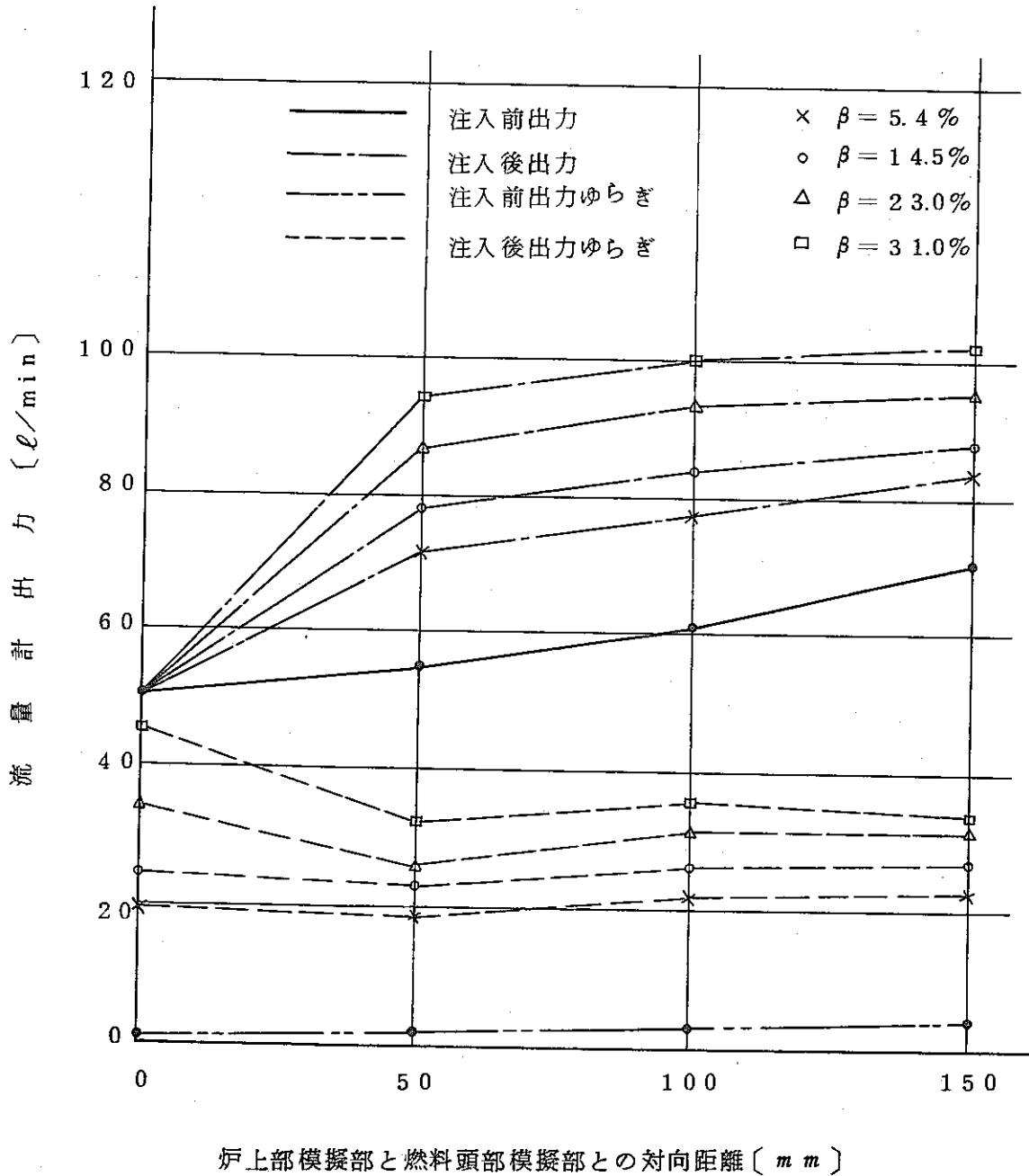


図40 FPガス注入特性（7集合体）-14

第 5 表		模 擬 F P ガ ス 注 入 に 対 す る 流 量 記 出 力 反 応													
ギャップ (mm)	流量比	ポイド率 (%)	F'-①		F'-②		F'-③		F-①		F-②		F-③		
			注入 直後	注入 中	注入 直後	注入 中	注入 直後	注入 中	注入 直後	注入 中	注入 直後	注入 中	注入 直後	注入 中	
0	1/3	5.6	0	0	D	D	0	0	0	0	D	A	0	0	
0	1/3	14.4	0	0	D	D	0	0	0	0	D	A	0	0	
0	1/3	23.0	0	0	D	D	0	0	0	0	D	A	0	0	
0	1/3	31.0	0	0	D	D	0	0	0	0	D	B	0	0	
0	1/2	3.8	0	0	D	A	0	0	0	0	C	A	0	0	
0	1/2	9.3	0	0	D	B	0	0	0	0	C	A	0	0	
0	1/2	16.5	0	0	D	C	0	0	0	0	C	A	0	0	
0	1/2	22.9	0	0	D	C	0	0	0	0	C	A	0	0	
0	2/3	2.96	0	0	D	A	0	0	0	0	C	A	0	0	
0	2/3	7.3	0	0	D	A	0	0	0	0	C	A	0	0	
0	2/3	13.2	0	0	D	A	0	0	0	0	C	A	0	0	
0	2/3	18.5	0	0	D	B	0	0	0	0	C	A	0	0	
0	1/1	2.1	0	0	C	A	0	0	0	0	C	A	0	0	
0	1/1	5.2	0	0	C	A	0	0	0	0	C	A	0	0	
0	1/1	9.6	0	0	C	A	0	0	0	0	C	A	0	0	
0	1/1	14.8	0	0	C	A	0	0	0	0	C	A	0	0	
50	1/3	5.6	0	0	D	C	0	0	A	0	D	A	A	0	
50	1/3	14.4	0	0	D	D	0	0	A	0	D	B	A	0	
50	1/3	23.0	0	0	D	D	0	0	A	0	D	B	A	0	
50	1/3	31.0	0	0	D	D	0	0	A	0	D	C	A	0	
50	1/2	3.8	0	0	D	A	0	0	A	0	D	A	A	0	
50	1/2	9.3	0	0	D	A	0	0	A	0	D	A	A	0	
50	1/2	16.5	0	0	D	C	0	0	A	0	D	A	A	0	
50	1/2	22.9	0	0	D	C	0	0	A	0	D	B	A	0	
50	2/3	2.96	0	0	D	A	0	0	A	0	C	A	A	0	
50	2/3	7.3	0	0	D	A	0	0	A	0	C	A	A	0	
50	2/3	13.2	0	0	D	A	0	0	A	0	C	A	A	0	
50	2/3	18.5	0	0	D	B	0	0	A	0	C	B	A	0	

ギャップ (mm)	流量比	ポイド率 (%)	F'-①		F'-②		F'-③		F-①		F-②		F-③	
			注入 直後	注入 中	注入 直後	注入 中	注入 直後	注入 中	注入 直後	注入 中	注入 直後	注入 中	注入 直後	注入 中
50	1/1	2.1	0	0	C	A	0	0	A	0	B	A	A	0
50	1/1	5.2	0	0	C	A	0	0	A	0	B	A	A	0
50	1/1	9.6	0	0	C	A	0	0	A	0	C	A	A	0
50	1/1	14.8	0	0	C	A	0	0	A	0	C	A	A	0
100	1/3	5.6	0	0	D	C	A	0	A	0	D	A	A	0
100	1/3	14.4	0	0	D	D	A	0	A	0	D	B	A	0
100	1/3	23.0	0	0	D	D	0	0	A	0	D	B	A	0
100	1/3	31.0	0	0	D	D	0	0	A	0	D	C	A	0
100	1/2	3.8	0	0	D	A	0	0	A	0	C	A	A	0
100	1/2	9.3	0	0	D	B	0	0	A	0	C	A	A	0
100	1/2	16.5	0	0	D	C	0	0	A	0	C	A	A	0
100	1/2	22.9	A	0	D	C	A	0	A	0	C	B	A	0
100	2/3	29.6	0	0	D	A	0	0	A	0	C	A	A	0
100	2/3	7.3	0	0	D	A	0	0	A	0	C	A	A	0
100	2/3	13.2	0	0	D	A	0	0	A	0	C	A	A	0
100	2/3	18.5	0	0	D	B	0	0	A	0	C	A	A	0
100	1/1	2.1	0	0	C	A	0	0	A	0	C	A	A	0
100	1/1	5.2	0	0	C	A	0	0	A	0	C	A	A	0
100	1/1	9.6	0	0	C	A	0	0	A	0	C	A	A	0
100	1/1	14.8	0	0	C	A	A	0	A	0	C	A	A	0
150	1/3	5.6	A	0	D	C	A	0	A	0	D	B	A	0
150	1/3	14.4	A	0	D	C	A	0	A	0	D	B	A	0
150	1/3	23.0	A	0	D	D	A	A	A	0	D	B	A	0
150	1/3	31.0	A	A	D	D	A	A	A	0	D	C	A	0
150	1/2	3.8	0	0	D	A	A	0	A	0	C	A	A	0
150	1/2	9.3	A	0	D	B	A	0	A	0	C	A	A	0
150	1/2	16.5	A	0	D	B	A	0	A	0	C	B	A	0
150	1/2	22.9	A	A	D	C	A	0	A	0	C	B	A	0

ギャップ (mm)	流量比	ボイド率 (%)	F'-①		F'-②		F'-③		F-①		F-②		F-③	
			注入 直後	注入 中	注入 直後	注入 中	注入 直後	注入 中	注入 直後	注入 中	注入 直後	注入 中	注入 直後	注入 中
150	2/3	2.96	A	0	C	A	0	0	A	0	C	A	A	0
150	2/3	7.3	A	0	C	A	A	0	A	0	C	A	A	0
150	2/3	13.2	0	0	C	A	A	0	A	0	C	A	A	0
150	2/3	18.5	0	0	C	B	0	0	A	0	C	A	A	0
150	1/1	2.1	A	0	C	A	A	0	A	0	B	A	A	0
150	1/1	5.2	0	0	C	A	A	0	A	0	B	A	A	0
150	1/1	9.6	A	0	C	A	A	0	A	0	B	A	A	0
150	1/1	14.8	0	0	C	A	A	A	A	0	B	A	A	0

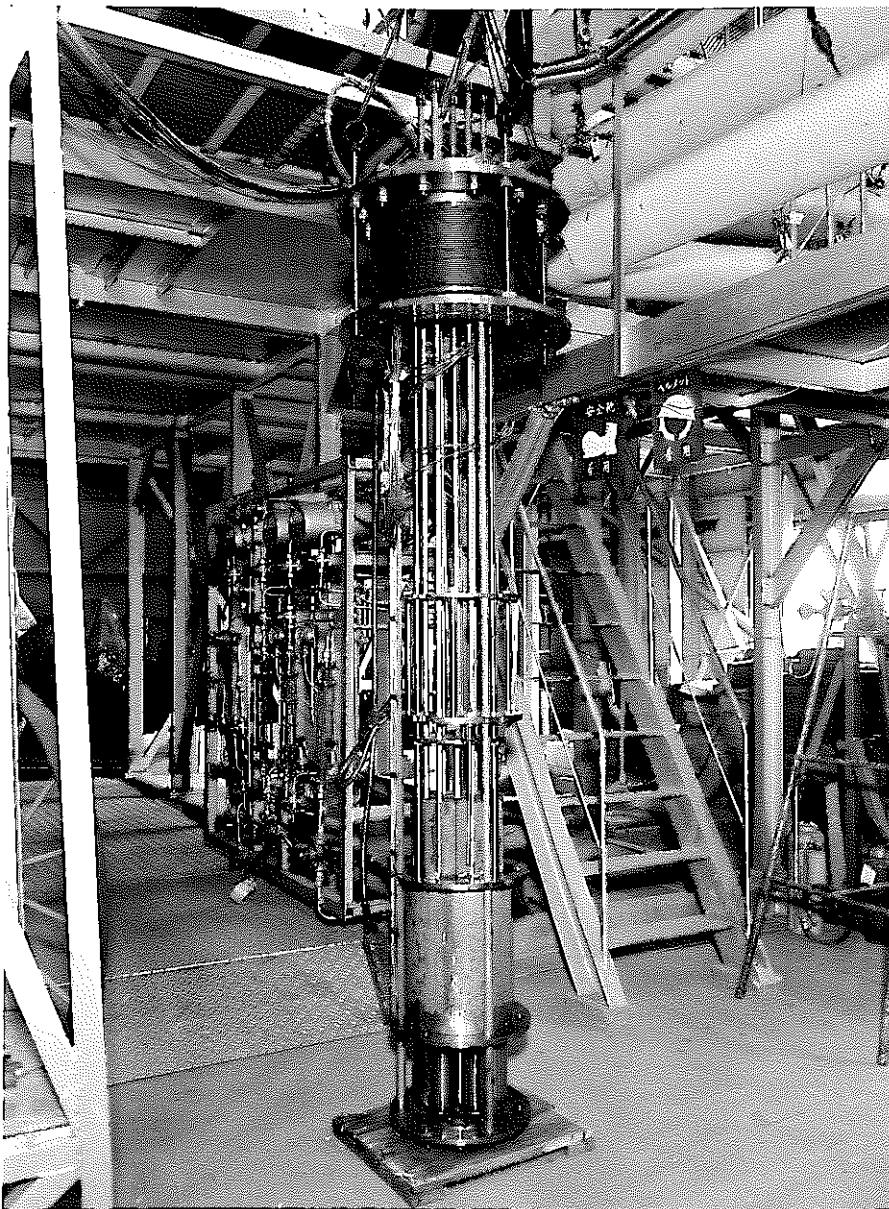
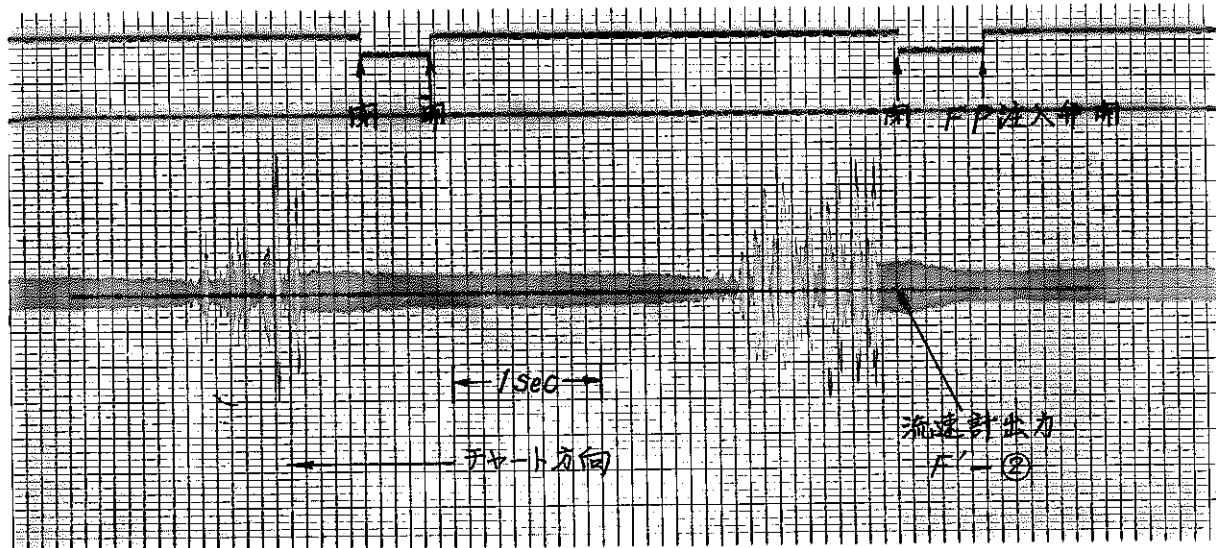
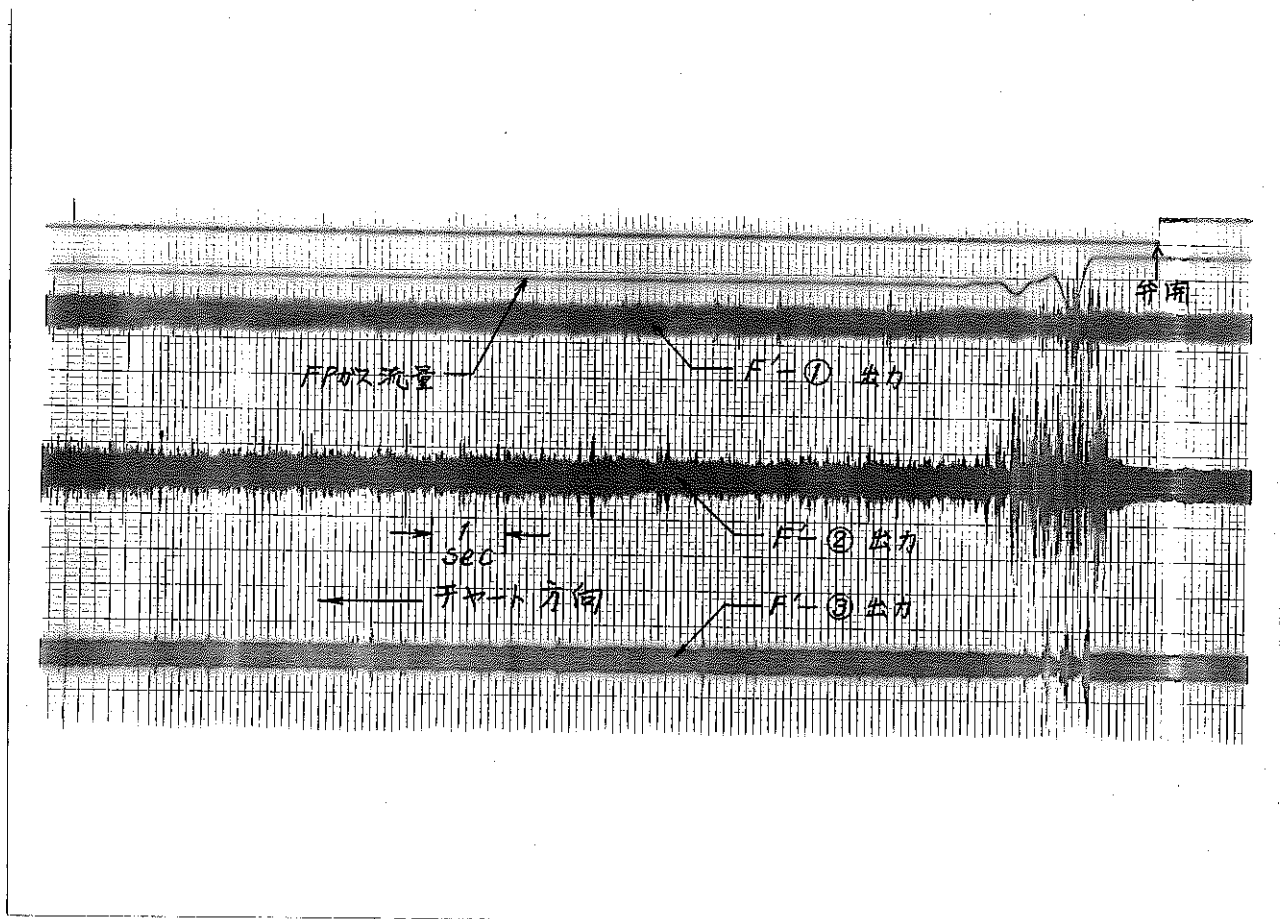


写真1 : 模擬7集合体チャンネル流量測定装置



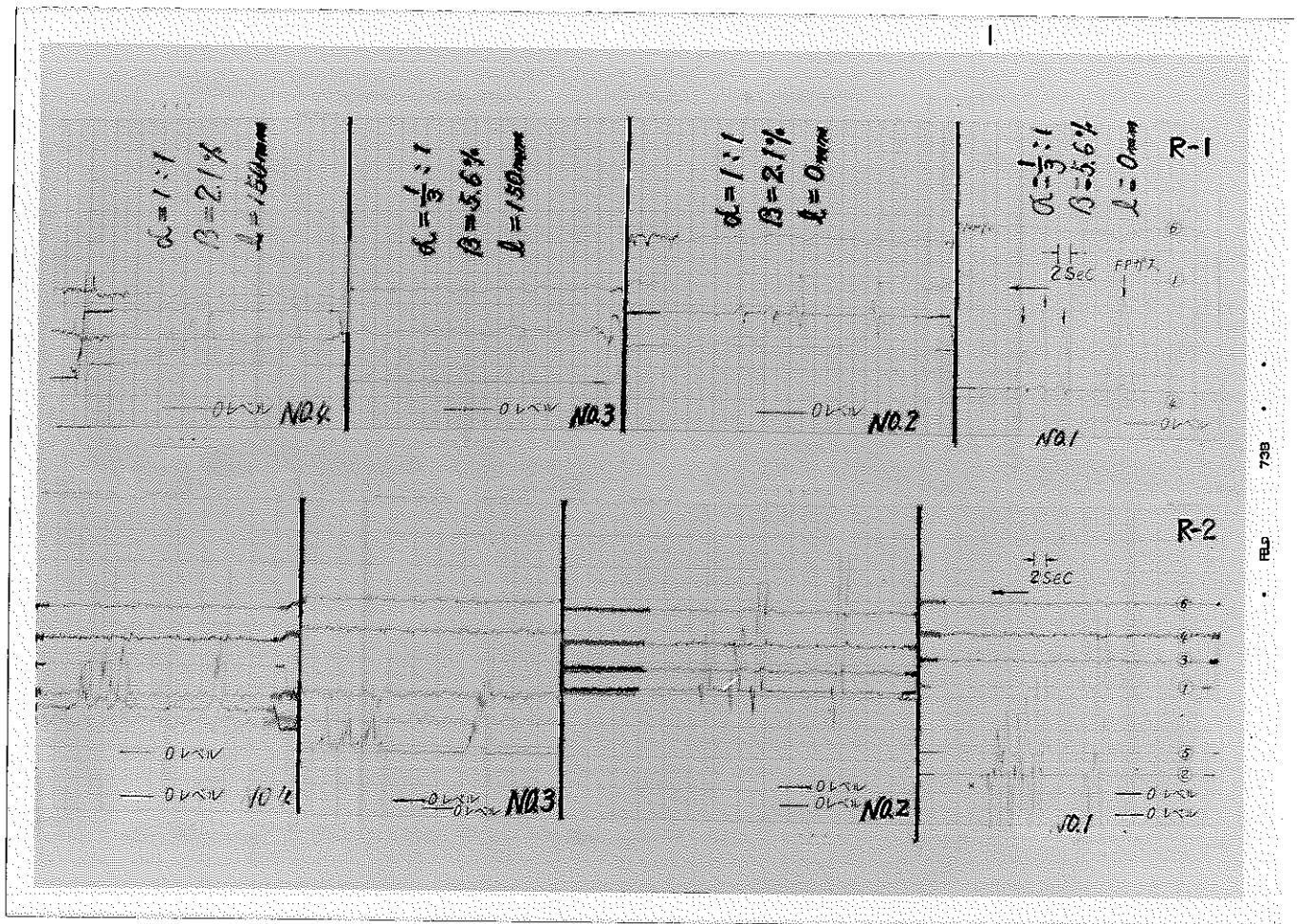
被試験体 ; 渦電流式流速計 (F' - ②)
 流量比 (中央 : 周辺) α ; 1 : 1
 ボイド率 β ; 2.1 %
 Na 温度 ; 350 °C
 全 Na 流量 ; 1000 ℓ / min
 サージタンク圧力 ; 1.28 $\text{kg} / \text{cm}^2 \text{G}$
 対向距離 (ギャップ) ; 150 mm
 注入条件 ; 単発注入

写真2 F P ガス注入特性 (7 集合体) - 1



被試験体 ; 渦電流式流速計 (F'-① , F'-② , F'-③)
 流量比 (中央 : 周辺) α ; 1 : 1
 ボイド率 β ; 5.2 %
 Na 温度 ; 350 °C
 全 Na 流量 ; 1000 ℓ / min
 サージタンク圧力 ; 1.28 $\text{kg} / \text{cm}^2 \text{G}$
 対向距離 ; 150 mm
 注入条件 ; 連続注入

写真 3 F P ガス注入特性 (7 集合体) - 2



Na 温度 ; 3 5 0 ° C , 全 Na 流量 ; 1 0 0 0 ℓ / min , サージタンク圧力 ;
 1.28 kg / cm² G , 注入条件 ; 単発注入

R - 1 ; ①ペン F'-① , ④ペン F'-② , ⑥ペン F'-③

R - 2 ; ①ペン F-① , ②ペン F-② , ③ペン F-③

④ペン F-④ , ⑤ペン F-⑤ , ⑥ペン F-⑥

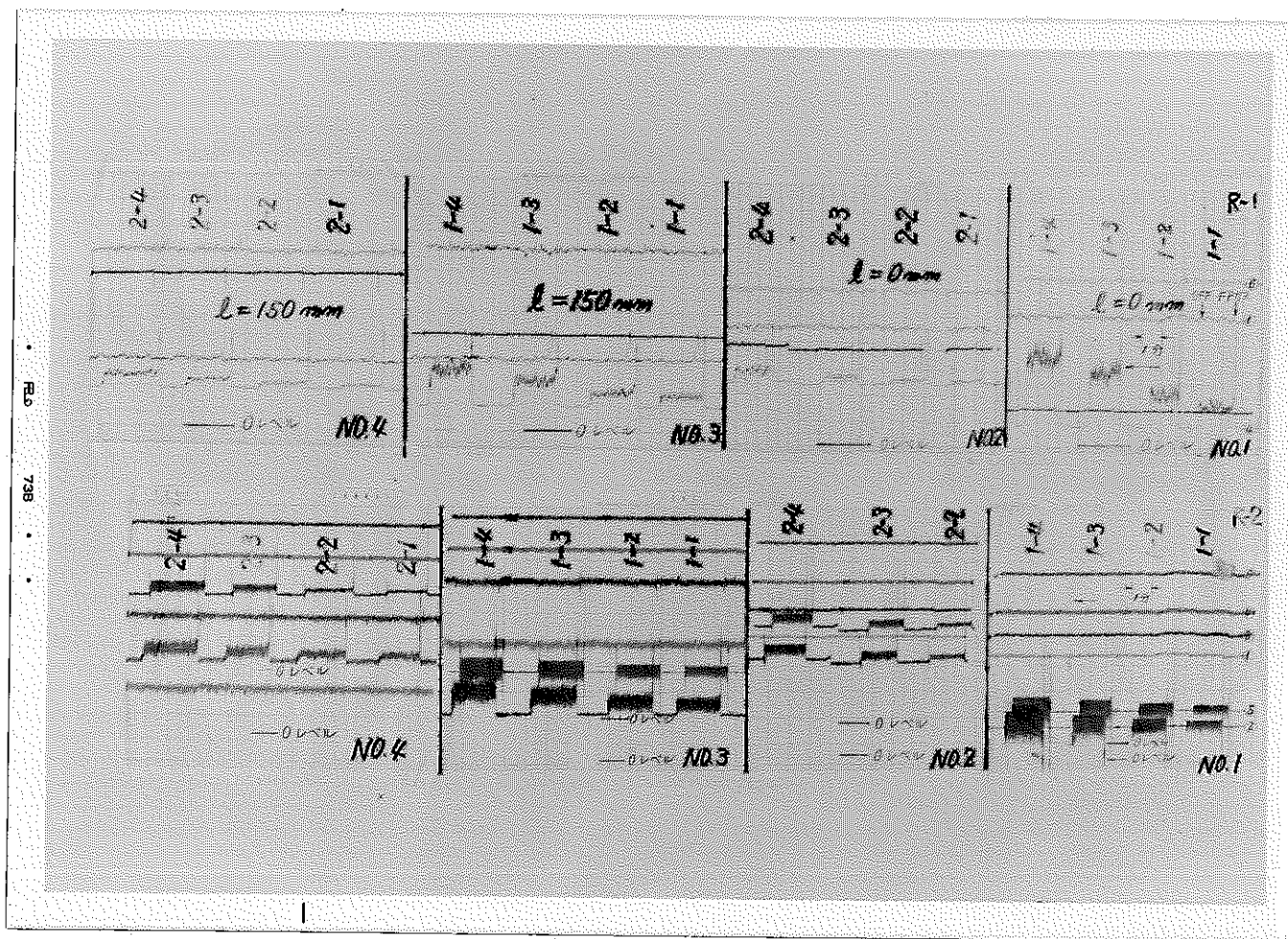
Na 1 $\alpha ; \frac{1}{3} : 1$, $\beta = 5.6 \%$, $l = 0 \text{ mm}$

Na 2 $\alpha ; 1 : 1$, $\beta = 2.1 \%$, $l = 0 \text{ mm}$

Na 3 $\alpha ; \frac{1}{3} : 1$, $\beta = 5.6 \%$ $l = 150 \text{ mm}$

Na 4 $\alpha ; 1 : 1$, $\beta = 2.1 \%$ $l = 150 \text{ mm}$

写真 4 F P ガス注入特性 (7 集合体) - 3



Na 温度 ; 350°C , 全 Na 流量 ; 1000 ℓ/min , サージタンク圧力 ;

1.28 $\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$, 注入条件 ; 連続注入

R-1 ; ①へン F'-① , ④へン F'-② , ⑥へン F'-③

R-2 ; ①へン F-① , ②へン F-② , ③へン F-③

④へン F-④ , ⑤へン F-⑤ , ⑥へン F-⑥

1-1 ; $\beta = 5.6\%$, 1-2 ; $\beta = 14.4\%$, 1-3 ; $\beta = 23\%$, 1-4 ; $\beta = 31\%$

2-1 ; $\beta = 2.1\%$, 2-2 ; $\beta = 5.2\%$, 2-3 ; 9.6% , 2-4 ; $\beta = 14.8\%$

Na 1 $\alpha ; \frac{1}{3} : 1$ $l = 0\text{mm}$

Na 2 $\alpha ; 1 : 1$ $l = 0\text{mm}$

Na 3 $\alpha ; \frac{1}{3} : 1$ $l = 150\text{mm}$

Na 4 $\alpha ; 1 : 1$ $l = 150\text{mm}$

写真 5 F P ガス 注入 特性 (7 集合体) - 4