

# SWAT-1 試験装置による大リーク ナトリウム-水反応試験

(第II報 水注入条件を変化させた場合のナトリウム-水反応諸特性とその検討)

1972年10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下さい。

〒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

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:  
Technology Management Section, O-arai Engineering Center, Power Reactor  
and Nuclear Fuel Development Corporation 4002, Narita O-arai-machi Higashi-  
Ibaraki-gun, Ibaraki, 311-14, Japan

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

正 誤 天

№	正	誤	正
1	9	木代村の村長	木代村の村長
2	6	木代村の村長(No. 21)	木代村の村長(No. 21)
3	4	木代村の村長(No. 21)	木代村の村長(No. 21)
4	3	木代村の村長(No. 21)	木代村の村長(No. 21)
5	3	木代村の村長(No. 21)	木代村の村長(No. 21)
6	4	木代村の村長(No. 21)	木代村の村長(No. 21)
7	2	木代村の村長(No. 21)	木代村の村長(No. 21)
8	4	木代村の村長(No. 21)	木代村の村長(No. 21)
9	12	木代村の村長(No. 21)	木代村の村長(No. 21)
10	11	木代村の村長(No. 21)	木代村の村長(No. 21)
11	2	木代村の村長(No. 21)	木代村の村長(No. 21)
12	6	木代村の村長(No. 21)	木代村の村長(No. 21)
13	3	木代村の村長(No. 21)	木代村の村長(No. 21)
14	4	木代村の村長(No. 21)	木代村の村長(No. 21)
15	4	木代村の村長(No. 21)	木代村の村長(No. 21)
16	2	木代村の村長(No. 21)	木代村の村長(No. 21)
17	2	木代村の村長(No. 21)	木代村の村長(No. 21)
18	2	木代村の村長(No. 21)	木代村の村長(No. 21)
19	2	木代村の村長(No. 21)	木代村の村長(No. 21)
20	2	木代村の村長(No. 21)	木代村の村長(No. 21)
21	2	木代村の村長(No. 21)	木代村の村長(No. 21)
22	2	木代村の村長(No. 21)	木代村の村長(No. 21)
23	2	木代村の村長(No. 21)	木代村の村長(No. 21)
24	2	木代村の村長(No. 21)	木代村の村長(No. 21)
25	2	木代村の村長(No. 21)	木代村の村長(No. 21)
26	2	木代村の村長(No. 21)	木代村の村長(No. 21)
27	4	木代村の村長(No. 21)	木代村の村長(No. 21)
28	6	木代村の村長(No. 21)	木代村の村長(No. 21)
29	2	木代村の村長(No. 21)	木代村の村長(No. 21)
30	15	木代村の村長(No. 21)	木代村の村長(No. 21)
31	7	木代村の村長(No. 21)	木代村の村長(No. 21)
32	3	木代村の村長(No. 21)	木代村の村長(No. 21)
33	9	木代村の村長(No. 21)	木代村の村長(No. 21)
34	7	木代村の村長(No. 21)	木代村の村長(No. 21)
35	2	木代村の村長(No. 21)	木代村の村長(No. 21)
36	4	木代村の村長(No. 21)	木代村の村長(No. 21)

※ 誤字訂正

動力科・核燃料開発部

66	3	SN9417C-02	SN941 72-02
67	6	原子炉燃料成分係数	原子炉燃料成分係数
		$\frac{\partial \rho}{\partial c} = \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial v}$	$\frac{\partial \rho}{\partial c} = \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial v}$
68	7	式中の $\rho_0$	$\rho_0$
		と $\rho_0$ の関係	と $\rho_0$ の関係
69	7	特異値	特異値
	5	(原子炉燃料成分) 3)	(原子炉燃料成分)
70	11	式中の $\gamma_m$	$\gamma_m$
	7	式中の $\gamma_u$	$\gamma_u$
	5	式中の $\phi_0^2$	$\phi_0^2$
	7	$\phi_0^2 = (1 + X_{eff} - 0.656)^{-2.15}$	$\phi_0^2 = (1 + X_{eff} - 0.656)^{-2.15}$
71	1	式中の $\gamma_m$	$\gamma_m$
	11	式中の $d_m$	$d_m$
72	7	原子炉燃料成分	原子炉燃料成分
	10	V. 原子炉燃料成分	V. 原子炉燃料成分

1972年10月11日

報告者 佐藤 稔 原 崎 堯  
山田 敏 雄 田 中 信 夫  
大高 仁 護 大 内 義 弘  
大島 巖 堀 雅 夫※

期 間 1971年9月1日～1972年8月31日

目 的 SWAT-1試験装置により，大リークナトリウム-水反応に関するデータを  
得て，ナトリウム加熱蒸気発生器安全性開発に資する。

要 旨 前報にひきつづき，動燃大リーク・ナトリウム-水反応試験装置SWAT-1  
による計9回の試験結果を中心に，初期スパイク圧，反応初期ポイド成長，準静  
圧上昇，ナトリウム液面上昇，反応容器内温度，放出系作動による準静圧減圧特  
性，収納容器圧力上昇特性，中リーク規模ウエステージ現象，および試験後の反応容  
器洗滌法につき実験結果と考察をとりまとめた。

## 目 次

1. ま え が き .....	1
2. 試 験 装 置 .....	2
3. 初期スパイク圧特性 .....	7
3.1 実 験 結 果 .....	7
3.2 初期スパイク圧に関する考察 .....	16
4. 準静圧力上昇段階の反応容器内の挙動 .....	19
4.1 準 静 圧 上 昇 .....	19
4.2 反応容器内温度および容器内発生水素ガスの流動様相 .....	20
4.3 反応容器放出系ラブチャ板破裂時間の検討 .....	21
5. 放出系の特性 .....	31
5.1 S W A T-1 放出系の構造 .....	31
5.2 反応容器内準静圧減圧特性 .....	31
5.3 放出系配管ナトリウム通過速度 .....	34
5.4 反応容器から収納容器へのナトリウム放出量 .....	36
5.5 放出系流動特性に関する考察 .....	38
5.6 収納容器ラブチャ板作動について .....	42
5.7 収納容器ラブチャ板作動に関する考察 .....	46
6. S W A T-1 試験装置によるウェステージ実験 .....	49
6.1 ウェステージ実験方法および実験条件 .....	49
6.2 実 験 結 果 .....	49
7. 反応容器の洗滌について .....	60
8. あ と が き .....	65
9. 参 考 文 献 .....	66
10. A P P E N D I X	
A P P E N D I X I 気泡成長モデル .....	67
A P P E N D I X II 放出系配管特性計算法 .....	69
A P P E N D I X III 収納容器静圧上昇計算法 .....	72
A P P E N D I X IV 実験条件および実験結果一覧 .....	74

## 目 次

図- 2.1	動燃大リーク Na-H <sub>2</sub> O 反応試験装置 (SWAT-1)	4
図- 2.2	SWAT-1 実験Ⅲ時の反応容器 (内部構造物図)	5
図- 2.3	水噴出孔付近構造図	6
図- 3.1.1	試番 №-24 の初期スパイク圧時間領域	8
図- 3.1.2	反応点付近ボイド推定図	9
図- 3.1.3	気泡等価半径	10
図- 3.1.4	初期スパイク圧立上り時間～測定位置	12
図- 3.1.5	初期スパイク圧ピーク値～平均注水率	14
図- 3.1.6	初期インパルス持続時間～注水率	15
図- 3.2.1	圧力パルス特性	18
図- 4.1.1	注水率の小さい場合の準静圧上昇測定例	23
図- 4.1.2	注水率の大きい場合の準静圧上昇測定例	24
図- 4.1.3	準静圧上昇段階で水噴出が阻止された測定例	25
図- 4.2.1	反応容器内温度測定点	26
図- 4.2.2	試番 №-24 の容器内温度およびナトリウムレベル	27
図- 4.2.3	試番 №-22 の容器内温度およびナトリウムレベル	28
図- 4.3.1	反応容器ラブチャ板作動時間～注水率	29
図- 4.3.2	反応容器内圧が 4.5 Kg/cm <sup>2</sup> G に達する時間～注水率	30
図- 5.2.1	放出系配管特性	33
図- 5.3.1	放出系配管内のナトリウム速度～注水率	35
図- 5.4.1	反応容器～収納容器ナトリウム移動量～反応容器放出系ラブチャ板 作動時間	37
図- 5.5.1	反応容器内減圧特性	39
図- 5.5.2	反応容器内圧力減圧状況 (計算値)	40
図- 5.5.3	反応容器ナトリウム放出量～時間経過 (計算値)	41
図- 5.6.1	収納容器ガス温度～時間経過	44
図- 5.6.2	収納容器大気放出系ラブチャ板作動時間～注水率	45
図- 5.7.1	水素ガス同伴熱量計算入力値	47
図- 5.7.2	収納容器ラブチャ板破裂時のカバーガス温度	48
図- 6.1	ウエステージマップ	53
図- 6.2	注水管圧力と T <sub>jet</sub> の算出図	57

図-6.3	ウエステージ率と平均注水率との関係	58
図-6.4	最大ウエステージ率	59
図-7.1	SWAT-1反応容器洗滌フロシート	62
図-7.2	NaOHの相状態図	63

写 真

写真-6.1	ターゲット集合体の外観(試番P-21)	51
--------	---------------------	----

表 目 次

表-2.1	実験条件一覧表	3
表-6.1	使用軟鋼の性質	52
表-6.2	実験条件一覧表	52
表-7.1	反応生成物分析値	64



## 1 ま え が き

動燃大リークナトリウム-水反応試験装置SWAT-1による試験研究は昭和47年8月31日現在までに15回の試験を終了した。

試験は内容により、実験Ⅰ、Ⅱ、Ⅲのシリーズに分かれ、実験Ⅰの内容についてはすでに報告済みである。

本報告の内容は実験Ⅱ、Ⅲを中心に述べているが検討項目によつては実験Ⅰについても言及している。

実験Ⅱは、大リークナトリウム-水反応試験の経験を得る目的でおこなつた実験Ⅰの結果をふまえ、注水配管ラブチャ板設定圧を変えて初期スパイク圧に対する条件を変え、また反応容器放出系ラブチャ板設定圧を上げて準静圧上昇とラブチャ板破裂後の圧力放出過程への影響を見ることを目的としている。

実験Ⅲについては、注水圧力を上げた場合の初期スパイク圧への影響を見ること、および反応容器内のナトリウム流動条件を変化させる目的で内部構造物を挿入し、その効果を見ることに主眼をおいた。

本報告の内容は以下のとおりである。

初期圧カスパイク

実験結果

初期圧カスパイク生成時のボイド成長測定結果とその解析的検討

準静圧上昇

放出系配管流動性測定結果とその解析的検討

収納容器圧力上昇特性とその解析的検討

ウエステージ現象に関する実験結果

反応容器内の反応生成物処理

## 2 試験装置

SWAT-1 試験装置の内容は前報のままで変更はない。

装置主要寸法を図-2.1に示す。

反応容器内に内部構造部を入れた実験Ⅲの反応容器構造を図-2.2に示す。

内部構造物はドーナツ状の円板を用いているが、反応容器壁より内部につき出ている熱電対ウエルをさけるため、円板に切欠きをもうけている。

内部構造物の反応容器断面積にする円板面積比は

$$\text{円板面積} / \text{反応容器断面積} = 1/2$$

とした。

円板枚数はナトリウム中6枚で等間隔に配列してある。蒸気発生器伝熱管を模擬するには円板枚数6枚では不足であるが、この実験シリーズが梅雨期に入つて反応後の内部構造物処理が危険なため、6枚を限度とした。

実験Ⅱについては実験Ⅰと同様、反応容器内は注水管のみで図-2.2がその反応容器内部である。

初期スパイク圧および隣接伝熱管ウエステージ現象に影響する水噴出口附近の構造を図2.3に示す。

実験計測系の構成は実験Ⅰと同じで、以下に簡単に説明する。

圧力測定には抵抗線歪ゲージ式エンジン指圧計を用い、動的歪測定器（応答周波数5KH）を介してデータレコーダに記録する。

反応容器内温度は1.0mmφシース型OA熱電対を反応容器上部より挿入し測定する。熱電対出力信号は直接高速度データ収録装置に送られ、デジタル変換されたいえ磁気テープに収録される。

ナトリウムレベルの検知はスパークプラグ型検知器のon-off信号をデータレコーダに記録している。

その他装置運転制御用に緩速度の記録計があり、試験時の装置各部状態を記録している。

大リークナトリウム-水反応現象の挙動を大きく支配する注水率は、SWAT-1装置では測定方法がなく、実験前後の水加熱器保有水量差を計量し、次式を用いて求める。

$$\text{推定平均注水率} = \frac{\text{全注水重量} - \text{注水管容積} \times \text{水比重量 (於試験時水温)}}{\text{弁開時間}}$$

（但し、注水管容積とは注水弁下流の配管容積で、SWAT-1のこれまでの構造）  
では2000CCである。

これまでの全実験シリーズにおける実験条件を表 2.1 に示す。各実験における個々の値は APPENDIX IV に記した。

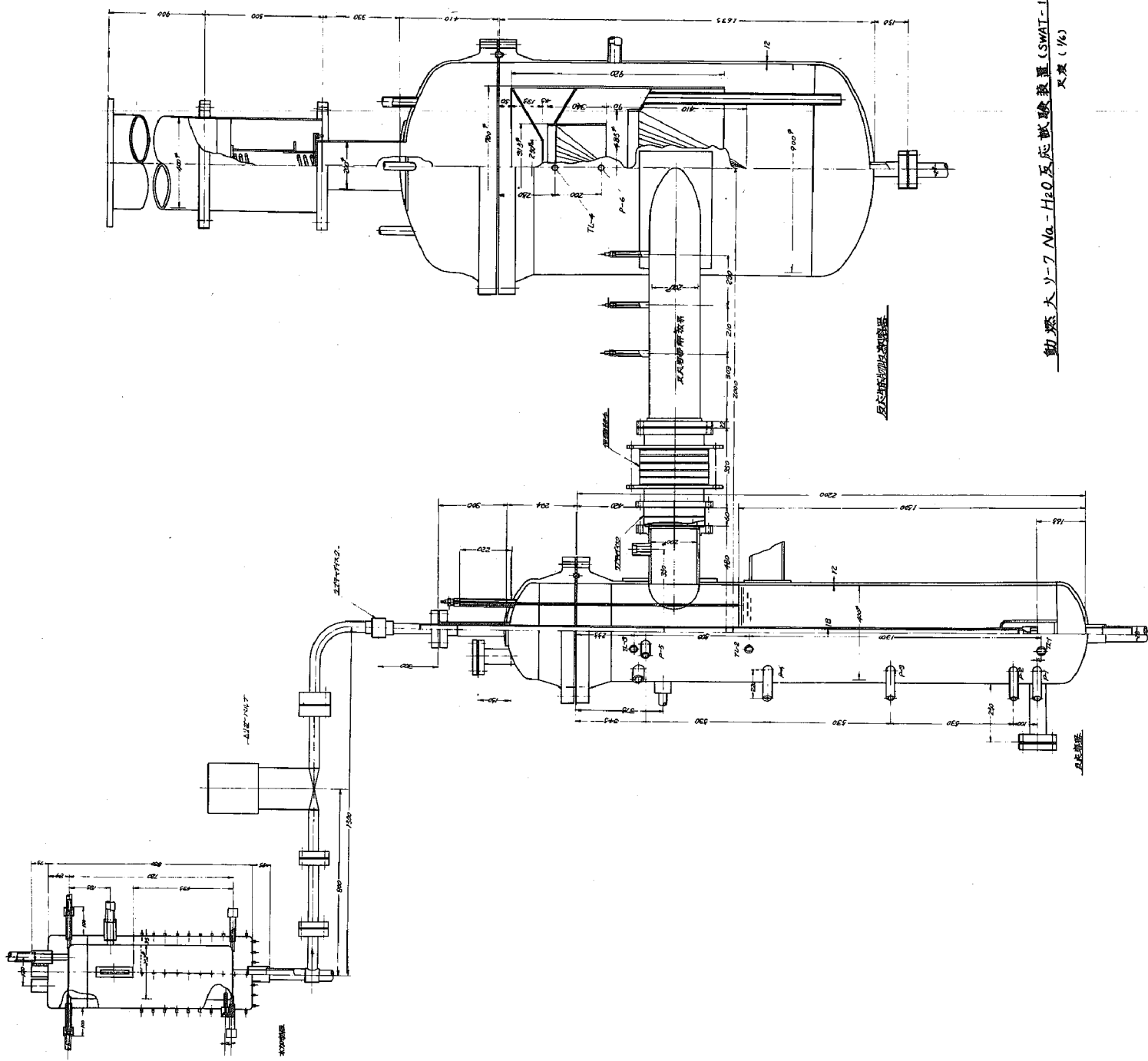
A 実験条件その 1 (実験 I, II, III シリーズ共通)

Na 量	180 Kg
Na 温度	330 °C
カバーガス圧	
反応容器	0.5 Kg/cm <sup>2</sup> ・G
収納容器	0.5 Kg/cm <sup>2</sup> ・G
ラプチャ板設定圧	
収納容器	1.5 Kg/cm <sup>2</sup> ・G

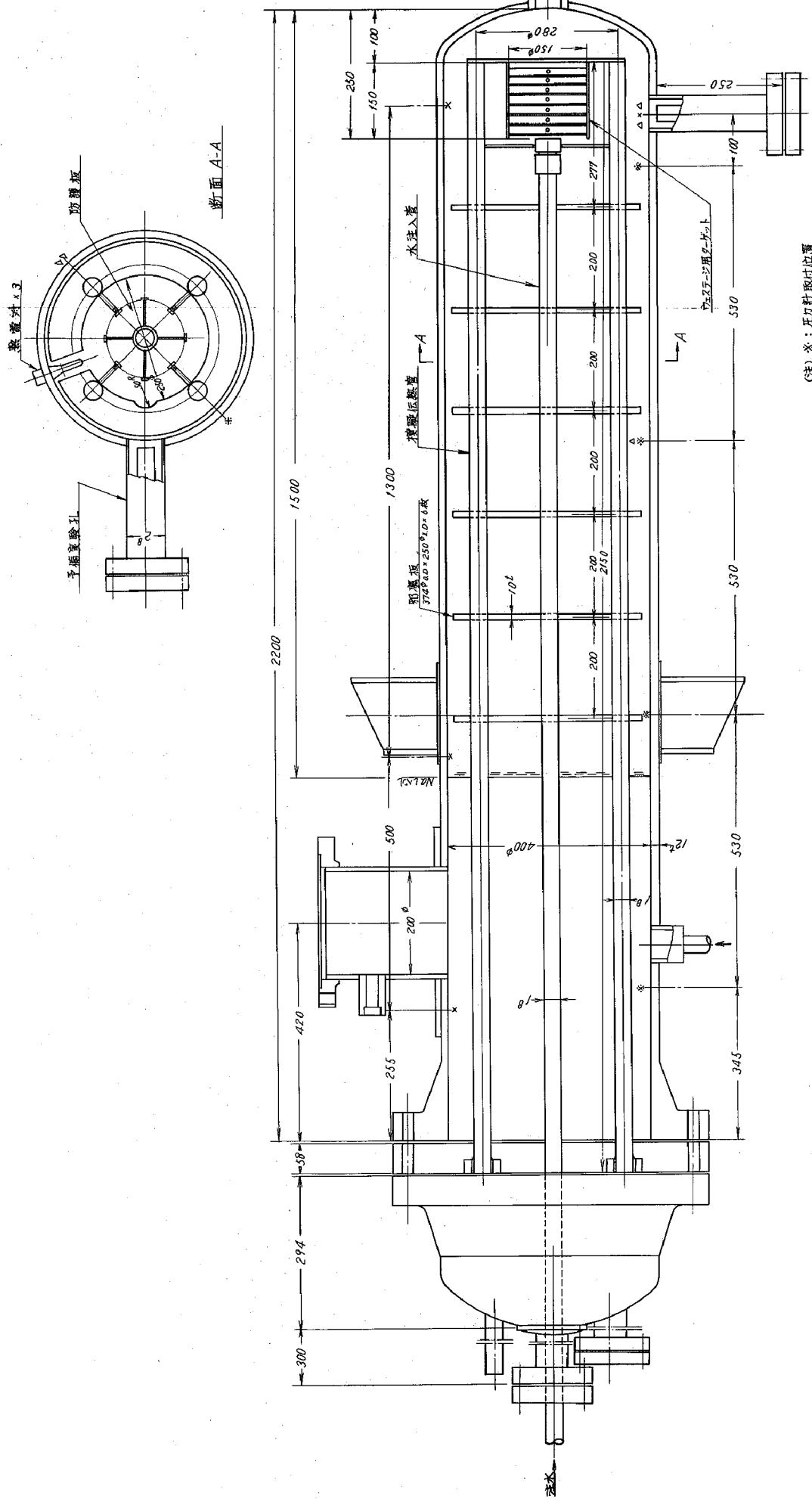
B 実験条件その 2 (各シリーズ)

シリーズ番号	実験 I	実験 II	実験 III
水加熱器			
圧力 (Kg/cm <sup>2</sup> ・G)	75	75	125
温度 (°C)	290	290	330
ラプチャ板設定圧			
注水管上流 (Kg/cm <sup>2</sup> ・G)	50	50	100
" 下流 (Kg/cm <sup>2</sup> ・G)	50	25	100
反応容器 (Kg/cm <sup>2</sup> ・G)	3	5	5
反応容器内部構造物	なし	なし	あり

表 2.1 実験条件一覧表



钠水反应堆试验装置 (SWAT-1)  
 尺寸 (1/6)



(注) \* : 无刃針取付位置  
 \* : 無刃針取付位置  
 Δ : 空針取付位置

SWAT-1 反応容器 (内部構造物図)  
 尺度 (1/6)

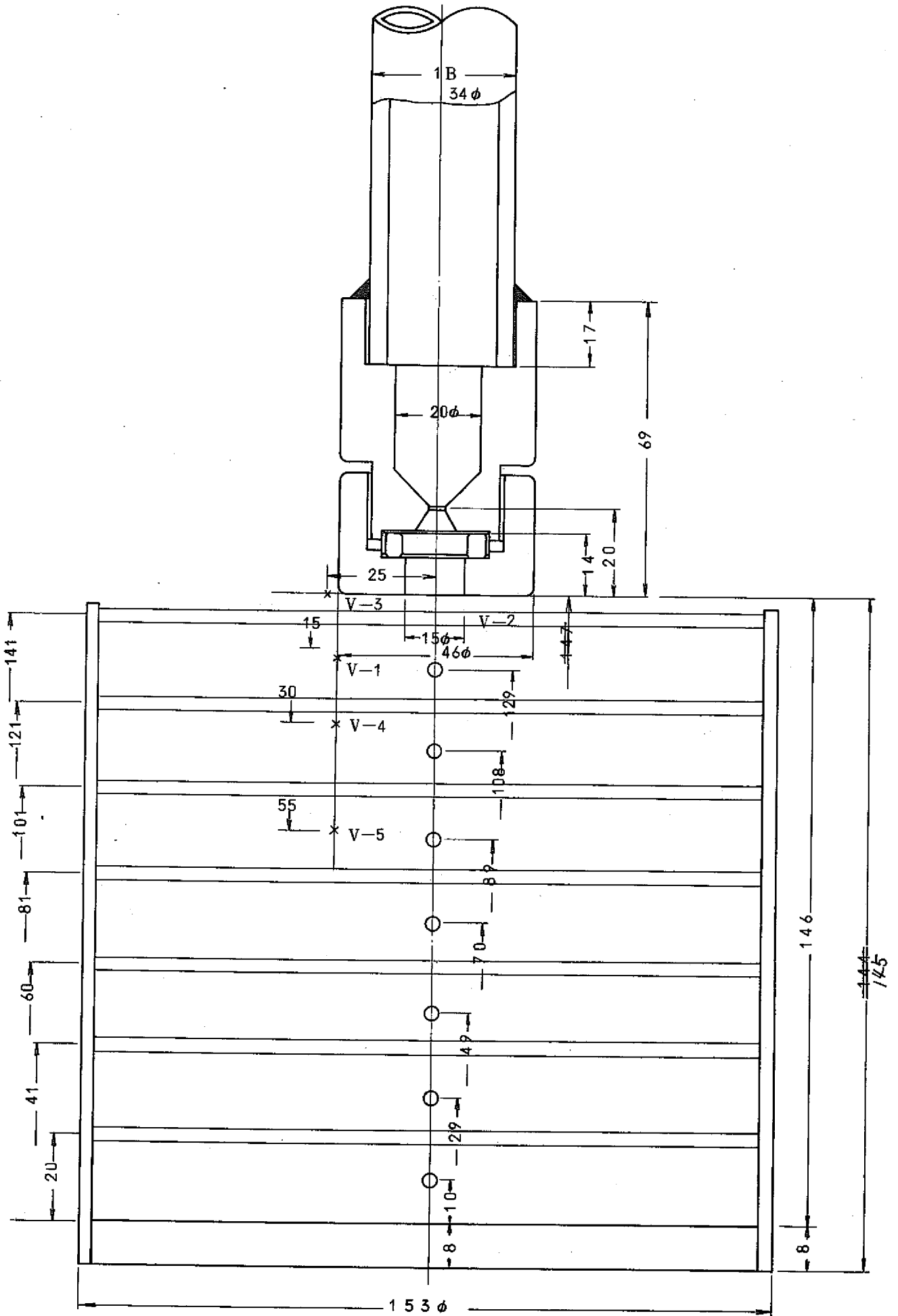


图 2.3 水喷出孔附近构造图

### 3 初期スパイク圧特性

#### 3.1 試験結果

##### 3.1.1 試験 No. 24 における実験結果

初期スパイク圧の挙動について No. 24 試験に例をとつて説明する。

No. 24 試験において初期スパイク圧時間領域に関する測定データは以下のものであつて、得られた結果を図-3.1.1 に示す。

- (1) マイクによる反応音
- (2) エンジン指圧計による圧力
- (3) 歪ゲージによる反応容器壁歪応答
- (4) ボイド計による水噴出口附近の水素ガスボイド成長

上図によれば、水注入開始後に一番早く現われる変化は水噴出口直下におかれたボイド計センサの検知信号である。そしてほぼ同時に圧力計取付タップ P-1 とほぼ同じ位置にある反応容器壁の歪ゲージが応答をはじめめる。

この段階よりやや遅れて、奇妙なことに、指圧計は負圧の到来を示す応答を始める。

次いで反応音が聞え始める。

ボイド計センサが検知信号を出してから、反応音が聞え始めるまで 0.3 msec を要している。

ボイド計センサが検知信号を出してから 0.6 msec 後に、指圧計 P-1, P-2 は正圧を示し始める。

指圧計 P-1 がピーク値に達するのは、ボイド計センサの信号検知より 1.5 msec 後である。

この段階までに反応容器壁の歪は上昇過程、下降過程を終えて自由振動的応答をしている。この期間ボイドは成長を続け設置されているボイド計センサが順次検知信号を出している。

指圧計応答よりも反応容器壁歪ゲージ応答が早いという現象、指圧計応答初期に負圧信号が出る現象は実験 I シリーズ以来の共通現象である。

P : 圧力, V : ボイド, S : 歪

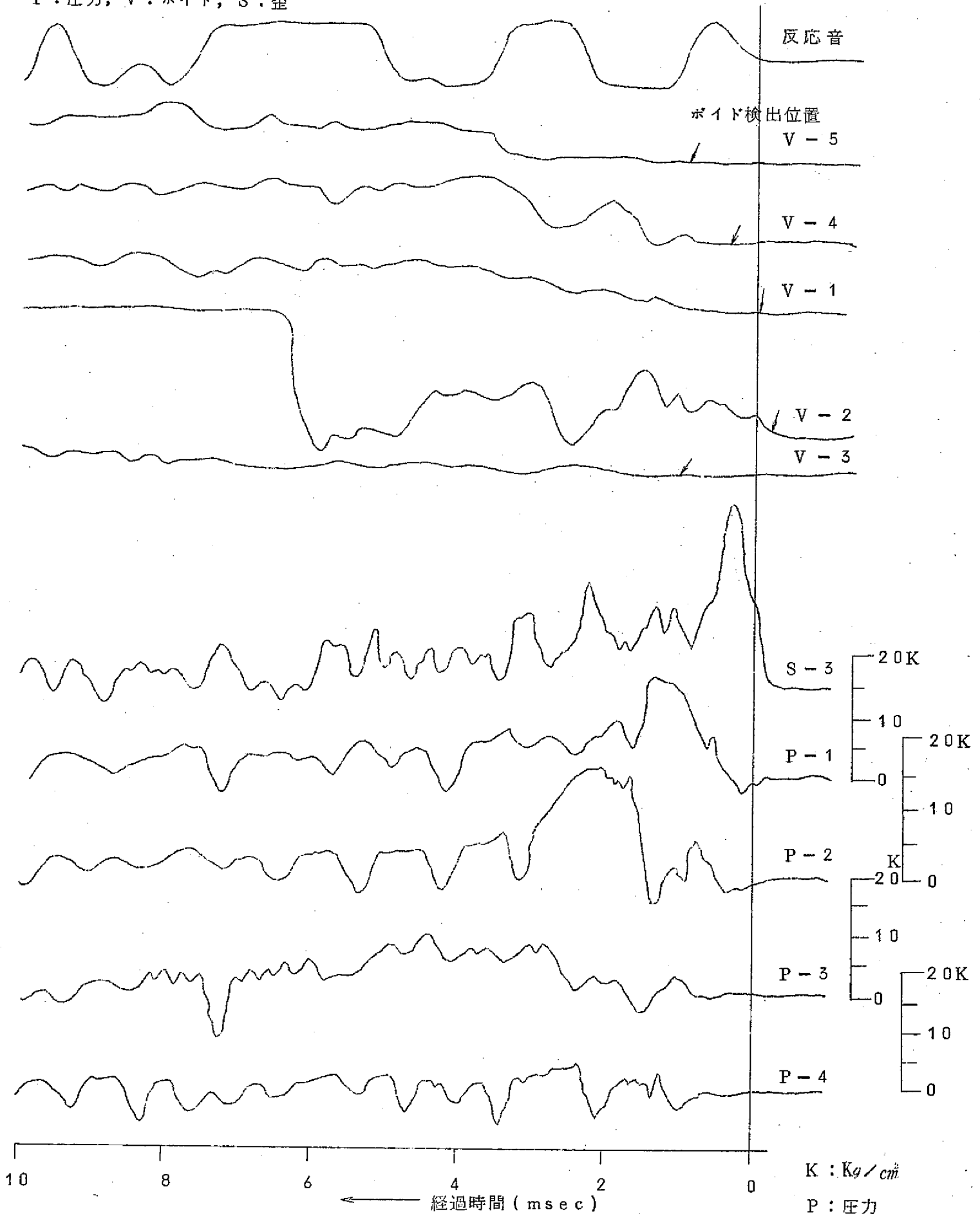


図-3.1.1 No.24 実験初期スパイク圧時間領域における測定データ



### 3.1.2 ボイド計センサによるボイド成長の測定

図2.4試験に用いたボイド計は金属製シースト熱電対型で、測定原理はいわゆる液体金属用抵抗式液面計と同じで、ボイド計センサ先端のシースト固有抵抗値をナトリウムが電氣的に短絡することを利用するものである。<sup>8)</sup>

今回用いたものは従来のもに改良を加え、温度変化に不感にしたものである。

図2.4試験におけるボイド計設置位置を図-2.3に示す。ボイド計設置位置が水噴出口中心線下でないのは、中心線に沿つて後述するウエステージ測定用ターゲットが配列されており、ボイド計を入れることができなかつたためである。そのためデータを整理する時に若干の推定が必要になつてくる。

図-2.3に示したボイド検知点における信号をもとに水素ガスボイド拡大状況を推定すると図-3.1.2のようになる。

この図で時刻0とは水噴出口直下のボイド計V-1がボイドを検知した瞬間とした。ボイドが球形に拡がるか、円筒状になるかは議論の別れるところである。同じ水噴出口を用いて水中にガスを吹き込んだ場合を観察するとボイドの成長形態は球形というよりも円筒に近い形であつた。

単純なガス吹き込みと、ナトリウム-水反応でのボイド成長の形状は同一とはいえないが、ここではとりあえず上記のガス吹き込みシミュレーション実験とナトリウム-水反応実験とにおいてボイド成長の形状は空間的に同一であるとの仮定をおき、シミュレーション実験におけるボイドの形状を等体積円筒形に変換しナトリウム-水反応のボイド形状を推定した。(図3.1.2)図-3.1.2よりボイド体積を計算し、ボイド体積と算出した球の半径を求めると、図-3.1.3のようになる。

等値球とした場合のボイド直径は経過時間の $\frac{1}{4}$ 乗に比例していることがわかる。またその成長速度は $\sim 10\text{ m/sec}$ 程度である。

### 3.1.3 反応容器内圧力波伝播速度について

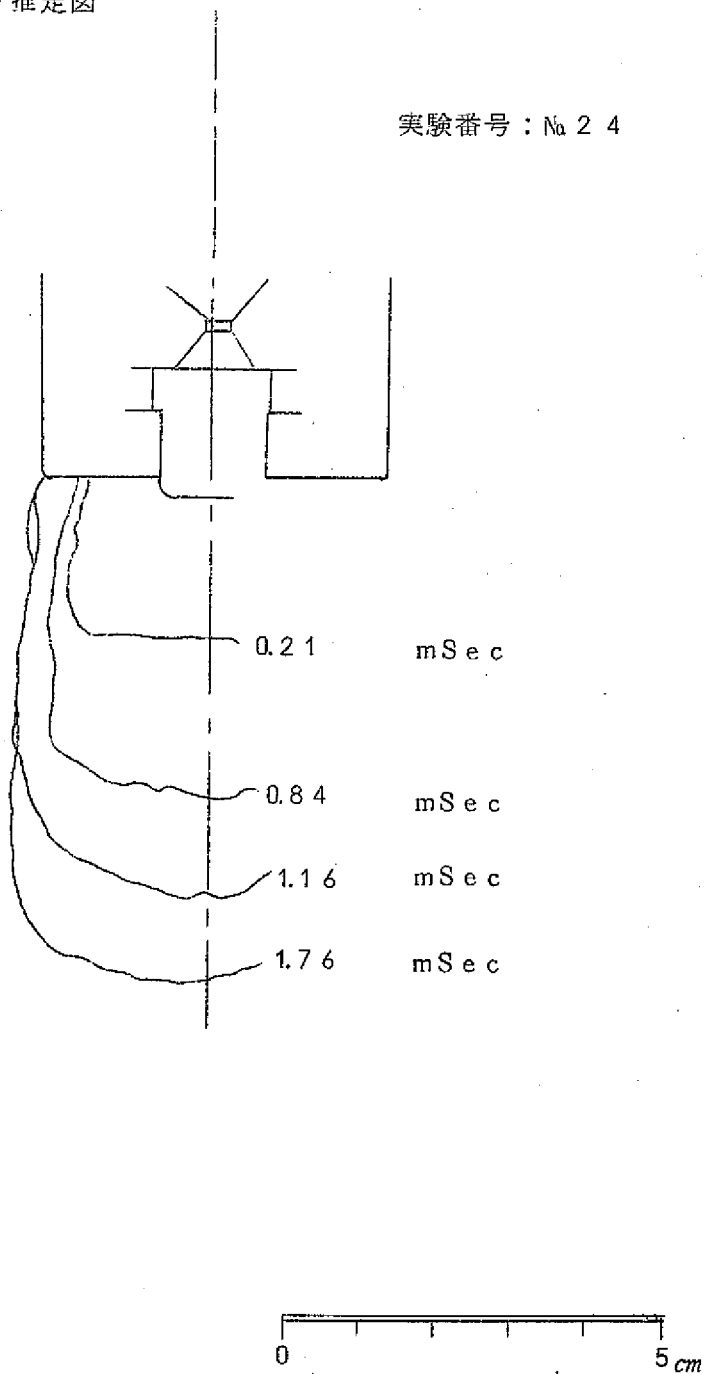
実験I, IIシリーズでは反応容器内には内部構造物はない。実験I, IIシリーズの各測定点における初期スパイク圧立上り時間は、ほぼ同時的であつたり、意味不明のずれがあつたりして、一次元的な圧力波伝播速度からの解釈では説明できない事項であつた。

実験IIIシリーズでは内部構造物として反応容器断面積の50%を遮断するドーナツ形円板をナトリウム中に6枚挿入した。

その結果、図-3.1.1の圧力測定結果に示すように各測定点の位置にしたがつて圧力立上り時間に一次元的圧力波伝播で説明できるような遅れ現象が観察されるよ

図 3. 1. 2 反応点付近ボイド推定図

実験番号 : No 2 4



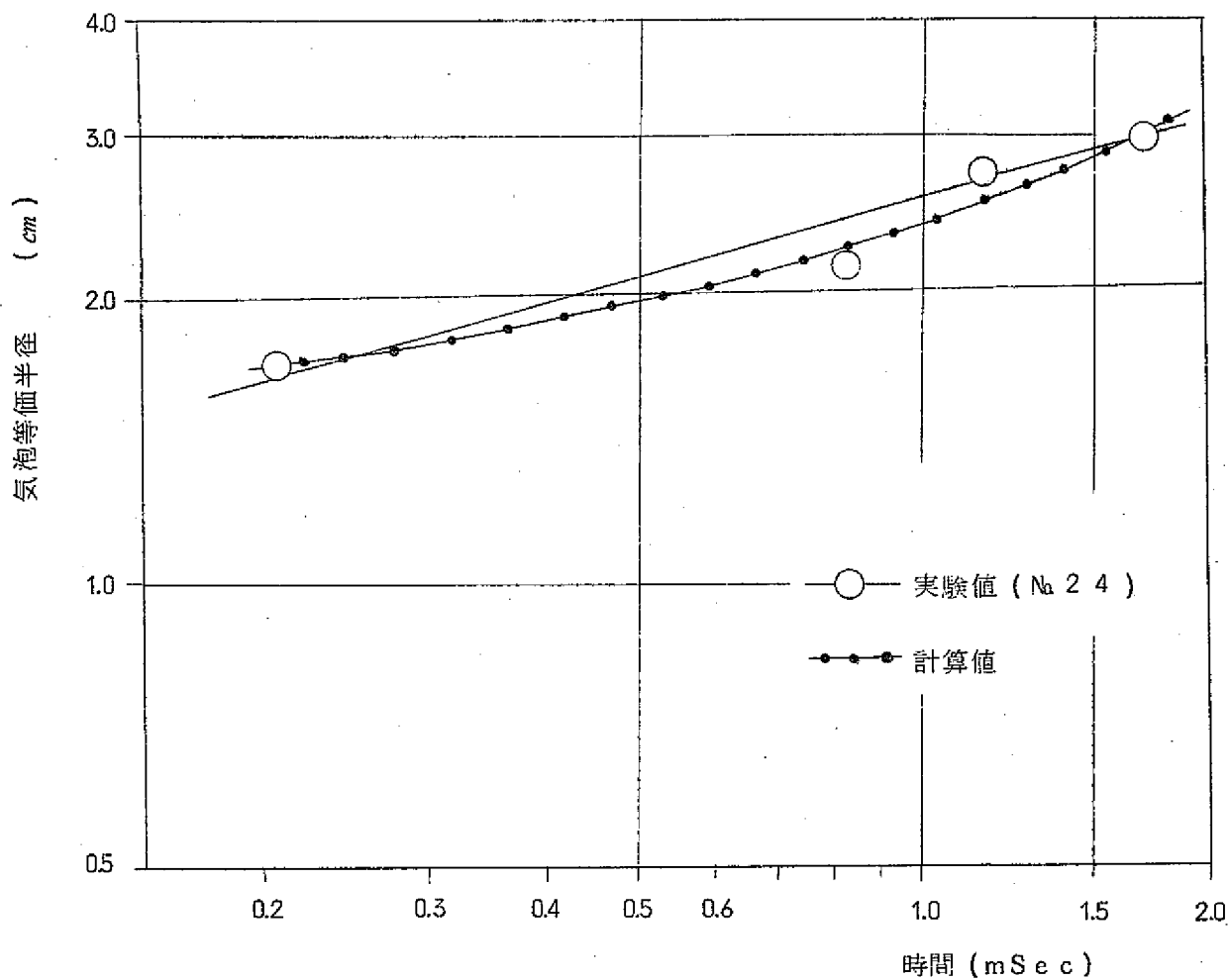


図 3. 1. 3 気泡等価半径

うになつた。

遮蔽板の位置と反応容器壁圧力測定位置の関係は図-2.2に示すとおりである。

試験番号 No.22, No.23, No.24 の圧力立上り時間と測定位置の関係を図-3.1.4に示す。

立上り時間の位置による遅れを圧力波伝播時間と解釈するならば、得られたナトリウム中の圧力波伝播速度は 1600 (No.24), 1860 (No.23), 2250 (No.22) m/secであつた。

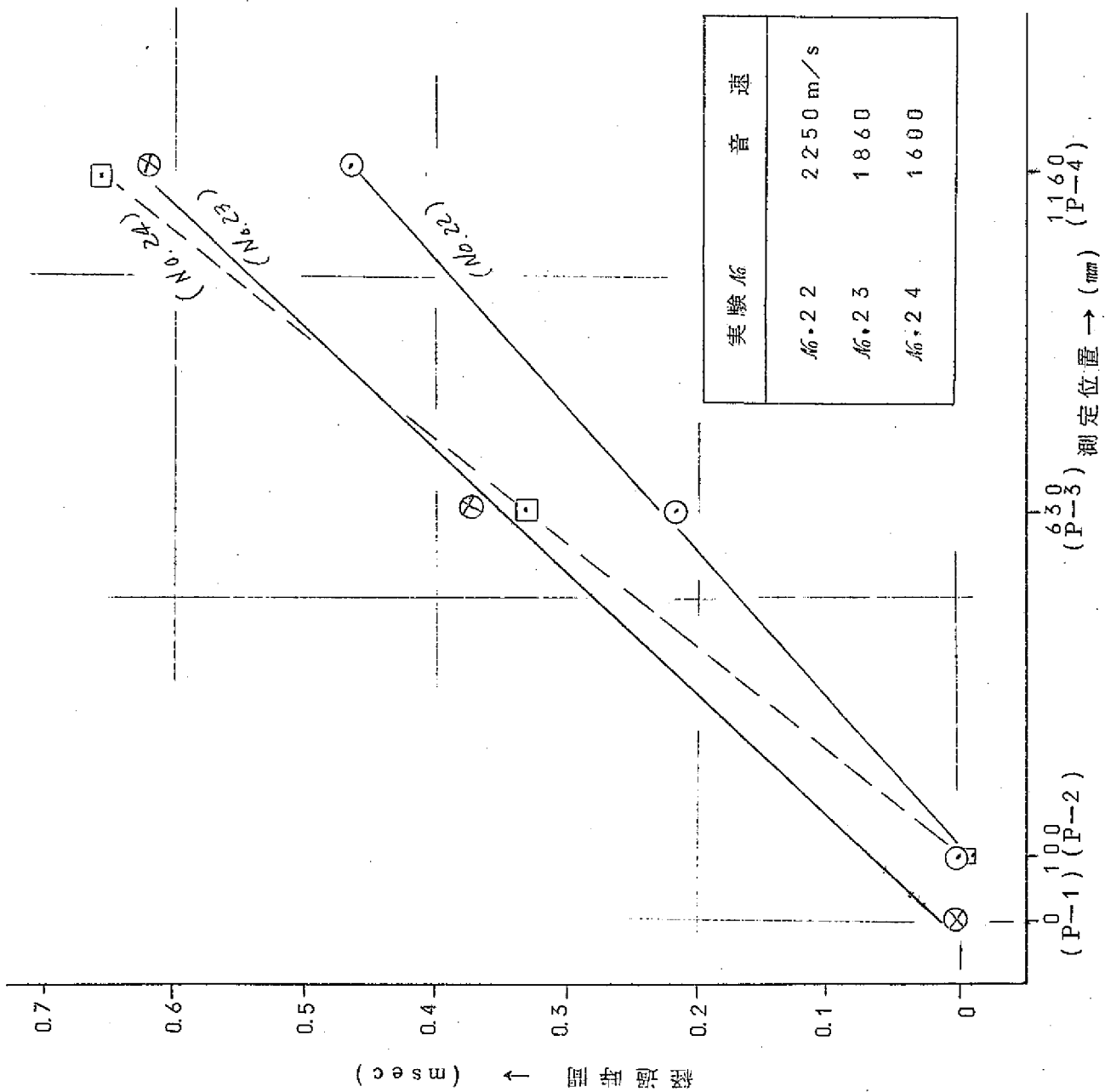


図3.1.4 初期スパイク立上り時間～測定位置

### 3.1.4 初期スパイク圧実験結果

全実験について初期スパイク圧ピーク値実験結果を図-3.1.5に示す。

実験Ⅰの場合は比較的高い圧力が出ており、しかもピーク値が注水率と明確な関係を持つ結果が得られた。しかし、実験Ⅱ、Ⅲでのピーク値はいずれも $20 \text{ Kg/cm}^2$ 以下で、注水率とは関係なくばらついている。

全体的にいつて実験Ⅲの方が実験Ⅱよりも高目である。

スパイク圧持続時間は図-3.1.6に示すように実験Ⅰが最も短く、実験Ⅲ、実験Ⅱの順に長くなり、実験Ⅰは注水率の如何によらずほぼ一定であるが、実験Ⅱ、Ⅲでは注水率の増加に従つて増す傾向にある。

初期スパイク圧については、未だ支配因子が不明であるため、その説明は今後の課題である。

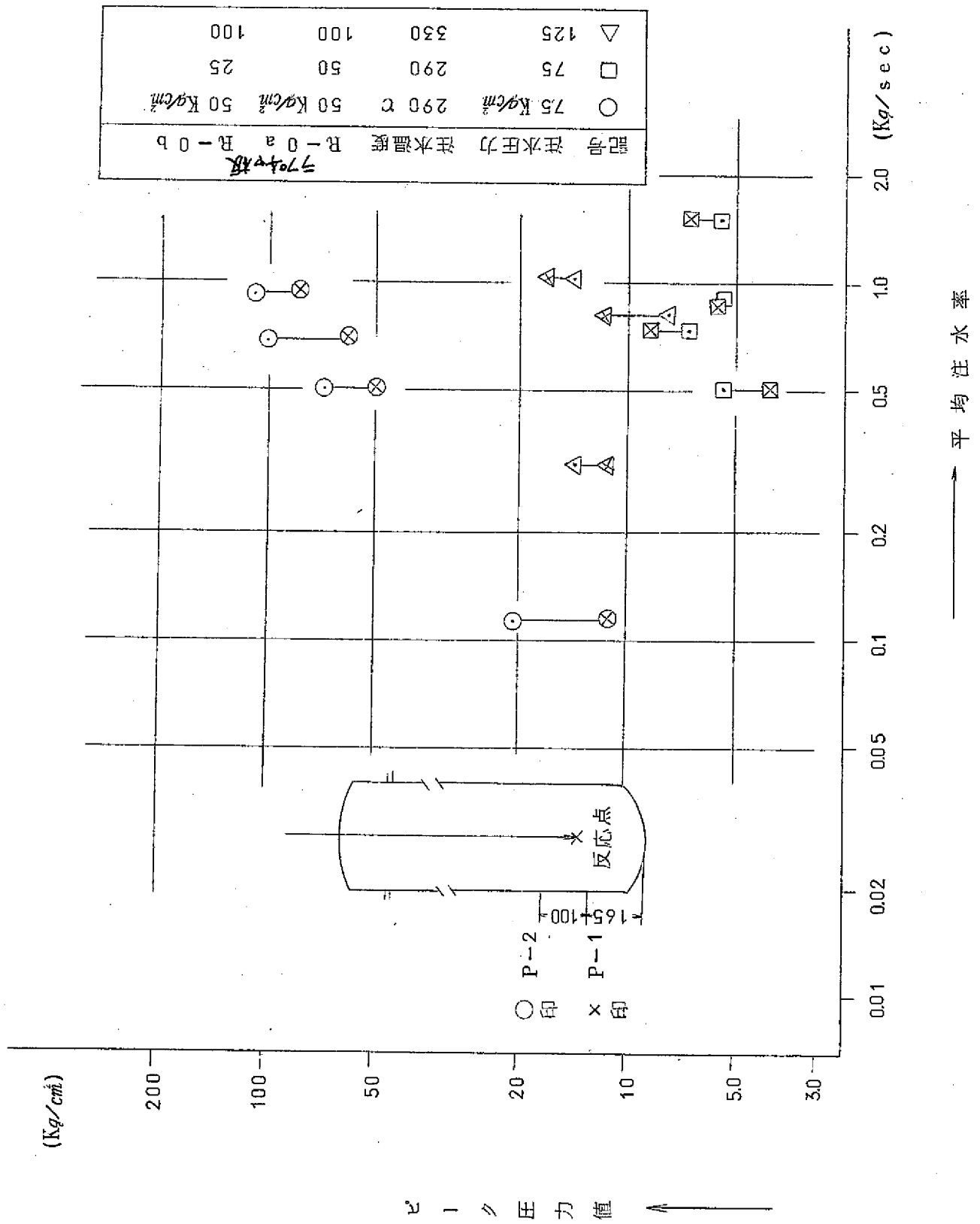


図3.1.5 初期スパイク圧ピーク値～注水率

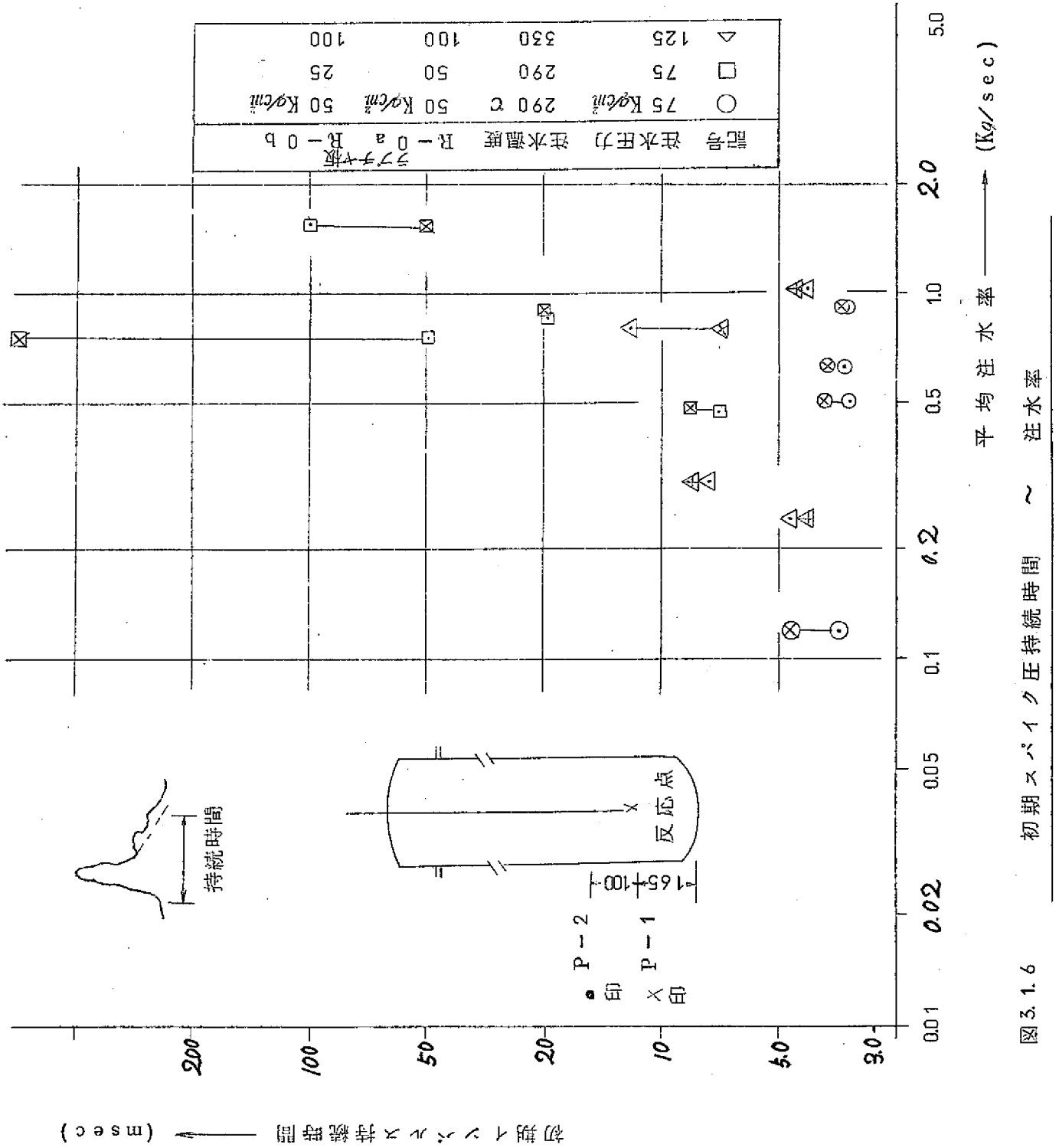


図 3.1.6

### 3.2 初期スパイク圧に関する考察

#### 3.2.1 気泡成長についての考察

SWAT-1ナトリウム-水反応実験において発生する気泡の成長過程の推察は、  
 図2.3実験までは気泡成長を示す直接的データはなく、圧力、温度等の間接的データによつてなされていたが、図2.4実験ではじめて、反応点附近に気泡成長の観測のためのボイド計が配置され、反応初期気泡の空間的成長に関するデータが得られた。これらの気泡成長を示すデータには、現在迄判りにくいままにいた水噴出状態、反応初期の圧力特性等大リークNa-水反応実験の解析上重要な多くの問題点を解明する鍵が含まれているものと思われる。

ここでは、反応初期に生成される気泡成長の解析モデルを提案し、図2.4実験で観測されたボイド計のデータをもとに、初期生成気泡の挙動を推察、検討してみることにする。

\*)

SWAT-1図2.4実験で得られた気泡成長のデータを計算モデルと比較するため、生成気泡が球状に成長していると仮定し、等価半径を求めた。(図3.1.3)

計算モデルでは水注入が計算開始時間で既に完了しているものと仮定し、それ以後の気泡成長過程を、気泡の初期半径、初期気泡成長速度及び気泡内の圧力変化の過程についてパラメータサーベイ計算を行うことにより考察した。そのうちボイド計のデータと比較的合う例について記してみる。この場合、気泡が水素ガスからなるものとし、気泡圧力は断熱変化をすると仮定した場合である。計算上の初期条件として初期気泡半径  $1.7\text{ cm}$ 、初期気泡成長速度  $1 \times 10^8\text{ cm/sec}$ 、気泡内圧力値として  $150\text{ Kg/cm}$  を用いた。なおNa液体中の音速は  $2 \times 10^5\text{ cm/sec}$  とした。図3.1.3の中の計算値は上記仮定による計算結果である。

以上の結果から、 $0.2\text{ msec} \sim 2.0\text{ msec}$  の範囲では比較的オーダーも傾向もよい一致をみているが、 $3.0\text{ msec}$  以上の時間では、計算値の方が大きい広がり方を示してしまう。この原因の一つとして考えられることはモデルでは考慮しなかつた反応容器側壁等からの反射波の影響がある。反応開始後  $2\text{ msec}$  では既に反応容器の側面及び底面からの反射波が気泡迄届いており気泡の成長を抑制しているものと推察される。

次に、気泡から伝播した圧力波がNa液中において如何なる圧力波として観測されるかという点について考察してみる。気泡の半径を  $a$ 、気泡内の圧力を  $P(a, t)$  とした場合気泡外の点  $r$  での圧力  $P(r, t)$  は

注\*) APPENDIX I 参照



$$P(r, t) - P_0 \cong \frac{a}{r} [P(a, t) - P_0]$$

となる。従つて観測圧力値は気泡内の圧力に  $a/r$  を乗じたものになり、気泡内圧力のみによつて支配されるものでないことが判る。

発生圧力  $P(a, t) - P_0$  と観測圧力  $\frac{a}{r} (P(a, t) - P_0)$ ,  $r = 20 \text{ cm}$  の計算の結果との比較を図 3.2.1 に示す。

気泡成長を考慮した場合の観測圧力値は発生圧力値より幾分広いピーク巾を持つたものとして表わされることが判る。なお、以上述べたモデルでは、水注入状態及び反応容器壁等の取扱いを極端に理想化しているので、厳密な比較は不可能であるが参考のため 6.2.4 実験 P-1 圧力データを付記しておく。

以上の考察により、提案された気泡成長のモデルはある程度、定性的にも定量的にも SWAT-1 6.2.4 実験の気泡成長を説明するものである。しかし、現段階では、反射波の影響を考慮した有限空間中のモデルを考察し、より長時間の気泡挙動を追うことと、このモデルからの水注入状態を推察することが課題として残っている。

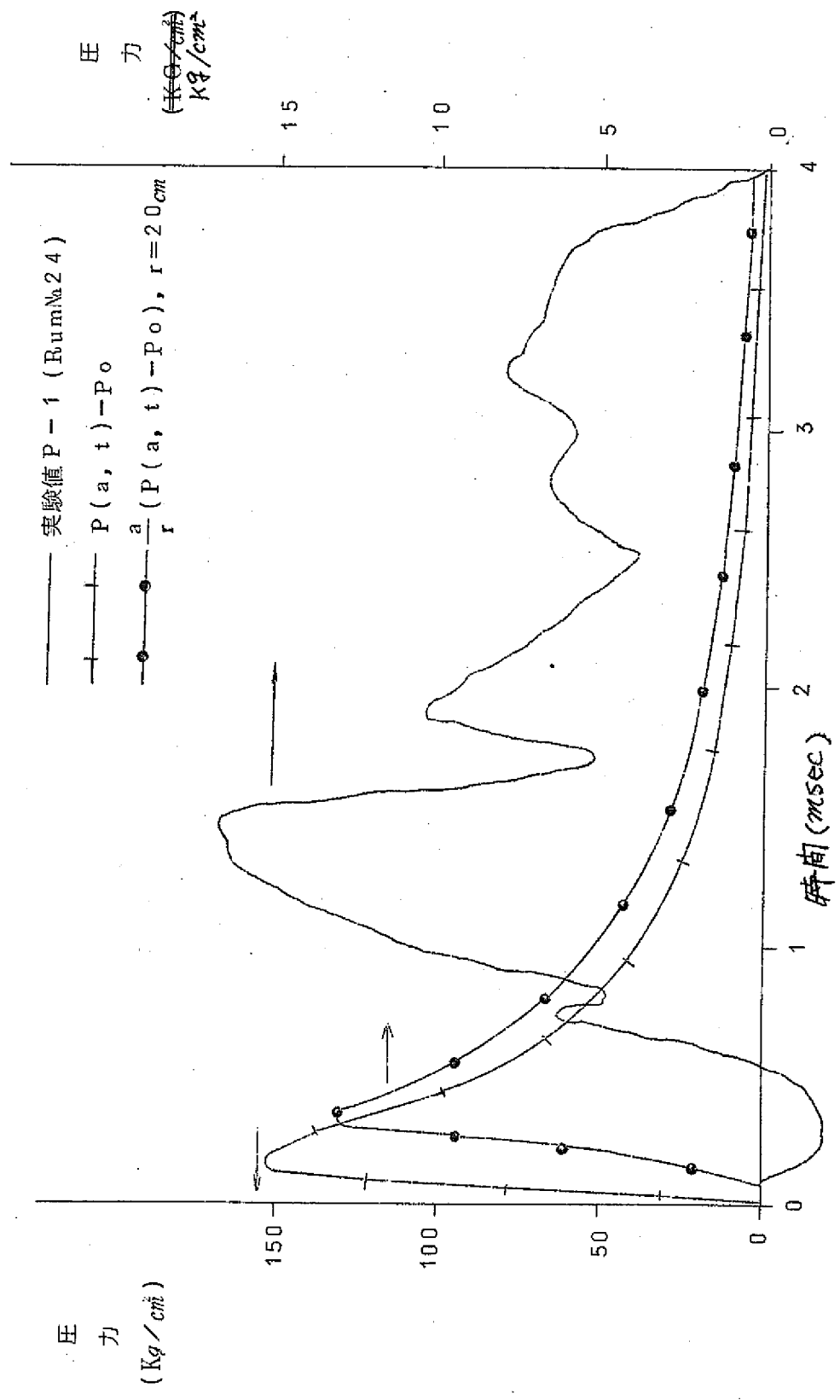


図 3.2.1 圧力インパルス特性

## 4 準静圧力上昇段階の反応容器内の挙動

大リークNa-水反応発生圧力は前章で述べた反応後数msec間に現われる非常に急峻な圧力上昇の初期スパイク圧と、その後発生水素の体積増加による準静圧上昇と呼ばれる圧力上昇に分けられる。

本章では初期スパイク圧以降の準静圧上昇、反応容器内温度の実測結果およびこれらの検討結果について述べる。

### 4.1 準静圧上昇

準静圧上昇波形を支配する因子としては、放出系ラブチャ板設定圧、注水率水系ガス温度および内部構造物挿入の有無等が考えられる。

実験Iについてはすでに報告<sup>1)</sup>を行っており、今回報告の第15回迄の実験条件は表2.1に示してある。

なお全実験にわたる180Kgのナトリウムを反応容器内に320℃でチャージし、反応開始前のカバーガス圧はアルゴンガスで0.5Kg/cm<sup>2</sup>Gに加圧した。

準静圧上昇波形は水率の大小により顕著な特徴が現われる。注水率の小さいものは第4章で後述する如く、発生水素モル量が少ないため反応容器と収納容器の間のラブチャ板が破裂する迄の時間が長くなり、その間に発生水素ガスの大部分がナトリウム中を気泡状またはチャンネル状で上昇し、ナトリウムを水素ガスが置換されるため図4.1.1に示す如く静圧は単調に上昇する。

一方、注水率の大きいものは、発生水素モル量が大きく瞬間的に圧力が上がりナトリウムをピストンのように押し上げ、静圧上昇過程で図4.1.2のような圧力脈動が観察される場合が多い。これらの注水率の大小による顕著な差は次章の温度測定結果、ナトリウム液面位置測定結果の検討からも推察される。

圧力脈動の原因としては、注水率の脈動およびナトリウムピストンの慣性効果とカバーガス・発生H<sub>2</sub>ガスの圧縮によるスプリング効果による自由振動などが考えられる。

注水率の脈動についてのSWAT-1注入系に関するデータはない。ナトリウムピストンの自由振動については計算モデルでも振動は生ずる。

実験II、IIIシリーズでは準静圧上昇過程で、圧力測定位置による測定値の違いはなかった。

実験IIについては容器内挿入物はなく、この程度の水注入率では違いのないのは当然であろう。

実験IIIについては、図2.2のようなナトリウムの流れを阻止する構造のドーナツ形ジャ

マ板（ジャマ板流路面積／容器断面積＝50％）をナトリウム中に6枚設置したが、準静圧上昇過程でのジャマ板上下での圧力値に差は認められなかった。

実験Ⅲシリーズ中さらに多数のジャマ板を挿入する予定であったが、実験期間が梅雨期にかかり、反応後の挿入物の処理が危険であるため、6枚以上には増やせなかった。

SWAT-1の水注入系には注水率規制用オリフイス上流にラプチャ板（R-o-a）がある。オリフイス口径の小さいものではこのラプチャ板の破片がオリフイス絞り部にひつかかり、水の噴出を阻害する場合があった。

準静圧上昇段階で水噴出が阻害された例を図4.1.3に示す。

水噴出が変ると準静圧上昇曲線上に明確に現われる。その点を図4.1.3の矢印で示す。この例では実験後の水注入配管解体時にオリフイス絞り部にラプチャ板破片が付きささっていた。

#### 4.2 反応容器内温度および容器内発生水素ガスの流動様相

大リークNa-水反応試験において $\#$ -03実験より反応容器内温度の測定を行ってきたが $\#$ -15実験より反応容器内の温度測定点を増やし、反応中の容器内温度挙動を調べた。これは下記の目的のために行つたものである。

- ① 反応容器内温度分布を調べ容器内の発生水素ガス、反応生成物の生成等内部様相を調べる。
- ② 従来の大リークナトリウム-水反応モデルでは水素ガス温度を一定と仮定するものが多いが、より正確な計算をおこなうため反応点およびその付近の温度を調べる。

$\#$ -15実験以降の反応容器内温度測定点は図4.2.1に示す様にナトリウム中15点、カバーガス3点を1.0mmのシース型CA熱電対で測定した。各試験の測定結果では反応容器内の同じ高さの温度測定値には余り差異が見受けられなかった。

各試験間で注水率の大小によつて顕著な差が現われた。その代表例として注水率の大きい試番 $\#$ -24と注水率の小さい試験 $\#$ -22の反応容器内内側の温度を、液面計より測つた反応後のナトリウムレベルと共に図4.2.2および4.2.3に示した。

なお、ナトリウム温度は反応容器がStagnantであるため、実験条件温度に上げる途中に自然対流がおき、反応容器と液表面近くで約60～70℃の温度差が生じていることがわかつた。

図4.2.2の注水率の大きい方の試験結果は、ナトリウム・レベルの測定結果からもナトリウムが瞬間的に押し上げられ、その時のカバーガス温度上昇はなくラプチャ板が破裂し、その後反応生成物の移動または反応点の移動によつて容器内温度は下方から順次上昇している。一方注水率の小さい図4.2.3の試験結果

は、反応後、発生水素ガスによつてナトリウムは、約50 cm位押し上げられた状態でレベルが保たれ発生水素はナトリウム中を上昇し、一部水素とナトリウムが置換され、水素ガスがカバーガス中に抜けて、カバーガス温度を上昇させる。カバーガスの上昇温度からナトリウム中を上昇した水素の熱量はこの例では約1 kcalと推測される。

また、反応前のナトリウム、蒸気の持つているエネルギーおよび反応熱の和は試験番号-24の場合、 $5.55 \times 10^4$  kcal/kmolであり、反応生成物の温度は2200Kとなる。しかし苛性ソーダは常圧で1300<sup>o</sup>Kで気化するためこれらの相変化に費いやされる熱量等を考えれば反応生成物の温度はもつと低いものと推測される。

一方、反応生成物が2200Kになつたとした場合水素に同併される熱量は $1.38 \times 10^4$  kcal/kmolとなり、反応容器ラブチャ破裂時間の実測値から水素ガスの熱量を計算すると $3.8 \times 10^3$  kcal/kmolで上記計算の水素ガス保有熱量の約37%となる。これは、化学反応過程、反応点附近の水とナトリウムの激しい混合などで、水素ガスの保有する熱量が周囲にうばわれるためであろうが、準静圧上昇を正確に見積るためには熱収支を考慮した計算モデルを作成する必要があり、この点が今後の実験課題であろう。

#### 4.3 反応容器放出系ラブチャ板破裂時間の検討

既報(1)において実験Iシリーズのナトリウム-水反応時水素発生モル比と水素温度を推測するため、一次元ピストンモデルを用いて放出系ラブチャ板作動時間に関して、水素発生モル比および水素ガス同併熱量をパラメータサーベイし、実験値と対比した。

実験シリーズIIおよびIIIにおいては反応容器解放系ラブチャ板設定圧を5 kg/cm<sup>2</sup>で実験を行つた。反応容器ラブチャ板作動時間と注水率の関数を図4.3.1に示す。実験シリーズII、IIIを実験シリーズIと同じ条件(実験シリーズIはラブチャ板設定圧3 kg/cm<sup>2</sup>)でデータを比較するため、実験シリーズII、IIIの準静圧上昇過程で圧力が3 kg/cm<sup>2</sup>上昇した所までの時間を読み、全シリーズの実験を同じ条件でプロットした。その整理結果を図4.3.1に示す。

実験シリーズIの準静圧上昇で圧力が振動的に上昇し反応容器ラブチャ板を裂つているものは振動波形の平均値を3 kg/cm<sup>2</sup>まで外挿した値をとり(図4.3.1(A))圧力上昇過程において振動的圧力変化ではラブチャ板は裂けをいものとした。一方注水率が小さい場合は、前節で述べた様にナトリウムは或るレベルまで押し上げられた状態でナトリウム中を水素ガスが次ぎ抜ける事が判明しており、これらは、メカニズム的にピストンモデルとは異なるので、データにナトリウムレベルの上昇速度を考慮した巾を持たせてある。(図4.3.1(B))。

図 4.3.2 でわかる様に、圧力  $3 \text{ Kg/cm}^2$  到達時間実験値は、既報の水素発生モル比  $1/2$ 、水素ガス同併熱量を  $5000 \text{ kcal/kmol -H}$ 、として計算した値より多めにで、或る巾をもつてバラツキている。この原因は不明で今後の課題として物質収支、熱収支に関する実験データの採取が必要となる。

RUN No.22

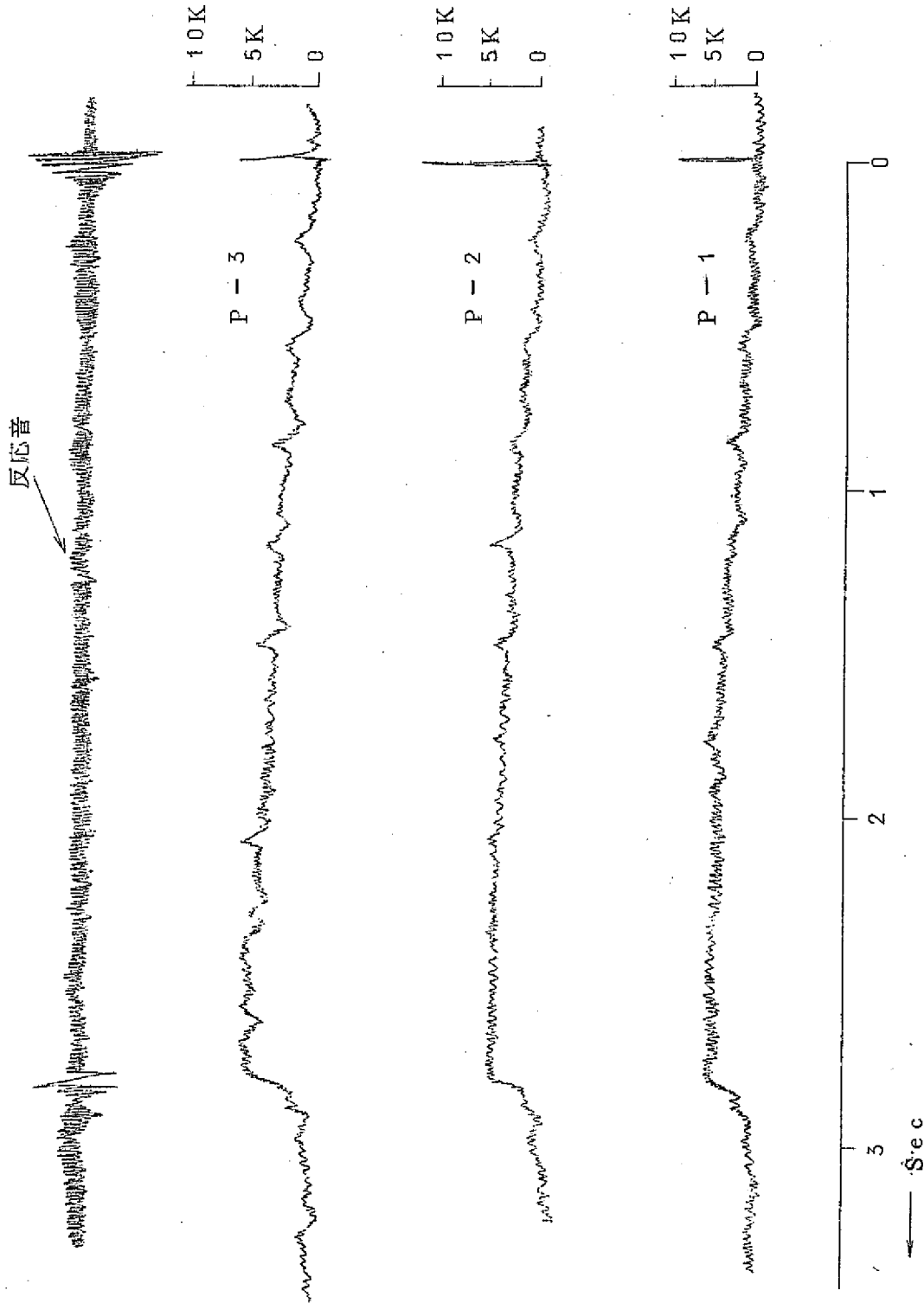


図 4.1.1 注水率の小さい場合の準静圧上昇測定例

RUN No 24

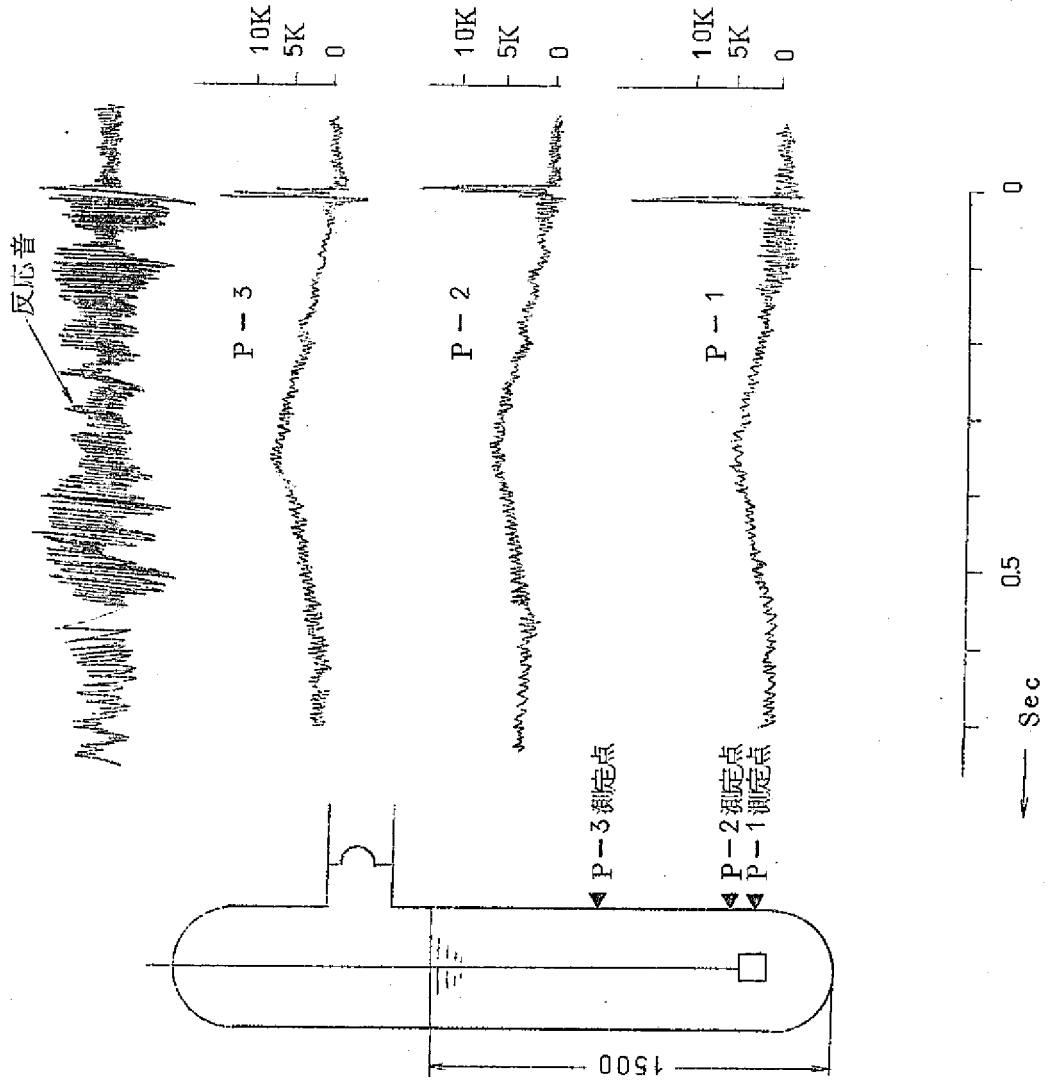


図 4.1.2 注水率の大きい場合の準静圧上昇測定例



BUN No. 11

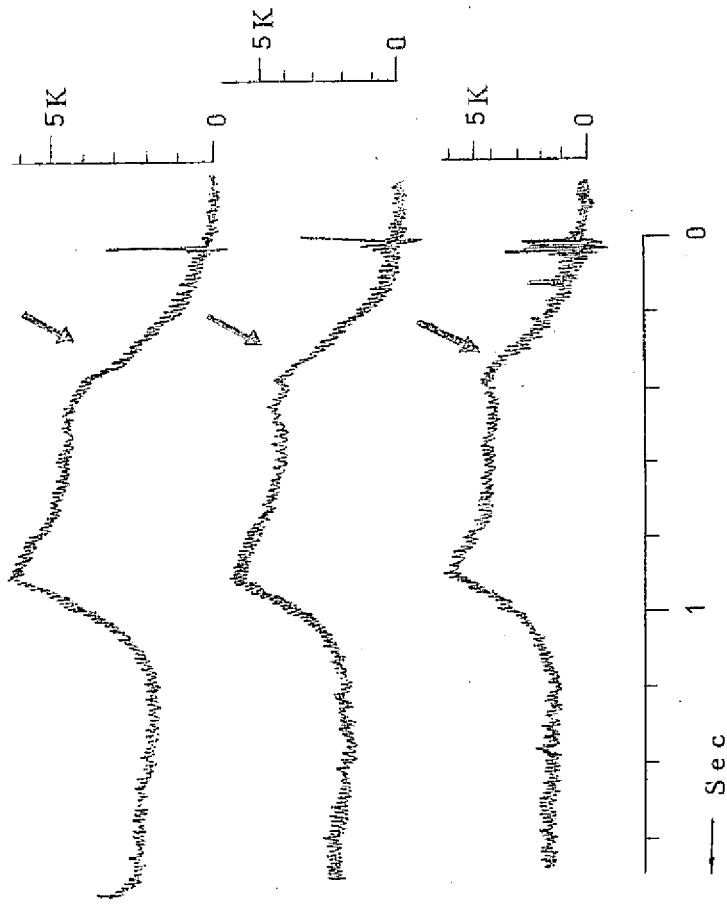


図 4. 1. 3 準静圧上昇段階で水噴出が阻止された測定例

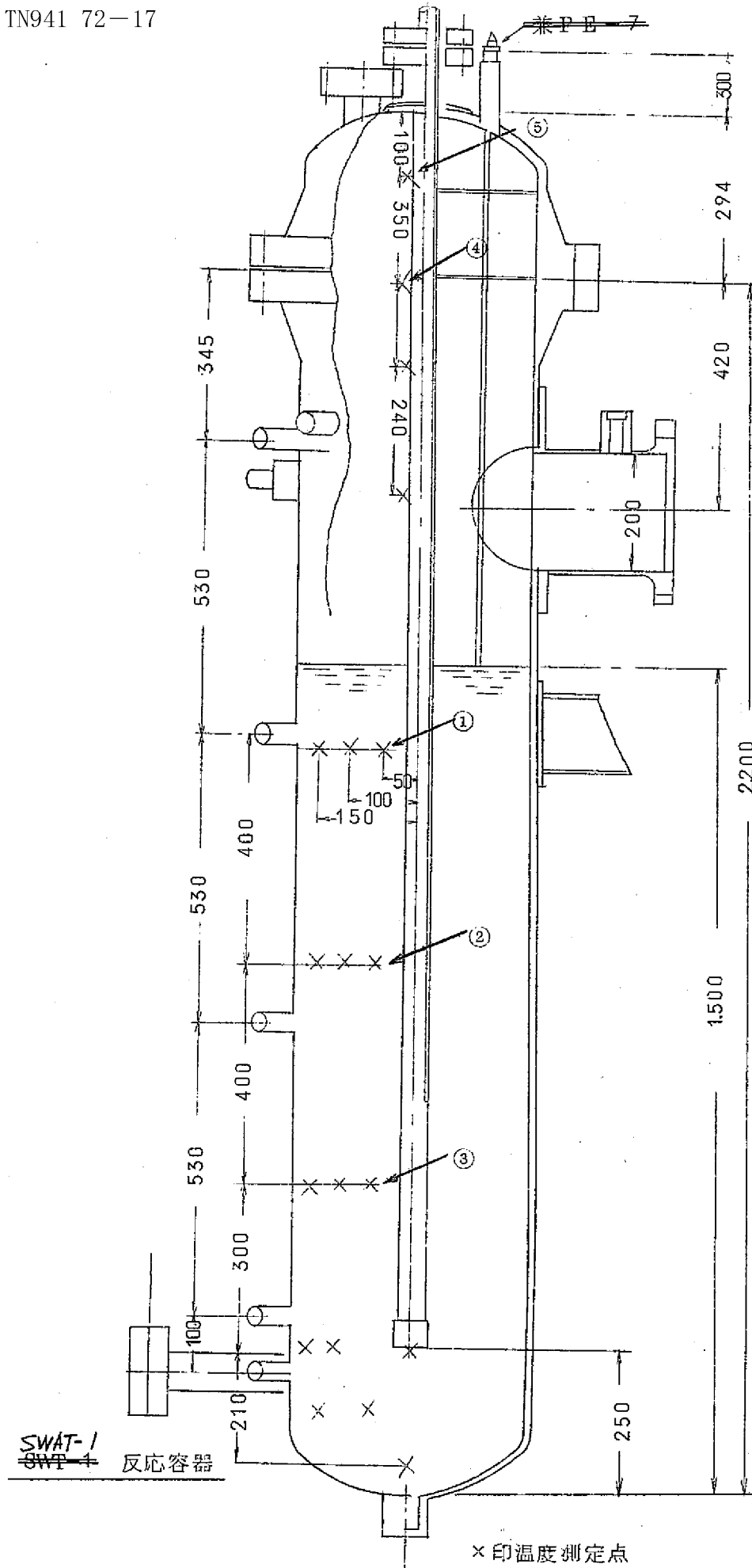


图 4.2.1 反应容器内温度测定点

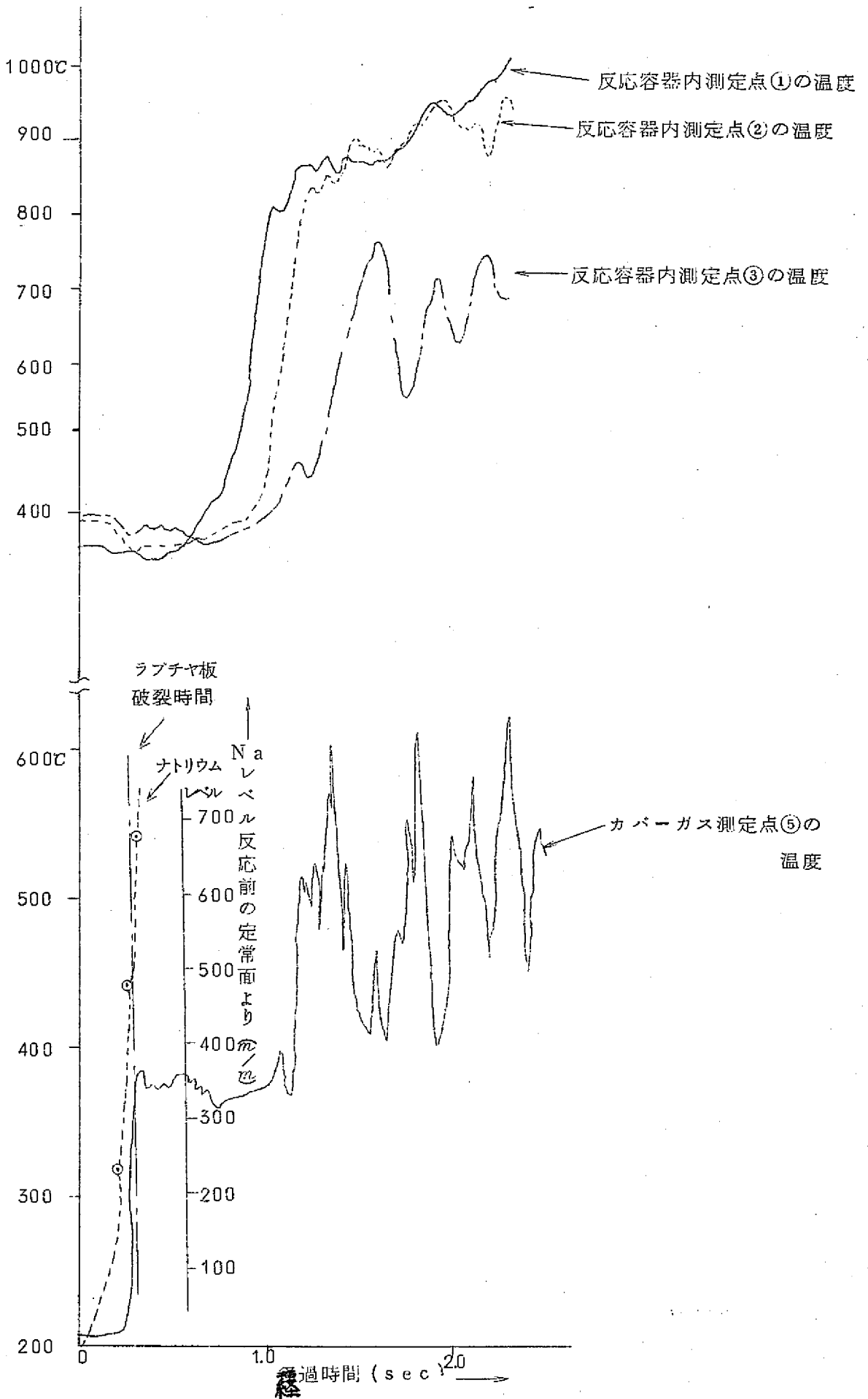


図 4.2.2 試番 Na-24 の容器内温度およびナトリウムレベル

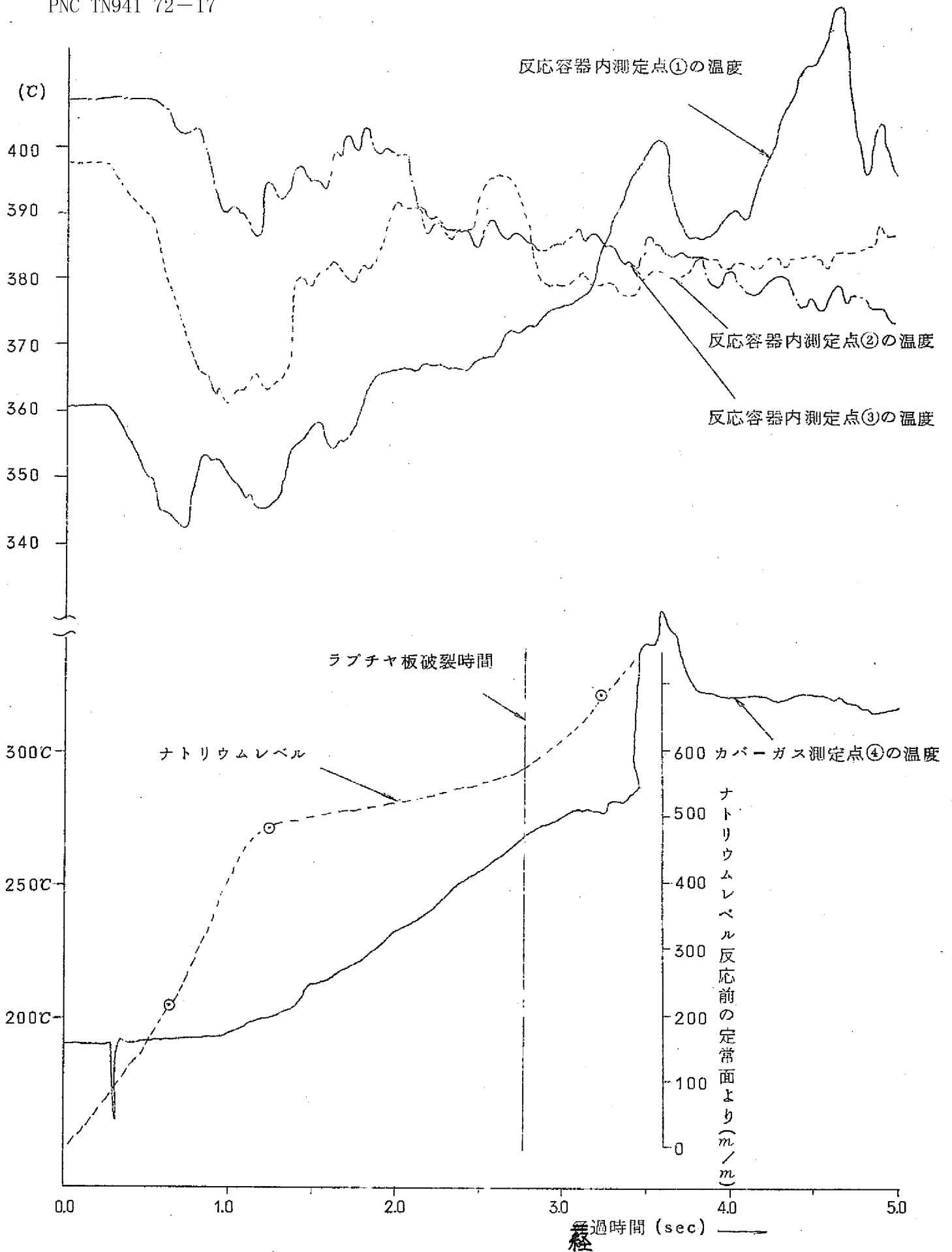


図 4.2.3 試番<sup>NO.</sup> 22 の容器内温度およびナトリウムレベル

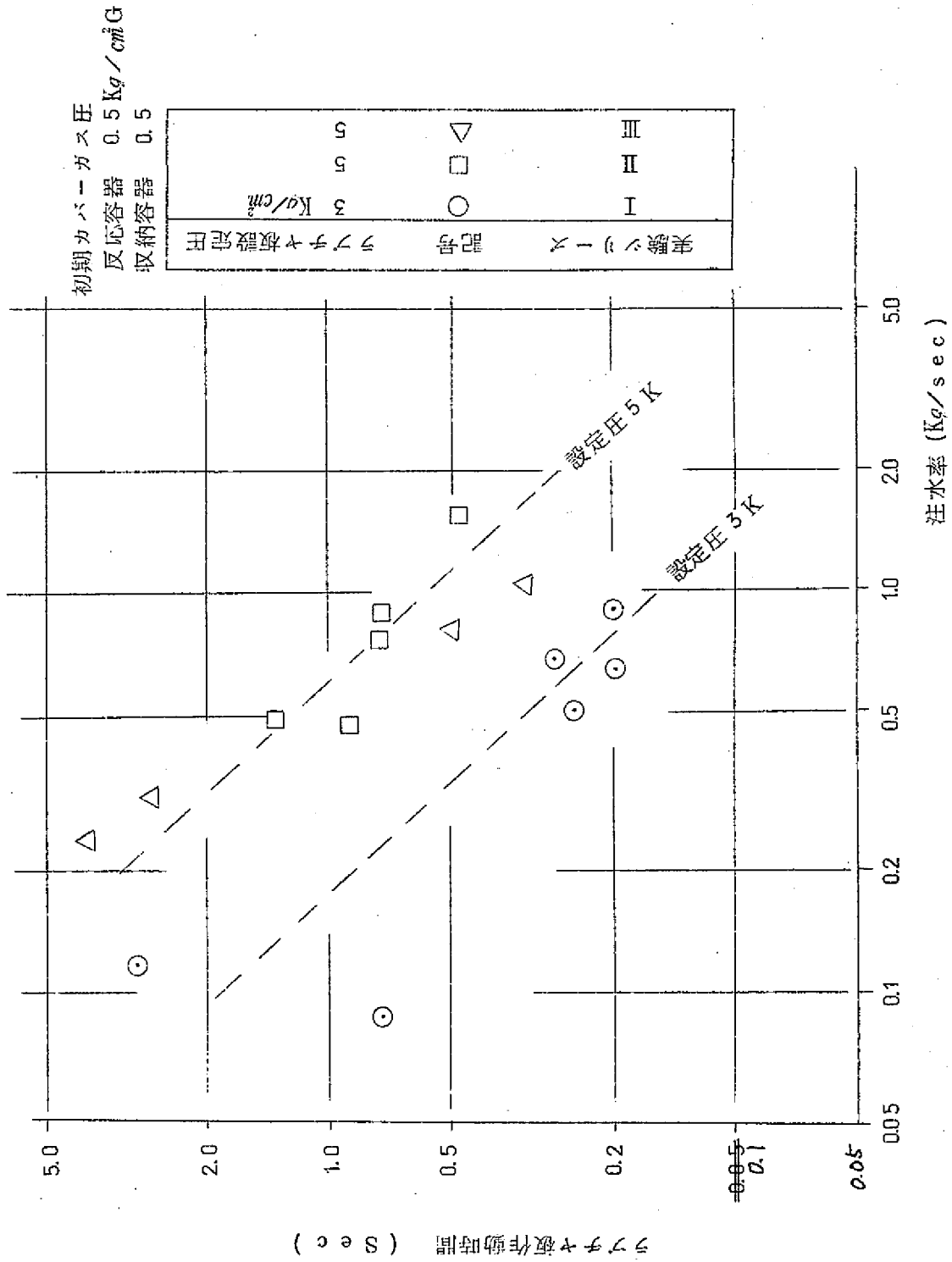


図 4.3.1 反応容器ラインヤ板作用時間と注水率

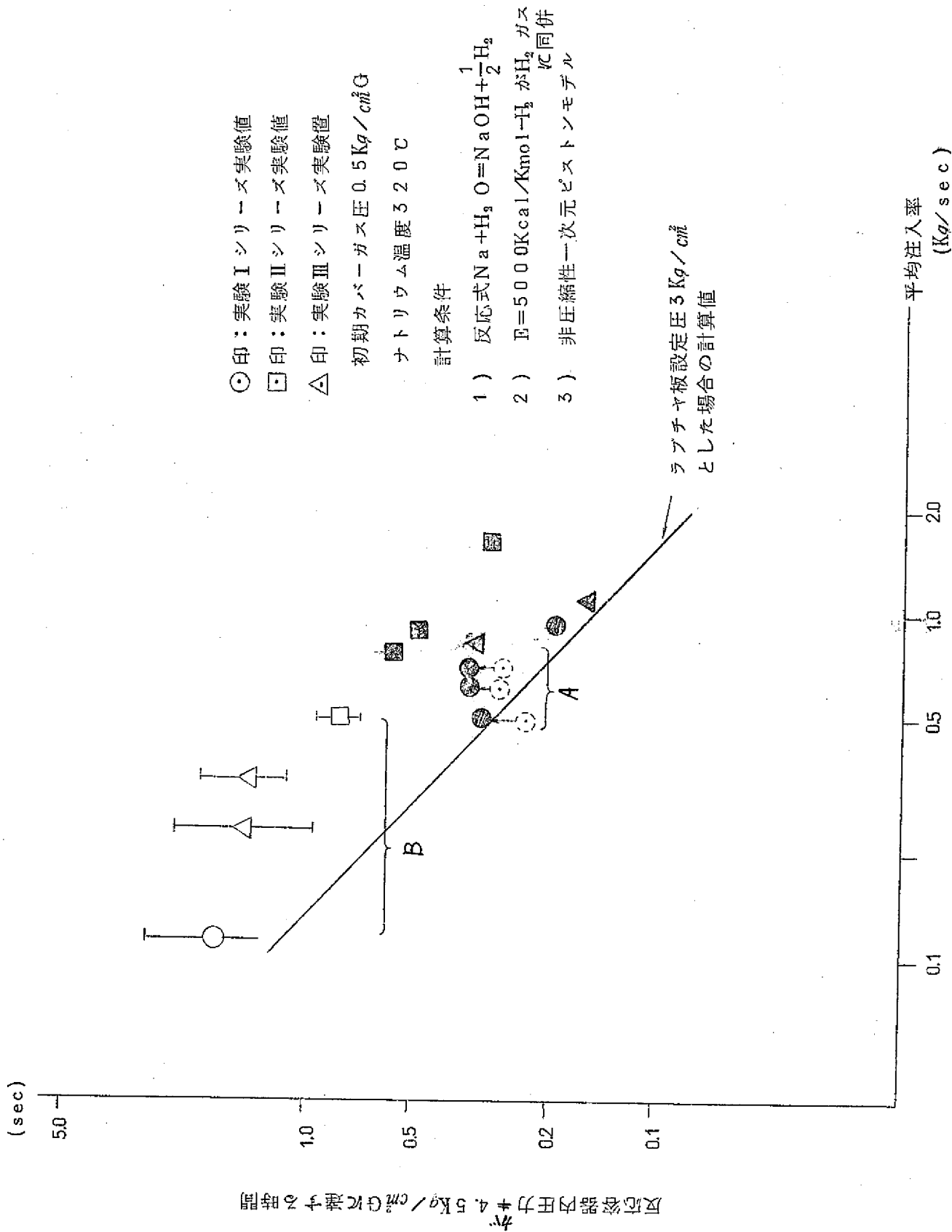


図 4.3.2 注水率と反応容器内圧が 4.5 Kg/cm<sup>2</sup>G に達する時間

## 5 放出系の特性

### 5.1 SWA T-1 放出系の構造

SWA T-1装置の放出系は図-2.1に示すごとく二段サイクロンセパレータ内蔵収納容器(900φ×2000ℓ), および放出系配管(200φ×1800ℓ横向き)より構成されている。

放出系配管入口は反応容器の定常液面上部280mmの位置(配管中心高さ)に横向きに接続されており, 配管入口より300mmのところにはラブチャ板(R-1)がおかれている。

ラブチャ板(R-1)は

口径 200mmφ

真空サポート付き

作 動 圧 力	5 Kg/cm <sup>2</sup>	3 Kg/cm <sup>2</sup> (温度350℃)
材 質	Ni	SUS-33

のものを用いている。

放出系配管途中3ヶ所に放出ナトリウムの流速を測定する目的でスパークプラグ式ナトリウム検知器を設けてある。

ナトリウム検知器取付位置は

(配管入口より)

L-1 1030 mm

L-2 1175 mm

L-3 1390 mm

である。

収納容器は流入するナトリウムと水素ガスを内蔵セパレータで分離し, ナトリウムは容器底にたまり, 大気解放系ラブチャ板(R-2)作動後にガス体のみ大気放出する構造となつている。

収納容器大気解放系煙突内にはラブチャ板(R-2)およびその上部にスプリング式逆止弁が設けてある。

ラブチャ板(R-2)は

口径 120mm

真空サポート付き

材質	N i
設定圧	1.5 Kg/cm <sup>2</sup>

である。

大気解放煙突上部には未着火の放出水素ガスの爆発を防ぐため、電気ヒータによる点火装置をとりつけ、実験前に最高表面温度800~1000℃程度に加熱している。

放出系各部の定常状態ガス空間容積は以下のとおりである。

反応容器	0.135	m <sup>3</sup>
放出系配管	0.0408	"
収納容器	1.2978	"
計	1.4737	m <sup>3</sup>

収納容器には実験計装として抵抗線歪ゲージ式圧力計および容器最上部にシース型サーモカップル(1φ, 0.5φ)2本をとりつけてある。

圧力測定については、圧力計の取付位置が悪く、実験中に圧力計取付タップ内にナトリウムが入り、温度急変による誤信号を出すので、測定データを得ることはできなかった。

## 5.2 反応容器内準静圧減圧特性

放出系ラブチャ板作動後の反応容器内準静圧減圧特性は、放出系配管流動特性に支配される。

SWAT-1装置の放出系は、我が国最初の大リークナトリウム-水反応試験装置ということで、安全を考慮して非常にConservativeに設計されている。

ラブチャ板(R-1)破裂後の反応容器内の減圧状態は図-4.1.1および図4.1.2に示すとおりで、注水率の大きいものでは減圧に要する時間が長く、注水率の小さいものでは短時間で減圧する。

放出系流動特性を支配するものは注水率と、放出系配管へ流入するナトリウム-水素ガスの混合状態である。

SWAT-1の場合注水率とラブチャ板破裂時間(反応容器内準静圧がラブチャ板設定圧に到達する時間)は一義的關係にあり、ラブチャ板破裂時間は反応容器内のナトリウムと水素ガスの混合状態を支配している。

そこで、ラブチャ板破裂時間を代表因子として用いて、減圧終了時間(反応容器準静圧放出時間)を整理すると図-5.2.1のようになる。

ラブチャ板破裂時間の減少にしたがつて減圧終了時間は増大するが、ラブチャ板作動時間0.5~1.0sec前後で様相が変り、それ以後減圧終了時間はほぼ一定となる。



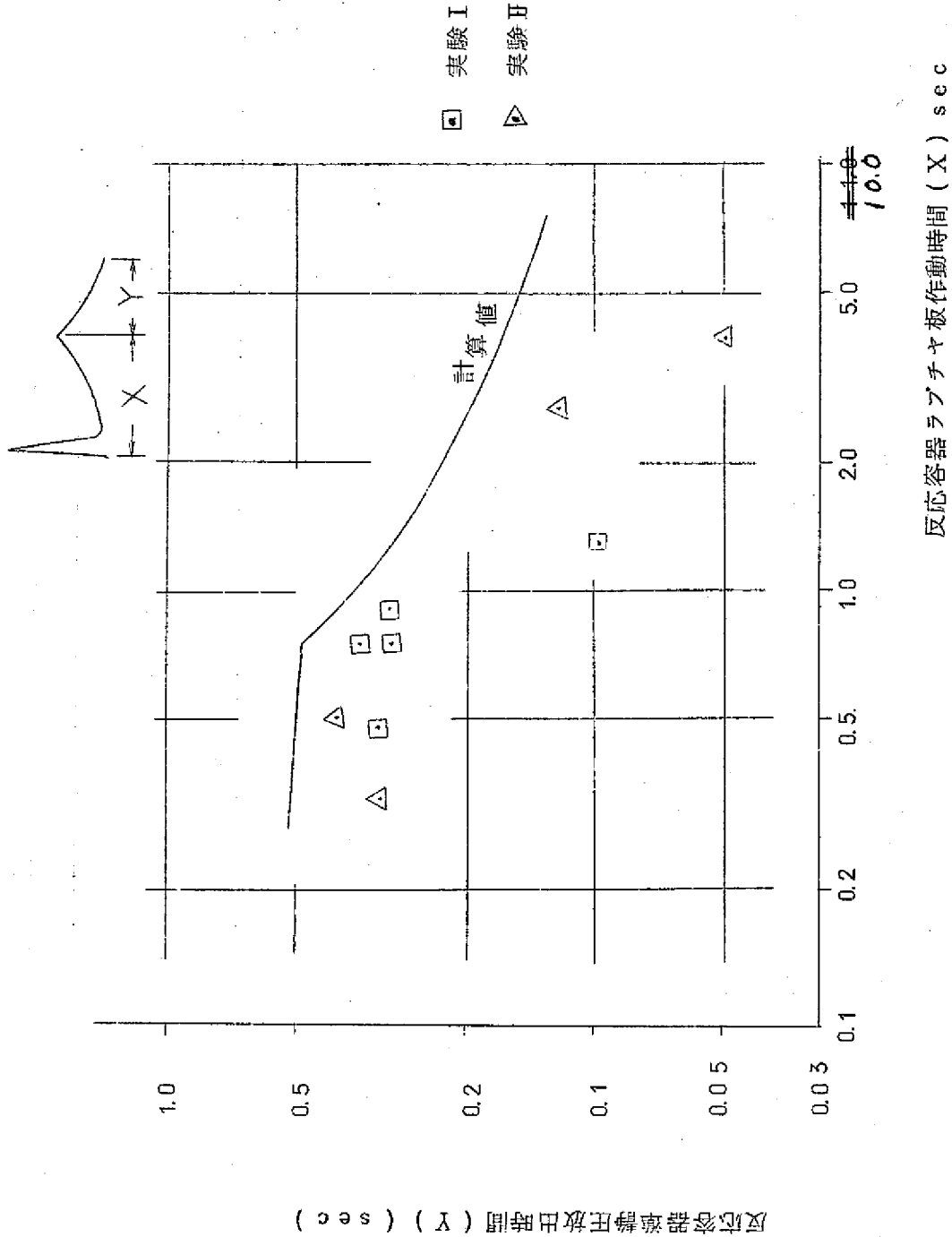


図5.2.1 放出系配管特性

### 5.3 放出系配管ナトリウム通過速度

ラブチャ板作動直後の放出配管内ナトリウム通過速度はスパークプラグ式ナトリウム検知器の短絡信号で計測される。

得られた値を図-5.3.1に示す。

本実験の範囲では $13 \sim 39 \text{ m/sec}$ の範囲に入る。

注水率とナトリウム速度との関係は明確ではない。

初期ナトリウムの速度をきめる要因としてはラブチャ板上流側のナトリウムの慣性ばかりでなく、例えばラブチャ板直前のナトリウムの中に混入した気泡のラブチャ板破裂にともなう急膨脹で、ナトリウム柱先端が急加速されるなど、局所的な状態も強く影響しているものと思われ、それらは実験にさいしてのコントロール因子とはなりにくく、そのため得られたデータがばらつくものと思われる。

図中には検知器三点の外側二点間平均流速のほか、隣合う二点間の平均流速をも併記してある。

これによると当然のことながら多くのものが著るしい加速状態下にあることが判る。したがって加速状態が終了したあとの、いわゆる最終到達速度は液体としては相当な高速状態になることも考えられる。SWAT-1による大リークナトリウム-水反応実験では実験時に地震的床振動が感じられ、収納容器が胴震いするのが観察される。この原因として放出系配管内の高速ナトリウムの収納容器内への突入が考えられ、蒸気発生器設計にさいして特に放出系容器の支持方法決定にさいし考慮すべき問題であると考えらる。

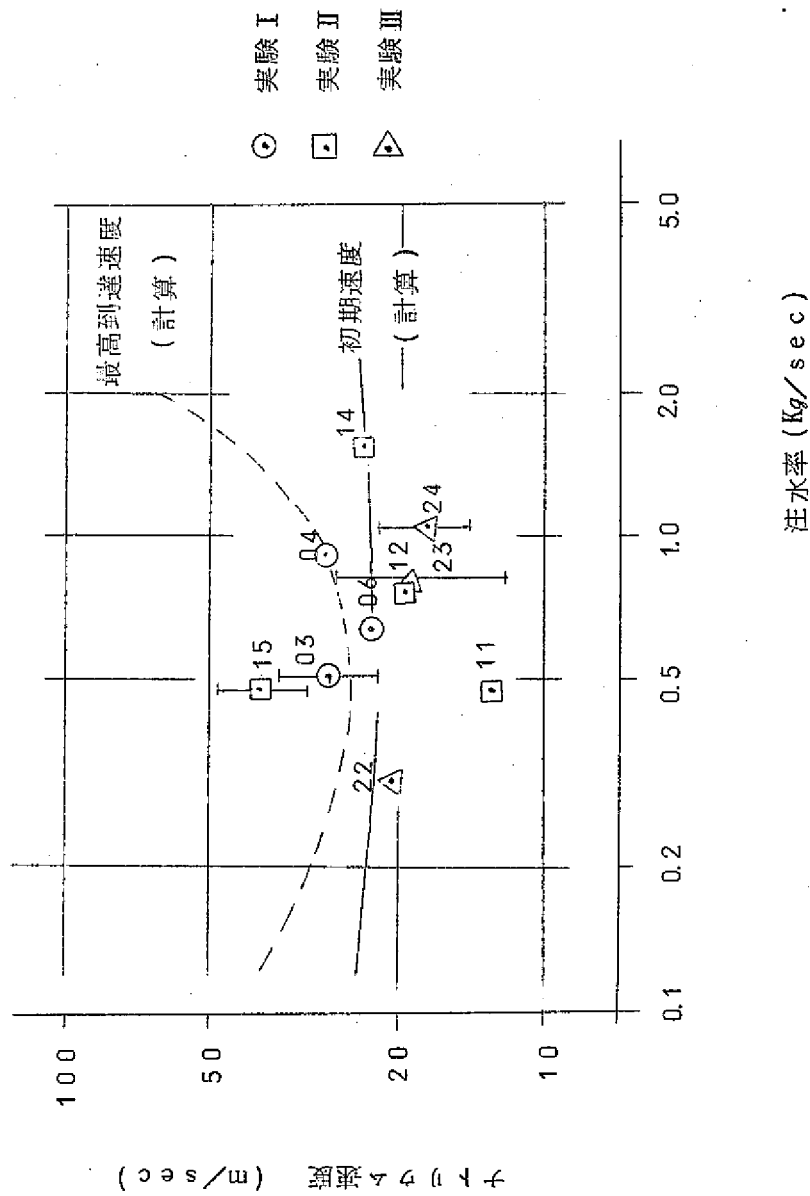


図 5.3.1 放出系配管内ナトリウム速度～注水率

#### 5.4 反応容器から収納容器へのナトリウム放出量

実験にさいして反応容器内に180Kgのナトリウムが充填される。

実験後収納容器へ放出されたナトリウム量は図-5.4.1のようになる。

ラブチャ板設定圧3Kg/cm<sup>2</sup>実験I, 5Kg/cm<sup>2</sup>実験II, IIIの両方ともラブチャ板作動時間で整理せるとほぼ同じ線上にのる。

ナトリウム放出量は注水率よりもなしろラブチャ板作動時間に直接支配されているよりである。

ラブチャ板作動時間が0.5secよりも短いとナトリウム放出量はほぼ一定で、100~120Kgである。

作動時間が0.5secよりも短い場合、放出ナトリウムの移行メカニズムは同じであると考えられ、この場合放出ナトリウムの大部分は单相流ピストンのように放出系配管に流入するものと推定している。

作動時間が0.5secよりも長くなると、ナトリウムと反応発生水素ガスの入れ換えがおきて二相流領域が広がり、さらには上部カバーガスへ抜け出てしまうことが生じる。水素ガスと入れ換ったナトリウム量だけ放出ナトリウム量は減少することになる。前述のように反応容器内のナトリウム液面高さの測定によれば、ラブチャ板作動時にはいずれの場合でも放出系配管入口部はナトリウム中に没している。

注水率の大きいもの(Na24)ではラブチャ板破裂時には水素ガスはナトリウム液面まで倒達しておらず、注水率の小さいもの(Na22)ではラブチャ板破裂前に水素ガスはカバーガス内へ抜け出てしまっている。

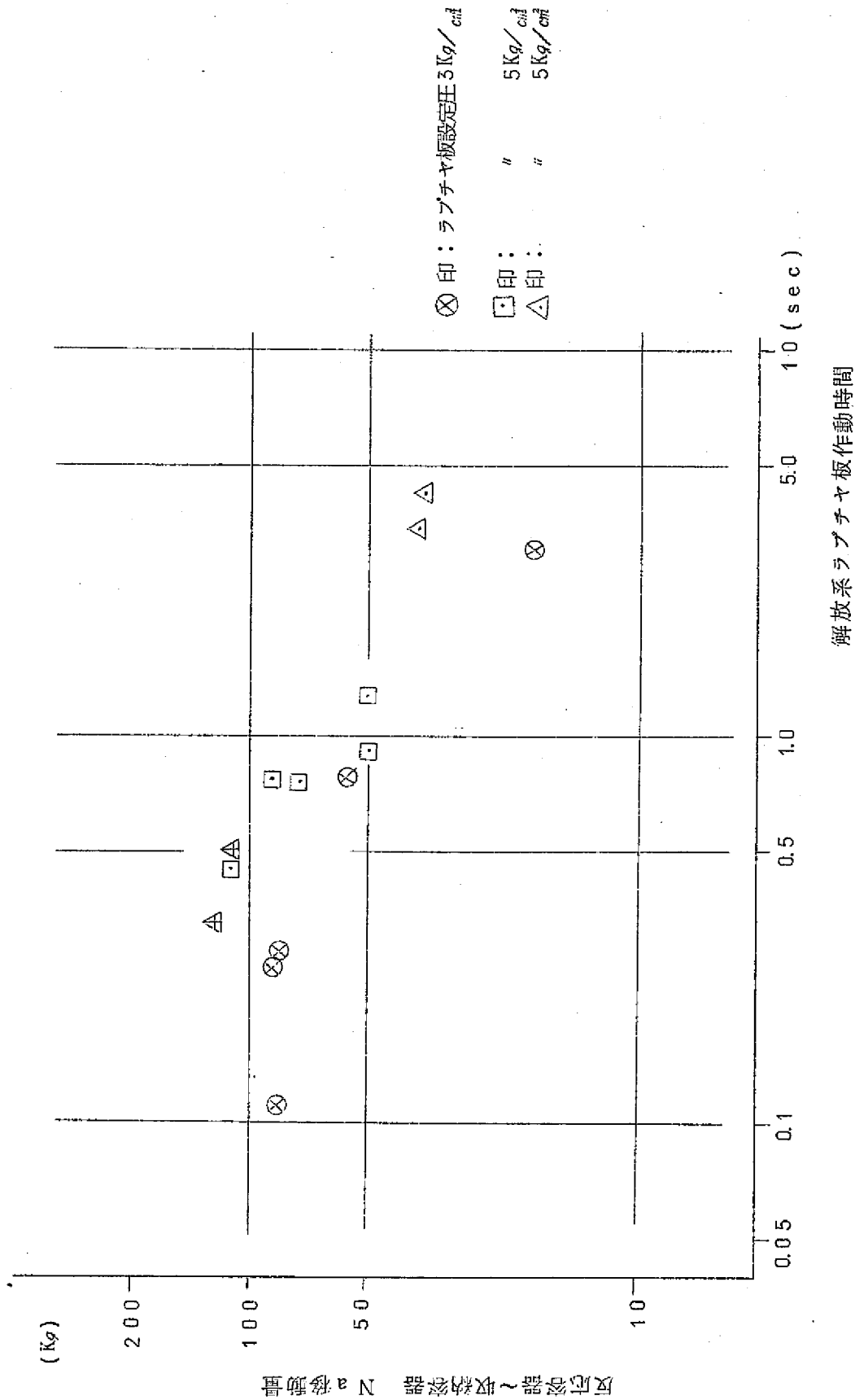


図 5.4.1 反応容器へ収納容器ナトリューム移動量～反応容器解放系ラプチャ板作動時間

## 5.5 放出系流動特性に関する考察

現在発表されている放出系配管特性に関する計算コードはSφRELコードのみである。同コードの放出系配管の取扱いは二相流摩擦損失を考慮するのみで、二相臨界流の取扱いはしていないが、簡単であるので同じ取扱いの計算コード<sup>\*</sup>を作成し、SWAT-1放出系配管特性についての検討を試みた。

作成計算コードの入力は、

- ① 水素発生率( $\propto$ 注水率)、全ナトリウム移動量を指定
  - ② 放出系配管に流入するナトリウム-水素ガスのボイド率を指定
- を与える。①項については反応容器側のメカニズムであるので実験結果を入れ、②項については

$$\text{ボイド率} = \frac{\text{その時間までのNa移動量}}{\text{全Na移動量}}$$

を仮定して入れた。

計算結果によれば配管途中で観察された初期ナトリウム速度は注水率の如何にかかわらず図-5.3.1のように23~24 m/secでほぼ一定であつた。

配管内最高到達速度は63 m/sec(注水率2 Kg/sec)から初期速度に近い24 m/sec(注水率0.5 Kg/sec)までに分布するが、いずれもボイド率が0.9よりも大きいところでの値であつて、慣性力の大きいボイド率が0に近い期間は、初期速度に近い値であつた。

反応容器ラブチャ板破裂後の減圧特性を図-5.5.1に示す。

計算結果と実測値とを比較すると計算結果の方が多少高目に出ている。

注水率を変えた場合の計算結果を図-5.5.2に示す。

この結果をもとにし、5 Kg/cm<sup>2</sup>から0.8 Kg/cm<sup>2</sup>まで減圧する時間を減圧時間として、注水率と反応容器ラブチャ板破裂時間の実験的關係図4.3.1から反応容器ラブチャ板破裂時間を求め、両者の関係をプロットしたものが図5.2.1の計算値である。

計算値は実験値よりも高目に出ているか、特徴はよく表現されている。

本計算コードは二相流を取扱うモデルとしては非常に"あらつぽい"ものであるが、SWAT-1の場合これで比較的よく説明できたことは放出系配管が太く、短いこともあるが、配管内で臨界流現象がおきていない証左と考えられる。

ナトリウムの移動量は、ボイド率の設定にしたがつて当然のことながら放出初期にその大部分が反応容器から出て行つてしまう。その関係を図-5.5.3に示す。

註\*) APPENDIX II参照

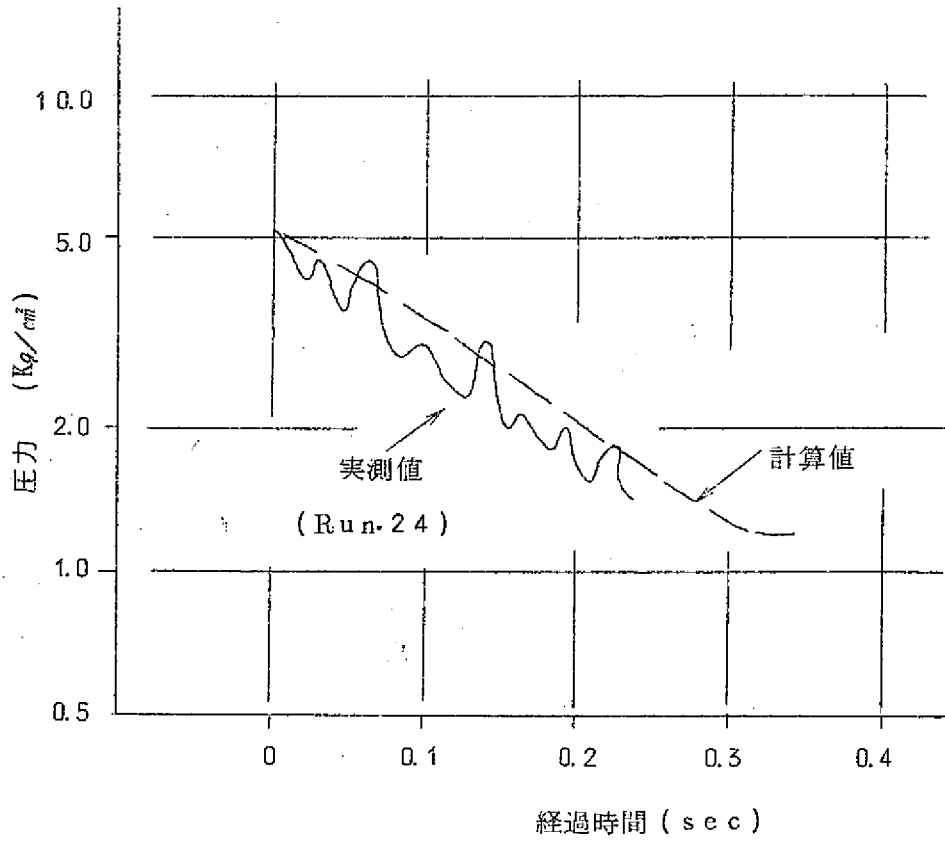


図 5.5.1 反応容器内減圧特性

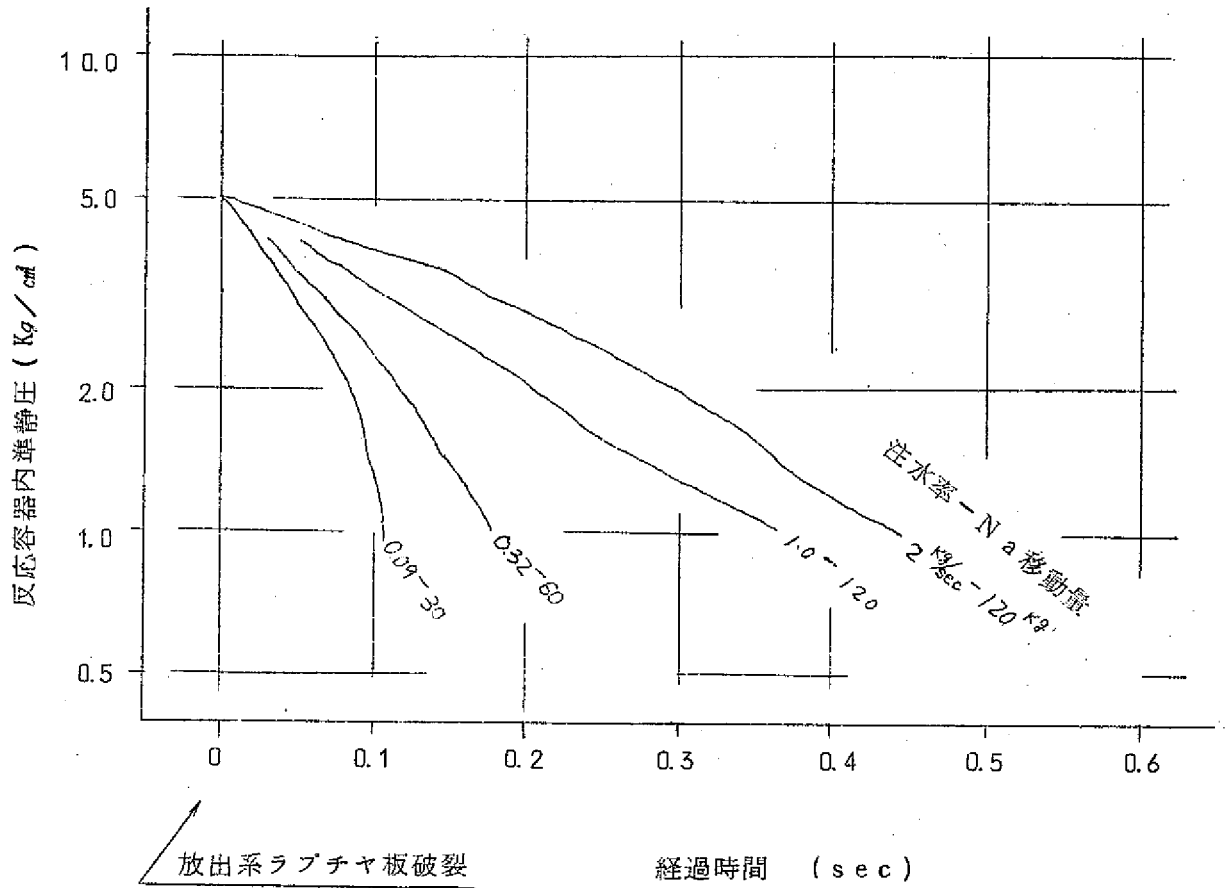


図 5.5.2 反応容器内圧力減圧状況 (計算値)



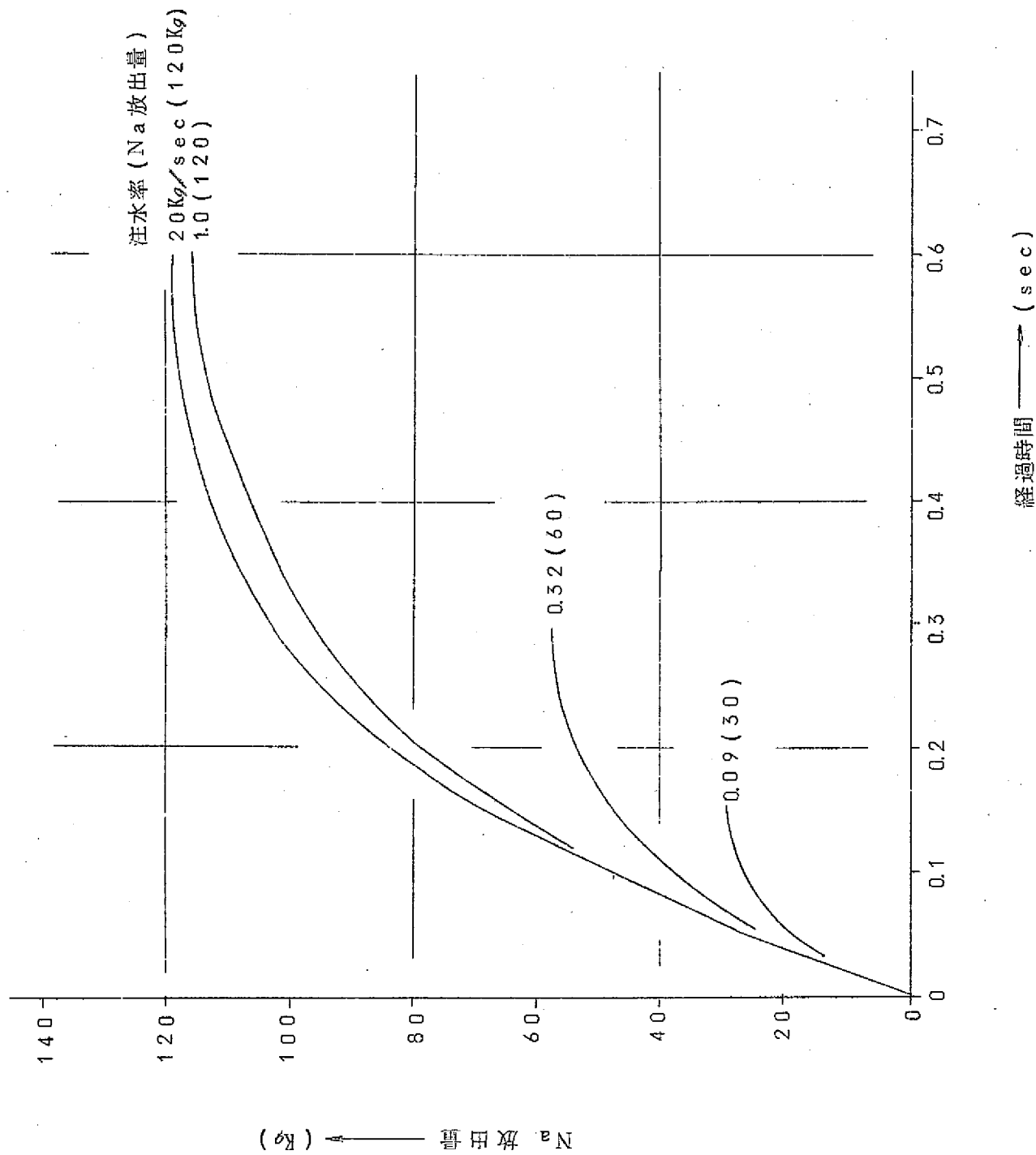


图 5.5.3 反应容器 Na 放出量 ~ 时间经过 (计算值)

## 5.6 収納容器ラブチャ板作動について

収納容器内の圧力変動は指圧計取付位置が悪く、測定できなかつたのは前述のとおりである。

温度測定結果の一例を図-5.6.1に示す。

実験前に収納容器は250℃まで予熱し、約2時間放置しておくが、収納容器内測定点での実験前カバーガス温度は意外に低く、本報告に含まれる実験では、90°～110℃程度であつた。この原因は予熱ヒータ取付位置が容器下部の範囲であることと、内部にサイクロンセパレータがあるために、対流による昇温がさまたげられているためと考えられる。

同図中に併記してある事象を参照するとわかるように、反応容器ラブチャ板作動後もなくガス温度が上り出す。

昇温開始時間と反応容器ラブチャ板作動時間は一致せず、

注水率 大 → 収納容器ラブチャ板破裂前にはほとんど昇温しない。

注水率 小 → 反応容器ラブチャ板破裂後0.3sec前後で昇温が始まる。

という傾向がある。

本報告の実験範囲では収納容器ラブチャ板が破裂してもガス温度の昇温は続き、水注入弁閉後の注水停止前後が最高値となるが、その時点での温度も130°～200℃程度で、極端な高温は観測されていない。

本報告の実験範囲について注水率と収納容器ラブチャ時間の関係を求めると、図-5.6.2のようになる。

図中の左り下り直線上ではラブチャ板が作動するまでに同じ量の水が注入されたことになる。

この図で明らかなことは、収納容器ラブチャ板は注水率の大きいところでは水1Kgを注入すると破裂し、注入率の小さなところでは水2Kgを注入せねば破裂しないことである。

この原因として次のことが考えられる。

- (1) 注水率の見積り違い
- (2) 反応自体に起因する。
- (3) 装置自体に起因する

(1)については平均注水率算定にさいして、注水率の大きいところで、低目に見積りすぎているかという問題である。

平均注水率算定時に全注水量から注水配管容積に見合う重量を差し引いて弁開時間で

割る操作をする。

この注水配管容積に見合う重量を差し引くときに、現在の整理方法では単相液相水としている。ここに誤りの混入する要因があるわけであるが、配管内部の状態などが不明なため、この問題に関する手がかりはつかめない。

(2)については、第1報に述べたごとく、反応容器内の残溜ナトリウム量と注水率の如何で、実験後に反応容器内に残る反応発生熱に違いがあるという現象がある。

これは、注水率の大きいところでは反応容器残溜ナトリウム量は小さく、反応により発生した水素ガスの保有する熱量はナトリウムにうばわれることなく収納容器へ流れて行く。

注水率の小さなところでは反応容器内残溜ナトリウム量が多く、反応発生水素ガスの保有する熱量がナトリウムにうばわれる割合が大きくなり、収納容器へ流入する水素ガスは低温化することになる。

とりもなおさず、注水率大のところでは収納容器に大きな熱エネルギーが入り、そのため、収納容器ラブチャ板は早く破裂することになる。

(3)については、収納容器へ流れ込んだ水素ガスに圧力上昇がおきるとともに温度も上昇するが、この温度上昇は、流入水素ガスによるガバ-ガス圧縮仕事、および流入水素ガスの保有する熱量とからきまるものがあるか、温度上昇過程で、一部の熱量は水素ガスから構造材（例えば収納容器サイクロンセパレータなど）に逃げて行く。

構造材への熱の移行は一次遅れの的であるので、注水率の大きい急激な温度上昇では経過時間が短いため熱移行量は少なく、したがってガス温度は高温化する。

これに反し、注水率の小さいところでは経過時間が長いので、熱移行量は大きく、ガス温度は低くなる。

すなわち、注水率大のところではラブチャ板は早く割れる傾向にある。

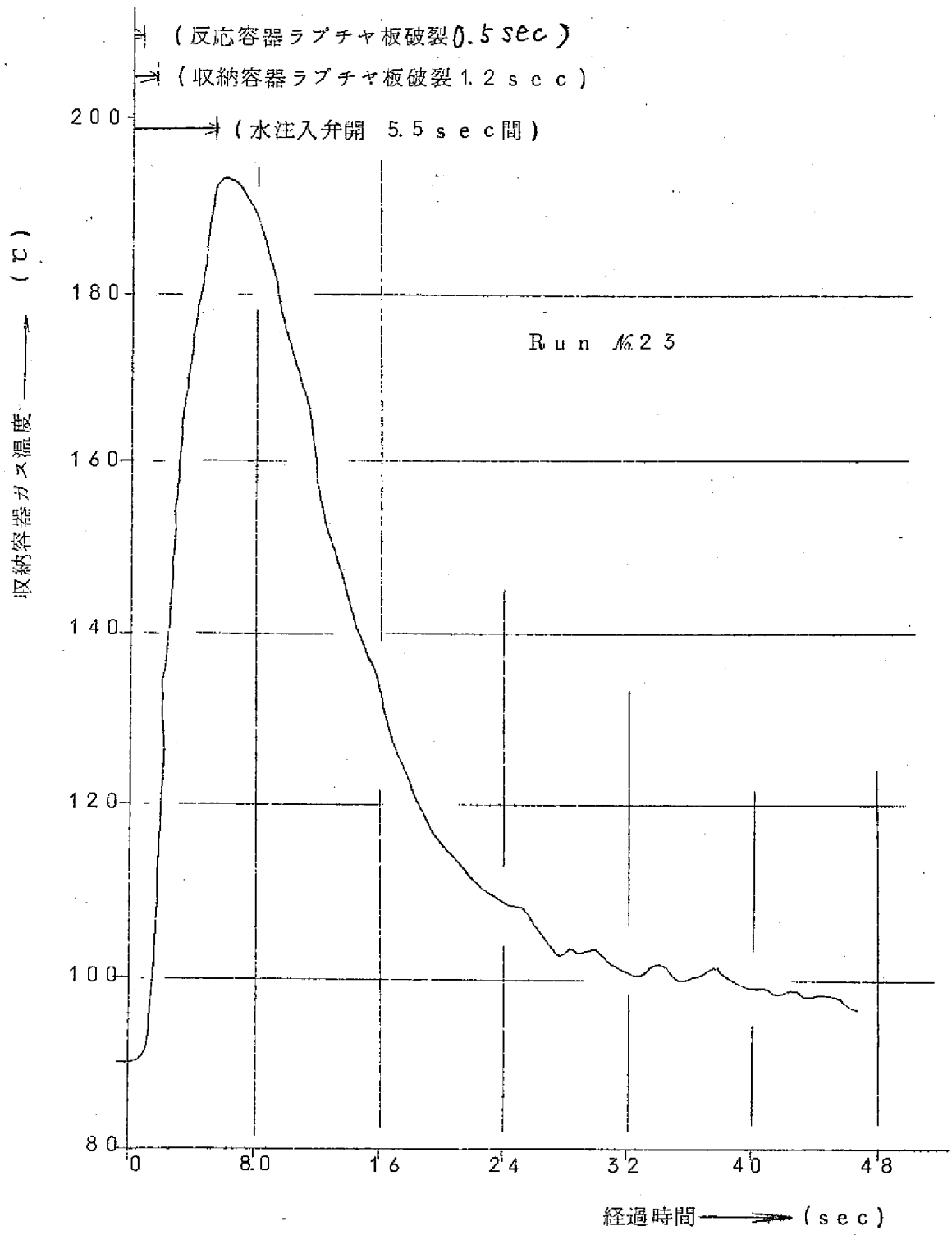


図 5.6.1 収納容器ガス温度～時間経過

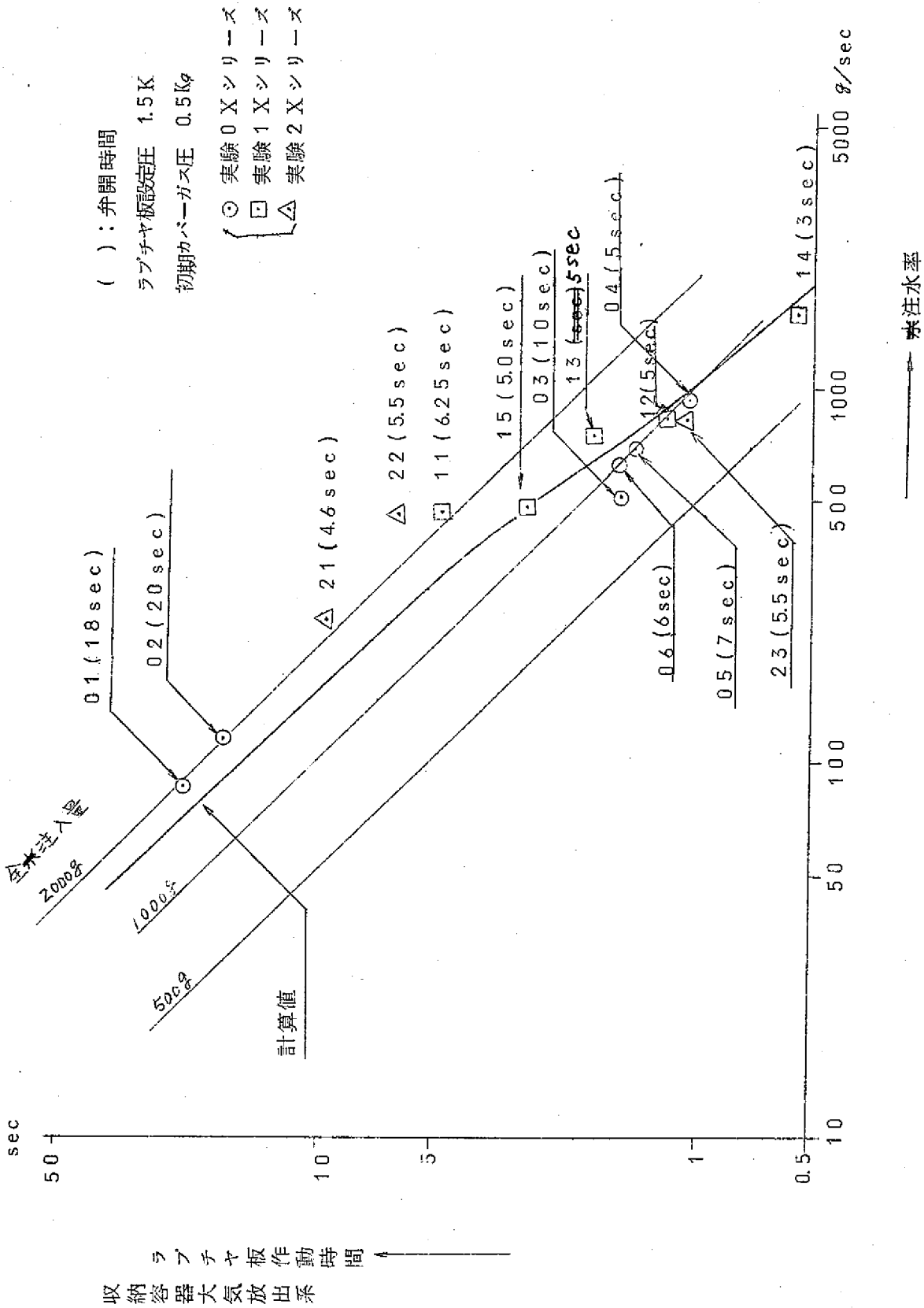


図 5.6.2 収納容器大気放出系ラプチャ板作動時間～平均※注水率

## 5.7 収納容器ラブチャ板作動に関する考察

前節仮説(2)(3)の真擬を確かめるために、熱移行メカニズムを考慮したNa-水反応均一モデルを作成し、一部実験結果を入れて計算した。<sup>\*</sup>

計算モデルの入力値は

内部構造物の重量 200Kg

” の熱伝達表面 20 m<sup>2</sup>

” の熱伝達率 36 Kcal/m<sup>2</sup>h℃

(空気乱流熱伝達率 20℃, 1ata)

内部構造物初期温度 (=カバガス初期温度) = 100℃とし、注水率と水素同併熱エネルギーの関係は図-5.7.1に示すものを用いた。

なお H<sub>2</sub> ガス発生モル/注水モル = 1/2とした。

この結果は図-5.6.2に示すとほりて、実験結果ほど急激な注水率依存はないが、注水率依存性をもつたカーブを画くことができる。

計算によるラブチャ板破裂時のカバガス温度と実測値を図-5.7.2.に示す。ラブチャ板破裂までの温度上昇は実験と同じく、わずかである。

註\*) APPENDIX III 参照

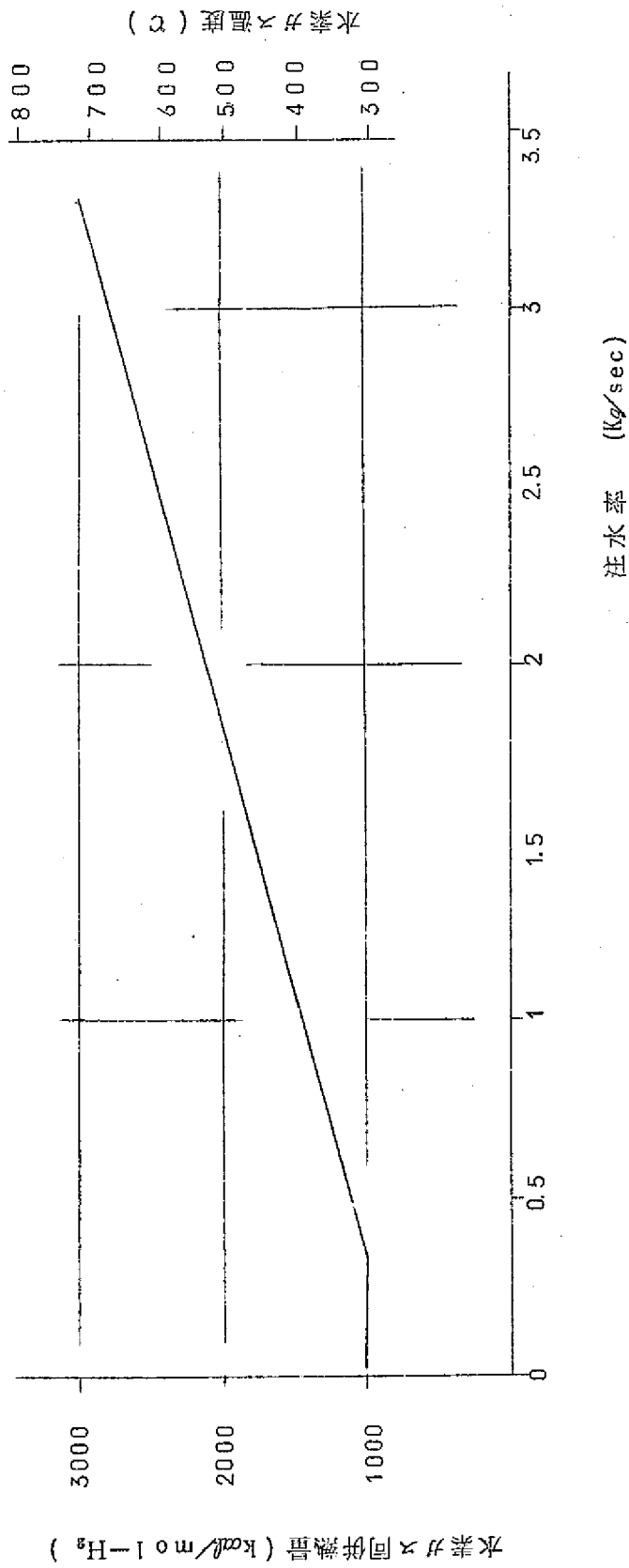


図 5.7.1 水素ガス同併熱量計算入力

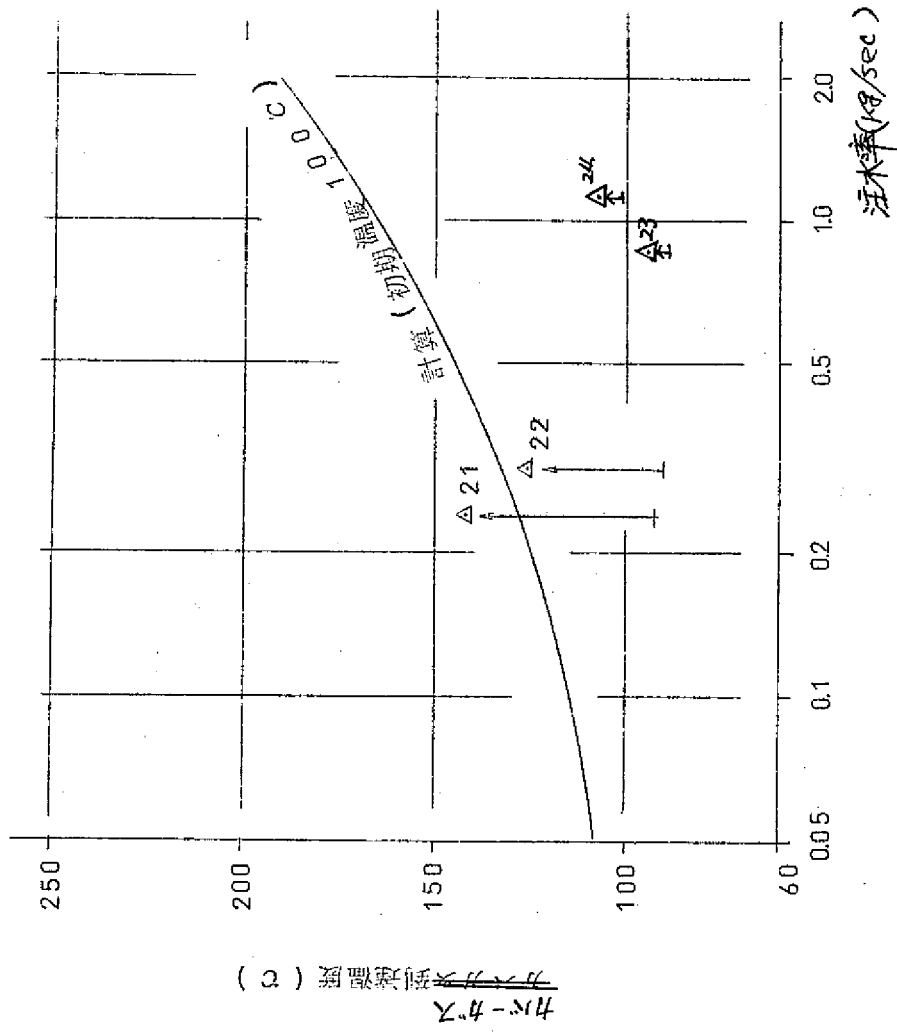


図 5.7.2 収納容器ラプチャ板破裂時のカバーガス温度



## 6 SWAT-1 試験装置によるウエステージの実験

小リークナトリウム-水反応があるとウエステイジ現象により隣接伝熱管を破き、大リーク事故につながる。小リークウエステージ研究は、Fermi 炉 S G の事故からウエステージ現象が発見されて以来、広くおこなわれてきた。

小リークウエステイジの研究対象は、リーク穴径  $0.1 \sim 1.0 \phi$  の範囲に集中しており、SWAT-1 でのような、水噴出口径  $2.5 \sim 7.07 \phi$  での範囲での実験はほとんどやられていない。わずかに英国の SUPER-NOAH 装置で大リーク時の隣接伝熱管が短時間で破断したという例が報告されているのみである。

SWAT-1 噴出口径規模のウエステージはいわゆる中リーク規模と考えられるが、中リーク事故時の隣接伝熱管の連鎖状破損の有無を確かめるために、大リーク実験の実施のさいに併行してウエステイジに関するデータを集録して見た。

### 6.1 ウエステージ方法および実験条件

前述の目的で中リーク時のウエステイジ量およびウエステイジ状況を調べるために実験を行つたが現在 SWAT-1 が行つている水注入時間 (3~7 秒) でも実際の FBR 蒸気発生器の伝熱管に使用する  $2\frac{1}{4}Cr-1M$ 。鋼ではかなりのウエステイジがあることが確められた。<sup>9)</sup>

そこで、SWAT-1 の実験と併行して SWAT-1 水噴出口附近のウエステイジ状況が一挙に把握出来るよう、軟鋼溶接棒素材を使用した図 2.3 に示す寸法のターゲット集合体 (Fig 6.1) を用いて実験を行つた。なお、ターゲット下部に円板を取り付けたのは、反応容器の底に水蒸気のジェットがふきつけ、底にウエステイジが起るのを防ぐためである。

使用した軟鋼の材質を表 6.1 に示す。なお、ターゲット間隔は  $10 \text{ mm}$  で 10 本から 12 本取付け立体的なウエステイジ状態を求めた。

実験は水注入管オリフィス口径を 2.5, 3.5, 5.0 および  $7.07 \phi$  に変えて行つた。その実験条件を表 6.2 に示す。

### 6.2 実験結果

ウエステイジ量の測定は、試験後ターゲットに附着した反応生成物をアルコール処理の後水洗し、ターゲットの直径をノギスで測定することで求めた。その測定減損量を平面にプロットし、同じ減損量を等高線的に結んで、水注入管噴出水ジェットによつて周りのターゲットの損傷する様相を現わしたマップを図 6.1 に示す。

ターゲットの損傷の受け方は水の注入量、注入時間、水注入管ノズルとターゲットと

の間隔，ターゲット形状等によつて異なる。そこでこれらを下記の様に一般化して整理してみた。

先づ，水の噴出は図 6.2 のように水注入管バルブを閉じても管内圧力がさがりまるまで止らない。そこでバルブ閉鎖後管内圧力が 0 になる時間までを水注入時間  $T_{jet}$  とし、ウエステイジに関する平均水注入率  $q$ ，および単位時間当りのウエステイジ率  $W$  を次式で定義した。

$$q = Q / T_{jet} \text{ (Kg/sec)}$$

$$\omega = W / T_{jet}$$

但し  $Q$  : 全水注入量 (Kg)

$W$  : ウエステイジの深さ (mm)

また、ジェット現象を一般的に整理する方法に従つて、水注入率およびノズルからターゲット先端までの距離  $L$  をノズル径  $D$  で除した値をもつてデータを整理した。その整理結果を図 6.3 および図 6.4 に示す。

この整理結果および図 6.1 のウエステイジマップより、ウエステイジは水注入率の多い程激しく、最大ウエステイジ率の位置は  $10 \text{ mm} \sim 40 \text{ mm}$  の間に現われ、ノズル径の大きいものはノズル径の小さいものに較べて近くに現われることが判る。

噴出口径の大きいものは、注水率が大であるため広範囲に影響を受けるが、噴出口近く以外では反応面の乱れも大きくなり、集中的ウエステイジ現象はなく、これに反し噴出口径の小さいものでは、比較的噴出口よりはなれを位置に反応面の集中がおこり、局所的に激しいウエステイジを受ける部分が出る傾向にある。

また、試験後のターゲットの状態は、水注入管より噴出するジェットの圧力の影響を受けて、ターゲット上部では反応熱によつて材質が軟化した部分が下方に曲がり、ターゲット下部では前述の防護板のためジェットがはねかえりターゲットが上方に曲つているのが認められた。この現象は特に水加熱器圧力が  $125 \text{ Kg/cm}^2$  の場合には顕著に現われていた。

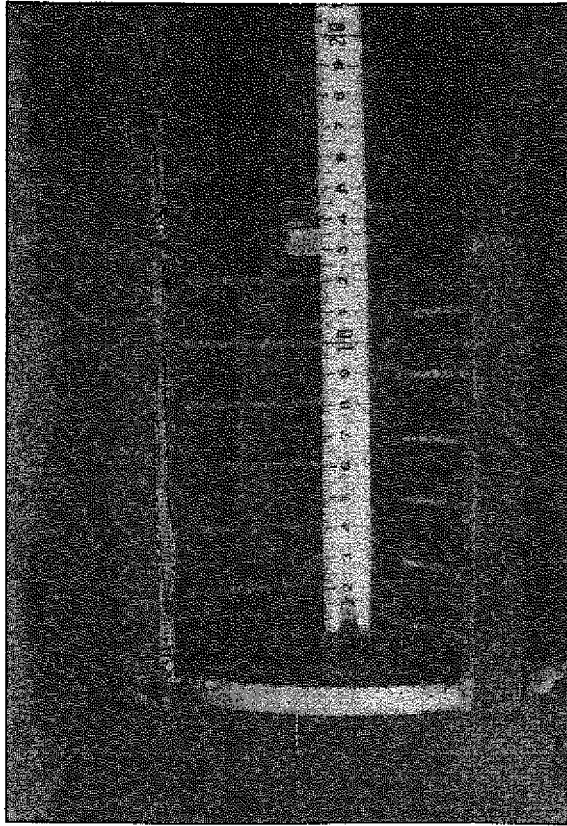


写真 6.1 一ターゲット集合体の外観 (試番 621)

化学成分 (%)

C	Mn	Si	P	S
0.10	0.39	0.08	0.018	0.013

機械的性質

降伏点 ( $Kg/cm^2$ )	引張強さ ( $Kg/cm^2$ )	伸び (%)	衝撃値 ( $Kg-m$ )
42	46	32	9.3

表 6.1 ターゲット使用軟鋼の性質

実験番号	14	15	21	23
水噴出ノズル口径	7.07φ	3.5φ	2.5φ	5.0φ
注入水圧力	7.5 $Kg/cm^2G$ 飽和水	7.5 $Kg/cm^2G$ 飽和水	12.5 $Kg/cm^2G$ 飽和水	12.5 $Kg/cm^2G$ 飽和水
備考			模擬伝熱 管挿入	模擬伝熱 管挿入

カバーガス圧は 0.5  $Kg/cm^2G$

ナトリウム温度 320℃

表 6.2 実験条件一覧表

Run No 14

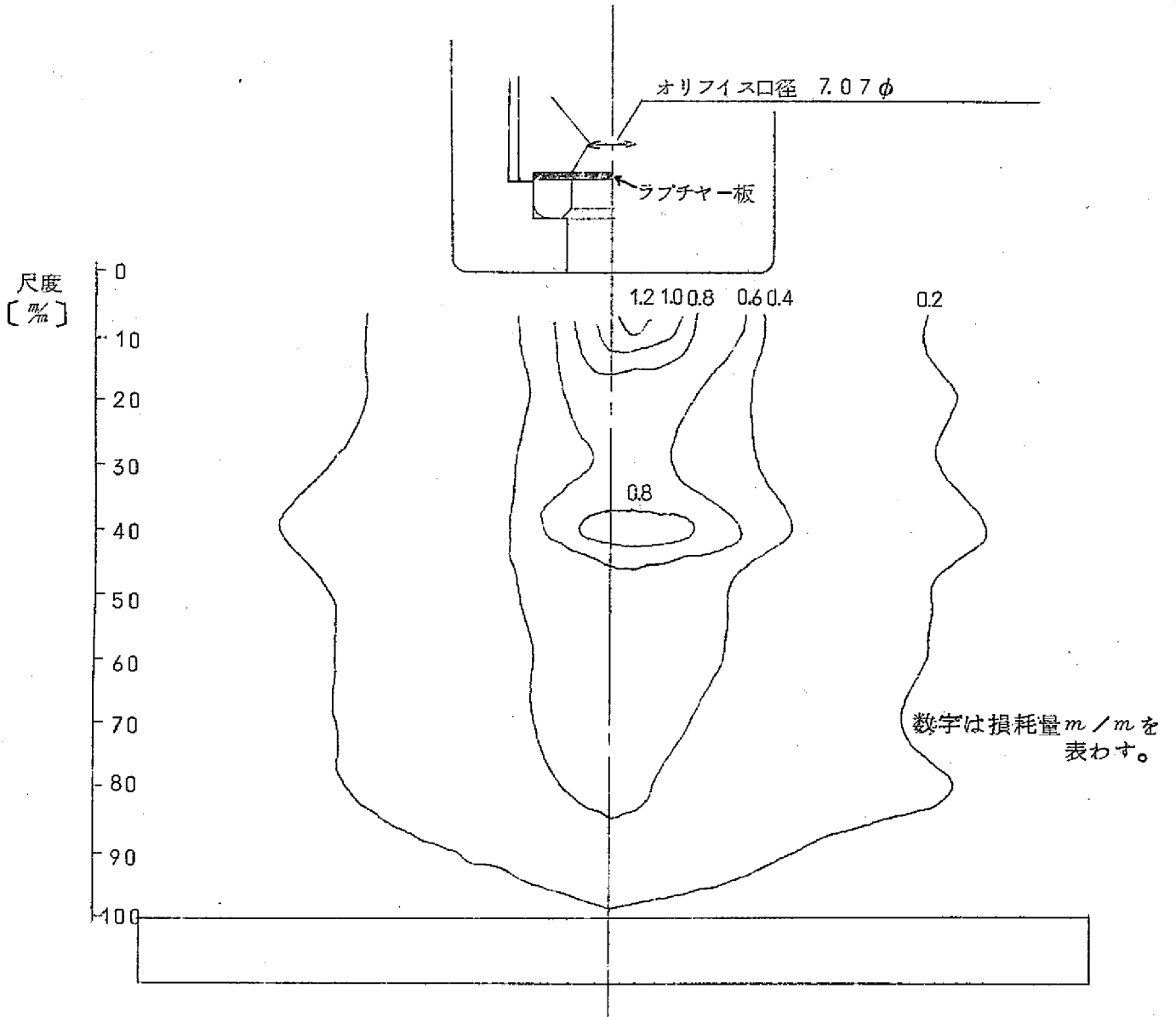


図 6.1(a) ウエステイジマップ ( Run No 14 )

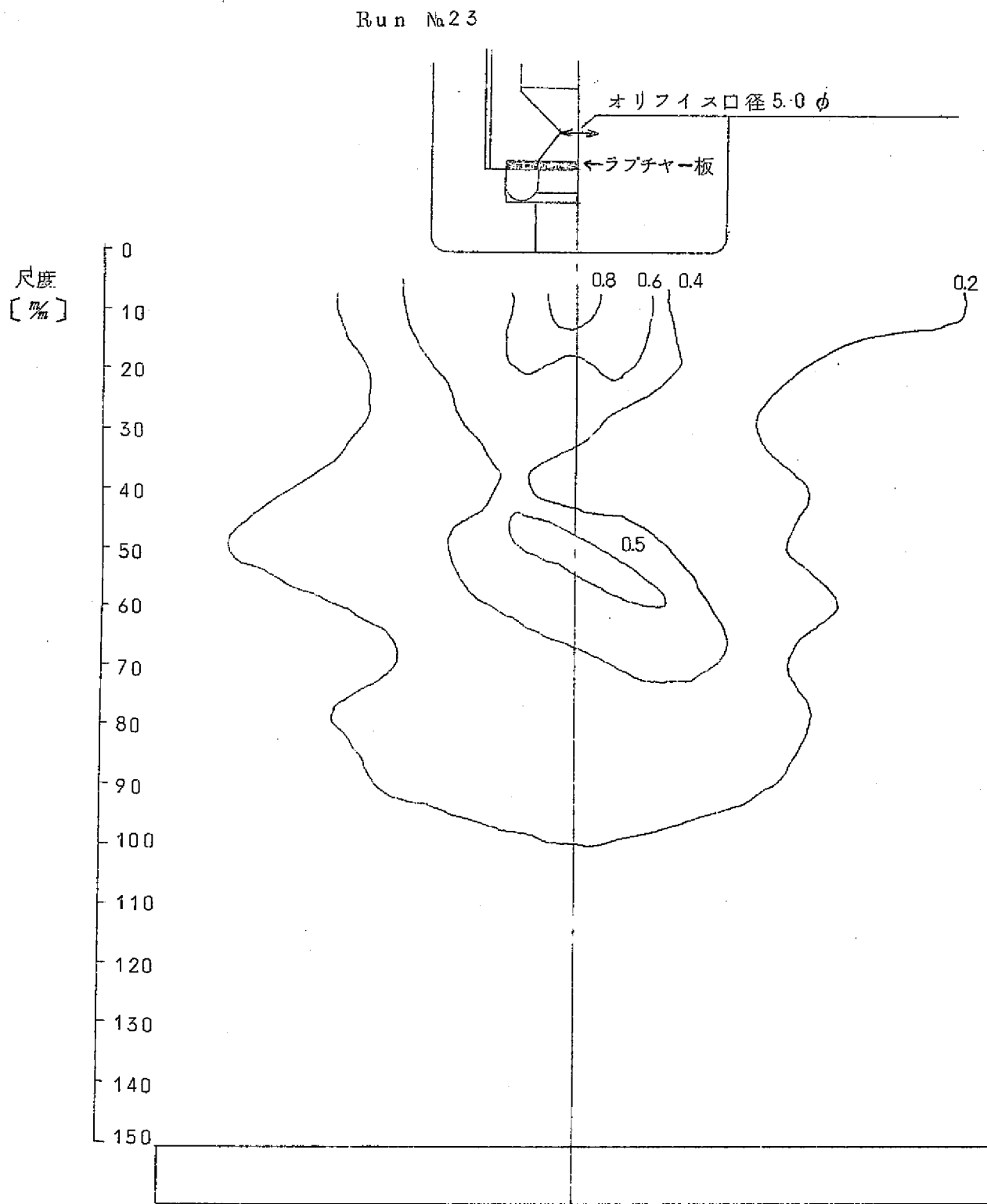


図 6.1 ( b ) ウェステイジマツプ ( Run No 23 )

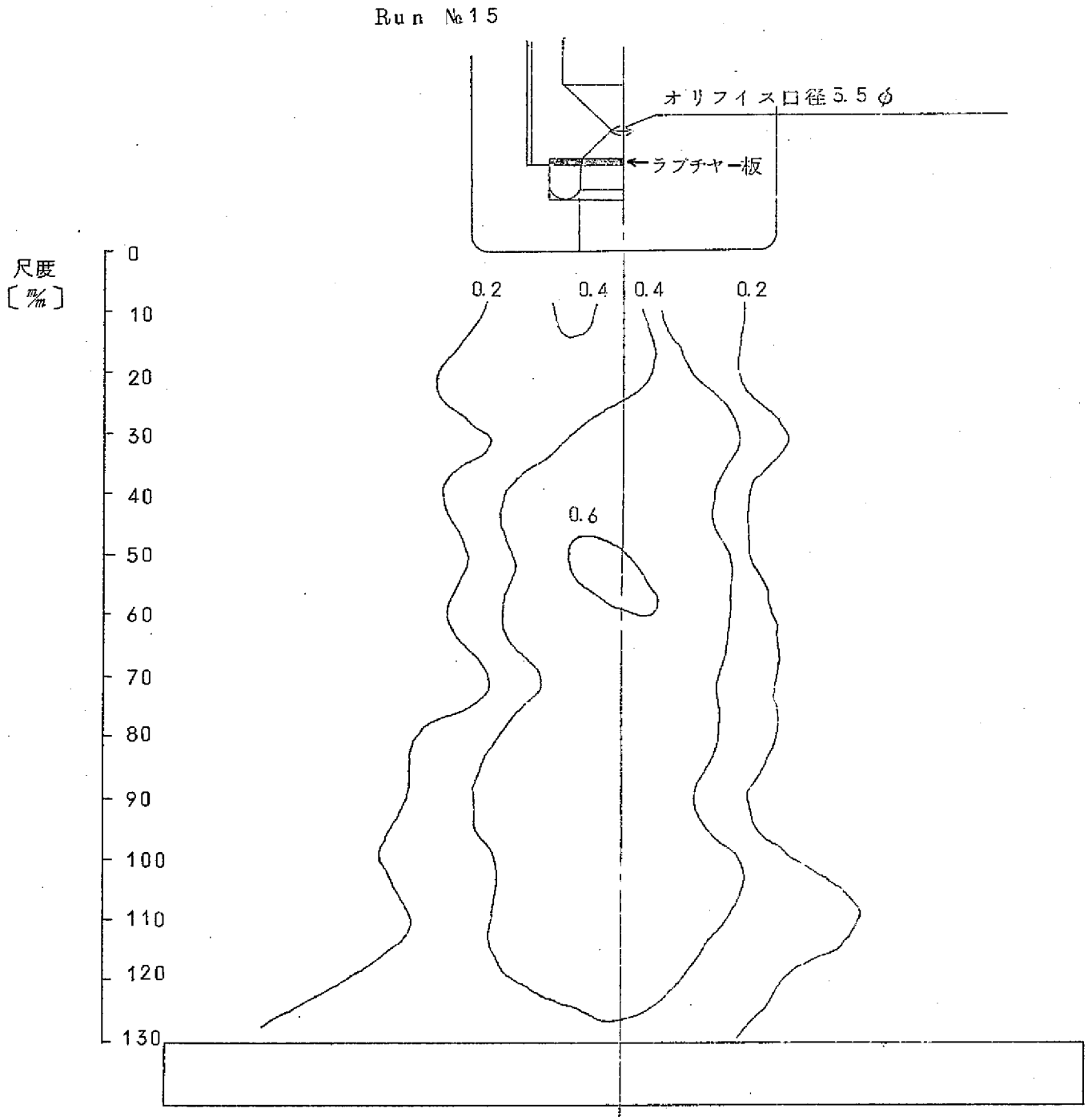


図 6.1 ( C ) ウエステイジマツブ ( Run №15 )

Run No.21

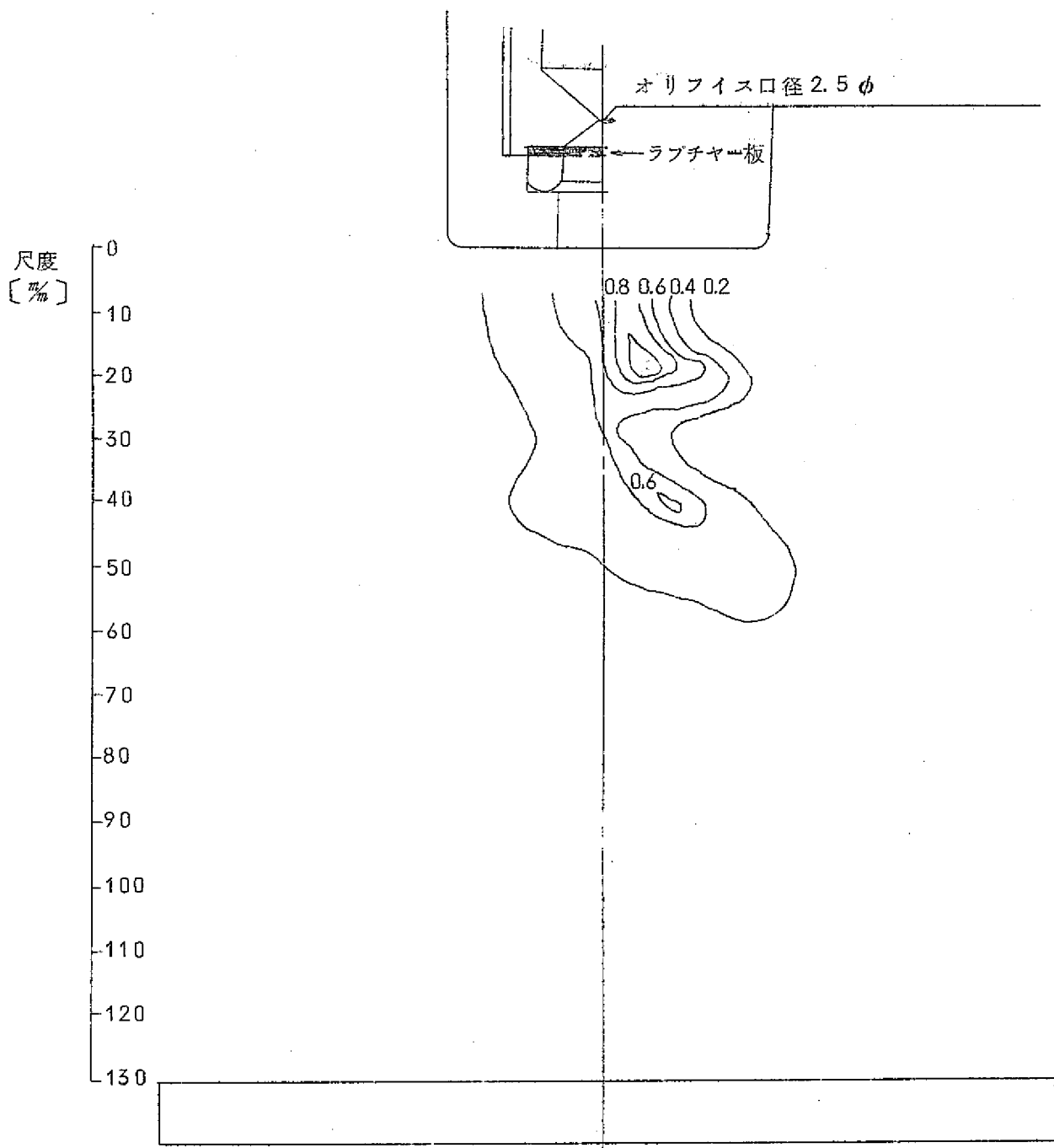


図 6.1 ( d ) ウエステイジマツブ ( R u n No.21 )



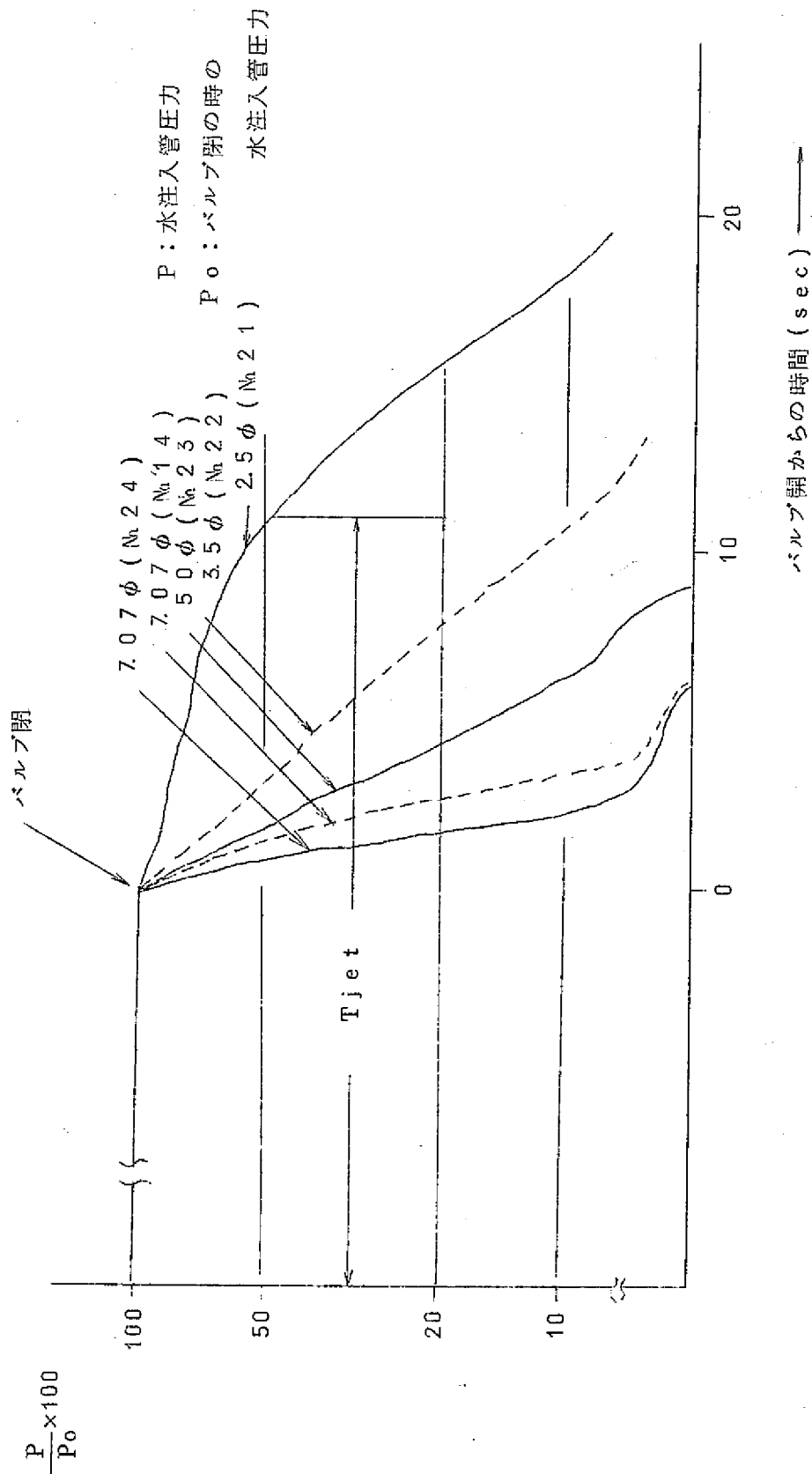


図 6.2 水注入管圧力と T<sub>jet</sub> の算出図

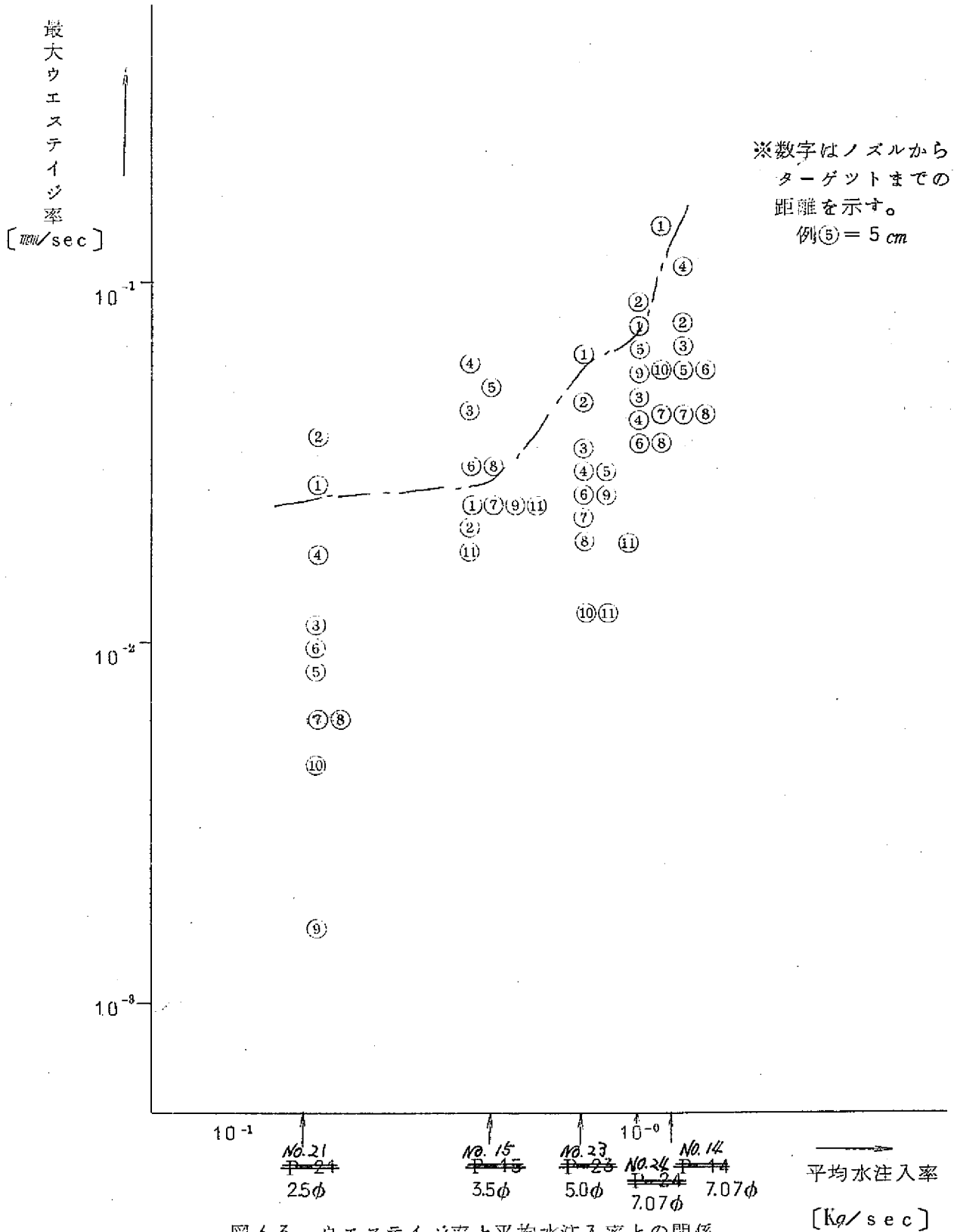


図 6.3 ウエステイジ率と平均水注入率との関係

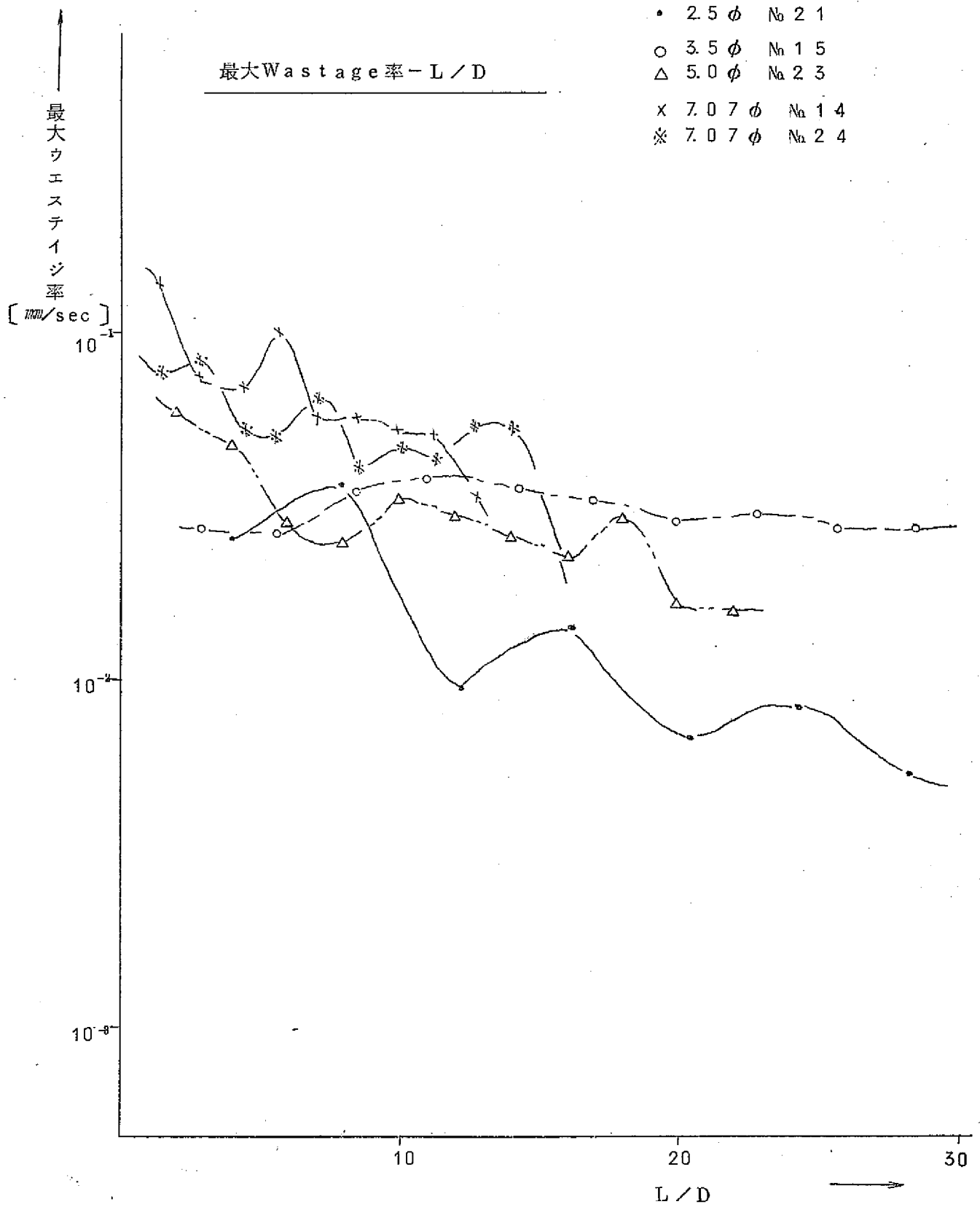


図 6.4 : 最大ウエステイジ率

## 7 反応容器の洗滌について

実験後のSWAT-1装置では、収納容器へ放出されたナトリウムはほぼ未反応状態で、流動を阻害するような反応生成物はほとんど含まれていない。

固体状、液体状の反応生成物はその大部分が反応容器内に残り、ナトリウムの“見かけの比重差”により沈殿するか液面に浮遊するかしている。

SWAT-1装置の実験運転条件では、実験直後に大部分の反応生成物が反応容器底に沈殿し、ドレン配管内に流入して凝固してしまい、実験後のドレンができなくなる。

反応容器底に沈殿した反応生成物の成分は表-7.1に示すように大部分が苛性ソーダである。

事実、この反応生成物を取り出して、加熱し融解点を測定してみると330℃前後であった。

しかし、ドレン配管外面から加熱してみても、ドレン配管内、反応生成物は容易には融け出てこない。

測定融解点と融解作業の困難さとの間に感覚的に相当差があるようである。

反応容器内残留ナトリウムは、容器上部より吸上げ管を入れて真空中で吸上げる。

吸上げ後冷却固化させ、さらにナイフで残留ナトリウムを極力削り出す。

削り出し作業後反応容器を現場据付けのまま蒸気洗滌する。

水蒸気洗滌は図-7.1のように反応容器上部から洗滌用水蒸気および窒素ガスを注入し、容器底のドレン配管より洗滌時の反応生成物(H<sub>2</sub>ガス、NaOH、場合によつてはNa)を排出する方式をとっている。

洗滌用水蒸気は水蒸気注入配管より蒸気流量0.5~2Kg/minで、窒素ガスはカバーガス配管よりガス流量0.5~1.5Kg/minで注入している。

洗滌反応のコントロールは反応容器上部に設けた観察マドより目視でおこない、水蒸気流量を適当に調節している。

容器内部洗滌でこのように容器底にドレン配管を設ける方式では、ドレン配管に流入する物質(NaOH+Na)による配管閉塞の問題がある。

容器内部にある物質は主としてNaOHとNaの混合物でこの物質が流動性を滞りる条件は以下のとおりである。

NaOH + Na の流動化	
①	NaOH水溶液
②	熔融 Na
③	熔融 NaOH + Na
原因 (イ) 外部加熱	
(ロ) Na + 水蒸気	
→反応熱→NaOH溶解	

洗滌後半の活性度のおちた状態での流出は①状態であるが、洗滌初期に大量の蒸気を注入すると②、③での流出がおきる。

ドレン配管が低温であると、特に③状態の流出がおきている場合、冷却されてドレン配管内で固化し配管閉塞がおきて、それ以上のドレンはできなくなる。

この対策としては、洗滌初期の活性度の高い時期には蒸気注入量を極力おさえ、反応熱による高温化を防止する。

また③状態流出に対処してドレン配管入口近傍を加熱しておき、流出物を配管内の広い領域に分散させるようにする。

この状態で容器内および配管内の物質の活性度がさがるのをまつて、配管温度を下げ、蒸気注入管を増して①状態での流動化をはかり、洗滌を終らせる。

NaOHの温度～水蒸気分圧～相状態を図-7.2に示す。NaOHは中間温度で固体状態が現出するので、SWAT-1方式のように洗滌中に連続して洗滌生成物を排出する方式では、NaOHをどのように排出させるかは、残留Na量の関係および周囲温度状態によりCase by Caseできめるわけであるが、実際には相当困難な問題である。

洗滌については不明な点が多く、これからの研究を待つところが多い。

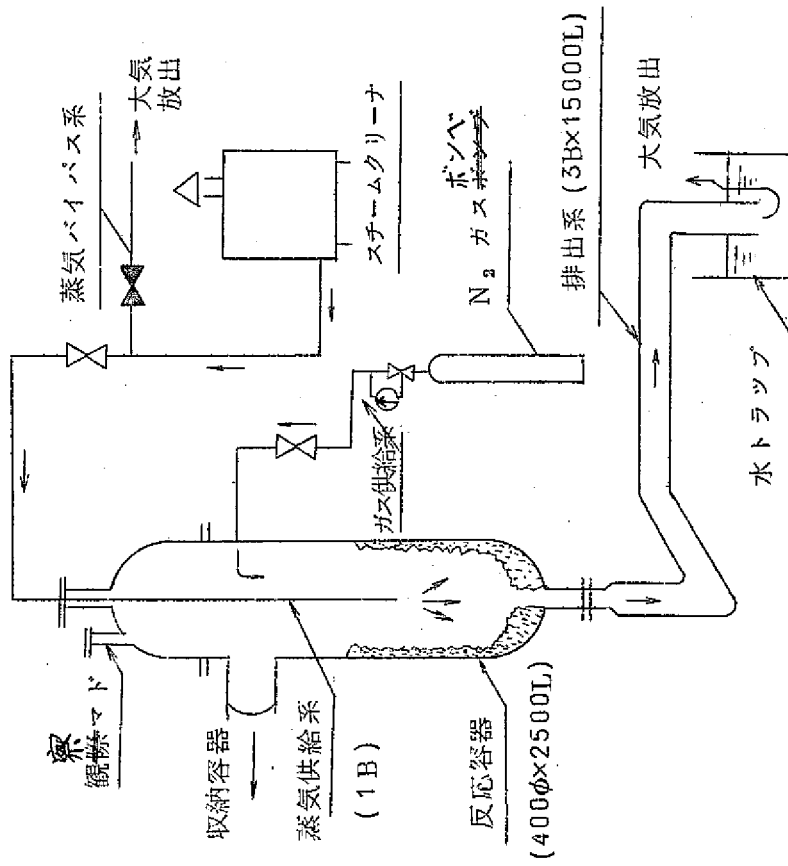


図7.1 SWA T-1 反応容器洗滌フローシート

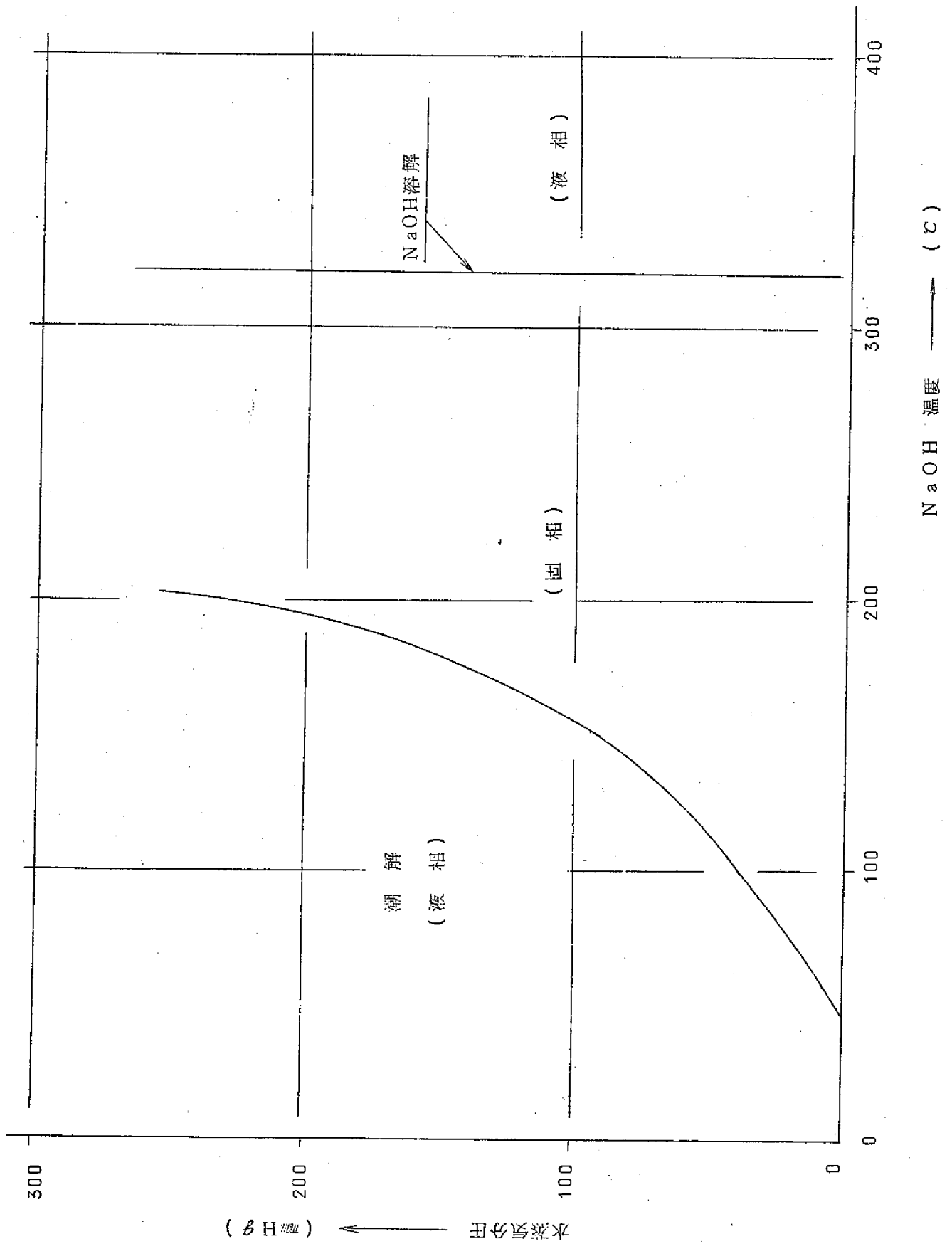


図 7.2 NaOH の相状態図

試験番号 No 1 1

ナトリウム温度	330℃
注水管温度	290℃
注水管 <del>手力</del> 圧力	7.5 Kg/cm <sup>2</sup> G
全注水量	4.4 Kg

分析結果 ( PNC Na 技開室分析値 )

NaOH	75.5 w/o	7.7 w/o
Na (Na <sub>2</sub> O, NaHを含む)	18.9	18.0
Na <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0.02	< 0.1
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	5.3	4.6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.3	0.3

表 7.1 反応生成物分析値



## 8 あとがき

以上に述べたことをとりまとめると以下のようになる。

- (1) 初期スパイク圧については、現段階の実験では支配因子がなんであるか明らかにすることはできなかつた。
- (2) 水素ガスボイドの測定結果 (No. 2, 4, 実験のみ) によると初期スパイク圧時間領域 ( $\sim 2 \text{ msec}$ ) での反応点水素ガスボイドの直径は  $20 \sim 30 \text{ mm}$  程度であつて、その時の反応点圧力は  $150 \text{ Kg/cm}^2 \text{G}$  前後である。
- (3) 準静圧上昇段階での反応容器内ナトリウム中温度測定によれば、高温の反応生成ガスの存在を示すような顕著な高温は測定されなかつた。
- (4) SWA T-1 のこれまでの実験範囲では、注水率の大きな領域 ( $> 0.5 \text{ Kg/sec}$ ) ではピストンモデル的現象がおき、それ以下の注水率では放出系ラプチャ板が作動する以前に水素ガス気泡がカバーガスに抜けることが判つた。
- (5) 放出系流動特性と反応容器内減圧特性は、放出系配管の二相流摩擦抵抗をのみを考慮した放出系計算モデルでも比較的よく現象を説明できた。
- (6) 収納容器大気解放系ラプチャ板作動時間について、内部構造物への熱の逃げを考慮したカバーガス圧計算モデルで実験結果を説明することを試み、実験結果の特徴をかなり説明できることが判つた。
- (7) SWA T-1 注水率規模 (中リーク規模) でのナトリウム内水ジェットによるターゲット損耗現象のマッピングをおこない、その結果を示した。
- (8) SWA T-1 反応容器の洗滌処理法について述べた。

SWA T-1 装置による実験的研究は現在さらに続行中である。

大リークナトリウム水反応現象は問題となる現象が複雑多岐にわたるので、その解明にあつては現在実施している SWA T-1 装置による実験的研究以外に、さらに基礎的な理論的、実験的研究ならびに実物に近い規模での大型実験の実施が必要である。

おわりにあたり、本試験の実施に直接、間接に御協力をいただいた関係各位に深謝の意を表します。

また、SWA T-1 試験装置の運営は東興機械工業株式会社派遣作業員の手でおこなわれていることを附記し、日頃の協力にあわせて感謝の意を表わします。

## 9 参 考 文 献

- (1) SWA T-1 試験装置による大リーク，ナトリウム-水反応試験（第1報 実験Ⅰの結果） - 動燃所内報告SN94172-02，1972年2月
- (2) ナトリウム-水反応の安全性調査および研究報告書  
日本機械学会 昭和45年3月
- (3) ナトリウム加熱蒸気発生器の安全性に関する調査研究  
日本機械学会 昭和46年3月
- (4) ナトリウム加熱蒸気発生器の安全性に関する調査研究  
日本機械学会 昭和47年3月
- (5) 圧力波伝播計算コードの開発研究  
SJ21372-02 川崎重工KK 昭和47年3月
- (6) 球-柱モデルナトリウム水反応計算コードの開発  
SJ21372-01 川崎重工KK 昭和47年3月
- (7) Cole "Under water Explosions Dove Publications INC
- (8) 佐藤，山田 "ナトリウム-水反応試験用気泡検出計開発試験"  
JAERI-Memo 4253 原研 1970-12
- (9) 堀，佐藤，他 "大リークNa-H<sub>2</sub>O反応試験第Ⅱ報"  
原子力学会 46年度秋期炉工学分析会予稿集
- (10) 佐藤，大内，他 "大リークNa-H<sub>2</sub>O反応試験第Ⅲ報"  
原子力学会 46年度秋期炉工学分析会予稿集
- (11) 佐藤，大内，他 "大リークNa-H<sub>2</sub>O反応試験Ⅳ報"  
原子力学会 47年々会予稿集
- (12) 赤坂 "数値計算" 応用数学講座 第7巻 コロナ社

## APPENDIX I

## 気泡成長 モデル

反応容器内における気泡成長は、第一近似として、Na液体を無限媒体とみなし、気泡がNa液体を圧縮しながら成長していくものとして捉える。従つて、反応容器側壁等からの圧力波の反射を無視することにし、かつ重力に依つて生ずるNa液体中の静圧差も無視するものとする。又、気泡は球状に成長していくものと仮定する。

先づ、Na液体の運動方程式及び圧力波伝播式を次のものとする。

$$\frac{\partial U_r}{\partial t} = - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial r} \quad (1)$$

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \frac{\partial^2 P}{\partial r^2} \right) = \frac{1}{C_0^2} \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} \quad (2)$$

無限媒体中に広がる圧力波の解は、(2)より

$$P(r; t) - P_0 = \frac{1}{r} f\left(t - r/C_0\right) \quad (3)$$

と与えられる。ただし $P_0$ は液体内静圧とする。

しかるに(1), (3)から次の式を得る。

$$\frac{\partial u_r}{\partial t} = \frac{1}{\rho_0 C_0} \cdot \frac{1}{r} f'\left(t - \frac{r}{C_0}\right) + \frac{1}{\rho_0 r^2} f\left(t - \frac{r}{C_0}\right) \quad (4)$$

(4)を時間 $t_0 \sim t$ で積分すると

$$U_r(t) - U_r(t_0) = \frac{P - P_0}{\rho_0 C_0} + \frac{1}{\rho_0 r} \int_{t_0}^t [P(r, t') - P_0] dt'$$

となる。ここで気泡の半径を $a$ とすると、気泡圧力として

$$P(a, t) = \frac{1}{a} f\left(t - \frac{a}{C_0}\right) \quad (6)$$

を得る。又、

$$P\left(a, t - \frac{r-a}{C_0}\right) - P_0 = \frac{1}{a} f\left(t - \frac{r}{C_0}\right) \quad (7)$$

が得られるから、(6), (7)から

$$P(r, t) - P_0 = \frac{a}{r} \left[ P\left(a, t - \frac{r-a}{C_0}\right) - P_0 \right] \quad (8)$$

となる。ここで  $P(a, t) - P_0$  の変化が比較的小さく、ゆるやかであるとすると

$$P(r, t) - P_0 \cong \frac{a}{r} [P(a, t) - P_0] \quad (9)$$

と近似される。近似式(9)と(5)から

$$U_r(t) - U_r(t_0) = \frac{1}{\rho_0 C_0} \cdot \frac{a}{r} [P(a, t) - P_0] + \frac{1}{\rho_0 r^2} \int_{t_0}^t a [P(a, t') - P_0] dt' \quad (10)$$

を得る。従つて  $U_a(t) = \frac{da}{dt}$  を使い、(10)を  $t$  で微分することにより、気泡成長の式として

$$\begin{aligned} a \frac{d^2 a}{dt^2} + 2 \left( \frac{da}{dt} \right)^2 - 2 \left( U_a(t_0) + \frac{P(a, t) - P_0}{\rho_0 C_0} \right) \frac{da}{dt} \\ - \frac{a}{\rho_0 C_0} \frac{dP(a, t)}{dt} - \frac{1}{\rho_0} (P(a, t) - P_0) = 0 \end{aligned} \quad (11)$$

が得られる。

$\rho_0$  : Na 液体の密度

$C_0$  : Na 液体中の音速

$P_0$  : Na 液体中の静圧

なおここで問題となるのは、気泡内圧力  $P(a, t)$  の経時変化過程である。その例としては、例えば、気泡を理想気体とした  $PV = nRT$ 、更に断熱変化を仮定した  $PV^k = \text{一定}$ 、その他の圧力式等が考えられる。例題計算では、気泡内圧力が常に一定であるとし、その圧力値をパラメータとした例、気泡が水素ガスのみからなりかつ理想気体近似を用いた関係式  $PV = nRT$  において  $n, T$  を一定とした場合、更に水素ガス量の経時変化を想定し、 $n$  に時間変化をもたせた場合 ( $T = \text{一定}$ )、それから気泡が断熱変化をするものとし  $PV^k = \text{一定}$  の式において、初期圧力値をパラメータとしたそれぞれの場合について検討を行った。

APPENDIX II

放出系配管特性計算法

本計算モデルは放出系配管の流動特性と、反応容器内圧力変化とを連立させて解くもので、特徴は放出系配管内摩擦損失抵抗に二相流摩擦損失を考慮している点にある。これは現在一部内容が発表されている大リークナトリウム水反応計算コードSφREL (日立製作所製<sup>4)</sup>3)と同じ取扱いである。配管内は集中定数系として扱い、その代表値は配管入口における値を採用している。

配管内の二相臨界流は考慮していない。

用いた計算式および仮定を以下に述べる。

ナトリウム運動方程式

$$\frac{r m}{g} (y_0 + y) \frac{d^2 y}{d t^2} + \frac{r m}{g} \left(\frac{d y}{d t}\right)^2 + \frac{r m}{2 g} \frac{(y_0 + y)}{D} \lambda (1 + \phi^2) \times \left(\frac{d y}{d t}\right)^2 = P - P_c$$

摩擦係数

層流  $Re \leq 10^3$   $\lambda = \frac{64}{Re}$

乱流  $Re > 10^3$   $\lambda = \frac{0.314}{0.7 - 1.65 \log Re + (\log Re)^2}$

但し  $Re = \frac{d y}{d t} \cdot D$   
 $\nu_a$

二相流摩擦損失増倍係数

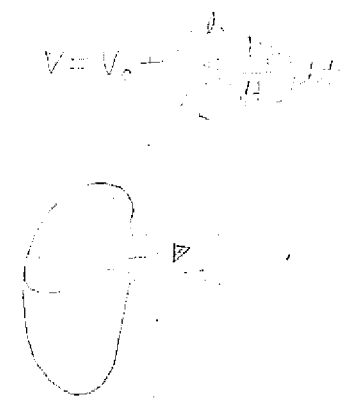
$\phi^2 = \phi_0^2 (1 - X)^{1.735}$

$\phi_0^2 = (1 + X t t - 0.636)^{2.75}$

$X t t = \left(\frac{\mu_{Na}}{\mu_{H_2}}\right)^{0.111} \left(\frac{\gamma_{H_2}}{\gamma_{Na}}\right)^{0.555} \left(\frac{1 - X}{X}\right)$

(SφRELコードと同じ扱いとする。)

ボイド率とガス重量流量との関係



$$X = \frac{\alpha}{\alpha + (1 - \alpha) \frac{\gamma_{Na}}{\gamma_{H_2}}}$$

(仮定 スリップなし)

平均密度

$$\gamma_m = \alpha \gamma_{H_2} + (1 - \alpha) \gamma_{Na}$$

反応容器内ガス圧力

$$P \frac{dV}{dt} + V \frac{dP}{dt} = R T \frac{dn}{dt}$$

(仮定温度一定)

反応容器内ガス体積

$$V = V_0 + \int_0^t S \left( \frac{dy}{dt} \right) dt$$

反応容器内水素ガス モル量

$$\frac{dm}{dt} = q - \alpha \frac{\gamma_{H_2}}{2} S \frac{dy}{dt}$$

但し

$g$  : 動加速度

$y_0 + y$  : 放出系配管内のナトリウム柱長さ

ナトリウムが配管出口に達した時点以後は  $y_0 + y = L$

$L$  : 配管長さ

$y_0$  : ナトリウム柱初期長さ

$D$  : 配管直径

$P$  : 反応容器内圧力

$P_c$  : 収納容器圧力……………一定

$\nu_{Na}$  :  $Na$  の動粘性係数

$\gamma_{Na}$  :  $Na$  の密度

$\gamma_{H_2}$  :  $H_2$  ガスの密度

$\mu_{Na}$  :  $Na$  の粘性係数

$\mu_{H_2}$  :  $H_2$  ガスの粘性係数

S : 放出系配管断面積

$\alpha$  : ボイド率

X : ガス重量流量率

R : 一般ガス定数

T : H<sub>2</sub> ガス温度

q : H<sub>2</sub> ガス生成量

## APPENDIX III

## 収納容器静圧上昇計算法

大リークナトリウム-水反応圧力計算法中のいわゆる均質モデルを採用している。

収納容器内圧力が大気解放系ラプチャ板設定圧力に達する時間は、SWAT-1の場合現象的にはナトリウムの流動が静定したあとなので、均質モデル的取扱いで充分である。

本計算法は、カバーガス、水素ガス間の温度バランス以外に収納容器などの内部構造物への熱伝達も考慮している。

以下に用いた計算式および仮定について述べる。

## 温度バランスの式

$$n C_v \frac{dT}{dt} + C_v (T - T_0) \frac{dn}{dt} + C_F W \frac{d\theta}{dt} = \frac{dQ}{dt}$$

## 内部構造物温度の式

$$C_F W \frac{d\theta}{dt} = \alpha (T - \theta)$$

## 水素ガス同併熱量

$$\frac{dQ}{dt} = \eta \frac{dn}{dt}$$

## 水素ガス モル量

$$\frac{dn}{dt} = q = \text{一定}$$

$$n = n_0 + q t$$

## 状態方程式

$$P V = n R T$$

但し：

$n$ ：水素ガス モル量

収納容器内カバーガスは実際にはアルゴンであるが、計算を簡単化するため水素ガスとしている。

$n_0$ ：初期 モル量

$C_v$ ：水素ガス定圧比熱



- $C_F$  : 内部構造物比熱
- $W$  : 内部構造物重量
- $T$  : ガス温度
- $T_o$  : 初期ガス温度
- $\theta$  : 内部構造物温度
- $Q$  : 系の保有する熱量
- $n$  : 単位発生水素ガスあたり同併熱量
- $q$  : 水素発生率 (モル)
- $P$  : ガス圧力
- $V$  : カバガス体積……………一定
- $R$  : 一般ガス定数

APPENDIX IV  
 実験条件および実験結果一覧

Series	0 X						1 X					2 X				
	RUN	01	02	03	04	05	06	11	12	13	14	15	21	22	23	24
Injection water conditions																
orifice dia (mm)	25	25	35	50	35	35	35	50	50	70	35	25	35	50	70	
rupture disc burst pressure																
R-0a (kgf/cm <sup>2</sup> )	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	100	100	100	100	
R-0b (kgf/cm <sup>2</sup> )	50	50	50	50	50	50	50	25	25	25	25	100	100	100	100	
water press (kgf/cm <sup>2</sup> )	63	67	74	65	77	74	75	75	75	82	77	126	126	150	151	
water temp (°C)	278	282	289	280	291	289	289	289	289	296	291	328	328	330	331	
quantity of water (kg)	29	32	66	53	63	64	44	56	52	81	40	25	30	58	52	
injection valve opening time (sec)	18	20	10	5	7	6	6.3	4.6	5	29	52	4.6	5.5	5.5	3.5	
estimated (kg/sec)	0.087	0.12	0.51	0.91	0.69	0.64	0.47	0.89	0.76	1.55	0.49	0.24	0.31	0.81	1.05	
injection rate																
Initial pressure spike peak value																
P-1 (kgf/cm <sup>2</sup> )	>325	125	435	896	X	1040	X	5.6	8.7	6.9	4.1	6.8	12.4	11.6	16.8	
P-2 (kgf/cm <sup>2</sup> )	>255	160	520	117.6	19.7	97.0	X	5.6	7.0	5.7	5.5	7.4	14.0	2.8	15.4	
P-3 (kgf/cm <sup>2</sup> )	X	9.0	51.0	78.4	45.0	53.0	X	3.1	6.2	3.1	5.0	6.5	9.8	8.2	8.8	
duration of spike																
P-1 (msec)	0.6	1.8	1.2	0.9	X	1.2	X	6.0	15.0	8.0	3.5	1.6	3.5	3.0	1.8	
P-2 (msec)	0.6	1.0	0.8	0.9	1.5	0.9	X	6.0	6.0	10.0	3.0	1.8	3.3	4.5	1.6	
P-3 (msec)	0.6	1.4	1.1	0.9	0.8	0.8	X	4.0	6.0	12.0	1.5	1.5	1.6	1.7	1.3	
Quasi-static pressure rupture disc burst press.																
R-1 (kgf/cm <sup>2</sup> )	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
time of rupture disc burst (sec)	0.75	3.00	0.25	0.20	0.28	0.20	0.90	0.75	0.75	0.48	1.55	3.90	2.78	0.50	0.53	
max pressure (kgf/cm <sup>2</sup> )	4.1	2.5	3.8	5.5	2.6	3.5	4.7	5.4	5.3	5.4	6.1	6.5	6.0	5.7	6.0	
R-1																
Bulk sodium temperature change																
before reaction (°C)	518	532	525	530	535	532	533	529	532	543	525	549	549	549	552	
after reaction (°C)	400	434	549	582	549	515	478	534	517	593	478	450	475	592	609	
Press. relief system sodium velocity (m/sec)	X	X	289	287	X	229	129	X	195	239	395	X	20.8	193	178	
discharged sodium quantity (kg)	56	29	85	84	84	X	86	87	74	112	50	35	38	112	122	
Cyclone separator rupture disc bursting press (kgf/cm <sup>2</sup> )	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
R-2																
time of rupture disc burst (sec)	2.3	1.8	1.0	5	7	6	4.8	1.2	1.9	0.6	2.8	2.6	6.3	1.2	X	
REMARKS	1) Initial cover gas press. 0.5kgf/cm <sup>2</sup> (Ar gas) 2) X: No data due to sensor failure															

Table] SWAT-1 Test Conditions and Test Results