

SWAT-1 装置放出系配管内流動様相
—大リーク・ナトリウム—水反応試験(第6報)—

1978年3月

動力炉・核燃料開発事業団

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)

SWAT-1 装置放出系配管内流動様相

—大リーク・ナトリウム-水反応試験(第6報)—

田辺 裕美* 錦見 正和* 広井 博*
佐々木和一* 佐藤 稔*

要 旨

高速炉「もんじゅ」の蒸気発生器の大リーク・ナトリウム-水反応の安全性について、動燃にて実験的研究を実施中である。

本報告は、大リーク・ナトリウム-水反応試験装置 SWAT-1 を用いて放出系特性試験を行ない、圧力計、 γ 線ボイド率計、抵抗式ナトリウムボイド計等を組合わせて得られた結果を基に、放出系配管内流動の記述を試みたものである。

実施された試験は、0.7 および 1.4 Kg/sec の注水率で 5 Kg の水を 180 Kg のナトリウムに注入した。その結果次の事が明らかとなった。

- 1) 放出管内流は初期のプラグ流/気泡流的な流れと、中期以後の環状流ないし、環状粉霧流的な流れとにはっきりと分れた。
- 2) 持続時間から言えば極めて短かい初期の流動で、総放出ナトリウム量の半分近い量が放出された。

* 動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター

蒸気発生器開発部 蒸気発生器安全性試験室

Flow Behaviour in the Pressure Relief pipes of SWAT-1 Test Facility

Large Leak Sodium/Water Reaction Test [No.6]

Hiromi Tanabe*
Masakazu Nishikimi*
Hiroshi Hiroi*
Kazuichi Sasaki*
Minoru Sato*

Abstract

The experimental study was performed to establish the safe design of the LMFBR MONJU steam generator system against large leak sodium/water reaction accident. Two tests were carried out to obtain the pressure relief system performance data using large leak sodium/water reaction test rig SWAT-1.

In this report we tried to estimate the flow behaviour in the pressure relief pipes from data obtained by pressure transducers, gamma-ray densitometer, sodium void detectors etc. Water leak rates were chosen 0.7 and 1.4 kg/sec in these tests, and about 5 kg of water was injected into 180 kg of sodium in both. The results were summarized as follows.

- 1) Flow pattern in the pressure relief pipes was divided into two, i.e. plug / bubbly flow at the initial stage and annular / drop-annular after this stage.
- 2) Though the initial term was too short, the removed sodium quantity during this term was about half of the total quantity of sodium expelled to the reaction product tank.

* Steam Generator Safety Section, Steam Generator Division, O-arai Engineering Center, PNC

目 次

1. はじめに	1
2. 試験概要	2
2.1 試験装置	2
2.2 〃 条件	2
2.3 測定項目	2
2.4 計測系	2
3. 試験結果	5
3.1 Run - 72	5
3.2 Run - 73	7
4. 試験結果の検討	8
4.1 初期流動	8
4.2 中期以後の流動	9
4.3 気液流速	10
5. まとめ	11
図 表	12
Appendix	32

図 表 目 次

図 2.1	SWAT-1 装置概要 (Run-72)	12
表 2.1	試験条件	13
表 2.2	試験規模	13
図 3.1	圧力挙動 (Run-72)	14
表 3.1	ナトリウム先端の通過時間 (Run-72)	15
図 3.2	初期のナトリウム流速 (Run-72)	16
図 3.3	r線ボイド率計の出力 (Run-72)	17
図 3.4	抵抗式ナトリウムボイド計の出力 (Run-72)	18
図 3.5	関連のステップ応答 (Run-72)	19
図 3.6	管断面でのボイド分布 (Run-72)	20
図 3.7	圧力挙動 (Run-73)	21
表 3.2	ナトリウム先端の通過時間 (Run-73)	22
図 3.8	初期のナトリウム流速 (Run-73)	23
図 3.9	r線ボイド率計の出力 (Run-73)	24
図 3.10	抵抗式ナトリウムボイド計の出力 (Run-73)	25
図 3.11	ドラッグ式流量計 (Run-73)	26
図 4.1	放出系配管の内部流動 (Run-73)	27
表 4.1	試験結果	28
図 4.2	ベーカー線図	29
図 4.3	放出管内流動のモデル化	30

1. はじめに

LMFBR 蒸気発生器の大リーク・ナトリウム-水反応事故時に放出系配管内を過渡的に流出するナトリウム-水素ガス二相流の流動様相を解明することは、蒸気発生器系の安全設計上（計算コードの放出系に関する部分の入力定数の決定、収納容器への放出ナトリウム量の見積り、放出系配管反力の見積りなど）必要である。

しかしながら、放出系配管設計に利用できるような過渡二相流に関する文献情報はほとんどないのが現状である。

動燃大洗において従来より原型炉「もんじゅ」蒸気発生器の1/6規模の大リーク・ナトリウム-水反応試験装置（以下SWAT-1と言う）を用いて、大リーク事故時の放出系を含む蒸気発生器の圧力挙動に関する測定を行なって来た。この注水試験によれば、現在入手し得るナトリウム用計測器のほとんどは、ある特定の条件下でかつ比較的静的な状態では優れた性能を示すが、異なった条件下で、とくに非常な過渡的状态では測定信頼性を保て得ない。

実験技術のレベルが、このような現状であるが、安全設計上の要求事項に対し解答を与えるべく、その第一段階として、現状の測定器による測定結果を数種組合せることにより、また空白部分は妥当と思われる推論により放出系配管内の流動の全体像を記述する事を試みた。

解析対象とした試験はSWAT-1 RUN-72, 73である。

2. 試 験 概 要

2.1 SWAT-1 試験装置

装置の概要を図 2.1 に示す。反応容器（内径 400 ϕ ）と収納容器とは，頂部放出と側部放出用の 2 本の放出系配管（5 B）で接続されているが，ラプチャ板設定圧が頂部 - 7kg/cm² d，側部 - 3kg/cm² d であるので，実際には，設定圧の低い側部放出管のみが用いられている。計測部はこの側部放出管の中央部約 3m の部分である。

2.2 試験条件

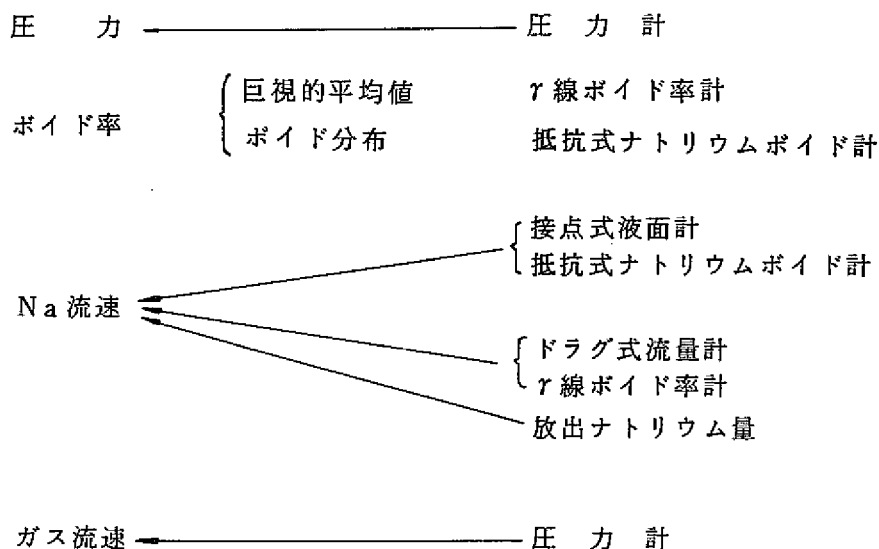
Run-72 及び Run-73 での試験条件を表 2.1 にまとめた。両方とも良く似た条件だが，注水率だけが異なる。SWAT-1，SWAT-3 及び MONJU（T 社調 II）の蒸発器（反応容器）の内径比から注水率と破断本数の関係を表 2.2 に示す。Run-72 は MONJU SG の伝熱管 5 本破断に相当する大注水率であったことが判る。それ以外の条件はほぼ同じで，180kg のナトリウムに 4.8kg の水を注入した試験である。

2.3 測定項目

放出管内流動様相の推定のために我々が最小限必要とする情報には次のものがある。

- 1) 圧力
- 2) ボイド率（特に分布）
- 3) 気液各相の流速

これらの中には実験データから直接読取れるものがあれば，ボイド分布，流速のようにいくつかのデータをつなぎ合わせて何とか導けるものもある。その関係を下に示す。



2.4 計測器

計測器として次のものを用いた。

1) 圧力計

無冷却型高温用圧力計で放出系配管内に2点設置し，反応容器，収納容器にも複数個の計測点を置いた。

2) γ 線透過式ボイド率計

ナトリウムと水素ガスに対する γ 線の透過率の違いを利用して放出管内の一断面の平均的なボイド率を求めるものである。詳細な仕様はAppendix.1として巻末に付す。

3) 抵抗式ナトリウム・ボイド計

ナトリウムと水素／カバー・ガスの電気伝導度の違いを利用して，センサーの先端を通過するナトリウム／ガスによる微小な抵抗変化を信号として取り出すものである。センサー先端の局所的なボイド率を求める事ができるため，配管中に多数本配置することによってボイド率の空間分布や2相流の流速を知ることができる。

4) 誘導型ナトリウムボイド計

連続式ナトリウム液面計と同じ原理で配管中を通過するナトリウム流のボイド率を求めることができるが，フローパターンの影響が不明確で定量的な評価は現状ではまだ行なわれていない。

5) ドラグ式流量計

放出管内の中心線上に流れに垂直に置かれた円板に対してナトリウム流の及ぼす力を求め，ボイド率を考慮することによって流速を求める事ができる。均質流を仮定すると流速Uは次のようになる。

$$F = \frac{1}{2} \lambda \rho U^2 S_D$$

$$\rho = \rho_g (1 - \alpha) + \rho_s \alpha \simeq (1 - \alpha) \rho_g$$

F : 流量計の出力

λ : 抗力係数

ρ : 流体のみかけの密度

ρ_g : ナトリウムの密度

ρ_s : ガスの密度

U : 流速

S_D : ドラグディスクの径

$$U = \sqrt{\frac{2F}{\lambda \rho_g (1 - \alpha) S_D}}$$

6) 接点式液面計

放出系配管の中心軸付近まで突出されたSUS棒の先端と配管壁とがナトリウムでおおわれると短絡して信号を出すという簡単な原理であるが、ボイド計その他より立ち上がりが速くナトリウムの飛来時間を見極め易い。しかし一度短絡してしまうと、次に水素ガスが来てもオープン状態に復帰するとは限らないので、最初の信号しか信用できない。従って、配管中に軸方向に設置した3, 4本のセンサーでの信号の立ち上がりの時間遅れから、ナトリウムの初期流速を求めることができる。

3. 試 験 結 果

3.1 Run - 72

Run - 72 試験の結果を図 3.1 ~ 3.6 に示す。なお、以下時間軸は、反応容器ラプチャ板破裂時間を $t = 0$ とする。

1) 圧力

圧力は反応容器カバーガス圧 (P-EV) 放出系配管 (P-1, P-6) と収納容器圧力 (P-RT) の計 4 点で測定された。各点での圧力挙動を図 3.1 に示す。

ラプチャ板の設定圧は側部放出管で $3 \text{ kg/cm}^2 \text{ d}$ だから、破裂圧力は $4.5 \text{ kg/cm}^2 \text{ a}$ 付近であると推定できるが、Run - 72 においては破裂時の反応容器内のピーク圧力が $6.5 \text{ kg/cm}^2 \text{ a}$ とかなりのオーバーシュートが見られる。これは注水率の大きさによるものと思われる。

破裂後初期の圧力挙動に 3, 4 回の鋭いピークが見られる。またこのピークは放出系配管内の圧力にも現われている。この圧力パルスが放出系配管中を移動して行く速さから、初期の流速を求めて見た。

P-1, P-6 間での時間遅れから

$$U = \frac{2.5}{0.1008} = 25 \text{ m/sec}$$

となる。この流速の意味については後述する。

2) 初期ナトリウム流速

接点式液面計および抵抗式ナトリウムボイド計の出力の最初の立ち上がりをナトリウムが最初に飛んで来た信号だとすると、それらの時間差から初期のナトリウム流速が求まる。抵抗式ナトリウムボイド計は同一断面のセンサーでもバラツキがある。これは設置の方法に問題があったと思われる。以上の結果をまとめたのが表 3.1 及び図 3.2 である。この図から初期ナトリウム流速は 25 m/sec となった。

3) ボイド率

γ 線透過式ボイド率計の出力信号を図 3.3 に示す。ラプチャ板破裂後 0.2 秒ほどで最低ボイド率 0.25 を示しており、破裂後すぐに大きなナトリウムスラグが流れた事が分かる。またこのスラグが流れたのは約 0.2 秒間で、その後は急激に高ボイド率の流れになっている事が判る。

抵抗式ナトリウムボイド計の出力信号を図 3.4 に示す。センサー配置は図 2.1 に示した

ように3断面、計15点であった。このボイド計は先端のセンサ部がナトリウム中にあるときは負の出力、ガス中にあるときは正の出力が現れる。また、最初に高温のナトリウムを浴びるため温度ドリフトを生じている。この図から次の事が読みとれる。

- ① V-5~9, V-10~14, V-15~19と各同一断面のデータは似ており、異なる断面でのデータには明らかな時間的ズレが認められる。
- ② 最初にナトリウムが飛んで来てからの約0.2秒間は、ほとんどナトリウムだけで流れており、その後急にガス成分が増えた。
- ③ ガス成分の多く流れている時間領域でも、V-5, 10, 12, 15等はとりわけボイド率が高く、V-8, 13, 14, 16, 19等は低ボイド率であった。

更に③の傾向を定性的に把え、配管断面上でのボイド分布を見るために各位置でのボイド率を3断面の平均値として求めた。(すなわち、配管中央部のボイド率はV-5, 10, 15の平均として与える)

その結果を図3.5に示した。この図から配管中央部では、配管壁近傍に対してボイド率が高く、また、管壁付近では配管上部がやや高い事が分かる。以上の事から次の事が言える。

- ④ 中期以後のガス成分の多い流れでは、環状流的な流れであった。

4) ナトリウム流速

初期流速は1), 2)から25 m/sec程度である事が判ったが、中期以後の流速は同様の方法で求める事はできないので、抵抗式ナトリウムボイド計の信号の処理を考えた。すなわち、それぞれの断面で位置的に対応するデータ(たとえばV-6, V-11, V-16)相互間のむだ時間から流速を求める事を試みた。

解析方法はデジタル計算機を用いて、対応する2つのチャンネルをそれぞれ入力、出力とした場合の伝達関数を想定し、ステップ応答の形で、むだ時間を求めるものである。

V-5, 10をそれぞれ入出力とした場合のステップ応答を図3.6に示す。この結果からこの方法では、初期のプラグ流領域でははっきりとした結果は得られなかった。これは計測点間の軸方向距離む1.5 mと離れており、大きなスラグの場合はともかく、高ボイド率の流れでは、ナトリウムが液滴状になっており、計測点間を流れる間に拡散変形等の影響で流れの形がくずれて、両信号の相関を求める事が難かしいものと思われる。

このような理由から全時間領域に対して各チャンネル間のむだ時間を求める事はできなかったが、ごく一部の流速については求められたところもあった。たとえば、ラプチャ破

裂後 2 秒の時点 V-5, 10 の信号の間に 0.063sec 時間遅れが見られた。これは流速にすれば 24m/sec に当たる。

3.2 Run-73

Run-73 の試験結果を図 3.7 ~ 3.12 に示す。

1) 圧力挙動

P-EV, P-3, P-6 及び P-RT について図 3.7 に示した。注水率の違いから、圧力のオーバーシュートは 5kg/cm² a と Run-72 に比べて低い値を示した。P-3, P-6 の圧力ピークの通過時間のズレから求めた流速は $U = \frac{1.7}{0.095} = 18\text{m/sec}$ であった。

2) 初期ナトリウム流速

接点式液面計と抵抗式ナトリウムボイド計の信号から求めた流速は表 3.2 図 3.8 に示したように 19 m/sec であった。

3) ボイド率

r 線ボイド率計の出力信号を図 3.9 に示す。最低ボイド率は 0.05 という低さで、初期の 0.3 秒はほとんどナトリウムのスラグだけが流れたことが判る。これは、電磁誘導式ボイド計の信号からも良く判る。また、図 3.10 に示した抵抗式ナトリウムボイド計の結果も同様である。ナトリウムスラグの流れた後は、ガス成分が増えて二相流となっている。また、V-6 ~ V-10 のうち V-6, 9 が比較的ボイド率の高い流れであった事を示している。

4) 流速

Run-73 においては抵抗式ナトリウムボイド計は放出管中一断面でしか計測できなかったため、これから流速を求める事はできない。しかし、ドラッグ式流量計の結果が得られているので(3)式に、r 線ボイド率から得たボイド率 α を代入することにより、流速が得られた。その結果を図 3.11 に示す。ただし、 $t = 0.2 \sim 0.8\text{sec}$ 以外の領域では、ドラッグ流量計の指示値がセンサ部の固有振動に隠れてしまって流速値は得られなかった。

$t = 0.2 \sim 0.8\text{sec}$ について言えば $U = 10 \sim 18\text{m/sec}$ の値が得られた。

4. 試験結果の検討

4.1 初期流動

具体的な解析を行う前に注意しなければならないのは、Run-72, 73共にSWAT-1の体系からすれば非常に大きい注水率であったと言う事である。表2.2に示したようにもんじゅSGとの比較でそれぞれ伝熱管5.5本、2.2本破断相当の注水率である。このように大きな注水率のもとでは放出系配管内圧力に脈動が発生する事が過去のSWAT-1及びSWAT-3試験¹⁾からも知られている。特にSWAT-1においては、反応容器のラプチャ板が破裂する時点では、発生水素ガスがナトリウム液面を押し上げ、放出系配管取付口付近は完全にナトリウム液面下に没してしまう。したがって、ラプチャ板破裂と同時にナトリウムスラグが流出すると考えられる。図3.3, 3.9を見るとRun-72, 73でも確かに初期にこのような低ボイド率の流れがあった事が判る。

初期の流動に数回の圧力ピークが見られるが、これはナトリウムスラグ中に巻込まれたカバーガスによるものと思われる。3.1 (1), (2), 3.2 (1), (2)で求めたように接点式液面計の信号から得た初期ナトリウム流速と、圧力ピークの移動速度との値がきわめて近い事から、カバーガスはナトリウム中に完全に閉じ込められた形で放出管内を流れたものと思われる。このプラグ流的な流れの様子は図4.1の r 線ボイド率計とドラッグ式流量計の信号によく現われている。

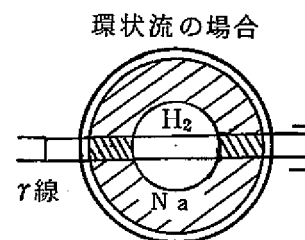
また、初期のプラグ流で収納容器側に放出されたナトリウムの量を求めると

Run-72

$$\begin{aligned} M_{72} &= \int \rho U (1 - \alpha) A dt \\ &= 873 \times 25 \times (1 - 0.45^2)^{2)} \times 0.0123 \times 0.2 \\ &= 43 \text{ [kg]} \end{aligned}$$

- 1) 同様な脈動現象はSWAT-3, Run-2で見られた。このときの注水率は約14kg/sec (‘もんじゅ’SG伝熱管約4本破断相当)であった。詳細は報告書「大リーク・Na-水反応試験第2報」

- 2) この値は、初期流動の平均ボイド率を図3.3から求めると一次元的平均値でしかないので、円対称を仮定してプラグ流のボイド率を2次元的平均値として求めたものである。



Run - 73

$$M_{73} = 875 \times 19 \times (1 - 0.353) \times 0.0123 \times 0.3$$

$$= 54 \text{ [kg]}$$

となる。最終的に放出されたナトリウム量が 95 ～ 100kg であるから、初期の 0.2 秒～ 0.3 秒に全放出ナトリウムの 5 割近くが放出された事になる。

初期の流速が Run72, 73 でそれぞれ 25m/sec, 19m/sec と異なるのは注水率の大きさのちがいによるものと考えられる。

4.2 中期以後の流動

初期の比較的ナトリウム分に富んだ流れが終ると、次に水素ガスを多量に含んだ流れになる。

Run - 72 ではラプチャ板破裂後 0.37sec, Run-73 では 0.53sec に明確な流れのパターンの変化が見られた。この不連続は、ナトリウム-水反応によって発生した水素ガスの領域が放出管の位置まで到達した事によって生じたものと思われる。

この中期以降の流れの特徴はボイド率が高い事であり、流れのパターンが移行した直後の約 $\alpha = 0.8$ から漸増して、注水停止にまで到る。またこの流れのパターンは図 3.5 で示したように環状流または環状噴霧流に近いものであった。

次にこの領域での気液各相の流速を考えて見た。この時間での水素ガス流速は現状の計測系では手掛りが乏しく正確な推定は難かしいが極めて粗い近似であるが、反応容器内圧力がほぼ一定であると見て、発生水素との平衡状態を仮定すると、次のようになる。(Appendix 2 参照)

Run - 72

$$U_{H_2 72} = \frac{1.405 \times 1 / 18 \times 420.67 \times 603}{4.5 \times 10^4 \times 0.0123 \times 0.8} = 45$$

Run - 73

$$U_{H_2 73} = \frac{0.65 \times 1 / 18 \times 420.67 \times 593}{2.5 \times 10^4 \times 0.0123 \times 0.8} = 37$$

ただし、水素ガス温度としては、初期ナトリウム温度、反応は NaOH 生成を仮定した。上の計算から水素ガス流はおよそ 30 ～ 50m/sec であったと思われる。これに対し平均的なナトリウム流速は放出ナトリウム量から逆算した。すなわち

$$M = \int_0^t \rho_{Na} (1 - \alpha) A_{5B} dt$$

Run - 72 では

$$95 = 43 + 873 \times \bar{U}_{Na 72} \times 0.2 \times 0.0123 \times 3.0$$

$$\bar{U}_{Na 72} = 8.1 \text{ m/sec}$$

Run - 73 では

$$98 = 54 + 875 \times \bar{U}_{Na73} \times 0.2 \times 0.0123 \times 5.5$$

$$\bar{U}_{Na73} = 3.7 \text{ m/sec}$$

即ち、上記の仮定に従えば、中期以後の平均ガス流速は平均ナトリウム流速の 5 ～ 10 倍の値であった事が分かる。

4.3 流れのパターンの推定

以上の結果を表 3.3 にまとめた。これまで明らかになった結果を基に、Run - 72, 73 の流れのパターンの推定を行なった。厳密には条件が異なるが Baker 線図（常温，常圧下で与えられている）上に以上の結果をプロットしてみた。その結果，図 4.2 に示すように，初期の流れは気泡流又はフロス流，中期以後は環状流と言う事であった。これは，Run - 72, 73 の計測上推定された流れの様子とほぼ一致するものである。これらの様子をモデル的に図示すると図 4.3 のようになる。

5. ま と め

SWAT-1の装置を用いて大リーク・ナトリウム-水反応時の放出系の流動を解析するための試験Run-72〔73〕を行ないその結果をまとめた。

- 1) 今回の2回の試験はもんじゅSGの5〔2〕本破断に相当する大リーク試験であった。
- 2) 放出系配管内の流動は、初期のプラグ流又は気泡流とそれ以後の環状流又は環状噴霧流とに分ける事ができる。
- 3) 初期のプラグ流は時間的には、0.2〔0.3〕秒と短かいが、この間に総放出ナトリウム量の約5〔5〕割が放出された。このプラグ流は、放出管取付口近傍のナトリウムにカバー・ガスの一部が巻込まれてできたものと思われ、流速は25〔20〕m/secた。
- 4) その後、流れは、急速に環状流（または環状噴霧流）に移行し、ボイド率は0.8～1.0に漸増して注水停止まで続いた。
- 5) 今回の解析から、センサ配列の間隔を狭める事によって流速分布等、更に詳細な情報を得る見通しを得た。

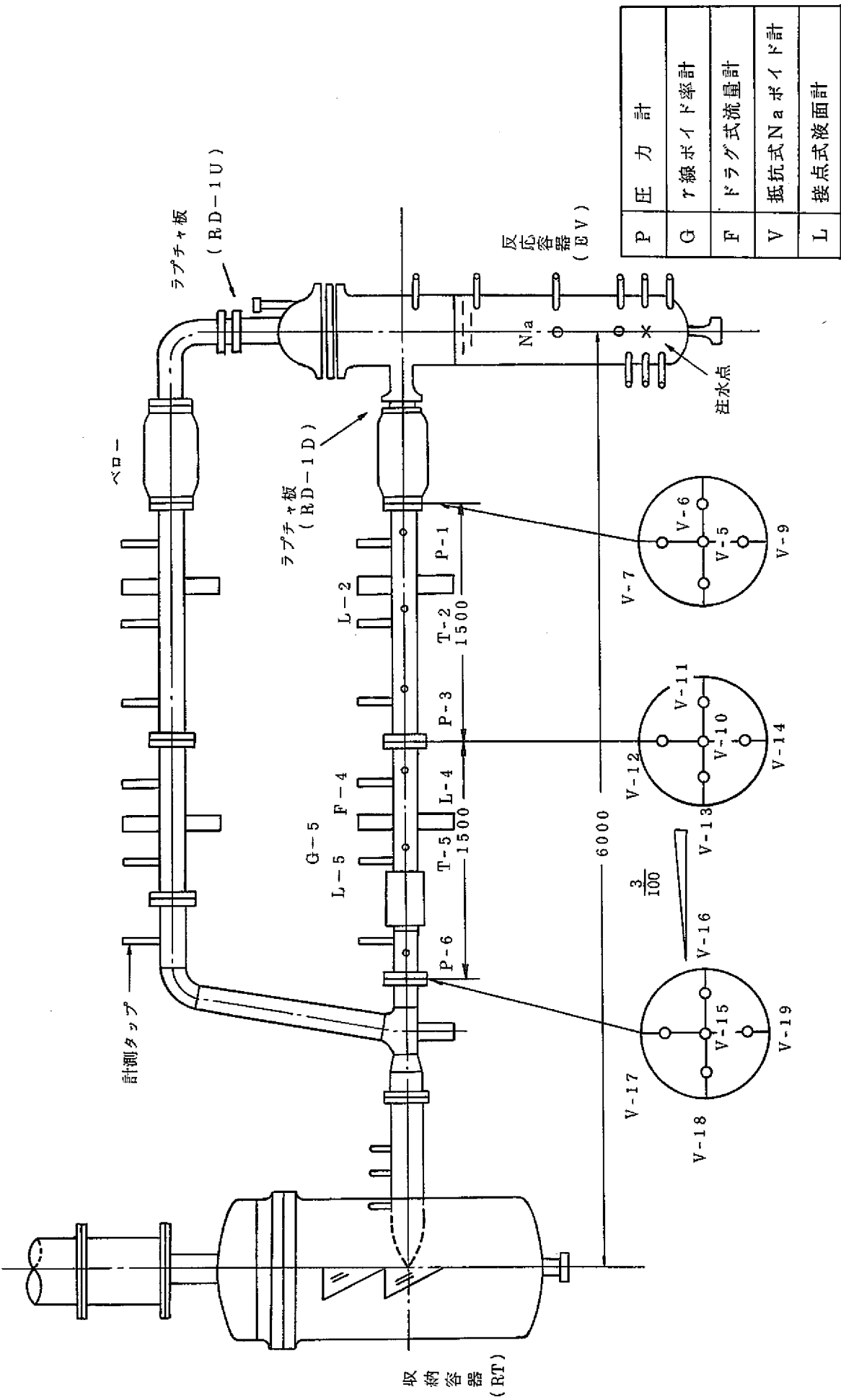


図 2 1 SWAT-1 装置概要 Run-72

表 2.1 試 験 条 件

Run No	72	73
注水管オリフィス径 (mm)	7.07 ϕ	5.00 ϕ
注 水 率 $\frac{\text{kg}}{\text{sec}}$	1.405	0.65
弁 開 時 間 (sec)	3.45	5.98
注 水 量 (kg)	4.85	4.78
反応容器Na温度 (°C)	330	320
放出系配管温度 (°C)	200	200
放出系ラプチャ板設定圧 ($\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$)	3	3
反応容器内初期Na量 (kg)	180	180

表 2.2 試験規模の比較

		単 位	MONJU (T社)	SWAT-3	SWAT-1
EV (反 応 容 器) 内 径 比		—	1	0.5	0.15
相 当 注 水 率		$\frac{\text{kg}}{\text{sec}}$	q	0.25q	0.0225q
MONJU伝熱管1本破断相当注水率		$\frac{\text{kg}}{\text{sec}}$	13.4	3.34	0.301
MONJU伝熱管4本破断相当注水率		$\frac{\text{kg}}{\text{sec}}$	53.5	13.4	1.20
SWAT-1 Run-72 。 規 模	注 水 率	$\frac{\text{kg}}{\text{sec}}$	62.4	15.6	1.41
	破断本数	本	4.6	4.6	4.6
SWAT-1 Run-73 。 規 模	注 水 率	$\frac{\text{kg}}{\text{sec}}$	28.9	7.2	0.65
	破断本数	本	2.2	2.2	2.2

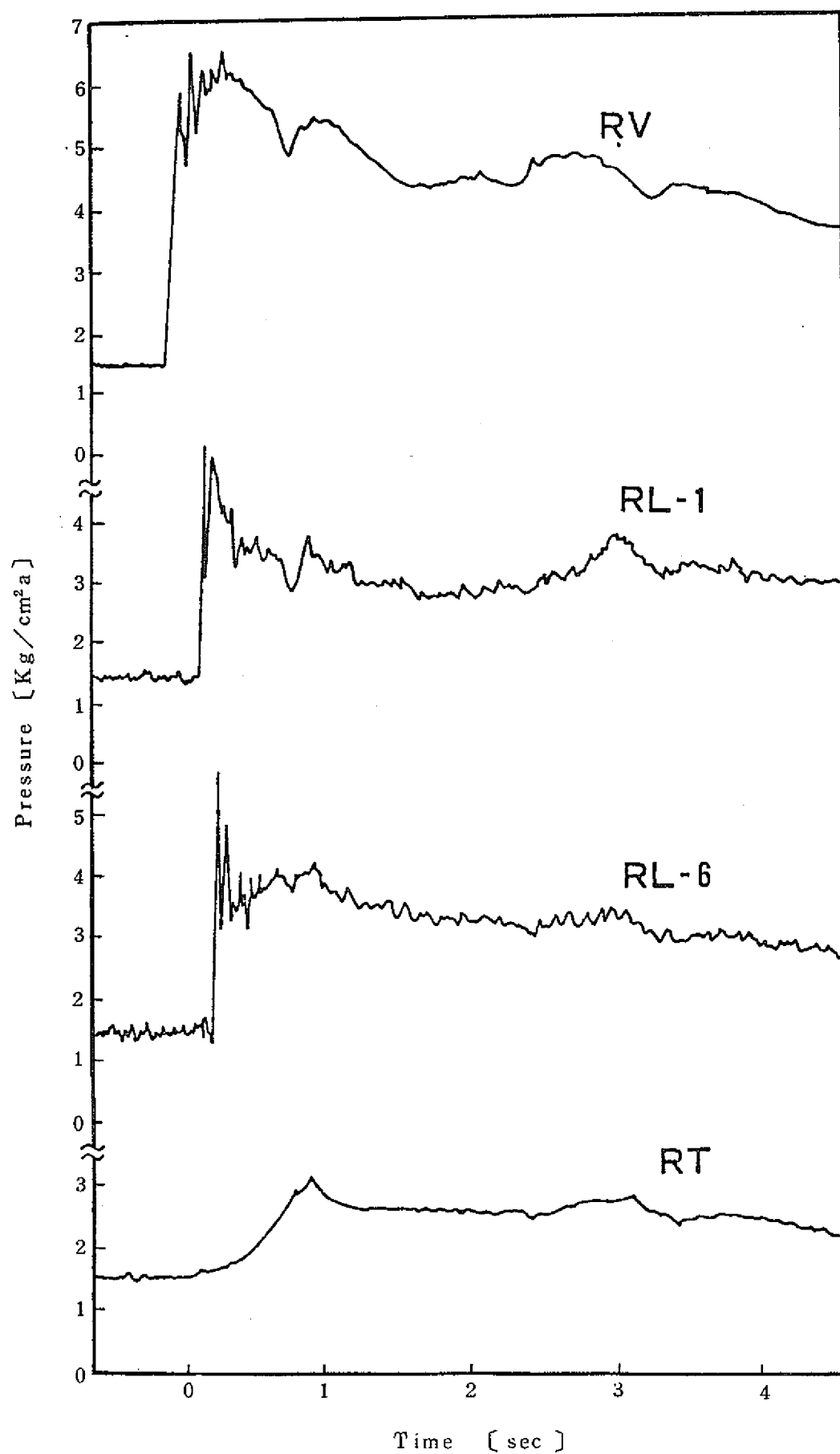


図 3.1 Run-72 における圧力挙動

表 3.1 Run-72 での初期流速測定データ

計測点	時間〔sec〕 (バルブ開 0.2sec 前)	距離〔m〕 (RD からの距離)	Na を検知した 時間〔sec〕 (RD 破断時を 0 とする)
ラブチャ RD	0.575	0.000	0.00
V-5	0.592	0.560	0.017
V-6	0.599	"	0.024
V-7	0.596	"	0.021
V-8	0.595	"	0.020
V-9	0.595	"	0.020
V-10	0.663	2.066	0.088
V-11	0.632	"	0.057
V-12	0.664	"	0.089
V-13	0.627 (0.662)	"	0.052 (0.087)
V-14	0.660	"	0.085
V-15	0.691 (0.760)	3.572	0.116 (0.185)
V-16	0.690 (0.727)	"	0.115 (0.152)
V-17	0.682 (0.760)	"	0.107 (0.185)
V-18	0.680	"	0.105
V-19	0.645	"	0.070
D2-L	0.632	1.316	0.057
D4-L	0.664	2.272	0.089
D5-L	—	2.822	—
8B7-L	0.768	4.664	0.193
DRAG	0.682	2.322	0.107

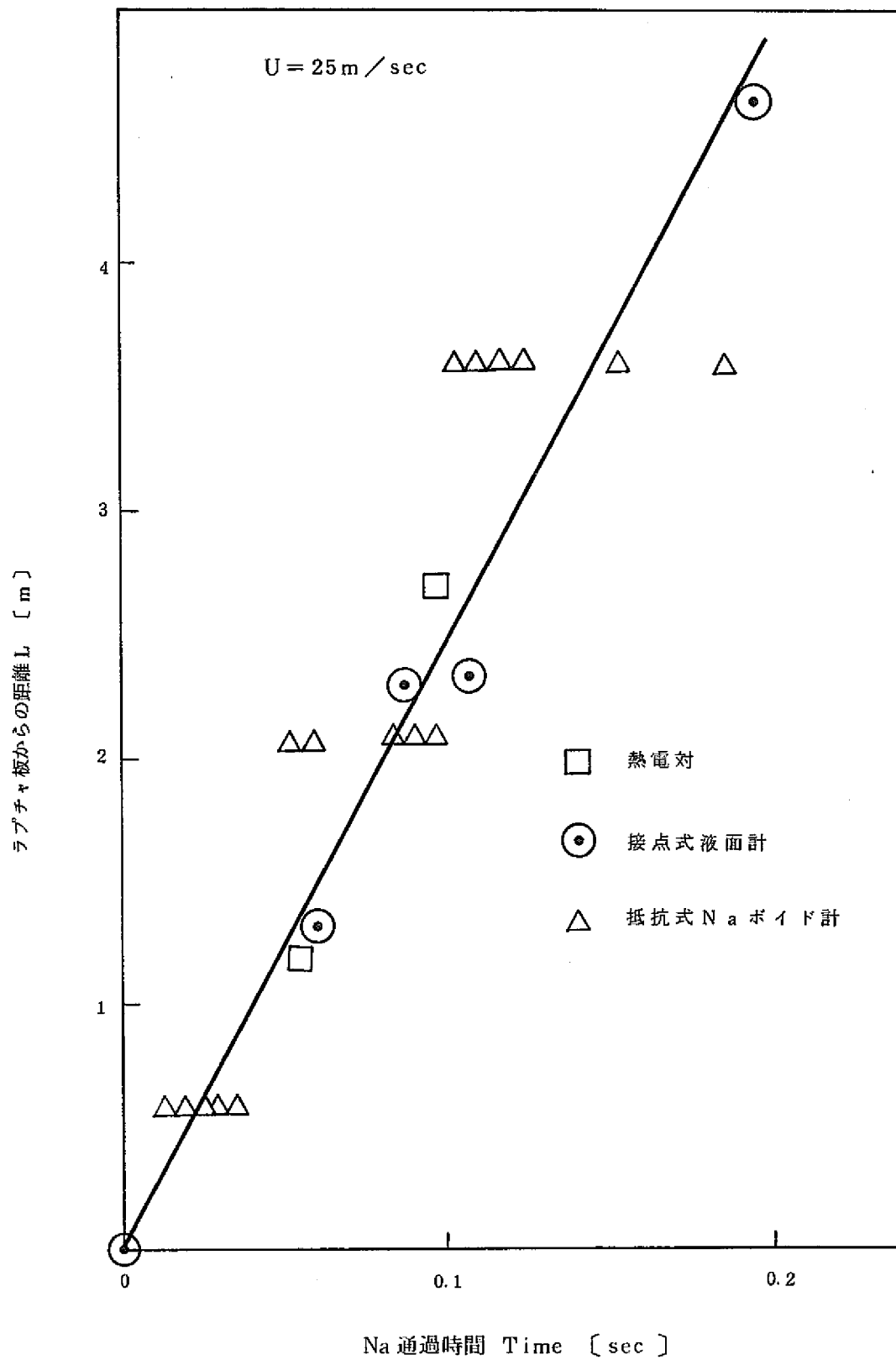


図 3.2 RUN-72 での初期流速

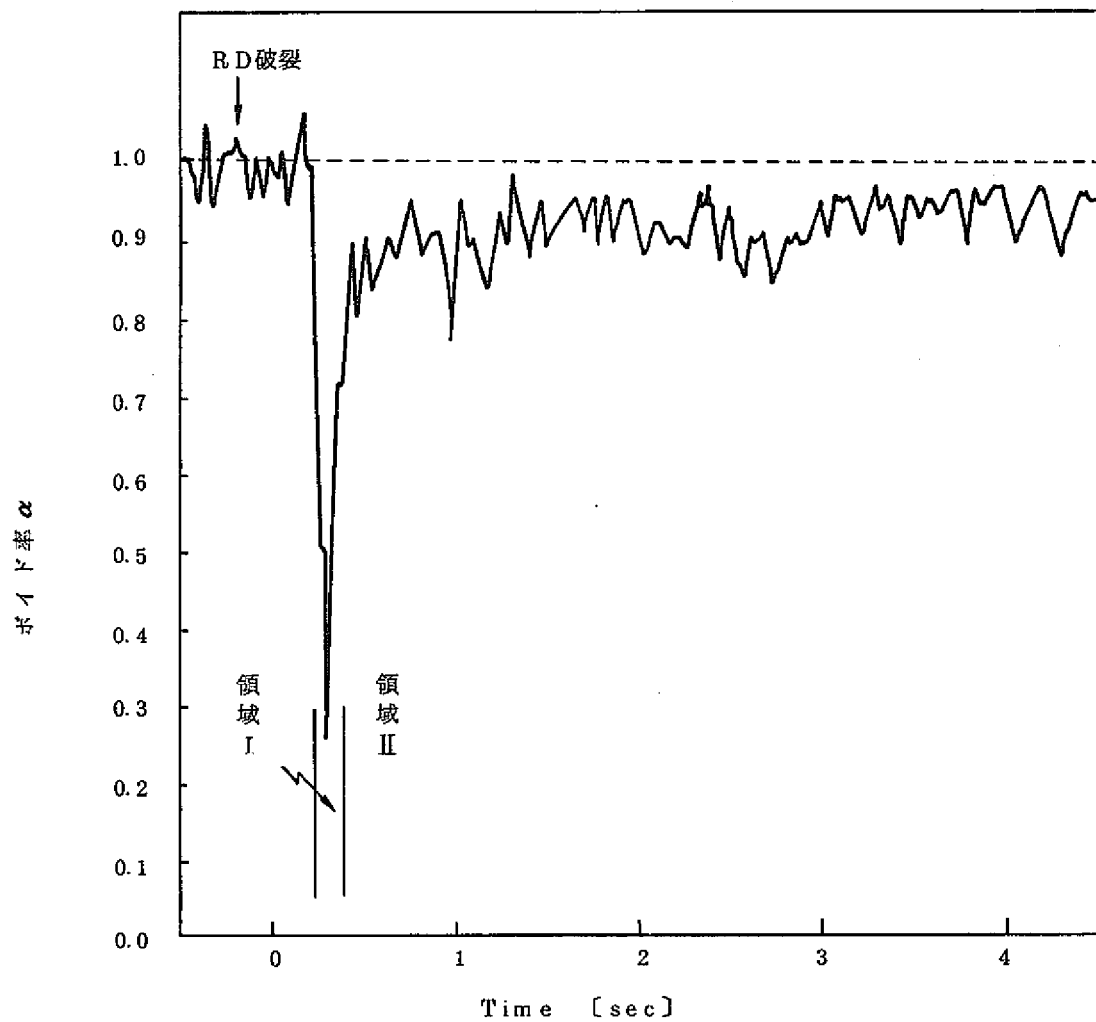


図3.3 Run-72での r 線ボイド計信号

VOLT

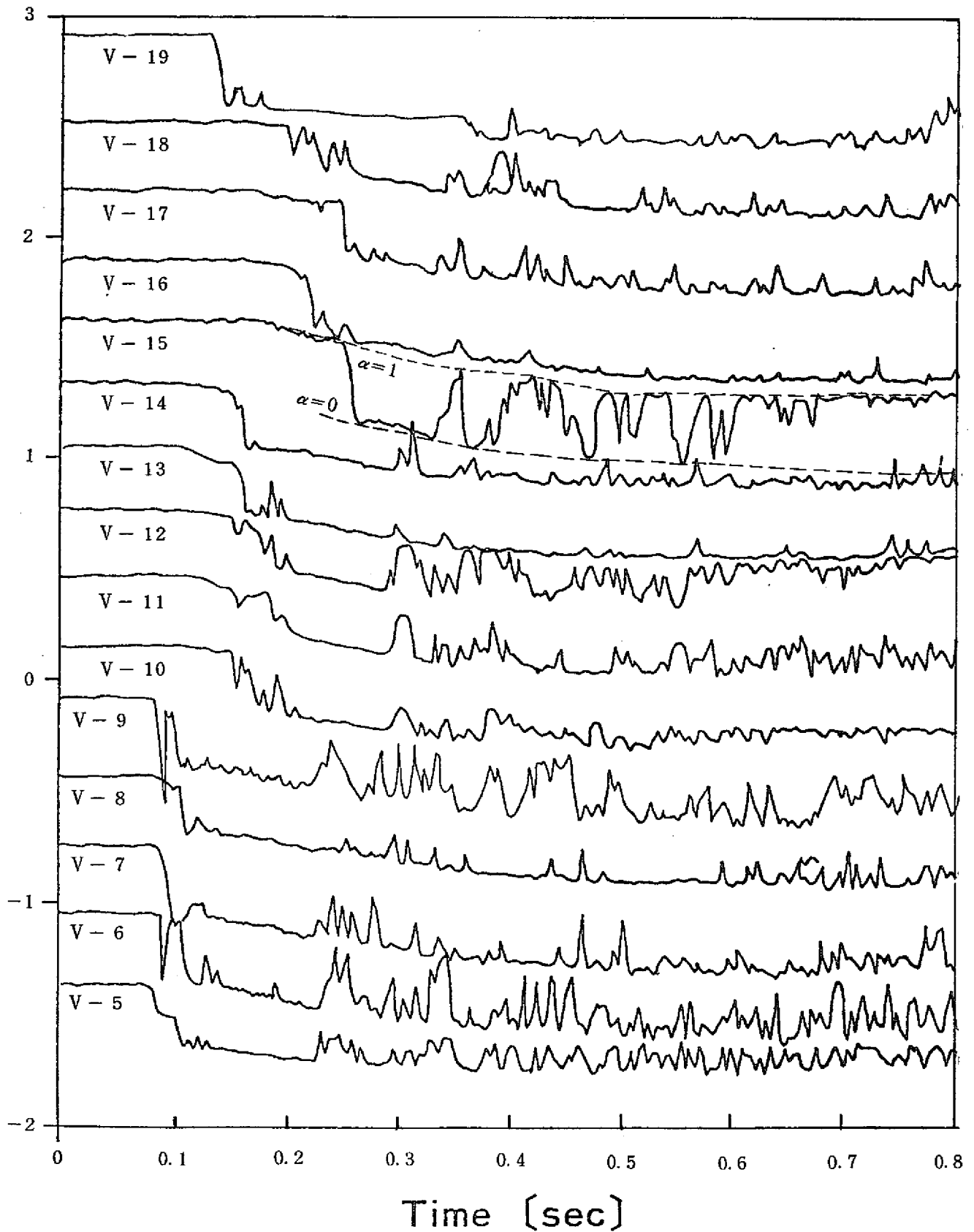


図3.4 抵抗式ナトリウムボイド計の信号 (Run-72)

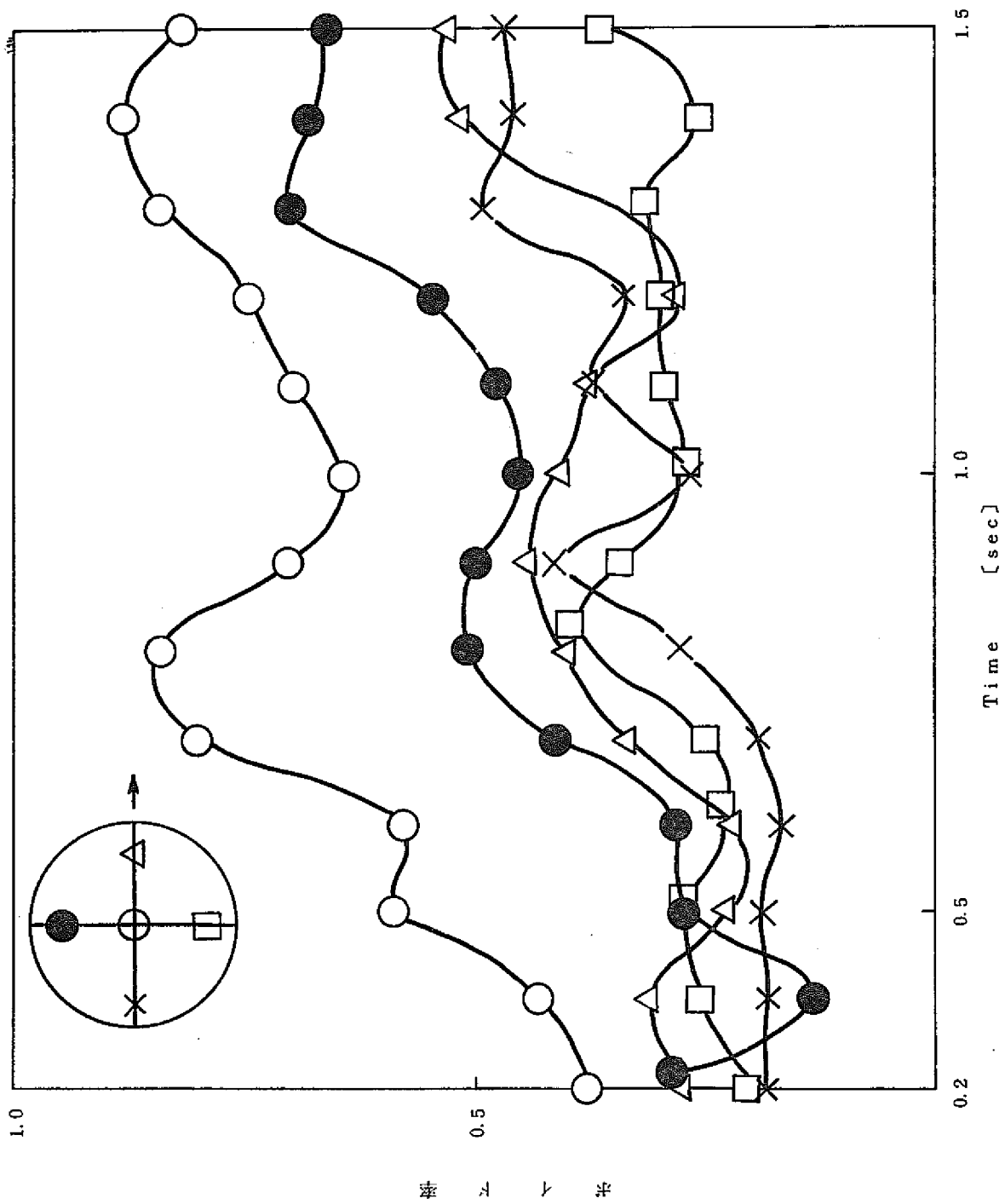
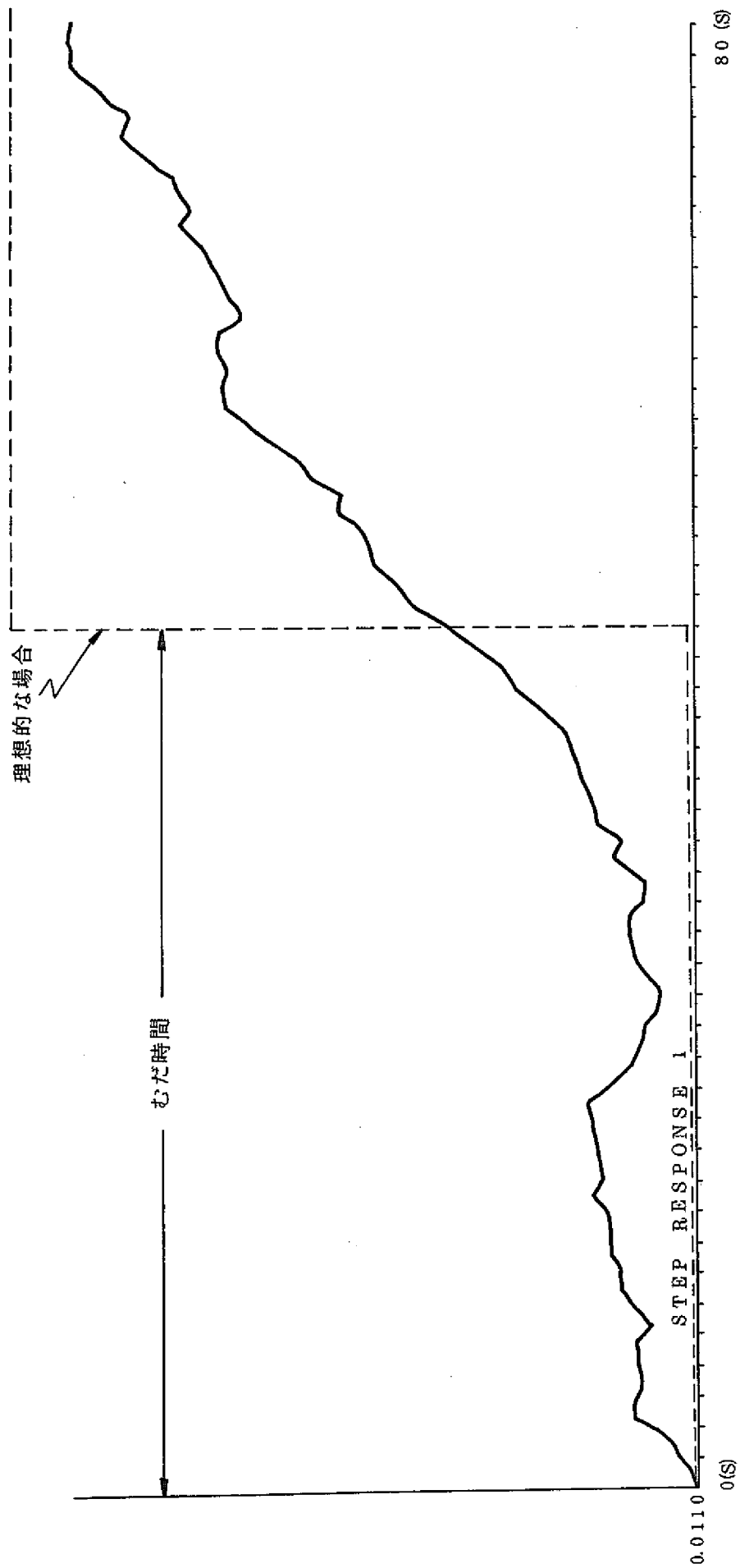


図3.5 管断面のボイド率分布



TEST NO. SWAT-72 SAMPLE TIME 1 DATA NUMBER 952

図 3.6 RUN-72 5 ch と 10 ch との相関々数の STEP 応答

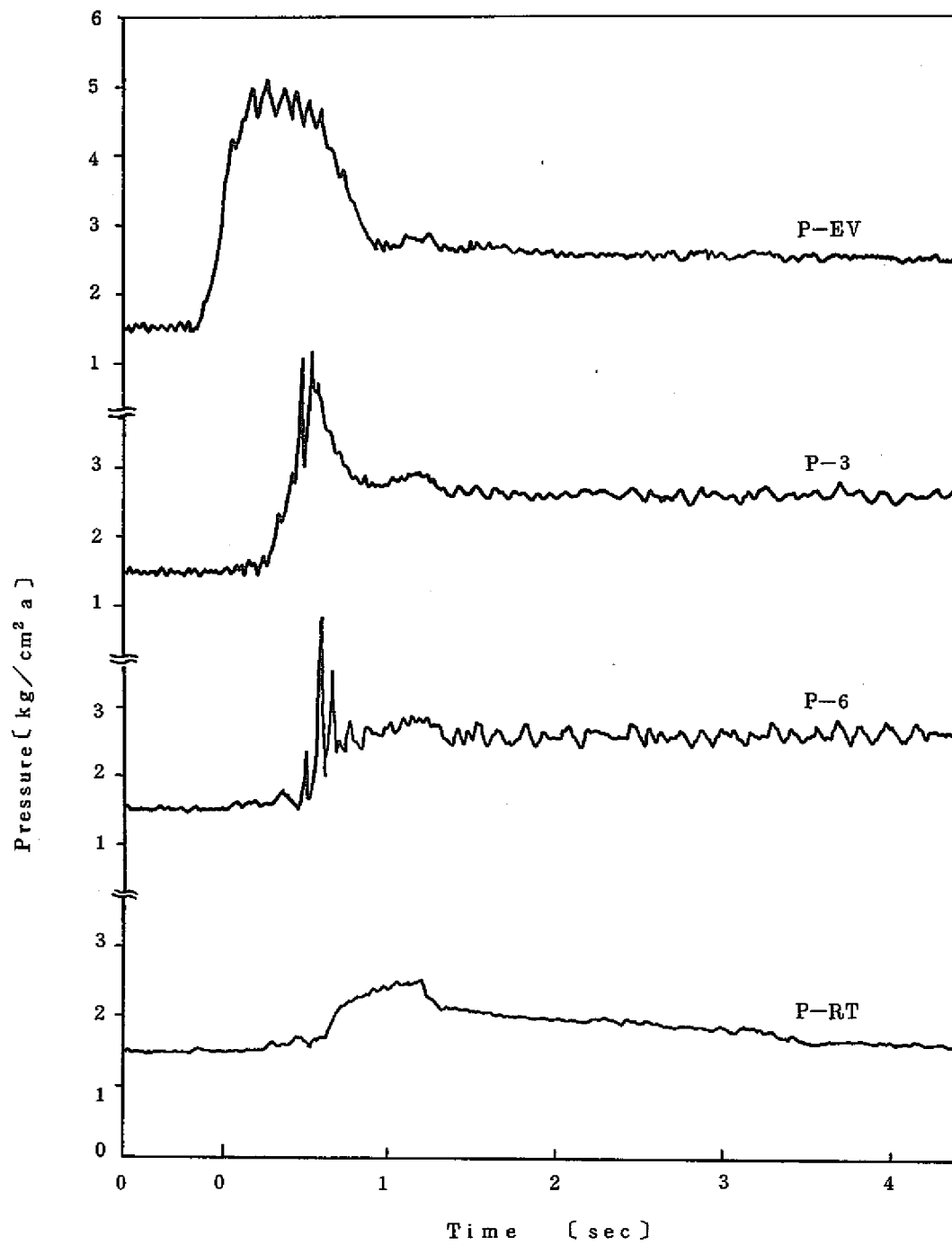


Fig 3.7 Run-73における圧力挙動

表 3.2 Run 73 初期流速

Tag No.	距離 (RD から)	時 間 遅 れ
RD	0 [m]	0.0 [sec]
D2-L	1.316	0.096
D4-L	2.322	0.144
D5-L	2.822	0.168
8B7-L	4.666	0.256
V-6	0.566	0.064
V-8	0.566	0.064
V-9	0.566	0.037
V-10	0.566	0.032

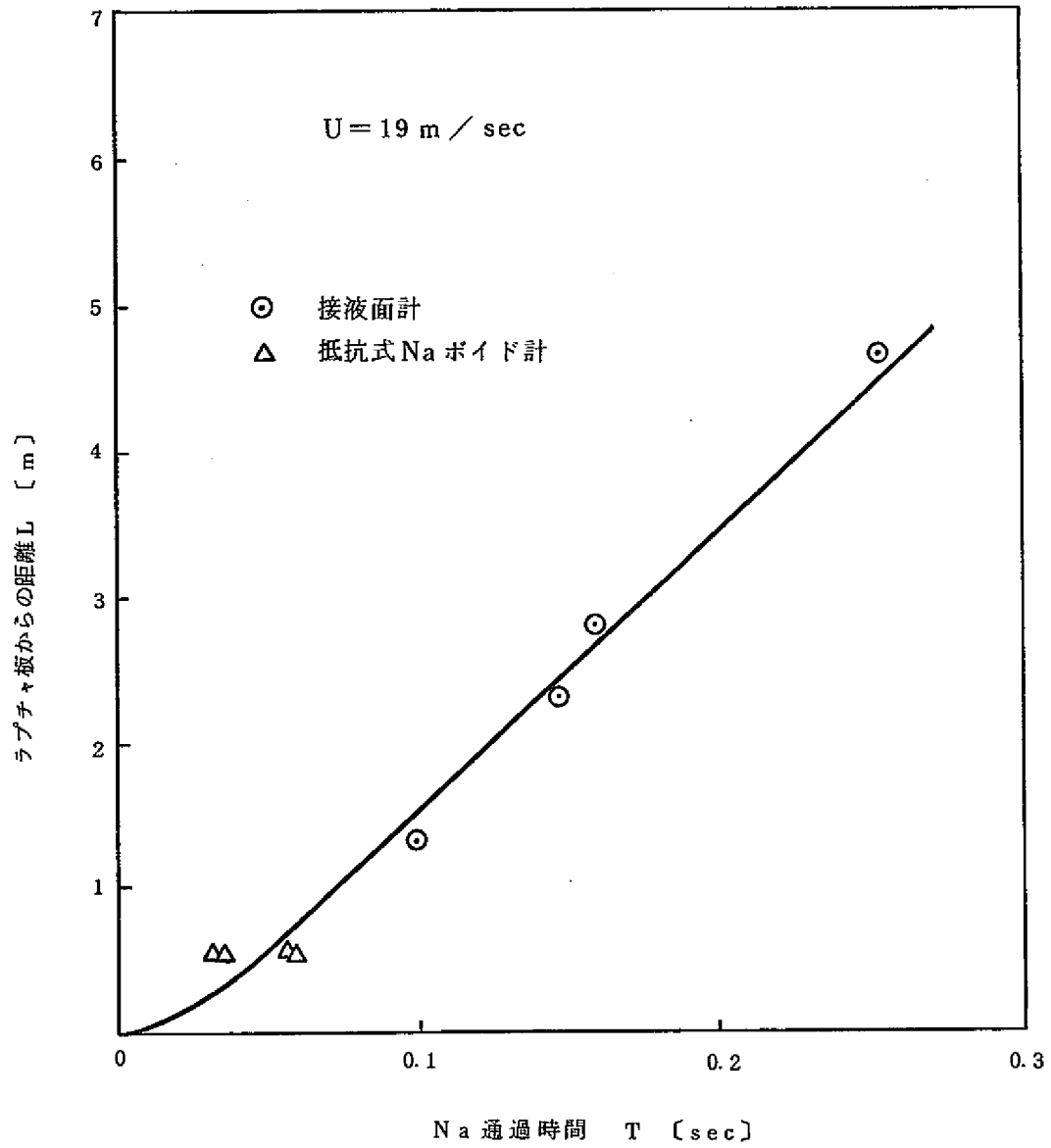


Fig 3.8 放出系管内初期流速 (Run - 73)

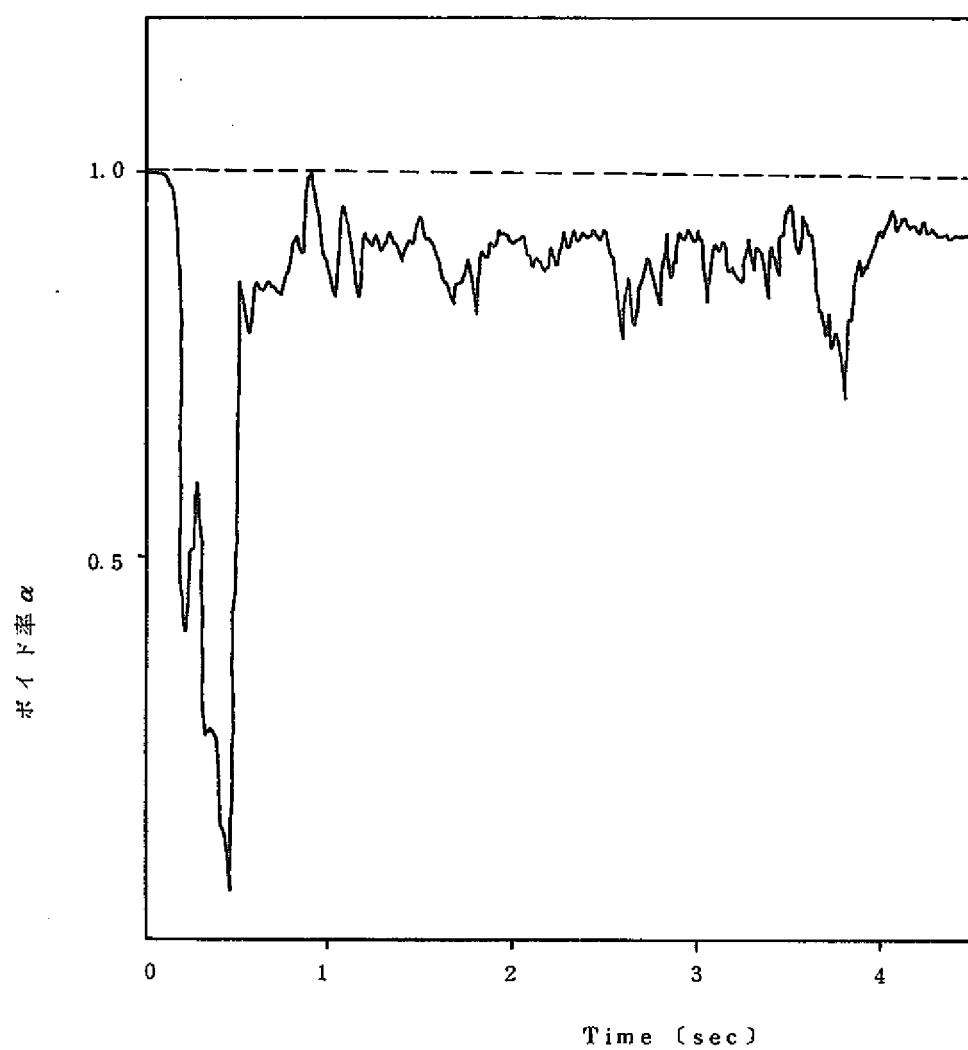


図3.9 RUN-73での r 線ボイド率計の出力

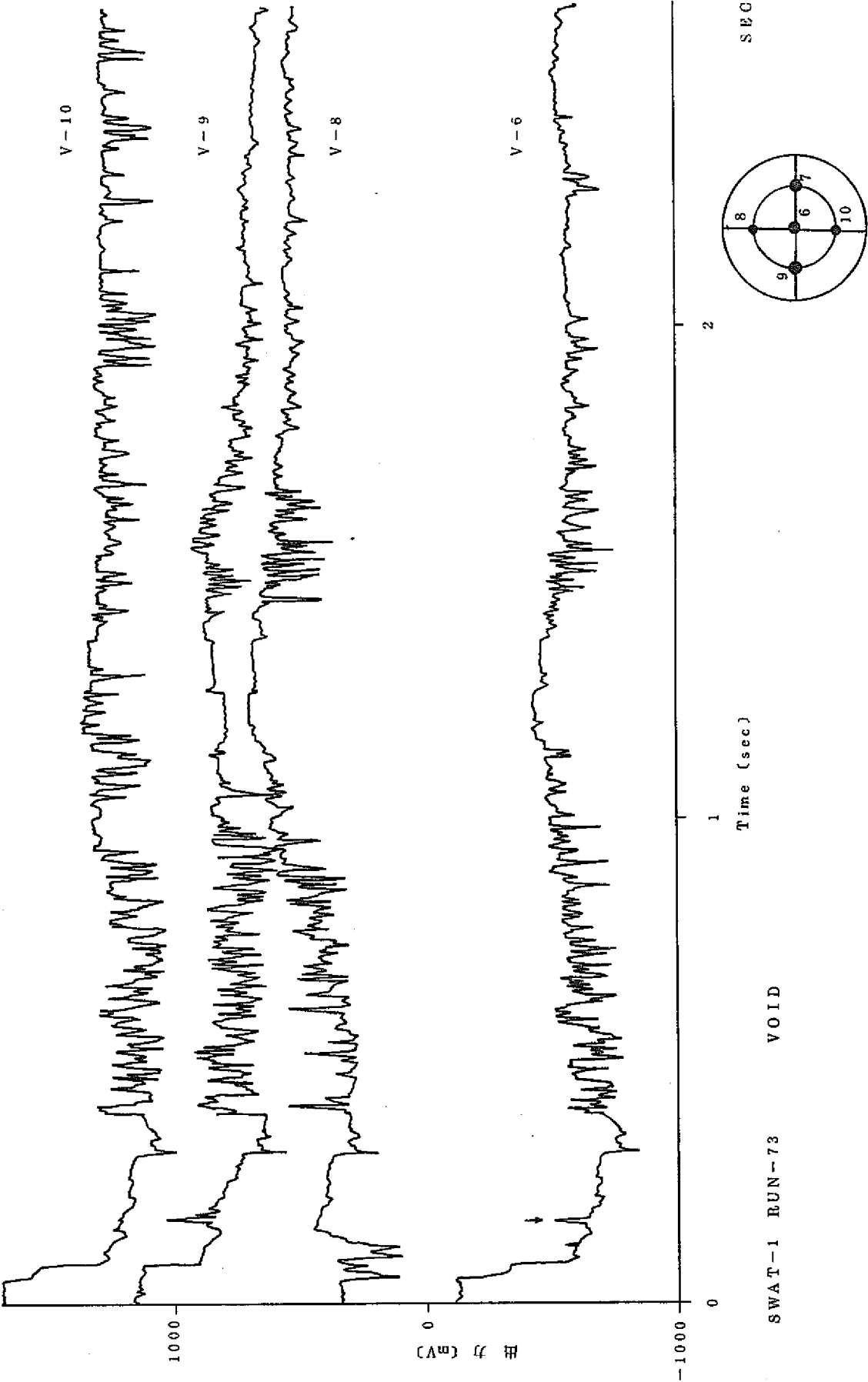


図3.10 抵抗式ナトリウムボイド計の信号 (RUN-73)

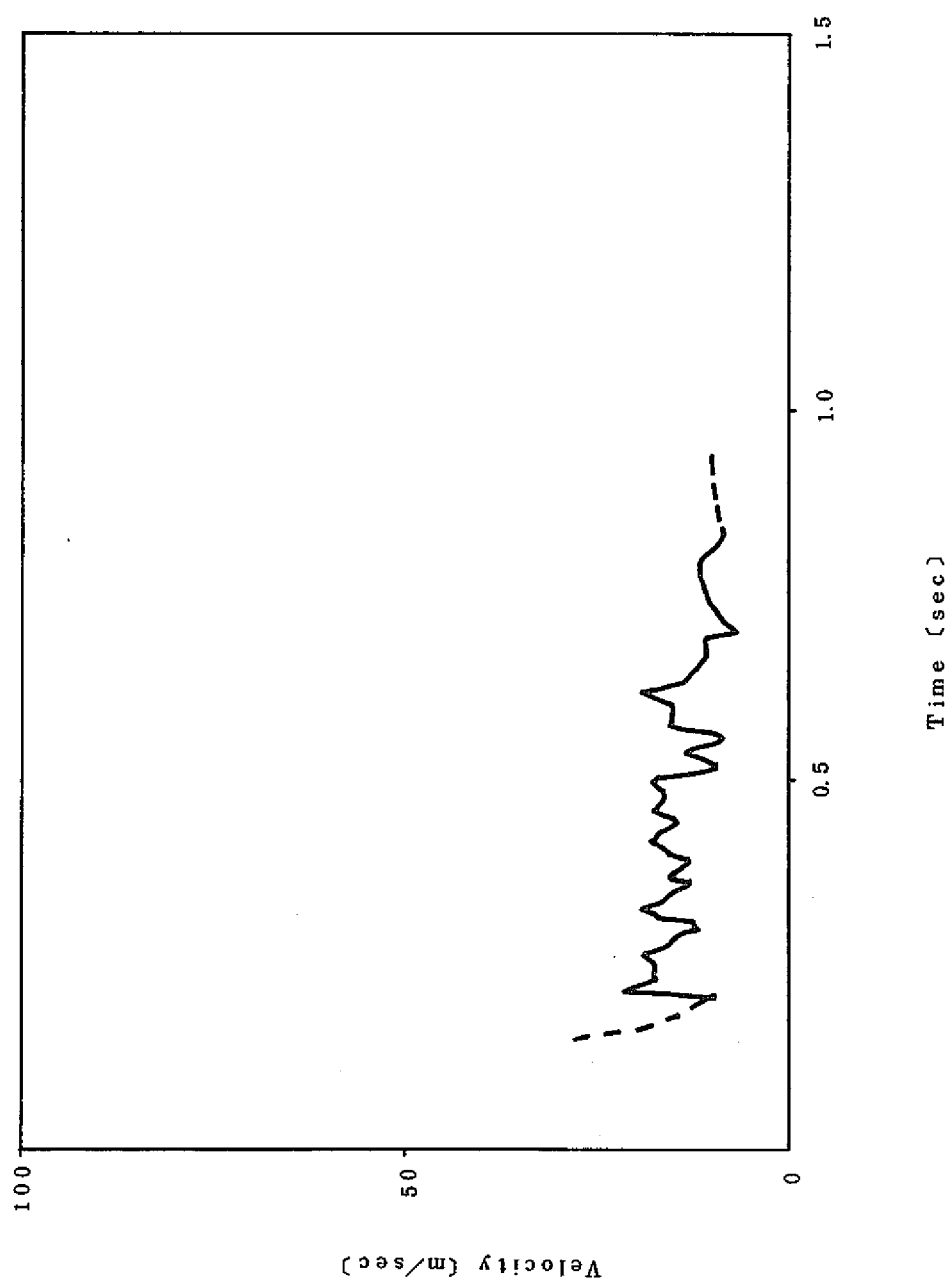


図3.11 RUN-73 γ 線とドラグから求めた流速

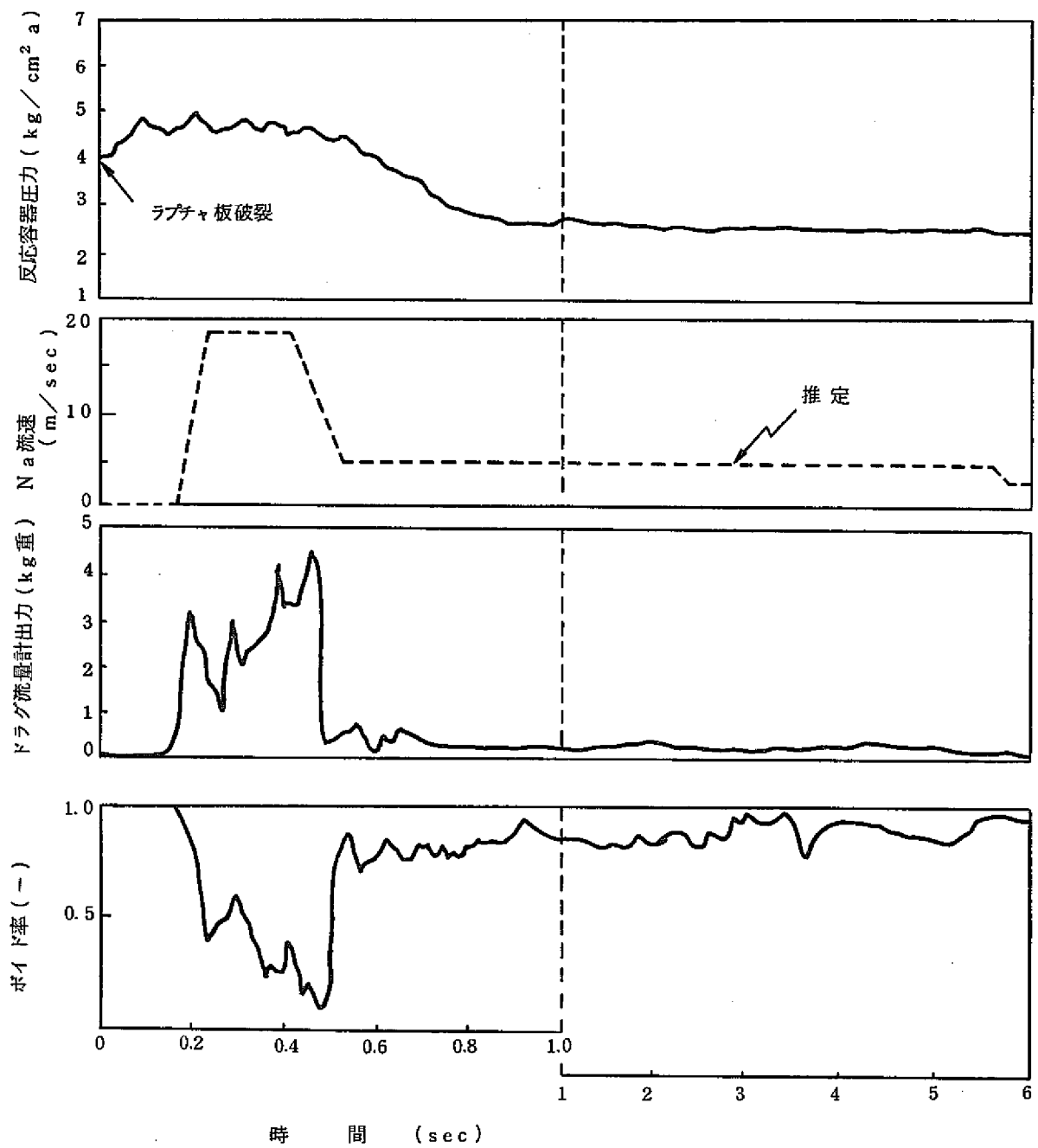


図4.1 放出系配管の内部流動 (Run-73)

表 4.1 試 験 結 果

		単 位	Run. 72	Run. 73
R D 1 破 裂 時 間		sec	0.095	0.245
R D 2 破 裂 時 間		sec	0.93	1.36
放 出 Na 量	合 計	kg	95	98
	領 域 I	kg	~ 43	54
	領 域 II	kg	52	44
Na 流 速		I m / sec	~ 25	~ 19
		II m / sec	~ 8	~ 4
水 素 ガ ス		I m / sec	~ 25	~ 20
		II m / sec	40 ~ 50	30 ~ 40

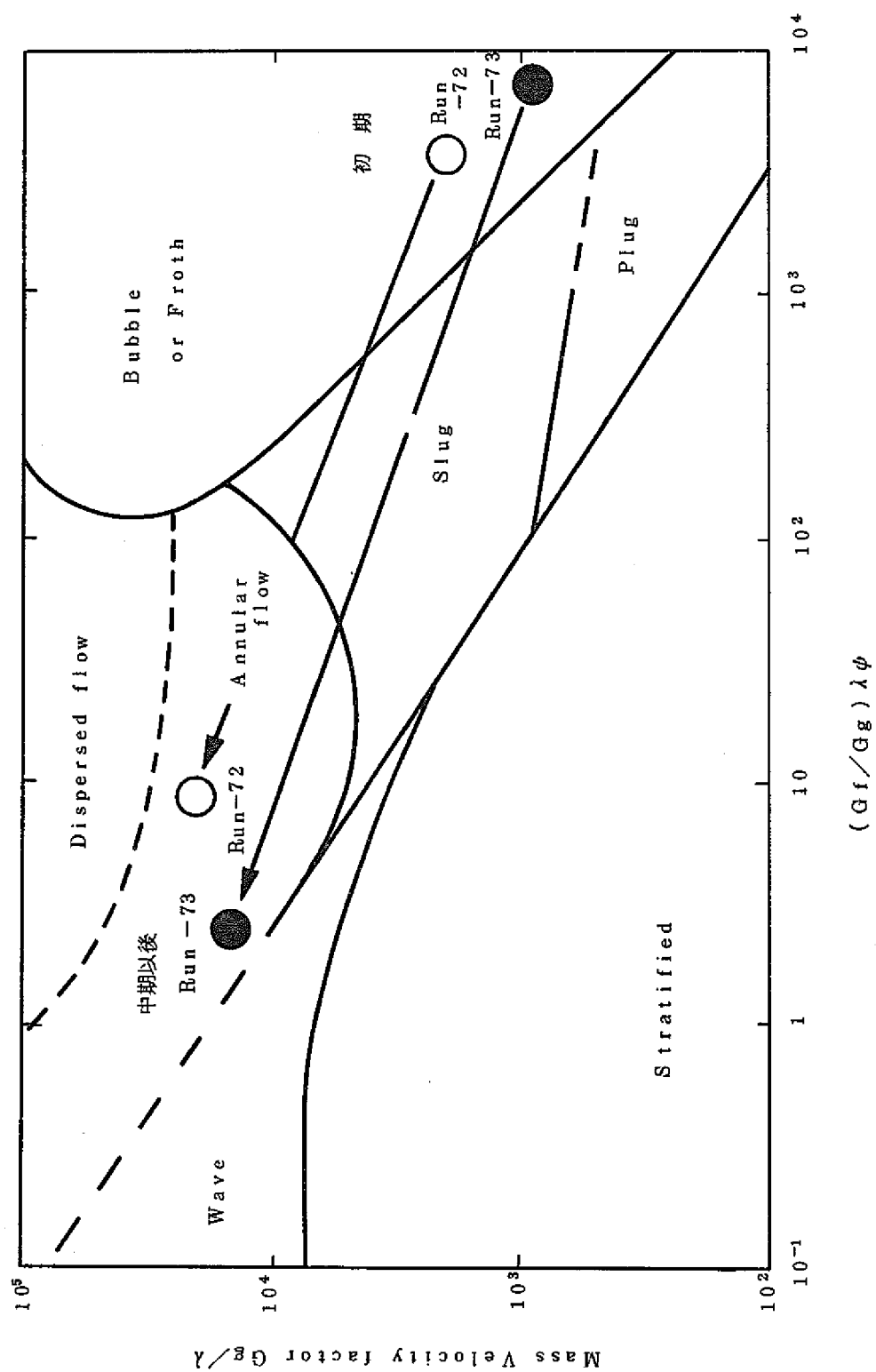


Fig 4.2 Flow-regime (Baker)

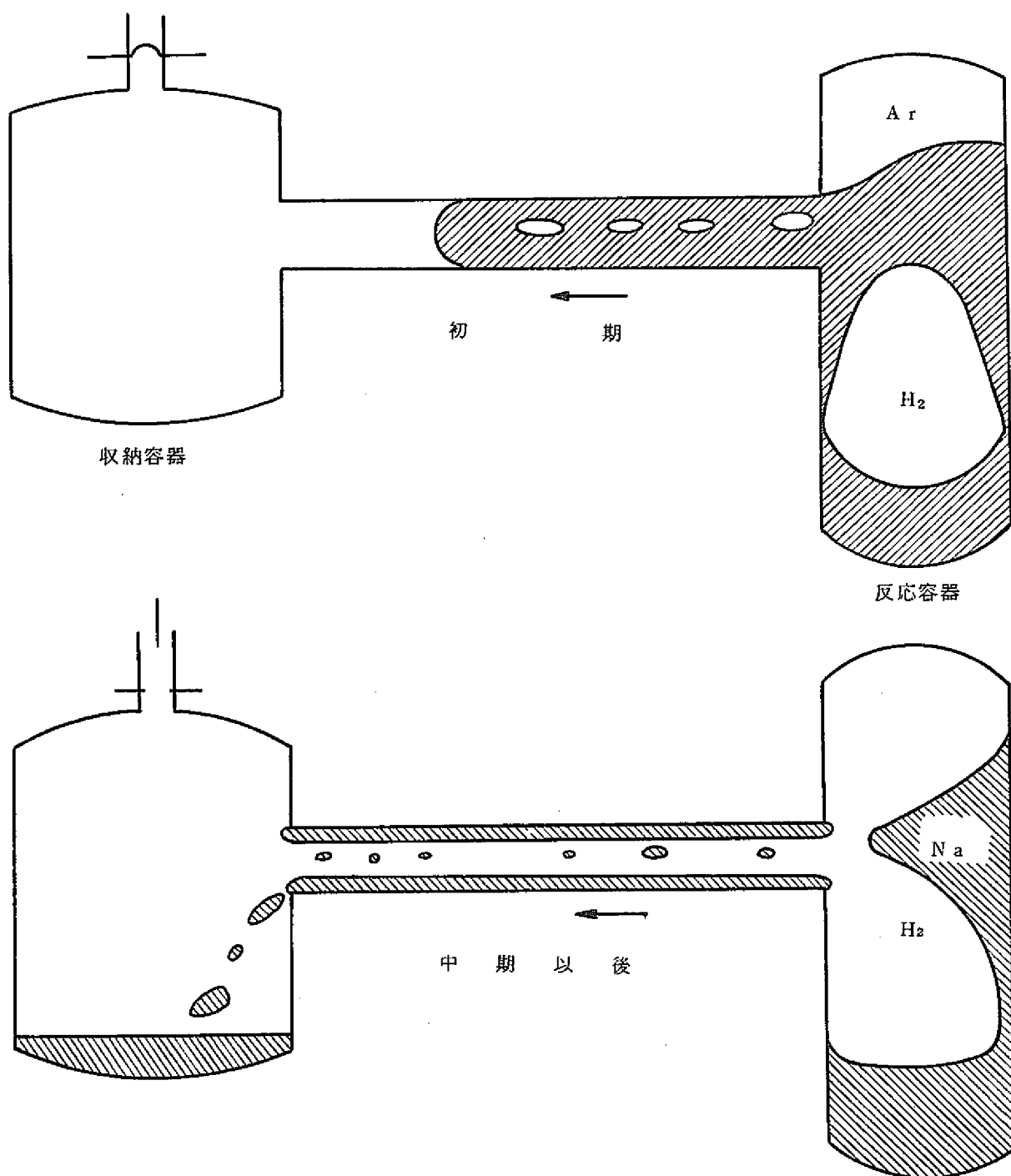


図4.3 放出管内流動の変化

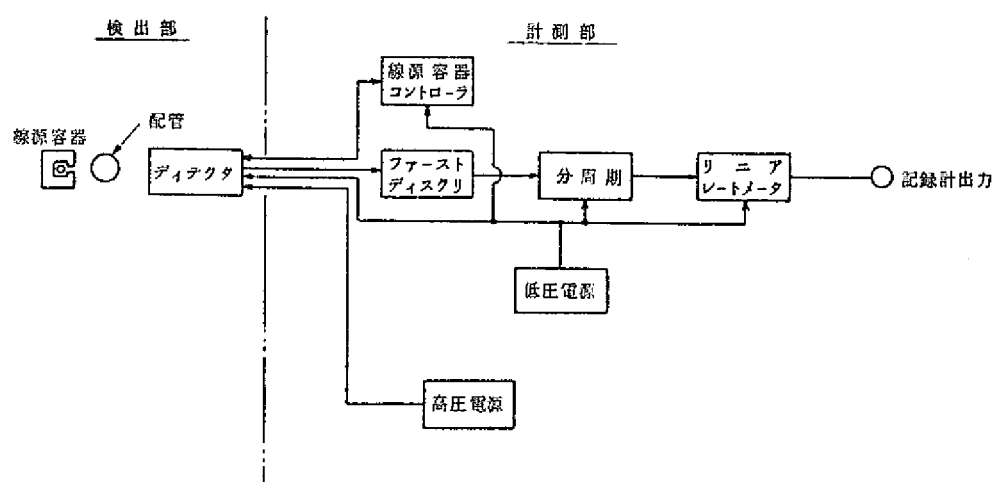
謝 辞

本試験の実施にさいし，SWAT－1試験装置の組立，試験準備，試験後処理等の作業は，東興機械工業株式会社派遣員の手で行なわれた事を付記し，日頃の協力に感謝の意を表します。また，データ処理上の諸問題に関し，貴重な助言と協力をいただいた，井爪室長代理，甲斐正光氏，本報告書の内容について，討論に参加していただいた田中信夫，吉岡直樹氏の感謝の意を表します。

Appendix. 1

 γ 線透過式ボイド率計

ナトリウムと水素ガスの γ 線に対する透過率の差を利用してボイド率を測定するもので、図1に γ 線透過式ボイド率のブロック図を示し、表-2にその仕様を示す。

図 γ 線動過式ボイド率計のブロック図表 γ 線動過式ボイド率計の仕様

線 源	Cs-137 500mCi密封 ビーム径 7.3 ϕ
デ イ テ ク タ	シンチレーター：プラスチック 1" ϕ $\times$ 1"
フ ァ ス ト ディスクリミネータ	ディスクリ・レベル -0.15 V ダブルパルス分解能 10 n sec
分 周 期	ダブルパルス分解能 100 n sec
リニアレートメータ	計数レンズ：10 ⁶ cpm 時 定 数 0.01 sec

Appendix. 2

水素ガス流速の推定

中期以後のガス流速については、適当な計測方向が確立されていないため、次のような仮定を用いなければならない。即ち、反応による発生水素ガス量と、放出管を流出する水素ガスの量が等しく、反応容器内圧力が準静的平衡状態にあると仮定すると

$$(\text{発生率}) = (\text{流出率})$$

$$f \times q \times \frac{2}{18} = \rho_{H_2} U_{H_2} \alpha A_{5B}$$

$$\text{ただし } \rho_{H_2} = \frac{P}{RT_{H_2}}$$

$$\text{従って } U_{H_2} = \frac{f g R T_{H_2}}{9 P_{H_2} \alpha A_{5B}}$$

ここで f : H_2 / H_2O 転換比 (= 0.5)

q : 注水率 [kg / sec]

A_{5B} : 放出系配管の断面積 [m^2]

α : ボイド率 [-]

