

JAERI-M  
9307

ROSA-III用触針式沸騰液面計信号と、  
水位、流動様式およびボイド率との関係  
について

1981年2月

熊丸 博滋・田坂 完二

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

ROSA-Ⅲ用触針式沸騰液面計信号と、水位、  
流動様式およびボイド率との関係について

東海研究所安全工学部安全工学第1研究室

熊丸 博滋・田坂 完二

(1981年1月12日受理)

大気圧下の可視化された沸騰二相流実験により、ROSA-Ⅲ用触針式沸騰液面計信号と、水位、流動様式およびボイド率との関係が明らかとなった。また、沸騰二相流における水位と位置損失との関係が、従来の簡単な理論式と一致することも、確かめられた。

Relation between liquid level signal obtained by  
ROSA-III type conductivity probe and liquid level,  
flow pattern or void fraction

Hiroshige KUMAMARU and Kanji TASAKA

Division of Reactor Safety,  
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received January 12, 1981)

The relation between the liquid level signal obtained by a ROSA-III type conductivity probe and the liquid level, flow pattern or void fraction was clarified by visualized two-phase flow experiment at atmospheric pressure. It was also confirmed that the experimental data for potential pressure drop versus two-phase mixture level height agreed well with the simple theoretical equation.

Keywords : Atmospheric Pressure, Visualized, Two-phase Flow,  
Liquid Level Signal, Liquid Level, Flow Pattern,  
Void Fraction, Potential Pressure Drop  
ROSA-III Type Conductivity Probe

目 次

1. 緒 言 .....	1
2. 実験装置 .....	1
3. 液面計信号についての実験 .....	2
3.1 実験方法 .....	2
3.2 実験結果 .....	2
4. 差圧についての実験 .....	5
4.1 実験方法 .....	5
4.2 実験結果 .....	5
5. 結 言 .....	6
謝 辞 .....	6
参考文献 .....	7

Contents

1. Introduction .....	1
2. Experimental Apparatus .....	1
3. Liquid Level Signal Experiment .....	2
3.1 Experimental Method .....	2
3.2 Experimental Results .....	2
4. Differential Pressure Experiment .....	5
4.1 Experimental Method .....	5
4.2 Experimental Results .....	5
5. Conclusions .....	6
Acknowledgement .....	6
References .....	7

List of Figures

- Fig.1 Schematic Diagram of Experimental Apparatus
- Fig.2 Cross Section of Test Section
- Fig.3 Conductivity Probe
- Fig.4 Electric Circuit Diagram for Conductivity Probe
- Fig.5 Liquid Level
- Fig.6(a) Average Void Fraction
- Fig.6(b) Local Void Fraction
- Fig.7 Liquid Level Signals ( Case A )
- Fig.8 Liquid Level Signals ( Case B )
- Fig.9 Liquid Level Signals ( Case C )
- Fig.10 Liquid Level Signal ( Case D )
- Fig.11 Liquid Level Signals ( Case E )
- Fig.12 Effect of Regenerative Frequency on Liquid Level Signal in Run A-3
- Fig.13 Typical Signals of Differential Pressures
- Fig.14 Differential Pressure vs. Void Fraction
- Fig.15 Comparison of Average Void Fraction obtained from Differential Pressure with that obtained from Liquid Level Difference

## 1. 緒 言

ROSA-Ⅲ装置<sup>1)</sup>は、BWRの冷却材喪失事故時のブローダウン開始からECCS作動後までの一連の熱水力学挙動を、実験的に模擬する装置である。従って、ROSA-Ⅲ装置計装関係の中でも、水位測定に関する計装は重要であり、その目的のため、ROSA-Ⅲ装置においては、触針式沸騰液面計（以下、液面計と略記）が多数設置されている<sup>2)</sup>。しかし、従来、ROSA-Ⅲ装置が高圧（7.2MPa）の圧力容器であることもあり、実際の炉心内沸騰二相流の水位あるいは流動状態と、液面計信号との間の関係については明らかではなかった。そこで、本実験では、大気圧下ではあるが、簡単なガラス容器の実験装置を用い、沸騰二相流の水位および流動状態の写真撮影等を行うと同時に液面計信号を収録し、沸騰二相流の水位、流動様式あるいはボイド率と、液面計信号との関係を明らかにする。

また、ROSA-Ⅲ装置においては、ダウンカマ水位（collapsed liquid level）を、測定した差圧より、位置損失についての簡単な理論式を用いて、計算により求めている。従って、この水位算定方法の妥当性を明らかにするためには、沸騰二相流について実際に、水位と差圧の関係が、従来の簡単な理論式に一致することを、念のため確かめておく必要があり、本報では、その実験結果についても報告する。

## 2. 実 験 装 置

実験装置の概略を図1に示す。水は、水入口（Water Inlet）よりテスト部に供給され、テスト部で、ヒータピンにより加熱され沸騰するが、水位は、ほぼ一定に保たれ、蒸気のみが、蒸気出口（Steam Outlet）より放出される。テスト部外管の主要部は、図のように石英ガラスでできており、実験中の沸騰二相流の流動状態を、テレビビデオおよびスチールカメラにより撮影した。テスト部差圧は、図のように上・下2つの差圧（ $\Delta P_2$  および  $\Delta P_1$ ）に分けて測定した。

液面計は、図に示すように、テスト部の上部に一個取付けたが、この位置に取付けたのは、ヒータピンの有効発熱部の大部分を、蒸気中に露出させないためである。図2に、液面計取付け位置でのテスト部の断面図を、また図3には、液面計先端部の拡大図を示す。図2より明らかなように、テスト部の幾何学的形状の制約のため、流路中には、液面計セラミック部の約半分より先端のみしか位置していない。ところで、液面計による水位の測定原理は、図3の①の電極部と③のシース部の間における水と蒸気の電気抵抗の差を検出することにあるが、測定に関する電気回路を簡単に示したのが、図4である。回路には、5Vの定電圧がかけられており、検出した電位差は、直流増幅器を介してデータ収録装置（磁気テープ）に収録された。

なお、ヒータピンは、図2に示すように、テスト部流路内に7本設置されている（ヒータピ

## 1. 緒 言

ROSA-Ⅲ装置<sup>1)</sup>は、BWRの冷却材喪失事故時のブローダウン開始からECCS作動後までの一連の熱水力学挙動を、実験的に模擬する装置である。従って、ROSA-Ⅲ装置計装関係の中でも、水位測定に関する計装は重要であり、その目的のため、ROSA-Ⅲ装置においては、触針式沸騰液面計（以下、液面計と略記）が多数設置されている<sup>2)</sup>。しかし、従来、ROSA-Ⅲ装置が高圧（7.2MPa）の圧力容器であることもあり、実際の炉心内沸騰二相流の水位あるいは流動状態と、液面計信号との間の関係については明らかではなかった。そこで、本実験では、大気圧下ではあるが、簡単なガラス容器の実験装置を用い、沸騰二相流の水位および流動状態の写真撮影等を行うと同時に液面計信号を収録し、沸騰二相流の水位、流動様式あるいはボイド率と、液面計信号との関係を明らかにする。

また、ROSA-Ⅲ装置においては、ダウンカマ水位（collapsed liquid level）を、測定した差圧より、位置損失についての簡単な理論式を用いて、計算により求めている。従って、この水位算定方法の妥当性を明らかにするためには、沸騰二相流について実際に、水位と差圧の関係が、従来の簡単な理論式に一致することを、念のため確かめておく必要があり、本報では、その実験結果についても報告する。

## 2. 実 験 装 置

実験装置の概略を図1に示す。水は、水入口（Water Inlet）よりテスト部に供給され、テスト部で、ヒータビンにより加熱され沸騰するが、水位は、ほぼ一定に保たれ、蒸気のみが、蒸気出口（Steam Outlet）より放出される。テスト部外管の主要部は、図のように石英ガラスでできており、実験中の沸騰二相流の流動状態を、テレビビデオおよびスチールカメラにより撮影した。テスト部差圧は、図のように上・下2つの差圧（ $\Delta P_2$  および  $\Delta P_1$ ）に分けて測定した。

液面計は、図に示すように、テスト部の上部に一個取付けたが、この位置に取付けたのは、ヒータビンの有効発熱部の大部分を、蒸気中に露出させないためである。図2に、液面計取付け位置でのテスト部の断面図を、また図3には、液面計先端部の拡大図を示す。図2より明らかなように、テスト部の幾何学的形状の制約のため、流路中には、液面計セラミック部の約半分より先端のみしか位置していない。ところで、液面計による水位の測定原理は、図3の①の電極部と③のシース部の間における水と蒸気の電気抵抗の差を検出することにあるが、測定に関する電気回路を簡単に示したのが、図4である。回路には、5Vの定電圧がかけられており、検出した電位差は、直流増幅器を介してデータ収録装置（磁気テープ）に収録された。

なお、ヒータビンは、図2に示すように、テスト部流路内に7本設置されている（ヒータビ



ン外径およびピッチはPWRに類似)が、軸方向発熱分布は、7本ともほぼ余弦状分布である。

### 3. 液面計信号についての実験

#### 3.1 実験方法

実験は、基本的には、二相流体の水位が静止した状態で行い、蒸発量に相当する水のみを、水入口より供給した。実験は、二相流時水位の液面計に対する相対的位置が、次の5ケースについて行った。(図5参照)

- A: 水位が、液面計位置より上にある場合。
- B: 水位が、液面計位置付近にある場合。
- C: 水位は、液面計位置より下方にあるが、液面振動により、時々、水位が、液面計位置より上方まで移動することがある場合。
- D: 水位は、液面計位置より十分下方にあり、液面振動によっても、水位が、液面計位置より上方まで移動することが全くない場合。
- E: 水位が、時間的に下降する場合。

また、平均ボイド率の値( $\bar{\alpha}$ )は、次の7ケースを目標に、実験を行った。

$$\bar{\alpha} = 0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3$$

上述のように、実験は、水位5ケース、平均ボイド率7ケース、計 $5 \times 7 = 35$ ケースを目標に行った。

平均ボイド率の値は、図6(a)のように、二相流体の水位をL、ヒータoff、バルブ閉後の单相流体水位をL'とし、 $\bar{\alpha} = (L - L') / L$ の関係式により求めた。

また、局所ボイド率の値は、直接測定は行わず、次のようにして計算で求めた。まず、ヒータビンの発熱分布は、図6(b)①のような、ほぼ余弦状分布である。本実験の場合、流量 $\dot{m} = 0$ で、ほぼブール沸騰と考えられ、従って、発熱部入口より沸騰は開始すると考えると、各位置での蒸発量分布も、図6(b)①のようになる。蒸発した気泡は、上流側へ流動するため、ボイド率分布は、図6(b)①を、流れ方向へ積分した図6(b)②のような分布になる。局所ボイド率は、図6(b)②のボイド率分布の平均値が、実験で求めた平均ボイド率と一致するように規格化し、計算で求めた。

なお、以下では、平均ボイド率を $\bar{\alpha}$ 、局所ボイド率を $\alpha$ で示す。

#### 3.2 実験結果

液面計信号は、収録周波数1000Hz、チャンネル数10CHで、データ収録装置(磁気テープ)に収録された。液面計信号は、10CH中のある1CHに収録されており、その1CHについてみれば、液面計信号は、100Hzで収録されたことに相当する。以下の図面に示す液面計信号

ン外径およびピッチはPWRに類似)が、軸方向発熱分布は、7本ともほぼ余弦状分布である。

### 3. 液面計信号についての実験

#### 3.1 実験方法

実験は、基本的には、二相流体の水位が静止した状態で行い、蒸発量に相当する水のみを、水入口より供給した。実験は、二相流時水位の液面計に対する相対的位置が、次の5ケースについて行った。(図5参照)

- A: 水位が、液面計位置より上にある場合。
- B: 水位が、液面計位置付近にある場合。
- C: 水位は、液面計位置より下方にあるが、液面振動により、時々、水位が、液面計位置より上方まで移動することがある場合。
- D: 水位は、液面計位置より十分下方にあり、液面振動によっても、水位が、液面計位置より上方まで移動することが全くない場合。
- E: 水位が、時間的に下降する場合。

また、平均ボイド率の値( $\bar{\alpha}$ )は、次の7ケースを目標に、実験を行った。

$$\bar{\alpha} = 0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3$$

上述のように、実験は、水位5ケース、平均ボイド率7ケース、計 $5 \times 7 = 35$ ケースを目標に行った。

平均ボイド率の値は、図6(a)のように、二相流体の水位をL、ヒータoff、バルブ閉後の单相流体水位をL'とし、 $\bar{\alpha} = (L - L') / L$ の関係式により求めた。

また、局所ボイド率の値は、直接測定は行わず、次のようにして計算で求めた。まず、ヒータビンの発熱分布は、図6(b)①のような、ほぼ余弦状分布である。本実験の場合、流量=0で、ほぼプール沸騰と考えられ、従って、発熱部入口より沸騰は開始すると考えると、各位置での蒸発量分布も、図6(b)①のようになる。蒸発した気泡は、上流側へ流動するため、ボイド率分布は、図6(b)①を、流れ方向へ積分した図6(b)②のような分布になる。局所ボイド率は、図6(b)②のボイド率分布の平均値が、実験で求めた平均ボイド率と一致するように規格化し、計算で求めた。

なお、以下では、平均ボイド率を $\bar{\alpha}$ 、局所ボイド率を $\alpha$ で示す。

#### 3.2 実験結果

液面計信号は、収録周波数1000Hz、チャンネル数10CHで、データ収録装置(磁気テープ)に収録された。液面計信号は、10CH中のある1CHに収録されており、その1CHについてみれば、液面計信号は、100Hzで収録されたことに相当する。以下の図面に示す液面計信号

は、特に断わりのないものは、全て、データ収録装置（磁気テープ）より、再生周波数 50 Hz で、紙送り速度 6 cm/min のペン書記録計に出力されたものである。液面計信号は、10 CH のある 1 CH に収録されているため、その 1 CH について見れば、再生周波数 5 Hz で出力されたことに相当する。なお、以下の各図面は、ペン書記録計出力をそのまま縮小コピーしたもので、ペン書記録計の 1 cm は、図面では 2 目盛（縦線 2 つ）に相当する。

この再生周波数と液面計信号の関係については、後で、ある Run について、再生周波数を変化させた場合の液面計信号の比較を示す。

まず、図 7 に、ケース A（水位が、液面計位置より上にある）の場合の液面計信号を示す。信号は、実験開始前 1 秒から、実験開始後 15 秒まで示してあり、また信号の上には、適当な時刻において（撮影時刻は矢印で示す）、スチールカメラによって撮影した二相流流動状態の写真を示す（図 8～図 10 においても同じ）。なお、写真には、障害物のため、テスト部左側約 2/3 の部分の流動状態のみしか撮影されていない（図 8～図 11 についても同じ）。図 7 より、液面計が完全に液相中にあるとき、約 4.5 V の信号（“液相レベル信号”）を示し、完全に気相中にあるとき約 0 V の信号（“気相レベル信号”）を示すことがわかる（図 8～図 12 においても同じ）。また、図より、ボイド率がある値以下の小気泡の場合、液面計信号は、液相レベル信号のみしか示さず、ボイド率がある値以上では、ボイド率の増加にともない、液相レベル信号から気相レベル信号への“信号のふれ”の数、および幅が増加することがわかる。図 7 (e) および (f) では、液面の振動が激しいため、その液面の上下動の効果が、液面計信号に寄与している可能性がある。この効果を避けるためには、水位をもっと高くした実験が望まれるが、液面計取付け位置、流動状態可視可能なテスト部高さ方向範囲との関係で不可能である。

次に、図 8 に、ケース B（水位が、液面計付近にある）の場合の液面計信号を示す。信号は、液相レベル信号より気相レベル信号まで、ほぼ全範囲にわたって振動し、ボイド率の増大とともに、信号の振動の周波数は増大する。

図 9 は、ケース C（水位は、液面計位置より下方にあるが、液面振動により、時々、水位が、液面計位置より上方まで移動することがある）の場合の液面計信号である。気相レベル信号から液相レベル信号への信号のふれは、テレビビデオ撮影の結果、液面の液面計位置上方への上昇（主としてボイド率小の場合）、あるいは水の液面計位置上方への吹き上げ（主としてボイド率大の場合）と正確に対応している。ところで、液面計位置上方への水の上昇あるいは吹き上げの量、および頻度は、平均的水位およびボイド率によって影響される。しかし、実験では、水位をケース C の全 Run で、正確にそろえることが困難であった。従って、図 9 では、その影響が大の結果となっており、ボイド率との関係は、この図からは明確ではない。もし、平均的水位を正確にそろえることができれば、ボイド率の増大とともに、液面計位置上方への水の上昇あるいは吹き上げの頻度、従って、信号のふれの頻度は、増大するものと思われる。

図 10 は、水位がケース D（水位は、液面計位置より十分下方にあり、液面振動によっても、水位が、液面計位置より上方まで移動することがない）の場合の液面計信号である。液面計位置上方への水の上昇あるいは吹き上げが全くない場合、信号は、気相レベル信号のみを示す。ボイド率を変化させても同一の信号であるため、その実験は行わなかった。

次に、図 11 に、ケース E（水位が、時間的に下降する）の場合の液面計信号を示す。この

ケースの場合、水位が時間的に下降するため、平均ポイド率は、液面下降後、下降を停止させ、その停止した時の水位を二相流時水位 $L$ として、前述(3.1節参照)の方法により測定した。図中に示された液面降下速度は、(テレビビデオ撮影結果より求めた)液面降下前後の平均水位、およびその間の経過時間より求めた。図11では、そのようにして求められた液面降下速度より、平均的水位が液面計位置を通過する時刻を計算により求め、その時刻を時刻=0とした。信号は、時刻=0の±40秒について示してある。また、横軸には、時刻以外に、上述の液面降下速度より計算により求めた平均的水位が、カッコ内に示してある(+は液面計位置上方、-は液面計位置下方を示す)。スチールカメラにより撮影した写真は、ほぼ10秒おきに示してある。図11に示された液面計信号は、水位の降下とともに、ケースA(図7)→ケースB(図8)→ケースC(図9)→ケースD(図10)の信号を、順次示している。

図12は、Run A-3について、再生周波数が、(a) 5 Hz, (b) 50 Hz, (c) 500 Hz, (d) 5000 Hzの計4つの場合について液面計信号を示したものである。液面計信号は、前述のように10 CH中のある1 CHに収録されているため、その1 CHについて見れば、再生周波数(a) 5 Hz (10 CH), (b) 50 Hz (10 CH), (c) 500 Hz (10 CH), (d) 5000 Hz (10 CH)は、それぞれ(a) 0.5 Hz, (b) 5 Hz, (c) 50 Hz, (d) 500 Hzに相当する。図12は、上記4つの再生周波数で、紙送り速度6 cm/min (1 cmは、横軸2目盛に相当)、応答周波数数Hz (10Vフルスケール)のペン書記録計に、液面計信号を書き出したものである。以上まとめると、液面計信号は、信号の収録された1 CHについて見れば、収録周波数100 Hzでデータ収録装置(磁気テープ)に収録され、再生周波数(a) 0.5 Hz, (b) 5 Hz, (c) 50 Hz, (d) 500 Hzで再生され、応答周波数数Hzのペン書記録計に書き出されたことになる。

図12(a)では、収録された全てのデジタルデータが出力されており、(b)でも、収録されたほぼ全てのデータが出力されている。一方、(c)では、液相レベル信号から気相レベル信号への信号のふれ幅が(a)(b)より小さくなっており、(d)では、さらに信号のふれ幅は小さくなっている。これは、500 Hz ((d)) > 50 Hz ((c)) > 数Hz (ペン書記録計)のため、ペン書記録計が応答できないことによる。以上の理由から、本報告では、図7~図11の信号は、全て(b)と同じ再生周波数5 Hz (1 CHについて)のものを示した。なお、本実験では、収録周波数一定で、再生周波数を変化させた場合であるが、再生周波数が十分小さい場合、収録周波数を変化させた場合にも、当然、信号の差が現われるものと考えられる。なお、ROSA-III実験においては、収録周波数5~10 Hzでデータ収録装置(磁気テープ)に収録したものを、計算機処理し図面化している。

ところで、以上の実験結果図7~図12における局所ポイド率の値は、前述(3.1節参照)の方法により計算で求めたものであるが、図7(ケースA)および図12については、液面計位置における局所ポイド率の値、図8(ケースB)~図11(ケースE)については、液面における局所ポイド率の値を示している。

## 4. 差圧についての実験

### 4.1 実験方法

差圧についての実験も、液面計信号についての実験と同様に、二相流体の水位が静止の状態で行われ、蒸発量に相当する水のみが、水入口より供給された。

テスト部での圧力損失は、前述(2章および図1参照)のように、2つの差圧( $\Delta P_1$ および $\Delta P_2$ )に分けて測定したが、実験結果の整理においては、その和を求め、全圧力損失 $\Delta P$ とした i.e.  $\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2$ 。平均ボイド率の値 $\bar{\alpha}$ は、液面計信号についての実験の場合と同じ方法(3.1節参照)で求めた。

### 4.2 実験結果

差圧についての実験は、1章において述べたように、沸騰二相流の位置損失が、従来の簡単な理論式と一致することを、確かめるために行った。従って、まず、実験結果を示す前に、従来の沸騰二相流位置損失に関する簡単な理論式について述べる。

沸騰二相流の全圧力損失は、位置損失、摩擦損失および加速損失の和である。しかし、本実験の実験範囲では、位置損失 $\sim 0.02$  MPa、摩擦損失 $\sim 10^{-6}$  MPa以下、加速損失 $\sim 10^{-6}$  MPa以下であり、位置損失以外は無視できる。従って、単位長さ当りの位置損失は、次式で表わされる。

$$\Delta P/L = (1-\bar{\alpha})r_l + \bar{\alpha}r_g \approx (1-\bar{\alpha})r_l \quad (1)$$

ここで、 $L$ は、差圧を測定する区間の長さ、 $r_l$ および $r_g$ は、水および蒸気の比重量である。

次に、実験結果について述べる。差圧計信号は、流動不安定現象のため振動するが、それを模式的に示したのが図13である。振動の振幅はボイド率の増加とともに増大するが、時間的には図のように、 $\Delta P_1$ が最小値をとる( $\Delta P_{1\min}$ )時、 $\Delta P_2$ は最大値をとり( $\Delta P_{2\max}$ )、 $\Delta P_1$ が最大値をとる( $\Delta P_{1\max}$ )時、 $\Delta P_2$ は最小値をとる( $\Delta P_{2\min}$ )。さらに、その絶対値の間には、 $\Delta P_1$ の平均値を $\Delta P_{1\text{ave}}$ 、 $\Delta P_2$ の平均値を $\Delta P_{2\text{ave}}$ とすると、

$$\begin{aligned} \Delta P &= \Delta P_{1\text{ave}} + \Delta P_{2\text{ave}} \approx \Delta P_{1\min} + \Delta P_{2\max} \\ &\approx \Delta P_{1\max} + \Delta P_{2\min} \end{aligned}$$

の関係がある。従って、結果の整理においては、 $\Delta P_{1\text{ave}} + \Delta P_{2\text{ave}} = \Delta P$ として、 $\Delta P$ を求めたが、 $\Delta P_{1\text{ave}} + \Delta P_{2\text{ave}}$ の値と、 $\Delta P_{1\min} + \Delta P_{2\max}$ および $\Delta P_{1\max} + \Delta P_{2\min}$ の値の差は、高々0.4%であった。また、二相流時水位 $L$ も、ボイド率増大とともに、激しく振動するが、その平均値を $L$ として、平均ボイド率 $\bar{\alpha}$ を求めた。

以上のようにして求めた実験結果を、 $\Delta P/L$ と $\bar{\alpha}$ の関係で整理して、図14に示す(図中の○印)。実験データは、従来の簡単な理論式 i.e. (1)式によく一致している。ところで、図中の縦方向の誤差棒は、 $\Delta P$ として $\Delta P_{1\max} + \Delta P_{2\max}$ 又は $\Delta P_{1\min} + \Delta P_{2\min}$  ( $\Delta P_{1\min} + \Delta P_2$

$\bar{m}_{\max}$  又は  $\Delta P_{1\max} + \Delta P_{2\min}$  とは異なる) を使用し、 $L$  としては平均の水位を使用した場合の値を上下端として求めたものである。また、横方向の誤差棒は、二相流体の水位を  $L$  として、振動する水位の上下端を用いて、平均ボイド率  $\bar{\alpha}$  を求めた場合の値を左右端として求めたものである。二相流体の水位として、上下端を用いた場合と平均値を用いた場合の平均ボイド率の値の差は、最大  $\pm 9\%$  にもなるが、これは、沸騰に伴う激しい液面振動によるものである。

図 14 より、差圧と平均ボイド率との間の関係は、従来の簡単な理論式 i. e. (1) 式とよく一致することが明らかとなった。従って、測定された差圧の値より平均ボイド率を求めることもできる。一方、3章の液面計実験では、二相流体水位とヒータ off 後の单相流体水位の測定結果より、平均ボイド率の値を求めた。そこで、この両者、すなわち水位差より求めた平均ボイド率の値と、差圧より求めた平均ボイド率の値との比較を行ったが、それを図 15 に示す。図 15 は、液面計実験のケース A ~ D の全 Run について、両者の比較を示したものである。図 15 より明らかなように、Run A-4 および A-5 では両者の差は相当大きい、これはこの 2 Run の前の水および空気による单相流体較正時に問題があったためと思われる。

## 5. 結 言

大気圧下における ROSA-III 用触針式沸騰液面計信号と、沸騰二相流の水位および流動状態の写真撮影結果の比較により、次のことが明らかとなった。

- (1) 水位が液面計位置より上にある場合、液面計信号は、单相流では液相レベル信号を示し、二相流の場合、液相レベル信号から気相レベル信号への信号のふれが現われるが、ボイド率の増大とともに、この信号のふれの数および幅は増大する。
- (2) 水位が液面計位置付近にある場合、液面計信号は、液相レベル信号より気相レベル信号までほぼ全範囲にわたって振動し、ボイド率の増大とともに、信号の振動の周波数は増大する。
- (3) 水位が液面計位置より下にある場合、液面計信号は、気相レベル信号を示すが、液面振動による液面の液面計位置上方への上昇、あるいは水の液面計位置上方への吹き上げのある場合、気相レベル信号から液相レベル信号への信号のふれが現われる。
- (4) 液面計信号は、データ収録装置の収録周波数の値により、信号のふれ幅が異なる。

次に、大気圧下における沸騰二相流の水位と差圧の関係を確かめる実験の結果、水位と位置損失の関係は、従来の簡単な理論式とよく一致することが確認された。

## 謝 辞

本実験に際し、実験計画および結果について貴重な助言および討論を賜った安全工学第一研究室の安濃田、片多両氏、また、実験遂行の際に助力頂いた原子力エンジニアリング会社の朝日、小平、高安、関口、北野および沼田の各氏に、感謝の意を表します。

$\bar{\alpha}_{\max}$  又は  $\Delta P_{1\max} + \Delta P_{2\min}$  とは異なる) を使用し、 $L$  としては平均の水位を使用した場合の値を上下端として求めたものである。また、横方向の誤差棒は、二相流体の水位を  $L$  として、振動する水位の上下端を用いて、平均ボイド率  $\bar{\alpha}$  を求めた場合の値を左右端として求めたものである。二相流体の水位として、上下端を用いた場合と平均値を用いた場合の平均ボイド率の値の差は、最大±9%にもなるが、これは、沸騰に伴う激しい液面振動によるものである。

図14より、差圧と平均ボイド率との間の関係は、従来の簡単な理論式 i.e. (1)式とよく一致することが明らかとなった。従って、測定された差圧の値より平均ボイド率を求めることもできる。一方、3章の液面計実験では、二相流体水位とヒータ off 後の单相流体水位の測定結果より、平均ボイド率の値を求めた。そこで、この両者、すなわち水位差より求めた平均ボイド率の値と、差圧より求めた平均ボイド率の値との比較を行ったが、それを図15に示す。図15は、液面計実験のケースA~Dの全Runについて、両者の比較を示したものである。図15より明らかなように、Run A-4およびA-5では両者の差は相当大きい、これはこの2Runの前の水および空気による单相流体較正時に問題があったためと思われる。

## 5. 結 言

大気圧下における ROSA-III 用触針式沸騰液面計信号と、沸騰二相流の水位および流動状態の写真撮影結果の比較により、次のことが明らかとなった。

- (1) 水位が液面計位置より上にある場合、液面計信号は、单相流では液相レベル信号を示し、二相流の場合、液相レベル信号から気相レベル信号への信号のふれが現われるが、ボイド率の増大とともに、この信号のふれの数および幅は増大する。
- (2) 水位が液面計位置付近にある場合、液面計信号は、液相レベル信号より気相レベル信号までほぼ全範囲にわたって振動し、ボイド率の増大とともに、信号の振動の周波数は増大する。
- (3) 水位が液面計位置より下にある場合、液面計信号は、気相レベル信号を示すが、液面振動による液面の液面計位置上方への上昇、あるいは水の液面計位置上方への吹き上げのある場合、気相レベル信号から液相レベル信号への信号のふれが現われる。
- (4) 液面計信号は、データ収録装置の収録周波数の値により、信号のふれ幅が異なる。

次に、大気圧下における沸騰二相流の水位と差圧の関係を確かめる実験の結果、水位と位置損失の関係は、従来の簡単な理論式とよく一致することが確認された。

## 謝 辞

本実験に際し、実験計画および結果について貴重な助言および討論を賜った安全工学第一研究室の安濃田、片多両氏、また、実験遂行の際に助力頂いた原子力エンジニアリング会社の朝日、小平、高安、関口、北野および沼田の各氏に、感謝の意を表します。

$\bar{m}_{\max}$  又は  $\Delta P_{1\max} + \Delta P_{2\min}$  とは異なる) を使用し、 $L$  としては平均の水位を使用した場合の値を上下端として求めたものである。また、横方向の誤差棒は、二相流体の水位を  $L$  として、振動する水位の上下端を用いて、平均ボイド率  $\bar{m}$  を求めた場合の値を左右端として求めたものである。二相流体の水位として、上下端を用いた場合と平均値を用いた場合の平均ボイド率の値の差は、最大  $\pm 9\%$  にもなるが、これは、沸騰に伴う激しい液面振動によるものである。

図 14 より、差圧と平均ボイド率との間の関係は、従来の簡単な理論式 i. e. (1) 式とよく一致することが明らかとなった。従って、測定された差圧の値より平均ボイド率を求めることもできる。一方、3章の液面計実験では、二相流体水位とヒータ off 後の单相流体水位の測定結果より、平均ボイド率の値を求めた。そこで、この両者、すなわち水位差より求めた平均ボイド率の値と、差圧より求めた平均ボイド率の値との比較を行ったが、それを図 15 に示す。図 15 は、液面計実験のケース A ~ D の全 Run について、両者の比較を示したものである。図 15 より明らかなように、Run A - 4 および A - 5 では両者の差は相当大きい。これはこの 2 Run の前の水および空気による单相流体較正時に問題があったためと思われる。

## 5. 結 言

大気圧下における ROSA-III 用触針式沸騰液面計信号と、沸騰二相流の水位および流動状態の写真撮影結果の比較により、次のことが明らかとなった。

- (1) 水位が液面計位置より上にある場合、液面計信号は、单相流では液相レベル信号を示し、二相流の場合、液相レベル信号から気相レベル信号への信号のふれが現われるが、ボイド率の増大とともに、この信号のふれの数および幅は増大する。
- (2) 水位が液面計位置付近にある場合、液面計信号は、液相レベル信号より気相レベル信号まではほぼ全範囲にわたって振動し、ボイド率の増大とともに、信号の振動の周波数は増大する。
- (3) 水位が液面計位置より下にある場合、液面計信号は、気相レベル信号を示すが、液面振動による液面の液面計位置上方への上昇、あるいは水の液面計位置上方への吹き上げのある場合、気相レベル信号から液相レベル信号への信号のふれが現われる。
- (4) 液面計信号は、データ収録装置の収録周波数の値により、信号のふれ幅が異なる。

次に、大気圧下における沸騰二相流の水位と差圧の関係を確かめる実験の結果、水位と位置損失の関係は、従来の簡単な理論式とよく一致することが確認された。

## 謝 辞

本実験に際し、実験計画および結果について貴重な助言および討論を賜った安全工学第一研究室の安濃田、片多両氏、また、実験遂行の際に助力頂いた原子力エンジニアリング会社の朝日、小平、高安、関口、北野および沼田の各氏に、感謝の意を表します。



References

- 1) Y.Anoda,et al., ROSA-III System Description, JAERI-M 9243 (1980)
- 2) M.Sobajima,et al., Instrumentation and Data Processing for ROSA-III Test, JAERI-M 8499 (1979)

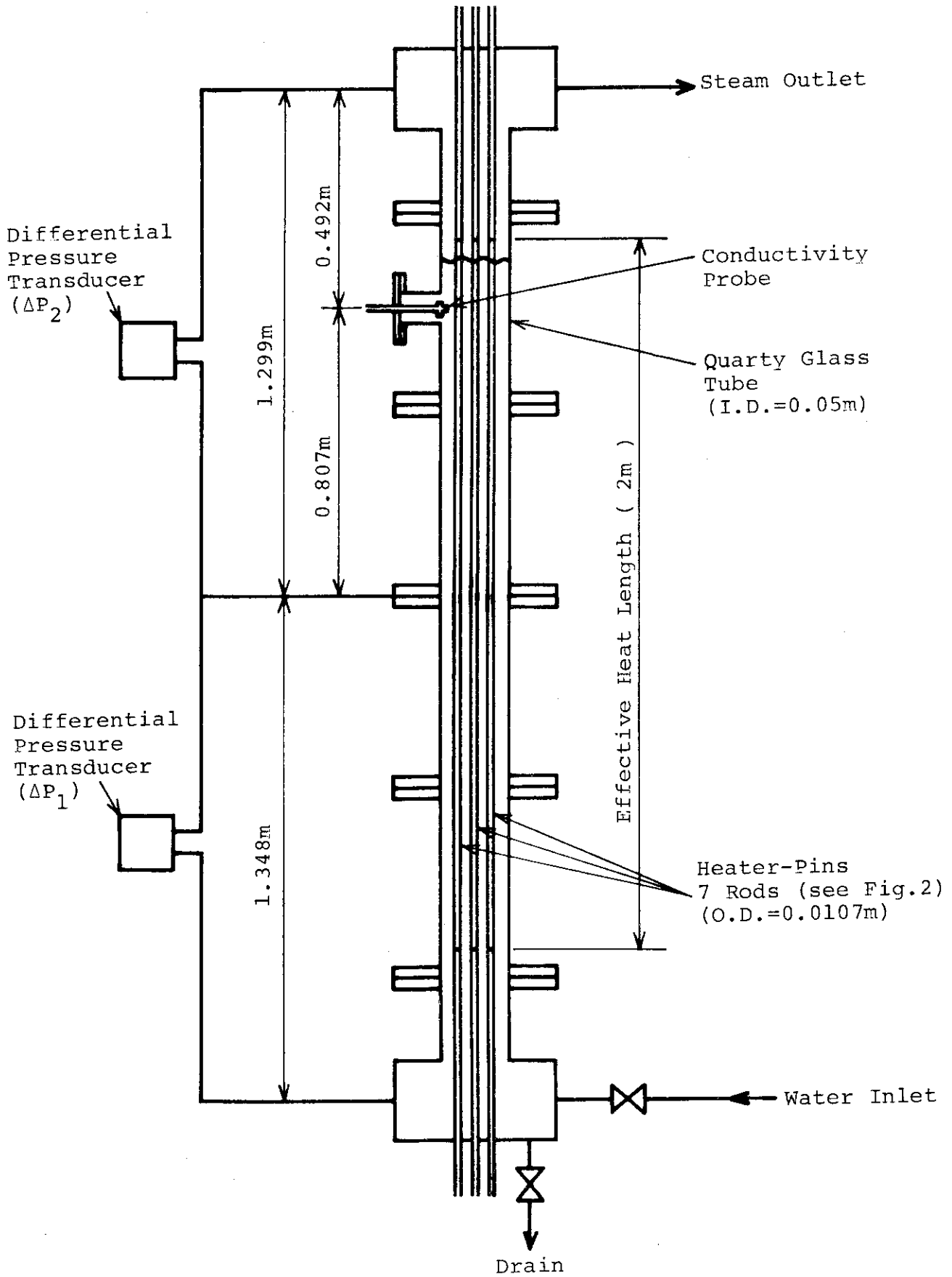


Fig.1 Schematic Diagram of Experimental Apparatus

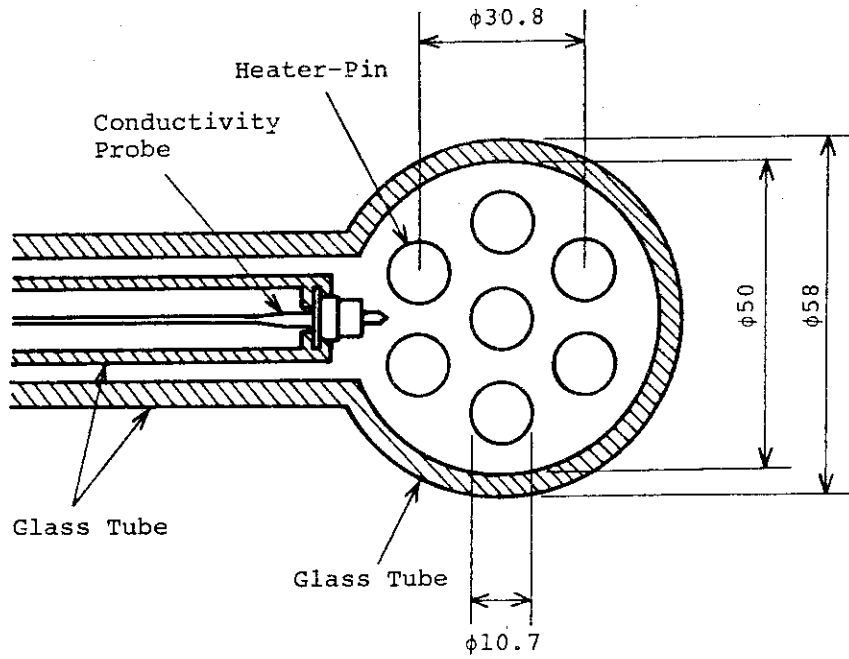


Fig.2 Cross Section of Test Section

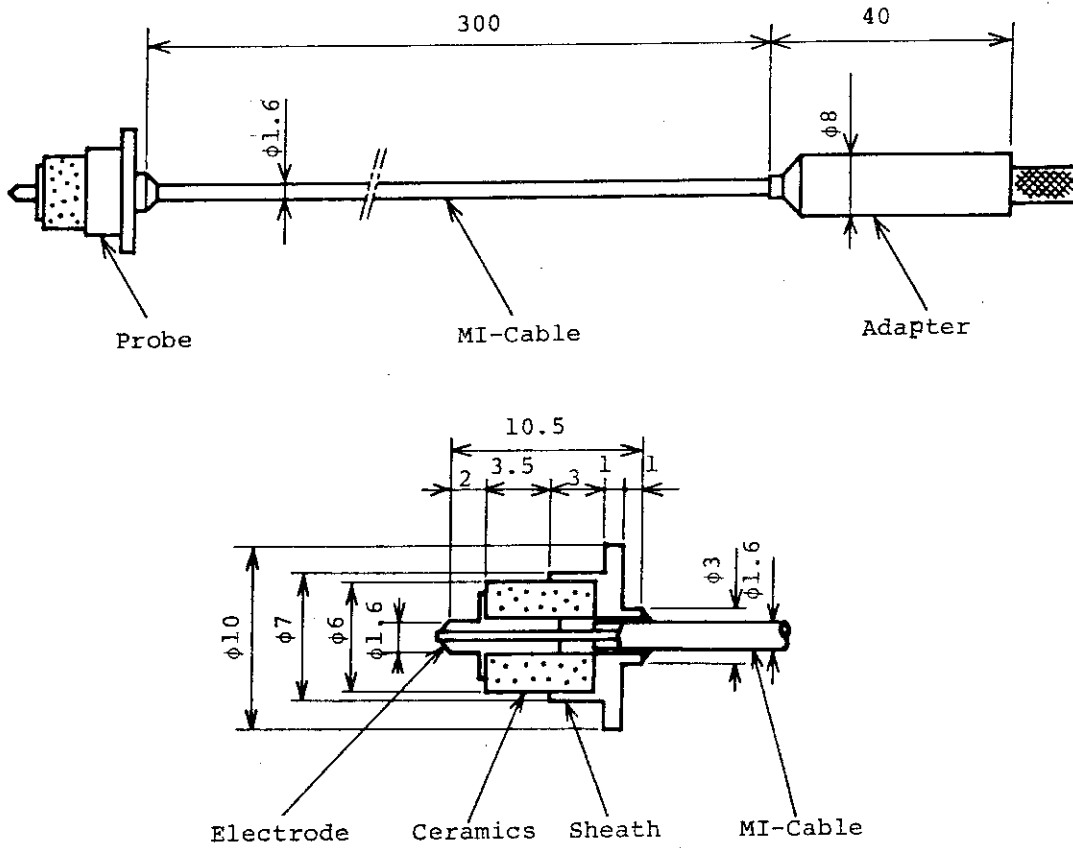


Fig.3 Conductivity Probe

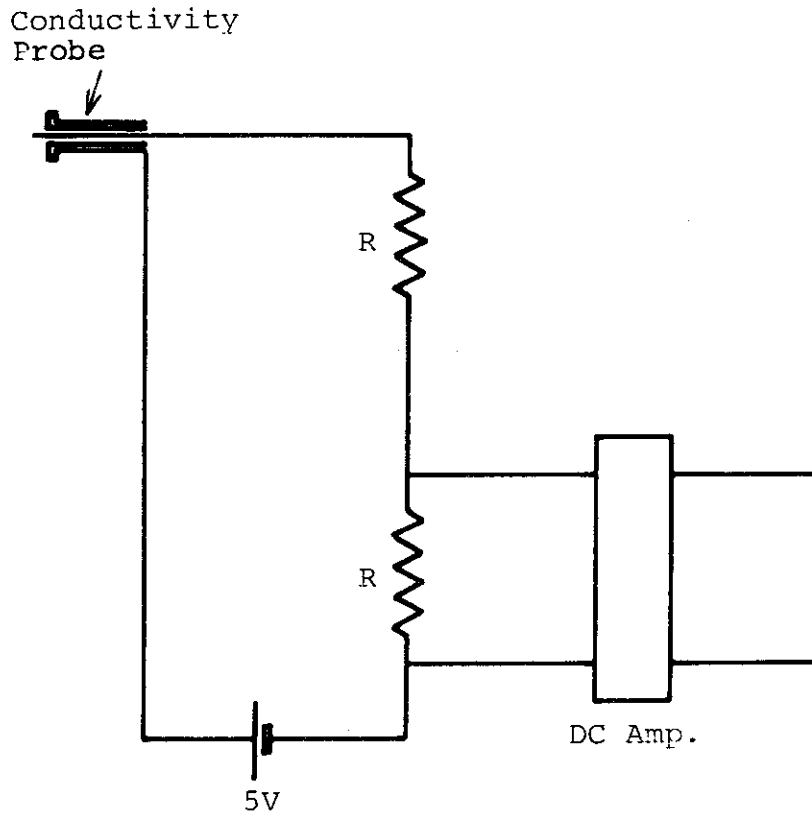


Fig.4 Electric Circuit Diagram for Conductivity Probe

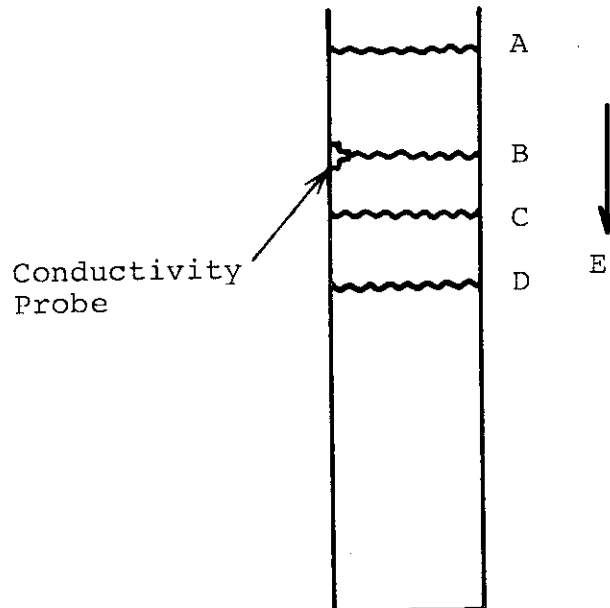


Fig.5 Liquid Level

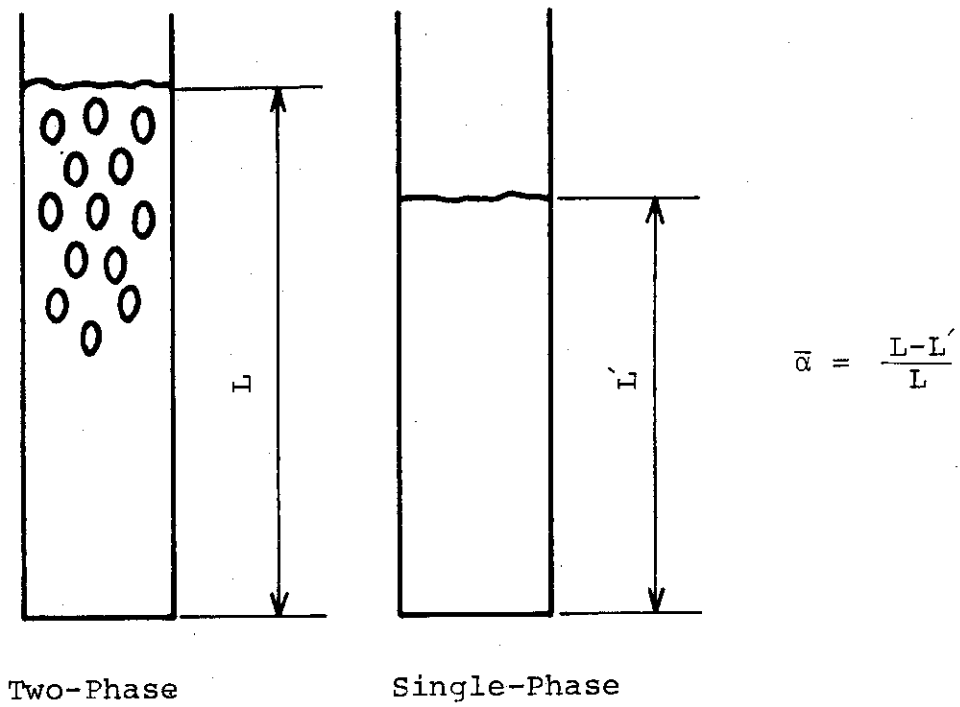


Fig.6(a) Average Void Fraction

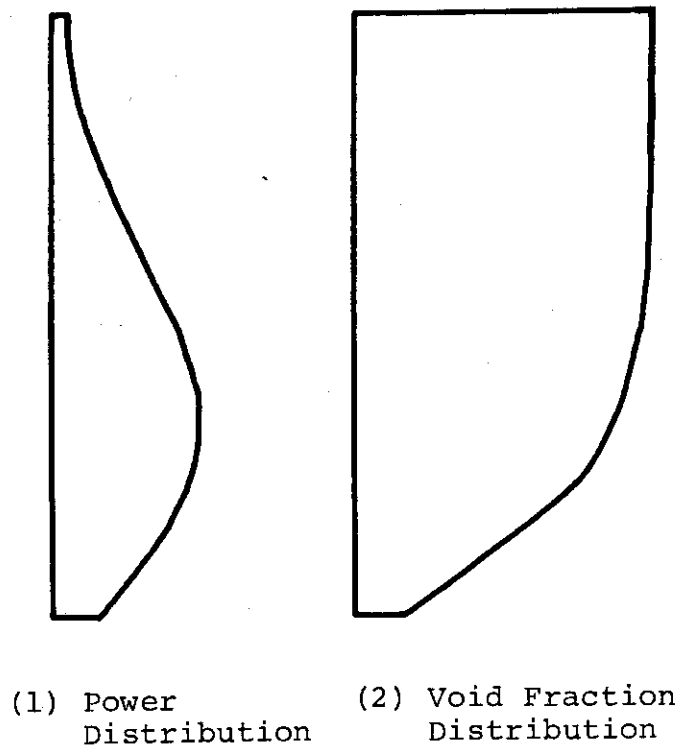


Fig.6(b) Local Void Fraction

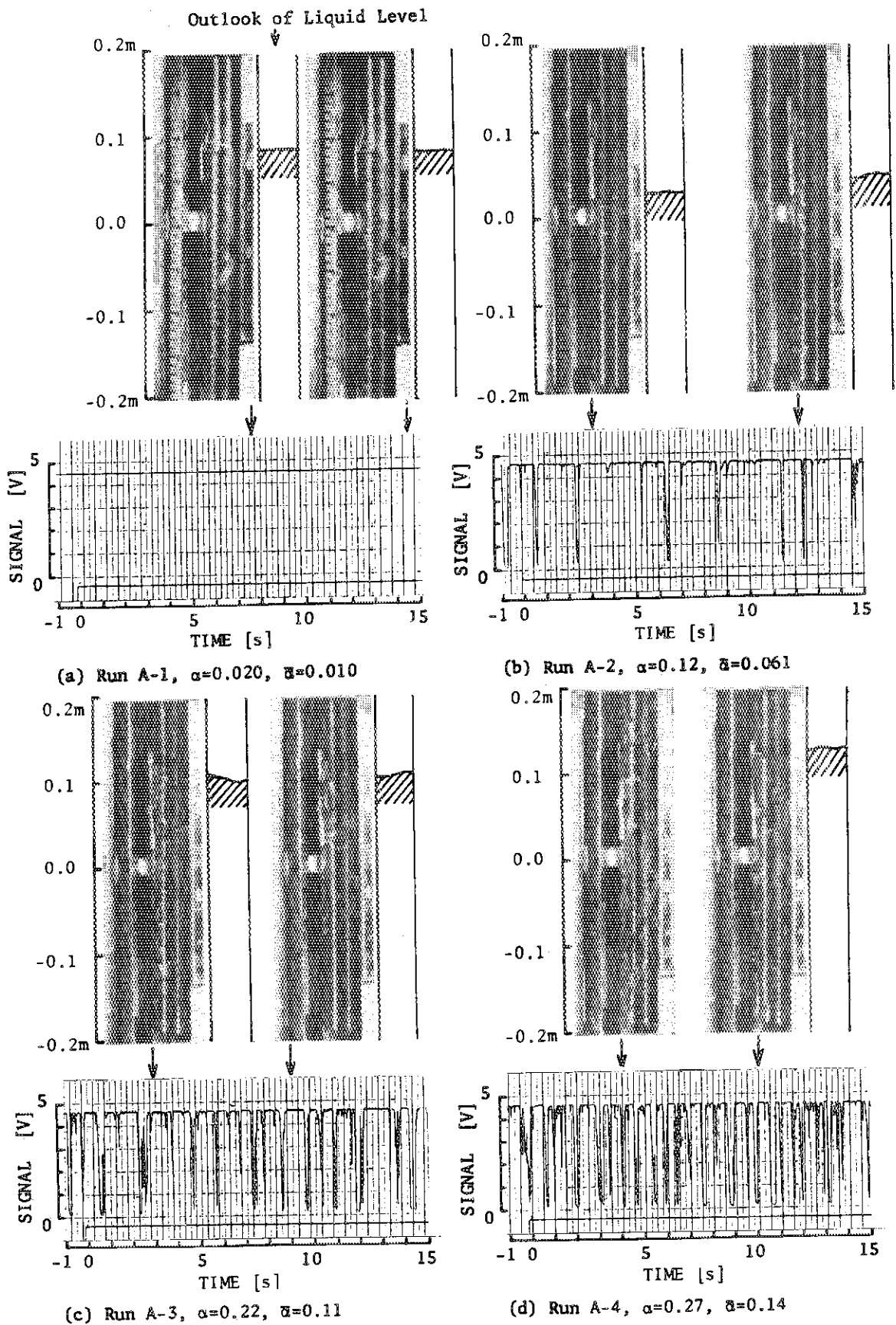
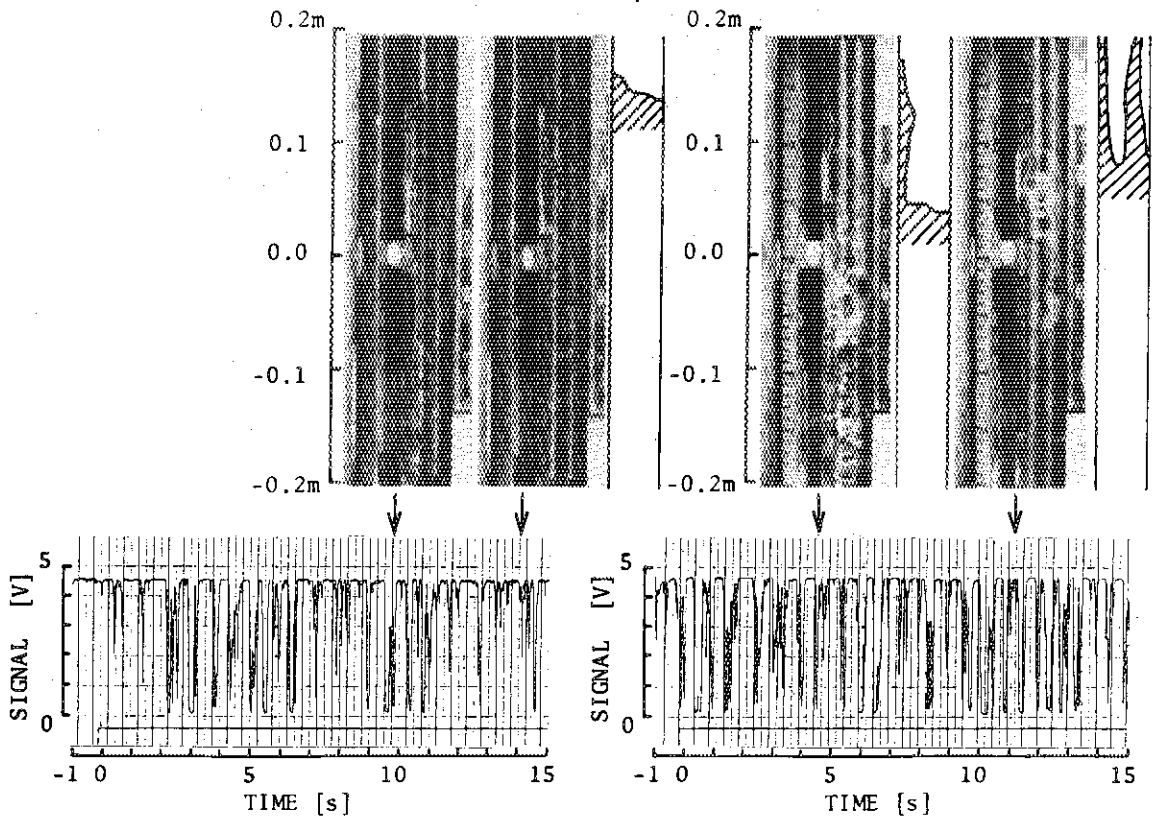


Fig.7 Liquid Level Signals ( Case A )

Outlook of Liquid Level



(e) Run A-5,  $\alpha=0.35$ ,  $\bar{\alpha}=0.18$

(f) Run A-6,  $\alpha=0.41$ ,  $\bar{\alpha}=0.22$

Fig.7 ( Continued )

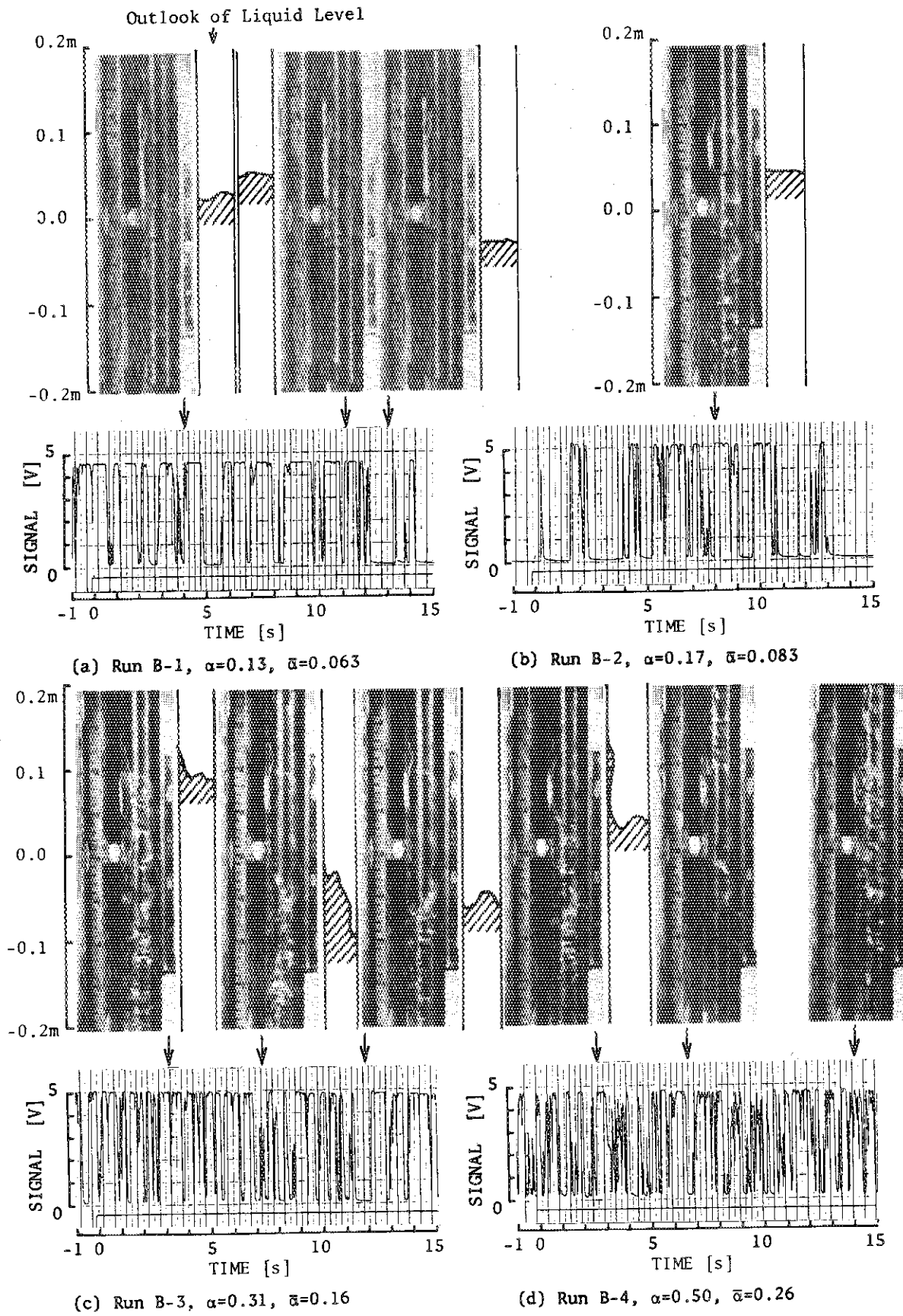


Fig.8 Liquid Level Signals ( Case B )



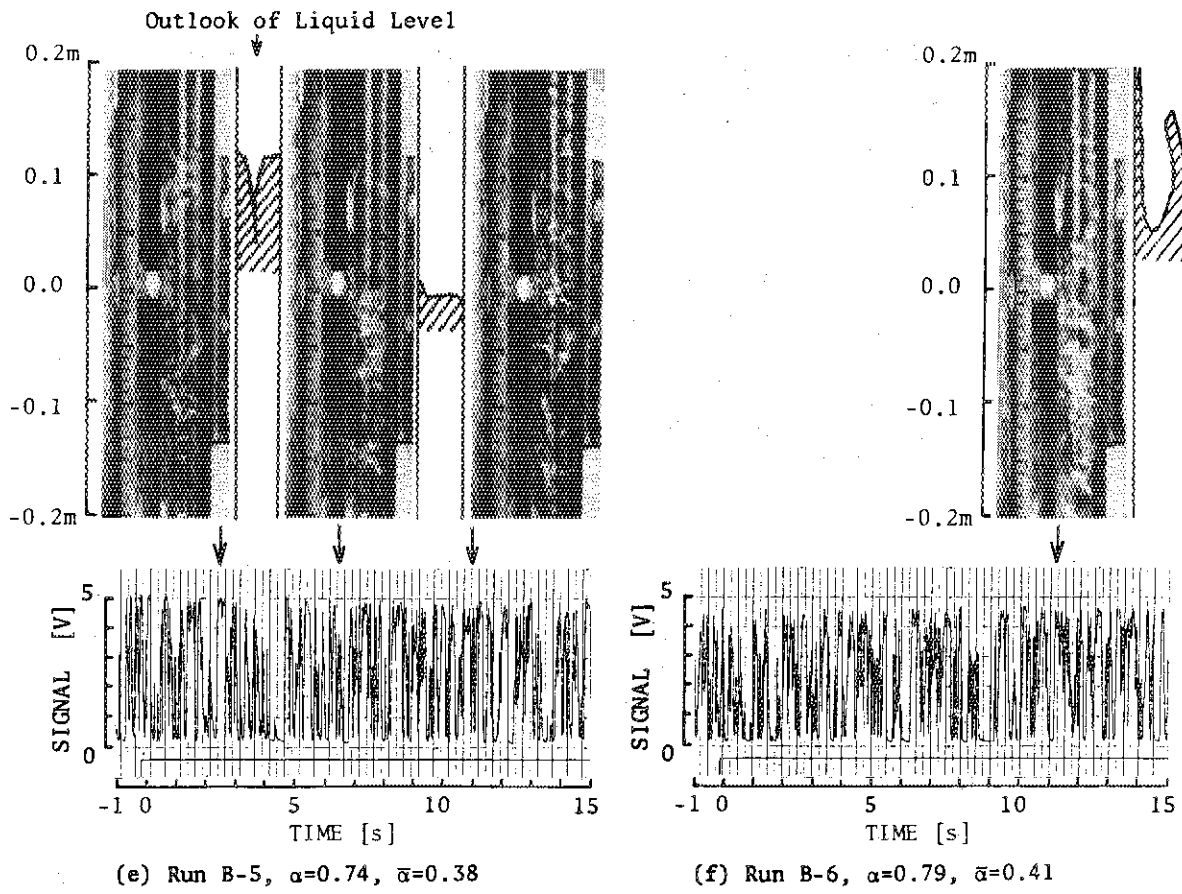


Fig.8 ( Continued )

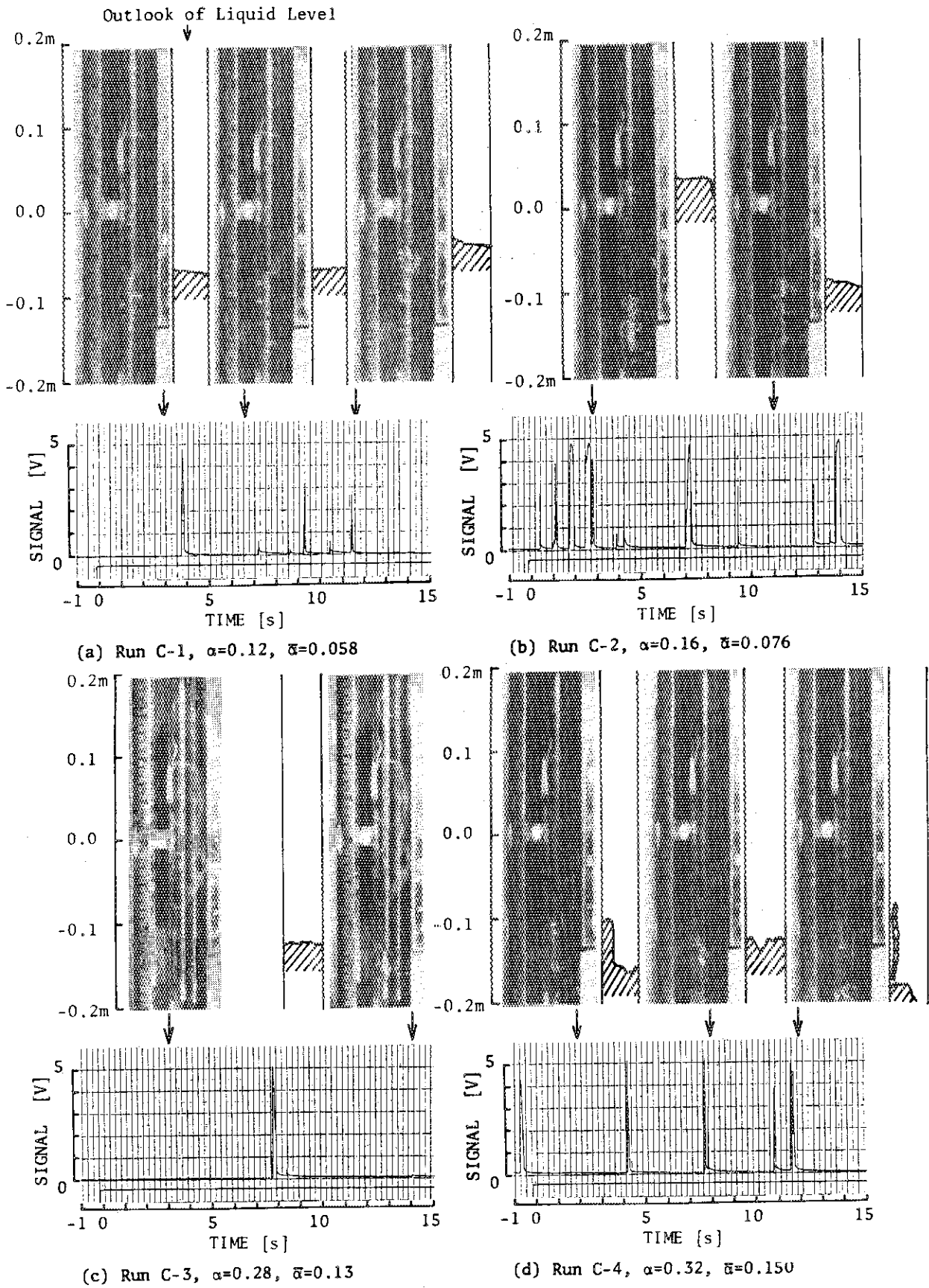
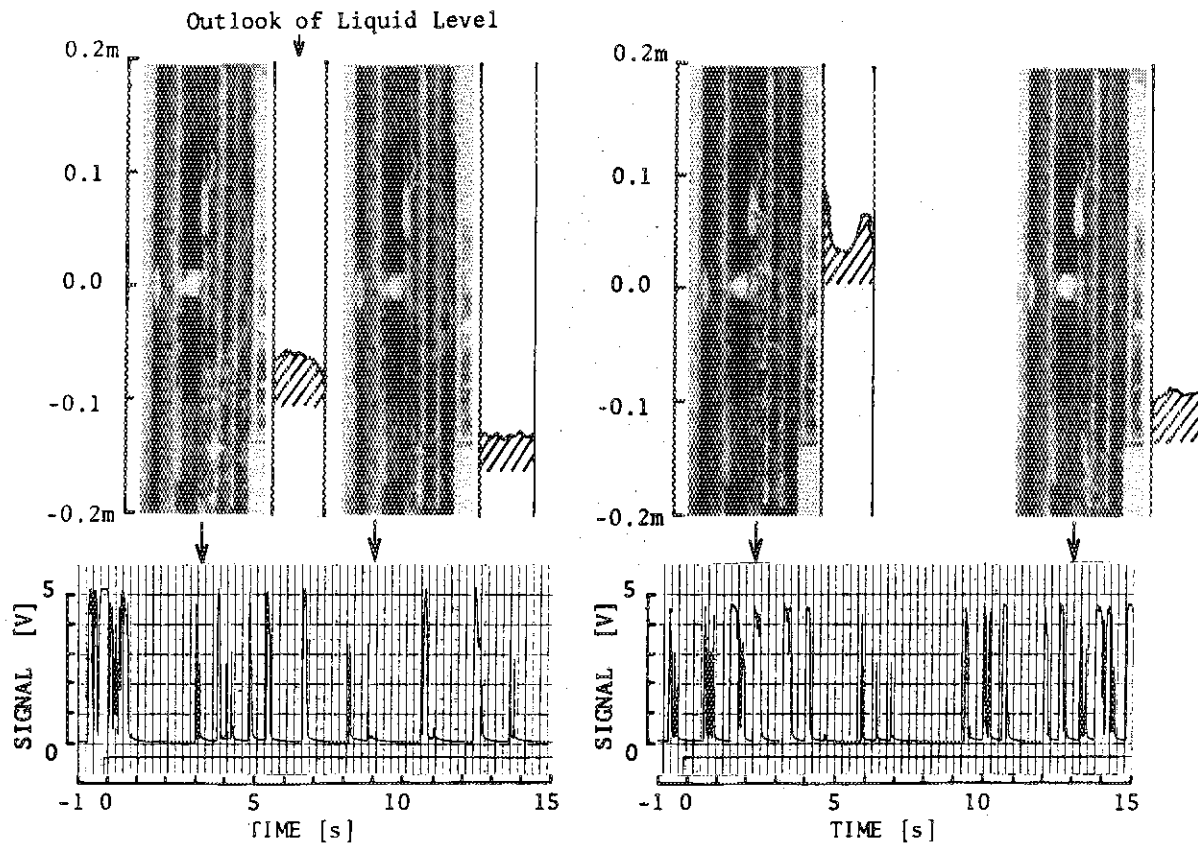
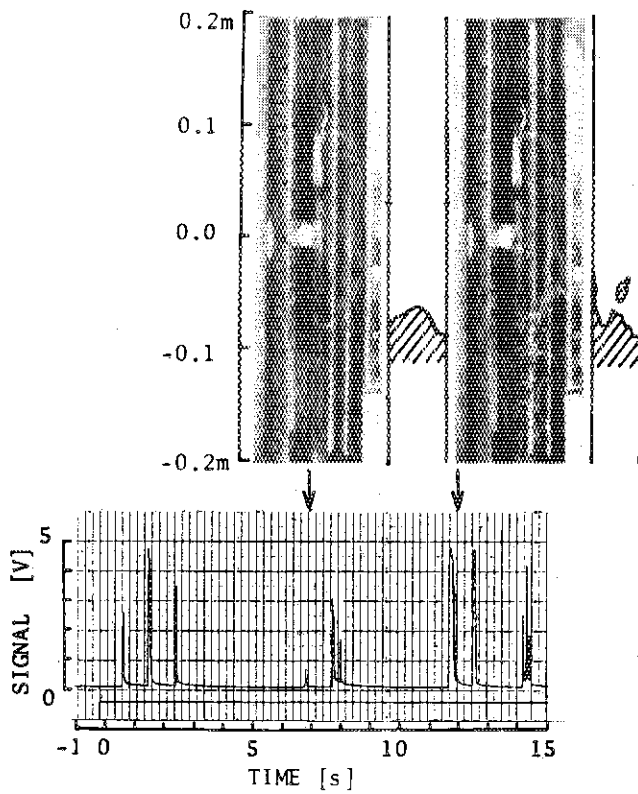


Fig.9 Liquid Level Signals ( Case C )



(e) Run C-5,  $\alpha=0.31$ ,  $\bar{\alpha}=0.152$

(f) Run C-6,  $\alpha=0.43$ ,  $\bar{\alpha}=0.21$



(g) Run C-7,  $\alpha=0.47$ ,  $\bar{\alpha}=0.22$

Fig.9 ( Continued )

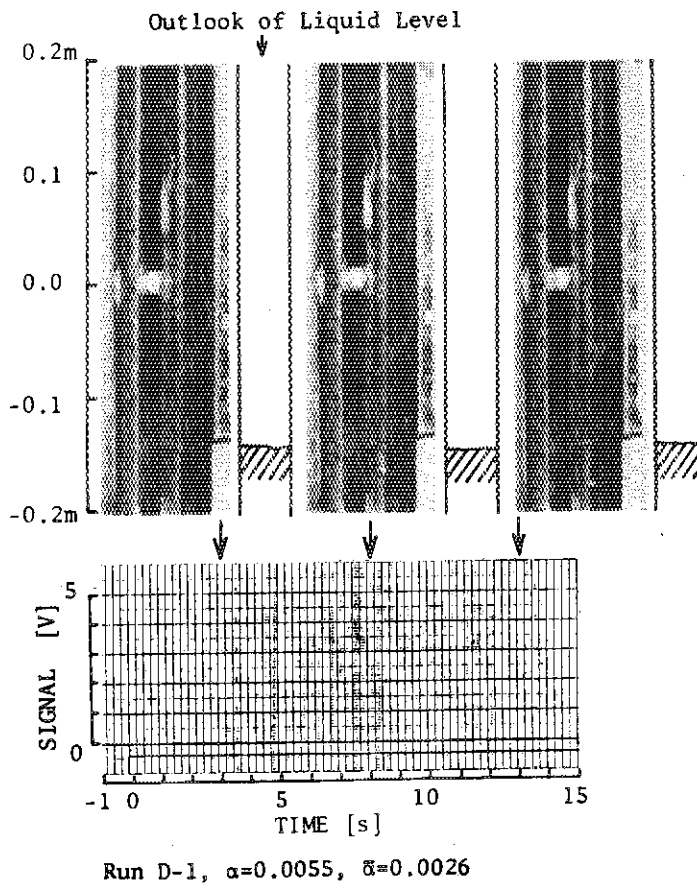
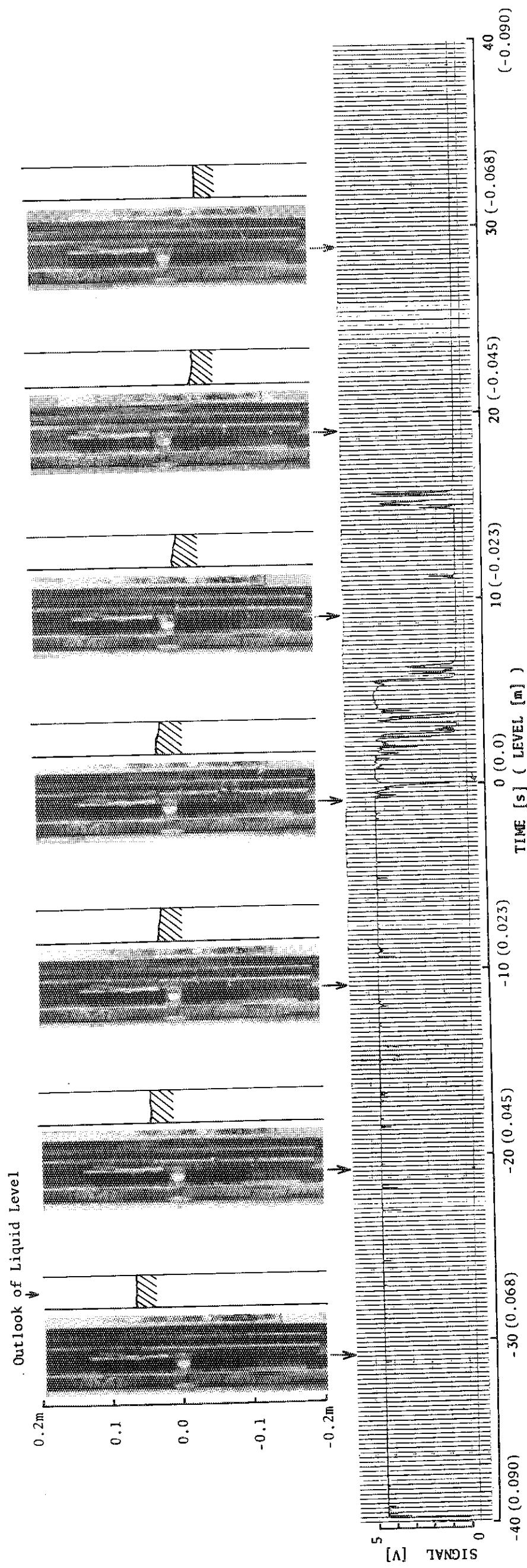
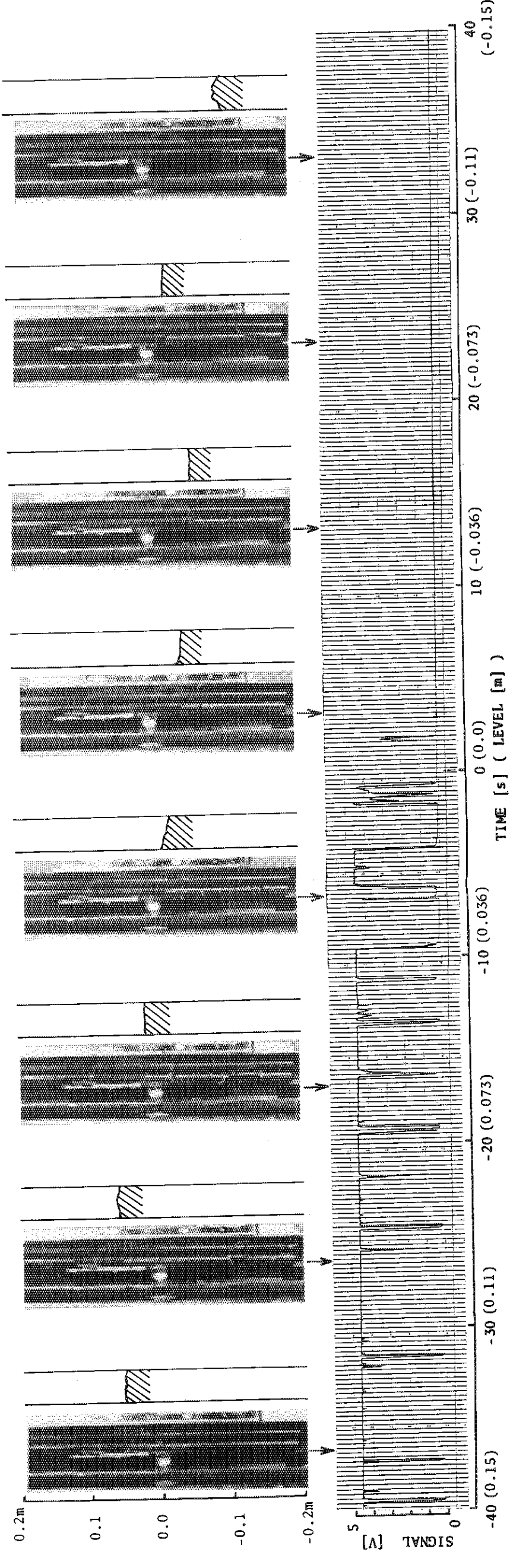


Fig.10 Liquid Level Signal ( Case D )

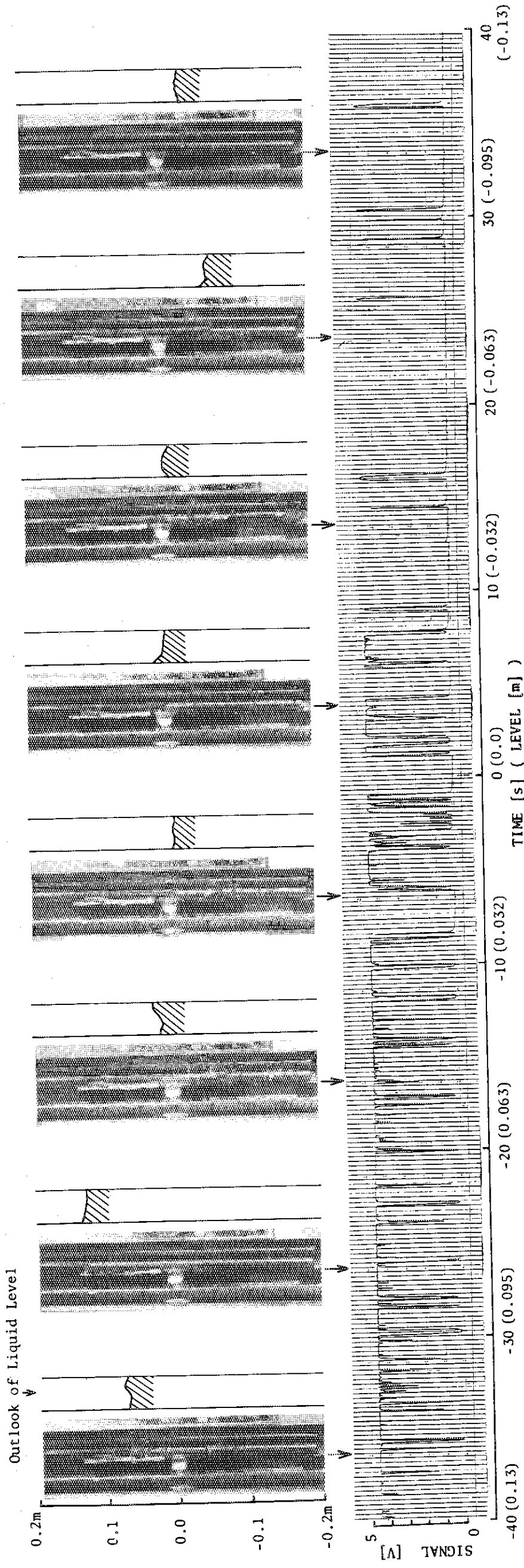


(a) Run E-1,  $\alpha=0.049$ ,  $\bar{\alpha}=0.024$ , Descending Velocity of Liquid Level = 0.0023m/s

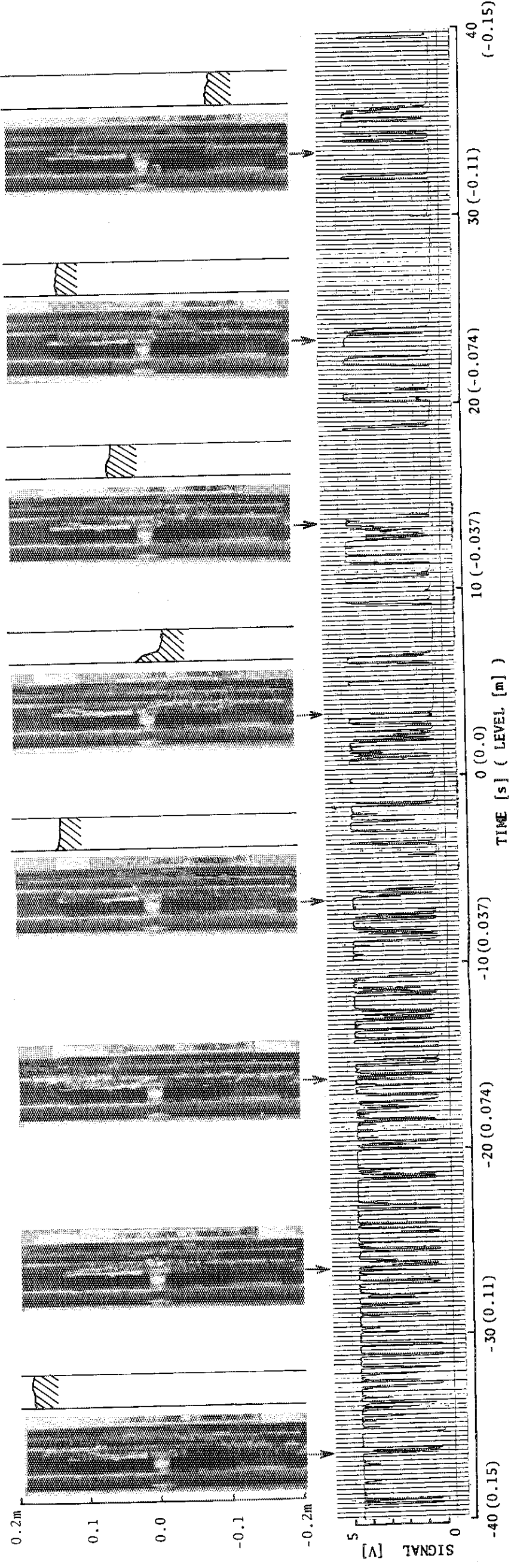


(b) Run E-2,  $\alpha=0.064$ ,  $\bar{\alpha}=0.030$ , Descending Velocity of Liquid Level = 0.0036m/s

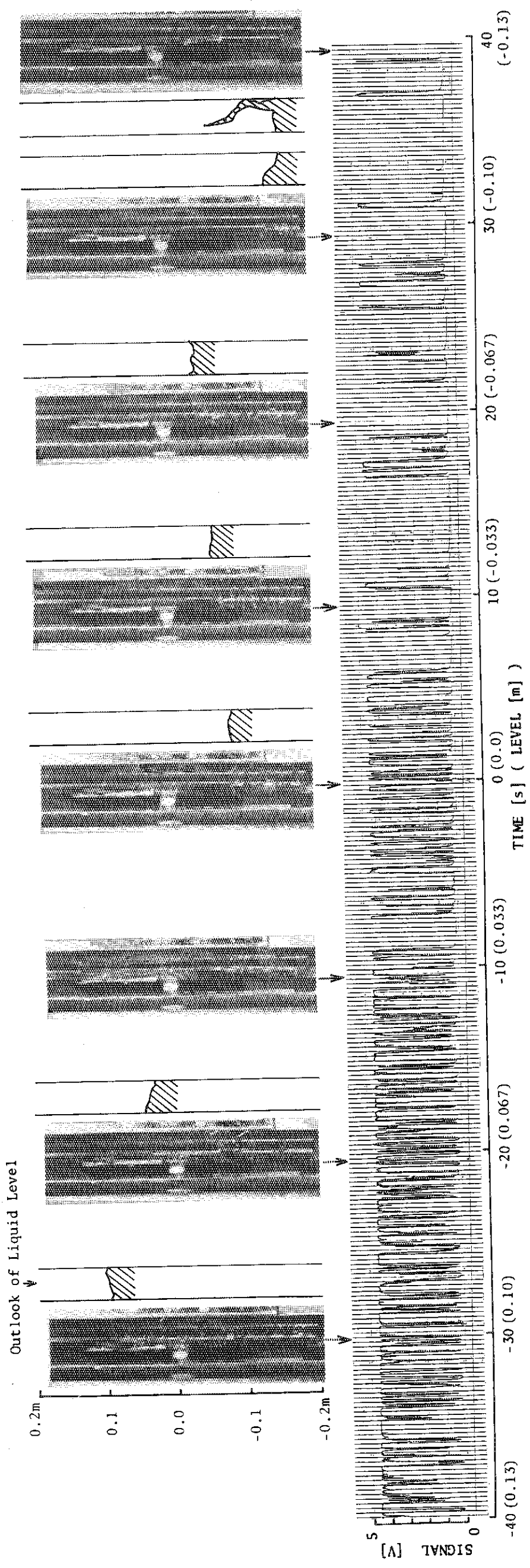
Fig.11 Liquid Level Signals ( Case E )



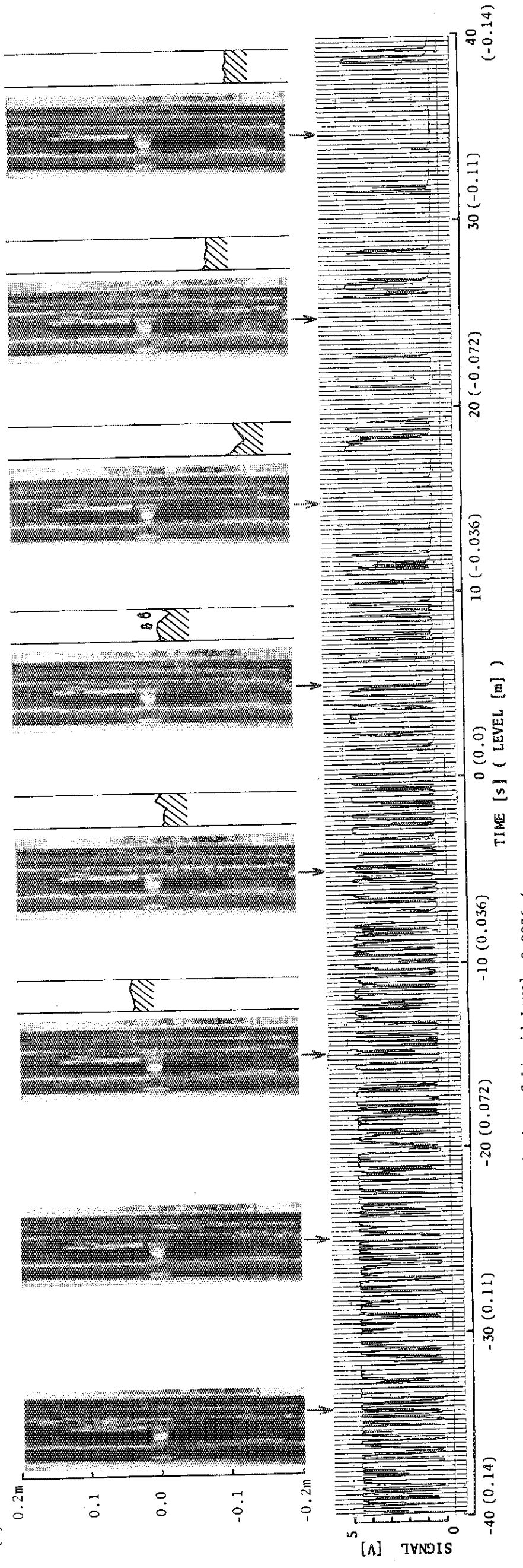
(c) Run E-3,  $\alpha=0.16$ ,  $\bar{\alpha}=0.075$ , Descending Velocity of Liquid Level = 0.0032m/s



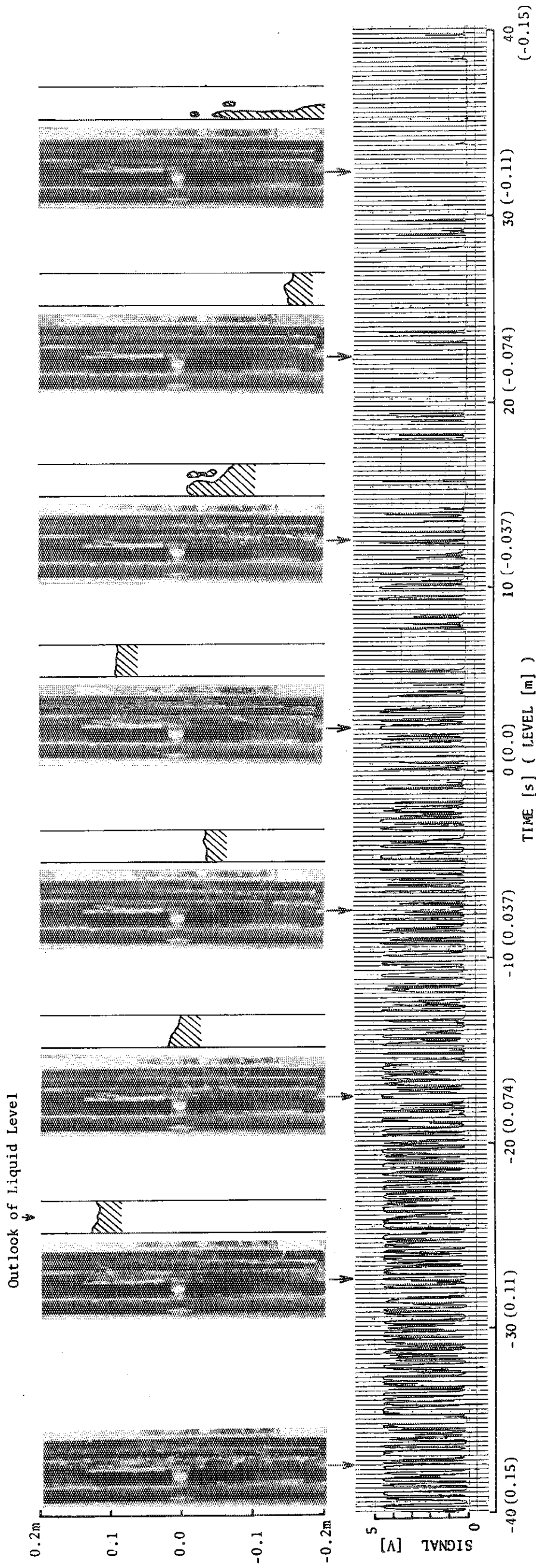
(d) Run E-4,  $\alpha=0.23$ ,  $\bar{\alpha}=0.11$ , Descending Velocity of Liquid Level = 0.0037m/s



(e) Run E-5,  $\alpha=0.29$ ,  $\bar{\alpha}=0.14$ , Descending Velocity of Liquid Level = 0.0035m/s



(f) Run E-6,  $\alpha=0.37$ ,  $\bar{\alpha}=0.17$ , Descending Velocity of Liquid Level = 0.0036m/s



(g) Run E-7,  $\alpha=0.46$ ,  $\beta=0.21$ , Descending Velocity of Liquid Level = 0.0037m/s

Fig.11 ( Continued )



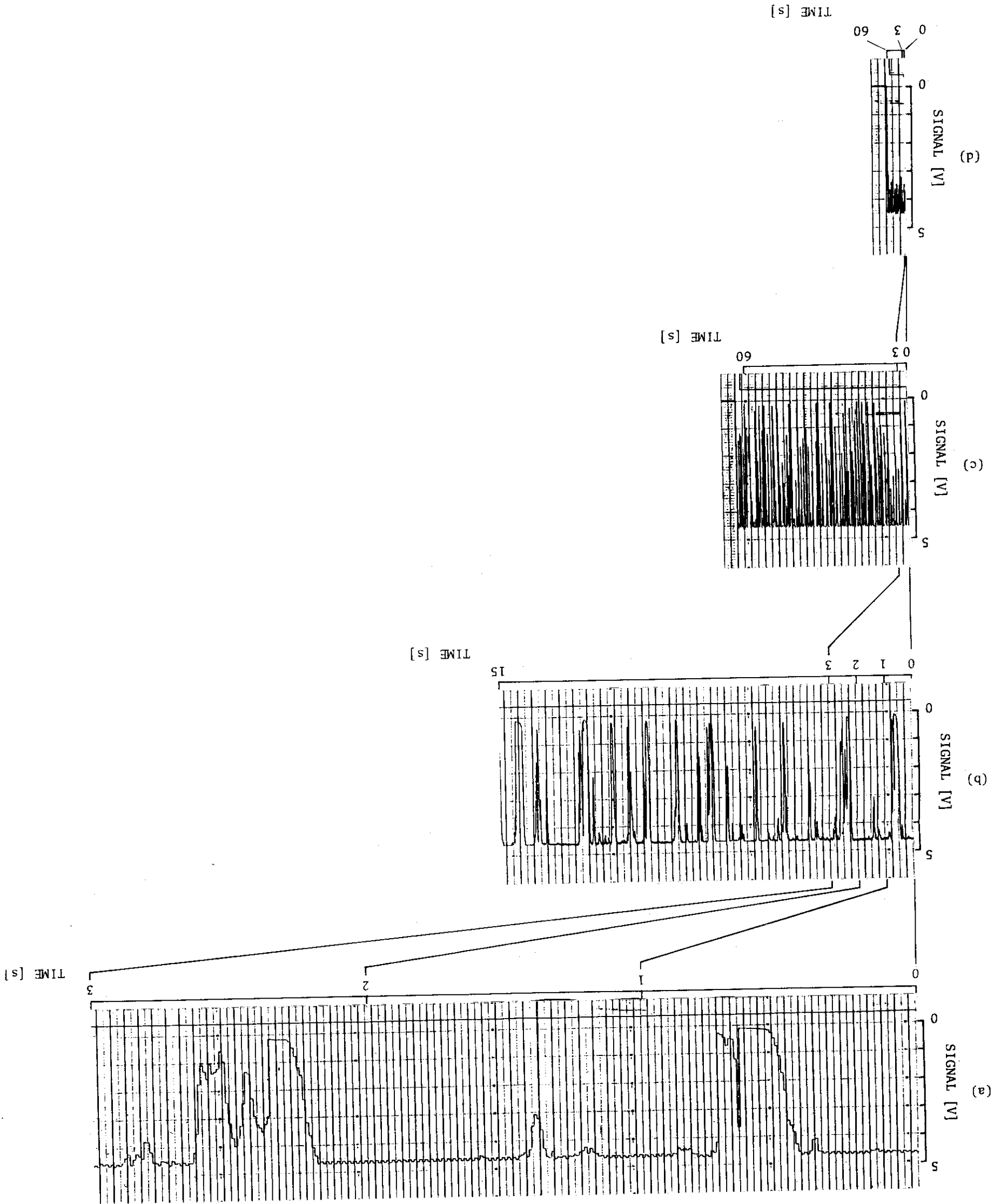


Fig.12 Effect of Regenerative Frequency on Liquid Level Signal in Run A-3  
(a) 5Hz, (b) 50Hz, (c) 500Hz, (d) 5000Hz

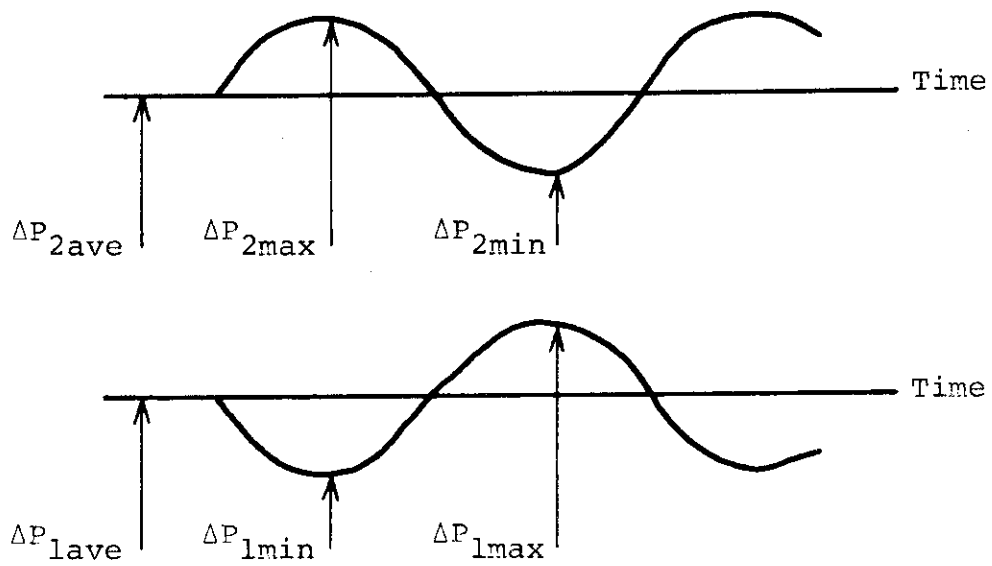


Fig.13 Typical Signals of Differential Pressures

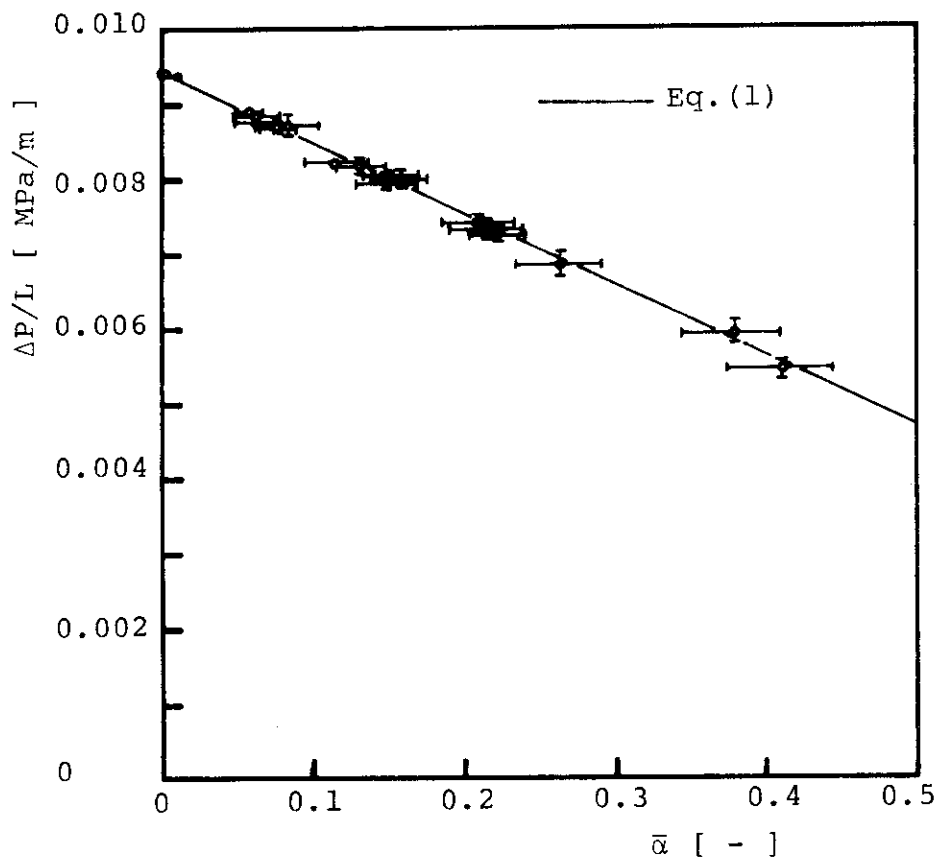


Fig.14 Differential Pressure vs. Void Fraction

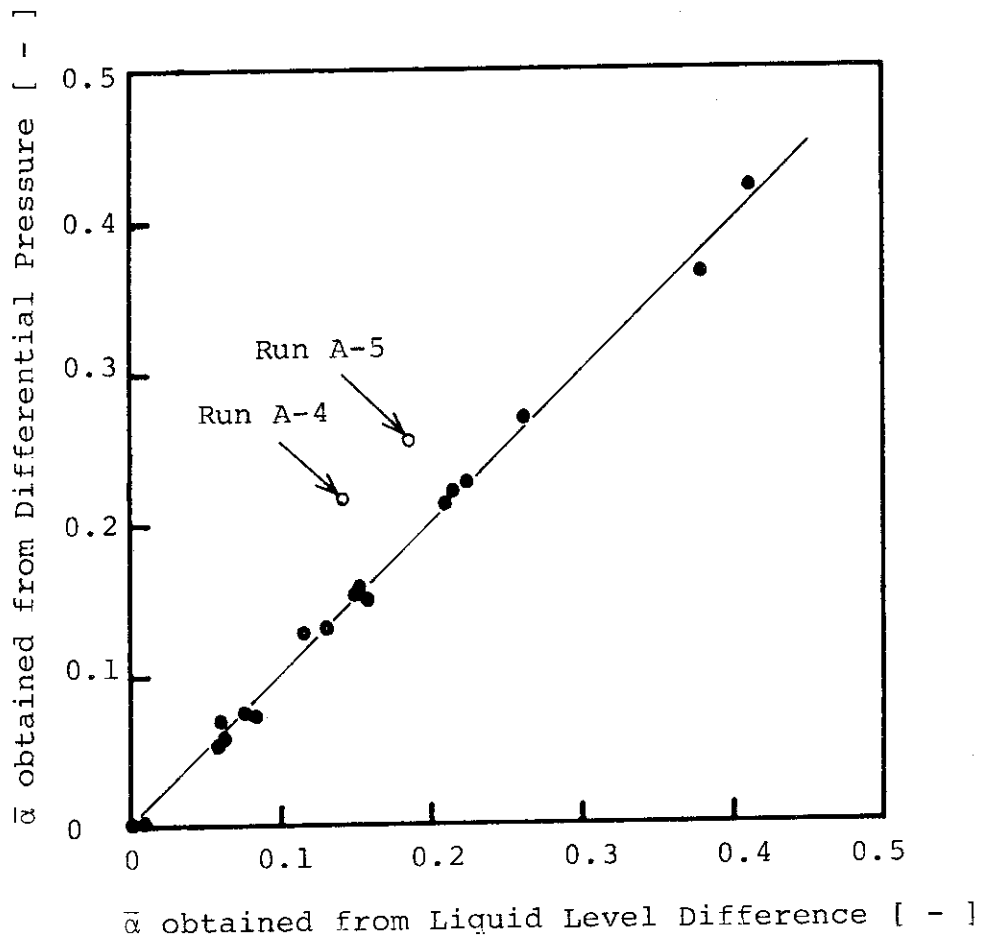


Fig.15 Comparison of Average Void Fraction obtained from Differential Pressure with that obtained from Liquid Level Difference