

JAERI - M
83-033

配管破断試験用ラプチャーディスクの
開口特性

1983年3月

加藤 六郎

JAERI-M レポートは、日本原子力研究所が不定期に公開している研究報告書です。

入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村 日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Section, Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1983

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 原子力資料サービス

配管破断試験用ラプチャーディスクの開口特性

日本原子力研究所東海研究所安全工学部

加藤 六郎

(1983年1月31日受理)

日本原子力研究所構造強度研究室では想定破断に基づく原子炉1次系配管の模擬破断試験を行っている。

試験はジェット試験とパイプホイップ試験を行っている。

試験方法はアーク放電によりラプチャーディスクの一部を溶し、内圧で破裂する方法を用いている。

ラプチャーディスクの開口時間特性は動的な配管反力に影響を与えるためにその特性を測定しておく必要がある。しかし、高温・高圧の保有水が開口と同時にフラッシングするために、その連続的な開口状況を測定することは容易でない。

このために、本報ではラプチャーディスクの開口面積が垂直投影法に基づく流路断面積の約60%の位置に触針端子を取付けて、実効的な開口時間特性を測定した。

測定電圧はアーク放電開始と同時に、トリガー信号によりデータレコーダに収録した。

その結果、高温・高圧水条件でのラプチャーディスクの実効的な開口時間について数msecの遅延時間があることが判明した。

Rupture disc opening property for using pipe
rupture test in JAERI

Rokuro KATO

Division of Nuclear Safety Research,
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received January 31, 1983)

In the Mechanical Strength and Structure Lab of JAERI there are being performed pipe break tests which are a postulated instantaneous guillotine break of the primary coolant piping in nuclear power plants. The test being performed are pipe whip tests and jet discharging tests.

The bursting of the rupture disc is initiated by an electrical arc and is concluded by the internal pressure. Because the time characteristics during the opening of the rupture disc affects the dynamic thrust force of the pipe, it is necessary to measure these time characteristics. However, it is difficult to measure the conditions during this continuous opening because at the same time of the opening the high temperature and high pressure water is flashing. Therefore, the rupture disc opening was postulated on the measuring of the effective opening characteristics with electric contraction terminals which were attached to the inner surface of the test pipe downstream of the rupture disc and were extended toward the pipe centerline in a ring whose area is about 60 % of the area of the pipe flow sectional area.

The measurement voltage was recorded when the data recorder was started in sequence with the electrical arc release from a trigger signal. As a result, it is evident that under high temperature and high pressure water the effective opening time is delayed by a few milliseconds.

Keywords: Rupture Disc, Guillotine Break, Thrust Force, Electrical Arc, Effective Opening.

This work was performed under the contract between the science and Technology Agency of Japan and JAERI to demonstrate the safety for the time characteristics during the opening of the rupture disc.

目 次

1. 緒 言	1
2. 測定目的	2
3. 測定方法	2
3.1 触針子の設計	3
3.2 回路の構成	3
3.3 回路の特性	4
4. 本 試 験	5
5. 測定結果	5
6. 出力データの比較	6
6.1 圧力計および高温歪ゲージとの比較	6
6.2 高速度カメラでの観察	6
7. 考 察	7
8. 結 言	8
謝 辞	8
参考文献	8

Contents

1. Introduction.....	1
2. Object of the measurement	2
3. Method of the measurement	3
3.1 Design of the electric contraction.....	3
3.2 Consitution of the electric circuit	3
3.3 The character of the electric circuit	4
4. A final test	5
5. Result of the measurement	5
6. Comparation of the other data.....	6
6.1 Comparation of the pressure gage and high temperature strain gage.....	6
6.2 Ovservation from high speed camera	6
7. Consideration	7
8. Concluding remarks	8
Acknowledgement	8
References	8

1. 緒 言

日本原子力研究所構造強度研究室では配管破断試験を行っている。配管破断試験は破断口径を主要なパラメータとして、ジェット試験とパイプホイップ試験を実施している。

この配管破断試験の目的は、軽水型原子炉（BWR, PWR）の1次系配管が瞬時破断を想定したときの安全性を実証することにある。

配管破断試験は54年度から、BWR条件の4インチ口径の破断試験から始まり、57年度は6インチ口径のPWR条件下での配管破断試験を行っている。

ジェット試験とパイプホイップ試験は、いずれも配管先端にラプチャーディスクを溶接、またはフランジ方式によって取付、試験配管内の圧力・温度が設定条件となったときにアーク放電をして、内圧によって瞬時破断を起す方法としている。

これらの一連の破断試験の中で、きわめて短い時間で全開するものと、あるいは二段階にわたって階段状に開口していると考えられるものがあることがわかった。この現象は主として配管先端の圧力計と、配管反力測定用ロードセル出力との比較検討から判明した。このことは配管試験の主要な課題である配管に作用する力を評価する上で問題となる。

圧力容器等からの高温・高圧水がジェット放出するときの配管に作用するスラスト力は文献〔1〕,〔2〕によく示されている。また、スラスト力を計算する計算コードも既にPRTHRUST-J1またはBLOWDON等が開発されている。これらの計算コードは共にRELAP Codeによって熱流体の物性値を求め、スラスト力を計算するものである。そして配管に作用する定常的なスラスト力は良い一致をみるようである。

しかし、実験的に得られたスラスト力の測定結果からスラスト力には破断直後の過渡的な領域に減圧波によるピークがあり、その後0.2sec~0.4sec近辺に第二のピーク値が存在することが明らかとなってきた。

後者のピーク値は配管出口から流出する高温水の物性変化によるものであることが考えられる。

前者は波動項FAに起因し、この波動項の加速度 α はラプチャーディスクの開口断面積の時間特性に依存している。このために、本報ではラプチャーディスクの開口時間特性を試験的に求めてみた結果についてのべた。

その結果、高温・高圧水のアーク放電と内圧によるディスクの破裂状況は瞬時に全開するものでなく、実効的な開口に致るまでには数mecの遅延時間が存在することが判明した。

2. 測定目的

本報によるラプチャーディスク開口特性の測定目的は瞬時破断試験において、ラプチャーディスクの開口時間特性を求めて、破断試験における反力の解析評価に実験的データを与えることである。一般に、高温・高圧の保有水のジェット放出による破断における反力 F は(1)式で与えられている。⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾

$$-F = \sum_i \frac{A_i \ell_i}{4g_c} \left\{ \left(\frac{\partial \rho_{1i}}{\partial t} + \frac{\partial \rho_{2i}}{\partial t} \right) (u_{1i} + u_{2i}) + (\rho_{1i} + \rho_{2i}) \left(\frac{\partial u_{1i}}{\partial t} + \frac{\partial u_{2i}}{\partial t} \right) \right\} + \left(\frac{A}{g_c} \cdot \rho u^2 \right)_{\text{exit}} + (A \cdot P)_{\text{exit}} \quad \dots (1)$$

$$(1) \text{式で } \frac{\partial u}{\partial t} \rightarrow 0 \quad FA = \frac{\ell_i}{g_c} \cdot \frac{\partial w_i}{\partial t} \quad \dots (2)$$

$$(2) \text{から } FA = \sum \frac{\ell_i}{g_c} \cdot \frac{\partial w_i}{\partial t} \quad \dots (3)$$

$$(3) \text{式で} \quad W = r_m \cdot u \cdot A_e$$

$$\alpha = \frac{du}{dt} = \frac{1}{r_m \cdot A_e} \cdot \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{u}{A_e} \cdot \frac{\partial A_e}{\partial t} \quad \dots (4)$$

(4)式から加速度 α はラプチャーディスク開口面積の時間特性に依存していることがわかる。ここで r_m ：比重量， A_e ：開口断面積， W ：重量流量， u ：流出速度， t ：時間

配管反力 F の中で FA は極めて短い時間領域(0~100m sec)内では反力の最初のピーク値を与えることから、配管の運動挙動に与える影響を無視できない。

このことから、ラプチャーディスクの開口時間特性を把握することは配管破断試験の評価を行うために必要な条件となる。

3. 測定方法

一般に、高温・高圧水条件でのラプチャーディスクの破断開口特性の測定は、破断と共に瞬時に(約1msec)以内に蒸気のフラッシングが開始するために、連続的な開口量を電氣的に測定することは容易なことでない。

一連のジェット・パイプホイップ試験では、試験の定性的な判断を得るために高速度カメラによる撮影を行っている。しかしフラッシングのためにカメラによるラプチャーディスクの実効的な開口時間を明らかにすることは無理である。

2. 測定目的

本報によるラプチャーディスク開口特性の測定目的は瞬時破断試験において、ラプチャーディスクの開口時間特性を求めて、破断試験における反力の解析評価に実験的データを与えることである。一般に、高温・高圧の保有水のジェット放出による破断における反力 F は(1)式で与えられている。⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾

$$-F = \sum_i \frac{A_i \ell_i}{4g_c} \left\{ \left(\frac{\partial \rho_{1i}}{\partial t} + \frac{\partial \rho_{2i}}{\partial t} \right) (u_{1i} + u_{2i}) + (\rho_{1i} + \rho_{2i}) \left(\frac{\partial u_{1i}}{\partial t} + \frac{\partial u_{2i}}{\partial t} \right) \right\} + \left(\frac{A}{g_c} \cdot \rho u^2 \right)_{\text{exit}} + (A \cdot P)_{\text{exit}} \quad \dots (1)$$

$$(1) \text{式で } \frac{\partial u}{\partial t} \rightarrow 0 \quad FA = \frac{\ell_i}{g_c} \cdot \frac{\partial w_i}{\partial t} \quad \dots (2)$$

$$(2) \text{から } FA = \sum \frac{\ell_i}{g_c} \cdot \frac{\partial w_i}{\partial t} \quad \dots (3)$$

$$(3) \text{式で} \quad W = r_m \cdot u \cdot A_e$$

$$\alpha = \frac{du}{dt} = \frac{1}{r_m \cdot A_e} \cdot \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{u}{A_e} \cdot \frac{\partial A_e}{\partial t} \quad \dots (4)$$

(4)式から加速度 α はラプチャーディスク開口面積の時間特性に依存していることがわかる。ここで r_m : 比重量, A_e : 開口断面積, W : 重量流量, u : 流出速度, t : 時間

配管反力 F の中で FA は極めて短い時間領域(0~100m sec)内では反力の最初のピーク値を与えることから、配管の運動挙動に与える影響を無視できない。

このことから、ラプチャーディスクの開口時間特性を把握することは配管破断試験の評価を行うために必要な条件となる。

3. 測定方法

一般に、高温・高圧水条件でのラプチャーディスクの破断開口特性の測定は、破断と共に瞬時に(約1msec)以内に蒸気のフラッシュングが開始するために、連続的な開口量を電氣的に測定することは容易なことでない。

一連のジェット・パイプホップ試験では、試験の定性的な判断を得るために高速度カメラによる撮影を行っている。しかしフラッシュングのためにカメラによるラプチャーディスクの実効的な開口時間を明らかにすることは無理である。

このために、本報ではラプチャーディスクの開口特性を求めるために電氣的な接触の方法を用いることにした。Fig.1とFig.2に、6 B口径のジェット試験に用いたラプチャーディスクを示した。

ラプチャーディスクの構造は図をみてわかるとおり、2板のSUS・316の円弧状の板から構成しており、内側の薄い板が内部流体のシールの役割で、外側の厚い板が、内圧による力に耐える構造となっている。この外側の板はスリット溝により60°ずつ6要素に分割してあり、破裂圧力は中心のスリット間隔で調整している。ディスクは、ジェット試験に用いるものはFLANG型となっており、パイプホイップ試験用は、ディスクと配管が一体となった溶接型となっている。ラプチャーディスクの中心にアーク電極を設置して、アークの放電によって、中心のスリット間隔が一部とけたり、または減肉したときに、ディスクは試験配管の内圧によって破裂する設計となっている。

アークの放電の後、ディスクはスリットにそって6要素に瞬時に開口する。従って、このことを踏まえて、ディスク各要素が破裂開口してくる位置に各1個の触針端子を取付けた。取付方法はラプチャーディスク近傍の配管の内にスポット溶接による方法とした。これから、ラプチャーディスクの各要素が破裂開口してくると触針端子に衝突して、電圧出力が出るように閉回路を構成した。

信号の収録方法は、高速現象なのでデータレコーダ、AMPEX社製PR 2200もしくはSONY-VER-71460を用いて収録した。通常、本試験時にはこのデータレコーダは60IPSの速度で収録を行い、このときのデータレコーダの最速のサンプリングタイムは12.5MSである。

3.1 触針端子の設計

触針端子の設計は第一にはディスクが破裂開口してきたときには強い障害とならぬように破壊し、フラッシング初めの弱いジェット雰囲気中には耐える強度設計が必要である。電気設計的には、フラッシング時の水滴が端子に付着しても、電圧が出ないように工夫する必要がある、このために弱い印加電圧に設計することが必要である。

触針端子の固定方法はスポット溶接によって配管の内壁に取付けた。端子を取付ける箇所は約300°Cの高温となるために高温歪ゲージ用端子共和株のHT-11を用いた。本端子は、フレームと触針部の固定にはセラミックを用いていて、ここで電氣的絶縁をしている。通常300°Cまで使用可能である。触針に接続するリード線は配管の引廻し部位については高温用リード線を用いた。Table 1にRun No. 5608~5703の試験で用いた触針端子の電気特性を示した。

3.2 回路の構成

Fig.3に回路の構成を示した。触針端子はラプチャーディスク取付配管の内面に取付けた。Photo. 1に取付状況を示す。Fig. 4, 5にRun No. 5608~5703試験の実際の端子取付方法を示す。

ラプチャーディスクはアークの放電によって内圧により瞬時に開口するものと想定しているが、

それがどのような時間単位であるか良くわからない。従ってこのことを明らかにするために、ディスクの破裂板が開口してくるとき、投影断面法による流路断面の約60%の位置に触針端子をとりつけて、この位置にディスクが破裂開口して、触針と接触したときだけ電圧出力が出るような回路に構成した。

出力電圧はラプチャーディスクの開口状況の判別を波高によってわかるようにするために、スリットに囲まれた6枚のディスク要素からの電圧出力を半分に分割した。すなわち、6接点の電圧信号を2chに分離して収録する方法とした。

これによって、3接点出力電圧に0.1, 0.3, 0.5ボルトの電圧を設定して、その波高からディスク板要素の開口信号を判別する方法とした。

回路の電源は市販の3Vの電池を用いた。各触針端子までの通電方法は配管を經由してディスク破裂板に正の電位を加え、触針側には負の電位とした。

3.3 回路の特性

本試験の前に基礎特性試験を行った。試験方法はFig.2の回路に示す触針端子に市販の単極のスナップスイッチ6個を用いて、閉回路を構成することにより行った。操作はこのスナップスイッチを静的にON-OFF動作を行ってその定常の出力電圧を測定した。本試験においてはラプチャーディスクの開口がどのようにして開口するのか全くわからないために、起り得るべき組合せ全てについての電圧を記録した。

Table 2に定常時の校正電圧を示した。Fig. 6, 7にRun 5608実験前の電圧特性をグラフにして示した。この中でパラメータは出力調整抵抗RLを可変することにより行った。

次に本試験での出力電圧を想定してみた。実際にラプチャーディスクが開口してきたときに、触針にディスク板が接触して、どのような電圧特性が出るか判らないために、Fig. 8, 9に予想出力特性を示した。

本試験のときに、ラプチャーディスクの各要素が瞬時に開口する場合その出力特性は回路の特性から階段状となる。また、ディスク各要素が独立して開口するときにはパルス状の出力となる。またこれらの組合せも可能性として存在する。

また、ラプチャーディスクの開口はかなり早い現象であるために、回路の応答も十分早いものでなくてはいけない。本回路は抵抗とコンデンサーからなるために、その時定数から応答を求めることが出来る。

$$\tau = R * C$$

これから本測定回路の $\tau \approx 10 \mu \text{ sec}$ 程度であり、ディスクの開口現象が仮に1msecとすると、これに対する測定回路の応答性は十分早いものと言える。

次に、信号出力電圧に対する水滴の触針端子への付着による見掛上の出力電圧であるが、配管内の高温水の電気抵抗を $20 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}$ ^(*)と仮定すれば、信号電圧に対して誤差電圧は約10%程度で

(*) Run No. 5704 実験で、配管内の高温水の電気抵抗をボイドプローブにより測定した結果、 $2 \text{ k}\Omega \sim 38 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}$ 程度に揺動していた。従って $20 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}$ と仮りに設定した。

ある。しかし、ラプチャーディスクが開口することにより触針端子と短絡し現れる信号出力電圧と入れ違って、水滴の付着による電圧は消ることから、信号電圧の判別には大きな障害とはならない。

4. 本 試 験

ラプチャーディスクの開口特性の測定は上向放出ジェット試験, Run No. 5608, 5609 と, パイプホップ試験 Run No. 5702, 5703 の試験体系時に行った。Photo. 1 と Photo. 2 に試験前の写真を示す。Photo. 3, 4 には試験前のラプチャーディスクの写真を示した。

触針端子は、ラプチャーディスクが開口したときの投影断面積による流路断面が 5608, 5609 が約 62%, 5702, 5703 が約 67% の位置に取付けた。

通常、配管破断試験は Fig. 10 の破断手順にそって操作を行い、データ収録を行った。

データレコーダが回り始めてから、定速に達したときにデータレコーダから定速信号が伝送され、高速度カメラが回ると、同時にアーク放電の SCR ゲートが開きアーク大電流が流れる。このゲートはタイマーで設定されており、5608, 5609 では 0.4 sec に設定し、5702, 5703 では 0.8 sec で閉じるように設定した。

また本試験においては、試験前の約 100°C 昇温時に中継ケーブルを入れた回路の出力電圧特性を測定して、基礎特性で得た出力電圧と変わらないことを確認した。その結果を Table 3 に示した。Table 4 には本試験, Run No. 5608 で用いた検出器のリストとデータレコーダに収録するための較正值を示した。

5. 測 定 結 果

本試験でのラプチャーディスク開口特性の測定は 5608, 5702, 5703 では有意な判別可能な信号が得られた。しかし 5609 のときには失敗した。Fig. 11~16 に XU501 と XU502 の時間軸を 0.0~100 ms までの生データを示した。

これらの生データの中で 5608, 5702 ではアーク放電時のノイズがみられる。この原因は主として、高抵抗を用いて、十分な防湿対策を行わなかったためと考えられ、このため 5703 で低抵抗を用い、シリコン樹脂で防湿した。その結果アーク放電時のノイズはなくなった。

ラプチャーディスクの開口信号は、データレコーダが収録開始してから、5608 では 34.4 ms から生じて、5702, 5703 では 11.4 ms 及び 11.2 ms から生じていた。

この生データの中で重要なことは開口による出力データが極めて短い時間領域を考えた場合 Fig. 8, 9 に示すような波高特性を示すことである。Run No. 5608 の場合、階段状になっていることが判る。きれいな階段状になっていない原因は主として、接触の不安定さと、フラッシュ蒸気の影響によるものと考えられることができる。

ある。しかし、ラプチャーディスクが開口することにより触針端子と短絡し現れる信号出力電圧と入れ違って、水滴の付着による電圧は消ることから、信号電圧の判別には大きな障害とはならない。

4. 本 試 験

ラプチャーディスクの開口特性の測定は上向放出ジェット試験, Run No. 5608, 5609と、パイプホイップ試験Run No. 5702, 5703の試験体系時に行った。Photo. 1とPhoto. 2に試験前の写真を示す。Photo. 3, 4には試験前のラプチャーディスクの写真を示した。

触針端子は、ラプチャーディスクが開口したときの投影断面積による流路断面が5608, 5609が約62%, 5702, 5703が約67%の位置に取付けた。

通常、配管破断試験はFig. 10の破断手順にそって操作を行い、データ収録を行った。データレコーダが回り始めてから、定速に達したときにデータレコーダから定速信号が伝送され、高速度カメラが回ると、同時にアーク放電のSCRゲートが開きアーク大電流が流れる。このゲートはタイマーで設定されており、5608, 5609では0.4 secに設定し、5702, 5703では0.8 secで閉じるように設定した。

また本試験においては、試験前の約100°C昇温時に中継ケーブルを入れた回路の出力電圧特性を測定して、基礎特性で得た出力電圧と変わらないことを確認した。その結果をTable 3に示した。Table 4には本試験, Run No. 5608で用いた検出器のリストとデータレコーダに収録するための較正值を示した。

5. 測 定 結 果

本試験でのラプチャーディスク開口特性の測定は5608, 5702, 5703では有意な判別可能な信号が得られた。しかし5609のときには失敗した。Fig. 11~16にXU501とXU502の時間軸を0.0~100 msまでの生データを示した。

これらの生データの中で5608, 5702ではアーク放電時のノイズがみられる。この原因は主として、高抵抗を用いて、十分な防湿対策を行わなかったためと考えられ、このため5703で低抵抗を用い、シリコン樹脂で防湿した。その結果アーク放電時のノイズはなくなった。

ラプチャーディスクの開口信号は、データレコーダが収録開始してから、5608では34.4 msから生じて、5702, 5703では11.4 ms及び11.2 msから生じていた。

この生データの中で重要なことは開口による出力データが極めて短い時間領域を考えた場合Fig. 8, 9に示すような波高特性を示すことである。Run No. 5608の場合、階段状になっていることが判る。きれいな階段状になっていない原因は主として、接触の不安定さと、フラッシュ蒸気の影響によるものと考えられることができる。

ある。しかし、ラプチャーディスクが開口することにより触針端子と短絡し現れる信号出力電圧と入れ違って、水滴の付着による電圧は消ることから、信号電圧の判別には大きな障害とはならない。

4. 本 試 験

ラプチャーディスクの開口特性の測定は上向放出ジェット試験, Run No. 5608, 5609と、パイプホイップ試験Run No. 5702, 5703の試験体系時に行った。Photo. 1とPhoto. 2に試験前の写真を示す。Photo. 3, 4には試験前のラプチャーディスクの写真を示した。

触針端子は、ラプチャーディスクが開口したときの投影断面積による流路断面が5608, 5609が約62%, 5702, 5703が約67%の位置に取付けた。

通常、配管破断試験はFig. 10の破断手順にそって操作を行い、データ収録を行った。

データレコーダが回り始めてから、定速に達したときにデータレコーダから定速信号が伝送され、高速度カメラが回ると、同時にアーク放電のSCRゲートが開きアーク大電流が流れる。このゲートはタイマーで設定されており、5608, 5609では0.4 secに設定し、5702, 5703では0.8 secで閉じるように設定した。

また本試験においては、試験前の約100°C昇温時に中継ケーブルを入れた回路の出力電圧特性を測定して、基礎特性で得た出力電圧と変わらないことを確認した。その結果をTable 3に示した。Table 4には本試験, Run No. 5608で用いた検出器のリストとデータレコーダに収録するための較正值を示した。

5. 測 定 結 果

本試験でのラプチャーディスク開口特性の測定は5608, 5702, 5703では有意な判別可能な信号が得られた。しかし5609のときには失敗した。Fig. 11~16にXU501とXU502の時間軸を0.0~100 msまでの生データを示した。

これらの生データの中で5608, 5702ではアーク放電時のノイズがみられる。この原因は主として、高抵抗を用いて、十分な防湿対策を行わなかったためと考えられ、このため5703で低抵抗を用い、シリコン樹脂で防湿した。その結果アーク放電時のノイズはなくなった。

ラプチャーディスクの開口信号は、データレコーダが収録開始してから、5608では34.4msから生じて、5702, 5703では11.4ms及び11.2msから生じていた。

この生データの中で重要なことは開口による出力データが極めて短い時間領域を考えた場合Fig. 8, 9に示すような波高特性を示すことである。Run No. 5608の場合、階段状になっていることが判る。きれいな階段状になっていない原因は主として、接触の不安定さと、フラッシュ蒸気の影響によるものと考えられることができる。

これらの信号出力の波高をTable 2によって判別した結果についてFig.17~22に示した。この図の中で太い線が信号電圧を判別したものである。細線が信号電圧を示す。これらの出力信号は開口信号が出てしまった後の出力挙動は、ディスクが開口するに従い、触針端子を押すつぶすときの信号であり、この場合接触の不安定さと、フラッシング時の揺動のために法則性のない出力電圧となる。

Photo. 5, 6に破断後撮影したラプチャーディスクの写真を示した。ディスクは各スリット溝にそって破裂開口しており、触針端子は完全にジェット流によって破壊していた。

6. 出力データの比較

Run No. 5608~5703についての出力電圧と、主として配管先端の流体中の圧力計とラプチャーディスク外表面に貼付した高温歪ゲージ及び高速度カメラの撮影結果について比較してみた。配管先端の圧力計はラプチャーディスクの近くに設置してある。Fig. 23, 24にその取付位置を示した。

また高速度カメラは破断時の全般的な状況を把握するために側面から撮影した。

6.1 圧力計および高温歪ゲージとの比較

ラプチャーディスク開口信号の比較検討のために圧力計との比較を行った。その結果をFig. 25~28に示した。これらのデータから明らかに配管内のラプチャーディスクに近い圧力計PU 116及びPU116は開口信号とほぼ同時に減圧開始していることがわかる。これらの中で、PU 202とPU115はラプチャーディスクの外側の大気中に取付けてある。このために、配管内の圧力計と比較すると起点が多少遅れていることがわかる。この原因はフラッシングした蒸気の移動に要する時間遅れによる。

Run. No. 5608~5703とも配管内圧力計の減圧起点と、XU501, 502の電圧出力はほぼ同時に信号出力が出た。

またRun No. 5608ではラプチャーディスクの外表面に高温歪ゲージを貼付してあり、この出力とXU501, 502を比較してみると、その起点は一致する。歪ゲージ出力XU602の歪は破裂前は内部流体の圧力でディスクを押し広げる力が働き正の歪が出る。これが、ディスクが開口し始めると減圧に伴って引張りの歪が減って零となる。そしてさらにディスクが全面的に開口した時点で、こんどはジェット流の動・圧力をうけて歪ゲージは圧縮力をうけて負の歪出力となる。従ってこの負の歪出が一定値に達した時刻がほぼ実質的な開口に達したと考えられる。

6.2 高速度カメラでの比較

試験配管先端に取付けたラプチャーディスクの破裂状況を側面から高速度カメラで観察した。Table 5

これらの信号出力の波高を Table 2 によって判別した結果について Fig.17~22に示した。この図の中で太い線が信号電圧を判別したものである。細線が信号電圧を示す。これらの出力信号は開口信号が出てしまった後の出力挙動は、ディスクが開口するに従い、触針端子を押すつぶすときの信号であり、この場合接触の不安定さと、フラッシング時の揺動のために法則性のない出力電圧となる。

Photo. 5, 6に破断後撮影したラブチャーディスクの写真を示した。ディスクは各スリット溝にそって破裂開口しており、触針端子は完全にジェット流によって破壊していた。

6. 出力データの比較

Run No. 5608~5703についての出力電圧と、主として配管先端の流体中の圧力計とラブチャーディスク外表面に貼付した高温歪ゲージ及び高速度カメラの撮影結果について比較してみた。配管先端の圧力計はラブチャーディスクの近くに設置してある。Fig. 23, 24にその取付位置を示した。

また高速度カメラは破断時の全般的な状況を把握するために側面から撮影した。

6.1 圧力計および高温歪ゲージとの比較

ラブチャーディスク開口信号の比較検討のために圧力計との比較を行った。その結果を Fig. 25~28に示した。これらのデータから明らかに配管内のラブチャーディスクに近い圧力計PU 116及びPU116は開口信号とほぼ同時に減圧開始していることがわかる。これらの中で、PU 202とPU115はラブチャーディスクの外側の大気中に取付けてある。このために、配管内の圧力計と比較すると起点が多少遅れていることがわかる。この原因はフラッシングした蒸気の移動に要する時間遅れによる。

Run. No. 5608~5703とも配管内圧力計の減圧起点と、XU501, 502の電圧出力はほぼ同時に信号出力が出た。

またRun No. 5608ではラブチャーディスクの外表面に高温歪ゲージを貼付してあり、この出力とXU501, 502を比較してみると、その起点は一致する。歪ゲージ出力XU602の歪は破裂前は内部流体の圧力でディスクを押し広げる力が働き正の歪が出る。これが、ディスクが開口し始めると減圧に伴って引張りの歪が減って零となる。そしてさらにディスクが全面的に開口した時点で、こんどはジェット流の動・圧力をうけて歪ゲージは圧縮力をうけて負の歪出力となる。従ってこの負の歪出が一定値に達した時刻がほぼ実質的な開口に達したと考えられる。

6.2 高速度カメラでの比較

試験配管先端に取付けたラブチャーディスクの破裂状況を側面から高速度カメラで観察した。Table 5

にその撮影条件を示した。

ラプチャーディスクをアーク放電により強制的に破断するために Fig. 10 に示すシーケンスに従って行っている。カメラの撮影は、データレコーダにデータ収録を行う前に開始する。

一般に Run No. 5608～5702 とも電極の加熱及び放電開始とともにアークの光を発散することがわかる。次にアーク放電によりラプチャーディスクの板が溶け、貫通穴が通ったときに蒸気が洩れ、空気の電離層が吹き飛ばされアーク放電が停止する。そして次の瞬間ラプチャーディスクの開口と同時にフラッシングが進行することがわかる。

Photo. 7, Photo. 8 に Run No. 5608 と 5702 の高速度カメラでの撮影結果について示した。5702 が 5608 より早くフラッシングしてみえるのは、5702 のラプチャーディスクから放出管まで 5608 より短いことによる。

7. 考 察

Run No. 5608～5703 試験で得られたデータからラプチャーディスクの開口時間特性について考察してみた。

本報で得られた出力データは電氣的な ON-OFF 信号であるためにラプチャーディスクの連続的な開口状況を示すことにはならない。しかし各接点信号は垂直投影断面法による最小開口面積を示す。各接点の投影断面法に基づく開口面積比を(5)式に示す。

$$Ar_n = \frac{Ar}{n} \dots\dots\dots (5)$$

Ar_n : 接点での垂直投影法に基づくラプチャーディスクの開口比 …… (%)

n : 接点数

$$Ar : \text{流路断面比} (\%) \quad Ar = \frac{A_2}{A_1} \times 100 \dots\dots\dots (\%)$$

A_1 : 配管内断面積

A_2 : 接点位置での垂直投影流路断面積

Fig.29～31 に各 Run No の接点出力を示す。このデータから接点信号はいずれも直線近似ができる。従って、この直線からの外挿線と時間軸との交点がラプチャーディスクの実質的な開口開始点と考えられる。

今、仮りにラプチャーディスク各要素の材料強度が均一であり、内圧荷重が均等にかかるると、ディスク各要素の開口状況はアーク放電による溶け込み状況の不均一性に依存する。従って、ラプチャーディスク各要素は弱い個所から順次に開口する。この場合、各接点信号から(5)式により、近似的な開口^(*)2)モデルが可能となる。Fig.32～34 に各 Run No. の開口モデルを示した。

Run 5608 実験ではアーク放電による破裂が非常に良く具現されていて、ほぼ直線的に開口している。

(*)2) 試験配管に取付けた、ラプチャーディスクの破裂開口に伴う、流体の流出流路の時間特性で流路は垂直投影法による配管断面比により示す。従って厳密な開口面積の取扱いはしていない。

にその撮影条件を示した。

ラプチャーディスクをアーク放電により強制的に破断するために Fig. 10 に示すシーケンスに従って行っている。カメラの撮影は、データレコーダにデータ収録を行う前に開始する。一般に Run No. 5608～5702 とも電極の加熱及び放電開始とともにアークの光を発散することがわかる。次にアーク放電によりラプチャーディスクの板が溶け、貫通穴が通ったときに蒸気が洩れ、空気の電離層が吹き飛ばされアーク放電が停止する。そして次の瞬間ラプチャーディスクの開口と同時にフラッシングが進行することがわかる。

Photo. 7, Photo. 8 に Run No. 5608 と 5702 の高速度カメラでの撮影結果について示した。5702 が 5608 より早くフラッシングしてみえるのは、5702 のラプチャーディスクから放出管まで 5608 より短いことによる。

7. 考 察

Run No. 5608～5703 試験で得られたデータからラプチャーディスクの開口時間特性について考察してみた。

本報で得られた出力データは電気的な ON-OFF 信号であるためにラプチャーディスクの連続的な開口状況を示すことにはならない。しかし各接点信号は垂直投影断面法による最小開口面積を示す。各接点の投影断面法に基づく開口面積比を(5)式に示す。

$$Ar_n = \frac{Ar}{n} \dots\dots\dots (5)$$

Ar_n : 接点での垂直投影法に基づくラプチャーディスクの開口比 …… (%)

n : 接点数

Ar : 流路断面比 (%) $Ar = \frac{A_2}{A_1} \times 100 \dots\dots\dots (%)$

A₁ : 配管内断面積

A₂ : 接点位置での垂直投影流路断面積

Fig.29～31 に各 Run No の接点出力を示す。このデータから接点信号はいずれも直線近似ができる。従って、この直線からの外挿線と時間軸との交点がラプチャーディスクの実質的な開口開始点と考えられる。

今、仮りにラプチャーディスク各要素の材料強度が均一であり、内圧荷重が均等にかかるとすると、ディスク各要素の開口状況はアーク放電による溶け込み状況の不均一性に依存する。従って、ラプチャーディスク各要素は弱い個所から順次に開口する。この場合、各接点信号から(5)式により、近似的な開口^(*2)モデルが可能となる。Fig.32～34 に各 Run No. の開口モデルを示した。

Run 5608 実験ではアーク放電による破裂が非常に良く具現されていて、ほぼ直線的に開口している。

(*2) 試験配管に取付けた、ラプチャーディスクの破裂開口に伴う、流体の流出流路の時間特性で流路は垂直投影法による配管断面比により示す。従って厳密な開口面積の取扱いはしていない。

Run No. 5702, 5703 実験ではそのアーク放電による破裂が直線的に開口しないで, S_5 と S_6 , あるいは S_4 と S_5 のようにほぼ同時に接点信号が現れ, これらを開口信号として整理すると, その近似的な開口モデルは曲線的な傾向を示すことがわかる。このことはラプチャーディスクの板厚が増すにつれて瞬時に開口し難くなっていることを示す。

8. 結 言

配管破断試験のように大口径で高温高圧水条件下でのラプチャーディスクの連続的な開口特性を求めることは容易でなく, その必要性があるにもかかわらず, 測定上の困難から出来なかった。しかし高速度カメラの観察から電氣的な接点による方法が可能とわかり, 測定を行ってみた。その結果次のことが判明した。

- (1) 配管破断試験に用いているラプチャーディスクは破裂開始から実効的な開口に到るまでの遅延時間として数m secかかることがわかった。
- (2) 6 インチ口径の配管破断試験では, BWR飽和水条件 ($69 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{G } 285^\circ\text{C}$) の方がPWRの加圧水条件 ($159 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{G } 325^\circ\text{C}$) より早くラプチャーディスクが開口した。
- (3) ラプチャーディスクの開口による接点信号出力から垂直投影法により, 流路の近似的な開口モデルが可能となった。

謝 辞

本報をまとめるに当って有益な助言・討論をいただいた構造強度研究室植田脩三副主任研究員及び研究室の各位に深く謝意を表します。また配管破断試験に用いているラプチャーディスクは原研と岸川特殊バルブ(株)で開発したものであることを付記しておきます。

参 考 文 献

- [1] Noriyuki Miyazaki and Jutarō Kōgo, PR thrust and PR thrust-J1 codes for calculating blowdown thrust forces JAERI-M 9137, October 1980.
- [2] Strong, B. R. Baschiere, R. J. "Pipe Rupture and steam/water hammer design Loads for dynamic analysis of piping systems" Nuclear

Run No. 5702, 5703 実験ではそのアーク放電による破裂が直線的に開口しないで, S_5 と S_6 , あるいは S_4 と S_5 のようにはほぼ同時に接点信号が現れ, これらを開口信号として整理すると, その近似的な開口モデルは曲線的な傾向を示すことがわかる。このことはラプチャーディスクの板厚が増すにつれて瞬時に開口し難くなっていることを示す。

8. 結 言

配管破断試験のように大口徑で高温高圧水条件下でのラプチャーディスクの連続的な開口特性を求めることは容易でなく, その必要性があるにもかかわらず, 測定上の困難から出来なかった。しかし高速度カメラの観察から電氣的な接点による方法が可能とわかり, 測定を行ってみた。その結果次のことが判明した。

- (1) 配管破断試験に用いているラプチャーディスクは破裂開始から実効的な開口に到るまでの遅延時間として数m secかかることがわかった。
- (2) 6 インチ口径の配管破断試験では, BWR飽和水条件 ($69 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{G}$ 285°C)の方がPWRの加圧水条件 ($159 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{G}$ 325°C)より早くラプチャーディスクが開口した。
- (3) ラプチャーディスクの開口による接点信号出力から垂直投影法により, 流路の近似的な開口モデルが可能となった。

謝 辞

本報をまとめるに当って有益な助言・討論をいただいた構造強度研究室植田脩三副主任研究員及び研究室の各位に深く謝意を表します。また配管破断試験に用いているラプチャーディスクは原研と岸川特殊バルブ(株)で開発したものであることを付記しておきます。

参 考 文 献

- [1] Noriyuki Miyazaki and Jutarō Kōgo, PR thrust and PR thrust - J1 codes for calculating blowdown thrust forces JAERI - M 9137, October 1980.
- [2] Strong, B. R. Baschiere, R. J. "Pipe Rupture and steam/water hammer design Loads for dynamic analysis of piping systems" Nuclear

Run No. 5702, 5703 実験ではそのアーク放電による破裂が直線的に開口しないで、 S_5 と S_6 ,あるいは S_4 と S_5 のようにほぼ同時に接点信号が現れ、これらを開口信号として整理すると、その近似的な開口モデルは曲線的な傾向を示すことがわかる。このことはラプチャーディスクの板厚が増すにつれて瞬時に開口し難くなっていることを示す。

8. 結 言

配管破断試験のように大口徑で高温高圧水条件下でのラプチャーディスクの連続的な開口特性を求めることは容易でなく、その必要性があるにもかかわらず、測定上の困難から出来なかった。しかし高速度カメラの観察から電氣的な接点による方法が可能とわかり、測定を行ってみた。その結果次のことが判明した。

- (1) 配管破断試験に用いているラプチャーディスクは破裂開始から実効的な開口に到るまでの遅延時間として数m secかかることがわかった。
- (2) 6インチ口径の配管破断試験では、BWR飽和水条件 ($69 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{G}$ 285°C)の方がPWRの加圧水条件 ($159 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{G}$ 325°C)より早くラプチャーディスクが開口した。
- (3) ラプチャーディスクの開口による接点信号出力から垂直投影法により、流路の近似的な開口モデルが可能となった。

謝 辞

本報をまとめるに当って有益な助言・討論をいただいた構造強度研究室植田脩三副主任研究員及び研究室の各位に深く謝意を表します。また配管破断試験に用いているラプチャーディスクは原研と岸川特殊バルブ(株)で開発したものであることを付記しておきます。

参 考 文 献

- [1] Noriyuki Miyazaki and Jutarō Kōgo, PR thrust and PR thrust-J1 codes for calculating blowdown thrust forces JAERI-M 9137, October 1980.
- [2] Strong, B. R. Baschiere, R. J. "Pipe Rupture and steam/water hammer design Loads for dynamic analysis of piping systems" Nuclear

Run No. 5702, 5703 実験ではそのアーク放電による破裂が直線的に開口しないで, S_5 と S_6 ,
あるいは S_4 と S_5 のようにほぼ同時に接点信号が現れ, これらを開口信号として整理すると, そ
の近似的な開口モデルは曲線的な傾向を示すことがわかる。このことはラプチャーディスクの板
厚が増すにつれて瞬時に開口し難くなっていることを示す。

8. 結 言

配管破断試験のように大口徑で高温高压水条件下でのラプチャーディスクの連続的な開口特性を
求めることは容易でなく, その必要性があるにもかかわらず, 測定上の困難から出来なかった。
しかし高速度カメラの観察から電氣的な接点による方法が可能とわかり, 測定を行ってみた。そ
の結果次のことが判明した。

- (1) 配管破断試験に用いているラプチャーディスクは破裂開始から実効的な開口に到るまでの
遅延時間として数m secかかることがわかった。
- (2) 6 インチ口径の配管破断試験では, BWR飽和水条件 ($69 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{G } 285^\circ\text{C}$) の方がP
WRの加圧水条件 ($159 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{G } 325^\circ\text{C}$) より早くラプチャーディスクが開口した。
- (3) ラプチャーディスクの開口による接点信号出力から垂直投影法により, 流路の近似的な開
口モデルが可能となった。

謝 辞

本報をまとめるに当って有益な助言・討論をいただいた構造強度研究室植田脩三副主任研究員
及び研究室の各位に深く謝意を表します。また配管破断試験に用いているラプチャーディス
クは原研と岸川特殊バルブ(株)で開発したものであることを付記しておきます。

参 考 文 献

- [1] Noriyuki Miyazaki and Jutarō Kōgo, PR thrust and PR thrust - J 1
codes for calculating blowdown thrust forces JAERI - M 9137,
October 1980.
- [2] Strong, B. R. Baschiere, R. J. "Pipe Rupture and steam/water hammer
design Loads for dynamic analysis of piping systems" Nuclear

- Engineering and Design, 45 (1978)
- [3] 宮崎, 矢野, 植田, 磯崎, 加藤, 栗原 "Depco-Multiによる配管破断試験の熱流体解析 (PWR, 4インチ口径パイプホイップ試験, Run no 5506, 5507, 5508)
unpublished Report, (in Japanese)
- [4] 矢野, 宮崎, 植田, 磯崎, 加藤, 栗原 "Relap-4 MOD 5による配管破断試験の熱流体解析 (PWR 4インチ口径パイプホイップ試験 Run no 5506, 5507, 5508)
unpublished Report, (in Japanese)
- [5] 矢野, 磯崎, 植田, 宮崎, 加藤, 栗原, 宮園 "配管破断試験・LOCA条件下の上向きジェット放出試験結果 Run no 5607, 5608, 5609 unpublished Report, (in Japanese)
- [6] N. Miyazaki, R. Kurihara, R. Kato, T. Isozaki and S. Ueda, "PR thrust-J1 Code for Calculation of Blowdown thrust force and its experimental Verification" Nuclear Engineering and design 64 (1981) 389-401
- [7] Study of the state of design for pipe whip NP-1320 Reserch Project 1324-2 Final Report, January 1980. EPRI

Table.1 Electric property of the contraction terminal

	Run no 5608		Run no 5609		Run no 5702		Run no 5703	
	Insulation resistance	lead wire resistance	Insulation resistance	lead wire resistance	Insulation resistance	lead wire resistance	Insulation resistance	lead wire resistance
W1	> 100 MΩ	1.4 Ω	50 MΩ	0.3 Ω	28 kΩ*	1.1	20 MΩ	1.6
W2	"	"	100	9	8.5 "	1.2	"	1.8
W3	"	"	∞	"	4.0 "	1.0	"	1.6
E1	70	"	∞	0.2	28 "	1.1	15	2.0
E2	10	1.6	40	0.3	8.5 "	"	30	2.0
E3	80	1.4	50	0.4	4.0 "	"	30	2.0

* Temperature of the test pipe
(about 100° deg)

Table 2 Calibration voltage from run number (5608, 5609, 5702, 5703) before the test

	XU 501				XU 502				
	Combination of switch	Out put of the voltage			Combination of switch	Out put of the voltage			
		5608*	5609*	5702*		5703**	5608*	5609*	5702*
1	S ₁	0.102	0.102	0.103	0.104	0.112	0.112	0.104	0.104
2	S ₂	0.285	0.285	0.292	0.293	0.274	0.271	0.292	0.292
3	S ₃	0.508	0.507	0.524	0.533	0.470	0.491	0.523	0.533
4	S ₁ + S ₂	0.362	0.361	0.377	0.378	0.352	0.352	0.378	0.376
5	S ₁ + S ₃	0.574	0.574	0.596	0.604	0.557	0.557	0.731	0.604
6	S ₂ + S ₃	0.704	0.704	0.731	0.736	0.696	0.696	0.596	0.734
7	S ₁ + S ₂ + S ₃	0.736	0.735	0.793	0.795	0.731	0.731	0.793	0.794

* high impedance circuit

** low impedance circuit

Table 3 Comparison of the voltage from a final test and before the test

Run. no	XU 501 (w)			XU 502 (E)		
	combination of switch	voltage of before the test	voltage of a final data	combination of switch	voltage of before the test	voltage of a final data
5608						
1	S ₁	0.102	0.11	S ₄	0.112	0.12
2	S ₁ +S ₃	0.574	0.57	S ₄ +S ₆	0.557	0.55
3	S ₁ +S ₂ +S ₃	0.736	0.71	S ₄ +S ₅ +S ₆	0.734	0.73
Run. no	XU 501 (w)			XU 502 (E)		
5702						
1	S ₃	0.524	0.53	S ₄	0.104	0.11
2	S ₃ +S ₁	0.596	0.60	S ₅ +S ₆	0.596	0.58
3	S ₁ +S ₂	0.377	0.38	~	~	~
Run. no	XU 501 (w)			XU 502 (E)		
5703						
1	S ₂	0.293	0.28	S ₄ +S ₅	0.376	0.38
2	S ₃	0.533	0.54	~	~	~
3	~	~	~	~	~	~

Table•4 Calibration of the various sensor before the test
(Run. no 5608)

Sensor	Name	Gage resistance	G.f	Calibration voltage	Using A mp	Data Recorder	Manufacture	Standard No	Response
(W) XU 501	R.D opening meter	~	~	1.0	~	E	original	~	20 kHz
(E) XU 502	"	"	~	1.0	"	E	"	~	"
(W) XU 601	R.D. strain gage	120 Ω	1.94	0.7275	DM19	C	Ailtech	SG 125-01 F	20 kHz
(E) XU 602	"	120 "	"	"	DM20	C	"	"	"
PU 115	pressure gage	350 "	2.0	6.918	DM30	B	shinkoh	K110082	* —
PU 116	"	120 "	"	0.812	DM14	B	"	K130106	* —
PU 202	"	120 "	2.0	0.872	DM21	D	KYOWA	YF-9549	* —

* with water guide pipe
(The order of response, ≥ 1.0 kHz)

Table 5 Condition of the high speed camera

Run. no 5608	Run. no 5702
6B BWR jet discharging test	6 B PWR pipe whip test
date 56. 12. 8	date 57. 6. 9
HYCAM	NACK
Camera speed 3000 f.p.s.	Camera speed 3000 f.p.s.
nominal 3000 f.p.s.	nominal 3000 f.p.s.
1 flame = $\frac{1}{3}$ m sec	1 flame = $\frac{1}{3}$ m sec

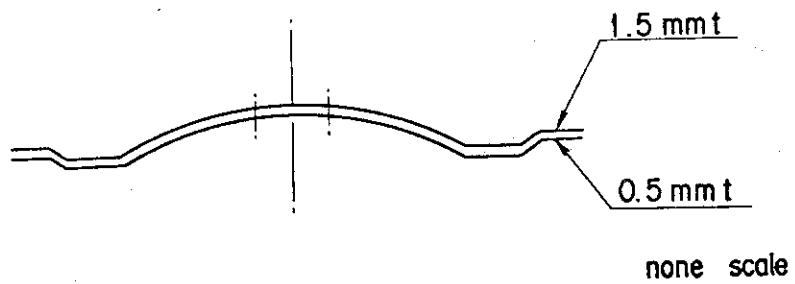
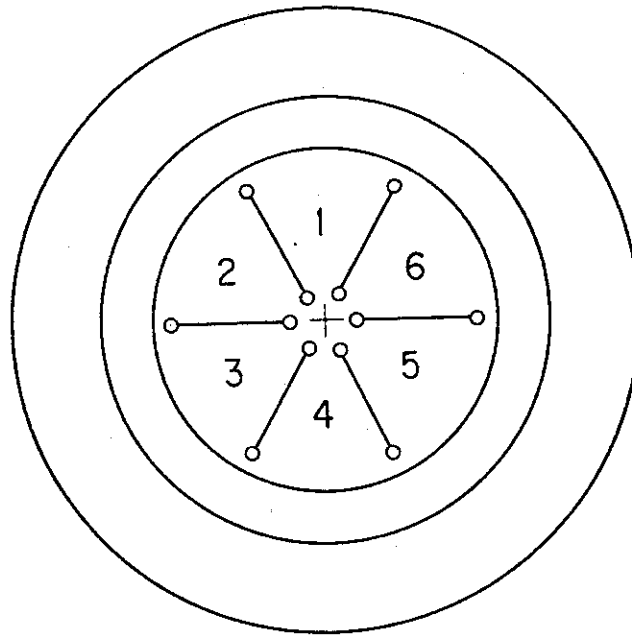


Fig. 1 Rapture disc for using 6B·BWR jet discharging test (5608 · 5609)

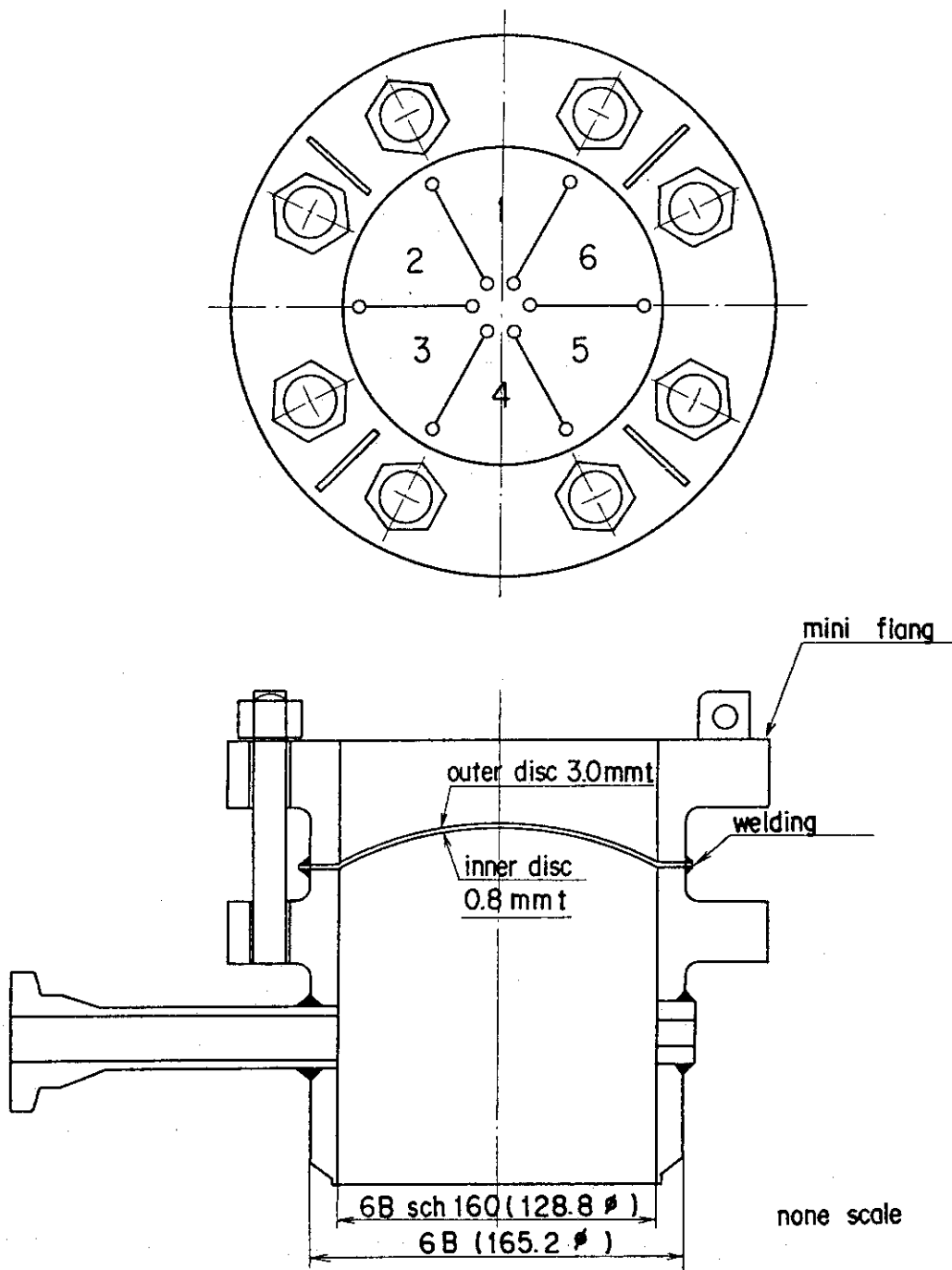


Fig. 2 Rapture disc assembly for using 6B·PWR pipe whip test (5702·5703)

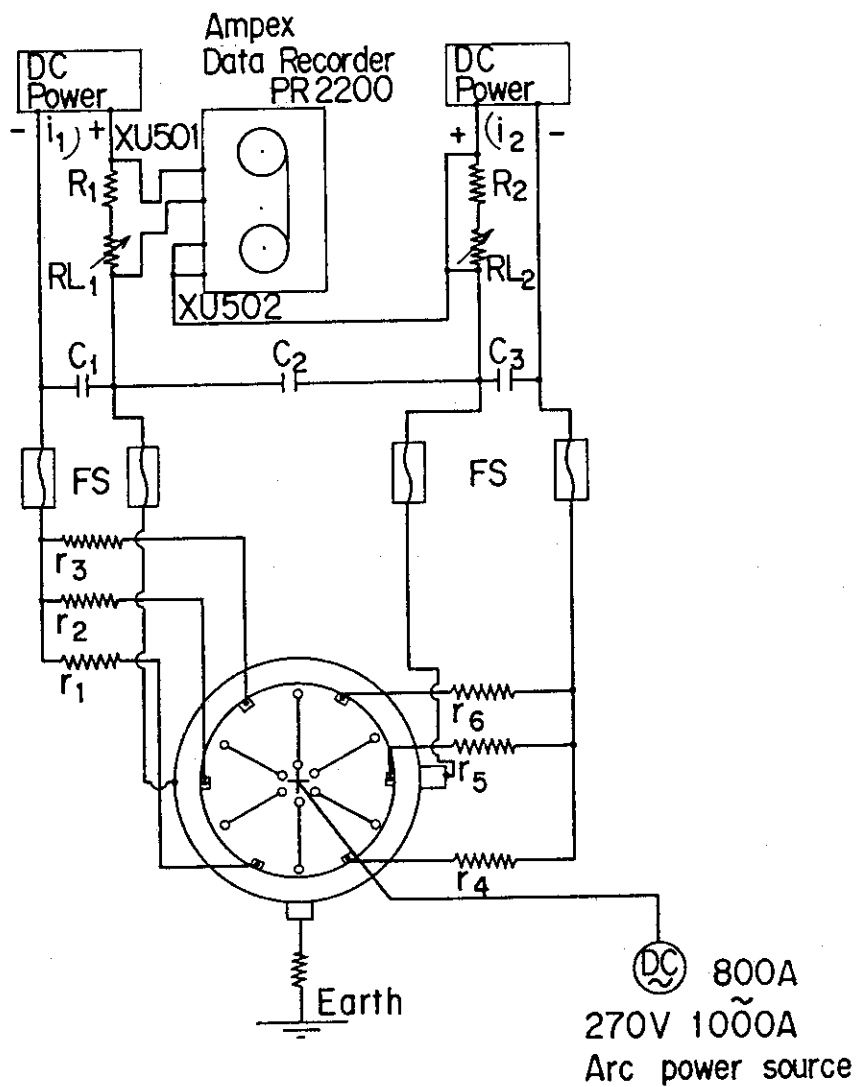


Fig. 3 Comstitution of the electric circuit

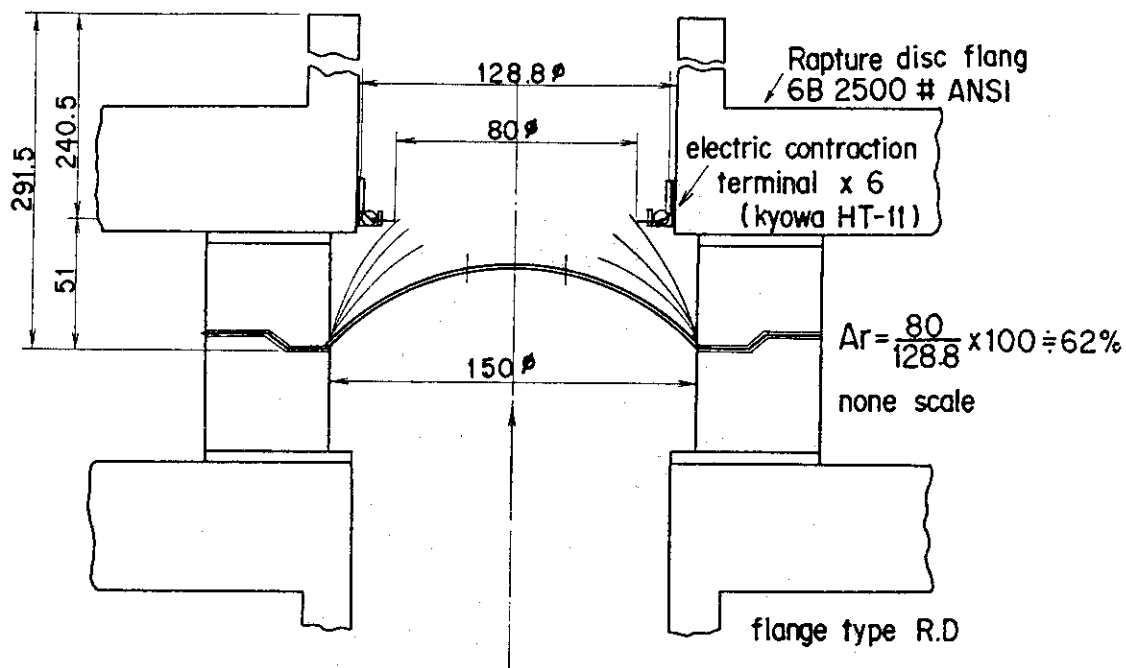


Fig.4 Set up view of the electric contraction terminal (Run No 5608,5609 6B BWR jet test)

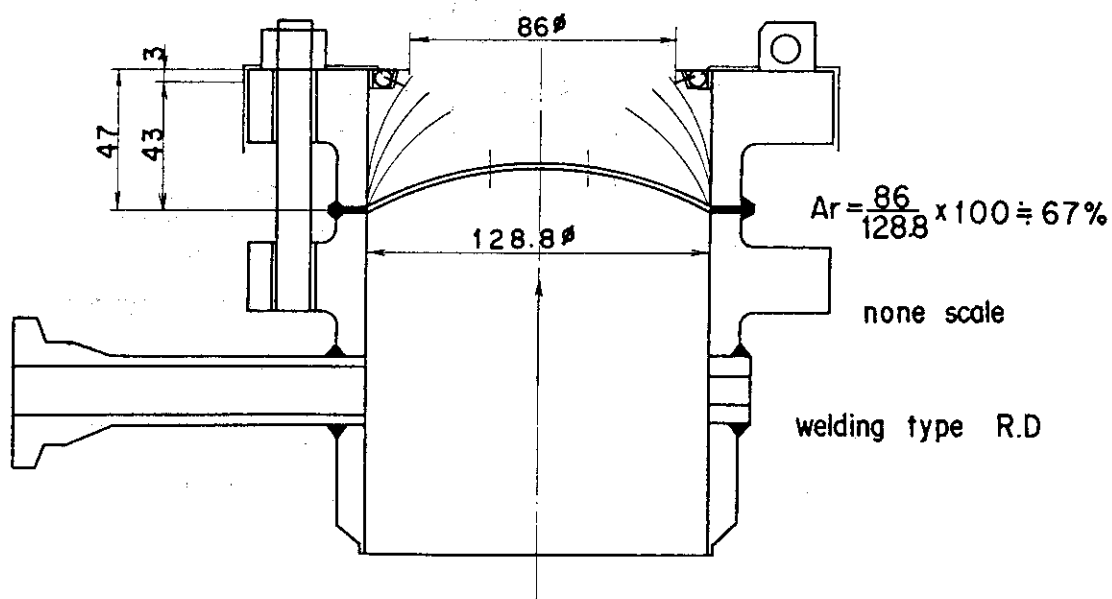


Fig.5 Set up view of the electric contraction terminal (Run No 5702, 5703 6B PWR pipe whip test)

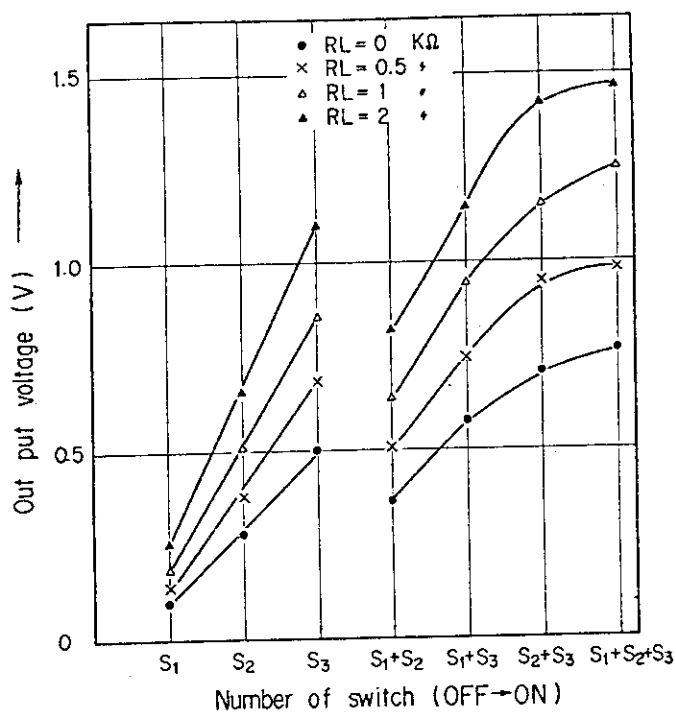


Fig. 6 The voltage character of XU501 E₁ on calibration circuit. (Run 5608 before the test)

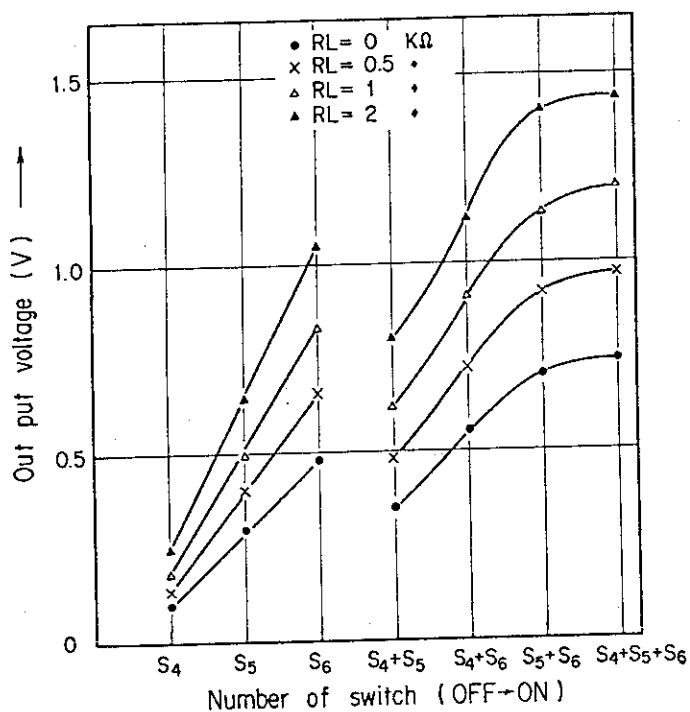


Fig. 7 The voltage character XU502 E₂ on calibration circuit. (Run 5608 before the test)

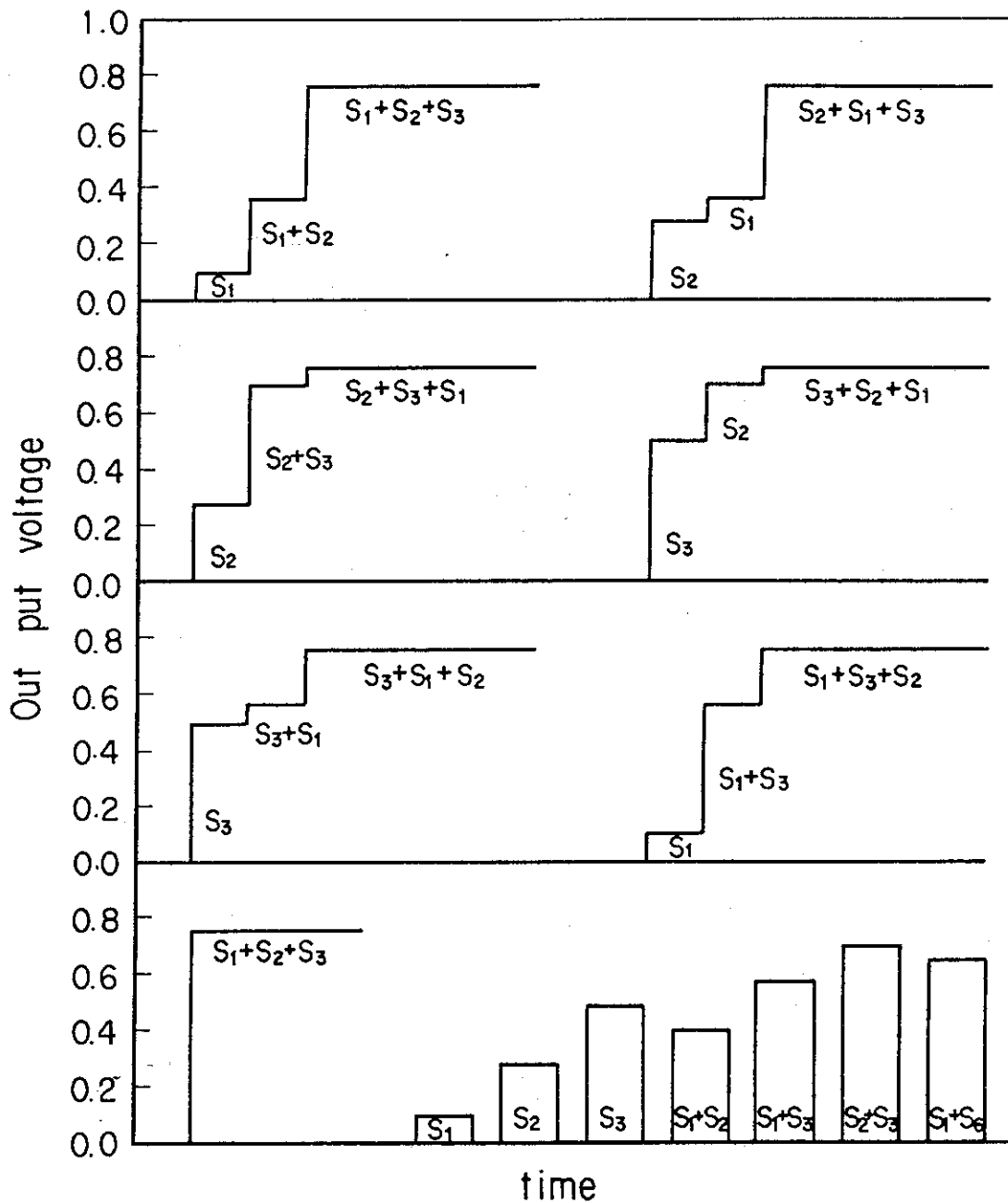


Fig.8 Presumption of the out put voltage
(XU501 Run 5608 before the test)

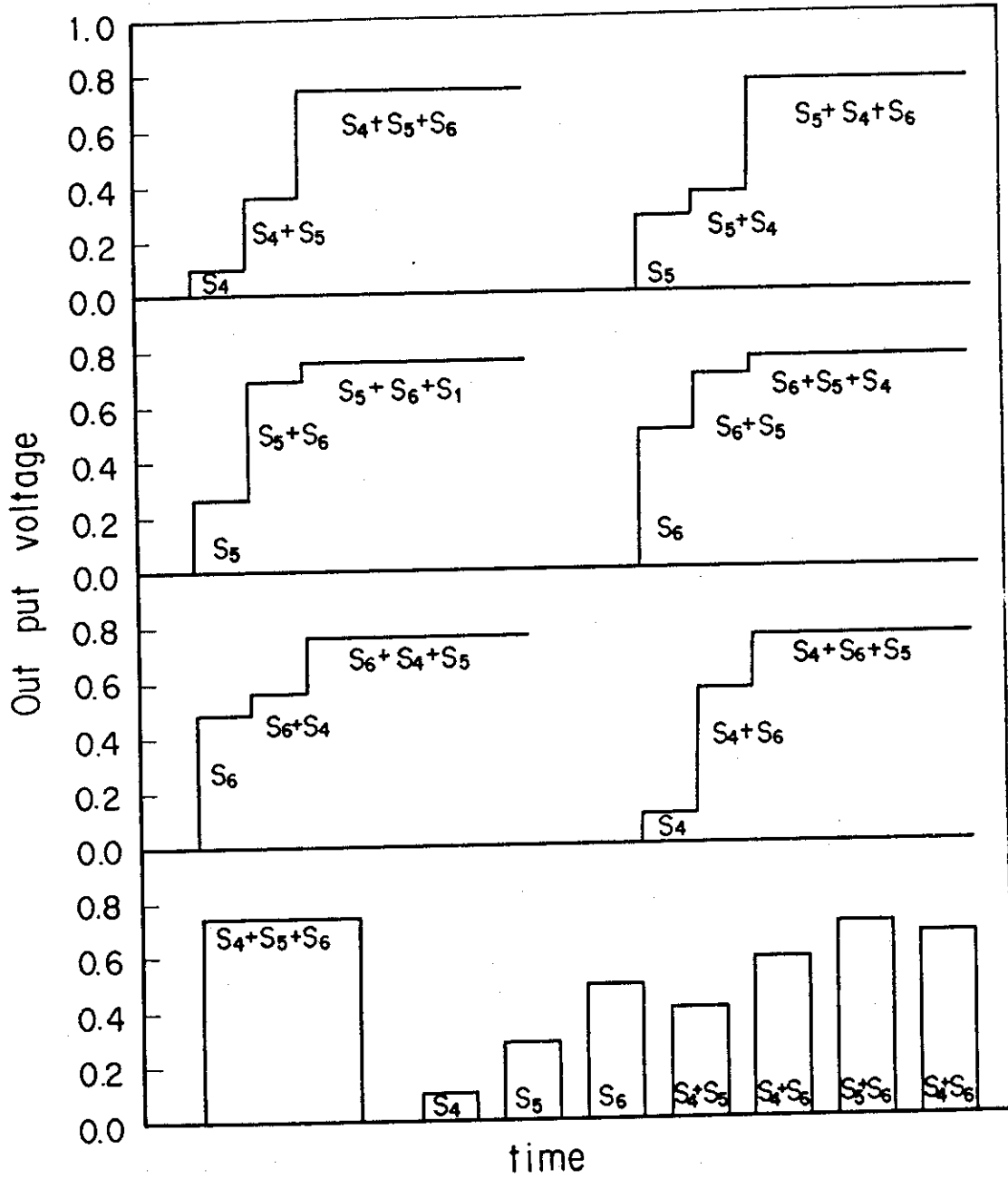


Fig.9 Presumption of out put the voltage
(XU502 Run 5608 before the test)

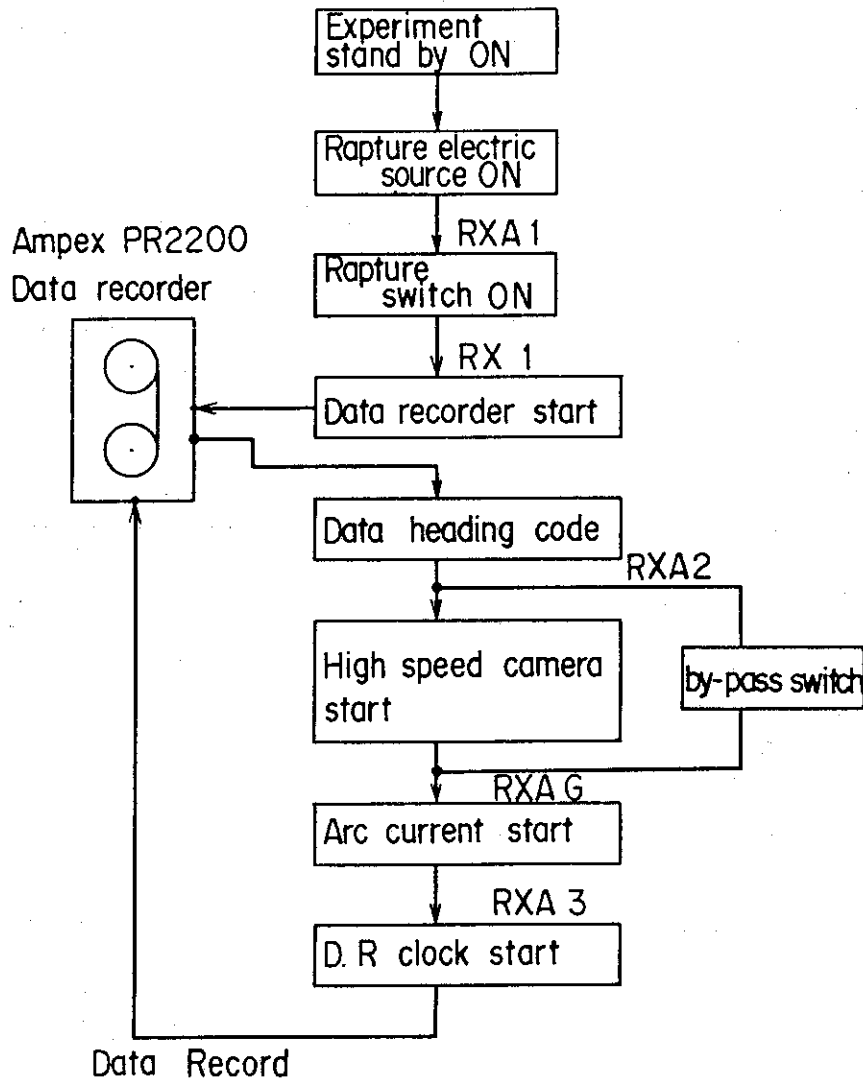
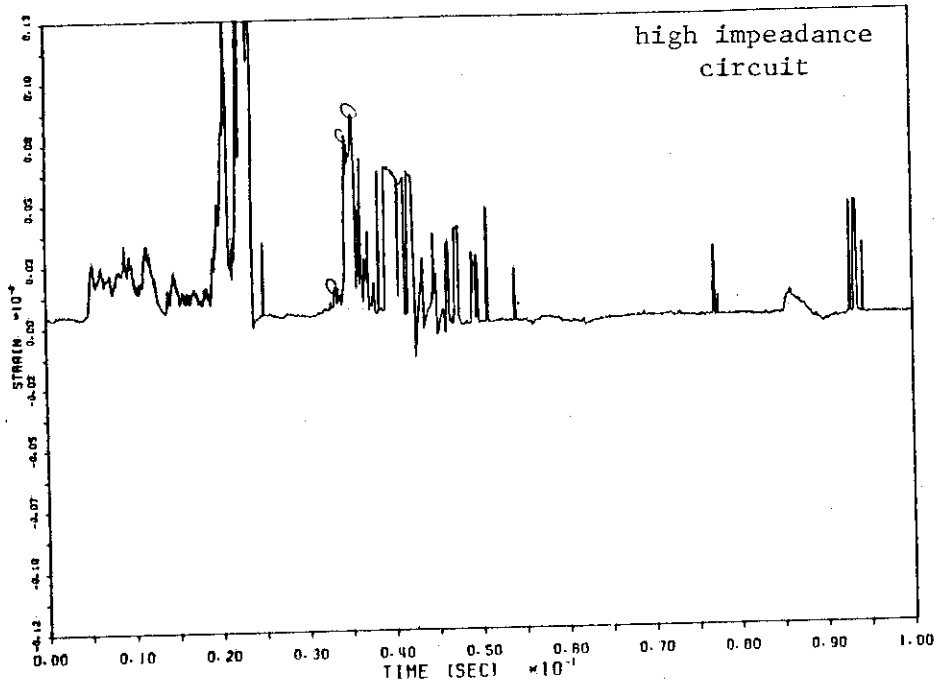


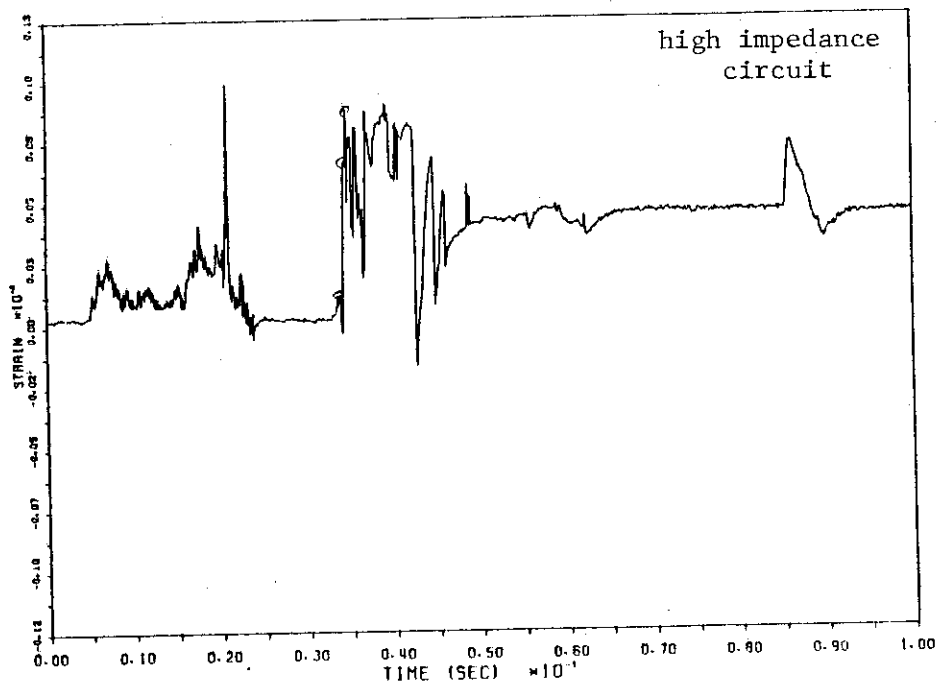
Fig.10 Procedure of braking rupture disc

Fig. 11



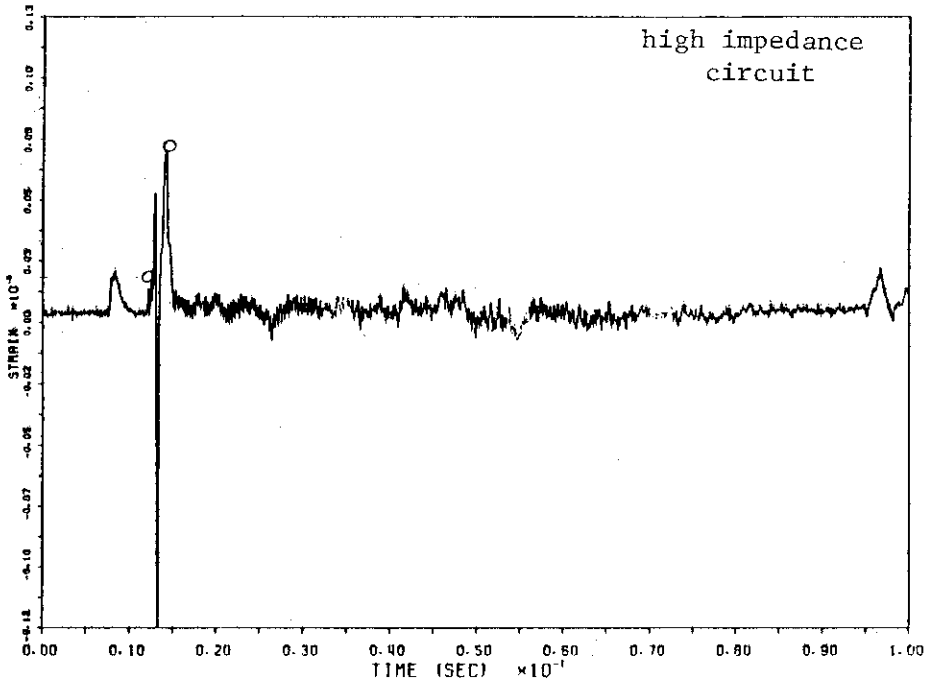
RUN NO.	05608
TEST DATE	81.12.08
TEST TIME	13.47
TAG NO.	XU501
TEST PARAMETER	
PRESS.	ATG
TEMP.	C
VOL.	M3
RUP. DIA	MM
RECORD. PARAMETER	
INDEX	3
DETAIL	5608
CH. NO.	8

Fig. 12



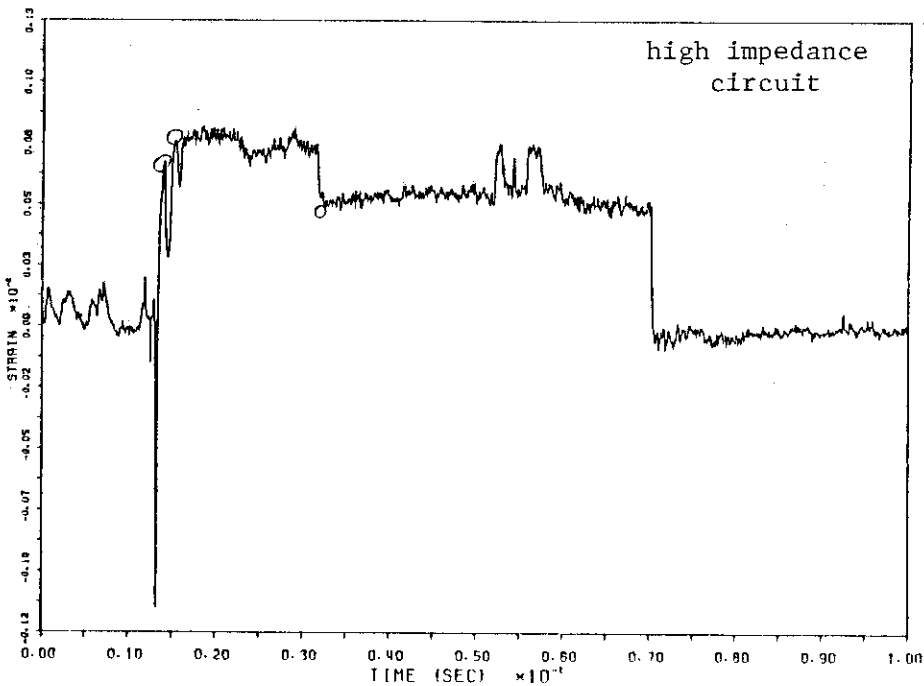
RUN NO.	05608
TEST DATE	81.12.08
TEST TIME	13.47
TAG NO.	XU502
TEST PARAMETER	
PRESS.	ATG
TEMP.	C
VOL.	M3
RUP. DIA	MM
RECORD. PARAMETER	
INDEX	3
DETAIL	5608
CH. NO.	9

Fig. 13



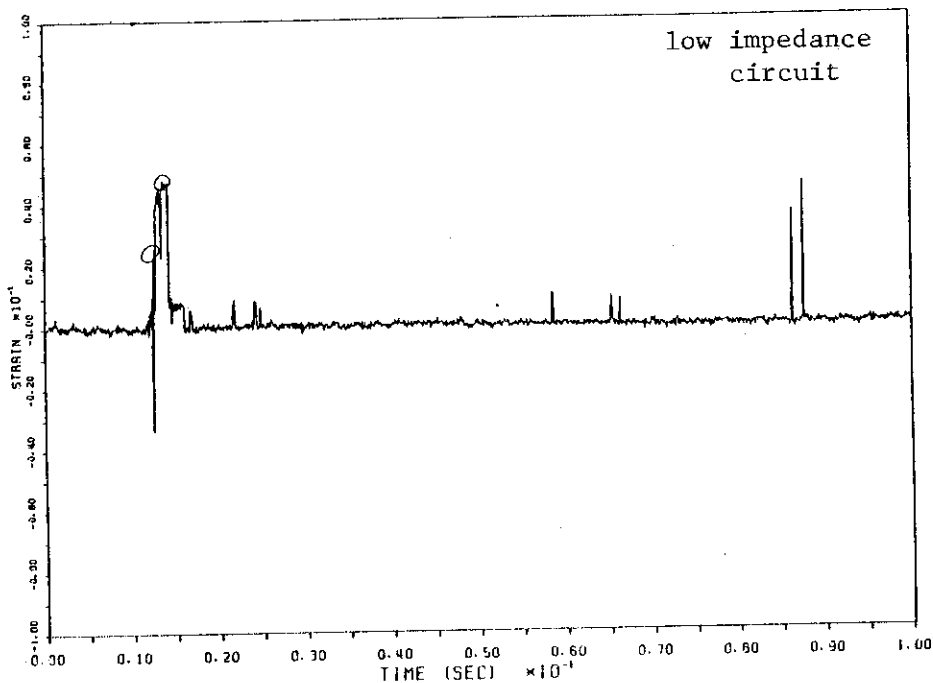
RUN NO.	05702
TEST DATE	82.06.09
TEST TIME	15.54
TAC NO.	XU502
TEST PARAMETER	
PRESS.	ATG
TEMP.	C
VOL.	M3
RUP. DIA	MM
RECORD. PARAMETER	
INDEX	3
DETAIL	5702
CH. NO.	11

Fig. 14



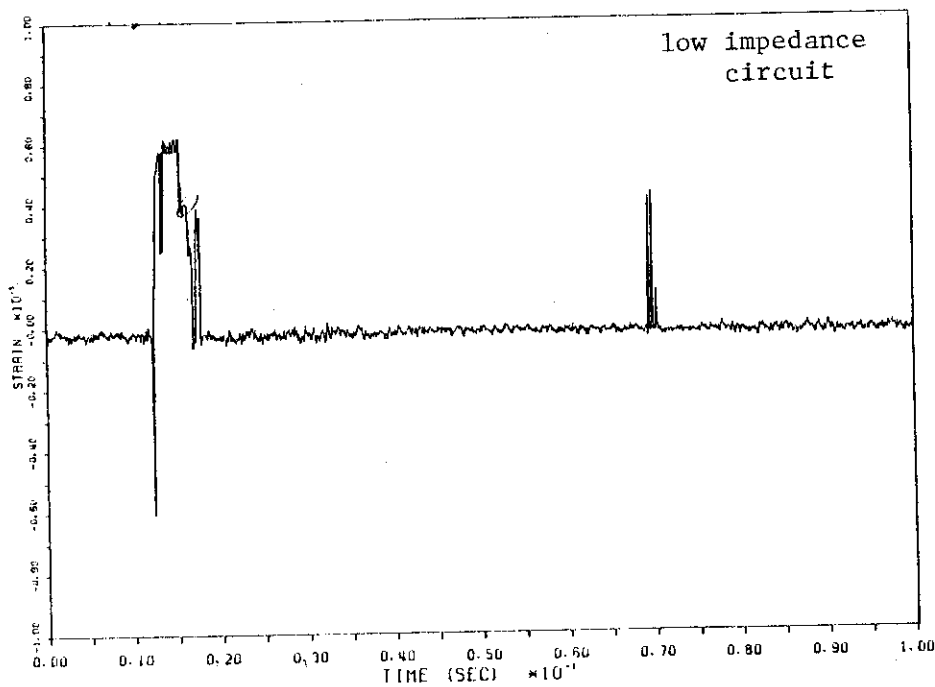
RUN NO.	05702
TEST DATE	82.06.09
TEST TIME	15.54
TAC NO.	XU501
TEST PARAMETER	
PRESS.	ATG
TEMP.	C
VOL.	M3
RUP. DIA	MM
RECORD. PARAMETER	
INDEX	3
DETAIL	5702
CH. NO.	10

Fig. 15



RUN NO.	05703
TEST DATE	82.06.22
TEST TIME	15.28
TAG NO.	XU501
TEST PARAMETER	
PRESS.	ATG
TEMP.	C
VOL.	M3
RUP. DIA	MM
RECORD PARAMETER	
INDEX	3
DETAIL	5703
CH. NO.	9

Fig. 16



RUN NO.	05703
TEST DATE	82.06.22
TEST TIME	15.28
TAG NO.	XU502
TEST PARAMETER	
PRESS.	ATG
TEMP.	C
VOL.	M3
RUP. DIA	MM
RECORD PARAMETER	
INDEX	3
DETAIL	5703
CH. NO.	10

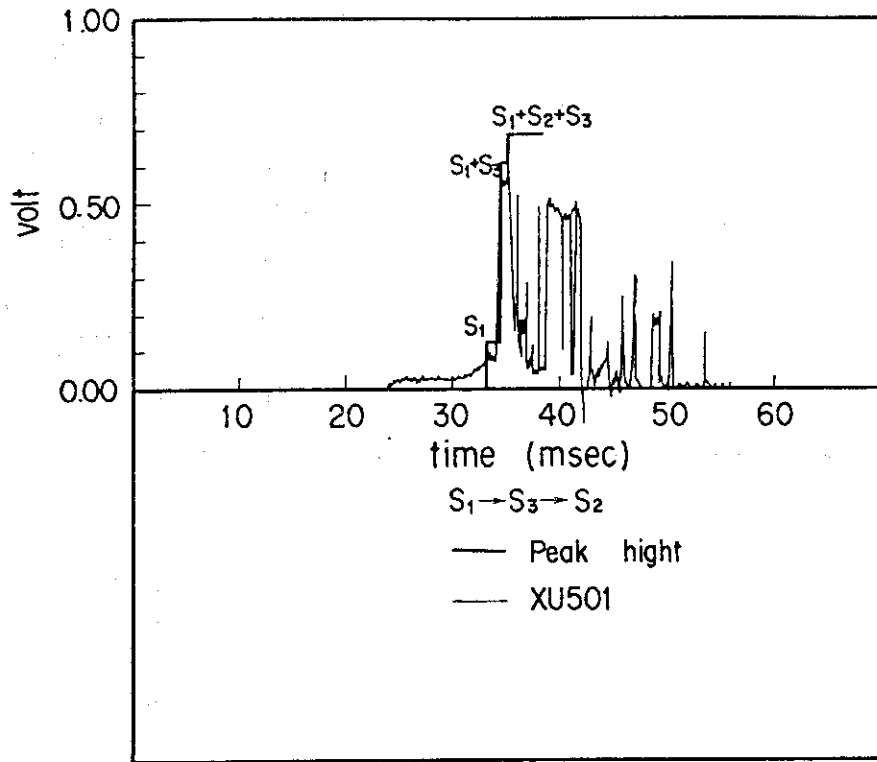


Fig.17 Out put of XU501 (Run No 5608)

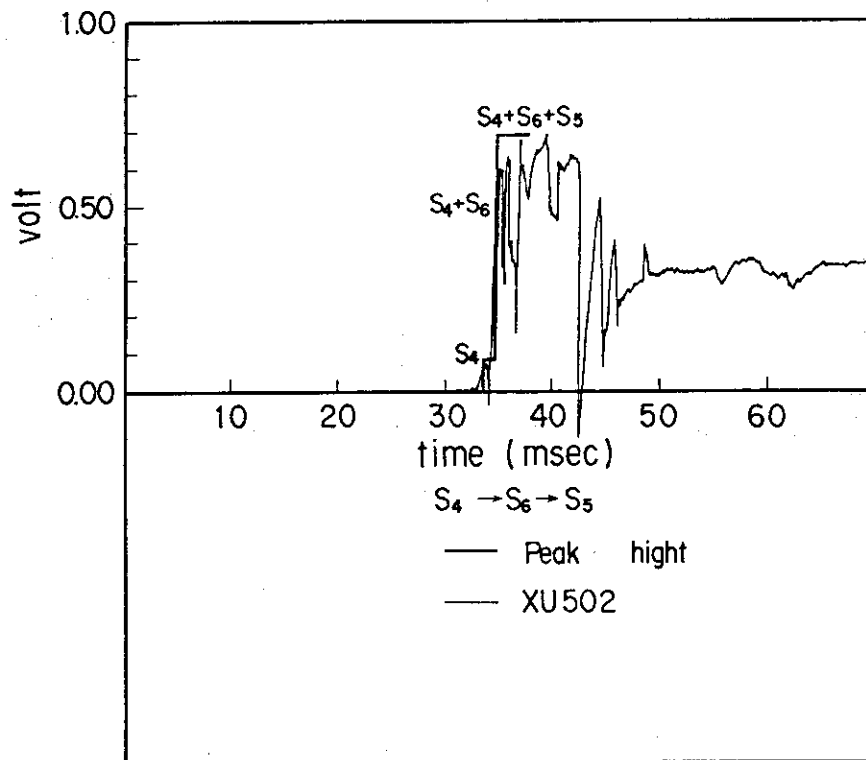


Fig.18 Out put of XU502 (Run No 5608)

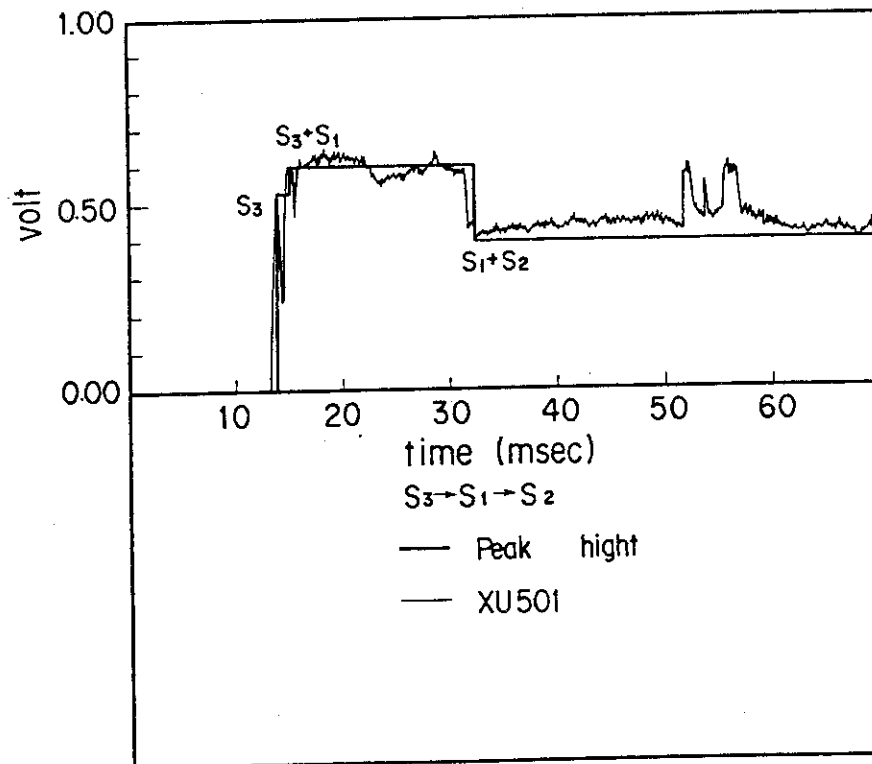


Fig.19 Out put of XU501 (Run No5702)

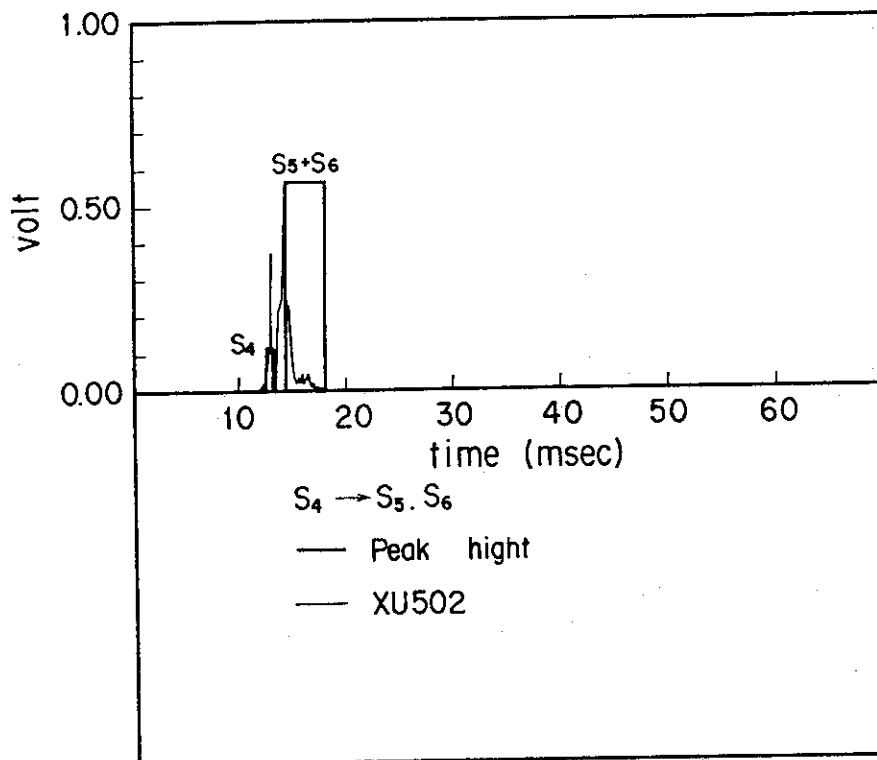


Fig.20 Out put of XU502 (Run No5702)

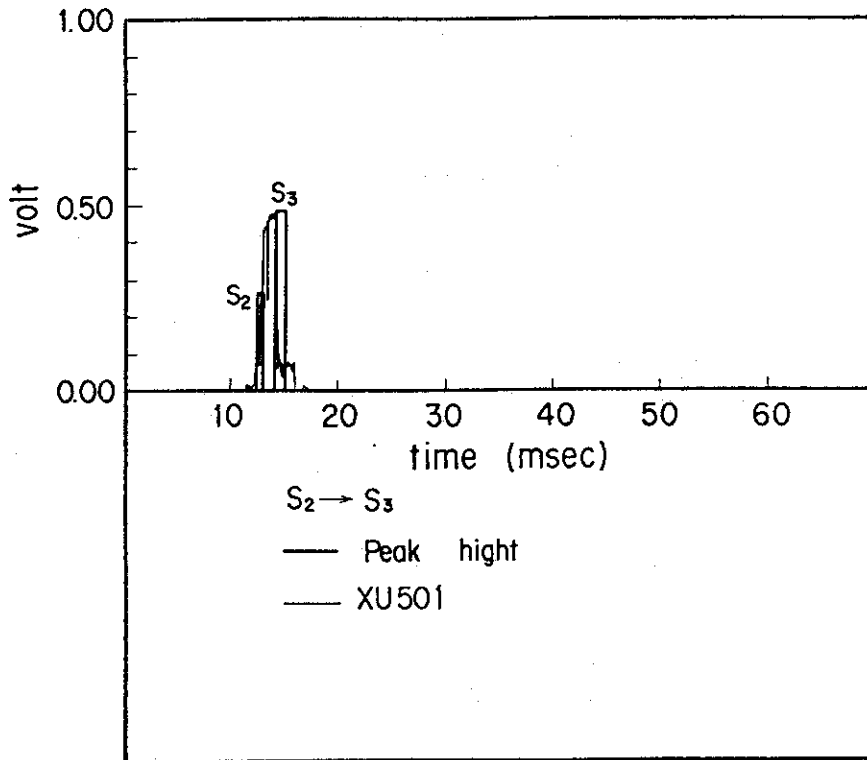


Fig.21 Out put of XU501 (Run No 5703)

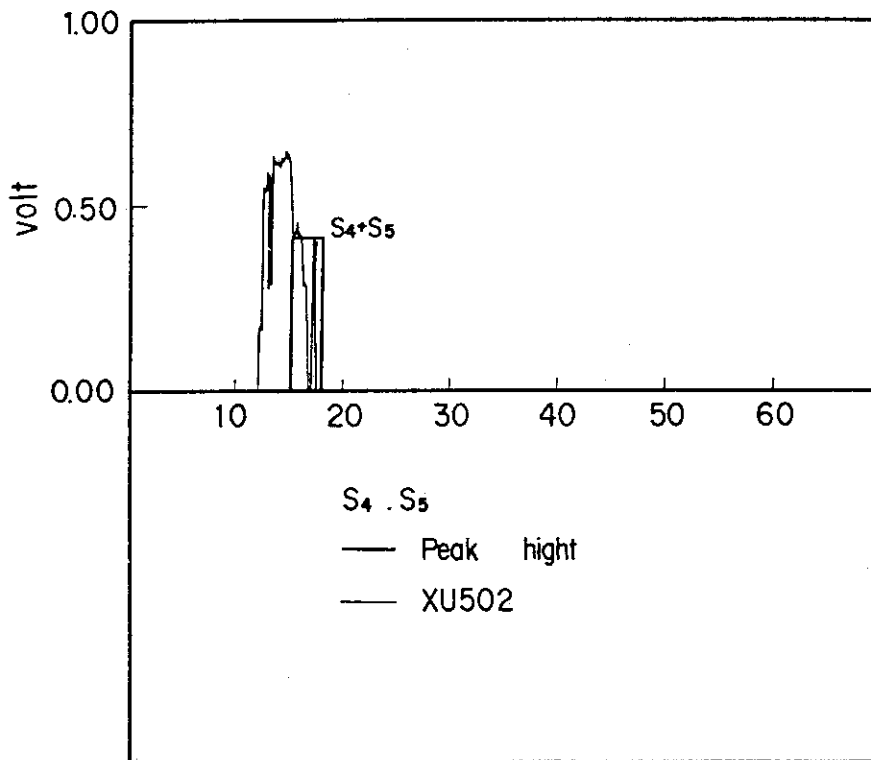


Fig.22 Out put of XU502 (Run No 5703)

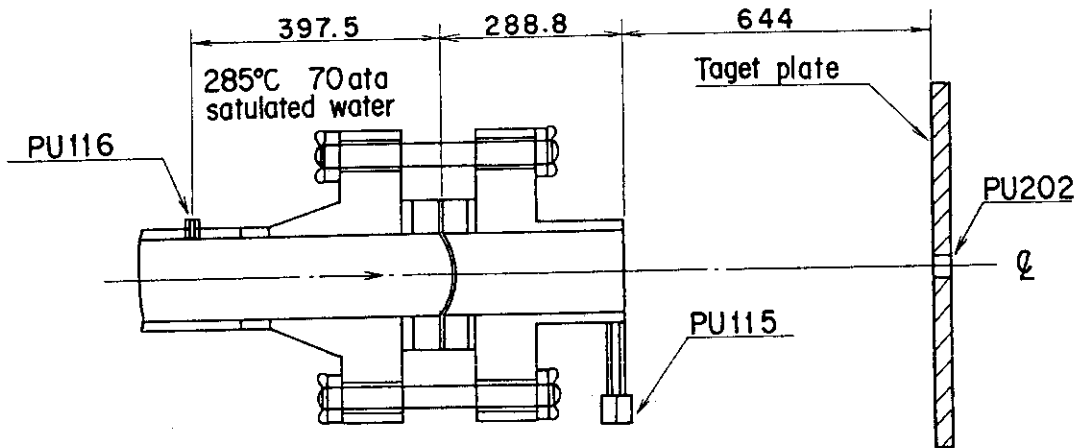


Fig.23 Set up view of PU 116 and PU115, PU202
(Run No 5608 , 6B BWR jet test)

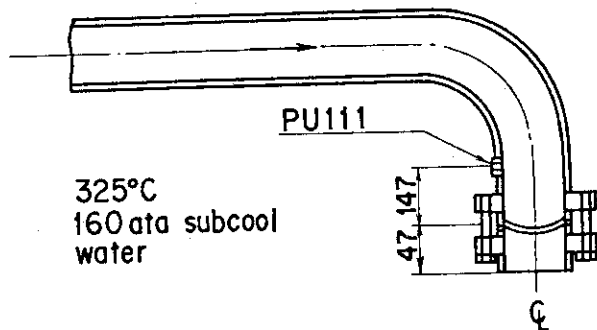


Fig.24 Set up view of PU116 and PU115 (Run No
5702,5703 6B PWR pipe whip test)

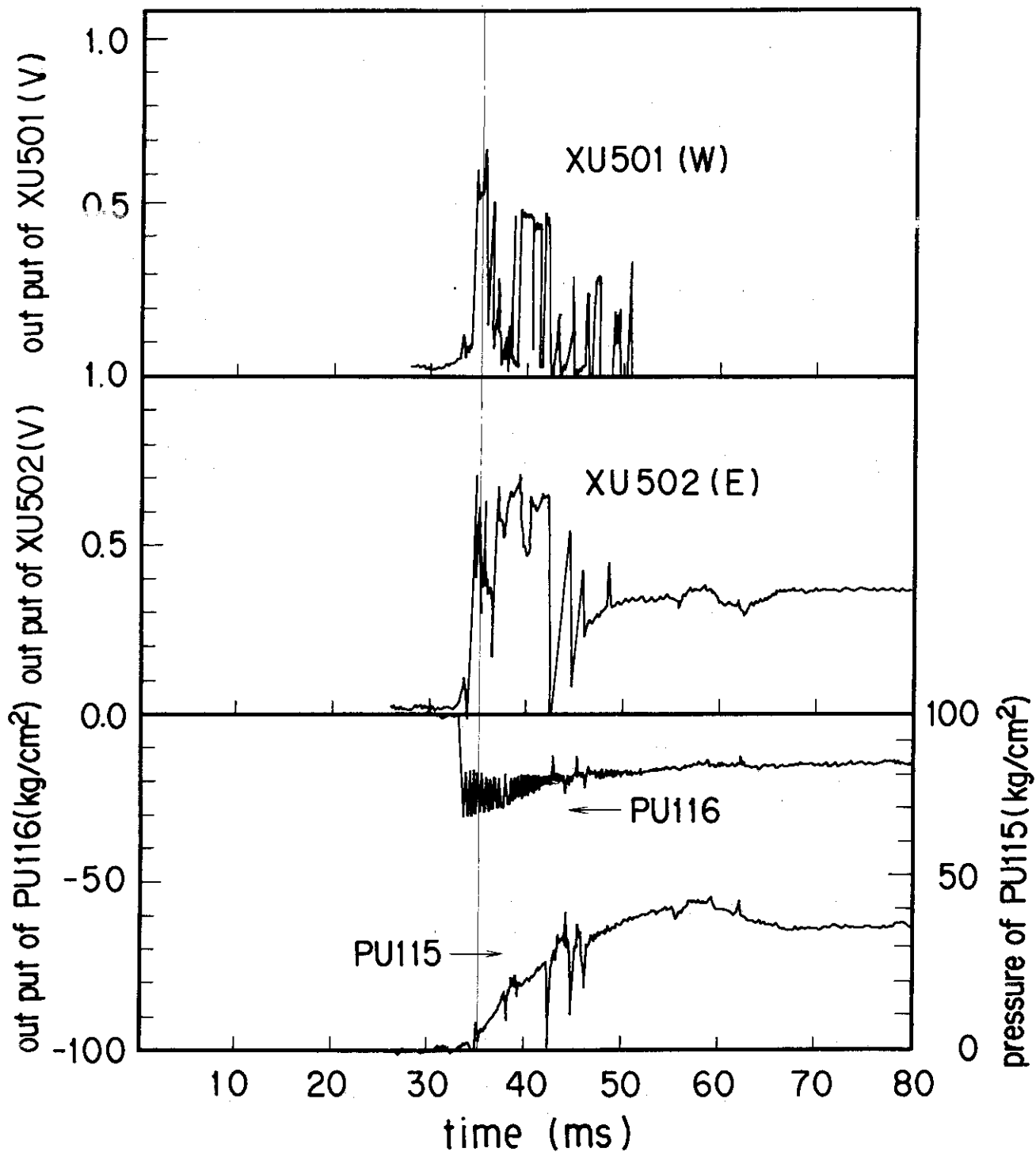


Fig.25 Comparison of XU501-502 and PU115. 116 (Run No 5608)

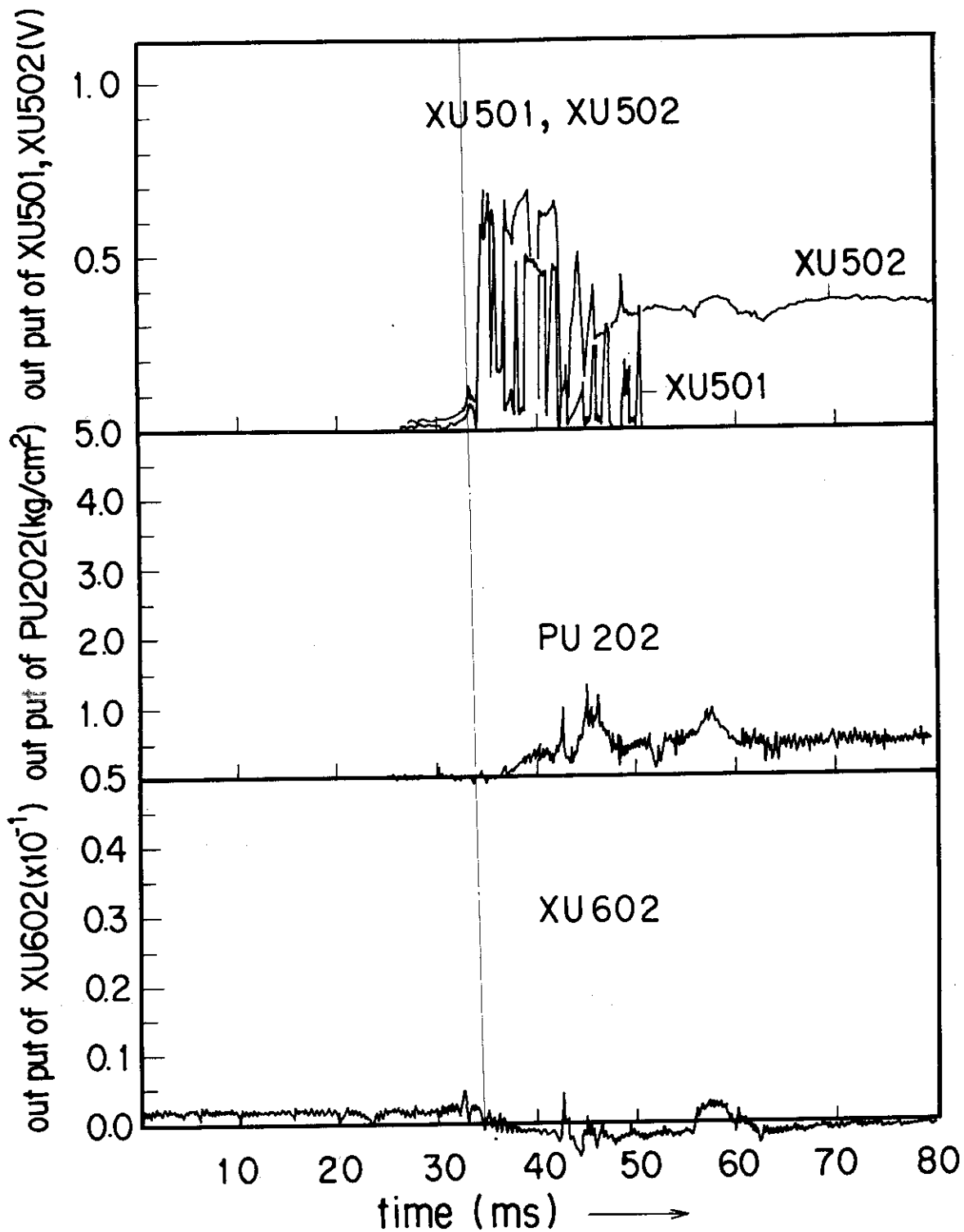


Fig.26 Comparison of XU501-502 and PU202.
XU602 (Run No. 5608)

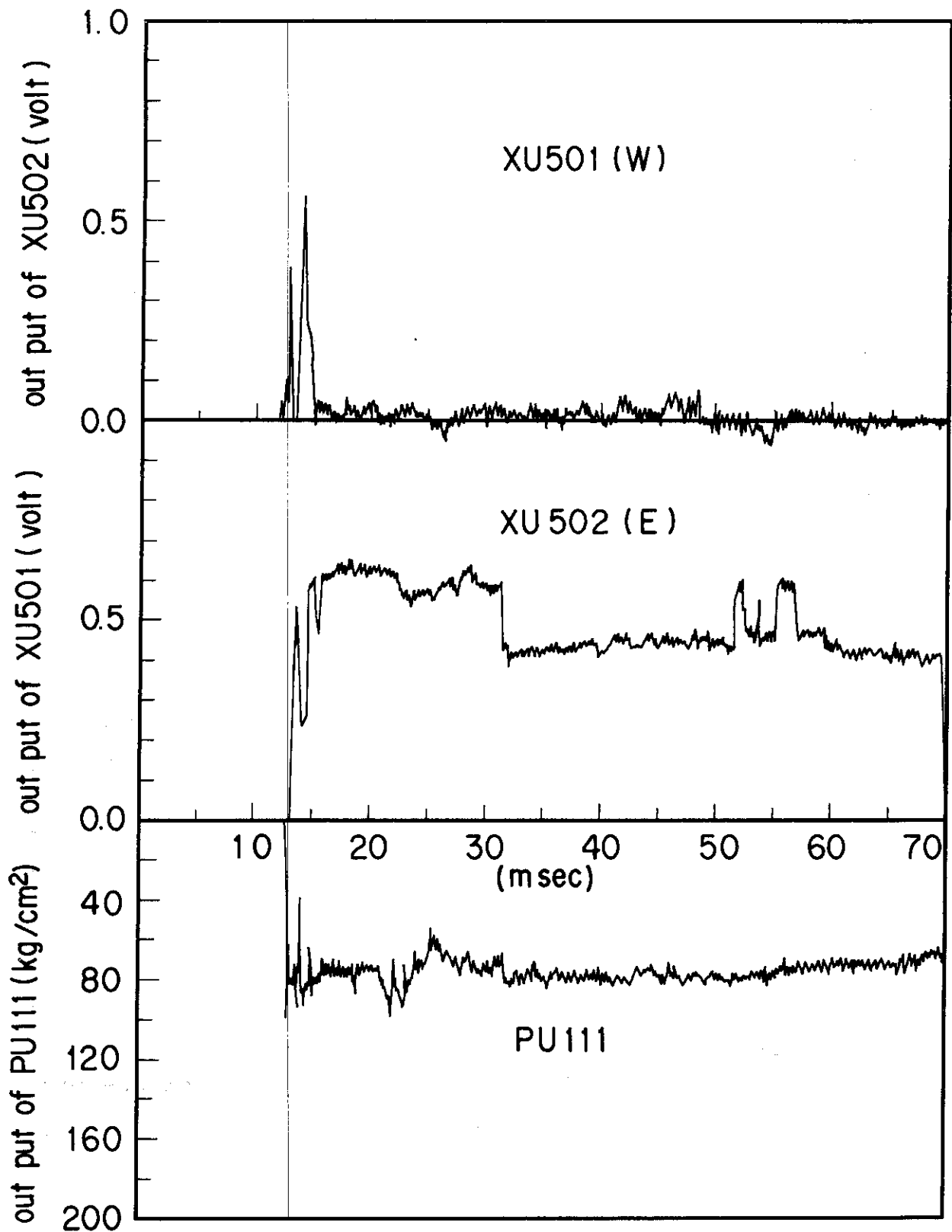


Fig.27 Comparison of XU501·502 and PU111
(Run No 5702)

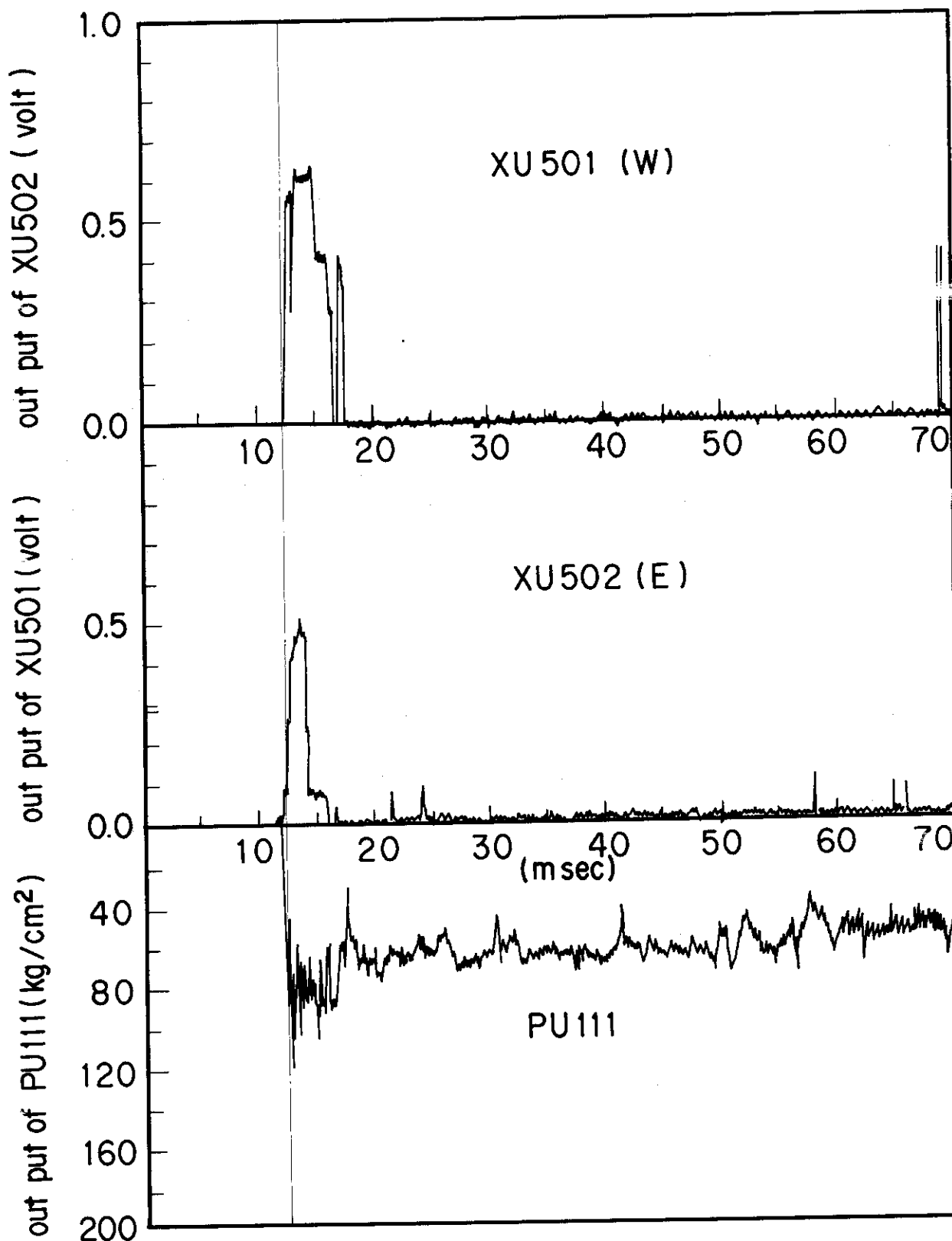


Fig. 28 Comparison of XU501·502 and PU111
(Run No 5703)

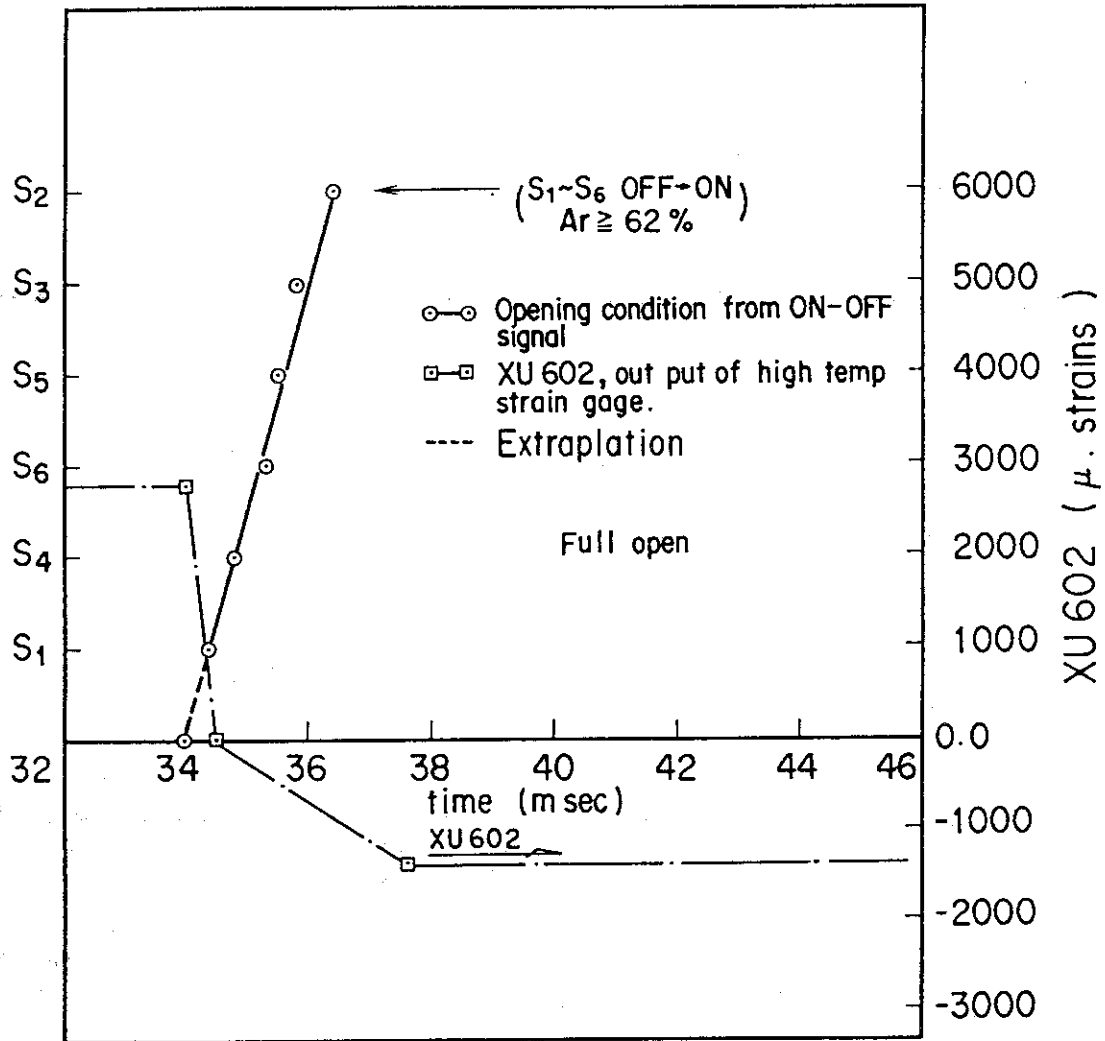


Fig.29 Opening condition from ON-OFF signal (Run No 5608)

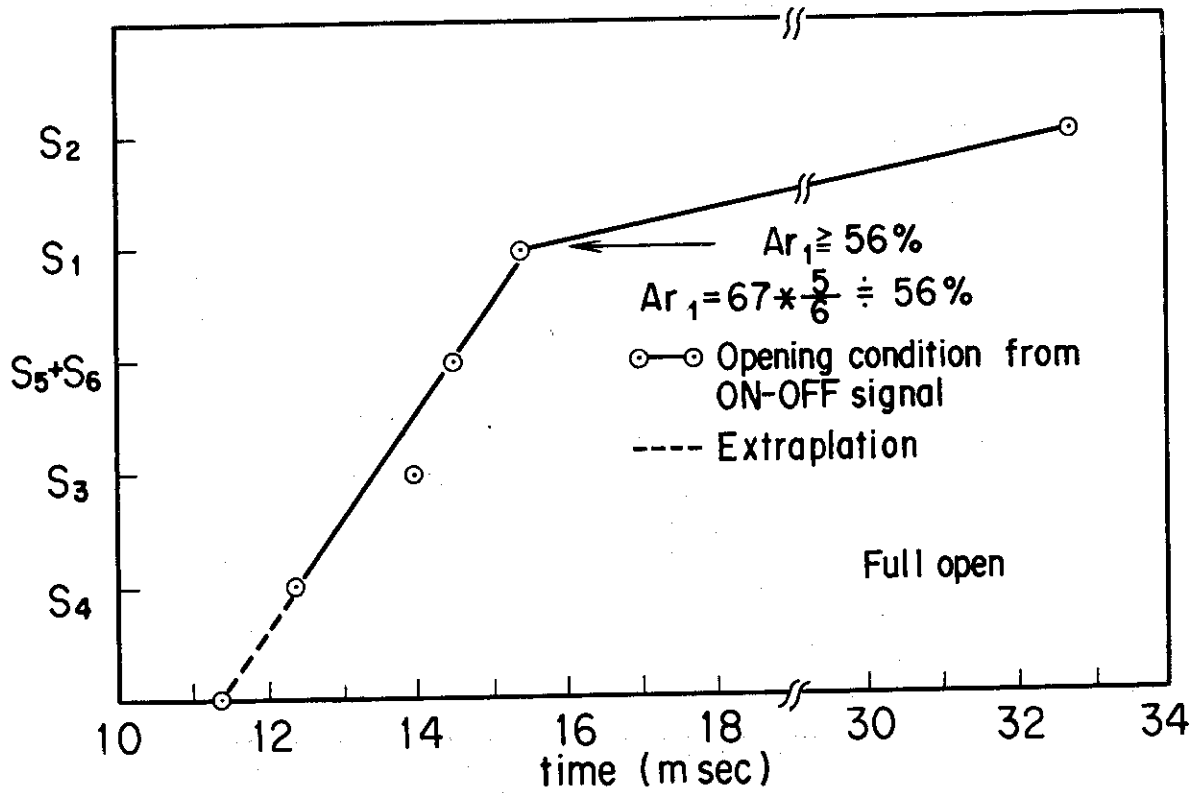


Fig.30 Opening condition from ON-OFF voltage signal (Run No 5702)

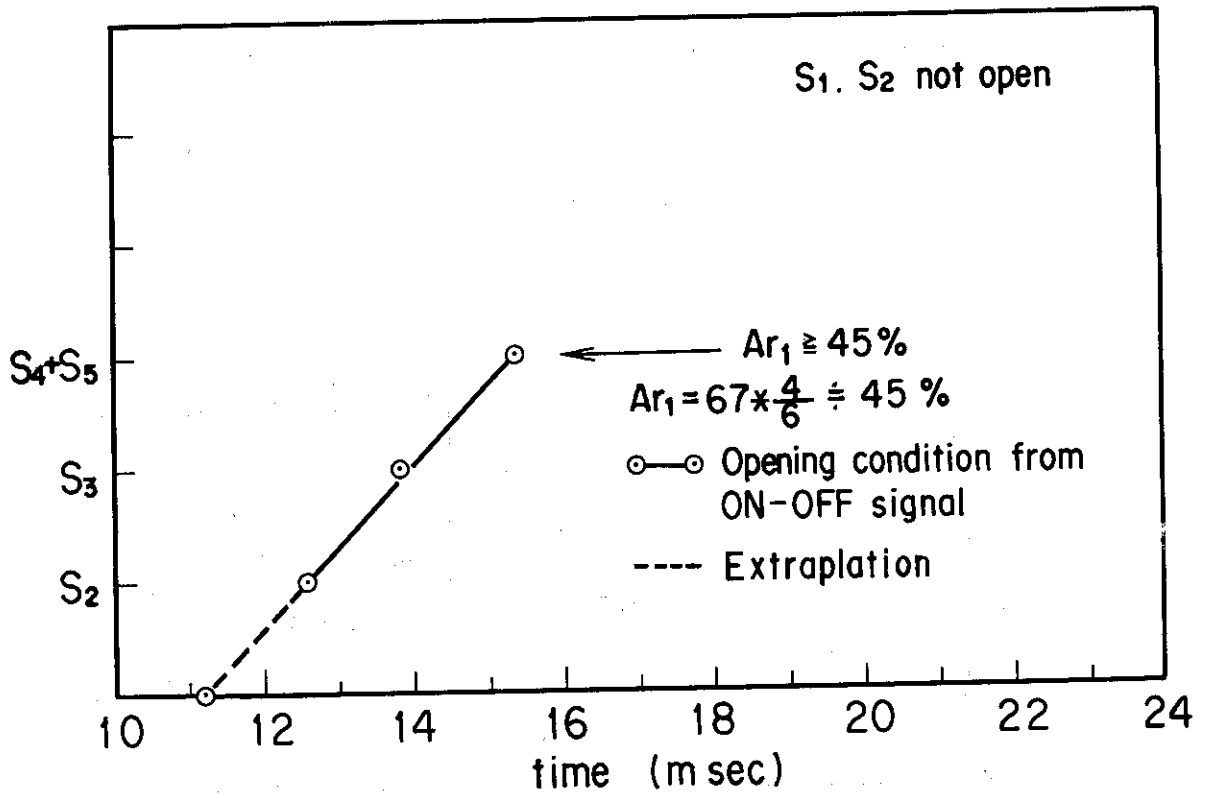


Fig.31 Opening condition from ON-OFF voltage signal (Run No 5703)

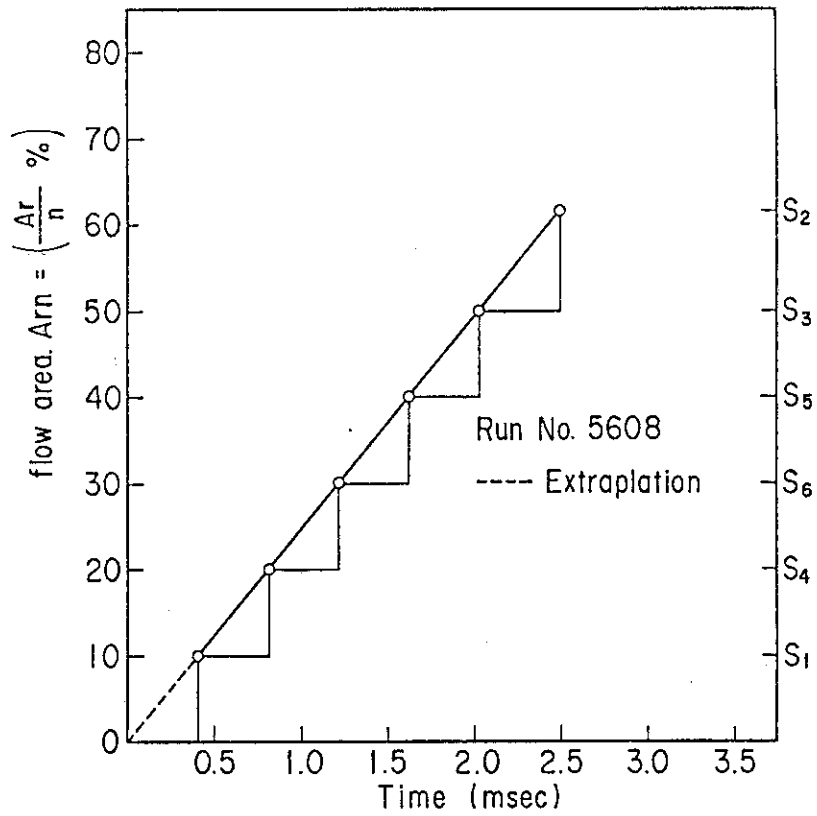


Fig.32 Rapture disc opening model (Run No.5608)

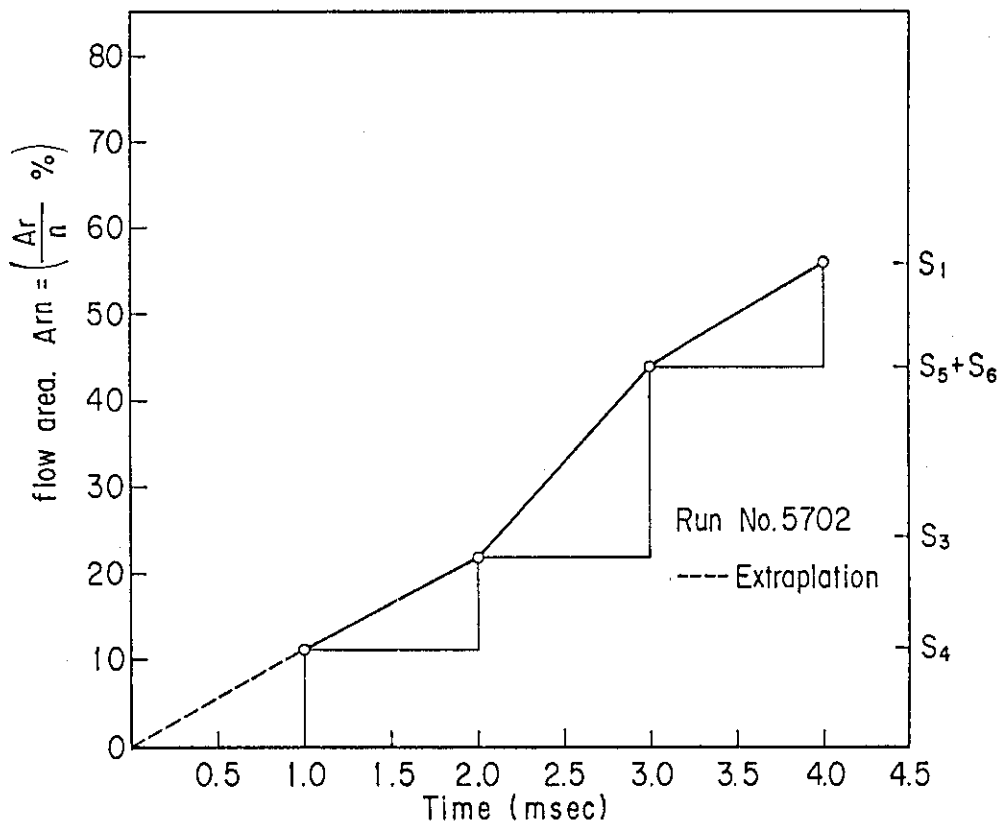


Fig.33 Rapture disc opening model (Run No.5702)

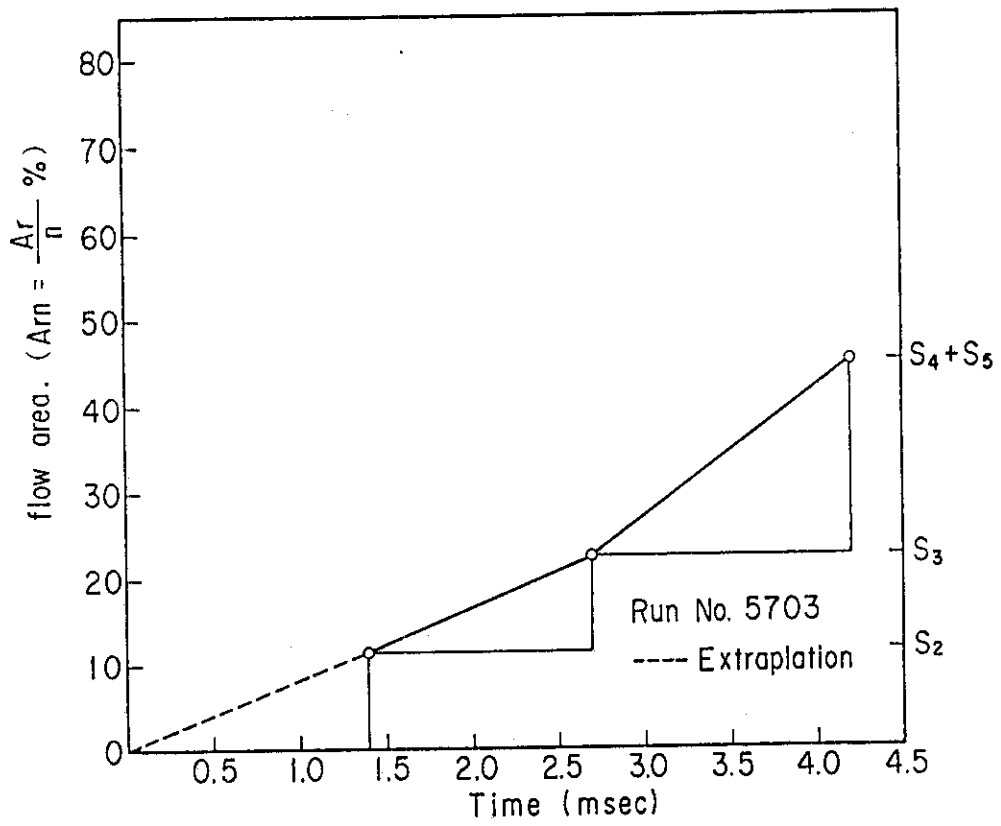


Fig.34 Rapture disc opening model (Run No.5703)

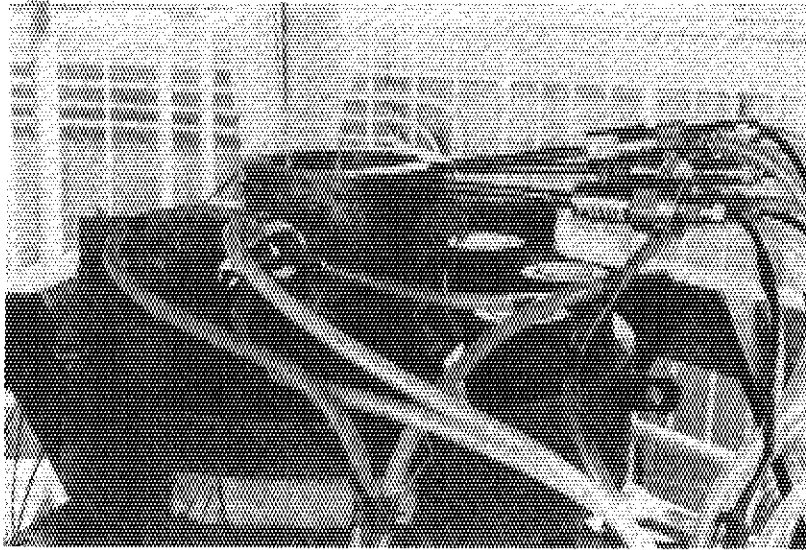


Photo. 1 Before the test (Run no 5608, 5609)

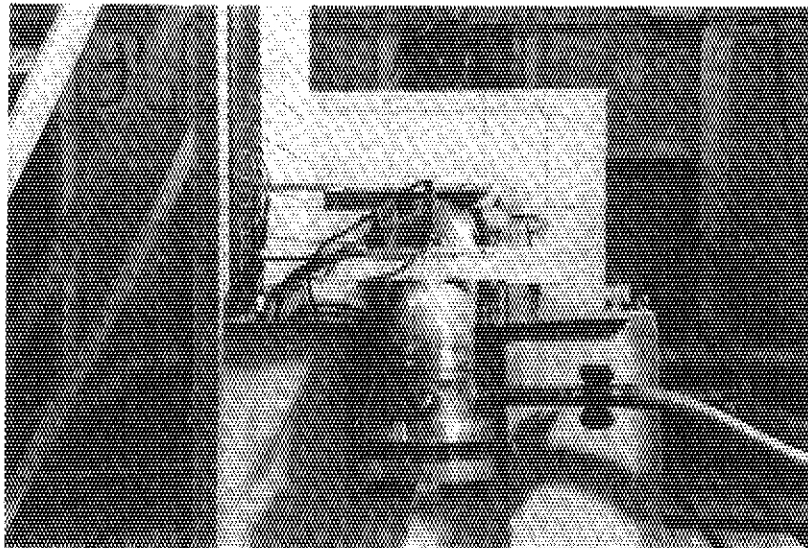


Photo. 2 After the test (Run no 5702)

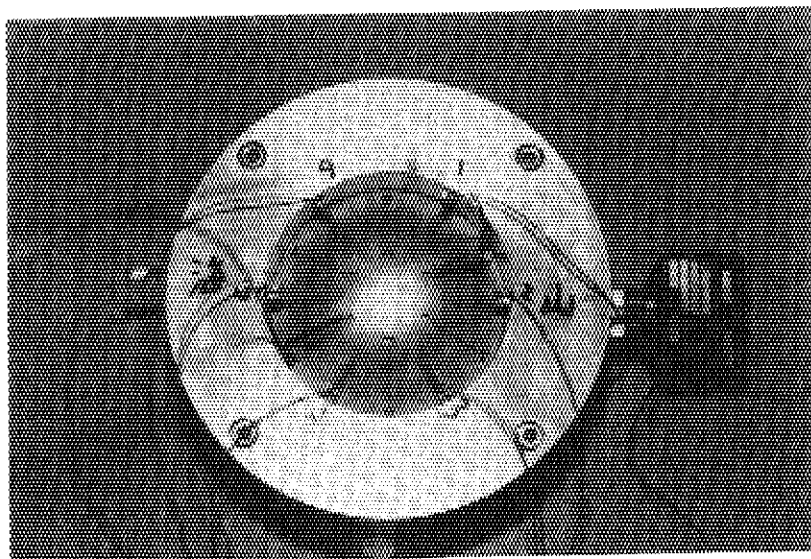


Photo. 3 Rapture disc: before the test (Run no 5608)

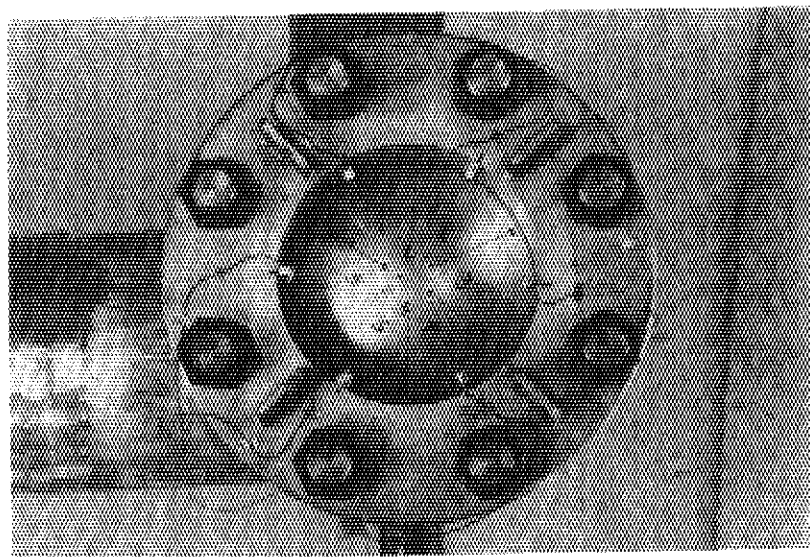


Photo. 4 Rapture disc: before the test (Run no 5702)

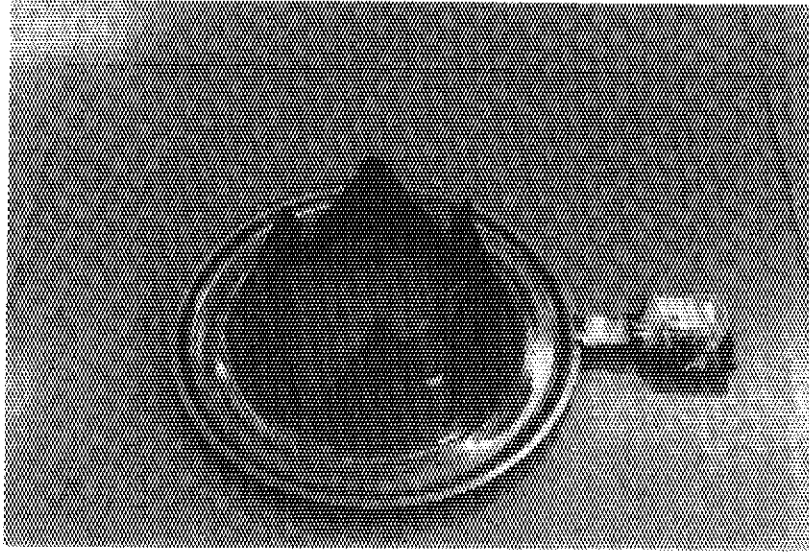


Photo. 5 Rapture disc: after the test (Run no 5608)

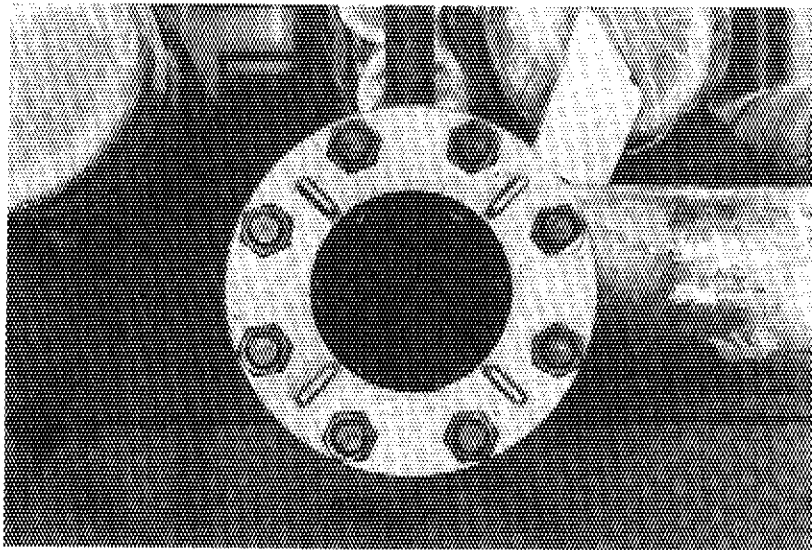
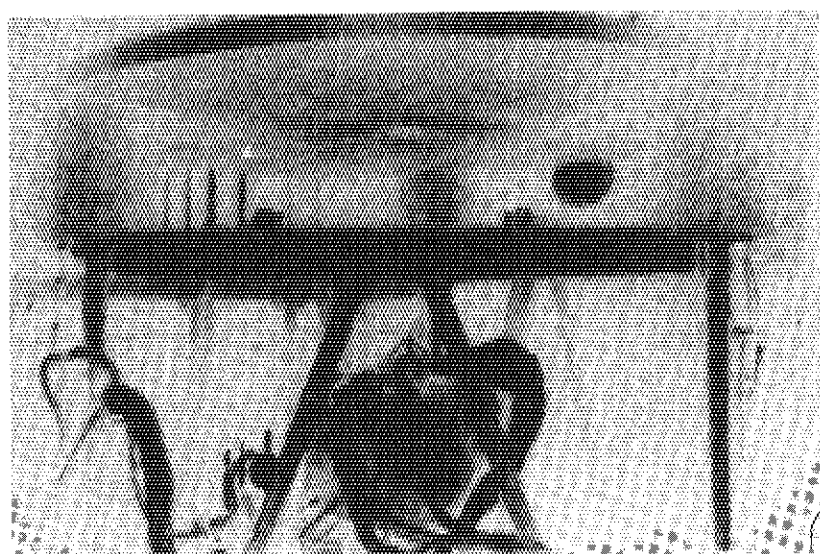


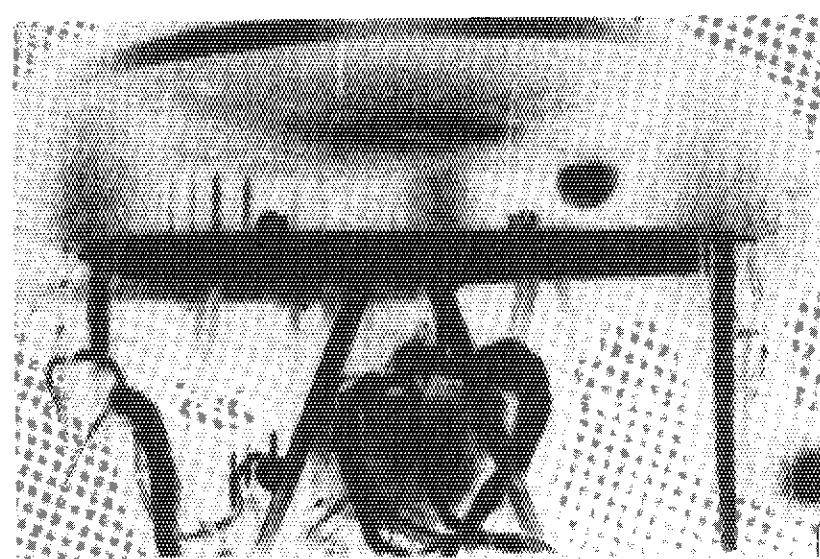
Photo. 6 Rapture disc: after the test (Run no 5702)

Photo. 7 Run no 5608

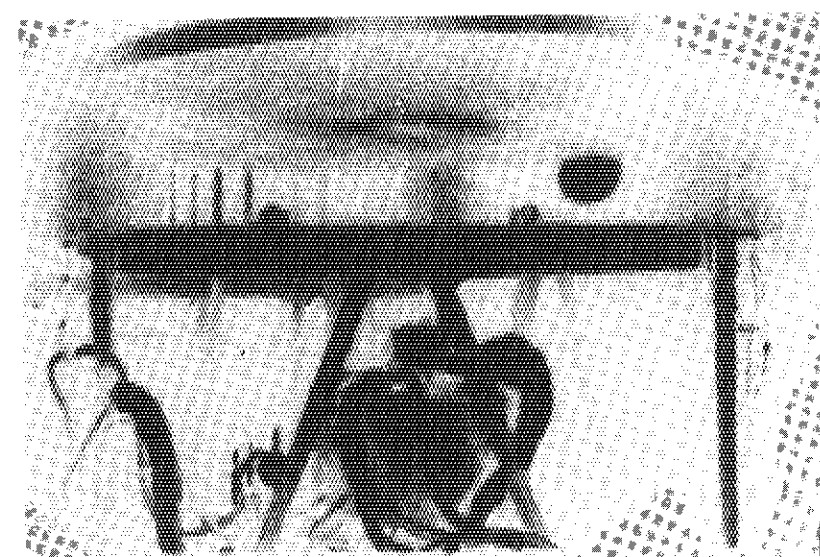
(1) Steam appears



(2) 0.3 ms



(3) 0.7 ms



(4) 3.3 ms

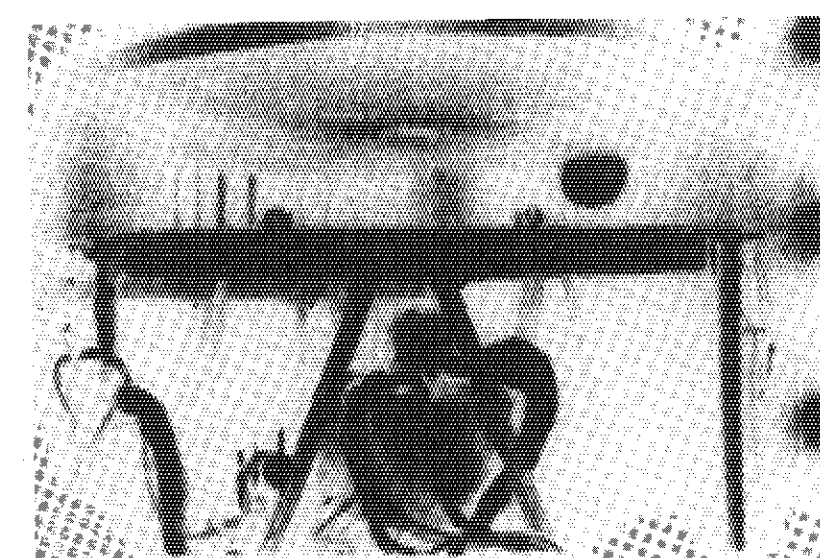
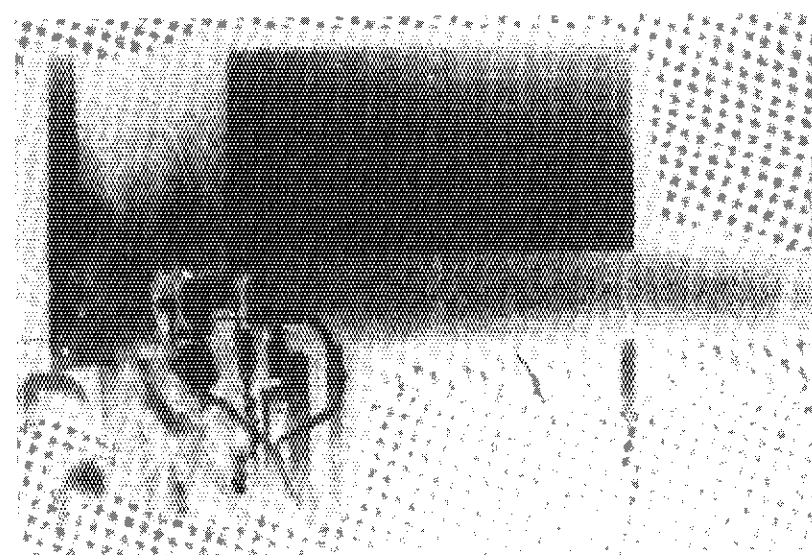


Photo. 8 Run no 5702

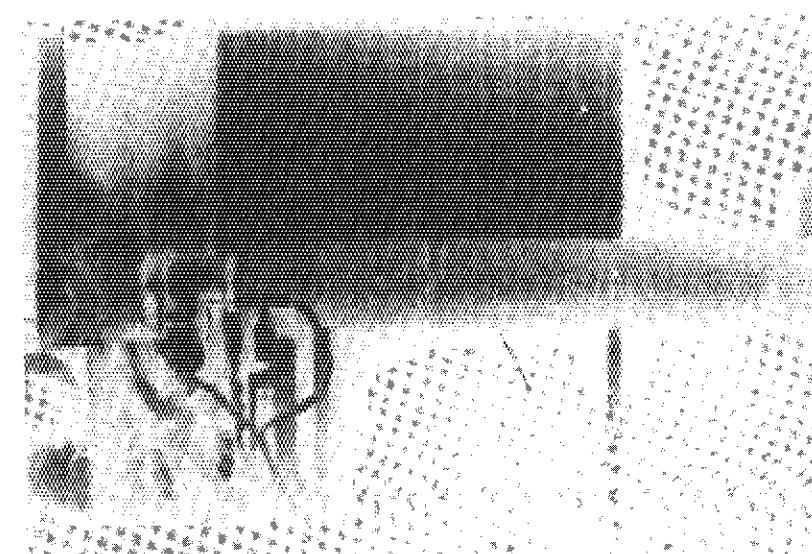
(1) Steam appears



(2) 0.3 ms



(3) 0.7 ms



(4) 5.0 ms

