

OCT. 1984

RIIS-RR-32-6

UDC 536.46 : 614.838 : 621.646.2 : 66.025

# 産業安全研究所研究報告

RESEARCH REPORT OF  
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

RR-32-6

## 安全破裂板に関する研究

——背圧安全破裂板の挙動とじん速破裂について——

鶴見 平三郎

労働省産業安全研究所  
MINISTRY OF LABOUR  
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

# 安全破裂板に関する研究

—背圧安全破裂板の挙動とじん速破裂について—

鶴見平三郎\*

Behaviour of two Rupture Disks when a Chamber Constituted  
by them is Pressurized by a Gas and the Quick Releasing  
Method of Explosion

by Heizaburo TSURUMI\*

A single rupture disk has been ordinarily used as one of the safety devices for pressure vessels. But, in this study, two rupture disks are fitted in series on a vessel as shown in Fig. 2. A chamber between the two disks was filled with a pressurized gas which was air, nitrogen or helium. The sample rupture disks were made of flat aluminum plate, and the operating rupture pressure of the disk was 3.78 kgf/cm<sup>2</sup>. The chamber gas was pressurized at the maximum 3.5 kgf/cm<sup>2</sup>. The volume of chamber was 56.65 × 10<sup>-3</sup> litre. The rupture pressure of the disks for the dynamic pressure were measured by the explosion of premixed hydrogen-air gases for each charged gas.

The behaviour of the rupture disks connected with the charged gas are shown in Fig. 3 and Fig. 5 through 11. The relation between the rupture pressure, flame velocity and charged gas pressure (back pressure) are given in Fig. 8, when the flame velocity is less than approximately 100m/sec. In the case of helium, even then the back pressure was 3 kgf/cm<sup>2</sup>, the rupture pressures were less than those of charged nitrogen of the atmospheric pressure. It was shown that the back pressure depended on the density of the charged gas.

As shown in paragraph 3.1 and 3.2, the rupture pressure of disks depends on the back pressure under the conditions of the statical pressure and dynamic pressure. From the results, the author concludes that a pair of two disks is useful as a safety device under some application conditions. If the charged pressure is varied, a change of the rupture pressure of this system is possible, but the maximum charged pressure of the chamber will not be beyond the operating rupture pressure of the disk.

As described in paragraph 3.3, before the explosion wave reaches in front of the upstream side disk when an explosion occurs inside of the vessel, if the pressure of chamber is reduced quickly to the atmospheric pressure, the upstream side disk will break at the rupture pressure of the disk without back pressure and the downstream side disk will break successively.

Photo. 8 shows an example of the operating ability of this system when the charged gas is air and the back pressure is 3.5 kgf/cm<sup>2</sup>.

In order to apply of this quick releasing method of explosion, the condition of explosions velocity and the exhaust times of back pressure were given as shown in Fig. 13, Fig. 14 and Eqs. (3) to (6).

---

\* 化学研究部 (Chemical Safety Research Division)

## 1. まえがき

薄板の安全破裂板 (Rupture Disk, RD) の使用の目的は、圧力容器、回転機械、配管系、ダクトなどの密閉された装置が過剰な圧力によって破損することを防止することであり、爆発の可能性がある場合、パネ式安全弁のように弁の慣性による吐出しのタイムラグがなく、しかも吐出抵抗が小で、正常時には内容物の漏れがないように保持できる等の長所から有効<sup>1),2),3)</sup>な安全装置とされている。一般に圧力容器等への RD の装着は、RD 1 枚をホルダにより取り付けられた状態をとっているが、ここでは RD 2 枚を用いてチャンバーを作り、吐出方向に対向する圧力、すなわち背圧<sup>4)</sup> ( $P_B$ ) として気体をチャンバー内に充てんし、気体爆発により爆発現象下における RD の動圧破裂挙動等を解明した。

また、ここで得られた特性を利用し爆発の開始段階の発光をモニターする光ファイバーを使用したセンサーを開発し、爆発による圧力波が容器内部側 (上流側) の RD に到達する以前に、背圧を急激に減少させる、いわゆる背圧開放方式を用いることにより、より低い静圧設定値 ( $P_s^0$ , この報告においては、 $P_s^0 = 3.78 \text{ kgf/cm}^2$ ) での RD を破裂させることを考究し、これらの検出機構が安全対策上十分な意味をもつことを明らかにした。

この報告では、これらの研究結果について記載する。なお、この研究の背景をなす RD の爆発現象下にお

る破裂の際の昇圧速度依存性等の研究結果は、前述の RD の有効性について条件があることを示しており、すでに他の報文<sup>5),6),7),8)</sup>で報告されているのでこれを参照して頂きたい。

## 2. 研究方法

この報告における実験装置は、Fig.1 のとおりであり、前報文<sup>6)</sup>と同様長さ ( $L$ ) 3m の爆発容器を用いてその一端に RD を取り付け実験を行った。爆発圧力の放出容間側 (下流側) の耐圧容器 (内容積  $0.5 \text{ m}^3$ ) は、実験により破裂したサンプルを受入れるものである。パイプ状の爆発容器を用いたのは RD 近傍において任意の火炎速度、圧力等の爆発現象のパラメータをうるためのものであり、圧力及び火炎速度のモニターには前者については、ピエゾ (感度  $0.35 \text{ PC/psi}$ ,  $\phi 7$ ) 及び半導体 (感度  $100 \text{ mV/kgf/cm}^2$ ,  $\phi 5$ ) のトランスジューサー、後者については、イオン電流回路 (印加電圧  $270 \text{ V}$ ) をそれぞれ用いた。

RD 取り付け部のアダプターの詳細については、Fig.2 のとおりであり、 $P_B$  がかけられるチャンバー ( $V_0$ ) の容積は、 $56.65 \times 10^{-3} \text{ l}$  であり、この容積では、 $3 \text{ kgf/cm}^2$  の封入気体圧に対し、大気圧までの放散時間の計算値は、 $17 \text{ msec}$  であり、使用する電磁弁の作業特性時間を考慮に入れても  $30 \text{ msec}$  内外ですむことになる。

RD 破裂時の圧力の計測は、実験条件によっては衝撃

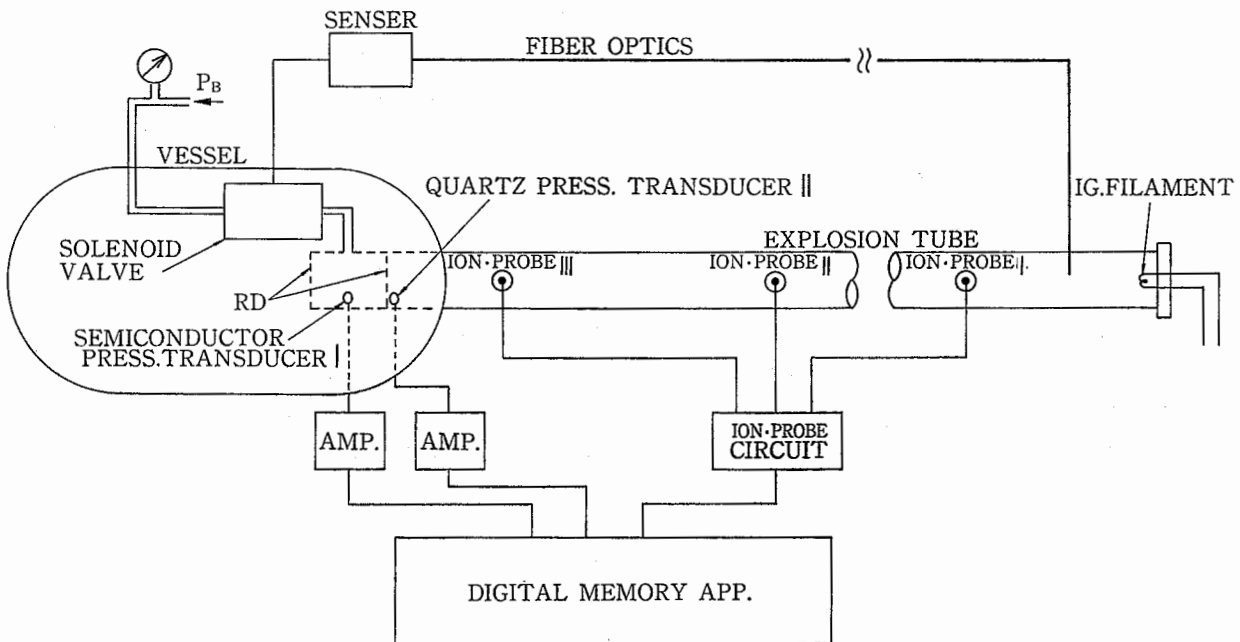


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus.  
実験装置系の概要

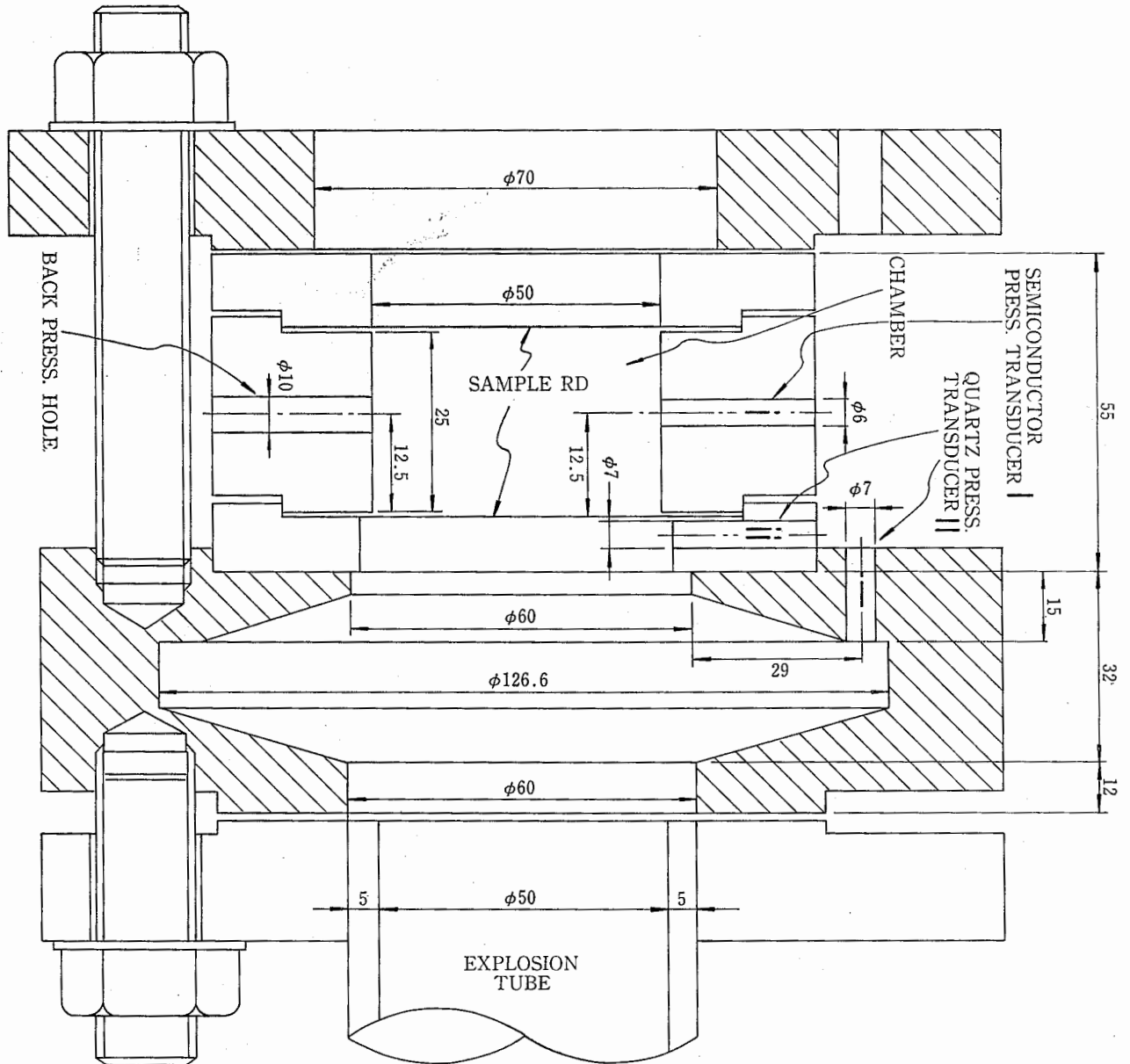


Fig.2 Adapter for measuring of rupture pressure.  
圧力計測用アダプター

波の発生することもあることを考慮し、爆発の進行方向に対し水平の位置及び垂直の位置でそれぞれ測定しうる状態<sup>9)</sup>としたが、ここで報告するデータは特記がない限り上流側 RD の最も近傍のホルダーに取り付けられた Fig.2 の II の ii の位置で測定したピエゾによる値である。

$P_B$  の圧力挙動については、Fig.2 の I の i に示す位置に装着した半導体を用いた。

RD の試料は、薄板の規格材 (Al, A 1100, 厚さ 0.1 mm) を用い、その形状は円形平板に統一し、ドーム型のは今回の研究においては、解析の関係上用いないことにした。

可燃性試料ガスは、 $H_2 + x \cdot \text{air}$  であり任意の爆発圧

力及び火炎速度をうるために爆発の初期条件を変化させた。試料に対する点火は、Ni-Cr 線を用い、電圧 3 V とし印加時間は一定とした。

測定値は、まずデジタル・メモリ (1024 words  $\times$  2) に記録され、クロック・レートは 50  $\mu\text{sec}$  (必要に応じて 20  $\mu\text{sec}$ ) とした。この記録したデータをデジタル・プリンタ (印字桁数 10) に読出し、解析を行った。

実験は、すべて室温で行われ、結果のバラツキを防ぐために可燃性試料ガスは、あらかじめ混合容器に蓄え均質になるまで予混合を行った。なお、各試料ガスの調製には、ドライ空気及びシリカゲルにより乾燥した水素をそれぞれ用いた。

### 3. 研究結果及び考察

#### 3.1 静圧による挙動

背圧をかけることによって、静圧破裂時の圧力  $P_S$  に及ぼす影響を解明するために実験を行った。その結果を Fig.3 に示す。

$P_B$  をかけるために用いた気体は air を用いたが、静圧挙動は RD の両サイドの圧力バランスのみが問題とされるから、He あるいは  $N_2$  を用いてもその傾向は同様である。

Air を用いて爆発容器内を極めて遅い昇圧速度で加圧することによる RD の破裂試験を行ったが、RD の破裂までの加圧時間の最小及び最大値はそれぞれ 45 sec 及び 150 sec であり、 $P_S^0$  の決定方向として JIS<sup>3)</sup> に加圧時間は、「大気圧から破裂圧まで安定して、かつ継続的に 20 sec から 180 sec 以内に極めて徐々に圧力を増加する」ように定めており、以上の結果は、この範囲内に収まった。

大気圧を  $P_A$  とすると、 $P_B$  は、 $P_S^0 > P_B > P_A$  であり、この研究では  $P_B/P_S^0 = 0.79$  まで行い、実験に使用した RD の材質では、 $P_B/P_S^0 = 6.5 \times 10^{-1}$  を境として、背圧の利得についての挙動が異なっていた。

この挙動の原因については、RD の材質を変え金属材料の特性の究明を進めることが必要とされるが、この研究では取りあげるに至らなかった。

#### 3.2 動圧による挙動

##### 3.2.1 チャンバー内の圧力の挙動と破裂圧

Photo. 1 は、チャンバー内に充てんした気体が air の場合の 2 枚の RD の動圧による破裂状況を記録したもので、波形 I はチャンバー内の背圧を含む圧力、波形 II は RD に作用した圧力のプロフィールである。多現象

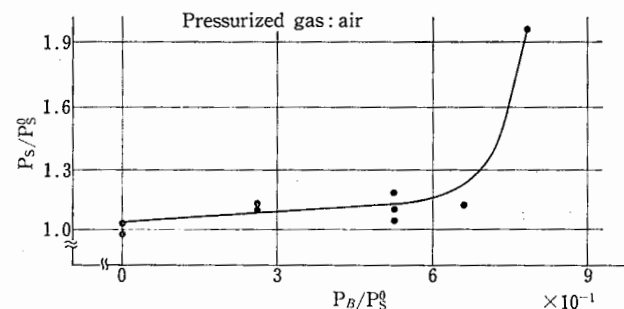


Fig.3 Relation between static rupture pressure and back pressure.

静圧破裂圧と背圧の関係

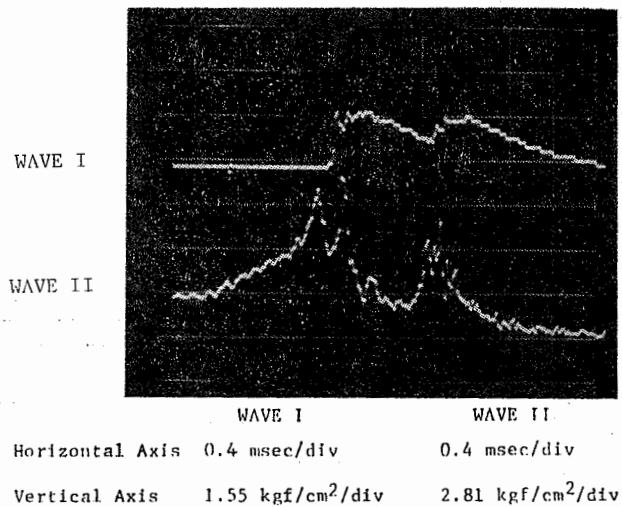


Photo. 1 Photograph of pressure traces. (1) Charged gas, air.

圧力波形 (1); 封入気体, air

のデジタル・メモリに記憶されたデジタル量をモニター・スコープに読み出したもので、この場合のクロック・レートは  $20 \mu\text{sec/word}$  である。

チャンバー内の圧力挙動は、まず上流側の RD が破裂することにより、高速の圧縮気体が流入し圧力が上昇するが、圧力バランスのくずれが生じ逆流する。しかし再び上流側の高圧気体がチャンバー内の圧力を高め、2 枚目の RD を破裂させるに至る。この一連の現象の所要時間は 1 msec 程度以内である。

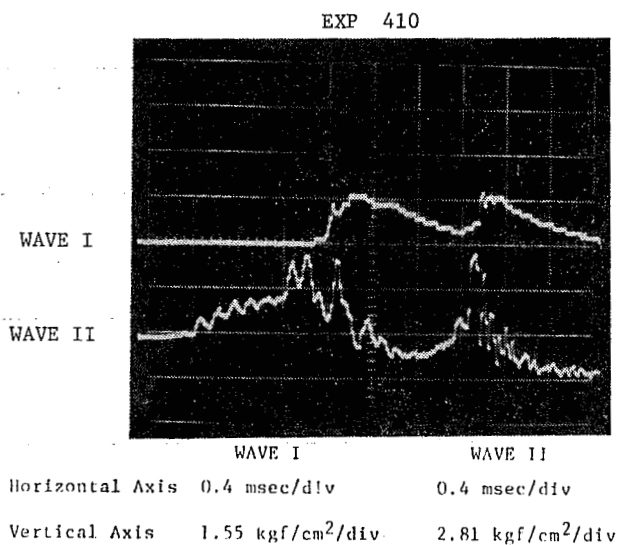
このチャンバー内の圧力の時間的挙動に基づき、波形 I の立ち上がり点以前のこれに最も近接した波形 II のピーク値をもって、破裂圧  $P_R$  と定義した。

この報告に示す  $P_R$  は、上記の定義に従って Fig. 2 の II の ii の点において測定した圧力であり、上流側 RD の破裂に関与した圧力である。

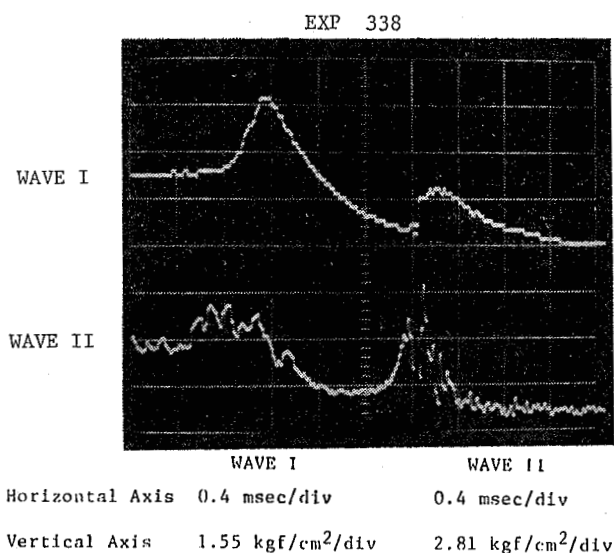
波形 II は、F. T. Bodurtha の文献<sup>10)</sup>に示す波形と相似した形状をしているが、波形 II の示す圧力変化の時間尺度は、前記の文献に示す波形の時間尺度の約 50 分の 1 にすぎない。

Photo. 2 及び Photo. 3 は、充てんした気体がそれぞれ  $N_2$  及び He であり、 $N_2$  を用いた場合の挙動は air を用いた場合の挙動と全く類似しているが、一方 He の場合の上流側 RD の破裂ピークはより低い値を示している。

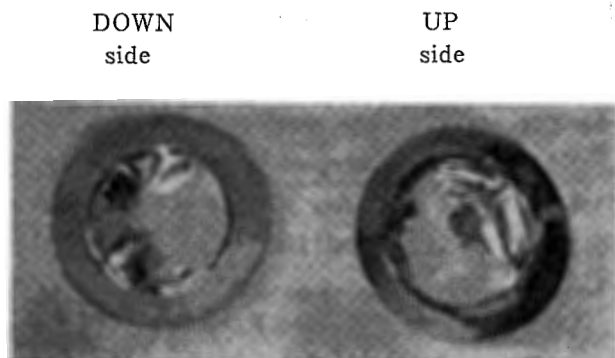
Photo. 4 は、RD サンプルの破裂状況の写真であり、Fig. 4 は、その側面からみた説明図である。上流側の RD は、すべて爆発容器側に破裂端面をのぞかせており、これは爆発波面により最初下流側に膨張してき裂が



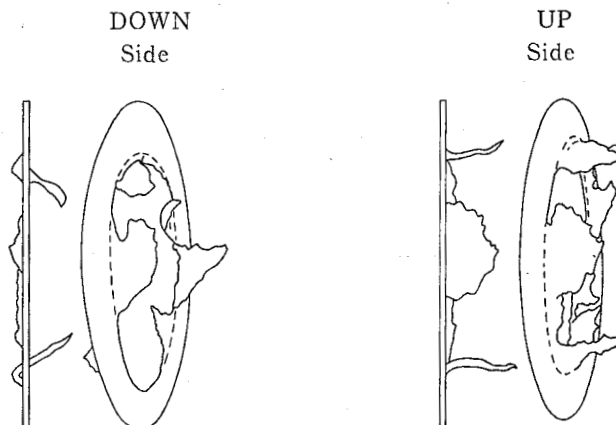
**Photo. 2** Photograph of pressure traces. (2)  
Charged gas, N<sub>2</sub>.  
圧力波形 (2); 封入気体, N<sub>2</sub>



**Photo. 3** Photograph of pressure traces. (3)  
Charged gas, He.  
圧力波形 (3); 封入気体, He



**Photo. 4** Behaviour of burst.  
圧破裂の状態



**Fig. 4** Behaviour of burst.  
破裂板の破裂の状態

できるが、ついで Photo. 1 の波形 II に示す如く爆発容器側の微小なしかもトランジェントな圧力の急激な減少、すなわち局所的なインプロジョン(註)の現象により容器側に RD の破裂端面が曲ったものと考えられる。

下流側の RD はすべてこれと対照的に大気側にき裂端面をのぞかせている。大きなひだのき裂については上流側に屈曲しているが、これは爆発後の広域的なインプロジョンに基づくものと説明することができる。

前記のような挙動は、すべての実験を通じて例外なくみられた現象であった。

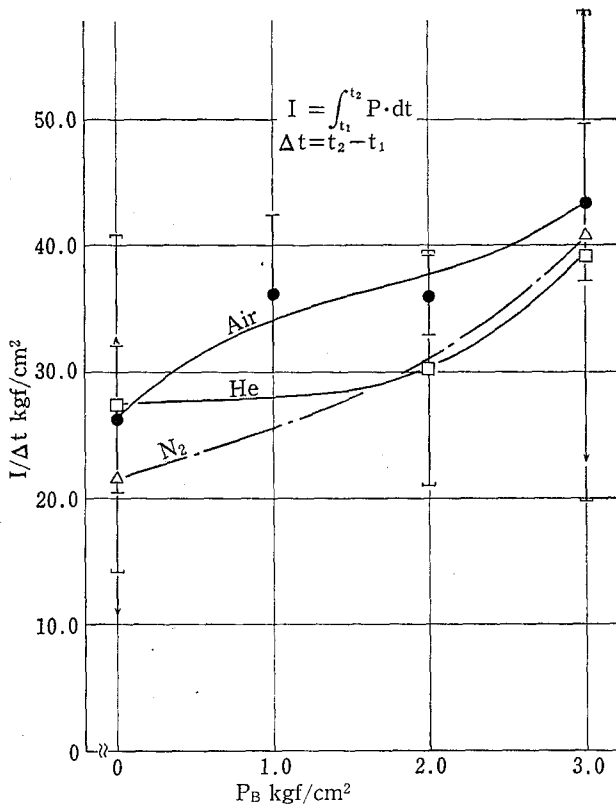
### 3. 2. 2 容器に及ぼす圧力

波形 II の圧力が立ち上がった点からそれが最大値を示すまでの時間  $\Delta t$  についてクロック・レート  $50 \mu\text{sec}$  又は  $20 \mu\text{sec}$  毎のデジタル量として測定された圧力を積分し、この積分値を  $I$  とする。その  $I$  に対して  $I/\Delta t$  を求め、 $I/\Delta t$  と  $P_B$  との依存性を背圧気体が air 以外の N<sub>2</sub>, He の場合についても示したものが Fig. 5 である。

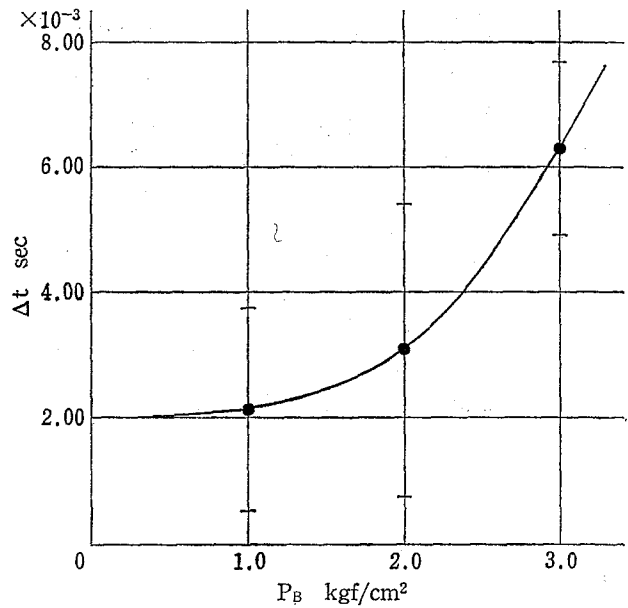
ここで  $I/\Delta t$  は、 $\Delta t$  間に容器へ及ぼす平均圧力と考えられ、Fig. 5 に示すように  $P_B$  が大きくなるに従って増大することから、容器壁の一部を構成する RD の強度が  $P_B$  により補強されていると推定できる。

なお、破裂圧が火炎速度に依存することはすでに報告<sup>5)</sup>したとおりであり、ここでの測定値は、火炎速度を考慮せず集計したものであるが、火炎速度を厳密に一定の条件下にそろえるならば、バラツキはより小さくなると予測される。

(註) improson, 訳が定まっていないのでそのまま用いた。  
“The sudden reduction of pressure by chemical reaction”.<sup>11)</sup>



**Fig.5** Dependency of average pressure on back pressure.  
背圧と平均圧力との関連



**Fig.6** Measured time between two maximum explosion points.  
爆発圧力ピーク間の時間

な圧力ピークが認められる。

WAVE IIの波形は、下流側のRDの破裂挙動を Fig. 2 に示すIIのiの位置において測定した圧力で、RDの破裂後の挙動が鮮明にとらえられている。

この Photo. 5 に示す衝撃的な圧力ピークと下部の波形の最高ピークの間隔 (50 μsec/div で測定) と  $P_B$  の関係を図示したものが、Fig. 6 であり背圧の依存性が現われている。Fig. 6 は、 $P_B$  が大きくなれば大きくなるほど衝撃的なピークを伴う現象が容器内にとどまっている時間が長くなることを示し、容器破壊の危険性が増すことも示唆している。このことは、逆に  $P_B$  が小さくなった状態が容器保護につながることを意味する。

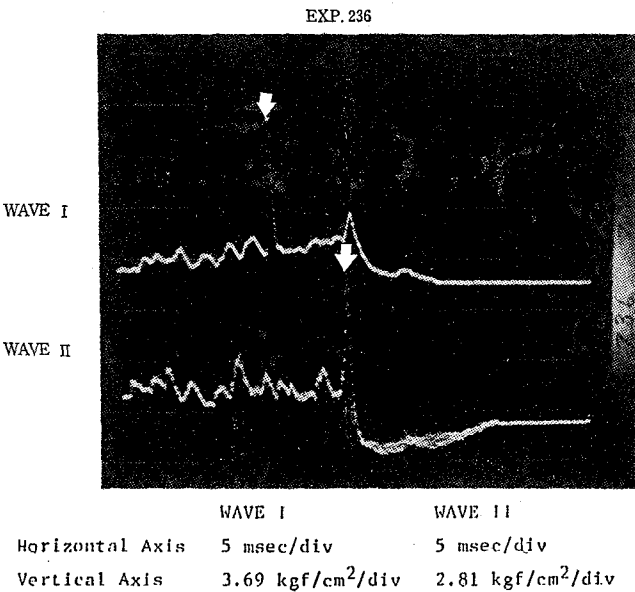
なお、この結果は各  $P_B$  毎の実験例 8 ケースについて平均したものである。

### 3.2.3 火炎速度と破裂圧

火炎速度が早い領域についての速度と破壊圧の関係については、先に研究結果を報告<sup>5),12),13),14),15)</sup>したが、ここでは、火炎速度が 100m/sec 以下の遅い領域である 71.0m/sec 及び 80.5m/sec での火炎速度下で RD の間に air による  $P_B$  をかけた場合の  $P_R$  の挙動を調べた。

火炎速度  $V_f$  は、Fig. I の II 及び III の位置のイオン・プローブにより測定したものであり、

$$V_f = \frac{L}{\Delta t}$$



**Photo. 5** Photograph of pressure traces. (4)  
圧力波形 (4)

**Photo. 5** は、封入気体に air を用いた実験における圧力の挙動を示すもので、WAVE I の波形は、下流側の RD の位置から上流側に 430 mm さかのぼった爆発容器壁において観測した圧力であり、図中には衝撃波的

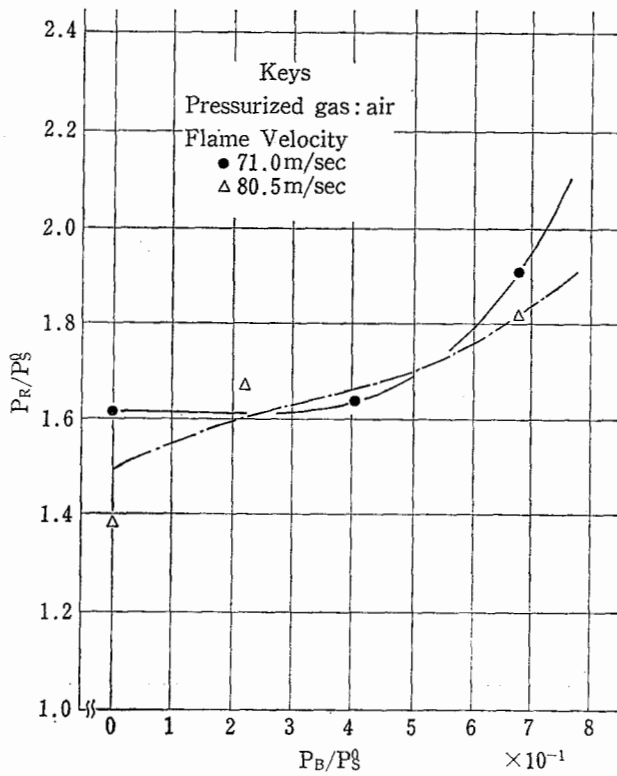


Fig. 7 Behaviour of rupture pressure under the constant velocity.  
火炎速度と破裂圧

$$\Delta t = t_{III} - t_{II}$$

である。

ここで  $L$  は II と III 間の距離であり、 $t_{II}$  及び  $t_{III}$  は、それぞれ II 及び III の位置におけるイオン電流波形の最大値の検出時刻である。

その結果を Fig. 7 に示す。図中  $P_B/P_S^0$  の小さい領域においても、 $P_B$  による  $P_R$  の利得が認められる。この実験により動圧下においても  $P_R$  に対する  $P_B$  の影響が確認できた。

### 3.2.4 火炎速度及び封入気体の効果

$P_B$  のための封入気体として air ( $\rho = 1.2928 \text{ g/l}$ ),  $N_2$  ( $\rho = 1.2507 \text{ g/l}$ ) 及び He ( $\rho = 0.1769 \text{ g/l}$ ) をそれぞれ用いた場合における、 $P_B = 0$  及び  $P_B = 0.79 P_S^0$  の各ケースについての火炎速度と  $R_R/P_S^0$  の関係を Fig. 8 に示した。

背圧効果については、He の場合の  $P_R$  は、 $P_B = 0.79 P_S^0$  においてさえ、ほとんどの領域で  $P_B = 0$  の条件下での  $N_2$  に対して得られた  $P_R$  に及ばなかった。

すなわち、この He の挙動は、動圧条件下での背圧効果の封入気体の密度依存性を示唆している。

ここで測定した火炎速度は、RD を装着し燃焼生成物等を大気中に放散することを条件とした実験値であり、前報<sup>5), 12), 13), 14), 15)</sup> に示した閉管内における予混合炎の火炎速度の観測値とは異なるが、前の報告であつたように

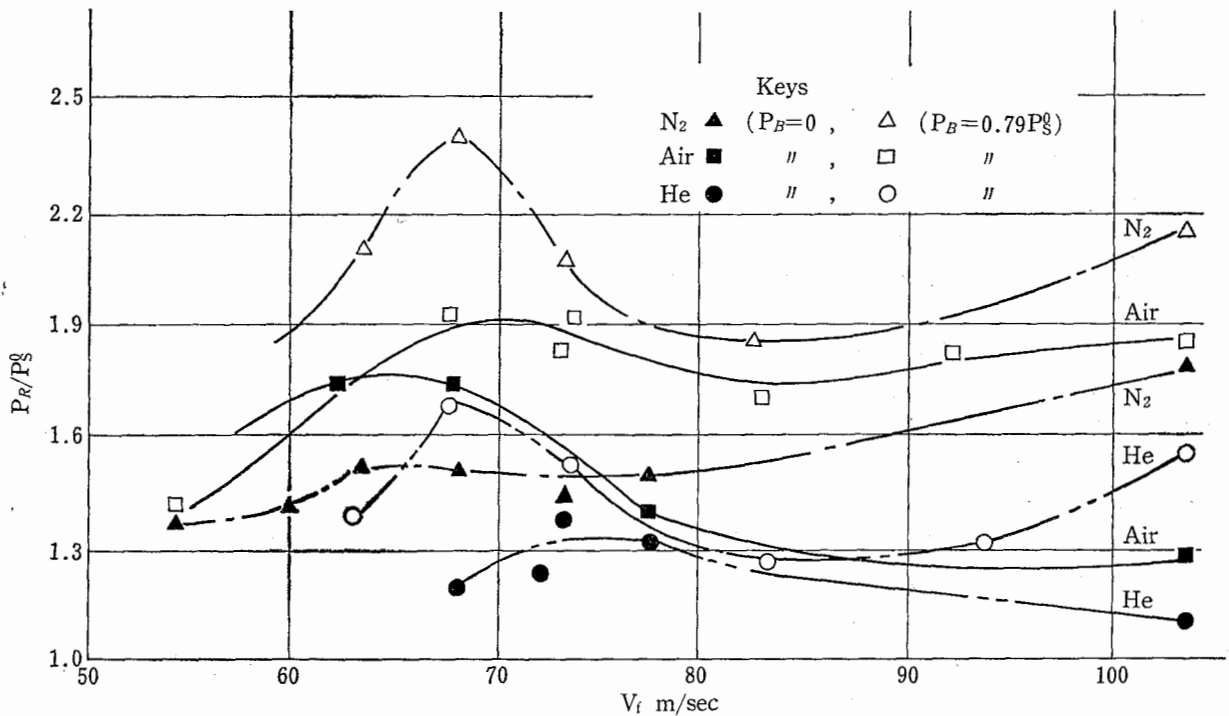


Fig. 8 Relation between rupture pressure flame velocity and back pressure.  
破裂圧、火炎速度及び背圧の関係



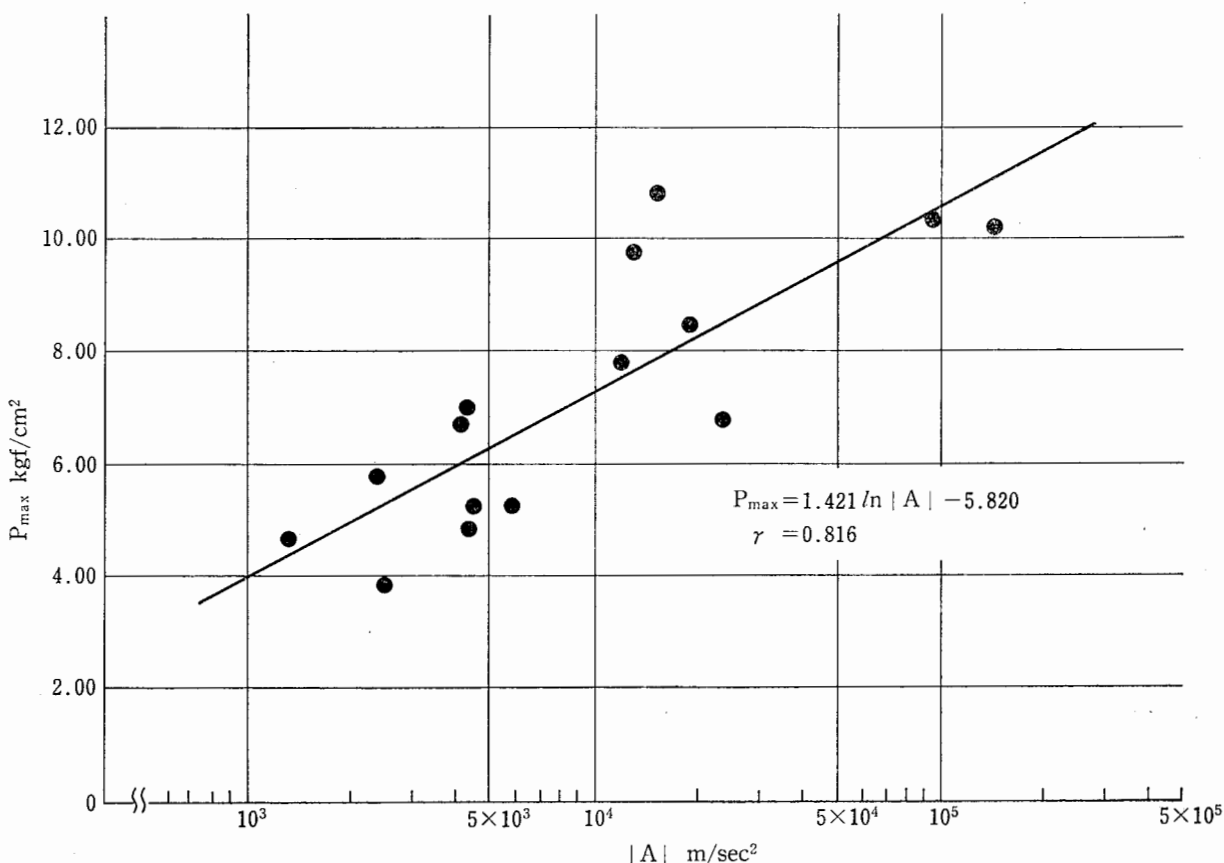


Fig.9 Effect of acceleration of flame velocity on rupture pressure.  
 火炎加速度の破裂圧に対する影響

約 100m/sec より火炎速度の低い領域においては、Fig. 8 に示された結果には、意味の不明なピークが生じたものの、全体として  $P_R$  への火炎速度の顕著な依存性は認められなかった。また、このことは前報告に見られたような結果が Fig. 8 での  $P_R$  の火炎速度に対する挙動中に表われていることになる。

なお、前述のように Fig. 8 中に、火炎速度 70m/sec 付近に  $P_R/P_S^0$  のピークがみられたが、如何なる原因によるものが解析するに至らなかった。

あえていうならば、ピークは燃焼波のもたらす圧力の振動数と RD の固有振動数との共振状態等が原因の一つになりうるものと推察されよう。

### 3.2.5 火炎加速度<sup>16)</sup>と圧力

火炎加速度は、イオン・プローブを Fig. 1 の I, II 及び III の位置に設定し、イオン電流回路を用いて RD の装着時の条件下において計測した。

すなわち、火炎平均加速度を  $A$  とすると

$$A = (V_2 - V_1) / \Delta t$$

である。

ここで、 $V_1$  はイオン・プローブ I とイオン・プロ

ブ II 間の火炎速度であり、 $V_2$  はイオン・プローブ II とイオン・プローブ III 間の火炎速度である。

さらに、

$$\Delta t = (t_m - t_1) / 2$$

ここで  $t_1$  と  $t_m$  はそれぞれイオン・プローブ I 及びイオン・プローブ III でのイオン電流波形の最大値の検出時刻である。

Fig. 9 に、トランスジューサ II の ii により検出された爆発圧力のプロフィール中に見出される最大値  $P_{max}$  と、 $|A|$  の関係を示したが、両者の関係を最小二乗法によって処理した数式で表わすと次のとおりとなった。

$$P_{max} = 1.421 \ln |A| - 5.820 \quad (1)$$

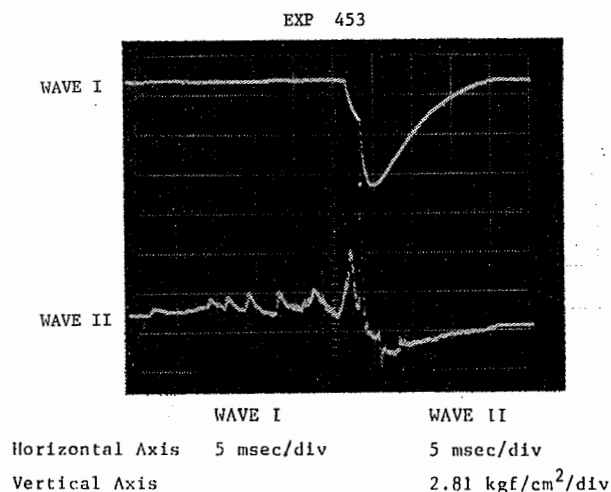
$$P_{max} : [\text{kgf/cm}^2] \quad A : [\text{m/sec}^2]$$

なお、(1) 式において相関係数

$$r = 0.816$$

である。

この研究条件下における火炎速度の測定においては、イオン・プローブ III で検出されたイオン電流波形の最大値が、トランスジューサ II の ii で検出された圧力波の最大となる時刻より時間的に遅れて生じていることが観



**Photo. 6** Photograph of current on ion probe and pressure trace.  
イオンプローブの出力波形と圧力波形

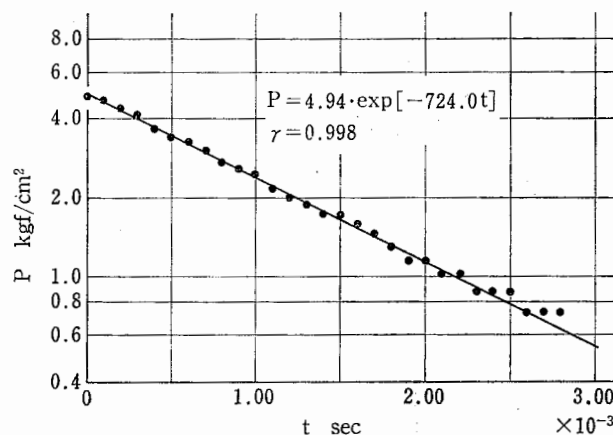
察された。この状況は **Photo. 6** に示すとおりであり WAVE I の波形は、イオン電流波形であり、WAVE II の波形は圧力波形である。

このイオン電流波形のピークは、最も化学反応の激しい位置であることから、圧力波のピーク  $P_{max}$  は、反応によって生成した高温気体の膨張面の前面に圧縮された未反応ないしは不完全反応気体の圧力といえる。この反応伝ば方向前面に形成された圧力が火炎の伝ば速度の抵抗となると考えられる。すなわちその抵抗がいわば負の火炎加速度 (flame deceleration)<sup>16)</sup> を生じせしめているのであろう。 $P_{max}$  の形成とこの効果との関連は、(1) 式に対する相関係数が 1 に比較的近い値を持つことから示唆される。

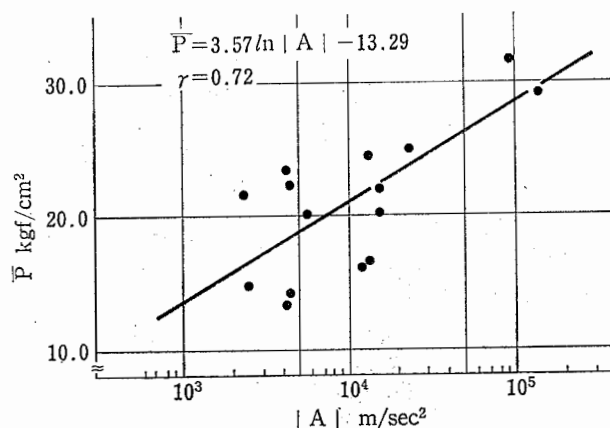
このような燃焼波面の前面に形成された高圧気体が、燃焼ガスの膨張の抵抗となり、その結果による膨張の抑制は、より完全な化学反応を引き起こすことを意味する。換言すれば、このような高圧部分が生ずることは、燃焼気体の持つ危険性をより一層増すことに通ずる。

このような危険性の回避は高圧部を発生させないようにすることにあるのは当然である。すなわち初期の段階で、かつより低圧な状態の時にじん速に燃焼ガスを放散させることが肝要である。この機能を受け持つような RD の存在はより重要なものとなるのがわかる。

Photo. 5 の WAVE I の圧力プロフィールに例をとり最末端のピークの減衰を対数グラフによって示すと、**Fig. 10** の如く直線となり、典型的な放散状況を表わした。なお、この圧力は、イオンプローブ III の位置にイオンプローブの代りに装着した半導体トランスジューサー



**Fig. 10** Diffusion behaviour of pressure.  
圧力の放散状況



**Fig. 11** Effect of acceleration of flame velocity on average pressure.  
火炎加速度の平均圧力に及ぼす影響

により検出されたものであり、**Fig. 10** の縦軸は、この半導体トランスジューサーにより計測された圧力である。

容器に及ぼす平均圧力と火炎加速度の関係についても図示すると **Fig. 11** の如くなり、最小二乗法を用いて整理すると次の関係式で現わされた。

$$\bar{P} = 3.570 \ln |A| - 13.29 \quad \text{--- (2)}$$

$$\bar{P} = I / \Delta t$$

$$r = 0.720$$

$$\bar{P} : [\text{kgf/cm}^2] \quad A : [\text{m/sec}^2]$$

$P_{max}$  と  $|A|$  との関係式 (1) より、 $\bar{P}$  と  $|A|$  の関係式 (2) の方が相関係数が小さくなっている。このことは、容器に作用する圧力の非常に動的なかつ複雑な非定常性が現わしているものと考えられる。

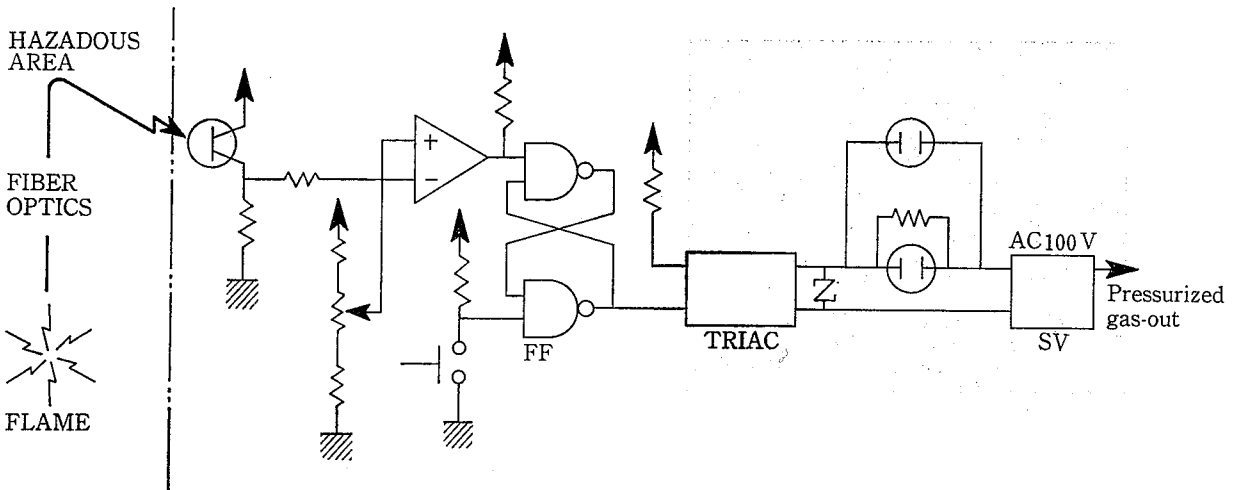


Fig.12 Schematic diagram of control apparatus.

背圧放散センサーのブロック図

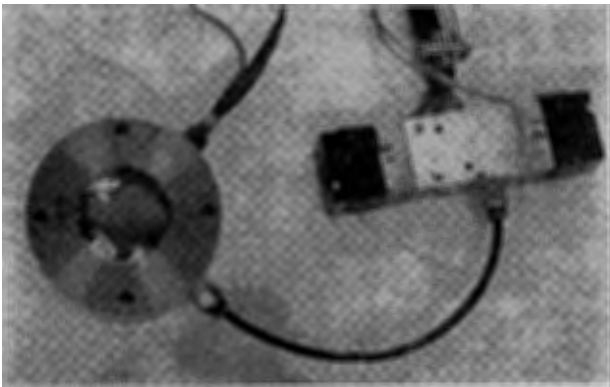


Photo. 7 Rupture disks assembled.  
組立てた状況

### 3.3 背圧の放散

#### 3.3.1 背圧放散センサー

爆発に際して保護すべき装置系を過圧から守り、その安全を保つためには、爆発の開始を検知し爆発が完全に成長しないうちに、すなわち爆発現象をもたらす高速度の化学反応を途中でカットし、爆発の成長を阻止することが必要である。

その回路のブロック図を示すと Fig.12 のとおりであって、爆発の初期の発光をとらえ、フォト・トランジスター (PTR) に導入する部分、パターン認識部、メモリ部及び信号を受けて電磁弁 (SV) を作動し、 $P_B$  を急速に放散する部分からなっていて、ここではこれらをすべて総称して背圧放散センサーと呼称することにした。

RD チャンバーと SV の組立状況を Photo. 7 に掲げた。この研究においては、爆発の初期の発光を伝送するために、コア径  $970 \mu\text{m}$ —材質プラスチック (A社製)、

コア径  $2900 \mu\text{m}$ —材質プラスチック (B社製)、コア径  $100 \mu\text{m}$ —材質石英 (C社製)、コア径  $500 \mu\text{m}$ —材質石英 (D社製) の4社の光学ファイバーを用いた。伝送損失、伝送帯域、量産段階でのバラツキ、劣化など各種のファクターがあるものの、予備実験の限りでは、その特性は、プラスチック製のものより、石英製が、コア径が小さいものより大きいものが、良好な結果を示し、この研究においては、すべて石英製、コア径  $500 \mu\text{m}$ 、伝送特性： $\lambda=0.85 \mu\text{m}$  において伝送損失  $10 \text{ dB/km}$  以下の各諸元のファイバー・オプティクスを用いて行った。

ここで、ファイバー・オプティクスを検知信号の伝送路に用いたのは、従来の電子技術のみでは困難であった引火爆発性雰囲気等の危険場所、高電磁界などの悪環境下でも、安全、高速及び高精度の信号伝送ができ、非危険場所でのリモート・コントロールを可能<sup>17)</sup>にするためである。

#### 3.3.2 システムの作動性

背圧放散センサーによって圧力の放散を行い、ついで2枚の RD を破裂させるという二つの独立した物理現象を組み合わせた一つのシステムを形成するわけであるが、Photo. 8 は、背圧放散方式による薄板 RD 破裂についてのシステムの作動性について行った一連の実験の1例である。

WAVE I は、Fig. 2 の I の i の位置に装着された半導体圧力トランスジューサーからの情報であり、WAVE II は、前記の図の II の ii の位置に装着されたピエゾトランスジューサーからの情報であって、共に圧力波形である。

ここでの  $P_B$  は、 $3.5 \text{ kgf/cm}^2$  かけられており、センサーによって得られた信号により燃焼波面が RD に到達する以前に  $P_B$  の放散を行った。

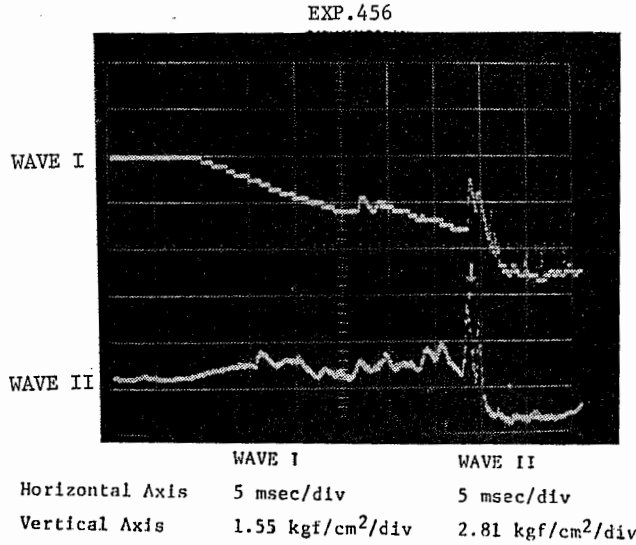


Photo. 8 Photograph of pressure traces. (5)  
圧力波形 (5)

Photo. 8 中 WAVE II は, RD 近傍の爆発容器内の圧力挙動の経時変化であるが,  $P_{max}$  が検出されるまでの間, WAVE I の圧力は逐次減衰していることが確認される。その結果 RD の破裂時に作用している  $P_B$  は, より低いものとなっている。すなわち,  $P_B$  による補強のない薄板 RD がじん速に破裂した状態を明確にとらえている。

そのプロフィールは, 現象波形が極めて高速であることから, F. T. Bodurtha<sup>10)</sup> によっていわば解說的に紹介されている単純な Suppressed explosion の波形を示すようなものではないが, RD の有効性は本報で述べて来た一連の実験系の中で示された通りである。

なお, Photo. 8 の矢印の波高が本報で取り上げて来た  $P_R$  である。

### 3.3.3 チャンバーの容積と放散時間

背圧チャンバーの容積とチャンバーの背圧を放散し外気圧と平衡になる時間との関係について, (3) 式<sup>18)</sup>を用いて計算した結果を示すと Fig.13 のとおりである。

(3) 式中の  $T_n$  については, (4) 式のとおりである。

$$T = T_n \left[ 7 \left( \frac{P_B}{1.893 \cdot P_e} \right)^{\frac{N-1}{2N}} - 1 \right] + 0.945 \left( \frac{P_B}{P_e} \right)^{\frac{N-1}{2N}} \quad (3)$$

$$T_n = 5.217 \frac{V_0}{N \cdot S} \left( \frac{273}{T_h} \right)^{1/2} \quad (4)$$

$T$  : 放散時間 [sec]       $P_e$  : 外気圧 [abs. kgf/cm<sup>2</sup>]  
 $N$  : 比熱比               $T_h$  : 気体温度 [°K]  
 $V_0$  : チャンバーの容積 [l]  
 $S$  : 有効断面積 [mm<sup>2</sup>]    $T_n$  : 時間定数 [sec]

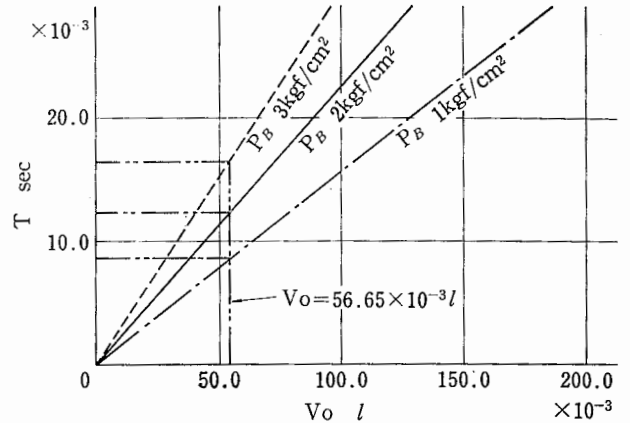


Fig.13 Relation between exhaust time and volume of  $P_B$  chamber.  
背圧チャンバーの容積と放散時間の関係

Fig. 13 中に 2 点鎖線で示した線は, この研究における実験条件であるチャンバーの容積,  $56.65 \times 10^{-3} l$  の場合の関係を表わしている。

$T$  は, チャンバー内の圧力が外気圧と平衡状態になるまでの時間の理論値であり, 実際に適用する場合には, 使用する弁等の機械的及び電気的特性を考慮に入れなければならないことはいうまでもない。

### 3.3.4 システムの使用限界

背圧放散センサー, 電磁弁等からなるシステムの応答時間は, 電磁弁の応答時間が大きなファクターの一つであると考えてよい。

したがって, 火炎速度が音速を超えるようなデトネーションの状態下においては, システムの応答時間中に燃焼波面は器壁すなわち RD 面に到達してしまうので, このシステムの効果はない。

このようなデトネーションの条件下にならなくても, 火炎速度すなわち爆速と考え, しかも一定速度と仮定した場合, このシステムの応答時間からシステムの使用については, 理論的な使用限界が考えられる。

Fig.14 の  $T_{cr}$  は, 背圧チャンバーからの放散時間の最小値であって, Fig. 13 の  $T$  から求められる時間であり,  $D$  は爆心から RD までの距離である。この図の場合については  $V_0 = 56.65 \times 10^{-3} l$  を例にとって記載したものである。

$$D = T_{cr} \cdot V_f \quad (5)$$

$D$  : 距離 [m]

$T_{cr}$  : 最小放散時間 [sec]

$V_f$  : 火炎速度 (一定とした場合) [m/sec]

がこのシステムの有効に作動する限界の距離であり, 可

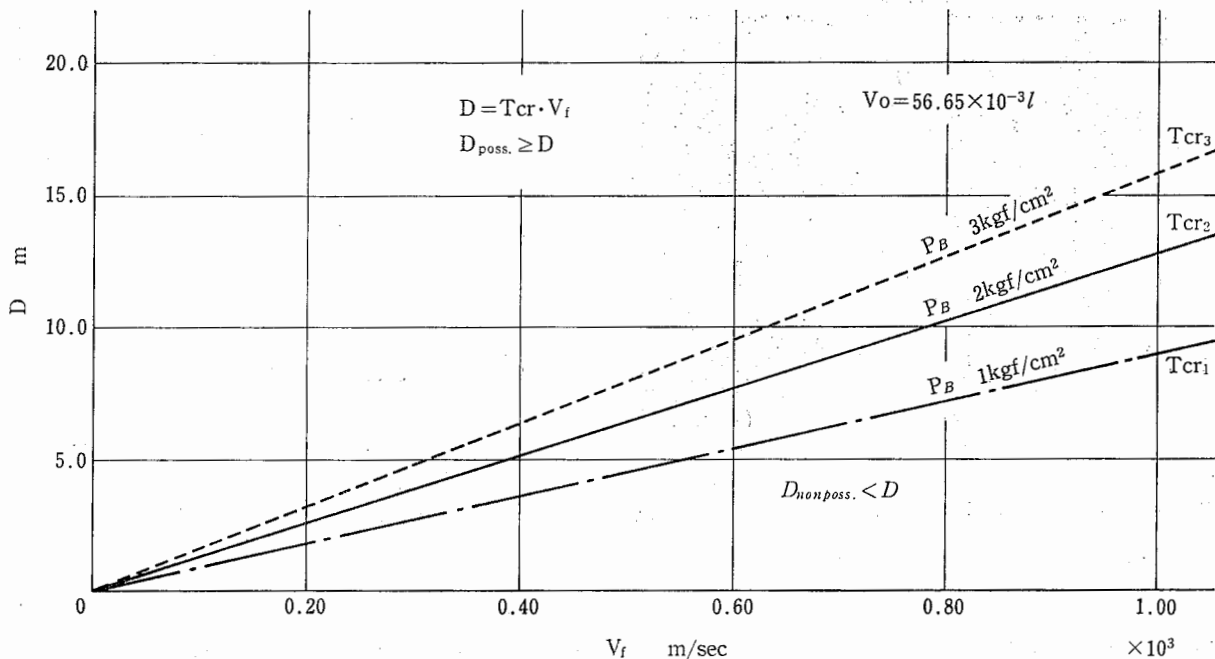


Fig.14 Critical distance and velocity.  
限界火炎速度及び距離

能距離を  $D_{poss.}$  とすると、次の条件が成立する。

$$D_{poss.} \geq D \text{ (6)}$$

ただし、さらに昇圧速度による制限<sup>6)</sup>があることは、いうまでもない。

#### 4. あとがき

##### 4.1 2枚組 RD<sup>20)</sup>

一般に圧力容器等への RD の装着は、RD 1枚を用いているが、この研究での RD の装着状態はそのような通常の状態と異なり、2枚の RD によるチャンバー構造を取り、このチャンバー内に加圧された気体を封入し、その気体として air,  $N_2$  及び He を用いた。

封入気体の種類及びその封入気体の圧力が、水素-air 系混合気体の爆発を用いた爆発現象下における RD の破裂時の圧力に及ぼす影響を調べた。

本論中 3.1 及び 3.2<sup>19)</sup>で述べたとおり、静圧及び動圧に対して封入気体に圧力をかけた RD の挙動は、より低い封入圧力であればあるほど低い破裂圧が測定される相関が得られた。これらの現象は、封入気体の圧力により補強された RD の破裂圧は、より厚い1枚の破裂板と等価な系の存在を示している。2枚組破裂板の最大の利点は、以下に述べる制限があるとはいえその見掛けの耐圧強度を任意に変えられることである。すなわち封

入気体の圧力の可変が容易であることに立脚し、封入気体の圧力の大きさに応じ、系としての RD の見掛けの強度を、材質そのものの静圧強度からの制限があるものの、その制限の範囲内で容易に可変できることである。このような封入気体の圧力により補強された RD の機能性は注目すべきであろう。

##### 4.2 背圧の放散によるじん速破裂

本論中 3.3で述べたとおりファイバー・オプティクスを用いて爆発の開始を背圧放散センサーで検知し、燃焼波面が RD の前面に到達する以前にチャンバー内の気体の急速な放散を図り、封入気体の圧力による補強のない状態の薄板 RD を破裂させるならば、放散時間からする爆発速度、昇圧速度<sup>6)</sup>、センサーの位置の制限等の制約が存在するものの、より安全側で爆圧を放散させることが可能<sup>20)</sup>であり、この役割を封入気体によって補強された RD に負わせることは難しくないと見える。

#### 謝 辞

最後に、この研究に協力された中大理工学部大学院生金子哲男氏に厚く謝意を表する。

(昭和 59 年 3 月 27 日受付)

## 参 考 文 献

- 1) W. Bartknecht, "Explosionen," Springer-Verlag, p.95, (1978)
- 2) 北川徹三, 中村喬樹, "ラプチュア・ディスクにおける昇圧速度と破裂圧力の関係", 安全工学, 7, 3, 217~221, (1968)
- 3) 破裂板式安全装置, JIS B, 8226, (1981)
- 4) 日本規格協会編, "JIS 工業用語", p.918, (1983)
- 5) H. Tsurumi, "Dependence of thin safety plates on pressure increase rate," Chemical abstracts, 28249 g, 93, 101, (1980)
- 6) H. Tsurumi, "Study of Thin Safety Plates (Rupture Disks) for Explosion," 8th International Symposium on the Prevention of Occupational Accidents in the Chemical Industry, at Frankfurt, International Social Security Association, 583, (1982)
- 7) 菊池健, 島崎義勝, 徳永完, "薄板安全板に関する研究", 三菱重工技報, 2, 6, 654~659, (1965)
- 8) 末沢慶忠, "薄板安全弁", 化学工学, 23, 3, 165~174, (1959)
- 9) 生井武文, 松尾一泰, "衝撃波の力学", コロナ社, p.115, (1983)
- 10) Frank T. Bodurtha, "Industrial Explosion Prevention and Protection", McGraw-Hill Book Co., p.74, (1980)
- 11) Sybil P. Parker, "Dictionary of Scientific and Technical Terms," McGraw-Hill Book Co., p. 801, (1974)
- 12) 鶴見平三郎, "Al 破裂板の火炎速度及び昇圧速度依存性", 第9回安全工学シンポジウム予稿集, 日本学術会議等関係学協会, 102~103, (1979)
- 13) 鶴見平三郎, "薄板安全破裂板の昇圧速度依存性", 第17回燃焼シンポジウム前刷集, 日本学術会議等関係学協会, 310~311, (1979)
- 14) 鶴見平三郎, "安全破裂板に関する研究(第2報)", 第11回安全工学シンポジウム予稿集, 日本学術会議等関係学協会, 113~114, (1981)
- 15) 鶴見平三郎, "薄板安全破裂板に関する研究(第2報)", 第19回燃焼シンポジウム前刷集, 日本学術会議等関係学協会, 56~58, (1981)
- 16) flame acceleration, flame deceleration の用語は, 最近の文献では, P. Girard, M. Huneau, C. Rabasse and J. C. Leyer, "Flame Propagation through Unconfined and Confined Hemispherical Stratified Gaseous Mixtures," Seventeenth Symp. (Inter.) on Combust. 1255, (1979) 等でも用いられている。
- 17) 久間和生, 布下正宏, "光ファイバー応用センサ", 電気学会雑誌, 102, 5, 380~383, (1963)
- 18) 油圧化設計, 9, 4, 123, (1971)
- 19) 鶴見平三郎, 金子哲男, "薄板安全破裂板に関する研究(第3報)" 第21回燃焼シンポジウム前刷集, 日本学術会議等関係学協会, 242~243, (1983)
- 20) 鶴見平三郎, 金子哲男, "2枚組安全破裂板の破裂挙動", 第16回安全工学研究発表会講演予稿集, 安全工学協会, 123~124, (1983)
- 21) 鶴見平三郎, 爆発被害抑制用破裂板装置, 特許出願番号, I89376, (1983)

産業安全研究所研究報告 RIIS-RR-32-6

---

昭和59年10月31日 発行

発行所 労働省産業安全研究所  
〒108 東京都港区芝5丁目35番1号  
電話 (03) 453-8441(代)

印刷所 新日本印刷株式会社

---

UDC 536.46 : 614.838 : 621.646.2 : 66.025

### 安全破裂板に関する研究

—背圧安全破裂板の挙動とじん速破裂について—

鶴見平三郎

労働省産業安全研究所研究報告

RIIS-RR-32-6 (1984)

二枚の安全破裂板を取付けた空間部を気体で加圧した静圧状態にしておき、外部から水素・空気系の予混合ガスの爆発により、これに動圧を加えて破裂させ、その破裂の挙動を解明した。また、これをふまえて安全破裂板のじん速破裂方法を明かにした。安全破裂板の試料としてアルミニウム製平板を用い、加圧気体としては空気、窒素、ヘリウムをそれぞれ用いた。

静圧及び動圧条件下における破裂圧と背圧の相関の状況から、破裂圧の背圧に対する依存性があることを示した。また、背圧の安全破裂板に対する補強効果は加圧気体の密度に関連を有することを示した。

これらの結果から、爆発検知・背圧放散センサーと二枚組安全破裂板からなる安全破裂板の新しいじん速破裂方法を見出した。

(図 14, 写真 8, 引用文献 21)



UDC 536.46 : 614.838 : 621.646.2 : 66.025

Behaviour of two Rupture Disks when a Chamber Constituted by them is Pressurized by a Gas and the Quick Releasing Method of Explosion

by Heizaburo TSURUMI

Research Report of the Research Institute of Industrial Safety

RIIS-RR-32-6 (1984)

The purpose of this study is to investigate the behaviours of two rupture disks which constitute the walls of a chamber charged by a pressurized gas and to develop a new quick releasing method of explosion. The samples are flatly shaped aluminum disks, and air, nitrogen or helium is used as a charged gas chamber.

The dynamic rupture pressures of the disks were measured by the explosion of premixed hydrogen-air gases for each charged gas.

The correlation between the behaviour of the rupture pressure and the back pressure was obtained under the conditions of the statical pressure and dynamic pressure. It was confirmed that the effect of the back pressure depended on the density of charged gas.

From the results, the author has concluded that the method of using two disks fixed as in this study will be useful as a safety device under a certain application condition.

(14 Figures, 8 Photographs, 21 References)

