

RIIS-TN-69-2

UDC 614.83:531.787:621.3.083

産業安全研究所技術資料

TECHNICAL NOTE OF
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

1969

爆発圧力測定器の相違の測定結果に与える 影響について

—防爆電気機器の試験方法に関する一考察—

鶴見平三郎
林 年 宏

労働省産業安全研究所

RIIS-TN-69-2 正誤表

P.	行	正	誤
5	Table 3 互換	(a) Ratio G500A G1000 b/a	(a) Ratio G500A G1000 b/a
8	Table 11	Memoriscop (MS FOLD)	Memoriscop (MS-504)
9	Fig. 4, Fig. 7	Fig. 4 x Fig. 7 の 図の 入力位	
10	Table 12 最右欄	3%	5%
	左 F 14	14%	15%
13	右 F 9	筆者	略者

爆発圧力測定器の相違の測定結果に与える 影響について

—防爆電気機器の試験方法に関する一考察—

鶴見平三郎* 林 年 宏*

The Influence of Measuring Instruments on the Explosion Pressure
Recording

—A Contribution for the Testing Methods of Flameproof
Electrical Equipments—

Heizaburo TURUMI* and Toshihiro HAYASHI*

The influence of measuring instruments on the recorded wave forms of explosion pressures has been investigated in a closed spherical vessel of 8 litres capacity.

It is intended by this study to compare the explosion pressure waves recorded by some common measuring methods and to distinguish whether any difference exists between those recordings.

One measuring system consists of a pressure transducer, amplifier and recorder, and experiments were carried out using two types of transducers (i. e., strain gauge transducers and piezo-electric transducer), three types of amplifiers and two types of recorders (i. e., electro-magnetic oscillographs and memoriscopes). Flammable gas used was that of hydrogen and air, and the concentrations of the mixture were about 30 and 50 volume % hydrogen in air.

The results are shown in terms of the ratio of average pressure measured by one system to that by another system under various conditions. Comparisons are made about three magnitudes of explosion pressures; i. e., about 6, 8 and 10 kg/cm². Summarized results are tabulated by giving the degree of difference from one most common measuring system, which consists of strain gauge transducer, dynamic strain amplifier and electro-magnetic oscillograph, and this combination is nominated as a "standard system".

From the results, it is shown that the differences are relatively small under practical experimental conditions and that the numerical differences in the magnitude of explosion pressures from the standard system are less than 3% for 50% gas mixture.

For 30% hydrogen-air mixture, the difference is more large with the system using a memoriscope for rather higher explosion pressures. This may be attributed to the following up characteristic of the memoriscope to faster explosion phenomena. Comparisons are also given for wave forms, and the frequency responsibilities of the instruments are discussed.

* 防爆課 Explosion Prevention Section

1. 緒 言

爆発現象を研究するに際して爆発圧力の時間的変化を波形としてとり出して解析することは、ひとつの効果的な手段である。爆発圧力の測定に関しては従来多くの方法が知られており^{1)~6)}、それぞれに特徴があって優劣がつけがたく、主として測定の対象や条件によって使い分けられているようである。いずれの方法が実際の現象をより正確にとらえているかは容易に断定できないが、測定方法が異なれば同じ現象に対して異なる測定結果をもたらすことが考えられる。

筆者らは防爆電気機器の試験に際してこの種の問題に対する検討の必要性を感じたが、測定器あるいは測定法が爆発圧力の測定結果に与える影響については、過去に実験的な比較がなされていないので、これらについて検討を加えたものである。

耐圧防爆構造の電気機器の爆発強度試験においては、機器の内容積に応じて少なくとも8または10 kg/cm²の爆発圧力を内部に発生させ、その圧力に耐えることを確認しなければならない⁷⁾。圧力を発生させる方法についてはある程度示されているが、圧力の測定方法については現在のところ特に規定されていない。従って、製造者が強度設計あるいは強度確認のために爆発試験を行ない、その結果を利用しようとしても、測定方法の違いによって圧力値に大きな差があるならば好ましくない結果をもたらすことになるであろう。

本報では主として爆発強度試験に際して圧力測定のために用いられている測定器類につき、それらの一般的な組合せの幾つかによる測定結果が相対的にどの程度異なるかを比較すると同時に、実験的研究を行なう時の手段としての標準的な爆発圧力の測定方法を検討する資料とするための考察を行なった。

2. 実 験

2.1 実験に使用した測定器

爆発圧力の測定に際しては、圧力変換器-増幅器-記録装置の三者を組合せたものがひとつのシステムをなすのが普通である。ここで言う圧力変換器とは、爆発圧力に感応してそれに応じた電氣的信号を発する素子からなり、圧力測定のために必要な取付ネジなどが加

工されたものをさすが、市販されている変換器の種類は限定されており、他方、増幅器、記録装置はその選択が比較的自由とは言うものの、実際に使用する組合せの面からみると変換器によって制限されているのが現状である。

本報ではこれら変換器、増幅器および記録装置の各々を便宜上測定器と呼ぶことにするが、実験に使用したのは以下の測定器類であって、これらについて考えられる組合せの幾つかについて実験した。組合せの大まかな分類は Table 1 のとおりである。

Table 1 Classification of the combination of the measuring instruments
測定器の組合せの概要

Pressure trasnducer	Amplifier	Recorder
Strain gauge transducer	Dynamic strain amplifier	Electro-magnetic oscillograph Natural frequency of galvanometers { 500 Hz 1000 Hz 2000 Hz
		Memoriscopce
Strain gauge transducer	Strain gauge transducer unit	Memoriscopce
Piezo-electric transducer	Electro-static charge amplifier	Memoriscopce

2.1.1 圧力変換器 (Pressure transducer)

a) 抵抗線歪ゲージ式圧力変換器 (Strain gauge transducer)

応力により生じた歪に応じて抵抗線歪ゲージの抵抗値が変化することを利用したもので、次の2種は国産品のうち前述の目的に使用するのに適した代表的なものである。これらは一般に圧力ヘッド (Pressure head) と呼ばれているので、本報でもこの略称を用い、型式により区別するものとする。

PE-30 KF 型 (容量 30 kg/cm²) (K 電業製)

MP-30 型 (容量 30 kg/cm²) (S 通信製)

b) ピエゾ圧力変換器 (Piezo-electric transducer)

ピエゾ電気素子に歪が加えられると、それに応じた静電荷が発生することを利用したもので、以下ピエゾ変換器と称する。

Model 616 M 129 (水晶素子, 容量 350kg/cm²)

(米国 K 社製)

圧力変換器のうち、PE-30 KF 型圧力ヘッドおよびピエゾ変換器を Fig. 1 に示す。いずれも冷却用の金具が取り付けられており、本実験では空冷して使用した。

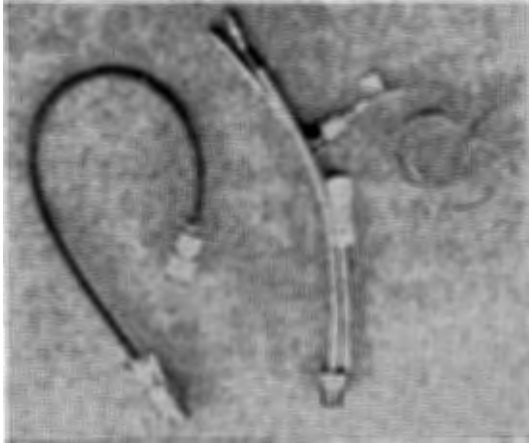


Fig. 1 Outside view of pressure transducers
left ; strain gauge transducer
right ; piezo-electric transducer
圧力変換器の外観

2.1.2 増幅器 (Amplifier)

- a) 動的歪測定器(Dynamic strain amplifier)
DPM-AT 型 (K 電業製)
- b) ストレインゲージ・トランスデューサー・ユニット(Strain gauge transducer unit)
ST 06 A 型 (I 通信製)
- c) 静電増幅器(Electro-static charge amplifier)
Model 504 (米国 K 社製)

2.1.3 記録装置 (Recorder)

- a) 直記式電磁オシログラフ (Electro-magnetic oscillograph) (以下、電磁オシロと略称する)
FR-101 型 (ガルバノメータ固有振動数 500 および 1000 Hz) (S 測器製)
RMV-33 G 型 (ガルバノメータ固有振動数 1000 および 2000 Hz) (K 電業製)
- b) メモリスコープ (Memoriscope)
MS-5013 型 (I 通信製)
MS-5014 型 (同上)

2.2 実験装置および爆発容器



Fig. 3 Outside view of the spherical explosion vessel attached with pressure transducers
球状爆発容器の外観

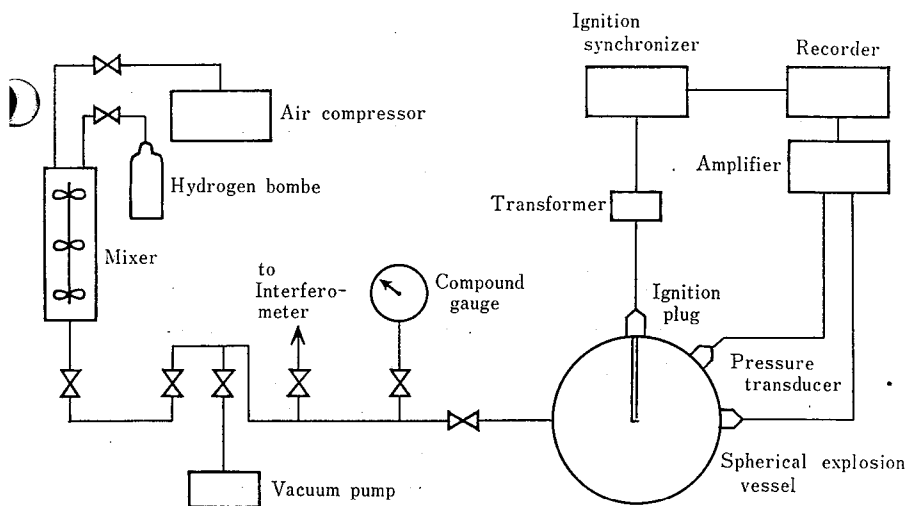


Fig. 2 Schematic diagram of the experimental apparatus
実験装置の概要

装置の概略は Fig. 2 に示す通りであって、分圧方式によって混合ガスを調整する部分、混合ガスの送りと燃焼後ガスの排出ならびに初圧と濃度を読みとるためのバルブを備えた可搬式のパネル、それに真空ポンプからなっている。

爆発容器は内容積 8 l の球状容器であって中心で点火し、中心に関して対称な位置において同時に 2 個の圧力変換器を用いて圧力を

測定することができる。この取付状態を Fig. 3 に示す。

2.3 実験ガス

可燃性ガスとしては現在当研究所において耐圧防爆構造の電気機器の爆発強度試験に使用している水素を用い、市販ポンペ入りのものを分圧方式により空気と混合し、約 50 vol. % の混合ガスとした。また、ひとつの実験では約 30 vol. % の混合ガスを調整して使用した。濃度は干渉計式ガス検知器（水素 100% 用、チャンパー有効長 20mm）によりチェックした。

2.4 圧力較正

分銅式標準圧力計を用いて、圧力変換器に 0 kg/cm²（ゲージ圧、以下同じ）から 2 kg/cm² ごとに 10 kg/cm² までの静圧を加え、その時の記録装置上の波形の変位量を記録し、爆発圧力の値を算出する較正曲線を得た。

いずれの実験においても静圧と変位量は直線関係にあった。この方法では、静圧と爆発圧力は圧力変換器に対して同じ作用を与えるものとして扱おうことになる。

2.5 実験方法

同時に 2 点の測定しかできないので、同一周囲条件下において 2 つの組合せについて測定を行ない、爆発圧力の値の比をもって他の組合せとの比較のデータとした。全体としては、ひとつの基準となる組合せに対する相対的な差異という形で、各々の測定器組合せの

影響を比較した。

実験に際しては、爆発容器を真空にしたのち混合ガスを所定の圧力（初圧）にまで送入し、ネオントランス（入力 100 V、出力 15 kV、20 mA）を用いて、足長の点火プラグにより点火した。初圧は 0 kg/cm² のほかに、8 および 10 kg/cm² の爆発圧力（初圧からの差）を生ずるような初圧で 10 回ずつ測定するのを原則としたが、その他の初圧や回数でも測定した。

初圧、濃度、温度、湿度などの条件は、この実験の性格上必要と考えられる範囲での厳密さととどめた。また、測定器類の取り扱いにあたっては、メーカーの指示する標準的な方法に従った。

3. 実験結果

各種の組合せについて測定した爆発圧力とその比を以下に示す。これらの値は測定値のうちで初圧が 0 kg/cm²（ゲージ圧）および爆発圧力が 8 または 10 kg/cm² に近い場合に限定したが、その他のデータも同じ傾向を示した。

測定器の組合せの呼び方はまったく便宜的なものであって、できるだけ比較の対象を明らかに示すように意図したにすぎない。

3.1 実験 A PE-30 KF 型圧力ヘッドと G 1000 型ガルバノメータの特性確認

全実験を通じて主として使用した変換器は PE-30 KF 型圧力ヘッド 2 個であって、以下これらを圧力ヘッド a および b と呼ぶ。

また、この変換器に DPM-AT 型動的歪測定器（以

Table 2 Comparison of explosion pressures recorded, using two pressure heads (PE-30 KF type) and two galvanometers (G 1000 type) (for 15 measurements with 50 vol. % hydrogen-air mixture of atmospheric initial pressure)

PE-30 KE 型圧力ヘッドと G 1000 型ガルバノメータの特性確認実験の結果

Pressure Head	(a)	(b)	Ratio; a/b *	(b)	(a)	Ratio; b/a
	Galvanometer	G 1000(1)		G 1000(2)	G 1000(1)	
Range of explosion pressures (kg/cm ²)	5.3~5.9	5.2~5.7	0.96~1.05 **	5.5~5.8	5.4~5.9	0.97~1.05
Average explosion pressure (kg/cm ²)	5.6	5.5	1.02 ***	5.7	5.6	1.02

* This column shows the ratio of explosion pressures measured by two combinations of equipments and a/b means, for example, the ratio of pressures measured by the combination including pressure head (a) and galvanometer G 1000(1) to pressures by the combination including (b) and G 1000(2).

** These values mean the maximum and the minimum ratios obtained.

*** These ratios are calculated from average explosion pressures of three figures, and therefore may give no accordance with ratios calculated from values shown in tables.

Table 3 Comparison of explosion pressures recorded, using different types of galvanometers for the one electro-magnetic oscillograph (10 measurements carried out for each initial pressure ; 50 vol. % mixture)

FR 型電磁オシロのガルバの固有振動数の影響

Combination Initial pressure*	Pressure head	(a)	(b)	Ratio; b/a	(a)	(b)	Ratio; a/b
	Galvanometer	G 500 A	G 1000		G 500 A	G 1000	
0	Range**	5.4~5.8	5.9~6.1	0.89~0.97	6.0~6.1	5.8~6.0	1.01~1.03
	Average***	5.5	6.0	0.92	6.0	5.9	1.02
0.4	Range	7.6~8.0	7.7~8.3	0.94~1.00	7.5~8.0	7.8~8.2	0.94~1.01
	Average	7.8	8.0	0.97	7.7	7.9	0.97
0.6	Range	8.8~9.1	9.1~9.6	0.94~0.98	8.6~9.9	8.8~10.1	0.96~1.06
	Average	9.0	9.3	0.97	8.9	9.1	0.98

* kg/cm² (gauge)

** Range of explosion pressures kg/cm²; an explosion pressure does not include an initial pressure, and an explosion pressure plus an initial pressure gives a gauge pressure generated.

*** Average explosion pressure kg/cm².

下、動歪測定器と称することがある)とFR-101型電磁オシロ(以下、FR型電磁オシロと称することがある)を接続して、FR型電磁オシロにG1000型ガルバノメータ(以下、G1000型ガルバ、のように略する。固有振動数1000Hz、感度一様な周波数範囲0~700Hz、油制動)を用いた時の測定値を各測定における比較の基準として定めた。従って、圧力ヘッドa,bおよびG1000型ガルバの特性を把握しておかねばならない。

実験Aでは、これらの圧力ヘッドと2本のG1000型ガルバを組合せて各々の特性の差異を検討した。増幅器は動歪測定器、記録装置はFR型電磁オシロである。

50%混合物で初圧0の場合の結果をTable 2に示す。

これらの結果は、各々の測定条件が厳密には同じではないので直接に比較することはできないが、ひとつの圧力ヘッドを固定すればガルバ(1)(2)の特性を、またガルバを一定にすれば圧力ヘッドの特性の差異を、それぞれ推定することができる。

例えば、圧力ヘッドaについてガルバ(1)(2)の比を平均値について考えると

$$G1000(1)/G1000(2)=5.6/5.6=1.00$$

圧力ヘッドbを一定にすれば

$$G1000(1)/G1000(2)=5.7/5.5=1.04$$

また、G1000(1)および(2)について圧力ヘッドの影響を比較すると、圧力ヘッドaと圧力ヘッドbによる値の比はそれぞれ0.98および1.02となる。

各々の比の値は、それぞれの特性が全く同じであれば同一値(1.00)となるはずであるが、実験条件の相異もあって上述の結果を得た。また、読みとり誤差などの測定誤差が影響するので、これらの比の値の意味については後にまとめて論ずることとするが、圧力ヘッドaまたはbと組合せるガルバは、実験AにおいてG1000(1)として扱ったものを使用することとした。

3.2 実験B G1000型およびG500A型ガルバによる測定

G500A型ガルバもFR型電磁オシロ用のガルバであって、その固有振動数は500Hz、感度一様な周波数範囲は0~350Hzである。この型のガルバはG1000型の油制動と異なり、約20Ωの制動抵抗をかけて使用する。

実験Bでは、圧力ヘッドa,bを変換器に、動歪測定器を増幅器とし、FR型電磁オシロのガルバをG1000型とG500A型とした時の圧力を測定した。制動抵抗は20Ω以外については検討しなかった。結果をTable 3に示す。

3.3 実験C メモリスコープと電磁オシロによる測定

圧力変換器と増幅器を同じものとし、記録装置のみを変えた場合について測定し、記録装置の差異の影響を検討した。すなわち、圧力ヘッドbからの信号を動歪測定器に入れ増幅後の出力を

- 1) FR 型電磁オシロ (G1000 型ガルバ) 発振器からの搬送波 (5000Hz) に乗る形となり、搬送波の包絡線として圧力波形が求まる。メモリスコープによる測定に際しては、波形を写真撮影のうえ変位量を読みとった。結果は Table 4 に示す。
- 2) メモリスコープ (MS-5014 型)
- に並列にとり出して測定圧力を比較した。
- この場合、メモリスコープ上の波形は動歪測定器の

Table 4 Comparison of explosion pressures recorded, using different types of recorders (20 measurements were made for atmospheric initial pressure and 10 measurements for other initial pressures; 50 vol.%)

記録装置が異なる場合の爆発圧力に与える影響

Initial pressure	Recorder	Memoriscopes (MS-5014 type)	Electro-magnetic oscillograph (FR type)	Ratio ; Memori./Oscillograph
0	Range	5.1~6.0	5.0~5.8	0.95~1.05
	Average	5.5	5.5	1.00
0.4	Range	7.4~8.0	7.4~8.0	0.95~1.03
	Average	7.7	7.7	1.00
1.0	Range	10.5~11.3	10.5~11.4	0.97~1.04
	Average	11.1	10.9	1.01

Table 5 Comparison of explosion pressures when recorded by different types of amplifiers and recorders (10 measurements for each initial pressure; 50 vol.%)

増幅器および記録装置が異なる場合の爆発圧力への影響

Initial pressure	Combination	Pressure head	(b)		Ratio; b/a	(a)		Ratio; a/b	
			Amplifier	ST 06A		DPM-AT	ST 06A		DPM-AT
			Recorder	Memori.		Oscillograph	Memori.		Oscillograph
0	Range	5.7~6.0	5.5~5.8	1.04~1.07	5.3~5.9	5.1~5.9	0.98~1.06		
	Average	5.9	5.5	1.05	5.6	5.5	1.02		
0.4	Range	7.9~8.2	7.7~8.1	1.01~1.03	7.9~8.1	7.4~7.6	1.04~1.07		
	Average	8.0	7.9	1.02	7.9	7.5	1.05		
0.6	Range	9.0~9.4	8.9~9.4	0.99~1.03	9.0~9.8	8.6~9.7	100.~1.05		
	Average	9.1	9.0	1.00	9.4	9.1	1.03		

Table 6 Comparison of explosion pressures; the effect of pressure head (c) (5 measurements for each initial pressure; 50 vol.%)

圧力ヘッド c (MP-30 型) による測定の結果

Initial pressure	Combination	Pressure head	(c)		Ratio; c/a	
			Amplifier	ST 06A		DPM-AT
			Recorder	Memoriscopes		Oscillograph
0	Range	5.5~5.8	5.4~5.8	0.99~1.02		
	Average	5.6	5.6	1.00		
0.4	Range	7.6~7.9	7.3~7.5	1.03~1.07		
	Average	7.7	7.4	1.05		
0.6	Range	8.6~9.0	8.3~8.5	1.02~1.07		
	Average	8.9	8.4	1.05		

Table 7 Comparison of explosion pressures; the effect of the concentration of gas mixture (30 vol. %) (5 measurements for each initial pressure)
30% 混合ガスを用いた場合の測定結果

Initial pressure	Combination	Pressure head	(a)	(b)	Ratio; a/b
		Amplifier	ST 06 A	DPM-AT	
		Recorder	Memoriscop	Oscillograph	
0	Range		7.5~7.6	7.3~7.4	1.01~1.04
	Average		7.5	7.3	1.03
0.4	Range		10.0~10.3	9.4~9.5	1.06~1.08
	Average		10.1	9.4	1.07
0.6	Range		12.2~12.4	11.1~11.6	1.05~1.11
	Average		12.3	11.3	1.09

3.4 実験D 増幅器と記録装置の組合せの影響について

圧力変換器は同型のものを用い、増幅器をかえ、それに伴って記録装置が異なる場合について測定値を比較した。組合せは、

- (1) 圧力ヘッド a-動歪測定器-FR 型電磁オシロ (G1000 型ガルバ)
- (2) 圧力ヘッド b-ST 06 A 型ストレインゲージ・トランスデューサー・ユニット (以下 ST 06 A 型ユニットと略す) メモリスコープ (MS-5013 型) の二系統である。なお ST 06 A 型ユニットは MS-5014 型メモリスコープには使用できない。

圧力ヘッドを取りかえた場合についても爆発圧力を測定した。結果は **Table 5** に示す通りである。

3.5 実験E MP-30 型圧力ヘッドによる測定

実験Dまでは圧力ヘッド a, b (PE-30 KF 型) を使用したが、同じ原理の変換器である MP-30 型の圧力ヘッド (以下、圧力ヘッド c) についても検討した。組合せは、

- (1) 圧力ヘッド a-動歪測定器-FR 型電磁オシロ (G1000 型ガルバ)
- (2) 圧力ヘッド c-ST 06 A 型ユニット-メモリスコープ (MS-5013 型)

なお ST 06 A 型ユニットは本来圧力ヘッド c 用としてメモリスコープに組み込まれているものであるが、実験DおよびFで圧力ヘッド a と組合せる時には、ケーブル接続変換用のコネクタを使用した。実験Eの

結果は **Table 6** に示す。

3.6 実験F 混合ガスの濃度の影響

他の実験はすべて約 50 vol.% の混合ガスについて行なったが、爆発現象の速度が変わった時の影響を検討するため、約 30 vol.% の混合ガスについて実験した。この濃度を選んだのは、一般に速い変化に対する測定器の追従性が問題となると考えられるからである。

初圧は 0, 0.4 および 0.6 kg/cm² (ゲージ圧) とし、測定器の組合せは実験Dの後半の場合と同じである。結果を **Table 7** に示す。

3.7 実験G RMV-33 G 型電磁オシロのガルバの応答周波数による影響

RMV-33 G 型電磁オシロ (以下、RMV 型電磁オシロ) は原理的には FR 型電磁オシロと同一であるが、別の製品であり、従ってガルバの特性は同じ固有振動数についても異なると考えられるので、この点について検討した。

同一周波数のガルバについては、振幅が 50 mm に対して ±1% の誤差で特性が同じであると保証されているので、実験Aに相当する比較は省略し、次の2種のガルバ (**Table 8**) について測定した。

Table 8 Galvanometers for RMV-type electromagnetic oscillograph

RMV 型電磁オシロのガルバノメータの周波数特性

Type	Natural frequency (Hz)	Frequency response (Hz)
M-1K-22B	1000	0~450
M-2K-21B	2000	0~900

Table 9 Comparison of explosion pressures; the effect of frequency response of galvanometer for RMV-type electro-magnetic oscillograph (50 vol.% gas mixture was used and 10 measurements were carried out for each initial pressure)

RMV 型電磁オシロのガルバノメータの影響

Initial pressure	Combination	Pressure head	(a)	(b)	Ratio; a/b
		Amplifier	DPM-AT	DPM-AT	
		Galvanometer	M-2K-21B	M-1K-22B	
0	Range		5.8~6.1	5.5~5.8	1.02~1.11
	Average		6.0	5.6	1.07
0.4	Range		8.0~8.7	7.5~8.3	1.04~1.08
	Average		8.4	8.0	1.06
0.6	Range		9.3~9.8	9.1~9.4	1.02~1.08
	Average		9.6	9.2	1.05

Table 10 Comparison of explosion pressures; the effect of the type of electro-magnetic oscillograph (50 vol. % gas mixture; 10 measurements for each initial pressure)

RMV 型および FR 型電磁オシロを用いた場合の比較

Initial pressure	Combination	Pressure head	(b)	(a)	Ratio; b/a
		Amplifier	DPM-AT	DPM-AT	
		Oscillograph	RMV	FR	
0	Range		5.7~6.0	5.9~6.4	0.92~0.97
	Average		5.8	6.2	0.95
0.4	Range		7.9~8.2	8.0~8.4	0.98~1.00
	Average		8.0	8.1	0.99
0.6	Range		8.9~9.4	9.0~9.6	0.97~0.99
	Average		9.1	9.3	0.98

Table 11 Comparison of explosion pressures; the effect of piezo-electric transducer and its amplifier (50 vol.%; 10 measurements for each initial pressure)

ピエゾ変換器を用いた場合の測定結果

Initial pressure	Combination	Transducer	Piezo-electric transducer	Pressure head (b)	Ratio; Piezo./Head
		Amplifier	Model 504	DPM-AT	
		Recorder	Memoriscop (MS-504)	Oscillograph (FR)	
0	Range		5.6~5.7	5.9~6.2	0.92~0.97
	Average		5.6	6.0	0.95
0.4	Range		8.2~8.5	8.5~8.8	0.94~0.99
	Average		8.3	8.7	0.96

圧力変換器は圧力ヘッド a および b, 増幅器は動歪測定器である。結果は Table 9 に示す。なお、固有振動数 2000 Hz のガルバは一定電流に対する振幅が、1000 Hz のガルバに対して 1/3 以下であるので、爆発圧力の波形記録に際しての波高は他の測定の約 1/2 の波高とならざるをえなかった。このため、測定値に対する誤差は他の場合より大きいという結果になった。

3.8 実験 H 2種の電磁オシロに関する比較

圧力変換器は圧力ヘッド a および b を、増幅器に動歪測定器を用い記録装置の影響を検討した。電磁オシロは FR 型と RMV 型で、ガルバはいずれも固有振動数 1000 Hz のものである。結果を Table 10 に示す。

3.9 実験 I ピエゾ変換器による測定

ピエゾ変換器には静電増幅器とメモリスコープ (MS-5014 型) を接続し、比較対象としては、圧力ヘッド b-動歪測定器-FR 型電磁オシロ (G 1000 型ガルバ) の組合せを用いた。

一般にピエゾ変換器を用いて爆発圧力を測定する場合には測定条件に問題があるが、この実験では増幅器の時定数を 50,000 sec. とした。Sensitivity は 0.357 Picocoulomb/Psi. の変換器を用い、メモリスコープの感度を 0.05 V/cm にすることにより、増幅器の range は 500 Psi./V で読みとりに適する波高を得た。

この実験でも圧力較正は油圧によって行なったが、この時の時定数も測定の場合と同じである。測定結果は Table 11 に示す。

なお、ピエゾ変換器を用いた爆発圧力の測定法については、他の報告^{9)~12)}を参照して頂きたい。

3.10 爆発圧力の波形

各種の組合せにより測定した爆発圧力の最大値については 3.1 から 3.9 に示したが、測定器によって圧力の時間的変化が異なる波形として記録される場合があるので、それらについて特徴とその起因を以下に検討する。

Fig. 4 に示すのは、FR 型電磁オシロのガルバが異なる場合 (実験 B) 波形の例である。G 500 A 型ガルバによる波形は立ち上りのピークの部分がややまるみを帯びているが、これは G 1000 型に比して高速変化に対する追従性が劣ることを意味するものであろう。

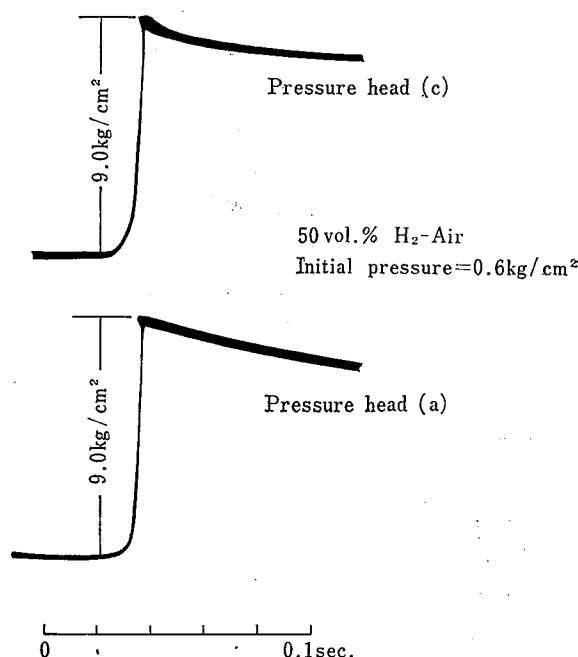


Fig. 4 Explosion pressure wave recording by two types of galvanometers (G500A and G 1000 type for FR type oscillograph)

FR 型電磁オシロのガルバによる波形の相違

同じ増幅器からの出力を FR 型電磁オシロとメモリスコープにより記録すると、波形は殆んど同じであるが、搬送波に現象が乗るのでメモリスコープ上の波形は Fig. 5 のようになる。ハッチングしたのは搬送波のビームが通過したことを意味する。増幅器のメーカーによると、このようなオシロスコープを用いての測定では結果の厳密性が期待できないとされているが、

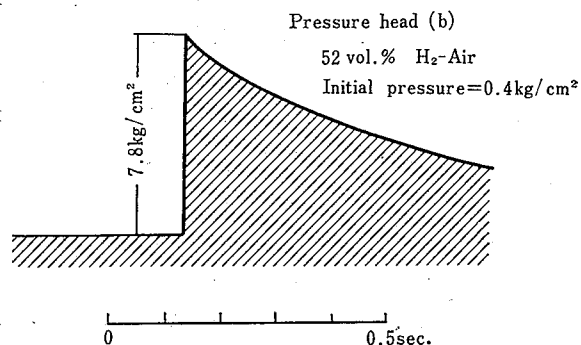


Fig. 5 Explosion pressure wave recording by DPM-AT type amplifier and memoriscope (MS-5014 type)

DPM-AT 型増幅器とメモリスコープの組合せによる波形

それは搬送波の波高がばらつくために波形がなめらかな曲線を描かないことによるものと考えられた。

増幅器に ST 06 A 型ユニットを用いれば、上述の搬送波の影響はなくなる(実験D)。メモリスコープの掃引スポットの小ささに限度があるので、波形はかなりの太さを持つが、読みとりは上端—上端で行なえばよい。立ち上りの不鮮明さは掃引速度を大きくすれば除くことができる。Fig. 6 は FR 型電磁オンシロの記録速度(ふつう 10 cm/sec を用いた)と合せた時(掃引速度 100 msec/cm)の波形である。

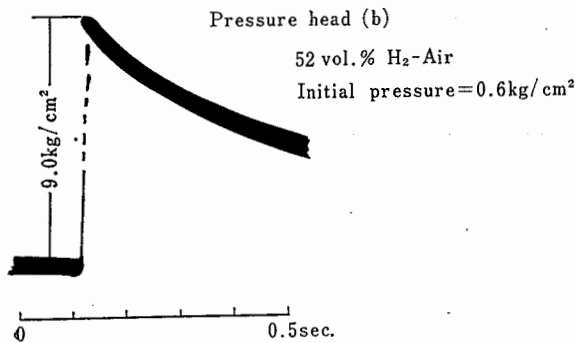


Fig. 6 Explosion pressure wave recording by ST 06 A type amplifier and memoriscope (MS-5013 type)
ST 06 A 型増幅器とメモリスコープの組合せによる波形

Fig. 7 は、PE-30 KF 型と MP-30 型の圧力ヘッドの特性を比較するために、実験DおよびEから波形を引用したものである。MP-30 型では立ち上りの部分がとび出しており、そのあとの減少は比較的ゆるやかであるが、PE-30 KF 型では先端からの圧力変化が比較的なめらかである。前者の波形が、この型の圧力ヘッドに共通のものであるか否かは明らかではない。

ガス濃度の影響については実験DとFの結果から比較が可能であるが、立ち上りの急速な変化の部分とすれば、爆発圧力の値が同じ時には圧力波形はほぼ同じになる。従って、濃度と初圧はある爆発圧力を得るためのパラメータと考えてよい。

Fig. 8 には実験Iの測定波形の例を、ひとつに重ねて示したが、ピエゾ変換器を用いた方が圧力波の減衰が早い。しかし、時定数から考えればこの減衰速度の差がピエゾ変換器を用いる際の静電荷のリークのみによるとは結論できず、むしろ全体的な測定法の差異によるものと考えたほうがよいであろう。

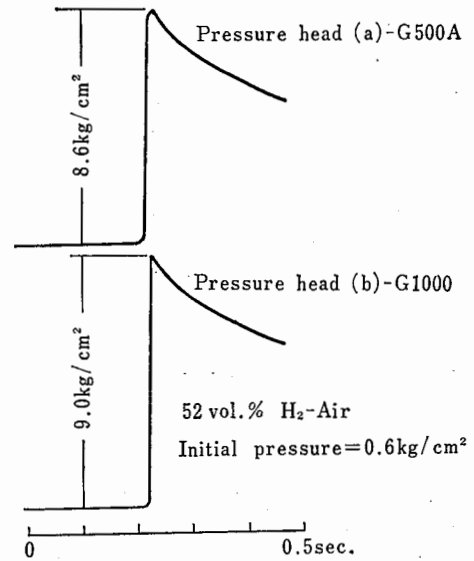


Fig. 7 Explosion pressure wave recording by two types of pressure heads (amplifier : ST 06 A type and memoriscope : MS-5013 type)
圧力ヘッドの型式による波形の相異

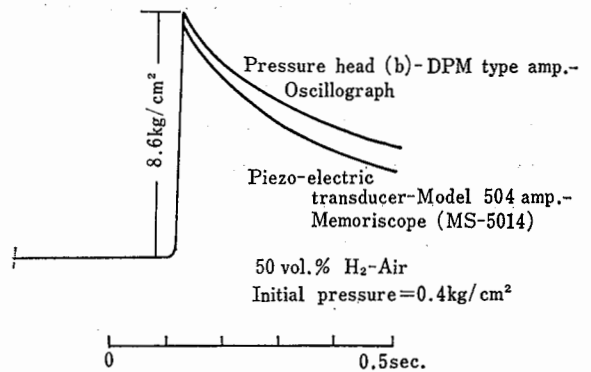


Fig. 8 Explosion pressure wave recording by pressure head and pizo-electric transducer
圧力ヘッドとピエゾ変換器による波形の比較

4. 考 察

4.1 誤差について

本実験を行なうに先立って予想されたのは、測定器による影響があったとしても、その差異はそれほど大きくないであろうということである。従って実験誤差

Table 12 Maximum human error for measurements
測定における最大読みとり誤差

Experiment	Wave height for 10 kg/cm ²	error/1 mm	Percentage of error for about		
			6 kg/cm ²	8 kg/cm ²	10 kg/cm ²
A and B*	ca. 40 mm	0.25 kg/cm ²	5%	4%	5%
B, C, D, E, F, H and I	ca. 50 mm	0.2 kg/cm ²	4%	3%	2%
G	ca. 25 mm	0.4 kg/cm ²	7%	5%	4%

* In the case of atmospheric initial pressure.

が結果の比較に大きな意味を持つことになるが、これについては次のように仮定した。

爆発圧力の測定は、その実験条件によってかなり変動するから、何回かの測定値の範囲をもって誤差の大きさとすることはできない。また、圧力変換器に対する熱の影響、ガルバの温度特性など、比較のための定量化が困難な要素が幾つも含まれている。

従ってここでは便宜上、誤差を人的誤差すなわち、静圧校正と波高読みとりから爆発圧力に換算する過程での誤差に限定した。この誤差は、いずれの実験でも最大 1 mm とした。

測定上の制約などから、各実験での波高と圧力の関係は同一ではないが、各実験におけるこれらの値および、誤差を 1 mm とした時の測定値についての誤差の大きさを上に示す。実際の爆発圧力に対する誤差の割合は、計算値を切りあげた値である。

Table 12 の意味は、例えば実験 C では 6 kg/cm² 付近の圧力に対しては ± 0.2 kg/cm² 以内の差は有意でないことになり、他の結果との比については $\pm 5\%$ の差は有意でないということである。

4.2 実験結果の検討

4.2.1 実験 A の結果

圧力ヘッド a, b と G1000 型ガルバの特性確認の結果、**Table 2** に示すように測定値の比は前表の誤差内にあり、圧力に有意な差はない。また、圧力ヘッドとガルバの特性も殆んど同一であるから、先に述べたように圧力ヘッド a または b と G1000 型ガルバの組合せを以後の測定の基準とした。

4.2.2 実験 B の結果

G 500 A および G 1000 型ガルバによる測定では、**Table 3** によれば初圧による影響はみられないが、G 500 A 型を用いた測定値が殆んど低目にてている。

しかし、誤差限度との差が 6% を越える測定値はなかった。G 500 A 型ガルバの波形の先端部のカーブする部分が真直に立ち上ったとして減衰曲線との交点を求めるならば、G 1000 型のガルバによる値にかなり近づくと考えられる。

4.2.3 実験 C の結果

Table 4 から明らかなように、記録装置のみが異なる測定では、メモリスコープによる方が FR 型電磁オシロによる測定値よりやや高めであるが、平均的には殆んど差はないとしてよい。このことは、両記録装置の追従性が現象の速度を上回る場合には当然予想されることである。

4.2.4 実験 D, E および F の結果

Table 5, 6 および **7** から明らかなように ST 06 A 型ユニットとメモリスコープを組合せた場合の測定値の方が、動歪測定器と FR 型電磁オシロによるより高く、初圧の高いほどその効果が大きい傾向を示している。誤差限度との差は、30% 混合ガスを用いて行なった実験 F が 9% 以下であり、他はいずれも 4% 以下の差違しか生じなかった。

こうした結果を生じた原因が ST 06 A 型ユニットによるのか、メモリスコープのためであるのかはこの実験では明確にできなかった。

4.2.5 実験 G の結果

Table 9 に示すように、RMV 型電磁オシロのガルバについては、すべてのデータが固有振動数 2000 Hz を用いた場合に高い測定値を与えることを示している。しかし、誤差の限度より 4% 以上高くなることはなかった。

4.2.6 実験 H の結果

Table 10 にみる通り、2 種の電磁オシロによる測定値は平均的には誤差範囲内であるが、初圧が 0 の場合に一部のデータが RMV 型について低くでている。

Table 13 Average differences from the standard value for various combinations of instruments with three explosion pressures
基準組合せによる測定値からの平均差異（圧力値に対する割合）

Experiment	Pressure transducer	Amplifier	Recorder	Explosion pressure kg/cm ²		
				6	8	10
A	Pressure head (a) or (b)	DPM-AT	FR-oscillograph (G 1000)	Standard value		
B	Pressure head (a) or (b)	"	FR-oscillograph (G 500 A)	-3%	(-)%	-1%
C	Pressure head (b)	"	Memoriscopescope (MS-5014)	(-)	(-)	(-)
D	Pressure head (a) or (b)	ST-06A	Memoriscopescope (MS-5013)	+1	+2	+1
E	Pressure head (c)	"	"	(-)	+2	*
F	Pressure head (a)	"	"	(-)	+5	+7
G	Pressure head (a)	DPM-AT	RMV-oscillograph (M-2K-21B)	(-)	+2	+1
H	Pressure head (b)	"	RMV-oscillograph (M-1K-22B)	-1	(-)	(-)
I	Piezo-electric transducer	Model 504	Memoriscopescope (MS-5014)	-1	-1	*

* No measurement was carried out.

4.2.7 実験 I の結果

すべてのデータがピエゾ変換器を用いた場合について低くでており、その大きさは限度をこえて(4%)いる。この結果は当初の予想と逆であって、測定条件の影響も検討せねばならないが、これについては別の機会にゆずりたい。

4.3 結果のまとめ

PE-30 KF 型圧力ヘッド（この型式のもの2個についての特性の相違は誤差範囲内とした）を圧力変換器とし、増幅器には DPM-AT 型動歪測定器を用い、FR 101 型電磁オシログラフ（G 1000 型ガルバ）によって記録した場合の爆発圧力を基準とし、これに対する他の測定器類の組合せによる測定結果との差を上に表示。Table 13 の数値は、6, 8 および 10 kg/cm² 付近の爆発圧力に関して、読みとり誤差を越えてどの程度の測定値の差があるかを平均値について示している。

表中で +5% とあるのは、その組合せによる測定結果が基準の組合せによる結果に比して平均 5% 高くでたことを意味する。(-) とあるのは、同様にして測定結果に差がなかったか、またはあっても誤差の範囲内であったことを意味する。また、実験 G については、実験 H の結果の比との積によって基準値との関係を表現した。

Table 13 によれば、ST 06 A 型増幅器とメモリスコープ (MS-5013 型) を組合せた場合の結果が高くなること示され、また、電磁オシログラフを用いた場合にはガルバの固有振動数の高い方が測定値も高くなることが明らかである。混合ガスの濃度が 30% と 50% では、現象の速さに関して記録への影響が大きいことにも注意しなければならない。

4.4 その他の実験条件

4.4.1 測定器の応答周波数

爆発圧力の値を測定するに際しては、応答周波数は特に振動爆発 (vibratory explosion) について問題となるが、本実験においては現象に対する追従性と深い関係があることが実験的に示されたので、Table 14 に各測定器の応答周波数と固有振動数を示す。

本実験では動歪測定器の応答周波数の低いのが目立ち、この種の増幅器の周波数特性はかなり改良されてはいるが、電磁オシログラフを用いない測定系では増幅器によって応答周波数限度が律せられる。

電磁オシログラフを用いる時には、ガルバの応答周波数の高いものほど感度が悪くなるから、増幅器の応答周波数が余り高くないのに応答周波数の高いガルバを用いることは、記録紙上の波高が小さくしか取りだせないという結果になり、読みとり誤差の割合が必然的に大きくなるという好ましくない結果になる。本実

Table 14 Frequency response for each instrument
各測定器の応答周波数特性

Instrument		Natural frequency (Hz)	Frequency response (Hz)
Pressure transducer	Pressure head (a) and (b)	45K	25K
	Pressure head (c)	40K	20K
	Piezo-electric transducer	—	400K
Amplifier	DPM-AT	—	350
	ST 06A	—	6K
	Model 504	—	100K
Memoriscoper	MS-5013	—	1M
	MS-5014	—	1M
Galvanometer	G 1000	1000	700
	G 500 A	500	350
	M-1K-22B	1000	450
	M-2K-21B	2000	900

験では、RMV 型電磁オシログラフに固有振動数 2000 Hz のガルバを用いたのがその例である。しかし、増幅率が大きい増幅器を利用できるならば、もっと適当な条件での測定が可能となる。

4.4.2 記録紙

爆発波形の立ち上りの平均昇圧速度を $10 \text{ kg/cm}^2/10 \text{ msec}$ とすると、 10 kg/cm^2 が記録紙上で 5 cm の波高に相当するとして、ガルバのミラーの移動速度は $5 \text{ cm}/10 \text{ msec}$ 、すなわち 5 m/sec に相当する。一方、使用した記録紙は 750 m/sec の最大直線記録速度を保証されているので、ミラーの移動には十分追従できると考えてよい。ただ、ミラーの移動における慣性の影響については更に検討が必要であろう。

なお、メモリスコープの writing speed は $\mu\text{sec/cm}$ のオーダーであるから、現象に対する追従性には不安はないと考えられる。

5. 結 言

爆発圧力の測定における測定器の組合せの影響について実験した。答者らはこの分野に対しては、爆発現象を取り扱おうという関係しか持たないため、どちらかと言えば実際の測定ということに中心をおいて結果を検討した。

測定した条件内では、いずれの組合せによっても測定値にそれほど大きな影響を与えないことがわかった。測定値にばらつきはあるが、平均的にみれば、PE-30 KF 型圧力ヘッド-DPM-AT 型動歪測定器-FR-101 型電磁オシログラフ (G 1000 ガルバ) の組

合せによる結果を基準にとった時、50%混合物について 10 kg/cm^2 付近までの爆発圧力に関しては基準値から平均 3% 以上の差を生ずることはなかった。30% 混合物については、現象の速度が影響するためか、メモリスコープによる記録の方が電磁オシログラフによるより高い値を示したほか、一般に増幅器に ST 06 A 型増幅器を、記録装置にメモリスコープを用いた場合に高い測定値を得た。電磁オシログラフのガルバは、固有振動数あるいは応答周波数の高いものを用いた方が測定値も高くなった。

爆発現象の再現性、圧力較正の方法、圧力変換器に対する熱の影響など、種々の要素が関係してくるので結果の解析を厳密に行なうことはできなかったが、実用の範囲内で目的の結果が得られたものとする。

(謝辞)

本報告を行なうにあたり種々御教示を頂いた田口防爆課長、ピエゾ変換器を用いての測定に際して協力を惜しまれなかった防爆課松井技官、ならびに、終始実験に協力を頂いた防爆照明器具協同研究会爆発部会 (主査、伊東電機株式会社芳賀茂平氏) に対して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) H. Titman, "Measurement of Dynamic Pressures". S.M.R.E. Research Report No.12 (1950)
 - 2) 応力測定技術研究会編, "応力測定法", 朝倉書店 (1955)
 - 3) K. S. Lion 著, 神山雅英・三浦千三訳, "トランスデューサとその応用", オーム社, p.100 (1964)
 - 4) 水島容二郎, "爆発圧力の測定", 高圧ガス, 3, (3), 45 (1966); 安全工学 4, (1), 62 (1965)
 - 5) 同 上, "爆風圧力の測定", 工業火薬協会誌, 26, (3), 20 (1965)
 - 6) 日本化学会編, "実験化学講座第6巻・反応速度", 丸善 p.196 (1966)
 - 7) 労働省産業安全研究所技術指針 "工場電気設備防爆指針 (ガス蒸気防爆—1965)"
 - 8) 水島容二郎, "ピエゾ測圧のキイポイント・時定数," 工業火薬協会誌, 26, (6), 16 (1965)
 - 9) 田中一三: 圧電素子を使った動圧測定, 同上, 26, (6), 45 (1965)
 - 10) 同 上, "圧電ゲージによる爆風圧測定", 同上, 26, (6), 16 (1965)
 - 11) 森田隆之, 小島英男, "圧電形指圧計," 内燃機関, 7(78), 11 (1968)
 - 12) 林年宏, 松井英憲 (未発表)
- その他, 各測定器の取扱説明書, カタログ等を参考にしたが, これらについての記載は省略する。

産業安全研究所技術資料 RIIS-TN-69-2

昭和 44 年 9 月 10 日

発行所／労働省産業安全研究所

東京都北多摩郡清瀬町梅園1丁目4番6号

電話 (0424) 91-4 5 1 2 番(代)

印刷所 新日本印刷株式会社

郵便番号 180-04

UDC 614.83 : 53.787 : 621.3.083

**The Influence of Measuring Instruments on the Explosion Pressure Recording
(A Contribution for the Testing Methods of Flameproof Electrical Equipments)**

H. Tsurumi and T. Hayashi

Technical Note of the Research Institute of Industrial Safety

RIIS-TN-69-2, 1~14 (1969)

The influence of measuring instruments on the recorded wave forms of explosion pressures has been investigated in a closed spherical vessel with flammable hydrogen-air mixtures. One most common measuring system, which consists of strain gauge transducer, dynamic strain amplifier and electro-magnetic oscillograph, is nominated as a "standard system", and the results are shown in terms of the ratio of average pressure measured by one system to that by standard system. It is shown that the differences are less than 3% for 50% gas mixture.

Comparisons are also given for wave forms, and the frequency responsibilities of the instruments are discussed.