

坑内爆発性ガスの爆発圧力

西堀 博* 岩淵 芳雄**

Explosion Pressure of Explosive Gas in Mine

By Hiroshi Nishibori, Yoshio Iwabuchi
Hitachi Laboratory, Hitachi, Ltd.

Abstract

The investigation which has hitherto been made concerning explosion-proof mechanism, has dealt with the methane/air mixture. But we must clarify the explosion phenomena and flame arresting limitation of hydrogen/air and methane-hydrogen/air mixtures in order to design an explosion-proof battery case of battery locomotive and oil immersed switch, for hydrogen is generated inside their containers. Furthermore, as it is desirable that we adopt the explosion-proof construction with opened gaps in case of the electric apparatus with capacity container having a great capacity, the relation between the specific sectional area of flange gaps and the explosion pressure must be made clear. For this reason, the writers has taken up with these problems herein. From the results of the experiments, the writers have found the concentration limit of methane and hydrogen for explosion-proof construction with opened gaps.

[I] 緒言

坑内で使用される電気機器の防爆構造に関する従来の研究は専らメタン-空気混合ガスを対象として行われてきたが、最近、容器内部で水素を発生する電気機器、例えば蓄電池車¹⁾、或は、油入開閉器等が坑内にも盛んに使用されるようになった。したがって、このように容器内部で水素を発生する電気機器の防爆構造に関する研究も極めて重要になってきた。

しかして、このような電気機器の防爆構造を決定するためには容器内の混合ガスの爆発特性、並びに狭隙よりの火焰逸走の現象を明らかにすることが必要である。本研究は前者の爆発特性に関するものであつて、上述の蓄電池車の蓄電池箱、及び油入開閉器等の如く容器の内容積が非常に大きいものでは、これらを狭隙防爆構造とし

て爆発圧力の軽減を圖ることが望ましい。そのためには種々の混合ガスについて狭隙の比開口断面積（内容積1リットル當りの狭隙通気口断面積）と爆発圧力（混合ガスの爆発の際に発生する圧力の最大値）との関係を明確にしておかなければならない。後述する如く、水素-空気混合ガスに対して電気機器を狭隙防爆構造とするためには空気中に混合する水素の割合を15.2%以下に保たなければならない。したがって、水素発生量が比較的多い場合には換気装置が必要となる。この際には周知の如く坑内の大気中に混合しているメタンにより、メタン-水素-空気混合ガスができる。又、たとえ換気装置が不必要な電気機器に於ても特別な場合を除けば同様の現象が起るものと考えなければならない。そこで、筆者等は種々の組成の水素-空気混合ガス⁽²⁾⁽³⁾、及びメタン-水素-空気混合ガスについて、その爆発特性、並びに狭隙の比開口断面積と爆発圧力との関係を調べ、実際に狭隙

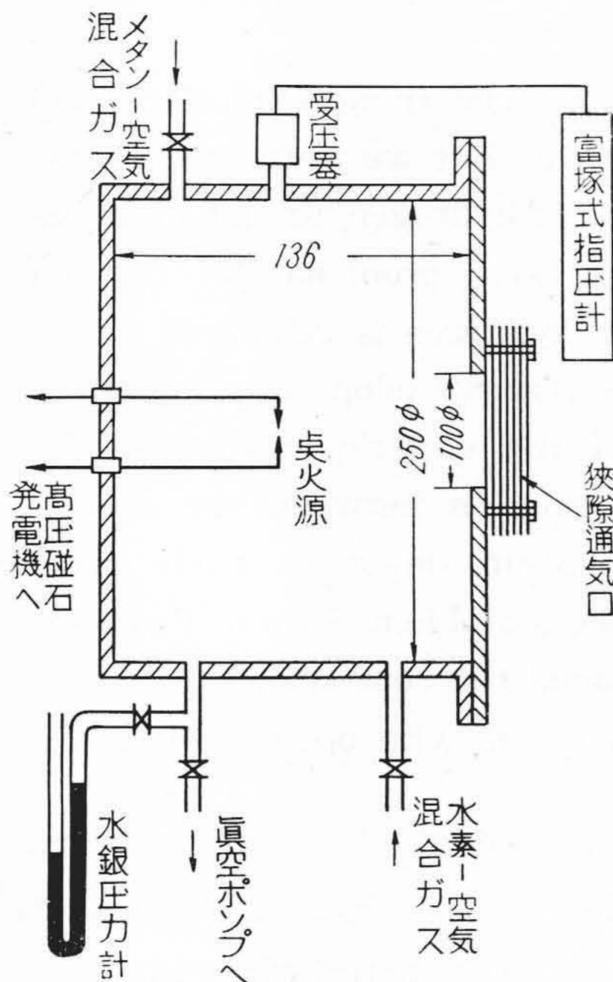
* ** 日立製作所日立研究所

防爆構造を採用したときのメタン、並びに水素の許容混合率を明らかにした。

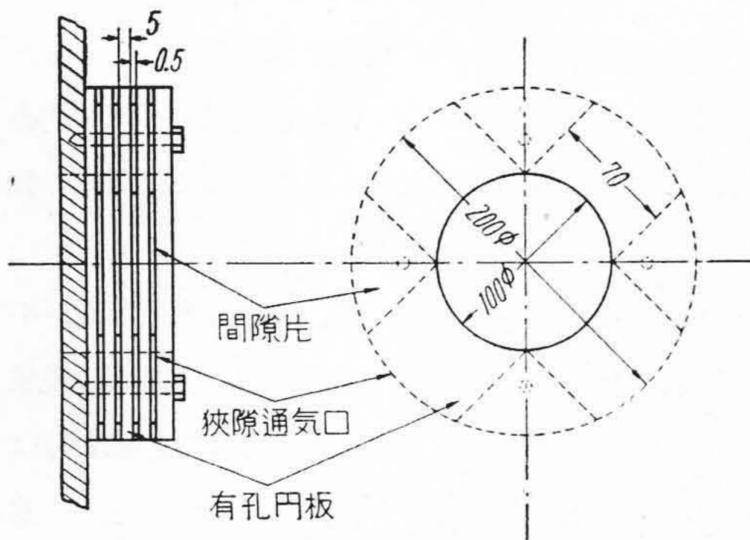
[II] 研究の方法

1) 実験装置

実験装置の概略を第1圖に示した。爆発試験容器は内容積約7リットルの銅板製圓筒で、その一端には爆発壓力の軽減を圖るための狭隙通氣口を取付けた。狭隙通氣



第1圖 実験装置
Fig. 1 View of Experimental Apparatus.



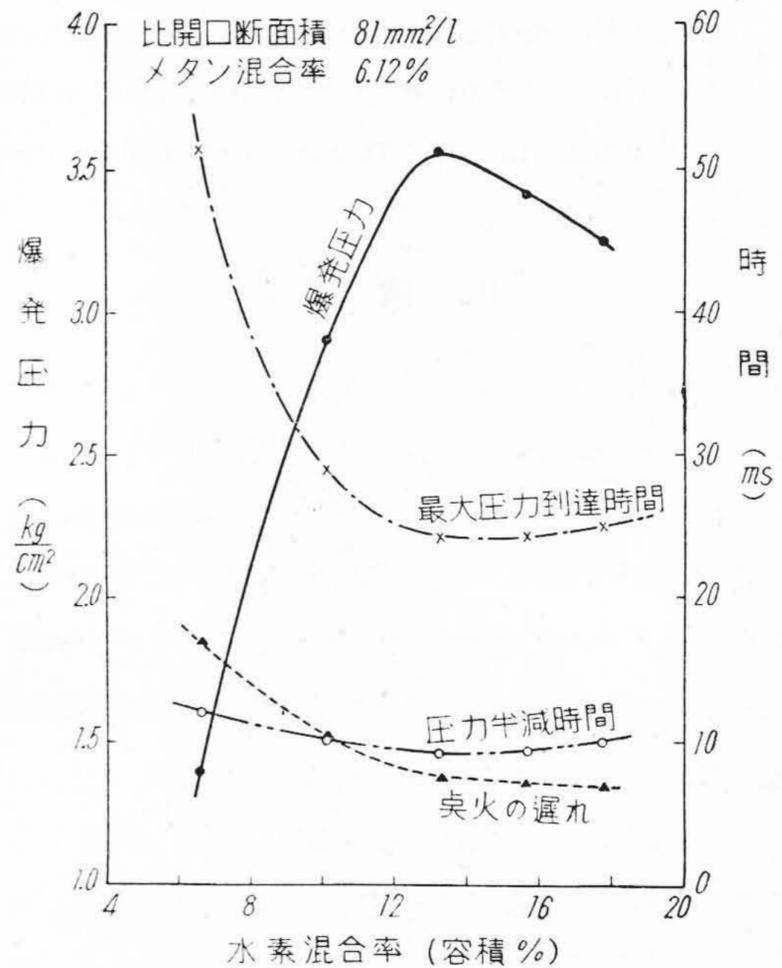
第2圖 狭隙通氣口の構造
Fig. 2 Construction of Flange Gaps.

口の構造は第2圖に示す如く、厚さ 5 mm, 外径200mm, 内径 100 mm の銅板製中空圓板の間に、厚さ 0.5 mm の扇型の銅板製間隙片を重ね合せて狭隙群を形成せしめ2枚の圓板の間の狭隙通氣口は隙 0.5 mm, 幅 70mm, 奥行 50 mm のものが 4 個で、その積重ね枚數に應じて狭隙通氣口斷面積が 140 mm² の倍數となるようにした。點火は容器の中央部で行い、爆発壓力は富塚式指壓計で測定した。

2) 実験方法

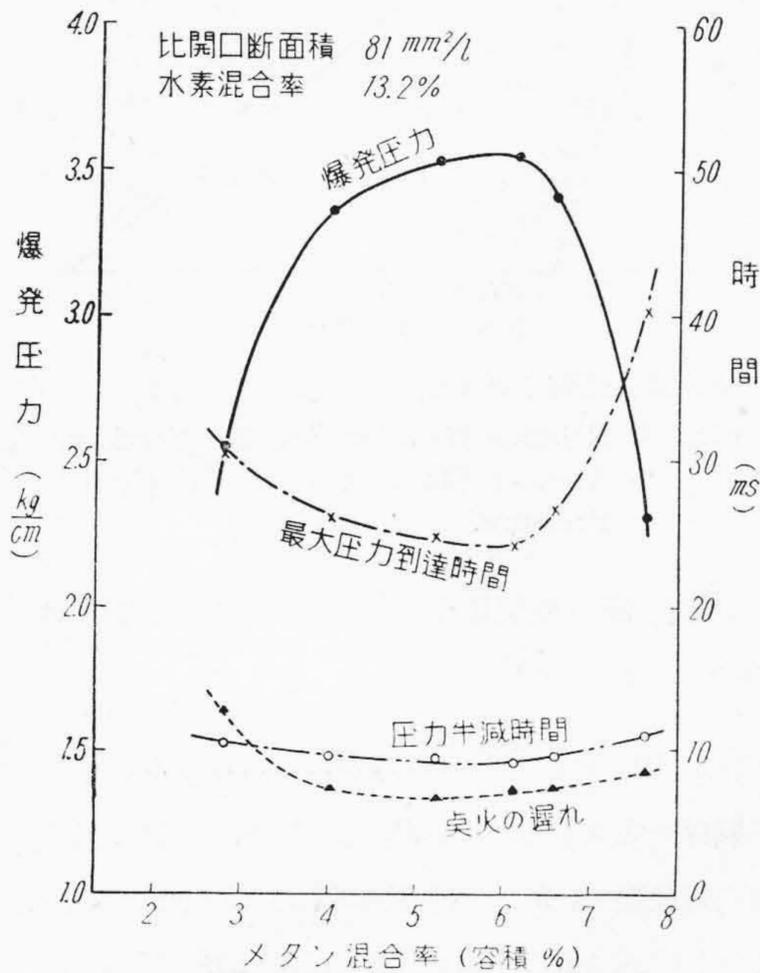
狭隙通氣口に蓋をして爆発試験容器を真空にし、これに種々の組成の水素-空氣混合ガス、又は、メタン-水素-空氣混合ガスを送入して、大氣壓とし、密閉の状態、及び狭隙通氣口の蓋を取りはづした状態で爆発試験を行い、それぞれの場合の爆発特性、並びに狭隙通氣口の比開口斷面積と爆発壓力との關係を検べた。

メタン-水素-空氣混合ガスにはその混合割合が多數ありうるが、メタン、或は、水素の混合率を一定に保ち



第3圖 メタン-水素-空氣混合ガスの爆発特性
(水素混合率を變えた場合)
Fig. 3 Explosion Characteristics of Methane-Hydrogen/Air Mixture.
(Effect of H₂ percentage).

他を変えた場合に爆発圧力が最大となる組成はたゞ一つのみ存在する。例えば、メタン混合率を 6.12% 一定に保ち水素混合率を種々に変えた場合、並びに水素混合率を 13.2% 一定に保ちメタン混合率を種々に変えた場合の爆発圧力は第 3 圖、並びに第 4 圖のような傾向を示す。即ち、メタン混合率が 6.12% のときは水素混合率が 13.2% で、又水素混合率が 13.2% のときはメタン混合率が 6.12% で爆発圧力が最大になる。メタン、或は、水素の混合率を他の如何なる値に保つても同様の現象が起る。したがつて筆者等はメタン—水素—空気が混合ガスの水素混合率を零、3.3、6.6、13.2、29.7 及び 33% にしたときに、それぞれ爆発圧力が最大になるメタン混合率を實驗により求め、これらの混合ガスを後述の實



第 4 圖 メタン—水素—空気が混合ガスの爆発特性 (メタン混合率を変えた場合)

Fig. 4 Explosion Characteristics of Methane-Hydrogen/Air Mixture. (Effect of CH₄ Percentage).

験の試料にした。第 1 表にその組成を示した。なお、第 3 圖、及び第 4 圖に爆発特性を併記したが、同圖の点火の遅れとは混合ガスに点火してから壓力上昇開始時までの時間で、最大壓力到達時間とは壓力上昇開始時から發

第 1 表 メタン—水素—空気が混合ガスの組成

Fig. 1 Composition of Methane-Hydrogen/Air mixture.

試料番號	メタン—水素—空気が混合ガスの組成 (容積 %)		
	メタン	水素	空 氣
1	10.20	0	89.80
2	9.18	3.3	87.52
3	8.16	6.6	85.24
4	6.12	13.2	80.68
5	4.08	19.8	76.12
6	1.02	29.7	69.28
7	0	33.0	67.0

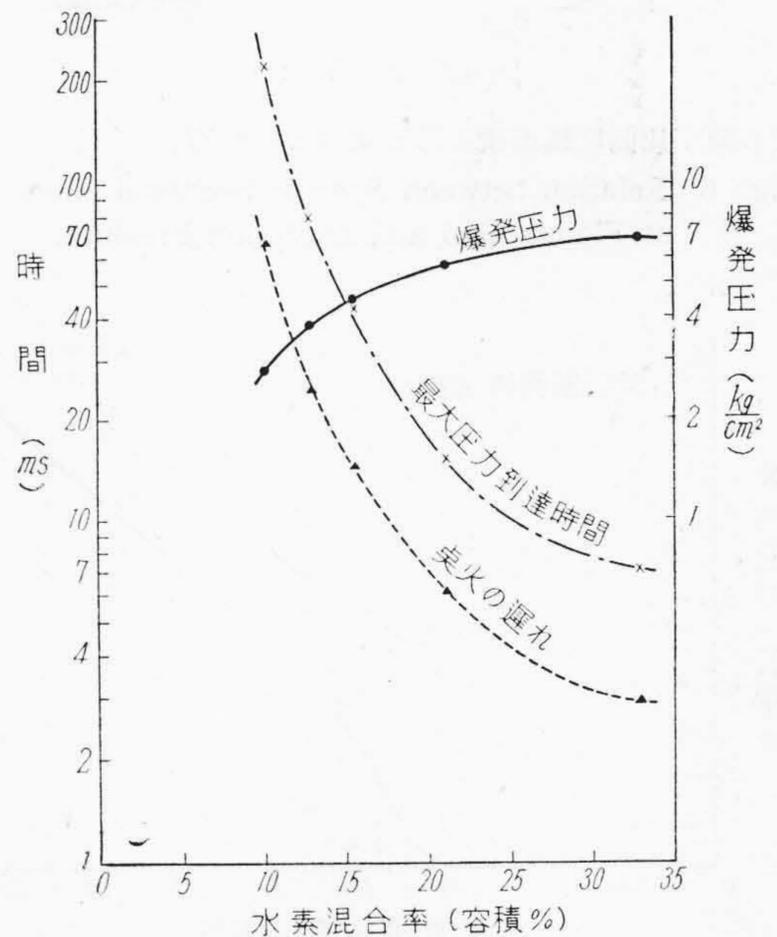
生壓力が最大値に達するまでの時間である。又、壓力半減時間とは發生壓力が最大値の 1/2 に減少するまでの時間である。

〔Ⅲ〕 研究の結果

1) 水素—空気が混合ガス

(A) 密閉の場合

密閉容器内の水素—空気が混合ガスの爆発特性は第 5 圖のようになる。爆発壓力は水素混合率が 33% のとき最



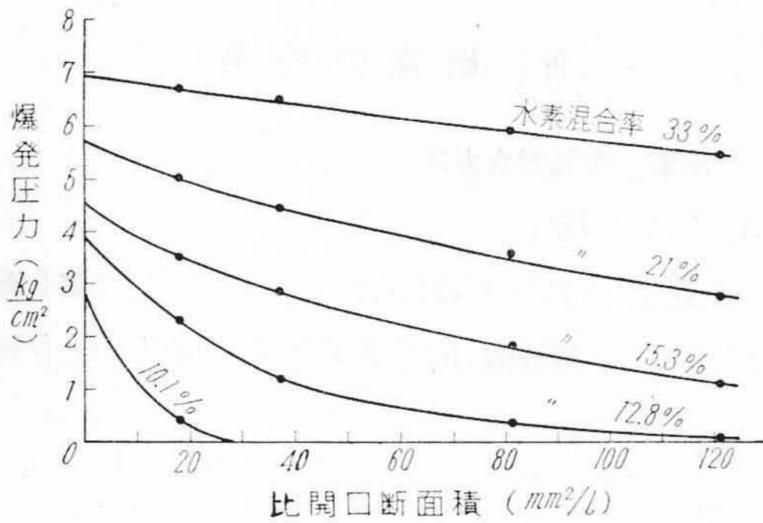
第 5 圖 水素—空気が混合ガスの爆発特性

Fig. 5 Explosion Characteristics of Hydrogen/Air Mixture.

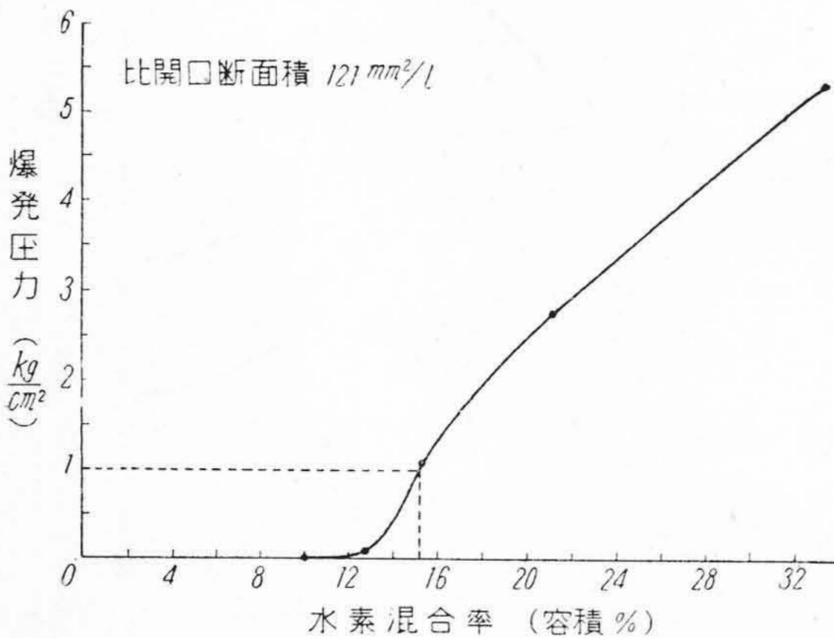
も大きく (同圖では 33% 以上の場合は記入してないがこの混合率のときに爆発圧力が最大になることは豫備實驗により確めてある。)、又、このときの點火の遅れ、並びに最大壓力到達時間は極めて短い。しかし水素混合率が小さくなるにしたがつて爆発壓力は小さくなり、點火の遅れ、及び最大壓力到達時間は急激に長くなり、爆発現象が緩慢になる。

(B) 狹隙通氣口がある場合

(a) 比開口斷面積と爆発壓力との關係 實驗結果は第 6 圖の如く、水素混合率 33% では比開口斷面積が 121 mm²/l のときの爆発壓力は密閉の場合より僅かに 1.5 kg/cm² 輕減するのみであるが、水素混合率が小さくなると、比開口斷面積の増加にともなつて爆発壓力が



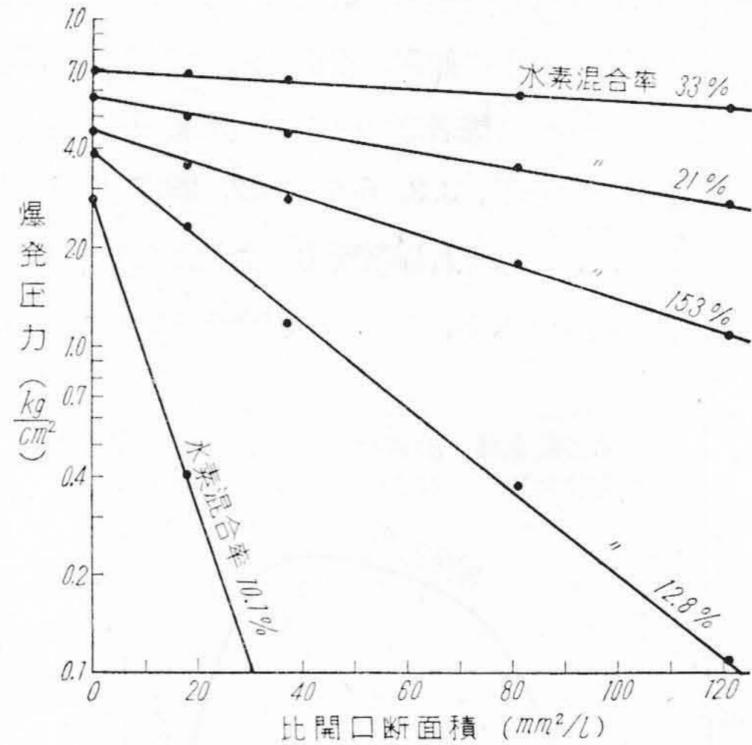
第 6 圖 比開口斷面積と爆発壓力との關係
Fig. 6 Relation between Specific Sectional Area of Flange Gap and Explosion Pressure.



第 7 圖 水素混合率と爆発壓力との關係
Fig. 7 Relation between H₂ Percentage and Explosion Pressure.

急激に減少する。第 6 圖の結果より比開口斷面積が 121 mm²/l のときの水素混合率と爆発壓力との關係を求めると第 7 圖となり、水素混合率が 15.2% 以下のときは爆発壓力が 1 kg/cm² 以下となる。

これらの結果を爆発壓力を對數目盛にとつて表わすと第 8 圖に示す如く直線的關係になる。したがつて、比開口斷面積が O/V (但、 O は狹隙通氣口の斷面積(mm²))



第 8 圖 比開口斷面積と爆発壓力との關係
Fig. 8 Relation between Specific Sectional Area of Flange Gap and Explosion Pressure.

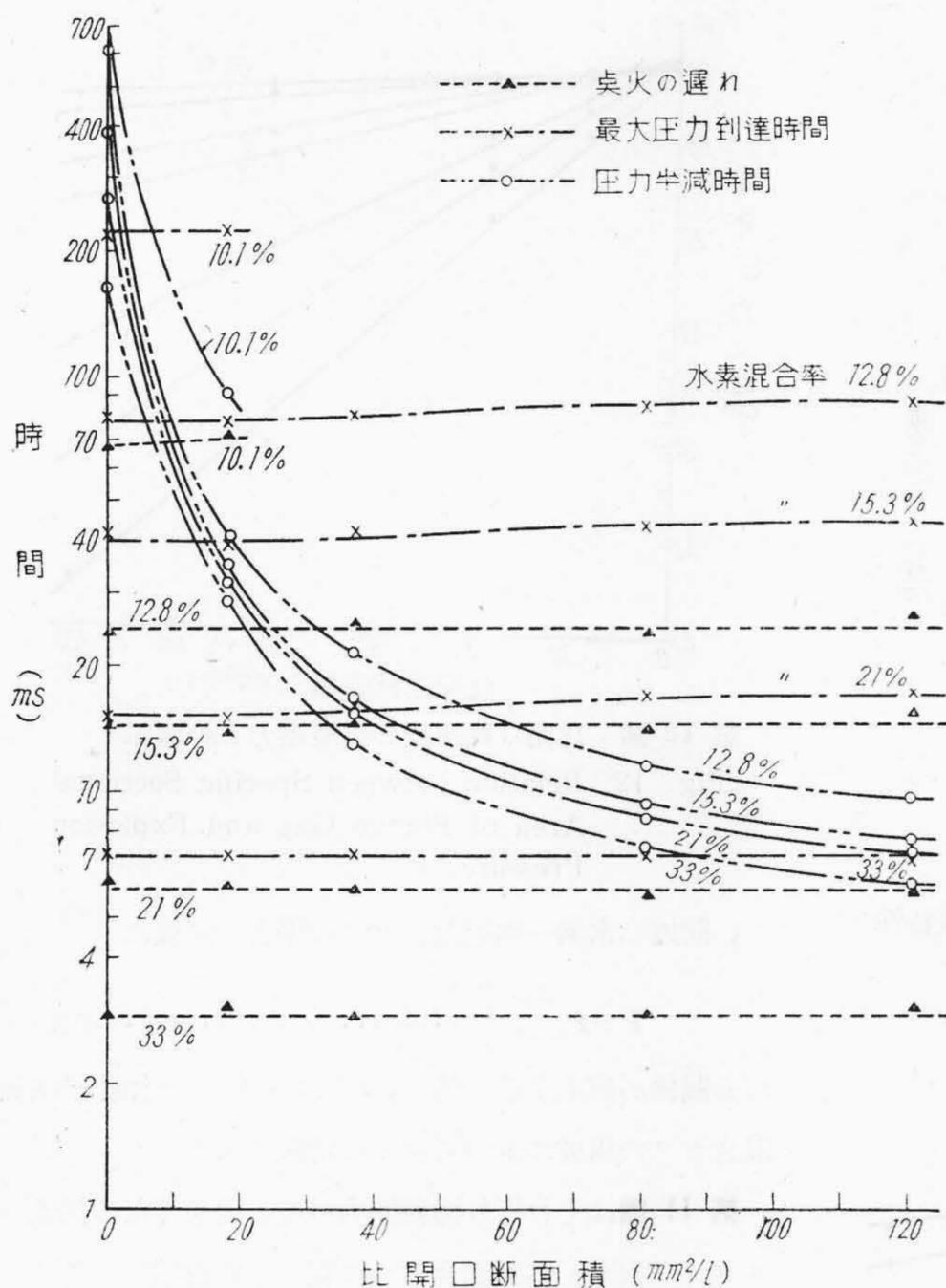
V は試験容器の内容積 (l) のときの爆発壓力を P (kg/cm²) とすれば

$$P = P_0 e^{-k \frac{O}{V}} \dots \dots \dots (1)$$

なる關係が成立する。但、 P_0 は $O=0$, 即ち、密閉の場合の爆発壓力、 k は水素混合率によつて決まる常數である。(1)式は既に米田氏⁽⁴⁾があらゆる種類の化學當量的爆発性混合ガスについて成立すると報告された式と一致する。

(b) 比開口斷面積と爆発特性との關係 それぞれの水素混合率の水素一空氣混合ガスについての實驗結果を第 9 圖に示す。この結果よりいえることは

(1) 點火の遅れ、及び最大壓力到達時間は比開口斷面積が變化しても殆ど一定であるが、後者は水素混合率が比較的小さい場合には比開口斷面積が大きくなるにし



第9圖 比開口断面積と爆発特性との関係
Fig. 9 Relation between Specific Sectional Area of Flange Gap and Explosion Characteristics.

たがって多少長くなる傾向を示す。

(2) 圧力半減時間は密閉の場合には極めて長いが比開口断面積が大きくなるにしたがって急激に短くなる。

2) メタン-水素-空気混合ガス

(A) 密閉の場合

実験結果を第10圖に示す。爆発圧力は水素混合率が零、即ち、メタン混合率が10.2%のメタン-空気混合ガスの場合は6.85 kg/cm²であるが、メタン-水素-空気混合ガスのメタン混合率が8.7%で、水素混合率が4.9%附近ではそれが最も大きくなり、ほぼ7.5 kg/cm²に達する。点火の遅れ、及び最大圧力到達時間は水素混

合率が大きくなるにしたがって急激に短くなる。即ち、爆発現象が急激になる。したがって、メタン-水素-空気混合ガスの水素混合率が4.9%附近で爆発圧力が最も大きくなることは次のように説明できる。

一般に爆発性混合ガスの爆発圧力

P (kg/cm²) は⁽⁵⁾

$$P \approx 0.079 \frac{\mu q_N}{[C_v]^{l_a}} \dots \dots \dots (2)$$

但し、 μ = 反応中に起る容積の變化

q_N = 混合ガスの燃焼熱 (kcal/N m³)

$[C_v]^{l_a}$ = 反応生成物の平均比熱

(cal/°C Mol)

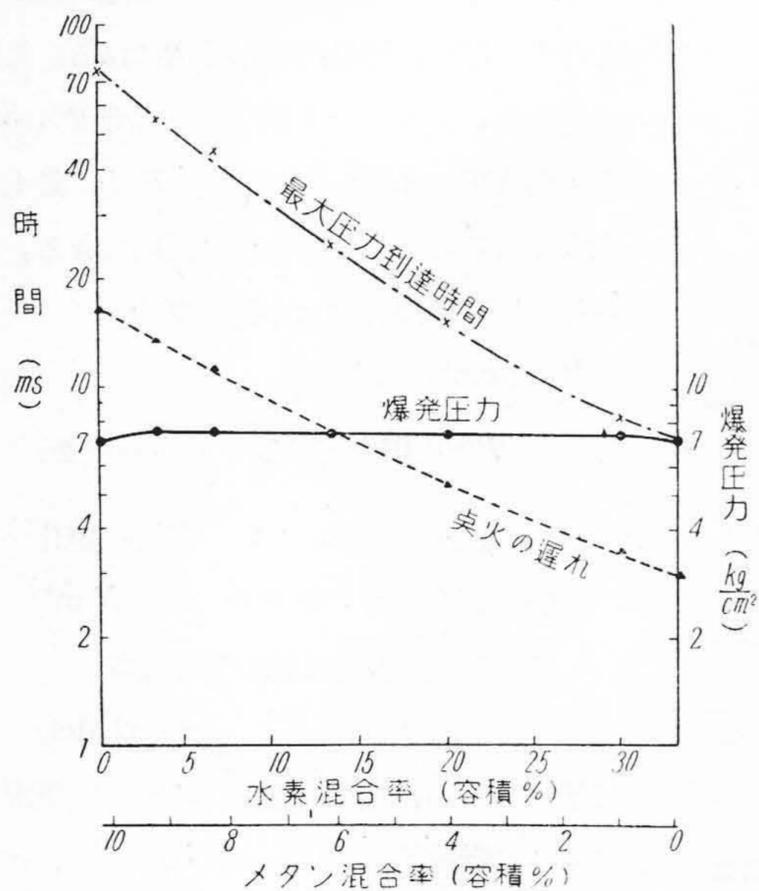
で示されるが、化学當量的メタン-空気混合ガスの燃焼熱は811 kcal/N m³で、化学當量的水素-空気混合ガスの燃焼熱の760 kcal/N m³に比して大きく、又、メタン-水素-空気混合ガスの水素混合率が比較的小さいから、反応前と反応後との容積の變化は約0.98で、メタン-空気混合ガスの容積の變化1.0とあまり差がなく、又反応生成物の平均比熱も殆ど變化がない。故に(2)式を用いて爆発圧力を計算すると、その値はメタン-空気混合ガスの爆発圧力の約97%となる。しかるに、前述の結果からわかるように爆発反應が著しく急

激になるから、反應中の熱損失はメタン-空気混合ガスに比較して相當小さくなるのが容易に想像される。したがって、メタン-水素-空気混合ガスの爆発圧力はメタン-空気混合ガスのそれよりも大きくなる。

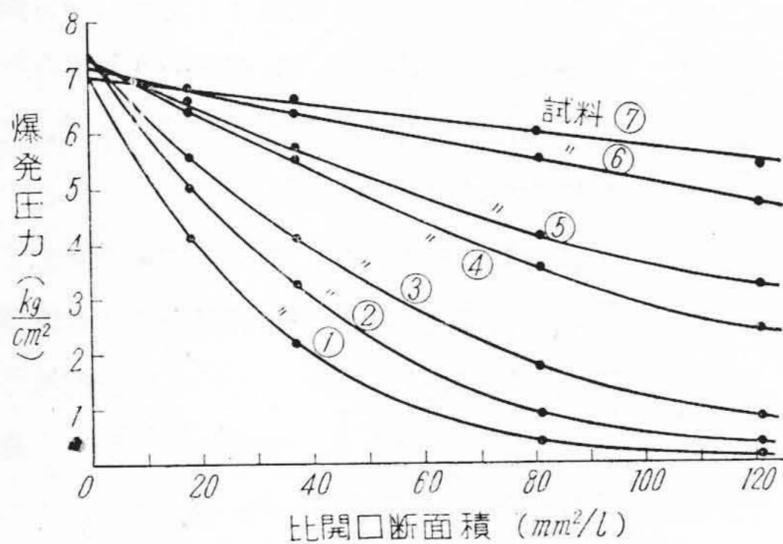
(B) 狭隙通気口がある場合

(a) 比開口断面積と爆発圧力との関係 第11圖は

第1表の試料①より⑦までのそれぞれのメタン-水素-空気混合ガスについての實驗結果である。試料①、②及び③、即ち、メタン混合率が大きく、水素混合率が小さい場合には比開口断面積が大きくなるにしたがって爆発圧力が急激に減少し、比開口断面積が121 mm²/lのときの爆発圧力は1 kg/cm²以下になる。試料⑥、及び⑦

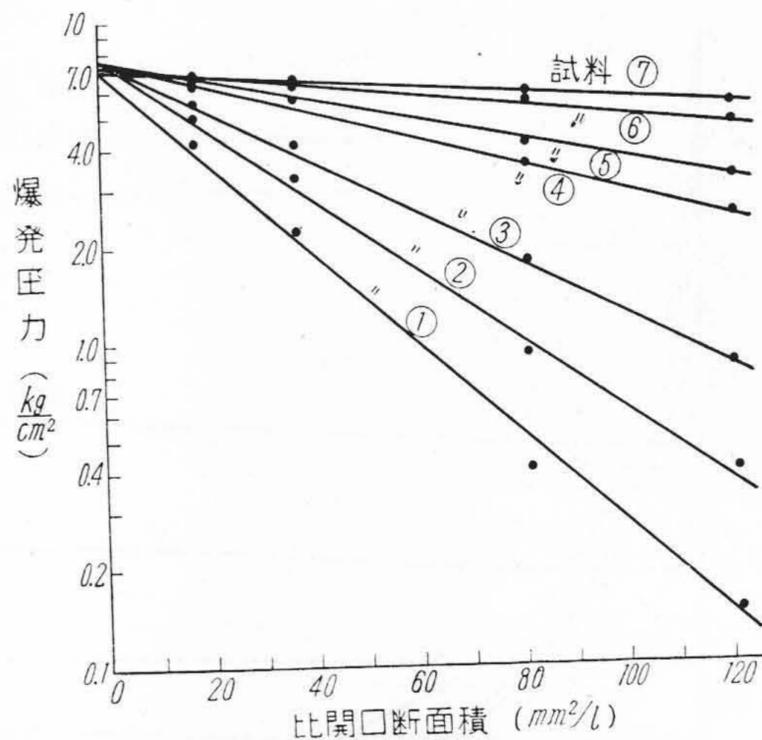


第 10 圖 メタン-水素-空気が混合ガスの爆発特性
Fig. 10 Explosion Characteristics of Methane-Hydrogen/Air Mixture.



第 11 圖 比開口断面積と爆発圧力との関係
Fig. 11 Relation between Specific Sectional Area of Flange Gap and Explosion Pressure.

即ち、メタン混合率が小さく、水素混合率が大きい場合には比開口断面積が大きくなつても爆発圧力があまり軽減せず、このようなメタン-水素-空気が混合ガスでは爆発圧力を 1 kg/cm^2 以下に軽減することが極めて困難である。試料④、及び⑤はこれらの中間の特性を示している。これらの結果を爆発圧力を対数目盛にとつて表わすと第 12 圖となり、やはり直線的関係になる。したがつ



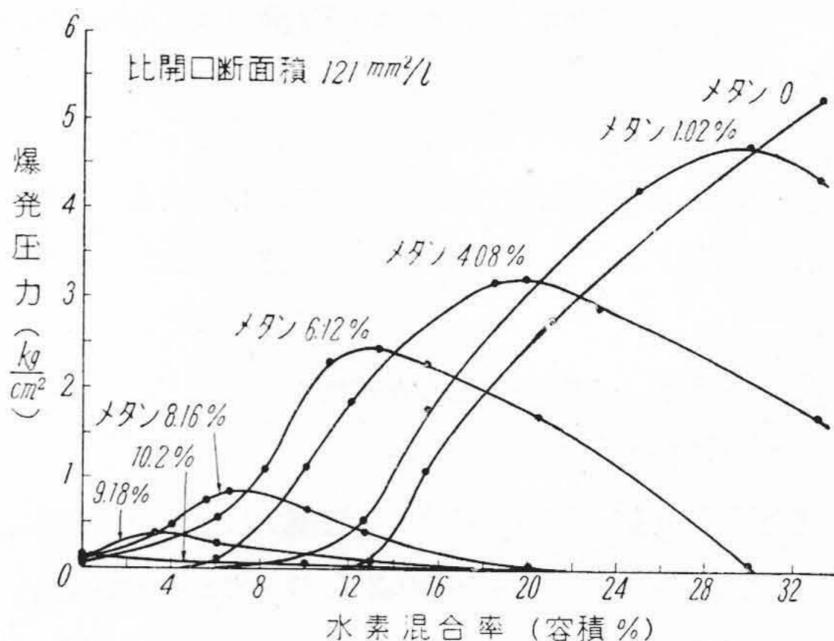
第 12 圖 比開口断面積と爆発圧力との関係
Fig. 12 Relation between Specific Sectional Area of Flange Gap and Explosion Pressure.

て、前述の水素-空気が混合ガスの場合と同様に

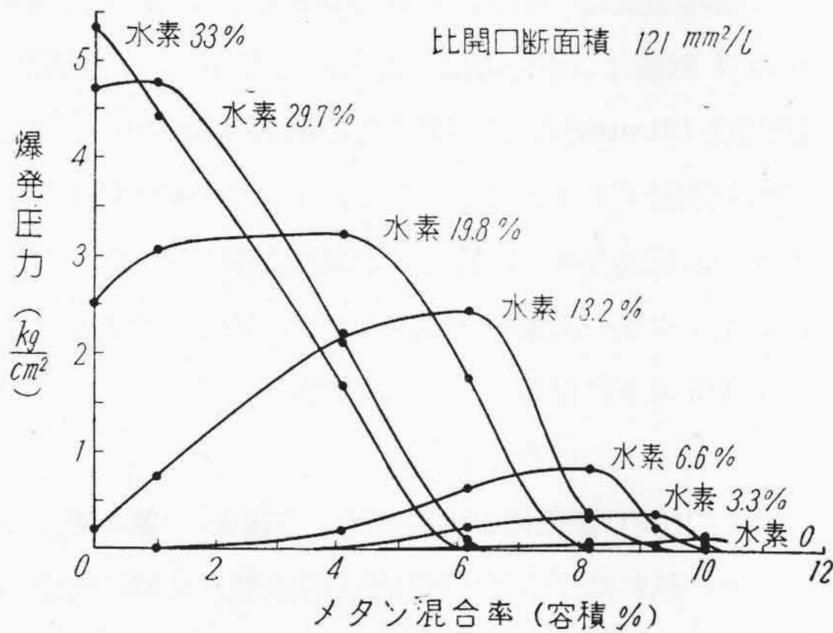
$$P = P_0 \cdot \frac{1}{V^{k'}} \dots \dots \dots (3)$$

なる関係が成立する。但し、 k' はメタン-水素-空気が混合ガスの組成によつてきまる常数である。

第 11 圖はそれぞれ爆発圧力が最も大きくなる組成のメタン-水素-空気が混合ガスに関する実験結果であるが比開口断面積を $121 \text{ mm}^2/l$ とし、メタン-水素-空気が混合ガスのメタン混合率をそれぞれ一定の値に保ち水素



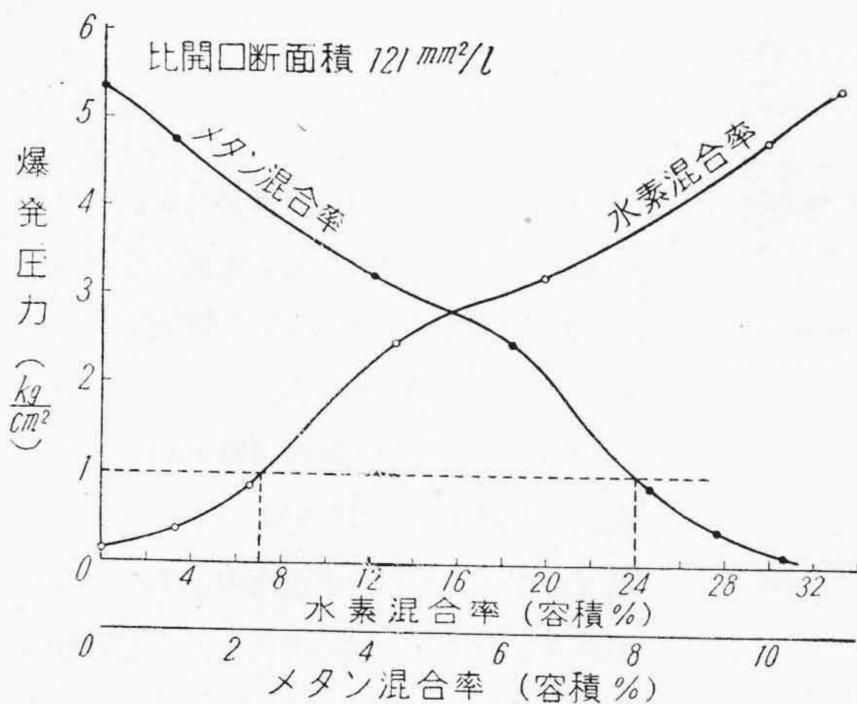
第 13 圖 水素混合率と爆発圧力との関係 (メタン混合率一定)
Fig. 13 Relation between H_2 Percentage and Explosion Pressure. (Constant CH_4 Percentage).



第 14 圖 メタン混合率と爆発圧力との関係
(水素混合率一定)

Fig. 14 Relation between CH₄ Percentage and Explosion Pressure.
(Constant H₂ Percentage).

混合率を零から 33% までに變化した場合の爆発圧力は第 13 圖となる。又、同じ比開口断面積でメタン-水素-空気が混合ガスの水素混合率をそれぞれ一定の値に保ちメタン混合率を零から 10.2% までに變化した場合の爆発圧力は第 14 圖となる。これらの結果よりそれぞれの爆発圧力が最も大きくなる組成のメタン-水素-空気が混合ガスの水素混合率と爆発圧力との関係、並びにメタン混合率と爆発圧力との関係は第 15 圖となり、爆発圧力

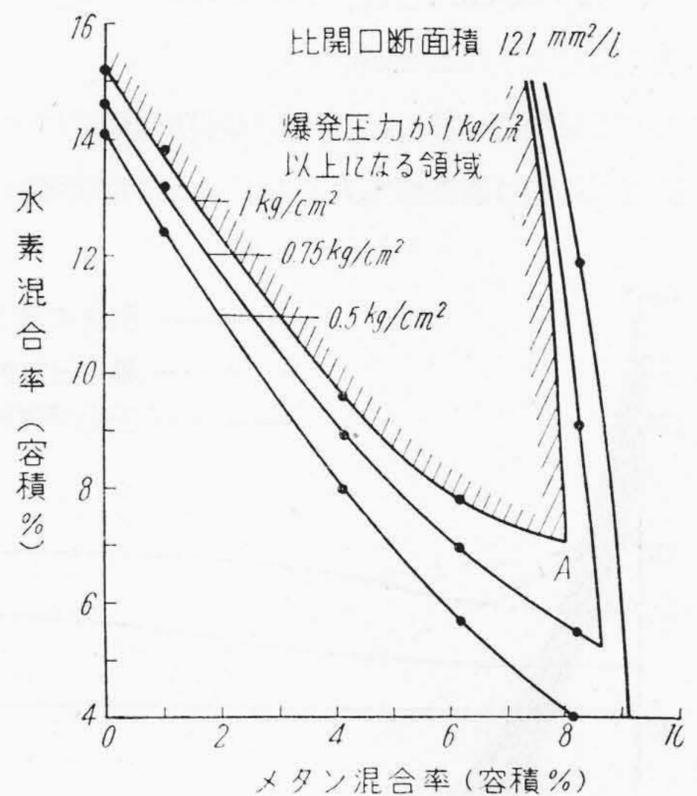


第 15 圖 ガス混合率と爆発圧力との関係

Fig. 15 Relation between Gas Percentage and Explosion Pressure.

が 1 kg/cm^2 になる水素混合率は 7.1%, メタン混合率は 8.0% になる。したがって、第 13 圖, 第 14 圖, 及び第 15 圖の結果から次のことがいえる。メタン-水素-空気が混合ガスの水素混合率が 7.1% 以下であるならばメタン混合率が如何に變化しても、又、メタン混合率が 8.0% 以上であるならば水素混合率が如何に變化しても爆発圧力は 1 kg/cm^2 以下となる。

更に第 13 圖の結果より爆発圧力が 1 kg/cm^2 , 0.75 kg/cm^2 , 0.5 kg/cm^2 になるメタン混合率と水素混合率との関係を求めると第 16 圖となる。今、 1 kg/cm^2



第 16 圖 一定壓力を呈するガス混合率の関係

Fig. 16 Relation between CH₄ Percentage and H₂ Percentage which Resulted in Constant Explosion Pressure.

の場合の曲線についてみると、例えば、メタン混合率が 6% のときは水素混合率が 7.9% のときに爆発圧力が 1 kg/cm^2 になるがメタン混合率が小さくなるにしたがつて爆発圧力が 1 kg/cm^2 になるときの水素混合率が大きくなり、メタン混合率が 4% では水素混合率が 9.7%, メタン混合率が零では水素混合率が 15.2% となる。しかして、同じメタン混合率で爆発圧力が 1 kg/cm^2 になる水素混合率には大小 2 つ存在するから圖に示す如く 2 本の曲線がえられ、これらの 2 本の曲線に囲まれた部分は爆発圧力が 1 kg/cm^2 以上になる領域であつて、2 本の曲線の交点 A は前述した如く次の 3 つの事柄を表わし

ている。即ち、

(1) メタン混合率が 8.0%, 水素混合率が 7.1% のメタン-水素-空気が混合ガスの爆発圧力は 1 kg/cm² になる。

(2) 水素混合率が 7.1% 以下であるならば、メタン混合率が如何に變化しても、その混合ガスの爆発圧力は 1 kg/cm² 以下になる。

(3) メタン混合率が 8.0% 以上であるならば、水素混合率が如何に變化しても、その混合ガスの爆発圧力は 1 kg/cm² 以下になる。

なお、0.75 kg/cm², 及び 0.5 kg/cm² の場合についても全く同じようなことがいえる。

實際の電気機器に於て、これを狭隙防爆構造にする場合の狭隙の比開口断面積の大きさの限界値は電気機器、並

びに狭隙通気口の構造によつて多少異なるが、通常 120 mm²/l 程度なら製作可能である。したがつて、比開口断面積 121 mm²/l, 許容最大爆発圧力 1 kg/cm² の防爆機器を設計しようとするならば、今までの實驗結果から水素-空気が混合ガスに於ては水素混合率を 15.2% 以下に、又メタン-水素-空気が混合ガスに於ては水素混合率を 7.1% 以下に保ちうるように考慮しなければならないことが明らかになる。

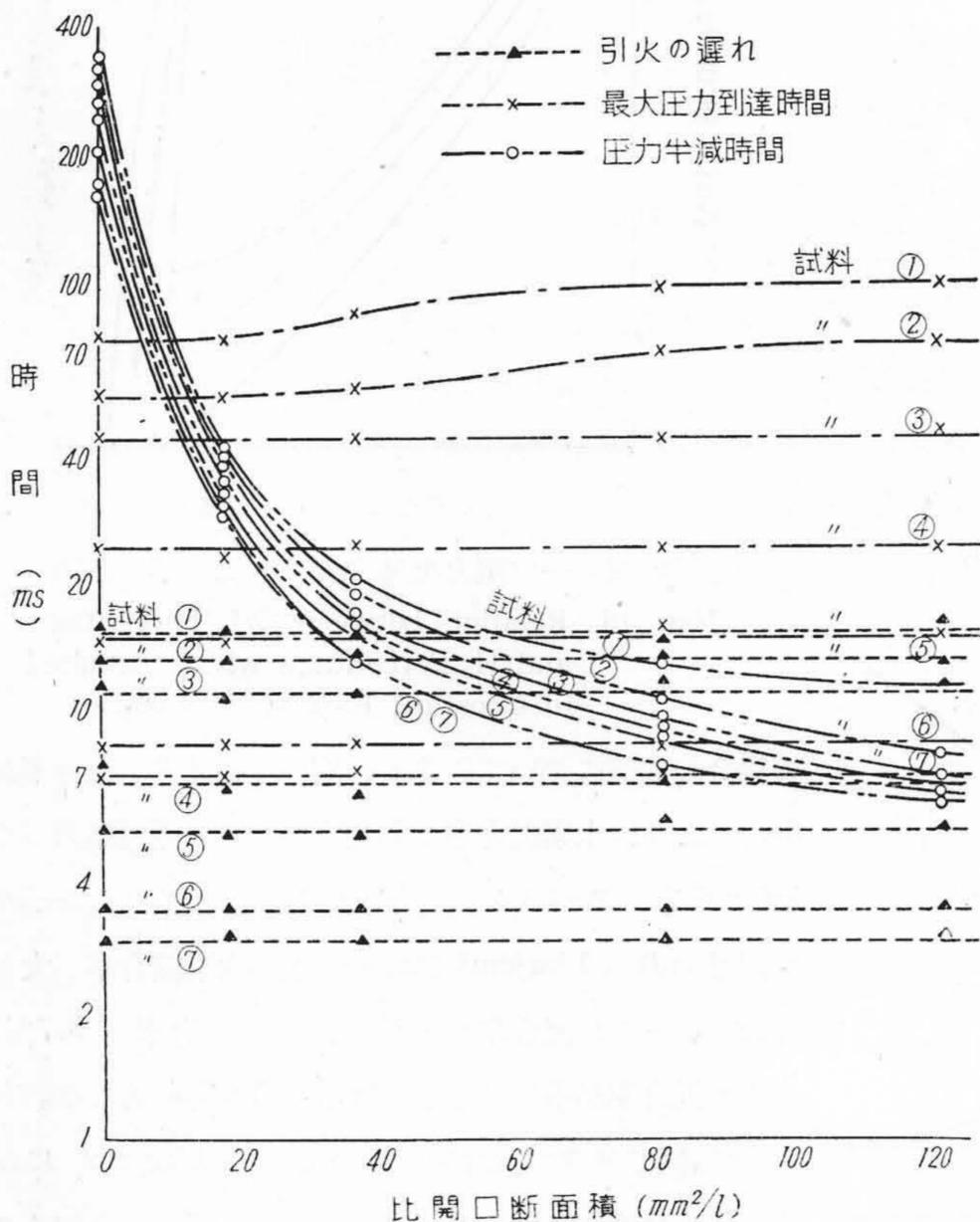
(b) 比開口断面積と爆発特性との關係 第 1 表のそれぞれの試料について比開口断面積を種々に變えて求めた爆発特性の結果を第 17 圖に示した。一般に爆発特性の傾向は前述の水素-空気が混合ガスの場合と同様で、点火の遅れ、及び最大壓力到達時間は比開口断面積の大きさが、變つても殆ど一定であるが、試料①、及び②、即ち水素混合率が小さく、メタン混合率が大きい場合には比開口断面積が大きくなるにしたがつて最大壓力到達時間が僅かに長くなる傾向を示す。壓力半減時間は比開口断面積が零、即ち、密閉の場合は非常に長く、160 ms 乃至 340 ms であるが、比開口断面積が大きくなるにしたがつて急激に短くなる。

[IV] 結 言

以上の結果を要約すると次のようになる。

(1) 水素-空気が混合ガスでも、メタン-水素-空気が混合ガスでも水素混合率が大きいほど狭隙通気口によつて爆発壓力を軽減することが困難になる。

(2) 比開口断面積が 121 mm²/l の場合は水素混合率が 15.2% 以下の水素-空気が混合ガス、及び水素混合率が 7.1% 以下のメタン-水素-空気が混合ガスの爆発壓力は常に 1 kg/cm² 以下になる。しかも後者の場合はメタン混合率が如何に變化しても同様である。



第 17 圖 比開口断面積と爆発特性との關係
Fig. 17 Relation between Specific Sectional Area of Flange Gap and Explosion Characteristics.

(3) 比開口斷面積と爆発壓力の對數との間に直線的關係がある。

(4) 點火の遅れ、及び最大壓力到達時間は比開口斷面積の大きさが變つても殆ど一定である。しかし壓力半減時間は比開口斷面積が大きくなるにしたがつて急激に短くなる。

最後に本研究を行うにあたり、終始御指導を賜つた日立研究所部長三浦倫義博士に對し感謝の意を表す。

參考文獻

- 1) 岩淵：日立許論、32, 767, (昭 25)
- 2) M.Hillebrand : E.T.Z. 59, 1116 (1938)
- 3) 西堀、岩淵：第 24 回連合大會講演要旨 A-7-1 (昭 25-4)
- 4) 米田：日立許論、25, 507, (昭 17)
- 5) M.Hillebrand : Grundlagen der Errichtung Elektrischer Anlagen in explosions gefährdeten Betrieben.

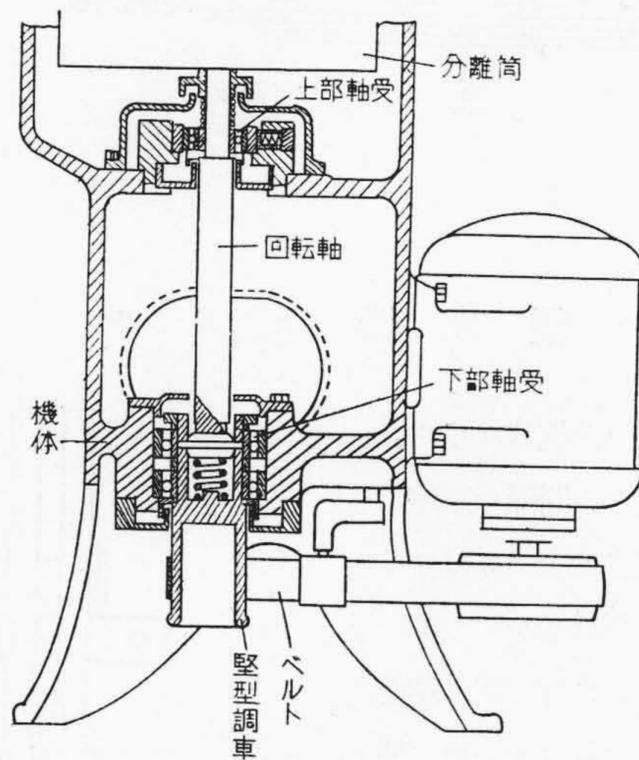
特許紹介

特許第 183961 號

遠心分離機

川崎光彦

この發明は多數の截頭圓錐狀分離板を收納した分離筒を上部に擔つた垂直回轉軸を上部及び下部兩軸受を以て自動調心的に支持し、垂直回轉軸の下端には豎型調車を可撓的に連結し、この調車は特に機體下部に突出させてこれに驅動用ベルトを掛けたものである。遠心分離機のように高速回轉をなすものに於ては無端ベルトが使用されるのであるが、從來



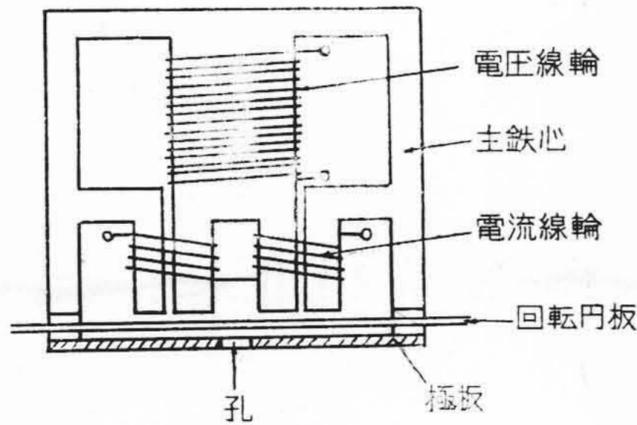
の遠心分離機は調車を上下兩軸受の中間に設けたものである。従つてベルトの交換に當つては軸受を分解する手数を要したのであるが本發明のような軸受構造となし調車を機體下部に突出せしめるときは、ベルトの交換は極めて容易に行われ而も回轉軸は振動することなく靜肅に回轉し得る特徴を有するものである。(田中)

特許第1797987號

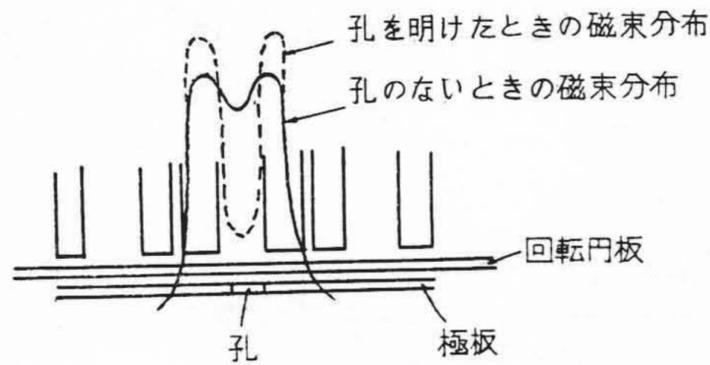
宗像晋介
鈴木一夫

積算電力計

この発明は電圧及び電流線輪を巻いた主鉄心と、この鉄心に對し磁束を誘導するための極板とよりなるものに於て主鉄心の磁束分布の變化を急激とするために極板の所要個所に孔を設けたものである。即ち極板に孔を設けるとこの部分の磁貫通氣抵抗は極めて大であるからこの部分を通るべき磁束はその兩側に分れ、孔のない場合實線示の如き磁



束分布が點線示の分布のように變化する。従つて回転圓板をする磁束の變化はその作用點に於て極めて急激となるからこれによつて圓板に發生する渦流は大きく且つ一個所に集中するため圓板の回転大は強大となり作用確實にして誤差を防止し得るものである。(田中)



實用新案第368476號

山家正道

變成器コイル

圖に於て1は導線を板狀に巻いた板狀コイル、2はヂスタントピースで各コイルの間隔を正確に保持すると同時に通風溝を形成させる。3はコイルを締付けるコ状の金具で豫め開口端をやや開いておきこれにコイルを入れてプレス等で開口端を狭ばめてコイル及びヂスタントピースを一體に締付けるのである。従つてその製作並びに構造極めて簡單であり、實用效果の大きいものである。

(田中)

