MAY 1975

RIIS-RR-24-1

UDC 621.313/39-213.4 : 614.838

産業安全研究所研究報告

RESEARCH REPORT OF
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

RR-24-1

プロパン-水素-空気系混合ガスを対象とする実験的セーフ・ギャップに関する研究

鶴見 平三郎

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

プロパン-水素-空気系混合ガスを対象とする実験的セーフ・ギャップに関する研究

鶴見　平三郎*

Study on Maximum Safe Gaps with Propane/Hydrogen with Air Mixtures.

Heizaburo TSURUMI*

According to the study on the measurement of experimental safe gap with Propane/Hydrogen with air, the behavior of safe gap of this mixtures that is very few reports which give scientific support to at present is concluded clearly as to be discussed in this paper together with each chapter of this report.

The outline of this report will be described below.

1 Experimental safe gaps with 25mm flanges were determined in a standard spherical vessel and the parameters of the experiment were the concentration of the mixtures and the gap widths.

The vessel was made of stainless steel and the internal volume of vessel was 20cc. As ignition source, electric sparks were discharged between the electrodes of an ignition plug in the center of the vessel. Useing the ion probe, it was determined whether gas ignition occured outside the chamber.

2 The experimental safe gaps largely depend on the concentration of Propane in the mixures.

It is said that the effect of a small quantity concentration of Propane in the mixture appeared sensitively to the increseing of experimental safe gap width and from this results of experiments it should be said that the explosion grade of the mixtures depended sensitively on the concentration of Propane in the mixtures.

3 According to my observation of this study the curve of the experimental safe gap with this two components mixtures are not linear line connected with safe gap width of Propane and the safe gap width of Hydrogen. But the clarification of this growth mechanism is not clear yet.

4 Fundamentally, in the behavior of the safe gap, there are many factors by which the probability of ignitions are influenced severely, therefore the percentage external ignitions curve on various concentrations mixtures was not the same figures in the range which became the purpose of this study. By this reason, it is impossible that the statistical maximum safe gap can be obtained theoretically by the same formula without experiments.

5 The relation between the safe gaps which measured on this study and the stoichiometric concentration of the fuels are closely related under the range of the fuels belonged to the first grade of explosion. And the relation among those quantities is below.

$$\text{Safe gap} \propto C_{st}^{-1}$$

There are no doubt many other problemes to be considered under this head which I can not take up within the limited scope of this study.

* 化学研究部 Research Division of Chemical Engineering

1. まえがき

セーフ・ギャップに関する報文のほとんど大多数のものは，単一成分のガスおよび蒸気のそれであり，多成分系のガスについて測定した報文は，極めて少数である。しかも，石油精製，石油化学工場等のプラント現場においては，各種成分ガスが混在しているのが普通であり，多成分系ガスの爆発等級 (Explosions Klasse) はどうあるべきか，理論値あるいは実測値が乏しく防爆工学上の一つの隘路となっている現状であり，防災上非常に重要な未開拓の分野の一つとなっている。

したがって，鶴見ら[1]は，さきにナフサ分解ガスのセーフ・ギャップについての報文を発表したところであるが，さらにこれらの混合ガスのセーフ・ギャップの挙動を理論的に解明するために，爆発等級が最も低い，例えば1等級のガスまたは蒸気の中に爆発等級が例えばそれが3等級のような反応性の著るしいガスまたは蒸気を混入していった場合に，混合ガスのセーフ・ギャップは，如何なる挙動をしめすかについて研究することとし，まず実験的にセーフ・ギャップを測定することとした。そこで，

（1） 爆発等級1に属するガスとしては，プロパンを用い，爆発等級3に属するガスとしては，水素を用いた。

（2） プロパン-空気系ガスの最大実験的セーフ・ギャップをしめす濃度は，IEC の文献値[2]により，後者の水素-空気系ガスの最大実験的セーフ・ギャップは，鶴見ら[3,4]の実験により，それぞれ化学当量濃度の近傍の濃度においてえられることから，この研究においては，それぞれの混合比における両者の混合ガスの化学当量濃度において測定することとした。

このような研究方針により実験がなされたのであるが，プロパン—水素および空気系の混合ガスについてのセーフ・ギャップの測定例が，いままで文献値にみられないので，広く燃焼学的の視点からみても，応用工学的にみても双方の立場から極めて有用である。

まず手はじめにプロパン-空気系の混合ガスおよび水素-空気系の混合ガスのそれぞれ二成分系のガスについて概略の爆発条件をしらべながら，実験方法を検討してみた。その結果，測定容器の内部混合ガスの爆発の励起エネルギーとして点火プラグを用いて火花放電を行わせ，イオン・ギャップを用いて炎をモニターし，爆発の有無を判断する方法が適当であることがわかり，この研究においてはすべてこの方法を採ることとした。

2. 実　　験

2.1 実験装置

Photo. 1 に示す装置を組立て，研究はこれによって行った，実験装置は，測定容器部とこの測定を自動的に連続して行なうためのシーケンス部および試料ガスの成分を分析するためのガスクロマトグラフ部の三主要部門に大別され，この装置の最も重要部分である測定容器部を図示すると **Fig.** 1 のとおりであり，**Photo.** 2 にその写真を示す。

Photo 1　Photograph of the general view of experimental apparatus.
実験装置の外観

2.1.1 標準容器および外部ガス室

内部の球状の爆発室は，内容積 20 cm³ (33.68 φ) であり材質は SUS 304 であり，この球状容器は，二つに分割することができ，そのフランジの長さは 25.0 mm である。従来の容器は，内容積 8,000 cm³ の測定容器を用いていたのであるが，この研究においては，IEC において採択されている容器を基準として新たに製作した測定容器を用いたものであり，この種の容器は，西独のなどの研究機関 Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig においても用いられている。このフランジのギャップは，内部容器の上半部に装着されたマイクロメータにより，所要のギャップを連続して設定することができるようになっている。また，フランジ両面は，スリ合せによって仕上げられており，部分的なギャップの差異がないようになっている。

外部のガス室は，内容積 5,140 cm³ の SS 41 製の

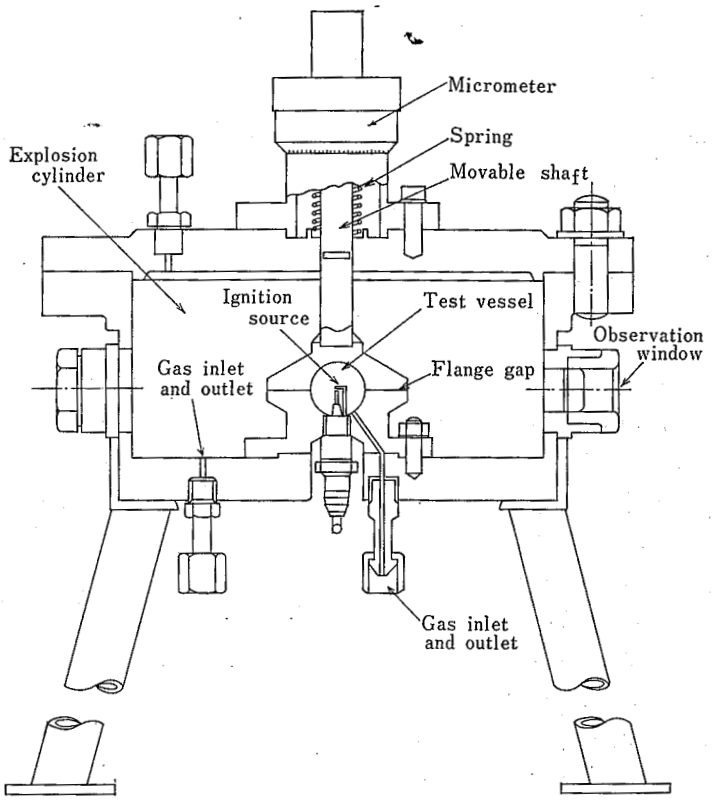


Fig.1 Schematic sketch of the apparatus for determining maximum safe gap.
セーフ・ギャップ測定装置の概略図

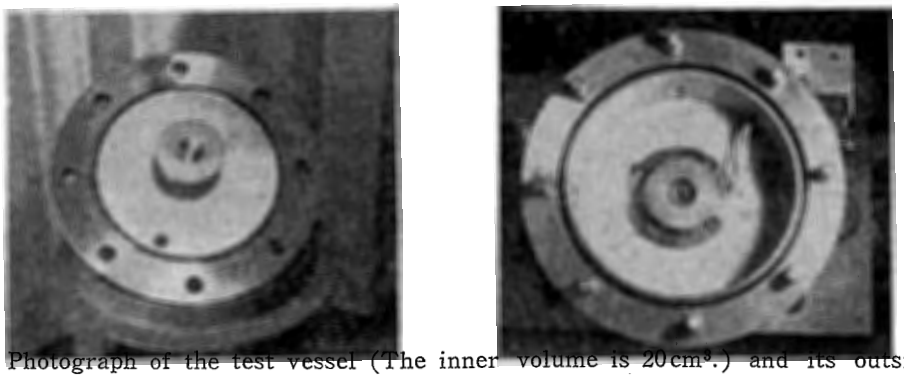


Photo.2 Photograph of the test vessel (The inner volume is 20cm³.) and its outside experimental enclosure
内容積 20cm³ の内部測定容器および外部容器
(A) Part of the fixed head.
実験装置の上部
(B) Part of the explosion cylinder.
実験装置の下部

容器であり，内部容器のフランジの外縁と外部ガス室の内壁までの距離は，80mm であり，壁による点火の影響[5] がないようになっている。

2.1.2 ガス混合装置

プロパン-水素-空気系混合ガスは，高圧ガス混合容器内に貯えることによって，一測定値における試料ガスの成分濃度の相違から来る誤差をさけた。なお，調整法は，水銀マノメータを用いて分圧法によって行ない，一定時間放置し，十分均質な状態になった後さらにガスクロマトグラフにより濃度をチェックし補正を行なった。用いたプロパンの純度は，99.6% C_3H_8, rest は C_2H_6 である。

2.1.3 シーケンス装置

排気，ガス注入および点火がシーケンス・コントロ

ールカムタイマーによってすべて自動的に行なわれる。試料ガスに対する着火は，最大定格出力 25kV のイグニッション・コイルにより，イグニション・プラグで行ない，試料ガスに対する着火の確認は，内部容器および外部容器に装着したイオン・プローブ回路からの信号をカウンターに記録し，外部のガスが着火したかどうかをみることとした。

2.2 実験方法

セーフ・ギャップの測定方法は，標準容器内外の可燃性ガスの濃度が同じ試料を用いる方法または標準容器内外の試料ガスの濃度が異なる濃度のもの，すなわち Most incentive mixture と Most easily ignited mixture を用いる方法とがあげられよう。前者は西独の Physikalish-Technische Bundesanstalt などが採用している方法であり，後者については，英国の Safety Mines Research Establishment の文献などに主としてみられる方法である。この研究では，プロパンの中に水素が徐々に混在して行く際のセーフ・ギャップの挙動を解明することを目的とするものであり，後者の方法を取ることは，技術的に困難であるばかりでなく実用工学的観点に立った場合，内外の測定容器中の試料混合ガスの濃度は同一のものを用いることの方がより好ましいのでこの方法により，実験を行なうこととした。

2.2.1 混合ガスの濃度

測定容器の内外の混合ガスの濃度は，上記のとおり内外の測定容器内の混合ガスが同一の濃度であり，プロパンと水素の各種10濃度比の混合ガスについて行なった。

2.2.2 ギャップ

ギャップの寸度は，内部測定容器の上半部分に直結したマイクロメータによって判定することとし，このマイクロメータのインデックスは，一回転 100 等分目盛であり，一回転のリード 1mm であって，最大 3.00 mm まで測定可可能でり，その誤差は $\pm 5\times10^{-3}$ mm である。

2.2.3 内外測定容器内の燃料の燃焼状況の確認および1測定点あたりの実験回数

1測定値の実験回数は，15回であり，カウンターにこの回数をセットすれば，測定は15回自動的に行われる。そして内外測定容器内の燃料の挙動は前記のとおりイオン・プローブ回路により自動的に検出され，検出用カウンターに記録される。

3. 研究結果

水素-空気系の混合ガスについては，その実験的最大セーフ・ギャップ (Maximum Experimental Safe Gap，以下 M. E. S. G. という。)は，ほぼ化学当量濃度においてみられ，大気圧下において 0.22mm であり，プロパン-空気系の混合ガスについては，4.2% (Vol. %) の点において大気圧下の M. E. S. G. は，0.92 mm である。これから考察してみると，後者においては，若干化学当量濃度からのずれがみとめられるが，化学当量濃度附近のギャップをまず測定し，これと同時に M. E. S. G. と化学当量濃度におけるセーフ・ギャップとの関連を究明し，前記の実測曲線を補正すれば，その目的を十分達せられるものと考え，まず各燃料の化学当量濃度附近のセーフ・ギャップの値を問題とし実測した。

実験は，1測定点当り15回実施しギャップの変化量は 10^{-2}mm であり総計1,853回実施され，この研究の結果を各項目に取りまとめると以下に記載するとおりである。

3.1 点火確率

内部の容器内の爆発火炎が，外部の容器に点火波及する確率を求めることは，15回という限定された回数の実験から，統計的セーフ・ギャップを推定するうえに極めて意義が深いものがある。**Fig.2** および **Fig.3** の二図は，燃料（プロパン）3.5%—空気 96.5% および燃料（プロパン17.0%，水素83.0%の混合ガス）12.8%—空気87.2%の条件におけるギャップの寸度と点火確率との関係をしめしたものである。後者の測定目的は，混合ガスの爆発等級が，1等級より2等級に転移する濃度を目標として行なったものである。

これらの点火確率曲線のうち二，三の例を取りあげ一図に取りまとめたものが **Fig.4** であり，横軸にいうギャップ・インクリメント (gap increment) とは，ギャップを設定する際の最小の増加する単位を意味するものであり，今回の研究では 10^{-2}mm である。なおギャップを設定する際には，絶えず down method で行ない，down method と up method を併用することによって誤差が入ることを防いだ。

上記のようにギャップの測定は，10^{-2}mm 刻みによ

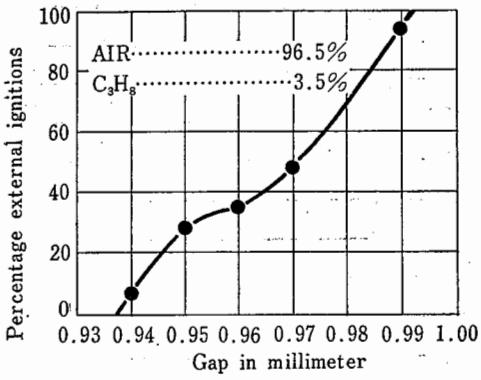


Fig.2 Percentage external ignitions in relation to gap between the test vessel flanges for the combustibles containing 3.5 percentage propane and 96.5 percentage air.
成分比，プロパン3.5%および空気96.5%の燃料を用いて実測した点火確率曲線

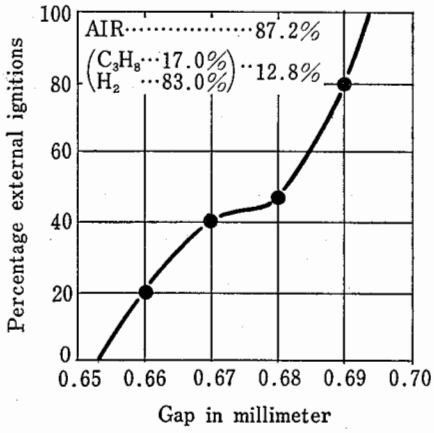
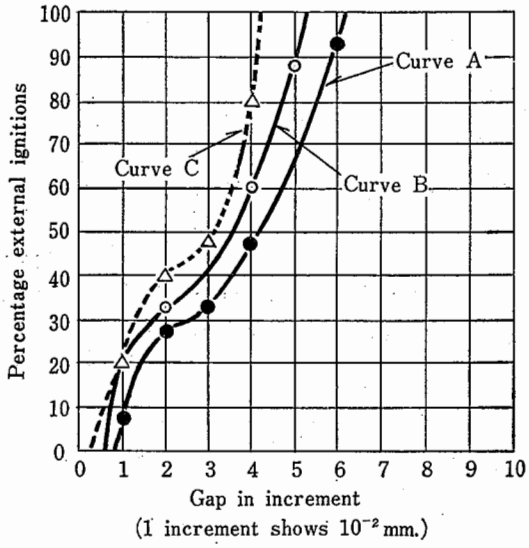


Fig.3 Percentage external ignitions in relation to gap between the test vessel flanges for the combustibles contained 12.8 percentage mixture (17.0 percentage propane, 83.0 percentage hydrogen) with air.
成分比：プロパン17.0%および水素83.0%の混合ガス12.8%を含有するプロパン-水素-空気系燃料を用いて実測した点火確率曲線

る不連続の数値であり，点火確率100%および0%の点は，必ずしも各インクリメントの数値に合致するわけではないので曲線の傾向をたどって図示した。

この図の横軸は，0%の点火確率を示す寸度からのギャップ増加度分をギャップ・インクリメントでしめし，点火確率曲線に対する燃料成分の相違の依存性を



mark	components of combustibles	percentage with air
Curve A	propane 100% hydrogen 0%	3.5%
Curve B	propane 40% hydrogen 60%	7.6%
Curve C	propane 17% hydrogen 83%	12.8%

Fig.4 Percentage external ignitions in relation to gap in increment.
ギャップ・インクリメントで比較した各燃料の点火確率曲線

Table 1 Percentage external ignitions in relation to gap between the test vessel flanges.
点火確率とギャップとの関係

gap width ($\times 10^{-2}$mm)	experiments 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	total no. of ig. / total no. of exps.	percentage external ignitions
65	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	0/15	0%
66	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	●	●	●	3/15	20%
67	●	○	●	●	●	○	●	●	○	○	●	●	○	●	○	6/15	40%
68	●	○	●	○	●	●	○	●	●	○	●	○	●	○	○	7/15	47%
69	○	○	○	○	●	○	○	○	○	●	○	○	○	●	○	12/15	80%

Legend : ● external non-ignition
○ external ignition

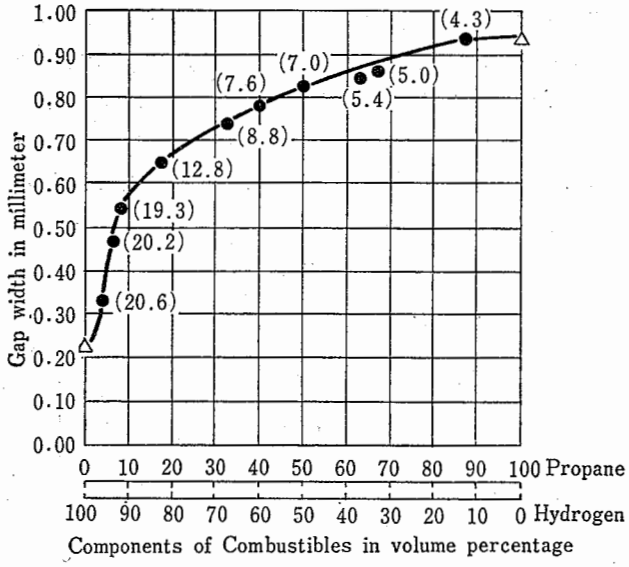


Fig.5 Experimental safe gap for the combustibles contained propane and hydrogen.
Legend : The figure attached to the parenthesis shows percentage of the combustibles with air.
プロパン-水素-空気系混合ガスのセーフ・ギャップの実測曲線
括弧内の数字は，空気に対する混合ガスの濃度をしめす。

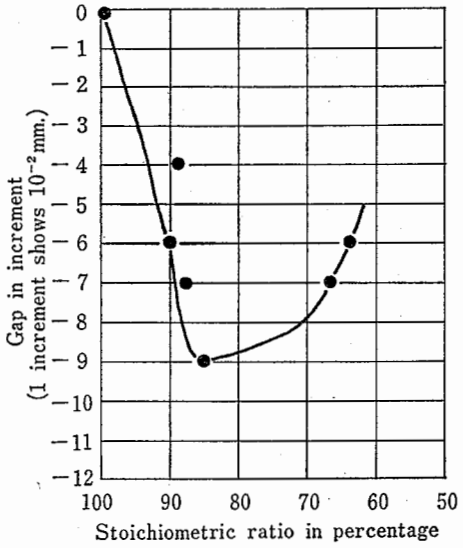


Fig.6 The relation between the gap in increment and the stoichiometric ratio in percentage.
化学当量濃度百分比とギャップ・インクリメント（$\times 10^{-2}$mm）との関連

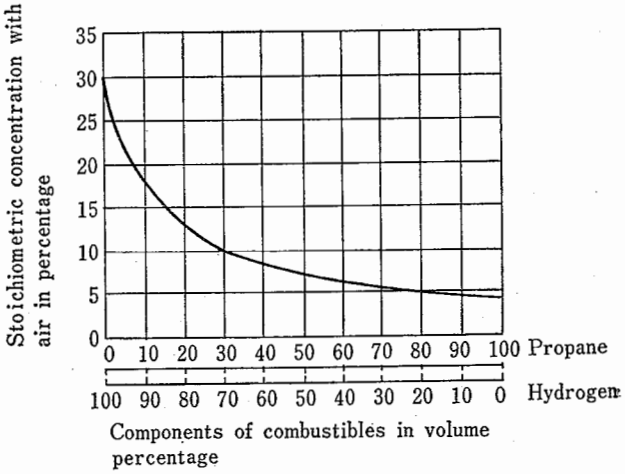


Fig.7 The relation between the components of combustibles in volume percentage and the stoichiometric concentration with air in percentage.
燃料の成分比別の化学当量濃度曲線

解明せんがために，各濃度における点火確率曲線を総括したものである。

Table 1 には，燃料（プロパン 17.0%，水素 83.0%の混合比の混合ガス）12.8% の燃料—空気系混合ガスの各ギャップ別の点火確率算定のための実験例をしめしたものである。

3.2 実験的セーフ・ギャップ限界曲線

Fig.5 は，プロパンに水素を混入した場合の混合ガスを燃料とし，この混合ガス中のプロパンと水素の成分比がセーフ・ギャップの挙動に如何に影響するかをみたものであり，横軸にプロパンと水素との成分比を取り，縦軸には，セーフ・ギャップをプロットしたものである。そして後掲の図でわかるようセーフ・ギャップと混合ガスの化学当量濃度の関係は，化学当量濃度比がやや1より低い点に，セーフ・ギャップの最小点が見出されるので，Fig.5 にプロットした点における混合ガスの空気に対する混合比は，化学当量濃度比約1の濃度比のものである。図中に括弧でしめした数字は，混合ガスの空気中の濃度であり，混合ガスがプロパンまたは水素100%の点において記載した△印は，水素については鶴見[3)4)] がさきに行なった実験値およびプロパンについては，文献にしめす値をそれぞれしめすものであり，燃料の三成分系の混合ガスのセーフ・ギャップはこの両者を結ぶ曲線上に連続して移動している。

3.3 混合ガスの濃度とセーフ・ギャップ

セーフ・ギャップは，混合ガスの空気に対する濃度に依存性を有していることは既述のとおりであるが，

M. E. S. G. が実測された濃度と化学当量濃度との関係をしめしたのが，**Fig.6** である。

この図は，混合比プロパン-水素 14/86 から 19/81 (いずれも vol%)において研究した結果に基ずき横軸に使用した混合ガスの濃度を化学当量濃度を 100 としそれに対する比でしめし，縦軸には，濃度の変化に伴って，セーフ・ギャップが，化学当量濃度において測定された値に対して減少して行く挙動を，上記の値を原点に取って負の値でしめしたものである。これによると，M. E. S. G. は，この研究において取りあげたプロパン-水素-空気等の混合ガスにおいては，少くとも化学当量濃度より混合ガスの濃度が薄い点にあるといえる。

Fig.7 は，試料の混合ガス成分における各化学当量濃度をしめしたものである。

4. 考　　察

プロパンに水素を漸次混入していった場合のセーフ・ギャップの変化を実験的にみた場合，つぎのことがいえる。

（1） 化学当量濃度近傍のセーフ・ギャップの挙動.

Fig.5 にしめされたセーフ・ギャップの曲線は，図中の括弧内にその測定条件が記載されている如く，各成分比のプロパン-水素混合物の空気に対する化学当量濃度比は，0.90～0.99であり，これらの混合ガスのセーフ・ギャップの曲線からいえることは，以下のとおりである。

a. プロパン-水素-空気系混合ガスのセーフ・ギャップは，水素にプロパンが混在する濃度に大きな依存性をしめしている。

b. ギャップの値 0.60mm 超えるものおよび以下のそれに区分して観察してみる。

前者の区分，すなわちプロパン/水素＝約12/88 (vol %) の混合比の混合ガスよりさらにプロパンの成分が増加した場合の混合ガスは，ほぼリニヤーに近い形の曲線でギャップの増加をみている。このことは，水素が12%以上のプロパンで希釈された場合においては，その混合ガスの特性は，プロパンに対する依存性が水素に対するそれよりも高いことをしめしている。

c. 後者の区分すなわちギャップが 0.60mm 以下の範囲については，あきらかに前者と異なった挙動をしめしている。

これらをさらに詳細に解析するために，ギャップ 0.40mm の点をこの実験よりえられた曲線に内挿するとプロパン/水素＝約6/94 (vol%) の濃度がえられ，この濃度を境界濃度として水素中のプロパン濃度に対するセーフ・ギャップの依存性をみてみる。

すなわち，ギャップが 0.40mm 以下の場合においては，プロパン濃度のセーフ・ギャップに対する依存性は，ギャップの10インクリメント当り 3.33%であるのに比し，ギャップが 0.40mm を超える範囲のそれは，0.40mm から 0.50mm の範囲について，1.30%であり，ギャップ 0.50mm から 0.60mm の範囲においては，4.70%である。

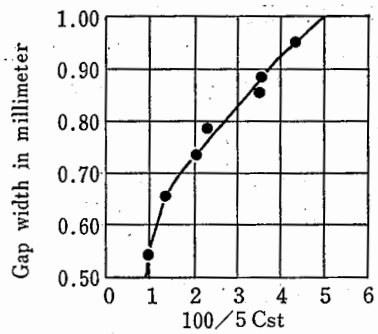
このことは，実測点のプロパン/水素＝8/92 (vol %) 付近からプロパンの濃度の減少，逆にいえば水素の濃度のわずかばかりの増加に伴って，混合ガスの危険性は，急激に増するものといえる。

（2） 点火確率

1測定値当りの実験回数を何回行なうべきかについては，基本的には 10^{-x} の危険確率をもって一応安全と考えるかという理念と密接な関係があり，この指数 x についての二三の考察[6] もなされている。しかしセーフ・ギャップは，実験的に求めるべきであるとされている現段階においては，実験可能な範囲の回数においてセーフ・ギャップを測定する以外には方法がないし，このことは諸外国においても変りがない。したがって，この研究においては，諸外国における実験回数およびわが国の「工場電気設備防爆方針」[7] に規定されている15回の実験回数で行なった。したがって確率曲線は，すべて15回の連続実験の結果に対する外部の燃料の着火度数によって記録された。

前記の如く Fig.4 は，三種の混合ガスを用いてセーフ・ギャップを実測した場合の点火確率を取りまとめたものであるが，混合ガス組成比プロパン/水素＝100/0および40/60 (いずれも vol %) は，後で詳述する爆発等級1に属する標準的な組成であり，もう一つの混合ガス組成比プロパン/水素＝17/83 (vol %) のそれは，Fig.5 の実測曲線においてセーフ・ギャップが 0.65mm をしめしている曲線の傾向がやや急になり始めんとしている測定点であり，前二者の混合ガスとは，特性が異なると考えられる混合ガスである。

これらの点火確率曲線から実験的に判明したこと



Cst shows stoichiometric concentration with air in percentage

Fig.8 The relation between the gap width in millimeter and the curve of $100\times(5C_{st})^{-1}$
セーフギャップと $100\times(5C_{st})^{-1}$ との相関関係

は，混合ガスの組成比プロパン/水素＝100/0（vol％）の場合の点火確率100％から点火確率0％（以下 P_{100}—P_0 という。）までの範囲はギャップ・インクリメントにして5.43，組成比プロパン/水素＝40/60（vol％）の場合は，同じく4.58，また組成比プロパン/水素＝17/83（vol％）の際のそれは，3.82であり，ここに掲げた三つの混合ガスについては，ある程度反応速度に対する依存性が認められ，P_{100}—P_0 が水素の濃度に依存し減少しているけれども，1測定値15回の実験結果では，すべての混合ガスについて有意ある一定のパターンを見出すことが難しいと考える。

したがって Bruce[8] の文献にしめす如く，実験的セーフ・ギャップから統計的なセーフ・ギャップを一つのパターンの正規分布曲線から算出することは，さらに研究を要するものと思料される。

（3）化学当量濃度とセーフギャップの推定

この研究から，化学当量濃度とその濃度におけるセーフ・ギャップおよび当量濃度におけるセーフ・ギャップから M. E. S. G. の推定方法についてつぎのことがわかった。

a．プロパン-水素-空気系の当量濃度付近の実測されたセーフ・ギャップの値と C_{st}^{-1}（ただし C_{st} は，対応する混合ガスの空気に対する当量濃度をしめす。）との値は，**Fig.8** のような関係をしめし，セーフ・ギャップの値が，0.60mm 以上の領域においては，リニヤーな関係をしめした。このことは，この領域におけるセーフ・ギャップを実測によらないで推定するうえの指標たりうる。

b．M. E. S. G. は，化学当量濃度を基点として，ど

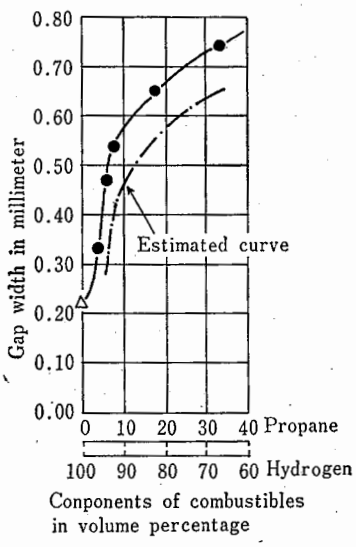


Fig.9 Estimated safe gap for the combustibles contained propane and hydrogen.
プロパン-水素-空気系混合ガスの M. E. S. G. 推定曲線

の程度ずれた濃度において測定されるべきかは，もっぱら混合ガスの種類等のその物性に依存性を有しており，この研究の対象として取りあげた混合ガスについてみると前掲の Fig.6 にしめすとおりで，化学当量濃度比0.85の濃度において，セーフ・ギャップが最小値をもつ濃度があることがわかった。そしてその濃度におけるセーフ・ギャップ，すなわち M. E. S. G. に担当するギャップは，化学当量濃度のセーフ・ギャップを9インクリメント下廻った。

この結果により，Fig.5 にしめした実測曲線のうち爆発等級1から2および爆発等級2から3の限界ギャップ[9]である 0.60mm および 0.40mm についてそれぞれ M. E. S. G. を推定することによって図示すると **Fig.9** のとおりである。

したがってこの関係をさきの図に内挿することによって，本研究の対象となったプロパン-水素-空気系混合ガスの爆発等級は，試料組成比プロパン/水素＝22/78（vol％）付近の混合ガス濃度が爆発等級2と1との境界濃度であり，同様に試料組成比プロパン/水素＝8/92（vol％）付近の混合ガス濃度が爆発等級3と2との境界濃度といえよう。

5. むすび

これまでに述べた研究結果からみて，プロパン-水

素-空気系の混合ガスを対象とし実験的に測定したセーフ・ギャップの挙動については，つぎの事がらが結論づけられる。

（1） セーフ・ギャップの値は，混合ガス中のプロパンの濃度が支配的であり，水素中にわずか数％のプロパンが存在することによって，セーフ・ギャップの実測値は，増加の傾向をしめし，したがって爆発等級からみれば，その等級が減少する。

（2） この研究からいえることは，混合ガスが二成分系の場合，その混合ガスのセーフ・ギャップは，二つの単位成分のセーフ・ギャップを結んだ直線上を単純に移動するものではない。

（3） 各混合ガスの構成成分比によって，その点火確率曲線は，この研究で行なった1測定値当りの実験回数の範囲内では，かなりの差異がみとめられ，一定のパターンがない。したがって統計的セーフ・ギャップの算定は，一つの数式によって画一的に算定することは，不可能である。

（4） 化学当量濃度とセーフ・ギャップの関係については，セーフ・ギャップが爆発等級1等級の区分に属する領域において，セーフ・ギャップは，混合ガスの化学当量濃度の逆数とリニヤーな関係がある。

6. あとがき

セーフ・ギャップを始めとする安全工学定数は，すべてプロセス定数であり，その測定条件に支配される。この研究によって実測されたセーフ・ギャップの値は，既述のように15回の連続実験で1回も外部容器内の混合ガスに点火波及しない最大のギャップであり，大気圧下（750 mmHg～760 mmHg），室温（24℃～26℃），および湿度（84％～88％）の実験室において測定されたものである。

また実験の精度については，ギャップインクリメントKを一測定値の実験回数で除した数値でしめせば以下のとおりであり，この表わし方は BS[10] においても認められている。

$$K/n=6.7\times10^{-4}\mathrm{mm}$$

これらが，この研究の実験的結果の内容であり，基礎的にみても応用的にみても重要な意義があると信ずる。特に後者において，水素が混合しているガスを対象とする危険場所における電気機器の設置は，すべて爆発等級3の機器を必ずしも使用する必要がなく，混合ガスとしての危険性を把握した後，それに見合う爆発等級の機器が用いられうる可能性があるといえよう。ただし，混合ガスの成分比が完全に制御できないような条件下においては，爆発等級の高度の機器を用いるべきであることはいうまでもない。

さらに，この研究の中心になった爆発等級におよぼす混合ガス中の C/H の関係については，今後研究を続行する予定である。

最後に，この研究の実施について丸善石油株式会社浦山武造氏を始めとして押田敏雄および岩根広志の各氏の御協力に謝意を表する。

なお，この研究の概要については，昭和49年度工業火薬協会秋期研究発表会（昭和49年10月24日～25日開催）において発表済である。

（昭和50年3月7日受理）

主要参考文献

1) 鶴見ら：ナフサ分解ガスのセーフ・ギャップについての研究，労働省産業安全研究所研究報告，RR-17-2 (1968)
2) Draft-Appendix to IEC Publication 79-1, Method of test for ascertainment of maximum experimental safe gap, IEC (1972)
3) 鶴見：水素濃度とセーフ・ギャップの関係について，工業火薬協会誌，28, 2, 122～128 (1967)
4) 鶴見ら：水素濃度とセーフ・ギャップの関係についての研究，労働省産業安全研究所研究報告，15, 1 (1967)
5) D. W. Woodhead et al., "Brit. Elec. & Alld. Ind. Res. Assn. Tech. Repts." D/T 129 (1961)
6) 例えば，岸田，技術，36, 10, 530～535 (1966)
7) 工場電気設備防爆指針，172 (1974)
8) C. E. R. Bruce : "Flameproof Electrical Apparatus-Re-Assessment of Values of Statististical Maximum Safe Gap on the Basis of the Integral Curve of a Normal Distribution", The Elec. Research Assn. Tech. Repts. D/T 279 (1953)
9) G. Shön et al., "Sicherheitstechnische Kennzahlen brennbarer Gase and Dämpfe" (1963)
10) Flameproof Enclosure of Electrical Apparatus, B. S. 229, 49 (1963)

産業安全研究所研究報告　RIIS-RR-24-1

昭和50年5月30日

発行所　労働省産業安全研究所

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

郵便番号 108

UDC 621.313/39-213.4：614.833
プロパン-水素-空気系混合ガスを対象とする実験的セーフ・ギャップに関する研究
鶴見平三郎
労働省産業安全研究所研究報告
RIIS-RR-24-1，1～9　(1975)

25mm のフランジを有する球状の標準容器を用いて実験的セーフ・ギャップを測定した。この実験のパラメータは，プロパン-水素-空気系混合ガスの濃度とギャップの寸度である。測定容器は，ステンレス製で内容積 20cc であり，点火源としては，電気火花を用いた。そして内部の火炎が外部に伝ぱしたか否かの判定には，イオン・プローベを使用した。

研究の結果の概要は，つぎのとおりである。

1. 実験的セーフ・ギャップに対するこの混合ガス中のプロパンの濃度の依存性が顕著である。
2. M.E.S.G. は，第6図にしめすように，この混合ガスの化学当量濃度比 0.85 の濃度のガスにおいて測定された。
3. M.E.S.G. と化学当量濃度におけるセーフ・ギャップの寸度の差は，0.09mm である。

(参考文献10，写真3，図9，表1)

UDC 621.313/39-213.4：614.833
Study on Maximum Safe Gaps with Propane/Hydrogen with Air Mixtures
Heizaburo TSURUMI
Research Report of the Research Institute of Industrial Safety RIIS-RR-24-1, 1～9　(1975)

Experimental safe gaps with 25mm flanges were determined in a standard spherical vessel and the parameters of the experiment were the concentration of the Propane/Hydrogen mixtures and the gap widths.

The vessel was made of stainless steel and the internal volume was 20cc. As ignition source, electric sparks were discharged between the electrodes of an ignition plug in the center of the vessel.

Useing the ion probe, it was determined whether gas ignition occured outside the chamber.

The conclusions are as follows.

1. The experimental safe gap largely depends on the concentration of Propane in the mixtures.
2. The maximum experimental safe gap was measured on the mixture had stoichiometric ratio 0.85 showed in Fig.6.
3. The difference with the maximum experimental safe gap and the safe gap on the stoichiometric ratio 1.00 are 9×10^{-2}mm shown in Fig.9.

(10 refs., 3 photos., 9 fig., 1 table.)