

# アセチレン・空気系混合ガスを対象とする容器の フランジに関するセーフ・ギャップについての研 究（第一報）

防爆課 鶴見平三郎・林 年宏・松田 東栄

## Maximum Experimental Safe Gaps with Acetylene/Air Mixtures for Various Vessels with Flanged Joints

by H. Turumi, T. Hayasi, T. Matuda

Maximum Experimental Safe Gaps with Acetylene/Air Mixtures for Various Vessels were measured to get some informations for the design of explosion-proof electrical equipments.

From the experiments, the following facts became evident.

- 1) Maximum Experimental Safe Gap largely depends on the volume.
- 2) Maximum Experimental Safe Gap for the spherical vessel (inner volume 8,000cc, flange 25 mm long) is 0.16mm ; that is smaller than the value of 0.01" obtained by Slack and Woodhead.
- 3) The concentration of the most easily ignited mixture lies from 7 to 9% by volume, when the concentration of the inner mixture is equal to that of the outer mixture.
- 4) The product of the flame velocity and Maximum Experimental Safe Gap seems to be approximately constant.

### 1. 序

アセチレンは、化学工業における原料ガスとして使用されることが多く、しかもこのガスの発生する雰囲気中においても、照明、動力、計測等の必要から電気機器を使用する必要が生ずる場合が少くない。

労働省産業安全研究所工場電気設備防爆指針<sup>1)</sup>（以下指針という。）および J I S 電気機械器具の一般用防爆構造通則においては、爆発性ガスの分類を行なっているが、アセチレンは、爆発等級 3 に属するものとして最も危険な気体としている。また、このアセチレンの爆発等級については、例えば British Standard<sup>2)</sup> においても同様であり、最も危険度の高い group である IV group<sup>3)</sup> に属している。

また、これらの規格等では、アセチレン・空気系混合ガスについての許容値は、爆発試験を実施し点火波及しない最大ギャップの 50% と定めており、アセチレンに関するセーフ・ギャップについての定量的なデータはな

い。

したがって、耐圧防爆構造の容器におけるフランジ間のセーフ・ギャップについての研究が必要である。アセチレン・空気系混合ガスの常圧下におけるセーフ・ギャップの測定については、研究を行なっている研究者が極めて少く、わずかに Statham, Brunner および British Electrical and Allied Industries Research Association<sup>3)</sup> によってそれぞれデータがみられるが、実験条件によって相当の差異を示している。またこのような事情は、ソ連の国立防爆型電気設備設計調査研究所編の防爆型電気設備製造規則にも反映されており、1960年における規則<sup>4)</sup> においては、アセチレンを爆発等級 4 のガスに分類しながら、1963年における同規則<sup>5)</sup> においては、アセチレンの爆発等級は決めないとし、同規則第二章、1, § 6, (C) の第 3 表に示す「爆発等級および発火度別による若干の爆発性混合気体の分類表」から除いている。

このことは、アセチレンが不飽和性の反応性が強大な化合物であるという特異な化学性から、同じランクの爆

発等級に属すると考えられる水素とは、必ずしも同一のもとに論ずることが不可能であり、そのセーフ・ギャップの測定は、アセチレンの有用性からみて極めて重要な問題であるにも拘らず、実験的セーフ・ギャップについては殆んど測定が行なわれていず、したがって防爆電気機器の設計の基礎となる統計的セーフ・ギャップおよび許容セーフ・ギャップは何等研究が着手されていない実情である。

このような理由から、内容積が小さい等の一定実験条件下におけるアセチレン・空気系混合ガスの常圧下における実験的セーフ・ギャップは如何なる挙動をしめすか何らかの知見を得るために、この研究を行なったものである。第1報においては、指針を考慮し、内容積2cc, 100cc, 1000cc, 2000cc および8000ccの球状容器について、応用研究的見地からフランジ奥行(幅)10mm, 15mm および25mmの試料をそれぞれ用いた場合の研究内容について報告せんとするものである。

## 2. 用語の解説

### (1) セーフ・ギャップ

容器内の燃焼したガスによって外部の同種のガスを発火せしめるに至らない容器フランジ間の限界のギャップをいう。この発火の機構に関する理論については、未だ完成していないが、Smith, Wolfhard, Bruszak およびPhillip は、外部のガスが発火するためには、必ずしも火炎がギャップを通過する必要はなく、熱い燃焼生成物によっても発火するという見解を発表している。したがって従来用いられて来た「火炎逸走限界」という用語は、必ずしも適切でないため、諸外国におけるSafe Gap または Spaltweite の用語の例にならぬセーフ・ギャップとした。

### (2) 最大実験的セーフ・ギャップ

容器外部の most easily ignited mixture のガスに対して引火を防止しうる最大のギャップをいい、これは同種ガスの mixture を実験容器の内部において爆発させ実験的に決定する。

### (3) 最大統計的セーフ・ギャップ

最大実験的セーフ・ギャップの結果を、統計的に処理し、最大実験的セーフ・ギャップを再評価した値をいう。

### (4) 最大許容セーフ・ギャップ

最大統計的セーフ・ギャップに一定の安全係数(例えば $1/2$ )を乗じた値であり、防爆機器の設計値となりうる。

## 3. 研究装置および研究方法

(1) この研究は、ギャップの寸度、フランジの奥行およびガスの濃度をパラメータとして、つぎの球状容器Aおよび球状容器Bにより実施した。

### a. 球状容器A

アセチレンガスは流量計を用い空気とともにジェットの状態では混合調整器の中に注入し、あらかじめ真空にした内径450mm 内容積80lの急速開閉式密閉爆発容器に送入した。

密閉容器の中央に、測定すべきギャップのあるフランジ付きステンレス製球状容器(内容積2cc, 100cc, 1000cc, および2000cc)を設置する。この球状容器の中央に点火プラグをつけ、この点火プラグによって球状容器内部のガスに点火し、火炎を3次元に伝ばんさせ、密閉容器内における球状容器外部のガスに引火するかをストレインゲージ(固有振動数5000c/s, 1000Ω 2ゲージおよび120Ω 4ゲージ)を用い、球状容器内外の圧力変動により機械計測しPOP方式により記録した。

### b. 球状容器B

ステンレス製球状容器(内容積8000cc)については、急速開閉式密閉爆発容器内に収納することが困難であるため球状容器のギャップ外面にステンレス製のバンド状のガス室を装置して実験を行なった。試料ガスの混合および調整方法ならびに引火の確認方法は、aと同様である。

(2) 実験的セーフ・ギャップの測定方法は、各国によりそれぞれ異なっているが、この研究では、以下のとおりである。

a. 球状容器の内部すなわち爆発側に most incendive mixture を用い、球状容器の外部すなわち引火側に most easily ignited mixture を用いるBSの方法ではなく、VDEのそれに準じて爆発側、引火側とも同じ濃度のアセチレン・空気系の混合ガスを用いて常圧下における実験的セーフ・ギャップを測定することにした。

アセチレンは、市販の溶解アセチレンについてアセトン蒸気を除去して用い、分析の結果アセチレンの含有量は、99.6%であり、リン化水素および硫化水素の存在を認めなかった。

b. 球状容器の材質は、ソ連のИВЭに定める容器と同様にステンレス製であり、sus27である。この球状容器は、二つに分解可能であり、分割した球体の接合部の断面に、フランジ試験片(ss 41  $\Psi$ )を固着し、スキ間ゲージをはさみ、容器に固定されたパイプによってしめつけた。なお、8000cc容器のフランジ仕上面は  $\Psi\Psi$  であり、材質はステンレスを用いた。

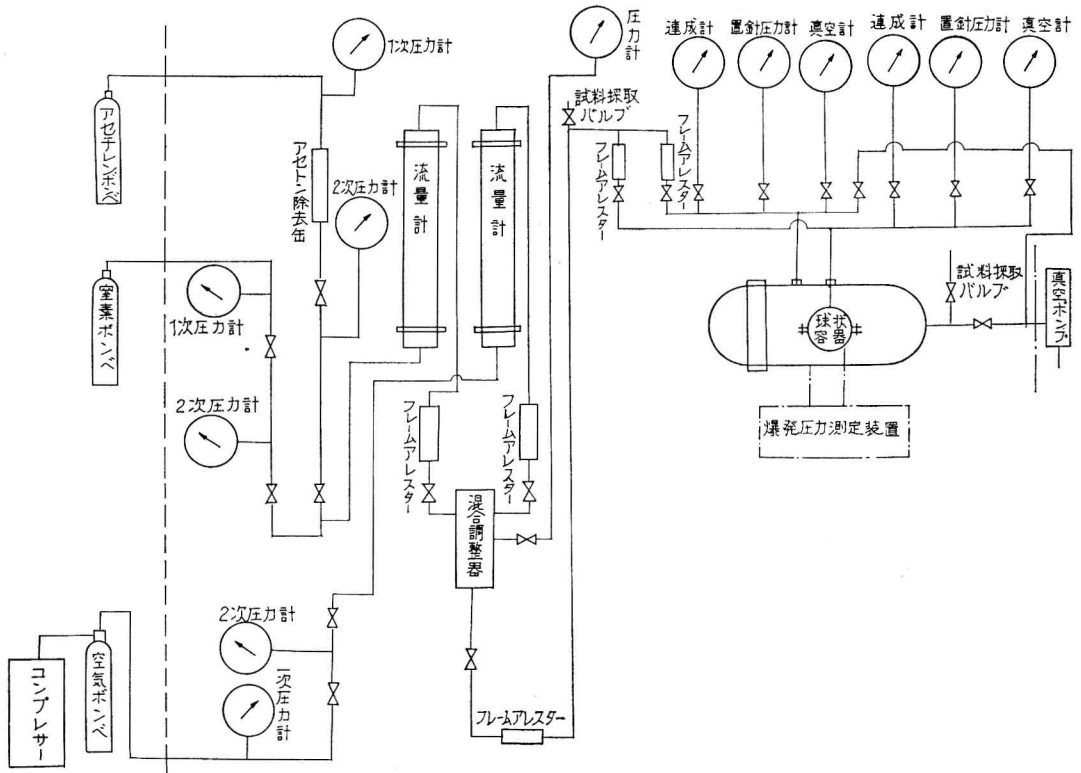


Fig. 1 Flow sheet of experiment-Spherical Vessel (A)  
球状容器 (A) 実験フローシート

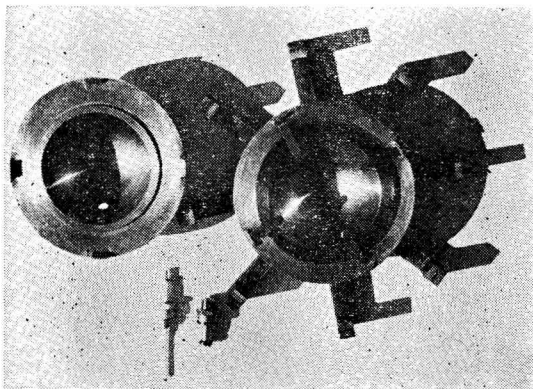


Fig. 2 Spherical Vessel (A) photograph,  
thickness gauges on the flange  
球状容器

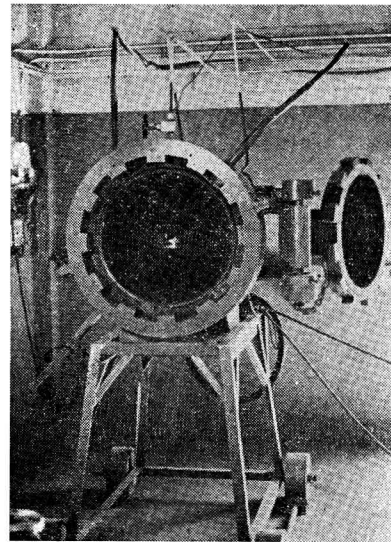


Fig. 3 Explosion Vessel with Quick-Opening  
Door photograph,  
spherical vessel (center)  
急速開閉式密閉爆発容器

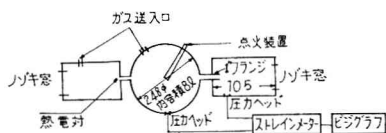


Fig. 4 Outline of experiment with Spherical Vessel (B)  
球状容器 (B) 実験フローシート

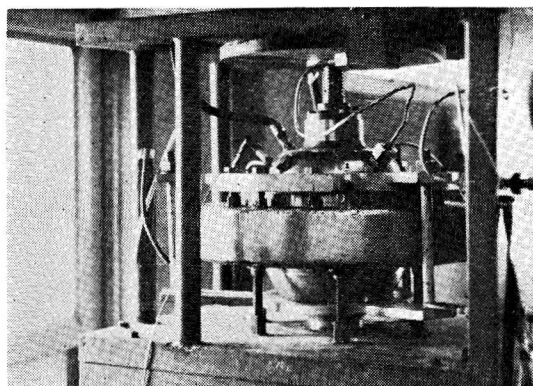


Fig. 5 Spherical Vessel(B) photograph  
球状容器 (B) の外観

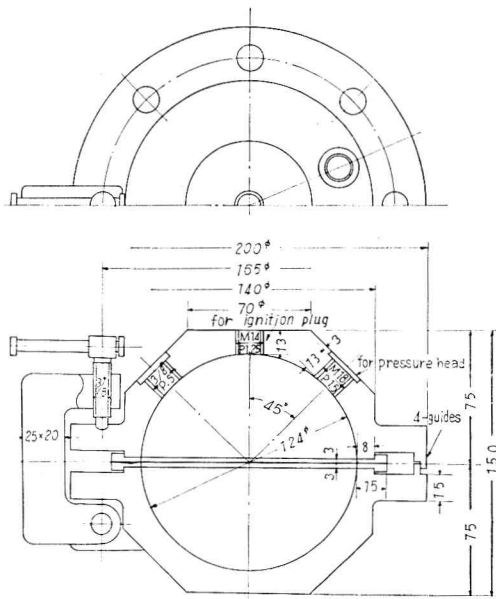


Fig. 6 Details of 1000 c.c. Sphere (A) with 15mm. Flanges  
1000 c.c. 球状容器詳細図

c. 球状容器の外部ガスの発火状況は、ストレインゲージにより計測するとともに、必要がある場合には、密閉爆発容器に取り付けた点火プラグにより逆着火し、その状況を再度確認した。

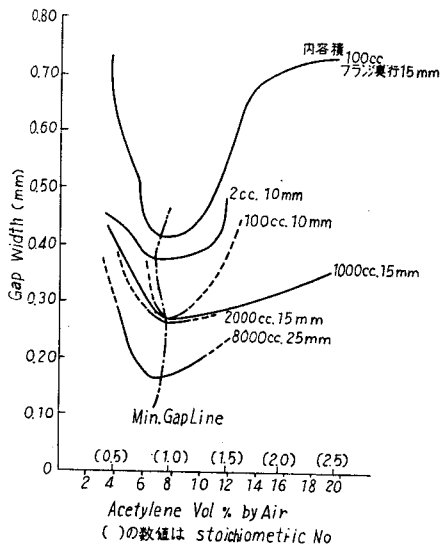
d. ガス濃度のチェックは、密閉爆発容器または球状容器中より混合ガスを採取して干渉計を用いて毎回測定した。

#### 4. 研究結果

球状容器を用い、実験的セーフ・ギャップ、最大爆発圧力(P),最大爆発圧力への到達時間(t)および  $\Delta p/\Delta t$  の測定を行なった。アセチレンの濃度範囲は、3%乃至20%であり、フランジ奥行は、この実験の応用的研究目的を考慮し、労働省産業安全研究所技術指針およびJISC0903により、各内容積別のフランジの奥行を勘案して決定した。

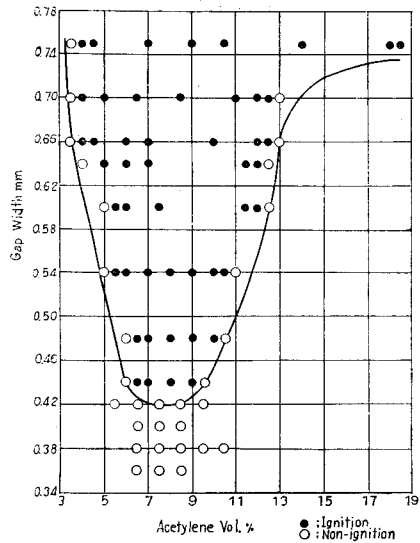
##### (1) 実験的セーフ・ギャップ

内容積、フランジ奥行別の実験的セーフ・ギャップ限界曲線をしめすと Fig.7 のとおりである。



**Fig. 7 Experimental Safe Gap Limiting Curve (Spherical Vessel)**  
実験的セーフ・ギャップ限界曲線

2cc×10mm, 100cc×15mmおよび1000cc×15mmの3実験においては、アセチレンの濃度範囲は、3%乃至20%であり、100cc×10mm, 2000cc×15mmおよび8000cc×25mmの3実験におけるアセチレンの濃度範囲は、stoichiometric 前後の濃度6.0%から8.9%を中心として測定したものである。測定結果について、例を100cc×15mmおよび8000cc×25mmにとってしめすと、それぞれ Fig.8,9, Table 1,2のとおりである。測定回数は、限界点については15回実施し、15回とも引火しない場合をもって非引火点とした。UD法による測定は採用しなかった。



**Fig. 8 Experimental Safe Gap for Acetylene/Air Mixtures. Vessel Volume 100 c.c. Gap Length 15mm**  
実験的セーフ・ギャップ限界曲線 (100 cc × 15mm)

これらの結果を総合し、実験的セーフ・ギャップをしめすと Table 3 のとおりである。

測定は、室温(球状容器3.5°C乃至31.0°C)において行ない、フランジの温度は、C.C.熱電対により測定し、連続実験の際の温度上昇による影響を調べ、フランジ面の温度を室温に維持した。

##### (2) 最大爆発圧力(P), 最大爆発圧力への到達時間(t)

8000ccの球状容器を密閉し、アセチレン濃度による最大爆発圧力および最大爆発圧力への到達時間を測定したところ Stoichiometric の点において8.5kg/cmであり、最大爆発圧力に対する理論計算値に比して低い値をしめた。なお、P, t および  $\Delta p/\Delta t$  の相互関係については、Fig.10を参照せられたい。

各種容積の球状容器に各寸度のスキマ板を挿入した場合の球状容器内の発生圧力は、ギャップの寸度に対応して当然ばらつきをしめた。

8000ccの容器における内部爆発圧力と開口比との関係は、Fig.11のとおりであり開口比が大きくなれば爆発圧力は、低下する。比開口面積(S.O.A.)および比開口容積(S.O.V.)の数値については、Table 2を参照せられたい。

Table 1 Variation of Experimental Safe Gap with Concentration of Acetylene/Air Mixtures.

Vessel Volume 100c.c, Gap Length 15mm

実験のセーフ・ギャップ測定結果 (100cc×15mm)

Vol %	Gap Width mm													
	0.75	0.70	0.66	0.64	0.60	0.54	0.48	0.44	0.42	0.40	0.39	0.38	0.36	
2.1—3.0	2N	1N												
3.1—4.0	15N	16N	16N											
4.1—5.0	3I 7N	3I 5N	2I 1N	14N*							1N		1N	
5.1—6.0	4N	2I	3I	3I* 4N*	16N*	15N*					16N	2N	1N	1N
6.1—7.0	1I 1N	2I	1I		1I*	2I* 9N*	15N*	15N*			16N	16N	15N	15N
7.1—8.0	1I				1I	3I* 5N*	2I* 1N*	3I* 4N*			17N	15N	15N	15N
8.1—9.0	1I	1I				3I* 3N*		3I* 6N*			14N	15N	16N	15N
9.1—10.0						1I* 6N*		2I* 5N*			15N	1N	2N	15N
10.1—11.0	1I	1I	1I			2I* 4N*	15N	15N*			1N		15N	1N
11.5—12.4		2I 3N	2I 2N		2I**	1I**	15N**				1N			
12.5—13.4		15N	18N		15N**	16N**								
13.5—14.4	1I		1N	2N			1N							
14.5—15.4			2N	1N			1N				1N			
15.5—16.4														
16.5—17.4			2N								1N			
17.5—18.4	1I													
18.5—19.4			1N											
19.5—20.4	1I													
Specific Open Area mm <sup>2</sup> /c.c.	1.07	0.99	0.94	0.91	0.85	0.77	0.68	0.63	0.60	0.57	0.55	0.54	0.51	
Specific Open Volume mm <sup>3</sup> /c.c.	21.3	19.9	18.7	18.2	17.0	15.3	13.6	12.9	11.9	11.4	11.1	10.8	10.2	

Notes: \* and\*\* means concentration, for example, from 3.6 to 4.5%.

\*\* means concentration, for example, from 11.0 to 11.9%.

\* means concentration from 6.6 to 7.0%.

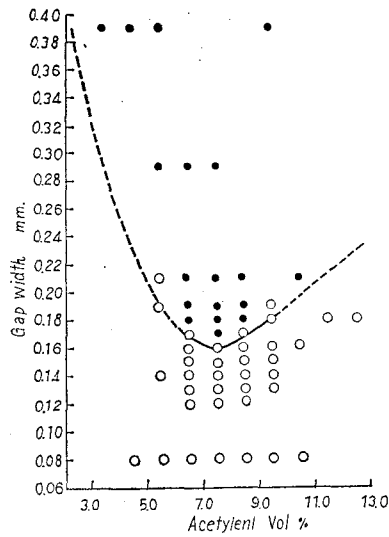


Fig. 9 Experimental Safe Gap for Acetylene/Air Mixtures.  
 Vessel Volume 8000 cc, Gap Length 25mm  
 実験的セーフ・ギャップ限界曲線 (8000 cc×25mm)

Table 2 Variation of Experimental Safe Gap with Concentration of Acetylene/Air Mixtures.  
 Vessel Volume 8000c.c., Gap Length 25mm.  
 実験的セーフ・ギャップ測定結果 (8,000cc×25mm)

Vol. %	Gap Width mm											
	0.39	0.29	0.21	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.08
3.0~3.9	1I											
4.0~4.9	1I											3N
5.0~5.9	1I	2I	2N	1N					1N			2N
6.0~6.9		2I	2I	2I 1N	1I 7N	15N	15N	15N	15N	15N	15N	16N
7.0~7.9		1I	2I	1I	3I 4N	4I 1N	15N	15N	15N	6N	15N	16N
8.0~8.9			1I	2I	1I 5N	15N	15N	15N	15N	15N	15N	16N
9.0~9.9	1I			3N	2N		1N	1N	3N	1N		3N
10.0~10.9			2I 2N				1N					1N
11.0~11.9					2N							
12.0~12.9					1N		1N					
S.O.A.	0.034	0.025	0.019	0.017	0.016	0.015	0.014	0.014	0.013	0.012	0.011	0.007
S.O.V.	0.47	0.35	0.27	0.24	0.23	0.22	0.20	0.19	0.18	0.17	0.15	0.10

Note : Gap Width 0.39, 0.29 については, スキマ板の数は 8 枚である。

Table 3 Experimental Maximum Safe Gaps of Spherical Vessels

球状容器実験的的最大セーフ・ギャップ

容積 cc	フランジ 奥行 mm	引火側実験最小値mm	実験的 最大セーフ・ ギャップ (非引火側実験最大値)	最も引火しやすい ガス濃度 vol. %	ギャップ・インクリメント gap increment, mm
2	10	0.39	0.38	6.0~9.0	0.01
100	10	0.29	0.28	7.1~8.9	0.01
100	15	0.44	0.42	7.0~9.0	0.02
1000	15	0.31	0.28	7.0~9.0	0.03
2000	15	0.28	0.27	7.1~8.9	0.01
8000	25	0.17	0.16	7.1~7.9	0.01

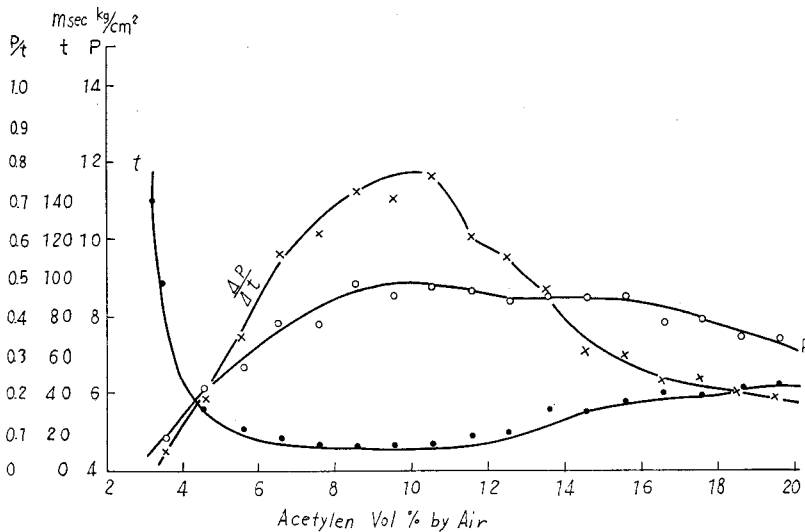


Fig. 10 Relationships between  $p$ ,  $t$  and  $\Delta p/\Delta t$  with concentration of Acetylene/Air mixtures (8000cc closed Spherical Vessel)  
アセチレンの濃度による最大爆発圧力( $p$ ), 最大圧力への到達時間 ( $t$ )および  $\Delta p/\Delta t$  との関係 (8000cc 球状密閉容器)

## 5. 研究結果の解析

研究結果の解析のうち主要なものをしめすとつぎのとおりである。

(1) 最大実験的セーフ・ギャップの昇圧速度への依存性

8000cc の容器について、昇圧速度が最大値をしめす点とアセチレンの濃度との関係は、Fig10にしめすとおりであり、10%において最大値を記録した。したがって最大実験的セーフ・ギャップは、最大昇圧速度をしめす濃度の点よりもアセチレンが lean の点にみられた。このことについては、さらに今後研究を必要とする。

(2) 火炎速度への依存性

火炎速度については、球状容器がステンレス製の密閉容器であるため、写真解析を行なうことが不可能であった。したがって、青木、平沢<sup>6)</sup>による石けん球を使用して測定した火炎速度値を用いてこれとセーフ・ギャップとの関連をみるとFig. 12のとおりである。

(3) 開口比への依存性

比開口断面積および比開口容積の両者について、最大実験的セーフ・ギャップとの関連をみると Table 4 のとおりであり、実験的セーフ・ギャップの同一数値に対し容積によりかなりの差異をしめし、有意な連関はみい出されない。



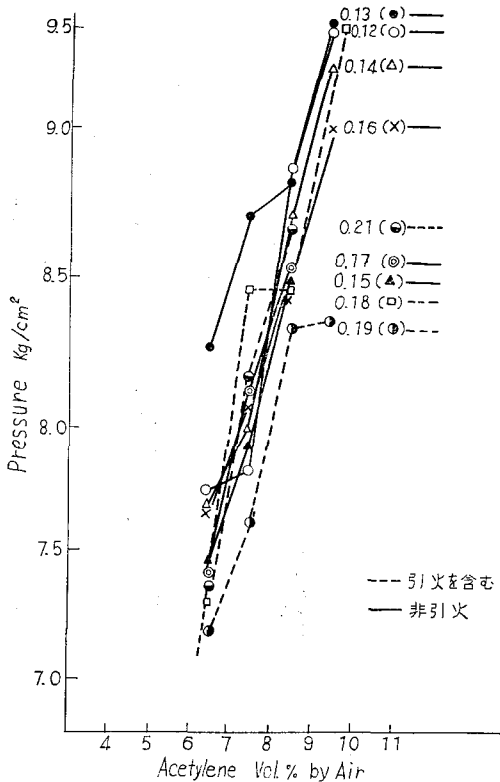


Fig. 11 Relationship between Pressure, Concentration and Gap Width  
圧力-濃度-ギャップの関係

比開口断面積は、球状容器の内径を用いて計算した単位容積当りの開口断面積であり、比開口容積は、単位容積当りの開口部の容積である。

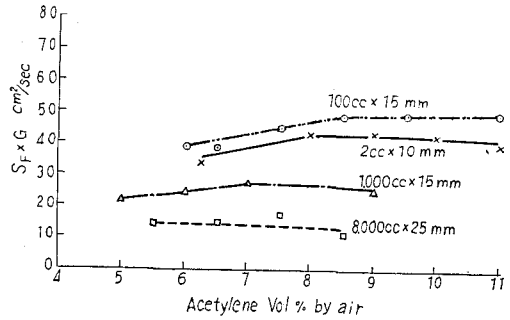


Fig. 12 Relationships between Flame Velocity and Safe Gap  
火炎速度とセーフ・ギャップの関係

Specific Open Area and Specific Open Volume for Experimental Maximum Safe Gaps

Table 4 実験的的最大セーフ・ギャップに対する比開口断面積 (S.O.A) および比開口容積 (S.O.V.)

球状容積 cc	容器内径 mm	フランジ奥行 mm	実験的 最大セーフ・ ギャップ mm	S. O. A. mm <sup>2</sup> /cc	S. O. V. mm <sup>3</sup> /cc
2	15.6	10	0.38	5.507	118.10
100	58.0	10	0.28	0.398	3.86
100	58.0	15	0.42	0.597	11.92
1000	125.0	15	0.28	0.088	1.51
2000	156.0	15	0.27	0.051	0.86
8000	248.0	25	0.16	0.014	0.20

## 6. 結 語

つぎのことがらが結論としてあげられる。

(1) 実験的的最大セーフ・ギャップの容器の容積ならびにフランジの奥行に対する依存性については、この研究では、以下のことがらが把握された。

奥行15mmのフランジをつけた内容積100cc, 1000cc および 2000ccの球状容器について、100ccあたりの実験

的的最大セーフ・ギャップの減少率をみる100ccから1,000ccまでの間の平均減少率は、0.016mmであり、1,000ccから2000ccまでの間の平均減少率は、0.001mmであって、1000cc以下の容積では、セーフ・ギャップは著るしく容積に左右される。

フランジの奥行と実験的的最大セーフ・ギャップとの関係については、内容積100ccの球状容器における研究では、奥行1mmの増加により実験的的最大セーフ・ギャップは、0.008mmの増加をしめした。

(2) この研究において実験的セーフ・ギャップが最小値をしめたのは、内容積8,000cc でフランジの奥行25mm の場合であり、この時の実験的セーフ・ギャップの値は、0.16mm であった。この値は、Slack および Woodhead<sup>7)</sup> により報告された最も新しいデータである0.01"と比較して低目の値である。

(3) この研究においては、既述のとおり引火側ガス濃度と点火側ガス濃度は、most easily ignited mixture と most incendive mixture の組み合わせを用いなかったが、同濃度のガスを用いた場合におけるアセチレン空気系混合物の最も引火しやすい濃度は、Stoichiometric 前後の濃度であり、7~9%であった。

(4) 昇圧速度と実験的セーフ・ギャップの関係はずれしており、昇圧速度が最大をしめすアセチレン濃度よりも低い側に実験的セーフ・ギャップがみられた。

(5) 火炎速度とセーフ・ギャップの積は、一定値をしめす傾向がみられた。このことについては、さらに研究を実施し報告する予定である。

(6) アセチレンの実験的セーフ・ギャップは、爆発範囲と爆轟範囲の二つに区別して測定する必要があり、またこの研究で測定されたデータは、すべて実験的セーフ・ギャップであって許容セーフ・ギャップを意味するものではない。

(7) この研究におけるデータは、すべて球状容器を用

いて行なった研究の結果であり、容器の形状が火炎の加速を来たしやすいような長方形の容器について、火炎を上向伝ばんさせたような場合については、前記の爆轟範囲の実験とともに第2報以下において報告する。

付記

日本化学会第6回防災化学研究発表会(1966)および第24回全日本産業安全大会(1965)において、この研究の一部を発表した。

## 主要参考文献

### Literature cited

- ① 労働省産業安全研究所技術指針工場電気設備防爆指針:1124, 3221 (1965)
- ② B. S. 229: Flameproof Enclosure of Electrical Apparatus (1957)
- ③ ibid.
- ④ Правила Изготовления Взрывозащищенного Электрооборудования (1960)
- ⑤ ibid. (1963)
- ⑥ 青木洋・平沢秀雄:石けん球中のアセチレン空気混合気の燃焼, 応用物理, 20, 1, 15 (1950)
- ⑦ Slack and Woodhead: Correlation of ignitabilities of gases and vapours by a break spark and at a flange gap, Proceeding, 113, 2, 297 (1966)