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"(以下 指針という。)およびJIS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 Standard²⁰においても同 様であり、最も危険度の高い group である IV group 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 Association³ 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⁴ 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⁵ 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II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しう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、必らずしも適切でないため、諸外国におけ るSafe Gap または Spaltweite の用語の例にならいセ 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 は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80 / 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, 1000 Q 2ゲージおよび 120 Q 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HBЭ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 ∞)を固着し、スキ間ゲージをはさみ、容器に固定されたバイスによってしめつけた。なお、8000cc容器のフランジ仕上面は ∞ 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。

-22 -

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 *dp/dt* 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JI SC0903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×15 mm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、実験的最大セーフ・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 した。なお、P,tおよび*4*p/*4*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した。

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.) および比閉口 容積 (S.O.V.) の数値については, Table 2を参照せら れたい。

- 23 -

Table 1 Variation of Experimental Safe Gap with Concentration of Acetylene/Air Mixtures. Vessel Volume 100c.c, Gap Length 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	1 N											
3.1-4.0	15 N	16N	16N	14 NT*		- 1				[
4.1-5.0	3 I 7 N	3 I 5 N	2 I 1 N	3 I *						1 N			1 N
5.1-6.0	4N	2 I	3 I	4N*	16N*	15N*	157	1-214	16N	2N	1 N		1 N
6.1-7.0	1 I 1 N	21	1 I			9N*	2I* IN*	15IN* 3 I *	16N	16N	15 N	15 N	15 N
7.1-8.0	1 I				1 I	5Ñ* 3I*	• •	4N* 31*	17 N	15 N	15 N	15 N	15 N
8.1—9.0	1 I	1 I				3Ñ* 1I*	3 I 5 N	6N*	14N	15 N	16N	15 N	15 N
9.1—10.0						6N* 2I*	2 I 10N	5Ñ*	15N	1 N	2N	15 N	1 N
10.1-11.0	ÍI	1 I	1 I		* *	4N*	15N	15 IN T	1 N			15 N	1 N
11.5—12.4		2 I 3N	2 I 2N	21**	* 11**	* 15N	**			1 N			
12.5-13.4		15 N	18N	1214++	101	1 N							
13.5-14.4	1 I		1 N	2N									
14.5-15.4			2N	1 N		1 N				1 N			
15.5-16.4													
16.5—17.4			2N							1 N			
17.5—18.4	1 I												
18.5—19.4			1 N										
19.5-20.4	1 I												
Specific Open Area mm²/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 ³ /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

実験的セーフ・ギャップ測定結果 (100cc×15mm)

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)	
		the second se

Vol %]	Gap Width mm										
V 01. 70	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	11											
4.0~4.9	1 I											3N
5.0~5.9	1 I	2 I	2N	1 N					1 N			2N
6.0~6.9	ч. — — — — — — — — — — — — — — — — — — —	2 I	2 I	2 I 1 N	1 I 7 N	15 N	15 N	15 N	15 N	15 N	15 N	16N
7.0~7.9		1 I	2 I	1 I	3 I 4N	4 I 1 N	15 N	15 N	15 N	6N	15 N	16N
8.0~8.9			1 I	2 I	1 I 5 N	15 N	15 N	15 N	15 N	15 N	15 N	16N
9.0~9.9	1 I			3N	2N		1 N	1 N	3N	1 N		3N
10.0~10.9			2 I 2N				1 N					1 N
11.0~11.9					2N							
12.0~12.9					1 N		1 N					
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。

容積 cc	フラン ジ 奥行 mm	引火側実驗最小值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

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⁶⁾ 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閉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,実験的最大セーフ・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。

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

·····································	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 ² /cc	S.O.V. mm ³ /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

Specific Open Area and Specific Open Volume for Experimental Maximum Safe Gaps Table 4 実験的最大セーブ・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.)

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 的最大セーフ・ギャップの減少率をみる100ccから1,000 cc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 1 mm の増加により実験的最大セーフ・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最大セーフ・ギャップが 最小値をしめしたのは、内容積8,000cc でフランジの奥 行25mmの場合であり、この時の実験的最大セーフ・ギ ャップの値は、0.16mmであった。この値は、Slack お よび Woodhead⁷⁾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) 昇圧速度と実験的最大セーフ・ギャップの関係 はずれており、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最大セーフ・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 主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・ギャプッは、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。

油文照参要主

Literature cited

- 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:1124,3221(1965)
- B.S.229: Flameproof Enclosure of Electrical Apparatus (1957)
- ibid.
- Правила Изготовления Взрывозащищенного
 Электрооторудования (1960)
- (5) ibid. (1963)
- ・
 ・
 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)
- Slack and Woodhead : Correlation of ignitabilities of gases and vapours by a break spark and at a flange gap, Proceeding, 113,2,297 (19⁶6)