

リート造、実験室内に設けられたパネル（写真8）で行えるごとくできている。

また高圧ガス混合容器と爆発試験容器の間は配管に逆火防止器を設け、また点火用スイッチの回路にはブザーを附設して誤操作による危険の防止に備えている。

むすび

本試験装置は製作後日が浅く、その性能についてはなお今後の実験にまたなければならぬ点が少ないが現在までの試験の結果を見ると、

- (1) 空気と各種可燃性ガスが極めて短時間に適宜の割合で配合できる上、特に分析等の必要がないこと。
- (2) 爆発試験が極めて能率的に短時間で遂行できる、従来 15 回程度の爆発引火試験に数日を要していたものが、爆発強度試験 10 回、爆発引火試験 15 回併せて、速い場合半日程度で実施可能なこと。
- (3) 初圧を自由に変えて爆発が行えるため、所要の爆圧による爆発強度試験が行えるほか、爆発引火試験と強度試験を同時に行うことが出来る。
- (4) ガスの爆発特性に関する種々の研究実験に利用範囲が広い。

等の特徴を挙げることができる。

ただこの反面、初圧の上昇が火災逃走にやや影響を与えること、爆発性ガスを高圧で貯蔵する危険が伴うこと等に問題があり、これ等の点は近い将来さらに検討の

上、流量計方式等の採用により改善を計りたいと考えている。

参考文献

- 労働省産業安全研究所：工場電気設備防爆指針
同上：同上 追補…防爆構造の電気機器の試験方法
JIS C 0902：防爆型電気機器の試験方法
JIS M 7610：定着安全電灯
Müller Hillebrand：防爆電気機器原論（蒲生朝郷訳）
Bureau of Mines：Inspection and Testing of Mine-Type Electrical Equipment for Permissibility (I. C. 7185 November 1941)
Heinz Maskow：The Research and Testing Station for Flameproof Equipment at the Switch-gear Works of the Siemens-Schuckertwerke in Berlin
Dr.-Ing. D. Müller-Hillebrand VDE, Berlin：Explosionsprüfungen schlagwettergeschützter elektrischer Geräte
その他 VDE0170/IV. 44, 0171/IV. 44, VDE0173/V. 43, IEC推奨規格, D. S規格, U. R. の試験法等

ブタンガスの爆発限界と圧力による影響

化学課 技官 内 藤 道 夫

1. 緒言

爆発限界は可燃性のガス、蒸気の爆発危険性を判定するための重要な特性であるが、一般に知られている爆発限界は常温、常圧の状態における値であり、温度や圧力の異なる環境条件ではかなり変わったものになる。過去の文献によってもメタンやその他一部のガス、蒸気について温度、圧力による爆発限界の変化が知られているのみで大抵のガス、蒸気についてはそれほどはっきりした値を知ることができないのが現状である。しかし、実際の工場現場では、このような変わった条件で可燃性のガス蒸気が取扱われる機会が少ないので、これらの条件下でのガス、蒸気の爆発限界を知ることは作業上の安全対

策をたてる上に重要な意義をもつものである。特に石油化学工業の進歩発展は大量のL.P.ガスの製造、運搬貯蔵等の操業をもたらしているが、これらのL.P.ガスは数 atm の加圧で簡単に液化する利点から液化ポンペに充填されて広く取扱われているし、又燃料として、使用されるほか石油化学工業の原料として高温、高圧の状態で移送されたり、反応に用いられたりしている。

したがってL.P.ガス取扱上の安全を期するためにはこの様な変わった環境における爆発限界を知る必要がある。

先年当研究所では石炭ガスの爆発限界が加圧状態では非常に拡大し、爆発危険性が著しく増大することを実験により知り得たのであるが、L.P.ガスについても同様

に加圧下では爆発限界がかなり拡大するのではないかと
思われたので、再び現在一般に市販されているL.P.ガ
ス(ブタンを主体としたもので、ブタンガスと呼ぶ)に
ついて加圧により爆発限界がどのように変るか実験を行
ったが、大体の結果をとりまとめ以下報告する次第であ
る。

2. 研究目的

L.P.ガスとはプロパン、ブタン、ペンタン、プロピ
レン、ブチレン等の石油系の脂肪族炭化水素を総称した
もので、大体炭素数3~5で常温で蒸気圧が0.8kg/cm²
(ペンタン)~9kg/cm²(プロピレン)程度のものであ
る。しかし、ペンタンは殆ど含まれることがなく、主と
してプロパン系統及びブタン系統で、いわゆるプロパン
ガスといわれているものはプロパンの含有量が比較的
多いもの、ブタンガスといわれているものはプロパンより
もブタン系統の重質成分の多いものである。

これらのL.P.ガス中にはプロパン、ブタンを始めそ
れらの異性体、不飽和成分等多種類の炭化水素が含まれ
ているのが普通であるが、それぞれの爆発限界は文献に
よれば一応常圧におけるものが知られているが、加圧下
の爆発限界についてはプロパン、ブタン、のみの記録し
か知られてなく、又市販のL.P.ガスのように多種類の成
分が色々な割合で混合しているものについての値は全く

知られていないので、

- (1) 重質分の多い市販のL.P.ガス(ブタンガス)の
爆発限界が5atm程度の加圧によりどの程度変化す
るか、特に上限はどの位広がるものかを確認する。
- (2) 市販の各種のブタンガスの爆発限界は組成により
どの程度変化するかを調べる。
- (3) ブタンガスの爆発圧力は空気との混合濃度の変化
でどのように変化するか、又初圧を変えた場合はど
うかを調べる。

以上の3つの主要目的を対象として実験を行った。今
度の実験では温度については特に規定せず、室温中で実
施した。

3. 試料ガスとその分析結果

前記の理由から組成の異なるブタンガス3種類を試料ガ
スとして用いた。即ち試料 No. 1 及び No. 2 は丸善
石油株式会社製のブタンガス(50kg ボンベ入り)で、
No. 1は上部気体部分、No. 2は下部液状部分である。

又試料 No. 3は出光興産株式会社製のブタンガス(10
kgボンベ入り)であるが容器内上、下ともガスの組成が
分析結果ではあまり相異がないので下部のみを採取して
使用した。

以上の3種類のブタンガスの組成は第1表に示す分析
結果の通りである。

第1表 試料ブタンガス分析結果

試料番号 分析番号	No. 1		No. 2			No. 3	
	(i)	(ii)	(iii)	(iv)	(V)	(VI)	(VII)
成分							
空気, メタン等永久ガス	0.4	痕跡	痕跡	痕跡	痕跡	痕跡	痕跡
エタン及びエチレン C ₂ H ₆ , C ₂ H ₄	8.1	5.6	/	/	0.6	/	/
プロパン C ₃ H ₈	42.5	39.7	13.3	18.2	15.7	0.5	0.1
プロピレン C ₃ H ₆	/	0.7	/	/	/	0.4	0.1
i-ブタン C ₄ H ₁₀	12.7	13.5	15.4	15.7	15.5	31.6	24.1
n-ブタン C ₄ H ₁₀	36.3	40.4	70.8	65.4	68.1	29.8	35.3
ブテン-1 C ₄ H ₈	/	/	/	/	/	22.7	21.1
ブテン-2(trans) C ₄ H ₈	/	/	/	/	/	10.1	12.1
ブテン-2(cis) C ₄ H ₈	/	/	/	/	/	4.8	7.2

註 ①数字はいづれも容量%

②熱量は 28,000~30,000cal/m³

即ち

試料 No. 1, No. 2はいづれも不飽和炭化水素を含ま
ないことが特徴であり、No. 1はプロパン等の軽質成分
が多く特にエタン、エチレンがかなり含まれている。一
方 No. 2は主としてブタン系統の重質成分が多量で、エ

タン、エチレン類は殆ど含んでいない。

次に No. 3はプロパン等の軽質成分は殆ど含まずブタ
ン等の重質成分が殆んど全部を占め、しかもこの中約40
%が不飽和成分である。

このように3種類の試料ブタンガスは成分にかなりの

相違が認められる。又これらのブタンガスの熱量は1立米当り 26,000~31,000 Cal 程度と考えられる。

4. 実験装置

本実験に使用した装置、配管の概要を示すと第1図のフローシートの如くなる。

実験装置の主要部分は P. 5 に述べてある防爆電気機

器の密閉型爆発試験装置をそのまま利用しており、その操作も全く同じ方法を採用した。

但し、本実験に独特な装置としてはブタンガスの蒸発器、と爆発容器であるが、この中爆発容器は先年石炭ガスの爆発実験に用いたものをそのまま使用したものであり、蒸発器は今度の実験のために新設したものである。

第1図 ブタンガス爆発実験フローシート

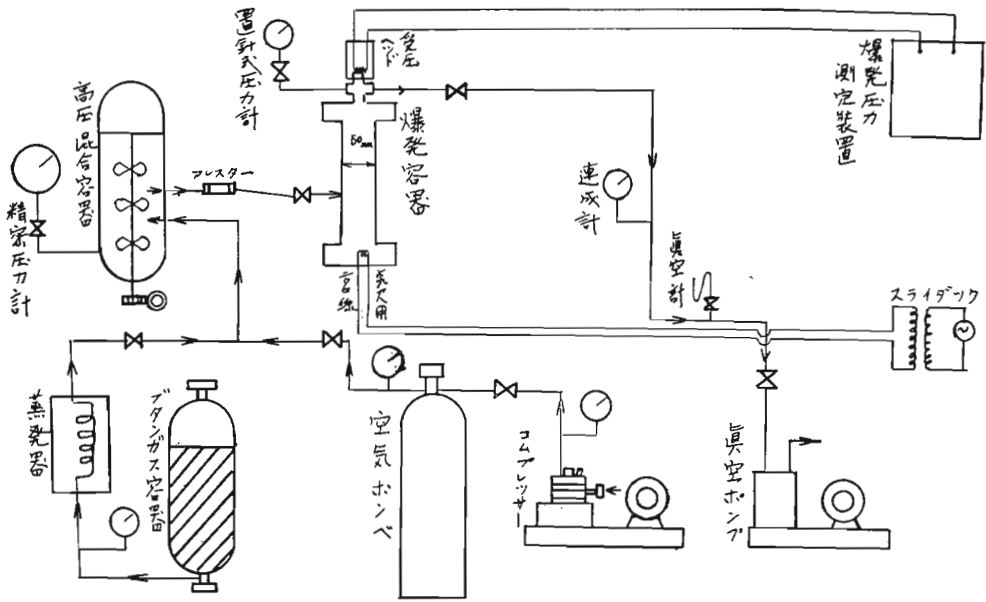


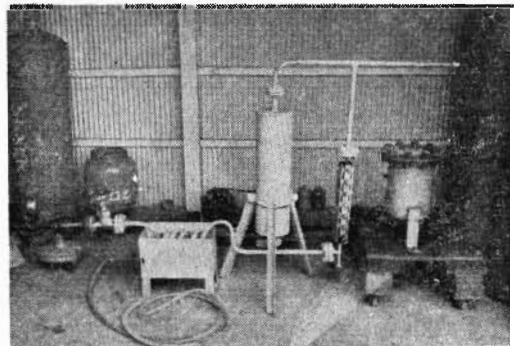
写真 A



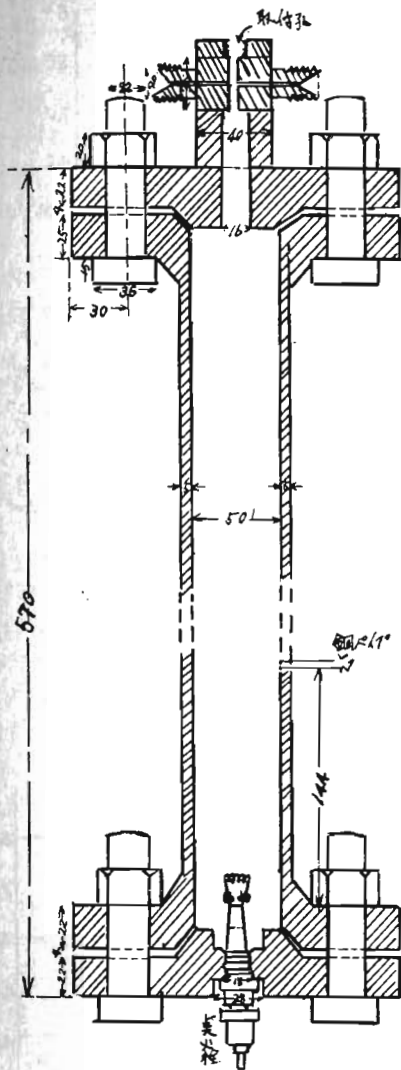
爆発容器の構造の詳細については既に1956年1号の当研究報に述べられているので特に説明を省くが、その

断面図は第2図に示す如きものである。ただ前回と異なる点は、爆発容器の上部蓋板中央にインジケーター（指圧計）にかえて抵抗線動歪計の受圧ヘッド（50kg/cm²用）を取りつけ、接続コードにて増幅器に連結している点と、上部ガス出口の一方が置針式圧力計に配管され内圧及び爆発の有無が簡単に確認出来ることである。

写真 B



第2図 爆発容器の構造



受圧ヘッド及び配管、配線を取り付けた状態を示したのが写真Aである。

次に写真Bに示す装置がブタンガスポンプ及びその蒸発器であって、ポンプから出た液化ブタンガスは70～80°Cの熱湯で温めた蛇管を通して気化して付属のガス溜に入りこれより防暴実験に使用する水系配管系統に入る構造となっている。

5. 実験方法

(1) 混合ガスの製法

試料ブタンガスをもって最初に蒸発器及び附属配管内の空気をパージした後、バルブ操作により高压混合容器に送る。精密圧力計によりあらかじめ計算済のブタンガ

スの必要圧力に達したならば、ブタンガスの送入を中止し、次に空気を所要圧力迄送入れた後約20分間攪拌混合する。攪拌時間と混合の成否の関係は直接ブタンガスでガス検知を行って確認するが、ガス濃度の大きい場合には完全混合に約20分間を要する。

混合ガスを作る際には実験日の第1回目に濃度の高いガスを作り、その後は適当に空気を加えて薄め、低濃度の試験ガスを順次作ってゆく、1日の実験の最後には残留試験ガスを排棄した後、高压混合容器内を真空にして内部の残留ガスを完全に排出した後、常圧まで空気を入れて次の実験に備える。

(2) 爆発試験

配合を終った試験ガスは爆発容器内に約3 kg/cm²程度の圧力になる迄送り(約3ℓ)、途中配管の空気や前回の試験ガス等をパージした後、爆発容器を真空にして約5～10 mmHgに減圧する。それから試験ガスを再び爆発容器内に所定の圧力迄送入れた後、貫針式につながる配管以外のすべての配管は閉止した状態で、点火源のスイッチを入れ、5秒間ニクロム線に通電赤熱せしめた後スイッチを切る。その際置針式圧力計の針のふれの有無により爆発の有無を確認する。

5秒以内に爆発が認められた場合は、爆発限界内(YES○)と見做し、認められない場合は爆発限界外(NO●)とした。1回の試験が終了すると爆発容器内の燃焼又は未燃焼ガスを真空ポンプで排出して、再び同様の試験を繰り返すが、同一濃度、同一圧力で連続3回実施する。

もし3回の中1回だけNOがあれば、又は点火用スイッチを切った後に点火おくれが認められた場合は●で表わした。1回の爆発で爆発容器が高温となる場合は自然放冷して常温になるまでは爆発試験は行わない。

このようにしてあるガス濃度の爆発限界と圧力の関係が確認出来たならばガス濃度を変えて行う。

(3) 爆発圧力の測定

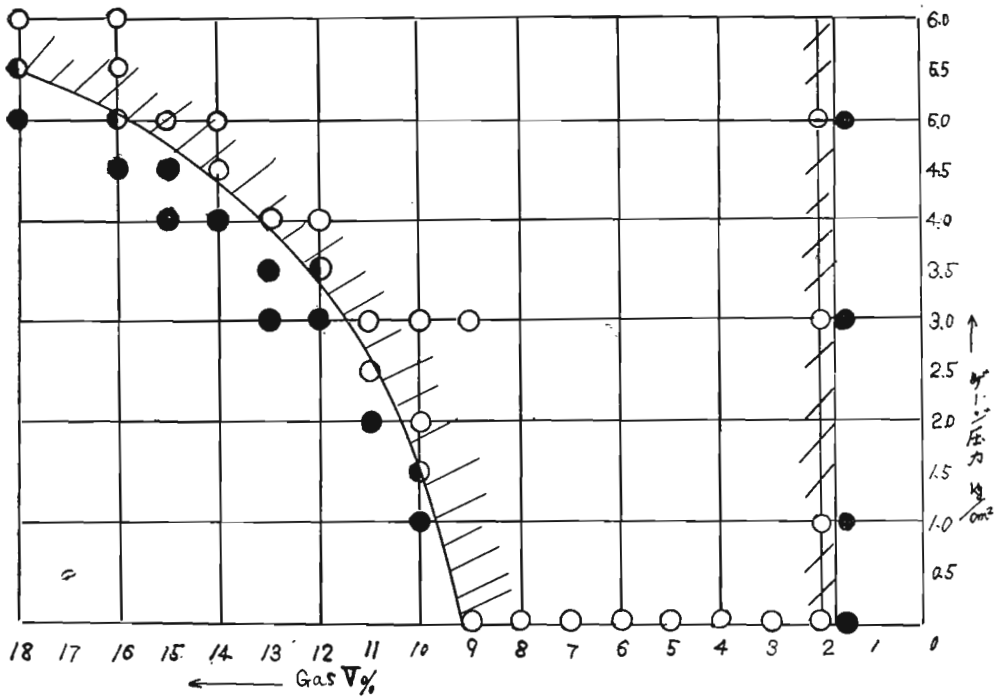
爆発圧力の測定は初圧を常圧、3 atm、5 atmの3段階に分けそれぞれの初圧で爆発限界内の濃度のガスについて1%毎に爆発圧力の測定を行った。これは爆発容器の頂部に取り付けた抵抗線型動歪計の受圧ヘッドに爆発圧力を受け、これを操作室内の増幅器で増幅し、電磁オシログラフに記録した。爆発に先立って静圧校正を行い、これを尺度として爆発圧力の値を算出した。

6. 実験結果

(1) No. 1 ブタンガスの爆発限界と圧力の関係

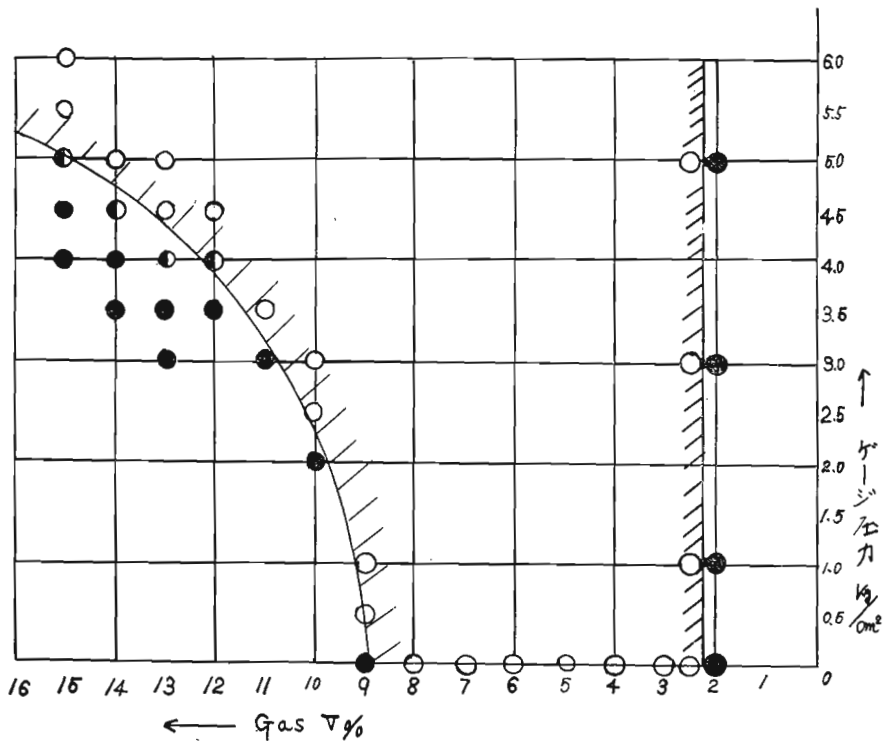
No. 1 ブタンガスについて常圧から5 kg/cm²迄の加圧下の爆発限界について測定した所第3図に示す圧力-濃度関係図が得られた。これによると常圧に於ける爆発

第3図 プタンガス (No. 1) の爆発限界と圧力の関係図



限界は2~9% (容量%, 以下すべて容量%) であるが3 kg/cm² に加圧すると2~11%, 5 kg/cm² では2~15%と圧力の増加に伴って爆発限界が拡大する。特に上限が著しく拡大するに反し下限は全く変化がない, 又圧力の増加につれ, 爆発上限が拡大する割合が大きくなる傾向が認められる。

第4図 プタンガス (No. 2) の爆発限界と圧力の関係図



(2) No. 2 プタンガスの爆発限界と圧力の関係

No. 2 プタンガスについても同様の実験を行った所, 第4図のような圧力-濃度関係を得られた。これはNo. 1に比較して多少爆発限界がせばまり, 常圧

では2.5~8%, 3 kg/cm²
 では2.5~10%, 5 kg/cm²
 では2.5~14% を示しているが、No. 1の場合と同様に爆発上限界のみが圧力により大きく影響を受けているに反し、下限界は全く影響を受けないことが分った。

(3) No. 3ブタンガスの爆発限界と圧力の関係
 No. 3についても前記と同様の実験を行った所、第5図に示す圧力-濃度関係図を得られた。

これによると、爆発限界は常圧で2~8%, 3 kg/cm²で2~9%, 5 kg/cm²で2~12%を示し、No. 1, No. 2に比較して爆発上限界の圧力による影響はやや少ないことが認められる。しかし爆発下限界は同様に全く圧力による影響を認められない。

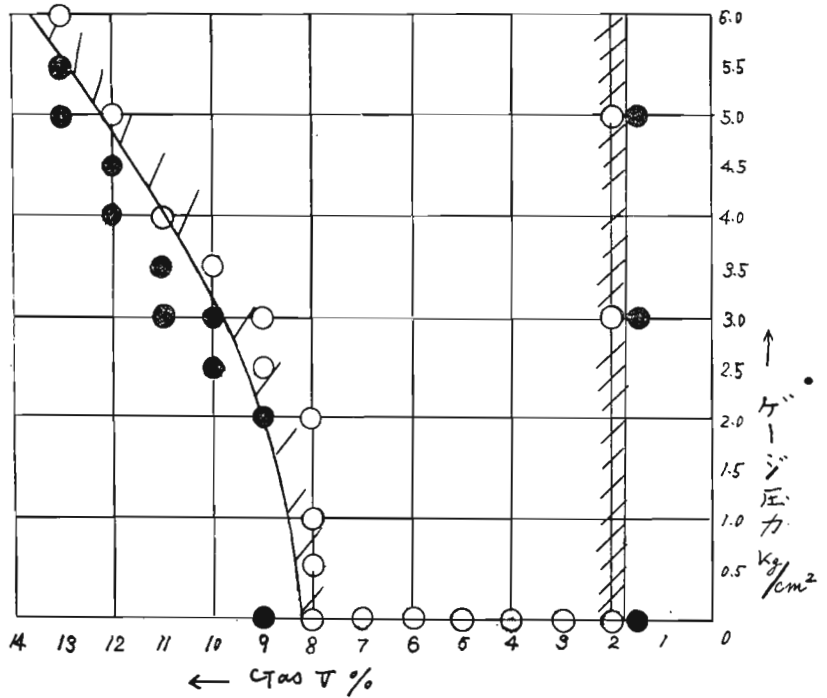
以上組成の異なる三種類の試料ブタンガスについて行った爆発実験の結果、いづれも圧力により爆発上限界が影響を受けるが下限界は受けないという共通点が認められるが、影響の受け方は組成の相違によって、かなり異っている点も認められた。唯どの試料ガスも各種の炭化水素が混合したものであるために、影響の相違点を定性又は定量的に解明することは不可能であった。

7. 爆発圧力測定結果

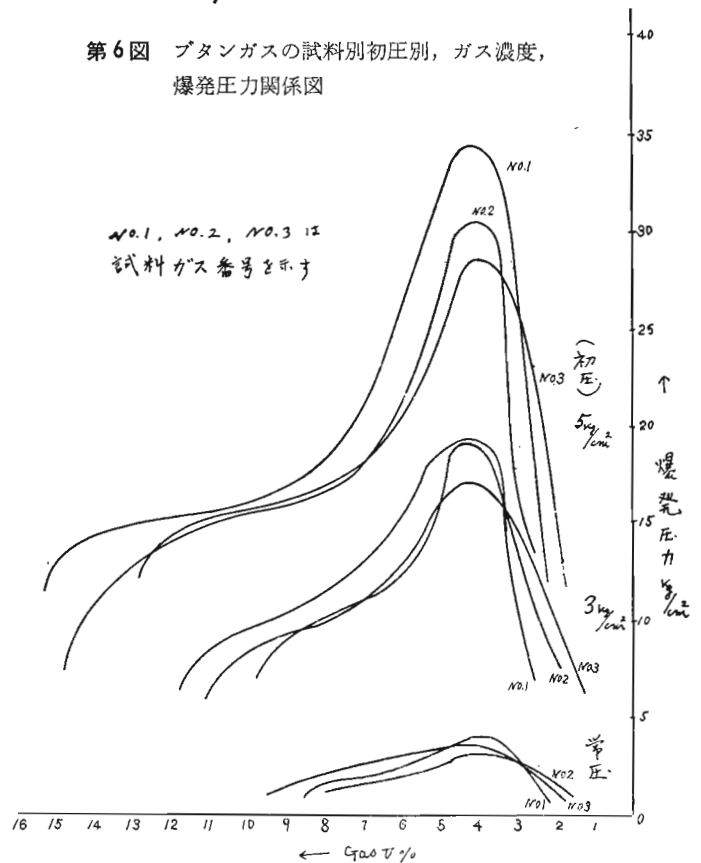
各試料ガス別に常圧, 3 kg/cm², 5 kg/cm²に於ける濃度-爆発圧力の関係をオシログラフよりまとめて図示すると第6図で表される。

これによると、濃度-爆発圧力-初圧の関係はどの試料ガスもほぼ同様な傾向を示して居り、最高爆発圧力を示す濃度は約4%附近であり、この濃度に於ける爆発圧力は大体常圧で4 kg/cm², 3 kg/cm²で20 kg/cm², 5 kg/cm²で30 kg/cm²

第5図 ブタンガス (No. 3) の爆発限界と圧力の関係図



第6図 ブタンガスの試料別初圧別、ガス濃度、爆発圧力関係図

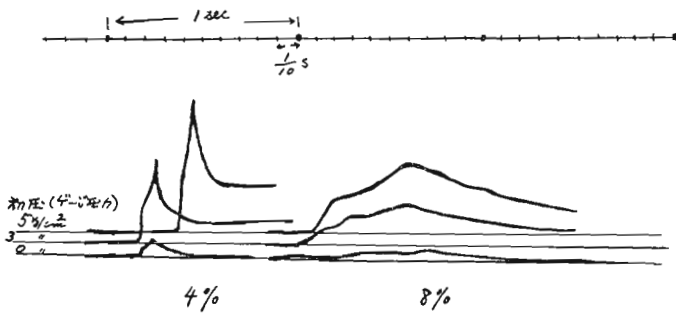


cm²であった。又、爆発圧力—濃度の関係では最高爆発圧力を示す濃度の前後が最も大きな傾斜線を示し、爆発上限界に近づくほど非常に爆発圧力の減少がゆるやかとなって濃度による差異が殆ど認められなくなる。一方下限界の濃度に近づく場合は濃度によって爆発圧力の差異の甚しいのが共通した特徴である。

又初圧が大きくなるほど最高爆発圧力が急速に増大していることも注目される。

次にガスの濃度によって着火してから最高爆発圧力に達する迄の爆発圧力上昇速度が非常に異なることが分った。例えば第7図に示したように4%と8%の場合では圧力が上昇する速度が非常に異なるのである。これは一口に爆発といっても濃度によって破壊力や危険性が違うことを示すものである。

第7図 ブタンガスの爆発圧力測定ホシログラフ
(4%, 8%の場合)



8. 総括

本実験の結果をまとめると

- (1) 市販のブタンガス爆発限界は圧力により大きな影響を受け、特に上限界が5 kg/cm²程度の加圧下で約4~6%も拡大する。しかし下限界は全く圧力の影響を受けることがない。
- (2) 市販のブタンガスは組成が異なる場合には爆発限界が多少異なり、圧力に対する影響も多少違う傾向が見られるが、総体としては大きな差異はない。
- (3) これらのブタンガスを石炭ガスと同様に空気を配合して一定熱量(3600 Cal/m³)の供給ガスを製造する場合には約12~14%迄薄めねばならないが、このような供給ガスは常圧に於てはガス自体の爆発危険は考えられないけれども加圧して貯蔵、移送、供給を行う場合には3 kg/cm²以上の圧力下では爆発限

界内に入るため極めて危険である。

したがって加圧するとしてもせいぜい1~1.5 kg/cm²程度にとどめるべきであろう。但しNo. 1 試料ガスの如く軽質分の多いものでは、多少爆発限界が拡大し易い傾向が認められるので、ガスの組成を常に完全に把握する必要がある。

- (4) ブタンガスの比重は空気その他のガスと比較して非常に大きいために、拡散混合に極めて長時間を要する。したがって、ブタンガスに空気その他のガスを配合する場合、或はブタンガスをパージする場合には装置、容器、配管内の濃度分布状態を操業中常に把握せねばならない。もしこのような把握が不十分な場合には、部分的に爆発危険のある混合ガスが生成するし、加圧するような場合にはその危険性が倍加されるおそれがある。勿論配合、混合、パージというような操業のものにも検討を加える必要がある。
- (5) ブタンガスを加圧状態で使用する装置、容器、配管等で屢々爆発限界内に入り易い混合ガスが生成するような場合は、装置や、容器、配管等の強度は加圧下の爆発圧力に充分耐えるような設計とするか爆発の危険に備え破裂板その他の緩衝機構を考慮する必要がある。

9. 結語

本実験には試料ガスとして市販のブタンガスという各種炭化水素の混合したものを使用したため、単一の純粋なガスの圧力による爆発限界の影響その他の爆発特性を知り得なかったが、今後機会があれば純粋の単一ガスについて実験を行い、それぞれの爆発特性を明かにして安全対策の一助にしたいと思う。

又実験装置や、試料ガスの特性上、ガス濃度1%以下の精密化学実験の結果は期待出来なかったが、点火源にニクロム線を使用するというような苛酷な条件で爆発実験を行っているので、爆発限界を定めて安全操業上の資料とするためには、一応所期の目的を達成できたものと考えられる。

なを、本研究の実施に当ってガス分析その他について東京ガス株式会社地方課、及び同総合研究所の協力を得たことを記して感謝の意を表す。

About The Aging Strength of The Life Lines

By T. Ando

T. Sato

To find visually the aging strength of life line, we examined about the many ropes used in some lime stone mines.

The tested ropes were almost manila ropes. Result showed that there are the deviation in strength by conditions. And yet we obtained the diagram of the relation between the strength and age.

Study on Closed Type Explosion Test Apparatus

by N. Taguchi

M. Naito

F. Ishimi

For the explosion test of the explosion-proof electrical equipments, we designed and constructed the closed type explosion test apparatus.

This apparatus consists of a closed explosion vessel, a pressure vessel to mix gas with air under high pressure, a measuring device of explosion pressure, a vacume pump, an air compressor, an operation panel and etc..

In comparison with the open type, this has many excellent qualities.

That is,

- (1) It can be got easily and exactly the certain concentration of gases and air mixtures to be required,
- (2) It can be tested about the flame transmission and the durability for explosion pressure on the explosion proof electrical equipments at the same time,
- (3) It can be operated efficiently,
- (4) It can be got the explosion pressure to be required,
- (5) It can be easily studied on the explosion characteristics of the inflammable gases.

The Limits of Flammability of Butane Gas (Influence of pressure)

by M. Naito

By the closed explosion test apparatus, I studied on the limits of flammability of Butane Gas of three kinds having different component under pressures of 1 to 5 atmospheres. The result showed that the explosion range of Butane Gas spreads with rise of pressure, that is, it was approximately 2 to 8 per cent in air at normal condition and at 5 atmosphere was 2 to 15 per cent, therefore, only the upper limit was influenced by pressure.

And it was seemed that the explosive range was more influenced by pressure, when the ratio of the lighter hydrocarbons in Butane Gas component was great.

Investigation on The Accident in Construction The Kaimon Bridge

By T. Hakamazuka
K. Ishibashi

In construction of the Kaimon Bridge by cable erection method, the cable towers collapsing, three workmen died and two were injured in the morning Dec. 29 th. last year.

We considered that this accident was caused by breaking in the anchor plate (section 19mm×230mm) which had supported a rope-stay and main carrier cable together.

The stress in the breaking point at the working time was calculated +26.10kg/mm² on under edge, -5.30 kg/mm² on upper edge. Besides, we examined the material of the anchor plate as following. Appearance of fractured surface is brittle and the separation started from under edge. The composition by chemical analysis shows 0.26%C, tr. Si, 0.51%Mn, 0.05%S, 0.048%P, 0.245%Cu. The tensile strength σ_t is 45.6~46.9 kg/mm², the yielding strength σ_y is 27.8~30.1 kg/mm², the elongation is 36~33.2%. There are no crack and other faults in bending test. Hardness test calculate Hv 190 in none heat effect area, max. Hv 301 in heat effect area by arc welding. U-notched charpy impact test calculate 2.7~3.3 kgm/cm² (at 7°C), V-notched is 0.9~1.2 kgm/cm² (at 0°C). Observation on micro and macroscopic shows that the material is rimmed steel consist lamination in it. But this material pass in JIS standard test.

By the above mentioned test, we sermised that anchor plate fracturs was mostly result of brittleness by welding. Therefore we should especially take care for the selection of anchor plate material, its construction error and its maintenance.