

MAY. 1971

RIIS-RR-19-6

UDC 614.83 : 621.313/.39-213.34

産業安全研究所研究報告

RESEARCH REPORT OF
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

RR-19-6

人工環境下における電気設備の安全化 に関する研究 (第1報)

—放電火花による“ $\text{CH}_4\text{-O}_2$ 混合ガス”および
“ O_2 中の可燃性固体”の点火危険限界—

{ 田 中 隆 二
菅 原 宣 義

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

人工環境下における電気設備の安全化に 関する研究 (第1報)

—放電火花による“CH₄-O₂ 混合ガス”および
“O₂ 中の可燃性固体”の点火危険限界—

田 中 隆 二
菅 原 宣 義

Safety for Electrical Equipment under Artificial Environments

—Low voltage d. c. spark ignition of atmospheric CH₄-O₂ and CH₄-N₂O
mixtures and of solid combustibles in oxygen atmospheres—

by R. TANAKA
N. SUGAWARA

Artificial environments having various compositions, concentrations and pressures are being introduced in the field of human life and activities.

Recently noticeable are those in spacecrafts, hyperbaric chambers in hospitals and deep sea diving equipment.

In most artificial environments, flammability or ease of ignition of flammable materials increases under the influence of enriched-oxygen and/or elevated partial pressure of oxygen.

In this paper the authors reveal the most easily ignited concentration of CH₄-O₂ or CH₄-N₂O mixtures, and the minimum igniting currents in low voltage d. c. inductive, resistive and capacitive circuits for atmospheric CH₄-O₂ or CH₄-N₂O mixtures are determined, compared with those for CH₄-air and H₂-air mixtures, using the IEC-type spark producer. The results are given in Figs. 4, 5 and 6 corresponding to each circuit respectively. It was confirmed that CH₄-O₂ mixtures was lower in m. i. c. than H₂-air mixtures. In the case of CH₄-N₂O the m. i. c. was ranked somewhat in the middle of CH₄-air and H₂-air in the inductive or resistive circuits, however in the capacitive circuits it held a position a little lower than H₂-air mixtures.

In reference to the m. i. c. of CH₄-O₂ mixtures, examinations are given for the mixtures as substitute for ignition test gas in intrinsically safe circuits in hazardous environments.

The authors present also the m. i. c., using copies of British Break-flash No. 3 Apparatus and Intermittent Break Apparatus, for solid combustibles in oxygen of pressure of 0 and 0 kg/cm² in gauge. The samples are Japanese paper, vinylchloride film and cotton cloth. Results obtained with inductive sparks are shown in Fig. 8 and those with resistive in Table 5. It is concluded that spark ignition of solid combustibles in oxygen is comparable with that of atmospheric CH₄-air mixtures.

1. 人工環境とその危険性

最近、大気圧空気中以外の雰囲気下で人間が生活し、作業し、電気設備等を使用することが多くなった。このような人工環境は、一般にその目的に応じた気圧と組成の雰囲気（ガス）で満たされており、古くは潜水病の予防や治療に用いられてきた単なる加圧空気のタンク内などがその代表的なものとしてよく知られている。しかるに近時は、一部のガンやガス中毒の治療、複雑な大手術を大気圧酸素もしくは加圧酸素中で行なうための高気圧治療（手術）タンクが全国の主要病院等に普及してきたこと⁽¹⁾、また、国家的プロジェクトといわれる海洋開発の分野においても、海中深度に応じた気圧と組成のガスを使用する海底作業基地、DDC（減圧タンク）、PTC（水中エレベーター）等が実現しつつあることなどで、人工環境の内容も次第に多様化されてきたといえることができる。

このような人工環境中においては、大気圧空気中に比べていろいろな意味での危険性が予想される。なかでも過剰酸素や加圧酸素の雰囲気となっている人工環境では、可燃物の発火危険性および燃焼危険性が著しく増大するものと考えられる。テスト中における米国のアポロ宇宙船および東京大学病院の高気圧治療室の火災事故は、いずれもこのような危険性を如実に物語っているものといえよう。

人工環境下における火災・爆発などの事故において特に問題とされるのは、発火の原因としての電気設備の火花および過熱である。電気設備は正常動作時および故障時において、元来、発火危険性を有しているものが多く、上述の火災事故の場合にも電気設備が発火源として関係したのではないかとみなされている。

大気圧空気中で使用する電気設備については、これまでの数々の事故や経験を生かして、日常は安全上ほとんど支障なく使用できるよう設計されているが、これをそのまま人工環境用に使用できるか否かについては問題であり、したがって人工環境の雰囲気条件を考慮に入れた安全設計値を採用したものが必要である。しかるに、この種の人工環境下における電気設備の発火危険性に関する研究はきわめて少なく、実用に供しうる結果はほとんど発表されていない。

そこで本文では、現状および近い将来の人工環境の雰囲気を考えて、もっとも基本的であり、代表例とし

ても適切であると思われる“大気圧もしくは加圧酸素”を取上げ、この中での電気設備の安全化を図ることにし、その一環として、先ず放電火花による可燃性ガス- O_2 混合ガスの点火危険性および O_2 中の可燃性固体の着火危険性を明らかにしようとするものである。なお、本研究では、病院での手術の際に多く用いられる亜酸化窒素 (N_2O) が、酸素と類似した支燃性を有することから、 N_2O についても混合ガス点火の実験を若干試み、参考に供することにした。

2. 放電火花による CH_4-O_2 混合ガスの点火危険性

可燃性ガス-空気の混合ガスは、エネルギーの小さな放電火花であれば、これによって点火しえない限界が存在する。放電火花による混合ガスのかかる点火限界は、本質安全防爆電気回路の実用設計上必要な資料でもあり、従来、筆者らの一人がすでに発表⁽²⁾してきたところであるが、可燃性ガス-酸素の混合ガスの場合には、可燃性ガス-空気の混合ガスに比べて、点火限界が相当低下し、危険性が増大することが予見される。しかるにこの種の危険性については、いわゆる物理的に意義のある最小点火エネルギーとして測定されている⁽³⁾のみで、酸素を雰囲気とする人工環境用の本質安全防爆電気回路の実用設計には利用価値が少ないものと思われる。また、酸素とは別に、亜酸化窒素の場合に関する点火限界については研究された報告は全く知られていない。

そこで本節では、酸素雰囲気中に可燃性ガスが混入した場合を想定し、そのときでも安全に使用しうる本質安全防爆電気回路の可能性を検討するため、以下に述べるような点火限界を求めるとともに、大気圧空気の場合と比較し、検討することにした。また、これと併せて亜酸化窒素についても同様の点火限界を参考値として求めた。

なお、本実験では可燃性ガスとして CH_4 を使用することにしたが、これは CH_4 が実験上取扱いが容易であること、筆者らの一人がすでに報告した加圧 CH_4 -空気混合ガスの点火限界⁽⁴⁾との比較のためでもある。

2.1 実験装置および方法の概要

2.1.1 試料ガスとその調製

雰囲気ガスとして支燃性を有する O_2 , N_2O のほか、可燃性ガスである CH_4 は、いずれも市販のボンベ入りのものを使用した。 O_2 または N_2O と CH_4 との混合は、上下に三方コックのついたガラス製メスシリンダーに水を満たしておいてから、それぞれ所要容積のガスをガス置換によってシリンダーに送入した後、シリンダーを手を持って上下または左右に振り動かすことにより、シリンダー内に残っていた水の運動で均一に混合するようにした。この操作を数回くり返し、必要量に近い混合ガスを別のガスホルダーに蓄えて実験に供した。なお、 N_2O は水溶性に富むため、シリンダー内の水は予め N_2O で十分に飽和させておいてから定量した。

以上の方法により調製した混合ガスの濃度は、所定の濃度であることを干渉式ガス検知器で確認した。

2.1.2 放電火花発生装置および点火実験回路

放電火花の発生装置および点火実験回路には、以前の実験結果との比較対照のため、過去の実験で使用したものと同一とした。すなわち、火花発生装置は既報⁽⁶⁾の IEC 形であり、実験回路も直流電源を使用した直列誘導回路、抵抗回路および容量回路である。Fig. 1 はこれらの概要を示したもので、同図において E は鉛蓄電池、L は空心コイル、R は無誘導形の変抵抗、C はコンデンサー、S は火花発生装置を示す。

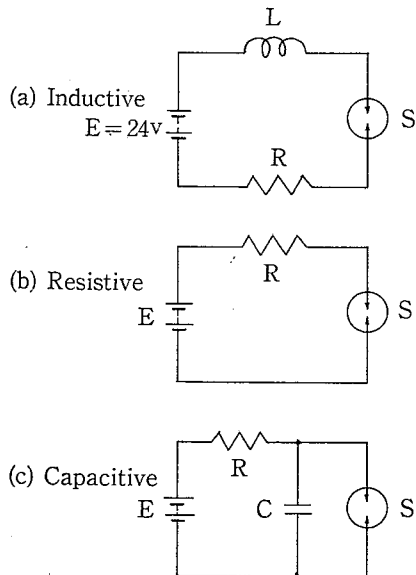


Fig. 1 Ignition test circuits.
点火実験回路

2.1.3 実験方法

真空ポンプで火花発生装置のガス室を排気し、ガスホルダーから混合ガスを導入する。このあと、火花発生装置の電極部を動作させて実験回路を開閉させる。ガス室内で発生する放電火花によって混合ガスに点火したら、回路電流（容量回路の場合には、電源電圧、以下同様）のみを約 5% 低下させ、実験をくり返す。連続 3,000 回の開閉火花発生で、1 回も混合ガスに点火しない回路電流と、その直前に点火した回路電流との平均値を点火限界とし、最小点火電流（容量回路では、最小点火電圧）とした。以下の点火限界曲線はすべて最小点火電流または最小点火電圧でプロットしてある。

2.2 実験結果および考察

2.2.1 極小点火限界濃度の測定

CH_4 -空気混合ガスが放電火花によってもっとも点火されやすい濃度（以下、このような濃度を極小点火限界濃度という）は、約 8.3~8.5%（容積比、以下同じ）であるが、 CH_4-O_2 および CH_4-N_2O についても、点火限界を種々の場合に測定するのに極小点火限界濃度を知っておく必要がある。

一般に、極小点火限界濃度を測定するには、任意の電気回路の開閉火花を用いればよいのであるが、前報⁽⁶⁾の実験結果を参考として、本実験では抵抗回路の開閉火花による。

Fig. 2 は CH_4-O_2 混合ガスの極小点火限界濃度を求めるための実験結果で、使用した抵抗回路の電源電圧は 36V および 24V である。電源電圧の大小にかかわらず、極小点火限界濃度は当然一致し、その値は約 17~18% であることが判明した。

同様の方法により、 CH_4-N_2O 混合ガスの極小点火限界濃度を測定した結果を Fig. 3 に示す。この場合は約 15% が極小点火限界濃度であり、 CH_4-O_2 混合ガスに比べてやや濃度が低くなった。

CH_4 -空気混合ガスの爆発限界は 5~15% とされており、これに比べると CH_4-O_2 の爆発限界は Fig. 2 からもうかがえるように 40% をこえ、爆発上限界が広まり、この意味でかなり危険性が増してくる。なお、 CH_4-N_2O 混合ガスの場合も爆発上限界が広まっているが、 CH_4-O_2 ほどではなく、23% 程度で CH_4 -空気よりはやや大きいということが出来る。

以上のように、支燃性の強いガスとの混合ほど爆発

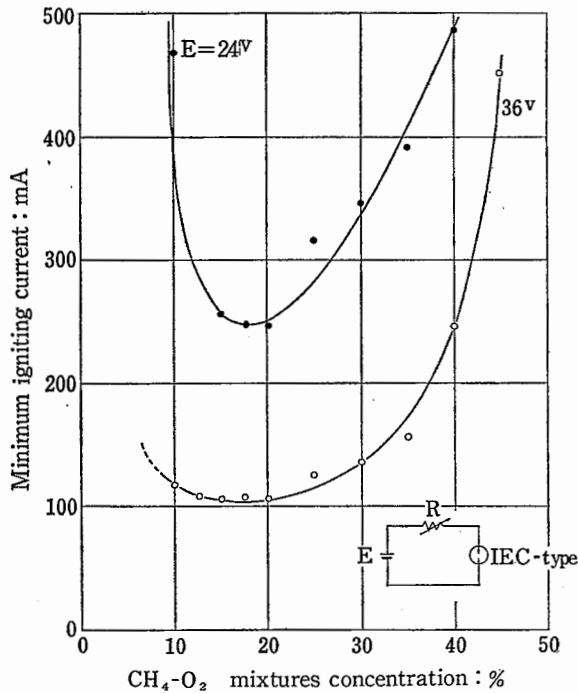


Fig. 2 Determination of the most easily ignited concentration of CH₄-O₂ mixtures.
CH₄-O₂ 混合ガスの極小点火限界濃度の測定

限界、ことに上限界が広まると同時に、極小点火限界濃度も濃くなる方へ移ってゆくことが明らかとなった。

2.2.2 誘導回路の放電火花点火限界

電源電圧が 24V で、空心コイルのインダクタンスを変化させた場合の最小点火電流を測定した。測定結果は Fig. 4 に示すとおりで、同図には、CH₄-O₂ 混合ガス (17.5%) に対するもののほか、この場合と同一実験回路で行なった CH₄-N₂O (15%), CH₄- 空気 (8.3%) および H₂-空気 (21%) に対するものを併せて示してある。

これらの点火限界はいずれもおよそ 1/2 の勾配をもつ直線となっていることが特長で、これは誘導回路の点火が基本的にはコイルの電磁エネルギー $\frac{1}{2}LI^2$ (L: インダクタンス, I: 回路電流) に支配されることを意味しているものといえよう。

さて、Fig. 4 についてさらに検討を加えてみると、CH₄-O₂ の点火限界曲線は、同図に示してある他の混合ガスの点火限界曲線のいずれよりも下位にあり、放電火花によってもっとも点火されやすい。ただ、L が 3mH 付近で H₂- 空気の場合とほぼ一致している。こ

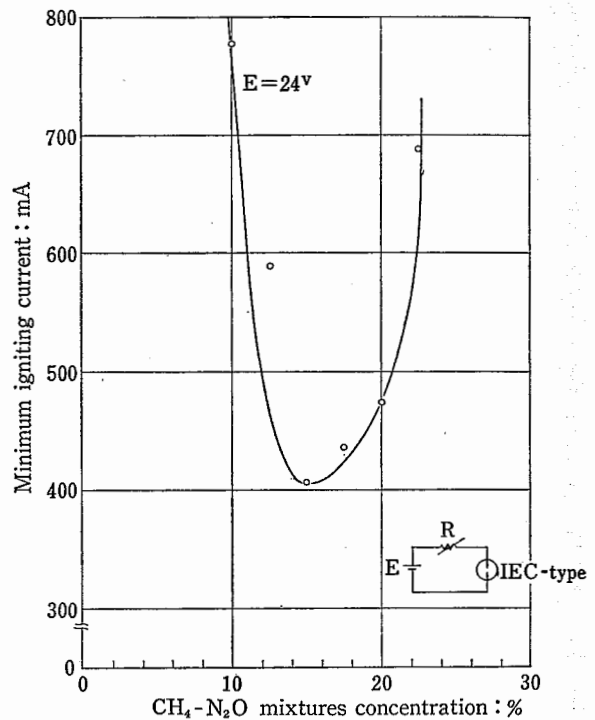


Fig. 3 Determination of the most easily ignited concentration of CH₄-N₂O mixtures.

CH₄-N₂O 混合ガスの極小点火限界濃度の測定

れに対し、CH₄-N₂O の場合には、CH₄- 空気に比べるとかなり点火限界が低くなるものの、H₂- 空気の場合ほどには低下しない。

点火限界の差を定量的に示すため、CH₄- 空気混合ガスの点火限界値を基準にして、他の混合ガスの場合の比率を最小点火電流 (I) および $\frac{1}{2}LI^2$ について、Fig. 4 から求めると Table 1 のようになる。これによると、CH₄-空気の場合を 1 としたとき、CH₄-O₂ の $I \approx 0.17 \sim 0.20$, CH₄-N₂O の $I \approx 0.33 \sim 0.43$, また、H₂-空気の $I \approx 0.20 \sim 0.27$ の範囲であり、一方、コイルの電磁エネルギーとしての $\frac{1}{2}LI^2$ についてみると、CH₄-O₂ で 0.03~0.04, CH₄-N₂O で 0.11~0.18, H₂- 空気 で 0.04~0.07 の各範囲となっている。すなわち、CH₄-O₂ 混合ガスは、CH₄-空気混合ガスに比べて、約 1/5 以下の電流値で点火し、わずかに数%以下に相当した電磁エネルギーをコイルに保有する場合の条件下で点火することが示された。なお、CH₄-N₂O 混合ガスの最小点火限界曲線は CH₄-空気と CH₄-O₂ とのほぼ中間に存在していることは興味のある点である。

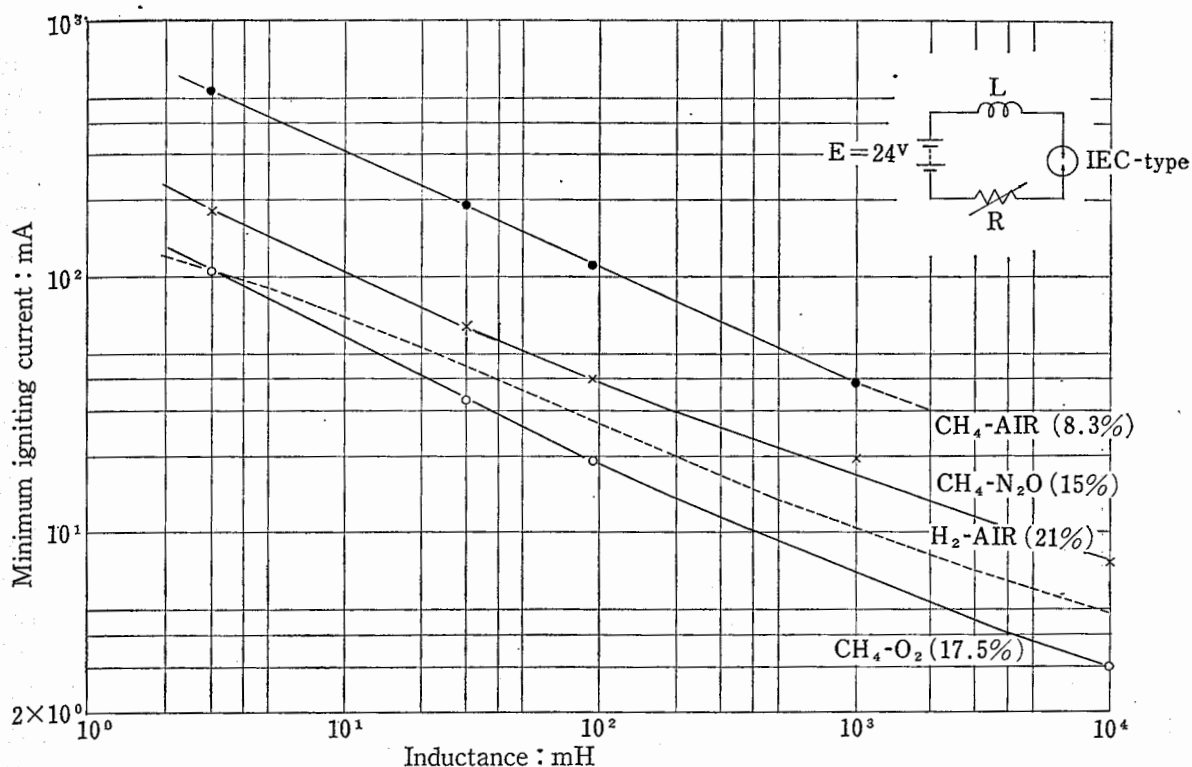


Fig. 4 Comparison of minimum igniting currents in inductive circuits for various gas mixtures.
誘導回路火花による点火限界の比較

Table 1 Relative values of I and $\frac{1}{2} LI^2$ in inductive circuits.

誘導回路の I および $\frac{1}{2} LI^2$ の相対値

Inductance L (mH)	I or $\frac{1}{2} LI^2$	Explosive gas mixtures			
		CH ₄ -AIR (8.3%)	CH ₄ -O ₂ (17.5%)	CH ₄ -N ₂ O (15%)	H ₂ -AIR (21%)
3	I	1.00	0.20	0.34	0.20
	$\frac{1}{2} LI^2$	(1.00)	(0.04)	(0.12)	(0.04)
30	I	1.00	0.18	0.33	0.23
	$\frac{1}{2} LI^2$	(1.00)	(0.03)	(0.11)	(0.05)
95	I	1.00	0.17	0.36	0.25
	$\frac{1}{2} LI^2$	(1.00)	(0.03)	(0.13)	(0.06)
1000	I	1.00	0.18	0.43	0.27
	$\frac{1}{2} LI^2$	(1.00)	(0.03)	(0.18)	(0.07)

2.2.3 抵抗回路の放電火花点火限界

続いて Fig. 5 は全く同様な点火限界を抵抗回路において実験し、求めた結果を示したものである。各混

合ガスに対する最小点火電流曲線が両対数方眼紙上において占める相対的位置の関係は、誘導回路の場合とほとんど類似しているといえよう。

抵抗回路の場合についても、点火限界の差を定量的に示すため、各電源電圧における最小点火電流の相対値を計算してみるとおよそ Table 2 のようになる。これを Table 1 と対比してみるとわかるように、

Table 2 Relative values of I in resistive circuits.

抵抗回路の I の相対値

Source voltage (V)	Explosive gas mixtures			
	CH ₄ -AIR (8.3%)	CH ₄ -O ₂ (17.5%)	CH ₄ -N ₂ O (15%)	H ₂ -AIR (21%)
30	1.00	0.21	0.44	0.26
50	1.00	0.20	0.50	0.28
70	1.00	0.19	0.49	0.28
100	1.00	0.18	0.48	0.28
150	1.00	0.14	0.46	0.25

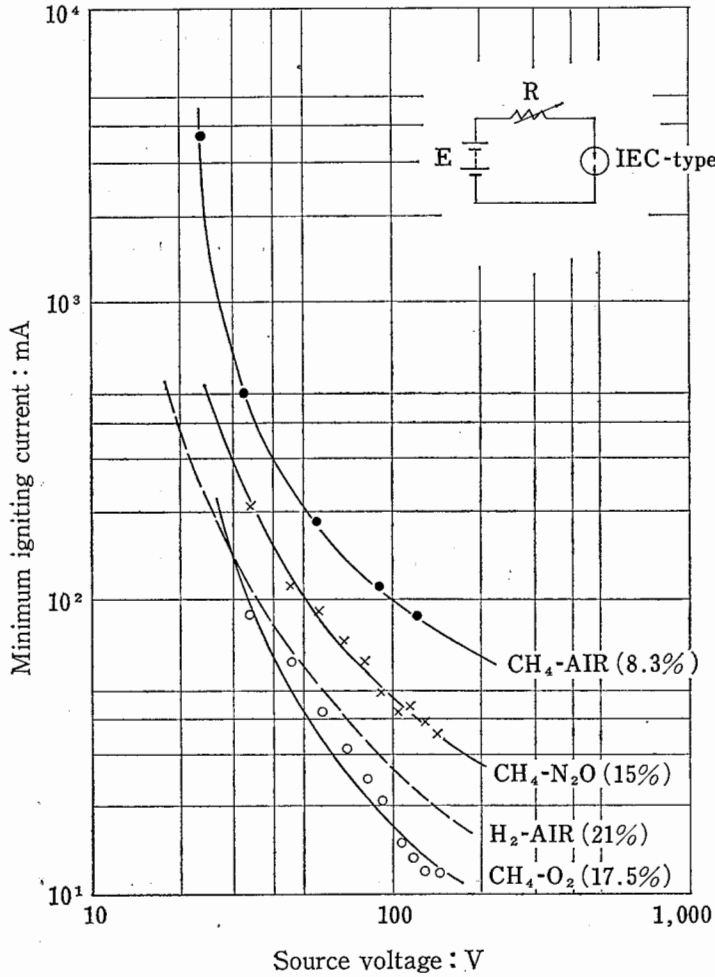


Fig. 5 Comparison of minimum igniting currents in resistive circuits for various gas mixtures.
抵抗回路火花による点火限界の比較

CH₄-空気に対する CH₄-O₂, その他の混合ガスの最小点火電流相対値は両回路ではほぼ一致している。

抵抗回路では、電源電圧が約 10~20 V 以下で最小点火電流が急に増加することが知られているが、CH₄-O₂ 混合ガスのように点火電流が小さなガスにおいても電源電圧を同様に 10~20 V に低下させると、最小点火電流が急上昇する。

2.2.4 容量回路の放電火花点火限界

容量回路の点火限界は最小点火電圧として表わされる。Fig. 6 はこの場合の点火限界曲線を示す。容量回路では、CH₄-N₂O 混合ガスの点火限界曲線が H₂-空気混合ガスのそれよりやや下方に位するような結果が得られた。誘導および抵抗回路に比べて、このような差を生じた理由については判然としないが、使用コンデンサーが以前の実験のものより損失の少ないもので

あったためではないかと思われる。

Table 3 は CH₄-空気混合ガスを基準とした最小点火電圧および 1/2 CV² の値の相対値を Fig. 6 から求めて計算した結果である。この場合はコンデンサーの容量の大きさによって、同一混合ガスの 1/2 CV² 値が異なり、容量が大きいほど 1/2 CV² 値が大きくなっている。これは容量が大きいほど最小点火電圧が低くなり、いわゆる放電火花の消炎効果が増大して、放電エネルギーが大きくなったためであると考えられる。

2.2.5 CH₄-O₂ 雰囲気の本質安全防爆上から見た性質

(1) 対象本質安全防爆電気回路設計の可能性 Fig. 4, Fig. 5 および Fig. 6 ですでに示したように、CH₄-O₂ 混合ガスに対する各回路の放電火花の点火限界は H₂-空気混合ガスのそれを下回ることがわかったが、その程度はオーダーが異なるほどではなく、従来筆者らの経験によるとむしろアセチレン-空気、二硫化炭素-空気を対象とした点火限界に近いのではないかと推測される。もしそうだとするとアセチレン-空気、二硫化炭素-空気を対象ガスとする本質安全防爆電気回路は、現状は一部の機種に限られてはいるとはいえ、これまでかなり実現されているので、同様なレベルで CH₄-O₂ を対象ガスとする本質安全防爆回

Table 3 Relative values of V and 1/2 CV² in capacitive circuits.

容量回路の V および 1/2 CV² の相対値

Capacitance C (μF)	V or 1/2 CV ²	Explosive gas mixtures			
		CH ₄ -AIR (8.3%)	CH ₄ -O ₂ (17.5%)	CH ₄ -N ₂ O (15%)	H ₂ -AIR (21%)
0.3	V	1.00	0.08	0.15	0.16
	1/2 CV ²	(1.00)	(0.007)	(0.022)	(0.027)
1	V	1.00	0.13	0.23	0.26
	1/2 CV ²	(1.00)	(0.017)	(0.054)	(0.068)
10	V	1.00	0.21	0.35	0.37
	1/2 CV ²	(1.00)	(0.046)	(0.122)	(0.140)

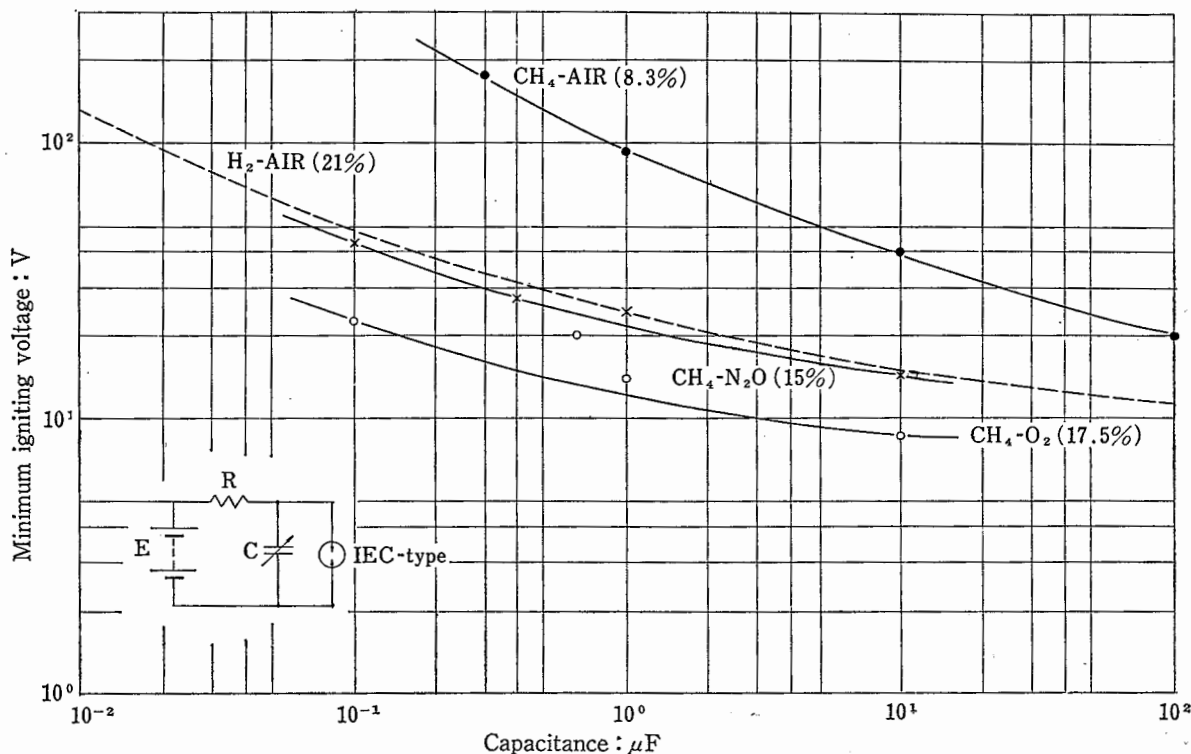


Fig. 6 Comparison of minimum igniting voltages in capacitive circuits for various gas mixtures.

容量回路火花による点火限界の比較

路も設計可能と考えられる。しかし、CH₄以外の可燃性ガスと O₂ との混合ガスの場合にも設計可能か否かはさらに今後の実験結果をまって決めなければならず、課題として残されている。さらにこの種の実験を重ねて結論を得たいと考えている。

(2) 火花点火試験ガスとしての代用性 本質安全防爆電気回路の点火試験は、一般にその回路の対象ガスもしくはそれと同等の点火性をもつ他のガスと空気との混合ガスで行なえばよいと考えられている。この場合、安全率をみるため、回路電流または電圧などを所要のマージンだけ増大して行なうことが普通となっているが、回路の特性や使用部品の定格などの理由で、電流または電圧などを所要値まで増大できないことがある。このような場合に、試験ガスとして、空気の代わりに O₂ を使用した混合ガスとすれば等価的にマージンが与えられるのではないかと考えられる。しかし、Table 1, Table 2 および Table 3 からみると CH₄-空気の代わりに CH₄-O₂ を使用することは、たとえば誘導回路の場合でも抵抗回路の場合でも、電流値として約 5 倍以上の安全率をとったことになる。あるいは容量回路の場合では電圧値で約 5 倍以上の安全率

となっている。そこで現在の本質安全防爆電気回路の点火試験の上での安全率の値からみると過大な安全率をとったことになってしまう。したがって、このままでは試験ガスとして代用させることは適当ではなく、たとえば CH₄-O₂-空気の三者の混合ガスを適当な濃度として使用するなどの方法によらなければならない。

しかしながら、たとえばエチレン-空気を試験ガスとして使用する場合で、電気回路上安全率をとって点火試験をすることが困難な場合には、CH₄-O₂ を試験ガスとして使用することにより、回路上の安全率はとらなくともよいような取扱いが可能となることがわかった。実際上、このような必要が生じた場合には、さらに検討すべき点があるが、他の可燃性ガスと O₂ との混合ガス、あるいはそれに空気などを一部混入させるなどの方法で多くの試験ガスを用意し、使用しうる見通しが得られた。

(3) 加圧 CH₄-空気の対象回路用試験ガスとしての代用性 人工環境の特性の一つに高気圧という条件も数えられることを前述したが、このような加圧雰囲気中で使用する本質安全防爆電気回路も設計が可能であり、したがってそのような回路の点火試験には原

則として加圧試験ガスを用いなければならない。しかし、この場合は試験ガスの気圧をある範囲で変化させ、その範囲全体でいずれも放電火花が点火能力を有しないことを確認する必要がすでに指摘されている⁽⁴⁾。これは試験の実施面でやや厄介なことである。そこで、加圧ガスの代りに O₂ と混合させた大気圧下の試験ガスを用いることで、気圧の変動範囲をすべてカバーできるか否かを考察してみる。

加圧した CH₄-空気混合ガスの点火限界曲線⁽⁴⁾を、対応する大気圧下 CH₄-O₂ 混合ガスのそれと比べてみると、気圧が 12 kg/cm² (ゲージ圧力、以下、圧力はゲージ圧力とする) 以下の場合、CH₄-O₂ の点火限界の方がかなり低く、むしろ加圧した CH₄-空気雰囲気用本質安全防爆電気回路の点火試験に、回路上の安全率をとらないで用いる試験ガスとして使用できることがほぼ明らかとなった。もしも回路上の安全率をとって試験するとすれば、大気圧下の CH₄-N₂O を用いれば丁度適当であることも偶然の結果として明らかとなった。

3. 放電火花による O₂ 中の可燃性固体の着火危険性

放電火花による可燃性ガス・蒸気と空気の混合ガスあるいは前節で取上げたように O₂ との混合ガスの点火実験はしばしば行なわれているが、O₂ 雰囲気中にある可燃性固体が直接低圧電気回路の開閉火花によって着火される限界については報告されていないようである。しかし、O₂ 雰囲気中で使用すべき電気機器などで火花を生じた場合には、着火のおそれを十分に考えておかなければならず、本節ではこのような問題の危険性を定量的に明らかにすることを目的として“酸素防爆電気機器”ともいうべきものの基礎的実験を一部試みたものである。

3.1 実験装置および方法

試験回路としては、2.1.2 で述べた誘導回路および抵抗回路を使用し、一方、火花発生装置には IEC 形ではなく、英国において火花によるガスの点火限界測定に用いられてきたものを準用した。すなわち誘導回路火花による着火実験の場合には、Break-flash No. 3 形⁽⁷⁾を、抵抗回路火花による着火実験の場合には Intermittent Break MK II 形⁽⁸⁾を利用した。火花発生

Table 4 Solid combustibles tested.

可燃性固体試料

Specimen	Configuration	Weight per cm ² (g/cm ²)	Thickness (mm)
Dry Japanese paper	Sheet	0.0015	0.05
Dry cotton cloth	Sheet	0.027	0.5
Vinylchloride	Film	0.0058	0.05

装置としてこのようなタイプのものを使用した理由は、両装置とも固定電極を有し、それに試料としての可燃性固体を貼付けることができるからであった。

Table 4 に示した試料を火花発生装置の固定電極の形状に合わせて、先がわずか出るように貼付け、可動電極が開閉したときの放電火花が直接試料に接するようにした。

火花の発生回数は同一試験条件で 200 回以上とし、着火限界の指標には、2.1.3 で述べたガスの場合と同様に、最小着火電流を用いた。

耐圧容器の中に上記の火花発生装置を Fig. 7 のように入れ、全体を加圧または大気圧 O₂ 雰囲気で満たし、回路条件を定めて開閉火花を発生させる。火花が試料に着火することは、耐圧容器の外部の窓から観察できる。



Fig. 7 A spark producer installed in an oxygen-compressed chamber.

耐圧容器の中に置かれた火花発生装置

3.2 実験結果および考察

3.2.1 誘導回路火花による着火限界

直流電源 (50 V)、空心インダクタンス L、電流調整用抵抗 R および Break-flash No. 3 形火花発生装置

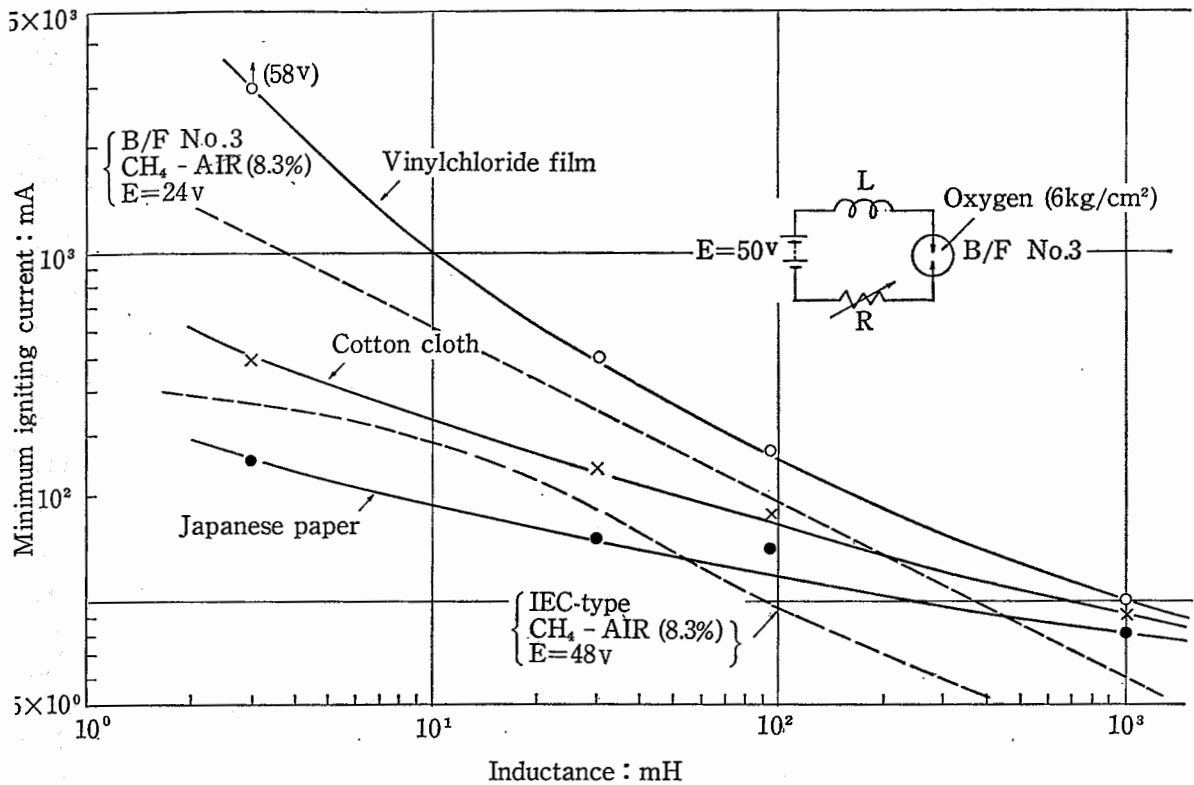


Fig. 8 Minimum igniting currents in inductive circuits for solid combustibles under 6kg/cm² oxygen atmospheres. (Break-flash No.3 Apparatus)

6kg/cm² の加圧酸素中における誘導回路火花による可燃性固体の着火限界

からなる直列誘導回路の開離火花による 6 kg/cm² の加圧 O₂ 中での着火限界の一例を Fig. 8 に示す。同図から明らかなように、最小着火電流はいずれの試料の場合にも、回路のインダクタンスの大きさに依存し、インダクタンスが大なるほど、最小着火電流が小となる。これは着火エネルギーがインダクタンスの電磁エネルギー ($\frac{1}{2} LI^2$) に関係をもつことを意味しており、曲線の形状が両対数方眼紙上直線に近似できることは、ほぼこのことを正当化しているものとみなすことができる。

本実験による結果を、火花によるガスの点火限界と比較するため、参考までに、同一回路条件 (ただし、電源電圧のみは 48V または 24V) で火花を発生させ、大気圧下の CH₄-空気混合ガス (濃度は 8.3%) の最小点火電流曲線を描くと、火花発生装置の種類により Fig. 8 の点線で示したようになる。すなわち、インダクタンスが大きくて数 100mH 以上になると、固体類の着火限界は飽和傾向を示し、ガスより着火限界が高いが、L が小さいとむしろガスと同程度と考えた方がよい位になる。しかし和紙の場合は L が小さいとガス

に対する点火電流より幾分低くなるという事実が見出された。この理由は、インダクタンスが小さくなると着火電流が大きくなり、電極部の温度上昇が大になるとともに、一方では和紙の発火温度が加圧 O₂ 中では低いためではないかと思われる。

3.2.2 抵抗回路火花による着火限界

つぎに、直流電源、電流調整用抵抗および Intermittent Break MK II 形火花発生装置からなる直列抵抗回路の開閉火花による 6 kg/cm² および 0 kg/cm² の O₂ 中の試料の着火限界を求めた結果を Table 5 に示す。6 kg/cm² の場合は塩化ビニル、和紙、綿布の順に最小着火電流が大きくなった。これは誘導回路における試料の着火限界の順位と比べて異なる結果であり、その理由の一つは、抵抗回路では固定電極部に取付けたやや厚い綿布が可動電極によって機械的な力を受けやすく、したがって開閉火花の連続発生中、火花とうまく接しない状態になり、このために和紙よりも着火限界が高く生じたのではないかと考えられる。また、気圧が 0 kg/cm² の場合も塩化ビニル、和紙、綿の順に着火しにくい結果となったが、6 kg/cm² の結

Table 5 Ignition limits of solid combustibles by resistive sparks in oxygen atmospheres. (Intermittent Break Apparatus)
抵抗回路の開閉火花による着火限界 (酸素中の場合)

Specimen	Oxygen pressure			
	0 kg/cm ²		6 kg/cm ²	
	Ignition	Non-ignition	Ignition	Non-ignition
Dry Japanese paper	56 V 2.06 A	56 V 2.04 A	50 V 0.92 A	50 V 0.90 A
Dry cotton cloth	—	56 V Over10A	50 V 0.96 A	50 V 0.94 A
Vinylchloride	56 V 1.58 A	56 V 1.56 A	50 V 0.76 A	50 V 0.74 A

果と比較して、最小着火電流値が約2倍以上となった。しかし、綿布については例外で、10倍以上でも着火しなかった。この理由も綿布と電極の接触の不良があげられるほか、気圧の影響が左右したものと思っ

ている。
なお、誘導回路でインダクタンスがたとえば 100 mH の場合の着火電流は 6 kg/cm² で 300 mA 以下となっており、同一電流値の火花でもガス点火の場合に準じて、抵抗回路の火花は誘導回路に比べてかなり安全であることがわかった。

4. 結 語

人工環境の一つとして、組成が純酸素の雰囲気を取上げ、この中に CH₄ が混入した場合の放電火花による着火限界を求めて考察した。また、支燃性を有する亜酸化窒素に CH₄ を混合させたときの着火限界も参考値として測定した。さらに加圧および大気圧の純酸素中で発生する放電火花が、可燃性固体に直接着火する限界を求めた。これらの実験結果から得られた結論を列挙するとつぎのとおりである。

(1) CH₄-O₂ 混合ガスの極小点火限界濃度は 17~18% であり、CH₄-N₂O のそれは約 15% である。

(2) 誘導回路の放電火花による着火限界を最小点火電流値で表現すると、CH₄-空気、CH₄-N₂O、CH₄-O₂ の順に小さくなり、その比はおよそ 1 : (0.33~0.43) : (0.17~0.20) となった。CH₄-O₂ の点火電流は H₂-空気のそれよりも小さい。

(3) 抵抗回路の放電火花による着火限界を最小点火電流値で表示すると、CH₄-空気、CH₄-N₂O、CH₄-O₂ の順に低くなり、その比は 1 : (0.44~0.50) : (0.14~0.20) 程度となった。また、誘導回路火花の例と同様に、CH₄-O₂ の点火電流は H₂-空気のそれよりも小さい。

(4) 容量回路の放電火花による着火限界を最小点火電圧値で定義すると、CH₄-空気、CH₄-N₂O、CH₄-O₂ の順に低くなり、その比は 1 : (0.15~0.35) : (0.08~0.21) のようになり、コンデンサー容量によってかなりの幅が認められた。

(5) CH₄-O₂ を対象とした着火限界値を検討すると、これを対象とする本質安全防爆電気回路の設計が可能であることがほぼ確かめられた。

(6) CH₄-O₂ は、電気回路上、安全率のとれない本質安全防爆電気回路の着火試験の試験ガスとして十分に使用しうることがわかった。この場合の安全率は約5に相当するので、必要に応じて CH₄-O₂-空気の三成分を適当な濃度で使用することが考えられる。

(7) 加圧した CH₄-空気を対象とした本質安全防爆電気回路を設計した場合の着火試験ガスには、大気圧の CH₄-O₂ (17~18%) を用いることにより、回路上安全率をとらなくともよい。もしも、回路上の安全率をとるとすれば、大気圧の CH₄-N₂O (15%) を用いればほぼ目的が達せられる。

(8) 6 kg/cm² に加圧した純酸素中にて、誘導回路火花を発生させ、可燃性固体に直接着火する最小着火電流を求めた結果、可燃性ガスの最小点火電流と類似した曲線が得られた。インダクタンスが約 100 mH 以下の最小着火電流をみると、大気圧下 CH₄-空気混合ガスに対する最小点火電流よりも小さくなる場合が生ずる。

(9) 6 kg/cm² および 0 kg/cm² の純酸素中にて、抵抗回路火花を発生させ、可燃性固体の最小着火電流を測定した。6 kg/cm² の場合は、0 kg/cm² の場合に比べて、最小着火電流が 1/2 以下となった。

以上の結論は、酸素雰囲気下で行なわれるべき数多くの実験の一端にすぎない。今後は、さらに他の雰囲気条件で実験を重ねてゆくと同時に、実験方法なども検討してゆく予定であり、着火限界の値も上記の値より低下することもある程度は予想されることを付記しておく。

参 考 文 献

- (1) 駒宮, 田中: 産業安全研究所技術資料 RIIS-TN-70-1 (1970)
- (2) 田中: 北海道大学提出学位論文 (1970)
- (3) B. Lewis, G. von Elbe: Combustion, Flames & Explosion of Gases, Academic Press (1951)
- (4) 田中: 産業安全研究所研究報告, RR-17-7 (1969)
- (5) 田中: 産業安全研究所研究報告, RR-17-5 (1969)
- (6) 田中: 産業安全研究所研究報告 RR-17-6 (1969)
- (7) H. Lloyd & E. M. Guénault: S. M. R. E. Paper No. 33 (1951)
- (8) J. Haig, H. C. Lister & R. L. Gordon: I. E. E. Conference Report Series No. 3 (1962)

(昭和46年2月27日受付)

産業安全研究所研究報告 RIIS-RR-19-6

昭和 46 年 5 月 10 日発行

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 453 - 8441 番 (代)

印刷所 新日本印刷株式会社

郵便番号 108

UDC 614.83 : 621.313/.39-213.34

人工環境下における電気設備の安全化に関する研究 (第1報)

—放電火花による $\text{CH}_4\text{-O}_2$ 混合ガスおよび O_2 中の可燃性固体の点火危険限界—

田中隆二, 菅原宣義

産業安全研究所研究報告 RIIS-RR-19-6 1~11 (1970)

IEC 形火花発生装置を用い, $\text{CH}_4\text{-O}_2$ または $\text{CH}_4\text{-N}_2\text{O}$ 混合ガスの極小点火限界濃度を求め, 次いで低圧直流電源の誘導, 抵抗および容量回路の放電火花がこれらの混合ガスに点火する限界を測定した. また $\text{CH}_4\text{-O}_2$ の本質安全防爆上からの性質を吟味した.

Break-flash No. 3 および Intermittent Break Apparatus を用いて加圧下および大気圧下の O_2 中におかれた可燃性固体が誘導および抵抗回路火花によって着火する限界を求め, 大気圧下の CH_4 -空気混合気の点火限界と比較して示した.

(表 5, 図 8, 参 6)



UDC 614.83 : 621.313/.39-213.34

Safety for Electrical Equipment under Artificial Environments—Low voltage d. c. spark ignition of atmospheric $\text{CH}_4\text{-O}_2$ and $\text{CH}_4\text{-N}_2\text{O}$ mixtures and of solid combustibles in oxygen atmospheres—

by R. TANAKA and N. SUGAWARA

Research Report of the Research Institute of Industrial Safety

RIIS-RR-19-6, 1~11 (1970)

The most easily ignited concentrations of $\text{CH}_4\text{-O}_2$ and $\text{CH}_4\text{-N}_2\text{O}$ mixtures are measured, and the minimum igniting currents in low voltage d. c. inductive, resistive and capacitive circuits for atmospheric $\text{CH}_4\text{-O}_2$ and $\text{CH}_4\text{-N}_2\text{O}$ are determined, compared with those for CH_4 -air and H_2 -air mixtures, using the IEC-type spark producer.

The m. i. c. for solid combustibles in atmospheric or pressurized oxygen are also given.

(5 Tables, 8 Illus., 6 Refs.)

