

産業安全研究所技術資料

TECHNICAL NOTE OF
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

1977

高気圧 N_2 ガス中における絶縁材料の 耐アーク性 (第1報)

田 中 隆 二
本 山 建 雄

労働省産業安全研究所

高気圧 N₂ ガス中における絶縁材料の

耐アーク性 (第1報)

田 中 隆 二
本 山 建 雄

Arc Resistance of Solid Organic Electrical Insulating Materials in Pressurized Nitrogen Atmospheres. (The First Report)

By R. Tanaka and T. Motoyama

Electrical equipment is sometimes installed in artificial environments which differ in composition and/or pressure from the atmospheric air.

In the present paper, the authors investigate into the high-voltage, low-current arc resistance of solid organic electrical insulating materials in pressurized nitrogen atmospheres.

The test was carried out according to the method described in the JIS K 6911 or the ASTM D 495, except the atmospheric condition.

The test apparatus consists of a pair of arcing electrodes which are inserted in a pressure vessel, and electrical networks that operate, in sequence, to supply the electrodes with pre-determined arcing currents.

The atmosphere employed was nitrogen gas whose pressure was elevated up to 0.6 MPa, but no influence due to pressure-rise was recognized on the change of the stray capacity between the electrodes.

The materials tested are melamine-glass laminated sheet, phenolic resin, ABS resin and polycarbonate.

With the increase of nitrogen pressure, the arc characteristic changes; that is, while the discharge threshold voltage becomes higher, the stable arcing time becomes shorter. The former gives a high density of heat to accelerate the deterioration of material near the electrode, and the latter works to generate less heat to decelerate the deterioration.

On the other hand, the materials are considered to have their own phase of heat-deteriorating temperatures, depending upon their composition, combination, etc.

The test results show that with the increase of the pressure, the arc resistance of the materials

- (1) decreases, but increases thereafter, giving a U-shape curve, or
- (2) continues to decrease, giving a L-shape curve.

The authors conclude that the results obtained are influenced by the discharge characteristics, the heat deterioration of materials and inert nitrogen gas.

1. ま え が き

固体絶縁材料の表面近くで高電圧小電流のアークを発生させると、やがてその表面に導電路を生ずる傾向がある。このようにアークにさらされたときの絶縁材料の耐久時間を耐アーク性という。

固体絶縁材料は、電気機器の絶縁材料として広く使用されているが、これらはアークにさらされると、その熱によって材料の分解、溶融、燃焼などを生じて、絶縁破壊を起こすことになる。

これら固体絶縁材料を使用する電気機器の安全性を一層向上させる見地から、新しく開発された絶縁材料については、アークに対する強さ、すなわち耐アーク性を測定することが一般に行われる。この場合、材料メーカー、機器メーカー等による各種絶縁材料の耐ア

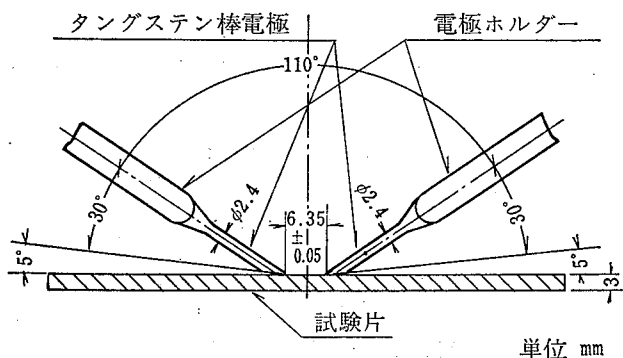


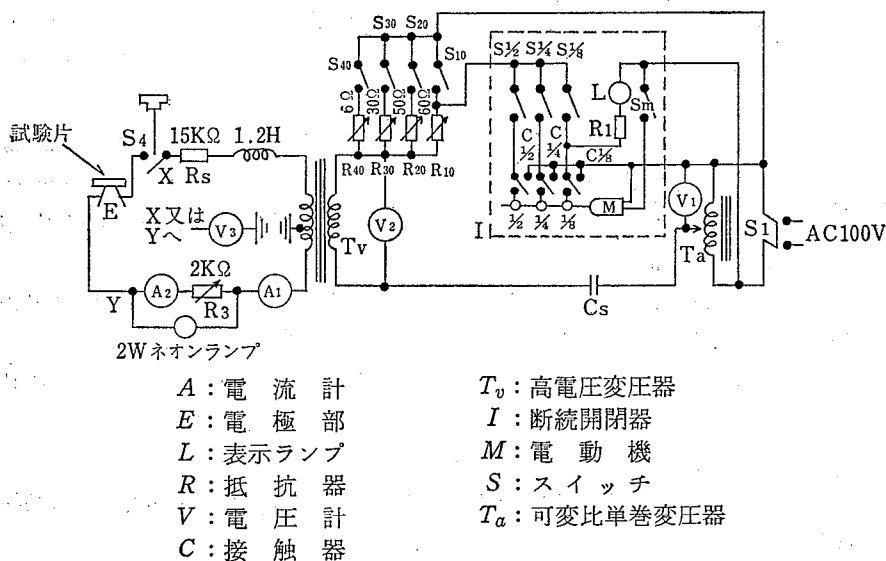
図 1 耐アーク性試験の電極と試験片

ーク性試験は、常温常圧下でなされている。

しかしながら、最近は電気機器が使用される環境条件も質的な変化を示し、その一つの例として、常圧よりも高い圧力のもとで使用することが具体的な事実として示されるようになってきた。例えば建設事業における潜函作業室、高圧治療室あるいは現在進められている海底作業基地等の環境である。したがって、これら加圧下において使用される電気機器については、その絶縁材料に対して、加圧下における耐アーク性を検討しておくことが必要となる。

耐アーク性試験はアークによる材料表面の加速絶縁破壊を意味する。一般にアークの状態は、気圧により大きな影響を受けるため、加圧下における耐アーク性は常圧下での耐アーク性と当然異なると考えられる。しかし、加圧下における固体絶縁材料の耐アーク性に関する研究は従来ほとんどなされておらず、したがって加圧下の耐アーク性試験法を含めて具体的に基礎資料として利用しうるものは見られないのが現状であり、試験装置もない。

そこで、ここでは常圧下の耐アーク性試験装置を利用して、加圧下の耐アーク性を検討した結果について述べる。加圧下での試験を行うため、特に圧力タンクを製作し、この中に電極部のみを挿入した。加圧ガスとしては N_2 ガスを使用し、供試絶縁材料には、メラミンガラス積層板、フェノール樹脂、ABS 樹脂及びポリカーボネイトの各有機絶縁材料を用いた。加圧下という条件を除けば、試験法は一般の耐アーク性試験



- A : 電 流 計
- E : 電 極 部
- L : 表示ランプ
- R : 抵 抗 器
- V : 電 圧 計
- C : 接 触 器
- T_v : 高電圧変圧器
- I : 断続開閉器
- M : 電 動 機
- S : スイッチ
- T_a : 可変比単巻変圧器

図 2 耐アーク性試験回路

法に準じた。なお、加圧下であるためアークが必ずしも安定しなかったが、この点については次回にて検討する予定である。

2. 耐アーク性試験法の概要

歴史的には、耐アーク性試験法は米国において開発され、ASTM-D-495¹⁾の中に詳細が規定されている。わが国では、これをもとに JEC 149²⁾又は JIS K 6911³⁾の中に、耐アーク性試験方法が定められている。以下、上記 JIS に基き耐アーク性試験法の概要を示す。

耐アーク性試験は絶縁材料の表面近くでアークを発生させ、材料の耐久時間を調べるので、次のようにアークの発生条件が試験方法の主な内容となっている。

タングステン棒電極を図1に示すように配置し、試験片に加わる電極荷重が 50 ± 5 g になるように保持する。電極間距離は 6.35 ± 0.05 mm である。

次に図2に示す試験回路を用いて、電極間の無負荷電圧が 12.5 kV になるように単巻変圧器 (T_a) を調整する。高電圧変圧器 (T_b) の一次回路に、それぞれ R_{10} , R_{20} , R_{30} 又は R_{40} の抵抗を直列に挿入して、アーク電流が 10~40 mA になるようにする。電動機 (M) を用いた回転円板形の断続開閉器 (I) によりスイッチ $S_{1/8} \sim S_{1/2}$, 次に $S_{10} \sim S_{40}$ が順に投入されることにより表1に示す順序で段階的に強くなるアークに試験片がさらされる。すなわち最初はアーク電流が 10 mA でアーク放電の断続比を 1/8, 1/4, 1/2 と 60 秒ごとに増加し、連続アークに移ってからは、アーク電流を 10, 20, 30, 40 mA と増加することにより広範囲の試験ができる。

アークは試験片上に弧状を描いて発生するが、試験時間の経過とともに、絶縁破壊が進行して絶縁抵抗が減少してくると、アークは次第に消滅し、遂には試験片表面に形成される導電路を通じ電流が流れるようになる。試験開始によるアークの発生時から、アーク消滅までの時間をストップウォッチで測定し、これを耐アーク性時間 (秒) とする。耐アーク性時間は、電極先端のクリーニングの方法、その他によってバラツキが大きいとされており、また試験によっては破壊点が必要しも明確でないなどの問題点が指摘されている。このほか、実際に試験を行う際には、試験機相互の機差による影響も報告されている⁴⁾。

3. 実 験

3.1 試 験 片

供試材料としては、熱硬化性樹脂のうちから、メラミンガラス積層板及びフェノール樹脂を、また熱可塑性樹脂のうちから、ABS 樹脂及びポリカーボネイトを選定した。これらはいずれも市販のもので厚さは 3.17 ± 0.25 mm である。

試験片の前処理としては、メタノール含浸ガーゼで表面を拭いたのち、乾燥ガーゼでこれを拭きとり、デシケーター中に 24 時間以上室温で放置した。これは JIS による前処理 (90 ± 1 h / $20 \pm 2^\circ\text{C}$ / $65 \pm 5\%$ RH) とは若干異っている。

3.2 実験装置

実験装置には、前述の JIS, JEC 又は ASTM に基

表 1 耐アーク性試験における通電段階の順序

電 流 (mA)	操 作	開 閉 の 時 間	各段階の継続時間 (秒)	全経過時間 (秒)
—	S_1 投入 T_a 調整 S_m 投入	—	—	—
10	表示燈が消えた瞬間に $S_{1/8}$ 投入 ストップウォッチ作動	1/4 秒閉 1 ³ / ₄ 秒開	60	60
10	$S_{1/4}$ 投入	1/4 秒閉 3/4 秒開	60	120
10	$S_{1/2}$ 投入	1/4 秒閉 1/4 秒開	60	180
10	S_{10} 投入	連続閉	60	240
20	S_{20} 投入	連続閉	60	300
30	S_{30} 投入	連続閉	60	360
40	S_{40} 投入	連続閉	60	420

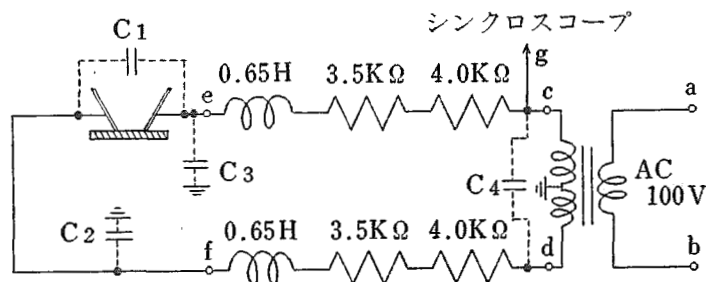


図3 試験電極側回路図



写真1 実験装置の全体
(左：標準試験装置，右：圧力タンク)

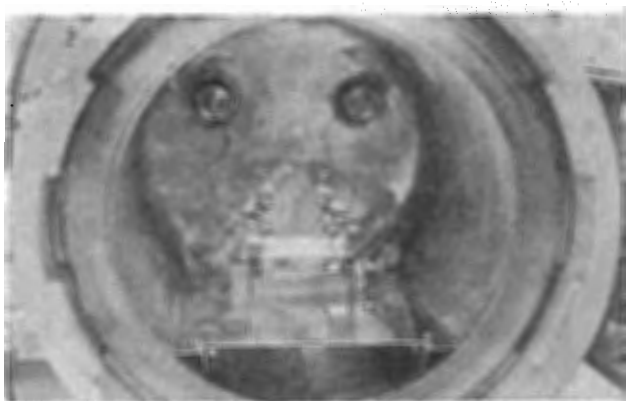


写真2 圧力タンク内の電極と試験片

づく耐アーク性試験が行える市販の装置（日立化成工業製：耐アーク性試験装置 HAT-100 型）を使用した。ただし、加圧下における試験が実施できるように圧力タンク（内径 40 cm，長さ 50 cm）と、この中に収納する電極部を別に用意した。写真1 は実験装置の全体を、写真2 は圧力タンク内部における電極と試験片の状況を示したものである。

なお、発生アークの形状は耐アーク性の試験結果に影響するが、これには電極が接続される二次側高圧回路各部の浮遊静電容量が関係する。参考までに、圧力

表2 電極回路各部の浮遊静電容量

記号	容量	備考
C_1	28.1 pF	e, f 開放
C_2	28.8 pF	f 開放
C_3	26.9 pF	e 開放
C_4	74.1 pF	c, d 開放

表3 電極間距離と気圧範囲

電極間距離 (mm)	気圧範囲 (MPa・ゲージ)
3	0~0.6
4	0~0.5
5	0~0.4
6	0~0.3
7	0~0.2

タンク中に電極を配置し、大気圧空気の状態における各部の浮遊静電容量を測定した結果を示すと、図3及び表2に示した通りである。これによると、圧力タンクの外部で電極を使用する一般の場合⁴⁾に比べると、電極間の浮遊静電容量 (C_1) がやや増加した以外は、ほとんど変化はなかった。加圧下でも、 C_1 の変化がないことは、4.1で触れる。

3.3 実験方法

加圧に使用したガスは N_2 ガスである。これは耐アーク性に及ぼす過剰酸素の影響を除くことによって、加圧下のアーク放電による効果が顕著に現われるものと考えたからである。なお、比較のため大気圧空気中においても試験を行なった。

電極間距離は一般の耐アーク性試験とは異なり 3, 4, 5, 6 及び 7 mm と変化させた。

電圧、電流の調整は、各電極間距離ごとに大気圧 N_2 ガス中において、セラミック薄板上で放電させて行なった。なおこの調整値は大気圧空気中の耐アーク

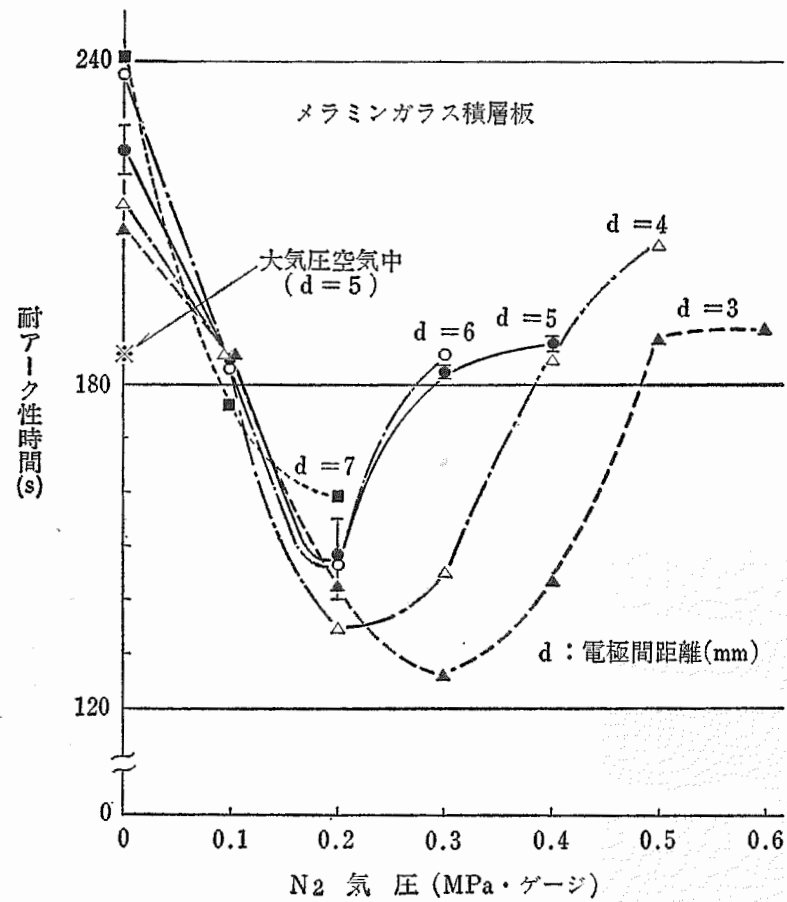


図4 加圧 N₂ ガス中における耐アーク性
(メラミンガラス積層板)

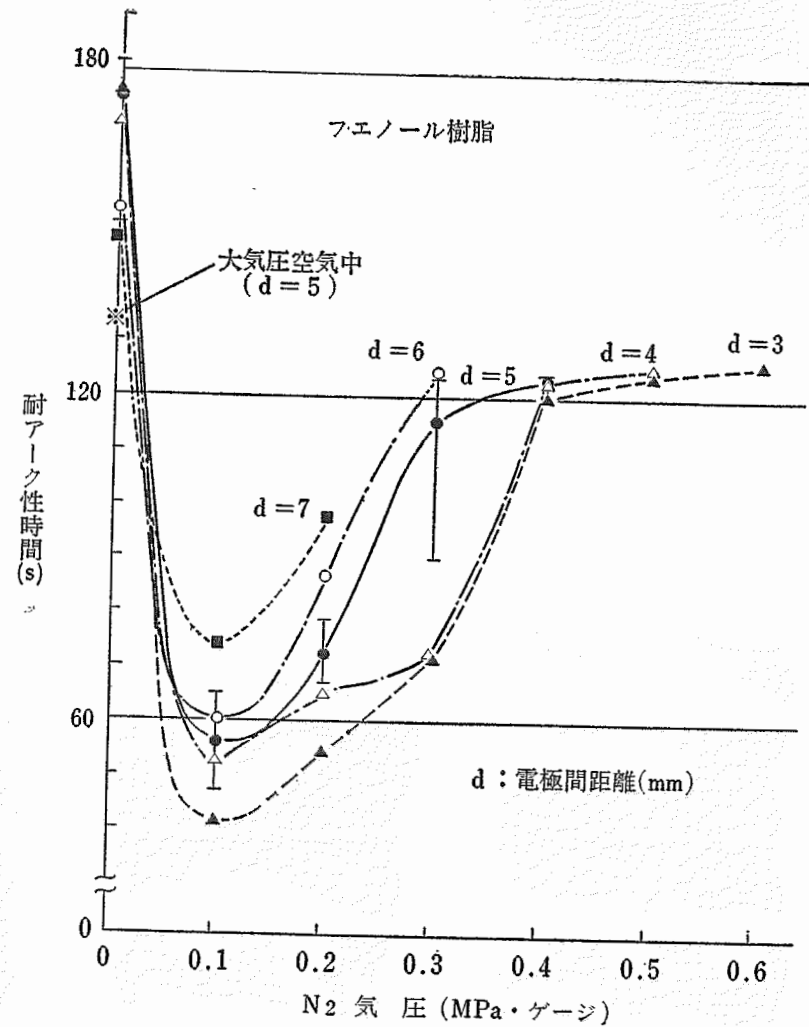


図5 加圧 N₂ ガス中における耐アーク性 (フェノール樹脂)

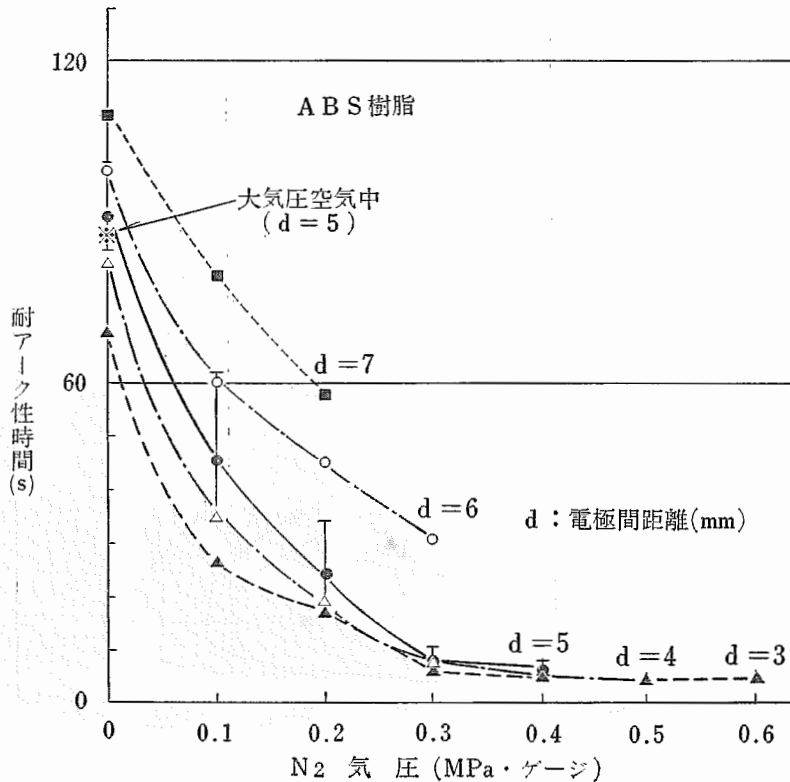


図 6 加圧 N₂ ガス中における耐アーク性 (ABS 樹脂)

ポリカーボネイト

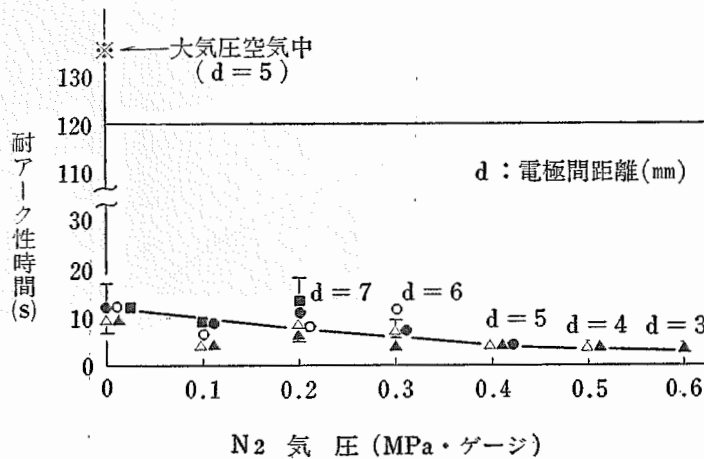


図 7 加圧 N₂ ガス中における耐アーク性 (ポリカーボネイト)

性試験の場合とほぼ同一値である。N₂ ガスの加圧は、印加電圧を一定 (12.5 kV) としたとき、持続放電が生じなくなる気圧まで 0.1 MPa ずつ上昇させた。

気圧の増加とともにアークの安定性が失われることが少なくなかったが、本実験では、安定化のために回路、その他に特別な考慮は払っていない。

表 3 に本実験の電極間距離と気圧範囲を示す。

耐アーク性試験による試験片の破壊終点は、電極間に導電性物質が形成され、アークが消滅したときとし、この状態をシンクロスコープによる放電電圧波形の観測により検討した。

試験回数は各条件ごとに原則として 5 回以上とし、それらの平均値を求めた。

タングステン棒電極のクリーニングは、1 回の測定

終了ごとにメタノール含浸ガーゼで拭き、その上 10 mA 連続で 15 秒間空中放電⁹⁾し、清浄するように努めた。また一つの条件による実験が終了するごとに、電極を 1000 番のエミリー紙で磨いた。

4. 実験結果及び考察

加圧 N₂ ガス中におけるメラミンガラス積層板、フェノール樹脂、ABS 樹脂及びポリカーボネイト樹脂の耐アーク性時間は、それぞれ図 4~7 のようになる。

これらによると、各材料とも耐アーク性は気圧により大きな影響を受けることがわかる。なお、ここでは、煩雑を避けるため、電極間距離 5 mm のときのばらつきのみをグラフに示しておいた。

さて、加圧下における耐アーク性時間に大きく影響を与える要因として考えられることは、次の 3 項目が挙げられる。以下にこれらについて先ず検討を加える。

- (1) 電極間浮遊静電容量
- (2) 放電特性
- (3) アーク形状

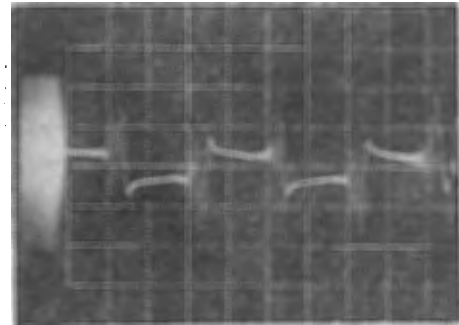
4.1 電極間浮遊静電容量

すでに述べたように、電極間に存在する浮遊静電容量は耐アーク性時間に大きな影響を与えることが知られている⁹⁾。このため気圧の増加による電極間浮遊静電容量の変化を Q メーターを用い 80 kHz にて測定したところ、大気圧から 1.0 MPa (ゲージ) までの範囲で、ほとんど変化しないことが判明した。したがって本実験における加圧下の耐アーク性時間に及ぼす浮遊静電容量の影響は、大気圧下の場合と同じに取扱ってよく、図 4~7 における測定値に対して、その影響は特に考えなくてもよい。

4.2 放電特性

一般に、ガス中の放電では、気圧の上昇に伴い放電開始電圧は上昇し、かつ放電持続時間は短くなる。さらに気圧を上昇させると、放電特性は、アーク放電から間欠放電へ移行する傾向が強くなる。

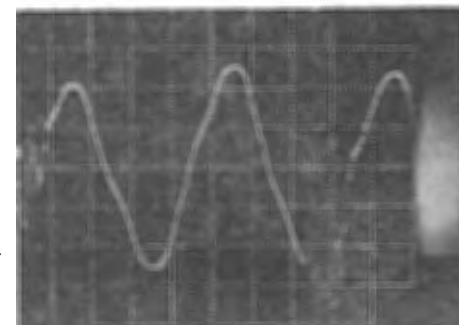
写真 3 は、電極間距離 (d) が 5 mm, N₂ ガス中におけるセラミック薄板上での放電電圧波形を二、三の気圧において観測した例で、図 3 に示す箇所 g (c-アース間) で観測を行なったものである。この理由は、



(a) 気圧=0 MPa (ゲージ) (5 V/div)



(b) 気圧=0.2 MPa (ゲージ) (10 V/div)



(c) 気圧=0.4 MPa (ゲージ) (10 V/div)

写真 3 N₂ 気圧と放電電圧波形変化の例 (電極間距離 5 mm)

電極端 (e-アース間) で観測する場合には、電極間浮遊静電容量が増加し、それによる耐アーク性への影響を避けるためである。

ここで写真 3 (a) の放電電圧における放電開始電圧 (V_s)、放電持続時間 (T_a)、過渡アーク時間 (T_t) 及び安定アーク時間 (T_s) を図 8 のように定義するものとする。

写真 3 の電圧波形は、いずれもトランス二次側 (c-アース間) にて観測したものであり、したがって厳密には電極端における放電開始電圧を示しているとは言えないが、電圧印加後、放電開始時までは、図 3 の c-e 間を流れる電流は、線路の浮遊静電容量を充電す

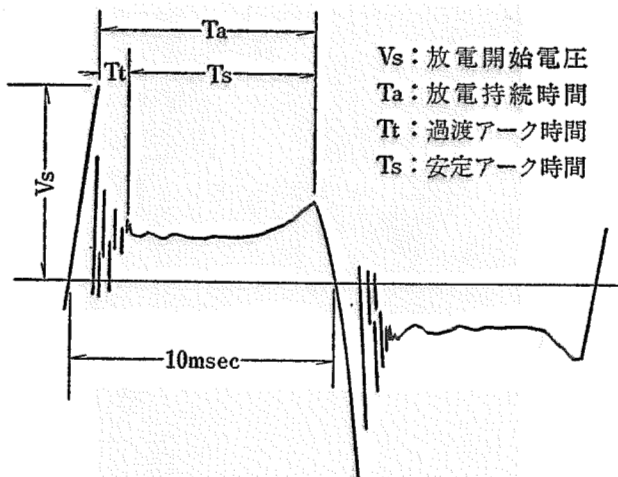


図 8 放電電圧波形の説明

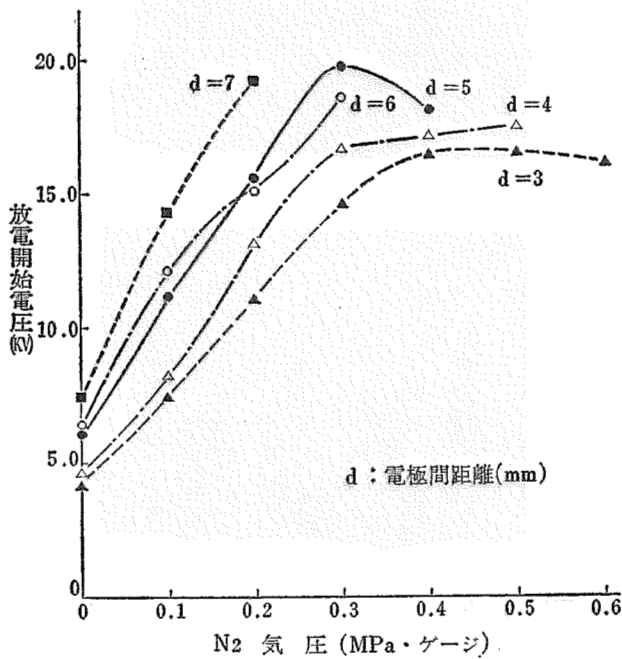
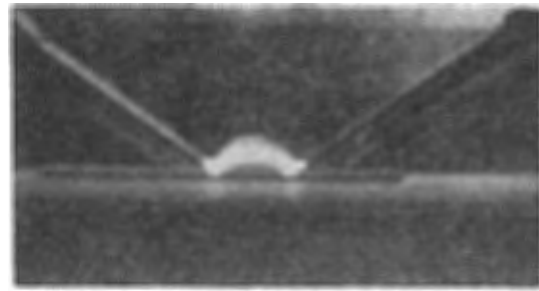


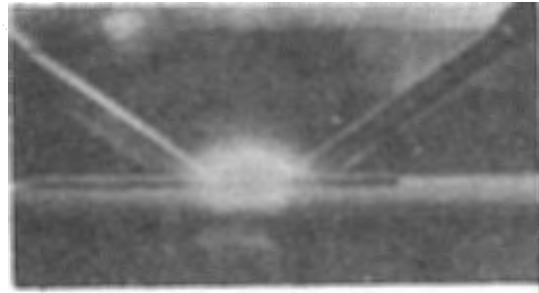
図 9 N₂ 気圧と放電開始電圧

る電流であり、非常に小さい。このため、得られた放電開始電圧は、電極端(e)における放電開始電圧と同一とみなすことができるので、写真から電極端(e)での放電開始電圧を得ることができる。なお、実際の電極間の放電開始電圧の大きさは、試験電極側回路図(図3)の対称性から観測放電開始電値の2倍となる。

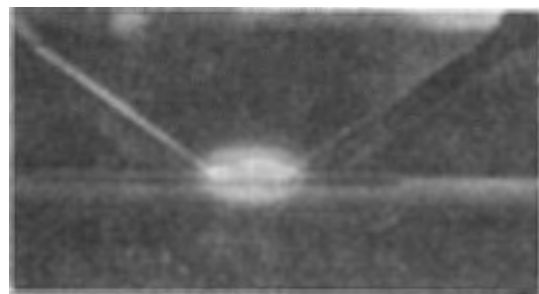
写真3から、各半周期ごとの放電開始電圧を求め、数周期にわたって平均して得られた値と気圧との関係を、図9に示す。同図から放電開始電圧は、気圧の増加に対しほぼ直線的に増大するが、ある気圧をこえると飽和してくる傾向がある。



(a) 気圧=0 MPa (ゲージ)



(b) 気圧=0.2 MPa (ゲージ)



(c) 気圧=0.4 MPa (ゲージ)

写真 4 N₂ 気圧とアーク形状 (電極間距離 5 mm)

一方、放電時において、図3に示すc点で観測した電圧と電極端e点での電圧は、回路のインピーダンスによる電圧降下が生じるので、その値は異なるが、波形は相似であると考えられる。したがって、放電持続時間及び安定アーク時間は、写真3のような観測から求められる。

気圧の上昇に伴い、放電持続時間 (T_s) は図10に示すように減少する。また、安定アーク時間 (T_s) も図11に示すように減少する。一方、安定アーク時間 (T_s) と過渡アーク時間 (T_t) との比 (T_s/T_t) は小さくなる。

なお、ここで、放電持続時間は各半周期 (10 ms) ごとの放電持続時間を数周期にわたって求め、それらの平均時間をとってある。

上述のように、気圧の上昇により放電特性は変化

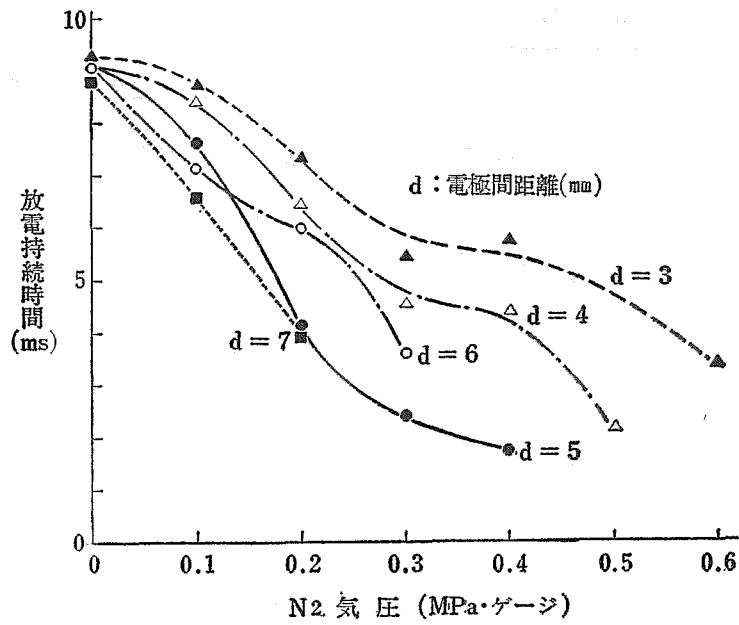


図 10 N₂ 気圧と放電持続時間

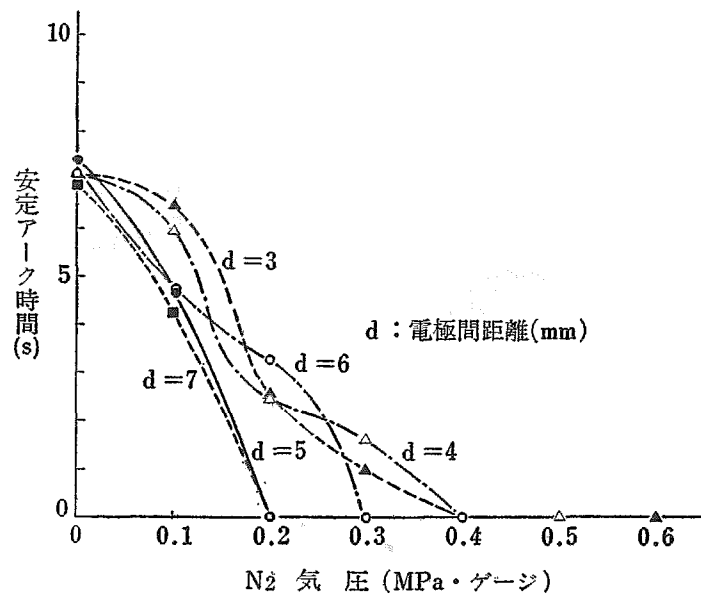


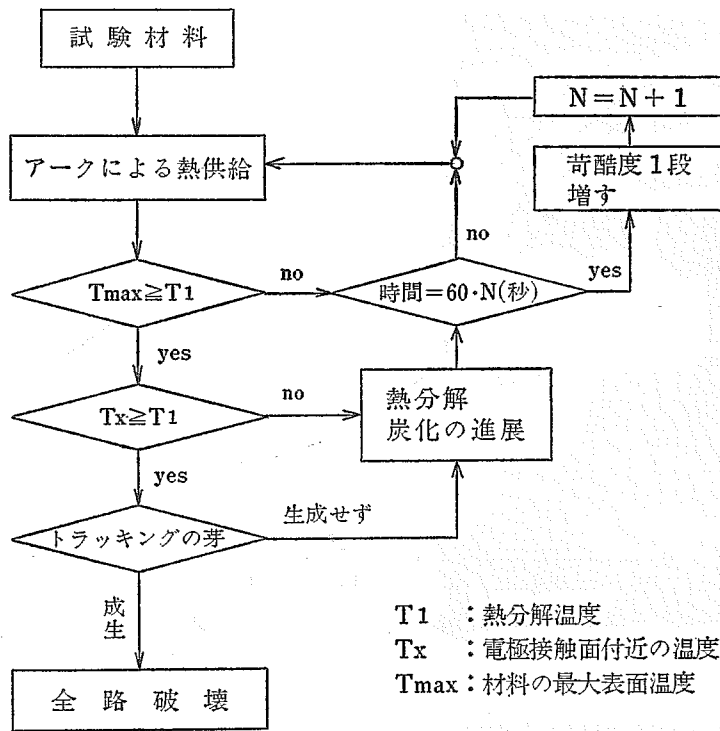
図 11 N₂ 気圧と安定アーク時間

し、材料に加えられる熱の質、量ともに変化することになる。つまりアーク熱は、低い気圧では接続した安定アークが主となる総和エネルギーの大きい熱となる。一方、気圧の上昇に伴い放電開始電圧が上昇するため、アーク熱は高密度のパルス状の熱となるが、アーク時間は断続的で非常に短く総和エネルギーは小さい。

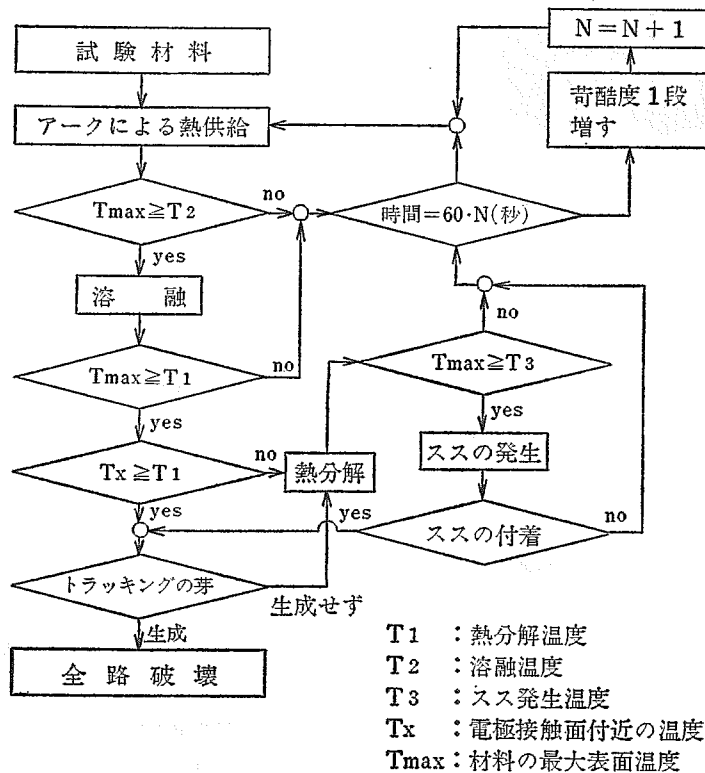
4.3 アーク形状

気圧に対するアーク形状の変化の一例を写真4に示す。アークは、気圧の上昇により弧状から帯状へ移行し、かつ試料面に近づく。これは放電開始電圧の上昇により、放電が安定な放電から不安定な容量性の放電に変わるためと考えられる。

一方、アークは電極間距離により影響を受け、大気



(a) 材料が炭化するモデル



(b) 材料が溶融するモデル

図 12 アークによる材料の絶縁破壊過程

圧, N₂ ガス中においては, 電極間距離 5, 6 mm のとき最も安定な弧状のアークとなる。

また, 大気圧において空気中と N₂ ガス中におけるアーク形状を比べると, 一般に N₂ ガス中がより安定な弧状を示す。

4.4 (耐アーク性時間-気圧) 曲線と絶縁破壊

4.4.1 (耐アーク性時間-気圧) 曲線

耐アーク性試験における材料の絶縁破壊は, 主にアーク熱により材料が変化し, 導電性を有することにより生じる。材料の変質には熱分解, 熔融, ススの発生等がある。炭化物などの導電性物質から生じるトラッキングの芽が, 電極と材料の接触面付近に生じた場合には, その部分に電界の集中が起こり, アークが集中するため, 急速に全路破壊に至る。しかし, 導電性物質生成の場所が電極から離れるに従い, トラッキングの芽とはなり難く, 炭化が進展するのみである。

一方材料の変質には, その変質を起させる温度が考えられる。なお, この温度は材料の組成, 結合状態等の特性により決まり, 各材料間において異なると考えられる。

さて, 材料の変質温度をもとにして, 本実験に使用した材料の破壊過程を考察すると図 12 (a), (b) となる。ここでは, 熱分解温度を T_1 , 熔融温度を T_2 , ススの発生温度を $T_3 (>T_1, >T_2)$ とし, 材料の最大表面温度を T_{max} , 電極と材料の接触面付近での温度を T_x とする。(a) は熱分解, 炭化物の生成等により破壊が進行する過程で, メラミンガラス積層板, フェノール樹脂に見られる。(b) は熔融, ススの生成により破壊が進行するもので ABS 樹脂, ポリカーボネイトに見られる。

放電により与えられる熱は, 4.2 で検討を加えたように放電持続時間に依存する熱に分類され, 両者が材料の耐アーク性に重要な役割を果す。

気圧の上昇により放電持続時間が減少すると, 供給熱量が減少し, 耐アーク性時間が長くなる方向に作用する。

一方, 気圧の上昇により放電開始電圧が高くなると, 電極端付近の電界強度が大きくなり放電開始時にアークが集中し, 熱の密度が高くなる。このため, 電極端と材料の接触面付近に導電性物質の生成, つまりトラッキングの芽が生じ易くなり, したがって, 耐アーク性時間が減少する方向に作用する。しかし, 気圧

の上昇により高密度の熱が供給されても, 材料の変質温度が高いためその温度に達しなかったり, 又は熱が機械的なエネルギーとして消費され, 材料表面に溝を作る場合などにおいては, 必ずしも耐アーク性時間が短くなるとは限らない。

以上のことから材料の絶縁破壊には, 放電持続時間と放電開始電圧の放電特性及び材料の変質温度を含めた特性が主な要因となり, (耐アーク性-気圧) 曲線は気圧の上昇とともに以下の 2 つの型に分類されると考えられる。

① 材料が低い変質温度を有するか, 又はトラッキングの芽が生じやすい等により高密度の熱エネルギーに大きく影響される減少型

② 材料が中程度又はそれ以上の変質温度を有すること等により, 供給熱量がある程度以上のときには高密度の熱に主に影響されるが, 供給熱量がある程度以下のときには高密度の熱の影響を受けない U 字型

4.4.2 熱硬化性樹脂 (メラミンガラス積層板, フェノール樹脂) の絶縁破壊

これらの材料の絶縁破壊過程は図 12 (a) に属す。(耐アーク性時間-気圧) 曲線は図 4, 5 に示すように U 字型である。

(1) メラミンガラス積層板

大気圧空気中において, 試験開始後 180 秒までは熱分解, 揮発成分の燃焼, 炭化物の生成が繰り返されるが, 電極と材料の接触面は炭化されず全路破壊とはならない。180 秒を越え, 電流が 10 mA 連続の段階に入ると, 炭化物が発炎し, 電極と材料の接触面付近にトラッキングの芽が生成され全路破壊に至る。なお, 耐アーク性時間は電極間距離の大小に無関係で, 183 秒から 187 秒の範囲であった。

一方, 大気圧 N₂ ガスにおいても同様の絶縁破壊過程を示すが, 揮発成分の燃焼, 炭化物の燃焼が生じないため, 耐アーク性時間は長くなる。なお, 電極間距離が増加すると, 耐アーク性時間も長くなる傾向を示す。

さて, N₂ ガス中において気圧を上昇すると, (耐アーク性時間-気圧) 曲線は図 4 に示すように U 字型となる。これは, 前述 4.4.1 の考察に基づくものと考えられる。

また, 図 6 に示されているように電極間距離が長くなるに従い, 耐アーク性時間の最小となる気圧が低くなる。これは電極間距離と気圧に関する放電状態の影響

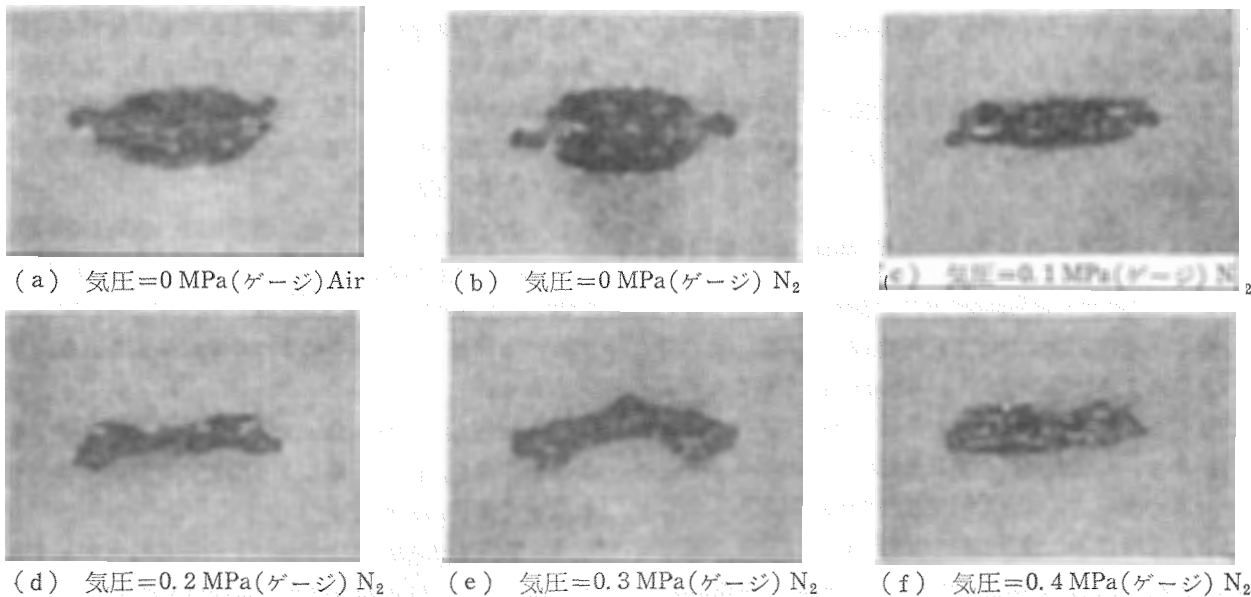


写真 5 材料の破壊状況 (メラミンガラス積層板, 電極間距離=5 mm)

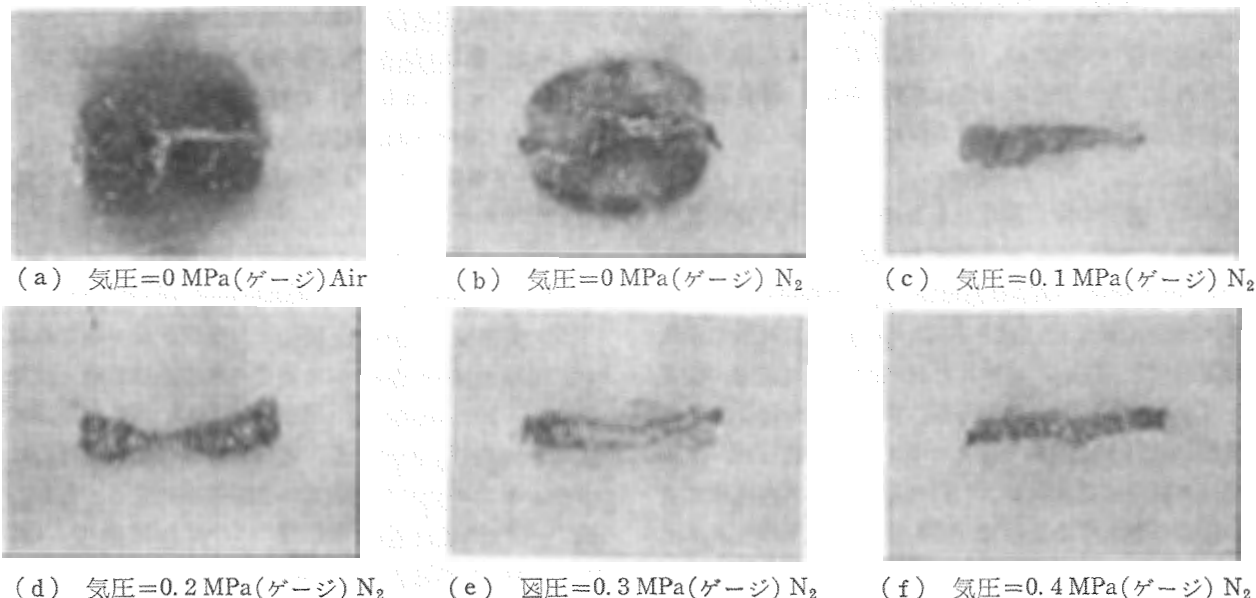


写真 6 材料の破壊状況 (フェノール樹脂, 電極間距離=5 mm)

を強く受けていることを示す。

絶縁破壊痕跡は、気圧の上昇によりだ円状から細い帯状へ変わる。その1例として、電極間距離5 mmにおける状況を写真5に示す。

(2) フェノール樹脂

大気圧空気中において、試験開始後、120秒までは熱分解、揮発成分の燃焼が起り、中央から炭化が進む。120秒を越え、苛酷度が一段上がると、炭化範囲が広がり、炭化物が発炎し、電極端との接触面付近にトラッキングの芽が生じ全路破壊に至る。なお耐アー

ク性時間は電極間距離の大小に無関係で、131~136秒の範囲である。

一方、大気圧 N₂ ガス中においても同様の絶縁破壊過程を示すが、揮発成分の燃焼、炭化物の燃焼が抑制されるため、耐アーク性時間は長くなる。なお、電極間距離の増加に対して、耐アーク性時間は減少の傾向が見られるが、これは材料の特性によると考えられる。

さて、N₂ ガス中において気圧を上昇すると、(耐アーク性時間-気圧) 曲線は図5に示すように U 字型と

なる。これは、メラミンガラス積層板と同様の理由によると考えられる。

また、電極間距離に関係なく、耐アーク性時間が最小となる気圧が 0.1 MPa (ゲージ) 付近となっている。これは破壊時に、材料表面に溝が生じるためと考えられる。

絶縁破壊痕跡は、気圧の上昇により幅広い円状から細いすじ状へと変わる。その1例として、電極間距離 5 mm における状況を写真 6 に示す。

4.4.3 熱可塑性樹脂 (ABS 樹脂, ポリカーボネイト) の絶縁破壊

これらの材料の絶縁破壊過程は図 12(b) に属す。

(1) ABS 樹脂

大気圧空気中において、溶融、揮発成分の燃焼、ススの発生を繰り返し、トラッキングの芽が生じ、急速にトラッキングが進行するためスパークとなり全路破壊に至る。このとき、材料表面は深く溶融されており、発生したススは電極間に架橋する。しかし、このススの架橋により絶縁が破壊されたのではなく、トラッキングによるものである。なお、耐アーク性時間に対する電極間距離の影響は少なく、82~91 秒の範囲である。

一方、大気圧 N₂ ガス中においても同様の絶縁破壊過程を示すが、揮発成分の燃焼が抑制されるため、ススの生成量が増し、溶融部分への付着が見られる。ススの付着の影響は電極間距離が短くなるにしたがい

大きくなり、耐アーク性時間は大気圧空気中よりも低くなる場合もみられた。

さて、N₂ ガス中において気圧を上昇すると、(耐アーク性時間-気圧) 曲線は図 6 に示すように減少型となる。これは、前述 4.4.1 の考察に基づくものと考えられる。

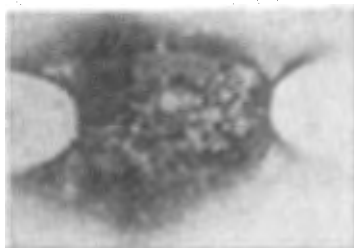
絶縁破壊痕跡は、気圧の上昇により帯状の深い溶融から細い帯状の浅い溶融へ変る。その1例として、電極間距離 5 mm における状況を写真 7 に示す。

(2) ポリカーボネイト

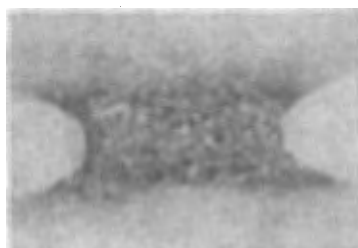
大気圧空気中において、ABS 樹脂と同様の絶縁破壊過程を示す。加えて試験中、材料の溶融部分の表面近くに気泡を生じる。耐アーク性時間は、電極間距離により異なり、109 秒から 134 秒の範囲となる。なお、個々の距離でのばらつきは少ない。

一方、大気圧 N₂ ガス中においても同様の絶縁破壊過程を示すが、燃焼の抑制によりススの生成量が多く、加えて溶融部分の表面近くに生じた気泡がススの付着しやすい核となるため、トラッキングの芽を生成し、急速に全路破壊に至る。その結果、耐アーク性時間は 10 秒程度となる。

さて、N₂ ガス中において気圧が上昇すると、(耐アーク性時間-気圧) 曲線は図 7 に示すようになる。これは ABS 樹脂と同様の理由に加え、材料の変質過程に気泡が生じてスス付着の核となり、トラッキングの芽が生成するためと考えられる。



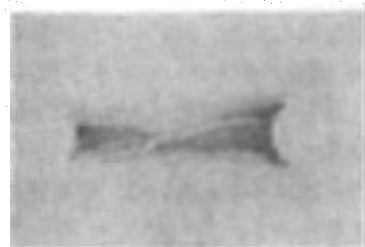
(a) 気圧=0 MPa(ゲージ) Air



(b) 気圧=0 MPa(ゲージ) N₂



(c) 気圧=0.1 MPa(ゲージ) N₂



(d) 気圧=0.2 MPa(ゲージ) N₂



(e) 気圧=0.3 MPa(ゲージ) N₂



(f) 気圧=0.4 MPa(ゲージ) N₂

写真 7 材料の破壊状況 (ABS 樹脂, 電極間距離=5 mm)

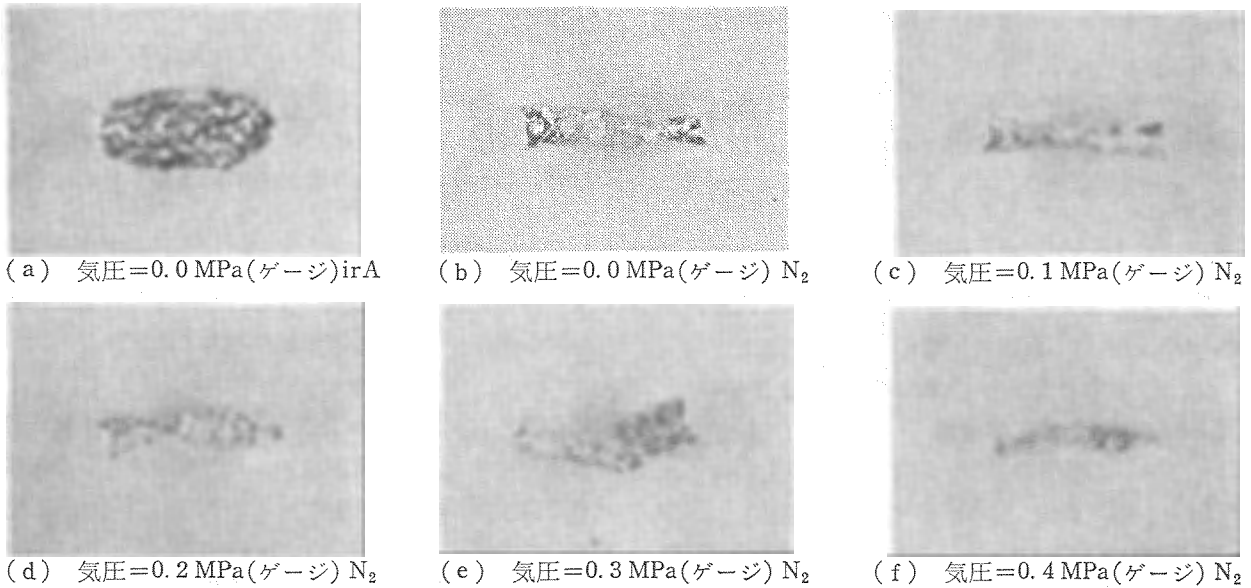


写真 8 材料の破壊状況 (ポリカーボネイト樹脂, 電極間距離=5 mm)

絶縁破壊痕跡は、帯状となる。その 1 例として電極間距離 5 mm における状況を写真 8 に示す。

5. む す び

耐アーク性試験は、絶縁材料のアークに対する耐久時間を調べるものであり、材料は、主にアーク熱により変質し、絶縁を破壊される。

加圧下における固体有機絶縁材料の耐アーク性は、大気圧空気中の場合と大きく異なる。それは、加圧により放電特性が変わるため、アークの性質、したがってアーク熱の質及び量が変わるためである。

アーク熱は、放電持続時間及び放電開始電圧により決まる。放電持続時間は材料に供給する熱量に関係し、放電開始電圧は、放電開始時に材料に供給する熱の密度に関係する。このため、放電持続時間は炭化、熔融などの全体的な材料の変質に関係する。一方、放電開始電圧はトラッキングの芽の生成などの電極近辺での材料の変質に関係する。

気圧の上昇にともない、放電持続時間は減少し始めるため、材料への熱の供給が少なくなり材料の変質を減速する。一方、放電開始電圧は上限するため、放電開始時の熱は高密度になり、電極近辺での材料の変質を促進する。

絶縁材料には、組成、結合状態等の性質により決まる変質温度が考えられる。耐アーク性時間は、材料の変質温度を含めた材料の特性及び放電特性により決ま

ると考えられる。これらによると、(耐アーク性時間-気圧) 曲線は

(1) 変質温度が低い等の理由により、主に放電開始電圧の影響を受ける減少型

(2) 変質温度が中程度又は、それ以上の理由により、気圧の低いふん囲気では、主に放電開始電圧の影響を、気圧の高いふん囲気では、主に放電持続時間の影響を受ける U 字型になる。

実験で用いた材料のうち、メラミンガラス積層板、フェノール樹脂は炭化、燃焼、トラッキングによる絶縁破壊を示し、U字型である。

ABS 樹脂は熔融、炭素の遊離による絶縁破壊を示し減少型である。

ポリカーボネイトは、N₂ ガスの影響が大であるため必ずしも明らかではないが、ABS と同様の減少型と考えられる。

なお、加圧気体である N₂ ガスは、燃焼を抑制する点で耐アーク性時間に影響を与え、メラミンガラス積層板、フェノール樹脂に対しては、耐アーク性時間を長くする方向に、ABS 樹脂、ポリカーボネイトに対しては、ススの発生、付着の点で耐アーク性時間を短くする方向に影響を与えていると考えられる。しかしこの影響は、ポリカーボネイトを除いて、放電状態の影響に比べ小さいと思われる。

加圧に従い、放電が生じ難くなるため、材料の耐アーク性は良くなると考えがちであるが、高密度の熱に

よる影響を考慮する必要がある。現在の方法においては、測定値のばらつきがやや大きく、今後はこの点に留意し、安定アークによる加圧下の有機絶縁材料の耐アーク性について検討を加え、加圧空気による実験へと進める予定である。

(昭和 52 年 8 月 16 日受理)

参 考 文 献

1) ASTM-D 495 : Standard method of test for

high voltage low current dry arc resistance of solid electrical insulating materials (1973)

- 2) JEC 149 : 固体絶縁材料の商用周波数による高電圧小電流耐アーク性試験方法通則 (1960)
- 3) JIS K 6911 : 熱硬化性プラスチック一般試験方法 (1976)
- 4) プラスチック電気用品安全研究会耐アーク性試験法小委員会研究報告, 社団法人日本合成樹脂技術協会 (昭 49)

産業安全研究所技術資料 RIIS-TN-77-3

昭和 52 年 11 月 20 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 (03) 453 - 8 4 4 1 番 (代)

印刷所 新日本印刷株式会社

郵便番号 108