

交流電圧印加時におけるアセトフェノン塗布

LDPEフィルムの高電界電気特性

光本真一* 福間真澄** 長尾雅行*** 小崎正光****

High Field Electrical Properties in Acetophenone-coated LDPE film under AC Voltage Application

Shinichi Mitsumoto *, Masumi Fukuma**, Masayuki Nagao*** and Masamitsu Kosaki****

Abstract

XLPE cable, whose maintenance and supervision are easier than OF cables, is widely used as electric power cable. Electrical insulation material of XLPE cable is cross-linked polyethylene (XLPE) which has greater heat-resistance and superior mechanical properties than normal low-density polyethylene. XLPE for large power cable is generally cross-linked by chemical agents such as dicumyl peroxide. Curing decomposition by-products such as acetophenone, cumyl alcohol, α -methylstyrene and so on remain in XLPE after cross-linking. It is known that acetophenone exerts most influence on the electrical insulation characteristics of XLPE among them, and it has been clarified that the existence of acetophenone suppresses an electrical tree initiation. In this report, the effect of acetophenone on $\tan\delta$ and capacitance, and electrical breakdown under the AC voltage application in acetophenone-coated LDPE film are studied. This paper deals with the effect of acetophenone on dielectric properties such as $\tan\delta$ and capacitance under the AC voltage application in acetophenone-coated low density polyethylene (LDPE) film. The existence of acetophenone at the electrode interface enhance $\tan\delta$. $\tan\delta$ increased with electric field and decreased inversely proportional to the frequency in the high field and high temperature region in acetophenone-coated specimen. AC breakdown test gave the result that the electric strength in non-coated specimen was higher than that in acetophenone-coated one and that the electric strength also decreased with temperature.

(polyethylene, acetophenone, $\tan\delta$, breakdown)

1 まえがき

架橋ポリエチレン(XLPE)は低密度ポリエチレン(LDPE)よりも優れた耐熱性、機械強度を有しているため電力用ケーブルの絶縁材料として広く用いられている。また、近年の電力需要増大のため、電力ケーブルの高電圧化が不可欠なものとなっている。現在、交流 500kV 用長距離 XLPE ケーブルの開発が進められている⁽¹⁾。その XLPE を製造する際の架橋剤としてジクミルパーオキサイド(DCP)が広く用いられているが、架橋はこの有機酸化物の分解により行われるため、架

橋剤分解残渣として微量の化学物質を含有している。中でも特にアセトフェノンが XLPE の電気絶縁特性に影響を与えていることが知られており、XLPE の絶縁破壊電圧を交流では上昇させ、直流では低下させることが報告されている⁽²⁾。これらアセトフェノンの効果は、導電率の高いアセトフェノンが PE バルクの導電率を上げると同時に、ポイド表面ににじみ出て表面抵抗を下げポイドの電界を低下させたり、突起や異物における電界の集中を緩和するとして理解されている。一方、近年の電気絶縁技術は、電極突起、ポイド、異物等の除去技術の進展とともに進歩し、絶縁材料の設計電界は年々高電界化する傾向にある。そのため、高電界領域において材料の本質的な電気絶縁特性に及ぼすアセトフェノンの影響を調べることは大変重要となっているが、実用上重要である交流高電界電気特性に関しては、ほとんど検討がされていない。

そこで本論文では、アセトフェノンを低密度ポリエ

(1999年9月24日受理)

*宇部工業高等専門学校 電気工学科

**松江工業高等専門学校 電気工学科

***豊橋技術科学大学 電気・電子工学系

****岐阜工業高等専門学校 校長

チレン(LDPE)－電極界面に塗布した試料を用いて、交流電圧印加時における LDPE の誘電特性及び絶縁破壊特性に及ぼすアセトフェノンの効果について検討を行った。

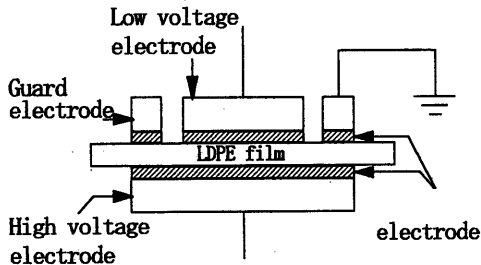


図 1. $\tan \delta$ 測定電極系
Fig. 1 $\tan \delta$ measuring electrode system

2 試料および実験方法

供試試料は LDPE フィルム (三菱化学製、公称厚さ $40\mu\text{m}$) である。フィルムの両面に Au の電極を真空蒸着により形成した。高電圧電極は直径 40mm 、主電極は直径 26mm 、ガード電極は内径 32mm 、外径 40mm である。このフィルムを真鍮製の電極で挟み込み、所定の電圧を印加した。電極系を図 1 に示す。

フィルムはアセトフェノンが蒸着電極上に塗布された後真鍮電極に挟まれるが、蒸着電極は無数の極微小なクラックを有するため、アセトフェノンはその隙間からフィルムの表面層まで浸透する。その塗布の方法は、無塗布、片面塗布、両面塗布の 3 種類である。

$\tan \delta$ 及び静電容量の測定は、アセトフェノンを塗布し真鍮電極を設置した後直ちに所定の電圧を印加して行った。なお、測定には電流比較型の高電圧 $\tan \delta$ - キャパシタンスブリッジ (双信電機 1210-A) を使用した。

絶縁破壊に用いた試料形状は、McKeown 電極を变形したものである。この試料の片面にアセトフェノンを塗布し約 4 時間放置した後、所定の温度に保たれたシリコン油中で交流ランプ電圧 (400Vpeak/sec) を印加した。なお、絶縁破壊の強さ (Fb) は絶縁破壊電圧 (波高値) を試料厚さで割ることにより求めた。

3 実験結果および検討

3.1 誘電特性

図 2 および図 3 にアセトフェノン塗布、無塗布の各試料の $\tan \delta$ の変化分 ($\Delta \tan \delta$) と静電容量の変化

分 (ΔC) の時間依存性を示す。初期値はそれぞれ 2×10^{-4} 、 270pF であった。図より、アセトフェノン塗布試料の $\tan \delta$ は無塗布試料と比べて増大していることがわかる。また、塗布試料の静電容量も時間とともに徐々に増加し、約 10 分後に 20pF 程度の増加を示して定常値に達した。飽和後の静電容量の定常値は片面塗布と両面塗布の間ではほぼ同じであるが、静電容量が飽和に達するのに要する時間は両面塗布の方が約半分と短い。このようなアセトフェノン塗布による静電容量の増加の原因としては、有極性のダイポールを有するアセトフェノンの浸透による双極子分極の寄与が、また、 $\tan \delta$ の増加の原因としては、電子性キャリア注入の増加による導電損失の増加が支配的と考えられる。

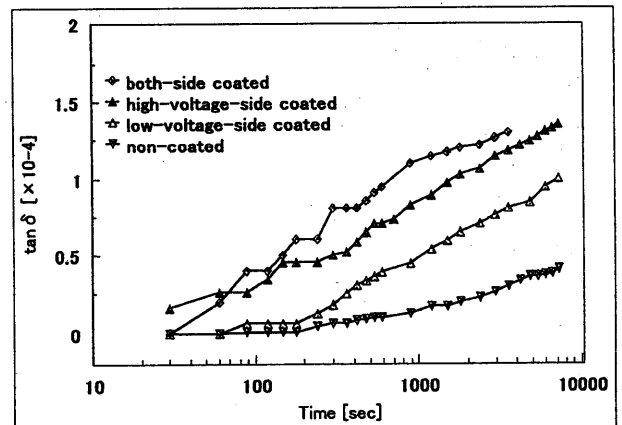


図 2. $\Delta \tan \delta$ の時間依存性 (R.T., 50Hz , 2.5kVrms/mm)
Fig. 2 Time dependence of value for increase of $\tan \delta$ (R.T., 50Hz ,

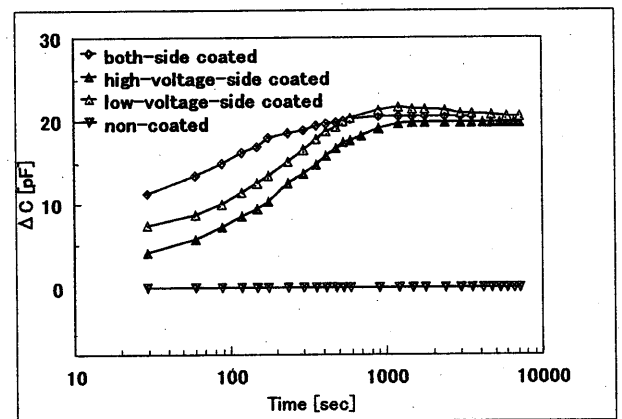


図 3. ΔC の時間依存性 (R.T., 50Hz , 2.5kVrms/mm)
Fig. 3 Time dependence of value for increase of capacitance (R.T., 50Hz , 2.5kVrms/mm)

3.2 高温及び高電界下における誘電特性

図 4 に各試料における $\tan \delta$ の電界依存性を示す。無塗布試料では室温、高温ともに $\tan \delta$ は電界依存性をわずかに示したのみであった。それに対し、アセトフェノン塗布試料では、室温では $\tan \delta$ の電界依存性は小さいものの、高温では大きな正の電界依存性を示した。また、アセトフェノン両面塗布試料の方が片面塗布試料よりも大きな電界依存性を示した。

また高電界における $\tan \delta$ は次式で表されることが指摘されている⁽³⁾。

$$\tan \delta = \tan \delta_0 + \sigma / (\omega \epsilon)$$

ここで σ はキャリアの移動に関係した導電率、 ω は角周波数、 ϵ は誘電率である。 $\tan \delta_0$ は交流特有の誘電損失であり、温度依存性、電界依存性が小さいのに対し、 $\sigma / (\omega \epsilon)$ はキャリアの移動による導電損失で、大きな温度依存性、電界依存性を示す。この式の第 2 項が支配的であるとき、 $\tan \delta$ は周波数に対して直線的に減少すると考えられる。そこで図 5 にアセトフェノン両面塗布試料の $\tan \delta$ の各温度における周波数依存性を示す。この図より高温高電界領域での $\tan \delta$ は周波数に対して直線的に減少していることから、アセトフェノン塗布試料の高温高電界領域における $\tan \delta$ はキャリアの移動に伴う導電損失成分が支配的であると考えられる。

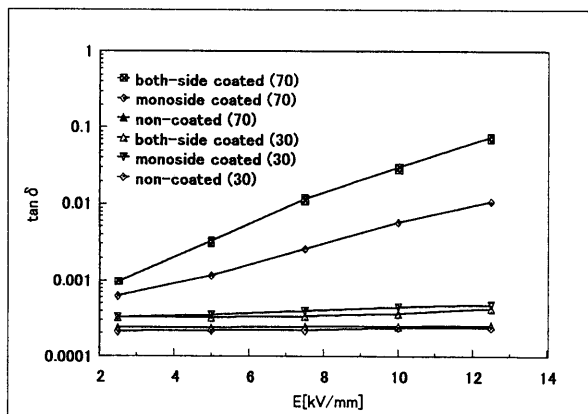


図 4 30°C及び 70°Cにおける各試料の $\tan \delta$ の電界依存性(50Hz)

Fig4 Electric field dependence of $\tan \delta$ in acetophenone-coated LDPE film(50Hz)

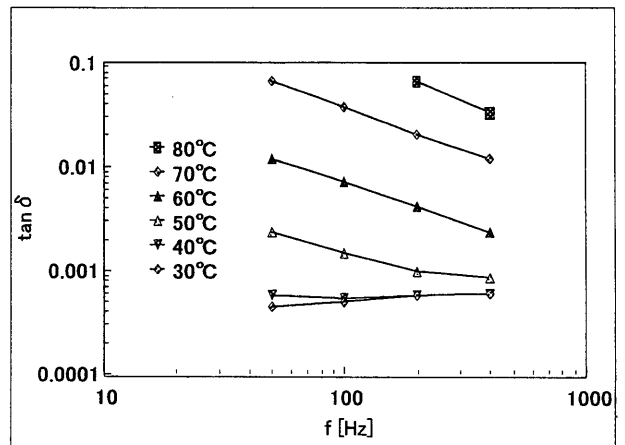


図 5. 両面塗布試料の $\tan \delta$ の周波数依存性(50Hz)
Fig.5 Frequency dependence of $\tan \delta$ value at each temperature in both sides acetophenone-coated specimen (2.5kVrms/mm)

3.3 交流絶縁破壊特性

図 6 に無塗布試料とアセトフェノン片面塗布試料における交流絶縁破壊特性の温度依存性を示す。ここで図中の各点は約 10 個の試料についての平均値を、縦棒はその標準偏差を表す。この図より、無塗布試料、アセトフェノン塗布試料の F_b は周囲温度が上昇するにつれて低下していることがわかる。釣本らは、空气中において、交流電圧印加時のアセトフェノン塗布試料と無塗布試料に現れる局所発熱をサーモグラフを用いて観測している⁽⁴⁾。その結果によると、アセトフェノン塗布した試料は無塗布試料よりも低電界側において局所発熱が大きく現れること、アセトフェノン塗布試料の F_b は無塗布試料の F_b よりも若干低下する事から、熱的過程が関与し破壊が発生していることを報告している。McKeown は室温領域におけるポリエチレンの交流印加時の F_b を測定し、その値がおおよそ 8 であると報告している⁽⁵⁾。これらは今回、測定された実験結果と一致している。さらに室温から 60°C 付近までの領域において、アセトフェノン塗布試料の F_b は無塗布試料の F_b よりも低下していることがわかる。

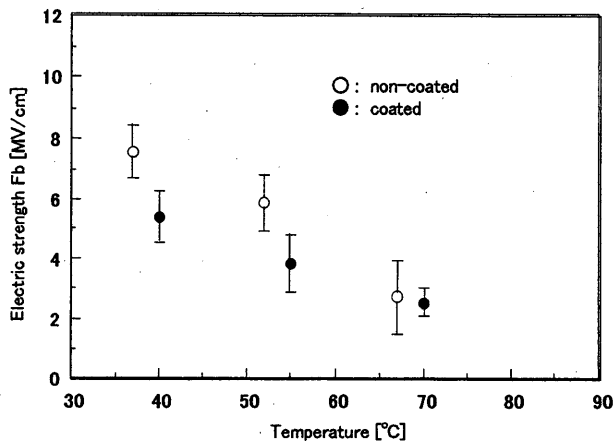


図 6. アセトフェノン塗布 LDPE フィルムの交流絶縁破壊特性の温度依存性

Fig6 AC breakdown characteristics for temperature in acetophenone-coated LDPE film

4 まとめ

LDPE フィルムにアセトフェノンを塗布する手法を用いて、交流電圧印加時における誘電特性、絶縁破壊特性および空間電荷分布特性に与える効果について検討を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

(1) アセトフェノンをフィルムに塗布することにより $\tan \delta$ 、静電容量ともに増加した。静電容量の増加

の原因として有極性のダイポールを有するアセトフェノンの浸透による双極子分極の寄与が考えられる。

(2) 高温、高電界領域におけるアセトフェノン塗布試料の $\tan \delta$ は電界とともに増加する傾向を示した。この領域における $\tan \delta$ は周波数に対して直線的に減少した。

(3) アセトフェノンをフィルムに塗布することにより交流絶縁破壊の強さが大きく低下するとともに、温度の上昇に対しても低下した。

以上の結果から、アセトフェノン塗布側電極より電子性キャリア注入の増加による導電損失の増大が $\tan \delta$ を増加させ、絶縁破壊の強さを低減させていることが考えられる。

参考文献

- (1) 神永建二：“500kV CV ケーブルの開発動向” 電学論 B, 114 (1994).
- (2) 速水敏幸：「CV ケーブル」, コロナ社 (昭 61) .
- (3) 所哲郎 他：電気学会論文誌 A, Vol. 111-A, p. 111 (1991) .
- (4) 釣本崇夫：豊橋技科大博士学位論文 (1996) .
- (5) McKeown: “Intrinsic electric strength of organic polymeric materials” Proc. IEE, Vol. 112, No. 4 p. 824 (1965) .
- (6) 長尾雅行 他：電気学会 誘電・絶縁材料研資, DEI-94-83 (1994) .