UDC 621.319.48.015.5: 621.315.614.64
621.311.1

論 文

51-A 31

OF 式電力用コンデンサの絶縁耐力に 及ぼす絶縁紙構成の影響

日新電機株式会社

吉 田 恭 信

日新電機株式会社

井 上 靖 雄

8. ま え が き

電力用コンデンサの誘電体としては、絶縁紙を真空加熱乾燥し、あらかじめ脱気・脱湿・精製処理をした鉱油を真空含浸した OF 式油浸紙が長年使用されてきた。

コンデンサの絶縁設計上最も重要な絶縁耐力特性は、一般に絶縁紙の紙質、導電性微粒子などの含有不純物のほか、密度・気密度・厚さ・重ね枚数・合計絶縁厚さなどによって影響される。また、交流破壊電圧は電圧印加時間の影響を大きく受け、いわゆる $V-T$ 特性（電圧-時間特性）として表わされるが、この特性には絶縁油の特性が影響することはもちろんで、特に OF 式油浸紙の場合には紙繊維に比して誘電率・絶縁耐力の低い鉱油から絶縁破壊が発するものと考えられる。

本報は、OF 式油浸紙を誘電体とした電力用コンデンサの直流および交流破壊電圧、ならびに交流 $V-T$ 特性に及ぼす絶縁紙の構成（厚さ・重ね枚数・合計絶縁厚さ）の影響について報告したものである。

2. 試料および試験方法

油浸紙コンデンサの絶縁破壊特性を明らかにするため、密度 $=0.76\sim1.17\text{ g/cm}^3$ 、厚さ $=16\sim58\mu$ にわたる 5 種類の絶縁紙 2~6 枚を重ねて厚さ 13μ 、幅 30 cm 、長さ 5 m のアルミはく電極とともに巻回し、約

115°C において 1 mmHg 以下の真空度に 3 日間以上保持して十分乾燥したのち、あらかじめ約 70°C 、 1 mmHg 以下にて脱ガス処理をした鉱油（JIS C 2320 1 号油）を含浸して試料コンデンサとした。

第 1 表に試料コンデンサに用いた絶縁紙の密度、透気度および絶縁構成ならびに鉱油含浸誘電特性を示す。

これら試料コンデンサに対し、室温、大気圧において直流または交流（60 Hz）電圧を印加し、 $5\text{ V}/\mu\text{s}$ 前後の昇圧速度にて連続的に昇圧して絶縁破壊電圧を求めるとともに、電圧値を変えて交流電圧を印加し、各々の印加電圧に対して試料コンデンサが電圧印加後絶縁破壊するまでの時間（耐電圧時間）を測定して $V-T$ 特性を求めた。

3. 絶縁耐力特性測定結果と考察

〈3・1〉 直流破壊電圧 試料コンデンサの直流破壊電圧実測値 $V_D(\text{V})$ と絶縁紙重ね枚数との関係を求めると第 1 図のようで、重ね枚数を対数とした場合、両者は良好な直線的関係を示し、一般に

$$V_D = V_{0D} \log n / n_0 \dots\dots\dots (1)$$

の関係で表わされ、例えば A 試料の場合次のようになる。

$$V_D = 32,000 \log n / 1.5 \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 n_0 は直流破壊電圧が零になる場合の絶縁紙重ね枚数、すなわち第 1 図において両者の関係直線が横軸と交わる点の座標である。また、 V_{0D} は $n=10 n_0$ なる場合の直流破壊電圧を示すものである。

第 1 図に見るように、使用絶縁紙のいかにかわからず $n_0=1.4\sim1.5$ となるが、このことは次のように考えられる。

The Influence of Composition of Insulating Paper upon the Dielectric Strength of OF Power Capacitors. By Yasunobu Yoshida, Member & Yasuo Inoue, Member (Nissin Electric Co. Ltd.).

吉田恭信：正員，日新電機株式会社
井上靖雄：正員，日新電機株式会社

第 1 表 試料コンデンサの絶縁紙と鉱油含浸誘電特性

Table 1. Insulating papers used for sample capacitors and their dielectric characteristics impregnated with mineral oil.

試料種別	使用絶縁紙と絶縁構成				鉱油含浸誘電特性					
	密度 (g/cm ³)	透気度 (cc/5分)	厚さ (μ)	重ね枚数 (枚)	誘電率		tan δ (%)		CR(QF)	
					20°C	100°C	20°C	100°C	20°C	100°C
A	1.14	1.0	16	2~6	4.05	4.10	0.24	0.40	7.8×10 ³	4.6×10
B	1.17	1以下	20	2~6	4.10	4.15	0.25	0.43	7.0×10 ³	4.4×10
C	0.90	1以下	20	2~6	3.35	3.36	0.16	0.33	4.5×10 ³	8.2×10
D	0.82	40	42	2~5	3.33	3.33	0.21	0.19	2.8×10 ⁴	1.9×10 ²
E	0.76	25	58	3~6	3.30	3.30	0.17	0.22	8.0×10 ³	1.5×10 ²

すなわち、試料コンデンサは極めて広い電極面積にわたって工業製品である絶縁紙によって絶縁されるものであるため、微小な鉄粉とかカーボン粒子などの導電性不純物の混入を完全に避けることはできず、従って絶縁紙 1 枚のみでは絶縁性をもたないが、絶縁紙 2 枚以上にわたってこれら不純物が重なる可能性はほとんどないため、 $n=1\sim 2$ 枚の間で絶縁耐力は零になるものと考えられる。

いま、厚さ $t_1(\mu)$ の絶縁紙を n 枚重ねて絶縁厚さを $t(\mu)$ とした試料コンデンサの場合には、(1)式は(3)式のようになる。

$$V_D = V_{0D} \log t / n_0 t_1 \approx V_{0D} \log t / t_{1.5} \quad \dots (3)$$

第 1 図 直流破壊電圧と絶縁紙重ね枚数との関係

Fig. 1. Relation between numbers of paper layers and DC breakdown voltage.

また、直流破壊電圧を電位の傾きで表わせば、

$$E_D \approx E_{0D} \log t / t_{1.5} \quad \dots (4)$$

となる。ここに

$$E_D = V_D / t, \quad E_{0D} = V_{0D} / t, \quad t_{1.5} = 1.5 t_1 \quad \dots (5)$$

次に、第 1 図の関係より直流破壊電位の傾きと絶縁厚さとの関係を求め、両対数グラフで示すと第 2 図のようになる。両者の関係はいずれの試料コンデンサにおいてもほぼ同様で、直流破壊電位の傾きは、4~5 枚重ねの場合に最高になり、3 枚以下では急速に低下し、6 枚以上ではゆるやかに低下する。

重ね枚数が 5 枚以上では重ね枚数が多くなるほど直流破壊電位の傾きが低下するのは、導電性不純物の重なる確率が増大すること、いったん不純物から部分破壊が起発すれば、比較的容易に電極間の全路破壊に進展してゆくことによるものと思われる。

第 2 図 直流破壊電位の傾きと絶縁厚さとの関係

Fig. 2. Dependence of DC breakdown voltage stress on insulating thickness.

一方、重ね枚数が4枚以下では重ね枚数が少ないほど導電性不純物などの耐電圧弱点部の影響が大きく表われることにより、直流破壊電圧が低下するものと考えられる。

第2図において各試料コンデンサの同一重ね枚数における直流破壊電位の傾きを結ぶと良好な直線関係が得られ、直流破壊電位の傾き E_D は絶縁厚 t が厚くなるにつれて顕著に低下し、次式で表わすことができる。

$$E_D = E_{D1} t^{-\alpha} = E_{D1} (n t_1)^{-\alpha} \\ \approx E_{D1} (n t_1)^{-0.48} \approx E_{D1} / \sqrt{n t_1} \dots\dots (6)$$

ここに、 E_{D1} は $t=1\mu$ の場合の直流破壊電位の傾きであって、第2図の直線関係を延長して求めることができる。

前述のように、重ね枚数から1.5枚差し引いたものと直流破壊電圧とに良好な直線関係が得られることより、 E_{D1} と $(n-1.5)$ との関係を両対数グラフにプロットすると、第3図に○印で示すように $n \geq 3$ において両者間にほぼ直線的な関係が得られる。これより

$$E_{D1} = E_d (n-1.5)^\beta = 1,300 (n-1.5)^{0.30} \\ \dots\dots\dots (7)$$

これを(6)式と組み合わせることにより、厚さ t_1 (μ) の絶縁紙を n 枚重ねてなる絶縁厚 t (μ) の鉱油含浸紙コンデンサの直流破壊電位の傾き E_D (V/ μ) および破壊電圧 V_D (V) を次式で表わすことができる。

$$E_D = E_d (n t_1)^{-\alpha} (n-1.5)^\beta \\ \approx 1,300 (n-1.5)^{0.30} / \sqrt{n t_1} \dots\dots (8)$$

$$V_D = E_d (n t_1)^{1-\alpha} (n-1.5)^\beta \\ \approx 1,300 (n-1.5)^{0.30} \sqrt{n t_1} \dots\dots (9)$$

(8) 式より絶縁紙の厚さ t_1 (μ) を一定とした場合、直流破壊電位の傾きの最高値を与える絶縁紙の枚数 n の値を求めることができる。

$$dE_D/dn = E_d t_1^{-\alpha} \{-\alpha n^{-\alpha-1} (n-1.5)^\beta \\ + n^{-\alpha} \beta (n-1.5)^{\beta-1}\} \dots\dots (10)$$

これより、

$$n = 1.5 \alpha / (\alpha - \beta) \dots\dots\dots (11)$$

直流破壊の場合 $\alpha=0.48$, $\beta=0.30$ であるから、これらの値を(11)式に代入して $n=4.0$ 枚のとき直流破壊電圧は最高となることがわかる。

なお、B 試料および C 試料の使用絶縁紙は同一厚さで密度が約 30% 相違するが、第1図に見るように両者の直流破壊電圧にはほとんど差が認められず、3~4枚重ねの場合には密度の高い絶縁紙を用いた B 試料がわずかに高いが、2枚重ねおよび6枚重ねの場合には密度の低い絶縁紙を用いた C 試料のほうが若干高い結果となった。なお、密度を $0.76 \sim 1.17 \text{ g/cm}^3$ と比較的広い範囲に変えて試料コンデンサとしているが、各試料とも絶縁紙の密度を変数に含まない(9)式で油浸紙の直流破壊電圧を表わすことができることから絶縁紙の密度の影響は小さいと言えよう。

第3図 E_{D1} , E_{A1} と $(n-1.5)$ との関係

Fig. 3. Relation between E_{D1} , E_{A1} and $(n-1.5)$.

第4図 交流破壊電圧と絶縁紙重ね枚数との関係

Fig. 4. Relation between numbers of paper layers and AC breakdown voltage.

合には密度の低い絶縁紙を用いた C 試料のほうが若干高い結果となった。なお、密度を $0.76 \sim 1.17 \text{ g/cm}^3$ と比較的広い範囲に変えて試料コンデンサとしているが、各試料とも絶縁紙の密度を変数に含まない(9)式で油浸紙の直流破壊電圧を表わすことができることから絶縁紙の密度の影響は小さいと言えよう。

〈3・2〉 交流破壊電圧 第1表の試料コンデンサに 60 Hz の交流電圧を印加し、5 V/ μ s 前後の昇圧速度にて連続的に昇圧して求めた交流破壊電圧と絶縁紙の重ね枚数との関係を第4図に示す。第4図と第1図を比較すると両者はよく類似しており、第1図に関して記したことは第4図においても当てはまるものと考えられる。

第 5 図 交流破壊電位の傾きと絶縁厚さとの関係

Fig. 5. Dependence of AC breakdown voltage stress on insulating thickness.

すなわち、交流破壊電圧も重ね枚数 1.5 枚前後で零になり、厚さ $t_1(\mu)$ の絶縁紙を n 枚重ねて絶縁厚さを $t(\mu)$ とした試料コンデンサの交流破壊電圧 $V_A(V)$ および電位の傾き $E_A(V/\mu)$ はそれぞれ次式で表わされる。

$$V_A = V_{0A} \log t / n_0 t_1 \approx V_{0A} \log t / t_{1.5} \quad \dots (12)$$

$$E_A \approx E_{0A} \log t / t_{1.5} \quad \dots (13)$$

次に、第 4 図の交流破壊電圧値を電位の傾きで表わし絶縁厚さとの関係で示すと第 5 図のようになり、この場合も直流破壊電位の傾きに対する第 2 図とよく類似したものとなる。

すなわち、交流破壊電位の傾きも絶縁紙 4~5 枚重ねた場合に最高になり、3 枚以下では枚数が少なくなるにつれて急速に低下し、5 枚以上では重ね枚数の増加とともにゆるやかに低下する。

また、 E_A は (6) 式と同様 (14) 式で表わすこともできる。

$$E_A = E_{A1} t^{-\alpha'} = E_{A1} (n t_1)^{-\alpha'} = E_{A1} (n t_1)^{-0.63} \quad \dots (14)$$

ここに E_{A1} は $t=1\mu$ の場合の交流破壊電位の傾きであって、直流の場合と同様第 3 図に Δ 印で示したように求められ、次の関係式を与えることができる。

$$E_{A1} = E_a (n-1.5)^{\beta'} = 1,200 (n-1.5)^{0.45} \quad \dots (15)$$

この式を (14) 式と組み合わせることによって、厚

さ $t_1(\mu)$ の絶縁紙 n 枚を重ねてなる絶縁厚さ $t(\mu)$ の鉱油含浸紙コンデンサの交流破壊電位の傾き $E_A(V/\mu)$ および破壊電圧 $V_A(V)$ を次式のように求めることができる。

$$E_A = E_a (n t_1)^{-\alpha'} (n-1.5)^{\beta'} \\ = 1,200 (n t_1)^{-0.63} (n-1.5)^{0.45} \quad \dots (16)$$

$$V_A = E_a (n t_1)^{1-\alpha'} (n-1.5)^{\beta'} \\ = 1,200 (n t_1)^{0.37} (n-1.5)^{0.45} \quad \dots (17)$$

(16), (17) 式はそれぞれ (8), (9) 式と同様であるから、(11) 式は交流破壊電圧にも適用可能である。従って、 $\alpha'=0.63$, $\beta'=0.45$ を (11) 式に適用して絶縁紙の厚さ t_1 を一定とした場合に交流破壊電位の傾きの最高値を与える絶縁紙の重ね枚数を次のように求めることができる。

$$n = 1.5 \alpha' / (\alpha' - \beta') = 5.2 \quad \dots (18)$$

交流破壊電圧に対する絶縁紙密度の影響は直流の場合と同様ほとんど認められず、 20μ 厚の絶縁紙を用いた B 試料と C 試料とでは絶縁紙密度に 30% の差があるにもかかわらず、交流破壊電圧に差は認められない。

〈3・3〉 交流 V - T 特性 油浸紙コンデンサに交流電圧を長時間印加した場合には、直流電圧の場合に比して耐電圧特性に顕著な低下が見られ V - T 特性と呼ばれているが、この特性は電力用コンデンサの絶縁設計上ならびに使用上重要な意味をもつものである⁽¹⁾。

第 1 表の試料コンデンサすべてについて V - T 特性を求めたが、ここでは例として C 試料コンデンサにおいて絶縁紙の重ね枚数を 2~6 枚に変えた場合を第 6 図に、また絶縁紙重ね枚数を 5 枚として絶縁紙の種別を変えた場合を第 7 図に示す。第 6 図において重ね

第 6 図 C 試料コンデンサの V - T 特性

Fig. 6. V - T characteristics of sample capacitor "C"

第7図 各種コンデンサのV-T特性
(絶縁紙重ね枚数=5枚)

Fig. 7. V-T characteristics of various sample capacitors with five layers.

枚数5枚以上の場合と第7図のすべてのV-T特性は両対数グラフ上で、短時間域の直線部分と長時間域の湾曲部分とからなり、両者の交点はすべて $10^2 \sim 10^3$ 秒にある。

油浸紙に交流電圧が印加された場合、電界は誘電率に反比例して絶縁紙と絶縁油にかかるため誘電率の低い絶縁油に高い電界が加わり、絶縁破壊は絶縁油より出発するが、絶縁紙がバリアーとなるため電極間の全路破壊に至るのに時間がかかり、長時間域では顕著なV-T特性を示す。油浸紙にかかる電圧が高くなると絶縁紙自体も直接絶縁破壊するようになり急速に全路破壊に至るため、高電界の短時間域ではV-T特性の傾斜が小さくなるものと考えられる。

第7図には参考のため厚さ 13μ 、密度 1.15g/cm^3 の絶縁紙5枚で構成した試料コンデンサの直流V-T特性(交流V-T特性との比較のため直流電圧を $1/\sqrt{2}$ 倍して図示)を併記したが、直流電圧に対しては電界が体積抵抗率に比例して加わるので、体積抵抗率が約2けた高い絶縁紙に大部分の直流電圧が加わり⁽²⁾、絶縁紙自体の絶縁破壊となること、交番電界によるコロナ破壊となる交流の場合と相違して直流電界では単極性の瞬時的破壊となることより、V-T特性の傾斜は極めて小さなものになると考えられる。

なお、前述の連続昇圧交流破壊電圧は多数のV-T特性の実測結果⁽³⁾よりV-T特性の1.5秒値にはほぼ合致することがわかっているの、第6図、第7図に

第2表 V-T特性短時間特性

Table 2. Values of E_{s1} and δ at short time range of V-T characteristics.

種別 枚数	E_{s1}					δ				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
2枚	100	90	94	68	—	0.055	0.055	0.055	0.050	—
3	124	124	114	70	68	0.085	0.090	0.090	0.080	0.080
4	132	126	122	76	69	0.095	0.100	0.100	0.085	0.085
5	132	124	124	80	70	0.090	0.095	0.095	0.090	0.085
6	130	120	124	—	70	0.090	0.095	0.095	—	0.085

$$E_{s1} = E_{s1} \cdot T^{-\delta}$$

においても耐電圧時間1.5秒に相当する印加電圧として示した。

V-T特性の短時間域の直線部分は次式で表わすことができる。

$$E_s = E_{s1} T^{-\delta} \quad \dots\dots\dots (19)$$

ここに、 E_s : 交流印加電圧 (V/μ)

T : 耐電圧時間 (秒)

また、 E_{s1} および δ は試料によって定まる定数で、各試料コンデンサのV-T特性より第2表のように求めることができる。

同表より重ね枚数が3~6枚においては、絶縁紙の種類に関係なく $\delta=0.08 \sim 0.10$ であり、平均的に0.090と考えることができる。

交流破壊電位の傾き E_A は前述のようにV-T特性の1.5秒値に相当するから、(19)式より

$$E_A = E_{s1} (1.5)^{-\delta} \quad \dots\dots\dots (20)$$

(20)式を(19)式に代入することによりV-T特性は連続昇圧交流破壊電位の傾き E_A (V/μ)を用いて次式のように表わしうる。

$$\begin{aligned} E_s &= E_A (1.5/T)^{\delta} \simeq E_A (1.5/T)^{0.09} \\ &= 1.04 E_A T^{-0.09} \simeq E_A T^{-0.09} \quad \dots\dots (21) \end{aligned}$$

〈3・4〉 交流長時間耐圧 第6図、第7図に見るように、V-T特性において 10^4 秒前後より長時間域においては交流破壊電圧の低下がほとんど認められなくなるので、この最低電圧を(交流V-T特性)長時間耐圧値と呼んでいる。

電力用コンデンサには、その使用中常規使用電圧の2倍までの開閉異常電圧が印加されること、また製品出荷検査時定格電圧の2倍の交流試験電圧が印加されることより、これらの過電圧によって損傷されぬよう定格電圧を長時間耐圧値の1/2以下に選定するのが一般である。

第1表の各種試料コンデンサについて求めた長時間耐圧値と絶縁厚さとの関係を第8図に示す。

両者の関係を第2図および第5図に示した直流およ

第 8 図 V-T 特性長時間耐圧値と絶縁厚さとの関係

Fig. 8. Dependence of long time endurance voltage stress of V-T characteristics on insulating thickness.

び交流連続昇圧破壊電圧と絶縁厚さとの関係と比較するとその様相をかなり異にしていることがわかる。

すなわち、直流および交流連続昇圧破壊電圧と絶縁厚さとの関係は絶縁紙の重ね枚数によって相違するのに対し、長時間耐圧値は絶縁紙重ね枚数によっては影響されず、全絶縁厚さによって左右される。

一方、直流および交流連続昇圧破壊電圧は絶縁紙の密度によってあまり影響されないのに対し、長時間耐圧値と絶縁厚さとの関係は絶縁紙の密度によって若干影響され、絶縁厚さがほぼ同じ A, B 試料と C 試料において関係直線の傾斜がやや異なり、絶縁紙密度が

低いほどわずかに傾斜が急になっている。

試料コンデンサの絶縁紙は、厚さ・密度にかなりの差があるにもかかわらず、すべての長時間耐圧値と絶縁厚さとの関係は比較的狭い範囲に入っており、第 8 図において一点鎖線で示した直線を考えれば各試料コンデンサの長時間耐圧値は $\pm 12\%$ 以内に含まれる。従って、油浸紙コンデンサの交流 V-T 特性長時間耐圧値 $E_L(V/\mu)$ は絶縁厚さによってほぼ一義的に定まり、第 8 図の一点鎖線によって示すことができ、次式で表わされる。

$$E_L = E_{L1} t^{-\tau} = 200 t^{-0.36} = 200 (n t_1)^{-0.36} \quad (22)$$

ここに E_{L1} は $t=1\mu$ の場合の長時間耐圧値である。

なお、絶縁紙の厚さが同じ B 試料と C 試料の長時間耐圧値を比較すると、高密度紙を用いた B 試料のほうが低いのは、電極端でのコロナ開始電圧 $E_c(V/\mu)$ を与える (23) 式⁽⁴⁾において高密度紙ほど油浸紙の誘電率 ϵ_p が高い⁽⁵⁾ため E_c が低下することによるものと考えられる。

$$E_c \cong \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{\epsilon_i}{\epsilon_p}} \sqrt{\frac{a}{t}} E_{ic} \dots\dots\dots (23)$$

ここに ϵ_i : 絶縁油の誘電率, a : 電極はくの厚さ(μ), E_{ic} : 絶縁油の最大破壊電位の傾き (V/μ)

〈3・5〉 絶縁破壊発生個所 以上の直流および交流絶縁破壊試験において、試料コンデンサの絶縁破壊発生個所を、電界集中度の高い電極はくの端部と平等

第 9 図 絶縁破壊個所と絶縁紙重ね枚数との関係

Fig. 9. Relation between points of dielectric breakdown and numbers of paper layers.

第 10 図 絶縁破壊個所と絶縁厚さとの関係

Fig. 10. Dependence of points of dielectric breakdown on insulating thickness.

電界のかかるそれ以外の部分（平滑部）とに分けて考えることができる。

本試料コンデンサは、厚さ 13μ 、幅 30cm の電極はくを用いているが、その電極はくは端部から 2cm 以内で絶縁破壊している場合を電極端破壊と考え、絶縁紙重ね枚数および絶縁厚さと電極端破壊率との関係を示すと第 9 図および第 10 図のようになる。

この場合、破壊点が電極面上に一樣に分布するものとすれば、電極端破壊率は面積比から 13% となるので、この値以上になれば絶縁破壊は電極端の影響を受けていると考えることができる。

第 9 図 (a) より、直流電圧による電極端破壊率は絶縁紙重ね枚数によってあまり差がなく 20% 前後であって、電極端の影響はほとんど受けていないと言える。すなわち、直流破壊は絶縁紙中に含まれている導電性不純物などの耐電圧弱点部で発生するものと考えることができる。

一方、交流電圧破壊においては $V-T$ 特性長、短時間域とも絶縁紙の重ね枚数が多くなり、絶縁厚さが厚くなるにつれて電極はく端部における破壊確率が高くなる。すなわち、重ね枚数が 2 枚では電極端破壊率は直流電圧破壊の場合と同じ程度であって、絶縁破壊は絶縁紙の導電性不純物から出発するが、絶縁紙重ね枚数が 3 枚になると電極端破壊率が 50% 前後となり電極端の影響が現われてくる。更に 4 枚以上重ねた場合には電極端破壊率は 80% 前後となるが、この程度に重ね枚数が多くなると絶縁紙中の耐電圧弱点部の影響

が直列に存在する絶縁紙によって減殺されるため、電界が集中する電極端部が耐電圧弱点部となり、ここから絶縁破壊が進展するものと考えられる。

4. むすび

厚さおよび密度を変えた数種の絶縁紙を 2~6 枚の範囲で重ね枚数を変えてアルミはく電極とともに巻回し加熱真空乾燥した後、あらかじめ脱気・脱湿・精製処理した鉱油を真空含浸して作成した試料コンデンサについて、直流および交流連続昇圧破壊電圧ならびに交流 $V-T$ 特性を測定し、これら絶縁耐力特性に対する絶縁構成の影響を明らかにした。この結果を要約すると以下のようなものである。

(1) 油浸紙コンデンサの直流および交流（連続昇圧）破壊電圧は、絶縁紙の重ね枚数の対数に対し直線関係を有するが、重ね枚数が 1.5 枚前後で破壊電圧が零になる。これは絶縁紙 1 枚では必ず導電性不純物などの耐電圧弱点部を有するが、2 枚以上にわたって耐電圧弱点部が重なる可能性はほとんどないことより説明される。

(2) 油浸紙の直流および交流破壊電圧 E は絶縁紙の密度によってはほとんど影響されず、絶縁厚さ t_1 と重ね枚数 n によって定まり次式で表わされる。

$$E = E'(n t_1)^{-\alpha} (n - 1.5)^{\beta}$$

(3) 絶縁紙の重ね枚数を一定にして絶縁厚さと直流および交流破壊電位の傾きとの関係を求めると両対数グラフで直線関係になり、破壊電位の傾きは絶縁厚さが薄くなるほど顕著に向上する。

(4) 同一絶縁紙を重ねた場合の直流および交流破壊電位の傾きは $n = 1.5\alpha/(\alpha - \beta)$ の場合に最高になり、直流の場合は 4 枚、交流の場合は 5 枚重ねた場合に最高値を示す。

(5) 油浸紙コンデンサに交流電圧を加えた場合には顕著な $V-T$ 特性を示し、両対数グラフ上で短時間域の直線部分と長時間域湾曲部分とからなり、両者は $10^2 \sim 10^3$ 秒で交わる。

(6) $V-T$ 特性長時間域では印加電圧の電位の傾き E_s と耐電圧時間 T とは次式で示される関係を有する。式中、 E_A は交流連続昇圧破壊電圧である。

$$E_s = E_A (1.5/T)^{\delta} = 1.04 E_A T^{-0.09}$$

(7) $V-T$ 特性の長時間耐圧の電位の傾き E_L と絶縁厚さ t との関係は絶縁紙の重ね枚数に関係なく

$$E_L = 200 t^{-0.36}$$

でおおよそ表わされるが、絶縁紙の密度によって影響を受け密度が高いほうが若干低くなる。

(8) 油浸紙コンデンサの絶縁破壊は、直流電圧印

加時および重ね枚数が2枚の場合の交流電圧印加時においては絶縁紙に含まれた耐電圧弱点部で発生するが、重ね枚数が多くなるにつれて交流電圧破壊に対する耐電圧弱点部の影響がうすれ、電界が集中する電極端部で発生する割合が大きくなる。

(昭和50年3月13日受付, 同50年12月9日再受付)

文 献

- (1) 吉田: 第6回誘電材料導電特性専門委資料 EI 43-11(昭43)
- (2) 坂本: 日新電機技報 No. 10, 83 (昭34)
- (3) 吉田: 同上 19, 2, 66 (昭49)
- (4) 蓬郷・山内: National Tech. Rept. 9, 4, 326 (1963)
- (5) 坂本・吉田: 電学誌 75, 504 (昭30-5)