

ないと、単に $\tan\delta$ の大小をいうても意味がないことになる。

以上は文部省科学研究費によつてなした、研究の一部であることを附記する。

文 献

斉藤成文：高周波加熱

富士時報 1950, No. 4 絶縁材料の $\tan\delta$ と絶縁破壊の関係

福田 勝 電気材料

(I) (II) 溝口 毅 特殊絶縁材料パピロンについて (山工工学部学報) 2, 1

(III) 全 吸湿による誘電体力率変化とその一考察 (山工工学部学報) 3, 1

吸湿による誘電体力率変化とその一考察

溝 口 毅

1. はしがき

茲には繊維性電気絶縁材料が、大気中であつて吸湿する時、其誘電体力率の変化を見て、之についての簡単な考察を述べる。

2. 本 論

繊維性電気絶縁材料は、すべて吸湿性が強いから、一定湿度の空气中に、材料を放置した時その吸水分は経過時間とともに、徐々に変化するはずである。そこで今諸材料を、乾燥爐中に入れ、乾燥温度 105°C をもつて1時間半に亘り、充分に乾燥したのち取り出し、直ちにデシケターに入れる事一昼夜にして、 22°C の大気中に取り出し、放置した材料が徐々に、吸湿する状況を示すと、次のようになる。

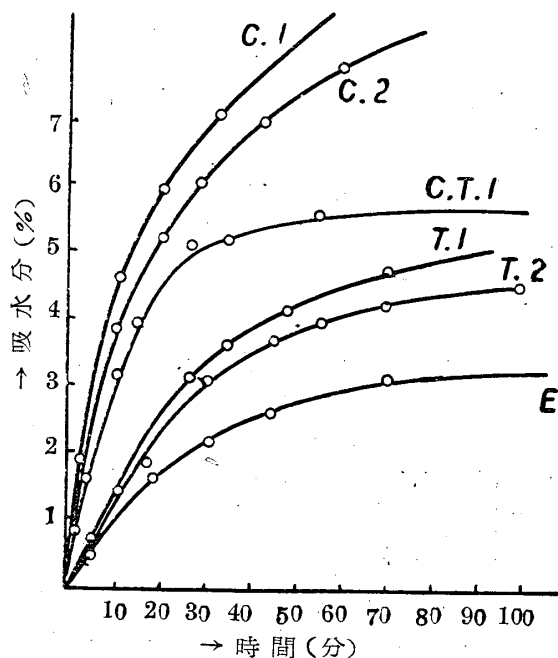
但し此の場合の室内湿度は89%附近にて、ほとんど一定であつた。

これによると、第1図に見るように綿製品、エムパイヤ(未処理)、Cotton tape, 等は一般に紙材料C, 1, C, 2, 等よりは、吸水分少なく、ことにエムパイヤクロスは、最吸湿性が小である。いづれも放置の始めには、急激に吸水分(%)が増加するが、ある時間を経過すると、次第々に飽和の状態に、近づいて行く。

(ここに用いたパピロンは前報に述べた、和紙を原料とした、繊維性絶縁材料である。)

次にこの場合における、誘電体損失の変化をQメーターによつて調査すると、第2図の如く $\tan\delta$ は、放置時間とともに種々変化する。

但し図中(1), (2), (3), (4), (5), (6), はそれぞれ次の材料を示す。測定周波数 1.5MC この変化を見ると、大約二部にわけられる。

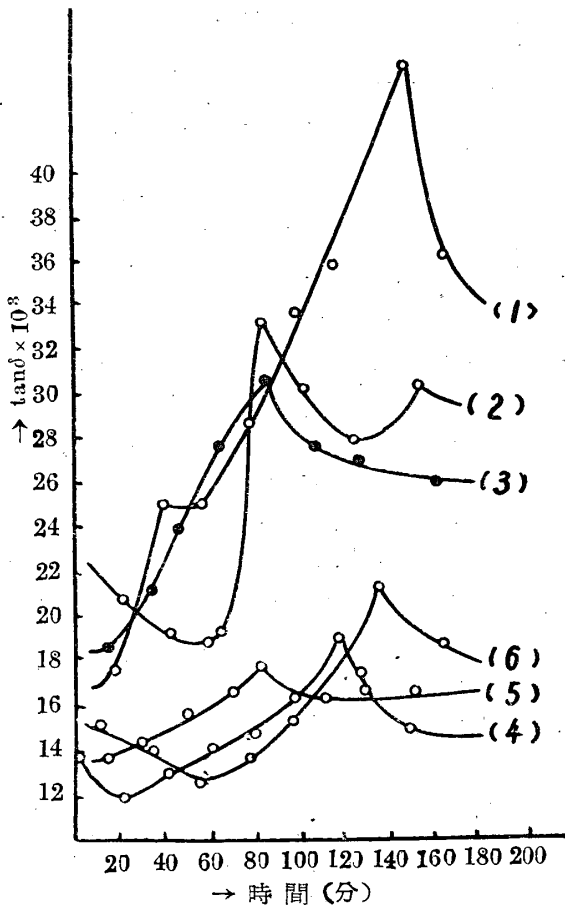


第 1 図

E: エムパイヤ, C.T.1: 綿テープ
C.1, C.2, T.1, T.2: パピロン

第一部は始めの部分で、時間とともに漸次増加する。(但し中には一旦減少してから後増加するものもあるが之は最初、爐中の温度の影響がまだ多少残留して、それがあらわれたものと思われる。)第二の部分は或時間経過後減少する部分である。之等の現象を説明するには量子論的説明を要するかも、知れないが茲には、極く簡単な仮定の下にも説明されることを示そう。

まづ第一部に於ては、材料の吸水とともに水の双極子能率が増加する。これは水分中のOH基によるもので、OH基は水に於ては二つあり、従つて水分の増加につれて、 $\tan\delta$ は最初の

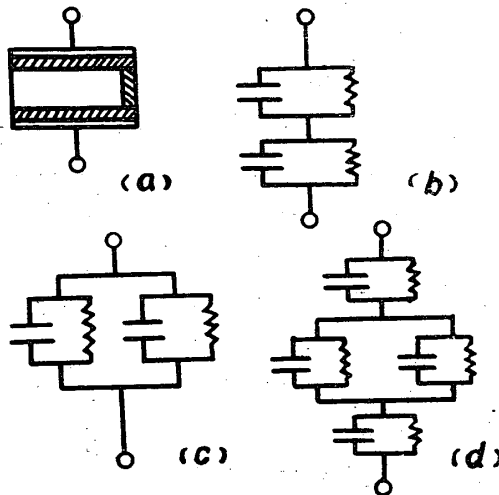


第2図

(1)Cl, (2)C.1(油浸), (3)C.2(全上) (4)C.2,
(5)エムパイヤ(油浸), (6)エムパイヤ(未処理)

中は急激に増加する。

次に第二部に於ては、時間とともにどの材料についても、漸減してくる。この関係を説明するのに次の様な、仮定をする。すなわち第3図に示す様に、吸湿した絶縁材料を、次のような



第3図

等価回路にかきなおして見る。図(a)(b)(c)(d), (a)のように材料の両表面上に $d_1/2$ 宛の厚さの水分が、直列に附着しなおその上材料の内部には、Evershed の如く毛細管的に、両端面間を架橋した水分をもつたものとする。すると表面に附着した、水分の部分の等価回路は、(b)図に示すようになるし、(c)図は材料の部分のそれを示す。従つて全体としての、等価回路は図(d)に掲げるように、上の二つの場合の Impedance が直列に結合したものと、考へて差し支かへない。

今 (b) 図における Admittance を \dot{Y}_1 とすれば

$$\dot{Y}_1 = \frac{\omega \epsilon_1 A}{4\pi d_1} (\tan \delta_1 + j) \times \frac{10^{-11}}{9}$$

茲に $\left\{ \begin{array}{l} \omega : \text{角周波数} \\ \epsilon_1 : \text{水の誘電率} \\ \tan \delta_1 : \text{水の誘電体力率} \\ A : \text{全表面積} \\ \frac{d_1}{2} : \text{吸湿した水分の厚さ(片面)} \end{array} \right.$

次に (c) 図における Admittance を \dot{Y}_2 とすれば

$$\dot{Y}_2 = \frac{\omega}{4\pi d_2} \left\{ (\epsilon_1 A_1 \tan \delta_1 + \epsilon_2 A_2 \tan \delta_2) + j(\epsilon_1 A_1 + \epsilon_2 A_2) \right\} \times \frac{10^{-11}}{9}$$

茲に $\left\{ \begin{array}{l} \epsilon_2 : \text{材料の誘電率} \\ \tan \delta_2 : \text{材料の誘電体力率} \\ A_1 : \text{架橋した水分の断面積} \\ A_2 : \text{材料の部分の断面積} \\ d_2 : \text{材料の厚さ} \end{array} \right.$

(b) 図 (c) 図における Impedance をそれぞれ \dot{Z}_1, \dot{Z}_2 とすれば

$$\dot{Z}_1 = \frac{4\pi d_1}{\omega \epsilon_1 A} (\tan \delta_1 - j) \times 9 \times 10^{11}$$

$$\dot{Z}_2 = \frac{4\pi d_2 \{ (\epsilon_1 A_1 \tan \delta_1 + \epsilon_2 A_2 \tan \delta_2) - j(\epsilon_1 A_1 + \epsilon_2 A_2) \}}{\omega \{ (\epsilon_1 A_1 \tan \delta_1 + \epsilon_2 A_2 \tan \delta_2)^2 + (\epsilon_1 A_1 + \epsilon_2 A_2)^2 \}} \times 9 \times 10^{11}$$

ここに $\tan \delta_1, \tan \delta_2$ は何れも甚小なる故、その二乗及び兩者の積は棄却してある。

$$\dot{Z}_2 = \frac{4\pi d_2 \{ (\epsilon_1 A_1 \tan \delta_1 + \epsilon_2 A_2 \tan \delta_2) - j(\epsilon_1 A_1 + \epsilon_2 A_2) \}}{\omega \{ (\epsilon_1 A_1 + \epsilon_2 A_2)^2 \}} \times 9 \times 10^{11}$$

いま全回路の全 Impedance を Z とすれば

$$Z = Z_1 + Z_2 = \left[\frac{4\pi d_1}{\omega \epsilon_1 A} \tan \delta_1 + \frac{4\pi d_2}{\omega} \frac{(\epsilon_1 A_1 \tan \delta_1 + \epsilon_2 A_2 \tan \delta_2)}{(\epsilon_1 A_1 + \epsilon_2 A_2)^2} - j \left\{ \frac{4\pi d_1}{\omega \epsilon_1 A} + \frac{4\pi d_2}{\omega (\epsilon_1 A_1 + \epsilon_2 A_2)} \right\} \right] \times 9 \times 10^{11}$$

故に全体としての誘電体力率は

$$\begin{aligned} \tan \delta &= \left[\frac{d_1 \tan \delta_1}{\epsilon_1 A} + \frac{d_2 (\epsilon_1 A_1 \tan \delta_1 + \epsilon_2 A_2 \tan \delta_2)}{(\epsilon_1 A_1 + \epsilon_2 A_2)^2} \right] \div \left\{ \frac{d_1}{\epsilon_1 A} + \frac{d_2}{(\epsilon_1 A_1 + \epsilon_2 A_2)} \right\} \\ &= \frac{d_1 \tan \delta_1 (\epsilon_1 A_1 + \epsilon_2 A_2)^2 + d_2 \epsilon_1 A (\epsilon_1 A_1 \tan \delta_1 + \epsilon_2 A_2 \tan \delta_2)}{\{d_1 (\epsilon_1 A_1 + \epsilon_2 A_2) + d_2 \epsilon_1 A\} (\epsilon_1 A_1 + \epsilon_2 A_2)} \end{aligned}$$

茲に $A = A_1 + A_2$ なる故これを代入して

$$\begin{aligned} \tan \delta &= \frac{d_2 \{d_1/d_2 \tan \delta_1 (\epsilon_1 A_1/A_2 + \epsilon_2)^2 A_2^2 + \epsilon_1 (A_1 + A_2) A_2 (\epsilon_1 A_1/A_2 \tan \delta_1 + \epsilon_2 \tan \delta_2)\}}{A_2 (\epsilon_1 A_1/A_2 + \epsilon_2) \{d_1/d_2 (\epsilon_1 A_1/A_2 + \epsilon_2) A_2 + \epsilon_1 (A_1/A_2 + 1) A_2\} d_2} \\ &= \frac{A_2^2 d_2 \{d_1/d_2 \tan \delta_1 (\epsilon_1^2 A_1^2/A_2^2 + 2\epsilon_1 \epsilon_2 A_1/A_2 + \epsilon_2^2) + \epsilon_1 (A_1/A_2 + 1) (\epsilon_1 A_1/A_2 \tan \delta_1 + \epsilon_2 \tan \delta_2)\}}{A_2^2 d_2 (\epsilon_1 A_1/A_2 + \epsilon_2) \{d_1/d_2 (\epsilon_1 A_1/A_2 + \epsilon_2) + \epsilon_1 (A_1/A_2 + 1)\}} \end{aligned}$$

$d_1/d_2, A_1/A_2, \tan \delta_1, \tan \delta_2$ 等は凡て 1 に比して小と見て其二乗又は兩者の積を棄却すると共に、簡単にして

$$\tan \delta = \frac{\epsilon_1 \tan \delta_2}{\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} A_1/A_2 + \epsilon_2 d_1/d_2 + \epsilon_1 A_1/A_2 + \epsilon_1} = \frac{\epsilon_1 \epsilon_2 A_2 d_2 \tan \delta_2}{(\epsilon_1^2 d_2 + \epsilon_1 \epsilon_2 d_2) A_1 + \epsilon_2^2 A_2 d_1 + \epsilon_1 \epsilon_2 A_2 d_2}$$

茲に A_1 及び d_1 は第 1 図における、吸濕曲線の形より見て

$$\begin{aligned} A_1 &= a(1 - e^{-mt}) \\ d_1 &= b(1 - e^{-mt}) \end{aligned}$$

(a, b, m は正の定数)

と考へて差し支えないからこれを上の $\tan \delta$ の式に代入してみると

$$\begin{aligned} \tan \delta &= \frac{\epsilon_1 \epsilon_2 A_2 d_2 \tan \delta_2}{\{(\epsilon_1^2 d_2 + \epsilon_1 \epsilon_2 d_2) a + \epsilon_2^2 A_2 b + \epsilon_1 \epsilon_2 A_2 d_2\} - \{(\epsilon_1^2 d_2 + \epsilon_1 \epsilon_2 d_2) a + \epsilon_2^2 A_2 b\} e^{-mt}} \\ &= \frac{K}{M - N e^{-mt}} = \frac{K}{\left(\frac{M}{N} - e^{-mt}\right) N} \end{aligned}$$

$$\begin{cases} K = \epsilon_1 \epsilon_2 A_2 d_2 \tan \delta_2 > 0 \\ M = \{(\epsilon_1^2 d_2 + \epsilon_1 \epsilon_2 d_2) a + \epsilon_2^2 A_2 b + \epsilon_1 \epsilon_2 A_2 d_2\} > 0 \\ N = \{(\epsilon_1^2 d_2 + \epsilon_1 \epsilon_2 d_2) a + \epsilon_2^2 A_2 b\} > 0 \end{cases}$$

$\epsilon_1, \epsilon_2, A_2, d_2, a, b, \tan \delta_2$ 等は同一温度同一周波数においては、凡て定数と考えられるから、 M, N, K もまたこの状態にては、定数と考へて差し支えない。然して

$$M > N \quad M/N > 1$$

故に $\tan \delta$ の値が時間 t の変化につれて変動する形を考えれば、 $\tan \delta$ は t とともに漸減することが分る。時間 t の甚大なる時には、 $\tan \delta$ は略一定値に近づくことも、上の式から分る。これは第 1 図に於て $t = \infty$ なる時、吸濕曲線が飽和状態になるのに、相当する。

またこの途中若し室内湿度温度等が変化すれば、 $\tan \delta$ もまたこの影響をうけるのは当然であ

る。第 2 図の曲線の最終部分に、これを示すものもある。

3. 結 論

以上のような考へ方は、単に一つの簡便な考へ方と、いうに止まるかも知れぬが、これによつて複雑難解な誘電体理論を用いなくて、現象を或程度理解する一法とも考へられる。以上は文部省科学研究費による研究の一部であることを附記する。

文 献

- 齊藤 成文：高周波加熱
- 水島三一郎：電波と物質
- Debye : Polare Molekeln
- (I) 溝口 : 特殊絶縁材料パピロンについて (山大工学部学報2.1)