又本協會雜誌の内容の一端に就て卑見を述べんに即學會の研究は其範圍甚廣く、其問題は直に利益の原因をなさずとも敢て問ふ所でないから、如何なる種類の問題を擇ぶも何の支障なく且近時は何々資金といふものを基礎とし學界の研究費に充つるもの甚多く、加ふるに大學の數を増したる爲め一層研究者も甚多くなれるに反し、實業界の問題は稀には問題外のものもあれど、多くは常に經濟上のものに限定され加ふるに其研究費などは叙上の如き資金を得ず又研究室さえ所有せざる有様にあり、而して其研究したる問題に就て見るに學界に於ては研究の價值なし否斯様な研究は其研究所又學校の權威に關するが故に發表を見合はせ沒收するといふが如き斷案を下されたものが實業界に於ては却て有用視され利益を得居るの實例甚多し。斯る小問題が研究されるとき之を發表すれば、忽ち其研究者の利益は他に奪はるゝの憂ひあるが爲に、一般に發表を厭ふ習慣あるは勿論の事なり、是れ實業界の研究が雜誌上に現はるゝ事の渺なき一因をなせるものである。

次に本會の名をして世界的ならしむる運動の是非に就きて一言せんに小子は之に對して決して不賛成を唱ふる譯ではないが、さりとて世界各國迄名を知らしむることが、本會の第一の目的ではない即ち會員が主であり、世界的の事は従である。未だ主の方に充分ならずして従の方に力を盡すは主客轉倒である。今暫く主に重きを置くの要ありと信ずるものである。

茲に於てか予の曰はんはんと欲するものは他にあらず、即ち此際窯業學會と窯業協會の兩者に分離し以て各獨立せしめては如何、互に意志の同じからざる會員を集めて一團とし常に不平と矛盾を抱藏しつゝ進むも甚心苦しいのみならず、其發達をして却て遅々たらしむる一因となるやも知れざればなり。

年頭に當り本會の本質を究め、本會行動の目標を見定めんとしたり、大方諸君の御批判を乞ふ。

報 文

硝子の組成と誘電體損失との關係 (其の一)

誘電體損失概説

江上健助

The Relationship between Chemical Composition and the
Dielectric Loss of Glass (I)

A Résumé on Power Loss of Dielectrics

Kensuke Egami.

緒 言

従来硝子は電氣絶縁材料の一として照明、通信、其他の電氣的方面に其の用途は可なり大なるものであるが、最近各種電氣工業の發達就中、短波長無線通信の進歩は更に優秀なる電氣絶縁材料需用の聲を高め硝子の如きも従來のものを以てしては到底其の要求を満足せしめ得ない迄に至つてゐる。従て近時この方面に於ける研究も行はれその所産として従來のものに比し更に良好なる性質を有する二、三の硝子が既に市場に現れてゐる。筆者も傾日來電氣的に優秀なる硝子を得る目的の下に硝子の組成と交流電場に於ける其の誘電體損失との關係

に付き研究を行ひつゝあり其結果組成に適當なるものを得る時は從來のものに比し誘電體損失の極めて少なき優秀なる硝子を得る事必しも難事に非ざる事を知り得たのである。本報文は其等の結果について記述する目的で筆をとつたものであるがそれに先つて硝子等の如きものを電氣絶縁物として使用するに當つて其の電氣的性質上最も重要な問題の一となる交流電場に於ける誘電體損失及び其れを specify する誘電體力率に就いて述べる事も又從勞ではないと考へるので其等に關し以下簡單なる記述を試みたのである。筆者元より電氣專攻の者ではなく從つてこれ等誘電體に關する詳細なる電氣的理論乃至事項に就いては勿論知る由もない、故に以下記する所も硝子研究者としてのこの方面に於ける單なる常識程度の極めて幼稚なるものに過ぎないのであり或は又記述の中には筆者の理解に誤りがあるかも知計り難い。これ等の點に就いては切に諸賢の御寛恕を御願ひすると同時に御教示を賜るを得ば筆者望外の喜びである。

I. 誘 電 體

(1) 完全誘電體

總ての物質は電氣的に考へて之を所謂導體と不導體（又は絶縁物）とに大別する事が出来る、ファラデー (Faraday) は異つた電位にある二の導體間に物體が置かれた場合其の物體に作用する動電力が其の電位差を消失せしめて或一定の電位に迄持來らしめるが如き電氣の移動を行はんとするに對して直にこれを生ぜしめざるが如き絶縁力を有するすべての物體を誘電體 (Dielectrics) と稱してゐる。從てすべての絶縁物は誘電體と考へる事が出来る。

今導體よりなる A, B 2 個の板面間に誘電體を挟んだものに就いて考へて見る。これは全體として一つの蓄電器を形成してゐる。この蓄電器の導體板 A, B の何れか一つを接地し他の導體板に Q なる電荷を與へ其の電位が V になつたとする、然る時は V, Q 間には次の關係が成立する。

$$V = Q/C$$

この C は一つの蓄電器に就いては定數であつてこれを蓄電器の容量 (capacity) と稱する。A に於ける + の電荷 Q はそれに等しい - の電荷を B に感應帶電せしめる。斯くして 2 個の導體極板間に引力が作用する。斯くの如き一導體極板が他の極板に對する作用は兩極板間に介在する媒質、即誘電體になつて行はれるものと考へられ斯くの如き状態にある誘電體は電氣的成極 (electric polarization) の状態にあると稱してゐる。ファラデーは蓄電器の容量は極板の大き並に兩極板間の距離によるのみならず其の間にある誘電體の種類にも依るものである事を發見し或る誘電體を媒質として作られた蓄電器の容量 C のこれと同大同形にして空氣を誘電體とする蓄電器の容量 C_0 に對する比即 $C/C_0 = \epsilon$ を其の誘電體の誘電率 (Specific inductive capacity) と定義してゐる。從つて

$$Q = CV = \epsilon C_0 V$$

若し理想的な誘電體であれば上述の様にして Q なる電荷が蓄電器に與へられる時は其處に平衡状態が成立し更に其の上の電氣の移動は起らない。而して誘電體內には電位傾度が存在し又 V の作用をうけて成極が成立す。マックスウェル (Maxwell) はこの成極なるものは V なる電位差によつて生起された電氣變位なる現象 (electric displacement, 同氏によつて斯く名づけられた) に一致すると考へた。即同氏は誘電體を通つて所謂電氣の流動は行はれないが或量の變位が行はれ得る。而して其の變位は其れを生起せしめた電位差の方向にしかも其れに比例するものであると考へたのである。この變位は誘電體の單位面積を通つて變位する電氣量によつて測る事が出来る。而してこの尺度は畢竟成極の其れに外ならないのである。換言すれば電場を構成する誘

電體には内部的に成極が潜在し誘電體と導體との界面には成極の兩側面が現はれる、之が正負帯電に相當する。

更に電場内の一點に於ける成極の程度は先其の點に於ける電場の強さ F に比例し又一方電場の誘電率 ϵ に比例する。故に成極は ϵF にて秤量する事が出来る。マックスウェルはこの成極を特に電氣變位と稱し D で表した。即

$$D = \epsilon F$$

これを電磁單位で表せば

$$D = \epsilon F / 4\pi v^2 \quad v \cdots \text{光の速度}$$

今誘電體の厚さ d , 斷面積 A で電位差 V とすれば

$$D = \epsilon V / 4\pi v^2 d$$

而して A, B 2 極板間の誘電體の各斷面を通過する電氣變位の總和 Q がである、故に

$$Q = D \times A = \epsilon V A / 4\pi v^2 d$$

で表はされる。

(2) 一般誘電體

現在一般に使用せられてゐる固體或は液體の誘電體で完全なる誘電體と考へられるものは存在しない。これらの誘電體は何れもこれに電位差を與へる時は直に電氣の移動を生じて電氣變位なる現象が生起されると同時に僅ながらも導電流を生ずる。斷面積 A 厚さ d なる誘電體の一片に就いて考へるに V なる電壓が其の兩端面に印加せられたとする時は電氣變位による移動電氣量 Q は前述の様に

$$Q = D \times A = \epsilon V A / 4\pi v^2 d$$

これと同時に導電流 i_c が流れる。その量は

$$i_c = \frac{A \sigma V}{d} \quad \sigma \cdots \text{誘電體の電導率度}$$

實際上の用途として誘電體は總て其の電氣的壓力に抵抗する性質を利用するものである。即、電氣の流動を生ずる事なく大なる電壓の作用に堪へるものである。然し乍らこの場合これが完全なる誘電體に非らざる限り僅少なながらも電流は流れる事は前述の通りである。この導電流は一般に漏洩電流と稱せられこれが小さい程絶縁物として良好なるは勿論である。若し完全なる誘電體である時は其れに印加せられた電壓は、誘電體内に於て電氣變位を生起するのみでこの電壓が除かるれば變位も消失する、従て變位が起つた時は誘電體内で或る量の電氣的エネルギーが消費されるけれどもこの變位を生じせしめた電場で除かるればこの誘電體は前に消費されたる同量のエネルギーを出す。斯くして完全なる誘電體が交流電場に置かれた場合誘電體によつてエネルギーは交互に蓄藏及放出が行はれ其處にはエネルギーの損失は生じない事になる。然し實際に用ひられる誘電體に於て全然エネルギーの損失無しに電壓に堪へるものはない。

勿論完全なる誘電體でない限り前述の様にこれに電壓が加へられる時は漏洩電流が流れる爲に其れによつてエネルギーの損失は當然考へられるが、交流電場に置かれたる場合のエネルギーの損失は前記の漏洩電流から豫期される量よりも遙に大である。この事實は斯くの如き交流電場に於ける誘電體の電力損失については更に他の原因がこれに加はる事を豫想せしむるものである。

(3) 一般誘電體の異狀現象

電磁説に従へば一般に誘電體は二つの定數によつて其の特性を表す事が出来る。即誘電率 ϵ と電導率 σ とである。然るに實際に於ては誘電體の性狀はこれ等の量によつて其の全部を決定する事は出来ない。總ての固

體及び液體の誘電體は ϵ 及び σ に全く無關係に見へる或る性質を示すものである。これ等の性質を一般に誘電體の異常性といつてゐる。交流電場に於ける電力損失は實際上最も重要な異常性の一つである。又誘電體に於ける殘留現象、及び吸收現象に重要な異常性の現れである。しかもこれ等の現象と交流電場に於ける電力損失との間には密接なる關係が存在するもので寧ろこの吸收現象は更に根本的な現象と見る事が出来る。

完全なる誘電體からなる平行板蓄電器に於てこれに一定なる電位差 V を與へる。然る時は誘電體は電氣變位を生起し蓄電器は充電され $Q = CV$ なる電氣量が蓄電される。斯の如くして蓄電器を充電する電流を充電電流と稱する。この電流は瞬時にして零に達して止む。若し誘電體が或る電導率を有してゐるならばこの充電電流の外に更に一定の導電流が流れる。而して充電電流が零になつてもこの導電流は電壓が保たれてゐる間は連續して流れる。逆に蓄電器の放電を行ふ時は放電電流が流れるがこれは直に零になる。而して導電流は電壓の除去と共に止む。

上述の如き實驗を一般の固體或は液體の誘電體に就いて行ふ時は前に述べた充電電流及導電流の外に更に一つの電流が流れる。この電流は漸減電流で時間と共に減少するがしかも數時間乃至數日間連續する事も稀ではない。斯くの如き漸減電流を吸收電流 (absorption current) と稱する。換言すれば一般誘電體に直流電壓を加へると電壓印加の瞬間から漸減電流が或る時間流れる。而して最後には一定値に達する。この電流に於て電壓印加瞬間に於ける蓄電器の容量に對する充電電流と最後に達した一定値の電流とを除いた電流を吸收電流と稱するのである。逆に放電の際に於てもこれと同様の現象が起る。只この場合は導電流は流れない。この吸收電流によつて運ばれる電荷は充電の場合誘電體によつて吸收せられ放電の場合放出されるものでこの現象を吸收現象と稱してゐる。又これ等の誘電體に直流電壓を加へたる後電路を切つて電壓印加を停止すると其の兩端に一般に正印加の端が正極に負印加の端が負極になつた電位が殘留する。こゝに殘留する電荷は前述の場合に於ける吸收電流になつて運ばれた電荷に相當するものである。この電荷を殘留電荷と稱しかゝる現象を殘留現象と稱する。

上述の如き吸收現象を示す一般誘電體を交流電場に持來す時は吸收現象が主なる原因をなして誘電體內に於て或る量の電力損失を生ずるに至るものである。これ等直流電場に於ける吸收現象及び其れより推論せられる交流電場に於ける誘電體の電力損失の機構或は其等の間の關係等の説明に就いては從來諸學者によつて研究せられ種々なる理論が提出せられ又現在に於ても盛に研究が行はれつゝある。即 Maxwell の理論、Houllévi-gue 及び Pellat によつて提唱せられた Dielectric Hysteresis 説、Schweidler, Wagner 等の理論、Thornton より提出せられた Inter-attraction 説、Günther-Schurze による Ionic 説、或は又 Deby による Dipole 理論の如きは其の著名なるものである。これ等の點に關する記述については餘り専門的な部門に入りすぎるのでこゝでは省略する。

II、誘電體の品位を決定する諸定數

誘電體が實際に使用される場合使用の目的に應じて其れの特性を知る一つ的手段として其等誘電體の特性に關する定數を決走する。一般に誘電體の使用に際して常に問題となるものは次の諸點である。

(1) 誘電率

誘電體に就いては前に述べたのでこゝでは省略する。

(2) 絕緣抵抗

漏洩電流を決定するに必要なもので絶縁抵抗を表す定数としては体積固有抵抗 (volume resistivity) である。即誘電体の 1 立方体の兩對面間の電氣抵抗である。然し乍ら一般に固體の誘電體の場合は漏洩電流は二つの部分から成る。一つは其の物體内部を流れる電流で、他の一つは其の表面を流れる電流である。前者は全く物其れ自身の性質であるが後者は物體の表面に附着せる水分或は他の物質の薄層を通つて流れるもので元より誘電體自身の性質によるが、更に外界の影響を受ける事も大でこの表面の漏洩電流を決定する定数を特に表面固有抵抗と稱する。

(3) 絶縁破壊

絶縁物に印加した電壓を次第に増大すると或る値に達した時其の絶縁物を通つて或は其の表面に沿ふて絶縁力が破壊される。これを絶縁破壊と謂ひ其の時の電壓を絶縁耐力或は耐電壓と稱する。絶縁物の表面で電弧が續いて沿面火花放電が起り絶縁が破壊される電壓を表面弧絡電壓或は單に弧絡電壓と謂ひこれに對して絶縁物内部が破壊されて絶縁力が失はれる電壓を破壊電壓と謂ふ事がある。普通に誘電體の絶縁耐力或は耐電壓と謂ふ時にはこの意味の事が多い。表面弧絡電壓は物質の種類による事は勿論であるが其の外に電極の形、距離及び相對的位置、電源の種類、電壓印加の時間、表面の状態、外氣の状態等の影響により差異を生ずる、破壊電壓も亦物質の種類による外に電極の形、距離、電源の種類、電壓印加時間等の影響により差異を生ずる。

(4) 誘電體損失

前にも述べた様に誘電體を交流電場に置く時は常に或る量の電力が誘電體内で熱となつて消費せられ誘電體の溫度を上昇せしめる。かゝる電力損失を一般に誘電體損失と謂ふ。この誘電體損失は勿論物質自身の性質によるものであるが其他に種々外的な諸條件の影響を受ける事が大なるものである。本稿はこれに就いて述べるのが其の主なる目的であるからこれを決定する數値に就いては次章に詳述する。

III、誘電體損失

誘電體に交番電壓を印加した場合誘電體内で消費される電力は種々なる方法で specify されてゐる。以下述べるのも其の一である。一般に導體と誘電體とが共に電氣的に使用される場合其は一つ蓄電器と看做す事が出来る。従つて誘電體損失の問題を取扱ふ場合はこの誘電體を持つ蓄電器に就いて考へればよい。

今蓄電器のみを有する電路に於てこれに交番電壓を印加する時は其の電路に一つの電流が流れる。其の際用ひられた誘電體が完全なものであれば電力の損失は生じないのである。この場合の印加電壓が正弦波型のものである時は電壓 v は

$$v = V_0 \sin \omega t$$

V_0 …… 電壓の最大値

$\omega = 2\pi f$ …… 電氣的角速度、 f は周波數

t …… 時間

で表される。誘電體の容量を C とすれば蓄電量 q は

$$q = C_0 = CV_0 \sin \omega t = Q_0 \sin \omega t$$

$Q_0 = CV_0$ …… q の最大値

流れる電流 i は

$$i = dq/dt = V_0 C \omega \sin(\omega t + 90^\circ) = I_0 \sin(\omega t + 90^\circ)$$

$I_0 = V_0 C \omega$ …… i の最大値

で表す事が出来る。従つて上式に示す様に電流と電壓との位相差は 90° となり電流は電壓に對して 90° だけ進む事になる。

然るに一般に使用される固體（或は液體）の誘電體に於ては前にも述べた通り或量の電力が常に誘電體內で熱となつて消費される。其結果電流と電壓との位相差は 90° ではなくなり其れよりも小なる $(90^\circ - \delta)$ なる値をとる。この δ は他の條件が一定の場合唯、誘電體の如何によるものであるからこれを誘電體の損失角と稱する。この場合電流及び電壓の實效値を各 I 及び V とすれば電力損失量 W は

$$W = I V \sin \delta$$

で表される。この $\sin \delta$ を誘電體の力率（power factor）と稱する。即この値が小さい程誘電體として良いといふ事になる。

第一圖

斯くの如き損失を有する蓄電器は其の損失の起る眞の機構は別問題として次の様に考へる事が出来る。郡第一圖に示す様に容量 C なる完全なる誘電體を有する蓄電器とこれに並列に非常に大なる抵抗 R とを組合せたもので電力損失はこの抵抗によつて生じたものと考へる。

斯くの如き電路に於て $v = V_0 \sin \omega t$ なる電壓が印加される時は電流 i は次の様になる。

$$\begin{aligned} i &= v/R + dq/dt = v/R + C dv/dt \\ &= V_0 (1/R \sin \omega t + C \omega \cos \omega t) \end{aligned}$$

$(1/R)/C\omega = \tan \delta$ で表す時は

$$\sec \delta = \sqrt{1 + \tan^2 \delta}$$

$$\therefore \cos \delta = \omega C / \sqrt{\omega^2 C^2 + 1/R^2}$$

$$\operatorname{cosec} \delta = \sqrt{1 + \cot^2 \delta}$$

$$\therefore \sin \delta = (1/R) / \sqrt{\omega^2 C^2 + 1/R^2}$$

$$\therefore i = V_0 \sqrt{\omega^2 C^2 + 1/R^2} (\sin \omega t \sin \delta + \cos \omega t \cos \delta)$$

$$= V_0 \sqrt{\omega^2 C^2 + 1/R^2} \cos(\omega t - \delta)$$

$$= V_0 \sqrt{\omega^2 C^2 + 1/R^2} \sin(\omega t + 90^\circ - \delta)$$

$$= I_0 \sin(\omega t + 90^\circ - \delta)$$

$$\text{但し、} V_0 \sqrt{\omega^2 C^2 + 1/R^2} = I_0$$

斯くして電流は電壓に對し $(90^\circ - \delta)$ だけ進む事になる。この場合の電流と電壓とのヴェクトル圖は第二圖のようになる。

第二圖の様に V_0 なる電壓が印加される時は流れる電流 I_0 はこれを二つの成分に分けて考へる事が出来る。即電壓 V_0 に直角の方向の成分 OA と V_0 に平行なる成分 AB の二つで前者は C なる容量の蓄電器に於ける電流であり後者は並列にある抵抗 R による電流である。 V_0 を電壓の最大値とすれば

$$OA = V_0 C \omega$$

$$AB = V_0 / R$$

第二圖

而して實際の電流 OB 即 I_0 はこの兩者のベクトル和で表される。

この場合蓄電器の容量 C は

$$C = I_0 \cos \delta / V_0 \omega$$

で表される。又

$$\tan \delta = (1/R)/C\omega = G/C\omega \quad [1/R = G]$$

である。 δ の値が非常に小さい時は

$$\sin \delta \doteq \tan \delta$$

従つて斯くの如き場合誘電體の力率 $\sin \delta$ は近似的に $\tan \delta$ で表す事が出来る。(一般にはこの値を用ひてゐる。)

實際に誘電體に正弦波型の交番電壓が印加された時の電流の波型を直接に調べた結果殆どすべての場合電流と電壓との位相差は 90° よりも小さい値をとつてゐるが其の外に或る場合に於ては電流の波型が或る程度ゆがめられてゐる事が見出される。斯くの如き場合は最早上述の様に完全なる蓄電器と抵抗との組合せになつて一般誘電體を用ひた蓄電器の性状を表す事は出来なくなる。唯この歪みを省略する事によつても其の性状を大體説明し得られる。従つて今はこの歪はないものとして説明する。

✓誘電體損失を有する蓄電器に容量なる用語を適用する場合注意を要する。この場合 v なる交番電壓が印加された時電流 i 及び蓄電量 q は前述の様に

$$v = V_0 \sin \omega t$$

$$i = I_0 \cos (\omega t - \delta)$$

$$q = I_0 / \omega \sin (\omega t - \delta) = Q_0 \sin (\omega t - \delta)$$

容量は一般に q/v で表される。而して完全なる誘電體に於ては

$$q/v = \frac{Q_0 \sin \omega t}{V_0 \sin \omega t} = \frac{Q_0}{V_0}$$

であるから勿論定數である。然し乍ら一般の誘電體に於てはこの値は定數ではない。即

$$q/v = \frac{Q_0 \sin (\omega t - \delta)}{V_0 \sin \omega t}$$

従つて一周期の間に於て q/v は種々なる値をとり得る。斯くの如き場合容量として如何なる値をとるかに就いては一般に次の如き場合の値が用ひられる。即 v が最大値の場合である。この場合 v が最大なる爲には $\omega t = \pi/2$ でなければならない。従つて

$$q/v = [Q_0 \sin (\pi/2 - \delta)] / V_0$$

$$= (Q_0 \cos \delta) / V_0$$

$$= (I_0 \cos \delta) / V_0 \omega = C$$

即前掲のベクトル圖から求めた容量の式に一致する。或る一定の周波數に於ける蓄電器の實效容量としては一般にこの値をとる。この値は僅ではあるが周波數によつて變化する。従つて其の値から計算される所謂誘電率の値も亦周波數につて變化する事になる。従つて交番電壓の下にある蓄電器の實效容量から計算した誘電率の値を屢其の條件に於ける permittivity なる語で表してゐる。

誘電體損失 W は其の場合の電流及び電壓の實效値を I 及び V とする時前に述べた様に

$$W = IV \sin \delta$$

又蓄電器の實效容量は電流、電壓共に實效値をとる時は

$$C = I \cos \delta / V \omega$$

故に $W = V^2 \omega C \tan \delta$

となる。permittivity を ϵ とすれば前述の様に

$$\epsilon = C/C_0$$

従つて

$$W = V^2 \omega \epsilon C_0 \tan \delta$$

となる。即交番電壓下に於ける誘電體損失は一般に上式を以て表す事が出来る。上式に見る様に誘電體内の電力損失は電氣的條件其他の外的條件が一定であれば其の誘電體の permittivity ϵ と損失角の正切 ($\tan \delta$) との積に比例する。即この兩者の積が小さい程誘電體として良好といふ事になる。従つて一般に交流電場に於ける種々なる誘電體の優劣を比較する爲には種々なる條件に於けるこの兩者を測定して其の比較を行へば大體に於て其の目的を達する事が出来る。今相對する面積 A , 厚み d , permittivity ϵ なる板狀誘電體からなる平行板蓄電器に就いて其の實效容量を實用單位で表せば

$$C = A \epsilon / 9 \times 10^{11} \times 4\pi d \text{ フアラッド}$$

従つて誘電體損失 W は

$$W = V^2 \omega C \tan \delta \quad \text{ワット}$$

$$= V^2 A \epsilon \omega \tan \delta / 9 \times 10^{11} \times 4\pi d \quad \text{ワット}$$

$$\text{但し } V \dots\dots\dots \text{ヴォルト}$$

$$\omega = 2\pi f$$

$$f \dots\dots\dots \text{サイクル/秒}$$

$$C \dots\dots\dots \text{ファラッド}$$

$$A, d, \dots\dots \text{C. G. S. 單位}$$

VI. 誘電體損失に對する外的諸條件の影響

交流電場に於ける誘電體の電力損失に就いては種々なる外的條件の影響が考へられる。其等の考慮さる可き條件の主なるものは次の如きものである。(1) 周波數、(2) 溫度、(3) 電壓、(4) 大氣の濕度。以下これ等の影響に就いて簡単に述べて見る。

(1) 周波數の變化による影響

前掲の誘電體損失の式

$$W = V^2 \omega C \tan \delta$$

$$= V^2 2\pi f C \tan \delta$$

に於て周波數 f のみを變數としてとる時は $\tan \delta$, C が全然 f に無關係であるとするならば

$$W = k f$$

で表される。即 W は f の増加と共に増加し、しかも其の關係は直線で表される。然し種々なる誘電體に就いて實測の結果は一般に周波數の變化による W の變化は斯くの如く直線的ではない事が知られてゐる。然も其の變化は一般電力或は電話等に於ける如き低周波數の場合と無線周波數の如き高周波の場合とでは著しく異なる。

上記の如く W が f の一次式で表されると見て差しつかへないのはきはめて短い範囲の間のみである。一般には低周波数の場合は

$$W = kf^m \quad m < 1$$

で表される。この事は $\tan\delta$ は f に無関係でなく其の値は f の増加と共に減少する事を示してゐる。

$$W = kf^m = V^2 2\pi f C \tan\delta$$

$$\therefore C \tan\delta = kf^m / V^2 2\pi f = k / V^2 2\pi f^{(1-m)}$$

若し C の周波数による變化が省略的であるならば

$$\tan\delta = k / V^2 2\pi C f^{(1-m)}$$

即ち f の増加と共に $\tan\delta$ は減少する事を示す。測定の結果も亦一般に f の増加と共に $\tan\delta$ の減少する事を示してゐる。然し無線周波数の如き高周波数の場合はこれと著しく異り上式を以て表す事は出来ない。若し上式が高周波数の場合にも適用出来るならば $\tan\delta$ は f の増加と共に減少すべきであるが事實は返つて増加し或る點で最大値をとり又低下する如き傾向を示してゐる。尚又實効容量 C の値も僅ではあるが周波数に對し變化する事も示されてゐる。

(2) 温度の影響

一般に使用される誘電體の中であるものは温度の上昇と共に損失も急激に増大する事は總ての研究者の一致した結果である。然し又或るものでは逆に減少を示すものである。一般に一つの誘電體に關し $\tan\delta$ の温度による變化に就いての測定結果を見るに第三圖に示す様な曲線となる。

第 三 圖

圖の $f_1, f_2, \dots$ は何れも異なる周波数である。この圖に見る様に $\tan\delta$ と温度との關係曲線には最高點と最低點が存在する。而も其の位置の温度は周波数によつて異なる。この結果からワグナーは次の様に謂つてゐる。

$\tan\delta$ を種々なる周波数に於て温度の函數で表す時は或る一定の誘電體に於ては各周波数に於ける $\tan\delta$ - 温度曲線は一定の形を持つてゐる。唯 f_1 の場合と f_2 の場合に於てはこれを一つの圖紙に作圖する時曲線が多少ずれるだけである。若し斯くの如きものとすれば誘電體損失はその測定温度の範圍により或るものに於ては温度の上昇と共に増加し又或るものは反對に減少する事も考へられる。更に種々なる誘電體に於て若し常温が第

三圖に於ける T_1, T_2, T_3, T_4 の溫度に相當するものとすれば其等誘電體の常溫に於ける $\tan\delta$ と f との關係は夫々第四圖の A, B, C, D の如き曲線になる事も考へられる。

第 四 圖

尙一般に固體の誘電體に於て溫度を上昇せしめて熔融點以上に達せしめる時は損失は急激に増大するものである。

(3) 電壓の影響

前述の様に誘電體損失は

$$W = V^2 \omega C \tan\delta$$

であるから上式より明かな様に C と $\tan\delta$ が電壓に無關係であれば W は V の二乗に比例すべきである。これを便宜上二乗の法則(Square law)と稱してゐる。若し C 及び $\tan\delta$ が V の増加と共に増加すれば W は更に急激に増加すべきである。この點に關しては多くの研究者の結果は區々でいまだ完全なる説明は與へられてゐない。或る研究者は他の條件が一定であれば芒光放電が生ずる電壓迄は W は二乗の法則に従ふと謂つてゐる。又或る者は $\tan\delta$ は或る臨界溫度迄は電壓に無關係であり其の點を越すと電壓の増加と共に $\tan\delta$ は急激に増加する。又長時間高電壓を印加すれば溫度上昇の爲に W は増加し $\tan\delta$ の増加は屢これに起因するといつてゐる。一般の固體誘電體に於ては比較的低電壓の場合即損失が實際上殆ど吸収現象によるものと考へられる場合は損失は電壓の二乗に比例するが更に電壓が上昇してイオン化又は芒光放電の如きものが起り得る様なれば損失は電壓と共に急激に増すものと考へられる。

(4) 大氣の濕度の影響

絶縁物が水分を吸着或は吸収した場合損失が非常に増大する事は周知の事實である。絶縁物の表面漏洩は水分の吸着に起因する事が最も大である。この表面漏洩は勿論或る量の電力損失に相當する。従て大氣の濕度は誘電體の使用上重大なる影響を持つのである。

V. 誘電體の力率及び誘電率

一般に電氣絶縁物として使用される誘電體の力率及誘電率は次表の如きものである。

(誘電率の値は一般的な値である)

種 類	測定周波数 (サイクル)	測定温度 (°C)	$10^4 \tan \delta$	ϵ
バ ラ タ	800	20	50	2.6~3.5
ガタパーチャ	800	"	100~300	2.6~3.5
エポナイト	500~5,000	"	25~230	2.5
セ レ シン	500	"	0.2	2.1
	1,000	"	0.3	
	5,000	"	0.5	
フリント硝子	50	"	40	6~9
	1,000	"	30	
	5,000	"	15	
	50,000	"	8	
	140,000	"	4	
硝 子(普通)	$10^3 \sim 10^6$	"	4~75	5~7
磁 器	50	"	500	4~6.8
雲 母	50	"	3~15	4.5~9
	1,000	"	2~10	
	5×10^5	"	2	
カウチウリ	500	"	115	
	5,000	"	90	2.3~3
ゴム(33%パラゴム)	500	"	170	
	1,000	"	150	
	5,000	"	110	1.8~2.3
パラフィン	500	"	0.5	
	1,000	"	0.8	
	5,000	"	1.2	
電話紙ケーブル(長距離用)	800	"	120~160	
電力用電纜(含浸紙縁)	50	"	50~200	

(逓信省電気試験所第五部硝子研究室)

講 演

コットレル電気收塵法と其の應用 (其二)

志 賀 潔

(IV) 窯業方面に對するコットレル法の應用

窯業方面に對するコットレル法の應用を既設設備に關するもの並に 將來可能性のあるものゝ兩方面に就き略述する事とする。

(1) セメント製造工業方面

セメント焼成廻轉窯の排煙を處理して飛散灰塵を捕集しつつあるコットレル装置は前出第6表に示せる通り相當多數にある、猶同表以外に増設或は新設する工場も亦相當數あるのである、同種收塵器の代表として當市にある、大阪窯業セメント會社の廻轉窯附屬コットレル装置の規模構造並に運轉成績の概要を述べよう、コットレ