

UDC 621.313.045.1: 621.3.048.2  
621.315.617.011.5

論文

48-A 70

## 回転機用高圧コイル絶縁の複合誘電特性

日立製作所 磯部 昭二

日立製作所 向井 淳二

### 1. まえがき

回転機の高電圧コイルの絶縁診断は、 $\tan \delta$  測定が一般化され始めてから約 20 年経過した。 $\tan \delta$  測定は、この間にすっかり定着した観があり、いろいろと絶縁試験法は提案されているが、この測定がいちばん広く用いられているようである。 $\tan \delta$  の測定は現状電圧特性がほとんどであって、これによりボイド放電開始電圧や  $\Delta \tan \delta$  から絶縁層の劣化状態を判定している。

ひるがえって、 $\tan \delta$  の絶対値はほとんど気にかけられていない、つまり誘電体損による損失ならびに温度上昇はとるに足らぬ値であるためである。しかしながら、機械が次第に高圧化、高温化になれば、 $\tan \delta$  の絶対値も問題にならないとは限らない。

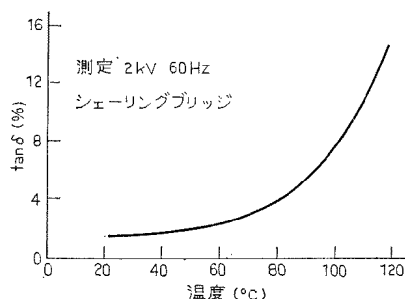
また最近、合成樹脂の発達により任意の特性を有するワニスがある程度製作可能となった。その一例として、天然樹脂などでは実例が見当ることができないもの、すなわち温度が上がっても  $\tan \delta$  がほとんど変わらないというような合成樹脂ワニスができるようになった。しかし、これにてマイカを主体とした絶縁を持つコイルに真空注入し硬化させたところ、ワニス単独で見られるような  $\tan \delta$  温度特性でなく、かなり温度により  $\tan \delta$  が影響を受けることがわかった。ここにおいて、なぜワニス単独の特性がマイカ複合絶縁において生かされぬのかという疑問を生じた。この疑問に答えるべく検討したのが本報告である。

### 2. 不飽和ポリエステルワニス P によるコイルの特性

マイカ含浸用の不飽和ポリエステルワニス P は、ワ

The Composite Dielectric Properties of High Voltage Coil Insulations for Rotating Machinery. By S. ISOBE, Member (Hitachi Works of Hitachi Ltd.) & J. MUKAI, Member (Hitachi Research Laboratory of Hitachi Ltd.).

磯部昭二：正員，日立製作所日立工場  
向井淳二：正員，日立製作所日立研究所



第 1 図 ワニス P によるマイカ絶縁コイルの  $\tan \delta$ -温度特性

Fig. 1.  $\tan \delta$ -temperature characteristic of mica insulated coil, impregnated by varnish P.

ニス単独での  $\tan \delta$ -温度特性は良好である。しかし、これをマイカ絶縁をしたコイルに含浸するとコイルの  $\tan \delta$ -温度特性が良好にならなかった。この原因として、ワニスがマイカ層を通るとき、不純物が溶け込むいわゆる汚染の影響と考え、この方面の研究をすると同時に、マイカとワニスの複合絶縁の影響をも調査した。

不飽和ポリエステルワニス P によるコイルの  $\tan \delta$ -温度特性は第 1 図に示すようである。絶縁の  $\tan \delta$  は 120°C で約 15% であるが、ワニス単独では 120°C で約 2% である。

### 3. マイカと不飽和ポリエステル系ワニスの複合絶縁特性

ワニスとマイカの間げきをぬって、コイルの深部まで注入される際に、マイカ、紙、ガラステープなどのコイル構成材料より汚され、これより  $\tan \delta$  特性が悪化すると考えた。各構成材料をしらみつぶしにワニスに浸せきしたり、ワニスを注入したりして調査したが

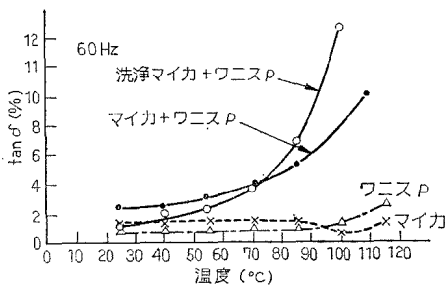
原因がわからなかった。

この段階で考えられたのが、マイカとワニスの複合体絶縁の影響である。各種不飽和ポリエステル系ワニスとマイカおよびポリエチレンテレフタレートフィルム（アメリカ DU PONT 社製、商品名マイラ、以下マイラと称す）を組合せて複合体絶縁のモデルを作り検討した結果に基づき、改良されたワニスが製作された。これによりモデルコイルにおいても、実物コイルにおいても  $\tan \delta$ -温度特性が改善された。

なお、以下各種の測定データが掲載されるが、各データ間に若干の差異があるのは、各目的ごとに製作されたサンプル間の特性のばらつきによるもの、ならびに測定時期の相違による微妙な条件の相違からくるものである。

**〈3・1〉 ワニス P とマイカおよびマイラとの複合体特性** 複合体のモデルはコイル絶縁の状態に近似させるようにマイカを雑然として配置し、これにワニス P を注入して製作し、特性の調査を行なった。しかしこれではマイカの間げきをぬってパスが考えられるため、純粋の複合体特性を見られないとして、次に大きなマイカ片を 1 枚 1 枚規則正しく積重ね、この間にワニスを注入してモデルを作り、特性の調査をした。

(1) マイカの雑然としたモデル 樹脂板作製金具の間にマイカ片をできるだけ詰め込み、真空乾燥後ワニス P を真空注入し硬化してモデルを製作した。これの  $\tan \delta$ -温度特性をワニスとマイカと比較して第 2 図に示す。図に示すように、ワニス P およびマイカの特性は良好であるにもかかわらず、マイカ+ワニス P はコイルの場合、すなわち第 1 図と同様に  $\tan \delta$ -温度特性は悪化している。マイカに汚染物質がついていないかと思い、よくマイカを水で洗い、120°C 2 昼夜乾燥



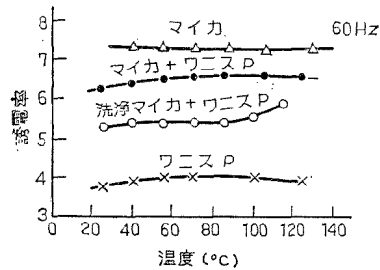
第 2 図 マイカとワニス P およびその複合体の  $\tan \delta$ -温度特性 (ただし、複合体はマイカが雑然として入った)

Fig. 2.  $\tan \delta$ -temperature characteristics of mica, cured varnish P and its composite dielectrics in irregular arrangement of mica.

したものについて同様複合体を作ったが、第 2 図のようにやはり  $\tan \delta$ -温度特性は悪い。これらの誘電率と体積抵抗率の温度特性を第 3 図、第 4 図に示す。

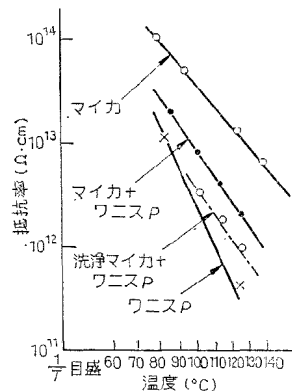
(2) マイカおよびマイラの整然としたモデル

以上の測定結果はマイカ片が樹脂板中に雑然としてはいつているため、第 5 図のように伝導損によるものか、あるいは真に複合体の影響によるものか不明であるため、樹脂板の厚さ方向に、マイカ片が平行に規則正しく並んだ試料で、純粋に複合体を作り特性の調査をした。マイカ片はブックホームのうちかなり大きなものを選び、これを 1 枚 1 枚積重ね、この間にワニスを流し込み、第 6 図のような複合モデルを作った。複合体を作ったマイカは平均 0.02mm 厚さで、これを



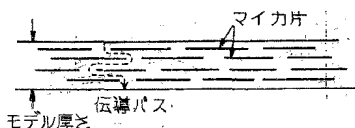
第 3 図 マイカおよびワニス P 複合体の誘電率-温度特性 (ただし、複合体はマイカが雑然として入った)

Fig. 3. Dielectric constant-temperature characteristics of mica, cured varnish P and its composite dielectrics in irregular arrangement of mica.



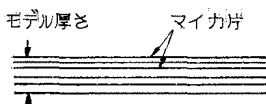
第 4 図 マイカとワニス P ならびにそれらの複合体の抵抗率-温度特性 (ただし、複合体はマイカが雑然として入った)

Fig. 4. Specific insulation resistance-temperature characteristics of mica, cured varnish P, and its composite dielectrics in irregular arrangement of mica.



第5図 雑然と入ったマイカ-ワニス複合体の伝導の例

Fig. 5. An example of conducting path in a composite dielectric of mica and varnish, in irregular arrangement of mica.



第6図 規則正しく入れたマイカ-ワニス複合体の例

Fig. 6. An example of a composite dielectric of mica and varnish in regular arrangement of mica.

第1表 複合体モデルの厚さ

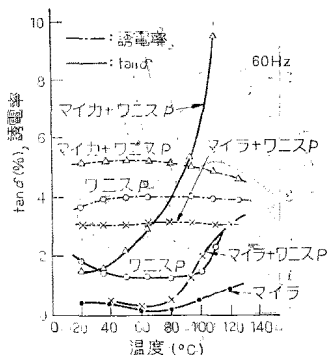
Table 1. Thickness of composite dielectrics and its component.

厚さ (mm)	試料	
	ワニスP+マイカ	ワニスP+マイラ
モデルの厚さ (mm)	0.48	0.43
マイラまたはマイカ のみの厚さ (mm)	0.28	0.35
ワニスの厚さ (mm)	0.20	0.08

14枚重ねた。またマイラと比較する必要を感じたので、0.05mm厚みのマイラ7枚重ね、この間にワニスを流し込みモデルを作った。第1表は各モデルの厚さをまとめたものである。

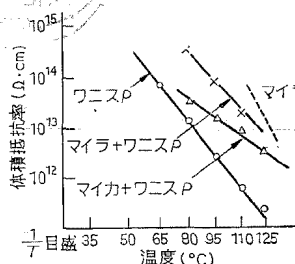
これらの  $\tan\delta$ -温度特性を第7図に示す。前と同様にマイカとワニスPの複合体の特性は悪い。これにより明らかのように、マイカとワニスPの複合体の  $\tan\delta$ -温度特性の悪いのは本質的に複合体の影響であり、第5図のような伝導パスによる損失でないことがわかった。これに比較してワニスPとマイラの複合体は、マイカ+ワニスPよりも良くなっている。モデルのマイラの厚みが大きかったための影響とも考えられる。これらの複合体の抵抗の温度特性を第8図に示す。雑然とマイカのはいった場合の抵抗-温度特性(第4図)に比して大差のないことがわかる。

マイカとワニスPの複合体の周波数を変化させたときの  $\tan\delta$ , 誘電率の温度特性を第9図, 第10図に示す。周波数を増加させると急激に高温部の  $\tan\delta$  は低下する。参考までに、使用したワニスPの周波数変化



第7図 ワニスPとマイカ, マイラとの複合体の  $\tan\delta$ , 誘電率の温度特性 (60Hzシェーリングブリッジ測定) (ただし複合体はマイカ, マイラの整然としたモデル)

Fig. 7.  $\tan\delta$ , dielectric constant-temperature characteristics of composite dielectrics of mica, mylar and varnish P, in regular arrangement of mica.



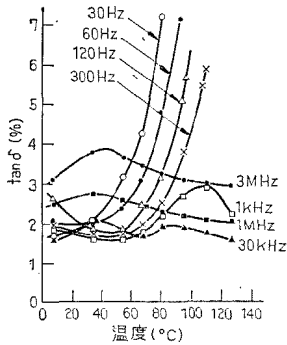
第8図 ワニスPとマイカ, マイラの複合体の体積抵抗率の温度特性 (ただし, マイカ, マイラの整然としたモデル)

Fig. 8. Insulating resistance of composite dielectrics of mica, mylar and varnish P, in regular arrangement of mica.

による  $\tan\delta$ -温度特性を第11図, 誘電率-温度特性を第12図に示す。

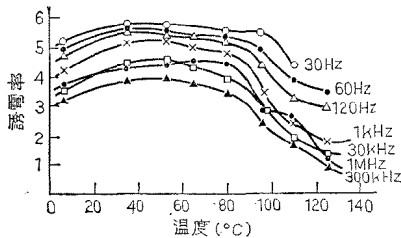
ワニスPの周波数変化による  $\tan\delta$ -温度特性(第11図)とマイカとワニスPの複合体のそれ(第9図)とを比較して、高温部  $\tan\delta$  は後者のほうが低周波部において著しく高くなっているのは前述のとおりである。マイカの周波数特性において、高温部の  $\tan\delta$  は悪くはないので、複合体の高温  $\tan\delta$  がマイカ単独, ワニス単独の値より高くなるのはやはり複合体の影響であると考えられる。誘電率に関しては、複合体はマイカならびにワニスPのちょうど中間の値を示している。

以上の諸点から、マイカとワニスPとの複合体のみ



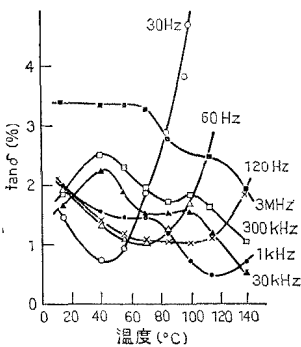
第 9 図 マイカ+ワニス P 複合体の周波数変化による  $\tan \delta$ -温度特性 (ただし、マイカの整然と入ったモデル)

Fig. 9.  $\tan \delta$ -temperature characteristics of composite dielectrics of mica and varnish P, in regular arrangement of mica.



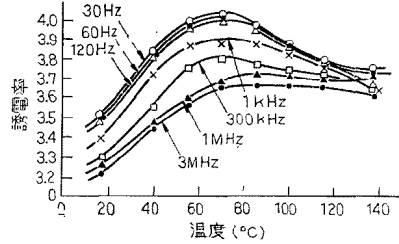
第 10 図 ワニス P+マイカ複合体の周波数変化による誘電率-温度特性 (ただし、マイカ整然と入った場合)

Fig. 10. Dielectric constant-temperature characteristics of composite dielectric of mica and varnish P in regular arrangement of mica.



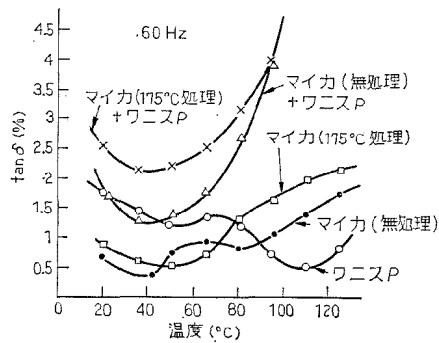
第 11 図 ワニス P の周波数変化による  $\tan \delta$ -温度特性

Fig. 11.  $\tan \delta$ -temperature characteristics of cured varnish P, at variable frequency.



第 12 図 ワニス P の周波数変化による誘電率-温度特性

Fig. 12. Dielectric constant-temperature characteristics of varnish P at variable frequency.

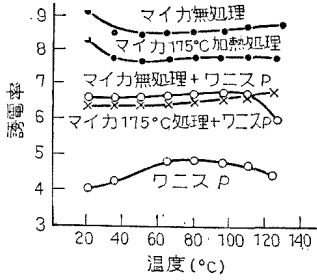


第 13 図 複合体の  $\tan \delta$ -温度特性に及ぼすマイカの熱処理の影響 (シェーリングブリッジ 60Hz で測定) (マイカの整然と入ったモデル)

Fig. 13. Relation between mica heating treatments and  $\tan \delta$ -temperature characteristics of composite dielectrics of mica and varnish P in regular arrangement of mica, measured at 60Hz.

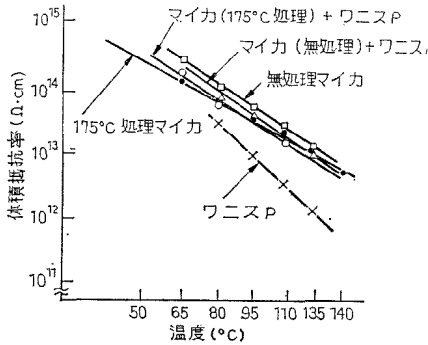
著しく高温の  $\tan \delta$  が異常現象を生ずることが明らかとなった。この原因が複合体の本質的な影響か、あるいはマイカ層間に吸着している水分がモデル製作に使用する樹脂板製作用金具なかでは温度や上げても蒸発せず、 $\tan \delta$  値を悪化させているのではないかと考え、175°C でマイカ片を加熱処理した。これを水分が吸着しないように注意しながら複合体や作り (マイカ片は整然と配列させた。以下のモデルはすべてこの方法による) 測定した結果を、 $\tan \delta$ -温度特性を第 13 図、誘電率-温度特性を第 14 図、体積抵抗率-温度特性を第 15 図に無処理マイカの場合と比較して示した。この結果より見て、水分による影響は全く見られなかった。

〈3.2〉 不飽和ポリエステルワニス Q とマイカおよびマイラの複合体 ワニス P の測定結果で、とにか



第14図 複合体の誘電率-温度特性におよぼすマイカの加熱処理効果 (シェーリングブリッジ 60Hz 測定) (マイカの整然と入ったモデル)

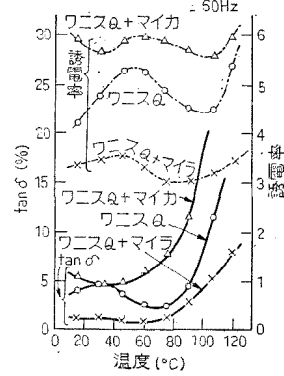
Fig. 14. Relation between mica heating treatments and composite dielectric of mica and varnish P in regular arrangement of mica, measured at 60Hz.



第15図 複合体の抵抗-温度特性におよぼすマイカの加熱処理効果 (ただし、マイカの整然と入ったモデル)

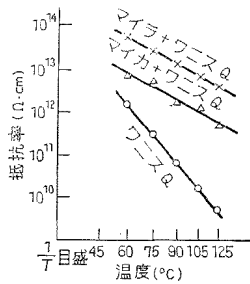
Fig. 15. Relation between mica heating treatment and insulating resistance-temperature characteristics of composite dielectrics of mica and varnish P, in regular arrangement of mica.

くマイカとの複合体は本質的に高温部における  $\tan \delta$  が悪くなるのがわかった。これは、ワグナーの理論 (後述) による複合体の影響か、あるいはそれ以外の原因によるものか判然としなかったが、マイカの吸着水によるという考えは、前述のように 175°C のマイカ片加熱処理でも変化しないことで解決したため、残る原因として考えられるのは、マイカ面に接したワニスの硬化不足と思われてきた。マイカ面に幾分の酸素が吸着されており、これがワニスの硬化を防げるとすれば高温部の  $\tan \delta$  は当然悪くなるはずである。このため表面硬化性ワニス Q (酸素に接しても硬化が防げられないワニス) を購入し複合体モデルを作り調査した。



第16図 ワニス Q とマイカ、マイラとの複合体の  $\tan \delta$ , 誘電率-温度特性 (ただし、シェーリングブリッジ 60Hz) (マイカおよびマイラが整然と入ったモデル)

Fig. 16.  $\tan \delta$  and dielectric constant-temperature characteristics of composite dielectric of mica, mylar and varnish Q, in regular arrangement of mica and mylar.

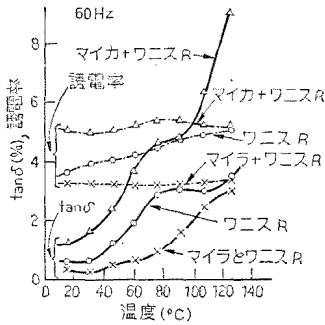


第17図 ワニス Q とマイカ、マイラの複合体の抵抗率-温度特性 (ただし、マイカおよびマイラが整然と入ったモデル)

Fig. 17. Insulating resistance-temperature characteristics of mica, mylar and varnish Q in regular arrangement of mica and mylar.

シェーリングブリッジ 60Hz による  $\tan \delta$ -温度特性を第 16 図に示した。図より明かなように、マイカとの複合体はワニス単独の特性より悪くなっている。一方マイラとの複合体は樹脂とマイラの中間の値を示している。この事実より、マイカ面のワニス未硬化という現象は考えられないことが明かとなった。したがってマイラとワニスとの複合体はワグナーの複合体理論よりの検討を加えることとした。第 17 図は参考までにこれらの複合体の体積抵抗率-温度特性を示す。

〈3.3〉 不飽和ポリエステルワニス R とマイカおよびマイラの複合体特性 参考までに他の不飽和ポリ



第 18 図 ワニス R とマイカ、マイラとの複合体の  $\tan \delta$ , 誘電率-温度特性 (ただし, シェーリングブリッジ 60 Hz) (マイカ, マイラが整然と入ったモデル)

Fig. 18.  $\tan \delta$ , dielectric constant-temperature characteristics of composite dielectrics of mica, mylar and varnish R in regular arrangement of mica and mylar, measured at 60 Hz.

エステルワニス R について, 複合体特性を調査した。これとマイカおよびマイラとの複合体のシェーリングブリッジ 60 Hz における特性を第 18 図に示した。この場合もやはりマイカと複合体は樹脂自体の特性値より悪くなっている。なお, 高周波部における特性値を測定したが, ワニス P と同様な特性を持っているので省略する。

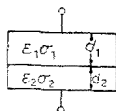
4. 新ワニス製作による複合体特性の向上

<4.1> ワニスとマイカの複合体特性理論 マイカとワニスの複合体の  $\tan \delta$ -温度特性の変化は複合体絶縁にあることがわかったので,  $\tan \delta$ -温度特性を改善するにはワニス自身の性能をさらに向上させ, 複合体絶縁の影響がはらないようにすべきである。

第 19 図のように導電率と誘電率の比が異なる 2 層に分れた複合誘電体では, 2 者の境界面に吸収現象によって電荷がたまるため誘電体損を発生するという, いわゆるワグナーの理論<sup>(1)</sup>によれば, 複合体の影響による  $\tan \delta$  は次式のようになる。

$$\tan \delta = \frac{K \omega T}{1 + K + \omega^2 T^2} \dots \dots \dots (1)$$

ここに



第 19 図 複合体モデル

Fig. 19. Model of dielectric.

$$T = \frac{d_2 \epsilon_1 + d_1 \epsilon_2}{4\pi \times 9 \times 10^{11} \times (\sigma_1 d_2 + \sigma_2 d_1)} \dots \dots \dots (2)$$

$$K = \frac{d_1 d_2 (\epsilon_1 \sigma_2 - \epsilon_2 \sigma_1)^2}{\epsilon_1 \epsilon_2 (\sigma_1 d_2 + \sigma_2 d_1)^2} \dots \dots \dots (3)$$

ただし,  $\epsilon_1, \epsilon_2$ : 誘電率(esu),  $\sigma_1, \sigma_2$ : 導電率( $\Omega$ /cm),  $d_1, d_2$ : 厚み(cm),  $\omega = 2\pi f$  ( $f$ は周波数, Hz)

ここで, ワニスの導電率( $\sigma_1$ )はマイカに比して極大なので, マイカの導電率( $\sigma_2$ )を無視し, また一般に  $\omega T \gg (1+K)$  なので  $\tan \delta$  は次式のように省略される。ただし,  $d_1 = d_2$  とする。

(2)式より

$$T = \frac{d_2 \epsilon_1 + d_1 \epsilon_2}{4\pi \times 9 \times 10^{11} \times \sigma_1 d_2} \dots \dots \dots (4)$$

(3)式より

$$K = \frac{d_1 \epsilon_2}{d_2 \epsilon_1} \dots \dots \dots (5)$$

(1)式より

$$\tan \delta = \frac{K}{\omega T} \dots \dots \dots (6)$$

(4), (5)式より

$$\tan \delta = \frac{4\pi \times 9 \times 10^{11} \times d_1 \sigma_1 \epsilon_2}{(d_2 \epsilon_1 + d_1 \epsilon_2) \epsilon_1 \omega} \dots \dots \dots (7)$$

(7)式より明らかのように,  $\sigma_1$  を小さくすれば  $\tan \delta$  は向上する。したがって, ワニスの絶縁抵抗を上げれば  $\tan \delta$ -温度特性は良好となる。また, マイカ複合体モデルとマイラ複合体モデルと比較して見ると, マイラモデルのほうがマイカモデルに比較してワニス量( $d_2$ )が少なく, 誘電率( $\epsilon_2$ )が小さいので(7)式より明らかのように  $\tan \delta$  の増加は少ない。マイカの場合ほど顕著ではない。また, 周波数を増加した場合  $\tan \delta$  の増加が少なくなることは(7)式より明らかであり, 第 9 図はその一例である。

次に誘電率も吸収現象のため見かけ上増加し, その量は次のようになる。

$$\text{誘電率増加率}(\%) = \left(1 + \frac{K}{\omega^2 T^2}\right) \times 100 \dots \dots \dots (8)$$

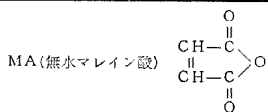
増加率は微量であるけれども, 実測値と比較し合致する例もあれば, 合致しない例もなかにはある。材料自身の誘電率の変化もあるためと思う。

ここにおいて絶縁抵抗を向上したワニスの製作を行ない, とりあえず, 目標をワニス P より抵抗を約 1 けた以上向上 ( $120^\circ\text{C}$ ,  $10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$ ) に置いた。これにより不飽和ポリエステルワニス S, T が作製された。

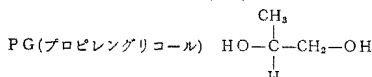
<4.2> ワニス S, T の合成 前項に述べたよう

第2表 不飽和ポリエステル成分配合  
Table 2. Constituents for unsaturated polyesters.

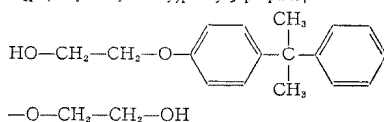
ワニス	成分 (モル)				P
	MA	AA	PG	BE	
P	20	80	100	—	30
S	25	75	100	—	35
T	20	80	—	100	24



AA (アジピン酸)  $\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_4-\text{COOH}$



BE [2,2-bis[*p*-(2-hydroxyethoxy)phenyl]-propane]

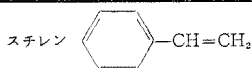


P (数平均重合度)

第3表 スチレン配合

Table 3. Styrene contents of cured varnishes.

ワニス	配合 (重量比)	
	不飽和ポリエステル (第2表による)	スチレン
P	40	60
S	30	70
T	40	60



に絶縁抵抗を向上させるためワニス S, T が合成された。ワニスの材料成分ならびにそれらが絶縁抵抗に及ぼす影響について述べる。参考までにワニス P と Q についてもふれたい。

ワニス P, Q, S, T はくり返し述べてあるように、いずれも不飽和ポリエステルワニスで、その成分の配合を第2表に示す。第3表に各硬化ワニス中の不飽和ポリエステルとスチレンの配合比を示す。硬化ワニスの体積抵抗率と化学構造との関係は柴藤氏の報告<sup>(2)</sup>に詳しく述べられているので詳細は省略するが、概説すると硬化ワニスの絶縁抵抗は、ワニスの硬さとイオン状物質の濃度により影響を受けるということである。

ワニスの硬さは架橋密度の大小、すなわち無水マレイン酸の配合量により決まり、一方、イオン状物質の濃度すなわち本報ワニス組成の場合には、エステル基

第4表 ワニス中のマレイン酸基、スチレン基、エステル基、エーテル基の濃度 (mol/100g)

Table 4. Concentrations of maleic acid, styrene, ester and ether units.

ワニス	マレイン酸基 ( $-\text{CH}=\text{CH}-$ )	スチレン基 ( $-\text{CH}(\text{C}_6\text{H}_5)-\text{CH}_2-$ )	エステル基 ( $-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-$ )	エーテル基 ( $-\text{O}-$ )
P	0.044	0.58	0.426	0
S	0.042	0.67	0.323	0
T	0.019	0.67	0.182	0.190
Q	(?)	43重量%	(?)	(?)

とエーテル基の濃度でだいたい決まるものである。この関係を第4表に示す。

ワニス P, S を比較するとマレイン酸基濃度はほぼ同じであるが、エステル基濃度が約 25% 減少している。これよりワニス S の体積抵抗率がワニス P のそれよりも約 1 けた高くなったものと考えられる。

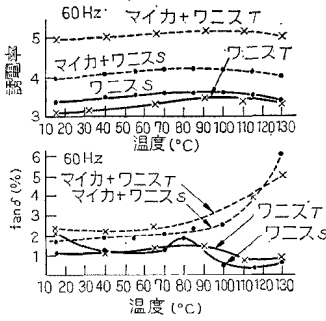
一方、ワニス P とワニス T を比較すると、マレイン酸基濃度はワニス T はワニス P の 1/2 以下である。だが極性基 (エステル基+エーテル基) 濃度はワニス T はワニス P の 87% くらいである。この場合はマレイン酸基濃度よりも極性基濃度の減少の影響が大きく働き、ワニス P よりもワニス T のほうが絶縁抵抗が高くなったものと推定できる。

なお、極性基の強さの基準になる双極子能率<sup>(3)</sup>ではプロピオン酸エチル ( $\text{C}_2\text{H}_5-\text{C}(=\text{O})-\text{OC}_2\text{H}_5$ ) がモーメント  $\times 10^{18} = 1.81$ 、ジエチルエーテル ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$ ) がモーメント  $\times 10^{18} = 1.20$  なので、エーテル基よりエステル基のほうが極性は強い。したがって、絶縁抵抗に実質的に影響を与える極性の強さでは、ワニス T はワニス P の 87% 以下になっているものとする。

なお、ワニス Q は購入した材料のため詳細な成分は不明であるが、スチレン濃度がだいたい 48 重量% くらいである。

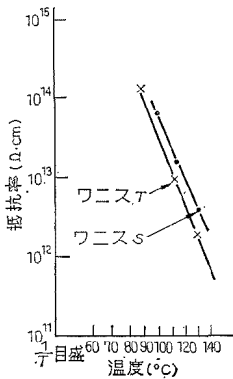
〈4・3〉 ワニス S, T とマイカの複合体およびマイル特性 ワニス S, T でマイカとの複合体モデルを作った。第20図のような特性を得た。これを第2図と比較すると、複合体の  $\tan \delta$  特性はかなり改良されていると見ても良い。なお、ワニスの体積抵抗率-温度特性は第21図に示す。

ワニス S によりコイルを製作したが、その結果を第22図に示す。第1図と比較すればかなり特性は向上している。



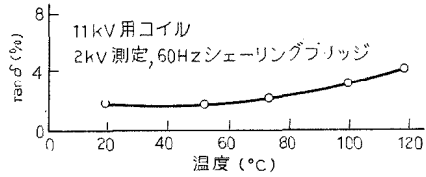
第 20 図 ワニス T およびワニス S およびマイカとの複合体の誘電率,  $\tan \delta$ -温度特性 (シェーリングブリッジ 60 Hz, マイカは雑然と入っている)

Fig. 20. Dielectric constant,  $\tan \delta$ -temperature characteristics of composite dielectrics of varnish T, S and mica in irregular arrangement of mica, measured at 60 Hz.



第 21 図 ワニス S, T の抵抗-温度特性

Fig. 21. Insulating resistance-temperature characteristics of varnish S, T.



第 22 図 ワニス S によるコイルの  $\tan \delta$ -温度特性

Fig. 22.  $\tan \delta$ -temperature characteristic of mica insulated, coil, impregnated by varnish S.

5. む す び

以上、マイカと不飽和ポリエステルワニスの複合体を主体として、 $\tan \delta$ -温度特性がワニス単独の場合と異なる点を取り上げて、この原因究明を実施した。この結果、原因は 2 者の境界面に吸収現象による電荷がたまるといういわゆるワグナーの理論により説明のできそうなことがわかった。ワグナーの理論によれば、絶縁抵抗の向上により解決されることになるが、実証として絶縁抵抗値の高いワニスを製作し実験したところ、 $\tan \delta$ -温度特性の改良を認めることができた。

最後にワニスの合成、測定にご協力をいただいた日立研究所の方々に深く感謝の意を表します。

(昭和 47 年 12 月 12 日受付, 同 48 年 7 月 28 日再受付)

文 献

- (1) 沼倉: 誘電体論(オーム社)
- (2) 柴藤: 日本化学雑誌 82, 11, 1449 (昭 36)
- (3) Smyth: Dielectric Behavior and Structure 1955 (Mc-GRAW-HILL)