

絶縁ワニスの乾燥性に関する二、三の考察

Drying Process of Electrical Insulating Varnishes

小 川 哲 郎* 大 平 武 司*
Tetsurō Ogawa Takeshi Odaira

内 容 梗 概

コイルワニスの乾燥は、溶剤の揮発と乾性油および樹脂の酸化重合反応がおもである。このため酸素がない場合には硬化乾燥が遅れるといわれているが、その量的関係が明らかでないので空気中と真空中での皮膜の乾燥状態を測定してその関係を明らかにした。一方一般のコイルワニスの乾燥状態を溶剤抽出法で測定して、ワニスの種類による乾燥度の違いを明らかにした。

またワニスを実用する場合にはワニス含浸コイルの最適乾燥条件がきわめて重要であり、この問題の一部についても明らかにすることができた。

1. 緒 言

コイルワニスの乾燥性、特にその内部硬化性はワニスを使用する場合にきわめて重要な特性の一つである。コイル表面のワニスが完全に乾燥しているにもかかわらず、コイル内部を切断すると、べとべととして乾燥していないということは絶縁処理の際に常に経験することである。

天然樹脂を使った従来からの油性系コイルワニスの乾燥は、全体の50%以上を占める溶剤類の揮発と、ワニスボディの酸化重合反応によると考えられている⁽¹⁾。このためコイル深部にはいったワニスは溶剤が揮発しにくいこと、さらに酸素が遮断されているため酸化重合反応が進まないことの二つの理由によって、内部の硬化乾燥は表面のそれに比べて極度におそい。

サーモセット系のワニスは以上の欠点を改良する目的で作られたものである。すなわち樹脂として熱硬化性の樹脂を用いたもので、これらは加熱によって油と樹脂とが反応して硬化する性質をもっている。このためコイル深部にはいったワニスは溶剤が揮発しにくいという欠点は残っているが、酸素がなくても十分硬化は進む。

ワニスの乾燥性は、いまのところ JIS による定性的な判定方法によっているが、この方法ではワニスの硬化する過程を詳細に検討することはむずかしいので、小林⁽²⁾は溶剤抽出法によってワニスの硬化過程の研究を行なっている。

筆者らは天然樹脂を用いた油性系コイルワニスと、サーモセット系コイルワニスとの乾燥過程の違いを明らかにする目的でワニス皮膜を作り、これを空気中で乾燥させた場合と、真空中で乾燥させた場合の乾燥性を特殊な方法で測定した。また同種のワニスの内部硬化性を溶剤抽出法によって測定して、二種のワニスの乾燥過程の違いを明らかにすることができた。

一方、実用面からはコイルに含浸されたワニスの最適乾燥条件を決定することは非常に重要な問題である。それにもかかわらずあらゆる機種のコイルの乾燥度を適確につかみ、最適乾燥条件を決めることは非常にむずかしい問題であって現状ではほとんど不可能に近い。コイルの乾燥が不十分な場合には吸湿時の絶縁抵抗が低下したり、残留溶剤が絶縁物を侵して事故を招くようなことがあるかもしれない。一方むやみに乾燥を進めることは、それだけ乾燥工程が延び不経済であると同時に絶縁物の劣化が進行することにもなる。

筆者らはこの最適乾燥条件を決めるためにいろいろのコイルについて乾燥度と寿命との関係、乾燥度とコイルの電気特性との関係についても検討を加えた結果、ワニスの必要乾燥条件の一部を明らかにすることができたのでその結果を報告する。

2. ワニスの硬化過程

天然樹脂を使った油性系コイルワニスは、乾性油と油溶性の天然樹脂とを主成分とし、これに溶剤を加えたものである。この種のワニスの乾燥過程はかなり複雑であるが、一般には次のように考えられている⁽¹⁾⁽²⁾。すなわち揮発性溶剤の蒸発のほかに、ワニスボディの重合反応による固化が起こる。この場合乾性油自体の重合、樹脂自体の縮合、および乾性油と樹脂との間の重縮合反応が考えられるが、主役を演ずるものは乾性油の酸化重合反応である。また重合においても酸素による重合と、熱による重合とが考えられ、ワニス皮膜の表面では前者が主であり、内部では後者により硬化が進むものと考えられる。したがって比較的肉付きの薄いワニス皮膜では空気と接触する表面の酸化と熱による重合とが同時に起こるため硬化は完全に行なわれる。しかし複雑なコイルではまず表面のワニスが硬化するため、内部に含浸されたワニスは空気と遮断され、硬化がなかなか進行しない。そのうえ、表面ワニスの硬化に伴う皮張りのため内部の溶剤の揮発が遅れて内部の硬化はますます阻害される。

サーモセット系ワニスは以上の欠点を改良する目的で作られたものである。すなわち、樹脂に熱硬化性のものを使っているため加熱により硬化する性質がある。前述の油性系ワニスの場合と異なり樹脂自体の熱縮合、樹脂の油との熱縮合反応が硬化の主役を演ずるものと考えられる。

一方、ワニスの乾燥過程を物理的な面からみれば、ある粘性をもった液状のワニス溶剤の揮発および重縮合反応の進行につれて、徐々に粘度が上昇し、ある時間が経過すればいわゆるゲル化を起こし、指先で触れると抵抗を感じワニスが糸状になって指先に付着する。さらに乾燥が進むと指で触れてもワニスが付着しなくなる。この状態がいわゆる指触乾燥であり、そのあとさらに乾燥が進んでついには完全に硬化する。

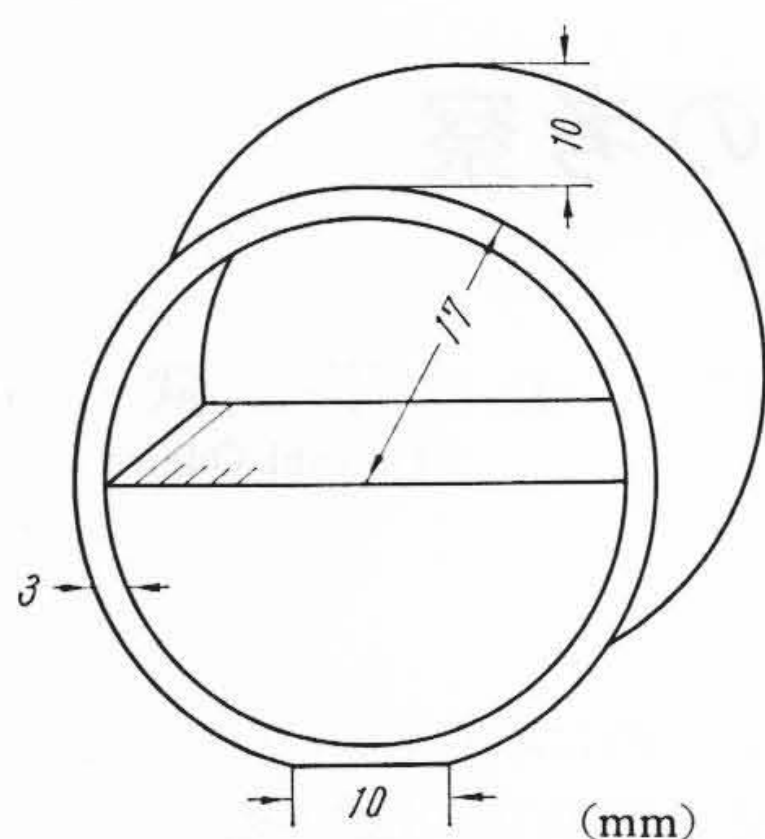
3. ワニス皮膜の乾燥性

前述のように液状のワニスは乾燥とともに流動性を失い、粘着力が著しく増大する。さらに乾燥が進むにつれてしだいに粘着力を失い硬化の過程にはいる。したがって乾燥途上におけるこれらの物理的性質の変化をうまく測定することができるならば、皮膜の乾燥度を定量化することができるはずである。以上の点に着目して筆者らは乾燥途上の皮膜の粘着力の変化および摩擦係数の変化を測定して乾燥過程を追跡した。

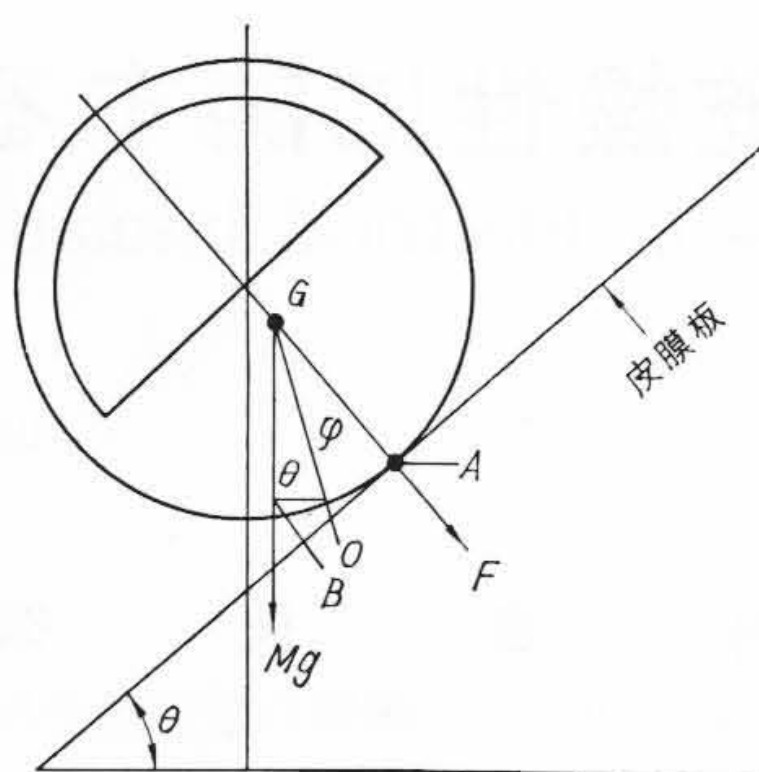
3.1 測 定 方 法

初めに粘着力測定について説明する。第1図は測定に使用する荷重である。図に示したように円筒状の側面を一部削りとり、皮膜と

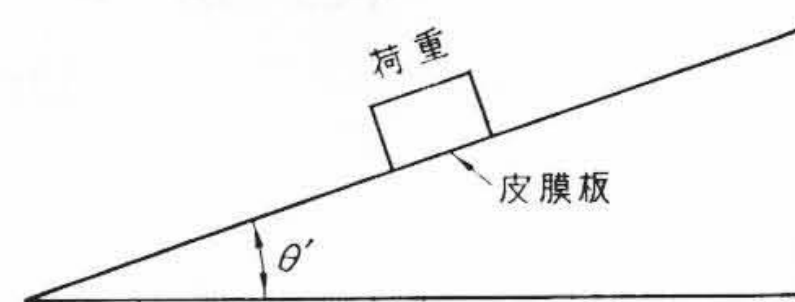
* 日立製作所山崎工場



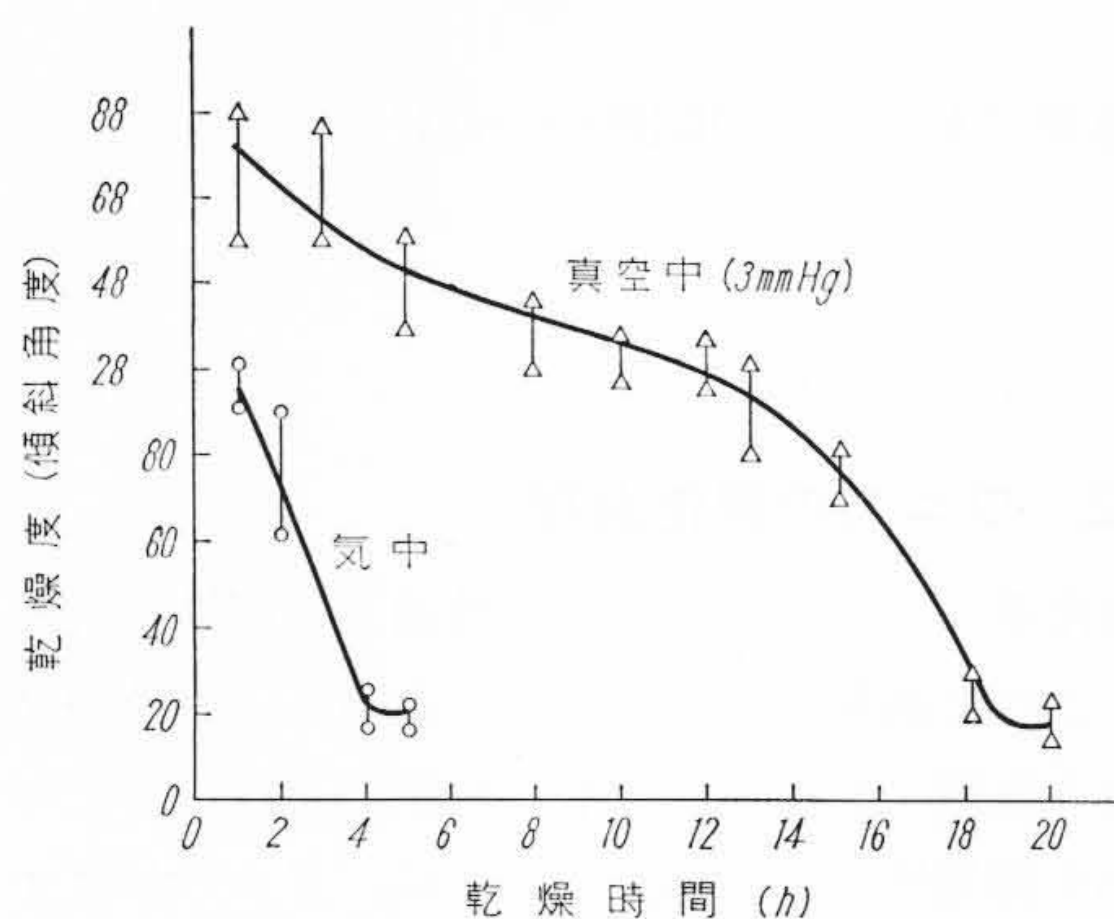
第1図 粘着力測定荷重



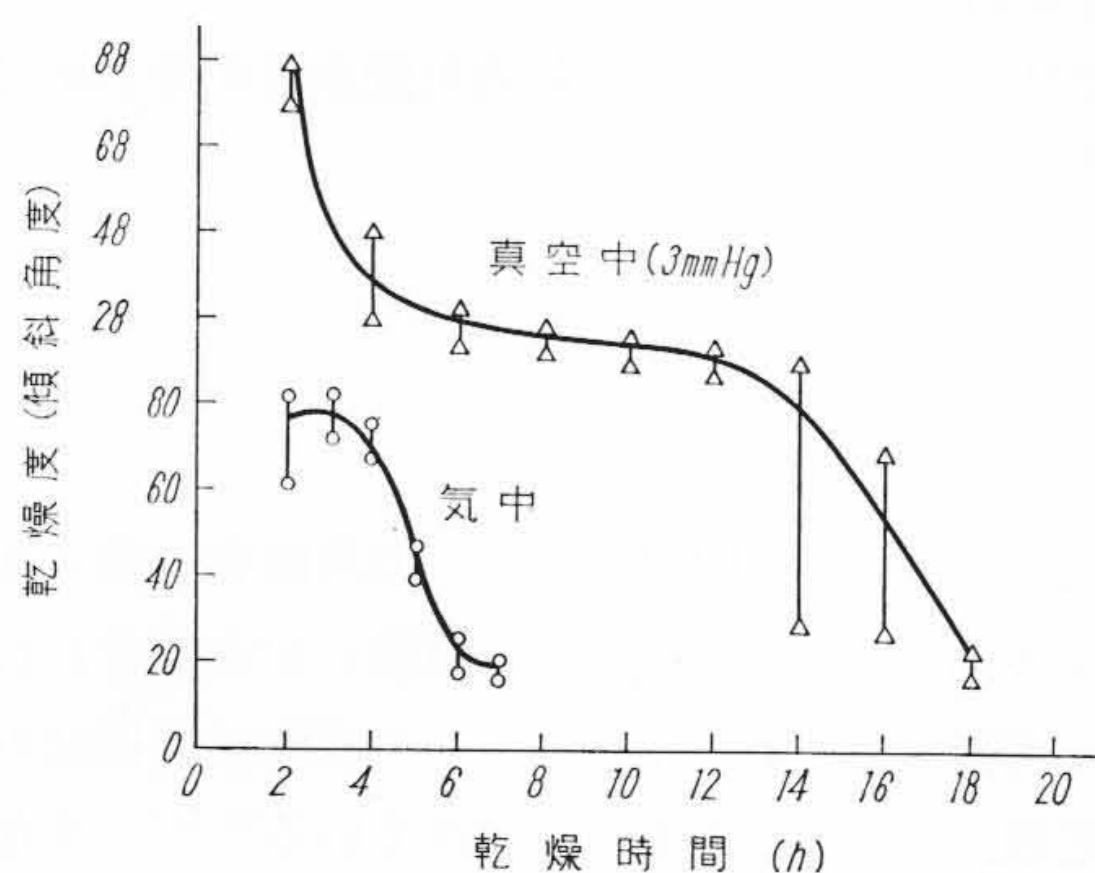
第2図 粘着力測定原理



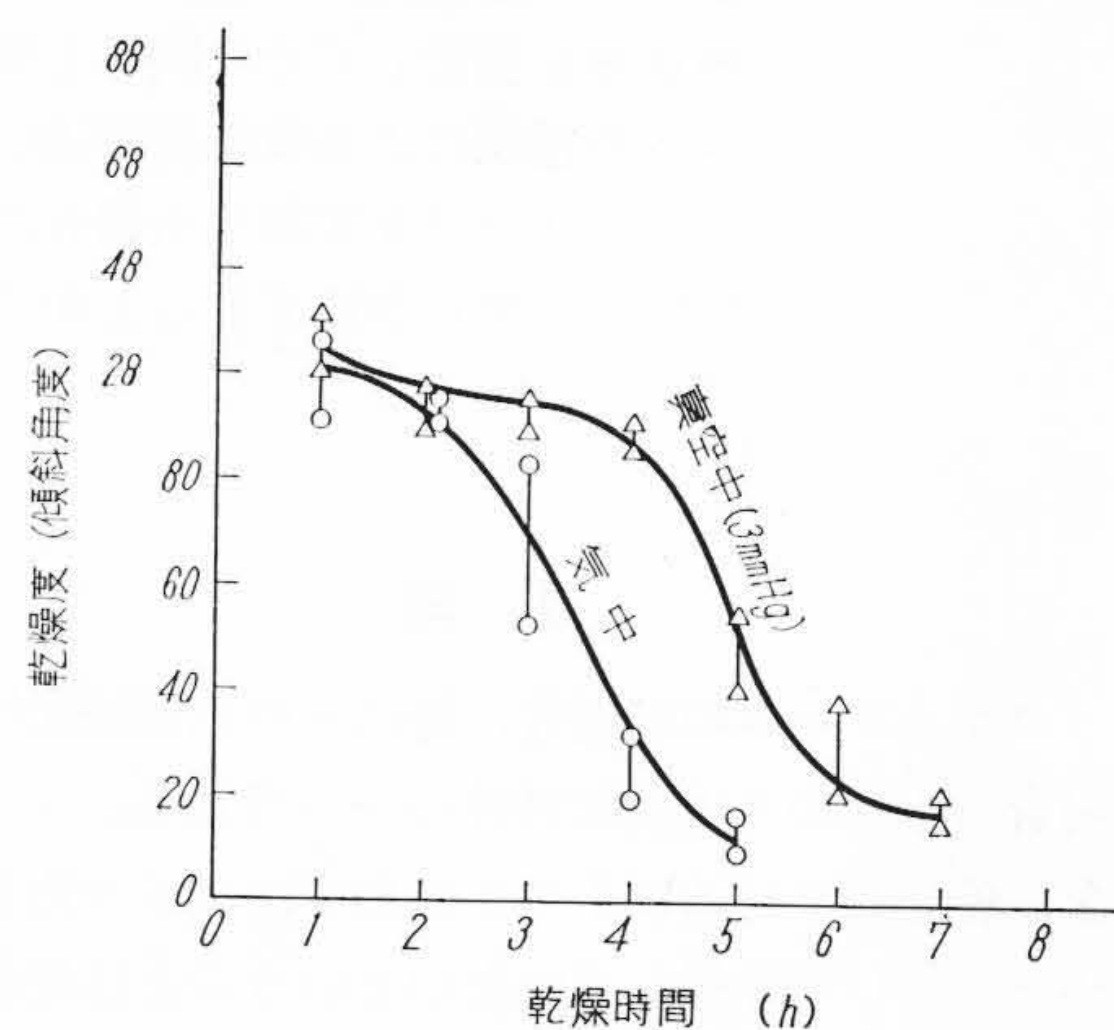
第3図 摩擦力測定原理



第4図 W250, 105°C乾燥特性



第5図 W280, 105°C乾燥特性



第6図 W2800, 135°C乾燥特性

の接触面積を 1 cm^2 にしてある。この荷重を第2図のように皮膜板上に置き、図のように皮膜板を徐々に傾斜させると、ある傾斜角で荷重がころがり落ちようとする力と、荷重と皮膜板との粘着力がつり合う状態がある。さらに傾斜が増すと荷重がころがり始める。このときの角度から(1)式によって粘着力を計算することができる。

ただし(1)式は本実験に使用した荷重の諸定数を入れた形で表わした。

$$F = 1.95 \times 10^5 \sin(\theta - 18) \text{ dyne} \quad (1)$$

(1)式から明らかなように粘着力は θ だけの関数として表わされる。

皮膜の乾燥が進み皮膜面がしだいに硬化して、粘着力が減退してくると上記のような方法では測定がむずかしくなる。このためさらに形状が変わった荷重が必要であるが、筆者らは質量約 20 g の軟鉄製直方体で接触面積を前記と同様 1 cm^2 にした第3図のような荷重を作製した。筆者らはこの測定を摩擦係数の変化ということにしたが、実質的には皮膜表面の小さい粘着力を測定したものである。第3図からわかるように、傾斜角を θ' 、荷重の質量を M' とすれば摩擦力 F' は次式で示される。

$$F' = M'g \sin \theta' \quad (2)$$

以上2種類の荷重を使用して粘性のある皮膜が徐々に硬化していく過程を測定するのであるが、測定の際皮膜板の傾斜する速度を同期電動機で毎秒1度とした。

供試料は約 40×60 の鉄板の上に所定のワニスをし塗りしたものを使用した。流し塗り後、空気中で10分間懸垂してから所定の定温槽または真空乾燥器中に入れて乾燥させ、一定時間ごとにとり出して 20°C 、 $60\% \text{ R. H.}$ の空調室で15分間冷却したものを試験して、空気中と真空中での皮膜の乾燥度を調べた。

3.2 測定結果

3.2.1 結果の表示

ここで求めた角度 θ を(1)、(2)式に代入すれば粘着力、あるいは摩擦力を計算することはできるが、実際には角度そのままを測定値として表記した。粘着力から摩擦力へと移行する現象は非常にむずかしいが、筆者らは一応次のようにその転移点を表記す

るようにした。すなわち初めは第1図に示した荷重で粘着力を測定する。乾燥が進むにつれて傾斜角 θ は小さくなっていくが $\theta = 18$ 度以下になると荷重は動かなくなる。すなわちこのときには粘着力は非常に小さくなっている。この場合には第3図に示すような荷重に代えて測定を行なった。このようにして求めた結果を第4図に示すように縦軸の上方に粘着力の角度を、下方に摩擦力の角度を等分に目盛って図で表わした。この場合粘着角18度の点と摩擦角90度の点を合わせるようにした。

3.2.2 測定結果と考察

鉄板に塗布した代表的なワニス皮膜の真空中、ならびに空気中の乾燥時間と乾燥度の関係を第4～6図に示す。

第4、5図から明らかなように W250、W280 の真空中での乾燥は空気中での乾燥に比べて非常に遅れることがわかった。真空中では溶剤の揮発が速いにもかかわらず、このように乾燥が遅れる理由は酸素が遮断されるため、乾性油の酸化重合反応が行なわれないためである。

第6図は W2800 の乾燥時間と乾燥度との関係を示したものであるが、この場合の真空中での乾燥は空気中での乾燥に比べてあまり遅れていない。W2800は完全なサーモセット系のワニスであるが、この図から明らかなようにこの種のワニスは酸素が遮断された状態でも硬化は十分進行することが明らかになった。

W250、W280はW2800に比べると真空中での乾燥はかなり遅れる。天然樹脂と乾性油からできている W23、W28などの乾燥は空気が遮断されるとさらに遅れる。

4. 溶剤抽出法によるワニスの内部硬化性の検討

前述のように、ワニスは加熱によって乾性油の酸化重合反応あるいは樹脂と油との縮合反応、または樹脂自体の縮合反応が進み、しだいに溶剤に溶けにくくなる。このような性質を利用した溶剤抽出法⁽²⁾によって、ワニスの硬化過程を定量的に測定した。

4.1 実験方法

4.1.1 溶剤不溶分の測定

(1) 厚層硬化物の場合

径40mm, 高さ15mmのガラス製シャーレに試料ワニスを高さ(H_0)約8mm入れ, 重量測定のもの($W_0 \approx 8.5$ g)一定温度(120°C, 135°C)の電気定温乾燥器中で加熱乾燥して, 一定時間ごとに取り出し, CaCl_2 を入れたデシケータ中で常温に冷やしてから重量(W_t)を測定する。次に100ccのビーカーに前記のシャーレを入れ, アセトン(またはベンゼン)50ccを加えてから約15時間放置して硬化ワニスを十分膨潤させたのち, 硬化したワニスを細分し, ソックスレー抽出器に入れてアセトン(またはベンゼン)で約5時間加熱抽出して, 溶剤に溶解する分と不溶分(不溶ゲル分)とに分けた。この不溶分を120°Cで約15時間加熱乾燥して, 不溶分総量(M)を求め(3)式から硬化ワニス中の不溶分の平均含有率($\bar{G}$)を求めた。

$$\bar{G} = \frac{M}{W_t} \times 100(\%) \quad \dots\dots\dots (3)$$

なおW28はアセトンに溶けないのでベンゼンで抽出したが, ほかのワニスはアセトンで抽出した。

(2) 塗膜の場合

薄鉄板(50×90mm)を試料ワニス中に浸漬して両面にワニスを塗布し, 懸垂台につるして30分間風乾したものを, 電気定温乾燥器の中で1時間乾燥させ, 常温に冷却後, 再度ワニスを塗布して逆につるし, 前記と同様に電気定温乾燥器中で所定の乾燥を行った。鉄板の下部にたまったワニスは取り除いた。一定時間乾燥後, 乾燥器から取り出して重量測定(W_t)後, 100ccのビーカーにワニス皮膜の塗布された鉄板を細かく切断して入れ, (1)と同様にして不溶分(M)を求め, (3)式から塗膜中の不溶分の平均含有率($\bar{G}$)を求めた。この場合ワニス塗膜の厚さは0.14~0.20mmに調整した。

4.1.2 硬化物中の残存溶剤の推定

硬化物中に残存している溶剤の正確な測定方法はないので乾燥過程中的ワニスの重量変化から誘導した(4)式によってその推定値を求めた。

$$\bar{S} = \frac{S_0 - P}{1 - P} \quad \dots\dots\dots (4)$$

(4)式中 $P = \Delta W / W_0$,

$\bar{S}$: 時刻 t における残存溶剤の平均含有率

S_0 : 試料ワニス中の溶剤の重量分率

P : 時刻 t における重量損失率

W_0 : 初めのワニスの重量

ΔW : ワニスの重量減

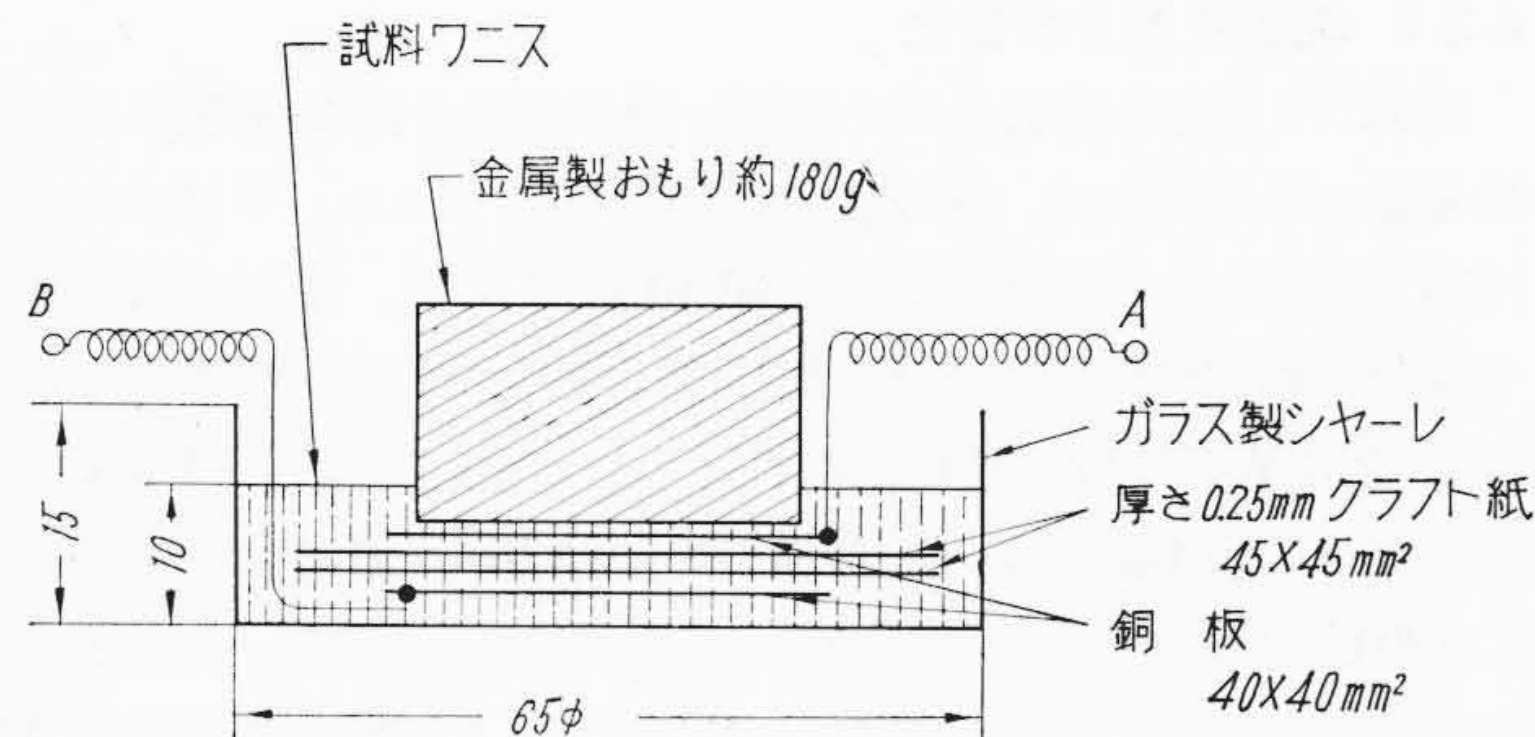
4.1.3 乾燥過程中的絶縁抵抗の測定

従来ワニスの内部硬化状態を定量的に測定する適確な方法がなかったため, 加熱乾燥途上の絶縁抵抗の変化を測定してその乾燥状態を推定していた⁽⁴⁾。ところがこの方法は必ずしもワニスの乾燥状態を推定する適確な方法ではない。前に述べたワニスの硬化過程を溶剤抽出法により測定した場合と, 絶縁抵抗の変化で推定した場合との違いを明らかにする目的でこの実験を試みた。

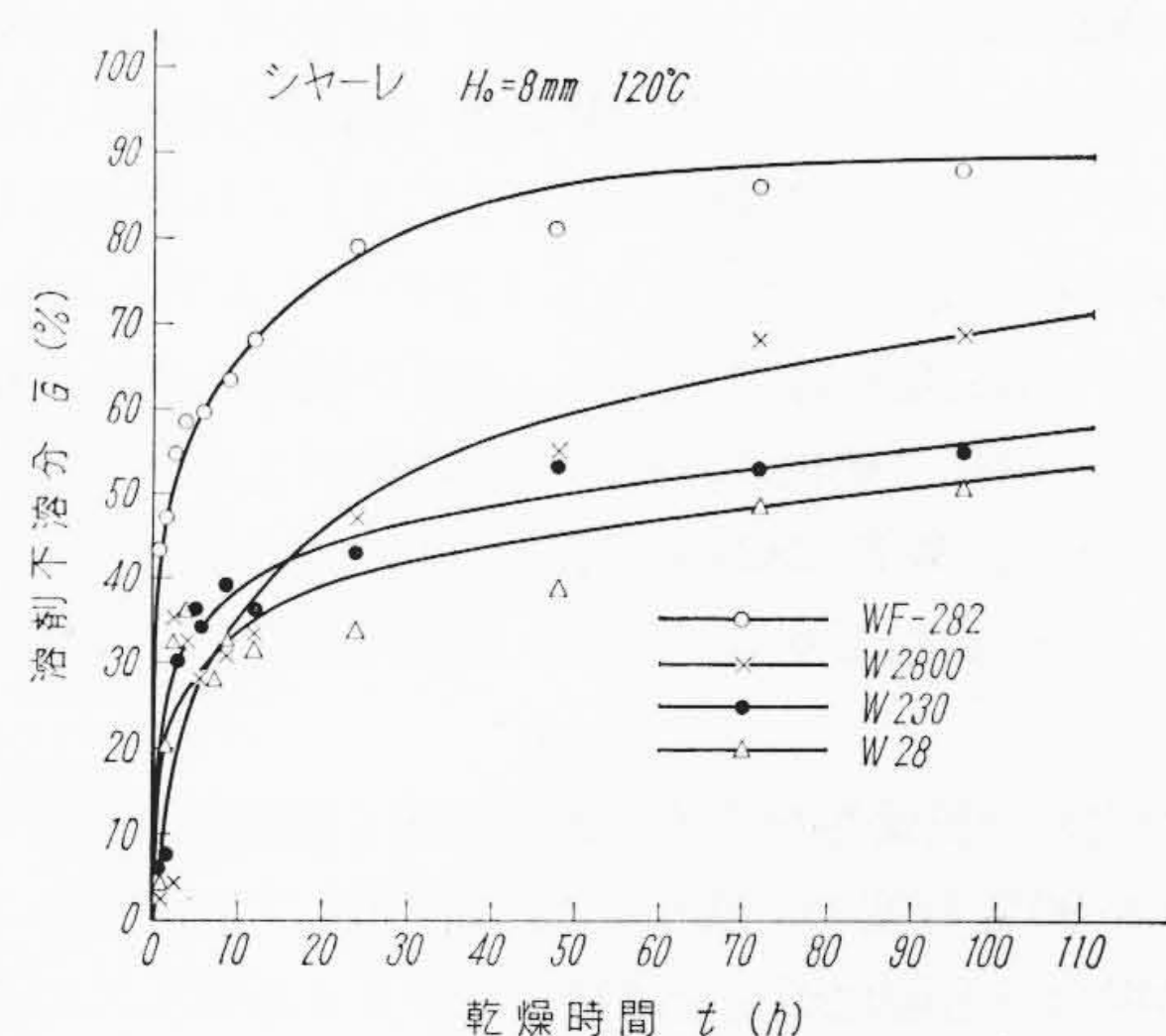
第7図に示す径65mm, 高さ15mmのガラス製シャーレに40×40mmの鉄板2枚を入れ, その間にあらかじめ105°Cで15時間予備乾燥をした45×45mm(厚さ0.25mm)のクラフト紙2枚をはさみ, 銅板の上に180gの金属製のおもりをのせ, 試料ワニスを高さが10mmになるように入れたものを作った。このものを電気定温乾燥器中で加熱乾燥し, 一定時間ごとにA, B端子間にDC 500Vを印加して1分間充電後の絶縁抵抗を測定した。

4.2 実験結果ならびに考察

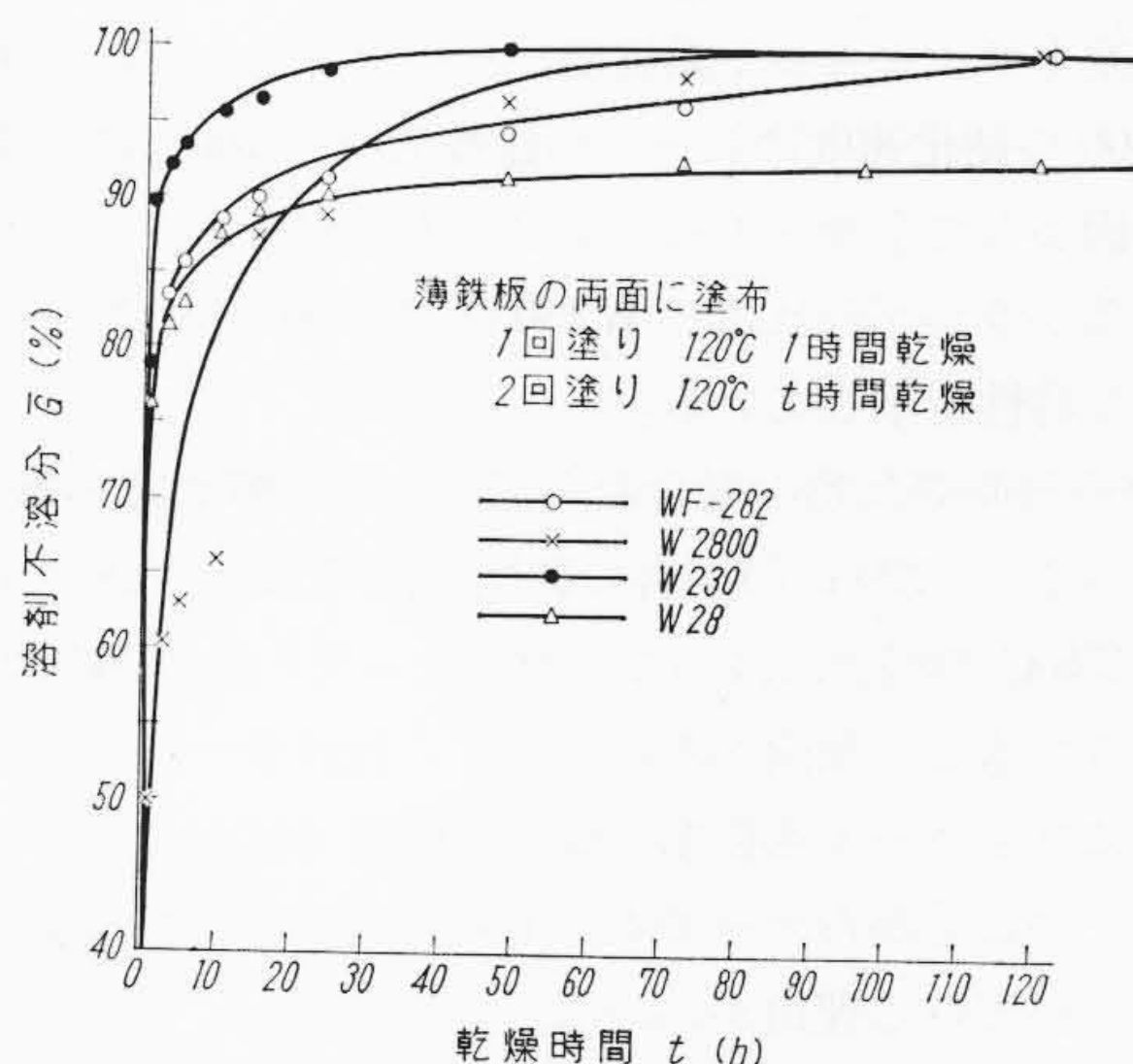
従来からの天然樹脂を使った油性系のコイルワニスと, 熱硬化性の合成樹脂を使ったサーモセット系ワニスとの乾燥過程の違いを明



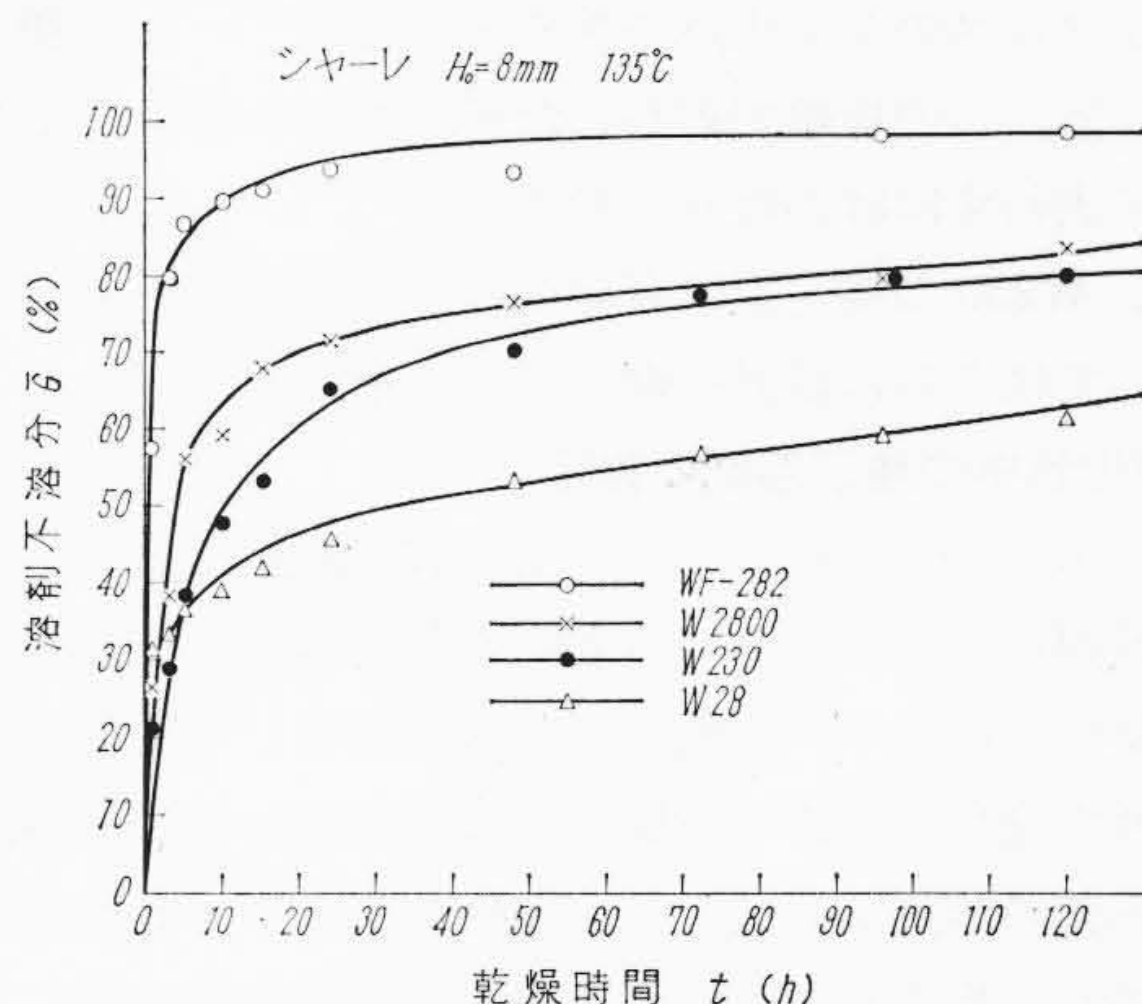
第7図 絶縁抵抗測定モデル



第8図 厚層の場合の溶剤不溶分の変化



第9図 塗膜の場合の溶剤不溶分の変化



第10図 厚層の場合の溶剤不溶分の変化

らかにする目的で, 以下のようにそれぞれの代表的なワニスを選んだ。すなわち油性系コイルワニスにはW28を, またサーモセット系コイルワニスにはフェノール樹脂系のW2800, エポキシ樹脂系のWF-282を, その中間的なものとしてW230を選んだ。

4.2.1 溶剤不溶分の変化

120°C で乾燥した場合の不溶ゲル分の変化を第 8, 9 図に示す。第 8 図は厚層の場合、第 9 図は塗膜の場合である。厚層のものを 135°C で加熱した場合の変化を第 10 図に示す。厚層の場合不溶ゲル分の増加の順序は WF-282>W2800>W230>W28 となっており、特に WF-282 の硬化性は良好である。同じものを 135°C で加熱したものの不溶ゲル分の増加の順序は第 10 図からわかるように 120°C の場合とまったく一致している。ところが一方塗膜の場合の不溶ゲル分の増加の順序は W230>WF-282>W2800>W28 となっており、その関係が違っている。

厚層の W230 は乾燥性がおそいにもかかわらず、皮膜の場合の乾燥性は非常によくなっている。W2800 の塗膜の乾燥はおそいが、厚層の場合には比較的乾燥性は良好である。これは前にも述べたように W2800 は完全なサーモセッ系樹脂であるため、酸素が遮断されても樹脂自体の熱縮合、および樹脂と油との縮合反応が進むため、内部の硬化は表面のそれに比べてあまり遅れないものと考えられる。WF-282 の内部硬化性は特にすぐれているがこれはフェノール樹脂よりもエポキシ樹脂のほうが反応性が高いためであろう。

W28 の皮膜の乾燥性をみると比較的速く飽和値に達するが、不溶ゲル分が 90% 程度で、残り 10% は溶出してしまふ。これは薄い皮膜の場合でも硬化が完全に進まないことを示している。すなわち表面は酸素を吸収して完全に硬化しているが、内部では酸素の拡散が不十分のため油の酸化重合反応速度が小さく、樹脂の縮合反応速度もサーモセッ系樹脂に比べて小さいためと考えられる。W2800 の硬化速度はおそいが比較的速く 100% に達する。この点第 9 図からでもサーモセッ系と天然樹脂を使った油性系ワニスとの差がうかがわれる。W230 は W2800 と W28 とのちょうど中間的な特性を示している。

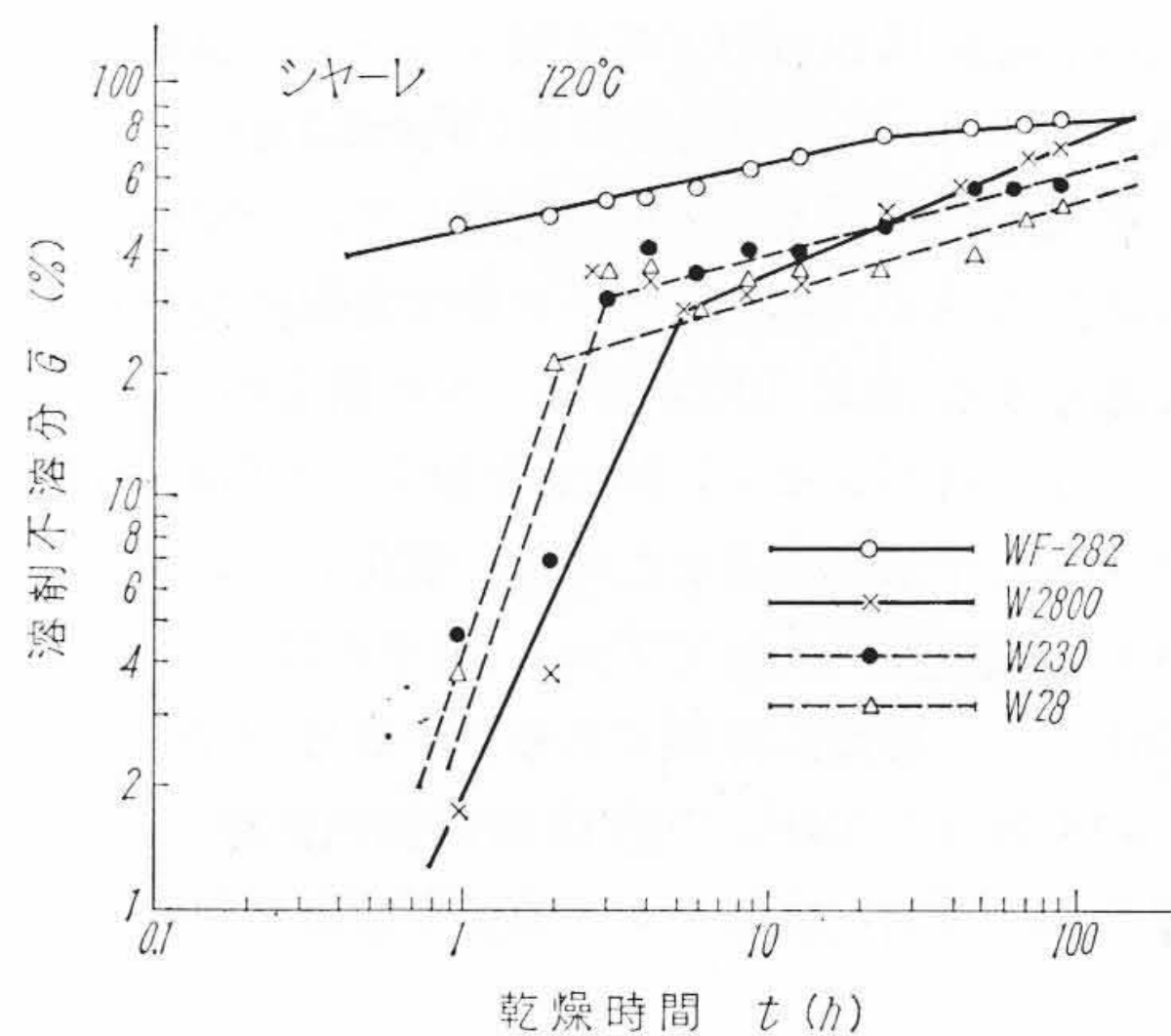
W2800 の短時間加熱の場合の内部硬化性を第 8 図と第 10 図から比べてみると、120°C の場合の乾燥性は W230, W28 に比べておそいが、135°C の場合にはかなり速くなっている。W230 と W28 を比べてみてもこの傾向がみられる。これはサーモセッ系樹脂、特にフェノール系樹脂の反応が低温では起こりにくいことである。このことからサーモセッ系樹脂の乾燥温度が比較的高く選ばれている理由がわかる。

第 11 図は小林氏⁽²⁾の研究と同様に第 8 図を両対数目盛で表わしたものである。小林氏⁽²⁾はこの関係が二つの直線で表わされ、その折点がワニスのゲル化点であると定義している。第 11 図の場合には一応二つの折線で表わしたが、図から明らかなように二つの直線で表わすにはかなりの無理を伴うものもある。たとえば W2800, W230 の測定点は直線からだいぶずれている。今後この点についてはさらに検討を進めてみる予定である。

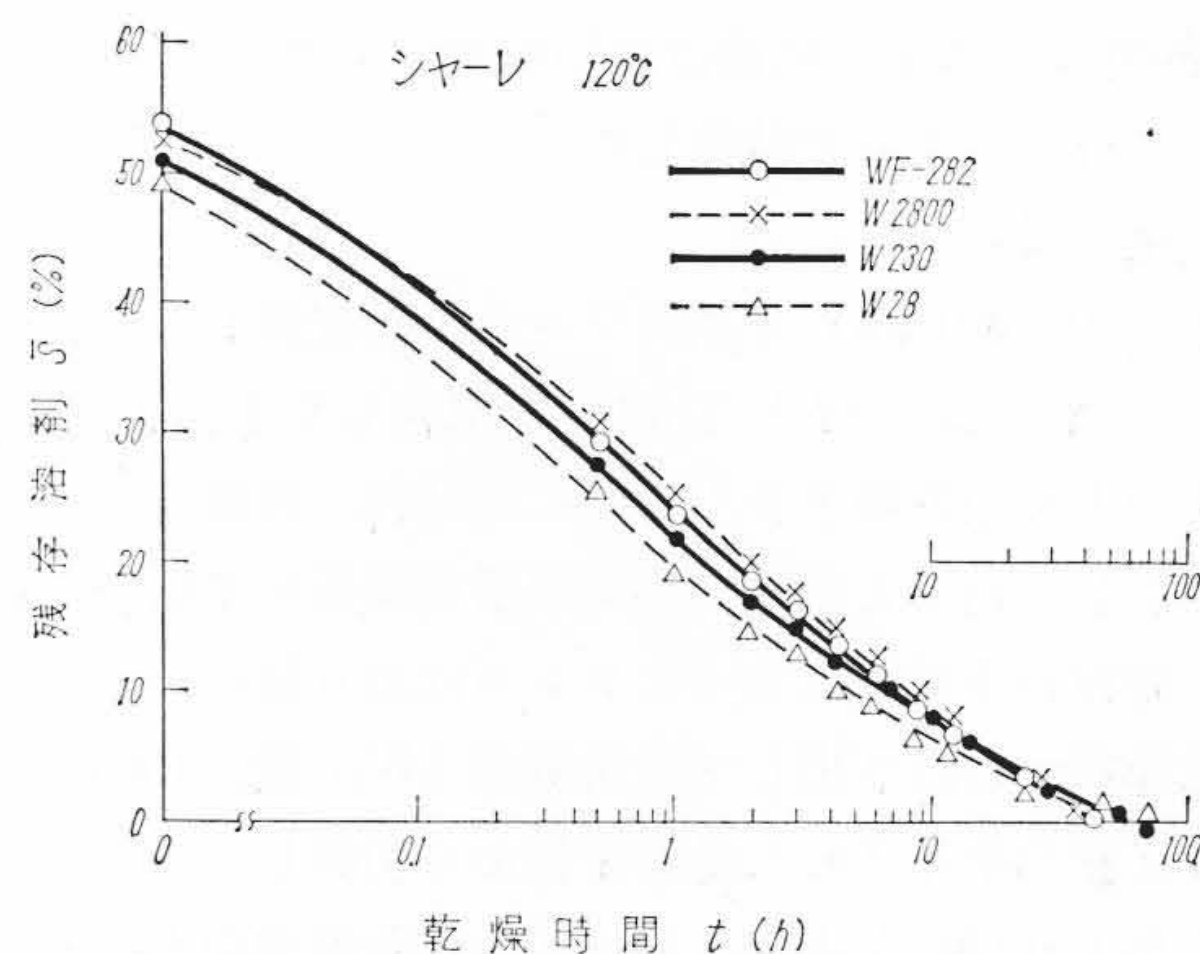
4.2.2 硬化物中の残留溶剤の推定

硬化ワニス中の残留溶剤の変化を第 12 図に示す。厚層のワニスの乾燥過程ではまずワニス表面の溶剤が揮発して、表面層の酸化重合反応が起こり、表面のワニス硬化して皮張りを発生する。皮張りを発生する前の乾燥初期には表面から溶剤が揮発するに伴って内部の溶剤が拡散、対流作用を起こし、溶剤の揮発減量は急であるが、皮張りを発生するとこの固体皮膜を通しての拡散速度に左右されるため、溶剤の揮発速度は急減する。このためワニスの不溶ゲル化がかなり進んでいるにもかかわらず内部に溶剤が残存するためいつまでもべたつきの感じが残る。

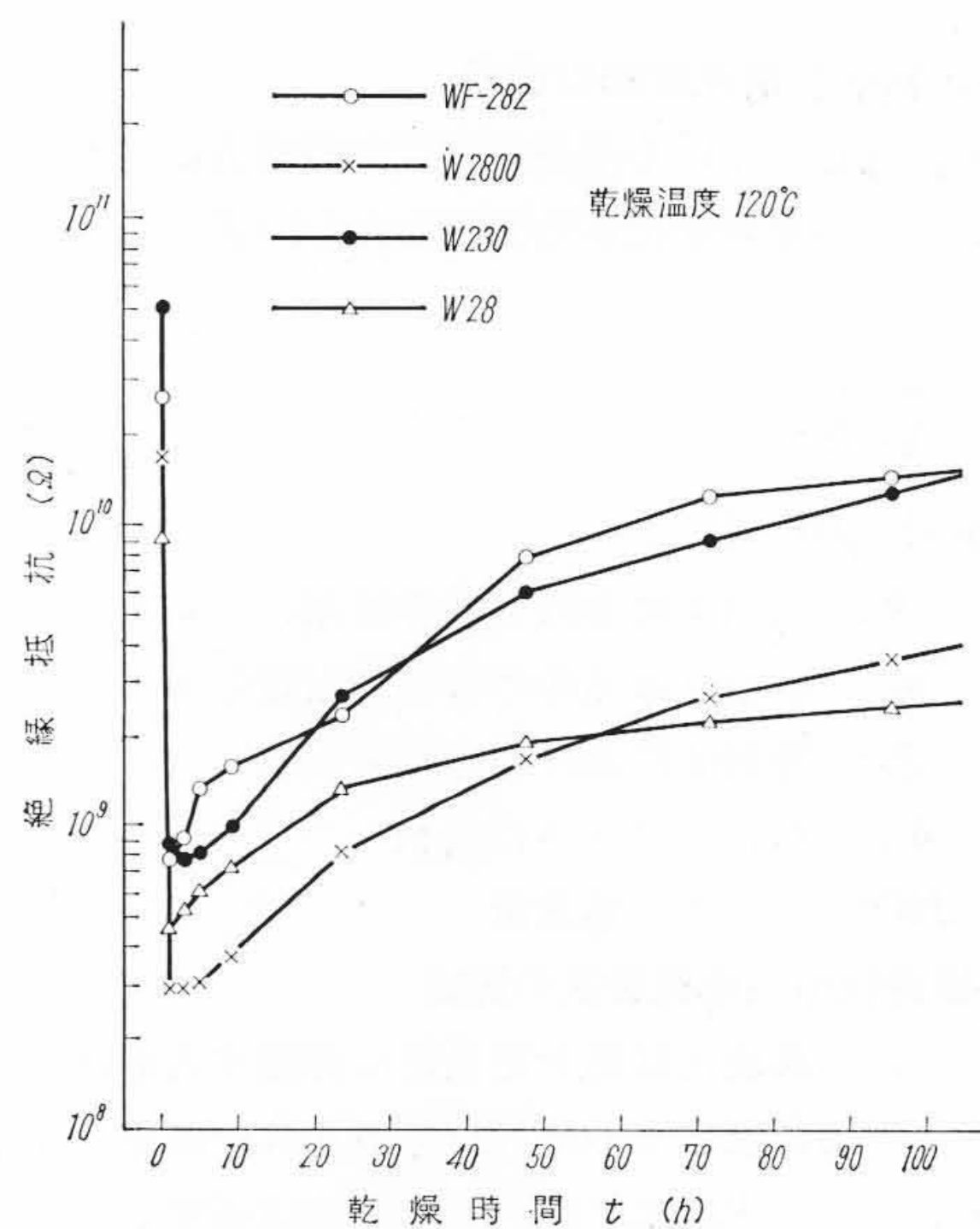
溶剤の揮発速度は、そのワニスに使用されている溶剤の沸点に大きく影響されるが、供試ワニスの溶剤の沸点には大差がないと考えられる。このほかワニスの粘度、ワニス中の溶剤の拡散係数、



第 11 図 厚層の場合の溶剤不溶分の変化



第 12 図 厚層の場合の残存溶剤の変化



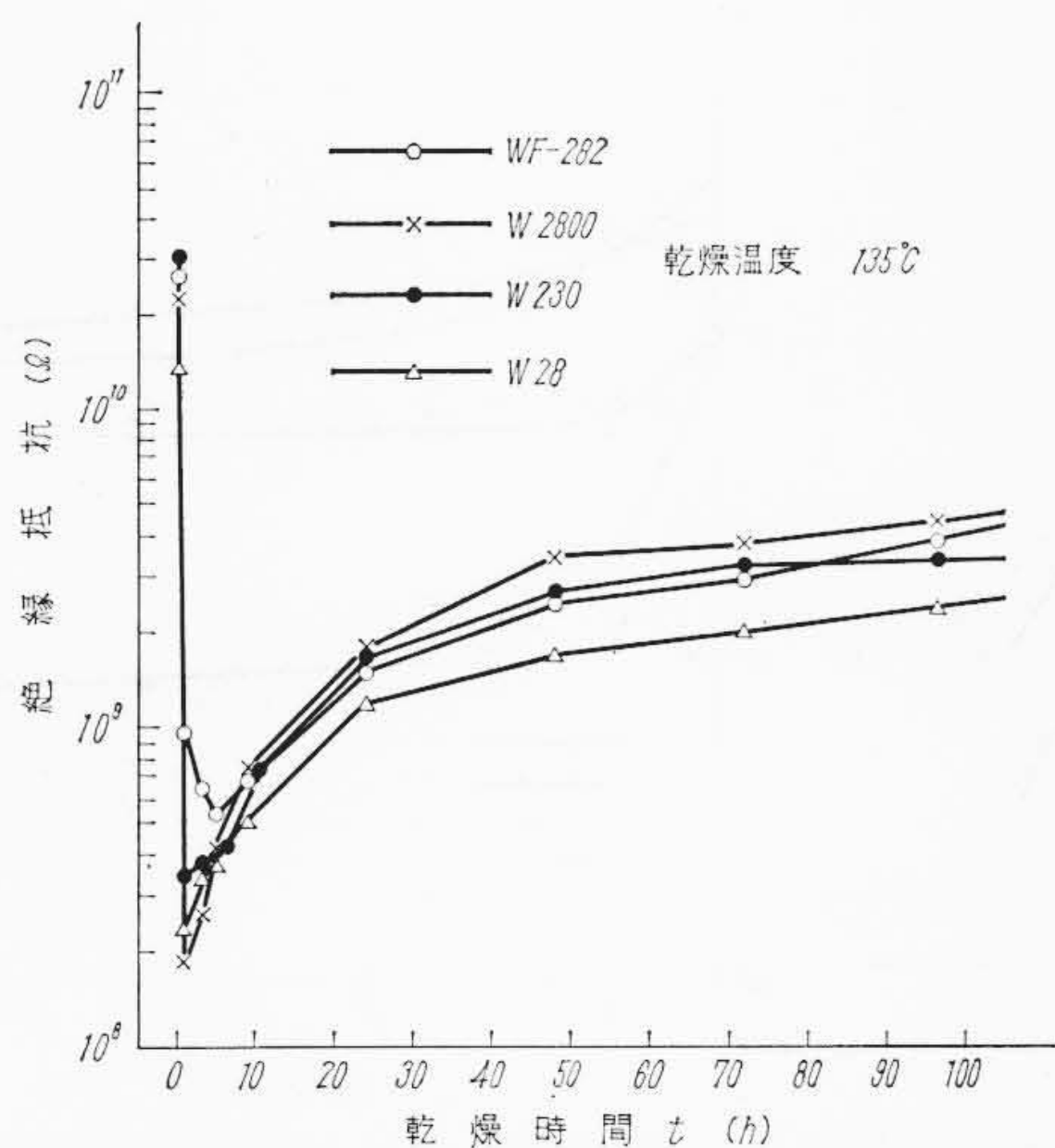
第 13 図 120°Cにおける乾燥時の絶縁抵抗の変化

皮張り皮膜の溶剤の拡散係数もまた溶剤の揮発速度と密接な関係はあるが、これらもまた各供試ワニス間の差は小さいと考えられる。

第 12 図から残存溶剤量を比べてみると W28 の溶剤は比較的速く揮発するようであるが、各ワニス間の差は小さく予期したほどの差はでていない。さらにこの問題については実験方法を変えて検討しなければならないものと考えている。

4.2.3 乾燥過程中的絶縁抵抗の変化

第 13, 14 図に乾燥過程中的絶縁抵抗の変化を示す。乾燥初期に絶縁抵抗は一時低下するが、これは温度上昇に伴うワニス自体の絶縁抵抗の低下である。絶縁抵抗が最低値に達して再び上昇し



第14図 135°Cにおける乾燥時の絶縁抵抗の変化

はじめるが、これはワニスが乾燥過程にはいり溶剤の揮発に伴う粘度上昇、重縮合反応に伴うワニスの不溶ゲル化の進行などにより絶縁抵抗が上昇しはじめるためである。

第13, 14図を比べてみれば明らかなようにW2800は乾燥温度が高くなると絶縁抵抗の上昇度は速くなる。この現象は4.2.1で述べた溶剤抽出法による乾燥度とよく一致している。ところが一方WF-282とW28, W230との絶縁抵抗の上昇度を第14図で比べてみるとこれらの間には大差がない。この場合には4.2.1で述べた溶剤抽出法による乾燥度とは一致していない。このことから乾燥途上の絶縁抵抗だけでワニスの内乾状態の良否を判定するのはむずかしいことがわかる。

前述したように絶縁抵抗は単にワニスの不溶ゲル化分だけに影響されるものではなく、残存溶剤の量、ワニス中に含まれる伝導イオン濃度、イオンの種類などに影響されるため各ワニス間の内乾性の良否を比較する尺度に供するには不適當である。

5. コイルの乾燥条件について

以上述べたようにワニスの内部硬化は表面の乾燥に比べてかなり遅れる。このことはコイル内部にはいったワニスの硬化は非常に遅れることを示す。このためコイルの乾燥にはかなりの長時間を要するので、この短縮が要望されている。

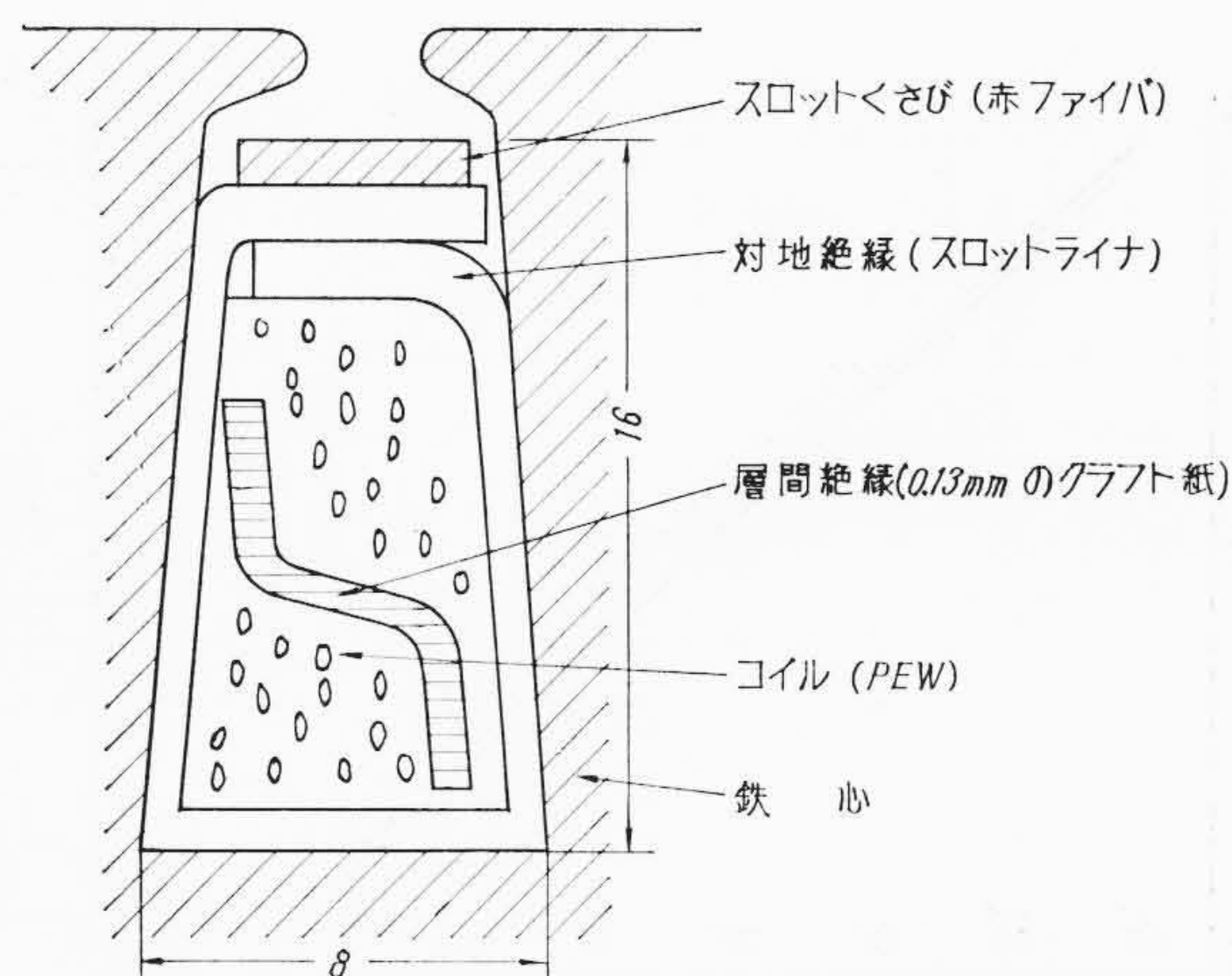
コイルの最適乾燥条件を決定することはむずかしい。すなわち加熱劣化しない程度にコイルの乾燥を進めれば進めるほど、絶縁性能は向上するはずであるが、経済的な見地からむやみに乾燥時間を長くすることはできない。一方、乾燥が不十分なときに発生すると予想されるモータの事故例をあげると次のようである。

- (1) 残存溶剤の化学作用によりモータの寿命が低下する。
- (2) ワニスの接着力が十分でないので機械的振動が加わるとコイルが振動して寿命を低下させる。
- (3) ワニスが運転中に、特に遠心力によって軟化流出する。
- (4) 運転中の高温抵抗が低い。
- (5) 運転吸湿時の抵抗が低下する。

などである。ところがロータの場合は別として、ステータに使用する場合にはワニスの軟化流出は考えなくてもよい。また運転中の高温抵抗についてはワニスの選択で解決できる。以下(1), (2), (5)について拾い込み巻線を対象に検討した結果について説明する。

5.1 乾燥度と寿命との関係

乾燥度をいろいろ変化した場合の寿命をモータレットによって検討した。使用したモータレットの絶縁構成を第15図に示す。モータレット試験の方法は前報⁽⁵⁾とまったく同じである。

第15図 モデルスロット (コイル長さ45mm)
(スロットライナは1.5milのマイラと0.25mmのクラフト紙をはり合わせたものを使用した)

第1表 モータレットのワニス処理仕様

試番	絶縁処理	乾燥	供試台数
#1	PVF+W230 予備乾燥 90°C 30分 ワニス含浸 常温 30分	130°C 100分	15台
#2	PVF+W230 予備乾燥 90°C 30分 ワニス含浸 常温 6分	15mmHg 5時間常 温で真空乾燥後 130°C 100分	15台
#3	PVF+W230 予備乾燥 130°C 30分 ワニス含浸 6分	130°C { A 1時間 B 2時間 C 4時間	5台 5台 5台
#4	PVF+W230 予備乾燥 90°C 30分 ワニス含浸 6分	130°C 1時間	5台
#5	PVF+W230 予備乾燥 90°C 30分 ワニス含浸 6分	130°C 24時間	6台

注: PVF はビニールホルマール線の略

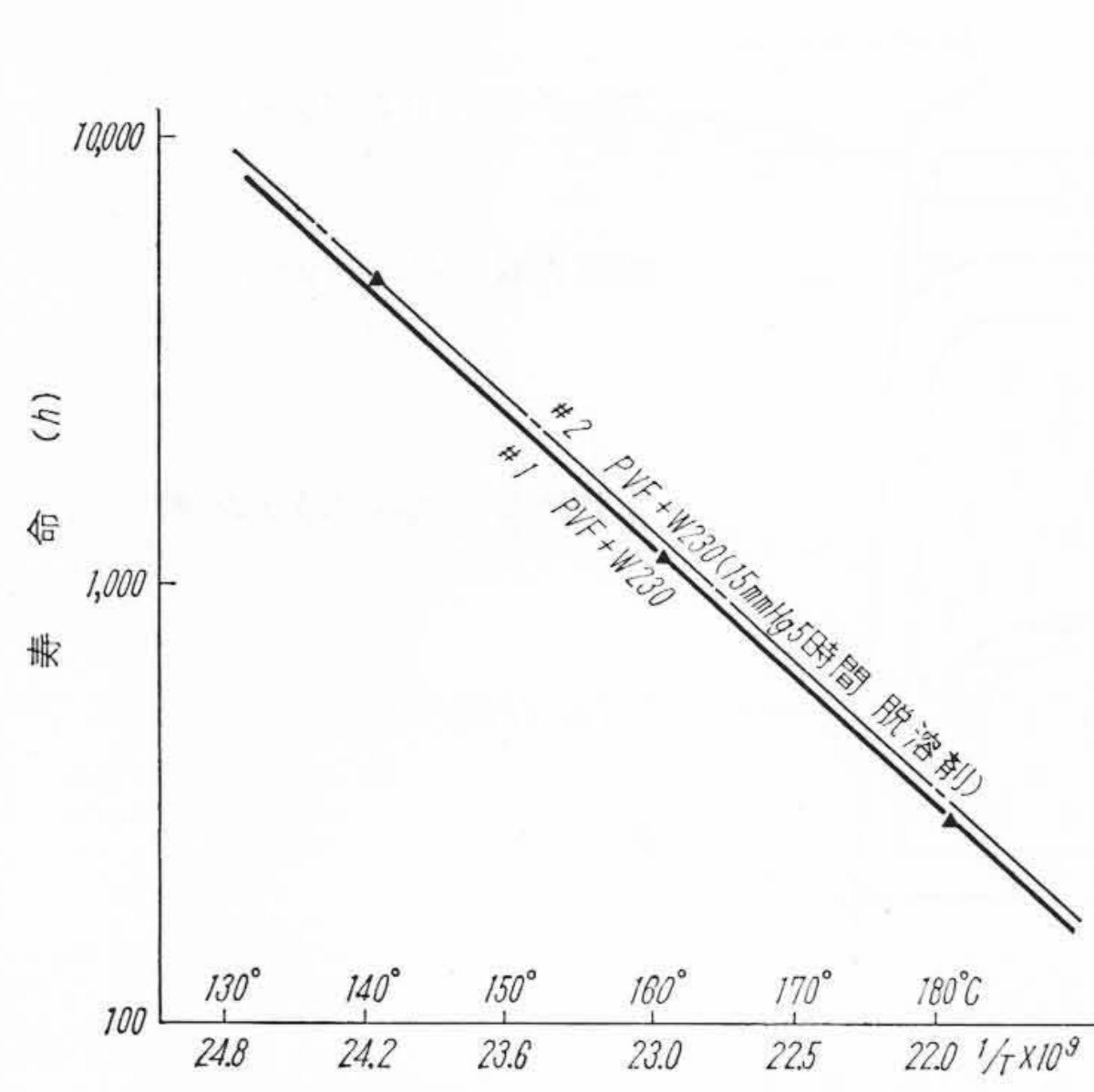
第2表 PVF+W230系のモータレット寿命
(供試台数の残数を示す)

サイクル #	試験条件	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均 寿命
1	140°C 28日加熱	5	5	5	5	5	5	4	3	0					4,500
1	160°C 8日加熱	5	5	5	3	3	2	2	2	0					940
1	180°C 2日加熱	5	5	5	5	5	4	3	2	0					300
2	140°C 28日加熱	5	5	5	5	5	5	4	2	2	0				4,770
2	160°C 8日加熱	5	5	5	4	3	3	3	2	0					1,150
2	180°C 2日加熱	5	5	5	4	3	2	2	2	2	1	1	0		310
3(A)	180°C 2日加熱	5	5	5	5	4	4	3	0						270
3(B)	180°C 2日加熱	5	5	5	5	5	5	3	2	1	1	1	0		350
3(C)	180°C 2日加熱	5	5	5	5	4	4	3	1	1	0				270
4	160°C 8日加熱	5	5	5	3	3	2	2	2	0					940
5	160°C 8日加熱	6	6	6	5	5	2	2	0						920

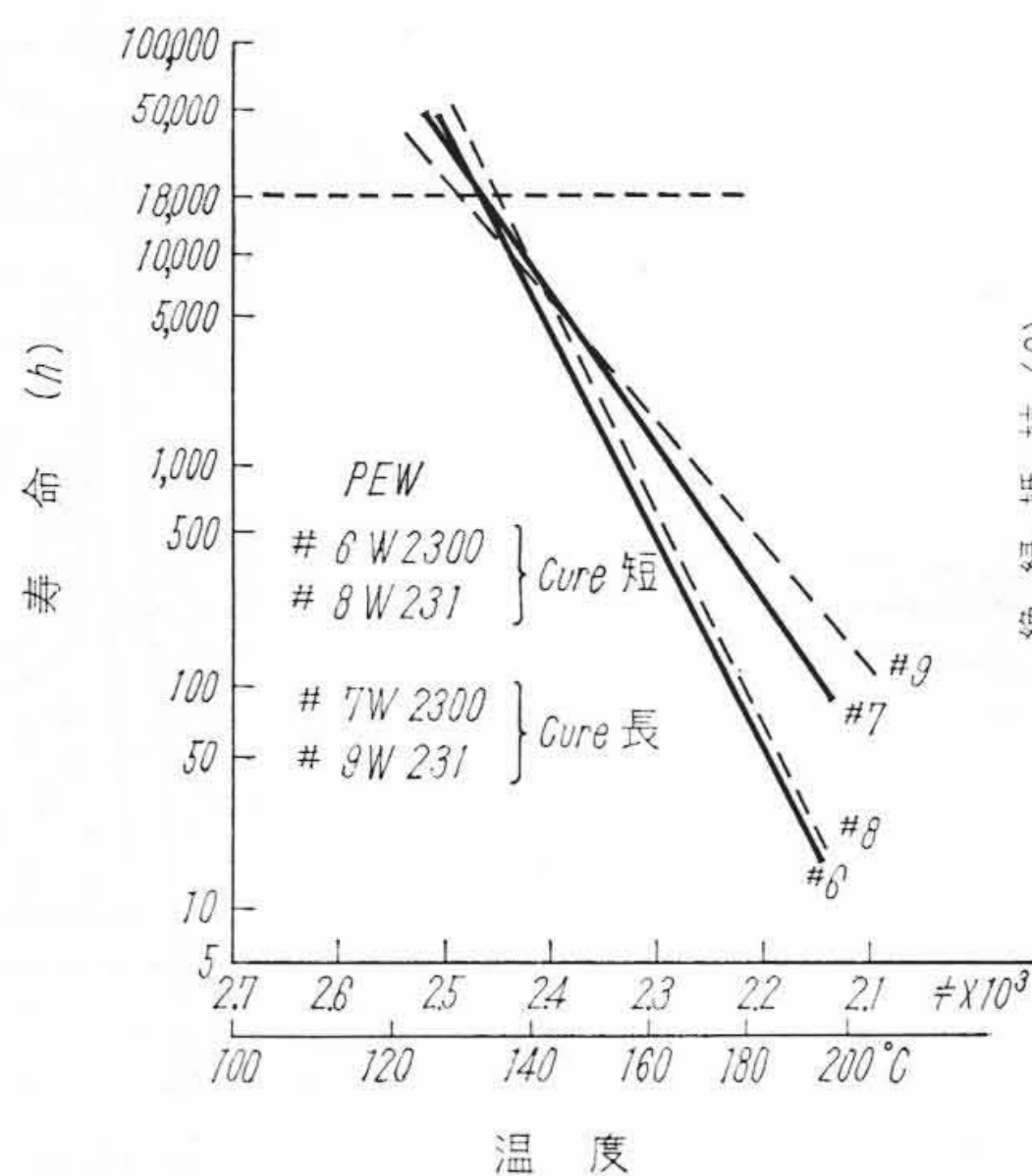
注: 表記の数値は各サイクルの残存モータレット台数を示す。

5.1.1 ホルマール(PVF)線をW230で処理した場合

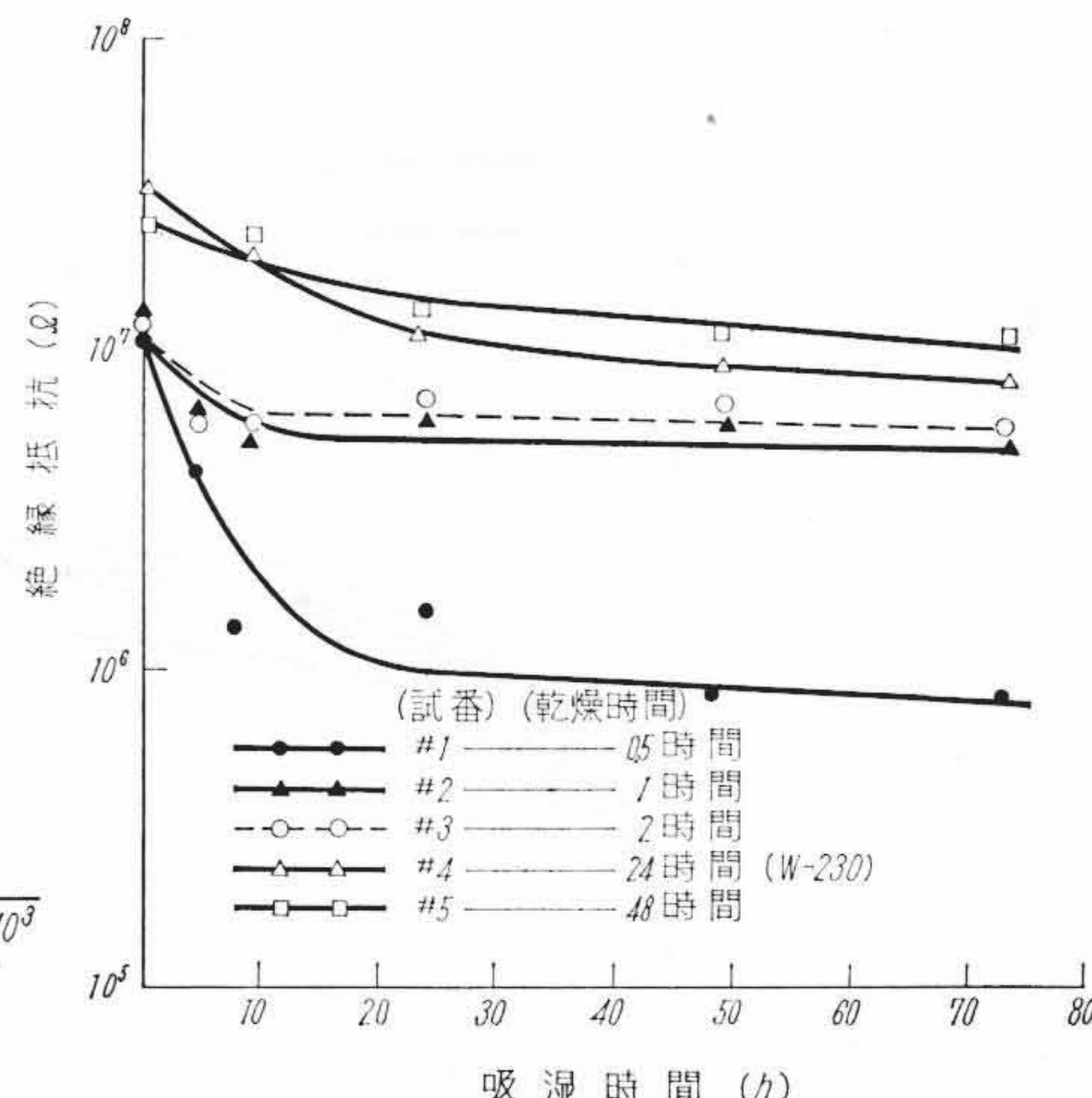
モータレットのワニス処理条件は第1表に示すように極端に乾燥の少ないものと、多いものとに分けて、これらについて寿命試験を行なった。第1表の#3については未乾燥のものが振動に耐えるかどうかを検討するため、加熱劣化させる前に3日間吸湿、1時間振動のサイクルを10サイクルにわたり繰り返してから加熱劣化を開始した。結果を第2表に示す。また#1, #2の寿命と温度との関係を第16図に示す。これらの結果からPVF線にW230を処理したものは、未乾燥のものも、十分乾燥が進んだものも寿命の点で大差ないことがわかる。また未乾燥のものでも十分振動に耐えることが第2表#3の結果から明らかである。



第 16 図 PVF 線に W230 を処理したモータレットの寿命直線



第 17 図 PEW 線に対するワニス処理条件(残存溶剤)と寿命の関係



第 18 図 モータレットの乾燥度と吸湿絶縁抵抗の関係

第 3 表 ワニスの処理条件

試 番	ワニスの処理条件
# 6	PEW+W2300 予備乾燥: 90°C 30分 乾燥: 130°C 2時間 ワニス含浸: 常温 6分
# 7	PEW+W2300 予備乾燥: 90°C 30分 乾燥: 105°C 10時間, 130°C 2時間 ワニス含浸: 常温 6分
# 8	PEW+W230 予備乾燥: 90°C 30分 乾燥: 130°C 2時間 ワニス含浸: 常温 6分
# 9	PEW+W230 予備乾燥: 90°C 30分 乾燥: 80°C 5時間, 105°C 10時間, 130°C 2時間 ワニス含浸: 常温 6分

注: PEW はポリエステルエナメル線の略

5.1.2 ポリエステル(PEW)線を W2300 および W230 で処理した場合

W2300 は W2800 と同様サーモセット系のものであるが、乾燥性を良くするため W2800 よりも短油長にしたものである。モータレットの処理条件を第 3 表、寿命試験の結果を第 17 図に示す。この場合は PVF 線を W230 で処理した場合とは異なり、残存溶剤分が高温の寿命にかなりの影響を及ぼしている。すなわち温度が高くなると乾燥不十分な試料の寿命は短い。しかし第 17 図から明らかなように低温部の寿命はほとんど差がない。このように PEW 線の場合に乾燥不十分な試料の非常に高い温度の寿命が短い理由は内部に残存する溶剤が高温でマグネットワイヤを侵すためかもしれない。しかし、低温部では溶剤の作用力が弱いので、溶剤が絶縁組織を侵すまでに揮発して、乾燥を十分にした試料と同一の状態になり、寿命の点で大差がなくなるものと考えてよい。

ワニスの溶剤が強力なものであってマグネットワイヤを極端に侵すような場合には乾燥を十分に行う必要があるが、適当な溶剤組成のワニスを使用するかぎり⁽³⁾実用上ワニスの乾燥が不十分で溶剤がかなり残っているような状態でも問題はないことがわかる。

5.2 乾燥度の変化によるコイルの耐湿性

運転中のモータの吸湿絶縁抵抗の低下は寿命と直接関係はないが吸湿時の絶縁抵抗は感電の点から十分注意する必要がある。吸湿絶縁抵抗は乾燥度に大きく左右されるであろうことは想像できる。モータレットの乾燥度を変化させて、吸湿時の絶縁抵抗の低下を測定した結果を以下に示す。

モータレットに W230 を処理して余滴滴下 10 分後、130°C で乾燥した。乾燥時間を第 18 図に示すように変化させてから常温に冷却し、40°C、90% R. H. で吸湿させたときの吸湿絶縁抵抗の変化を測定した。結果を第 18 図に示す。図から明らかなように #1、すな

わち 30 分乾燥したものの吸湿絶縁抵抗は極端に低下するが、#2、すなわち 1 時間乾燥した試料の吸湿絶縁抵抗は長時間乾燥した #3、4、5 と大差がない。1 時間程度の乾燥では内部のワニスは十分に乾燥していないことは 3、4 の結果から明らかである。ところが 1 時間程度の乾燥で十分に吸湿絶縁抵抗がでる理由はスロット絶縁物にマイラを使用しているためである。吸湿時の絶縁抵抗の低下は主として表面リークであると考えられ、表面ワニス乾燥すると吸湿時の絶縁抵抗はあまり低下しなくなるものと考えてよい。

マイラのような高絶縁性能の材料をスロットライナに使用するかぎり、短時間の乾燥で十分吸湿絶縁抵抗を保証できることがわかった。

6. 結 言

ワニスの乾燥過程の変化を主として物理的な面から検討するとともに、拾い込み巻線機器を対象にワニスの乾燥度が機器の性能にどのような影響を及ぼすかを検討した。結果を要約すると

- (1) 熱硬化性の樹脂を使ったサーモセット系のワニスは酸素が遮断された状態でも十分硬化は進むが、天然樹脂を使った従来からの油性系のワニスは酸素がないと著しく硬化しにくい。このことはコイル深部に含浸されたワニスは乾燥しにくいということを表わしている。この現象は溶剤抽出法によっても検討してみたが同じような結果を得た。
 - (2) ワニスの乾燥過程では溶剤の揮発も重要な因子であるが、この揮発速度は各ワニスとも大差がない。このため内乾性のよいワニスでも溶剤が残っているときはべたつきが残る。乾燥過程中的不溶ゲル化分の増加、すなわち硬化とべたつきとは一致しない。
 - (3) 適当な溶剤組成のワニスを使用するかぎり遠心力のような大きな外力がかからない場合には乾燥が不十分でも問題はない。
- 以上述べたほかに乾燥過程中的ワニスの接着力の変化もまた重要な問題であろう。さらに機器の最適乾燥条件については多くの問題が残されているが、この点については稿を改めて報告したい。

最後に本研究にご援助、ご指導をいただいた日立製作所山崎工場長鶴田博士をはじめとする工場幹部、関係各位に厚くお礼申しあげる。

参 考 文 献

- (1) 日月: 電気絶縁ワニスおよびコンパウンド
- (2) 小林: 電学誌 80, 856 (昭 35)
- (3) 間瀬, 矢田: 電学誌 74, 797 (昭 29)
- (4) 松島, 井上, 才川: 日立評論 34, 999 (昭 27-8)
- (5) 小川, 高橋: 日立評論 42, 696 (昭 35-6)