

絶縁ワニスの内部乾燥性

Inner Drying Properties of Electrical Insulating Varnishes

大平 武司*
Takeshi Odaira

土屋 昭夫*
Akio Tsuchiya

上村 広一*
Hiroichi Kamimura

内 容 梗 概

比較的溶剤が揮発しやすい構造のコイルに含浸された場合のワニスの内部乾燥性を判定する方法について検討した。この場合はエナメル線をたばねてモデルコイルを作成し、ワニス乾燥にともなうエナメル線間のせん断接着力の変化を測定したが、接着力からワニスの内部乾燥性の良否を判定できることがわかった。

また、比較的溶剤が揮発しにくい複雑な絶縁構造のコイルに含浸されたような場合のワニスの内部乾燥性の判定法についても検討した。この場合には、モデルコイルに代わるものとしてシャーレにワニスをいれ、その上を薄葉絶縁物で密封した試料を作成し、このものを加熱してワニスを乾燥させる場合の溶剤の薄葉絶縁物透過性、ワニスゲル化時間、ワニス溶剤不溶分、絶縁抵抗の変化を測定した。その結果、これらの測定値から溶剤の揮発しにくい構造の実物コイルに含浸した場合のワニスの内部乾燥性を判定できることがわかった。

1. 緒 言

コイル含浸用ワニス(以下ワニスと略称する)の約50%は溶剤から成り、残りの約50%は乾性油、樹脂を主成分としたいわゆるワニスボディから成っている。溶剤が透過しにくいポリエステルフィルム、マイカペーパー、コンデンサペーパーなどの薄葉絶縁物を用いた複雑な絶縁構造をもつマグネットコイル、イグニッションコイルなどでは、絶縁層の奥深くまで含浸したワニスの溶剤はたやすく揮発しない。そのため、ワニスの硬化反応が残存溶剤によって阻害されてなかなか硬化しないことは、天然樹脂を用いた油性系ワニスに限らず、熱硬化性樹脂を用いたサーモセット系ワニス、そのほかのすべての溶剤形ワニスについてよくみられる現象である。

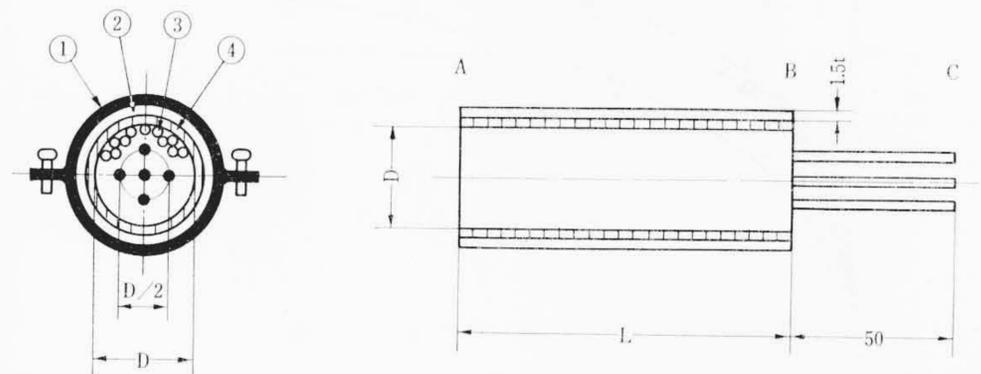
ワニスの内部硬化性または内部乾燥性(以下ワニス内乾性と略記する)の評価法として、一般的にはJIS(JIS C-2103)による定性的な方法、すなわちガラスシャーレにワニスをとり、これを加熱乾燥してゆき、所定時間後にワニス内部の糸引きの有無を観察する方法が用いられている。この方法によって内乾性のすぐれたワニスを選択する場合には、しばしば実際の機器コイルに含浸したワニスの内乾性と相反する結果をあたえることが認められている。

そこで、筆者らはまず初めに比較的溶剤が揮発しやすい状態にある拾い込みコイルを対象として、機械特性の点からワニス内乾性を定量的に測定する方法について検討することにした。エナメル線をたばねて作成したモデルコイルをワニス処理し、乾燥程度をいろいろ変えたものについてエナメル線間のせん断接着力を測定し、ヘリカルコイル固着力^{(1),(2)} Tensile Shear Test⁽³⁾とも比較した。

つぎに、複雑な絶縁構造を持って、溶剤が揮発しにくい状態のコイルを対象に検討することにした。この場合はモデルコイルに代わるものとして、シャーレにワニスをいれ、その上を薄葉絶縁物で密封した試料を作成し、このものを加熱し、そのときの薄葉絶縁物の溶剤透過量、ワニスゲル化時間、溶剤抽出法によるワニスの溶剤不溶分、および乾燥途上の絶縁抵抗の変化を測定し、溶剤が揮発しやすい開放状態におけるワニス内乾性と比較検討したので、これらの結果について報告する。

* 日立化成工業株式会社山崎工場

モデルコイル番号	L (mm)	D (mm)	d (mm)	x (本)
# 1	50	13	1.4	60
# 2	100	15	2.0	40
# 3	100	21	2.0	80
# 4	100	27	2.0	130
# 5	100	35	2.0	200
# 6	200	21	2.0	80



- ① 止金具
- ② 鉄製の半円筒
- ③ dφのポリエステルエナメル線 x本
- ④ SL-YK1510袋巻2回

注1. SL-YK1510: ポリエステルフィルム(0.038mm)とクラフト紙(0.25mm)とをはり合わせたもの

注2. x本のポリエステルエナメル線のうち5本は(L+50)mm長さとし
●印の個所にいれる

第1図 接着力測定用試料

2. エナメル線引き抜き法によるワニス内乾性の検討

一般にワニスは乾燥が進行するにしたがって固くなり、接着力は強くなる。また、ワニスの乾燥が不十分なコイルほど常温における接着力に比べて高温における線間接着力の低下が大きい。これらの傾向からワニスの乾燥状態を推定する目的でこの実験を行なった。

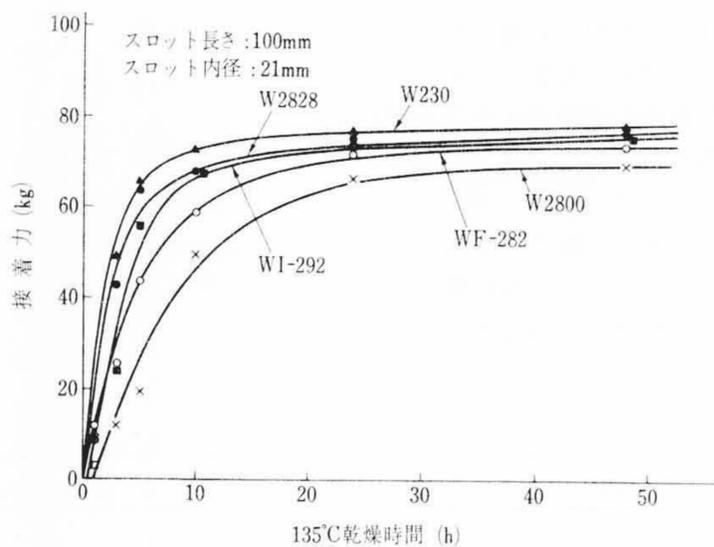
2.1 供 試 料

第1図に示すようなポリエステルエナメル線をたばねたモデルコイルを作成し、これに第1表に示す仕様で、あらかじめワニス肉付量が一定になるように濃度を調整しておいたワニスで1回処理して、乾燥度の異なる接着力測定用試料を作成した。なお、コイルを水平にして乾燥した場合にはコイルの横方向のワニス肉付量が一律にならず、測定個所による接着力のバラツキが大きいので、コイル

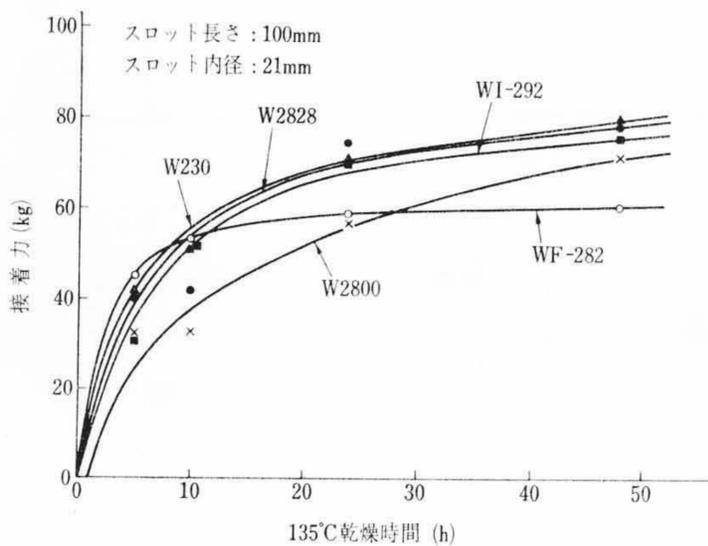
第1表 コイルのワニス処理仕様

作	業	条	件
予備乾燥		105°C	15時間
空冷 (P ₂ O ₅ デシケータ中)			2~3時間
ワニス常圧含浸		常温	15分
余滴滴下		常温	30分
本乾		120°C または 135°C	で所定時間(注)

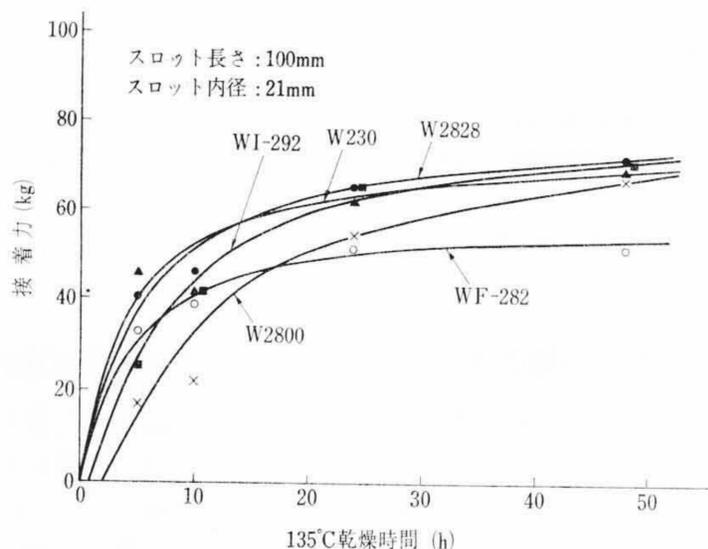
(注) 1, 3, 5, 10, 24, 48時間



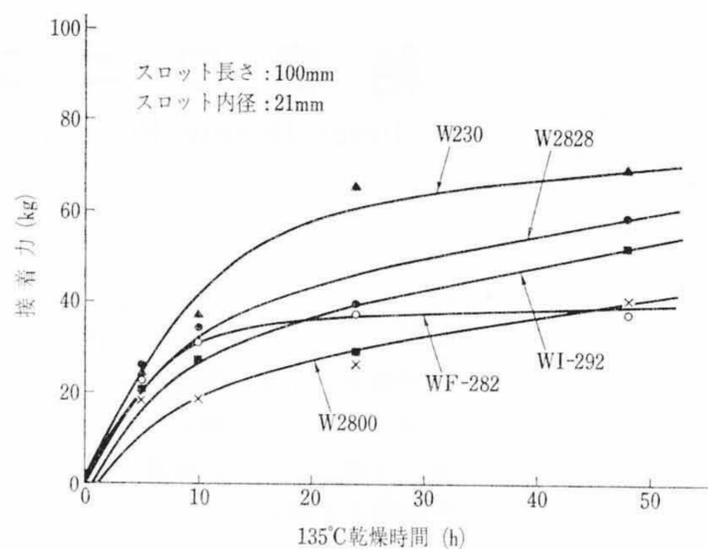
第2図 乾燥時間と20°Cにおける接着力との関係



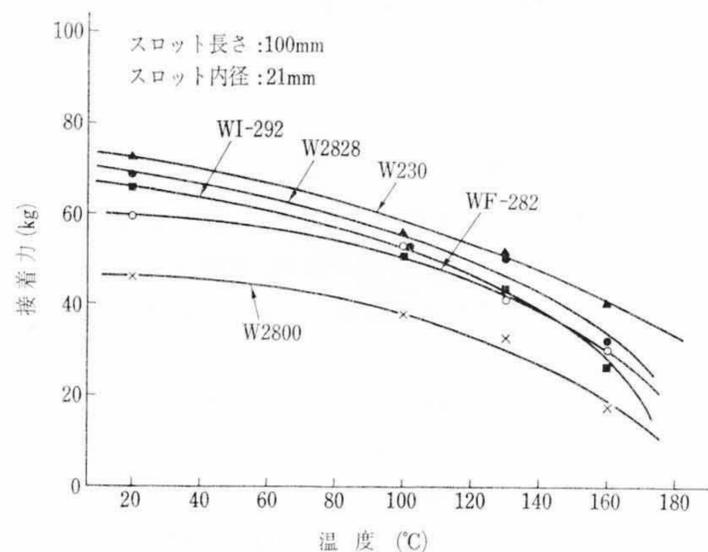
第3図 乾燥時間と100°Cにおける接着力との関係



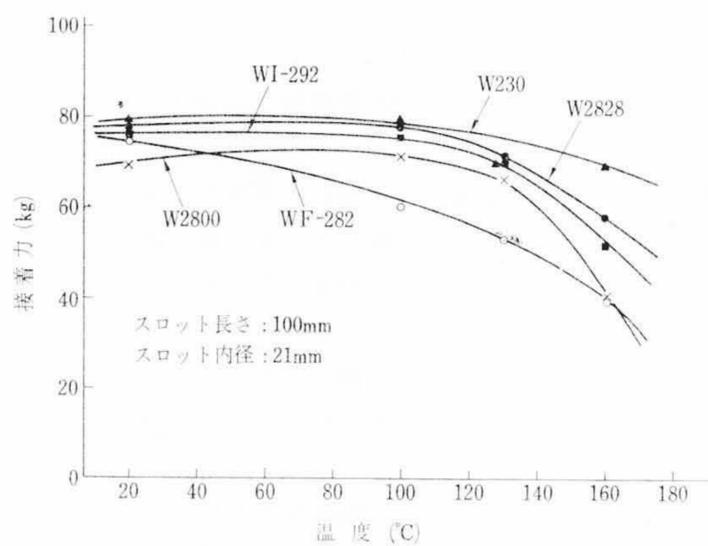
第4図 乾燥時間と130°Cにおける接着力との関係



第5図 乾燥時間と160°Cにおける接着力との関係



第6図 接着力の温度特性 (135°C, 10時間乾燥)



第7図 接着力の温度特性 (135°C, 48時間乾燥)

はすべて垂直に立てて (A部分を下にしてC部分を上にする) 乾燥した。

2.2 試験方法

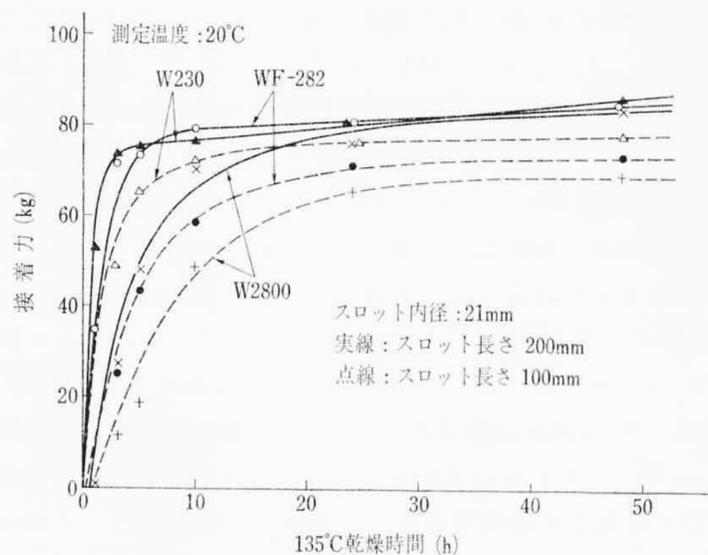
接着力の測定にはショッパ式引張試験機を用い、引張速度は200 mm/分とした。測定温度は20, 100, 130, 160°Cである。なお、引

張箇所は、第1図の黒印の5箇所である。

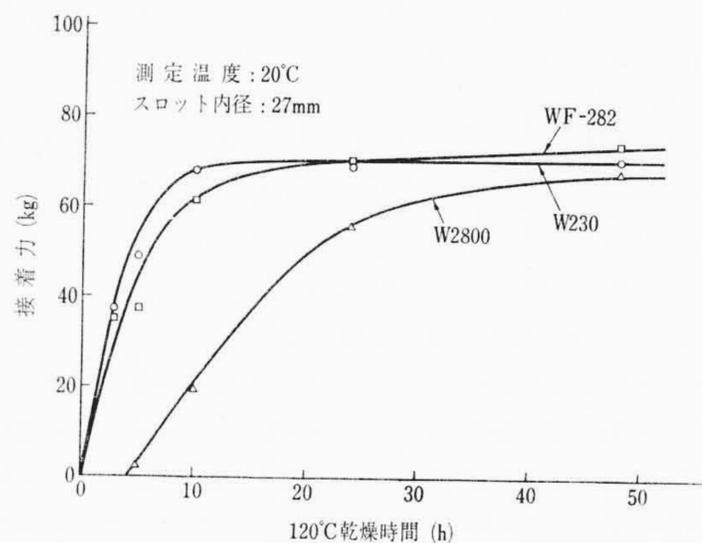
2.3 結果ならびに考察

2.3.1 ワニスの乾燥に伴う接着力の変化

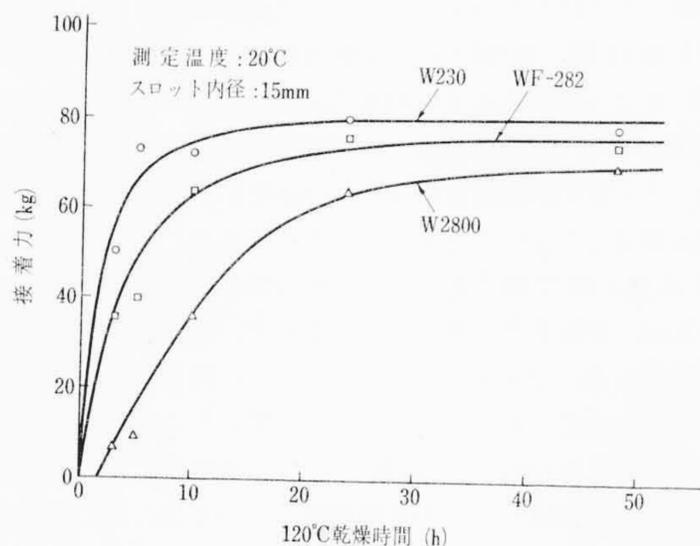
スロット長さ100 mm, スロット内径21 mmのモデルコイルにワニスを含浸し、135°Cで乾燥したときの乾燥時間経過に伴う常温接着力の変化を測定した結果は第2図に示すとおりである。乾燥時間の経過に伴い、接着力は最初、急激に増大するが、しだいにゆるやかになり飽和に達することがわかる。乾燥開始後数時間の接着力の上昇速度はW230が最も大きく、W2800が最も小さい。W2828, WI-292, WF-282はその中間値を示している。接着力は24時間乾燥すればだいたい飽和値に達している。このように乾燥に伴う接着力の変化によってワニス内乾性の良否を判定する



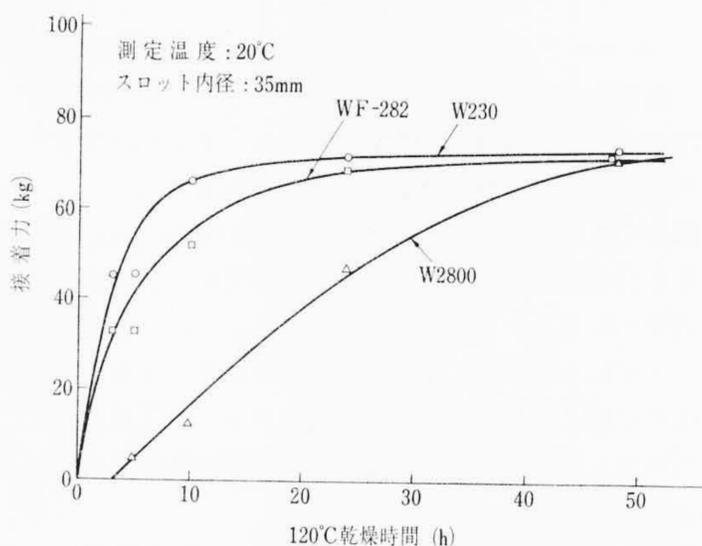
第8図 乾燥時間と接着力との関係 (スロット内径一定, スロット長さ変化)



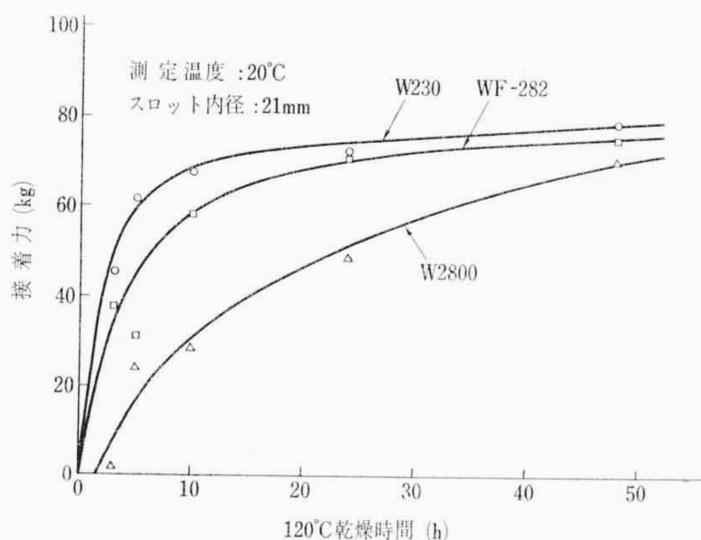
第11図 乾燥時間と接着力との関係 (スロット内径 27 mm, スロット長さ 100 mm)



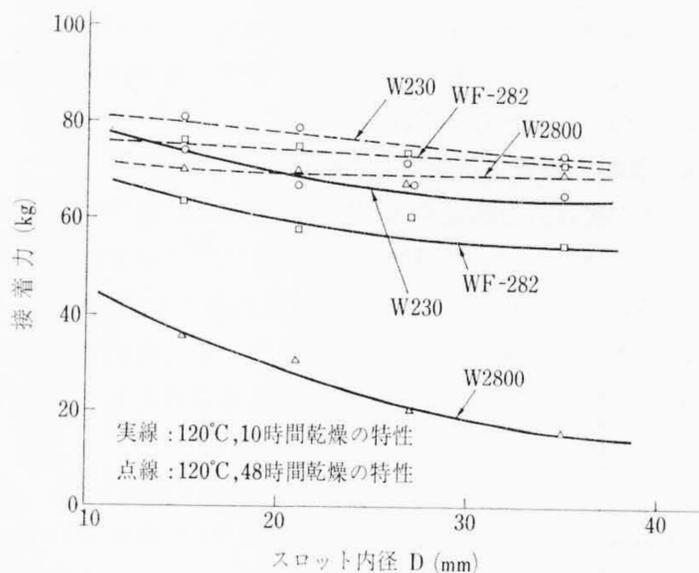
第9図 乾燥時間と接着力との関係 (スロット内径 15 mm, スロット長さ 100 mm)



第12図 乾燥時間と接着力との関係 (スロット内径 35 mm, スロット長さ 100 mm)



第10図 乾燥時間と接着力との関係 (スロット内径 21 mm, スロット長さ 100 mm)



第13図 スロット内径と接着力との関係 (スロット長さ 100 mm)

ことができる。

2.3.2 常温接着力と高温接着力との比較

乾燥時間と接着力との関係が測定温度によってどのように変化するかを、スロット長さ 100 mm, スロット内径 21 mm のモデルコイルについて検討した。その結果を第3~7図に示す。第3~5図はそれぞれ、100, 130, 160°Cにおける接着力と乾燥時間との関係を示したものである。第6, 7図は第2~5図の結果から測定温度と接着力との関係を求めたもので、第6図は135°Cで10時間乾燥したときの特性、第7図は135°Cで48時間乾燥したときの特性である。

前述のように、常温接着力は135°Cで24時間乾燥すればいずれのワニスもだいたい飽和値に達した。ところが第3~5図から明らかなように、WF-282を除いたほかのワニスの高温接着力は135°Cで24時間乾燥しても飽和値に達しない。このことから考えると、常温接着力よりも高温接着力のほうが、ワニス乾燥度の判定に対して敏感であるといえる。また、乾燥に伴うワニスの種類による高温接着力の差は常温接着力のそれに比べ一般に大きい傾向がある。以上のことから接着力によって、ワニスの乾燥度を判定する場合には、常温接着力よりも高温接着力を用いたほうが有効

であることがわかる。高温接着力によってワニス相互の内乾性の良否を判定すると、その順位は、WF-282>W 230, W 2828, WI-292>W 2800 となる。

つぎに第6,7図で接着力の温度特性をみると、温度が高くなるにつれて接着力は低下している。135°Cで10時間乾燥したものの接着力の低下の割合は135°Cで48時間乾燥したものに比べて大きい、これはワニスの乾燥が不十分なためである。

2.3.3 スロットの大きさと接着力との関係

スロットの大きさによってワニスの乾燥時間と接着力との関係がどのように変わるかを、スロット内径とスロット長さをいろいろ変えて検討した。その結果は第8~13図に示すとおりである。

第8図はスロット内径を一定にして、スロット長さを変えたときの乾燥時間経過に伴う接着力の変化を示したものである。第8図からわかるように135°Cで24時間乾燥すれば接着力はほぼ飽和値に達し、いずれのワニスもスロット長さの影響を受けない。また、スロット長さが長くなると接着力は大きくなる傾向を示すが、100mmと200mmとでは大差がない。接着面積が大きくなれば接着力も大となるはずであるが、ワニスで1回処理しただけではエナメル線間のすき間を完全にみたくすることができず、接着力にあまり差がでなかったものと考えられる。

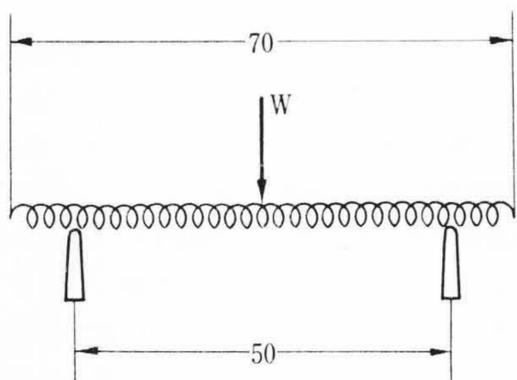
第9~12図はスロット長さを一定(100mm)とし、スロット内径を変えた場合の乾燥時間と接着力との関係を示すもので、これらの結果からスロット内径が変化してもワニスの乾燥性の順位はほとんど変わらないが、スロット内径が大きくなると接着力の立上りはやや遅くなることがわかる。スロット内径が大きくなると接着力の立上りが遅くなるのはコイルの熱容量の違いによるためであると思われる。

第13図は第9~12図の結果からワニス乾燥時間をパラメータにとり、スロット内径と接着力との関係を求めたものである。この図から乾燥が不十分な場合にはスロット内径が大きくなると接着力が低下するが、乾燥が十分な場合にはスロット内径が大となっても接着力は低下せずほとんど一定であることがわかる。この理由は前者はコイルの熱容量の影響を受け、後者はその影響を受けないためであると考えられる。

2.3.4 ほかの接着力試験方法との比較

ワニスの接着力を測定する方法には Dexter 氏⁽¹⁾や堀辺氏⁽²⁾らのヘリカルコイル固着力試験法、Straka 氏⁽³⁾のせん断接着力試験法などがあるが、前者はコイルの曲げ破断強さを測定するもので、後者は筆者らの試験方法と同じくコイルのせん断引張強さを測定するものである。これらの試験方法による接着力と筆者らの試験方法による接着力とを比較した。

ヘリカルコイル固着力はつぎのようにして測定した。すなわち、1.4mm径のポリエステルエナメル線を5.0mm径のマンドレルに巻いて長さ70mmのヘリカルコイルをつくり、これをワニス



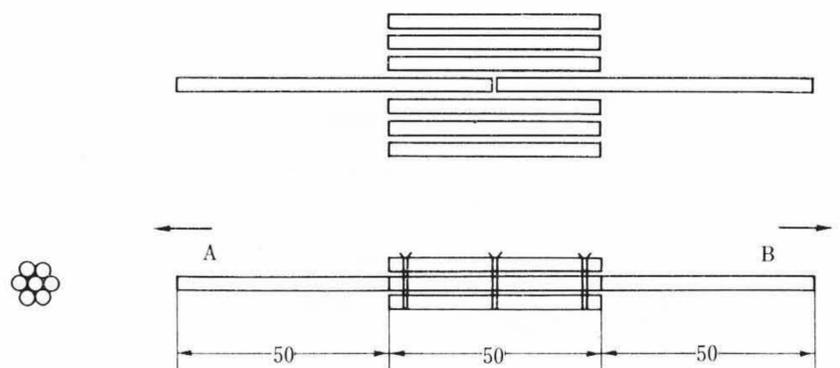
第14図 ヘリカルコイル固着力試験用試料

中に10分間浸漬、30分間余滴滴下後、1回目の乾燥を120°Cで1時間行ない、つぎにコイルの上下を逆にしてもう一度同じ操作を行ない、120°Cで所定時間乾燥して乾燥度の異なる試験片を作成した。このコイルは第14図に示すように、支点間距離を50mmとし、島津製作所製オートグラフを用いて、引張速度10mm/分で20°Cにおける曲げ破断強さを測定し、これを固着力とした。

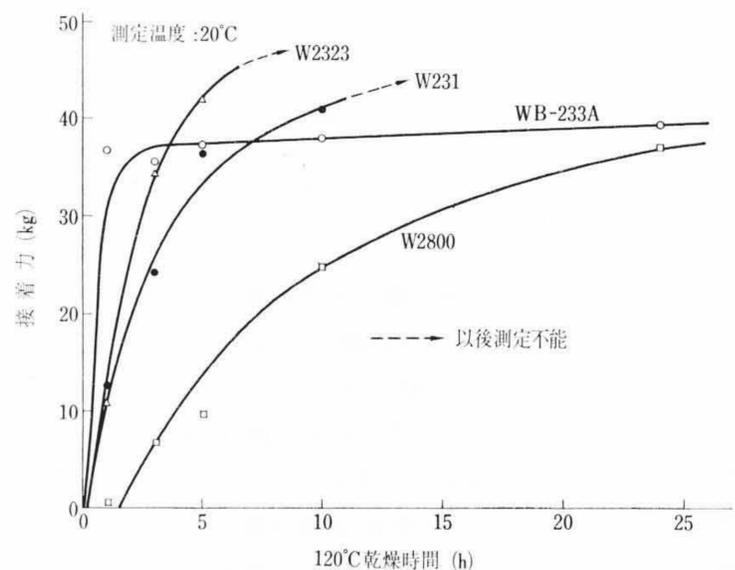
一方、せん断接着力はつぎのようにして測定した。すなわち、第15図に示すように、1.4mm径のポリエステルエナメル線7本をたばねて糸でしばってコイルをつくり、これをワニス中に10分間浸漬、30分間余滴滴下後、1回目の乾燥を120°Cで1時間行ない、つぎにコイルの上下を逆にしてもう一度同じ操作を行ない、120°Cで乾燥して乾燥度の異なる試験片を作成した。このコイルのA, B部分をチャックではさみ、島津製作所製オートグラフによって、引張速度10mm/分で20°Cにおけるせん断接着力を測定した。

乾燥に伴う接着力の変化を筆者らの試験方法によって測定した結果を第16図、Straka 氏の試験方法によって測定した結果を第17図、またヘリカルコイル固着力試験法によって測定した結果を第18図に示す。第16図中、以後測定不能とあるのは1.4mm径のエナメル線の引張荷重が43~45kgであるため、それ以上の接着力が測定できないことを示したものである。

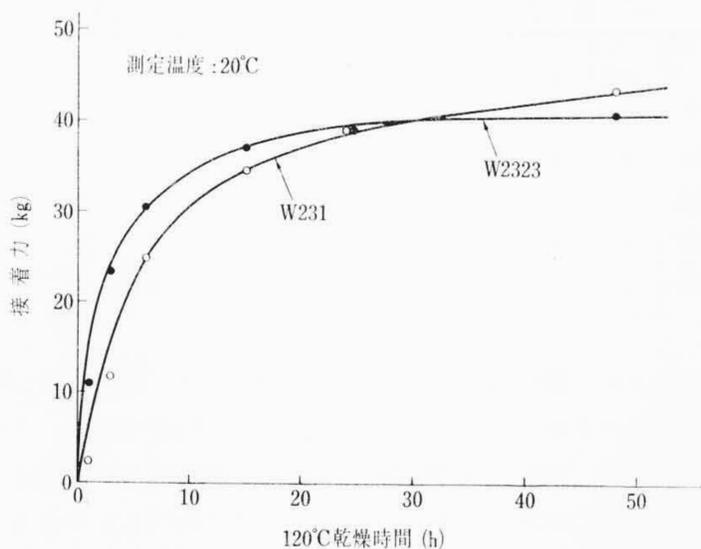
第16図と第17図で乾燥に伴う接着力の変化を比較すると、双方ともせん断接着力を測定しているので、接着力の絶対値と接着力の立上り速度は多少異なるが、だいたい同じように変化していることがわかる。接着力の立上りは、筆者らの試験方法による場合のほうが、Straka 氏の試験方法による場合に比べて少し早い、これは前者はワニスを1回処理しているのに対し、後者は2回処理しているためであると考えられる。これに対して第18図



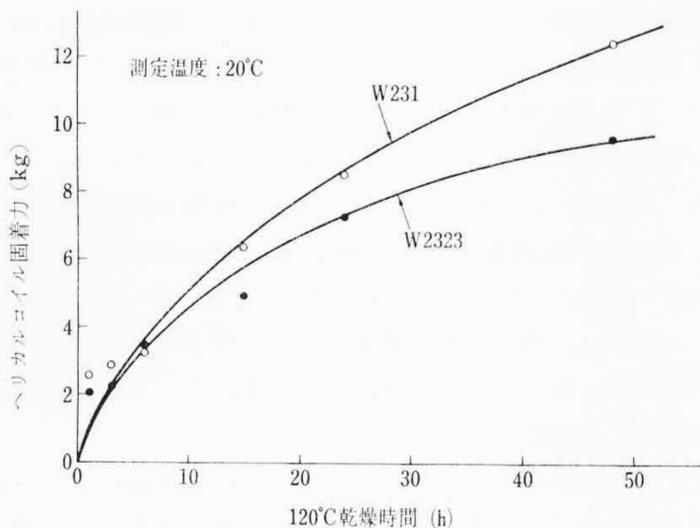
第15図 せん断接着力試験(Straka法)用試料



第16図 乾燥時間と接着力との関係(スロット長さ50mm, スロット内径13mm)



第17図 乾燥時間と接着力との関係 (Straka 法)



第18図 乾燥時間とヘリカルコイル固着力との関係

のヘリカルコイル固着力は曲げ破断強さを測定しているために、せん断引張強さの場合と少し異なった変化を示し、乾燥に伴う接着力の立上りはせん断接着力の場合に比べて遅い傾向がある。

以上の結果から、比較的溶剤が揮発しやすい状態の機器コイルを処理するワニスの内乾性の良否は、エナメル線引き抜き法によるせん断接着力の測定によって判定できることが明らかになった。第16図でワニス内乾性の良否を判定すると、その順位は、良いほうから、WB-233A>W 2323, W 231>W 2800 となる。

3. 溶剤揮発量、ワニスカたさ、ワニス粘着性によるワニス内乾性の検討

溶剤が揮発しやすい開放状態におけるワニス内乾性良否の判定は溶剤揮発量、ワニスカたさ、ワニス粘着性および JIS 法による内乾性によって行なった。

3.1 試験方法

3.1.1 溶剤揮発量の測定

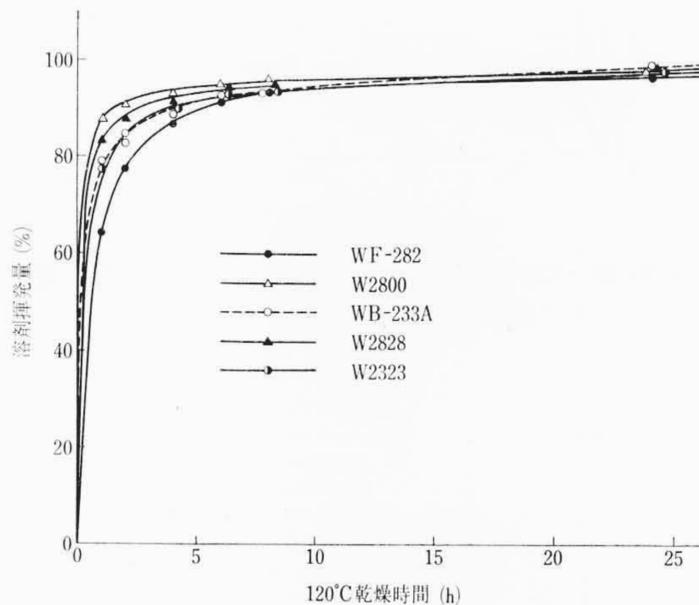
内径約 60 mm、深さ約 15 mm のガラスシャーレに深さが 6 mm になるようにワニスをいれ、これを 120°C の乾燥器中で加熱乾燥を進め、一定時間ごとにとり出して加熱乾燥時間に対する溶剤揮発量の変化を測定した。

3.1.2 ワニスカたさの測定

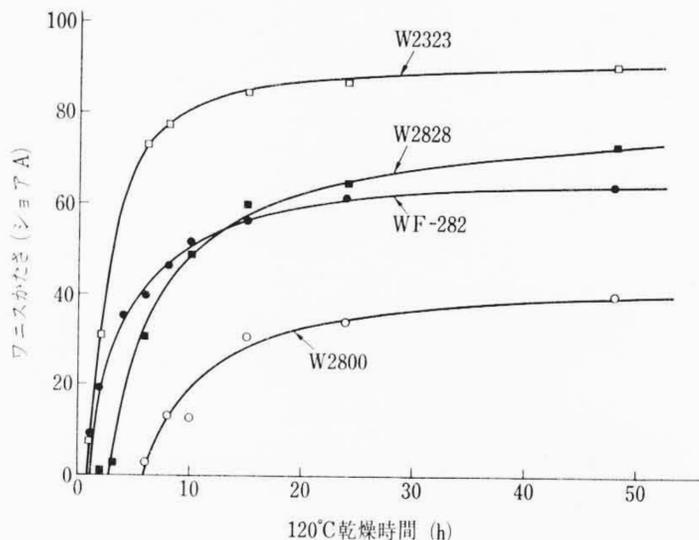
内径約 60 mm、深さ約 15 mm のガラスシャーレに厚さ 0.015 mm のアルミハクをしいたのち、同シャーレに深さが 6 mm になるようにワニスをいれ、これを 120°C の乾燥器中で加熱乾燥を進め、一定時間ごとにとり出して常温に冷却後、ワニス硬化物の表層部と下層部のかたさをショア A 形硬度計を用いて測定した。

第2表 ワニスの触感指数⁽⁶⁾

触感指数	ワニスの状況
1	粘着性なく、よく乾いている。
2	わずかに粘着性があるが、ほぼ乾いている。
3	粘着性が大きい。
4	流動性があり、まったく乾いていない。



第19図 120°C で乾燥したときのワニスの溶剤揮発量の変化



第20図 120°C で乾燥したときのワニスカたさの変化 (ワニス表層部かたさ)

3.1.3 ワニス粘着性の測定

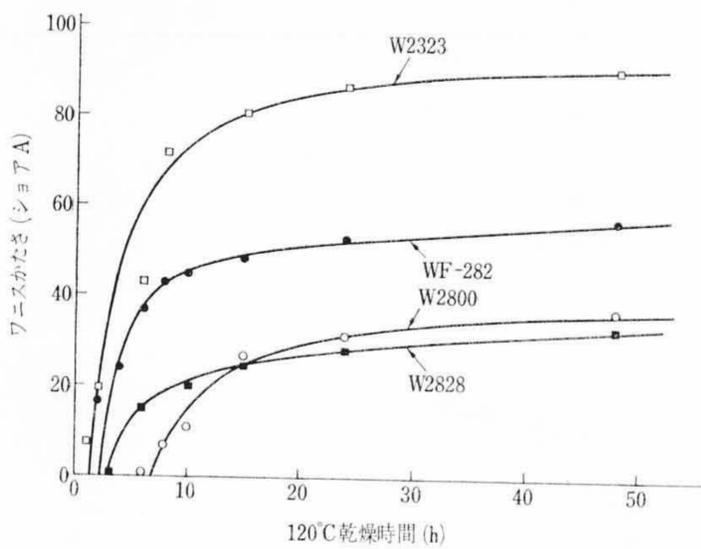
ワニス粘着性はワニスカたさ測定後の試料を切り開いて、第2表の触感指数によって測定した。

3.1.4 JIS 法によるワニス内乾性の測定

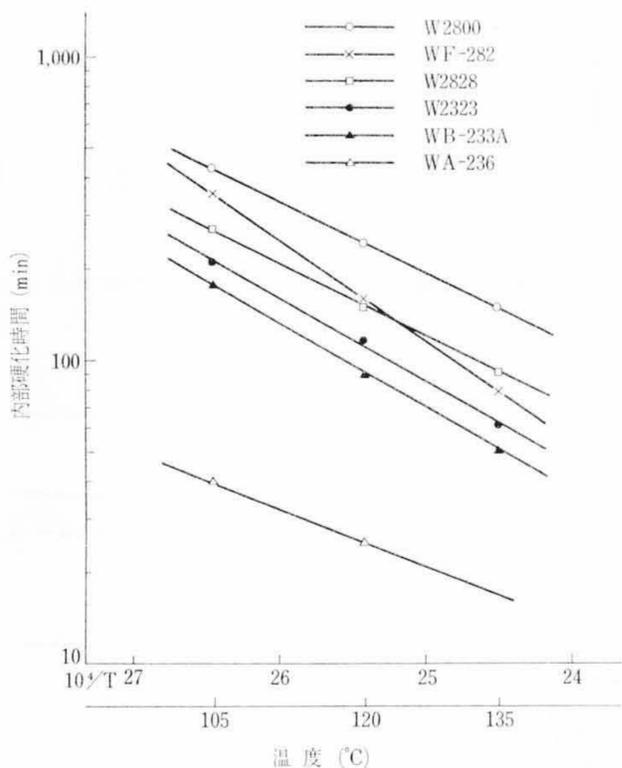
内径約 60 mm、深さ約 15 mm のガラスシャーレに深さが 6 mm になるようにワニスをいれ、これを所定温度の乾燥器中で加熱乾燥を進め、一定時間ごとにとり出して室温に冷却後、ガラスシャーレの中央部に深さが内底に達するように、また長さが周辺に及ぶように十字形に切り込む。これを 25±2°C に保って、ガラスシャーレの内底からピンセットで毎秒約 20mm の速さで試料を 30mm 引き上げ、5 秒間保っても糸状につながらないかどうかを調べ、糸状につながらなくなるまでの加熱時間を内部硬化時間とした。

3.2 結果ならびに考察

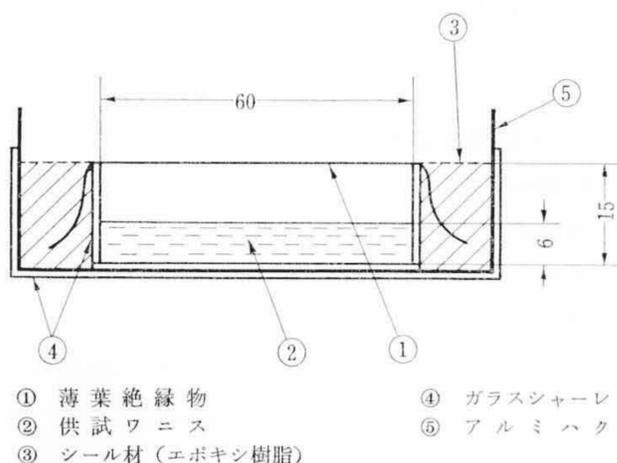
120°C で乾燥したときのワニスの溶剤揮発量の変化を第19図に示す。乾燥時間の経過に伴い各ワニスとも揮発量は同じように変化しており、ワニス間の揮発速度の差異はほとんど認められない。各ワニスとも 120°C で 1 時間乾燥すれば大部分の溶剤が揮発し、5 時間の時点では全体の約 90% の溶剤が揮発することがわかる。



第21図 120°Cで乾燥したときのワニスかたさの変化 (ワニス下層部かたさ)



第22図 JIS法によるワニスの内部硬化時間と乾燥温度との関係



第23図 溶剤透過量測定試料

120°Cで乾燥したときの乾燥に伴うワニスかたさの変化を第20, 21図に示す。第20図はワニス表層部のかたさ, 第21図はワニス下層部のかたさを測定した結果を示す。また, ワニスかたさ測定後のワニス内部の粘着性を調べた結果を第3表に示す。なお, WA-236 WB-233Aについてもワニスかたさの測定を試みたが, これらのワニスは非常に速乾性でショア硬度計では測定できなかった。

第20, 21図で乾燥に伴うワニスかたさの変化をみると, W2828の場合表層部のほうが下層部よりかたさの立上りが速く, かつその

第3表 ワニスの触感指数 (120°C乾燥)

乾燥時間 (h)	0.5	1	2	3	4	6	8	10	15	24	48
ワニス種類											
W 2800	4	4	3~4	3	3	3	3	3	3	3	2
WF-282	4	4	3	3	3	3	3	2	2	2	1~2
W 2828	4	4	3	3	3	3	3	3	2	2	2
W 2323	4	3	3	3	3	2	2	2	1~2	1	1

絶対値も大きい傾向がある。ところが W 2323, WF-282, W 2800 では表層部と下層部とのワニスかたさがほぼ同等である。このことから, W 2323, WF-282, W 2800 の硬化は表層部と下層部とで同時に起こるが, W 2828 は内部よりも表面の硬化が早く起こるものと考えられる。表層部と下層部とのかたさを比べ, 乾燥に伴うワニスかたさの立上り速度およびそれが飽和値に達するまでの時間の大小によってワニス内乾性の良否を判定すると, その順位は, W 2323 > WF-282 > W 2828 > W 2800 となる。つぎに, 乾燥が進むにつれてワニスの粘着性は小さくなるが, その度合は第3表から, W 2323 が最も早く, つぎに WF-282, W2828, W2800 の順になる。この順位はワニスかたさに基づいて判定した順位と一致している。

一方, JIS法によって, ワニス内部硬化時間を乾燥温度を変えて測定した結果を第22図に示す。第22図から内部硬化時間の対数と絶対温度の逆数との間には直線関係が成立し, ワニス内乾性のすぐれている順位は, WA-236 > WB-233A > W 2323 > W 2828, WF-282 > W 2800 となる。この順位はワニスかたさ, ワニス粘着性に基づいて判定した順位とほぼ一致している。

以上, ワニスかたさ, ワニス粘着性および JIS法によって判定した結果を総合すると, 開放状態におけるワニス内乾性の順位は, WA-236 > WB-233A > W 2323 > WF-282 > W2828 > W 2800 となる。この順位は, 前述したエナメル線引き抜き法によって判定した順位, WF-282 > W 2828 > W2800 と一致している。このことから, ワニス内乾性の良否をエナメル線引き抜き法によって判定した順位と JIS法によって判定した順位とはほぼ一致することが明らかになった。

4. 溶剤透過量, ゲル化時間, 溶剤不溶分, 電気特性によるワニス内乾性の検討

溶剤が揮発しにくい密封状態におけるワニス内乾性良否の判定は薄葉絶縁物に対する溶剤透過量, ワニスゲル化時間, ワニス溶剤不溶分および乾燥途上の絶縁抵抗の変化を測定することによって行なった。

4.1 試験方法

4.1.1 溶剤透過量の測定

第23図に示すように内径約60mm, 深さ約15mmのガラスシャーレに深さが6mmになるようにワニスをいれ, その上を薄葉絶縁物でおおい, 薄葉絶縁物の周辺を常温硬化性エポキシ樹脂でシールした。これを120°Cの乾燥器に入れて加熱乾燥を進め, 加熱乾燥時間に対する薄葉絶縁物の溶剤透過量の変化を測定し, (1)式によって薄葉絶縁物の溶剤透過量S(%)を求めた。

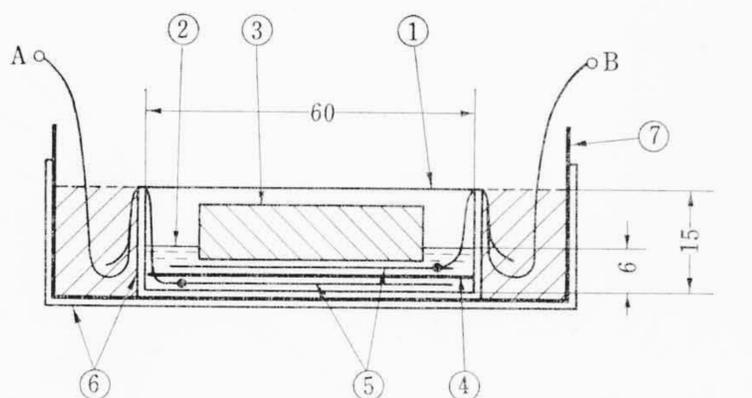
$$S = \frac{Q}{S_0} \times 100 (\%) \dots\dots\dots (1)$$

ここに, $Q = \frac{\Delta W}{W_0}$: ワニスの重量損失率

W_0 : シャーレ中の初めのワニスの重さ (g)

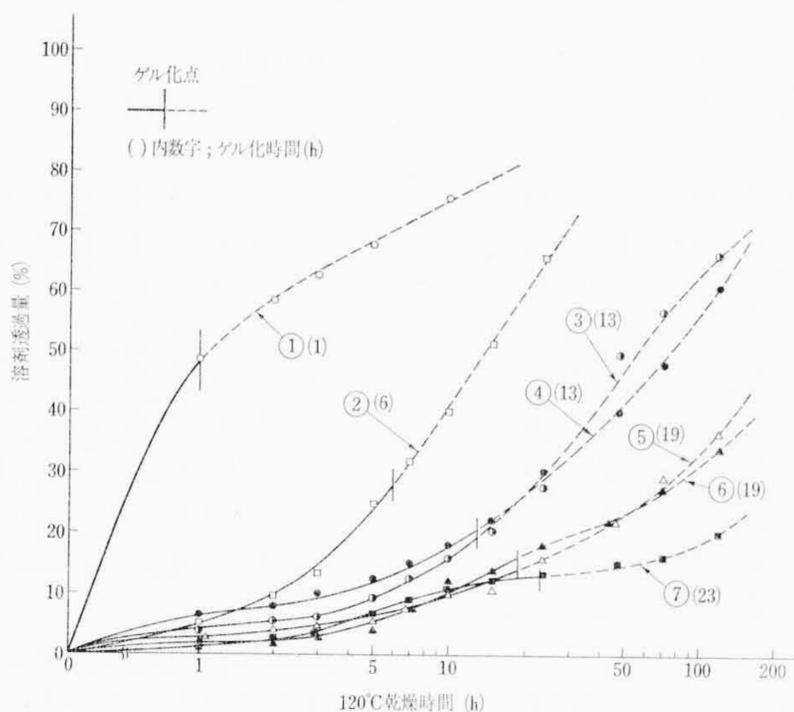
ΔW : ワニス減量 (加熱中に薄葉絶縁物を透過した溶剂量) (g)

S_0 : 試料ワニス中の溶剤の重量分率



- ① 薄葉絶縁物
- ② 供試ワニス
- ③ 鉄製のおもり径 45×10mm, 125g
- ④ クラフト紙径 60mm, 0.13mm 2枚
- ⑤ 銅板電極径 50, 0.13mm
- ⑥ ガラスシャーレ
- ⑦ アルミハク

第24図 絶縁抵抗測定試料



- ① クラフト紙 (厚さ 0.13mm×1枚)
- ② 黄色ワニスクロス (厚さ 0.13mm×1枚)
- *③ ワニス処理クラフト紙 (厚さ 0.322mm×1枚)
- ④ 片面ガラスマイカ (厚さ 0.10mm×1枚)
- ⑤ コンデンサペーパー (厚さ 0.015mm×3枚)
- ⑥ ポリエステルフィルム (厚さ 0.025mm×1枚)
- ⑦ ポリエステルフィルム (厚さ 0.025mm×3枚)
- * 処理ワニス: W2323

第25図 密封材料の種類とW2323の溶剤透過量との関係

なお、試料ワニス中の溶剤の重量分率 (S_0) は JIS C-2103 に準じ内径約 60 mm のシャーレにワニスを 1.5 g とり、これを 105°C の乾燥器中で 3 時間乾燥してあらかじめ求めておいた。すべての試料は 20°C に冷却後に測定したものである。

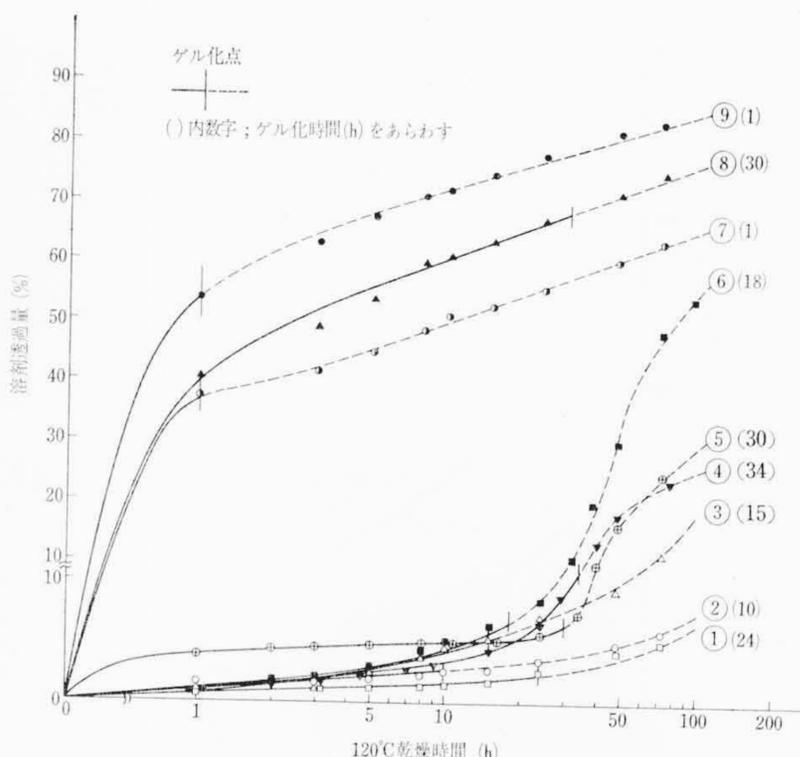
4.1.2 ゲル化時間の測定

溶剤透過量測定後のシャーレをさかさまにして、シャーレ内部のワニス硬化して薄葉絶縁物につかなくなるまでの乾燥時間を測定してゲル化時間とした。

また、完全密封状態で加熱した場合のワニスゲル化時間をつぎの方法で測定した。すなわち、内径 14 mm、深さ 150 mm の試験管にワニスを 10 g とり、ガスバーナで試験管上部を完全封止し、これを所定温度の乾燥器中で加熱乾燥を進め、一定時間ごとにとり出し室温に冷却後、試験管をさかさまにして管中の気泡(きほう)が静止するかどうかを調べ、静止したときをゲル化点として、ワニスゲル化時間を測定した。

4.1.3 溶剤不溶分の測定

第23図に示した試料を 120°C の乾燥器中で加熱乾燥を進め、一定時間ごとに取り出し、20°C に冷却後溶剤透過量、ワニスゲル化時間を測定したのち、薄葉絶縁物を取り除き、すばやくシャーレ中のワニス約 10 g を 100 cc のピーカにとり、重さ (W) を測定す



- ① W2800
- ② WA-236M
- ③ W2323
- ④ W2828
- ⑤ A社製サーモセットワニス
- ⑥ WF-282
- ⑦ WA-236
- ⑧ 試作ワニス
- ⑨ WB-233A

第26図 乾燥時間と溶剤透過量との関係 (厚さ 0.025 mm のポリエステルフィルムで密封)

る。つぎにアセトン約 50 cc 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細分し、ソックスレー抽出器に入れて 5 時間アセトンで抽出して、溶剤に溶解する分と不溶分とに分けた。この不溶分を 120°C で 24 時間加熱乾燥して、不溶分総量 (M) を求め、(2) 式から溶剤分を取り除いた硬化ワニス中の不溶分の平均含有率 (\bar{G}) を求めた。

$$\bar{G} = \frac{M}{W_i} \times 100 \quad (\%) \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 $W_i = W \times \left(1 - \frac{Q}{100}\right)$: 所定時間乾燥後のワニス中の不揮発量 (g)

4.1.4 絶縁抵抗の測定

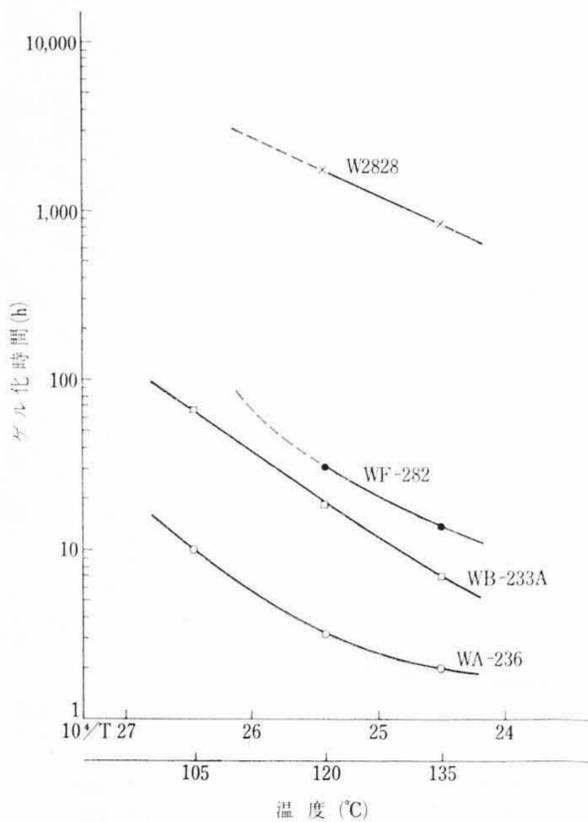
第24図に示すように、内径約 60 mm、深さ約 15 mm のガラスシャーレに 50 mm 径の銅板 2 枚をいれて電極とし、その間にあらかじめ 105°C で 15 時間予備乾燥しておいた 60 mm 径 (厚さ 0.13 mm) のクラフト紙 2 枚をはさみ、銅板の上に 125 g の金属製のおもりをのせ、試料ワニスを深さが 6 mm になるように入れる。その上を薄葉絶縁物でおおい、ついで常温硬化性エポキシ樹脂で完全にシールして絶縁抵抗測定用試料をつくった。このものを 120°C の乾燥器中で加熱乾燥を進め、一定時間ごとに A, B 端子間に直流 500 V を印加し、直偏法によって 30 秒充電後の絶縁抵抗を測定した。

4.2 結果ならびに考察

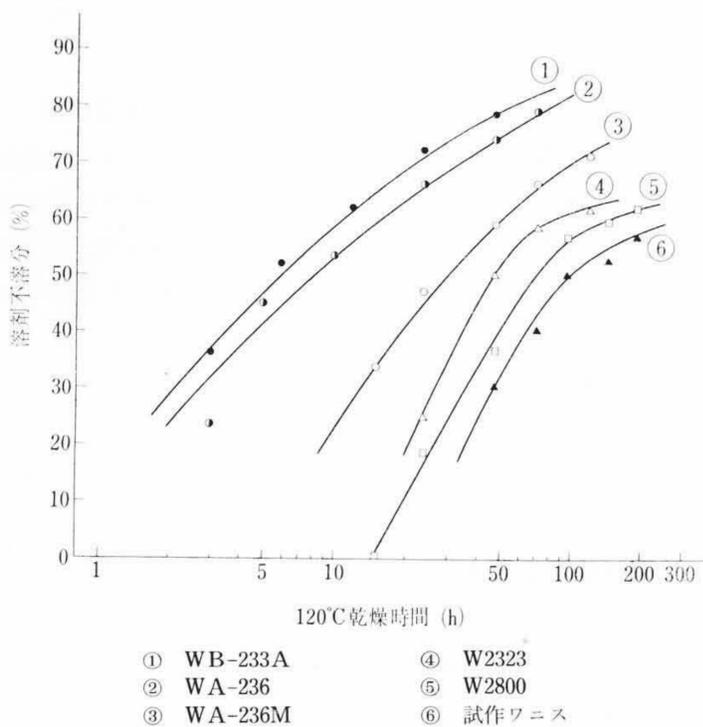
4.2.1 密封材料とワニス内乾性との関係

W 2323 を各種の薄葉絶縁物で密封し、120°C で乾燥したときの薄葉絶縁物の溶剤透過量およびワニスゲル化時間を測定した結果を第25図に示す。この図からクラフト紙、ワニスクロスは比較的溶剤を透過させやすく、これらの材料で密封した状態のワニスゲル化時間は短い。また、ワニス処理クラフト紙、片面ガラスマイカで密封した状態のワニスゲル化時間、溶剤透過量は前記の中間値を示している。

以上の結果から密封材料の違いによってワニス内乾性は著しく



第27図 完全に密封したワニスのゲル化時間と加熱温度との関係



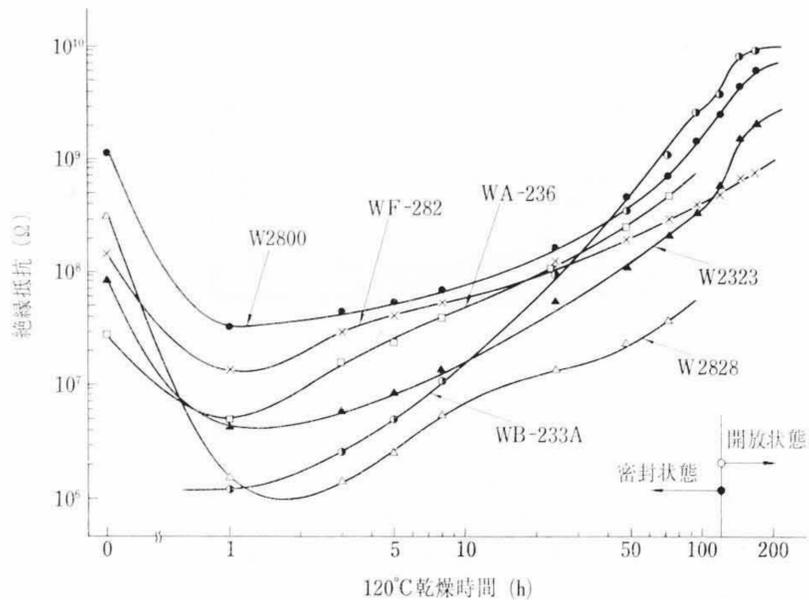
第28図 乾燥時間と溶剤不溶分との関係 (厚さ 0.025 mm のポリエステルフィルムで密封)

異なり、ポリエステルフィルムで密封した状態のワニスは内乾性が最も劣ることがわかったので、以後密封材料にはポリエステルフィルムを用いることにした。

4.2.2 溶剤透過量とワニスゲル化時間

各種のワニスをポリエステルフィルムで密封し、120°Cで加熱乾燥したときのポリエステルフィルムの溶剤透過量の変化およびワニスゲル化時間を測定した結果を第26図に示す。溶剤透過量およびワニスゲル化時間はワニスの種類によって著しく異なる。WB-233A、試作ワニスおよびWA-236の溶剤はポリエステルフィルムを透過しやすいが、これらを除いたほかのワニスの溶剤はポリエステルフィルムを透過しにくい。一般に溶剤の高分子皮膜への透過性は溶剤組成と密接な関係があり、溶剤の沸点、高分子皮膜に対する溶剤の拡散係数、溶解度係数などの影響を受ける。

一方、ゲル化時間はワニス中のワニスボディの濃度と組成とに支配され、ワニスボディが一定の場合にはワニスボディの濃度に影響し、溶剤透過量が多いワニスほど、またワニスの溶剤組成が



第29図 120°Cにおける乾燥時の絶縁抵抗の変化 (厚さ 0.025 mm のポリエステルフィルムで密封)

一定の場合には反応性の高いボディ組成のワニスほど、それぞれゲル化時間が短くなる。WA-236、WB-233Aのように溶剤透過量が大きくゲル化時間が短いものもあり、試作ワニスのように溶剤透過量が大きいかかわらずゲル化時間が長いものもある。またWA-236Mのように、溶剤透過量が小さいにもかかわらずゲル化時間が比較的短いワニスもある。第26図でポリエステルフィルムで密封した状態におけるワニス内乾性の良否を、ゲル化時間に基づいて判定すると、その順位は、WB-233A、WA-236 > WA-236M > W2323 > WF-282 > W2800 > A社製ワニス、試作ワニス > W2828となる。この順位はマグネットコイル、イグニッションコイルなどによる実際のワニス内乾性の順位とよく一致する。前述した開放状態におけるワニス内乾性の順位とは必ずしも一致しない。このようにJIS法では密封状態におけるワニス内乾性の良否を誤って判定することがある。

溶剤が揮発しない完全密封状態で加熱した場合のワニスゲル化時間を加熱温度を変えて試験管封止法によって測定した結果は第27図に示すとおりである。第27図と第26図で、W2828、WF-282、WB-233A、WA-236のゲル化時間を比べれば明らかなように、試験管で完全密封した場合のゲル化時間のほうがポリエステルフィルムで密封した場合より長い。このように溶剤が全然揮発しない場合でも、WA-236のように比較的短時間でゲル化するものもあるが、一方ではW2828のように、ゲル化時間の極端に長くなるものもある。このようなワニスは、溶剤を透過しにくい薄葉絶縁物を密に巻いた機器コイルの含浸ワニスとして不適当である。なお機器コイル中に残存した溶剤は機器の運転中徐々に絶縁層を透過して揮散するので、適当な組成の溶剤を用いてあれば残存溶剤は機器の耐熱寿命に悪影響を及ぼさないことはすでに認められている⁽⁵⁾。

4.2.3 溶剤不溶分の変化

以上密封状態におけるワニス内乾性の良否をゲル化時間に基づいて判定したが、ゲル化時間だけで判定するのは無理があるとも考えられるので、乾燥に伴うワニスの溶剤不溶分の変化を、溶剤抽出法によっても測定して比較検討した。結果を第28図に示す。溶剤不溶分増加の順位は、WB-233A > WA-236 > WA-236M > W2323 > W2800 > 試作ワニス、となっており、第26図のゲル化時間の順位とよく一致している。このことから、ワニス内乾性の良否を溶剤不溶分の大小によって判定してもさしつかえないものと考えられる。

4.2.4 乾燥途上の絶縁抵抗の変化

従来ワニスの内乾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を測定して乾燥状態を推定していた⁽⁷⁾。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ないことがこれまでも認められている⁽⁵⁾。今回は密封された状態のワニス内乾性を、溶剤抽出法によって推定した場合と、絶縁抵抗によって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29図は各種のワニスについて乾燥時間と絶縁抵抗との関係を測定した結果を示したものである。120時間目まではポリエステルフィルムで密封した状態でワニスを乾燥し、それ以後はポリエステルフィルムを取り除き開放状態でワニスを乾燥した。絶縁抵抗は乾燥初期にいったん低下し、その後乾燥が進むにつれて上昇し飽和値に近づく。加熱初期に絶縁抵抗が低下するのは温度上昇によってワニス自体の絶縁抵抗が低下するためである。絶縁抵抗の絶対値はワニス組成によって定まるから、乾燥途上の絶縁抵抗によってワニス相互の内乾性の良否を判定する場合、絶対値そのもので判定するよりも、絶縁抵抗の上昇度と絶縁抵抗が飽和値に達するまでの時間で判定すべきである。第29図の絶縁抵抗の変化と第28図の溶剤不溶分の変化とを比較すると、溶剤不溶分の増加の大きいワニスが必ずしも絶縁抵抗の上昇度が大きく、かつ絶縁抵抗が飽和値に近づく時間が短いとは限らず、この関係は判然としない。このことから乾燥途上の絶縁抵抗の変化だけでワニス内乾性の良否を判定するのはむずかしいことがわかる。

5. 結 言

比較的溶剤が揮発しやすい拾い込みコイルを対象としたワニス内

乾性および溶剤が揮発しにくい密封コイルを対象としたワニス内乾性の判定法について検討した結果を要約すると、

(1) エナメル線引き抜き法によるせん断接着力の測定によって比較的溶剤が揮発しやすい状態のワニス内乾性の良否を判定することができる。常温接着力よりも高温接着力のほうがワニスの乾燥に対して敏感であるから、接着力によってワニス内乾性の良否を判定する場合には常温接着力よりも高温接着力を用いたほうが有効である。エナメル線引き抜き法によって判定したワニス内乾性の順位と JIS 法によって判定したワニス内乾性の順位とはだいたい一致する。

(2) 複雑な絶縁構造のコイルに含浸されたワニスの溶剤はたやすく揮発しないため、ワニスの硬化反応が残存溶剤によって阻害され、開放状態の場合に比べてワニスの硬化は著しく遅れる。このように密封された状態のワニス内乾性の良否を JIS 法で判定するとしばしば実物コイルの内乾性と異なる結果を得ることがある。しかし本研究で用いたような装置によって、ワニスのゲル化時間、溶剤不溶分を測定することによって、実物コイルにおける同じ結果が得られることがわかった。

最後に本研究を行なうにあたり実験にご協力していただいた椎名俊光氏に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) J. F. Dexter: *Insulation*, 1, 12 (Sept. 1955)
- (2) 堀辺: 電気四学会連合大会 (昭 38-4)
- (3) C. J. Straka: *Insulation*, 10, 11 (Oct. 1964)
- (4) 小林: 電学誌 80, 856 (昭 35-1)
- (5) 小川, 大平: 日立評論 44, 1033 (昭 37-7)
- (6) 上村, 遠藤, 大平: 日立評論 44, 1777 (昭 37-11)
- (7) 松島, 井上, 才川: 日立評論 34, 999 (昭 27-8)



登録新案 第741232号

新 案 の 紹 介

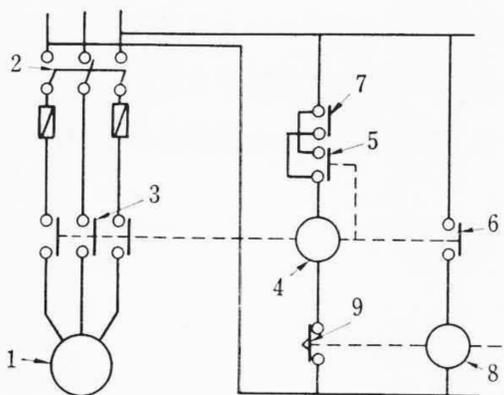


桜木義祐・西本喜好

負 荷 時 タ ッ プ 切 換 器 の 自 動 浄 油 装 置

油入負荷時タップ切換器は、電流遮断時の発生エネルギーにより絶縁油が分解して炭化し、遮断回数が多くなるに従ってその絶縁耐力が著しく減少するので、一般にこの種の装置には浄油装置が備えられ定期的点検を行なって浄油しているが、従来の浄油装置は任意の切換動作回数に従って手動で運転するものであるため浄油操作がわずらわしかった。

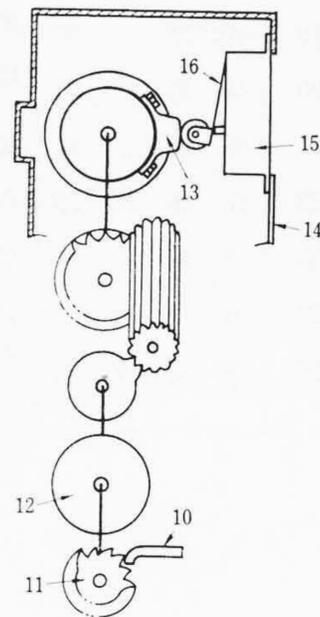
この考案では、第1図に示すように電源に電源開閉器2および電磁接触器3を介して浄油装置の運転電動器を給電接続し、また電源には浄油装置用接点7、自己保持接点5および付勢線輪4、補助接



第 1 図

点9などを接続して電磁接触器3の付勢回路を形成するとともに補助接点6および時限継電器8により時限回路を形成して自動浄油回路を構成し、これに第2図に示すように負荷時タップ切換器における負荷開閉器の動作に連動するつめ片10にてつめ車11を動かして、動作回数を表示するカウンタケース14内の表示円筒12に設けたカム13へカムスイッチ15を対応させて設けたものを組み込み、操作レバー16にて動作するカムスイッチ15の接点7の閉合により電磁接触器3を付勢させて浄油操作電動器1を起動させるとともに補助接点9をも動作させて設定時間後復帰する時限継電器8を付勢するように自動浄油装置を構成したものである。

このようにすれば、負荷開閉器があらかじめ設定された動作回数に至れば、その油槽内の絶縁油を自動的に浄油することができるから負荷時タップ切換器の保守点検上極めて便利になる。(白土)



第 2 図

アンケート記念品当せん者のお知らせ

本誌、Vol. 46 No. 9～Vol. 47 No. 3 において実施いたしましたアンケートには、多数の読者諸氏からご回答をいただきました。

今後の編集にあたって貴重な資料として活用させていただき所存でございます。諸賢のご厚意に対し、誌上を借りて厚くお礼申し上げます。

ご回答いただきました中から、読者代表立会のもとに厳正な抽せんを行ない、以下の方々に記念品として「日立トランジスタラジオ」をご贈呈申しあげました。

今後とも、日立評論をご愛読いただくとともに、よろしくご指導くださいますようお願い申し上げます。

日立評論社

日立評論アンケート当せん者名簿

No.	氏名	住所	No.	氏名	住所
1	中島 康 則	富山市蓮町 同心寮	26	松 本 完	神戸市垂水区多聞町 県営住宅西舞子テラス54号
2	中尾 正 知	香川県仲多度郡多度津町堀江	27	能 登 定 弥	兵庫県西宮市津陶住江町 54
3	吉 村 富 雄	三重県松阪市川井町 セントラル硝子アパート2の13	28	重 松 旭出尾	高松市上之町2丁目12の45 四国電力社宅
4	柿 内 功	宮崎県日南市戸高 1850	29	桑 野 猪八郎	福岡県飯塚市鯉田山の谷
5	渡 辺 哲 朗	愛媛県今治市宮下通 8-20	30	野 宮 栄	北海道岩見沢市4条西13丁目
6	橋 本 義 信	千葉県四街道町下志津新田 2545	31	菊 池 喜 充	仙台市桜小路5 東北大学電気通信研究所
7	松 井 幸 平	小樽市勝納町 鉄道宿舎	32	渡 辺 善 正	神奈川県津久井郡相模湖町 687
8	越 山 了 一	横浜市保土ヶ谷区岡沢町 22番地の4 東洋製罐 総合研究所調査企画室 東洋鋼鈑	33	中 地 しげる	神奈川県逗子市桜山1の3の33
9	秋 山 勝	大阪市浪速区河原町浪速電話局市外機械課長	34	藤 田 英 道	姫路市飾磨区中島 2946 日本砂鉄鋼業(株)飾磨工場内
10	吉 田 六 一	富山県下新川郡朝日町窪田 555 吉田通信株式会社	35	三 塚 匡 彦	新潟県新発田市本町2丁目8番19号 桜新寮
11	富 永 明	徳島県三好郡井川町才長谷 松尾川第二発電所社宅	36	山 本 景 三	名古屋市東区坂上町 19
12	田 中 正 美	千葉県松戸市 常盤平団地 1-35-302	37	千 田 直之介	東京都世田谷区下馬町2の62
13	桜 井 諭	愛知県岡崎市八帖町社宮司 141 中山悟方	38	舛 田 正 章	札幌市南7条西22丁目
14	佐 藤 憲 知	秋田市長野町4 東北電力秋田支店配電課	39	寄 田 豊 安	東京都中央区日本橋室町 三井北3号館 東洋ガス化学工業(株)技術室
15	菊 池 敏 行	東京都品川区大井2丁目27の18 金木彦次郎方	40	小 林 英 宗	神奈川県三浦市南下浦町上宮田 1460
16	近 藤 博 彦	高知市栄田町1の4 株式会社神戸製鋼所高知工場製造課	41	本 田 武	茨城県日立市大久保町 1696-1
17	林 関 一	名古屋市千種区田代町鹿子殿 81-1 愛知県衛生研究所 理化学部長	42	玉 井 研 輔	東京都大田区調布嶺町1の28の3
18	長 津 寛	東京都杉並区久我山2の590	43	西 村 茂 樹	茨城県日立市助川町 310 平沢社宅249号
19	菅 原 博	東京都中央区宝町2の6 宝町ビル 大倉製作所機電課	44	中 野 三 雄	茨城県日立市会瀬町3丁目19～22
20	高 島 秀 男	埼玉県川越市大字南大塚 151 電源開発(株)武蔵電力所社宅66号	45	田 井 方 躬	千葉県市川市真間町1-146 日立金属和彊寮
21	秀 島 直	横浜市保土ヶ谷区今宿町 2613の64	46	渡 辺 真	東京都足立区蒲原町3の69 日立ハウス3号
22	佐 藤 賛 郎	八尾市久宝寺2120 星電器製造(株)音響部	47	磯 部 昭 二	茨城県日立市平沢アパート 22-1
23	三 輪 博	名古屋市千種区稲舟通1の2 稲舟荘	48	柿 沼 武 博	千葉県野田市野田 529
24	田 中 情 隆	北海道士別市西3条北3丁目 日甜社宅	49	井 上 清 二	東京都武蔵野市吉祥寺本町4の1836
25	宮 崎 友 宏	会津若松市徒之町4の68 玉川機械金属(株)社宅2の3	50	関 義 昭	東京都杉並区和田本町 981 日立杉並寮