U.D.C. 621.315.617

電気絶縁塗料の耐アーク性

The Arc Resistance of Insulating Varnishes and Enamels

小川哲郎* 安岡嘉雄*
Tetsuo Ogawa Yoshio Yasuoka

内容梗概

電気機器に使用される絶縁塗料の耐アーク性は試料の厚さなど，皮膜の作製条件によりかなり異なった値をうる。絶縁材料としてワニスやエナメルの耐アーク性はかなり重要な因子であるにもかかわらず系統的に検討を加えた報告は見当らない。

本報告は絶縁ワニスおよび仕上げエナメルの皮膜の耐アーク性測定に際して必要な厚さの因子，乾燥度の問題，充てん剤の影響などについて検討したものである。

1. 緒言

最近アメリカにおいては耐アーク性材料の研究開発がかなり活発に行われており，General Electric 社のR. S. Norman氏[1]らは有機材料の中に一種の酸化剤を入れておき，Tracking によって生じたカーボンを CO あるいはCO_2として気化させ，Tracking Resistance を向上させるという特殊な方法で Non-Tracking Organic Insulation の試作に成功している。一方 Westinghouse 社の R. F. Sterling氏[2]は有機材料中に混入する充てん剤の種類あるいは粒度の検討を行い，耐アーク材料の研究を行っている。前者はワニス皮膜のような薄い材料には著しい効果は期待できない。

絶縁材料の耐アーク性はかなり重要な問題であるにもかかわらず，系統的な研究はあまりなされていない。特に一般コイル含浸用ワニスについてはほとんど未検討の現状である。このため皮膜状態の試験方法，ならびにコイルワニス，仕上げワニスおよびエナメル類の皮膜について，耐アーク性を検討したものである。

本研究では ASTM 法[3]にならい電気学会技術報告[4]で規定された高電圧小電流耐アーク試験を使用し，固体絶縁材料の表面に高電圧小電流アークを接近させ，アークによって絶縁材料表面に導電路が形成され，トラッキングに至るまでの時間により，材料のアークに対する抵抗力の大小を比較した。したがって実際の電気機器における高電圧大電流，あるいは低電圧大電流のようなアークに対してはその判定規準を同一にすることは困難と思う。しかし，材料相互の傾向は本実験結果から推定がつくと思う。

耐アーク性，あるいは Tracking Resistance についての試験方法は，このほかにも種々検討されているが，いずれの方法も一長一短があり決定的な方法はいまだ確立されていない。

* 日立製作所日立絶縁物工場

2. 実験方法ならびに供試料

試験機および試験方法は，電気学会技術報告[4]にのっとって行った。耐アーク性はガラス板に各種試料を塗付，乾燥した皮膜で試験した。

（1） この方法による皮膜の耐アーク性は皮膜厚さが薄いと真の耐アーク性はわからない。したがって適当な厚さを選ぶことが必要である。まずスチレン化アルキッド樹脂ワニスにドライヤを混入したワニスで膜厚さの異なる皮膜を作製し，膜厚さの違いによる耐アーク性の検討を行った。

（2） （1）で得た結果に基いて膜厚さを選定し，一般コイルワニス，仕上げ用ワニス，シリコーンワニスなどの代表的なワニスについて耐アーク性を検討した。

（3） 耐アーク性が比較的良好であると思われるアルキド樹脂，およびフェノールアルキド樹脂の3種のワニスについてドライヤの効果を検討した。

（4） 最後にエナメルについて充てん剤の量，種類による耐アーク性の変化を検討した。

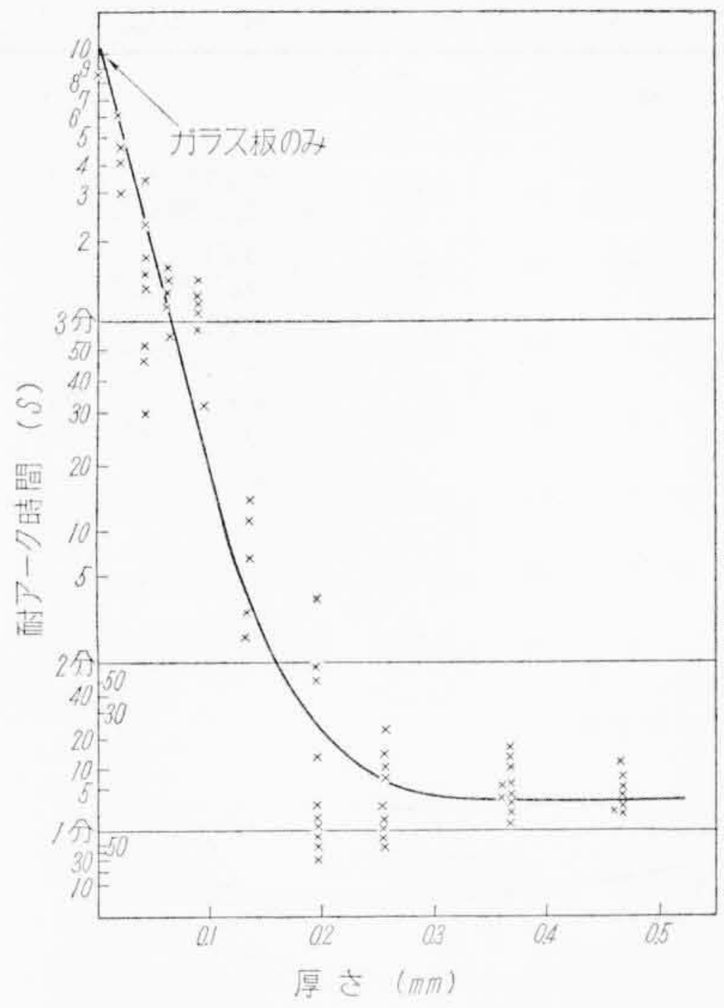
なお，各皮膜は乾燥（特に内部硬化）が不完全であるとアークの熱により瞬間的に試料が自己燃焼を起すことがあり，測定値がひどくばらつくという現象が見られるので，本実験に使用した試料は自然乾燥形であっても加熱乾燥を行うようにした。

3. 実験結果

3.1 膜厚さの変化による耐アーク性

皮膜の厚さが薄い場合には，耐アーク時間がきわめて不安定であることをあらかじめ知ったので，スチレン化アルキド樹脂ワニスにドライヤを添加した試料でこの関係を検討した。

皮膜の作製条件は 100°C で加熱乾燥の皮膜を作り，0.1 mm 以下の薄い試料は塗付回数を2回，0.1 mm 以上の厚い皮膜は塗付回数を4～6回とし，各回約8時間乾

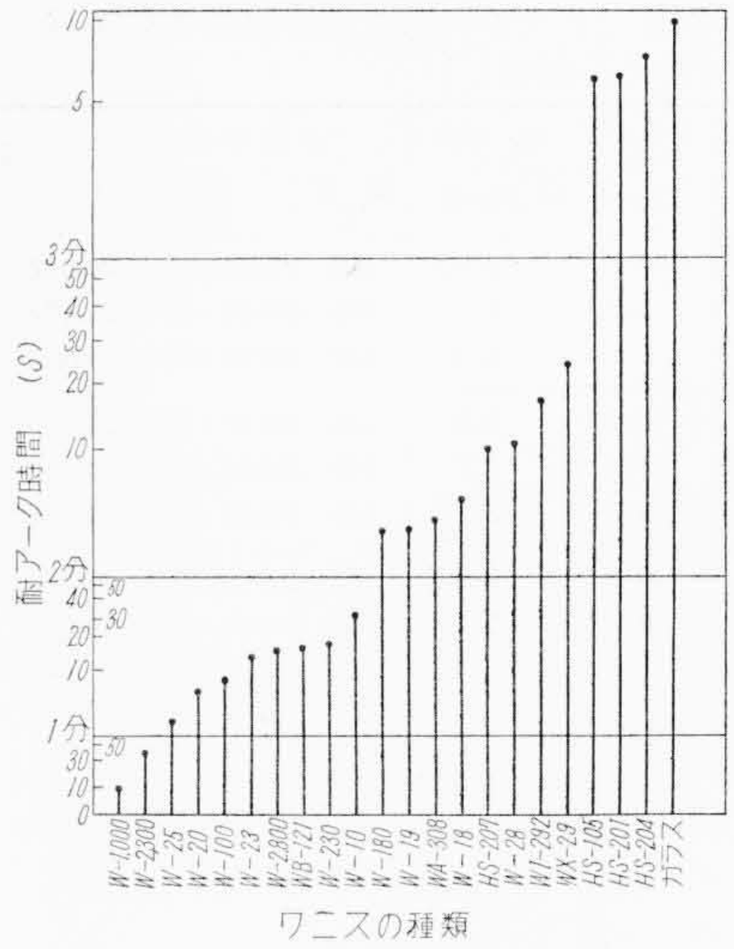


第1図　スチレン化アルキド樹脂ワニスの厚さ変化による耐アーク時間の変化

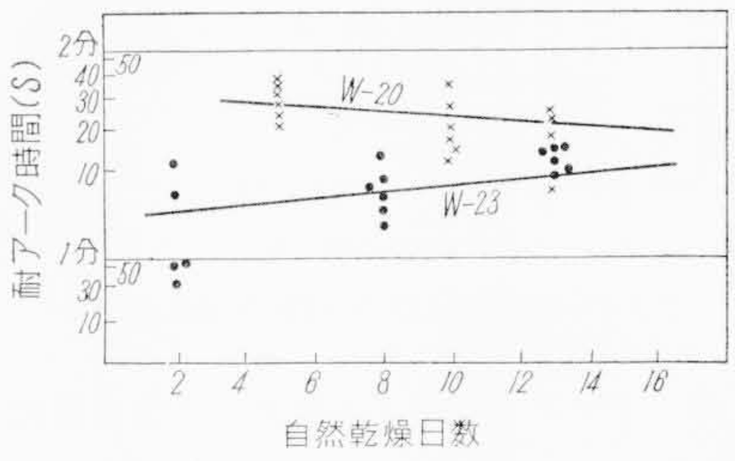
第1表　各種皮膜の試料条件と耐アーク性

ワニス	性能および用途	皮膜作製温度(℃)	塗布回数および最終加熱時間	平均厚さ(mm)	平均耐アーク時間 分 秒
W-10	仕上げワニス(黒)	105	4回＋105℃24時間	0.272	1.30
W-100	仕上げワニス(黒)	105	4回＋105℃24時間	0.220	1.08
W-1000	仕上げワニス(黒)	105	4回＋105℃24時間	0.250	0.08
W-18	油性系仕上げワニス（灰色）	135	4回＋105℃24時間	0.380	2.07
W-180	仕上げワニス（灰色）	135	4回＋105℃24時間	0.332	2.03
W-19	仕上げワニス(赤)	135	4回＋105℃24時間	0.225	2.03
W-20	油性系コイルワニス	105	4回＋105℃24時間	0.235	1.05
W-23	油性系コイルワニス	105	4回＋105℃24時間	0.236	1.13
W-25	油性系コイルワニス	105	4回＋105℃24時間	0.265	1.01
W-28	油性系コイルワニス	105	4回＋105℃24時間	0.295	2.10
W-230	サーモセットコイルワニス	105	4回＋105℃24時間	0.275	1.19
W-2300	サーモセットコイルワニス	105	4回＋105℃24時間	0.245	0.33
W-2800	サーモセットコイルワニス	135	4回＋135℃48時間	0.280	1.15
WA-308	アルキド樹脂系コイルワニス	135	4回＋135℃48時間	0.325	2.06
WI-292	アルキド樹脂系コイルワニス	135	4回＋135℃48時間	0.344	2.17
WB-121	速乾性ワニス	105	4回＋105℃18時間	0.250	1.17
HS-207	アルキド変性シリコーンワニス	135	4回＋150℃24時間	0.380	2.11
HS-201	シリコーンコイルワニス	135	6回＋250℃24時間	0.205	3.06
HS-204	シリコーンコイルワニス	135	6回＋250℃24時間	0.221	3.07
HS-105（K）	シリコーンエナメル（黒）	135	6回＋250℃24時間	0.260	3.06
WX-29	耐アークエナメル	105	6回＋105℃24時間	0.300	2.21

燥し，最終加熱を 105℃，24時間，全試料に施した。結果は第1図に示したように，大体1～2分間程度の耐アーク強度を持つ皮膜の場合は 0.25 mm以上の肉付きを選ぶことによって厚さの差異による誤差をなくすることができる。ワニスをガラス面に塗布して耐アーク性を試験する場合はこの点を十分に考慮する必要がある。



第2図　各種ワニス皮膜の耐アーク性



第3図　自然乾燥形ワニスの常温乾燥日数による耐アーク時間の変化

3.2　各種ワニス皮膜の耐アーク性

第1表に示した一般コイルワニス，仕上げワニス，シリコーンワニスの耐アーク性を比較検討した。コイルワニスには自然乾燥形と，加熱乾燥形とがあり，また加熱乾燥形のうちにも油性系，サーモセット系，などのワニスがある。それぞれ乾燥性は異なるが耐アーク試験に供する場合，未乾燥のとき（溶剤が多少残っている），または内部乾燥性の悪いものは試料がアークに接した瞬間に炭化して導電路ができるというよりもアーク熱により試料が燃焼しだして試験は不可能になる。一方，十分に乾燥した皮膜は試料が熱劣化しない程度まで乾燥を多くしても，ほとんど耐アーク時間には影響がない。

第2図に結果の傾向を示した。参考までに W-20, W-23 ワニスの常温乾燥日数に対する変化を第3図に示した。

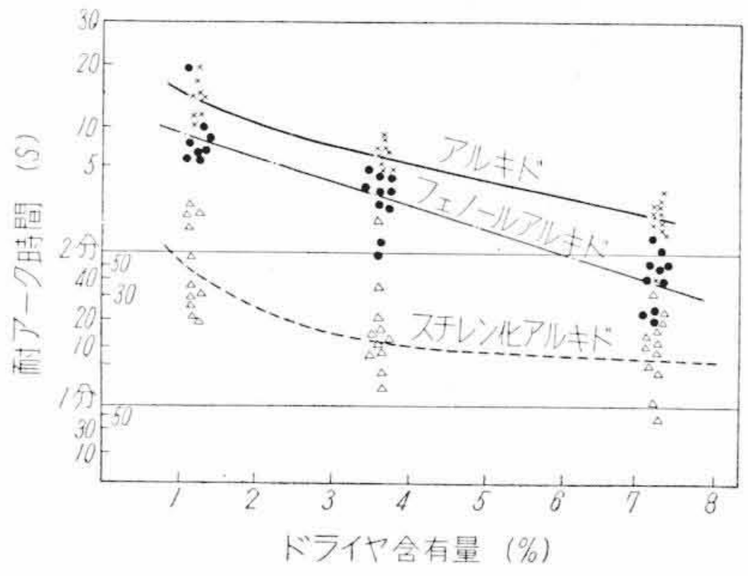
3.3　ドライヤならびに充てん剤の影響

アルキド樹脂，スチレン化アルキド樹脂，フェノール

第2表　ドライヤ含有量と皮膜作製条件
（充てん剤なし）

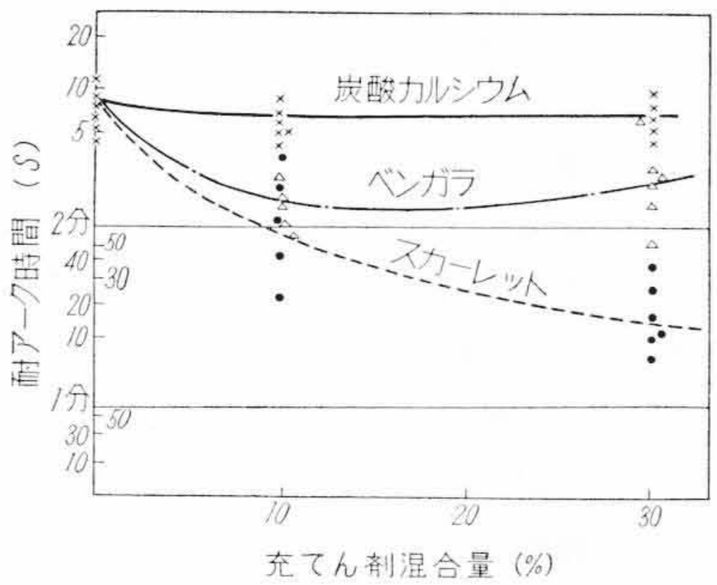
ワニス	ドライヤー量（%） ①Co-N	②Pb-N	皮膜作製条件 温度（℃）	塗付回数と乾燥時間	皮膜厚さ（mm）
アルキド	0.3	0.9	105	9時間×6回＋24時間	0.29
	0.9	2.7	105	9時間×6回＋24時間	0.225
	1.8	5.4	105	9時間×6回＋24時間	0.335
スチレン化アルキド	0.3	0.9	105	9時間×6回＋24時間	0.27
	0.9	2.7	105	9時間×6回＋24時間	0.37
	1.8	5.4	105	9時間×6回＋24時間	0.33
フェノールアルキド	0.3	0.9	105	9時間×6回＋24時間	0.27
	0.9	2.7	105	9時間×6回＋24時間	0.37
	1.8	5.4	105	9時間×6回＋24時間	0.36

① ナフテン酸コバルト　② ナフテン酸鉛



（ドライヤ含有量はCO-N＋Pb-N全量のワニスに対する%で示した）

第4図　ドライヤ量による耐アーク性の変化



第5図　充てん剤混合量と耐アーク性の関係

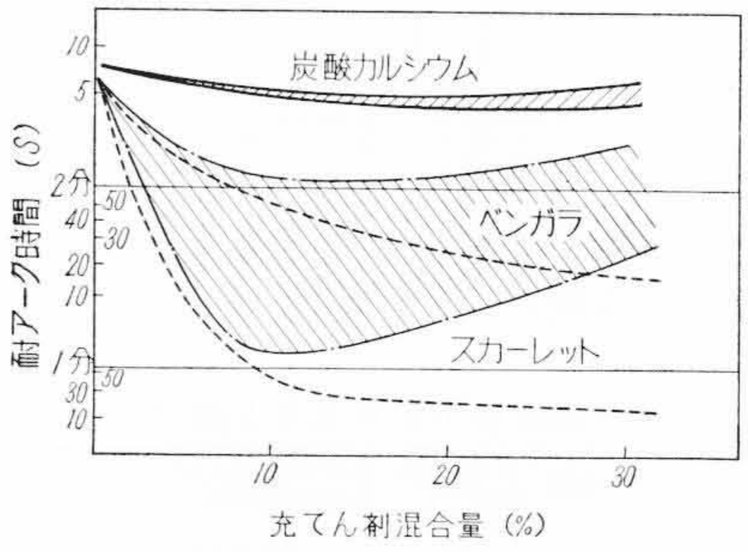
アルキド樹脂の3種のワニスについて，第2表のようにドライヤの量を変えて耐アーク性を検討した結果，**第4図**に示すような傾向を持つことがわかった。

上述の結果で，アルキド樹脂がほかの2種の樹脂に比べて良好な結果を示した。一方ドライヤの量を多くすると耐アーク性を低下させる原因になることがわかったので，アルキド樹脂ワニスにドライヤ1.2%（金属含有量10%のナフテン酸コバルト0.3%＋金属含有量36%のナフテン酸鉛 0.9%）を配合したものをとり，**第3表**に示すように充てん剤の混合量を変えて耐アーク性を検討した。結果を**第5図**に示す。**第6，7図**はその吸湿特性と

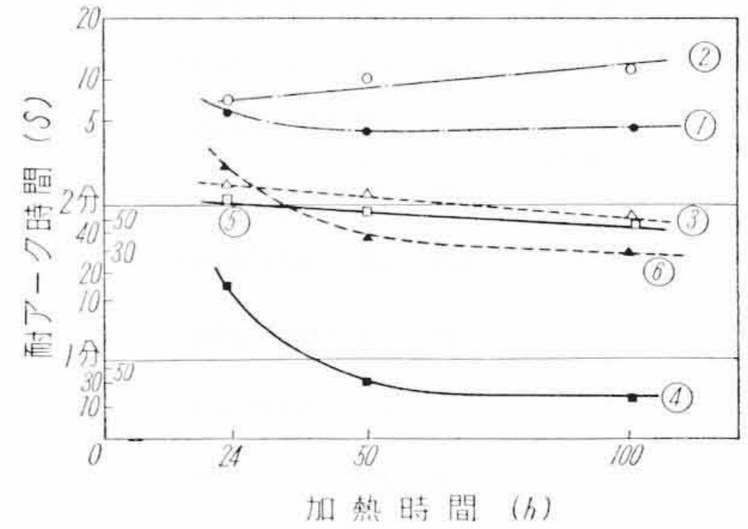
第3表　アルキドの混合充てん剤と皮膜作製条件

試番	充てん剤の種類	充てん剤量（%）	塗布回数	加熱条件	平均皮膜厚さ（mm）
1	タンカル*	10	約10回	各回80°C1時間＋105°C 30分，最終105°C24時間	0.26
2	タンカル*	30	約10回	各回80°C1時間＋105°C 30分，最終105°C24時間	0.25
3	スカーレット	10	約10回	各回80°C1時間＋105°C 30分，最終105°C24時間	0.27
4	スカーレット	30	約10回	各回80°C1時間＋105°C 30分，最終105°C24時間	0.28
5	ベンガラ	10	約10回	各回80°C1時間＋105°C 30分，最終105°C24時間	0.27
6	ベンガラ	30	約10回	各回80°C1時間＋105°C 30分，最終105°C24時間	0.27
7	なし	0	約10回	各回80°C1時間＋105°C 30分，最終105°C24時間	0.27

* 炭酸カルシウム



第6図　吸湿による耐アーク性の低下



（図中番号は第3表試番と同じ）

第7図　105°C加熱による耐アーク性の変化

加熱劣化特性を示したものである。

4. 結果の考察

ASTM法[3]または電気学会技術報告[4]に記載されている耐アーク試験法は，1分間ごとに試料に加わるアーク強度を強くしている。通電段階の順序は**第4表**[4]のようになっている。この表から明らかなように，1分間ごとにアークによる熱発生量は約2倍になっている。このため1分あるいは2分間をこえた試料は，こえない試料に比較して試料が受けるアーク量はかなり増加しきびしい条件となる。したがって，普通のグラフではその耐アーク強度を絶対量として表わすことは困難である。筆者らはこの点に着眼し1分間ごとに目盛を倍に拡大して表

第4表　通電段階の順序**

段階の記号	電　流（mA）	開閉の時間*	熱発生の近似値（W）	各段階の経続時間（S）	全経過時開（S）
1/8—10	10	1/4秒閉，1 3/4秒開	3	60	60
1/4—10	10	1/4秒閉，3/4秒開	6	60	120
1/2—10	10	1/4秒閉，1/4秒開	12	60	180
10	10	連　続　閉	24	60	240
20	20	連　続　閉	34	60	300
30	30	連　続　閉	45	60	360
40	40	連　続　閉	56	60	420

*　断続アークの初期段階は，連続アークよりも楽な条件をうるために使用される。10mA以下の電流は，不安定な動揺アークとなるので使用しない

**　電気学会技術報告による

わし，ASTM法による試験条件をグラフ中に取り入れ，そのアーク強度を一目でわかるようにしたが，このグラフ目盛り方がよいかどうかは今後さらに検討を要すると考える。さらに，アーク強度が段階的に（1分間ごとに）増加していくため，アーク強度が倍増した直後に試料の温度は急激に上昇するはずで，理論的には e^n に比例して温度が上昇する。耐アーク強度は，アーク熱による材料の破壊と考えれば，アーク強度が次の段階に変って10秒前後で試料に導電路を形成し，破壊する確率が非常に大きい。この過渡期を過ぎれば温度も漸次一定になっていくため，この条件にかなり長い時間さらしても試料の破壊はあまり起らない。筆者らはこの点をも勘案して，同一アーク条件の1分間をさらに対数目盛で表わすようにグラフを作った。このため本報告の各図は特殊な目盛り方であるが，上に述べた点を考慮したうえでの目盛り方であることを明記しておく。以下実験結果の考察を加える。

4.1　膜厚さと耐アーク性の関係

第1図に示したように，膜厚さが 0.2 mm 以下の薄い場合には，耐アーク時間がかなり延びる傾向がみられる。

膜厚さが 0.25mm 以上になると，大体一定した耐アーク性を示すようになる。このように耐アーク性が膜厚さにより大きく変化する原因は，一つに皮膜の内部乾燥度も考えられるが，本実験ではこの差をなくするため乾燥度には十分留意し，内部乾燥による誤差をほとんど無視できるようにした。したがって，肉付きの薄い場合に耐アーク時間が長くなる理由としては，単に試料が薄いためアークにより生じたカーボン層が薄く，導電路が形成されにくくなること，さらに極度に薄い皮膜の場合は試料がアーク熱により気化または灰分化され，ガラス面の耐アーク時間を測定したことになるものと思う。したがってこの種ワニスをガラス板に塗付して試験する場合には，少なくとも厚さ 0.25mm 以上の肉付きをもたせないと，試料自体の耐アーク強度を測定することは不可能である。

4.2　各種ワニス皮膜の耐アーク性

ワニスの耐アーク性は，その主成分により左右される。仕上げワニスとしてカーボンのはいった黒色ワニス，天然樹脂を主成分とする油性系ワニス，およびフェノール樹脂を主成分とするワニス類は一般に耐アーク性は悪い。一方，アルキド樹脂系ワニスは耐アーク性が強い。

シリコーンワニスの耐アーク性は特に良く，いずれも3分以上のすぐれた値を示している。第1表，第2図は前にも述べたように加熱乾燥した塗膜の耐アーク性を示したものであるが，自然乾燥した場合にも乾燥時間を長くすれば加熱乾燥の値に一致することは第3図より明らかである。上の結果から判断してシリコーンワニス以外の一般有機材料を主成分とするワニスの耐アーク限度は2分～2分30秒と考えられる。第2図 WX-29 は最近開発された耐アークエナメルである。乾燥性は少し遅いが，耐アーク性は有機塗料として最もすぐれた値を持っている。

4.3　ドライヤならびに充てん剤の影響

スチレン化アルキド樹脂ワニス，アルキド樹脂ワニス，フェノールアルキド樹脂ワニスの3種が比較的耐アーク性に富んでいることがわかっていたが，その詳細については不明であった。さらに，これらのワニスにドライヤを添加したときの耐アーク性の変化，あるいはエナメルにした場合に充てん剤の種類や量の耐アーク性に及ぼす影響も未検討であった。

第4図から明らかなように，ドライヤの添加量を増すと耐アーク性は低下する。ワニスの乾燥性のみを考え，ドライヤをむやみに多くすることは好ましくない。ドライヤ中に含まれる金属分が耐アーク性を悪化させるものと考えられる。皮膜の内部乾燥が悪いと耐アーク性は悪い。耐アーク塗料には自然乾燥性のものが多分に要求されるので，この点を考え適当なドライヤ量を選ぶことが必要である。

充てん剤による影響は，第5図に見られるようにスカーレットは耐アーク性を低下させる。ベンガラもいくぶん耐アーク性を低下させる傾向にあるが，その影響は少ない。さらに第6図に示したようにベンガラ，スカーレットは吸湿特性が悪く，吸湿により耐アーク性はかなり低下する。この点，炭酸カルシウムは添加量の増加による影響，あるいは吸湿の影響がほとんどなく，耐アーク性の観点からは理想的な充てん剤であるが，ワニス中で充てん剤が沈降すること，ならびにでき上った皮膜に陰ぺい力がないためこれだけでは耐アークエナメルの充てん剤として不適である。また，スカーレットのような有機顔料は耐アークエナメルの充てん剤として不向であろう。ポリエステル樹脂に充てん剤を加えた場合は，耐アーク性が著しく改善されたが[5]，ワニス皮膜の耐アーク性が

充てん剤によりあまり変化しない理由は，ワニスの耐アーク性が2分間以上というかなり良好なワニスを選んだためで，充てん剤量をさらに多くすれば，当然耐アーク性は向上するはずであるが，あまり充てん剤量を多くすることは，エナメルとしての性質を害するため30%くらいが限度であろう。

以上，耐アークエナメルとしての必要条件を検討したが，ドライヤの量，充てん剤の種類，量を適当に選ぶことが必要であろう。

いずれにしても，有機合成材料を主成分とするエナメルまたはワニスを使用するかぎり耐アーク性は2分～2分30秒程度が限度である。

第2図で示したようにWI-292, WA-308のようなかなり耐アーク性の良いワニスを含浸させた機器でも，これらワニスの含浸量，特に表面肉付きが少なく，コイル表面にかなりのおうとつを生じ，運転中にこの部分にごみが付き，徐々にトラッキング事故などを起す可能性がある。このような事故を防止する意味から，耐アークに比較的強い，しかも肉付きの多いエナメルを塗付して表面のおうとつを少なくし，表面の汚染を防止することは必要であろう。特にアークにさらされる頻度の多い部分にはシリコーン系のエナメルを塗付することが望ましい。

5. 結　　言

種々のコイルワニス，仕上げワニスおよびエナメル類について耐アーク性を検討した結果，次のことがいえる。

（1） 絶縁塗料の耐アーク性を比較検討する際は一般にガラス板面に皮膜を作製して測定するが，皮膜の乾燥は十分に行い，かつ膜厚さは0.25mm以上を必要とする。

（2） 一般にアルキド系のワニスは耐アーク性は良く，フェノール系，天然樹脂系のコイルワニスは耐アーク性が悪い。

（3） ドライヤの量を多くすると耐アーク性は低下する。ワニスの内部乾燥が悪いと耐アーク性は悪く適当量のドライヤを選ぶことが必要である。なお自然乾燥のワニス，エナメル類も，耐アークを主眼とするときは許すかぎり加熱乾燥をすすめる。

（4） 充てん剤は無機質のものが良く，特に炭酸カルシウムがすぐれている。しかしこれはワニス中で沈降するためこれ単独で充てん剤とすることは困難である。

（5） シリコーンワニスの耐アーク性は特に良好である。

以上，電気絶縁塗料の耐アーク性について検討したが，絶縁はワニス単独で用いられることは少なく，多くの場合はほかの絶縁物との複合，たとえば耐アーク性の悪いワニス皮膜の上に耐アーク性の良好なワニスやエナメルを塗って用いるのが普通である。今後さらにこれら複合状態での耐アーク強度につき研究を重ねることが必要である。

終りに本研究に終始御指導いただいた，日立製作所日立絶縁物工場棚橋課長をはじめ，上司の方々に深謝申しあげるとともに，実験を担当された田島，永井両君に御礼申しあげる。

参考文献

（1） R. S. Norman, R. A. Dfuntener: AIEE. Comm. & Elect. 257 (July-1956)
（2） R. F. Sterling: AIEE Power App. & Syst. 776 (Jan. 1957)
（3） ASTM Designation: D 495-48 T (1948)
（4） 電気学会技術報告 第7号 (昭 30-6)
（5） 小川，阿保： 日立評論別冊31号44 (昭 34-7)

Vol. 21　　日　　立　　No. 7

目　　次

◎妻はラクチンである……中村八朗
◎明日への道標（日立ブラウン管）
◎リモコンの話
◎極微の世界への招待
◎ショックのない乗心地
◎商品オリンピックの日立
◎日本の夏にはとても便利
◎冷凍機の活躍
◎シャフト・マシン
◎日立だより
◎日立ハイライト（日立パッケージ型エアコンディショナー）
◎新しい照明施設

誌代　1冊　¥60 (〒16)

発行所　日立評論社　東京都千代田区丸ノ内1丁目4番地　振替口座東京71824番
取次店　株式会社オーム社書店　東京都千代田区神田錦町3丁目1番地　振替口座東京20018番