

各種試験法によるエナメル線の耐熱度

Thermal Stability of Enamelled Wires Evaluated
by Various Test Methodes古賀正臣* 中里繁*
Masaomi Koga Shigeru Nakazato

内容梗概

現在一般に使用されている油性エナメル線、ホルマール線、ポリウレタンエナメル線、ポリエステルエナメル線、シリコンエナメル線について、加熱による皮膜厚の減少、絶縁破壊電圧の低下、捻回剥離数の低下の三方法で耐熱性を検討した。試験法によって多少の相違はあるが、全体的にみてポリエステルエナメル線が最も良く、シリコンエナメル線、ポリウレタンエナメル線、ホルマール線、油性エナメル線の順に耐熱性が悪い。

試験方法相互ではエナメル線の種類に関係なく、大体似た傾向を示し、短期間の試験法としてかねてから日立電線株式会社で実施している捻回剥離数による方法が有効なこともわかったので、これらについて報告する。

1. 緒言

合成化学工業の発展に伴い、最近になって各種の新しい絶縁材料が紹介され、これらを最も効果的に使用する必要から、新しい絶縁材料の熱区分、ひいては寿命試験法の問題が各国で取り上げられるようになった。

エナメル線の分野においても、従来広く使用されていた油性エナメル線にかわって現われたホルマール線をはじめとしてナイロン、ポリウレタン、シリコン、テフロン、ポリエステル、エポキシ、アクリルニトリル樹脂などのエナメル線が次々に紹介され、電気機器の小形軽量化とエナメル線使用範囲の拡大に貢献しつつある。したがって試料自体の取り扱いの容易さも手伝って、エナメル線の耐熱性についての試験結果も多く発表されている⁽¹⁾。しかし、個々のエナメル線の耐熱性だけか、あるいはホルマール線との比較程度で全般にわたっていない。

筆者らもエナメル線の耐熱性に深い関心をもち、さきに寿命試験法とその結果を取りまとめて報告した⁽²⁾が、現在一般に国内で使用されている油性エナメル線、ホルマール線（鉛色および黒色の2種）、ポリウレタンエナメル線、ポリエステルエナメル線（ドイツ製塗料と米国製塗料の2種）、シリコンエナメル線を取り上げて、加熱による物理的性状の変化を皮膜厚の減少で試験し、電気的特性の変化を試料の絶縁破壊電圧の低下から検討し、機械的特性の変化を捻回剥離数の低下から検討して、それぞれの方法による各エナメル線の耐熱性を比較した。

これらの試験結果からえた耐熱度が、そのままこれらのエナメル線を用いた電気機器の耐熱性を示すとは考えてないが、従来広く使用されてきたホルマール線と比較

すれば、電気機器設計の資料として参考になる点も多いと思うので報告し、同時に3種の試験方法の関連性についても触れたいと思う。

2. 試験試料

試験に用いた各エナメル線は、公称導体径1mm、皮膜厚が1種相当のもので、誤った結論をえないために、各エナメル塗料の最適と考える焼付条件で塗装したものである。線の種類、使用塗料および一般性能を第1表に示す。

3. 試験方法

絶縁材料の耐熱度を検討する場合に、機械的性能を基準にするか、電気的性能を基準にするか、その他の方法を採用するかは非常にやっかいな問題で、材料の種類により、また使用される条件を考慮して選定しなければならない。

エナメル線類の耐熱試験を行うときにも、既報⁽²⁾で詳述したように一般に次のような方法が用いられている。

3.1 電気的方法

(a) 燃合せた試料を加熱し、一定電圧に低下するまでの時間を調べる⁽³⁾⁽⁴⁾。

(b) モデルモータ（モータレット）に組込み、一定のチェック電圧で破壊するまでの時間を調べる⁽⁵⁾。

(c) 皮膜の絶縁抵抗の熱挙動を調べ、その変化の状態から寿命を判断する⁽⁶⁾。

(d) 皮膜の誘電正接の変化状態で推定する⁽⁷⁾。

3.2 機械的方法

(a) 一定径に巻付けた試料の皮膜に亀裂の生ずるまでの時間をとる⁽⁸⁾。

(b) 試料を劣化させた後、巻付けて亀裂の生ずる倍

* 日立電線株式会社電線工場

各種試験法によるエナメル線の耐熱度

第1表 試料の一般性能

試験項目	ホルマール線			ポリウレタン線		ポリエステル線			シリコンエナメル線		油性エナメル線	
	規格値	黒色	鉛色	規格値		規格値	アルカネックス	テレベック-F	規格値	DC-1360	規格値	W41-甲
導体直径 (mm)	1.0±0.03	0.998	0.997	1.0±0.03	1.001	1.0±0.03	1.00	0.998	1.0±0.03	0.997	1.0±0.03	0.998
厚さ (mm)	0.025≦	0.037	0.037	0.025≦	0.042	0.025≦	0.035	0.038	0.025≦	0.040	0.025≦	0.033
外径 (mm)	≦1.102	1.072 1.071 ~1.072	1.070 1.069 ~1.071	≦1.102	1.085 1.079 ~1.090	≦1.102	1.070 1.067 ~1.072	1.075 1.071 ~1.079	≦1.102	1.076 1.071 ~1.081	≦1.102	1.062
ピンホール数 (個/5m)	≦5	0	0	≦5	0	≦5	0	0	≦5	0	≦6	1
巻付試験(常温)(倍)	自己径 0/3	0/3(0/3)	0/3(0/3)	自己径 0/3	0/3(0/3)	自己径 0/3	0/3(0/3)	0/3(0/3)	6倍径 0/5	0/5	6倍≦2/5	0/5
引伸試験(常温)(%)	※ 20%	0/3(0/3)	0/3(0/3)	※ 20%	0/3(0/3)	※ 20%	0/3(0/3)	0/3(0/3)	※ 10%	0/5	10%≦2/5	0/5
絶縁耐力 (V)	1,200V≦	7,180	7,640	1,200V≦	10,790	1,500V≦	7,950	9,010	2,000V≦	9,600	1,000V≦	7,010
劣化試験 (加熱後巻付)	150°C 6 h 巻付4倍 ※引伸 0/3 10%	0/3(0/3)	0/3(0/3)	175°C 6 h 巻付4倍 ※引伸 0/3 10%	0/3	200°C 6 h 巻付4倍 ※引伸 0/3 10%	0/3	0/3	200°C 6 h ※巻付引伸5% 10倍 ≦2/5	0/5	120°C 6 h 巻付引伸 10倍 5% ≦2/5	0/5
耐軟化試験	135±5°C 6 h 0.7kg	良	良	160±5°C 6 h 0.7kg	良	175±2°C 6 h 0.7kg	良	良	175±2°C 6 h 0.7kg	良	—	—
耐油試験 (100°C) (変圧器油)	24 h	布 爪 ◎ ◎	布 爪 ◎ ◎	24 h	布 爪 ◎ ◎	24 h	布 爪 ◎ ◎	布 爪 ◎ ◎	24 h	布 爪 ◎ ◎	24 h	布 爪 ◎ ◎
耐酸試験 (H ₂ SO ₄ 比重 1.20)	24 h	◎ ◎	◎ ◎	24 h	◎ ◎	24 h	◎ ◎	◎ ◎	24 h	×× ××	24 h	◎ ◎
耐アルカリ試験 (NaOH 比重 1.10)	24 h	◎ ◎	◎ ◎	24 h	◎ ◎	24 h	◎ ×	◎ ◎	24 h	◎ ×	24 h	◎ ◎
耐ベンゼン試験 (90%以上)	24 h	◎ ◎	◎ ◎	24 h	◎ ◎	24 h	◎ ◎	◎ ◎	24 h	◎ ◎	1 h	◎ ×
耐摩耗試験	※ 600 g	58.8	51.5	※ 600 g	18.3	※ 600 g	24.7	30.7	※ 600 g	9.2	※ 600 g	2
捻回試験 (200mm 間隔)	100≦	97.3	106.9	60≦	91.0	65≦	122.3	99.7	40≦	42.9	40≦	65.9

※ 参考試験

数を調べる。

(c) 試料を劣化させた後、伸張して亀裂の生ずる伸張度で判断する⁽⁹⁾。本質的には (b) の方法と同じである。

(d) 劣化した試料を捻回し、皮膜が剥脱する回数を調べて耐熱度を検討する⁽¹⁰⁾。

3.3 物理的方法

- (a) 皮膜の重量減少を測定する⁽⁹⁾。
- (b) 皮膜の厚さの減少を調べる⁽¹¹⁾。
- (c) 劣化時の分解ガスの分析による⁽¹²⁾。

この実験に際しては、電気的には 3.1 (a) の方法、機械的には 3.2 (d) の方法、物理的には 3.3 (b) の方法を採用した。

すなわち

3.3.1 皮膜厚の変化

約 1% 伸張した試料を、第 2 表に示す温度で加熱し、一定時間ごとに取り出し、約 10 分間放冷後 0.001 mm 精度のスタンドマイクロメータで皮膜厚を測定した。

第2表 劣化試験温度

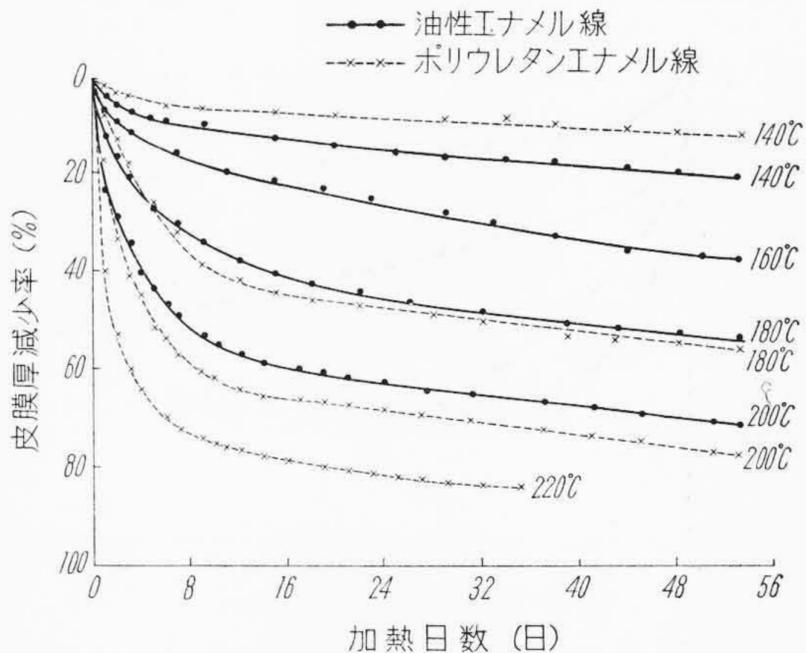
エナメル線の種類	試験温度 (°C)			
油性エナメル線	140	160	180	200
ホルマール線 (鉛色, 黒色)	140	160	180	200
ポリウレタンエナメル線	140	180	200	220
ポリエステルエナメル線 (アルカネックステレベック-F)	180	200	220	240
シリコンエナメル線	200	220	240	260

3.3.2 破壊電圧の変化

荷重 1.5 kg で撚数が 12 cm 当り 9 回になるように撚合させた試料を加熱し、一定時間ごとに取り出し、約 1 時間放冷後 500 V/秒の電圧上昇率で 2 導体間の破壊電圧を測定した。

3.3.3 捻回剥離数の変化

約 1% 伸張した試料を加熱し、一定時間ごとに取り出し、約 1 時間放冷後、200 mm の掴み間隔、60 回/分の速度で捻回し、皮膜が剥離するまでの回数を測定した。



第1図 油性エナメル線, ポリウレタンエナメル線の加熱による皮膜厚減少

なお、劣化温度の選定にあたっては、一般に各エナメル線の最高許容温度とされている温度よりも 30°C くらい高い温度を1点含むように計画し、絶縁破壊電圧の測

定は 10 個平均、捻回剥離数は 7 個平均とした。

4. 試験結果

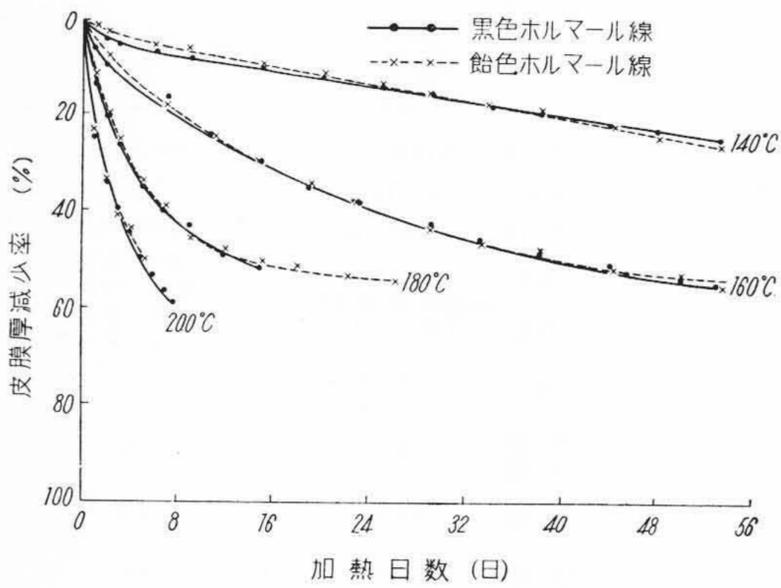
それぞれのエナメル線の加熱による皮膜厚減少と加熱時間の関係を第1~4図に示した。同様に、第5~8図は絶縁破壊電圧の低下を、第9~12図は捻回剥離数の低下を示す。エナメル線の種類により、各特性の初期値が異なるので、図では初期値に対する低下率で示している。

測定値のばらつきは絶縁破壊電圧が 5~15%、捻回剥離数では 1~5% とかなり小さい。

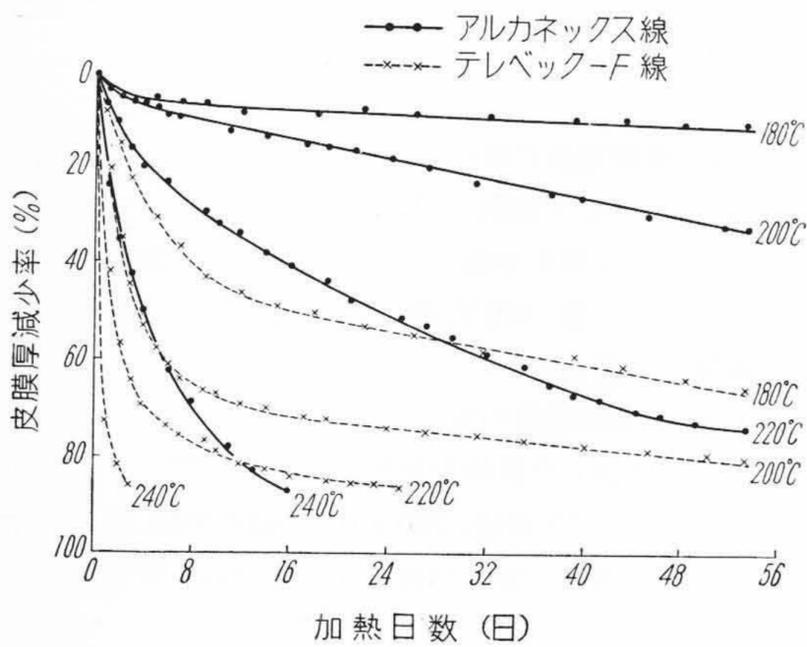
5. 結果の考察

5.1 熱劣化特性

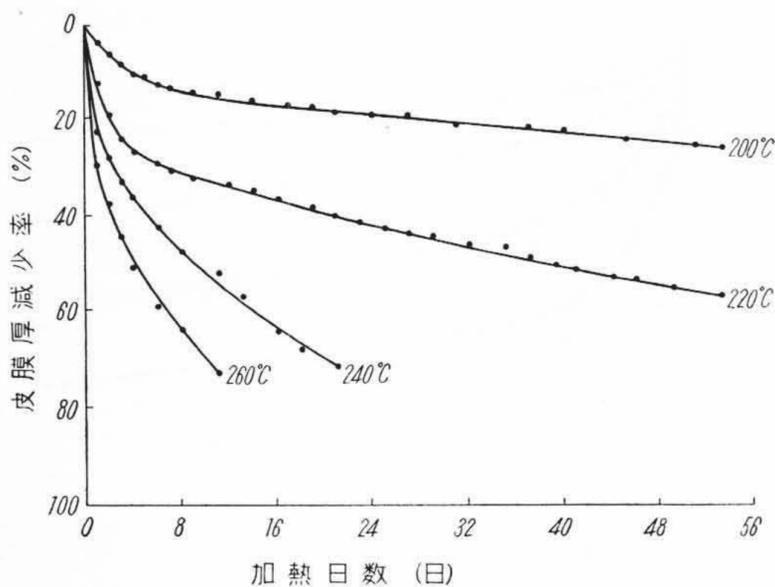
絶縁材料の劣化反応が Arrhenius の式で与えられるとすると、劣化温度 T (絶対温度 K°) と寿命 t (h) との間には次の関係があることは広く知られている。



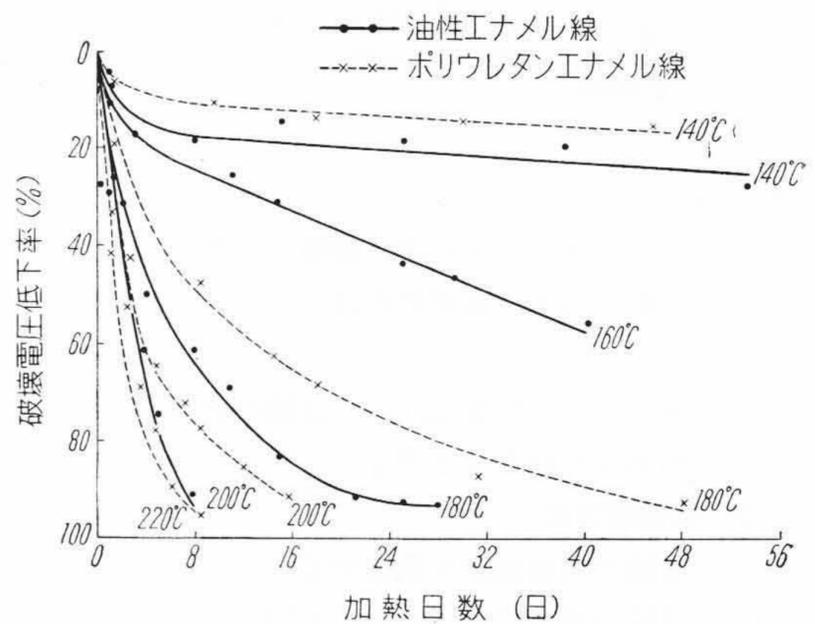
第2図 黒色、鉛色ホルマール線の加熱による皮膜厚減少



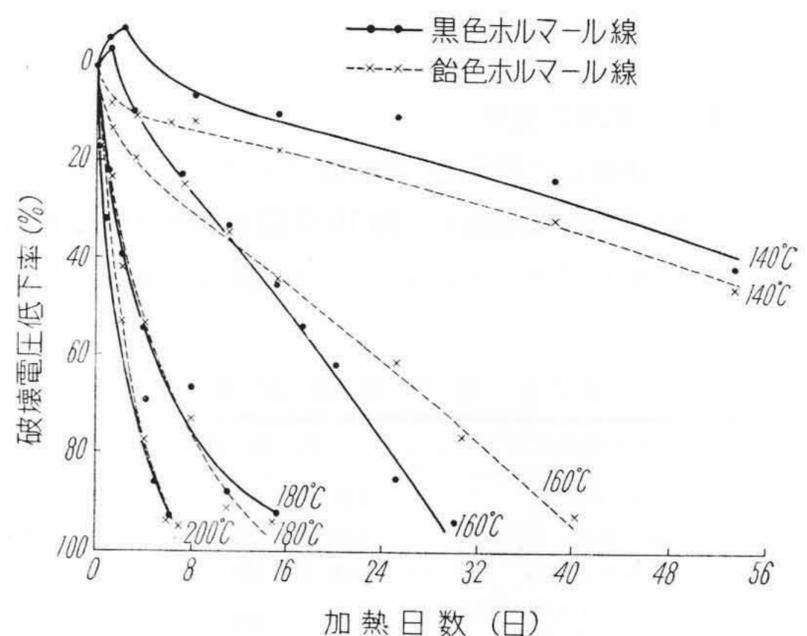
第3図 ポリエステルエナメル線の加熱による皮膜厚減少



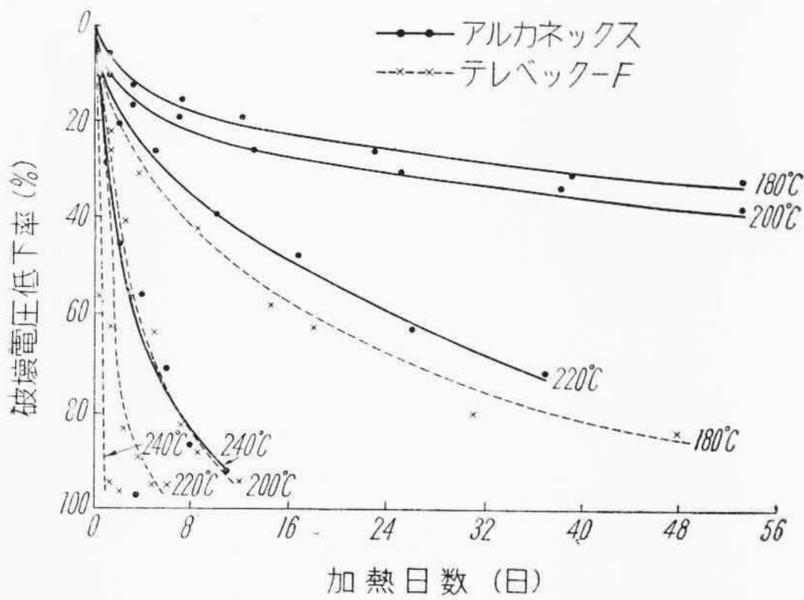
第4図 シリコンエナメル線の加熱による皮膜厚減少



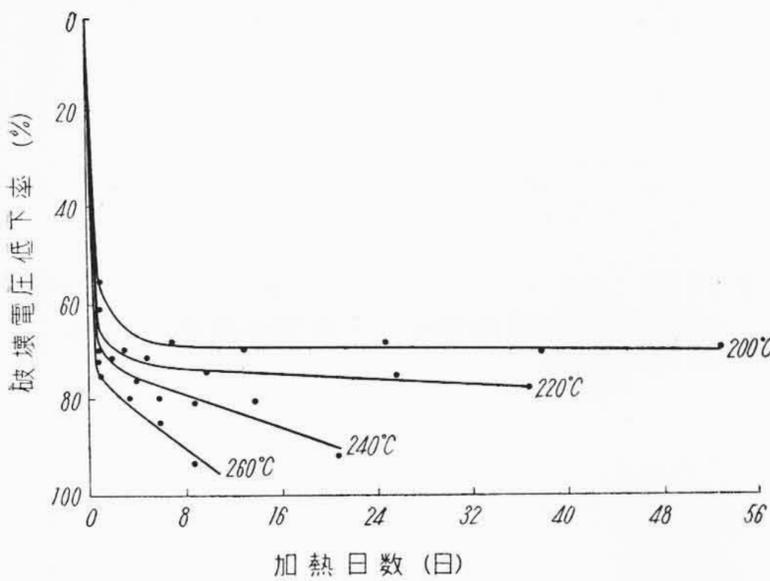
第5図 油性エナメル線、ポリウレタンエナメル線の加熱による破壊電圧低下



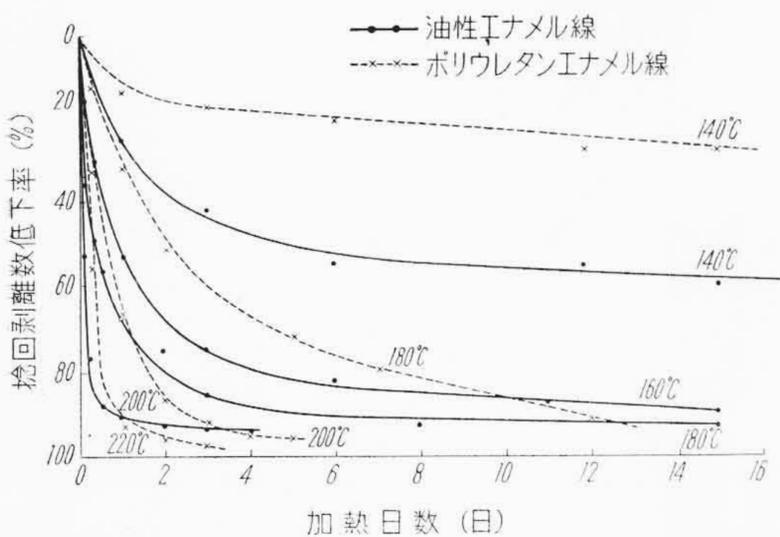
第6図 ホルマール線の加熱による破壊電圧低下



第7図 ポリエステルエナメル線の加熱による破壊電圧低下



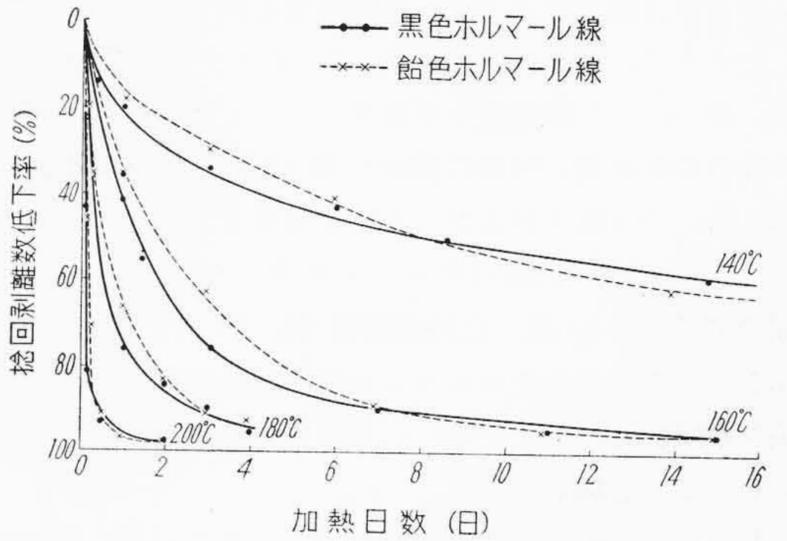
第8図 シリコンエナメル線の加熱による破壊電圧低下



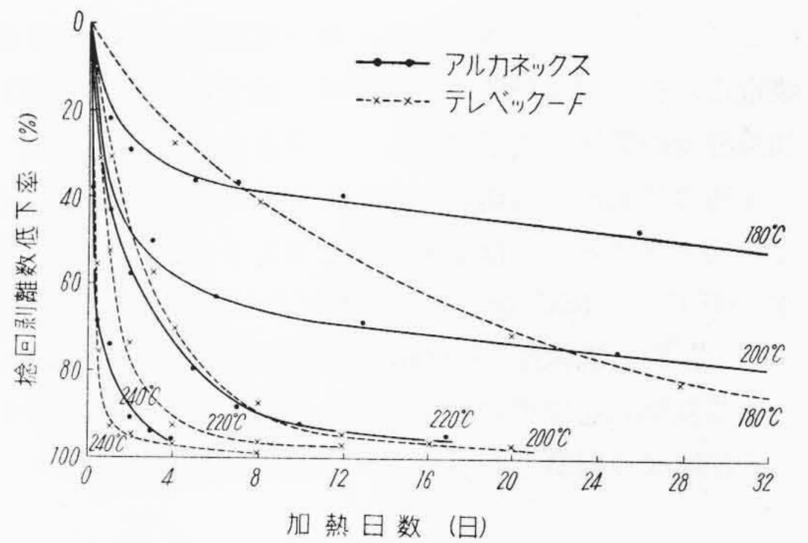
第9図 油性エナメル線、ポリウタンエナメル線の加熱による檢回剥離数低下

$$\log t = \frac{E}{RT} - \log A + \log \left\{ \log \left(\frac{\varphi_0}{\varphi_e} \right) \right\} \dots (1)$$

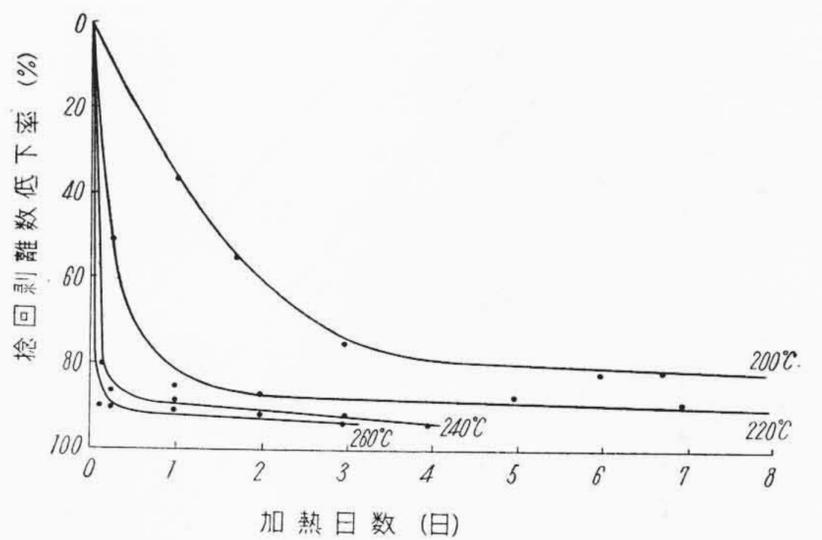
ここで R は気体恒数, E は活性化エネルギー, A は常数, φ_0, φ_e は材料の初期および寿命の終りとみるある物



第10図 ホルマール線の加熱による檢回剥離数の低下



第11図 ポリエステルエナメル線の加熱による檢回剥離数の低下



第12図 シリコンエナメル線の加熱による檢回剥離数の低下

理量であるので φ_e を決めると, (1) 式は

$$\log t = \frac{\alpha}{RT} - \beta \quad \alpha, \beta: \text{定数} \dots (2)$$

したがって, 前にかかげた各図で, φ_e に相当する皮膜厚, 破壊電圧, 檢回剥離数をえらんで, 各曲線との交点を求め, 加熱時間 t と温度 T の関係を, それぞれ対数お

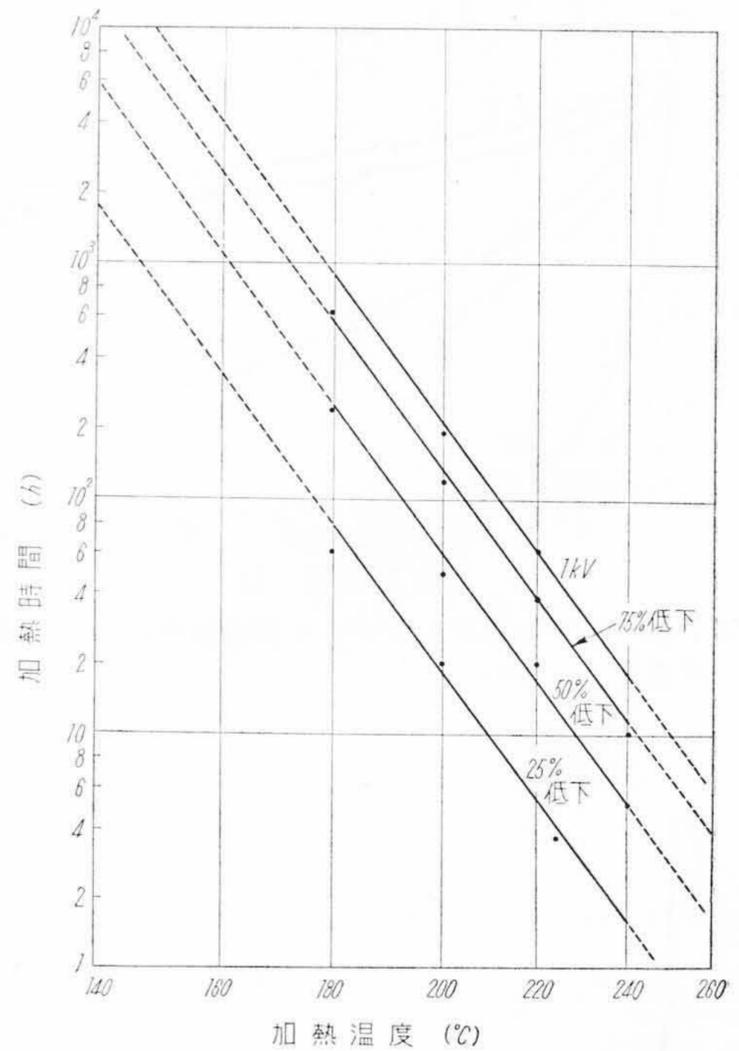
よび逆数目盛で図示すると直線になるはずである。

ところで、実際の試験結果から、たとえば皮膜厚 10, 20, 30 および 50%減少を基準としたときの油性エナメル線の加熱温度と時間の関係を第13図、絶縁破壊電圧 25, 50, 75%低下および 1kV を基準としたときのポリエステルエナメル線 (テレベック-F) の加熱温度と時間の関係を第14図、捻回剥離数 25, 50, 75%低下を基準としたときの鉛色ホルマール線の加熱温度と時間の関係を第15図に示したが、いずれも直線となり、回帰性のあることを検定できる。

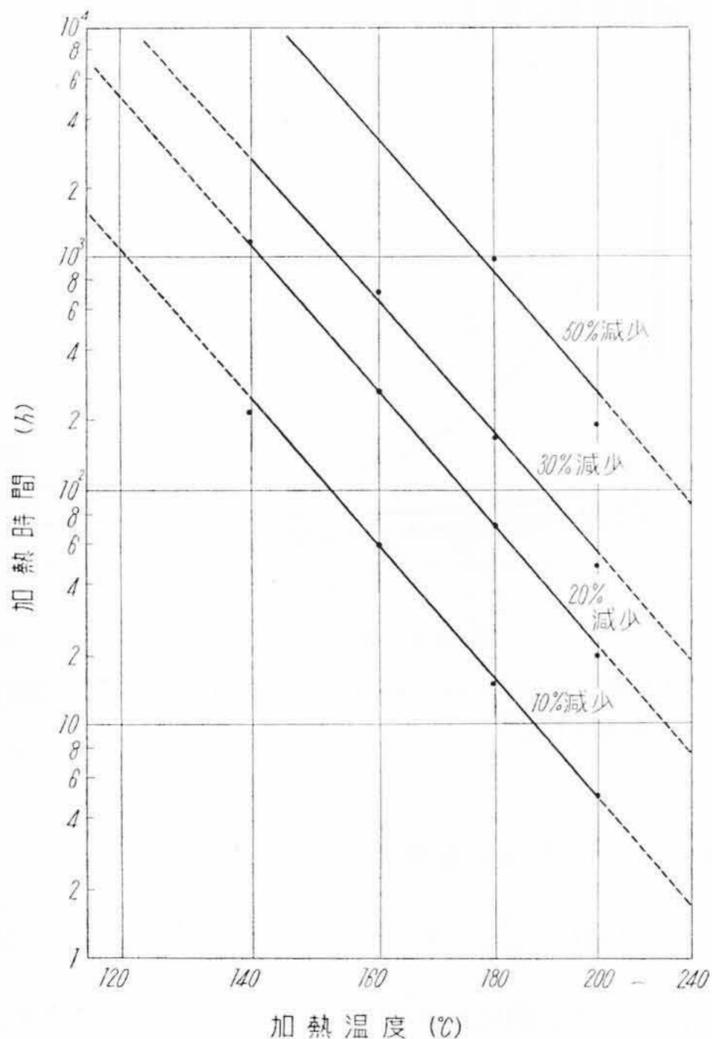
しかし、これらの各直線の勾配、つまり(1)式での活性化エネルギーは、エナメル線の種類により、各低下基準により多少異なるものようであるが、ここでは問題にしないことにする。

このようにして、各エナメル線の皮膜厚減少、絶縁破壊電圧、捻回剥離が種々の低下率に達するまでの時間と加熱温度の関係を図示することができるが省略する。

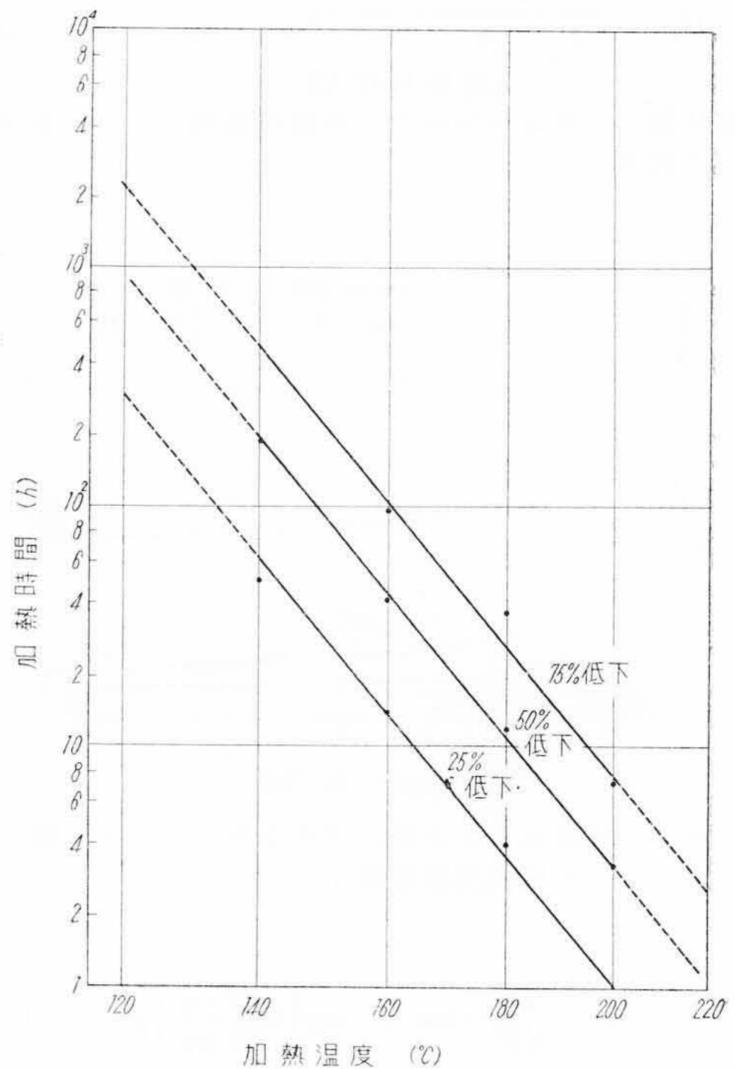
上述の結果からも明らかなとおり、寿命の終点をいくらの低下率にとるかは重要なことであるが、ここでは従来 AIEE や IEC などの採用してきた⁽¹³⁾絶縁破壊電圧 1kV 基準 (導体径 1.0 mm, 1種相当皮膜厚の試料に対する基準) を標準にした。すなわち、この基準で、最小二乗法により計算した各エナメル線の活性化エネルギー



第14図 ポリエステルエナメル線 (テレベック-F) の加熱温度と破壊電圧低下時間の関係



第13図 油性エナメル線の加熱温度と皮膜厚減少時間の関係



第15図 鉛色ホルマール線の加熱温度と捻回剥離数低下時間の関係

第3表 破壊電圧低下からみた各種エナメル線の耐熱性 (1kV 低下基準, 寿命 4×10⁴h 基準)

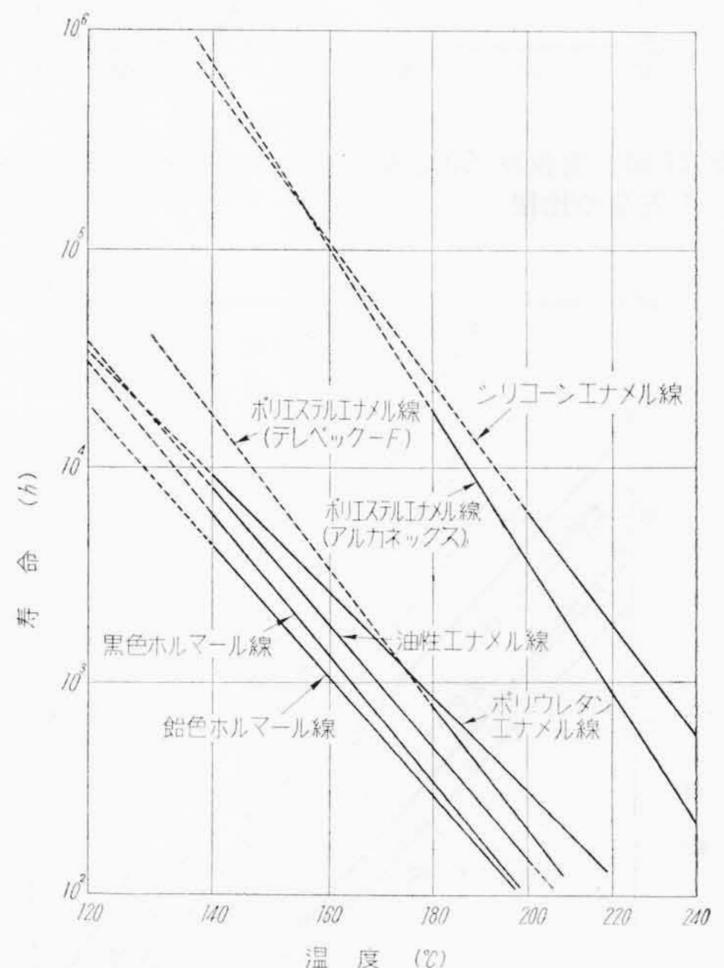
エナメル線の種類	活性化エネルギー (kcal/mol)	加熱温度と時間の関係	耐熱度 (°C)	鉛色ホルマール線との比較 (°C)
油性エナメル線	26.7	$\log_{10}t = 5,850 \cdot \frac{1}{T} - 10.26$	121	+ 8
鉛色ホルマール線	25.4	$\log_{10}t = 5,550 \cdot \frac{1}{T} - 9.80$	113	0
黒色ホルマール線	27.0	$\log_{10}t = 5,900 \cdot \frac{1}{T} - 10.50$	118	+ 5
ポリウレタンエナメル線	22.2	$\log_{10}t = 4,860 \cdot \frac{1}{T} - 7.79$	121	+ 8
ポリエステルエナメル線 (テレベック-F)	28.8	$\log_{10}t = 6,300 \cdot \frac{1}{T} - 11.01$	131	+18
ポリエステルエナメル線 (アルカネックス)	32.8	$\log_{10}t = 7,170 \cdot \frac{1}{T} - 11.56$	176	+63
シリコンエナメル線	28.2	$\log_{10}t = 6,150 \cdot \frac{1}{T} - 9.17$	162	+49

第5表 捻回剥離低下からみた各種エナメル線の耐熱性 (50%低下基準)

エナメル線の種類	活性化エネルギー (kcal/mol)	加熱温度と時間の関係	耐熱度 (°C)	鉛色ホルマール線との比較 (°C)
油性エナメル線	24.1	$\log_{10}t = 5,270 \cdot \frac{1}{T} - 10.78$	109	- 6
鉛色ホルマール線	24.0	$\log_{10}t = 5,250 \cdot \frac{1}{T} - 10.53$	115	0
黒色ホルマール線	26.1	$\log_{10}t = 5,710 \cdot \frac{1}{T} - 11.60$	118	+ 3
ポリウレタンエナメル線	23.8	$\log_{10}t = 5,210 \cdot \frac{1}{T} - 9.82$	134	+19
ポリエステルエナメル線 (テレベック-F)	30.5	$\log_{10}t = 6,670 \cdot \frac{1}{T} - 12.91$	145	+30
ポリエステルエナメル線 (アルカネックス)	34.4	$\log_{10}t = 7,520 \cdot \frac{1}{T} - 14.05$	168	+53
シリコンエナメル線	32.6	$\log_{10}t = 7,130 \cdot \frac{1}{T} - 13.59$	157	+42

第4表 皮膜厚減少からみた各種エナメル線の耐熱性 (50%減少基準)

エナメル線の種類	活性化エネルギー (kcal/mol)	加熱温度と時間の関係	耐熱度 (°C)	鉛色ホルマール線との比較 (°C)
油性エナメル線	25.9	$\log_{10}t = 5,660 \cdot \frac{1}{T} - 9.62$	125	+ 7
鉛色ホルマール線	26.8	$\log_{10}t = 5,860 \cdot \frac{1}{T} - 10.42$	118	0
黒色ホルマール線	26.5	$\log_{10}t = 5,800 \cdot \frac{1}{T} - 10.27$	118	0
ポリウレタンエナメル線	28.3	$\log_{10}t = 6,190 \cdot \frac{1}{T} - 10.80$	129	+11
ポリエステルエナメル線 (テレベック-F)	30.5	$\log_{10}t = 6,670 \cdot \frac{1}{T} - 12.10$	127	+ 9
ポリエステルエナメル線 (アルカネックス)	32.3	$\log_{10}t = 7,060 \cdot \frac{1}{T} - 11.68$	162	+44
シリコンエナメル線	27.1	$\log_{10}t = 5,930 \cdot \frac{1}{T} - 9.12$	160	+42



第16図 破壊電圧 1kV 基準での各種エナメル線の寿命比較

および、回帰直線は第3表のようになる。

次に皮膜厚 50% 減少を基準として計算した活性化エネルギーおよび温度と時間の関係を第4表に、捻回剥離数 50% 低下で計算した活性化エネルギーおよび温度と時間の関係を第5表に示す。

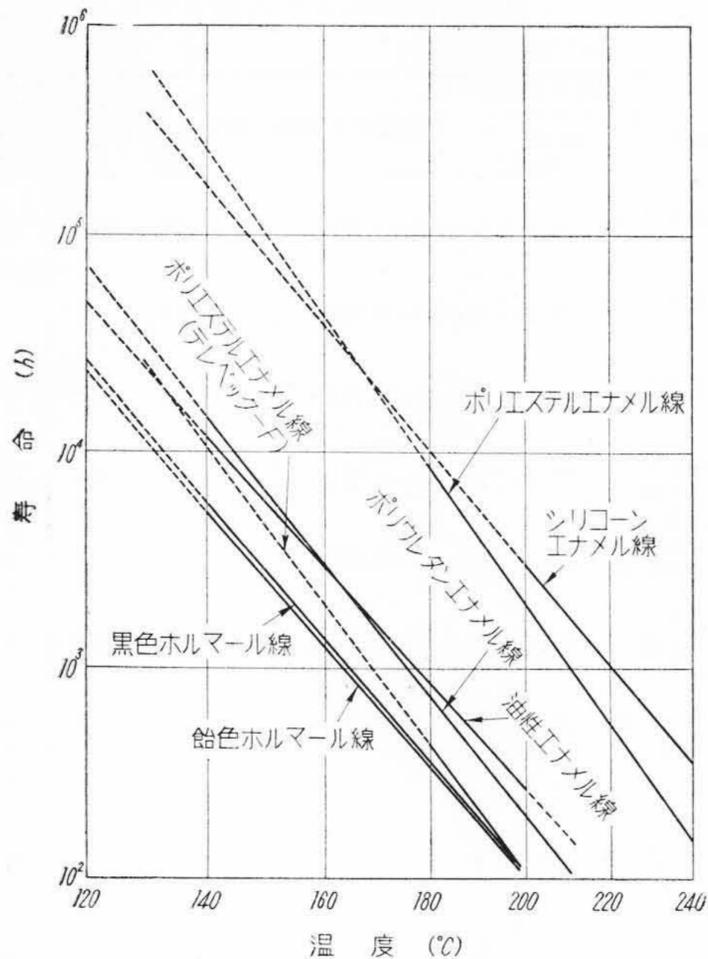
これらの温度と時間の関係を計算すると第16~18図のようになる。図からエナメル線の耐熱性の優劣を知ることができるが次に耐熱度を比較検討してみる。

5.2 耐熱度の比較

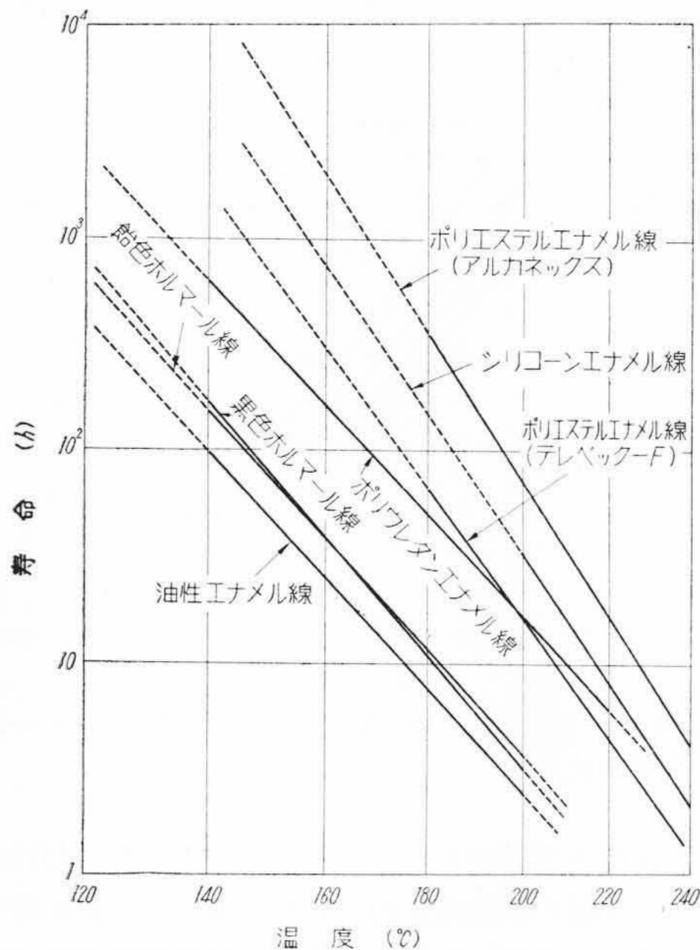
熱劣化試験から耐熱度を論ずる場合に、もう一つ重要なことは、寿命を何時間にとるかということである。現在までのところ、文献でもホルマール線との比較で何度高いとか低いとか論じられている状態ではっきりしていない。ホルマール線がA種 (105°C) に十分たえることは国内外で広く認められているが、E種 (120°C) までつか

どうかは種々意見がわかれている。そこでわれわれは、ホルマール線の耐熱度を約 115°C と考え、これに対する寿命を検討してみたところ、1kV 絶縁破壊電圧では約 4×10⁴ 時間 (約 4 年半)、50%皮膜厚減少でも約 4×10⁴ 時間、50%捻回剥離数低下では約 10³ 時間になることを知ったので、一応これらの時間を基準にして、第3, 4表の各式を用いて、各エナメル線の耐熱度を求めてみた。結果を同じく第3~5表に示す。

試験方法によって、いくぶん異なった耐熱温度を示しているが、興味深いのは、油性エナメル線の耐熱性が案



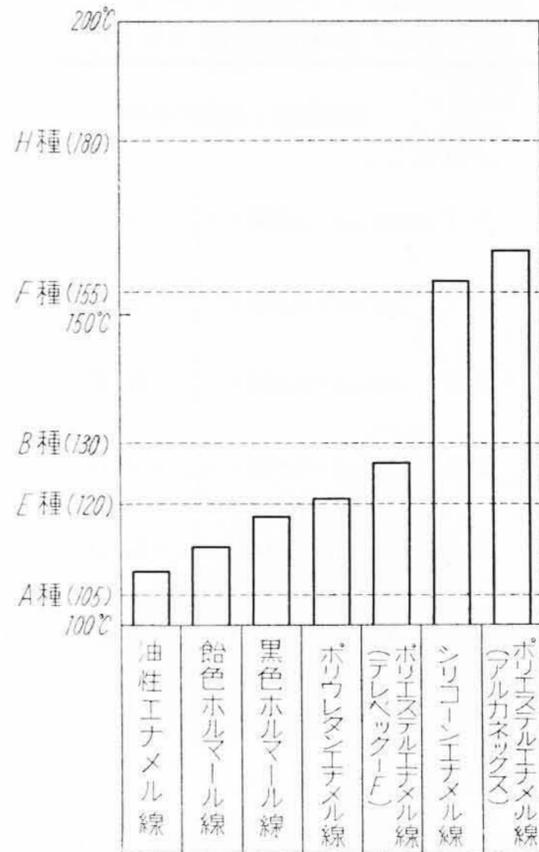
第 17 図 皮膜厚 50%減少基準での各種エナメル線の寿命の比較



第 18 図 捻回剥離数 50%低下基準での各種エナメル線の寿命比較

外高いこと、同じテレフタル酸ベースのポリエステルワニスであるアルカネックスとテレベック-F とで耐熱度にかかなりの差があることである。後者は塗料の本質的な相違によるものであろう。

三つの試験法の結果を取りまとめて考察するため、試



第 19 図 各種エナメル線の耐熱度

みにそれぞれの方法による耐熱度の最も低いものをもって比較すると、第 19 図のようになる。最低値をもって比較したのは、実際の電気機器にエナメル線を用いた場合に、エナメル線の個々の諸性質について機器の寿命を保障する最低所要値というものが決定できるとすれば、どれか一つの性質がその値まで低下したときが寿命となるであろうと考えたためである。この図から、もし鉛色ホルマール線を A 種と仮定するなら、油性エナメル線は A 種より少し低く、ポリウレタンエナメル線は A と E 種の間、テレベック-F は E 種、アルカネックスは F 種、シリコンエナメル線は F 種に達しないといえる。

5.3 基準のとり方

以上で一応の耐熱度を出したが、ここで注意しなければならないことは、各物理量の初期値と、寿命の終りとみた値との関係である。各試料の皮膜厚はできるだけ同一になるようにしたので除くとして、絶縁破壊電圧と捻回剥離数の各初期値と採用した基準値を示すと第 6 表のようになる。

したがって、もし破壊電圧の基準に低下率 85%、捻回剥離数の基準に 50 回をとったとしたら、各エナメル線の耐熱度は電気的にはテレベック-F、ポリウレタンエナメル線、シリコンエナメル線はもっと低い結果となり、機械的にはシリコンエナメル線、油性エナメル線はもっと低く、アルカネックスはさらに高い耐熱性を示す結果となったはずである。

これまで、絶縁物の耐熱性を取り扱うに際し、特に、抗張力とか伸びのような機械的性質で検討する場合には、よく低下率が基準にえらばれてきた。われわれも、

第6表 初期値と基準

エナメル線の種類	絶縁破壊電圧			捻回剥離数		
	初期値	基準		初期値	基準	
	(V)	(V)	低下率 (%)	(回)	低下率 (%)	回
油性エナメル線	7,010	1,000	85.6	65.6	50	33.0
鉛色ホルマール線	7,640	1,000	87.0	106.9	50	53.5
黒色ホルマール線	7,180	1,000	86.0	97.3	50	48.7
ポリウレタンエナメル線	10,790	1,000	90.8	91.0	50	45.5
ポリエステルエナメル線 (テレベック-F)	9,010	1,000	89.0	99.7	50	49.8
ポリエステルエナメル線 (アルカネックス)	7,950	1,000	87.4	122.3	50	61.2
シリコンエナメル線	9,600	1,000	89.5	42.9	50	21.5

前述のとおり、捻回剥離数では低下率を採用してみたわけであるが、実際電気機器における役割を考えてみると、果して低下率が妥当かどうかは大いに疑問である。電気機器が事故を起す場合、原因が電氣的なもの、機械的なもののどちらにしたところで、同一機器に、同一仕様で用いたエナメル線の機器故障原因となった物理量の最終値というものは、エナメル線の種類にかかわらず一定だと考えてよいはずだからである。

このように考えると、第16図で、油性エナメル線、シリコンエナメル線はさらにひくい耐熱度、アルカネックスはもっと高い耐熱度をもっと考えても差しつかえないようである。基準を%低下率にとるか、一定値にとるかさらに考究する必要がある。

5.4 試験法相互の関係

ホルマール線の耐熱度を 115°C 付近と考え、無雑作に選んだ皮膜厚減少 50% で寿命 4×10^4 時間、絶縁破壊電圧 1 kV で 4×10^4 時間、捻回剥離数 50% 低下で 10^3 時間という基準に対してはいろいろ異論もあろうが、これらの3方法でえた結果がかなり合っていることから、大略次のことはいえると思う。

導体径 1 mm、1 種皮膜厚相当のエナメル線については

- (A) 皮膜厚が 50% に減少する時間と、破壊電圧が 1 kV に低下するまでの時間は大体ひとしくなる。
- (B) (A) の基準によれば 4×10^4 時間を寿命と考えて、少なくともホルマール線では常識的な耐熱度を得る。
- (C) 捻回剥離数でみる場合、50% に低下するところを基準にすると 10^3 時間くらいの短い時間で耐熱性を見当つけることができる。
- (D) AIEE や IEC の推す 1 kV 基準では、耐熱度の推定には 4×10^4 (4 年半) 時間程度の寿命をとればよい。

さらに各試験法でえた種々の寿命終点基準と物理量の低下率の関係などについても比較検討できるが、次の機

会にゆずり割愛することにした。

6. 結 言

以上、各種エナメル線についての三つの試験法による耐熱性検討の結果について述べ、考察したが、これらは基準となる物理量の終点、および寿命を適当に仮定し、それを基礎にしたものであり、あくまで比較的なもので、ここに示した耐熱度が、それらのエナメル線を用いた電気機器の耐熱度をそのまま示すことにならないことに注意しなければならない。エナメル線自体でも、皮膜厚の相違、導体条件のちがい (サイズ、導体表面条件など) などによって異なるし、ワニス処理、ワニス種類の影響なども考え合わせると、かなり異なった耐熱度になることは十分考えられる。

まだ現状では、このような促進劣化の方法で耐熱性を検討する以外に手段がないし、新たに、使用中の条件を加味した有効な寿命試験法 (モータレット試験が大部この趣旨にそってはいるが) が考案され、実用中に近い温度で試験されない限り、最終的には、実際のモータ試験に期待する以外にないので、電気機器設計の参考資料としてなんらかのプラスになれば幸甚である。

最後に後指導いただいた日立製作所絶縁物下館分工場河合部長、御鞭撻賜わった日立電線株式会社電線工場間瀬副部長、矢田主任に深謝する。

参 考 文 献

- (1) たとえば F. A. Sattler: *Communication & Electronics* 70 (Mar 1955)
J. F. Dexter: *EE* 75, 258 (Mar 1956)
- (2) 間瀬, 古賀: *日立評論 別冊* 21, 48 (昭 32-12)
- (3) F. A. Sattler, C. B. Leap: *Electrical Manufacturing* 56 (1) 120 (Jul. 1955)
- (4) C. J. Herman, K. N. Mathes: *Communication & Electronics* 561 (Nov. 1955)
- (5) たとえば P. L. Alger, K. N. Mathes: *Electrical Insulation Progress AIEE Conf-Paper* 55-562
- (6) E. L. Brancato: *Communication & Electronics* 202 (May 1953)
- (7) Otto Beel, Osker W Romm, Herman Luthardt: *ETZ. A* 77, Heft 22, 829 (1956)
- (8) 大橋, 西崎: *東芝レビュー* 10, (11) 1018 (昭 30-11)
- (9) J. R. Elliott, F. M. Boldebuck, W. F. Gilliam: *Communication & Electronics* No. 20 557 (Sept. 1955)
- (10) 間瀬: *電学誌* 73, 881 (昭 28-8)
- (11) F. A. Sattler: *Communication & Electronics* 70 (Mar. 1955)
- (12) 齊藤, 山中, 日野: *電学誌* 77, 1610 (昭 32-12)
- (13) Proposed Test procedure for Evaluation of the Thermal Stability of Enameled Wire AIEE Standard No. 57 (Oct. 1955)