

ポリエステル平角銅線

Polyester Rectangular Copper Wires

外 山 泰 久* 鈴 木 勇*
 Yasuhisa Toyama Isamu Suzuki
 植 木 忍** 古 賀 正 臣**
 Shinobu Ueki Masaomi Koga

内 容 梗 概

ポリエステルエナメル線塗料の塗装作業性、皮膜形成性と、塗料の粘度、表面張力の関係およびこれらに対する溶剤、二次樹脂の影響を検討した。その結果、平角線用としては塗料の表面張力が低いことと適当な粘度が必要であることがわかった。さらに、これらをもとにして塗装作業性のすぐれた平角線用ポリエステル塗料を製造した。

新しい塗料を用いたポリエステル平角銅線は皮膜の伸長性、絶縁破壊電圧、耐熱軟化性、耐熱劣化性、耐溶剤性、および耐薬品性の諸特性においてすぐれた成績を示し、さらに耐熱寿命試験の結果はホルマール平角銅線よりも大体 45°C 高い耐熱性を示した。

また、ポリエステル平角銅線は二重綿巻線に比べて 10~30% 占積率が良好である。

1. 緒 言

平角エナメル線は占積率がすぐれているため二重綿巻線に代わって用いられており、年々需要が増加している。従来この種のマグネットワイヤとしてはホルマール平角銅線、ポリウレタン平角銅線が用いられていたが最近ではポリエステル平角銅線に代わる傾向にある。

テレフタレートポリエステル樹脂を被覆したエナメル線すなわちポリエステルエナメル線は周知のとおり耐熱性がすぐれており、すでに数年の実績がある。さらにポリエステル樹脂に関しては各種の特色ある組成が発表されている。

テレフタレートポリエステルのすぐれた耐熱性を生かして占積率の良好な平角エナメル線を製造することは当然考えられていた。しかし、テレフタレートポリエステルの場合、ホルマール平角銅線の場合に比べて作業性が劣るためポリエステル平角銅線の工業化は普通の丸エナメル線に比べて遅れた。すなわち、ホルマール平角銅線の場合では丸エナメル線の塗料がそのままでも使用できるが、従来のポリエステル塗料は塗装作業性、皮膜形成性が劣るため平角エナメル線には使用できない。

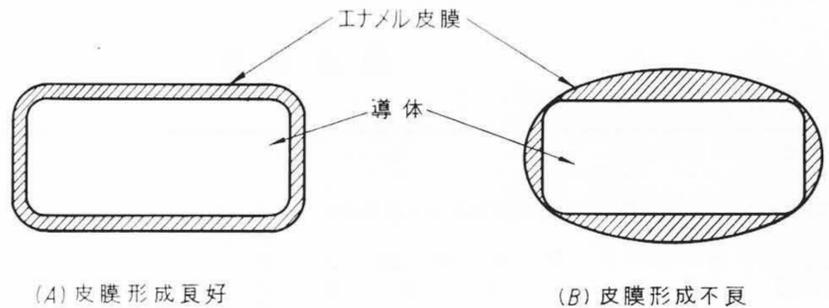
筆者らはポリエステルエナメル線塗料の塗装作業性、皮膜形成性の関連を検討した。

以下、ポリエステルエナメル線塗料の平角線塗装における塗装作業性、皮膜形成性に関する実験結果を報告し、あわせてポリエステル平角銅線の諸特性を紹介する。

2. エナメル線塗料の粘度および表面張力と塗装作業性

丸線用のホルマール塗料は平角線にも塗装できるが、一般に丸線に使われているポリエステル塗料では平角線の塗装はできない。すなわち、塗料が角の部分に付かないで平面部に集まってしまう傾向があり、エナメル線の断面は第1図(B)のようになる。

エナメル線の製造においては、塗装する合成樹脂などの材料の選択、すなわち、エナメル線としての諸性能のすぐれたものであることはもちろんであるが、エナメル線は皮膜が薄いだけに均一かつ適切に塗布焼付けできることがたいせつである。均一な皮膜をうるた



第1図 平角エナメル線の断面

第1表 エナメル線塗料の性状

塗 料	樹 脂 分 ⁽¹⁾ (%)	粘 度 (CP)	表 面 張 力 (dyne/cm)
ポリエステル塗料(A)	40	2,640	43
ポリエステル塗料(B)	40	6,130	44
ホルマール塗料(A)	16	1,780	34
ホルマール塗料(B)	18	5,130	35

注. (1) 公称値 測定温度 30°C

めには塗料の物理的性状およびその温度特性、塗料のしぼり方式、導体の表面条件、焼付炉の温度および温度分布ならびに焼付速度など種々の条件を検討する必要があるが、今回はポリエステルエナメル線の塗料に関して塗料の物理的性状、とくに粘度、表面張力と塗装作業性の関連を検討することにした。

丸線については間瀬氏⁽¹⁾により基礎的考察が行なわれており、銅との接触角、表面張力の測定結果から、エナメル線塗料としては銅との接触角が小さく、表面張力が大きいものが塗装作業性がよいと報告されている。

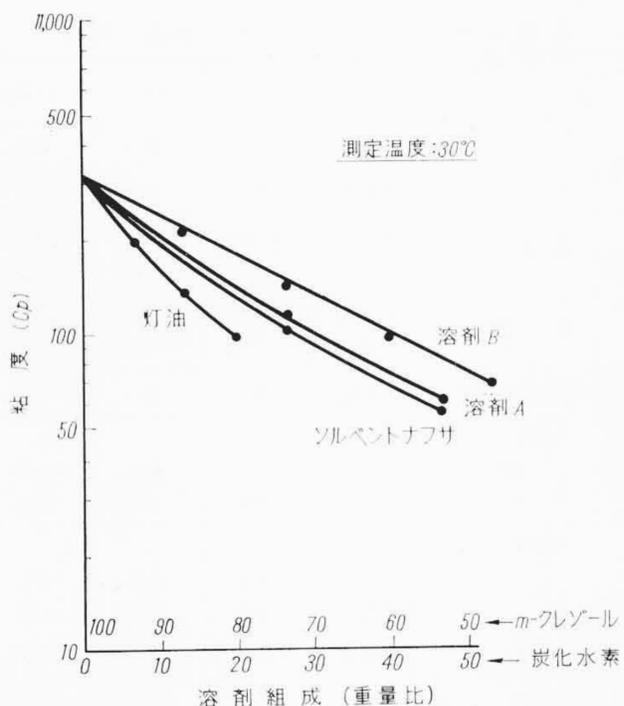
エナメル線塗料の性状と塗装作業性の関連を検討するために、二、三のポリエステル塗料およびホルマール塗料の粘度および表面張力を測定した。結果の一例を第1表に示す。なお、粘度はB形粘度計、表面張力は du Nuy の表面張力計を用いて 30°C で測定したものである。

この表からホルマール塗料は樹脂分、粘度に関係なくポリエステル塗料よりも低い表面張力を示している。エナメル線の塗装性は表面張力だけで決らないが、この結果からは丸線の場合はホルマール塗料よりもポリエステル塗料の方がよいといえる。平角エナメル線の場合、皮膜形成、塗装作業性のよいということは塗料の広がりがいよいことであり、そのためには塗料の表面張力が小さい方がよいと考えられる。したがって丸線の場合と逆になる。

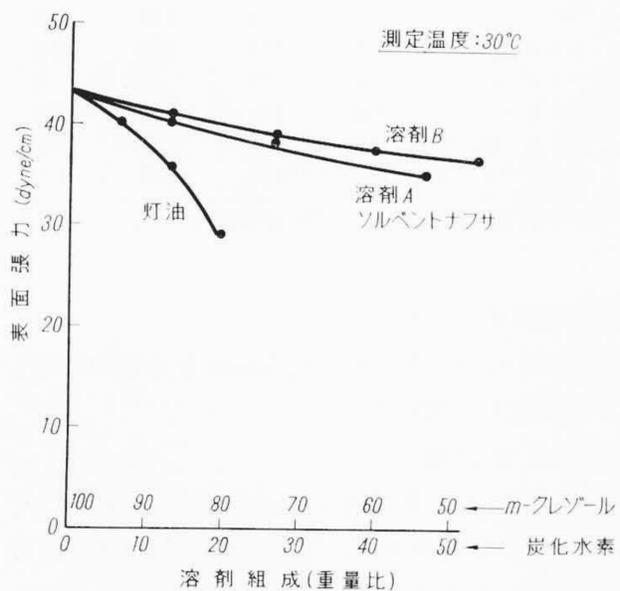
塗料の粘度や表面張力などの性質はその塗料を構成している樹脂

* 日立電線株式会社日高工場

** 日立電線株式会社電線工場



第2図 ポリエステル塗料の粘度と溶剤組成



第3図 ポリエステル塗料の表面張力と溶剤組成

と溶剤の両方によって左右される。どちらが大きく影響するかはそれぞれの場合によって異なるが、この場合、ポリエステル塗料の平角エナメル線塗装作業性をよくするためには塗料の表面張力をほぼホルマール塗料の値まで下げることが必要と考える。

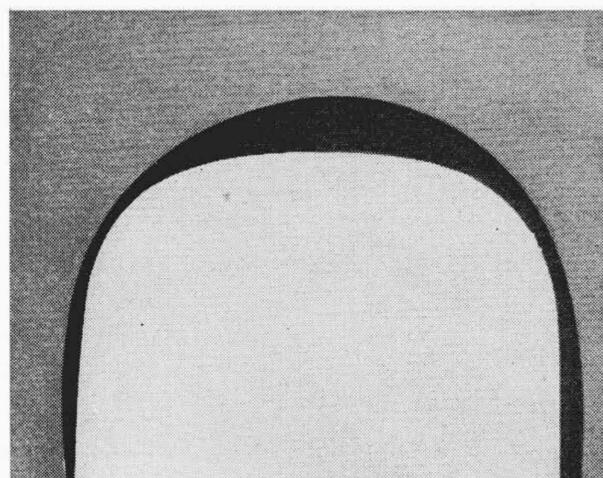
エナメル線の塗料には多くの場合溶剤としてクレゾールあるいは同類の溶剤を使用している。これはエナメル線用樹脂の溶解性、塗料の安定性および焼付温度に関係している。これらの塗料については単独の溶剤よりも混合溶剤を使用した方が作業性がよいことは一般に知られている。そこで、ポリエステル塗料について混合溶剤使用による粘度、表面張力などの塗料の性状の変化および平角エナメル線の塗装作業性に対する影響を検討した。塗料はポリエステル樹脂をm-クレゾールに溶解して樹脂分40%にしたものをベースとして、これをソルベントナフサおよび、市販の芳香族系炭化水素溶剤で希釈した。結果は第2, 3図に示すとおりで、塗料の溶剤組成中芳香族炭化水素分の多いほど、粘度、表面張力ともに低い。図中の溶剤A, Bはいずれも芳香族系炭化水素を主成分としたものである。同じ25%樹脂分の塗料にしてもクレゾールだけで希釈したものは表面張力がもとの40%樹脂分の塗料と変わらないが、クレゾールを芳香族炭化水素でおきかえてゆくにしたがい表面張力の変化は顕著である。なお、灯油は芳香族炭化水素よりもさらに粘度、表面張力の低下が著しいが、20%以上は混合しない。

一方、粘度は表面張力と違って、クレゾール単独でも25%樹脂分に希釈すると、もとの塗料の約10分の1である。すなわち、単

第2表 試作塗料の性状と試作ポリエステル平角銅線の特性

塗料の性状	樹脂分	25%
	粘度	77 CP
	表面張力	33 dyne/cm
試作ポリエステル平角銅線	導体寸法	1.8×2.4mm
	皮膜の伸長性	0/5
	常態30%伸長 160°C-6時間加熱後 15%伸長	0/5
の特性	破壊電圧(V)	
	水銀法	平均 210 σ 56
	金属ハク法	平均 1,300 σ 590

注. (1) 表中の分母は試料数, 分子はき裂発生試料数を示す。
(2) 粘度, 表面張力は30°Cで測定したものである。



第4図 ポリエステル平角銅線の断面(I)

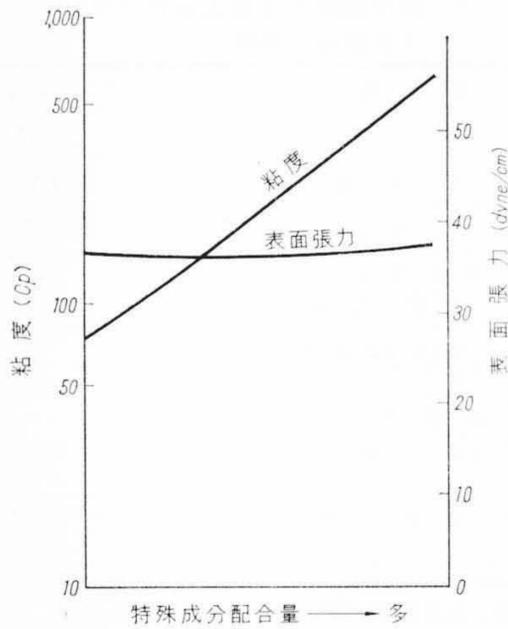
に希釈するだけでもかなり低下するが、クレゾールを芳香族炭化水素で置換してゆくとさらに大きい粘度の低下が示される。

前記の実験結果をもとにして、丸線用ポリエステル塗料を芳香族炭化水素溶剤で希釈した塗料を用いてポリエステル平角銅線を試作した。塗料の性状およびポリエステル平角銅線の特性の一部を第2表に示した。ポリエステル平角銅線の試験法については後述する。試作塗料の性状と皮膜形成状態を検討するために試作ポリエステル平角銅線の断面写真を第4図に示す。

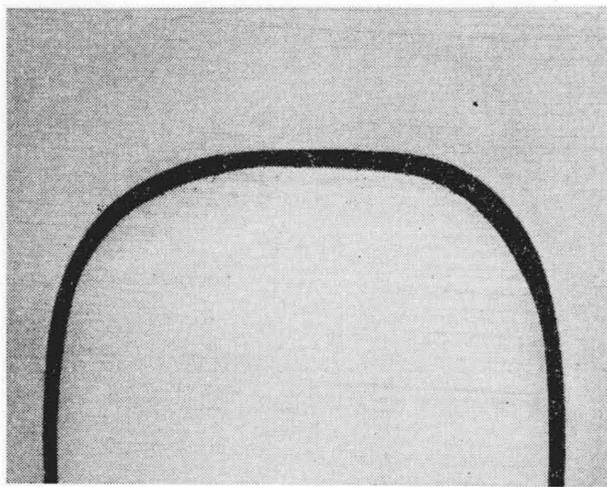
この写真からわかるように角部の皮膜が平面部に比べて薄くなっている。そのため第2表に示すように破壊電圧が低いものと考えられる。これらの結果と試作塗料との関連、すなわち、塗料の表面張力がホルマールなみに低いにもかかわらず皮膜形成がよくない(角部の皮膜が薄い)原因は粘度が低すぎるためではないかと考えられる。すなわち、普通丸線用に使われているポリエステル塗料を芳香族炭化水素で希釈することは表面張力を下げるが粘度が低くなりすぎて平角線の塗装作業には適当でないようである。

筆者らは、今まで述べたようにポリエステル塗料の溶剤組成を変えて平角線の塗装作業性、皮膜形成性を検討したが、表面張力と粘度の両方を適度の値に保つためにはポリエステル樹脂の組成そのものも検討する必要がある。周知のようにエナメル線用のポリエステル樹脂はテレフタル酸などの二塩基酸とグリセリン、トリメチロールプロパンなどの多価アルコールから合成されるが、それぞれの材料の選択、配合割合によって得られるポリエステル樹脂の溶液粘度を変えることはできる。ただし、ここでポリエステル樹脂の組成、配合については、上記のとおり表面張力が低い値であることのほかに、ポリエステル樹脂の耐熱性をはじめ諸特性が低下しないことという条件がある。

このような条件のもとに筆者らはポリエステルの新しい配合を検



第 5 図 平角線用ポリエステル塗料の粘度および表面張力



第 6 図 ポリエステル平角銅線の断面(II)

討した。この塗料の一般的傾向を示すと第 5 図のとおりである。すなわち、この特殊成分の配合量が多いほど塗料の粘度は上がるが表面張力はほとんど変わらない。

以上、われわれの実験結果からは、平角エナメル線の塗装作業性、皮膜形成性に関しては、塗料の表面張力が低く、適当な粘度が必要であることがわかった。

3. ポリエステル平角銅線の諸特性

3.1 一般性能

このようにして製造した新しい塗料によるポリエステル平角銅線の断面写真の一例を示すと第 6 図のとおりで、各種導体寸法にわたり平面部、角部ともに皮膜形成は均一である。以下、ポリエステル平角銅線の諸特性を紹介するに当たり最初にポリエステル平角銅線の試験法について述べる。

(1) 伸長性試験

長さ約 30 cm の試料を常温で標点距離 20 cm で伸長して、皮膜のき裂発生を肉眼で検査する。

(2) エッジワイズ 1 倍径曲げ試験

試料を同一平面内にあるように保ちながら導体幅に等しい直径の丸棒に沿って左右のエッジワイズに 180 度曲げて皮膜のき裂発生を肉眼で検査する。

(3) 絶縁破壊電圧(金属ハク法)

長さ約 30 cm の試料に 50 mm 間隔の 4 個所の点にそれぞれ幅約 10 mm の金属ハクを表面に密着させるように巻き付けて電極とし、これと導体間で破壊電圧を測定する。

第 3 表 ポリエステル平角銅線の特性

特性	条件	導体寸法 (mm)			
		2.5×10.0	2.5×8.0	2.0×6.0	1.2×6.0
伸長性	35% 伸長	0/5	0/5	0/5	0/5
	エッジワイズ 1 倍径曲げ	0/5	0/5	0/5	0/5
絶縁破壊電圧 (V)	金属ハク法 { 平均 σ	6,300 1,220	7,200 680	7,900 530	6,800 860
	水銀法 { 平均 σ	3,500 730	3,800 800	4,200 640	3,800 330
耐熱軟化性	220°C-6時間(荷重 1.5 kg)	良	良	良	良
熱劣化後の伸長性	(160°C, 6時間加熱)				
	{ 10% 伸長 15% 伸長	0/5 2/5	0/5 0/5	0/5 0/5	0/5 0/5
耐熱衝撃性	(150°C, 2時間加熱)				
	伸長 { 10% 15%	0/5 5/5	0/5 4/5	0/5 4/5	0/5 3/5
	エッジワイズ曲げ { 6 倍径 5 〃 4 〃	0/5 4/5 5/5	0/5 4/5 5/5	0/5 3/5 4/5	0/5 3/5 4/5
耐溶剤薬品性	(50°C, 24h 浸漬)				
	エタノール	7 H	7 H	7 H	8 H
	ベンゼン	3 H	3 H	3 H	3 H
	トルオール・エタノール (1:1)	2 H	2 H	2 H	2 H
	ベンゼン・エタノール (1:1)	H	H	H	H
	ナフサ・エタノール (1:1)	3 H	3 H	2 H	3 H
硫酸 (S.G. 1.2)	9 H	9 H	9 H	9 H	
カ性ソーダ (1%)	9 H	9 H	9 H	9 H	

(注) 表中の分母は試料数、分子はき裂発生試料数を示す。

(4) 絶縁破壊電圧(水銀法)

長さ約 30 cm の試料をとり、約 20 cm を水銀中に浸して導体と水銀間で破壊電圧を測定する。

(5) 耐熱軟化試験

試料の幅の面に JIS B 1501 による直径 1.6 mm のよくみがいた鋼球で 1.5 kg の荷重を加え、これを恒温槽に入れて約 1 時間で 220°C に上昇し、ただちに導体と鋼球の間に交流 100 V の電圧を加え、6 時間保ったとき両極間に短絡を生じない場合を良とする。

(6) 耐熱劣化試験

長さ約 30 cm の試料を 160°C で 6 時間加熱し、試料の温度が常温にもどった後、標点距離 20 cm で伸長し皮膜のき裂を肉眼で検査する。

(7) 耐熱衝撃試験

試料を伸長するか、あるいはエッジワイズに曲げ(前記参照)した後 150°C の恒温槽に 2 時間入れ、試料をとり出して常温にもどったとき皮膜のき裂を肉眼で検査する。

(8) 耐薬品、耐溶剤試験

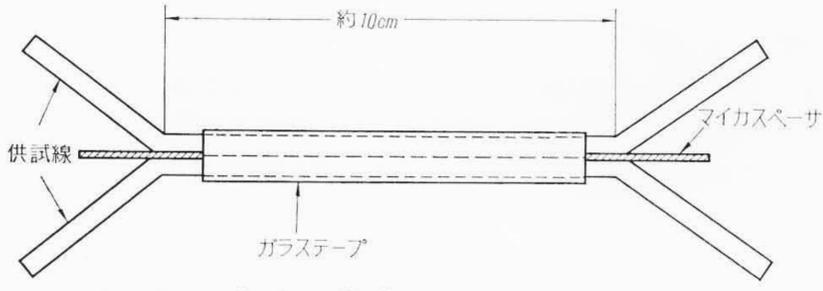
試料を 50°C の薬品(または溶剤)に 24 時間浸漬した後、皮膜(平面部)の鉛筆硬度を測定する。

ポリエステル平角銅線の各種性能は第 3 表に示すとおりで、皮膜はコイル巻作業に十分な伸びと強じんさを持ち、また、絶縁破壊電圧は水銀中でも 2 kV 以上で平角エナメル線に起こりがちな角部における不均一はほとんどない。JCS-243 (ホルマール平角銅線規格⁽²⁾) に準じた熱軟化試験では 220°C に耐え、耐熱劣化性(熱劣化後の伸長性)もホルマール線よりすぐれている。ただ、耐熱衝撃性はポリエステルエナメル線皮膜の本質的欠陥であり丸線の場合と同様に劣る。耐熱衝撃性は導体寸法が小さくなると幾分よくなり、またワニス処理によって第 4 表に示すように若干改善される。耐溶剤性では各種混合溶剤にも耐え、現在用いられている各種ワニスと組み合わせ問題を起こすことはない。

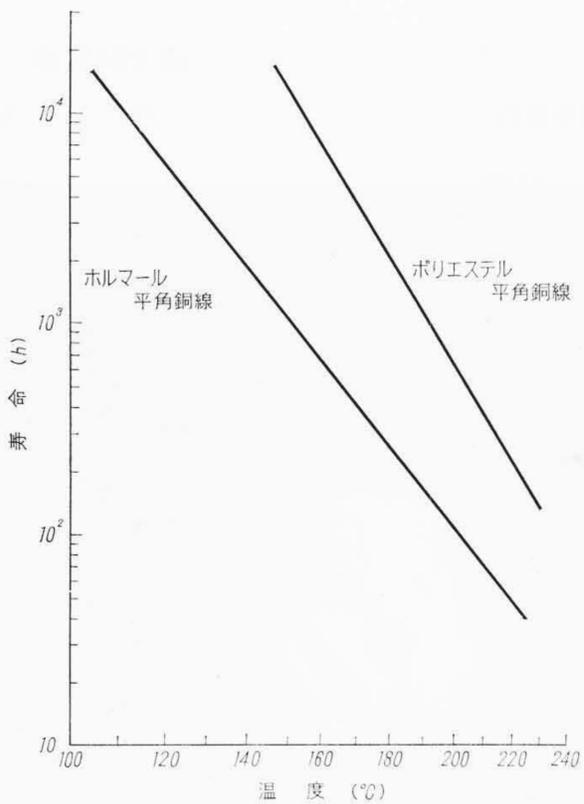
第4表 耐熱衝撃性とワニス処理の影響

ワニス処理	エッジワイズ曲げ倍径			
	3倍	4倍	5倍	6倍
無処理	5/5	5/5	3/5	0/5
W-2,300	5/5	3/5	0/5	0/5
W-2,800	5/5	4/5	0/5	0/5
PS-202	5/5	5/5	0/5	0/5

注. (1) 試料サイズ: 導体径 2.2×8.0mm
 (2) 耐熱衝撃試験条件: 150℃-1時間加熱
 (3) 表中分母は試料数, 分子はき裂発生試料数を示す。



第7図 耐熱寿命試験試料



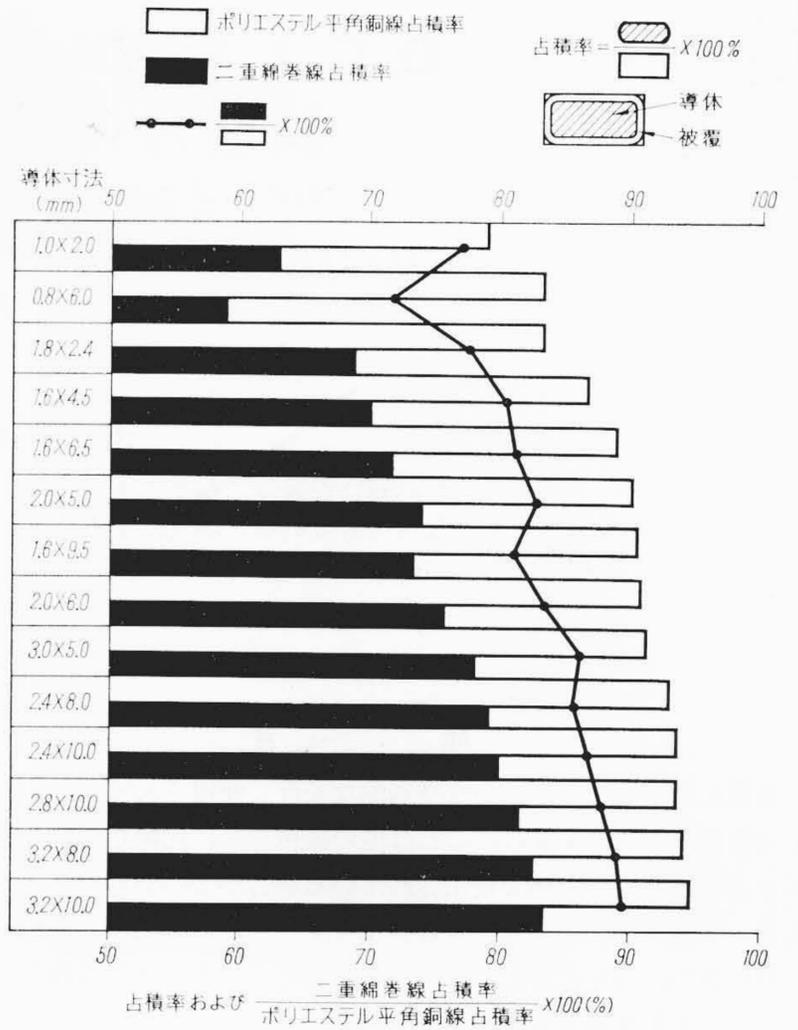
第8図 耐熱寿命

3.2 耐熱寿命

平角エナメル線の耐熱寿命の評価法はまだ確立されていないが、筆者らは第7図に示す試料についてポリエステル平角銅線の耐熱寿命試験を行なった。すなわち、加熱、振動(振幅 1mm, 振動数 2,100, 1時間), 吸湿(40℃, 90% RH, 3日)のサイクルをくり返し、導体間で 2kV の電圧チェックで破壊するまでの平均寿命を求めた。結果は第8図に示すとおりで、ホルマール平角銅線はA種に、ポリエステル平角銅線は(寿命 20,000時間を基準とする)B種以上に使用できる。

3.3 占積率

電気機器の小形化と特性向上のため新しい合成樹脂エナメル線の需要が飛躍的に増加していることは周知のとおりである。ここで、



第9図 ポリエステル平角銅線と二重綿巻線の占積率の比較

ポリエステル平角銅線の占積率を二重綿巻線と比較すると、第9図に示すように導体寸法の大きいもので約10%、小さいものでは約30%程度二重綿巻線に比べて占積率が向上している。

4. 結 言

ポリエステルエナメル線塗料の塗装作業性、皮膜形成性と粘度、表面張力の関係およびこれらに対する塗料の溶剤組成、二次樹脂添加の影響を検討した。

その結果、平角線用としては塗料の表面張力が低いことと、適度の粘度が必要であることがわかり、これらをもとにして塗装作業性、皮膜形成性のすぐれたポリエステル平角銅線用塗料を製造した。

新しい塗料を用いたポリエステル平角銅線は、皮膜の伸長性、絶縁破壊電圧、耐熱軟化性、耐熱劣化性、耐溶剤および耐薬品性の諸特性においてすぐれた成績を示し、さらに耐熱寿命試験の結果は寿命 20,000時間を基準とするB種に十分使用できる。

また、ポリエステル平角銅線は二重綿巻線に比べ 10~30% 占積率が良好である。

終わりにあたり、ご指導、ご協力いただいた日立電線株式会社関係各位にお礼申しあげる。

参 考 文 献

- (1) 間瀬, 柿崎, 日立評論 別冊 9, 83 (昭30-3)
- (2) 電線工業会標準規格 JCS 第243号 (1959)