

難燃性ポリウレタンエナメル線の諸特性

Properties of Flame-Retardant Poly-Urethane Enameled Wire

鈴木 勇*
Isamu Suzuki

The safety standard for electric apparatuses, especially that for flame resistance, is gaining importance increasingly of late. With this tendency in mind Hitachi has developed two types of flame retardant polyurethane enamelled wires, which, while featuring high flame retardant property, show good soldering property. This article describes various characteristics of these new wires.

1. 緒 言

現代はプラスチックの時代ともいわれ、多種、多様のプラスチックが大量に生産されている。プラスチックは電気機器において不可欠の絶縁材料となっているが、これらのプラスチックは組成上炭素原子と水素原子を骨格とする高分子材料であるため、本質的に可燃性物質である。

1969年、アメリカにおいて消費者保護を目的としてN.C.P.S. (National Commission on Product Safety) が設立され、当時、アメリカでは普及し始めたカラーテレビによる火災事故が多発して社会問題化していた。このためN.C.P.S.はEIA (Electronics Industries Association) にその自主規制に対し提案を求めた。同年11月、EIAよりの答申を受けたN.C.P.S.は、その技術的検討を民間のTracore社に依頼した。同社はEIAの答申案を最新の工業水準と諸規格より検討し、Tracore Documentを発表した⁽¹⁾。ULはこのTracore Documentを基礎にして、翌1970年11月、ラジオ、テレビの火災安全に関するUL-Subject 492の改正案を決定した⁽²⁾。

このようなアメリカ国内の動きに刺激され、わが国でも電気機器の安全基準、特に、火災安全性が重要視されるようになってきた。かくて昭和47年3月、日本政府はテレビ用フライバックストランスおよび偏向ヨークの耐燃焼性を規定した⁽³⁾。

本報告はこのような点にたって、エナメル線の耐燃焼性について述べた後、新たに開発した2種の難燃性ポリウレタンエナメル線の諸特性について述べたものである。

2. ポリウレタンエナメル線の耐燃焼性

Tracore DocumentではASTM-D-635によりポリイミドエナメル線をSE-1クラスに、ポリウレタンエナメル線をSlow Burnクラスに区分している⁽¹⁾。そして、難燃テレビ用エナメル線はポリイミドエナメル線、もしくはその代用としてポリテトラフルオロエチレンエナメル線が適当であると推奨している。

表1は、これら二者を含めた代表的エナメル線の耐燃焼性を比較したものである。なお、試験方法は次のとおりである。

(1) 直炎着火燃焼性

供試エナメル線を直径10mm、長さ100mmの二層巻円筒コイルとしてから、コイル全体を2倍に伸長し、水平面に対し60度の角度で固定した。それから下端2cmの部分をつンゼンバーナで30秒間着火させ、バーナを取り去った後の燃焼時間を測定した。

(2) 通電焼損性

まず、供試エナメル線を2本採取し、直径2mmにパラ巻きし

た円筒コイルとした。試験はおのこの2線に20A 20秒ON、10秒OFFを1サイクルとする繰り返しの通電を行なったとき、2線間が200V 10mAで焼損短絡するまでのサイクル数で示した。

図1は供試コイルの形状を示したものである。

(3) 短時間熱分解性

エナメル線を塗膜量として0.5gとなるような長さに採取してから25φコイルとした。試験は、そのコイルを500°Cで10分間加熱した後、その重量変化を測定し計算によりその減量率(%)を求めた。

表1から明らかなように、ポリイミドエナメル線、ポリアミドイミドエナメル線の二者は、自己消炎性、耐通電焼損性、耐短時間熱分解性がいずれも良好で、すぐれた耐燃焼性を発揮することがわかる。ポリエステルイミドエナメル線は、これら二者に次いで良好な耐燃焼性を発揮する。これに対してホルマール線、ポリエステルエナメル線、ポリウレタンエナメル線の三者は、自己消炎性および耐通電焼損性ならびに耐短時間熱分解性が、いずれも劣ることがわかる。

したがって、電気機器の難燃化はポリイミドエナメル線、ポリアミドイミドエナメル線あるいはポリエステルイミドエナメル線のような、耐熱性エナメル線を用いることにより可能なことがわかる⁽⁴⁾。しかしながら、多くの汎用電気機器のマグネットワイヤはコストの関係などで、耐燃焼性が比較的劣るホルマール線、ポリウレタンエナメル線、あるいはポリエステルエナメル線を用いているのが実状である。

表1 代表的6種のエナメル線の耐燃焼性試験結果(導体径0.5φ)

試験 エナメル線名	直炎着火燃焼 試験 (燃焼時間, 秒)	通電焼損試験 (焼損までの サイクル数)	短時間熱分解試験 (500°C10分, 減量%)
ホルマール線	64 (全 焼)	2	75
ポリウレタンエナメル線	59 (全 焼)	2	61
ポリエステルエナメル線	50 (ほぼ全焼)	5	88
ポリエステルイミドエナメル線	5	52	49
ポリアミドイミドエナメル線	3	450	3
ポリイミドエナメル線	1 >	2,000 <	2

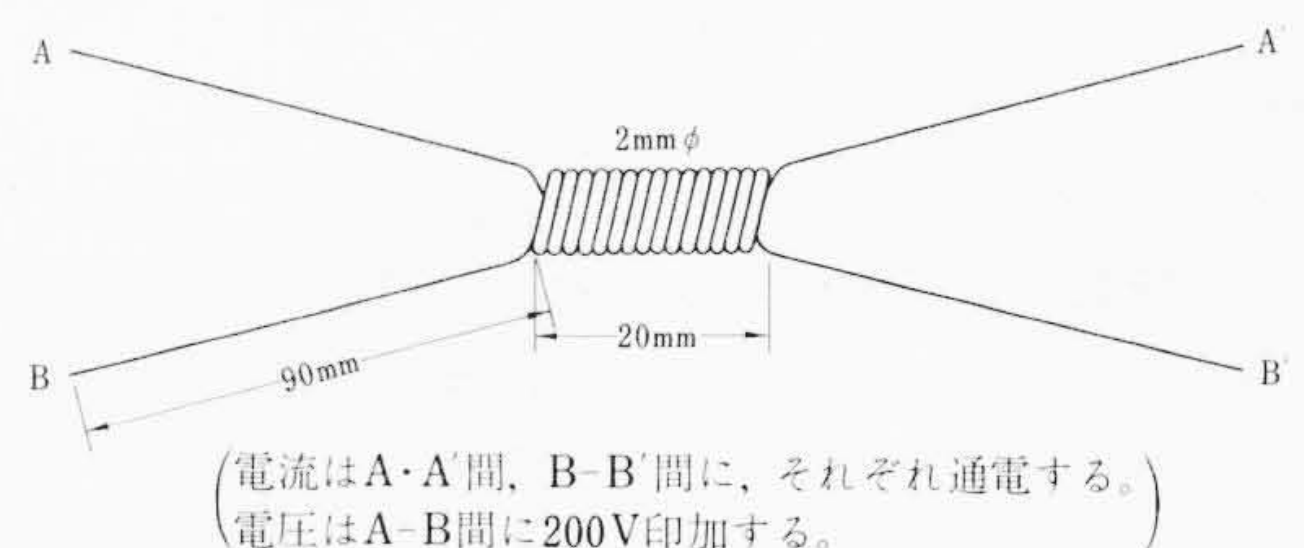


図1 エナメル線の通電焼損試験に用いたパラ巻きコイルの形状

* 日立電線株式会社電線工場

3. 難燃性ポリウレタンエナメル線用塗料の開発

ポリウレタンエナメル線用塗料は、アジピン酸系飽和ポリエステルのようなポリオール成分と安定化ポリイソシアネートを主成分とし、それらにポリアミド樹脂、エポキシ樹脂、ポリビニルホルマール樹脂などを適量配合したものである。ポリウレタンエナメル線用塗料は粘度が低く、しかも熱硬化速度が速いため細サイズのエナメル線用塗料として望ましい性質を有している。この塗料を高温で焼き付けるとポリウレタンを生成するが、生成したウレタン結合は高温において解離する性質があるため、ポリウレタンエナメル線は塗膜をはく離することなくはんだ揚げができる性質、すなわちロウ着性を有している⁽⁵⁾。このようなポリウレタンエナメル線は、家電製品や電子機器用マグネットワイヤとして、多量に用いられている。

そこで、われわれは低コストでロウ着性があり、しかもポリエステルイミドエナメル線並みの耐燃焼性を有する難燃性ポリウレタンエナメル線を開発することにした。

ポリウレタン樹脂の難燃化にはポリオール成分か安定化ポリイソシアネートのいずれかに、反応性難燃素材を組み合わせるか、反応性のない難燃剤を物理的にブレンドする方法がとられる⁽⁶⁾。難燃性ポリウレタンフォームには主としてブレンド法が用いられているが⁽⁷⁾⁽⁸⁾、難燃性コーティング組成物には塗料の安定性と塗装作業性の関係で、反応性難燃素材を組み合わせる方法が用いられている⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。

われわれは、ポリウレタンエナメル線塗料の低粘度、高速塗布焼付性を保持したまま特殊な難燃性反応素材を組み合わせることにより、タイプV難燃性ポリウレタンエナメル線塗料を開発した。さらに、難燃剤を組み合わせることなく耐熱性ポリウレタンを主成分としたタイプVIII難燃性ポリウレタンエナメル線用塗料についても検討した。

4. 難燃性ポリウレタンエナメル線の諸特性

ここでは、タイプV難燃性ポリウレタンエナメル線用塗料とタイプVIII難燃性ポリウレタンエナメル線用塗料を、それぞれ0.5φの銅線上に塗布焼き付けしてタイプV難燃性ポリウレタンエナメル線（以下タイプV-FR-UEWと略称する）とタイプVIII難燃性ポリウレタンエナメル線（以下タイプVIII-FR-UEWと略称する）を作製した。以下にこれらの特性試験結果を示す。なお、特性試験はJIS C 3003に準じて行なわれた。

4.1 寸法およびピンホール試験

表2はこれらの難燃性ポリウレタンエナメル線の寸法、外観、およびピンホール試験結果を示したものである。

表2から明らかなように、2種のFR-UEWの外観、ピンホール特性は一般用UEWと同等である。

4.2 巻付特性、ねん回はく離特性、往復摩耗特性

表3は、これらのエナメル線の機械的特性試験結果を示したものである。表3からわかるように、タイプV-FR-UEWはねん回はく離性が一般用UEWより若干良好である。これに対して、タイプVIII-FR-UEWは往復摩耗特性が一般用UEWよりわずかに良好である。

4.3 耐熱性

エナメル線の耐熱性評価法としては、Currin-Dexterの実験を基礎にしたIEEE No.57耐熱寿命試験とASTM-D-2307耐熱寿命試験の二つが最も権威があり、しかも正確、簡便、経済的であり、かつモータの実用寿命データと相関性を持つ試験法とされている⁽¹¹⁾⁽¹²⁾⁽¹³⁾。しかし、これらは約1年有余の試験時間を要するため、ここでは170℃6h劣化後の巻付試験、170℃熱劣化した場合の塗膜

表2 難燃性ポリウレタンエナメル線の寸法、外観、ピンホール試験結果

試験 エナメル線名	寸法 (mm)			外観	ピンホール試験 (個数/5m)
	導体径	皮膜厚	仕上径		
タイプV難燃性ポリウレタンエナメル線	0.500	0.022	0.544	良好	0
タイプVIII難燃性ポリウレタンエナメル線	"	0.023	0.545	"	"
一般用ポリウレタンエナメル線	0.500	0.022	0.544	良好	0

表3 難燃性ポリウレタンエナメル線の常態巻付、ねん回はく離、往復摩耗試験結果

試験 エナメル線名	常態巻付試験*					ねん回はく離 試験 (l=20cm, 回)	往復摩耗試験 (Wt=340g, 回)
	×1	×2	×3	×4	×5		
タイプV難燃性ポリウレタンエナメル線	0	0	0	0	0	161	38
タイプVIII難燃性ポリウレタンエナメル線	"	"	"	"	"	156	34
一般用ポリウレタンエナメル線	0	0	0	0	0	154	29

* 導体径の1～5倍径に巻き付けた10回巻きコイル5個中のき裂の発生したコイル数で示す。

表4 難燃性ポリウレタンエナメル線の熱劣化後の巻付、耐熱軟化、短絡温度試験結果

試験 エナメル線名	170℃6h熱劣化* 後の巻付試験					耐熱軟化試験 (160℃6h)	短絡温度試験 (Wt=1kg, °C)
	×1	×2	×3	×4	×5		
タイプV難燃性ポリウレタンエナメル線	1	0	0	0	0	合格	208
タイプVIII難燃性ポリウレタンエナメル線	0	"	"	"	"	"	262
一般用ポリウレタンエナメル線	0	0	0	0	0	合格	221

* エナメル線を170℃6h熱劣化してから常温に取り出し、導体径の1～5倍に巻き付けた10回巻きコイル5個をそれぞれ作製する。結果は、き裂の発生したコイル数で示す。

重量変化と絶縁破壊電圧の変化、耐熱軟化試験、短絡温度試験などより評価した。表4は、170℃6h熱劣化後の巻付試験耐熱軟化試験および短絡温度試験を、図2は、170℃熱劣化したエナメル線コイルの塗膜重量変化を、図3は170℃熱劣化したエナメル線対よりの絶縁破壊電圧の変化をそれぞれ示したものである。

表4、図2および図3から明らかなように、タイプV-FR-UEWは一般用UEWよりやや耐熱性が劣るのに対し、タイプVIII-FR-UEWは一般用UEWより良好な耐熱性を有している。

4.4 耐アルカリ性、耐溶剤性、ロウ着性

表5は、これらのエナメル線の耐アルカリ性、耐溶剤性、ロウ着性の試験結果を示したものである。

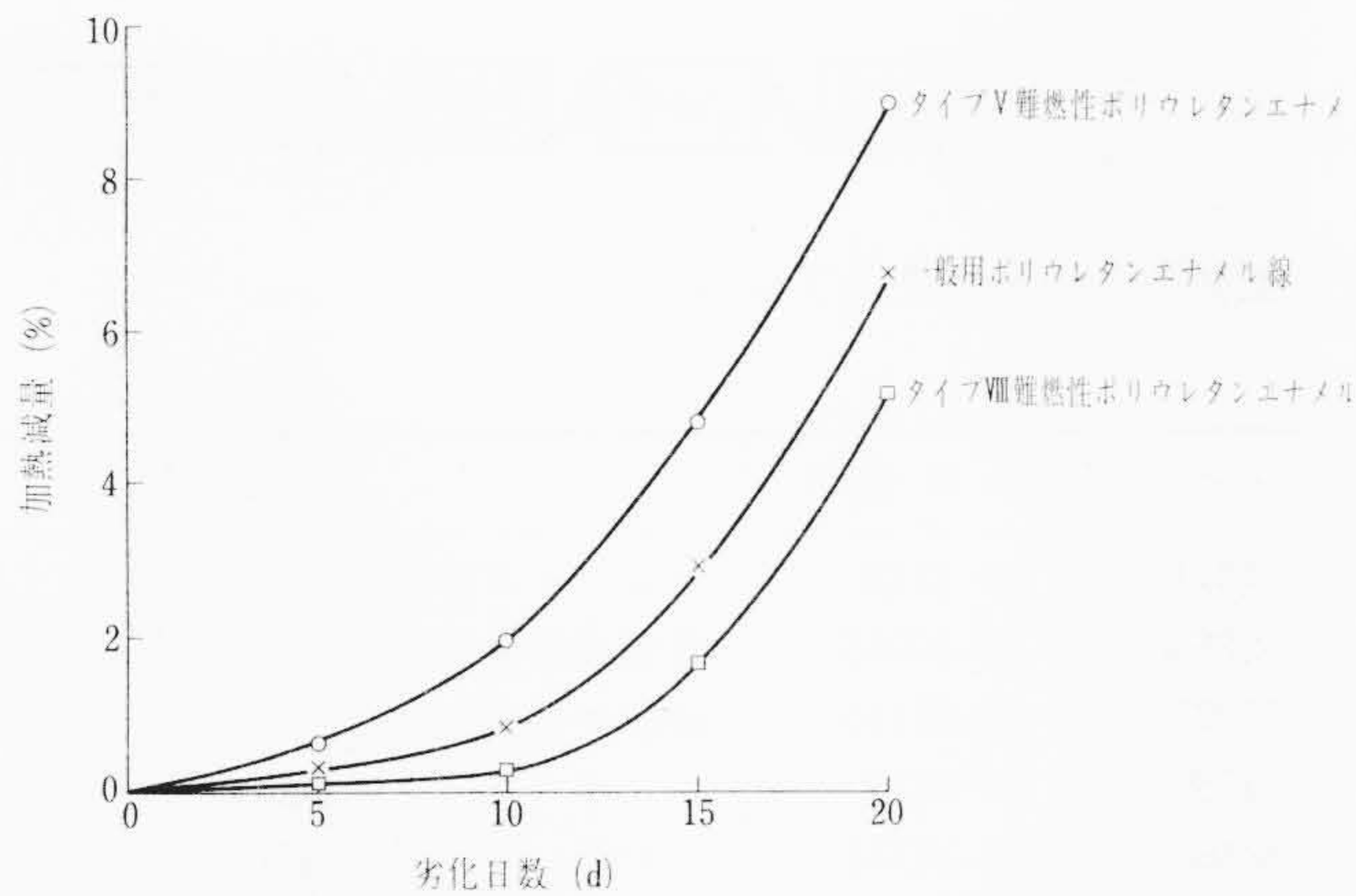
表5からわかるように、タイプV-FR-UEW、タイプVIII-FR-UEWの耐アルカリ性、耐溶剤性は、一般用UEWとほぼ同等である。

タイプV-FR-UEWのロウ着性は一般用UEWより良好である。これは配合されている難燃素材が比較的低い温度で難燃性ガスとなり、ポリウレタンの酸化劣化を防ぐとともにポリウレタンのフラックス作用を助長するためと考えられる。これに対し、タイプVIII-FR-UEWは耐熱性ポリウレタンを主成分とするため、そのロウ着性は一般用UEWより劣る。

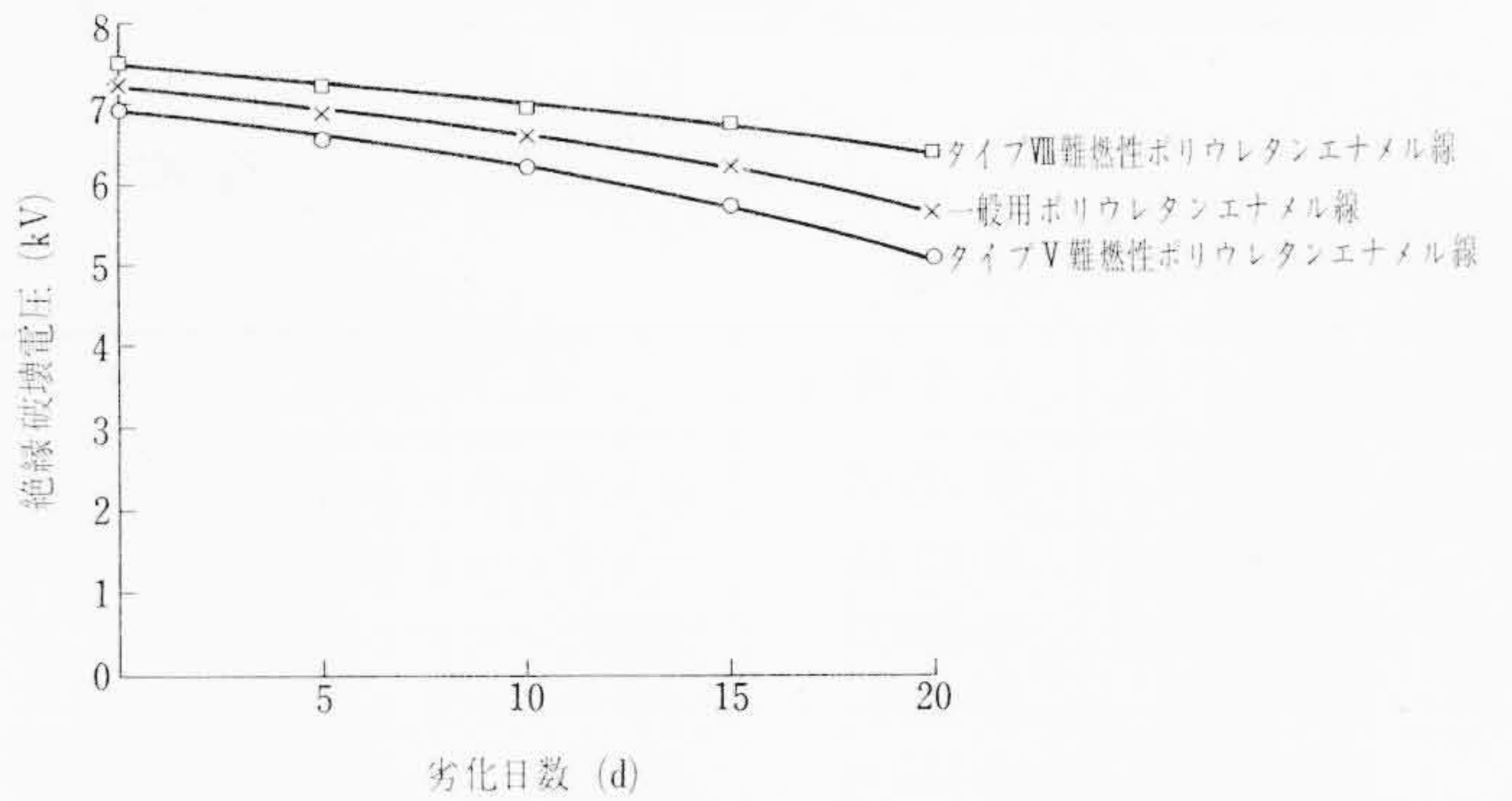
4.5 耐燃焼性

表6は直炎着火燃焼試験および通電焼損試験ならびに短時間熱分解試験により、タイプV-FR-UEWおよびタイプVIII-FR-UEWの耐燃焼性を評価したものである。

表1および表6からわかるように、タイプV-FR-UEWはポリ



第2 170°Cで熱劣化した難燃性ポリウレタンエナメル線コイルの加熱減量特性



第3 170°Cで熱劣化したエナメル線付よりの絶縁破壊電圧変化

表5 難燃性ポリウレタンエナメル線の耐アルカリ、耐溶剤、ロウ着試験結果

試験 エナメル線名	耐アルカリ・耐溶剤性 (常温24h, 鉛筆硬度)試験				ロウ着性試験 (ロウ着時間, s)			
	常 態	10%カセ イソーダ	ベンゼン	エタノール	at 320°C	at 340°C	at 360°C	at 380°C
タイプV難燃性ポリウレタンエナメル線	4 H	4 H	4 H	4 H	18	9	3	2
タイプVIII難燃性ポリウレタンエナメル線	5 H	5 H	5 H	5 H	190	60	25	6
一般用ポリウレタンエナメル線	5 H	4 H	5 H	4 H	34	14	6	3

* ロウ着性試験は、指定した温度の鉛—スズ50：50合金はんだ中へ直線状エナメル線は約10mm浸せきし、エナメル線のロウ着可能時間を求めたものである。

表6 難燃性ポリウレタンエナメル線の耐燃焼性試験結果

試験 エナメル線名	直炎着火燃焼試験 (燃焼時間, 秒)	通電焼損試験 (焼損までの サイクル数)	短時間熱分解試験 (500°C10min, 減量%)
タイプV難燃性ポリ ウレタンエナメル線	2	2	75
タイプVIII難燃性ポリ ウレタンエナメル線	11	14	31

アミドイミドエナメル線並みの自己消炎性を有し、しかも耐通電焼損性および耐短時間熱分解性は一般用UEWとほぼ同等である。これに対し、タイプVIII-FR-UEWは耐通電焼損性および耐短時間熱分解性は一般用UEWより良好で、しかもその自己消炎性はポリエステルイミドエナメル線並みの値を発揮することがわかる。

5. 結 言

代表的6種のエナメル線の耐燃焼性を比較した後、日立電線株式会社で新たに開発した2種の難燃性ポリウレタンエナメル線の諸特性について検討した。得られた結論をまとめると次のとおりである。

- (1) 市販されている代表的エナメル線のなかで最もすぐれた耐燃焼性を示したエナメル線は、ポリイミドエナメル線である。次いですぐれた耐燃焼性を示したエナメル線は、ポリアミドイミドエナメル線である。
- (2) ポリエステルイミドエナメル線は、ポリアミドイミドエナメル線に次いで良好な耐燃焼性を有している。
- (3) 新たに開発したタイプV難燃性ポリウレタンエナメル線は、ポリアミドイミドエナメル線並みの耐燃性を有し、しかも一般特性においても通常のポリウレタンエナメル線とほぼ同等な特性を保持している。
- (4) 同じくタイプVIII難燃性ポリウレタンエナメル線は、ポリエステルイミドエナメル線並の耐燃性を有している。

なお、日立電線株式会社ではポリイミドエナメル線のイメージワイヤ、変性ポリイミドエナメル線のイメージスーパー線、ポリアミドイミドエナメル線のアイメック線、ポリエステルイミドエ

ナメル線のアロメスターワイヤをそれぞれ市販している。

終わりに臨み、本研究を進めるにあたり、ご指導を賜った日立電線株式会社間瀬開発本部長ならびに荻野、古賀の両部長に対し深謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) Tracore, Inc : Tracore Document Number 69-1015-U (1969) 「—Final Report—Evaluation of Standards Applicable to Television Fire Hazards」
- (2) Underwriter's Laboratories, Inc : Subject 492 (Nov 20, 1970) 「Proposed Revisions of the Standard for Radio and Television Receiving Appliances」
- (3) 日本政府：官報13560号 (大蔵省印刷局47.3.7) 「電気用品の技術上の基準を決める省令の一部を改正する省令」
- (4) 鈴木(勇), 飛田：電気学会絶縁材料研究会資料IM-72-22 (電気学会1972-6) 「エナメル線の難燃性」
- (5) Insulation 3 (8) 39~43 (Ang 1957) 「Isocyanate Based Insulations」
- (6) Modern Plastics 47 (10) 68~71 (Oct 1971) 「Flame-Retardant Urethane」
- (7) 佐久間：工業材料 18 (2) 34~38, 43 (1970) 「難燃剤の選択と混入率—ポリウレタン—」
- (8) 多田, 藤井：高分子加工 20 (9) 21~24 (1971) 「ポリウレタンの難燃加工」
- (9) Atlas Chemical Industries : アメリカ特許3,639,294号 「Flame-Retardant Poly-Urethane Coating Compositions」
- (10) Textron Industries : アメリカ特許3,525,708号 「Flame-Retardant Poly-Urethane Coating Compositions」
- (11) C.G. Cursin, J.F. Dexter : AIEE Special Publication S-61 (June 1954) 「A method for Evaluation of Thermal Stability of Enameled Magnet Wire」
- (12) AIEE; AIEE No.57 (Jan 1959) 「Test Procedure for Evaluation of the Thermal Stability Enameled Wire in Air」
- (13) ASTM; ASTM-D 2307-64T (1964) 「Tentative Method of Test for Relative Thermal Endurance of Film-Insulated Round Magnet Wire」