

表2 一般特性試験結果

エナメル線名	寸法 (mm)		ピンホール (個数/5m)	常態巻付*			ねん回ハク離 ($l=20\text{cm}$, 回)	往復摩耗 ($Wt=0.6$ kg. 回)	破壊電圧 (対より, kV)
	導体径	皮膜厚		X1	X2	X3			
ポリヒダントイン	1.000	0.042	0	0	0	0	85	75	11.5
PEW	1.000	0.042	0	0	0	0	92	43	11.2
AMW	1.000	0.041	0	0	0	0	73	47	10.4
AIW	1.000	0.042	0	0	0	0	67	300<	12.1
ISW	1.000	0.041	0	0	0	0	76	41	10.2

注：常態巻付試験は供試コイル5個中のクラック発生コイル数で示す。

表3 耐熱性試験結果

エナメル線名	200°C 6h 劣化後巻付			250°C 6h 劣化後巻付			200°C 1h ヒートショック			350°C 1h ヒートショック			耐熱軟化		短絡温度 ($Wt=1\text{kg}$, °C)
	X1	X2	X3	X1	X2	X3	X1	X2	X3	X1	X2	X3	250°C 6h	350°C 6h	
ポリヒダントイン	0	0	0	5	2	0	0	0	0	0	0	0	合格	合格	428
PEW	0	0	0	5	3	0	5	3	1	5	5	5	不合格	不合格	301
AMW	1	0	0	5	5	5	5	2	0	5	5	5	合格	不合格	356
AIW	0	0	0	5	3	2	0	0	0	0	0	0	合格	合格	422
ISW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	合格	合格	450<

注：劣化後巻付試験，ヒートショック試験は供試コイル5個中のクラック発生コイル数で示す。

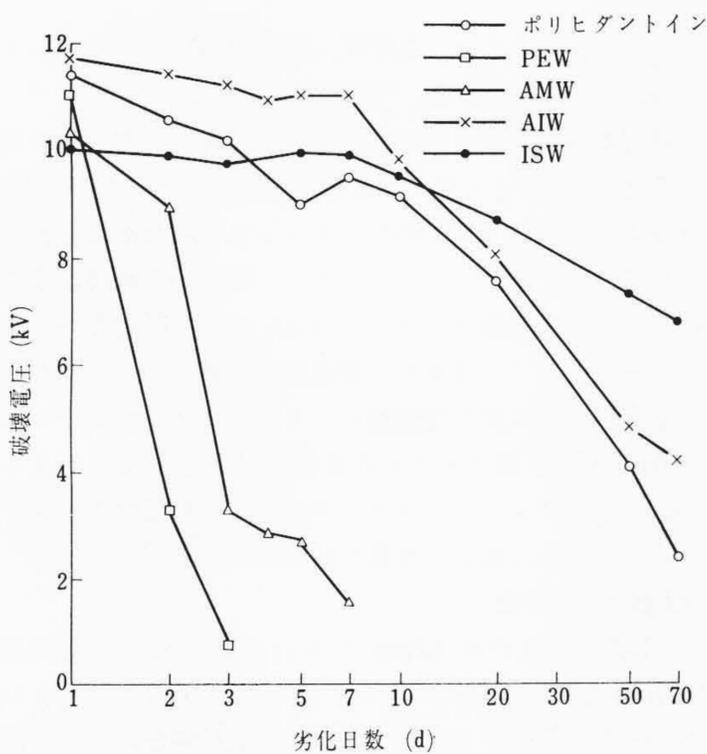


図1 250°C 熱劣化における破壊電圧の変化

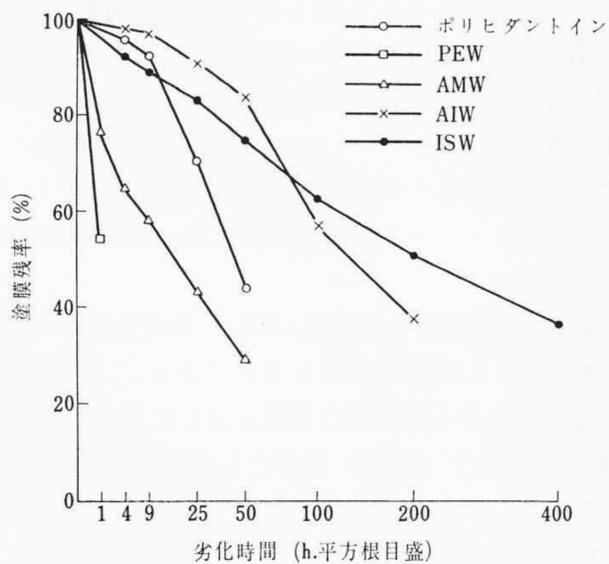


図2 300°C 熱劣化における塗膜残率の変化

AIWにおよばないが、PEW, AMW, ISW よりも良好である。

3.2 耐熱性

エナメル線の耐熱性評価法として最も権威があり、しかも正確、

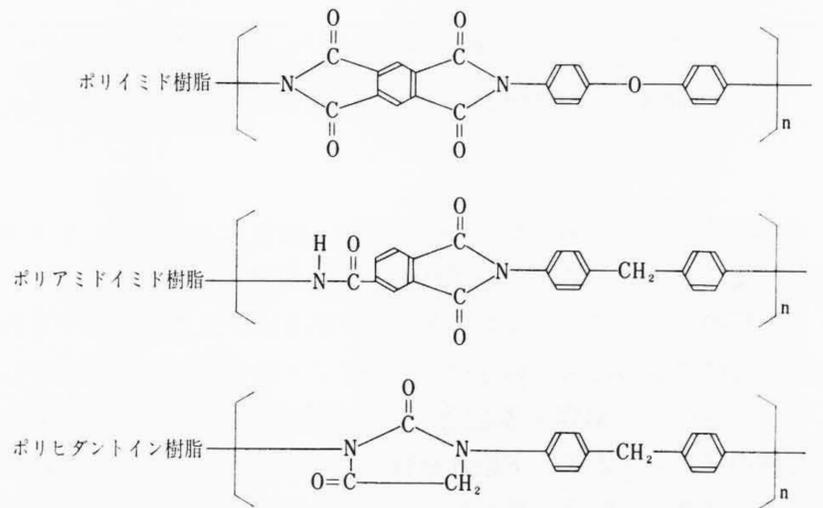


図3 3種の耐熱ポリマーの化学構造式

簡便，経済的，かつモータの実用試験データと相関性を持つ試験法は，Currin-Dexter の実験を基礎にした IEEE No. 57 試験法とされているが⁽¹²⁾⁽¹³⁾，この試験は約1年有余の時間がかかるため，ここでは高温劣化後の巻付特性，ヒートショック特性，耐熱軟化特性，短絡温度特性，250°C 熱劣化における破壊電圧の変化および300°C 熱劣化における塗膜の加熱減量特性などからポリヒダントインエナメル線の耐熱性を評価した。これらの耐熱性試験結果は表3，図1および図2に示すとおりである。

表3からわかるように，ポリヒダントインエナメル線の高温劣化後の巻付特性はISWに及ばないもののAMW, AIWより若干良好である。また，ポリヒダントインエナメル線の耐ヒートショック性，耐熱軟化性および短絡温度特性はAIW, ISWの両者と同様すぐれた結果を示している。

ポリヒダントインエナメル線の長期熱劣化特性は図1，図2から明らかなように，PEW, AMWより良好であるが，ISWあるいはAIWよりは劣る。

さて，図3はポリイミド樹脂，ポリアミドイミド樹脂およびポリヒダントイン樹脂の化学構造式を示したものである。

ポリイミド樹脂は熱的にすぐれた三つのベンゼン核，二つのイミド結合および一つのエーテル結合で結ばれたポリマーであるため，すぐれた耐熱性を発揮する。ポリイミド樹脂が全芳香族ポリマーにもかかわらず可とう性が良好なのはエーテル結合を有するためである⁽¹⁴⁾。

表4 耐薬品, 耐溶剤性試験結果

エナメル線名	常態	耐薬品性		耐溶剤性		
		比重1.2の硫酸	10%カ性ソーダ	ベンゾール	エタノール	ベンゾールへエタノール
ポリヒダントイン	5H	5H	4H	5H	5H	4H
PEW	4H	4H	変色	4H	4H	3H
AMW	4H	4H	3H	4H	4H	3H
AIW	6H	6H	5H	6H	6H	6H
ISW	5H	5H	H	5H	5H	4H

注: 1. 耐薬品, 耐溶剤性は直線状サンプルを常温の薬品, 溶剤に24時間浸せき後の鉛筆硬度の変化で示したものである。
2. ベンゾールへエタノールは体積比50:50の混合溶剤を示す。

表5 耐フロン-22性試験結果

エナメル線名	取出し直後の特性		取出し直後130°C 10分乾燥 (ブリスター試験)	
	鉛筆硬度	破壊電圧 (kV)	直線サンプルのブリスター	テーパマンドレル巻コイルの外観変化
ポリヒダントイン	2H	12.8	異常なし	コイル相互間が粘着
PEW	2H	15.8	異常なし	1倍, 2倍径巻コイルがクラック発生
AMW	3H	10.6	異常なし	異常なし
AIW	6H	13.2	異常なし	異常なし
ISW	4H	11.5	異常なし	異常なし

注: 耐フロン-22性は各エナメル線を直線状サンプル, 対よりサンプルおよびテーパマンドレル巻コイルとしてから, フロン-22~冷凍機油の重量比50:50の混合物に125°Cで7日間浸せきし, エナメル線の特性の変化を求めたものである。

ポリアミドイミド樹脂は三つのベンゼン核をアミド結合, イミド結合およびメチレン結合で結ばれたポリマーである。ポリアミドイミド樹脂の耐熱性はベンゼン核とイミド結合に, また, そのすぐれた耐摩耗性は強力な水素結合を有するアミド結合にそれぞれ依存している。さらに, AIWの高温劣化後の巻付特性が劣るのは主鎖に脂肪族のメチレンとアミド結合を有するためといわれる。なお, 素材的にはメチレン結合の代わりにエーテル結合やスルホン結合を有するポリアミドイミド樹脂も製造可能であるが, 工業的に市販されているほとんどのポリアミドイミド樹脂はメチレン結合を有するものである。

これらに対して, ポリヒダントイン樹脂は二つのベンゼン核をヒダントイン結合とメチレン結合で結ばれた形のポリマーである。ポリヒダントインエナメル線の試験結果よりみた場合, ヒダントイン結合は高温短時間においてイミド結合並みの耐熱性を発揮することがわかる。しかしながら, ポリヒダントインエナメル線の長期熱劣化特性はAIWよりもAMWの特性に近づく傾向を示している。このことはポリヒダントイン樹脂のベンゼン核1個あたりのメチレン結合数がポリアミドイミド樹脂より多いこともあるが, 本質的にはヒダントイン結合の耐熱性がイミド結合より若干劣るためと考えられる。したがって, ポリヒダントインエナメル線の耐熱性はAIWとAMWの間にあると評価することができる。

3.3 耐薬品性, 耐溶剤性

表4はこれらのエナメル線を代表的溶剤と薬品に常温で24時間浸せきし, その鉛筆硬度の変化を示したものである。

一般に, 各エナメル線は10%カ性ソーダとベンゾール~エタノール混合溶剤におかされるが, ポリヒダントインエナメル線はAIWとともに比較的良好的な耐薬品, 耐溶剤性を示している。

3.4 耐フロン-22性

冷凍機器用電気機器に用いられるマグネットワイヤは耐フロン性の良好なことが要求される。表5はこれらのエナメル線を125°Cのフロン-22~冷凍機油の混合物に7日間浸せきし, エナメル線のフロン-22による劣化をみたものである。

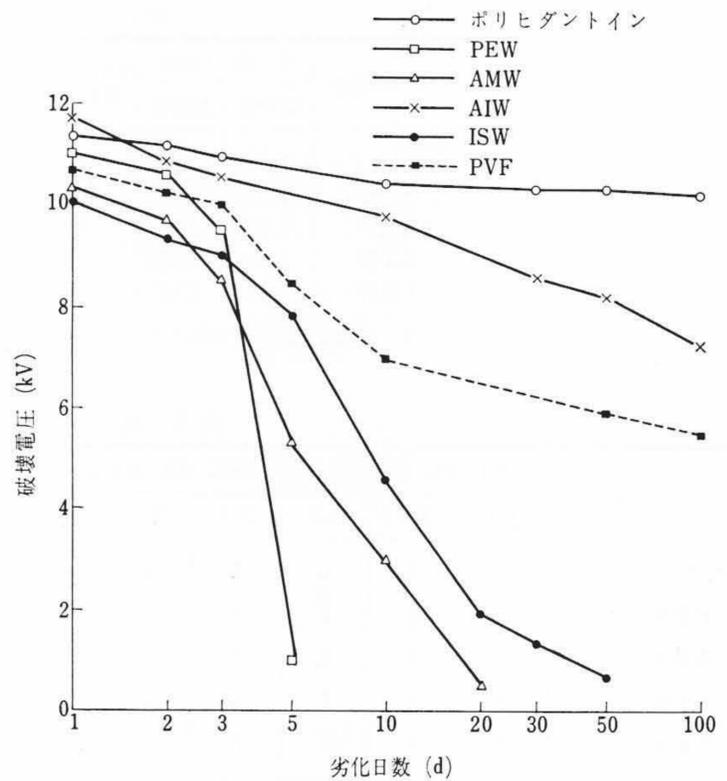


図4 120°C 密封湿熱劣化における破壊電圧の変化

表5から明らかのように, AMW, AIW, ISWの3者はいずれも耐フロン-22性が良好である。PEWは直線サンプルの耐ブリスター性は良好であるが, 取り出した直後の破壊電圧は常態値に対して半減したうえ, テーパーマンドレル巻コイルもクラックが発生した。このクラックの発生はPEWのヒートショックのためと思われる。これに対して, ポリヒダントインエナメル線は鉛筆硬度, 破壊電圧および直線サンプルの耐ブリスター性はいずれも問題ないが, テーパーマンドレル巻コイルはコイル相互間が粘着した。この粘着はエナメル線塗布焼付時に硬化促進剤としてテトラノルマルブチルチタネートを0.5~5%添加することにより改善することができるといわれるが, ポリヒダントインエナメル線を冷凍機用マグネットワイヤとして用いる場合は細心の注意が必要である。

3.5 耐加水分解性

耐加水分解性試験ではLipsyが行なった方法⁽⁴⁵⁾と同様に約35φ×400mmのガラス管にエナメル線対より5本と蒸留水1ccを入れて封かんし, 120°Cで劣化したときの破壊電圧の変化を測定した。その試験結果を示すと図4のようになる。

図4から明らかのように, 本質的にエステル結合から成るPEWは試験したエナメル線のなかで最も劣る耐加水分解性を示した。AMWとISWはより良好な耐加水分解性を有するが, その破壊電圧は120°C, 10日間の湿熱劣化で5kV以下に低下する。これらに対して, PVF, AIW, ポリヒダントインエナメル線の3者は120°C, 100日間湿熱劣化してもその破壊電圧がいずれも5kV以上である。特に, ポリヒダントインエナメル線はすぐれた耐加水分解性を有することがわかる。

なお, 実際の電気機器では温度120°C, 相対湿度100%, 蒸気圧2.02kg/mmのような過酷な条件はまれである。さらに, PEWは密封湿熱劣化で最も劣る耐加水分解性を示したが, 温度70°C, 相対湿度70%の開放湿熱下では300日劣化してもその破壊電圧が6kV以上有することがわれわれの実験で確かめられている。

3.6 機械巻線性

表6はポリヒダントインエナメル線とAIWの二種のエナメル線を自動巻線機により巻線し, 巻線前後の特性の差より機械巻線性を評価した一例を示したものである。

表6からわかるように, 機械巻線したエナメル線は導体が5~7%伸び, ピンホール特性, ねん回ハク離特性および破壊電圧特性が

表6 機械巻線性試験結果

エナメル線名	試験項目	特性値	
		巻線前	巻線後
ポリヒダントイン	導体伸び率 (%)	0	5~7
	ピンホール (個数/5m)	0	4
	ねん回ハク離 (回)	85	63
	破壊電圧 (kV)	11.5	4.8
AIW	導体伸び率 (%)	0	5~7
	ピンホール (個数/5m)	0	4
	ねん回ハク離	67	55
	破壊電圧 (kV)	12.1	5.7

初期値より低下するが、ポリヒダントインエナメル線と AIW との差はほとんどみられない。このことから、ポリヒダントインエナメル線の機械巻線性はほぼ AIW 並みと評価される。

4. 結 言

今回、日立電線株式会社で工業化したポリヒダントインエナメル線の諸特性をポリエステル系の PEW, ポリエステルイミド系の AMW, ポリアミドイミド系の AIW, ポリイミド系の ISW の4種のエナメル線と比較検討した。得られた結論をまとめると次のとおりである。

- (1) ポリヒダントインはジグリシン誘導体にジアミンあるいはジイソシアネートを反応して得られるクレゾール可溶性耐熱ポリマーである。
- (2) ポリヒダントインエナメル線の耐熱性はポリアミドイミド系の AIW とポリエステルイミド系の AMW のほぼ中間で、その耐熱区分は F ないし H クラスと評価される。
- (3) ポリヒダントインエナメル線の耐ヒートショック性、耐加水分解性はすぐれているが、耐フロン性はあまり良くない。
- (4) ポリヒダントインエナメル線の機械巻線性はほぼポリアミドイミド系の AIW 並みと評価される。

以上のことからわかるように、ポリヒダントインエナメル線は耐熱性が F~H クラスの冷凍機器用以外の電気機器、特に密閉形電動機器や過酷な使用を受ける電動工具用電気機器用マグネットワイヤとしてふさわしい性質を有することがわかる。しかし、ポリヒダントインエナメル線は競合的立場にあるポリアミドイミド系の AIW と比較して耐フロン性・耐熱性および塗料コストの点で解決しなければならぬ問題が多い。

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、荻野、古賀両部長に対し深謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) W. Patnode, E. J. Elynn, J. A. Weh: Ind. Eng. Chem., 31, 1063 (1939)
- (2) 間瀬喜好著: 「マグネットワイヤ ー選び方と使い方ー」(昭 37-6 山海堂)
- (3) Du Pont: 特公昭 36-10999 号 (アメリカ優先 1958 年)
- (4) NEMA-MW-16C 「Aromatic Polyimide-Coated Round Copper Magnet Wire」: (NEMA MW-1000-1967)
- (5) B. Vollmert: Kunststoffe 56(10), 680~694 (1966)
- (6) M. Lusso: Materie Plastiche Elastomeri 36(6), 645~646 (1970)
- (7) W. Dinwald, K. H. Mielke, E. Reese, R. Merten: Farbe und Lack 75(12), 1157~1160 (1969)
- (8) バイエル社: 特公昭 43-27636 号
- (9) Y. Imai: J. Poly. Sci., Part A-1 5, 2289~2796 (1967)
- (10) 帝人社: 特公昭 45-22159 号
- (11) 「Vorläufige Verarbeitungsrichtlinien für Resistherm PH-10」(Bayer, April 1969)
- (12) C. G. Currin, J. F. Dexter: AIEE Special Publication S-61 (1954)
- (13) 「各種エナメル線の耐熱寿命試験報告」(電気学会マグネットワイヤ専門委員会, 昭和 35 年 4 月)
- (14) M. L. Wallach: J. Polym. Sci., 7, 1995~2004 (1969)
- (15) G. F. Lipsey, P. W. Junean: Insulation 7(2), 31~36 (1961)



特 許 と 新 案



日立製作所所有の特許 (主要特許のみを抜すい)

■ 送 風 機

登録番号	公告番号	名 称	登録番号	公告番号	名 称
実 798668	39-28417	多段遠心送風機の リターンガイドベーン	実 572866	37-3064	送風機停止時における ガス漏洩防止装置
実 812254	41-4619	機体の上部に直立した筒体を取付けた装置における機体の部品取出装置	実 729641	38-15976	ブロワーのケーシング
			実 735512	38-24377	送風機の油洩れ防止装置

■ 化 学 装 置

登録番号	公告番号	名 称	登録番号	公告番号	名 称
特 454154	40-5851	熱交換器の製作法	実 850213	42-21851	バルブシート面保護装置
特 455008	40-5298	Ni-Cu 合金溶接材			

■ オートクレーブ

登録番号	公告番号	名 称	登録番号	公告番号	名 称
実 705721	37-13120	軸封用シールリング	実 756885	39-16237	縦型攪拌機の軸封装置取外し装置
実 550743	36-9626	メカニカルシールにおける 紛体防止装置	実 740139	38-28906	攪拌装置の回転軸支持装置
			特 443645	39-21602	多段式高圧軸封装置