

# 珪素樹脂のマグネットワイヤーへの応用

間瀬 喜好\* 萩野 幸夫\*\*

## Application of Silicone Resin on Magnet Wire

By Kiyoshi Mase, D.S.E. and Yukio Ogino  
Hitachi Electric Wire and Cable Works, Hitachi, Ltd.

### Abstract

There are many kinds of domestic and imported silicone resin products for use on glass covered wire and enameled wire. The writers of this report used silicone resin on magnet wire; and studied the various characteristics of silicone resin for use on glass covered wire and that for use on enameled wire.

Following are the results of the studies:

- (1) From among the silicone resin products for use on glass covered wire, the domestic products of type KR-98, KR-272, and KR-280 show superior characteristics equal to the imported products of the type DC-993, DC-996, DC-997, and SR-98.
- (2) No domestic products of the type suitable for use on enameled wire were found. However, excellent enameled wire was obtained by coating and baking on the imported type DC-1360 or type DC-1361.

### 〔I〕 緒 言

従来電気機器に使用されるマグネットワイヤーの被覆材料は、ほとんど有機質絶縁材料であり、無機質のものとしては僅かに、ガラス被覆とアスベスト被覆のみである。これらも補強ワニスに、比較的耐熱性ワニスであるアルキッド系のものを用いているので、その耐熱性は、ワニスの耐熱度と附着量によりきまってくる。

最近の電気機器はその要求される性能に著しく高度のものがあり、特に小型軽量化の要求に伴い必然的に使用温度が高くなるため、到底従来のマグネットワイヤーでは、その耐熱度に応じえない。これらの要求を差し当り満すものとして、珪素樹脂のマグネットワイヤーへの応用が考えられる。これにはガラス糸と珪素樹脂を組合わせた珪素樹脂ガラス巻線と、導体上に直接珪素樹脂を焼付けた珪素樹脂エナメル線がある。ともにその耐熱度はH種、すなわち180°C以上とされるものである。前者に関しては、すでに国産珪素樹脂を用いたガラス巻線として、本誌にその一部を紹介<sup>(1)</sup>したが、後者の珪素樹脂

エナメル線は、従来導体との接着性悪く不成功だったもので、米国においても最近に至り、漸くDow Corning Co.で、DC-1360, DC-1361なる変性シリコンワニスの出現をみるに至ったものである。本報告は、これらの珪素樹脂を用いたマグネットワイヤーについて、諸性能の概要を述べ、需要家の便に供したいと思う。

### 〔II〕 珪素樹脂ガラス巻線

#### (1) ガラス巻線としての一般的考察

我国におけるガラス巻線は、昭和12年米国より電気試験所で入手された細いガラス繊維の見本と、欧米における研究結果でのすぐれた諸特性の紹介<sup>(2)~(9)</sup>に刺戟されて、耐熱性マグネットワイヤーとし研究がなされ著しい成果をえて来たものといえよう。しかし当初のガラス繊維は、その製造の困難と価格などの点より含アルカリガラス繊維で、太さも12~18 $\mu$ 程度であり、これを用いたガラス巻線は性能的に耐湿特性、機械的強度に劣り、かつ補強ワニスも油性系のものであったため、終戦前はB種として、一部使用された程度であった。

日立製作所においても早くよりガラス巻線の将来性に着目し、主として含アルカリガラス巻線の脱アルカリ処

\* 日立製作所日立電線工場 工博

\*\* 日立製作所日立電線工場

理による、性能の向上、補強ワニスの研究を行い、一応無アルカリガラス巻線に比肩しうるものを作りえたが、やはり補強ワニスは耐熱性アルキッドワニス（日立商品名 EW-330）であつたため、その耐熱度はB種の域を脱しえないものであつた。戦後対外事情が逐次あきらかとなり、米国における珪素樹脂の紹介<sup>(10)~(15)</sup>とともに、H種としてのガラス巻線のあることがあきらかにせられ<sup>(16)~(18)</sup>、かつ我国のガラス繊維製造技術も進歩し、昭和17年頃より7 $\mu$ 程度の無アルカリガラス繊維の製造が可能となり、本邦におけるこの方面の研究も積極的に行われるようになったものである。最近のガラス繊維は、アルカリ含有量0.5%以下、単繊維の太さ6.5~7.5 $\mu$ で抗張力200~300 kg/mm<sup>2</sup>、伸び1~2%のものが普通であり、さらにすぐれているものとして5 $\mu$ のものも製作され、したがって作業性にすぐれ、占積率の良いガラス巻線がえられるに至つた。

またガラス巻線用の珪素樹脂は、長時間の高温、高湿下において電氣的、機械的な劣化の少ないものであることは勿論、製作時に当つて乾燥性、可撓性ならびに、機械的性質の良好なものでなければならない。ワニスの物理的性質は、珪素樹脂のアルキル基と珪素の比、およびアルキル基の種類によつて異なることは周知<sup>(19)</sup>のとおりであり、したがつてこの選択は、珪素樹脂ガラス巻線にとつてきわめて重要な問題といえよう。さらにガラス巻線を使用する際ワニス処理を行うが、このときワニスの影響を受け、ガラス巻線の性能の低下を起さないことが大切である。なおガラス巻線は、ガラスクロスと併用して使用されるが、これについてもすでに、日立ワニスガラスクロスの特性<sup>(20)</sup>として本誌に紹介してある。あわせて高温機器設計の資料に供されたい。

第1表 供試ガラス巻線

試番	塗料名	組成 (重量比)	寸法 (mm)	
			導体径	被覆厚
No. 1	HEC	$\left. \begin{matrix} \text{Et}_2\text{SiCl}_2 & 1.94 \\ \text{EtSiCl}_3 & 8.09 \end{matrix} \right\}$ 加水分解生成物 (Et/Si=1.2)	0.910	0.138
No. 2	HMS-1	$\left. \begin{matrix} \text{Me}_2\text{SiCl}_2 & 3 \\ \text{MeSiCl}_3 & 7 \end{matrix} \right\}$ 加水分解生成物 (Me/Si=1.33)	0.890	0.131
No. 3	HMS-2	$\left. \begin{matrix} \text{Me}_2\text{SiCl}_2 & 5 \\ \text{MeSiCl}_3 & 5 \end{matrix} \right\}$ 加水分解生成物 (Me/Si=1.53)	0.890	0.116
No. 4	HMS-1003	$\left. \begin{matrix} \text{Me}_2\text{SiCl}_2 & 36.5 \\ \text{MeSiCl}_3 & 63.5 \end{matrix} \right\}$ 加水分解生成物 (Me/Si=1.4)	0.895	0.120
No. 5	HMS-1004	$\left. \begin{matrix} \text{Me}_2\text{SiCl}_2 & 31.8 \\ \text{MeSiCl}_3 & 68.2 \end{matrix} \right\}$ 加水分解生成物 (Me/Si=1.35)	0.895	0.122
No. 6	HMS-1005	$\left. \begin{matrix} \text{Me}_2\text{SiCl}_2 & 27 \\ \text{MeSiCl}_3 & 73 \end{matrix} \right\}$ 加水分解生成物 (Me/Si=1.3)	0.895	0.131
No. 7	DC-996		0.895	0.109
No. 8	DC-1088		0.900	0.098

(注) 使用したガラス糸は日東紡製無アルカリガラス糸でアルカリ含有量は  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}=0.74\%$  のものである。

(2) 国産珪素樹脂ワニスの検討

(A) 社内試作品

社内試作品としては、昭和25年4月試作したエチルシリコーン (HES) が、ガラス巻線用として最初のもので、その後引続いてメチルシリコーン (HMS) 5種をうるに至つた。これらの各種シリコーンを用いて試作した0.9 mm ガラス巻線の性能を、当時入手した米国製シリコーンワニス DC-996, DC-1088 を用いた場合と比較してその使用の可否をきめるためつぎに示す検討を行つた。

(a) 供試線

供試線の試作条件、および寸法は、第1表に示すとおりである。ただしこれらの配合品は比較的初期試作品であり、現在のものは著しく進歩している。

(b) 性能試験

高温 (220°C) 下の破壊電圧、絶縁抵抗、耐磨耗性、ならびに高温 (40°C, RH 90%) 下の絶縁抵抗を第2表に、また 220°C, 8時間加熱, 16時間放冷の熱サイクルを加えた場合の重量減少の結果を第1図に示す。

ただし破壊電圧は、供試線 1.2m をとりこの 1m を 28 mm $\phi$  の銅管に巻付け、心線と銅管の間に課電して求めた平均値であり、耐磨耗性は回転式磨耗試験器により、荷重 0.8 kg で測定した平均値、また絶縁抵抗は供試線 2.2m をとり、その 2m を 28 mm $\phi$  の銅管に巻付け、100V 直偏法により測定した平均値である。

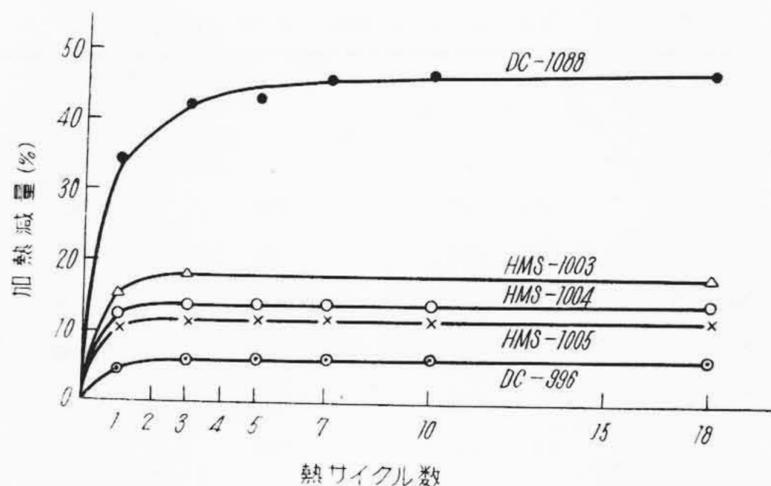
(c) 結果の検討

珪素樹脂の物理的性質は、前述のとおりアルキル基と珪素の比、およびアルキル基の種類によつて異なるものとされている。しかもメチル系珪素樹脂では150~259°Cで硬化し、可撓性あるものとしては  $\frac{\text{Me}}{\text{Si}}=1.3\sim 1.6$  の範囲が適切であり、エチル珪素樹脂はメチル系のものよ

Table 1. Various Glass Covered Wires

第2表 高温高湿下のガラス巻線の諸性能  
Table 2. Various Characteristics of Glass Covered Wire at High Temperature or High Humidity

試番	破壊電圧 (220°C)			耐摩耗性 (220°C)			絶縁抵抗 (220°C)			絶縁抵抗 (40°C, RH 90%)		
	無処理 (V)	処理時間 (h)	処理後 (V)	無処理 (回数)	処理時間 (h)	処理後 (回数)	無処理 (MΩ)	処理時間 (h)	処理後 (MΩ)	無処理 (MΩ)	処理時間 (h)	処理後 (MΩ)
No. 1	1,040	2,885	1,060	92	2,885	9	$3.36 \times 10^5$	2,885	$7.82 \times 10^4$	$7.86 \times 10^5$	211	$3.33 \times 10^2$
No. 2	880	720	830	28	2,885	10	$5.28 \times 10^5$	3,582	$1.53 \times 10^6$	$4.70 \times 10^5$	211	$5.13 \times 10^1$
No. 3	840	720	760	12	2,885	32	$5.86 \times 10^5$	3,582	$6.53 \times 10^5$	$6.87 \times 10^5$	211	$1.03 \times 10^1$
No. 4	1,050	2,885	860	14	2,885	30	$3.33 \times 10^5$	3,791	$1.25 \times 10^6$	$5.15 \times 10^5$	504	$7.92 \times 10^1$
No. 5	1,090	2,885	960	18	2,885	40	$3.72 \times 10^5$	3,791	$9.20 \times 10^5$	$7.49 \times 10^5$	504	$6.59 \times 10^1$
No. 6	980	2,885	710	34	2,885	24	$5.12 \times 10^4$	3,791	$1.56 \times 10^6$	$3.12 \times 10^5$	504	$1.72 \times 10^1$
No. 7	960	2,885	990	38	2,885	120	$3.56 \times 10^5$	3,791	$8.44 \times 10^4$	$2.42 \times 10^5$	504	$3.70 \times 10^1$
No. 8	940	2,885	550	60	2,885	20	$2.48 \times 10^5$	3,791	$1.24 \times 10^5$	$8.23 \times 10^4$	504	$2.69 \times 10^1$



第1図 高温 (220°C) 保持後の皮膜の重量減少  
Fig.1. Weight Loss of Cover After 220°C Heating

り軟かく可撓性があり、 $\frac{Et}{Si} = 0.5 \sim 1.5$  がよいとされているので、第1表に示したように、上記の範囲に入る  $\frac{R}{Si}$  の組成を選んで検討した訳である。

絶縁耐力：メチル系のものでは No. 5 の  $\frac{Me}{Si} = 1.35$  のものが比較的良好であり、No. 1 のエチル系のものも良い結果を示す。輸入品では DC-996 が良く、DC-1088 は著しく劣化する。

耐摩耗性：加熱前の場合  $\frac{Me}{Si}$  が小さい程良く、220°C 長時間加熱後ではこれと逆に、 $\frac{Me}{Si}$  が 1.35~1.53 のものが良い結果を示している。エチル系の No. 1 は、加熱前の値は高いが、劣化が著るしい欠点がある。輸入品では DC-996 が、無処理、加熱後ともに著しくすぐれているが、DC-1088 は、やはり劣化が大である。

絶縁抵抗：高温 (220°C) 下の絶縁抵抗の低下でその耐熱度を判定すると、概して  $\frac{Me}{Si}$  の小さい方が、耐熱性があるように思われる。エチル系のものはメチル系に比し、劣化が大きく、耐熱性に劣る。輸入品の DC-996、DC-1088 は試作シリコンワニスに比し、やや低い値を示している。また高湿度特性は、 $\frac{Me}{Si}$  の小さい方が比較的良好に考えられる。

加熱減量：いずれも 220°C, 8×3=24 時間頃より安定するが、DC-1088 のみ減量が特に多い。これは当時山田氏の研究に示されたように、他樹脂を併用した変成品に類似するものと考えられる<sup>(21)</sup>。DC-996 が最も減量少なく、220°C で 144 時間加熱後でも、約 6% 程度である。これは同社のカタログに示されている 153°C, 100 時間後 6% とよく一致しているところから、少なくとも 220°C 以下では、加熱温度による減量の差の少いすぐれたものといえる。また試作品のメチル系のものでは、 $\frac{Me}{Si}$  の小さいもの程、減量が少いようである。

以上のように、メチル系の珪素樹脂では、 $\frac{Me}{Si} = 1.35$  の No. 5 が、いずれの性能もガラス巻線用として比較的良好といえる。エチル系の珪素樹脂は耐熱性に劣り、ガラス巻線用として今回のものは不向きといえる。輸入品では DC-996 が良く、DC-1088 は変成品であり耐熱性は劣るが、価格上の点より考えれば、再検討の余地がある。また日立の試作品は、初期品にかかわらずその性能は、輸入品に比し総合的に遜色ないものといえる。

(B) 社外試作品

信越化学工業株式会社および東洋シリコン株式会社の両社製品について検討した。信越化学製品としては、同社と G. E との技術提携が進み、G. E の SR-98 類似品として KX-98 の No. 1, および No. 2 を入手し、その後さらに KR-272, 280, 281 の製品を入手するに至った。他方東洋シリコン製品としては、AXB-76 および 108 を入手した。その組成の詳細はあきらかでないが、フェニルシリコン系統のものか、またはこれとフェノールレジン、あるいは桐油などの変成品らしい。これらをガラス巻線に用いた場合の結果を、以下に示す。

(a) 供試線の寸法および諸性能

供試線の寸法および諸性能は、第3表(次頁参照)に示すようである。たゞし破壊電圧は、二つの方法で求めた。

第3表 供試ガラス巻線の諸性能  
Table 3. Various Characteristics of Glass Covered Wires

試番	塗料名	試作線の寸法 (mm)		巻付倍数と破壊電圧 (V)				加熱後の破壊電圧 (8倍24h) (V)				耐摩耗性 (24h加熱後) (回数)				
		導体径	被覆厚	12倍	10倍	8倍	2倍	150°C	175°C	200°C	220°C	荷重 (kg)	常態	150°C	220°C	250°C
No. 9	SR-98	0.893	0.103	690	—	690	570	660	630	—	570	1.14	18	100	—	225
No. 10	KR-98-No.1	0.893	0.104	780	—	720	630	660	630	—	620	1.14	10	385	—	395
No. 11	KR-98-No.2	0.891	0.124	690	—	690	640	570	570	—	600	1.14	11	40	—	45
No. 12	KR-272	0.893	0.142	—	620	700	520	590	730	640	600	1.14	13	93	127	—
No. 13	KR-280	0.895	0.163	—	610	580	590	790	670	670	670	1.14	35	44	80	—
No. 14	KR-281	0.883	0.124	—	660	690	570	630	680	610	640	1.14	21	21	46	—
No. 15	AXB-76	0.903	0.149	600	—	540	540	—	—	—	360	0.8	800	—	200	29
No. 16	AXB-108	0.903	0.118	600	—	610	620	—	—	—	410	0.8	50	—	80	57

すなわち供試線の導体径の、2~12倍の巻付棒に10回巻付けたコイルを、水銀中に浸漬し、心線と水銀間に課電して求める方法と、前項の8倍径に巻付けたコイルを、150~250°Cにそれぞれ24時間加熱後、同様に水銀法で求める方法である。

耐摩耗性は回転式磨耗試験器により、常態および150~250°Cにそれぞれ24時間加熱後測定した。

(b) 結果検討

乾燥性はSR-98, KR-98系のものが著しく良く、低温焼付が可能であり、その他のKR系のものでは280, 281, 272の順に乾燥性が良好である。

性能については、まずKR系のものをSR-98に比較してみると、常態の破壊電圧および巻付倍数による低下の程度、ならびに150~250°Cに24時間加熱した後の破壊電圧などは大差ない。耐摩耗性は、KR-98-No.1がSR-98と大差ないが、KR-98-No.2はこれらと比較して著るしく劣るようである。次にKR系のものはSR-98に比べて、巻付倍数と破壊電圧、加熱温度と破壊電圧の関係はいずれも大差ないが、強いていえば、KR-272が可撓性においてやや劣るようである。耐摩耗性はKR-272, KR-280ともに良好であるが、KR-281はこれらよりやや劣る。

したがって信越化学製品では、KR-98-No.1, KR-272, KR-281が性能にすぐれており、ガラス巻線用として使用しうる。

なお東洋シリコン製のAXB-76, AXB-108は、常態の諸性能は比較的良好であるが、高温加熱後の性能の劣化が大であり、他樹脂類を併用した変性品の性質をここに示している。

(3) 輸入珪素樹脂ワニスの検討

(A) DC製珪素樹脂ワニス

DC製の珪素樹脂は最初のDC-993, DC-996, DC-1088の入手に引続きDC-802, DC-803, DC-807, DC-935,

第4表 供試ガラス巻線  
Table 4. Various Glass Covered Wires

試番	塗料名	供試線の寸法 (mm)	
		導体径	被覆厚
No. 17	DC-802	0.903	0.133
No. 18	DC-803	0.903	0.141
No. 19	DC-807	0.903	0.138
No. 20	DC-935	0.903	0.140
No. 21	DC-992	0.903	0.146
No. 22	DC-993	0.890	0.138
No. 23	DC-996	0.894	0.130
No. 24	DC-997	0.892	0.132
No. 25	DC-1088	0.903	0.136
No. 26	DC-1089	0.903	0.128

DC-992, DC-1089などを、さらにその後DC-996の改良型と称するDC-997を入手した。これらのうちにはガラス巻線用、処理用ワニス以外に積層板用ものも含まれるが、一応比較検討することにした。

(a) 供試線

0.9mmの心線を用い前項と同様の供試線を試作した。

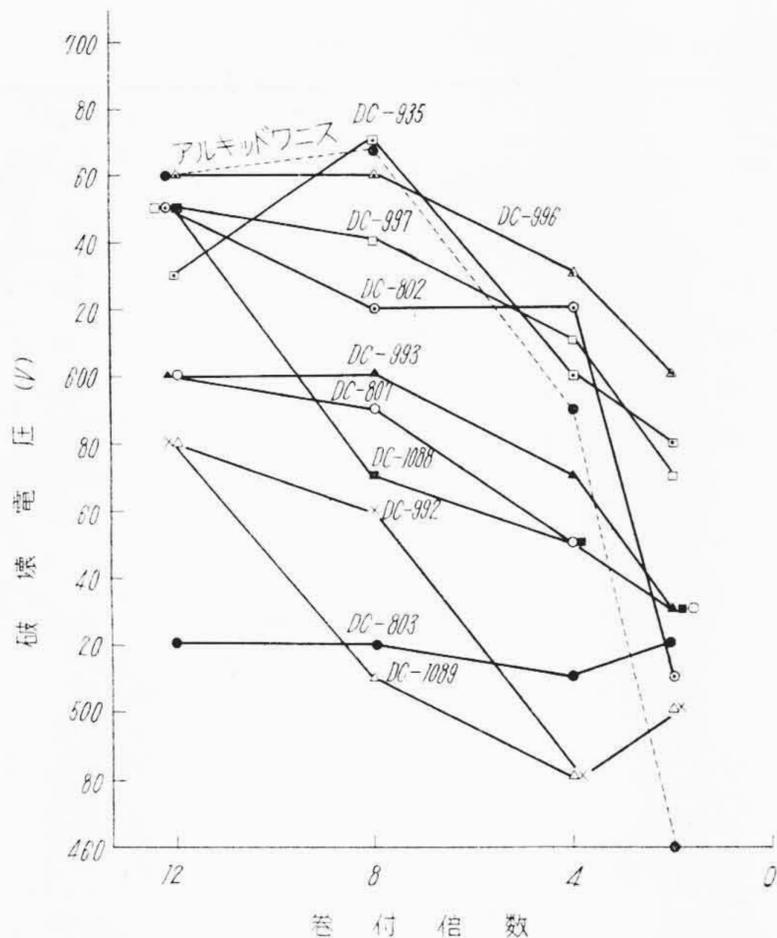
第4表に供試線の寸法を示す。

(b) 性能試験

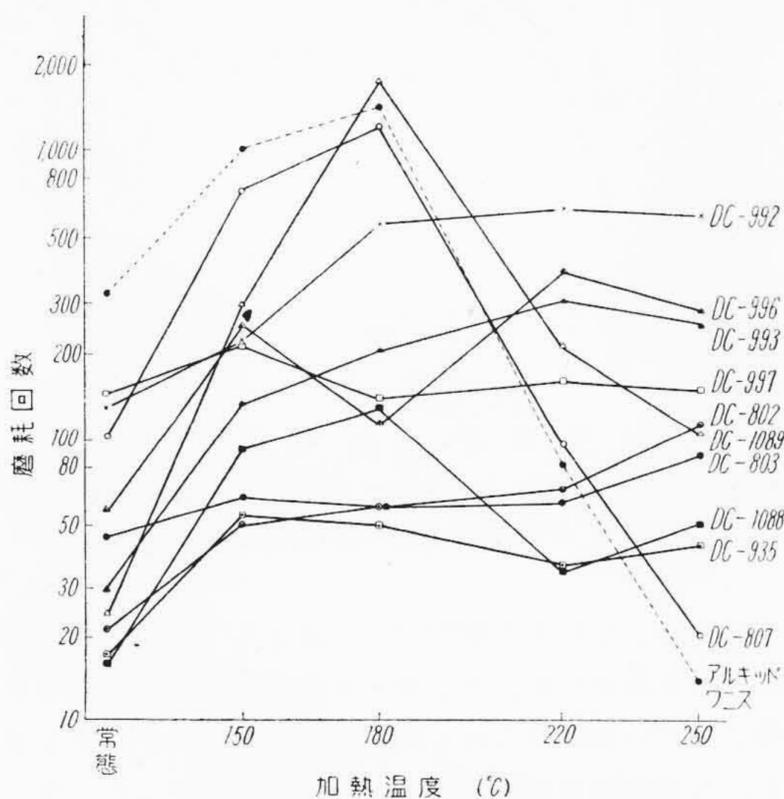
常態における巻付倍数と破壊電圧の関係を第2図に、150~250°Cにそれぞれ24時間加熱後の耐摩耗試験の結果を第3図に示す。なお比較のため、アルキッド系ワニスを焼付した場合の一例を併記した。(測定法は前項と同様なので省略する) またDC-993, DC-996およびDC-997については、前項と同様の方法で220°C下の保持時間と絶縁抵抗の関係を求めた。これを第4図に示す。

(c) 結果検討

第2図および第3図を総合してみるとDC-993, DC-996, DC-997が他と比較して良好といえる。DC-935は破壊電圧良好だが耐摩耗性に劣り、DC-992は耐摩耗性



第2図 巻付倍数と破壊電圧の関係  
Fig.2. Relation between Diameter of Mandrel and Breakdown Voltage

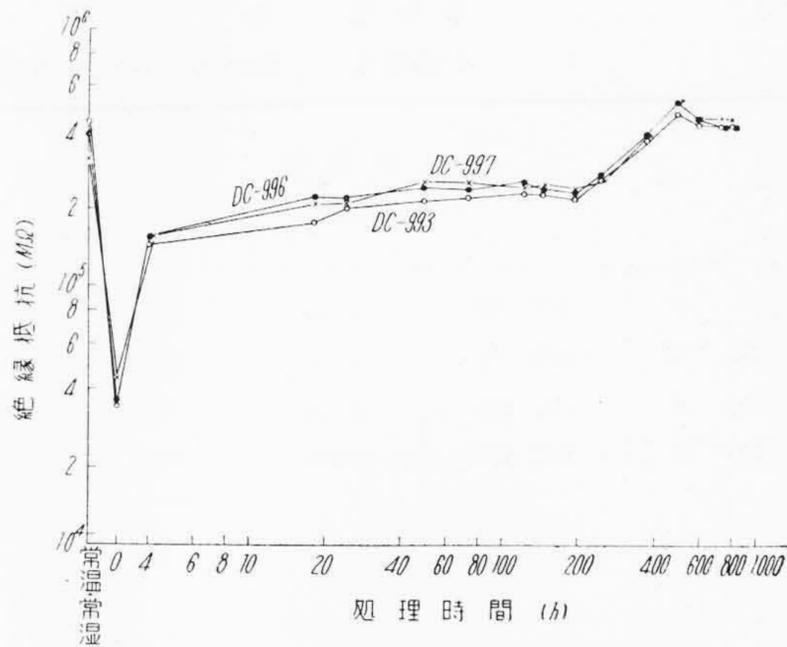


第3図 加熱温度と磨耗回数  
Fig.3. Relation between Heat Temperature and Number of Abrasion

良好で、破壊電圧に劣るようである。DC-1088, DC-1089 はやはり変成品のためか、220°C以上の耐磨耗性の低下が著しいが、アルキッド系ワニスを用いたものより良い結果を示す。高温下の絶縁抵抗は第4図 DC-996, DC-997, DC-993 とともに大差は認められない。

(B) G.E 製珪素樹脂ワニス

G.E 製珪素樹脂ワニスの代表品である SR-98 および



第4図 高温(220°C)処理時間と絶縁抵抗  
Fig.4. Relation between Holding Time and Insulation Resistance at 220°C

第5表 供試ガラス巻線  
Table 5. Various Glass Covered Wires

試番	配合比 (wt %)		寸法 (mm)	
	SR-17	SR-98	導体径	被覆厚
No. 27	100	—	0.895	0.108
No. 28	75	25	0.895	0.108
No. 29	50	50	0.895	0.104
No. 30	25	75	0.895	0.100
No. 31	—	100	0.900	0.094

SR-17についても種々検討したが、本項においては、この両者を組合せた場合の特長をみいだそうとした一例を示す。

(a) 供試線

供試線の試作条件および寸法を第5表に示す。たゞし SR-17 は可撓性は良いが、乾燥性が遅く、SR-98 はこれと逆の性質を有する。

(b) 性能試験

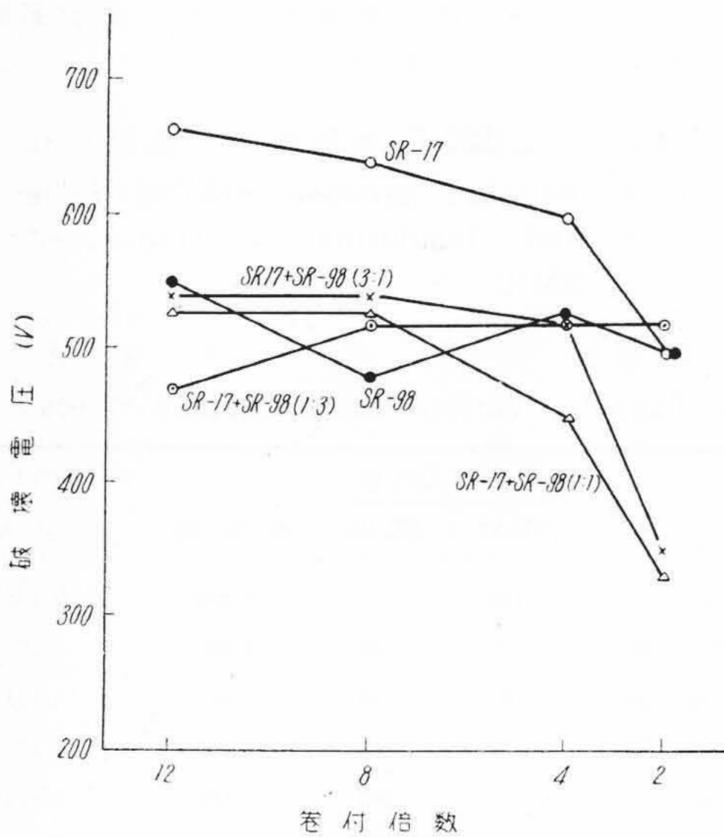
常態における巻付倍数と破壊電圧の関係を第5図(次頁参照)に、常態および150°C~250°Cにそれぞれ24時間加熱後の耐磨耗試験の結果を第6図(次頁参照)に示す。

(c) 結果検討

G.E 製の珪素樹脂において、SR-17 は最も可撓性に富み、SR-98は硬度にすぐれ、両者の組合せにより各種用途に適する可撓性、硬度のものがえられるといわれるが、ガラス巻線用としてこの組合せを検討した結果、SR-98 は可撓性ならびに硬度ともに SR-17 よりすぐれているようである。すなわち巻付倍数を変えた場合の破壊電圧(第5図)は、SR-98 の配合量の多い方が低下の傾向少く、また耐磨耗性(第6図)において SR-98 のみのも

第6表 輸入珪素樹脂の比較例  
Table 6. Some Comparative Examples of Imported Silicones

試番	珪素樹脂名	被覆厚 (mm)	破壊電圧				耐摩耗性 (W=1.14 kg)		
			常態		220°C, 14日加熱後		常態		220°C, 14日加熱後
			V	V/0.1 mm	V	低下率 (%)	回	回/0.1 mm	回
No. 32	SR-98	0.103	590	570	510	13.5	20	19	190
No. 33	SR-17	0.108	580	540	490	15.5	18	17	60
No. 34	DC-993	0.135	790	590	560	29.0	50	37	135
No. 35	DC-996	0.130	590	450	520	12.0	95	73	285



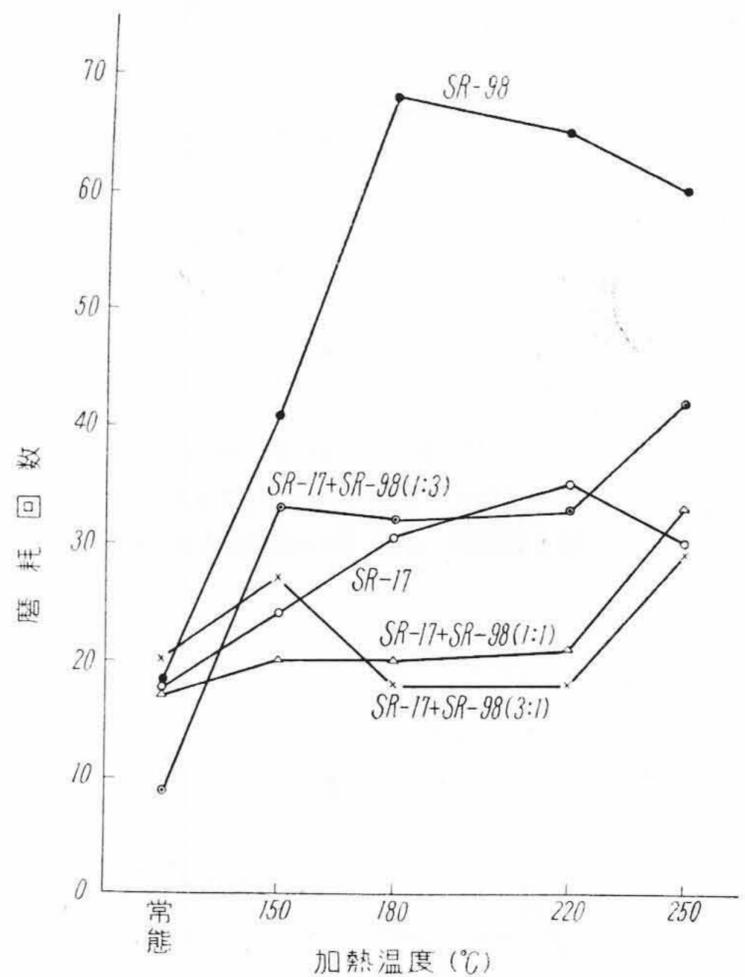
第5図 巻付倍数と破壊電圧の関係  
Fig. 5. Relation between Diameter of Mandrel and Breakdown Voltage

のが、SR-17のみ、あるいはこれとSR-98を配合したものよりまさっている。したがってSR-98単独のものが、乾燥性ならびに性能上より、ガラス巻線用に適するものと思う。

またG.E製品とD.C製品の比較を行つた実験の一例を、第6表に示す。常態の破壊電圧はDC-996が悪く、また220°C加熱による低下はDC-993が若干悪く、他は大差ないようである。耐摩耗性はD.C製の方が良く、特にDC-996が最もまさる。以上のことより両社製品にはそれぞれ一長一短があり、一概にその優劣は決め難い。

(4) 珪素樹脂ガラス巻線の耐溶剤性

コイル含浸を行う際、珪素樹脂ガラス巻線が含浸用珪素樹脂ワニスに侵蝕されて性能の低下をきたし、またワニス浸漬を繰返しても、その割合に性能の向上しないことがしばしば起る。これは珪素樹脂の耐溶剤性に弱いためであるが、ガラス巻線、あるいはガラスクロス用の珪素樹脂ワニスには、できるだけ耐溶剤性の良いものを用いる



第6図 加熱温度と耐摩耗性の関係  
Fig. 6. Relation between Heat Temperature and Abrasion Resisting Property

必要がある。これらの検討の一方法として珪素樹脂の溶剤は通常トルオール、キシロールなどの芳香族のものが使用されているのでこれと同族のソルベントナフサを使用し、珪素樹脂ガラス巻線の溶解減量を測定した。供試線はD.C製の993, 996, 997および信越製のKR-272, KR-280, KR-281を用いた0.9mmガラス巻線で、ソルベントナフサの温度を30°Cおよび50°Cに変え、各1時間浸漬後の溶解減量を求めた結果を、第7表に示す。

すなわちD.C製品では、いずれも3~4%程度で大差ないが、DC-993が若干良いようである。信越製品ではKR-272が最も減量少く、D.C製品にまさっているが、KR-280, KR-281は劣るようである。したがって信越製品では、耐溶剤性の点よりすれば、ガラス巻線用としてKR-272を使用することが望ましいわけである。

第 7 表 0.9 mm 珪素樹脂ガラス巻線の溶解減量 (ソルベントナフサ)

Table 7. Soluble Weight of 0.9 mm Glass Covered Wires

珪素樹脂ワニスの種類	60 分浸漬後の溶解減量 (%)	
	30°C	50°C
DC-993	3.2	3.5
DC-996	3.5	3.7
DC-997	3.9	4.1
KR-272	1.5	1.8
KR-280	14.9	16.0
KR-281	5.8	5.9

備考 溶解減量は被覆重量に対する減量の % で示した。

(5) 総括

以上ガラス巻線用としての珪素樹脂を、国産品と輸入品に分けて記述したが、これを要約するとつぎのようになる。すなわち国産品のうち社内試作品は初期のものであるが、 $\frac{Me}{Si} = 1.35$  のメチル系珪素樹脂が、ガラス巻線用として比較的良好であり、東洋シリコーン製のもの、フェニルシリコーンと桐油の変成品と聞いているが、耐熱性が劣ることを認めざるをえない。信越化学製のもののうち、KR-98-No. 1 および KR-272, KR-280 は、性能的に輸入品と比較して遜色なく、かつ KR-98-No. 1 は著しく乾燥性良く、塗装用として好都合である。また KR-272 は、ソルベントナフサによる溶解減量最も少く、D.C 製品にまさる性能を示しており、ガラス巻線用としては好適のものといえる。輸入品では、DC-993, DC-996, DC-997 および SR-98 がガラス巻線用に適する。DC-1088, DC-1089 はガラス巻線用としての珪素樹脂であるが、変成品であるために耐熱性は劣るが、価格と処理ワニスの相関性からすれば、一考を要するものと思う。

〔III〕 珪素樹脂エナメル線

(1) 珪素樹脂エナメル線の一般的考察

珪素樹脂の耐熱性は、従来の有機絶縁材料、たとえば油性エナメル、ビニルアセタール<sup>(22)</sup> などより著しくすぐれており、したがってこれを用いてエナメル線を作りえられれば、その耐熱性および占積率より、電気機器への利用度がきわめて大となろうから、当然注目しなければならないものと思う。ただし比較的これに関する報告が少い。これは珪素樹脂が、銅を始め多くの金属との接着性が悪いためといわれており、Dr. Bus 来日の際に、米国においても 1952 年末までは、数千種におよぶ試作品を電線メーカーに試用願ったが、不成功であつたと直接聞いている。しかし最近、京大阿部博士らは、導体表面を亜酸化銅にすることにより、珪素樹脂皮膜の接着性が

第 8 表 シリコンエナメルジメット線の性能

Table 8. Properties of Silicone Insulated Dumet Wire

導 体	0.26 mm ジメット線
皮 膜 厚	0.026 mm
ピ ン ホ ー ル	0/5 m
巻 付	8 倍でクラック発生
絶 縁 耐 力 (燃 合 法)	1,350V
絶 縁 耐 力 (150°C × 6 h 後)	1,780V
耐 磨 耗 性 (回 転 式 W 95 g.)	165 回

第 9 表 米国シリコンエナメル線 (1.016 mm) の性能例

Table 9. Some Properties of Silicone Enamelled Wire Made in U.S.A.

ス ク ラ ッ プ テ ス ト	反復スクラップ 54
耐 溶 剤 性	トルエン 96 h 浸漬 OK
マ ン ド レ ル テ ス ト	1 倍以下
軟 化 試 験	275°C
伸 張 試 験	30% 以上
急 激 伸 張 試 験	OK
耐 圧 (kV/mil)	2.2~2.7
耐 酸 性 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 20%	良
耐アルカリ性 NaOH 5%	不良

ますと発表<sup>(23)</sup>されて、日立製作所においても昭和 26 年末、0.26 mm ジメット線に DC-996 を焼付して、第 8 表に示すように、当時としては比較的良好な結果をえている<sup>(21)</sup>。さらにその後、表面条件を変えた導体(銅線)を用い、DC-996 および社内試作品の珪素樹脂を焼付したエナメル線を試作し、その皮膜の接着性について検討を行った結果、珪素樹脂の選択と、導体処理により、珪素樹脂の接着力はかならずしも小さいものでないことを報告<sup>(25)</sup>した。

その後 1953 年に至り Dow Corning Co. において、DC-1360, DC-1361 などの珪素樹脂と他の有機樹脂とを結合させたいわゆる変性シリコーンワニスが製造された。その実験例として、DC-1360 エナメル線を用い、シリコーンワニス処理した 7 $\frac{1}{2}$  HP のモータは、導体の温度が 160~180°C の間でも、A 種絶縁モータが、その動作温度範囲内で稼動すると同様な特性で働いたことを報じている<sup>(26)</sup>。なおこの報告で、DC-1360 と DC-1361 はその性質がよく似ているが、液状における粘度が異なることを述べている。これらのエナメルを使用した、No. 18 AWG (1.016 mm) マグネットワイヤーの代表的な物理的性質として、第 9 表を示している。また従来のエナメル線を 110°C の耐熱度として考えれば、DC-1360 を用いた珪素樹脂エナメル線は、200°C で同一寿命がえられ

ることも報じられている<sup>(27)</sup>。われわれも最近この諸塗料を入手したので、以下これを用いたものゝ試作検討の結果を報告する。

(2) DC-1360, DC-1361 珪素樹脂エナメル線の検討

(A) 供試線

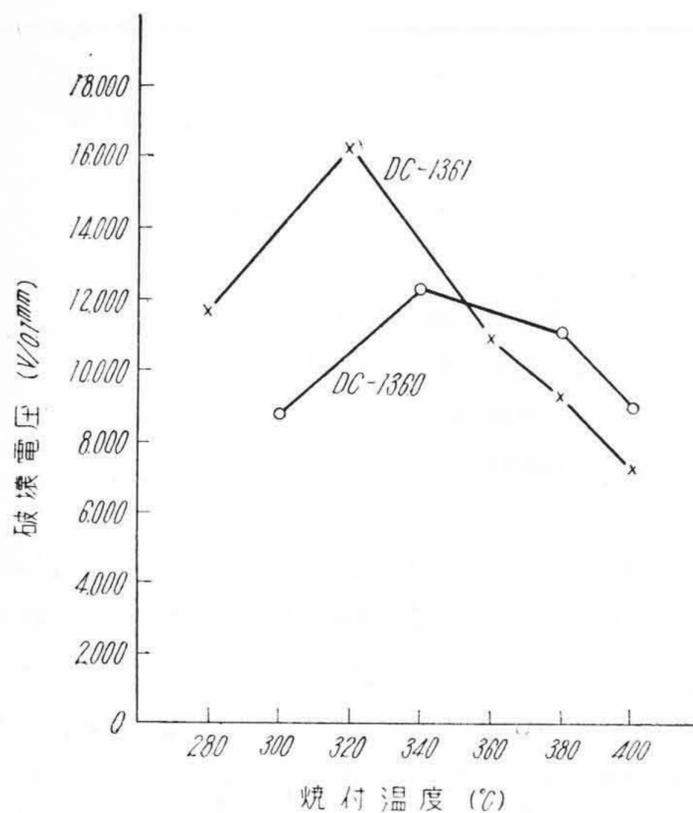
供試線の試作条件および寸法を第10表に示す。

導体は普通の軟銅線を用い、焼付温度を変えて試作した。

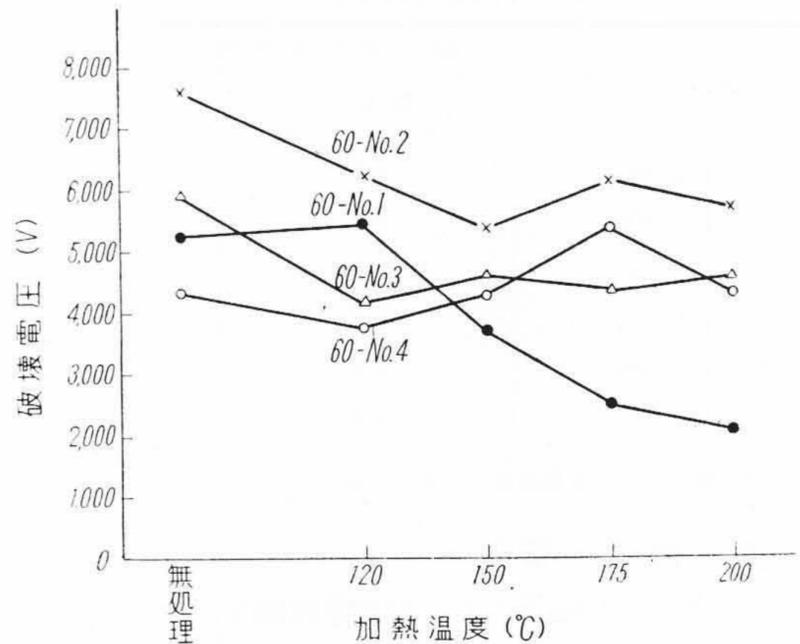
(B) 性能試験

試験は一応、JIS-C-3203 ホルマール銅線規格に準じて行い、さらに特殊項目を追加した。まず一般性能としてはピンホール、巻付、耐溶剤、耐酸、耐アルカリ、耐油試

験を行つたが、その結果を第11表に示す。また特殊試験としては、耐熱性に重点をおき、120°C, 150°C, 175°C,



第7図 焼付温度と破壊電圧の関係  
Fig.7. Relation between Baking Temperature and Breakdown Voltage



第8図 加熱温度と破壊電圧(DC-1360)の関係  
Fig.8. Relation between Heat Temperature and Breakdown Voltage (DC-1360)

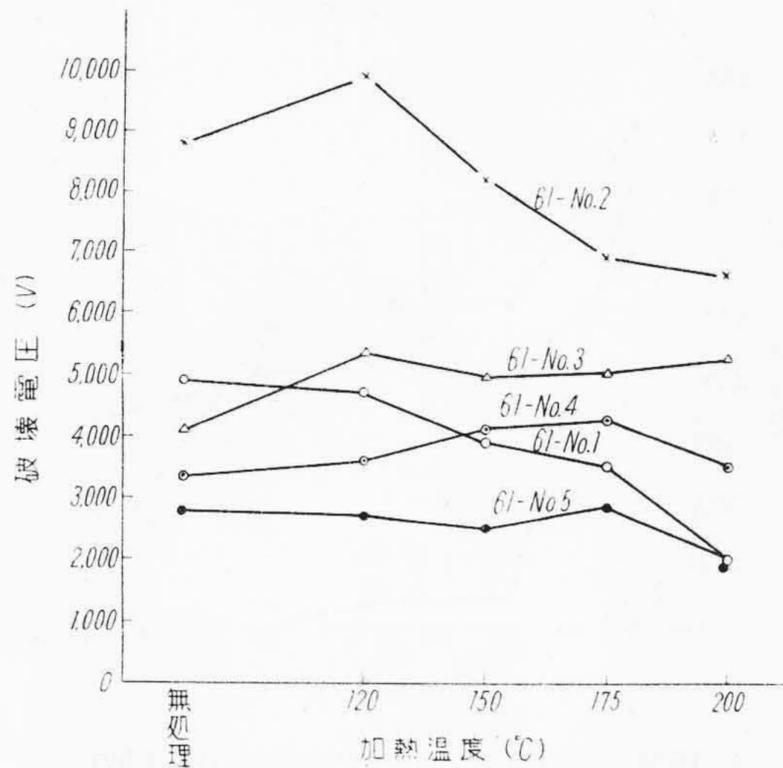
第10表 供試エナメル線  
Table 10. Various Silicone Enamelled Wire

試番	焼付塗料	焼付温度 (°C)	導体径 (mm)	皮膜厚 (mm)
60-No. 1	DC-1360	300	0.501	0.030
No. 2	DC-1360	340	0.502	0.031
No. 3	DC-1360	380	0.502	0.022
No. 4	DC-1360	400	0.500	0.024
61-No. 1	DC-1361	280	0.501	0.022
No. 2	DC-1361	320	0.501	0.029
No. 3	DC-1361	360	0.502	0.019
No. 4	DC-1361	380	0.502	0.018
No. 5	DC-1361	400	0.501	0.018

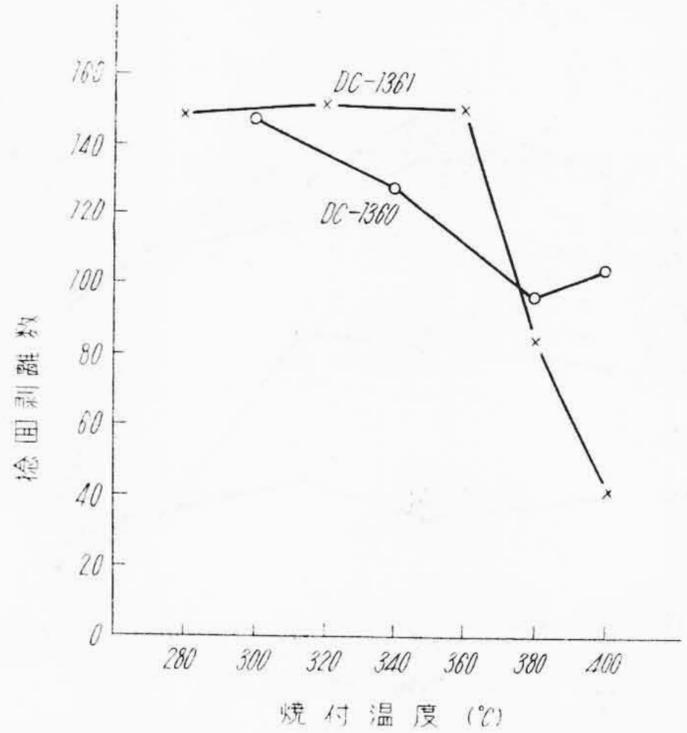
第11表 一般性能 Table 11. General Properties of Silicone Enamelled Wires

試番	ピンホール筒/5m	巻付ピンホール判定			耐溶剤 (常温 24h 浸漬後)									耐酸, 耐アルカリ (常温 24h 浸漬後)						耐油 Tr. Oil 100°C×24h			耐磨耗 NEMA式 W=300g.	
		2倍	4倍	6倍	ベンゼール			エタノール			ベンゼール 50 } エタノール 50 }			H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (SG 1.2)			NaOH (SG 1.1)			外観	布	爪	回	回/0.1mm
					外観	布	爪	外観	布	爪	外観	布	爪	外観	布	爪	外観	布	爪					
60-No. 1	0	3/3	3/3	3/3	OK	◎	◎	OK	◎	◎	OK	○	×	OK	◎	◎	OK	◎	×	OK	◎	◎	8.3	28
No. 2	4	3/3	2/3	2/3	OK	◎	◎	OK	◎	◎	OK	○	×	OK	◎	◎	OK	◎	×	OK	◎	◎	23.6	76
No. 3	2	2/3	0/3	0/3	OK	◎	◎	OK	◎	◎	OK	◎	○	OK	◎	◎	OK	×	×	OK	◎	◎	28.1	128
No. 4	5	2/3	0/3	1/3	OK	◎	◎	OK	◎	◎	OK	◎	◎	OK	◎	◎	OK	×	×	OK	◎	◎	35.0	146
61-No. 1	3	3/3	3/3	2/3	OK	○	×	OK	△	×	OK	○	×	OK	◎	◎	OK	×	×	OK	◎	◎	4.3	20
No. 2	0	0/3	0/3	0/3	OK	○	△	OK	△	×	OK	○	△	OK	◎	◎	OK	○	×	OK	◎	◎	17.6	61
No. 3	0	0/3	0/3	0/3	OK	◎	◎	OK	◎	◎	OK	◎	◎	OK	◎	◎	OK	◎	×	OK	◎	◎	9.5	50
No. 4	0	3/3	2/3	1/3	OK	◎	◎	OK	◎	◎	OK	◎	◎	OK	◎	◎	OK	◎	×	OK	◎	◎	21.3	118
No. 5	5	3/3	3/3	3/3	OK	◎	◎	OK	◎	◎	OK	◎	◎	OK	◎	◎	OK	×	×	OK	◎	◎	15.5	86

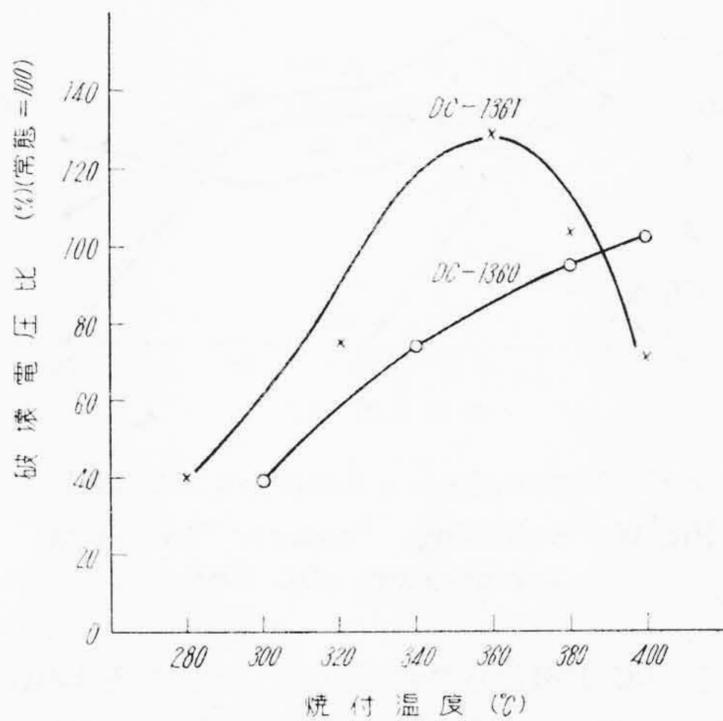
(注) 記号 ◎ 変化なし ○ 一部剥脱 △ 大部分剥脱 × 完全剥脱



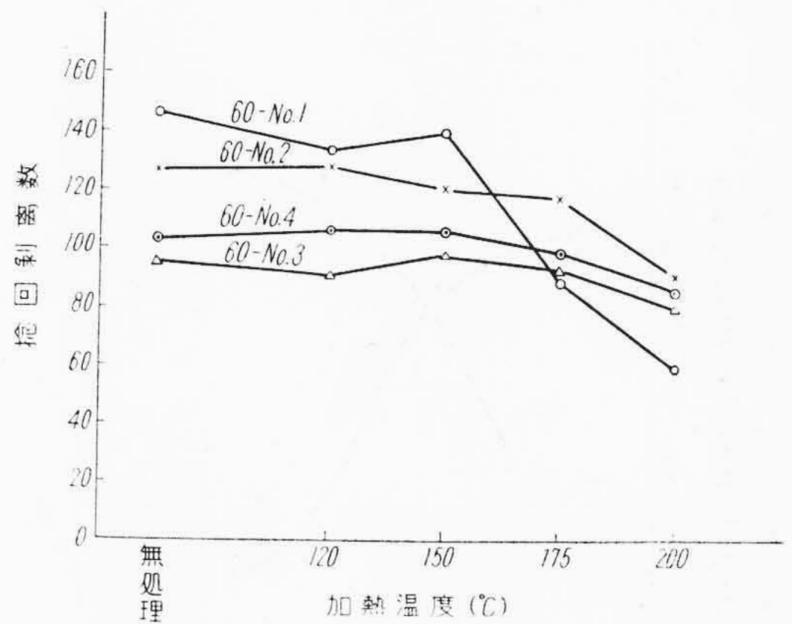
第9図 加熱温度と破壊電圧(DC-1361)の関係  
Fig.9. Relation between Heat Temperature and Breakdown Voltage (DC-1361)



第11図 焼付温度と捻回剥離数の関係  
Fig.11. Relation between Baking Temperature and Number of Stripping Torsion



第10図 200°C 24h 加熱後の破壊電圧比  
Fig.10. Ratio of Breakdown Voltage after 24h 200°C Heating



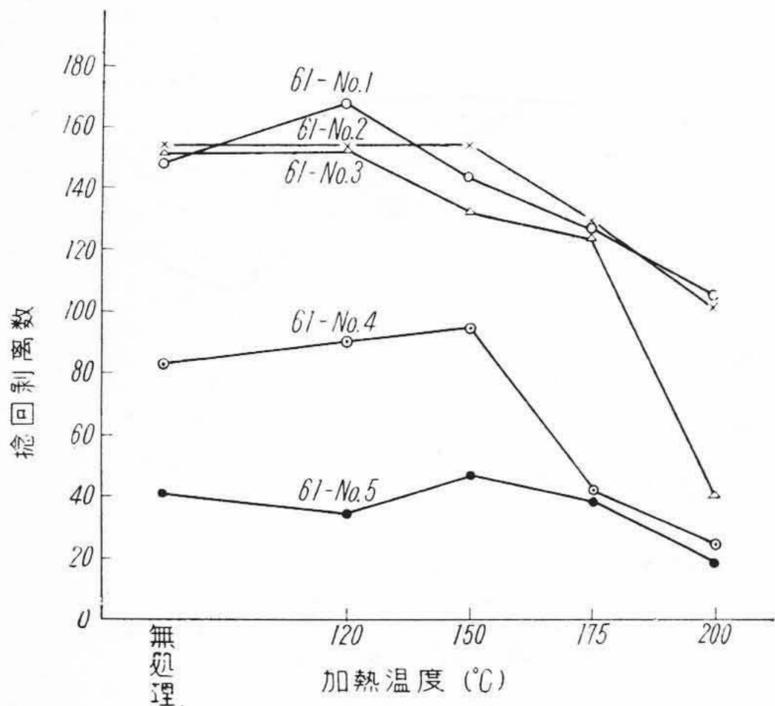
第12図 加熱温度と捻回剥離数 (DC-1360) の関係  
Fig.12. Relation between Heat Temperature and Number of Stripping Torsion (DC-1360)

200°C にそれぞれ 24 時間加熱した後、絶縁耐力、捻回剥離試験を行った。これらの結果を第7図～第14図(次頁参照)に示す。特に捻回剥離試験は、エナメル線類の試験として、従来行われていないものであるが、劣化現象を電気的な面のみならず、機械的な面より検討するためにきわめて有効であることは、すでに各種エナメル線について報告したとおりで<sup>(28)~(30)</sup>、供試線 200mm の両端を固定し、一端を回転捻回して供試線の皮膜が剥離し、心線が露出するまでの回数で求める方法である。さらにエナメル線の実用に当たっての、高温時における加圧、耐

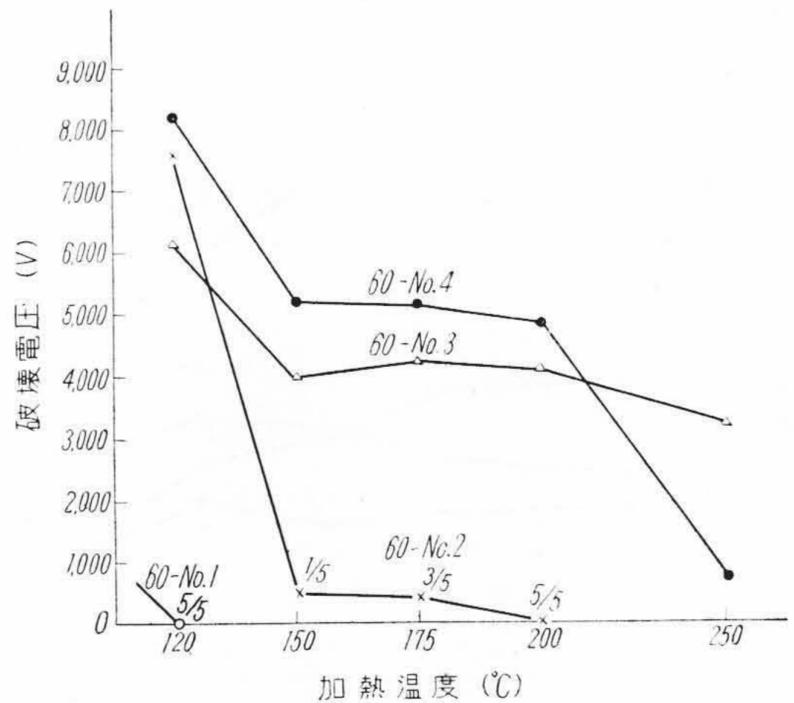
軟化性を検討しておかなければならぬ。この試験法としては、ホルマール線について既報<sup>(31)</sup>した方法を採用した。すなわち供試線を口状のものを互いに交叉して、1.8 kg の荷重を加え、両線間に 100 V 印加したまま、120 ~ 250°C にそれぞれ 6 時間保持して、短絡の有無を検し、その後線間破壊電圧を求めた。その結果を第15図および第16図に示す。図中の分数は、分母が試験回数、分子は短絡した試験回数である。

(C) 結果検討

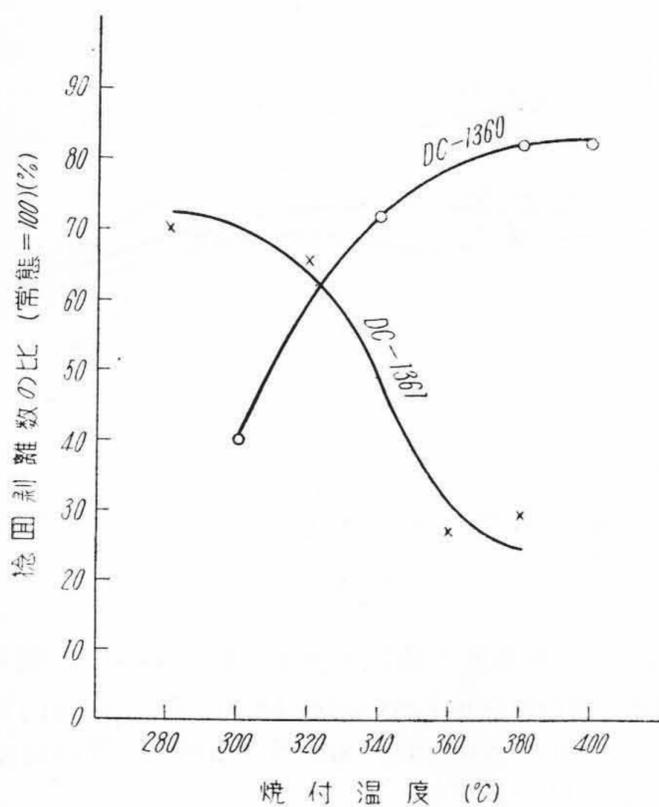
巻付特性および絶縁耐力は、焼付度によつて最適性能を有し(第11表および第7図)、焼付の低いものは加熱処理による破壊電圧の劣化が大きい(第8図～第10図)。常



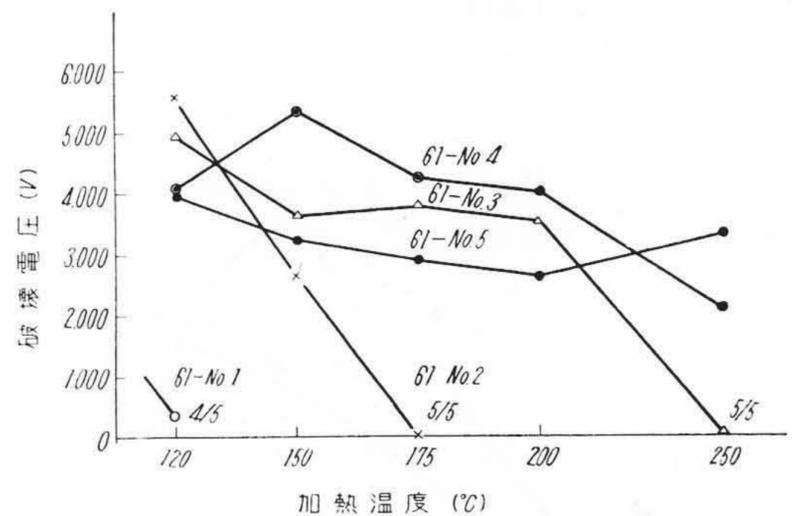
第13図 加熱温度と捻回剥離数 (DC-1361) の関係  
Fig.13. Relation between Heat Temperature and Number of Stripping Torsion (DC-1361)



第15図 加熱温度による熱軟化性 (DC-1360)  
Fig.15. Softening Property by Heat Temperature (DC-1360)



第14図 200°C 24h 加熱後の捻回剥離数の比  
Fig.14. Ratio of Number of Stripping Torsion after 24 h 200°C Heating



第16図 加熱温度による熱軟化性 (DC-1361)  
Fig.16. Softening Property by Heat Temperature (DC-1361)

態の破壊電圧は、DC-1361の方がやや高い。捻回剥離数は焼付度が高くなるに伴い低下するが、DC-1361は特に急激に低下する温度があり(第11図)、また加熱処理による劣化は、DC-1360の焼付が浅い方が大きいのに比し、DC-1361は反対の傾向を示している(第12図~第14図)。高温熱軟化性は(第15図および第16図)、焼付度が浅いものは著しく劣り、150°Cにも耐ええない。また焼付過度のものは250°C附近における劣化がやや大きくなり、適正な焼付度を行うことは諸特性上にもきわめて重要と

いえる。DC-1361は耐熱軟化性および捻回剥離性の最適焼付度に差があり、その選択は他の性能をも考慮してきめる必要がある。耐摩耗性も焼付度の高い程良い値を示す(第11表)。その値は油性エナメル線にまさり、ホルマール線におよばないが、コイル巻きの際に注意すれば十分使用できるものとする。耐溶剤性は、マグネットワイヤーとして実用上重要な性能であるが、ともに予期以上のすぐれた性能を有し、ベンゾール、エタノールに耐え、かつベンゾールとエタノール混液にも、ある程度耐えうる(第11表)。しかしDC-1361はDC-1360に比し若干劣り、かつ耐溶剤性に十分耐えるように焼付けると、熱劣化が大となり相反した結果になる。したがって適切な作業条件をみいだすことが大切である。耐酸性および耐油性は良好であるが、耐アルカリ性に乏しい欠点がある(第11表)。これは第9表の結果とも一致する。

## (3) 総括

以上述べたように、従来難点とされていた導体と珪素樹脂皮膜との接着については、導体の表面処理により著しく改善しえられ、また Dow Corning Co. 製変性シリコンワニス DC-1360, DC-1361 の出現により、そのすぐれた耐熱性、耐溶剤性などは、H種エナメル線として使用に耐えうるものである。たゞしエナメル線製作に当つては、その用途に応じた適正焼付条件をみいだすことが肝要であり、この点考慮しなければ、珪素樹脂エナメル線としての特性は十分にいかしえないといえる。しかしこれが適切であれば電気機器への利用により、耐熱度の向上、小型軽量化に大きい寄与をなしうるものといえよう。日立製作所においては、すでに実用実験の段階に入り、さらに寿命その他詳細な実験を実施中なので、これらについても追つて報告する予定でいる。

## 〔IV〕 結 言

珪素樹脂マグネットワイヤーに関する検討の結果を、ガラス巻線、エナメル線にわけて詳述したが、これらを取りまとめると、

(1) ガラス巻線用珪素樹脂として、日立製作所の試作品のうち、メチル系の  $\frac{Me}{Si}=1.35$  のものは、当時の輸入品 DC-996, 1088 に比し、高温、高湿下特性ともに遜色なく、また信越化学製の KR-98-No. 1 ならびに KR-272, 280 いずれも輸入品に劣らぬ性能を示す。輸入珪素樹脂ワニスでは DC-993, 996, 997 および SR-98 が良く、ガラス巻線用といわれる DC-1088, 1089 は変性品で耐熱性に劣る。

(2) エナメル線用の珪素樹脂ワニスとして DC-1360, 1361 はともにその焼付条件により著しい差異を生ずるもので、用途に応じて必要な性能を高度に発揮させるよう考慮しなければならない。これらは変性品であり、その耐熱寿命については現在実用試験などによつて検討中であるが、一応 H 種として 180°C の使用温度に耐ええられるものとする。しかし加工上の取扱いについては、機械的強度の点より注意が必要である。

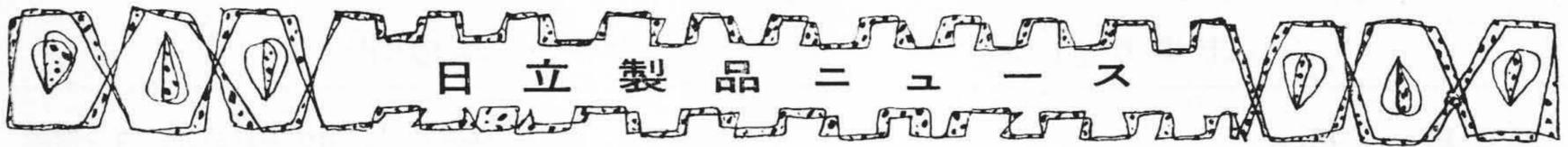
以上のように珪素樹脂ガラス巻線は、概して耐熱性、機械的強度にすぐれ、苛酷な取扱いにも耐ええられるが、珪素樹脂エナメル線は、電気的性能、耐溶剤性、占積率などに珪素樹脂ガラス巻線のおよばぬ特長を持っている。しかしてその耐熱性、機械的強度においては、若干劣ることは否めない。したがつてこれが電気機器への応用に当つては、これらの特長を熟知して、高温機器設計の参考として戴きたいと思う。

終りに御指導、御鞭撻を賜つた日立製作所日立研究所

三浦副所長、鶴田主任研究員、中牟田昌治氏、日立電線工場斎藤工場長、内藤、山野井両部長、江尻、矢田両主任以下関係者の方々に深謝申し上げる。

## 参 考 文 献

- (1) 間瀬, 江尻: 日立評論 33, 11 (昭 26)
- (2) Keramische Rundschau: 28, No. 22 (1936)
- (3) R. Lehmann, E. Ullrich: Cer. abs. 19, 331 (1936)
- (4) E. T. Z. Rundschau: 58, 767 (1937)
- (5) J. H. Thomass: J. Am. Cer. Soc. 20, 309 (1937)
- (6) P. Krüger: Kunstseide u. Zellwoll 263 (1937)
- (7) G. Slayter: Silk & Rayon 436 May (1937)
- (8) G. Slayter: Textili Colouist 45 (1937)
- (9) The Glass Industry 371 Nov. (1937)
- (10) 大橋: 電学誌 67, 220 (昭 22)
- (11) 阿部, 豊田: 電気評論 38, 2 (昭 25)
- (12) 山田: 合成樹脂 15 (昭 23)
- (13) H. P. Walker: E.E 66, July (1947)
- (14) F. L. Lotze, W. H. Moebius: Wire and Wire Products 25, 295 (1950)
- (15) Ind. Eng. Chem. 39, Nov. (1947)
- (16) V. M. Rees: Communications 26, 36 Jan. (1946)
- (17) G. H. Sherrard: Wire and Wire Products 25, 493 June (1950)
- (18) B. M. Pearson: Wire Industry 18, 146 Feb. (1951)
- (19) 谷: 珪素樹脂 70 (昭 27)
- (20) 友部: 日立評論 35, 93 (昭 28-7)
- (21) 山田: 日本化学会 第 6 年回要旨
- (22) 間瀬: 電学誌 73, 1397 (昭 28-12)
- (23) 阿部, 豊田, 西川: 電気評論 38, 11 (昭 27)
- (24) 間瀬: 電気三学界 東京支部大会要旨 96 (昭 27-10)
- (25) 間瀬: 工化 56, 514 (昭 28)
- (26) C. C. Currin, J. F. Dexter: Conference Paper at Winter Meeting A. I. E. E. Jan. (1954)
- (27) Mat. & Methods 38, 111 July (1953)
- (28) 間瀬: 工化 54, 347 (昭 26-6)
- (29) 間瀬: 工化 54, 563 (昭 26-9)
- (30) 間瀬: 工化 56, 601 (昭 28-7)
- (31) 間瀬, 矢田: 電学誌 74, 790 (昭 29-7)



## 日立シリコンワニス

### Hitachi Silicone Varnishes

日立シリコンワニスは日立製作所各部門において、実用研究された結果H種絶縁材料として、そのすぐれた特性が確認され使用されておるもので、第1表に示す種類がある。

第2表は主要製品の標準性能と試験成績の一例を示したもので、日立シリコンワニスはつぎのごとき特長をもついる。

- (1) 耐熱性がすぐれている。  
高温に長時間加熱しても電気絶縁性はあまり劣化しない。また屈曲性能の低下も少ない。
- (2) 耐水、耐湿性がすぐれている。
- (3) 耐候性が良い。
- (4) 酸、アルカリに対して強い。
- (5) 使用しやすい。

第1表 日立シリコンワニスの種類

Table 1. Kinds of Hitachi Silicone Varnishes

種 類	記 号	応 用 例
仕上用シリコンワニス	HS-101	W-10 相当
シリコンコイルエナメル	HS-105	W-18, W-19 等相当
普通加熱乾燥シリコンコイルワニス	HS-201	—
超耐熱加熱乾燥シリコンコイルワニス	HS-202	—
特殊加熱乾燥シリコンコイルワニス	HS-203	—
速乾性加熱乾燥シリコンコイルワニス	HS-204	—
シリコン電気鉄板ワニス	HS-301	W-30, W-33 等相当
エナメル線用シリコンワニス	HS-401	W-41 相当
ガラス巻線用シリコンワニス	HS-402	(アスベスト巻線にも良い)
接着用シリコンワニス	HS-501	W-50~54 等相当
フレキシブルマイカ接着用シリコンワニス	HS-601	—
マイカプレート接着用シリコンワニス	HS-602	#2~5 等
布管用シリコンワニス	HS-701	W-73 相当
積層成型用シリコンワニス	HS-801	ガラス積層板
防湿、撥水用シリコンワニス	HS-901	碍子、繊維質などの防湿撥水

第2表 日立シリコンワニス特性表

Table 2. Characteristics of Hitachi Silicone Varnishes

特 性	HS-201		HS-202		HS-203		HS-701			
	日立規格	試験結果	日立規格	試験結果	日立規格	試験結果	日立規格	試験結果		
外 観	淡黄色透明	淡黄色透明	淡黄色透明	淡黄色透明	淡黄色透明	淡黄色透明	淡黄色透明	淡黄色透明		
比 重 (20°C)	1.00±0.04	1.012	1.00±0.04	1.009	0.97±0.04	1.005	1.00±0.04	1.005		
粘 度, ポ イ ズ (30°C)	0.4~1.5	1.30	0.4~1.5	0.98	0.4~1.5	1.21	0.5~1.5	1.20		
不 揮 発 分 (%)	50±2	49.4	50±2	50.5	50±2	48.68	50±2	50.5		
酸 価, 不 揮 発 分 対 し	< 4	1.2	< 4	1.3	< 4	2.46	< 4	3.0		
厚 さ の つ き 方 (mm)	中 央 部	> 0.03	0.037	> 0.03	0.033	> 0.03	0.034	> 0.03	0.035	
	下 部, 中 央 部 対 し	< 130%	113	< 130%	121	< 130%	123	< 130%	119	
乾 燥 時 間	指 触	200°C	< 40分	25分	< 90分	70分	< 40分	30分	< 90分	80分
		250°C	< 20分	12分	< 20分	17分	< 20分	18分	< 20分	17分
	完 全	250°C	< 1時間	40分	< 4時間	2.5時間	< 2時間	40分	< 3時間	2.5時間
絶 縁 破 壊 電 圧 (kV/0.1mm)	常 態	> 7.5	8.3	> 8.0	8.3	> 7.5	8.7	> 8.0	8.3	
	180°C	> 6.5	7.4	> 7.0	7.2	> 6.5	7.2	> 7.0	7.4	
	浸 水 後	> 7.0	8.1	> 7.5	7.7	> 7.0	8.6	> 7.5	7.6	
体 積 固 有 抵 抗 (Ω-cm)	常 態	> 10 <sup>15</sup>	1.3×10 <sup>16</sup>	> 10 <sup>15</sup>	6.1×10 <sup>15</sup>	> 10 <sup>15</sup>	7.87×10 <sup>15</sup>	> 10 <sup>15</sup>	4.32×10 <sup>15</sup>	
	180°C	> 11 <sup>11</sup>	4.71×10 <sup>12</sup>	> 10 <sup>11</sup>	8.74×10 <sup>12</sup>	> 10 <sup>11</sup>	1.29×10 <sup>13</sup>	> 10 <sup>11</sup>	9.55×10 <sup>11</sup>	
	浸 水 後	> 10 <sup>15</sup>	4.76×10 <sup>15</sup>	> 10 <sup>15</sup>	8.3×10 <sup>15</sup>	> 10 <sup>15</sup>	6.47×10 <sup>15</sup>	> 10 <sup>15</sup>	6.18×10 <sup>15</sup>	
耐 熱 屈 曲 性 (250°C 加熱 3φ 屈曲合格時間)	>100時間	264 時間	>300時間	>580時間	>100時間	168 時間	>200時間	>264時間		
低 温 亀 裂 性 (5°C 水中)	—	—	—	—	2φ	2φ, OK.	2φ	2φ, OK.		
加 熱 減 量 (250°C 72時間後)(%)	< 8	4.5	< 8	5.6	< 8	4.0	< 8	4.2		
耐 溶 剤 性 (25°C キシロール中の剥離時間)	> 1分	2分 15秒	> 1分	2分 40秒	> 1分	2分 10秒	> 1分	3分 10秒		

(法) 本表は JIS C 2103 (絶縁ワニス試験方法) に準じたものである。