

日立エポキシ樹脂系絶縁材料の特性

Properties of Hitachi Insulating Materials of Epoxy Resin System

曾 根 康 夫* 堀 辺 武** 田 浦 晃**
 Yasuo Sone Takeshi Horibe Akira Taura
 飛 田 弘 男** 小 川 哲 郎**
 Hiroo Tobita Tetsuo Ogawa

内 容 梗 概

さきにサーモキッド系およびシリコンアルキド系のF種絶縁材料を完成したのに引き続き、エポキシ樹脂の絶縁材料への応用について研究し、今回コイル含浸用ワニス WF-282 はじめ一連のエポキシ樹脂系絶縁材料を完成したので、それらの特性について述べる。

1. 緒 言

エポキシ樹脂は接着性、耐熱性、機械的性質、耐薬品性などがすぐれているため、最初接着剤、塗料の分野で大きく発展したが、電気的性質も非常にすぐれているので、最近では電気絶縁材料への応用がきわめて盛んになった。われわれはさきに、サーモキッド系およびシリコンアルキド系のF種絶縁材料を完成し、その諸特性についてはすでに詳細報告⁽¹⁾したが、その後エポキシ系のF種絶縁材料の開発について種々研究し、今回一連の製品を完成した。

ワニス製品としてはコイル含浸用ワニス WF-282, WF-283 (B種)、塗り込み用ワニス WF-550、仕上げ用ワニス WF-190R がある。エポキシ樹脂はそれ単独では加熱しても硬化しないので、一般には使用直前に硬化剤を添加して、比較的短いポットライフの間に使い切らねばならない不便があった。しかし今回完成した絶縁ワニスは、エポキシ樹脂を化学的に変性しているため、使用に際して硬化剤を添加する必要がなく、かつポットライフもきわめて長く、旧来の油性系ワニスとまったく同じ方法で利用できるものである。

またエポキシ樹脂系絶縁ワニスと併用されるクロス製品は、ガラスクロスにエポキシ樹脂系ワニスを塗布乾燥して仕上げたものであり、エポキシ樹脂のすぐれた特性を有している。ガラスクロス積層板はエポキシ樹脂系接着剤を用いてガラスクロスを積層接着したものである。

マイカ製品は、マイカとマイカあるいはマイカと補強材とのほり合わせにエポキシ樹脂系の接着剤を用いたものである。今回完成されたものは、ガラスマイカ、ガラスパルプマイカ、型造用マイカ板、整流子片用マイカ板、整流子片用パルプマイカ板である。

以上各種のエポキシ樹脂系絶縁材料について特性試験を行なったので結果を報告する。

2. ワ ニ ス 製 品

2.1 コイル含浸用ワニス WF-282, WF-283

コイル含浸用ワニスは電気機器の最も重要な箇所に使用され、ワニスの特性が機器の性能、寿命を左右するため、ワニスの特性は非常に重要である。また最近には特に機器の量産に適した速乾性ワニス要望されているので、これらの点を考慮にいれて研究した。その結果、F種コイル含浸用ワニスとして WF-282, B種コイル含浸用ワニスとして WF-283 を開発した。

2.1.1 特性試験の方法

ワニスの安定性、加熱減量以外は JIS-C 2103 によって測定した。ただし、耐曲げ性試験片はいずれのワニスも1回目塗布後

第1表 WF-282 の 特 性

項 目	標 準 特 性	WF-282試験結果の1例	アルキドワニスの特性試験結果の1例
比 重 (20°C)	0.95±0.03	0.945	0.915
不 揮 発 分 (%)	45±3	46.0	45.5
粘 度 (30°C) ポイズ	0.5~3	1.5	1.38
酸 価	<10	5.0	7.0
乾 燥 時 間 135°C	<2h	1h	3h
乾 燥 時 間 105°C	—	4h	—
厚さのつき方 { 中央mm	>0.03	0.035	0.036
{ 下 部 %	<130	125	114
絶縁破壊の強さ { 常 態	>9	11.0	9.3
{ 浸 水	>8.0	9.1	8.2
(kV/0.1mm) { 155°C	>7	8.5	8.5
体積抵抗率 { 常 態	>10 ¹⁵	5.1×10 ¹⁵	1.3×10 ¹⁵
{ 浸 水	>10 ¹⁵	2.3×10 ¹⁵	2.6×10 ¹⁴
(Ωcm) { 155°C	>10 ¹⁰	4×10 ¹⁰	—
内 部 硬 化 性	135°C, >2h	135°C, 1h 合格	135°C, 2h 不合格 135°C, 3h 合格
耐 油 性	120°C, 24h	合 格	合 格
耐 曲 げ 性	175°C, 96h	240h	72h
耐 熱 軟 化 性	150°C, 1h	合 格	合 格
加熱減量 175°C, 72h (%)	<15	7.8	9.1

135°C で5時間、2回目塗布後24時間乾燥して作成した。

ワニスの安定性は、ここでは300ccの三角フラスコにワニス200gを入れ、空気冷却管をつけて50°Cの定温槽に入れ、粘度変化をガードナ気泡粘度計を用いて25°Cで測定した。

加熱減量は50×100mmのブリキ板の両面に、耐曲げ性試験の場合と同じ条件で皮膜を作成し、このものを所定の温度の定温槽にいれ、所定期間加熱後のワニス皮膜の重量減少率を測定した。

体積抵抗率、絶縁破壊電圧、誘電正接の測定用試験片の作成方法は耐曲げ性試験の場合と同じである。なお体積抵抗率は直偏法500Vで測定した。絶縁破壊電圧は常温の場合は変圧器油中で、また高温の場合はヒマシ油中で測定した。誘電正接はシェーリングブリッジを用いて60サイクル、200Vで測定した。

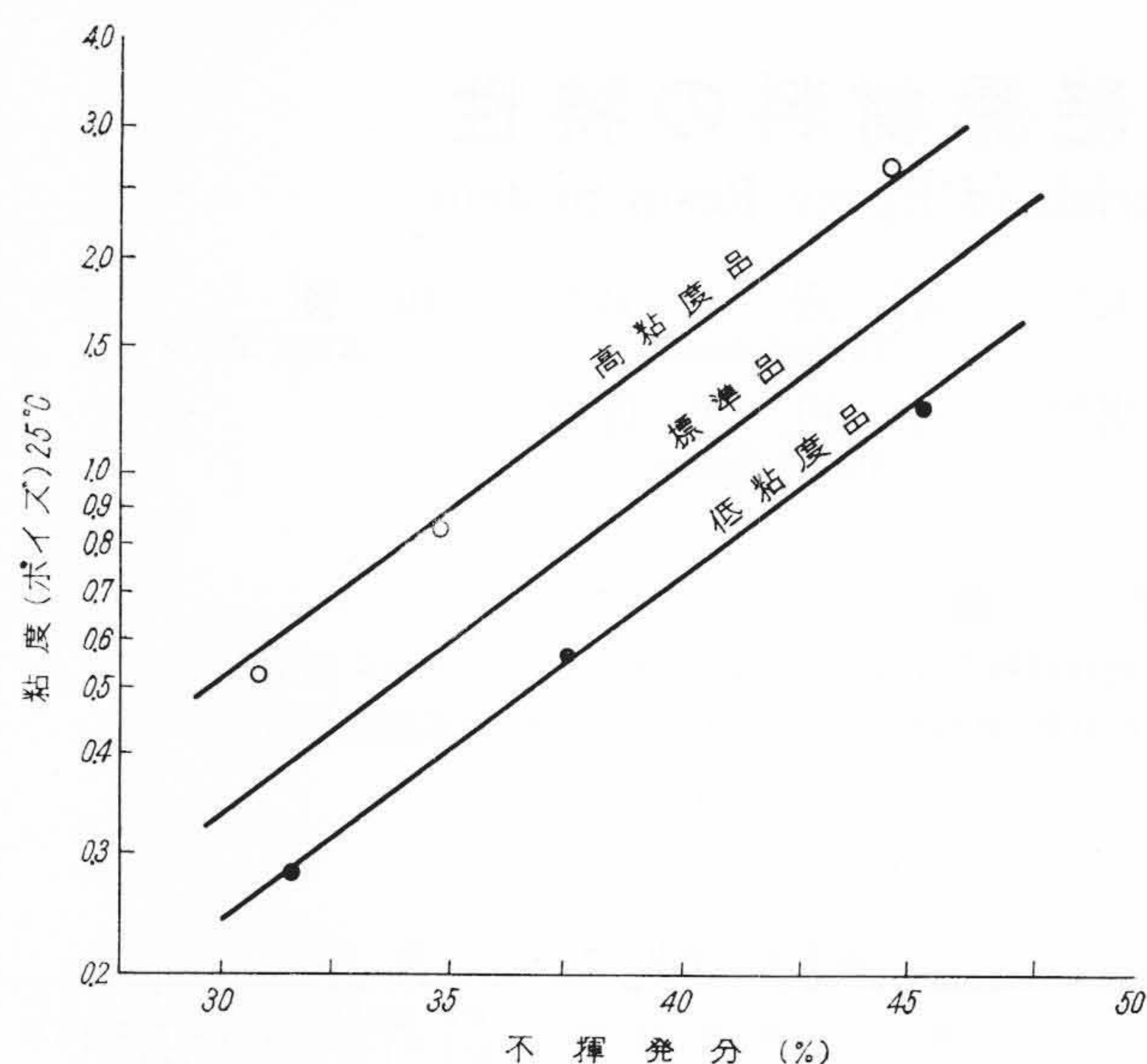
2.1.2 特性試験の結果

(1) F種コイル含浸用ワニス WF-282

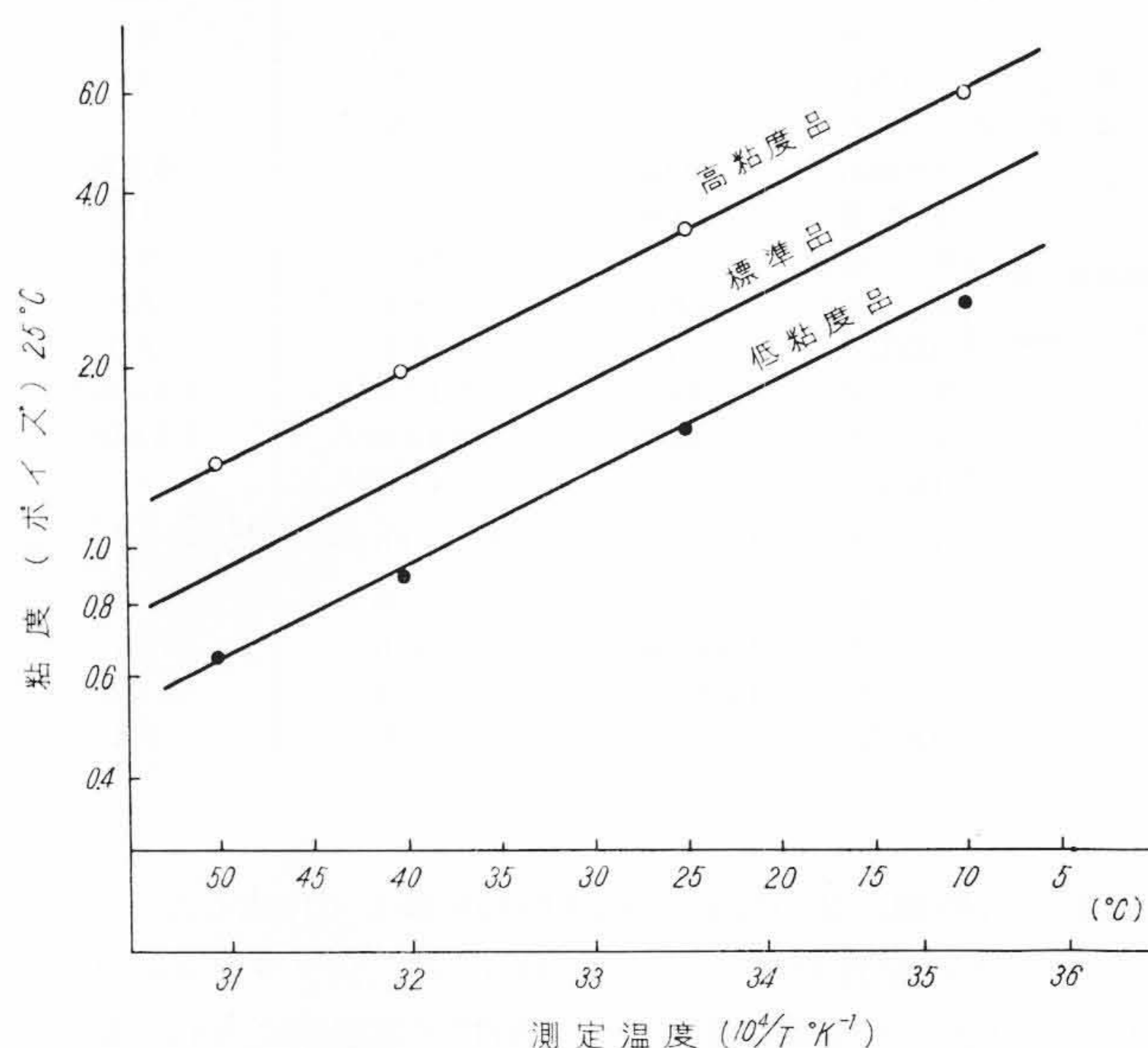
WF-282の一般特性を第1表に示す。第1表には比較のために耐熱アルキド系(日立ではサーモキッド系と称する)F種コイル含浸用ワニスの特性を示す。表からわかるように、WF-282は乾燥性、内部硬化性がすぐれ、旧来のアルキド系ワニスの約1/2の時間で乾燥することがわかる。このため比較的低温乾燥するA、B種機器絶縁に用いても十分効果を発揮することができる。また絶縁破壊電圧、体積抵抗率もすぐれており、特に耐曲げ性、耐熱性が格段とすぐれているので、大形電気機器、車両用モータ、圧延機用モータ、クレーン用モータなどきびしい条件下に使用されるモータのコイル含浸用として適している。

* 日立製作所山崎工場 工博

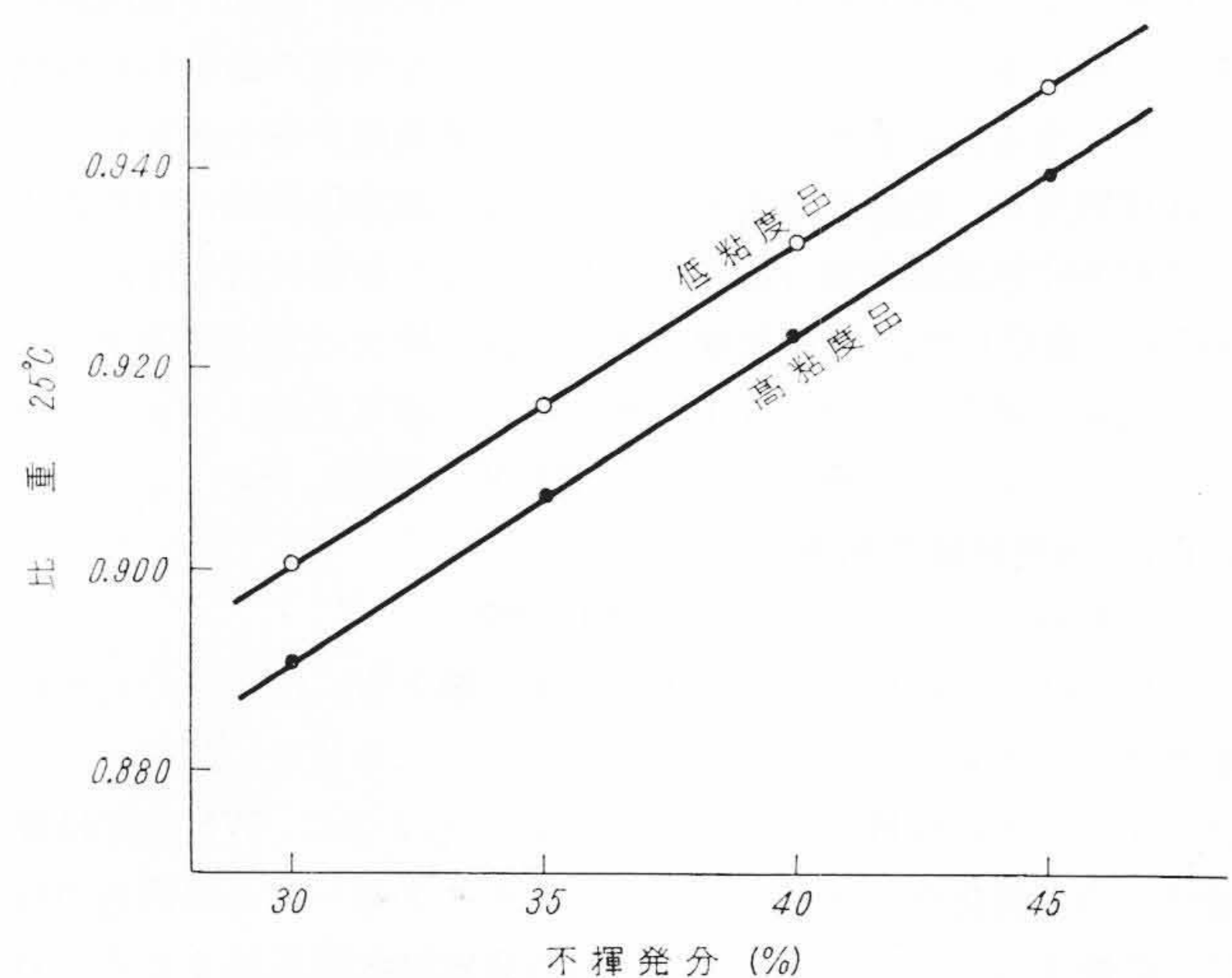
** 日立製作所山崎工場



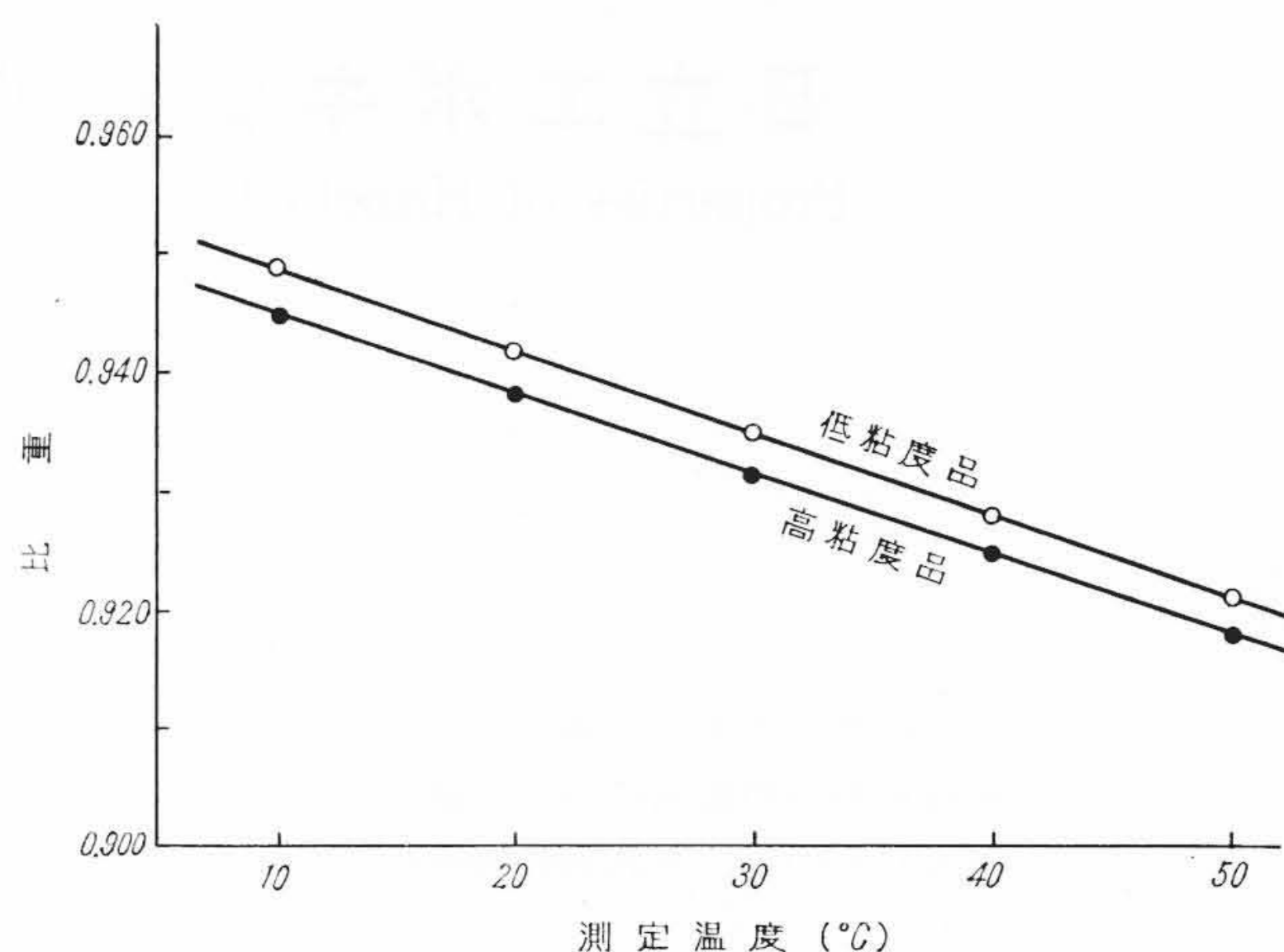
第 1 図 WF-282 の不揮発分と粘度の関係



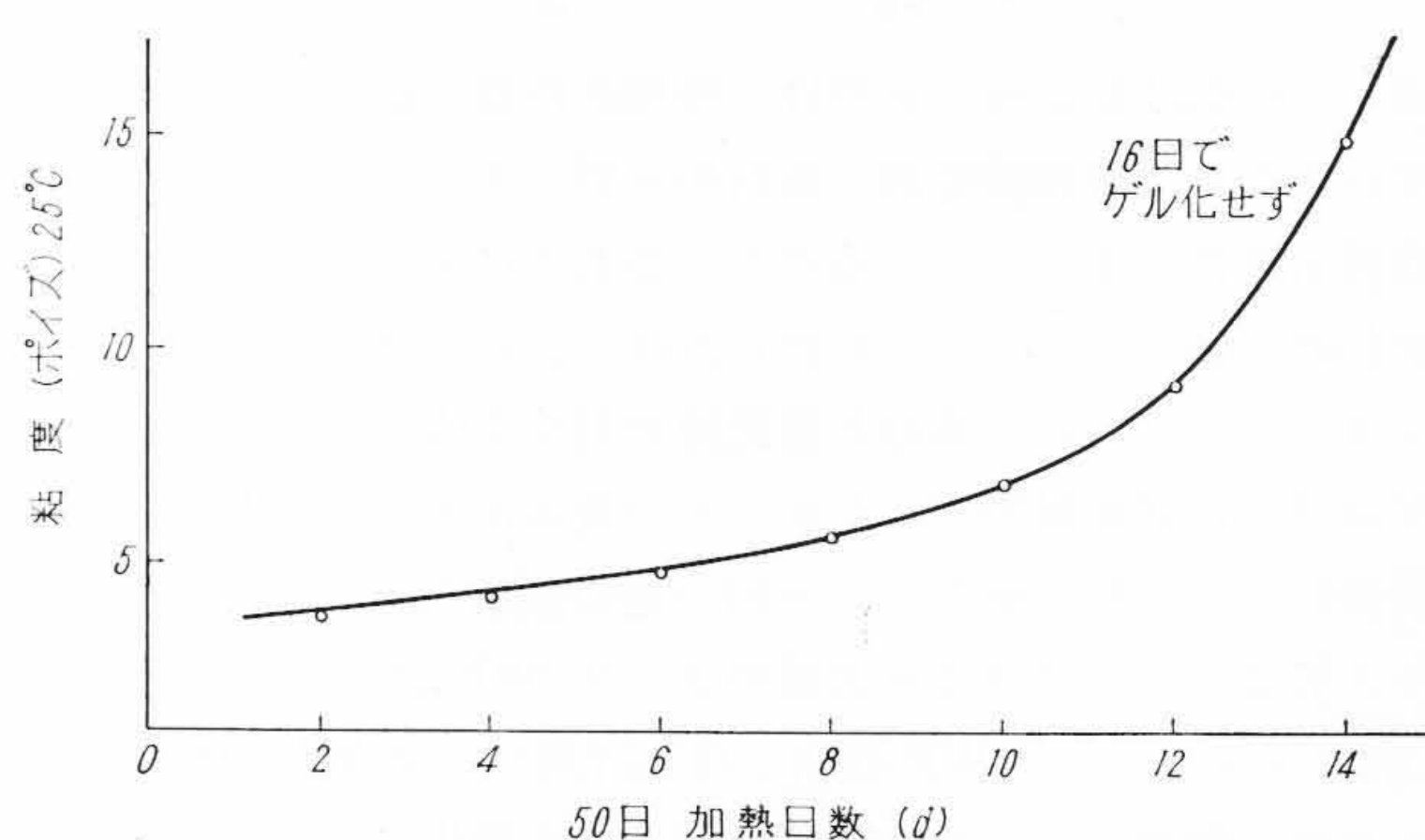
第 2 図 WF-282 の粘度と測定温度の関係



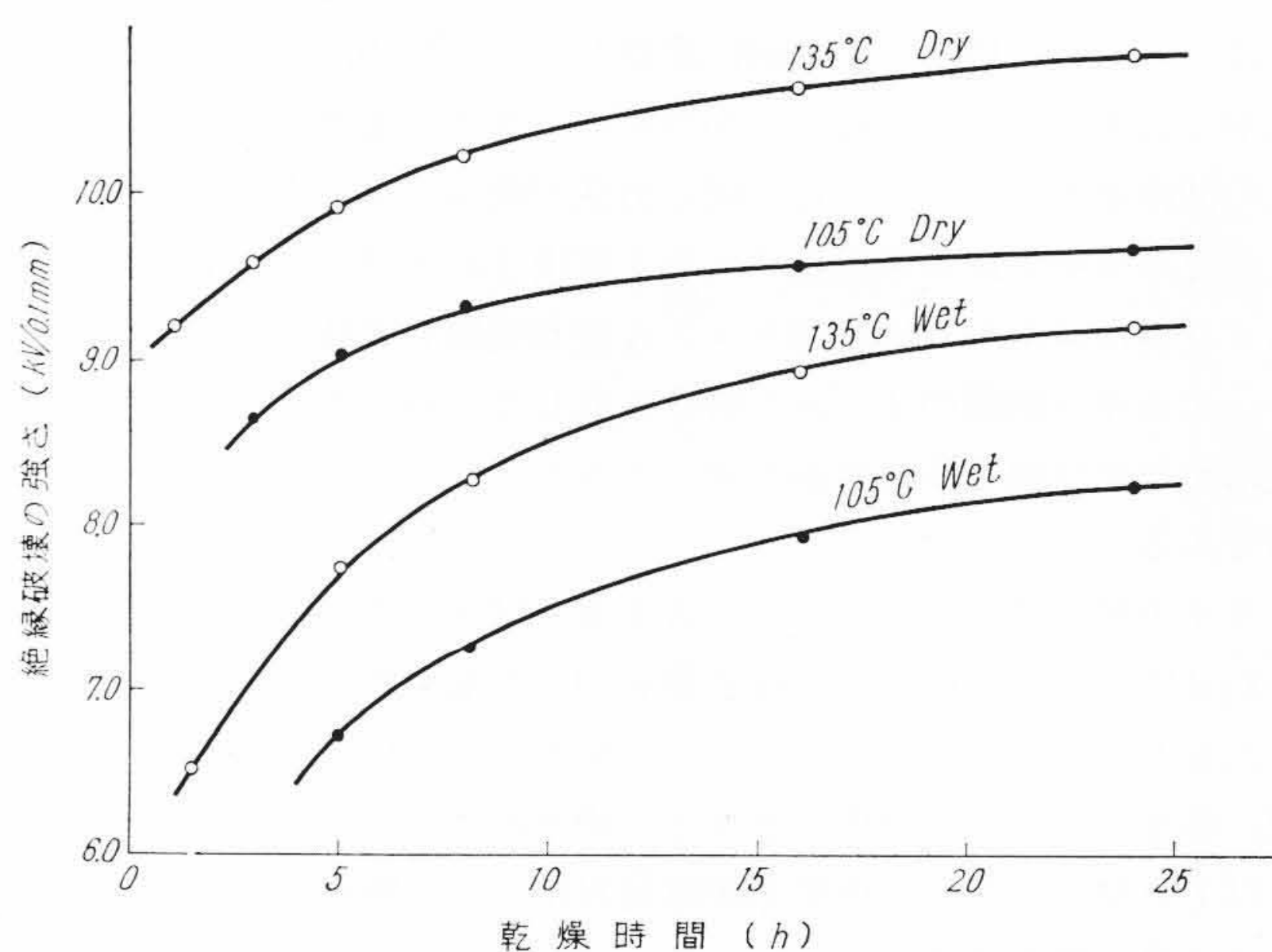
第 3 図 WF-282 の比重と不揮発分の関係



第 4 図 WF-282 の比重と測定温度の関係



第 5 図 50°Cにおける加熱日数と WF-282 の粘度との関係

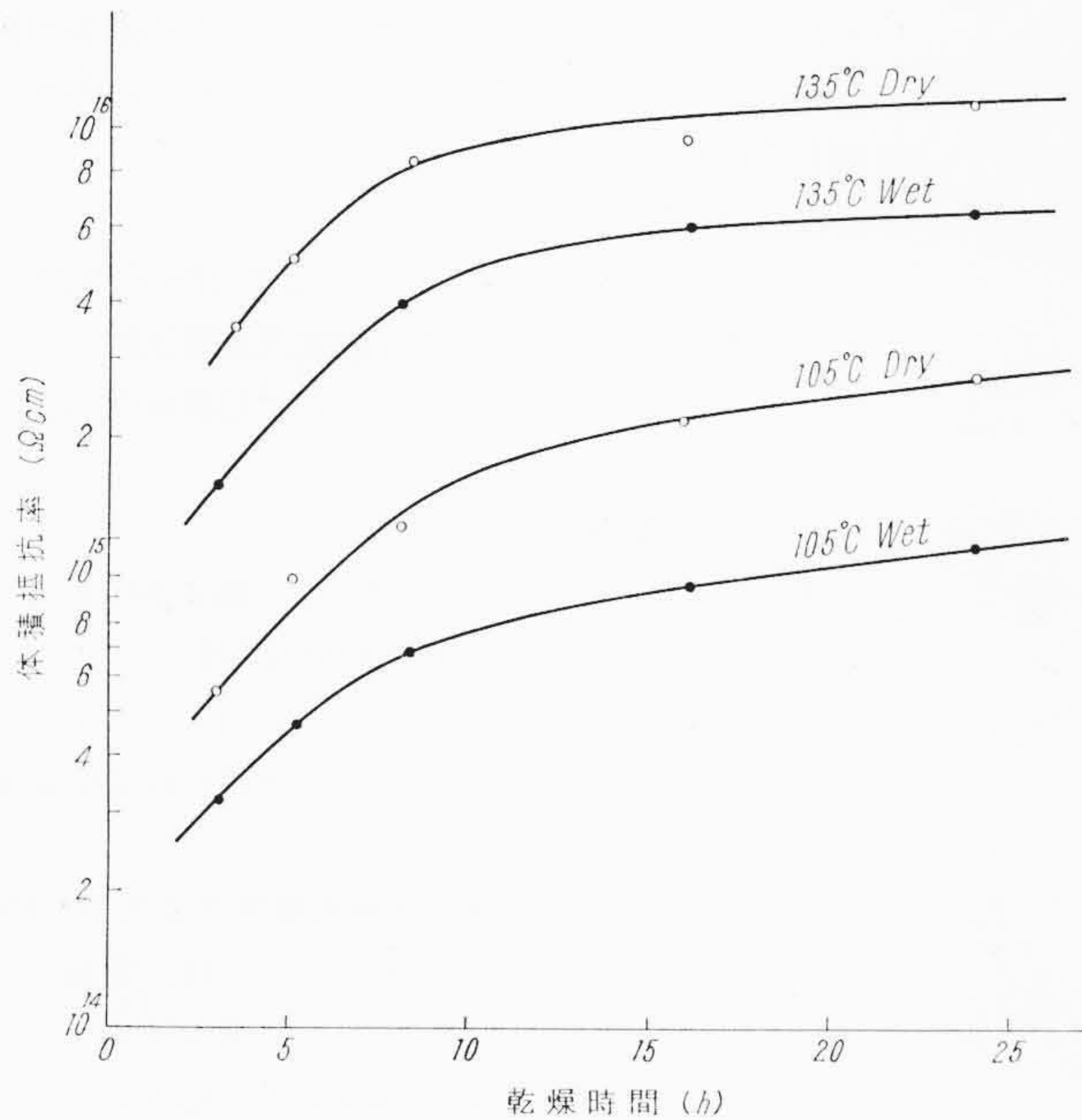


第 6 図 WF-282 の乾燥条件と絶縁破壊電圧の強さの関係
(図中の温度は乾燥温度, Dry, Wet は測定条件を示す)

て最も適した S-30 を用いた。また粘度は B 形粘度計で測定した。これらいずれの関係も、アルキド系ワニスと同じであり、エポキシ系ワニスに特に異なる挙動を示さないことがわかった。なお不揮発分と粘度との関係で、高濃度品と低濃度品の間にかなりの差がみられるが、一般の絶縁ワニスもほとんどこの程度の幅をもつものである。

ワニスの安定性の試験結果を第 5 図に示す。WF-282 は乾燥性に重点をおいて開発されたワニスであるため、従来のアルキド系ワニスに比べるとやや安定性が劣る。しかしこのような結果はあくまでも促進試験によるものであり、別に室温で保存したワニスは 6 箇月を経過しても粘度上昇は 5% 以内できわめてわずかである。実用上では、新しいワニス追加され常に更新されるので全

第 1~4 図は WF-282 の標準製品について不揮発分(濃度)と粘度、測定温度と粘度、不揮発分と比重、測定温度と比重との関係を示す。なおこれらの測定において、希釈溶剤にはシンナーとし



第7図 WF-282の乾燥条件と体積抵抗率の関係
(図中の温度は乾燥温度, Wet, Dryは測定条件を示す)

第2表 WF-282の耐アルカリ性試験結果

ワニスガラスクロス のワニス乾燥条件	重量減少率 (%)	絶縁破壊電圧低下率 (%)	低下後の絶縁破壊電圧 (kV)
150°C 1h	0.27	3.6	13.5
135°C 16h	0.14	3.1	16.4

然問題にならない。

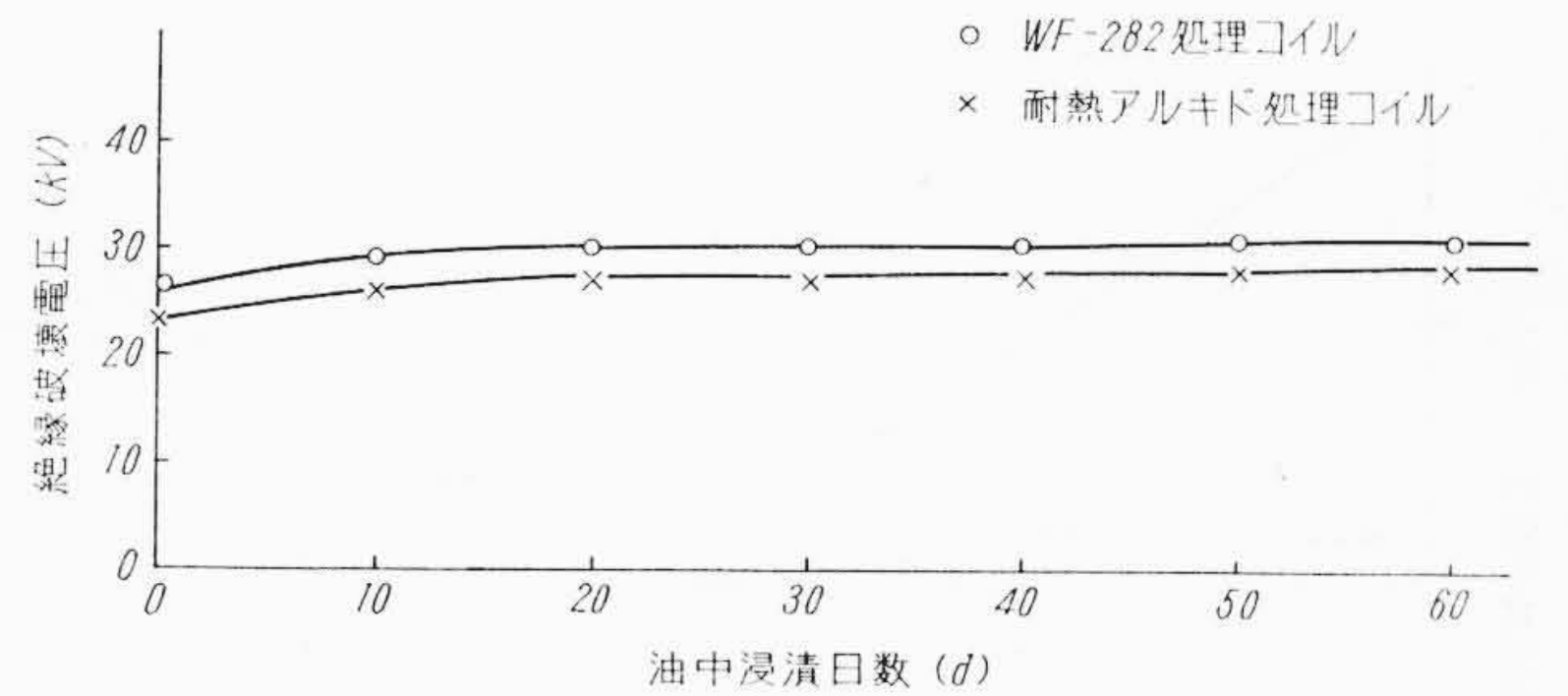
ワニス皮膜の乾燥条件と電気特性との関係を第6,7図に示す。JISに規定されている乾燥時間は、ブリキ板に作成したワニス皮膜表面の粘着性を指で判定するので、ワニス相互の乾燥性の比較には有効であるが、使用者が実用上コイルの乾燥時間を決める尺度にはならない。もちろん、ブリキ板に塗布したワニス皮膜の電気特性と実際のコイルに含浸した場合の電気特性とはかなり異なるが、およその目安になる。第6,7図から絶縁破壊の強さ、体積抵抗率ともに105°Cでも135°Cでも約8時間乾燥すればほぼ一定値になることがわかる。105°Cの乾燥では135°Cの場合に比べると値はかなり低いが、十分実用に耐えるものである。

耐アルカリ性の試験結果を第2表に示す。試験法は厚さ0.07mmのガラスクロスにワニスを2回塗りして厚さ0.18mmのワニスガラスクロスを作り、これを25°Cの濃度5%カ性ソーダ溶液に4日間浸漬後、水洗乾燥し、重量と絶縁破壊電圧の変化を測定した。第2表からWF-282はアルカリにほとんど影響されないことがわかる。

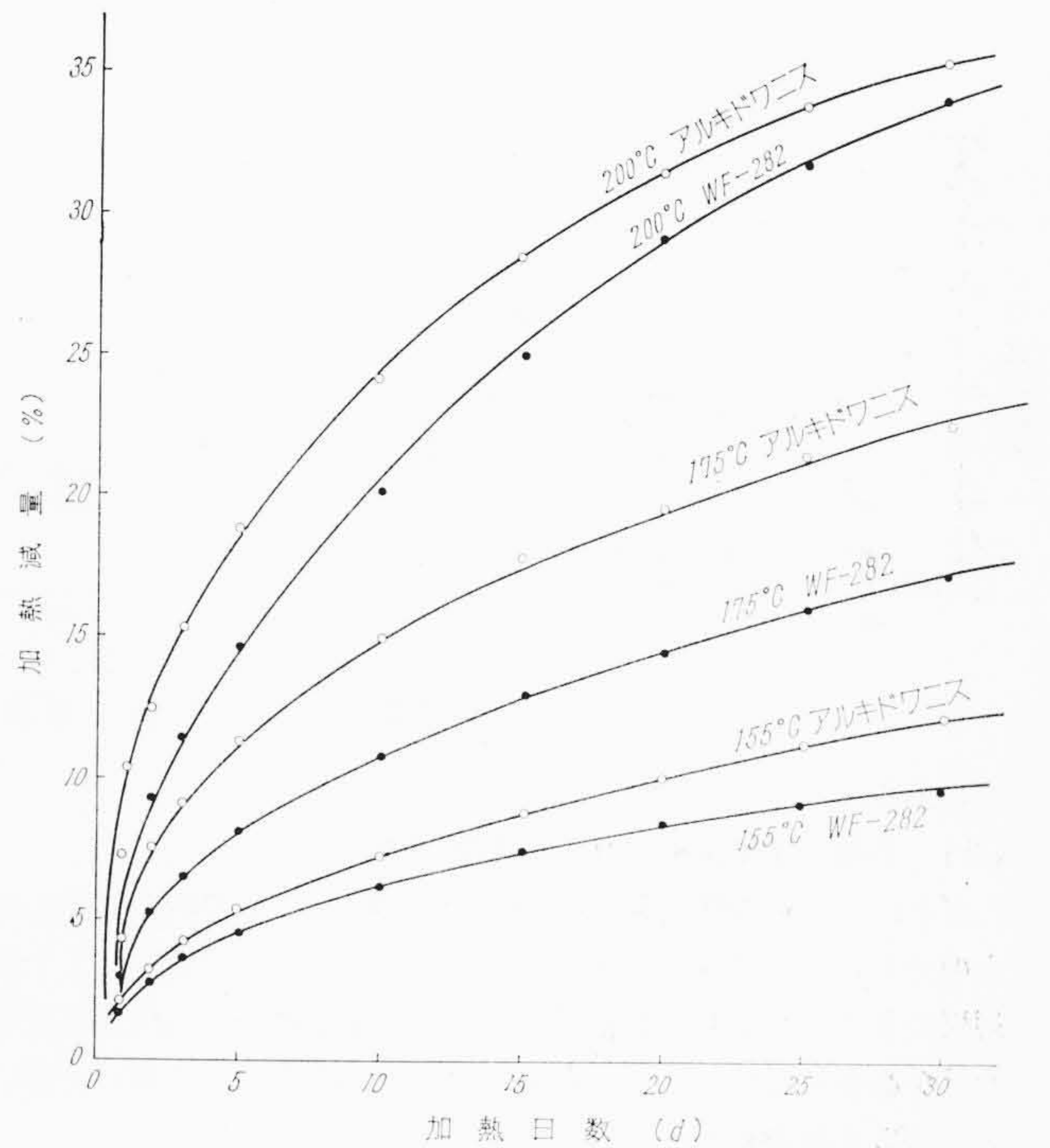
次に耐油性について試験した。WF-282およびアルキド系ワニス皮膜を120°Cの変圧器油中に24時間浸漬したあと、皮膜の外観を見たがいずれも全然変化がなかった。これらのワニスを含浸乾燥したモデルコイルを作成して80°Cの油中に浸漬し、絶縁破壊電圧の変化を測定した。その結果を第8図に示す。図からWF-282はアルキド系ワニスと同様に耐油性がすぐれていることがわかる。

コイル含浸用ワニスの耐熱性の判定法として加熱減量を測定した。WF-282およびアルキド系ワニスについて各温度で加熱減量を測定した結果を第9図に示す。図からわかるように200°Cまでの温度ではWF-282のほうが加熱減量は少なく、耐熱性はよりすぐれていることがわかる。

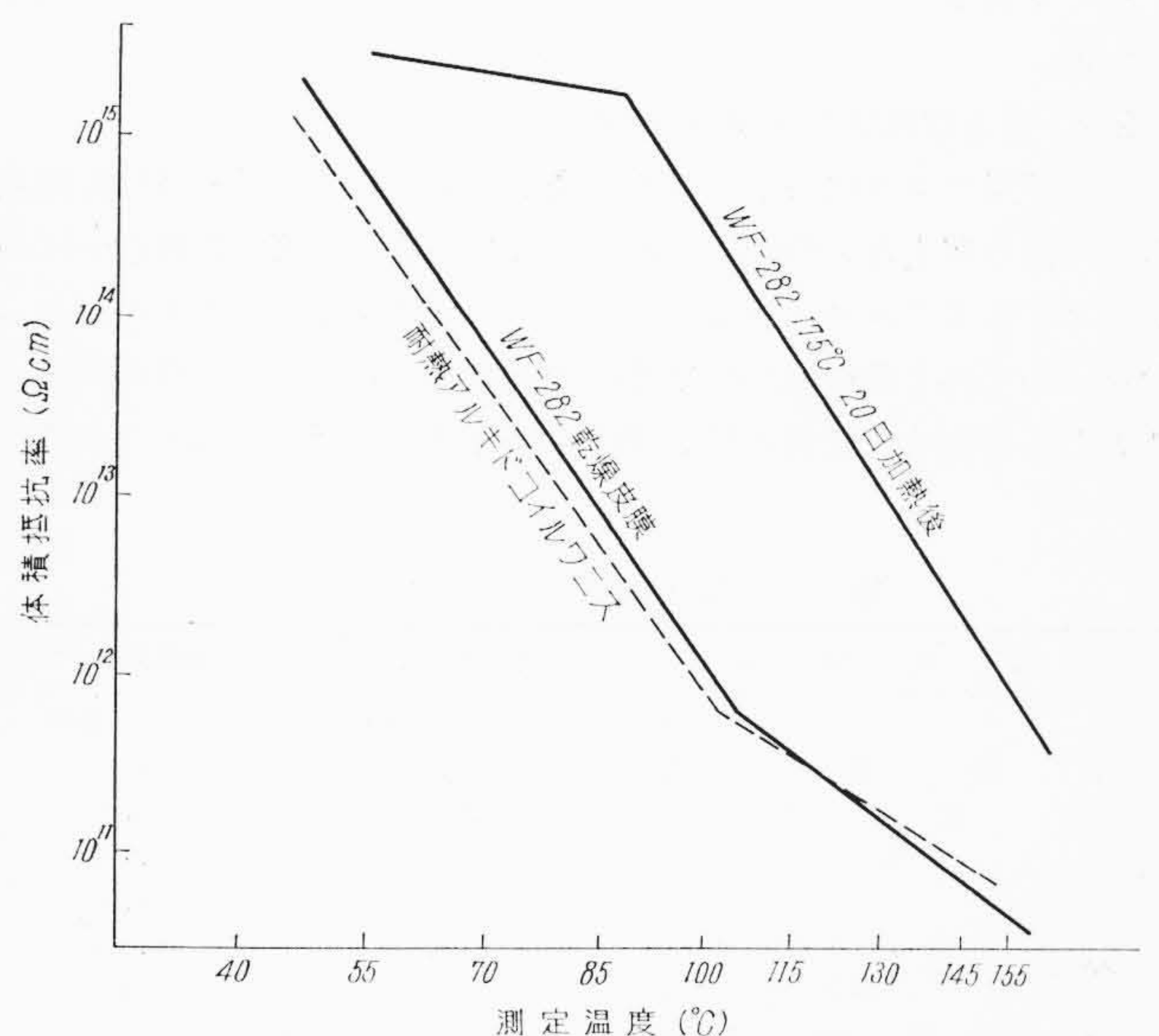
体積抵抗率、絶縁破壊の強さ、誘電正接の温度特性を第10, 11,



第8図 WF-282含浸モデルコイルの高温油中浸漬による絶縁破壊電圧の変化

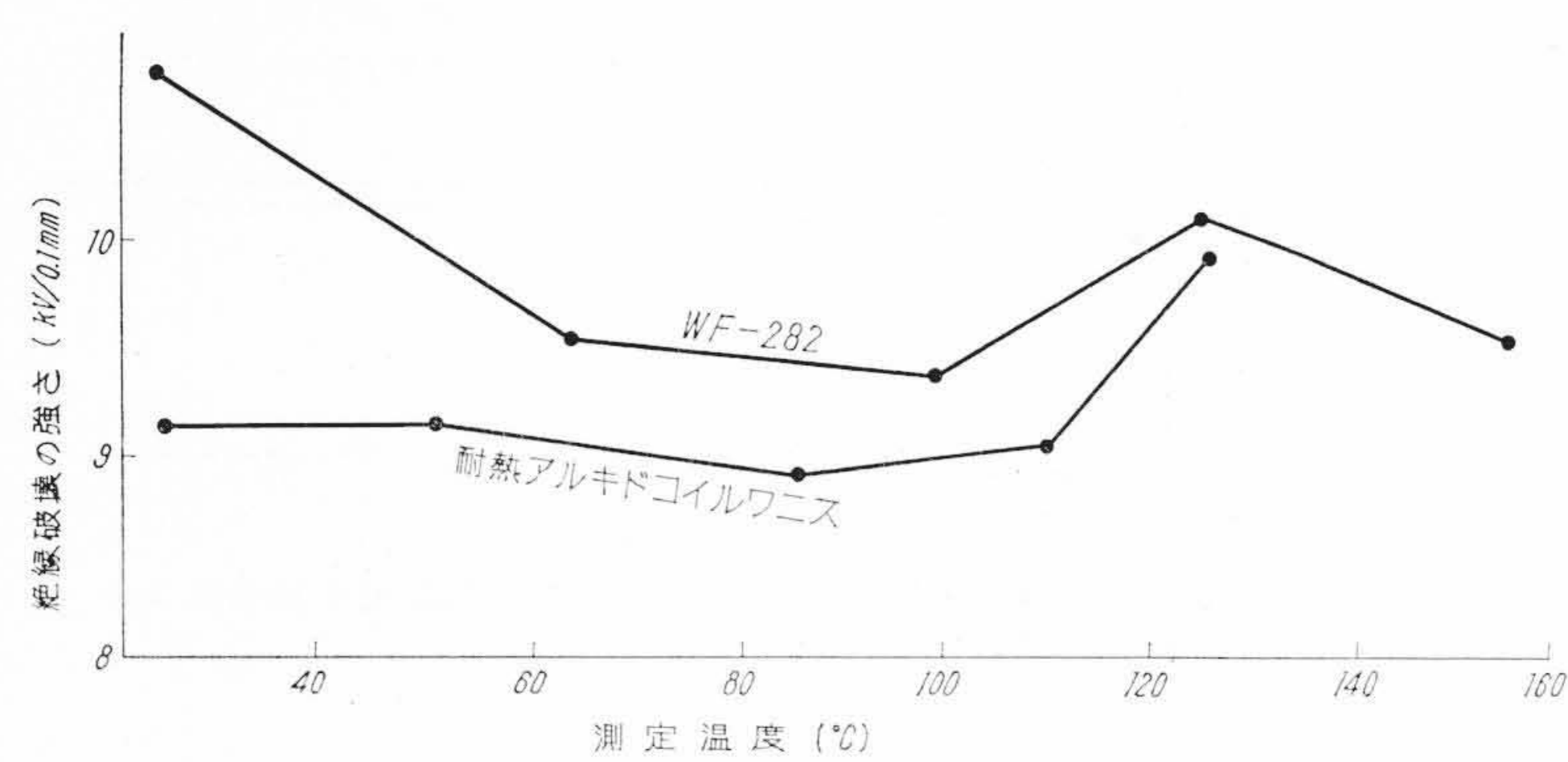


第9図 各温度でのWF-282とアルキド系ワニス皮膜の加熱減量

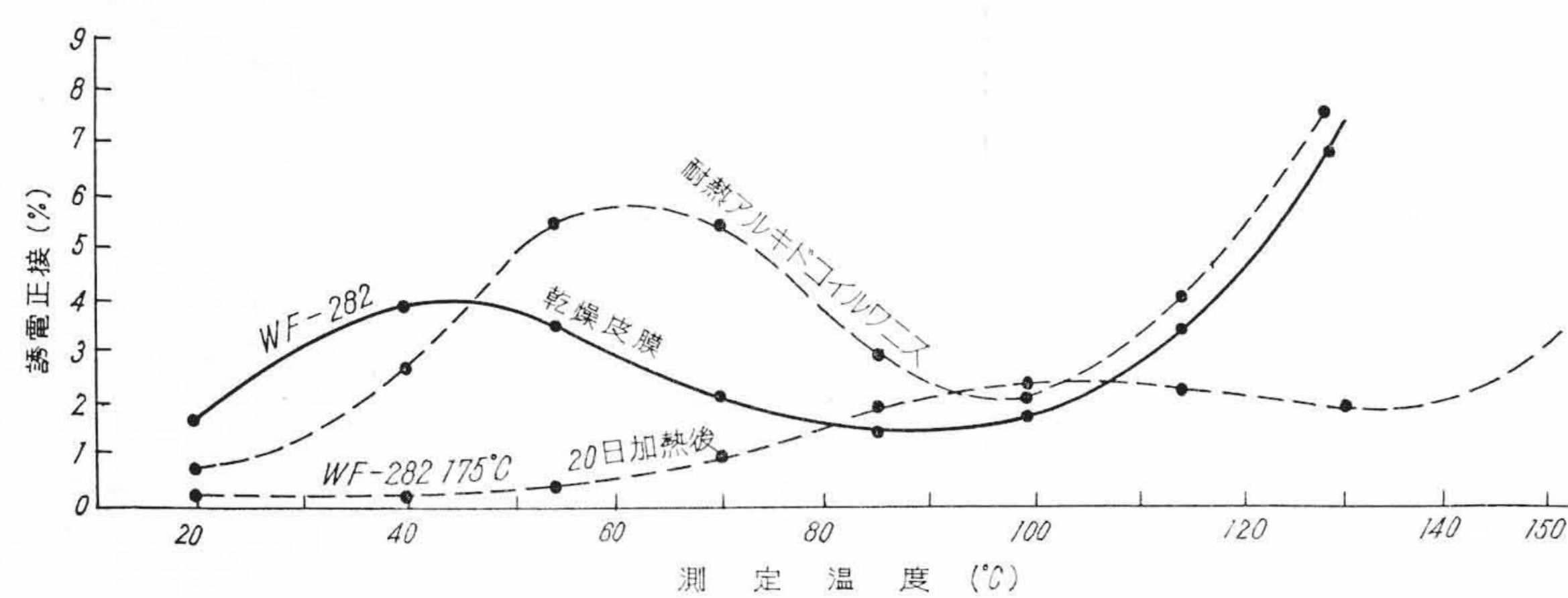


第10図 WF-282の体積抵抗率の温度特性

12図に示す。第10, 11図からWF-282の電気絶縁性は広い温度範囲にわたってアルキド系ワニスよりもすぐれていることがわかる。また第12図からWF-282の低温領域の異常分散の山は、高温で加熱すると高温側に移動し、同時に山の高さが低くなること



第 11 図 WF-282 の絶縁破壊の強さの温度特性



第 12 図 WF-282 の誘電正接の温度特性

がわかる。

(2) B種コイル含浸用ワニス WF-283

さきに述べた WF-282 は F 種コイル含浸用を目的に開発したものであるが、乾燥性がすぐれているので、B 種用としても十分利用できる。しかし、B 種用として利用するにはそれほど高度の性能を必要としないので、B 種用として経済的にも使いやすい WF-283 を開発した。

WF-283 の一般特性の試験結果を第 3 表に示す。表からわかるように WF-283 の乾燥性は WF-282 と同程度であるが、耐曲げ性はやや劣る。しかし一般の B 種ワニスに比べると非常にすぐれている。

2.2 仕上げ用ワニス WF-190 R

仕上げ用ワニスはおもにコイル表面に塗布して防じん、防湿、熱放散、外観の向上などのために用いられている。従来、F 種仕上げ用ワニスとしてアルキド系およびシリコンアルキド系のものがあったが、いずれも乾燥性がやや悪い欠点があった。コイル含浸用ワニスとしてきわめて乾燥の早い WF-282 が開発されたため、これに伴

い当然仕上げ用ワニスにも乾燥の早いものが必要である。この目的のため速乾性のエポキシ系仕上げ用ワニス WF-190 R を開発した。

2.2.1 特性試験の方法

一般特性試験は JIS-C 2103 および JIS-C 2122 によって実施した。電気的性質測定用皮膜試験片は、1 回目塗布後 135°C で 3 時間、2 回目塗布後 24 時間乾燥した。

2.2.2 特性試験の結果

WF-190 R の一般特性試験結果を第 4 表に示す。表からわかるように、WF-190 R は従来のアルキド系仕上げ用ワニスに灰色であるのに対してベンガラ色であり、特に乾燥性ははるかにすぐれている。

2.3 塗り込み接着用ワニス WF-550

塗り込み接着用ワニスは、電気工作作業時においてテープ巻きするときに塗り込みに使用される。塗り込み用ワニスには電気特性のよいことが第一であるが、接着力のよいことも重要である。またコイル内部に塗り込まれるので内部硬化性、耐曲げ性もコイルワニス同様に重要である。このため、従来のアルキド系塗り込みワニスよりも、

これらの性質のはるかにすぐれたエポキシ系塗り込みワニスの開発について検討し、今回 WF-550 を開発した。

2.3.1 特性試験の方法

一般特性試験は JIS-C 2103 および JIS-C 2122 に準じて実施した。接着力の測定には 10×80×0.6 mmt の銅板を用い、接着面積

第 4 表 WF-190R の一般特性

試 験 項 目	WF-190R 標準特性	WF-190R 試 験結果の 1 例	アルキド系 F 種 仕上げワニス
外 観	ベンガラ色	ベンガラ色	灰色
比 重 (20°C)	1.1±0.2	1.036	1.049
不 揮 発 分 (%)	55±5	54.3	54.6
乾 燥 時 間 (135°C)	<2h	45min	3.5h
厚さのつき方 { 中央部 (mm) 下 部 (%)	>0.04 <140	0.059 120	0.055 127
絶縁破壊の強さ { 常 態 (kV/0.1mm) { 浸 水 後	>4 >3	6.4 5.5	4.9 4.0
体 積 抵 抗 率 { 常 態 (Ωcm) { 浸 水 後	>10 ¹⁴ >10 ¹³	3.5×10 ¹⁵ 3.2×10 ¹⁴	2.2×10 ¹⁵ 4.7×10 ¹⁴
耐 油 性 (120°C-24h)	合格	合格	合格
耐 曲 げ 性 (175°C-3mmφ)	24h 合格	48h 合格	155°C, 48h 合格
加 熱 減 量 (%) (175°C-72h)	<15	6.3	—
耐 ア ー ク 性 (秒)	—	160	—

第 3 表 WF-283 の 一 般 特 性

試 験 項 目	標 準 特 性	試験結果の一例
外 観	アメ色 透明	アメ色 透明
不 揮 発 分 (%)	45±3	45.6
粘 度 (30°C ポイズ)	0.5~3.0	1.0
比 重 (20°C)	0.92±0.03	0.914
酸 価	<10	8.0
厚さのつき方 { 中央部 (mm) 下 部 (%)	>0.03 <130	0.044 110
乾 燥 時 間 (135°C-h)	<2.0	1.0
内 部 硬 化 性 (135°C-h)	<2.0	0.5
耐 熱 軟 化 性 (150°C-1h)	流出しないこと	合格
絶縁破壊の強さ { 常 態 (kV/0.1mm) { 浸 水 後	>9.0 >7.5	10.9 9.6
体 積 抵 抗 率 { 常 態 (Ωcm) { 浸 水 後	>10 ¹⁵ >10 ¹⁴	3.6×10 ¹⁵ 1.2×10 ¹⁴
耐 曲 げ 性 (150°C-3mmφ)	>72h	168h 合格
耐 油 性 (120°C-24h)	変化しないこと	合格

第 5 表 WF-550 の 一 般 特 性

試 験 項 目	WF-550 の 標準特性	WF-550 の試 験結果の 1 例	アルキド系塗 り込みワニス
外 観	あ め 色	あ め 色	あ め 色
不 揮 発 分 (%)	55±3	54.1	55.3
比 重 (20°C)	0.98±0.03	0.980	0.975
粘 度 (30°C, ポイズ)	4~10	6.7	13.1
酸 価	<15	9.5	—
乾 燥 時 間 (135°C)	<2	0.5	1h
内 部 硬 化 性 (135°C)	<2	0.5	2h
厚さのつき方 { 中央 (mm) 下 部 (%)	>0.04 <140	0.094 108	0.091 120
絶縁破壊電圧の強さ { 常 態 (kV/0.1mm) { 浸 水 後	>9 >7.5	10.1 8.7	10.4 9.4
体 積 抵 抗 率 { 常 態 (Ωcm) { 浸 水 後	>10 ¹⁵ >10 ¹⁵	8.5×10 ¹⁵ 7.3×10 ¹⁵	8.2×10 ¹⁵ 7.2×10 ¹⁴
耐 曲 げ 性 (175°C-3mmφ)	>24h	96h 合格	155°C, 24h 合格
加 熱 減 量 (175°C-72h %)	<15	9.8	10.2

第6表 WF-550の接着力試験結果

試 験 条 件		WF-550 (kg/cm ²)	アルキド系 塗り込みワニス (kg/cm ²)
乾 燥 条 件	測定温度 (°C)		
135℃ 1h	25	35.0	29.4
	120	3.3	0.7
135℃ 24h	25	132.0	108.6
	120	27.0	20.8

第7表 エポキシ系およびアルキド系
ワニスガラスクロス的一般特性

試験項目	試料	VG-F ₃ 0.18t	VG-F 0.18t
厚さ (mm)		0.175	0.183
ワニス付着性 (%)		75.5	76.8
柔軟性 (20°C, mm)		61.2	59.2
引張り強さ (kg/15mm幅)		34.7	37.2
絶縁破壊電圧 (BDV) (kV)		9.96	9.70
	常態	3.80	4.00
	浸水後	7.47	4.18
耐湿熱性 (24h, 80°C, 100%R.H.)		良好	良好
	48h	良好	良好
	72h	良好	良好
耐油性 (100°C×30min)		良好	良好
	BDV (kV)	12.4	12.8
耐ワニス性 (25°C, min)		>30	>30
	WI-292	>30	>30
	WF-282	>30	>30
耐曲げ性 (180°C×72h)		良好	良好
誘電正接 60サイクル (%)		8.35	7.26
誘電率 60サイクル		4.00	4.39

注：1. 機械的性質は20°C, 60~65%RHの空調室内で測定した。
2. 電気的特性の測定に関しては電極にアルミハクを用いた。抵抗は直偏法DC 500Vで電圧印加後1分の値をとった。誘電正接および誘電率はシェリングブリッジによって60サイクル, 200Vで測定した。

第8表 エポキシ系ワニスガラスクロスの標準特性

記 号		厚 さ (mm)		耐湿熱性 (80±3℃ 24h)	耐曲げ性 (180℃ -3φ)	引張り荷重 (kg)		絶縁破壊電圧 (kV)	
		公称	許容差			タテ	ヨコ	平均	最低
VG-F ₃	0.10	0.10	+0.05 -0.10	絶縁皮膜 にはがれ を生じな い。	120h	> 8	> 7	> 5	>4.5
	0.13	0.13	+0.02 -0.01		96h	>10	> 8	> 6	>4.5
	0.18	0.18	+0.025 -0.02		96h	>16	>13	> 8	>6.5
	0.25	0.25	+0.03 -0.02		72h	>22	>17	>10	>8.5

10×10 mm で500 gの荷重をのせて乾燥し、ジョッパー引張り試験機でズリ接着力を測定した。

2.3.2 特性試験の結果

WF-550の一般特性試験の結果を第5表に示す。表からわかるようにWF-550はアルキド系塗り込みワニスに比べて乾燥性、内部硬化性、耐曲げ性がはるかにすぐれていることがわかる。

WF-550の接着力試験結果を第6表に示す。表には比較のためにアルキド系接着ワニスの測定値も併記したが、高温、低温ともWF-550のほうがすぐれていることがわかる。

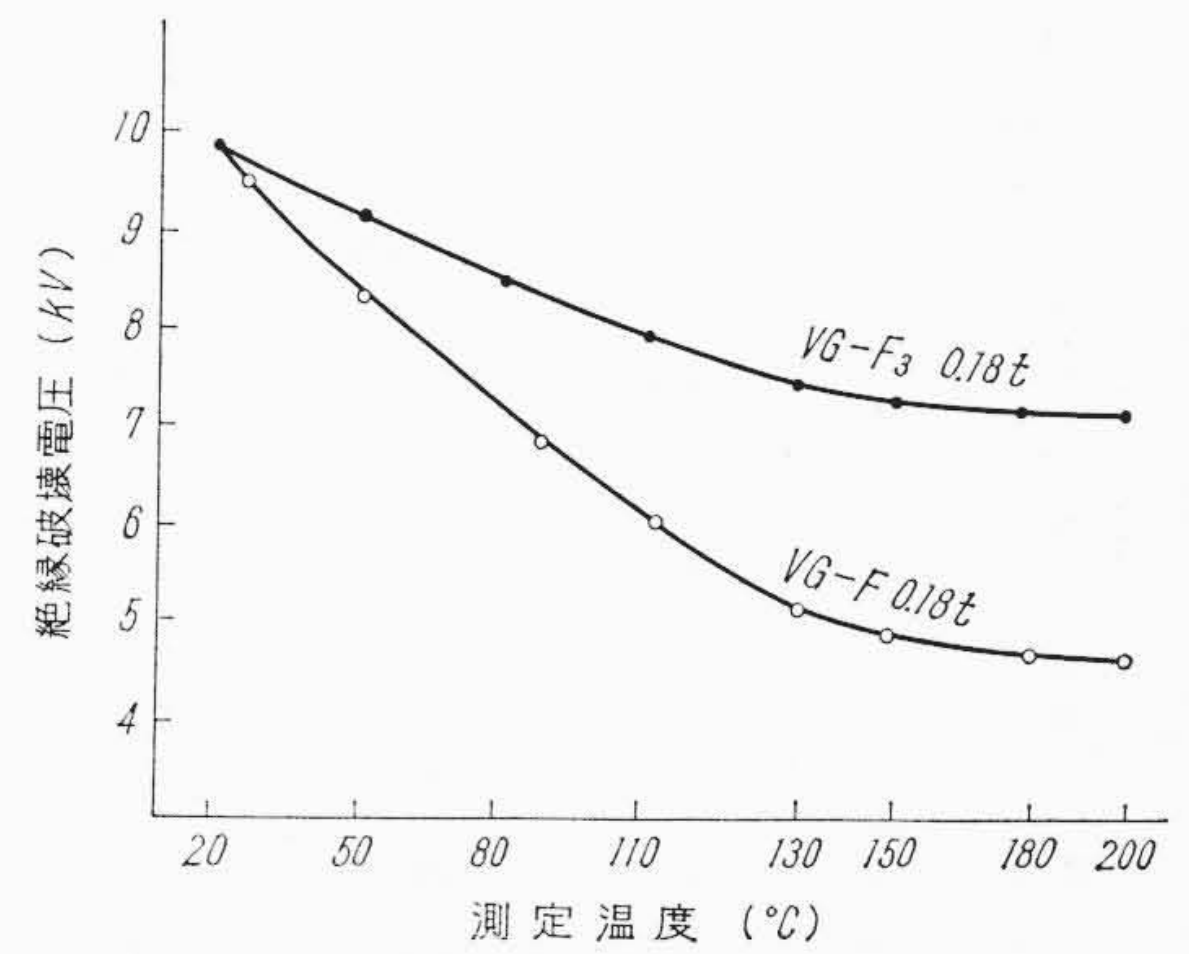
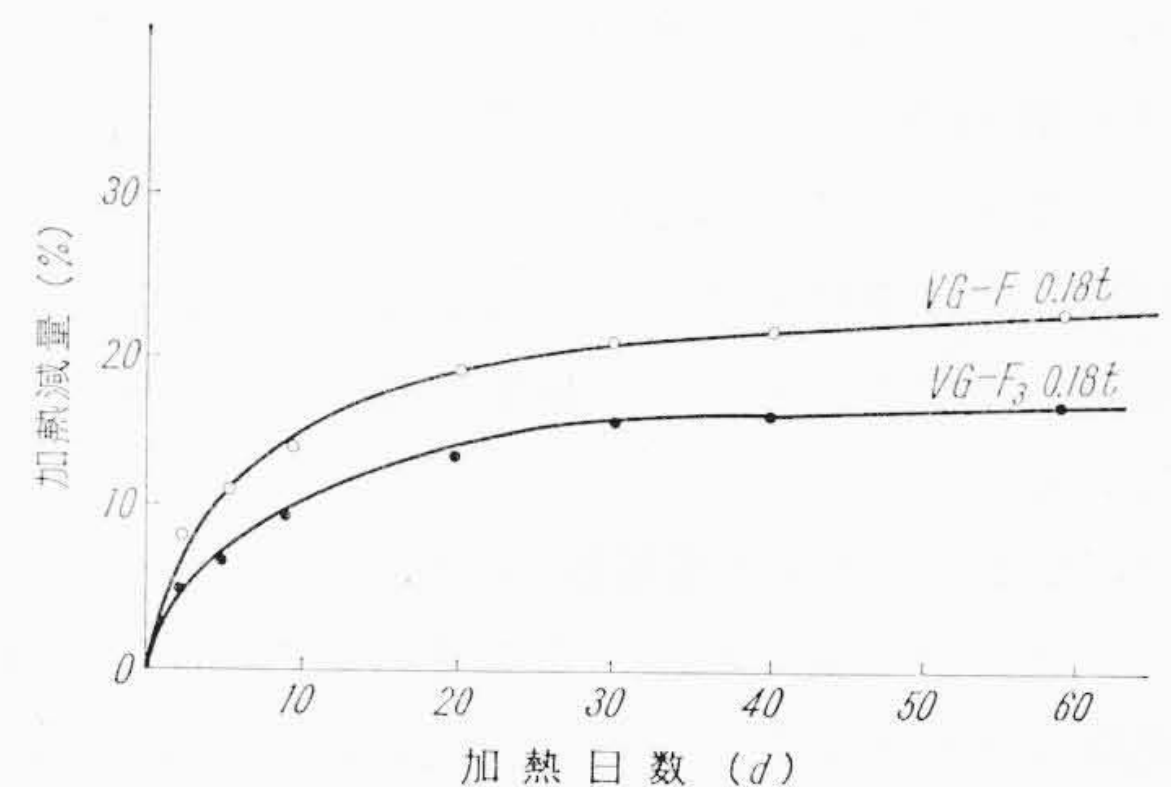
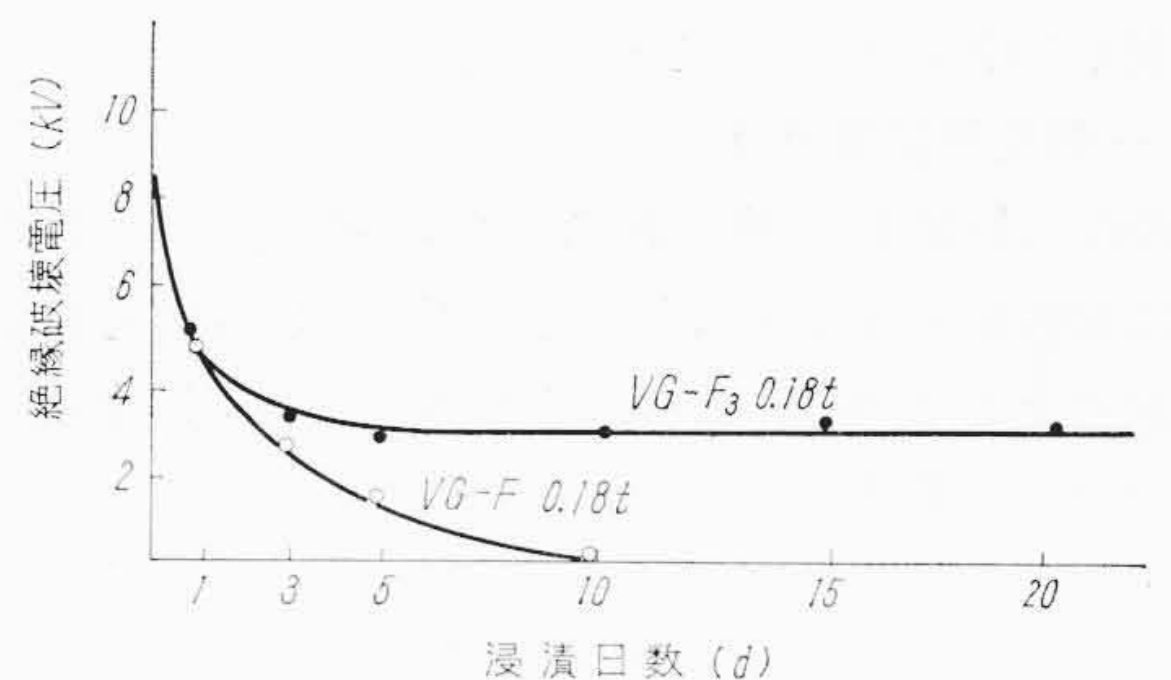
3. クロス製品

3.1 ワニスガラスクロス VG-F₃

従来、F種ワニスガラスクロスとしてガラスクロスにアルキド系ワニスを塗布乾燥したVG-Fとシリコーンアルキド系ワニスを塗布乾燥したVG-F₂の2種があった。その後、F種ワニスクロス用のエポキシ系のワニスが開発されたので、このものをガラスクロスに塗布乾燥したVG-F₃が新製品として追加された。

3.1.1 特性試験の方法

(1) 厚さ、引張り強さ、耐油性、耐湿熱性、耐曲げ性および絶縁破壊電圧はJIS-C 2121によって測定した。

第13図 VG-F₃およびVG-Fの絶縁破壊電圧の温度特性第14図 VG-F₃およびVG-Fの180°C加熱における加熱日数と加熱減量との関係

第15図 2% KOH水溶液浸漬後の絶縁破壊電圧と浸漬日数との関係

(2) 体積抵抗率、表面抵抗率、誘電率および誘電正接はJIS-C 2103によって測定した。

(3) 耐ワニス性は25°Cの各ワニス中に20×50 mm²の試験片を浸漬し、試験片の表面が浸食されるまでの時間で測定した。

(4) 高温の絶縁破壊電圧はJIS-C 2121に基づいて、20, 50, 80, 110, 130, 180, 200°Cにおいて測定した。

(5) 耐熱性は155, 180, 200°Cにおける絶縁破壊電圧および所定温度で加熱した場合の重量減少率で測定した。

(6) 耐アルカリ性は2% KOH水溶液中に試料片を所定期間浸漬し、その間の絶縁破壊電圧の変化を測定してその値で表わした。

3.1.2 一般特性試験結果

エポキシ系ワニスガラスクロスVG-F₃および比較のため、アルキド系ワニスガラスクロスVG-Fの特性試験結果を第7表に示す。なおエポキシ系ワニスガラスクロスの標準特性を第8表に示す。第7表からVG-F₃はVG-Fに比べて柔軟性および高温における絶縁破壊電圧(BDV)がすぐれていることがわかる。VG-F₃およびVG-Fの絶縁破壊電圧の温度特性を第13図に示す。この図からもVG-F₃の絶縁破壊電圧は温度上昇による変化がVG-Fよりもはるかに少ないことがわかる。

第 9 表 GS-F₃ の 一 般 特 性

試験項目		公称厚さ(mm)	0.50	0.80	1.00	0.80 (規格値)
厚 度 (mm)	最 大		0.535	0.860	1.170	1.0
	最 小		0.535	0.810	1.080	0.6
	平 均		0.533	0.832	1.108	0.8
引 張 り 強 さ (kg/mm ²)	最 大		21.7	32.6	34.8	—
	最 小		16.3	24.3	27.7	—
	平 均		20.1	27.6	29.3	>10
絶 縁 破 壊 電 圧 (kV)	最 大		23.1	25.0	29.7	—
	最 小		14.3	20.1	22.1	—
	平 均		17.6	22.6	26.8	>5
ワ ニ ス 含 有 量 (%)			32.0	34.3	36.7	—
耐 曲 げ 性			良好	良好	良好	キレツ、ハガ レないこと
加 熱 減 量 (%)	150℃, 24h		1.00	0.97	1.05	<10
	200℃, 24h		1.92	1.89	1.98	—

VG-F₃ および VG-F の 180℃ における加熱日数と加熱減量率との関係を第 14 図に示すが VG-F₃ のほうが加熱減量が少なく、耐熱性はよりすぐれていることがわかる。

第 15 図は 2% KOH 水溶液に浸漬後の絶縁破壊電圧と浸漬日数との関係を示すが、エポキシ樹脂の特長として耐アルカリ性がすぐれていることがわかる。

3.2 ワニスガラスクロス積層板 GS-F₃

ワニスガラスクロス積層板はおもに電機子のバインド線下絶縁および U 形絶縁などに用いられている。最近日本国有鉄道において、特に B 種ワニスガラスクロス積層板の仕様が制定されたので、それに準じたエポキシ系ワニスガラスクロス積層板 GS-F₃ を開発した。

3.2.1 特性試験の方法

国鉄規格 249-22 によって一般特性を測定した。

3.2.2 一般特性試験結果

一般特性試験結果を第 9 表に示す。第 9 表からわかるように GS-F₃ は規格値をはるかに上回るすぐれた諸性質を有している。表には参考までに 200℃ における加熱減量測定結果も示したがきわめて少なく、F 種としても十分実用できると思われる。

4. マ イ カ 製 品

4.1 ガラスマイカ SA-GM-F₃

ガラスマイカには、ハガシマイカをマイカ接着用ワニスを用いて、電気用無アルカリガラスクロスの片面にはった片面ガラスマイカと、マイカ層をなかにして、その両面にガラスクロスをはった両面ガラスマイカの 2 種がある。すでに F 種ガラスマイカとして、アルキド系およびシリコンアルキド系のマイカ接着用ワニスを用いた製品が完成しているが、今回エポキシ系のマイカ接着用ワニスを用いて片面ガラスマイカ SA-GM-F₃ および両面ガラスマイカ SA-GMG-F₃ を開発した。

4.1.1 特性試験の方法

片面ガラスマイカの一般特性は国鉄規格 SA-231 A により、両面ガラスマイカは国鉄規格 SA-233 A によって測定した。

4.1.2 特性試験の結果

エポキシ系ワニスを接着剤として用い、軟質マイカをガラスクロスにはり合わせた片面ガラスマイカ SA-GM-F₃ および両面ガラスマイカ SA-GMG-F₃ の標準特性は第 10 表に示すとおりである。第 11 表には SA-GM-F₃ および SA-GMG-F₃ の特性試験結果の一例を示す。第 11 表から SA-GM-F₃、SA-GMG-F₃ はいずれも標準値をはるかに上回るすぐれた性能を有していることがわかる。

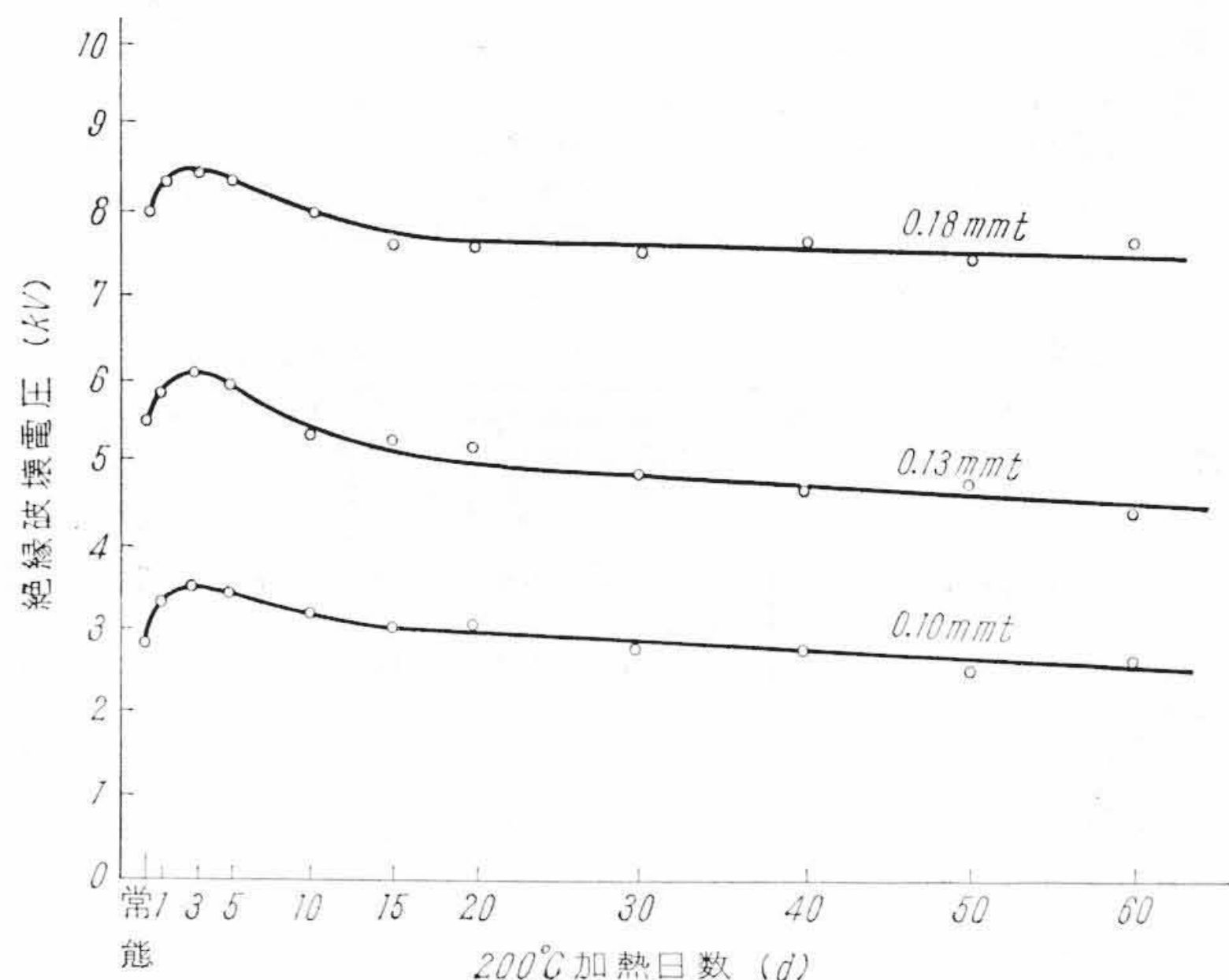
平均厚さ 0.10 mm, 0.13 mm, 0.18 mm の SA-GM-F₃ を 200℃ で加熱した場合の、加熱日数と絶縁破壊電圧との関係を第 16 図

第 10 表 エポキシ系ガラスマイカの標準特性

種別	記 号	公称厚さ (mm)	許容差 (mm)		マイカ含有量 (%)	引張り強さ (縦方向 kg/15mm 幅)	絶縁破壊電圧 (kV)	
			厚 さ	平均厚さ			平均	最低
両面 ガラス マイカ	SA-GMG-F ₃ -0.13	0.13	+0.10 -0.05	+0.03 -0.02	>35	>14	>3	>1
	SA-GMG-F ₃ -0.18	0.18	+0.12 -0.06	+0.04 -0.02	>40	>15	>4	>1.5
	SA-GMG-F ₃ -0.25	0.25	+0.15 -0.07	+0.05 -0.03	>40	>20	>5.5	>2.0
片面 ガラス マイカ	SA-GM-F ₃ -0.10	0.10	+0.09 -0.04	+0.02 -0.02	>45	> 7	>2.5	>1.0
	SA-GM-F ₃ -0.13	0.13	+0.11 -0.06	+0.03 -0.02	>45	> 9	>4.0	>2.0
	SA-GM-F ₃ -0.18	0.18	+0.13 -0.07	+0.04 -0.02	>50	>11	>4.5	>2.5
	SA-GM-F ₃ -0.25	0.25	+0.15 -0.07	+0.05 -0.02	>50	>12	>6.5	>3.5

第 11 表 SA-GM-F₃, SA-G-M-G-F₃ の一般特性試験結果

試 料	公称厚さ (mm)	ワニス含有率 (%)	マイカ含有率 (%)	引張り強さ (kg/15 幅)		絶縁破壊電圧 (kV)	
				最低	平均	最低	平均
SA-GM-F ₃	0.10	24.2	56.8	12.1	12.7	3.0	3.4
	0.13	25.5	59.7	13.2	13.7	5.1	5.5
	0.18	25.4	64.9	18.1	19.1	7.7	8.1
SA-GMG-F ₃	0.13	29.4	42.2	24.5	24.9	2.5	3.1
	0.18	27.7	52.1	23.1	25.8	4.2	4.8
	0.25	29.7	53.0	25.4	26.4	4.7	5.9



第 16 図 SA-GM-F₃ の 200℃ 加熱日数と絶縁破壊電圧との関係

に示す。図には加熱初期に絶縁破壊電圧がいったん最高に達するのが見られるが、これは接着ワニスの硬化が極大に達し、以後劣化が始まるためと思われる。なお、200℃ で 60 日加熱後も処理前にほぼ近いすぐれた値を有することがわかる。

4.2 ガラスパルプマイカ GU-F₃

最近集成マイカと称せられる新しいタイプのマイカ絶縁物が盛んに使用されるようになった。日立ではこれら集成マイカ製品をパルプマイカと称しているが、これらの製法、特性についてはすでに詳細を報告したので⁽²⁾、ここではエポキシ系バインダを用いて集成マイカハクを電気用無アルカリガラスクロスの片面にはり合わせた片面ガラスパルプマイカ GU-F₃ の特性について述べる。

4.2.1 特性試験の方法

ガラスパルプマイカ GU-F₃ の一般特性は国鉄規格 SA-231 A によって試験した。

4.2.2 特性試験の結果

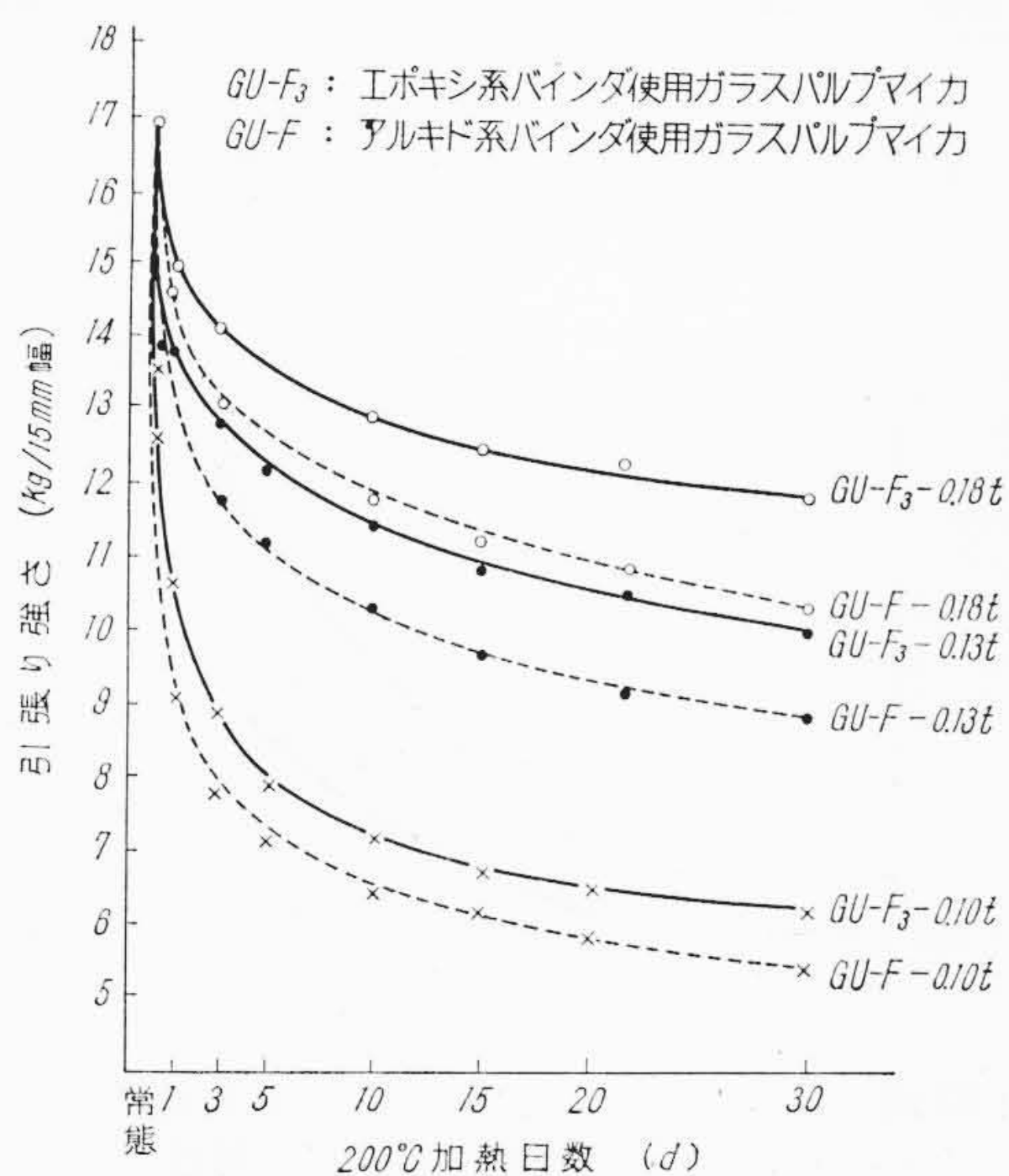
第 12 表にガラスパルプマイカの標準特性を示す。また第 13 表にガラスパルプマイカの特性試験結果の一例を示す。第 17 図は

第12表 ガラスパルプマイカの標準特性

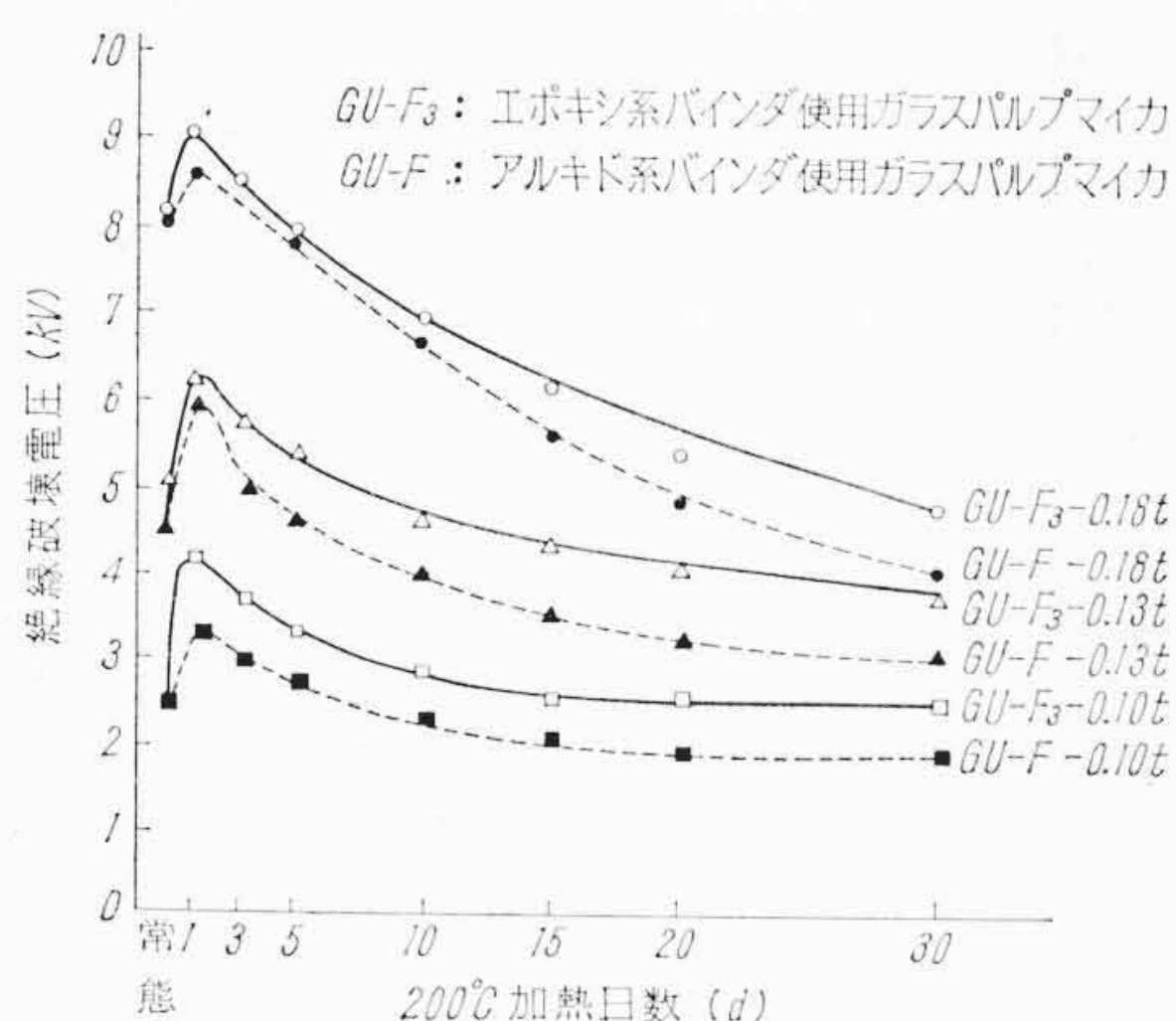
種 別	記 号	公称厚さ (mm)	許容差 (mm)		マイカ含有率 (%)	引張り荷重縦方向 (kg/15mm幅)	絶縁破壊電圧 (kV)	
			厚さ	平均厚さ			平均	最低
片面ガラスパルプマイカ	GU-F ₃ -0.10	0.10	±0.04	±0.02	>40	>7	>1.5	>0.7
	GU-F ₃ -0.13	0.13	±0.04	±0.02	>45	>8	>2.5	>1.0
	GU-F ₃ -0.18	0.18	±0.04	±0.02	>50	>9	>3.5	>1.5

第13表 ガラスパルプマイカの特性試験結果の一例

公称厚さ (mm)	厚 度 (平均) (mm)	マイカ含有率 (%)	引張り強さ (平均) (kg/15mm幅)	絶縁破壊電圧 (平均) (kV)
0.10	0.100	45.6	12.6	2.6
0.13	0.132	48.7	15.1	5.1
0.18	0.185	52.4	16.8	8.2



第17図 エポキシ系およびアルキド系ガラスパルプマイカの引張り強さと200°C加熱日数の関係

第18図 GU-F₃およびGU-Fの絶縁破壊電圧と200°C加熱日数の関係

各種厚さのガラスパルプマイカの引張り強さと200°Cにおける加熱日数との関係を示す。図にはF種アルキド系接着ワニスを用いたガラスパルプマイカGU-Fの劣化曲線も示したが、GU-F₃のほうが劣化は少なく耐熱性がすぐれていることがわかる。第18図は厚さの各種異なるGU-F₃およびGU-Fについて絶縁破壊電圧と200°Cにおける加熱日数との関係を示す。図からわかるように、GU-F₃は高温加熱によっても絶縁破壊電圧の低下が少ない。また、ガラスパルプマイカの場合にも加熱初期に絶縁破壊電圧に極大値が得られているが、この原因はガラスマイカの場合(第16

第14表 MP11-F₃およびMP11の特性試験結果

試 験 項 目	MP11-F ₃			MP11		
平均厚さ (mm)	公称値	0.25	0.50	0.25	0.50	0.80
	実測値	0.23	0.55	0.22	0.53	0.78
密度 (g/cm ³)		2.66	2.28	2.33	2.29	1.87
接着剤含有率 (%)		7.83	12.00	10.05	9.05	9.15
引張り強さ (kg/15mm幅)	常 態	6.8	21.7	6.6	20.3	24.9
	40°C, 90% RH 5日後	5.9	10.7	5.1	8.7	17.8
常 態 圧 縮 率 (%)	室 温	—	—	—	—	3.81
	200°C	—	—	—	—	すべる
160°C~5h 熱処理後の圧縮率 (%)	室 温	—	16.1	—	29.4	24.6
	200°C	—	8.2	—	8.9	6.9
160°C~10h 熱処理後の圧縮率 (%)	室 温	—	16.5	—	27.4	25.1
	200°C	—	6.8	—	7.6	6.7
160°C~24h 熱処理後の圧縮率 (%)	室 温	—	16.4	—	30.2	30.4
	200°C	—	5.9	—	6.4	17.1
吸水率 % (室温浸水3日後)		—	—	—	—	10.40
加熱減量 % (200°C 3日後)		4.52	7.99	12.12	5.53	13.45
絶 縁 破 壊 電 圧 (kV)		7.88	—	—	4.86	—

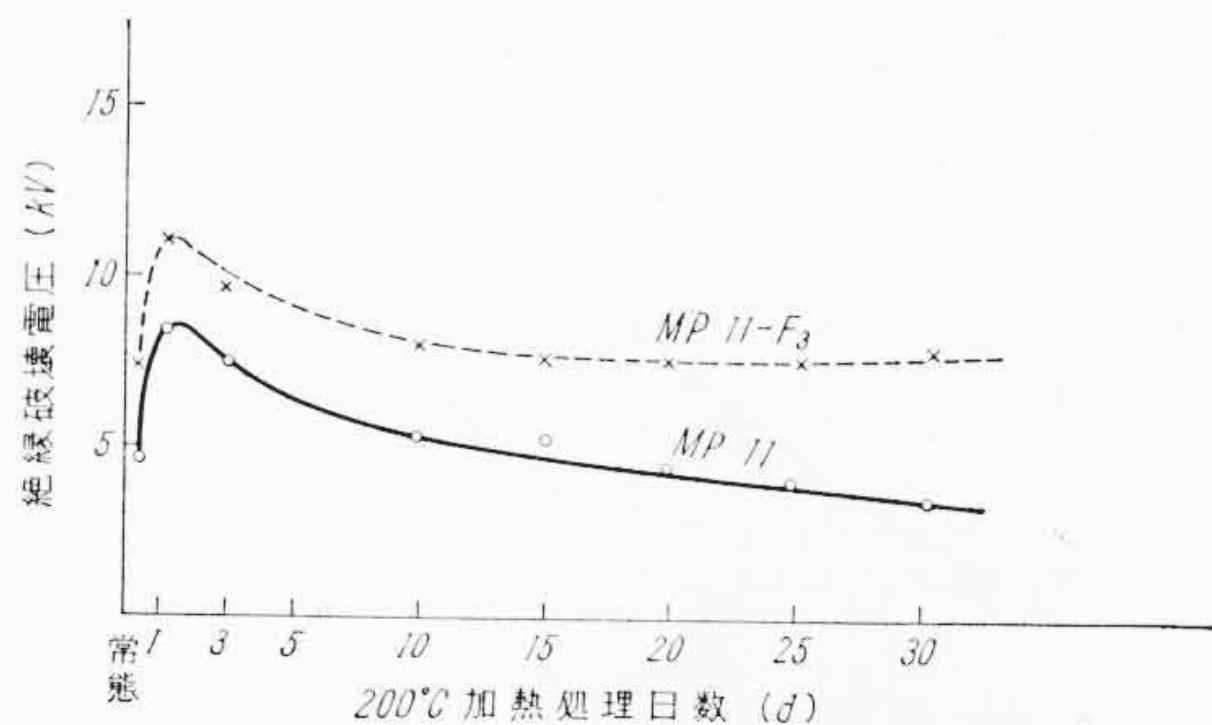
第19図 MP11-F₃およびMP11の絶縁破壊電圧と200°C加熱日数の関係

図)と同様であると思われる。

4.3 型造用マイカ板 MP 11-F₃

型造用マイカ板は通常マイカ接着剤としてセラックが用いられているので、吸湿によって機械的特性、電気的性質などが劣化しやすい。また型造品は吸湿すると変形しやすい欠点があった。そのほか、型造用マイカ板は整流子片用マイカ板に比べると接着剤含有量が多く、高温において使用するときには接着剤の耐熱性が重要となるので、以上のような点から耐熱性のすぐれたエポキシ系接着剤を用いて型造用マイカ板 MP 11-F₃を開発した。

4.3.1 特性試験の方法

一般特性試験の方法は JIS-C 2116 に準じた。

4.3.2 特性試験の結果

第14表に MP 11-F₃ と、セラックを用いた型造用マイカ板 MP 11 の特性試験結果を示す。表からわかるように、同じ厚さのものについて比べると、引張り強さは常態、吸湿後とも MP 11-F₃のほうが強く、熱処理後の圧縮率は常温、高温とも MP 11-F₃のほうが小さい。また電気特性も、加熱減量からみた耐熱性も MP 11-F₃のほうがすぐれていることがわかる。第19図に厚さ0.25 mmのマイカ板を200×200 mmの大きさに切断し、200°Cで加熱し、所定日数ごとに絶縁破壊電圧を測定した結果を示す。図からわかるように、絶縁破壊電圧は MP 11-F₃、MP 11とも加熱1日目に極大値があり、そのあといずれもしだいに低下するが MP 11-F₃は加熱10日目ころからだいたい一定値に達し、加熱30日後でも常態品よりも高い値を有することがわかる。

4.4 整流子片用マイカ板 MP 30-F₃

整流子片用マイカ板の標準品はマイカ接着剤としてセラック樹脂を用いており、接着剤含有率は型造用マイカ板よりもはるかに少な

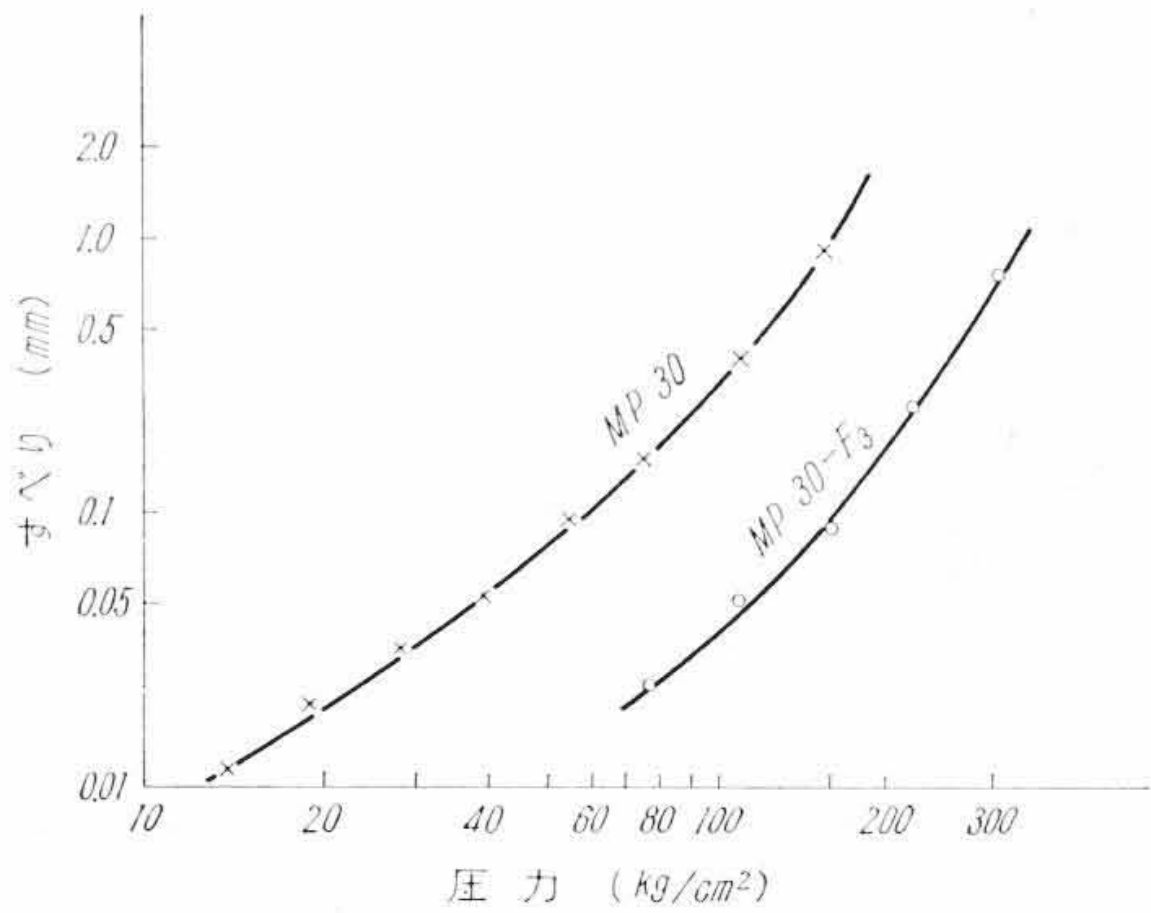
第 15 表 整流子片用マイカ板の特性試験結果

試 験 項 目	MP30-F ₃	MP30
バ イ ン ダ の 種 類	エポキシ系	セラック系
バ イ ン ダ 含 有 率 (%)	2.1	2.3
平 均 厚 さ (mm)	0.86	0.84
密 度 (g/cm ³)	2.60	2.56
引 張 り 強 さ (kg/15mm 幅)	常 態 20.4 40℃, 90% RH 5 日後 15.8 40℃, 90% RH 20 日後 9.8	18.4 13.5 9.1
常 態 圧 縮 率 (%)	室 温 5.3 200℃ 1.0 250℃ 1.2	5.3 1.7* 2.0*
40℃, 90% RH 30 日後の圧縮率 (%)	室 温 6.4 200℃ 1.1 250℃ 1.2	6.5 2.5* 3.1*
絶 縁 破 壊 電 圧 (kV)	25℃ 30.5 120℃ 36.1	27.9 34.1

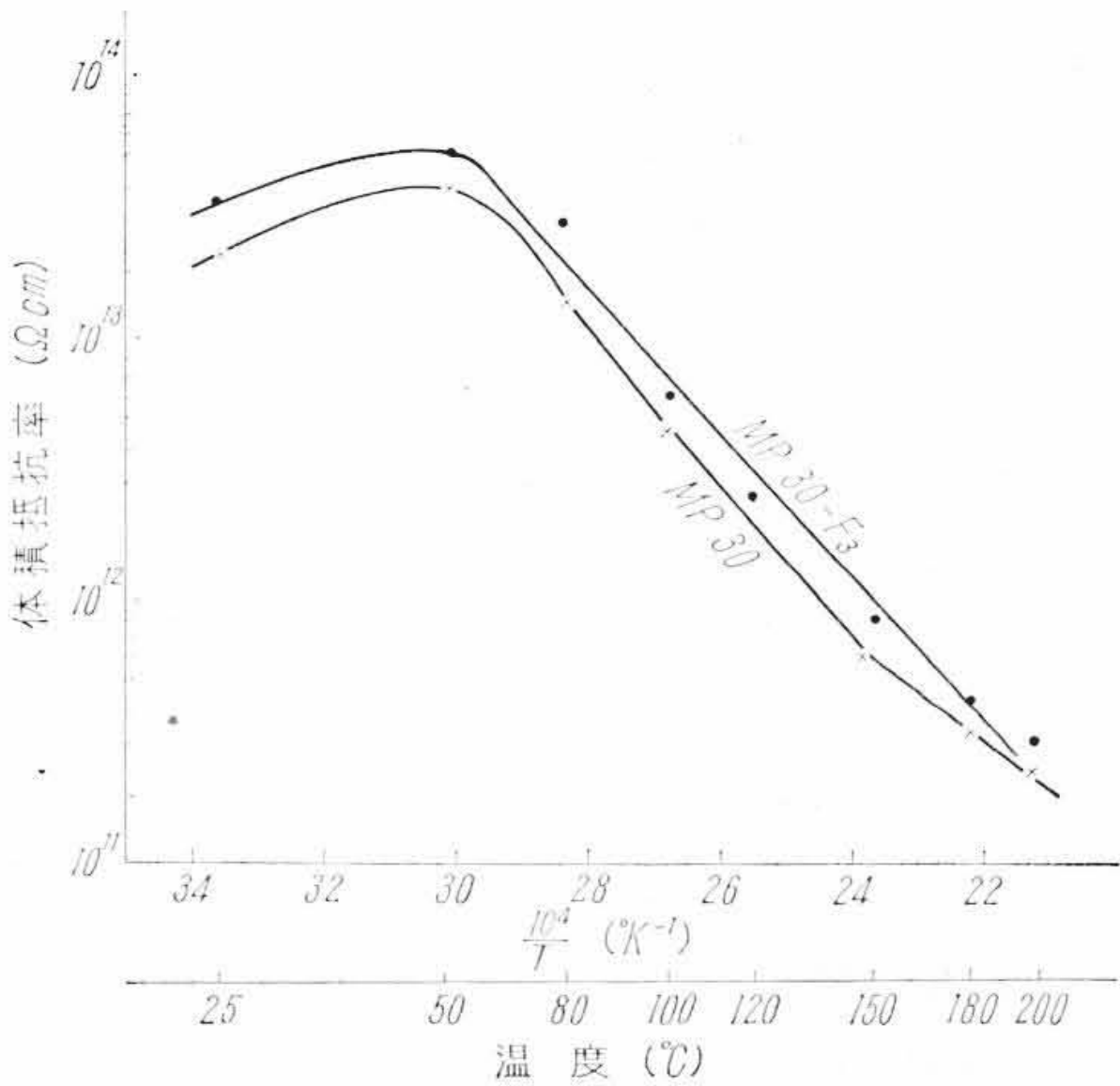
*: 圧縮率試験中、接着剤が浸出したもの。

第 16 表 整流子片用パルプマイカ板の特性試験結果

試 験 項 目	U300-F ₃	U 300
バ イ ン ダ の 種 類	エポキシ系	変性セラック系
バ イ ン ダ 含 有 率 (%)	8	8
厚 さ (mm)	0.84	0.84
密 度 (g/cm ³)	2.38	2.36
引 張 り 強 さ (kg/15mm 幅)	常 態 11.2 40℃, 90% RH 5 日後 11.0 40℃, 90% RH 20 日後 10.9	10.6 10.5 10.2
常 態 圧 縮 率 (%)	室 温 1.7 200℃ 1.4 250℃ 3.7	2.1 5.2 破壊
40℃, 90% RH 30 日後の圧縮率 (%)	室 温 8.0 200℃ 1.9 250℃ 2.3	8.9 破壊 破壊
耐 衝 撃 性 (ft-16/mm ²)	常 態 0.015 40℃, 90% RH 5 日後 0.013	0.015 0.010



第 20 図 エポキシ系およびセラック系整流子片用マイカ板の 200℃ でのすべり特性



第 21 図 エポキシ系およびセラック系整流子片用マイカ板の体積抵抗率の温度特性

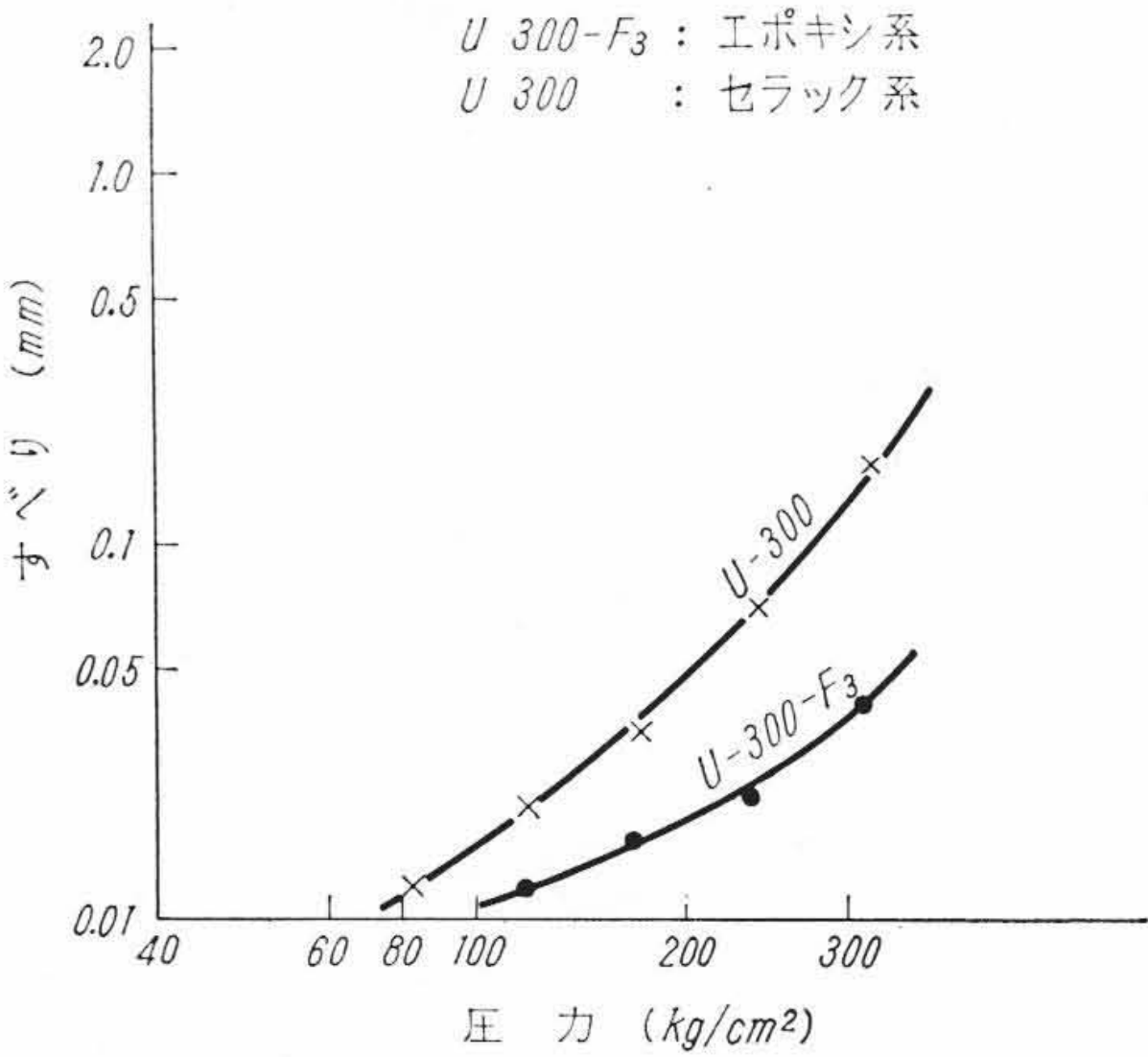
く MP 30 で約 3 % 付近である。そこで、さきの型造用マイカ板の場合と同様に、吸湿による特性の劣化などの改良を目的にエポキシ樹脂系接着剤を用いて、整流子片用マイカ板 MP 30-F₃を開発した。

4. 4. 1 特性試験の方法

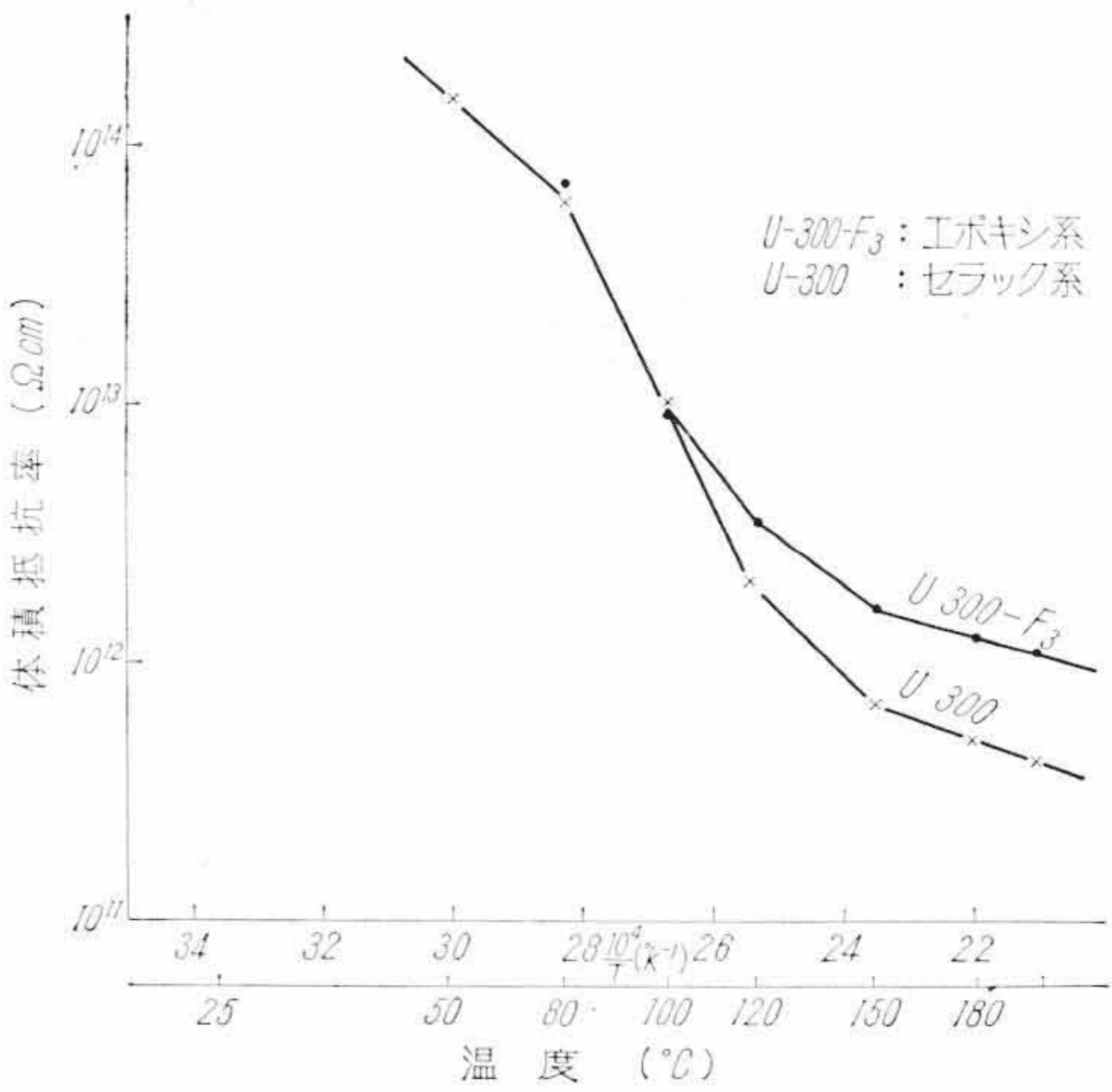
一般特性試験の方法は JIS-C 2116 に準じた。

4. 4. 2 特性試験の結果

第 15 表に一般特性試験の結果を示す。なお表には比較のためにセラックを用いた MP 30 の特性も示した。表からわかるように、エポキシ系接着剤を用いた MP 30-F₃は MP 30 よりも機械的特性がすぐれ、また吸湿による劣化も少ないことがわかる。圧縮率



第 22 図 エポキシ系およびセラック系整流子片用パルプマイカ板の 200℃ でのすべり特性



第 23 図 エポキシ系およびセラック系整流子片用パルプマイカ板の体積抵抗率の温度特性

はエポキシ系接着剤を用いたものが、室温、高温とも小さく、特に常態あるいは吸湿後圧縮率測定中に接着剤の浸出は全然認められなかった。

次にマイカ板のすべり性を ASTM-D 352-56 T を改良した方法⁽²⁾で測定し、その結果を第 20 図に示す。図からわかるように、エポキシ系接着剤を用いたものは、いずれもセラック接着剤を用いたものよりすべり開始圧力が高く、高压でもすべりが少ないことがわかる。

第 21 図は体積抵抗率の温度特性を示す。図からわかるように、

エポキシ系接着剤を用いたものはすべての温度範囲にわたって、セラック接着剤を用いたものより抵抗がすぐれていることがわかる。

4.5 整流子片用パルプマイカ板 U 300-F₃

整流子片用パルプマイカ板の標準品 U 300 は特殊変性セラック樹脂を接着剤に使用しているが、前述の整流子片用マイカ板に比べて接着剤の含有量が多いため、高温下で使用する場合には接着剤の耐熱性が重要である。またパルプマイカ板は構造上、機械特性が一般にやや劣る傾向があるので、これらの点の改良を目的にエポキシ系接着剤を用いて整流子片用パルプマイカ板 U 300-F₃を開発した。

4.5.1 特性試験の方法

一般特性は JIS-C 2116 に準じて測定した。

4.5.2 特性試験の結果

第 16 表に U 300-F₃ および比較のため U 300 の特性試験結果の一例を示す。表から引張り強さはエポキシ系接着剤を用いたもののほうが強く、また吸湿による低下も少ないことがわかる。圧縮率では、常態および吸湿後ともエポキシ系のもののほうが小さい。またエポキシ系のものは 250°C における圧縮率の測定に際し、破壊しなかったが、明らかに機械的にも強いことがわかる。

第 22 図に U 300-F₃ および U 300 の 200°C におけるすべり特性を示す。図からわかるように U 300-F₃ は U 300 よりもすべり開

始圧力が高くかつすべりも少ないことがわかる。

第 23 図に体積抵抗率と測定温度との関係を示すが、高温では U 300-F₃ のほうが抵抗が高くエポキシ樹脂の特長がよく現われている。

5. 結 言

われわれはエポキシ樹脂を用いて、コイル含浸用ワニスはじめ一連の絶縁材料を完成し、それらの諸特性を試験した結果、いずれもすぐれた耐熱性と電気特性を有し、特にエポキシ系ワニスは従来からあったアルキド系ワニスよりも乾燥性が非常にすぐれていることがわかった。最近では電気機器の小形化あるいは大容量化に伴って、絶縁材料として特に耐熱性、電気特性のすぐれたものが、また機器の量産化のためには乾燥性のすぐれたワニス類が要望されているが、これらの目的にもエポキシ系絶縁材料は好適であるといえよう。なお今後はさきに述べた各種の絶縁材料についていっそう特性を向上させるよう検討を続ける考えである。

終わりに、終始ご指導をいただいた日立製作所山崎工場古賀弥博士に厚くお礼申しあげる。

参 考 文 献

- (1) 曾根：日立評論，42，1320（昭 35-12）
- (2) 曾根：日立評論，43，441（昭 36-3）



特 許 第 286700 号

特 許 と 新 案



小 林 長 平・馬 場 勝 彦

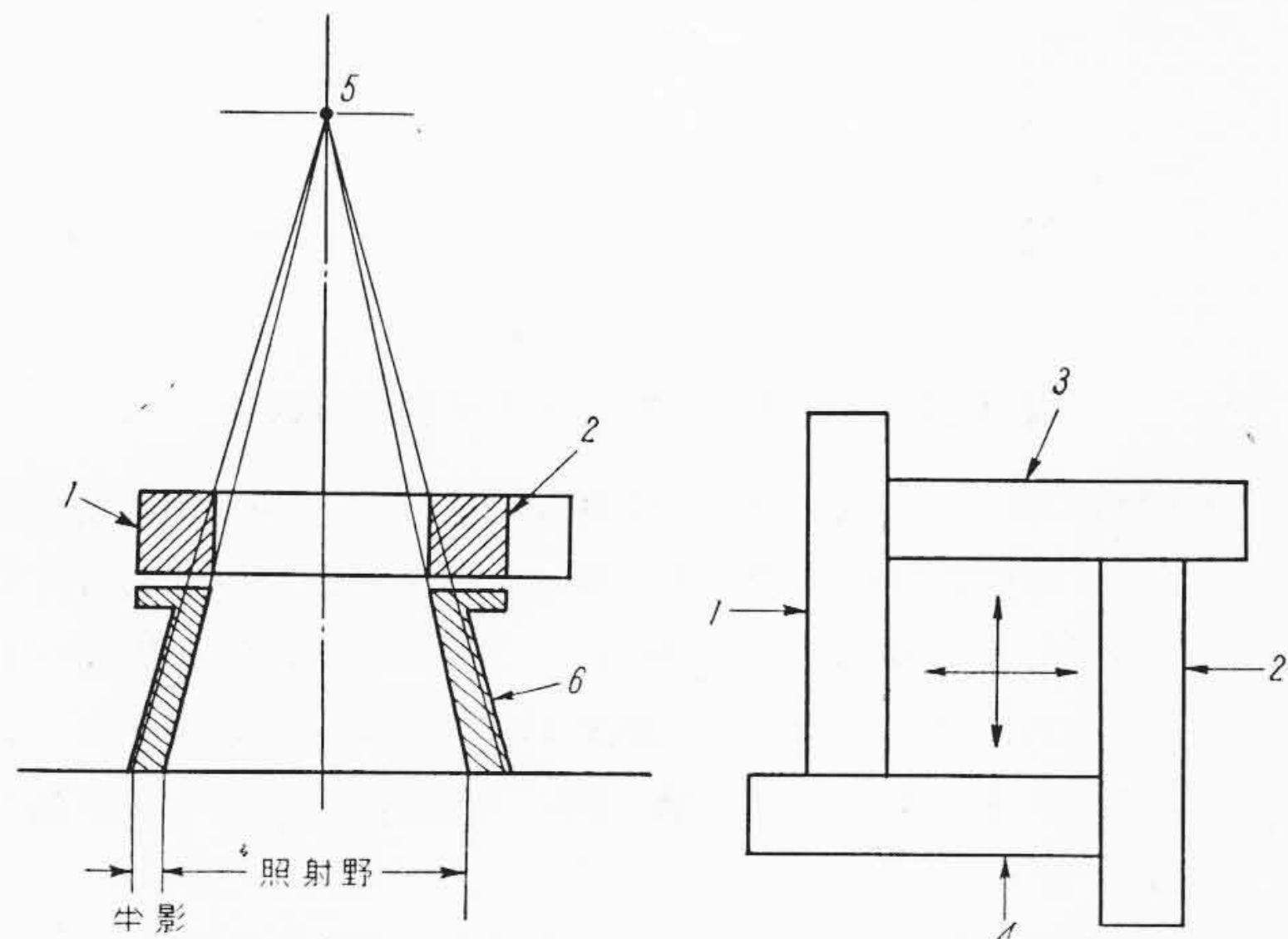
放 射 線 し ぼ り 装 置

従来深部治療用の放射線しぼり装置としては第 1 図のように金属製しぼり素子 1～4 を井げた状に組合せたものを金属製しゃへい筒 6 と併用していたが、これでは照射野の形が正方形か、長方形に限られて照射すべき患部の形状と一致しない場合が多く、このため患部周辺の正常組織までも放射線にさらされ障害を起す恐れがある。

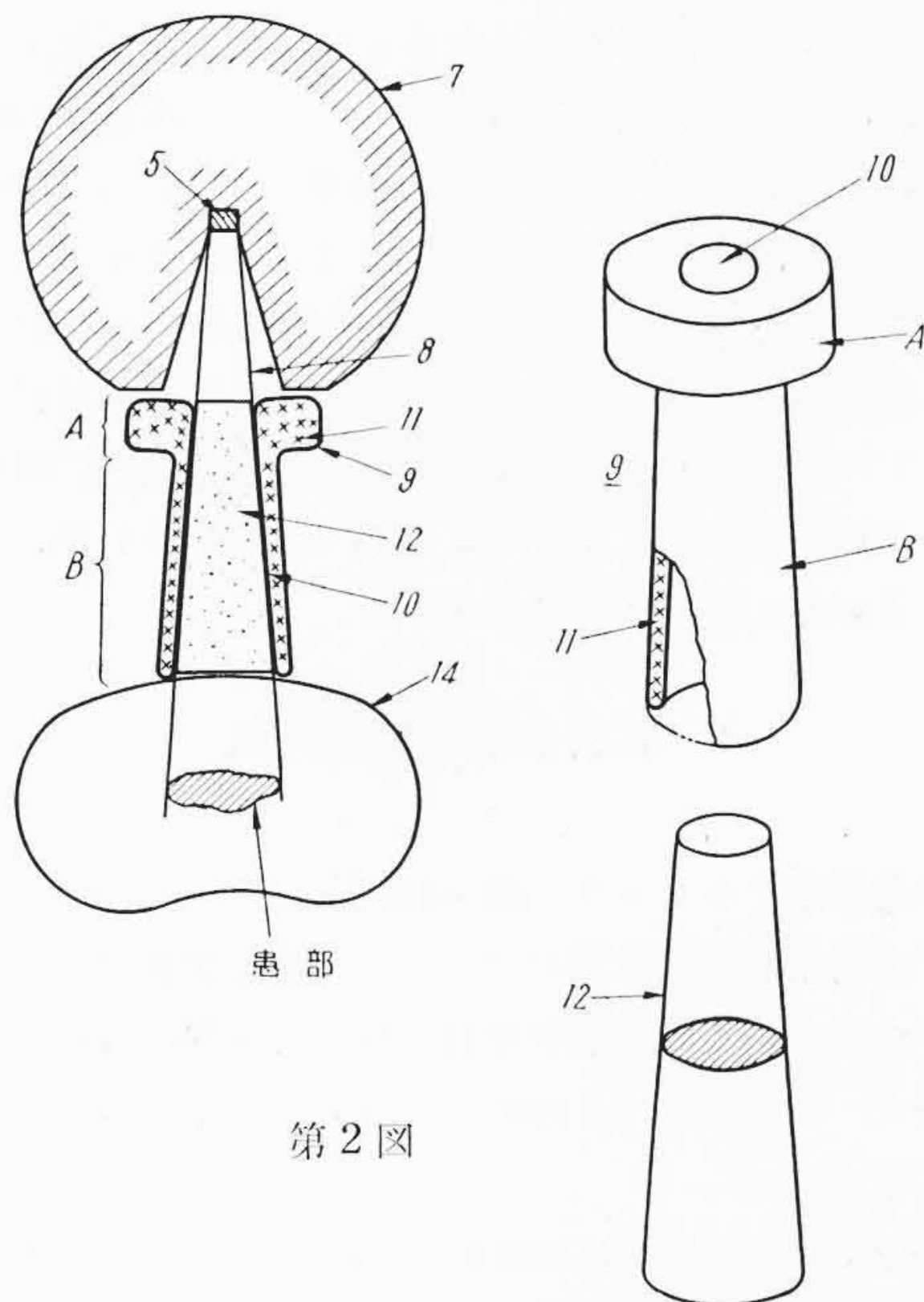
本発明はこの問題を解決する新しい形の放射線しぼり装置を提案するものである。第 2 図に示すようにゴムなどの弾性材料で線源容器 7 の照射口 8 につらなるまど孔 10 をかこむ内外二重壁を有する変形可能な容器 9 を作り、その中に水銀あるいは金属粉末（鉛、タングステンなどの粉末）のような流動性を有する放射線しゃへい体 11 を充填してしぼり部 A としゃへい筒部 B を形成する。照射に際してはまど孔 10 に別に作った心形 12 をそう入する。この心形は放射線の吸収が少なく、加工し易い発泡性プラスチックのような材料で

作り、あらかじめ確認した患部の形状に合わせて外周面が線源 5 を頂点とする錐面となるように加工したものを用いる。このようにすると弾性容器 9 は心形の外形にしたがって変形するから、放射線はしぼり部 A において患部の形状に適合した所望の形にしぼられ、二次線および半影はしゃへい筒部 B において除かれることになり、患部以外の正常組織に対する放射線障害を防止することができる。

(坂 本)



第 1 図



第 2 図