

速乾性H種コイル含浸用ワニスHPD-200の特性

Properties of HPD-200, Fast Drying Coil Impregnating Varnish for Class "H"

四十物雄次* Yūji Aimonō

仲野嶺男* Mineo Nakano

The HPD-200 class H coil impregnating varnish does not foam easily during drying process permitting high temperature heating from the initial stage of drying. Compared with conventional silicone varnishes, the new varnish has cut drying time to 1/2 - 1/3. Although weight loss due to heating is comparatively larger, its heat stability as registered when it is used in polyamidimid enamel wires is equal to that of silicone varnishes viewed from the insulation breakdown voltage after thermal deterioration. Also, its thermal life in application in class F enamel wires has proved in the twisted pair life test to be around 20,000 hrs at 200°C and 40,000 hrs at 190°C, the figures fully comparable to those of class H varnishes. Also, in adhesion strength it excels silicone varnishes. With these superior properties and high solvent stability this new varnish is highly suitable for impregnating coils for class H electric apparatuses.

1 緒 言

電気機器の大容量化、性能の向上、小形・軽量化、コストダウン及びメンテナンスフリーなどの要望に対して、絶縁材料の果たしてきた役割は大きい。なかでも、小形・軽量化に対しては、絶縁材料の耐熱性向上が不可欠の条件であり、各種の新しい絶縁材料が開発されてきた。

従来、H種のコイル含浸ワニスとしては、耐熱性、可とう性、耐湿性及び耐薬品性の優れたシリコン系ワニスが主として使用されてきたが、(1)乾燥工程が煩雑で作業性が悪く、かつ乾燥時間が長い。(2)熱軟化する。(3)接着力が低い。(4)密閉式の直流回転機器では、カーボンブラシの異常摩耗や整流子の荒損がある。(5)耐溶剤性が悪い。(6)高価であるなどの本質的な欠点のため、新しいH種用のコイルワニスの開発が要

望されていた。

一方、コイルワニス以外の絶縁材料についても、エナメル線、薄葉材料、口出し線及び絶縁板などに各種の耐熱絶縁材料が開発され、これらの絶縁材料を適当に組み合わせて、新しいH種用の電気機器をつくることが可能となってきた。

我々は、このような背景のもとで、従来のシリコン系ワニスよりも樹脂の加熱減量は大きい、他の絶縁材料と組み合わせて、絶縁システムとしてH種の耐熱性があり、かつ経済的にも使いやすい耐熱性の速乾性ワニスHPD-200を開発した。本稿は、HPD-200と日立化成工業株式会社の代表的シリコン系ワニスHS-212(H種用)及びフェノール変性アルキドワニスWI-294(F種用)との乾燥性、耐熱性を比較し、また、HPD-200の耐熱寿命、用途及び使用法などについて述べる。

2 試験方法

2.1 一般特性

JIS C2103(電気絶縁用ワニス試験方法)に準じて試験した。電気特性の試験片は、130×180×0.3(mmt)のステンレス板を使用した。

2.2 接着力(ヘリカルコイル接着力)

図1に示すように、1.0φポリアミドイミド線(以下、AIWと略す)を5.0φのマンドレルに巻き付けてヘリカルコイルをつくり、粘度を25°Cで約0.7Pに調整した各種ワニスで2回処理して試験片を作製した。ワニスの乾燥条件は、表3に示す皮膜作製条件と同様に行なった。試験機は、株式会社島津製作所製オートグラフ(IS-2000)を用い、支点間距離50mm、試験速度100mm/minの曲げ強度を測定した。

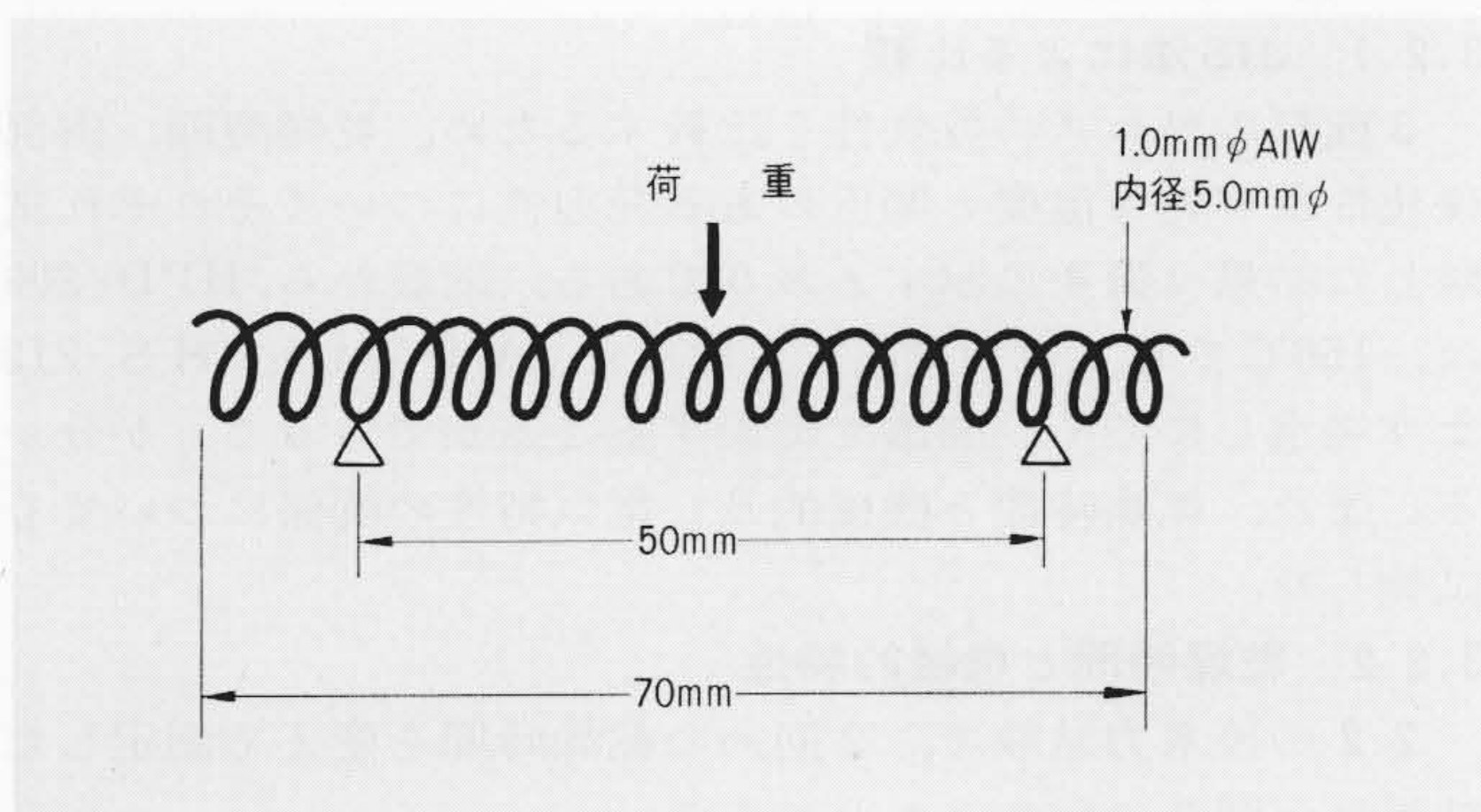


図1 接着力試験片 1.0mmφ AIWを5.0mmφマンドレルに巻きつけたヘリカルコイルを試験片とする。また、試験は図示のように、支点間距離50mmで測定する。

Fig. 1 Test Piece of Adhesive Strength

*日立化成工業株式会社山崎工場

2.3 加熱減量

50×100×0.25(mmt)のステンレス板に、各種ワニスを表3と同様の乾燥条件でワニス処理して膜厚0.08～0.10mmの皮膜板を作製し、その重量変化率を求めた。

2.4 ワニス処理エナメル線の絶縁破壊電圧

1.0φA I Wを、より回数9回/12cmのツイストペアをつくり、2.2で述べたと同様に2回ワニス処理して試験片とし、絶縁破壊電圧を測定した。

2.5 耐溶剤性及び耐薬品性

塩酸耐性及び硫酸耐性の試験片は、50×100×0.25(mmt)の無処理ガラス布を用い、2.3で述べたと同様にワニス処理して作製した。また、他の溶剤及び薬品の試験には、2.3で述べた同じ試験片を使用した。試験は、耐薬品性試験では薬品をいずれも10%の水溶液を使用し、室温で72時間浸せき後取り出し、ガーゼで軽くふき取った後の重量変化率を求めた。

2.6 耐熱寿命¹⁾

IEEE No.57のより合わせ試験法及び同No.1Cの小形固定子巻線のモータレット試験法に準じて試験した。より合わせ試験法の試験電圧は、2,000Vで行ない、モータレット試験は、表1に示す絶縁仕様及び表2に示す条件で試験した。

3 試験結果

3.1 一般特性

供試ワニスの一般特性は、表3に示すとおりである。HPD-200の粘度は、不揮発分が約50%であるが1P程度で、不揮発分の高いわりに粘度が低く、したがって含浸性がよい。HPD-200の体積抵抗率は、HS-212と同等で優れており、また、絶縁破壊の強さも、最も優れている。

表1 モータレット試験条件 表に示すように加熱→耐電圧→振動→耐電圧→吸湿→耐電圧のようにして試験する。

Table 1 Motoret Test Condition

加熱条件	試験条件	耐電圧
240℃, 2日	振動1,500cpm, 2.5時間	線間 120V/15min
220℃, 8日	振幅1mm	層間 600V/15min
200℃, 28日	吸湿40℃, 90%RH, 3日	対地間 600V/15min

表2 モータレットの絶縁仕様 表に示すような絶縁材料を組み合わせモータレットを行なった。

Table 2 Insulating Systems of Motoret Test

種類	使用絶縁材料
エナメル線	0.6mmφポリアミドイミド (I-AIW)
スロットライナ	ポリアミドイミド フィルムとナイロン紙のはり合わせ品 (PA-2N)*
層間絶縁	ポリアミドイミド フィルムとナイロン紙のはり合わせ品 (PA-2N)*
スロットくさび	エポキシ ガラス積層板 (LE-6IN)*
ワニス乾燥条件	120℃, 1h+180℃, 2h(1回)+ 120℃, 1h+180℃, 4h(2回)

注：*は、日立化成工業株式会社の製品名を示す。

表3 各種ワニス一般特性の一例 HPD-200は、他のワニスより不揮発分に対し粘度が低い。HPD-200は、電気特性も優れている。

Table 3 One Example of Each Varnish's General Properties

試験項目		ワニス名	HPD-200	WI-294	HS-212
耐熱区分			H	F	H
比重	(25℃)		0.958	0.914	1.008
粘度	(25℃)P		1.1	1.6	1.4
不揮発分	%		50.5	43.8	49.1
塗膜の付き方	mm(中央部)		0.033	0.056	0.035
	% (下部)		126	117	125
体積抵抗率	Ω-cm(常態)		1.9×10 ¹⁶	3.6×10 ¹⁵	1.2×10 ¹⁶
	Ω-cm(浸水後)		1.0×10 ¹⁶	2.4×10 ¹⁵	9.8×10 ¹⁵
絶縁破壊の強さ	kV/0.1mm(常態)		11.4	10.6	8.4
	kV/0.1mm(浸水後)		11.2	9.2	7.8

注：ただし、皮膜作製条件は、いずれも2回処理で、次のとおりである。

	1回めの乾燥	2回めの乾燥
HPD-200	150℃, 2h+180℃, 2h,	150℃, 2h+180℃, 16h
WI-294	120℃, 6h,	120℃, 24h
HS-212	80℃, 2h+150℃, 2h+200℃, 2h, 80℃, 2h+150℃, 2h+200℃, 24h	

表4 各種ワニスの乾燥性と発泡性 HPD-200は、他のワニスに比較して発泡性に優れ、したがって、高温で乾燥することができる。

Table 4 Baking and Foaming of Each Varnish

項目	温度(℃)	HPD-200	WI-294	HS-212
乾燥時間	120	0.3	1.5	0.3
	130	"	1.0	"
	150	0.2	0.3	0.3
内部硬化性	120	>8	3.0	—
	130	5.0	1.5	—
	150	2.0	—	—
発泡性	120	良好	良好	発泡多し
	130	"	やや発泡	"
	150	やや発泡	発泡多し	"

注：単位は、hで示す。

3.2 乾燥性

3.2.1 JIS法による比較

3種類のワニスの乾燥性を比較するため、乾燥時間、内部硬化性及び乾燥温度と関係のある発泡性についてそれぞれ試験した結果は表4に示すとおりである。同表から、HPD-200は、150℃でも、やや発泡する程度で、WI-294及びHS-212より発泡しにくく、高温で乾燥することができることが分かる。また、乾燥時間と機械的及び電気特性の関係についても試験した。

3.2.2 乾燥時間と機械的特性

2.2の接着力試験で、2回めの乾燥時間を変えて測定した結果は、図2に示すとおりである。

同図から、いずれのワニスでも8時間程度乾燥すれば、ほぼ十分な強度となることが分かる。また、接着力はWI-294が最大で、HS-212が最小である。HPD-200の接着力は、WI-294よりやや劣るが、HS-212の約3倍で、シリコンワニスよりはるかに優れていることが分かる。

3.2.3 乾燥時間と電気特性

3.2.2と同様に、2回めの乾燥時間を変えて電気特性を試

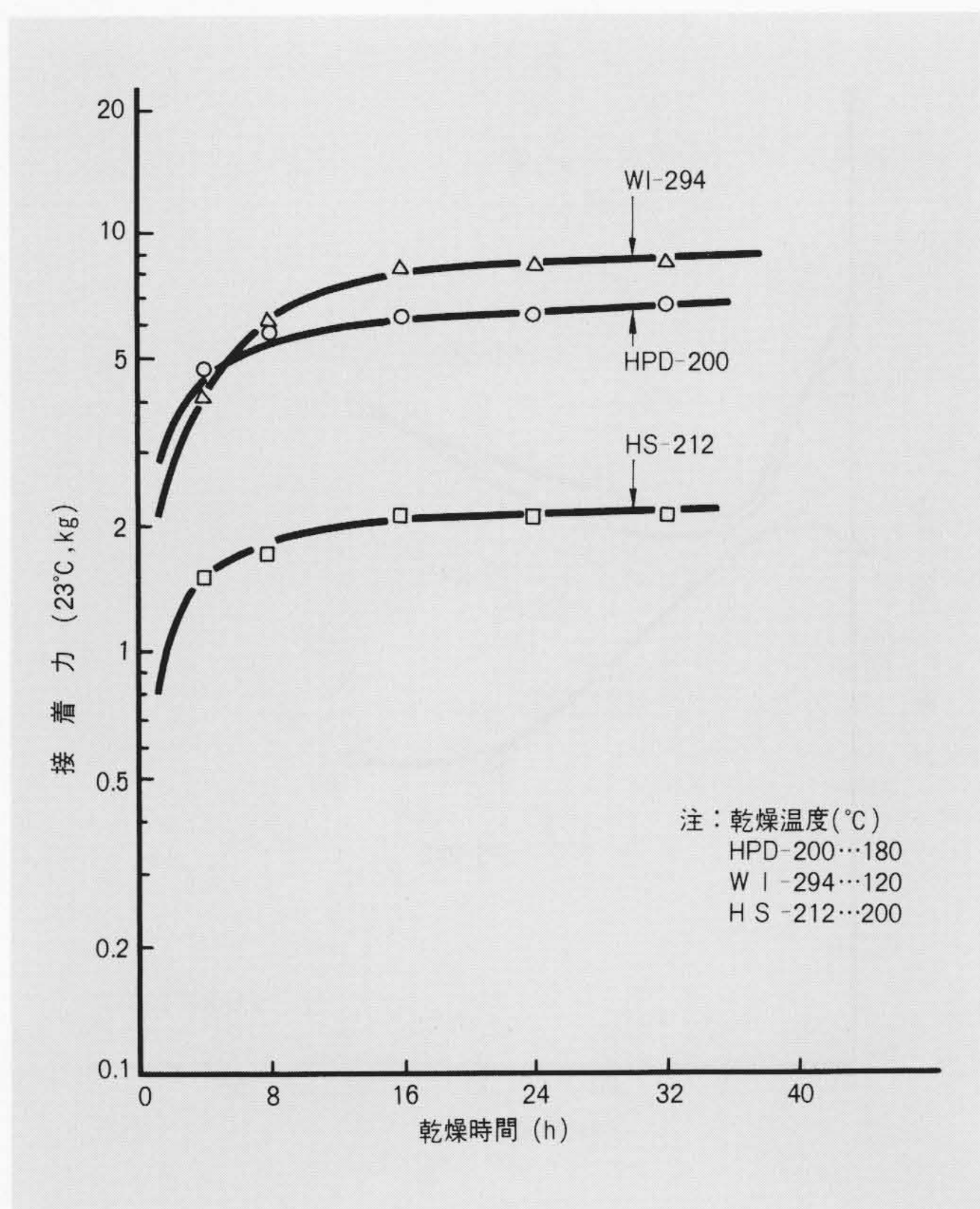


図2 各種ワニスの乾燥時間と接着力との関係 WI-294, HPD-200, HS-212と順に接着力は劣る。HPD-200は、WI-294の0.8倍、HS-212の3倍の接着力を有する。

Fig. 2 Baking Time and Adhesive Strength of Each Varnish

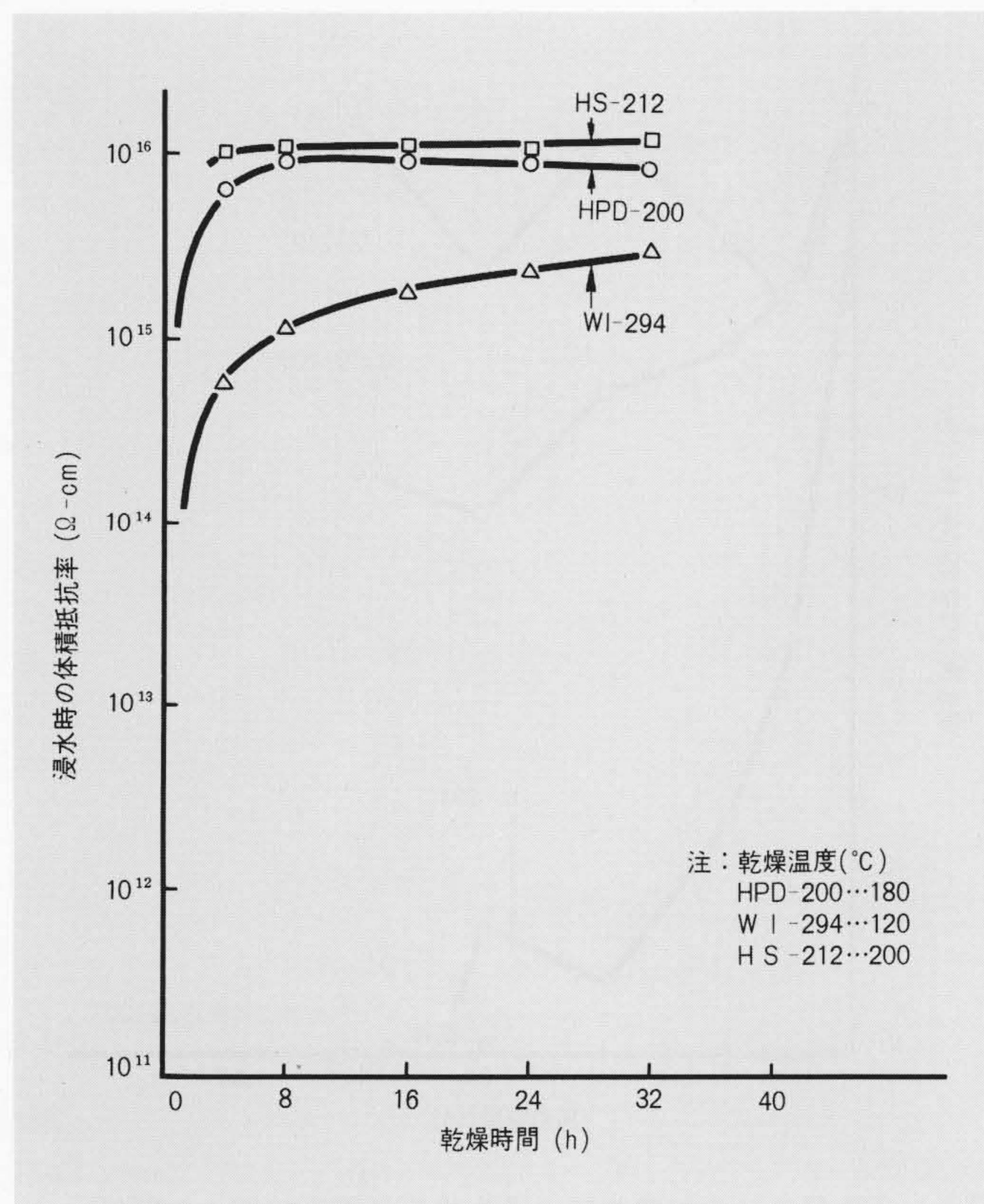


図3 各種ワニスの乾燥時間と浸水後の体積抵抗率との関係 HPD-200とHS-212は、ほぼ同等である。WI-294は、乾燥時間が短いときは体積抵抗率は低い。

Fig. 3 Baking Time and Wet Volume Resistivity of Each Varnish

験した。その結果、常態の電気特性は大差がなかったが、浸水後の特性は図3、4に示すように体積抵抗率は、HPD-200及びHS-212がほぼ同等で優れているが、WI-294は乾燥時間が短いとやや劣ることが分かる。絶縁破壊の強さは、HPD-200が最も優れており、HS-212が最も劣る。以上の結果から、発泡性を考慮した場合の最高の初期乾燥温度は、HPD-200は150°C、WI-294は130°Cであり、そのときの乾燥性は、HPD-200とWI-294はほぼ同等といえるが、HS-212は、発泡が多く、80~100°Cぐらいから段階的に昇温する必要があるため、乾燥時間はHPD-200の2~3倍必要である。

3.3 耐熱性

3種類のワニスの耐熱性を比較するため、(1)加熱減量、(2)加熱劣化後の機械的特性、(3)加熱劣化後の電気特性、(4)ワニス処理エナメル線の加熱劣化後の絶縁破壊電圧についてそれぞれ試験した。

3.3.1 加熱減量

2.3の試験法に準じて行なった220°Cの加熱減量を図5に示した。同図からHPD-200の樹脂自体の耐熱性は、WI-294より優れているが、HS-212よりはかなり劣る結果が得られた。

3.3.2 加熱劣化後の機械的特性

2.2の接着力試験片を220°Cで劣化させ、加熱時間と接着力との関係を試験した結果は図6に示すとおりである。同図からHPD-200及びWI-294では、加熱初期に接着力がいったん低下するが、更に加熱を続けると接着力は向上する。この原因は、加熱時間が長くなると架橋が進むためと思われる。

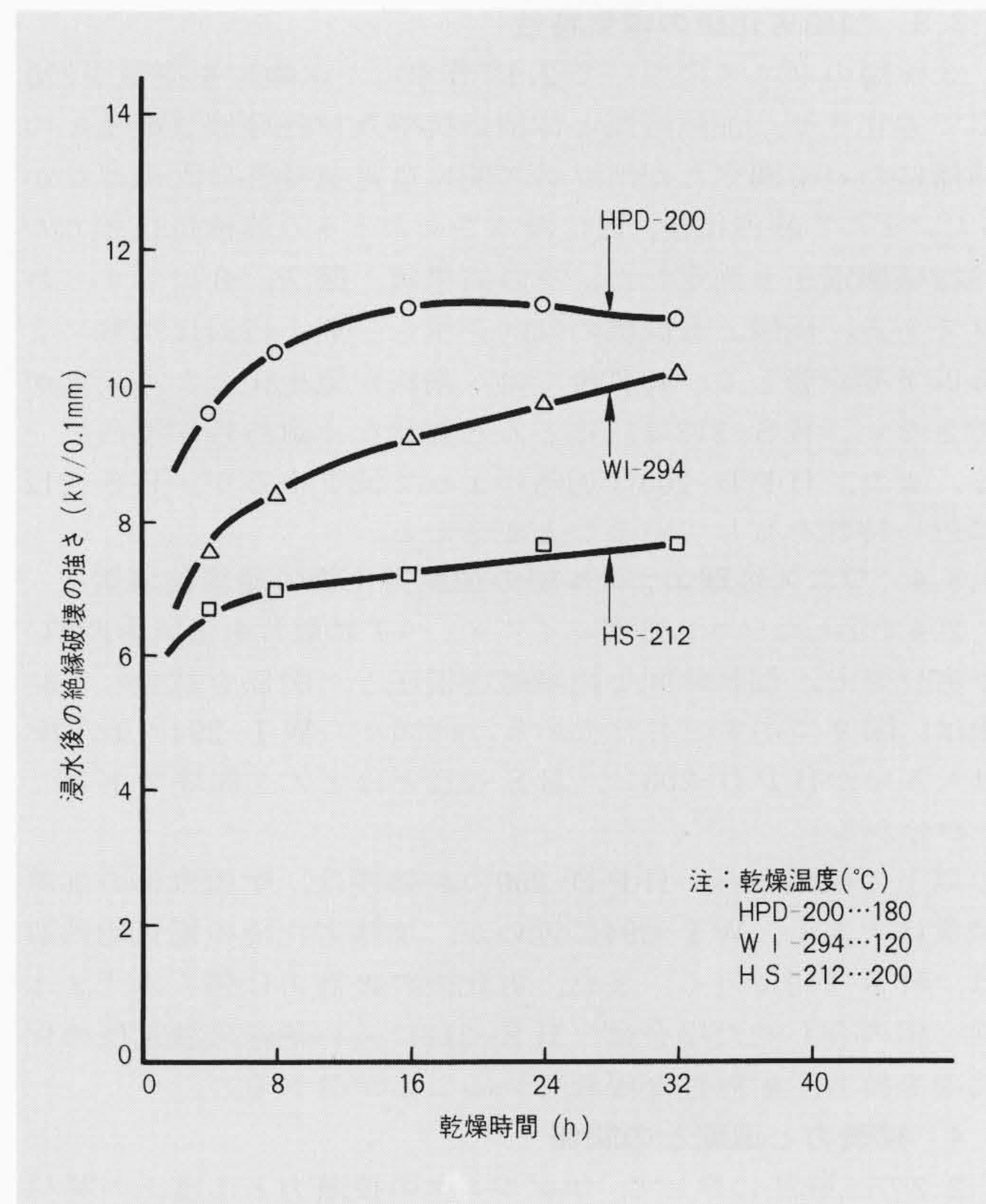


図4 各種ワニスの乾燥時間と浸水後の絶縁破壊の強さとの関係 HPD-200は、WI-294及びHS-212より優れている。

Fig. 4 Baking Time and Wet Breakdown Strength of Each Varnish

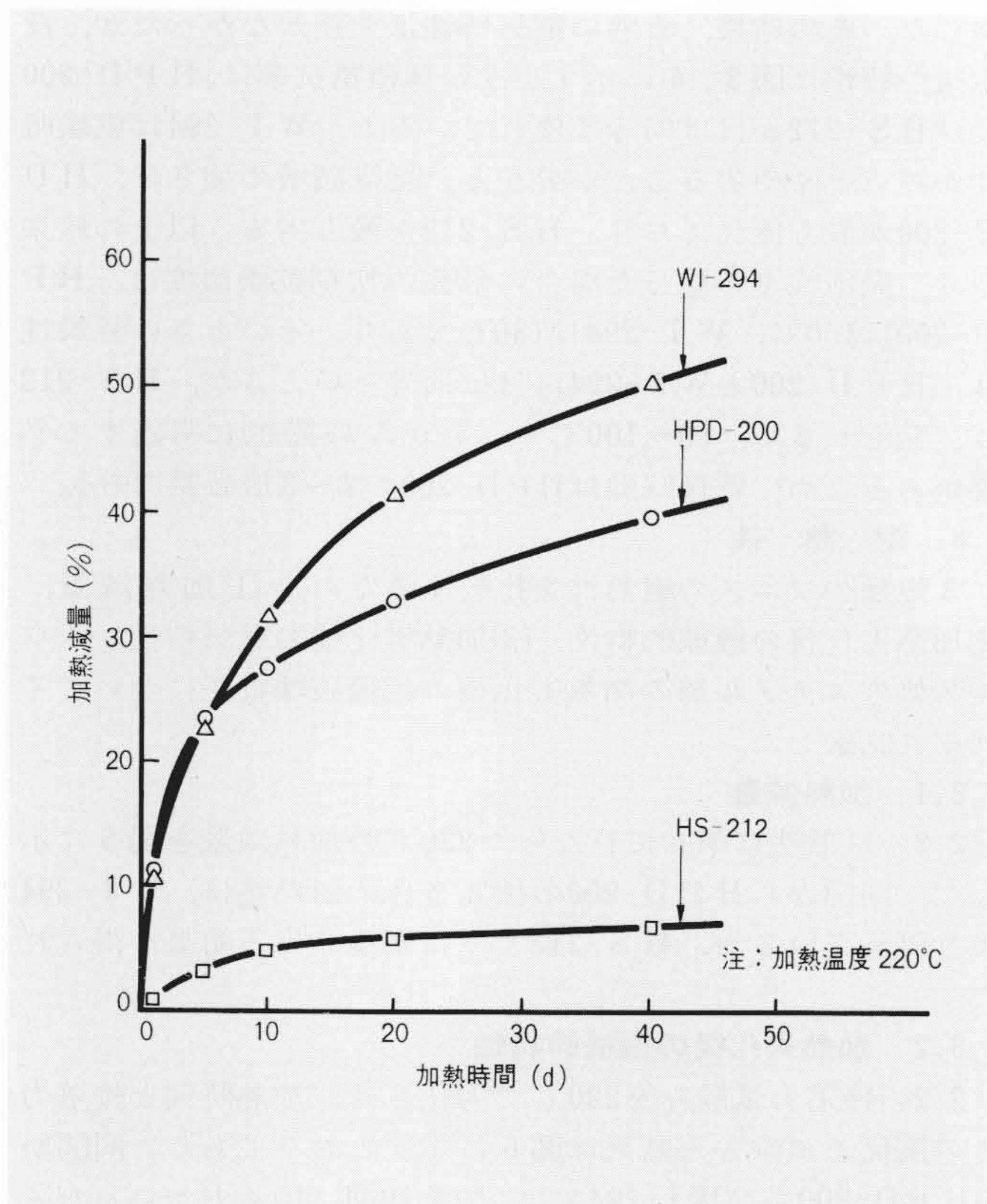


図5 各種ワニスの加熱時間と加熱減量との関係 HPD-200の加熱減量は、WI-294の0.8倍、また、HS-212の6倍である。

Fig. 5 Weight Loss at 220°C of Each Varnish

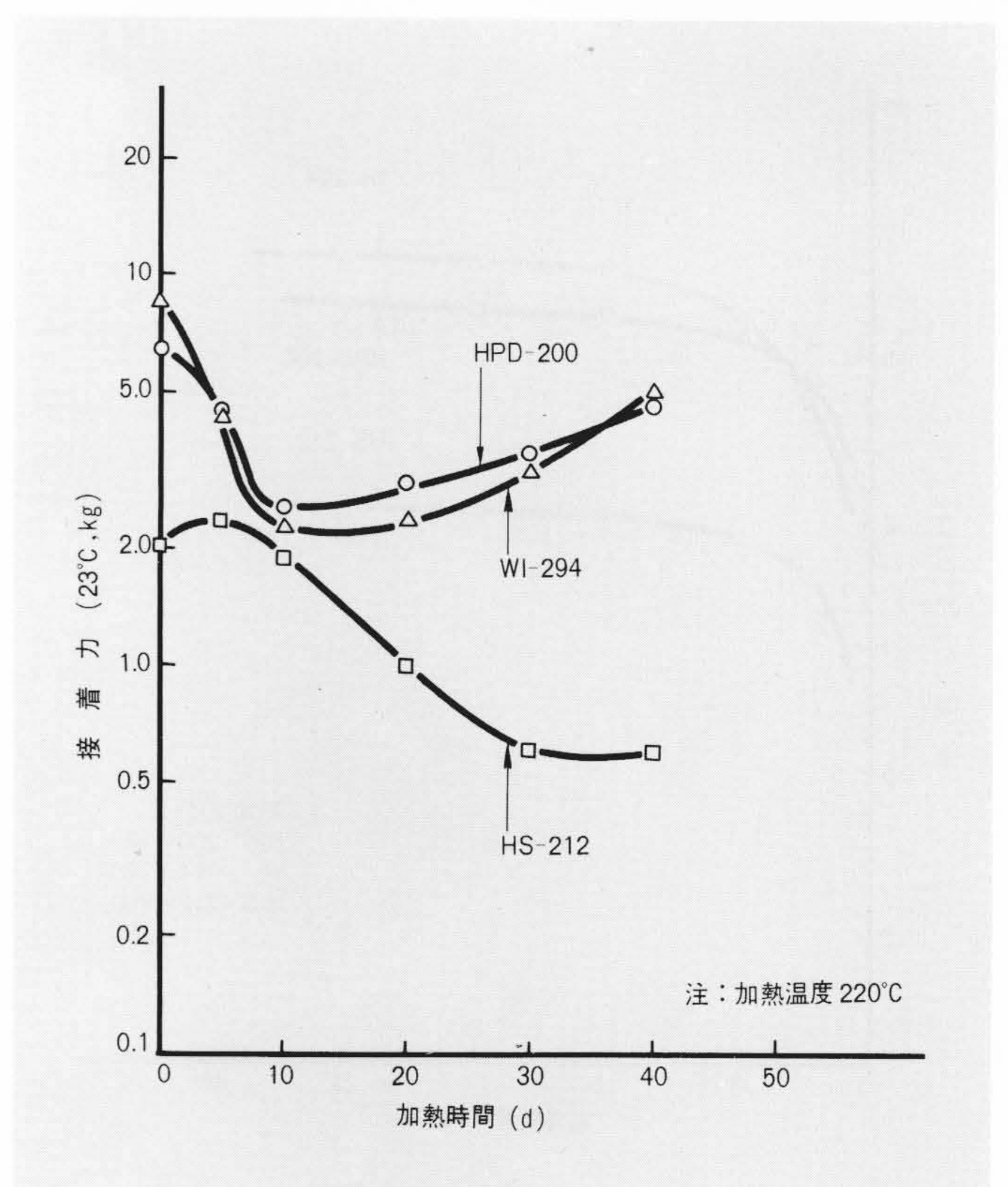


図6 各種ワニスの加熱時間と接着力との関係 HPD-200及びWI-294は劣化とともに低下し、その後向上する。しかし、HS-212は低下する。

Fig. 6 Thermal Degradation and Adhesive Strength

3.3.3 加熱劣化後の電気特性

3種類のワニスについて2.1で作製した試験片を空气中220°Cで劣化させ、加熱時間と体積抵抗率及び絶縁破壊電圧との関係について調べたが、ワニス間には電気特性に大差はなかった。そこで熱劣化後、更に浸水させたときの体積抵抗率及び絶縁破壊電圧を測定した。その結果は、図7、8に示すとおりである。両図とも同様の傾向を示し、WI-294は加熱による低下率が著しく、40日後では、割れが発生するため測定ができない。HS-212は、ほとんど変化なく耐熱性が優れている。また、HPD-200は加熱によって低下するが、HS-212に近い特性を有していることが分かる。

3.3.4 ワニス処理エナメル線の加熱劣化後の絶縁破壊電圧

2.4で示したワニス処理ツイスト・ペア試験片を空气中220°Cで劣化させ、加熱時間と絶縁破壊電圧との関係を試験した結果は、図9に示すとおりである。同図からWI-294の低下率は大きいがHPD-200は、HS-212とほとんど同等であることが分かる。

以上の結果から、HPD-200の耐熱性は、樹脂自体の加熱減量は大きく、WI-294に近いが、加熱劣化後の電気的性質は、HS-212に近く、また、劣化後の接着力は強くエナメル線と組み合わせた場合は、HS-212に近い絶縁破壊電圧の保持率を持ち、耐熱性が優れていることが分かる。

3.4 接着力と温度との関係

2.2の試験法に準じて、供試ワニスの接着力と温度との関係について試験した結果は、図10に示すとおりである。同図から、HPD-200の接着力は、WI-294の約0.5~0.8倍、HS-212の3~5倍あることが分かる。

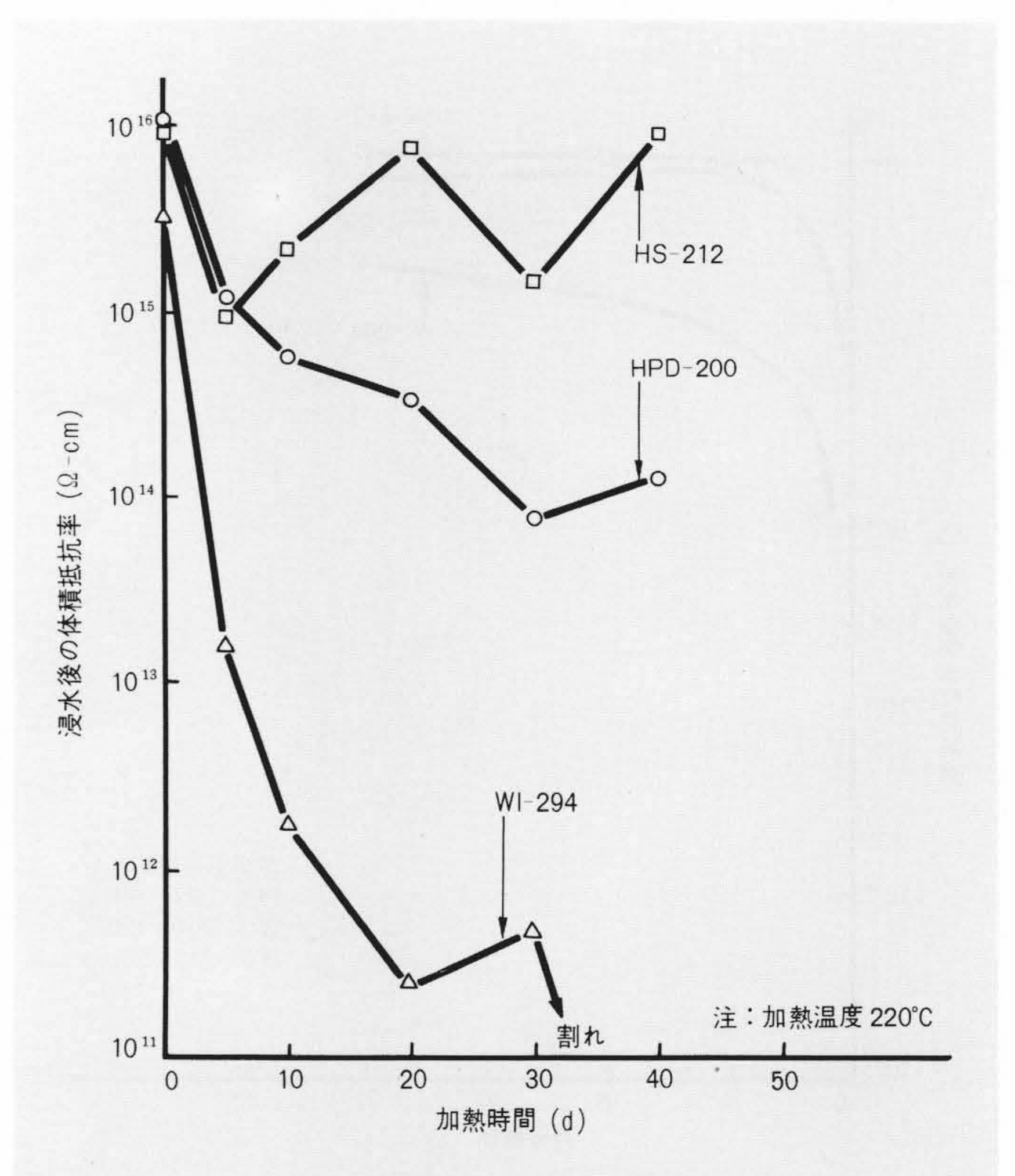


図7 各種ワニスの加熱時間と浸水後の体積抵抗率との関係

WI-294は著しく低下するが、HPD-200の低下率はWI-294よりはるかに少なく、またHS-212はほとんど低下しない。

Fig. 7 Thermal Degradation and Wet Volume Resistivity of Each Varnish

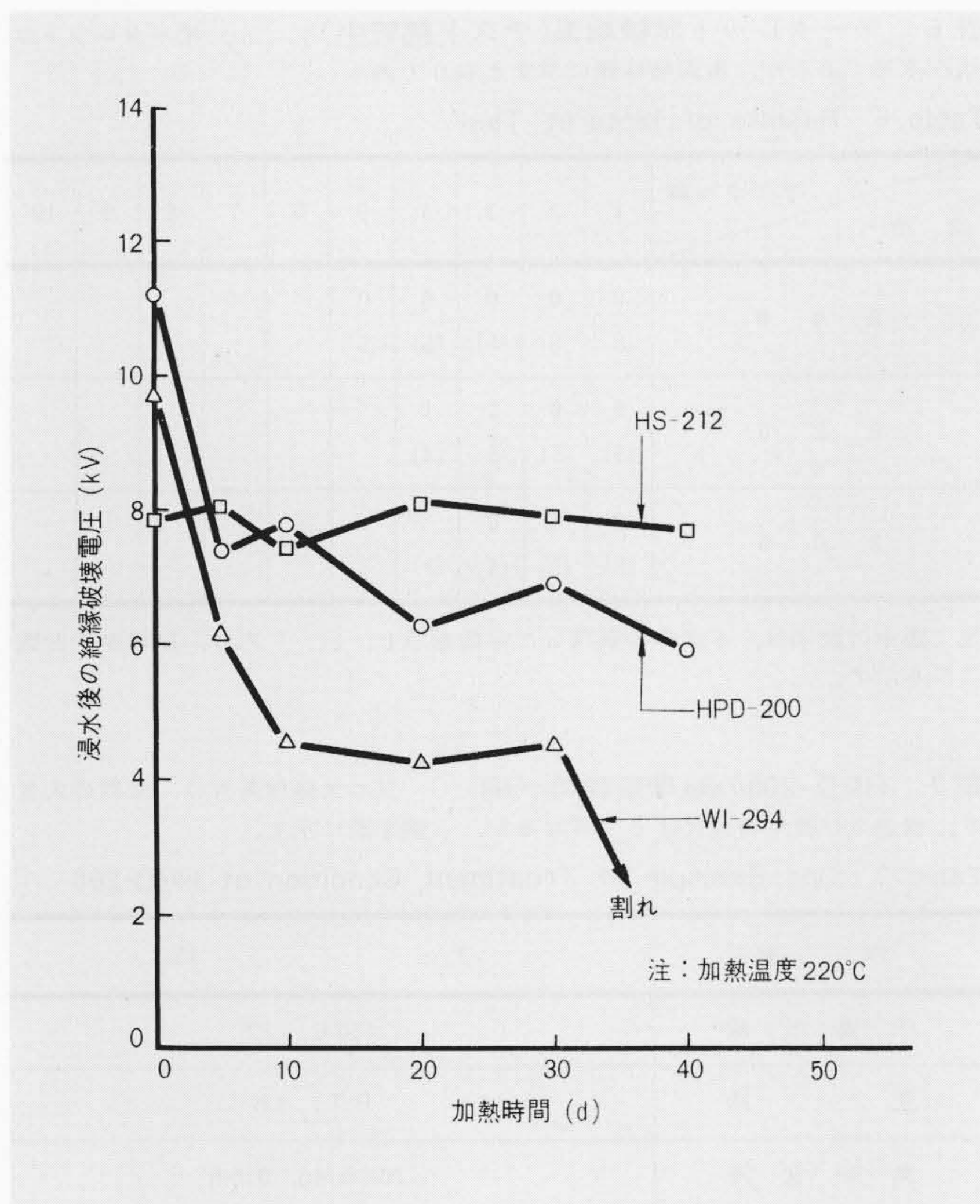


図8 各種ワニスの加熱時間と浸水後の絶縁破壊電圧との関係
WI-294の低下は著しいが、HPD-200はWI-294より少なく、HS-212に近い。

Fig. 8 Thermal Degradation and Breakdown Voltage of Each Varnish

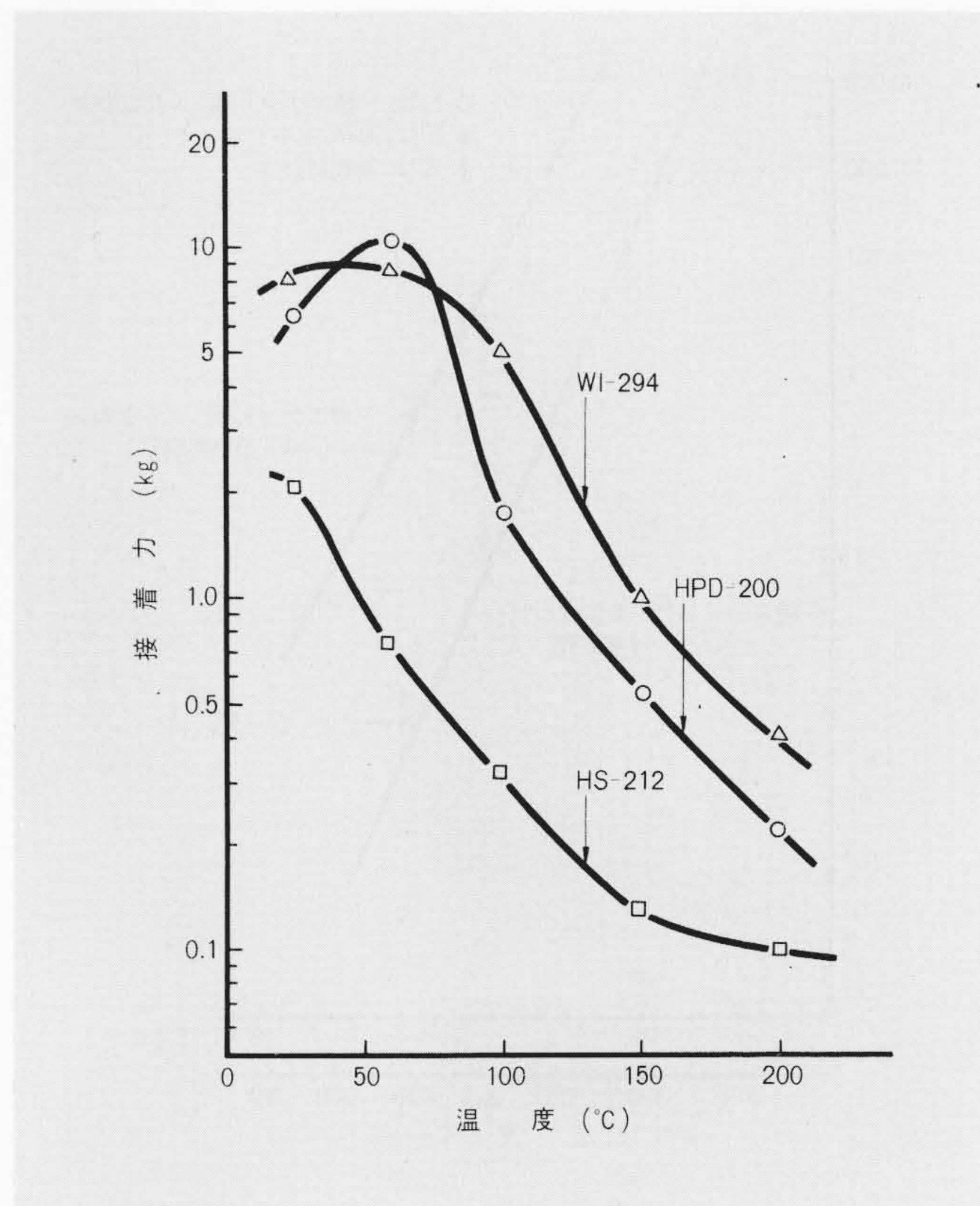


図10 各種ワニスの接着力と温度との関係 HPD-200の接着力は、WI-294より劣るが、HS-212の3～5倍である。

Fig. 10 Adhesive Strength and Jett Temperature of Each Varnish

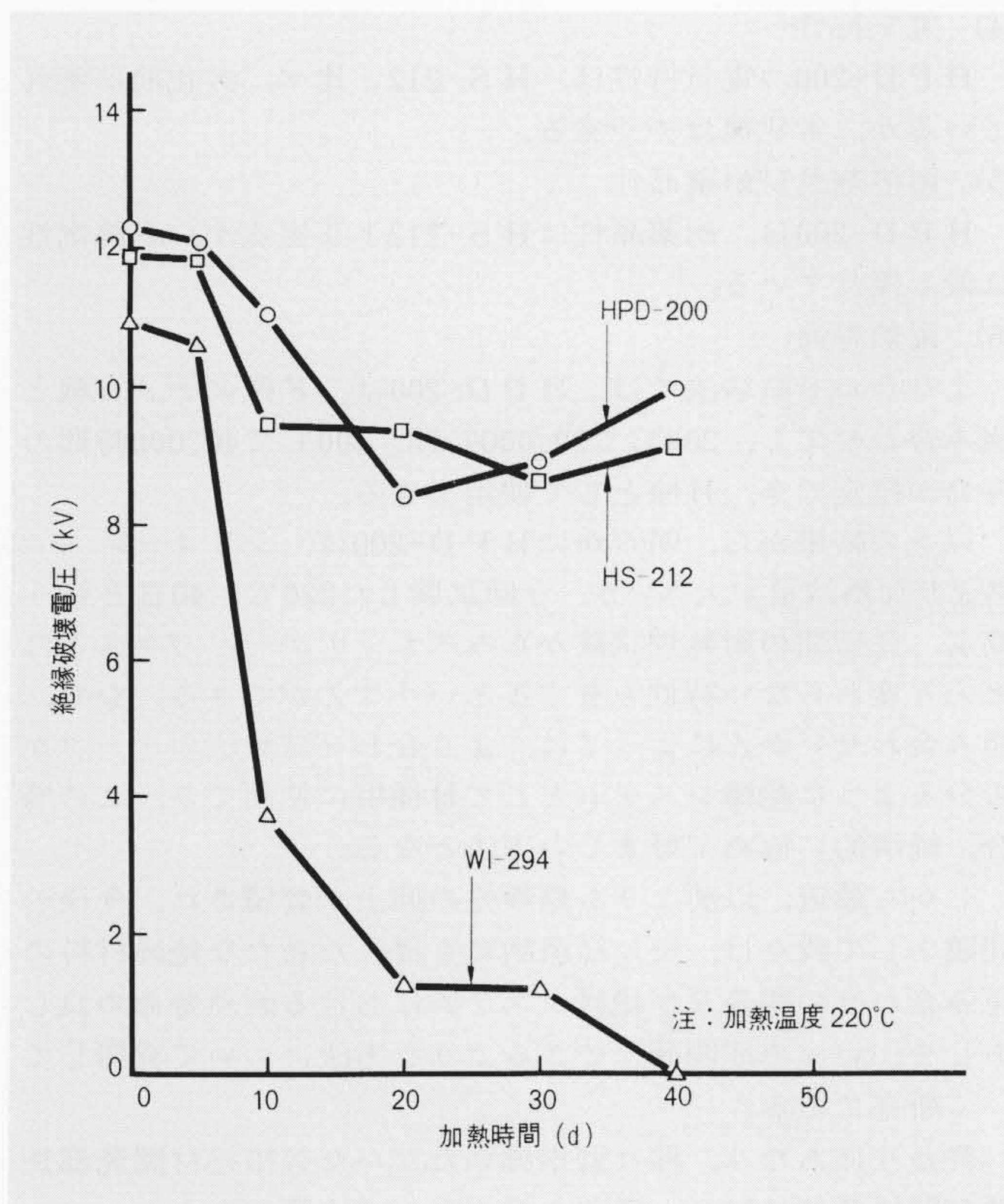


図9 各種ワニス処理エナメル線の加熱時間と絶縁破壊電圧との関係
HPD-200はHS-212と同様にあまり低下しない。しかし、WI-294の低下は著しい。

Fig. 9 Thermal Degradation and Breakdown Voltage of Varnished AIW

表5 耐溶剤及び耐薬品性試験結果 HPD-200はHS-212に比べ耐薬品性は劣るが、耐溶剤性は優れ、WI-294と比較すると耐溶剤性に優れている。

Table 5 Solvent and Chemical Resistance

ワニス 溶剤及び薬品	HPD-200	WI-294	HS-212
エタノール	+ 3.1	+ 4.3	+ 3.4
トルエン	+ 1.5	+ 14.0	はく離
スチレン	+ 4.4	+ 18.7	"
10% 塩酸	+ 0.4	+ 0.1	+ 0.2
10% 硫酸	+ 1.0	+ 0.5	+ 0.1
10% カセイソーダ水	- 3.5	割れ, はく離	+ 0.1
10% アンモニア水	+ 11.0	+ 8.0	+ 0.3

注：室温72時間後の重量変化率(%)を示す。

3.5 耐溶剤性及び耐薬品性

2.5の試験方法で試験した結果は、表5に示すとおりである。その結果、HPD-200は、HS-212に比べて耐薬品性は劣るが、耐溶剤性に優れ、また、WI-294に比べても耐溶剤性に優れている。

3.6 耐熱寿命

2.6の試験結果は、図11に示すとおりである。また、AIWを使用したモータレット試験は継続中であるが、その経過は、表6に示すとおりである。図11から、F種エナメル線を使用したより合わせ試験では、HPD-200を使用することにより、200°Cで20,000時間、190°Cで40,000時間の寿命が推定でき、この組み合わせでH種として使用することができる。

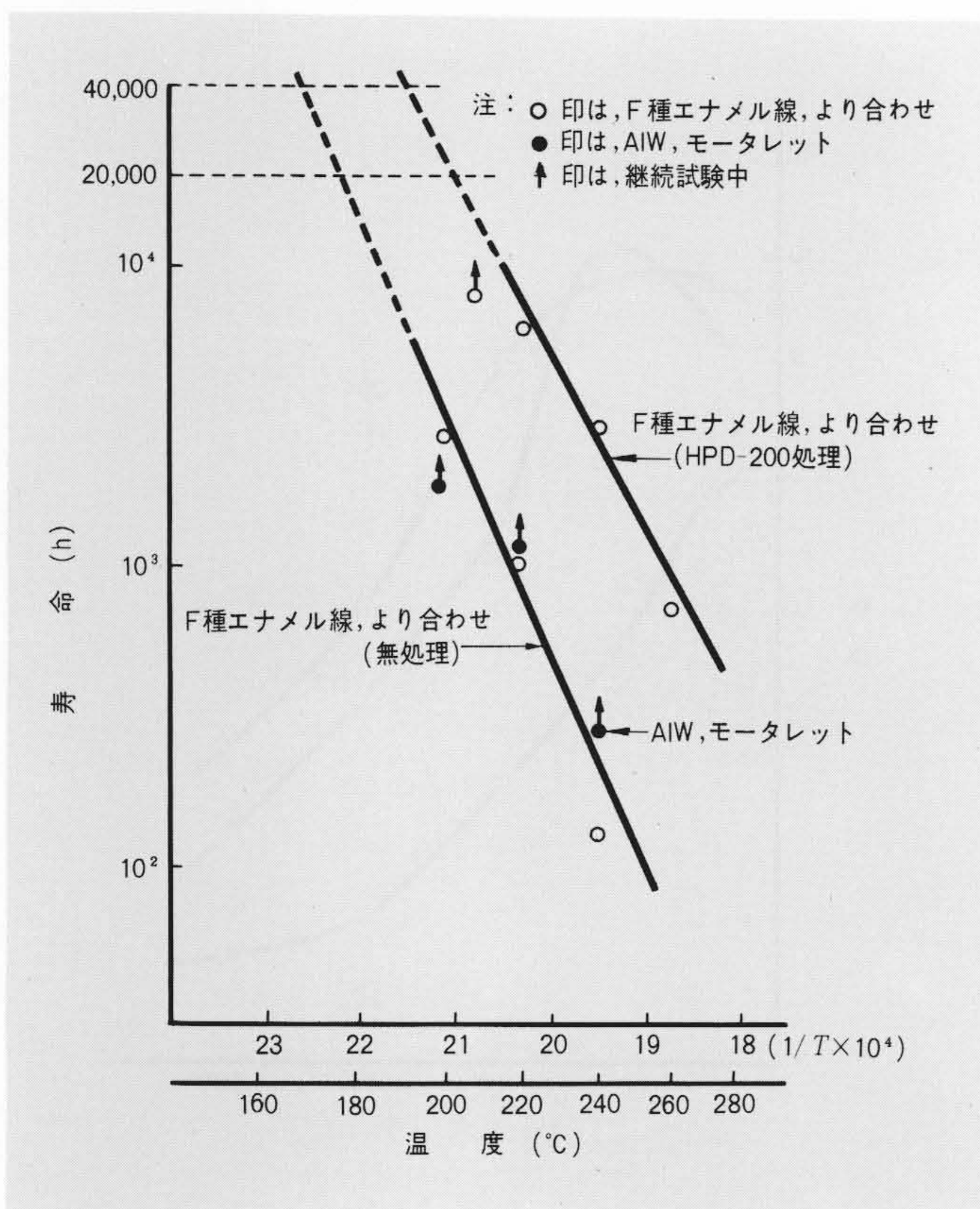


図11 耐熱寿命曲線 HPD-200は、F種エナメル線と組み合わせると、寿命が延び、200℃、20,000h、190℃、40,000hの寿命を有する。

Fig. 11 Life and Test Temperatures

4 HPD-200の用途及び処理条件

以上の試験結果から、HPD-200は、次のようなものに使用できる。

電子レンジ用トランス、乾式トランス、各種交直流回転機、車両用モータなどのコイル含浸用。

また、表7はワニス処理条件の一例を示すものである。ワニス処理条件は、コイルの大きさ、構造及び要求特性などによって、かなり異なるが、同表はその一例を示すものである。

5 結 言

新たに開発したHPD-200について、日立化成工業株式会社のF種用ワニス(WI-294)及びH種用ワニス(HS-212)と各種の特性について比較した結果、次のことが分かった。

(1) 乾燥性

HPD-200は、他の耐熱性ワニスより乾燥時の発泡が少なく、高温で乾燥することができ、HS-212の $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{1}{3}$ 程度の短時間で処理することができる。

(2) 耐 熱 性

HPD-200の樹脂自体の加熱減量は、HS-212よりかなり大きいですが、エナメル線と組み合わせたときの加熱劣化後の絶縁破壊電圧の低下は、HS-212の場合とほぼ同等である。また、機械的及び電気的特性の加熱劣化後の低下は少なく、耐熱性が優れ、H種として使用可能と思われる。

(3) 接 着 力

HPD-200の接着力は、HS-212に比べ、劣化前で3～5倍、劣化後でもそれ以上で、優れている。

表6 モータレット試験結果(テスト継続中)

モータレットは

現在未完であるが、実測値は表に示すとおりである。

Table 6 Results of Motoret Test

温 度(°C)	サイクル数									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
240	0 (5)	0 (5)	0 (5)	0 (5)	0 (5)					
220	0 (5)	0 (5)	0 (5)	1 (4)						
200	0 (5)	0 (5)	0 (5)							

注：表中の数字は、5台中の破壊した台数を示し、()内は、試験中の台数を示す。

表7 HPD-200の処理条件の一例

ワニス処理条件は、機器の大きさ、構造及び要求特性によって異なるが、一例を表に示す。

Table 7 One Example of Treatment Condition of HPD-200

作 業	工 程
予 備 乾 燥	150℃, 2 h
空 冷	R T, 1 h
真 空 含 浸	20mm Hg, 0.5 h
余 滴 滴 下	R T, 0.5 h
本 乾 燥	150℃, 2 h + 180℃, 5 ~ 10h

(4) 電気特性

HPD-200の電気特性は、HS-212と比べ、劣化前は優れているが、劣化後はやや劣る。

(5) 耐溶剤及び耐薬品性

HPD-200は、耐薬品性はHS-212より劣るが、耐溶剤性は最も優れている。

(6) 耐熱寿命

より合わせ試験法では、HPD-200は、F種エナメル線と組み合わせても、200℃で20,000時間、190℃で40,000時間の寿命が推定でき、H種として使用できる。

以上の結果から、明らかにHPD-200は、シリコンワニスより加熱減量が多いが、今回試験した220℃、40日という高温、長時間の耐熱性試験からみてもシリコンワニスとほとんど変わらない特性を有するといえることができる。なお、組み合わせいかんによっては、より合わせ試験法のデータから分るように絶縁システムとしてH種用に使用でき、この場合、経済的に極めて好ましい方法となる。

しかし最近、以前よりも信頼性の向上が要望され、今後の問題として我々は、更に経済的にも優れた新たな絶縁材料の組み合わせの開発及び絶縁システムにおける耐熱寿命の良しあしを、いっそう明確にできるような方法について究明していく所存である。

終わりにあたり、種々御指導いただいた曾根絶材開発部長及び関係各位に対し、深謝の意を表わす次第である。

参考文献

- (1) 杉江忠ほか：「小形機器用無溶剤絶縁ワニスの耐熱寿命試験」日立評論53, 1186 (昭46-12)