

速硬化性無溶剤コイル ワニスKE-582の特性

Properties of KE-582, Fast Curing, Non-Solvent Type Coil Impregnating Varnish

電気機器の生産合理化，信頼性向上の要請に沿って，エポキシ系樹脂の優れた硬化物特性と液状不飽和ポリエステル樹脂の作業性を合わせもつ，エポキシ樹脂変性不飽和ポリエステル無溶剤ワニスKE-582を開発した。

この無溶剤ワニスは，従来の不飽和ポリエステル系無溶剤ワニス（例えばPS-202）に比べて，低粘度，速硬化性で，エポキシ樹脂類似の優れた機械的・電気的特性及び耐熱性をもち，小形電源トランスなどの含浸ワニスとして適し，ワニス処理の連続化，工程の短縮に寄与できる。

四十物雄次* Aimonō Yūji
猿 舘 勉* Sarudate Tsutomu
仲 野 嶺 男* Nakano Mineo

1 緒 言

電気機器の最近の傾向は，小形・軽量化，性能・信頼性の向上及びコストダウンの方向にあり，従って，それに使用される絶縁ワニスに対しては，(1)電気的，機械的及び熱的特性の向上が更に要求されるが，(2)一方では，最近の公害規制，省エネルギーなどの社会的要請から，溶剤形ワニスから無溶剤形ワニスへの移行，(3)より速硬化性ワニスへの移行の傾向にある。また，絶縁処理法についてみると，連続的(機械化)に，また短時間に処理したいという要請から，従来，主流であった真空含浸法がかなりの分野まで常圧含浸法に移行し，更に用途によっては，滴下含浸法，粉末処理法及びプリプレグ絶縁法などが適用されている。これらは，それぞれの電気機器の要求性能，作業性，経済性などの点から，最も適した処理法が採用されるが，その傾向は以前より多様化している。

特に，テレビ，ラジオ，ステレオなどの小形電源トランスのワニス処理について言えば，ワニス処理の合理化の立場から，これらの傾向は顕著であり，連続(機械)処理化が非常に進んでいる。

我々は，小形電源トランスのワニス処理の合理化についてワニス メーカーの立場から再検討し，低粘度で含浸性の良い(従って，常圧含浸により連続処理のできる)速硬化性で，しかも特性的(電気的，機械的及び熱的)に優れたKE-582を開発した。本稿は，KE-582と従来この分野で使用されていた不飽和ポリエステル無溶剤ワニスの代表例としてPS-202とを作業性及び特性面から比較して述べる。

2 KE-582の組成

現在，一般に多く使用されているコイル ワニスの特長及び欠点を表1に示す。溶剤形ワニスは，安価で取扱いやすいにもかかわらず同表に示すような欠点のため，速硬化性で比較的特性の良い不飽和ポリエステル樹脂無溶剤ワニスが，最近多く使用されている。

一方，エポキシ樹脂無溶剤ワニスは，特性的には非常に優れているにもかかわらず，皮膚のかぶれ，粘度増加などの点で作業性が悪いため，要求特性の厳しい用途に限定されている。そこで，我々は，エポキシ樹脂を不飽和ポリエステル樹脂に変性する新しい技術を開発し，常圧含浸可能で連続処理ができ，速硬化性で，しかも特性の優れたKE-582を開発した。

表1 各種コイル ワニスの特長と欠点 溶剤形ワニスとエポキシワニスは，欠点が多く，且つ問題点が多い。しかし，不飽和ポリエステル ワニスは全体的にバランスがとれている。

分 類		特 長	欠 点
溶 剤 形 ワ ニ ス		取り扱いやすい(粘度調整)。ワニスの価格が安価である。	溶剤の揮散。乾燥性が悪い。特性的にやや劣る。
無溶剤形ワニス	不飽和ポリエステル樹脂	速硬化性 比較的に特性が良い。	臭気が強い。
	エポキシ樹脂	特性が非常に良い。	作業性(粘度，ポットライフ，毒性)が悪い。高価である。

3 試験方法

3.1 無溶剤ワニスの一般特性

JIS-C 2103(電気絶縁用ワニス試験方法)に準じて試験を行なった。電気特性の試験片は，注型した厚さ2mmの試験片を用いた。

3.2 加熱減量

電気特性の試験片と同様に，厚さ2mmの注型板を50×50mmに切断して試験片とし，180及び200℃の加熱減量を測定した。

3.3 ポット ライフ，補給率と粘度

300mlブリキ製丸罐に，調合した無溶剤ワニスを300g入れ，所定温度，所定時間，乾燥器中に放置して，その後25℃での粘度を測定し，初期粘度の2倍になるまでの時間を求めポット ライフとした。また，所定温度で15時間保温し，25℃での粘度を測定した後，無溶剤ワニスの20又は40%を新しく調合した無溶剤ワニスで置換し，粘度を測定する。この操作を繰り返して行ない粘度変化を測定した。

3.4 セン断接着力

図1に示すような2.0mmφポリエステル銅線(以下，PEWと略す)で，引抜きせん断接着力試験片を作り，表2と同じ条件で2回ワニス処理を行ない試験片を作製する。試験は，株式会社島津製作所製のオートグラフ(IS-2000)を用い，支点間距離70mm，試験速度5mm/minの引張り速度で測定した。

* 日立化成工業株式会社山崎工場

3.5 実機処理

テレビ用小形電源トランス〔コア径50×40×25(mm)の紙巻きコイル。2種0.24mmφポリウレタン銅線使用〕を用い、所定の条件で含浸処理を行ない、乾燥後コイルを切断して無溶剤ワニスの含浸性、硬化性及び接着性を肉眼で判定する。なお、絶縁抵抗を測定する場合は、超絶縁抵抗計を用いてDC 100Vを印加し、1分間充電後の値を測定した。

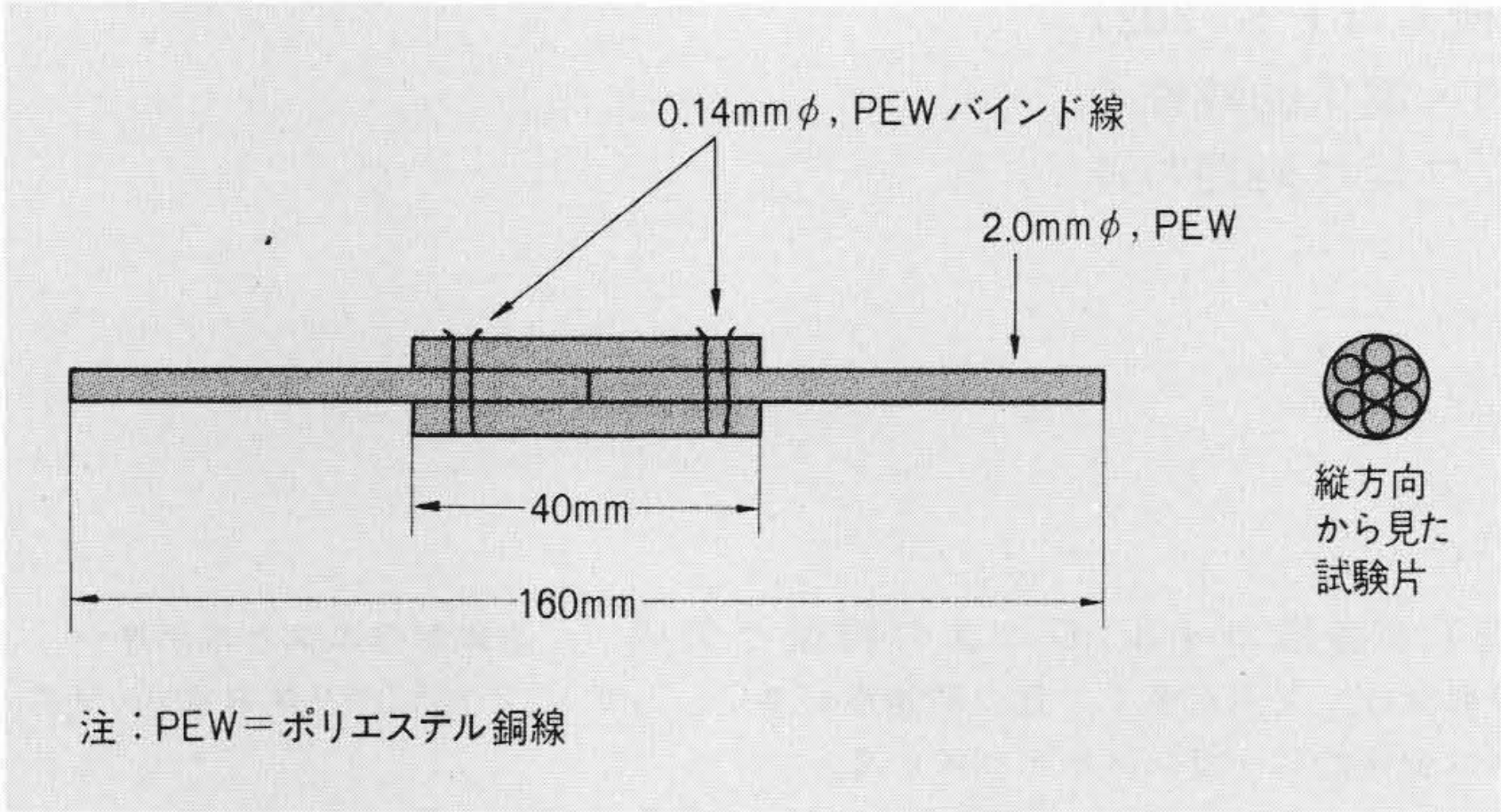


図1 引抜きせん断接着力試験片 2.0mmφポリエステル銅線(PEW)を突き合わせて試験片を作製し、ワニス処理後、引張り強度を測定する。

表2 KE-582の一般特性の一例 KE-582はPS-202と比較すると、伸び率は小さいが、低粘度で含浸性に優れ、各種特性も優れている。

区 分		KE-582*		PS-202**		
		A 液	B 液	A 液	B 液	C 液
無溶剤ワニスの特性	外 観	—		桃色透明	無色透明	黄色透明
	粘 度	25°C/P		0.15	3.00	1.8
		A液+B液(+C液), 25°C/P		0.18	1.7	
	配 合 比	A 液 : B 液 : C 液		100 : 15	100 : 1 : 1	
硬化特性	ゲル化時間	80°C/min, 試験管法		26.1	34.0	
	ポットライフ	40°C/日		1.5	3	
		25°C/日		12	> 20	
硬化物の特性	硬化条件	—		105°C/0.5h + 120°C/2h	120°C/3h	
	引張り強さ	23°C/kg/mm ²		2.8	0.4	
	伸 び 率	23°C/%		1.4	29.2	
	体積抵抗率	25°C/Ω-cm		> 10 ¹⁶	2.8 × 10 ¹⁵	
		120°C/Ω-cm		6.2 × 10 ¹³	2.1 × 10 ¹¹	
		50°C, 24h, 浸水後/Ω-cm		2.2 × 10 ¹⁵	8.5 × 10 ¹³	
絶縁破壊電圧の強さ	絶縁破壊電圧の強さ	25°C/kV/mm		18.2	17.1	
		120°C/kV/mm		16.2	13.8	
		50°C, 24h, 浸水後/kV/mm		17.8	17.0	
加熱減量	加熱減量	180°C, 3日/%		4.1	12.0	
		200°C, 3日/%		4.5	12.4	

注：* KE-582, KE-582A (主剤) + KE-582B (硬化剤)
** PS-202, PS-202(主剤) + CT-1 (硬化剤) + PT-23 (促進剤)
但し、CT-1, PT-23は、日立化成工業株式会社の商品名である。

3.6 耐熱寿命

市販の2種0.4mmφポリウレタン銅線〔以下、2UEW(0.4φ)と略す〕、2PEW(0.4φ)及び1種0.4mmφ F種ポリエステルイミド銅線〔以下、1E1W-F(0.4φ)と略す〕を用いて、IEEE (アメリカ電気電子技術者協会) No.57に準じて寿命試験を行なった。

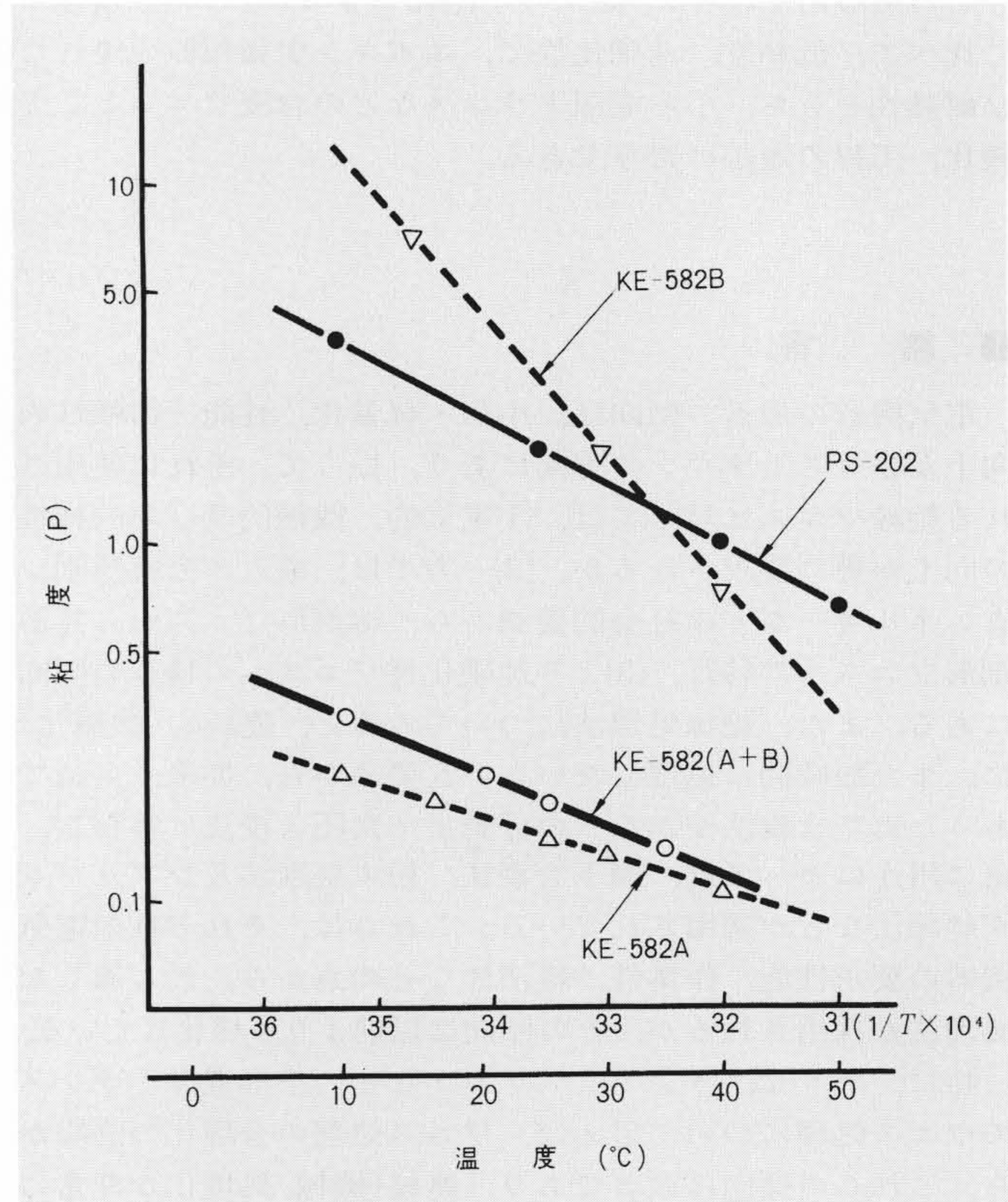


図2 無溶剤ワニスの粘度と温度の関係 KE-582の粘度は、0～10°Cでも0.3～0.5Pと低粘度のため、冬季でも含浸性は良い。

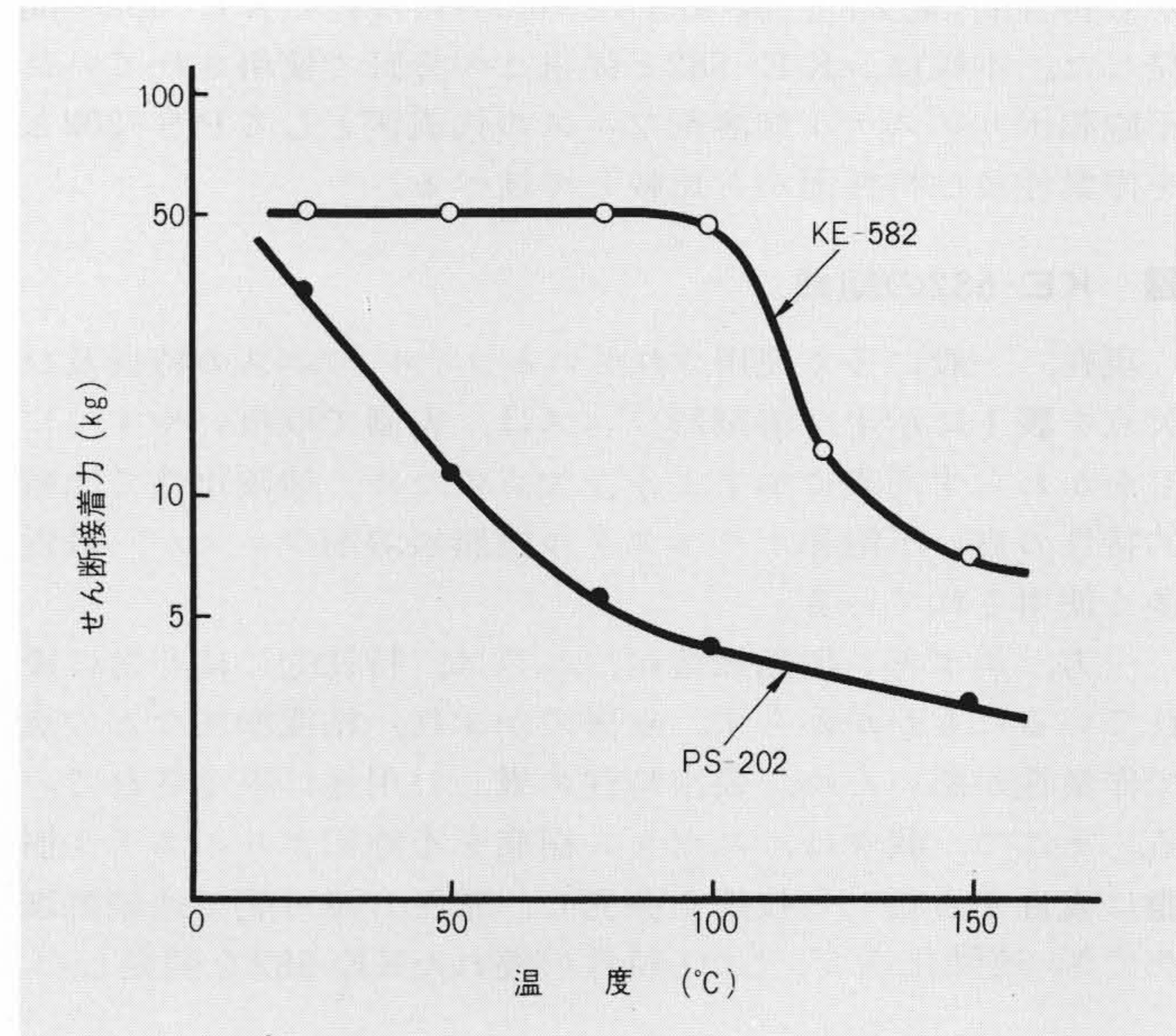


図3 せん断接着力と温度との関係 KE-582のせん断接着力は100°Cまで低下なく、PS-202と比較して非常に優れている。

4 試験結果

4.1 一般特性

表2に示すように、KE-582の粘度は0.18Pで、PS-202の $\frac{1}{2}$ と非常に低粘度であり、従って含浸性が良い。硬化物の特性は、電氣的、機械的及び耐熱性(加熱減量)が非常に優れている。また、KE-582の配合比はA液対B液が100対15のため、機械混合が可能である。しかし、ポット ライフは速硬化性のため、PS-202の約 $\frac{1}{2}$ であり、粘度管理には注意する必要がある。

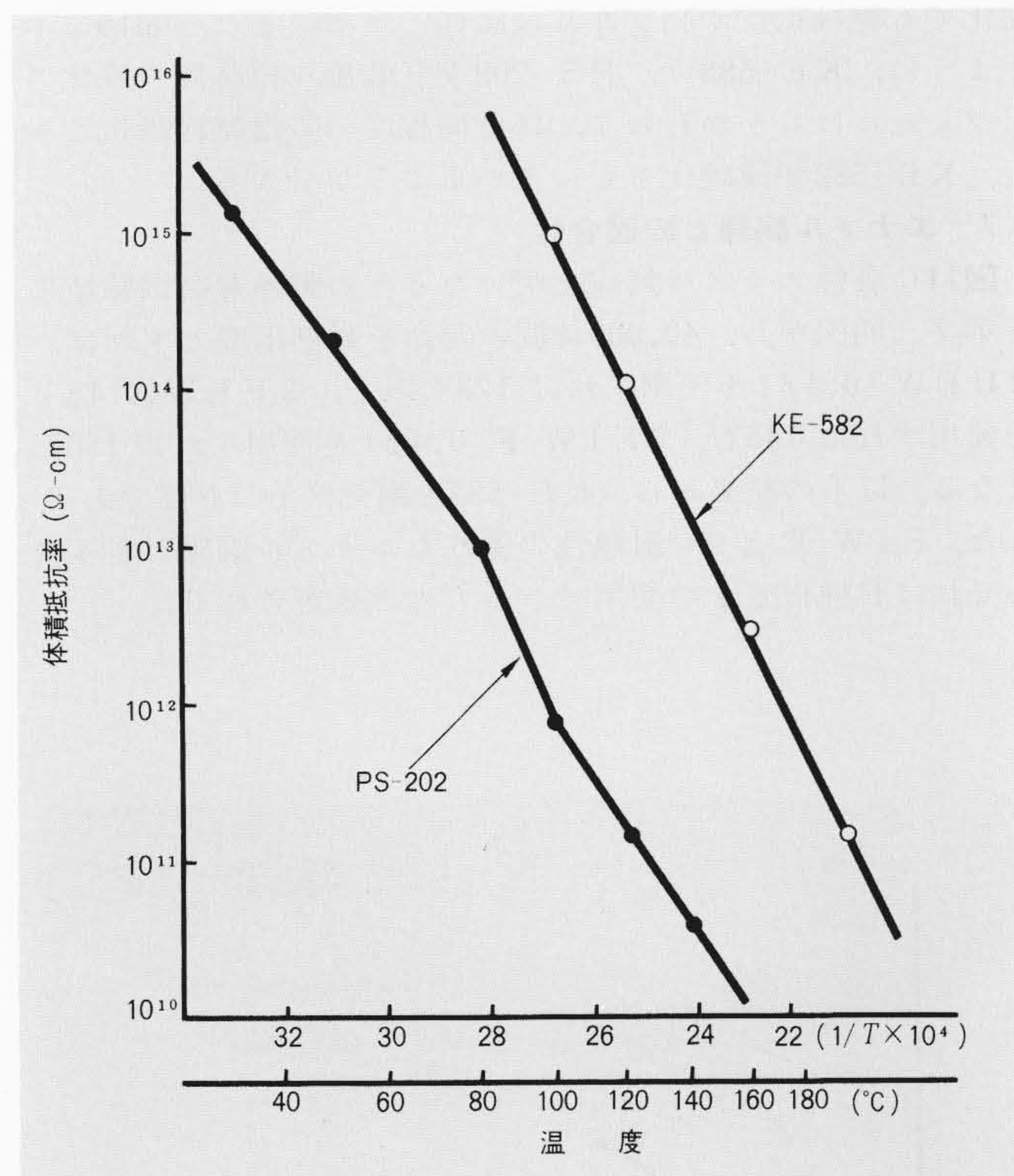


図4 体積抵抗率と温度との関係 KE-582の体積抵抗率は、PS-202より2けた以上優れている。

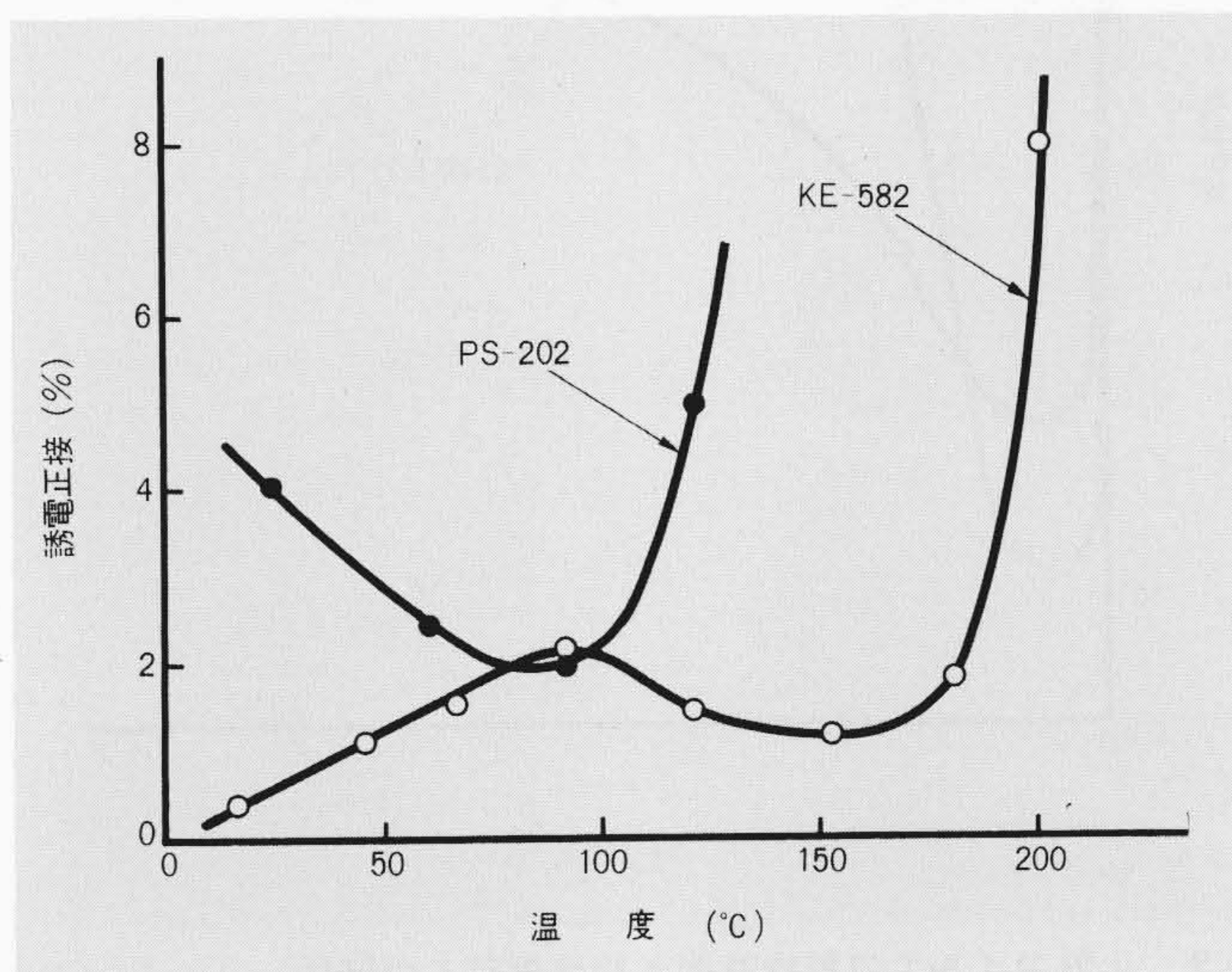


図5 誘電正接と温度との関係 KE-582の誘電正接はPS-202より小さく、しかも立上り温度も高く、非常に優れている。

4.2 粘度と温度との関係

図2に示すように0～10°Cでの粘度を比較すると、PS-202は増粘するのに対し、KE-582は0.3～0.5Pと低粘度であり、冬季でも作業性が良いことが分かる。

4.3 セン断接着力と温度との関係

図3に示すように、KE-582のせん断接着力は100°Cまで変化がなく、PS-202と比較して非常に優れている。

4.4 電気特性と温度との関係

図4～7に示すように、KE-582の電気特性は常温だけでなく、高温でも非常に優れていることが分かる。

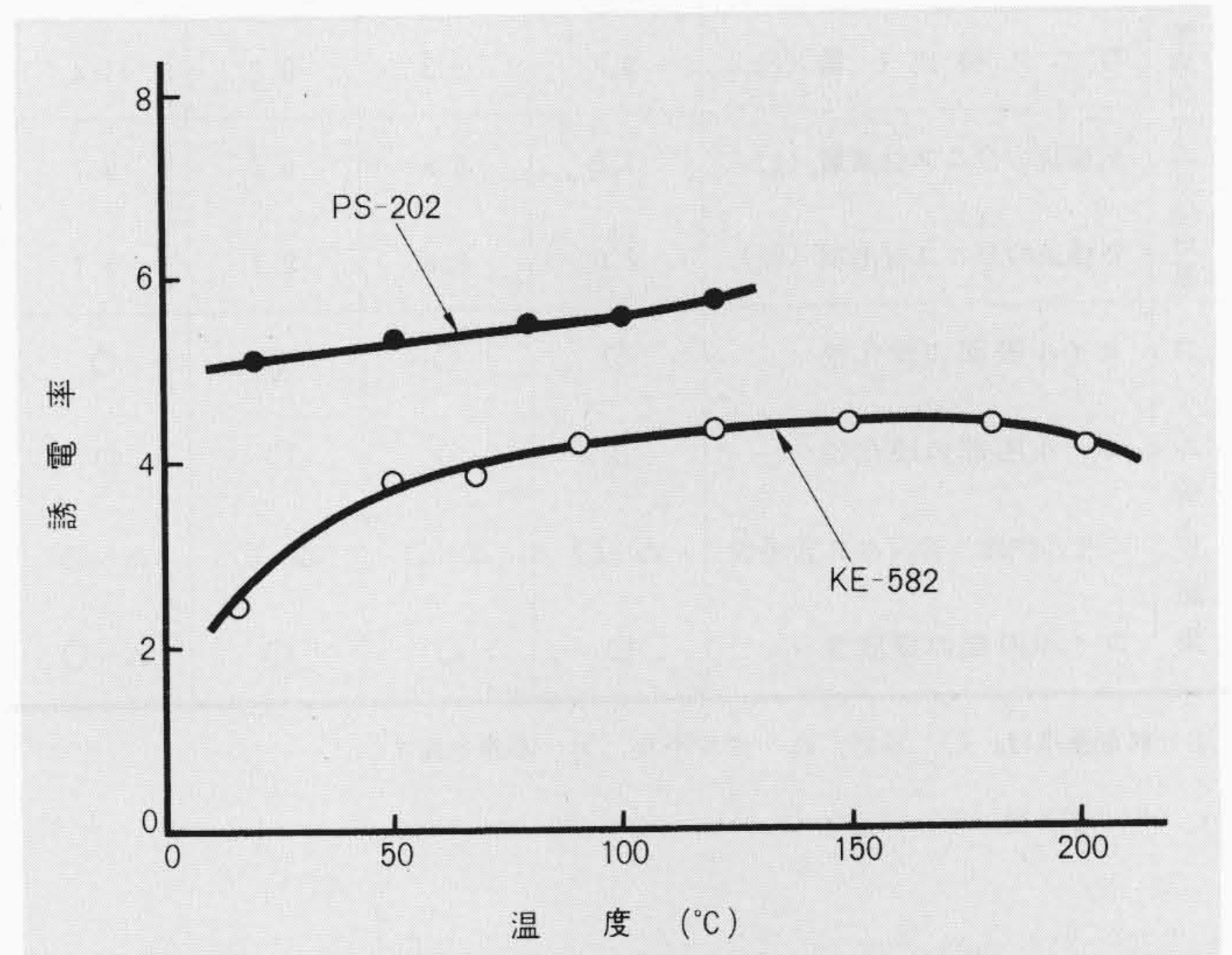


図6 誘電率と温度との関係 KE-582の誘電率はPS-202より高温でも低く、優れている。

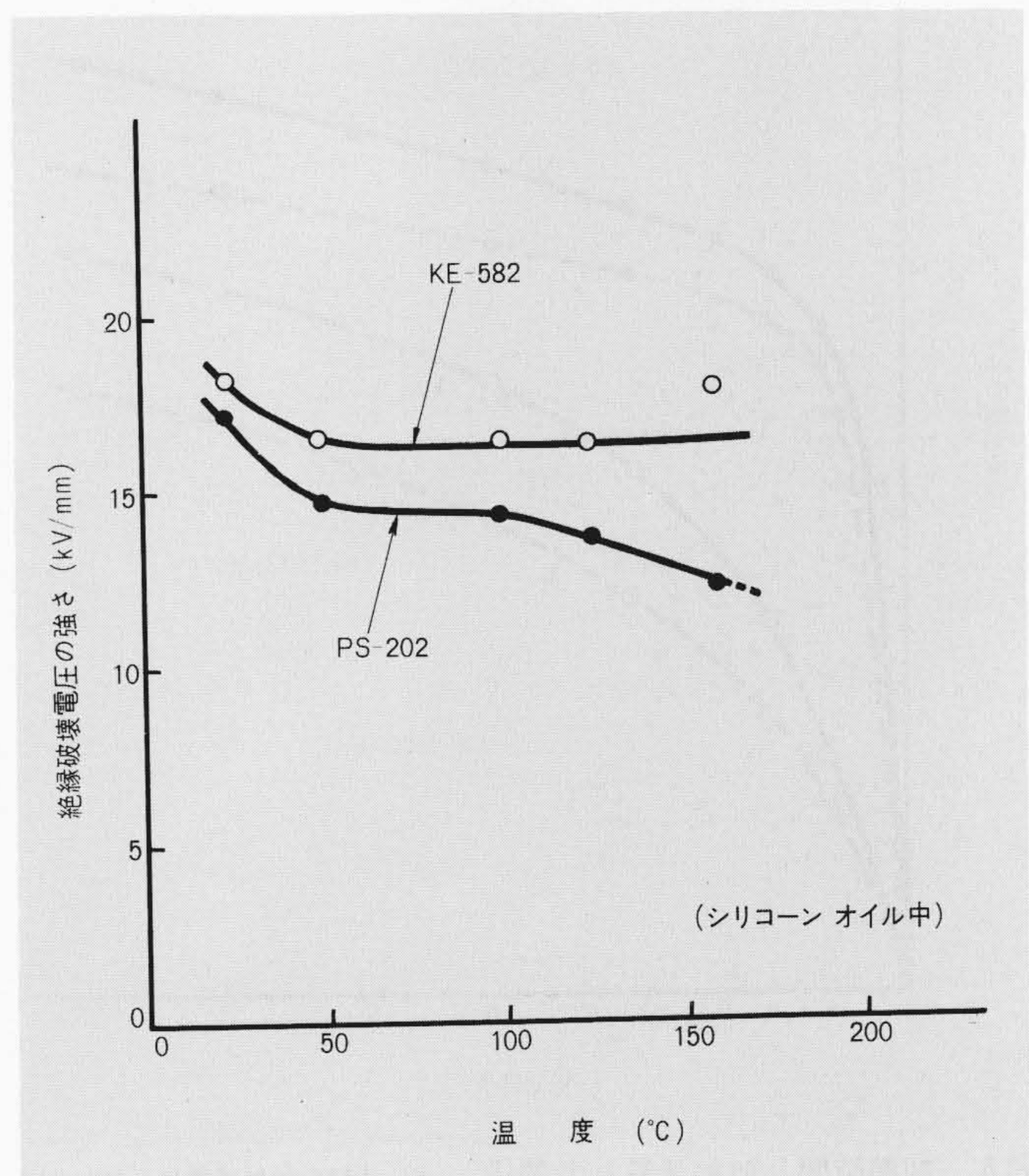


図7 絶縁破壊電圧の強さと温度との関係 KE-582の絶縁破壊電圧の強さは、PS-202と比べて高温でも優れている。

4.5 加熱減量

図8に示すように、KE-582の加熱減量は、180℃及び200℃ともPS-202よりかなり少ない。

表3 小形コイルでの含浸処理結果の一例 KE-582は、常圧含浸法でも真空含浸法のPS-202と同程度の含浸性で、しかもPS-202より低温、短時間硬化でも硬化性、接着性は同等以上である。

区 分		KE-582			PS-202
項 目		常圧, RT, 10min			真空 50mmHg 20min
処理条件	含 浸 条 件	110℃, 45min	110℃, 90min	110℃, 2h	120℃, 5h
無溶剤ワニス使用量	硬 化 条 件				
	ワニス持出し量 (g)	9.2	9.3	9.2	11.4
	乾燥後のワニス付着量 (g)	7.0	6.8	6.8	9.7
コイル解体結果	乾燥後のワニス付着率 (%)	2.6	2.6	2.7	3.7
	コイル表面の硬化性	○	○	○	○
	コイル内部の硬化性	△	○	○	○
	コイル内部へのワニス含浸性	△~○	△~○	△~○	△~○
	コイル内部の接着性	○	○	○	△~○

注：判定基準は、○ 良好、△ やや不良、× 不良を示す。

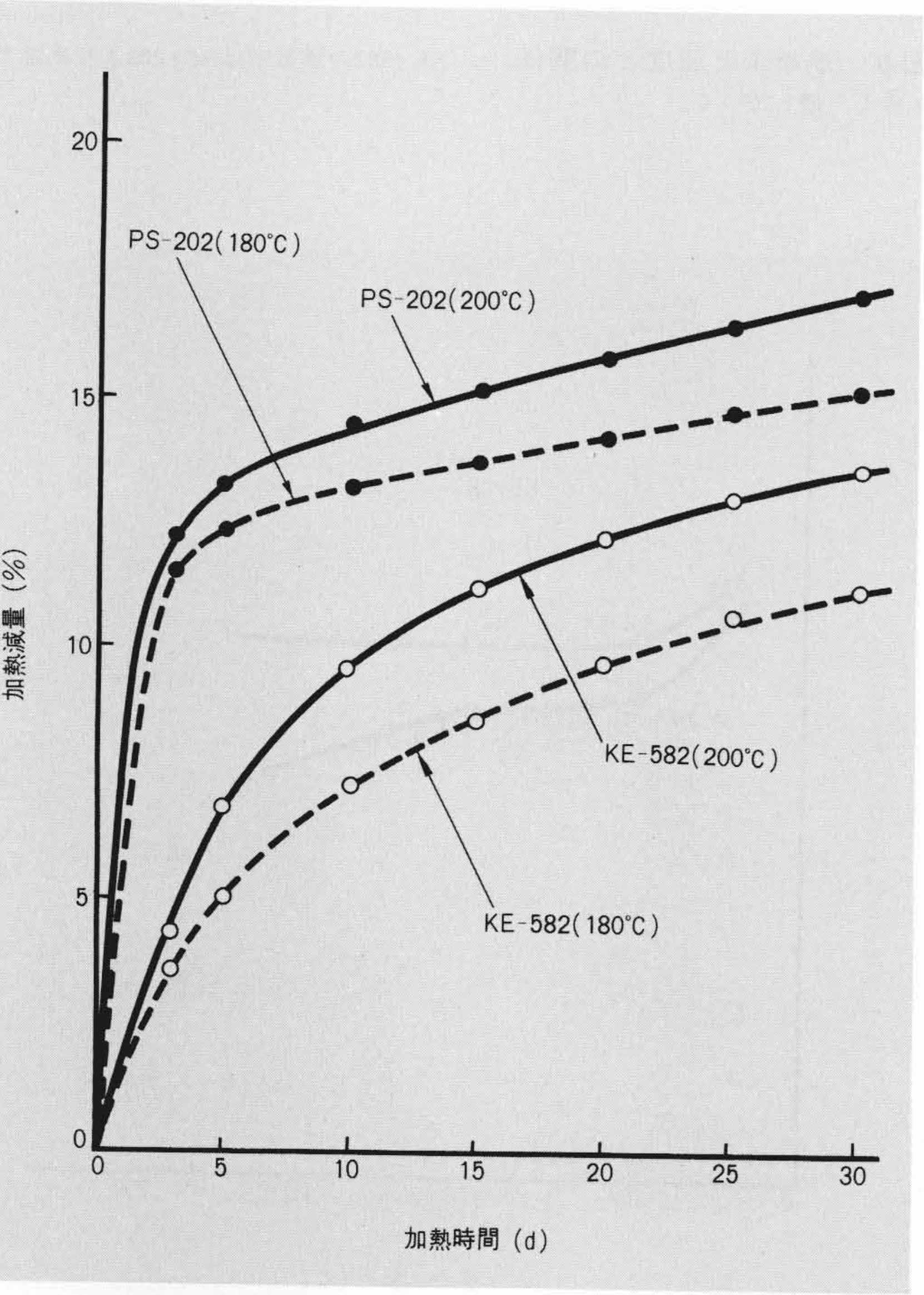


図8 加熱時間と加熱減量との関係 KE-582の加熱減量は、PS-202に比べて少なく優れている。

以上の結果から、KE-582は低粘度で、機械的、電氣的及び耐熱性が優れていることが分かる。

次に実機コイルを用いて含浸処理した結果について述べる。

4.6 実機コイルによる処理

表3に実機コイルに含浸処理した結果を示す。KE-582は低粘度のため、常圧含浸法でも真空含浸法のPS-202と同程度の含浸性を示し、樹脂の持出し量も少ない。

また、KE-582は硬化性に優れているため、110℃、90分の硬化条件でも、PS-202の120℃、5時間と比較して同等以上の接着力をもっている。

乾燥時間と線間の絶縁抵抗は図9に示すように絶縁抵抗の立上りは、PS-202より急速であり、速硬化性で、短時間の硬化でも絶縁抵抗が高く非常に優れている。また、図10に示すように、KE-582は、PS-202より低温、短時間の硬化スケジュールにもかかわらず、ほぼ同程度の吸湿絶縁抵抗を示し、KE-582が速硬化をもっていることが分かる。

4.7 エナメル銅線との適合性

図11に各種エナメル銅線を用いたときの耐熱寿命試験結果を示す。同図から、40,000時間の寿命を耐熱温度とすれば、2UEW(0.4φ)を使用すれば123℃以上、2PEW(0.4φ)を使用すれば145℃、1EIW-F(0.4φ)を使用すれば150℃となる。以上の結果から、KE-582の耐熱区分はB種であり、また、EIW-Fよりも耐熱性の優れたエナメル銅線と組み合わせればF種程度まで使用できるものと推定される。

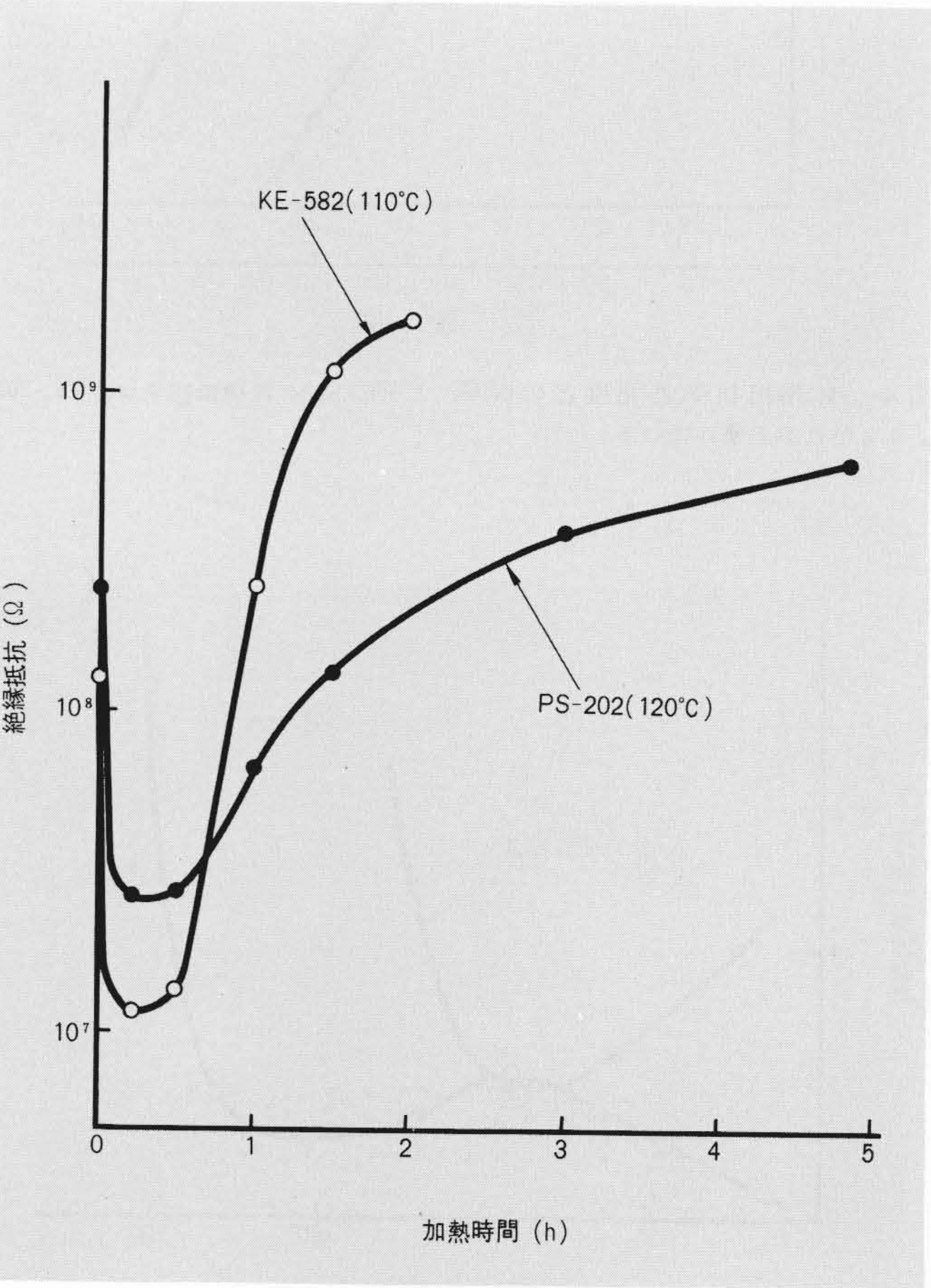


図9 小形コイルでの乾燥時間と絶縁抵抗との関係 KE-582の絶縁抵抗の立上りは、PS-202より速くて、また絶縁抵抗が高く、速硬化性である。

4.8 各種絶縁材料との適合性

表4に各種絶縁材料との適合性試験結果を示す。同表からKE-582は、一部の耐熱塩化ビニル製リード線、シリコンチューブ及びノリル製ボビンでわずかに異常がみられ、これらの使用に当たっては、使用前に試験する必要がある。

5 KE-582の用途及び処理条件

5.1 用途

以上の試験結果からKE-582は、次のような用途に使用できる。

小形静止機器として、テレビ、ラジオ、ステレオなどの電源トランス、また、小形回転機器として換気扇、扇風機、電動工具などのステータなど。

5.2 処理条件の例

含浸処理条件は、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、表5は小形電源トランスの含浸処理条件の一例を示すものである。

5.3 無溶剤ワニスの補給率と粘度との関係

前述したように、KE-582のポットライフはPS-202の1/2程度と短いので、現場管理にはやや注意することが必要である。そこで、含浸タンク内の無溶剤ワニスの補給率を20又は40%にしたときの、25℃での粘度変化を図12、13に示す。同図から、20%補給では粘度はわずかに上昇するが、40%補給ではほとんど増粘しないことが分かる。従って、無溶剤ワニ

表4 各種絶縁材料との相性試験結果 KE-582は、耐熱ビニル(B社)、シリコンチューブ、ノリルとの相性がやや悪い。

分類	材 質	KE-582		PS-202	
		含浸, 30min	含浸, 30min + 110℃, 1h	含浸, 30min	含浸, 30min + 120℃, 3h
リード線	耐熱ビニル (A社)	×	○	△	○
	" (B社)	×	△	△	○
テープ	粘着ポリエステル (C社)	×	○	×	○
	" (D社)	○	○	○	○
	アセテート	○	○	○	○
	クラフト紙	○	○	○	○
フィルム	ポリエステル	○	○	○	○
チューブ	ワニス	×	○	×	○
	シリコン	△	△	○	○
ボビン	6.6ナイロン	○	○	○	○
	ノリル	○	△	○	○
	デルリン	○	○	○	×

注：判定基準は、○ 異常なし、△ わずかに膨潤、ひび割れ、粘着あり、× 膨潤、ひび割れ、粘着性あり

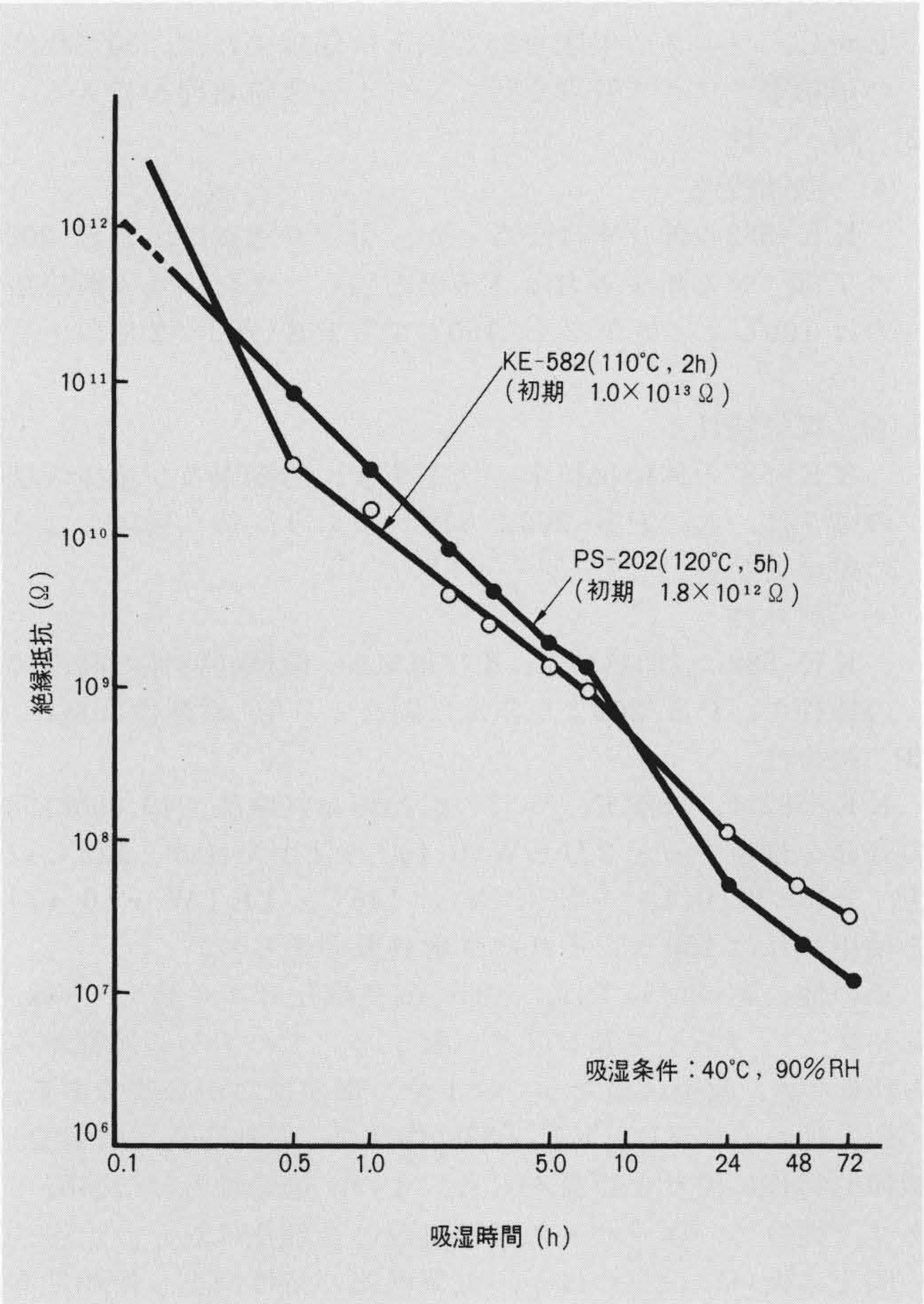


図10 ワニス処理小形コイルの吸湿時間と絶縁抵抗との関係 110℃、2h硬化したKE-582のコイルは、120℃、5h硬化したPS-202のコイルと同程度の吸湿絶縁抵抗を示す。

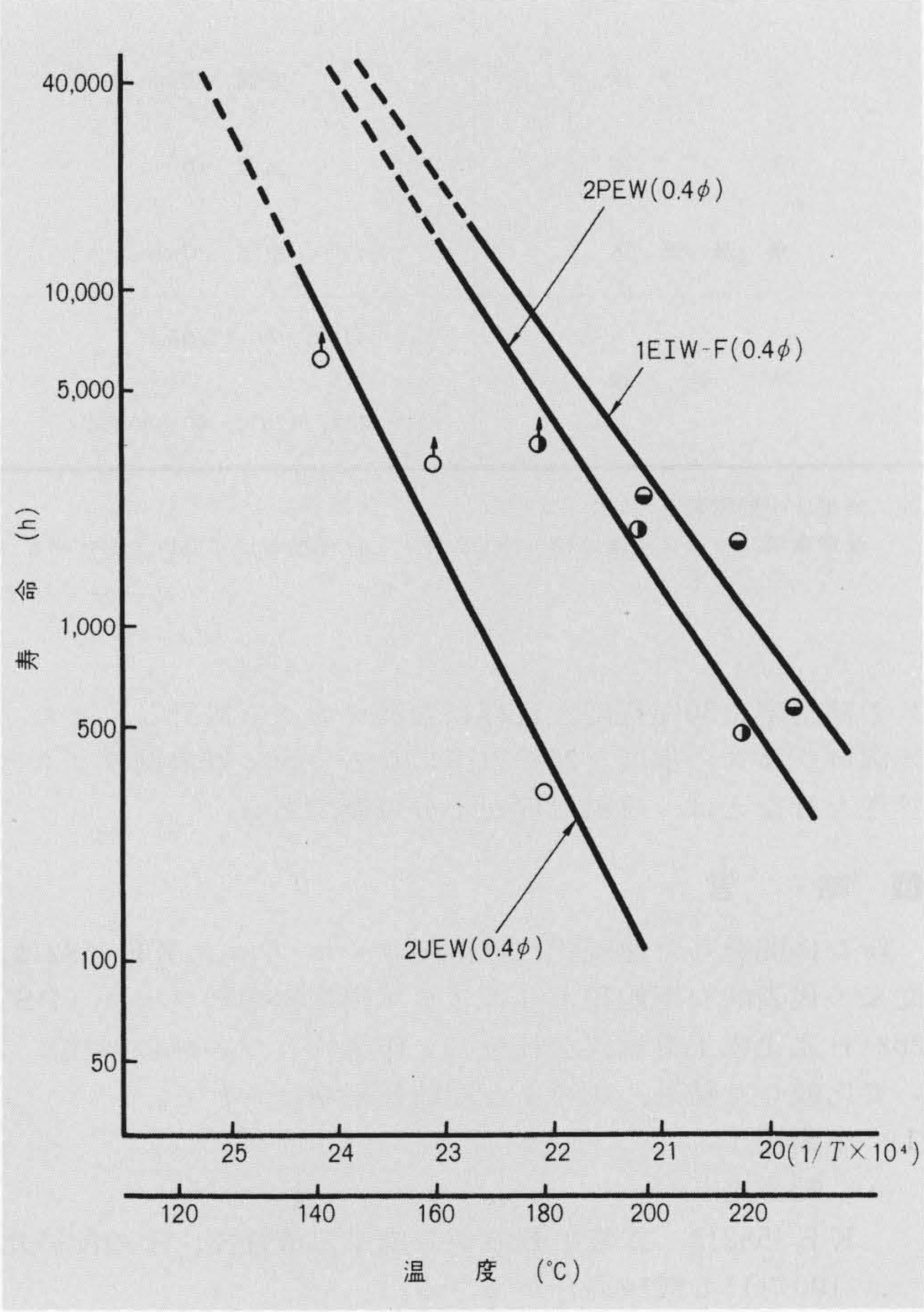


図11 KE-582処理各種エナメル線の寿命 KE-582処理した2UEW(0.4φ)は、123℃以上の、2PEW(0.4φ)は135℃の、1EIW(0.4φ)は148℃の寿命がそれぞれ推定できる。

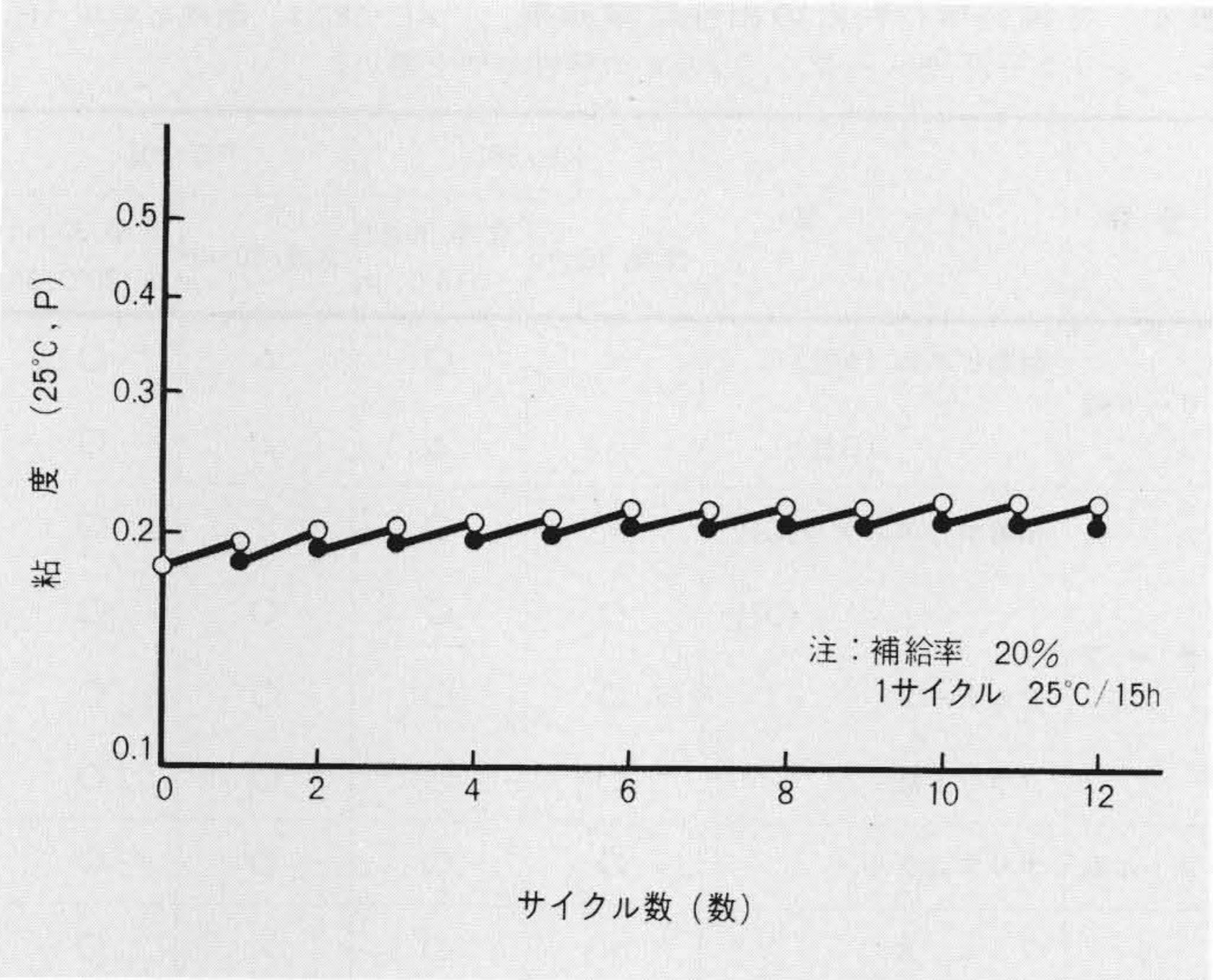


図12 25°Cにおける20%の補給率での粘度変化 25°Cで、繰り返し20%を新しいワニスで置換したとき、ワニスの粘度はわずかに増粘する。

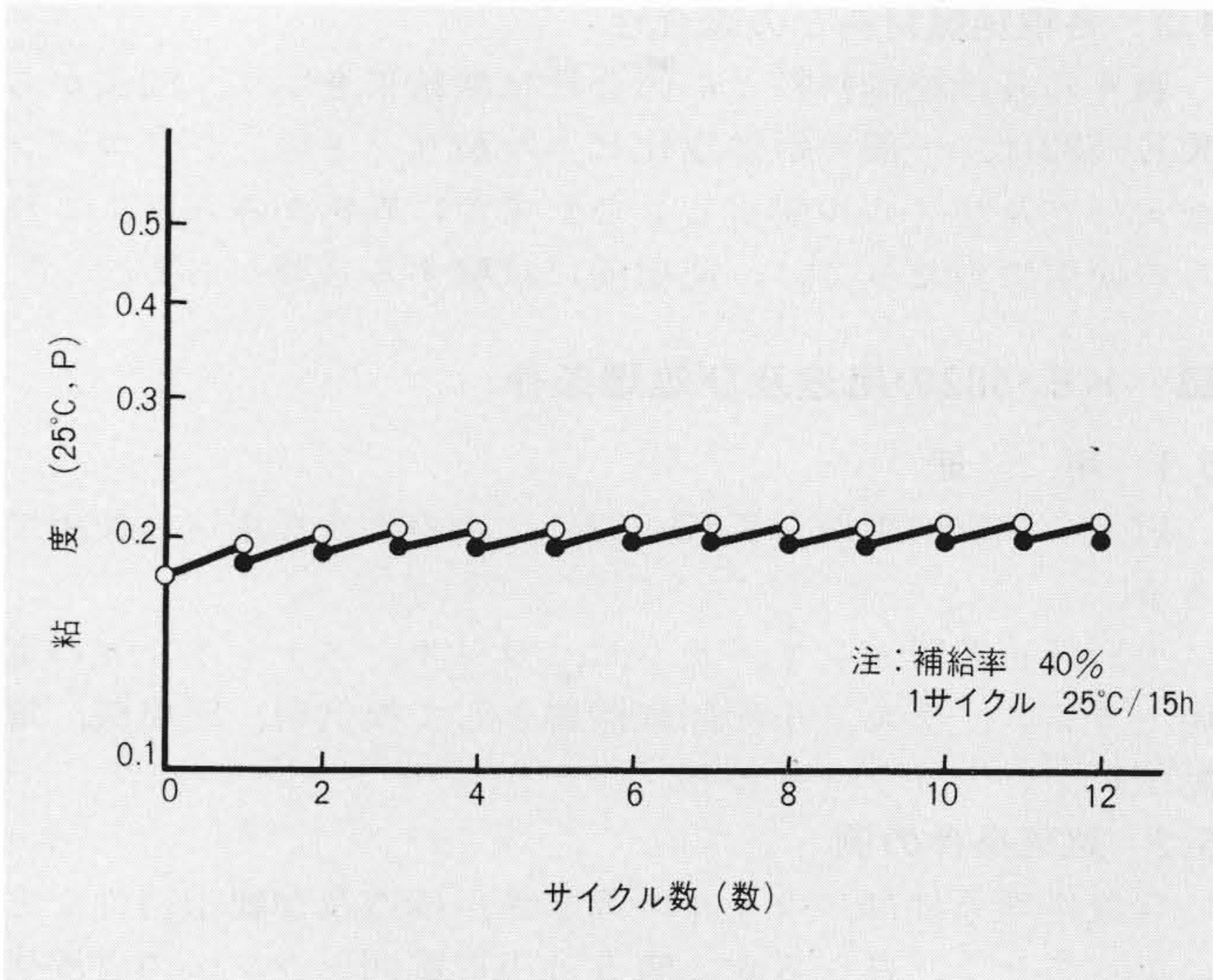


図13 25°Cにおける40%の補給率での粘度変化 25°Cで、繰り返し40%を新しいワニスで置換したとき、ワニスの粘度はほとんど変化しない。

表5 KE-582のワニス推奨処理条件の一例 小形電源トランスのワニス処理条件を示す。全処理時間は、2.5～3.5hと短時間で処理することができる。

処 理 工 程	条 件
予 備 乾 燥	110°C, 1 h
空 冷	室温 10 min
含 浸	室温 10 min
余 滴 滴 下	室温 10 min
本 乾 燥	110°C, 90～120 min 又は, 120°C, 60～90 min

注：対象は小形電源トランス コイル
注意事項 ワニス温度は10～25°C以下とし、補給率は30%以上を目標とする。

スの補給率は30%程度を目標に含浸タンクを設計し、また、無溶剤ワニスの温度を25°C以下になるように無溶剤ワニスの管理を行なえば、連続処理が十分可能である。

6 結 言

新たに開発した速硬化性無溶剤コイル ワニスKE-582は、従来の代表的な不飽和ポリエステル樹脂無溶剤ワニス〔PS-202(日立化成工業株式会社製)〕と作業性及び各種の特性について比較した結果、次のような特長が挙げられる。

(1) 作業性

(a) 配合比

KE-582は、A液とB液から成る二液性で、その配合比は100対15で機械混合ができる。

(b) 粘 度

KE-582は、0～10°Cの低温でも0.3～0.5Pと低粘度のため、冬季でも常圧含浸法による連続処理(機械化)がで

きる。

(c) 硬化性

KE-582は、速硬化性のためPS-202と比較して、低温で短時間(半分以下)で硬化することができる。

(d) ポット ライフ

KE-582は、速硬化性のためポット ライフが $\frac{1}{2}$ である。しかし、ワニスの温度を25°C以下に保持すれば、30%程度の補給率でワニス管理を行なって十分連続処理ができる。

(2) 特 性

(a) 機械特性

KE-582の伸び率は小さいが、引張り強さは、PS-202の7倍、せん断接着力は1.5倍と強い。また、せん断接着力は100°Cまで低下なく、150°CでもPS-202の2倍以上をもつ。

(b) 電気特性

KE-582の体積抵抗率、誘電正接、誘電率及び絶縁破壊の強さは、共にPS-202より優れており、特に高温ではその差は著しい。

(c) 耐熱性

KE-582は、加熱減量、及び電氣的、機械的特性の高温での特性で、PS-202より非常に優れており、耐熱性は良い。

(3) 適合性

KE-582は、IEEE, No.57の耐熱寿命試験法で40,000時間の寿命を推定すると2UEW(0.4φ)を使用すれば123°C以上、2PEW(0.4φ)を使用すれば145°C、1EIW-F(0.4φ)を使用すれば150°Cとそれぞれ耐熱寿命をもつ。

その他の絶縁材料では、一部の耐熱塩化ビニル製リード線、シリコン チューブ及びノリル製ボビンでわずかに異常がみられるため、使用に当たっては十分な事前検討が必要である。

以上述べたように、KE-582は作業性、耐熱性及び電氣的・機械的特性に優れた特長をもち、また、適合性もほぼ良好であり、従って、ユーザーの含浸処理の合理化に対し、生産性の向上に大いに役立つほか、電気機器の特性向上、信頼性向上に貢献できるものと考えている。今回、我々は、含浸処理の合理化について検討したが、今後は、更に一歩進めて含浸処理の無公害化を目標に検討する考えである。