

絶縁ワニスの耐熱寿命評価に及ぼす試験方法の影響

Effects of Testing Methods for Thermal Evaluation of Electrical Insulating Varnishes

杉 江 忠* 牛 山 武 美* 樫 村 寿 雄*
Tadashi Sugie Takemi Ushiyama Toshio Kashimura

要 旨

絶縁ワニス(以下ワニス)単独の耐熱寿命試験法は、実際の機器の絶縁組織の寿命と相関性のある試験方法の確立が望まれている。最近 IEC から種々の試験法が提案されているが、そのなかからカーブ電極を用いた絶縁破壊試験法(以下カーブ電極試験法)、ヘリカルコイル試験法をとりあげ屈曲試験法、加熱減量試験法とともに二、三のワニスの耐熱寿命試験を行なった。
その結果、カーブ電極試験法、ヘリカルコイル試験法は従来の試験法に比べて実用的な試験法であることがわかった。

1. 緒 言

電気機器の小形化による使用温度の上昇と耐熱性ワニスの出現に伴って、ワニスの耐熱性を評価する試験がますます重要になっている。
絶縁材料の耐熱試験は、個々の材料を加熱劣化させて絶縁破壊電圧、加熱減量などの物理量の変化から熱安定性を評価する方法と、モータレット試験、トランスレット試験のように材料の組み合わせからなる絶縁組織の熱安定性を評価する方法とが併用して行なわれている。ワニスそのほかの絶縁材料の耐熱寿命評価は実機に使用される絶縁組織で試験するのが理想であるが、新材料の開発途上あるいは材料の選択段階でそのつど実施することは試験に要する時間、労力、費用などの点から実用的でない。したがって最近では、個々の材料の熱安定性試験の結果から実機に使用した場合の絶縁組織の熱安定性をも推定できるような試験法が望まれており、そうした試験法を確立することがワニスメーカーおよびユーザーの重要な課題になっている。絶縁材料の耐熱寿命には、酸化や熱分解などの熱的要因以外に振動、吸湿、熱膨張収縮による応力など複雑な要因が影響しあうものと考えられるため問題の解決は容易でない。しかし国際的には IEC が、国内では電気学会の絶縁材料耐熱寿命試験法専門委員会が中心になって実用に則した試験法の研究をすすめている。
筆者らはワニスメーカーの立場からワニスの耐熱寿命をできるだけ短時間に実用的な評価のできる試験法を採用していくため新旧試験法の比較検討を行なっている。本報告はその試験結果の一部をまとめたものである。

2. 供試料および試験法

2.1 供 試 料

試験に用いたワニスはすべて日立化成工業株式会社の製品のなかから選んだ。表 1 はその種類を示したものである。
それぞれのワニスがもっている特長を試験法に反映できるように組成、耐熱性、皮膜のかたさなどを考慮して広範囲にワニスを選んだ。No. 1, 2 はサーモセットワニスである。No. 1 は主として小～中形機器用に、No. 2 はモータ、油入トランスなど中～大形機器に使用され No. 2 は No. 1 に比べて皮膜が柔らかい。No. 3, 4 は速乾性樹脂ワニスで No. 1, 2 と同様に E～B 種のワニスとして使用されている。

* 日立化成工業株式会社山崎工場

No. 5, 6 はイソフタル酸アルキド樹脂ワニスで B～F 種の小～大形機器に使用できる万能形コイルワニスで No. 6 はややかたい皮膜を形成するが No. 5 より伸びがある。
No. 7 はエポキシワニス、No. 8 はアクリル樹脂ワニスでいずれも皮膜は柔らかいほうに属し B～F 種として使用されている。No. 9 はシリコン樹脂ワニスで H 種のモータ、トランスに用いられている。

2.2 試 験 方 法
(1) 屈 曲 試 験

ワニスの耐熱性の判定を屈曲試験で行なう方法は、わが国では JISC 2103 電気絶縁用ワニス試験法⁽¹⁾、JISC 2122 電気絶縁用シリコンワニス試験方法⁽²⁾に規定されている。アメリカでは ASTM D115-55⁽³⁾、イギリスでは BS2778⁽⁴⁾、ドイツでは VDE0362/9.56⁽⁵⁾にそれぞれ規定されている。これらの試験法の詳細は文献にゆずるが試験規格の内容はさまざまである。試験片に用いる基板の種類をみてもブリキ板、銅板、アルミ板、鋼板があり試験片の寸法、膜厚も一定でない。また使用するマンドレル径にしても ASTM 規格は 3 mm 径、BS 規格は 4.75 mm 径、VDE は 5 mm 径を使用することに定められている。以上のように各国の規格によって相当異なっている。筆者らは JISC 2103 の試験法に準じて試験を行なった。
基板にはスズメッキを除去した 0.25 (厚)×50×150 mm のブリキ板を用いた。試料ワニスはブリキ板の片面に 2 回塗りし所定の温度と時間で乾燥したときの厚さが 0.1±0.02 mm の範囲にはいるようにあらかじめワニス濃度を調節した。試験に用いたマンドレル径はワニス皮膜に与えられる伸びがほぼ等間隔になるように 3, 5, 7, 10, 12, 15, 20, 35 mm 径の 8 種類を選んだ。き裂の判定は 25±2℃ の気中で約 3 秒間で 180 度折り曲げ、き裂の有無を

表 1 供 試 ワ ニ ス

試 番	商 品 名	一 般 特 性					備 考
		比 重 (20℃)	不 揮 発 (%)	粘 度 (30℃) ポ イ ズ	絶縁破壊の強さ (kV/0.1mm) 常 態	体積抵抗率 (Ω-cm) 常 態	
No. 1	W2300	0.91±0.03	42±3	0.6～3.0	>9.0	>10 ¹⁴	か た い
No. 2	W2800	0.89±0.03	45±3	0.6～3.0	>9.0	>10 ¹⁴	柔 らか い
No. 3	W2323	0.92±0.03	45±3	1.0～4.0	>9.0	>10 ¹⁴	か た い
No. 4	W2828	0.93±0.03	45±3	0.6～3.0	>9.0	>10 ¹⁴	柔 らか い
No. 5	WI-295	0.92±0.03	45±3	0.5～2.5	>9.0	>10 ¹⁴	か た い
No. 6	WI-294	0.91±0.03	45±3	1.0～3.0	>9.0	>10 ¹⁴	や や か た い
No. 7	WF-285	0.95±0.03	45±3	0.5～3.0	>9.0	>10 ¹⁵	柔 らか い
No. 8	WL-240	0.97±0.03	43±3	1.0～4.0	>9.0	>10 ¹⁵	柔 らか い
No. 9	HS-212	(25℃) 1.0±0.3	50±2	(25℃) 0.5～2.0	>7.5	>10 ¹⁵	柔 らか い

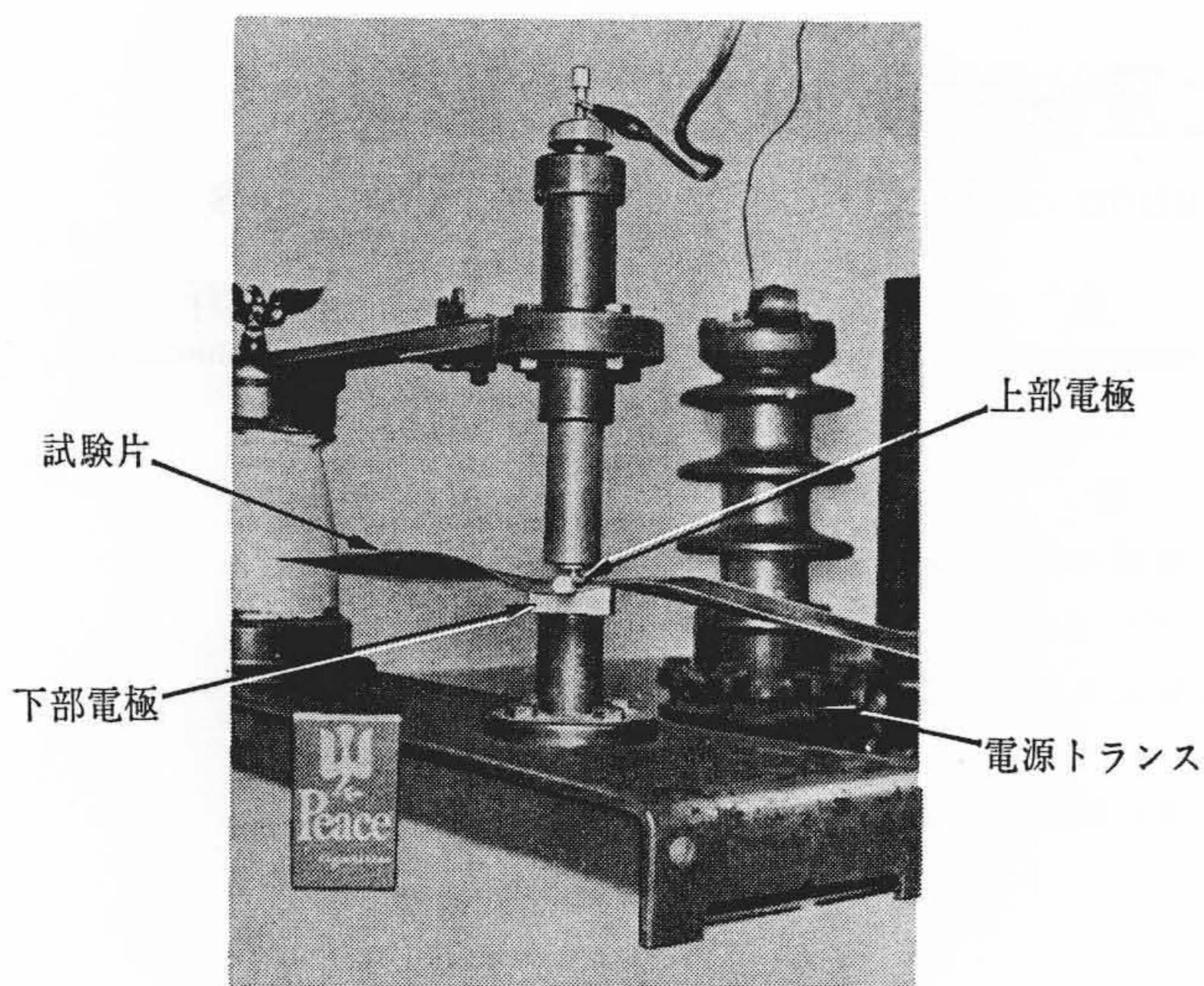


図 1 カーブ電極法の電極構成

肉眼で観察した。ワニス皮膜に与えられた伸びは次式によって計算した。

$$\text{ワニス皮膜の伸び}(\%) = \frac{t_1 + 2t_2}{d + t_1} \times 100 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 d : マンドレル径 (mm)

t_1 : 基板の厚さ (mm)

t_2 : ワニス皮膜の厚さ (mm)

(2) 加熱減量試験

この方法は簡単でしかも比較的短時間にできる試験法であるため盛んに利用されているが、筆者らの調べた範囲では耐熱試験法として規格化されているものは、VDE0362/9.56⁽⁶⁾のF種絶縁ワニス試験方法、わが国のJISC 2122 シリコンワニス試験方法、JIS C 2359 耐熱性加熱乾燥コイルワニス試験方法⁽⁶⁾に規格されている。このほかには 0.3 mm 径のエナメル線 10 g に塗膜厚さ 0.035 ± 0.005 (約 30 mg) に塗布したコイル状の試験片を用いて行なう方法が報告されている⁽⁷⁾。

本報では JISC 2359 に準じて試験した。基板には 0.3 (厚) × 50 × 100 mm のステンレス板にあらかじめ濃度を調節したワニスを、片面に 1 回目と 2 回目とを逆方向から 2 回塗布し所定の温度と時間で乾燥し、膜厚を 0.08 ~ 0.1 mm の範囲にはいるように仕上げた。試験片の上下のワニスのたまり部分は、試験前に除去された。重量の測定は乾燥器から試料を取り出したのち、五酸化リン入りデシケータ中で 2 時間冷却後、秤量しただちに乾燥器へもどすようにして行なわれた。加熱減量は次式から求められる。

$$\text{加熱減量}(\%) = \frac{W_2 - W_1}{W_1 - W_0} \times 100 \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 W_0 : 基板の重さ (g)

W_1 : 試験片の重さ (g)

W_2 : 加熱後の試験片の重さ (g)

(3) カーブ電極法による絶縁破壊試験

この方法は ASTM D 1932-61 T⁽⁸⁾に規格化されており、1966 年に IEC がこれを取りあげ提案⁽⁹⁾したものと考えられ、試験の内容はほとんど変わっていない。

試験片はガラスクロス (JISR 3414 の E-063) を ASTM D 1346 に従ってヒートクリーニングを行ない、150 × 300 mm に切断し、これにワニス処理する。塗布ワニスは 2 回含浸で仕上がり厚さが 0.18 ± 0.013 mm になるようにあらかじめ濃度を調整する。含浸方法はワニス中にガラスクロスを含浸して気泡が出なくなるまで浸漬する。その後約 100 mm/min の割合でワニスから引き上げ、

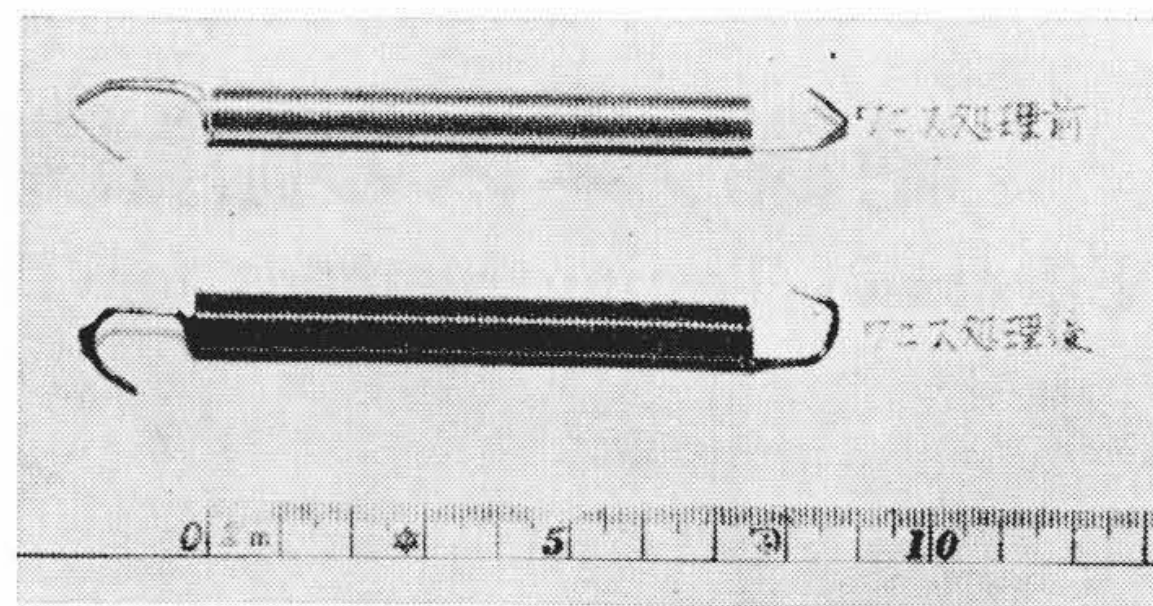


図 2 ヘリカルコイル試験片 (アルミ線)

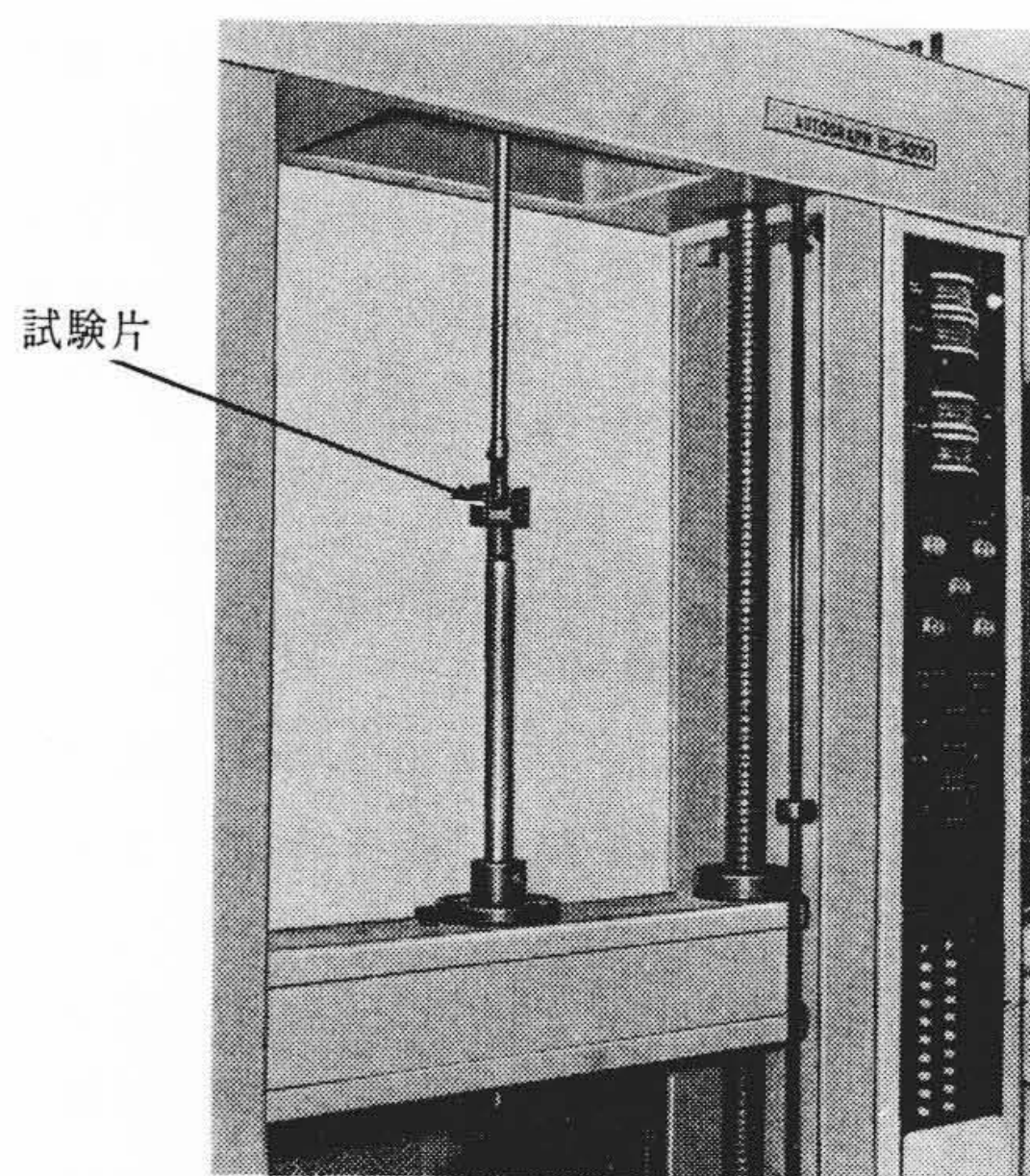


図 3 ヘリカルコイルの破断強度測定装置

23 ± 2°C, 50% RH 中で 30 分間垂直に風乾し、ワニスごとに定められた温度と時間で乾燥する。次に方向を逆にして同様な操作を行なって試験片を作成する。この試験片を 1.2 mm 径のピアノ線でわくをつくり上下端を固定して加熱劣化する。

絶縁破壊電圧の測定は図 1 に示すようなカーブ電極を用いて行なわれた。この電極は試験片に 1.8 kg の荷重が加わり、試料の外側表面に約 2% の伸びを与えるように構成されている。加熱劣化後の試験片は、乾燥器から取り出したのち 50 ± 5% RH で 4 時間放置後縦糸を曲げる方向に電極にはさみ、25 ± 2°C の気中、500 V/s の電圧上昇速度で絶縁破壊試験された。試験片の一端より 40 mm の点から始め、45 mm 間隔で測定し絶縁破壊の強さは試験片の初期厚さから計算で求められた。寿命の終点を 300 V/mil (118 kV/cm) として温度と寿命時間の関係を求めた。なお本試験にはいる前にスクリーニング試験を行なった。その方法は、作成した 150 × 300 mm の試料から 25 × 300 mm のテープ状の試験片を 5 本作成し、そのテープの一端から 114 mm の点で 3 mm 径のマンドレルに 180 度折り曲げ直径 6.35 mm 径の平円板電極を用いて行なうものである。

(4) ヘリカルコイル試験⁽¹⁰⁾

ヘリカルコイル法によるワニスの試験は J. F. Dexter 氏⁽¹¹⁾によって報告されている。IEC が提案したこの方法は利用範囲が広くワニスの耐熱性をはじめ、ワニス皮膜の高温特性、エナメル線との接着性、適合性あるいは耐薬品性などの評価にも用いられる。ここでは IEC の規格案に準じて試験を行なった。試験片は図 2 に示したように、1.0 mm 径の裸アルミ線を用いて直径 6.3 mm、長さ 75 mm の形状のコイルとしたものである。

アルミ線を選んだ理由はワニス単独の耐熱性の評価を目的にしたためである。IEC 案の内容に記述されているように、アルミ線は高温で劣化したときのワニス皮膜に及ぼす酸化の影響がほとんどないことおよびアルミ線自身の曲げ破断強度がワニス皮膜の強度に比べて無視できるほど小さいことのためワニス皮膜のみ

表2 試験片作成時の条件

試 番	第 1 回 処 理		第 2 回 処 理	
	温 度 (°C)	時 間 (h)	温 度 (°C)	時 間 (h)
No. 1	105	6	105	24
No. 2	135	16	135	24
No. 3	105	6	105	24
No. 4	105	6	105	24
No. 5	120	6	120	24
No. 6	120	6	120	24
No. 7	135	6	135	24
No. 8	120	6	120	24
No. 9	200	2	200	16

表3 加熱劣化温度

試 番	温 度 (°C)
No. 1, No. 2, No. 3, No. 4	150, 175, 200
No. 5, No. 6, No. 7, No. 8	175, 200, 225
No. 9	200, 225, 250

表4 各ワニスの加熱劣化前のマンドレル試験結果

マンドレル径 (mm)	3	4	5	7	10	12	15	20
試 番								
No. 1	×	×	×	×	×	×	○	
No. 2	○							
No. 3	×	×	×	×	×	×	○	
No. 4	○							
No. 5	×	×	×	×	×	×	×	○
No. 6	○							
No. 7	○							
No. 8	○							
No. 9	○							

の強度変化を知ることができる。

ヘリカルコイルをワニス中に浸漬して、コイルの表面から気泡が出なくなったら引き上げ、室温で30分風乾する。これをワニスごとに定められた温度と時間で乾燥したのち、2回目のワニス含浸を行ない前と逆方向に垂直にして同様な条件で乾燥する。ワニスの付着厚さは0.05～0.08 mmになるようにしてある。破断強度の測定は試験片を乾燥器からとり出してからデシケータ中で1時間以上放冷したのち、図3のようにして行なわれた。破断荷重は支点間距離50 mm、曲げ速度100 mm/minで求められた。

2.3 試験片の作成条件および加熱劣化温度

(1)～(4)までの試験に用いる試験片を作成するときのワニスの乾燥条件は表2に示すとおりである。加熱劣化温度としてはいずれの試験法についても各ワニスの予想される最高許容温度より20℃高い温度点から25℃間隔で3点を基準に設定された。表3は各ワニスと加熱劣化温度を示したものである。

3. 試験結果および考察

3.1 屈曲試験

絶縁材料は機器の運転停止による温度サイクルによって熱膨張収縮を受けるため、絶縁処理されたワニス皮膜は劣化に際してある程度の伸びをもっていることが必要である。そのためワニスの耐熱性を判定するのに従来からマンドレル試験が行なわれている。この方法は加熱劣化後の皮膜を3 mm径のマンドレルで曲げたときにき裂が発生するまでの時間で評価するものである。ワニス皮膜の厚さを0.12 mmと仮定した場合、3 mm径のマンドレルで折り曲げたとき約15%の伸びが加えられる計算になる。これは実機の使用状態を考えても過酷な条件であることはすでに報告されている⁽¹²⁾。

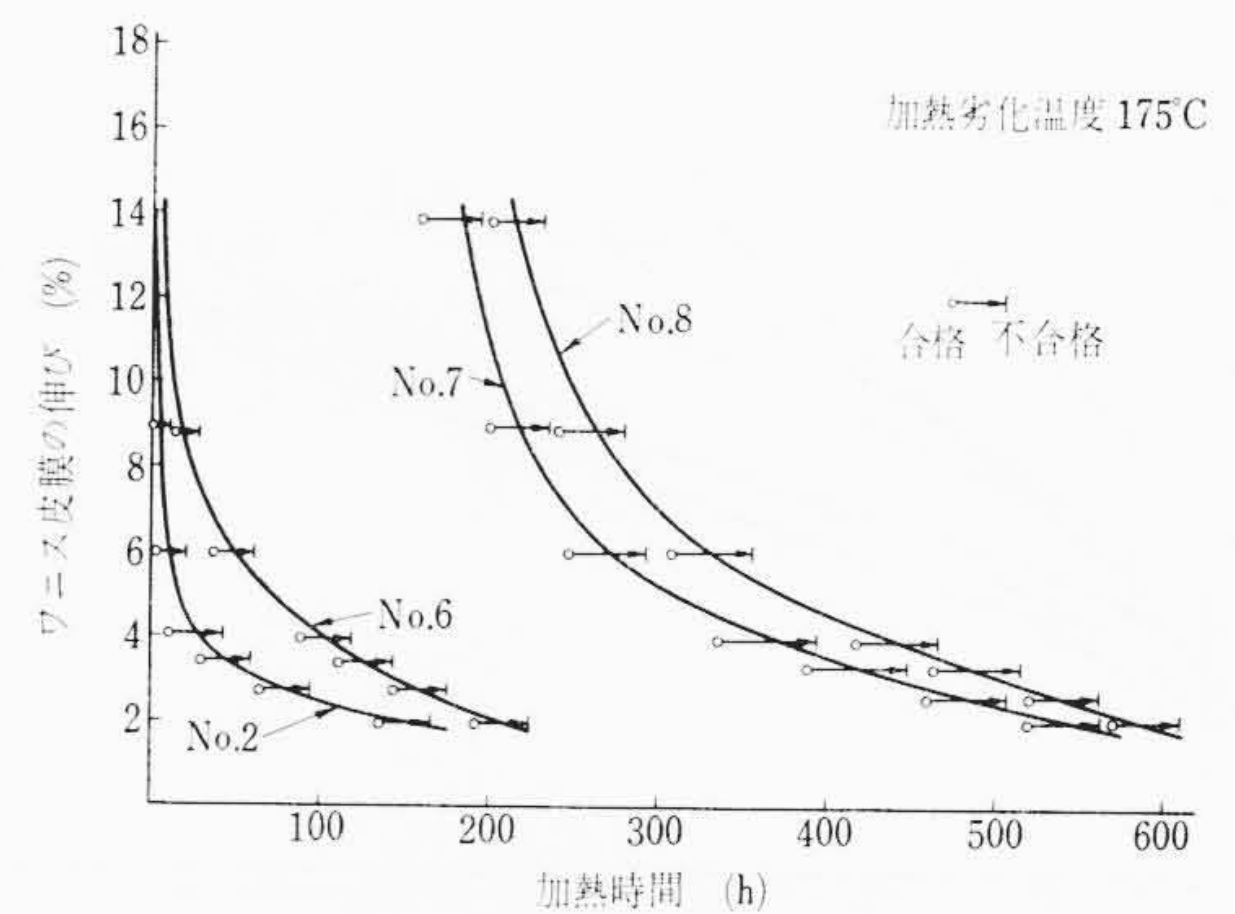


図4 ワニス皮膜の伸びと加熱劣化時間の関係

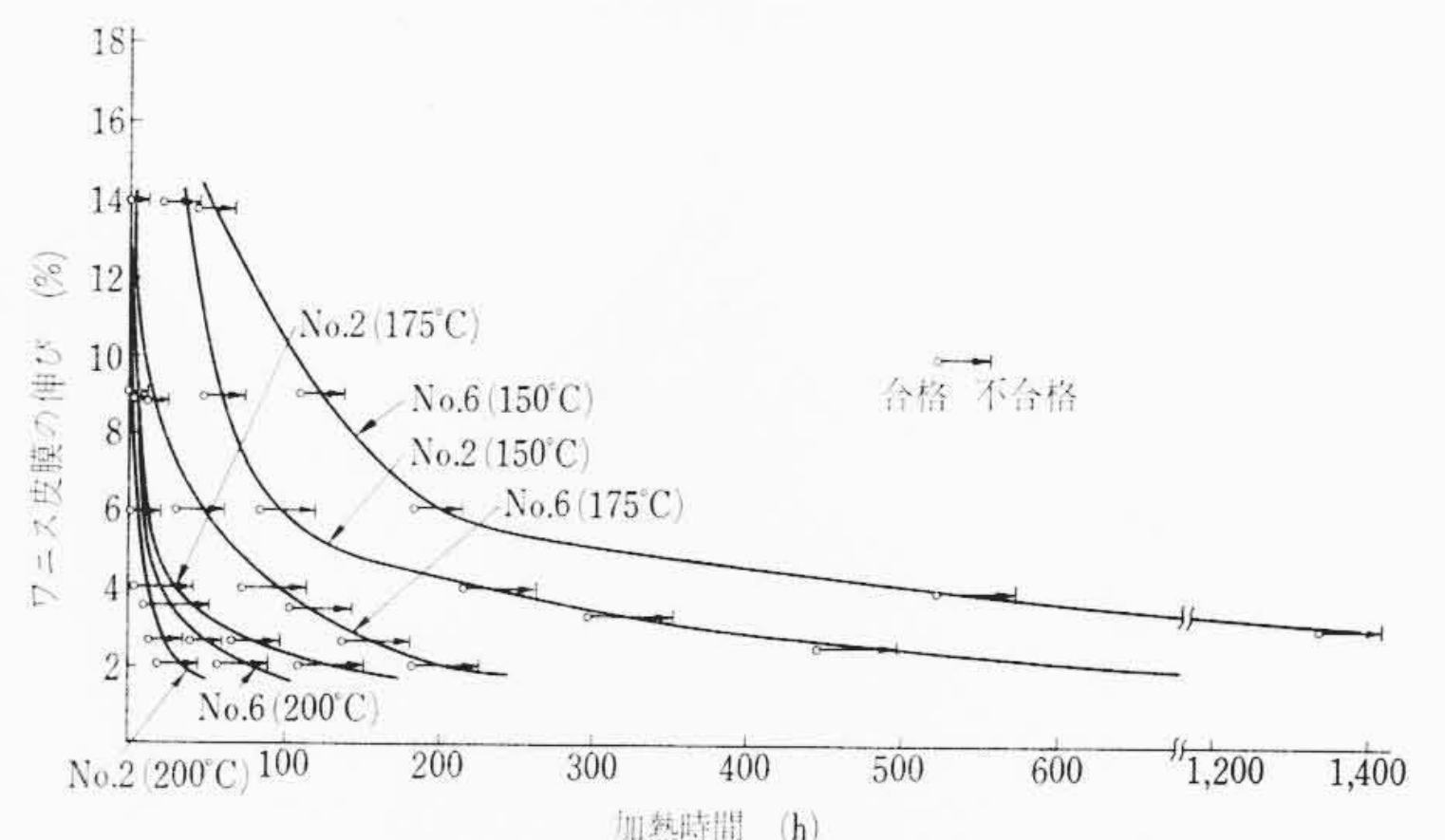


図5 ワニス皮膜の伸びと加熱劣化時間の関係

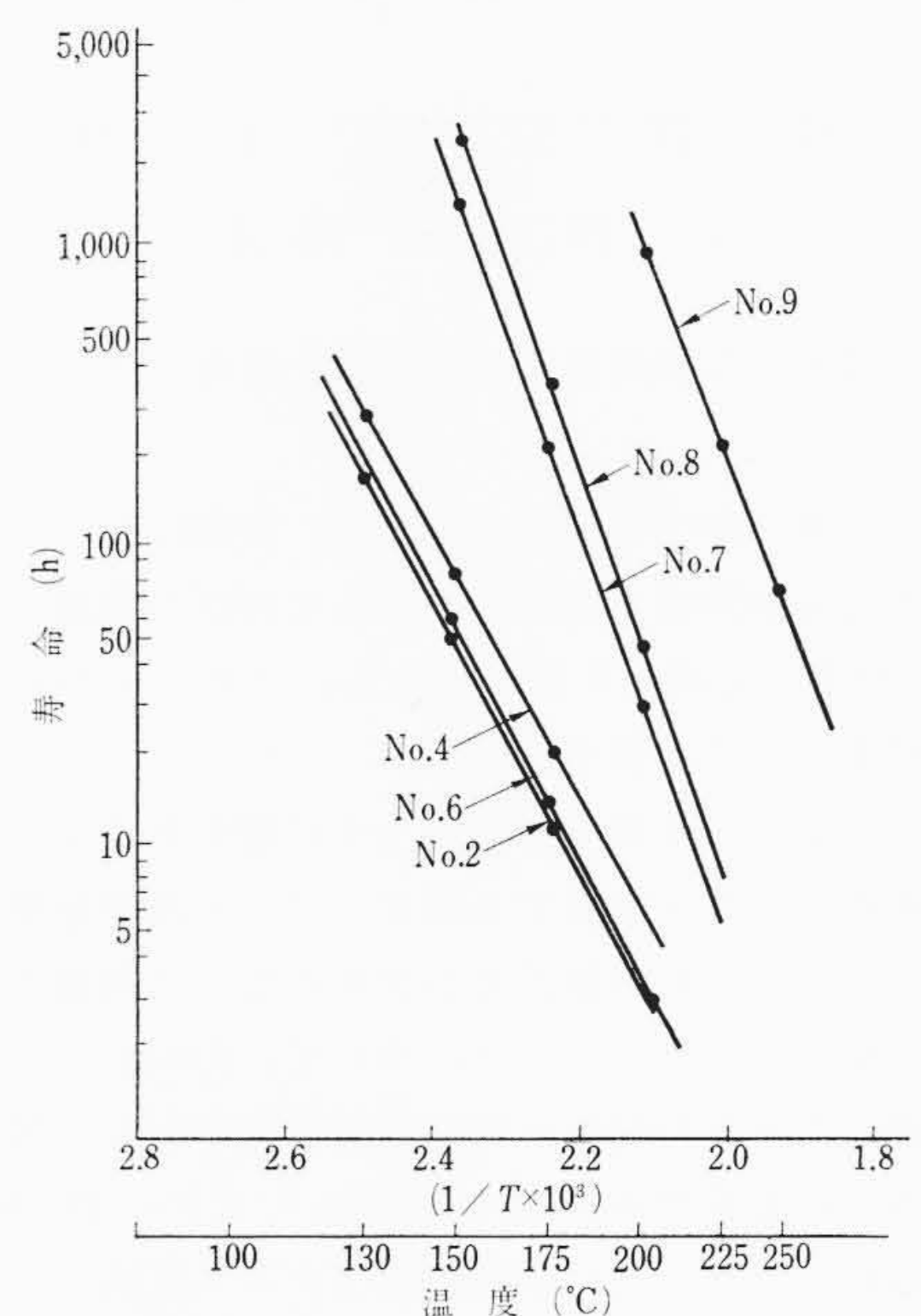


図6 屈曲試験 (3φ マンドレル) による寿命と温度の関係

表4に供試ワニスの加熱劣化前のマンドレル試験結果を示した。表中の○印は試験したマンドレル径で皮膜にき裂がはいらなかったことを示し、×印はき裂が発生したことを示す。表4の結果から(1)式を用いてワニス皮膜に加えられた伸びを計算するとNo. 1, 3, 5は3%の伸びに耐えられなかったことがわかる。これらのワニスは実機に使用されているもので、最近皮膜のかたいワニスが好んで使用される傾向から考えると3 mm径のマンドレル試験で熱安定性を評価することはもはや実用にあわないものであるといえる。

図4は初期マンドレル試験で3 mm径に合格したNo. 2, 6, 7, 8のワニスについて、175℃で加熱劣化されたときの伸びの変化を示したものである。図5にはNo. 2, 6のワニスを150, 175, 200℃で

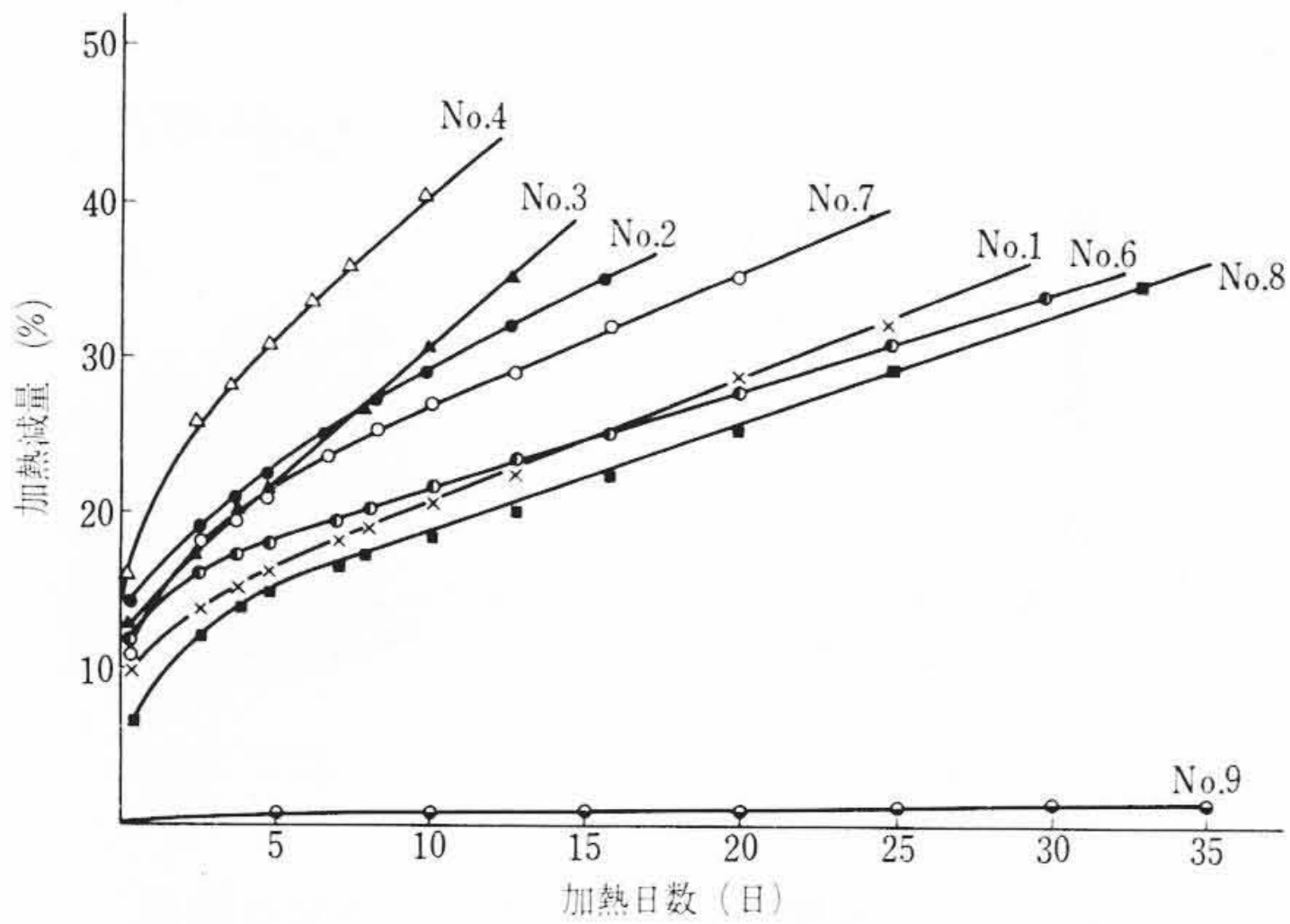


図 7 200°C における各種ワニスの加熱減量曲線

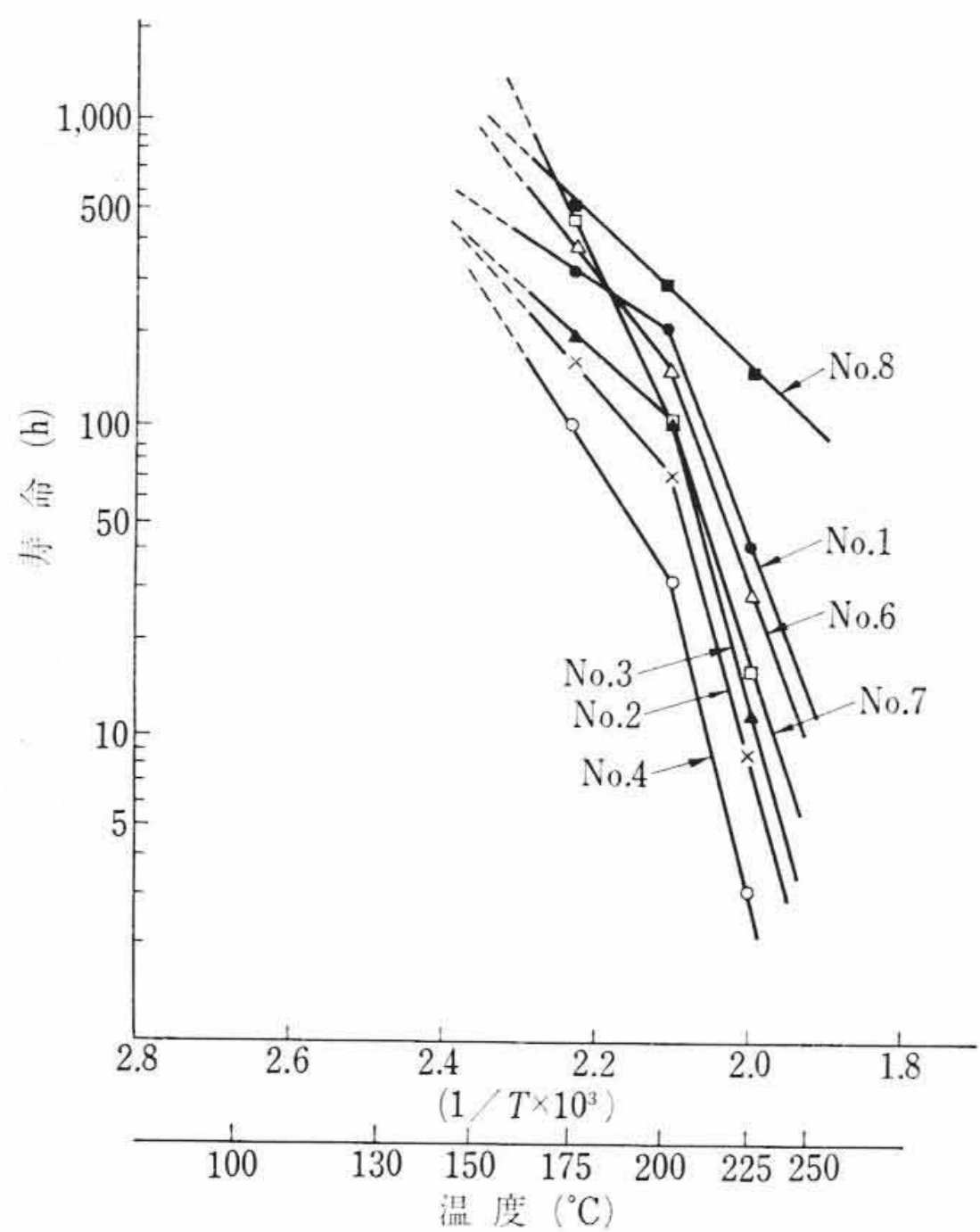


図 8 加熱減量による寿命と温度の関係

加熱劣化したときの伸びの変化を示した。初期において大きな伸びを示すワニスでも加熱後 100 時間のうちに伸びが急激に低下して、2% 付近から安定する傾向が認められる。このことから実機で必要な伸びを対象にして評価する場合は、マンドレル径を 20 mm 以上、伸びにして 2% 以下の条件で行なう必要があるものと推定される。しかし実際にこれを実施する場合、ワニス皮膜を厚くし、マンドレル径を大きくしても実験誤差が大きくなって困難である。

図 6 に柔らかいタイプのワニスについて、3 mm 径のマンドレルを用いて評価したときの温度と寿命の関係を示した。図 6 から明らかなように No. 2, 4, 6 ワニスの一群, No. 7, 8 の一群, No. 9 と非常によく分類されている。ただ屈曲試験はワニス皮膜のもつ特性のうち柔軟度を重要視した評価法であるために、No. 7, 8 のワニスと耐熱性がほぼ同等と考えられる No. 6 のワニスが低く評価されている。これは屈曲試験の特長を示すものであろう。以上のことから屈曲試験は、たとえば実機の使用条件や絶縁系から推定して、その系に使用するワニス皮膜に伸びが要求されるようなときにたわみ性のあるワニスを選択するスクリーニング試験として有効な方法であると考えられる。また寿命の終点の選び方を検討することによって、適用範囲がさらに広くなると考えられる。

3.2 加熱減量試験

有機絶縁材料は多かれ少なかれ加熱劣化するにつれて重量減少が起こる。これは皮膜厚さの減少やピンホールの発生を促し、ついには機器の絶縁破壊を導く。したがってワニスも加熱時の重量減少が少ないことが必要である。図 7 に各種ワニスを 200°C で加熱劣化し

表 5 スクリーニング試験結果

ワニス	Vub *	Vb **	Vb/Vub (%)	伸び率 (%)
No. 1	95.8	86.8	90.6	12.00
No. 2	95.2	91.4	96.0	12.25
No. 3	96.0	88.8	92.5	12.21
No. 4	95.2	93.2	97.6	11.87
No. 5	135.5	82.6	60.7	12.0
No. 6	117.1	112.5	96.0	11.78
No. 7	103.6	99.0	95.5	12.21
No. 8	122.4	116.2	95.0	11.81
No. 9	116.0	107.0	92.0	12.05

注：* Vub：折り曲げない点の絶縁破壊の強さ (kV/mm)

** Vb：3φ マンドレルに 180 度折り曲げた点の絶縁破壊の強さ (kV/mm)

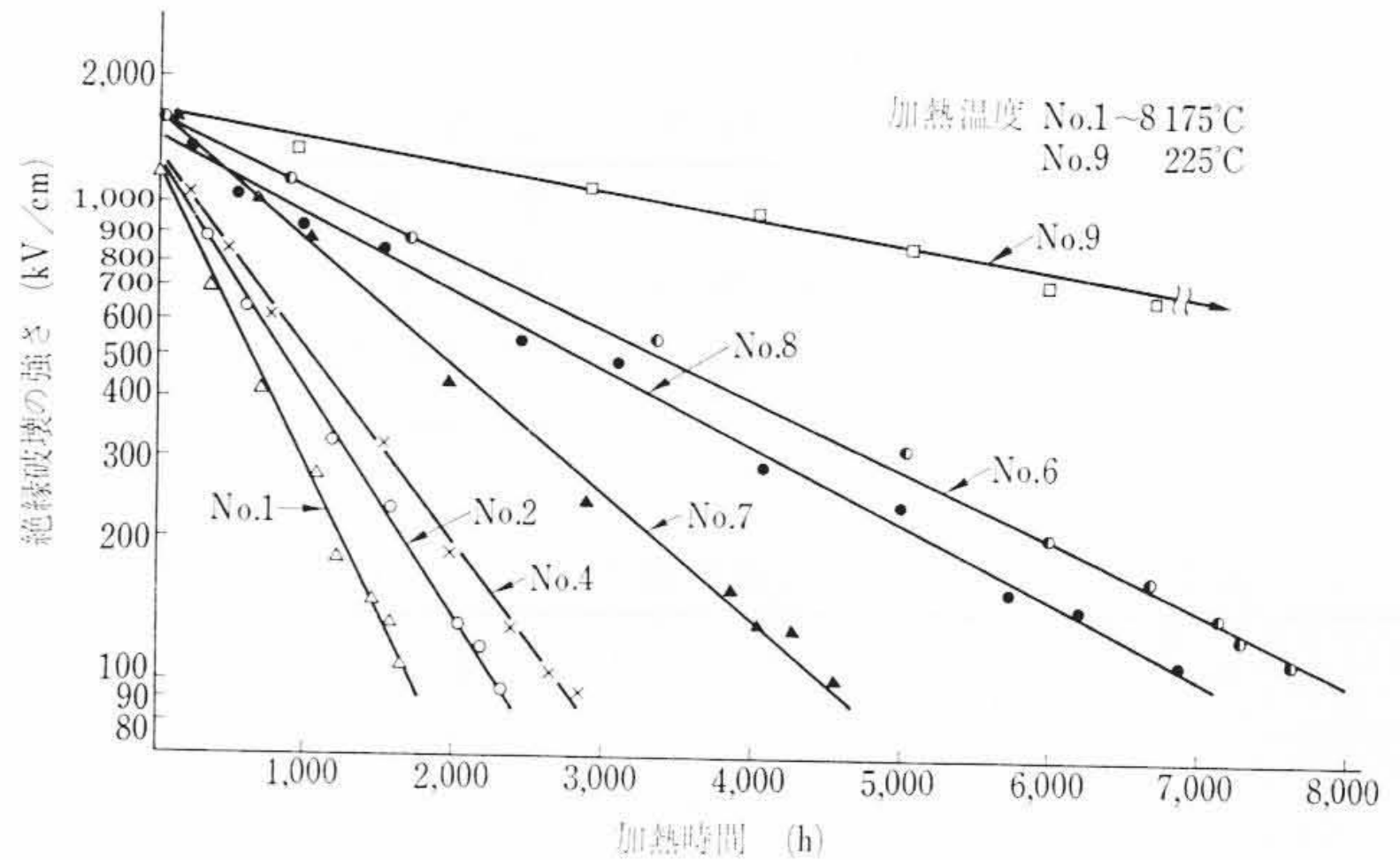


図 9 各ワニスの絶縁破壊の強さと加熱時間の関係

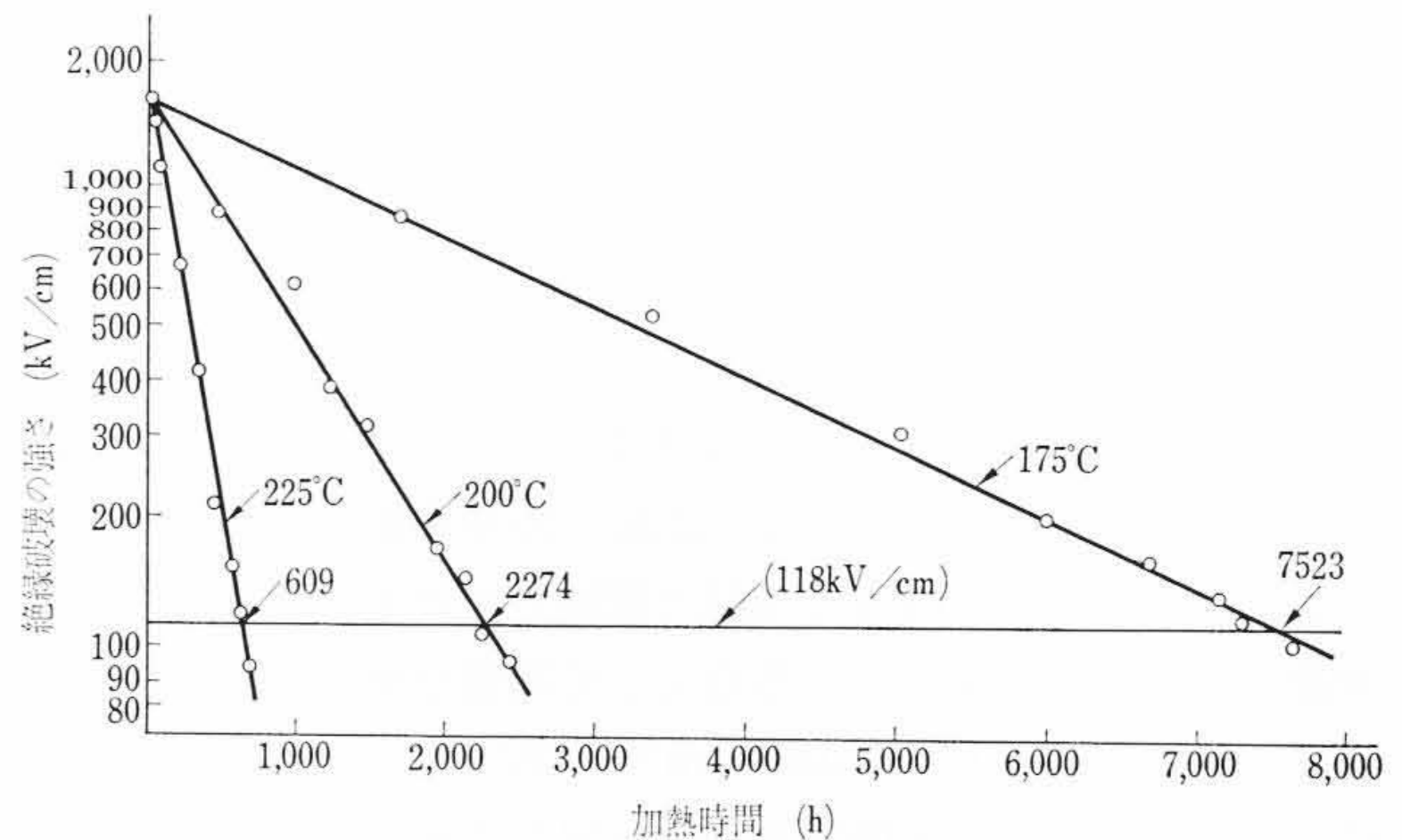


図 10 No. 6 ワニスの絶縁破壊の強さと加熱時間の関係

たときの重量変化を示した。加熱減量の大きさから三つの群に分けられ、それはほぼ耐熱性の順に対応しているようにも考えられるが、寿命の終点の選び方によってはその順序が入れ変わる可能性が認められる。加熱減量試験で寿命の終点を定めているのは、VDE の規格だけであるが、しかしその根拠は明らかでない。本報では加熱減量が 20% に達した点を寿命の終点として温度と寿命の関係を求めた。図 8 はその結果を示したものである。一部のワニスを除いて、温度と寿命の関係が一本の直線にならずに 2 本の折れ線になっており、低温部と高温部とは全く異なった機構の化学変化が起こっているものと考えられる。熱劣化も反応速度論に従う⁽¹³⁾と考えると化学変化の速度は温度の上昇とともに急激に変化することが多いので図 8 の結果は反応温度すなわち熱劣化温度の選び方が原因で起こったとも考えられる。加熱減量試験においては、高温における加速劣化試験から使用温度に外そうすると見かけ上寿命を過大評価する危険性がある。したがって加熱減量試験によって耐熱寿命を求めるときには、試験温度をじゅうぶん吟味することが必要である。

3.3 カーブ電極法による絶縁破壊試験

加熱劣化前にスクリーニング試験を行なった。その結果を表 5 に

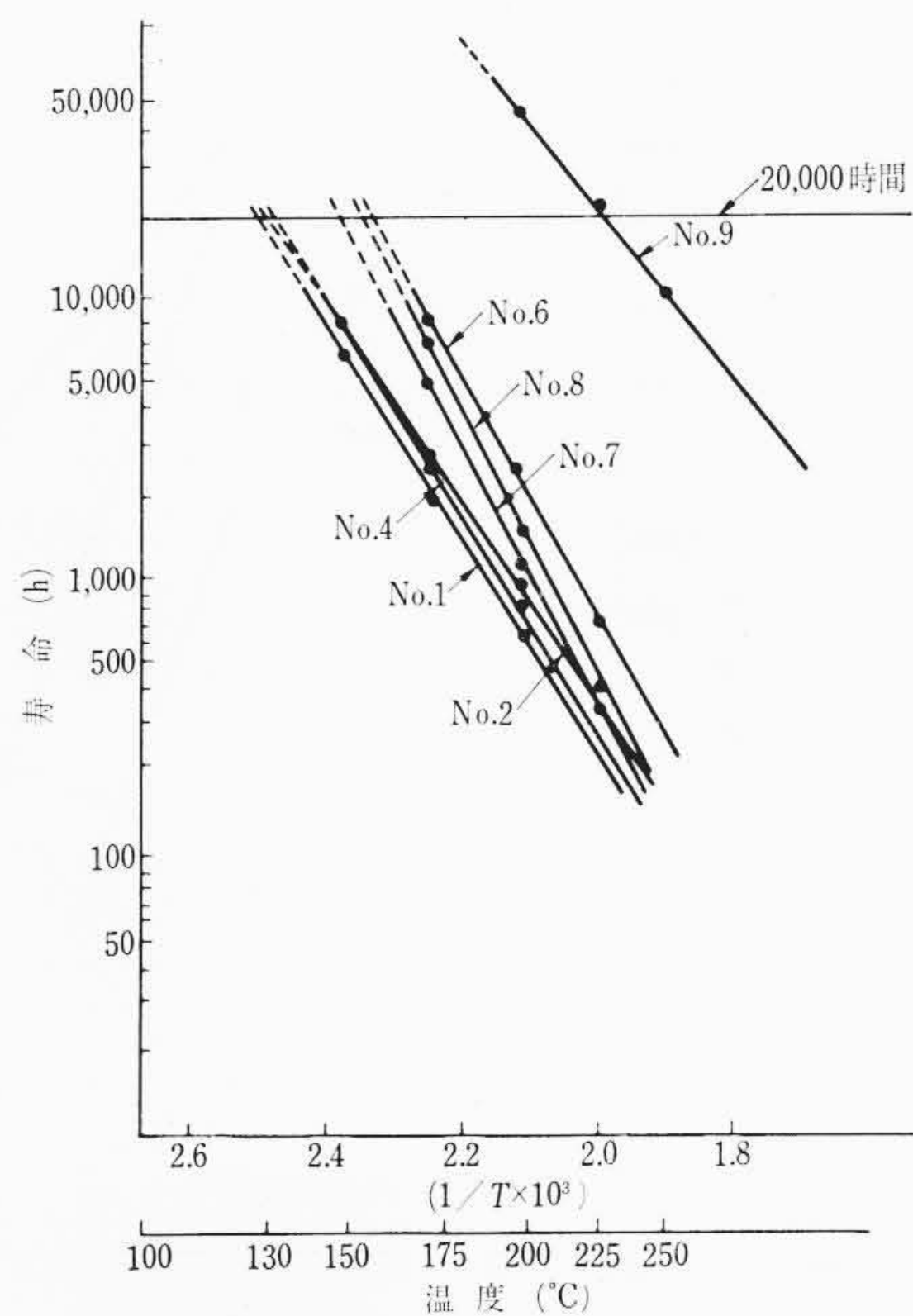


図11 カーブ電極法による寿命と温度の関係

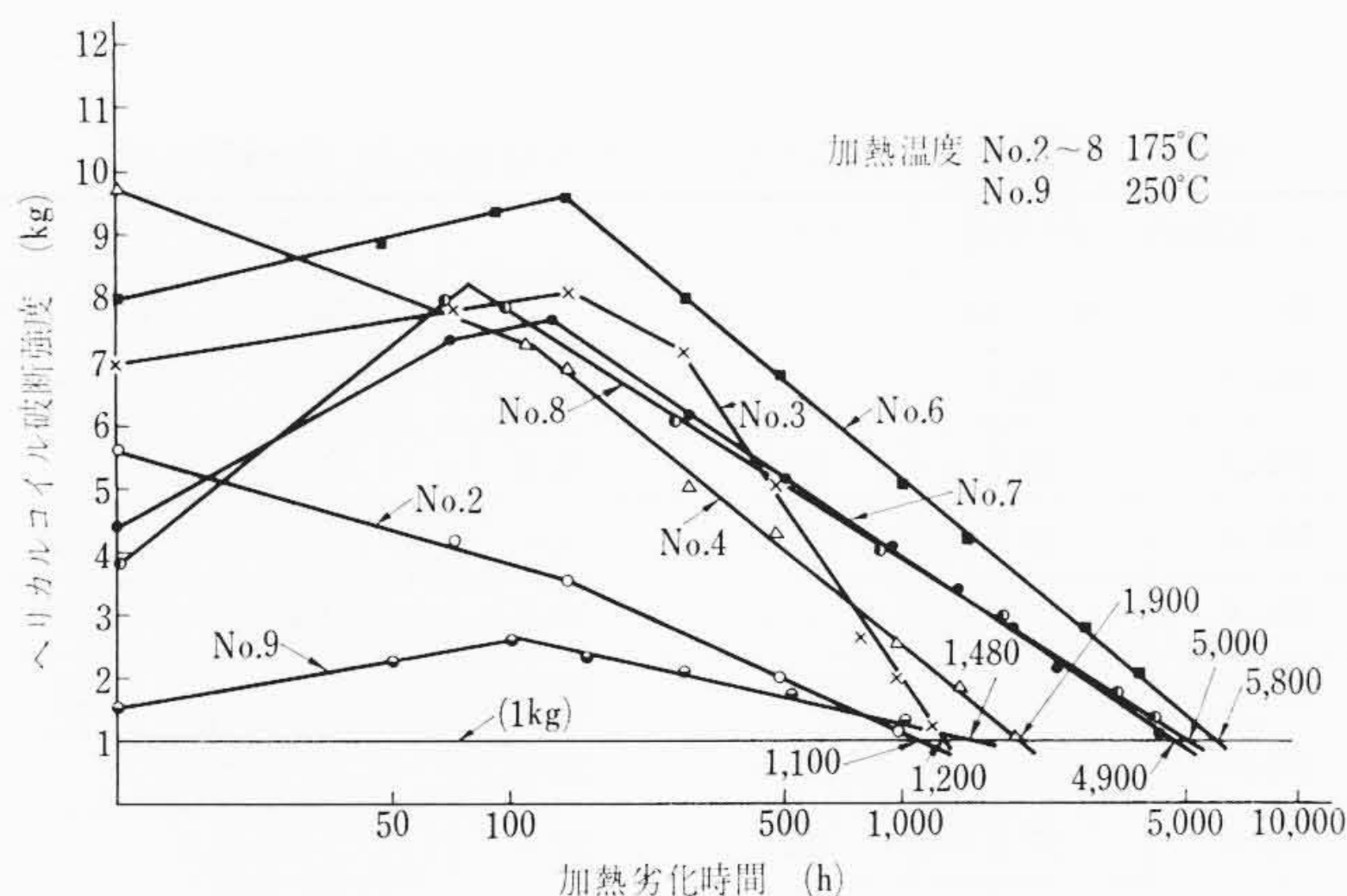


図12 ヘリカルコイルの破断強度と加熱劣化時間の関係

示した。絶縁破壊の強さの低下率は No. 5 のワニスを除くほかのワニスはともに 10% 以下であり、カーブ電極法が適用できることがわかる。No. 5 はイソフタル酸アルキドワニスで No. 6 と同系統のワニスであるけれども皮膜がかたいために約 40% 低下している。

図 9 は 175°C で加熱劣化したときの加熱時間と絶縁破壊の強さの対数との関係を示したものである。両者の間にはほぼ直線関係が成立している。図 10 に一例として No. 6 ワニスの加熱劣化温度による絶縁破壊の強さの変化を示した。IEC の規格案では、絶縁破壊の強さが 118 kV/cm に達したときを寿命の終点に定めている。したがって各ワニスの図 10 のような関係から温度と寿命の関係を求めることができる。その結果を示したのが図 11 である。この直線から使用温度に外そうして各ワニスの最高許容温度を求めることができる。その場合寿命時間を何時間として評価するか決める必要がある。

ウェスチングハウス社の Straka 氏⁽¹⁴⁾ は 110,000 時間を推奨しており、Walker 氏⁽¹⁵⁾ は 110,000~70,000 時間の平均値をとって 90,000 時間が妥当であると結論している。しかし、これらの値は供試ワニスの使用温度より 45°C 高い温度から 25°C 間隔で 3 温度点を取り、その結果から使用温度に外そうして決めたものであり、この場合使用温度で起こる熱劣化反応を忠実に加速しているかどうか若干の疑

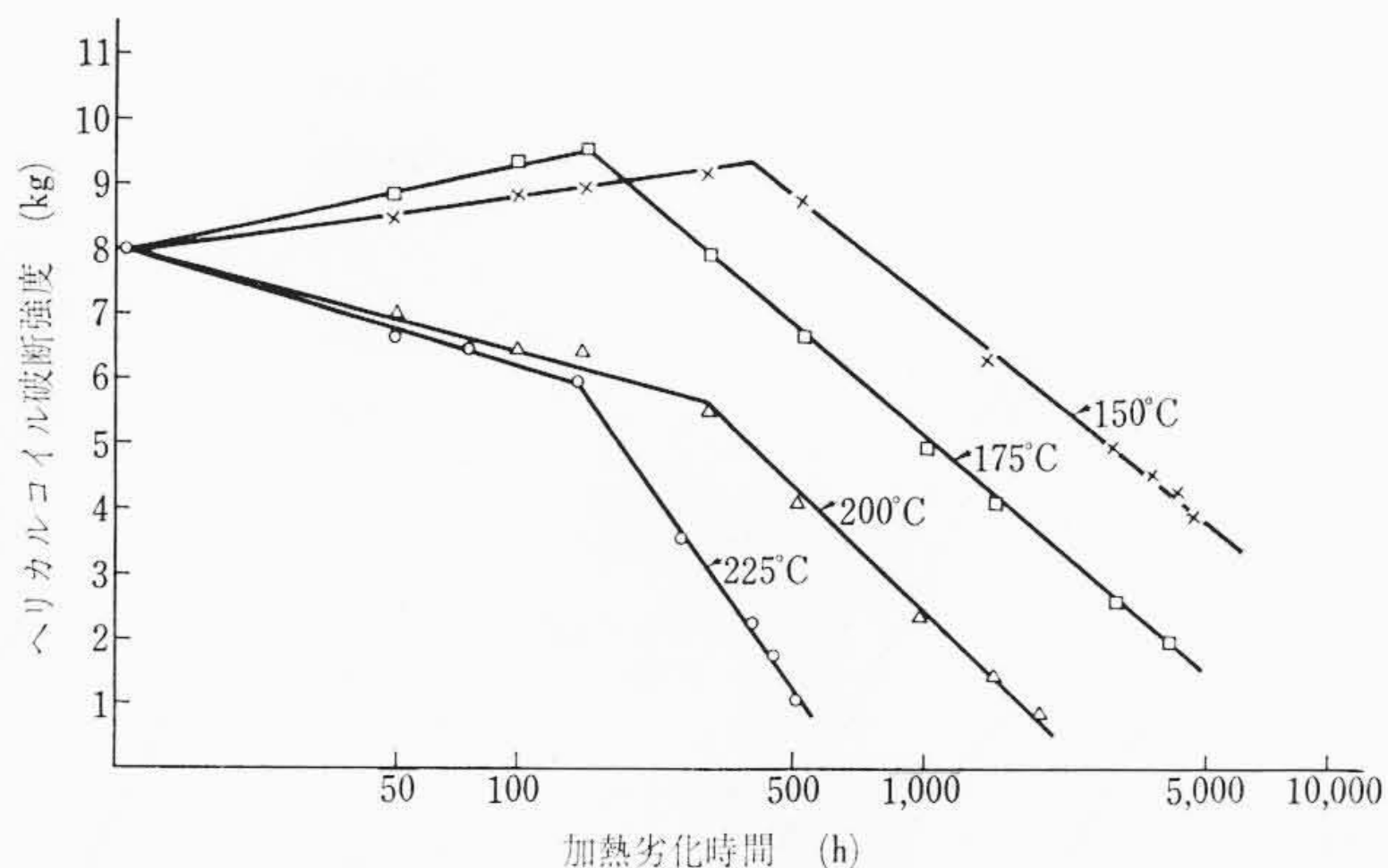


図13 No.6 ワニスのヘリカルコイル破断強度と加熱劣化時間の関係

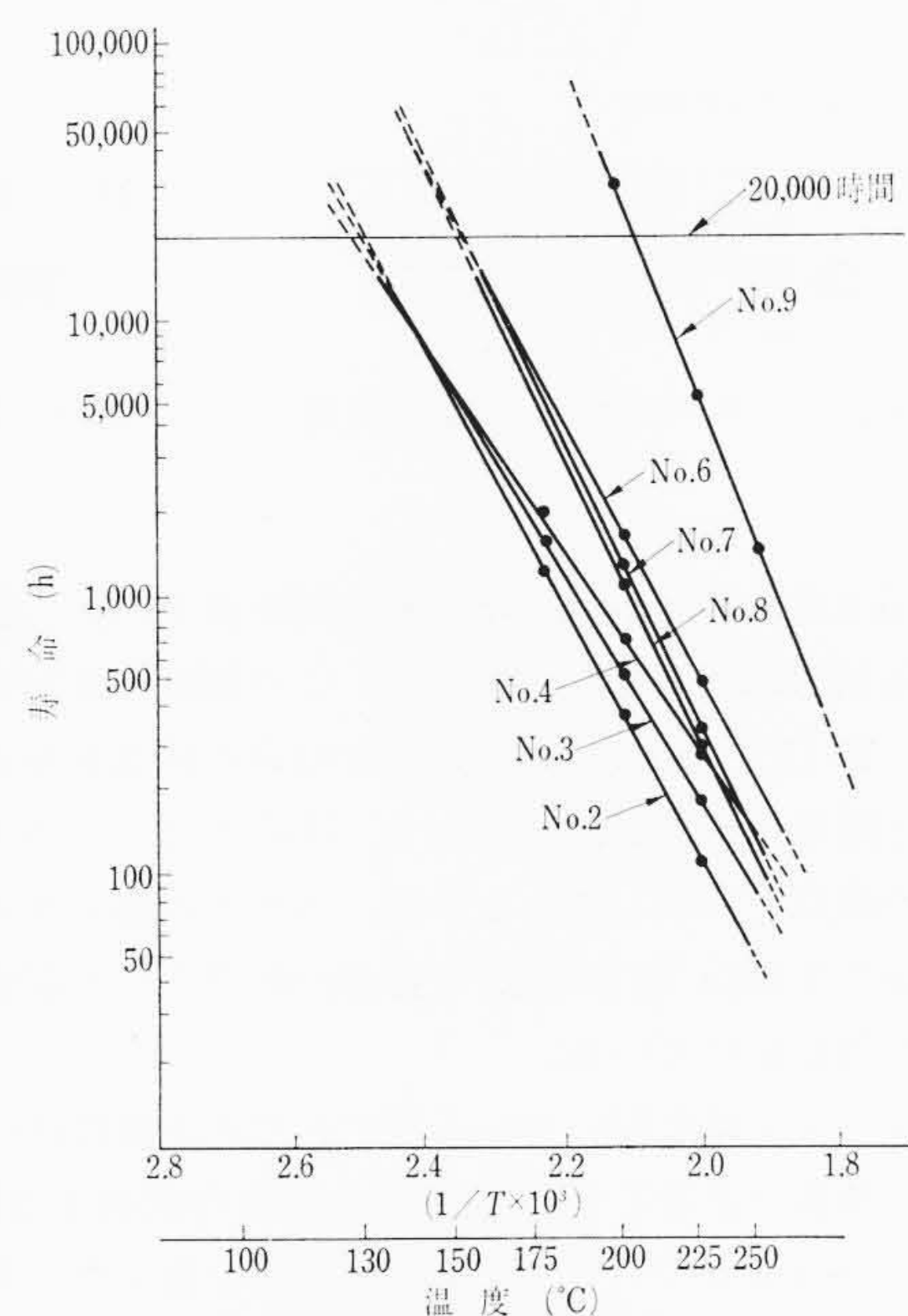


図14 ヘリカルコイル法による寿命と温度の関係

問がある。

本実験では 20,000 時間を寿命時間として各ワニスの最高許容温度を求めた。その結果 B 種絶縁組織に使用されるフェノールおよびフェノールアルキドワニスは 125~130°C、F 種絶縁組織に使用されるイソフタル酸アルキド、エポキシエステル、アクリルワニスは 148~158°C、H 種絶縁組織に使用されるシリコンワニスは 220°C の最高許容温度を示した。これは 20,000 時間を寿命として評価したモータレット試験の結果に近い値であり、20,000 時間を基準として求めたカーブ電極法による寿命にはかなりの妥当性があると考えられる。

カーブ電極法は各ワニスの耐熱性を区別するスクリーニング試験としてばかりでなく、組織試験ともかなり相関性をもった試験法のように思われ、この点はさらに検討の余地がある。

3.4 ヘリカルコイル試験法

各ワニスを処理したヘリカルコイルを 175°C で加熱劣化したときの時間と破断強度の関係を示したのが図 12 である。No. 2, 4 ワニスは加熱時間とともに破断強度は低下しているが、ほかのワニスは加熱後 100 時間までは破断強度が初期値より向上し最大値に達してから徐々に低下していることが認められる。

図 13 は No. 6 ワニスの加熱劣化温度を変えたときの破断強度の変化を示したものである。図 13 からわかるように破断強度が最大値

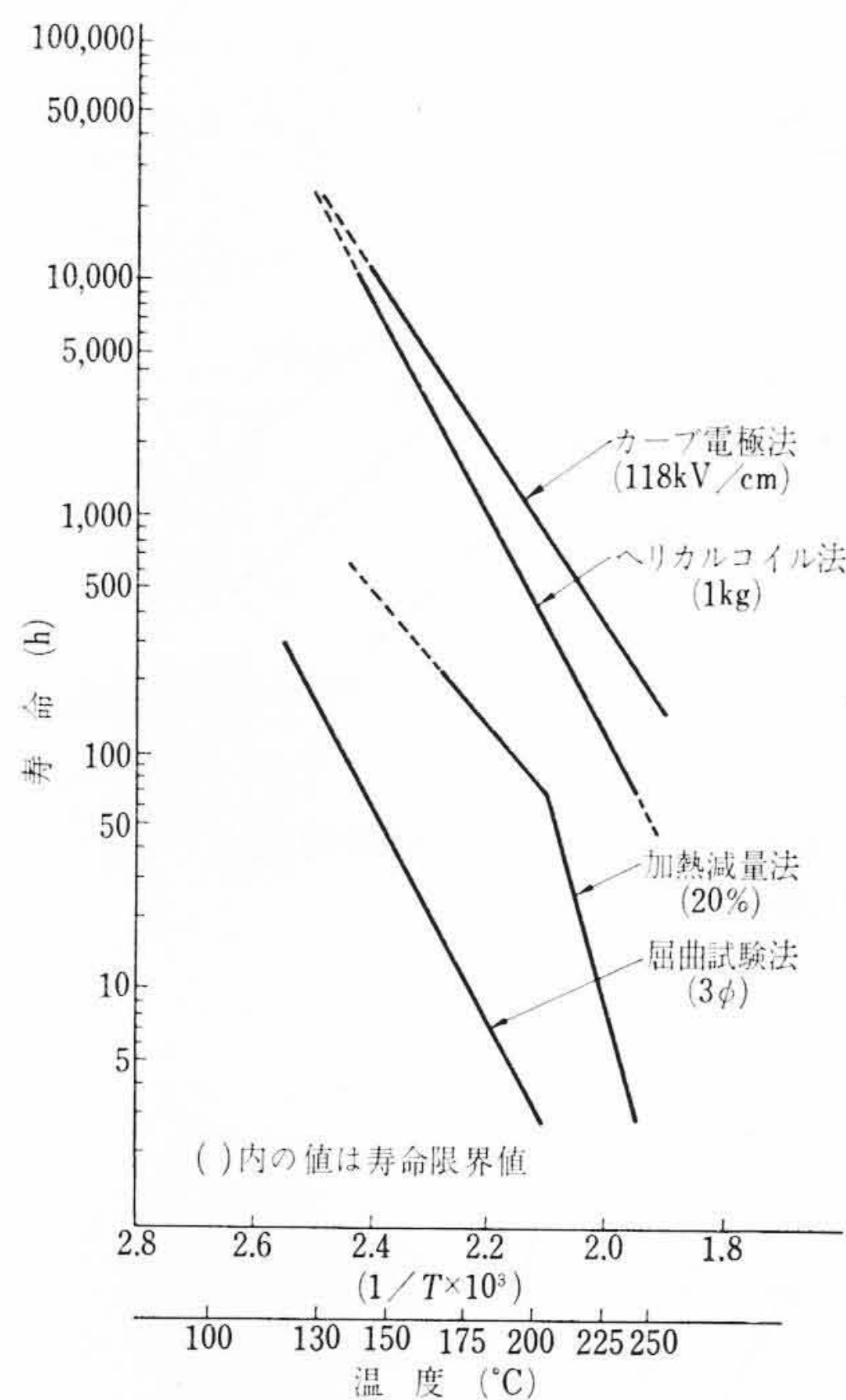


図15 No.2ワニスの寿命と温度の関係

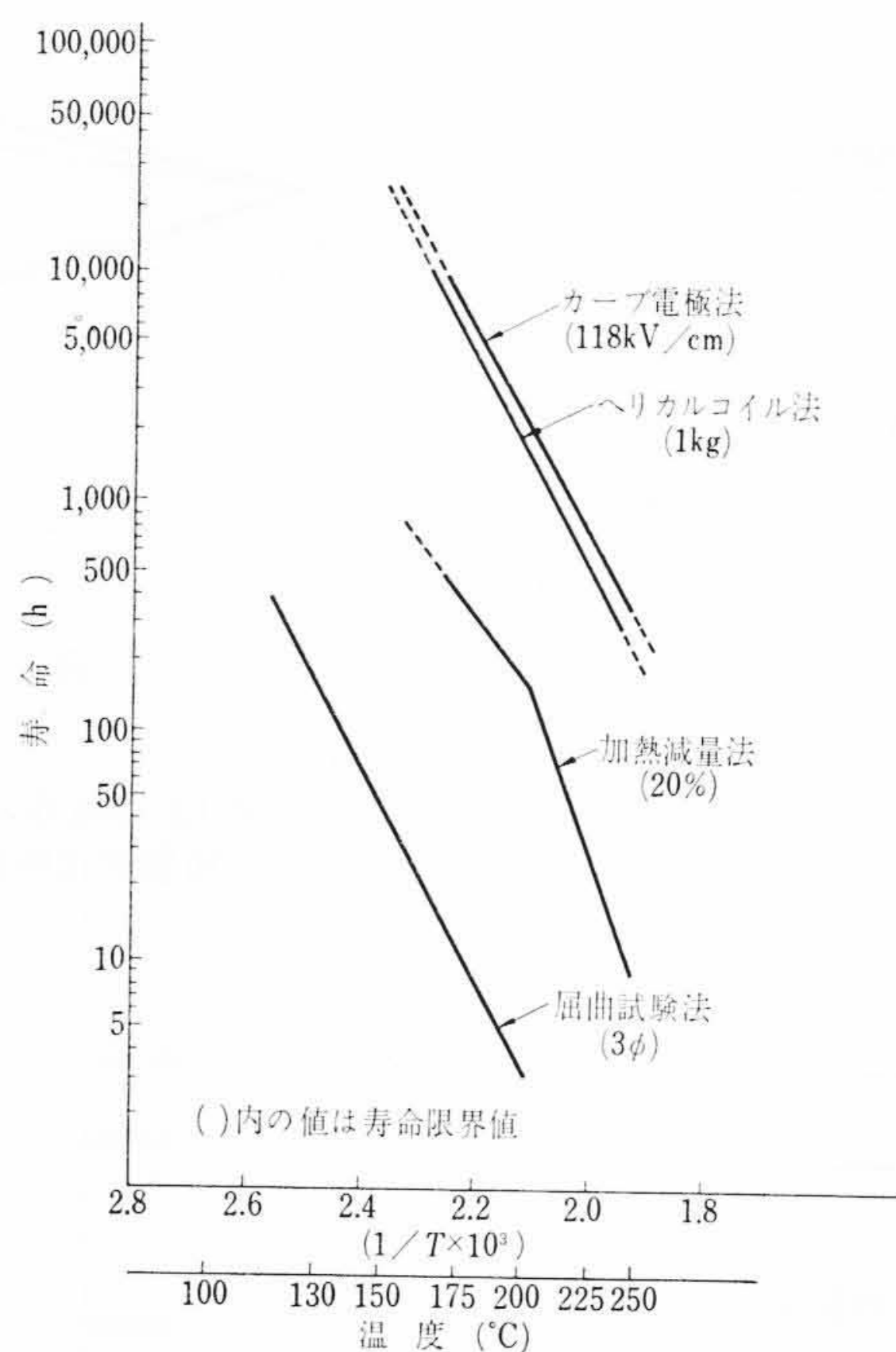


図16 No.6ワニスの寿命と温度の関係

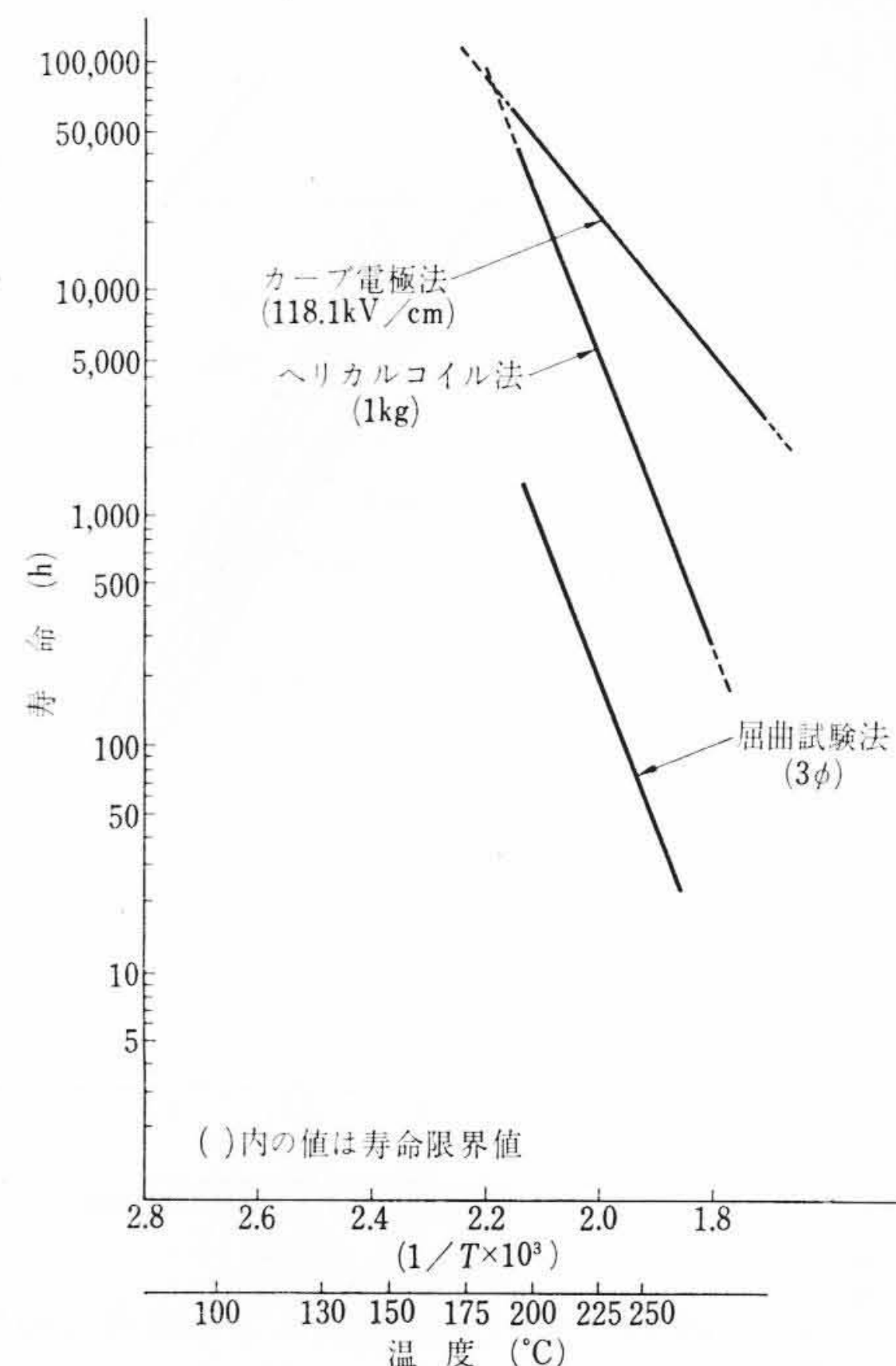


図17 No.9ワニスの寿命と温度の関係

に達する時間は劣化温度が低いほど長時間を要するが、最大破断強度の値は低温加熱ほど高くなっている。この傾向はほかのワニスにもみられた。図13をもとにして、適当な寿命の終点を与えることによって温度と寿命の関係が求められる。IECではヘリカルコイル試験法の寿命の終点を明示していないが、エナメル線とワニスを組み合わせた試験で8LBS(約3.6kg)を寿命の終点として温度と寿命の関係を求めた例をあげている。

本実験ではアルミ線を用いているのでエナメル線に比べて線の響影はほとんど無視できることから考えて寿命の終点を1kgにとることとした。ヘリカルコイルに1kgの荷重を加えたときワニスフィルムに生ずる最大応力はDexter氏⁽¹¹⁾が用いた式

$$\text{最大応力 } S_{\max} = \frac{8WLd_1}{\pi(d_1^4 - d_2^4)} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 W : 破断荷重 (kg)

L : 支点間距離 (cm)

d_1 : ワニス処理後のコイル外径 (cm)

d_2 : ワニス処理後のコイル内径 (cm)

から計算することができる。その値は約30 kg/cm²になる。この条件を入れて温度と寿命の関係を求め、その結果を図14に示した。

この関係から寿命時間を20,000時間として各ワニスの最高許容温度を求めるとフェノール系ワニスは129~130°C、イソフタル酸アルキド、エポキシ、アクリルワニスは150~156°C、シリコンワニスは200°Cになる。この結果はカーブ電極法から求めた最高許容温度と非常によく一致している。ヘリカルコイル試験法の寿命の終点を1kgにしたことが、カーブ電極法の寿命の終点によく対応しているものと考えられる。

3.5 各試験法の比較

各試験法を相互に比較するため、ワニスごとに各試験法から求めた温度と寿命の関係を同一グラフにプロットした。その代表的な例を示したのが図15~17である。

一般に絶縁材料の温度と寿命の関係は反応速度論によって取り扱うことができる⁽¹³⁾⁽¹⁶⁾。すなわち熱劣化も一種の化学反応と考え、熱劣化の際材料内で起こる化学変化の反応速度定数を K 、反応温度

表6 各試験から求めたワニスの活性化熱 (kcal/mol)

試験法 試 番	カーブ電 極 法	ヘリカルコ イル 法	屈曲試験法	加 熱 減 量 法	
				低 温 側	高 温 側
No. 1	18.1	—	—	9.4	25.4
No. 2	15.8	20.6	20.8	12.2	35.2
No. 3	15.2	18.8	—	13.9	32.6
No. 4	17.0	17.1	20.8	19.1	41.6
No. 6	21.1	21.1	20.8	9.8	38.4
No. 7	25.5	21.3	30.5	28.6	
No. 8	27.2	23.9	30.5	11.5	
No. 9	13.8	30.0	30.9	—	—

を $T^\circ\text{K}$ とすると熱力学の理論から

$$\ln K = -\frac{E}{RT} + \alpha \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 E : 反応の活性化熱

R : 気体定数

α : 定数(狭い範囲)

なる関係が誘導されている。熱劣化のような複雑な反応では反応速度定数を測定することは困難であるため、ある物理量をとってそれが一定になるまでの時間におきかえて比較する方法がとられる。

物理量が一定になるまでの時間 t が反応速度定数 K と逆比例の関係にある場合には、

$$\log t = \frac{0.4343E}{RT} + \beta \quad \dots\dots\dots (5)$$

が成り立つ。(5)式から明らかなように寿命と温度の関係を論ずる場合には活性化熱 E が重要な定数であることがわかる。

各試験法から求めた各ワニスの活性化熱を計算した結果を表6に示した。なお加熱減量試験は二つの折れ線になっているものについては屈曲点を境に高温側と低温側とに分けて求めている。その結果をみるとカーブ電極法、ヘリカルコイル法から求められた活性化熱の値は、B種絶縁組織に使用されるワニスが15~20 kcal/mol、F種絶縁組織に使用されるワニスが20~30 kcal/mol、H種絶縁組織に

使用されるワニスが 30 kcal/mol を示している。これらの活性化熱の値から本実験温度範囲の熱劣化は酸化による熱分解が主役であると推定できる。一方屈曲試験から求められた活性化熱は 20~30 kcal/mol, 加熱減量試験から求められた活性化熱は、低温側で 10~20 kcal/mol, 高温側で 25~40 kcal/mol を示した。

同一ワニスについては、試験方法が異なってもそれぞれから求められた見かけ上の活性化熱は同じになるはずであるが、ワニス皮膜厚が違ったり、ガラスクロス、アルミ線など副材料の効果、さらには測定項目の違いなどによって必ずしも同一の活性化熱が得られない。その意味で熱劣化試験においては劣化温度の選定とともに試験方法の選択が最も重要な問題である。

四つの試験方法を比較した場合、カーブ電極法、ヘリカルコイル法は熱劣化反応を追跡できる良い試験方法といえる。

4. 結 言

以上屈曲試験法、加熱減量試験法、カーブ電極法およびヘリカルコイル法によって各種ワニスの耐熱寿命試験を行ない試験法相互の特長を明らかにすることができた。得られた結果を要約すると次のようになる。

- (1) カーブ電極法、ヘリカルコイル法による試験は、適用上に若干の制限があり、試験に長時間を要する難点はあるがワニス相互の熱安定性をよく分類でき、ワニスの使用温度での熱劣化を比較的良好に追跡できる試験法である。
- (2) 屈曲試験は皮膜のかたいワニスには適用できないが、たわみ性のあるワニスのスクリーニング試験に有効であり、試験の操作も簡単で短時間に結果が得られる利点がある。

- (3) 加熱減量試験は簡単で短時間に結果が得られるが、加熱劣化温度によっては寿命直線が折れ曲り、寿命の判定を誤る危険性があるので、加熱劣化温度の選択にはじゅうぶん注意する必要がある。

参 考 文 献

- (1) JISC 2103: 電気絶縁用ワニス試験方法 (1962)
- (2) JISC 2122: 電気絶縁用シリコンワニス試験方法 (1964)
- (3) ASTM Designation D 115-55: Standard Method of Testing Vanishes Used for Electrical Insulation. Part 29, 17
- (4) BS 2778: Organic Baking Insulation Vanishes for Electrical Purpose (1956)
- (5) VDE 0362/9.56: Richtlinien für die Prüfung von trunk-lachen der Isolierstoffklasse F für den Elektromashinenbau.
- (6) JISC 2359: 耐熱性加熱乾燥コイルワニス (1963)
- (7) O. Diner and J. Herenguel: Wire & Wire Product. 25, 10 (Oct. 1956)
- (8) ASTM Designation D 1932-61T: Tentative Method of Test for Thermal Endurance of Flexible Electrical Insulating Vanishes. Part 29, 879 (1964)
- (9) IEC Draft: 15(S)4 (Feb. 1966)
- (10) IEC Draft: 15(S)56 (Jan. 1964)
15(C.O)1 (Mar. 1966)
- (11) J. F. Dexter: Insulation No. 9, 12 (Sept. 1955)
- (12) H. I. Morgan & K. N. Mathes: ASTM Special Tech Publication. No. 161, 86 (1954)
- (13) T. W. Darkin: AIEE Transaction 67. Part I (1948)
- (14) C. J. Straka: Insulation. No. 9, 17 (Sept. 1961)
- (15) H. P. Walker: IEEE Trans Power Apparatus Syst. (USA), 1963, Special Suppl., 858-69.
- (16) 日月: 日立評論 36, 1397 (昭 29-9)

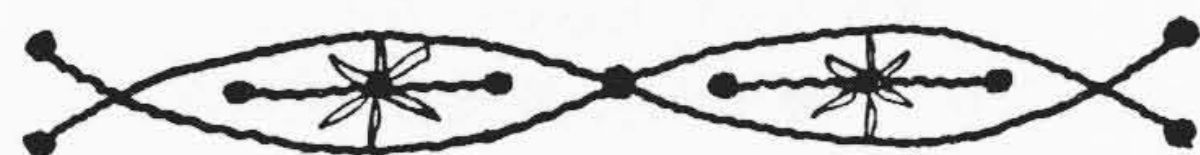


登録実用新案 第826993号

軸

新 案 の 紹 介

封



高 井 昭・松 島 宰

装

置

従来の偏心しゅう動面を設けた軸封装置においては、しゅう動面の接触面圧がシールすべき流体の圧力よりも相当大きくなること、および接触面圧がしゅう動面各部において異なるため高圧に耐え得ない。

本考案は駆動軸の一部に駆動軸と一体に偏心部を形成せしめ、偏心部に回転環をはめ込んで回転しゅう動面に偏心回転運動を行なわせるようにしたもので、1は駆動軸、2は高圧の液体を封入した軸

封胴体、3は軸封胴体2に固定された固定座、4は回転環、5はばね、6は駆動軸1の一部に駆動軸と一体に形成された偏心部で、この偏心部6に回転環4を軸方向にのみしゅう動可能にはめ込み、ばね5で固定座3に圧着させて容器内の流体をシールするようにになっている。

駆動軸1が回転すると、回転環4はそのしゅう動面と偏心部6はめ込み部が同心であり、回転環4に働く液圧の中心がしゅう動面リング中心と一致するためモーメントを生ぜず、しゅう動面各部の面圧の不同は生じない。したがってしゅう動面各部の面圧は常時均一であり、高圧しゅう動に耐えることができるとともに従来の偏心しゅう動面を設けたものと同様な潤滑効果を得ることができる。

(寺田)

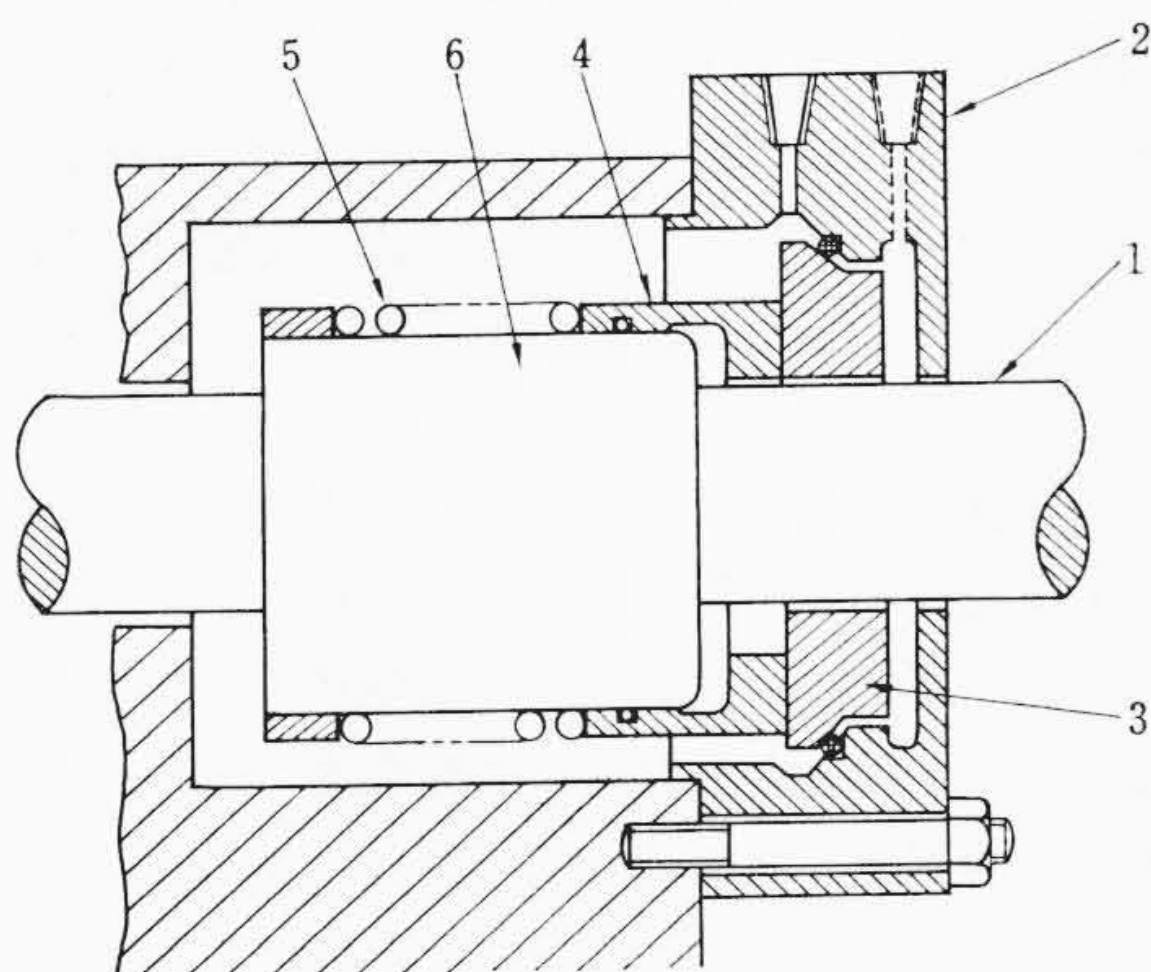


図 1

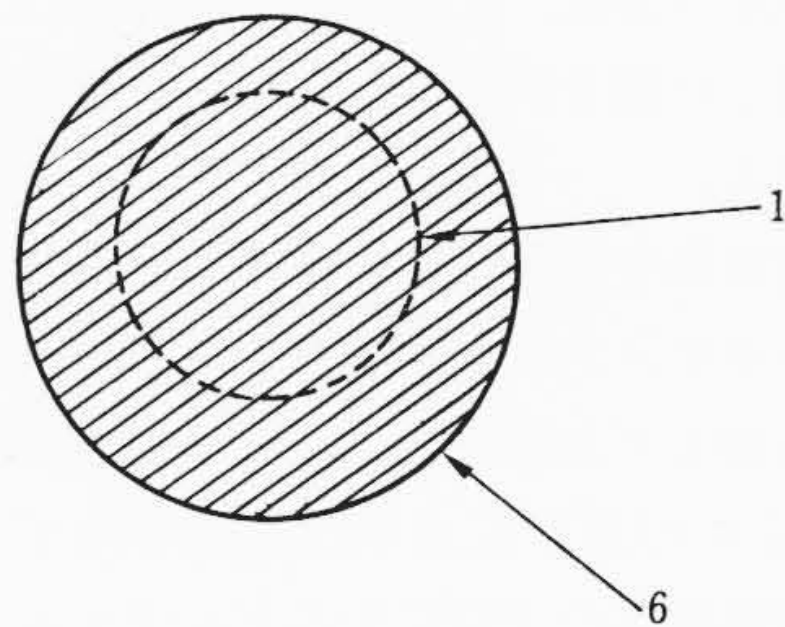


図 2