

日立ワニスガラスクロスの特 性

友 部 進*

Characteristics of Hitachi Varnished Glass Cloth

By Susumu Tomobe

Hitachi Insulating Material Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

The experimental investigation the writer conducted in Hitachi Varnished Glass Cloth, a heat resistant insulating material, in comparison with ordinary varnished cloth, has revealed the following:

- (1) In resistance to insulation breakdown voltage, it has the value 1,000 V higher than the varnished cloth of the same thickness; in volume specific resistance, it reaches $10^{15} \Omega\text{-cm}$ making comparison with $10^{14} \Omega\text{-cm}$ of the latter.
- (2) In insulation breakdown voltage characteristics, the varnished glass cloth of silicone system suffers almost no deterioration even at high temperature, and it has been proved that any varnished glass cloth used at 130°C gives 70~80% of the value obtainable at room temperature.
- (3) Although a slight stiffer when used in low temperature, it gains larger flexibility when the temperature reaches $15\sim 20^{\circ}\text{C}$.
- (4) In heat resistance, the varnished glass cloth of silicone system can stand a use at 175°C for 2,160 hours without causing any degradation in resistance to insulation breakdown voltage. In the same kind of test, the product treated with special heat-resistant varnish named "Aminal" has shown a decrease to 78% in 130°C , 2,160 hour use but it refused to decline over this figure, the fact which suggests the continuous use of this product in high temperature climate. Meanwhile, the ordinary varnished cloth was deteriorated to 52% in the same test conditions.

〔I〕 緒 言

現在一般に使用されているワニスクロス、ワニスペーパーの如きシート絶縁物は耐熱性の点から見ると、電気機器に於て最も弱い部分をなすもので、これらの耐熱性が改善されるならば機器の性能は、全般に飛躍的な向上を計ることができる。

特に最近の電気機器は益々小型軽量化の傾向にあるので、必然的に運転温度は高くなり、従来のA種絶縁材料では耐用できなくなってきたのが現状である。これらは

* 日立製作所日立絶縁物工場

綿或は紙を基材としてこれに電気絶縁ワニスを塗布乾燥したものであるが、基材である綿、紙等は常態で7~10%を吸湿しており、耐熱性は 100°C 内外を限界点とする。従つて優秀な耐熱ワニスの性能を100%發揮するためにはガラスクロスを基材として使用しなければならない。

基材のガラスクロスは無機物特有の耐熱、耐湿性は勿論のこと、耐酸、耐アルカリ、耐コロナ、耐薬品性に優れ、機械的には抗張力、抗圧力が強く、また他のいかなる織物よりも熱伝導性が優れている。このために電気絶縁の大敵である湿気に対しても吸湿量は微少で、膨潤、収縮することなく、化学変化も受けないので、機器の運

転中止中でもワニスが外気から吸湿するのを最少限に防ぎ、たとえ吸湿しても運転開始と共に速かに水分を放出して速く絶縁を回復することができる。また抗張力が大きいいため薄いクロスでも導体に固く巻くことができるので、他のいかなる無機絶縁材料よりもスペースファクターが有利である。

このような基材の優秀性を生かすためには特殊な耐熱性ワニスを使用することは勿論で、日立製作所は既に昭和18年B級絶縁ワニスを工業化⁽¹⁾したが本文に報告するものはこれを更に研究進歩せしめたものである。

本文は、現在日立製作所に於て製造、販売されている各種のワニスガラスクロスに就いての諸性能を報告し、高温機器設計の資料に供するものである。

〔II〕 標準性能と試験結果

日立ワニスガラスクロスの一般性能を、JIS-C-2120(1951)に規定された方法に準じて試験した結果を第1表及び第2表(次頁参照)に示す。

第1表は機器設計上の安全率を見越して最低標準を示してあるために、実測された絶縁破壊電圧の如きは第2表の測定値に見る如く極めて高いものである。また一般ワニスクロスの規格に準じて、標準性能表より体積固有抵抗を除いてあるが、JIS-C-2103(1950)の方法に準じて測定した値は何れも第2表に見る如く極めて優秀な値を示している。また第2表には比較のためにワニスクロスの性能も併記した。

ワニスクロスの用途は広範囲であるが、コイル巻きの如く巻きつけて使用する場合が甚だ多い。従つて電氣的、機械的性能の外に工作上、柔軟性に富むことが望ましい。第2表中の可撓性はこの見地から次の如くして測定したものである。

曲げ剛性度は A.S.T.M. D747-43T に規定された Olsen 剛性度試験機⁽²⁾によつて測定した。この装置は片持梁の曲げ装置で、角度と曲げモーメントを測定し、次式により曲げ剛性度(ヤング率)を計算するものである。

$$E = \frac{4S}{Wd^3} \times \frac{\text{曲げモーメント}(\text{g/cm})}{100\phi} (\text{g/cm}^2)$$

但し S=スパンの長さ(この装置では1.3cm)

W=試験片の幅(cm)

d=試験片の厚み(cm)

ϕ =曲げ角度(rad)

この装置は軟質プラスチックの曲げ剛性度測定用として設計されたものであるから、ワニスクロス程度のヤング率では精密な値は得られなかつたが、硬軟の比較程度はうかがえるものと思う。表中の空欄は軟かすぎて測定値の得られなかつたものである。各品種とも厚さが増

せば剛性度も大となる。従来のワニスクロスを標準として、同一厚さのものを比較すると、V.G.C.-D及びHの厚手のものはやゝ硬いが実用上は殆ど問題にならぬ程度の差である。

捩れ剛性度測定装置は Clash and Berg⁽³⁾⁽⁴⁾ 両氏がビニルプラスチックの柔軟度測定用として設計し、その詳細を発表した。本邦に於ては近藤氏が同装置によりビニル樹脂の柔軟度を測定している⁽⁵⁾。また日立製作所に於ても各種プラスチック研究に使用されている⁽⁶⁾。

本装置の原理は、断面矩形の試料片の下端を固定し、上端は水平の振りプーリーのシャフトに固定し、振りプーリーに加えらるる偶力によつて試料を振り、その捩れの角度をプーリーに取付けられた角度目盛で読取るものである。

捩れの剛性率は次式で求められる。

$$T = ab^3uG \frac{\phi}{L} \quad \text{即ち} \quad G = \frac{TL}{ab^3u\phi} (\text{dyne-cm}^2)$$

但し T=捩れモーメント(dyne-cm)

2a=試料の巾(cm)

2b=試料の厚さ(cm)

L=試料の長さ(cm)

ϕ =捩れ角度(rad)

$u=f(b/a)=8/(3+1.8b/a)$

G=Stiffness (Modulus of Rigidity, Torsional Stiffness, Torsional Rigidity, Modulus of Elasticity, Elastic Modulus, 弾性率、剪断弾性係数、剛度等の言葉で表わされる場合もある。)

Clash and Berg 両氏は、デュワー瓶に入れた冷却浴によつて温度を調節し、5秒間に200° 捩れるときの温度をもつて可撓温度と定義し、経験上この温度を弾性体として使用できる最低の温度であるとした。筆者の実験は目的も異なるので、振りプーリーに偶力を加える場合、両氏の行つた如く急激に加えると加速度の影響が加わることをおそれ、できるだけ緩やかに、静的に加えて、釣合つた時の絶対値を測定することにした。表中の捩れ剛性度はこのようにして測定した値である。

同品種のもので薄いものほど捩れ剛性度が大きとなつてゐるのは奇異の感じを与えるが、これはガラスと塗料の比率の問題で、薄いものほどガラスの剛性度が多く現われてくる結果である。同一厚みの各品種を比較すれば殆ど同一剛性度を示すことがわかり、日立 VGC は日立 VC と略々同一の柔軟性をもつと云うことができる。

併しこれは標準作業温度として、室温20°Cに於ける測定値であるが、各温度に於ける剛性度は第1図の如く変化する。この値は水浴中に於て測定したものであるから、同温空気中に於ける数値とは多少異なるものと思わ

第 1 表 日立ワニスガラスクロスの標準性能

Table 1. Standards of Hitachi Varnished Glass Cloth

名 称	級別	常用温度 (°C)	色	記 号	厚 さ (mm)		幅 (mm)	長 さ (m)	絶縁破壊電圧 (V)		引張荷重 (kg)*		伸 び (%)*		耐油性	耐湿熱性	耐 熱 性	
					公称	ミル			許容差	平均	最低	たて	よこ	たて				よこ
日立シリコン ガラスクロス	H	175 無色		VGC-H-0.10	0.10	(4)	+0.015 -0.01	>950	30	>5,500	>4,500	>10	>9	>3	>2.5	良好	良好	220°Cにて30日間 加熱しても電気絶 縁性に变化なく、 175°Cならば連続 的に使用が出来る
				VGC-H-0.13	0.13	(5)	+0.02 -0.01	>950	30	>7,000	>5,000	>10	>9	>3	>2.5			
				VGC-H-0.18	0.18	(7)	+0.03 -0.02	>950	30	>9,000	>6,500	>18	>16	>3	>2.5			
				VGC-H-0.25	0.25	(10)	+0.03 -0.02	>950	30	>11,000	>9,000	>28	>23	>4	>3.5			
日立アマナール ガラスクロス	D	130 黄色		VGC-D-0.10	0.10	(4)	+0.015 -0.01	>950	30	>5,500	>4,500	>10	>9	>3	>2.5	良好	良好	175°Cにて10日間 加熱しても電気絶 縁性に变化なく、 130°Cならば連続 使用が出来る
				VGC-D-0.13	0.13	(5)	+0.02 -0.01	>950	30	>7,000	>5,000	>10	>9	>3	>2.5			
				VGC-D-0.18	0.18	(7)	+0.03 -0.02	>950	30	>9,000	>6,500	>18	>16	>3	>2.5			
				VGC-D-0.25	0.25	(10)	+0.03 -0.02	>950	30	>11,000	>9,000	>28	>23	>4	>3.5			
日立ワニス ガラスクロス	B	<130 黄色 及び 黒色		VGC-B(Y, K)-0.10	0.10	(4)	+0.015 -0.01	>950	30	>5,500	>4,500	>10	>9	>3	>2.5	良好	良好	B種絶縁用
				VGC-B(Y, K)-0.13	0.13	(5)	+0.02 -0.01	>950	30	>7,000	>5,000	>10	>9	>3	>2.5			
				VGC-B(Y, K)-0.18	0.18	(7)	+0.03 -0.02	>950	30	>9,000	>6,500	>18	>16	>3	>2.5			
				VGC-B(Y, K)-0.25	0.25	(10)	+0.03 -0.02	>950	30	>11,000	>9,000	>28	>23	>4	>3.5			

(註) * 印の引張り荷重及び伸びは試料の幅 15 mm, 標点間距離 150 mm で測定した値である。

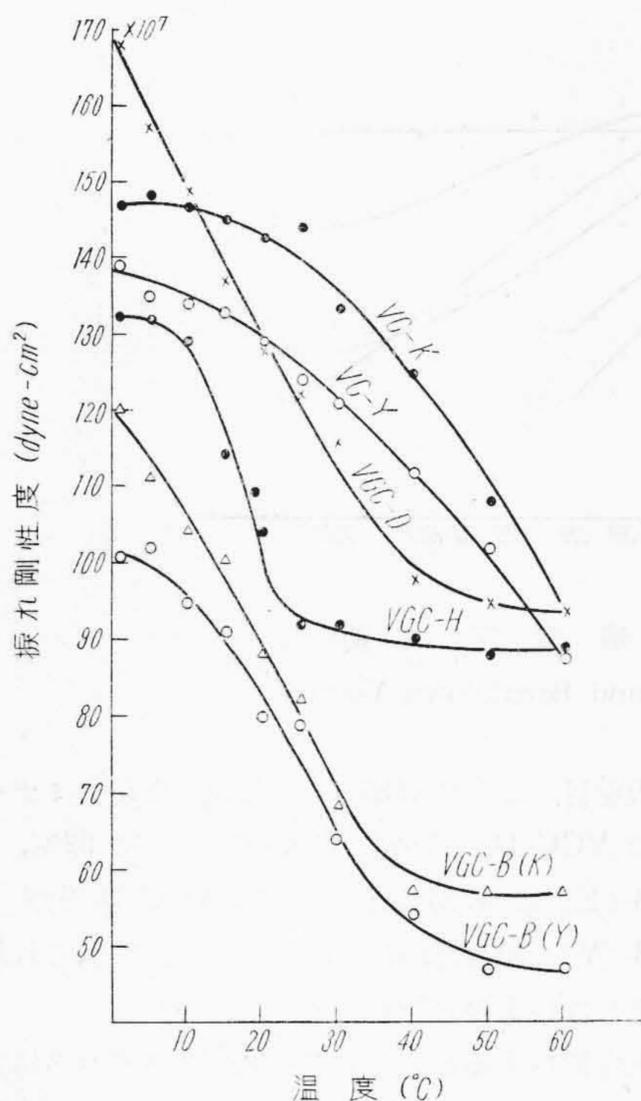
記号の説明 1) ワニスガラスクロスは VGC, 級別は H, D, B, 色は Y (黄色), K (黒色) を以て示す。
2) ワニスガラスクロスは VC, 色は Y (黄色), K (黒色) を以て示す。

第 2 表 日立ワニスガラスの試験結果

Table 2. Test Results of Hitachi Varnished Glass Cloth

種 類	記 号	絶縁破壊電圧 (V)		体積固有抵抗 (Ωcm)	引張荷重 (kg)		伸 び (%)		耐油性	耐湿熱性	可 撓 性 (20°C)	
		平 均	最 低		た て	よ こ	た て	よ こ			曲げ剛性度 (g/cm ²)	捩れ剛性度 (dyne-cm ²)
日立シリコーン ガラスクロロス	VGC-H-0.10	7,900	6,400	5.65×10 ¹⁵	10.5	10.2	3.1	2.6	良	良	—	252.0×10 ⁷
	VGC-H-0.13	9,000	7,000	4.30×10 ¹⁵	11.6	10.6	3.0	2.5	良	良	1.00×10 ⁵	113.0×10 ⁷
	VGC-H-0.18	11,700	8,400	8.21×10 ¹⁵	18.7	16.7	3.2	2.6	良	良	15.70×10 ⁵	62.0×10 ⁷
	VGC-H-0.25	13,300	9,300	1.80×40 ¹⁶	29.0	24.5	4.3	3.7	良	良	230.00×10 ⁵	23.0×10 ⁷
日立アミナール ガラスクロロス	VGC-D-0.10	7,700	6,500	3.96×10 ¹⁵	10.8	10.4	3.2	2.7	良	良	—	280.0×10 ⁷
	VGC-D-0.13	9,000	6,800	2.07×10 ¹⁵	12.0	10.4	3.0	2.7	良	良	—	136.0×10 ⁷
	VGC-D-0.18	10,500	8,600	4.77×10 ¹⁵	18.4	16.3	3.1	2.6	良	良	28.00×10 ⁵	58.0×10 ⁷
	VGC-D-0.25	13,100	10,200	8.12×10 ¹⁵	28.5	25.7	4.1	3.6	良	良	270.00×10 ⁵	20.0×10 ⁷
日立ワニス ガラスクロロス	VGC-B-(K)-0.10	7,600	6,600	8.30×10 ¹⁴	10.1	10.4	2.9	2.7	良	良	—	220.0×10 ⁷
	VGC-B-(K)-0.13	8,600	7,100	2.70×10 ¹⁵	10.8	10.1	3.2	2.8	良	良	—	95.0×10 ⁷
	VGC-B-(K)-0.18	11,000	9,500	1.00×10 ¹⁵	18.0	16.4	3.0	2.5	良	良	4.12×10 ⁵	51.0×10 ⁷
	VGC-B-(K)-0.25	12,900	11,500	6.71×10 ¹⁵	29.0	22.8	3.9	3.6	良	良	206.00×10 ⁵	14.0×10 ⁷
	VGC-B-(Y)-0.10	7,500	6,200	5.76×10 ¹⁴	11.2	10.8	2.9	2.6	良	良	—	235.0×10 ⁷
	VGC-B-(Y)-0.13	8,700	6,900	7.56×10 ¹⁵	10.7	9.8	3.1	2.5	良	良	—	85.0×10 ⁷
	VGC-B-(Y)-0.18	10,400	9,200	3.06×10 ¹⁵	18.7	16.3	3.2	2.7	良	良	0.55×10 ⁵	58.0×10 ⁷
	VGC-B-(Y)-0.25	12,800	10,100	4.20×10 ¹⁵	28.8	27.0	4.2	3.7	良	良	168.00×10 ⁵	16.0×10 ⁷
日立ワニスクロロス	VC-K-0.13	7,800	6,200	7.38×10 ¹⁴	13.0	10.0	3.9	9.0	良	良	5.10×10 ⁵	133.0×10 ⁷
	VC-K-0.18	9,400	7,700	5.06×10 ¹⁴	13.1	9.2	5.4	12.7	良	良	22.30×10 ⁵	47.0×10 ⁷
	VC-K-0.25	12,000	10,400	8.21×10 ¹⁴	15.8	10.6	4.6	13.7	良	良	211.00×10 ⁵	15.0×10 ⁷
	VC-Y-0.13	7,500	6,000	9.00×10 ¹⁴	12.9	9.1	3.7	9.1	良	良	3.00×10 ⁵	118.0×10 ⁷
	VC-Y-0.18	8,900	7,500	9.18×10 ¹⁴	12.6	7.5	3.7	10.6	良	良	13.40×10 ⁵	39.0×10 ⁷
VC-Y-0.25	12,000	9,200	1.03×10 ¹⁵	14.6	9.6	4.3	16.4	良	良	188.00×10 ⁵	15.0×10 ⁷	

(註) 引張試験は 17~23°C, R.H. 63~74%. 電氣的試験は 12~18°C, R.H. 54~67%, 可撓性は 20°C, R.H. 70% で測定した値である。
耐熱性 別記



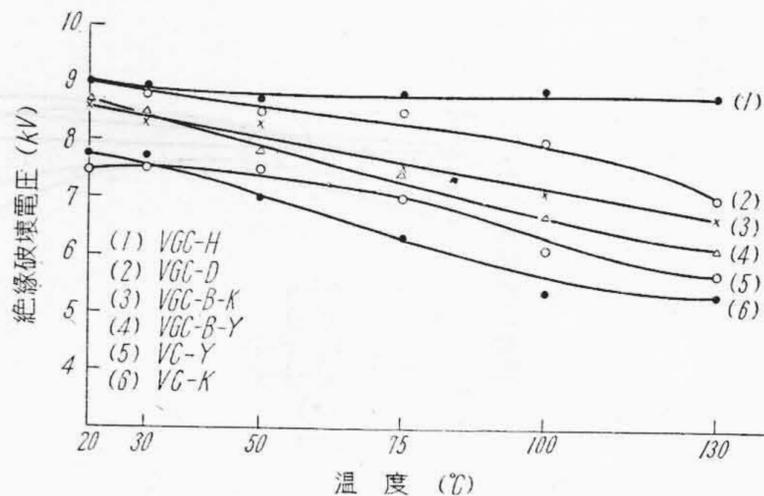
第1図 温度と捩れ剛性度の関係
Fig. 1. Relation between Temperature and Torsional Stiffness

れる。綿を基材とするワニスクロスは、水中に於て測定すると剛性度を増すようである。これは浸水により綿繊維の搦み合いが強化されるためであると考えられる。この影響が大きいいためか、ワニスクロスは温度による剛性度の変化は著るしくなかつた。これに反しワニスガラスクロスは何れも温度上昇により急激に軟くなる。特にシリコン系のものは 10~20°C の間で極端に変化した。特殊耐熱ワニスによる VGC-D は相対的に剛性度が大きい。この点は更に研究改良を要する問題であると思う。何れにしてもワニスガラスクロスはあまり低温であると柔軟性に乏しい欠点が見えるから、作業温度は 20°C 前後がよい。この程度の温度になれば寧ろ従来のワニスクロスよりも柔軟である。

〔III〕 高温に於ける絶縁破壊電圧

ワニスガラスクロスの主要目的は、高温機器の絶縁であるから当然高温に於ける性能を測定する必要がある。5 mil の試料を使用し、前記の方法により高温の変圧器油中で測定した結果を第 2 図に示す。

絶縁物の破壊電圧は温度上昇と共に低下することは既に知られており、日月氏⁽⁷⁾はワニスクロス、シルク、各種ワニス、コンパウンドに就いて測定し、W-28, W-16,



第2図 温度と絶縁破壊電圧の関係
Fig. 2. Relation between Temperature and Breakdown Voltage

雲母紙、レッドロープ紙等は低下率少なく、ワニスクロス、シルク、ペーパ、W-20, W-25 等は低下率大なることを指摘している。就中コンパウンドの耐力低下は 20~120°C で 1/4 以下になることも珍らしくない。低下の原因として最も大きく影響するのは、温度上昇により軟化することである。

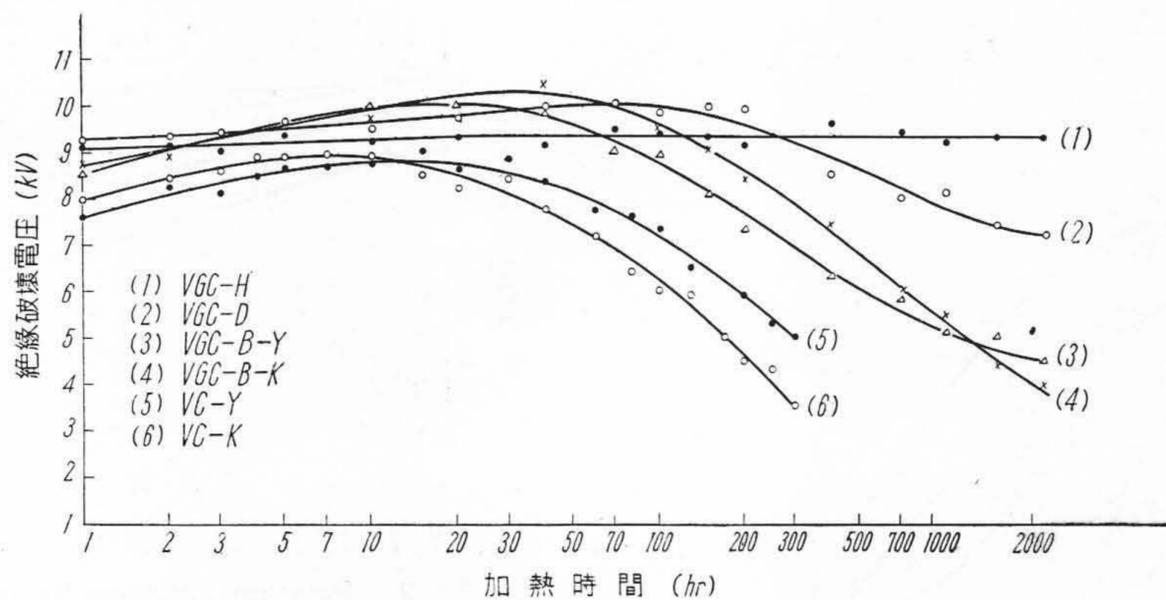
ここに測定された各種試料中シリコン系のものは特に優秀で、高温機器に使用した場合でも絶縁性に十分信頼がもてる。その他のものはこれよりやや落ちるが B 級程度的高温機器に使用するには十分な性能をもっている。

〔IV〕 耐熱性

絶縁物の劣化は主として酸化、脱水、重縮合等の化学変化に起因し、化学変化は温度の上昇と共に急激に増大する。その結果、絶縁物の寿命を判定するために、加熱による電氣的、機械的性能の劣化を測定し、従来から 8°C 則、10°C 則等種々の提案がある。また素材としてのこれらの研究以外に、使用中の電氣的、機械的振動による劣化の促進も当然考慮しなければならないので、Moses⁽⁸⁾氏等はシリコン絶縁モータの連続負荷試験を実施し、H 級として 12°C 則を提唱した。

本稿に於ては簡単に加熱劣化による絶縁破壊電圧の変化を測定してみた。絶縁ワニスのように乾燥行程を経て絶縁皮膜を形成するものは、加熱により性質が変化することが考えられる。第 3 図(次頁参照)は厚さ 5 mil の試料を劣化した場合の値である。シリコン系のものは H 級として 175°C で加熱したが、その他のものは B 級として 130°C で加熱した。

シリコン系は図に見る如く 2,160 hr 加熱しても全然変化なかつた。その他のものは加熱初期には徐々に性能を向上するが、ある期間後には低下傾向に入る。特に綿を基材とするワニスクロスは綿自身の劣化も加わるの



第3図 加熱時間と絶縁破壊電圧の関係

Fig. 3. Relation between Heating Time and Breakdown Voltage

で、280 hr を越えると極めて脆弱となり、揉むと完全に破碎される。ガラス基材のものはこのような心配はなく、絶縁破壊電圧の低下もある程度飽和する傾向にある。

〔V〕 結 言

日立ワニスガラスクロスの諸性能を、従来のワニスクロスと比較測定して次のことがわかった。

1. 常態に於ける電氣的性能は、従来のワニスクロスよりも優秀である。
2. 引張り荷重については、4~5 mil 品はほぼ同様であるが、7~10 mil 品は約2倍の強さをもっている。併し伸びは少なく、3% 内外である。
3. 耐油性、耐湿熱性は何れも JIS に合格する。
4. 作業時の柔軟性を考慮して Olsen 試験機による曲げ剛性度、Clash and Berg 試験機による捩れ剛性度を測定した。ワニスクロスは温度による剛性度の影響は大きくないが、ワニスガラスクロスは著しい。併し 15~20°C 附近になると寧ろワニスガラスクロスのほうが柔軟性を増してくる。
5. 高温に於ける絶縁破壊電圧を測定した。シリコン系のものは 20~13-C の間に於て殆ど低下することなく、H級としての絶縁性を保証できる。その他のものは 130°C に於て 70~80% に低下したが、B級絶縁に使用するには問題ない。
6. 加熱劣化による絶縁破壊電圧の変化を測定した。シリコン系のものはH級として、175°C, 2,160 hr 加熱しても性能に変化なかった。その他のものはB

級を目的として 130°C で加熱したがアミナル系の VGC-D は 78%, VGC-B-(Y) は 52%, VGC-B-(K) は 47% に低下する。VGC-D 及び VGC-B-(Y) は飽和傾向にはいつているので、これ以上低下しないものと思われる。

以上を総括すると、日立ワニスガラスクロスは常態、高温ともに一般性能は、従来のワニスクロスより優秀である。但し作業時の柔軟性を考慮するならば、取扱い温度は 15~20°C が望ましい。加熱による絶縁破壊電圧の変化測定値より、シリコン系はH級として 175°C 連続使用を保証できるが、アミナル系は連続使用としては 130°C, その他のものは 130°C 以下に於て使用すべきである。

終りに臨み実験に協力された藤田、大森両氏に厚く感謝の意を表す。

参 考 文 献

- (1) 井幡：日立評論 26 344 (1943)
- (2) 上島製作所製造、同カタログ
- (3) R.F. Clash and R.M. Berg: Ind. Eng. Chem. 34 1218 (1942)
- (4) R.F. Clash and R.M. Berg: Modern Plastics, 21 119 (1944)
- (5) 近藤：日本ゴム協会誌 23 139 (1950)
- (6) 上島製作所製造、同カタログ
- (7) 日月：電気絶縁ワニス及コンパウンド 150-153 (昭和 23 年)
- (8) AIEE Technical Paper 49-237 (Sept. 1949)