

パルプマイカの二、三の特性

Some Properties of Pulp Mica

曾 根 康 夫*
Yasuo Sone

内 容 梗 概

日立製作所ではサミカあるいはマイカマットに相当する集成マイカ製品を完成し、パルプマイカと称しているが、これらの一連の製品について各種の特性を測定した。その結果、従来のフレックマイカ製品に比べて、厚さ、そのほかの特性が均一で、かつすぐれていることがわかった。パルプマイカテープは柔軟性に富んでいるので、絶縁工作作業がしやすく、すぐれた絶縁ができ、モデルコイル試験の結果でもフレックマイカテープを用いたものより耐熱寿命がながいことがわかった。

1. 緒 言

最近集成マイカと称される新しいマイカ絶縁物がさかんに使用されている。このようなマイカ製品の製造原理はわが国でも大正10年頃にすでに知られており⁽¹⁾、その後もマイカはくとしての応用が研究されていた⁽²⁾。しかし、集成マイカが電気絶縁材料として注目されるようになったのは、1949年フランスの Delle 社が多年の研究結果サミカ (Samica) と称する集成マイカの製造を開始してからである。その後、アメリカの G. E. 社、Mica Insulator 社でも集成マイカの製造を開始し、G. E. 社ではマイカマット (Mica Mat)、Mica Insulator 社ではイソマイカ (Isomica) と称して発売した。

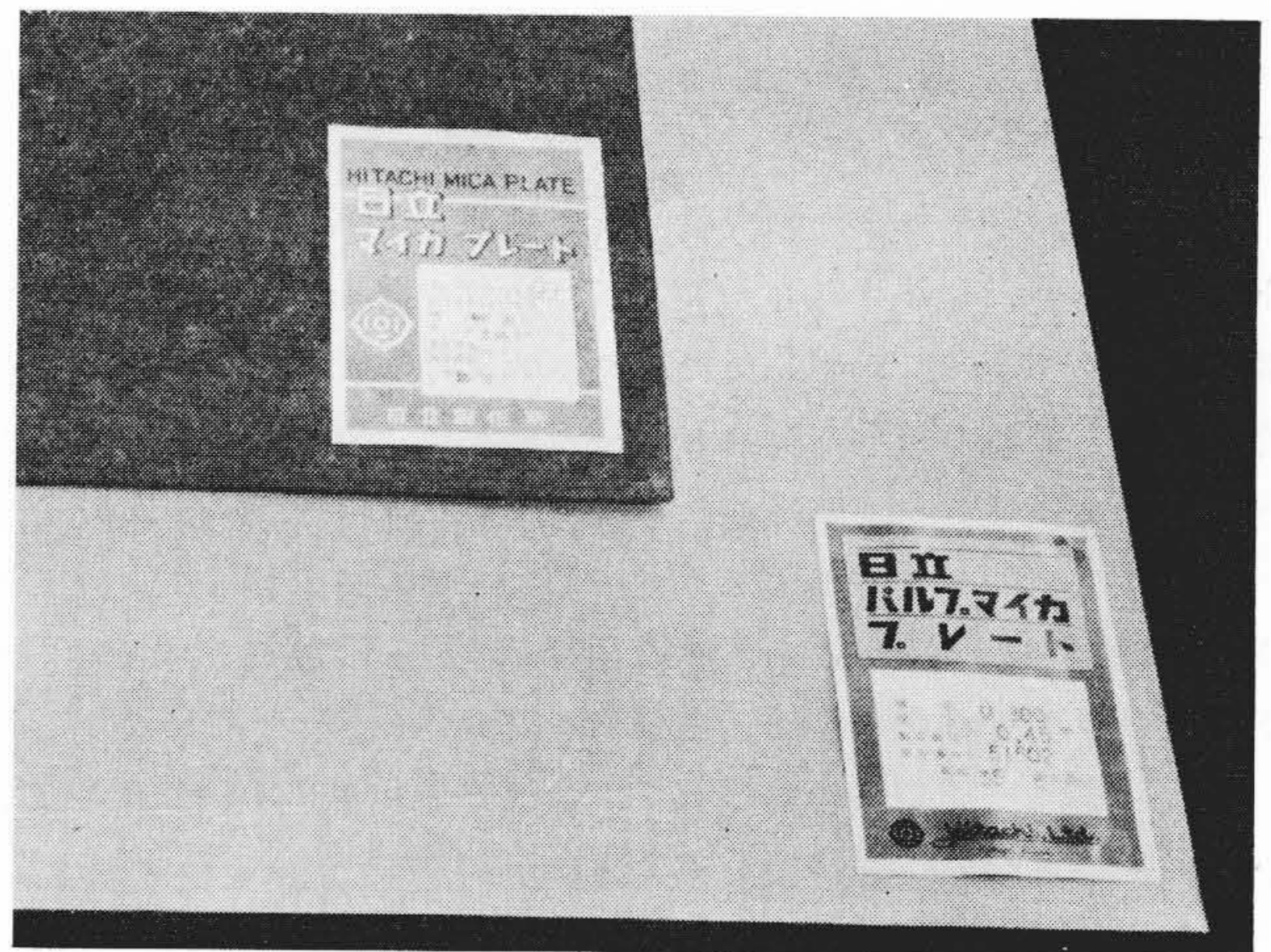
このように集成マイカが各社で製造され、またさかんに利用されるようになったのは、この種製品の厚さ、機械的特性、電気的特性が非常に均一で、柔軟性のすぐれたテープができ、電気工作に使いやすいなど多くの利点があるからである。日立製作所でも集成マイカの製法を研究し、すでに数年前に製造初期の製品の特性の一部を報告した⁽³⁾。その後、製法を改良して、最近一連の製品を完成、これらをパルプマイカ (Pulp Mica) と称している。以下集成マイカ類の製法とパルプマイカの二、三の特性について述べる。

2. 集成マイカ類の製造法

各社の集成マイカの製造法は大体共通しているようであり、いずれも微細な鱗片状マイカ (厚さ $10^{-5} \sim 10^{-3}$ mm, 大きさ 1 mm^2 以下) を液体分散の状態から抄造して集成マイカはくを作り、それに接着剤を含浸して積層板にするか、紙、布などの支持体とはり合わせてシート状絶縁物としている。この製造法を工程別に分類すると

- (1) 原料天然マイカの焼成
- (2) 焼成マイカの粉碎
- (3) 集成マイカはくの抄造
- (4) 積層接着、成形、あるいは支持体とはり合わせ

となる。このうち(3)の工程までは一般のフレックマイカ製品の場合とはまったく異なるものである。すなわち、(1)の工程では原料天然マイカを 800°C 付近の温度で焼成して、マイカの結晶水の一部を逸散させ粉碎しやすいようにする。(2)の工程ではさきに焼成されたマイカを粉碎してパルプ状とするが、粉碎法について多くの特許が提出されている。たとえば、Bardet 氏⁽⁴⁾は 800°C に加熱したマイカを飽和の炭酸ソーダあるいは重炭酸ソーダの水溶液に投入し、冷却後取り出し、ついで稀塩酸中に入れ、マイカ片の中で発生する炭酸ガスの圧力を利用してマイカを薄くはぎ、かきまぜながら細かく粉碎する方法を考案している。ジョルジュ氏⁽⁵⁾⁽⁶⁾は液体中で焼成マイカをかきまぜ粉碎する際、液面を加圧あるいは減圧する方



第1図 フレックマイカ板およびパルプマイカ板の外観の比較

法を、横山氏⁽⁷⁾は焼成マイカに濃硫酸を含浸させ、ついで水中に投入して急激な発熱沸とう作用を利用してマイカを薄くはぎ、ついでかきまぜ粉碎する方法を、また入貝、三宅氏⁽⁸⁾は焼成マイカをモルフオリンの稀薄水溶液に投入し、かきまぜて微細な鱗片に粉碎する方法の特許としている。われわれはこれらとまったく異なる新しい粉碎法を提案し(特許申請中)、きわめて能率よく焼成マイカを抄造に適する状態に粉碎している。(3)の工程ではさきに粉碎した微細な鱗片マイカを機械的に抄造して集成マイカはくとする。サミカの製造では粉碎マイカを水に分散させ、製紙の場合とほぼ同じ方法ではくに加工しているようである。(4)の工程ではさきにえられた集成マイカはくに接着剤を含浸させ、製品の厚さに応じて適当な枚数を重ねて熱圧下に接着して積層板とするか、または集成マイカはくに接着剤を用いて紙、ガラスクロスなどの支持体をはり合わせてシート状の製品とする。

以上述べたように集成マイカ製品はいずれも微細な鱗片マイカから構成されているため、製品の表面には従来のマイカ製品のような大きいマイカ片はみられず、かつ非常に平滑である。一例として第1図に整流子片用フレックマイカプレートとパルプマイカプレートの比較写真を示したが、外観上の相違がよくわかる。

3. 形造用パルプマイカ板 (記号 U 110)

U 110 は主として整流子 V 形絶縁物、絶縁管などの成形に使用するもので、常温では硬質の積層板である。使用されている接着剤は形造に適するよう含有量がやや多く、かつ適度に硬化されている。したがって、 $100 \sim 110^\circ\text{C}$ に加熱すると柔軟となり自由な形に成形することができる。成形後さらに $150 \sim 180^\circ\text{C}$ で完全硬化させると製品

* 日立製作所山崎工場 工博

第1表 形造用パルプマイカ板 U110 の標準特性

記 号	公称厚さ (mm)	許 容 差 (mm)		マイカ 含有量 (%)	絶縁破壊電圧(kV)		巻付性
		厚 さ	平均厚さ		平 均	最 低	
U110-0.25	0.25	±0.06	±0.03	80±5	> 8.0	> 5.5	良好
U110-0.55	0.55	±0.06	±0.03	80±5	>16.0	>13.0	良好
U110-0.8	0.8	±0.06	±0.03	80±5	>23.0	>18.0	良好
U110-1.0	1.0	±0.06	±0.03	80±5	>25.0	>20.0	良好

第2表 形造用パルプマイカ板 (U-110) と
マイカ板 (MP11-0.55) の特性の比較

試料記号	厚 さ (mm)			マイカ 含有量 (%)	絶縁破壊電圧 (kV)		密 度 (g/cm ³)	120°C 巻付性
	最大	最小	平均		平均	最低		
パルプマイカ板 U110-0.25	0.270	0.225	0.251	81	19.3	14.2	1.96	良好
パルプマイカ板 U110-0.55	0.580	0.545	0.565	79	32	30	2.00	良好
フレックマイカ板 MP11-0.55	0.650	0.450	0.48~ 0.62	80~90	>14	>11	—	良好
イソマイカ板 0.50	0.481	0.466	0.471	78	>30	—	1.96	良好

第3表 整流子片パルプマイカ板 U 300 の標準特性

記 号	公称厚さ (mm)	許容差(mm)		密 度 (g/cm ³)	圧 縮 率 (%)		マイカ 含有量 (%)	絶縁破壊電圧 (kV)	
		厚 さ	平均厚さ		常温	加熱		平均	最低
U300-0.4	0.4	±0.03	±0.015	>2.2	<5	<3	>90	>10.0	> 8.0
U300-0.55	0.55	±0.03	±0.015	>2.2	<5	<3	>90	>12.0	>10.0
U300-0.85	0.85	±0.03	±0.015	>2.3	<4	<2.5	>90	>15.0	>12.0
U300-1.1	1.1	±0.04	±0.02	>2.3	<4	<2.5	>90	>18.0	>15.0

サイズ: 455×910 mm

第4表 整流子片用パルプマイカ板および
フレックマイカ板の特性測定例

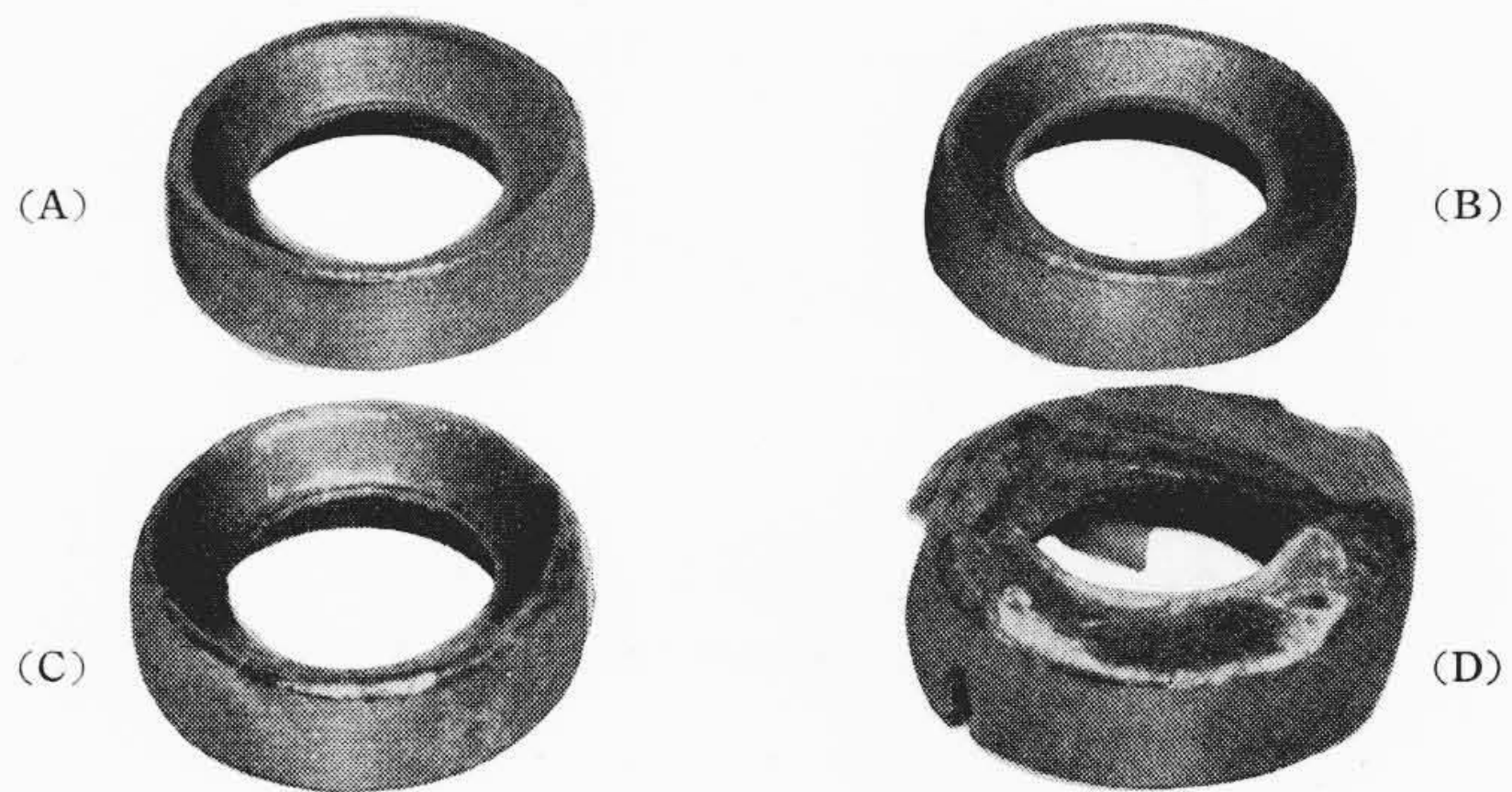
試料記号	厚 さ (mm)			マイカ 含有率 (%)	密 度 (g/cm ³)	硬 度 (シ ア ー)	圧縮率 (%)		絶縁破壊電圧 (kV)	
	最大	最小	平均				常温	加熱	最低	平均
パルプマイカ板 U300-0.55	0.565	0.525	0.545	92.1	2.33	21.2	2.7	1.6	>30	34
パルプマイカ板 U300-0.85	0.855	0.820	0.857	92.6	2.41	24.0	2.7	1.6	>40	>40
フレックマイカ板 MP30-0.85	0.585	0.520	0.568	98.3	2.61	19.0	5.3	2.1	20.2	21.0
フレックマイカ板 MP30-0.85	0.890	0.810	0.851	98.2	2.60	18.3	5.2	1.6	27.0	29.6
イソマイカ板 0.80	0.835	0.775	0.794	90.4	2.37	22.1	2.9	—	>35	—

の機械特性、電気特性などが向上する。

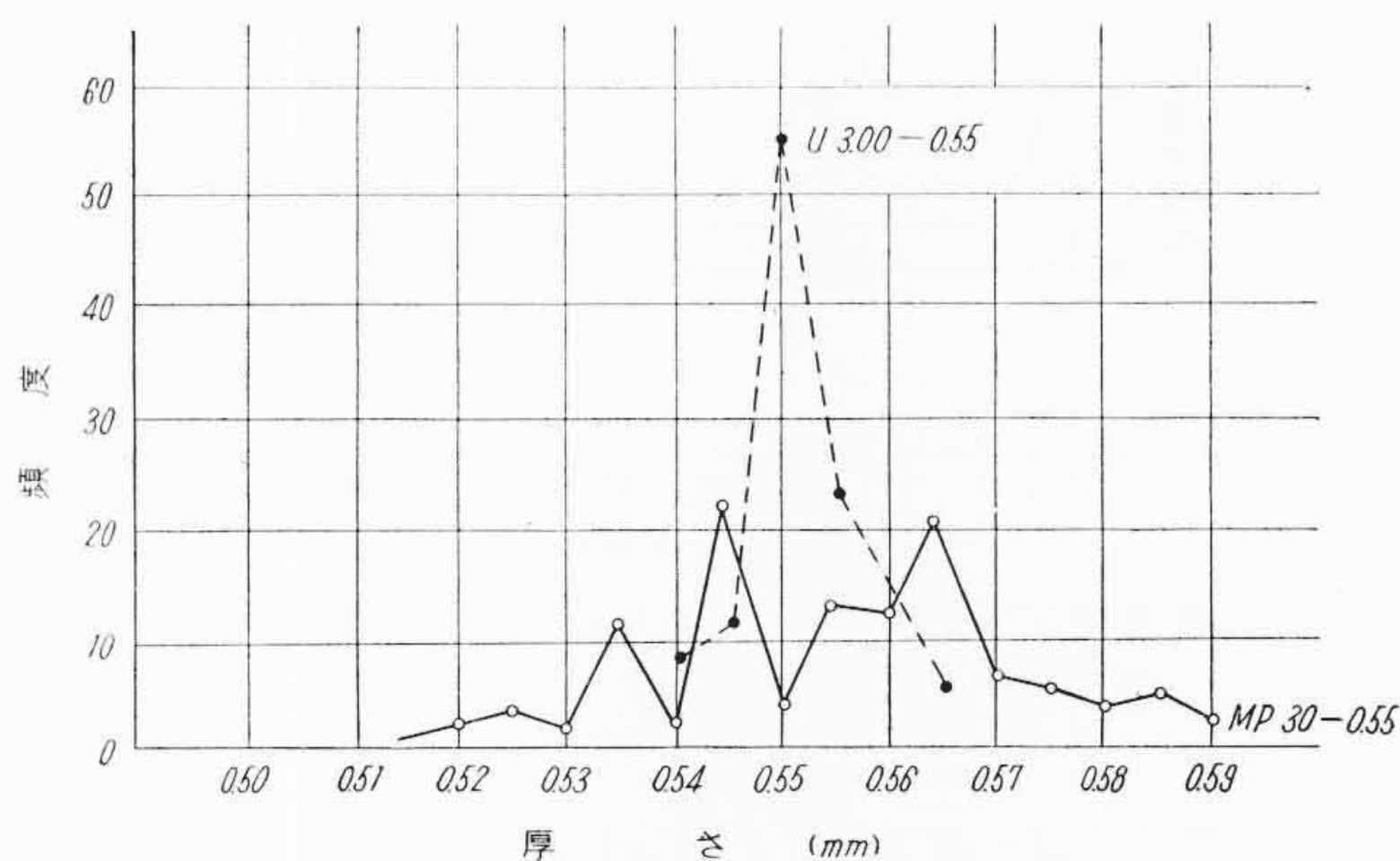
3.1 U 110 の一般特性

U 110 の一般特性試験法は JIS-C-2116「マイカ製品の試験方法」に準じた。

第1表にU 110 の厚さの異なる各種製品の標準特性を示す。第2表にはU 110 の公称厚さ 0.25, 0.55 のものおよび比較のため公称厚さ 0.55の形造用フレックマイカ板の特性測定値の一例を示す。第2表からわかるように、パルプマイカ板では公称値に対する厚さのばらつきは±0.03mm 以内であるが、フレックマイカ板では±0.10mm であり、パルプマイカ板は厚さの精度が非常に高いことがわかる。また、第2表の巻き付け性は、120°Cにおいて、0.55品は 25mmφ マンドレル、0.25品は 12mmφ マンドレルに巻付けた結果であるが、いずれも異常がなかった。また、パルプマイカ板では、マイカ片が非常に微細で、かつ接着剤も耐湿性がすぐれているので、パルプマイカ成形品は比較的湿度の高いところに保存しても、接着剤の吸湿劣化、マイカ片のそりなどによる形くずれは非常に起りにくい。第2図はパルプマイカ板およびフレックマイカ板から作った整流子V形絶縁物を、40°C、90%相対湿度の定湿槽のなかに1週間保存した場合の外形変化の比較写真であるが、パルプマイカ製品は吸



(A) パルプマイカ成形品吸湿劣化前
(B) パルプマイカ成形品吸湿劣化後
(C) フレックマイカ成形品吸湿劣化前
(D) フレックマイカ成形品吸湿劣化後
吸湿劣化条件はいつでも
40°C、90%RH 1週間

第2図 パルプマイカおよびフレックマイカ成形品の
吸湿による形くずれの比較

第3図 厚さのバラツキの比較

湿による形くずれがまったく起こらないことがわかる。

4. 整流子片用パルプマイカ板 (記号 U 300)

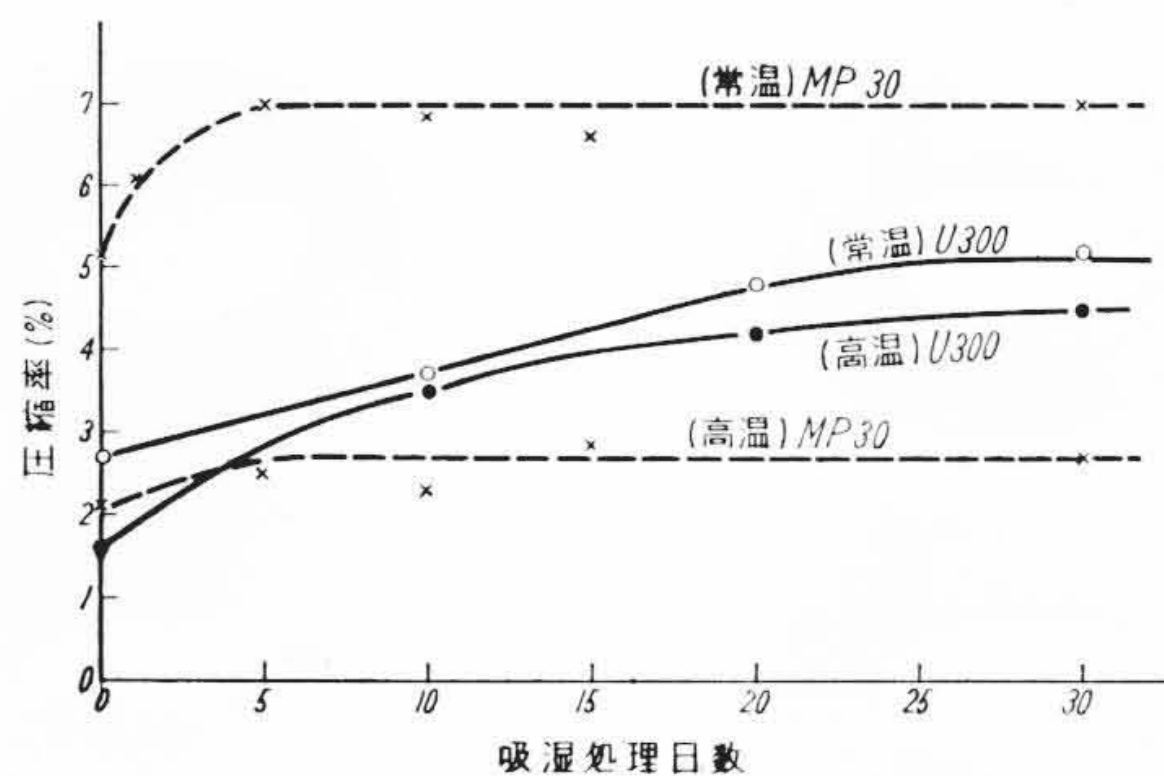
U 300 は整流子セグメント絶縁、フィールドコイルセパレータ、ワッシャなどに使用するパルプマイカ積層板である。このものの外観を第1図に写真で示す。U 300 はU 110 に比べ接着剤の含有率がはるかに少なく、かつ完全に硬化されているのが特色である。したがってU 300 は整流子組立作業中、高度に加熱および加圧しても接着剤が浸出しない。

4.1 U 300 の一般特性

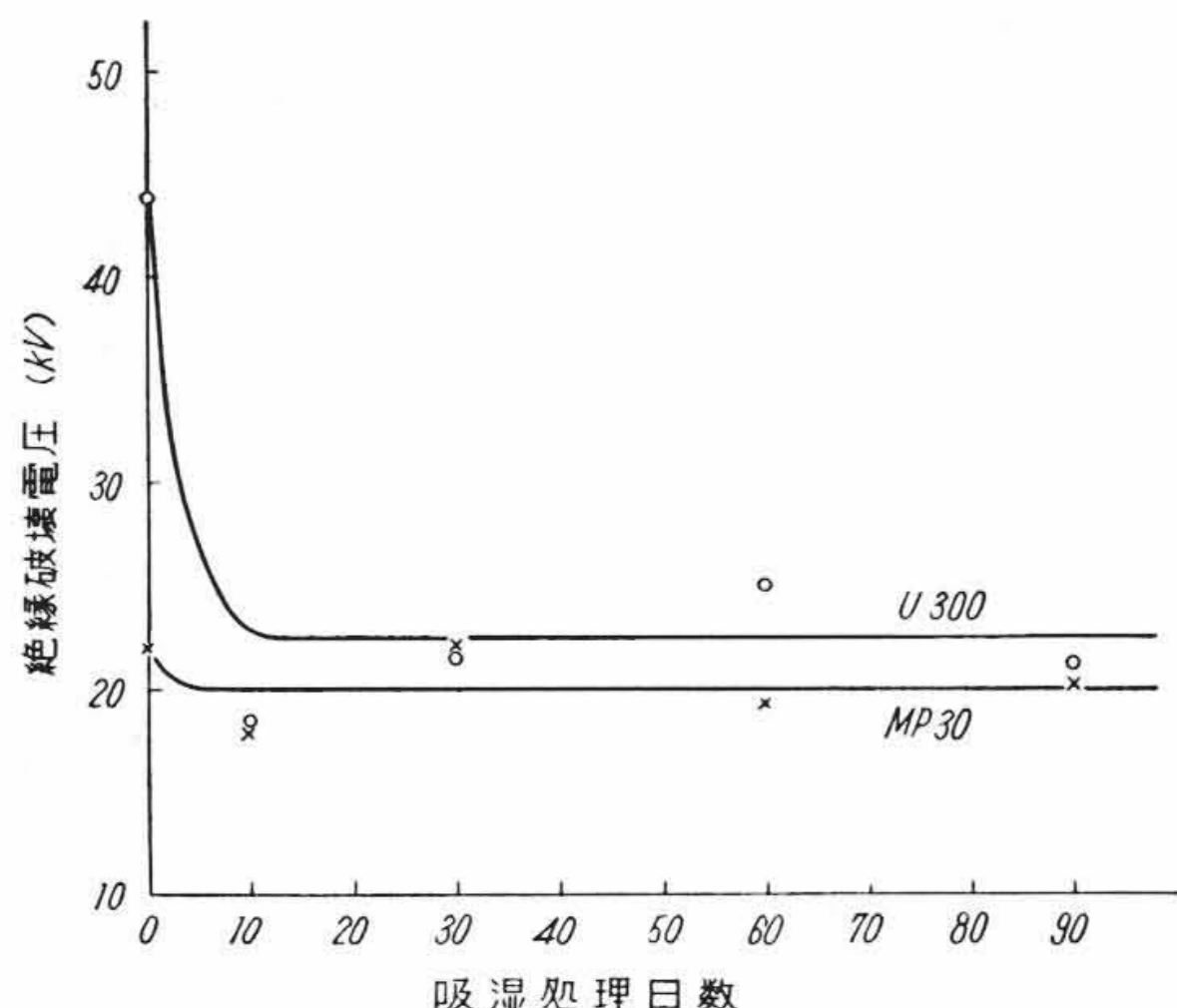
U 300 の一般特性試験法は JIS-C-2116「マイカ製品の試験方法」に準じた。

第3表に厚さの異なる製品の標準特性を示す。第4表にはU 300 および比較のために整流子片用フレックマイカ板 MP 30 について一般特性を測定した結果を示す。第4表に示したU300-0.55 の厚さの範囲は公称値に対して±0.025 mm, またU300-0.85では±0.03mm 以内である。これに対し、MP 30-0.55 では±0.035 mm, MP 30-0.85 では±0.08 mm 以内であり、パルプマイカ板のほうが厚さの精度がかなり高いことがわかる。また、厚さの分布をみるために、公称厚さ 0.55 mm のU 300 および MP 30 のセグメントそれぞれ 100 個について厚さを測定し、厚さと個数(ひん度)との関係を示す第3図であきらかなように、パルプマイカのひん度曲線は公称厚さを中心にして非常にシャープな分布を示し、厚さのばらつきはフレックマイカよりも著しく少ないことがわかる。

圧縮率は常温および高温ともパルプマイカ板のほうがフレックマイカ板より小さいが、これは積層板製造時フレックマイカの場合よりもはるかに高圧で接着されているからである。また、絶縁破壊電



第 4 図 圧縮率と吸湿との関係



第 5 図 U300 および MP30 の絶縁破壊電圧と吸湿処理日数との関係

圧も同じ厚さではパルプマイカ板のほうがフレークマイカ板よりもはるかに高い。

4.2 U300 の吸湿特性

パルプマイカは微細な鱗片マイカから構成されているため、吸湿による特性の劣化が大きいのではないかと考えられる。この点を検討するため、U300-0.55 および比較のため MP30-0.55 についてきびしい条件で吸湿による諸特性の変化を測定した。

4.2.1 圧縮率の吸湿による変化

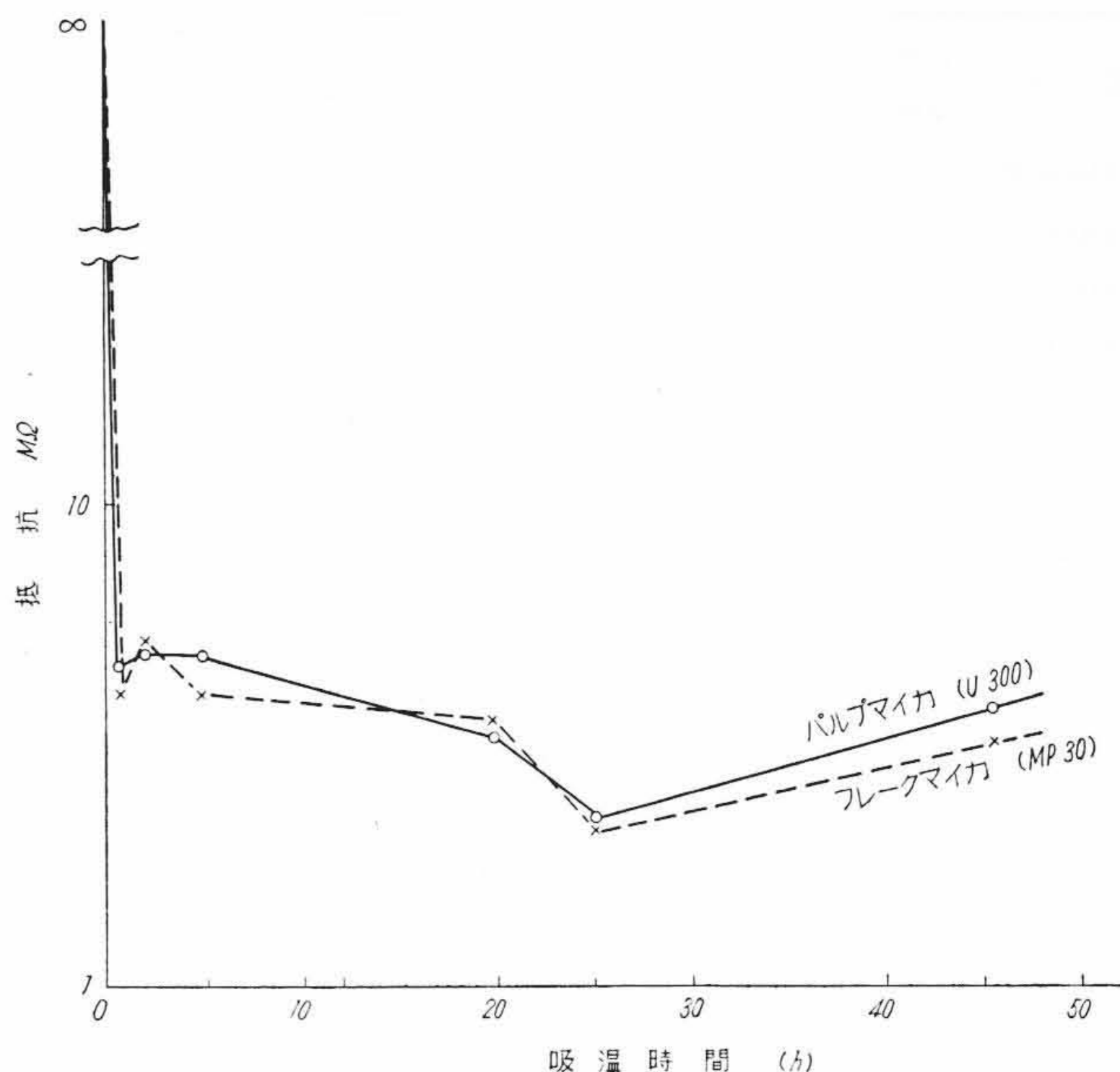
試験の方法は、45×45mm の大きさの試験片を40℃、90%相対湿度の定湿槽のなかに入れ、一定期間ごとにとりだして JIS の方法にしたがって、200 kg/cm² の圧力で常温および加熱 (200℃) の場合について圧縮率を測定した。これらの結果を第 4 図に示す。第 4 図 からわかるように、パルプマイカ板の圧縮率は常温および高温とも吸湿によって増加するが、常温圧縮率は吸湿処理30日後でもフレークマイカ板よりも小さい。また、高温圧縮率も吸湿によってフレークマイカ板よりも大きい、実際の保管ではこのようなきつい条件にさらされないので実用上支障ないものと思う。また、高温圧縮率測定時、フレークマイカ板の吸湿物にみられるような接着剤のシミだしは起らなかった。

4.2.2 絶縁破壊電圧の吸湿による変化

試験の方法は、試料を40℃、90%相対湿度の定湿槽のなかに入れ、一定期間ごとに取り出して直径 1 インチの平板電極を用い、電極間圧力を 500 g にして、25℃の絶縁油中で絶縁破壊電圧を測定した。その結果を第 5 図に示す。第 5 図からわかるように、パルプマイカ板は吸湿初期に絶縁破壊電圧は著しく低下するが、10 日後には一定となり 20 kV 以下には低下せず、吸湿してもフレークマイカ板と大体同程度の絶縁耐力があることがわかる。

4.2.3 絶縁抵抗の吸湿による変化

パルプマイカ板の絶縁抵抗もまた吸湿によって低下することが予想されるのでこの点を検討した。



第 6 図 U300 および MP30 を用いた整流子のセグメント間抵抗と吸湿処理時間との関係

実験は U300 および比較のため MP30 を用いてモデル整流子 (セグメント数 39 個、直径 47 mm) を組み立て、吸湿条件を変えてセグメント間の絶縁抵抗を 500V メガーを用いて測定した。第 6 図は整流子を40℃、90%相対湿度の定湿槽に入れた場合の抵抗と吸湿処理時間との関係を示す。第 6 図から抵抗は U300 および MP30 とも吸湿直後に急激に低下するが、両者の間にほとんど差がないことがわかる。つぎに脱湿特性をみるために、それぞれの整流子を40℃、90%相対湿度で48時間吸湿後、70%相対湿度の空気中に取り出して、ただちに抵抗を測定したが、約30秒後にはいずれの整流子についてもセグメント間抵抗は 100MΩ となった。これらの結果から、セグメント間の抵抗は外気の湿度に敏感で、主として表面抵抗に左右されることがわかる。第 7 図はそれぞれの整流子を相対湿度の異なる定湿槽に入れ、2 時間後にセグメント間の抵抗を DC-100V、直偏法で測定した結果である。第 7 図 からいずれの整流子も高湿度になるほど抵抗は低下するが、その程度は U300 と MP30 とでは差がないことがわかる。

4.3 U300 のすべり特性

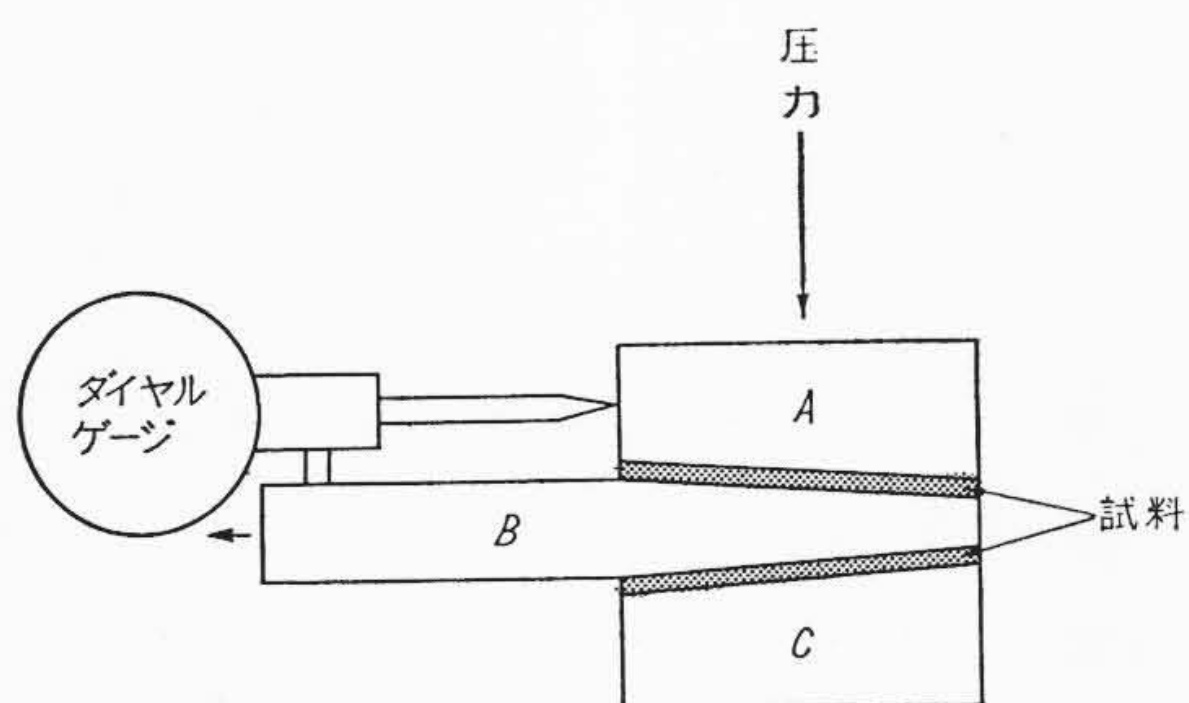
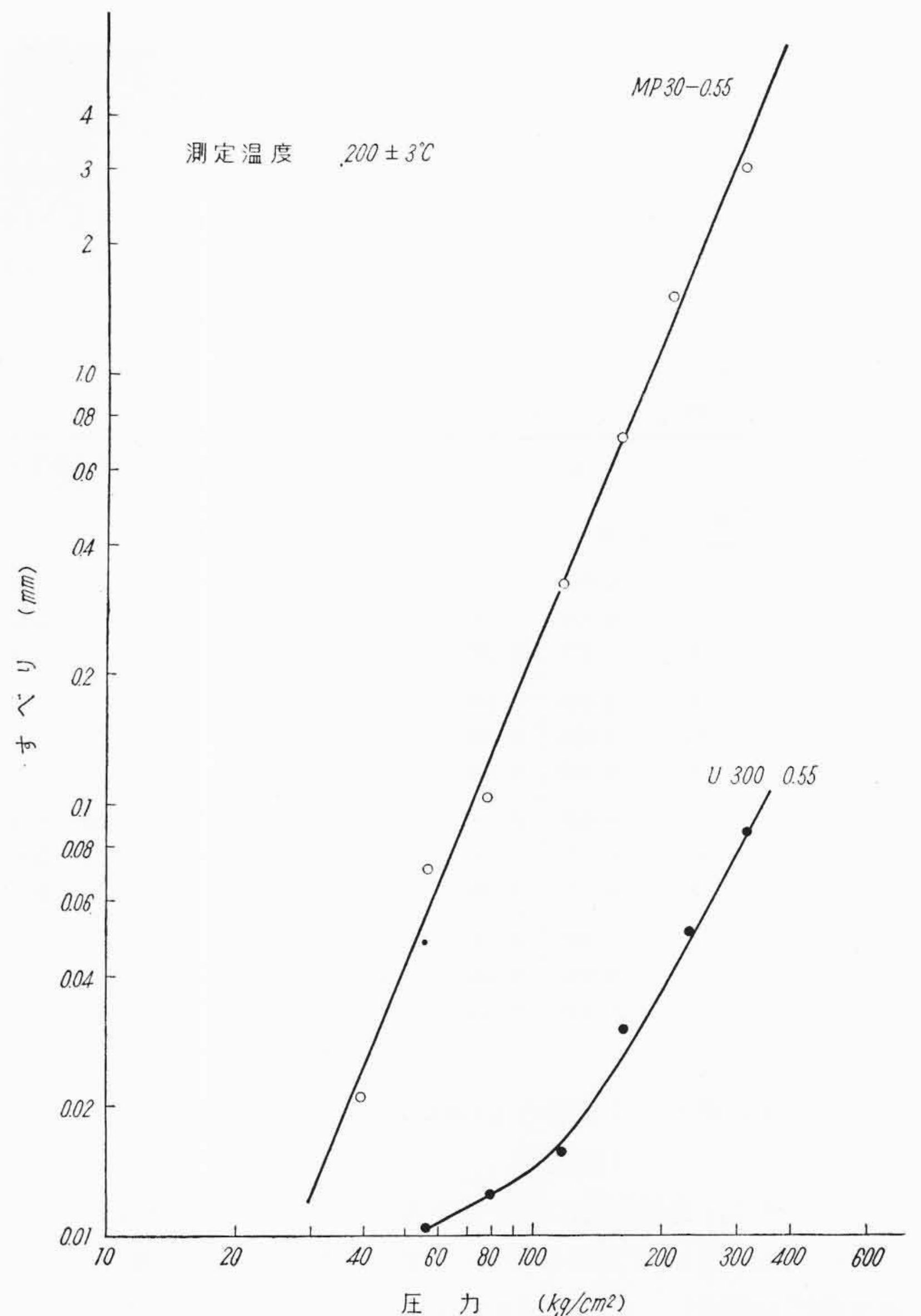
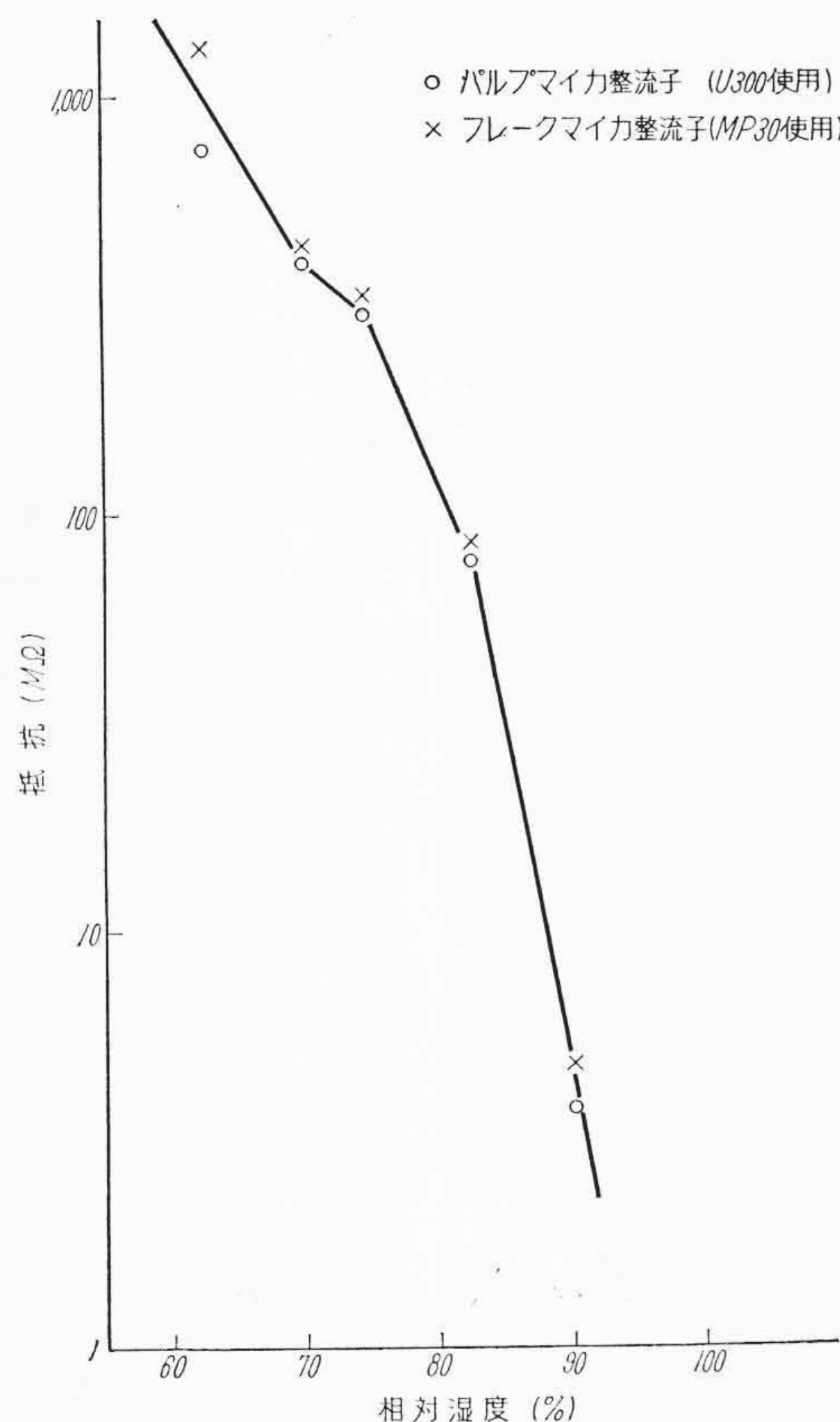
整流子片用パルプマイカ板はフレークマイカ板に比べると接着剤含有率が大きいので、高温下ではすべりやすいのではないかと考えられるので、この点を検討した。

4.3.1 U300 の高温下のすべり特性

すべり性の測定法は ASTM-D 352-56T を改良した方法で行ったが、その測定機の作動機構を第 8 図に示す。A, B, C はいずれも 3 度の傾斜をもつ熱盤である。A, B, C をあらかじめ 200±3℃に加熱しておき、試料をすばやく A, B 間および B, C 間に 1 枚ずつそう入し、5 kg/cm² の圧力で 1 分間加圧する。ついでダイヤルゲージの 0 点を合わせ、5 秒以内に所定の圧力を加え、30 秒後のすべりを読み取った。実験は U300-0.55 および比較のため MP30-0.55 について行った。実験結果を第 9 図に示すが、U300 のほうが MP30 よりもすべり開始圧力が高く、かつ同じ圧力でも U300 のほうがすべりはるかに少なく、熱圧に対して安定であることがわかる。

5. 紙パルプマイカ (記号 U740, U840)

紙パルプマイカは合成樹脂接着剤を用いて、集成マイカはくに支



持体として良質の日本紙をはり合わせたもので、テーピングに適した柔軟な製品である。紙パルプマイカには、集成マイカはくの両側に紙をはり合わせた両紙パルプマイカ（U740）と片側のみに紙をはり合わせた片紙パルプマイカ（U840）の2種類がある。

5.1 U 740, U 840 の一般特性

U740, U840 の一般特性は柔軟性以外はすべて JIS-C-2116 に準じ、柔軟性は国鉄規格 SA-333 に準じて試験した。

第5表は厚さの種々異なる紙パルプマイカの標準特性、第6表には一般特性試験結果の一例を示す。第6表から、紙パルプマイカはいずれの公称厚さのものについても、厚さの範囲は公称値に対して $\pm 0.03\text{ mm}$ 以内であって、非常に均一であることがわかる。また、柔軟性もすぐれており、絶縁破壊電圧も最小値と平均値の差が少なく、かつすぐれた値で、電気特性も均一であることがわかる。

6. ガラスパルプマイカ（記号 GU-F, GU-H）

ガラスパルプマイカは、さきに述べた片紙パルプマイカの紙のかわりに、電気用無アルカリガラスクロスを集成マイカはくにはり合わせたものである。したがって、耐熱性のすぐれた接着剤を使用すれば、F種あるいはH種のガラスパルプマイカができるわけである。現在標準品としてF種のサーモキッド系接着剤を使用したガラ

第 7 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 (%)	引張荷重 (kg) (縦方向 15mmにつき)	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-※□-0.10	0.10	±0.04	±0.02	>40	>7	>1.5	>0.7
	GU-□-0.13	0.13	±0.04	±0.02	>45	>8	>2.5	>1.0
	GU-□-0.18	0.18	±0.04	±0.02	>50	>9	>3.5	>1.5

サイズ： 455×910mm ※ 耐熱区分により F, H を標示する。

第 8 表 ガラスパルプマイカおよびガラスマイカの
特性測定値の一例

種 類	項 目 公称厚さ (mm)	厚 さ (mm)			マイカ 含有率 (%)	引張り 強さ (kg) 幅 15mm	柔軟性 (cm)	絶縁破壊電圧 (kV)	
		最小	最大	平均				最小	平均
ガラスパ ルプマイ カ GU-F	0.10	0.090	0.110	0.115	42.3	12.2	11.5	2.1	3.4
	0.13	0.120	0.150	0.135	52.7	13.9	12.7	4.0	5.5
	0.18	0.175	0.205	0.183	55.4	15.1	12.8	5.2	8.5
ガラスマイ カ GM-F	0.10	0.080	0.140	0.104	39.7	11.9	—	1.0	2.6
	0.13	0.090	0.205	0.143	48.9	12.8	—	3.1	4.3
	0.18	0.120	0.235	0.161	53.5	11.9	—	5.1	6.1
ガラスパ ルプマイ カ GU-H	0.10	0.085	0.105	0.096	41.1	8.4	7.2	0.8	2.0
	0.13	0.120	0.150	0.136	50.9	7.8	7.6	3.1	3.6
	0.18	0.175	0.195	0.183	54.4	10.5	8.7	4.6	5.2
ガラスマイ カ GM-H	0.10	0.085	0.150	0.105	42.9	10.4	—	1.2	2.4
	0.13	0.090	0.230	0.146	56.4	12.9	—	3.4	4.3
	0.18	0.130	0.225	0.164	55.7	12.8	—	3.6	5.1

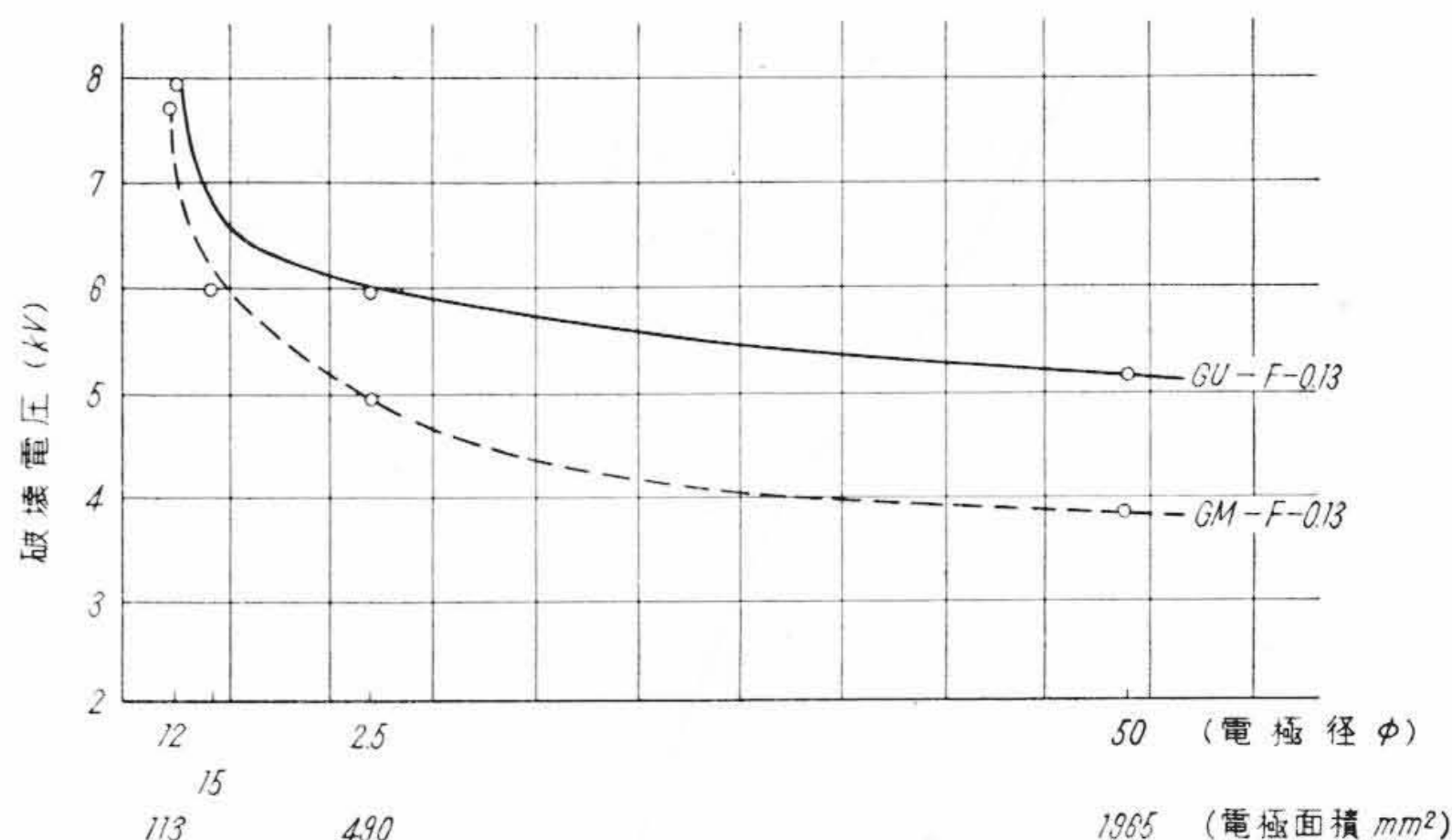
イカの絶縁破壊電圧はF種のものはガラスマイカよりも高く、H種ではほぼガラスマイカ程度あって、いずれもすぐれていることがわかる。つぎに、絶縁耐力の均一性をみるために、GU-F0.13および比較のためにGM-F0.13について、電極面積をいろいろ変えて絶縁破壊電圧を測定し、その結果を第10図に示す。図からGU-Fの絶縁破壊電圧は、電極面積が大きくなってもGM-Fの場合よりも低下率が少なく、絶縁性はより均一であることがわかる。

7. パルプマイカおよびフレークマイカを用いたモデルコイルの寿命試験

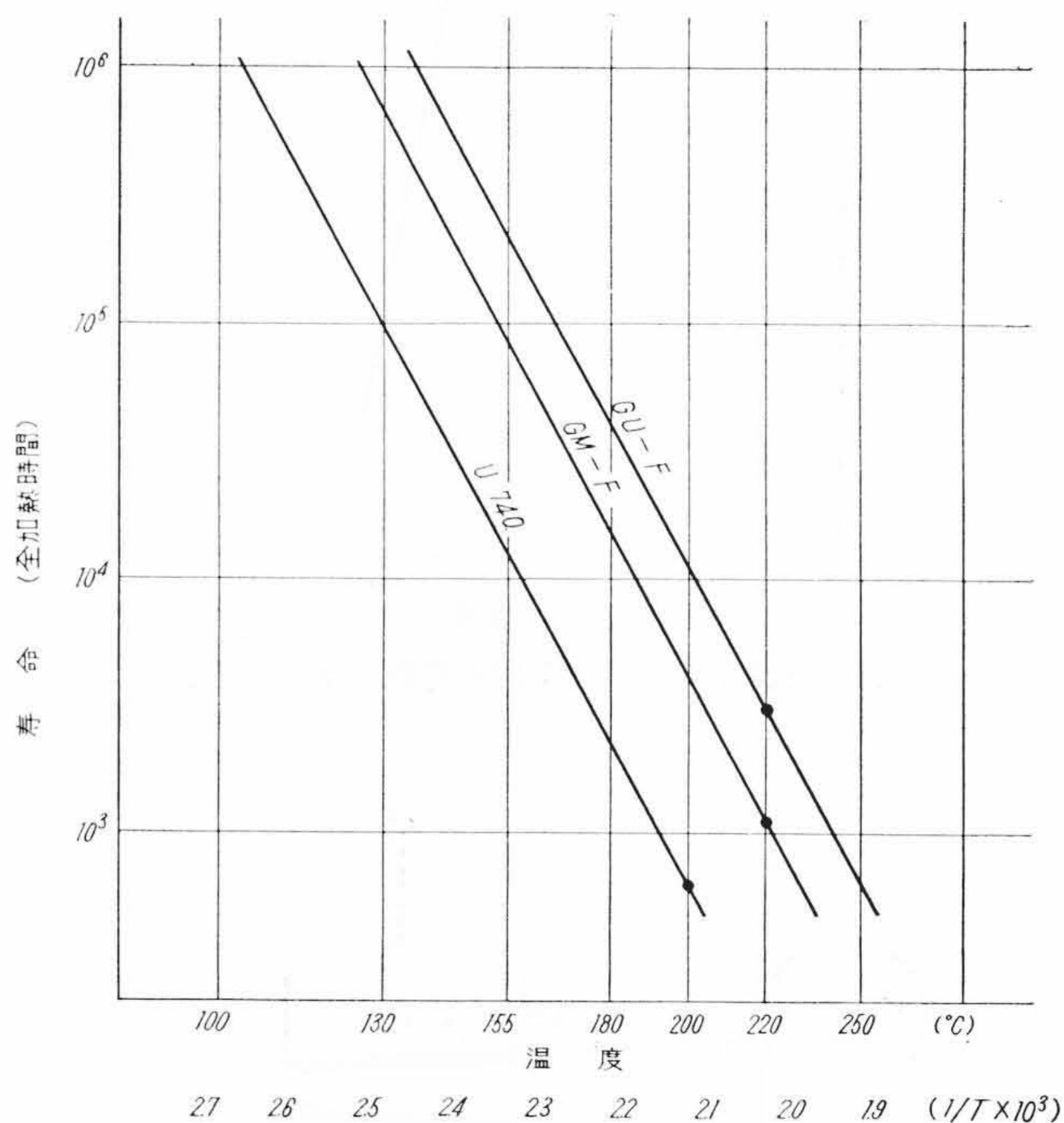
パルプマイカテープおよびフレークマイカテープを用いてモデルコイルを作成し、加熱、振動を繰り返して劣化させ、それぞれの耐熱寿命を測定した。これについては別に詳報される予定であるが、つぎにその大要を記す。

パルプマイカモデルコイルはU 740 および GU-F を用いて2種類作成した。また比較のため GM-F を用いてもモデルコイルを作成した。これらのモデルコイルはいずれもF種接着ワニスおよびF種コイル含浸ワニスで処理した。モデルコイルの劣化条件は GU-F, GM-F を用いたものは 220℃で、また U 740 を用いたものは 200℃でそれぞれ47時間加熱し、加熱直後に室温で1時間振動を加えるサイクルを繰り返えし、絶縁破壊電圧が初期の62%まで低下するまで継続した。振動条件は2,500 c/s、振幅は2 mm、加速度は7 gである。また、絶縁破壊電圧は振動後に測定した。

これらの結果を第11図に示す。第11図のGU-F, GM-Fの220℃におけるプロットおよびU740の200℃におけるプロットは前記の方法によって求めた全加熱時間である。またこれらプロットを通過する直線のこう配は、コイル含浸ワニスの乾燥皮膜の加熱減量を160, 180, 200℃で測定し、加熱減量と温度との関係直線のこう配から求めたものである。第11図からモデルコイルの耐熱寿命は、紙パルプマイカを用いたものより、ガラスパルプマイカを用いたもののほうが長く、またガラスクロスを支持体とするものでは、パルプマイカのほうがフレークマイカよりすぐれていることがわかった。このような激しい振動を伴う高温劣化条件にもかかわらずパルプマイカ絶縁がすぐれた耐熱寿命を示すのは興味あることである。



第 10 図 ガラスパルプマイカおよびガラスマイカの
絶縁破壊電圧と電極面積との関係



第 11 図 パルプマイカおよびフレークマイカを用いた
モデルコイルの寿命と温度との関係

8. 結 言

各種のパルプマイカ製品について諸特性を測定し、従来のフレークマイカ製品と比較検討した。その結果パルプマイカ製品はフレークマイカ製品よりも厚さ、ならびに特性が均一で、かつすぐれていることがわかった。またパルプマイカは微細な鱗片状マイカを接着剤により加工したので、はげしい振動の掛る機器の絶縁には不適當と考えられがちであるが、モデルコイル実験の結果、フレークマイカ絶縁のものよりかえってすぐれた結果がえられた。したがって今後パルプマイカのいっそう広い応用分野が期待される。

終りに、いろいろご指導いただいた日立製作所山崎工場古賀弥博士、貴重な資料を提供くださった小川哲郎氏、渡辺康男氏、田島基文氏に厚くお礼申しあげる。

参 考 文 献

- (1) 佐藤定吉：日本特許 39322 号 大正 10 年 7 月
- (2) 加藤虎一：日本特許 173128 号 昭和 21 年 7 月
- (3) 水野敏行、小川哲郎、田島基文：日立評論 38, 471 (昭 31-3)
- (4) J. J. Bardet：米国特許 2549880 号 昭和 26 年 4 月
- (5) アンリー・ジョルジュ：特許公報 昭 28-4065 号
- (6) アンリー・ジョルジュ：特許公報 昭 28-4066 号
- (7) 横山秀：特許公報 昭 33-766 号
- (8) 入貝信一、三宅精三：特許公報 昭 33-3016 号