

気中放置による合成樹脂積層板の沿層絶縁抵抗

Insulation Resistance of Synthetic Resin Laminated Sheets Exposed to Air for Long Period of Time

松井千里* 山方建雄*
Chisato Matsui Takeo Yamagata

内 容 梗 概

前報⁽¹⁾でフェノール樹脂積層板の沿層絶縁抵抗が体積抵抗と表面抵抗との並列合成抵抗で類推されること、および空気中に積層板を1年間放置して沿層絶縁抵抗の変動を調査した結果、季節によって周期的な変化を呈することを述べ、積層板の表面抵抗の影響を論じた。

本報は引き続き各種合成樹脂積層板を5年間室内空気中に放置した場合の沿層絶縁抵抗測定結果より沿層絶縁抵抗は測定時の気象条件によって左右されること、および積層板の品質によって経日変化の傾向も異なることを述べる。また銅箔接着フェノール樹脂積層板の絶縁抵抗実験より沿層抵抗と表面抵抗、体積抵抗との関係を再検討した結果、沿層抵抗率を表面抵抗率と体積抵抗率の並列合成抵抗として計算することの可能性を述べる。

1. 緒 言

さきに松井、山方⁽¹⁾はフェノール樹脂積層板の沿層絶縁抵抗(以後沿層抵抗と略記する)について検討し、沿層抵抗が表面抵抗と体積抵抗によって影響されることを述べ、沿層抵抗率の計算法を報告した。また積層板を空気中に放置すると周囲の温度、湿度によって沿層抵抗が著しく変動し、JIS 規定の PL-111 相当品質の積層板を1年間室内に放置した場合、沿層抵抗の変動範囲が $10^2 M\Omega$ に達することを報告している。筆者らはこのような実験をもととして、その後引き続き各種積層板試験片を室内空気中に放置して、昭和29年3月より昭和34年3月までの5年間にわたり適時沿層抵抗の変動を測定してきた。その結果、積層板の品質によっては沿層抵抗の変動状態および数値範囲が著しく異なることが明らかになったので今回はこれらの試験結果を述べる。またこれとともに銅箔接着フェノール樹脂積層板について行った絶縁抵抗試験法、特に沿層抵抗と表面抵抗、体積抵抗との関係とについて二、三の知見を得たので、報告する。

2. 沿層抵抗の経日変化

第1表記載の各種試料より、第1図に示す試験片⁽²⁾を作製し、木造建屋内に気中放置して第2~11図に併記してある時日に、沿層抵抗⁽²⁾を測定した。測定は昭和31年3月までは常温常湿の気中で行い、それ以後は室温、湿度を調整した特定の測定室内(以後空調室と略記する)で行うようにし、それぞれの結果を第2~11図に示した。

2.1 紙基材フェノール樹脂積層板

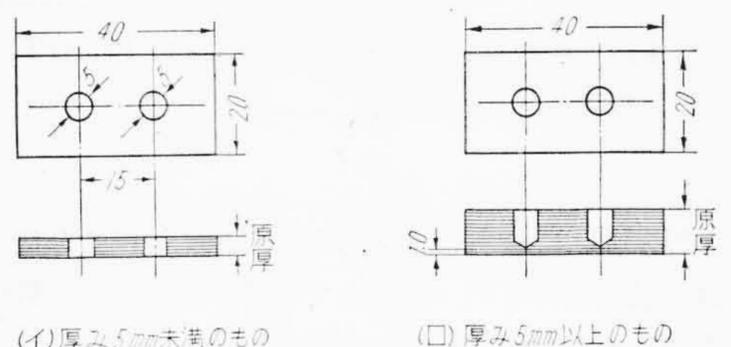
第2~4図に示すように、常温常湿の室内で測定した場合の沿層抵抗は季節によって著しく変動するが、空調室内で測定した沿層抵抗は比較的変動が少ないよう

* 日立製作所多賀工場

第1表 試料の説明

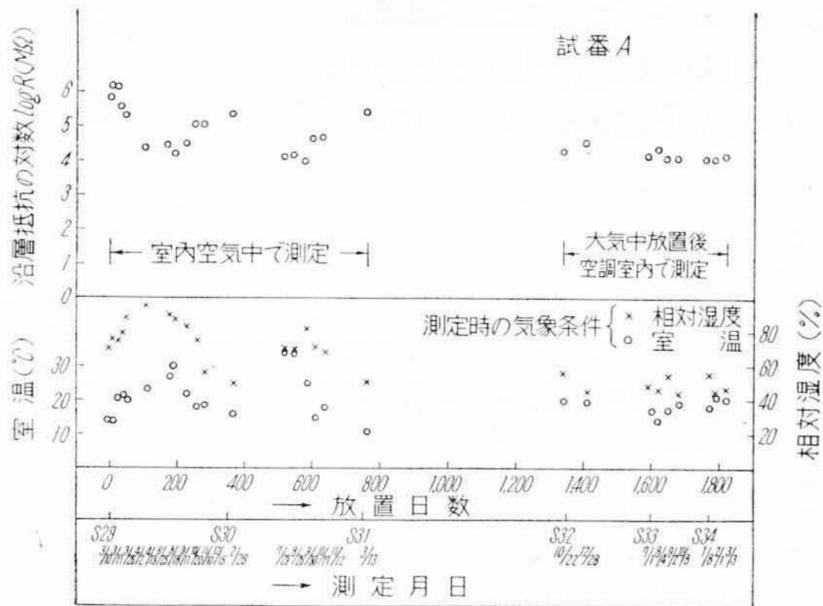
試番	厚さ (mm)	結合剤	基 材	J I S : K 6706 該当記号(a)	米国軍用規格該当記号(b)	特 性
A	6.5	フェノール樹脂	紙	PL-111	PBE (3115B)	耐湿高級絶縁用
B	10.5	フェノール樹脂	紙	PL-112	—	一般絶縁用
C	2.3	フェノール樹脂	紙	PL-11T	—	加熱打抜加工性 一般絶縁用
D	2.8	フェノール樹脂	細糸布	PL-131	FBE (15035B)	機械加工性 高級絶縁用
E	8.0	フェノール樹脂	太糸布	PL-222	FBM (15035B)	耐衝撃性 機 械 用
F	12.0	メラミン樹脂	細糸布	—	—	耐電弧性 高級絶縁用
G	6.0	フェノール樹脂	ガラス布	—	—	耐熱性高強度 一般絶縁用
H	6.0	シリコン樹脂	ガラス布	—	GSG (997B)	高耐熱性 高周波低損失 耐湿高級絶縁用
I	2.0	フェノール樹脂	ナイロン布	—	NPG (15047B)	耐湿最高級 絶 縁 用
J	2.0	フェノール樹脂	ナイロン布	—	—	耐湿最高級 絶 縁 用

注：(a)……J I S : K 6706 (1952) フェノール樹脂積層板の種別、等級を示す記号である。
(b)……Military Specification
M I L - P : 3115B, 15035B, 997B, 15047B の記号である。

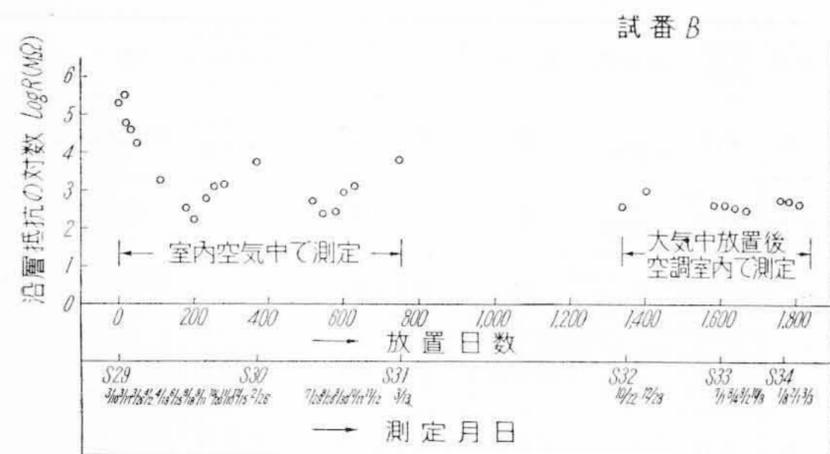


第1図 沿層絶縁抵抗試験片

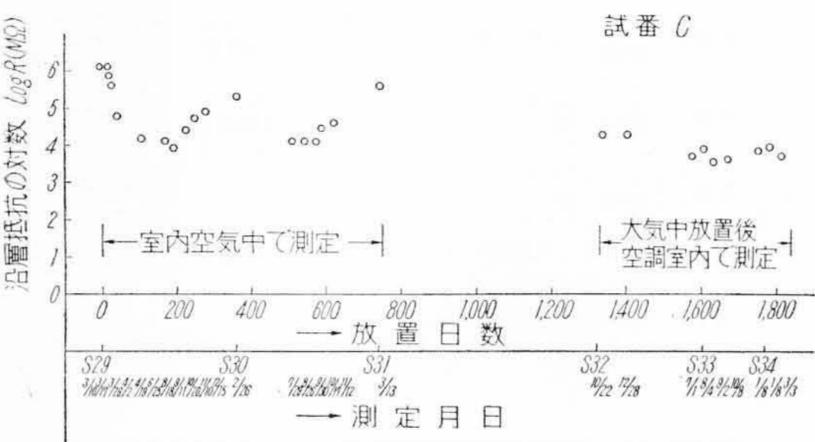
である。特に、PL-112 に該当する試番Bは沿層抵抗の変動範囲がきわめて大きく、また低下の傾向が著



第2図 紙基材フェノール樹脂積層板 (PL-111) の沿層抵抗測定結果



第3図 紙基材フェノール樹脂積層板 (PL-112) の沿層抵抗測定結果



第4図 紙基材フェノール樹脂積層板 (PL-11T) の沿層抵抗測定結果

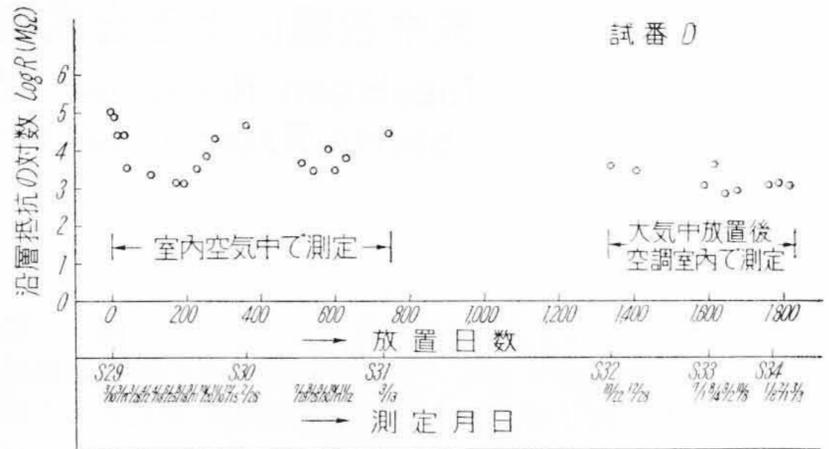
しい。

PL-111 に該当する試番Aは割合に規則的な低下傾向を示しているが、現在までの5年間における数値の変動は $10^2 M\Omega$ 程度である。

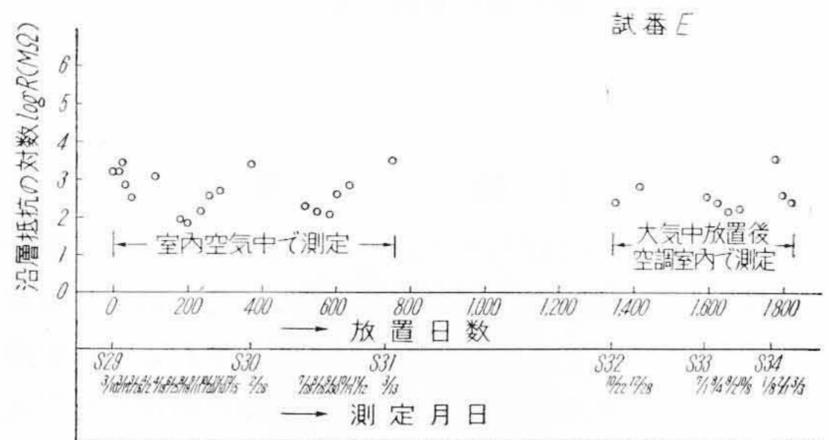
加熱打抜加工用の試番Cは PL-111 と PL-112 の中間的な特性を示している。

2.2 布基材積層板

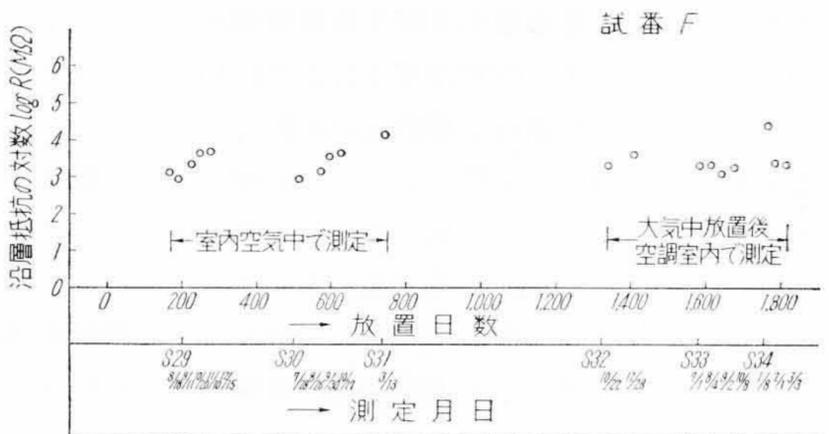
細糸布基材、太糸布基材の両者ともに第5~7図に



第5図 細糸布基材フェノール樹脂積層板 (PL-131) の沿層抵抗測定結果



第6図 太糸布基材フェノール樹脂積層板 (PL-222) の沿層抵抗測定結果



第7図 細糸布基材メラミン樹脂積層板の沿層抵抗測定結果

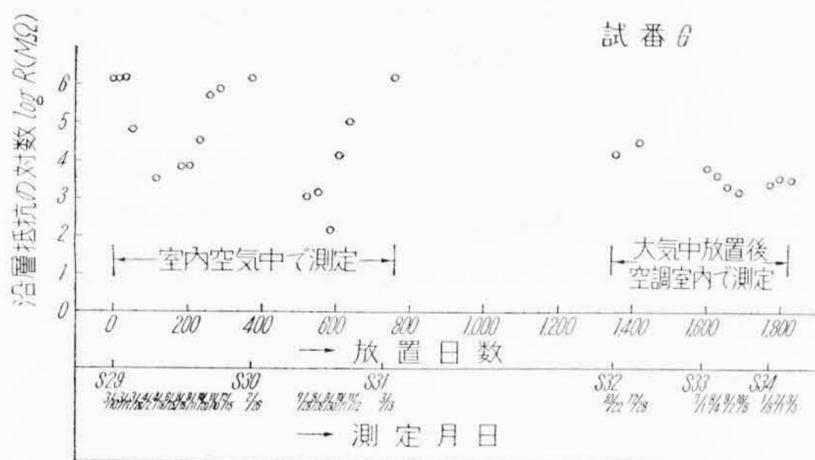
示すように、測定値の変動は大きい沿層抵抗の低下傾向は少ない。またその値は、紙基材積層板に比べて低い沿層抵抗値であるが安定した数値範囲を示している。

なお、試番Fのメラミン樹脂積層板はフェノール樹脂積層板の PL-131 級のものと同様の特性を有することが認められた。

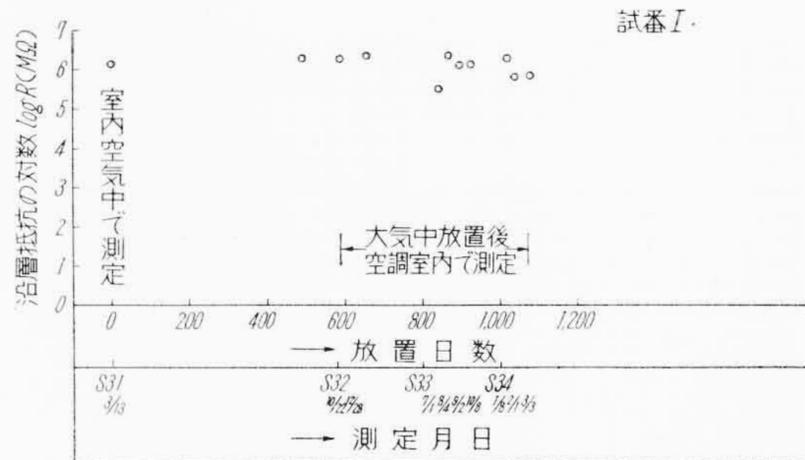
2.3 ガラス布基材積層板

シリコーン樹脂積層板はきわめて安定した高絶縁抵抗を示しており、すぐれた性能を備えているが、フェノール樹脂積層板は測定した時季によって非常に高低の差が

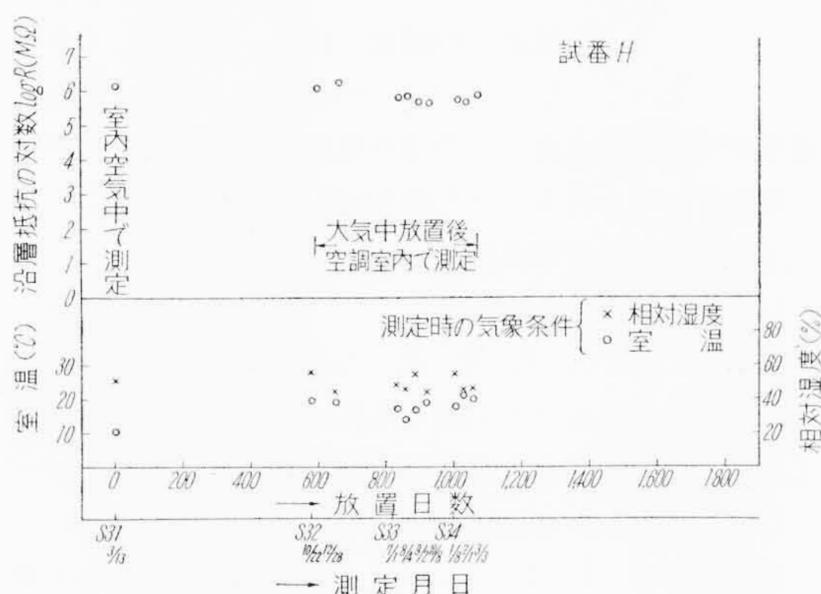
気中放置による合成樹脂積層板の沿層絶縁抵抗



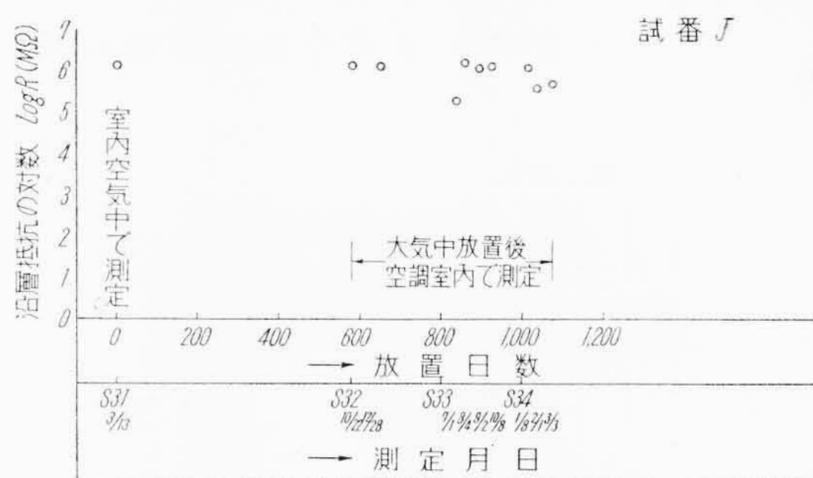
第8図 ガラス布基材フェノール樹脂積層板の沿層抵抗測定結果



第10図 ナイロン布基材フェノール樹脂積層板の沿層抵抗測定結果



第9図 ガラス布基材シリコン樹脂積層板の沿層抵抗測定結果



第11図 ナイロン布基材フェノール樹脂積層板の沿層抵抗測定結果

著しい。これはガラス繊維とフェノール樹脂との結合性に問題があるので、吸湿・脱湿により可逆的な変動を呈している。したがって実質的な劣化ではないと考えられる。

2.4 ナイロン布基材積層板

シリコン樹脂積層板と同様にすぐれた高絶縁抵抗を示しており、紙基材積層板のように経日劣化はまだ認められない。

いま、第2～11図より各積層板別に測定した沿層抵抗のうちで、その最大値と最小値を求めてこれを第2表に総括して示した。第2表に併記した沿層抵抗の変動範囲から一般用積層板と高品質積層板を比較検討してみると、測定開始時の受理状態の沿層抵抗にはあまり差がなくても、長時日経過後には数値の変動状態に明らかな差異を生ずることが確認された。

次に、常温常湿の気中で測定した沿層抵抗は、季節および測定時の気象条件によって著しく影響されるが測定だけを空調室内で行うと比較的変動の少ない測定結果が得られることを確認した。

したがって、これらの結果から第12図に一例を示し

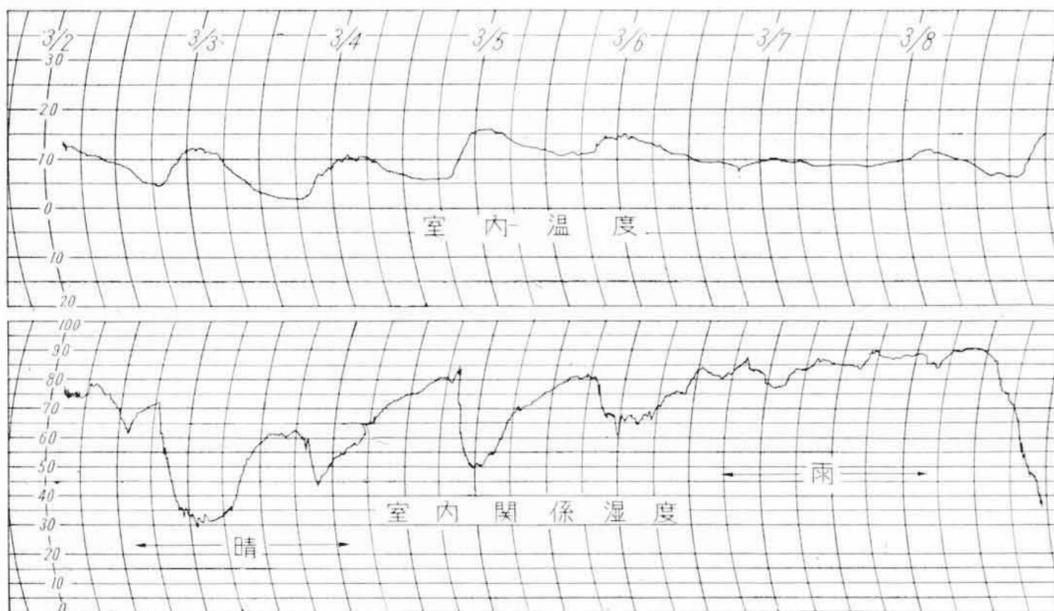
第2表 沿層抵抗の変動

試番	試験開始時の沿層抵抗(MΩ) (受理状態)	沿層抵抗の変動		
		最大値(MΩ)	最小値(MΩ)	変動範囲
A	8.0×10^5	1.6×10^6	1.4×10^4	10^2
B	2.5×10^5	2.6×10^5	3.0×10^2	10^3
C	1.6×10^6	1.6×10^6	4.3×10^3	10^3
D	1.6×10^5	1.6×10^5	9.2×10^2	10^2
E	1.5×10^3	3.2×10^3	7.2×10^1	10^2
F	1.2×10^3	2.8×10^4	7.2×10^2	10^1
G	1.6×10^6	1.6×10^6	1.8×10^2	10^4
H	1.6×10^6	2.1×10^6	5.0×10^5	0.5×10^1
I	1.6×10^6	2.4×10^6	3.0×10^5	10^1
J	1.6×10^6	2.4×10^6	1.8×10^5	10^1

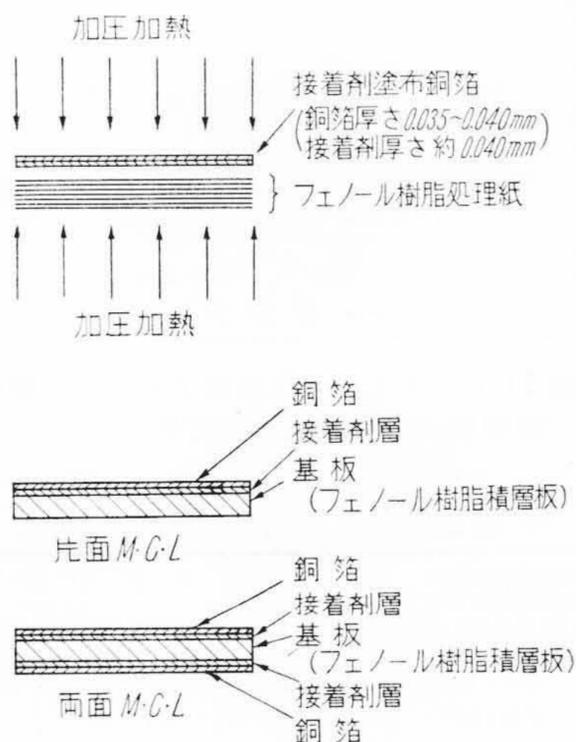
たように、常温常湿の室内気象条件は室温の変化とともに湿度も変動している。それゆえ、さきに述べた⁽¹⁾ように JIS⁽³⁾に規定されている常態での沿層抵抗は変動しやすく、確定した数値を与えるものではないことが明らかになった。また、電気機器の絶縁設計上実用状態での沿層抵抗の設定は第2表を参照して相当の余裕をみて決定しなければならないことが確認された。

3. フェノール樹脂積層板の沿層抵抗の検討

松井, 山方ら⁽¹⁾は沿層抵抗が表面抵抗と体積抵抗によって影響され、高温状態では体積抵抗, 吸湿状態では



第12図 室内の温度・湿度の変動



第13図 銅箔はりフェノール樹脂積層板の構成説明図

表面抵抗によって左右されることを述べた。その後、銅箔接着フェノール樹脂積層板(以下MCLの略号を用いる)の絶縁抵抗検討結果よりフェノール樹脂積層板(以後積層板と略記する)の表面に表面抵抗の高い皮膜を形成させ、吸湿状態において沿層抵抗の実験を行い体積抵抗の影響と表面抵抗との関係を検討してみた。なお、今回の実験計画ではオームの法則を応用して表面、体積、沿層の各抵抗率の関係を論ずるため、高絶縁抵抗の場合は定量的な関係がなかなか得られないので、沸騰水中で煮沸処理し絶縁抵抗を $10^3 M\Omega$ 以下に低下させて比較検討するように計画した。

(1) 試料と試験方法

供試したMCLは第13図に示すように接着剤を塗布した銅箔(Rubber and Asbestos社(US)製Plymaster)を所定のフェノール樹脂処理紙に重ねて加圧加熱して得られ

る厚さ1.6mmのもので、米国NEMA⁽⁴⁾のXXXPに該当する片面銅箔接着のもの(以後片面MCLと略記する)と、両面銅箔接着のもの(以後両面MCLと略記する)の2種で、このほかに基板と同じ材質の積層板1種を加えて供試した。

(2) 抵抗率測定試験片

第14図Kに示すような試験を行うもので、100mm角の片面MCL試験片の銅箔面に電極形状のセロテープをはり、これを30°C、40%濃度の塩化第2鉄溶液中に40~50分浸漬処理して銅箔面の腐食を行い、取り出して水洗し、セロテープをはがしたのち、常温水道水中で30分間水洗して所望の電極形状の銅箔を具備した試験片が得られる。また第14図LはKを裏返しにしてJIS規定の抵抗率試験⁽²⁾を行うものである。

第15図N, O, P, Q, Rのように銅箔電極面に直径5mmの孔をあけた試験片を用いた。銅箔面の腐食加工は前述(1)の場合と同様に行った。

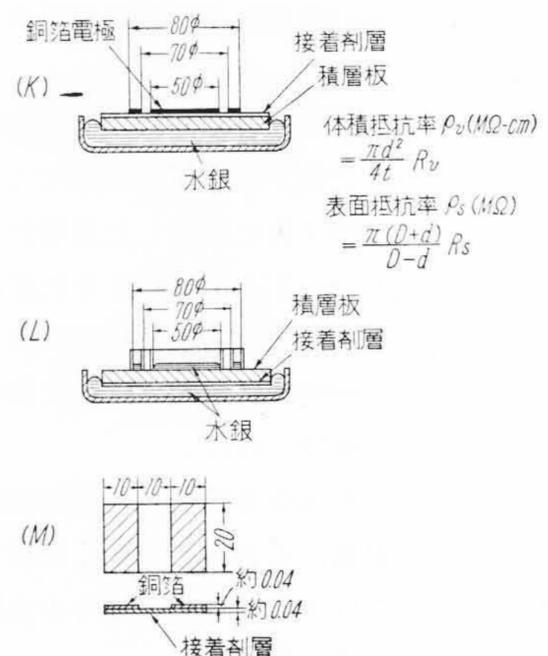
(3) 沿層抵抗測定試験片

第15図S, T, U, Vのように銅箔面を腐食して電極を形成したものと、そのほかに参考試験用として第14図Mのように接着剤塗布銅箔の銅箔を腐食したものを用いた。腐食加工は前述の場合と同様に行った。

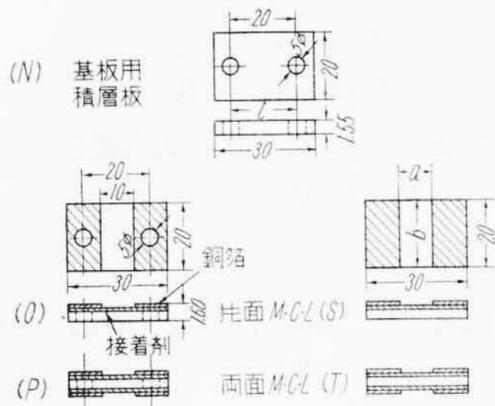
(4) 表面抵抗測定試験片

第15図S, T, U, Vのように銅箔面を腐食して電極を形成したものと、そのほかに参考試験用として第14図Mのように接着剤塗布銅箔の銅箔を腐食したものを用いた。腐食加工は前述の場合と同様に行った。

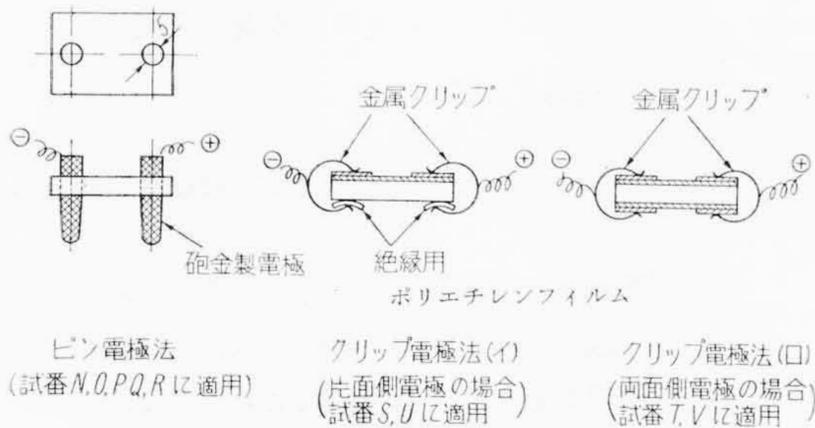
以上の各試験片について第14図および第16図に示す電極配置により第3表の方法によって求めた表面、および体積抵抗率を第4表に、沿層抵抗を第5表に、表面抵抗を第6表に示した。なお接着剤塗布銅箔単独について測定した抵抗率を第4表に、表面抵抗を第6表に、そ



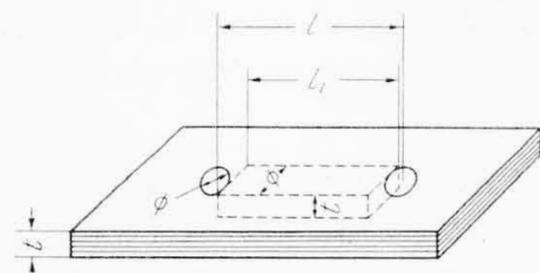
第14図 絶縁抵抗測定試験片



第15図 絶縁抵抗測定特殊試験片



第16図 沿層抵抗測定方法説明図



第17図 絶縁抵抗解析モデル説明図

第3表 絶縁抵抗の試験方法

測定方法	
常態抵抗	受理状態の試験片について室温、常湿の状態では500V直偏法により2分間充電後、測定する。
煮沸処理後の抵抗	受理状態の試験片を沸騰水中に2時間および8時間浸漬処理したものについて、それぞれ常温水道水中に移し、30分間水洗、冷却後、取り出し乾布でよく表面を拭ってから、常態抵抗の場合と同様にして測定する。

第4表 接着剤層およびMCLの抵抗率

	表面抵抗率(MΩ)		体積抵抗率(MΩ-cm)		備考
	常態(d)	煮沸(e)処理後	常態(d)	煮沸(e)処理後	
接着剤層	4.72×10^7	2.94×10^6	2.85×10^7	—	測定時の気象条件は接着剤層測定時 常態 煮沸後 RT 19.5°C 18.5°C RH 42% 40%
M.C.L (a)	1.56×10^7	3.36×10^6	3.14×10^7	8.98×10^6	
M.C.L (b)	6.72×10^6	7.35×10^5	1.75×10^7	1.82×10^6	

注：(a)……第14図(K)方法により接着剤層側から測定した結果。
 (b)……第14図(L)方法によりMCLの裏面側から測定した結果。
 (c)……500V、DC直偏法により測定したが接着剤層の耐電圧が500Vでは不安定なため検流計の振れが安定せず、正確な固定値が得られないため、この数値は大体的概念的なものである。
 (d)……常態の数値は銅箔面をエッチングしたのち、よく水洗して乾布で十分よくふいた状態で測定した数値である。
 (e)……沸騰水中で2時間処理後常温水道水中で30分間水洗冷却後取り出して乾布で表面をよくふき500V直偏法により2分間充電後絶縁抵抗を測定した数値である

それぞれ併記した。第4および6表より明らかなように、接着剤層の表面抵抗は基板の表面抵抗より著しく高いから第15図試番O、Q(片面MCL)のピン状電極間の煮沸処理後の沿層抵抗は裏面側の基板の表面抵抗と体積抵抗によって影響されることが明らかに推測される。

次に第15図P、R(両面MCL)のピン状電極間の煮沸後の沿層抵抗は両表面が表面抵抗の高い接着剤層でおおわれている関係上、基板の体積抵抗によって影響されていることが推測される。

以上の関係を定量的に検討するため、第17図に略図

第5表 絶縁抵抗測定結果(a)

試番	絶縁抵抗測定値(MΩ)			抵抗率換算値				測定時の気象条件
	常態 ^(f) R	2時間煮沸後 R ₂	8時間煮沸後 R ₈	表面抵抗率(MΩ) ^(b)		沿層抵抗率(MΩ-cm) ^(c)		
				ρ_{c-2} (d)	ρ_{c-8} (d)	ρ_{a-2} (e)	ρ_{a-8} (e)	
N	2.5×10^6 以上	9.37×10^2	1.03×10^2	6.25×10^2	6.84×10^1	6.92×10^2	7.58×10^1	常態
O	2.5×10^6 以上	1.5×10^3	1.87×10^2	4.99×10^2	6.22×10^1	1.11×10^3	1.38×10^2	RT25°C RH42%
P	2.5×10^6 以上	2.7×10^4	5.53×10^2	1.8×10^4	3.69×10^2	1.99×10^4	4.09×10^2	2時間煮沸後
Q	2.5×10^6 以上	1.8×10^3	2.0×10^2	6.0×10^2	6.66×10^1	1.33×10^3	1.48×10^2	RT25°C RH42%
R	2.5×10^6 以上	6.48×10^3	6.27×10^2	4.32×10^3	4.18×10^2	4.78×10^3	4.63×10^2	8時間煮沸後 RT22°C RH42%

注：(a)……本表の測定値は3個の測定値の平均値を示す。
 (b)……表面抵抗率は本文(2)式により
 $n=1$ の場合(試番O、Q) $\rho_s = \rho_c = 0.333R$ MΩ
 $n=2$ の場合(試番N、P、R) $\rho_s = \rho_c = 0.666R$ MΩ
 (c)……沿層抵抗率は本文(3)式により $\rho_a = 0.738R$ MΩ-cm
 (d)…… ρ_{c-2} 、 ρ_{c-8} はそれぞれ煮沸2時間、煮沸8時間に対応する換算値
 (e)…… ρ_{a-2} 、 ρ_{a-8} はそれぞれ煮沸2時間、煮沸8時間に対応する換算値
 (f)……常態の絶縁抵抗値は標準抵抗以上あることを示す

第6表 表面抵抗測定結果(a)

試番	表面抵抗測定値(MΩ)			表面抵抗率換算値 ^(b) (MΩ)		測定時の気象条件
	常態 ^(d) R	2時間煮沸後R ₂	8時間煮沸後R ₈	^(c) ρ _{s2}	^(c) ρ _{s8}	
S	2.5×10 ⁶ 以上	6.9×10 ⁴	7.97×10 ³	1.38×10 ⁵	1.59×10 ⁴	常態
T	2.5×10 ⁶ 以上	5.03×10 ⁴	6.03×10 ³	2.01×10 ⁵	2.41×10 ⁴	RT25°C RH42%
U	2.5×10 ⁶ 以上	6.93×10 ⁵	2.03×10 ²	1.39×10 ⁶	4.07×10 ⁵	2時間煮沸後
V	2.5×10 ⁶ 以上	5.40×10 ⁵	1.33×10 ⁵	2.16×10 ⁶	5.33×10 ⁵	RT25°C RH42%
M(接着剤層)	2.5×10 ⁶ 以上	7.25×10 ⁵	4.17×10 ⁵	1.5×10 ⁶	8.34×10 ⁵	8時間煮沸後 RT22°C, RH42%

注：(a)……本表の測定値は3個の測定値の平均値を示す。
 (b)……表面抵抗率は本文(6)式により
 $n=1$ の場合(試番 S, U) $\rho_s=2R$
 $n=2$ の場合(試番 T, V) $\rho_s=4R$
 (c)…… ρ_{s2} , ρ_{s8} はそれぞれ煮沸2時間, 煮沸8時間に対応する計算値。
 (d)……常態の絶縁抵抗値は標準抵抗以上であることを示す。

第7表 理論計算値 ρ_{ak} と実測換算値 ρ_{a2} との有意差検定

項番	項目	測定値 (n=3)			平均値
		1	2	3	
1	試番Vの実測換算値 ρ _{s2}	9.2×10 ⁵	3.36×10 ⁶	2.20×10 ⁶	2.16×10 ⁶
2	試番Rの実測換算値 ρ _{a2}	3.10×10 ³	6.26×10 ³	4.98×10 ³	4.78×10 ³
3	項番1と2より計算した ρ _{vk}	2.18×10 ²	4.36×10 ²	3.47×10 ²	3.33×10 ²
4	試番Nの実測換算値 ρ _{s2}	5.54×10 ²	5.87×10 ²	7.34×10 ²	6.25×10 ²
5	項番3と4より計算した ρ _{ak}	5.12×10 ²	5.92×10 ²	7.00×10 ²	6.01×10 ²
6	試番Nの実測換算値 ρ _{a2}	6.13×10 ²	6.50×10 ²	8.12×10 ²	6.92×10 ²

注：項番5 ρ_{ak} の平均値 $\bar{x}_1=601$ および平方和 $S_1=1.7803$
 項番6 ρ_{a2} の平均値 $\bar{x}_2=692$ および平方和 $S_2=2.2405$
 自由度 $n_1+n_2-2=4$ で危険率 0.05 の $t=2.776$
 $|\bar{x}_1-\bar{x}_2| \geq t \cdot \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} \cdot \sqrt{\frac{S_1+S_2}{n_1+n_2-2}}$ ならば有意差あるも
 $|\bar{x}_1-\bar{x}_2|=91$
 $t \cdot \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} \cdot \sqrt{\frac{S_1+S_2}{n_1+n_2-2}} = 226$
 なるゆえ95%の信頼限界で ρ_{ak} と ρ_{a2} との平均値に有意差ありとはいえない。

で示すように沿層抵抗試験片の電極孔間に点線で示す長方体を考え、幅を孔径 φ と等しく、長さ l₁ は孔間の最短距離とし、高さを板厚 t と等しくおき、孔間の絶縁抵抗を R MΩ とする。この長方体について沿層方向の体積抵抗率 ρ_v は長さの単位がすべて cm の場合には

$$\rho_v (\text{M}\Omega\text{-cm}) = \frac{\phi t}{l_1} \cdot R \dots\dots\dots (1)$$

また沿層方向の表面抵抗率 ρ_s は

$$\rho_s (\text{M}\Omega) = \frac{n\phi}{l_1} \cdot R \dots\dots\dots (2)$$

ここに n は片面側のみの漏洩電流を考える場合は n = 1, 両面側の漏洩電流を考える場合は n = 2。

次に孔間の沿層抵抗率 ρ_a は前報⁽¹⁾より

$$\rho_a (\text{M}\Omega\text{-cm}) = K \cdot t \cdot R \dots\dots\dots (3)$$

ここに $K = f\left(\frac{l}{\phi}\right) = 4.76 \dots\dots \left(\frac{l}{\phi} = 4 \text{ の場合}\right)$

いま沿層抵抗 R_a が表面抵抗 R_s と体積抵抗 R_v との並列合成抵抗と考えるならば

$$\frac{1}{R_a} = \frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_v} \dots\dots\dots (4)$$

前記(1), (2), (3)式の絶縁抵抗値 R はそれぞれ R_v, R_s, R_a に該当するゆえ, (1), (2), (3)式を(4)式に代入すると

$$K \cdot t \cdot \frac{1}{\rho_a} = \frac{n\phi}{l_1} \cdot \frac{1}{\rho_s} + \frac{\phi t}{l_1} \cdot \frac{1}{\rho_v} \dots\dots (5)$$

が得られる。

以上の関係式を用いて各絶縁抵抗の関係を検討してみよう。

3.1 表面抵抗率

第5表の沿層抵抗値を用い, (2)式により各試番の表面抵抗率を計算して, それぞれ第5表に併記した。また第6表の試番 S, T, U, V の場合は第15図に示すように銅箔電極の幅 b, 電極間距離を a としして表面抵抗率 ρ_s を下式により計算してそれぞれ第6表に併記した。

$$\rho_s (\text{M}\Omega) = \frac{n \cdot b}{a} \cdot R \dots\dots\dots (6)$$

ここに n は (2) 式の場合と同様な数値をとる。

第6表の各試番の数値を比較すると, MCL の状態での接着剤層の表面絶縁抵抗は接着剤層単独で測定した表面絶縁抵抗よりいくぶん低いことが認められる。これは MCL にプレスされた状態では接着剤層の厚さが薄くなり, 基板への極微の漏洩の影響が予想され, また試番 S, T が U, V より一けた低くでているのは基板の端面の漏洩が影響しているのではないかと考えられる。

次に第5表より片面MCL, 試番 O, Q の表面抵抗率は基板単独の N の表面抵抗率とほぼ近似値であるが, 両面MCL試番 P, R の表面抵抗率は片面MCL, および基板 N の数値より一けた高くでており明らかな差が認められる。したがって前述のように両面MCL, 試番 P, R の沿層抵抗値には基板の体積抵抗が著しく影響しているものと推定される。

次に第5表より片面MCL, 試番 O, Q の表面抵抗率は基板単独の N の表面抵抗率とほぼ近似値であるが, 両面MCL試番 P, R の表面抵抗率は片面MCL, および基板 N の数値より一けた高くでており明らかな差が認められる。したがって前述のように両面MCL, 試番 P, R の沿層抵抗値には基板の体積抵抗が著しく影響しているものと推定される。

3.2 体積抵抗率の推定

両面MCL試番 P, R の煮沸後の沿層抵抗には基板の体積抵抗が影響しているとの前提のもとに体積抵抗についていくらかの計算を試みた。試番 P, R の体積抵抗率を計算するのに先だち, 両面MCLの表面抵抗率は本質的には試番 T, V と同様であるゆえ試番 V の ρ_{s2} = 2.16 × 10⁶ MΩ を引用し, 沿層抵抗率は試番 R の沿層抵抗測定値より計算した ρ_{a2} = 4.78 × 10³ MΩ-cm, を用い, (5)式を変換した下式により試番 R の体積抵抗率 ρ_v を計算した。

$$\rho_v = \frac{\rho_a \cdot \rho_s \cdot \phi \cdot t}{K \cdot t \cdot l_1 \cdot \rho_s - n \cdot \phi \cdot \rho_a} \dots\dots\dots (7)$$

その結果は $\rho_{v2} = 3.33 \times 10^2 \text{M}\Omega\text{-cm}$ となり、これらの数値が試番 P, R, U, および V の基板の煮沸処理後の体積抵抗率に該当するものである。

3.3 体積、表面および沿層各抵抗率の相互の関係

いま(7)式より計算した両面MCLの体積抵抗率が妥当な数値であるか否かを検討するため基板単独の場合の体積抵抗率に置き換えて比較計算してみよう。

基板単独の試番N, の体積抵抗率としては両面MCLも基板単独の場合も共通であるゆえ、(7)式の計算値を引用して

$$\rho_{vk} = \rho_{v2} = 3.33 \times 10^2 \text{M}\Omega\text{-cm}$$

また表面抵抗率は第5表より試番Nの数値を引用して

$$\rho_{s2} = 6.25 \times 10^2 \text{M}\Omega$$

これらの数値を用いて試番Nの理論計算による沿層抵抗率 ρ_{ak} を(5)式より変換した下式により計算してみる。

$$\rho_{ak} = \frac{K \cdot t \cdot l_1}{\phi} \cdot \frac{\rho_s \cdot \rho_v}{(n \cdot \rho_v + t \rho_s)} \dots\dots\dots (8)$$

K, t, l₁, φ, nなどは第15図に併記の諸数値を用いて

$$\rho_{ak} = 6.01 \times 10^2 \text{M}\Omega\text{-cm}$$

をうる。この数値を第5表試番Nの沿層抵抗測定値より換算した沿層抵抗率, $\rho_{a2} = 6.92 \times 10^2 \text{M}\Omega\text{-cm}$ と比較すると割合によく合致している。

いま、計算値 ρ_{ak} の平均値と実測換算値 ρ_{a2} の平均値との間に有意差を有するか否かを検討するため平均の差の検定を試してみたところ、第7表に示すように95%の信頼限界で ρ_{a2} と ρ_{ak} の平均値は等しいとみなしうる事が認められた。

以上の結果から、両面MCLと基板単独の体積抵抗率は共通であるとの前提で両面MCLの体積抵抗率を求めた。この数値を基板に適用し基板についてこの体積抵抗率と表面抵抗率との並列合成抵抗が基板の沿層抵抗率であるとして計算した結果が、基板の沿層抵抗実測値より換算して求めた沿層抵抗率とよく合致することを明らかにした。

フェノール樹脂積層板の沿層抵抗は体積抵抗と表面抵抗の並列合成抵抗で計算することが可能であることを述べたが沸騰水中で煮沸、吸水処理した場合の劣化状態では表面抵抗率も体積抵抗率もほぼ同様な数値を示し、また劣化状態も類似している。しかし第15図試番Nの場合の形態から求められる表面抵抗 R_s と体積抵抗 R_v の関係は

$$(1) \text{式より } R_v = \frac{l_1}{\phi \cdot t} \cdot \rho_v \doteq 18.75 \rho_v \dots\dots\dots (9)$$

$$(2) \text{式より } R_s = \frac{l_1}{n \phi} \cdot \rho_s \doteq 1.5 \rho_s \dots\dots\dots (10)$$

となり、下記の割合となる

$$\frac{R_v}{R_s} = 12.5 \frac{\rho_v}{\rho_s} \dots\dots\dots (11)$$

いま煮沸処理2時間の場合と、8時間の場合について第4表より諸数値を引用して(11)式の数値を求めると、

$$\left(\frac{R_v}{R_s} \right)_{t=2\text{hrs}} = 5.5$$

$$\left(\frac{R_v}{R_s} \right)_{t=8\text{hrs}} = 7$$

となって煮沸吸水処理による低下過程は表面抵抗のほうが大きいことを示している。

4. 結 言

各種合成樹脂積層板を5年間、常温、常湿の室内に放置した場合の沿層抵抗の変動状態を取りまとめ報告したが、これらの結果では測定を空調室内で行うなどの周囲の気象条件を揃えると、かなり測定値の変動を低減することが可能であることを明らかにした。前報⁽¹⁾で述べた季節によって沿層抵抗が変動することは空気中の温度、湿度によって積層板の表面に吸着する平衡水分の存在により影響されるものと考えられ、測定を空調室で行うとこの影響は相当緩和されることを確認した。

なお、積層板の品質によって沿層抵抗の経日低下状態が異なり、製造後あまり時日の経過しない状態における同種基材の積層板では、高級品も一般品も常態沿層抵抗は大同小異であるが、長時日放置すると一般品の低下は高級品より著しいことが確認され、また季節や気象条件によって数値の変動が著しいので、電気機器の使用状態における絶縁抵抗の設定は、積層板の品質によって相当の余裕を見込まなければならないことを明らかにした。

次に、前報⁽¹⁾に引き続きフェノール樹脂積層板の沿層抵抗の意義を印刷回路用銅箔接着フェノール樹脂積層板で実験究明した結果、フェノール樹脂積層板を吸水状態におき数値計算の適用を容易に行ったところ、表面抵抗と体積抵抗の並列合成抵抗として計算した沿層抵抗が実測値と比較的によく合致する結果を得た。

参 考 文 献

(1) 松井, 山方: 日立評論 37, 1167 (昭 30-8)
 (2) 日本工業規格: JIS-K6707 (1952) フェノール樹脂積層板試験方法
 (3) 日本工業規格: JIS-K6706 (1952) フェノール樹脂積層板
 (4) NEMA Standards Publication: Pub. No. 1. Part 7, Standards For Copper-Clad Laminates (Nov. 1958).