

## フェノール樹脂積層板の沿層絶縁抵抗について

松井千里\* 山方建雄\*\*

## The Insulation Resistance of Phenolic Resin Laminated Sheets

By Chisato Matsui and Takeo Yamagata

Taga Works, Hitachi, Ltd.

## Abstract

In this country the insulation resistance is tested in most cases by measuring it parallel to laminations. The writers, discussing that the insulation resistance parallel to laminations is dependent upon the surface and volume resistance, illustrated the relation resisting between them. Then, they introduced a method of calculating the above insulation resistance with dimensions as large as the volume resistivity, making it clear that this resistance corresponds to the surface resistivity so far as the normal room temperature and relative humidity is maintained and the humid condition continues.

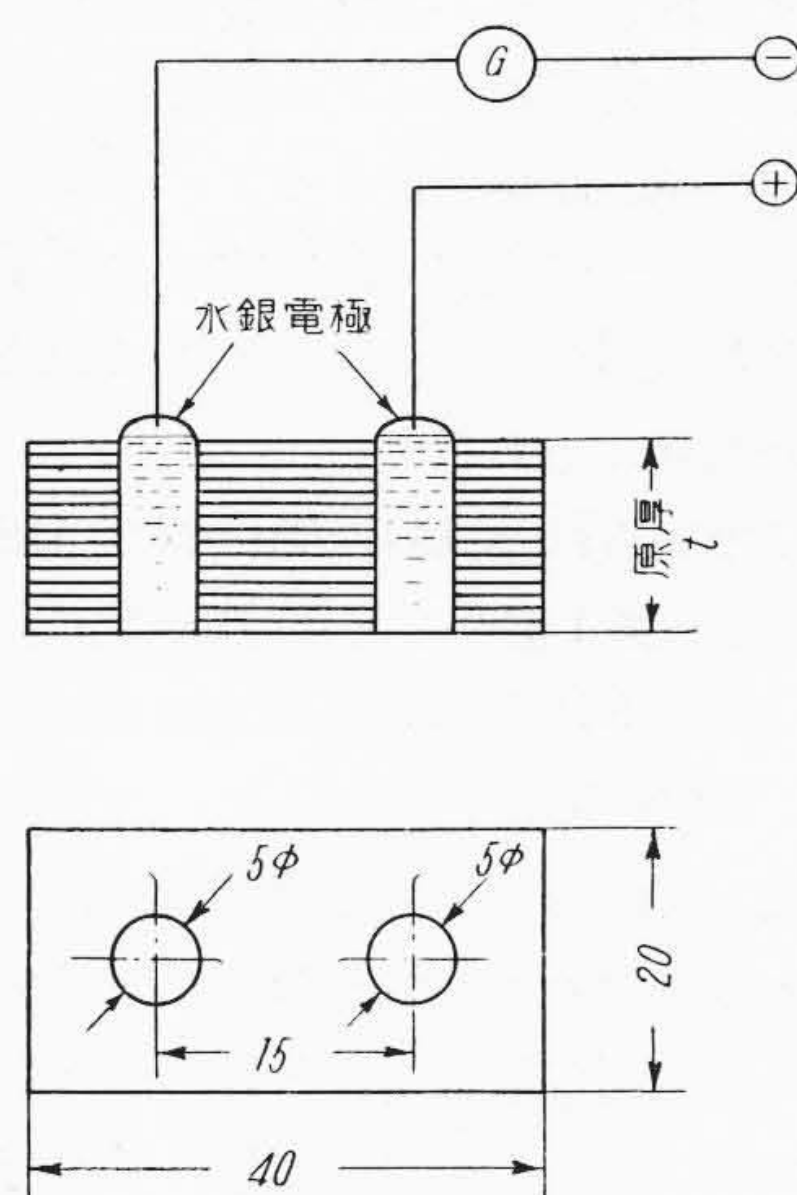
The writers also proved experimentally that the insulation resistance parallel to laminations under the normal room temperature and relative humidity condition is conspicuously influenced by the variation of the surrounding temperature and humidity, ascribing the phenomenon to the moisture absorbed by and sticking on the surface of laminated sheets. From this fact, the writers suggest that it would be meaningless to compare the test results if the laminated sheets were tested as received and that they should be tested after complete conditioning of their surface.

## 〔I〕 緒 言

フェノール樹脂積層製品にかんする日本工業規格<sup>(1)</sup>および電々公社通信用石炭酸系樹脂積層板仕様書<sup>(2)</sup>などにおいては品質を判定する絶縁抵抗試験法として第1図に示すような沿層方向の絶縁抵抗(以後沿層抵抗と略記する)試験が規定されている。米国のASTM<sup>(3)</sup>でも特殊な比較試験方法として類似形態の沿層抵抗試験法があり、この沿層抵抗試験方法が実際に応用される形態と似ているため、実用試験方法としての評価はかなり高い。

しかるに沿層抵抗は表面抵抗と体積抵抗との両者の影響を受けるため応用上固有抵抗としての数値的な取扱はほとんどおこなわれていない。換言すれば設計的な目的にはあまり応用されていない感が深かった。

しかるにフェノール樹脂製品の絶縁抵抗にかんする種々の資料を整理してみると、沿層抵抗、表面抵抗、体積抵抗の3者間の関係がほぼあきらかとなり、この関係をもとにして沿層抵抗値より計算した1cm<sup>3</sup>当りの沿層絶



第1図 JIS 規定絶縁抵抗試験説明図  
Fig.1. Schematic View of Test for Insulation Resistance (Designated by JIS K 6706 (1952))

\* \*\* 日立製作所多賀工場



縁抵抗値（以後これを沿層固有抵抗と称する）が常態または吸湿状態において表面固有抵抗と対応するものであることをあきらかにした。

沿層固有抵抗を計算することにより種々類似形態の絶縁抵抗を計算することが可能であり、これは絶縁設計などに応用して便利である。

つぎにフェノール樹脂積層板の沿層抵抗試験片を1年間室内放置した場合、どのような変動現象を呈するかの実験を行い、周囲温度、湿度条件が沿層抵抗に大きい影響をおよぼすことをあきらかにした。

以上の結果より現行の日本工業規格<sup>(1)</sup>および電々公社仕様書<sup>(2)</sup>に規定されている沿層抵抗試験方法（受理状態試験片について行う）の不備を指摘し、この改訂を提案した。

## 〔II〕 沿層抵抗にかんする二、三の考察

### （1） 沿層抵抗、表面抵抗、体積抵抗の関係

一般に誘電体においてはオームの法則がかならずしも成立しないといわれているが、筆者は沿層抵抗、表面抵抗、体積抵抗の関係を説明するモデルとして一応これが成立するものと仮定した。すなわち沿層抵抗  $R_a$  を表面抵抗  $R_s$  と沿層方向の体積抵抗  $R_v$  との並列合成抵抗で表現すると

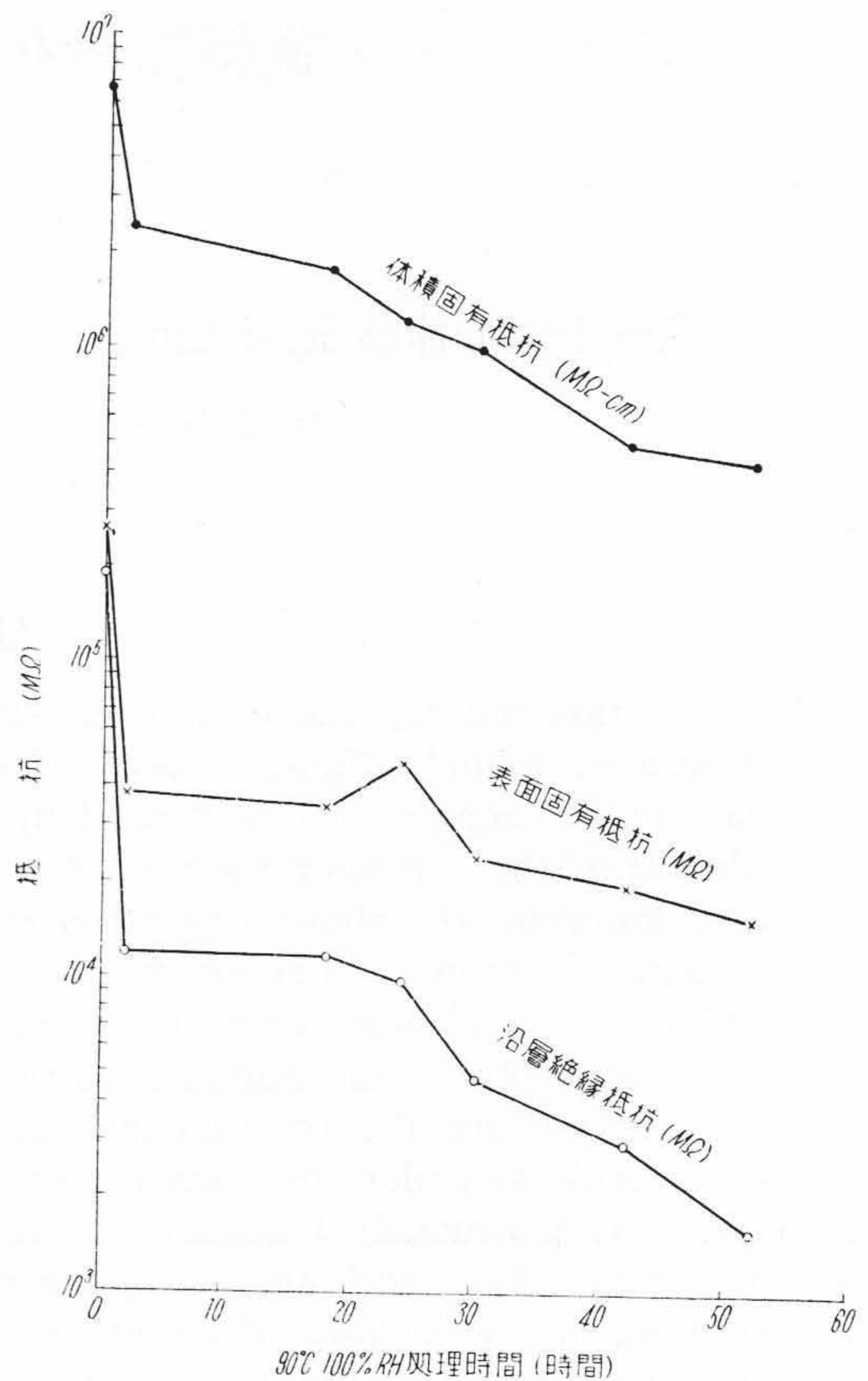
$$\frac{1}{R_a} = \frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_v} \dots\dots\dots (1)$$

となり  $R_a$  は  $R_s$ ,  $R_v$  の内の小さい方の数値によつて影響を受ける。たとえば周囲条件が多湿状態では  $R_v$  よりも  $R_s$  の低下がいちぢるしいから  $R_a$  は  $R_s$  によつて左右されるであろう。また温度を変えた場合には  $R_s$  よりも  $R_v$  の方がいちぢるしくその影響をうけるから、このような場合の  $R_a$  は  $R_v$  によつて左右される。

第2図は吸湿前処理時間と体積固有抵抗  $\rho_v$ 、表面固有抵抗  $\rho_s$ 、沿層抵抗  $R_a$  との関係を示す厚み10mmの積層板について求めたものである<sup>(4)</sup>。

この試験に用いられた試料はT社製のJIS K 6706のPL-111該当品で第1図のごときJIS規定沿層抵抗試験片を90°C、100%RH状態で各所定時間処理した後、取りだし常温、100%RHデシケーター内で約1時間冷却してから常温、常湿の空气中で測定したものである。第2図よりあきらかなように常態および吸湿条件下では沿層抵抗  $R_a$  は表面固有抵抗  $\rho_s$  と対応した変化を示している。F<sub>1</sub>社の資料<sup>(5)</sup>（こゝには数値の引用を省略）でも同様な傾向を報告している。

つぎに筆者などが紙、布、ガラスクロスなどを基材とする各種合成樹脂積層板についてその沿層抵抗を常温より110°Cまでの恒温槽内で測定した結果を第3図に示



第2図 試験片の吸湿前処理時間と各種絶縁抵抗の関係

Fig. 2. Relation between Humidify Pre-conditioning of Test Specimens and Insulation Resistance

した。試料の測定は各所定温度の空气中に30分以上放置してから行つたものである。第3図より温度と沿層抵抗との間にはほぼ次式の成立することが認められる。

$$R_t = R_0 e^{-\alpha t} \dots\dots\dots (2)$$

こゝに

$R_t, R_0 = t^\circ\text{C}$  および  $0^\circ\text{C}$  における沿層抵抗

$e$  = 自然対数の底

$t$  = 温度

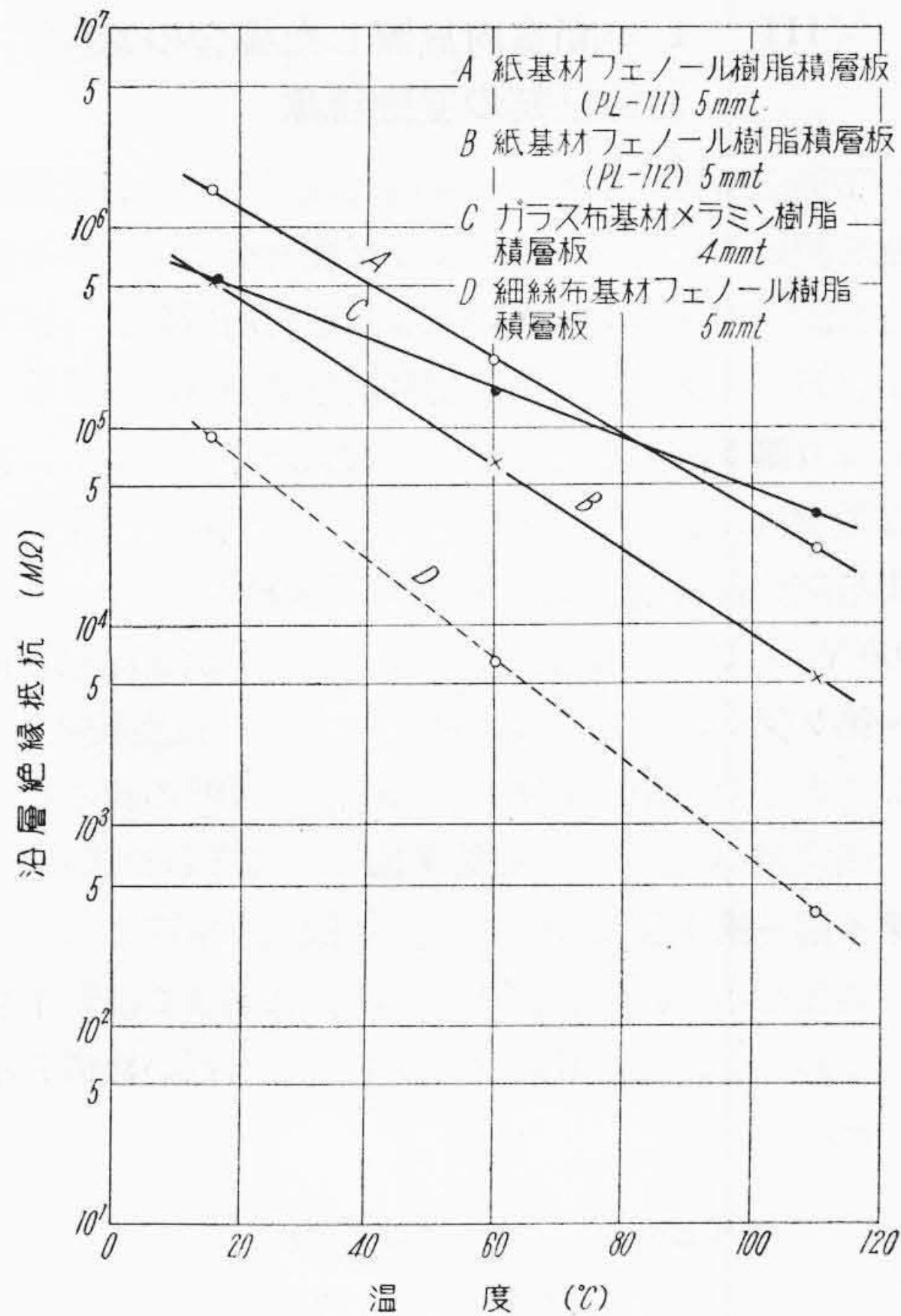
$\alpha$  = 常数

しかるにこの(2)式は従来より多くの絶縁物の体積固有抵抗と温度の関係に適合するといわれているから、温度上昇状態においては沿層抵抗が体積固有抵抗と対応して変化するものと類推することができる。

### （2） 沿層固有抵抗値の計算法

前述のごとく沿層抵抗は表面抵抗と体積抵抗の両者の影響を受けるものであるが、これらを包括した沿層方向の





第3図 温度と絶縁抵抗の関係  
Fig.3. Relation between Temperature and Insulation Resistance

1 cm<sup>3</sup> 当りの沿層絶縁抵抗(前述のごとく沿層固有抵抗) ρ<sub>a</sub> (MΩ-cm) を計算するには石原氏の著書<sup>(6)</sup>に述べられている電気容量と電気伝導率の関係を応用する。

両電極を蓄電器の導体と見做したときの電気容量を C, 電極間の媒体の電気伝導率を σ とし電極間の抵抗を R とするとつぎの関係が成立する。

$$R = \frac{1}{4\pi\sigma C} \dots\dots\dots (3)$$

固有抵抗 ρ は電気伝導率 σ の逆数であるから(3)式はつぎのごとくなる。

$$R = \frac{\rho}{4\pi C} \dots\dots\dots (4)$$

第1図に示す沿層抵抗試験片の電気容量 C は直径を d とする円盤状導体が中心間隔 l で配列された2平行導体間の静電容量であるから, この場合の C は帆足氏の著書<sup>(7)</sup>によると

$$C = \frac{t}{4 \cosh^{-1} \frac{l}{d}} \dots\dots\dots (5)$$

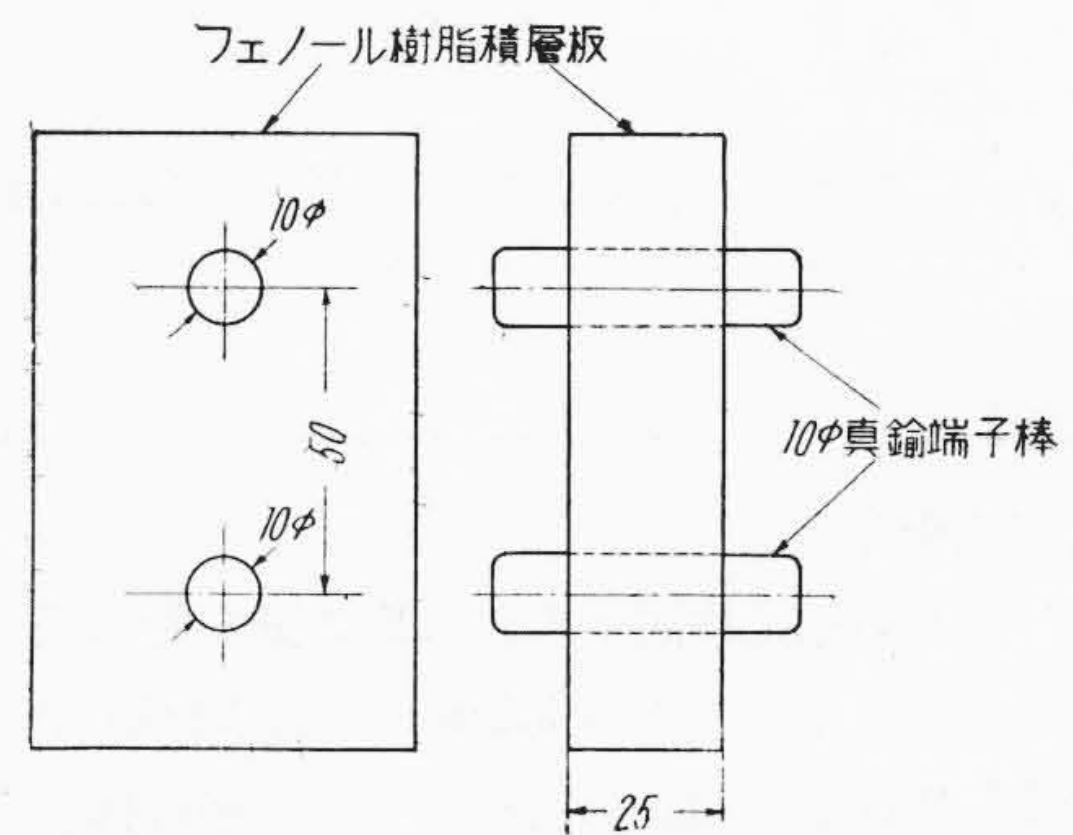
ここに t は第1図の場合の厚み t に相当する。よつて(5)式を(4)式に代入し, 固有抵抗 ρ<sub>a</sub> を求めると

$$\rho_a = \frac{\pi t R}{\cosh^{-1} \frac{l}{d}} = K \cdot t \cdot R \dots\dots\dots (6)$$

第1表 K の数値表

Table 1. Numerical Values of K

$\frac{l}{d}$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12
K	7.48	5.61	4.76	4.3	3.98	3.74	3.57	3.42	3.27	3.11



第4図 絶縁抵抗計算例寸法説明図  
Fig.4. Schematic View of Dimensions of Insulation Resistance Calculation

したがつて

$$K = \frac{\pi}{\cosh^{-1} \frac{l}{d}} \dots\dots\dots (7)$$

参考までに 2~12 の  $\frac{l}{d}$  に相当する K を計算して第1表に示した。

沿層固有抵抗値を応用すると第1図に類似の場合の導体間抵抗を算出するのに便利である。すなわち(6)式を書換えて

$$R = \frac{\rho_a}{Kt} \dots\dots\dots (8)$$

簡単な計算例として厚み 25 mm の積層板の常態抵抗が 5×10<sup>3</sup> MΩ であつたとする。(第1図 JIS 規定沿層抵抗試験片使用) この積層板に第4図の端子を取付けた場合その端子間の抵抗がいくらになるかを求めてみる。まづ JIS 試験片による沿層抵抗値より沿層固有抵抗 ρ<sub>a</sub> を求めると

$$\frac{l}{d} = 3 \quad t = 2.5 \text{ cm} \quad K = 5.61 \quad R = 5 \times 10^3 \text{ M}\Omega$$

(6)式より

$$\rho_a \approx 7 \times 10^4 \text{ M}\Omega\text{-cm}$$

つぎに第4図より

$$\frac{l}{d} = 5 \quad K = 4.3 \quad t = 2.5 \text{ cm} \quad \rho_a = 7 \times 10^4 \text{ M}\Omega\text{-cm}$$

端子間の抵抗 R は(8)式より

$$R \approx 6.5 \times 10^3 \text{ M}\Omega$$

(3) 沿層固有抵抗と表面固有抵抗との数值的対応の検討

いま単位厚みの積層板を考え, 体積固有抵抗を ρ<sub>v</sub>, 表



面固有抵抗を  $\rho_s$ 、沿層固有抵抗を  $\rho_a$  とする。第1図のごとき沿層抵抗試験の場合は両表面があるゆえ、(1)式の関係はつぎのごとくあらわされる。

$$\frac{1}{\rho_a} = \frac{1}{\rho_v} + \frac{2}{\rho_s} \dots\dots\dots(9)$$

しかして  $\rho_v \gg \rho_s$  の場合は

$$\frac{1}{\rho_a} \doteq \frac{2}{\rho_s}$$

故に  $\rho_a = \frac{\rho_s}{2} \dots\dots\dots(10)$

あるいは

$$\rho_s = 2\rho_a \dots\dots\dots(10)'$$

なる対応式をえる。

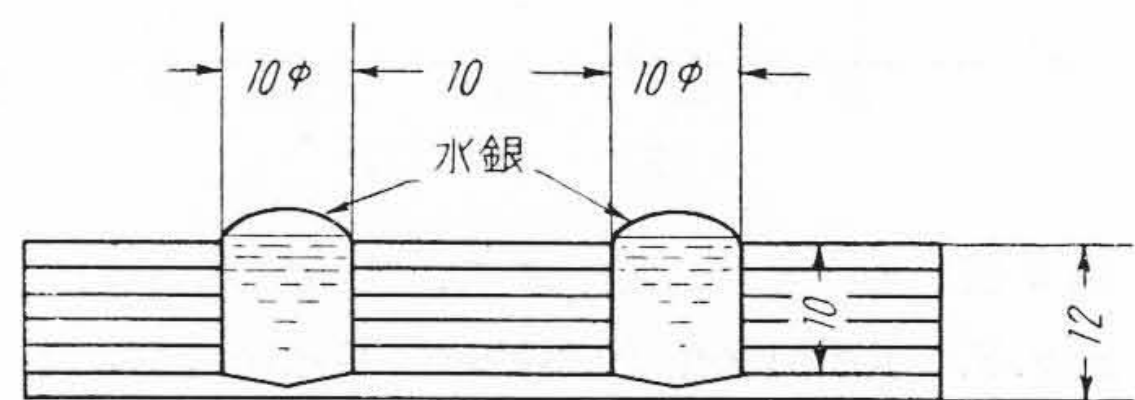
(10)' 式の関係を検討するため第2表 T 社の発表資料<sup>(4)</sup>より引用して求めた厚み 3.2mm の紙基材積層板(JIS: K 6706 PL-111 該当品) の各種吸湿処理後の体積固有抵抗、表面固有抵抗、沿層抵抗の測定結果を示した。<sup>(8)</sup>

第2表においてはいかなる処理の場合も体積固有抵抗は表面固有抵抗より 1~2 桁大きい数値なので(9)式の仮定条件たる単位厚みに対して、ここに引用した厚み 3.2 mm の影響は省略しうるものとし、 $\rho_v \gg \rho_s$  の成立を認めるならば(10)' 式は適用できるから第2表の沿層抵抗値より沿層固有抵抗  $\rho_a$  を算出し、 $2\rho_a$  を第2表に併記した。第2表よりあきらかなように表面固有抵抗  $\rho_s$  と  $2\rho_a$  とは数値的にかなり高度に適合していることが認められる。

[III] 1年間室内放置した場合の常態沿層抵抗の変動現象

1年間沿層抵抗試験片を室内に放置して毎日常態沿層抵抗を測定した場合、どのような変動を呈するかを調査する目的で厚み 12 mm の吸収紙基材層板 2 種(試料 A および B) とクラフト紙基材積層板 2 種(試料 C および D) より第5図のごとき沿層抵抗試験片を加工し、常湿常湿の室内に放置して(4月7日より翌年の4月7日まで満1年間) 毎日午前7時30分に 1,000 V メガーおよび 2,500 V メガーで沿層抵抗を測定した。試験結果を第6図~第9図に示したが 2,500 V メガーの目盛範囲が  $10^4 M\Omega$  であるため  $10^4 M\Omega$  以上の数値は  $10^4$  の線に示し、また測定時の室温、湿度を第7図下方にあわせ図示した。

第6図~第9図より常態の沿層抵抗は季節によつて相当な変動を示し、5月中旬より11月初旬までは低下変動期間であつて、特に8月前後がもつとも低い数値を示し



第5図 絶縁抵抗試験片  
Fig.5. Test Specimen of Insulation Resistance

第2表 フェノール樹脂積層板の絶縁抵抗試験成績<sup>(4)</sup>

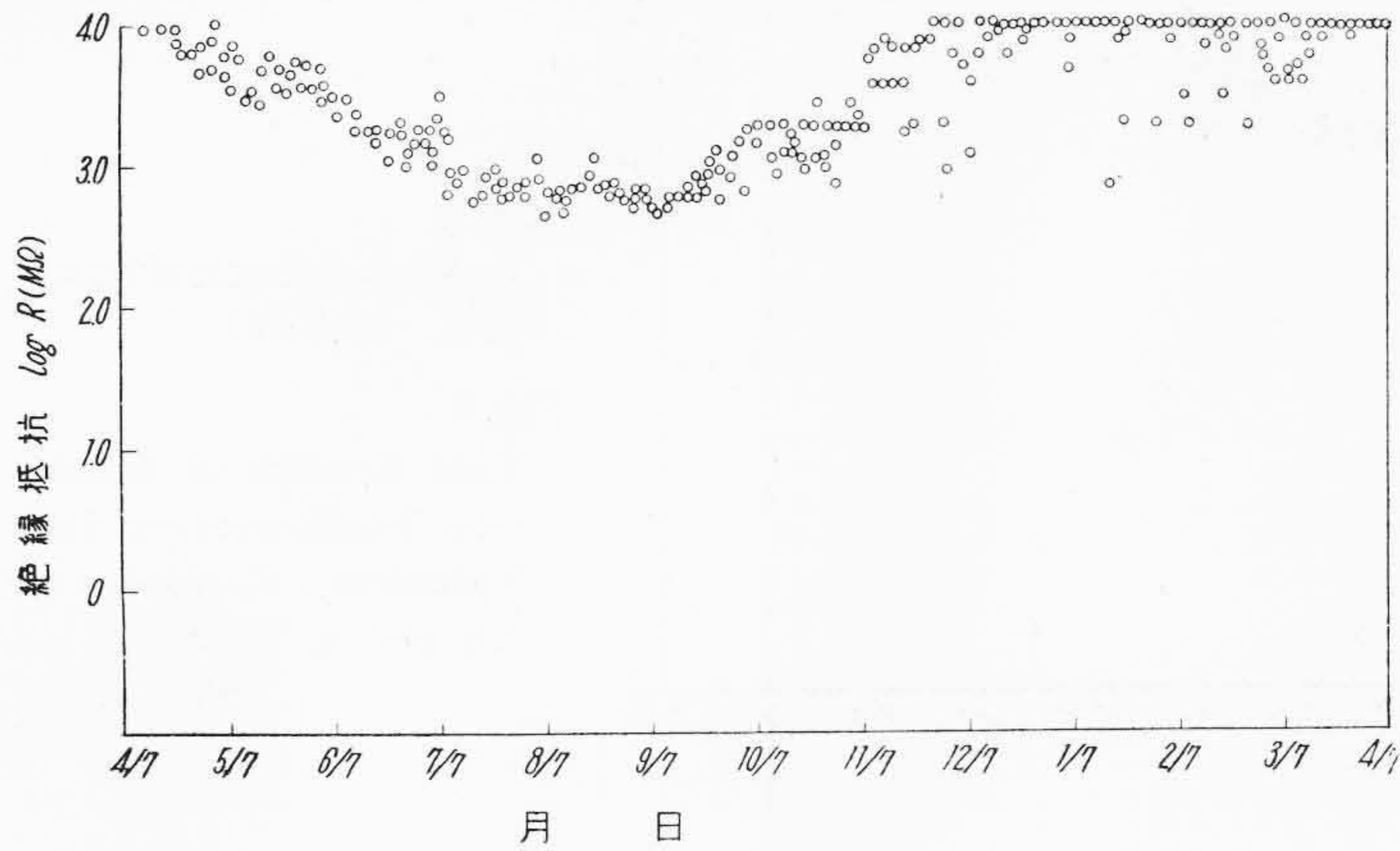
Table 2. Test Results of Resistivities of Phenolic Resin Laminated Sheets<sup>(4)</sup>

(a) 試験片の前処理条件	測定時の条件		体積固有抵抗 (MΩ-cm)	表面固有抵抗 (MΩ)	沿層絶縁抵抗 (MΩ)	沿層固有抵抗 (MΩ-cm) <sup>(b)</sup>	$2\rho_a$ <sup>(b)</sup>
	室温 (°C)	湿度 (%)					
無 処 理	15	50	$4.48 \times 10^6$	$6.15 \times 10^5$	$2.38 \times 10^5$	$4.28 \times 10^5$	$8.56 \times 10^5$
C-2/90/100+C-1/RT/100	14	52	$2.48 \times 10^6$	$3.36 \times 10^4$	$1.38 \times 10^4$	$2.48 \times 10^4$	$4.96 \times 10^4$
C-18/90/100+C-1/RT/100	14	71	$1.25 \times 10^6$	$1.74 \times 10^4$	$2.09 \times 10^3$	$3.76 \times 10^3$	$7.52 \times 10^3$
C-24/90/100+C-1/RT/100	14	73	$1.74 \times 10^5$	$7.66 \times 10^3$	$1.14 \times 10^3$	$2.05 \times 10^3$	$4.1 \times 10^3$
C-30/90/100+C-1/RT/100	17	70	$1.24 \times 10^5$	$2.84 \times 10^3$	$4.27 \times 10^2$	$7.67 \times 10^2$	$1.53 \times 10^3$
C-42/90/100+C-1/RT/100	17	76	$1.18 \times 10^5$	$2.72 \times 10^3$	$3.1 \times 10^2$	$5.56 \times 10^2$	$1.11 \times 10^3$
C-52/90/100+C-20/RT/100	16	71	$5.69 \times 10^4$	$1.8 \times 10^3$	$4.3 \times 10^2$	$7.72 \times 10^2$	$1.54 \times 10^3$
C-2/90/100+C-20/RT/100	14	71	$2.61 \times 10^6$	$8.62 \times 10^3$	$1.36 \times 10^3$	$2.44 \times 10^3$	$4.88 \times 10^3$
C-2/90/100+C-42/RT/100	14	73	$2.08 \times 10^6$	$5.71 \times 10^3$	$1.32 \times 10^3$	$2.37 \times 10^3$	$4.74 \times 10^3$
C-2/90/100+C-62/RT/100	16	71	$1.74 \times 10^6$	$6.88 \times 10^3$	$1.46 \times 10^3$	$2.62 \times 10^3$	$5.24 \times 10^3$
C-2/90/100+C-20/RT/RH	14	71	$4.0 \times 10^6$	$3.76 \times 10^4$	$1.89 \times 10^4$	$3.4 \times 10^4$	$6.8 \times 10^4$
C-2/90/100+C-42/RT/RH	14	73	$2.91 \times 10^6$	$2.18 \times 10^4$	$8.53 \times 10^3$	$1.53 \times 10^4$	$3.06 \times 10^4$
C-2/90/100+C-62/RT/RH	16	71	$3.07 \times 10^6$	$2.67 \times 10^4$	$1.42 \times 10^4$	$2.55 \times 10^4$	$5.1 \times 10^4$
煮沸処理2時間後	16	74	$1.04 \times 10^6$	$3.72 \times 10^3$	$7.9 \times 10^2$	$1.42 \times 10^3$	$2.84 \times 10^3$
煮沸処理6時間後	16	72	$5.11 \times 10^5$	$2.49 \times 10^3$	$3.78 \times 10^2$	$6.79 \times 10^2$	$1.36 \times 10^3$
煮沸処理9時間後	16	71	$3.74 \times 10^5$	$2.08 \times 10^3$	—	—	—

(注)

- a: 試験片の前処理条件欄に記号で表示してあるのは、Cは吸湿処理を示し、次の数字は処理時間、つぎの数字は処理温度、つぎの数字は処理湿度を示すものである。たとえば C 2/90/100+C-1/RT/100 とあるは、まづ湿度 100%、90°C で2時間処理後さらに湿度 100%、RT(常温の略号)で1時間処理したことを意味する。なお C-20/RT/RH とあるは吸湿処理で RH(常湿の略号)、常温で20時間処理を意味する。
- b: この数値は筆者が計算したものである。



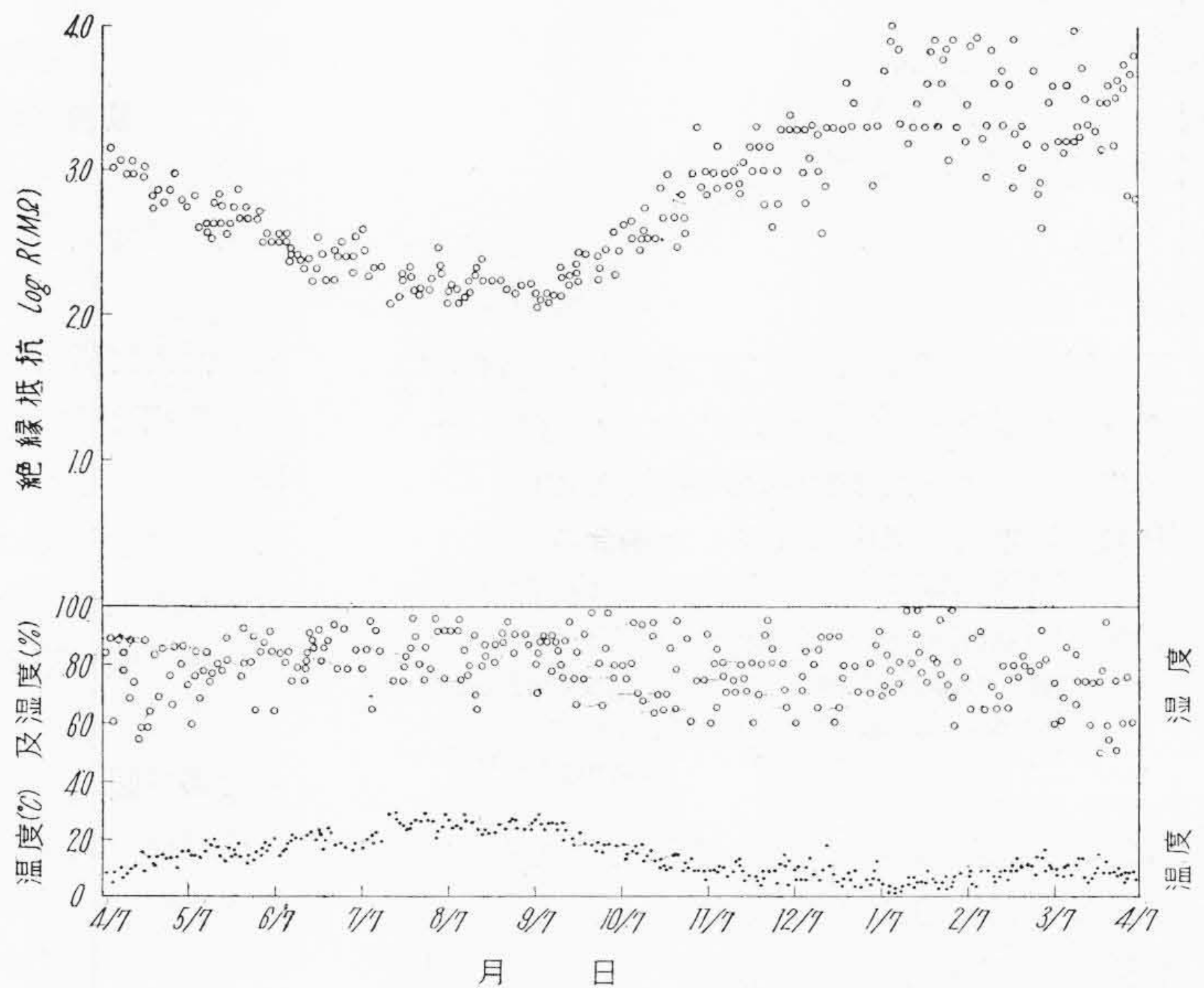


第6図  
1年間の常態絶縁抵抗試験  
結果 (試料A)

Fig. 6.  
Test Results of Insulation  
Resistance of Test Specimen  
Exposed in Air for  
A Year (Sample A)

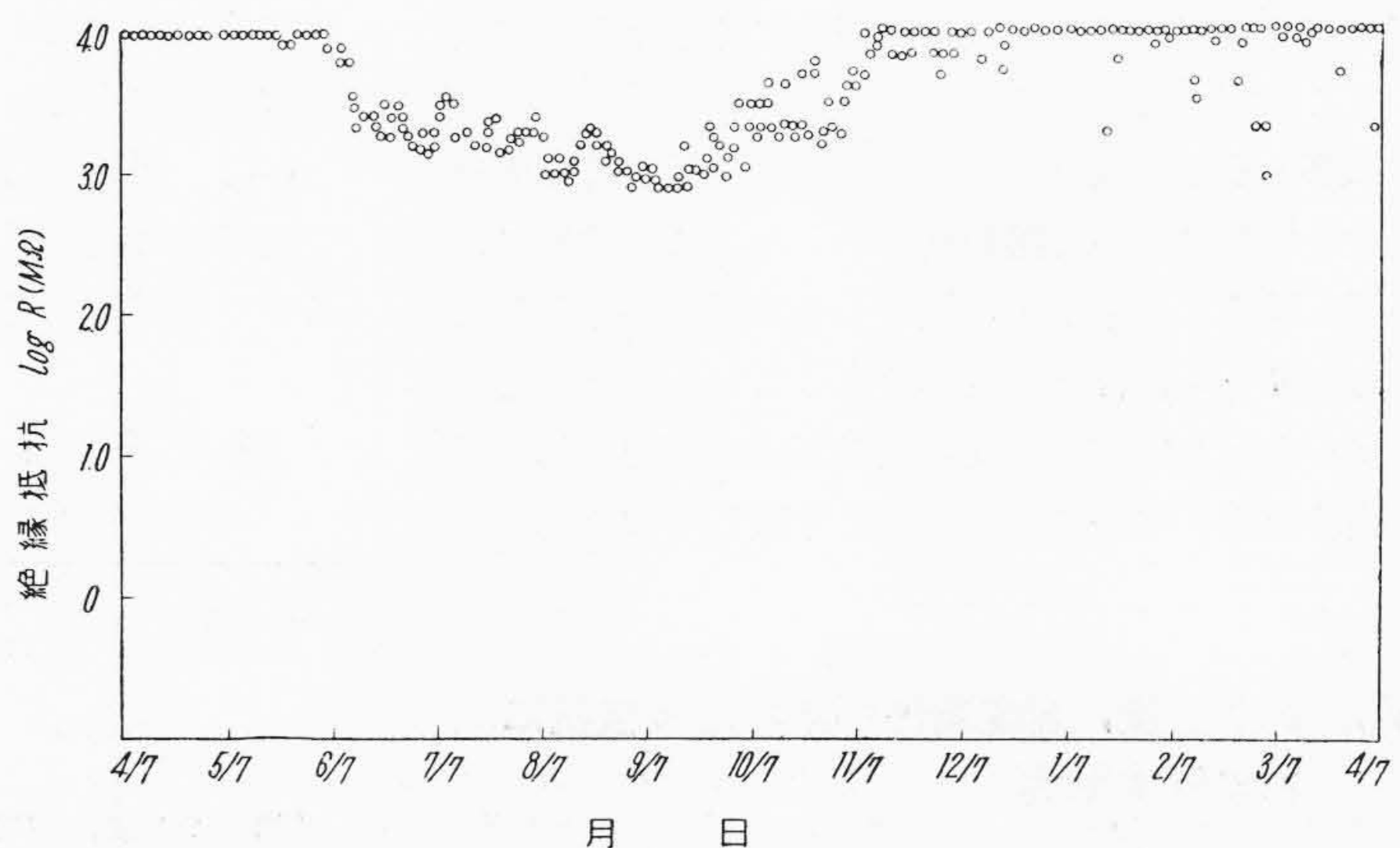
第7図  
1年間の常態絶縁抵抗試験  
結果 (試料B)

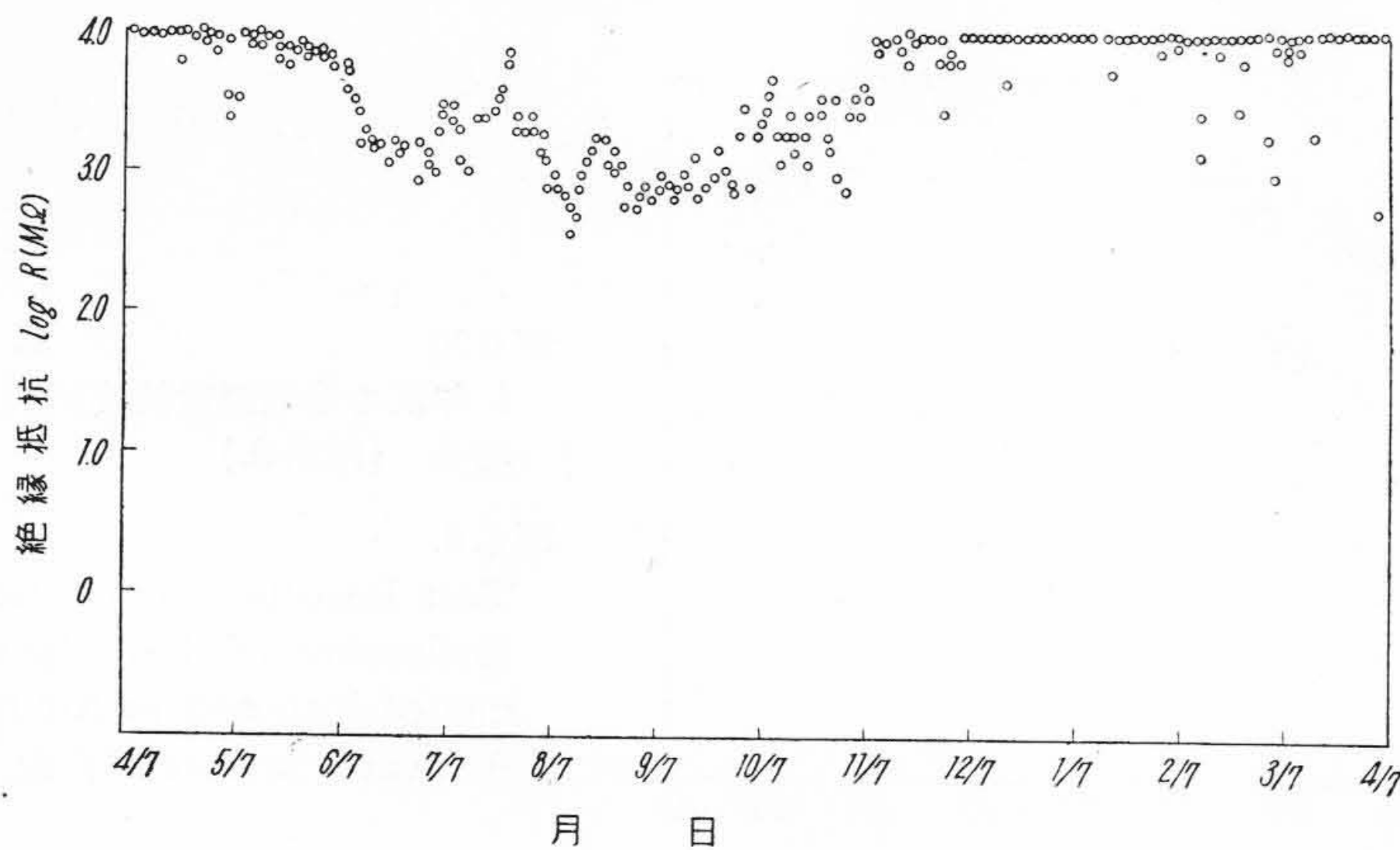
Fig. 7.  
Test Results of Insulation  
Resistance of Test Specimen  
Exposed in Air for A Year  
(Sample B)



第8図  
1年間の常態絶縁抵抗試験  
結果 (試料C)

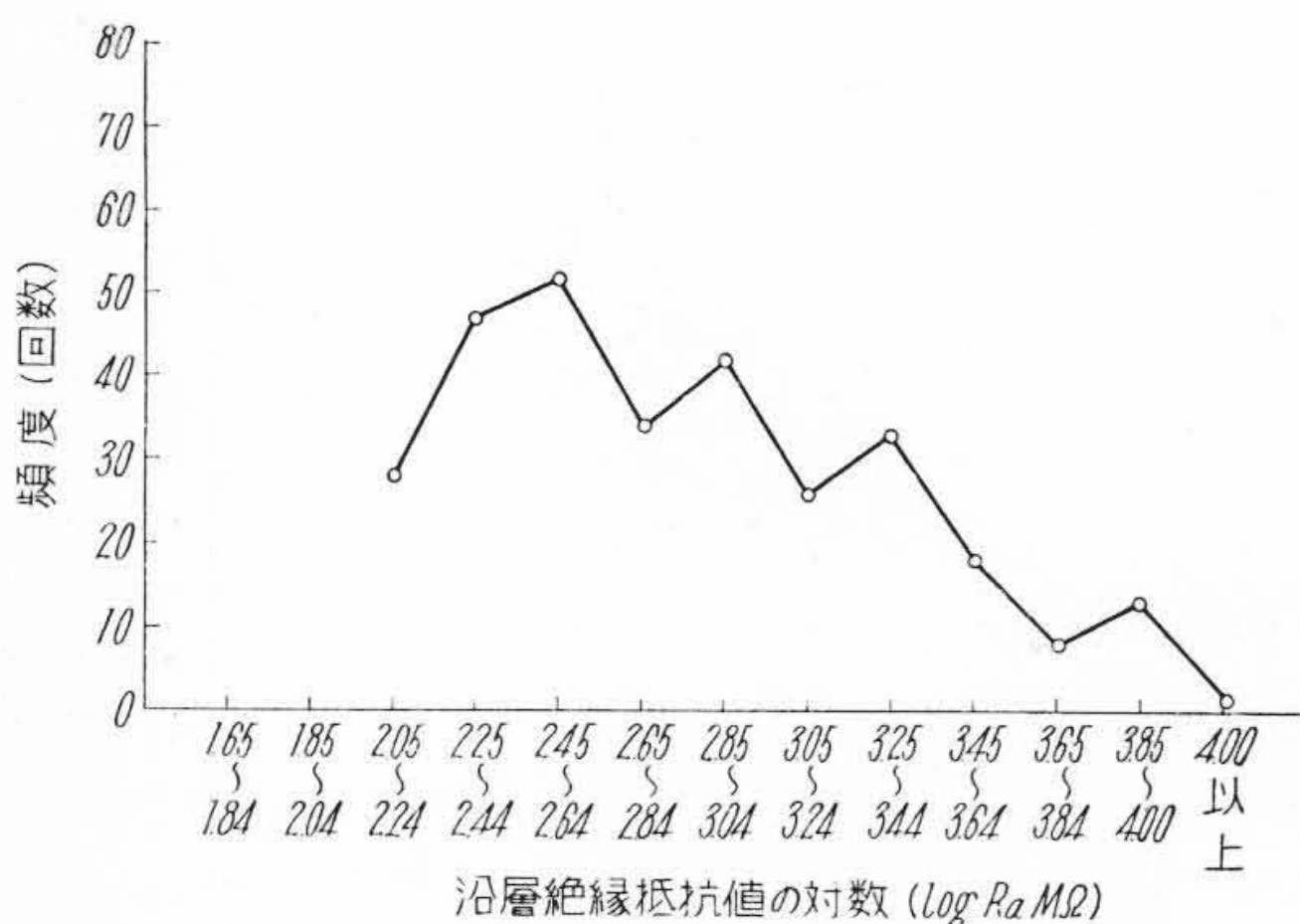
Fig. 8.  
Test Results of Insulation  
Resistance of Test Specimen  
Exposed in Air for A Year  
(Sample C)





第9図  
1年間の常態絶縁抵抗試験結果 (試料D)

Fig. 9.  
Test Results of Insulation Resistance of Test Specimen Exposed in Air for A Year (Sample D)



第10図 1年間空气中に放置した場合の常態絶縁抵抗の変動分布図 (試料B)

Fig. 10. Distribution Graph of Variation on Insulation Resistance when Exposed in Air for A Year (Sample B)

ている。これは温度、湿度の変動とあわせ考えるとあきらかなように、気温の上昇と高湿度の影響のためであつて、反面冬期または早春のような気温の低い状態では湿度が比較的高くても常態抵抗はあまり低下していない。

なお1年間を通じて観察すると積層板の常態沿層抵抗は冬期は高く夏期は低い状態を周期的にくり返して変動していることが認められる。

つぎに第7図の数値を引用して常態沿層抵抗値を横軸に、頻度を縦軸にとつて第10図に示した。この結果によると年間を通じての常態抵抗値の分布状態があきらかにされ、ほぼ1~2桁程度の変動を生じていることが認められる。したがつて常温常湿の室内気中で使用される積層板の絶縁設計にはこれらの変動を考慮しなければならない。

〔IV〕 周囲温度、湿度条件が常態沿層抵抗におよぼす影響

前章で1年間を通じての常態沿層抵抗の変動状態をあ

きらかにし、その原因が周囲温度、湿度状態によつていちぢるしく影響されることを説明したが、本章ではこの問題をさらに詳細に述べてみよう。

(1) 温度の影響

常温常湿の空气中に保たれた積層板の温度は周囲温度に比例して変化し、この温度変化が積層板の常態抵抗にいちぢるしい影響をあたえる。受理状態の厚み10mmの吸収紙基材積層板2種について18~25°Cの範囲で常態沿層抵抗を測定し第11図に示した。この結果によれば18°Cの状態と25°Cの状態では絶縁抵抗において約4倍の差を示している。したがつて常態抵抗の比較をする場合は温度条件を揃えないと誤つた判断をすることがある。第11図は第3図と同様に(2)式で示した実験式が成立することを証明するもので、(2)式の係数 $R_0$ および $\alpha$ を第11図より求め第3表に表示した。本質的には $R_0$ は積層板の前歴が乾燥状態の場合には高い数値を示し、吸湿状態では低い数値を示すものであるが、 $\alpha$ は逆に乾燥状態の場合は小となり、吸湿状態の場合は大となる。

しかるに(2)式より $\alpha$ が大きくなると計算上 $R_0$ の数値が大きくなることはあきらかなので $R_0$ を計算して比較することは意味がない。ただし $\alpha$ の大小が絶縁物の良否を比較する場合には重要である。

(2) 湿度の影響

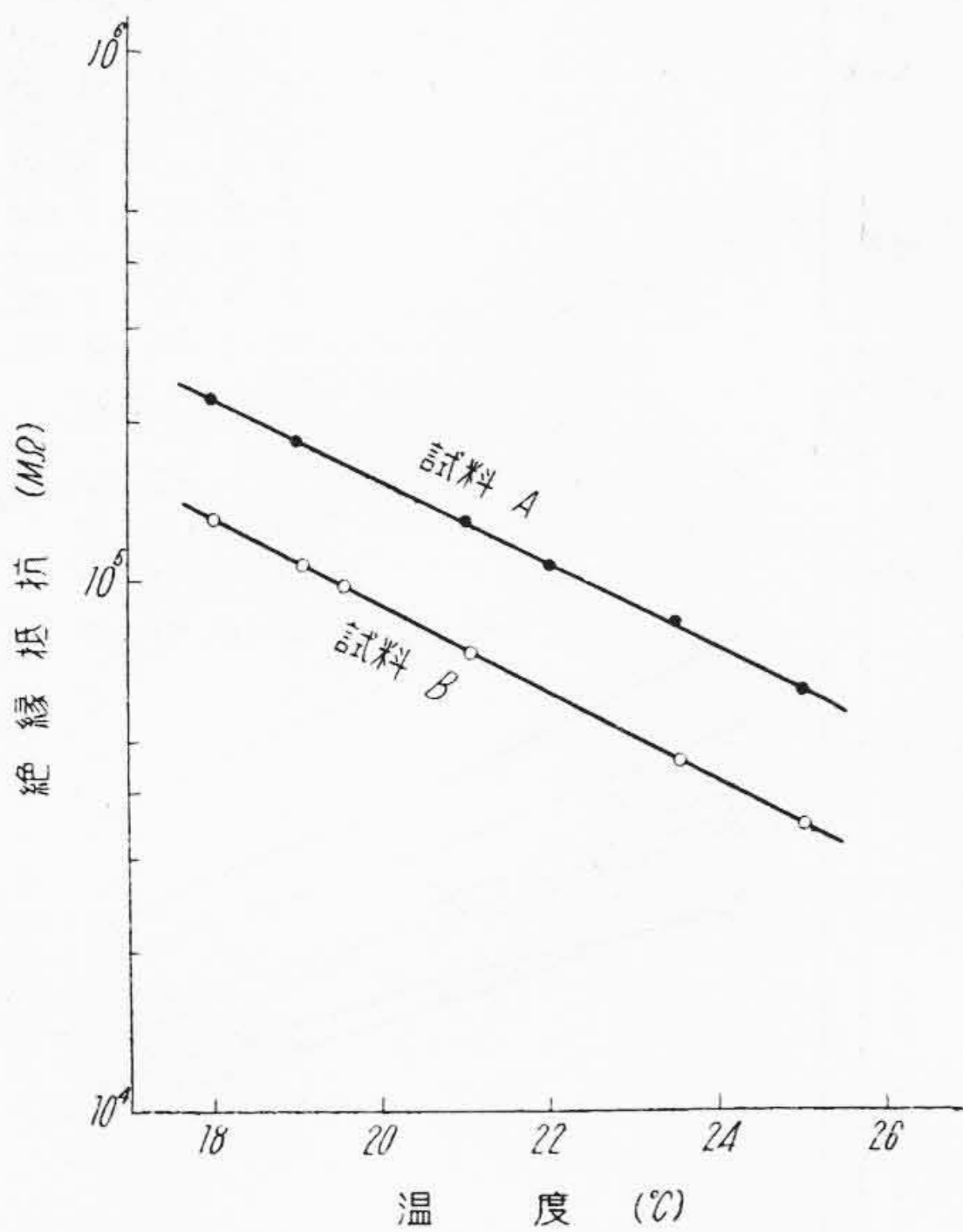
空気の湿度は春夏秋冬の季節によつて変化し、また1日中でも気温の変化、天候の変化にともなつて湿度は相

第3表 実験式の常数  
Table 3. Constants of Empirical Formulas

係数	試料	A	B
$R_0$		$5.87 \times 10^6$	$4 \times 10^6$
$\alpha$		0.183	0.19

(注) この実験に使用した積層板は3年間気中放置したもので、相当吸湿した状態のものである。





第11図 常温附近における温度と絶縁抵抗の関係

Fig. 11. Relation between Temperature and Insulation Resistance at Normal Room Temperature

当大きな変動を示す。自記湿度計によつて1日中の室内湿度の変化を調べると天候の急変や冷雨などの特別な場合を除き一般には夜間は昼間より湿度が高く、また午前よりも午後の方が湿度が低い場合が多い。このように湿度状態が変化すると積層板の表面に吸着する水分の平衡状態も変化し、結果として常態沿層抵抗が変動する。この実験的検討として厚み 10 mm の吸収紙基材積層板と厚み 3.2 mm の細糸布基材積層板について

- (A) 受理状態のまま、すなわち無処理の場合
- (B) 30 °C 50% RH の状態で 24 時間調湿処理した場合

(C) 30 °C 90% RH の状態で 24 時間過湿処理した場合

の3種の試料につき常温常湿の気中で手早く沿層抵抗を測定し、つぎに沸騰水中で2時間煮沸した後の沿層抵抗を測定して第4表に示した。これらの結果によると試験前の処理状態が乾燥条件の場合には常態沿層抵抗が高く、吸湿条件の場合には低くでることが認められる。この前処理の影響は表面吸着水分の状態に基因するものである。実験的に証明するため前記(A), (B), (C)の処理をした吸水試験片の重量を手早く秤量し、これを常温水中に24時間浸漬して吸水量を求め、それぞれ第4表に併記した。この結果によると浸水前に乾燥処理したものの吸水量は多く、吸湿処理したものの吸水量は少ない。

すなわち24時間程度の吸水処理では試験片内部にまで拡散滲透する水分はごく微量で、その大部分が試験片表面に吸着し、その吸着量は前処理経路が若干変化しても一定温度一定時間後にはほぼ飽和状態に近づくことが考えられる。

したがつて吸水試験前に吸湿処理をほどこした試験片の方が無処理のものよりも見掛け上の吸水量がすくないことになる。すなわち積層板の表面は湿度が高いときにはその表面の吸着水分が多く、湿度が低いときにはその表面の吸着水分が少ない。したがつて常態沿層抵抗にも高低を生ずるのである。

第12図~第13図(次頁参照)はE社発表<sup>(9)</sup>の同様な実験例で第4表と同じ傾向を示している。

つぎにM社発表<sup>(9)</sup>資料より積層板を 15% RH 状態で脱湿処理した場合および 90% RH 状態で吸湿処理した場合の処理時間と沿層抵抗の関係を引用して第14図(次頁参照)に示した。

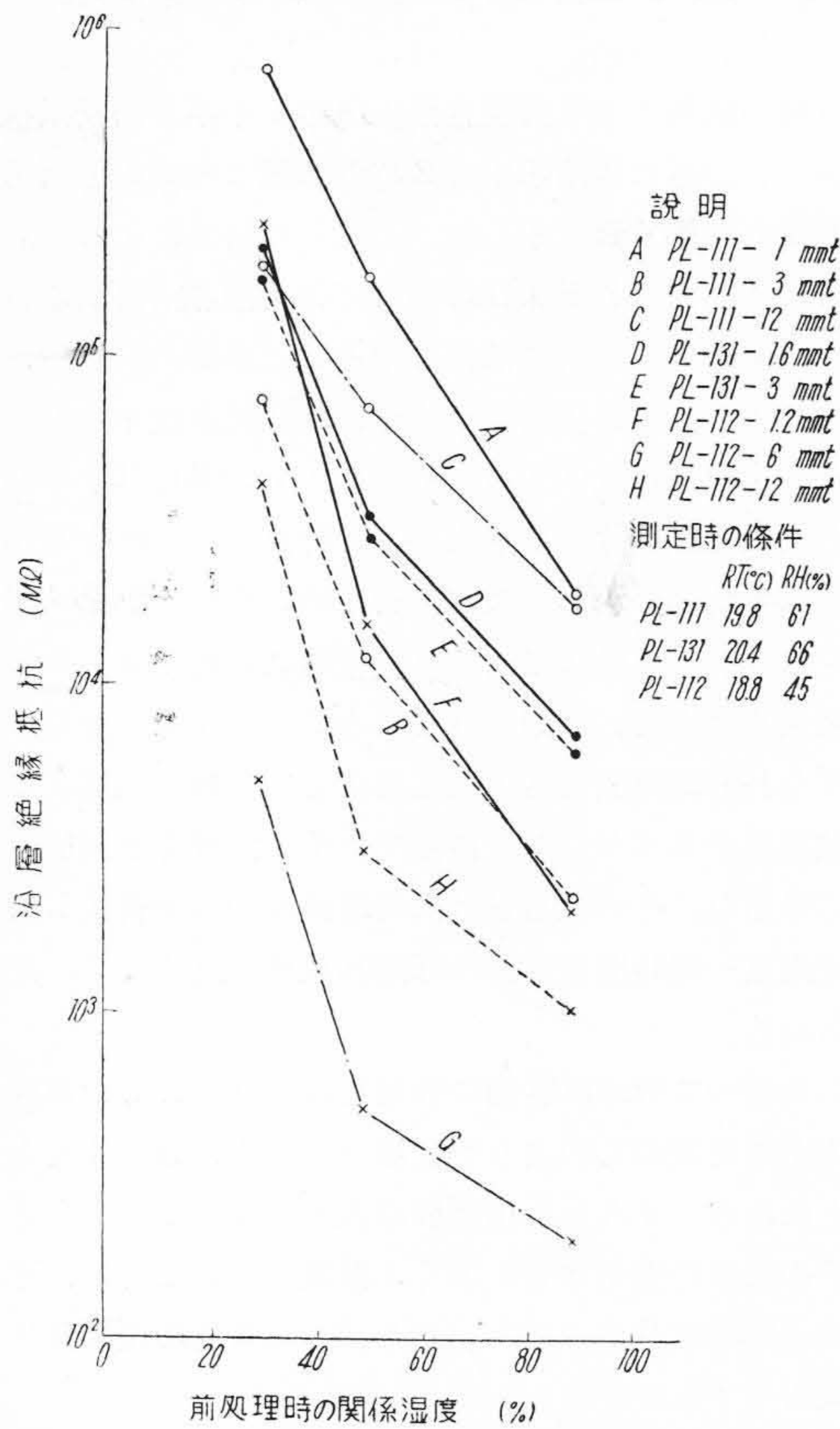
以上の各社の資料はいづれも周囲の湿度条件によつて表面の吸着水分の状態が変化し、常態の沿層抵抗にきわめて大きい影響をあたえることを示している。

第4表 試験片の前処理条件が沿層絶縁抵抗, 吸水量におよぼす影響  
Table 4. Influence Preconditioning on Insulation Resistance and Water Absorption of Test Specimens

試料	前処理条件 厚み (mm)	受理状態 (無処理)			C-24/30/50 (c)			C-24/30/90 (d)		
		沿層抵抗 (MΩ)		吸水量 (mg/100 cm <sup>2</sup> )	沿層抵抗 (MΩ)		吸水量 (mg/100 cm <sup>2</sup> )	沿層抵抗 (MΩ)		吸水量 (mg/100 cm <sup>2</sup> )
		常態	煮沸後		常態	煮沸後		常態	煮沸後	
P (a)	7	1.2 × 10 <sup>5</sup>	1.88 × 10 <sup>3</sup>	54.5	4.34 × 10 <sup>5</sup>	3.3 × 10 <sup>3</sup>	76.1	5.22 × 10 <sup>4</sup>	2 × 10 <sup>3</sup>	42.5
F (b)	3.2	2.18 × 10 <sup>3</sup>	1.4 × 10 <sup>2</sup>	117	5.7 × 10 <sup>4</sup>	2.9 × 10 <sup>2</sup>	185	1.5 × 10 <sup>3</sup>	1.8 × 10 <sup>2</sup>	81
測定時の条件	室温	20	18.5	—	21.5	20.5	—	21.5	20.5	—
	湿度	89	89	—	80	80	—	80	80	—

(注) a) 試料 P は吸収紙基材積層板 b) 試料 F は細糸布基材積層板  
c) C-24/30/50 は 50% RH, 30 °C の恒温恒湿処理 24 時間を示す。 d) C-24/30/90 は 90% RH, 30 °C の恒温恒湿処理 24 時間を示す。





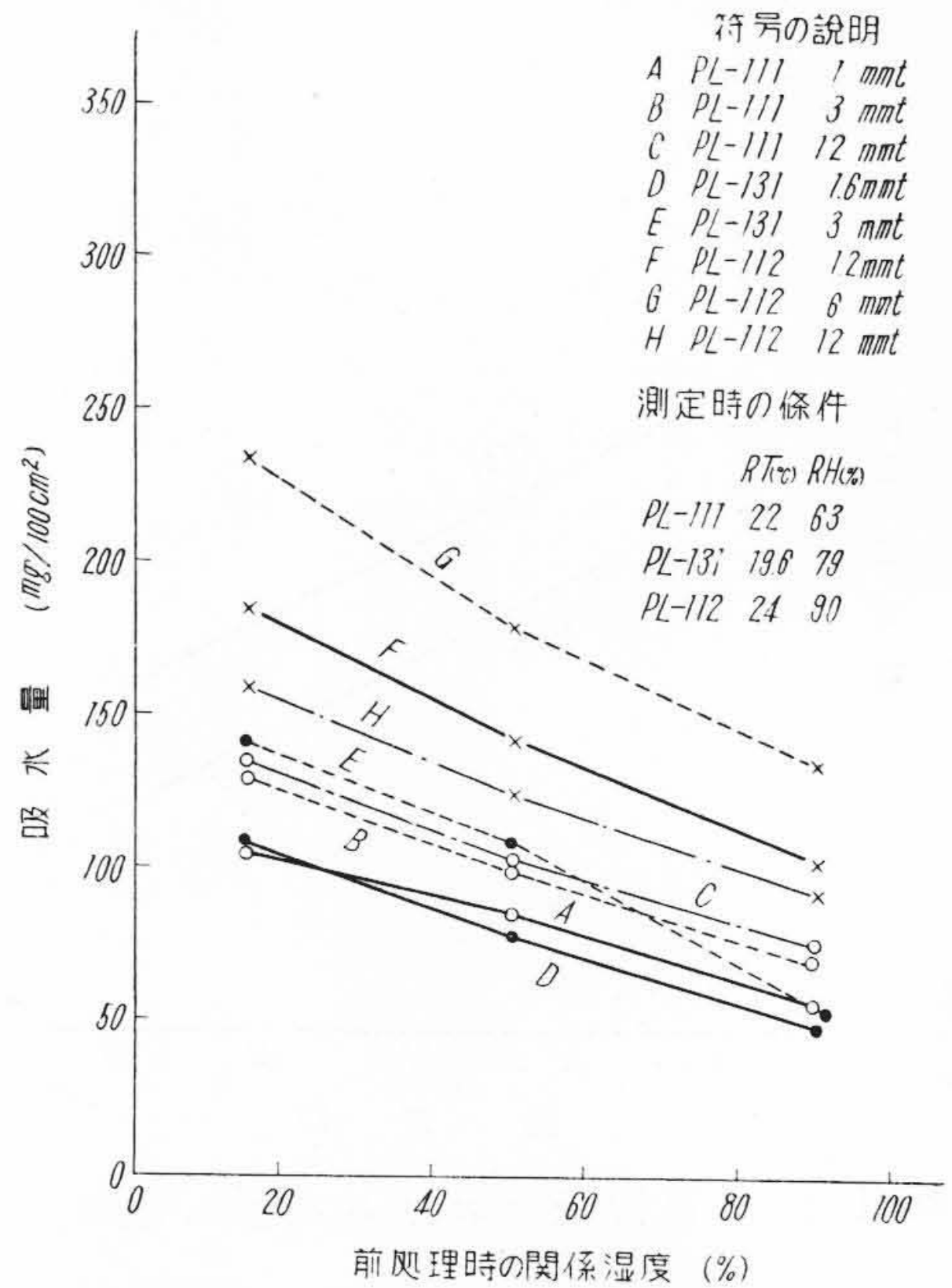
第12図 試験片の前処理時の関係湿度と絶縁抵抗の関係<sup>9)</sup>

Fig.12. Relation between Relative Humidity of Preconditioning of Test Specimen and Insulation Resistance

〔V〕 常態沿層抵抗の測定について

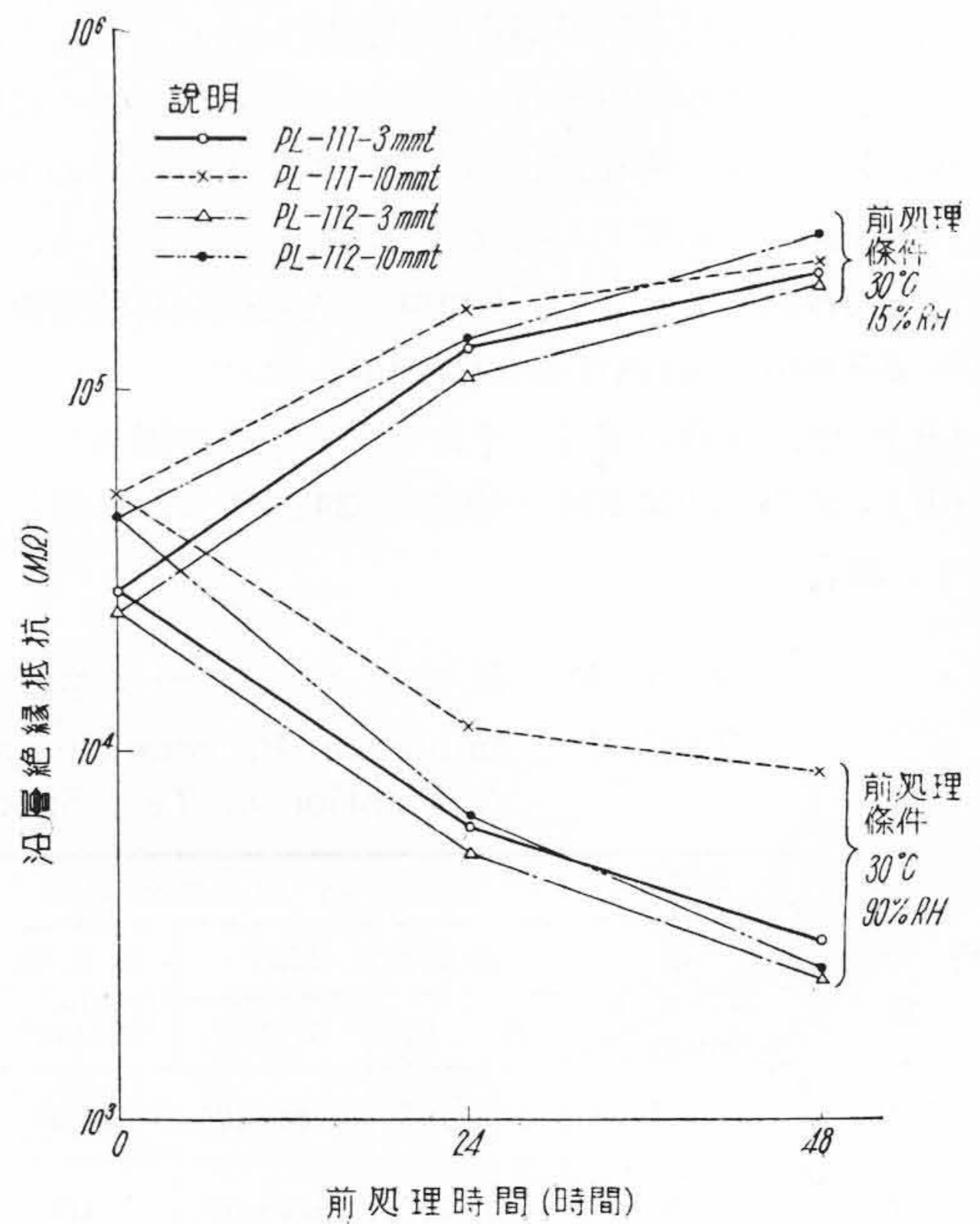
現在フェノール樹脂積層製品の日本工業規格<sup>(1)</sup>では絶縁抵抗試験として第1図の沿層方向の絶縁抵抗試験を採用し、規格値としては常態で測定した沿層抵抗値および沸煮処理2時間後に測定した沿層抵抗値を規定している。この場合常態抵抗の試験は受理状態のものにつき常温、常湿の下で行うものとし、常温とは10~30°C、常湿とは80% RH以下の状態を指定している。しからば第11図より類推されるように10°Cの場合の測定値と30°Cの場合の測定値では約40倍の差を示すこととなる。また第7図よりわかるように室内湿度は冬期40% RH前後に低下することは常に経験することであるから、40% RH状態に置かれた試験片をその状態で測定した数値と、80% RH状態に置かれた試験片をその状態で測定した数値では相当な差異を示すことはあきらかである。第12図より推定すると5~10倍の差が認められる。

以上の事実より冬期には規格値に若干の余裕をもつて



第13図 試験片の前処理時の関係湿度と吸水量の関係<sup>9)</sup>

Fig.13. Relation between Relative Humidity of Preconditioning of Test Specimen and Water Absorption<sup>(9)</sup>



第14図 試験片の前処理時間と絶縁抵抗の関係<sup>9)</sup>

Fig.14. Relation between Preconditioning Time of Test Specimen and Insulation Resistance<sup>(9)</sup>



合格しても夏期には不合格となることが予想されるから、常態沿層抵抗の試験条件については再検討を要することになる。この一つの解決方法としては受理状態で常態抵抗を測定するかわりに一定の温度、湿度条件の下にある時間処理し、試験片の前歴の影響を調整してから測定することがのぞましい。この試験前処理（以後前処理と略記する）条件を過湿処理にするかあるいは脱湿処理にするかは目的、処理方法の信頼性、そのほかの条件を考慮して決めるべきである。種々の湿度調節方法については電気学会技術報告<sup>(10)</sup>に述べられている。

測定時の周囲温度、湿度条件としてはASTM<sup>(11)</sup>では $23\pm 1.1^{\circ}\text{C}$ 、 $50\pm 2\% \text{RH}$ の標準室条件に調整されたところで、試験する機会が多く、湿度を指定されない状態では室温を $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ と指定している。

筆者は我国の設備状態より勘案して前処理条件(温度、湿度、時間)を厳格に規定し、試験する場合は前処理装置より取り出して常温常湿状態で手早く測定する方法が簡便ではないかと考える。この場合の常温、常湿は前処理が特別な過湿処理でなければ $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ 、 $60\sim 80\% \text{RH}$ がのぞましい。

## [VI] 結 言

フェノール樹脂積層製品の沿層抵抗は表面抵抗と体積抵抗によつていちぢるしく影響されることをあきらかにし、応用上便利な沿層固有抵抗の計算方法を述べ応用計算例を示した。

沿層固有抵抗は普通使用される常温常湿状態、あるいは吸湿状態においては表面固有抵抗と対応することを計算し、実験的にも適合することを述べた。

フェノール樹脂積層板を常温常湿の室内に1年間放置して日々の常態沿層抵抗を測定し、変動状態を検討した結果は夏は低く、冬は高い数値を示し、1年間を通じて周期的に変動していることをあきらかにした。しかしてこの常態沿層抵抗の変動範囲は試料によつて差異はあるがほぼ1~2桁程度の数値変動があることを確認した。積層板を応用する絶縁設計にはこれらの事項を十分考慮しなければならない。

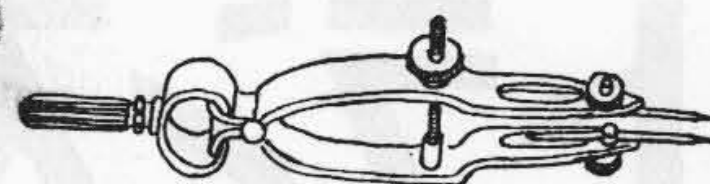
積層板の常態沿層抵抗の変動は周囲の温度、湿度条件が影響することをあきらかにし、この原因は積層板の表面に吸着している水分の状態によるものであることを述べた。

以上の結果を総合して現在のフェノール樹脂製品にかんする日本工業規格の常態絶縁抵抗試験方法の試験条件に改訂すべき点のあることを述べ、改善方法として試験片の前歴の影響を調整するため試験前処理を厳格に規定すべきことを提案した。

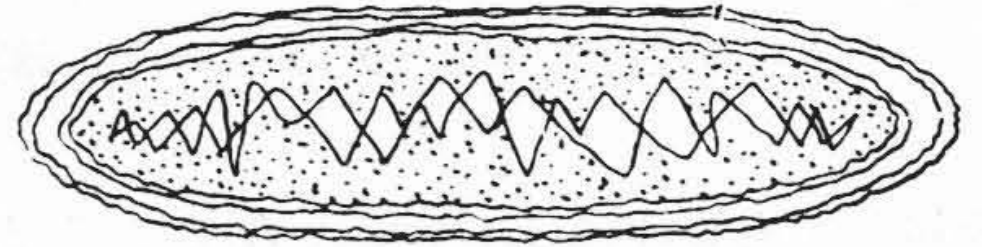
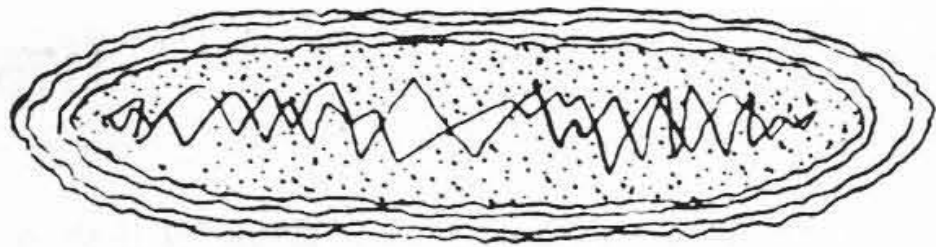
本報をまとめるにあたり電機工業会絶縁材料委員会および合成樹脂協会技術委員会で発表された各社の試験資料を引用したことを附記し、各関係に感謝の意を表する次第である。

## 参 考 文 献

- (1) 日本工業規格: JIS; K 6706~6711 (1952)  
フェノール樹脂積層板, 積層棒, 積層管
- (2) 電々公社材料仕様書:  
材仕66号 通信用石炭酸系樹脂積層板材料仕様書  
試仕119号 通信用石炭酸系樹脂積層板試験方法
- (3) ASTM: D709-52 T Tentative Specifications for Laminated Thermosetting Materials, Table XLI. Insulation Resistance.
- (4) 昭和29年11月29日 日本電機工業会絶縁材料委員会にてT社が発表したフェノール樹脂積層板の資料
- (5) 昭和30年1月26日 日本電機工業会絶縁材料委員会にてF社が発表したフェノール樹脂積層板の資料
- (6) 石原純: アルス電気工学大講座第1巻 電気磁気理論 120
- (7) 帆足竹治: 電気回路 14~17 修教社書院(昭17.7)
- (8) ここに特に厚み 3.2 mm の場合を引用したのは、この場合は金属棒を電極とするため両表面の影響をひとしく考えることができる。厚み 10 mm の場合は1面は空気中に接しほかの面は絶縁抵抗測定用台に接触しているため厚み 3.2 mm の方が数値計算に相当と考えたものである。
- (9) 昭和29年7月28日 合成樹脂協会技術委員会にてE社およびM社が発表したフェノール樹脂積層板の資料
- (10) 電気学会: 技術報告 第1号 (昭29.8)
- (11) ASTM: D 618-51 T Tentative Methods of Conditioning Plastics and Electrical Insulating Materials for Testing.

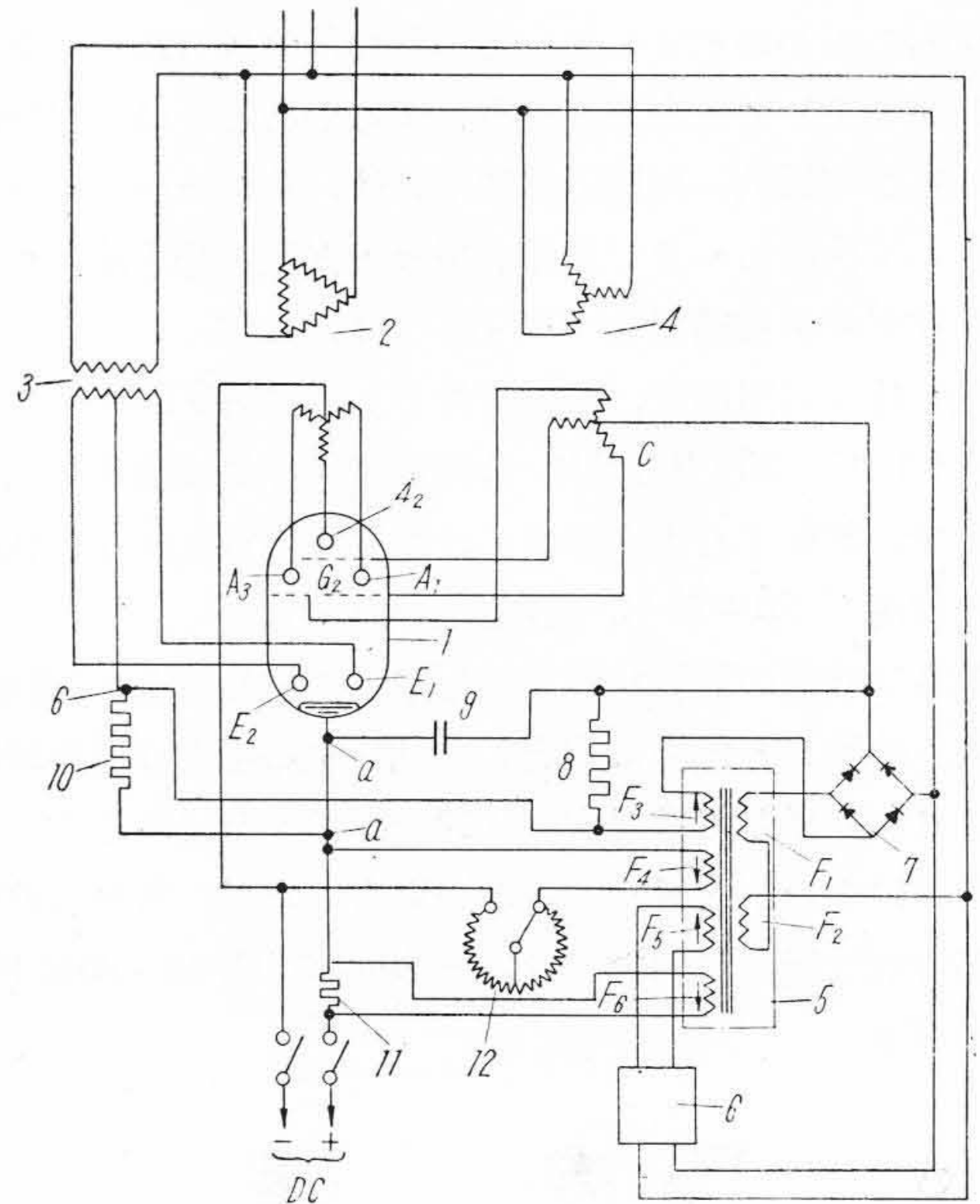







水銀整流器自動調整装置

この発明は格子付水銀整流器が電源電圧の変動または周囲温度などの影響によつてその出力電圧をはなはだしく変動する欠点を有効に除去し、また整流器を蓄電池の浮動充電に使つたような場合に能率低下を伴うことなく適当なる垂下特性を發揮せしめるにある。図において1は格子付水銀整流器、2は主変圧器、3は励弧変圧器、4は格子変圧器、5は格子自動制御用磁気増幅器、6は定電圧装置、7は増幅器用の全波整流器、8は増幅器負荷抵抗、9は濾波用蓄電器、10は励弧抵抗で11は整流器1の直流出力回路DCに入れた分路抵抗である。増幅器5において $F_1$ 、 $F_2$ は交流線輪で整流器7の入力側に接続され変圧器2の電源側に入る。 $F_3$ はフィードバック線輪 $F_4$ は電圧線輪、 $F_6$ は電流線輪、 $F_5$ はバイアス線輪である。 $F_3$ の両端は抵抗8によつて閉じられ $F_4$ は整定抵抗12を介してDCの線間に接続され、 $F_6$ は抵抗11に分路接続され、また $F_5$ は装置6を経て交流電源に接続されること図示のごとくである。つぎに整流器1の格子制御電圧関係を見ると、4によつてあたえられる制御電圧は電源電圧と90度の相差があり、これに対してバイアスとして4の二次中性点Cと整流器1の陰極Kのa点間に並列に存在する抵抗8および10の電圧降下の和が重畳される。しかして10の電圧は励弧電流が一定であることから常に一定であるのでこれと一定の移相電圧(4からの)との共同作用で格子制御される結果は格子制御が一定に固定されてしまつて、電源の電圧変動その他に不感動的になり対応性を失つてしまい、その結果はたとえば交流電源電圧が1%変動したために直流出力電圧が数%も変るといふ実例がある。しかるにこの発明では増幅器5の $F_5$ を定電圧装置6の出力側に接続して常に一定励磁をあたえておき、これに対し $F_4$ を12などの調整によつてDC電圧が規定の一定値であるときに相平衡するようになし、この状態において $F_3$ の電流値を一定とし、したがつて8の電圧降下をある一定値に保ちこれと10の電圧降下との相和をバイアスとして整流器1の出力電圧を一定に保持せしめる。そこで今しばらく $F_6$ の作用を無視して動作を考えると、なんらかの原因で整流器1の出力電圧が変動するとそれは $F_4$ の作用力



の変化として現われ、それは基準たる $F_5$ を起点として増幅器5の制御作用が増しあるいは減ずることになるので出力電流は鋭敏にこれに感応して8の電圧降下に拡大された変化を生ずる。よつて整流器1の格子制御が行われ出力電圧を規定の一定値に引き戻すことになる。つぎに $F_6$ が加味されるとこの作用力も $F_4$ のそれと同様で $F_5$ のそれに対抗的となつているから $F_4$ と $F_6$ との相和が $F_5$ と平衡するにいたるまで増幅器5を作動させ1の格子制御を続けることとなり、その結果は負荷電流の増減に反比例して出力電圧を増減せしめもつて垂下特性を發揮するのである。従来この目的のために整流器負荷回路に直列抵抗を設けて $I^2R$ ロスを余儀なくされていたがこの不備を償つたものである。(宮崎)

大量生産による  
均等な品質!



# 日立トランス

日立製作所  
最寄の日立商品特約店又は販売店に御用命下さい。

