

フェノール樹脂積層品の電氣的性能の二、三について

Some of Electrical Characteristics of Phenolic Resin Laminated Products

松井千里*

内容梗概

日立製作所においてはフェノール樹脂製品の製造、性能究明について多くの発表を行ってきたがこれらの資料を整理し、その後行われた衝撃電圧特性、および吸湿劣化に関する二、三の知見を加えてフェノール樹脂積層品の電氣的性能の説明をこころみた。また特性上よりみとめられる応用上の注意事項を解説し関係方面の参考資料とした。

〔I〕 緒言

さきに筆者はフェノール樹脂製品の電氣的性質の解説⁽¹⁾をこころみたがその後内外に多くの実験結果が発表され、設計的にも有用な数値が得られてきたのでこゝに取纏めてみた。

フェノール樹脂積層品とは一般的には積層板、ロール積層管、モールド積層管、積層丸棒、積層成型品の総称であるが本報では積層板、ロール積層管の性能を主として述べた。これら各種製品の説明は木曾⁽²⁾、杉田⁽³⁾、松井⁽⁴⁾の報告にくわしいので省略するが積層品の特異性は層に垂直な方向（厚さ方向あるいは貫層方向ともいう）と層に平行な方向（沿層方向あるいは端面方向ともいう）との2方向性があり性能的にも異なる。また表面部分と端面では硬度、吸水性が異なるためこれらの電氣的特性上の差についてくわしく説明した。

近年電気機器の衝撃電圧試験が重視されているのでこの方面の設計資料として積層品の衝撃電圧特性を述べ参考資料とした。

最近電気学会より発表された技術資料⁽⁵⁾を基としてフェノール樹脂積層板の吸湿特性を論じ周囲の温度、湿度条件に対応した平衡吸湿状態に達するまでの時間を求め、2、3 実験結果と対照して考察を行った。

〔II〕 常態における電氣的特性

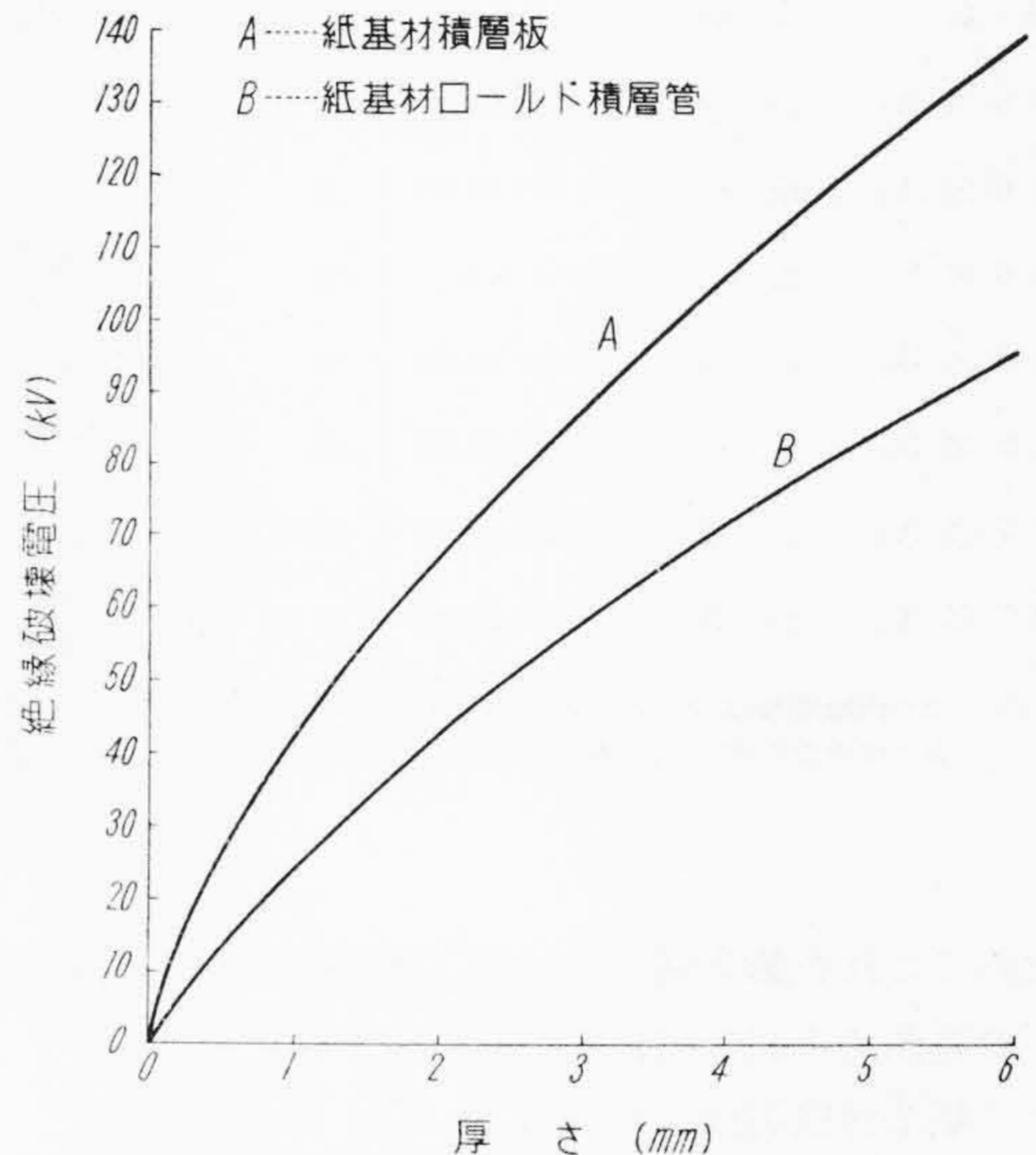
フェノール樹脂製品は常温常湿気中または常温の絶縁油中ではすぐれた電氣的性能を有する。この状態における電氣的特性は標準数値であつて使用する場合の諸条件に応じて種々の因子を考慮しなければならない。

(1) 厚さ方向の破壊電圧特性

(A) 商用周波数交流破壊電圧

第1図は紙基材積層板 (JIS⁽⁶⁾ PL-111 および PL-112 該当品) と紙基材ロール積層管 (JIS⁽⁷⁾ PTR-11B1 該当品) について第1表 (次頁参照) 記載の試験条件で行つた連続電圧上昇法による瞬間破壊電圧を示したもので

* 日立製作所多賀工場



第1図 厚さと破壊電圧の関係 (絶縁油中で試験)

Fig. 1. Puncture Voltage vs. Thickness in Insulating Oil

ある。この試験においては破壊電圧が 60~70 kV 以上になると電極の縁端効果の影響があらわれ油中コロナによつて電極周辺に炭化または焼損した痕跡が残る。第1図より厚さと破壊電圧の実験式を求めると厚さが 6 mm 以下の条件では次式の関係が成立する。

紙基材積層板 (PL-111 および PL-112) の場合

$$E = 42 t^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (1)$$

紙基材ロール積層管 (PTR-11B1) の場合

$$E = 25 t^{\frac{3}{4}} \dots\dots\dots (2)$$

こゝに

E = 厚さ t (mm) の絶縁破壊電圧 (瞬間値) (kV)

t = 厚さ (mm)

つぎに厚い場合の参考資料として米国の NEMA が発表している紙基材積層板 (X, XX), および電気用布基材積層板 (LE および CE) の厚さと絶縁耐力 (step by step 法による) の資料⁽⁸⁾より第1図の場合と同様の関係

第1表 試験条件一覧表
Table 1. Description of the Procedure of Testing

関連番号	電圧印加方向	電圧波形	周囲条件	試験片寸法	電極条件	備考
第1図A	貫層	50サイクル	20°C 油中	厚さ0.4~6mm	上部 12.7φ 球, 下部 25φ 円板 ^a	ASTM: D149-44 } 気象条件 RT 14~18°C RH 55~73% 753~754mm Hg
第1図B	貫層	50サイクル	20°C 油中	内径 25mm 厚さ 1~5mm	外側錫箔, 内側嵌込丸銅棒 ^b	
第2図	貫層	—	油 中	厚さ 2吋以下	うすい場合 2吋D円板, 厚い場合 1吋D円板	
第3図	貫層	+1.5~40 μS 60サイクル	10°C 油中 16°C 油中	内径 25mm 厚さ 1~6mm	外側アルミ箔, 内側嵌込丸鉄棒 ^b	
第4図	貫層	60サイクル	20°C 油中	厚さ 3mm	上部 12.7φ 球, 下部 25φ 円板 ^a	
(7)式	貫層	60サイクル	22°C 油中	厚さ 2mm	上部 20φ 球, 下部 25φ 円板 ^a	
(8)式	貫層	50サイクル	23°C 油中	内径 19.5mm 厚さ 17.5mm	外側錫箔, 内側嵌込丸鉄棒 ^b	
第6図A ₁	沿層	50サイクル	油 中	厚さ 10mm 矩形板	積層板に錫箔を巻付けて電極とす	
第6図A ₂	沿層	+1.0×40 μS	油 中	厚さ 10mm 矩形板	積層板に錫箔を巻付けて電極とす	
第6図B ₁	沿層	60サイクル	気 中	内径 20mm 厚さ 16mm	外側錫箔, 内側嵌込丸鉄棒 ^b	
第6図B ₂	沿層	+1.5×40 μS	気 中	内径 20mm 厚さ 16mm	外側錫箔, 内側嵌込丸鉄棒 ^b	
第6図B ₃	沿層	+1.5×40 μS	油 中	内径 25mm 厚さ 3mm	外側に等価直径 8mm のストランド線を巻付ける	
第7図A ₁	沿層	+1.5×40 μS	10°C 油中	内径 25mm 厚さ 3mm	外側に等価直径 8mm のストランド線を巻付ける	
第7図A ₂	沿層	+1.5×40 μS	気 中	内径 25mm 厚さ 3mm	外側に等価直径 8mm のストランド線を巻付ける	

(註) a=円板電極は全て端部に半径1mmの丸味を付けたものを使用した。
b=積層管の内側嵌込丸棒電極は錫箔あるいはアルミニウム錫を巻付けて間隙のないように注意して行つた。

を求めてこれを第2図に示した。第2図より厚さ50mm以下の範囲で下記の実験式が成立する。

紙基材積層板 (X および XX) の場合

$$E = 28 t^{1/2} \dots\dots\dots (3)$$

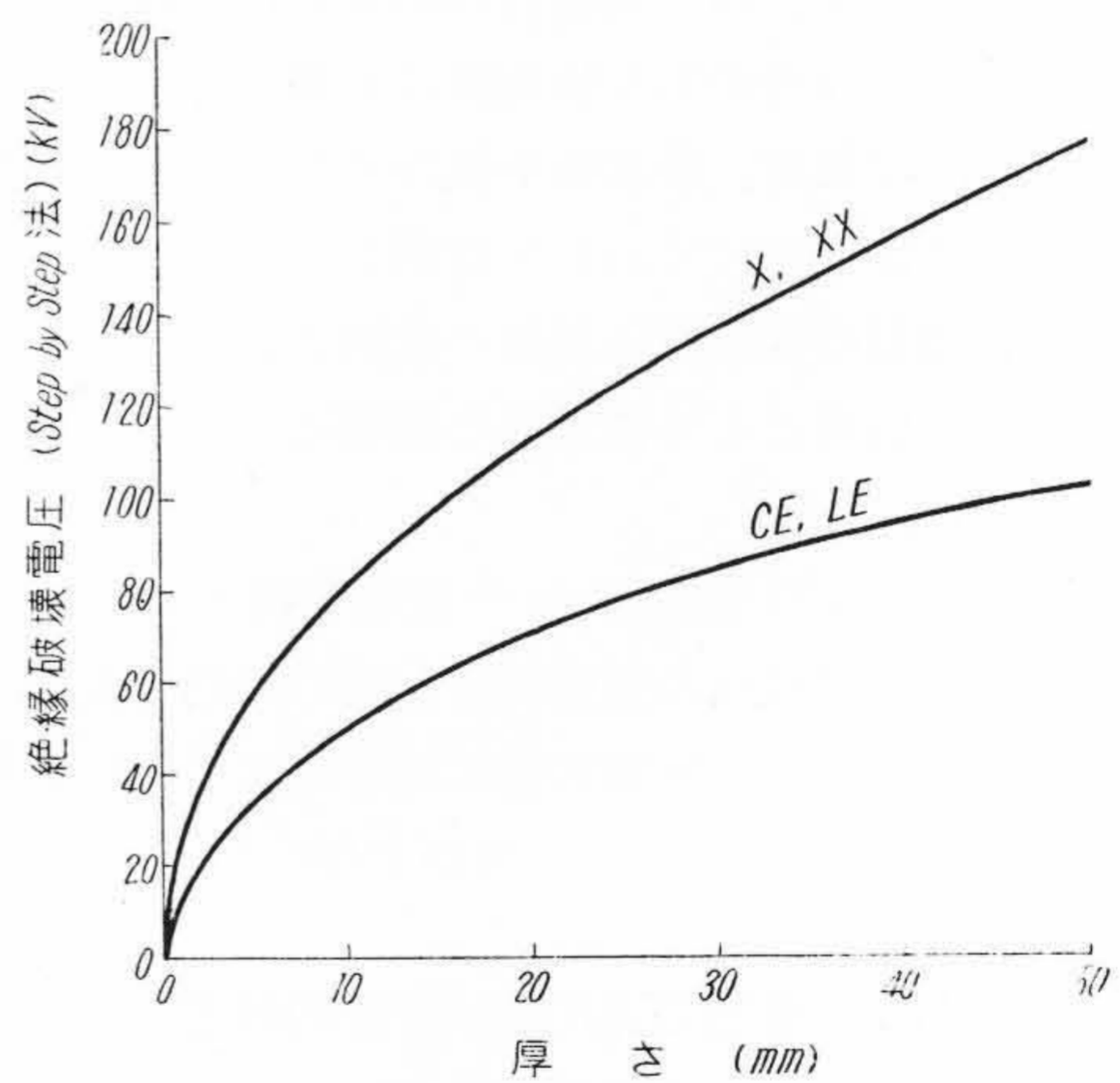
布基材積層板 (LE および CE の場合)

$$E = 17.7 t^{3/7} \dots\dots\dots (4)$$

(1)式と(3)式を比較すると(1)式は瞬間破壊値, (3)式は1分間加電破壊値をそれぞれ対象としているから直接比較することは困難であるが後述のごとく加電時間の影響および厚くなると熱の蓄積が多くなることなどの影響のため総括的に判定すると(1)式と(3)式との関係はほぼ等価的な表現を示しているものと見ることができよう。

(B) 衝撃波形電圧特性

第3図は内径 25mm 厚さ 1, 3, 6mm のロール積層管 (PT-R11B1) について厚さ方向に 1.5×40 μS の衝撃電圧を印加し厚さと破壊電圧の関係を第1表記載の試験条件下で求めたものである。参考として連続上昇法による60サイクル交流破壊電圧の曲線を併記したが厚さ6mm以下の場合は厚さと衝撃破壊電圧の関係は直線的である。この衝撃破壊電圧より最高破壊電界 g max を計算して第7図に点線で示したが 36~46 kV/mm で厚く

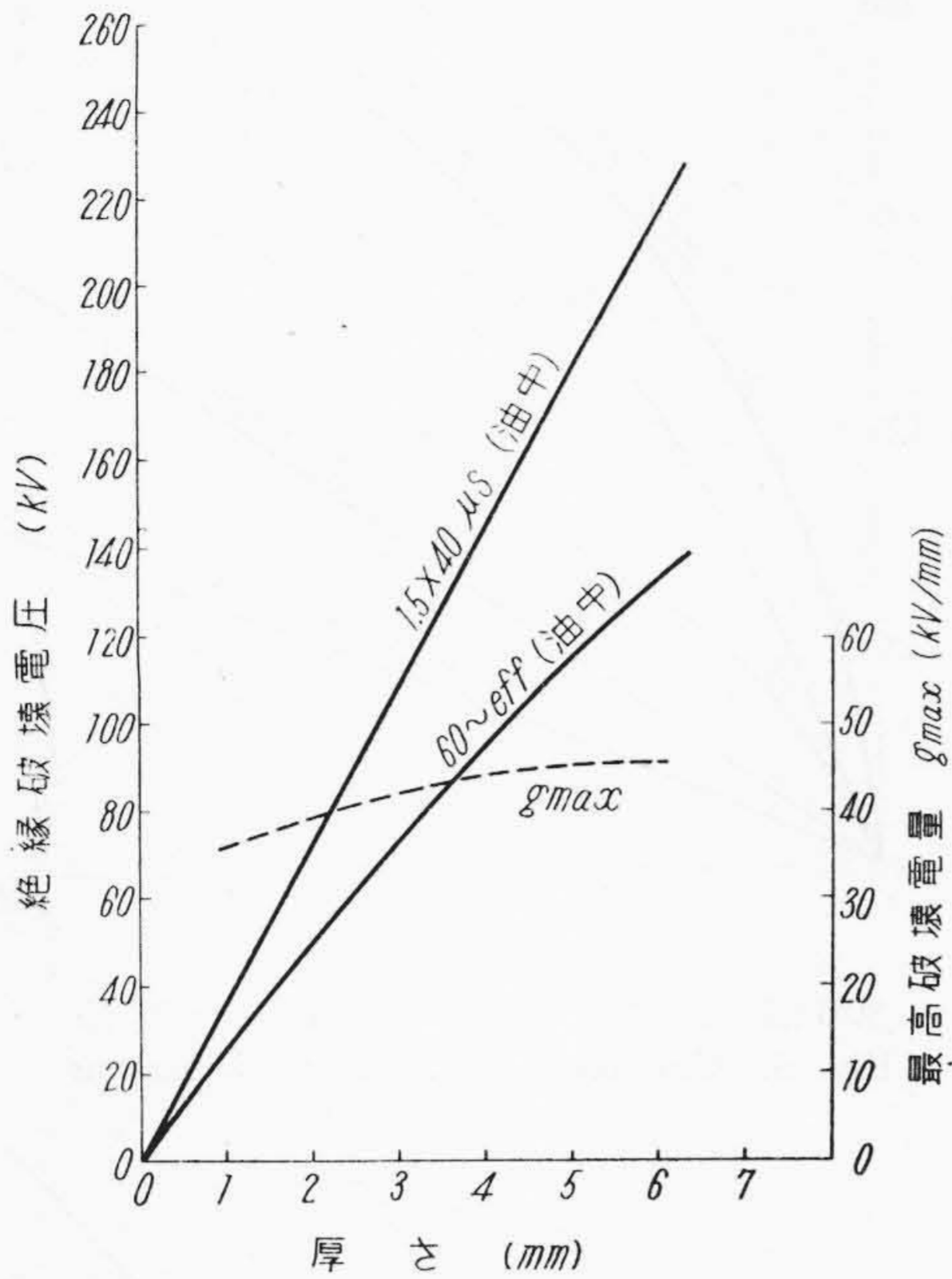


第2図 厚さと破壊電圧の関係 (NEMA 資料より)
Fig. 2. Puncture Voltage vs. Thickness (NEMA Engineering Information)

なるほど最高破壊電界が高くなる傾向を示しているのは注目すべきことである。

(C) 加電時間と破壊電圧特性

一般に加電時間が長くなるほど破壊電圧が低下する。この加電時間 T と破壊電圧 E_T の関係は第4図に示すごとくある数値に漸近曲線であらわされる。



第3図 厚さと衝撃破壊電圧の関係 (絶縁油中で試験)

Fig. 3. Impulse Puncture Voltage vs. Thickness in Insulating Oil

Peek, Montsinger⁽⁹⁾ はこの関係式として次式を提案

している。

$$E_T = E_1 \{ a + (1-a) T^{-1/4} \} \dots \dots \dots (5)$$

ここに

E_T = T 分間加電した場合の破壊電圧 (kV)

E_1 = 1分間加電破壊電圧 (kV)

a = 常数 (この数値は無限時間加電破壊電圧 E_∞ と1分間加電破壊電圧 E_1 との比である)

筆者は厚み 3, 6, 10mm の紙基材積層板 (PL-111) より JIS 規定貫層耐電圧試験片⁽⁶⁾ を多数加工して第1表記載条件により加電時間が10分までの範囲で加電時間と破壊電圧の関係を実験したところ第4図と同様な結果が得られ、(5)式の形で示すと(6)式が得られる。

3 mm t より加工した試験片の場合

$$E_T = 24.5(0.686 + 0.314 T^{-1/4}) \text{ (kV/mm)}$$

6 mm t より加工した試験片の場合

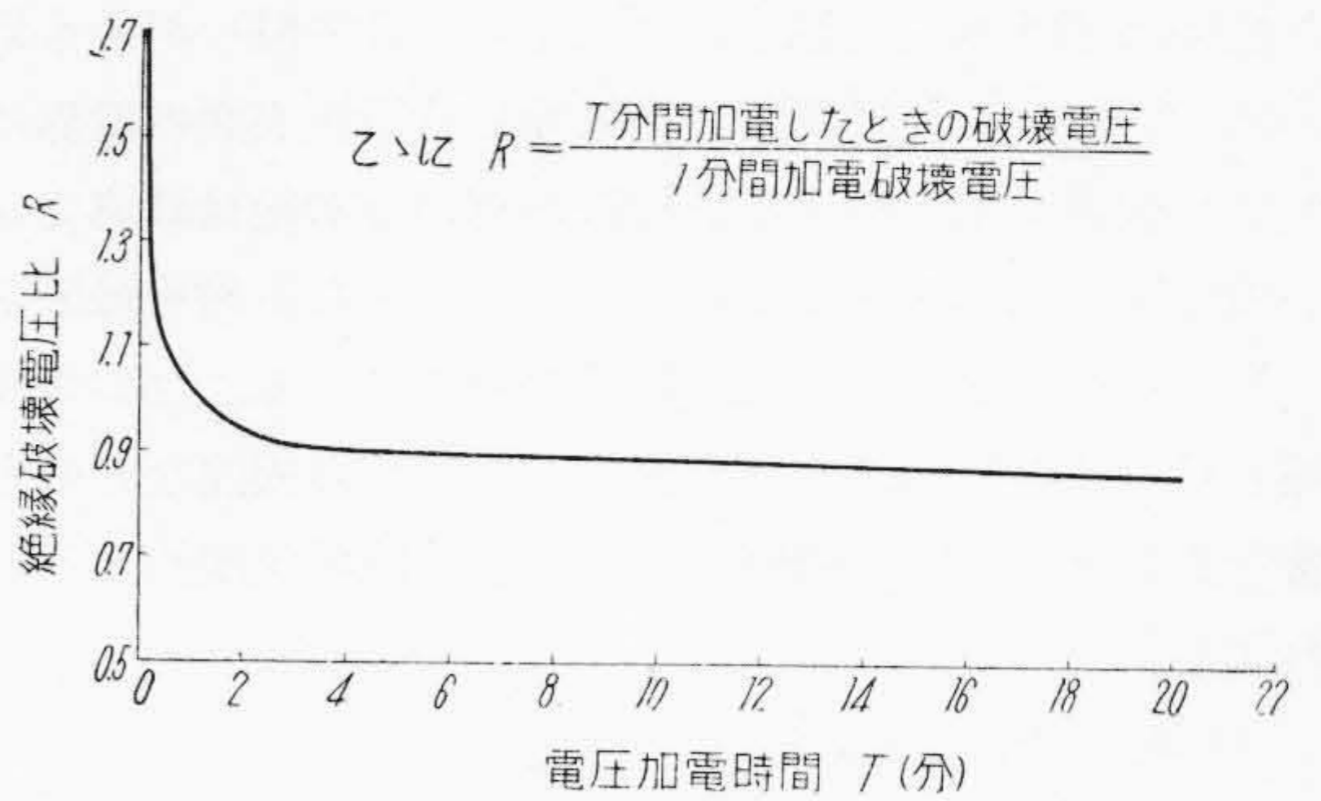
$$E_T = 26.0(0.669 + 0.331 T^{-1/4}) \text{ (kV/mm)}$$

10 mm t より加工した試験片の場合

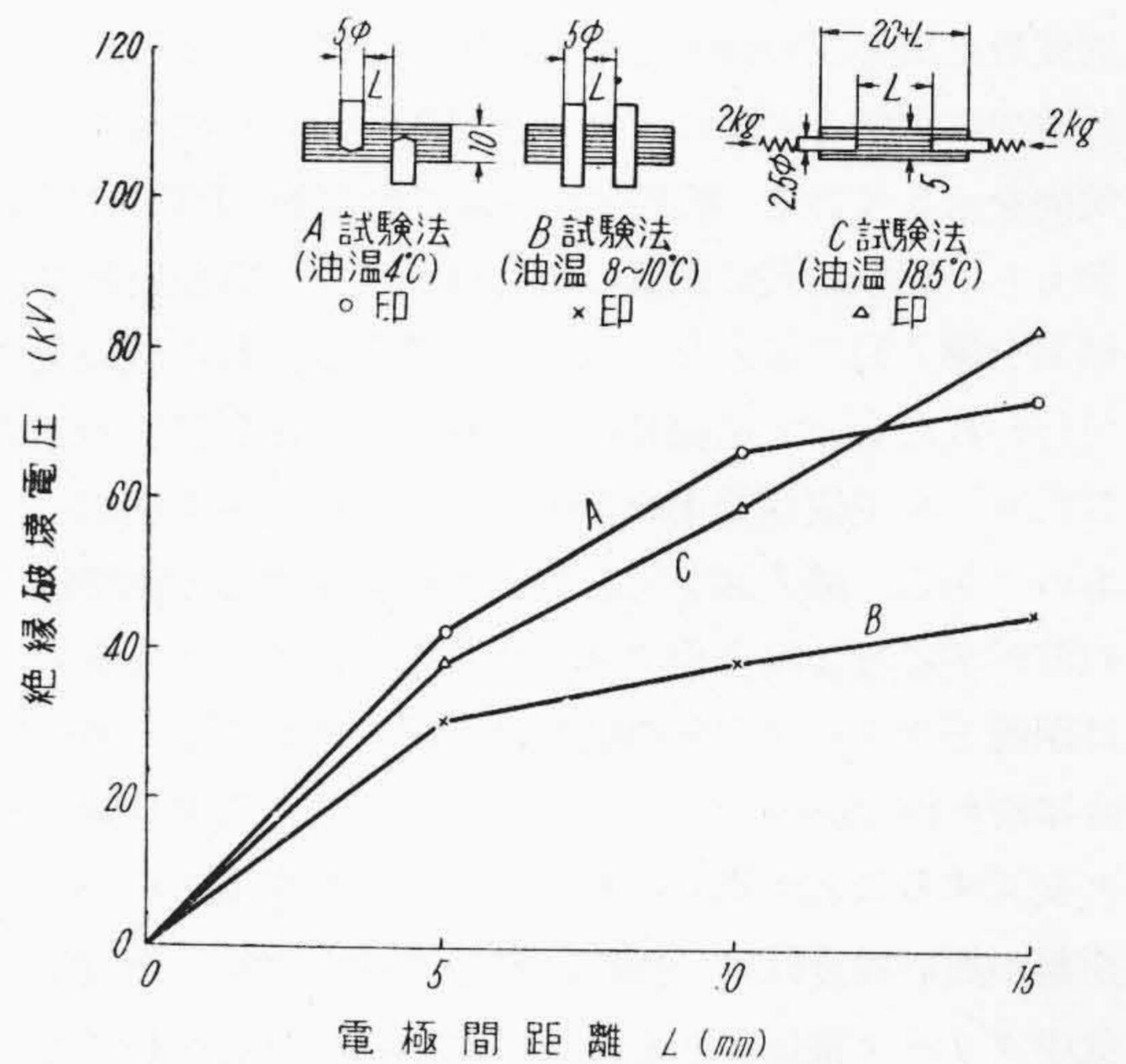
$$E_T = 21.5(0.591 + 0.409 T^{-1/4}) \text{ (mkV/m)}$$

筆者が前に報告した第4図の例では

$$\frac{E_T}{E_1} = R = 0.675 + 0.325 T^{-1/4} \dots \dots \dots (7)$$



第4図 加電時間と破壊電圧比の関係
Fig. 4. Time and Ratio of Puncture Voltage vs. Time



第5図 距離と沿層破壊電圧の関係 (油中で試験)
Fig. 5. Breakdown Voltage Parallel to Laminations vs. Distance in Insulating Oil

(7)式が得られ(5)式の a の数値は0.6~0.7にあることが認められた。紙基材積層管 (PTR-11B2) の例では第1表記載の試験条件で行った結果 $T = 0 \sim 17$ 分の実験範囲で次式の関係を得た。

$$E_T = 21.7(0.73 + 0.27 T^{-1/4}) \text{ (kV)} \dots \dots \dots (8)$$

実用計算の場合は連続電圧上昇法による瞬間破壊電圧を1とすると E_1 の概算値はほぼ0.6~0.8としてさしつかえない。

(2) 沿層方向の破壊電圧特性

沿層方向の電氣的特性は貫層方向に比べて低いが距離的關係によつて絶縁を協調している。

(A) 電極形状, 配置の影響

第5図に図示した3形式の電極配置形態で絶縁油中にて連続電圧上昇法により沿層方向の瞬間破壊電圧を求め

た結果は JIS 規定方法⁽⁶⁾によるもの (B 曲線) が最も低く出ている。これは周囲の絶縁油と積層板表面の境界において破壊を生じやすく積層板の真の沿層絶縁破壊でない場合が多い。A および C 方法では完全な沿層絶縁破壊を生じ、B 方法よりも高い数値を示している。なお A 曲線と C 曲線の数値は大同小異で電極形状の相違などの影響をあわせ考えても積層板の真の沿層絶縁破壊値とみられよう。

(B) 沿面距離とクリープ電圧

第6図は紙基材積層板 (PL-111) と紙基材ロール積層管 (PTR-11B1) について空気中および絶縁油中で商用周波数交流電圧および衝撃電圧を印加し、距離とクリープ電圧を第1表記載の試験条件下で求めたものである。気中での距離とクリープ電圧の関係は衝撃電圧、商用周波数交流電圧の両者とも直線関係が成立するが、油中試験では距離とともにクリープ電圧が滑らかにねてくる傾向を示している。紙基材ロール積層管 (PTR-11B1) をもちい比較的長い距離の場合のクリープ電圧特性試験結果を第7図に示した。曲線Aは第1表記載の試験条件で行われたもので曲線Bは Dowell, Foust 氏⁽¹⁰⁾の発表したロール積層管 Herkolite 筒の試験成績を引用したものである。第7図を総合して比較検討すると衝撃電圧の波形が急峻な場合程クリープ電圧も高く、また気中では距離とクリープ電圧の関係は直線的であるが油中の場合は滑らかな曲線を描きある長さになると気中試験曲線と交叉することが認められる。これらの事項より一般に距離が短い場合は同一距離に対して油中クリープ電圧が気中クリープ電圧よりもはるかに高いが距離が長くなると逆になる傾向を示すのは注目すべきことである。

〔III〕 フェノール樹脂積層品の吸湿特性

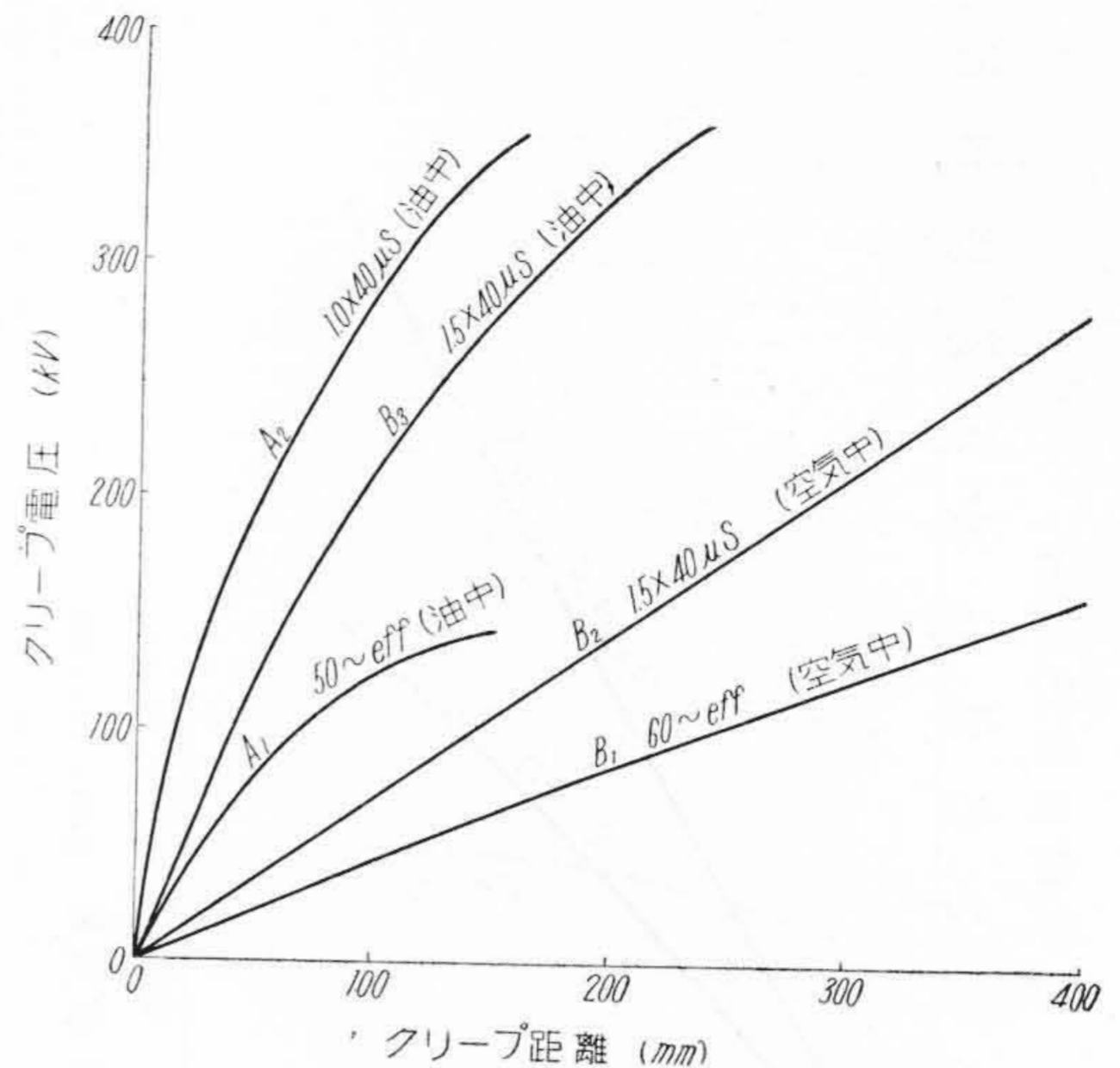
(1) 表面の吸湿現象

フェノール樹脂積層品の表面には周囲の空気湿度、温度条件に相応した吸着水分層が形成され、湿度が高い場合は表面の吸着水分層が厚くなり、湿度が低くなると薄くなる。これらは一種の呼吸作用的な現象でこの問題に関する実験的説明を前に松井、山方氏⁽¹¹⁾が報告した。

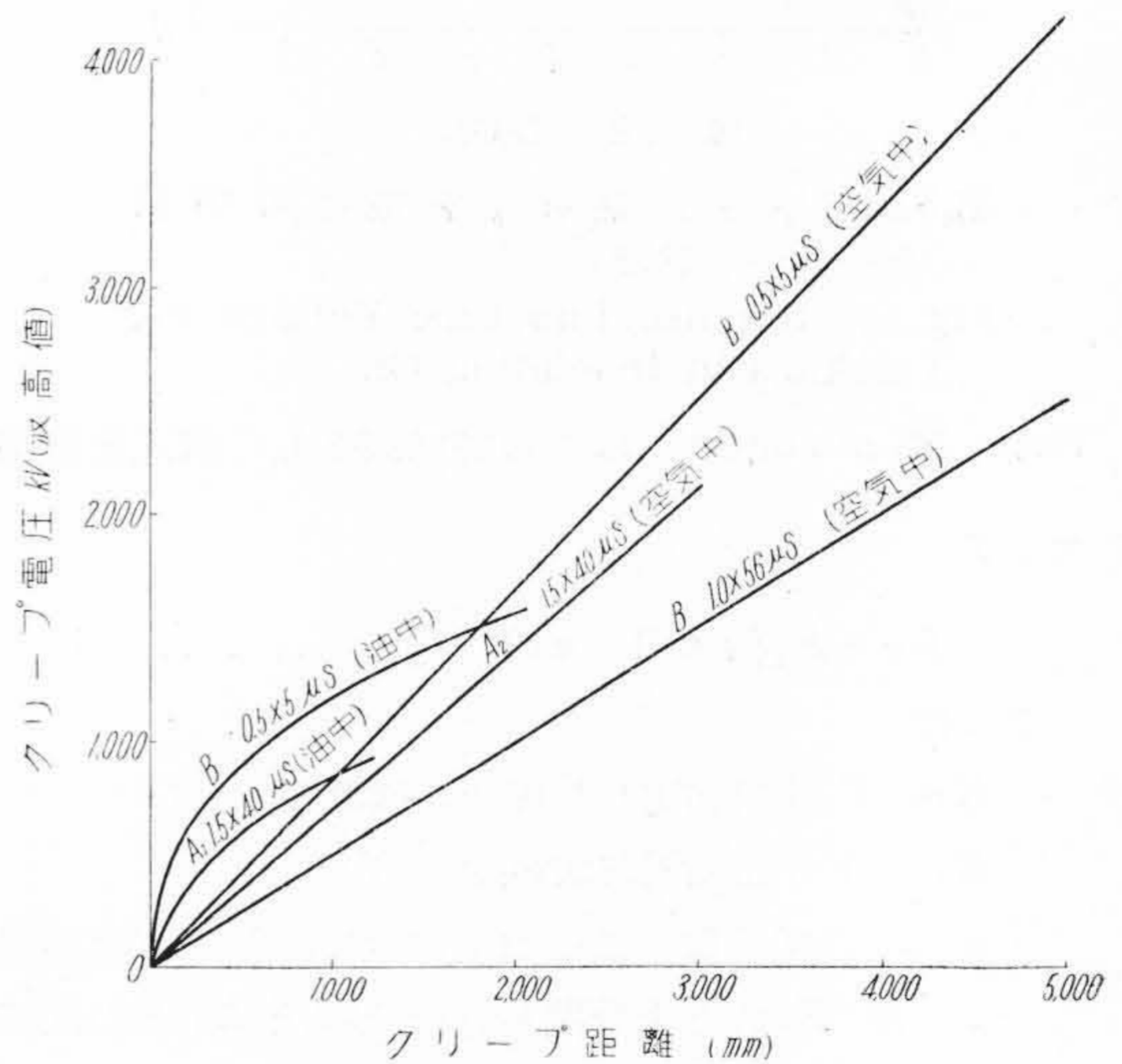
したがって湿度の高い状態で表面抵抗の高いことが要求される用途には慎重な検討をあらわねばならない。

(2) 水分の内部拡散現象

フェノール樹脂積層品の表面に吸着した水分の挙動については前述したが、材質固有の湿気拡散率で示されるごとく徐々に表面の吸着水分が内部に拡散してゆき遂に平衡吸湿状態に達する。面積の広い割合にうすい固体の水分拡散現象については一次元の吸湿理論式⁽¹²⁾が適用される。フェノール樹脂積層板もうすい場合はこの理論



第6図 距離とクリープの電圧関係
Fig. 6. Creepage Voltage vs. Distance



第7図 距離とクリープ電圧の関係
Fig. 7. Distance and Creepage Voltage vs. Distance

式⁽⁵⁾により計算することが可能である。

いま m_s を平衡吸湿率、 m_T を時間 T における吸湿率とすると吸湿の進行度を示す $\frac{m_T}{m_s}$ は

$$\frac{kT}{d^2} < 0.06 \text{ では}$$

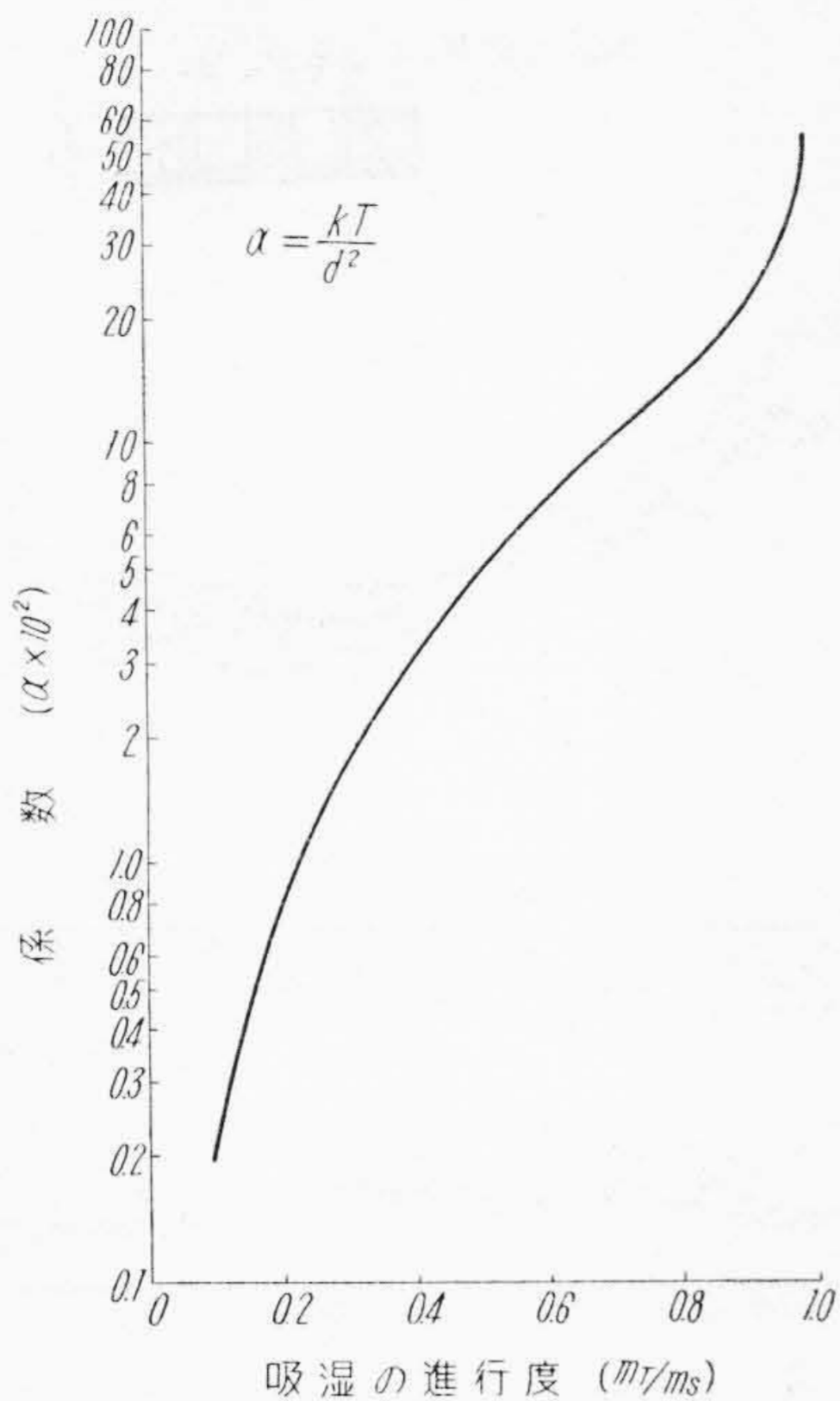
$$\frac{m_T}{m_s} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{kT}{d^2}} < 0.05 \dots \dots \dots (9)$$

$$\frac{kT}{d^2} > 0.06 \text{ では}$$

$$\frac{m_T}{m_s} = 1 - \frac{8}{\pi^2} e^{-\frac{\pi^2 kT}{d^2}} > 0.05 \dots \dots \dots (10)$$

ここに

k = 湿気拡散率 (cm²/sec)
 d = 板の厚さ (cm)



第8図 吸湿の進行度 $\frac{mT}{m_s}$ と係数 α の関係
 Fig. 8. Coefficient α vs. Degree of Moisture Absorption $\frac{mT}{m_s}$

第2表 フェノール樹脂積層板の湿度と拡散率の関係 (温度 40°C 一定)⁽⁵⁾

Table 2. Relation between Relative Humidity and Coefficient of Moisture Diffusion (Temperature 40°C Constant)⁽⁵⁾

湿度	25% RH	50% RH	70% RH	90% RH	100% RH
拡散率 (cm ² /sec × 10 ⁹)	1.6	3.7	2.9	4.4	4.4

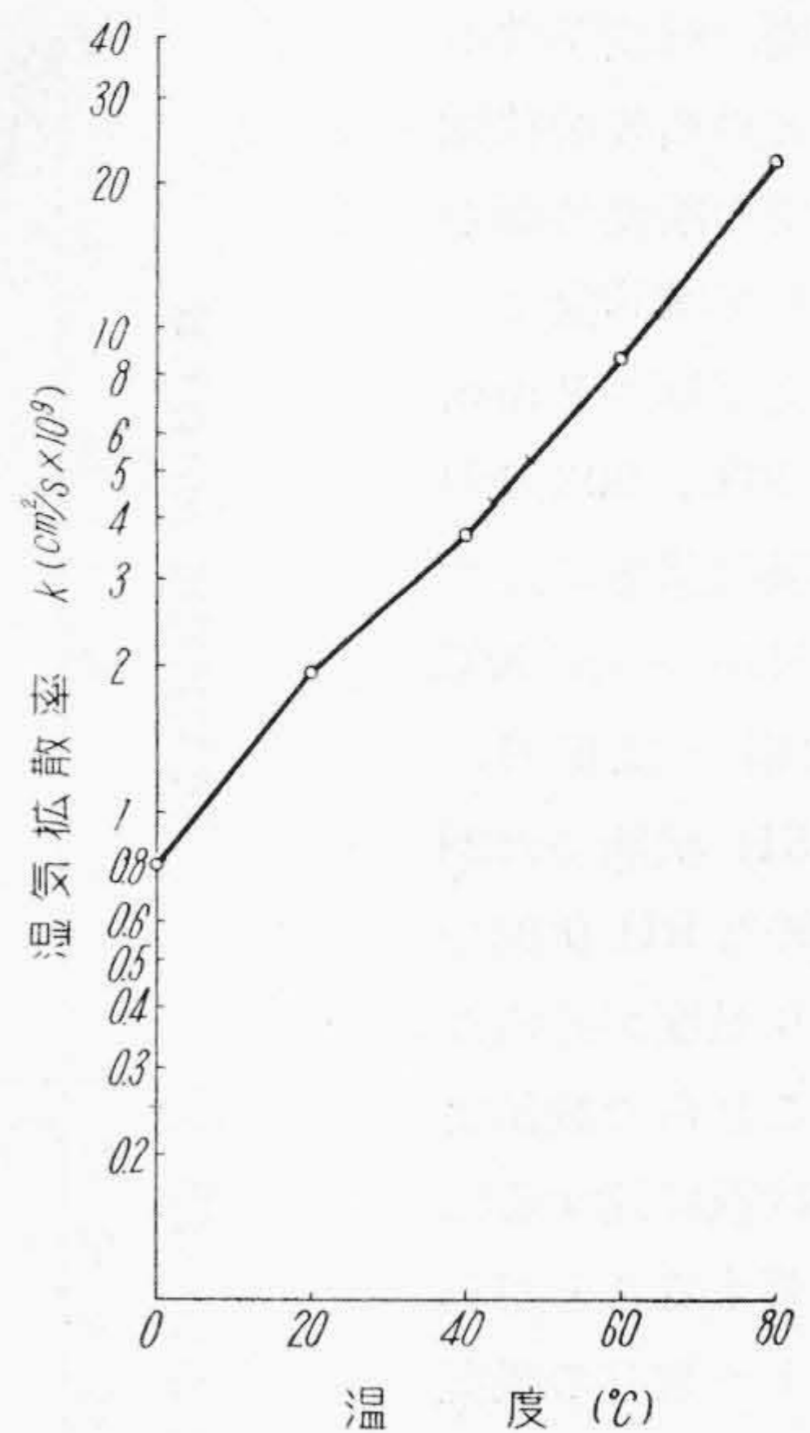
いま $\frac{kT}{d^2} = \alpha$ とした場合の α と $\frac{mT}{m_s}$ の関係を引用⁽⁵⁾して第8図に示した。Tを時間で表わすと次式のようになる。

$$T = \frac{\alpha}{3,600} \cdot \frac{d^2}{k} \dots \dots \dots (11)$$

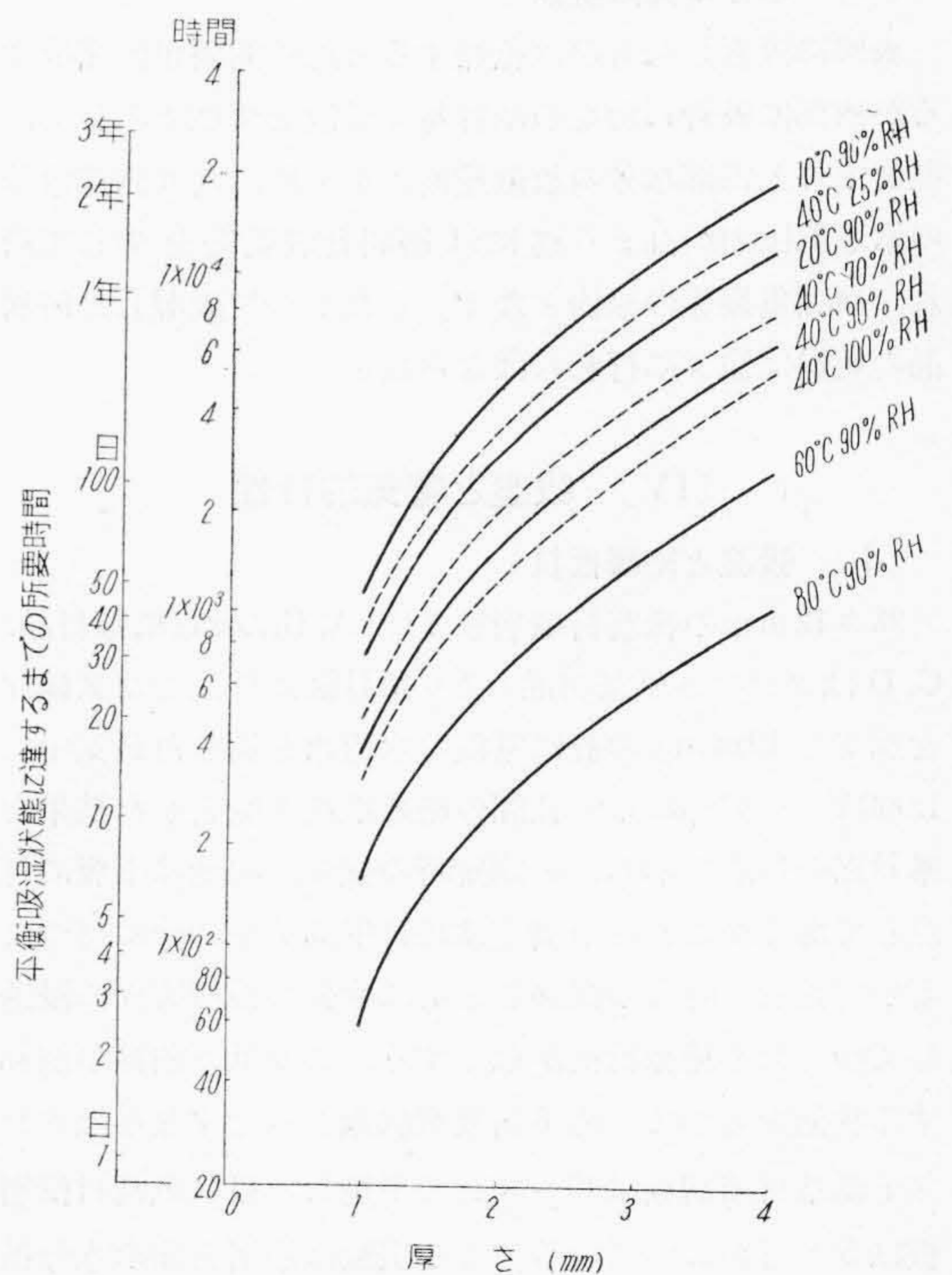
吸湿が平衡状態に達することは $\frac{mT}{m_s} = 1$ の場合でありこれは(10)式よりあきらかなようにTが無限時間となる。いま実用計算上平衡状態を $\frac{mT}{m_s} = 0.995$ と仮定すると(11)式は

$$T = 1.45 \times \frac{d^2}{k} \times 10^{-4} \dots \dots \dots (12)$$

となり、拡散率 k と板厚み d を与えると平衡吸湿状態に達するまでの所要時間 T が計算できる。フェノール樹脂積層板の k は温度、湿度によつて異なり、湿度一定 (90% RH) の場合の温度と拡散率の関係⁽⁵⁾ を引用して第9図に示し、温度一定 (40°C) の場合の湿度と拡散率の関係⁽⁵⁾ を引用して第2表に示した。これらの諸数値を用



第9図 温度と湿気拡散率の関係 (湿度 90% RH 一定の場合)
 Fig. 9. Coefficient of Moisture Diffusion vs. Temperature (Relative Humidity 90% Constant)



第10図 厚さと平衡吸湿状態に達するまでの所要時間の関係
 Fig. 10. Time Required to Equilibrium Moisture Condition vs. Thickness

い種々の温度、湿度条件の場合の厚みと平衡吸湿状態に達するまでの所要時間の関係を計算して第10図に示した。たとえば厚さ2mmの積層板が10°C、90%RH状態で平衡吸湿状態に達するには204日かかるが40°C、90%RH状態では67日、60°C、90%RH状態では28日、80°C、90%RH状態では11日となり温度が非常に影響する。これらの数値より平衡吸湿状態に達するには長時日を要することがわかる。従来1~数日の吸湿処理によつて材料の吸湿特性を比較判定していたのは表面附近の吸湿の影響のみを論じていたもので数値の再現性に問題があつたのはこれらの原因によるものであろう。

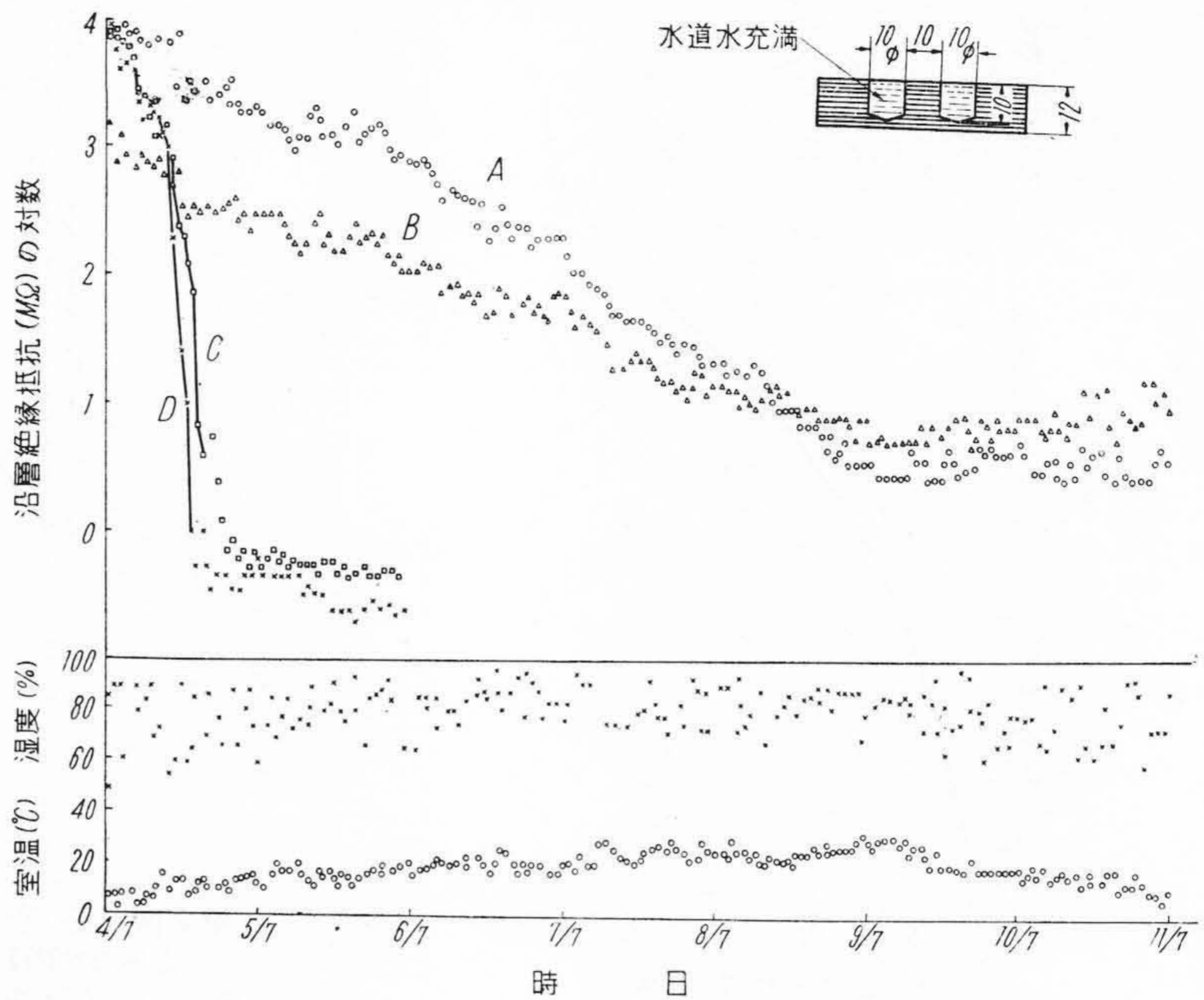
(3) 水分の発散現象

表面に吸着したものは乾燥すると比較的簡単に発散するが内部に吸着したものは容易に発散せず往々にして、温度上昇と内部水分の放散速度が不平衡になり内部水分の水蒸気圧力が高まり遂には層間剥離現象を生じて膨れ、層間亀裂等の原因となる。したがつて吸湿した積層品の乾燥は徐々に行わねばならない。

[IV] 吸湿と電気的特性

(1) 吸湿と絶縁抵抗

厚さ12mmの紙基材積層板4種(A, Bは吸収紙基材品, C, Dはクラフト紙基材品)より第11図に併記した試験片を加工し10mmφの孔に常温の水道水を満し毎日気中で1,000Vメガーにより孔間の絶縁抵抗を測定した結果を第11図の打点で示した。測定時の気温、湿度は下欄に打点してあるがこれらの測定は毎日午前7時30分に行つたものである。時日の経過とともに水分が沿層方向に浸透してゆくため絶縁抵抗が低下する。この低下曲線の飽和する状態をもつて一応平衡吸水状態とみなすならばクラフト紙基材積層板は40~50日で平衡し、吸収紙基材積層板は5ヶ月かゝつている。この実験は沿層方向の水分拡散状態を見たものでこれらの傾向より層に垂直方向の拡散状態を推測すると一般に高品位の紙基材積層板(PL-111系統)は端面の吸水量(24~48時間常温浸水処理の



第11図 吸水処理日数と絶縁抵抗の関係
Fig. 11. Insulating Resistance vs. Period of Immersion in Water

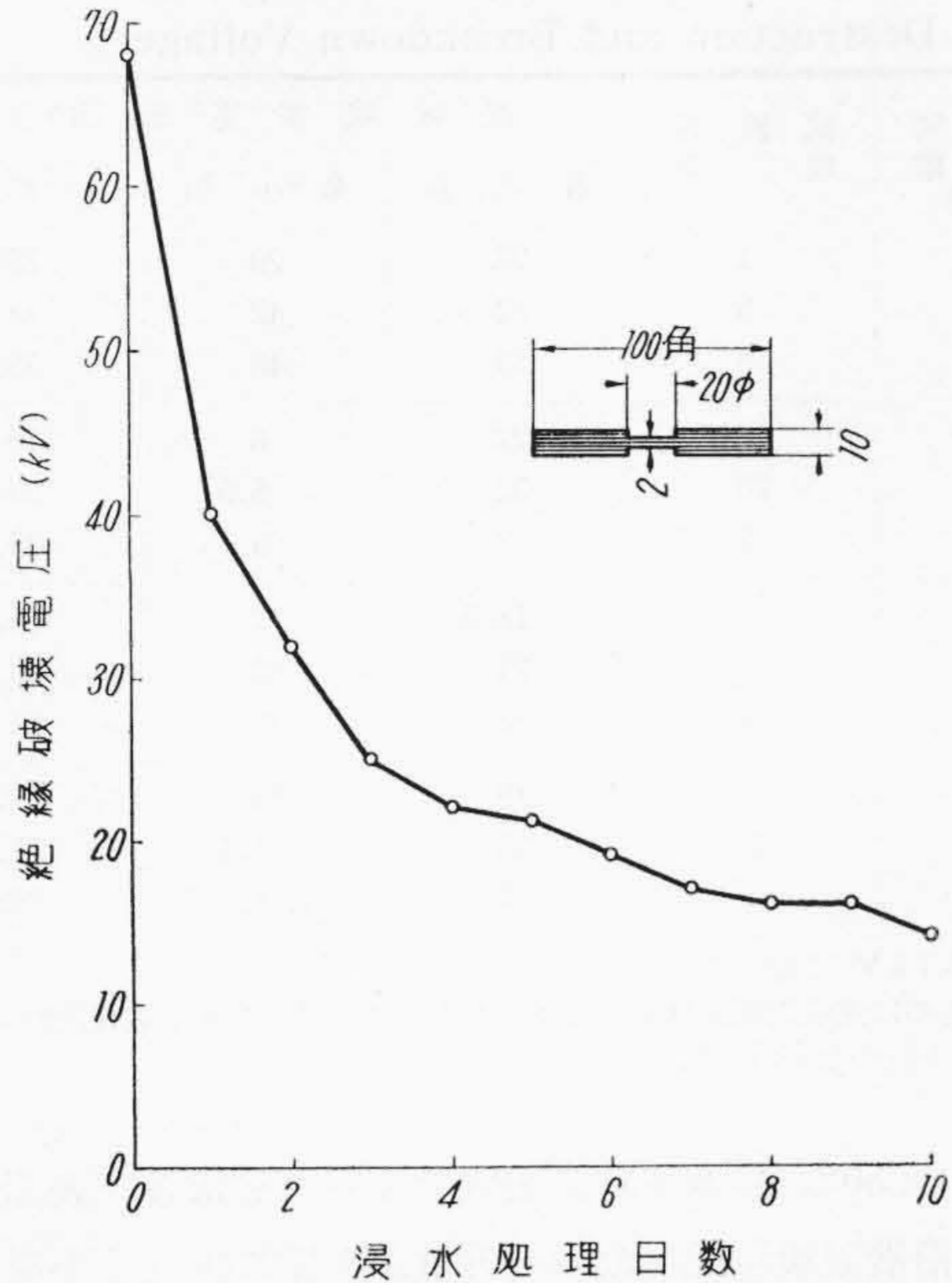
場合)が層に垂直方向の表面の吸水量の2倍程度であり、低品位の紙基材積層板(PL-112あるいはPL-113系統)は3~5倍もあることが認められているからこれらの数値的關係をもつて層に垂直方向のそれに類推すると平衡吸水状態に達するには低級品で4~8ヶ月、高級品では10ヶ月位あるいはそれ以上要することが推論される。すなわち前章で平衡吸湿状態に達するには長時日を要するという推定はかなり妥当性のあるものと考えられよう。

(2) 吸水による貫層絶縁破壊電圧の低下

厚さ10mmの紙基材積層板(PL-121)よりJIS規定⁽⁶⁾貫層耐電圧試験片を多数加工しこれを常温水中に浸漬して毎日取出し油中で連続電圧上昇法により60サイクル交流電圧を印加して絶縁破壊した結果を第12図に示した。(この試験中の水温は23~28°C、絶縁油の温度は22~28°Cであつた)

浸水日数とともに破壊電圧は低下してゆくがこの低下状態が(10)式より計算した吸水進行度 $\frac{mT}{m_s}$ と対応するか否かを比較検討してみる。

いま無処理の場合の破壊電圧を1としこれと各吸水日数後の破壊電圧の比を求めて第13図に示した。(図中実測換算値曲線)つぎに(10)式より吸水進行度として $\frac{mT}{m_s} = 0.1 \sim 0.995$ の条件がそれぞれ無処理の場合の性能の0.9~0.005を保有するという考え方で、拡散率 k を第2表40°C 100%RHの場合の1.5倍、すなわち $6.6 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{sec}$ にとり種々の $\frac{mT}{m_s}$ に達する吸水所要日数を計算



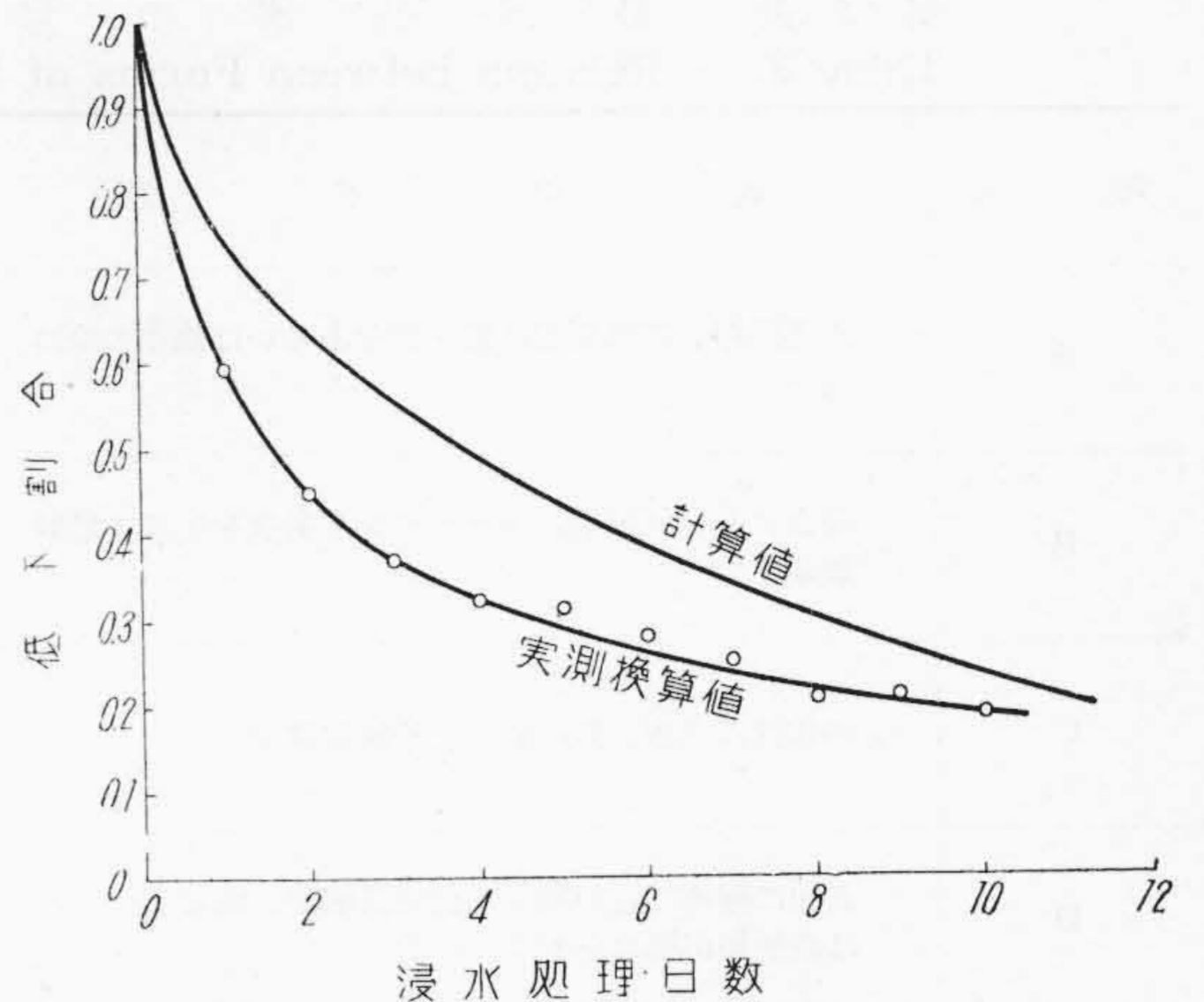
第12図 浸水処理日数と破壊電圧の関係
Fig. 12. Puncture Voltage vs. Number of Treating Days (Immersion in Water)

して第13図に併記した。(図中計算直曲線) これら両曲線を比較すると吸水処理当初は実測結果の方が低下しやすいが10日以上になると両曲線は接近して来ることが認められる。したがって (10), (11) 式は長期吸湿またわ吸水の場合の推定に有効といえよう。この場合計算的に導通状態になるまでの水浸日数を求めると $\frac{m_T}{m_S} = 0.995$ が導通になる条件とすると35日前後である。

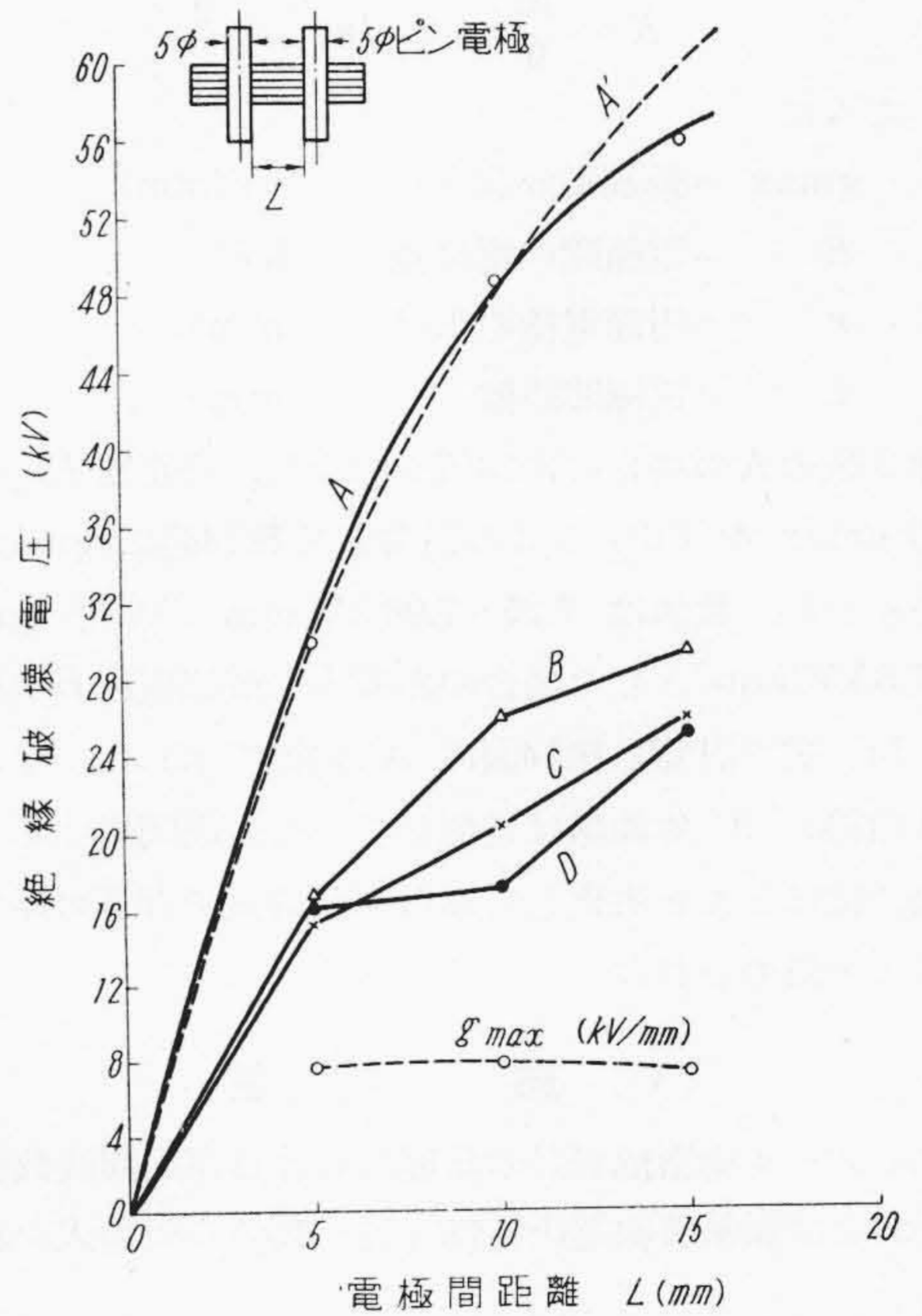
(3) 吸湿による沿層方向破壊電圧の低下

フェノール樹脂積層品は保管状態の可否によつて相当吸湿劣化するもので特に高温高湿状態で長期間保管すると著しく電氣的性能が低下する。筆者は2~4年間種々の劣化条件で長期間放置した各種積層板 (PL-111 及び PL-112 を含む), ロールド積層管, モールド積層管より第14図に併記した沿層絶縁破壊試験片を多数加工し油中で50サイクル交流電圧を加え破壊電圧を求め, また破壊の形態を4分類してこれらを第3表 (次頁参照) に示しその平均値を第14図に示した。この曲線の符号は第3表と同じである。これらの結果を見ると A 曲線に比べて B, C, D 曲線は約50%程度低い。また第3表より破壊状態と数値の分散の関係を考察すると A の場合がもつとも分散が少なく C がそのつぎで B, D の場合が一番数値の分散が大である。すなわち表面附近の吸湿による絶縁破壊電圧が非常に不規則に表われていることは注目すべき現象である。

表面閃絡破壊した場合の数値の関係を平行配置円筒電



第13図 浸水処理日数と低下割合の関係
Fig. 13. Degree of Deterioration vs. Number of Treating Days (Immersion in Water)



第14図 吸湿状態の試験片の距離と絶縁破壊電圧の関係
Fig. 14. Breakdown Voltage vs. Distance of Moisture Absorbed Specimen

極の計算式⁽¹³⁾を用いて検討してみる。

いま電極間の電位差を E とすると最高電界強さ g_{max} は

$$g_{max} = \frac{\frac{E}{2}}{r + \frac{L}{2}} \cdot \frac{9}{10} \dots \dots \dots (13)$$

$$r \ln \frac{r}{r}$$

あるいは $E = K \cdot g_{max} \dots \dots \dots (14)$

第3表 絶縁破壊の形態と破壊電圧の関係
Table 3. Relation between Forms of Electrical Destruction and Breakdown Voltage

記号	破壊状態	電極間距離 (mm)	試験片数 (個)	絶縁破壊電圧 (kV)		
				最大値	最小値	平均値
A	表面閃絡, 電極周辺に若干炭化あるいは焼損の痕跡あり	5	2	31	29	30
		10	5	53	42	48.6
		15	5	59	48	55.8
B	表面クリープ破壊, トラッキング条痕を生じて絶縁破壊す	5	12	22	6	16.9
		10	10	32	6.5	25.9
		15	5	38	5	29.4
C	内部貫通破壊, 層に沿うて絶縁破壊す	5	2	18.5	12	15.3
		10	3	21	20	20.3
		15	4	33	20	26
D	表面に極めて近い層を内部貫通破壊, 破壊した部分は表面層が膨れあがっている	5	3	19	14	16.3
		10	3	29	2.5	17.2
		15	7	37	4.5	25.2

(注) (1) 試験は 26°C 絶縁油中で行った。絶縁油自体の絶縁耐力は 26°C にて 28.1 kV であった。
(2) 50サイクル交流電圧を加電して試験したが絶縁破壊電圧が 20 kV 以下のものは連続電圧上昇中に破壊したものである。絶縁破壊電圧が 20 kV 以上のものは 20 kV より 1 kV の step で 1 分間加電して逐次上昇して行ったものである。

$$K = \frac{10}{9} \cdot 2r \ln \frac{r + \frac{L}{2}}{r}$$

ここに

- gmax = 最高電界強さ (kV/mm)
- E = 電極間の電位差 (kV)
- r = 円筒電極の半径 (mm)
- L = 電極間距離 (mm)

第3表のAの場合の平均値を引用し、各距離Lに対応するgmaxを(13)式より計算して第14図にgmax曲線で示した。数値は7.25~7.98 kV/mmでいまgmaxを7.8 kV/mmとした場合の距離Lと破壊電圧Eの関係を(14)式で計算し第14図にA'曲線で示した。すなわちA曲線とA'劣曲線は近似して表面閃絡するような場合はほとんど劣化しておらず理論式で計算可能であることが認められた。

〔V〕 結 言

フェノール樹脂積層品の常態における商用周波数破壊電圧および衝撃破壊電圧特性を述べ数値の実験式を求めた。

つぎに吸湿過程を説明し、内部まで平衡吸湿状態になるには常温状態で相当長時日を要することを述べこの計算式が吸水処理による絶縁抵抗および貫層絶縁破壊試験結果より相当妥当性を有することをあきらかにした。

種々の吸湿状態の試験片の沿層破壊電圧試験結果より絶縁破壊形態と破壊電圧の関係を分類してみると4分類されることをあきらかにし、表面閃絡破壊の場合の数値がもつとも高く、かつ数値の分散も少く、距離と破壊電圧の関係が理論計算式に合うことを認めた。内部沿層方向貫層破壊電圧、表面クリープ破壊電圧、表面近接内部沿層方向破壊電圧はいずれも大同小異で表面閃絡電圧の

場合の50%程度で特に表面クリープ破壊及び表面近接内部沿層破壊電圧は数値の分散が非常に大きく不規則性を有することをあきらかにした。フェノール樹脂積層品を応用する場合は周囲条件、吸湿条件によつてこれらの諸条件を満足する適当な品種を選択せねばならず、また防湿処理を充分に行うことが必要であることを述べ本稿を終えるしだいである。

参 考 文 献

- (1) 杉田, 松井: 日立評論 23 565, 627 昭15
- (2) 木曾: 日立評論 23 335 昭15
- (3) 杉田, 松井: 日立評論 25 227 昭17
- (4) 松井: プラスチックス 昭28年4月, 6月
- (5) 電気学会: 技術報告 第1号 P.11 昭29年8月
- (6) 日本工業規格: JIS: K6716 (1952) フェノール樹脂積層板
- (7) 日本工業規格: JIS: K6710 (1952) フェノール樹脂積層管
- (8) 1952 Book of ASTM Standards Including Tentatives art 6 p. 1232
ASTM Designation: D709-52T Appendix III
- (9) Montsinger: El Wld. 84 723 (1924)
- (10) Dowell, Foust: GE Rev. 40 141 (1937)
- (11) 松井, 山方: 日立評論 37 1167 昭30
- (12) Andrews, Johnstone: J. Am. Chem. Soc. 46 604 (1924)
Mckay: Proc. Phys. Soc. 42 547 (1930)
- (13) Bouwers: Electricische Höchstspannungen p. 132

「日立評論」既刊号在庫案内

本誌「日立評論」の既刊号が少部数ながら在庫しております。

御入用の方は下記へ直接御申込下さい。

日立評論社

東京都千代田区丸の内1ノ4
(新丸の内ビルディング7階)