

電力ケーブルの真空乾燥における理論的考察

河合 麟次郎* 間瀬 喜好** 工藤 大二***

Theoretical Consideration of Drying of Power Cable

By Rinjirō Kawai, D.S.

Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

Kiyoshi Mase, D.S.C. and Daiji Kudō

Hitachi Electric Wire and Cable Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

The writers carried out the theoretical analysis of the drying process of paper, especially that in vacuum, based on the results of the measurement of drying characteristics of kraft paper used in the vacuum drying of high voltage cables. After determining the necessary elements essential for the analysis of the vacuum drying process, they measured the equilibrium characteristic of content moisture, the diffusion coefficient of moisture and the dispersion coefficient of moisture at various temperatures, steam pressures and with varied thickness of insulation. Then, using the measured values of them, the writers tried the theoretical analysis for the purpose of establishing the suitable vacuum drying process for the cable cores, and clarified the following relation from the data obtained.

$$\tau \doteq \frac{K' V_i}{\alpha S}$$

where τ : time constant of the vacuum drying,
 K' : steam pressure coefficient of the content moisture,
 α : dispersion coefficient of moisture,
 V_i : volume of the cable core,
 and S : surface area of the cable core.

〔I〕 緒 言

電力ケーブルの性能、寿命などをきめる要素として、その製造時の乾燥含浸がきわめて重要である。優秀な特性をうるためには、まずケーブル絶縁層の水分を完全に除去して良質の絶縁コンパウンドを十分に含浸する必要がある。前者の水分除去は、予備乾燥すなわち普通の加熱乾燥で絶縁層に含まれる水分の約 70% を除去し、つぎに真空乾燥を行つて残りの水分を除去するのである。しかし後者の真空乾燥は一応のデータに基く経験により

長時間を要していた。特に高圧ケーブルにおいてその絶縁層の厚いこと、高性能を必要とする点において慎重を要する。従来残念ながらこれらに関する報告はその製造技術に関係するためか、ほとんど見受けられない。

そこで筆者らは

- (1) ケーブルの蒸発すべき水分の量
- (2) 水分を早く完全にとり去る方法
- (3) 乾燥終末を知る方法

などについて研究を行つたが、今回は紙面の関係上その一部として、SL ケーブルのようにコア絶縁層が導体と同心円のものについて、一製造条件の裏付けとして一その真空乾燥過程を理論的に解析を行つた結果を紹介する。

* 日立製作所中央研究所 理博

** 日立製作所日立電線工場 工博

*** 日立製作所日立電線工場

〔II〕 真空乾燥時間を決定する諸要素

ケーブルの真空乾燥時間を決定するために、まず乾燥過程を理論式であらわして見る。すなわちケーブルを乾燥タンクに入れた場合被乾燥物であるケーブル紙から放出する水分と排気孔から除く水分との差がケーブル乾燥タンク内の空隙容積の水蒸気圧変化を与えるものとして

V_a \cdot \rho_1 \frac{dP_a}{dt} = \alpha \cdot S \cdot (P_i - P_a) - Q \cdot \rho_1 \cdot P_a \dots (1)

- ただし V_a: タンク内空隙容積
\rho_1: 単位蒸気圧の密度
P_a: タンク内の湿圧
P_i: ケーブル紙の湿圧
S: ケーブルの表面積
\alpha: 放湿係数 (単位水蒸気圧差, 単位面積 単位時間の放湿量)
Q: 排気ポンプの有効速度

が成立する。

つぎにケーブル紙の含湿率 a_v (容積当りをとる)の減少は表面の放湿量に等しいから

-V_i \cdot \rho_1 \frac{da_v}{dt} = \alpha \cdot S \cdot (P_i - P_a) \dots (2)

となる。ただし V_i は紙の容積である。

さらに含湿率 a_v は温度 \theta および平衡蒸気圧 (または紙の示す蒸気圧) P_i の函数として与えられる。すなわち

a_v = f(\theta, P_i) \dots (3)

と考えられる。

また放湿係数 \alpha は主として紙の湿気拡散率によつてきまり, \theta, P_i のほかに厚さ \delta に依存する。したがつて

\alpha = g(\theta, P_i, \delta) \dots (4)

以上4つの式から変数 P_i, P_a, a_v および \alpha のうち3つを消去すれば, 残りの1つの量, たとえば P_a, a_v など を時間の函数として求めうる。この場合パラメータとして入ってくる量には V_a, \rho_1, S, V_i, Q (これらはいずれも紙の性質と関係ない) のほかに紙の性質に関係ある \alpha および a_v の式およびそれに含まれる係数などがある。

放湿係数 \alpha は紙の湿気拡散係数, 紙の厚さ, 断面形状 および紙の表面からの蒸発係数などによつてきまる。

以下ケーブル用紙の含湿平衡, 吸湿 (または脱湿) 速度 などに関する実験結果を示し, これらの数字決定の要素を見出すことにする。

〔III〕 理論式における諸係数の考察

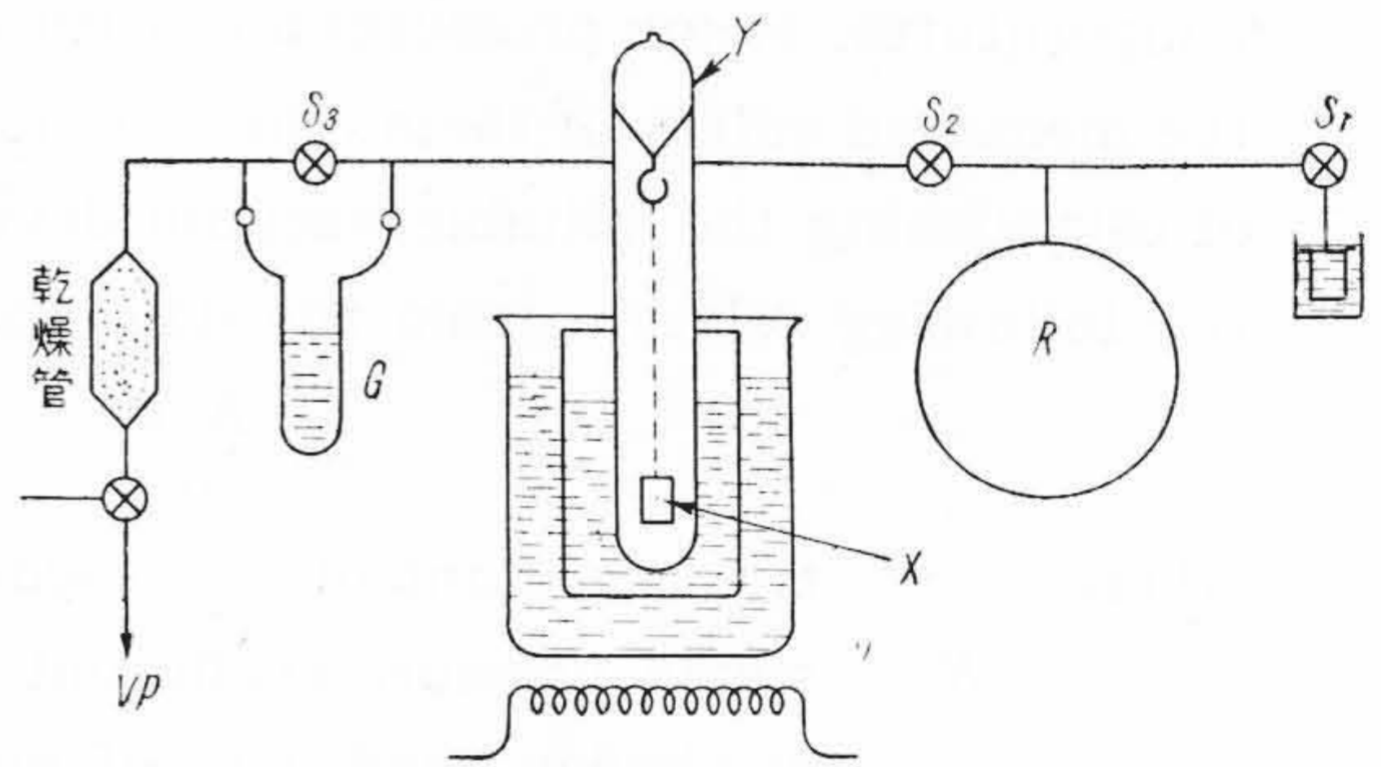
以上のような理論的關係にあるので, これらの理論式の諸係数を求めるため, まず平板絶縁紙を用いて二, 三の予備実験を試みた結果を示す。

(1) クラフト紙の含湿平衡特性

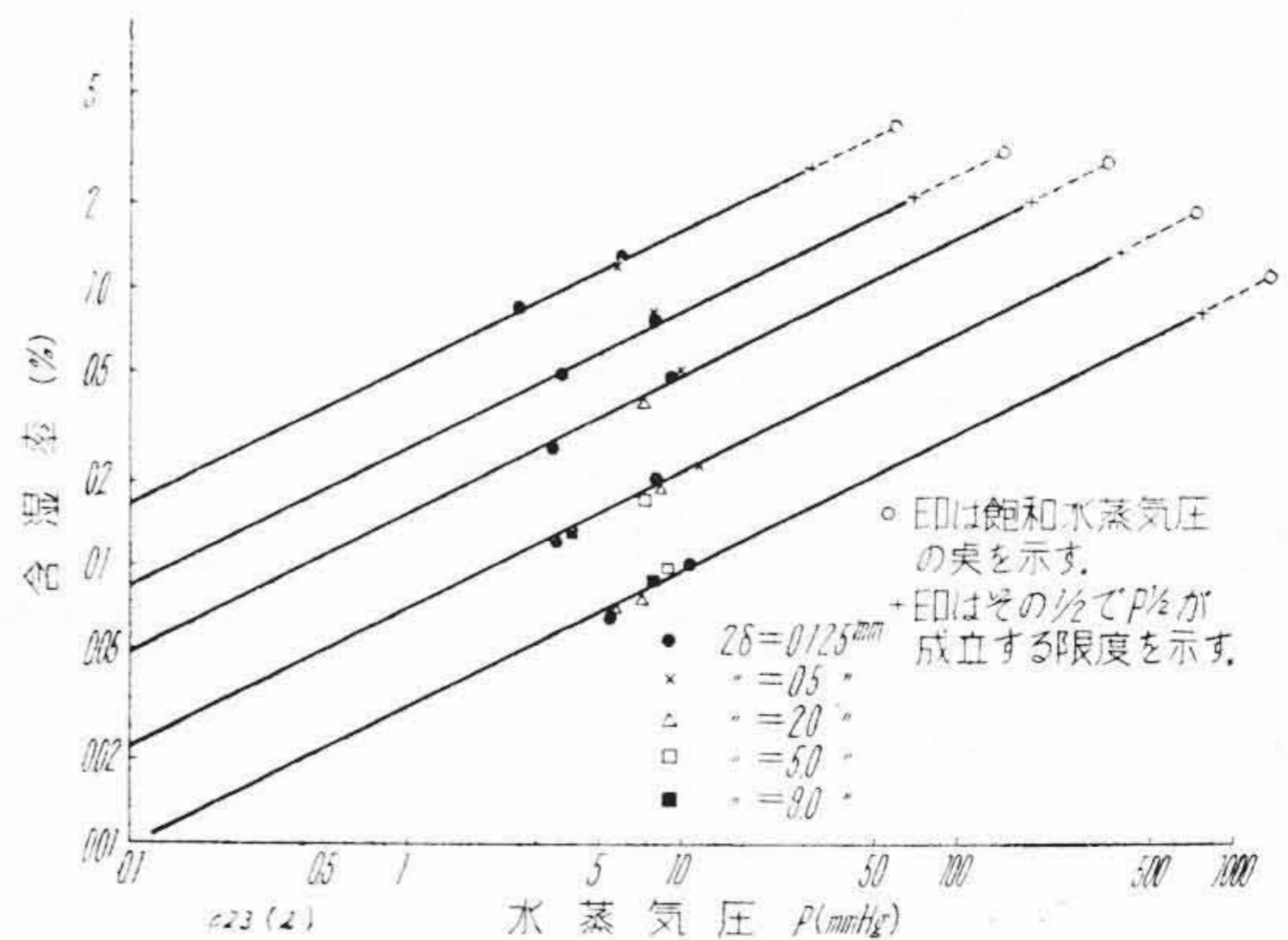
実験としては温度 \theta, 水蒸気圧 P_i に平衡する含湿率を求めることである。測定方法は定容蒸気圧変化法によつた。第1図について測定法を簡単に説明する。

試料は 1~2g の程度で試料管 Y の底につす。試料は二重の油浴で一定温度に加熱される。あらかじめ S_1 を閉じ, S_2, S_3 を開いて試料管 Y および蒸気溜め R 内の空気および試料 X の水分を完全に除去する。つぎに S_2 を閉じ, S_1 を開いて水蒸気源から適量 (数 mmHg~10数 mmHg) の水蒸気を蒸気溜め R に導入して S_1 を閉じる。ついで S_3 を閉じ, S_2 を開けば R 内の水蒸気は Y に入り試料に吸収される。この間の蒸気圧変化は油圧力計 G で測定される。平衡に達するまでに変化した蒸気圧と容器 R および Y (合せて約 3l) の容積から吸収された湿気量がわかり, これが到達水蒸気圧と平衡したことになる。

測定感度は試料を 2g にとれば吸湿 0.01% (0.2mg) が油圧力計で約 1mm に相当する程度である。温度 40~120^\circ C, 水蒸気圧 3~10 mmHg 範囲で平衡含湿率を測定した結果を第2図に示す。



第1図 実験装置 Fig.1. Experimental Apparatus



第2図 ケーブル用クラフト紙の含湿平衡特性 Fig.2. Equilibrium Characteristic of Content Moisture in Kraft Paper for Cable

測定蒸気圧範囲はせまいが、各温度についての含湿率 a_w は平衡蒸気圧 P_i の平方根に比例することが示される。実験結果から (3) 式はつぎの形で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} a_v &= a_w \cdot \rho = \rho \cdot K(\theta) \cdot P_i^{1/2} \\ K(\theta) &= A e^{-\beta \theta} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

ρ は紙の密度、 $\theta = 100 \sim 120^\circ\text{C}$ 附近では $\beta = 0.042$ $A = 0.0414$ をうる。測定温度範囲で $K(\theta)$ の温度依存性は、 20°C で約 1/2 の割合で減少し、水蒸気圧の温度特性とほぼ逆の関係にある。この特性から湿気の収着熱を求めてみると 数~十数 kcal となり、高温側すなわち収着量の少くなる程大きい値を示す。

(2) クラフト紙の吸湿(または脱湿)速度

紙の乾燥を考える場合湿気の放出される速さをあらわす放湿係数 α は表面の放出係数 α_s と紙の内部拡散によるもの α_k からなる。すなわち

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{\alpha_s} + \frac{1}{\alpha_k} \dots\dots\dots (6)$$

で与えられる。

α_s の値は水の液面からの蒸発係数に近いものとするれば、常圧で $2 \times 10^{-7} \text{g/mmHg} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s}$ 、低圧下ではほぼ圧力に逆比例するから $10^{-5} \text{g/mmHg} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s}$ 程度と推定される。

一方 α_k は後述するように $10^{-8} \sim 10^{-7} \text{g/mmHg} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s}$ の程度であり α_s に比してはるかに小さい。したがって $\alpha \approx \alpha_k$ とみなすことができる。換言すれば紙の表面における蒸気圧は外部のそれに等しいとみなしてよいことになる。したがって α としてはもっぱら内部拡散による値を求めればよい。

厚み $d = 2\delta$ の板状試料の両面から乾燥される場合、時間 t 後の乾燥度(未乾燥を 0, 完全乾燥を 1 とする) D は次式で与えられる。

$$D = 1 - \frac{8}{\pi^2} \cdot e^{-\pi^2 \cdot \frac{kt}{d^2}} \dots\dots\dots (7)$$

ただし $\frac{kt}{d^2} > 0.06$

k : 湿気拡散係数

$\frac{kt}{d^2} = 0.06$ では $D = 0.55$ であり、これから逆に k の値を求めることができる。吸湿についても全く同様のことをいいうる。(7) 式の成立する範囲では拡散によつて表面から放湿する量は内部の平均蒸気圧を P_i として、 $S \cdot \lambda \frac{\pi^2}{4} (P_i - P_a) \cdot d^2$ で与えられる。これを (2) 式の $\alpha S (P_i - P_a)$ に等しいとおけば

$$\alpha = \frac{\pi^2}{2} \cdot \frac{\lambda}{d} \dots\dots\dots (8)$$

をうる。ここに λ は湿気の透過率で拡散係数 k との間には、

第 1 表 実験試料

Table 1. Experimental Samples

| 試料番号 | 試料形状 | 厚さ d (mm) | 試料の大きさ (cm) |
|------|------------------|-------------|-------------|
| 1 | クラフト紙 1 枚 | 0.125 | 5×20, 5×40 |
| 2 | 2枚をガラス円筒に巻きつけたもの | 0.5 | 5×1.4φ |
| 3 | 8枚をガラス円筒に巻きつけたもの | 2.0 | 5×1.8φ |
| 4 | SL ケーブルから採取したもの | 5.0 | 6×2.1φ |
| 5 | SL ケーブルから採取したもの | 9.0 | 6×2.5φ |

(注) 巻きつけた場合は巻厚さ δ に対して有効厚さ $d = 2\delta$ になる。

$$\lambda = k \cdot C_v \dots\dots\dots (9)$$

$$C_v = \left(\frac{\partial a_v}{\partial P} \right)_{P_i \sim P_a} \dots\dots\dots (10)$$

の関係があり、 C_v は $P_i \sim P_a$ 間の平均含湿量である。

(9) 式を (8) 式に代入すれば、 α と k の関係が

$$\alpha = \frac{\pi^2}{2} \cdot \frac{k C_v}{d} \dots\dots\dots (11)$$

のごとく求められる。

湿気拡散係数を求める実験は前述の含湿率の測定と同時にを行った。すなわち吸湿の時間特性を測り、(7) 式と同様な吸湿度の式から吸湿度 55% に対する時間および試料の厚さで k を求めた。ただしこの場合 P_a が変化するのでこれに対する時間の補正を行った。

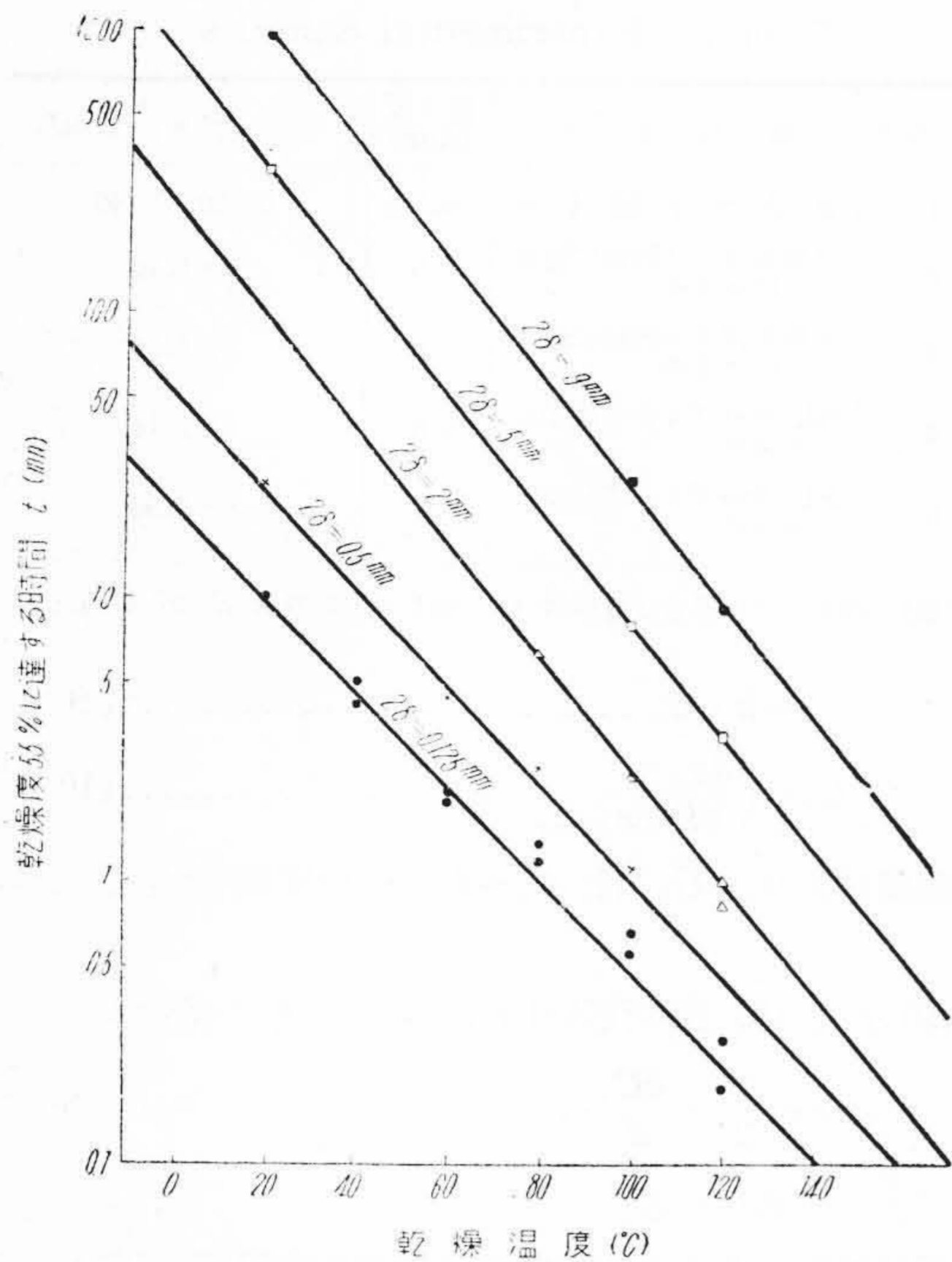
実験に使用した試料は第 1 表の通りである。

第 1 表に示す各試料について、種々の温度で測定した吸湿時間 $t = 0.06 \frac{d^2}{k}$ (55% 吸湿する時間、乾燥の場合も同様) の値を第 3 図(次頁参照)に示す。

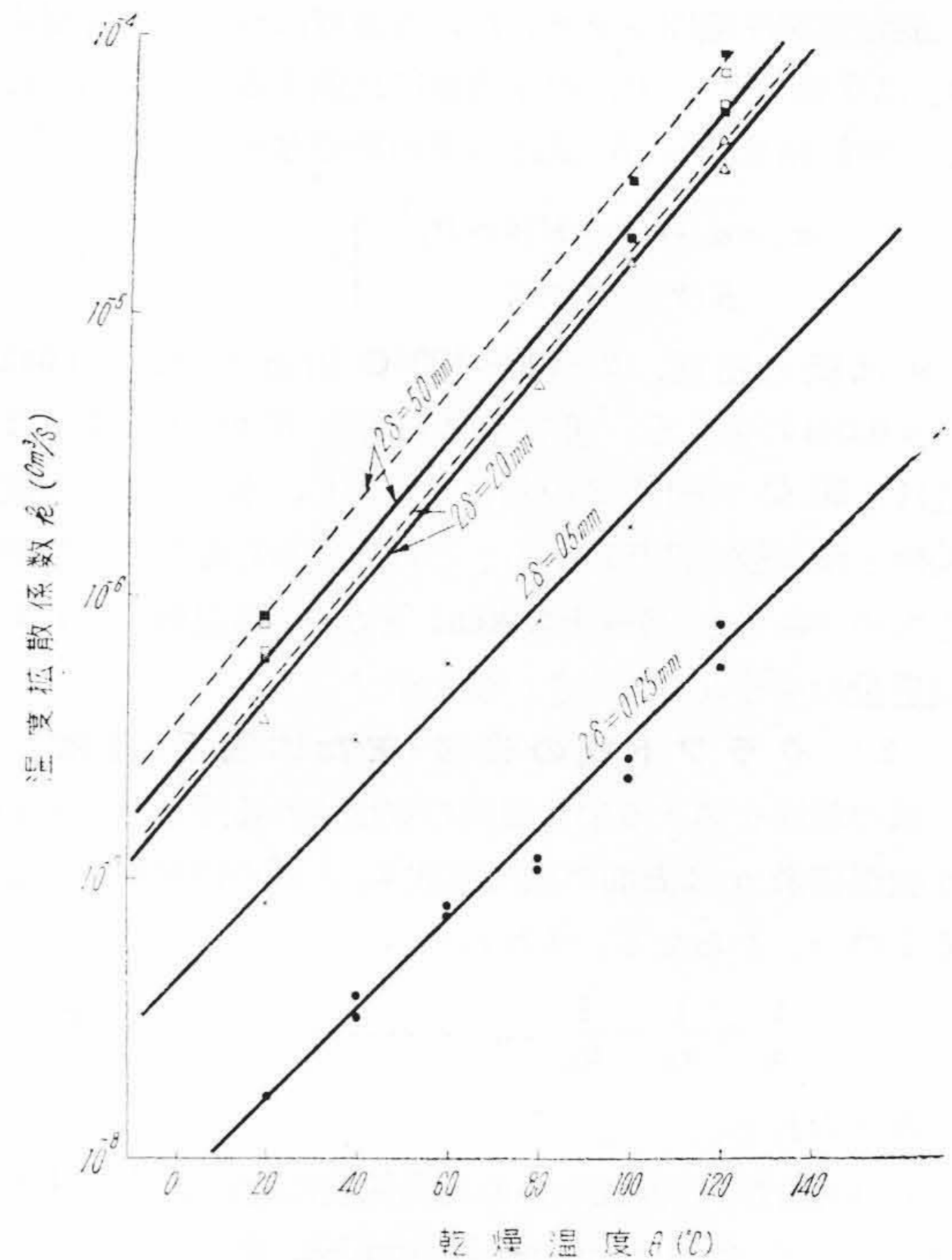
吸湿時間の温度特性は 20°C につき 2~2.5 倍の割合で減少し水蒸気の温度特性とほぼ逆の関係にある。また厚さ d と吸湿時間の関係は第 4 図(a)(次頁参照)にみるように $d = 2 \sim 4 \text{mm}$, $\delta = 1 \sim 2 \text{mm}$ を境として δ の小さいところでは $t \propto \delta^{1/2}$, δ の大きいところでは $t \propto \delta^2$ が成立する。その厚さ特性は第 4 図(b)(次頁参照)に示し、 t から求めた k の値を第 5 図(次頁参照)に示す。

つぎに (11) 式を用いて k および C_v の値から放湿係数 α を求めてみた。1枚のクラフト紙について求めた値を第 6 図(a)(次頁参照)に示す。温度に対してはほとんど変化せず、測定蒸気圧 (P_i, P_a の平均値をとつた) に対しては $\alpha \propto P^{-1/2}$ が成立するようである。これは k が蒸気圧に無関係と仮定すれば当然成立する関係である。また温度によつて変らないということは a_v と k の温度特性がほぼ相殺するためであろう。すなわち (5) 式を α の (11) 式に代入すれば

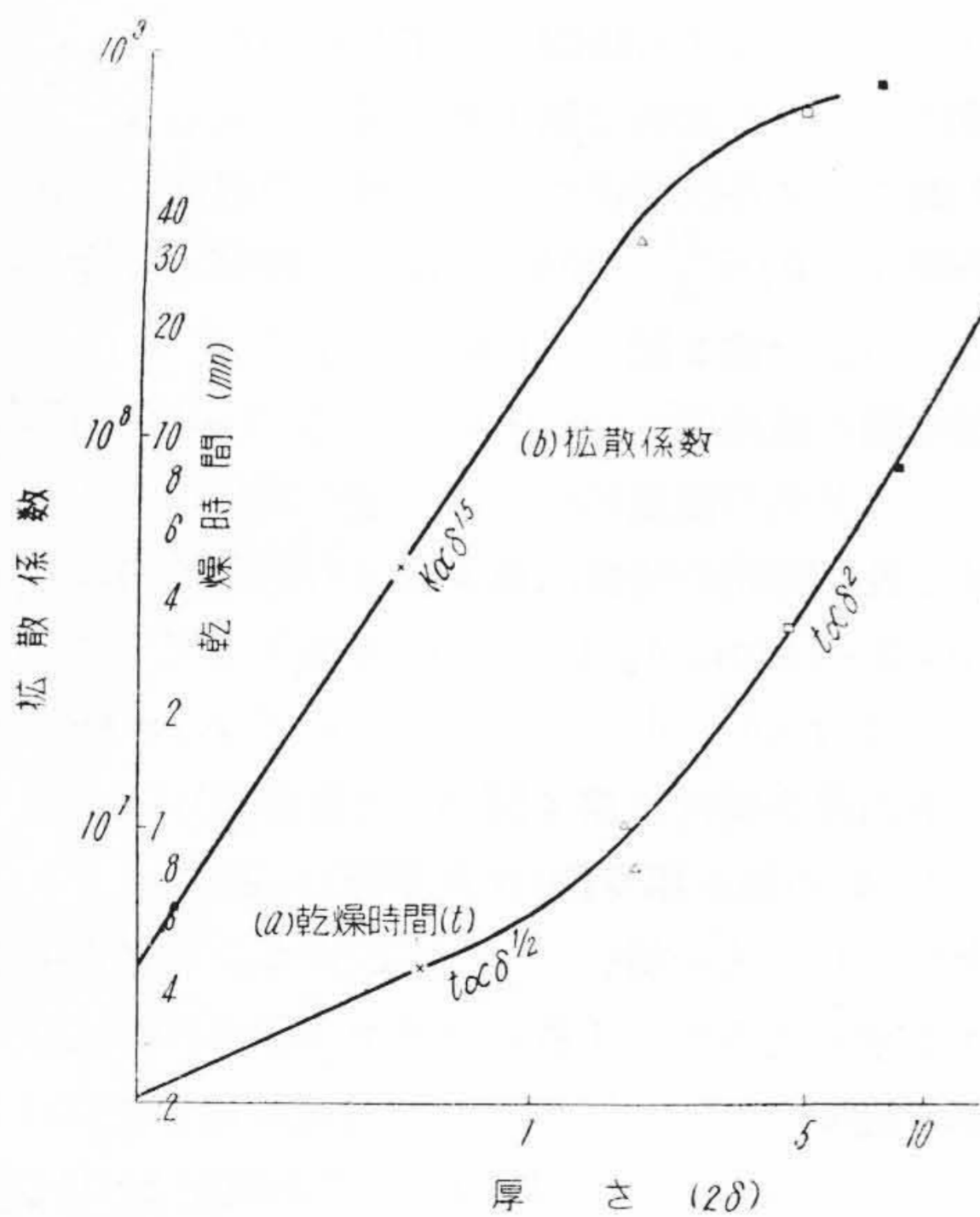
$$\alpha = \frac{\pi^2}{2} \cdot \frac{k}{d} \cdot \frac{K}{2} \cdot P^{-1/2} = K' \cdot P^{-1/2} \dots\dots (12)$$



第3図 乾燥温度と乾燥(55%)時間
Fig.3. Relation between Drying Time and Temperature

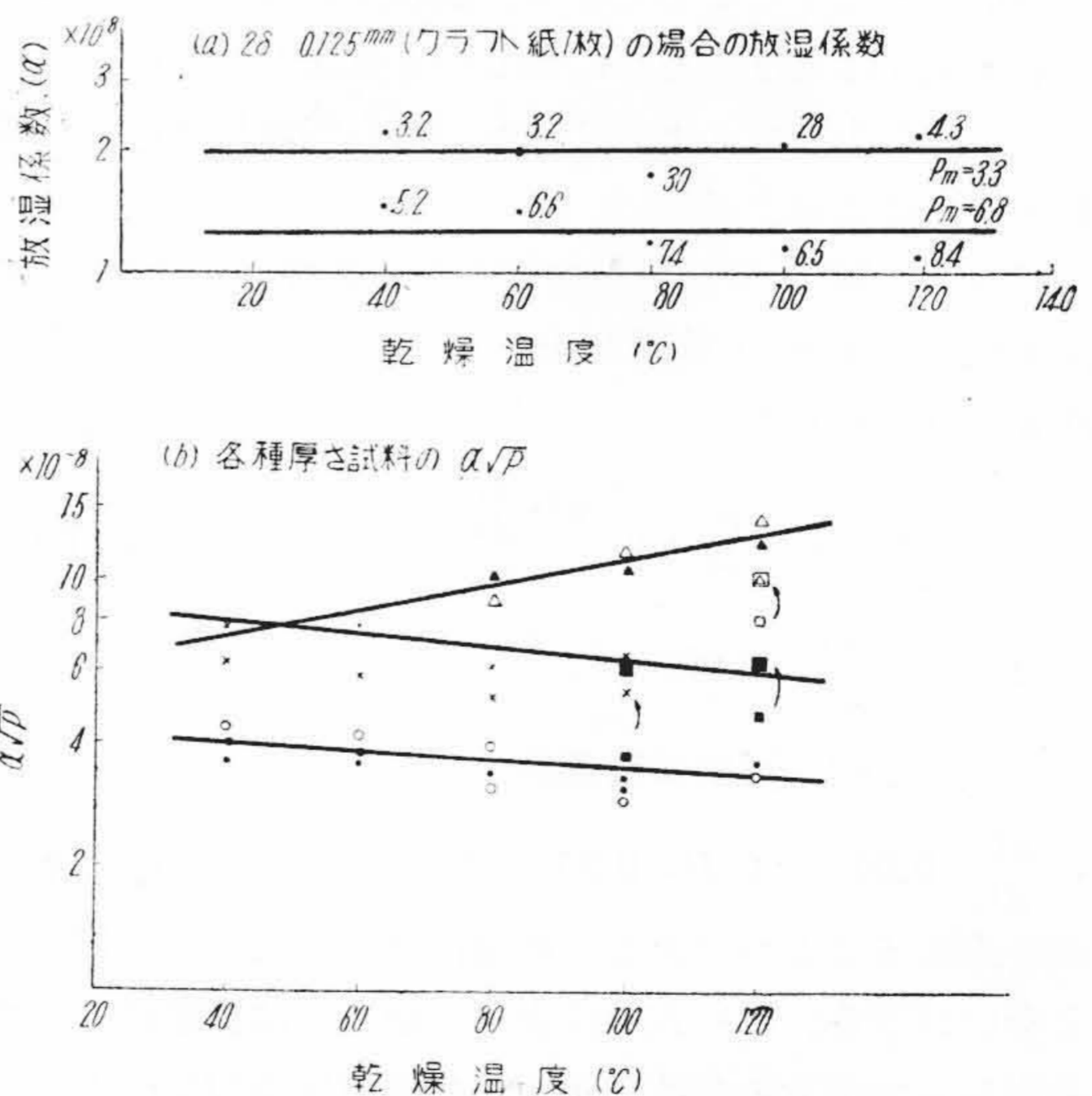


第5図 乾燥温度と湿度拡散係数
Fig.5. Relation between Drying Temperature and Diffusion Coefficient of Moisture



第4図 厚さと乾燥時間および拡散係数
Fig.4. Relation between Drying Time and Diffusion Coefficient by Thickness

で表わされる。 $\alpha \cdot \sqrt{P}$ を一応蒸気圧に無関係な量として温度に対して図示してみると第6図(b)のようである。



- 2δ = 0.125 mm □ 2δ = 5 mm
- 全上実測値 □ 全上実測値
- × 2δ = 0.5 mm ■ 2δ = 9 mm
- × 全上実測値 ■ 全上実測値
- △ 2δ = 2 mm) Eは円筒断面の補正
- △ 全上実測値

第6図 乾燥温度と放湿係数
Fig.6. Relation between Drying Temperature and Dispersion Coefficient of Moisture

第2表 実測された湿気透過率
(単位 g/cm·mmHg·s)

Table 2. Measured Permeability Coefficient of Moisture

| 厚さ (mm) \ 条件 | 常 圧 中 | 真 空 中 |
|--------------|-----------------------|--------------------------|
| 0.125 | 5~6×10 ⁻¹⁰ | 80~100×10 ⁻¹⁰ |
| 0.5 | 12×10 ⁻¹⁰ | 180×10 ⁻¹⁰ |
| 1.13 | 17×10 ⁻¹⁰ | 200×10 ⁻¹⁰ |

第3表 拡散による湿気透過率
(単位 g/cm·mmHg·s)

Table 3. Permeability Coefficient of Moisture by Diffusion

| 厚さ (mm) \ 条件 | 常 圧 中 | 真 空 中 |
|--------------|-----------------------|------------------------|
| 0.25 | 0.4×10 ⁻¹⁰ | 1.6×10 ⁻¹⁰ |
| 0.5 | 0.8×10 ⁻¹⁰ | 9.0×10 ⁻¹⁰ |
| 2.0 | 4.2×10 ⁻¹⁰ | 33.0×10 ⁻¹⁰ |
| 5.0 | 6.4×10 ⁻¹⁰ | 65.5×10 ⁻¹⁰ |
| 9.0 | 7.1×10 ⁻¹⁰ | 67.0×10 ⁻¹⁰ |

(3) 湿気透過率

前項で湿気の拡散係数 k が $\delta < 1\text{mm}$ では一定でなく厚みとともに変化することを知らる。これは紙の不均質な構造、あるいは有孔性に起因するものであろう。今これに関連して前項の(9)式で定義される透過率と、直接紙の両面に水蒸気圧差を加えて測定された透過率を比較してみる。 λ の実測値は温度および蒸気圧にはあまり影響なく第2表に示すような値がえられた。

第2表で見ると真空中の湿気透過率は常圧中の値の10倍以上であり、かつ厚さによつて変化するが、ある程度以上の厚さではほぼ一定の値に達するようである。これに対して(9)式からえられる拡散による透過率は第3表に示すようである。

第3表は前記実測値の場合よりも厚さの影響が著しく、かつ常圧、真空の差は同程度である。また数値の絶対値は実測値よりも常に小さく十分厚い場合、すなわち透過率がほぼ一定値を示すところでもなお1/3程度に止つている。これらはいずれも紙の不均質性によるものであろうが、逆にこれらのデータから紙の構造ないし水分の吸着、移動の状況を推定できる筈である。

紙の中の水分の透過がいかにか特殊なものであるかはつぎに示す空気透過率と比較して見ればあきらかである。すなわち空気の紙に対する透過率は厚さに関係なく、空気の圧力(または密度)に比例し、 $\lambda = 0.5 \times 10^{-10} P$ (P は空気の圧力 mmHg) で与えられる。 P に比例することは空気の透過が紙の細隙を通しての粘性流であることを示す。比較のため $P = 10\text{ mmHg}$ にとれば $\lambda = 5 \times 10^{-10}$ となり第2表の真空中の水蒸気透過率に較べてはなほだしく小さい値である。

[IV] ケーブルの真空乾燥

(1) ケーブルコアのための k, α の補正

[III] で取扱つた k および α の求め方は、厚さが $d = 2\delta$ の板の場合であるが、実際のケーブルでは紙の断面が円筒形であるからこれに対する k, α の補正が必要であり、これを以下行つてみる。

円筒断面の外径を b , 内径を a , $b - a = \delta$, $b/a = r$ とおく。

拡散係数 k の補正を行うには(7)式のかわりに乾燥度 $D < 0.55$ で成立する。

$$D = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{kt}{d^2}}, \quad \frac{kt}{d^2} < 0.06 \dots \dots \dots (13)$$

から出発した方が便利である。(13)式は勿論厚さ d の板の式であるが、時間 $t = 0$ における含湿量を m_0 , 時間 t における乾燥量を m とおけば $D = m/m_0$, かつ $m_0 = a_{r0} V = a_{r0} \cdot S \cdot d/2$ であるから(13)式は

$$m = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot a_{r0} S \sqrt{kt} \dots \dots \dots (14)$$

となる。これは厚さと無関係な単位面積当りの乾燥量を表わす式である。(14)式を円筒形の場合に適用すれば、

$$m_0' = a_{r0} \cdot S \cdot \frac{b^2 - a^2}{2b} \quad \text{を用いて}$$

$$D' = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{kt}{d'^2}}, \quad \frac{kt}{d'^2} < 0.06$$

$$d' = \frac{d(b+a)}{2b} = \frac{2\delta(b+a)}{2b} \dots \dots \dots (15)$$

$$= \frac{d(r+1)}{2b} = \frac{2\delta(r+1)}{2r}$$

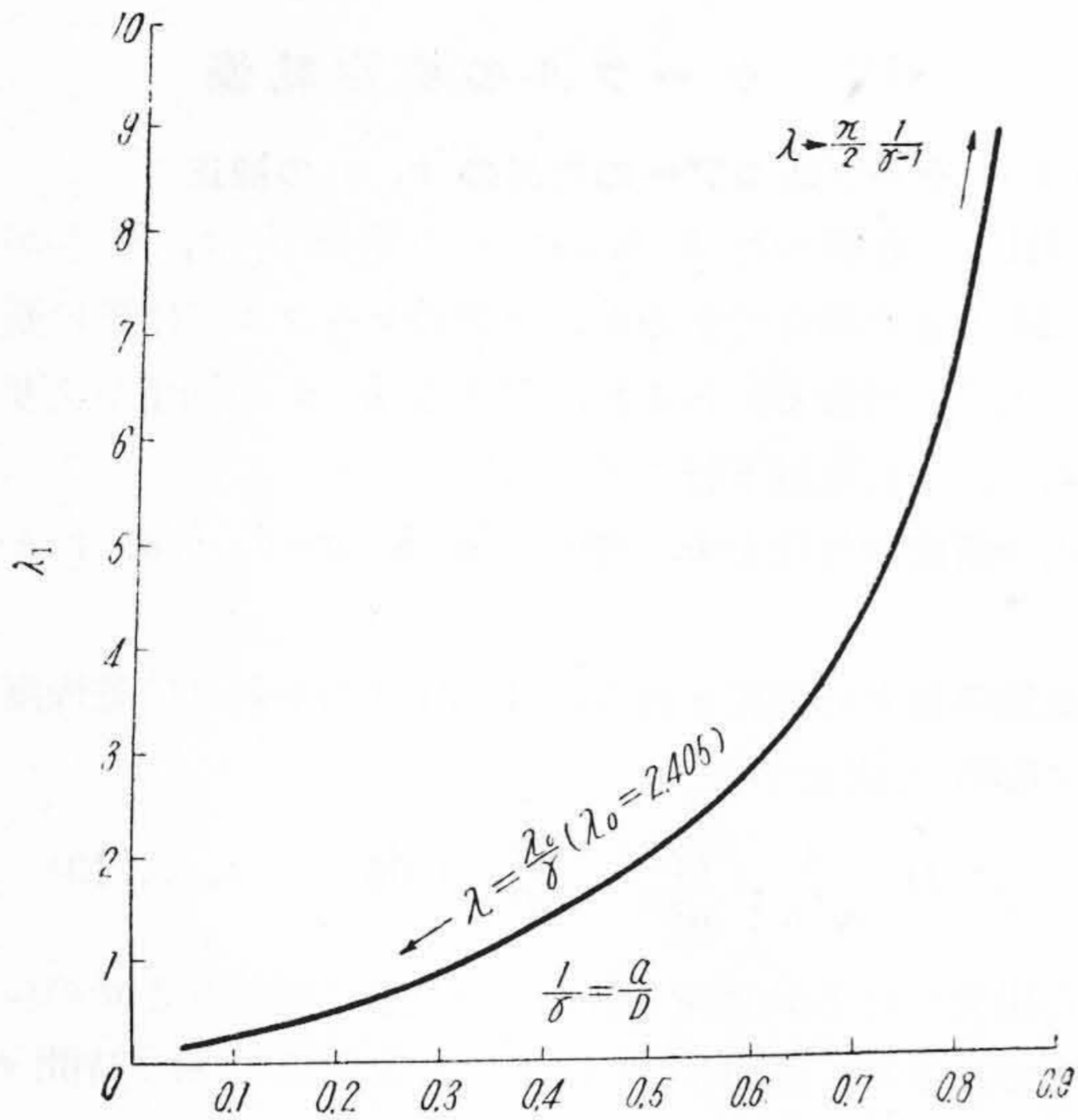
が成立する。すなわち厚さ $d = 2\delta$ に対して $\frac{r+1}{2r}$ なる補正を加えればよいことになる。 δ が十分小さい場合すなわち $a \rightarrow b$ では $r \rightarrow 1$ で補正項は1となり、 $a \rightarrow 0$ すなわち $r \rightarrow \infty$ では補正項が1/2になる。 k を求めるには $\frac{kt}{d'^2} = 0.06$, $D' = 0.55$ の関係によればよい。一般に厚くなる程 (b/a が大きいほど) 補正した k は小さくなる。

つぎに(8)式による放湿係数 α の補正であるが、これは $\frac{kt}{d^2} > 0.06$ の範囲に属するため簡単にいかない。少し厄介になるが円筒断面の式を適用すれば

$$D = 1 - \frac{4r^2}{r^2 - 1} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\lambda \pi^2} \cdot \frac{u_1^2(r \cdot \lambda_n) \cdot e^{-\frac{kt}{d^2} \cdot \lambda_n^2}}{r^2 \cdot u_1^2(r \cdot \lambda_n) - u_0^2(\lambda_n)} \dots \dots \dots (16)$$

$$u_0 \cdot I(x) = \frac{J_0 I(x)}{J_0(r \cdot \lambda_n)} - \frac{Y_0 I(x)}{Y_0(r \cdot \lambda_n)}$$

また λ_n は $u_1(\lambda_n)$ の根である。(16)式において時間 t が十分大きければ、すなわち $\frac{kt}{d^2} \cdot \lambda_1^2 \geq 1$ に対しては、



第7図 λ_1-r の関係

Fig.7. Relation between λ_1 and r

$$D=1-\frac{4r^2}{r^2-1} \cdot \frac{\frac{1}{\lambda^2} u_1^2(r\lambda_1) e^{-\frac{kt}{d^2} \lambda_1^2}}{r^2 \cdot u_1^2(r\lambda_1) - u_0^2(\lambda_1)} \dots (17)$$

が成立する。 λ_1 は $u_1(\lambda_n)=0$ の最小の根である。(17) 式の成立する範囲で [III] (2) におけると同様に表面からの放湿温度を求め、これを $\alpha \cdot S(P_i - P_a)$ に等しいとおけば

$$\alpha = \frac{r^2-1}{2} r_1^2 \frac{\lambda}{d} \dots (18)$$

をうる。 λ_1 は r の函数であり、第7図に示すような値をもち、特に $r \rightarrow 1$ では $\lambda_1 \rightarrow \frac{\pi}{2} \cdot \frac{1}{r-1}$ となり、板の場合に近づき、 $r \rightarrow \infty$ では $\lambda_1 \rightarrow \lambda_0/r$ (λ_0 は $J_0(\lambda)=0$ の最小の根) で完全円筒の場合に近づく、[III] の (8) 式を用いた場合の α の補正項としては

$$\frac{2}{\pi^2} \cdot \lambda_1^2 \frac{(r-1)^2(r+1)}{r}$$

をうる。この値は $r \rightarrow 1$ では勿論1であるが、 $r \rightarrow \infty$ でも1.17であり、 $r < 3$ ではほとんど1とみなしてよいことがわかる。したがって α の補正は λ 、あるいは k の補正だけがきくことになる。

(2) ケーブルコアの真空乾燥の理論解析

[II] の (1)~(4) 式の結果をできるだけ簡単にするため、 α は水蒸気圧に無関係、かつ a_v は $a_v = K' \cdot P_i$ (含湿量が水蒸気圧に比例すると仮定) とし、なお (1) 式の左辺が右辺の項に比して十分小さいとすれば

$$P_a = P_{a0} e^{-t/\tau} \dots (19)$$

$$P_i = P_{i0} e^{-t/\tau} \dots (20)$$

$$a_v = a_{v0} \cdot e^{-t/\tau} \dots (21)$$

をうる。ここに

$$\tau = \frac{K' V_i}{\alpha \cdot S} \left(1 + \frac{\alpha S}{Q \rho_1}\right) \dots (22)$$

$$\frac{P_i}{P_a} = \frac{P_{i0}}{P_{a0}} = 1 + \frac{Q \rho_1}{\alpha S} \dots (23)$$

$$\frac{a_v}{P_i} = \frac{a_{v0}}{P_{i0}} = K' \dots (24)$$

τ は乾燥の時定数であり、 P_{a0} が与えられれば P_a, P_i, a_v の時間特性はすべて求められる。

(19), (20) 式を (1) 式に代入すれば

$$\frac{P_i}{P_a} = \frac{P_{i0}}{P_{a0}} = 1 + \frac{Q \rho_1}{\alpha S} - \frac{V_a \rho_1}{K' V_i} \dots (25)$$

なる近似式がえられる。 $V_a = V_i, \rho_1 = 10^{-6}, K' = 10^{-4}$ を考慮すれば、 $\frac{V_a \rho_1}{K' V_i} = 10^{-2}$ のオーダーであり、1に比し省略できる。すなわち (25) 式は (23) 式に一致する。

時定数 τ のオーダーを求めてみると、SL ケーブル 1 km の場合を例にとれば $S = 9 \times 10^5 \text{ cm}^2, \alpha = 2 \times 10^{-8} \text{ g/cm}^2 \cdot \text{mmHg} \cdot \text{s}$ (P_a, P_i の平均が 4 mmHg・s の場合に相当) $Q = 10^{-5} \text{ cc/s}, \rho_1 = 10^{-6} \text{ g/cm}^3 \cdot \text{mmHg} \cdot \text{s}$ より $\frac{\alpha S}{Q \rho_1} = 0.18, \frac{Q \rho_1}{\alpha S} = 5.6$, なお $K' = 10^{-4}$ (P_i 10 mmHg に相当) $\frac{V_i}{S} = 0.45 \text{ cm}$ (ほぼ巻厚 δ に等しい) より $\tau = 2.7 \times 10^3 \text{ s}$ をうる。

また $\frac{P_i}{P_a} = 6.6$ であり、観測されるタンク内水蒸気圧の 6~7 倍がケーブル紙の平均水蒸気圧であり、もし $a_v < 0.1\%$ が必要な乾燥程度であれば $P_a < 1 \text{ mmHg}$ でよいことになる。

$\frac{\alpha S}{Q \rho_1} \ll 1$ の場合は $\tau = \frac{K' \cdot V_i}{\alpha S}$ となるが、これは (7) 式、(17) 式の拡散係数の式における $t = \frac{d^2}{\pi^2 k}$ また $\tau = \frac{d^2}{\lambda_1^2 \cdot k}$ と一致するものである。すなわち排気速度がケーブル表面からの脱湿速度に比して十分大きい場合には、ケーブル紙内の湿気の拡散速度が乾燥時間を決定することになる。

以上の解析では $a_v \propto P_i^{1/2}$, および $\alpha \propto P^{1/2}$ の実験結果を無視したが、これらを考慮すれば解析結果は多少変化してくる。すなわち $a_v = K P_i^{1/2}$ をとり、 α を一定とした場合には (1) 式の左辺は省略して

$$\frac{1}{\sqrt{P_a}} - \frac{1}{\sqrt{P_a}} = Ct \dots (26)$$

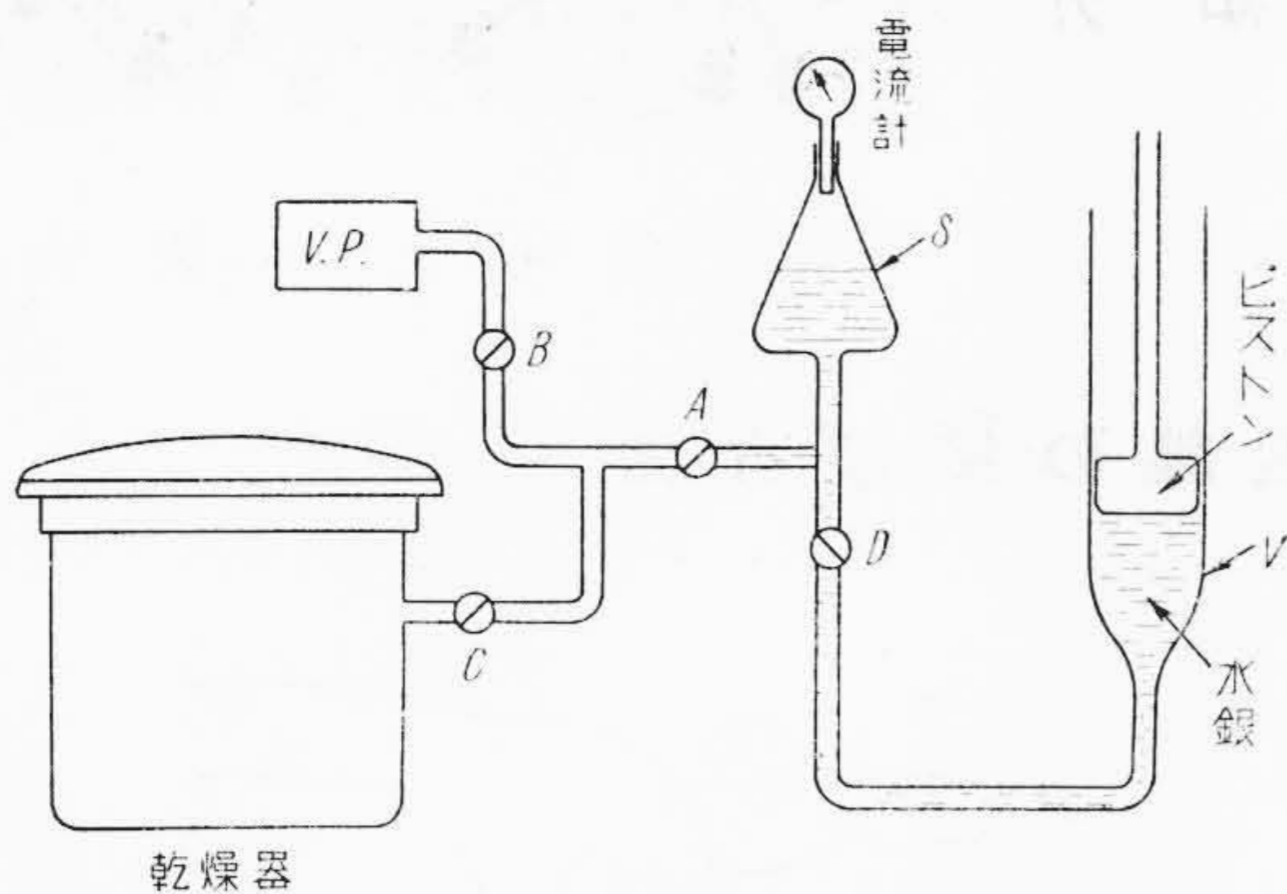
$$C = \frac{\alpha S}{V_i K} \cdot \frac{\sqrt{1 + Q \rho_1 / \alpha S}}{1 + \alpha S / Q \rho_1}$$

$$\frac{P_i}{P_a} = 1 + \frac{Q \rho_1}{\alpha S} \dots (27)$$

$$\frac{a_v}{\sqrt{P_i}} = K \dots (28)$$

をうるが、 a_v 半減ないし P_i, P_a が 1/4 に減ずる時間を τ とすれば

$$\tau = \frac{V_i K^2}{\alpha S a_{v0}} \left(1 + \frac{\alpha S}{Q \rho_1}\right) \dots (29)$$



乾燥器

第8図 水分判定装置

Fig. 8. Moisture-detecting Apparatus

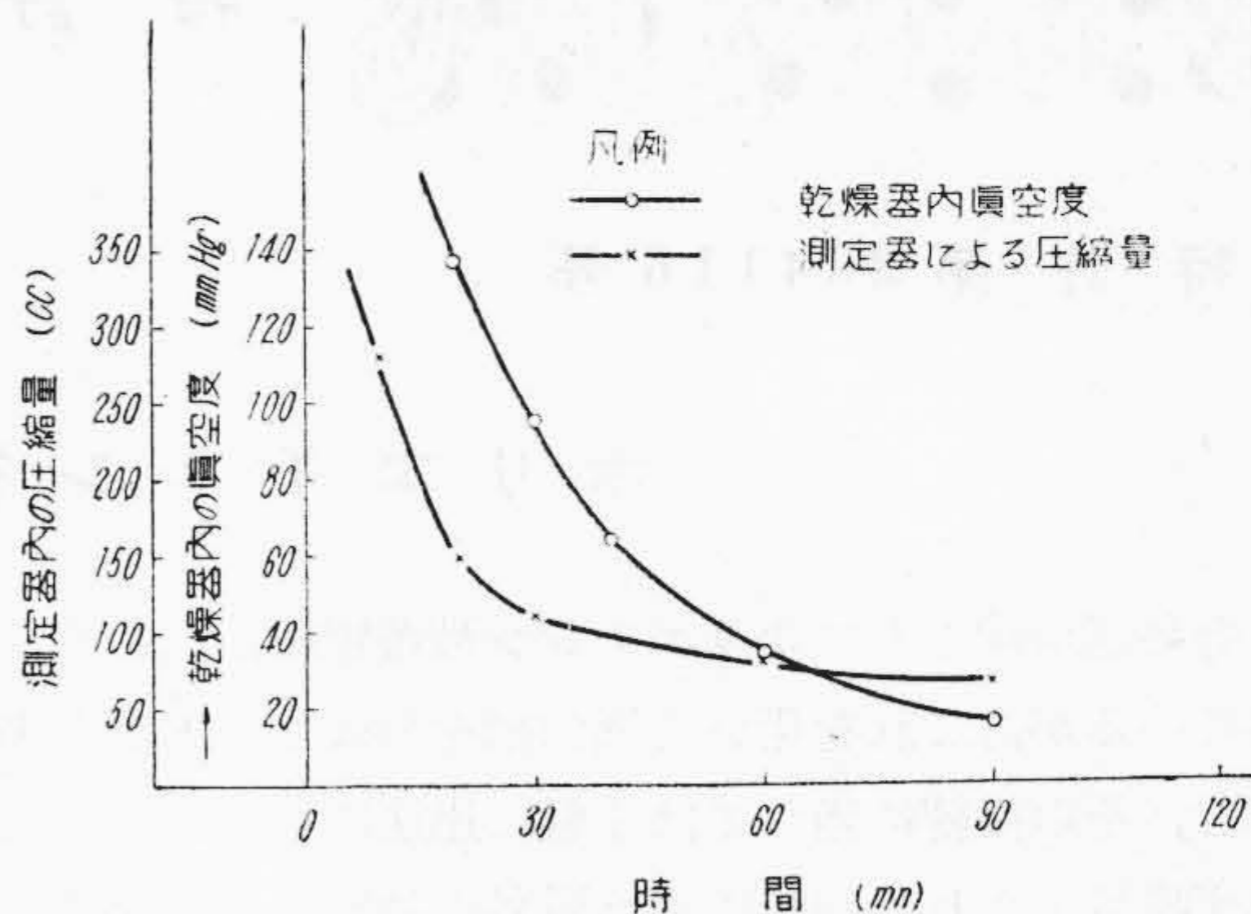
である。(29)式を(22)式と比較すれば、 K' が $\frac{K^2}{a_{v0}}$ で置きかえただけであり、 $K' = \frac{a_{v0}}{P_{i0}}$ ときお、かつ(28)式を用いれば、両者は一致することがわかる。さらに、 $a_v = KP_i^{\frac{1}{2}}$ のほか、 $\alpha = K'P_i^{\frac{1}{2}}$ とおいても適当な省略を行えば、

$$\tau = \frac{V_i K}{2K' S} \left(1 + \frac{\alpha S}{Q \rho_1} \right) \dots \dots \dots (30)$$

をうる。これから所要時間を求めうる。

〔V〕 ケーブル乾燥の終末点探知の一例

上記の理論にもとづく考察を現業に移す一環としてケーブル乾燥の終末点探知法(実用新案申請中)の一例を示す。測定器は第8図に示すように円筒形の水銀容器Vと乾燥器よりサンプリングして貯める三角フラスコ形のものSと、三角フラスコ内を真空にする真空ポンプ V.P.よりなる。三角フラスコの上部密栓が電極となりサンプル(ペーパー)を水銀で圧縮しこの電極が露点に達した場合電流計回路に電流が流される。したがって圧縮量と電



第9図 乾燥特性 (一例)

Fig. 9. Drying Characteristics

流量により、水分量を比例的に求め、その飽和状態を見て前述の P_a の関係から乾燥の終末を知ることができる。

第9図に本測定器による真空乾燥初期における実験結果の一例を示した。

〔VI〕 結 言

ケーブルの乾燥を十分行うことはケーブルの含浸後の特性を高めるものであり重要ではあるが、あまり長時間乾燥することは逆に紙の劣化を起させることになるのでこの考察はきわめて必要である。そのため上記の理論に基づき乾燥時間をきめ、実際についての諸特性を検討した結果、短時間ですぐれた特性のケーブルがえられたので、その理論の一端をここに紹介した次第である。

最後に本研究に御指導を賜った東北大学鳥山教授、日立製作所中央研究所湯本博士、黒崎博士、日立研究所三浦博士、日立電線工場内藤部長ならびにケーブル研究会の各位に深謝申し上げる。

Vol. 17

日 立

No. 2

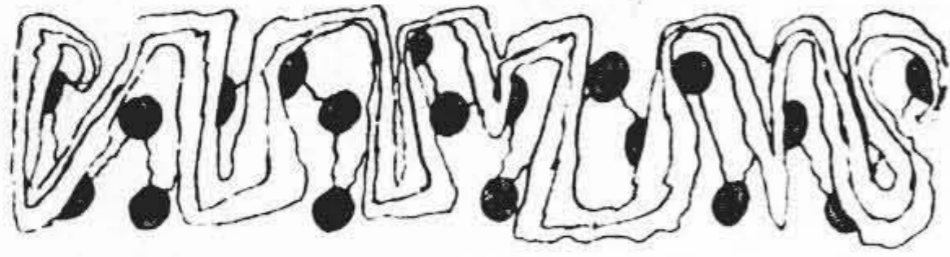
- ◎ 日立家庭用電気掃除機
- ◎ 日立ミキサー
- ◎ 最高の品質を誇るヒタチ耐震電球
- ◎ テレビ用日立高圧整流管 1X2B
- ◎ 高真空全波整流管日立 2K12
- ◎ ビーム出力管

- ◎ 小河内ダムの「たま号」ケーブルクレーン
- ◎ 輸出車輛について
- ◎ 300型二軸ボギー電動車
- ◎ 搬送回線入ポリエチレンビニルシース遠方監視制御ケーブル
- ◎ 耐振性キャブタイヤケーブル

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)

日 立 評 論 社

誌代 1冊 ¥ 60 円6



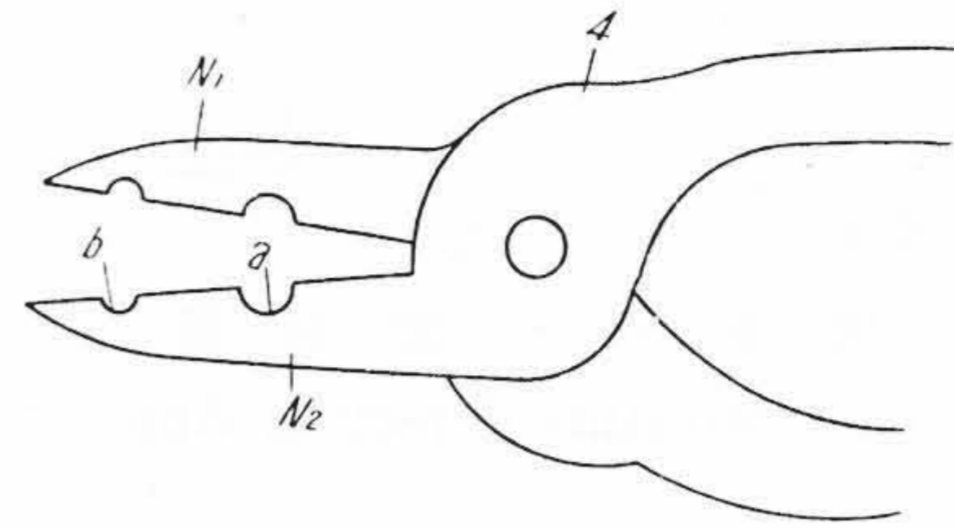
特許第204116号

大竹政純・大内末夫

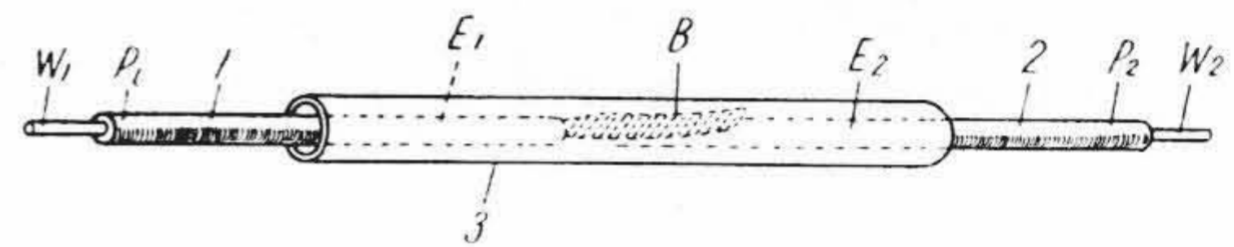
ポリエチレン被覆電線の接続方法

野外通信線としてポリエチレン被覆電線が広く用いられているが、これを用いて通信網を形成する場合を考えると、その接続に当つては手軽に迅速に行われることがまず眼目とされ、同時にまた屋外の故に吸湿なきよう完全に封塞することが強く要求される。本発明はかかる要求を完全に満足するもので実施の結果は各方面から好評を博している。

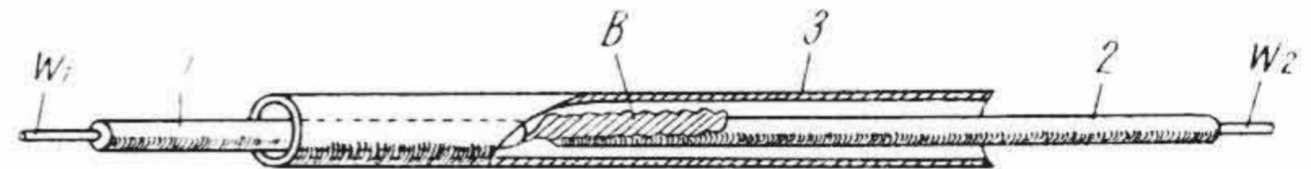
すなわち絶縁電線1と2とはそれぞれ心線 W_1 と W_2 とにポリエチレンの被覆層 P_1 と P_2 を被着してなるもので、 B はこの両者の心線端を撻合法によつて接続した接続部分である。3はポリエチレンチューブでその内径は1, 2の外径またはB部の外径よりやや大で、しかも長さは1および2の被覆端 E_1 および E_2 の一定長と B を蔽う程度となされ、はじめ1, 2のいずれか一方に嵌合し B を作つた後に滑らせて第2図および第3図のごとき状態となす。この状態で E_1 および E_2 の部分をトーチランプまたは簡単なアルコールランプ程度の焰で加熱する。それらの部分がこの加熱によつて適宜軟化した頃合を見計らつて常温にあるペンチ(第1図)を用い、その咬合先端 N_1, N_2 の半円成形溝 a または b によつて軟化部分を挾圧するのである。かくすれば P_1, P_2 および3によつて二層をなすポリエチレンは冷却固化作用と成形圧着力との双方によつて極めて容易に融合して心線外周に密着し全然隙を生ずることがない。第4図の F_1 部分がかくて融合して生じた固化扁平部であり、また F_2 部分は心線への密着部分である。この際注意を要する点は F_1 および F_2 がチューブ3の両端一杯に拡がらずに少しばかりの開口端 e_1 および e_2 を残存することである。もしこの注意を忘れてチューブ3をその両端一杯に加熱した上で両端全部をペンチ4で潰すときは往々にして被覆である P_1 および P_2 を損じ心線 W_1 および W_2 を思わざる箇所でむき出しにしてしまう危険がある。 e_1 およ



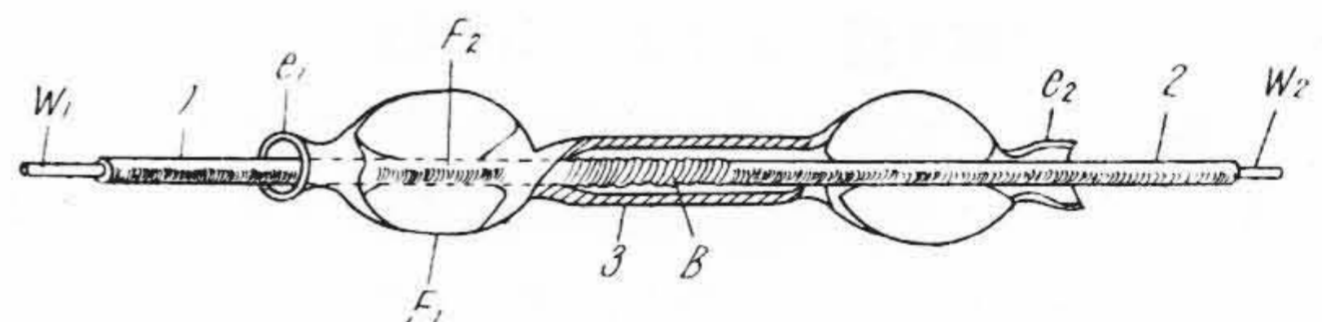
第1図



第2図



第3図



第4図

び e_2 端を残すことは本発明の効果を大ならしめる重要な点である。接続部分 B はかようにして完全に防湿的に保護されるのであるが、この工作に当つては加熱にしる挾圧にしる特別の道具を必要としないから急速にまた頻りに掛け外しを必要とする野外移動性通信線に絶好である。さらによいことは、チューブ3の筒部分および e_1, e_2, F_1, F_2 などは全部透明であるから融合圧着ぐあい簡単に目勘でわかる点である。(宮崎)

