

ゴム絶縁電線の連続加硫法に関する基礎的考察 (続報)

山本三郎* 伊勢明**

Fundamental Researches on the Continuous Vulcanization of the Rubber Insulated Electric Wires

By Saburō Yamamoto and Akira Ise
Hitachi Electric Wire Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

In the previous issue, the writers reported on the leakage stopping apparatus for the continuous vulcanization process. In this paper the writers deal with the conditions for vulcanization of rubber in the rising temperature in the continuous vulcanization machine, which represent the most important problem in the high temperature vulcanization. The summary of the writers' study on this subject is as follows:

- (1) From the constants of the specific heat, thermal conductivity and surface thermal conductivity of the rubber insulator, the writers induced the following formula which could serve to convert the conductor diameter of rubber insulated wire into the diameter of rubber insulator.

$$D = \frac{d \cdot \rho' \cdot Cp' \cdot h_T}{h_T \cdot \rho \cdot Cp}$$

where, D, d =diameter of rubber and conductor
 ρ, ρ' =density of rubber and conductor
 Cp, Cp' =specific heat of rubber and conductor
 h_T, h_T =surface thermal conductivity of rubber and conductor

- (2) The writers calculated the ratio of vulcanization in the rising temperature of various rubber insulated wires, using the following equation.

$$\tau = md + nt$$

where, τ =converted time of vulcanization, d =diameter of conductor,
 t =thickness of rubber insulator, m, n =constant

For example, representative rubber insulated wires were proved to have the constants,

$$m = 0.081 \sim 0.090, \quad n = 0.20 \sim 0.30$$

provided that the temperature was 170 °C and the steam pressure was 3 kg/cm².

* ** 日立製作所日立電線工場

〔I〕 緒 言

最近の我国における電線製造業界は合成樹脂の急速な進歩につれて、これらの新材料を応用した新製品の開拓を行うとともに設備の近代化によつて品質の向上と原価の低減に尽力している。ここで述べるゴム絶縁電線の連続加硫法も後者の設備の近代化に属する一つである。この連続加硫法はすでに知られているように押出機と加硫機を直結させてゴム絶縁電線を連続的に製造する方式であつて、従来のゴムの押出被覆と罐加硫の独立した2つの工程を単一の作業工程に単純化して品質の均一性と向上を招来するすぐれた特長のある製造方式である。

この方式は欧米においてすでに実用されており⁽¹⁾⁽²⁾、我国においては戦後に至つてその工業化の研究が行われたものである。

日立製作所においても戦前からこの研究に着手し日立製作所独特の加硫機を製作してすでに実用化している。前報⁽³⁾においては、この連続加硫機の最も重要な点である蒸気漏洩防止装置の機構および被覆ゴムの発泡防止について報告した。本論文においては加硫の際問題となる温度上昇時の加硫状況について報告する。被覆ゴムの加硫反応は電線が加硫温度に達する以前にすでに開始しているが、これは従来の作業法のような加硫温度が低い場合には左程重要な問題とならないが、連続加硫法のように高温加硫を特長とする方式においては、この問題は作業管理上見逃せない点である。したがつて今回は代表的なゴム絶縁電線について、加硫筒内での温度上昇および温度上昇時における加硫などについて検討した結果を述べる。

〔II〕 各 常 数 の 算 出

(1) 比熱および熱伝導率

配合を異にするゴムの比熱および熱伝導率は通常実験的に求めるのであるが、こゝでは便宜的に I. Williams らが行つた簡便法⁽⁴⁾によつて算出した。この算出法はゴム中に混合する各配合剤の比熱および熱伝導率を求め、これに各配合剤の重量分率（たとえば比熱の場合）あるいは容量分率（たとえば熱伝導率の場合）をそれぞれ乗じて積を求め、それらの総和をそのゴム混和物の比熱または熱伝導率とする方法である。

第1表はゴムの配合剤と、その比熱および熱伝導率を示したものである。この算出法によつて求めた各ゴム混和物の比熱と熱伝導率は第2表に示す通りであつて、以後の計算にはこの第2表の常数を用いた。

(2) 表面伝熱係数

物体を流体内で加熱するときは、流体は対流作用を起

第 1 表 各配合剤の比熱と熱伝導率

Table 1. Specific Heat and Thermal Conductivity of Adding Elements

配 合 剤	比 熱 (cal/g)	熱 伝 導 率 (cal/cm·s·°C)
生 ゴ ム	0.502	0.00032
タ ル ク	0.280	0.00058
チ ヨ ー ク	0.209	0.00084
パ ラ フ ィ ン	0.700	0.00059
亜 鉛 華	0.125	0.00166
カーボンブラック	0.204	0.00067
硫 黄	0.184	0.00050

第 2 表 各 ゴ ム 混 和 物 の 常 数

Table 2. Constants of Rubber Compounds

試料番号	比 重 (kg/m ³)	比 熱 (kcal/kg)	熱伝導率 (kcal/m·h·°C)	表面伝熱係数 (kcal/m ² ·h·°C)	活性化エネルギー (kcal)
ゴム No. 1	1,670	0.315	0.186	53.7	26.3
ゴム No. 2	1,620	0.321	0.184	48.0	24.1
ゴム No. 3	1,290	0.356	0.165	32.9	25.7

(備考) ゴム No. 1: 600 V ゴム絶縁電線用ゴム
 ゴム No. 2: キヤブタイヤコアー用ゴム
 ゴム No. 3: 溶接機用キヤブタイヤケーブル用ゴム

すので物体の近距離まで温度はほとんど均一であるが、物体の表面周囲にはこの対流作用を起さない薄い膜状の部分があり、熱はこの部分では伝導によつて物体に移動する。したがつてこの部分では伝導による熱移動の基本式(1)⁽⁵⁾に当てはまる。

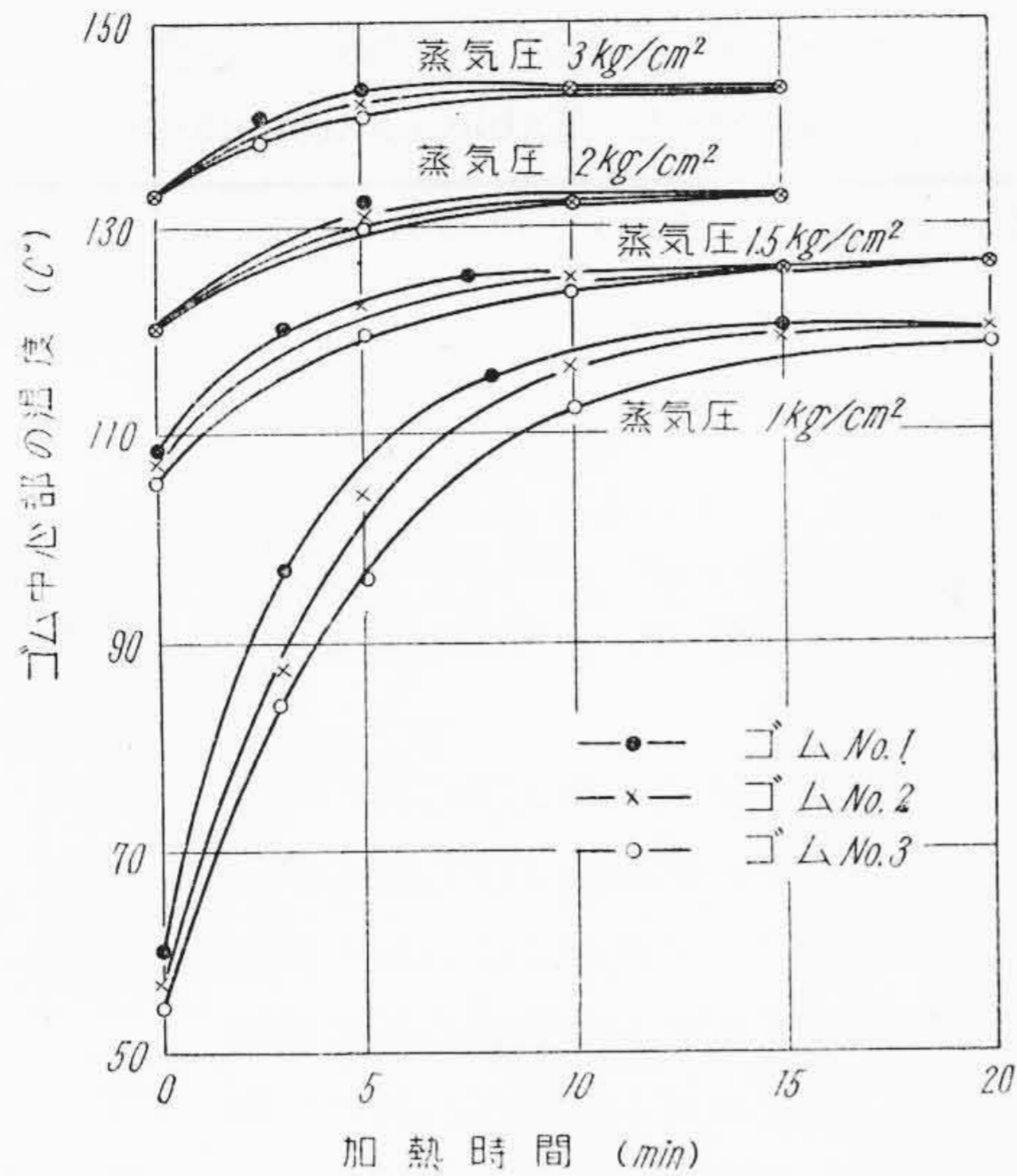
$$q = \frac{\lambda \cdot A (\Delta t)}{\delta} \dots \dots \dots (1)$$

- q = 熱移動量
- A = 表面積
- δ = 熱移動距離
- λ = 熱伝導率
- Δt = 外部と物体表面との温度差

δ の値は実測も推定も困難であるから λ/δ = h_T とおき、この h_T (kcal/m²·h·°C) を表面伝熱係数と称している。表面伝熱係数の算出には伝熱の状況や被加熱体の材質、形状によつて実験式が決定されている。⁽⁶⁾

しかしゴムと蒸気との表面伝熱係数については文献にほとんど見当たらないので、筆者らは便宜上加熱理論式⁽⁷⁾を利用して表面伝熱係数を求めた。

まず厚さ 11.2 mm (縦 130, 横 140 mm) の各ゴム (ゴム No. 1, No. 2, No. 3) の中心部に銅コンスタンタンを入れ、これを密閉できる容器中におき、飽和蒸気を導入してゴム中心部の温度と時間との関係を求めた。その結果は第1図の通りである。つぎに加熱理論式(2)にそれぞれの値を代入して表面伝熱係数 h_T を求めた。



第1図 ゴム中心部の温度と加熱時間との関係
Fig. 1. Relation between Temperature at the Center of Rubber Layer and Heating Time

この結果を第2表に併記した。(蒸気圧 3 kg/cm² の場合)

$$2.3 \log \frac{T-t_0}{T-t} = \frac{h_T \cdot A \cdot \theta}{V \cdot \rho \cdot C_P} \dots \dots \dots (2)^{(7)}$$

- ただし T = 外部温度 V = 体積
- t_0 = ゴムの最初の温度 ρ = 密度
- t = ゴム中心部の温度 C_P = 比熱
- A = ゴムの表面積
- θ = 所定の温度に達するまでの時間

ゴム No. 1 についての算出例。

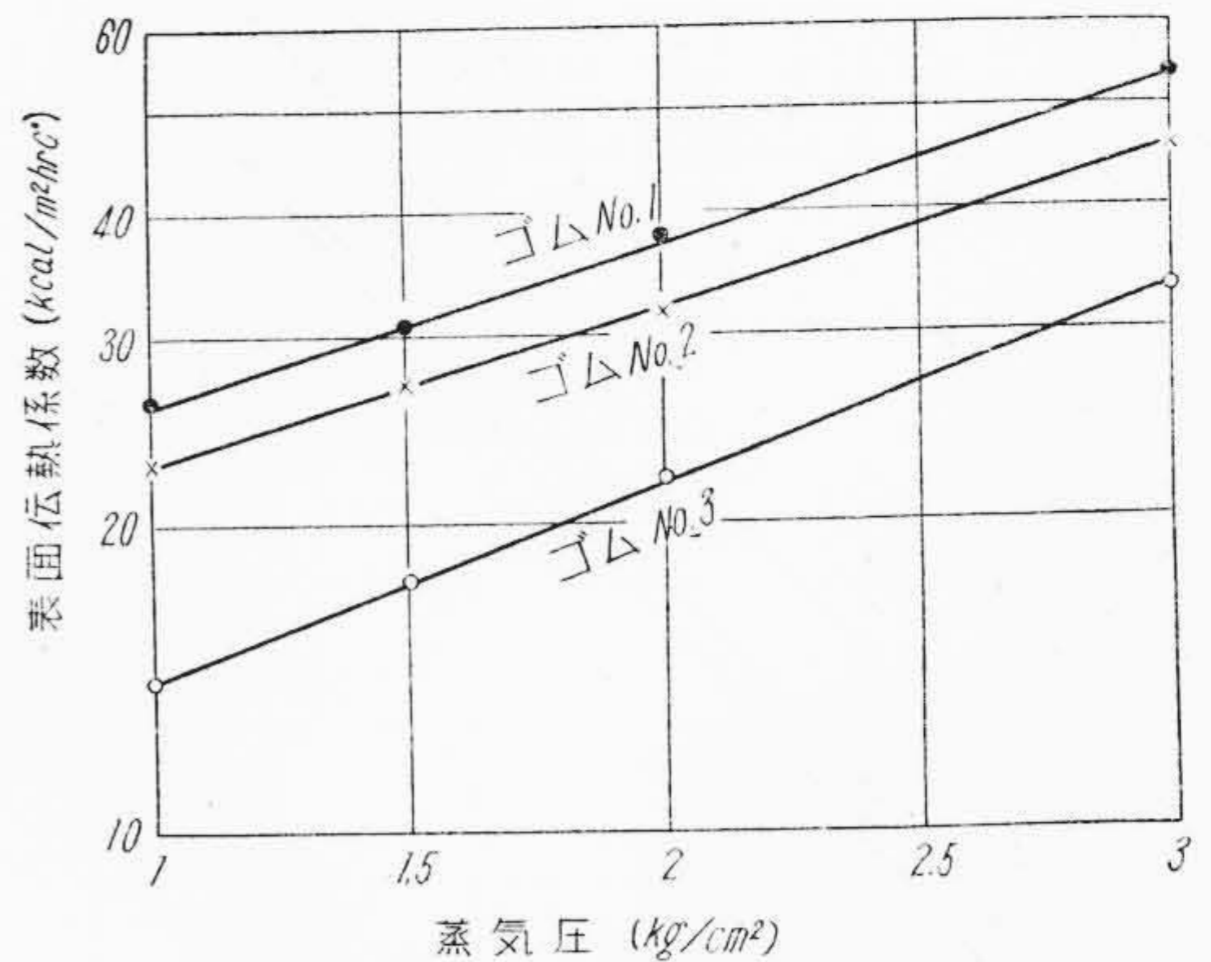
最初 60 °C のゴムを 120 °C の蒸気中に入れ、ゴム中心部の温度が 115 °C になるまでの時間を求めた結果、0.13h であつた。ただしこのゴムの密度は 1.67×10^3 kg/m³ で比熱は 0.315 kcal/kg である。したがつて h_T はつぎのようになる。

$$h_T = \frac{2.3 \log \frac{120-60}{120-115} \times 0.13 \times 0.14 \times 0.0056 \times 1.67 \times 10^3 \times 0.315}{2(0.13 \times 0.14 + 0.13 \times 0.0056 + 0.14 \times 0.0056) \times 0.13} = 26.0$$

なお表面伝熱係数は前述のように加熱媒体の伝熱状態によつて変化する。

本実験の場合では蒸気圧によつて変化するわけで、いまその関係を求めてみると第2図のようになる。ただし本研究では蒸気圧 3 kg/cm² のときの h_T を以後の計算に採用した。

つぎに銅の場合について考えてみると下記のようになる。ゴム絶縁電線の心線(銅)は直接に蒸気に触れるようなことはなく、被覆ゴムから伝つてきた熱によつて間



第2図 表面伝熱係数と蒸気圧の関係
Fig. 2. Relation between Thermal Conductivity at the Surface and Vapour Pressure

第3表 所定の抗張力に達する迄の時間 (mn)
Table 3. Time to Attain Required Tensile Strength

加硫温度 (°C)	ゴム No. 1	ゴム No. 2	ゴム No. 3
110	49	50	82
120	22	24	35
130	9	10	16
140	4	5	7

(備考) ゴム No. 1 およびゴム No. 2 は抗張力 0.7 kg/mm² に達するまでの時間
ゴム No. 3 は抗張力 1.4 kg/mm² に達するまでの時間

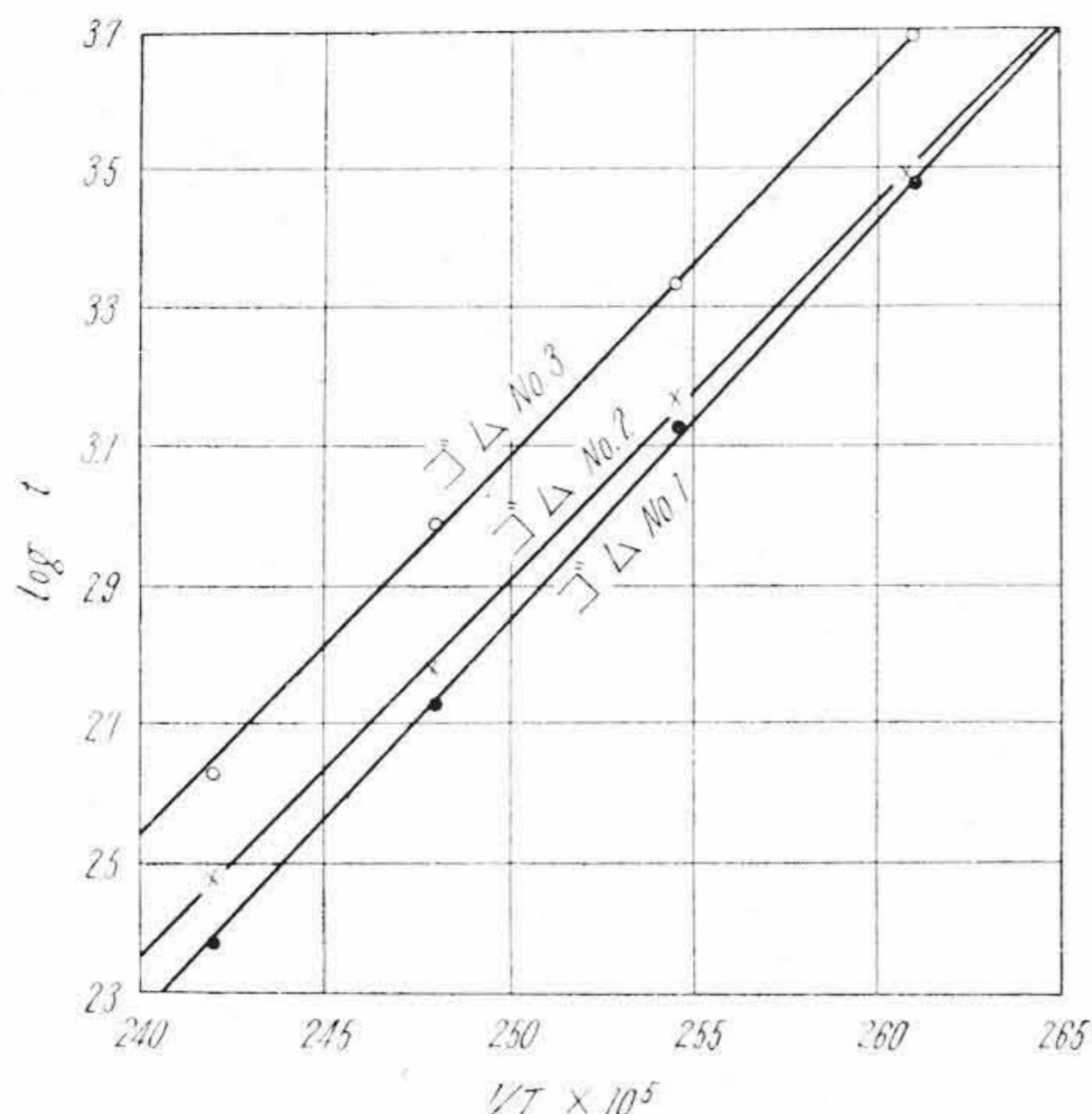
接的に加熱される。この場合、心線が単線であれば銅への熱伝導は固体(ゴム)と固体(銅)との接触による界面伝熱を考えなければならない。しかし多くの場合は心線が撚線であつて少くとも未加硫のうち、または加熱当初のうちには被覆ゴムと心線とは間隙(心線の撚り合せ部分)がある。したがつて心線が加熱される状態の解明に当つては空気と銅との表面伝熱係数を考えることにした。

銅と空気との表面伝熱係数は 100 kcal/m²·h·°C である。(8)

(3) 加硫反応の温度係数

ゴムの加硫反応の温度係数は温度上昇時の加硫率を算出するのに必要な常数(下記(3)の α)であつて、この α はつぎの方法で算出した。

まず各ゴムを 110, 120, 130, 140 °C の温度で加硫し、ゴムの加硫曲線を求めた。この曲線からゴム No. 1, No. 2 は抗張力が 0.7 kg/mm² に達するまでの時間、ゴム No. 3 は 1.4 kg/mm² の抗張力になるまでの時間を求めた。(第3表)、なお第3図(次頁参照)はこの結果を x 軸に絶対温度の逆数を取り、 y 軸には時間(s)の対数をとつて図示したものである。



第 3 図 加硫温度 (T) と時間 (t) との関係
Fig. 3. The Effect of the Time to the Vulcanizing Temperature

第 3 図よりゴムが所定の抗張力に達するまでの時間と温度との関係式を求めるとつぎのようになる。

$$\log t = \frac{\alpha}{T} - \beta \dots \dots \dots (3)$$

たゞし t=所定の抗張力に達するまでの時間
T=加硫温度 (絶対温度)
α=温度係数
β=常数

である。

各ゴムの温度係数は第 4 表に示した。なお参考のために各ゴムの活性化エネルギーを算出し第 2 表にあわせ示しておいた。

〔III〕 ゴム絶縁電線の温度上昇

(1) 被覆ゴムと心線との関係

熱伝導の観点からゴム絶縁電線は被覆ゴムと心線との不均一体であり、なおその上ゴムは蒸気に直接接触して加熱されるが、心線は前述のように間接的に加熱される。

物体の加熱を検討する場合にこのように不均一体で、しかも加熱媒体を異にするときは熱の伝導が非常に複雑になつてくるのでこれをいずれか一方の物質に換算して考えることにし、今回はゴム絶縁電線的心線部をそれに相当する被覆ゴムに換算して行つた。

いま、体積 V のゴムの T°C の蒸気中で加熱し、ゴムが t°C に達するまでの時間を θ とすればこのゴムの体積、温度および時間の間には加熱理論式 (2) が当てはまる。つぎにある銅線を T°C の空气中で加熱し、時間 θ 後に t°C になる場合、その体積が V' であつたとすると、ゴムの体積 V と銅線の体積 V' との間にはつぎの関係が成立する。

第 4 表 常 数 表
Table 4. Table of Constants

常 数	ゴム No. 1	ゴム No. 2	ゴム No. 3
α	5.82×10 ³	5.33×10 ³	5.64×10 ³

$$\frac{V}{V'} = \frac{h_T \cdot A \cdot \theta}{2.3 \log \frac{T-t_0}{T-t} \cdot \rho \cdot C_p} \cdot \frac{2.3 \log \frac{T-t_0}{T-t} \cdot \rho' \cdot C_p'}{h_{T'} \cdot A' \cdot \theta} \dots \dots \dots (4)$$

たゞし V, V'=ゴムおよび心線の体積
A, A'=ゴムおよび心線の表面積
h_T, h_{T'}=ゴムおよび心線の表面伝熱係数
ρ, ρ'=ゴムおよび心線の密度
C_p, C_{p'}=ゴムおよび心線の比熱
T=外部温度
t₀=ゴムおよび心線の加熱前の温度
t=ゴムおよび心線の加熱後の温度
θ=ゴムおよび心線が t°C に達するまでの時間

である。

なお

$$\frac{V}{V'} = \frac{\pi D^2 l}{\pi d^2 l} \quad \text{同様に} \quad \frac{A}{A'} = \frac{2 \pi D l}{2 \pi d l}$$

D=ゴム部の半径, d=心線の半径, l=線長

であるから(4)式は

$$\frac{D^2}{d^2} = \frac{h_T \cdot D}{\rho \cdot C_p} \cdot \frac{\rho' \cdot C_p'}{h_{T'} \cdot d} \dots \dots \dots (5)$$

となる。

さらに(5)式の両辺に $\frac{d}{D}$ を掛けると、

$$\frac{D}{d} = \frac{h_T \cdot \rho' \cdot C_p'}{h_{T'} \cdot \rho \cdot C_p}$$

となり、心線径 (d) とこれに相当するゴムの厚さ (D) との関係は

$$D = \frac{d \cdot \rho' \cdot C_p' \cdot h_T}{h_{T'} \cdot \rho \cdot C_p} \dots \dots \dots (6)$$

となる。

(6)式にそれぞれの値を代入して各ゴムの係数を求めると、

ゴム No. 1 (5.5 mm² 600 V ゴム絶縁電線)

$$D = 0.825 \times d \dots \dots \dots (7)$$

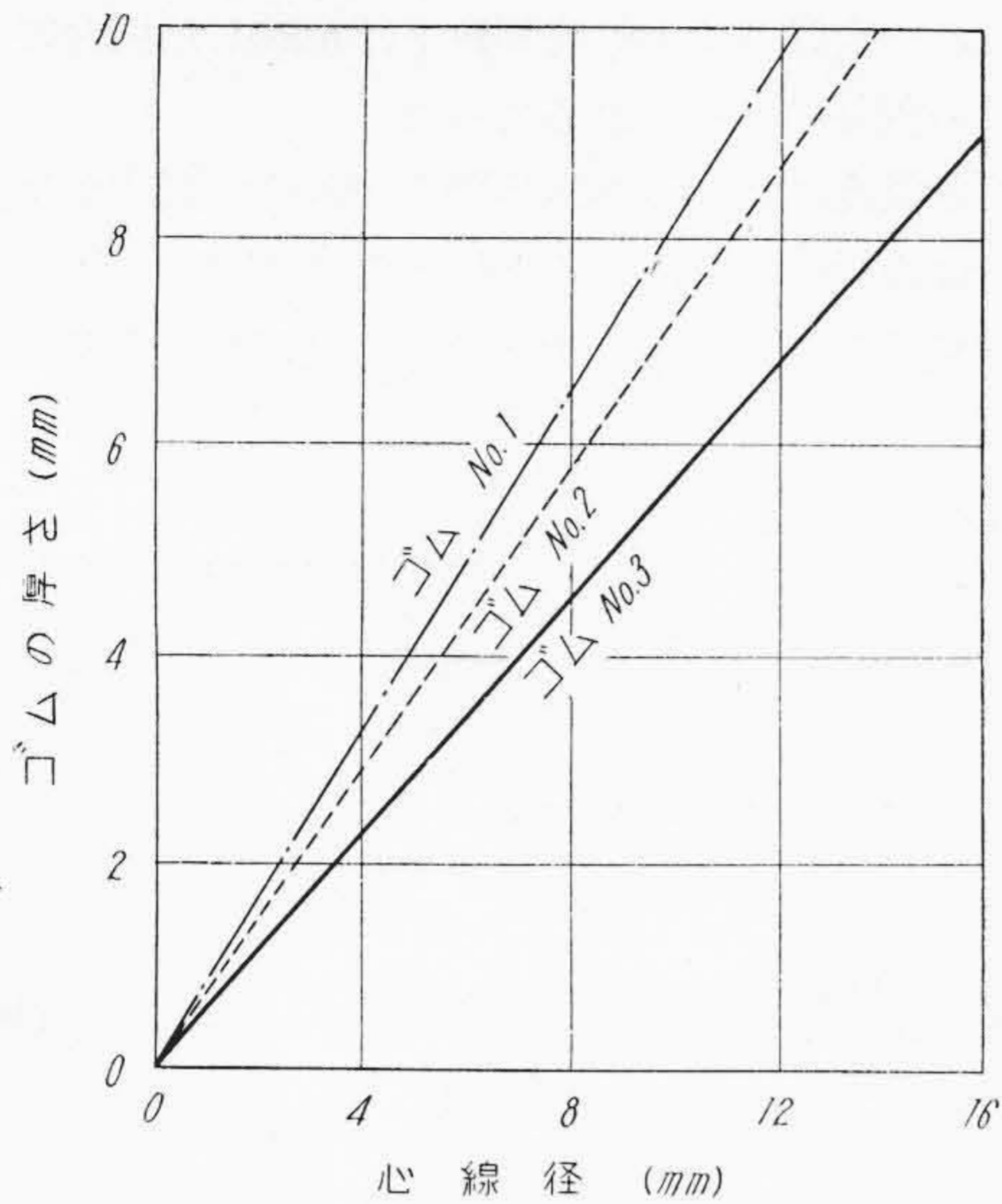
ゴム No. 2 (60 mm² キャブタイヤコア)

$$D = 0.733 \times d \dots \dots \dots (8)$$

ゴム No. 3 (60 mm² 溶接機用キャブタイヤケーブル)

$$D = 0.572 \times d \dots \dots \dots (9)$$

となる。



第4図 心線径とゴムの厚さとの関係
Fig.4. Relation between the Thickness of Rubber and the Diameter of Conductor

ただし(6)式には h_T は蒸気圧 3 kg/cm^2 のときの値, h_T' は $100 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$, $\rho' = 8,840 \text{ kg/m}^3$, C_p' は 0.09 kcal/kg を用いた。

なおこの両者の関係を図示すると第4図のようになる。

以上より, ゴム絶縁電線の心線部をそれに相当するゴムに換算するには, (6)式または第4図を使用すればその関係を求めることができる。

(2) ゴム絶縁電線の温度上昇

以上の換算法より, 60 mm^2 の溶接機用のキャブタイヤケーブルの加硫筒内における温度上昇は半径 6.3 mm の棒状ゴムの温度と等価となり, 5.5 mm^2 の 600 V ゴム絶縁電線は半径 2.4 mm のゴム棒と等価となる。

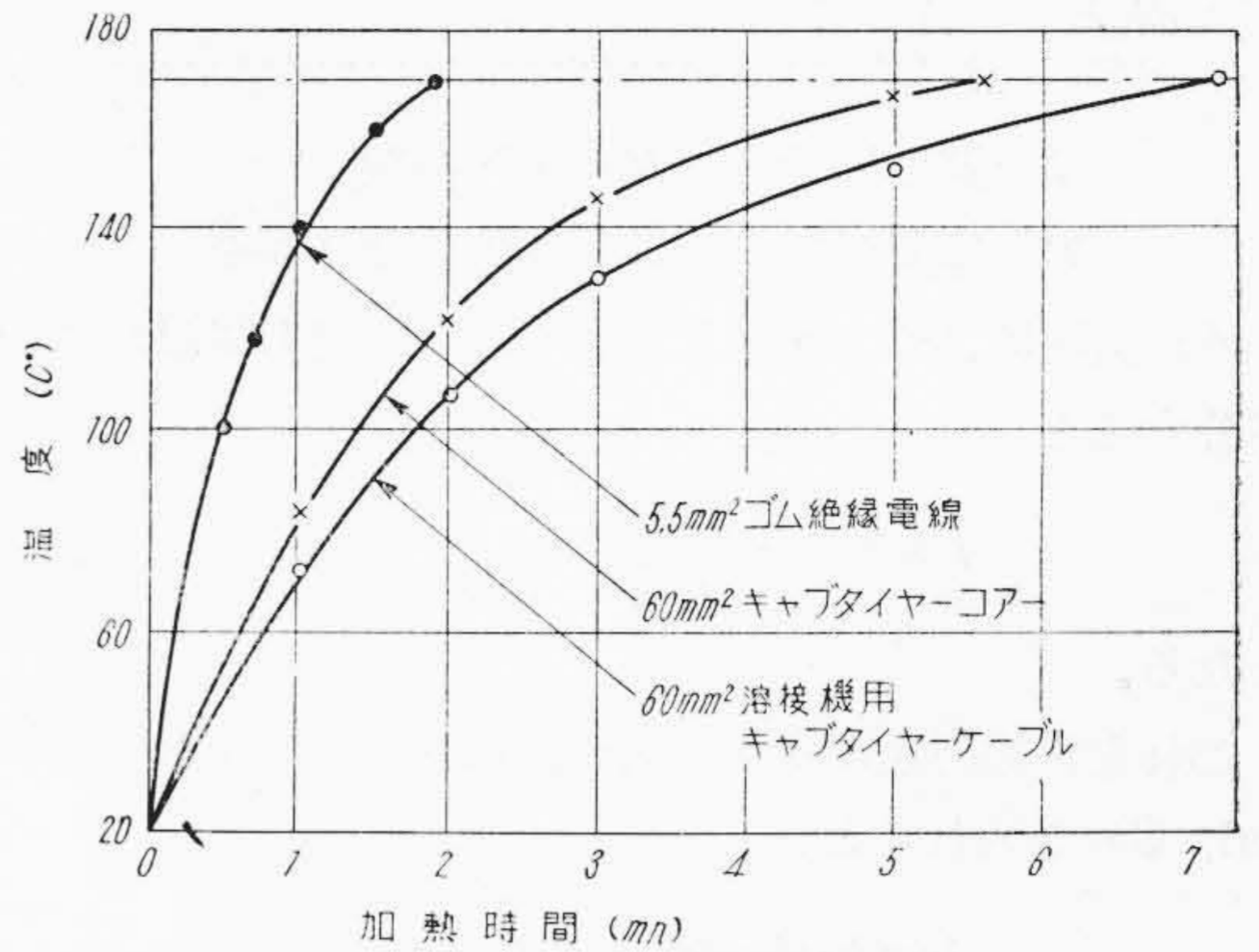
各種ゴム絶縁線(心線をゴムに換算したもの)を 180°C の蒸気中(蒸気圧 3 kg/cm^2)で加熱し, 各時間ごとにゴムの温度を(2)式より算出したが, 5.5 mm^2 の 600 V ゴム絶縁電線, 60 mm^2 キャブタイヤコアおよび 60 mm^2 の溶接機用キャブタイヤケーブルの温度上昇の状態を例示すると第5図のようになる。

なおこれを x 軸に加熱時間(s)の対数を, y 軸にゴム中心部の絶対温度の対数をとると第6図のようになる。第6図より各線の温度上昇式(近似式)を求めると, つぎのようになる。

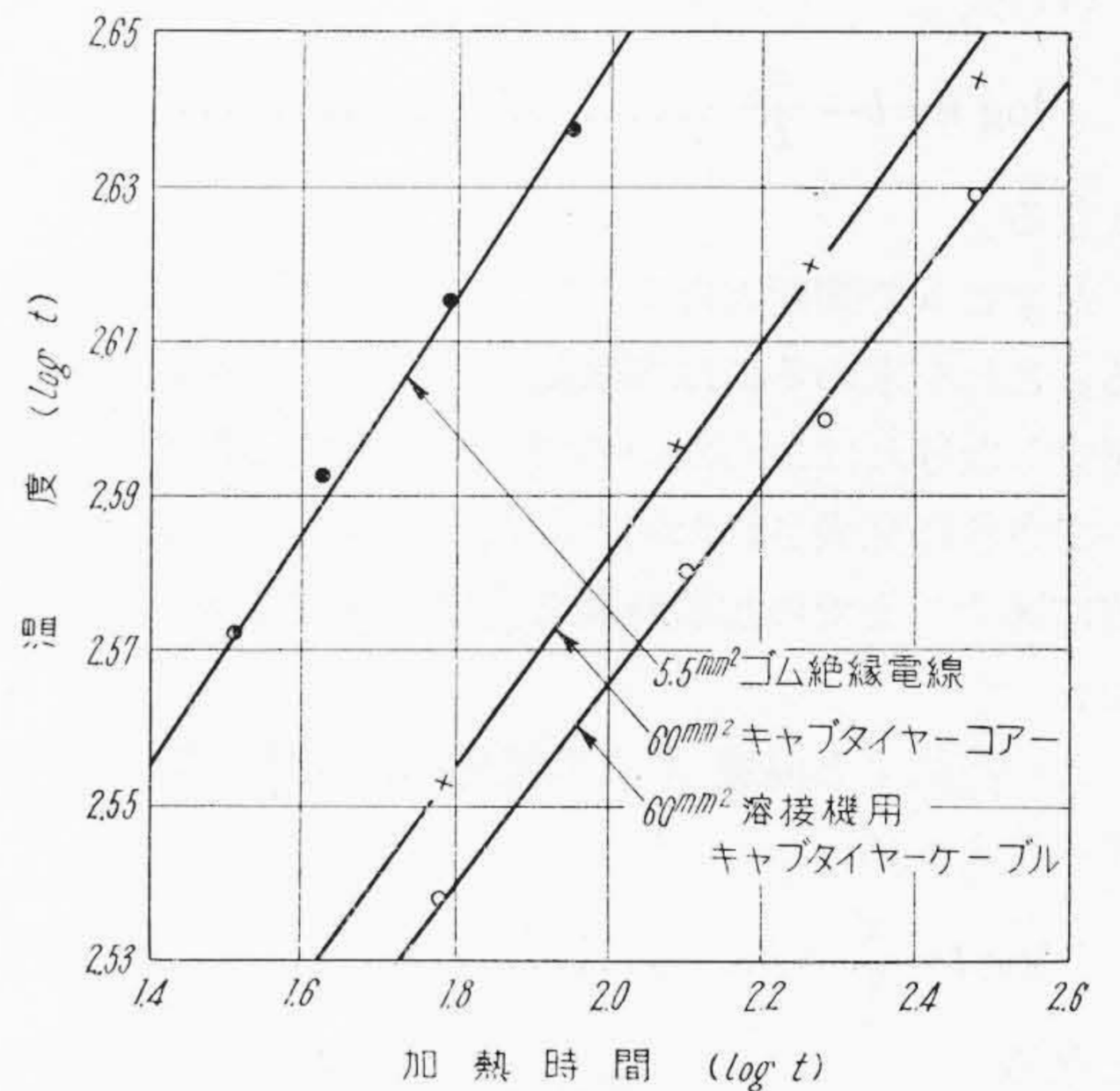
$$T = at^b \dots\dots\dots (10)$$

ただし T = 絶対温度, t = 加熱時間(s)

この式の a , b の常数を表示すると第5表の通りである。



第5図 加熱時間と温度との関係 (I)
Fig.5. The Effect of the Temperature to the Vulcanizing Time (I)



第6図 加熱時間と温度との関係 (II)
Fig.6. The Effect of the Temperature to the Vulcanizing Time (II)

第5表 常数表

Table 5. Table of Constants

常数	5.5 mm ² 600 V ゴム絶縁電線	60 mm ² キャブタイヤコア	60 mm ² 溶接機用キャブタイヤケーブル
a	234	209	205
b	0.137	0.132	0.128

[IV] 温度上昇時における加硫率

(1) 反応速度恒数と温度との関係

反応速度恒数 (k) は与えられた反応において常に一定であるが, 加熱または冷却時のように温度が変化する場合にはその温度の函数となる。この両者の関係を表わしたものが S. Arrhenius の実験式(11)式である。

$$\frac{d \ln k}{dT} = \frac{A}{R \cdot T^2} \dots\dots\dots (11)$$

k = 速度恒数 R = 気体恒数
 T = 絶対温度 A = 活性化エネルギー

A が温度によつて変化しないものと仮定して(11)式を積分すると

$$\ln k = \ln c - \frac{A}{RT}$$

となる。

これを常用対数に変えて気体恒数 R にその実数 (1.987 cal/°C) を入れると

$$\log k = \log c - \frac{A}{4.574T}$$

となる。

さらに $\log c = b, \frac{A}{4.574} = \alpha$ とおけば

(11)式は

$$\log k = b - \frac{\alpha}{T} \dots\dots\dots (12)$$

となる。

たゞこゝで問題となるのは、ゴム反応速度恒数 k である。これを求めるには加硫後の未反応の加硫剤の濃度を測定しなければならないので非常に困難となる。したがつてさきに発表された例⁽⁹⁾にならいゴムの抗張力が一定値に達するまでの加硫時間と温度より逆に α の値を求めた。

この時間 t と温度 T との関係は前 [II] の(3)式で述べたように

$$\log t = \frac{\alpha'}{T} - \beta \dots\dots\dots (3)$$

となる。

この(3)式の α' と(12)式の α とは同じ値になり、この α' の値はすでに第 4 表に示した通りである。

したがつてゴムの反応速度恒数と温度との関係は

$$\log k_1 = b_1 - \frac{5,820}{T}$$

600 V ゴム絶縁電線用ゴム (ゴム No. 1) の場合

$$\log k_2 = b_2 - \frac{5,330}{T}$$

キャブタイヤコア-用ゴム (ゴム No. 2) の場合

$$\log k_3 = b_3 - \frac{5,640}{T}$$

溶接機用キャブタイヤケーブル用ゴム (ゴム No. 3) の場合

となる。(b の値は実験の条件によつて異なる数値である。)

(2) 温度上昇時における加硫率

ゴム絶縁電線は加硫筒内で(10)式のような関係で温度上昇を示すものと考えられるが、この上昇時に加硫す

る量は、一定温度で上昇時間だけ加硫した場合のどのくらいの割合に当るか求めてみた。

まず各温度における加硫時間とゴムの抗張力が加硫の初期では直線的関係にあると仮定して(13)式を t_1 から t_2 まで積分し、その量を I とおくと(14)式より成立する。

$$\frac{dx}{dt} = kf'(x) \dots\dots\dots (13)$$

たゞし x = 物質の変化した濃度

t = 時間

k = 反応速度恒数

である。

$$I = \int_{t_1}^{t_2} k dt \dots\dots\dots (14)$$

この(14)式に(12)式を代入すると

$$I = \int_{t_1}^{t_2} k dt = \int_{t_1}^{t_2} 10^{b - \frac{\alpha}{T}} dt = 10^b \int_{t_1}^{t_2} 10^{-\frac{\alpha}{T}} dt \dots\dots\dots (15)$$

となる。

温度の上昇時には(15)式の絶対温度 T は時間 t の関数であり、その関係は前 [III] の(2)より

$$T = at^b$$

となる。

したがつて温度上昇時の変化量 I_1 は

$$I_1 = 10^b \int_{t_1=0}^{t_2=t} 10^{-\frac{\alpha}{at^b}} dt \dots\dots\dots (16)$$

となる。

なおゴムが一定温度 T_2 で t 時間(上昇時と同じ数)加硫された加硫量を I_2 とすると

$$I_2 = 10^b \int_0^t 10^{-\frac{\alpha}{T_2}} dt \dots\dots\dots (17)$$

となる。

I_1 と I_2 との比を δ とおくと

$$\delta = \frac{10^b \int_0^t 10^{-\frac{\alpha}{at^b}} dt}{10^b \int_0^t 10^{-\frac{\alpha}{T_2}} dt} \dots\dots\dots (18)$$

となる。

さらに、こゝで $\int_0^t 10^{-\frac{\alpha}{at^b}} dt = H$ として(18)式の分母を積分すると

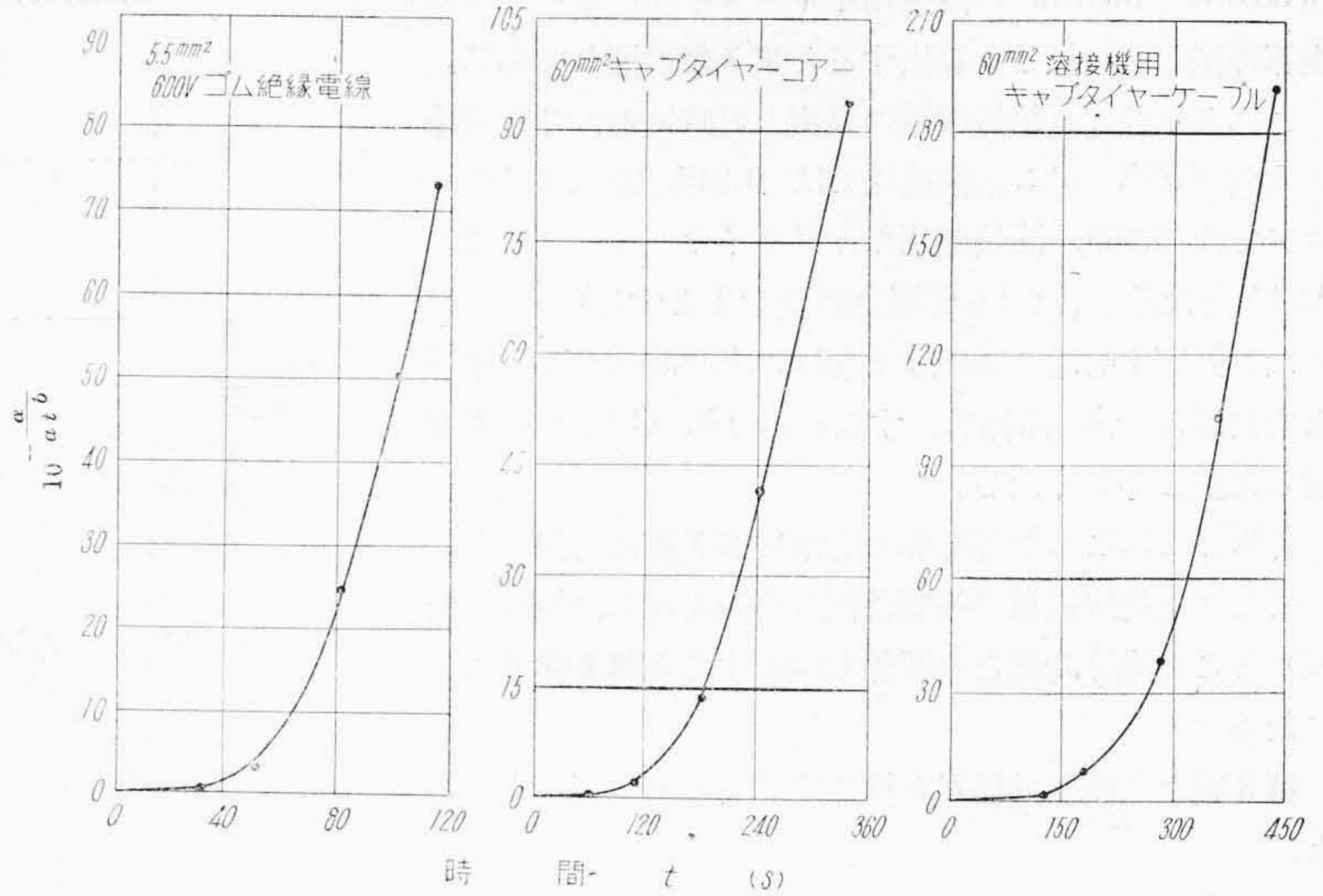
$$\delta = \frac{H}{10^{-\frac{\alpha}{T_2}} t} \dots\dots\dots (19)$$

となる。

H の積分値を簡単に出すために、 $y = 10^{-\frac{\alpha}{at^b}}$ として Y 軸に、時間 t (s) を X 軸にとり、図を作製してプランメータでその面積を測定した。

第7図

時間 (t) と $10^{-\frac{\alpha}{atb}}$ との関係
Fig. 7.
Relation between Time (t)
and $10^{-\frac{\alpha}{atb}}$



第6表 面積およびH値

Table 6. Area and Value of H

線種	面積 (cm ²)	面積係数	H 値
5.5 mm ² 600 V ゴム絶縁電線	40.2	5×10^{-14}	20.1×10^{-13}
60 mm ² キャブタイヤコア	83.6	1×10^{-12}	83.6×10^{-12}
60 mm ² 溶接機用 キャブタイヤケーブル	79.3	2.5×10^{-13}	19.8×10^{-12}

(備考) 面積係数: 単位面積当りの積分値
H: 電線の面積×面積係数

いま、 $y=5 \times 10^{-15}$ を 1 cm, $t=10$ (s) を 1 cm として 5.5 mm² の 600 V ゴム絶縁電線を図示すると、第7図のようになる。(ただし、図面は印刷の都合上、縮尺しておく)。

同様に 60 mm² キャブタイヤコアを $y=5 \times 10^{-14}=1$ cm, $t=20$ (s) = 1 cm とし、また 60 mm² 溶接機用キャブタイヤケーブルを、 $y=12.5 \times 10^{-15}=1$ cm, $t=20$

(s) = 1 cm として第7図に併記した。

なお各ゴム絶縁電線の面積は第6表に表示した。

つぎに各ゴム絶縁電線の面積に面積係数(単位面積当りの積分値)を掛け、Hを算出した。

この面積係数およびHの値を第6表に併記した。

(19)式の分母に各常数を入れ、(tはゴム絶縁電線が加硫温度 170 °C に達するまでの時間) I_1 と I_2 との比 δ を各線ごとに求めるとつぎのようになる。

$$\delta = \frac{20.1 \times 10^{-13}}{83.9 \times 10^{-13}} = 0.239 \quad \left(\begin{array}{l} 5.5 \text{ mm}^2 \text{ 600 V ゴム} \\ \text{絶縁電線} \end{array} \right)$$

$$\delta = \frac{83.6 \times 10^{-12}}{310.8 \times 10^{-12}} = 0.269 \quad \left(\begin{array}{l} 60 \text{ mm}^2 \text{ キャブタイヤ} \\ \text{コア} \end{array} \right)$$

$$\delta = \frac{19.8 \times 10^{-12}}{81.9 \times 10^{-12}} = 0.242 \quad \left(\begin{array}{l} 60 \text{ mm}^2 \text{ 溶接機用キャ} \\ \text{ブタイヤケーブル} \end{array} \right)$$

以上、同様にして 14 mm², 60 mm² の 600 V ゴム絶縁電線, 14 mm², 22 mm² のキャブタイヤコア, およ

第7表 各種ゴム絶縁電線と換算外径, 加硫率および換算時間との関係

Table 7. Relation between Converted Diameter, Ratio of Vulcanization and Converted Time of Various Rubber Insulated Electric Wires

線種	面積 (mm ²)	電線の構成				換算外径 (mm)	上昇時間 (mn)	加硫率 (恒温加硫量 = 1)	換算時間 (mn)
		被覆ゴムの種類	ゴム厚 (mm)	心線径 (mm)	仕上外径 (mm)				
600 V ゴム絶縁電線	5.5 mm ²	No. 1	1.1	3.1	5.2	4.8	1.9	0.239	0.47
	14 mm ²	No. 1	1.1	4.8	7.0	6.2	2.5	0.252	0.61
	60 mm ²	No. 1	1.8	10.0	13.6	11.8	4.8	0.245	1.18
キャブタイヤコア	14 mm ²	No. 2	1.4	4.9	7.7	6.3	2.9	0.266	0.78
	22 mm ²	No. 2	1.4	7.0	9.8	7.9	3.6	0.271	0.97
	60 mm ²	No. 2	1.8	11.7	15.3	12.2	5.6	0.269	1.51
溶接機用キャブタイヤケーブル	38 mm ²	No. 3	2.6	9.1	14.3	10.3	6.1	0.245	1.51
	50 mm ²	No. 3	2.7	10.9	16.3	11.5	6.8	0.255	1.68
	60 mm ²	No. 3	2.8	11.7	17.3	12.5	7.2	0.242	1.78

び 38mm^2 , 50mm^2 の溶接用キャブタイヤケーブルの換算外径と δ の値とを算出すると第 7 表の通りである。

これより各ゴム絶縁電線の温度上昇時における加硫率は、600 V ゴム絶縁電線では 0.245, キャブタイヤコアでは 0.269, 溶接機用キャブタイヤケーブルでは 0.247 となる。(ただし恒温加硫量を 1 とする)

なお温度上昇時に加硫する量は、上昇時間を加硫率 δ とを掛けた τ (換算時間), すなわち 170°C で τ 時間加硫した量と等しくなる。

各線ごとにこの換算時間 τ を求め第 7 表に併記した。

またゴム絶縁電線の換算外径 (心線をゴムに換算した径) とこの換算時間との関係を図示すると第 8 図のようになる。

第 8 図より換算外径 F と換算時間 τ との関係を求めると、

600 V ゴム絶縁電線の場合

$$\tau = 0.098 F \dots\dots\dots (20)$$

キャブタイヤコアの場合

$$\tau = 0.123 F \dots\dots\dots (21)$$

溶接機用キャブタイヤケーブルの場合

$$\tau = 0.145 F \dots\dots\dots (22)$$

となる。

いま、ゴム絶縁電線的心線径を d とし、被覆ゴムの厚さを t とすれば、このゴム絶縁電線の換算外径 F は (6) 式より

$$F = rd + 2t \dots\dots\dots (23)$$

となる。ただし r は (6) 式の係数である。

したがって上記の (23) 式に (20)~(22) 式を代入すると (23) 式はつぎのようになる。

600 V ゴム絶縁電線の場合

$$\tau = 0.0808 d + 0.196 t \dots\dots\dots (24)$$

キャブタイヤコアの場合

$$\tau = 0.0902 d + 0.246 t \dots\dots\dots (25)$$

溶接機用キャブタイヤケーブルの場合

$$\tau = 0.0829 d + 0.290 t \dots\dots\dots (26)$$

ただし、 d = 心線径 (mm), t = ゴム厚 (mm)

τ = 換算時間 (mn)

である。

この (24)~(26) 式はゴム絶縁電線の構造から 170°C における換算時間を算出する換算式で、これを一般式に書き改めると

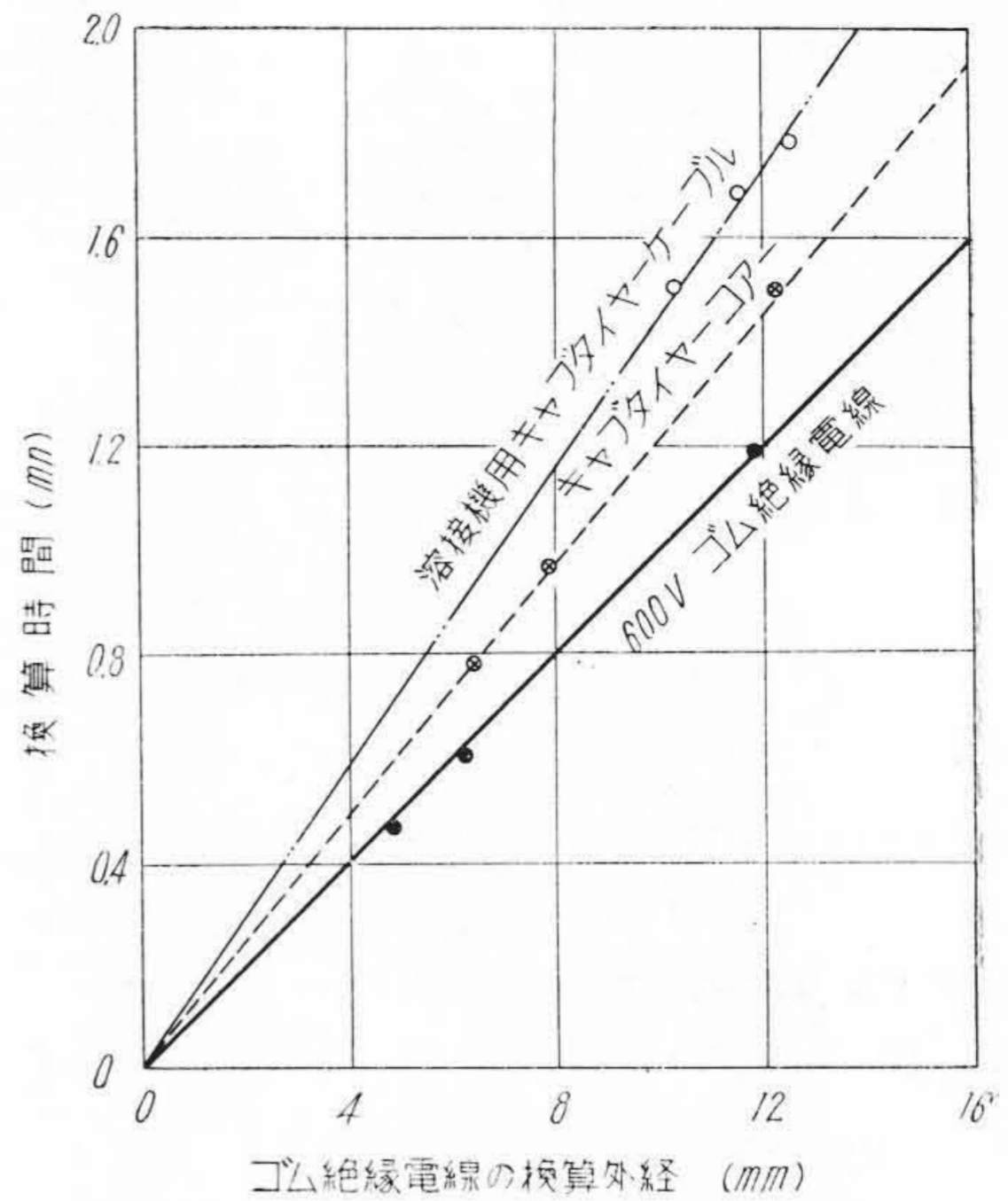
$$\tau = md + nt \dots\dots\dots (27)$$

となる。

ただし、 τ = 換算時間 (mn), d = 心線径 (mm)

t = ゴム厚 (mm), m, n = 常数

である。



第 8 図 ゴム絶縁電線の換算外径と換算時間との関係

Fig. 8. Relation between Converted Diameter and Converted Time of Rubber Insulated Electric Wires

以上 (27) 式を使用すれば温度上昇時の加硫量が相対的にわかる。

[V] 結 言

以上を総括すると、各種ゴム絶縁電線の温度上昇時の加硫を検討するに当つて、

- (1) まず被覆ゴムの比熱および熱伝導率は、I. Williams の算出法より求め、表面伝熱係数は加熱の理論式より算出した。
- (2) この各常数を用いて、ゴム絶縁電線的心線部をその被覆ゴムに換算する次式を誘導した。

$$D = \frac{d \cdot \rho' \cdot C_p' \cdot h_T}{h_T' \cdot \rho \cdot C_p}$$

ただし D, d = ゴムおよび心線の外径 (m)

ρ, ρ' = ゴムおよび心線の密度 (kg/m^3)

C_p, C_p' = ゴムおよび心線の比熱 (kcal/kg)

h_T, h_T' = ゴムおよび心線の表面伝熱係数

($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$)

である。

- (3) ゴム絶縁電線の温度上昇式を求め、この上昇時の加硫率を算出した。加硫温度 170°C で蒸気圧 $3\text{kg}/\text{cm}^2$ の条件ではこの加硫率はつぎのようになる。

600 V ゴム絶縁電線の場合 加硫率 = 0.245

キャブタイヤコアの場合 加硫率 = 0.269

溶接機用キャブタイヤケーブルの場合

加硫率 = 0.247

ただし加硫率は恒温加硫を1とした。

(4) ゴム絶縁電線の構成から、170°Cにおける換算時間を算出する一般式は

$$\tau = md + nt$$

で表わされることがわかった。

ただし τ = 換算時間(mn), d = 心線径 (mm)

t = 被覆ゴムの厚さ(mm), m, n = 常数

である。

2~3 のゴム絶縁電線について、加硫温度 170°C, 蒸気圧 3 kg/cm² の条件で、この常数を求めると、 $m=0.081\sim0.090$

$$n=0.20\sim0.30$$

となる。

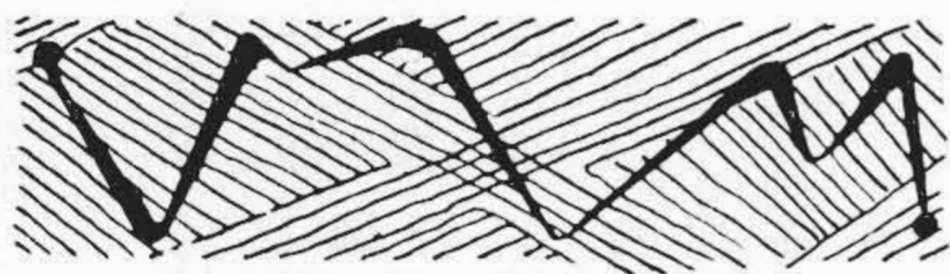
以上の諸点をあきらかにすることができた。

最後に本研究を行うにあたり、終始御指導御鞭撻を賜った日立製作所馬場重役、日立電線工場齋藤工場長、山野井、内藤両部長、久本博士、吉川主任および実験に協

力された壁谷君に深く感謝の意を表する次第である。

参考文献

- (1) E. Tunnichiff: Trans. Inst. Rub. Ind., 29, 55 (1953)
- (2) S. E. Billhart: Ind. Rub. World, 86, 51 (1932)
- (3) 山本, 伊勢: 日立評論 36, 1007 (1954. 6)
- (4) I. Williams: Ind. Eng. Chem. 15 154 (1923. 2)
- (5) 大賀: アルス機械工学大講座 4 4 (昭 9. 6 アルス)
- (6) 亀井: 化学機械の理論と計算 101 (昭 24. 10 産業図書)
- (7) 内田, 亀井, 八田: 化学工学 97 (昭 16. 7 丸善)
- (8) 内田, 亀井, 八田: 化学工学 101 (昭 16. 7 丸善)
- (9) A. R. Kemp: Rub. Chem. Tech., 10, 743 (1937, 10)



特許の紹介

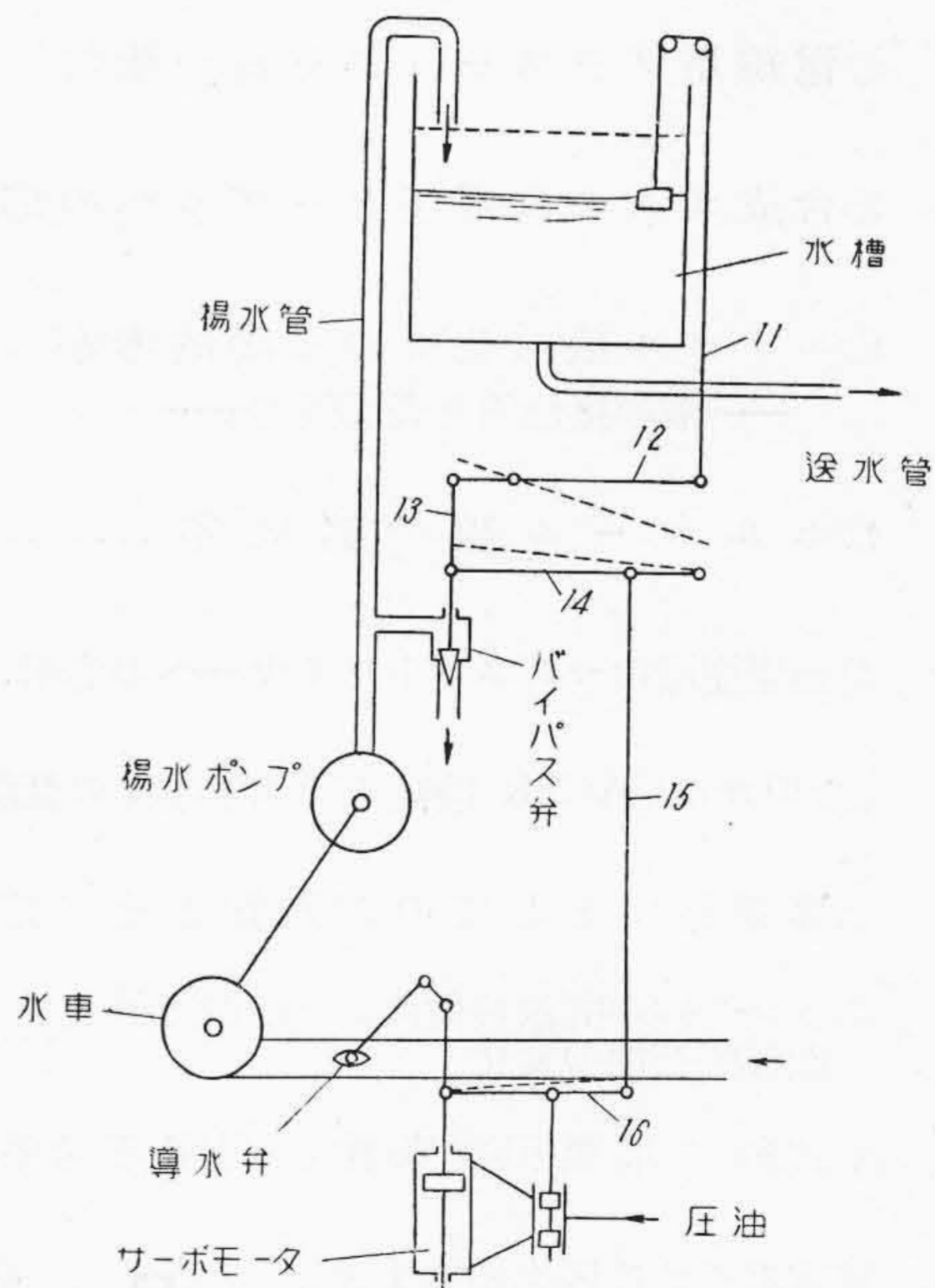


特許第201474号

鯨沢秀夫

水車駆動揚水装置

水槽から送水管を通して一定圧力の水を供給する必要がある場合は、水槽の水位を常に一定に保つよう、揚水ポンプを適切に駆動しなければならない。この発明は揚水ポンプを小水車により駆動して前記目的を達する装置に係るもので、図面に示すように水槽の水位が低下すると、浮子に連動する第1リンク機構 11, 12, 13 を介してバイパス弁を閉じ、放流を止め揚水量を増大する。この場合ポンプの負荷は増大するので、水車の回転力もこれに伴って増大する必要がある。この発明によれば前記バイパス弁の閉止により、第2リンク機構 14, 15, 16 を連動し、水車導水弁を操作するサーボモータの配圧弁を制御し、導水弁の開度を増し、小水車の回転力を増大しうるものである。水槽内の水位が点線位置に上昇すれば、第1リンク機構は点線位置に移り、バイパス弁を開いて、揚水の一部を放流し、水槽内の水位の過昇を抑制する。この場合第2リンク機構も点線位置に移り、配圧弁を制御して導水弁の開度を減少し、小水車の回転力をポンプの負荷回転力に一致するよう自動調節するものである。この発明によれば複雑な调速機を使用することなく、きわめて簡単なる装置により、小水車駆動揚水ポンプを負



荷に応じて自動的に調整することができる。(滑川)

『日立評論』 電線ケーブル特集号 別冊 No. 9

最近の電線、ケーブルおよび伸銅品は、製品分野の拡張と性能の向上に実に目覚しい発達を遂げている。すなわち、高電圧送電という時代の要請に即応して、ケーブルに送電線に飛躍的技術の向上が行われた。また一方においてはテレビ関係を始めとする高周波搬送通信の普及によりこれに必要なケーブルの製作がなされた。絶縁関係においても電力、通信を始め各分野にわたつてますます合成樹脂および合成ゴムが応用され、性能のすぐれた各種新製品が製造されている。

日立製作所においてはこれに伴い鋭意設備の拡充、改善、真剣なる技術の研鑽、社内各工場および研究所との協力と相まつて各種製品の性能向上を図り、いずれも噴々たる名声を博している。

今回日立製作所日立電線工場を始め関係研究所の精鋭を動員し、その技術の粋を集めて本文 140 頁、写真図版 500 版近くの大集成別冊 No. 9「電線ケーブル特集号」として明春 1 月末発行の予定で着々編集中であります。何卒その発行を御期待下さい。

◇ 内 容 ◇

◎巻頭言.....	通商産業省鉱山局長	川上為治
◎総説.....	通商産業省鉱山局金属課長	中山章
◎テレビジョン搬送用アルミ被ケーブル.....	日立製作所・日立電線工場	堀口二三男 庄司一男 鈴木敏雄
◎ポリエチレン絶縁搬送水底ケーブル.....	日立製作所・日立電線工場	庄司一男 八田藤伸 佐藤伸雄
◎電力ケーブルの真空乾燥における理論的考察.....	日立製作所	中央研究所 河合麟次郎 日立電線工場 間瀬喜好 工藤藤大二
◎OFケーブル用絶縁油の特性.....	日立製作所 日立研究所	高橋治男
◎分割導体ケーブルの実効抵抗.....	日立製作所・日立研究所	加子泰彦
◎発電所主幹ケーブルの配列における諸問題.....	日立製作所・日立電線工場	橋本博治
◎ビニル混和物中の可塑剤の拡散速度.....	日立製作所・日立電線工場	吉川充雄
◎電線用プラスチック材料の耐候性.....	日立製作所・日立電線工場	川和田七郎 吉川充雄
◎合成ゴムの高電圧ケーブルへの応用.....	日立製作所・日立電線工場	渡辺茂隆 吉庄司雄博
◎エナメル線塗装上の基礎的考察 ——液の接触角と表面張力——	日立製作所・日立電線工場	間瀬喜好 神崎喜公男
◎ホルマール線の諸問題.....	日立製作所・日立電線工場	間瀬喜好 江尻田義孝 矢野幸夫
◎珪素樹脂のマグネットワイヤーへの応用.....	日立製作所・日立電線工場	間瀬喜好 萩野幸夫
◎240 mm ² ACSR (鋼心アルミ撚線) の低温特性.....	日立製作所・日立電線工場	山本三重郎 福本富夫
◎導電材料としての銀入銅とその応用.....	日立製作所	日立電線工場 栗本暢夫 日立研究所 飯塚富雄
◎トロリ線の間歇負荷による温度上昇と 機械的特性の変化	日立製作所・日立電線工場	久橋博方 橋本博治
◎銅線の精製引抜条件に関する考察.....	日立製作所・日立電線工場	柿崎公男 久本方

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

誌代特集号1冊 ¥100 円 16
(振替口座 東京 71824 番)