三菱電機

—MITSUBISHI - DENKI—

VOL. 23 NO. 6

目　次

1949

三菱電機株式會社

水晶共振子に對する連續變化周波數の勵振作用
附 水晶共振子勵振微分方程式の一解法

周波數掃引式測定器の基準周波數記入用としての水晶共振子の作用を解析したものである．先ず定常特性を等價回路と圓線圖とによつて論じ，實際の數値例につき定常特性を與え，周波數變調電壓を受けた場合の大體の動作特性を推測し，更に適當な假定のもとに三次の線形微分方程式を建て，これの實用解を得る事によりある程度滿足すべき結論に到達している．

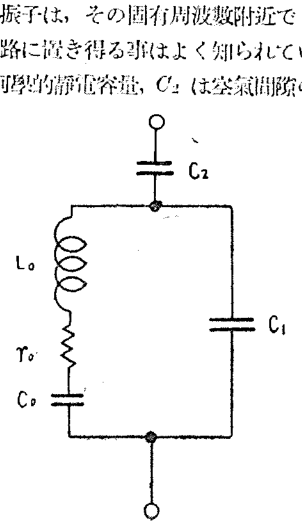
研究所 薄井 廉介

I. 緒 言

周波數掃引式測定器の基準周波數記入用として水晶共振子を用い同調現象を取り出してブラウン管上に標識を入れる必要の事がある．〔例えば文獻 (1) 參照〕．この場合水晶の振幅確立現象（Building up）が問題になつたが，實施して見ると標準周波數の記入が案外容易に行われている．實用上問題ではなかつたとは云え，現象そのものを了解する必要あり，他の方面えの應用例えば超音波探傷器等の設計に對する基礎資料としてある程度の理論が確立しておらねばならぬ．しかしこの現象の正確な解法は簡單ではない．回路が複雜なために三次以上の微分方程式の解法を要する事及び連續變化周波の勵振現象が厄介である．それでもある程度の解決は困難でなく實用上充分に納得できる結果を得たので一應報告する事にした．

II. 水晶共振子の等價回路常數及びインピーダンス

水晶共振子あるいは發振子は，その固有周波數附近で 1 圖の如き電氣的等價回路に置き得る事はよく知られている．C_1 は共振子の幾何學的靜電容量，C_2 は空氣間隙の



1 圖

容量である．これの表わすインピーダンス Z は前文(2)にも示す如く

$$Z=\frac{1}{\dfrac{1}{r_0+j(\omega L_0-1/\omega C_0)}+j\,\omega C_1}-j\frac{1}{\omega C_2}\qquad\cdots\cdots(1)$$

を少しく書き替えると，

$$Z=\frac{1}{\dfrac{1}{r_0}\left(\dfrac{C_2}{C_1+C_2}\right)^2\dfrac{1}{1+jn}+j\omega\dfrac{C_1C_2}{C_1+C_2}}$$

$$=r_0\frac{1+j\left\{n-r_0\omega C_1(1+n^2)\dfrac{C_1+C_2}{C_2}\right\}}{\left(\dfrac{C_2}{C_1+C_2}-nr_0\omega C_1\right)^2+(r_0\omega C_1)^2}$$

$$=R+jX\qquad\cdots\cdots(2)$$

うち

$$n=\frac{1}{r_0}\left\{\omega L_0-\frac{1}{\omega}\left(\frac{1}{C_0}+\frac{1}{C_1+C_2}\right)\right\}$$

$$=Q\,\{\omega/\omega_a-\omega_a/\omega\}\qquad\cdots\cdots(3)$$

なお

$$Q=\omega_a L_0/r_0\qquad\cdots\cdots(4)$$

および

$$\omega_a=\sqrt{\frac{1}{L_0}\left(\frac{1}{C_0}+\frac{1}{C_1+C_2}\right)}=\sqrt{\frac{1}{L_0C_0}}\sqrt{1+\frac{C_0}{C_1+C_2}}$$

$$\simeq\omega_0\left[1+\frac{1}{2}\frac{C_0}{C_1+C_2}\right]\simeq\omega_0=\sqrt{\frac{1}{L_0C_0}}\qquad\cdots(5)$$

の如く置くと甚だ便利である．共振點附近の水晶の周波數變化は上の n で代表せしめ，他の部分の常數 ωC_1，ωC_2 等は一定としてもその誤差は極めて小さいものである．

(3) より ω/ω_a を解いて

$$\frac{\omega}{\omega_a}=\frac{1}{2}\left\{\frac{n}{Q}\pm\sqrt{\left(\frac{n}{Q}\right)^2+4}\right\}\qquad\cdots\cdots(6)$$

共振點附近では n 小であつて，Q は 10^5 の程度になる

から $(n/Q)^2$ を4に對して省略できる．よつて

$$\omega/\omega_a=1+n/2Q\,;\quad \omega=\omega_a(1+n/2Q)\cdots(7)$$

の如く周波數變化を n で簡單に表し得られる．

III. インピーダンス圓とインピーダンス周波數特性

(2) 式中の

$$\frac{1}{1+jn}=\frac{1}{1+n^2}-j\frac{n}{1+n^2}=x+jy\quad\cdots\cdots(8)$$

と置いて，x, y 間で n を消去すると圓となるから，この項を含む Z の逆數アッドミタンス Y も

$$Y=\frac{1}{Z}=\frac{1}{r_0}\left(\frac{C_2}{C_1+C_2}\right)^2\frac{1}{1+jn}$$

$$+j\omega\frac{C_1C_2}{C_1+C_2}=G+jB\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(9)$$

も n を消去して

$$\left[G-\frac{1}{2r_0}\left(\frac{C_2}{C_1+C_2}\right)^2\right]^2+\left[B-\omega\frac{C_1C_2}{C_1+C_2}\right]^2$$

$$=\left[\frac{1}{2r_0}\left(\frac{C_2}{C_1+C_2}\right)^2\right]^2\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(10)$$

となり更にインピーダンス Z は

$$\left[R-\frac{1}{2r_0}\left(\frac{1}{\omega C_1}\right)^2\right]^2+\left[X+\frac{1}{\omega}\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}\right)\right]^2$$

$$=\left[\frac{1}{2r_0}\left(\frac{1}{\omega C_1}\right)^2\right]^2\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(11)$$

の如くいづれも圓となる事を知る．(2圖)

これらは前文[(2)]にも發表したが，誤植のため二三訂正の要あり，改めて本文に再錄した．

(2) 及び (11) 式につきインピーダンス Z の特殊點を二三考うれば，$n=0$ に對して (2) より

$$Z_0=r_0\frac{1-jr_0\omega C_1\dfrac{C_1+C_2}{C_2}}{\left(\dfrac{C_2}{C_1+C_2}\right)^2+(r_0\omega C_1)^2}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(12)$$

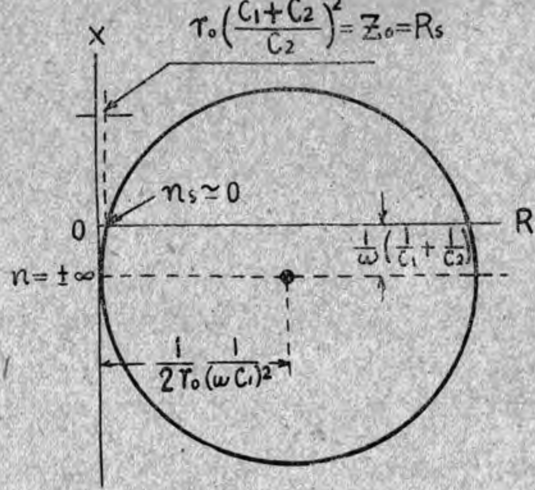
一般に $r_0\omega C_1$ は非常に小なる故に（後述の如く 10^{-3} 程度）上の Z_0 は更に

$$Z_0\simeq r_0\left(\frac{C_1+C_2}{C_2}\right)^2\left[1-jr_0\omega C_1\frac{C_1+C_2}{C_2}\right]$$

$$\simeq r_0\left(\frac{C_1+C_2}{C_2}\right)^2\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(13)$$

$n=\pm\infty$ に對して

$$Z_\infty=-j\frac{C_1+C_2}{\omega C_1C_2}=-j\frac{1}{\omega}\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}\right)\quad\cdots\cdots(14)$$



2 圖

この容量リアクタンスは C_1, C_2 の直列容量から成り，共振周數附近以外で働く場合の Z の値であつて，水晶片も單なる幾何學的容量として作用するのみなる事がよくわかる．

更に (2) 式の虛數部を零とする條件は

$$n-(n^2+1)r_0\omega C_1\frac{C_1+C_2}{C_2}=0\qquad より$$

$$n=\frac{1}{2}\left\{\frac{1}{r_0\omega C_1}\frac{C_2}{C_1+C_2}\pm\sqrt{\left(\frac{1}{r_0\omega C_1}\frac{C_2}{C_1+C_2}\right)^2-4}\right\}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(15)$$

となり $1/r_0\omega C_1$ は相當大なる値であるから

$$\left.\begin{aligned}&正號に對しては\quad n_p\simeq\frac{1}{r_0\omega C_1}\frac{C_2}{C_1+C_2}\\&負號に對しては\quad n_s\simeq r_0\omega C_1\frac{C_1+C_2}{C_2}\\&\qquad\qquad\qquad\quad=1/n_p\to 0\end{aligned}\right\}\cdots(16)$$

n_p は反同調（並列同調），n_s は直列同調に相當している．これら同調點のインピーダンスとしてそれぞれ

$$Z_p\simeq r_0\frac{1}{(r_0\omega C_1)^2}=\frac{1}{r_0(\omega C_1)^2}=R_p\quad\cdots\cdots\cdots(17)$$

及び

$$Z_s\simeq\frac{1}{\left[\dfrac{C_2}{C_1+C_2}-(r_0\omega C_1)^2\dfrac{C_1+C_2}{C_2}\right]^2+(r_0\omega C_1)^2}$$

$$\simeq r_0\left(\frac{C_1+C_2}{C_2}\right)^2=R_s\simeq Z_0\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(18)$$

これらの特殊點は2圖の圓周上に記入してある．

上の (17) 式は對數目盛にすると

$$\log Z_p \simeq \log R_p = \log\left(\frac{1}{\omega^2 r_0}\right) - 2\log C_1$$
$$= K_1 - 2\log C_1 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(19)$$

同じく (16) の n_p において $C_2\to\infty$ とせる場合は

$$\log n_p \simeq \log\left(\frac{1}{\omega r_0}\right) - \log C_1$$
$$= K_2 - \log C_1 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(20)$$

これはまた，並列と直列同調の周波數差に相當しているから，この周波數差 $(f_p - f_s)$ に對して

$$\log(f_p - f_s) \simeq K_2' - \log C_1 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(21)$$

として表し得るものであつて，追加並列容量を含む C_1 の變化に對して，極めて簡單な直線關係となる．この直線關係は W. D. Ceorge 氏等によつて正確な實驗で確められている．(文献3參照)

IV. 數値例及びインピーダンス周波數特性

1圖の等價回路の常數數値例につき次の如きものを與えて見る．

$$f_0 = 500\ KC \quad \omega_0 = 2\pi f_0 = 3.1416\times10^6 \cdots(22)$$

に對して計算に都合のよい端數のない數値にするために

$$\left.\begin{array}{ll} C_1 = 3.18\,pF & \omega_0 C_1 = 10\times10^{-6} \\ L_0 = 6.36\ H & \omega_0 L_0 = 20\times10^6 \\ C_0 = 0.0159\,pF & \\ r_0 = 100\ \Omega & Q = \omega_0 L_0/r_0 = 2\times10^5 \\ r_0\omega_0 C_1 = 10^{-3} & \end{array}\right\} (23)$$

とし，各定數は古賀氏の「壓電氣と高周波」[(1)] の p. 114 $f_0 = 4.8\times10^6$ $L_0 = 4.8mH$ $C_0 = 0.23pF$ $r_0 = 0.44\Omega$ $C_1 = 48\ pF$ 面積 $6\,\mathrm{cm}^2$ を C_0 C_1 は周波數に比例し，L_0 は周波數の三乘に逆比例するとして，普通に用いられる面積 $4\,\mathrm{cm}^2$ $f_0 = 500KC$ のものに換算してある．

C_1 に對して C_2 は相當大なる故に $C_2/(C_1+C_2)\simeq1$ として略算を行う事にする．上の數値例に從うと，

(7) 式 $\quad \omega = \omega_a(1 + n/2Q)$

$$= \omega_a\left(1 + \frac{n}{4}10^{-5}\right) \quad \cdots\cdots\cdots(24)$$

(16) 式

$$\left.\begin{array}{l} n_p = 1/r_0\omega_0 C_1 = 10^3 \\ n_s = 1/n_p = 10^{-3}\simeq 0 \\ R_s \simeq Z_s \simeq r_0 = 100\Omega \\ R_p \simeq 1/r_0(\omega_0 K_1)^2 \\ \quad \simeq 10^{12}/100\times100 = 10^8\Omega \end{array}\right\} (25)$$

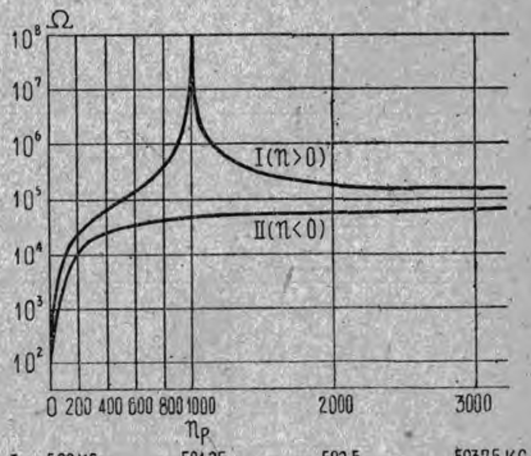
(11) 式の圓の中心及び半徑は

$$\left.\begin{array}{l} R_0 = \dfrac{1}{2r_0}\dfrac{1}{(\omega_0 C_1)^2} = \dfrac{1}{2}10^8 = \text{半徑} \\ X_0 = -\dfrac{1}{\omega_0}\left(\dfrac{1}{C_1}+\dfrac{1}{C_2}\right) \simeq -\dfrac{1}{\omega_0 C_1} \\ \quad = -\dfrac{1}{10}\times10^{-6} \end{array}\right\} (26)$$

$C_2/(C_1+C_2)\simeq1$; $r_0 = 100\Omega$ $r_0\omega_0 C_1 = 10^{-3}$ として (2) 式のインピーダンスを表わすと

$$Z = 100\times\frac{1 + j\left[n - \dfrac{1+n^2}{100}\right]}{\left(1-\dfrac{n}{1000}\right)^2 + \left(\dfrac{1}{1000}\right)^2}$$
$$= \frac{1 + j\left(n - \dfrac{1+n^2}{100}\right)}{(1000-n)^2+1}\times10^8 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(27)$$

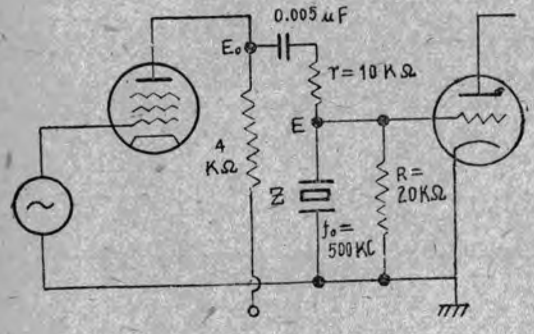
により n (f in KC) 對インピーダンス絶對値の關係を3圖に示す．$|Z| = 10^2\sim10^8$ の廣範圍の關係上對數目盛で表わしてある．



3 圖

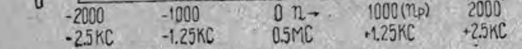
V. 外部回路を考慮に入れたインピーダンス特性及び定常電壓分布特性

前節に示す如く共振子を等價回路のみにつき見る場合はそのインピーダンス周波特性は直列および並列共振現象が顯著に表われる事を知つたのであるが，實用の場合は外部回路ありその影響を受けて，特性も甚だ異つたものとなる．外部回路としては共振子に直列及び並列に抵抗が入る事が多い．一例としては4圖の如き實際の回路につき考えて見る．



4　圖

共振子回路の Z と並列に $20K\Omega$ あり $Z=$ ($100\Omega\sim10^8\Omega$) の如き廣範圍な變化を行つても合成抵抗の範圍は $100\Omega\sim20K\Omega$ の如く比較的せまくなる.(4圖では $20K\Omega$ 以下となるはずだが一應 $20\,K\Omega$ として考える) Z の最小ならびに最大値のみが, 純抵抗で他は無效部を含み特に $n\to\pm\infty$ に近ずくと無效部のみである. この周波數特性の大略は5圖に示す.



5 圖　合成抵抗及び電壓分布

なお4圖の印加電壓 E_0 に對する電壓分布は

$$\frac{E}{E_0}=\frac{1}{1/Z+1/R}\cdot\frac{1}{r+\dfrac{1}{1/Z+1/R}}$$

$$=\frac{1}{r(1/Z+1/R)+1}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(28)$$

となり, $r=10K\Omega$ を入れると

合成抵抗 100Ω の場合

$$E/E_0=\frac{1}{10{,}000/100+1}=\frac{1}{101}\simeq0.01\quad\cdots(29)$$

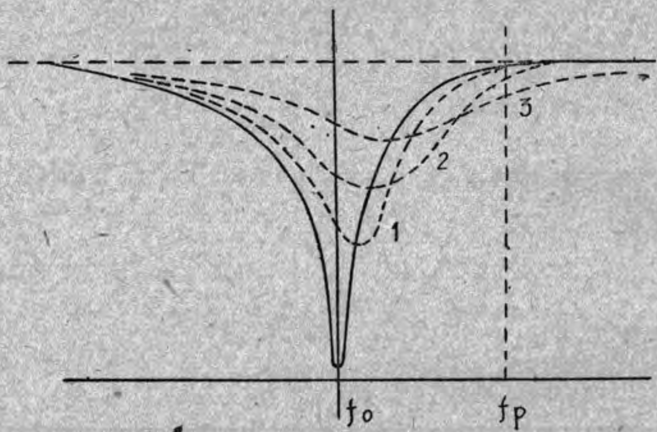
合成抵抗 $20K\Omega$ の場合

$$E/E_0=\frac{1}{1/2+1}=\frac{10}{15}$$

$$=0.666\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(30)$$

で電壓分布性は大略インピーダンス特性と相似で5圖の下線で示してある. この圖で見る如く $n=0$ を中心として周波數特性は少しく非對稱となつている. すなわち左の部分は右の部分より幾分緩になつている.

上の電壓分布は定常特性であつて, 周波數の變化が充分に遲い場合はそのままの形で現われるものであるが, 周波數掃引變化が速いか, あるいは回路の減衰率が小なる場合には6圖 1, 2, 3 曲線の如く次第に實變化が定常特性より遲れて現われる事になる.



6　圖

VI. 水晶共振子回路の微分方程式とその解法

水晶共振子を勵振させるには電源回路にインピーダンスあり7圖の如き回路を考える必要がある. インピーダンスは抵抗でよく, また並列に負荷ある場合も本質的にその抵抗 r 中に含ませる事ができる. 7 圖につき $L_0r_0C_0$ を流れる電流 i と外部印加電壓 e_0 との間には

$$\frac{de_0}{dt}=rC_1L_0\frac{d^3i}{dt^3}+\Big[rC_1r_0+(1+C_1/C_2)L_0\Big]\frac{d^2i}{dt^2}+\Big[r(1+C_1/C_0)+r_0(1+C_1/C_2)\Big]\frac{di}{dt}+\Big[\frac{1}{C_0}(1+C_1/C_2)+1/C_2\Big]i\quad\cdots\cdots\cdots(31)$$

なる三次の微分方程式が成立する. この微分方程式の過渡解法は右邊のみを零と置き

$$x^3+\left[r_0/L_0+\frac{1}{r}(1/\mathrm{C}_1+1/\mathrm{C}_2)\right]x^2$$
$$+\left[\frac{1}{L_0}(1/\mathrm{C}_1+1/\mathrm{C}_0)+\frac{r_0}{L_0}\frac{1}{r}(1/\mathrm{C}_1+1/\mathrm{C}_2)\right]x$$
$$+\frac{1}{r\mathrm{C}_1}\cdot\frac{1}{L_0}\left[\frac{1}{\mathrm{C}_0}(1+\mathrm{C}_1/\mathrm{C}_2)+\frac{1}{\mathrm{C}_2}\right]=0\cdots(32)$$

の代數式を解く事によつて與えられることはよく知られているが，三次方程式の一般解法はかなり複雜であつてほとんど實用にならぬ．しかし便法を講ずると上式の實用解が極めて容易に得られる事がわかつたのである．

上式の最後の項を變形して

$$\frac{1}{rC_1}\frac{1}{L_0}\left[\frac{1}{C_0}(1+C_1/C_2)+\frac{1}{C_2}\right]$$
$$=\frac{1}{rL_0}\left[\frac{1}{C_0}\frac{C_1+C_2}{C_1C_2}+\frac{1}{C_1C_2}\right]$$
$$=\frac{1}{rL_0}\frac{C_1+C_2}{C_1C_2}\left[\frac{1}{C_0}+\frac{1}{C_1+C_2}\right]$$
$$=\frac{1}{r}\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}\right)\frac{1}{L_0}\left(\frac{1}{C_0}+\frac{1}{C_1+C_2}\right)$$

となるから (32) 式は

$$x^3+\left[\frac{1}{r}\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}\right)+\frac{r_0}{L_0}\right]x^2$$
$$+\left[\frac{1}{r}\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}\right)\frac{r_0}{L_0}+\frac{1}{L_0}\left(\frac{1}{C_0}+\frac{1}{C_1}\right)\right]x$$
$$+\frac{1}{r}\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}\right)\frac{1}{L_0}\left(\frac{1}{C_0}+\frac{1}{C_1+C_2}\right)=0\quad\cdots(33)$$

として見ると x の各係數は次の四つの重要なる定數の組合わせであることがわかる．

$$\left.\begin{aligned}\omega_p{}^2&=\frac{1}{L_0}\left(\frac{1}{C_0}+\frac{1}{C_1}\right)=(\text{並列同調角周波數})^2\\ \omega_a{}^2&=\frac{1}{L_0}\left(\frac{1}{C_0}+\frac{1}{C_1+C_2}\right)\\ &\qquad\qquad=(\text{直列同調角周波數})^2\end{aligned}\right\}\ (34)$$

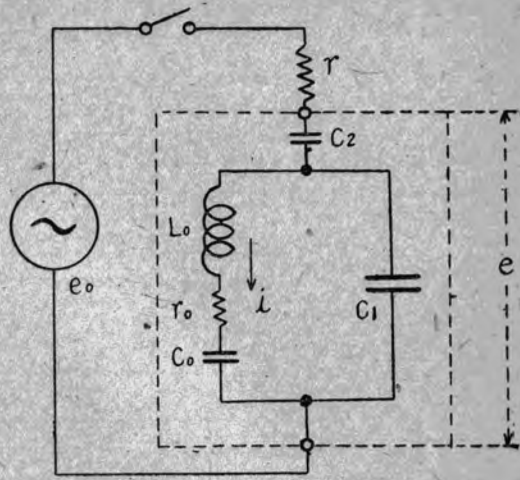
しこうして

$$\left.\begin{aligned}\delta_1&=\frac{1}{r}\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}\right)\ \text{は r. } C_1C_2\ \text{直列回路の減衰係數}\\ 2\delta&=r_0/L_0\quad \delta\ \text{は}\ L_0r_0C_0\ \text{回路の減衰係數}\end{aligned}\right\}\ (35)$$

と置くと (33) 式は

$$x^3+[\delta_1+2\delta]x^2+[2\delta\delta_1+\omega_p{}^2]x$$
$$+\delta_1\omega_a{}^2=0\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(36)$$

となる．



7 圖

この場合の x の解は普通（本文の如き場合）は振動型であつてその三根は

$$x_1=-\alpha.\quad x_2=-\beta+j\omega.\quad x_3=-\beta-j\omega$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots(37)$$

となる事は原理的にわかつている．よつてこれらを組合わせて

$$(x-x_1)(x-x_2)(x-x_3)$$
$$=(x+\alpha)(x+\beta-j\omega)(x+\beta+j\omega)$$
$$=x^3+(\alpha+2\beta)x^2+(2\alpha\beta+\omega^2+\beta^2)$$
$$+\alpha(\omega^2+\beta^2)=0\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(38)$$

とすると，これが上の(36)式に對應すべきものである．

ところが $\omega_p{}^2$, $\omega_a{}^2$ 同時に $\omega^2+\beta^2$ に對應できないから，なんとか細工をする必要がある．よつて次の如き假定を置く．

$$\left.\begin{aligned}\alpha&=\delta_1-\triangle\\ 2\beta&=2\delta+\triangle\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(39)$$

とせば (36).(38) の第 2 項同志の對應は安全である．次に最後の項同志を對應せしめるために

$$\alpha(\omega^2+\beta^2)=(\delta_1-\triangle)(\omega^2+\beta^2)\equiv\delta_1\omega_a{}^2$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots(40)$$

よりして

$$\omega^2+\beta^2=\delta_1\omega_a{}^2\frac{1}{\delta_1-\triangle}=\omega_a{}^2\frac{1}{1-\triangle/\delta_1}\ \cdots\cdots(41)$$

$\triangle$ は α の補正項であつて，δ_1 よりは小，またこの場合

$$\triangle/\delta_1\ll1\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(42)$$

であると假定すると（後で吟味して差支えない事を確める事を要するが）

$$\omega^2+\beta^2\simeq\omega_a{}^2(1+\triangle/\delta_1) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(43)$$

として第3項の對應に入れて見る．

$$2\alpha\beta+\omega^2+\beta^2=(\delta_1-\triangle)(2\delta+\triangle)$$
$$+\omega_a{}^2(1+\triangle/\delta_1)\equiv2\delta_1\delta+\omega_p{}^2 \quad \cdots\cdots(44)$$

より

$$\triangle^2-(\delta_1-2\delta+\omega_a{}^2/\delta_1)\triangle+\omega_p{}^2-\omega_a{}^2$$
$$=0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(45)$$

の如き△に關して二次方程式ができる．これを解くと

$$\triangle=\frac{1}{2}\Big[(\delta_1-2\delta+\omega_a{}^2/\delta_1)$$
$$\pm\sqrt{(\delta_1-2\delta+\omega_a{}^2/\delta_1)^2-4(\omega_p{}^2-\omega_a{}^2)}\Big]$$

△はあまり大きくはないから負號を取り，更に

$$4(\omega_p{}^2-\omega_a{}^2)\ll(\delta_1-2\delta+\omega_a{}^2/\delta_1)^2 \cdots\cdots(46)$$

の條件を入れると

$$\triangle=\delta_1\frac{\omega_p{}^2-\omega_a{}^2}{\delta_1{}^2-2\delta\delta_1+\omega_a{}^2}\simeq\delta_1\frac{\omega_p{}^2-\omega_a{}^2}{\delta_1{}^2+\omega_a{}^2}\cdots\cdots(47)$$

として補正項が計算できる．

よつて

$$\alpha=\delta_1\Big[1-\frac{\omega_p{}^2-\omega_a{}^2}{\delta_1-2\delta\delta_1+\omega_a{}^2}\Big]\simeq\delta_1 \quad \cdots\cdots\cdots(50)$$

の如く α の補正は極めて小であるが

$$\beta=\frac{1}{2}\Big(\frac{r_0}{L_0}+\triangle\Big)\simeq\frac{1}{2}\triangle=\frac{1}{2}\delta_1\frac{\omega_p{}^2-\omega_a{}^2}{\delta_1{}^2+\omega_a{}^2}$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(51)$$

次に（43）より自己發振の周波數として

$$\omega^2=\omega_a{}^2\Big(1+\frac{\omega_p{}^2-\omega_a{}^2}{\delta_1{}^2-2\delta\delta_1+\omega_a{}^2}\Big)-\beta^2$$
$$\simeq\omega_a{}^2\frac{\delta_1{}^2-2\delta\delta_1+\omega_p{}^2}{\delta_1{}^2-2\delta\delta_1+\omega_a{}^2}=\omega_a{}^2\frac{\delta_1{}^2+\omega_p{}^2}{\delta_1{}^2+\omega_a{}^2}$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(52)$$

を得る．

VII. 數値例と特殊關係

上の△に關聯して，β 及び ω につき詳しく檢べて見ると，

$$\omega_p{}^2-\omega_a{}^2=\frac{1}{L_0}\Big[\frac{1}{C_0}+\frac{1}{C_1}-\frac{1}{C_0}-\frac{1}{C_1+C_2}\Big]\simeq\frac{1}{L_0C_0}$$
$$=\frac{1}{6.36}\frac{10^{12}}{3.18}=0.0495\times10^{12}\cdots\cdots(53)$$

$$\delta=r_0/2L_0=\frac{100}{2\times6.36}=7.85 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(54)$$

$$\delta_1=\alpha=\frac{1}{r}\Big(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}\Big)\simeq\frac{1}{r}\frac{1}{C_1}=\frac{10^3}{20}\frac{10^{12}}{3.18}$$
$$=15.7\times10^6 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(55)$$

$(r=20K\Omega$ とす)

$$\omega_a{}^2\simeq\frac{1}{L_0C_0}=\frac{1}{6.36}\frac{10^{12}}{0.0159}=9.9\times10^{12};$$
$$\omega_a=3.14\times10^6 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(56)$$

δ は δ_1 及び ω_a に比して桁違いに小さいからこの項を省略して

$$\triangle\simeq\delta_1\frac{\omega_p{}^2-\omega_a{}^2}{\delta_1{}^2+\omega_a{}^2}=15.7\times10^6,$$
$$\frac{0.0495}{(15.7)^2+(3.14)^2}=3,040\cdots\cdots\cdots\cdots(57)$$

$$\beta\simeq\frac{\triangle}{2}=1,520; \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(58)$$

$$\left.\begin{aligned}\alpha/\beta\simeq\delta_1/\beta=\frac{15.7}{15.2}\times10^4\simeq10^4\\ \beta/\delta=\frac{1,520}{7.85}=194\simeq200\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(59)$$

すなわち水晶自身の減衰係數 δ に比して 200 倍近くの減衰が勵振回路に作用する事がわかる．

次に自己周波數の ω は（52）から

$$\omega^2=\omega_a{}^2\frac{\delta_1{}^2+\omega_p{}^2}{\delta_1{}^2+\omega_a{}^2}=\omega_a{}^2\Big[1+\frac{\omega_p{}^2-\omega_a{}^2}{\delta_1{}^2+\omega_a{}^2}\Big]$$
$$=\omega_a{}^2\Big[1+\frac{0.0495}{(15.7)^2+(3.14)^2}\Big]$$
$$=\omega_a{}^2\Big[1+\frac{0.0495}{256}\Big]=\omega_a{}^2[1.000193]$$
$$\therefore\quad \omega=\omega_a[1.0001]<\omega_p=\omega_a[1.0025]$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(60)$$

（47）で見る如く△は δ_1 の値により大幅の變化を行う．δ_1 の極大，極小に對して△は零，しこうして

$$\frac{d}{d\delta_1}(\delta_1+\omega_a{}^2/\delta_1)=1-\omega_a{}^2/\delta_1{}^2=0\ ;$$
$$\delta_{1m}=\omega_a \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(61)$$

よりして△の最大は $\delta_1=\omega_a$ で起り

$$\triangle_m=\omega_a\frac{\omega_p{}^2-\omega_a{}^2}{2\omega_a{}^2}=\frac{1}{2\omega_a}(\omega_a{}^2-\omega_a{}^2)$$

$$\simeq\omega_p-\omega_a=\frac{10^{-6}}{6.28}\,0.0495\times10^{12}$$

$$=0.0073\times10^6\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(62)$$

この△の最大にしてもなお ω_a あるいは δ_1 より遙かに小である．しかし δ に比しては前述の如く桁違いに大きい．

$$\beta=\delta+\frac{\triangle}{2}\simeq\triangle/2\ ;\ \ \frac{\beta_m}{\delta}=\frac{\triangle_m}{2\delta}$$

$$=\frac{0.0073\times10^6}{2\times785}=465\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(63)$$

この場合水晶自身の減衰の 4〜5 百倍の最大の減衰を持つ事になる．

自己周波數も δ_1 によつて變化する．(52) より

$$\omega^2=\omega_a{}^2\frac{\delta_1{}^2+\omega_p{}^2}{\delta_1{}^2+\omega_a{}^2}$$

$$\left.\begin{array}{l}\delta_1\text{ の極小　零に對しては}\quad\omega^2\to\omega_p{}^2\\ \delta_1\text{ の極大　無限大に對しては}\quad\omega^2\to\omega_a{}^2\end{array}\right\}(64)$$

しこうして最大の減衰率 $\delta_{1m}^2=\omega_a{}^2$ を入れて

$$\omega_m{}^2=\frac{1}{2}(\omega_p{}^2+\omega_a{}^2)=\frac{1}{L_0C_0}\left[1+\frac{C_0}{2}\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_1+C_2}\right)\right]$$

$$\omega_m\simeq\omega_0\left[1+\frac{C_0}{4}\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_1+C_2}\right)\right]$$

$$=\omega_0\left(1+\frac{1}{4}\frac{C_0}{C_1}\right)=\omega_0\left[1+\frac{1}{4}\frac{0.0159}{3.18}\right]$$

$$=\omega_0(1.00125)=\frac{\omega_0+\omega_p}{2}\simeq\frac{\omega_a+\omega_p}{2}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(65)$$

ちようど ω_p と $\omega_0\simeq\omega_a$ との平均値になる事を知る．

かくして (33) 式の 3 根の傾向を知る事ができる．本例について云うと，(33) 式あるいは (31) 式の過渡解法は

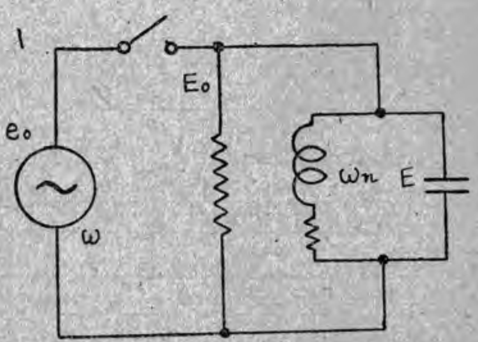
$$i=I_0\varepsilon^{-\alpha t}+I\varepsilon^{-\beta t}\cdot\cos(\omega t+\varphi)\qquad\cdots\cdots(66)$$

となるものであつて，α,β 及び ω はそれぞれ(55), (58) 及び (60) 式等で與えられている．α は $\delta_1=({}^1/C_1+{}^1/C_2)/r$ に近似的に等しく，β は α の 10^{-4} の程度で非常に小さいが，それでも水晶自身の減衰率 δ に比してはかなり大なる値となつている．β は δ_1 によつてある程度影響されるが $\delta_1=\omega_a$ で起る β の最大値においても δ の 4〜5 百倍の程度である．發振の自己振動數 ω_n は ω_a と ω_p との間に來る．δ_1 の大きさにより，ω_a に近いか ω_p に近くなる．すなわち直列共振型か並列共振型かは $\delta_1\lessgtr\omega_a$ によつてきまるのである．

VIII. 水晶共振子端子に現れる周波數變調電壓

4 圖で E_0 なる周波數變調を受けた電壓を印加する場合を考えるに，E_0 に對する E の定常解法は 6 圖の實曲線で與えられるから，過渡現象はこれに重疊して現れるはずである．

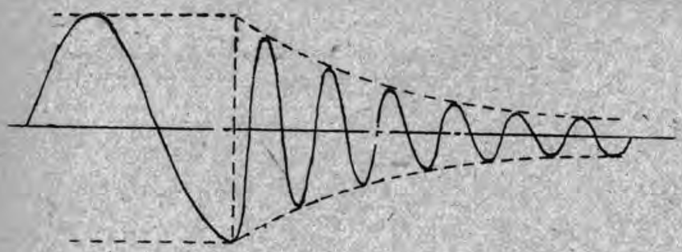
前述 (66) 式で示す如く，單一變化項（直流項 I_0）の減衰率 α は振動項 I の減衰率 β の 10^4 倍程度となつており極めて大であるから，振動項に比較すると，單一變化項は過渡現象として考える必要がない．ただ問題となるのは $\varepsilon^{-\beta t}\cos(\omega_n t+\varphi)$ で表わされる振動型の減衰項である．



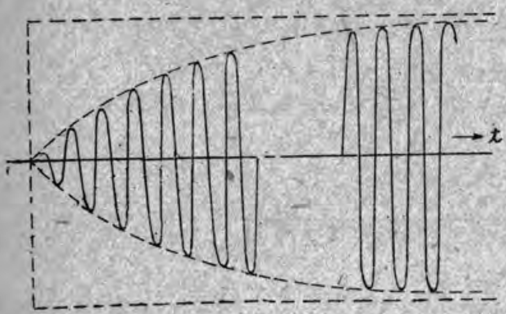
8　圖

現象を了解するために二三基本的に過渡現象を考えて見る．定周波數 ω の電壓を ω_n なる自己周波數を有する振動回路に加えておつて急に開路したとする．(8 圖) しかるときは初期振幅の E は $E\varepsilon^{-\beta t}$ の曲線に沿うて減衰する．しこうしてこの振動の周波數は固有の ω_n であつて，印加電壓の周波數 ω には關係しない．切つた瞬間の位相によつて ω と ω_n 振動との接續點が異るが，E の瞬時値に不連續なきよう，また主振動回路の電流も不連續とならぬような位相關係を作り包絡線は $\varepsilon^{-\beta t}$ によつて減衰する．(9 圖)

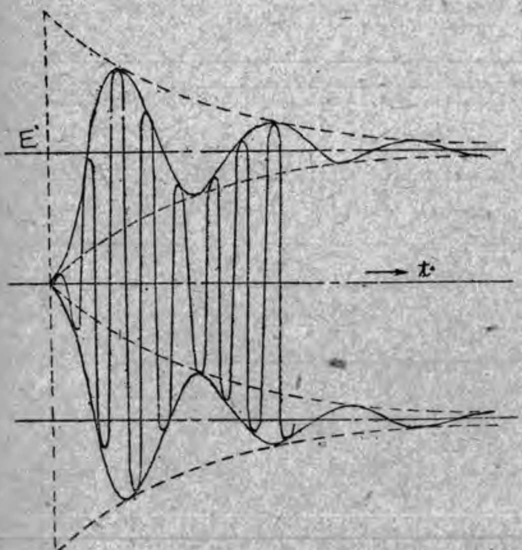
次に上例とは逆に 8 圖で急に閉路したとする．先ず $\omega=\omega_n$ の場合を考えるに 9 圖の過渡現象が全く負の値となり，$E\ (1-\varepsilon^{-\beta t})$ の如き包絡線に沿つて振幅は確立 (Build up) して行く．(10 圖)



9　圖



10　圖



11　圖

もし $\omega \neq \omega_0$ であれば，閉路の瞬間において初期値を零とする如く過渡現象が始まるのにはかわりはないが，周波数 ω なる一定振幅 E ($E\cos(\omega t+\varphi)$ これは閉路の瞬間から一定) に $-E\varepsilon^{-\beta t}\cos(\omega_n+\varphi)$ なる過渡現象が重疊する事となり ω, ω_n 間でビートが發生する．しこうしてこのビートの形で減衰して終に E, ω電壓のみが殘る．(11 圖)

上の關係は定常振幅が次々と變化して行く場合にもあてはまる．過渡現象は常にその時の定常値を目標にして變化して行くものであつて，その回路の固有周波数 ω_n 及び減衰率 β を維持しつつ，新定常値に向つて變化して行く．

6 圖の實曲線に示す如き定常電壓分布を取る回路に周波数變調の電壓をかけると，各周波数毎に定常値は異る故に，常に新定常値に向つて過渡現象が現れて行くのである．よつて實變化は定常値より遲れるものであつて **12** 圖に示す如く，ハッチングの部分が過渡現象を表すものである．このハッチングは振幅のみを考えた場合であつて，この外に周波数を考えるを要し，定常特性の各部の周波数は異なるが，過渡現象の周波数は一定値 ω_n である．よつて定常周波数との間でビートが起る．すなわち **13** 圖の點曲線の部分内でビートが起る．〔外部の掃引變化周波数が水晶の ω_n に引張られてある範圍内で一致する事も考えられる〕．

實驗の示すところによると定常特性の凹部は變化が急激のためか，ビートを現すほどの時間の餘裕がなく，f_0 (ω_0) をすぎた右の部分で始めてビートが現われる．凹所は單なる衝擊を水晶片に與えるだけの役目をしているように思われる．右に行くに從つて ω が ω_n より大きく ω_n は (60) 式に示す如く ω_a ($\simeq\omega_0$) より幾分大きい故に，實曲線の定常値と交る邊で，零ビートを作り，大體過渡現象の最低部と一致して右に行くに從つてビート周波数が上昇して振幅は大略 $\varepsilon^{-\beta t}$ で減衰して行くのが實驗でよくわかる．

(58) 式によると $\beta=1{,}520$ となつているからこれの時間定数

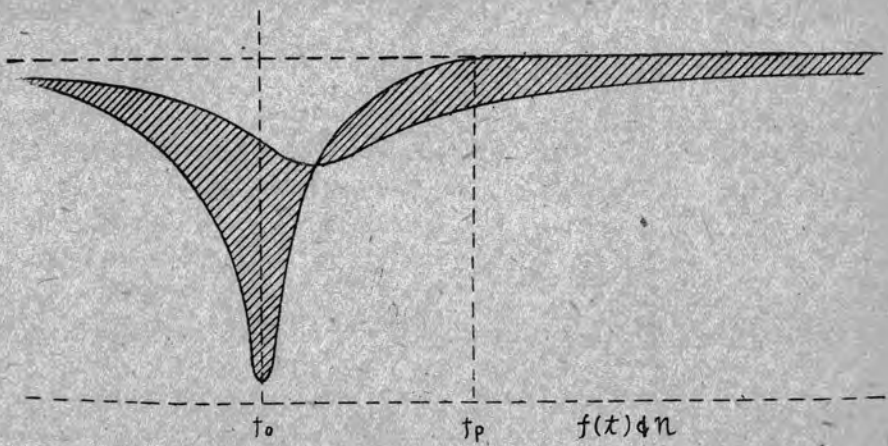
$$T=1/\beta=1/1520=660\times10^{-6}\,\mathrm{sec} \quad \cdots\cdots(67)$$

60～ 繰り返して半周期に 450～700 KC の掃引變化，すなわち 250 KC の變化をするとせば，$1/120=8.33\times10^{-3}$ sec に對して上の時定数は 0.66×10^{-3} sec. 全掃引時間の $0.66/8.33\simeq1/14$ に相當している．この間の周波数の變化は $250/14=18\,KC$ であつて大體實測で得られた範圍にある．

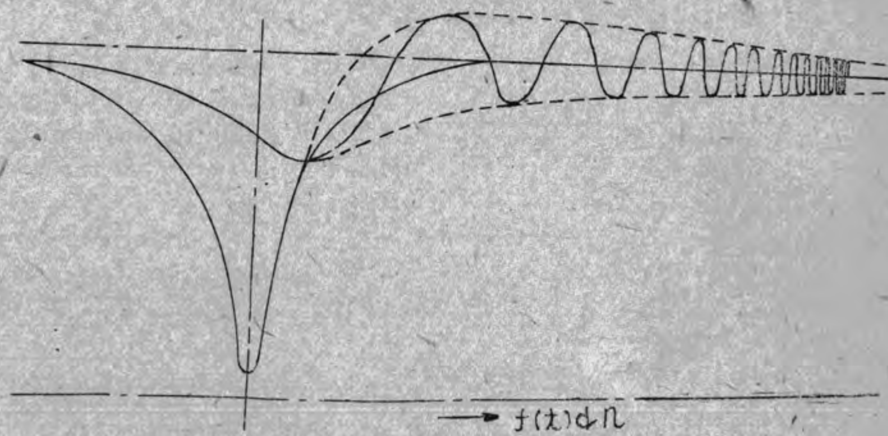
IX. 結　　言

水晶共振子のインピーダンス特性は圓線圖によつて都合よく表示できる．減衰率が小さい關係上他の回路部に對する周波数變化の影響を無視して水晶の共振點附近の特性を

1 2　圖



1 3　圖



$$N=\frac{1}{r_0}\left[\omega L_0-\frac{1}{\omega}\left(\frac{1}{C_0}+\frac{1}{C_1+C_2}\right)\right]$$

の如き周波數基準で簡單に處理できる．

實際の勵振回路には水晶の等價回路の外に實作用回路が加わり少くとも抵抗が直列あるいは並列に入つているが，これを加味したインピーダンス特性及び電壓分布特性から定常狀態の周波數電壓特性がわかる．

周波數變調電壓を印加すると電壓特性は定常特性より遲れて現れるものであつてその過渡現象の解決もある程度可能である．

外部回路を單一抵抗で代表せしめた場合の水晶共振子の過渡現象は三次の線形微分方程式となるが，これの實用解は極めて容易に得られる．

以上の基礎調査を基として周波數掃引式測定器の水晶周波數記入法についての疑點を解決した．なおこの結果は他の超音波探傷器等の解法にも利用できるものと思う

文　　獻

（1）　津村，飯川：　靜電容量及び自己誘導直視裝置
　　　三菱電機，Vol. 22. No. 3. 1948.

（2）　海井：　圓線圖による水晶發振器特性の檢討
　　　三菱電機，Vol. 23. No. 1. 1949.

（3）　W. D. George. M. C. Selby & R. Scalnic. Precision Measurement of Electrical Characteristics of Quartz-Crystal Units. I. R E. Val. 36. No. 9 (1948-Sept.)

（4）　古賀：　壓電氣と高周波

53.082.5

粒度分布測定法に關する一試案

粉末體を取扱う分野においてはそれを構成する粒子の大さの分布形を決定しなければ定性的にも定量的にも殆ど無意味である．これに對する測定法の一試案を提出し，種々の點から滿足すべき方法であることを確めた．

研究所　山下博典

1. 緒　　論

螢光放電燈の明るさを決定する諸因子の中，最も重要なものは螢光膜である．螢光物質の改良研究は今後の螢光放電燈に課せられた重要問題の一つであるが，同一螢光物質でもそれを粉末狀態でガラス管内部に塗布する時の諸條件すなわち塗着方法，塗膜の厚さ，及び粉末粒子の大さ等により螢光放電燈の性能に相當な影響のあることは周知の事實である．

一般に螢光物質は微粒子にする程その發光能は減退するが，硝子管への塗着は容易になるもので，この間の關係を見出すためにはその粒子の大さを測定せねばならない．螢光放電燈に使用する螢光物質は一般に數ミクロン程度の大さであること，及びその粒子の大さは實用上一定の粒に揃つていない，すなわちある粒度分布を有していることを考慮し，この二つの特性を測り得る測定法を採用することが必要である．この種の測定は粉末體を對象とする他の分野に於ても最も屢ゝ要求せられるところで，多數の測定法があるが[1]，顯微鏡法と沈降法が普通行われる．前者は適當な倍率に擴大した寫眞像中の粒子の寸法を多數測定して統計的に求める方法で最も直接的であるが費用と時間の損失が少くない．後者は流體殊に液體中に粉末を懸濁させその落下速度がストークス則に從うものと假定して種々の方法で粒度分布を決定するもので，その最も巧妙なものに著名な Óden の方法[2]があり，原島氏[3]はこの改良案を出されている．すべてこの方法は沈降曲線の時間に關する二階微分係數より計算するもので確度の點に疑問があり，また測定所要時間が長いので溫度その他の測定條件を一定に保つのが困難であり，殊に Óden の方法はやゝ複雜なメカニズムを要し，原島氏の方法は懸濁媒の選擇及び凝集 (coagulation) の點に難點があるようである．

筆者は以上の諸點を考慮して所要設備，時間，試料の量及び確度の點から先ず無難と考えられる一方法を案出し，條件を變えて實驗の結果大體豫期の成績を收め，螢光膜の研究に使用出來るようになつたので，その槪略を報告する．

2. 測定原價

液體中に固體粉末を懸濁しこれに光線を投射すると，コロイド程度の分散液では選擇吸收を生ずるが，數ミクロン以上の粗粒子懸濁液の場合は白色光でも顯著な呈色作用を示さないことは實驗的に確められている．厚さ d の液層への入射光の強さ I_0，透過光の強さ I，光路中の粒子數を $n(r)$（たゞし大さ均一の粒子のみとする）とすると Beer の法則によつて，

$$I=I_0e^{-an(r)d} \qquad (1)$$

が成立する．たゞし a は懸濁媒及び粒子の種類によつて決定し投射光の波長に無關係な常數とする．

松井元太郎氏等の研究[4]によれば，3〜40 ミクロンの大さほゞ均一の粗懸濁液について光の分散度を測定し，常數 a が炭酸カルシウム，アルミナ，水酸化マグネシウム等では懸濁粒子の總表面積に，また炭素，酸化鐵懸濁液では粒子總斷面積に比例することを見出している．この結果を容認すれば，懸濁質の種類に拘らず光路中の半徑 r の均一粒子については k を懸濁質及び懸濁媒の種類による常數として

$$a=kr^2 \qquad (2)$$

考えている光路體積中に存在する種々の大さの粒子の總個數を N とし，

$$n(r)/N=f(r) \qquad (3)$$

とおけば

$$\int_0^\infty f(r)dr=1$$

こゝで粒子を球狀と假定し，Stokes 法則に從つて落下するものとすれば，落下速度を v として

$$v=b^2r^2 \qquad (4)$$

たゞし $b^2=\frac{2}{9}\frac{(\delta-\rho)}{\eta}g$

で σ を粒子の比重．ρ 及び η を液の密度及び粘度，g を重力の加速度とする．

液表面より垂直に h の深さの部分に粒子が一様に懸濁しているものと考え，(1)，(2)，(3) 及び (4) 式を組合せると

$$I=I_0\,exp\left\{-kd/N\int_0^r r^2 f(r)dr\right\}$$

兩邊の對數をとり變數を $r\rightarrow t$ に變換すると

$$log\,I/I_0=A\int_0^t f(ct^{-\frac{1}{2}})t^{-\frac{5}{2}}dt \quad (5)$$

たゞし

$$\begin{cases} A=\frac{1}{2}kdc^3 \\ C=h^{-\frac{1}{2}}/b, \quad \gamma=ct^{-\frac{1}{2}} \end{cases}$$

(5) 式を t につき微分すると

$$\frac{1}{I}\frac{dI}{dt}=Af(ct^{-\frac{1}{2}})t^{-\frac{5}{2}}$$

故に

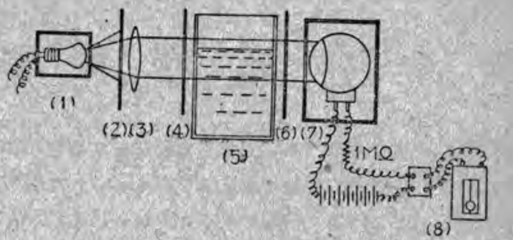
$$Af(ct^{-\frac{1}{2}})=\frac{1}{I}\frac{dI}{dt}t^{\frac{5}{2}} \qquad (8)$$

すなわち粒度分布曲線 $f(ct^{-\frac{1}{2}})=f(r)$ は透過光 I の時間的變化曲線より計算出來る $\frac{1}{I}\frac{dI}{dt}t^{\frac{5}{2}}$ に比例することになる．A の値が知れゝば眞の粒度分布曲線が得られるが，一般には分布曲線の形狀を知れば充分な事が多いので，本文でもこの相對値を比較することにした．

液面でなく液中の任意の部分についても同樣の計算ができるが算式が複雜になり，また實際測定して見ると表面附近の特殊狀態は考慮の必要がなく，測定時間も餘程短縮できるので，懸濁液の表面附近のみについて測定した．

3. 實　驗　裝　置

1 圖 は實驗裝置の略圖で，光源 (1) よりの光をレンズ (3) で平行光線とし，懸濁液を入れた硝子容器 (5) に投射し透過光を光電管 (7) で受け，この光電流を檢流計 (8) で讀む．光源は單色が望ましいが强度及び形狀の適當なものがなく，取あえず電磁オシロ光源ランプを用いた．衝立 (2) は直徑 25mm (4) 及び (6) は 25×34mm の窓を有し，(5) は 110×110×180mm の内容寸法の硝子槽である．(7) は 65 型セシウム光電管，(8) は分流器を附した 2.9×10^{-8}A の感度の反照型檢流計である．各部分の相互間隔は，光線が光電管に至るまで實用上窓 (4) の大きさを保つ平行光線の範圍で，しかも光電管に過大な電流が通らず，檢流計の振れが充分の確度で測定できるように保つた．



1 圖　實驗裝置略圖

光線は液面に平行に入射するようにし，また液面附近の種々の影響を避けるために光線の一部は液面上を通つて直接光電管に入るようにした．

光源よりの距離と光電管電流とが實驗に供した距離の範圍内で逆自乘則に從うこと，及び光電流値と檢流計のフレとの關係を豫め決定しておいた．

4. 實　驗　方　法

試料粉末及び液媒は比重瓶及び粘度計で δ，ρ，η，を測定した．粉末の比重測定に際しては氣泡附着等の原因で測定結果が區々になり易いので，煮沸その他の方法でこの點を注意して測定した．

硝子容器 (5) は洗滌乾燥し，液媒を入れ，これに秤量した粉末を少量宛攪拌しながら投入し，液溫と同一溫度にするため 20 分位放置し，硝子棒で全體が一樣に懸濁するまで充分攪拌してこれを終つた瞬間より時間を測定する．裝置全體を室内光の變化及び溫度變化による影響を防止するために内面を黒く塗つた箱で覆う．

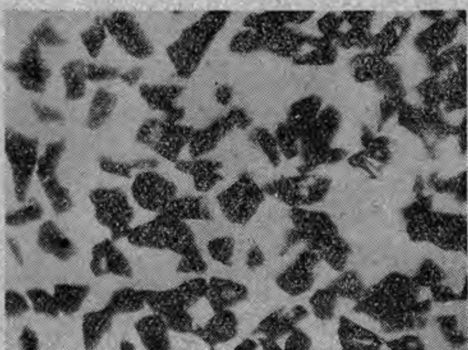
はじめ攪拌のため粒子はあらゆる方向の運動をするが，粒子の大さ，液の粘度，液量及び容器形狀等により一定しないが大體 10 秒前後で定常狀態に落つき沈降をはじめるようで，實驗結果に見るように問題とする最大粒子の部分の測定は 30 分前後の時の記錄に現れるから，攪拌による影響は無視できる．

光源は點燈しつゞけると液溫が上昇するから，記錄時の前に一定電壓で點燈し光度が落つくのを待つて測定する．

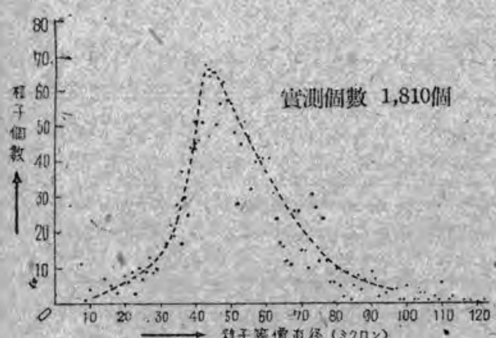
光電管暗電流が時々變ることがあるので，以下に示す I は測定ごとに檢流針の讀みから暗電流によるものを差引いた値である．

一度粉末を混じて完全に沈澱させた時の透過光は，混じない時の透過光よりも小さいが，粉末が少量硝子内壁に附着するためである．これは後に示すように測定の再現性を妨げない．

顯微鏡寫眞は水銀燈を光源とし透過撮影法により 100 ないし 500 倍に撮影した．後に示すように試料は殆ど全部球狀でないから粒子の大さは等價直徑（最大長を h，これに直角方向の最大長を k とすれば，$\sqrt{h\times k}$）で表した．



2 圖 カーボランダム顯微鏡寫眞（×100）



3 圖 カーボランダム顯微鏡寫眞による分布曲線

5. 粗粒子における實驗結果

比較的粗大な試料としてカーボランダムの一種を使用した．倍率 100 の顯微鏡寫眞の一例を 2 圖に示し．その 1810 個について粒子の大さを實測した結果を 3 圖に示す．粒子直徑は前述の等價直徑で表した．縱橫比が 3 を越すものは稀で，この程度ならストークス則による落下速度との偏差も最大 7 %位[5]と見積られるから等價直徑で大きさを表しても大差ないと考えられる．

粒子が大きいので液には粘性の大きいものを要し，グリセリンを選んだ．このものは粘度及び比重が溫度及び吸濕度により變化し易く，また吸濕性が大きいのでその測定には注意を要し，實驗の前後について行つた．

○ 測定條件

光通路經 34 mm 巾 25mm の中，液中の高さ $h=$ 27.5mm 液外の部分 6.5mm．

室溫 16.9 ないし 16.4°C．

グリセリン溫度 14.4 ないし 14.6°C．

グリセリン比重 $\rho=1.230$．

グリセリン粘度 $\eta=1.609$ C. G. S.

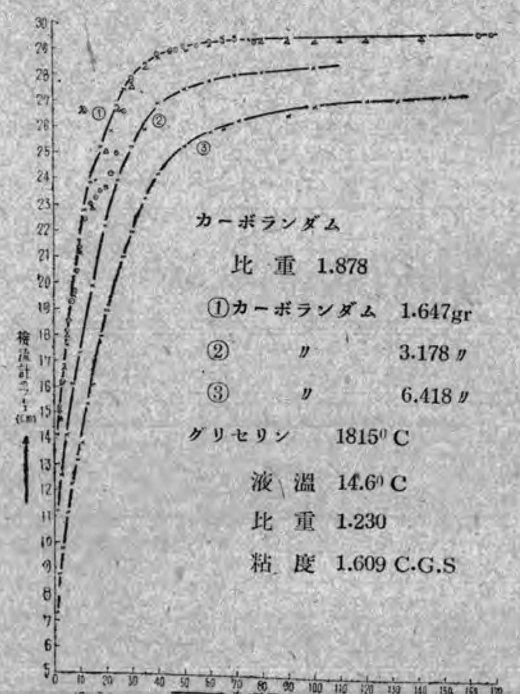
カーボランダム比重 $\sigma=1.878$

グリセリン容量 1815cc

$$C=\sqrt{\frac{9}{2}\frac{\eta}{(\sigma-\rho)g}\,h}=\sqrt{\frac{9}{2}\frac{1.609\times2.75}{(1.878-1.230)\times980}}$$

$$=9.16\times10^{-2}$$

(1) グリセリン 1815cc に對してカーボランダム 1.647g を入れ檢流計と時間の關係を測定した．3 回繰返した結果を 4 圖曲線 1 に示す．三種の記號は各回ごとの測定値で，この結果測定の再現性が明かとなつた．この場合の測定値と計算結果を 1 表に示し，粒度分布曲線を 5 圖曲線 1 に示す．



4 圖 カーボランダム懸濁液の透過光曲線

(2) 次にカーボランダムの量を 3.718，6.418g に夫々增加した時の透過光曲線を 4 圖曲線 2 及び 3 に示し，夫々の曲線より計算した粒度分布曲線を夫々 5 圖曲線 2 及び 3 に示す．すなわちこの圖からカーボランダム量を

1 表　4 圖曲線 1 よりの計算表

時間 分	時間 t 秒	暗電流 D_1 mm	検流計フレ D_2 mm	$I=D_2-D_1$	$\frac{dI}{dt}$	$\frac{1}{I}\frac{dI}{dt}t^{\frac{5}{2}}$	$ct^{-\frac{1}{2}}$ ミクロン
2	120	14.67	− 0.64	15.11	2.02×10^{-2}	2.11×10^{2}	83.6
3	180	14.63	− 1.70	16.33	1.80 〃	4.82 〃	68.3
4	240	14.60	− 2.68	17.28	1.57 〃	8.12 〃	59.1
5	300	14.62	− 3.55	18.17	1.19 〃	1.02×10^{3}	52.6
6	360	14.62	− 3.88	18.50	1.01 〃	1.34 〃	48.4
7	420	14.60	− 4.68	19.30	9.55×10^{-3}	1.78 〃	44.7
8	480	14.60	− 5.02	19.62	8.33 〃	2.24 〃	41.9
9	540	14.60	− 5.87	20.47	8.44 〃	2.74 〃	39.4
10	600	14.60	− 6.72	21.32	8.05 〃	3.34 〃	37.4
12	720	14.61	− 7.80	22.40	7.77 〃	4.77 〃	34.1
14	840	14.60	− 8.00	22.60	7.22 〃	6.49 〃	31.6
16	960	14.60	− 8.97	23.57	6.66 〃	8.10 〃	29.6
18	1080	14.60	− 9.91	24.51	6.22 〃	9.73 〃	27.8
20	1200	14.61	−10.72	25.33	5.67 〃	1.11×10^{4}	26.4
22	1320	14.60	−11.00	25.60	5.00 〃	1.24 〃	25.2
24	1440	14.68	−11.80	26.48	4.72 〃	1.40 〃	24.1
27	1620	14.65	−12.65	27.30	3.72 〃	1.44 〃	22.7
30	1800	14.64	−13.20	27.84	2.78 〃	1.37 〃	21.5
40	2400	14.67	−14.09	28.76	8.34×10^{-4}	8.18×10^{3}	18.7
48	2880	14.65	−14.31	28.96	2.50 〃	3.85 〃	17.0
50	3000	14.56	−14.46	29.02	2.50 〃	4.25 〃	16.7
55	3300	14.68	−14.39	29.07	1.67 〃	3.60 〃	15.9
60	3600	14.60	−14.64	29.24	8.34×10^{-5}	2.21 〃	15.3
65	3900	14.58	−14.64	99.22	8.34	—	14.6
70	4200	14.59	−14.72	29.31	6.66 〃	2.53 〃	14.1

或程度變化させても殆ど完全に一致した粒度分布曲線が得られること，及び顯微鏡寫眞による 3 圖の曲線と比較した曲線形と極大値に相當する直徑が大體一致することが判る．

6. 小粒子における實驗結果

次に中程度の粒度をもつ粉末の例として，アルミナの或種のものにつき，水を使用して測定した．顯微鏡寫眞の一例を 6 圖に，その 592 個についての實測結果を 7 圖に示す．

○測定條件

$h=28.0$ mm

室温　15.5 ないし 15.7°C

水温　11.2°C

水の容積　1820cc.

水の深さ　150mm.

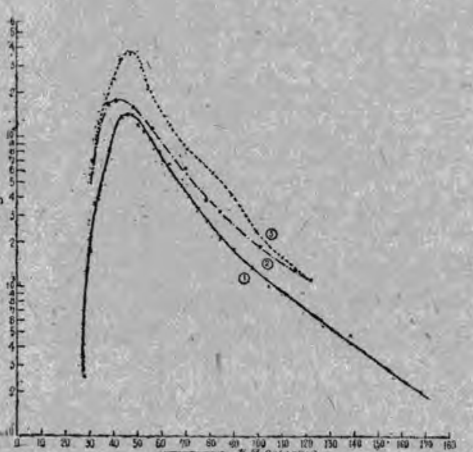
$\sigma=3.64$　$\rho=1.0$

$\eta=0.0126$ C.G.S.

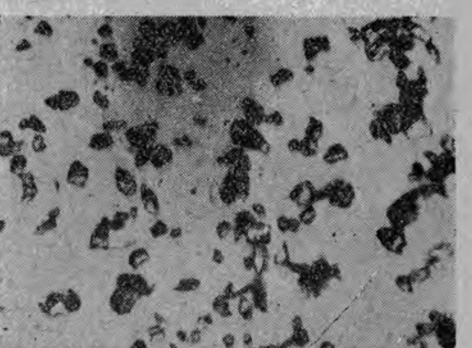
上記の條件で，アルミナの量を 1.506, 2.018, 3.013, 5.014 g として測定した各粒度分布曲線を 8 圖に示す．7 圖に比較して極大の位置及び曲線の形狀が大體一致していること，及び濃度の影響がこの範圍では大して認められないことが判る．

7. 液媒を變化した場合の實驗結果

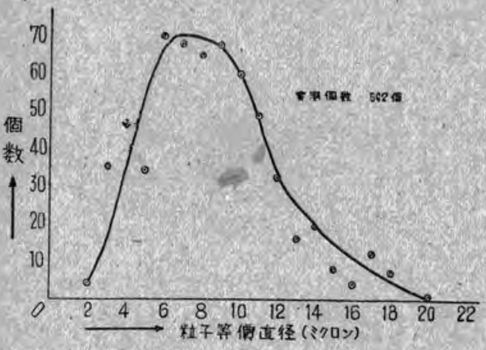
上述の實驗により，カーボランダム－グリセリン及びア



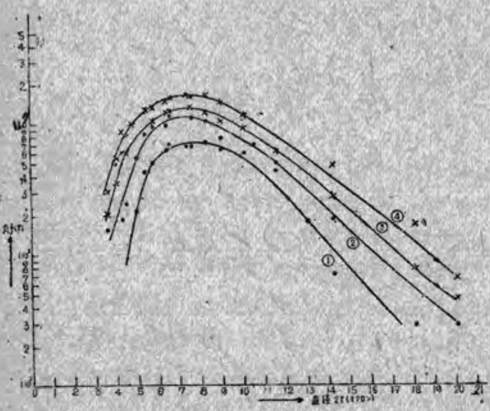
5 圖　カーボランダム粒度分布曲線



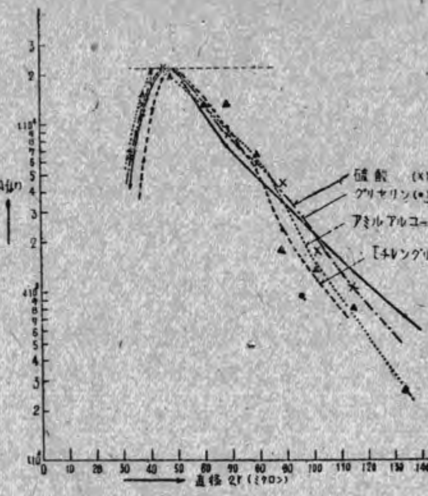
6 圖　アルミナ顯微鏡寫眞（×400）



7 圖　アルミナ顯微鏡寫眞による分布曲線



8 圖　アルミナ粒度分布曲線



9 圖　カーボランダム粒度分布曲線
（液媒を變化した場合）

ルミナ—水の組合せについては數ミクロンないし數10ミクロンの粒子にこの測定法が大體滿足に適用できることが證明されたが，懸濁液媒を變えた場合の二三の例につき説明する．

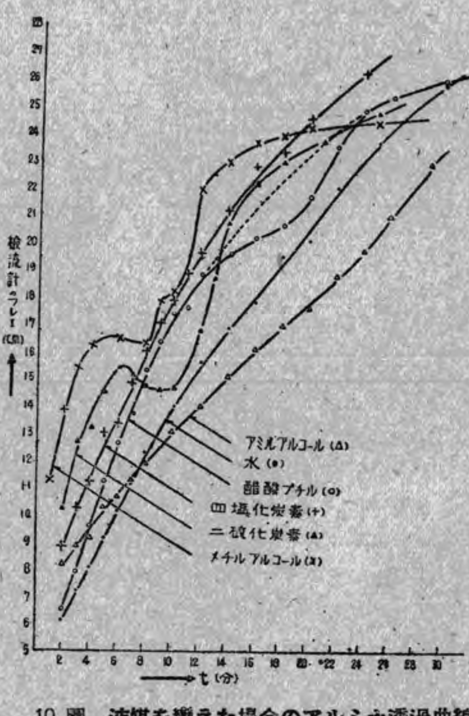
先に用いたカーボランダムにつき，液媒を次の種類に選んで測定した．

	（液溫°C）	粘　度（C.G.S.）	（比重）
1. グリセリン	14.1	1.621	1.230
2. エチレングリコール	13.0	0.344	1.114
3. 硫　　酸	13.0	0.038	1.8[illegible]6
4. アミルアルコール	14.5	0.053	0.821

測定結果を9圖に示すように大體一致した結果が得られた．（比較の便宜上，グリセリンを使用した場合に極大値を揃えた）

次に小粒子試料として先に使用したアルミナにつき，液媒を次の種類に選んで測定した．

	（液溫°C）	粘　度（C.G.S.）	（比重）
1. 水	13.5	0.012	1.00
2. アミルアルコール	14.1	0.053	0.821
3. メチルアルコール	11.5	0.0069	0.802
4. 四鹽化炭素	11.5	0.011	1.631
5. 二硫化炭素	12.0	0.0039	1.279
6. 醋酸ブチル	13.5	0.0081	0.887

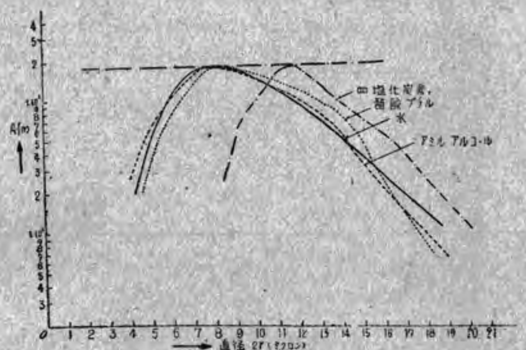


10 圖　液媒を變えた場合のアルミナ透過曲線

二硫化炭素だけは少しく帶黄色であつた.

10 圖に透過光曲線の一部分を示すが，メチルアルコール，二硫化炭素では $\frac{dI}{dt}<0$ の部分が現れ，醋酸ブチルも多少この傾向がある．この現象を觀察すれば，粘度が小さいため攪拌後の液の流動が靜止するのに時間がかゝり，液と共に流動した粒子が器底に衝突した後再び上昇し對流の如き様子を呈することが認められた．醋酸ブチルの場合は點線に示すように補正を施せば計算結果に大體差支えないことが判つた.

10 圖よりの計算結果を水の場合に極大値を揃えて示せば 11 圖のようになる．四鹽化炭素を除き大體滿足すべき結果を示している.



11 圖　アルミナ粒度分布曲線
(液媒を變えた場合)

8. 本測定法の實驗結果に對する考察

本測定法は上記二三の例で示したように大體滿足すべき結果を示したが，氣付いた點を追記する.

液媒の選擇については比較的透明であれば光學的には差支えないようで，粒子と液媒との屈折率の相對値の選擇により異常現象を生ずるおそれもあるが(6) この程度の大さの粒子では考慮する必要はないようである．11圖において四鹽化炭素だけが少し異常であるが，液の分子二重極モーメントの差違（例えば 10^{18} e.s.u で表して水 : 1.85，アミルアルコール : 1.83，醋酸ブチル : 1.88，四鹽化炭素 : 0,）以外には原因が考えられず，今後の研究に俟たねばならない.

なお先に述べたように最初攪拌に當つて10秒位の誤差を生ずることと，測定操作上から分布曲線の極大値に相當する測定値の現れるのは少くとも 10 分以上であることが望ましい．もし測定すべき試料の大體の大さが豫め推定できる時は，$r=ct^{-\frac{1}{2}}$ の式より逆算して液媒を選擇することができる．例えば6に述べた測定條件において極大値の測定に相當する時間を $t=(C/r)^2$ より計算すれば（$2r=8$ ミクロンとする），

$$C=\sqrt{\frac{9}{2}\frac{\eta h}{(\sigma-\rho)g}} \qquad t=(c/r)^2$$

1. 水	0.0076	6.7 分
2. アミルアルコール	0.016	26.6 分
3. メチルアルコール	0.0056	3.3 分
4. 四鹽化炭素	0.0084	7.4 分
5. 二硫化炭素	0.0046	2.2 分
6. 醋酸ブチル	0.013	21.5 分

となり，二硫化炭素，メチルアルコールは不適當であることが判る.

9. 結　　語

直徑 50 ミクロン及び 7 ミクロン程度のカーボランダム及びアルミナ粒子につき粒度分布を測定したが大體滿足すべき成績を得，本測定法が實用し得ることを確めた.

檢出裝置を簡略して工業測定用とする目的で研究を續行しているが，更に懸濁容器の形狀，大さ並びに試料と液の最適量の決定，本法により測定可能の粒子大さの範圍及び粒子の種類（特に屈折率）と液媒との選擇關係の決定等が問題であるが，次稿に譲る.

本實驗に當つては當所化學第二課神崎技師並に無線研究課喜連川技師に援助をうけ，測定の一部は大阪大學學生谷尾清孝君を煩した．記して謝意を表する.

文　　献

(1) 例えば F. Skaupy : Metallkeramik (Berlin, 1943) S. 44.

(2) 仙波猛 : 電氣試驗所調査報告第 74 號(昭 5)

(3) 原島治 : 應用物理 11, No. 2, 77.

(4) 松井，野田，神原，小山田 : 工化誌 35, 昭7, 1427.

(5) W. B. Kunkel : J. of App. Phys., 19, 1948, 1056.

(6) D. L. Bishop : Bur. Stand. J. Res., 12, 1934, 174.

621.316.78.621.979.4

自動射出成型機用制御装置

合成樹脂製品の多量生産に適する自動射出成型機が，名機製作所によつて完成され，その自動制御装置を，當社で製作納入した．本文はこの自動制御装置の紹介である．

名古屋製作所　吉野敏夫
大須賀菊次

1. 緒言

戰後我が國の市場には，いわゆるプラスチック製品が時代の脚光を浴びて，我々の目に映る様になつた．中でも醋酸繊維素系の合成樹脂製品は，それが持つ種々の特長を遺憾なく發揮して，エボナイト，セルロイド，ベークライトに代り，電氣器具，身邊細工用品，化粧用品，文房具，裝飾品，玩具，洋傘付屬品等廣範圍な用途に使用されている．

これらの製品の，品質齊一で，多量生産に適する優秀な自動射出成型機が，名機製作所で完成され，この自動制御装置を，當社が製作納入したので，以下順を追つて説明する．

2. 自動射出成型機

自動射出型機は，一名 Automatic injection moulder と言われ，原料である醋酸繊維素成型粉が，この成型機によつて，加熱，加壓，成型され，製品となるまでの1行程は 1～1.5分で，總て電氣的自動制御装置によつてこの行程を繰返し，連續して製造することが出來る．

自動射出成型機は，1圖に示す様な構造である．その作動原理の概略を2圖について説明する．

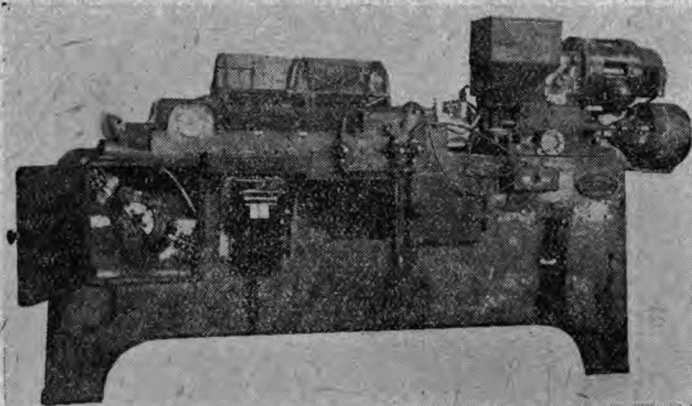
自動射出成型機は，原料入口，加熱溶融部，可塑原料を成型する金型，原料壓搾用ピストン作動部及び型冷却部に大別される．

(1) 原料入口から入れられた粉末状の可塑原料は，自動温度調節器付の電氣加熱器によつて一定温度に加熱されて溶融狀態となる．

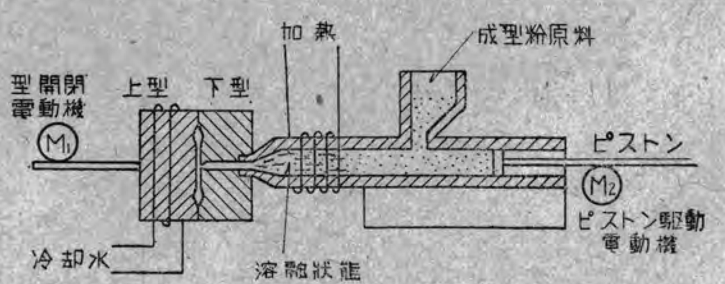
(2) 型開閉機構の電動機 M_1 の始動によつて，開いていた上金型は，型を閉じる．なおこの場合1圖に見られる様に，金型部分の保護網が閉じていなければ，型開閉電動機が運轉出來ない様になつている．

(3) 上型が閉じると同時に，ピストン驅動電動機 M_2 の始動によつて，溶融狀態の原料は壓縮されて，射出口から金型の中へ強い壓力で射出される．

(4) 一定壓力に達すれば，電動機 M_2 は停止し，一定時間この狀態を持續し，原料は金型中で加壓，加熱され成型される．



1圖　自動射出成型機



2圖　作動原理説明圖

(5) 成型が終れば，電動機 M_2 は逆轉してピストンは後退し，上型は開き，製品が自動的に取出されて1行程を終る．

(6) 一定時間後上型が閉じ始め，(1)～(5) の動作を連續繰返す．

名機製作所で完成された「**ナデム**」100 型自動射出成型機の電氣裝置以外の仕様大略は次の通りである．

機械占有積面……………560×2300mm²
機械の高さ………………1440mm
金型閉鎖力………………30ton
金型取付最大間隔………460mm
金型最大面積……………260×300mm²
原料射出力………………最大 14ton
射出ピストン容量………(40^{ϕ} ×100^{stroke}) 125cc
製品重量…………………1～1 1/4 oz
原料射出壓………………1000kg/cm²

3. 制御裝置

本成型機の自動制御裝置電機品は**1表**の通りであつて**3圖**の制御函の外は全部成型機に取付けてある．次に自動制御の動作を，各行程順に説明する，自動制御の動作は，各行程が重つて進行するので，判り易くするために各行程を，**4圖**のように表わした．これと**5圖**電路の展開接續圖とを參照されたい．

(1) 原料の溶融

機體中央上部にある原料入口から投入された原料成型粉は，自動調節温度計で一定温度に保たれた電熱器によつて溶融される．この温度は，醋酸纎維素成型粉では，140～230°C 間の最も適當な温度が選ばれる．

(2) 型閉じ行程の始動

1表 電氣品一覽

品名		仕様	數量	用途	取付場所
開閉器函		250V 100A 3P	1	電源	機體前部中央
制御函	双形開閉器(ヒューズ付)	250V 30A 3P	1	型開閉電動機電源	
	〃 (〃)	〃 〃	1	ピストン驅動電動機電源	
	〃 (〃)	〃 〃	1	冷却水ポンプ電源	
	〃 (〃)	〃 2P	1	加熱器電源	機體外
	〃 (〃)	〃 〃	1	操作回路電源	床取付
	〃	〃 1P	1	テストスイッチ	
	可逆電磁接觸器	250V 30A 3P	1	型開閉電動機	
	〃	〃 〃	1	ピストン驅動電動機	
	電流繼電器		1	同上	
	熱働過電流繼電器		1	同上	
	時間繼電器		2	壓搾時間，中間時間	
	自動調節温度計	(横河電機製)	1	原料溶融	
操作盤	押釦		3	半自動，ポンプ，型開	
	開閉器		1	全自動	機體前部中央
	ランプ		1	警戒表示	
安全スイッチ			1	型開閉安全裝置	機體上部中央
抵抗器			1	ピストン驅動電動機	機體內部右
制限開閉器			2	型開閉	同上左
〃			2	ピストン行程	機體右側部
電動機	電動機(ブレーキ付)	200/220V 50/60～ 1KW. 8P. 籠型	1	型開閉	機體後部左
	〃 (〃)	200/220V 50/60～ 3.5KW. 6P. 卷線型	1	ピストン驅動	機體上部右
	〃	200/220V 50/60～ 75W. 4P. 籠型	1	冷却水ポンプ	冷却水を水道より取る場合は不要

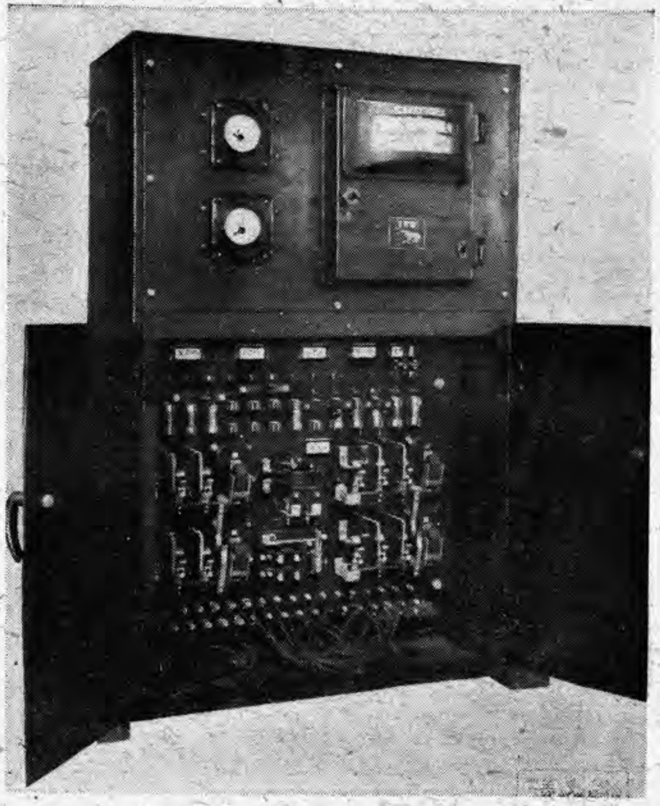
6 圖に示す操作盤によつて，半自動作業の場合には半自動用押釦開閉器 ＃1PB，全自動作業の場合には開閉器 ST を入れると，ST（または ＃1PB）－L 回路が出來，警戒表示ランプLが點燈して運轉狀態に入つたことを示し，型を開く時にのみ消えて，1 行程の終ることを示す樣になつている．また同時に ＃1b－ST（または ＃1PB）－＃3PB－＃2MC－＃1LSb－＃2TS－＃4PB の回路によつて，型開閉電動機 M_1 の接觸器 ＃2 が閉路し，上型を閉じる方向に回轉を始める，型開閉電動機は，7 圖に示す樣に成型機の背面に取付けられている，なお型の開閉を手動で行なう時には，ハンドルも取付け出來る樣に特殊な軸端になつている．

（3） ピストン前進行程の始動

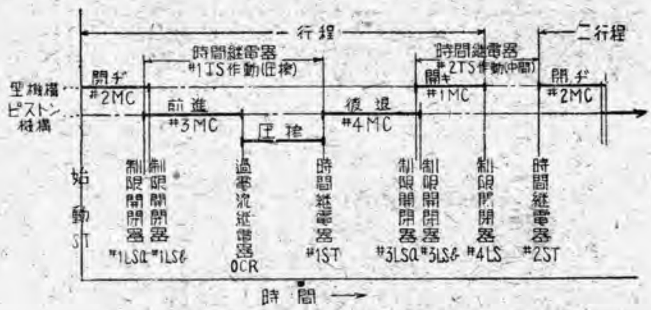
型開閉機構には 8 圖に示す樣に，型開閉電動機 M_1 によつて，連動して回轉する特殊形狀のカムがある．型開閉電動機が，型閉じ方向に回轉し始めると，カムが時計方向に回轉し第 1 のカムが右下の制限開閉器を押すと，その接點 ＃1LSa が閉じるがまだ ＃1LSb は開かない．接觸器 ＃2 が閉路しているから補助接觸子 ＃2a も閉じている．從つて ＃3MC が勵磁され，ピストン驅動電動機の接觸器 ＃3 が閉路し，ピストンを前進させる．＃3MC は同時に ＃3a を閉じ，＃2LS－＃3a－＃3MC－＃4b で自己保持の回路を作る．

（4） 型閉じ行程の停止

カムの回轉がなお進んで，制限開閉器を第 2 のカムで更に押すと ＃1LSb のみが開き，＃2MC は閉路し型開閉電動機は停止し，このとき型は完全に閉じ終る．しかしピストンのみは前進を續ける．



3 圖　制　御　函



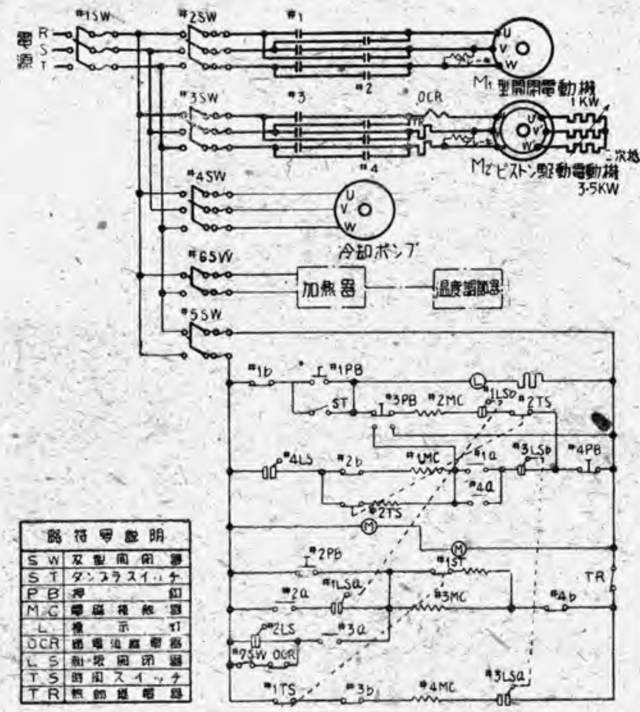
4 圖　作動行程關係圖

（5） ピストン前進行程の停止

ピストンが前進すれば，制限開閉器 ＃2LS は閉路するが，＃2LS と並列に電流繼電器 OCR が入つているから，ピストンは前進し，溶融狀態の原料は金型の中へ強い壓力で射出される．このため，ピストン前進行程の最終端で驅動電動機に大きな電流が流れ OCR が閉路し，ピストン驅動電動機は停止し，ピストンの前進はその位置で停止する．

（6） 壓 搾 時 間

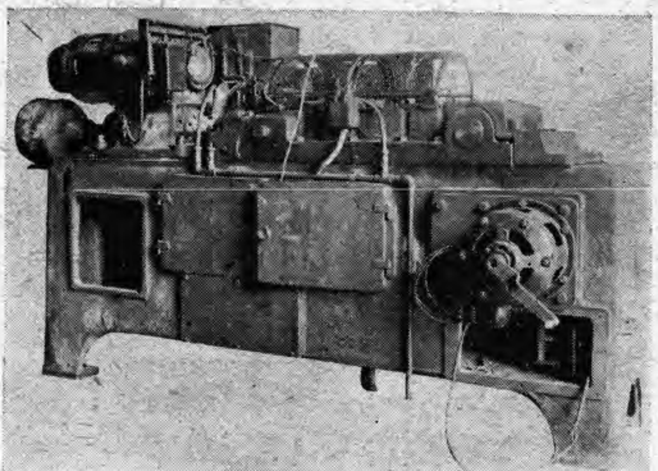
ピストン前進行程の始動の項（3）で述べた樣に，＃1LSa が閉路すると，＃3MC に並列に接續されている壓搾時間繼電器の電磁線輪が勵磁されて，接點 ＃1TS が閉路するが，閉路している時間は，必要に應じ 0～50秒間自由に調整出來る樣になつている．從つてピストンは，この調整された時間だけ，原料を金型內へ壓搾したまゝ停止狀態を持續する．この時間を壓搾時間と言つている．一方制限開閉器の接點 ＃3LSa，＃3LSb はピストンが前進すると ＃3LSb は閉路し ＃3LSa は閉路し，ピストンが後退の最終端では ＃3LSb は閉路し ＃3LSa は



略符号説明	
SW	双投開閉器
ST	タンブラスイッチ
PB	押釦
MC	電磁接触器
L	標示灯
OCR	過電流継電器
LS	制限開閉器
TS	時間スイッチ
TR	熱動継電器

5 圖　自動射出成型機展開接續圖

6 圖　操　作　盤



7 圖　成型機背面に取付けた電動機型 開

開路する．一定壓搾時間後，繼電器の接點 #1ST が再び閉路すると，#1ST－#3b－#4MC－#3LSa の回路が出來る．從つて，ピストン驅動電動機の接觸器 #4MC が閉路し，ピストンは後退し始める．

9 圖と 10 圖は，ピストン驅動電動機及びピストンと制限開閉器 #2LS，#3LS の取付いている狀態を示す．

ピストン驅動用電動機は卷線型で，二次抵抗器を有し，この二次抵抗値と電流繼電器 OCR を調整することにより金型への射出原料の壓搾壓力を適當に調整することが出來る．

(7) 型開き行程の始動

前述の型開閉電動機と連動するカムによつて操作されるもう 1 個の制限開閉器（7 圖左上）#4LS は，型閉じの狀態では閉路している．一方，ピストン後退の最終端では，前述の樣に制限開閉器 #3LSb は閉路し，#3LSa は開路するが，この開閉は #3LSb が閉路してから #3LSa が開路する．從つて，ピストン後退の最終端で，#4LS－#2b－#1MC－#4a－#3LSb－#4PB の回路が出來て型開閉電動機の接觸器 #1MC が閉路し，型は開き始める．同時に #1a が閉路するからピストンが後退して #3LSa が開路し #4MC が消磁され，#4a が開路しても，#1MC は自己保持をする．

(8) ピストン後退行程の停止

ピストンが後退し終つた時に，制限開閉器 #3LSa が開路し，ピストン驅動電動機の接觸器 #4MC は開路し停止する．

(9) 型開き行程の停止

型が開き終つた點で，カムは制限開閉器 #4LS を押すから型開閉電動機の接觸器 #1MC は開路し，電動機は停止する．

(10) 次の型閉じ行程の始動

前述の型開き行程の始動の項（7）で述べた樣に，制限閉器 #3LSb が閉路すると同時に，#1MC に並列に接續されている中間時間繼電器の電磁線輪が勵磁され，接點 #2TS が閉路する．この時間繼電器は前述の壓搾時間繼電器と同一構造のもので，調整された時間經過後再び接點 #2TS が閉路する．#2TS が閉路すれば再び型閉じの接觸器 #2MC が閉路し，初めの型閉じ行程に入る．

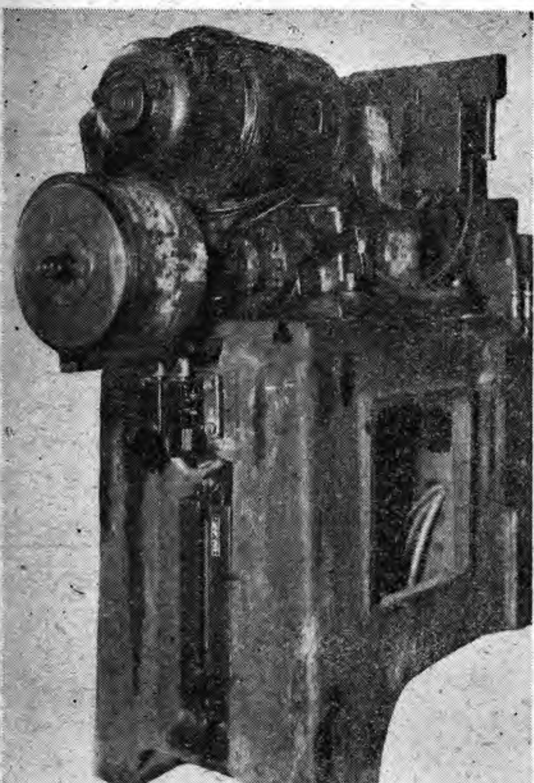
8 圖　型開閉電動機と連動するカムと制限開閉器

（11） 保護及び試驗裝置

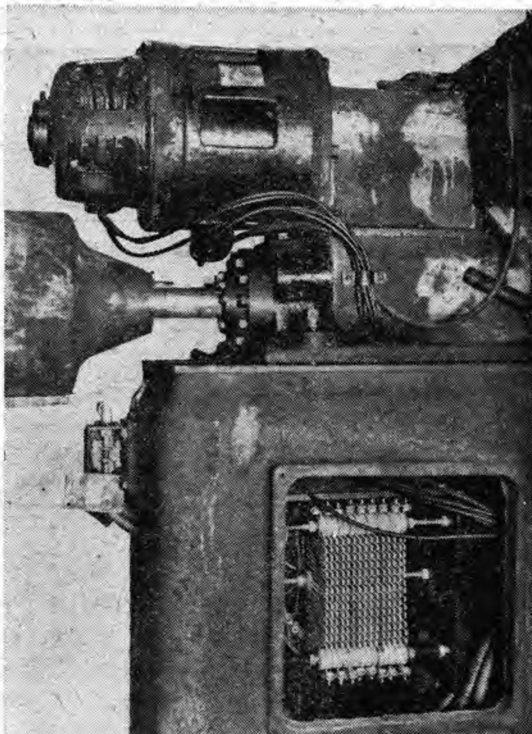
電氣的の保護として ♯1～♯6SW電源開閉器には，それぞれ適當容量のヒューズが付けてある．ピストン驅動電動機は，熱働過電流繼電器 TR によつて保護する．ピストンを試驗的に運轉する場合には，押釦 ♯2PB（6圖操作盤のポンプ）で行うことが出來る．また押釦 ♯3PB（6圖操作盤の型開）を押せば金型だけ任意に開くことが出來る．安全スイッチ ♯4PB は，金型部の保護網が閉じていなければ型開閉電動機が運轉出來ない様に，保護網の開閉動作と連動している．

4. 時間繼電器

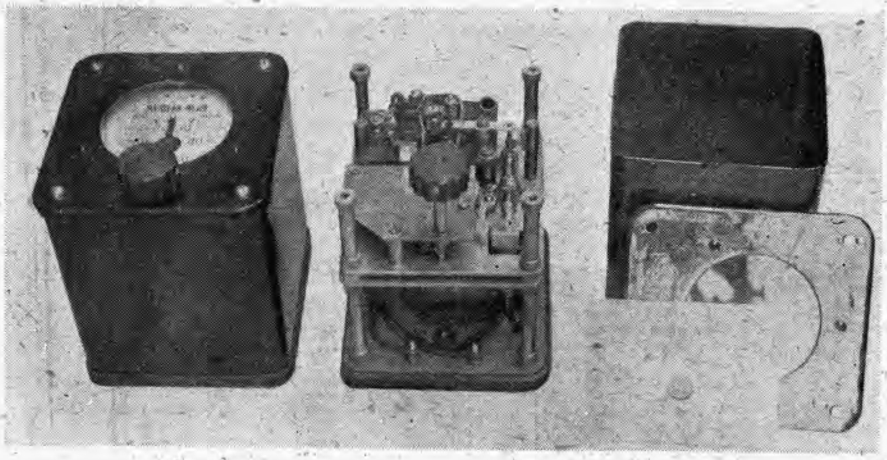
制御裝置の各動作中で述べた樣に，この自動制御裝置中には壓縮時間と，型開きから型閉じまでの時間を司る2個の時間



8 圖　ピストン驅動電動機及び制限開閉器



10 圖　ピストン驅動電動機及びその二次抵抗器



11 圖 時間繼電器

繼電器がある．兩者とも同一構造のものであつて，何れも常時閉路し，信號電流が一瞬通じることによつて，調整された時間中開路し，調整時間經過後は，再び閉路狀態に復歸し，しかも調整時間は0～50秒の間の一定時間に，外部より自由に設定することが出來る特殊な機構のものを使用しているので，これについて，今少し述べて見たいと思う．

この時間繼電器は 11 圖に見るような外觀であつて，原動機にはワーレンタイプ，シンクロナスモータを使用しているので，周波數の變動により絕對時間に對しては，幾分の誤差を生じるが，この自動成型機では或る調整された短時間を，反復動作しこの時間を常に一定に保てば良いので，上記周波數による誤差は，ほとんど問題にならない．またこのスイッチは，使用頻度が極めて大であるから，接點には銀を使用し，作動機構には，トッグル機構を採用し速斷，速接になる樣にした．

(1) 構造の大要

12 圖は接續圖を示し，13 圖は機構圖を示す．

13 圖は信號電流により，電磁石が働き，從つて時計部が運轉され，規定された時間の最後に近い狀態を示す．

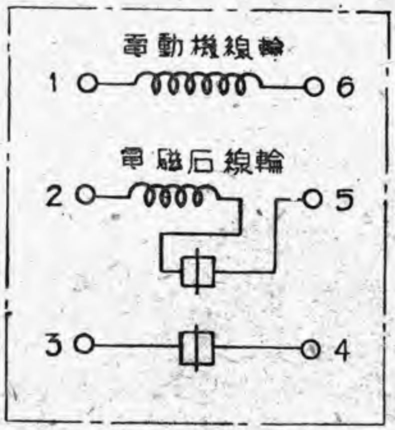
以下各部について說明する．

(a) 時間調整裝置

規定時間は，成型する製品の大きさならびに，可塑原料の材質等により決定されるもので，これに對する調整は 13 圖ツマミ⑨の回轉により⑫⑬⑪をへて⑮に傳えられ，黑指針⑥を規定時間の目盛に合せる．

(b) 時計裝置

齒車③は同期電動機①の軸に直結され 1r.p.m の回轉が與えられ，これが中間齒車④と嚙合い成型機運轉中は，③④共に常時回轉せられる．次に作動板②は，齒車④を持ち，③の軸を中心として④の重量により輕く反時



12 圖 時間繼電器接續圖

計方向に回轉し得る構造である．

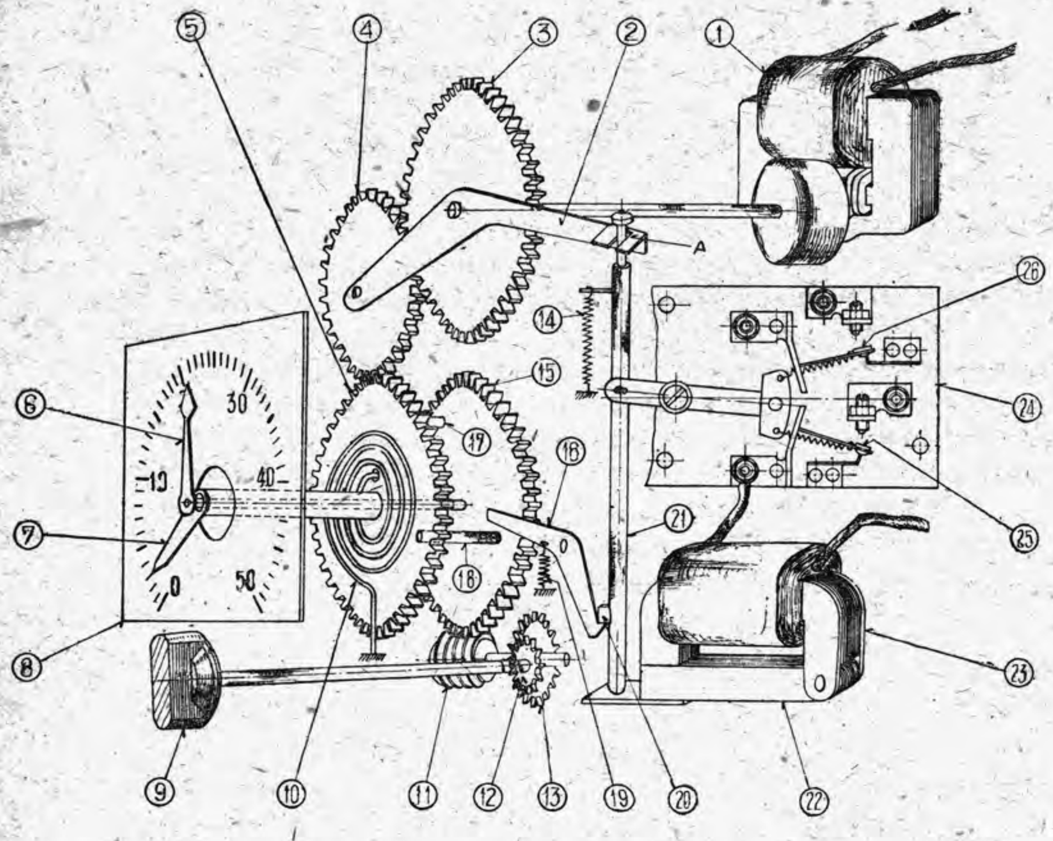
指示裝置の齒車⑤と赤指針⑦は，調整用黑指針⑥と同軸にあり，齒車④と嚙合つていないときにはバネ⑩により時計方向の回轉力を受け，⑤上のピン⑱は⑮上のピン⑰に衝突した位置で止まり，このとき⑦は⑥の眞下で重なる位置にある．

(c) スイッチ部分

スイッチ部㉔は，作動桿⑫の上下によつて作動するもので，可動片㉕㉖は同時に斷，接，を行う構造である．

(2) 動作の大要

13 圖 は前にも述べた樣に信號電流によつて電磁石が働き，時計部分が運轉され調整された時間の最後に近い狀態であつて，この狀態より更に⑦が回轉して目盛の零を指示する瞬間⑱はバネ⑲に抗して⑯の上端を押上げ⑯の下端切かき部と⑳とのかゝり合いを外す．このときバネ⑭により作動桿㉑は落下し，㉑上部ツバが②のA部を押下げるから④と⑤との嚙合いは外される．



13 圖　時間繼電器機構圖

④と⑤の嚙合いが外されると，⑤はバネ⑩により自動的に⑱は⑰に突當つた位置まで戻される．別にスイッチ部は㉑の落下により2組の接點㉕㉖は同時に接となり，次の信號を待つ狀態に復歸する．

次に或る時間經過して信號電流が來ると，㉓の線輪は勵磁されバネ⑭に抗して㉒㉑を押上げると⑯は⑲により反時計方向の回轉力を受けているので，⑯の切かき部と⑳とは引掛りスイッチが斷となつても電磁石可動片を吸引した狀態に㉑を保持する．

時計部分は㉑が引上げられるので②のA部は開放され④の自主によつて④は⑤に嚙合い，⑤⑦は回轉し調整された時間だけスイッチを斷の狀態に制御する．

5 結　　言

以上述べた樣に，自動射出成型機は，從來の手押成型法が金型に原料粉を入れ，ハンドプレスで加熱，加壓，成型されるのに比し，成型機中で自動的に計量された原料粉が豫め溶融され，それが非常に高い壓力で自動的に金型內へ射出，冷却し，成型されるので，從つて自動射出成型法は手押法に比し大量生產が可能であるから，製品原價の低廉，自動的操作による人件費の節約，手押法に比し高壓，高溫を用いるので一般に機械的性質は優良，また型の永續性と相俟つて，同一の型を用いて完全に同一規格のものを多量に製造することが出來る等有利な特長を持つている．

最後に本文を書くに當つて，格別の御配慮，御協力を頂いた自動射出成型機の製作者名機製作所殿の御厚意を深謝する．

オート三輪車用新型電装品
BK型イグニションダイナモ
RK型自動電壓調整器

戰前昭和8年頃からオートバイを改良し後方に比較的大型の荷箱をつけたいわゆるオート三輪車なるものが急に發達し，非常に重寶がられていることは御承知の通りであるが，當社においてはこの頃既に製作を始めていたボツシュ型の點火用斷續裝置を持つた小型充電發電機すなわちB型イグニションダイナモ及びこれとほゞ同目的で作られているD型と稱するマグネトーダイナモをこのオート三輪車用として世に送つて來た．兩者共小型でありながら總ての點において完全な機能を有し，製法の進歩に伴い數次に亘る改良を加えつつ戰前戰後を通じ，斯界の需用を充して來たが最近米國自動車からの大きな影響等により，その高速化が叫ばれ法規の改良により發動機の馬力の急激な増加を見るに至つた．その結果車速の向上に伴い前照燈の明るさを増すため充電裝置もその出力を2倍近くに増大する必要が生じてきた．この要求に答えしかもより確實な充電裝置を得るため，今回舊B型に大改良を加えて完成したものがここに説明するBK型イグニションダイナモ及びRK型自動電壓調整器である．

姫路工場　宮崎秀夫

1. 緒　　言

戰前の米國車は高級車を除き殆んど凡てが第3刷子式すなわち定電流式を採用して來たが，戰時中ワット數の増大に伴いこの定則は全く一變して，現在では定電流式充電裝置を持つた車は一臺も見當らない狀態である．このことは蓄電池の壽命を考えれば當然の歸結であり，負荷の變動に伴つて自動的に發電量が調整され從つて過充電の心配がない定電壓式充電發電機である本機が全く理想的機能を持つていることは以下數項に亘る説明で了解されることと思う．定電壓式である點はB型と變りはないが出力はB型が 35W であつたのに對し 60W と大容量になつている．また電壓調整器に機能完全でしかも故障の少い高級自動車用の型式を採用し，機構が單純になつているため不調を來した場合も調整は極めて容易である．調整器自體が多少大型になつたゝめ發電機から分離させて調整等の樂な自由な位置に裝着出來る樣にした．

容量が大となつたため全體として多少大型となつたのは止むを得ないが取付關係はB型と同じく萬國共通の寸度になつている．

2. 特　　徵

細部に亘れば改良された點は多いが，使用者側にとつて好都合な特徵を擧げれば，

(a) 出力が 35W から 60W になつたゝめ容量に不足を感ずることは凡ゆる場合を考えて殆んど無い．しかも充電開始速度が低下された．

(b) コンミューテーターが完全な V型雲母式になつているため，良く高温狀態の振動に耐える．

(c) 電壓調整器及び充電スイッチが各獨立した機構になつているため，理想的な特性を持たせることができ定電壓式の長所を充分發揮できる．

(d) 電壓調整器自體の構造が單純化されているため，調整が極めて簡單でしかも圓滑である．

(e) 歯車の歯形が改良されているため，强度は増加され，運轉は靜かである．

(f) 緩衝裝置が改良され，より確實な作用をする，

以上の樣に種々改良されたが，これに伴い

(イ) 重量が 3．72kg から 5．0kg に，35% 増加した．

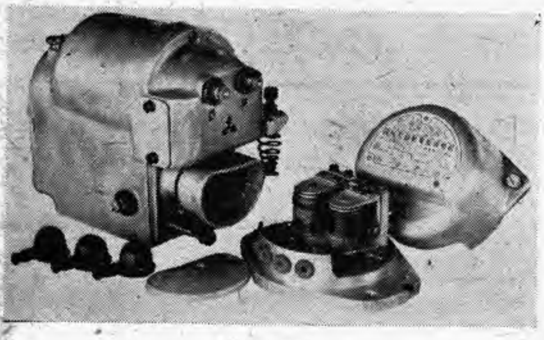
(ロ) 電壓調整器が發電機から分離したため，裝着場所を別に考慮する必要がある．

この(ロ)項は同時に發電機自體の冷却を良くすること，及び調整等の容易な振動狀態の良い裝着場所を自由に撰び得られると言う長所を併せ持つている．

3. 外形及び構造

1圖の樣な外形を持ち，内部結線圖は2圖に示されてい

る從來のB型に比して變つた主な點は，電壓調整器が分離されたことであるが，構造の大要は3圖に示す通りであり，取付寸度はB型と全く變つていない．全體の構造は，點火用斷續器のカム軸を發動機點火に好都合な低速に，發電機アーマチユアーを能率の良い高速に運轉出來るよう，齒車で約4倍に速度を上昇している．このため比較的小型でありながら最も完全な點火と，大能力の充電作用を行う事が出來るのである．

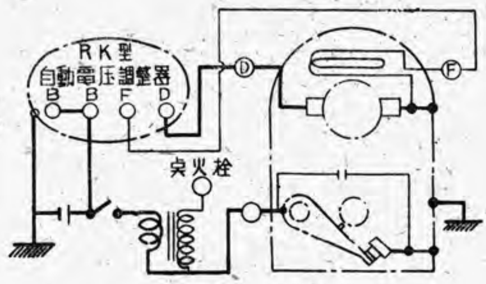


1　圖

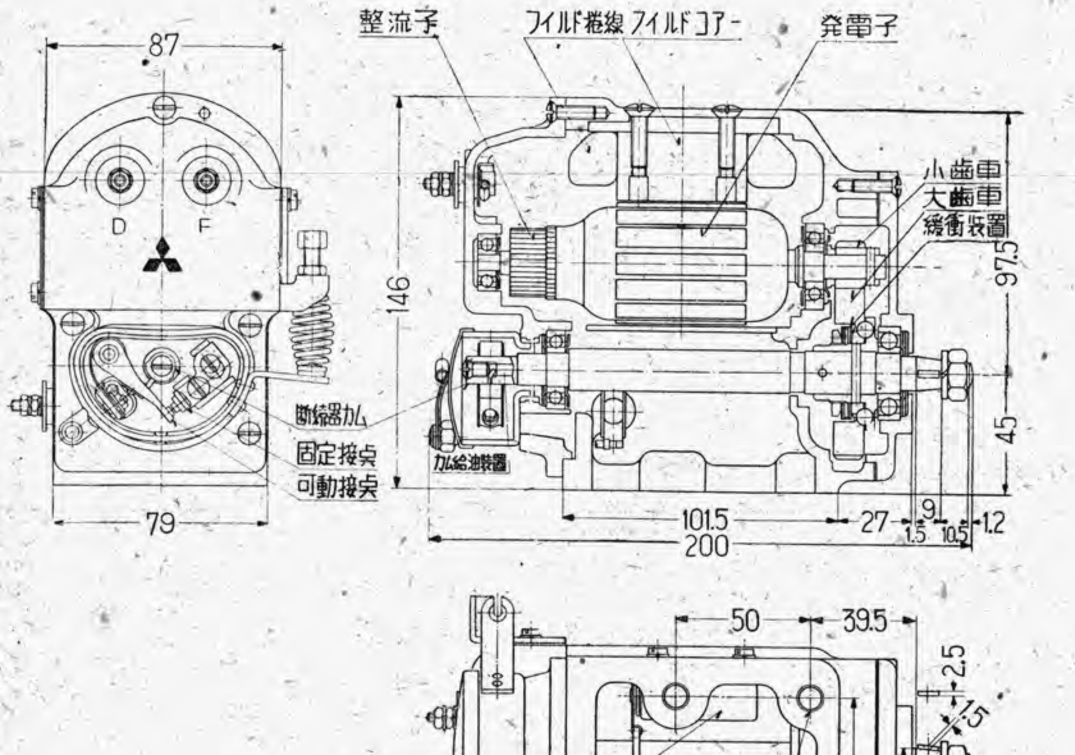
(a)　斷續器及び蓄電器

驅動軸は發動機のクランク軸の丁度半分の速度で回轉する．斷續器の構造は3圖に見られる樣に，カムによつて動かされるレバーの先に接點を有し，この接點と固定接點との間で點火線輪の一次回路を開閉するのであるが，このカムは驅動軸の他端に形成せられている．

BK−1型すなわち單氣筩用のものでは驅動軸1回轉に，1個の火花を發生する．すなわちクランク軸2回



2　圖　BK型 ダイナモ結線圖



3　圖　BK型イグニシヨンダイナモ

轉に，1 個の火花を發生することとなり，發動機側の要求に全く合致した點火數が得られる．この場合電力消費の少ないB－1 型イグニションコイルが賞用されるが，一般自動車用のコイルを使用しても差支えない

BK－2型ではカムの突起は 2 個になつており，2 氣筒の車に使用される．イグニションコイルとしてはB－2 型が用いられる．

斷續器可動片すなわちレバーには，特殊强力鋼板を壓延成形したものが使用され，接點には高純度のタングステンが使用されており，確實な電流の斷續が行われる．斷續器の點火早め角度は 20° になつているが，この角度は發動機の運轉狀況に對して最良の點火位置を求めるに最も好都合の角度と推奬されている．

斷續器に關連して蓄電器が機體內に裝着されているが容量は 0.25μF で，耐濕耐振型のこの蓄電器は，接點の保護に申分のない性能を持つている．

(b) 齒車緩衝裝置

大小一組の齒車を使用し，4.16倍に速度を上げているが，吟味された材質に最も適當な熱處理を施し，1 個 1 個嚴密な檢査工程を經た齒車にはB型時代から多大の稱讃を得ている．大齒車の中には特殊緩衝機が裝置されており，運轉中外部から來る大小の衝擊によつて各部が損傷されるのを防いでいるが，この裝置はB型に比してより確實である．

(c) 發　電　部

齒車を經て高速に回轉する樣設計された發電子は，從來のB型に比して約 60 %大形である．改良された耐熱型整流子と共に良く大出力に耐える．

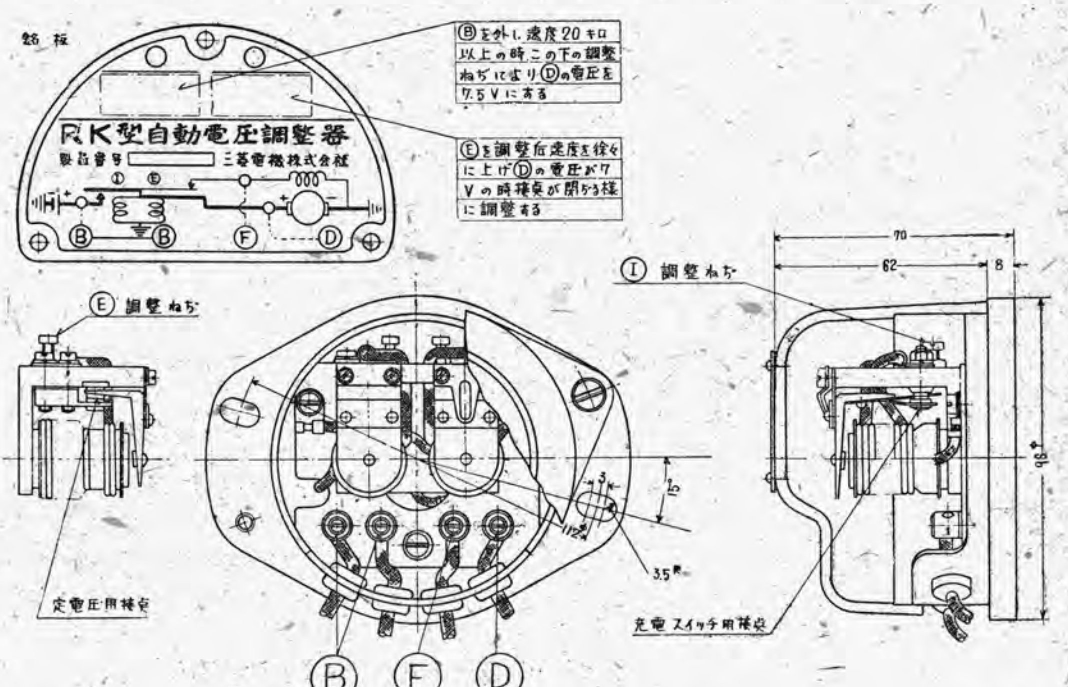
フイルド捲線は最も簡單な 1 個のコイルからなり，一端は接地され他端は端子を經て外部に出るが，この端子は電壓調整器のF端子に結合され，自動的に調整されたフイールド電流が流れて，よく定電壓式の特長を發揮する．刷子は良質な金屬黑鉛質のものが正負側に各 1 個使用され，大きさは 5 粍×10粍である．

4. 自動電壓調整器

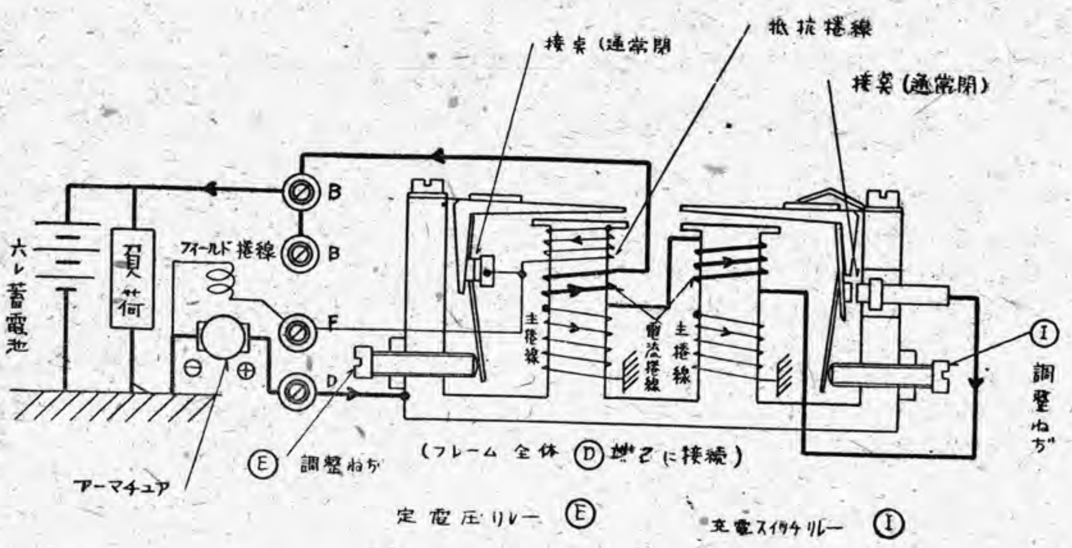
1 圖の樣な外觀と，4 圖の樣な構造をもつている．圖からわかる樣に，定電壓用リレー Ⓔ と，充電スイッチ用リレー Ⓘ が，並んで取付けられる．銘板には骨組となる結線圖と簡單な調整法が記してある．

(a) 停止時には Ⓘ リレーの接點は開いており，發電機 ⊕ 側は 2 個のリレーの電壓コイルとフイールドコイルに連なるほか，外部にはどこにも接續されない．

(b) 發電機の速度が上つて，電壓が約 7V になると，(約 450r.p.m.) 最初 Ⓘ リレーが作動し，その接點が閉じ，蓄電池は充電狀態におかれる．しかしこの狀態で



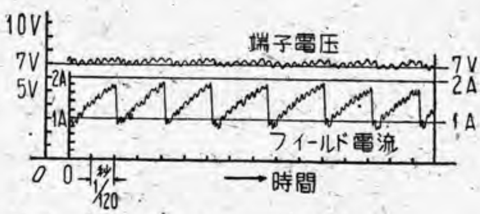
4 圖　R K 型 自 動 電 壓 調 整 器



5 圖 RK型自動電壓調整器結線圖

は回轉速度未だ充分でなく，2A 程度の充電電流による電機子反作用その他のため端子電壓は 6～6・3V程度に降下し，充電能力は未だ充分でない．

(c) 回轉速度がこれよりやゝ增加すれば電壓は增大するが，約 7Vになればⓔリレーが動作し，フイールドの回路を切斷する．これにより電壓は降り，Ⓔリレーの電磁石は弱められる．從つて再びこの接點は接續され，かくしてフイールド電流が流れると電壓は上昇する．この動作を每秒數十回繰り返すことにより，結局發電機の端子電壓は充電に好都合なほゞ一定の電壓に保たれる事になる．理解を容易にするためフイールド回路が斷續されると云つたが，實際の回路は5圖に示されている樣にフイールド回路に直列に入つている 40Ω の制御抵抗が，接點により短絡されている瞬間電壓は上昇し，短絡されない瞬間に電壓は降下するのであるが，この場合のフイールド電流の變化する狀態，及びこれに伴い自然に發生する端子電壓の輕微な脈動の狀態を6圖のオスシログラムに示す．この樣にしてほゞ一定の端子電壓を得る事が，定電壓式の根本原理をなしていることは云うまでもない．本發電機においては負荷電流の狀態によつて變化するが，大約 2000r.p.m. すなわち發動機の回轉數が 4000r.p.m. まで，この定電壓性を持續できるから，極く低速度で運行する場合 (15km/h 程度以下) 以外，どんな速度で走つても充電作用はその速度に關係なく行われる．從つて高速運轉または登坂運轉に際して，蓄電池に最も警戒される過充電を起す心配は全くないわけである．



6 圖 フイールド電流と端子電壓の脈動
(驅動軸1000r.p.m. 蓄電池負荷 8.5A の場合)

(d) 極めて低速度になり，發電機の電壓が降下すれば，約 400r.p.m. の時Ⓘリレーが働き，この接點は開いて，蓄電池との連結を斷ち，大きな逆電流により，諸捲線が燒損される事を防止すると同時に，無益な電池の消耗を防いでいる．

この自動電壓調整器に再調整の必要が生じた時は信賴出來る電壓計によつて，端子電壓を測定しながら，各リレーに1個宛着いている調整ねぢを，下記に從つて調整する事により簡單に行い得られる．

Ⓔ 調整 (定電壓特性の調整)

先ずⒷ端子からパネルスイッチ等に行つている電線を外し，車の速度が 20 粁時以上の時，すなわちダイナモが 700r.p.m. 以上の時 (1000r.p.m. が良い) Ⓔ印の下にある調整ねぢによりⒹ端子と機體との間の電壓を 7.5V に調整する．

Ⓘ 調整 (充電スイッチの調整)

Ⓔ調整が終つてから，ダイナモの速度を落した後，徐々に速度を上げ，やはりⒹ端子に入れた電壓計の指示

が 7V になつた時丁度接點が閉ぢる様に調整する．この場合

Ⓔリレーは調整ねぢ 1 廻轉により，端子電壓を大約 2.5V 變動させることが出來，締めれば電壓は上昇し弛めれば降下する．

Ⓘリレーは調整ねぢ1廻轉により，閉路する時の端子電壓が大約 1V 變動し，締めれば上昇し，弛めれば降下することはⒺリレーの場合と同様である．

この調整方法は銘板に書いてあるのと同じ方法であるが，これによつて實用上ほゞ完全なる調整が出來る．どうしても充電能力が不足勝ちな車の時は，Ⓔ調整のねぢを約 1/8 廻轉締める様にすればよい．電壓計なしで1/8廻轉以上調整する事は決してない様注意することが必要である．

その他5圖に見られる様に，各リレーコイルに電流捲線（太い捲線）が數回捲かれているが，定電壓用リレーに2回捲いてあるのは，事故その他の場合に過大電流が流れないためでダイナモ自體を保護している．充電スイッチ用リレーに 10 回捲いてあるのは，一旦閉路したらこゝに流れる電流によつて，接點を確實に接着せしめ振動等によつて開放しないためと瞬時逆電流によつて，開路動作を確實にするためである．

以上でＲＫ型自動電壓調整器の構造調整法等を説明したが，かくて一定電壓に保たれた充電發電機は，完全充電の狀態にある蓄電池には殆んど充電電流を流さず，放電して電壓の降つた電池には充分な能力を以つて短時間内に充電を完了する．ライトを灯ければ回路の電壓がやゝ降下するため，大電流を發電し晝間は小電流で運轉すると云う様な，しかも速度には無關係に凡ての使用狀況に全く合致した，理想的な運轉狀態の調整が自動的に行われるものであり，故障の原因となる様な構造をもたない本自動電壓調整器は非常に喜ばれるものと信ずる．

5. 性　　　能

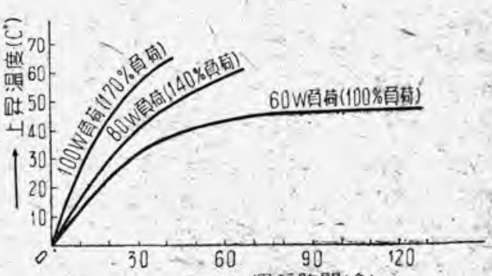
連續運轉で 60W の出力を持つこのイグニションダイナモは，完全な定電壓特性を持つた充電裝置と，最も確實な點火用斷續器を備えている事は，前記の通りであるがその中特に充電裝置についての性能を述べる事にする．

定電壓式充電裝置の特長は，電池の充電狀態の程度により，また負荷の輕重により，自動的に發電機の出力が調整されることのほか，定電流式すなわち第三刷子式の發電機が最も適當な或る回轉速度においてのみ，規定の出力を出し得，他の速度では呼稱の出力さえ出し得ないのに對し,短時間の負荷ならば,定格出力の2倍程度の出力さえ持つている點である．本機の 60W と稱する出力も，この性質によつて非常に無理のきく値である事を了解願いたい．

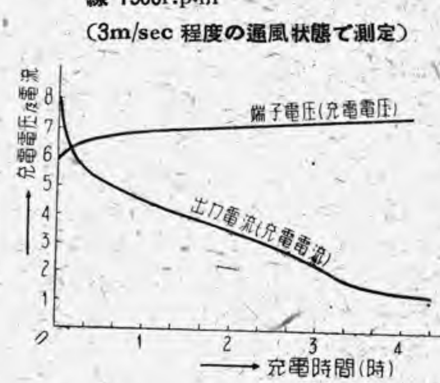
7 圖は本機の温度上昇曲線であり，この曲線から60W出力の時，約2時間で温度上昇が 47°C となり，これより長時間に亘つて運轉しても，温度はこの値以上にはならないことがわかるが，このことはこの發電機が 60W の連續運轉に充分耐えることを示している．

參考のため 80W 及び 100W 負荷の場合の曲線を示したが，短時間ならばこの様な出力も期待し得ることは前に述べた通りである．實際の使用狀態を考えるため 10AHの電池と組合せた場合を例にとれば，端子電壓が 5•3V に降つた様な過放電蓄電池の場合でも，最初は 8A 程度の充電電流が流れるが，充電と共に次第に減少して，4A 程度が續き，約3時間の後には，ほゞ完全充電の狀態になつて，電流は 1•5A 程度に低下してしまうのである．

8 圖はこの場合の充電電壓と，電流が時間と共に變化



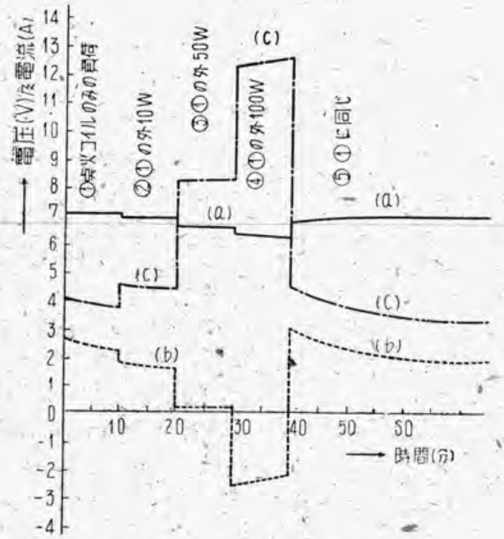
7 圖　BK型イグニションダイナモ温度上昇曲線 1500r.p.m
（3m/sec 程度の通風狀態で測定）



8 圖　BK型イグニションダイナモ充電特性例
10AH蓄電池を完全放電の狀態（閉路電壓約5.3V）から充電する場合電流が充電進行とともに自動的に變化してゆく狀態を示す

する狀態を示す實驗値で充電末期になつても電壓の上昇が見えない事と，電流が低下する樣子を見れば，電池が如何に保護されているかがうなずかれる．この曲線からもわかる樣に，他に負荷なく，たゞ充電だけに使用されている間は，電流は 5A 程度でダイナモに 60W の負荷はかからないが，點灯したまゝ充電する場合，大きな電球等を灯け充電が自然に停止される樣な場合，スポットライト等極めて大きな負荷がかかり蓄電池は逆に放電する場合，等を例示した曲線が9圖であり，圖からわかる樣に，或る場合には 100W 近くの出力を出す事が容易に理解できると共に，この自動電壓調整器が全く合理的にその役を果してゐる事がわかる．

充電開始速度は約 450r.p.m. で，一旦充電を始めれば約 400r.p.m. まで電池回路が切斷される事はなく，この事は相當な低速においても充電は繼續されている事を表わしてゐる．10 圖にはこのスイッチの閉路する點を鎖線で表わしてあるが，この圖及び 11 圖から，無負荷及び抵抗負荷の場合の種々な特性がわかる．



9 圖　負荷の變動に對する諸特性

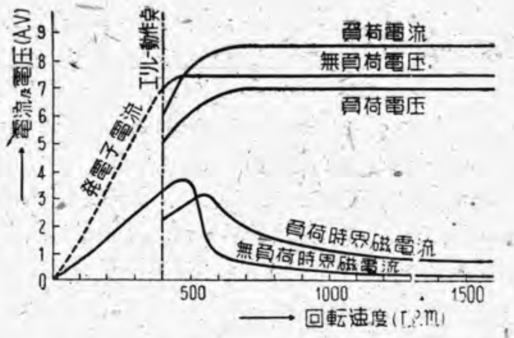
10AH 蓄電池を使用した回路で負荷を 10 分ごとに種々變化させた場合

(a)　端子電壓

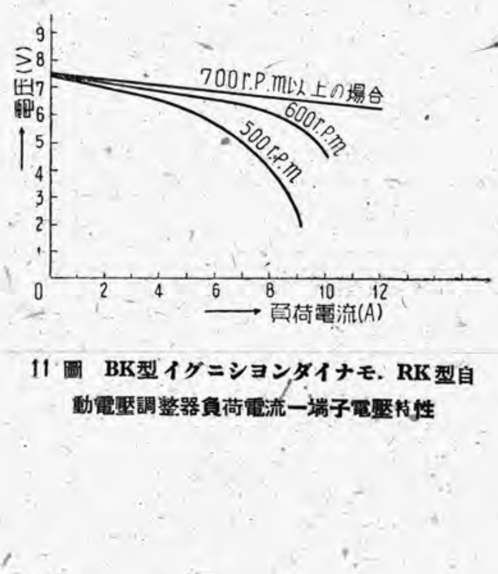
(b)　充（放）電電流

(c)　發電電流

が變動する狀態



10 圖　BK 型イグニションダイナモ．RK 型自動電壓調整器の諸特性（60W抵抗負荷及無負荷時の特性）



11 圖　BK型イグニションダイナモ．RK型自動電壓調整器負荷電流一端子電壓特性

6. 結　言

以上數項に亘つて新製品BK型イグニションダイナモ及びRK型自動電壓調整器の説明紹介に力めたが，20年に亘る永い經驗をもとにし新しい智識と技術を取入れ，細心の注意と檢査の上出來上つたもので，充分の滿足を願えるものと思うが，新製品の事でもあり，あるいは思わぬ缺點も絶無とは云い難く，この點使用者諸賢からの何分の御支援を賜わり，できる限り改良に努めたいと考えるので，御氣付の點等できるだけ御助言戴きたく，最後に御願い申上げる次第である．

621. 564

冷媒中の水分と絶縁抵抗に關する實驗

冷媒の良否が冷凍機の品質に大きな影響をもたらすことは今更言うまでもない．特に密閉型のものでは電動機の特性にも關係するので，現在我々が使つている冷媒について二三の實驗を行い含有水分量の測定と，その多寡による電氣的性質の優劣を究明した．なお冷凍機油に對しても同樣のことを行い，これから受ける卷線試料の絶緣抵抗の低下を觀察した．

名古屋製作所　大野寛孝
服部　謙

1. 緒　　言

20年程前にはまだ實用の域に達していなかつた密閉型冷凍機は幾多の改良進步を經て，現在一般に見られる程度になつた．しかし個々の問題を取上げてみると改善の餘地は隨所に發見される．機械的には外界との完全な遮斷音響および振動の低減，化學的には冷媒，冷凍機油および有機無機電氣絶緣材料等の質向上，電氣的には驅動電動機の特性を高め，延いては消費電力の節約から機械部分の小型化等枚擧にいとまがない．そこで我々は先ず，冷媒と電動機の絶緣抵抗の關係に注目し，現在までの經驗と思惟とから一つの結果を得ようと試みた．

2. 冷凍裝置內の水分

冷凍機械の製造，据付，サービス等に當り濕氣の問題は忽せにできない事柄の一つで，冷凍裝置內の水分量を許容値以下に保つ事は良好な運轉を行わせるのに是非共必要なことである．さて，この冷凍裝置內に存在する水分の根源としては

a. 乾燥操作の不充分による裝置內部に遊離して存在する水分と內部物質表面に吸着された水分

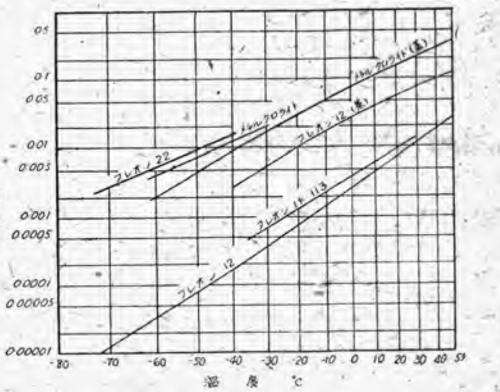
b. 冷媒や冷凍機油に含まれている水分

の二つがその主なものと考えられる[1]．

冷凍裝置內の水分のため發生する障害は冷凍機製造者やサービスマンには周知の事でありまたこの問題については種々報告されているがその主なものを揭げて見ると

a. 最も顯著な結果はハロゲン系冷媒を使用する冷凍機械で膨張辨，毛細管あるいは冷却器中に水分が凍りつき，冷媒の循環を妨げる事である．この現象は冷媒への水分の溶解度に關係し水分溶解度の小さい冷媒程凍結を生じやすい．例えばメチルクロライド(CH_3Cl)を使用する場合よりもフレオン 12 (CF_2Cl_2)の方が遙かに凍結を生じ易いものである．1 圖は各種冷媒の水分溶解度を示す[2]．

b. 金屬を腐蝕しスラッヂを形成する．水分の存在により亞硫酸ガス(SO_2)，メチルクロライド，フレオン12はそれぞれ硫酸，鹽酸，弗化水素酸を生じ，これら



1 圖　冷媒の水分溶解度及び蒸氣相中の最大水分量

の酸は金屬と反應して金屬鹽スラッヂを生成する．スラッヂは油の分解によつても生ずるのであるが冷凍裝置內のスラッヂの約 90 %は水分によるものと言われている[3]．

c. 冷媒と水分との化學反應によつて形成される酸が電氣絶緣物に危害を及ぼし絶緣を劣化させるこれらの水分の存在による腐蝕を避けるためには冷凍裝置內の水分を 0.02 % 以下にすることが望ましい．フレオン 12 の場合には幸いこの値は凍結を起す値よりも遙かに大きいので實際にはこれらの作用は起らないが，メチルクロライドや亞硫酸ガス等を使用する場合にはこの問題について充分注意することが肝要である．

3. 水分量の測定

本稿では冷媒や冷凍機油に各單獨に含有する水分量の測定方法について述べたのであるが，これらの方法の中，或ものは冷凍裝置の乾燥度や運轉中の冷凍裝置の水分量の測定にも應用する事ができる．

ア．冷媒の水分量測定

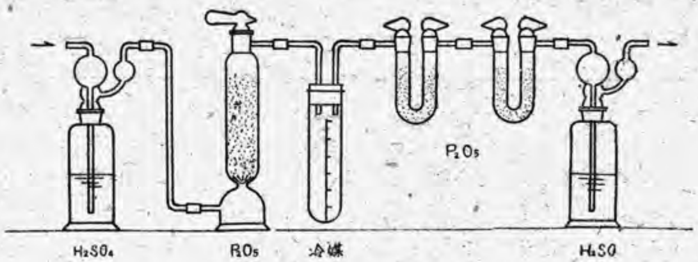
ハロゲン系冷媒においては液相中の水分量と蒸氣相中の水分量との關係について考慮する必要がある．今液冷媒と水を入れた密閉容器の空間を滿す氣體について考えて見ると，液冷媒の溶解度以上の水分が存在する場合，密閉容器の空間はその溫度における飽和水蒸氣と冷媒の飽和蒸氣によつて滿たされる．この時の水蒸氣と冷媒蒸氣の密度の比をその溫度における蒸氣相中の最大水分量とする．蒸氣相中の水分量と液冷媒への水分溶解度との比は水分量が飽和値以下の場合にも適用出來る(4)ので，何れか一方の水分量を求めれば他相の水分量を知ることが出來る．このため冷媒中の水分量を測定する場合蒸氣相で測定するのが容易であつて誤差の導入も少ないが，冷媒中に遊離水分が存在する程度に水分量の多い場合とか，冷媒中の水分以外の不純物の定量をも行いたいような場合，あるいは亞硫酸ガスの場合等には液狀試料を採取して水分量の定量を行う必要がある．

（1）秤量法

五酸化燐（P_2O）に冷媒蒸氣を通した時，その重量增加より水分量を求める方法であつて水分測定法の基準とされている．しかしこの方法は1回の測定に5，6時間を要しかつ或程度その操作に熟練を必要とする缺點がある．

a．液相中の水分量測定

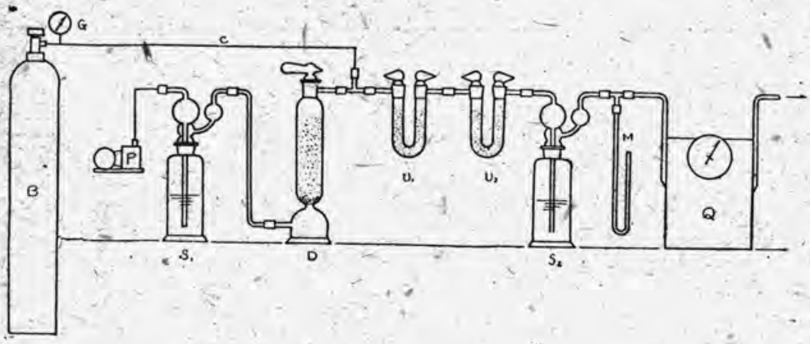
2圖の樣に裝置し，最初回路に空氣を通して試驗管配管等を乾燥される．この操作中約20分おきにU字管を秤量し，增量が零となるまで繰り返し續ける．U字管の重量が一定となつた後試驗管を外して秤量し，これに液冷媒を約 100 c.c. 採集し再び回路に接續する．蒸發する冷媒蒸氣はU字管，洗滌瓶を通して大氣中に放散させる（この時乾燥塔の辨は閉じておく）．たゞし SO_2 の場合には水あるいはアルカリ溶液中に放出させる方が良い．冷媒は約4時間で蒸發し終るように熱絕緣をするかまたは SO_2 のように蒸發緩慢なものは加熱する．蒸發し終つたならば乾燥塔の辨を開き試驗管を加熱しながら約20分間空氣を通す．これが終つたならばU字管を秤量する．次に再び20分間空氣を通してからU字管を秤量する．この操作はU字管の重量が一定になるまで繰り返えす．普通3回ないし4回この操作を繰り返えす必要がある．この樣にしてU字管の增量と，採集した液冷媒との重量比をもつて水分量とする．また最後に試驗管を秤量して，その增量を求めこれと冷媒の重量との比をもつてスラッヂとする．



2圖 液冷媒の水分測定

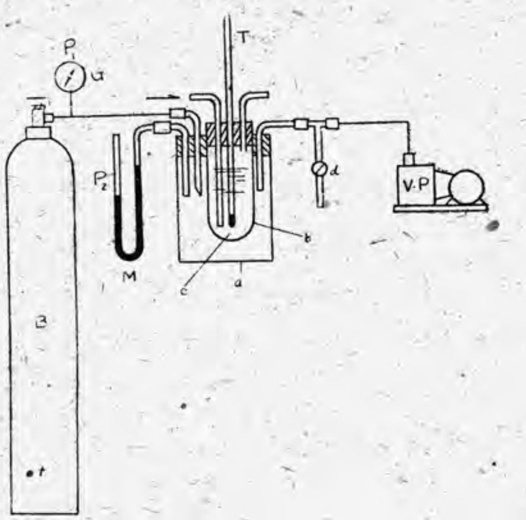
b．蒸氣相中の水分測定

液冷媒約100 c.c. に相當する冷媒蒸氣を4，5時間五酸化燐を通した後その重量增加を求め，これと冷媒蒸氣重量との比よりその水分量を知る方法である．この方法では冷媒の蒸發による溫度の低下が無視できる程度である事が必要條件である．冷媒蒸氣通過後は前項に述べたように空氣を通して五酸化燐に吸着された蒸氣を追い出す．（3圖參照）



3圖 冷媒蒸氣の水分定量

B……冷媒シリンダー
G……壓力計
C……毛細管
P……空氣ポンプ
S_1,S_2…H_2SO_4 洗滌瓶
D……P_2O_5 乾燥塔
U_1U_2…P_2O_5 U字管
M……水マノメーター
Q……ガスメーター



4 圖　露點法による水分測定

B……冷媒シリンダー
G……壓力計
M……水銀マノメーター
T……寒暖計
V.P…眞空ポンプ

（2）露點法

ルニヨーの露點濕度計を4圖のように改造した構造で，圖中 a はガラス容器，b は銅の表面に鍍金をして充分磨いた容器である．c はエーテル，メチルクロライド，フレオン 12 のいずれかを入れ，これに空氣を送つて蒸發を促し，低温を發生させる．この低温のために b に霜を結ぶからその温度を寒暖計Tで讀む．大氣壓における冷媒の沸點で b に着霜しない時は a の壓力を低下させるため d を切り換えて眞空ポンプ V.P.につなぎ，P_1, P_2, T を測定すれば冷媒蒸氣相中の水分量を求めることができる．すなわち

P_1	=冷媒シリンダーの飽和冷媒壓力	kg/cm² abs.
P_2	= a の壓力	mmHg
T	=露點	°C
t	= P_1 に相當する冷媒温度	°C
P_{wd}	= T における飽和水蒸氣壓力	mmHg
P_T	= t における飽和冷媒密度	kg/m³
k	=蒸氣相中の水分量	%

とすれば k は次式で與えられる．

$$k=\frac{P_1\,P_{wd}\times10^5}{46.96\ (273.1+t)\ P_2\ P_T}\quad \%$$

この方法は簡單で確實なものであるが水分量の少い場合にはその測定が困難である．そのため比較的水分量の多い冷凍裝置内の水分量測定あるいは冷凍裝置の乾燥度の測定に應用すれば便利である．

（3）赤外線法

液冷媒に赤外線を透過させた時その吸收割合より水分量を求める方法でフレオン 12 中の水分測定に當つて 2.67 μ の赤外線を使用して良い結果を得たと報告されている[5]．しかしこの方法は水分以外の不純物の影響を受けかつ裝置の構造が複雜なため餘り良い方法とは思われない．

（4）電解質被膜の抵抗變化による方法[6]．

金屬電極間の固體絶緣物の表面に塗つた電解質溶液被膜の電氣抵抗が濕度によつて變化するのを利用したもので豫め水分量の判明した氣體で較正しておく．この方法は簡單で操作も比較的容易であるから良い測定法である．

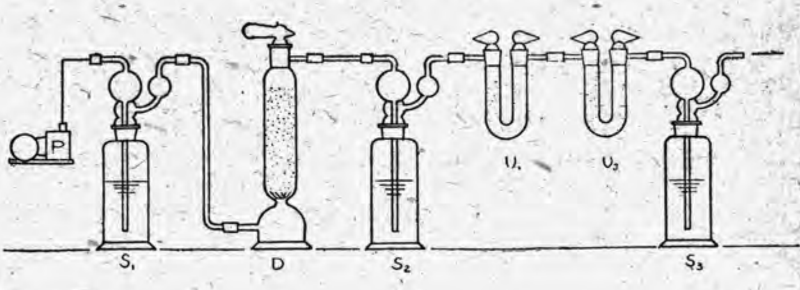
（5）吸濕による變色物質を利用する方法

鹽化コバルト，鹽化ブロマイド等は吸濕によつて變色するからこれらの物質で豫めシリカゲルを着色しておき，これに測定せんとするガス體を通した時その變色に要した時間によつてこのガス體中の濕氣の大體の目安を得るのである．アメリカではモイスチヤ・インヂケータと言う名稱で販賣されているようである．本器は一定流量のガスを通した時それが變色するに要する時間によつて乾燥度を知るものであつて主にサービス用として冷凍裝置の水分を調べるのに用いられている．

イ．冷凍機油中の水分の測定

（1）乾燥空氣による方法[7]

油に乾燥空氣を1時間約4リットルの割合で通し，油中



5 圖　乾燥空氣による油中水分の定量

P……空氣ポンプ
S_1,S_3…H_2SO_4 洗滌瓶
S_2……油
D……P_2O_5 乾燥塔

で水分を吸收した空氣をU字管に詰めた五酸化燐に通す．その間一定時間ごとにU字管を秤量しその重量變化がなくなるまで續ける．重量が一定になつた時その增量と油の重量との比を水分量とする．（5圖參照）

（2） 蒸 溜 法

フラスコに入れた油を100°Cに加熱しかつ壓力を1 mm Hg 以下とし振盪する．この時水は油中の輕溜分と共に−50°C 以下の溫度に保たれたトラップに集められる．油の加熱振盪を20分行つた後トラップを低溫浴より取り出しトラップに捕捉した水蒸氣を再蒸溜し，この水蒸氣を五酸化燐に吸收させて，その增量と油の重量との比を含有水分量とする．

（3） 絕緣耐力法

本法は油が使用に適するか，どうかを定める最も簡易な方法として廣く採用されている．アメリカでは冷凍機油としては ASTM 規格に從つて試驗し 25 KV 以上の耐電壓を持つことが要求されている．

ウ. 測定結果

今日我々が入手している冷媒と冷凍機油中に含まれている水分量は何の程度のものであるか，工場で實測した數値を1表と2表に揭げた．メチルクロライドの水分量は大凡 0.05 % 程度である．他の冷媒はその試料が少くて正確なことは判らないが何れにしても水分含有量の大きいことは事實であつて使用者としてはその値を現在のものの數分の一程度まで低減されるよう希望する．

1表 冷媒の水分量および絕緣抵抗

冷媒	相	水分量 %	殘渣 %	絕緣抵抗 MΩ−cm	溫度 °C	測定年月
CH_3Cl	液	0.313	0.010	—	—	23.10
〃	〃	0.155	0.022	—	—	〃
〃	〃	0.067	0.025	—	—	〃
〃	〃	0.073	0.013	—	—	〃
〃	〃	0.213	0.015	—	—	〃
〃	〃	0.061	0.003	370	30	24.3
〃	〃	0.082	0.002	130	〃	〃
〃	〃	0.260	—	62	〃	〃
〃	蒸氣	0.056	—	36	20	24.5
〃	〃	0.021	—	18	〃	〃
〃	〃	0.049	—	19	24	〃
〃	〃	0.061	—	53	21	〃
〃	〃	0.014	—	80	23	〃
〃	〃	0.036	—	130	27.5	〃
CF_2Cl_2	液	0.0082	0.57	1,000以上	30	24.3
〃	蒸氣	0.030	—	〃	25.5	24.5
SO_2	液	—	—	7.7	30	24.3

2表 冷凍機油の含有水分量

名稱	水分量 %	絕緣耐力 kv	摘要
NS—3050	0.0060	22.6	無處理
〃	—	32.8	乾燥處理後
No. 300	0.020	17.1	無處理
〃	—	27.9	乾燥處理後

乾燥した油が濕つた空氣に曝される時は速に濕氣を吸收し，溫度と濕度によつて決定される平衡狀態に達する．この場合の水分含有量は溫度と油の性質で決るものである[8]．現在我々が入手し得る冷凍機油の殆んどは飽和狀態近くの水分を含有していると見て差支えないので，使用に當り油の乾燥を行う必要があると共にその取扱いには充分な注意がいる．

4. 冷媒の電氣的性質

冷凍機械はその構造上開放型と密閉型の二つに大別することができる．開放型とは壓縮機と電動機が單獨に存在し兩者間を適當な傳導裝置を介して運轉するもので，この場合冷媒は何等その電氣的性質について考慮する必要はないのであるが，密閉型冷凍機械では電動機，壓縮機共に密閉された一つの室に置かれるため卷線は常に冷媒及び油に曝される事になる．しかもその狀態は溫度，壓力等によつて變化する．これら物理的變化に加え化學的變化による酸の生成がある．また冷媒としてよく使われているフレオン 12，メチルクロライド等は電氣絕緣物として使用されている木棉，絕緣紙中の油分，蠟分とそれらに施された絕緣ワニス類をよく溶かす．

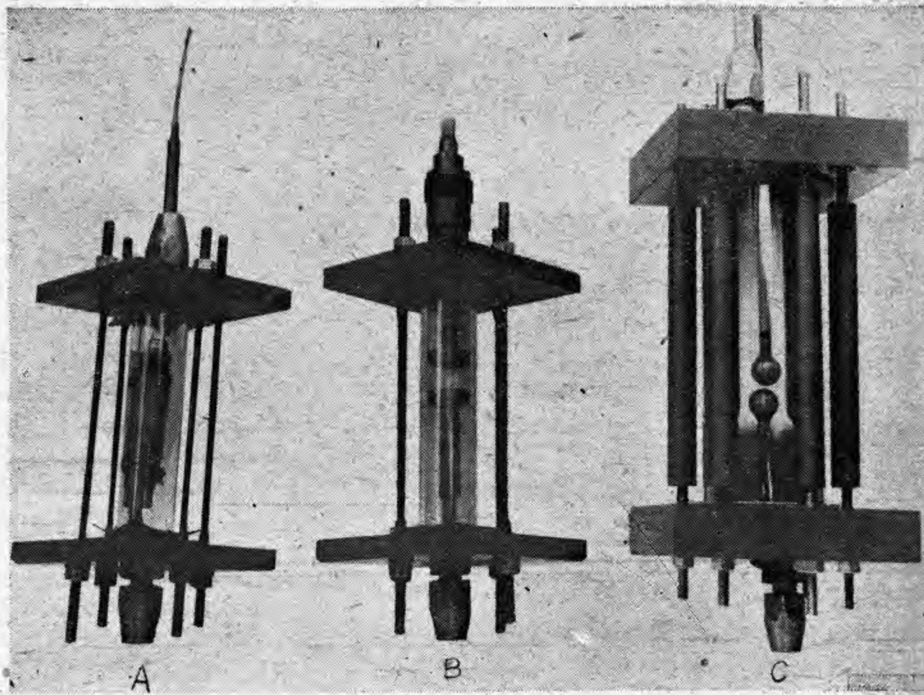
これらの問題を解く一つの鍵として冷媒そのものゝ電氣絕緣性，絕緣耐力について述べて見よう．

ア. 冷媒の電氣絕緣抵抗

液冷媒の絕緣抵抗を工場で簡單に測定する方法の一つとして次のようなものがある．すなわち2個の圓板電極を持つ耐壓ガラス管中に液冷媒を入れてメガーまたは直偏法によつて絕緣抵抗を求める（6圖B參照）この電極の中一方は動かす事が出來るので種々な長さの液柱の絕緣抵抗が測定出來る．もしガラスの電氣漏洩を無視し，その電極効果を一定とするならば，その抵抗は次式で與えられる．すなわち

6 圖

冷媒の電氣的性質を測定する裝置



$\rho = A(R_1 - R_2)/(d_1 - d_2)$

茲に　ρ＝液冷媒の固有抵抗　$M\Omega-cm$

A＝電極面積　cm^2

d_1, d_2＝電極間距離　cm

$R_1, R_2 = d, d_2$なる液柱の抵抗 $M\Omega$

測定に當り試料の汚染を防ぐため，試料をとりかえる前に，その試料で容器を用心深く洗滌しなければならない．1表に示すように液状メチルクロライドは比較的良い絶縁性を持つているが，フレオン 12 はこれより遙かに良い絶縁性を示している．冷媒の電氣絶縁性は含有水分量よりも寧ろ冷媒に含有される酸分の多寡によつて左右されるのではないかとも考えられる．

ハロゲン系冷媒の酸分の測定は試験管に試料を採集しその冷媒蒸氣を，蒸溜水を通し蒸發させた後この蒸溜水を試験管に移し，それの pH を測定して求めるのである．冷媒を乾燥させる目的で化學的變化による乾燥劑例えば鹽化カルシウムのようなものを使用する場合には，通常その絶縁性は甚だ低下するものである．このため良好な電氣的性質を要求するものに對しては乾燥劑として物理的作用によるもの例えばシリカゲルのようなものを使用すべきである．

イ．冷媒の絶縁耐力

耐壓ガラス圓筒容器中に冷媒を封入し，この中に一定の間隔を保つて直徑 12.5 mm の球狀電極をおき，これに交流電壓を加えて液冷媒の絶縁破壞電壓を求める（6 圖 C 參照）

次に冷媒の一部を容器から放出させ液面を電極以下として飽和冷媒蒸氣の絶縁破壞電壓を求める．これらの結果は 3 表に示した．それによるとフレオン 12 は非常に良好な絶縁耐力をもつている．また放電後液及び蒸氣共に殆んど變化が認められず非常に安定なことを示している．これに對してメチルクロライドの場合には電極間の液冷媒は印加電壓 5,000 V 程度より盛に沸騰を始め，放電すれば液面上は白い蒸氣で覆われ，液は黑くなる．蒸氣相における放電の際は蒸氣の白濁は液狀の時よりも遙かに甚だしく，液を振盪させればそれは液によく溶けて液は黑くなる．これはメチルクロライドが熱により分解した事を示し，この分解によつて炭素を遊離したためと考えられる．

3 表　冷媒の絶縁耐力

摘要 ＼ 冷媒 ＼ 相		メチルクロライド CH_3Cl		フレオン 12 CF_2Cl_2	
		液	蒸氣	液	蒸氣
電極間隔	mm	1.22	1.22	1.22	1.22
溫度	°C	15	15	15	15
冷媒壓力	kg/cm²abs.	4.28	4.28	5.01	5.01
水分量	%	0.028	0.036	0.0038	0.030
破壞電壓	kv	16.8	11.5	31.6	33.3
絶縁耐力	kv/mm	13.8	9.5	26.0	27.4

ウ. 冷媒中の巻線の絶縁抵抗

フレオン 12, メチルクロライド等はエナメル, ワニス, コンパウンド等を非常によく溶解する. この性質はフレオン 12 よりメチルクロライドの方が遙かに著しい. このため冷媒に觸れる巻線に, これらの處理を施したものを使用する時は溶解して軸受部や辨等に固着し, その動作を妨害したり, 冷凍回路中に粘着して冷媒の循環を妨げたりまた電氣絶縁を害うものである.

アメリカにおいては冷媒にも溶けない新様式の被覆をもつた電線が使用されている(9). 我が國でもこの系統の絶縁物の研究が進められている. ポリビニール・フオルマール被覆の電線と在来のエナメル線や上記アメリカの新線等を液冷媒に浸漬して反應を見た. その結果は4表に示すようなもので, メチルクロライドに對してはポリビニール・フオルマール被覆電線, エナメル電線共に被膜が剝離して使用に耐えないが前記米國製電線は殆んど異狀を認めなかつた. フレオン 12 液冷媒中においてはエナメル線のみ多少その被膜が膨潤するが他は殆んど異狀を認めなかつた.

液冷媒に浸漬した巻線の絶縁抵抗の變化を測定するため7圖のような銅管上に二重綿巻銅線を巻いて試料を作り, これを6圖Aのようなガラス容器中に入れて充分に眞空乾燥した後, これに液冷媒を封入しその絶縁抵抗の變化を約半年に亘つて測定した. その結果を8圖に示す. このような狀況のもとにあつては絶縁物の絶縁度の變化と見るよりも寧ろ冷媒それ自體の變化と考える方が妥當と思われる. これによつて絶縁の劣化は緩慢ではあるが漸次低下して行く. この場合もフレオン 12 は優れた成績を示している. (5表參照)

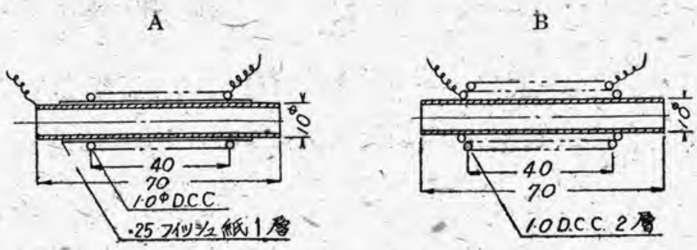
4表 耐冷媒試験

摘要 ＼ 冷媒 / 電線 / 線徑 mm	メチル クロライド CH_3Cl			
	ポリビニール フオルマール 被膜絶縁電線		エナメル線	米國製品
	1.0	0.4	0.9	0.25
冷媒浸漬前重量 g	7.021	1.1539	4.6044	0.3060
浸漬後の重量變化 g	+0.0002	+0.0006	−0.1134	−0.0002
冷媒溫度 °C	30	30	30	30
浸漬時間 h	180	122	161	134
外觀その他	被膜黑色となり處々被膜がふくれ上る. その個所を爪でこすれば被膜は容易に剝れる.	同左	被膜鱗狀となつて剝げ爪でこすれば殆んど全部被膜は取れてしまう.	異狀を認めない.
	フレオン 12 CF_2Cl_2			
冷媒浸漬前重量 g	7.0038	1.1503	4.5740	0.3060
浸漬後の重量變化 g	+0.0002	+0.0002	+0.0141	+0.0001
冷媒溫度 °C	30	30	30	30
浸漬時間 h	96	96	96	96
外觀その他	異狀を認めない	異狀を認めない	被膜多少軟くなる	異狀を認めない

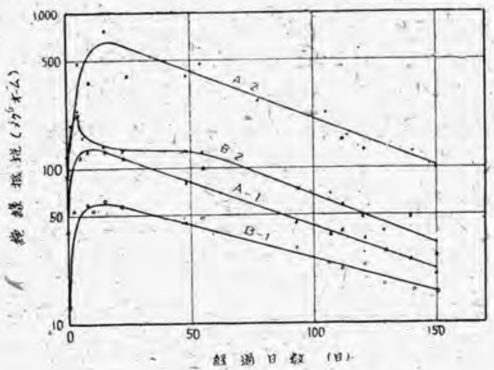
冷媒	エナメル線	飴色絶縁ワニス	黑色絶縁ワニス	ベークライトワニス	ラッカー	絶縁コンパウンド
メチル クロライド	×	×	×	◎	×	×
フレオン 12	△	◎	×	▼	×	×

註 絶縁ワニス類は規定溫度にて燒付乾燥せるものである.

× よく溶ける. ◎ 餘りよくは溶けないが甚しく軟化し爪で樂に剝れる. △ 被膜膨潤し爪で強くこすれば剝れる. ▼ 殆んど變化しない.



7圖　巻線試料



8圖　巻線試料の絶縁抵抗變化

5表　巻線試料の絶縁抵抗（常　溫）

試料 No	絶　縁	冷　媒	水分量 %	150日後の絶縁抵抗 MΩ
A－1	第7圖A	CH_3 CI	0.100	22
A－2	〃	〃	0.0086	100
A－3	〃	CF_2 CI_2	0.0082	1,000以上
B－1	第7圖B	CH_3 CI	0.100	16
B－2	〃	〃	0.0096	26

5. 結　　言

以上冷媒，冷凍機油中の水分量を主にして，これらが各種の巻線試料に對する影響を明かにした．その結果として現在市場に出ているものゝ水分量は比較的多く，一層良好な運轉をさせるにはその低減が要望される．機械製品に對る工作上の問題は我々自身で解決すべきものであるが，特に材料面では先進國のそれに比べて幾日かの遅れを感じる．我々は自らの足下を掘つて湧き出る泉を汲み上げ度いものである．なおこれだけの資料をもつて充分なものとはもち論考えていないし，中には思い違いの個所があるかも知れない．筆者等の研究は今後も續けられるが大方の御批判も仰ぎ度い．

最後にこの實驗に示唆を與えられた東京工大教授齋藤幸男博士に謝意を表して擱筆する．

（昭和24年5月記）

文　　献

(1) Howard A. Blair and Richard E. Holmes: Field Defense Against Moisture, Refrig. Eng. 57, 129～133 (Feb. 1949)

(2) Walter O. Walker: Moisture and Drying Methods, ANSUL NEWS No. 3

(3) Walter O. Walker: Solids in Refrigration System, ANSUL NEWS No. 1 (1948)

(4) H. M. Elsey & L. C. Flowers: Equilibria in Freon-12-Water System, Refrig. Eng, 57, 153～157 (Feb. 1949)

(5) A. F. Benning, A. A. Ebert and C. F. Irwin: Water Determination in Freon-12 by Infrared Spectrophotometry, Refrig. Eng. 56, 166～170 (Feb. 1948)

(6) Weaver and Ralph Riley: Moisture Determination by Electrolytic Film, Refrig. Eng. 56 (Feb. 1948)

(7) 平井平八郎：恒溫恒濕下に於ける絶縁油の特性，「電學誌」58, 193～197 (昭 13—3)

(8) Alan E. Flowers & Melvin A. Dietrich: Solubility of Water in Mineral Oils, Power 16, 232～235 (Feb. 1932)

(9) B. O. Haun: Hermetic Electric Motors, Refrig. Eng. 55, 135～138 (Aug. 1947)

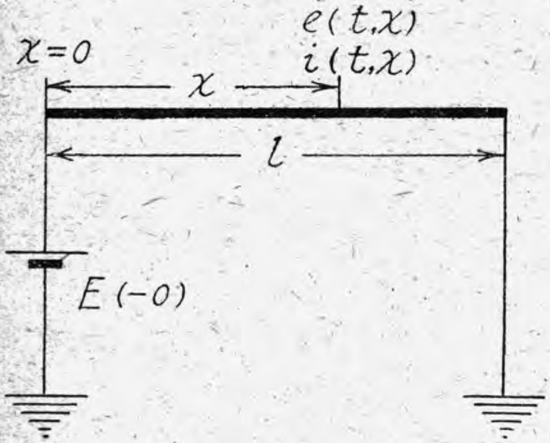
Heaviside 演算子法に對する新しい考察とその電氣回路解析における應用 (XVI)

(本文は Vol. 22 No. 4 20頁～24頁まで發表した分の續篇である)

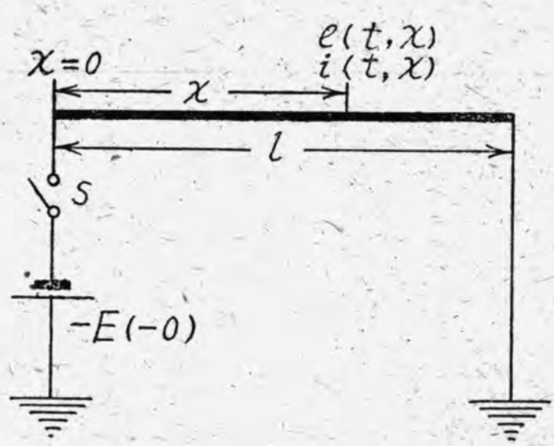
研究所　菅 野 正 雄

第 V 章

有 限 長 送 電 線 (續)



第 10 圖 (a)



第 10 圖 (b)

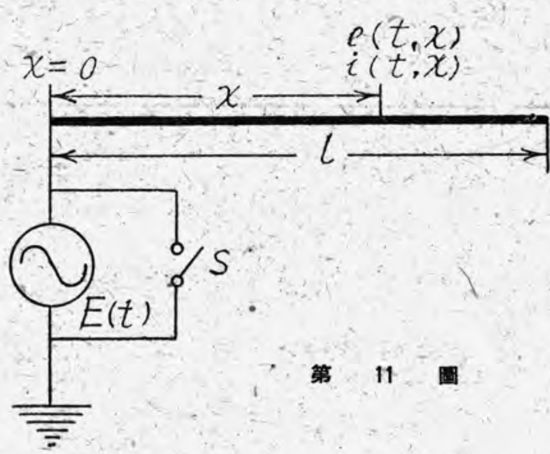
此の結果より，求むる現象は，$t<0$ および $t>0$ において

$$\left.\begin{aligned} e(t,x)&=\frac{\sinh\sqrt{RG}\,(l-x)}{\sinh\sqrt{RG}\,l}E(-0),\\ i(t,x)&=\sqrt{\frac{G}{R}}\,\frac{\cosh\sqrt{RG}\,(l-x)}{\sinh\sqrt{RG}\,l}E(-0), \end{aligned}\right\}\quad (0<x<l)$$

によつて示された電壓および電流分布を持つ線路（第 10 圖 (a)）上の現象と，$t<0$ においては $e(t,x)=0$, $i(t,x)=0$ なる線路（同圖 (b)）に $t=0$ なる瞬間 $-E(-0)$ なる電壓を印加した場合の現象とを重疊したものの>0 における現象と同等であることがわかる．

同様にして第 11 圖の如く，$t<0$ において

$$\left.\begin{aligned} e(t,x)&=\frac{\cosh\sqrt{RG}\,(l-x)}{\cosh\sqrt{RG}\,l}E(t),\\ i(t,x)&=\sqrt{\frac{G}{R}}\,\frac{\sinh\sqrt{RG}\,(l-x)}{\cosh\sqrt{RG}\,l}E(t), \end{aligned}\right\}\quad (0<x<l)$$



第 11 圖

なる電壓および電流分布を持つ線路の送端の電源を短絡した場合，$t>0$ における電壓および電流分布が，

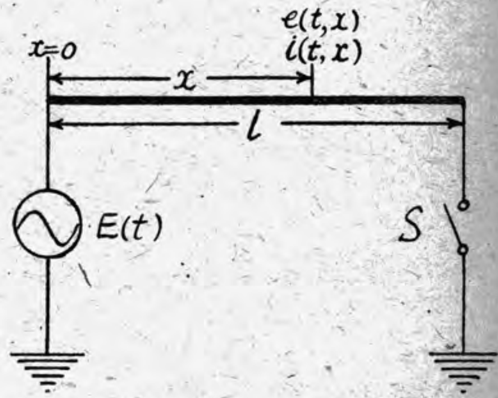
$$
\left.\begin{aligned}
e(t,x)&=\frac{2E(-0)}{l\sqrt{CL}}\varepsilon^{-\alpha t}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{\sin a_m x}{b_m\sqrt{1+c_m^2}}\cos(b_m t-\varphi_m),\\
i(t,x)&=-\frac{2E(-0)}{l\,L}\varepsilon^{-\alpha t}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{\cos a_m x}{b_m\sqrt{1+c_m^2}}\cos(b_m t-\varphi_m-\psi_m)
\end{aligned}\right\}\left(\begin{aligned}t+\geqq 0,\ 0<x<l,\\ m=n+\frac{1}{2}\end{aligned}\right)
$$

であることは容易に計算される.

(3) 第 12 圖に示す如く，$t<0$ において

$$
\left.\begin{aligned}
e(t,x)&=\frac{\cosh\sqrt{RG}(l-x)}{\cosh\sqrt{RG}\,l}E(t)\\
i(t,x)&=\sqrt{\frac{G}{R}}\frac{\sinh\sqrt{RG}(l-x)}{\cosh\sqrt{RG}\,l}E(t)
\end{aligned}\right\}(0<x<l)
$$

なる電壓および電流分布を有する長さ l なる送電線の受端 ($x=l$) を $t=0$ なる瞬間短絡した場合，$t>0$ における電壓および電流分布を求む.



第 12 圖

解：

$$
\left.\begin{aligned}
e(-0,x)&=\frac{\cosh\sqrt{RG}(l-x)}{\cosh\sqrt{RG}\,l}E(-0),\\
i(-0,x)&=\sqrt{\frac{G}{R}}\frac{\sinh\sqrt{RG}(l-x)}{\cosh\sqrt{RG}\,l}E(-0),
\end{aligned}\right\}(0<x<l)
$$

なる故，(II・3′) 式および (II. 4′) 式の各右邊第二項は

$$
\frac{1}{\gamma^2-D_x^2}\grave{H}_e(\lambda,x)=\frac{\lambda(\lambda+2\alpha)}{v^2(\gamma^2-D_x^2)}\frac{\cosh\sqrt{RG}(l-x)}{\cosh\sqrt{RG}\,l}E(-0)
$$

$$
=\frac{\cosh\sqrt{RG}(l-x)}{\cosh\sqrt{RG}\,l}E(-0),\ (0<x<l),
$$

$$
\frac{1}{\gamma^2-D_x^2}H_i(\lambda,x)=\frac{\lambda(\lambda+2\alpha)}{v^2(\gamma^2-D_x^2)}\sqrt{\frac{G}{R}}\frac{\sinh\sqrt{RG}(l-x)}{\cosh\sqrt{RG}\,l}E(-0)
$$

$$
=\sqrt{\frac{G}{R}}\frac{\sinh\sqrt{RG}(l-x)}{\cosh\sqrt{RG}\,l}E(-0),\ (0<x<l)
$$

となる. 而して境界條件は

$$
F_e(\lambda,o)=A_2(\lambda)+E(-0)=L_c(\lambda,t)^{-1}1\left(\tfrac{t}{o}\right)E(t),
$$

$$
F_e(\lambda,l)=A_2(\lambda)\cosh\gamma l+B_2(\lambda)\sinh\gamma l+\frac{E(-0)}{\cosh\sqrt{RG}\,l}=0
$$

であるから，是等より $A_2(\lambda)$ および $B_2(\lambda)$ を定めてこれを (II. 3′) 式および (II. 4′) 式に代入すれば,

$$
F_e(\lambda,x)=\left\{F_e(\lambda,o)-E(-0)\right\}\frac{\sinh\gamma(\lambda)(l-x)}{\sinh\gamma(\lambda)\,l}
$$

$$
-\frac{E(-0)\sinh\gamma(\lambda)x}{\cosh\sqrt{RG}\,l\,\sinh\gamma(\lambda)l}+\frac{E(-0)\cosh\sqrt{RG}(l-x)}{\cosh\sqrt{RG}\,l},\ (0<x<l),
$$

$$F_i(\lambda, x)=\frac{\gamma(\lambda)}{L(\lambda+\alpha+\beta)}\left\{\Big(F_e(\lambda, o)-E(-0)\Big)\frac{\cosh\gamma(\lambda)(l-x)}{\sinh\gamma(\lambda)l}\right.$$

$$\left.+\frac{E(-0)}{\cosh\sqrt{RG}\,l}\frac{\cosh\gamma(\lambda)x}{\sinh\gamma(\lambda)l}\right\}+\sqrt{\frac{G}{R}}E(-0)\frac{\sinh\sqrt{RG}(l-x)}{\cosh\sqrt{RG}\,l},\ (0<x<l)$$

となる．従つて所要の解は

$$e(t, x)=F_e(p, x)\cdot 1=\frac{\sinh\sqrt{RG}(l-x)}{\sinh\sqrt{RG}\,l}E(t)$$

$$+\frac{2}{l\sqrt{CL}}\left\{E(-0)\frac{\varepsilon^{-\alpha t}}{\cosh\sqrt{RG}\,l}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\sin a_n(l-x)}{b_n\sqrt{1+c_n^2}}\cos(b_n t-\varphi_n)\right.$$

$$\left.-\int_{+0}^{t}E'(t-\tau)\varepsilon^{-\alpha\tau}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\sin a_n x}{b_n\sqrt{1+c_n^2}}\cos(b_n\tau-\varphi_n)d\tau\right\},\ \begin{pmatrix}t\geqq+0,\\ 0<x<l\end{pmatrix},$$

$$i(t, x)=F_i(p, x)\cdot 1=\sqrt{\frac{G}{R}}\frac{\cosh\sqrt{RG}(l-x)}{\sinh\sqrt{RG}\,l}E(t)$$

$$-\frac{1}{lR}\left\{E(-0)\frac{\varepsilon^{-\frac{R}{L}t}}{\cosh\sqrt{RG}\,l}+\int_{+0}^{t}E'(t-\tau)\varepsilon^{-\frac{R}{L}\tau}d\tau\right\}$$

$$-\frac{2}{lL}\left\{E(-0)\frac{\varepsilon^{-\alpha t}}{\cosh\sqrt{RG}\,l}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\cos a_n(l-x)}{b_n\sqrt{1+c_n^2}}\cos(b_n t-\varphi_n-\psi_n)\right.$$

$$\left.+\int_{+0}^{t}E'(t-\tau)\varepsilon^{-\alpha\tau}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\cos a_n x}{b_n\sqrt{1+c_n^2}}\cos(b_n\tau-\varphi_n-\psi_n)\right\},\ \begin{pmatrix}t\geqq+0,\\ 0<x<l\end{pmatrix}$$

の如くに求められる．

(4) 第 13 圖に示す如く，$t<0$ において $E(t,x)$，($E(t,l)=0$) なる電壓分布を有する長さ l の線路の送端 ($x=0$) を，$t=0$ なる瞬間，短絡した場合，爾後の電壓分布を求む．

たゞし，$L=0$, $G=0$ とする．

解：

この場合には (II. 3) 式より次の微分方程式が導かれる．

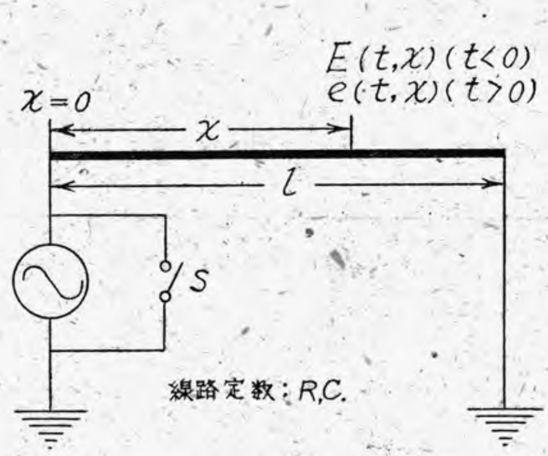
$$\frac{\partial^2 F_e(\lambda, x)}{\partial x^2}=CR\lambda\Big\{F_e(\lambda, x)-E(-0,x)\Big\},$$

$$(0<x<l).$$

而して境界條件は

$$F_e(\lambda, 0)=F_e(\lambda, l)=0$$

である．上式の解 $F_e(\lambda, x)$ は第1篇の (V.57) 式によつて



第 13 圖

$$F_e(\lambda, x) = \sqrt{CR\lambda}\left\{\int_0^x \frac{\sinh\sqrt{CR\lambda}\,(l-x)\sinh\sqrt{CR\lambda}\,\xi}{\sinh\sqrt{CR\lambda}\,l} E(-0, \xi)\,d\xi\right.$$

$$\left.+\int_x^l \frac{\sinh\sqrt{CR\lambda}\,x\,\sinh\sqrt{CR\lambda}\,(l-\xi)}{\sinh\sqrt{CR\lambda}\,l} E(-0, \xi)\,d\xi\right\}, \quad (0<x<l)$$

の如くに得られる．こゝにおいて

$$\sqrt{CR\lambda}\,\frac{\sinh\sqrt{CR\lambda}\,(l-x)\,\sinh\sqrt{CR\lambda}\,\xi}{\sinh\sqrt{CR\lambda}\,l} \equiv \frac{2}{l}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\lambda\sin a_n x\sin a_n\xi}{\lambda+a_n^2/CR}, \quad (0\leqq\xi\leqq x),$$

$$\sqrt{CR\lambda}\,\frac{\sinh\sqrt{CR\lambda}\,x\,\sinh\sqrt{CR\lambda}\,(l-\xi)}{\sinh\sqrt{CR\lambda}\,l} \equiv \frac{2}{l}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\lambda\sin a_n x\sin a_n\xi}{\lambda+a_n^2/CR}, \quad (x\leqq\xi\leqq l),$$

(たゞし，$a_n = n\pi/l$),

の如き Fourier 展開を利用すれば，

$$\sqrt{CRD}\,\frac{\sinh\sqrt{CRD}\,(l-x)\,\sinh\sqrt{CRD}\,\xi}{\sinh\sqrt{CRD}\,l}\,1\binom{t}{0}$$

$$\equiv 1\binom{t}{0}\frac{2}{l}\sum_{n=1}^{\infty}\sin a_n x\,\sin a_n\xi\,\frac{p}{p+a_n^2/CR}\cdot 1$$

$$\equiv 1\binom{t}{0}\frac{2}{l}\sum_{n=1}^{\infty}\varepsilon^{-\frac{a_n^2}{CR}t}\sin a_n x\,\sin a_n\,\xi, \quad (0\leqq\xi\leqq x),$$

$$\sqrt{CRD}\,\frac{\sinh\sqrt{CRD}\,x\,\sinh\sqrt{CRD}\,(l-\xi)}{\sinh\sqrt{CRD}\,l}\,1\binom{t}{0}$$

$$\equiv 1\binom{t}{0}\frac{2}{l}\sum_{n=1}^{\infty}\varepsilon^{-\frac{a_n^2}{CR}t}\sin a_n x\,\sin a_n\xi, \quad (x\leqq\xi\leqq l)$$

なる關係が導かれる故，所要の電壓分布は

$$e(t, x) = \frac{2}{l}\int_0^l\left(\sum_{n=1}^{\infty}\varepsilon^{-\frac{a_n^2}{CR}t}\sin a_n x\sin a_n\,\xi\right)E(-0, \xi)\,d\xi, \quad \begin{pmatrix} t\geqq+0, \\ 0<x<l \end{pmatrix}$$

となる．

この解の形は t が小なる時の計算に便利なものであるが，t が大なる時の計算には次の形が便利である．

$$e(t, x) = \sqrt{\frac{CR}{4\pi t}}\sum_{n=-\infty}^{\infty}\int_0^l\left\{\varepsilon^{-\frac{CR}{4t}(2nl+x-\xi)^2} - \varepsilon^{-\frac{CR}{4t}(2nl+x+\xi)^2}\right\}E(-0, \xi)\,d\xi,$$

$$\begin{pmatrix} t\geqq+0, \\ 0<x<l \end{pmatrix}$$

これは次の如くして算出される，すなわち

$$\sqrt{CR\lambda}\frac{\sinh\sqrt{CR\lambda}\,(l-x)\ \sinh\sqrt{CR\lambda}\,\xi}{\sinh\sqrt{CR\lambda}\,l}$$

$$=\frac{\sqrt{CR\lambda}}{2}\left\{\frac{\cosh\sqrt{CR\lambda}\,(l-x+\xi)}{\sinh\sqrt{CR\lambda}\,l}-\frac{\cosh\sqrt{CR\lambda}\,(l-x-\xi)}{\sinh\sqrt{CR\lambda}\,l}\right\}$$

$$=\frac{\sqrt{CR\lambda}}{2}\left\{\sum_{n=0}^{\infty}\varepsilon^{-\sqrt{CR\lambda}(2nl+x-\xi)}+\sum_{n=1}^{\infty}\varepsilon^{-\sqrt{CR\lambda}(2nl-x+\xi)}\right.$$

$$\left.-\sum_{n=0}^{\infty}\varepsilon^{-\sqrt{CR\lambda}(2nl\mp x+\xi)}-\sum_{n=1}^{\infty}\varepsilon^{-\sqrt{CR\lambda}(2nl-x-\xi)}\right\},\ (0\leqq\xi\leqq x)$$

なる故，こゝで第Ⅲ篇の公式（7）を利用すれば

$$\sqrt{CRp}\ \frac{\sinh\sqrt{CRp}\,(l-x)\ \sinh\sqrt{CRp}\,\xi}{\sinh\sqrt{CRp}\,l}.\ 1$$

$$=\sqrt{\frac{CR}{4\pi t}}\left\{\sum_{n=0}^{\infty}\varepsilon^{-\frac{CR}{4t}(2nl+x-\xi)^2}-\sum_{n=1}^{\infty}\varepsilon^{-\frac{CR}{4t}(2nl-x+\xi)^2}\right.$$

$$\left.-\sum_{n=0}^{\infty}\varepsilon^{-\frac{CR}{4t}(2nl+x+\xi)^2}-\sum_{n=1}^{\infty}\varepsilon^{-\frac{CR}{4t}(2nl-x-\xi)^2}\right\}$$

$$-\sqrt{\frac{CR}{4\pi t}}\sum_{n=-\infty}^{\infty}\left\{\varepsilon^{-\frac{CR}{4t}(2nl+x-\xi)^2}-\varepsilon^{-\frac{CR}{4t}(2nl-x-\xi)^2}\right\},\ \left(\begin{array}{c}t\geqq+0,\\ 0\leqq\xi\leqq x\end{array}\right)$$

であり，同様にして

$$\sqrt{CRp}\,\frac{\sinh\sqrt{CRp}\,x\ \sinh\sqrt{CRp}\,(l-\xi)}{\sinh\sqrt{CRp}\,l}.\ 1$$

$$=\sqrt{\frac{CR}{4\pi t}}\sum_{n=-\infty}^{\infty}\left\{\varepsilon^{-\frac{CR}{4t}(2nl+x-\xi)^2}-\varepsilon^{-\frac{CR}{4t}(2nl+x+\xi)^2}\right\},\ \left(\begin{array}{c}t\geqq+0,\\ x\leqq\xi\leqq l\end{array}\right)$$

である．従つて

$$e\,(t,x)=\sqrt{CRp}\left\{\int_0^x\frac{\sinh\sqrt{CRp}\,(l-x)\ \sinh\sqrt{CRp}\,\xi}{\sinh\sqrt{CRp}\ l}E\,(-0,\ \xi)\,d\,\xi\right.$$

$$\left.+\int_x^l\frac{\sinh\sqrt{CRp}\,x\ \sinh\sqrt{CRp}\,(l-\xi)}{\sinh\sqrt{CRp}\ l}E(-0,\xi)\,d\xi\right\}.\ 1$$

$$=\sqrt{\frac{CR}{4\pi t}}\sum_{n=-\infty}^{\infty}\int_0^l\left\{\varepsilon^{-\frac{CR}{4t}(2nl+x-\xi)^2}-\varepsilon^{-\frac{CR}{4t}(2nl+x+\xi)^2}\right\}E\,(-0,\xi)\,d\xi,$$

$$\left(\begin{array}{c}t\geqq+0,\\ 0<x<l\end{array}\right)$$

が導かれるのである．この結果を演算子法によらずに求めんとすればϑ_3－函數を利用する所である(4)．

新製品紹介

三菱 LF-1型 陶土用濕式除鐵器

工業技術廳陶磁器試驗所東海支所で本器の試驗をしたところ　鉄粉はもちろん　從來至難とされていた雲母鉄まで除去されることが立証されました.

全長	約 550 粍
直徑	約 350 粍
原鑛の大さ	100～200 メッシュ 以上
泥漿の水分	60%内外
處理能力	1 ～ 2 トン/時
電源	直流
電壓	100V
電流	7 A
製品重量	120 瓩

「三菱電機」 VOL. 23 NO. 6

昭和24年10月15日 印刷　　昭和24年10月20日 發行

『禁無斷轉載』　　定價1部 金15圓 (送料共)

編輯兼發行人　小林稻城
東京都港區麻布竹谷町一番地

印刷者　大橋松三郎
東京都港區麻布竹谷町一番地

印刷所　博文堂印刷所
東京都千代田區丸の內2丁目2番地

發行所　三菱電機株式會社內
「三菱電機」編輯部
電話丸之內(23) 3 3 4 4 (6)
日本出版協會會員番號B213013