

アキュムレータの特性に関する実験研究

(第3報：差動アキュムレータの蓄放圧回路における
時係数に関する研究)

濱 邦 彦*

(昭和47年5月30日受理)

1. ま え が き

第1報¹⁾において蓄圧されたアキュムレータ内の圧油を流体抵抗を介して大気中に放出する際の圧力降下特性について時係数をもって評価した。また第2報²⁾において一定圧力源よりアキュムレータ内に圧油を供給し、アキュムレータを蓄圧する際に流体抵抗を通った油の流れおよび圧力上昇特性についてやはり時係数をもって評価検討し、考察した。

本実験研究は前2報の続きとして2本のシリンダを用いて、一方はアキュムレータ内の圧油を放出し、他方には圧油を供給して差動的に作動するアキュムレータの特性について実験研究したものである。

本実験研究においても前2報¹⁾²⁾と同様な考えに基礎をおき、絞りの流体抵抗値を定め、差動アキュムレータの容量を定義しこの差動アキュムレータと絞りの流体抵抗値との間の関係を調べ、これら2つ(差動アキュムレータの容量および絞りの流体抵抗値)の値の積を作ることにより時間の次元をもつ時係数を導き、放圧アキュムレータ・蓄圧アキュムレータの初期圧力と絞りの流体抵抗値および加圧する一定圧力源の圧力を知っておれば、放圧に要する時間および蓄圧に要する時間を直ちに算出することができ、圧力降下特性・圧力上昇特性を知ることを目的としたものである。

本報文は、これらの考えのもとに展開された理論演算結果と実験結果とがほとんど合致し、一応の目的を成し遂げることができたのでここに報告する次第である。

2. 使用記号および単位

本報文においてはつぎの記号および単位を用いる。ただしこの場合にそれぞれの記号に対しての単位は原則とした場合のものであって、単位を変化する必要がある場合にはその都度本文中に示す。

P_s, P_a	: 一定圧力源の油圧力および大気圧	}	kg/cm ² ・abs.
P_0	: 放圧および蓄圧用アキュムレータのガス予圧		
P_1, P_4	: 圧力 P_s が作用するシリンダ I 内の圧力およびシリンダ II 内の圧力		

* 機械工学教室 助手

P_2, P_3	: 蓄圧用アキュムレータ I および放圧用アキュムレータ II 内のガス圧力	}	kg/cm ² ・g.
P_{20}, P_{30}	: 熱的平衡状態にある蓄圧用および放圧用アキュムレータのガス圧力		
P	: ポリトロープ変化中の蓄圧用・放圧用アキュムレータ内のガス圧力		
V_0	: 蓄放圧用アキュムレータ I, II のガス容積	}	cm ³
V_{20}, V_{30}	: 熱的平衡状態にある作動前の蓄圧用・放圧用アキュムレータのガス容積		
V_2, V_3	: 蓄圧用アキュムレータ I および放圧用アキュムレータ II 内のガス容積		
q	: 蓄放圧時に絞りの流体抵抗を流れる油の流量		cm ³ /sec
n, κ	: ポリトロープ指数と断熱指数		
r	: 絞りの流体抵抗値		kg ^{$\frac{1}{2}$} ・sec/cm ⁴
C	: 蓄放圧用アキュムレータの容量		cm ⁴ /kg ^{$\frac{1}{2}$}
A, A'	: ピストン断面積		cm ²
$T(P_2, P_3)$: 時係数		sec
$T(P_{20}, P_{30})$: 初期時係数		sec
T	: 実験により求められる時係数		sec
W	: ピストン重量		kg
g	: 重力加速度		cm/sec ²
x	: ピストン変位		cm
t	: 時間		sec

3. 前 提

本報文においてはつぎの 9 項目の前提を設ける。

- (1) 絞り抵抗をとる流量 q は、絞り抵抗両端の差圧 ($P_4 - P_a$) の $\frac{1}{2}$ 乗に比例する。このときの比例定数を絞りの流体抵抗値 r とする。
- (2) ガスは蓄放圧時には一般的に考えてポリトロープ変化を行なうものとする。
- (3) 差動アキュムレータ内への油の予圧過程は等温変化とする。
- (4) 油は非圧縮性流体である。
- (5) 管路は剛体であり管の伸縮はないものとする。
- (6) アキュムレータの油出入口の抵抗は圧力の伝達には影響を与えない程小さいのでこれを無視する。
- (7) 管路中の油の慣性による圧力降下は無視する。
- (8) シリンダとピストンとの間には摩擦はないものとする。
- (9) 重力の影響は無視できる。

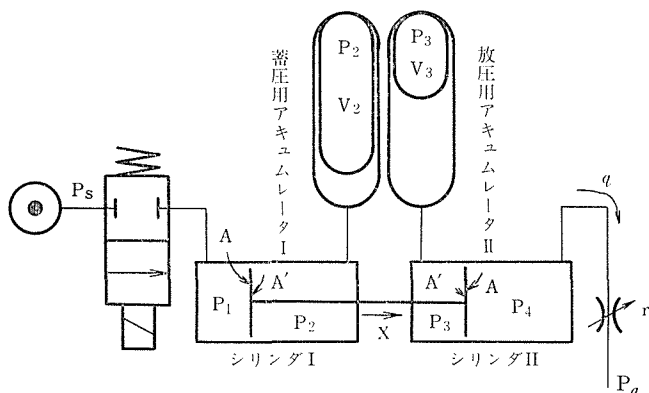


図1 差動アキュムレータの作動原理図

4. 蓄圧（アキュムレータ I）および放圧（アキュムレータ II）に関する圧力方程式

図1に示されるような差動アキュムレータの作動原理図において前提(1)により

$$(P_4 - P_a)^{\frac{1}{2}} = r \cdot q \tag{1}$$

差動アキュムレータの予圧に関して前提(3)より

$$P_0 V_0 = P_{20} V_{20} = P_{30} V_{30} \tag{2}$$

またピストンに関する運動方程式はつぎのように書き表わすことができる.

$$\frac{W}{g} \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} = (P_1 - P_4)A + (P_3 - P_2)A' \tag{3}$$

つぎに図1において流体抵抗を流れる流量 q は矢印の方向を正とすれば

$$q = - \frac{dV_2}{dt} = \frac{dV_3}{dt} \tag{4}$$

前提(2)により N_2 gas はポリトロープ変化を行なうことから作動前の最初のアキュムレータ I 内の圧力を P_{20} , ガス容積を V_{20} , アキュムレータ II 内の圧力を P_{30} , ガス容積を V_{30} とすれば

$$\left. \begin{aligned} P_2 V_2^n &= P_{20} V_{20}^n \\ P_3 V_3^n &= P_{30} V_{30}^n \end{aligned} \right\} \text{(ただし } n \text{ はポリトロープ指数)} \tag{5}$$

式(5)を(4)に代入することにより

$$\begin{aligned}
 q &= -\frac{d}{dt}\left(V_{20}P_{20}^{\frac{1}{n}}P_2^{-\frac{1}{n}}\right) \\
 &= \frac{V_{20}P_{20}^{\frac{1}{n}}}{n} \cdot P_2^{-\frac{n+1}{n}} \cdot \frac{dP_2}{dt}
 \end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned}
 q &= \frac{d}{dt}\left(V_{30}P_{30}^{\frac{1}{n}}P_3^{-\frac{1}{n}}\right) \\
 &= -\frac{V_{30}P_{30}^{\frac{1}{n}}}{n} \cdot P_3^{-\frac{n+1}{n}} \cdot \frac{dP_3}{dt}
 \end{aligned} \tag{7}$$

式(6)の圧力 P_4 を式(1)の P_4 に代入して圧力 P_4 を消去すれば

$$\left\{ (P_1 - P_a) + (P_3 - P_2) \frac{A'}{A} - \frac{W}{g} \cdot \frac{1}{A} \cdot \frac{d^2x}{dt^2} \right\}^{\frac{1}{2}} = r \cdot q \tag{8}$$

式(6)(7)(8)より $\frac{dP_2}{dt}$ および $\frac{dP_3}{dt}$ はつぎのように表わすことができる。

$$\frac{dP_2}{dt} = \frac{n}{rV_{20}P_{20}^{\frac{1}{n}}} \cdot P_2^{\frac{n+1}{n}} \times \left\{ (P_1 - P_a) + (P_3 - P_2) \frac{A'}{A} - \frac{W}{g} \cdot \frac{1}{A} \cdot \frac{d^2x}{dt^2} \right\}^{\frac{1}{2}} \tag{9}$$

$$\frac{dP_3}{dt} = -\frac{n}{rV_{30}P_{30}^{\frac{1}{n}}} \cdot P_3^{\frac{n+1}{n}} \times \left\{ (P_1 - P_a) + (P_3 - P_2) \frac{A'}{A} - \frac{W}{g} \cdot \frac{1}{A} \cdot \frac{d^2x}{dt^2} \right\}^{\frac{1}{2}} \tag{10}$$

式(9)(10)より蓄圧用アキュムレータ内のガス圧力 P_2 と放圧用アキュムレータ内のガス圧力 P_3 との間にはつぎの関係があることがわかる。

$$\begin{aligned}
 \frac{d}{dt}(P_2 - P_3) &= \frac{n}{r} \left\{ (P_1 - P_a) + (P_3 - P_2) \frac{A'}{A} - \frac{W}{g} \cdot \frac{1}{A} \cdot \frac{d^2x}{dt^2} \right\}^{\frac{1}{2}} \\
 &\quad \times \left(\frac{P_2^{\frac{n+1}{n}}}{V_{20}P_{20}^{\frac{1}{n}}} + \frac{P_3^{\frac{n+1}{n}}}{V_{30}P_{30}^{\frac{1}{n}}} \right)
 \end{aligned} \tag{11}$$

式(11)が蓄圧および放圧アキュムレータに関する圧力方程式である。ここで圧力方程式(11)は時間 t に関してつぎの諸性質をもっている。

(i) $t < 0$ において

$$\begin{aligned}
 P_1 &= P_4 = P_a \\
 P_2 &= P_{20} = P_{30} = P_3 \\
 V_2 &= V_{20}, \quad V_3 = V_{30} \\
 q &= 0 \\
 x &= 0
 \end{aligned}$$

(ii) $t \geq 0$ において圧力の大きさ P_s の step 入力を入れると

$$P_1 = P_s$$

 P_2 は増大, P_3 は減少 V_2 は減少, V_3 は増大

$$q > 0$$

$$x > 0$$

(iii) $t \rightarrow \infty$ において

$$P_1 = P_s$$

$$P_4 = P_a$$

$$q = 0$$

5. 差動アキュムレータの容量 C に関して

蓄放圧する場合に前提(1)より油の流量 q は $(P_4 - P_a)^{\frac{1}{2}}$ に比例する。したがって油が容積 dV_3 だけ流出することにより絞りの流体抵抗を流れる流量 q の目安となる $(P_4 - P_a)^{\frac{1}{2}}$ がどれ程変化するかを考えて差動アキュムレータの容量 C をつぎのようにおく。

$$\frac{1}{C} = -\frac{d\{(P_4 - P_a)^{\frac{1}{2}}\}}{dV_3} \quad (12)$$

$$= -\frac{d}{dV_3} \left\{ (P_1 - P_a) + (P_3 - P_2) \frac{A'}{A} - \frac{W}{g} \cdot \frac{1}{A} \cdot \frac{d^2x}{dt^2} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (12')$$

$$= -\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\left\{ (P_1 - P_a) + (P_3 - P_2) \frac{A'}{A} - \frac{W}{g} \cdot \frac{1}{A} \cdot \frac{d^2x}{dt^2} \right\}^{\frac{1}{2}}} \\ \times \left\{ \left(\frac{dP_3}{dV_3} - \frac{dP_2}{dV_3} \right) \frac{A'}{A} - \frac{W}{g} \cdot \frac{1}{A} \cdot \frac{d}{dV_3} \left(\frac{d^2x}{dt^2} \right) \right\} \quad (13)$$

$\frac{d}{dV_3} \left(\frac{d^2x}{dt^2} \right) = 0$ であり, $dV_3 = -dV_2$ なることを考慮すれば式(13)はつぎのように書き表わすことができる。

$$\frac{1}{C} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\left\{ (P_1 - P_a) + (P_3 - P_2) \frac{A'}{A} - \frac{W}{g} \cdot \frac{1}{A} \cdot \frac{d^2x}{dt^2} \right\}^{\frac{1}{2}}} \\ \times \left\{ \left(\frac{dP_3}{dV_3} + \frac{dP_2}{dV_2} \right) \frac{A'}{A} \right\} \quad (14)$$

式(5)より $\frac{dP_2}{dV_2}$ および $\frac{dP_3}{dV_3}$ を求め上式(14)に代入することにより, 差動アキュムレータの容量 C はつぎのように定義される

$$C = \frac{2}{n} \cdot \frac{A}{A'} \left\{ (P_1 - P_a) + (P_3 - P_2) \frac{A'}{A} - \frac{W}{g} \cdot \frac{1}{A} \cdot \frac{d^2x}{dt^2} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$\div \left(\frac{P_2^{\frac{n+1}{n}}}{V_{20} P_{20}^{\frac{1}{n}}} + \frac{P_3^{\frac{n+1}{n}}}{V_{30} P_{30}^{\frac{1}{n}}} \right) \quad (15)$$

6. 時係数 $T(P_2, P_3)$ に関して

差動アキュムレータの容量 C を式(15)のように定めると、差動アキュムレータの容量 C の単位は $[\text{cm}^4/\text{kg}^{\frac{1}{2}}]$ によって表わすことができる。また前提(1)により絞りの流体抵抗値 r の単位は $[\text{kg}^{\frac{1}{2}} \cdot \text{sec}/\text{cm}^4]$ である。この2つの次元を考慮すれば C と r の積が時間 $[\text{sec}]$ の単位で示されることは明らかである。この積を時係数と定義し $T(P_2, P_3)$ とおくと時係数 $T(P_2, P_3)$ はつぎのように表わすことができる。

$$T(P_2, P_3) = C \cdot r$$

$$= \frac{2r}{n} \cdot \frac{A}{A'} \left\{ (P_1 - P_a) + (P_3 - P_2) \frac{A'}{A} - \frac{W}{g} \cdot \frac{1}{A} \cdot \frac{d^2x}{dt^2} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$\div \left(\frac{P_2^{\frac{n+1}{n}}}{V_{20} P_{20}^{\frac{1}{n}}} + \frac{P_3^{\frac{n+1}{n}}}{V_{30} P_{30}^{\frac{1}{n}}} \right) \quad (16)$$

式(16)より時係数 $T(P_2, P_3)$ は圧力 P_2, P_3 または ガス容積 V_2, V_3 の関数であることがわかる。

圧力方程式(11)と前式(16)とを結び付けることによりつぎの関係式を得ることができる。

$$T(P_2, P_3) \cdot \frac{d}{dt}(P_2 - P_3)$$

$$= 2 \frac{A}{A'} \left\{ (P_1 - P_a) + (P_3 - P_2) \frac{A'}{A} - \frac{W}{g} \cdot \frac{1}{A} \cdot \frac{d^2x}{dt^2} \right\} \quad (17)$$

ここで $t = 0$ における時係数を初期時係数 $T(P_{20}, P_{30})$ ($t = 0$ において $P_2 = P_{20}, P_3 = P_{30}$) とすれば、この初期時係数 $T(P_{20}, P_{30})$ と初期圧力変化率 $\left[\frac{d}{dt}(P_2 - P_3) \right]_{t=0}$ との関係は式(17)において $P_2 = P_{20}, P_3 = P_{30}$ とおくことにより求められつぎのように表わされる。

$$T(P_{20}, P_{30}) \cdot \left[\frac{d}{dt}(P_2 - P_3) \right]_{t=0}$$

$$= 2 \frac{A}{A'} \left\{ (P_s - 1.0) + (P_{30} - P_{20}) \frac{A'}{A} - \frac{W}{g} \cdot \frac{1}{A} \cdot \left[\frac{d^2x}{dt^2} \right]_{t=0} \right\} \quad (18)$$

ただし上式(18)においては $t = 0$ において $P_1 = P_s$, $P_a = 1.0$ なることを考慮している。

式(18)における初期時係数 $T(P_{20}, P_{30})$ はつぎのように書き表わされる。

$$T(P_{20}, P_{30}) = \frac{2r}{n} \cdot \frac{A}{A'} \left\{ (P_s - 1.0) + (P_{30} - P_{20}) \frac{A'}{A} - \frac{W}{g} \cdot \frac{1}{A} \cdot \left[\frac{d^2x}{dt^2} \right]_{t=0} \right\}^{\frac{1}{2}} \div \left(\frac{P_{20}}{V_{20}} + \frac{P_{30}}{V_{30}} \right) \quad (19)$$

$P_{20} = P_{30}$, $V_{20} = V_{30}$ の場合には

$$T(P_{20}, P_{20}) = \frac{r}{n} \cdot \frac{A}{A'} \cdot \frac{V_{20}}{P_{20}} \left\{ (P_s - 1.0) - \frac{W}{g} \cdot \frac{1}{A} \cdot \left[\frac{d^2x}{dt^2} \right]_{t=0} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (20)$$

とくにピストンが $t = 0$ において速度一定で運動するものとすれば

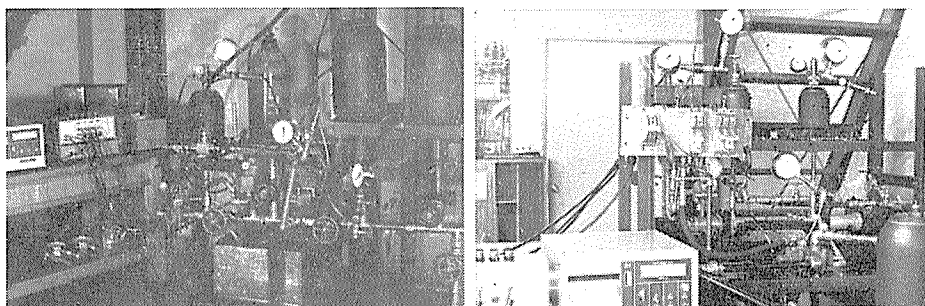
$$T(P_{20}, P_{20}) = \frac{r}{n} \cdot \frac{A}{A'} \cdot \frac{V_{20}}{P_{20}} (P_s - 1.0)^{\frac{1}{2}} \quad (21)$$

以上が、本実験研究における圧力方程式・差動アキュムレータの容量 C および時係数 $T(P_2, P_3)$ に対する考え方である。以下実験方法および実験結果と理論演算結果と比較検討を行ない考察する。

7. 実験方法および実験結果と理論演算結果の比較検討

図2には実験装置を、図3にはその回路図を示す。弁 S_1 は step 状入力を加えるための2ポート2位置切換用の電磁弁を使用し、弁 S_2 は4ポート2位置の手動切換弁である。電動機は40 HP の三相誘導電動機を用い、これをギヤー接続によりピストンポンプを駆動し、油圧源を確保した。

またできるかぎり一定圧力を保つために中村工機株式会社製の容積48.5 l用アキュムレータを1個、9.1 l用アキュムレータを2個それぞれ並列に油圧力源に接続した。



(a) 油 圧 源

(b) 差動アキュムレータ

図2 差動アキュムレータの蓄放圧回路実験装置

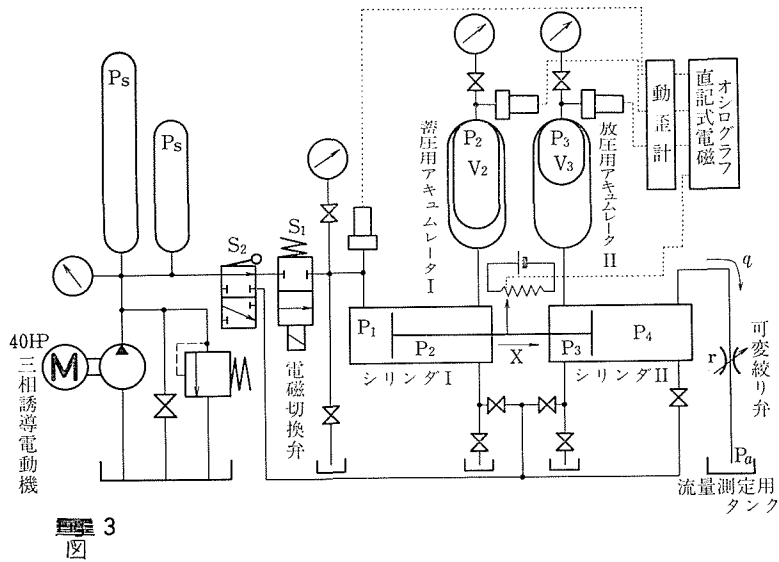


図3 実験装置回路図 (差動アキュムレータの蓄放圧回路)

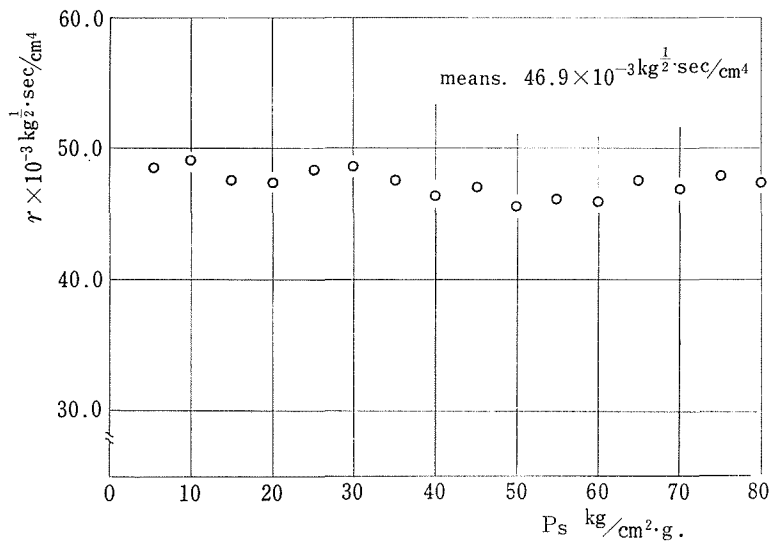


図4 絞りの流体抵抗値の測定結果
(oil : スピンドル油80番 HD, oil temperature : 31.0~33.5°C)

シリンダⅠ, Ⅱは全く同じものを使いシリンダとピストン間の摩擦のできるだけ小さいものを選んだ. 蓄圧用アキュムレータⅠと放圧用アキュムレータⅡとは容積の全く同じ 1100.0 cm^3 のアキュムレータ(中村工機株式会社製)を用いた. それぞれのアキュムレータは窒素ガスで $12.5 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{gauge}$ に予圧した. 管路はできるだけ抵抗を無くするように1インチ用パイプを使用し, 流体絞りには針弁を用い, その絞りを幾段階かに変え, その都度圧力と流量の関係から絞りの流体抵抗値を求めた.

図4にはその絞りの流体抵抗の測定結果の一例を示した. 図は横軸に供給圧力 P_s をとり, 縦軸に流体抵抗値 r をとり一定供給圧力 P_s に対して絞りの流体抵抗を流れる流量 q を実験により求め, これらより流体抵抗値を計算によって知り, その求められた値を図上に書き表わしたものである.

実験に用いた作動油は日本石油製のスピンドル油80番HDであり, 実験の際の作動油温度は $31.0 \sim 33.5 \text{ }^\circ\text{C}$ である. 図より明らかなように絞りの流体抵抗値は供給圧力には無関係にほとんど一定であることがわかる. したがって以下の理論演算に使用する絞りの流体抵抗値 r の値としては実験データの平均をとり, つぎのような値を用いる.

$$r = 46.9 \times 10^{-3} \text{ kg}^{\frac{1}{2}} \cdot \text{sec/cm}^4 \quad (22)$$

図5は直記式電磁オシログラフにより記録された蓄圧力アキュムレータおよび放圧用アキュムレータ内のガス圧力の測定結果である. このデータにおける供給圧力 P_s は 40.0

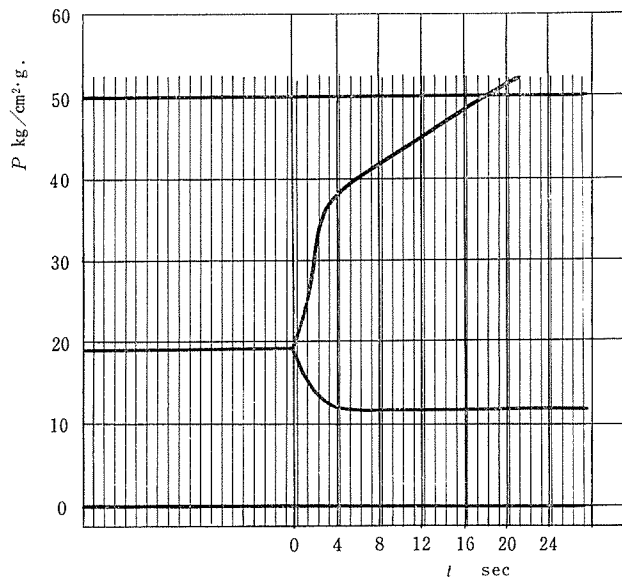


図5 差動アキュムレータの蓄放圧時の圧力測定

$$\left(\begin{array}{l} P_s = 40.0 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.}, \quad P_0 = 12.5 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.}, \quad P_{20} = P_{30} = 19.0 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.} \\ r = 46.9 \times 10^{-3} \text{ kg}^{\frac{1}{2}} \cdot \text{sec/cm}^4 \\ \text{oil: スピンドル油80番HD, oil temperature: } 32.0 \text{ }^\circ\text{C} \end{array} \right)$$

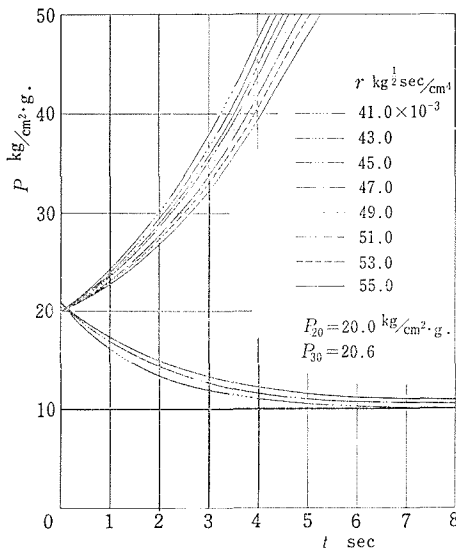


図6 流体抵抗値 r の変化による蓄放圧特性曲線 ($n = 1.0$ のとき)

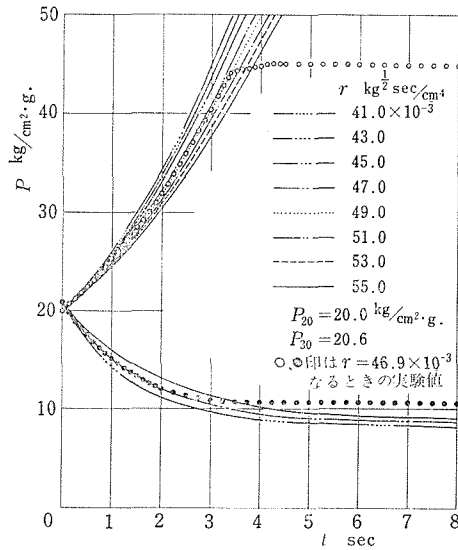


図7 流体抵抗値 r の変化による蓄放圧特性曲線 ($n = 1.41$ のとき)

kg/cm²·gauge, またアキュムレータのガス予圧 P_0 は 12.5 kg/cm²·gauge であり, 熱的平衡状態にある作動前のアキュムレータ内のガス圧力 P_{20} および P_{30} はともに 19.0 kg/cm²·gauge である. 流体抵抗値は $r = 46.9 \times 10^{-3} \text{ kg}^{1/2} \cdot \text{sec}/\text{cm}^4$ を使用し, 作動油は前と同じく日本石油製のスピンドル油80番 HD, 作動油温度は 32.0 °C である.

図6および図7は絞りの流体抵抗値 r を変化させた場合における蓄放圧の特性曲線を示したものである. 図6はポリトロプ指数 n が 1.0 の場合であり, 図7は n が断熱指数 κ すなわち 1.41 の場合について電子計算機により理論演算したものである. 2つの図はともに絞りの流体抵抗値 r を $41.0 \times 10^{-3} \text{ kg}^{1/2} \cdot \text{sec}/\text{cm}^4$ から $55.0 \times 10^{-3} \text{ kg}^{1/2} \cdot \text{sec}/\text{cm}^4$ までを8段階に分割して計算しグラフ上にプロットした. また作動前の蓄圧用アキュムレータ I のガス圧力は $P_{20} = 20.0 \text{ kg}/\text{cm}^2 \cdot \text{gauge}$ であり, 放圧用アキュムレータ II のガス圧力は $P_{30} = 20.6 \text{ kg}/\text{cm}^2 \cdot \text{gauge}$ であって P_{20} と P_{30} とが作動前において一致していないが, これはシリンダとピストンとの間の摩擦抵抗によるものである. 図6に注目すれば絞りの流体抵抗値 r が大きくなれば蓄圧・放圧ともに立上がり速度および降下速度は小さくなり, この傾向は図7においても明らかである. 図7における ○, ● 印は $r = 46.9 \times 10^{-3} \text{ kg}^{1/2} \cdot \text{sec}/\text{cm}^4$ なるときの蓄圧および放圧の場合の実験値である. 2つの図における実験および理論演算に用いた供給圧力 P_s は $38.8 \text{ kg}/\text{cm}^2 \cdot \text{gauge}$ であった.

図8~15には実験結果とポリトロプ指数 n を変えた場合の理論演算結果との比較を示した. すべての図は絞りの流体抵抗値が $r = 46.9 \times 10^{-3} \text{ kg}^{1/2} \cdot \text{sec}/\text{cm}^4$ の場合である. また前と同様に ○, ● 印はそのときの実験値であり, 直記式電磁オシログラフにより記録された結果を図上にプロットしたものである. 得られた結果はほぼ同一なる傾向を示しており, 実験により得られた蓄圧曲線および放圧曲線は理論演算における $n = 1.41$ の場合に

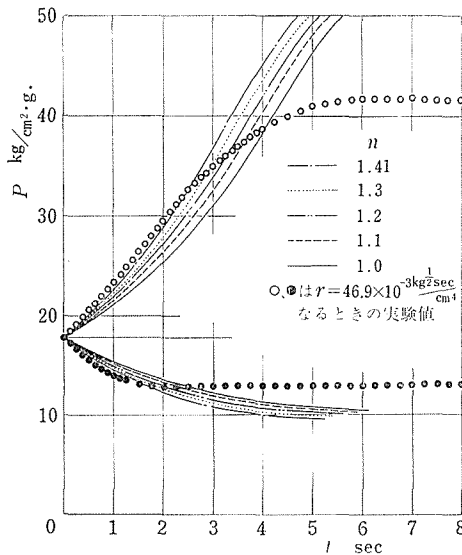


図8 実験結果と理論演算結果の比較

$$\left(\begin{array}{l} P_0 = 12.5 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.}, \\ P_{20} = P_{30} = 17.8 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.}, \\ P_s = 36.6 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.} \end{array} \right)$$

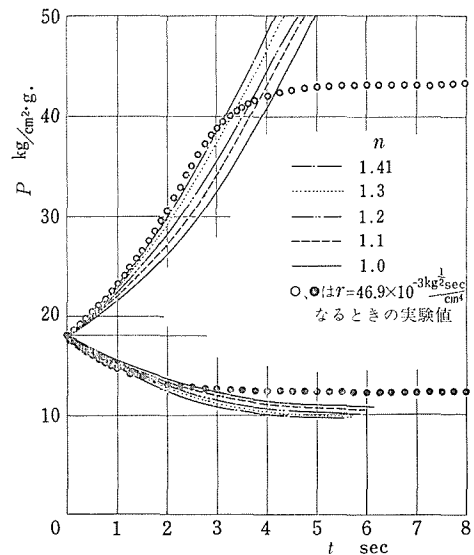


図9 実験結果と理論演算結果の比較

$$\left(\begin{array}{l} P_0 = 12.5 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.}, \\ P_{20} = P_{30} = 18.1 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.}, \\ P_s = 38.4 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.} \end{array} \right)$$

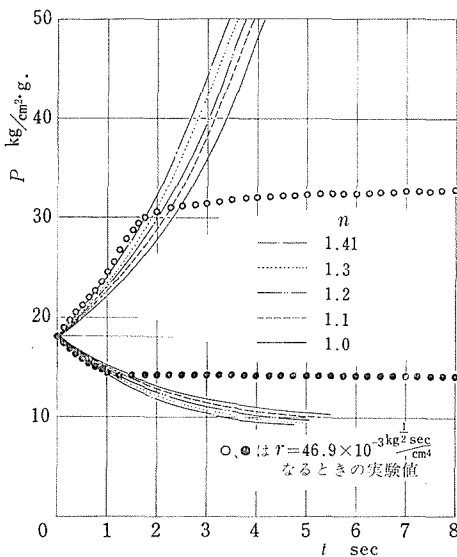


図10 実験結果と理論演算結果の比較

$$\left(\begin{array}{l} P_0 = 12.5 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.}, \\ P_{20} = P_{30} = 18.1 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.}, \\ P_s = 47.5 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.} \end{array} \right)$$

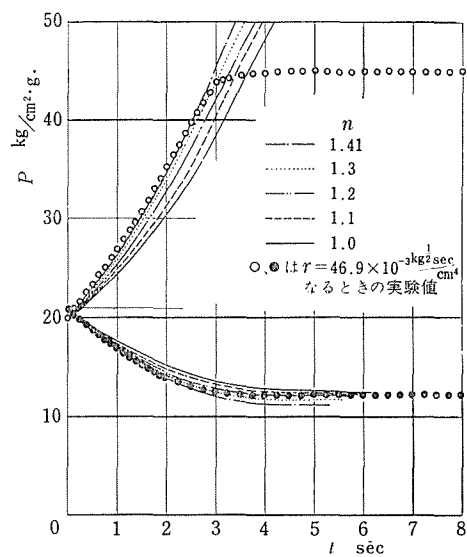


図11 実験結果と理論演算結果の比較

$$\left(\begin{array}{l} P_0 = 12.5 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.}, \\ P_{20} = 20.0 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.}, \\ P_{30} = 20.9 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.}, \\ P_s = 38.8 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.} \end{array} \right)$$

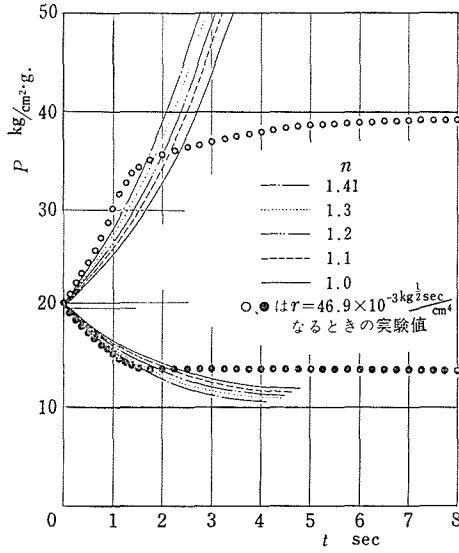


図12 実験結果と理論演算結果の比較

$$\left(\begin{array}{l} P_0 = 12.5 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.}, \\ P_{20} = P_{30} = 20.3 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.}, \\ P_s = 47.8 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.} \end{array} \right)$$

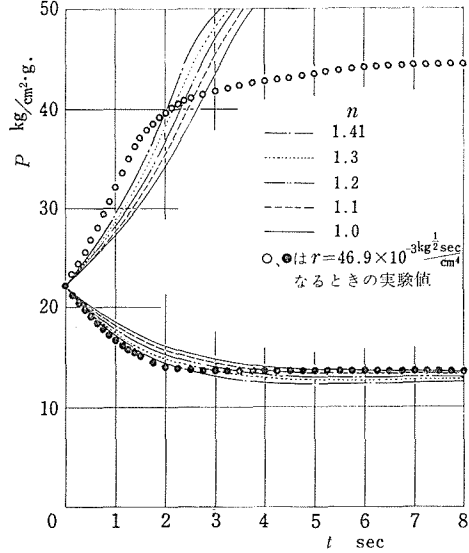


図13 実験結果と理論演算結果の比較

$$\left(\begin{array}{l} P_0 = 12.5 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.}, \\ P_{20} = P_{30} = 22.2 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.}, \\ P_s = 36.3 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.} \end{array} \right)$$

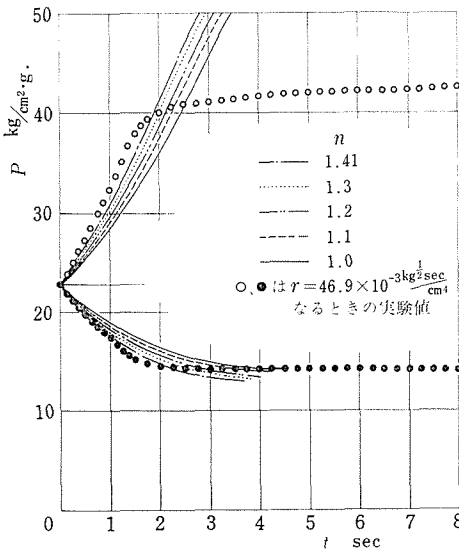


図14 実験結果と理論演算結果の比較

$$\left(\begin{array}{l} P_0 = 12.5 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.}, \\ P_{20} = P_{30} = 22.8 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.}, \\ P_s = 37.5 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.} \end{array} \right)$$

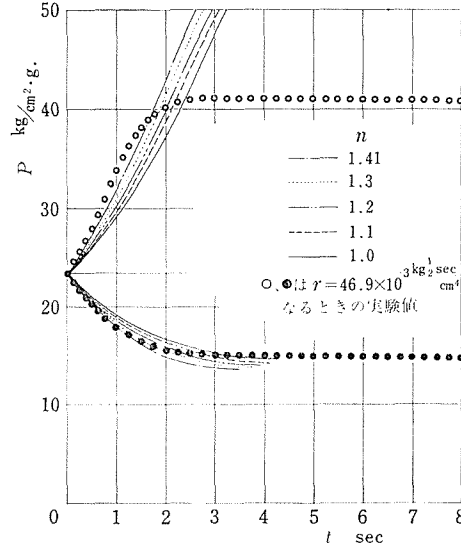


図15 実験結果と理論演算結果の比較

$$\left(\begin{array}{l} P_0 = 12.5 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.}, \\ P_{20} = P_{30} = 23.4 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.}, \\ P_s = 37.5 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.} \end{array} \right)$$

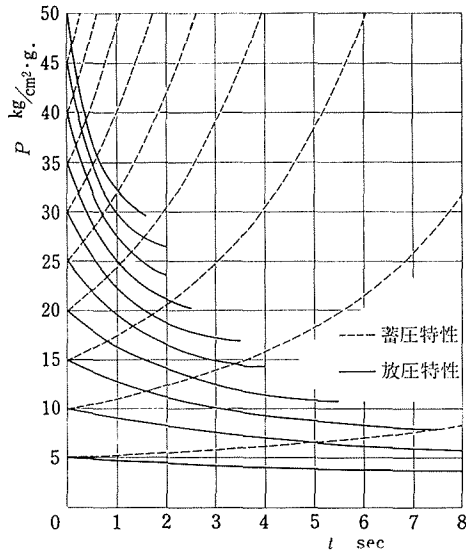


図16 理論演算による蓄放圧特性

$$\left(\begin{array}{l} P_0 = 50.0 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.}, \\ r = 46.9 \times 10^{-3} \text{ kg}^{\frac{1}{2}} \cdot \text{sec/cm}^4 \\ n = 1.0 \end{array} \right)$$

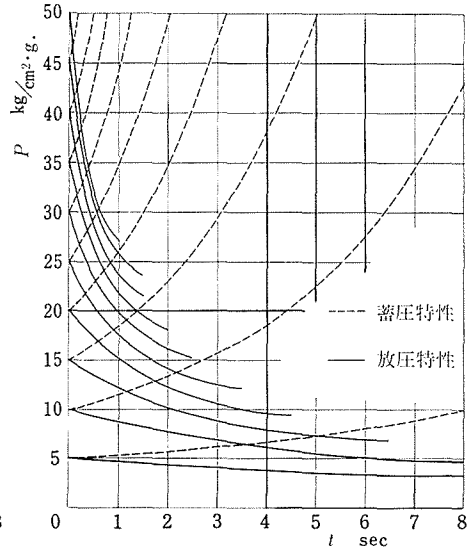


図17 理論演算による蓄放圧特性

$$\left(\begin{array}{l} P_s = 50.0 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.}, \\ r = 46.9 \times 10^{-3} \text{ kg}^{\frac{1}{2}} \cdot \text{sec/cm}^4 \\ n = 1.41 \end{array} \right)$$

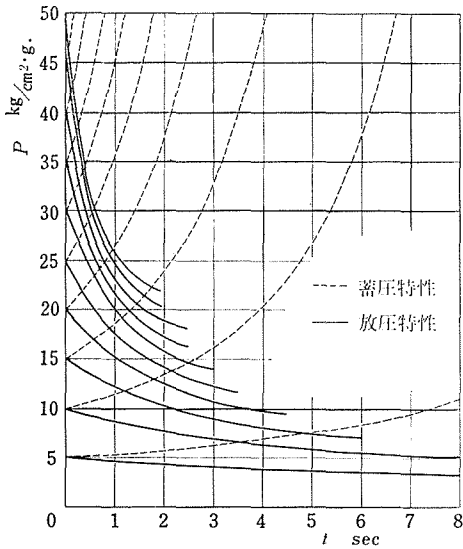


図18 理論演算による蓄放圧特性

$$\left(\begin{array}{l} P_s = 100.0 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.}, \\ r = 46.9 \times 10^{-3} \text{ kg}^{\frac{1}{2}} \cdot \text{sec/cm}^4 \\ n = 1.0 \end{array} \right)$$

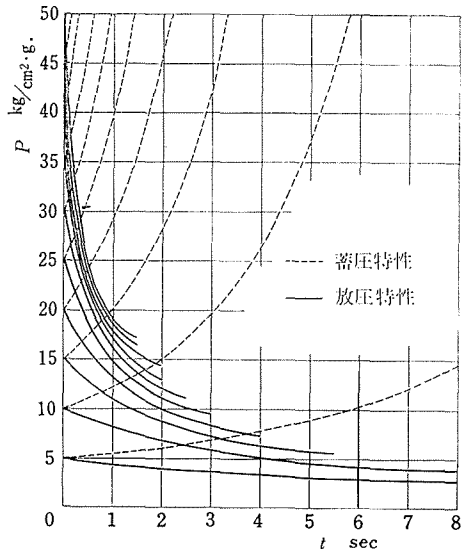


図19 理論演算による蓄放圧特性

$$\left(\begin{array}{l} P_s = 100.0 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.}, \\ r = 46.9 \times 10^{-3} \text{ kg}^{\frac{1}{2}} \cdot \text{sec/cm}^4 \\ n = 1.41 \end{array} \right)$$

一番接近していることがわかる。また蓄圧曲線において実験値が途中より理論曲線と離れてゆくが、これはピストンがシリンダの一端まで到達してしまっ、それ以上蓄圧アキュムレータには油が入らずアキュムレータ内のガス圧力がもはや変化しないことを示している。

図中の放圧曲線において、理論演算による特性曲線が4～5秒経過したところで曲線が消えてなくなっているが、これは式(11)の圧力方程式の平方根内が負となりその後の圧力変化は理論的には無意味であるためである。

図16～19に示される曲線は、熱的平衡状態にある作動前の蓄圧アキュムレータおよび放圧アキュムレータ内のガス圧力 P_{20} および P_{30} をパラメータとする理論演算結果による蓄放圧特性曲線である。図16, 17は供給圧力 P_s が $50.0 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{gauge}$ の場合であり、図18, 19は供給圧力 P_s が $100.0 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{gauge}$ の場合である。また図16, 18はポリトロブ指数 n が1.0であり、図17, 19は n が1.41の場合である。4個の図を比較してみると n が大きい程また供給圧力 P_s が高い程立上り速度は大きくなることわかる。

つぎに表1は時間 t とともに変化する時係数 $T(P_2, P_3)$ に関する理論演算結果を表にまとめたものである。 $P_{20} = 20.0 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{gauge}$, $P_{30} = 20.9 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{gauge}$ の場合について供給圧力 P_s は $38.8 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{gauge}$ として計算した。表より明らかなようにポリトロブ指数 n が大きくなるほど時係数は小さくなり、また同一なるポリトロブ指数 n であっても時間 t の経過とともに時係数は小さくなっていることがわかる。この様子を明示したのが図20および図21である。しかし本実験研究において必要な時係数は初期時係数の $T(P_{20}, P_{30})$ であるから、 $t = 0$ における時係数だけに注目しておればそれで十分であり目的を達成することができる。

表1 時係数 $T(P_2, P_3)$ に関する理論演算

$$\left(P_{20}=20.0\text{kg/cm}^2 \cdot \text{g.}, P_{30}=20.9\text{kg/cm}^2 \cdot \text{g.}, P_s=38.8\text{kg/cm}^2 \cdot \text{g.}, \right. \\ \left. r=46.9 \times 10^{-8} \text{kg}^{\frac{1}{2}} \cdot \text{sec/cm}^4 \right)$$

t sec	0.0					1.0					2.0				
n	1.0	1.1	1.2	1.3	1.41	1.0	1.1	1.2	1.3	1.41	1.0	1.1	1.2	1.3	1.41
$P_2 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$	20.0					24.4	24.9	25.3	25.8	26.3	30.4	31.1	32.7	33.8	35.0
$P_3 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$	20.9					17.5	17.2	16.9	16.6	16.3	15.2	14.8	14.4	14.0	13.6
$T(P_2, P_3) \text{ sec}$	10.9	9.93	9.09	8.38	7.72	9.52	8.53	7.71	7.01	6.36	6.64	5.78	5.07	4.47	3.92
t sec	3.0					4.0					5.0				
n	1.0	1.1	1.2	1.3	1.41	1.0	1.1	1.2	1.3	1.41	1.0	1.1	1.2	1.3	1.41
$P_2 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$	38.6	40.4	42.1	43.8	45.5	48.3	50.2	51.8	53.0	53.9	55.5	/	/	/	/
$P_3 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$	13.7	13.3	12.8	12.4	12.0	12.8	12.3	12.0	11.6	11.3	12.4	/	/	/	/
$T(P_2, P_3) \text{ sec}$	3.80	3.18	2.68	2.26	1.88	1.72	1.34	1.03	0.76	0.50	0.37	/	/	/	/

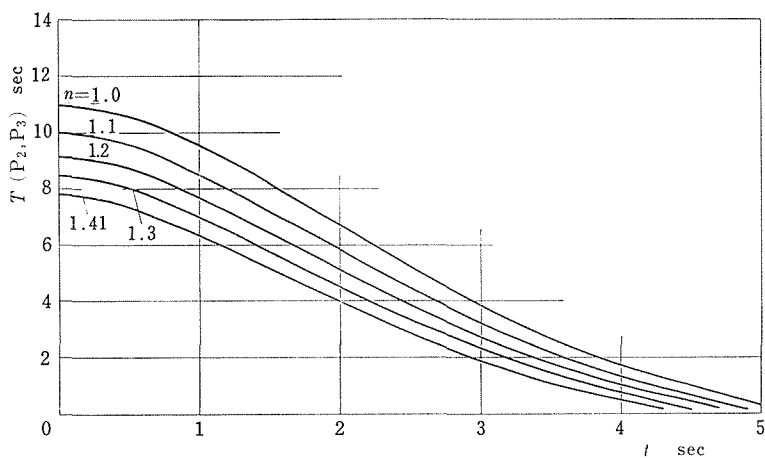


図20 時係数 $T(P_2, P_3)$ 特性

$$\left(P_{20} = 20.0 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.}, P_{30} = 20.9 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.}, P_s = 38.8 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.}, \right. \\ \left. r = 46.9 \times 10^{-3} \text{ kg}^{\frac{1}{2}} \cdot \text{sec/cm}^4 \right)$$

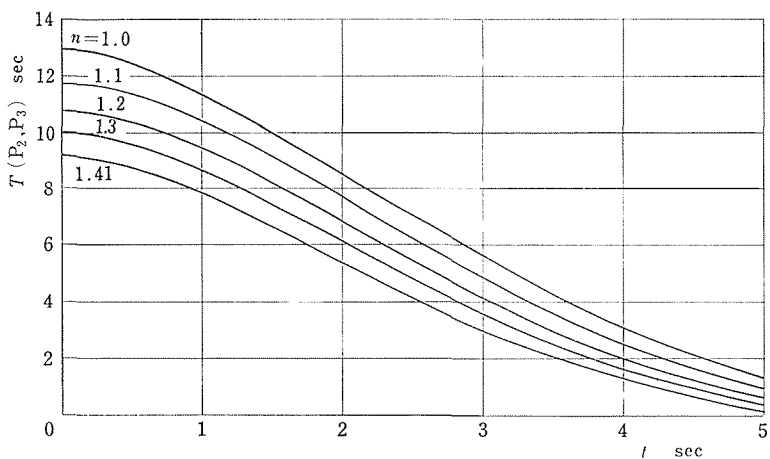


図21 時係数 $T(P_2, P_3)$ に関する理論演算

$$\left(P_{20} = 18.1 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.}, P_{30} = 19.1 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.}, P_s = 37.2 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g.}, \right. \\ \left. r = 46.9 \times 10^{-3} \text{ kg}^{\frac{1}{2}} \cdot \text{sec/cm}^4 \right)$$

8. 時係数から差動アキュムレータの圧力上昇特性および 圧力降下特性を算出する方法について

2つのアキュムレータの容積 V_0 およびアキュムレータのガス予圧 P_0 はわかっているので、熱的に平衡状態にある作動前のガス圧力 P_{20} 、 P_{30} およびガス容積 V_{20} 、 V_{30} を知ることができる。したがって一定圧力源の供給圧力 P_s を定めることによって、ガス圧力 P_2 、 P_3 の関数として、またはガス容積 V_2 、 V_3 の関数として差動アキュムレータの容量 C が決

定される。さらに絞りの流体抵抗値 r は図 4 に示されるように圧力にはほとんど無関係な定数であるので、 P_2 、 P_3 の関数としての時係数 $T(P_2, P_3)$ を得ることができる。ここで前 2 報¹⁾²⁾において示されたように蓄圧曲線・放圧曲線は一次おくれ系に線形近似されるから、時係数を知ることにより差動アキュムレータの圧力上昇特性および圧力降下特性を算出することができる。

9. 結 論

(1) 絞りの流体抵抗値 r および差動アキュムレータの容量 C を定義すると、その積によって蓄放圧の度合を示す時係数 $T(P_2, P_3)$ を知ることができる。

(2) この時係数は $\frac{2r \cdot A}{n \cdot A'}$ に比例する P_2 、 P_3 の関数である。したがって絞りの流体抵抗値 r が小さい程またポリトロプ指数 n が大きいほど、かつピストン断面積の比 $\frac{A}{A'}$ が小さいほど時係数 $T(P_2, P_3)$ は小さくなり立上がり速度が大きくなる。

(3) 実験による蓄放圧曲線はおおよそポリトロプ指数 n が 1.0~1.41 の範囲におさまる。

(4) 差動アキュムレータの場合にも前 2 報¹⁾²⁾と同様に蓄圧曲線・放圧曲線を一次おくれ系に近似することができ線形化が可能である。

10. 文 献

- 1) 濱・石垣 日本機械学会講演論文集, No.700-7, P.195-198 (昭45-3)
- 2) 濱・中村 日本機械学会講演論文集, No.700-15, P.309-312 (昭45-10)

11. 付 録

〔I〕 以上の報告書において電子計算機に使用された数値はつぎのとうりである。

$$\frac{W}{g} \cdot \frac{1}{A} \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = 0$$

$$\frac{A'}{A} = 0.87$$

$$r = 46.9 \times 10^{-3}$$

$$n = 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.41$$

〔II〕 つぎに蓄放圧に関する圧力方程式(11)中の慣性力 $\frac{W}{g} \cdot \frac{1}{A} \cdot \frac{d^2x}{dt^2}$ を圧力項のみで表示するとつぎに示されるように簡単な形で表わされ、圧力方程式が圧力のみ形として求めることができる。

ピストンの変位 x と放圧用アキュムレータ内のガス容積 V_3 との間にはつぎの関係が成立する。

$$A'x = \int_0^t qdt = V_3 - V_{30} \quad (23)$$

また蓄圧用アキュムレータ I に関して

$$A'x = \int_0^t q dt = V_{20} - V_2 \quad (24)$$

式(23), (24)に式(5)より求めた V_2, V_3 を代入して

$$A'x = V_{30} P_{30}^{\frac{1}{n}} P_3^{-\frac{1}{n}} - V_{30} \quad (25)$$

$$A'x = V_{20} - V_{20} P_{20}^{\frac{1}{n}} P_2^{-\frac{1}{n}} \quad (26)$$

式(25), (26)の両辺を時間 t で微分することにより

$$A' \frac{dx}{dt} = - \frac{V_{30} P_{30}^{\frac{1}{n}}}{n} P_3^{-\frac{n+1}{n}} \cdot \frac{dP_3}{dt}$$

すなわち

$$- \frac{A'n}{V_{30} P_{30}^{\frac{1}{n}}} \cdot \frac{dx}{dt} = P_3^{-\frac{n+1}{n}} \cdot \frac{dP_3}{dt} \quad (27)$$

$$A' \frac{dx}{dt} = \frac{V_{20} P_{20}^{\frac{1}{n}}}{n} P_2^{-\frac{n+1}{n}} \cdot \frac{dP_2}{dt}$$

すなわち

$$\frac{A'n}{V_{20} P_{20}^{\frac{1}{n}}} \cdot \frac{dx}{dt} = P_2^{-\frac{n+1}{n}} \cdot \frac{dP_2}{dt} \quad (28)$$

式(27), (28)を再度時間 t について微分することにより

$$- \frac{nA'}{V_{30} P_{30}^{\frac{1}{n}}} \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = - \frac{n+1}{n} P_3^{-\frac{2n+1}{n}} \cdot \left(\frac{dP_3}{dt} \right)^2 + P_3^{-\frac{n+1}{n}} \cdot \frac{d^2P_3}{dt^2} \quad (29)$$

$$\frac{nA'}{V_{20} P_{20}^{\frac{1}{n}}} \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = - \frac{n+1}{n} P_2^{-\frac{2n+1}{n}} \cdot \left(\frac{dP_2}{dt} \right)^2 + P_2^{-\frac{n+1}{n}} \cdot \frac{d^2P_2}{dt^2} \quad (30)$$

式(30)を式(9)に, 式(29)を式(10)にそれぞれ代入することにより

$$\begin{aligned} \frac{dP_2}{dt} &= \frac{n}{rV_{20} P_{20}^{\frac{1}{n}}} \cdot P_2^{\frac{n+1}{n}} \cdot \left[(P_1 - P_a) + (P_3 - P_2) \frac{A'}{A} \right. \\ &\quad \left. - \frac{W}{g} \cdot \frac{V_{20} P_{20}^{\frac{1}{n}}}{nAA'} \cdot \left\{ - \frac{n+1}{n} P_2^{-\frac{2n+1}{n}} \cdot \left(\frac{dP_2}{dt} \right)^2 + P_2^{-\frac{n+1}{n}} \cdot \frac{d^2P_2}{dt^2} \right\} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (31) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dP_3}{dt} = & -\frac{n}{rV_{30}P_{30}^{\frac{1}{n}}} \cdot P_3^{\frac{n+1}{n}} \cdot \left[(P_1 - P_a) + (P_3 - P_2) \frac{A'}{A} \right. \\ & \left. + \frac{W}{g} \cdot \frac{V_{30}P_{30}^{\frac{1}{n}}}{nAA'} \cdot \left\{ -\frac{n+1}{n} P_3^{-\frac{2n+1}{n}} \cdot \left(\frac{dP_3}{dt} \right)^2 + P_3^{-\frac{n+1}{n}} \cdot \frac{d^2P_3}{dt^2} \right\} \right]^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (32)$$

一方式(25)(26)より

$$V_{30}P_{30}^{\frac{1}{n}}P_3^{-\frac{1}{n}} - V_{30} = V_{20} - V_{20}P_{20}^{\frac{1}{n}}P_2^{-\frac{1}{n}} \quad (33)$$

式(33)よりつぎの2つの式が得られる.

$$P_3 = \left(\frac{V_{30}P_{30}^{\frac{1}{n}}}{V_{20} + V_{30} - V_{20}P_{20}^{\frac{1}{n}}P_2^{-\frac{1}{n}}} \right)^n \quad (34)$$

$$P_2 = \left(\frac{V_{20}P_{20}^{\frac{1}{n}}}{V_{20} + V_{30} - V_{30}P_{30}^{\frac{1}{n}}P_3^{-\frac{1}{n}}} \right)^n \quad (35)$$

式(34)を式(31)に代入することにより

$$\begin{aligned} \frac{dP_2}{dt} = & \frac{n}{rV_{20}P_{20}^{\frac{1}{n}}} \cdot P_2^{\frac{n+1}{n}} \cdot \left[(P_1 - P_a) + \left\{ \left(\frac{V_{30}P_{30}^{\frac{1}{n}}}{V_{20} + V_{30} - V_{20}P_{20}^{\frac{1}{n}}P_2^{-\frac{1}{n}}} \right)^n - P_2 \right\} \frac{A'}{A} \right. \\ & \left. - \frac{W}{g} \cdot \frac{V_{20}P_{20}^{\frac{1}{n}}}{nAA'} \cdot \left\{ -\frac{n+1}{n} P_2^{-\frac{2n+1}{n}} \cdot \left(\frac{dP_2}{dt} \right)^2 + P_2^{-\frac{n+1}{n}} \cdot \frac{d^2P_2}{dt^2} \right\} \right]^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (36)$$

同様に式(35)を式(32)に代入することにより

$$\begin{aligned} \frac{dP_3}{dt} = & -\frac{n}{rV_{30}P_{30}^{\frac{1}{n}}} \cdot P_3^{\frac{n+1}{n}} \cdot \left[(P_1 - P_a) \right. \\ & \left. + \left\{ P_3 - \left(\frac{V_{20}P_{20}^{\frac{1}{n}}}{V_{20} + V_{30} - V_{30}P_{30}^{\frac{1}{n}}P_3^{-\frac{1}{n}}} \right)^n \right\} \frac{A'}{A} \right. \\ & \left. + \frac{W}{g} \cdot \frac{V_{30}P_{30}^{\frac{1}{n}}}{nAA'} \cdot \left\{ -\frac{n+1}{n} P_3^{-\frac{2n+1}{n}} \cdot \left(\frac{dP_3}{dt} \right)^2 + P_3^{-\frac{n+1}{n}} \cdot \frac{d^2P_3}{dt^2} \right\} \right]^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (37)$$

式(36), (37)の両辺を自乗して整理すると, それぞれつぎのように書き表わすことができる.

$$\begin{aligned}
& \frac{d^2 P_2}{dt^2} + \left(\frac{r^2 V_{20} P_{20}^{\frac{1}{n}} \cdot g A A'}{n W} P_2^{-\frac{n+1}{n}} - \frac{n+1}{n} P_2^{-1} \right) \cdot \left(\frac{d P_2}{dt} \right)^2 \\
& - \frac{n \cdot g A A'}{V_{20} P_{20}^{\frac{1}{n}} \cdot W} \cdot P_2^{\frac{n+1}{n}} \cdot \left[(P_1 - P_a) \right. \\
& \left. + \left\{ \left(\frac{V_{30} P_{30}^{\frac{1}{n}}}{V_{20} + V_{30} - V_{20} P_{20}^{\frac{1}{n}} P_2^{-\frac{1}{n}}} \right)^n - P_2 \right\} \frac{A'}{A} \right] = 0
\end{aligned} \tag{38}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{d^2 P_3}{dt^2} - \left(\frac{r^2 V_{30} P_{30}^{\frac{1}{n}} \cdot g A A'}{n W} \cdot P_3^{-\frac{n+1}{n}} + \frac{n+1}{n} P_3^{-1} \right) \cdot \left(\frac{d P_3}{dt} \right)^2 \\
& + \frac{n \cdot g A A'}{V_{30} P_{30}^{\frac{1}{n}} \cdot W} \cdot P_3^{\frac{n+1}{n}} \cdot \left[(P_1 - P_a) \right. \\
& \left. + \left\{ P_3 - \left(\frac{V_{20} P_{20}^{\frac{1}{n}}}{V_{20} + V_{30} - V_{30} P_{30}^{\frac{1}{n}} P_3^{-\frac{1}{n}}} \right)^n \frac{A'}{A} \right\} \right] = 0
\end{aligned} \tag{39}$$

ここで

$$\left. \begin{aligned}
f(P_2) &= \frac{r^2 V_{20} P_{20}^{\frac{1}{n}} \cdot g A A'}{n W} \cdot P_2^{-\frac{n+1}{n}} - \frac{n+1}{n} P_2^{-1} \\
g(P_2) &= - \frac{n \cdot g A A'}{V_{20} P_{20}^{\frac{1}{n}} \cdot W} \cdot P_2^{\frac{n+1}{n}} \cdot \left[(P_1 - P_a) \right. \\
& \left. + \left\{ \left(\frac{V_{30} P_{30}^{\frac{1}{n}}}{V_{20} + V_{30} - V_{20} P_{20}^{\frac{1}{n}} P_2^{-\frac{1}{n}}} \right)^n - P_2 \right\} \frac{A'}{A} \right] \\
\varphi(P_3) &= - \left(\frac{r^2 V_{30} P_{30}^{\frac{1}{n}} \cdot g A A'}{n W} \cdot P_3^{-\frac{n+1}{n}} + \frac{n+1}{n} \cdot P_3^{-1} \right) \\
\psi(P_3) &= \frac{n \cdot g A A'}{V_{30} P_{30}^{\frac{1}{n}} \cdot W} \cdot P_3^{\frac{n+1}{n}} \cdot \left[(P_1 - P_a) \right. \\
& \left. + \left\{ P_3 - \left(\frac{V_{20} P_{20}^{\frac{1}{n}}}{V_{20} + V_{30} - V_{30} P_{30}^{\frac{1}{n}} P_3^{-\frac{1}{n}}} \right)^n \right\} \frac{A'}{A} \right]
\end{aligned} \right\} \tag{40}$$

とおくと、式(38)および(39)は簡単化されてつぎのような2つの方程式を得ることができる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2 P_2}{dt^2} + f(P_2) \cdot \left(\frac{dP_2}{dt} \right)^2 + g(P_2) &= 0 \\ \frac{d^2 P_3}{dt^2} + \varphi(P_3) \cdot \left(\frac{dP_3}{dt} \right)^2 + \psi(P_3) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (41)$$

以上により，ピストンの慣性力を考慮した場合における蓄圧および放圧に関する圧力方程式は式(41)で表示される2階の非線形微分方程式として求めることもできる。

〔Ⅲ〕本文中の理論演算においては単位ピストン断面積に換算された慣性力項 $\frac{W}{g} \cdot \frac{1}{A} \cdot \frac{d^2 x}{dt^2}$ は0として計算を行なったが，実際にこの値がどの程度の大きさのものなのか検討する。

本実験研究に使用したピストンは蓄圧用および放圧用ともに全く同じものであり，その重量負荷は2つのピストンを合計して2040g（ただし2つのピストンを接続した金具を含める）である。またピストン断面積 A は 28.5 cm^2 のピストンを使用した。また重力加速度を $g = 980 \text{ cm/s}^2$ とすば

$$\frac{W}{g} \cdot \frac{1}{A} \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} = 0.73 \times 10^{-4} \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} (\text{kg/cm}^2)$$

（ただし $\frac{d^2 x}{dt^2}$ の単位は cm/s^2 ）

したがってピストン加速度 $\frac{d^2 x}{dt^2}$ がたとえば重力加速度 g に等しい場合には

$$\frac{W}{g} \cdot \frac{1}{A} \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} = 0.072 (\text{kg/cm}^2)$$

この値は式(9)および式(10)において $\{(P_1 - P_a) + (P_3 - P_2) \frac{A'}{A}\}$ の項に比較して完全に省略できることを示している。

Summary

Experimental Studies on the Characteristics of the Accumulator (3rd report : The study on time coefficient in the storage and discharge circuit of the differential accumulator.)

Kunihiko HAMA

(Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering)

In the first report, we appraised the dropping peculiarities of the pressure of the compressed oil when it was released into the air through the fluid resistance in terms of time coefficient.

In the second report, we examined and appreciated the ascending and flowing peculiarities of the compressed oil when it was sent into the accumulator through the resistance also in terms of time coefficient.

This experiment continued from these two experiments deals with the peculiarities of the two moving accumulators one of which issues the compressed oil and the other of which supplies the oil into it using two cylinders.

This study, which is based on the same idea as that of above-mentioned reports, aims at calculating immediately the peculiarities of rising and falling of the pressure by means of knowing the constant of the original pressure and by means of determining the time coefficient through reckoning the product of accumulator capacity and fluid resistance of an orifice.