# アキュムレータの特性に関する実験研究

(第2報:アキュムレータの蓄圧回路におけ時係数に関する研究)

浜 邦 彦\*・石垣 可連\*\* (昭和46年7月22日受理)

# 1. まえがき

第1報<sup>1)</sup>において良く油圧回路に使われるアキュムレータ内に蓄圧された油を絞りの流 体抵抗を介して大気中に放出する放圧回路における時係数について実験研究し,放圧の際 の圧力降下特性を時係数なる量を得ることによって求め,圧力降下に要する時間を知り, その特性を明らかにして研究報告したが,第2報として本報文では一定圧力に保持された 圧油をアキュムレータに蓄圧する際に,絞りの流体抵抗を通った油の流れがどのような状 態で変化するか,また蓄圧用アキュムレータの容量および絞りの流体抵抗値がアキュムレ ーター内の圧力の上昇過程にどのような影響を与えるかを解明したものである.本報文で は蓄圧用アキュムレータの容器および絞りの流体抵抗値を第1報<sup>2)</sup>と同様な考えのもとに 定義し,この2つ(蓄圧用アキュムレータの容量および絞りの流体抵抗値)の積より時間 の次元をもつ時係数なる値を導き,アキュムレータへの蓄圧の際に蓄圧用アキュムレータ の予圧,一定圧力源の圧力および絞りの流体抵抗の抵抗値がわかっておれば,蓄圧用アキ ュムレータ内の圧力上昇に要する時間を直ちに求めることができるようにすることを目的 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により得られた結果とを 比較検討し,ほとんど一致した結果が得られ目的を一応完遂することができたのでここに まとめ報告する次第である.

尚本報文において定義される2つの重要な値である絞りの流体抵抗値と蓄圧用アキュム レータの容量とはつぎのような考えに基礎をおいたものである.すなわち絞りの流体抵抗 値は後述の前提 (1)のように絞り抵抗の前後両端の圧力差と絞り抵抗をとおる流量を実験 により求め、"絞り抵抗両端の圧力差がこれを流れる流量の2乗に比例する"という前提 のもとに、このときの比例定数を絞りの流体抵抗値の2乗と定義したものである.したが ってこの絞りの流体抵抗値は、圧力差の単位を kg/cm<sup>2</sup>、流量の単位を cm<sup>3</sup>/sec とすれ ば kg<sup>1</sup>・sec/cm<sup>4</sup> なる単位をもっていることがわかる.

つぎに蓄圧用サキュムレータの容量は,先の絞りの流体抵抗値の定義に基ずいて蓄圧用 アキュムレータ内に油が流入する場合に, 蓄圧用アキュムレータがどの程度の流入能力を

<sup>\*</sup> 機械工学教室 助手

<sup>\*\*</sup> 機械工学教室 教授

もっているかを考慮し、この流入の能力を蓄圧用アキュムレータの容量と定義したものである。この容量は後述されるように  $\operatorname{cm}^4/\operatorname{kg}^{\frac{1}{2}}$ の単位をもっている。

### 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,単位が変化する場合にはその都度本文中 に示す.

P、:一定圧力源の圧力 kg/cm<sup>2</sup>•abs. *P*₀:熱的平衡状態にある蓄圧用アキュムレータのガス予圧 V<sub>6</sub>:熱的平衡状態にある蓄圧用アキュムレータのガス容積〕cm<sup>3</sup> P: 蓄圧時におけるアキュムレータ内がス圧力] kg/cm<sup>2</sup>·abs. V: 蓄圧時におけるアキュムレータ内のガス容積〕 cm<sup>3</sup> q:蓄圧時に絞りの流体抵抗を流れる油の流量]cm<sup>3</sup>/sec n:ポリトロープ指数 k:断熱指数 r : 絞りの流体抵抗値  $kg^{\frac{1}{2}} \cdot sec/cm^{4}$ C(p): 蓄圧用アキュムレータの容量] cm<sup>4</sup>/kg<sup>2</sup> p:油の密度 ] kg·sec<sup>2</sup>/cm<sup>4</sup> *l* :管路の長さ ] cm ] cm<sup>2</sup> A:管路の断面積 T(p), T(v): 時係数 Te:相当時定数 sec T:実験により得られる時係数

*t* :時間

#### 3. 前 提

本報文はつぎの8項目の前提を設けている.

(1) 蓄圧時における油の流れは乱流であり、絞りの流体抵抗の両端の圧力差はこの絞り の流体抵抗を流れる流量の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の2 乗とする.

(2) 一定圧力源の圧力  $P_s$  と蓄圧時におけるアキュムレータ内のガス圧力 P との間の圧力差 ( $P_s$ -P) は、 絞り抵抗両端の圧力差と油の慣性力に起因する圧力降下との和である。

(3) アキュムレータの油出入口の抵抗は外部絞り抵抗に比較して小さいので無視することができる.

(4) 蓄圧時においてアキュムレータ内のガスはポリトロープ変化を行ならものとする.

(5) 作動流体は油を使用するものとする.

(6) 油は非圧縮性流体である.

(7) 管路は剛体であり管路の伸縮はないものとする.

No. 31

(8) 重力の影響は無視できる.

# 4. 蓄圧時の圧力上昇方程式

前提(4)より蓄圧時においてアキュムレ ータ内のガスはポリトロープ変化をするか ら、熱的平衡状態にある蓄圧用アキュムレ ータ内のガス予圧を  $P_0$ kg/cm<sup>2</sup>•abs.. ガ ス容積を  $V_0$ cm<sup>3</sup> 蓄圧時における.アキュ ムレータ内のガス圧力およびガス容積をそ れぞれ P, Vとすればつぎの関係式を得る ことができる.

#### $P_0 V_0^n = P V^n$

(ただしnはポリトロープ指数)(1)

Fig. 1 に示すようなアキュムレータへ の蓄圧回路を考えると電磁切換弁が開いて いる場合には、ステップ状入力が作動する 蓄圧開始の時点を t=0 としてつぎの関 係式を得る.



$$P_s - P = r^2 \cdot q^2 + \rho \sum \frac{l}{A} \dot{q}$$
 (2)

ここで式 (2) において右辺第2項の油の慣性力に起因する圧力降下  $\rho \sum \frac{l}{A}\dot{q}$  (ただし $\dot{q} = \frac{dq}{dt}$ ) については,後述のTable 3 および Table 4 の理論演算結果として明示されるよう にその時点における圧力差 ( $P_s - P$ ) に比較して極めて小さい (一番大きな場合でもたか だか2%程度) ことより,この蓄圧回路は純絞り流体抵抗値 rのみの回路とみても差し仕 えない.したがって式(2)をつぎのように書き改める.

$$P_s - P = r^2 \cdot q^2 \tag{3}$$

また蓄圧時におけるアキュムレータのガス袋(bladder)内のガス容積Vは, 最初の熱 的平衡状態におけるガス容積 V。より油の流入した分だけ縮少しているから

$$V = V_0 - \int_0^t q dt \tag{4}$$

ただし $\int_{0}^{t} qdt$ は時間 tの間に蓄圧用アキュムレータに流入した油の流量である. ガス容積Vは時間 tの関数であるから式(4)の両辺を t で微分することにより

$$q = -\frac{dV}{dt} \tag{5}$$

No. 31

ここで式 (5) において油の流入とともにアキュムレータ内のガス袋の容積は縮少するから  $\frac{dV}{dt} < 0$ , したがって流量 q は正となる.

式(1)と(4)とを結び付けることにより

$$\left(\frac{P_0}{P}\right)^{\frac{1}{n}}V_0 = V_0 - \int_0^t qdt \tag{6}$$

圧力Pおよび流量 q は時間 t の関数であるから式(6)の両辺を時間 t で微分することに より絞りの流体抵抗を流れる流量 q は

$$q = \frac{V_0 P_0^{\frac{1}{n}}}{n} \cdot P^{-\frac{n+1}{n}} \cdot \frac{dp}{dt}$$
(7)

上述の流量の流量に関する式(7)を式(3)に代入して流量qを消去し、圧力変化率 $\frac{dp}{dt}$ を求めるとつぎの関係式を得ることができる.

$$\frac{dp}{dt} = \frac{n}{rV_0 P_0^{\frac{1}{n}}} \cdot P^{\frac{n+1}{n}} \cdot (P_s - P)^{\frac{1}{2}}$$
(8)

したがって蓄圧用アキュムレータ内のガス圧力がガス予圧  $P_0$ から任意の圧力  $P(P_0 \leq P)$ まで上昇するのに要する時間 t は、式 (8) を積分することにより得ることができる. すなわち

$$t = \frac{rV_0P_0^{\frac{1}{n}}}{n} \cdot \int_{P_0}^{P} \frac{dp}{P^{\frac{n+1}{n}}(P_s - P)^{\frac{1}{2}}}$$
(9)

式(8)および式(9)で与えられる関係式がアキュムレータを蓄圧上昇方程式である.

# 5. 蓄圧用アキュムレータの容量に関して

アキュムレータを蓄圧する場合に前提(1)より絞りの流体抵抗を流れる流量 q は絞り抵抗両端の差圧の 1/2 乗に比例する. したがって油が容積 dV だけアキュムレータ内に流入することにより単位体積 dV のガス容積の変化に対して, 絞りの 流体抵抗を流れる流量の目安となる  $(P_s - P)^{\frac{1}{2}}$  がどの程度変化するかを考慮して蓄圧用アキュムレータの容量 C(p) をつぎのようにおく.

$$\frac{1}{C(p)} = \frac{d\{(P_s - P)^{\frac{1}{2}}\}}{dV}$$
$$= -\frac{1}{2}(P_s - P)^{-\frac{1}{2}} \cdot \frac{dp}{dV}$$
(10)

1

一方式(1)において表わされるポリトロープ変化の式より

$$\frac{dP}{dV} = -\frac{n}{V_0 P_0^{\frac{1}{n}}} \cdot P^{\frac{n+1}{n}}$$
(11)

式(11)の $\frac{Pd}{dV}$ を式(10)に代入することにより 蓄圧用アキュムレータの容量 C(p) として つぎの式で与えられる関係式を定義することができる.

$$C(p) = \frac{2V_0 P_0^{\frac{1}{n}}}{n} \cdot \frac{(P_s - P)^{\frac{1}{2}}}{P^{\frac{n+1}{n}}}$$
(12)

#### 6. 時係数および相当時定数

このように蓄圧用アキュムレータの容量 C(p) を定義すればC(p)の単位は  $[cm^4/kg^{\frac{1}{2}}]$ となり, 絞りの流体抵抗値 rの 単位 が  $[kg^{\frac{1}{2}} \cdot sec/cm^4]$  なることを考慮すれば, この 2 つの値 C(p) と rを乗じたものは時間 [sec]の単位で表わされる.

この蓄圧用アキュムレータの容量 C(p) と絞りの流体抵抗値 r との積を時係数と定義 し、これを T(p) (または T(V) とおけば T(P) はガス圧力Pの関数, T(V) はガス容 積Vの関数となり式(12)および式(1)よりそれぞれつぎのように表わすことができる.

$$T(P) = C(p) \cdot r$$

$$= \frac{2rV_0P_0^{\frac{1}{n}}}{n} \cdot \frac{(P_s - P)^{\frac{1}{2}}}{P^{\frac{n+1}{n}}}$$
(13)

または

$$T(V) = C(p) \cdot r$$

$$= \frac{2r}{n P_0 V_0^n} \cdot \left\{ P_s - P_0 \left( \frac{V_0}{V} \right)^n \right\}^{\frac{1}{2}} \cdot V^{n+1}$$
(14)

上述の式(13)および式(14)で表わされる時係数 T(P) および T(V) は本質的に同一の性格をもつものであるから、 今後時係数としてガス圧力 P の関数として表わされる T(P) を用いる.

また式(8)の圧力上昇方程引を用いれば式(13)の時係数 T(P) はつぎのような関係式に 插入することができる. すなわち

$$\frac{T(P)}{2} \cdot \frac{dP}{dt} = P_s - P \text{ or } T(P) = 2 \cdot \frac{P_s - P}{\frac{dP}{dt}}$$
(15)

この式より明らかなように 時 係 数 T(P) は絞りの流体抵抗両端の圧力 差と圧力上昇率(または 圧 力 変 化 率)の比の2倍であり,圧力差に対 して圧力上昇率が小さければ時係数 T(p) は大きくなることがわかる.

つぎに式(15)で表わされる圧力上 昇率のt = 0における圧力上昇率を  $\begin{bmatrix} dp \\ dt \end{bmatrix}_{t=0}$ とすればアキュムレータ内 の最初のガス圧力は $P_0$ であるから 式(15)よりつぎのように表わすこと ができる.

$$\left[\frac{dp}{dt}\right]_{t=0} = \frac{\frac{P_s - P_0}{T(P_0)}}{\frac{T(P_0)}{2}} \qquad (16)$$

式(16)より明らかなように初期圧力 上昇率  $\left[\frac{dp}{dt}\right]_{t=0}$ のままで圧力が 上昇してゆけば $\frac{T(P_0)}{2}$ 秒後にはガ



スの圧力は一定圧力源の圧力 P<sub>s</sub> に達する. この様子を示した図が Fig.2 である.

ここで式(8)の圧力上昇方程式および式(15)の時係数 T(P) と圧力変化率  $\frac{dP}{dt}$ との関係 を一次おくれの式で近似する.このことは後述される実験結果 Fig. 7 および 8 において 示されるように、蓄圧時のアキュムレータのガス圧力上昇の経過が一次おくれ曲線に近似 できる特性を持っていることにより生じたものである.したがって近似された関係式の適 用範囲を知ることが制御糸設計のうえに非常に有意義な、しかも有益なことであるので圧 力上昇方程式(8)を一次おくれ系に近似した場合における時定数について検討する.

アキュムレータ内のガスの圧力が  $(P_0-1)$ kg/cm<sup>2</sup>・gauge から  $[P_0-1+0.63(P_s-P_0)]$ kg/cm<sup>2</sup>・gauge の値まで上昇するのに要する時間を相当時定数Teと定義すると, この Teは式(9)からつぎのように表わされる.

$$Te = \frac{r V_0 P_0^{\frac{1}{n}}}{n} \int_{P_0 - 1}^{(P_0 - 1 + 0.63(P_s - P_0))} \frac{dP}{P_0^{\frac{n+1}{n}}(P_s - P)^{\frac{1}{2}}}$$
(17)

この場合相当時定数 Te はガス予圧 P<sub>0</sub> またはガス容積 V<sub>0</sub> の関数 となり, 熱的平衡状態にある蓄圧用アキュムレータ内のガス予圧 P<sub>0</sub>, ガス容積 V<sub>0</sub> によって変化する.しかしこの相当時定数 Te は理論演算結果の Fig.21 および Fig.22 において示されるようにガス予圧 P<sub>0</sub> が  $10 \leq P_0 \leq 50$  なる条件を付加すれば (ただし P<sub>s</sub>=51.0kg/cm<sup>2</sup>·abs.の場合について) ポリトロープ指数 nが n=1.41 の場合には完全に, また nが1.0のときに

No. 31

57

はほとんど一定となり、したがって相当時定数  $Te \ge 10 \leq P_0 \leq 50$  の領域において定数 と見做してさしつかえない. 故に  $Te \ge \pi$ ス予圧  $P_0$  に無関係に一定と考えて線形近似 すると一般に使われる一次おくれ系として示される圧力上昇性が考えられ、つぎの式(18) のように線形近似される.

$$T_e \cdot \left[\frac{dP}{dt}\right]_{t=0} = P_s = P_0 \tag{18}$$

# 7. 時係数 T (P) から蓄圧用アキュムレータの圧力 上昇特性を求める方法について

蓄圧用アキュムレータのガス 容積  $V_0$  は最初からわかっており また ガス予圧  $P_0$  およ び一定圧力源の圧力  $P_s$  は実験の際任意の値に選ぶことができる. したがってこれら3つ の値  $V_0$ ,  $P_0$  および  $P_s$  は既知であるから式 (12) よりガス圧力 Pの関数として蓄圧用ア キュムレータの容量 C(p) が決定されるさらに絞りの流体抵抗値 r は弁の形状 および弁 開度によって圧力には無関係な定数として知ることができる. この C(p) と r の値を使 うことにより式(13)より時係数 T(P) を圧力 Pの関数として得ることができる. したが って蓄圧用アキュムレータの蓄圧特性曲線を一次おくれ系に線形近似すれば,ガス圧力Pに関する蓄圧特性方程式はつぎのようになる.

$$P_{s} - P = (P_{s} - P_{0}) \cdot l^{-\frac{t}{T(P_{0})}}$$
(19)

式(19)における初期時係数  $T(P_0)$  は式(13)において  $P = P_0$  とおくことにより求められる. すなわち

$$T(P_0) = \frac{2rV_0\left(P_s - P_0\right)^{\frac{1}{2}}}{nP_0}$$
(20)

式(19)および式(20)より時係数  $T(P_b)$ から蓄圧用アキュムレータの圧力上昇特性を求めることができる.

以上が本実験研究において目的とされる 圧力上昇方程式(8) および(9), 初期時係数  $T(P_0)$  および相当時定数  $T_e$  である. 以下実験装置・実験方法について述べ実験結果お よび理論演算結果について比較検討し考察する.

#### 8. 実験装置および実験方法

Fig.3 は蓄圧回路の実験装置であり、その実験装置回路図を Fig.4 に示した.  $S_1$  は 1" ストップバルブであり定圧力源用 アキュムレータ に油を蓄積するために取り付けられ たバルブである.またバルブ  $S_2$  はステップ状入力圧を加えるために 2 ポート 2 位置切換 用の電磁弁を使用した.また回路を構成する配管はできるだけ流体の粘性による影響を少 なくするためにできる限り太い (1" ガス管)、しかも内面の滑らかなガス管を用いた。絞



Fig. 3 蓄圧回路実験装置



Fig. 4 実験装置回路図

りの流体抵抗には 3/8″用ストップバルブを用い,その絞りを数段階に変化させて絞りの 両端の圧力差と絞りの流体抵抗を流れる流量の関係から絞りの流体抵抗値を求めた.この 際絞りの流体抵抗を流れる流量は流量測定用タンクを用いて体積流量として求めた.

 蓄圧用アキュムレータとしては容積3700.0cm<sup>3</sup>,耐圧性 250kg/cm<sup>2</sup>10min (中村工機株 式会社製型式 UP4) を使いガス袋 (bladder)内には 8.2~36.3kg/cm<sup>2</sup>・gauge の範囲 で窒素ガス (N<sub>2</sub> gas) を用いて予圧し,それぞれのガス予圧に対して蓄圧特性を求めた.

また一定圧力源は、アキシャルピストンポンプを 40  $\mathbf{P}$  3 相誘導電動機で駆動し、でき る限り一定圧力を保持するために容積 48.5l (耐圧性 500kg/cm<sup>2</sup>10min,中村工機株式会 社製型式 HP50) 用アキュムレータ1 個および容積 9.1l (耐圧性 250kg/cm<sup>2</sup>10min,中 村工機機株式会社製型式 MPB10) 用アキュムレータ2 個をそれぞれ 12.0kg/cm<sup>2</sup>・gauge (特別な場合として 8.0kg/cm<sup>2</sup>・gauge) に窒素ガスで予圧して並列に接続し、ポンプよ り吐出される油の脈動をとり、絞りの流体抵抗の一端には一定圧力源の圧力  $P_s$ がつねに 作用しているようにした.

圧力測定には東洋測器製の圧力測定ヘッドを用い,一定圧力源の圧力 P<sub>s</sub>, 蓄圧用アキ ュムレータ内のガス圧力Pおよびこれら2つの圧力差(P<sub>s</sub>-P)を検出し,動歪計をとお して直記式電磁オシログラフを用いて蓄圧特性を記録させた.

#### 9. 実験結果および実験結果と理論演算結果の比較

まず絞りの流体抵抗値 rを求めるために Fig.5 に示されるような実験装置を用いて実験を行なった.この際できる限り一定圧力を保持するためにアキュムレータ3 個を並列に接続し、この一定圧力の油 (圧力  $P_s$ )を絞りの流体抵抗に流してそのときの流量を流量測



定用タンクを用いて測定した.このとき絞 りの流体抵抗の一端の圧力は大気に接して いると見做せるために  $P_a = 0 \text{ kg/cm}^2 \cdot$ gauge と考えた.このような実験装置お よび方法を用いて実験を行ない、つぎの式 を用いることにより絞りの流体抵抗値 rを 求めることができる.

> $P_s - P_a = r^2 \cdot q^2$ (q:絞りの流体抵抗を流れる流量)

すなわち

$$r = \frac{\sqrt{P_s}}{q} (P_s; \text{kg/cm}^2 \cdot \text{gauge}) \quad (22)$$

式(22) において求められた絞りの流体抵抗値を Fig.6 に示した. 縦軸には絞りの流体抵抗値  $r \ge \times 10^{-3} \text{kg}^{\frac{1}{2}} \cdot \text{sec/cm}^4$ の単位で示し、横軸には一定圧力源の圧力  $P_s \ge \text{kg/cm}^2 \cdot \text{gauge}$ で示した. 使用した作動油は日本石油のスピンドル油80番HDであり、作動油の温度は 37.0~38.0°C である. 図には 3 段階の絞りの場合についての実験結果を示してあるが圧力  $P_s$ によって実験結果はややバラツキが見られる. しかしほとんど一定なる流体抵抗値を得ることができる. 以下に述べる理論演算には圧力  $P_s$ に無関係にほとんど一定となる、またバラツキの激しいときはそれらの平均値をとって絞りの流体抵抗値として使



用する.

Fig. 7 および Fig. 8 はアキュ ムレータの蓄圧特性である. 直記 式電磁オシログラフにより直接記 録したもので,図上には一定圧力 源の圧力 P、ゲージ圧力0および 蓄圧用アキュレータ内のガス圧力 Pの3本の特性が示されている. 2つの図はともに縦軸に圧力Pを kg/cm<sup>2</sup>・g. の単位で表わし、横 軸には<br />
時間<br /> *t* を sec の<br />
単位で示し た. また絞りの流体抵抗値 r は 2 つの図とも  $r = 19.0 \times 10^{-3} \text{kg}^{\frac{1}{2}}$ s/cm<sup>4</sup> であるが, 蓄圧用アキュム レータ内の ガス予圧  $P_0$  と一定供 給圧力 P。とは若干異なっている. しかし圧力上昇特性は共通なる特 性をもっておりステップ状入力に



対して一次おくれ系に近い性質をもっていることがわかる.

Fig. 9 は直記式電磁オシログラフを用いて直接記録した アキュムレータ の蓄圧特性の 実験結果である. 図は絞りの流体抵抗値が $r = 16.7 \times 10^{-3} \text{kg}^{\frac{1}{2}} \cdot \text{s/cm}^4$ , 蓄圧用アキュムレ ータのガス容積が  $V_0 = 3700 \cdot 0 \text{cm}^3$  および供給圧力  $P_s$  が  $P_s = 50.0 \text{kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ . の場合に



Fig. 8 蓄圧時における圧力上昇特性(実験結果その2)  $\begin{bmatrix} P_0 = 16.8 \text{kg/cm}^2 \cdot \text{g.}, P_s = 51.0 \text{kg/cm}^2 \cdot \text{g.} r = 19.0 \times 10^{-3} \text{kg}_2 \cdot \text{s/cm}^4 \\ \text{作動油: 日本石油スピンドル80番 HD, 作動油の温度: 37.0~38.0°C} \end{bmatrix}$ 

ついてアキュムレータ内のガス予圧  $P_0$ を5段階に変えて実験しその結果を示し たものである.この実験の際の作動油は 前述のスピンドル油80番 HD であり作 動油の温度は 32.0°C である.図より 明確なようにガス予圧  $P_0$ が供給 圧力  $P_s$ に接近している 程一次おくれ系曲線 に近い特性を示しているが,ガス予 圧  $P_0$  が低く  $P_s$  との間の圧力差が大きな 場合には最初下に凸の曲線を描き,途中 で変曲点をもち時間が経過するにつれて 上に凸の特性を示していることがわか る.

この傾向は  $P_s \ge P_0 \ge 0$ 差が大きく なればなる程はっきりと現われてくる. したがってこの 2 つの圧力の差が大きい 場合には蓄圧特性曲線を一次おくれ系に 近似することには無理が生ずる.

Fig. 10 は絞りの流体抵抗値 r が 19.0



×10<sup>-3</sup>kg<sup> $\frac{1}{2}</sup>•s/cm<sup>4</sup>$  供給圧力  $P_s$  が 50.0kg/cm<sup>2</sup>•g. の場合についての実験結果と理論演算 結果との比較である. 。, ・, ……等のプロットされた点は実験値であり, 実線・破線等 は理論演算結果である. また理論演算曲線のうち太い曲線はポリトロープ指数 nが断熱指 数Kに等しい1.41の場合であり, 細い曲線はnが等温変化と考えた場合の1.0のときのも</sup>



のである. 図より実験点はn = 1.41の曲線に近い方に現われていることが良くわかり, ア キュムレータの蓄圧特性が等温変化よりむしろ断熱変化に近いことを示している. しかし 時間が経過するにつれて実験による蓄圧特性値は断熱変化と仮定した場合の理論演算曲線 を離れ, n = 1.0の等温変化曲線の場合に徐々に接近してくることがわかる. したがって 本報文において立上がり速度を問題にする以上断熱と仮定した場合における理論演算によ る蓄圧特性曲線について考えれば十分である.

Fig.11 は絞りの流体抵抗値を変化させた場合の蓄圧特性曲線の変化の様子を示す. 絞りの流体抵抗値  $r \ge 16.0 \times 16^{-3} \sim 22.0 \times 10^{-3} \text{kg}^{\frac{1}{2}} \cdot \text{s/cm}^4$ の間で  $1.0 \times 10^{-3} \text{kg}^{\frac{1}{2}} \cdot \text{s/cm}^4$ 間隔で変え,ポリトロープ指数nも1.0と 1.41の2通りの場合について理論演算したものである. rの値によって蓄圧特性曲線は大きく変化し絞りの流体抵抗値が大きい程立上がり速度は小さくなってくる. またポリトロープ指数nによってもその特性に大きな違いが現われてくる. 図上の実験点は絞りの流体抵抗値rが,  $19.0 \times 10^{-3} \text{kg}^{\frac{1}{2}} \cdot \text{s/cm}^4$ の場合についての実験結果であるが,ほとんど rが  $18.0 \times 10^{-3} \sim 19.0 \times 10^{-3} \text{kg}^{\frac{1}{2}} \cdot \text{s/cm}^4$ なる値をもち且つポリトロープ指数nが1.41の場合における理論演算曲線上に乗っていることがわかる.

Fig. 12~Fig. 19 にはアキュムレータの 蓄圧特性についての実験結果と理論演算結果と の比較を示した.全ての図の座標は全く同じ目盛にとり比較検討を容易にするように心が





50

30

20

10

0

2

4

=1.Q

1.1

1.2 1.3

1.41

 $P_0 = 23.4 \text{ kg/cm}^2.g.$ 

 $P_s = 50.0 \text{ kg}/\text{cm}^2.\text{g}.$ 

印は実験値

10 12

 $r = 19.0 \times 10^{-3} \text{kg}^{\frac{1}{2}} \text{s/cm}^{4}$ 

14 16

t (s)







8

6



けた. また座標軸も全て同一にとり縦軸に蓄圧用アキュムレータ内のガス圧力 P を kg/ cm<sup>2</sup>・g. の単位でとり, 横軸は時間 t を sec の単位で表わした. 絞りの流体抵抗値 r は 全て等しく $r = 19.0 \times 10^{-3}$ kg<sup> $\frac{1}{2}</sup>・s/cm<sup>4</sup>$  である. 一方供給圧力  $P_s$  を  $P_s = 50.0$ kg/cm<sup>2</sup>・g. に定め常に一定である場合について, 蓄圧用アキュムレータのガス予圧  $P_0$  を数段階に変 化させそれぞれについて実験を行ない, あわせて理論演算も行なった. この際にアキュム レータ内のガスの変化を 詳細に調べるために 理論演算においては ポリトロープ 指数 n が 1.0 の等温変化の場合について, またnが1.1, 1.2, 1.3および 1.41 の断熱変化の場合に ついて考え, それぞれの場合について理論演算を実施した.</sup>

実験結果と理論演算結果とを比較してみると、アキュムレータ内のガス予圧 P。が低い

80

70

場合には実験点はn = 1.41のときの理論 曲線に乗ることは少なく,この曲線より も圧力の高い側にあり時間の経過ととも に次第にn = 1.41の理論特性曲線に近ず いてくることがわかり,ついにはn =1.41の場合の曲線を横切りn = 1.0の理 論特性曲線に近ずいてゆく.

一方ガス予圧  $P_0$  がある程度高い場合 には実験点がn=1.41の理論特性曲線上 に良く乗っていることがわかり、この傾 向はガス予圧  $P_0$  が高ければ高い程はっ きりとしてくるようになる.

Fig. 20 も前の 8 個の図と同様に 実験 結果と理論演算結果との比較である. こ の図の場合は供給圧力  $P_s$  が 80.0 kg/  $cm^2 \cdot g$ . のときの特性であって, その蓄 圧特性曲線は  $P_s = 50.0 kg/cm^2 \cdot g$ . の場 合と非常に良く似ており,供給圧力  $P_s$ が変化しても蓄圧特性曲線は共通性をも っていることがわかる.

cm<sup>2</sup> n=1.0 <sub>б</sub> 60 1.1 1.2 ۵ 1.3 50 1.41 40  $P_0 = 24:5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2.\text{g}}$  $P_{s} = 80.0 \text{ kg/cm}^{2}.\text{g}$ 30 r=19.0×10<sup>-3</sup> kg<sup>2</sup>·5/cm<sup>4</sup> 印は実験値 20 10 0 2 4 10 12 14 16 6 8

Fig.20 実験結果と理論演算結果との比較

Table 1 および Table 2 は時係数に関する実験結果と理論演算結果との比較である. それぞれの表は理論演算結果を一次おくれ曲線と仮定した場合の初期時係数  $T(P_0)$  と実 験により得られた特性曲線を同じく一次おくれ曲線と仮定した場合の時係数 Tを求め, 2 つの時係数を比較したものである. Table 1 はガス予圧  $P_0$  が 26.7kg/cm<sup>2</sup>・abs., 絞り の流体抵抗値 r が 16.7×10<sup>-3</sup>kg<sup>1/2</sup>・s/cm<sup>4</sup> の場合にポリトロープ指数 n によって初期時係 数  $T(P_0)$  と実験により得られた時係数 Tとが, どのような値をとり, またnの値によっ てどのように変化するかを示している. 表より時係数 Tはポリトロープ指数 nが1.3と1.4 との間で  $T(P_0)$  と一致しており, 立上がり曲線が時間 t が 0 付近では  $n = 1.3 \sim 1.4$ の場 合における理論特性曲線上に丁度乗っていることを示している.

#### 浜 邦彦·石垣可連

п	$P_0$	r	$T(P_0)$	T
	kg/cm²∙ab.	kg <u>¹</u> s/cm⁴	s	S
1.0			5,50	
1.1			5.10	
1.2	26.7	$16.7 \times 10^{-3}$	1 25	
1.3	20.7	10.7 × 10	4.46	
1.4			4.19	
1.41			4.16	

Table 1 実験結果と理論演算結果との比較  $V_0=3700.0$  cm<sup>3</sup>,  $P_s=51.0$  kg/cm<sup>2</sup>·ab.

Table 2 時係数に関する実験結果と理論演算結果の比較 ( $\gamma = 19.0 \times 10^{-3} \text{kg}^{\frac{1}{2}} \cdot s/\text{cm}^4$ ,  $P_s = 50.0 \text{kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ ,  $V_0 = 3700.0 \text{cm}^3$ )

kg/c	P₀ m²∙g	10	.3	15	.0	20	.0	25	.9	30	.6	35	.3
$\left  \begin{array}{c} T(P_0 \\ s \end{array} \right $	)&T	$T (P_0) $ s.	Т s.	$\left. \begin{array}{c} T\left( P_{0} ight) \\ s. \end{array}  ight.$	Т s.	$T(P_0)$ s.	T s.	$\frac{T\left(P_{0}\right)}{s_{\bullet}}$	T s.	$T(P_0)$ s.	Т s.	$T(P_0)$ s.	Ts.
	1.0	10.7		9.49		8.42		7.19		6.20		5.20	
	1.1	10.2		8.93		7.86		6.66		5.72		4.78	
n	1.2	9.75	7.30	8.43	6.45	7.37	5.75	6.20	5.25	5.31	4.55	4.42	3.95
	1.3	9.31		7.98		6.94		5.80		4.95		4.18	
	1.41	8.93		7.54		6.51		5.42		4.61		3.88	

また Table 2 はガス予圧  $P_0$  を変化したとき 2 つの時係数  $T(P_0)$  と T とがどのような関係にあるかを示しているが、表よりわかるようにガス圧力  $P_0$  が高い程、時係数  $T(P_0)$ , T はともに小さくなっており立上がり速度が大きいことを表わしている. また同時にポリトロープ指数 n が大きい程時係数は小さくなる.

Fig. 21 および Fig. 22 は式(17)により表わされる相当時定数 $T_e$ と式(20)により示される初期時係数 $T(P_0)$ と $T_e$ の理論演算を行ないその比較をしたものである.2つの図はと ・もに縦軸には $T(P_0)$ とを sec の単位で表わし、横軸はガス予圧 $P_0$ を kg/cm<sup>2</sup>・abs.の単位で示した.Fig. 21 にはポリトロープ指数nが 1.0 と 1.41の 2つの場合についての理論 演算結果を示したが、これらはともに $P_s=51.0$ kg/cm<sup>2</sup>・abs., $r=19.0 \times 10^{-3}$ kg<sup>2</sup>・sec/cm<sup>4</sup> なる数値を用いて計算されたものである.相当時定数 $T_e$ はガス予圧 $P_0$ がある程度高くなればほとんど一定になるが、初期時係数 $T(P_0)$ は $P_0$ の値に大きく関係し $P_0$ が高



Fig.21 初期時係数  $T(P_0)$  と相当時定数  $T_e$  の比較



Fig.22 初期時係数  $T(P_0)$  と相当時定数  $T_e$  の比較

くなるにしたがって二次曲線的に小さくなってくる. この初期時係数  $T(P_{0})$  を Table 2 の  $T(P_{0})$  の値と比較するとその値に大きな違いがあるが, このことは Table 2 の  $T(P_{0})$  が特性曲線を一次おくれと考えた場合の初期時係数であるのに対して Fig. 21 に 示される  $T(P_{0})$  は式(20)をそのまま理論計算したときの初期時係数であって, 前述した ように実際には  $P_{0}$  と  $P_{s}$  との圧力差が大きくなると 蓄圧特性曲線が 変曲点を もってし まい一次おくれ系に近似すること自体に無理を生じ, 結局同じ初期時係数  $T(P_{0})$  である にもかかわらずこのような大きな差が生まれたものである.

Fig. 22 も Fig. 21 と傾向は同じであるが、この場合には供給圧力  $P_s$  を 101.0 kg/ cm<sup>2</sup>・abs. として絞りの流体抵抗値rは Fig. 21 と同一値を使用した.

浜 邦彦·石垣可連

No. 31

	]		1				1.
r	$P_s$	$P_0$	P	$P_s - P$	$\dot{q}$	$\rho \Sigma \frac{l}{A} \dot{q}$	$\frac{\rho \Sigma \frac{l}{A} q}{P - P} \times 100$
kg <sup><sup>†</sup></sup> ∙sec/cm <sup>4</sup>	kg/cm²•g.	kg/cm²•g.	kg/cm <sup>2</sup> •g.	kg/cm²	cm³/sec²	$\times 10^{-4}$ kg/cm <sup>2</sup>	1 <sub>5</sub> -1 %
			28.2	23.1	- 13.5	- 7.21	0.00
			30.1	21.2	- 2.9	- 1.55	0,00
			32.5	18.8	- 31.2	- 16.67	0.01
			35.6	15.7	- 0.1	- 0.05	0.00
	51.3	28.2	38.5	12.8	- 33.4	- 17.85	0.01
	01.0		41.4	9.9	— 33,5	- 17.90	0.02
			44.8	6.5	- 55.5	- 29.65	0.05
			46.5	4.8	- 29.0	- 15.49	0.03
			49.6	1.7	- 52.0	- 27.78	0.16
			51.05	0.25	- 86.8	- 46.36	1.85
$16.7 \times 10^{-3}$			26.0	24.0	- 12.5	- 6.68	0.00
10.7 × 10			31,5	18.5	- 30.0	- 16.03	0.00
			35.8	14.2	- 32.3	- 17.26	0.01
	50.0	26.0	39.8	10.2	- 49.2	- 26.29	0.03
			43.8	6.2	- 44.8	- 23.94	0.04
			46.8	3.2	- 48.2	- 25.75	0.08
			49.75	0.25	- 46.2	- 24.67	1.00
			26.7	23.8	- 24.1	- 12.88	0.01
			35.3	15.2	- 30.8	- 16.46	0.01
			44.4	6.1	- 57.2	- 30,56	0.05
	50.5	20.0	48.7	1.8	- 66.0	- 35.26	0.20
			50.2	0.3	- 81.3	- 43.43	1.45
26.5×10-3			29.8	20.2	- 10.0	- 5.34	0.00
			34.3	15.7	- 10.0	- 5.34	0.00
	50.0	27.6	39.0	11.0	- 10.8	- 5.77	0.01
			47.8	2.2	- 7.2	- 3.85	0.02
			49.77	0.23	- 16.7	- 8.93	0.39
			18.9	31.1	- 15.7	- 8.12	0.00
			24.8	25.2	- 7.2	- 3.85	0.00
	50.0	16.9	33.1	16.9	- 15.0	- 8.01	0.01
			41.4	8.6	- 20.0	- 10.69	0.01
			48.0	2.0	-420.0	-224.41	1,12

Table 3 油の慣性力に起因する圧力降下 (p=0.897×10<sup>-6</sup>kg・sec<sup>2</sup>/cm<sup>4</sup>, n =1.41)

$\tilde{r}$ kg <sup>1/2</sup> •sec/cm <sup>4</sup>	P₅ kg/cm²∙g.	P₀ kg/cm²•g.	P kg/cm²∙g.	P₅~P kg/cm²	q cm³/sec²	$\rho \Sigma \frac{l}{A} \dot{q}$ × 10 <sup>-4</sup> kg/cm <sup>2</sup>	$\frac{\rho \Sigma \frac{l}{A} \dot{q}}{P_{s} - P} \times 100$ %
	50.0	25.7	49,75	0,25	-44.4	-23.72	0.94
	51.3	28.2	51,05	0.25	-86.8	-46.36	1.85
	50.0	25.0	49.75	0.25	-46.2	-24.67	0.98
16.7×10 <sup>-3</sup>	50.5	20.0	50,20	0.30	-81.3	-43.43	1.45
	51.3	16.0	50,94	0.36	-64.0	-34.21	0,95
	50.6	12.4	50.21	0.39	-74.1	- 39.60	1.02
	50.6	8.2	50.17	0.43	-96.5	-51.59	1.20
	50.0	27.6	49.77	0.23	-16.7	- 8.93	0.39
26.5×10 <sup>-3</sup>	48.8	24.0	48.55	0.25	-18.1	- 9.69	0.39
	51.3	20.6	50.99	0.31	-21.9	-11.71	0.38
	50.0	16.9	49.66	0.34	-23.6	-12.59	0.37
	50.0	12.8	49.62	0.38	-28.3	-15.11	0.40
	51.3	8.8	50.87	0.43	-37.5	-20.02	0.47

Table 4 油の慣性力に起因する圧力降下 (ρ=0.897×10<sup>-6</sup>kg•sec<sup>2</sup>/cm<sup>4</sup>, n=41.1

Table 3 および Table 4 は蓄圧回路の油の慣性力に起因する圧力降下について示した ものである. 作動油の密度  $\rho$  は  $\rho=0.897 \times 10^{-6}$ kg・sec<sup>2</sup>/cm<sup>4</sup> なる値を用い,ポリトロー プ指数 nが1.41の場合についてまとめたものである. これは油の慣性力に起因する圧力降 下が n=1.41の場合に最も大きく,この場合について圧力降下で調べておけば十分である ためである. 実験装置において直接蓄圧回路として関係のある回路の寸法は、定圧力源用 アキュムレータより 1″ ガス管 (流路断面積5.980cm<sup>2</sup>) を長さ 120.0cm 使用し,しかも その先に 3/8″ ガス管 (流路断面積 1.266cm<sup>2</sup>) を50.0cm接続し,蓄圧用アキュムレータ に連結した場合について考え,これらの値をを基礎にして油の慣性力に起因する圧力降下 を求めたものである.

Table 3 には絞りの流体抵抗値を2通りの場合について述べ、それぞれの流体抵抗値 に対して供給圧力  $P_s$  およびガス予圧  $P_0$  を定め、 蓄圧用アキュムレータ内のガス圧力 Pの任意の値に対して油の慣性力に起因する圧力降下  $\rho \sum_{A} \frac{l}{A} q$  がどの程度の値であるか を詳細に示したものである.この圧力降下をそのときの絞りの流体抵抗両端の圧力差 ( $P_s$ -P) に対する割合として表わしたのが表の一番右側の例に示した  $\rho \sum_{A} \frac{l}{A} q / (P_s - P) \times 100[%]$ である.

表より明らかなようにアキュムレータ内のガス圧力Pの値がガス予圧  $P_0$ に近いときに はこの割合は 1/100[%] にも満たず油の慣性力に起因する圧力降下  $\rho \sum \frac{l}{A} q$  は完全に省 略してもよいことを示している.この割合の最も大きくなるときはガス圧力 P が供給圧 力 $P_s$ に最も近ずいた場合であって、このときでさえも圧力降下  $\rho \sum \frac{l}{A} q$  の圧力差 ( $P_s$ 

No. 31

-P) に対する割合は 2.0% 未満である. この割合の最も大きい場合にだけについて検討 したのが Table 4 である. 表よりほとんどの場合には この割合が 1%にもならず, 圧力 降下の大きい場合にもそのときの圧力差  $(P_s - P)$  に比較すれば問題なく小さく,本報文 では無視してもその蓄圧特性には何の影響もなく,無視すること自体全く差し仕えないこ とを示している.

#### Summry

#### Experimental Studies on the the Characteristics of the Accumulator

(2nd report : Time coefficient of an accumulation loop of the accumulator.)

Kunihiko HAMA and Yoshitsura ISHIGAKI (Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering)

In the lst report a time coefficient of a hydraulic loop discharging the pressured oil in the accumulator through a certain fluid resistance into the atmosphere was mentioned.

In this paper the state of the oil flow after passing through the orifice of the fluid resistance and the effects of the accumulator capacity and the fluid resistance value of the orifice on the increasing process of the accumulator capacity pressure were investigated in the case that the pressured oil was fed into the accumulator from the constant pressure source.

The two values—the accumulator capacity and the fluid resistance of the orifice—were defined in the same idea as in the lst report, and a newly developed function the 'time coefficient' was induced as the product of those two values.

By using the coefficient, the time required for an accumulator pressure to increase to a demanded pressure can be obtained only when the initial pressure of the oil the accumulator, the constant pressure of the source and the fluid resistance of the orifice are known.