

圧力調整弁の動特性に関する研究

An Analysis of the Dynamics of Hydraulic Pressure Regulating Valve.

石原 智 男・小 嶋 英 一

Tomoo ISHIHARA and Eiichi KOJIMA

1 緒言 圧力調整弁は、幾何形状や作動条件をわずかに変化させることによって、しばしば激しく発振することがある。スプール弁の発振現象に関しては、スプール弁の安定性におよぼす減衰長の影響¹⁾や配管の影響²⁾⁻⁵⁾を明らかにした研究が発表されている。しかし圧力調整弁はそれ自体で閉ループを構成しており、発振がこのような閉ループに起因するものに関しては、簡単な研究がなされているに過ぎず⁶⁾、細部にわたって信頼できる資料を得ることが望まれている。本研究は低流量圧力調整弁(筆者ら、圧力調整弁の静特性に関する研究参照)の動特性、特に安定性におよぼす諸因子の影響を明らかにしたものである。

2 理論 図1に示す低流量圧力調整弁において各要素の基礎方程式を導きこれを平衡点で線形化しラプラス変換すると(平衡点を添字0、微小量をΔ、ラプラス演算子をsで表わす)、一巡伝達関数G₀(s)として次式が得られる。ただし入口圧力と出口圧力は変動しないものとする。

$$G_0(s) = \frac{A_x S + K_{1x} - K_{2x}}{M_{xe} S^2 + D_{xe} S - \frac{\gamma}{g} L_x (K_{1x} + K_{2x}) S + k_{xe}} \cdot \frac{A_x + k_r U - \frac{\gamma}{g} L_x (K_{1p} + K_{2p}) S}{\frac{V}{B} S - (K_{1p} - K_{2p}) + \frac{A_y^2 S}{M_{ye} S^2 + D_{ye} S + k_y}} \quad (1)$$

ここに、M_{xe}、M_{ye}はスプールと負荷の等価質量、D_{xe}、D_{ye}はスプールと負荷の等価減衰係数、k_{x1,2}、k_yは弁と負荷のばね定数、γ、Bは作動油の比重量と体積弾性係数、Vは弁室容積、L_xは減衰長、dはスプール直径、C_u、C_dはオリフィスの速度係数と流量係数、

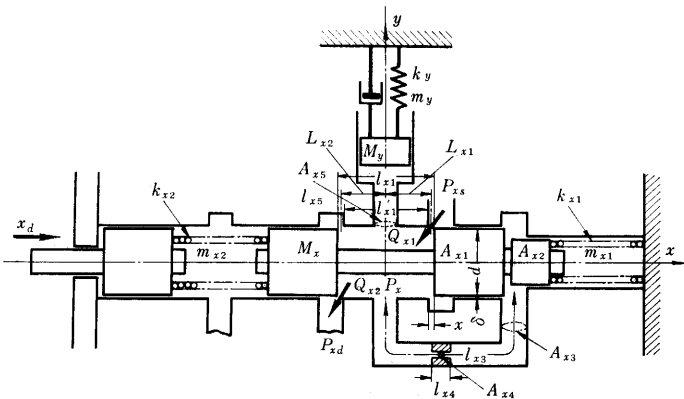


図1 圧力調整弁の構造

$$k_r \begin{cases} \cong 0 & (\text{正重合}) \\ = 2\pi C_u C_d d \cos 69^\circ & (\text{負重合}), \end{cases}$$

$$U = l'_{x1} - l_{x1} \begin{cases} \text{正号: 正重合スプール} \\ \text{負号: 負重合スプール} \end{cases}$$

$$K_{1n} = \frac{\partial Q_{x1}}{\partial x} \Big|_{P_{x0}}, \quad K_{2x} = \frac{\partial Q_{x2}}{\partial x} \Big|_{P_{x0}}, \quad K_{1p} = \frac{\partial Q_{x1}}{\partial P_x} \Big|_{x_0},$$

$$K_{2p} = \frac{\partial Q_{x2}}{\partial P_x} \Big|_{x_0}, \quad k_{xe} = k_{x1} + k_{x2} + k_r (P_{xs} - P_{xd})$$

その他の記号については図1を参照。

(1) 安定判別: まず安定性におよぼす諸因子の定性的な影響を調べるため、慣性負荷とばね負荷が単独に作用する場合を考える。いま簡単のため非定常フローオースをゼロとすれば、D_{xe}=0の時に安定性は最も悪くなり、Rough-Hurwitzの安定判別より絶対安定条件は次のようになる。

(a) 慣性負荷の場合、

$$\frac{dP}{dx} \Big|_{P_{x0}}^{x_0} < \frac{BA_x}{V} \left(1 + \frac{M_{xe} \cdot A_y^2}{M_{ye} \cdot A_x^2} \right) \quad (2)$$

(b) ばね負荷の場合、

$$\frac{dP}{dx} \Big|_{P_{x0}}^{x_0} < \frac{BA_x}{V} \frac{1}{1 + \frac{BA_y^2}{V k_y}} \quad (3)$$

また M_{ye}→∞ あるいは k_y→∞ の場合、すなわち負荷通路が閉じている場合には、

$$(c) \frac{dP}{dx} \Big|_{P_{x0}}^{x_0} < \frac{BA_x}{V} \quad (4)$$

となる。(c)の場合に粘性抵抗を考慮すると安定条件は次のようになる。

$$\frac{dP}{dx} \Big|_{P_{x0}}^{x_0} < \frac{BA_x}{V} + \frac{V}{B} \frac{k_{xe} D_{xe}}{M_{xe} A_x (K_{2p} - K_{1p})} + \frac{D_{xe}^2}{M_{xe} A_x} + \frac{D_{xe} A_x}{M_{xe} (K_{2p} - K_{1p})} + \frac{B D_{xe} K_{2p} - K_{1p}}{V A_x} \quad (5)$$

$$\text{これは、} \lambda_p = \frac{A_x}{k_{xe}} \frac{dP}{dx} \Big|_{P_{x0}}^{x_0}, \quad \lambda_B = \frac{A_x^2 B}{k_{xe} V},$$

$$\lambda_f = \frac{D_{xe}^2}{M_{xe} k_{xe}}, \quad \lambda_s = \frac{D_{xe} (K_{2p} - K_{1p})}{A_x^2} \text{ なる無次元数で表わすことができ、}$$

$$\lambda_p < \lambda_B + \lambda_f \left(1 + \frac{1}{\lambda_s} + \frac{1}{\lambda_B \lambda_s} \right) + \lambda_B \lambda_s \quad (6)$$

これら四つの無次元数は系の動特性を表わす重要な特性量であることがわかる。

次に系の相対安定性におよぼす諸因子の定量的な影響を考察する。図2と図3は実測したオリフィスの静的な流量特性と静的な x_d, x, P_x の関係を基に式(1)より算出したベクトル軌跡であり、それぞれスプール重合量と粘性抵抗の影響を示す。図4は正重合スプールに対して層流理論より求めた流量特性を基に算出した値であり、重合量が大きくなるとこの値は前者とほとんど一致する。

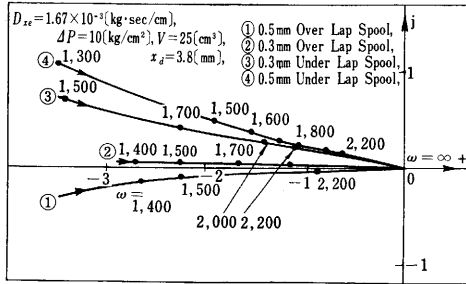


図2 一巡伝達関数 $G_0(j\omega)$ のベクトル軌跡 (重合量の影響)

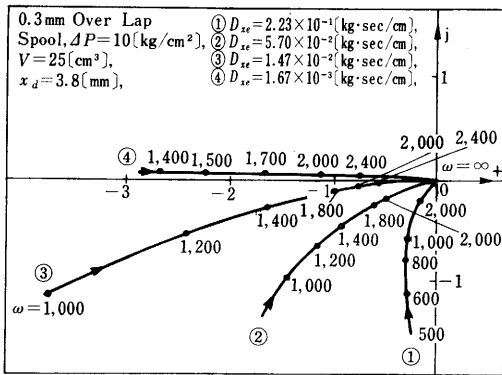


図3 一巡伝達関数 $G_0(j\omega)$ のベクトル軌跡 (粘性抵抗の影響)

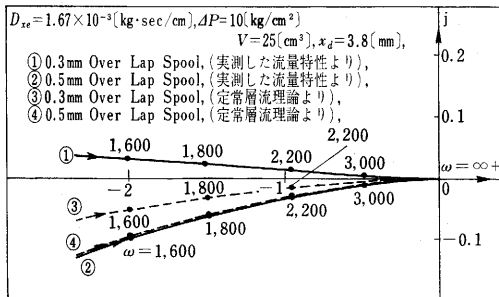


図4 一巡伝達関数 $G_0(j\omega)$ のベクトル軌跡 (流量特性の影響)

3 実験 図5に供試弁の構造を示す。実験方法は次のように条件を種々変えプラグ変位の階段状変化に対する調整圧力とスプール変位の応答を調べた。(1) 閉ループ

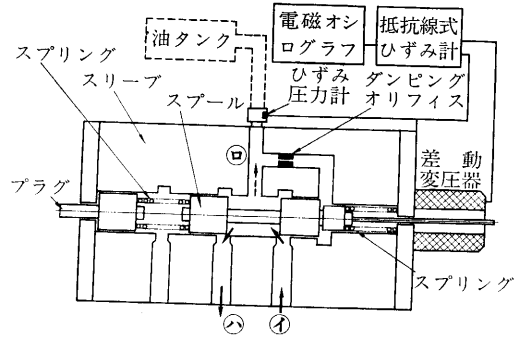


図5 供試弁の構造

の感度の影響を調べるため重合量の異なる5種類のスプールを使用した ($U=0, \pm 0.3, \pm 0.5$ mm)。(2) 粘性抵抗の影響を調べるためダンピングオリフィスの絞り面積を種々変えた。(3) 弁室内の作動油の圧縮性の影響を調べるため弁室に油タンクを設けその容積を種々変えた。(4) 作用圧力 ($=P_{x_s} - P_{x_d}$) の影響を調べた。

図6に実験結果の1例を示す。これら実験結果は供試弁の静特性を基に算出した図2と図3の結果と定量的にもきわめてよく一致している。重合量が増す(すなわち系の感度を下げる)と安定性が向上することは、明らかに発振は閉ループに起因していることがわかる。次に V が大きくなると発振周波数が低くなり、(p. 17につづく)

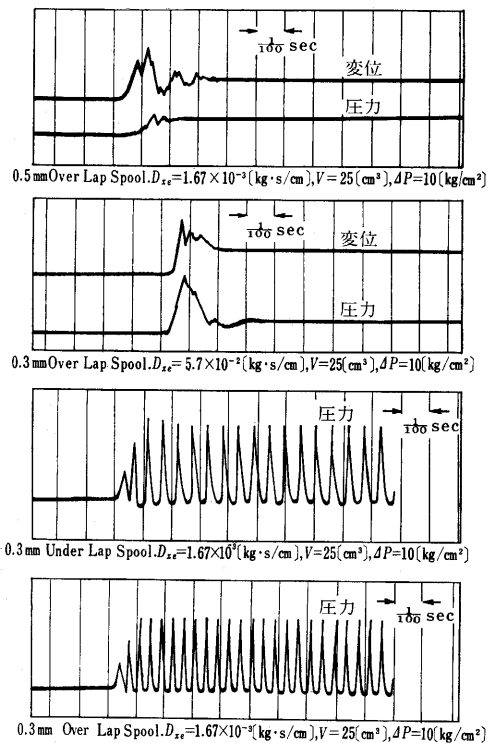


図6 調整圧力とスプール変位のステップ応答

いるわけです。もちろんはじめに述べたようにわかりやすい授業だからこれだけ準備してゆくと聴いていてわからぬことは決してない。そのかわり出席しないといくら質問があってもそのまま残るから、それがてきめん成績にひびく。だからサボ学生、遅刻学生はいない。だいたい大損だからそんなことをする気にならない。ひんぱんに試験があり、また毎回参考書をページまできめて宿題がでる。宿題勉強用図書館が夜中1時まで開いている。このような自習の時間が単位として数えられてカタログにのっており、それを見るときどの程度の自習時間を必要とされる科目であるかがわかるようになっていきます。たとえば Elliot 教授の熱力学の授業は1週4時間の授業で8時間の自習というぐあいである。成績の悪い者はどしどし落第させられる。州立の大学のように1年生の半数しか2年生に進ませないというほどの厳しさはないが、入学してから無事卒業するのが60%程度でした。入学の基準がゆるく全国テストの成績と出身校の成績で決めているので入ってからそのようなふるいわけをする必要があるわけですが、毎日が試験の連続であって一夜づけがきかないということは学生にふだんの勉強を落ち着いてやらせることになる。もちろん落第させられた場合に

は、転校が非常に楽であって他の学校でとった単位を認める制度がゆきとどいている。したがって学生はむしろのんびきならなくならないうちに転校していくし、どこにでも起こる日常茶飯事となると案外ノイローゼにならないようであります。

最後にもう一つ重要だと感じたのは MIT ではこのような勉強への厳しさの反面、積極的に学生の休けいする所が完備しているということでした。いねむりのできる緑の芝生のある広い庭があり、ソファーが並んでいてクラシック音楽の流れる音楽図書館というのが図書館の中にある。授業の合い間には本をひざの上において、ソファーに深く沈んで目をつむる学生でいっぱいであった。こんな一見なんでもないようなことが、いかに効果があるかということは自分で体験してみないとわからないものです。学校の主人は学生であり、学生のために在るという意識がここでははっきりしている。日本はどうもこの点が希薄であり、先生方もまた学生自身もいいかげんに考えているようで、筆者がこのことを話題にしてもとかく反応がない。実はこのへんに真の問題がある。この点が一番日本の教育で欠けているのではないかと考えさせられます。

(1967年4月24日受理)

次 号 予 告 (8 月 号)

研 究 解 説

| | | | | |
|-----------------------------|----|----|---|----|
| 有限オートマトンの代数的性質—遷移行列の構造について— | 森河 | 脇田 | 義 | 雄汎 |
| | | | | 文二 |
| レーザを使用した超高压変流器 | 斎藤 | 藤崎 | 成 | 襄陽 |
| | 藤 | 井 | 幸 | 豊 |
| | 大 | 山 | | |
| 東京都心の大気汚染と暖房 | 勝野 | 田 | 高 | 司 |
| | | 野 | 耕 | 臣 |

研 究 速 報

| | | | | |
|-------------------------------|----|---|---|---|
| 誘導ブリュアン散乱による液体の音速の測定 | 鳥根 | 銅 | 安 | 生 |
| | 山 | 岸 | 勝 | 雄 |
| | | 崎 | 正 | 之 |
| 吸収電子測定法によるジルコニウム中への酸素侵入曲線の観察 | 本 | 間 | 禎 | 一 |
| | | | | 治 |
| MOS 構造の容量—電圧特性曲線に及ぼす BT 処理の影響 | 堀 | 内 | 重 | 出 |
| | 栗 | 原 | 由 | 紀 |
| | 安 | 達 | 芳 | 夫 |
| 副共振に起因する水晶発振器の二重発振の一例 | 高 | 木 | 幹 | 雄 |
| | 藤 | 本 | | 洋 |

(p. 25 よりつづき)

(1967年4月25日受理)

振動波形にも差異が認められるが、本実験で行なった $V=25\sim 68\text{cm}^3$ の範囲での実験結果からでは、 V による発振限界の差異は重合量による差異ほどは顕著に認められなかった。このことは、式(6)からわかるように、粘性抵抗が大きくなると V の発振限界におよぼす影響が dP/dx (これは近似的に作用圧力に比例し、重合量に逆比例する) の影響に比べ少ないためと考えられる。

文献 1) S. Y. Lee & T. F. Blackburn, Trans. ASME, 74-6 p. 1013 (1952).
 2) F. D. Ezekiel, Trans. ASME, 80-4 p. 904 (1958).
 3) F. W. Ainsworth, Trans. ASME, 78-4 p. 773. (1956).
 4) 斎藤: 日本機械学会誌, 64-515 p. 23 (昭36).
 5) 伊藤, 武藤, 他: 日本機械学会論文集 33-245 p. 51 (昭42).
 6) 兵藤: 日本機械学会誌 66-532 p. 21 (昭38).