

II-161 フルイディクスによる流量制御

信州大学工学部 正 佐々木 八郎
正 〇余 越 正一郎

1. まえがき

構造簡単(字価, 堅牢, 保守容易)で, しかも精度のよい水理実験用の定流量供給装置の開発を目的としている。その内容はフルイディクス分流弁(側壁付着形双安定素子)のオンオフ動作により量水堰水位の定値制御を行うものである。フルイディクスは可動部分がないために信頼性が高く, 寿命も半永久的である。また環境条件に影響されず, 保守も容易である。一方, オンオフ制御についてみると, 最近のプロセス制御は計算機による最適制御が採用されつつある反面, 構造簡単, 保守容易, 安価, さらに最短時間制御に有効という種々の利点からオンオフ制御が再認識され, オンオフ要素を制御系に積極的に持ち込んで最適制御系を構成することが最近の自動制御界の大きな話題の1つになっている。

2. 装置の構成と動作

装置の構成を Fig. 1 に示す。

ポンプから量水槽への流量の一部をバイパスして, フルイディクス分流弁に流し, これにより流量の制御をするものである。動作原理を簡単に記す。分流弁の左側制御ポートに連結した水位検出管

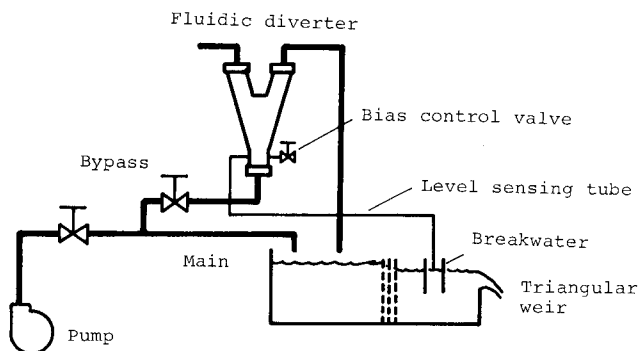


Fig.1 装置の構成

の出口端を量水堰の設定水位に一致させておく。ある時点で堰の水位が設定水位より高くなると, 水位検出管の先端が水中に没し, 左側制御ポートへの流入空気が遮断され, その結果バイパス流は分流弁の左側出力ポートに切り換り, 低水槽へ帰還する。量水堰水位は堰からの流出で次第に低下し, その結果水位検出管の先端が大気に開放されると, 右側制御ポートにバイアスを加えてあるのびバイパス流は分流弁の右側出力ポートに切り換り, 量水槽へ供給される。この動作を繰返し, 水槽水位は設定値のまわりでオンオフ制御され, リミットサイクリングを持續する。

3. 構成要素の特性

《量水槽》 直角三角堰をもつ Fig. 2 のような量水槽を用いる。整流板はインピーダンス調節のため4板まで入れられる。

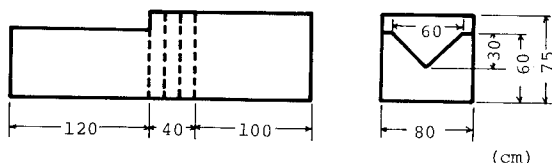
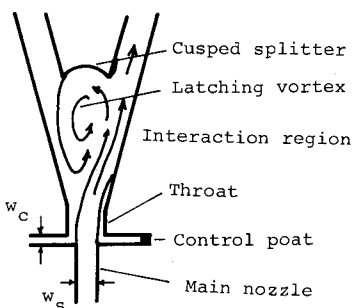


Fig.2 量水槽

《分流弁》 流体消費量を減少させる

ために、フルイダイクスの小型化が指向されているが、これは大流量の切換を行なわせるために大型化したものである。側壁付着形素子を水を作動流体として空気中で作動させると、剥離部に空気が混入して噴流の付着を弱めたり、非付着側出力ポートから洩れが生じるなどの障害が生じる。ここで用いる素子は



	w_s (mm)	w_c (mm)
25A	6	6
40A	10	6
50A	12	8
80A	20	10
100A	24	13

Splitter distance : $15w_s$
 Splitter angle : 15°
 Wall angle : 15°
 Aspect ratio of main nozzle : 3

Fig.3 Flip-Flop

Fig.3 に示すように、スロートを設けること、さらにスプリッターの先端にカスプを設けて干渉域にラッチングボルテックスを発生させることでこの障害を除去している。非付着側出力ポートからの洩れの問題は、入力流が鉛直上向きになるように素子を設置することでさらに安全になる。本素子は対象形の双安定素子なので、一方の制御ポートを幾分しぼってバイアスを加ゆるようにしておくことにより、単安定の機能をもった素子として作動する。実験には5種類の素子を用いた。形状、寸法の概略を表に示す。また、入力圧力と流量の関係を Fig.4 に示す。

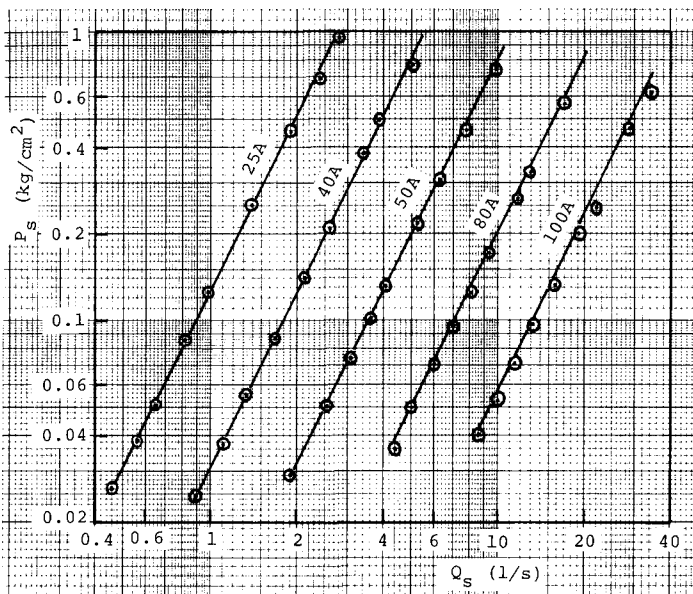


Fig.4 入力圧力-流量特性

《水位検出》 受感部は水位計の先端にガラス管をとりつけたもので、これと分流弁の制御ポートの径は内径数mm、長さ2.5m程度の軟質塩ビ管で連結してある。水槽に発生する波によって誤動作をしないように、受感部は抵消しで防護してある。

4. 制御系の応答

水槽系を Fig.5 のような線形集中定数系と看する。図においてHは三角堰頂点からの水位、Aは水槽の面積、 Q は流量、Rは流出抵抗である。系は $Q_1 \sim H_2 \sqrt{(H_1 - H_2)}$, $Q_2 \sim H_2^{5/2}$ なる非線形特性を有するが、水位変動は定常動作点(設定水位)近傍に限られ、リミットサイクルの振巾は小さいので、次のような流出抵抗を用いて線形化して考えることができる。

$$R_1 = \frac{d(H_1 - H_2)}{dq_1} \sim \frac{\sqrt{H_1 - H_2}}{H_2}, \quad R_2 \equiv \frac{dH_2}{dq_2} \sim H_2^{-3/2}$$

これらはいずれも越流水深 H_2 の関数である。この系のブロック線図を Fig. 6 に示す。水位検出管系と分流弁をあわせてヒステリシスが 2 段のオンオフ要素と考える。水位検出管先端が水中に没している間に塩ビパイプに水を吸入しているの、水槽水位が降下して先端が大気に開放されても直ちには弁の切換えは生じず、動作すきまがある。このヒス

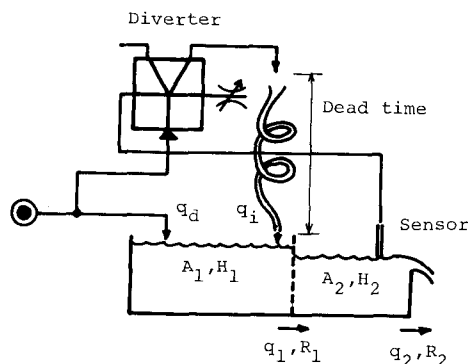


Fig. 5 制御系

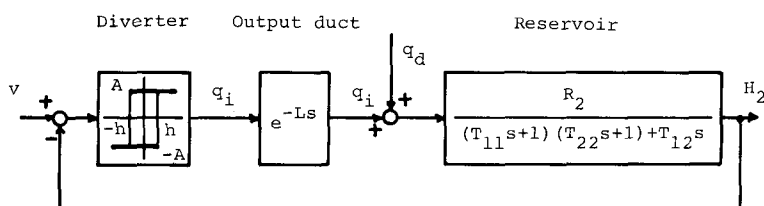


Fig. 6 ブロック線図

テリシスの巾はバイアス調節弁の絞り程度、検出管路の抵抗などによって異なる。むだ時間 L は、分流弁の干渉域から出力ダクトを経て水槽水面までの距離を水が通過するに要する時間で、1 秒弱である。図において $T_{ij} \equiv A_i R_j$ は時定数である。系に発生するリミットサイクルの大体は記述函数法により解析するのが便利である。リミットサイクルの周波数が比較的高くなると、方形波入力に依る制御量波形はむしろ三角波状になるので、オンオフ要素の記述函数としては普通の正弦波記述函数より三角波を基調とする記述函数の方が近似度が高い。制御量振巾すなわち オンオフ 要素への入力信号の振巾を z とすれば、記述函数は次となる。

$$G_c(j\omega) = \frac{\pi A}{2z} \left/ -\frac{\pi h}{2z} \right.$$

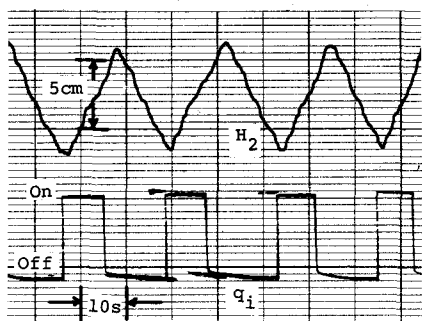
制御対象系の周波数伝達函数は Fig. 6 より次となる。ここで、 $\alpha \equiv T_{11} T_{22}$, $\beta \equiv T_{11} + T_{22} + T_{12}$.

$$G_p(j\omega) = \frac{R_2}{\sqrt{(1-\alpha\omega^2)^2 + \beta^2\omega^2}} \left/ -\tan^{-1}\left(\frac{\beta\omega}{1-\alpha\omega^2}\right) - \omega L \right.$$

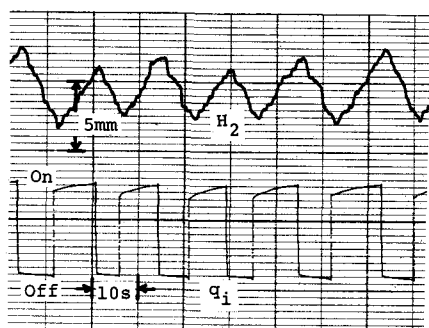
リミットサイクルの周波数を ω_0 とすれば、この系の特性方程式は

$$1 + G_c(j\omega_0) G_p(j\omega_0) = 0$$

であるから、 $G_p(j\omega)$ の周波数ベクトル軌跡と $G_c(j\omega)$ の負の逆振巾ベクトル軌跡の交点のうち、1 番外側のものがリミットサイクルの振巾と周波数を与える。発生したリミットサイクルの例を次に示す。



$q_i: 100 \text{ A}$, $q_d: \text{なし}$, 設定水位: 13.3 cm
 入力圧力: 0.44 kg/cm^2



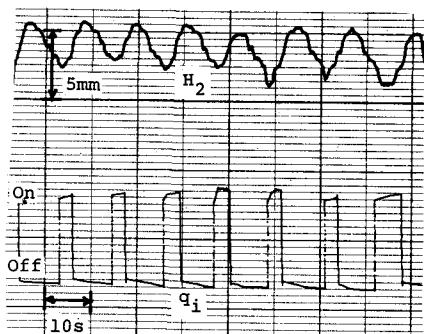
$q_i: 40 \text{ A}$, $q_d: \text{なし}$, 設定水位: 7 cm
 入力圧力: 0.55 kg/cm^2

5. 応答改善法

いろいろな方法があるが、共通した原理はオンオフ要素の切換え時点を早めることである。

《構成要素の特性変更》 制御対象のむだ時間とオンオフ要素の正のヒステリシスの存在が特にリミットサイクルの振巾、周期を大きくする。むだ時間を小さくするには分流弁を量水槽内に漬けて使用すればよい。しかし、もともと1秒弱のむだ時間であるから、応答改善には効果弱い。最も影響の大きいヒステリシス中を小さくするには、分流弁の前にもう1つ小型の分流弁を用い、この出力流で主分流弁を制御する方法、量水匣水面を電気接点式に検出してソレノイド弁で制御ポートを開閉する方法、Fig.8のように浮子を用いる方法などが簡単で効果的なものであろう。

《補償要素付加》 直列補償とフィードバック補償とがある。フィードバック補償要素はオンオフ要素と結合して比較的高い周波数のリミットサイクル発生させ、これを制御対象に与えて制御量のリミットサイクルの振巾を減少させる。



$q_i: 80 \text{ A}$, $q_d: 100 \text{ A}$, 設定水位: 19.4 cm
 入力圧力: 0.32 kg/cm^2

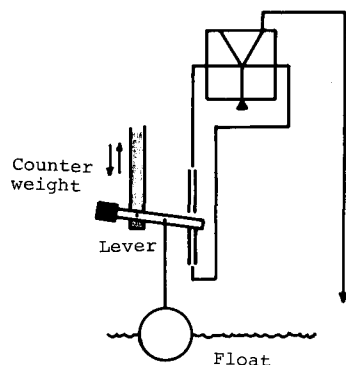


Fig.8 浮子-レバーによる水面検出

6. あとがき

Fig.8のような水位検出を行ない、量水匣は比例堰として、さらにフィードバック補償を行えば秀れた定流量供給装置が実現できる。定圧源がえられる場合には、例えば $25 \text{ A} \sim 100 \text{ A}$ の素子に $1, 2, 4, 8, 16 \text{ l/s}$ の流量を流すように調節しておくと、シーケンス制御により $0 \sim 31 \text{ l/s}$ の流量を任意に発生させることができ、非定常現象の実験も可能となる。 1 l/s 以下の任意の流量発生にはパルスゼネレータとソレノイド弁を用いて良好な結果をすでにえている。