801 ノズルフラップ弁の流体力補償に関する研究 (圧電フラップのヒステリシス軽減について)

A study of flow force compensation in a nozzle-flapper valve
(Reduction of hysteresis of PZT flapper)

正 大内 英俊 (山梨大学) ○学 浅野 広太郎 (山梨大学 (院))
正 長田 佐 (山梨大学)

Hidetoshi OHUCHI, Yamanashi University, 4-3-11, Takeda, Kofu, Yamanashi
Koutarou ASANO, Graduate school, Yamanashi University
Tasuku OSADA, Yamanashi University, 4-3-11, Takeda, Kofu, Yamanashi

Key Words : Nozzle Flapper Valve, PZT Actuator, Hysteresis

1. 緒言

ノズルフラップ弁はサーボ弁の前段増幅部など小流量高速性が必要な分野で利用されている。著者らは、直径 10~20mm 程度のシリンダを直接駆動できるようなノズルフラップ弁を、圧電フラップを用いて製作している。この場合、噴流力のため十分な大きさのフラップ変位が得られないのが難点である。

解決策として弁室上流側の流路内に球形の受圧部を設け、細いロッドでフラップと接続する方法により、流体力を補償し、フラップ変位を拡大させる方法を採用した⁽¹⁾。これによりフラップ変位の減少を防ぎ、さらに流体力を負ばねとして利用し、フラップ変位を増大させることも可能となった。

ところが圧電フラップの変位増大に伴い、印加電圧と変位間のヒステリシスも大きくなったため、変位のフィードバックが必要となった。変位検出方法には種々あるが、本稿では変位センサを付加せず、圧電素子の変位に伴うインピーダンス変化を利用する方法を提案し、その効果について検討する。

2. 流体力の補償とフラップ変位の拡大

ノズル-フラップ弁のフラップ部はリン青銅板の片側に圧電素子板を貼り合わせた構造である。フラップに作用する流体力を補償あるいは負ばねとして作用させるため、Fig.1 に示すように、上流の円筒状流路中に受圧部として球体を挿入しこれとフラップを細いロッドで接続してある⁽¹⁾。球体と円筒流路との隙間が上流側絞りに相当する。また、この球体が供給圧 P_s とノズル背圧 P_o の差に対応する力を受け、ロッドを介してフラップに伝わる。この力の増減は、フラップがノズル部で受ける噴流力の増減と同じにしたり逆にしたりできるため、噴流力を補償したり負ばねとしてフラップ変位を増大させることもできる。本実験では、流体力によりフラップ変位が増大するように設定した。

実験で使用したフラップは、板厚 0.6mm のリン青銅に厚さ 0.2mm 圧電素子板を 2 枚貼ったもので、ばね定数は 10.1N/mm、受圧部球体は直径 $\phi 3.17$ mm、ロッド径 0.6mm、上流側円筒部内径は $\phi 3.2$ mm、ノズル径 $\phi 2.0$ mm である。

最初に、フラップ変位の増大に伴いヒステリシスがどのように変化するかを実験により確認した。空気供給がない場合と、供給圧力 0.2MPa の場合について、印加電圧 0~150V の条件でフラップ変位およびヒステリシスの大きさを実測した結果が Fig.2 (a) および Fig.2 (b) である。空気の供給がある場合にはフラップをノズルに最も接近させたときを変位ゼロとし、電圧の印加により、フラップはノズルから離れていく。

Fig.2 (a) では最大変位 55 μ m、ヒステリシス 13%であるのに対して、Fig.2 (b) では最大変位が 105 μ m と増大しているが、ヒステリシスも 29%と大きくなってしまい、このままでは実用上問題がある。

Fig.1 Nozzle-flapper valve

Fig.2 Displacement characteristics of the PZT flapper

Fig.3 Detection of the Flapper displacement

(a) $f_0 = 62.25$ [KHz](b) $f_0 = 62.00$ [KHz]

Fig.4 Characteristics of the displacement sensor

3. フラップ変位検出法

Fig.3 にフラップ変位の検出回路を示す。まず、コイル T1 には圧電素子のいくつかある共振周波数のうちのひとつを選び、その近傍の周波数に固定した正弦波電圧を印加する。コイル T2, T3 に誘導電圧が発生するが、コイル T2 には、PZT ドライバと圧電素子が直列に接続してあるので、圧電素子には駆動用の直流電圧に高周波の正弦波電圧が重畳される。フラップの変位に伴い素子のインピーダンスが変化するので、その変化をコイル T3 に誘導される電圧振幅の変化として検出する。実験で用いた励磁周波数は 62.25kHz である。他の共振周波数を利用した場合には、ヒステリシスの現れ方や検出ゲインが異なってくる。また、IC536 は実効値を直流に変換する機能を持っており、その信号を増幅して出力としている。

Fig.4 (a), (b) はそれぞれ、圧電素子に 0~150V を印加して変位させたときの検出回路の出力である。Fig.4 (a) は周波数 $f_0 = 62.25$ kHz, Fig.4 (b) は $f_0 = 62.00$ kHz とした。周波数によって往復の方向が変化していることが確認できる。ヒステリシスは完全に消滅しているわけではないが、圧電フラップの当初のヒステリシス程度にはなっており、フィードバック信号として利用できるものと考えた。

(a) Without air supply

(b) With air supply

Fig.5 Flapper displacement with the feedback control

4. フィードバック制御によるヒステリシス低減

フラップ変位を検出してフィードバックした場合の、Fig.2 (a) および Fig.2 (b) に対応する結果を Fig.5 (a), (b) に示す。目標信号として 0.1Hz の正弦波信号を発信器で与え、差動増幅器でフラップ変位信号と比較し、素子駆動用の増幅に入力した。周波数は 0.1Hz とした。

Fig.5 (a) では Fig.2 (a) のヒステリシス特性と比較して改善されたとは言えないが、これは変位検出にヒステリシスが残っているためと考えられる。一方、Fig.5 (b) では Fig.2 (b) と比較して大幅にヒステリシスが軽減されており、本方式の変位検出による効果が確認できた。なお、フラップの変位拡大に伴い検出器のゲインを下げています。

5. 結論

ノズルフラップ弁において、上流側絞り内に受圧部を設けフラップと接続して流体力を補償し、さらにフラップ変位を増大させることができる。圧電フラップを用いると、フラップ変位の増大に伴いヒステリシスも増大するが、圧電素子のインピーダンス変化を検出する変位検出を提案し、その信号をフィードバックする方法により、ヒステリシスを軽減できることを確認した。

6. 参考文献

- (1) 大内, 神谷: ノズルフラップ弁の流体力補償に関する研究, 山梨講演会講演論文集, pp237-238(2002)