

# 薄型純流体論理素子の特性について

野 島 一 利・宮 地 秀 征

On the Characteristics of the Thin Type of Digital Fluidic Amplifiers

Kazutoshi NOJIMA, Hideyuki MIYAZI

## Abstract

Most of digital fluidic amplifiers have been used of high aspect ratio, but for the economy of power those of low aspect ratio are desired. In this paper, the characteristics are described of the element manufactured for trial with two hollows on each one of the attachment walls. The characteristics include main flow vs. aspect ratio, minimum switching pressure normalized vs. aspect ratio, output characteristics, pressure recovery vs. aspect ratio, flow recovery vs. aspect ratio, fan out vs. aspect ratio, and switching time vs. width of splitter duct.

The results may be summarized as follows:

- (1) The main flow is roughly proportional to aspect ratio.
- (2) The minimum switching flow is proportional to the aspect ratio ranging from 0.35 to 0.7.
- (3) Regardless of the aspect ratio, the minimum switching pressure normalized is about 5 percent of the supply pressure.
- (4) The pressure recovery increases exponentially with the aspect ratio to the high value of about 60 percent at the aspect ratio of 0.5.
- (5) The flow recovery increases gradually with the aspect ratio to about 120 percent at the aspect ratio of 0.7.
- (6) The fan out increases as the aspect ratio decreases to about 17 at the aspect ratio of 0.2.
- (7) As the width of splitter duct increases the switching time shows a slight decrease.
- (8) Regardless of the width of splitter duct and the contraction of output port, the pressure of non-attachment side is 0 to 3 percent of the supply pressure with the output port of non-attachment side fully closed.

(Pressure in the paper is expressed in gage pressure.)

## 1. ま え が き

省エネルギー時代となり、あらゆる分野でエネルギーの節約が図られている。フルイデクスの分野においてもエネルギーの節約を図る必要がある。それにはまず使用する素子自体の流量消費量を低減させることである。そこで、素子の供給ノズル幅に対し、ノズル深さの小さい素子を新しく開発試作し、従来のコアンダ効果を利用した側壁付着型素子と区別して、薄型純流体論理素子と名付け、その中の Flip-Flop 素子について、アスペクト比と素子の基本的な諸特性との関係を中心に、実験的に調べた結果を報告する。

## 2. 記号及び単位

$b_s$	: 供給ノズル幅	(mm)
$b_c$	: コントロールノズル幅	(mm)
$b_t$	: ノズル深さ	(mm)
$b_w$	: スプリッタ流路幅	(mm)
$AR$	: アスペクト比 ( $=b_t/b_s$ )	
$A_s$	: ノズル断面積 ( $=b_s \cdot b_t$ )	(mm <sup>2</sup> )
$R$	: 右側	
$L$	: 左側	
$T$	: 切換時間	(mS)
$P_s$	: 供給圧力	(Pa)
$P_0$	: 出力圧力	(Pa)

- $P_o'$  : 非付着側出力圧力 (Pa)
- $P_c$  : コントロール圧力 (Pa)
- $Q_s$  : 供給流量 (l/min)
- $Q_c$  : コントロール流量 (l/min)
- $Q_o$  : 出力流量 (l/min)
- $Q_o'$  : 非付着側出力流量 (l/min)
- $P_o/P_s \times 100$  : 圧力回復率 (%)
- $P_o'/P_s \times 100$  : もれ率 (%)
- $P_c/P_s \times 100$  : 切換圧力率 (%)
- $Q_o/Q_s \times 100$  : 流量回復率 (%)

3. 実験方法及び実験装置

実験に用いた素子の形状と主要寸法を Fig. 1 に、実験装置の概略を Fig. 2 に示す。この素子は、流線に沿って大小2つの凹部を有するのが特徴で、この2つの凹部によるフィードバック渦流の効果、セグメント壁の効果、カスプの効果、並びにスプリッタ流路の効果等を取り入れ、これらの効果によって薄流を一方の側壁に付着させるものである。

本実験は、供給圧力  $P_s = 13.33 \text{ kPa}$  一定のもとで、 $b_w = 2.7 \text{ mm}$  で、アスペクト比 (以後  $AR$  と略す)  $0.1 \sim 0.7$  まで7種類の素子について、供給流量特性、最小

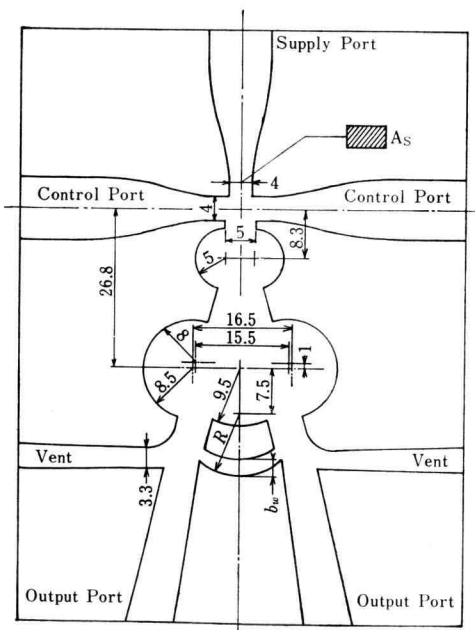
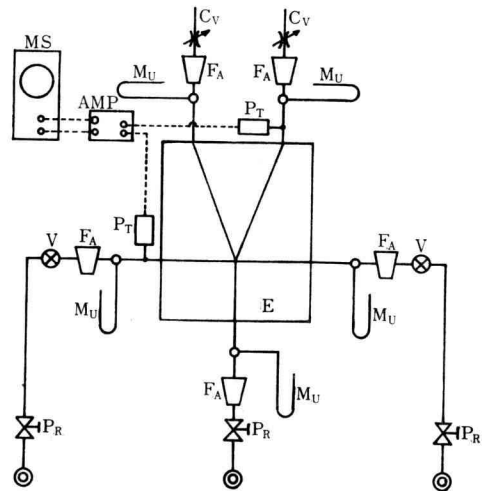


Fig. 1 Basic configuration and important dimension of the element (unit, mm)

切換流量特性、最小切換圧力率特性、最大圧力回復率特性、最大流量回復率特性、出力特性を求めた。又、 $AR = 0.5$  で、 $b_w = 1.5 \sim 3.5$  までの7種類の素子について、最大圧力回復率特性、もれ率特性、切換時間特性を求めた。圧力の測定はU字管で、流量の測定はフロート形面積流量計を用いて測定した。切換時間の測定は、半導体圧力変換器を用いて、入力信号と出力信号を検出し、二現象メモリスコープ上の波形を写真撮影して測定した。供給流量特性の測定は、両コントロールポート及び両出力ポート全開で行った。最小切換圧力率特性及び最小切換流量特性の測定は、非付着側コントロールポート全開で、両出力ポートは全開で行った。最大圧力回復率特性の測定は、両コントロールポート全開で、非付着側出力ポートは全開で行った。最大流量回復率特性の測定は、両コントロールポート全開で、両出力ポートは全開で行った。もれ率特性の測定は、両コントロールポート全開で、両出力ポートは負荷状態で行った。切換時間特性の測定は、非付着側コントロールポート全開で、圧力検出側の出力ポートは負荷状態で行った。



- AMP: DC amplifier
- $C_v$  : Flow control valve
- E : Element
- $F_a$  : Air flow meter
- MS : Memory scope
- $M_u$  : U tube
- $P_r$  : Pressure regulator
- $P_t$  : Pressure transducer
- V : Valve

Fig. 2 Experimental apparatus

4. 供給流量対 AR の関係

AR の変化に対する供給流量の関係を示したのが Fig. 3 である。この線図を見るとわかるように、AR の減少にはほぼ比例して供給流量も減少している。低 AR、即ち薄流にすればする程、消費流量の低減が計れることとなり、薄型素子は省エネ素子といえる。

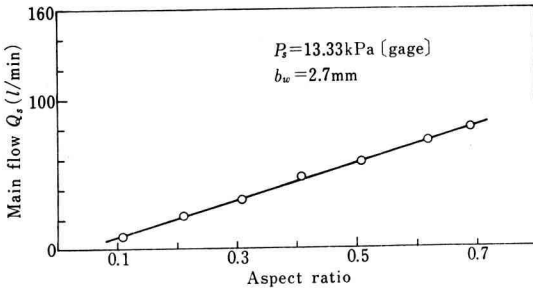


Fig. 3 Main flow vs. aspect ratio

5. 最小切換流量対 AR の関係

AR の変化に対する最小切換流量の関係を示したのが Fig. 4 である。この線図によると、AR が約 0.35~0.70 までは、AR が増加するに従い、最小切換流量も直線的に増加していく。しかし、AR が 0.35 以下になると、最小切換流量が漸減する。これは、AR が小さくなると、凹部の容積が小さくなり、強制渦流が弱くなるものと見られる。特に AR が 0.35 以下になるとこの現象が顕著になる。

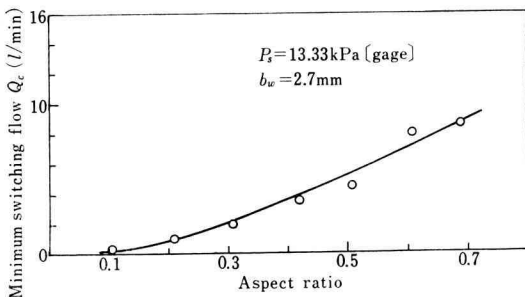


Fig. 4 Minimum switching flow vs. aspect ratio

6. 最小切換圧力率対 AR の関係

AR の変化に対する最小切換圧力率の関係を示したのが Fig. 5 である。この線図を見ると、最小切換圧力率

は、AR の変化に関係なく、供給圧力の約 5% の一定値を取っている。従来、コアンダ効果を利用した素子は薄流になると最小切換圧力率が高くなり、切換時間も遅くなるといわれていたが、このタイプの素子では、そのようなことはなかった。

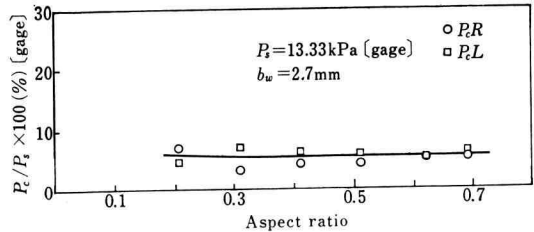


Fig. 5 Minimum switching pressure normalized vs. aspect ratio

7. 最大圧力回復率対 AR の関係

AR の変化に対する最大圧力回復率の関係を示したのが Fig. 6 である。この線図を見ると、AR が低下すると指数関数的に最大圧力回復率も低下する。これは流量の低下、即ち、平均流速の低下によるものと思われる。しかし、最大圧力回復率は、AR 0.1 で約 30%、AR 0.5 で約 60% となった。コアンダ効果を利用した素子では 45% 程度なので、コアンダ効果を利用したよりも高い値を得た。

過去の実験によると、AR が 0.5 より大きくなるにつれて、最大圧力回復率は増大し、AR 1.2 で 84% と高い値<sup>1)</sup>を得ている。この最大圧力回復率は、ベント幅を小さくし、スプリッタ流路との位置関係を変化させることにより、さらに高い値を示すことが予測される。

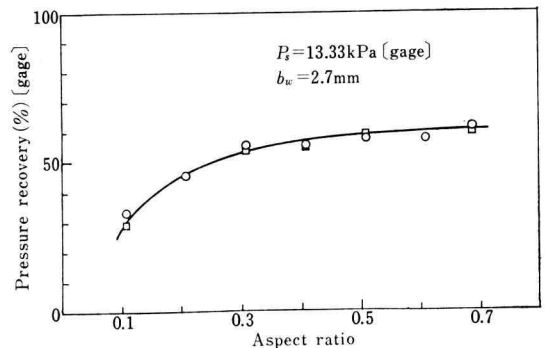


Fig. 6 Pressure recovery vs. aspect ratio

### 8. 最大流量回復率対 $AR$ の関係

$AR$  の変化に対する最大流量回復率の関係を示したのが Fig. 7 である。この線図を見ると、 $AR$  が低下すると、それにつれて、最大流量回復率が漸減する。しかし、最大流量回復率は、非常に高い値を示しており、例えば  $AR 0.1$  でも約 75%、 $AR 0.7$  になると 120% にもなる。通常、コアンダ効果を利用した素子では、 $AR=2$  で 95% 程度なので、この薄型素子は、流量回復率においても、コアンダ効果を利用した素子よりも高い値を示した。なお、最大流量回復率が 100% を超えるのは、ベント及びスプリッタ流路からの巻き込み流があるためである。このように流量回復率の高い素子の応用面として、吹出し口等への利用が考えられる。

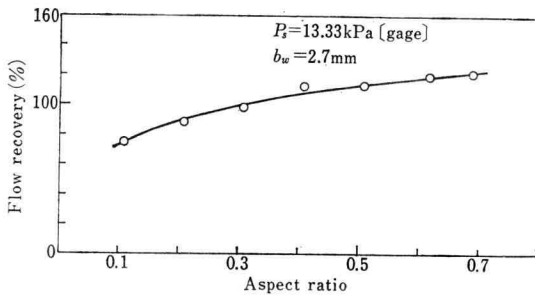


Fig. 7 Flow recovery vs. aspect ratio

### 9. ファンアウト対 $AR$ の関係

ファンアウトとは、同じ形、同じ寸法の素子を 1 個の素子の出力で動作できる数であるが、この値は、各  $AR$  ごとに、Fig. 9 の出力特性の  $Q_0-P_0$  曲線上に  $P_0=P_c$  なる点を取り、その点の  $Q_0$  を読み取り、その  $Q_0$  を  $Q_c$  で割って算出した。 $AR$  の変化に対するファンアウトの関係を示したのが Fig. 8 である。この線図を見ると、 $AR$  の低下につれて、ファンアウトは漸増する。例えば

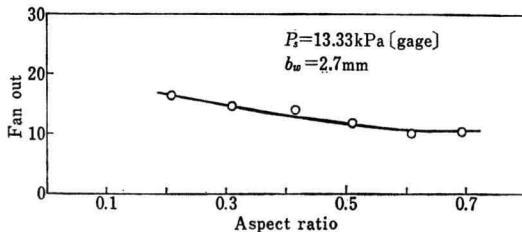


Fig. 8 Fan out vs. aspect ratio

$AR 0.7$  で約 11 であったのが  $AR 0.2$  になるとその値は 17 となる。これらの値は前述のように出力特性から算出し、予測した値であるので、圧力損失等を考えると実際にはこれよりも小さい値になると思われる。コアンダ効果を利用した素子は、 $AR=2$  でファンアウト 2~5 程度なので、この薄型素子は、コアンダ効果を利用した素

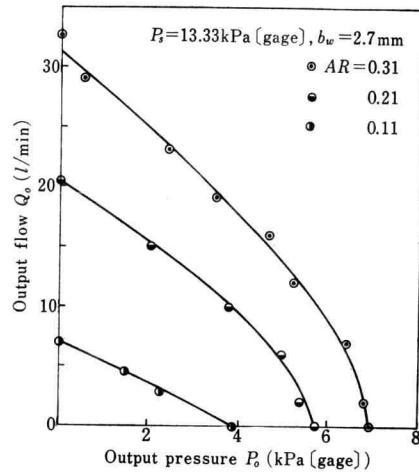


Fig. 9.1

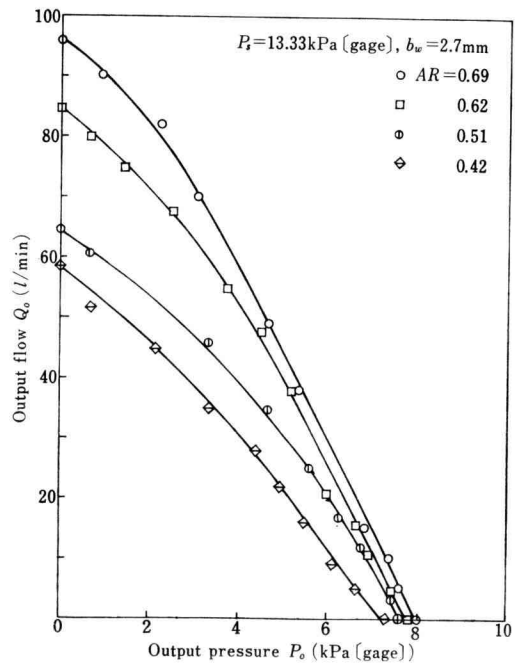


Fig. 9.2

Fig. 9 Output characteristics

子よりも高い値を示した。又、AR の低下につれてファンアウトが増大することは、Fig. 3 の線図で示したように、AR の低下につれて、最小切換流量が低下するからである。

10. 出力特性

Fig. 9 は  $AR=0, 11, 0, 21, 0, 31, 0, 42, 0, 51, 0, 62, 0, 69$  の出力特性を示したものである。タテ軸は出力流量  $Q_0$ 、ヨコ軸は出力圧力  $P_0$  で、したがって出力圧力 = 0 の点が最大出力流量で、又、出力流量 = 0 の点が最大出力圧力である。これらを供給流量及び供給圧力で割ったものが、それぞれ最大流量回復率、最大圧力回復率である。又、これらの扇形で囲まれた部分の面積は動力特性を示し、面積の大小が性能比較の目安にもなる。

11. 切換時間対スプリッタ流路幅の関係

$AR=0.5$  の素子について、スプリッタ流路幅の変化に対する切換時間の関係を示したのが Fig. 10 である。この線図を見ると、スプリッタ流路幅が増大すると、それにつれて、切換時間がわずかに 0.05 mS 減少する。

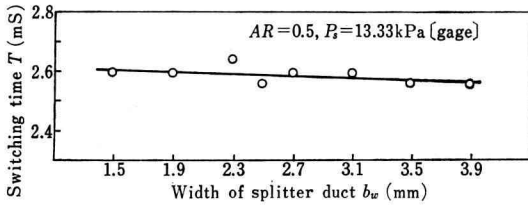


Fig. 10 Switching time vs. width of splitter duct

12. 圧力回復率並びにもれ率対スプリッタ流路幅の関係

$AR=0.5$  の素子について、スプリッタ流路幅の変化に対して、圧力回復率並びに、非付着側の出力ポート圧力と供給圧力との比 (これをもれ率と呼ぶことにする) の関係を示したのが Fig. 11 である。これらの線図を見ると、圧力回復率は付着側出力ポートの絞りが小さくなるにつれて大きくなるが、スプリッタ流路幅にはあまり影響を受けない。もれ率は、付着側出力ポートの絞りとスプリッタ流路幅に無関係に 0 から 3% 以下の低い値を示した。このもれ率は、非付着側出力ポートを閉じた場合の値なので、もし少しでも非付着側出力ポートが開いていたならゼロとなる。

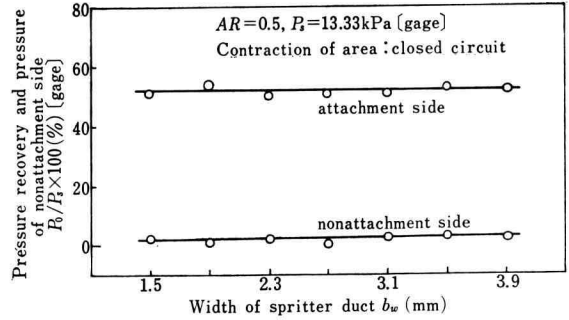


Fig. 11.1

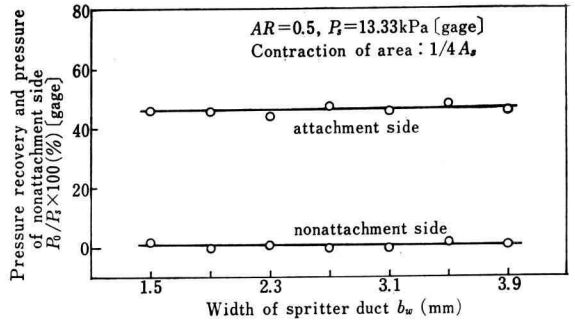


Fig. 11.2

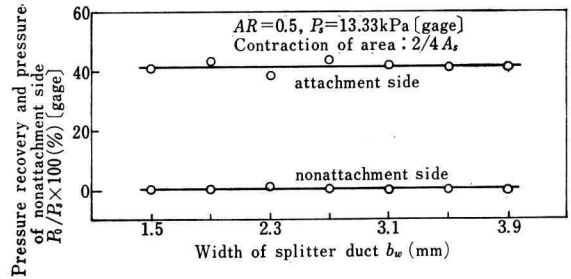


Fig. 11.3

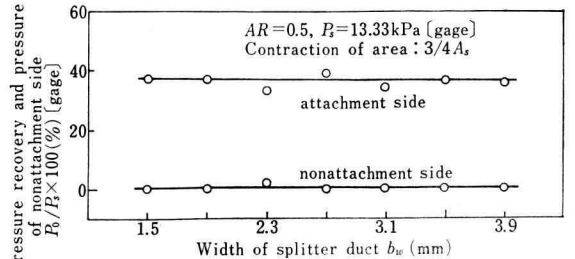


Fig. 11.4

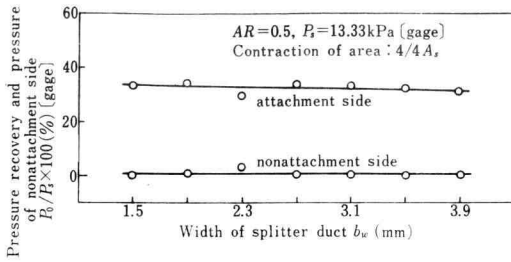


Fig. 11.5

Fig. 11 Pressure recovery and pressure of nonattachment side vs. width of splitter duct

### 13. あとがき

以上の実験結果を要約すれば次の通りである。

- (1) 供給流量はアスペクト比にはほぼ比例する。
- (2) 最小切換流量は、アスペクト比が0.35から0.7までは線型となるが、アスペクト比0.35以下では非線形となる。
- (3) 最小切換圧力率は、アスペクト比に関係なく、供

給圧力の約5%の一定値をとる。

(4) 最大圧力回復率は、アスペクト比の増加に対して指数関数的に増加しているが、アスペクト比0.5において約60%と非常に高い値を得た。

(5) 最大流量回復率は、アスペクト比の増加に対して、漸次増加しているが、アスペクト比0.7において約120%と非常に高い値を得た。

(6) ファンアウトは、アスペクト比の低下につれて、漸増しているが、アスペクト比0.2において約17と非常に高い値を得た。

(7) スプリッタ流路幅の増加につれて、切換時間は0.05 mS 減少した。

(8) もれ率は、付着側出力ポートの絞りとスプリッタ流路幅に関係なく、供給圧力の0から3%と低い値を示した。

### 参考文献

- 1) 野島, 宮地, 増田; 薄型純流体論理素子, 第14回フルイデックスシンポジウム講演論文集133(1979)