

# 実用流体素子の切換時間についての実験的研究

逢坂一正\*, 堂田周治郎\*, 板垣謙二\*\*

(昭和52年9月16日)

## 1. 緒 言

流体論理素子の切換時間, およびそのバラツキに関しては, 最近の研究<sup>1), 2), 3)</sup>により次第に解明されてきている. 流体素子の特徴は, 機械的可動部分を持たず, 流体を使って流れを制御する点にある. それゆえ, 悪環境(温度, 湿度, 振動など)においても安定した動作が期待できる.

切換時間に関しては, 文献1), 2), 3)などで, ある程度解明されてきているが, これらの研究は限られた使用状態における実験がほとんどで, さらに種々の条件の下で解明する必要がある.

そこで, 本報告では, 切換時間のバラツキを理論的に解明し, 信頼度の高い回路設計, 素子設計を行なうことを目的とし, 第一段階として, 市販されている実用流体素子(OR/NOR素子)を用いて実験を行なった.

まず, 素子の応答時間として妥当な時間を切換時間と定義し, 次に使用しない入力ポートの状態, 出力負荷などが, 切換時間におよぼす影響を, 供給圧, 入力圧を変えて実験的に調べた.

## 2. 実験装置および方法

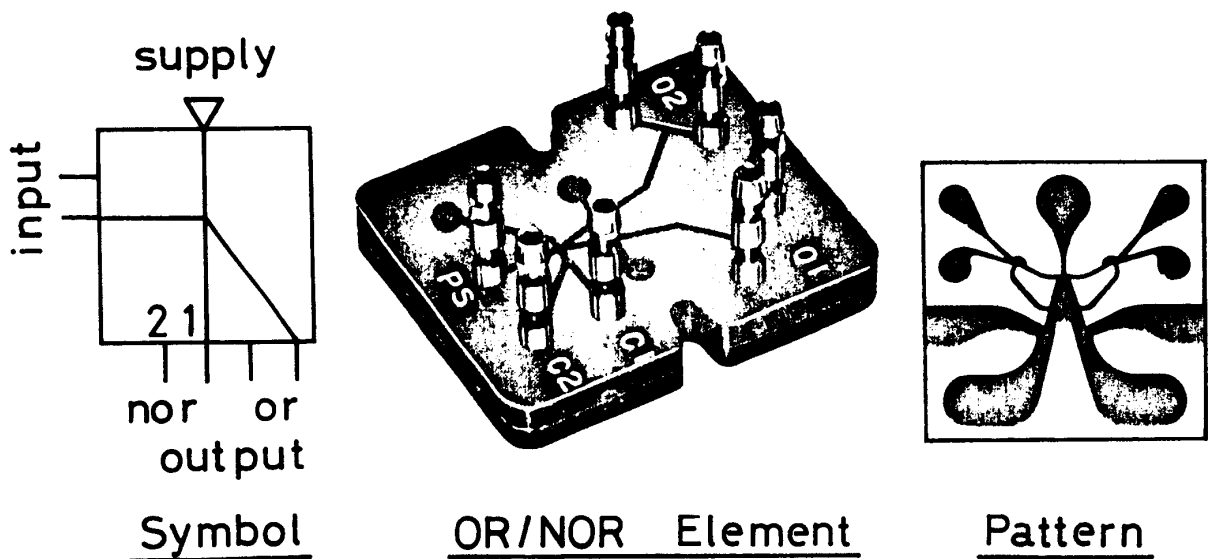


Fig. 1 Fluidic device used in experiment

\* 岡山理科大学・機械理学科

\*\* 岡山理科大学・機械理学専攻科

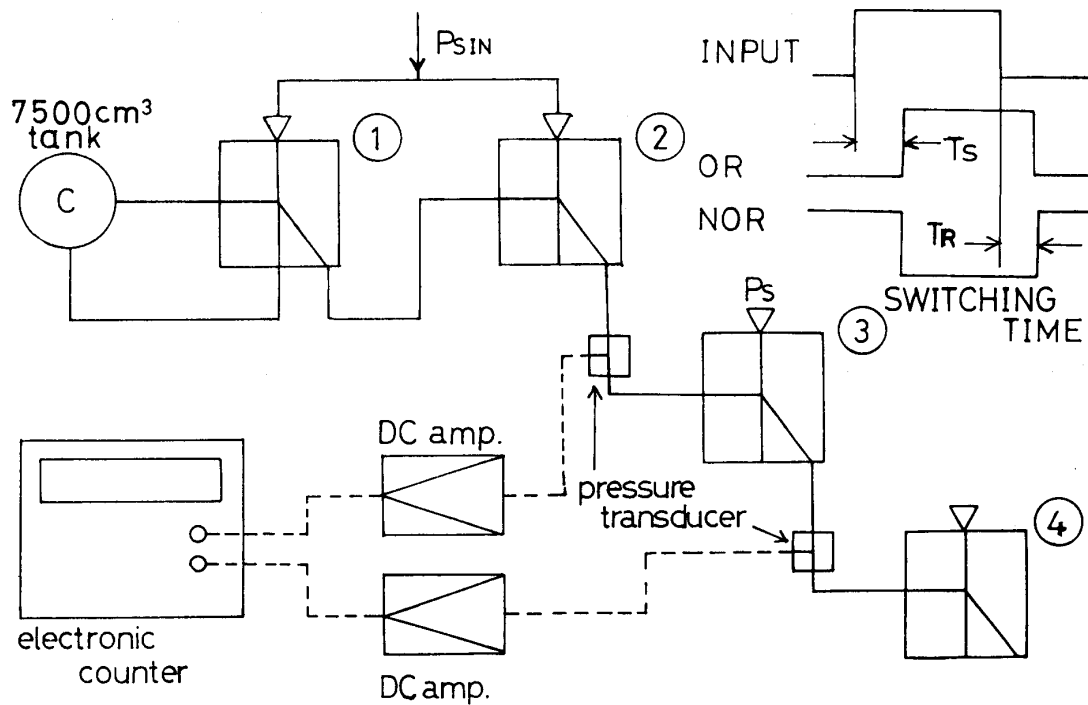


Fig. 2 Schematic diagram of experimental setup

実験に用いた素子の外観，シンボル，流路パターンを Fig. 1 に示す．素子は東京航空計器株式会社より市販されている OR/NOR 素子である．動作流体は空気を用いた．

実験装置を Fig. 2 に示す．実用流体素子の OR/NOR 素子を図の様に接続し，③の素子を供試素子とした．②は入力用素子，①はトリガ素子で，タンク C と組み合わせて，約 10 秒周期の発振を行なわせる．④の素子は負荷素子である．入，出力は，供試素子の入，出力ポートより 45mm の位置で圧力を半導体小型圧力変換器で検出し，アンプを経て，エレクトロニックカウンターで時間間隔を測定した．切換時間  $T_s$ ，復帰時間  $T_R$  を Fig. 2 に示される時間と定義した．供試素子③の供給圧を  $P_s$ ，素子①，②への供給圧を入力圧  $P_{SIN}$  と呼ぶことにする．

本実験では，テスト実験において，切換時間についての 200 個のデータを得た．この 200 個のデータには，前後 100 個の確率分布に差がほとんどないことから，定常性を満足するデータと見なす．得られたデータの平均値，バラツキを表わす量として， $F_{0.5}$ ， $(F_{0.9} - F_{0.1}) / F_{0.5}$  を定義した．ただし， $F_{0.5}$  は確率分布上での 100 個目の値で，これを平均値とした．バラツキ  $(F_{0.9} - F_{0.1}) / F_{0.5}$  は，200 個のデータにおいて，極端に小さいとか，大きなデータが出た時の危険性を考慮して，上下 10% を取り去り，平均値で割ったものである．また，入力の大きさは，無次元量  $P_{SIN} / P_s$  を用いた．素子の入，出力レベルは  $P_{SIN} / P_s$  が変わると，実際の入，出力波形は Fig. 2 のようなきれいな波形とならず，入，出力レベルが切換終了時の定常値付近では波形が特に乱れるので，入，出力レベル 50% において  $T_s$ ， $T_R$  を読み取ることとする．

実験は以下の 3 つの条件の場合に分けて行なった．

- 1) 素子の供給圧  $P_s$  の影響を調べるために、供試素子に同種類の素子を3個用いて、 $P_s = P_{SIN}$  の下で供給圧を変化させ、切換、復帰時間を測定した。切換時間の場合、出力の検出は出力ポートのOR側で行ない、復帰時間の場合はNOR側で行なった。
- 2) 入力圧の影響を調べるため、供試素子1個を用いて、 $P_s = P_{SIN} = 0.1, 0.2, 0.3 \text{ kg/cm}^2$  の3種類で、 $P_{SIN}$  を種々に変化させて、 $T_s, T_R$  を測定した。
- 3) 素子結合の際の入力ポート、出力ポートのうち、使用しないポートの結合状態の影響を調べた。供試素子には入力ポートが2つあり、使用しないポートの状態を各々、(1)開、(2)閉、(3)FLIP—FLOP素子接続した場合について、 $P_s = P_{SIN}$  の下で、切換、復帰時間を測定した。同様に、NOR側の出力ポートの状態を(1)開—開、(2)開—閉、(3)FLIP—FLOP素子接続—閉、(4)閉—閉とした場合について実験を行なった。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 供給圧による影響

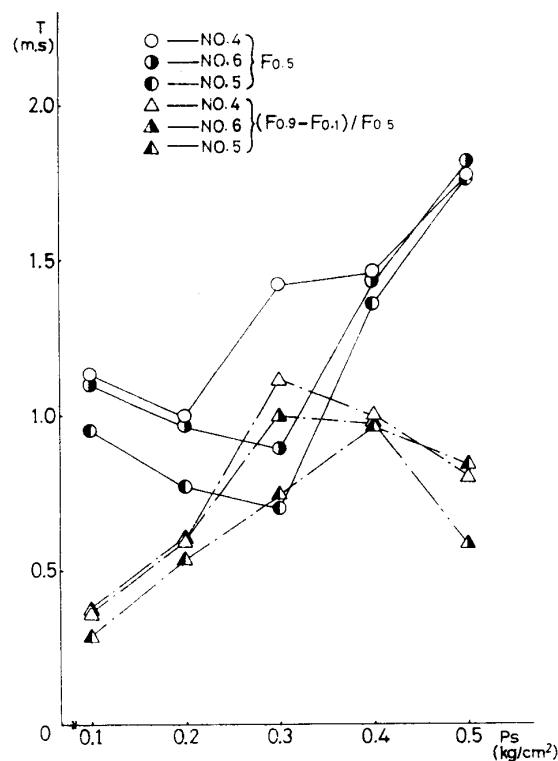


Fig. 3 Effects of supply pressure on mean and dispersion of switching time

Fig. 3 に切換時間  $T_s$  の平均値、バラツキを示す。図中の No. 4, No. 5, No. 6 とは、単に供試素子が異なることを示しているだけである。復帰時間  $T_R$  に関する Fig. 6 も同様である。  $P_s$  の値が小さい範囲では、平均値は減少し、バラツキは増加している。しかし、  $P_s$  の値がある程度大きくなると、平均値は増加し、バラツキは逆に減少している。  $P_s$  が高くなると切換時間は短くなると予想していたが、  $P_s$  の値が大きい範囲で逆の現象が起こっている。

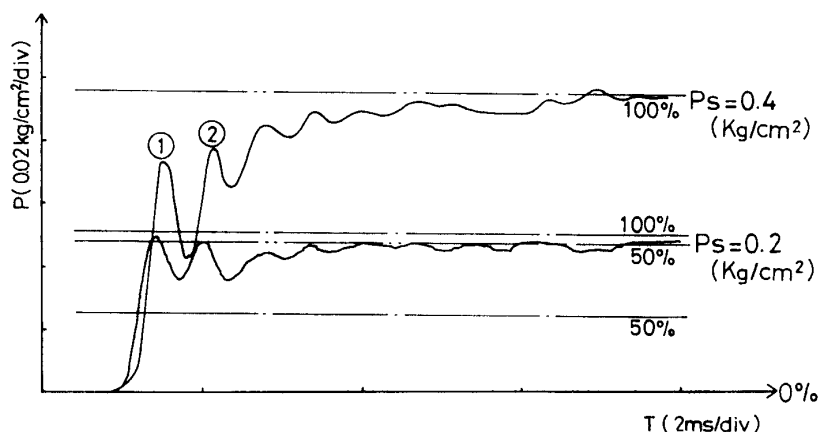


Fig. 4 Input wave form

この現象を明らかにするために、供給圧が高い場合と低い場合の入力波形を比較してみる。Fig. 4 に  $P_s=0.2\text{kg/cm}^2$  と  $P_s=0.4\text{kg/cm}^2$  における入力波形を示す。  $P_s=0.4\text{kg/cm}^2$  の時は、定常値よりも低いところで入力波形の乱れが起こり、波形のピーク①で切換った時と、②で切換った時とが考えられる。このことは、Fig. 4 に示す入力波形での

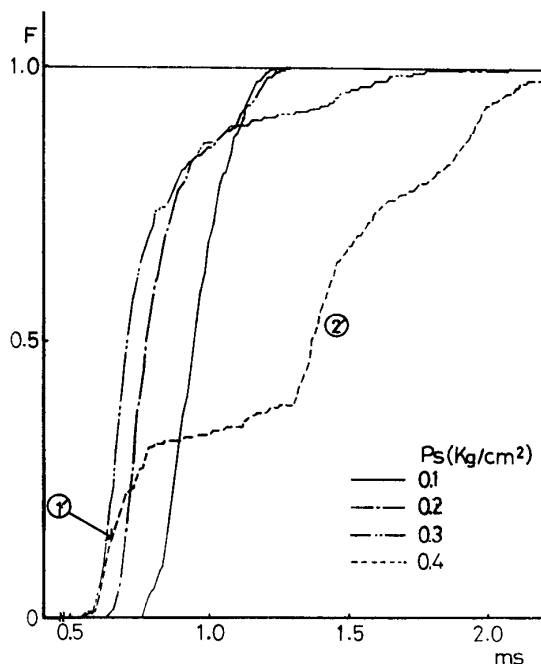


Fig. 5 Probability distribution of switching time

①と②の時間差が約0.75ms、Fig. 5 に示す確率分布における①'と②'の時間差が約0.7msであり、2つの値がほぼ等しいことから説明できる。したがって、  $P_s=0.4\text{kg/cm}^2$  の時の確率分布の形状が階段状となり、平均値が増加している。  $P_s=0.2\text{kg/cm}^2$  では入力波形に大きな谷がないので、分布曲線は滑かになっていると考えられる。しかし、平均値は増加しているが、最小値は  $P_s=0.4\text{kg/cm}^2$  の方が  $P_s=0.2\text{kg/cm}^2$  よりも低くなっていることが、Fig. 5 より明らかである。このことから、平均値を代表する値として、  $F_{0.5}$  でなく、例えば  $F_{0.05}$  とすると、  $P_s$  が増加すれば平均値は減少することになる。

復帰時間と供給圧の関係を Fig. 6 に示す。復帰時間の場合、  $P_s$  が増加すると平均値、バ

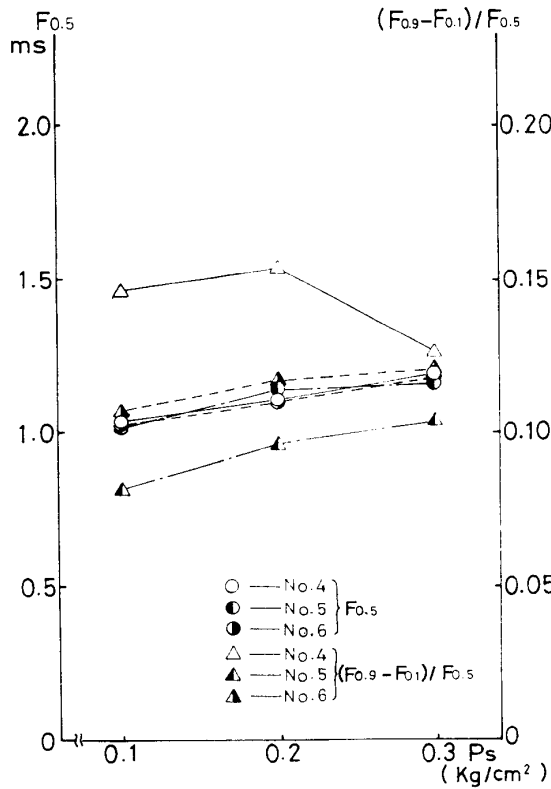


Fig. 6 Effects of supply pressure on mean and dispersion of return-back time

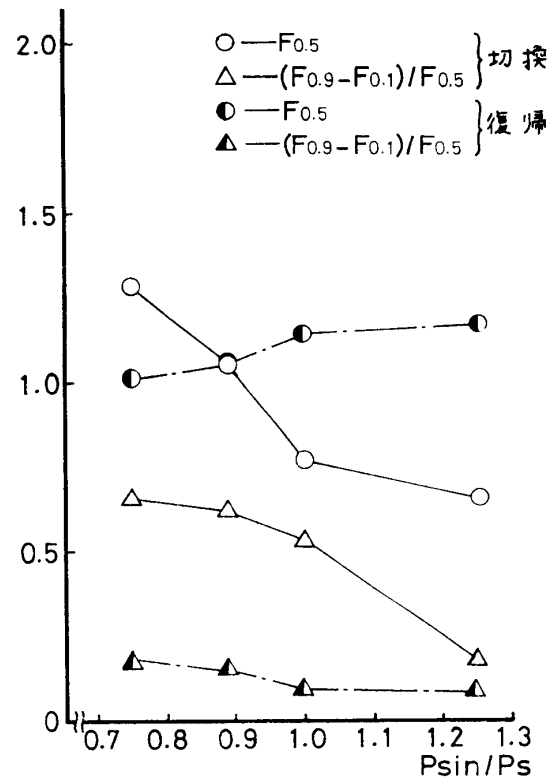


Fig. 7 Effects of input pressure on switching time and return-back time

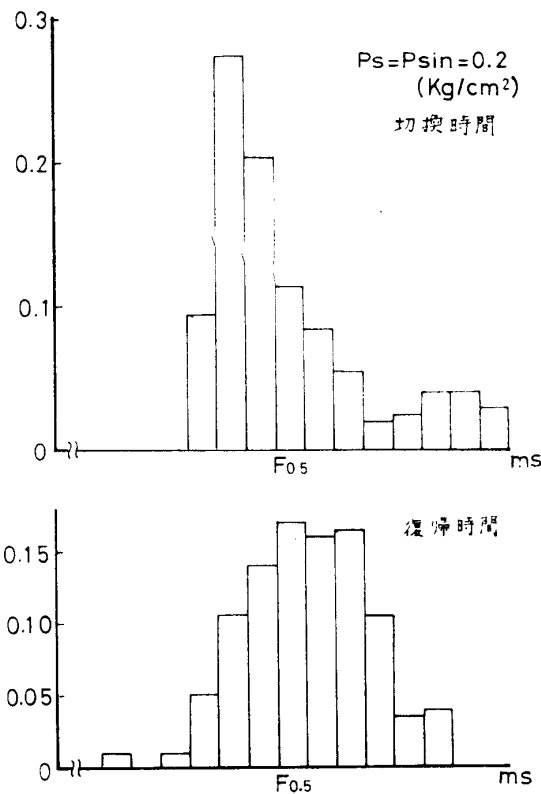


Fig. 8 Histograms of switching and return-back time

ラツキはあまり変化せず， 切換時間に比べて，  $P_s$  による影響はきわめて小さい． 例えば，

切換時間の場合、 $P_s=0.1\text{kg/cm}^2$  と  $P_s=0.3\text{kg/cm}^2$  の時の時間の差が、素子 No. 5 で  $0.25\text{ms}$ 、復帰時間の場合  $0.14\text{ms}$  である。また、バラツキの方も、切換時間のバラツキの約 7 分の 1 にすぎない。

各素子による差は Fig. 3, Fig. 6 より、切換時間も復帰時間も大きな差はないといえる。

### 3.2 入力圧による影響

$P_s=0.2\text{kg/cm}^2$  の場合の切換、復帰時間と入力圧の関係を Fig. 7 に示す。一般に  $P_{\text{SIN}}/P_s$  が増加すると、切換時間は短くなるという予想した結果が得られた。一方、復帰時間は、 $P_{\text{SIN}}/P_s$  が増加すると、平均値は緩やかな傾斜で増加していく。このように切換時間と復帰時間は逆の現象が現われている。これを Fig. 8 にヒストグラムで示す。切換時間の場合、 $F_{0.5}$  より小さい方に山があり、復帰時間の場合  $F_{0.5}$  より大きい方に山がある。これは  $P_{\text{SIN}}$  が大きいと流体が付着壁に強く付着しているので復帰しにくく、 $P_{\text{SIN}}$  が小さいと付着は弱いので復帰しやすくなると考えられる。バラツキに関しては、 $P_{\text{SIN}}$  が大きくなると、切換、復帰動作が安定して行なわれると考えられるので、両方とも減少している。

ここで、切換時間のバラツキが、入力波形のバラツキに依存するかどうかを考察する。一例として、 $P_s=P_{\text{SIN}}=0.4\text{kg/cm}^2$  の場合を考える。その時の入、出力波形を Fig. 9 に示す。入、出力波形の観測は 100 回繰り返し、切換時間と入力波形を同時に測定、記録した。Fig. 9 には、100 個のデータにおいて切換時間が最小値、平均値、最大値を示した時の出力波形を一点鎖線で示している。入力波形が切換時間に影響するのは、入力波形の大きな圧力変動におけるピーク  $P_1, P_2, P_3$  と、Table 1 Correlation coefficients of several parameters characterized by input waveform and switching time それらに対応する時間  $T_1, T_2, T_3$  であると予想されるので、切換時間  $T_s$  と時間  $T_1, T_2, T_3$ 、圧力  $P_1, P_2, P_3$  との相関を調べた。Table 1 に  $T_s$  と各量との間の相関係数  $r$  を示す。どの  $r$  も、この程度の値では  $T_s$  と各量との間には、ほとんど相関がないと考えられる。したがって、入力波形のバラツキを切換時間のバラツキの主要な原因とは見なせない。

Table 1 Correlation coefficients of several parameters characterized by input waveform and switching time

| T(ms)                  | r       |
|------------------------|---------|
| $T_1$                  | 0.0454  |
| $T_2$                  | 0.0608  |
| $T_3$                  | 0.0420  |
| P(kg/cm <sup>2</sup> ) |         |
| $P_1$                  | -0.0627 |
| $P_2$                  | -0.1662 |
| $P_3$                  | -0.3339 |

### 3.3 不用ポートの状態と切換時間

実験で用いた素子は、使用しないポートは普通の使用状態では閉じておくが、使用しないポートを開放、又は、他の素子を結合した状態での使用も考えられるので、種々の使用状態での切換時間について調べた。

$P_s=P_{\text{SIN}}=0.1, 0.2, 0.3\text{kg/cm}^2$  の時の使用しない入力ポート各状態における切換時間

の平均値を Fig. 10 に示す．入力ポートに入力圧を加えた場合，他入力ポートを開放，他素子出力に結合した状態では，他ポートより外部へ，又は他素子出力ダクトへ入力の流出

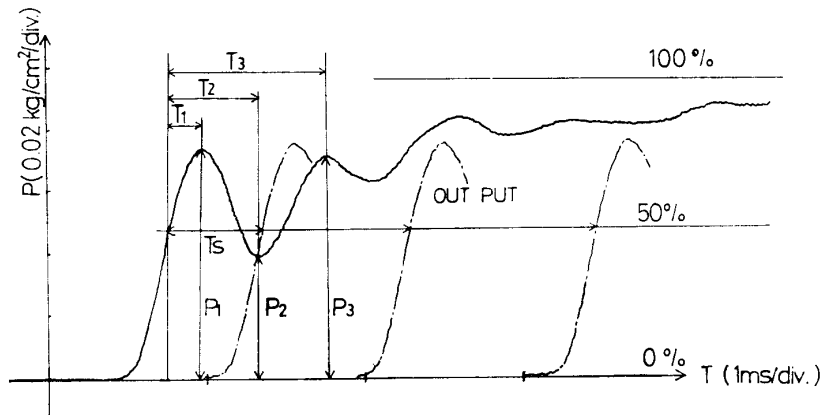


Fig. 9 Input and output wave forms

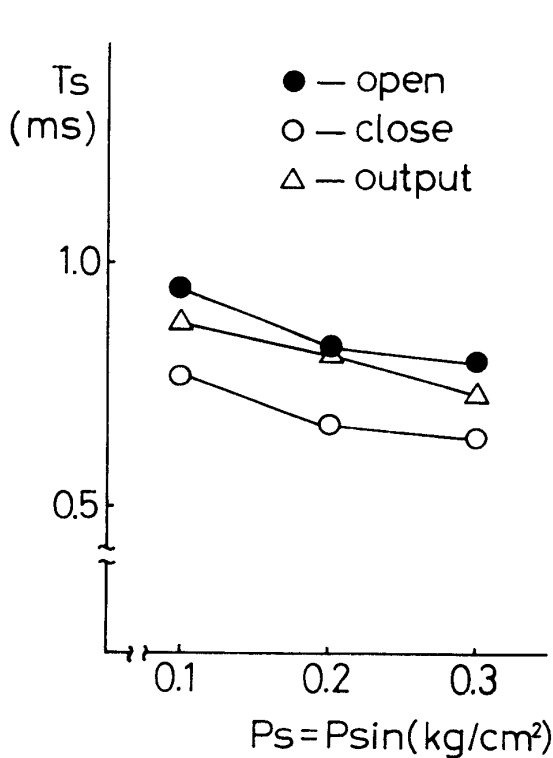


Fig. 10 Switching time for several conditions of input port

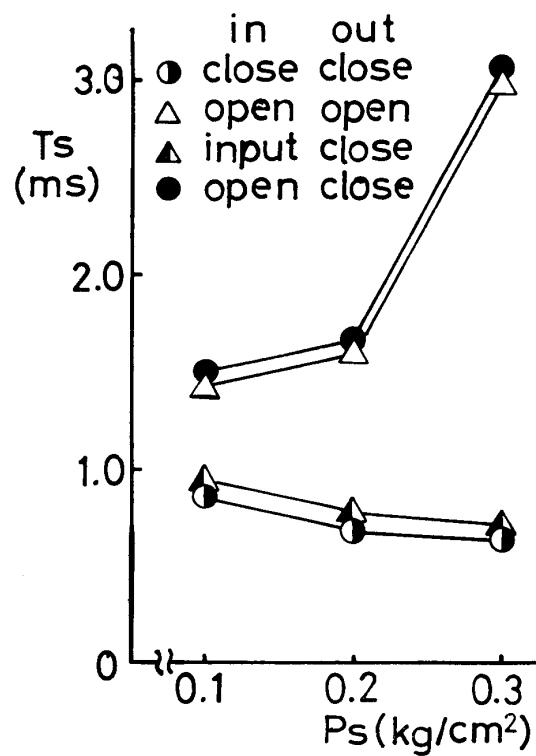


Fig. 11 Switching time for several conditions of output port

が起こり，同一の入力を供給しても，各入力ポートを閉にした時に比べて素子内で入力の圧力低下が起こる．

結果的に，使用しない入力ポートの状態を変えることは，入力圧を変えることに相当し，3.2で入力圧を変えた時の切換時間の傾向と同じになる．入力圧を高くする（使用しない入力ポートを開→他の素子接続→閉にすることに相当する．図中，output とは他の素子を接続したことの意味）と，切換時間は小さくなる．バラツキについても図に示していないが，上の順序でバラツキは小さくなるという結果を得た．

次に出力負荷が切換時間におよぼす影響について、 $P_s=0.1, 0.2, 0.3\text{kg/cm}^2$ における結果を Fig. 11 に示す。予備実験の結果より、NOR 出力側の出力ポート、ベントをすべて閉じると切換えが起こることが判っている。この状態を最大負荷と考え、負荷の状態がこれに近い程、切り易く、負荷の小さい状態では、切りにくくなると予想される。静的切換えでは、この事が成立している。しかし、動的切換えについての本実験結果では、NOR 側の2つの出力ポートを、(2)開一閉、(1)開一開、(3)素子接統一閉、(4)閉一閉の順で切換時間の平均値が短くなり、(1)と(2)の順序が予想と逆の結果を得た。図中、in, out は各々 NOR1, NOR2 (Fig. 1) の出力ポートを意味し、input は他の素子の入力口に接続することを意味している。

負荷の状態に対する付着噴流の状態、切換え時のポートからの逆流の状態などが分かれば、この説明ができるのではないかと思われる。なお、負荷の状態が入力波形にはほとんど影響を与えないことは、実験により確認されている。

#### 4. 結 言

市販素子を用いて、切換時間に関する実験を行なった結果、次のことが明らかになった。

- 1) 本実験に用いた素子の接続状態では、 $P_s$  を高くすると入力波形の影響が現われて、バラツキは大きくなるが、 $P_s=0.2\text{kg/cm}^2$  までは良好な切換特性が得られる。
- 2) 入力圧を高くすると、切換時間の平均値、バラツキは共に小さくなる。一方、復帰時間の平均値は大きくなるが、バラツキは小さくなる。また、入力波形にバラツキが見られるが、切換時間のバラツキには、ほとんど影響がないと言える。
- 3) 切換時間を短くするためには、不用な入、出力ポートはすべて閉じることが望ましい。

終わりに、本実験に協力された本学昭和51年度卒業生の谷正安、大西洋治、倉光守、鈴木義史、畑好信らの諸君に感謝します。

#### 5. 参 考 文 献

- 1) 花房、宮田：計測自動制御学会論文集，10—5，546/551 (1974)
- 2) 原田、小山、兼浦：第11回フルイディクスシンポジウム講演論文集，31/36 (1976)
- 3) 花房、宮田：日本機械学会論文集，41/343，884/890 (1975)



## An Experimental Study on the Switching Time of a Practical Fluidic Device

Kazumasa OHSAKA\*, Shujiro DOHTA\*,  
and Kenji ITAGAKI\*\*

### Abstract

We report the results of some measurements on the switching time of fluidic OR/NOR device in this paper.

The switching and the return-back time were measured with varying the supply pressure and the input pressure. The effects of redundant input and output ports on the switching time were also investigated in several conditions. The results can be summarized as follows :

- 1) In the low supply pressure, the mean value of switching time decreases with increasing the supply pressure, but it increases in the high supply pressure by the influence of input wave forms. On the other hand, the mean value of return-back time increases gradually with increasing the supply pressure.
- 2) With increasing input pressure, the mean value of switching time decreases, whereas that of return-back time increases. On the other hand, the dispersions of both switching and return-back times become smaller according to the increase of input pressure.
- 3) In order to get the short switching time, it is desirable to close every redundant input and output ports.