



# 岐阜大学機関リポジトリ

Gifu University Institutional Repository

流体制御に関する研究(III) :  
フルイディクスによる流量制御における基礎的研究

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2022-05-19 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 古田, 力, 竹内, 龍三, 板垣, 博, 奥村, 東三 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12099/5888">http://hdl.handle.net/20.500.12099/5888</a>

## 流体制御に関する研究 III

——フルイディクスによる流量制御における基礎的研究\*——

古田 力・竹内龍三・板垣 博・奥村東三\*\*

農業水工学研究室

(1983年7月28日受理)

## Studies on the Fluid Control III

—Fundamental Study on the Discharge Control by Fluidics\*—

Tsutomu FURUTA, Ryuzō TAKEUCHI, Hiroshi ITAGAKI and Tōzō OKUMURA\*\*

*Laboratory of Agricultural Hydraulic Engineering*

*(Received July 28, 1983)*

### SUMMARY

In this study, the fundamental studies on discharge control of control equipment by fluidics were made by hydraulic experiments with respect to the automatic control system of water management in agricultural water supply.

Hitherto, fluidics mainly used air for active fluid, but fluidics using water are needed for active fluid on the field agricultural water supply. From this point of view, the authors intended to clarify the mechanism and the characteristics of fluidics, using water for an active fluid in this study.

The experiment was conducted with fluidics (wall attachment bistable amplifier) of acrylic resin. The method of this experiment was as follows ;

1. Main flow was switched by the control flow, which is the mechanical characteristic of the wall attachment bistable amplifier.

2. Jet flow behaviour in the amplifier was investigated. These characteristics were investigated to clarify the shape and the scale of the amplifier which affect its mechanism.

The authors produced by way of trial experiment three styles (Sharpedge, Cusp and Koma) of splitter shapes, as a practical use of small hydraulic power in changing by fluidics, and in the irrigation discharge control by the use of fluidics.

Experiments were made by measurement of output discharge and the relation of bias flow constant time by electrical manometer. The results were follows. The splitter length was 5.0cm before 1 style, and 7.0~9.0cm after 2 styles. These results were obtained from judging the flow condition. Also, on the increase of discharge by sensitivity of the coanda effect. The authors inted to herewith investigate the possibility for the use of small hydraulic power.

Res. Ball. Fac. Agr. Gifu Univ. (48) : 147-157, 1983.

---

\* 本研究の一部は第39回(1982年)農業土木学会京都支部研究発表会において講演

\*\* 現在：岐阜県飛騨土地改良事業所

## ま え が き

近年、農業水利分野において水自身のエネルギーによる自動制御システムが、水管理の合理化及び時代の要請であるエネルギーの省力化に応えるべく、従来の電気的あるいは機械的な制御システムに代るための試みがなされてきている。

本研究では、この自動制御システムの中のフルイディクス・システムに着目し、主要部分であるフルイディクス（純流体素子）について基礎的研究を行うものである。

フルイディクスとは、機械的に動く部分を使用せず、ある流体の流れでその流体の流れを流体自身のエネルギーを利用して、流れを制御するシステムであり、機能によりアナログ動作を行う純流体増巾素子とデジタル動作を行う純流体論理素子に分けられる。

本報では、側壁形二安定素子を用いたが、これは後者に属しており、原理としてはコアンダ効果（噴流の側壁への付着現象<sup>3)</sup>）を利用したもので、コアンダ効果に影響を及ぼす素子の形状要素として制御ノズル巾、主ノズル巾、オフセット量、スプリッタ距離、アスペクト比、出力流路巾、オフセット量、スプリッタ距離があげられる。このうち、本報ではスプリッタ形状及びその距離の影響を明確にすることを目的とし、フルイディクスの最適スプリッタ距離と最適形状の解明を試みた。

I. 側壁付着形二安定素子について<sup>5),6),7)</sup>

## 1. 概 要

フルイディクス（純流体素子）における側壁付着形二安定素子の各部名称を図-1に示した。

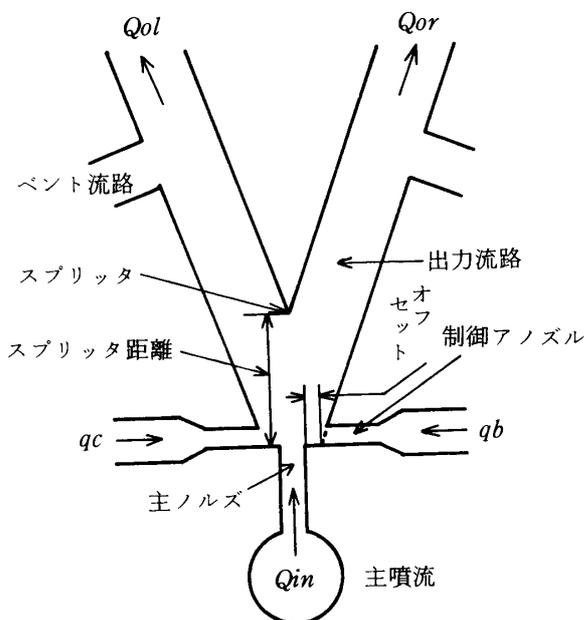


図-1 側壁付着形二安定素子の各部名称

供給ポートから出た噴流（主噴流）は、ノズルとスプリッタ間の圧力を低下させ、これにより噴流は圧力差のために低圧側側壁に付着し、「コアンダ効果」と呼ばれる付着現象が生ずる。

## 2. 素子の各部名称及び機能

図-1に示した概要より、各部分の名称と記号とを示し、又各部分の機能を次に述べる。

$Q_i$ ：主噴流， $Q_{ol}$ ：左分枝流量， $Q_{or}$ ：右分枝流量， $q_{il}$ ：左制御流量， $q_{ir}$ ：右制御流量をそれぞれ表わす。主噴流量  $Q_i$  は左右の制御流量により流出方向及び左右分枝流量が変化する。

各部の名称としては、

## (1) ベ ン ト

フルイディクス（純流体素子）の機能を向上させるために素子外に開放されていて、負荷抵抗の影響を及ぼさないためにつけられた流路。

## (2) ス プ リ ッ タ

出力流を分離する隔壁で、付着噴流のすべてを付着側出力口へ流出させ、非付着側出力口へ流出させないようにするものである。スプリッタの位置は付着点に関係がある。

## (3) 制 御 ノ ズ ル

主噴流を切替えるための制御流を供給するノズルである。付着側の制御ノズルは巻き込みにより圧力が低下する。この時、流体を注入すると切替えが実現する。

## II. 実 験 装 置

## 1. フルイディクス（純流体素子）の形状及び寸法。

素子の材料として透明のアクリル樹脂を用い、厚さ30mmのアクリル板に形状をきざみ込み、厚さ10mmのアクリル板を重ね合わせ、 $\phi 5$  mm、長さ50mmのボルト及びナットにより固定した。なお、噴流の流出方向及び流況を可視化するために主ノズルの出口近傍及び分枝流路に糸をつけるタフト法<sup>2)</sup>を用いた。

## 2. 給水装置

実験装置は図-2に示したとおりで、貯水タンクから汲み上げ、加圧された水流は、調節弁、流量計(ロータ・メータ)を通して素子に供給される。素子から流出した水流は水槽を出て貯水タンクに環流される。給水装置は、浅井戸用ポンプ(揚水量31 $\ell$ /min, 出力250W, 揚程8 m)を使用した。

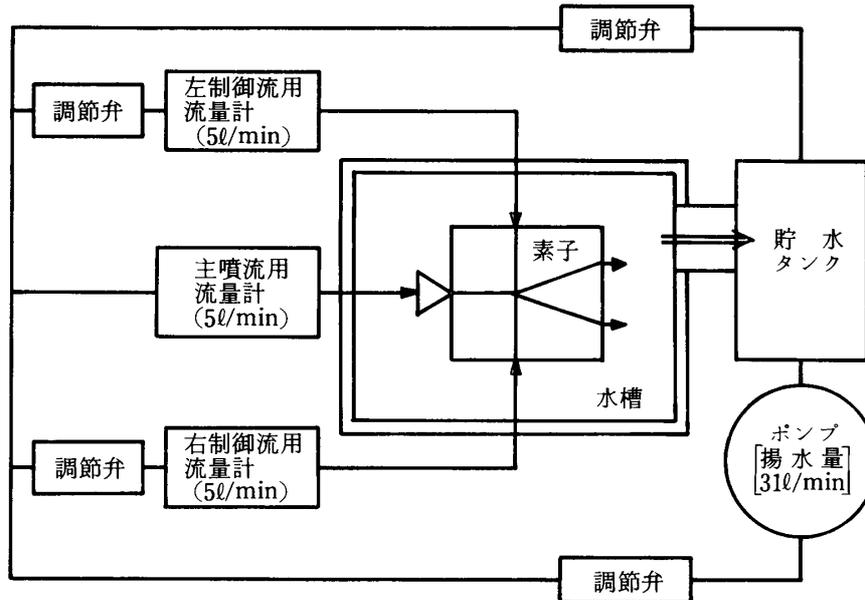


図-2 実験装置

## 3. 送水管

ポンプから流量計まで、主に $\phi 25$ mmの硬質塩化ビニール管により接続されている。さらに流量計から素子までは透明ビニール管で、主噴流 $\phi 20$ mm、制御流 $\phi 15$ mmのものを使用した。素子から流出した水流は水槽に入り、余水吐から貯水タンクに環流される。

## 4. 流量計(ロータ・メータ)

流量計は主噴流量測定に15 $\ell$ /min用を、左右の制御流量の測定に5 $\ell$ /minのロータ・メータを用いた。これらの3個の流量計は実流量の測定により直線回掃式を用いて流量の補正を行った。

## III. 実験方法

### 1. 付着点距離 $X_r$ , 衝突角 $\theta$ , 曲率半径 $R$ の実測。

主ノズルから主噴流を流し、素子内の一方の側壁に噴流を付着させる。この場合、制御ノズルが開放されていれば、外部から空気が入り込むため付着が生じにくくなるので閉鎖しておく。流量の調節は流量計で行う。

流量変化の範囲は6.0~13.0 $\ell$ /minで、流量を1.0 $\ell$ /min毎に増加させた。 $X_r, \theta, R$ の実測は各流量毎に糸の流れと付着噴流の状態を透明ビニール・シートに写し、さらにその確認として噴流を着色して、写真撮影したものを用いた。実験に使用した素子の形状及びその諸元は図-3に示すとおりで、この素子を流体解析用素子と呼ぶ。

### 2. 素子の機能における実験

この項ではフルィディクスの機能及び特性に影響を及ぼす形状要素のうち、スプリッタ距離及びその形状について実験的解明を行った。スプリッタに関する検討はこれまでも行われてきたが、素子のスプリッタ形状以外の形状についても同時に変化させていたため、スプリッタの素子に与える影響が不明確であっ

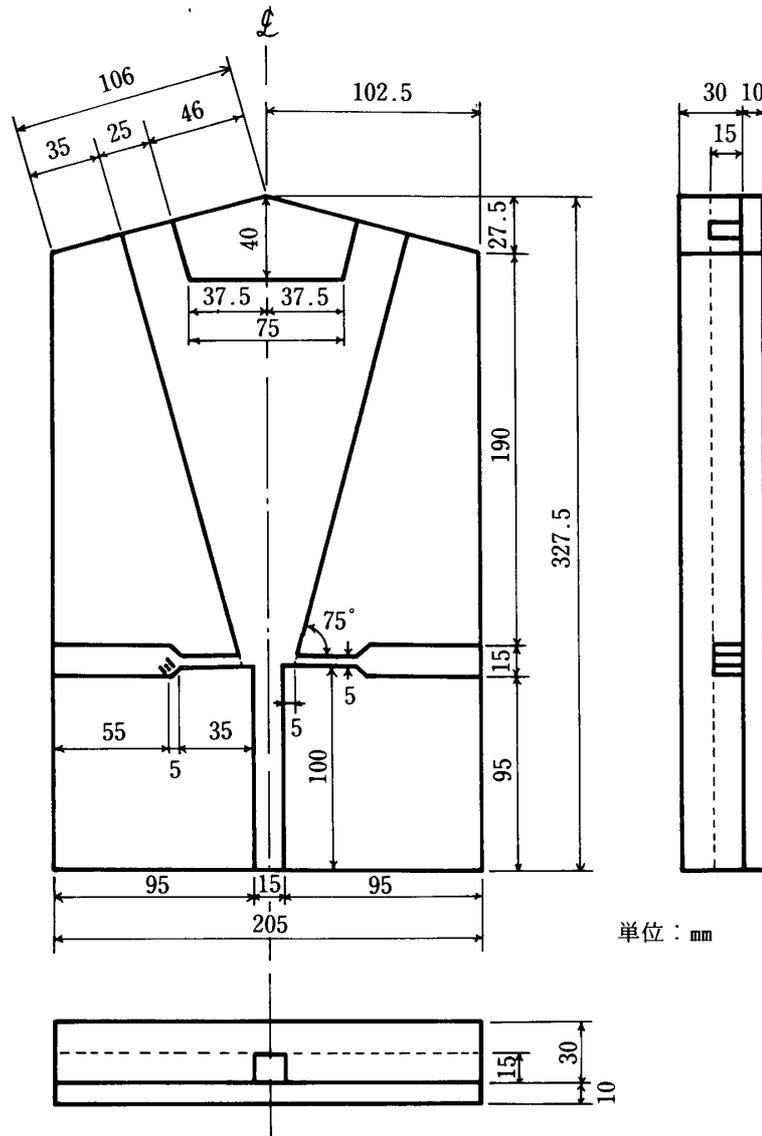


図-3 流付解析用素子

た。

そのため、本実験ではスプリッタ以外は、同一の素子本体を用いてスプリッタの影響をより明確とすることを目的とした。

### 3. 実験装置

#### 素子の形状及び諸元

この場合のフルィディクス（純流体素子）は、3種類のスプリッタ（①シャープ・エッジ型、②カスプ型、③駒型）を素子本体に入れ換えて実験を行った。

各素子の形状をそれぞれ図-4、図-5、図-6に示した。

このスプリッタ距離を変化させた場合の出口流路巾を表-1に示した。この場合のスプリッタ距離は実験に用いた距離である。

## IV. 実験結果及び考察

### 1. 付着点距離、衝突角、曲率半径の測定結果

流体解析用の素子を使用して付着点距離 $X_r$ 、衝突角 $\theta$ 、曲率半径 $R$ の測定結果を表-2に示した。

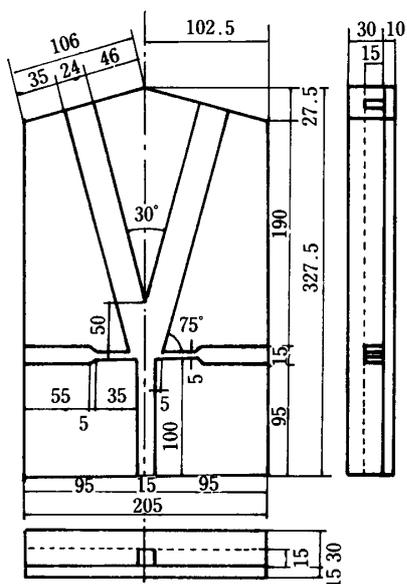


図-4 素子 A

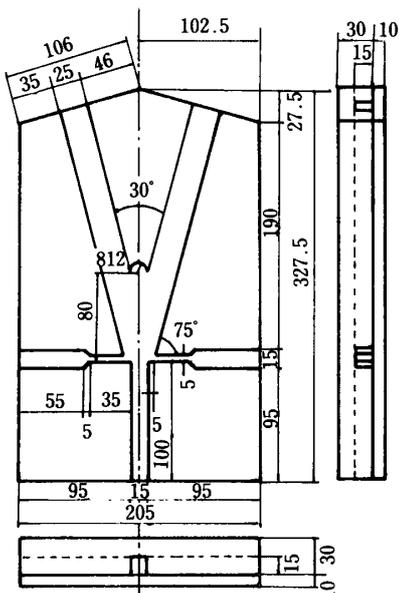


図-5 素子 B

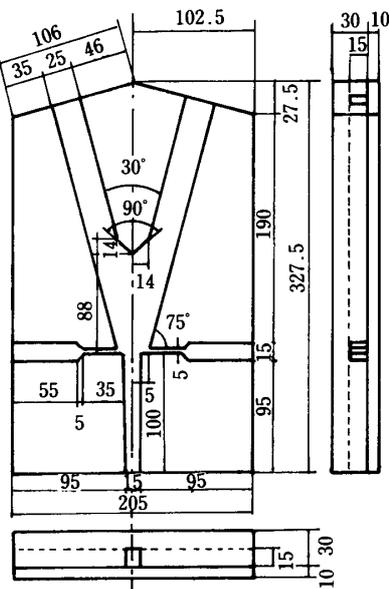


図-6 素子 C

表-1 スプリッタ距離と出口流路巾の関係

スプリッタ距離 (cm)	出口流路巾 (mm)		
	シャープ・エッジ型	カスプ型	駒型
1.0	14.66	—	—
3.0	19.84	12.07	10.00
5.0	25.01	17.25	15.18
7.0	30.19	22.43	20.36
8.0	—	25.01	22.94
9.0	—	27.60	25.53
13.0	45.72	37.96	35.89

表-2 付着点距離, 衝突角, 曲率半径の測定結果

主噴流量 ( $l/min$ )	補正流量 ( $l/min$ )	衝突角 $\theta^\circ$	曲率半径 $R^{mm}$	付着点距離 $X_r^{mm}$
4.0	3.76	46.3	47.8	44.5
5.0	4.82	34.2	88.7	53.7
6.0	5.89	30.3	119.8	58.3
7.0	6.95	27.3	153.0	69.3
8.0	8.01	26.8	162.0	75.5
9.0	9.07	25.2	196.7	87.2
10.0	10.14	24.0	219.2	90.5
11.0	11.20	24.3	214.2	90.3
12.0	12.26	24.0	228.8	97.3
13.0	13.32	23.7	234.0	106.5

(注) 衝突角 $\theta$ , 曲率半径 $R$ , 付着点距離 $X_r$ はそれぞれ測定平均値を示したものである。

## 2. 噴流における付着機構について

噴流における付着機構の解析については、前報りにおいて詳細に述べているために、ここでは概要を述べることにする。

図-7に示す付着噴流の解析モデルを使って、Bourque & Newmam<sup>4)</sup>及び Sher の解析方法<sup>8)</sup>に従った。解析においては、次の仮定を前提としている<sup>5)</sup>。

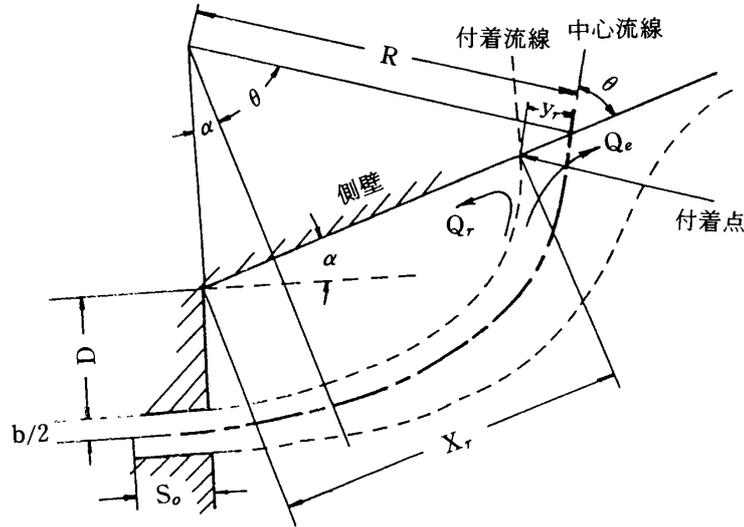


図-7 解析モデル

- i) 噴流は非圧縮性で二次元流である。
- ii) ノズル出口における噴出速度は一樣である。
- iii) 低圧領域の圧力は領域内では一樣であって、噴流の中心線は円弧によって近似される。
- iv) 噴流の運動量は一定に保存される。すなわち、噴流の上下端面における摩擦は無視し、二次元噴流と考える。
- v) 付着噴流の中心線に垂直な面における速度分布は乱流二次元噴流と等しい。

付着噴流は、上記仮定iv)によって噴出時の運動量を衝突時まで保ち、測壁と角度 $\theta$ で衝突し、付着点で流れは左右に分離する。

図-7から幾何学的に次の関係が求められる。

$$R = \frac{S_r}{(\alpha + \theta)} \dots\dots\dots(1)$$

$$D = R \left( 1 - \frac{\cos\theta}{\cos\alpha} \right) - \frac{b}{2} \dots\dots\dots(2)$$

$$X_r = R \frac{\sin(\alpha + \theta)}{\cos\alpha} - \frac{y_r}{\sin\theta} \dots\dots\dots(3)$$

ここで

- R: 付着流線の曲率半径
- $S_r$ : 噴流中心線の延長が側壁と交わる点からノズル出口までの距離
- $\alpha$ : 側壁傾斜角
- D: オフセット量
- $X_r$ : 付着点距離
- $y_r$ : 噴流中心線からの垂直距離
- b: 主ノズル巾

解析においては、噴流速度分布関数として、Goertlerの自由乱流噴流の式<sup>3)9)</sup>を有限ノズルの場合に拡張して使用している。

$$u = U \operatorname{sech}^2 \left( \frac{\sigma \cdot y}{s + S_0} \right)$$

$$U = \left[ \frac{3J\sigma}{4\rho(s+S_o)} \right]^{\frac{1}{2}} = \text{中心流速} \dots\dots\dots(4)$$

こゝで

- u : 流速分布
- s : 噴流中心線に沿って測ったノズル出口からの距離
- S<sub>o</sub> : 噴流の仮想原点からノズル出口までの距離
- σ : 拡散係数
- y : 噴流中心線からの垂直距離
- ρ : 流体密度
- J : 噴流の持つ運動量 (=ρU<sub>o</sub><sup>2</sup>・b)

今、主噴流の低圧渦側において、巻き込みにより流れ去る流量 Q<sub>e</sub>と渦領域へ流れ戻る流量 Q<sub>r</sub>との間には次の関係が成り立つ<sup>6)</sup>

$$Q_e = Q_r \dots\dots\dots(5)$$

定常状態について考えれば

$$Q_e = \int_0^\infty u dy - \left( \int_0^\infty u dy \right)_{s=0} \dots\dots\dots(6)$$

こゝで、右辺第2項は主噴流ノズルからの流量の半分を表わすから、ノズル出口において一様な速度 U<sub>o</sub>を仮定して、ノズル巾を b とすると

$$\left( \int_0^\infty u dy \right)_{s=0} = \frac{1}{2} u_o b \dots\dots\dots(7)$$

$$S_o = \frac{\sigma b}{3} \dots\dots\dots(8)$$

従って (6)式は

$$Q_e = \left[ \frac{3J(S_r + S_o)}{4\rho\sigma} \right] - \frac{1}{2} u_o b \dots\dots\dots(9)$$

流量 Q<sub>r</sub>については y<sub>r</sub>に注目して、

$$Q_r = \int_{y_r}^\infty u dy = \left[ \frac{3J(S_r + S_o)}{4\rho\sigma} \right]^{\frac{1}{2}} (1 - t_r) \dots\dots\dots(10)$$

こゝで

$$t_r = \tanh \frac{\sigma \cdot y_r}{S_r + S_o} \dots\dots\dots(11)$$

(9), (10)両式を(5)式に代入し、(8)式を用いれば

$$S_r = \frac{\sigma}{3} \left( \frac{1}{t_r^2} - 1 \right) \dots\dots\dots(12)$$

(11), (12)両式から

$$y_r = \frac{1}{3 t_r^2} \tan h^{-1} t_r \dots\dots\dots(13)$$

主噴流が円弧運動をして、側壁傾斜角 α の側壁に θ で衝突すると

$$R = \frac{S_r}{(\alpha + \theta)} \dots\dots\dots(14)$$

(12), (13), (14)式より付着点距離 X<sub>r</sub>は

$$X_r = R \frac{\sin \theta (\alpha + \theta)}{\cos \alpha} - \frac{y_r}{\sin \theta} \dots\dots\dots(15)$$

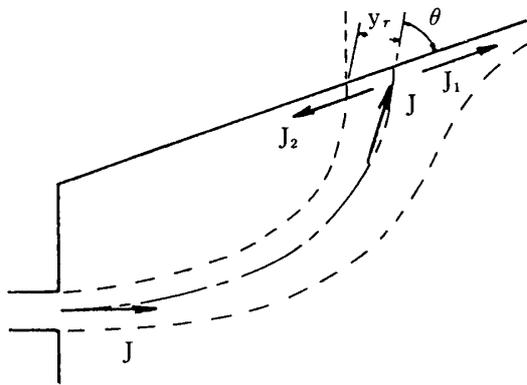


図-8 流れの運動量

さらに  $t_r$  と  $\theta$  の関係は次に示す運動量の関係から求められる。図-8に示すように、主噴流は噴出時の運動量  $J$  を保ち、付着点で側壁と  $\theta$  なる角度で衝突する。側壁に沿って下流に向う流れの運動量  $J_1$  と付着点から環流する低圧渦領域内の流れの運動量  $J_2$  との間には次の関係が存在する。

$$J_1 = \frac{3}{4}J \left( \frac{2}{3} + t_r - \frac{1}{3}t_r^3 \right) \dots\dots\dots(16)$$

$$J_2 = \frac{3}{4}J \left( \frac{2}{3} - t_r + \frac{1}{3}t_r^3 \right) \dots\dots\dots(17)$$

従って

$$t_r = 2 \cos \frac{\theta + \pi}{3} \dots\dots\dots(18)$$

以上が噴流の係着機構に関する理論である。

3. 噴流における付着機構に関する計算結果について

上記2項で述べた付着機構に関する理論解析から側壁衝突角  $\theta$ 、付着流線の曲率半径  $R$ 、付着点距離  $X_r$  を求めたのが表-3である。

以上の結果から、曲率半径及び付着点距離については、測定値に対する計算値は、曲率半径ではかなり接近した値を示しているが、付着距離では多少の差が生じている。

これらの測定値と計算値との差については、Goetler の乱流噴流の式の適用及び噴流における拡散係数等の問題が存在するものと考えられる。前報の結果<sup>1)</sup>においても素子の大きさ縦132mm×横75mm厚さ20mmの形状において、主噴流0.4~0.9l/min、衝突角30~45°の範囲では付着点距離  $X_r$  における測定値は理論値よりも3~5mm位小さく生じている。

4. 素子機能における実験について

(1) 制御流量と付着側出力流量との関係

主噴流量を一定にしておき、制御流を0~4.5l/minの範囲で1.0l/min毎に変化させてゆき、その時の付着側出口からの出力流量を測定した。ここで制御流は4.5l/minを最大として増加及び減少させた。これらの実験結果を図-9、図-10、図-11、図-12においてそれぞれ9.0l/minの主噴流量の場合を示した。

(2) スプリッター距離と付着噴流の流況の変化について

スプリッター距離を変化させ、その時の付着噴流の流れをスケッチし、流況の変化状況を調べた。①シャープ・エッジ型、②カスプ型、③駒型の3種類について主噴流は6.0、9.0、12.0l/minの3通りの測定を行い、その結果について9.0l/minの主噴流に対し、①シャープ・エッジ型を図-13に、②カスプ型を図-14に、③駒型を図-15にそれぞれ示した。

5. 素子機能における実験の考察

以上の実験からこの流体素子における最適スプリッター距離はシャープ・エッジ型で5.0cm、カスプ型、駒型では7.0~9.0cmであった。

あ と が き

本研究は農業用水における水管理の合理化および省力化に応えるべく、流体制御装置としてのフルイ

表-3 解析結果

側壁衝突角 $\theta^\circ$	付着流線の曲率半径 $R^{mm}$	付着点距離 $X_r^{mm}$
22.0	311,652	171,207
24.0	230,507	128,912
26.0	179,855	102,259
28.0	145,508	83,950
30.0	120,860	70,595
32.0	102,428	60,410
34.0	88,203	52,367
36.0	76,949	45,835
38.0	67,864	40,403
40.0	60,406	35,792
42.0	54,197	31,807
44.0	48,965	28,305
46.0	44,510	25,181
48.0	40,681	22,352
50.0	37,365	19,752
52.0	34,471	17,330
54.0	31,930	15,039

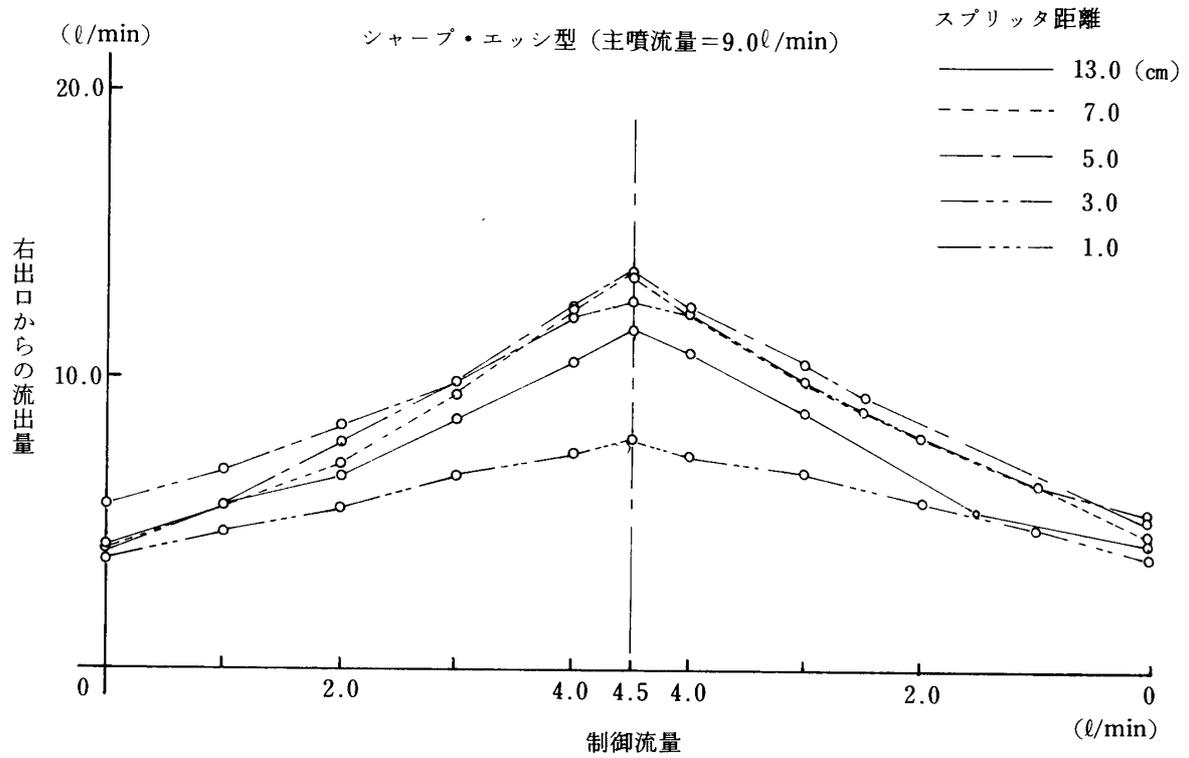


図-9 制御流量と出力流量の実験結果 (素子A)

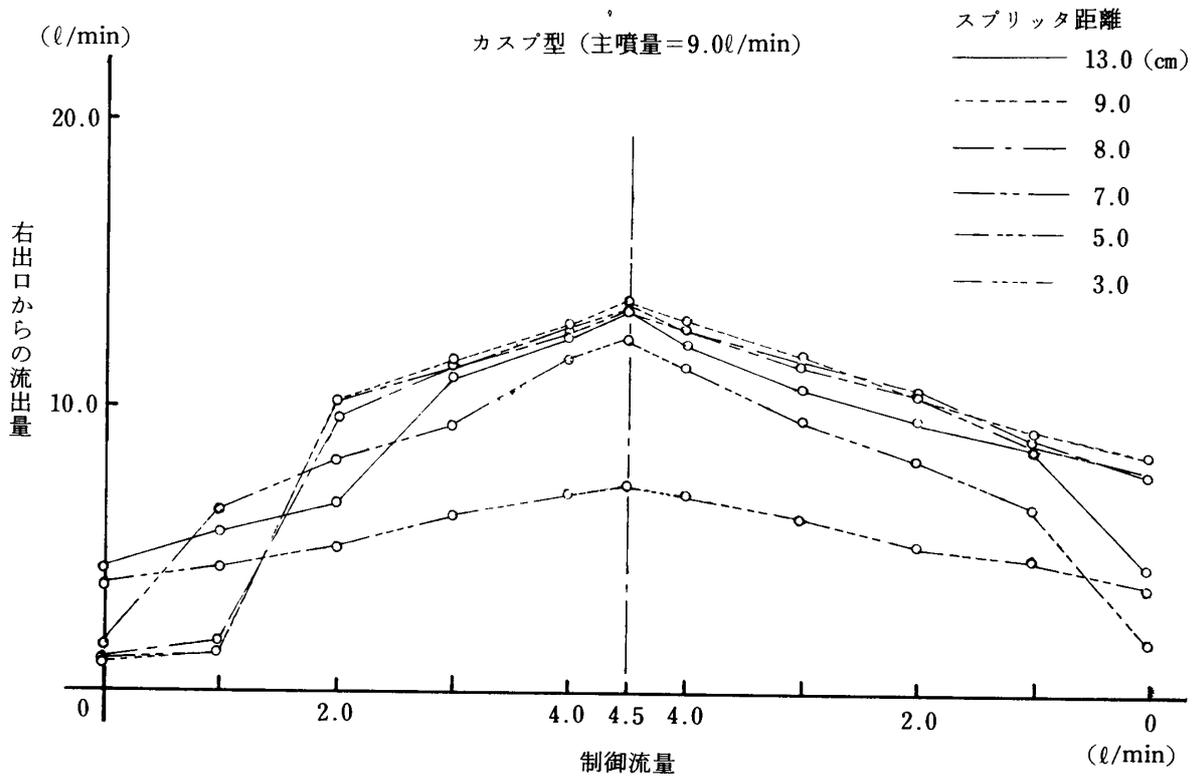


図-10 制御流量と出力流量の実験結果 (素子B)

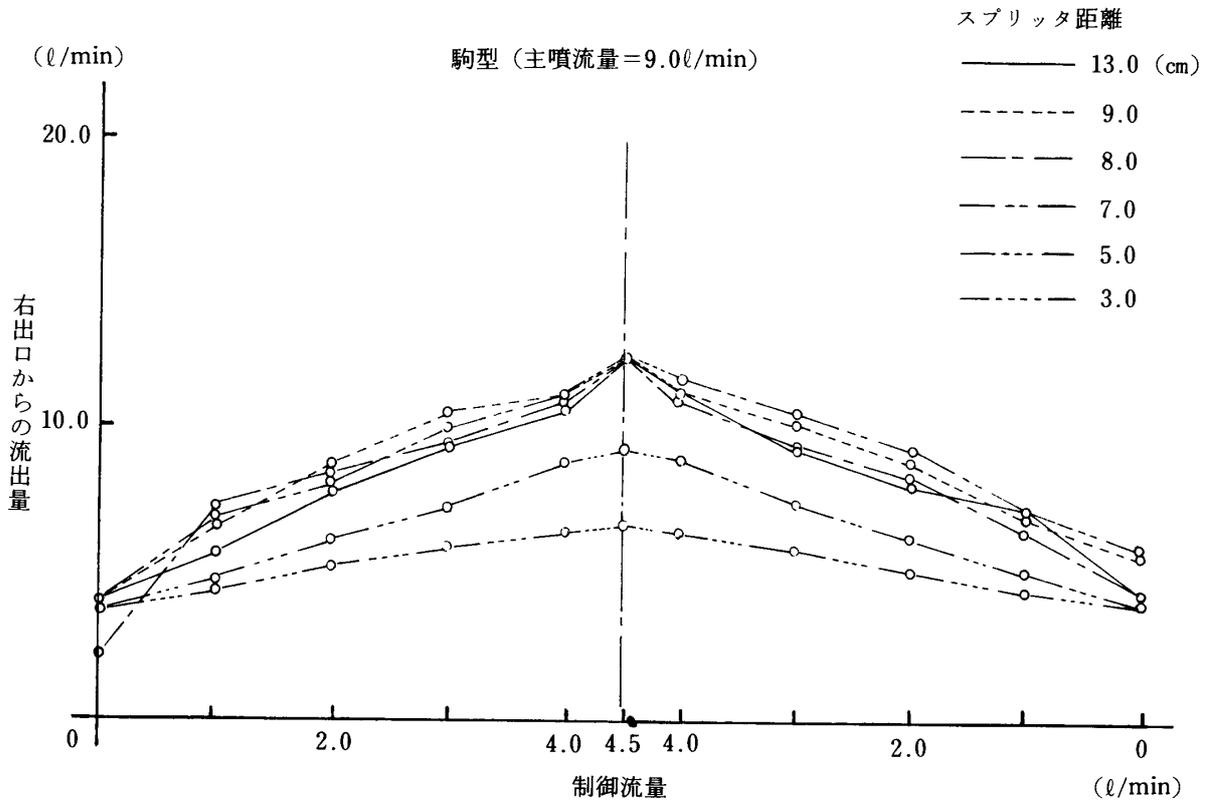


図-11 制御流量と出力流量の実験結果 (素子C)

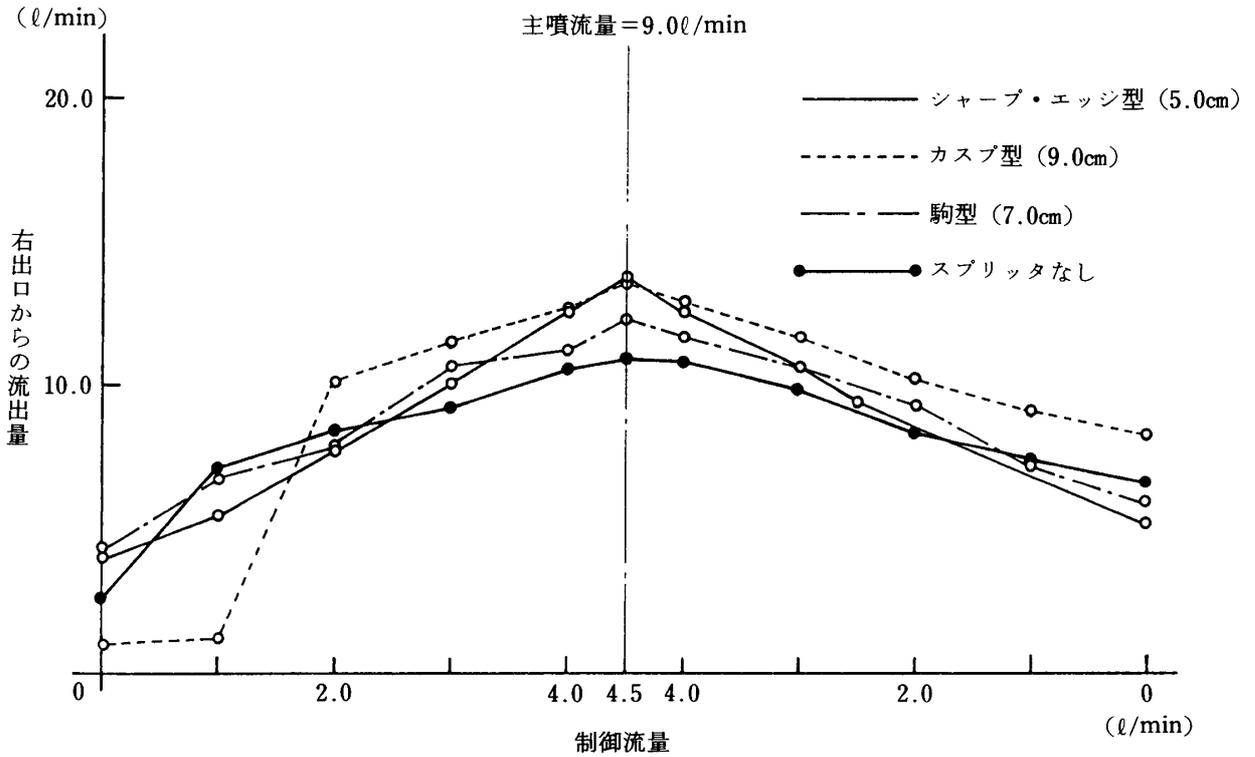


図-12 制御流量と出力流量の実験結果

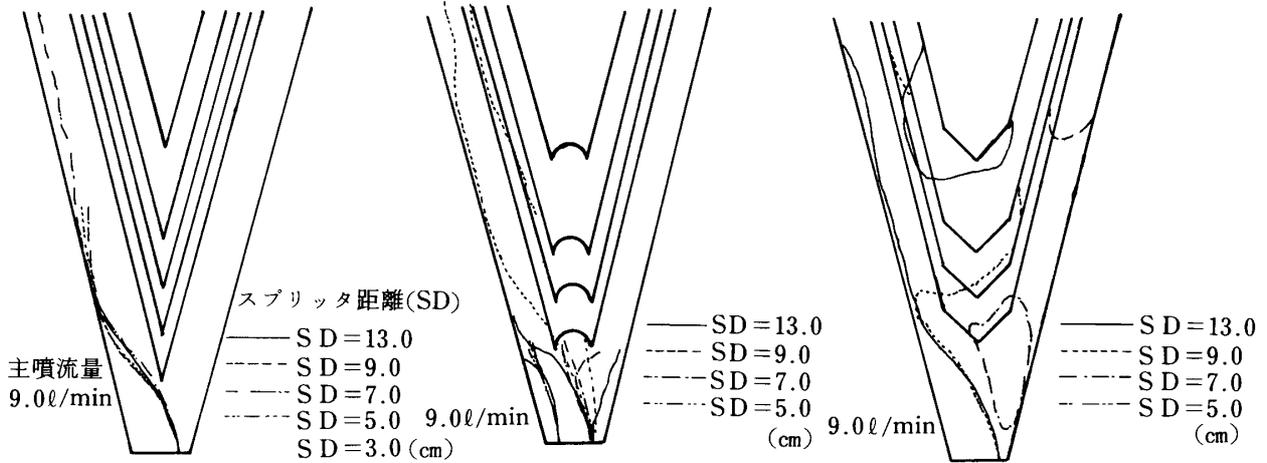


図-13 流況 (素子A)

図-14 流況 (素子B)

図-15 流況 (素子C)

ディクスの基礎的研究を水理実験によって行ったものである。そして、主として制御流量と付着側出力流量との関係、スプリッタ距離と付着噴流の流況の変化について検討した。今後さらに、フルイディクスの農業水利システムへの実用化について検討したいと考えている。

### 参 考 文 献

- 1) 古田 力・小林 満・小松 淳：流体制御に関する研究 II. 岐阜大農研報 (40)：143-156, 1977.
- 2) 花房秀郎：“第2回純流体シンポジウム資料”：37-42, 1967.
- 3) 原田正一・尾崎省太郎：“流子工学”東京：養賢堂 72-86, 1971.
- 4) 原田正一・尾崎省太郎：“流子工学”東京：養賢堂 95-109, 1971.
- 5) 原田正一・尾崎省太郎：“流子工学”東京：養賢堂 205-244, 1971.
- 6) 尾崎省太郎・原 美明：“純流体素子入門”東京：日刊工業新聞社 45-52, 1970.
- 7) 尾崎省太郎・原 美明：“純流体素子入門”東京：日刊工業新聞社 99-126, 1970.
- 8) Perry, C. C. “Advance in Fluidics”：205-217, 1967.
- 9) 土屋喜一：“第11回フルイティクス・シンポジウム講演集” 37-42, 1976.