

# 壁附着形純流体素子の研究

Study on Wall Attachment Fluid Amplifier

鬼頭 幸三\*・石原 智男\*

Kozo KITOH and Tomo-o ISHIIHARA

## 1. 緒 言

純流体素子は、流体の流れを可動部分なしで制御したり、切り換えたりする制御機器要素の総称であって、制御系の情報処理部への適用にその将来を期待されている新しい制御機器要素である。従来壁附着形純流体素子の静特性に関して、Bourque<sup>1)</sup>、Sawyer<sup>2)</sup>等の付着流研究、Foster<sup>3)</sup>、原<sup>4)</sup>、大島<sup>5)</sup>、尾崎<sup>6)</sup>、太田<sup>7)</sup>、Glaetli<sup>8)</sup>等の幾何形状に関する研究がある。しかしながら、現在のところ作動流体として空気を用いることが多く、これを制御系の操作部にまで適用することはほとんど考慮されていない。本研究は、壁附着形純流体素子に作動流体として液体を用いることによって、これを制御系全体に適用できるかどうかの可能性を、主として流体力学的見地に立って、追求しようとするものである。

壁附着形純流体素子の特性に影響を及ぼす幾何形状の中で、出力口の負荷が増大したときでも付着流が反転しないように考察されたベントは性能に対して最も重要な役割を持つ。そこで、この報告は本研究の第1段階としてベント形状が素子の静特性にどのような影響を与えるかを主として実験的に調べたものである。作動流体にはダフニトルク油Aを用いた。実験は、出力口と制御口を閉鎖して行ない、主噴流の Reynolds 数  $Re = V_s \cdot W_v / \nu$  が比較的低い範囲において、ベント幅とベント出口付加抵抗がいかに素子の性能に影響を及ぼすかを調べた。素子の性能を出力口エネルギー回復効率と左右出力口エネルギー差で表わし、これらと損失係数および分流比の関係を求める。性能を決めるパラメータとして、主噴流の  $Re$ 、数およびベント出口付加抵抗係数を用いる。

## 2. 実験装置および実験方法

実験用素子の形状、主要寸法および実験装置を図1に示す。実験は付加抵抗 A, B, C, ベント幅  $W_v$  2 mm, 3 mm, 5 mm, 油温 40°C, 50°C, 60°C のそれぞれの組み合わせについて行ない、SO の圧力を 20 kg/cm<sup>2</sup> から順次下げ、各段階における主噴流流量をオーバル型流量計で、素子内外の静圧をブルドン管とダイヤフラム式差圧計で計測した。ベント出口付加抵抗とは、可変ニードル弁を含む VOR と T, VOL と T の間の抵抗を意味し、これらをあらかじめ左右で等しい値になるように調節した。また、ベント出口付加抵抗による圧力差と流量

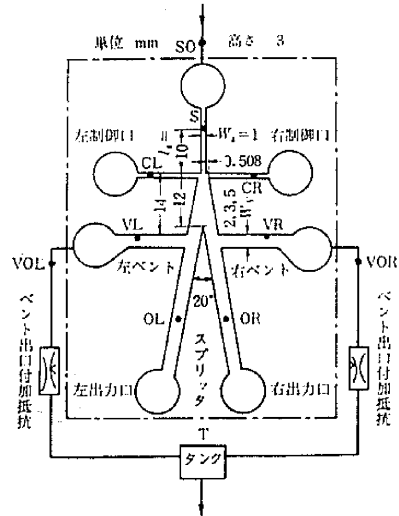


図1 実験装置

の検定曲線から分流量を求めた。

## 3. 実験結果の整理方法

(1) ベント出口付加抵抗係数 左右ベント出口における付加抵抗が、干渉領域における Coanda 効果に影響を与えるので、ベント出口付加抵抗係数  $\kappa$  を次のように定め、流れを決めるパラメータの一つにする。すなわち、右壁付着の場合、 $\kappa = (P_{VR} - P_s) / (P_{VL} - P_s)$ 、左壁付着の場合、 $\kappa = (P_{VL} - P_s) / (P_{VR} - P_s)$ 。

(2) 損失係数 従来の分岐管のエネルギー式を  $S, VR, VL$  の3点間に適用して素子内の損失係数を求める。S から噴流ノズル出口までの摩擦損失は Blasius の式によって計算する。噴流ノズル出口から VR, VL までの摩擦、拡がり、分流、曲り、縮流、衝突および管路を充滿しないための損失を一つにまとめて考える。素子内の流れは大別して、主噴流がスプリッターで分流する場合と非付着側から、付着側へ合流が起こる場合の二つに分けられる。分流の場合の関連式は次のように表わされる。

$$P_s + \frac{\gamma}{2\sigma} V_s^2 = P_{VR} + \frac{\gamma}{2\sigma} V_{VR}^2 + \lambda_s \frac{l_s}{d_h} \frac{\gamma}{2\sigma} V_s^2 + \zeta_R \frac{\gamma}{2\sigma} V_s^2$$

$$P_s + \frac{\gamma}{2\sigma} V_s^2 = P_{VL} + \frac{\gamma}{2\sigma} V_{VL}^2 + \lambda_s \frac{l_s}{d_h} \frac{\gamma}{2\sigma} V_s^2 + \zeta_L \frac{\gamma}{2\sigma} V_s^2$$

$$W_s V_s = W_V V_{VR} + W_V V_{VL}$$

上式はそれぞれ、右側の流れのエネルギー式、左側の流れのエネルギー式および連続の式である。ここで、 $\zeta_R, \zeta_L$  は

\* 東京大学生産技術研究所 第2部

それぞれ右側，左側の流れの損失係数， $d_h$  は水力直径， $\lambda$  は抵抗係数である。

(3) 出力口エネルギー回復効率  $S$  におけるエネルギーを  $P_s + (\gamma/2g) \cdot V_s^2$ ，出力口エネルギーを  $P_0$  で表わす。したがって出力口エネルギー回復効率として， $(P_0 - P_s)/(1/2)\rho V_s^2$  をとることとした。

4. 実験結果と考察

(1) 性能限界 実験結果の一例として， $W_V = 3\text{ mm}$  付加抵抗  $B$  の場合の性能を図 2 に示す。これらの実験結果をまとめ， $R_c$  数と分流比  $Q_R/Q_S$  を用いて，付着限界，ヒステリシス領域等を表わしたのが図 3 である。以上の結果から，付着強さを示す  $\Delta P_c/(1/2)\rho V_s^2$  (ここに，

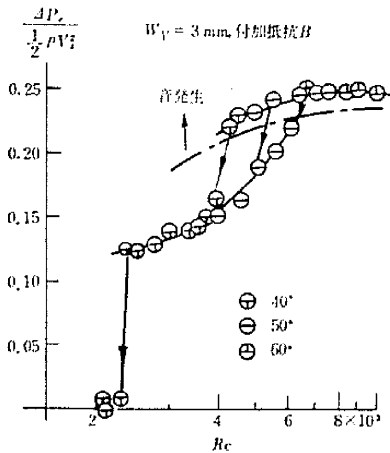


図 2 付着特性

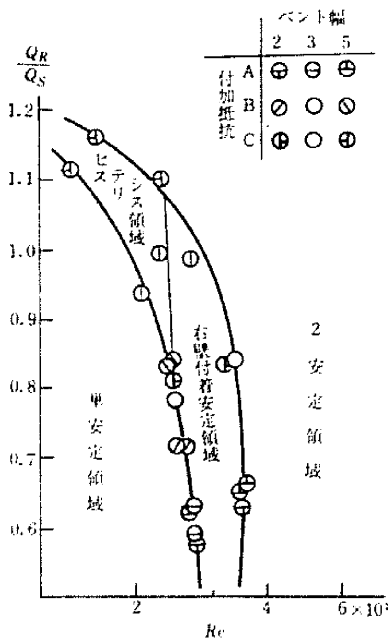


図 3 安定領域

$\Delta P_c = |P_{CR} - P_{CL}|$  が主噴流  $R_c$  数の関数となること，また  $\Delta P_c/(1/2)\rho V_s^2$  は付加抵抗，ベント幅の大小にかかわらず主噴流の  $R_c$  数で整理できることが確認された。なお付着限界  $R_c$  数が下流での抵抗によって異なることは興味深い。2 安定領域は分流比 1.1~0.6 のときそれぞれ  $R_c = 2000 \sim 3500$  以上で存在した。

(2) 気泡の影響 図 2 に示すように， $\Delta P_c/(1/2)\rho V_s^2$  がほぼ一定になるところで明確な音が発生した。その際付着側制御口圧力を基準圧力にしたキャビテーション係数  $k_d = (P_{CR} - P_v)/(1/2)\rho V_s^2$  は，0.35~0.4 以下であった。ここに  $P_v$  は蒸気圧。流れを観察するための別の実験により主噴流ノズル先端付近で微細な気泡が認められた。このキャビテーション (エアレーション) 現象は，今後十分研究されねばならない。

(3) 損失係数，分流比，出力口エネルギー回復効率および出力口左右エネルギー差  $W_V = 5\text{ mm}$ ，付加抵抗  $C$  のときのみ合流が存在し，他の場合はすべてスプリッタで分流した。合流の場合を除き， $R_c < 4000 \sim 5000$  の範囲で，損失係数，出力口エネルギー回復効率および出力口左右エネルギー差はベント付加抵抗の影響を受けにくくなる。本実験範囲で  $R_c > 4000 \sim 5000$  では，ベント出口付加抵抗が大きいほど，分流比と損失係数が減少し，出力口エネルギー回復効率と左右エネルギー差が増大する。しかしながら，本実験範囲以上に付加抵抗が増大した場合，分流比は 1/2 に近づき，損失係数は減少し，エネルギー回復効率は上昇し，左右エネルギー差はある点でピークを持ちその後ゼロに近づくものと考えられる。ベント幅が小さいほどベント出口付加抵抗の大小による影響が少ない。なお，本実験範囲で出力口エネルギー回復率が最も優れたものは付加抵抗  $A$ ，ベント幅 2 mm， $R_c = 9000$  の場合であり，その値は 55% に達した。実験結果の一例として， $W_V = 3\text{ mm}$  の場合の損失係数，出力口エネルギー回復効率お

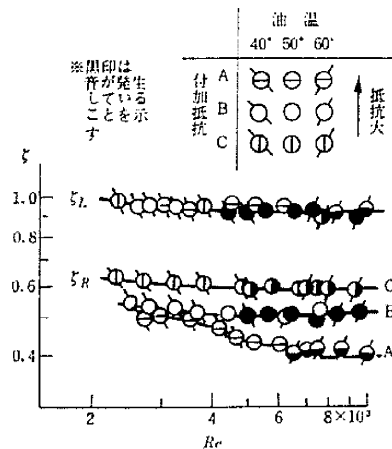


図 4 損失係数

研 究 速 報

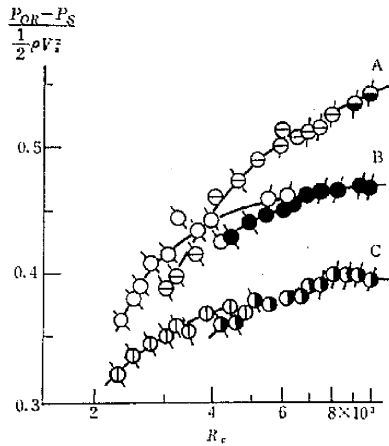


図5 出力エネルギー回復効率

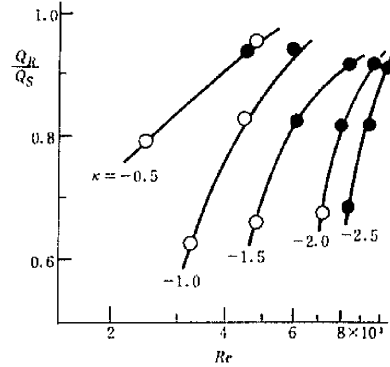


図6  $\kappa$  で整理した分流比

よび  $\kappa$  で整理した分流比をそれぞれ図4, 5, 6に示す。

5. 結 論

壁付着形純流体素子に作動流体として、油を用い、ベント幅とベント出口付加抵抗を変え、これが素子の性能に及ぼす影響を調べた。その結果、主噴流  $Re > 3500$  で2安定素子がえられた。最後に、実験に際して寺田充孝氏の協力を得たことを記して感謝の意を表わす。

(1969年9月30日受理)

参 考 文 献

- 1) Aeron. Quarterly, XI, 1960, 201.
- 2) J. Fluid Mech. 9, 1960, 543.
- 3) 1st Cranfield Fluidics Conf., 1965, B1.
- 4) JSME 781 回講演会, 1968, 75.
- 5) SICE 第6回講演会, 1967, 251.
- 6) 第2回純流体素子シンポジウム, 昭42, 49.
- 7) 計測と制御, 6-12, 昭42, 883.
- 8) 2nd Cranfield Fluidics Conf., 1967, B 8.

次 号 予 告 (昭和45年1月号)

—マトリクス構造解析小特集—

巻 頭 言

新しい研究体制づくりへの提言.....丸 安 隆 和  
特 集

日米マトリクスセミナーに出席して.....	大 井 光四郎
非線形問題解析法の現状と展望.....	山 田 昭 昭
構造物の最適設計における最近の進歩.....	田 中 尚 尚
最近の振動解析について.....	柴 田 碧 碧
有限要素法による3次元連続体の応力解析.....	坪 井 善 勝
	川 原 重 也
	堀 屋 松 幸
有限要素法研究の最近の動向.....	川 井 忠 彦
有限要素法による平板曲げの解析.....	吉 田 裕 裕

研 究 速 報

ロールフォーミングに関する実験的研究 第7報.....	鈴木 弘 弘
—円弧形断面タンデム成形の変形経路の分類—	木内 正 昭
	市田 山 正
ロールフォーミングに関する実験的研究 第8報.....	鈴木 弘 弘
—V形非対称断面のタンデム成形の際の製品形状とその発生機構—	木内 正 昭
	市田 山 正
	雪 竹 泰 三
マグネタイトペレットの還元に関する研究.....	李 海 漢
	伊 藤 秀 光
A METHOD OF PATTERN RECOGNITION BY REGION COUNTER.....	Masanori IDESAWA
—FREE FROM SIZE, DEFORMATION OR ROTATION OF THE PATTERN—	
ON A METHOD TO OBTAIN DISPLACEMENT WAVE FORM FROM.....	Kohei SUZUKI
THE RECORD OF EARTHQUAKE ACCELERATION.....	Hisayoshi SATO

研 究 室 紹 介

武蔵研究室.....武 藤 義 一