

京都大学工学部 正員 富永晃宏
 京都大学工学部 正員 中川博次
 京都大学工学部 正員 柊津家久

1. まえがき 可視化法および条件付サンプリング法によって、*ejection* および *sweep* の構造がしだいに明らかにされてきているが、さらに両者を含めた *bursting* 現象全体の連続的な過程を把握することが必要と思われる。そこで様々なスケールで含まれる *bursting* の 1 サイクルのパターンを認識することを試みた。著者らは条件付サンプリング法を用いて流れの横断方向の時間空間構造を調べたが¹⁾、本報告はこの実験においてパターン認識法による解析を行ない、さらにパターン認識の横断方向の広がりについて検討したものである。実験条件は表-1に示される。いずれも 2 成分ホット・フィルム(固定プローブ)と 1 成分ホット・フィルム(移動プローブ)を用いて同時計測を行なった。ケース R-1, R-2 は滑面固定床、また R-3, R-4 は 2 次流を強制的に作るために水路底面からスリット状の吹出しを与えたものであるが、*bursting* 現象に及ぼす 2 次流の直接的な影響はほとんど見られなかった。

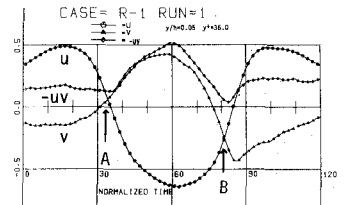
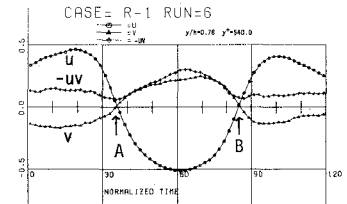
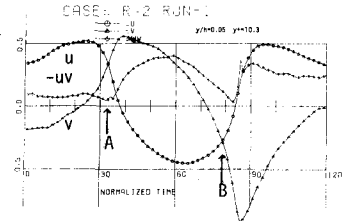
2. パターン認識法 パターン認識の方法としてここでは、*ejection* から *sweep* への移行が急激でその逆がゆるやかであることから、変動流速 u の時間微分 $\partial u / \partial t$ の極小値および極大値を検出基準とした Wallace らの方法をそのまま用いた²⁾。これを次に簡単に述べる。(1)移動平均によって変動流速 u の平滑化されたデータ $u_s(t)$ を作る。(2) $\partial u_s / \partial t$ の最初の極大値をとる点 $(\partial u_s / \partial t)_{\max old}$ をみつける。(3) u_s が正から負へゼロ交叉する点 u_{s1} , 負から正へゼロ交叉する点 u_{s2} , さらに正から負へゼロ交叉する点 u_{s3} をみつける。

(4) $(\partial u_s / \partial t)_{\max old}$ から u_{s1} の間に u_s が極大値を示す点 $u_{s \max 1}$, u_{s1} から u_{s2} の間に極小値を示す点 $u_{s \min}$, u_{s2} から u_{s3} の間に極大値を示す点 $u_{s \max 2}$ をみつける。(5) $u_{s \max 1}$ から $u_{s \min}$ の間に $\partial u_s / \partial t$ の極小値 $(\partial u_s / \partial t)_{\min}$, $u_{s \min}$ から $u_{s \max 2}$ の間に極大値 $(\partial u_s / \partial t)_{\max new}$ をみつける。(6) このパターンの中に隠れたパターンをさがす。(7) $|(\partial u_s / \partial t)_{\max}| > |(\partial u_s / \partial t)_{\min}|$ のときのみパターンとみなされ、 $(\partial u_s / \partial t)_{\min}$ がパターンの 35 番目、 $(\partial u_s / \partial t)_{\max new}$ が 85 番目となるような 120 個の規格化時間 t_i に対する u , v を記録し、全パターンについて集合平均した値 $u_{\text{pat}}(t_i)$ などを求める。(詳しくは文献 2)を参照)

3. 解析結果 この方法で求められた u_{pat} , v_{pat} , $-uv_{\text{pat}}$ の例を図 1~3 に示す。一般的な特徴として u と v の位相が 180° ずれているのが認められ、*ejection* および *sweep* の特性をよく表わしている。 u は高さによってほとんどその形状が変化しない。注意深く見ると図-1 では $|(\partial u / \partial t)_{\max}|$ の方が $|(\partial u / \partial t)_{\min}|$ より約 25% 大きい、図-2 では約 5% になっており、水面付近では若干 *bursting* の特性が弱くなっているようである。 v は壁面から離れるにつれてその値が小さくなっている。また壁面近傍では v の位相が u より少し進んでおり、*sweep* から *ejection* に移行する A 部では $u > 0$, $v > 0$ の *outward interaction*, *ejection* から *sweep* に移行する B 部では $u < 0$, $v < 0$ の *inward interaction* が見られる。特に図-3 の *sublayer* 端ではこれが顕著であり、 v の形が他と大きく異なり *sweep* が急激に大きな値をとっている。このことから $y^+ = 10$ 付近を境にして内側と外側で特性が変化している

CASE	h (cm)	U_m (cm/sec)	U^* (cm/sec)	Re	Fr	R^*
R-1	7.73	14.13	0.94	10500	0.162	698
R-2	7.78	5.53	0.42	4230	0.063	317
R-3	4.01	13.82	0.96	5400	0.220	375
R-4	3.97	13.87	0.96	5430	0.222	376

表-1 水理条件

図-1 各パターン ($y/h=0.05$, $y^+=36.0$)図-2 ($y/h=0.18$, $y^+=50.0$)図-3 ($y/h=0.05$, $y^+=10.3$)

ことが示唆される。図-4はReynolds応力のパターン— uv —を、*ejection*, *sweep*, *outward interaction*, *inward interaction*の4象限からの寄与を示したものである。*ejection*および*sweep*からの寄与が大部分を占め、また、*ejection*の寄与の方が*sweep*よりかなり大きいことがわかる。*ejection*時のパターンには*inward interaction*が*sweep*時のパターンには*outward interaction*が若干含まれている。次に $(\partial u/\partial t)_{\max old}$ から $(\partial u/\partial t)_{\max new}$ までを*bursting*の1サイクルとみなし、*bursting*のパターンの発生時間間隔 T_a を求めた。その平均値 $\bar{T}_a$ は高さ y に関係なくほぼ一定で、各ケースとも $\bar{T}_a U_{\max}/h = 1 \sim 2$ となった。これは柳津らによる瞬間Reynolds応力から評価された*bursting*の平均発生周期 $\bar{T}_a U_{\max}/h = 1.5 \sim 3$ と比べてやや小さい値となっている。このパターン認識法ではかなり小さなスケールの変動も別個の*bursting*としていたため小さくなったものと思われるが、オーダー的にはここで求められたパターンが*bursting*の1サイクルをひとえていていると考えられる。図-5に T_a の確率分布の1例を示す。図中の曲線は対数正規分布曲線であり、実験値と良好に一致し、従来の結果と一致する³⁾。

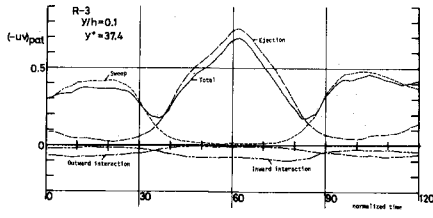


図-4 Reynolds 応力のパターン

次に固定プローブでパターンが検出されたとき、同時に移動プローブの u がサンプリングされ同じ規格化時間に対して平均された。この例を図-6(a)~(c)に示す。移動プローブのパターンは Δz の小さいところでは固定プローブのパターン(図中の実線)とよく似ているが(a)、 Δz が大きくなるにつれて同じパターンを保ちながらその大きさだけが減衰し(b)、ついには値は小さいながら位相が逆転している(c)。さらに離れるとパターンの形は全くくずれてしまう。そこで*ejection*の生起している代表点として60番目の値を、*sweep*の代表点として100番目の値を選び、これを固定プローブでの値で除して規格化したものを Δz に対してプロットしたものの一例が図-7である。 $\Delta z=0$ から急激に減衰し、いったん負になった後また正のピークをとるのが認められる。この第2のピークまでの距離を $z_e(\text{ejection})$, $z_s(\text{sweep})$ として z 表示で示したものが図-8である。ずの大きいところでは第2のピークも明確でなく非常にばらつきが大きい。壁面近傍では比較的ばらつきが小さく、 $z_e^+, z_s^+ = 100$ 付近に集中し、可視化で得られた低速線の平均間隔 λ に対応すると推測される。今後スケールごとのパターン認識法を開発して行きたい。

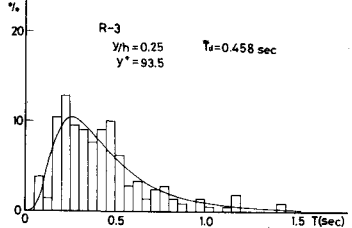


図-5 T_a の確率分布

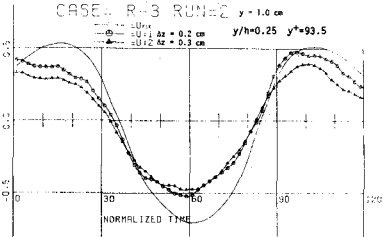


図-6 (a) 移動プローブでのパターン

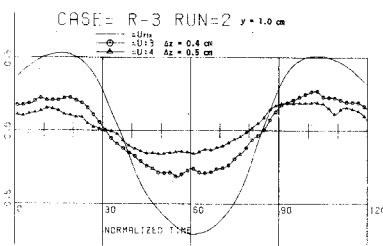


図-6 (b)

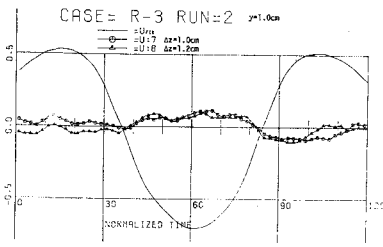


図-6 (c)

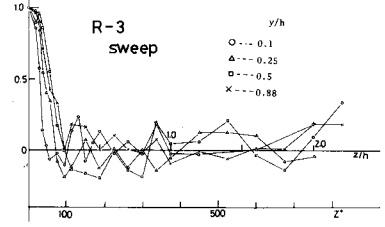


図-7 パターンのx方向への広がり

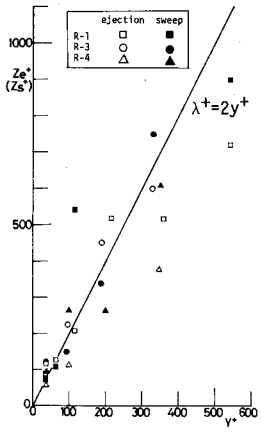


図-8 z_e^+, z_s^+ の分布