

界面活性剤抵抗低減流れにおける乱流空間構造の PIV による測定

川口靖夫(機技研) 馮 自平(Feng Ziping、機技研、知的乱流研究センター)

はじめに 水流に特定の界面活性剤を微量添加すると、乱流抑制作用により摩擦抵抗が 80%も削減できることが知られている。PEO などのポリマーに比べると、界面活性剤ミセルは寿命が長く実用性に富み、また大きなせん断や温度変化に対して可逆的応答を示すので、より高度な乱流制御のためのエレメントとして有望である。こうした機能性界面活性剤は地域冷暖房などの循環水系に添加し、乱流抑制作用によってポンプ動力を低下させるとともに熱交換器など所定の部分ではこの作用を停止させ、高い熱伝達率を確保する¹⁾などの応用が考えられる。本研究ではレオロジー、数値シミュレーション、水路流れの詳細な実験的解析を通じて機能性をもつ界面活性剤ミセルの乱流抑制作用機構を明らかにし、特殊反応槽などへのより高度な応用を目指そうとするものである。

本報ではまず、界面活性剤を添加した水路流れの空間構造について PIV による測定を行ったのでその結果について報告する。こうした流れに対して、これまで LDV による測定例があるが²⁾、空間的構造については低速ストリークの可視化を行った報告があるのみであり、定量的評価は未だ不十分である。

実験装置と方法 水路は循環型 2 次元閉水路(高さ×幅×長さ = 40mm×500mm×6000mm)を用い、PIV システムは TSI 社製のものをを用いた。このシステムは最大出力各 15mJ/パルスのダブルパルス YAG レーザ、1024×1024 ピクセルの CCD カメラ、同期装置、PIV ソフトウェア (Insight NT) を搭載した PC により構成されている。トレーサー粒子には比重 1.03g/cm³ 公称径 60 μm のプラスチック球(ダイアミド 2157)を使った。抵抗低減用界面活性剤には CTAC(塩化セチルトリメチルアンモニウム)を用い、40ppm を水道水に添加している。また同重量濃度のサリチル酸ナトリウムを添加している。チャンネル入り口から 5 m 下流で撮影を行った。

測定結果 PIV による瞬時速度の空間分布を図 1 と 2 に示す。図 2 は界面活性剤を添加した Re=10400 の流れであり、図 1 は比較のため水の場合を示した。画像は x-y 平面の 40mm×40mm の区画を写している。平均流れ方向は右から左へ向かっており、図の下辺と上辺はそれぞれチャンネルの底面と天井面に一致している。図中の等高線は速度変動の絶対値に応じてつけられており、赤い色は局所平均速度に対して瞬時速度が高いことを意味する。図 2 を見ると、全般に乱れ強度は小さいものの、水路中央近くに 5mm~10mm の幅の弱い乱れをもつ層があることがわかる。図 1 はこれと一変して上下の壁面近くまで高速の流体が侵入しており、壁面近傍に強い速度変動の存在する乱流チャンネル流れの特徴を良く表している。ベクトルの方向・強度から速度変動の長さスケールが見て取れるが、速度変動強度とスケールは不規則であり、1 mm 程度のもから 20mm を越すものまで種々の長さスケールの渦が混在している。壁に対して 30 度程度の勾配をもつ構造がとらえられており、これは低速流体の噴出(ejection)に相当する。紙数の関係でここには示さないが、これらのデータをもとに速度分布と乱れ強度の分布、また RTD に基づく乱流運動の区分を算出した。さらに速度の空間分布から渦度の瞬時値の等高線を得た。それらのデータを総合すると界面活性剤添加抵抗低減流れには、特殊な揺らぎはあるものの、乱流を強く特徴づける渦度の不規則変動を伴っていない、レイノルズせん断応力は消失するなど、乱流の重要な特徴のいくつかを備えていない。しかしながら抵抗低減流れは層流やニュートン性流体の乱流とは異なる固有の乱れ構造をもっていることが推定される。

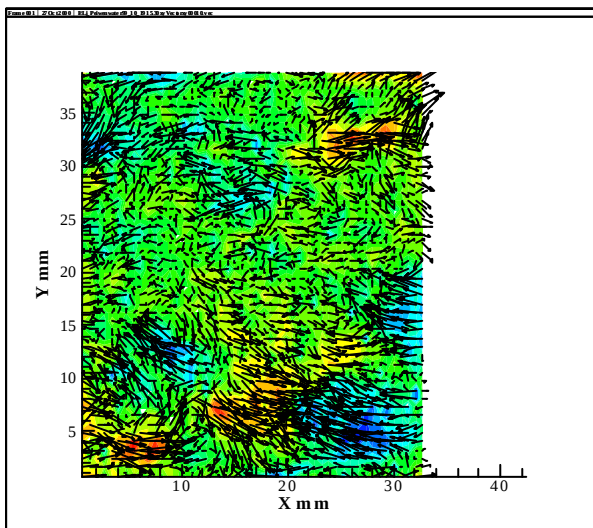


図 1 抵抗低減流れにおける瞬時の速度分布 (Re=10400)

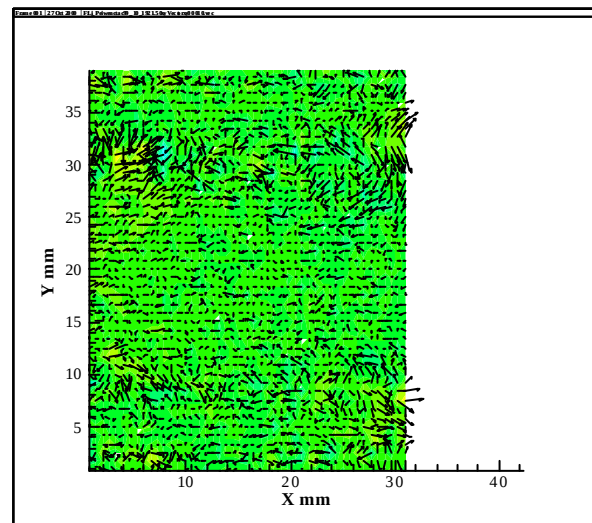


図 2 水流における瞬時の速度分布 (Re=10400)

参考文献

- 1) Qi, Y., Kawaguchi, Y., et al., "Enhance heat transfer of drag reducing surfactant solutions with fluted tube-in-tube heat exchanger", International Journal of Heat and Mass Transfer (printing).
- 2) Kawaguchi, Y. et al., "Turbulent Characteristics in Transition Region of Dilute Surfactant Drag Reducing Flows", Proc. 11th Symp. Turbulent Shear Flows, 1(1997), pp.1-49 - 1-54.