

2019 年度(令和元年度) 名古屋大学 HPC 計算科学連携研究プロジェクト成果報告
複雑流動場における物質移行過程の解明を目指した大規模数値計算
：実験計測データとの比較による数値モデルの構築

名古屋大学工学研究科 Ali MEHREZ, 恒吉達矢, 余仕超, 辻義之
山梨大学工学部 山本義暢
名古屋大学情報基盤センター 高橋一郎

固体壁面から流体への物質移行や熱伝達といったスカラー輸送の過程を制御し、積極的に利用あるいは反対に抑制することは工学応用上とても重要である。強制対流の配管流れにおける物質移行係数を直接的に測定する手法として、対流ボルタンメトリーがある。対流ボルタンメトリーでは、配管内壁に露出させた電極と溶液中のイオンとの電気化学反応によって生じる電流値より壁面の物質移行係数を算出する。実験では、配管内径 40 mm に対して直径 1 mm の点電極を作用極として用いている。本研究では、電極面積の空間分解能の影響を大規模直接数値計算(DNS)の結果^[1]と比較することで、その測定精度の検証をおこなった。

円管発達乱流を対象とした実験は摩擦レイノルズ数 Re_τ が 700 から 1582 の範囲で行っており、点電極の直径は摩擦速度 u_τ を用いた無次元数 δ で 35 から 79 となる。発達乱流の特徴的な流体構造である高速ストリークと低速ストリークの縞間隔は δ で 100 程度とされており、点電極は縞間隔より小さな長さスケールとなっている。点電極により測定した物質移行係数を、DNS で求めた壁面のせん断応力と相似則を介して比較すると、時間平均値についてはよく一致していた。変動値に関して、図 1 に $Re_\tau = 1178$ の円管発達乱流を対象とした実験と $Re_\tau = 1000$ のチャンネル乱流 DNS の確率密度関数(PDF)を示す。実験値と DNS には相違がみられたが、DNS データに対して実験の点電極と同程度の空間解像度まで空間平均を取り粗視化すると PDF が一致することが確認できた。よって、点電極を用いた対流ボルタンメトリーにより、壁面の伝達現象の時間変動についても高い精度で測定可能であるといえる。

乱流構造とスカラー輸送について、円管発達乱流を対象とした実験では多点同時計測をおこない、大規模な乱流構造の空間揺らぎが物質輸送と密接に関連することを明らかにした。複雑流動場を対象とした数値計算および実験では、数値計算で示された壁面の伝達現象の拡散係数依存性が実験の結果と整合することを確認した。

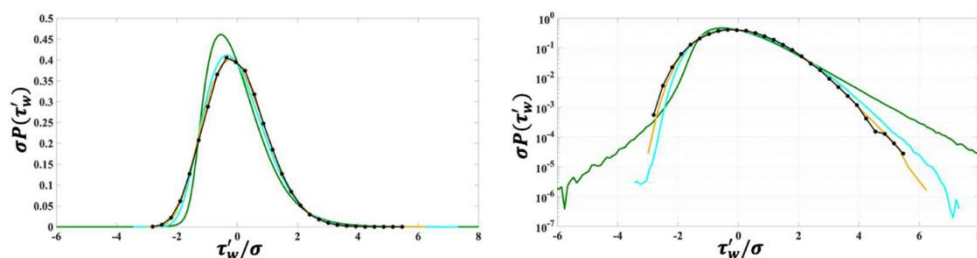


図 1 壁面せん断応力の確率密度関数^[2]。黒丸付きの実線は点電極測定に基づく値。点電極の面積は $A^+ = 1.09 \times 10^4$ 。緑線は DNS の結果であり、青線は $A^+ = 1.10 \times 10^4$ 、黄線は $A^+ = 3.17 \times 10^4$ まで空間平均した値。

[1] Mehrez, A., Philip, J., Yamamoto, Y. and Tsuji, Y., Pressure and spanwise velocity fluctuations in turbulent channel flows: Logarithmic behavior of moments and coherent structures, Physical Review Fluids, Vol.4, No.4 (2019), Paper No.044601.

[2] Tong, T., Tsuneyoshi, T. and Tsuji, Y., Shear stress fluctuation measurements using an electrochemical method in pipe flow, Journal of Fluid Science and Technology, Vol.14, No.2, 2019, Paper No.19-00456.