

格子乱流による高シュミット数スカラー拡散場の計測

Measurement of High-Schmidt Number Scalar Field in Grid Generated Turbulence

- 鶴飼 涼太, 名大工, 愛知県名古屋市千種区不老町, E-mail: ukai-r@nagoya-u.jp
 鈴木 博貴, 名大工, 愛知県名古屋市千種区不老町, E-mail: hsuzuki@nagoya-u.jp
 長田 孝二, 名大工, 愛知県名古屋市千種区不老町, E-mail: nagata@nagoya-u.jp
 酒井 康彦, 名大工, 愛知県名古屋市千種区不老町, E-mail: ysakai@mech.nagoya-u.ac.jp
 Ryota UKAI, Dept. of Mech. Sci. and Eng., Nagoya Univ., Nagoya, 464-8603 Japan
 Hiroki SUZUKI, Dept. of Mech. Sci. and Eng., Nagoya Univ., Nagoya, 464-8603 Japan
 Kouji NAGATA, Dept. of Mech. Sci. and Eng., Nagoya Univ., Nagoya, 464-8603 Japan
 Yasuhiko SAKAI, Dept. of Mech. Sci. and Eng., Nagoya Univ., Nagoya, 464-8603 Japan

High-Schmidt-number scalar mixing layers in grid turbulence are experimentally investigated in a water channel by means of planar laser induced fluorescence (PLIF) technique and time-resolved particle image velocimetry (PIV). The Reynolds number based on the mesh size and mean velocity is 2,500. Fluorescent dye (Rhodamine B; Schmidt number is about 2,100) is homogeneously premixed only in the upper stream, and therefore, the scalar mixing layer with an initial step profile develops downstream of the grid. We visualized the instantaneous scalar field and various turbulence quantities are evaluated.

1. 緒論

乱流中でのスカラー輸送現象は機械工学に関する装置内において幅広く見られるため、その知見は工学的に重要であり、実験的にも数値的にもこれまでに広く研究が行われている。スカラー輸送を特徴づける無次元数である Schmidt 数が低い場合、直接数値計算(DNS)などにより解析が可能であるが、Sc 数を高めると莫大な計算資源が必要になるため、実験計測の有用性は非常に高い。そこで本研究では Particle Image Velocimetry (PIV)と独自に改善された Planar Laser Induced Fluorescence (PLIF)を用いて、格子乱流により輸送される、高 Sc 数スカラー拡散場を実験計測する。

2. 実験装置および実験条件

作動流体である水道水は、整流および縮流されたのち、100mm × 100mm の断面および 1,500mm の主流方向長を有するアクリル製の矩形流路に流入される。その入口部に乱流格子を設置し、格子中心を原点に主流方向を x 、鉛直方向を y 、スパン方向を z とした。格子間隔 M は 10mm であり、閉塞率 σ は 0.36 である。格子レイノルズ数 $Re_M (= UM/\nu)$ を 2,500 とした。

速度場の計測には時系列 PIV を用いた。トレーサ粒子には平均粒子径 32μm、比重 1.1 のポリエステル粒子を使用した。光源として半導体励起固体レーザー(Omicron, FKLA-5000, 波長 $\lambda = 532\text{nm}$) を使用し、高速度カメラ(DITECT, HAS-500)を用いてデジタル画像を撮影した。

スカラー場の計測には PLIF を用いた。高 Sc 数スカラーとして、蛍光物質である Rhodamine B ($Sc \cong 2,100$)を用い、格子直上流側に $x/M = 0$ まで設置されたスプリッタープレートを用いてスカラー混合層を発生させた。励起光源には PIV と同じレーザーを使用した。撮影にはデジタル一眼レフカメラ(Nikon, D700)を使用し、14bit RAW 画像を 1,300 枚程度取得した。独自に改善した補正処理を用い、入射励起光強度の時間変化、染料の濃度差による励起光強度の空間変化、輝度値と蛍光強度の間の線形係数の差異、そして量子収率の時間変化をそれぞれ計測することなく補正した⁽¹⁾。

3. 実験結果および考察

Tab. 1 に PIV および PLIF での計測範囲、計測点数および分解能を示す。ここで、 L_x , L_y はそれぞれ x , y 方向の計測範囲を、 N_x , N_y はそれぞれ計測点数を表す。ただし、計測点数とは PIV の場合

Tab. 1 Experimental conditions

Method	$L_x \times L_y$ [mm ²]	$N_x \times N_y$	Spatial resolution [mm ²]
PIV	7.5×40	12×64	0.63×0.63
PLIF	25×100	256×1024	0.10×0.10

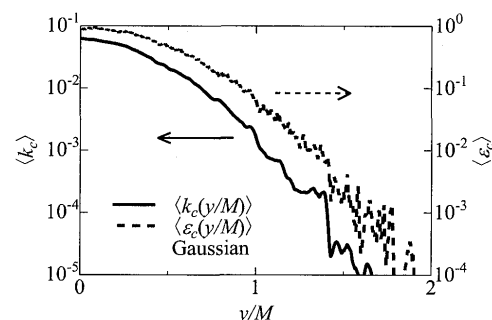


Fig. 1 The vertical profiles of scalar variation and mean scalar dissipation

には得られたベクトル数、PLIF の場合には pixel 数である。Fig. 1 にスカラーバリエーション $\langle k_c \rangle$ および平均スカラーエネルギー散逸率 $\langle \epsilon_\theta \rangle$ の y 方向分布を示す。ただし、 $\langle k_c \rangle = (1/2)\langle c^2 \rangle$, $\langle \epsilon_\theta \rangle = 1/(Re_M Sc) \times [\langle (\partial c / \partial x)^2 \rangle + \langle (\partial c / \partial y)^2 \rangle + \langle (\partial c / \partial z)^2 \rangle]$ である。ここで、 $\langle (\partial c / \partial x)^2 \rangle = \langle (\partial c / \partial z)^2 \rangle$ を仮定した。

スカラーバリエーション $\langle k_c \rangle$ は $y/M < 1$ の範囲で正規分布と良好に一致する。平均スカラーエネルギー散逸率 $\langle \epsilon_\theta \rangle$ は $\langle k_c \rangle$ と似たグラフを示し、正規分布と良好に一致した。また、 $\langle \epsilon_\theta \rangle$ は $\langle k_c \rangle$ の大きな $y/M=0$ 付近だけでなく、 $\langle k_c \rangle$ の小さな外層においても比較的大きな値をもつことがわかる。講演時には、その他の統計量についても発表する予定である。

4. 謝辞

本研究は、(独)日本学術振興会と英国 The Royal Society の二国間交流事業(共同研究)により行われた。また、本研究の一部は科研費(21656051, 22360076, 22360077)の援助を受けて行われた。

参考文献

- (1) 鈴木博貴, 長田孝二, 酒井康彦, 鶴飼涼太, “高 Sc 数スカラー乱流輸送に対する PLIF 計測の補正処理法,” 機論 B, 投稿中。