

フラクタル格子乱流による乱流熱輸送特性

Characteristics of Turbulent Heat Transfer in Fractal Grid Turbulence

○鈴木 博貴, 名大工, 愛知県名古屋千種区不老町, 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, 愛知県名古屋千種区不老町, E-mail: ysakai@mech.nagoya-u.ac.jp
 早瀬 敏幸, 東北大流体研, 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1, E-mail: hayase@ifs.tohoku.ac.jp
 久保 貴, 名大工, 愛知県名古屋千種区不老町, E-mail: t-kubo@nagoya-u.jp
 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
 Toshiyuki HAYASE, Institute of Fluid Sci., Tohoku Univ., Sendai, 980-8577 Japan
 Takashi KUBO, Dept. of Mech. Sci. and Eng., Nagoya Univ., Nagoya, 464-8603 Japan

Experimental studies on the turbulence generated by 'fractal grids' have been done by Hurst & Vassilicos (2007) and Seoud & Vassilicos (2007). In this study, turbulence structure and passive scalar field in the spatially developing fractal generated turbulence are investigated by means of the direct numerical simulation (DNS). The results show that fractal grid produces higher Reynolds number flow compared with a classical grid turbulence using a biplane square grid, as observed in the previous experiments. The scalar field shows that larger temperature fluctuations are generated in the fractal grid turbulence compared with a classical grid turbulence.

1. 結論

フラクタル形状を有する格子により生成される乱流は、強い乱れと特異な特性を持つことが過去の風洞実験により報告されている^(1,2)。本研究では、三次元直接数値計算 (DNS) を用いて、フラクタル格子乱流およびその中の乱流熱輸送に関する計算を行い、考察を行う。

2. 計算対象

計算対象はフラクタル square 型乱流格子^(1,2)により生成されるフラクタル格子乱流 (FGT), および通常の正方乱流格子により生成される格子乱流 (CGT), およびそれぞれによる乱流熱輸送である。有効格子間隔 M_{eff} ^(1,2) にもとづく Reynolds 数 $Re_{M_{eff}}$ を 2500, Prandtl 数を 0.71 とした。格子の閉塞率をいずれも 0.36 とした。計算領域および格子数を Table 1 に示す。ここで、主流方向を x 方向, 鉛直方向を y 方向, スパン方向を z 方向とした。境界条件については, 流入条件に変動のない一様流入条件を, 流出条件に対流流出条件を用いた。主流に垂直な y - z 方向には周期境界条件を適用した。

3. 計算手法

支配方程式は, 連続の式, Navier-Stokes 方程式, および, スカラー変動に対する輸送方程式である。ここで y 方向平均温度勾配を一定とした。計算格子にはスタガード格子を用いた。時間進行には三次精度低記憶容量型 Runge-Kutta 法にもとづく部分段階法を用いた。Poisson 方程式は TDMA と FFT の併用により直接的に求解した。N-S 式の対流項, 圧力項, および輸送方程式の対流項の離散化には y - z 方向に四次精度中心差分を, x 方向に二次精度中心差分を用いた。N-S 式の粘性項, および輸送方程式の拡散項の離散化には, y - z 方向にフーリエ級数展開を, x 方向には四次精度中点則中心 Compact scheme を用いた。

Table 1 Computational domain and mesh points

| RunID | $L_x \times L_y \times L_z (M_{eff})$ | $N_x \times N_y \times N_z$ |
|-------|---------------------------------------|-----------------------------|
| FGT | 115.2 × 16 × 16 | 1280 × 320 × 320 |
| CGT | 115.2 × 8 × 8 | 1280 × 256 × 256 |

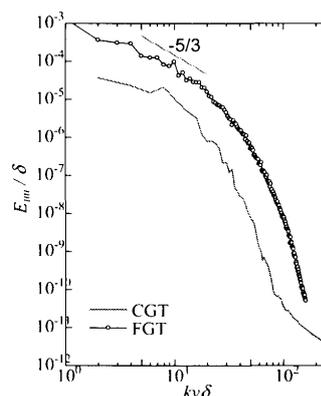


Fig. 1 Power spectra of streamwise velocity fluctuations at $96M_{eff}$

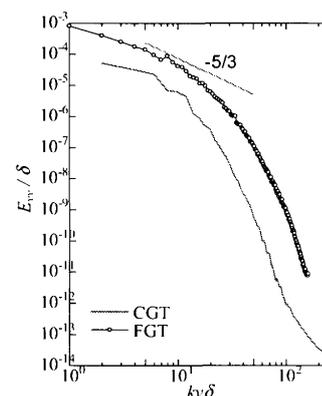


Fig. 2 Power spectra of vertical velocity fluctuations at $96M_{eff}$

4. 計算結果

$x = 96M_{eff}$ における x 方向および y 方向速度変動のパワースペクトルを Fig.1, Fig.2 にそれぞれ示す。ここで流路幅 $\delta = 16M_{eff}$ である。FGT は CGT に比べ, 全波数域で乱れ強度が大きく, また, $-5/3$ 乗則に従う領域が確認できる。講演時には流動場の詳細およびスカラー輸送特性について報告する。

謝辞

本研究は東北大学流体科学研究所未来流体創造情報センターのベクトル並列計算システム NEC SX-8 を用いて行われた。また, 本研究は, 科研費 (18686015) および特別研究員奨励費 (20008010) の援助を受けて行われた。

参考文献

- (1) Hurst, D. and Vassilicos, J. C., Phys. Fluids, 2007, Vol.19, 035103.
- (2) Seoud, R. E. and Vassilicos, J. C., Phys. Fluids, 2007, Vol.19, 105108.