

DNSによる噴流混合指標に関する研究

Study on rate of jet mixing by DNS

辻本 公一, 三重大院, 〒514-8507 三重県津市栗真町屋町 1577, tujimoto@mach.mie-u.ac.jp
 ○狩谷 修次, 三重大院, 〒514-8507 三重県津市栗真町屋町 1577, kariya@ees.mach.mie-u.ac.jp
 杜河内 敏彦, 三重大院, 〒514-8507 三重県津市栗真町屋町 1577, shakou@mach.mie-u.ac.jp
 安藤 俊剛, 三重大院, 〒514-8507 三重県津市栗真町屋町 1577, ando@ees.mach.mie-u.ac.jp

Koichi TSUJIMOTO, Graduate School of Eng., Mie University, 1577 Kurimamachiya-cho, Tsu-shi, Mie
 Shuji KARIYA, Graduate School of Eng., Mie University, 1577 Kurimamachiya-cho, Tsu-shi, Mie
 Toshihiko SHAKOUCI, Graduate School of Eng., Mie University, 1577 Kurimamachiya-cho, Tsu-shi, Mie
 Toshitake ANDO, Graduate School of Eng., Mie University, 1577 Kurimamachiya-cho, Tsu-shi, Mie

1. 緒言

近年, 計算機の大幅な高速化により, 直接数値計算 (Direct Numerical Simulation; DNS) による高精度な計算が行われるようになり, 噴流の遷移過程で形成されるリング状の渦構造や渦構造の崩壊時に形成される縦渦が忠実に再現されている。これまで, DNS によりこれらの乱流構造と乱れの関係については調べられてきたが, 最も関心のある混合状態に関する詳細な検討は行われていない。

本研究では, 円形噴流の直接数値計算 (DNS) を行い, 混合状態の定量的および定性的な評価指標として, スカラー量である温度分布をもとにしたエントロピー解析法を取り上げ, 検討を行った。噴出口で 2 パターンの励起 (軸対称励起, ヘリカル励起) を加えた場合の乱流統計量や瞬時構造から, 混合指標の妥当性について評価した結果を報告する。

2. 計算条件

円形噴流に対する主流速度の流入速度分布を次式で与える⁽¹⁾。

$$V(r) = \frac{V_1 + V_2}{2} - \frac{V_1 - V_2}{2} \tanh \left[\frac{1}{4} \frac{R}{\theta_0} \left(\frac{r}{R} - \frac{R}{r} \right) \right] \quad (1)$$

ここで, V_1 は噴流中心速度, V_2 は伴流速度, $R (= D/2)$ は噴出口半径, θ_0 は初期せん断層の運動量厚さ, r は中心軸からの半径方向距離である。本計算では代表速度を V_0 とし, $V_1 = 1.075V_0$, $V_2 = 0.075V_0$, $R/\theta_0 = 20$ とする。また, 温度分布については, 主流速度分布と同じ分布を与える。計算領域 $H_x \times H_y \times H_z$ は $7D \times 15D \times 7D$, 格子数 $N_x \times N_y \times N_z$ は $256 \times 200 \times 256$ とする。レイノルズ数は $Re = V_0 D / \nu = 1500$, プラントル数は $Pr = 0.707$ とする。

3. 計算結果

本研究では, 近久ら⁽²⁾のエントロピー解析法を参考に混合特性について評価した。

図 1 に主流方向と直行する断面内のエントロピー $S = T_i \cdot \ln(T_i) - \sum_{i=1}^M \{T_{(i)} \cdot \ln(T_{(i)})\}$ の主流方向分布を示す。図は,十分に発達した流れを時間平均し, 噴出口のエントロピー S_0 で無次元化した。軸対称励起を加えた場合, エントロピーは $y/D = 2$ まで増大するが, その後 $y/D = 10$ までほぼ一定の値を示す。これは, 周期的に発生する渦輪が崩壊することなく流下するためである。また, ヘリカル励起を加えた場合, 渦構造の崩壊が早くなるので, 急激にエントロピーが増大する位置がいくつか存在する。励起なし, 軸対称励起と比較すると下流側で最大値を示すことから, 最も混合が促進されたと考えられる。

図 2 に軸対称励起, ヘリカル励起を加えた場合のエントロピーの変動成分 $S' = T_{(i)} \cdot \ln T_{(i)}$ について可視化したものを示す。

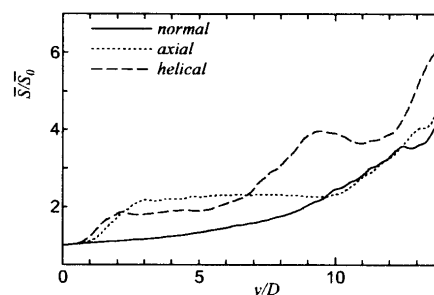
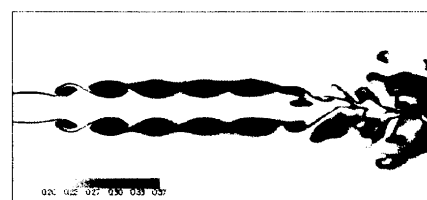
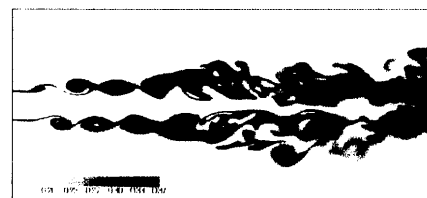


Fig.1 Mean entropy distribution.



(a) Axial excitation



(b) Helical excitation

Fig.2 Contour of entropy fluctuation on x-y plane.

両者とも, 混合は噴流外縁のせん断層でのみ生じることが確認される。また, 中心線上は混合されにくく, ヘリカル励起のような早期の渦崩壊が生じても, 周囲流体との混合の方が促進されている。一方, 軸対称励起を加えた場合, 上流側のせん断層で見られる構造は周期的に発生する渦輪と一致しているが, ヘリカル励起で見られる変動エントロピー分布の成長が見られず, そのためエントロピー S は一定となることがわかる。以上より, 強い安定した構造を急速に生成させるよりも, 不安定な構造をできるだけ早く成長および崩壊させることが, 混合の促進に有効であると考えられる。

参考文献

- (1) Silva, C.B. & Metais, O., *Phys.Fluid* 14, (2002), pp.3798-3819
- (2) 近久, 湯山, 菱沼, 日本機械学会論文集 (B 編) 67-658, (2001), pp.1563-1570