

水平円管内共存対流乱流内の大規模構造に対する周方向非一様加熱条件の影響

Effects of circumferentially-varying heating condition on large-scale structure in turbulence mixed-convection flow in a horizontal pipe

- 服部康男, 電中研, 千葉県我孫子市我孫子 1646, yhattori@criepi.denken.or.jp
- 長谷部慶麿, DCC, 東京都千代田区神田錦 3-5-1, hasebe@dcc.co.jp
- 須藤 仁, 電中研, 千葉県我孫子市我孫子 1646, suto@criepi.denken.or.jp
- 中尾圭佑, 電中研, 千葉県我孫子市我孫子 1646, nakao@criepi.denken.or.jp
- 石原修二, DCC, 東京都千代田区神田錦 3-5-1, ishihara@dcc.co.jp

We performed LESs by using an open source CFD code, OpenFOAM to examine effects of non-homogeneous heat condition on large-scale structures of mixed-convection turbulent flows in a horizontal pipe for $Ri = 0.45 - 4.5$. Two-point correlations of streamwise velocity fluctuations in the streamwise direction suggested that such non-homogeneous heat conditions yield two-layer structures in the near-wall and the logarithmic regions, and such two-layer structures significantly change large-scale structures: wavy-like fluid motions become dominant with the enhancement of stable stratification in a layer of the near-wall and the logarithmic regions.

1. 緒言

周方向非一様加熱条件下での円管内乱流の伝熱機構の解明は、学術的な観点とともに太陽熱エネルギー利用設備の最適化⁽¹⁾や構造物腐食推定の精緻化⁽²⁾などに関連した工学的な観点からも重要な課題である。しかしながら、既往研究⁽³⁾の多くは温度場をパッシブスカラとする強制対流状態を対象としており、浮力効果が顕在化する共存対流状態での知見は限定される。本研究では、円管内乱流の特徴的な乱流構造の一つである軸方向に伸長する大規模構造⁽⁴⁾に注視しつつ、周方向非一様加熱条件下の水平円管内共存対流場を対象に LES を実行した。

2. 計算対象・手法・条件

計算には、OpenFOAM (buoyantBoussinesq PimpleFoam) を用いた⁽⁵⁾。支配方程式および SGS モデルには、それぞれ坪倉⁽⁶⁾, Abe⁽⁷⁾によるものを用いた。圧力と速度場の連成には PISO 法を採用した。時間積分には 2 次精度 backEuler, 空間離散には 2 次精度中心差分を選択した。軸方向には、大規模構造⁽⁸⁾の再現に十分な領域サイズ (円管半径 R の 100 倍) を確保した。境界条件として、既往研究⁽³⁾と同じ周方向熱流束分布を付与したものと一様熱流束分布を付与したものの 2 種類を対象とした。 $Re = 360$, $Pr = 0.7$ とし、4 種類の Ri 数 ($Ri = 0.45, 0.9, 2.7, 4.5$) を対象とした。既往研究の LES⁽⁹⁾と同程度の格子解像度 ($\Delta r^+_{min} = 1.1$) を設定した。

3. 結果・考察

図 1, 2 に、壁近傍領域 ($r^+ = 3$) および対数領域 ($r^+ = 150$) における主流方向変動風速の 2 点相関係数の主流方向分布を示す。周方向に等間隔 (3° ピッチ) で配置した 120 点での結果を併記した。壁近傍領域において Ri 数の増加とともに、波状運動が顕著となる。非一様加熱条件下では、周方向に対して波長が 50R 程度に至る箇所と波状運動が減衰する箇所とが混在する。対数領域において、 Ri 数の増加が大規模構造のスケールを拡張する。一様加熱条件では、主流方向特性長さの最大値が、最も強安定な $Ri = 4.5$ により生じる。非一様加熱条件下では、同程度の特性長さを $Ri = 2.7$ で確認できる。さらに安定な $Ri = 4.5$ では、壁近傍領域に類似した波状運動が周方向の一部の箇所でも形成される。

これらの結果から、水平円管内共存対流境界層に形成される大規模構造における、浮力効果の顕在化 (Ri 数の増加) による特性の変調およびその変調に対する非一様加熱条件の影響を理解でき

る。このような影響は、非一様加熱条件による極めて強い安定成層と弱い安定成層との混在が一因と推定される。

参考文献

- (1) Antoranz A et al., Int J Heat Fluid Flow 55 (2015) 45.
- (2) 服部ら, 土木学会論文集 A2 74 (2018) I_493.
- (3) Monty JP et al., J Fluids Mech 589 (2007) 147.
- (4) 坪倉, 日本機械学会論文集 B 72 (2006) 2909.
- (5) Abe K, Int J Heat Fluid Flow 29 (2013) 42.

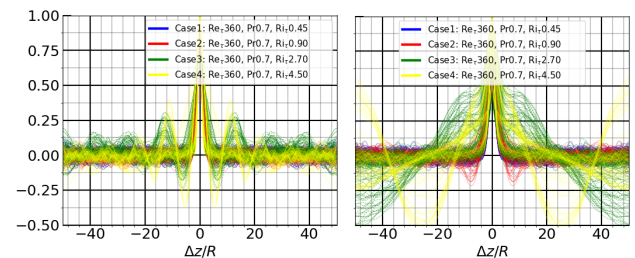


Fig. 1 Two-point correlation of streamwise-velocity fluctuations in near-wall region ($r^+ = 3$) for streamwise-direction under uniform, (a) and circumferentially varying, (b), heating condition.

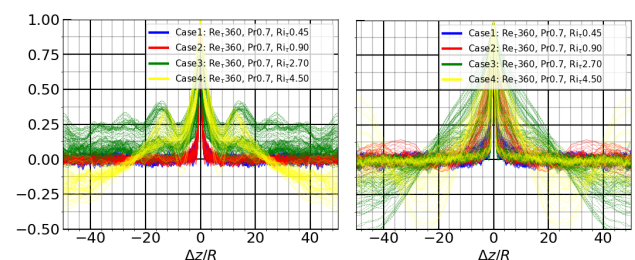


Fig. 2 Two-point correlation of streamwise-velocity fluctuations in logarithmic region ($r^+ = 150$) for streamwise-direction under uniform, (a) and circumferentially varying, (b), heating condition.