

ガソリン燃焼チーム クラスタ大学29 (冷却損失低減班)

慶應義塾大学工学部 深湯 康二, 岩佐 大器

エンジン筒内流動予測用DESとハイブリッドRANS/LESに関する研究

目的

カノニカルな系における, 各種乱流モデルの予測精度検証と問題点の抽出

- 予測精度の総合的な検証
- 各種モデルの問題点の抽出



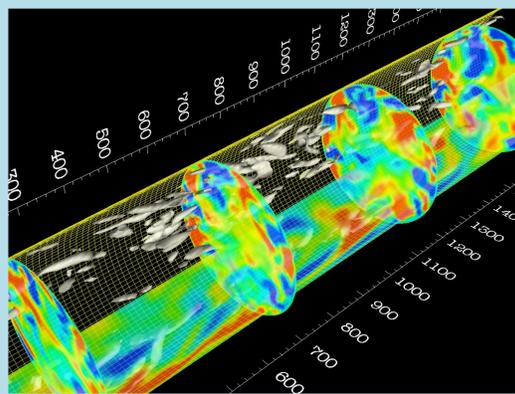
- HINOCAでの使用に適したハイブリッドRANS/LESモデルの提案

研究方法

- 円管内乱流のLarge-eddy simulation (LES), Reynolds-averaged Navier-Stokes simulation (RANS), Detached-eddy simulationなどのハイブリッドRANS/LESの総合的な精度検証
低レイノルズ数領域: DNS vs LES, 中レイノルズ数領域: LES vs RANS vs DESなど
- 剥離や再付着を伴う流れにおける, 同様の検証と問題点の抽出

主な成果 (2017年度途中経過)

- スタート地点: 円管内乱流のDNS (Fukagata and Kasagi, *J. Comput. Phys.* **181**, 2002)



- 円筒座標系直交格子
- エネルギー高保存型差分
- 乱流モデル以外の誤差要因を極力排除

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(ru_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial u_r}{\partial t} = h_r + b_r + d_r - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r}$$

$$\frac{\partial u_\theta}{\partial t} = h_\theta + b_\theta + d_\theta - \frac{1}{\rho r} \frac{\partial p}{\partial \theta}$$

$$\frac{\partial u_z}{\partial t} = h_z + d_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z}$$

- 円管流コードのLES化
支配方程式: 空間フィルタをかけたNavier-Stokes方程式

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} = -\nabla \cdot (\mathbf{u}\mathbf{u}) - \frac{1}{\rho} \nabla \left(p + \frac{1}{3} \text{tr}(\mathbf{T}) \right) + \nu \nabla^2 \mathbf{u} - \nabla \cdot \mathbf{T} + \mathbf{f}$$

Subgrid scale (SGS) 応力

$$\mathbf{T} = -2\nu_T \mathbf{S} + \frac{1}{3} \text{tr}(\mathbf{T}) \mathbf{I} \quad \mathbf{S} = \frac{1}{2} (\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^T) \quad \nu_T = (C_s \Delta)^2 \sqrt{2\mathbf{S} : \mathbf{S}}$$

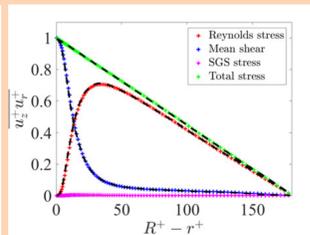
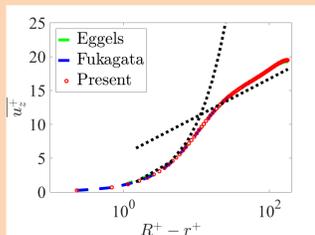
- SGSモデル: Smagorinskyモデル, Coherent Structureモデル, WALEモデル

- 計算条件

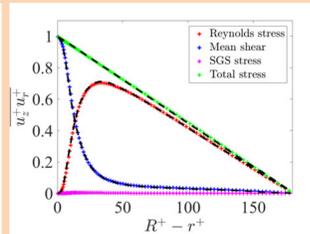
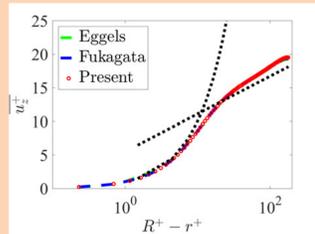
レイノルズ数: $Re_b = 5300$
 流量一定条件
 計算領域: $L_z = 20R$
 格子数: $N_r \times N_\theta \times N_z = 96 \times 128 \times 512$
 最小格子幅: $(R\Delta\theta)^+ = 8.8, \Delta z^+ = 7.0$ (r 方向は不等間隔格子)

- 最小格子幅での結果

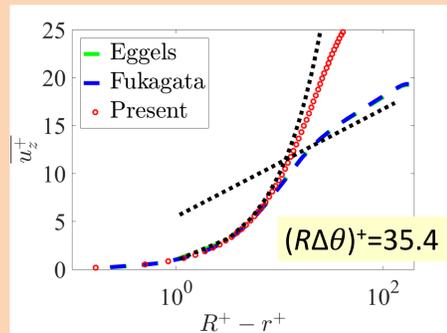
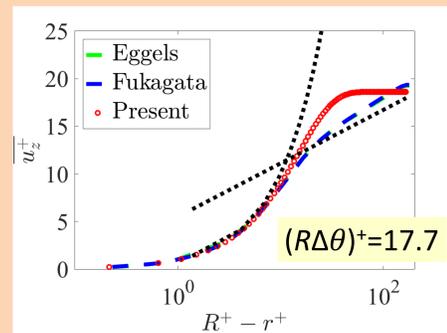
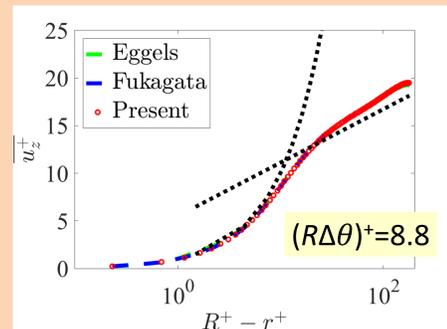
Smagorinskyモデル



WALEモデル



- 周方向(スパン方向)格子幅の影響 (Smagorinskyモデル)



$(R\Delta\theta)^+$ は10程度以下でないと, 平均流速分布ですら大きく外れる。

今年度の取組

- 円管内乱流DNSコードのLES化
- 同・RANS化, DES化
- 各手法の予測精度評価
- 入口・出口条件コード (DNS/LES/RANS/DES統合コード)の開発

研究計画

2014	2015	2016	2017	2018
			テストベンチ(円管流コード)開発 クプロジェ参加	テストベンチ(入口・出口コード)開発 剥離や再付着を伴う流れにおける精度検証と問題点抽出