

ガソリン燃焼チーム クラスター大学29 (冷却損失低減班)

慶應義塾大学理工学部 深淵 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

- ・カノニカルな系および剥離再付着を伴う乱流のLES, RANSおよびDESの実施を通じて得られた知見の提供によるHINOCA-LES版およびRANS版予測精度の改善

研究方法

1. 円管内乱流および急拡大流路における乱流モデルの予測精度検証と、格子依存性に関する問題点の抽出

2. HINOCAでの使用に適した乱流モデルの開発とその効果実証

→Machine Learning

- ・支配方程式: 連続の式 & LESのN-S式

$$\frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_j} = 0, \quad \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}_i \bar{u}_j}{\partial x_j} = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{1}{Re} \frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_j \partial x_j} - \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j}$$

- ・解析対象の主モデル: WALEモデル

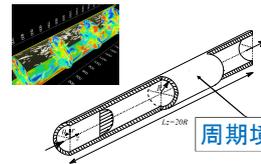
$$\tau_{ij} - \frac{1}{3} \tau_{kk} \delta_{ij} = -2\nu_t \bar{S}_{ij}, \quad \nu_t = (C_m \Delta)^2 \frac{(S_{ij}^d S_{ij}^d)^{3/2}}{(\bar{S}_{ij} \bar{S}_{ij})^{5/2} + (S_{ij}^d S_{ij}^d)^{5/4}}$$

- ・レイノルズ数 (流量一定条件)

円管内乱流: $Re_b = 2U_b R / \nu = 5300$ ($Re_\tau \approx 180$)

急拡大流路: $Re_b = 11700$

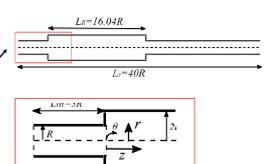
円管内乱流



Grid resolution: 全35ケース

Δz^+	5.19~196.07	6種
$R^+ \Delta \theta$	8.78~57.45	4種
Δr_{\min}^+	0.228~13.32	5種

急拡大流路



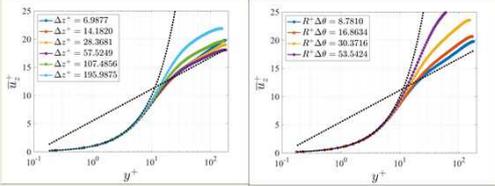
Grid resolution: 全6ケース

Δz	0.078~0.313	3種
$R \Delta \theta$	0.049, 0.098	2種

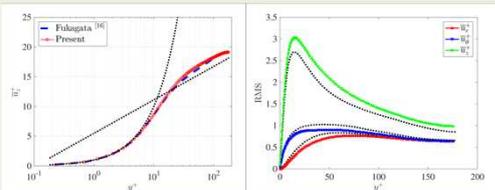
主な成果

円管内乱流

- 主流方向とスパン方向の格子依存性 (壁垂直方向はDNSと同じ)



主流方向またはスパン方向の格子数を固定し、他方の格子数を変化させたときの平均速度分布

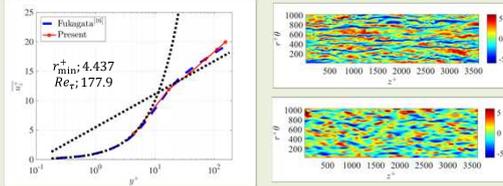


格子数が主流方向64点, スパン方向64点のときの平均流速分布と乱流強度分布

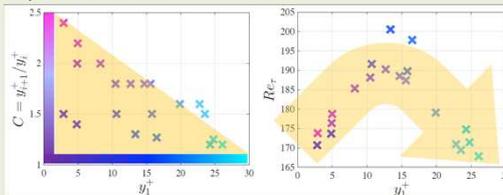
- ・スパン方向の格子数が減少すると平均速度分布が層流化する。
- $R^+ \Delta \theta \leq 18$ でないと大きく外れる。
- ・RMS速度やレイノルズ応力なども併せて検討した結果、許容できる解像度は

主流方向: $\Delta z^+ \leq 56$
スパン方向: $R^+ \Delta \theta \leq 18$

- 壁垂直方向の格子依存性
- ▶不等間格子

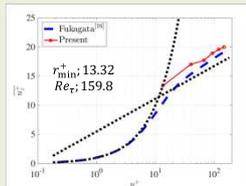


格子数が主流方向64点, スパン方向64点, 法線方向6点のときの平均流速分布と y^+ ; 20のときの主流速度変動ストローク構造(右上: DNS, 右下: LES)



壁面第一点位置と摩擦レイノルズ数および格子間隔幅の関係

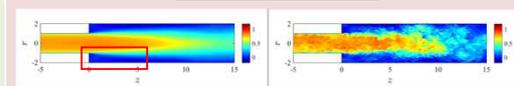
- ▶等間格子



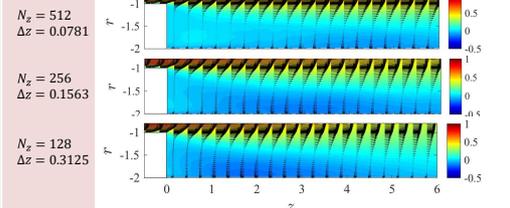
格子数が主流方向64点, スパン方向64点, 法線方向6点のときの平均流速分布

- ・格子数が6点でも、計算位置を的確に選択すれば統計量が得られる。
- ・壁面第一点目が $y^+ \approx 10$ で摩擦レイノルズ数が求められるなくなる。

急拡大流路



平均速度分布と瞬時の速度分布

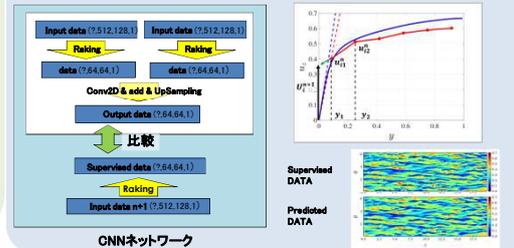


主流方向の格子数を変化させたときの急拡大部分の平均速度分布

- ・急拡大流路では主流方向の格子幅にも大きく依存する。

Machine Learning

- CNN (Convolutional Neural Network)



今年度の取組

- ・各手法の予測精度の評価
- ・急拡大流路のコードの開発
- ・同流路による予測精度の評価
- ・Spalart-Allmarasの壁関数モデルを用いた予測精度の改善とその評価
- ・機械学習を用いたモデルの開発

研究計画

2014	2015	2016	2017	2018
			テストベンチ (円管流コード) 開発 クロム参加	剥離や再付着を伴う流れにおける各モデルの予測精度検証と問題点抽出
			円管内乱流における各モデルの予測精度比較検証	テストベンチ (入口・出口コード) 開発