

圧縮性乱流の高精度数値シミュレーションに関する研究

報告書番号：R18JACA37

利用分野：JSS2 大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2018/8978/>

● 責任者

河合宗司, 東北大学大学院工学研究科 航空宇宙工学専攻

● 問い合わせ先

石塚沙也子(ishitsuka@cf.d.mech.tohoku.ac.jp)

● メンバ

石塚沙也子, 平井遼, 河合宗司

● 事業概要

本研究の1つ目の目的は, (a)ボルテックスジェネレータ(VG)による乱流境界層内部の剥離制御メカニズムを高精度LES解析によって詳細に解明することである。2つ目の目的は, 現在まで議論されてこなかった(b)既存の壁面モデルLESにおける乱流構造予測精度を壁面まで解像する通常のLESと比較することで検証し, 平衡モデル・非平衡モデルなどの既存のモデル化手法による特性を明らかにすることである。

参考 URL: http://www.cfd.mech.tohoku.ac.jp/kawai/index_jpn.html

● JSS2 利用の理由

高精度なLES解析は高い計算コストを要し, スパコンによる大規模並列計算が欠かせない。特に, 高い格子解像度を有する通常の内層乱流まで解像するLES解析は非常に高い計算コストを要する。

● 今年度の成果

(a)本研究ではVGによる詳細な剥離現象メカニズムを解明するために, VGの大きさや角度を変えた際の渦の性質の変化をVGモデルがどの程度再現できるかについて検証した。過去に提案されているVGモデルの格子選択方法を変えて検証を行った結果, VGの設定角度によって優位な格子選択方法が異なることを確認した(図1)。モデルの依存性を極力減らしたLES解析を行うため, VGモデルによって生じる流れ場の解析を行い, VG形状に対する依存性の少ない格子選択方法について検討した。

格子点における流れ方向ベクトルを感知してVGモデル計算のON/OFFを行うようモデルに修正を加えた結果, VG角度に依存しない高精度な縦渦を再現するVGモデルの構築に成功した(図1)。今後は解析・修正を行ったVGモデルを用いたLES解析による乱流境界層と縦渦の干渉計算を行い,

境界層内部の物理現象に着目した研究を行っていく予定である。

(b) 超音速平板乱流境界層に対して通常の内層乱流まで解像する wall-resolved LES(WRLES)と壁面モデル LES(WMLES)を用いて解析を行い、乱流統計量だけでなく瞬時の流れ場とスペクトルを比較することで WMLES の乱流構造予測精度について考察した。計算条件は WRLES が実施可能な比較的低いレイノルズ数条件の $Re\theta = 4800$, $M_\infty = 2.28$ とした。図 2 は $y = h_{wm}$ および $y = 4h_{wm}$ における主流方向速度変動量の流れ方向スペクトルを示している。 $y = h_{wm}$ において WMLES は WRLES と比較してスペクトルを過大に予測していることから、乱流の持つエネルギーを過大に評価していることが分かる(図 2(a))。一方、 $y = 4h_{wm}$ では WMLES と WRLES は良い一致を示している (図 2(b))。この傾向はスパン方向のスペクトルについても同様であった。最後に、壁面モデルの見積もった壁面剪断応力の構造について考察した。図 3 は壁面剪断応力の瞬時の流れ場である。非平衡壁面モデルは、平衡壁面モデルが予測できない瞬間的かつ局所的に発生する負の剪断応力や大きな剪断応力を予測できることを示した(図 3)。今後は、さらに高いレイノルズ数で検証を行うことで乱流構造予測精度のレイノルズ数効果を明らかにする予定である。

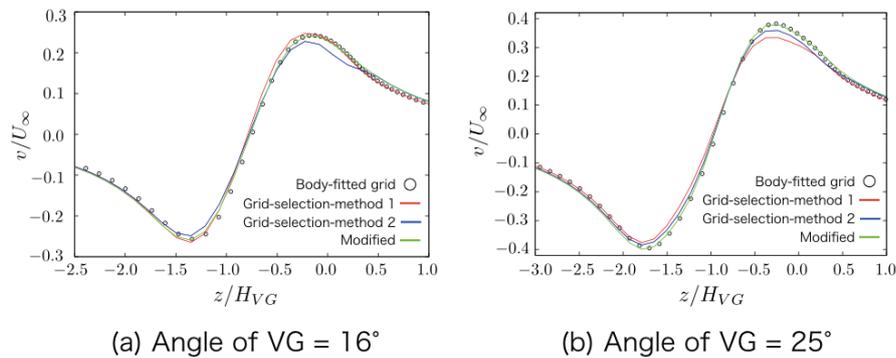


図 1: VG から発生する渦中心の高さにおける壁面垂直方向速度比較。

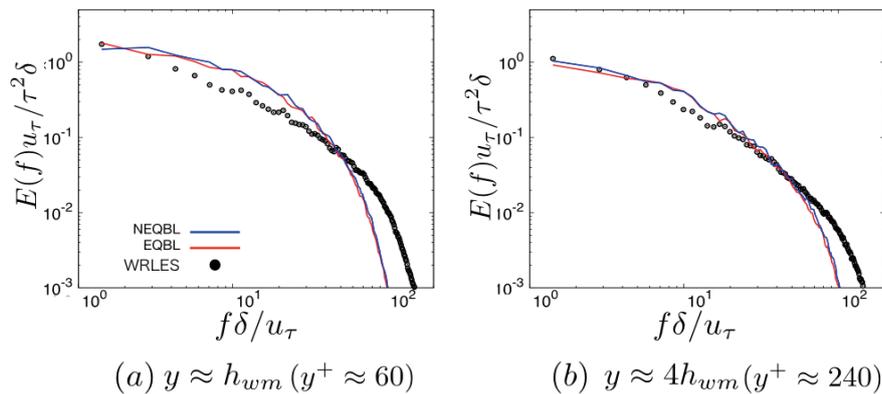


図 2: 乱流境界層内層域における主流方向速度の流れ方向スペクトル比較。

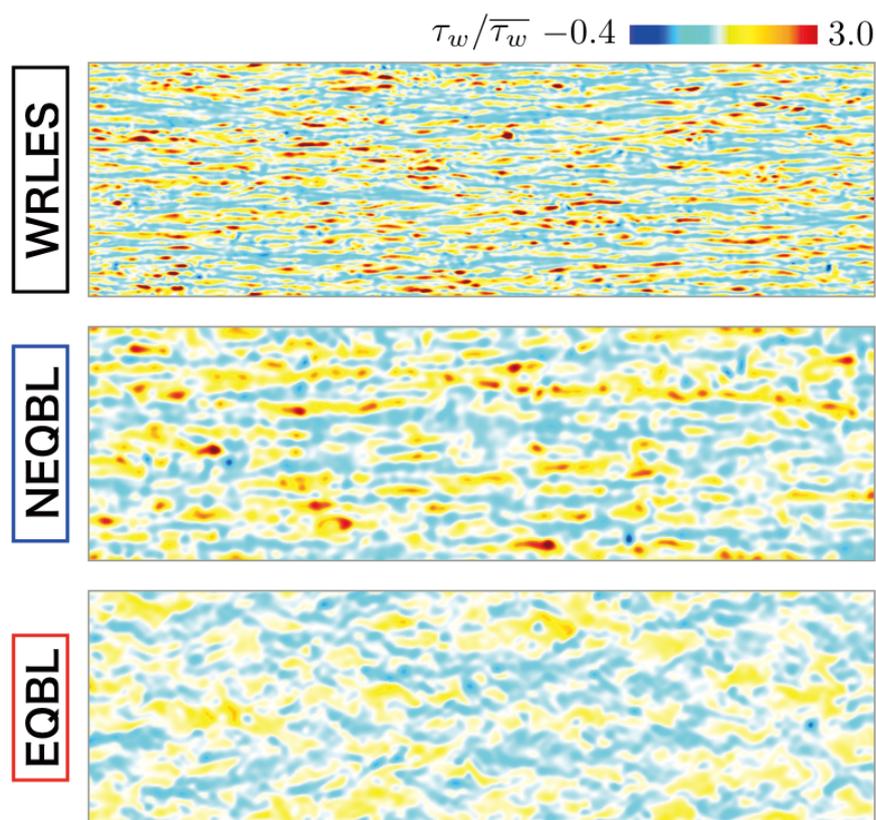


図 3: 瞬時の壁面剪断応力分布の比較.

● 成果の公表

-口頭発表

(1) 平井遼, 河合宗司, "ボルテックスジェネレータのソース項モデリングに関する研究", 第 50 回流体力学講演会/第 36 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 宮崎市, 宮崎県, 2018 年 7 月.

(2) 石塚沙也子, 福島裕馬, 河合宗司, "壁面モデル LES における壁面近傍の乱流構造予測精度に関する研究", 第 50 回流体力学講演会/第 36 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 宮崎市, 宮崎県, 2018 年 7 月.

(3) R. Hirai, S. Kawai, "Analysis of source term modeling of vortex generator", SciTech2019, San Diego, California, AIAA-2019-2181, January 2019.

● JSS2 利用状況

● 計算情報

プロセス並列手法	MPI
スレッド並列手法	OpenMP
プロセス並列数	15 - 1920
1 ケースあたりの経過時間	650 時間

● 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.12

内訳

計算資源		
計算システム名	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
SORA-MA	1,044,535.42	0.13
SORA-PP	0.00	0.00
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	0.00	0.00

ファイルシステム資源		
ファイルシステム名	ストレージ割当量(GiB)	資源の利用割合※2 (%)
/home	487.33	0.50
/data	9,870.53	0.17
/ltmp	4,101.56	0.35

アーカイバ資源		
アーカイバシステム名	利用量(TiB)	資源の利用割合※2 (%)
J-SPACE	0.00	0.00

※1 総資源に占める利用割合 : 3つの資源(計算,ファイルシステム,アーカイバ)の利用割合の加重平均

※2 資源の利用割合 : 対象資源一年間の総利用量に対する利用割合