

ガソリン燃焼チーム クラスター大学27 (冷却損失低減班)

九州大学 工学研究院 安倍 賢一, 木原 尚

スケール相似則モデルの特徴を反映した非等方SGSモデルと非線形RANSを用いたハイブリッド乱流モデルの高精度化に関する研究

目的

エンジン筒内流動予測に適した乱流モデルに関する知見の獲得

- エンジン筒内流れの特徴を含む基本的な乱流場に対して各種乱流モデルを適用した計算を実施
- HINOCA-RANS版の高精度化に向けた、従来の乱流モデルの課題の抽出、および解決するための指針の導出

研究方法

- HINOCA-RANS版の計算の安定性 (及び精度) 向上に寄与する乱流モデルの改善方法の検討
渦粘性係数に流れ場の特性を考慮した修正を導入することにより、乱流エネルギーの過剰生成を抑制する。
- 新たな乱流モデル・壁法則の構築に向けた筒内流れの特徴を含んだより単純なテストケースの検討
各種乱流モデルを適用した計算を実施し、壁面近傍の流れ場の考察から予測精度向上につながる知見を得る。

主な成果 (乱流モデル改善, 乱流モデル・壁法則構築用テストケース)

乱流モデルの改善方法の検討

渦粘性係数の修正例

$$\overline{u_i u_j} = (2/3)k\delta_{ij} - v_t (U_{i,j} + U_{j,i})$$

$$v_t = C_B C_\mu k^2 / \varepsilon = C_B k \tau, \quad \tau = C_\mu k / \varepsilon$$

$$C_B = \frac{1}{1 + (22/3)(C_D \tau)^2 \Omega^2 + (2/3)(C_D \tau)^2 (\Omega^2 - S^2) f_B}$$

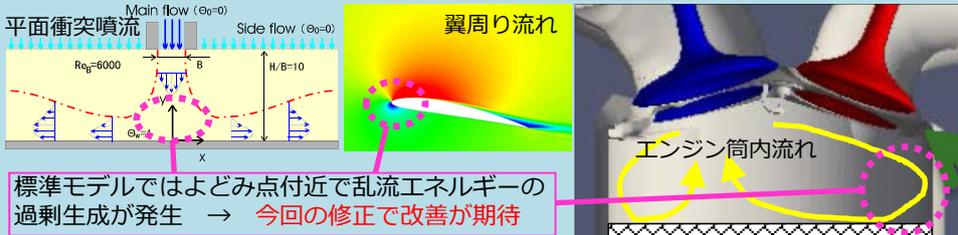
$$f_B = 1 + C_\eta (C_D \tau)(\Omega - S)$$

(注: $C_B = 1, C_\mu = 0.09$ なら標準k-εモデル)

- $\overline{u_i u_j}$: レイノルズ応力, v_t : 渦粘性係数,
- k : 乱流エネルギー, ε : 乱流散逸率
- $S_{ij} = (U_{i,j} + U_{j,i})/2$: ひずみ速度テンソル,
- $\Omega_{ij} = (U_{i,j} - U_{j,i})/2$: 渦度テンソル,
- $S = \sqrt{S_{mn} S_{mn}}, \quad \Omega = \sqrt{\Omega_{mn} \Omega_{mn}}$

修正係数 C_B の主な効果

- 基本的な壁乱流の対数領域では $C_B \approx 0.73$ と見積もられ、本モデルでは $C_\mu = 0.12$ なので $C_B C_\mu \approx 0.088$ となり、標準モデルの C_μ と同様の値(0.09)となる。
- 一様せん断乱流の場合に見積もると $C_B \approx 0.45$ となることから、 $C_B C_\mu \approx 0.054$ となり実験から示唆される値に近い係数となる。(標準モデルでは対応不可能)
- 衝突噴流, RDT, 強い回転場に代表される、ひずみ速度 S や渦度 Ω が非常に大きい場合は $C_B \rightarrow 0$ になることから、渦粘性 v_t の値が大きくなり過ぎるのを緩和でき、乱流エネルギーの過剰生成を抑制することが可能となる。



乱流モデル・壁法則構築用テストケースの検討

【なぜ必要なのか?】

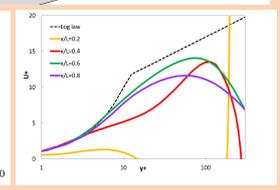
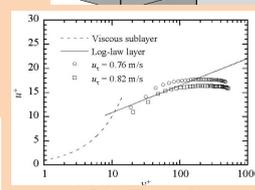
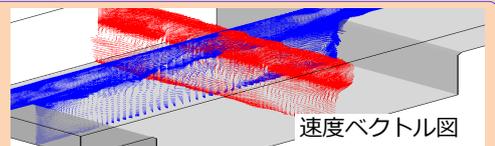
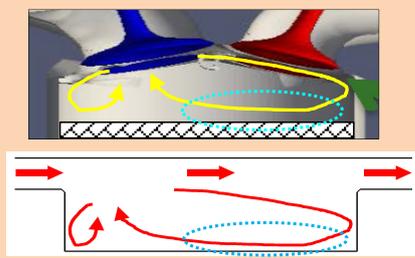
乱流モデルの改善・修正の検討を進めていく際に、毎度々々HINOCAで計算して確認するのは非現実的
→ 検討段階でより単純なテストケースが必要

【テストケースに求められる要素】

- エンジン筒内流れの重要な特徴を含んでいる。
- 統計的に2次元流れであることが好ましい。(モデル検討段階における計算コストの削減)
- 検討段階で各研究者が用いるほとんどのソルバで計算が可能で、比較的単純な幾何学形状で流れ場が構成されていることが好ましい。

テストケースの検討例

Cavity内の底面付近にピストン壁面近傍と似たような流れの特徴が現れるのでは?



実験結果の一例 (クラスター04: 東工大) 計算結果の一例

比較的単純な流れでもテストケースとして有効に機能する可能性を示した。

今年度の取組

- 実験データの詳細な分析による現象を支配する重要な影響要素の切り分け、およびそれらの再現を目的とした基本的なテストケースの設定
- 各種乱流モデルを適用したテストケースに対する計算の実施
- 計算結果の詳細な考察、およびHINOCA-RANS版に組込むべき乱流モデルの選定・改良への指針の策定

研究計画

2017	2018
<ul style="list-style-type: none"> 現象を支配する影響要素の切り分け 適切なテストケースの設定 各種乱流モデルを適用した計算実施 	<ul style="list-style-type: none"> エンジン筒内流動場解析に適した乱流モデル(RANS, LES, LES/RANS)を新たに構築
<p>HINOCA-RANS版に組込むべき乱流モデルの選定・改良への指針の策定</p>	<p>新たに開発した乱流モデルの導入を通じHINOCAの高精度化に貢献</p>