

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

エンジン筒内流動の予測精度向上に向けた乱流モデルの改善

- HINOCAに導入された乱流モデルの特性の検討
- 壁法則評価用アプリオリテストツールの開発

HINOCA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・提案

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・提案
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。
- HINOCA-RANS版に導入された壁法則の性能をより詳細に評価できるアプリオリテストツールの開発
評価結果を詳細に考察し、現モデルの特性の明確化に加えてさらなる高精度化へつなげる知見を得る。

主な成果 (乱流モデル改善, 壁法則評価用アプリオリテストツール開発)

- 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

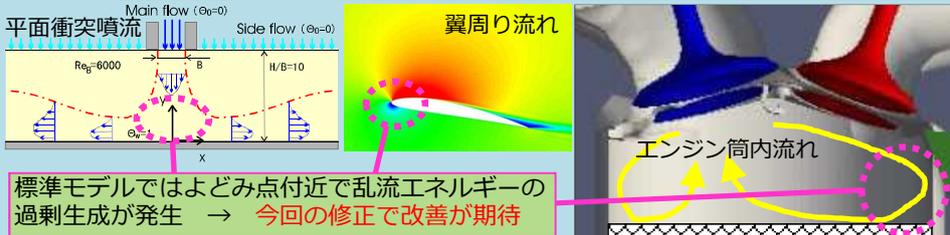
$S_{ij} = (U_{i,j} + U_{j,i})/2$: ひずみ速度テンソル,

$\Omega_{ij} = (U_{i,j} - U_{j,i})/2$: 渦度テンソル,

$S = \sqrt{S_{mn} S_{mn}}, \Omega = \sqrt{\Omega_{mn} \Omega_{mn}}$

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を見積もると $C_B \approx 0.45$ 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。



- 壁法則評価用アプリオリテストツール開発

【なぜ必要なのか?】

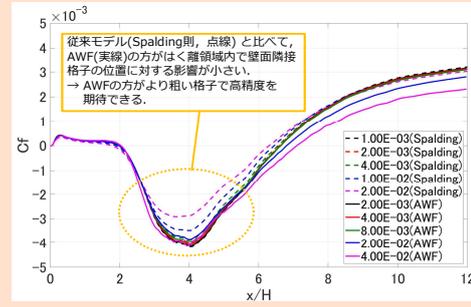
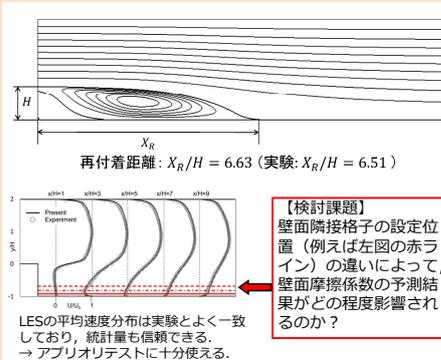
HINOCA-RANS版には最新の壁法則(AWF)が組み込まれているが、さらなる高精度化には複雑乱流場での系統的な格子依存性の評価・検討が必要である。

→ DNSや高精度LESによる信頼できる乱流統計量データを用いて、AWFを含む壁法則のアプリオリテストができる評価ツールを開発する。

【効果】

- 従来の壁法則とAWFの複雑乱流場における予測性能の違いやその原因を明確にできる。
- さらに高性能化するために必要な要因を特定し、改良指針を示すことが可能となる。

はく離流れ (バックステップ乱流) への適用例



今年度の取組

- これまで実施した計算から得られた知見をさらに深化させるべく、計算から得られた統計量を用いて壁法則のアプリオリテストができるプログラムツールを開発した。
- 基本的なチャンネル乱流に加えてバックステップ乱流に従来の壁法則および最新のAWFを適用し、はく離乱流場におけるAWFの優位性を示した。
- 今後へ向けてAWFをさらに高精度化していくために有用な知見を得た。

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"> • 乱流モデル改良指針策定(継続) • 乱流モデル改良案の実装・検証 • 最終成果のまとめ