

ガソリン燃焼チーム クラスター大学28 (冷却損失低減班)

名古屋工業大学 服部 博文, 保浦 知也, 稲川 陽介

マルチタイムスケール乱流熱伝達モデルの開発 ～HINOCAの予測精度向上にむけて～

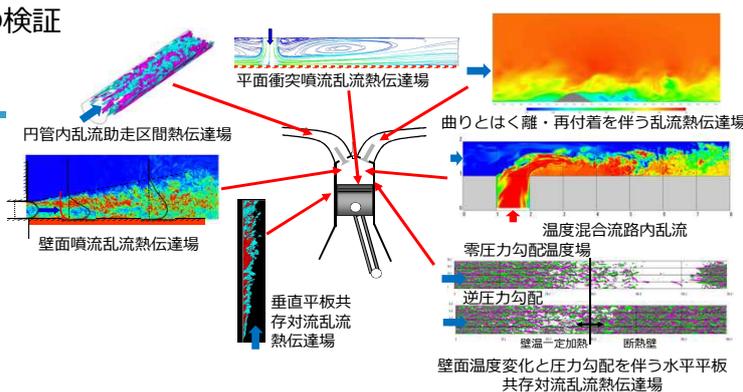
目的

HINOCAでエンジン熱損失をより正確に予測するため, 新たな乱流熱伝達モデルを構築する

- エンジン筒内熱流動現象の素過程場における予測精度の検証
- 壁面近傍の乱流熱伝達現象の理解

研究方法

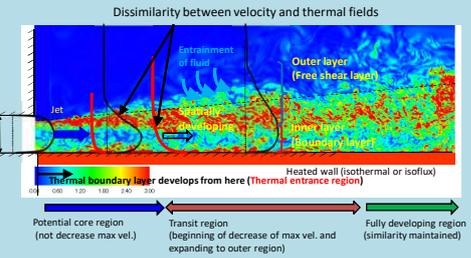
- エンジン筒内の乱流熱流動場の素過程をモデル化した様々な複雑乱流熱伝達場の直接数値計算 (DNS)
- DNSデータによる乱流熱伝達モデルの予測精度検証



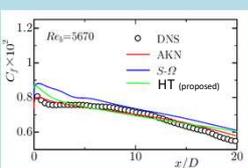
DNSの実行と乱流モデル評価のためのデータベースの整備

主な成果

壁面噴流乱流熱伝達場のDNS

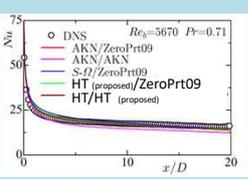


壁面噴流乱流熱伝達場の予測



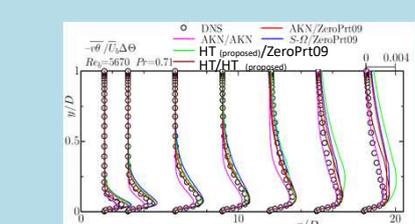
噴流入口から性質の違う各領域における局所壁面摩擦係数を適切に予測

局所壁面摩擦係数の予測



温度助走区間における局所ヌセルトを適切に予測

局所ヌセルト数の予測



壁面垂直方向乱流熱流束の予測

エンジン筒壁上の熱流束を見積るための重要な乱流量を適切に予測

H. Hattori, M. Kuroki, T. Hara and M. Tagawa, "DNS of heat transfer phenomena in plane turbulent wall jet with thermal entrance region," Proceedings of the 10th International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena, Swissotel, Chicago-IL, USA, July 6-9, 2017

マルチタイムスケール乱流熱伝達モデル

$$\text{乱流熱流束} \quad -\rho c_p \bar{u}_j t = \lambda_t \left(\frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} \right)$$

$$\text{熱の渦拡散係数} \quad \lambda_t = \rho c_p C_\lambda f_\lambda k \tau_{mt} \quad \begin{matrix} C_\lambda: \text{モデル定数} \\ f_\lambda: \text{モデル関数} \\ k: \text{乱流エネルギー} \end{matrix}$$

乱流温度場の特性タイムスケール

$$\tau_{mt} = \frac{1}{1/\tau_v + C_m/\tau_t}$$

乱流熱伝達場を支配する様々なタイムスケールを調和平均(場に応じた最小スケールを自動選択)としてブレンド

乱流速度場の特性タイムスケール

$$\tau_v = \frac{2}{1/\tau_u + C_s/\tau_{s\omega}}$$

C_s, C_m : モデル定数

エネルギー保有渦タイムスケール

$$\tau_u = \frac{k}{\varepsilon}$$

温度乱れタイムスケール

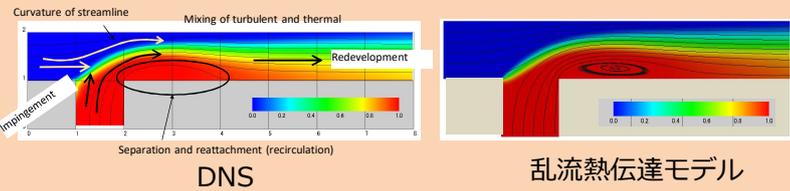
$$\tau_t = \frac{k_t}{\varepsilon_t}$$

せん断・渦度混合タイムスケール

$$\tau_{s\omega} = \frac{2}{S + \Omega}$$

乱流熱伝達場を支配する様々なタイムスケール

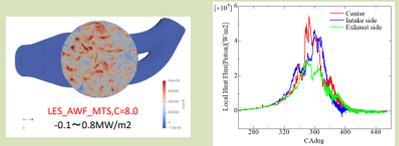
乱流温度混合場のDNSと予測



- 乱流熱伝達場を支配する様々なタイムスケールを組み込んだ新たな乱流熱伝達モデルを構築した。
- 本モデルにより, 乱流温度混合場や壁面噴流場の予測精度が向上した。

H. Hattori and K. Tsutsumi, "Multi-Time-Scale Turbulent Heat Transfer Model for Predictions of Various Turbulent Heat Transfer Phenomena," International Journal of Advances in Engineering Sciences and Applied Mathematics, First Online on 25 September 2018, 11, 2019, pp. 1-11, doi: https://doi.org/10.1007/s12572-018-0234-9.

HINOCAへの組み込み



LES版MTS乱流熱伝達モデルによるエンジン筒内の熱流束の予測 (HINOCAへの実装と計算は, 広島大学尾形先生による)

成果: DNSより壁面までの詳細な乱流熱伝達場における統計量を取得し, 提案したマルチタイムスケール(MTS)乱流熱伝達モデルの予測精度を, そのDNSデータから比較・評価し, 予測精度向上を達成した。