

ガソリン燃焼チーム クラスター大学04 (着火向上班)

東京工業大学 工学院 店橋 護, 志村 祐康, 源 勇気

超並列直接数値計算と複合レーザ計測による高EGR 過給リーン条件下の着火・火炎伝播と壁面熱伝達機構の解明とモデル構築

目的

- 高圧・高レイノルズ数条件下の高EGR希薄乱流火炎の超並列直接数値計算
- 乱流場が着火挙動に与える影響
- EGR率, 圧力等が着火に与える影響

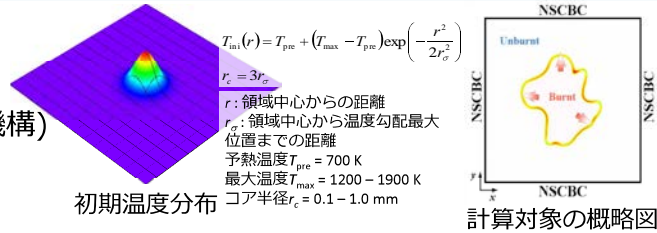


- 着火モデルの構築に向けた現象解明
- 着火性向上手法の提案

研究方法

高EGR過給リーン条件下の着火の直接数値計算(DNS)

- GPUを用いた並列計算
- メタン(詳細化学反応機構), ガソリンサロゲート(簡略化学反応機構)
- 計算領域中心に高温領域を設定



進捗状況

- メタン・空気予混合気の着火の2D-DNS
- ✓ 計算条件

	Re_λ	Re_l	l [μm]	u'_{rms} [m/s]	u'_{rms}/l [$10^3 s^{-1}$]
Case1	50.25	126.0	121.6	7.005	57.60
Case2	167.3	516.0	249.1	14.01	56.24
Case3	95.47	256.8	123.7	14.04	113.5
Case4	25.61	59.52	57.56	6.991	121.5

- u'_{rms}/l : 代表ひずみ速度
- ※ Case1の代表ひずみ速度は3次元乱流で想定されるものと等しく設定
- ※ Case1W - Case4W は計算領域が広い条件
- ※ Case3WではA~Eの5つの場所に高温領域をそれぞれ設定
- ※ 高温領域は層流条件で着火する $T_{max} = 1900$ K, $r_c = 0.5$ mmと設定

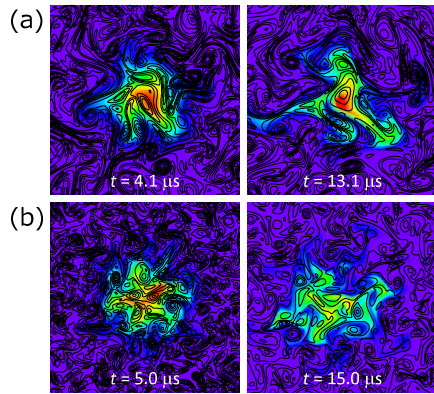
✓ 火炎核成長特性の解明

- (a) (a)の丸で囲まれた渦によって, 火炎の一部が大きなきずみ速度の影響を受け引き伸ばされ, 局所的に消炎。

- (b) (b)の丸で囲まれた領域において, 火炎面によって未燃予混合気の囲い込みが発生。

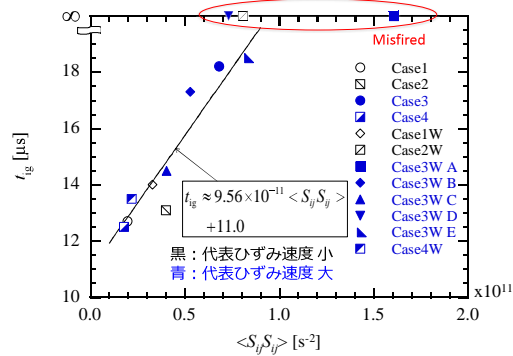
- 局所的な消炎や, 火炎面による未燃予混合気の囲い込みによって火炎面長さは大きく変動。
- 熱発生率分布及び渦度等値線 (a)Case2, $\Delta\omega_2 = 2.0 \times 10^5$ [s^{-1}] (b)Case1, $\Delta\omega_2 = 8.0 \times 10^4$ [s^{-1}]
 t_{ig} : 着火遅れ時間, $\Delta\omega_2$: 渦度等値線間隔

✓ 着火特性の解明



- (a)においては, 大きな渦の中に高温領域が存在し, ひずみ速度の大きさは小さく, 最高温度は高く保たれ着火に至る。
- (b)では, 高温領域の中に複数の渦が存在し, 最高温度近傍のひずみ速度は大きく, 温度は低下し着火に至らない。

温度分布及び渦度等値線 (a)Case2(Ignited), $\Delta\omega_2 = 2.0 \times 10^5$ [s^{-1}] (b)Case3W A(Misfired), $\Delta\omega_2 = 5.0 \times 10^5$ [s^{-1}]

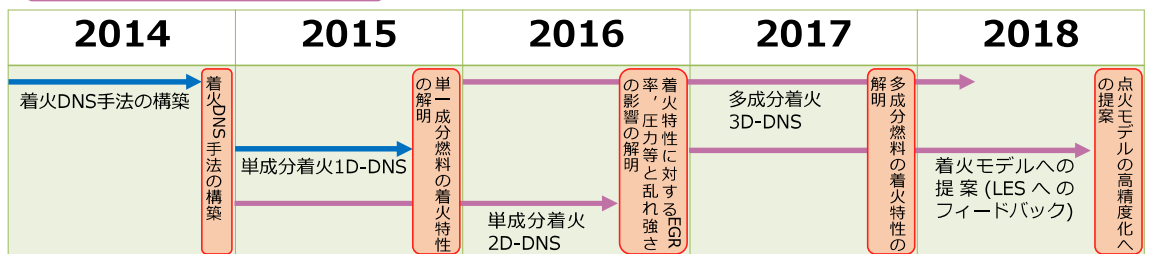


- 着火の成否は代表ひずみ速度に依らない。
- 高温領域近傍における渦およびひずみ速度の分布が着火の成否に影響。
- 着火遅れ時間は, 誘導期における高温領域の平均ひずみ速度の二乗に比例。

誘導期における高温領域の平均ひずみ速度と着火遅れ時間の関係

課題 研究計画

- メタン・空気予混合気の2D-DNSを実施しEGR率, 圧力の影響の解明。
- ガソリン・空気予混合気を対象とした着火の3D-DNSによる現象解明。



ガソリン燃焼チーム クラスター大学04 (火炎伝播促進班)

東京工業大学工学院 店橋 護, 志村 祐康, 源 勇氣

超並列直接数値計算と複合レーザ計測による高EGR 過給リーン条件下の着火・火炎伝播と壁面熱伝達機構の解明とモデル構築

目的

高圧・高レイノルズ数乱流条件下の高EGR希薄乱流火炎の三次元直接数値計算(DNS)

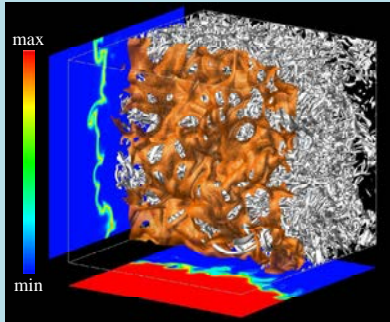
- 火炎伝播形態, 火炎構造の解明
- 乱流と化学反応の相互作用の解明
- 燃焼促進手法の提案
- サブグリッドスケール (SGS) 燃焼モデルの構築

研究方法

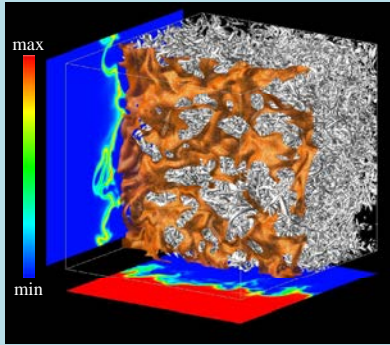
- 高EGR過給リーンバーン条件における乱流予混合火炎の三次元直接数値計算
Multi-timescale (MTS) 法, Correlated dynamic adaptive chemistry & transport (CO-DACT)を用いた3D-DNS
- 乱流燃焼モデル構築
DNS結果に基づくフラクタル・ダイナミックSGS燃焼モデルの静的・動的評価
Thin/Broken reaction zones (TRZ/BRZ) に分類される燃焼場および圧力変化を伴う燃焼場へのモデル拡張

進捗状況

- メタン空気乱流予混合火炎のDNS
(クラスター大学08 徳島大学 名田准教授, 木戸口 教授との共同実施)



Thin reaction zones (at $t = 0.83\tau$)



Broken reaction zones (at $t = 0.74\tau$)
渦構造, 熱発生率の等値面と代表的な断面における温度および熱発生率分布

- 乱流燃焼モデルの開発
フラクタル・ダイナミック SGS (FDSGS) 燃焼モデル

$$\frac{S_T}{S_L} = \frac{A_T}{A_L} = \left(\frac{\alpha^4 \nu^3}{2\sqrt{2} C_s^2 \Delta^6} \right)^{\frac{2-D_3}{4}} \left(\tilde{S}_{ij} \tilde{S}_{ij} - \text{div}(\tilde{u})^2 \right)^{\frac{-3(2-D_3)}{8}} + \frac{\delta_\Delta}{\delta_L} \frac{\text{div}(\tilde{u})}{(\text{div}(\mathbf{u}))_L} \Big|_{G=G_0}$$

乱流運動の効果 膨張の効果

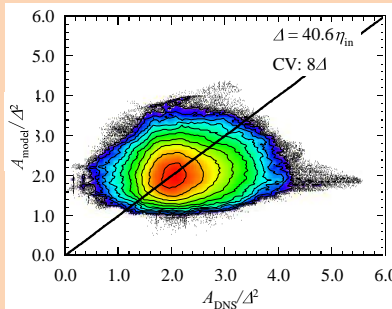
火炎面のinner cutoff (ε_i) の相関式

$$\alpha = \frac{\varepsilon_i}{\eta} = 8 \exp\left(C \frac{\delta_F}{D} \right)$$

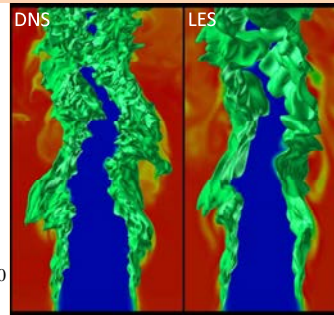
$C = 6.0, D \approx 8.0\eta$

- S_T : 乱流燃焼速度
- S_L : 層流燃焼速度
- A_T : 乱流火炎の火炎面面積
- A_L : 層流火炎の火炎面面積
- ν : 動粘性係数
- δ_L : 火炎厚さ
- \mathbf{u} : 速度

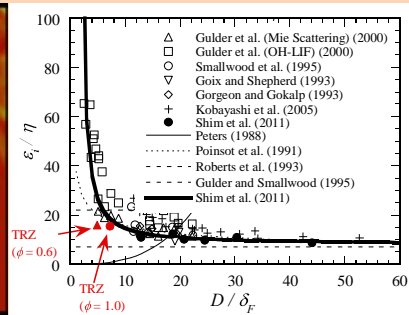
- C_s : スマゴリンスキー定数
- Δ : フィルター幅
- D_3 : フラクタル次元
- S_{ij} : ひずみ速度
- δ_Δ : フィルター操作を施した層流火炎の擬似火炎厚さ



Corrugated flameletsに分類される噴流火炎の火炎面面積の予測値



噴流火炎のDNS結果とLES結果の比較



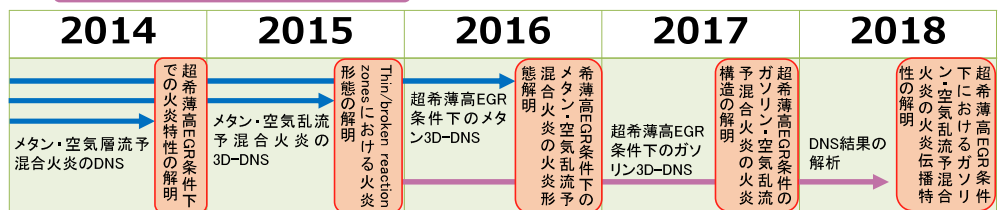
Inner cutoffの相関式

- 本モデルにより, せん断流中の火炎面面積を精度よく予測可能である。
- 動的テストにより, FDSGS燃焼モデルによるLES結果はDNS結果と良く一致することが確かめられた。
- 本モデルの相関式はTRZに分類される燃焼場においても火炎のinner cutoffを予測可能である。

課題

- 超希薄高EGR条件下のガソリンサロゲート空気予混合火炎の3D-DNS
- Thin/Broken reaction zonesに分類される燃焼場への燃焼モデルの拡張
- 圧力変化を伴う乱流燃焼場への燃焼モデルの拡張

研究計画



ガソリン燃焼チーム クラスター大学04 (冷却損失低減班)

東京工業大学工学院 店橋 護, 志村 祐康, 源 勇気

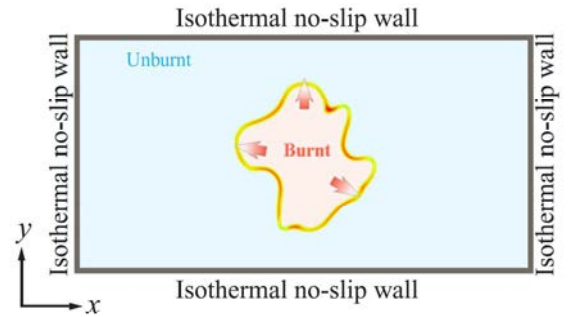
超並列直接数値計算と複合レーザ計測による高EGR 過給リーン条件下の着火・火炎伝播と壁面熱伝達機構の解明とモデル構築

目的

- Heat loss characteristics of ultra-lean premixed flames with high EGR rate
- Effects of wall temperature and turbulence on wall heat flux

研究方法

- DNS of CH₄/air & n-C₇H₁₆/air premixed flames
- 1D and 2D-DNS using a detailed kinetic mechanism
 - A constant volume configuration
 - The initial temperature distribution is given as Gaussian distribution
 - Ignition from a small high temperature kernel located at the center of the computational domain
 - P_{ini}: 10 atm, φ: 0.5, EGR ratio: 20% for all cases



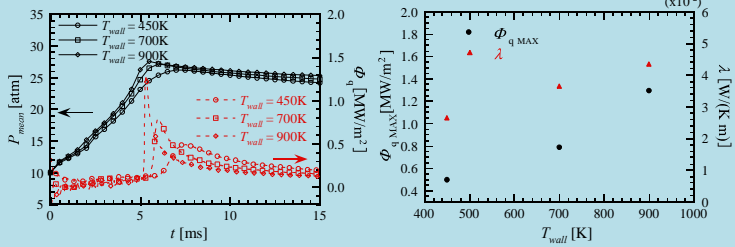
進捗状況

- 1D-DNS of n-C₇H₁₆/air premixed flames propagating to walls (クラスター大学08 徳島大学 名田准教授, 木戸口教授と共同実施)
- T_{wall} = 450K, 700K, 900K
- Maximum wall heat flux is sensitive to the wall temperature
 - Increasing temperature gradient on the wall
 - Increasing thermal conductivity near the wall

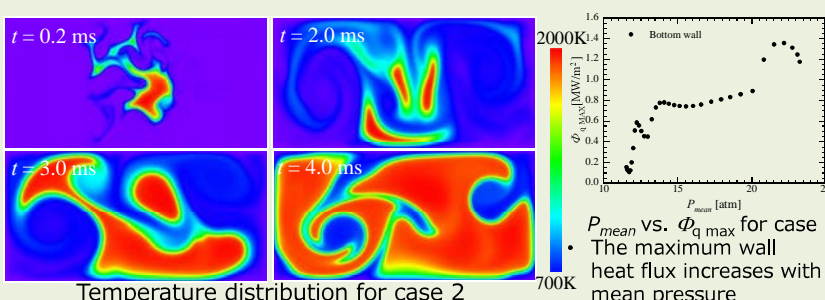
- 2D-DNS of CH₄/air turbulent premixed flames

2D-DNS	Re _λ	Re _l	u' _{rms} [m/s]	T _{wall} [K]
Case 1	50.3	126	7.01	450
Case 2	50.3	126	7.01	700
Case 3	27.6	65.7	3.94	450
Case 4	27.6	65.7	3.94	450

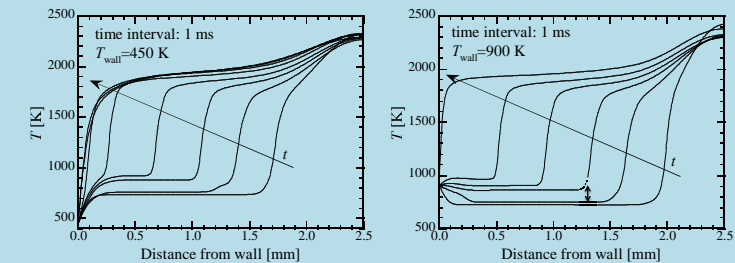
- A mean tumble flow which is obtained from a preliminary DNS is added to the Case 4



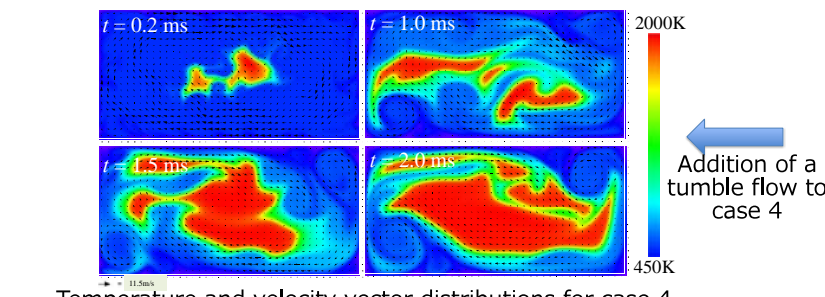
Temporal developments of mean pressure and wall heat flux



Temperature distribution for case 2



Temporal developments of temperature profiles



Temperature and velocity vector distributions for case 4

課題

- 密閉空間ガソリン・空気乱流予混合火炎のDNS解析
- 熱伝達モデルの構築(メタン)
- 壁面近傍の火炎伝播機構と壁面境界層構造の解明

研究計画

