

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

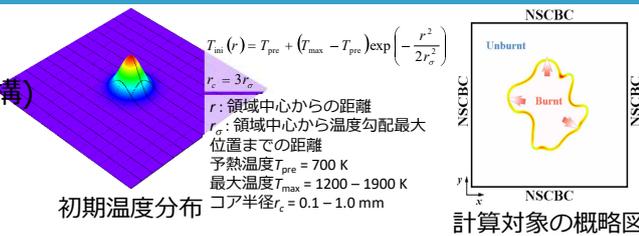
高圧・高レイノルズ数条件下の高EGR希薄乱流火炎の並列直接数値計算
 ・EGR率, 圧力等, 乱流場が着火挙動に与える影響
 可視化エンジン内着火プラグ近傍の乱流速度計測



- ・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)
 ・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
 可視化エンジンを対象とした着火プラグ近傍のPIV計測



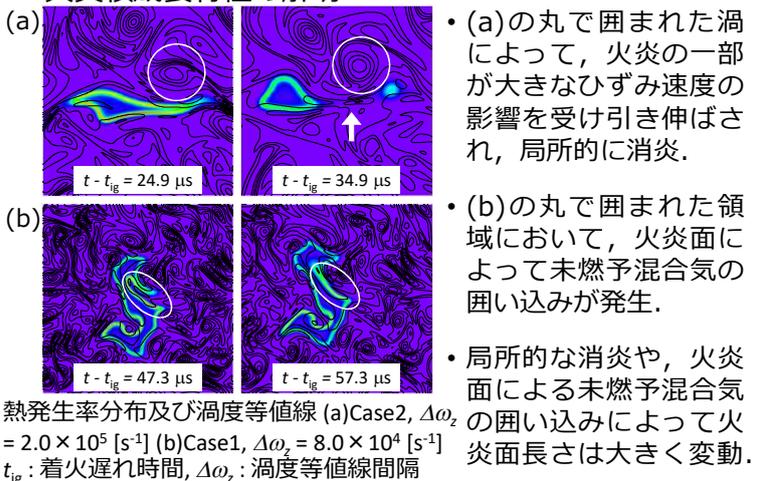
主な成果 (直接数値計算・計測)

- ・メタン/nヘプタン・空気予混合気の着火の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

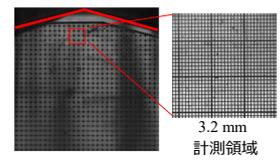
✓ 火炎核成長特性の解明



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

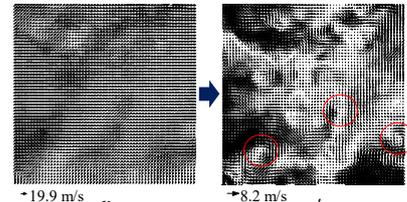
・マイクロPIVによる点火点近傍の乱流特性の解明

✓ 計測条件



計測領域	3.2 mm × 3.2 mm
検査領域	64 pixels × 64 pixels
検査領域に基づく空間分解能	100 μm × 100 μm
ベクトル間隔	50 μm
レーザーシート厚さ	160 μm
エンジン回転速度	2000 rpm (motoring)
計測タイミング	320, 330, 340, 350 CAD
吸気バルブ開口タイミング (t_{IVO})	-30, -15, 0 CAD
タンブル強化プレート	有り, 無し

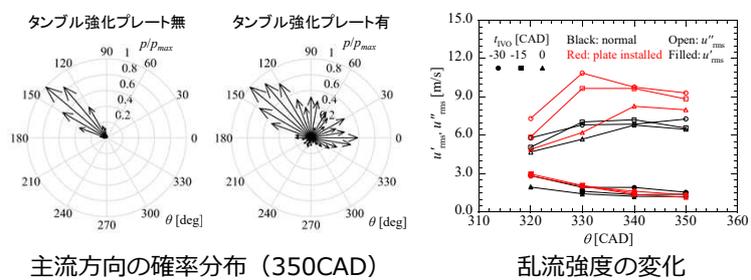
✓ 主流速度と乱流変動速度の分離



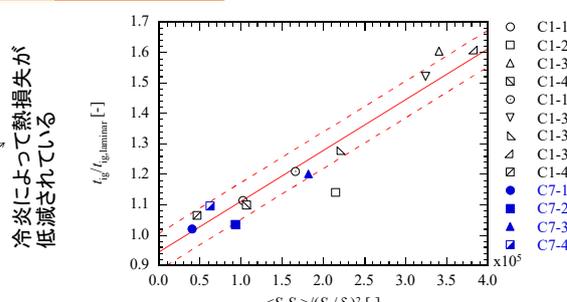
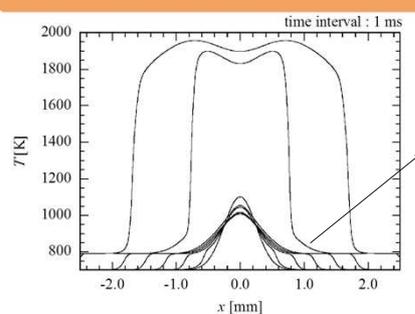
- ・瞬時の速度場に空間フィルターを施し, 主流速度の同定と乱流変動速度の評価
- ・SIPで対象とする流動場の特性が把握可能に。

✓ 主流方向のサイクル変動と乱流強度特性

- ・タンブル流の強化により, 主流方向のサイクル変動が増加
- ・320CAD付近で乱流強度は3m/s程度. タンブル流強化により乱流強度が増加するのは一部の条件。



低温酸化反応の効果及びモデル



✓ 乱流中の混合気着火における着火特性

- ・局所乱流ひずみ速度との強い相関が存在。
- ・本相関は低温酸化反応の有無, 燃料種には依存しない。

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

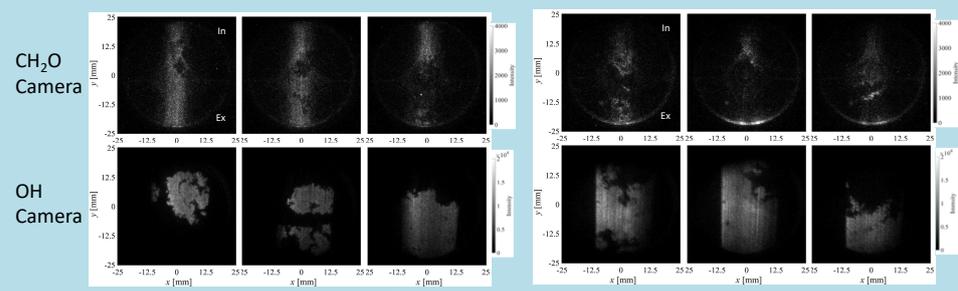
- 高圧・高レイノルズ数乱流条件下の高EGR希薄乱流火炎の三次元直接数値計算(DNS)
 - 火炎伝播形態, 火炎構造の解明
 - 乱流と化学反応の相互作用の解明
- 燃焼促進手法の提案
- サブグリッドスケール (SGS) 燃焼モデルの構築

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(DNS)
 - 詳細化学反応機構 (53化学種325反応) を用いた, メタン・空気乱流予混合火炎の3D-DNS
 - Correlated dynamic adaptive chemistry & transport (CO-DACT) を用いた, 高効率DNSコードの開発
 - タンブル流を伴う, 超希薄高EGR条件下のTRF・空気乱流予混合火炎の3D-DNS

主な成果 (モデル式、実験式)

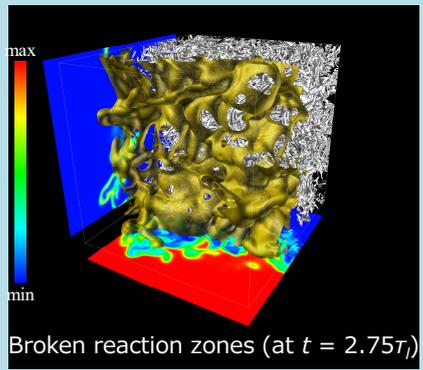
・可視化エンジンのスカラー計測 (慶応大学との共同実施)



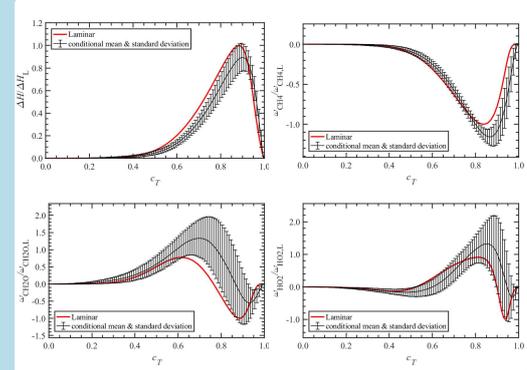
可視化エンジンにおけるCH2O及びOH PLIF結果。左：当量比1.0、CAD0°、右：当量比0.6、CAD0°。

・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) メタン・空気乱流予混合火炎の火炎構造



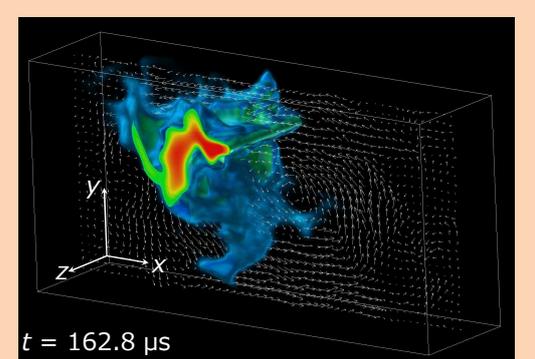
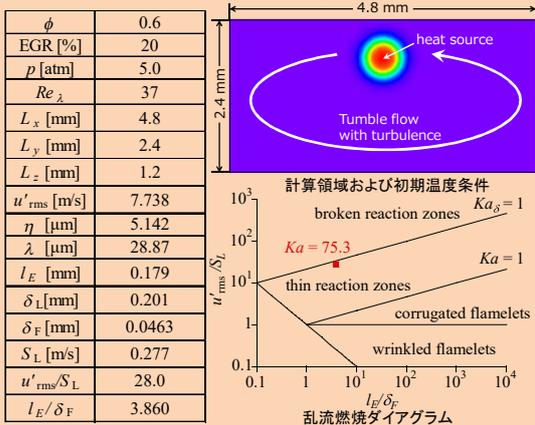
渦構造, 熱発生率の等値面と代表的な断面における温度および熱発生率分布



反応進行変数 $c_T (= (T - T_{ub}) / (T_b - T_{ub}))$ に対する熱発生率および反応速度の条件付き平均

・TRF・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)

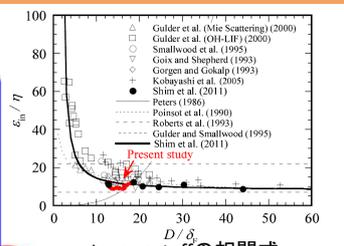


$t = 162.8 \mu s$
 $T < 1200 K$ における温度分布とボリュームレンダリングによって描かれたCH₂O質量分率の分布

開発した乱流燃焼モデル

SGS燃焼モデルのベースモデルとしては国内唯一

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



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

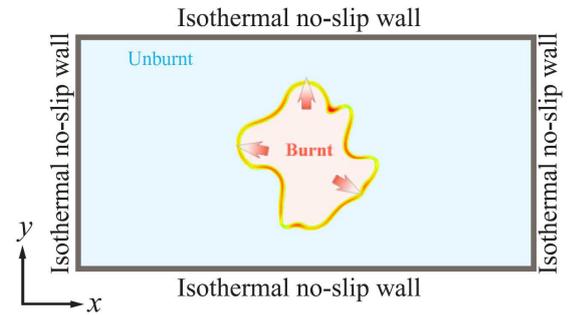
- 高EGRスーパーリーン予混合火炎と壁面干渉及びその壁面熱流束特性の解明
- 初期圧力、EGR率、当量比などの壁面熱流束への影響の解明
- 壁面熱流束に重要な、壁面乱流の計測

研究方法

複雑化学反応機構を考慮した、 CH_4 /空気及び $n\text{-C}_7\text{H}_{16}$ /空気予混合火炎のDNS

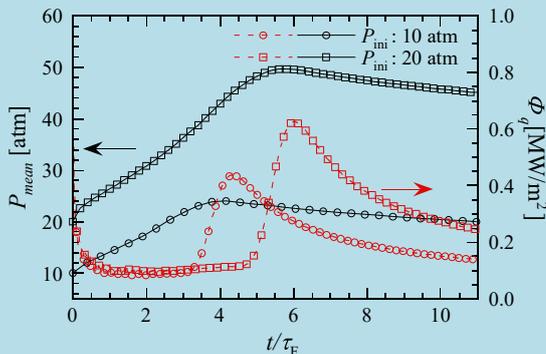
- 初期高温化着火カーネルを考慮した定容容器内燃焼
- P_{ini} : 10 atm, ϕ : 0.5, EGR率: 20%

PIVによる、エンジンシリンダ壁近傍における、高空間分解能速度場計測。



主な成果 (モデル式、実験式)

- 壁面に向かって伝播する CH_4 /空気及び $n\text{-C}_7\text{H}_{16}$ /空気の1次元DNS (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)
- 火炎と壁面の干渉に関する時間スケールは、圧力上昇に依存せず、ほぼ一定。
- 火炎伝播の時間スケールで正規化された火炎と壁面の干渉時間スケールは、以下の条件下においてはほぼ一定:
 - ϕ : 0.5-0.6, EGR ratio: 10-20%, P_{ini} : 10-20 atm

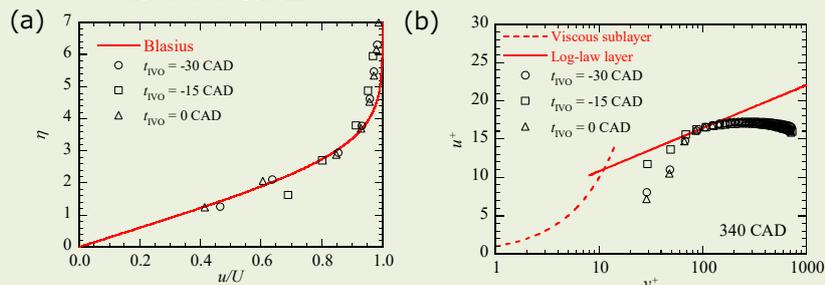


平均圧力と壁面熱流束の時間発展。 τ_{FW} : 火炎と壁面との干渉時間, τ_{F0} : 火炎の伝播時間スケール, メタン・ヘプタン火炎において、どちらも $\tau_{FW}/\tau_{F0} \cong 0.75$ 。

- PIVによる、エンジンシリンダ壁近傍高空間分解能速度場計測 (リーダー大学 慶大, クラスター大学10 農工大, クラスター大学11 東工大との共同実施)

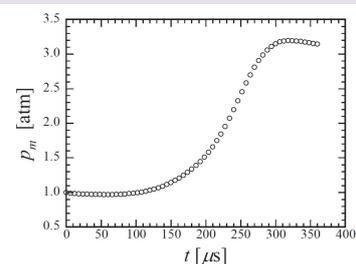
- ✓ 乱流の微細スケールまで解像する高空間分解能PIV.
- ✓ 壁面近傍の流れ場は、完全発達していない乱流.
- ✓ 層流から乱流へ遷移過程にある乱流場→壁面熱伝達機構へ影響
- ✓ 壁面熱流束モデル精度向上に重要な物理現象である可能性.

計測領域	3.2 mm × 1.5 mm
空間分解能	150 μm × 75 μm
トレーサー粒子	SiO ₂ , 1 μm
エンジンRPM	2000 rpm
クランク角度	340, 350, 360 CAD
インテークタイミング	-30, -15, 0 CAD
タンブルポート	Yes

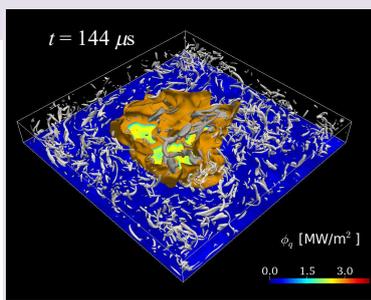


壁面近傍の速度分布 (340 CAD, $t_{IVO} = -30$ CAD) (a) ブラジウス界との比較, (b) 十分発達した壁乱流との比較。

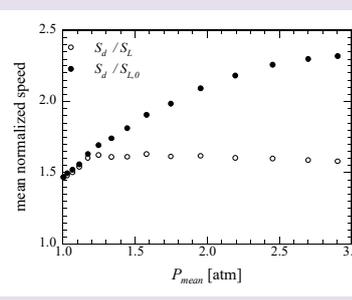
- 定容容器内 H_2 /空気乱流予混合火炎のDNS
- 領域中央部にて着火



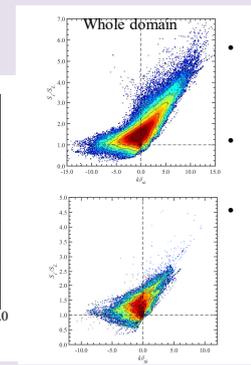
平均圧力の時間変化



瞬時の火炎と乱流構造



火炎面移動速度と P_{mean} の分布



火炎面曲率と S_d/S_L の関係

- 壁面から離れた位置において $S_d/S_L = 1.41$ が最頻値。
- 壁面近傍では $S_d/S_L = 1.05$ が最頻値。
- 壁面近傍では火炎面曲率と S_d/S_L に弱い相関。