

ガソリン燃焼チーム クラスター大学08 (火炎伝播促進班)

徳島大学大学院社会産業理工学研究部 名田 譲, 力武 翔, 木戸 口善行

高EGR過給リーンバーン条件における乱流燃焼速度のモデル化 (クラスター大学04 東京工業大学(店橋・志村・源)と共同実施)

目的

- ✓ 数値シミュレーションによる燃焼室内伝播火炎の乱流燃焼速度のモデル化
FDSGS燃焼モデル構築 (膨張の効果に基づく補正項のモデル化)

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
- ✓ CHEMKINによる層流予混合火炎の数値計算

主な成果 (モデル式、実験式)

フラクタル・ダイナミック SGS (FDSGS) 燃焼モデルの膨張の効果の項のモデル化

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

乱流運動の効果 膨張の効果

- 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

膨張の効果のデータベース化を避けるために、以下のモデル式を提案した。

$$\frac{\delta_\Delta}{\delta_L} \frac{\text{div}(\tilde{\mathbf{u}})}{\text{div}(\mathbf{u})_L|_{G=G_0}} \approx \left\{ C_1 \frac{(\beta - \alpha)(\gamma + \varphi)^2 (1 + \varphi)}{(\alpha + \varphi)(\beta + \varphi)} \left(\frac{d\rho^*}{dx^*} \Big|_{x^*=x_f^*} \right)^{-1} \frac{C_{FTA}}{S_L^2} \right\} \text{div}(\tilde{\mathbf{u}})$$

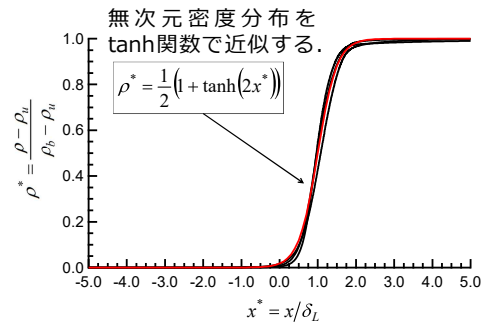
$$\alpha = \bar{\rho} \Big|_{x^*=x_f^*+\Delta/2} = \frac{1}{4} \left(2 + \frac{1}{\Delta} \ln \left(\frac{\cosh(2x_f^* + 2\Delta)}{\cosh(2x_f^*)} \right) \right)$$

$$\beta = \bar{\rho} \Big|_{x^*=x_f^*-\Delta/2} = \frac{1}{4} \left(2 + \frac{1}{\Delta} \ln \left(\frac{\cosh(2x_f^*)}{\cosh(2x_f^* - 2\Delta)} \right) \right)$$

$$\gamma = \bar{\rho} \Big|_{x^*=x_f^*} = \frac{1}{4} \left(2 + \frac{1}{\Delta} \ln \left(\frac{\cosh(2x_f^* + \Delta)}{\cosh(2x_f^* - \Delta)} \right) \right)$$

$$\varphi = \frac{\rho_u}{\rho_b - \rho_u} = \left(\frac{\bar{W}_u}{\bar{W}_b} \left(\frac{Q}{C_p T_u} + 1 \right) - 1 \right)^{-1}$$

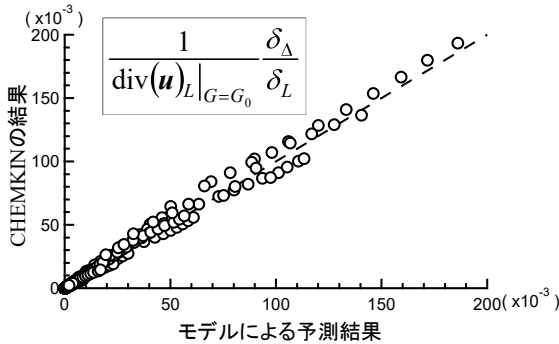
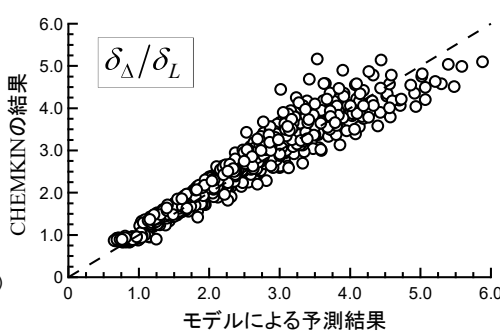
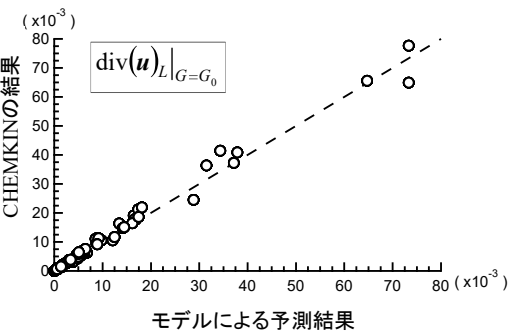
- x : 空間座標
- ρ : 密度
- a : 熱拡散率
- C_1, C_{FTA} : パラメータ
- \bar{W} : 平均分子量
- Q : 発熱量
- T : 温度
- C_p : 比熱
- 下付き添え字
- u : 未燃側
- b : 既燃側
- f : 火炎面位置
- 上付き添え字
- *: 無次元量



メタン, プロパン, ヘプタン, ガソリン
サロゲートにおける無次元密度分布

CHEMKINによる層流予混合火炎計算結果との比較

燃料: メタン, プロパン, ヘプタン, ガソリンサロゲート (Westbrook), SIPガソリンサロゲート燃料
 反応機構: GRI3.0 (メタン, プロパン), Westbrook (ヘプタン: 160化学種1540素反応, ガソリンサロゲート: 160化学種1488素反応)
 SIPガソリン反応機構 (1758化学種5799素反応)
 当量比: 1.0, 0.5, 圧力: 1atm, 10atm, 予混合気温度: 300K~700K, EGR率: 0%と20%



まとめ

- ✓ 膨張の効果に基づく補正項の寄与を、データベースに頼ることなく予測できるモデルを構築できた。
- ✓ 本モデルを使用することで、ガスエンジンからガソリンエンジンまでの計算が可能となる。
- ✓ 本モデルを実装したHINOCAを用いて定容容器内を伝播する乱流予混合火炎のLESを早稲田大学が行った結果、計算結果は実験結果 (C06九州大学) と良い一致を示した。

ガソリン燃焼チーム クラスター大学08 (冷却損失低減班)

徳島大学大学院社会産業理工学研究部 名田謙, 力武翔, 木戸口善行

壁面近傍における火炎伝播機構の解明

(クラスター大学04 東京工業大学(店橋・志村・源)と共同実施)

目的

- ✓ 数値シミュレーションによる壁面近傍を伝播する火炎の燃焼速度および熱流束の解明

研究方法

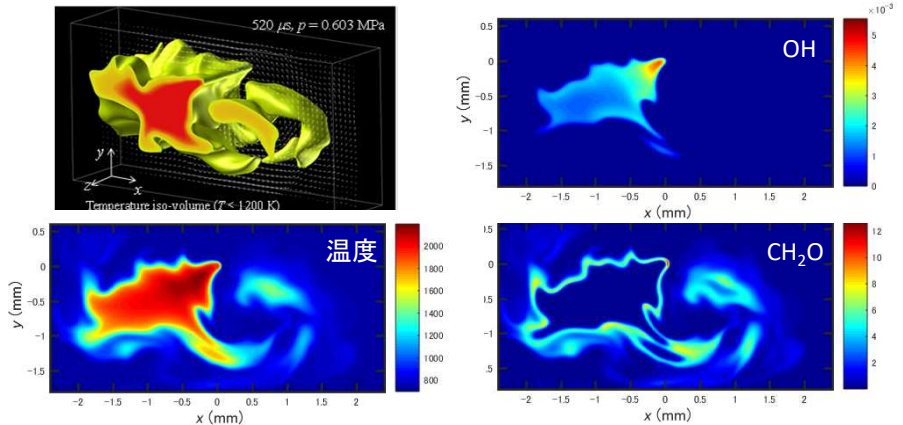
- ✓ 定容容器内のタンブル流中を伝播するTRF・空気乱流予混合火炎の直接数値計算
- ✓ メタンおよびヘプタンを燃料とした高EGR過給リーンバーン条件における層流予混合火炎の1次元直接数値計算 (1D-DNS)

主な成果 (モデル式、実験式)

定容容器内のタンブル流中を伝播するTRF・空気乱流予混合火炎の直接数値計算

✓ 計算条件

ϕ	0.6	η [mm]	5.14.E-03
EGR [%]	20	λ [mm]	2.89.E-02
p[atm]	5.0	l_E [mm]	0.179
Re _l	37	δ_L [mm]	0.201
L _x [mm]	4.8	δ_F [mm]	0.0463
L _y [mm]	2.4	S_L [m/s]	0.277
L _z [mm]	1.2	u'_{rms}/S_L	28.0
v [m ² /s]	1.28×10 ⁻⁵	l_E/δ_L	0.890
u' _{rms} [m/s]	7.738		



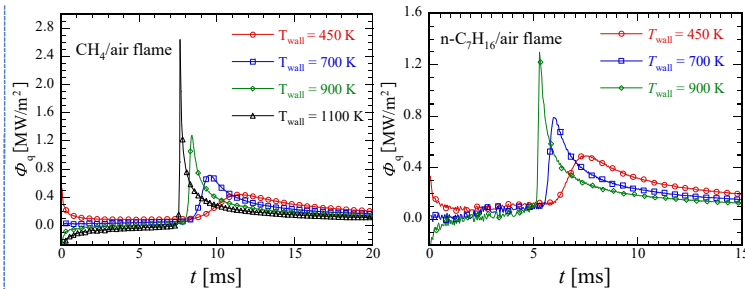
高EGR過給リーンバーン条件における層流予混合火炎の1次元直接数値計算 (1D-DNS)

✓ 計算条件

Fuel	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6	Case7	Case8
Fuel	Methane	Methane	Methane Heptane	Methane	Methane Heptane	Methane Heptane	Methane	Methane
ϕ	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5
Y_{EGR}	10%	15%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
T_{pre} [K]	700	700	700	700	700	700	700	700
T_{wall} [K]	450	450	450	450	700	900	1100	450
P_{ini} [atm]	10	10	10	10	10	10	10	20

ϕ : 当量比 T_{pre} : 混合気予熱温度 P_{ini} : 初期圧力
 Y_{EGR} : EGR率 T_{wall} : 壁面温度

✓ 壁面温度の影響

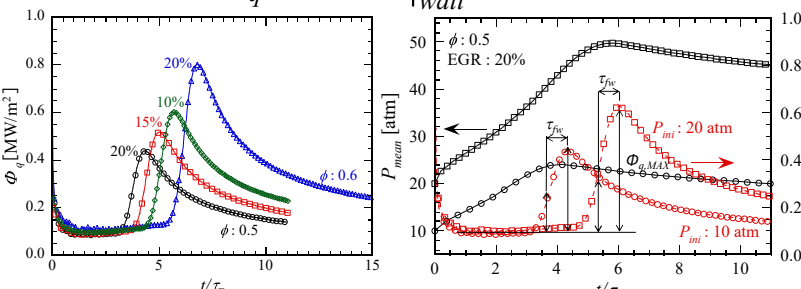


熱流束の時間変化に対する壁面温度の影響 (混合気温度700K, 当量比0.5, EGR率20%, 圧力10atm)

壁面温度上昇にともなう熱伝導率の増加と消炎距離の減少は最高熱流束の増加に強い影響を与える。

✓ 壁面熱流束に対する当量比および圧力の影響

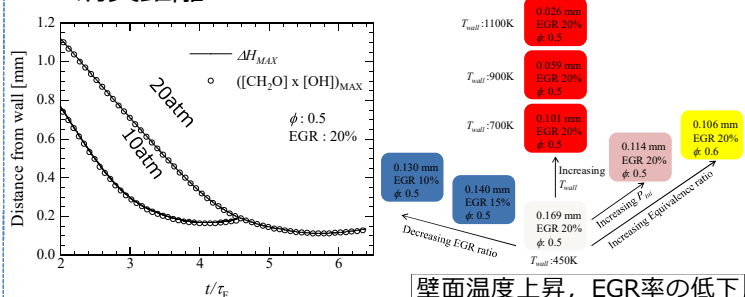
$$\text{熱流束: } \Phi_q = -\lambda \nabla T|_{wall}$$



熱流束の時間変化に対する当量比およびEGR率の影響 (燃料メタン, 壁面温度450K, 混合気温度700K, 初期圧力10atm)

熱流束の時間変化に対する圧力の影響 (燃料メタン, 壁面温度450K, 混合気温度700K, 当量比0.5, EGR率20%)

✓ 消炎距離



壁面位置の時間変化 (混合気温度700K, 当量比0.5, EGR率20%, 燃料メタン, 火炎面位置は熱発生率のピーク位置で定義)

壁面温度上昇, EGR率の低下, 圧力および当量比の増加により消炎距離は短くなる。