

# edcSimpleFoamの検討 (その1)

田村守淑

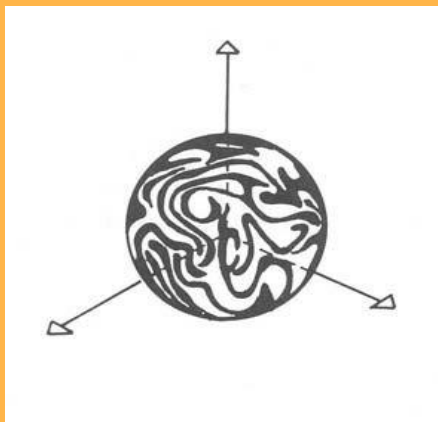
# はじめに

- ≡ 6<sup>th</sup> OpenFoam Workshopのトレーニングセッション (Simulating the combustion of gaseous fuels: Dominik Christ)の題材。公開されている。
- ≡ チュートリアルケース Sandia/TNF workshopのFlame D
- ≡ PaSR(rhoReactingFoamとEDCモデル(edcSimpleFoam))の比較を実施
- ≡ 今回はedcSimpleFoamを使って1stepモデルについて検討

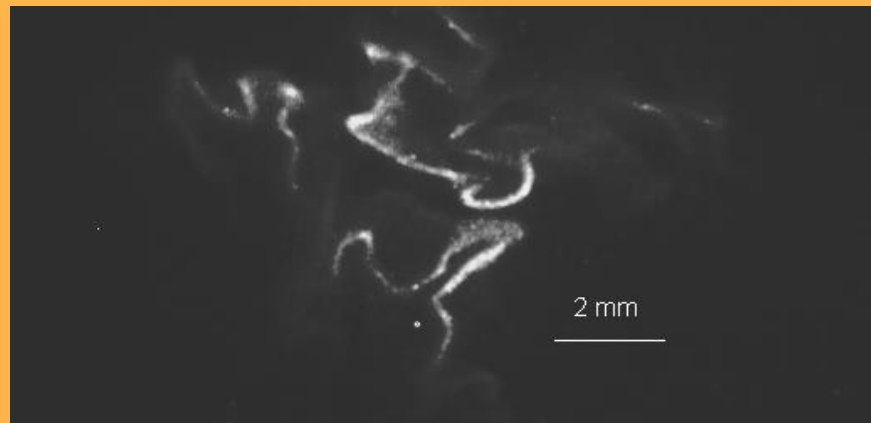
# edcSimpleFoam

- ≡ OpenFoam 1.7.xで使用可能
- ≡ SimpleFoamをカスタム改造したもの
- ≡ 定常モデル
- ≡ 乱流モデル      **kEpsilon**
- ≡ 燃焼反応モデル    **①1step ②GRI-Mech3.0**
- ≡ 乱流燃焼モデル    **Eddy Dissipation Concept (EDC)**  
(反応解法)      **①Fast Chemistry ②Local Extinction (LE)**  
                         **③Perfectly Stirred Reactor (PSR)**  
                         **反応速度 ①>②>③**
- ≡ 放射モデル      **P1**  
                         **①No Radiation ②Constant Absorption**  
                         **③Weighted Sum Grey Gas Model (WSGGM)<sup>3</sup>**

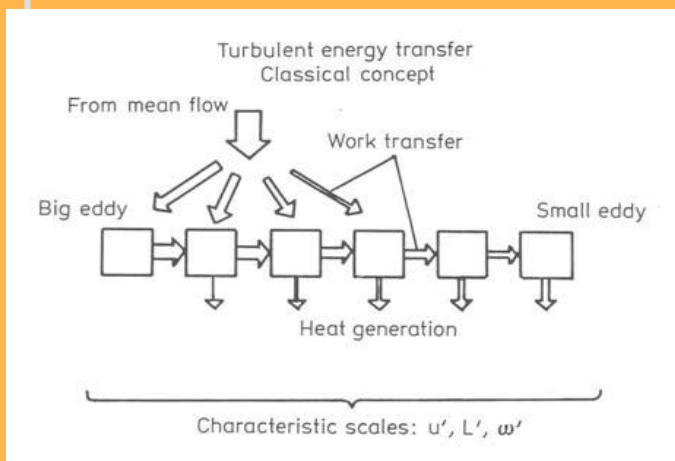
# Eddy-Dissipation Concept



火炎中の詳細構造



火炎中の詳細構造



反応速度  $R_i = \rho \frac{\gamma^* m^*}{1 - \gamma^*} (Y_i - Y_i^*)$

平均質量分率  $Y_i = \gamma^* Y_i^* + (1 - \gamma^*) Y_i^0$   
 化学反応後      化学反応前

$$\gamma^* = 9.7 \left( \frac{\nu \varepsilon}{k^2} \right)^{3/4} \quad m^* = 2.45 \left( \frac{\varepsilon}{\nu} \right)^{1/2}$$

# P1モデル

- ≡ 放射強度の球調和関数展開の一次式
- ≡ 非対称散乱も対象
- ≡ 光学的厚さ( $aL$ )が小さすぎない場合は利用可
- ≡ DOMやDTRMに比べ計算量が少ない

モデル	光学厚さ	散乱	非灰色	計算負荷
DTRM	薄い	×	-	大
DOM	$< 1$	○	○	大
P1	$> 3$	○	-	小

# P1モデル式

$$\Delta(\gamma G) - aG = -4(\varepsilon\sigma_{SB}T^4 + E) \Rightarrow G\text{の方程式}$$

$$qr = -\gamma\nabla G \quad \Rightarrow \text{エネルギー式の発熱項}$$

$$\gamma = \frac{1}{3a + \text{sigma}E_{ff}}$$

$$\text{擬散乱係数: } \text{sigma}E_{ff} = (3 - C) * \text{sigma}$$

$G$ : 放射強度 [ $W/m^2$ ]    $\gamma$ : 交換係数    $a$ : 吸収係数

$\varepsilon$ : 放射率    $E$ : 放射寄与率    $\text{sigma}$ : 散乱係数

$C$ : 散乱に関する係数

# WSGGM

## Wighted Sum of Grey Gas Model

混合ガスの放射率を計算する上でいくつかの灰色ガス(吸収係数が波長に依存しないガス)の重み平均でモデル化

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^{N-1} a_i(T) (1 - \exp[-K_{p,i} PL])$$
$$a_i(T) = \sum_{j=1}^{M+1} b_{ij} (T/\bar{T})^{j-1}$$

$a_i$ : 吸収係数    $P$ : 放射ガス分圧    $L$ : 光学厚

# Sandia flame-D



メタン空気ジェット火炎

<メインジェット>

$d=7.2\text{mm}$   $U=49.6\text{m/s}$   $T=294\text{K}$

メタン:空気=25%:75%

$Re=22400$

<パイロット>

$D=18.2\text{mm}$   $U=11.4\text{m/s}$   $T=1880\text{K}$

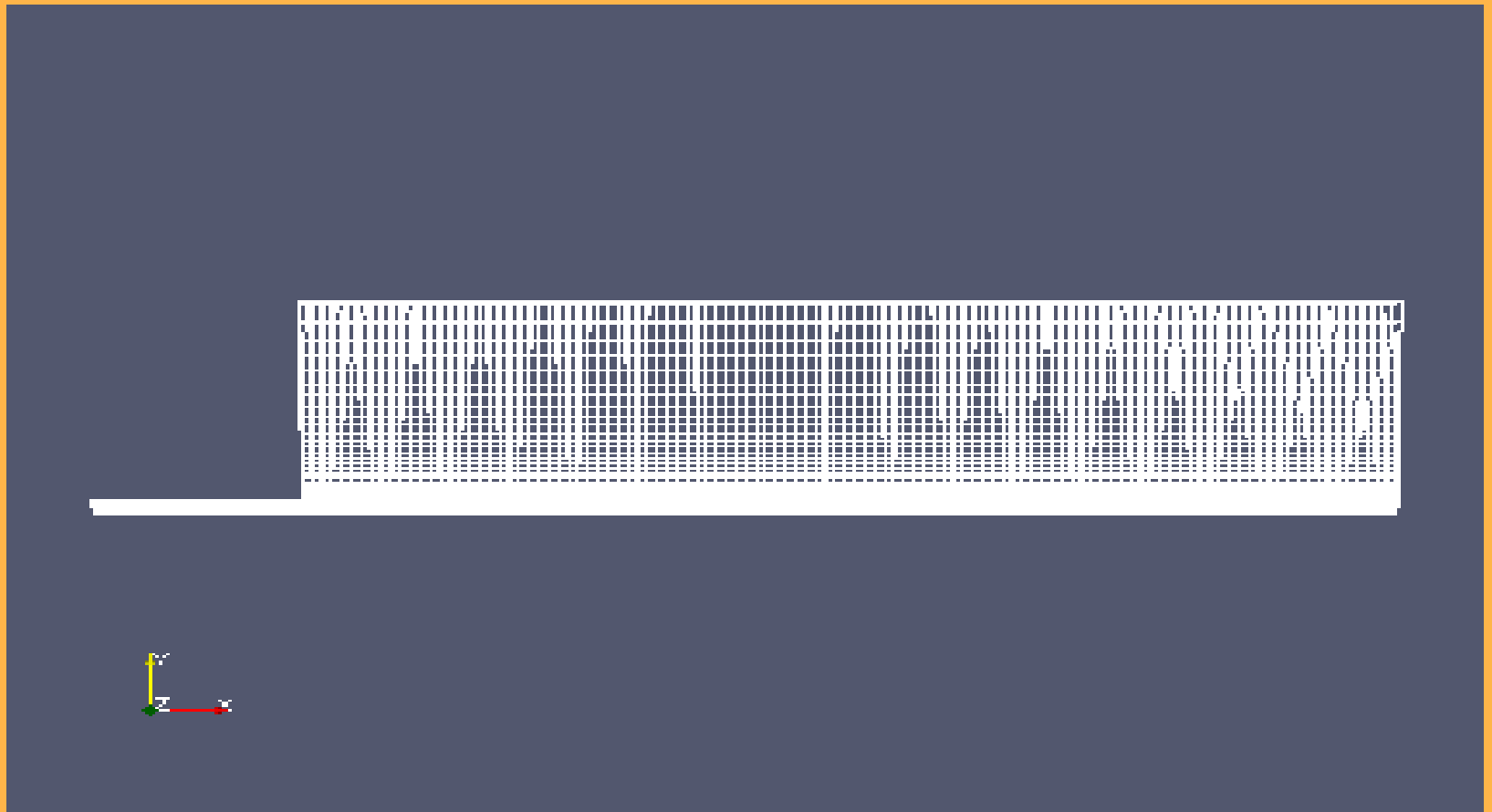
<外流>

$U=0.9\text{m/s}$   $T=291\text{K}$



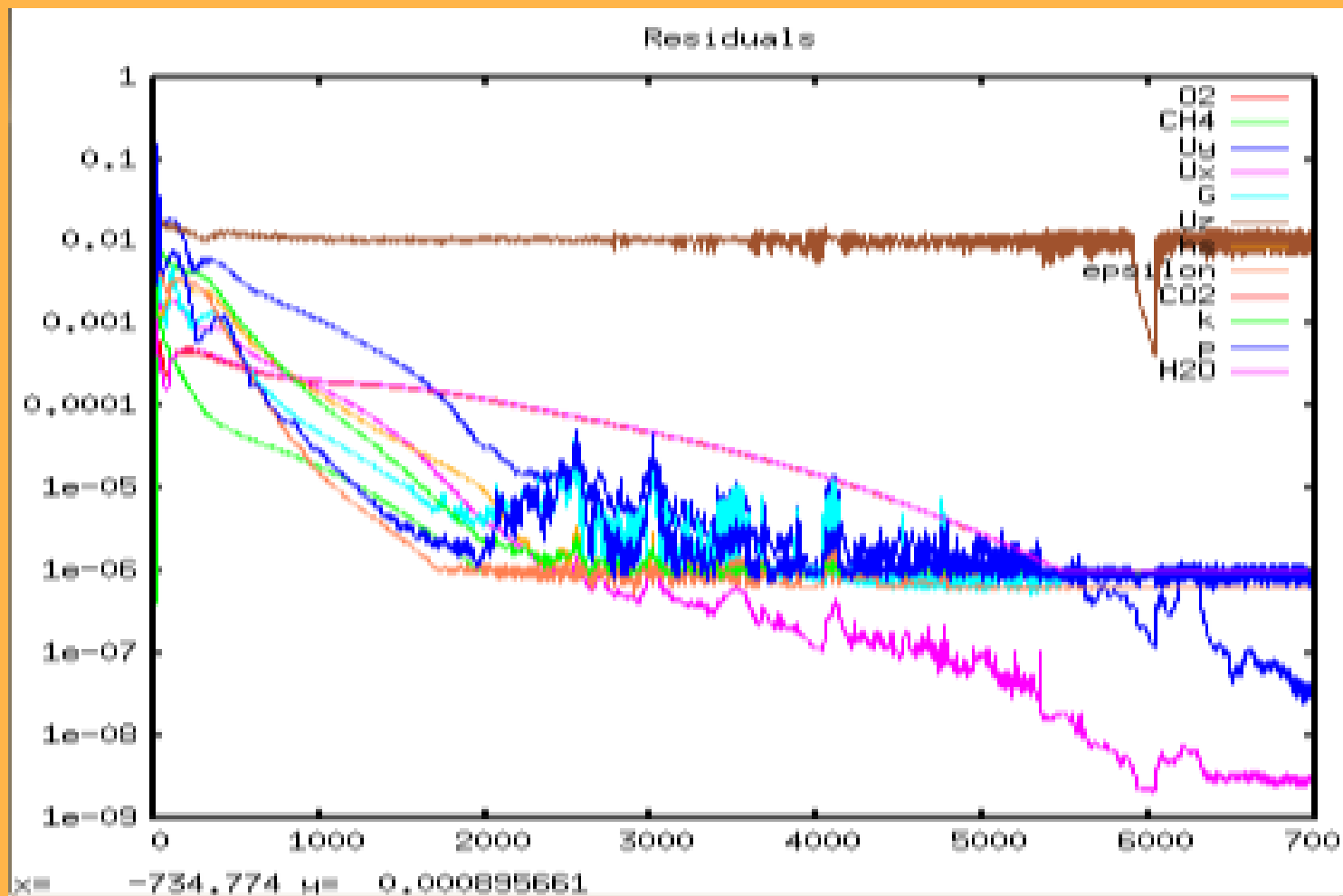


# 計算メッシュ

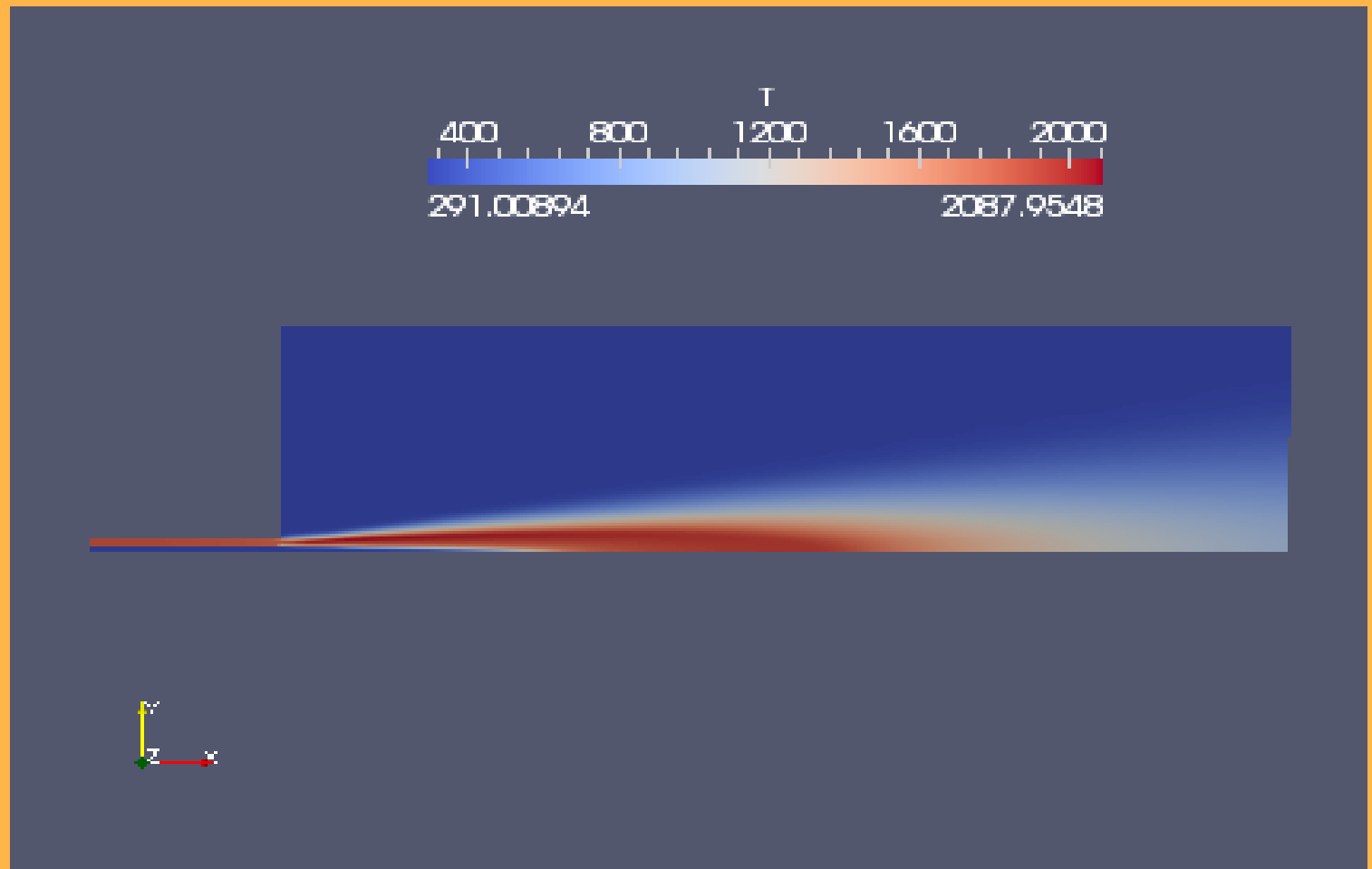


軸対象 9471points

# 残渣履歷 (PSR WSGGM)

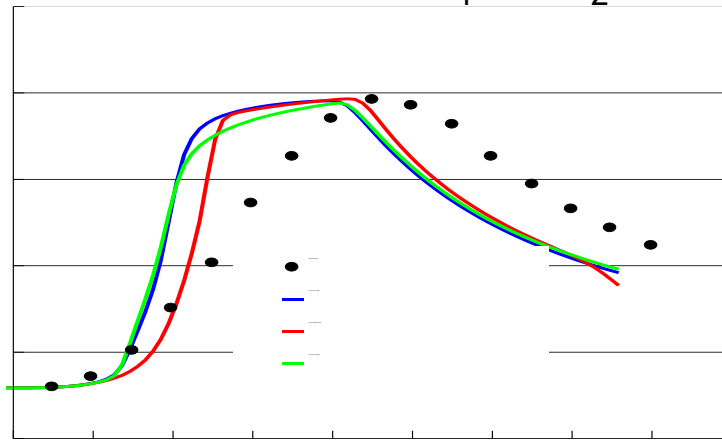


# T (PSR WSGGM)



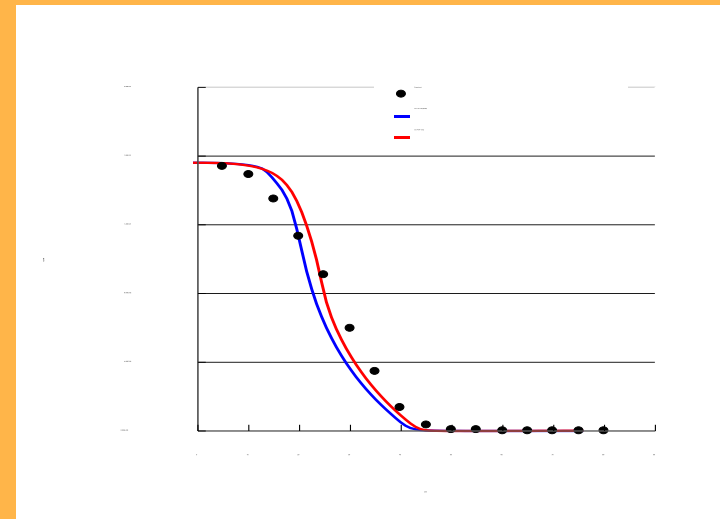
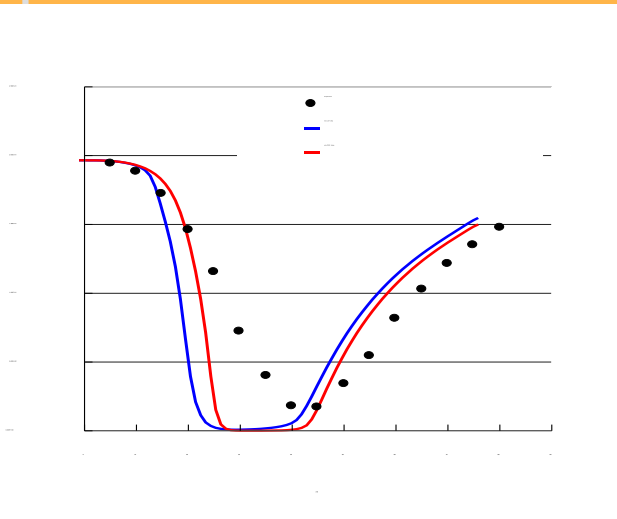
# 反応モデルの影響

1ステップ反応式  $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightleftharpoons \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$



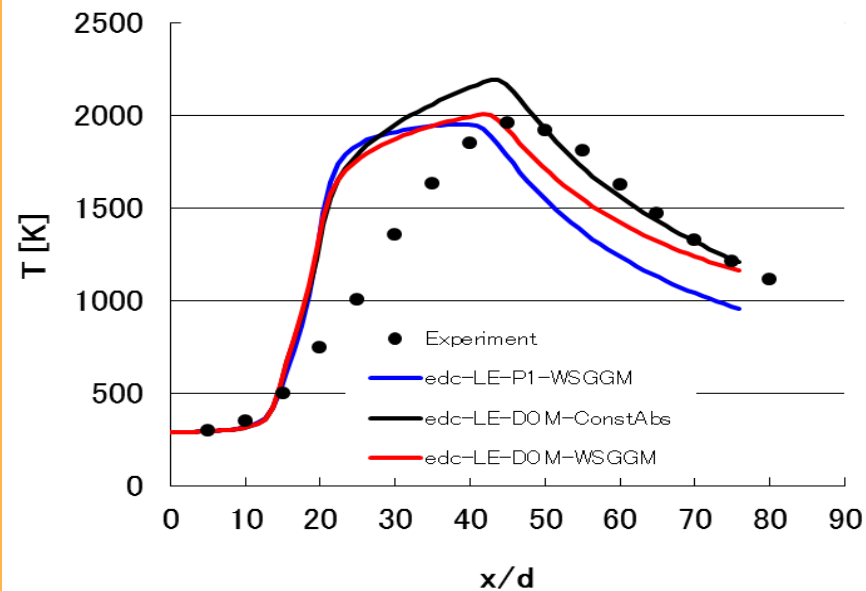
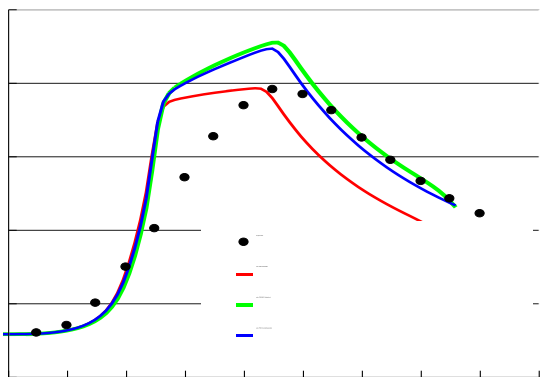
計算値の方が反応が速い  
LEよりPSRの方が反応が遅い  
2ステップ(COを追加)で火炎温度が若干遅くなるが体制に  
影響がない

# 反応モデルの影響



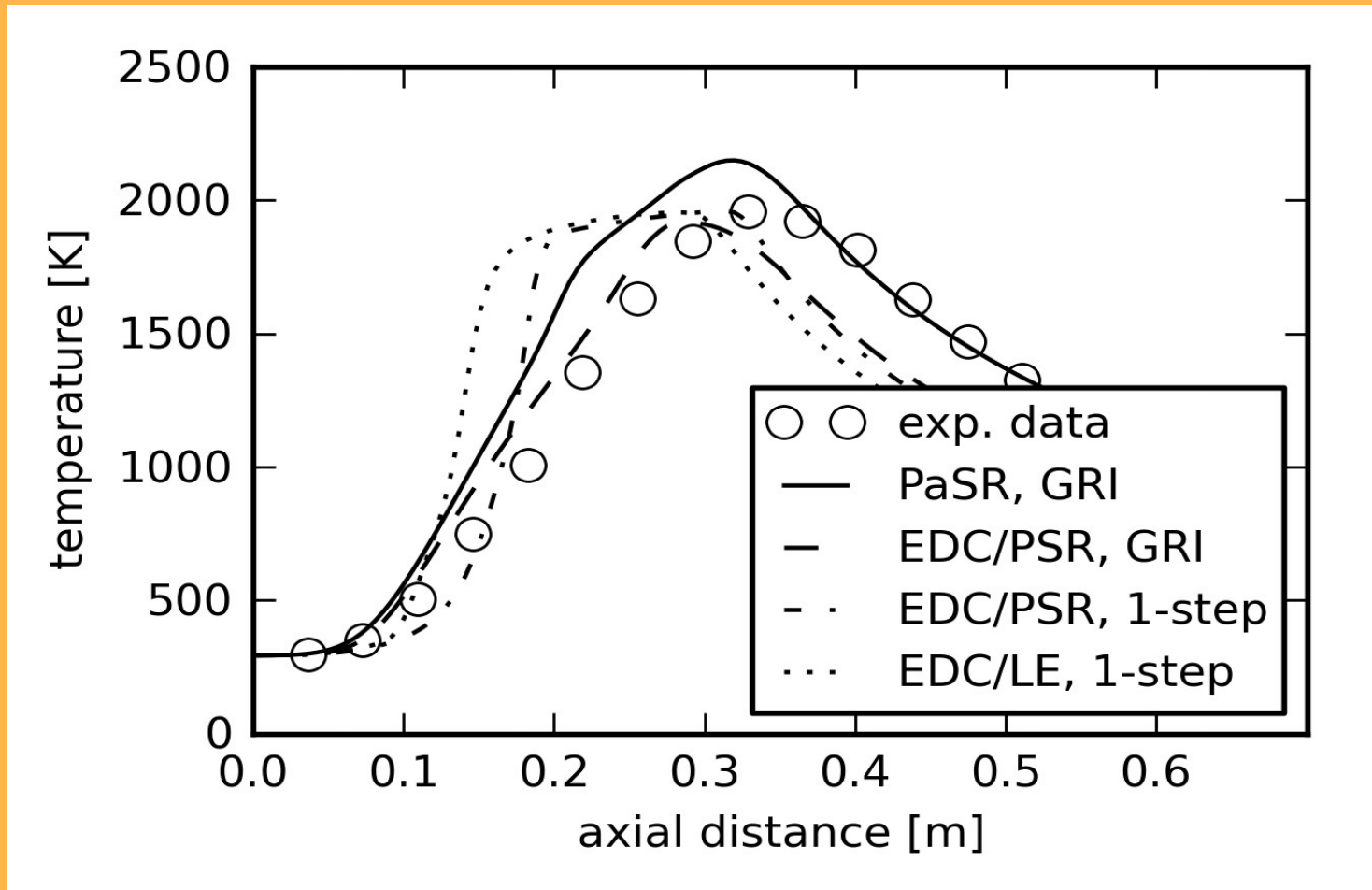
計算値の方が反応が速い  
LEよりPSRの方が反応が遅い  
O<sub>2</sub>濃度の影響が大きい

# 放射モデルの影響



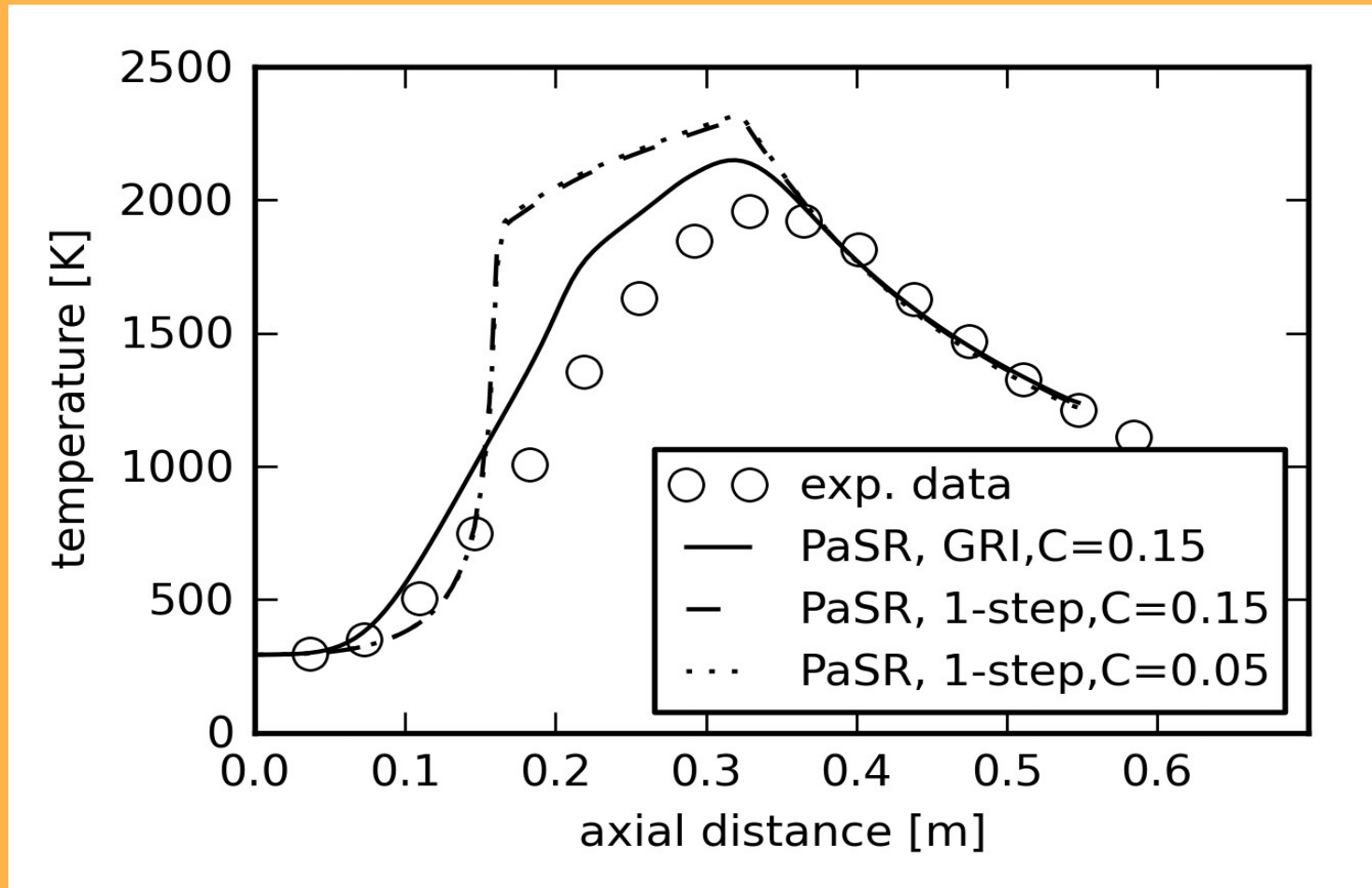
放射モデルで火炎温度は大きく異なる

# モデルの影響 (edcSimpleFoam)



**GRIMECH3の計算は難しい(現在取り組み中)**  
**WorkShopの結果ではGRIMECH3を使う方が良い**

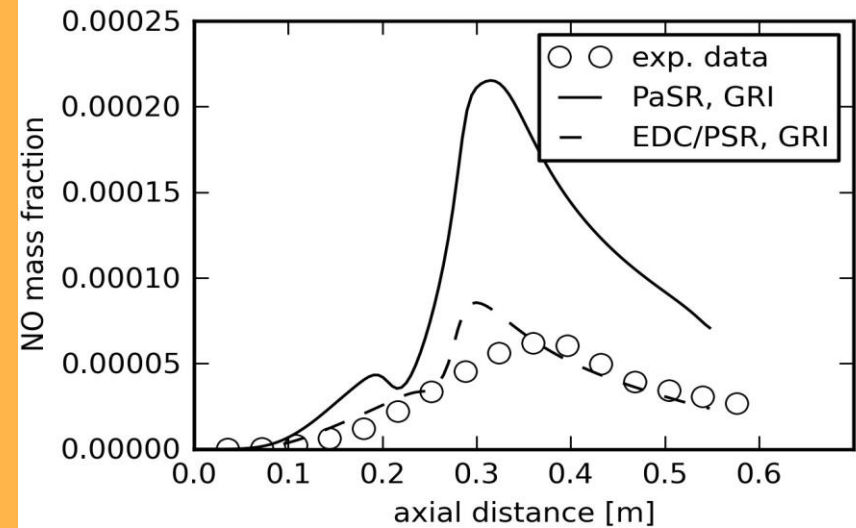
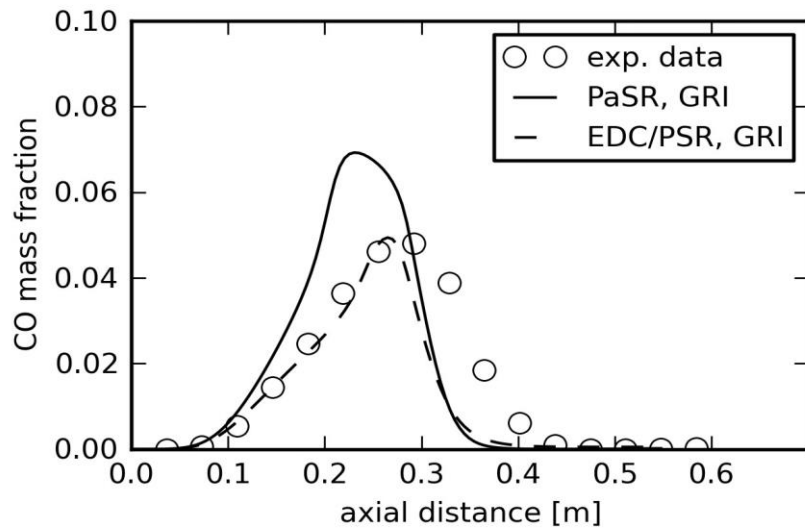
# モデルの影響 (rhoReactingFoam)



**GRIMECH3を使う方が良い**



# 微量成分へのモデルの影響



**EDC/PSRの組み合わせの方がPaSR (rhoReactingFoam)より良い**