

# 総括一段反応燃焼モデルを用いたメタン乱流拡散 火炎のシミュレーションについて

海老沢 寧紀 法政大学工学部機械工学科 西本 琢, 星野 敬哉 法政大学大学院工学研究科機械工学専攻

川上 忠重  
法政大学工学部機械工学科

現在、自動車の環境規制の強化の対応などで、構造の複雑化、多様化がすすんでいる。またエンジン内の現象自体も、乱流や燃料噴霧の気化、乱流燃焼などが伴う複雑な非定常現象であり、これを詳細に解析するには数値シミュレーションを用いた流体解析技術と高速可視化が有効である。そこで本研究では、手始めに総括一段燃焼モデルを用いてメタン乱流拡散火炎のシミュレーションをおこない、燃料及び酸化剤の流入速度が火炎挙動等に与える影響について検討を行った。

## 1. 結論

現在の内燃機関や燃料電池自動車及び燃焼現象に関する数値シミュレーションによる解析は、例えば機関特性に及ぼす乱れの影響、燃料噴霧の液滴径の分布、改質燃料電池の改質器の温度上昇による起動性能の変化及び燃焼素反応や燃焼特性量（燃料濃度、発熱量及び反応速度等）の影響を十分考慮する必要があり、計算時間等の制約から、多くの研究者によって、局所的な部分での性能や簡易計算手法の試みがされている。また、より精度の高いシミュレーションソフトの解析には、精度の高い技術的、実験的手法の開発も必要不可欠であり、単に得られたシミュレーション結果のみによる評価に依存するものではない。

本研究ではこれらの観点から、燃焼現象の簡易数値解析の指針を得るために、まず手始めとして総括一段反応燃焼モデルを用いたメタン乱流拡散火炎のフレイムホルダー付近での速度分布、燃料濃度および温度等のシミュレーションを行うことにより、簡易型数値解析シミュレーションの妥当性についての検討を行った。

## 2. 数値解析法及び解析条件

本研究におけるメタン乱流拡散火炎のシミュレーションには熱流体解析ソフト（PHOENICS（株）CRC 総合研究所）を用いた。実際の計算に際してまず、メタン燃焼反応機構における素反応を定義する必要があるが、メタンの素反応の数は約 100 種類程度以上である。（代表的な素反応で 35 種類程度）。詳細計算においては、当然これらの素反応における反応速度定数を条件により数値化し、それにより時間経過による反応の進行状況をシミュレーションする必要があるが、その素反応の数により、大型

並列計算機などを用いなければならず、簡易計算には適さない。したがって、本計算では総括一段反応モデル（中間生成物及び素反応を考慮しない）による総括反応式が用いられた。以下にメタン乱流火炎の総括反応式を以下に示す。



また、上記の総括反応式を用いたため、燃料、酸化剤及び反応性生物のエンタルピーは次式により算出した<sup>(1)(2)</sup>。

$$h = c_p T + H m_{fu}$$

ここで：

$c_p$ ：定圧比熱(J/gK)       $T$ ：絶対温度(K)  
 $H$ ：燃焼熱(J)               $m_{fu}$ ：未燃燃料の質量分率(%)

である。

Fig.1 に本解析で用いられた Y-Z 二次元円筒座標系でのメタン - 空気流入モデルの概略を示す。流入口の出口構造は円筒二重管構造となっており（Fig.1 参照）内管から燃料であるメタンが系内に流入し、また外管と内管の間から空気が系内に流入するモデルである。すなわち、Y-Z 座標の原点は内・外管中心を意味している。なお、本解析では、解析時間軽減のため流入口 Z 方向 2m の位置に火炎保持のためフレイムホルダーが設けられた（火炎位置の変化による計算発散を抑制するため）。Table 1 及び Table 2 にメタン、空気の解析条件（流入温度、流入速度、流入密度及び流入エンタルピー）及び用いられた燃料、酸化剤及び燃焼生成物の分子量を、それぞれ示す。

## 3. 解析結果及び考察

Fig.2 にメタン乱流火炎でのフレイムホルダー付近での温度分布に及ぼすメタン、空気の流入速度の影響を検討するために、メタンの流入速度を 0.5~1.5m/s、空気

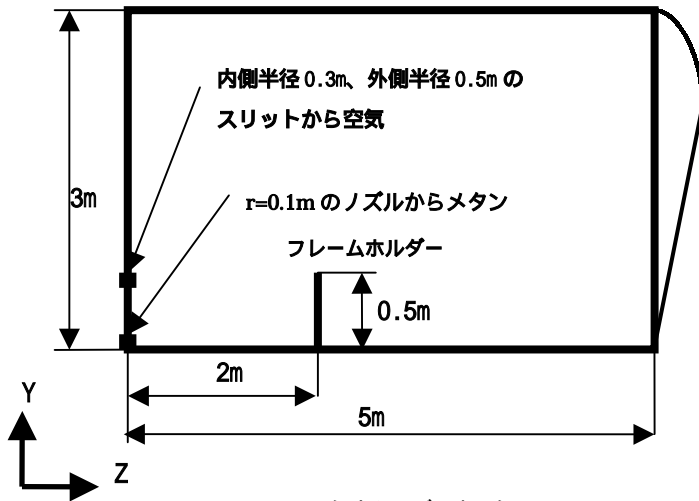


Fig.1 解析モデル概略図

Table 1 初期条件

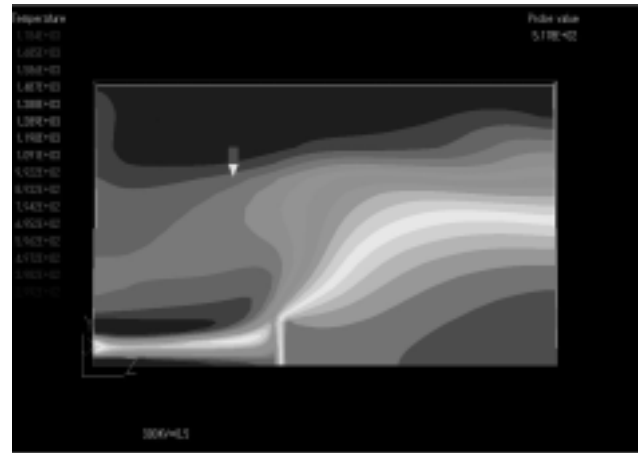
	メタン	空気
流入温度 (K)	300	300
流入速度 (m/s)	0.5	0.25
	1.0	0.5
	1.5	0.75
流入密度 (kg/ )	0.6414	1.1627
流入エンタルピー (J/mol)	4.945E+07	4.50E+03

Table 2 気体条件

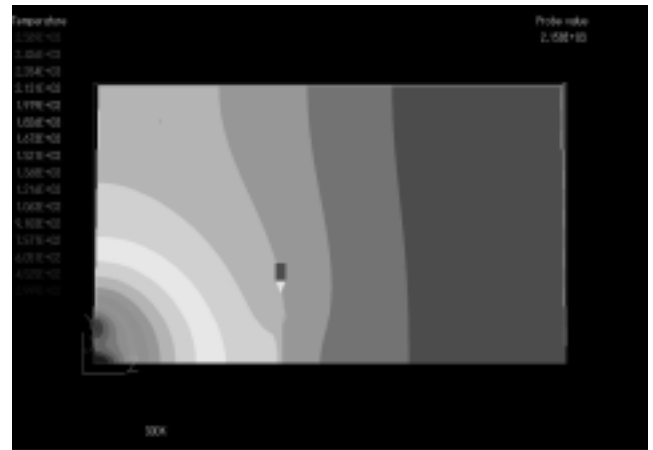
	分子量 ( kg/kmol )
CH4 (燃料)	16
空気 (酸化剤)	29
燃料生成物	28

の流入速度を 0.25 ~ 0.75m/s まで変化させた場合の得られた温度分布を示す。ここで図中の、およびは Table 1 の初期条件 (流入速度) に対応しており (以下の結果も同様) 各条件におけるメタンと空気の流入速度比は一定である。この図から明らかなように、同一流入速度比においても、得られたフレームホルダー付近の温度分布に大きな差異が発生している。

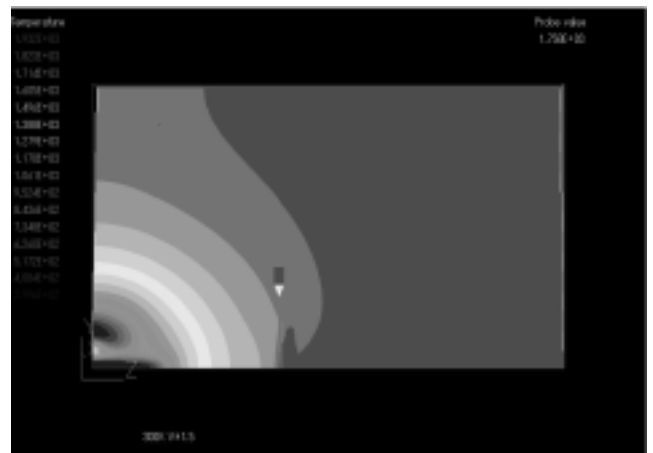
Fig.3 に得られた温度分布の定量値を再評価するために、燃焼管中心から半径方向 (Y 方向) の温度分布を流入速度及び Z 座標位置をパラメータとして示す。この図から明らかなように、流入速度条件の場合にはフレームホルダー付近での最高温度は約 700K 程度であり、この付近での燃焼は確認されなかった。また、流入速度条件



メタン 0.5m/s 空気 0.25m/s



メタン 1.0m/s 空気 0.5m/s



メタン 1.5m/s 空気 0.75m/s

Fig.2 温度分布

の場合にはZ座標位置がZ=1,Z=1.5においては、2100K程度の温度が得られており良好な燃焼状況が得られていると思われる、この値は化学平衡計算から算出される断熱火炎温度とほぼ一致する。

Fig.4 にメタン乱流火炎でのフレームホルダー付近での燃料濃度分布、Fig.5 に得られた濃度分布を再評価するために、先と同様に燃焼管中心からの半径方向(Y方向)の濃度分布を流入速度及びZ座標位置をパラメータとして示す。これからの図から明らかなように、流入速度条件及びのZ=0.5の場合には、フレームホルダー付近での燃焼濃度は90%以上であるため、燃焼の発生が行われておらず、先の温度分布の結果と一致している。

Fig.6 及び Fig.7 に同一流入速度比における系内での速度分布の計算結果を示す。この図から明らかなように、同一流入速度比においては、燃焼・非燃焼時での速度分布に大きな差異は観察されない。すなわちメタン乱流火炎での燃焼の有無は系内に流入する燃料と空気の量に大きく依存すると思われる。今後、流入気体の温度、乱れ強さ及び系変更の燃焼特性に及ぼす影響を詳細に検討し、また、実験値との比較も行う予定である。

#### 4. 結論

本研究では、総括一段燃焼モデルを用いた乱流拡散火炎の温度、燃料濃度及び速度分布についての簡易シミュレーションを提案試行した。以下に結果を示す。

- 1) 総括一段燃焼モデルを用いた場合においても、燃焼及び非燃焼時の温度分布、濃度分布及び速度分布を比較的精度よく行うことができる。
- 2) 同一流入速度比においては、燃焼・非燃焼時での速度分布に大きな差異は観察されない。

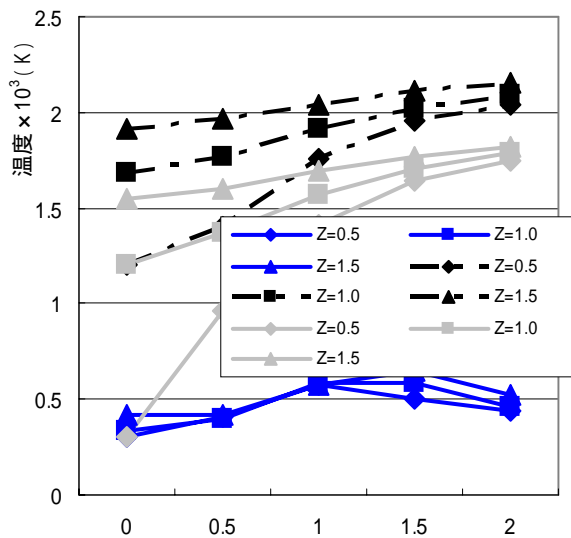
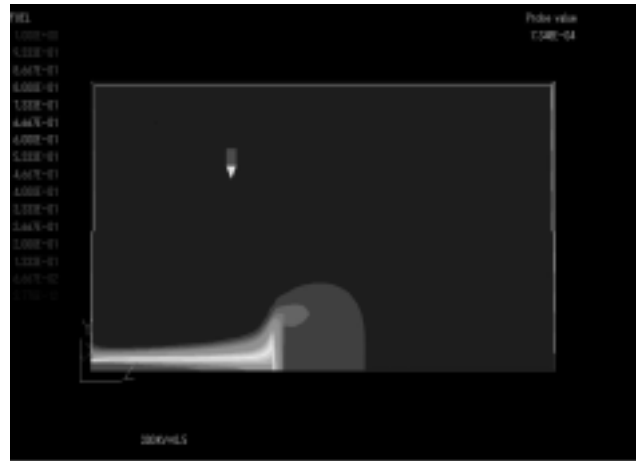
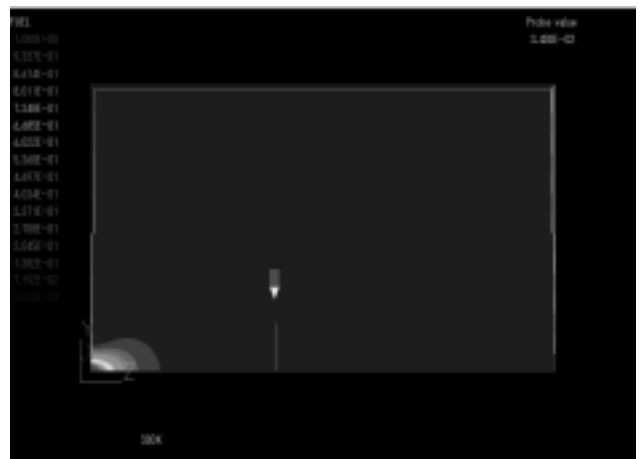


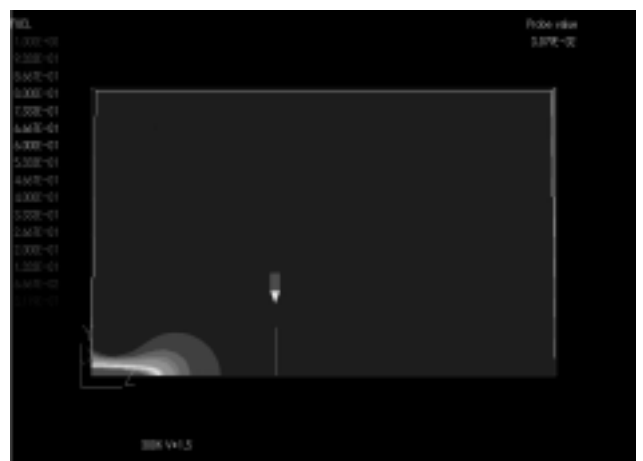
Fig.3 温度分布 Y方向の距離



メタン 0.5m/s 空気 0.25m/s



メタン 1.0m/s 空気 0.5m/s



メタン 1.5m/s 空気 0.75m/s

Fig.4 燃料濃度分布

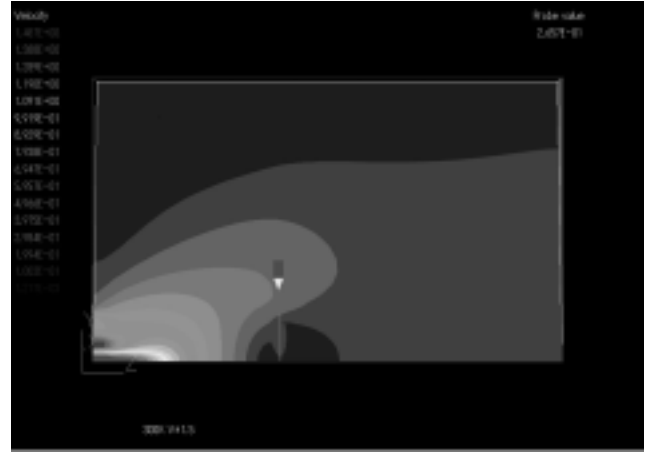
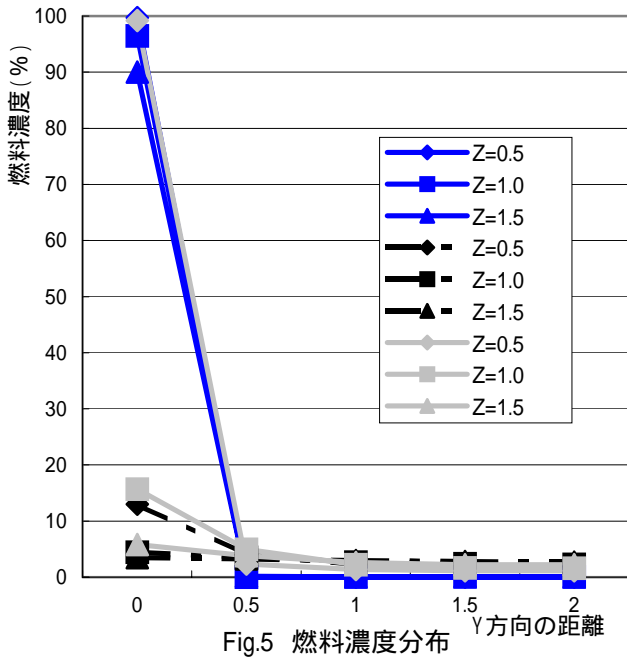
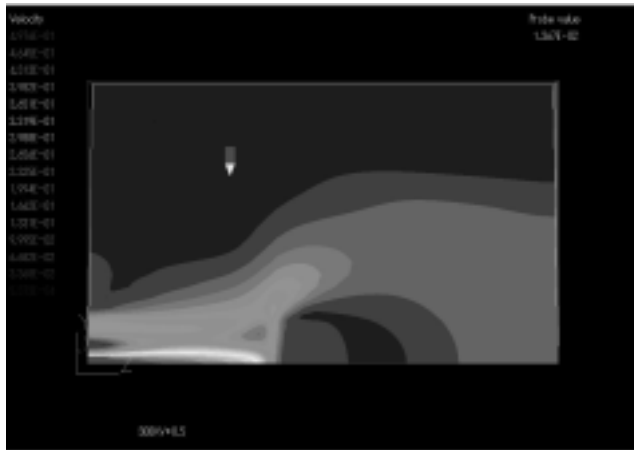
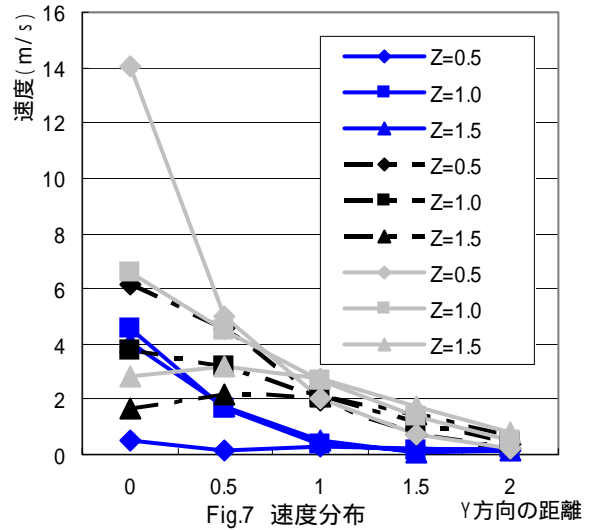
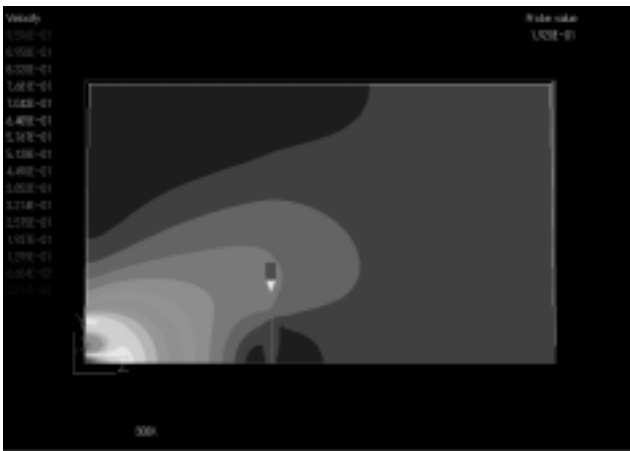


Fig.6 速度分布



メタン 0.5m/s 空気 0.25m/s



メタン 1.0m/s 空気 0.5m/s

### 参考文献

- (株)CRC 総合研究所：PHOENICS/WorkBook、p.2-3-1～2-3-6
- (株)CRC 総合研究所：PHOENICS 講習会資料、Lecture12

**キーワード.**

メタン乱流火炎、数値シミュレーション、総括一段反応

---

**Summary.**

**Numerical simulation of turbulent diffusion flame for methane  
by using model of overall one step reaction formula**

**Yasunori Ebisawa**

**Department of Mechanical Engineering, Hosei University**

**Taku Nishimoto, Takaya Hoshino**

**Graduate School of Engineering, Hosei University**

**Tadashige Kawakami**

**Department of Mechanical Engineering, Hosei University**

Numerical Simulations of turbulent diffusion flame for methane in air have been carried out to examine the behavior of temperature, concentration of fuel and distribution of velocity near the flame holder by using model of overall one step reaction formula. Initial conditions for turbulent diffusion flame for methane correspond to 300 K and 0.1 MPa and a mixture of 79% nitrogen and 21% oxygen by volume is used as a substitute for air.

The research results show that 1) The highest calculated value of temperature near the flame holder is of the order of 2100 K 2) The influence of combustion of turbulent diffusion flame on distribution of velocity appears negligible.

**Keywords.**

**Turbulent Diffusion Flame for Methane, Numerical Simulation, Overall one step reaction formula**