水素逆拡散火炎挙動における安定限界と数値計算

吉本 隆光, 谷川 涼一^{*}, 影山 朋久 (神戸高専), 高城 敏美 (大阪産業大)

Stability Limit of Hydrogen Inverse Diffusion Flame and Numerical Calculation

Takamitsu YOSHIMOTO, Ryoichi TANIGAWA, Tomohisa KAGEYAMA and Toshimi TAKAGI

ABSTRACT

The stability mechanism for holding the flame has been studied. It is found that the parameters for holding the diffusion flame are fuel velocity, co-flowing velocity, nozzle diameter (curvature of nozzle), concentration of fuel and so on. When air spouts from the nozzle with co-flowing hydrogen, the inverse diffusion flame is formed. As the fuel of hydrogen is mixed with nitrogen, the dilute inverse diffusion flame is formed. The inverse diffusion flame attains to blow-off with increasing the air. The configurations and behaviors of the flame are observed directly and investigated by the high speed video camera. Then Experiments and numerical computations by using PHOENICS are conducted to investigate the flame structure which dominates the flame holding and lifting mechanism. The results obtained are as follows. (1) The lifting flame is formed in turbulence model. And the flame base is formed at the air side. (2) And the reaction rate of hydrogen on the numerical calculation is faster than experimental value.

Keywords: Inverse diffusion flame, Lifting flame, Numerical calculation

1. 結論

近年, 熱流体の数値解析ソフトウェアは汎用化され, 実験では測定しにくい条件下での火炎の挙動を数値計算して火炎安定機構についての解明を可能にしている⁽¹⁾.

本報では, 火炎安定のパラメータである管径, 燃料速度, 周囲流速度, 窒素による希釈割合を変化させた時の火炎挙動を高速ビデオカメラで直接撮影をおこない可視化をして, 汎用熱流体解析ソフトウェア PHOENICS を用いて, 実験と同条件で計算を行い, 水素逆拡散火炎の挙動⁽¹⁾, 火炎基部の構造を比較・検討した結果を報告する.

2. 実験方法

2.1 PHOENICS について

PHOENICS は連続の式, 運動方程式, エネルギー方程式を一般化し, SIMPLE 法により解析する. CHEMKIN から物性を参照し, 化学種の生成速度係数はアレニウスの式より求める. 化学反応は NOx と H₂O₂ の生成を除いた水素燃焼の素反応式 16 式を考慮し, 乱流解析には k-ε モデルを使用する.

2.2 計算条件

①純水素における逆拡散火炎

管径: 4.8[mm], 主流空気: 10[m/s], 周囲流: 0.6[m/s]

②窒素で希釈した水素逆拡散火炎 (H₂:N₂=50%:50%)

管径: 1.9[mm], 主流空気: 3.4[m/s], 周囲流: 0.3[m/s]

③窒素で希釈した水素逆拡散火炎 (H₂:N₂=30%:70%)

管径: 4.8[mm], 主流空気: 0.6[m/s], 周囲流: 0.6[m/s]

3. 実験結果及び考察

3.1 純水素における逆拡散火炎

撮影した実際の火炎と数値計算で得られた画像を比較する. Fig1 は, 左から (a) 実際の火炎, (b) 基部拡大図 ((a) の丸部分), (c) 乱流モデルによる OH 分布, (d) 層流モデルによる OH 分布である. (c) 乱流モデルでは火炎は浮き上がるが, (d) 層流モデルでは, 実際の火炎と同様に, ノズルに付着した安定火炎が形成されている.

Fig1 Configuration of Inverse Diffusion Flame.

火炎部の安定性を、Table1にまとめる。

Table 1 Flame behavior on a flame base.

Case	Flame behavior
(a) (b)	Stabilized Flame
(c): turbulence flow	Lifting Flame
(d): laminar flow	Stabilized Flame

3.2 $H_2:N_2=50\%:50\%$ における逆拡散火炎

次に希釈割合を $H_2:N_2=50\%:50\%$ とした場合での火炎形状 (Fig. 2) の比較をする。Fig2 では、左から (a) 実際の火炎、(b) 基部拡大図 ((a) の丸部分)、(c) 層流モデルによる OH 分布である。また、Fig. 3 は各断面での温度分布を示す。純水素の場合と同様に基部はリムの内側に形成し、ノズルからの高さ $H=1$ [mm] における温度分布はほぼ一致しているが、下流での $H=3$ [mm] では、計算値は平坦に近づき、燃えきりが早く、短炎となっている。

Fig.2 Flame configuration ($H_2:N_2=50\%:50\%$).

Fig.3 Radius Profiles of Temperature (50%:50%)

3.3 $H_2:N_2=30\%:70\%$ における逆拡散火炎

窒素で希釈した場合での火炎形状 (Fig. 4) の比較をする。Fig4 は、左から (a) 実際の火炎、(b) 基部拡大図 ((a) の丸部分)、(c) 層流モデルによる OH 分布である。

$H_2:N_2=50\%:50\%$ の場合と同様に火炎基部はリムの内側に形成する。数値計算とも一致している。温度分布 (Fig. 5) の比較においても、多少ピークの位置が異なるが、温度分布

の形状がほぼ一致する。また、下流部での同一断面での分布は計算値のほうが平坦な分布になり、 $H_2:N_2=50\%:50\%$ の場合と同様に燃えきりが早く、短炎となっている。尚、実験値温度への熱放射による影響は計算では考慮していない。

Fig.4 Flame Configuration ($H_2:N_2=30\%:70\%$)

Fig.5 Radius Profiles of Temperature (30%:70%)

4. 結論

- ・数値計算において、乱流モデルでは火炎が浮き上がり、層流モデルでは浮き上がり現象が見られない。実際の火炎は層流火炎であり、計算結果とも合っている。
- ・正拡散火炎では、リムの外側の空気側に形成されるが、逆拡散火炎でも、火炎はリムの内側の空気側に形成される。これは数値計算でも同じ結果が得られる。

参考文献

- 1) 塩島, 吉本, 高城: 関西支部第 82 期定時総会講演会講演論文集, 日本機械学会, 2007, pp. 318.
- 2) 川見, 安本, 吉本: 関西学生会学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, 日本機械学会, 2008, pp. 1902.
- 3) 小林, 正司, 影山, 吉本: 関西学生会学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, 日本機械学会, 2009, pp. 1908