

水素予混合火炎の消炎に関する研究

東京電機大学 吉田 亮

1. 研究目的

水素燃焼は CO_2 、不完全燃焼排出物（煤塵、炭化水素、 CO ）、 SO_x が完全にクリーンであるので、将来のエネルギー源として注目されている。しかし、実際、水素エンジンは、いまだ研究段階にあり、燃焼技術も確立されていないのが現状である。よって、水素の燃焼特性を基礎的に研究する必要がある。本研究では、 CO_2 を排出しない水素を燃料として使用し、一様な予混合気流中に置かれた多孔質円筒バーナの前方向よみ領域に形成される対向流予混合火炎を用いて、火炎の消炎時のよみ速度勾配を測定し、予混合火炎の伸長による消炎について調べる。また、層流と乱流火炎の消炎について比較、検討する。

2. 実験装置及び方法

実験装置を図1に示す。多孔質円筒バーナ（ステンレス製、ろ過度 $5\mu m$ ）からの予混合気は円筒前方からのみ、一様に吹き出される。縦型燃焼風洞は整流装置と燃焼室によって構成される。整流装置は流れの中の乱れを取り除き、変動の無い定常な流れを供給するための装置である。燃焼室は $60mm \times 30mm$ の矩形断面を持ち、二本の鉄柱と二枚のバイコールガラスによって構成される。また、乱流格子の種類を変えることで、乱れの特性を変化させることができる。本研究では燃料に水素、酸化剤に空気、希釈剤に窒素を使用する。また、対向流バーナを用い、多孔質円筒の前方よみ領域に二重予混合火炎を形成するためには、バーナ側、風洞側共に当量比、酸素濃度を一定にした同じ組成の混合気を供給させる。

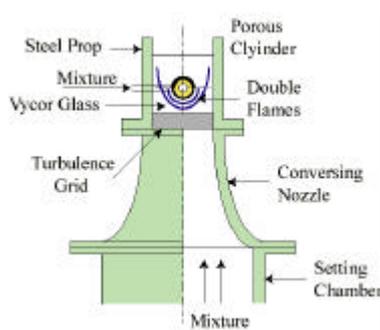


図1 実験装置

3. 実験結果及び考察

図2に酸素濃度 9.0%、9.5%、10% における各当量比に対する層流火炎消炎時の火炎伸長率を示す。各当量比に対して測定された層流火炎消炎時の火炎伸長率で囲まれた下の領域は安定に二重火炎が形成される領域であり、上の領域は消炎の領域である。測定された火炎伸長率は当量比 1.2 付近で最大となり、その希薄側と過濃側とともに減少している。酸素濃度 0.5% の違いによってピーク時である当量比 1.2 付近の火炎

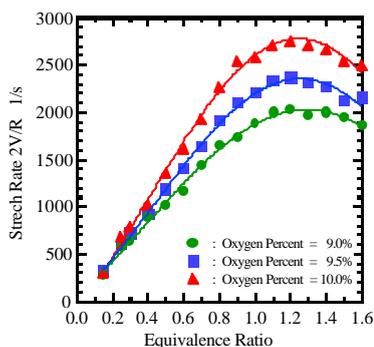


図2 層流火炎消炎時の火炎伸長率

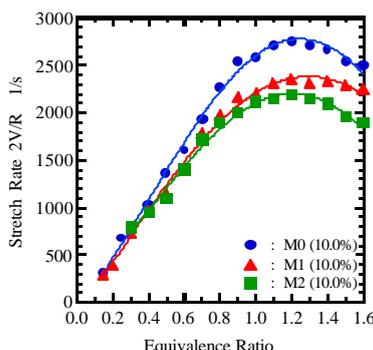


図4 層流・乱流火炎消炎時の平均の火炎伸長率

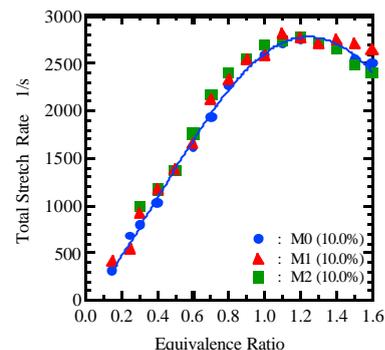


図5 層流・乱流火炎消炎時の合計の火炎伸長率

伸長率の差が約 $400\ 1/s$ ほどあることから無希釈の状態で消炎させるには極めて大きな速度勾配を必要とすることがわかる。



図3 水素層流二重火炎の直接写真

図3に当量比 $=0.5$ および $=1.2$ の水素層流二重火炎の直接写真を示す。火炎を可視化するため、少量のプロパンを混入してある。希薄側、過濃側とも互いに接近して消炎することが観察された。ここで、消炎機構において対向流二重火炎はルイス数の効果によって、 $Le < 1$ のとき、互いに接近して消炎し、 $Le > 1$ のとき、互いに離れて消炎することが知られている。水素のルイス数を検討してみると、希薄側で $Le < 1$ 、過濃側で $Le > 1$ になったことより、ルイス数で、過濃側は説明できない。

図4に酸素濃度 10% における各当量比に対する層流と乱流火炎消炎時の平均の火炎伸長率を示す。ここで、グラフにおける M0 は層流で、M1 と M2 は異なる乱流特性を発生させる乱流格子によるものである。乱流火炎消炎時の平均の火炎伸長率は層流火炎の場合と同様に当量比 1.2 付近で最大となり、その希薄側と過濃側とともに減少する。また、層流、乱流とも希薄側においては、ほぼ同一の値をとっているのに対し、過濃側に向かうにしたがって乱流時の火炎伸長率が低い値で測定され、その大きさは用いられた乱流格子の種類によっても異なる。これは、よみ速度勾配で見積もられる平均の火炎伸長率のほかに乱れによってもたらされる付加的な火炎伸長率が作用するためであると考えられる。そこで、Kostiuk の概念を導入して、乱流火炎における合計の火炎伸長率 a_T を定義すると、

$$a_T = 2V/R + 1/t_K$$

となる。ここで、平均の火炎伸長率はよみ速度勾配 $2V/R$ 、乱れによる火炎伸長率は乱流中で最も小さいスケールの渦と考えられるコルモゴロフスケール渦の特性時間 t_K の逆数である。

図5に酸素濃度 10% における各当量比に対する層流と乱流火炎消炎時の合計の火炎伸長率を示す。この図より、乱流火炎消炎時の合計の火炎伸長率は層流火炎消炎時の火炎伸長率とほぼ一致するといえる。