

2403 狭い間隙による火炎伝播の阻止について

Arresting of Flame Propagation by a Narrow Gap

○杜 継峰・埼玉大院

Jifeng DU,

Graduate school of Science and Engineering,
Saitama University

伊藤 孝二・埼玉大工

Kouji ITO,

Faculty of Engineering,
Saitama University

小原 哲郎・埼玉大院

Tetsurou OBARA,

Graduate school of Science and Engineering,
Saitama University

吉橋 照夫・埼玉大院

Teruo YOSHIHASHI,

Graduate school of Science and Engineering,
Saitama University

大八木 重治・埼玉大院

Shigeharu OHYAGI,

Graduate school of Science and Engineering,
Saitama UniversityKey Words: *Quenching Distance*, *Critical Initial Pressure*, *Quenching Phenomena*

1. はじめに

火炎が間隙を通過する時、壁面の熱損失によって消滅する現象を消炎という。消炎現象の技術的な応用は、主に安全工学的観点から行われてきた。予混合気流路内に設置され、火炎の逆流を防ぐフレームアレスタが代表例である。また、消炎現象は極小空間内における燃焼と密接に関係しているため、近年では安全工学以外の分野にも応用が期待されている。

Lewis ら¹⁾は、フランジ付きの火花電極を用いて着火不可能なフランジ間距離を消炎距離と定義した。一般的に消炎距離は、火炎帯で発生した熱量がすべてその間隙を構成する固体壁に吸収される距離と考えられ、火炎帯厚みに比例し、隙間の長さとは無関係と考えられる²⁾。しかしながら、実際、複雑な定容容器内で、火炎が間隙を通過するときは隙間の長さが重要な因子であろうと考えられる。著者らはこれまで定容容器内での消炎現象について系統的に調べてきた³⁻⁵⁾。本報告では、隙間の長さが消炎距離への影響を調べた。

2. 実験装置および実験方法

Fig.1 に本研究で用いる定容容器の概略図を示す。燃焼室の容積は約 196 cm^3 であり、内部に $20 \times 32 \times 40\text{ mm}$, $25 \times 32 \times 40\text{ mm}$, $30 \times 32 \times 40\text{ mm}$, $35 \times 32 \times 40\text{ mm}$, $40 \times 32 \times 40\text{ mm}$ の真鍮製の直方体の五種類ブロックを設けることで間隙を形成する。燃焼室の上側を上流部、下側を下流部とする。間隙幅 D はスペーサによって $0.3 \sim 2.2\text{ mm}$ の範囲で変化させることができる。燃焼室両側面に光学ガラスが取り付けられており、燃焼室全体の可視化を可能としている。上流部、下流部には間隙から等しい位置に圧力変換器が取り付け、燃焼室内の圧力履歴を測定する。実験条件は燃料を水素とし、酸化剤を空気とする。水素-空気予混合気の初期圧力が $10 \sim 85\text{ kPa}$ 、間隙幅が 0.3 mm , 0.6 mm , 1.0 mm 、隙間の長さが $20\text{ mm} \sim 40\text{ mm}$ の5つのパターンで変化させる。また、燃料による違いを観測するため、燃料水素をメタンに変え、メタン-空気予混合気の初期圧が $25 \sim 130\text{ kPa}$ 、間隙幅が 1.0 mm , 1.6 mm , 2.2 mm 、隙間の長さが $20\text{ mm} \sim 40\text{ mm}$ の三つのパターンで変化させ、実験を行った。実験の手順としては、真空にした燃焼室内に予混合気を任意の初期圧力で充填し、十分時間を置いた後、燃焼室上流部に取り付けられている点火装置によって点火し、ストレイン型圧力変換器 (NEC 三栄、9E02-P5-2MPa) により、燃焼室内の上流部と下流部の圧力を測定する。

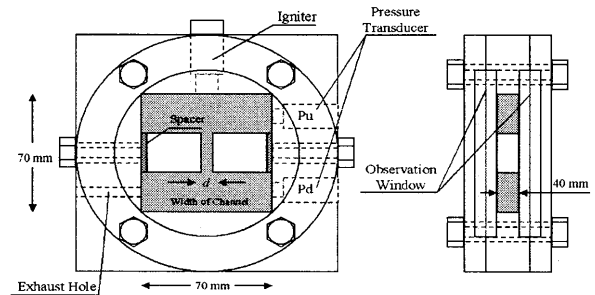


Fig.1 Experimental Setup

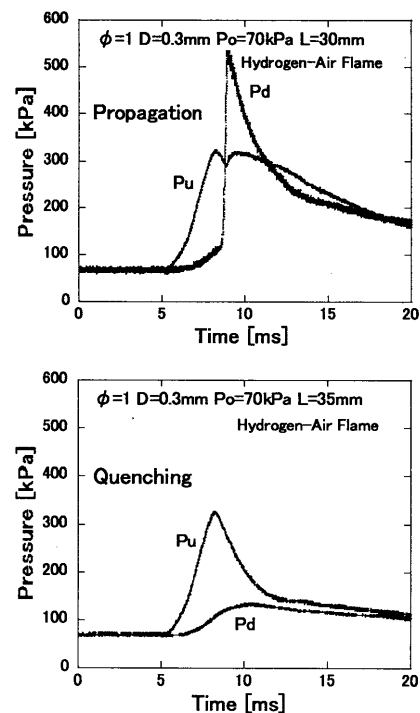


Fig.2 Pressure Histories

3. 実験結果および考察

Fig.2 に実験から得られた典型的な圧力波形を示す。現象として、火炎が間隙を伝ばする場合(上図)と火炎が間隙を消炎する場合(下図)が観測できた。実験条件は当量比 $\phi=1$ 、間隙幅 $D=0.3\text{mm}$ 、初期圧 70kPa である。ただ隙間の長さを変化させ、得られた結果である。 P_u は上流部の圧力を示し、 P_d は下流部の圧力を示す。火炎が伝ばした場合、上流部圧力の立ち上がりが高く、その後上流部の圧力が下がる時、下流部の圧力は急激な立ち上がりが見られ、上流部の圧力より高い圧力を示し、初期圧力の約 8~9 倍になることが分かる。それは下流部の圧力が立ち上がった瞬間の上流部の圧力が高く、火炎が既燃気体により押される力が強くなり、間隙内に進入する火炎速度が早くなると考えられるためである。消炎した場合は上流部だけ顕著に立ち上がり、最高圧力が初期圧力の約 4~5 倍になり、下流部の圧力が緩やかで、上流部の圧力を上回らない。それは火炎が上流部で燃焼し、下流部まで通過できなかったことを示している。火炎が下流部まで通過できない最大の初期圧力を臨界初期圧力と呼び、その時の間隙幅を消炎距離と定義する。

Fig. 3 には燃料水素(上図)と燃料メタン(下図)の隙間の長さとの臨界初期圧力の関係を示す。横軸は隙間の長さ、縦軸は臨界初期圧力である。隙間の長さが同じ場合、間隙幅が狭くなると、臨界初期圧力が大きくなる。また、間隙幅が同じ場合、隙間の長さを長くするにつれ、燃料水素と燃料メタン両方とも臨界初期圧力が大きくなる。ただし、燃料水素の図は燃料メタンの図と比べ、隙間の長さとの臨界初期圧力の関係はより顕著になることが分かる。それは水素の化学反応速度が速いため、定常状態になるのが遅く長い距離伝播しないと消炎しないからである。一方メタンでは化学反応速度が遅いので、すぐに定常になり早く消炎する。それゆえ、燃料メタンの図より隙間の長さを 30mm より長くしても消炎する初期圧力が余り変化しない。

Fig.4 に初期圧力と消炎距離の対数関係を表す。横軸は初期圧力、縦軸は消炎距離である。空点は燃料水素の隙間の長さ 20~40mm の 5 つのパターンを示し、実点は燃料メタンの隙間の長さ 20~40mm の三つのパターンを示す。どの隙間の長さに対しても初期圧力が大きくなると、消炎距離が小さくなる。消炎距離は初期圧力とほぼ直線になり、圧力に依存していることが分かる。初期圧が同じ場合、隙間の長さを長くするにつれ、消炎距離が大きくなる。隙間の長さは消炎距離に影響することが明らかとなった。

4. おわりに

狭い間隙による火炎伝播の阻止について、実験の結果から、以下のことが分かった。

- (1) 隙間の長さによって単に壁面への熱損失の影響だけではなく、火炎が間隙内に進入する火炎速度にも関連していることが明らかとなった。
- (2) 初期圧が同じ場合、隙間の長さを長くするにつれ、消炎距離は大きくなる。隙間の長さは消炎距離に影響することが明らかとなった。
- (3) 水素-空気系の隙間の長さの影響がメタン-空気系と比べ、消炎距離に強く影響することが分かった。
- (4) 初期圧力が大きくなると、消炎距離が小さくなる。消炎距離は初期圧力とほぼ直線になり、圧力に依存していることが分かった。

参考文献

1. Lewis von Elbe, Combustion, Flame and Explosion of Gases 3rd Edition, p.240 and p.336 (1987).

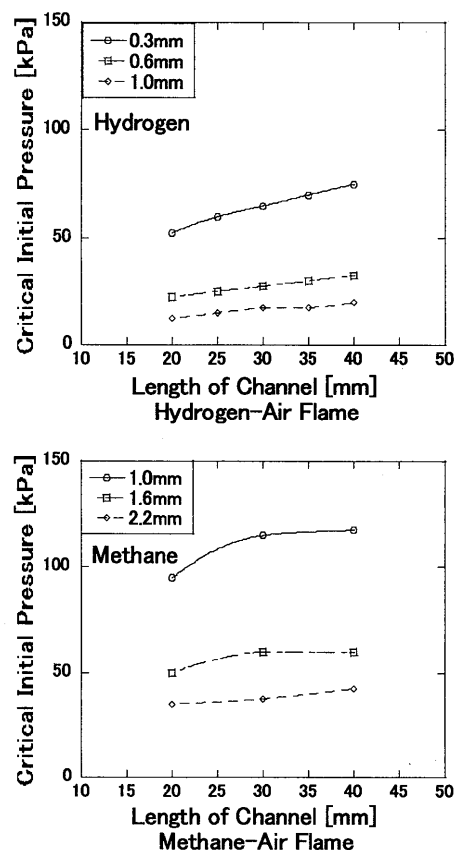


Fig.3 Effect of Length of Channel on Critical Initial Pressure

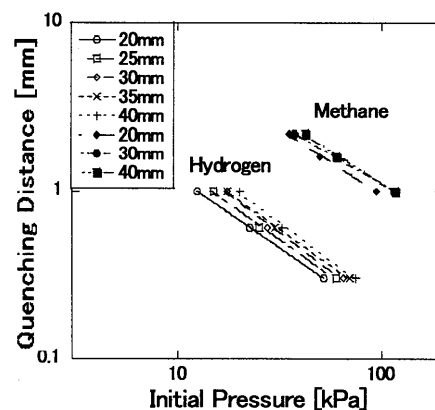


Fig.4 Effect of Initial Pressure on Quenching Distance

2. 日本機械学会編, 燃焼工学ハンドブック, p.23 (1995).
3. 成澤ら, 第 43 回燃焼シンポ, pp.24-25 (2005).
4. 仁科ら, 第 44 回燃焼シンポジウム, pp.392-393 (2006).
5. 小原ら, 機論(B 編), 72-720, pp.2018-2025, (2006).