A131 非定常火炎噴流による定容燃焼容器内予混合ガスの 着火・燃焼過程の可視化観察

Optical Observations of Ignition and Combustion Processes
by a Flame Jet in a Prechamber Combustor

○瀬尾 洋充(名工大院) 石野 洋二郎(名工大) 大岩 紀生(名工大)

Hiromitsu SEO*, Yojiro ISHINO* and Norio OHIWA*

* Nagoya Institute of Technology, Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya 466-8555

Ignition and combustion processes in a prechamber combustor by a flame jet are experimentally investigated using schlieren photography. The effects of the nozzle diameter on the structure of flame jet, ignition process, and subsequent combustion process in the main chamber are examined by combining schlieren observations and main chamber pressure histories. The structure of flame jet is found to be greatly influenced by the nozzle diameter, and can be classified into four types; a high speed jet of hot combustion products without flame kernels, one including a small amount of flame kernels and rich active species, a relatively high speed jet containing with flame kernels, and a low speed flame column. Depending on these flame jet properties, the ignition and combustion processes in the main chamber are also divided into four types; extinction of a flame jet, extremely rapid explosion after a long ignition delay time, relatively rapid turbulent combustion with fine wrinkles, and spherically propagating slow wrinkled laminar combustion.

Keywords: Combustion, Prechamber Combustor, Flame Jet Ignition

1. 緒言

本研究は副室式燃焼器において、噴流による予混合気への着火および燃焼機構を解明することを目的としている。本燃焼器を用いた基礎研究ではこれまでに多くの有用な結果^{1)~3)}を得てきた。

本論文では副室式燃焼器を用い、燃料に天然ガスの主成分であるメタン(CH_4)を使用し、瞬間シュリーレン写真、燃焼室内圧力変化を測定することで燃焼形態の観察および分類を行った。

2. 実験装置

2・1 燃焼器

Fig.1 に本実験で用いた燃焼器およびノズルの詳細を示す。燃焼器は円筒形を有し、内径 80[mm]、厚さ 30[mm]の主室と内径 25[mm]、厚さ 30[mm]の副室から成り、両室は交換可能な円筒形ノズルによって連絡されている。主室と副室の体積比は 10:1 である。また両燃焼室の側壁はパイレックスガラス製で、光学撮影が可能である。ノズル中心軸上の副室左端には点火プラグが設置されている。ノズルは内径 $d=3.6, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12$ および 14[mm]の 9 種類を用いた。

2・2 測定装置および測定方法

燃焼室内圧力変化の測定と波形記録には、バルク形半導体圧力トランスデューサ(豊田工機製, PMS-5M 2M)、水冷アダプタ(豊田工機製, PWA-5)、直流増幅器(豊田工機製, AA6010)、デジタルオシロスコープ(Tektronix 製, TDS340AP)を用いた。

光学的観察には、キセノンフラッシュ(発光半値幅 10[μs])を光源とする 2 枚の凹面鏡から成る通常の Z 形シュリーレン光学系およびカメラ(ニコン, F90X, 焦点距離 200[mm], F3.5 レンズ装着)を用いて行った。

撮影に際しては、カメラのシャッターを開放の状態にし、火花放電から任意の遅延時間でキセノンランプを発光させることで点火後の任意の時間の瞬間シュリーレン写真を得た。燃焼の再現性が良いので、同じ燃焼条件のもとで、発光のタイミングのみを順次遅らせて 1 コマずつ撮影することで対象としている燃焼過程の一連のシュリーレン写真を得た。

3. 結果および考察

本論文では副室式燃焼器内の乱流火炎伝播の機構を解析する。9 種類のノズルのうちで特徴的な挙動を示す $d=3.6, 4, 8$ および 14[mm]のノズルの場合につい

Fig.1 Construction of the prechamber combustor and nozzle

Fig.2 Time histories of the main chamber pressure

て、当量比を $\phi=1.0$ に固定し、それぞれ燃焼器内圧力変化 (Fig.2) および瞬間シュリーレン写真 (Fig.3) を示す。
 (a) $d=3.6$ [mm] 副室内において点火された火炎は、点火後 5 [ms] にはノズルを通過し、噴流となって主室内に放出される。この高速噴流は、ノズル通過時の冷却作用およびせん断領域で形成されるごく小さいスケールの強い乱れと激しい未燃混合気の誘引による冷却作用のため、火炎核をもたない燃焼ガスとして存在していると考えられる。また、Fig.2 からわかるように燃焼室内圧力がわずかに上昇しているもののシュリーレン写真、圧力波形をみると、主室での着火には至っていないことが確認できる。
 (b) $d=4$ [mm] $d=4$ [mm] と $d=3.6$ [mm] との違いは、 $d=3.6$ [mm] において主室内での着火が起こっていないのに対して、 $d=4$ [mm] では 18 [ms] で主室中央付近、扇形になった噴流の先端部分の広い領域のいたるところでごく小さなスケールの火炎が発生していることである。ここでは、循環流によって生じた強く小さなス

ケールの乱れを伴う主室内未燃予混合気が主室のほぼ全域において反応している。これは副室からの燃焼ガスおよび活性化学種を伴った高速噴流が、循環流もしくは噴流自身によって主室全域へ分散し、高速噴流の濃度が最も大きくなるよどみ点付近での着火によって一気に反応したためと考えられ、いわば超分散反応帯ともいべき様相を呈している。

(c) $d=8$ [mm] $d=8$ [mm] の場合は、ノズル径の増大に伴う噴流速度と冷却作用の低下によって、主室内混合気の着火は、噴流が主室右端壁に到達する前に行われる。写真からもわかるように $d=3.6, 4$ [mm] でみられた主室内壁に沿う循環流が発生していない。噴出初期、噴流のせん断領域において形成される小さなスケールの乱れに誘引された未燃予混合気に、主室中央付近で着火、火炎を伴ったプルーム状の噴流が主室右端壁に到達する (8 [ms])。

(d) $d=14$ [mm] $d=14$ [mm] の場合には、初期噴流においてすでに明確な火炎面を有した火炎柱が存在している (6 [ms])。その後の燃焼は、球面状に伝播する大きいスケールのしわ状層流火炎 (~ 28 [ms]) の形態をとる。

4. 結言

(1) 副室からの火炎噴流の特性およびその後の主室内燃焼過程はノズル径により大きく変化し、(a) 不着火 (b) 超分散火炎 (c) プルーム状に伝播するしわ状層流火炎および (d) 球面状に伝播するしわ状層流火炎の 4 形態に分類することができる。

(2) 以上からノズル径の変化は、火炎噴流の噴流速度とその持続時間およびノズル通過時の冷却作用を変化させ、着火・燃焼形態に大きな影響を与えることが示された。

参考文献

- 1) 山口・他 3 名, 機論, 47-419, B(1981) 1390-1399.
- 2) 山口・大岩, 機論, 49-444, B(1983), 1799-1809.
- 3) 大岩・他 3 名, 機論, 52-482, B(1986), 3609-3615.

Fig.3 Flash schlieren photographs of the combustion processes in the main chamber