Combustion Characteristics of Diffusion Flame by Swirling Fuel Flow

○学 古里 拓也 (鹿児島大院) 正 井手 英夫 (鹿児島大)
正 矢野 利明 (鹿児島大) 伊東 克郎 (鹿児島大)

Takuya FURUSATO, Hideo IDE, Toshiaki YANO, Katsurou ITO

Kagoshima University, 1-21-40, Korimoto, Kagoshima, Japan

Key Words : Combustion, Swirling Flow, Diffusion Flame

1. まえがき

火炎の安定燃焼は、燃焼器の信頼性と安全性を確保する上で、きわめて重要な技術である。そして、保炎性能の向上や新しい保炎方法の開発に際し、保炎機構の解明が重要となる⁽¹⁾。保炎方法のひとつに、同軸二重円管を用いて環状部から燃料を供給するブラストバーナー⁽²⁾がある。

ブラストバーナーの燃焼状態は、燃料と酸化剤の流速のバランスによる混合状態で決まる。混合の割合によっては火炎長が非常に長くなったり、燃焼状態が不安定になったりする。燃焼器のコンパクト化と安定化という見地では改善を要する点である。

本研究で使用するバーナーは、火炎長の短縮化と保炎性能の向上を目的として、燃料と酸化剤をより混合させるために燃料流に旋回を与えている。旋回流には流体の混合を促進する働きがあり、多種多様な装置や機器に取り入れられている⁽³⁾。

本研究においては、デジタルビデオカメラによる火炎の直接画像の撮影と、熱電対を用いた温度分布測定から主に火炎基部の構造を解析し、その燃焼特性を解明した。さらに、従来のブラストバーナーと本研究で得られた火炎長さや浮き上がり高さを比較し、バーナーの性能改善について検討したことを述べている。

2. 記号

Di : ノズル外管内径	[mm]
Do : ノズル外管外径	[mm]
di : ノズル内管内径	[mm]
do : ノズル内管外径	[mm]
Nh : 絞り部端からのノズル長さ	[mm]
Q : 流量	[m ³ /s]
A : 環状部断面積	$A = \pi (D_i^2 - d_o^2) / 4$ [mm ²]
V : 燃料流平均流速	$V = Q / A$ [m/s]
Re : レイノルズ数	$Re = DhV / \nu$
Dh : 相当直径	$Dh = D_i - d_o$ [mm]
ν : プロパンの動粘性係数	[m ² /s]
Fh : 火炎全長	[mm]
Lh : 火炎の浮き上がり高さ	[mm]

3. 実験装置および方法

Fig.1 に実験装置の概略を示す。燃料であるプロパンは、ボンベから噴出しニードルバルブによって流量を調整され、オリフィスマノメータで流量は計測される。オリフィスを通じた燃料はバーナーに流入する。バーナー内の旋回発生部は渦巻き形状になっており、周方向から流入した燃料が壁面に沿って中心部のノズル内に流れることで旋回流となる。旋回

流となった燃料流は絞り部を通過しノズルから噴出する。

火炎形状は、デジタルビデオカメラで火炎側面から火炎全体と火炎基部を撮影し、データをパソコンに取り込み、1コマ 1/30[sec]ごとの画像から火炎長さ・浮き上がり高さを計測した。火炎の温度分布は R 型熱電対を用い、温度測定記録装置であるキーエンス社の NR-1000 を通じてパソコンに測定結果を記録した。温度測定の範囲はノズルが軸対称であるので、半径方向はノズル中心から 20[mm]、軸方向は火炎基部底面から 20[mm]の火炎基部を対象とし、軸・半径方向ともに 2[mm]ごとに測定した。熱電対の位置調整にはトラバース装置を用いた。実験条件は Table.1 に示す。

Table.1 Experimental condition

	Do[mm]	Di[mm]	do[mm]	di[mm]	Nh[mm]	A[mm ²]	Dh[mm]
Nozle.1	8	6	5	3	10	8.6	1
Nozle.2	10	8	5	3	10	30.6	3
Nozle.3	13	11	5	3	10	75.4	6
Nozle.4	10	8	5	3	5	30.6	3
Nozle.5	10	8	5	3	15	30.6	3
Q[×10 ⁻³ m ³ /s]	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6

a: Burner, b: Orifice Manometer, c: Needle Valve, d: Propane Tank
e: Thermocouple, f: Traverse, g: NR-1000, h: Digital Video Camera
i: Personal Computer

Fig.1 Experimental apparatus

4. 実験結果と考察

本研究の実験範囲で観察された火炎形状の特徴を述べるために代表的な火炎について考察する。Fig.2(a)は火炎全体を、Fig.2(b)はその火炎基部を撮影したものである。火炎全体としては螺旋形状をしている。火炎基部は逆円錐形で、青炎になっており、予混合火炎のように燃料と酸化剤が理想的な割合で混合し燃焼していると云える。火炎基部から下流の、青炎から黄炎に変わる領域では火炎幅が急拡大している。

Fig.3 は同条件での火炎基部の温度分布であり、範囲はFig.2(b)の赤枠①内にあたる。半径方向ではノズルから中心にかけて 400°C 以下の低温になっており、火炎が存在しないことがわかる。火炎の外側での反応が激しいことから、中心管から誘引される空気より火炎外周の空気との混合が促進されていると推測される。

Fig.2 Flame image

($D_i=10[\text{mm}]$, $N_h=10[\text{mm}]$, $Q=0.2 \times 10^{-3} [\text{m}^3/\text{s}]$)

Fig.3 Temperature distribution

Fig.4 は火炎全長 F_h に対するレイノルズ数の影響を示している。Fig.4(a)は、ノズル外管の径が異なるバーナーと旋回をかけない従来のプラストバーナーの火炎である。st は旋回流のない従来のプラストバーナーのものである。Fig.4(a)から、旋回のある場合 D_i が大きいものほど火炎全長が短くなっていることがわかる。Fig.4(b)は絞り部からのノズル長さ N_h が異なるバーナーの火炎である。 N_h が長い程火炎全長が短くなる傾向がみられるが、レイノルズ数が小さいところでは $N_h=15[\text{mm}]$ と $N_h=10[\text{mm}]$ の火炎全長が逆転する。

Fig.5 は火炎の浮き上がり高さ L_h のレイノルズ数に対する変化を表す。Fig.5(a)は D_i が異なるバーナーと従来のプラストバーナーの比較である。旋回をかけたバーナーでは、 Re が大きくなるにつれ浮き上がり高さの増加が鈍く、 D_i が小さい程浮き上がり高さが大きくなっている。従来のプラストバーナーと旋回をかけたバーナーとの比較から、レイノルズ数が小さい範囲では従来のプラストバーナーの方が浮き上がり高さは低くなっている。しかし、レイノルズ数の増加により浮き上がり高さの増加も激しくなっている。このことから、

燃料を大量に燃焼させる必要のある高負荷燃焼での保炎性は、旋回をかけた本研究のバーナーが優れていると言える。

Fig.5(b)は浮き上がり高さ L_h に対するノズル長さ N_h の影響を表す。浮き上がり高さはノズル長さが短い程低くなる傾向はみられる。また、 $N_h=15[\text{mm}]$ では $Re=230$ まで火炎がノズルに付着する。

Fig.4 Flame height

Fig.5 Lift up height

5. むすび

環状断面から旋回燃料流を噴出する方式のバーナーの火炎形状と温度分布を調べ、従来のプラストバーナーと比較することから以下のことがわかった。

- (1) 旋回燃料流による火炎形状の特徴が明らかになった。
- (2) 燃料流に旋回をかけることで、火炎長を従来のプラストバーナーの約 50% 以下におさえることが出来る。
- (3) 燃料流に旋回をかけた場合、ノズル径が大きくなるほど、またはノズル長さが小さいほど浮き上がり高さは小さくなる。

文献

- (1) 辻, 機械の研究 燃焼現象論, (1976-1978)
- (2) 松川, 修士論文, (2001)
- (3) 高木ら, 機論, 49-441, (1983), pp1078-1085