ブンゼン式バーナの高負荷化*

渡辺 成夫^{*1}, 田嶋 孝二^{*1}
西村 厚司^{*2}, 宮内 敏雄^{*3}

High-Intensity Combustion of the Bunsen Burner

Shigeo WATANABE, Koji TAJIMA,
Atsushi NISHIMURA, and Toshio MIYAUCHI

The high-intensity combustion of the Bunsen burner was examined for the purpose of the compaction of domestic water heaters. The experiments with a burner port model clarified the relations between the specifications of various burner ports, flame retention mechanisms, flame holder, arrangement of burner port slits, and combustion characteristics. Furthermore, it was found that the acceleration of the secondary air diffusion by installing diffusion plates between the burners downstream of the burner ports shortened the flame length. Consequently, the calorific capacity of the combustion chamber increased to $2 \times 10^4 \text{ kW/m}^3$ which is equivalent to three to four times that of the conventional burners, and reduced the combustion noise.

Key Words: Combustion, High-Intensity Combustion, Burner, Combustion Characteristics, Flame, Flame Stabilization, Combustion Noise

1. 緒 言

家庭内セントラル給湯の普及に伴い、給湯機に対する大能力化、多機能化、コンパクト化の要求が高まっている⁽¹⁾⁽²⁾。特に、ガス給湯機の市場では、従来品に比べ大幅なコンパクト化を図った製品の開発が、急速に進められている。

ガス給湯機をコンパクト化するためには、高負荷燃焼により、体積の約 1/3 を占める燃焼部と燃焼空間を小形化することが必要である。一般に、高負荷燃焼の尺度は、燃焼室負荷（単位体積、時間当たりの燃焼量）で示され、従来品は $5 \times 10^3 \text{ kW/m}^3$ 程度であった。すなわち、燃焼室負荷を $1.5 \times 10^4 \sim 2 \times 10^4 \text{ kW/m}^3$ まで高めることによって、製品体積を従来の 1/2～1/4 にコンパクト化することが可能となる。

また、ガス給湯機に使用されるバーナには、比例制御に対応するため TDR [ターンダウン比（実入力/最大入力）] の範囲が広いこと、全国で供給される物性の

異なる各種燃料ガスに対し、はん用性をもつことなどが要求される。

そこで筆者らは、火炎の安定化と高負荷化に有利な部分予混合方式であるブンゼン式バーナを取り上げ、バーナ各部の因子と燃焼性能との関係を明らかにしながら、高負荷バーナの開発を進めることにした。

2. ブンゼン式バーナの燃焼性能

図 1 にガス給湯機の基本構造を示す。ガス給湯機は、バーナ、ファン、燃焼室、熱交換器などで構成されている。燃料ガスは、各バーナに対応したノズルからバーナ内部へ噴射される。この際、噴流によるエゼクタ効果などによって、燃焼用空気の一部が一次空気として流入する。

一般に、ブンゼン式バーナでは、一次空気比（理論空気量に対する一次空気量の比） λ_1 を高くすると、炎口から噴出する予混合ガスの速度が大きくなり、火炎が浮き上がる現象であるリフトが発生する。逆に λ_1 を低くすると、火炎中に発生した遊離炭素が発光する現象であるイエロが発生する。また、入力を小さくして λ_1 を高くすると、炎口からの噴出速度が小さい状態で燃焼速度が大きくなり、炎口部が異常に加熱される赤熱が発生する。さらに、JIS では、完全燃焼の指標である

* 昭和 62 年 11 月 3 日 第 25 回燃焼シンポジウムにおいて講演、原稿受付 昭和 63 年 11 月 28 日。

^{*1} 正員、日立化成工業(株)下館研究所 (〒308 下館市下江連 1250)。

^{*2} 日立化成工業(株)下館研究所。

^{*3} 正員、東京工業大学工学部 (〒152 東京都目黒区大岡山 2-12-1)。

CO/CO₂を0.02以下にする必要があり、本研究ではCO/CO₂≤0.01を目標とした。以下、イエロ、リフト、赤熱およびCO/CO₂=0.01となる各燃焼限界で囲まれる範囲を良好範囲とし、性能を評価した。

3. 炎口部のモデル実験

図2に炎口部のモデル実験装置を示す。本装置に各種炎口を取付け、 λ_1 を変化させて各燃焼限界を求めた。燃料ガスには、燃焼性が悪いプロパン、ブタン、燃焼速度が遅いメタン、燃焼速度が速い6C-2を使用した。入力力は3~0.6 kW、TDRは1~1/5、最大入力時の燃焼室負荷は 1.5×10^4 kW/m³である。

図3に供試炎口を示す。タイプAは主炎口スリットだけの炎口、タイプBは保炎板を設けた炎口、タイプCは保炎板とそこで火機構を設けた炎口である。また、

主炎口については、等間隔にスリットを設けた等間隔配列、複数のスリットで小炎口群を形成した小分割配列、複数の小炎口群で大炎口群を形成した大分割配列について検討した⁽³⁾⁽⁴⁾。

図4にタイプA、B、Cの炎口の燃焼性能を比較して示す。燃料ガスはプロパンと6C-2であり、どちらもタイプA<B<Cの順で、各燃焼限界 λ_1 が高くなっている。特に、プロパンの場合タイプA、Bでは、入力 I を大きくすると、リフト限界 λ_1 が急激に低下するため、良好範囲が狭く、高負荷化を図るにはタイプCの炎口構成が有利であることがわかる。そこで火は主炎の基部に高温部を形成することにより、また、保炎板は後流側に再循環流を形成することにより、それぞれ主炎を安定化させる効果をもつ、しかし、両者とも、二次空気の拡散を阻害するため、イエロ、CO限界 λ_1 が

図1 ガス給湯機の基本構造

図2 炎口部モデル実験装置

図3 供試炎口仕様

高くなる欠点をもつ。そこで、そこで火および保炎板の仕様と燃焼性能との関係を明らかにし、さらに、バーナの使用範囲を考慮して各部の最適化を図った。

図5に、主炎口スリット配列と燃焼性能との関係を示す。等間隔配列でスリット幅 w 、スリット深さ h 、スリットピッチ p などを変化させた場合の各燃焼限界は、炎口負荷 (入力/炎口面積) P_v で整理でき、一点鎖線で示すようになった。これに対し小分割配列では、イエロ限界 λ_1 が低くなること、大分割配列では、小分割配列に比べて、CO限界 λ_1 が低くなることからわかる。これは、分割部から二次空気が入りやすくなり、火炎の細分化と二次空気の拡散が促進されるためである。

図4 炎口部基本構成と燃焼性能

図5 主炎口スリット配列と燃焼性能

る。

以上の基礎的検討を基に、図6に示すバーナを開発した。図7には、本バーナの燃焼性能を示す。物性の異なる各燃料ガスに対し、十分に広い良好範囲が得られている。

4. 燃焼室組込み性能の検討

次に、開発したバーナを燃焼室に組み込んで、さらに高負荷化を図る検討を行った。高負荷化を図るには、二次空気の拡散を促進させて、火炎長を短くすることが有効である。そこで、図8に示すように、バーナ上方に拡散板を設け、二次空気の流れと燃焼性能との関係について検討した。

図9に、拡散板の各部仕様とCO/CO₂、騒音レベル

図6 開発バーナの構造

図7 開発バーナの燃焼性能

図 8 拡散板仕様

図 9 拡散板仕様と CO/CO₂, 騒音レベル

との関係を示す。燃焼室負荷 I_v は $1.5 \times 10^4 \text{ kW/m}^2$ である。拡散板角度 θ については、 θ を大きくすると、CO/CO₂ は小さくなるが、騒音レベルが大きくなる。特に、 $\theta \geq 90^\circ$ では、CO/CO₂ に大きな変化はなく、騒音レベルだけが大きくなる。拡散板幅 W については、 $W = 5 \text{ mm}$ で CO/CO₂ が最小値をとることがわかる。これは、 W が小さすぎると、二次空気の流れに対し拡散板の効果が少なくなるためであり、逆に、 W が大きくなると、図 6 に示した保炎板切欠部を通して、大炎口群間を、二次空気が火炎と平行に流れやすくなるためである。また、 W が大きくなると、火炎の乱れが大きくなるため、騒音レベルは増加している。位置 H については、 $H = 15 \text{ mm}$ では二次空気の拡散が遅くなるため CO/CO₂ が大きくなり、 $H = 0 \text{ mm}$ では、二次空気により火炎の基部が乱されるので、騒音レベルが

図 10 燃焼室負荷と CO/CO₂

増加している。

図 10 に、燃焼室負荷 I_v と CO/CO₂ との関係を示す。 $I_v = 1.5 \times 10^4 \text{ kW/m}^2$ の場合、拡散板を設けることにより、二次空気の拡散が促進され CO/CO₂ ≤ 0.01 を満足する λ, λ_1 の範囲が広がっている。さらに、 $I_v = 2.0 \times 10^4 \text{ kW/m}^2$ の場合でも十分に広い λ, λ_1 の範囲で目標を達成することがわかる。

5. 結 論

ガス給湯機のコンパクト化を図るため、ブンゼン式バーナに関する各種検討を行い、次の結論を得た。

- (1) 炎口部のモデル実験により、高負荷化を図るには、そで火と保炎板が有効であることを明らかにし、それらの仕様と燃焼性能との関係を明らかにした。
- (2) 主炎口スリットを大分割配列にすることにより、二次空気の拡散を促進できることが明らかとなった。
- (3) 以上の基礎的検討を基に、各種燃料ガスに対し、広い入力範囲で安定した性能をもつバーナを開発することができた。
- (4) 二次空気の拡散を促進させるために、バーナ上方に拡散板を設け、拡散板各部の影響を明らかにすることにより、低騒音化と高負荷化を両立させ、燃焼室負荷 $2 \times 10^4 \text{ kW/m}^2$ を達成することができた。

文 献

- (1) 竹中, ガス協会誌, 6-38(1985), 28.
- (2) 岩崎, 住宅設備, 7-4(1986), 34.
- (3) 服部, 機論, 30-210(1964), 320.
- (4) 川口・木下・佐藤, 機論, 51-467, B(1985), 2464.