

(22)

大型熱風炉の燃焼解析

(熱風炉の最適燃焼に関する研究-1)

日本鋼管(株)技術研究所

佐野和夫 ○宮崎孝雄

福山製鉄所

牧 章

1. 緒言：熱風炉における燃焼解析は、重要な問題にも拘らず、従来試みられた例が少ない。本報告では、大型熱風炉の燃焼最適化技術の確立を目指し、第1ステップとして現状の大型熱風炉の燃焼解析を行った。
2. 火焰温度分布の推定：熱風炉燃焼室内における平均的なガス温度分布 $\theta(t)$ は、Heiligenstadt¹⁾、矢木-佐治²⁾らの式を応用して次式で求められる。

$$\theta(t) = q_0/C_p \left(\frac{k}{k-\nu} \right) (e^{-\nu t} - e^{-kt}) + (\theta_0 + 273)e^{-\nu t} + 273 \quad (1)$$

q_0 : 燃焼ガス 1 N m³ 当りの発熱量 (kcal/Nm³)、 C_p : 燃焼ガス平均比熱 (kcal/Nm³)、 k : 平均燃焼速度係数 (sec⁻¹)、 ν : 平均放熱速度係数 (sec⁻¹)、 θ_0 : 空気-ガス平均温度 (°C)、 t : 時間 (sec)

(1)式を距離の関数に直す場合は、燃焼室内の平均流速 $U(t)$ を次式(2)によって求め、(1)、(2)式を組み合わせる。この際、燃焼率 $(1 - e^{-kt})$ が 99% に達した点として、火焰長さも求めることができる。

$$U(t) = \left(\frac{\theta(t) + 273}{273} \right) \left(\frac{1}{S} \right) \{ V_b + (1 + R V_a - V_b) e^{-kt} \} V_f \quad (2)$$

S : 燃焼室断面積 (m²)、 $R V_a$: 燃料ガス 1 N m³ 当りの空気量 (Nm³/Nm³)、 V_b : 燃料ガス 1 N m³ 当りの燃焼ガス量 (Nm³/Nm³)、 V_f : 燃料ガス流量 (Nm³/sec)

3. 着火点位置の推定：着火点位置は、乱流燃焼速度 St とバーナ噴出速度 $U_j(x)$ がバランスした点と考える。 St の決定は、Andrews³⁾、Batchlor⁴⁾らの研究を参考にして以下の式を導いた。

$$St = \left[1 + 3.5 \times 10^{-2} \sqrt{\frac{W U_j}{\nu}} \left\{ \frac{r(2-r)}{1-r} \right\}^{0.25} \right] S_l \quad (3)$$

W : 格子レンガ巾 (m)、 M : 格子メッシュの断面積の平方根 (m)、 $r = W/M$ 、 ν : 動粘性係数 (m²/sec)、 S_l : 層流燃焼速度 (m/sec)。

他方、実炉における実測値より、バーナ噴出速度 $U_j(x)$ は、ほぼ次式によって表わすことができる。

$$U_j(x) = (U_0 - U_s) e^{-0.91x} + U_s \quad (4)$$

U_0 : バーナ出口流速 ($U_j(0)$; m/sec)、 U_s : 燃焼室空塔流速 (未燃焼の場合; m/sec)、 x : バーナ上面からの距離 (m)。

着火点は、(3)、(4)式を組み合わせることで決定できる。

4. 結果：福山第3高炉熱風炉において燃焼試験を実施し、(1)式で仮定した k 、 ν の値として、 $k = 2.0 \sim 4.0$ 、 $\nu = 0.04 \sim 0.10$ の値を得た。これらの値を用いた計算結果は、Fig. 1. に1例を示すように、実測値とほぼ一致する。この解析結果から着火点は 0.75 m、火焰長さ(着火点より)は 22.1 m が得られ現状の火焰は、多少長めになっていることが判明した。これらの解析を熱風炉に適用することにより、燃焼状況の把握、新設、改修熱風炉の設計基準の確立が可能となった。

5. 参考文献：1) M. W. Thring: The Science of Flame and Furnaces (1962)、P165、John Wiley & Sons
2) 矢木栄、国井大蔵：工業窯炉 (1953)、P230、共立出版
3) G. E. Andrews, D. Bradley: 15th Symposium on Combustion (1974)、P655
4) J. O. Hinze: Turbulence (1959)、P214、MacGraw-Hill

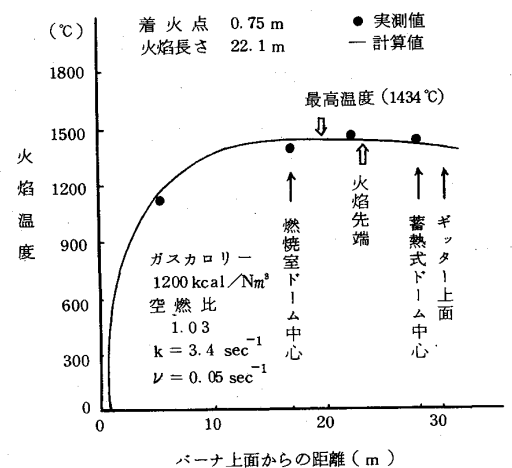


Fig.1. 福山第3高炉熱風炉の火焰温度分布 (S49. 1月)