

(107) 超音速ジェットの輸送現象

名古屋大学工学部

○伊東修三

名古屋大学工学部

工博 靱 巖

1. 緒言 純酸素上吹転炉における超音速ジェットの速度特性については、従来、常温における中心軸速度分布を実験的に求め、半径方向にはガウス分布が適用されているが、転炉内のように高温ふん囲気中に低温度のジェットが噴射される場合に、これら速度分布をそのまま適用することは妥当ではない。

なお鋼浴凹み界面に到達するジェットのガス組成や温度についてはほとんど知られていない現状である。本研究では、超音速ジェットの噴射に伴う運動量、熱、物質の同時輸送現象について工学的な理論解析を行ない、L/D転炉におけるジェットの操作条件や炉内ふん囲気がジェット特性に及ぼす影響を調べ、転炉プロセスの数学的モデルの基礎資料を求めた。

2. 解析：結果 (仮定) i. ジェット内で反応は起らない。ii. ジェットは軸対称で乱流圧縮性。iii. 乱流プラントル数や乱流レイス数は1に近い。iv. ジェット外部のふん囲気はジェット軸と平行な一様流か静止ガスとする。v. 外側ふん囲気の温度、濃度は均一である。

このとき流れを支配する基礎式としての連続の式および運動量、エンタルピ、物質の各収支式は(1)~(4)式で示される。なお境界条件は変換された座標平面上の $\Psi=0$ での正規条件とともに(5)~(7)式で与えられる。これら基礎式から解として(8)式が得られ、中心軸上の解は(9)式となる。

$$\frac{\partial(\rho U R)}{\partial X} + \frac{\partial(\rho V R)}{\partial R} = 0$$

$$(1) \quad \rho U \frac{\partial U}{\partial X} + \rho V \frac{\partial U}{\partial R} = \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} \{ (\rho E) R \frac{\partial U}{\partial R} \} \quad (2)$$

$$\rho U \frac{\partial H}{\partial X} + \rho V \frac{\partial H}{\partial R} = \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} \left\{ \frac{1}{Pr} (\rho E) R \frac{\partial H}{\partial R} \right\} \quad (3) \quad \rho U \frac{\partial Y_i}{\partial X} + \rho V \frac{\partial Y_i}{\partial R} = \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} \left\{ \frac{1}{Sc_i} (\rho E) R \frac{\partial Y_i}{\partial R} \right\} \quad (4)$$

$$E_k(\xi_k, \infty) = E_{ke} \quad (5) \quad E_k(\xi_k, 0) = \text{有限} \quad (6) \quad E_k(0, \Psi) = \begin{cases} E_{k1} - E_{ke}, & 0 \leq \Psi \leq \Psi_f \\ 0, & \Psi_f < \Psi \end{cases} \quad (7)$$

$$\bar{E} = \frac{E_k - E_{ke}}{E_{k1} - E_{ke}} = \frac{1}{2\xi_k} \exp\left(-\frac{\Psi^2}{4\xi_k}\right) \int_0^{\Psi_f} \exp\left(-\frac{\Psi'^2}{4\xi_k}\right) \cdot I_0\left(\frac{\Psi\Psi'}{2\xi_k}\right) \Psi' d\Psi' \quad (8) \quad \bar{E}_m = \bar{E}(\xi_k, 0) = 1 - \exp\left(-\frac{\Psi_f^2}{4\xi_k}\right) \quad (9)$$

ここで変換された中心軸距離 ξ_k は半理論的に決定でき、そのための速度データは以前の実験データに基づいて解析した。中心軸速度の解析結果と実験データを図1に比較した。凹み界面のジェット中心軸上の岐点における温度、組成、マッハ数を図2に示した。

(記号) U : 軸方向速度, V : 半径方向速度, ρ : 混合ガス密度, X : 軸方向距離, R : 半径方向距離, (ρE) : 乱流渦粘性係数, $E = U \cdot H$, Y_i : i 成分の質量濃度, H : 岐点エンタルピ, Ψ : 流れ関数, M_0 : 岐点マッハ数, t_0 : 岐点温度, Pr : 乱流プラントル数, Sc : 乱流シュミット数, P_0 : タンク圧, L : ランス高さ, R_0 : 凹み深さ, D_k : ノズルスロート径

(添字) 1: ノズル出口, e : ふん囲気, k : U, H, Y_i , Δ : 岐点, m : 中心軸, i : 化学種, 0 : タンク圧

1) 大槻, 靱: 鉄と鋼, 53 (1967)

第7号, P. 794

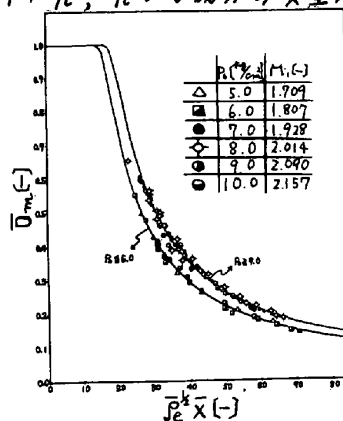


図1 $\bar{U}_e \bar{X}$ 対 $\bar{U}_m$

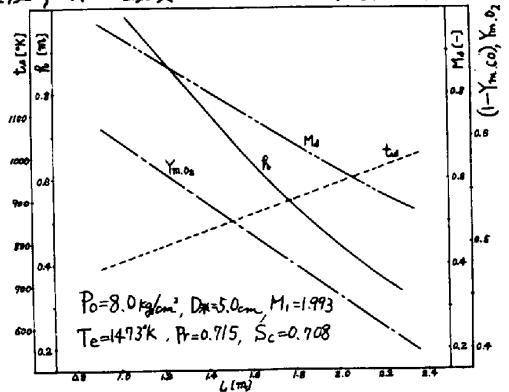


図2 ジェット中心軸上岐点での諸特性