

(14) 溶融帯・羽口間の高炉の動的挙動

名古屋大学大学院

○堀尾正毅

名古屋大学工学部

鞭 巖

1. 緒言 高炉の動的挙動を知るための基礎的資料として、筆者らは前報¹⁾で、溶融帯の動的挙動について、集中定数系近似で表現する数学的モデルを提出したが、本研究では、まず、溶融帯における諸変数の分布を考慮した解析を行ない、それにより集中定数系近似の妥当性を検討した。溶融帯下端・羽口間については、槽列モデルに基づいて動的挙動を解析し、溶融帯の集中定数系モデルと結合させて、羽口からの送風条件の変動に対する応答を調べた。

2. 解析方法 溶融帯下端・羽口間では、固、液、気の三相間の熱交換を考え、溶融ウスタイトの直接還元反応を考慮する。ガスと融体は準定常的に取扱い、コークスについては、熱の蓄積を考慮した。得られた結果を下に示す。

[溶融帯下端・羽口間の式] $f_j = f_{j+1} + R_{3j}^* / (1.5 V_m X_{FeM}) \dots (1), \quad V_j = V_{j+1} + R_{3j}^* \dots (2),$
 $v_{j+1} = v_j + R_{3j}^* \dots (3), \quad x_j = (V_{j+1} x_{j+1} + R_{3j}^*) / V_j \dots (4), \quad R_{3j}^* = k_3 a_R (1.5 X_{FeM} \rho_m)^2 (1 - f_j)^2 \Delta z_j \dots (5),$
 $T_j = [c_g V_{j+1} T_{j+1} + \{(h_a)_{sg} t_j + (h_a)_{gm} t_{mj} - g_w\} \Delta z_j] / [c_g V_j + \{(h_a)_{sg} + (h_a)_{gm}\} \Delta z_j] \dots (6),$
 $t_{mj} = [c_m v_{m,j+1} + \{(h_a)_{sm} t_j + (h_a)_{gm} T_j\} \Delta z_j + \alpha (-\Delta H_3) R_{3j}^*] / [c_m v_m + \{(h_a)_{sm} + (h_a)_{gm}\} \Delta z_j] \dots (7),$
 $(dt_j/d\theta) = [c_c (v_{j+1} t_{j+1} - v_j t_j) + \{(h_a)_{sg} (T_j - t_j) + (h_a)_{sm} (t_{mj} - t_j)\} \Delta z_j + (1 - \alpha) (-\Delta H_3) R_{3j}^* - (1 - \varepsilon) c_c \rho_c t_j (d\Delta z_j/d\theta)] / (1 - \varepsilon) c_c \rho_c \Delta z_j \dots (8)$

[羽口レベルでの収支式] $V_1 = \{1 + x_{O_2} + 22.4 (y_w / q + \gamma \eta_o y_o / H_c)\} V_b \dots (9),$
 $v_1 = \{2 x_{O_2} + 22.4 (y_w / 18 - \eta_o y_o / H_c)\} V_b \dots (10), \quad x_1 = (2 x_{O_2} + 22.4 y_w / 18) V_b / V_1 \dots (11),$
 $Q_R = [c_g T_b + (-\Delta H_c) + (-\Delta H_w)] 1.244 y_w + [c_o t_o - (-\Delta H_c) / H_c + (-\Delta H_o)] 22.4 \eta_o y_o + 2 x_{O_2} (-\Delta H_c) - g_t / A V_b \dots (12),$
 $\beta^* = c_g T_b + Q_R \dots (13), \quad \beta \equiv \beta^* V_b = c_g V_1 T_1 - c_c v_1 t_1 \dots (14), \quad V_b \equiv F_b / 22.4 A \dots (15)$

[溶融帯；集中定数系の式] $T = \{c_g V_m T_{in} + (h_p a t_{ml} - g_w) Y\} / (c_g V_m + h_p a Y) \dots (16),$
 $v_{in} = v_{z_1} - (1 - \varepsilon) \rho_s (dz_1/d\theta) \dots (17), \quad v_{out} = v_{z_2} - (1 - \varepsilon) \rho_s (dz_2/d\theta) \dots (18), \quad v_m = (T - t_{ml}) h_p a Y / L_m \dots (19),$
 $v_{z_1} = v_{z_2} + v_m \dots (20), \quad (dz_1/d\theta) = v_{z_1} / (1 - \varepsilon) \rho_s - (\partial t / \partial \theta)_c / (\partial t / \partial z)_\theta|_{z=z_1} \dots (21),$
 $(dz_2/d\theta) = \{v_{z_2} - v_m X_c / (1 - X_c)\} / (1 - \varepsilon) \rho_s \dots (22), \quad (dX_c/d\theta) = (X_{cin} - X_c) v_{in} / (1 - \varepsilon) \rho_s Y \dots (23)$

3. 結果 本研究で提出した動的モデルに基づいて、送風温度、送風量、増湿量などの変動に対する応答として、溶融帯の位置、溶融速度、羽口直上レベルでの温度変化などを求めた。溶融帯下端・羽口間の動的挙動の計算結果の一例を図1に示す。固体の蓄熱の効果は、応答の速さと振幅をともに小さくすることがわかった。(記号) A: 炉断面積, f: 還元率, H_2 : 羽口レベル・溶融帯下端間の距離, g_w , g_t : 炉壁, 羽口の冷却速度, R_3^* : 直接還元反応速度, T, t_m, t : ガス, 融体, 固体の温度, V, v_m, v : ガス, 融体, 固体のモル質量速度, y_w, y_o : 水蒸気, 重油添加量, Δz_j : j 槽の長さ, z_1, z_2 : 下方に向けてとった溶融帯上端および下端の位置, η_o : 重油の燃焼率, X_c : 固体中Cのモル分率, X_{FeM} : 融体中の全Feモル分率. (添字) in, out: 溶融帯への入量, 出量, j : 上方に向けて付した槽の番号, 1: 羽口直上レベル, b : 送風

1) 堀尾, 鞭; 鉄と鋼 54 ('68) No. 10, S 351

図1. $T_b + 100^\circ\text{C}$ ステップ入力 に対する応答