

(7) 高炉溶融帯の動的挙動について

名古屋大学大学院
名古屋大学工学部

○堀尾正毅
鞭 薙

1. 緒言 高炉の計算機制御に有用な基礎資料を得るために、本研究ではとくに高炉の動特性を知るのに溶融帯の動的挙動に着目して数学的モデルを展開し、溶融帯へ入るガスのエンタルピーとコークスのモル分率に変化を与えた場合、溶融帯の位置や長さ、溶融帯を出るガス温度や溶融速度の応答を解析した。

2. 溶融帯の動的挙動の数学的モデル i) 溶融帯 まず仮定として、溶融帯は集中定数系（完全混合槽）として扱う。溶融は一定温度 t_m で起こり、溶融速度は気固間伝熱速度により決定される。反たは直接還元反応とカーボンソルーション反応を考慮する。物質および熱収支により以下の式が得られる。

$$dY/d\theta = \{v/(1-\varepsilon)\} \{v_i - v_o - v_m - YR_1\} \dots (1), \quad dX_c/d\theta = \{v/(1-\varepsilon)\} \{v_i(X_{ci} - X_c) - (1-X_c)YR_1\} \dots (2)$$

$$dX_{Fe}/d\theta = \{v/(1-\varepsilon)\} \{v_i(X_{Fei} - X_{Fe}) + X_{Fe}YR_1\} \dots (3), \quad df/d\theta = \{v/(1-\varepsilon)\} \{v_i(f_i - f)X_{Fei} + YR_1/1.5\}/X_{Fe} \dots (4)$$

$$v_i = v_{z_1} - \{(1-\varepsilon)/v\} (dz_1/d\theta) \dots (5), \quad v_{z_1} = v_{z_2} + v_m + YR_1 \dots (6), \quad v_o = v_m \{X_c/(1-X_c)\} \dots (7)$$

$$dz_1/d\theta = \{v/(1-\varepsilon)\} v_{z_1} - \{(D_t/D\theta)_c / (\partial t / \partial z)_\theta\} z = z_1 = 0 \dots (8), \quad dz_2/d\theta = (v_{z_2} - v_o) \{v/(1-\varepsilon)\} \dots (9)$$

$$v_o = v_i + YR_1 \dots (10), \quad X = \{1 - \alpha + \sqrt{(1-\alpha)^2 + 4\alpha X_i}\} / 2 \dots (11), \quad \text{ただし } \alpha = V_i / \{Y B_1 (1-f)^{2/3} k_1 K_1 / (1+K_1)\} \dots (12)$$

$$T_o = \{c_g V_i T_i + (h_p a t_m - g_w) Y\} / (c_g V_o + h_p a Y) \dots (13), \quad V_m = \{h_p a (T_o - t_m) - \Delta H R_1\} Y / L_m \dots (14)$$

$$R_1 = B_1 (1-f)^{2/3} \{k_1 K_1 / (1+K_1)\} X \dots (15), \quad \text{ただし } B_1 = \{6(1-\varepsilon) \varphi / d_p\} \bar{X}_{Fe} (273P / 22.4 t_m) \dots (16)$$

(1)式より溶融帯の長さ Y の変化を、また(8)式より溶融開始点の位置 z_1 を求めることができる。

ii) 溶融帯下端・羽口レベル間 この区間での反たは直接還元反応だけを考慮し、プロセスは擬定常的に取り扱う。

$$V_i = V_1 + (1-f) v_m X_{Fe(i)} \dots (7), \quad v_{z_1} = v_1 + (1-f) v_m X_{Fe(i)} \dots (18), \quad X_i = \{V_1 X_1 + (1-f) v_m X_{Fe(i)}\} / V_i \dots (19)$$

$$T_i = \{\beta + c_g v_o t_m - \{c_m (t_m - t_m) + \Delta H_1 (1-f) X_{Fe(i)}\} v_m - g_w H_2\} / (c_g V_i) \dots (20), \quad \beta = V_b (c_g T_b + Q_R) = c_g V_i T_i - c_g v_i T_i \dots (21)$$

3. 計算結果 基礎式中の非定常項を0とおき、羽口レベルの諸条件、溶融帯直上レベルの固体組成を与えて定常状態の解を求め、これを初期値として式(1)~(21)をRunge-Kutta法で数値積分した。結果の一例として図1、図2に(21)式の β および酸化鉄とコークスのモル分率を変化させた場合の溶融帯の挙動を示す。 β と送風温度の関係は別個に検討した。

(記号) z : Fオへの距離, H : 羽口レベル基準の上オへの距離, H_1 (or z_1), H_2 (or z_2): 溶融開始および終了点の位置, Y : 溶融帯の長さ, θ : 時間, a : 層比表面積, c_g , c_s , c_c , c_m : 気体, 固体, コークス, 融体の平均比熱, f : 還元率, h_p : 伝熱係数, L_m : 平均融解熱, g_w : 壁熱損失速度, Q_R : 単位送風量当りの発熱量, R_1 : 総括反応速度, T, t, t_m : ガス, 固体, 融体の温度, V, v, v_m : ガス, 固体, 融体のモル質量速度, v' : 固体の平均分子容, X : 気体中のCOモル分率, X_c, X_{Fe} : 固体中のC, Feモル分率 (添字) i, o : 溶融帯への入量, 出量 $\bar{X}_{Fe}$: Feの容積分率

1: 羽口直上レベル, b : 送風

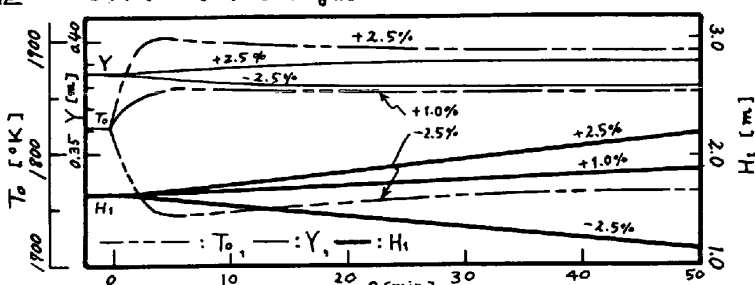


図1. β に 2.5%, 1.0% の変動を与えた場合の応答

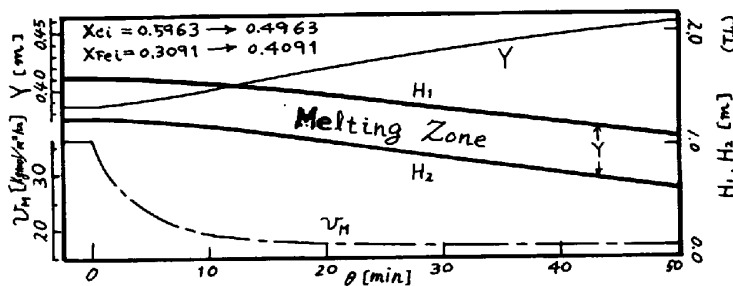


図2. 溶融帯直上レベルでFe, Cのモル分率をステップ変化させた場合の応答