

(3) 高炉炉胸部での半径方向分布モデル

川崎製鉄技術研究所

○近藤 幹夫

名古屋大学工学部

工博 鞭 巖

1. 緒言 炉胸部では、温度、ガス組成、還元率など諸プロセス変数が半径方向に分布するが、この現象は、主として、羽口送風に起因すると考えられる。従来、高炉炉内の半径方向分布を理論的に解析した例はきわめて少ない。本研究では、高炉の操業改善あるいは計算機制御に有用な基礎資料を得るために、従来の断面平均の高炉数学的モデルを拡張して、炉胸部での諸変数の半径方向分布と求める数学的モデルを展開し、数値計算を行った。

2. モデルの概要 高炉炉内と半径方向に、 n 個に分割する。右部分は、層頂からの距離 z の関数である内径 D_{i-1} と外径 D_i に囲まれている。 $D_i = (i/n)\{(D_b - D_o) \cdot z/L_d + D_o\}$ ($0 \leq z \leq L_d, i=1, 2, \dots, n$) (1) 計算の簡単化のため、次の仮定をおく。(1)領域 i 内では粒子、ガス共にピストン流れ (2)各領域の境界では、物質移動はない (3)軸方向での熱伝導は無視する (4)反応は、CO還元とカーボン・ソリューション反応だけと考慮する。

3. 基礎式 $dF_i/dz = -22.4 A_i R_{2i}^*$ (2), $dx_i/dz = 22.4 A_i \{R_{1i}^* + (x_i - 2)R_{2i}^*\}/F_i$ (3)

$d\gamma_i/dz = 22.4 \{-R_{1i}^* + (\gamma_i + 1)R_{2i}^*\}/F_i$ (4), $d\rho_i/dz = -A_i(16R_{1i}^* + 12R_{2i}^*)/F_{si}$ (5)

$df_{si}/dz = A_i R_{1i}^*/3C_{so}F_{si}$ (6), $w_i = w_{oi}F_{oi}/F_i$ (7)

$dT_i/dz = \{A_i \{22.4 C T_i (0.7261 R_{1i}^* + 0.5246 R_{2i}^*) - (1-\alpha')R_{1i}^* (-\Delta H_1^0) - (1-\alpha')R_{2i}^* (-\Delta H_2^0) + 6(1-\varepsilon)h_p(T_i - t_i)/\phi D_p\} + \pi D_i U_g(T_i - T_{i+1}) + \pi D_{i-1} U_g(T_i - T_{i-1})\}/\rho_i F_i \{C + T_i(dc/dT)\}$ (8)

$dt_i/dz = \{A_i \{C_s t_i (16R_{1i}^* + 12R_{2i}^*) + 6(1-\varepsilon)h_p(T_i - t_i)/\phi D_p + \alpha' R_{1i}^* (-\Delta H_1^0) + \alpha' R_{2i}^* (-\Delta H_2^0)\} - \pi D_i U_a(t_i - t_{i+1}) - \pi D_{i-1} U_a(t_i - t_{i-1})\}/\rho_i F_{si} \{C_s + t_i(dc_s/dt)\}$ (9)

(2)~(7)式は n 個の領域について成立つが、(8)、(9)式の熱伝導項は、領域1, n では次のようになる。領域1では、(8)式の $\pi D_{i-1} U_g(T_i - T_{i-1})$ と、(9)式の $\pi D_{i-1} U_a(t_i - t_{i-1})$ が消え、領域 n では、(8)式で、 $\pi D_i U_g(T_i - T_{i+1}) = \pi D_n U_{wg}(T_n - T_w)$ となり、(9)式で $\pi D_i U_a(t_i - t_{i+1}) = \pi D_n U_{wa}(t_n - T_w)$ となる。

4. 計算法と計算結果 初期条件として、層頂での諸変数の値と与え、 $7n$ 元連立常微分方程式と、Runge-Kutta-Gill法によって解く。対象高炉は川崎製鉄千葉No.5BFであり、計算結果の一例と図1、図2に示す。

(記号) D_b : 炉腹径 D_o : 炉口径 L_d : シャフト高さ T, t : ガス, 粒子の温度 C, C_s : ガス, 粒子の比熱 f_s : 還元率 x, γ : CO, CO₂のモル分率 ρ_b : 粒子層かさ密度 F : ガス容積流量 F_o : 層頂での F F_s : 粒子容積流量 w : 水素モル分率 w_o : 層頂での w A_i : 高さ z での領域 i の断面積 R_1^*, R_2^* : CO還元, カーボン・ソリューション反応の総括反応速度 $\Delta H_1^0, \Delta H_2^0$: CO還元, カーボン・ソリューション反応に伴う標準エンタルピー変化 α' : 反応熱の粒子側取得率 ϕ : 粒子形状係数 D_p : 粒子平均径 ε : 空間率 h_p : 粒子流体間伝熱係数 U_g, U_a : 境界でのガス側, 粒子側伝熱係数 U_{wg}, U_{wa} : 炉壁でのガス側, 粒子側伝熱係数 T_w : 炉壁温度

(文献) I. Muchi; Trans. ISIJ, 7 (1967), 223

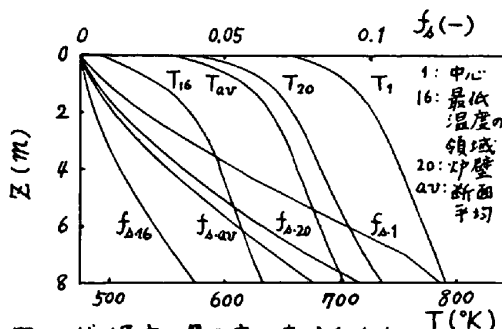


図2. ガス温度、還元率の軸方向分布

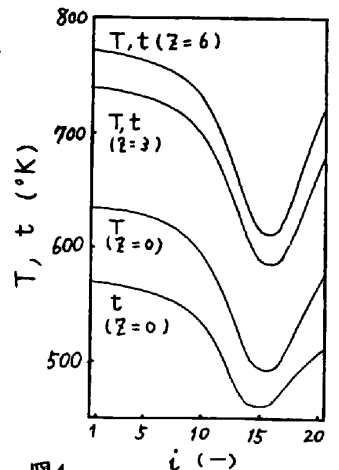


図1. ガス, 粒子の半径方向温度分布