

(43) 高炉溶融帯・羽口間の動特性の総括的表現について

70319

名古屋大学大学院  
名古屋大学工学部

○ 堀尾正毅  
靱 巖

1. 緒言 高炉の重要な制御量である出鉄温度やSi組成の、送風条件変動に対する応答を定量的に把握するためには、まず、溶融帯・羽口間の動特性の解明が必要である。筆者ら<sup>1)</sup>は、溶融帯・羽口間の動的挙動に関する数学的モデルに基づいて数値計算を行ない、この部分の動的過程が、大きな時定数をもつ溶融帯の位置変化過程によって支配され、近似的に一次おくれ要素として表現しうることを報告した。本研究は、溶融帯・羽口間の動特性を、前報と同じモデルをもとに、平衡状態のまわりの擾動法により近似解析し、多入力・多出力系としての総括的な動特性の解析的表現を得ることができたので報告する。

2. 近似解析の手法 [基礎式] 固、液、気の三相間の熱交換と溶融ウスタイトの直接還元反応を考慮し、コークス帯での熱の蓄積を考えると(1)~(9)の基礎式が得られる。 $dk_2/d\theta = (V_{out} - V_{z_2}) / (1-\epsilon)\rho_c \dots (1)$   
 $V_{out} = \{\hat{x}_c / (1-\hat{x}_c)\} V_m \dots (2), V_m = k_p a (\bar{T} - t_{me}) Y / L_{me} \dots (3), \bar{T} = [c_g V_m \bar{T}_m + (k_p a t_{me} - g_w) Y] / [c_g V_m + k_p a Y] \dots (4),$   
 $c_g V_m \bar{T}_m = \beta + c_c V_{z_2} t_{me} - \{C_m(t_{m1} - t_{me}) - 1.5(f_1 - \hat{f}) X_{Fe_m} (-\Delta H_3)\} V_m - g_w k_2 - Q_c \dots (5), \bar{T}_m = \bar{T}_t + 1.5(f_1 - \hat{f}) V_m X_{Fe_m} \dots (6),$   
 $V_{z_2} = V_1 + 1.5(f_1 - \hat{f}) V_m X_{Fe_m} \dots (7), T, t, \bar{T}, \beta \equiv c_g V_t \bar{T}_c - c_c V_1 t_1 \dots (8), Q_c = (1-\epsilon)\rho_c c_c \int_{k_2}^{k_1} t dk \dots (9),$

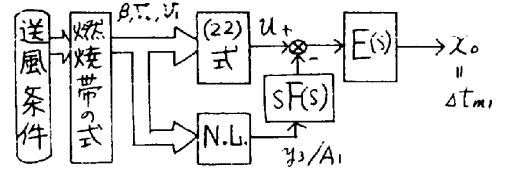
ここで、羽口レベルにおける変数値:  $\beta, \bar{T}_t, V_1$  は、送風量、送風温度、送風湿分、重油添加量の4種の操作変数によって決まる値である\*。また、数値計算の結果から、 $t_{m1} \propto k_2$  の関係を仮定しておく。

[近似解法] いま、 $x_0 \equiv t_{m1} - t_{m1}(0), x_1 \equiv c_g V_m \bar{T}_m - (c_g V_m \bar{T}_m)_0, x_2 \equiv V_{out} - V_{out}(0), x_3 \equiv Q_c - Q_c(0) \dots (10)$  とおけば、直接還元反応の項  $1.5(f_1 - \hat{f}) X_{Fe_m} (-\Delta H_3) V_m$  を他の項に比べて小さいとして無視するとき、(1)~(7)式を(11)~(13)式のように書きかえることができる。 $dx_0/d\theta = A_0(x_2 - y_2) \dots (11)$  ((1)式と(6)式から),  
 $x_1 = y_1 - A_1 x_0 - A_5 x_2 - dx_3/d\theta \dots (12)$  ((5)式に(2)式を代入),  $x_2 = A_2 x_1 - A_3 y_0 \dots (13)$  ((2),(3),(4)式より)。

ここで  $y_i$  は入力変数であり、 $y_0 \equiv \Delta \bar{T}_t, y_1 \equiv \Delta \beta + c_c t_{me} \Delta V_1 - \bar{T}_m(0) \Delta \bar{T}_t, y_2 \equiv \Delta V_1 \dots (14)$ 、パラメータ  $A_i$  は、 $A_0 = (dt_{m1}/dk_2) / (1-\epsilon)\rho_c, A_1 = C_m V_m + g_w (dk_2/dt_{m1}), A_2 = [k_p a Y / L_{me} (c_g V_{m0} + k_p a Y)] [\hat{x}_c / (1-\hat{x}_c)], A_3 = A_2 c_g \bar{T}_0,$   
 $A_5 = C_m (t_{m1}(0) - t_{me}) (1-\hat{x}_c) / \hat{x}_c \dots (15)$ 、さらにコークス帯の熱の蓄積過程を一次遅れ系と考えると、与えられた操作条件に対する  $Q_c$  の平衡状態の値を  $Q_c^*$  とし、 $y_3 \equiv Q_c^* - Q_c(0)$  とおくと、(16)式が得られる。

$dx_3/d\theta = A_4 (y_3 - x_3) \dots (16)$ 、 $y_3$  は  $\beta, \bar{T}_t, V_1$  の非線形関数となる。さて、(11), (12), (13), (16)式を  $x_0$  について解けば、(17)~(22)式が得られる。他の  $x_1, x_2, x_3$  についても同様に解が求められる。

$x_0 = E(s) [u - y_3 SF(s) / A_1] \dots (17), E(s) = 1 / (1 + \tau_2 s) \dots (18),$   
 $F(s) = 1 / (1 + \tau_1 s) \dots (19), \tau_1 = 1 / A_4 \dots (20), \tau_2 = (1 + A_2 A_5) / A_0 A_1 A_2 \dots (21)$   
 $u = -A_3 y_0 / A_1 A_2 + y_1 / A_1 - y_2 (1 + A_2 A_5) / A_1 A_2 \dots (22).$



3. 結言 送風入カと羽口レベルでの融体の温度  $t_{m1}$  との関係  
 を、(17)式に基づいてブロック線図で示したのが図1である。現図1. 送風条件と  $t_{m1}$  の間のブロック線図  
 在稼働中の高炉のデータをもとに(21)式から  $\tau_2$  を推算すると、5~7分となり、これまでの数値計算結果  
 とよく一致する。【記号】  $c$ : 比熱 [ $kcal/kgmol \cdot ^\circ C$ ],  $\hat{f}$ : 還元率,  $k_p a$ : 伝熱容量係数 [ $kcal/m^2 hr \cdot ^\circ C$ ],  $k_2$ : 羽口レベルか  
 らの距離 [m],  $L_{me}$ : 溶融帯の位置,  $L_{me}$ : 融解熱 [ $kcal/kgmol$ ],  $g_w$ : 壁からの熱損失 [ $kcal/m^2 hr$ ],  $Q_c$ : コークス層の顕  
 熱量 [ $kcal/m^2 (ver)$ ],  $T, t, \bar{T}_m$ : ガス、固体、融体温度 [K],  $t_{me}$ : 融解温度,  $V, V_1, V_m$ : ガス、固体、融体流量 [ $kgmol/m^2 hr$ ]  
 $X_c, X_{Fe_m}$ : 固体中C, 融体中T-Feのモル分率,  $\rho_c$ : モル密度 [ $kgmol/m^3 (coke)$ ],  $\epsilon$ : 空隙率,  $\tau$ : 時定数 [min],  
 【添字】  $in$ : 溶融帯に入る,  $out$ : 溶融帯を出る,  $z_2$ : 溶融帯下端,  $1$ : 羽口レベル,  $2$ : 燃焼帯出口  
 1) 堀尾, 靱, 鉄と鋼, 57, No. 3, p. 14. \*註) それぞれ(1)の(4), (14), (10)式で与えられる。