

(14) 折線分布モデルによる高炉の動的挙動の解析

70014

名古屋大学大学院  
名古屋大学工学部

○堀尾正毅  
鞭 巖

**1. 緒言** 高炉の動特性について、筆者らは、溶融帯・羽口間の動特性が近似的に一次遅れ要素となることを報告し、前回<sup>2)</sup>摂動法による解析的表現を提出した。しかし、既報<sup>3)</sup>の偏微分方程式で表現される層頂・溶融帯面については、上記のような集中定数近似は困難であり、プロセス変数の軸方向分布の考慮が必要であると推察される。このとき、偏微分方程式の厳密な数値計算は、計算時間が多大であるために、必ずしも実際の動特性解析には有効でない。そこで、本報では、図1のように層頂・羽口間を最小限分割して、軸方向温度分布を折線近似し、等高線法<sup>3)</sup>を適用して動的挙動の解析を行なう。

**2. 折線分布モデル** [仮定] (i)各Zoneの境界での固体温度は羽口レベルを除き一定とする。また、境界の位置は上下に可動的であるとする。(ii)酸化鉄の還元反応はZone II, IIIで完了する。(iii) Zone I, II, IIIでの固気間温度差の平均値を(1)式で表わす。(iv) Zone IVではプロセス変数は軸方向に一定とする。(v) Zone Vでの平均温度を(2)式で表わす。(vi)ガスと融体は準定常的に扱う。 $(\bar{T}-t)_i = \nu_{1i} T_{i+1} + \nu_{2i} T_i - \nu_{2i} t_{i+1} - \nu_{2i} t_i \dots (1)$

$\bar{T}_V = \mu_1 T_V + \mu_2 T_V, \bar{t}_V = \mu_1 t_V + \mu_2 t_{ml}, \bar{t}_m = \mu_1 t_{m1} + \mu_2 t_{ml} \dots (2)$ , ただし  $\nu_{1i} + \nu_{2i} = 1, \mu_1 + \mu_2 = 1$   
[基礎式] 物質収支から(3)~(7)式が得られる。 $V_0 = V_I = V_{II} = V_{III} = V_1 + C_{sol}, V_{IV} = V_V = V_1 \dots (3)$ ,  $C_{sol} = V_1(x_0 + y_0 - x_1)/(1-x_0-y_0) \dots (4)$ ,  $O_{red} = V_1\{x_0 - x_1 + y_0(2-x_1)\}/(1-x_0-y_0) \dots (5)$ ,  $F_s = (V_1 + V_m X_{cm})/\rho_{sv} + V_m(1-X_{cm})/\rho_{lv} \dots (6)$ ,  $\rho_{sv} = \rho_{lm} - C_{sol}/F_s \dots (7)$ .

熱収支からZone I~IIIで(8),(9)式が得られる。 $(DC_s \rho_s t / D\theta)_i = \partial C_s \rho_s t / \partial \theta + \partial C_s \rho_s t / \partial S = h_p a_i (\bar{T} - t)_i + O_i(-\Delta H_i) / \Delta_i \dots (8)$ ,  $C_{gi} \nu_{1i} T_{i+1} - C_{gi} \nu_{2i} T_i = h_p a_i \Delta_i (\bar{T} - t)_i + \delta_{wi} \Delta_i \dots (9)$ . Zone IVについては: $C_g V_V T_V - C_g V_{IV} T_{IV} = \{h_p a_{IV} (T_{IV} - t_{ml}) + \delta_{wIV}\} \Delta_{IV} \dots (10)$ ,  $V_m = h_p a_{IV} \Delta_{IV} (T_{IV} - t_{ml}) / L_{ml} (1 - X_{cm}) \dots (11)$ .

Zone Vでは,  $\mu_1 dt_i / d\theta = \{(t_{m1} - t_1) C_{gi} V_i / \Delta_{IV} + U a_{gs} (\bar{T} - \bar{t}) - U a_{sm} (\bar{t} - \bar{t}_m)\} / \rho_{li} C_{si} \dots (12)$ ,  $(t_{m1} - t_{ml}) C_m V_m = \{U a_{gm} (\bar{T} - \bar{t}_m) + U a_{sm} (\bar{t} - \bar{t}_m)\} \Delta_V \dots (13)$ ,  $(C_{gi} T_i - C_g T_V) V_i = \{U a_{gs} (\bar{T} - \bar{t}) + U a_{gm} (\bar{T} - \bar{t}_m) + \delta_{wV}\} \Delta_V \dots (14)$ . [等高線の式] 各Zoneの境界 $S_i$ の変化は; $dS_i / d\theta = F_s - (DC_s \rho_s t / D\theta)_{i-1} / (\partial C_s \rho_s t / \partial S)_{i-1} \dots (i=II \sim IV) \dots (15)$ ,  
 $dS_V / d\theta = (V_1 - V_0) / \rho_{li} \dots (16)$ , ただし,  $(\partial C_s \rho_s t / \partial S)_i = (C_{si} \rho_{li} \nu_{1i} t_{i+1} - C_{si} \rho_{li} t_i) / \Delta_i, V_0 = V_m \{(1 - X_{cm}) X_c / (1 - X_c)\}$

[計算手法] 非定常計算の手順を図2に示す。 $-X_{cm}$   $(\bar{T}-t)_i$ の与え方は結果に大きな影響を持っている。算術平均の場合には $\nu_{1j} = 0.5$ , 各Zoneを完全混合槽とみなすときは,  $\nu_{1i} = \nu_{2i} = 0, \nu_{1i} = \nu_{2i} = 1$ , また, ピストン流として扱うときは,  $\nu_{1i} = \nu_{2i} = C_{gi} V_i / h_p a_i \Delta_i$  とする。

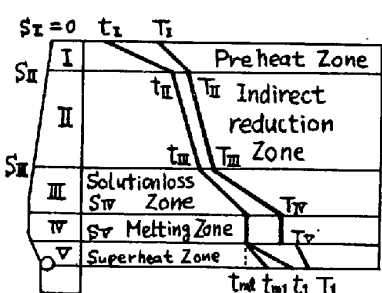


図1. 温度分布の折線近似.

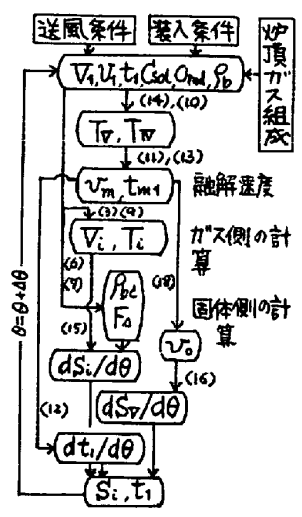


図2. 計算手順.

[記号]  $C_{sol}$ : Vリユ-シヨ-ン口ス速度 [ $\text{kgmol}(C)/\text{hr}$ ],  $F_s$ : 固体の容積流量 [ $\text{m}^3(\text{bed})/\text{hr}$ ],  $h_p a$ : 伝熱容量係数 [ $\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot \text{C}$ ],  $\Delta H_i$ : Zone iでの反応熱 [ $\text{kcal}/\text{kgatom}(O)$ ],  $L_{ml}$ : 融解熱 [ $\text{kcal}/\text{kgmol}$ ],  $O_{red}$ : 全還元反応速度 [ $\text{kgatom}(O)/\text{hr}$ ],  $O_i$ : Zone iでの還元反応速度 [ $\text{kgatom}(O)/\text{hr}$ ],  $\delta_{wi}$ : 炉壁からの熱損失 [ $\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ ],  $S_i$ : 層頂から Zone iの上端までの容積 [ $\text{m}^3$ ],  $\Delta_i$ : Zone iの容積 [ $\text{m}^3$ ],  $T, t, t_m$ : ガス, 固体, 融体の温度 [ $^{\circ}\text{C}$ ],  $t_{ml}$ : 融解温度 [ $^{\circ}\text{C}$ ],  $U a_{gs}, U a_{gm}, U a_{sm}$ : 気-固, 気-液, 固-液間総括伝熱容量係数 [ $\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot \text{C}$ ],  $V, v, V_m, v_m$ : ガス, 固体, 融体のモル流量 [ $\text{kgmol}/\text{hr}$ ],  $X_{cm}$ : 融体中Cのモル分率,  $x$ : COモル分率,  $y$ : CO<sub>2</sub>モル分率,  $\epsilon$ : 層空隙率,  $\rho_{sv}, \rho_{lm}$ : Cおよび可溶物のかさ密度 [ $\text{kgmol}/\text{m}^3(\text{bed})$ ],  $\theta$ : 時間 [ $\text{hr}$ ].  
[添字] 0: 層頂, 1: 羽口レベル, o: 溶融帯からの出量, h: 溶融帯, m: 融体又は可溶物, s: 固体, \*: 単味の場合  
1)堀尾・鞭: 鉄と鋼56(70),10(投稿中), 2)堀尾・鞭: 同56(70),4,543, 3)堀尾・鞭: 同55(69),11,5427