

(79)

高炉内融着層の簡易推定法について

新日本製鐵 生産技研

○安田一美, 木村 洋

設備技術センター

中野宣邦

大分製鐵所

森下紀夫

1. 緒 言: 高炉内の融着層は炉内反応・炉熱状態・炉内ガス流れと密接な関係にあるため、その形状を推定することは高炉操業にとって有益な情報を与える。筆者らは炉頂ゾンデ及びシャフトゾンデの半径方向各点のガス温度、ガス成分の測定値を用いて融着層形状・ガス流速分布(装入物降下速度分布)を同時に推定する簡易モデルを開発した。高炉内現象は流れ・反応・伝熱等の諸現象が干渉しあって複雑であり、また多くの反応定数・物性定数も正確な値を指定しにくい構造が複雑すぎるモデルはかえって精度劣化・計算の不安定性増大・計算時間の増加を招くのでモデル構造は極力簡素化してある。

2. 基礎方程式: 簡単のため流線(ガス・固体)は炉頂及びシャフトゾンデの対応する各点を結んだ直線であると仮定しこの流線上で融着層深さを推定した。温度(ガス・固体)及びガス成分(CO₂)に関する基礎方程式をもとにする。

$$\text{ガス温度} \quad \frac{\partial \Theta}{\partial t} + (v_g \cdot \nabla) \Theta = \frac{1}{\rho_g C_g} \{ \nabla \cdot (\lambda_g \nabla \Theta) + \alpha (\Theta - \theta) + q_g \} \quad (1)$$

$$\text{固体温度} \quad \frac{\partial \theta}{\partial t} + (v_s \cdot \nabla) \theta = \frac{1}{\rho_s C_s} \{ \nabla \cdot (\lambda_s \nabla \theta) + \alpha (\theta - \Theta) + q_s \} \quad (2)$$

$$\text{ガス成分 (CO}_2\text{)} \quad \frac{\partial Y_{CO_2}}{\partial t} + (v_g \cdot \nabla) Y_{CO_2} = \frac{1}{\rho_g} \{ \nabla \cdot (\rho_g D \nabla Y_{CO_2}) + w_{CO_2} \} \quad (3)$$

準定常 ($\frac{\partial}{\partial t} \approx 0$) の仮定, 及びオーダーエスティメーションの結果

($|\nabla \cdot (\lambda_g \nabla \Theta)| \ll |\alpha (\Theta - \theta)|$, $|\nabla \cdot (\lambda_s \nabla \theta)| \ll |\alpha (\theta - \Theta)|$, $|\nabla \cdot (\rho_g D \nabla Y_{CO_2})| \ll w_{CO_2}$) を用いて, また(1), (2)中の化学反応熱 q_g , q_s は 1) 間接還元反応熱が小さい 2) 化学反応熱のガス及び固体への分配率が不明である ことから省略すると(1), (2), (3)は次のように簡単化される。

$$\frac{d\Theta}{dx} = \frac{\alpha}{\rho_g C_g v_g} (\Theta - \theta) \quad (4) \quad \frac{d\theta}{dx} = \frac{\alpha}{\rho_s C_s v_s} (\theta - \Theta) \quad (5) \quad Y_{CO_2}(x) = \int_H^x \frac{w_{CO_2}}{\rho_g v_g} dx \quad (6)$$

(6)式中の w_{CO_2} として次の形を仮定する。 $w_{CO_2}(x) = k(\theta(x), Y_{CO_2}(x), \beta, \gamma, \dots)$ (7) ($\beta, \gamma, \dots$; 反応パラメータ)
(4), (5)は θ , Θ に関する連立微分方程式で2つのパラメータ(積分定数 d_1, d_2)を含んだ解析解が求まる。

$$\theta(x) = f(d_1, d_2, v_g, v_s, x) \quad (8) \quad \Theta(x) = g(d_1, d_2, v_g, v_s, x) \quad (9) \quad (\text{関数形省略; } f, g, k)$$

3. モデル構成: (6), (7), (8), (9)をもとに推定モデルを構成した。融着層(H)の条件は $\theta(H) = 1000^\circ\text{C}$, $Y_{CO_2}(H) = 0$ とした。未知数は H, d_1, d_2, v_g, v_s の合計5個で、関数形 f, g, k は既知であるから θ, Θ に関して合計4個 Y_{CO_2} に関して1個の境界条件がそろえば解けるので図2(a)の如く境界条件を選ぶ(現在シャフトゾンデで固体温度は測れない)。また v_s を仮定すれば境界条件は1つ減らせるから図1(b), (c), (d)の場合が考えられる。図1(a), (b), (c), (d)の方法によるかは検出端の設置状態・検出端の精度・ v_s の指定精度等を考慮して決める。計算の順序を図2に示す。

4. 計算結果: 当推定モデルを用いた推定結果と炉況との対応を現在調査中であり別途発表予定である。

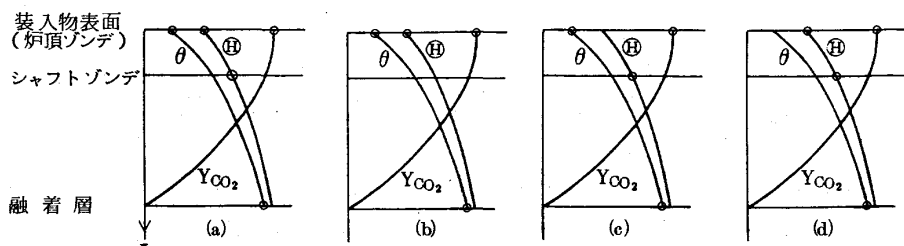


図1. 境界条件(ガス温度 Θ , 固体温度 θ , CO₂成分 Y_{CO_2})のとり方

○印: 境界条件

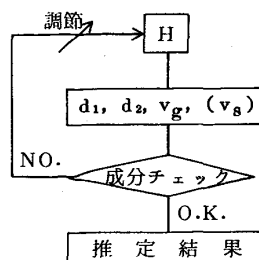


図2. 推定計算フロー