

(16) 酸化鉄のガス還元移動層におけるプロセス変数の分布

川崎製鉄技術研究所

近藤 幹夫

I.緒言 前回、高炉炉胸部での諸変数の半径方向分布と考慮したモデル⁽¹⁾を報告したが、その計算とさらに有効に行なうための情報を得るために、高炉を反応装置として考える場合その基礎となる移動層に着目し、層内で酸化鉄のCOガス還元によって起こるプロセス変数の軸方向および半径方向分布に対する操作条件の影響と理論的に解析した。

II.理論 理論展開に先立ち、次の仮定をおく。1)移動層全体は900℃で等温 2)固体粒子はピストン流れ 3)ガスの混合拡散は半径方向のみを考慮する。4)固体粒子およびガスの流速分布はない。5)ガスの入口でガス側に半径方向濃度分布が存在する。6)酸化鉄ペレットはtopochemicalに還元される。

(基礎式) (ガス側のCOの収支式)
$$v \frac{\partial x}{\partial z} = E_r \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial x}{\partial r} \right) + R_g \quad \dots \dots (1)$$

(各還元過程で奪れる酸素の収支式)
$$u (\partial \gamma_m / \partial z) = (k_{mf} + k_{mb}) x - k_{mb} \quad \dots \dots (2)$$

ここに $m=1$ は hematite から magnetite への過程と、 $m=2$ は magnetite から wüstite への過程と、 $m=3$ は wüstite から金属鉄への過程を表す。ただし $k_{1b}=0$

(境界条件) 1) $z=0$ (ガス入口) で $x = x(r)$ 2) $z = h$ (固体粒子入口) で $\gamma_m = d_p/2$ } (3)
3) $r=0$ (層中心) で $\partial x / \partial r = 0$ 4) $r=R$ (管壁) で $\partial x / \partial r = 0$

(1)~(3)式を無次元化すると、
$$\frac{\partial x}{\partial \xi} = \frac{1}{P_{er}} \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\rho \frac{\partial x}{\partial \rho} \right) + R_g^* \quad (1) \quad \frac{\partial \gamma_m}{\partial \xi} = (C_{mf} + C_{mb}) x - C_{mb} \quad (2)$$

$\xi=0$ で $x = x(\rho)$, $\xi = h/d_p = l$ で $\gamma_m = 1$, $\rho = 0$ で $\partial x / \partial \rho = 0$, $\rho = R/d_p = n$ で $\partial x / \partial \rho = 0$ (3)

ここに、 $\xi = z/d_p$, $\rho = r/d_p$, $P_{er} = v d_p / E_r$, $\gamma_m = 2 \gamma_m / d_p$, $C_{mf} = (2/u) k_{mf}$, $C_{mb} = (2/u) k_{mb}$, $R_g^* = R_g d_p / v = 6(1-\epsilon) \{ (1.663 \times 10^{-2} \gamma_1^2 + 3.805 \times 10^{-2} \gamma_2^2 + 3.804 \times 10^{-2} \gamma_3^2) x - (1.066 \times 10^{-2} \gamma_2^2 + 2.675 \times 10^{-2} \gamma_3^2) \} / v \cdot C_t \quad \dots (4)$ 還元率 f_d は $f_d = 1 - (0.111 \gamma_1^3 + 0.222 \gamma_2^3 + 0.667 \gamma_3^3) \quad \dots (5)$

[基礎式の差分化と計算方法] $\Delta \xi = \Delta \rho = 1$ とし、Crank-Nicholsonの方法と採用し、(1), (2)式を差分化する。 $x_{i,j+1} = x_{i,j} + (1/2 P_{er}) \{ (1 + 1/2 i)(x_{i+1,j+1} + x_{i+1,j}) - 2(x_{i,j+1} + x_{i,j}) + (1 - 1/2 i)(x_{i-1,j+1} + x_{i-1,j}) \} - R_g^*_{(i,j+1/2)} \quad \dots (6)$ $\gamma_{m(i,j)} = \gamma_{m(i,j+1)} - (C_{mf} + C_{mb}) x_{i,j+1/2} + C_{mb} \quad \dots (7)$

$x_{i,j+1/2} = x_{i,j} + (1/2) \{ (1/P_{er}) \{ (1 + 1/2 i)x_{i+1,j} - 2x_{i,j} + (1 - 1/2 i)x_{i-1,j} \} - R_g^*_{(i,j)} \} \quad \dots (8)$

$\gamma_{m(i,j-1/2)} = \gamma_{m(i,j)} - (C_{mf} + C_{mb}) x_{i,j} + C_{mb} \quad \dots (9)$ 計算方法には iteration method を用い、最初に移動層全体にわたり x , γ_m の値を仮定し、(6)~(9)式に従って分布が収束するまで繰返し計算する。

III.結果 粒子降下速度、ガス線速度の影響と定量的に明らかにすることが出来た。一例を図1に示す。

(記号) z, r : 移動層軸方向距離, 中心からの半径
 ξ, ρ : 無次元距離, 半径 γ_m : 反応界面半径 γ_m : 無次元界面半径 u, v : 固体粒子, ガスの層内線速度 k_{mf}, k_{mb} : 正、逆反応速度定数 R_g : 還元反応速度 R_g^* : 無次元反応速度 d_p : 固体粒子径 E_r : 半径方向混合拡散係数 P_{er} : ペクレ数 C_t : ガスのモル濃度 h, R : 移動層の層高, 半径 i, j : 軸方向, 半径方向の差分 index ϵ : 層空間率

(引用文献) 1) 近藤 幹夫; 鉄と鋼 54(68) No.10 5.347

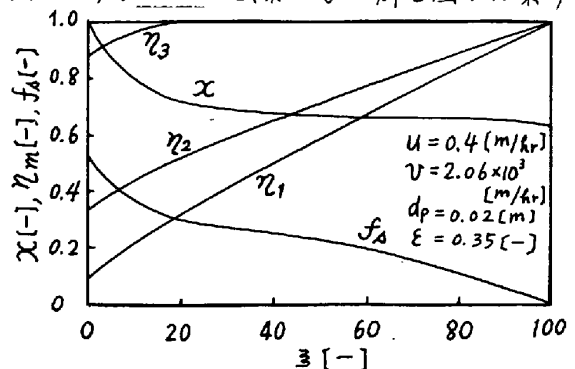


図1. 中心軸上での諸変数の分布