

(13) 高炉炉床の残滓量に及ぼす出滓条件の影響

川崎製鉄 技術研究所 ○福武 剛 岡部 俠児

1 緒言 近年大型高炉の操業で、出鉄荒れとそれに伴う炉内の残鉄、残滓量の増加による炉況悪化が多くなり、生産性向上を妨げる要因の1つになっている。出鉄荒れは、出鉄口から溶鉄、溶滓と共にガスが噴出する現象であり、この現象の解明には、炉床でのスラグの流れの挙動を知る必要がある。

2 炉床のモデル化とスケールアップの検討 炉床内でスラグはコークス層中にあり、出滓開始時のスラグ液面¹⁾と溶鉄面は水平とみなした。出滓時にスラグはコークス層中を出鉄口に向かって動き、出滓末期にスラグ液面が出鉄口に達したときガスが噴出する。出鉄荒れをさけるには、出鉄口からガスが噴出する前に出鉄を止めなければならない。モデル実験では、流出口に気泡が現われたときを流出停止の時期とした。出滓時のスラグの移動は、充てん層内を通る液体の非定常流れとして連続の式と運動方程式を導き、式中の各変数を無次元化してスケールアップの条件を求めた。摩擦力を充てん層を通る流体の圧力損失として Carman²⁾の層流域の式を用い、x方向の運動方程式を Bird³⁾らの方法により無次元化すると(1)式が得られる(y, z方向も同様)。

$$\frac{\partial v_x^*}{\partial t^*} + v_x^* \frac{\partial v_x^*}{\partial x^*} + v_y^* \frac{\partial v_x^*}{\partial y^*} + v_z^* \frac{\partial v_x^*}{\partial z^*} = -\frac{\partial p^*}{\partial x^*} - R_P v_x^* + \frac{1}{Fr} g_x^* \dots\dots\dots (1)$$

$$R_P = \frac{C_D \cdot D_T \cdot \epsilon^2}{\rho_F \cdot V_0}, \quad Fr = \frac{V_0^2}{g \cdot D_T \cdot \epsilon^2}, \quad C_D = \frac{180 \cdot (1 - \epsilon)^2 \cdot \mu_F}{\epsilon^3 \cdot \phi_s^2 \cdot D_P^2}$$

ここで v = 流速, p = 圧力, D_T = 装置径, ε = 空間率, ρ_F = 液密度, V₀ = 装置内平均空塔速度, g = 重力の加速度, μ_F = 液粘度, φ_s = 充てん粒子形状係数, D_P = 粒子径, (添字*は無次元変数を示す)。連続の式は無次元変数のみで無次元化できるので充てん層内の非定常液流れは, R_P, Fr, により決まる。

3 実験装置と実験方法 連続実験装置を図1に示す。装置径は、バッチ実験の場合190mmφ, 150mmφ, 連続実験の場合140mmφの3種類であった。充てん物は、0.52, 0.37, 0.22mmφのガラス玉を、液体は、グリセリン水溶液(84, 71, 46, wt%)を用いた。流出開始時の液高さ(D_H)を1~5水準設定し、設定液面高さから流出を開始し、流出口に気泡が現われたとき流出を停止して、この間の時間と流出量を測定した。流出流量は同一条件で5~8水準変化させた。

4 実験結果と考察 バッチ実験 流出状態を示す特性値として流出開始時の蓄積液量に対する流出終了時の残留液量の割合(残留率)を用いた。D_H一定のとき残留率と平均流速の関係は、

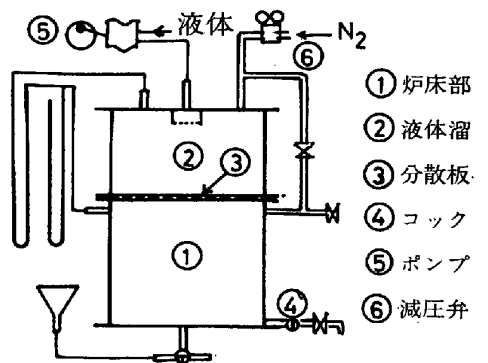


図1 連続実験装置

表1 無次元数の高炉内推定値と実験範囲

無次元数	実験範囲	高炉内推定値
Fr _i	0.05 × 10 ⁹ ~ 500 × 10 ⁹	0.25 × 10 ⁹
R _p	0.2 × 10 ⁴ ~ 10000 × 10 ⁴	1970 × 10 ⁴
Rep ₀ *	0.005 × 10 ² ~ 50 × 10 ²	2.4 × 10 ²
D _H /D _T	0.12 ~ 0.92	0.2 ~ 0.35
流出流量比	1.3 ~ 25	1.5 ~ 4

Rep₀ = ρ_F · V₀ / μ_F

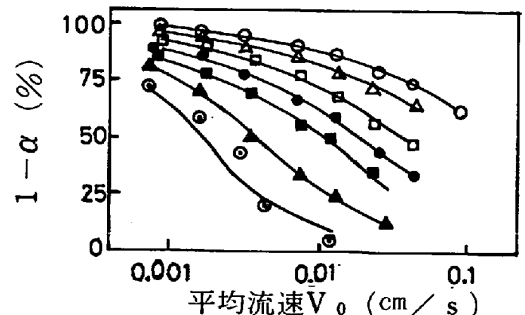


図2 残留率と平均流速の関係

ガラス玉と液体の組み合わせにより x 軸にそって平衡移動していて (図 2), 残留率は V_0 と C_D / ρ_F の積により決まることがわかった。次に D_H が残留率に及ぼす効果の検討を行ない残留率は, 流出係数 F_L ((2) 式) により一義的に図 3 の点線のように示されることがわかった。

$$F_L = R_P \cdot F_r \cdot D_T^2 / D_H^2 = C_D \cdot V_0 \cdot D_T^2 / (g \cdot \rho_F \cdot D_H^2) \dots\dots\dots(2)$$

連続実験 流出流量と流入流量の比 (流出流量比) と D_H を変えて連続実験を行なった。バッチ式の場合と同様に残留率と流出係数の関係 (図 3) は F_L により一義的に示される。スケールアップの制約条件となる無次元数の高炉内推定値は実験範囲内にある (表 1) ので実験結果は, 高炉の出滓時の条件に適用可能である。図 3 の関係が溶銑についても成り立つと仮定すれば, 溶銑の動粘度はスラグの約 $1/150$ なので溶銑の残留率はスラグと比較して小さく, 出銑, 出滓作業ではスラグの排出を十分に行なうことが重要である。

5 出滓の数式シミュレーション 出滓に関する独立変数 (表 2) と残留率 α を与えれば, 出滓開始時のスラグ蓄積量 S_1 は, スラグ蓄積部容積とスラグバランスから次の 2 通りの方法で示される。

$$S_1 = 0.7285 \cdot \beta \cdot D_{HS} \cdot D_T^2 \dots\dots\dots(3)$$

$$S_1 = \frac{W_s \cdot (P_s - W_s / 1440)}{N_T \cdot P_s \cdot (1 - \alpha)} \dots\dots\dots(4)$$

図 3 の関係 (関数 f で示す) と (3), (4) 式から求めた α を等置して (5) 式を得る。(5) 式から表 2 の変数のうち任意の 2 つを選んで, 他の変数

表 2 表 2 出滓条件を与える独立変数

要因	記号	単位	要因	記号	単位
出滓速度	P_s	t/min	スラグ高さ	D_{HS}	m
スラグ粘度	μ_F	P	炉床径	D_T	m
出滓量	W_s	t/D	出銑回数	N_T	回/D
炉床コークス層の補正係数	γ	-	炉床断面積の補正係数	β	-

が一定のときの両者の関係を求めることができる。

$$f(\gamma \mu_F P_s / D_{HS}^2) = 1 - \frac{W_s \cdot (P_s - W_s / 1440)}{0.7285 \cdot D_{HS} \cdot D_T^2 \cdot \beta \cdot N_T \cdot P_s} \dots\dots\dots(5)$$

W_s は, (5) 式の右辺から明らかなように, P_s の増加により増加または減少する 2 つの場合が可能である (図 4)。
 D_{HS} は, P_s の増加により高くなる (図 5) ので, D_{HS} を低くするためには, P_s を小さくする必要がある。

文献 1) 福武, 岡部: 鉄と鋼 57 (1971) 11, S 347,
 2) P.C. Carman: Trans. Inst. Chem. Engers. 15 (1937) 150, 3) R. B. Bird et al: "Transport Phenomena", New York (1960) 108

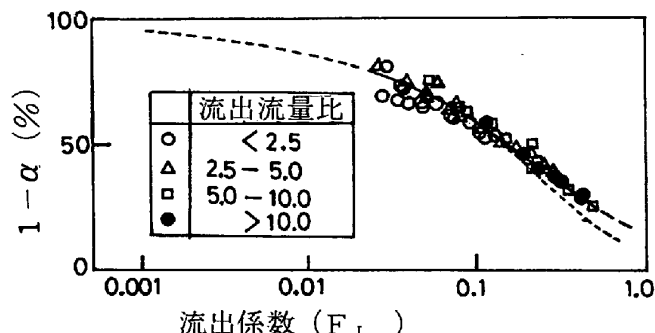


図 3 残留率と流出係数の関係

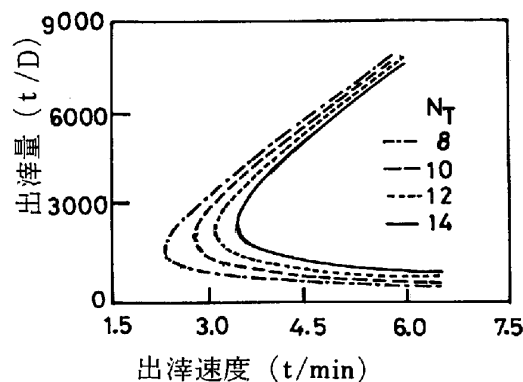


図 4 出滓量と出滓速度の関係

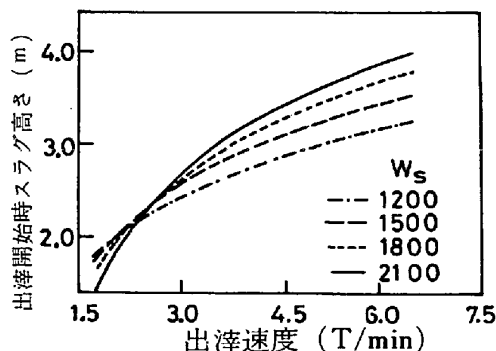


図 5 スラグ高さ と出滓速度の関係