

RH真空槽の上吹きランスから吹きつけた粉体の 取鍋内容鋼での挙動

桐原 理*・相沢 完二*²・加藤 嘉英*³

Behavior of Powder in Ladle Impinged upon Molten Steel through Top Lance of Vacuum Vessel in RH Degasser

Tadasu KIRIHARA, Kanji AIZAWA and Yoshiei KATO

Synopsis : A numerical analysis and an experiment were carried out in order to make clear the effects of operational factors on the behaviors of powder in a ladle impinged upon molten steel in a vacuum vessel and the penetration ratio of the powder into molten steel blasted through a top lance in an RH degasser.

The powder behavior in the ladle was numerically calculated by the equation of motion of the powder in the field of fluid flow given by numerical analysis of Navier–Stokes equation, and was compared with the results of a cold experiment of the RH degasser. Penetration ratio was estimated from the velocity profile of a free jet of gas and powder blasted through the top lance and verified by the hydrogen behavior of molten steel on which pulverized $\text{Ca}(\text{OH})_2$ was blasted in the RH degasser.

The resident times of powder in the ladle decrease as the circulating flow rate and the powder size increase. The floating powders are found near down-leg for larger powder size, whereas they are sucked through up-leg when powder size becomes smaller. Therefore, optimal powder size exists to spread powders in the whole free surface of molten steel in the ladle. The yields of powder into molten steel increase with hard blow of gas and by increasing powder size.

It is necessary to design the procedure of powder blasting in an RH degasser by considering the effects of cutoff of molten slag on molten steel and the yield of powder as well as the reaction rate between powder and molten steel.

Key words : secondary steelmaking; RH degassing; top lance; powder injection; cold model; fluid flow; ladle.

1. 緒言

鋼の高純度化、高清浄度化の要求が高まるにつれて、製鋼分野において二次精錬プロセスが重要な役割を担うようになった。その中で、RH真空脱ガス装置は脱炭、脱水素、脱窒などの脱ガスや脱酸、介在物除去、さらには粉体を使用する脱硫¹⁻⁴⁾などの機能を有する二次精錬の中心的な存在として発展した。

RHの真空槽に吹きこまれた粉体の取鍋内容鋼中での挙動は、精錬反応の効率を決定する重要な因子であるが、取鍋–真空槽間を溶鋼が循環するので転炉や取鍋への粉体の直接吹きこみ法に比べて複雑であり、ほとんど研究されていなかった。著者ら⁵⁾はRH真空槽に上吹きランスから粉体を吹きつけた場合、処理後の真空槽内に粉体はなく、直接排気管に吸引される粉以外は取鍋スラグに移行することを確認している。吹きこまれた粉体が溶鋼と取鍋スラグを遮断するように鋼浴を浮上すれば、取鍋スラグによる精錬反応への悪影響を和らげる効果が期待できる。

また、真空槽内のランスから粉体を溶鋼に吹きつける際、

そのまま排気系に吸引されてしまえば精錬反応に寄与しない。粉体の溶鋼への侵入割合も精錬反応効率を左右する因子と言える。

そこで、それらの挙動を、数値シミュレーションと実験を行って明らかにし、RH操作条件の影響を検討した。

2. 理論解析

RH真空槽内の上吹きランスから粉体を溶鋼に吹きつける方法に関し、RH内の模式図をFig. 1に示す。粉体の主な部分は溶鋼内に侵入し溶鋼の流れとともに取鍋に移行して、最終的に取鍋スラグ直下に浮上する。残りの粉体は真空槽内のガス流れとともに系外に排出される。

2.1 取鍋内での溶鋼および粉体の挙動

溶鋼および水は非圧縮性流体として取り扱えるので取鍋内の流体流動は以下の基礎式で表わされる⁶⁾。

$$\text{連続の式； } (\nabla \cdot \mathbf{u}) = 0 \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{運動量収支式； } \rho_l [\nabla \cdot \mathbf{uu}] = \nabla \cdot (\mu_{\text{eff}} \nabla \mathbf{u}) - \nabla P \dots \dots \dots (2)$$

平成15年3月31日受付 平成15年5月30日受理 (Received on Mar. 31, 2003; Accepted on May 30, 2003)

* 川崎製鉄(株)技術研究所(現:川鉄鉱業(株)技術研究所)(Technical Research Labs., Kawasaki Steel Corp., now Research & Development Lab., Kawatetsu Mining Co., Ltd.)

*2 川崎製鉄(株)水島製鉄所(現:JFEスチール(株)西日本製鉄所)(Mizushima Works, Kawasaki Steel Corp., now West Japan Works, JFE Steel Corp.)

*3 川崎製鉄(株)技術研究所(現:川鉄テクノロジー(株)知的財産・技術情報事業部)(Technical Research Labs., Kawasaki Steel Corp., now Patent & Technical Information Business Division, Kawasaki Steel Techno-research Corp., JFE Bldg. 1-1-2 Marunouchi Chiyoda-ku Tokyo 100-0005)

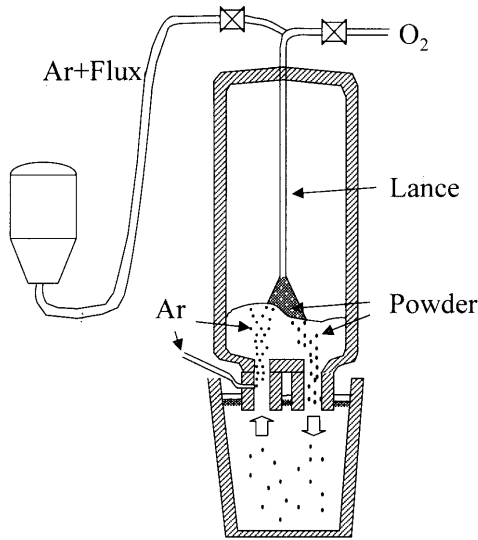


Fig. 1. Schematic view of RH degasser with powder blasting practice onto molten steel of vacuum vessel.

$$\mu_{\text{eff}} = \mu_e + \mu_l \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 \mathbf{u} は流体の速度ベクトル (m/s), ρ_l は流体密度 (kg/m³), P は圧力 (Pa), μ_{eff} , μ_e , μ_l はそれぞれ有効, 分子, 乱流粘性係数 (kg/m·s)である。

取鍋内の流動計算は汎用ソフトのフェニックスを用いて円筒座標系で行った。メッシュ数は半径, 円周, 高さ方向にそれぞれ16, 38, 15とした。計算に用いた物性値は, 溶鋼の密度, 分子粘性係数がそれぞれ7000 kg/m³, 7×10⁻³ kg/m·s, 水の場合それぞれ1000 kg/m³, 1×10⁻³ kg/m·sである。

流体中での粉体の運動方程式は次式で表される⁷⁾。

$$V_p(\rho_p + \rho_l/2)dv/dt = \pi\rho_l d^2 C_D |\mathbf{u} - \mathbf{v}|(\mathbf{u} - \mathbf{v})/8 + V_p(\rho_l - \rho_p)\mathbf{g} \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 V_p は粉体体積 (m³), ρ_p は粉体密度 (kg/m³), d は粉体径 (m), \mathbf{v} は粉体の速度ベクトル (m/s), C_D は抵抗係数 (-), \mathbf{g} は重力加速度ベクトル (m/s²)である。 C_D は粉体と流体の相対速度で定義されるRe数,

$$\text{Re} = |\mathbf{u} - \mathbf{v}|d/\nu \dots\dots\dots (5)$$

を用いて, 次式から計算できる。なお、 ν は動粘性係数 (m²/s)である。

$$C_D = 24/\text{Re} \quad \text{Re} \leq 2 \dots\dots\dots (6)$$

$$C_D = 10/\text{Re}^{0.5} \quad 2 < \text{Re} \leq 500 \dots\dots\dots (7)$$

$$C_D = 0.44 \quad 500 < \text{Re} \dots\dots\dots (8)$$

(4)式の計算は, あらかじめ(1)~(3)式で数値計算しておいた流動場を用いてRunge-Kutta-Gill法によって行った。時間刻み幅は4×10⁻⁴ (s)とした。

2.2 溶鋼への粉体侵入条件

小沢ら⁸⁾は, 気体噴流中の粉体が溶鋼中に侵入するための条件として, 粉体の速度, v_p (m/s)が(9)式を満足することを導いた。

$$v_p \geq 0.01(2\text{We}\sigma_{gl}/d\rho)^{1/2} \dots\dots\dots (9)$$

$$\text{We} = (10/C_D)[\{1 - \exp(3C_D/2\rho_a^*)\}(4\rho_a^*/3C_D + 1 + \cos\theta_c + 2G\rho_b^*/7.5) + 2] \dots\dots\dots (10)$$

$$\rho_a^* = \rho_p/\rho_l + 1/4 \dots\dots\dots (11)$$

$$\rho_b^* = \rho_p/\rho_l - 1/2 \dots\dots\dots (12)$$

$$G = d^2\rho_l g/4\sigma_{gl} \dots\dots\dots (13)$$

ここで、 σ_{gl} は溶鋼表面張力 (=1.7 N/m)⁹⁾, θ_c は接触角 (=120°)¹⁰⁾である。粉体が溶鋼に侵入する臨界の粉体速度を $v_{p,\text{crit}}$ とする。

一方, 上吹きランスから噴射される粉体粒度が10⁻³ (m)以下と十分小さい時, 粉体速度はガス流速とほぼ同一とみなせるので¹¹⁾, 上吹きランスから噴射したガスおよび粉体の速度分布はFig. 2のようになり, 以下の速度分布で表される¹²⁾。

$$v(h, 0) = (6.3d_o/h)v_i \dots\dots\dots (14)$$

$$v(h, r) = v(h, 0) \exp\{-69.3(r/h)^2\} \dots\dots\dots (15)$$

ここで、 v_i はランス出口でのガス流速 (m/s), d_o はノズル内径 (m), $v(h, r)$ はランス高さ, h (m), 軸からの半径, r (m)でのガス流速 (m/s)である。したがって, v_i は $v(0, 0)$ である。

粉体の溶鋼への侵入割合, $\eta(-)$ は粉体粒子径が一定値で, ランスから噴射されるガス中に均一に分布していると仮定すれば, 下記式で表される。

$$\eta_{\text{calc}} = \int_0^{r^*} 2\pi r v(h, r) dr / \int_0^\infty 2\pi r v(h, r) dr \dots\dots\dots (16)$$

ここで、 r^* は $v(h, r) = v_{p,\text{crit}}$ となる時の半径であり, Fig. 2に示したようにその半径以内の粉体は溶鋼内に侵入する。(16)式から粉体の溶鋼への歩留が推定できる。

3. 実験方法

3.1 トレーサーを用いた取鍋内粉体挙動に関するコールドモデル実験

内径, 高さともに0.8mの亚克力製取鍋容器の上部に, 内径0.12mの上昇, 下降管をそれぞれの軸心間距離が0.3m, 管浸漬深さが0.1mでそれぞれが取鍋容器中心位置に対して点对称となるように設置したRHの水モデル実験装置(Fig. 3)を用いた。取鍋の水深は0.65mとした。下降管(上昇管)断面平均の水流速を0.18 m/sとなるように調

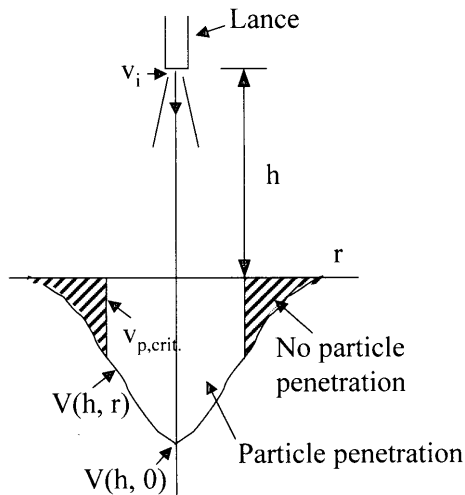


Fig. 2. Velocity profile of jet and region of particle with and without penetration into liquid.

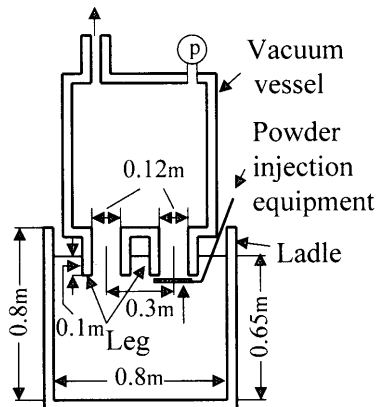


Fig. 3. Schematic view of water model equipment for RH degasser.

節し、粉体トレーサーとして直径0.0015m、比重0.95のアルミナ中空球を用いた。粉体トレーサーの浮上時間はビデオカメラ撮影から測定した。

3.2 溶鋼への粉体歩留に関するホットモデル実験

川崎製鉄(株)水島製鉄所のNO. 2 RHの真空槽上吹きランスから密度、 2200 kg/m^3 の Ca(OH)_2 粉を吹きつけて、溶鋼中での水素収支を求め、粉体歩留を推定した。RHの真空槽断面積は 3.5 m^2 、環流アルゴン流量は $1.5 \text{ Nm}^3/\text{min}$ 、環流量は $120 \text{ t/min}^{10)}$ で、取鍋は内径4m、高さ4mで、溶鋼深さは約3.2mである。上吹きランス先端はラバールタイプで絞り部径は0.026m、ランス先端と溶鋼表面までの距離は2.5m、アルゴン流量は $4.5 \text{ Nm}^3/\text{min}$ 、 Ca(OH)_2 粉吹きつけ速度は 50 kg/min とした。実験に用いた Ca(OH)_2 粉の粒度分布は積算で $3 \times 10^{-6} \text{ m}$ 以下13%、 $5 \times 10^{-6} \text{ m}$ 以下36%、 $1 \times 10^{-5} \text{ m}$ 以下54%、 $3 \times 10^{-5} \text{ m}$ 以下91%、 $6 \times 10^{-5} \text{ m}$ 以下100%のようである。

粉体歩留は Ca(OH)_2 粉が溶鋼に侵入すれば鋼中水素濃度に反映されるとして、次式をもとに計算した。

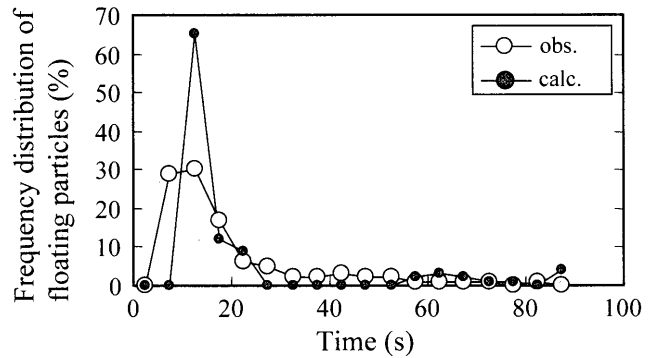


Fig. 4. Comparison of observed floating time of tracer particles with calculated ones.

$$d[\text{H}]/dt = (w_{\text{H}}/m_{\text{Fe}}) \times 10^6 - k_{\text{H}} [\text{H}] \quad (17)$$

ここで、 $[\text{H}]$ は鋼中水素濃度(mass ppm)、 w_{H} は水素添加速度(kg/min)、 m_{Fe} は溶鋼質量(kg)、 k_{H} はRH処理中の脱水素速度定数(min^{-1})である。上吹きランスからの Ca(OH)_2 粉吹きつけ速度を $w_{\text{Ca(OH)}_2}$ (kg/min)とすれば溶鋼への Ca(OH)_2 粉の侵入割合は、

$$\eta_{\text{obs}} = (74/2) w_{\text{H}} / w_{\text{Ca(OH)}_2} \quad (18)$$

となる。したがって、 Ca(OH)_2 粉吹きつけ中の水素挙動から w_{H} を求めることにより粉体歩留が推定可能となる。

4. 結果と考察

4.1 取鍋内流体での粉体の挙動

4.1.1 浮上時間および浮上位置に関する実験および計算結果の比較

下降管直下に、水が通過してトレーサーのみがとどまるように間隔が約0.0015mmの網目を持つふるい状の治具を設置して所定量の粉体トレーサーを上におき、治具と粉に手で衝撃を加えることで一気にトレーサーが水流に巻きこまれるようにして粉の浮上時間および浮上位置を測定した。投入した粉体トレーサーが、取鍋自由表面に浮上するまでの時間割合に関して、実測値と計算値をそれぞれFig. 4に示す。度数分布から計算した平均浮上時間は実測値が18.1s、計算値が21.4sと大略一致することがわかる。実測値の度数分布は5~20sに広がっているが、計算値のそれは10~15sに急峻なピークが存在する。

5箇所に分割した粉体トレーサーの浮上位置の度数分布を、実測値と計算値に関してそれぞれFig. 5に示す。5箇所の分割位置もFig. 5に示した。図中1~3地点の浮上領域に水モデルの場合は92%、計算値では100%浮上しており、計算値は実測値を良く反映していると言える。

以上のように粉体挙動に関する計算モデルが水モデル実験結果を説明していることから、実機規模の溶鋼にも適用可能として計算を行う。

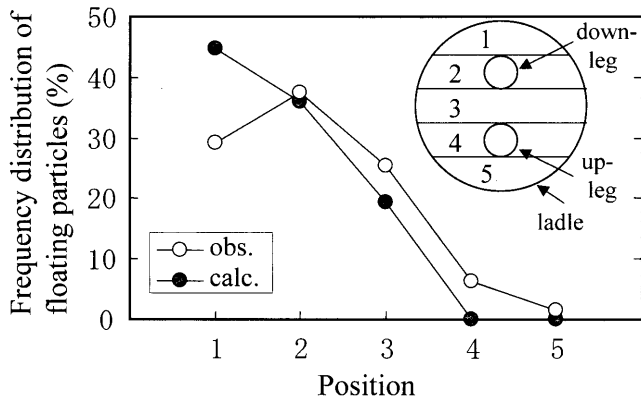
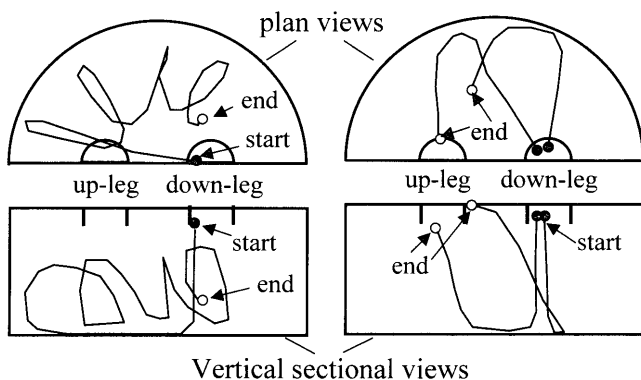


Fig. 5. Comparison of observed floating positions of tracer particles with calculated ones.



(a) Longer floating time (b) Shorter floating time

Fig. 6. Examples of particle trajectories in ladle.

4.1.2 取鍋内流速分布と粉体の軌跡

RHにおける取鍋内溶鋼のフローパターンは、著者らの一人が以前行った計算結果¹³⁾とほぼ同じなので図示しないが、下降管から流入する溶鋼は取鍋底面に衝突後反転し、下降管と取鍋側壁間および上昇管底部でやや取鍋側壁よりの2ヶ所に循環流を形成しながら上昇管に吸い込まれる。三次元的には2つの循環流領域がそれぞれドーナツ状を保ったままその大きさを変えつつ存在し、下降管から溶鋼が供給され、上昇管で溶鋼が吸い上げられるフローパターンとなる。

下降管直下にCaO粉（密度3400 kg/m³、粒径1.5×10⁻⁴ m）を配置した後の取鍋内での軌跡を、上昇、下降管中心軸を含む断面と平面に投影してFig. 6(a), (b)に示す。ここで、粒径1.5×10⁻⁴ m程度のCaO粉を計算に用いた理由は、鉄鋼の脱硫プロセスによく用いられる副原料であることと、別報⁵⁾のRH真空槽内の上吹きランスから吹きつけたCaO粉による溶鋼脱硫挙動と連動させるためである。Fig. 6(a)は浮上時間が長く200 s経過後も鍋内に滞留している場合の計算例で、平面図と上述したフローパターンからわかるように粉体はドーナツ状に循環流に補足されている。それに対して、Fig. 6(b)に示すようにCaO粉配置位置の異なる例では浮上時間が短く、循環流領域に入らずそのまま浮上

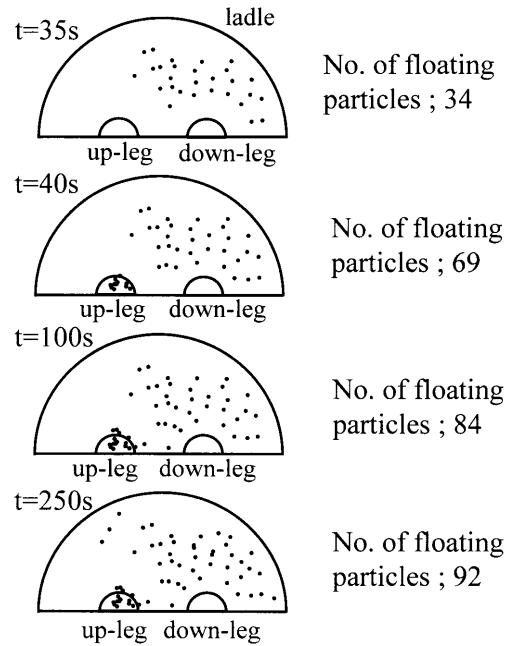


Fig. 7. Time change in number of floating particles and floating points.

したり、上昇管内に吸い込まれる。

粒径1.5×10⁻⁴ mのCaO粉100個を下降管直下の半円部分に乱数発生プログラムで設定した座標にランダムに配置してそれぞれの粉体の軌跡を計算した。環流量は120 t/minである。時間経過とともに取鍋表面または上昇管に吸い込まれる地点をFig. 7に示す。図中のプロットは各CaO粉の浮上位置である。30 s経過時点まではCaO粉は全く浮上しなかったが、35 s経過で約1/3が下降管周囲に浮上し、40 s後には上昇管に吸い込まれる粉体も見られた。しかし、それ以降での粉体の浮上個数はわずかついで、250 s経過後でも8個の粉は取鍋内に滞留している。

4.1.3 粉体の浮上位置に及ぼす環流量、粉体径の影響

粒径2.0×10⁻⁴ mのCaO粉100個を4.1.2の方法と同様に配置して、環流量を変えた場合の粉体の軌跡を計算した。200 s経過後における粉体の取鍋自由表面への浮上または上昇管への吸収状況をFig. 8に示す。図からわかるように、浴内に滞留する粉体は環流量を増すにつれて少なくなるがその減少割合は鈍化する。また、粉体の浮上位置は環流量が小さい60 t/minの場合は下降管周囲が多いが、環流量を増すにつれて上昇管内および下降管から上昇管近傍を含む領域まで広がるのがわかる。この理由は、環流量が小さい状態では浮力の影響が大きくなるので下降管近傍に浮上しやすいのに対して、環流量が大きく慣性力の影響が相対的に増すほど上昇管に吸い上げられる割合が増加するためと考えられる。しかし、上昇管より左側での浮上はほとんどない。

環流量が240 t/min一定下でCaO粉100個の軌跡を前述と同様の方法で、粉体径を変えて計算した。200 s経過後の

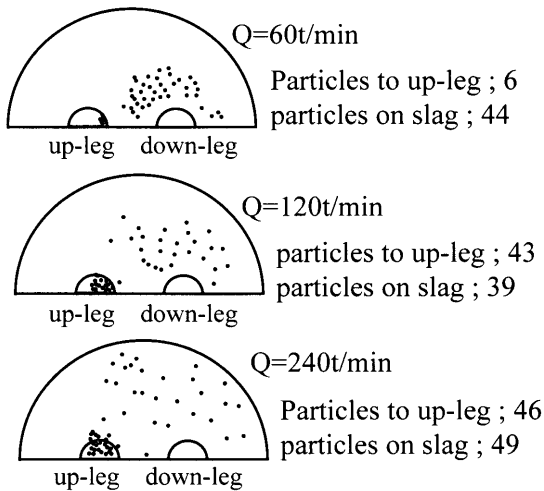


Fig. 8. Effect of circulation flow rate on number of floating particles and floating points after 200 s.

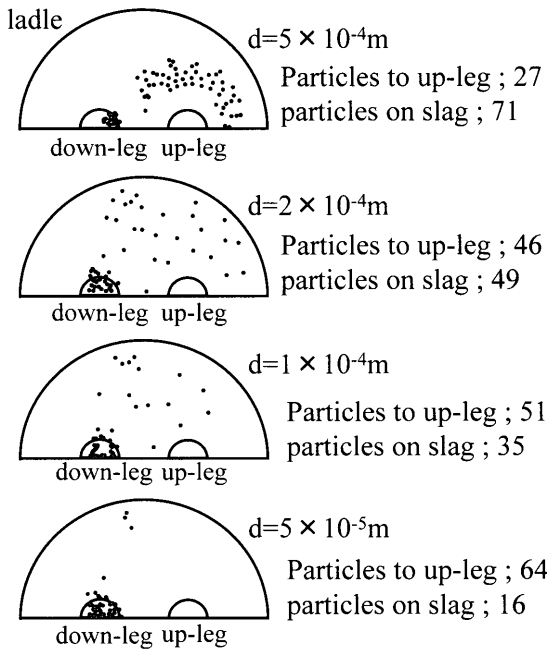


Fig. 9. Effect of pulverized CaO size on floating points after 200 s.

結果をFig. 9に示す。粉体径が大きい粒径 $5.0 \times 10^{-4} \text{m}$ の場合には下降管周囲での浮上が多いが、 $1.0 \times 10^{-4} \sim 2.0 \times 10^{-4} \text{m}$ 径の場合には比較的広い範囲に浮上し、粉径 $5.0 \times 10^{-5} \text{m}$ のように微細化すれば上昇管へ吸い込まれる割合が多くなる。したがって、精錬反応に悪影響を与える取鍋スラグと溶鋼間を効果的に遮断するためには粉径 $1.0 \times 10^{-4} \sim 2.0 \times 10^{-4} \text{m}$ のCaO粉がよい。

4.2 溶鋼への粉体侵入挙動

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ 粉吹きつけの有無における鋼中水素挙動をFig.10に示す。 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 粉を吹きつけない通常のRH処理での脱水素挙動から、 $k_H=0.27 (\text{min}^{-1})$ が得られた。本実験条件で $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 粉を吹きつけた場合、 $[\text{H}]=1.8 \text{ mass ppm}$ では

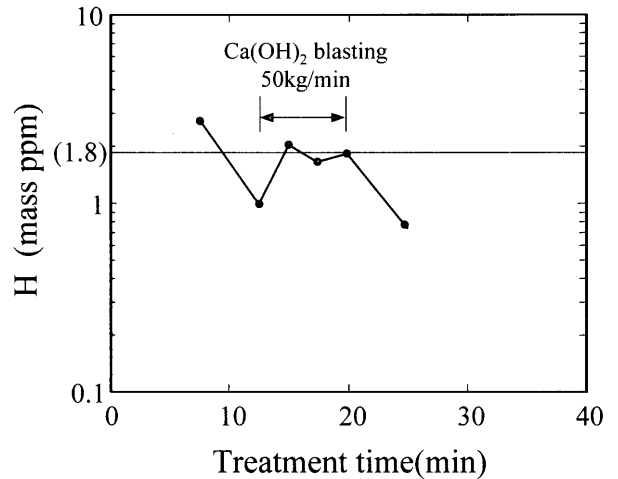


Fig. 10. Time change in hydrogen content.

ほぼ定常状態に達したので、(17)式から、

$$w_H = k_H [\text{H}] m_{\text{Fe}} \times 10^{-6} = (0.27)(1.8)(300000) \cdot 10^{-6} = 0.146 \dots \dots \dots (17)'$$

と求まる。したがって、粉体歩留は(18)式から、

$$\eta_{\text{obs}} = (74/2)(0.146)/50 = 0.11 \dots \dots \dots (18)'$$

となる。

一方、2.2節の溶鋼侵入割合の計算は粒子径が一定であるのに対して、3.2節で示した $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 粉には粒度分布が存在する。この場合は以下のように計算した。まず、粒度分布を $2 \times 10^{-5} \text{m}$ 間隔で区切り、その中央値、 $d_i (\text{m})$ ごとに溶鋼侵入の臨界速度、 $v_{p_i} (\text{m/s})$ を(9)~(13)式で求め、次に(14)~(16)式から各 d_i に対する $\eta_{\text{calc},i}$ を求める。一方、 $d_i \pm 1 \times 10^{-5} \text{m}$ の粒径の割合を $\alpha_i (-)$ とすれば、粒度分布を持った粉体の溶鋼への侵入割合、 β が、

$$\beta = \sum (\alpha_i \eta_{\text{calc},i}) \dots \dots \dots (19)$$

から計算できる。今回の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 粉吹きつけ条件では $\beta=0.10$ と計算され、鋼中水素挙動から推定した $\eta_{\text{obs}}=0.11$ にほぼ一致した。したがって、 β の計算アルゴリズムは溶鋼中の粉体歩留の推算に適していると言える。

今回の実験条件では溶鋼への侵入割合が1割と小さかったが、これを大きくするためには(9)~(16)式からわかるように

- 1) ガスをハードブロー条件、すなわちランス高さを小さくしつつガス流速を増加させること
- 2) 粉体粒径を増加させること

である。溶鋼中の粉体歩留をパラメータとして、ランスからのアルゴンガス流量を $4.5 \text{ Nm}^3/\text{min}$ 一定とした場合のランス高さ と CaO 粉粒径の関係をFig.11に示す。上記1), 2)

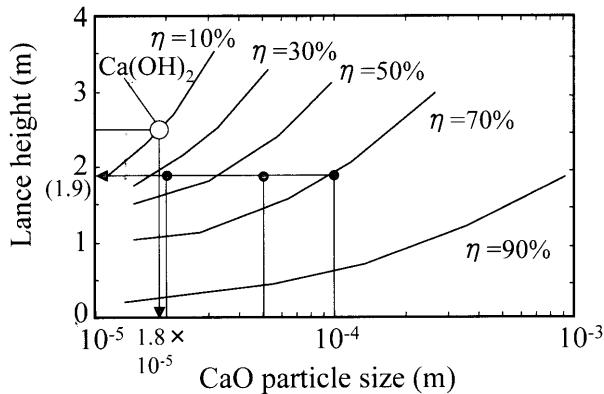


Fig. 11. Effect of lance height and particle size on penetration ratio of powder.

に示したようにランス高さが小さく、粒径が大きいほど溶鋼中の粉体歩留は増加することがわかる。

また、4・2節で示したCa(OH)₂粉のランス高さ2.5m、粉体歩留11%での値もFig.11に示した。Ca(OH)₂はCaOと密度が異なるので本来Fig.11では表わされないが、溶鋼への粉体侵入条件を記述した(9)~(10)式においてWe数が大略粉体密度、 ρ_p に比例するとすれば、(9)式から v_p を規定する粉体径、 d は粉体密度の逆数、 ρ_p^{-1} に置きかえることが可能となる。したがって、Fig.11の横軸のCaO粉体径はCa(OH)₂の場合、密度比の平方根、 $(3400/2200)^{1/2}$ 倍した値となる。Fig.11から、ランス高さ2.5m、歩留11%のCa(OH)₂の粉体径は $(1.8 \times 10^{-5}) \times (3400/2200)^{1/2} = 2.2 \times 10^{-5}$ mと計算される。すなわち、Ca(OH)₂粉には3・2節に示したような粒度分布があるが、これを代表する値が 2.2×10^{-5} mとなる。

4・3 粉体吹きつけ指針の検討

固-液間反応を効率よく行うためには反応界面積を増すのに粉体粒径を小さくする方法が、浮上時間が長く溶鋼内での接触時間が大きいこともあって有利である。しかし、粉体の微細化はFig.11に示したように溶鋼への歩留を低下させる。また、4・1節で示したように取鍋スラグが精錬反応に悪影響を与える場合は取鍋スラグと溶鋼間を粉体が遮断する操作は非常に有効である。Fig. 9に示したように粉径が大きいと下降管近傍のみに粉体が浮上し、粉体径が小さすぎると上昇管に吸い上げられるのみで溶鋼との分離が図られない。計算では $1 \times 10^{-4} \sim 2 \times 10^{-4}$ mのCaO粉径が取鍋スラグを広く遮断するという結果を得た。したがって、粒径が $1 \times 10^{-4} \sim 2 \times 10^{-4}$ mのCaO粉を極力溶鋼へ歩留まらせるためにハードブローとする方法が望ましいと言える。例えば、Fig.11から粒径が 1×10^{-4} mのCaO粉はラン

ス高さが1.9mで溶鋼への歩留が70%と計算される。

なお、今回報告した計算手法は、凝集体を考慮すれば¹⁴⁾介在物の取鍋内での挙動シミュレーションに用いることが可能である。

5. 結言

RH真空槽内の上吹きランスから溶鋼に吹きつける粉体の取鍋内での挙動ならびに粉体の溶鋼への侵入割合（歩留）に及ぼす操作条件の影響をシミュレーションと実験で明らかにした。

- (1) RH下降管から取鍋内に流入したCaO粉は環流量、粉径が大きいほど早く浮上する。
- (2) 粉体の浮上位置は粉体径が大きいと下降管近傍、粉体径が小さいと上昇管に吸い上げられるので、最適径が存在する。環流量120 t/minのCaO粉の場合は $1 \times 10^{-4} \sim 2 \times 10^{-4}$ mの場合が取鍋中表面全面に広がる。
- (3) RH真空槽のランスから粉体を溶鋼に吹きつけた場合の溶鋼への歩留を推定するフローを構築した。
- (4) 粉体の溶鋼への歩留はハードブローで粉体径が大きいほど大きくなる。
- (5) 粉体吹きつけに関する操業の設計は、精錬反応効率、取鍋スラグ遮断効果および粉体の溶鋼への歩留を総合的に勘案して行う必要がある。

文 献

- 1) H.Furusaki, A.Inaba, H.Takamoto, M.Yoshii and S.Yakura: *Tetsu-to-Hagané*, **72** (1986), S261.
- 2) K.Azuma, I.Kobayashi, N.Urabe, S.Onoyama and Y.Mizukami: *Tetsu-to-Hagané*, **72** (1986), S1107.
- 3) Y.Okada, M.Fukagawa, K.Ieta, A.Ebihara, H.Ikemiya and K.Shinme: *CAMP-ISIJ*, **5** (1992), 1238.
- 4) T.Kirihara, K.Yamaguchi, Y.Kato, H.Uehara, M.Suito and K.Hamagami: *CAMP-ISIJ*, **6** (1993), 142.
- 5) T.Kirihara, H.Uehara, H.Nakato and Y.Kato: "Desulfurization of Steel Melt by Pulverized CaO Blasted through Top Lance of Vacuum Vessel in RH Degasser", *Tetsu-to-Hagané*, **89** (2003), in press.
- 6) Y.Kato, H.Nakato, T.Fujii, S.Ohmiya and S.Takatori: *ISIJ Int.*, **33** (1993), 1088.
- 7) T.Kirihara, Y.Kato and T.Fujii: *Tetsu-to-Hagané*, **80** (1994), 705.
- 8) Y.Ozawa, K.Suzuki and K.Mori: *Tetsu-to-Hagané*, **69** (1983), 753.
- 9) 溶鉄・溶滓の物性値便覧, 日本鉄鋼協会, 東京, (1972), 123.
- 10) SLAG ATLAS, 2nd Ed., ed. by Verein Deutscher Eisenhüttenleute (VDEh), Verlag Stahleisen GmbH, Verein, (1995), 528.
- 11) 狩野 武: 粉粒体輸送装置, 日刊工業新聞社, 東京, (1975), 94.
- 12) N.Rjaratnam 著, 野村安正訳: 噴流, 森北出版, 東京, (1981), 43.
- 13) Y.Kato, T.Fujii, S.Suetsugu, S.Ohmiya and K.Aizawa: *Tetsu-to-Hagané*, **79** (1993), 1248.
- 14) H.Tozawa, Y.Kato, K.Sorimachi and T.Nakanishi: *ISIJ Int.*, **39** (1999), 426.