

気抵抗が増大して高炉操業の悪化を招くことが予想される。微粉炭吹き込み(PCI)時の未燃微粉炭の発生量を予測するためには、羽口周辺の流動・伝熱・反応を含む移動現象を把握することが重要となり、シミュレーションによる解析が盛んに行われている。既往の解析モデルにおいてはレースウェイ部分に関して大胆な仮定あるいは省略がなされており、今後の高炉操業で期待される多量PCI、酸素富化、酸素高炉法等の操業条件に柔軟に対応することは困難であると考えられる。そこで本研究ではPCI時の高炉下部、特にレースウェイ近傍における移動現象を行うためのシミュレーションモデルを開発し、PCIの有無による羽口近傍の状況の把握を試みた。

Solid Flow

Cold Model Study on Burden Behaviour in the Lower Part of Blast Furnace

By H. TAKAHASHI *et al.*

レースウェイに流入する粒子の運動及びレースウェイと炉芯の挙動を二次元及び三次元コールドモデルで得られたフローパターンを基に研究した。炉下部はスムーズな流線とタイムラインを示す流れの速い縮流域、粒子運動のない死領域及び死領域の上部にあって極めて緩慢かつジグザグ運動する擬停滞域の三領域から成っていた。擬停滞域は炉頂中心の限定された箇所に供給された粒子で構成されていた。炉頂における、その面積は粒子降下速度のみの関数で表わされた。また操業条件による死領域サイズの変化状況は、操業が全コークスか微粉炭吹き込みかによって影響を受けることが示唆された。また羽口先端が層内部に挿入されていない時は低ガス速度ではレースウェイの周期的な膨張と収縮が起り粒子の不安定降下が生じ、吹込みガス速度の増大によってレースウェイと粒子降下挙動はより安定化した。炉下部を構成する三領域の境界は塑性理論から説明できた。

Modeling of Solid Flow in Moving Beds

By J. CHEN *et al.*

貯槽からの粒子の排出や移動層など固体の重力流動は工業プロセス中で頻繁に用いられている。これを推算するためのモデルは、これまでに数多く提案されているが、本研究では粘性流体の運動方程式に基づく粘性流体モデルを提案した。本モデルでは充填粒子間の摩擦を表現するために固相の見かけ粘度の概念を導入した。また壁面及びデッドゾーン表面では境界条件としてスリップ条件を適用し、Fanningの式に基づいて摩擦抵抗を考慮した。本モデルによる解析結果は、粒径1~2mmの砂粒子に対して固相粘度を0.07Pa・sを採用する事で、対象となる装置の大きさ及び粒子の排出速度によらず、実験結果と良好な一致が得られ、モデルの妥当性が示された。また内部にガスの流通を伴う場合でも、気固間の相互作用を考慮した二相流としての取扱いを用い

る事で、実験結果を良好に再現できた。さらにKinematicモデル及びポテンシャル流れを仮定するモデルと解析結果の比較を行った結果、粘性流体モデルの適用性の広さを確認する事が出来た。

Mechanism of Solid Segregation over a Two-dimensional Dead Man in a Blast Furnace

By K. SHINOHARA *et al.*

高炉内の炉芯部付近における粒子移動・蓄積現象を理解するため、多点供給下の傾斜堆積面での粉粒体偏析としてモデル化した。そこで二次元三角状堆積物上の粉粒体の流動、充填特性を実験と解析により検討した。供給流量とその組成および堆積層の降下速度を変えて、流下速度や混合率分布をビデオで測定した。

その結果、多点供給では、層上方および堆積面に沿って流下速度が増大する。静止堆積層では、流動性に乏しい偏析成分は流下方向で最大値を示し、初期混合率が高く、供給流量が少ない程多くなる。降下速度が速い堆積層では、混合率のピークは高く、下流に移動し、幅広くなる。これらの傾向は、粒子径や密度差が大きいほど顕著になる。

これら操作条件による炉芯内偏析模様への効果は、一点供給時の篠原の篩層モデルを多点供給時に拡張して使用することによって定量的に説明することが出来た。

Liquid Flow

Experiments and Simulation of the Liquid Flow in the Dropping Zone of a Blast Furnace

By Y. ETO *et al.*

高炉滴下帯でのガス・融体の通気、通液性の悪化は高生産性下での高炉の安定性を確保する上で重要な因子である。高炉操業の変化が滴下帯の状況に及ぼす影響を把握することを目的に、異なった径の粒子から構成される充填層中での液流れ挙動の基礎的な測定を行った。円筒形の容器の中心部に細粒、その外側に粗粒のガラスビーズを充填し、上部中心部にポイントソース状に液体を滴下させた。充填層下部で半径方向の液流速分布を測定し、細粒の粒径低下に伴い、中心部の液流速が低下し、液の分散が強化されることを見出した。液の横方向の分散と直接流下するバイパス流を考慮し、各粒径で決定される流速化により液が分配されるとした滴下モデルを提案し、充填構造を有する系での液流れの実験結果を説明できることを示した。

Influence of Slow Descent of Solid upon the Fluids Flow Behavior in Packed Beds Irrigated by a Liquid Counter-current to an Uprising Gas Stream

By T. USUI *et al.*

高炉滴下帯上部の、上昇するガスと下降する液の流動挙動について、従来固定層を用いて研究されてきたが、ここでは固体は絶え間なく降下している。本研究では、粒子移動の影響を調べるため、固定層と移動

層における液ホールドアップとガス圧力損失を測定した。

(1)乾燥固定層と移動層の圧力損失はErgun式による計算値より小さい。原因として次のことが考えられる。粒子移動の影響が塔内部に十分行き渡るように塔径に対する粒子径の比を大きく(約1/6)設定したため、壁近傍の流れが圧力損失に相対的に大きく影響した。充填物として用いたステンレス鋼球は球形度がよく表面が滑らかなこと。

(2)粒子移動速度の増加に伴い、全、静的ならびに動的ホールドアップ(H_t , H_s , H_d)は減少するが、 H_d/H_t はわずかに増加した。灌液塔において固体の移動は圧力損失を増加させる。

(3)固定層における圧力損失 ΔP_F 、移動層における全ホールドアップ H_{tm} および移動層における圧力損失 ΔP_M に対して次の実験式を得た。

$$\Delta P_{WF}/\Delta P_{dF} = \{(\epsilon - H_{tF})/\epsilon\}^{-1.90}$$

$$H_{tm} = 2.38(V_s/V_L)^{0.188} \cdot H_{tF}^{0.420}$$

$$\Delta P_{WM}/\Delta P_{dM} = 1 + (V_L/V_G)^{0.136} \{0.895 + 204(V_s/V_G)^{0.669}\}$$

ここで H_{tF} : 固定層における全ホールドアップ
 ΔP_d , ΔP_w : 乾燥および灌液塔における圧力損失
 V_G , V_L , V_s : 気体、液体および固体の速度

Heat Transfer

Measurement of Effective Thermal Conductivity of Coke

By A. KASAI *et al.*

レーザーフラッシュ法を使用して、100℃~1400℃の温度範囲で、コークスの有効熱伝導度を測定した。コークスの有効熱伝導度の測定値は、温度上昇とともに大きくなり、コークスの気孔率の上昇とともに小さくなった。コークスの有効熱伝導度の値に及ぼすコークスの気孔内における放射の影響は小さいことがわかった。温度T(K)、気孔率 ϵ (-)の関数としたコークスの有効熱伝導度k(W/mK)の実験式として次式を得た。

$$k = \{0.973 + 6.34 \times 10^{-3}(T - 273)\} (1 - \epsilon^{2/3})$$

Measurements of Heat Transfer Coefficients between Gas and Particles both around a Single Sphere and in Moving Bed(Review)

By T. AKIYAMA *et al.*

高温下における気固間流伝熱係数を求めるために、単一球と移動層による伝熱実験ならびに数学的モデルシミュレーションを行った。

もしも、放射伝熱が定量的に評価されたならば、単一球周りの対流伝熱の評価に際しては、Ranzや他の研究者によって報告された従来の経験式に基づく対流伝熱係数が有効であった。移動層伝熱についての実験と数学的モデルシミュレーションにより、次のような経験式が移動層内の対流伝熱係数を求めるための相関式として得られた。

$$Nu = 2.0 + 0.39 Re_p^{1/2} Pr^{1/3}$$