

### 討 3 装入物分布シミュレーション モデルの開発と適用

(株)神戸製鋼所 中央研究所 ○沖本憲市 工博 稲葉晋一  
 加古川製鉄所 小野玲児  
 神戸製鉄所 高田 稔

#### 1. 緒 言

原燃料条件や生産量の変化に的確に対応できる制御技術を確認するという観点から、最近、装入物分布の重要性がますます増大してきている。旧来、炉内に堆積した装入物の分布状態は、主に模型実験の結果を基に推定されてきた。しかしながら、装入物の堆積過程は、装入条件や装入物の物理性状等が複雑に交錯した物理挙動であるために、実験結果のみでは装入物分布状態を随時に推定できない問題があった。この問題を解決して精度の高い装入物分布制御技術を確認することを目的として、ベル式及びベルレス式の数式シミュレーション・モデルを開発した。ここでは、このモデルの特徴と実炉への適用状況について述べる。

#### 2. シミュレーション・モデルの特徴

本シミュレーション・モデルは、ベル式及びベルレス式装入装置に適用できるもので、堆積層の傾斜角、粒子径、空隙率あるいはガス流速等の径方向分布を推定できる<sup>1)2)</sup>。また、実炉の現象を的確にシミュレートするために、以下の事項を考慮した。

##### 2.1 装入物の落下軌跡

炉内に装入される装入物の落下軌跡は、アーマ・プレートや分配シュート・ライナの摩耗により炉壁側へ移行する<sup>2)</sup>。したがって、モデル中の落下軌跡式は、実炉で測定した落下軌跡や堆積層表面形状の最新値で修正できるようにした。

##### 2.2 中心部の混合層

一般に、コークス層上へ鉱石を装入した場合、周辺部のコークスは中心部へ移動する。この移動によって増加した中心部のコークス層厚( $\Delta L_c$ )は、鉱石の装入量、ペレット配合率、鉱石とコークスの径方向落下位置の関数としてモデルに組み込んだ。例えば、ベル装入での $\Delta L_c$ は、Fig.1に示すように、 $C_{II}$ と $O_I$ のアーマ・プレートを中心方向へ押し出すにつれて小さくなり、ペレット配合率が増加すれば逆に大きくなる。

##### 2.3 堆積層の傾斜角

装入物の堆積プロファイルは、曲線を描いており、実験結果から6つの領域に分割できることが判明した<sup>2)</sup>。そこで、中心部、落下点近傍及び炉壁近傍の表面形状は、装入物の種類と流れ込み距離の関数として与え、中間部は直線近似して代表傾斜角とした。一方、実炉内での堆積層の傾斜角は、ガス流速が上昇するにつれて低下することが知られている<sup>3)</sup>ので、モデルでは代表傾斜角を実炉で測定した傾斜角で補正できるようにした。この場合、中心部の混合層が肥大するものとした。

##### 2.4 堆積層の降下速度分布

後述するように、装入物の降下速度分布はOre/Coke分布を的確に把握する上で極めて重要である。

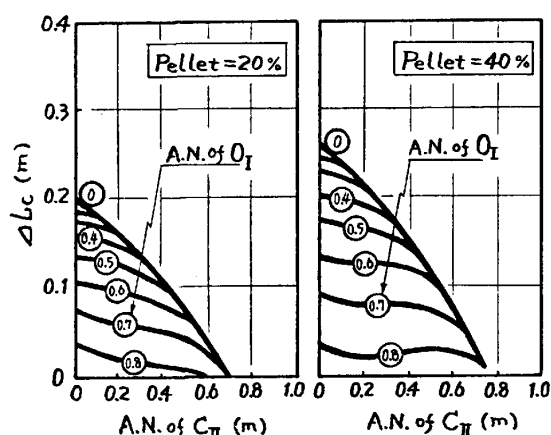


Fig.1 Effect of armor setting position (A.N.) on increased thickness of coke layer ( $\Delta L_c$ ) at furnace center

周辺部の降下速度は、実験結果の解析から、堆積層の傾斜角が増大するにつれて速くなる<sup>4)</sup>ことが判明したので、一次式近似とし、また中心部から中間部の降下速度分布は、シャフト広がり<sup>5)</sup>を考慮した。モデル計算で求めた降下速度分布の一例を Fig. 2 に示す。図から、周辺部は粒子と壁面の摩擦によって粒子配列が変化し、空隙率が低下するために、降下速度が大きくなるが、中心部から中間部にかけては、V型表面形状の堆積層がシャフト部に、より深く降下するにつれて遅くなる<sup>4)</sup>ことがわかる。この中心部から中間部の降下速度分布は、後述するように、実炉で測定される速度分布と異なるため、操業経過に追従してモデルを使用する場合には、実測した降下速度分布を入力することとした。

3. 装入物分布に及ぼす装入条件の影響

アーマ・プレートの設定位置及び指定装入線を変えた場合の装入物分布状態をシミュレーション・モデルで推定した。

3.1 アーマ・プレート設定値 (A.N.) の影響

Fig. 3 は、4 バッチ装入で1つのバッチのみにアーマを使用した場合のガス流速分布を示す。図から明らかなように、中心部の流速は、いずれのA.N.においてもアーマを中心方向へ押し出すにつれて抑制され、この傾向は鉍石の場合に特に顕著である。C<sub>II</sub> アーマの押し出し長さを増大すると中心流が抑制されるが、これは Fig. 1 から明らかなように、中心部の混合層の減少が原因している。

3.2 指定装入線 (C.L.) の影響

アーマ・プレートを使用しないでV型装入した場合、C.L.<sup>2) 5)</sup>を深くさせるにつれて周辺流の抑制されることが知られている。これは、鉍石受金物での装入物の反発量が多くなるにつれて粒子間パーコレーションが助長され、炉壁部に細粒がより多く堆積することに起因している。また、中心部に着目すると、C.L.を深くした場合、中心部の降下速度が遅くなるために、検尺位置でのコークスの降下距離が鉍石に比して大きい場合には、層厚比 (L<sub>0</sub>/L<sub>c</sub>)が小さくなって中心流が助長される (Fig. 4)。しかし、検尺位置でのコークスの降下距離が鉍石に比して小さい場合には、中心部の層厚比が大きくなって中心流が低下する。他方、コークスにアーマを使用してC.L.を深くした場合、コークスの径方向落下位置が中心方向へ移行するため、周辺部に鉍石がより多く堆積する結果、周辺流が抑制される。鉍石にアーマを使用した場合には逆に周辺流が助長される。Fig. 5 は、前述した降下速度分布を活用して、鉍石とコークスのC.L.を変えて2バッチ装入した場合のガス流分布を示す。図から、鉍石の

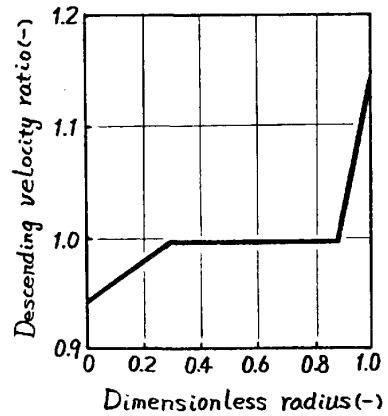


Fig. 2 Radial distribution of descending velocity ratio calculated by simulation model

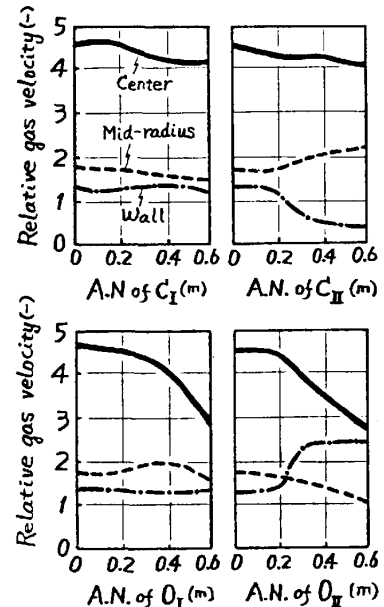


Fig. 3 Effect of armor setting position (A.N.) on relative gas velocity estimated by simulation model

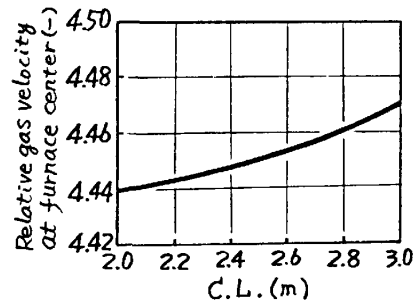


Fig. 4 Effect of charging level (C.L.) on relative gas velocity at furnace center

C.L. をコークスより大きくした場合、検尺位置でのコークスの降下距離が鉱石より大きくなるため、層厚比が周辺部で低下し、中心部で上昇する結果、周辺流が増大して中心流が低下する。

4. モデル推算値と実炉データとの対比

Fig. 6 に、降下速度分布のモデルによる推定値と実炉測定値との対比を示す。図の a) はベル高炉で周辺部の傾斜角が大きい V 型表面形状の場合、b) はベルレス高炉で周辺部の傾斜角の小さい FV 型表面形状の場合の降下速度分布を示す。周辺部の降下速度分布に着目すると、両者の傾向はよく一致しており、模型実験で得られた周辺部の降下特性が実炉の現象をよく表わしていることがわかる。しかし、中心部から中間部の降下速度分布は、両者で異なり、モデル推定値は実測値に比して速い。したがって、実炉の中心部から中間部の降下速度が、シャフト広がりのみでは説明できないと言える。実測の降下速度が遅くなる理由は不明であるが、今後炉下部の現象との関係で解明してゆく予定である。

Fig. 7 は、Fig. 6 の a) で示した実測の降下速度分布を炉況の良否で類別して示す。図から、中心部近傍の降下速度は、炉況が悪化するにつれて速くなることわかる。このような 3 つの降下速度分布をモデルにそれぞれ入力して、層厚比分布を求めたのが Fig. 8 である。図から、中心部と周辺部の層厚比は、中心部近傍の降下速度が速くなるにつれて上昇しており、降下速度分布の層厚分布におよぼす影響の大きいことがわかる。中心部の降下速度が速くなった場合に中心部の層厚比が上昇する理由は、検尺位置でのコークスの降下距離が鉱石に比して大きいことから、C.L. に到達したコークスの中心部近傍での傾斜角が鉱石に比してより大きくなる結果、このコークス層上に装入される鉱石の層厚が大きくなるためである。一方、周辺部の降下速度が大きくなるのは、C.I. の傾斜角が小さくなることに起因している。

このようなモデル推算による層厚比の変化は、以下に示すように、実炉の現象と極めて良好な一致を示している。

Fig. 9 に、炉況を表わす一つの指標として送風圧の変動と検尺位置

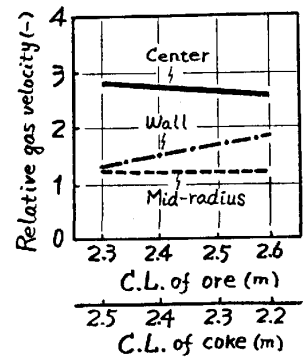


Fig. 5 Effect of charging level (C.L.) of ore and coke on gas velocity estimated by simulation model

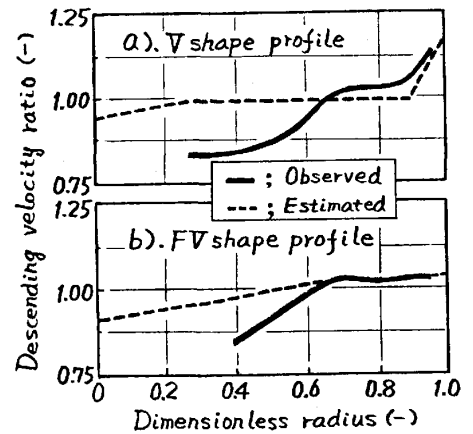


Fig. 6 Relation between estimated and observed radial distribution of descending velocity ratio

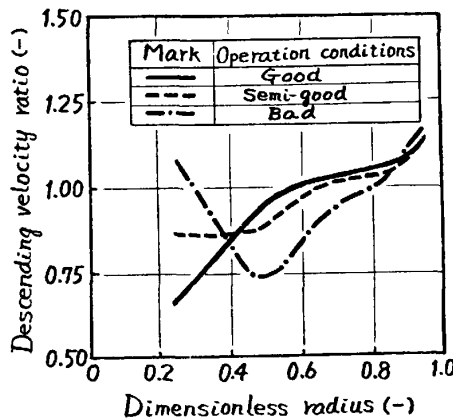


Fig. 7 Radial distribution of descending velocity ratio at various furnace conditions

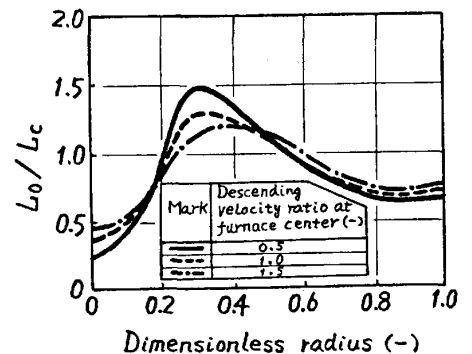


Fig. 8 Change of layer thickness ratio ( $L_0/L_c$ ) with different descending velocities in radial direction

(周辺部)での層厚比との関係を示す。図から、送風圧の変動が大きくなるにつれて周辺部の層厚比が増大していることがわかる。また、送風圧の変動が大きい場合には、中間部の層厚比が低下し、中心部では炉口のガス温度の低下する現象がみられることがあるが、これらは Fig.8にも示したモデル推定による層厚比とよく対応している。

このように、本シミュレーション・モデルは、降下速度分布や落下軌跡の変化及び中心部の混合層等を考慮することにより、実炉の装入物分布状態を極めて精度よく把握することができる。Fig.10は、炉況安定時の装入条件をモデルに入力して求めた大きさの異なる高炉の炉口部での適正ガス流分布と実測のガス温度分布を示す。

図から、中型高炉の周辺部のガス流速が大型高炉に比して大きいことがわかる。この理由は、炉容が小さくなるにつれて炉体からの放散熱が大きくなるため、周辺部でのガス量を十分に確保しなければならないことを示唆しているものと考えられる。このように、炉容ごとにみいだされた炉況安定時の推算ガス流分布は、各高炉の指標ガス流分布として原料条件の変更や燃料比の低下を評価する場合の指針として活用されている<sup>2)</sup>。

5. 結 言

ベル装入及びベルレス装入の装入物分布シミュレーション・モデルを開発し、実炉への適用を試みた。その結果、モデルの適用性を高めるためには、落下軌跡や降下速度分布の変化を的確にモデルに反映させることが極めて重要であることを明らかにした。また、これらの事項に留意することにより、操業状況の変化を的確に評価できることを示した。今後このモデルは、装入物の円周方向分布あるいは炉下部の現象との有機的な結合をはかり、活用度をさらに向上させてゆく予定である。

参考文献

- 1) S. Inaba, K. Okimoto, C. Sato: Proceedings of the 42nd Ironmaking Conference of AIME, Atlanta, April, 17-20, 1983, P. 503~509
- 2) 稲葉晋一, 沖本憲市, 西田 功, 矢場田 武, 高田 稔: R&D 神戸製鋼技報 Vol. 34, No.4 (1984) P. 42~47
- 3) 西尾浩明, 有山達郎: 鉄と鋼, Vol. 66 (1980) P. 1878~1887
- 4) 沖本憲市, 稲葉晋一, 佐藤健一: 鉄と鋼, Vol. 70 (1984) S. 776
- 5) 稲垣憲利, 徳永正昭, 野宮好堯, 浅井謙一, 松田正義, 川岡浩二: 鉄と鋼, Vol. 68 (1982) S. 704

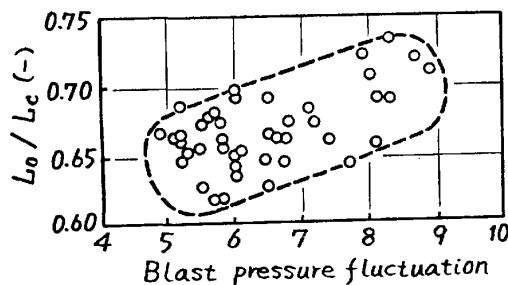


Fig.9 Relation between blast pressure fluctuation and layer thickness ratio at sounding position

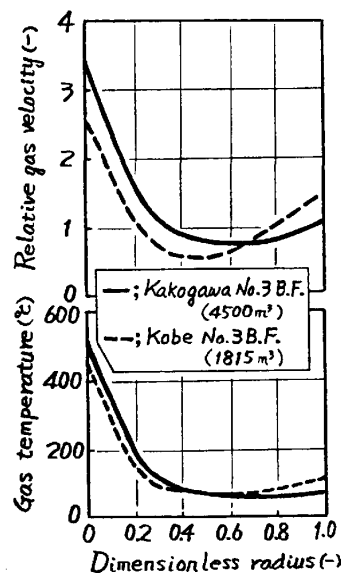


Fig.10 Relation between estimated gas velocity and measured gas temperature at furnace throat