

© 1987 ISIJ

ベル・ムーバブルアーマー高炉の装入物分布
シミュレーションモデル

技術報告

西尾 浩明*・有山 達郎*・佐藤 道貴*

Simulation Model of Burden Distribution in Blast Furnace Equipped with
Bells and Movable Armors

Hiroaki NISHIO, Tatsuro ARIYAMA and Michitaka SATO

Synopsis:

A reliable simulation model of burden distribution in blast furnace was developed. This model has the following features:

- (1) A wide range of burden mixtures of sinter and pellets may be given.
- (2) A variety of charging conditions such as coke base, ore/coke, several combinations of coke and ore batches, movable armor settings, and a stock line may be given.
- (3) Burden profiles will be reproduced with an excellent similarity by use of classification of burden profiles into five patterns.
- (4) The influence of burden bed profiles prior to charging on burden distribution is taken into account.
- (5) The reduction of surface angle with the increase of gas flow rate, and/or with the descent of burden in stack is taken into account.

Key words: iron making; simulation; blast furnace; burden; movable armor.

1. 緒 言

高炉の装入物分布はガス流分布と密接に関係し、鉱石の還元、装入物-ガス熱交換、融着帯の形成、炉壁熱損失、壁付き等に影響を与える。この結果、燃料比と操業の安定性を支配する。さらには、炉の寿命にも影響する。このため、多大の努力が装入物分布制御に払われてきた。

装入物分布の的確な制御は装入物分布と制御手段との因果関係に関する知見を必要とし、このため、装入物分布形成実験が数多く過去に実施されている^{1)~9)}。また、ガス流の力学的効果^{10)~12)}、下層の表面形状の影響⁹⁾、鉱石装入に伴う混合層形成⁷⁾、装入物降下に伴う傾斜角の低下¹³⁾のように、直接には制御できない因子に関する知見をも必要とする。装入物分布は、このような数多くの因子が複雑に絡みあつて定まるので、実炉における計測の充実と因果関係のモデル化なくして、的確な制御を実現するのは困難である。

ムーバブルアーマー付きベル式高炉の装入物分布のモデル化の試みは梶原ら¹⁴⁾によつて行われている。彼らは混合層形成のモデル化に重点を置いて、さらに、ガス

流や装入物降下に伴う傾斜角低下の影響のように、近年得られた知見を取り込んだ初めてのものである。しかしながら、もつとも重要な層表面の形状は、3本の折れ線で表現される過度の単純化のため相似性に問題が残る。

著者らは、装入物分布の支配的因子に検討を加え、送風機能と装入物降下機能を有する実物大模型を製作し、この模型により、実炉の装入物分布を精度良く再現しうることを示した⁹⁾。そして焼結鉱多量配合からベレット多量配合までの幅広い原料配合条件のもとでデータ蓄積を計った。以下、このデータに基づいて各種因子を総合的に考慮しうる装入物分布シミュレーションモデルを開発した経緯について述べる。

2. 現象の定量的表現

2.1 大ベルからの装入物落下

2.1.1 装入物落下軌跡

装入物落下軌跡の推算式は現象の本質を捕えたものでなければならない。著者らが先に提案した推算方法は¹³⁾、この点で、もつとも合理的と考えられるので、この方法を採用する。

昭和 58 年 10 月日本・オーストラリアシンポジウムにて発表 昭和 62 年 1 月 9 日受付 (Received Jan. 9, 1987)

* 日本鋼管(株)中央研究所 (Advanced Technology Research Center, Nippon Kokan K. K., 1-1 Minamiwatarida-cho Kawasaki-ku Kawasaki 210)

実験結果によると¹³⁾、大ベル降下初期に装入物流出の無視しうる期間が存在する。この期間は大ベルホッパー下端における水平方向の開口が装入物平均径の約4倍に到達するまで続く。装入物の流出が始まると、大ベルホッパー下端近傍に動的アーチが形成される。このアーチより上では装入物を構成する粒子同志が干渉しあうので、装入物は動的アーチに向かってゆつくり降下する。動的アーチを通過すると、粒子は自由落下して大ベル面に衝突し、大ベル面に沿って移動し、大ベル端に到る。以上の現象を定式化すると下記ようになる。大ベル降下距離 h_a [m] のとき動的アーチレベルにおける装入物降下速度 u_p [m/s] は、

$$u_p = \sqrt{g(h_a - 4D_p \tan \theta)} \quad (h_a \geq 4D_p \tan \theta) \quad \cdots (1)$$

大ベル面への衝突速度 u_E [m/s] は、

$$u_E = \sqrt{u_p^2 + gh_a} \quad \cdots (2)$$

大ベル端部における装入物滑走速度 u_0 [m/s] は、

$$u_0 = \sqrt{u_E^2 \sin^2 \theta + 2g(l_0 + h_a/2 \sin \theta)(\sin \theta - \mu \cos \theta)} \quad \cdots (3)$$

ここで、 θ は大ベル角度 [deg]、 l_0 は大ベル閉のとき大ベルホッパー壁と大ベル面との接点から外部へ飛び出している大ベルの突出部 [m]、 D_p は装入物平均粒径 [m]、 μ は装入物-大ベル面間の摩擦係数 [-]、 g は重力加速度 [m/s²] である。

大ベル端部を原点にとると、良く知られているように、装入物の落下軌跡は次式で表される。

$$y = x \tan \theta + gx^2 / (2u_0^2 \cos^2 \theta) \quad \cdots (4)$$

ここで、 x は炉壁に向かう水平距離 [m]、 y は炉底に向かう垂直方向距離 [m] である。上記の(1)~(4)式を使用して装入物落下軌跡を求めることができる。

シミュレーションモデルでは、このほか、装入物が炉壁に衝突する場合には非弾性衝突するものとして上記の考えを拡張適用した。すなわち、炉壁が垂直の炉口の場合には垂直に、傾斜を持ったシャフトの場合にはシャフトの傾斜に沿って落下するとした。また、実際の装入物は厚さを持つて流れるので、以上に述べた落下軌跡を装入物の流れを代表する主流線に対応させた。

2.1.2 ムーバブルアーマーの作用

ムーバブルアーマー（以降 MA と略記する。）には、アーマープレートの傾斜を変化させる方式、傾斜固定で半径方向に移動させる方式等がある。本報告では傾斜固定の方式を前提とする。

まず、縮尺 1/10 のスライスモデルを使つて、アーマープレートへの衝突によつて装入物の流れがどのように変わるかを観察する。傾斜角 45° の MA を装入物の落下軌跡と交叉する位置にセットし、大ベルホッパーから装

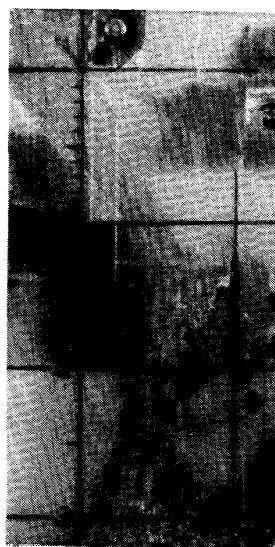


Photo. 1. Transitory stagnant region observed in 1/10 scale model.

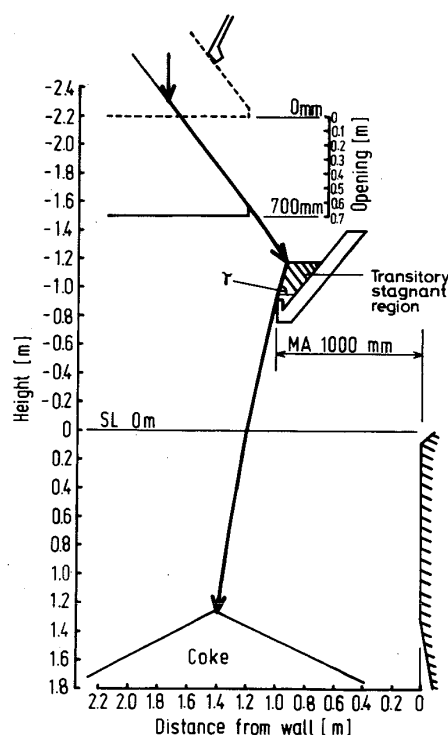


Fig. 1. Falling trajectory from large bell through movable armor.

入物を排出すると、排出初期にアーマープレート上に停滞層が形成される。そして装入物は停滞層に衝突して向きを変え、停滞層に沿って流れる。この様子を Photo. 1 に示す。この停滞層は装入物の排出終了直後崩壊して落下消失する。ただし、停滞層は量的に少ないので、装入物分布形状への影響は無視しうる。扇島第1高炉において MA を適用したときの装入物落下軌跡を実測し、

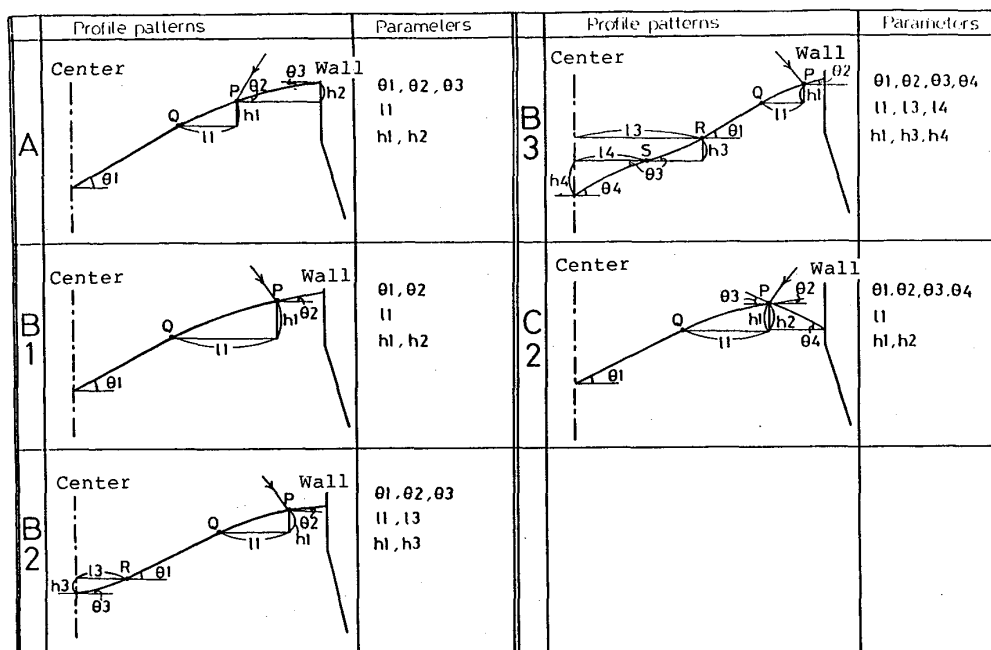


Fig. 2. Classification of burden profile patterns.

逆算によつて停滞層の傾斜角を推定し 75° の値が得られた。この高い傾斜角には主動応力状態¹⁷⁾が関与していると思われるがさらに検討を要する。

すなわち、見掛けのアーマープレート傾斜角 45° に対して、装入物の流れを支配する実質的なアーマープレート傾斜角は 75° と考えられる。

シミュレーションモデルでは、Fig. 1 に示すように、一時的にできる停滞層の傾斜角 γ を 75° とし、これに装入物が非弾性衝突するものとし、さらに、炉内推積層の表面形状は排出末期の装入物が決定することを考慮して装入物排出終了時の大ベル開位置でもつて、(4)式の x, y の原点として装入物堆積層に到る落下軌跡を求めた。

2.2 層厚分布形状

2.2.1 層厚分布形状パターン

著者らは送風可能な福山第5高炉の円周方向 1/10 分割実物大模型を使用して、100 余りの異なる条件下で、焼結鉱、塊鉱、ペレットの配合比を広範囲に変化させて装入物分布形成実験を実施した⁹⁾¹⁵⁾¹⁶⁾。基準条件として、送風量は炉口におけるガスの密度 ρ [kg/m³] と平均ガス流速 u [m/s] の2乗の積 ρu^2 の値で 2.2 kg/m s^2 を選択し、炉口におけるコークスの平均層厚 860 mm, Ore/Coke 3.8 とし、原則としてこれらの条件を固定した。

得られた装入物の層表面形状を詳細に検討したところ、高炉の実用的な操業条件の範囲内ではパラメーター

の種類と数の違いにより Fig. 2 に示す5つのパターン A, B1, B2, B3, C2 に分類できることがわかった。これらのパターンを半径方向に3～5分割して直線と2次曲線の組合せで表現すると、図中併記したように、5～10個のパラメーターにより層厚分布形状が定まる。これらのパラメーターを実験データから求め、さらに装入条件の変更に対して値を求められるように装入条件に関する補間式にまとめた。

シミュレーションモデルでは、まず、装入条件から対応するパターンを選択し、そのパターンが要求するパラメーターを補間式を使つて計算し、このパラメーターを使つて対応する層表面形状を決定した。

2.2.2 コークスの層表面形状

次に、コークスの層表面形状の実例を通して本シミュレーションモデルの特徴を説明する。Fig. 3 は MA を使用しないで (図中 B で表記)、1 チャージ分のコークスを2つのバッチに等分して装入した例である[†]。この2つのバッチ C^B↓ は、いずれも壁面から炉中心へ向かつてゆるやかな上に凸の傾斜を持ち、パターン B1 に分類される。

コークスの第2のバッチに MA を適用した例を Fig. 4 に示す。MA の設定位置は炉壁内面から 900 mm であり、図中 C⁹⁰⁰↓ で示されている。この C⁹⁰⁰↓ はパターン

[†] コークス層と鉱石層を各1回の装入で装入する方法をチャージ装入 (例: CC↓OO↓)、2層をさらに複数の単位 (バッチ) に分割して装入する方法をバッチ装入 (例: C↓C↓O↓O↓) と称する。

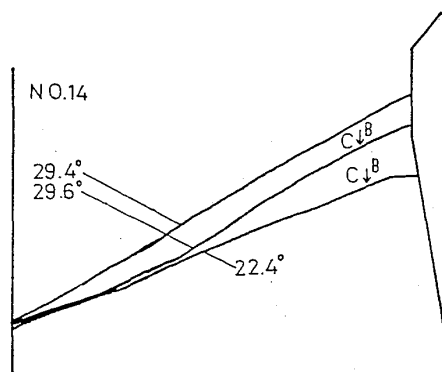


Fig. 3. Surface profile of coke charged without movable armor.

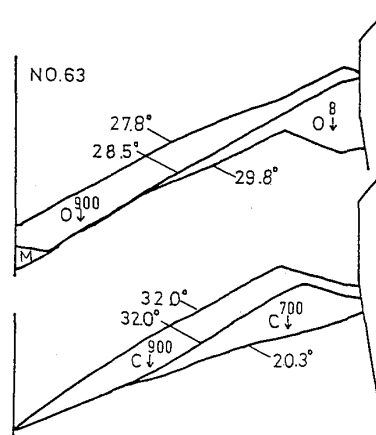


Fig. 5. Effect of bed profile on surface profile of coke charged.

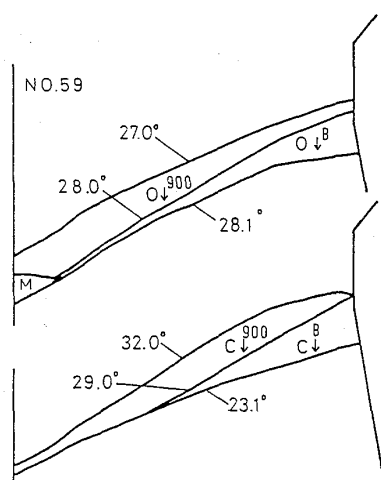


Fig. 4. Surface profile of coke charged with movable armor.

C2 に分類されるが, MA を使用したにもかかわらず明確なピークを持たない。

次に, 下層の第1のバッチに MA を適用することによつて第2のバッチの層表面形状がどのように変化するかを見る。Fig. 4 の第1のバッチは MA 適用がない, すなわち, $C\downarrow$ であるのに対し, Fig. 5 では第1のバッチに MA 700 mm を適用, すなわち, $C\downarrow^{700}$ とし, 上層の第2のバッチは, Fig. 4, Fig. 5 とともに $C\downarrow$ である。両図に示された $C\downarrow$ は共にパターン C2 に分類されるが, Fig. 5 のそれは明確なピークを持ち下層の $C\downarrow^{700}$ の特徴を受け継いでおり, Fig. 4 とは著しく異なる。本シミュレーションモデルではこの結果を Fig. 2 のパラメーターに反映させた。

2.2.3 鉬石の層表面形状

Fig. 6(a) は MA を使用せずにチャージ装入したときの典型的な分布形状を示す。この鉬石のチャージ $OO\downarrow$ はパターン B1 に分類される。下層のコークスチャージ

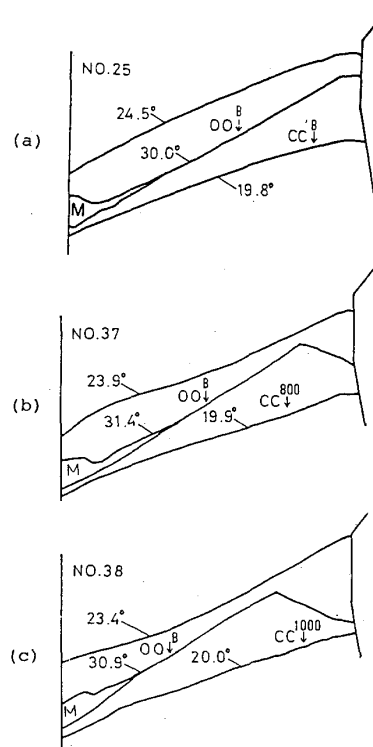


Fig. 6. Effect of coke charging position on ore distribution.

に MA 800 mm を適用, すなわち $CC\downarrow^{800}$ としたのが Fig. 6 (b) であるが, 下層への MA 適用により上層の $OO\downarrow$ の形状はパターン B3 に移行しており, MA をさらに強化して $CC\downarrow$ とすると, Fig. 6 (c) に示すように $OO\downarrow$ の形状はパターン B2 に移行している。以上のように, 鉬石の分布形状もコークスと同じく, 下層の分布形状に影響される。

後述の Fig. 8(b) は Fig. 6 と同一の配合条件で MA

を使用しないで1つのチャージを2つのバッチに分割して、コークス、鉱石計4バッチを装入待ちを入れることなく連続して装入したバッチ装入の例である。一方、Fig. 6(a) はチャージ装入をとっている。両図に示された鉱石層は共にパターン B1 に属するが、両者の傾斜角には明確な差が認められる。すなわち、チャージ装入時の $OO\downarrow$ の傾斜角（装入物表面を炉中心から最高地点までを4等分割した内側の3点における傾斜角の平均値で表示） 24.5° に対して、バッチ装入時の第2の $O\downarrow$ の傾斜角は 28.1° であり、明らかに大きい。なお、Fig. 8(b) の第1のバッチ $O\downarrow$ の傾斜角は 26.6° であり第2のバッチほど大きくないが、これは、装入時第2のバッチ $C\downarrow$ の崩れを伴うことにより炉中心部の傾斜角が低下したためである。

以上のように、大ベル1回の開によつて装入される鉱石量の多寡によつて傾斜角が変わる。本シミュレーションモデルはこの効果を考慮した。

2.3 装入物降下の影響

炉口部に推積した最上層の傾斜角は装入物の降下に伴つて低下する¹³⁾。このことは装入待ちを挟むことによつて傾斜角の調整を可能にする。この例を Fig. 7 に示

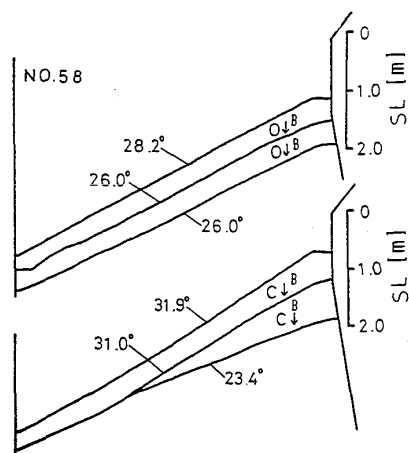


Fig. 7. Control of layer thickness distribution with burden descent.

す。この例では、鉱石装入後のみならず、コークス装入後にもストックライン 2m の指定をした。この結果、コークスの第2のバッチの傾斜角は下側の図に示す装入直後の 31.9° から上側の図に示す鉱石装入直前の 26.0° まで低下し鉱石の傾斜角に近づく。このため、鉱石の層厚分布は炉壁から炉中心にわたってきわめて均一なものとなり、混合層は形成されなかつた。ちなみに、装入待ちを挟まなかつた Fig. 3 の鉱石の層厚分布は不均一で、混合層も形成された。

シミュレーションモデルでは、著者らが先に提案した均一降下モデル¹³⁾によつて傾斜角の変化を求めた。しかし、最上層を構成する粒子は、装入物の降下に伴つて、表面の傾斜に沿つて下流へ移動するので、実測の傾斜角低下が計算値を上回る傾向がある。そこで、実験データに基づいて補正を考慮した。

2.4 混合層

鉱石をコークス層上に装入すると、鉱石がコークス層の一部を削りとつて炉中心部まで運び、鉱石とコークスの混合した層、混合層を形成する⁴⁾。球に近いペレットの挙動は焼結鉱、塊鉱と著しく異なることが知られているが Fig. 8 は、焼結鉱 50%、ペレット 30%、塊鉱 20% の配合条件で、混合層形成に及ぼすペレットの影響を示したものである。装入はすべてバッチ装入であり、図中、S は焼結鉱 100%、ペレット 0%、塊鉱 0% の配合を、O は焼結鉱 50%、ペレット 30%、塊鉱 20% の配合を、P は焼結鉱 0%、ペレット 60%、塊鉱 40% の配合を示す。コークス層に衝突するのは、(a) ではペレット 0% のバッチ S であり、(b) ではペレット 30% のバッチ O であり、(c) ではペレット 60% のバッチ P である。3 図を比較すると、コークスに衝突するバッチのペレット配合割合が高まるにつれて、炉中心部の混合層の領域が広がっていくことがわかる。

シミュレーションモデルでは、実験データに基づいてコークス層と衝突する鉱石の配合が混合層の大きさに及ぼす影響を考慮した。以上述べてきた実験は、2.2.1 項

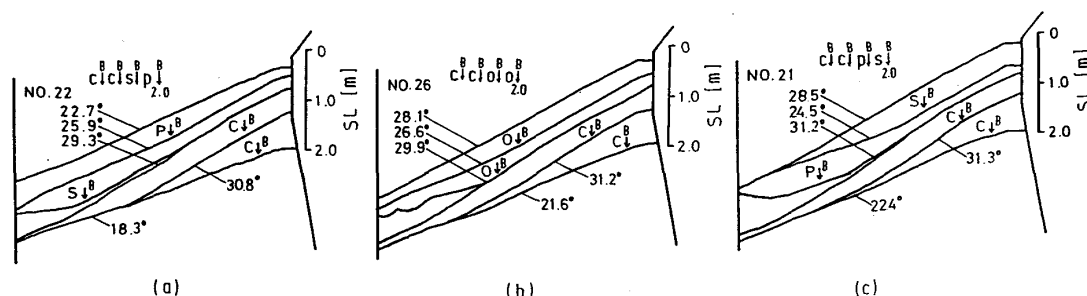


Fig. 8. Mixed layer formation under different pellet rates.

で述べたように $\rho u^2 = 2.2 \text{ kg/m s}^2$ のガス流条件下で行ったものである。ガス流は混合層形成に影響するが¹¹⁾、今回の一連の実験では、データのばらつきが大きいので定量化は困難であつた。そこで、シミュレーションモデルでは混合層に及ぼすガス流の影響は $\rho u^2 = 2.2 \text{ kg/m s}^2$ に固定した。

2.5 ガス流の影響

ガス流の力学的効果によつて装入物の傾斜角は変化する¹⁰⁾。著者らは、先に、この効果に関する理論式¹¹⁾を提案した。すなわち、

$$\frac{\tan \beta}{\tan \phi_i} = 1 - 1.75 \left(\frac{1 - \epsilon}{\phi D_p \epsilon^3} \right) \left(\frac{\rho u^2}{\rho_b g} \right) \left(\frac{1}{\cos \beta} \right) \dots (5)$$

ここで ϕ_i は装入物の内部摩擦角 [deg]、 β は装入物の傾斜角 [deg]、 ϵ は装入物の空隙率 [—]、 ϕ は装入物を構成する粒子の形状係数 [—]、 ρ_b は装入物の嵩密度 [kg/m^3]、 g は重力加速度 [m/s^2] を示す。(5)式を変形して次式を得る。

$$\beta = \phi_i - \sin^{-1} \left(1.75 \left(\frac{1 - \epsilon}{\phi D_p \epsilon^3} \right) \left(\frac{\rho u^2}{\rho_b g} \right) \sin \phi_i \right) \dots (6)$$

ϕ_i の値は無風時の装入物の傾斜角に等しいと近似する¹¹⁾。装入物の局所的な条件と炉口断面平均のガス流の条件を与えて局所の傾斜角 β を(6)式より求めることとした。このような近似的扱いで実測値との一致が確認されている¹⁸⁾。

2.6 半径方向粒度偏析

装入物が炉内の落下点から炉中心部あるいは炉壁部へ向かつて移動する間に粒度偏析が生じるが、これに伴つて空隙率の分布も生ずるものと推定される。粒径、空隙率の半径方向分布はガス流分布を支配する重要因子である。そこで、まず、粒径について述べると、1/10 分割扇形横断面を持つ実物大模型の半径方向 9 個所に設けられたサンプリング口から採取した装入物について、それぞれの個所に対応する平均粒径を求め、コークス層、鉬石層、混合層の各層について平均粒径の半径方向分布を求めた。

次に、空隙率は、山田らの報告した平均粒径 D_p と粒度分布指数 I_{sp} を使って求める方法⁵⁾を適用し、各サンプリング口の試料について I_{sp} を計算し、その結果を半径方向分布の実験式で表した。そして、これに基づいて空隙率の分布を求める手順を組み立てた。

2.7 半径方向ガス流分布

粒径および空隙率の半径方向分布の評価を容易にするために、これらの分布をガス流分布に変換する簡便な方法をここで検討する。炉口部の端効果の影響を受けない

十分深い領域のシャフト部充填層において、半径方向に等温等圧を仮定する。まず、ガスの物質収支をとる。

$$\rho u_0 \pi R^2 = \int_0^R \rho u 2\pi r dr \dots (7)$$

ここで、 u_0 は半径方向平均流速 [m/s]、 R は炉半径 [m] である。ERGUN の式で粘性項を無視すると、圧損は、

$$(\Delta P/H)_i = \phi_i \rho u^2 \quad (i = 1, 2, 3) \dots (8)$$

$$\text{ただし、} \phi_i = 1.75(1 - \epsilon_i)/\phi_i D_{pi} \epsilon_i^3$$

ここで、 ϕ_i は通気抵抗、 $i=1, 2, 3$ はそれぞれコークス層、鉬石層、混合層を示す。半径方向に圧損の分布がないとすると、

$$\sum_{i=1}^3 (\Delta P/H)_i l_i = \text{一定} \dots (9)$$

ここで、 l_i は装入の 1 サイクルの層厚の合計を示す。

(7)、(8)、(9)式を変形して次式を得る。

$$u/u_0 = (1/\sum_{i=1}^3 \phi_i l_i)^{1/2} / 2 \int_0^1 (1/\sum_{i=1}^3 \phi_i l_i)^{1/2} \eta d\eta \dots (10)$$

ここで η は無次元の半径方向距離である。この式を使って平均ガス流速 u_0 で無次元化した無次元ガス流速 u/u_0 の半径方向分布を求めることができる。

3. シミュレーションモデル

シミュレーションモデルは、Fig. 9 に示すように、ベル・アーモシミュレーションプログラムをメインプログラムとして、これに層厚分布形状パラメーターと付随データファイル、混合層データファイルがサブプログラムとして連なる構成をとる。インプットデータを外部より読み込み、計算後、アウトプットはプリンター、プロッターあるいは CRT に表示することができる。シミュレーションの手順は次の 10 項目に整理できる。

(1) 推積層が均一降下モデルに従つて降下する。

(2) 装入物が大ベルホッパー下部の動的アーチから大ベル面上へ自由落下し、大ベル端突出部を滑走し、大ベル端を離れて炉内を自由落下する。

(3) 落下した装入物は直接最上層上に衝突するか、

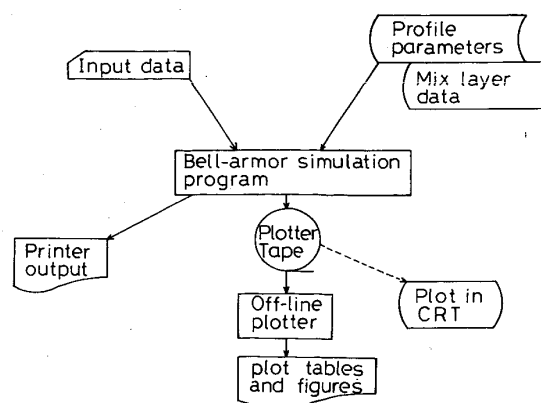


Fig. 9. System flow chart.

MA に衝突して向きを変えてから衝突する。

(4)新しい層が形成される。新層の層表面形状パターンを選択し、ついで、対応するパラメーターの値を求める。そして層表面形状を計算する。

(5)平均炉口ガス流速の値から装入物の傾斜角を補正する。

(6)新層の体積が装入量に一致するように表面のレベルを決定する。

(7)鉱石をコークス層上に装入する場合は混合層の領域を決定する。

(8)コークス層、鉱石層、混合層おのおのについて半径方向の粒径分布、容隙率分布を求める。

(9)1サイクルの装入終了後、鉱石とコークスの層厚比 L_o/L_c および粒径と空隙率の1サイクル平均値を求める。

(10)無次元ガス流速 u/u_o の半径方向分布を求める。

4. 装入物分布シミュレーション

4.1 シミュレーションの例

シミュレーション結果は、(1)装入条件、(2)層厚分布、(3)粒径分布、(4)層厚比の分布、(5)無次元ガス流速分布の5項目を主要部分とする。

結果の1例を Fig. 10 に示す。計算の主要条件は、福山第5高炉のディメンジョン、コークスの平均粒径 50 mm, 焼結鉱 50%, ペレット 30%, 塊鉱 20% の鉱石配合、各鉱石の平均粒径はそれぞれ 18 mm, 13 mm, 12 mm, コークベース 35 t/チャージ, ore/coke 3.80, 第2の鉱石バッチ装入後にストックライン 2.0 m 指定, 装入方法 $C \downarrow C \downarrow O \downarrow O \downarrow O \downarrow C \downarrow O \downarrow O \downarrow$ の2チャージ1サイクルバッチ装入である。(2)図を見ると, MA を適用した2番目のコークスのバッチ $C \downarrow$, $C \downarrow$ の層表面形状は, いずれも下層の MA を適用しない $C \downarrow$ の影響を受けて, MA 適用に特徴的な鋭い突起が和らげられていることがわかる。このように下層形状の影響が考慮されていることが本シミュレーションモデルの特徴である。

(3)図に示すように, 炉中心部には粗粒が偏析する。このため, (4)図に示すように, 炉中心部に通気抵抗が一般的には大きい鉱石が多いにもかかわらず, (5)図に示すように, 炉中心部のガス流が相対的に多くなっている。

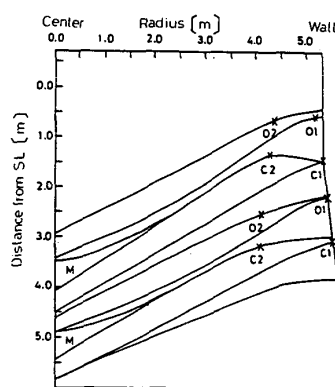
4.2 計算値と実測値の比較

シミュレーションモデルの基礎データを得るのに使用した福山第5高炉の実物大模型で得られた装入物の推積層の表面形状が, 福山第5高炉の実測値とよく一致する

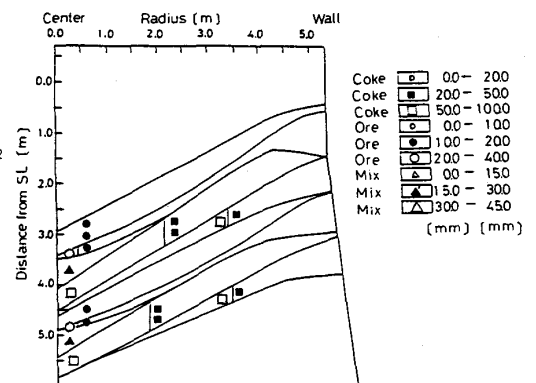
(1) Charging condition

Descending velocity	7.00	m/h
Throat gas volume	60000000	Nm ³ /h
Top gas temperature	12500	°C
Top gas pressure	250	kgf/cm ²
→ Charge 1		
Coke base	35.00 (t/charge)	
Ore/Coke	3.80 (-)	
(Coke)	SL	2.00 (m) C1 ^B
Interval	15.00 (s)	C2 ¹⁰⁰⁰
(Ore)	SL	2.00 (m) O1 ^B
Interval	15.00 (s)	O2 ¹⁰⁰⁰
→ Charge 2		
Coke base	35.00 (t/charge)	
Ore/Coke	3.80 (-)	
(Coke)	SL	2.00 (m) C1 ^B
Interval	15.00 (s)	C2 ⁸⁰⁰
(Ore)	SL	2.00 (m) O1 ^B
Interval	15.00 (s)	O2 ⁸⁰⁰

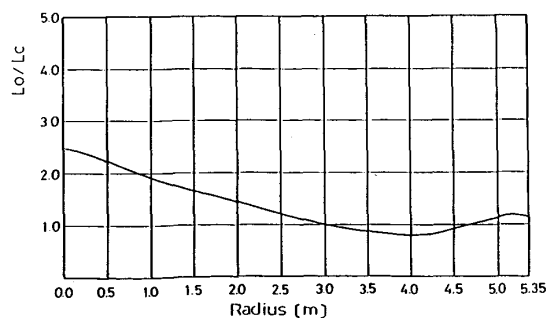
(2) Burden distribution



(3) Distribution of particle diameter



(4) L_o/L_c



(5) U/U_o

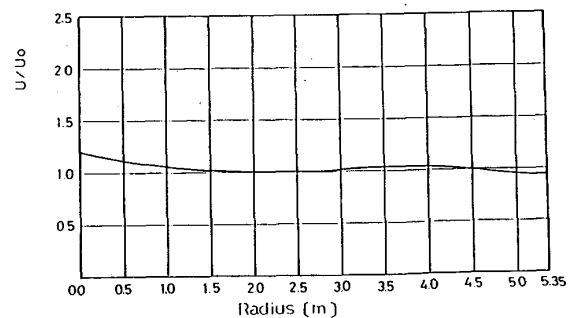


Fig. 10. Simulated burden and gas distribution.

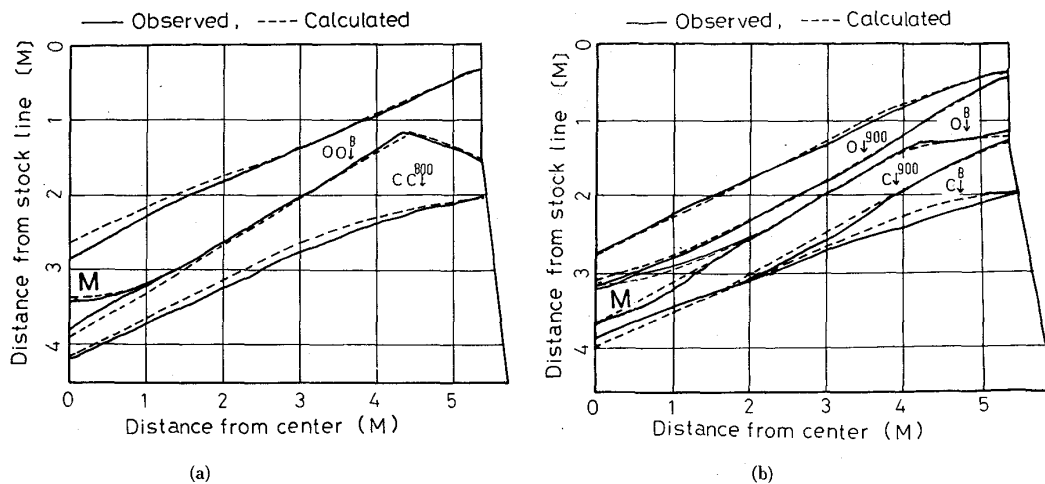


Fig. 11. Comparison between burden distributions simulated and observed.

ことはすでに報告した⁹⁾。そこで、ここでは、シミュレーションの妥当性を検討するために、シミュレーション結果と実物大模型の実験データとの比較をすることにする。比較結果を Fig. 11 に示す。(a) は焼結鉱 75%、塊鉄 25% の配合で $\overset{600}{C}\downarrow\overset{700}{O}\downarrow\overset{800}{C}\downarrow\overset{900}{O}\downarrow$ の装入方法を指定した場合であり、後半の第 2 チャージの部分について両者を比較した。図からわかるように両者は良く一致している。

(b) は焼結鉱 50%、ペレット 30%、塊鉄 20% の配合で、 $\overset{900}{B}\downarrow\overset{900}{C}\downarrow\overset{900}{O}\downarrow$ の装入方法を指定した場合である。バッチ装入の細かい特徴、特に下層形状の影響がシミュレートされており、両者の一致はきわめて良いことがわかる。

5. 結 言

焼結鉱多量配合からペレット多量配合までの幅広い原料条件のもとで、コークベース、ore/coke、多様なコークスと鉄石のバッチの組合せ、MA、ストックラインの設定といった幅広い装入条件に対処しうる装入物分布シミュレーションモデルの開発を目的として研究を実施し、下記の特徴を持つモデルを開発した。

(1) 実物大装入物分布実験の結果に基づいて、層表面形状を 5 つの異なる形状パターンに分類する手法を採用した。これにより層表面形状の細かい特徴の再現が可能となった。

(2) 装入前の下層形状の層表面形状に及ぼす影響を考慮した。この効果は MA 適用時に著しい。

(3) 従来発表されているモデル同様、ガス流による傾斜角低減効果、装入物降下に伴う傾斜角低下および混合

層形成を考慮した。

この結果、本モデルの信頼性は従来見過されていた因子、とくに下層形状の影響を考慮することにより著しく向上した。

文 献

- 1) G. HEYNERT, F. TOUSSAINT, J. WILLEMS and G. QUADE: Stahl Eisen, **80** (1960), p. 473
- 2) E. PEETZ and G. WÜNZER: Stahl Eisen, **81** (1961), p. 1101
- 3) 古賀 強, 綿井義雄, 矢部茂慶: 住友金属, **14** (1962), p. 1
- 4) 城本義光, 金山有治, 奥野嘉雄, 磯山 正: 製鉄研究, (1971) 272, p. 9711
- 5) 山田孝雄, 佐藤政明, 宮崎伸吉, 嶋村鋭郎, 田口整司: 川崎製鉄技報, **6** (1974), p. 16
- 6) W. KOEN, G. E. FLIERMAN and C. H. van TOOR: Aus. I. M. M. Illawarra Branch-B. F. A. Symposium, Wollongong (1975), p. 122
- 7) 研野雄二, 久米正一, 楯岡正毅, 天野 繁, 安倍 勲: 製鉄研究, (1976) 288, p. 11842
- 8) 成田貴一, 稲葉晉一, 小林 勲, 沖本憲一, 清水正賢, 矢場田武: 鉄と鋼, **65** (1979), p. 358
- 9) 西尾浩明, 有山達郎, 脇元一政, 山口 篤: 鉄と鋼, **68** (1982), p. 1523
- 10) 杉山 喬, 中村正和, 鶴野建夫, 原行 明: 鉄と鋼, **62** (1976), S39
- 11) 西尾浩明, 有山達郎: 鉄と鋼, **66** (1980), p. 1878
- 12) 成田貴一, 稲葉晉一, 清水正賢, 小林 勲, 沖本憲市, 山口荒太: 鉄と鋼, **66** (1980), p. 459
- 13) 西尾浩明, 有山達郎: 鉄と鋼, **68** (1982), p. 2330
- 14) Y. KAZIWARA, T. JIMBO and T. SAKAI: Trans. Iron Steel Inst. Jpn., **23** (1983), p. 1045
- 15) 日本鋼管(株) (私信) 1980 年 11 月
- 16) H. NISHIO, T. ARIYAMA, H. SAITO, Y. NIWA and H. YOSHIDA: Proceeding of the 41st Ironmaking Conf. Pittsburgh (1982), p. 174
- 17) 三輪茂雄: 粉粒体工学 (1972), p. 166 [朝倉書店]
- 18) 山本亮二, 岸本純幸, 斉藤典生, 有山達郎, 西尾浩明, 佐藤道貴: 日本鋼管技報 (1985) 106, p. 1