

論 文

UDC 669.162.283 : 536.244 : 65.012.2

不均一分布を考慮した高炉モデル*

全

明**・館

充***

A Mathematical Model of Blast Furnace Considering Uneven Distribution of Burdens and Gas

Chon MYONG and Mitsuru TATE

Synopsis:

In order to clarify the effects of radial distribution patterns of the burdens on the ore reduction, heat transfer between gas and solids, and other operational results, a mathematical model taking account of an uneven radial distribution is presented.

The blast furnace is divided annularly into center, intermediate and peripheral zones, to all of which the mathematical model presented before can be applied by assuming the plug flow and uniform distribution of gas as well as of burdens. The distribution of gas flow rate to the three zones is regarded to be so determined as that gas pressure is equal everywhere in any horizontal section of the furnace under the radially different gas permeability due to radial distribution of ore/coke ratio. The calculation is carried out so as to make the mean of coke temperatures at the tuyere level equal to a predetermined value under a given o/c distribution.

The results of the calculation show that the increase of CO-utilization by about 1.8% and the saving of coke consumption by about 10 kg/t-metal may be expected under the condition of uniform distribution in comparison with the distribution pattern in the 22th campaign of the experimental blast furnace.

1. 緒 言

高炉においては特有の装入方法により、炉の半径方向で装入物の不均一分布が発生する。また、それは同時にガス流の不均一分布を招く。最近ではムーバブルアーマーを用いて、ある程度装入物の分布をコントロールできるようになっている。操業の方針としてガスの顕熱と還元ポテンシャルを最も良く利用し、しかも装入物の円滑な荷下りを保証できるようにガス流及び装入物の分布をコントロールすることが望ましい。この二つの要求はときには矛盾対立するという事実が問題を困難にしている。

従来発表された炉内ガス流速の半径方向分布モデルとしては POLTHIER¹⁾、鞭²⁾、POKHUISNEV³⁾らの報告があり、また RADESTOCK⁴⁾は炉内の羽口から上部への圧力分布の計算結果を発表している。半径方向の分布を考慮した高炉モデルは LAHIRI⁵⁾によつてすでに提出されて

いる。しかしこのモデルは炉頂でのガス側の温度、濃度分布と原料の分布との関係がアプリオリに与えられていなければ、炉内での分布を推定できないという問題点がある。

本論文ではガスの熱、及び還元ポテンシャルの有効利用という点に着目して、装入物の炉半径方向の分布パターンによつてガス-固体間の伝熱、還元プロセスがどのような影響を受け、したがつて炉の操業成績がどのようなかを不均一分布を考慮したモデルによつて検討した。

2. 炉頂装置分布調査

東大生研試験溶鉱炉第22次操業⁶⁾では桑野、大谷⁷⁾らによつて炉頂での分布調査試験が行なわれた。試験高炉の装入装置を含むシャフト上部とほぼ等寸の向流移動層を製作した。風をかけない状態で混合装入した場合の装入物の水平方向の分布を Fig. 1 に示す。縦軸には o/c

* 昭和 48 年 10 月本会講演大会にて発表 昭和 49 年 3 月 12 日受付 (Received March 12, 1974)

** 東京大学生産技術研究所 (Institute of Industrial Science, the University of Tokyo, Roppongi, Minatoku, Tokyo 106)

*** 東京大学生産技術研究所 工博 (Institute of Industrial Science, the University of Tokyo)

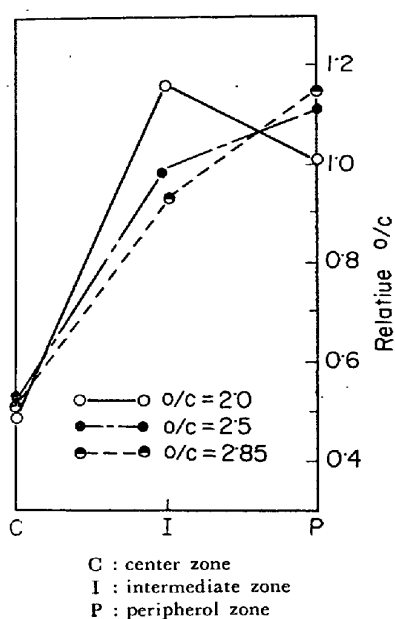


Fig. 1. Variation in relative o/c along radii.

比, すなわち半径方向の各場合の o/c の全断面の平均の o/c に対する比をとつてある。それによると o/c が 2.0 のとき M 字型に近く o/c が 2.5, 2.85 のときは, ほぼ V 字型で互いに似ている。いずれにしても炉の中心部は極端に o/c が低くなつてゐる。 o/c が 2.0 の場合を除けば混合装入の場合, 同一の o/c 比の分布パターンをとると考える。

つぎに半径方向で装入物が同一の速度で降下していると見て, 単位時間当りに装入される装入物の層厚は半径方向のどのゾーンにおいても等しいと粗い仮定をする。この仮定と o/c 比 α_i の分布とから焼結鉄, コークスの半径方向の分布を求める。すると半径方向の各ゾーンで, 次の式が成立する。

$$(FC_i/\rho_c + FS_i/\rho_s)/S_i = (FC/\rho_c + FS/\rho_s)/S \quad \dots (1)$$

式(1)で, $i=1, 2, 3$ はそれぞれ中心部, 中間部, 周辺部を示し, その番号のついた記号は, そのゾーンでの諸量を表わす。また式(2)~(4)が成立する。

$$F_s = F_c \cdot o/c \quad \dots (2)$$

$$S_i = S \cdot \gamma_i \quad \dots (3)$$

$$FS_i = FC_i \cdot o/c \cdot \alpha_i \quad \dots (4)$$

$$(i=1, 2, 3)$$

以上(2), (3), (4)式を(1)式に代入して, FC_i に関して解くと次のようになる。

$$FC_i = \frac{(\rho_s + o/c \cdot \rho_c) \cdot \gamma_i \cdot F_c}{(\rho_s + \alpha_i \cdot o/c \cdot \rho_c)} \quad \dots (5)$$

$$(i=1, 2, 3)$$

(5)式と(4)式とから半径方向の各ゾーンに装入されるコークス, 焼結鉄の量がわかるから, 各ゾーンでそれ

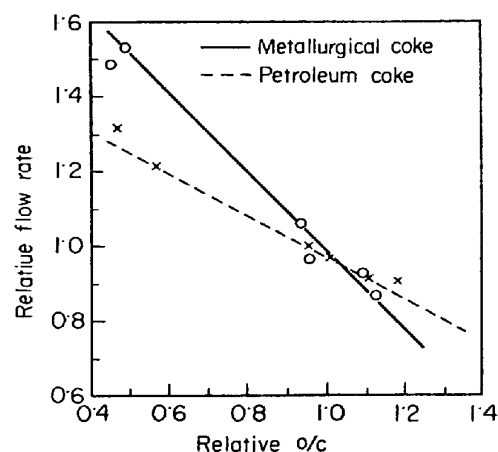


Fig. 2. Relation between relative flow rate and relative o/c.

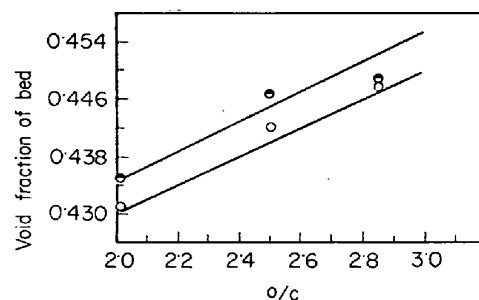


Fig. 3. Relation between void fraction and o/c.

ぞれの体積分率が計算できる。すると各ゾーンで装入物の平均粒径が次の式から求められる。

$$1/\bar{DP} = X_s/DPS + X_c/DP_c \quad \dots (6)$$

また, 炉頂分布調査では o/c の分布とガス流速分布は相関を持つことが確かめられており, Fig. 2 に示してあるように, o/c 比とガス流速比は次のような関係がある。

$$\beta_i = 2.06 - 1.06 \cdot \alpha_i \quad (i=1, 2, 3) \quad \dots (7)$$

各部の風速は熱線風速計で測定しており, ガスの温度は室温である。これにより装入物の o/c の分布がわかれば, ガス流速はある程度推定できる。半径方向の o/c の小さい部分ほどガスが流れやすくなつてゐる。

この調査では同時に圧力損失も測定してあるから, ERGUN⁷⁾の圧力損失式から平均の o/c と全断面における平均の空隙率の関係が導き出される (Fig. 3)。

$o/c=2.0, 2.5, 2.85$ の三点で測定がなされた。同一の分布パターンをとるかぎりほぼ同じ値を示すはずであるが, 実際には o/c が小さくなるにつれて半径方向の装入物の分布の不均一度が大きくなり, したがってそれだけ風が流れにくいことになり, みかけ上平均の空隙率が小さくなるように見える。

3. 半径方向の空隙率の分布の計算手順

半径方向の空隙率の分布を次の手順にしたがって計算する。

- 1) 平均の o/c とガス流量(冷風)を与える。
- 2) Fig. 3 の関係からこの o/c のときの平均の空隙率を算出する。
- 3) この条件で ERGUN の式から圧損 ΔP を計算。
- 4) Fig. 1, Fig. 2 から半径方向の o/c の分布, ガス流量分布を計算。
- 5) このガス流量分布の条件から, 半径方向の各ゾーンで圧損が先の ΔP に等しくなるように空隙率をきめる。

4. 不均一分布モデルの準備

不均一分布モデルは計算過程で, 次の二つのモデルを使用する。

- (1) 均一分布モデル⁸⁾ (モデル 1)
- (2) 送風条件一定で o/c を変動させたときの操業の予測モデル (モデル 2)

2 番目のモデルは同一送風条件に対して o/c を変化させたとき, 炉内の各種プロセス変数の分布, 各種操業指数がどのようになるかを予測するモデルである。送風条件に対して設定した o/c がいわゆる荷が軽い場合に相当するときには, 熱的余裕が生じ羽口前装入物温度が上昇するであろうし, 逆に荷が重い場合には熔融レベルの低下, 羽口前装入物温度の低下が起こるであろう。

実際の計算のフローチャートを Fig. 4 に示す。羽口前装入物温度 TST , 毎時の焼結鉱装入量 F_s , 直接還元量 DR の三つを仮定する。均一分布モデル⁸⁾ と同様の方法によって求めた三つの反応器の長さの和が, 実際の高炉の炉頂から羽口までの距離に等しくなるように, DR を定め, またこれによってコークス装入量 F_c が計算される。そして $F_c \cdot o/c$ が初めに仮定した F_s に等しくなるかどうかで, F_s を決める。等しくなったら, 残りの間接還元量が間接還元帯の温度条件下で実際に速度論的に還元しうるかいかによって TST を定める。

22 次操業の送風条件下で o/c を変えていつたときの装入物の温度プロファイルの変化を Fig. 5 に示す。 o/c を小さくしていくと, 温度プロファイルが全体として上昇していく。図から o/c を 0.27 低下させるとシャフト部で約 100°C 上昇しているのがわかる。また羽口前装入物の温度の上昇はさらに急であり, 240°C も大きくなっている。実際の出鉄温度はこのような差を示さない。従来の試験高炉の操業結果より推定すると o/c が小さくなる

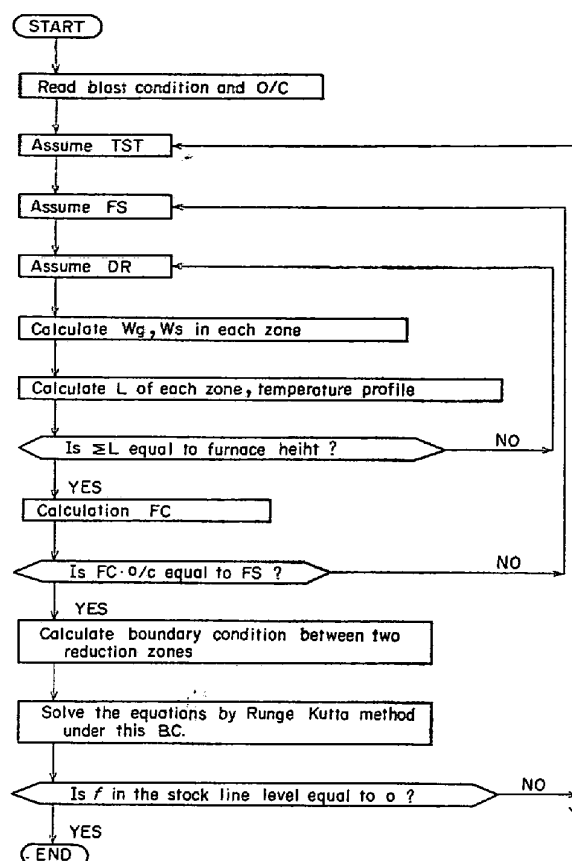


Fig. 4. Flow chart to calculate the model which presume operational results when o/c changes under the same blast condition.

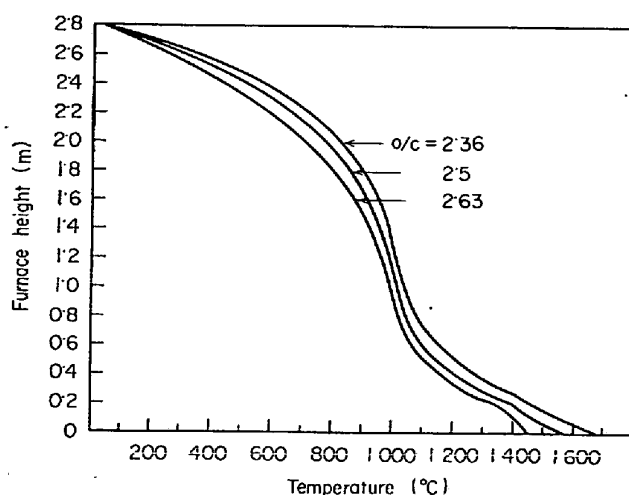


Fig. 5. The variation of temperature profile when o/c changes under the same blast condition.

と湯の温度は上昇するが, 炉床に溜まる湯の量が少なくなるため熱損失が大きくなり温度低下があるためと考えられる。

また, o/c の変動に伴う鉄鉄組成の変化があり, 下部における装入物の水当量もそれに応じて変化する。しか

しここでは羽口前装入物温度と銑鉄組成との対応が、はつきりつかめていないこともあり、これによる水当量の変化は小さいとして無視した。

5. 不均一分布モデルの計算方法

高炉を同心円状に、中心部、中間部、周辺部の三つのゾーンに分け、各々を相互に独立した三つの反応器と考える (Fig. 6)。中心、中間および周辺部の幅を等しくすれば、中心部、中間部、周辺部の面積比は次の通りとなる。

$$\gamma_1=0.111, \quad \gamma_2=0.333, \quad \gamma_3=0.555$$

まず送風条件と o/c 比 α_i の分布を読み込む。すなわち、炉特有の装入方式により装入物の分布が決まり、これは既知のものとして与えられる。次に半径方向のガス流量を仮定する。さらに装入物の分布パターンから半径方向の空隙率、平均粒径の分布を計算する。

高炉を中心部、中間部、周辺部の三つの反応器に分けた場合、そのうち任意の一つの反応器の羽口レベルにおける装入物の温度を仮定する。羽口レベルの燃焼帯は一樣な面と考えると、そこへ降下してくる装入物の温度は半径方向に分布を有しているが、燃焼帯では完全混合が行なわれるものとして羽口前燃焼ガス温度が計算できます。すると、この条件下では羽口レベルにおける装入物の温度をどの反応器で仮定しても結果は同じことになります。

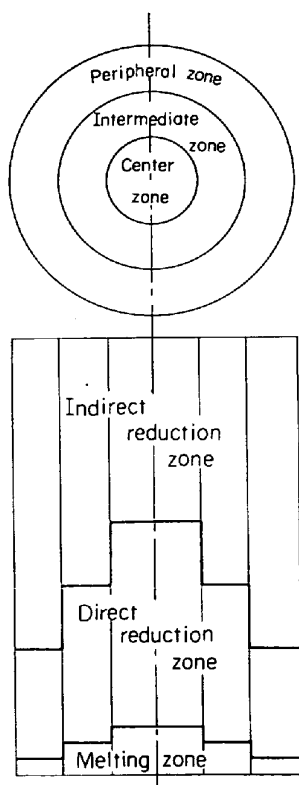


Fig. 6. Subdivision of blast furnace along radii.

各反応器内ではガス流も装入物の流れもピストン流と仮定できるから、この反応器に均一分布モデル (モデル1) を適用する。それによつてこの反応器内での焼結鉱、コークスの装入量を定める。すると o/c 比の分布パターンから他の二つの反応器での o/c が決まる。この二つの反応器ではガス流条件と o/c が指定されているから、前述のモデル2を適用することによつてそれぞれ、羽口レベルの装入物の温度を得る。

次に羽口以下の炉床部の溜めとしての機能に着目し、そこに降下してきた融体は完全混合され、混合された融体の顕熱が所定の値を保持することが銑鉄組成一定の保証条件であるとする。そのため羽口レベルにおける中心、中間、周辺の各部分の装入物の温度を各部分の装入物の水当量に応じて平均することにより、その平均値が所定の値に一致しているかどうかを判定する。違つていれば一致するまで、最初に仮定した一つの反応器における羽口レベルの装入物温度の値を変更して計算を繰り返す。こうして各反応器で温度分布が求まるがその条件で再び流量分布を計算する。この分布がもとの仮定した分布と一致するまで計算を繰り返す。このようにして各反応器での装入物、ガス流量分布、温度プロファイル、ガス組成分布、各種操業指数が求まる。

計算のフローチャートは Fig. 7 に示す。

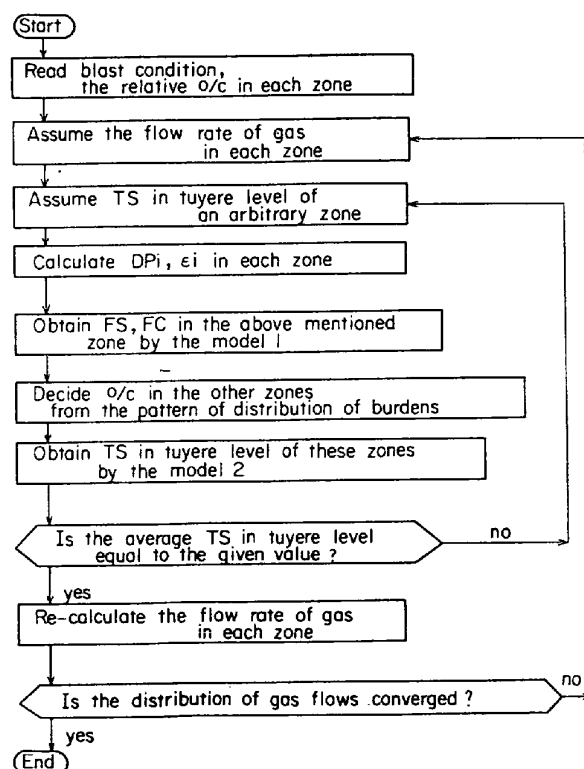


Fig. 7. Flow chart to calculate the B. F. model based on the assumption of uneven distribution of burden and gas.

6. 流量分布の再計算の方法

半径方向の各ゾーンで、空隙率 ε_i 、平均粒径 DP_i 、その反応器の入口温度と出口温度の対数平均温度 $\tilde{T}_i$ 、圧力 P が既知のときガス流量分布 G_i を求めてみよう。

ただし $i=1, 2, 3$ 、でそれぞれ中心部、中間部、周辺部での諸量を表わす。ガスの物質収支から次の(8)式が成立しなければならない。

$$G \cdot S = \sum_{i=1}^3 G_i \cdot S_i \quad \dots\dots\dots (8)$$

圧損が各部分で等しくなるように、ガス分布が調節されるから Fig. 8 に示す手順が成り立つ。

7. 各反応器への熱損失の割当て

高炉全体の単位時間当りの熱損失 QT は一定とする。この QT の半径方向の三つの反応器への割当量 QT_1 , QT_2 , QT_3 は次のようになるものとした。

$$\left. \begin{aligned} Q_1 &= US \cdot \pi \cdot D_1 \cdot (\tilde{T}_1 - \tilde{T}_2) \\ Q_2 &= US \cdot \pi \cdot [D_2 \cdot (\tilde{T}_2 - \tilde{T}_3) - D_1 \cdot (\tilde{T}_1 - \tilde{T}_2)] \\ Q_3 &= UW \cdot \pi \cdot D_3 \cdot (\tilde{T}_3 - 30) - US \cdot \pi \cdot D_2 \cdot (\tilde{T}_2 - \tilde{T}_3) \\ Q &= Q_1 + Q_2 + Q_3 \\ QT_i &= QT \cdot Q_i / Q \quad (i=1, 2, 3 \text{ の場合に成立}) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

US は実際の半径方向の温度変化から経験的に $5.0 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}$ 前後の値を採用した。

また一つの反応器で間接還元帯、直接還元帯、融体存在域への熱損失の分配は、各ゾーンの長さや温度レベルの積に比例してなされるものとした。

8. 羽口近傍での不均一分布

高炉では特有の装入方式により発生するシャフト部での不均一分布の他に、送風が羽口で行なわれることに帰因する不均一分布が炉下部で生ずる。送風により羽口先に燃焼帯が形成されるが、それが全断面を蔽うにいたっていない。そのため炉下部で原料の降下が影響を受け、燃焼帯の上で最大速度で降下するが中心部では停滞する。したがって炉の中心に更新の遅い炉芯と称される Dead Space が発生する。またこの部分ではガスが直角に方向を変える過渡領域であるため、高炉上部におけるガス分布と様相を異にする。

いずれにしても、この部分は実体的調査がほとんどなく、高炉の研究でいまだ解明されていない大きな分野として残っている。結局、現在の段階では融体存在域でのガス、装入物の分布に大胆な仮定をせざるを得ない。

融体存在域でのガス、装入物の分布はシャフト部のそれと同様であるとする。しかし、融体存在域の熱伝達係

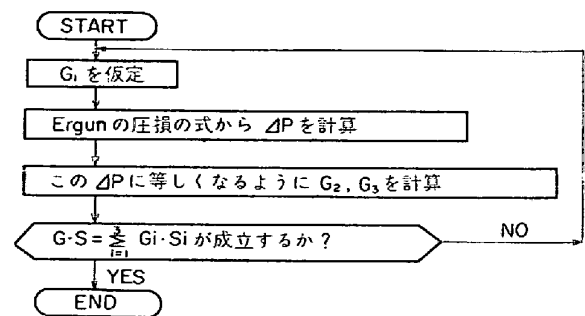


Fig. 8. Flow chart to recalculate radial gas distribution.

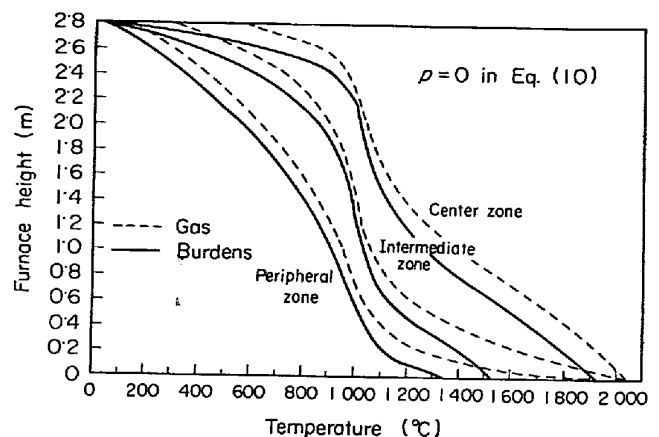


Fig. 9. The variation of temperature profile along radii under the condition of uneven distribution of burdens. ($\alpha_1=0.6$, $\alpha_2=0.99$, $\alpha_3=1.10$)

数を次の式(10)によつて修正するものとする。

$$h_i = h \cdot \tilde{B}_i^p \quad (i=1, 2, 3) \quad \dots\dots\dots (10)$$

9. 計算結果

送風量 $VB=4.66 \text{ Nm}^3/\text{min}$ 、送風温度 $TB=843^\circ\text{C}$ 、送風湿分 $\varphi=0.03 \text{ Nm}^3 \text{ H}_2\text{O}/\text{Nm}^3 \text{ D. B.}$ のもとで、 o/c 比が次の二つの分布パターンを持つとき、高炉の各種操業指数がどのようになるかを比較してみた。

$$(1) \quad \alpha_1=0.6, \alpha_2=0.99, \alpha_3=1.10$$

$$(2) \quad \alpha_1=\alpha_2=\alpha_3=1$$

(1)の o/c 比の分布は 22 次操業の炉頂装置分布調査結果から求めたものであり、(2)の分布は半径方向で差のない均一分布である。

9.1 第 22 次操業の装入物分布のときの各種プロセス変数の半径方向の分布

はじめに(10)式で $P=0$ として融体存在域の熱伝達係数を求めたときの半径方向の温度分布の変化を Fig. 9 に示す。すなわち融体存在域の熱伝達係数はその部分での流量分布に基づく修正はしなかつた。このとき中心部

の羽口レベルにおける装入物温度は 1920°C と常識から予想される結果とかなり違っており、この仮定が不当であることがわかる。次に $P=6$ としたとき、すなわち融体存在域の熱伝達係数がその部分での流速比の6乗に比例するとしたときの半径方向の温度分布の変化を Fig. 10 に示す。中心部の羽口レベルにおける装入物の温度は 1820°C と低くなっているが熔融レベルが上昇し、中心部の下部の温度分布が不自然な形となつてゐる。いずれの場合もコークス比等の操業指数の予測結果には差が

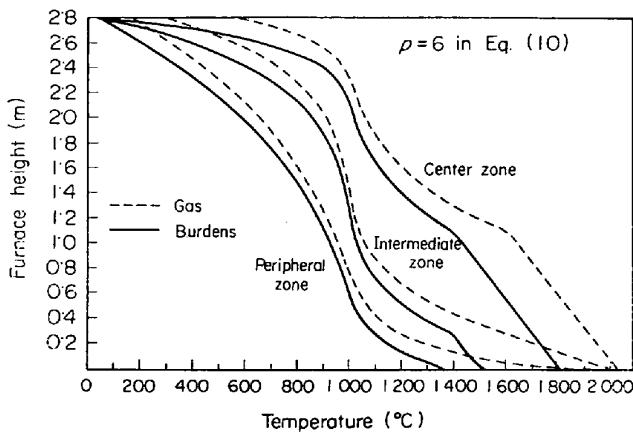


Fig. 10. The variation of temperature profile along radii under the condition of uneven distribution of burdens. ($\alpha_1=0.6$, $\alpha_2=0.99$, $\alpha_3=1.10$)

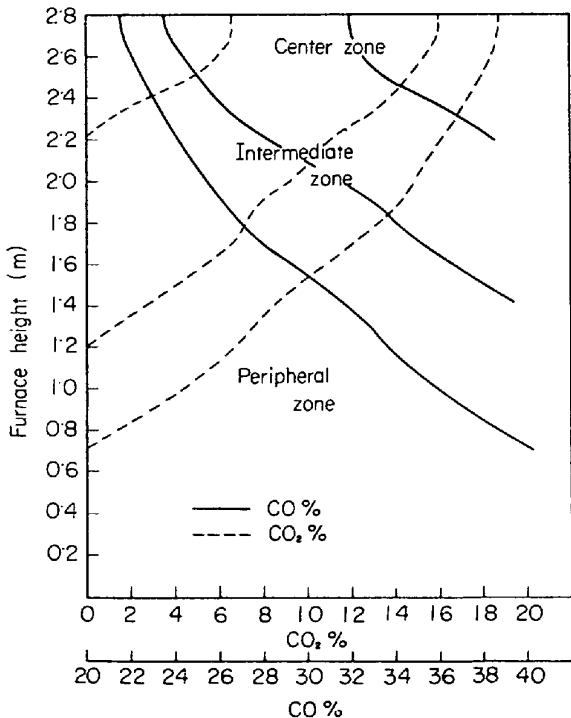


Fig. 11. The variation of gas composition profile along radii under the condition of uneven distribution of burdens.

なかつた。また半径方向にかなりの温度差を生じ、周辺部では o/c が高く、負荷が大きいため羽口レベルに降下しても装入物が融けないのに対して、中心部、中間部では負荷が小さいため、熱的余裕が生じて羽口前装入物温度はかなり高温になつてゐる。以後 $P=6$ としたときの結果を示す。半径方向のガス組成分布、還元率の分布を Fig. 11, Fig. 12 に示す。

利用率は周辺部で 46.5% に達するのにに対し、中心部では 17.2% と小さい。

このようにガスのエネルギー利用度は半径方向で異なり、荷の重い周辺部では良く利用されるのに対し、中心部ではあまり利用されないまま炉頂から出ていく。還元

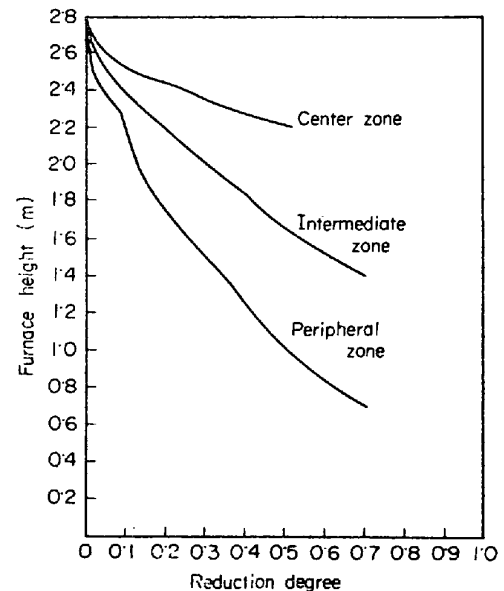


Fig. 12. The variation of reduction degree along radii under the condition of uneven distribution of burdens.

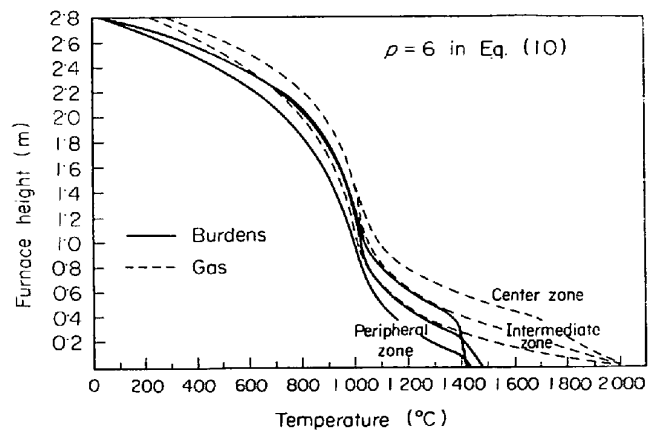


Fig. 13. The variation of temperature profile along radii under the condition of uniform distribution of burdens.

い。

9.2 (2)の装入物分布, すなわち 均一分布のときの各種プロセス変数の半径方向の分布

装入物の分布が均一であつても Fig. 13 に示すように周辺への熱損失により半径方向に温度差が生じ, そのためガス流速分布は一様にならなくて, 周辺部により風が流れるようになる. このときの中心部と中間部とではほとんど差がなく, 中間部と周辺部で 100°C 弱の温度差が生じている. Fig. 14 に示すように, この温度差のために還元の進行が半径方向で若干異なってくる.

同一送風条件のもとで装入物が均一分布したときと, 不均一分布したときの操業結果を Table 1 に示す. 不均一分布のとき冷風時と操業時の流速比を比較してみると, 冷風のときは風の流れに大きな偏りがあつて中心部に多く流れていたが, 操業時には半径方向に温度差が生じ, 中心にいくほど温度が高くなつていくので通気抵抗が増大するようになり, 風の流れが冷風のときより均一になつてくる. 均一分布において中心部の羽口前装入物温度が一番小さくなっているのは, 羽口近傍過渡領域におけるこの部分の熱伝達係数を一番小さくしているためである. 両分布のときコークス比を比較してみると, 均一分布のときは不均一分布のときに較べて約 10 kg 節減される. これはガスと装入物の接触が改善され, CO-利用率が 1.8% 近く向上するためである.

$\alpha_1=0.6$, $\alpha_2=0.99$, $\alpha_3=1.10$ の分布からわかるよう

に中心部で不均一が大きいがこの部分の面積比はわずかであり, 全体としてこの分布は均一分布に近いと考えられる.

用いた諸パラメータを Table 2 に示す. イタリアの Bagnoli 製鉄所の第 4 高炉の実績データ⁹⁾ から推定した速度パラメータをあわせて示した⁸⁾. 実際に不均一分布が生じている高炉に均一分布モデルを適用するとき, 速

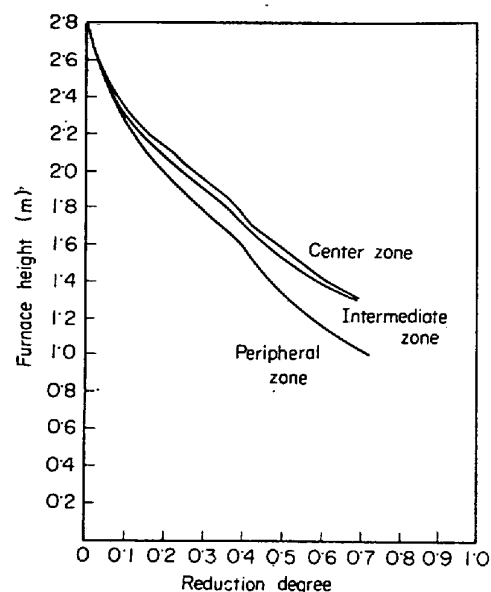


Fig. 14. The variation of reduction degree along radii under the condition of uniform distribution of burdens.

Table 1. Comparison of operational results.

	Center zone	Intermediate zone	Peripheral zone	total	Center zone	Intermediate zone	Peripheral zone	total
Relative o/c	0.6	0.99	1.10		1.0	1.0	1.0	
Relative-flow rate (room temperature)	1.422	1.011	0.8945		1.0	1.0	1.0	
Void-fraction	0.5063	0.4453	0.4250	0.4438	0.4438	0.4438	0.4438	0.4438
Consumption of sinter kg/hr	16.95	88.0	170.6	275.0	31.5	93.1	152.5	277.1
Consumption of coke kg/hr	10.77	34.1	59.28	104.2	11.7	34.6	56.7	103.1
o/c	1.573	2.58	2.878	2.646	2.69	2.69	2.688	2.689
Coke rate	1.077	656.4	588.8	640.4	629.9	630.3	630.4	630.2
Relative flow rate (operation)	1.244	0.9941	0.9686		0.9844	0.9844	1.008	
Top gas temperature $^{\circ}\text{C}$	568.6	302.7	164.2		270.6	274.3	228.4	
Temperature of coke in tuyere level $^{\circ}\text{C}$	1827	1531	1371	1460	1430	1479	1448	1456
Productivity kg/hr	10	51.9	100.7	162.6	18.6	54.9	90.0	163.5
CO-utilization %	17.2	40.6	46.5	40.8	41.9	42.7	42.9	42.6

Table 2. The comparison of rate parameters.

		Uniform distribution		Uneven distribution experimental furnace
		Experimental furnace	Commercial furnace ⁹⁾	
k_{COV} m/hr		$2\,688 \exp\left(-\frac{14\,000}{R \cdot TS}\right)$	$957 \exp\left(-\frac{14\,000}{R \cdot TS}\right)$	$3\,344 \exp\left(-\frac{14\,000}{R \cdot TS}\right)$
k_{COH} m/hr		$673 \exp\left(-\frac{7\,000}{R \cdot TS}\right)$	$584 \exp\left(-\frac{7\,000}{R \cdot TS}\right)$	$741 \exp\left(-\frac{7\,000}{R \cdot TS}\right)$
h kcal/m ² ·hr·°C	indirect reduction zone	4.5	3.4	4.5
	direct reduction zone	6.0	7.1	6.0

度パラメータをその分布パターンの諸結果に合うように修正しなければならない。そのため分布パターンが異なるとそのパラメータ値は使用できないはずである。

不均一分布モデルのときは、速度パラメータは分布の影響を受けないはずであるから実験室的に定めた値にほぼ近い値にならなければならないが、ここでは実験値よりも少し高目に出ている。

10. このモデルの適用性

この数式モデルの計算時間は FACOM 230-55 で計算して 1.5 min~2 min かかるが半径方向での分割数をさらにふやすと計算所要時間が急増する。しかしその分布パターンから考えてさらに分割数を増加させる必要はないであろう。このモデルは現在高炉から得られる知見を考慮して組立てられているが、多くの問題点を含んでいる。その一つとして融体存在域におけるガス、装入物の分布がよくわかっていないことにより、過度に単純化した仮定を採用しなければならなかったことである。さらに半径方向の三つの反応器相互間の物質の移動はないとしたが、これが現実とどの程度相違するかよくわかっていない。

本モデルを円筒状でないプロフィルの高炉に適用する場合、半径方向の各部分のガス流速、装入物の降下速度の比率が高炉の高さ方向で一定になるように中心部、中間部、周辺部を分割すれば良い。

今後、高炉に関して実体的調査が継続され、高温域に関する情報が増えるにつれ、モデルをより適用性のあるものにしていきたい。

11. 結 論

装入物の分布パターンが還元プロセスにどのような影響を及ぼすか、またその結果炉の各種操業指数がどのよ

うになるかを明らかにするため不均一分布を考慮したモデルを提出した。同一送風条件下で 22 次操業の装入物の分布パターンが均一分布になると、コークス比で約 10 kg、利用率で 1.8% 改善されるという結果がこのモデルにより示された。しかしさらにモデルを適用性のあるものにしていくためには、炉の下部における装入物とガスの分布など今後の高炉の実体的調査にまたねばならない。

記 号

高炉は同心円状に三つに分割したとき、 $i=1, 2, 3$ の添字のついた記号はそれぞれ中心部、中間部、周辺部における諸量を表わす。

D_i : 各ゾーンの直径 (m)

DP_i : 各ゾーンにおける平均粒径 (m)

DPS, DPC : 焼結鉱、コークスの粒径 (m)

$\bar{D}P$: 装入物の平均粒径 (m)

DR : 直接還元の進行量 (kg mole/hr)

EPS : 空隙率 (—)

f : 還元率 (—)

FS_i, FC_i : 各ゾーンの焼結鉱、コークスの装入量 (kg/hr)

FS, FC : 毎時の焼結鉱、コークスの装入量 (kg/hr)

G_i : 各ゾーンのガスの質量速度 (kg/m² hr)

h_i : 各ゾーンの融体存在域での熱伝達係数 (kcal/m² hr °C)

h : ガスの分布が均一のときの融体存在域での熱伝達係数 (kcal/m² hr °C)

L : 反応器の長さ (m)

o/c : 鉱石とコークス重量の比 (—)

P : パラメータ

QT : 単位時間当りの高炉の熱損失 (kcal/hr)

QT_i : 各ゾーンの熱損失 (kcal/hr)

S_i : 各ゾーンの断面積 (m^2)
 S : 高炉の断面積 (m^2)
 $\bar{T}_i$: 各ゾーンの平均温度 ($^{\circ}\text{C}$)
 TB : 送風温度 ($^{\circ}\text{C}$)
 TST : 羽口レベルの装入物温度 ($^{\circ}\text{C}$)
 US : 半径方向の層間熱伝達係数 ($\text{kcal}/\text{m}^2 \text{ hr } ^{\circ}\text{C}$)
 UW : 周辺への熱損失の伝熱係数 ($\text{kcal}/\text{m}^2 \text{ hr } ^{\circ}\text{C}$)
 VB : 乾風量 (Nm^3/min)
 W_g : ガスの水当量 ($\text{kcal}/\text{hr } ^{\circ}\text{C}$)
 W_s : 装入物の水当量 ($\text{kcal}/\text{hr } ^{\circ}\text{C}$)
 X_s, X_c : 焼結鉱, コークスの体積分率 (—)
 α_i : o/c 比 (—)
 β_i : 流速比 (—)
 $\tilde{\beta}_i$: 羽口から各々のゾーンの溶融レベルまでの距離に
 反比例するとして求めた融体存在域のガス量分布
 (—)
 γ_i : 面積比

ε_i : 各ゾーンの空隙率 (—)
 φ : 送風湿分 ($\text{Nm}^3 \text{ H}_2\text{O}/\text{Nm}^3 \text{ dry blast}$)
 ρ_s, ρ_c : 焼結鉱, コークスの充填密度 ($\text{kg}/\text{m}^3 \text{ bed}$)

文 献

- 1) K. POLTHIER: Arch. Eisenhüttenw., 37 (1966), p. 453
- 2) 鞭, 桑原: 学振 54 委, 1228 (1967)
- 3) A. POKHUISNEU et al.: Stah in English, (1969), p. 1038
- 4) J. RADESTOCK: Stahl u. Eisen, 90 (1970), p. 1249
- 5) 鈴木, ら: 鉄と鋼, 61 (1975) 7, p. 935
- 6) 桑野, 大谷: 鉄と鋼, 59 (1973), S 281
- 7) S. ERGUN: Chem. Eng. Progress, 43 (1952), p. 89
- 8) 全, 館: 鉄と鋼, 61 (1975) 7, p. 935
- 9) G. SIRONI et al.: Proceedings ICSTTS. Suppl. Trans ISIJ Vol II (1971)