

討 6 高炉内に於る装入物の堆積形態とその制御

新日本製鐵（株） 室蘭技術研究部 ○奥野嘉雄 松崎真六
 室蘭製鐵所 原 義明
 堺製鐵所 松井正昭 国友和也
 名古屋製鐵所 三輪 隆

1. 緒 言

最近の高炉は、オールコークス、燃料吹込みの如何によらず、原料使用面や生産速度などに於て、経済的理由から厳しい条件での操業が要請されている。したがって、操業の安定化手段として、装入物分布が従来にも増して重要なものとなってきている。装入物分布の制御精度を高めるには、①装入物の炉内での堆積形態を正確に把握する手法、および、②装入物分布が幅広く、かつ精度よく調整できる機能をもつことが必要である（Fig. 1）。

このため、筆者らは、①の項目に関して、炉内の装入物分布変化を考慮した予測モデルを開発し、レーザー式やマイクロ波式などのプロフィールメーターと組合せることによって、装入物の堆積形態が正確に把握できる技術を確立した。この技術によって分布の制御精度が向上し、オールコークス操業の長期安定や粒度に対して制御性の良い粒度別装入法の適用が可能となった。本報告は、これらの内容について述べる。

2. 装入物炉内堆積形態の定量化

高炉内の装入物分布は、装入装置だけでなく、炉内因子（ガス流分布、コークス層崩れ現象、装入物降下速度分布など）によっても変化する。¹⁾ このため、ガス流と装入物降下の条件が同時に与えられる $1/8$ 縮尺模型の装置によって分布実験を行ない、炉内因子の影響を明確化すると共に、その知見をもとに予測モデルの開発を行なった。²⁾ また、本モデルの予測値とプロフィールメーター測定値とを比較し、検証を行なった。

2.1 炉内因子による堆積形態への影響

高炉内では、ガス流の増加によって装入物の堆積形状が炉中心部を主体に平坦化する。この状況は炉径方向の傾斜角分布の変化としてとらえることができる。ガス流速と傾斜角との関係については、既に報告された式があるが、³⁾ 本実験によってもほぼ同様の式で整理できることを確かめた。

一方、コークス層の崩れ現象は、従来からその発生が指摘されながらも、理論的に取扱われた報告は見あたらない。崩れは、嵩密度の大きい鉍石がコークス層表面に投入されることによって生ずるもので、主に、装入方式によってその発生規模を異にする。その規模を鉍石装入前後のコークス層の堆積層厚の変化を測定することによって調べた（Fig. 2）。Fig. 2では崩れを生ずる前後の鉍石層厚比分布が示めされる。崩れによる層厚比変化は炉中心部で強くあらわれる。崩れは、装入鉍石が着地する位置のコークス傾斜角が平坦な場合ほど少なくなる。通常の装入条件下での崩れ量は、ほぼ4~16 wt %（対コークス装入量）の範囲にある。なお、崩れ時、コークスは、鉍石の一部をまき込んで混合層をつくる。その存在域は炉中心部近傍に認められるが、その範囲は大きくない。このため、鉍石層厚比分布を求めるにあたっては、混合層もコークス層として取扱った。

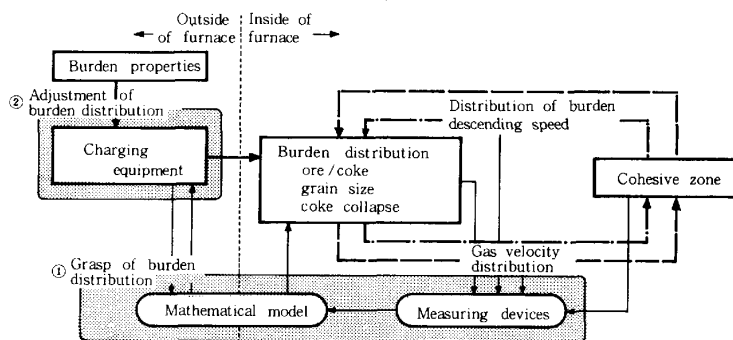


Fig. 1. Factors having an effect on the burden distribution and concept of burden distribution control.

一方、崩れたコークスの中心部での堆積状況は、装入物の降下速度分布によって影響を受ける。降下速度は一般に中心部で小さく、周辺部で大きな値を示すので、堆積層厚（鉱石+コークス）が相対的に中心部で小さくなる。このため、崩れたコークスが中心部で堆積するに十分なスペースがとれず、この領域で溢れて鉱石の流れ込みを抑制する。したがって、同一の装入モードでも、中心部と周辺部の速度差が大きくなるにつれて中心部で、鉱石が殆んど存在しない領域が広く現れるようになる (Fig. 3)。

装入方式や降下速度分布によってコークス層の崩れ状況が異なることは、単に層厚比分布だけでなく鉱石層の粒度偏析状況にも変化を与える。高炉に於て、同一装入モードでもしばしばガス流分布が変化するのを経験するが、これは上記の現象によるところが大きいと考えられる。

2.2 予測モデルの開発

2.1 の知見をもとに、炉内因子の影響を考慮した予測モデルの開発を行なった。コークス層の崩れ現象は、土質力学の“斜面安定の理論”に基づいて定量化した。²⁾ 予測モデルの主な構成項目は次の通りである。

- (i) 落下軌跡 (軌跡の経時変化も考慮)
- (ii) 堆積形状 (傾斜角分布)
- (iii) コークス層崩れ現象
- (iv) 堆積層の粒度偏析
- (v) ガス流分布
- (vi) 装入物降下速度分布

装入物分布の実験値とモデルによる計算値を比較したが、コークス層の崩れを考慮した場合に両者はよく一致した (Fig. 4)。

2.3 プロフィールメーターによる堆積状況の把握

ガス流分布や装入物降下速度分布によって常に变化する炉頂部の装入物層厚分布を知るには、表面形状や降下速度分布が測定されねばならない。

このために、間接測定法で精度の高いレーザー式や、マイクロ波式プロフィールメーターが開発され、それぞれ室蘭No 1 B F, 名古屋No 1 B F に設置された。^{4), 5)} スパイラル装入時と焼結鉱粒度別装入時の測定例を Fig. 5, 6 に示す。同図には、予測モデルで推定した装入物堆積形態もあわせて示す。これらの例は、堆積形状が複雑にあらわ

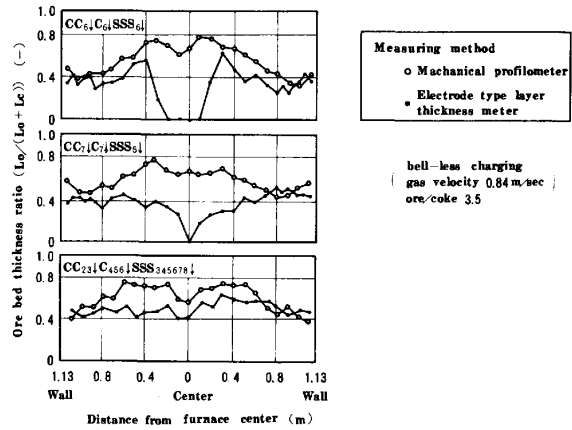


Fig 2 RELATION BETWEEN CHARGING MODE AND DISTRIBUTION OF ORE BED THICKNESS RATIO

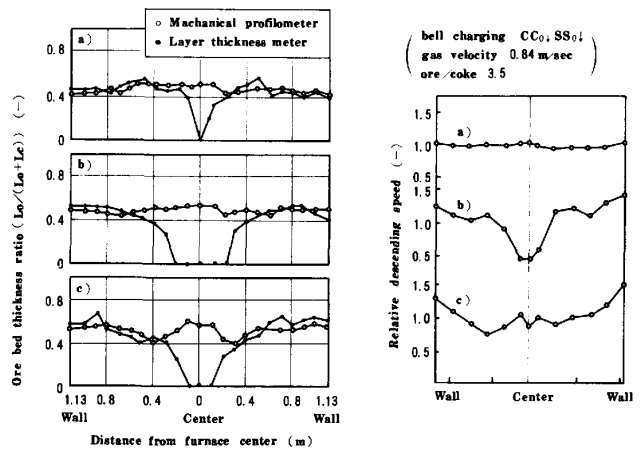


Fig 3 RELATION BETWEEN DESCENDING SPEED DISTRIBUTION AND DISTRIBUTION OF ORE BED THICKNESS RATIO

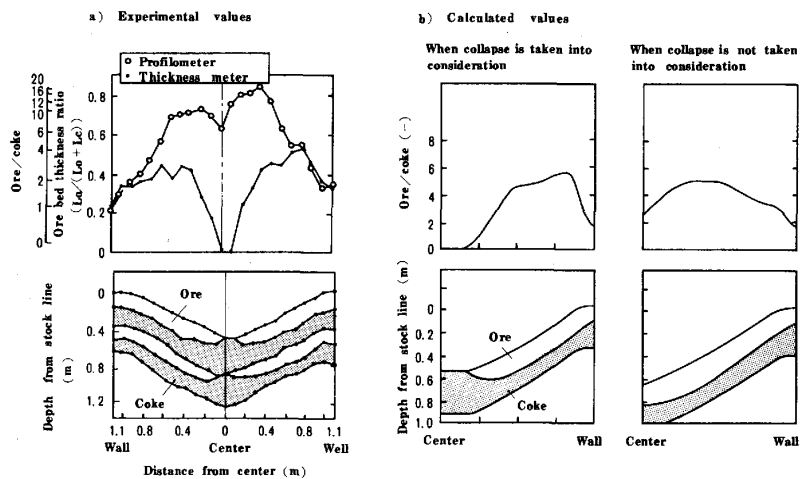


Fig. 4 BURDEN DISTRIBUTION DETERMINED BY EXPERIMENT AND MATHEMATICAL MODEL

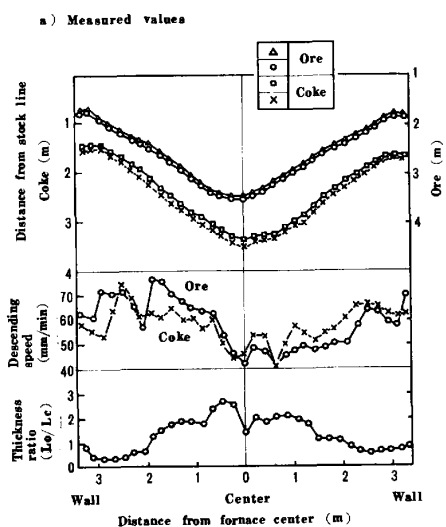
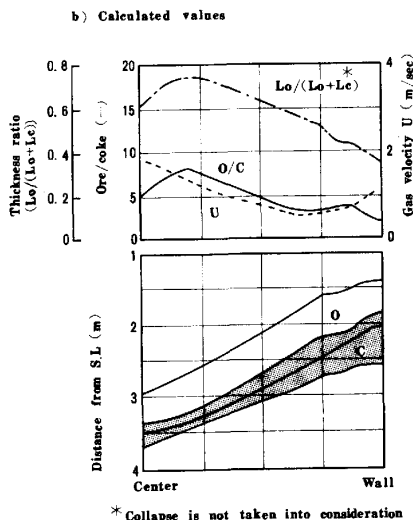


Fig. 5 BURDEN DISTRIBUTION IN THE CASE OF SPIRAL CHARGING. CC 488 C678930OO 45878930 (LASER TYPE PROFILOMETER, MURORAN No 1 BF)



* Collapse is not taken into consideration

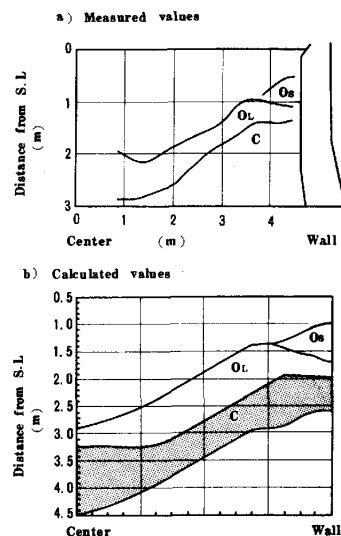


Fig. 6 BURDEN PROFILE IN THE CASE OF SIZE-SEGREGATED SINTER CHARGING (MICRO WAVE TYPE PROFILOMETER, NAGOYA No 1 BF)

れる装入法であるが、実測値と推定値はよく一致している。一方、プロフィールメーターによって観測される降下速度は、増風した場合や周辺ガス流が強い場合に、炉中間部領域で大きな値を示す傾向にある。このような場合は、同一の装入モードでも、装入物分布に差異を生ずる。降下速度分布が異なる場合の堆積形態を予測モデルで推定した (Fig. 7)。この例から、装入物の堆積形態は降下速度分布によって差異を生じてガス流分布を変えるが、ガス流分布の変化は、また降下速度分布を変えて堆積形態に影響を与えるという関係を生むことが推測される。

プロフィールメーターによる検知情報は、装入物堆積形態のモデル推定値を、より実態に合ったものにするのに非常に有効である。

3. 装入物分布の制御について

分布制御精度を高めるうえで不可欠な堆積形態の正確な推定が予測モデルとプロフィールメーターとの組合せによって可能となったので、この技術をもとにオールコックス操業の安定ならびに、粒度別装入法の高炉への適用を図った。後者は、層厚と粒度が独立に制御できる装入法であり、分布制御性向上の有力な手段となるものである。

3.1 適正な装入モード選択による 操業の安定

予測モデルを用いて計算した数種類の装入モードの中心、中間、周辺部のガス流速比を Fig. 8 の三角ダイアグラム上に示す。これらの図を用いることにより志向すべきガス流速比が与えられれば、適用すべき装入モードは容易に見出すことができる。志向すべきガス流速比範囲は、数基の高炉の過去に安定した炉内状況を示し

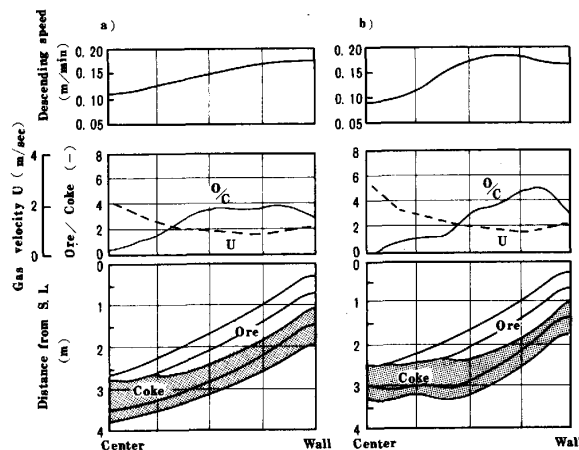


Fig. 7 INFLUENCE OF DISTRIBUTION OF BURDEN DESCENDING SPEED ON BURDEN CONFIGURATION (C₂ C₀ O₀ O₀ O/C 3.35)

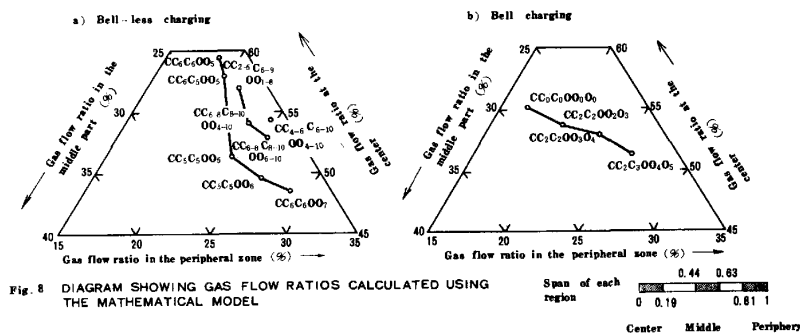


Fig. 8 DIAGRAM SHOWING GAS FLOW RATIOS CALCULATED USING THE MATHEMATICAL MODEL

Span of each region: 0.44 0.83 / 0.19 0.81 1
Center Middle Periphery

た時の装入物とガス流分布状況から求めた。

このダイヤグラムにもとずき、オールコークス操業の室蘭No.4 BFで装入物分布制御を行なった。予測モデルとシャフト上段ゾンデ測定値から求めたガス流速比、および主な操業指標の推移が Fig.9 に示される。測定値によるガス流速比は、予測したガス流速比より2~5日間の遅れがあるが、変化の推移はよく一致している。望ましいガス流分布が得られたことにより、以後長期に亘り安定した操業が保持された。

3.2 粒度別装入法による分布制御

本装入法は、粗・細粒を仕分けて装入することによってガス流分布を制御

しようとするもので、焼結鉱のみならず、コークスにも適用できる。焼結鉱への適用は既に報告しているので、今回はコークスへの適用についてその概略を紹介する。コークスの粒度別装入法も、その分布形成の考え方は焼結鉱の場合と基本的に同じである。予測モデルによって堆積形態を推定し、細粒コークスが炉壁部に留める装入モードを選定した。本法は堺No.2 BFに適用したが、細粒コークスが炉周辺部に推定通り留まることはプロフィールメーターによって確かめた (Fig. 10)。細粒コークス装入時もガス流分布に大きな変化を与えることなく安定した操業が保持された (Table 1)。

Table 1 DATA OF OPERATION IN WHICH SIZE-SEGREGATED COKE CHARGING WAS APPLIED (S-No.2 BF)

Small size coke charged (t/ch.)	0	1.5	2.0
M. S. of small size coke (mm)	—	25.8	27.0
Production rate (t/m ² ·d)	1.79	1.85	1.93
Coke ratio (kg/t-p)	531	527	504
Gas flow resistance K	4.13	4.27	3.84
Burden descending, 4H+2S+D (times/d)	5.2	2.6	0

4. 結 言

(1) 炉内の装入物堆積形態は、ガス流分布のみならず、コークス層の崩れ現象や装入物降下速度分布によっても変化する。このため、これらの因子による堆積形態への影響を調べ、予測モデルの開発を行なった。本モデルはプロフィールメーター測定値との比較により精度の高いことが確かめられた。

(2) 予測モデルとプロフィールメーターとの組合せによって装入物分布の制御精度が向上し、オールコークス操業の長期安定並びに、粒度別装入法の高炉への適用が図られた。

文 献

- 1) 奥野, 磯山, 入田ら: 鉄と鋼, 68 (1982) 11, P37.
- 2) 神坂, 奥野ら: 鉄と鋼, 70 (1984) 4, P47
- 3) 西尾, 有山: 鉄と鋼, 65 (1979) 2, A1
- 4) 稲崎, 南外ら: Iron Steel Eng, 61 (1984) 1, P28.
- 5) 加藤, 長谷川ら: 鉄と鋼, 68 (1982) 11, S 692
- 6) 奥野, 入田, 磯山ら: 鉄と鋼, 69 (1983) 14, P48.

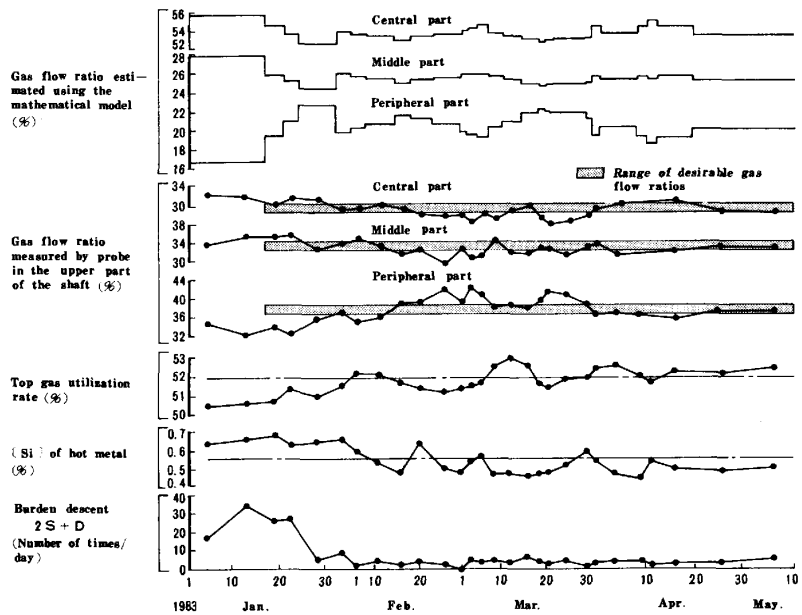


Fig. 9 CHANGES IN GAS FLOW RATIOS ESTIMATED USING THE MATHEMATICAL MODEL AND TRANSITIONS OF OPERATING CONDITIONS

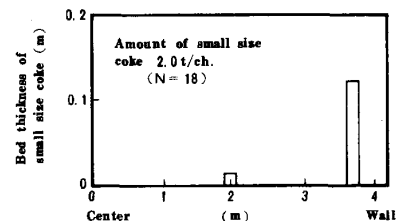


Fig. 10 BED THICKNESS OF SMALL SIZE COKE IN THE FURNACE (S-No.2 BF)