
3 パラレルバンカー型ベルレス装入装置による細粒原料多量使用時の高炉装入物分布制御
Blast Furnace Burden Distribution Control with 3 Parallel Bunker Bell-less Top Using
Large Amount of Small-Sized Sinter

廣瀬 茂行(Shigeyuki Hirose) 菅原 英世(Hideyo Sugawara) 谷吉 修一(Syuichi Taniyoshi)

要旨：

水島製鉄所第3高炉は3次改修において、高度な装入物分布制御を実現するために3パラレルバンカー型ベルレス装入の導入を行った。本装置により原料装入能力が大幅に向上し、コークス垂直装入、鉱石粒度別分割装入を含む多バッチ装入が可能となった。また半径方向の粒度編析を強化するため新型の炉頂バンカー形状を採用し、積極的な細粒原料の使用技術の拡大を図るとともに、リアルタイムの原料装入速度一定制御を開発し、制御性の大幅な向上を達成した。第3高炉ではこれらの装入物分布制御技術により小塊焼結鉱使用比率17%の安定使用を継続している。

Synopsis：

A three parallel bunker bell-less top was installed at Mizushima Works' No.3 blast furnace for the third campaign in order to employ highly sophisticated burden distribution control techniques. The burden distribution control techniques make it possible to increase the rate of small-sized sinter with the multi-batch charging as the two-size fraction charging of coarse and fine sinters and the vertical coke charging. The authors have introduced a new type of top bunkers, which has strengthened the radial size distribution of coke and ore, and the real-time control system, which has enabled the constant flow rate during charging as well as the precise charge and control. Through these burden distribution measures, 18% small sinter has been stably charged at No.3 blast furnace.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

3パラレルバンカー型ベルレス装入装置による 細粒原料多量使用時の高炉装入物分布制御*

川崎製鉄技報
25 (1993) 4, 253-257

Blast Furnace Burden Distribution Control with 3 Parallel Bunker Bell-less Top Using Large Amount of Small-Sized Sinter



廣瀬 茂行
Shigeyuki Hirose
水島製作所 製鉄部製
鉄技術室



菅原 英世
Hideyo Sugawara
水島製鉄所 製鉄部製
鉄課 課長



谷 吉 修一
Syūichi Taniyoshi
水島製鉄所 制御技術
部制御技術室 主査(課
長補)

要旨

水島製鉄所第3高炉は3次改修において、高度な装入物分布制御を実現するために3パラレルバンカー型ベルレス装入装置の導入を行った。本装置により原料装入能力が大幅に向上し、コークス垂直装入、鉱石粒度別分割装入を含む多バッチ装入が可能となった。また半径方向の粒度偏析を強化するため新型の炉頂バンカー形状を採用し、積極的な細粒原料の使用技術の拡大を図るとともに、リアルタイムの原料装入速度一定制御を開発し、制御性の大幅な向上を達成した。第3高炉ではこれらの装入物分布制御技術により小塊焼結鉱使用比率17%の安定使用を継続している。

Synopsis:

A three parallel bunker bell-less top was installed at Mizushima Works' No.3 blast furnace for the third campaign in order to employ highly sophisticated burden distribution control techniques. The burden distribution control techniques make it possible to increase the rate of small-sized sinter with the multi-batch charging as the two-size fraction charging of coarse and fine sinters and the vertical coke charging. The authors have introduced a new type of top bunkers, which has strengthened the radial size distribution of coke and ore, and the real-time control system, which has enabled the constant flow rate during charging as well as the precise charge and control. Through these burden distribution measures, 18% small sinter has been stably charged at No.3 blast furnace.

1 緒 言

水島製鉄所第3高炉は3次改修(1990年6月)において、日本初の3パラレルバンカー(3PB)型ベルレス装入装置の導入を行った。本装置を採用した理由は、従来の2パラレルバンカー型や垂直2段バンカー型に対し、炉頂での装入機能が高いため、粒度や品質の異なる複数原料を半径方向の任意の場所へ装入する多バッチ装入に際し有利となるためである。また炉頂バンカーからの原料排出挙動が装入初期に細粒、後期に粗粒となることが、ガス流分布の制御のために有効であると考え、排出ゲートを炉中心側に寄せたオフセンタータイプの炉頂バンカー形状を採用し、さらに鉱石の粒度別装入も利用して、炉壁側へ細粒を積極的に装入する方法により細粒原料の多量使用技術の開発を行ってきた。

本報告では3PBベルレス装入装置を用いた小塊焼結鉱(small sinter: S₃)多配合下の装入物分布制御技術について述べる。

2 第3高炉炉頂装入装置の概要

2.1 3パラレルバンカー型炉頂装入装置の特徴

Fig.1に水島製鉄所第3高炉(3次)の3PB炉頂装入装置の概略を示す。炉口径10.6mに対し、旋回シュート長さは4.5m、炉頂バンカー(85m³)を三つ有するため、バンカー上部に切替シュートを配置している。第3高炉の炉頂バンカーの特徴は、原料の排出挙動が最も初期に細粒、後期に粗粒となるように排出ゲートを炉中心側へ寄せたオフセンタータイプの形状とし、また炉頂バンカー内に原料堆積形状を制御し、原料偏析を強化するための角度調整可能な分配板を設置していることである^{1,2)}。

Fig.2に炉頂バンカーから装入されるコークスの算術平均粒径の経時的変化を示す。パラレルバンカータイプの特徴である、旋回初期の細粒、後期の粗粒の排出が確認できる。

また原料装入速度を調整するための流調ゲート(FCG)をバンカー下部に設置している。

2.2 原料装入速度制御の採用

第3高炉は高炉半径方向の粒度偏析を強化し、初期に細粒、後期に粗粒が排出されるため、原料装入中の流調ゲート開度一定制御で

* 平成5年7月26日原稿受付

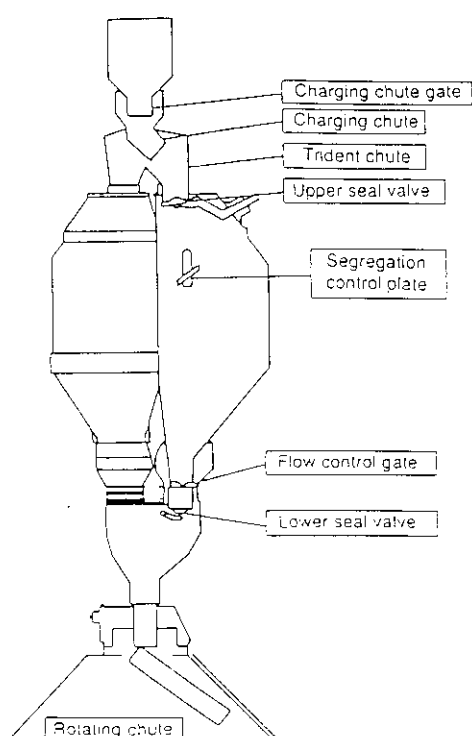


Fig. 1 Outline of discharging equipment of Mizushima Works' No.3 blast furnace

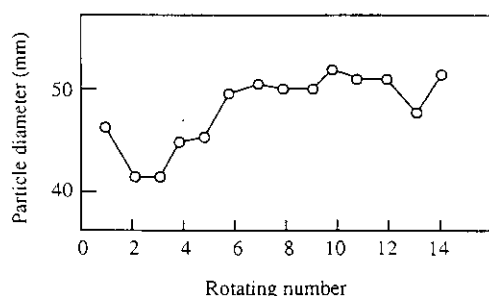


Fig. 2 Discharging behavior of coke from the bunker

は、原料装入速度が徐々に低下する。そこで装入中の原料排出速度が一定となり、かつ所定の回転数で排出完了となる終点制御を行なえるよう、流調ゲート開度を原料装入中にリアルタイムに制御する装入速度制御を開発した。

原料装入速度のリアルタイム制御を実施することにより、各バッチごとの原料重量偏差のみならず、バッチ内において粒度偏析、水分変動が発生した場合にも原料装入回転数精度を確保することができると。

Fig. 3 に装入速度一定制御における1バッチ中の原料装入速度設定値 (SV) と実績値 (PV) の経時的变化を示す。原料装入開始初期のFCG開度は炉頂バンカー内原料重量より演算された設定値であり、装入回転数と装入原料重量から計算されたSV1とPVが一定差以内になった後、PIDフィードバック制御を開始し、原料装入速度が一定になるようFCG開度が調整される。また目標回転数で装入が完了するよう、装入末期にバンカー内の原料残量と残りの回転数から目標装入速度設定値SV2の見直しを行う。Fig. 4 (a) に原料装入速度制御導入前、Fig. 4 (b) には導入後の原料装入速度の経時的变化と原料装入回転数の目標回転数に対する達成率を示

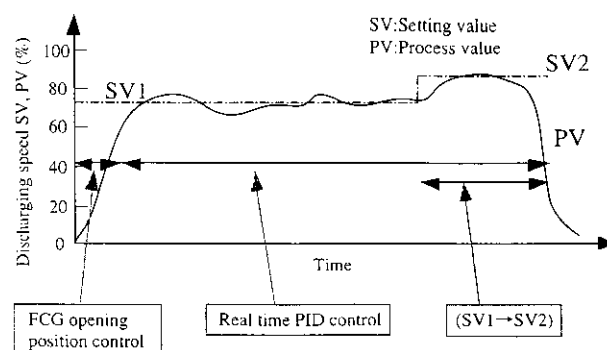


Fig. 3 Discharging behavior on discharging speed control system

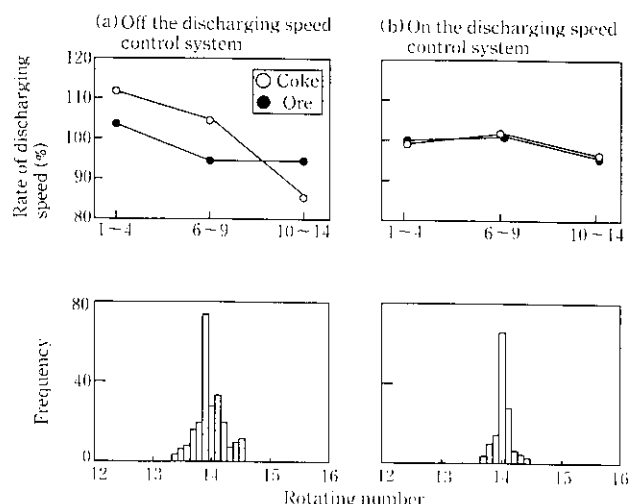


Fig. 4 Comparison of variation of discharging speed and frequency of rotating number in relation to the discharging speed control system

す。本技術の導入により装入速度の変動が10~20%から5%以下に低下し、また、原料装入回転数精度が目標回転数 14 ± 0.4 回転に対し達成率が88.1%から98.4%に向上した。

3 パラレルバンカー型ベルレストップを用いた装入物分布制御

3.1 細粒原料多量使用時の装入物分布の考え方

高炉における原料コストの削減のためには小塊焼結鉱や小塊コークスといった低品位な細粒原料使用量の増大が必要であるが、この時の問題点として原料平均粒度の低下による通気抵抗の上昇と、細粒原料の高炉炉芯部への堆積、特に細粒原料の多量使用時には細粒原料が層崩れを起こして高炉中心部に向けて流れ込み、中心部ガス流量が低下する現象が生じることが挙げられる。この層崩れ現象を防止し、炉内半径方向の鉱石層厚、粒度を制御するためには、3パラレルバンカー型の炉頂装入装置の優れた原料装入機能を活用した多バッチ装入が不可欠である。

Fig. 5 に第3高炉の代表的原料装入方法である $C_1C_2O_1O_3$ の4バッチ装入の模式図と代表的なベルレスパターンを示す。全コークス量の約90%からなる C_1 を炉壁から装入し1.5 mのテラスを作ると

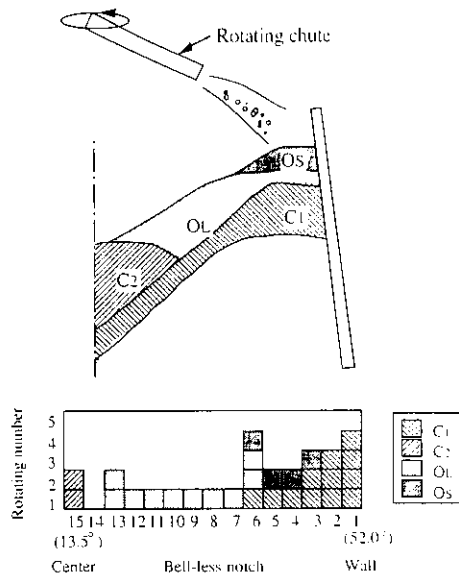


Fig. 5 Typical charging pattern of No.3 blast furnace

ともに、 C_2 を高炉中心部へ分配シュートの傾動角 13.5° 2 旋回で垂直装入する。3 バッチ目の O_L に粗粒側に分級された焼結鉱および副原料等を、4 バッチ目の O_S に細粒側に分級された焼結鉱と小塊原料を装入する。

Fig. 6 には焼結鉱を粗粒焼結鉱と細粒焼結鉱に分級するために貯鉱槽上に設置した焼結鉱分級装置と、篩下の焼結鉱を再篩して得られる S_S の回収フローを示す。また分級された粗粒及び細粒焼結鉱と小塊焼結鉱の粒度分布を Fig. 7 に示すが、粗粒焼結鉱 (S_L) の平均粒径 24.1 mm に対し、細粒焼結鉱 (S_M) の平均粒径が 13.4 mm 、 S_S の平均粒径が 3.3 mm となっている。

上記の粒度別分割装入をベースに、細粒原料の多量配合を行う際の課題として、(1) コークステラス長さ (2) 細粒原料の装入順

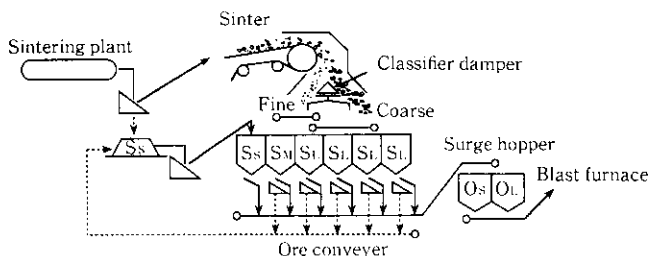


Fig. 6 Outline of two size segregation equipment of sinter at the top of ore bins

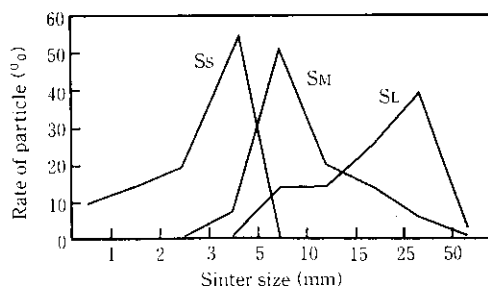


Fig. 7 Particle size distribution of small sinter

序について、以下にその考え方を述べる。

3.2 コークステラス長さの管理

Fig. 8 には 2 バッチ装入時の代表的なベルレスパターンにおけるシミュレーションモデルを用いた鉱石の積み付け状況の比較を示す。このモデルでは、鉱石装入時のコークステラス崩れを厳密には考慮していないが、コークステラスが長い時 (Case a)、大部分の鉱石が炉壁から中間部へ堆積している。中間部から中心部にかけての鉱石層厚は 14 旋回のうちの 4 旋回でしか調整できず、このため中心ガス流が強化された分布となりやすい。この鉱石層厚の均一化を図るための方法として鉱石装入位置を旋回途中からより中心側に寄せ、中間部の鉱石層厚を増大させた場合、鉱石装入中の傾動角の変更幅が炉壁側から中心部まで広範囲にわたるため、1 旋回あたりの鉱石層厚が厚くなり、原料性状が変化して原料装入荷切れ精度が変動した時のガス流分布の変化が大きくなる。

一方、コークスのショートテラスを指向した場合 (Case b)、現状の傾動角の変更幅 ($29 \sim 47^\circ$) で炉壁部から中心部まで鉱石層厚の調整が可能であり、また原料を炉壁側から中心へ流れ込ませて堆積させるため、ベルレスノッチの影響を受けにくい分布となる。実炉においても、コークステラス長さを 2.5 m から 1.5 m へ縮小した時点で、中心流抑制と炉壁ガス流確保がなされ炉頂ガスの変動が解消された。このため、細粒原料多量使用にあたっては細粒原料をのせるテラス長さを拡張することを避け、コークステラスは 1.5 m に管理することを基本とした³⁾。

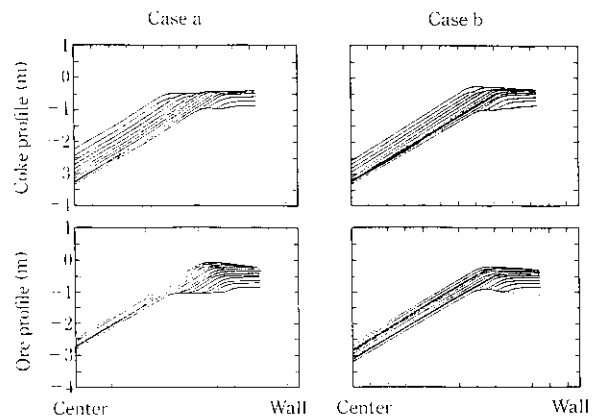


Fig. 8 Comparison of variation of length of coke terrace

3.3 細粒原料の流れ込み防止

S_S 多量使用による鉱石の流れ込みを抑制するための装入物分布を検討するために縮尺模型実験による検討を行った。

Fig. 9 (a) は $C_1C_2O_L O_S$ 装入時、 S_S 配合比 12% のものであり鉱石の流れ込みが見られないが、Fig. 9 (b) に示す S_S 18% 配合では O_S が炉芯部の垂直装入コークス上まで流れ込んでいる。

この対策として O_L と O_S の鉱石の装入順序を変更した $C_1C_2O_S O_L$ 装入の検討結果を Fig. 9 (c) に示す。これはコークステラス上に O_S を装入することにより、コークスの間隙に S_S をパッキングして、中心部への O_S の崩れを抑制することを狙いとしたものである。この結果、 O_S の流れ込みは発生しているが、垂直装入コークスにより炉芯部までの流れ込みは抑制されており、中心ガス流の確保は可

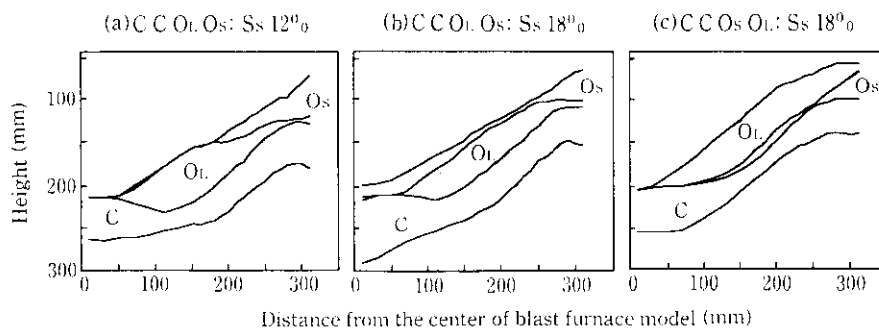


Fig. 9 Results of burden distribution by 1/16.5 model

能と考えた。

したがって、 S_s 多量配合に伴う中心流の低下現象には $C_1C_2O_sO_L$ 装入への鉱石装入順序の変更により、ガス流分布の作り込みを実施するものとした。

4 操業結果

1992年10月以降、 $C_1C_2O_L O_s$ 装入から $C_1C_2O_s O_L$ 装入への鉱石装入順序の変更を行い、16~18%の S_s 配合比を継続している。その操業状況を Fig. 10 に示す。この間の代表的な装入物分布調整パターンは大きく分け、以下の3期に分けられる。

(1) 1992年10月~1993年1月

S_s 多量使用を実施する前後でのガス流分布の変化を Fig. 11 に示す。細粒原料多量使用時のガス流分布の特徴は、 $C_1C_2O_s O_L$ 装入を実施することにより中心流は確保されているが、高炉中心部近傍のガス流が極端に減少し、ガスサンプラーの CO/CO_2 も 0.5 から 0.6 まで低下している点である。

Fig. 12 には鉱石層厚比分布推定モデル⁴⁾による炉頂ガス成

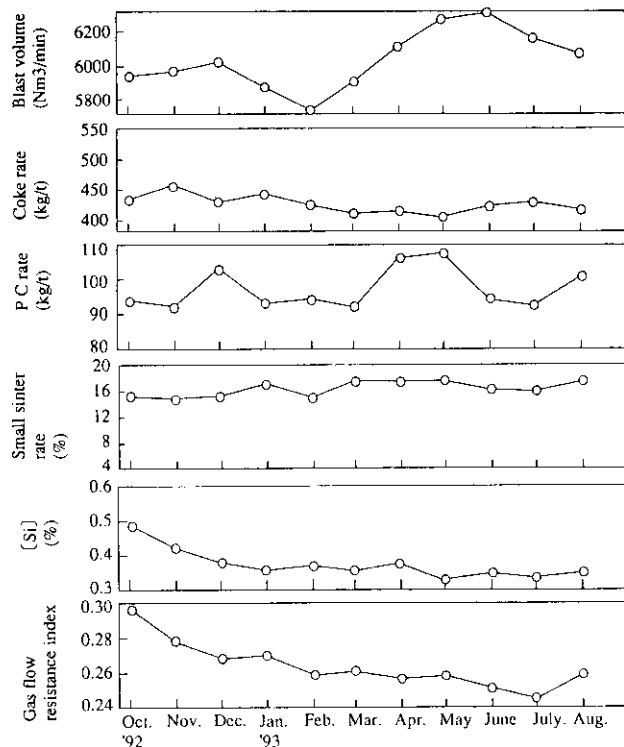


Fig. 10 Transition of operation at Mizushima No.3 blast furnace

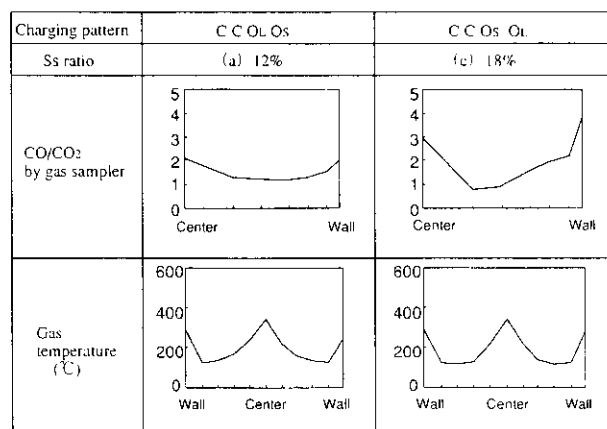
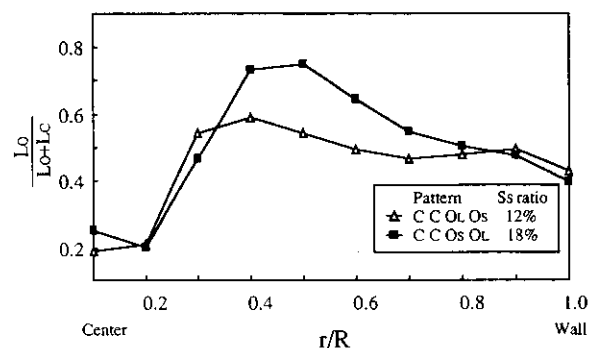


Fig. 11 Transition of gas distribution by small sinter ratio and charging pattern

Fig. 12 Radial $L_0/(L_0+L_c)$ distribution on calculated by a model

分から求めた高炉半径方向の鉱石層厚比 $L_0/(L_0+L_c)$ 分布を示す。 $C_1C_2O_L O_s$ 装入、 S_s 12% 使用時に比べ、 $C_1C_2O_s O_L$ 装入、 S_s 18% 使用時には半径方向 r/R が 0.4 から 0.6 の位置での鉱石層厚比が大きくなっている。すなわち垂直装入されたコークスの際まで S_s が流れ込み、そこに S_s が留まることにより中間部の $L_0/(L_0+L_c)$ が上昇したことを示しており、 $C_1C_2O_L O_s$ 装入時のフラットな鉱石層厚比から大きく変化した分布となっている。

(2) 1993年2月~7月

第1期における中間部への細粒原料の流れ込みを回避すべく O_s のペルレスパターンを炉壁側に変更した第2期の操業状況

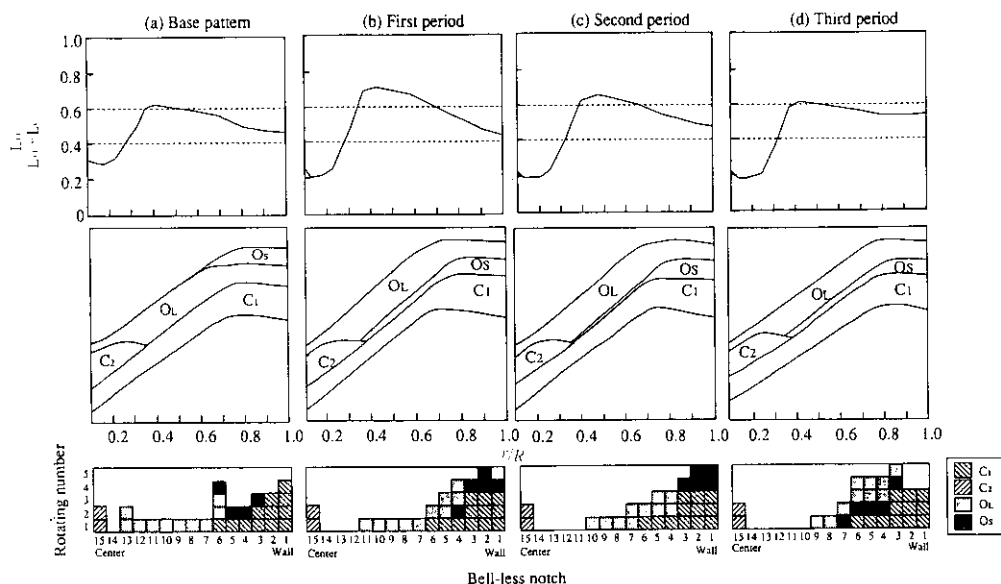
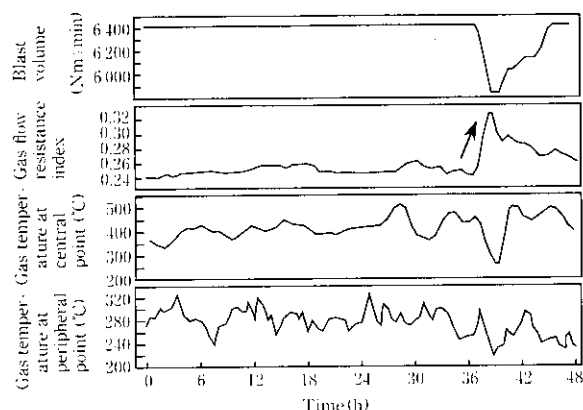
Fig. 14 $L_O/(L_O+L_C)$ and charging pattern of No.3 blast furnace

Fig. 13 Example of unstable operation at second period

の例を Fig. 13 に示す。この装入物分布パターンにおいては、急激な通気抵抗指数の上昇が発生している。これは炉壁部の細粒原料の層厚が過大になったため、炉壁部ガス流が急激に抑制された結果、細粒原料が流動化を起こして崩れ、荷下がり不順を引き起こす現象であると考えられる。すなわち細粒原料の層厚分布は高炉中間部あるいは炉壁部へ極端に集中することは好ましくなく、半径方向に均一化することが必要であると考えられる。

(3) 1993年7月～

第1期、第2期の操業結果をふまえ、装入物分布モデルを用いて、高炉半径方向の O_s および鉱石層厚を均一にするための装入物分布を検討した。この時、 $C_1C_2O_L$ 装入時での S_s 多量配合を行っていないときのフラットな鉱石層厚比分布を目標のパターンとした。Fig. 14(a) に示す S_s 多量配合を実施していない時の鉱石層厚比は中心近傍を除いて 0.4 から 0.6 程度であり、全体にフラットな分布となっているが、Fig. 14(b), (c) の S_s 多量配合を実施した第1、2期では中間部鉱石層厚比が 0.7 まで上昇している。一方、鉱石層厚の均一化を図るため、第2期のパターンから O_s 装入位置を炉中心側に寄せ、各ノッチを1回転ずつとして幅広く装入した Fig. 14 (d) のパターン

では炉壁部の O_s 層厚が低減している。この結果、炉壁部に留まる O_L 量の増加により、フラット化した鉱石層厚比分布を得ることが可能となった。

この計算結果に基づきベルレスパターンを変更した後、第3期では前述の高炉半径方向中間部の極端な CO/CO_2 の低下および、急激な通気異常が解消し、 S_s の安定多量使用を継続している。

5 結言

水島製鉄所第3高炉に導入した3パラレルバンカー型ベルレス装入装置を用いた小塊焼結鉱多量配合下での装入物分布制御技術について報告した。この結果は以下のとおりである。

- (1) 3パラレルバンカー型ベルレストップの採用、および炉頂バンカー形状の改善により高炉半径方向の粒度偏析強化を図ることができた。
- (2) リアルタイムの原料装入速度制御により原料装入速度の変動を5%以下に抑制することができ、装入物分布の安定化が達成された。
- (3) 粒度別分割装入をベースとした多バッチ装入により、細粒原料多量配合時にも、高炉半径方向の鉱石層厚比を均一にすることが可能となり、小塊焼結鉱配合比17%の安定多量使用が可能となった。

参考文献

- 1) 宮川昌治, 武田幹治, 田口整司, 森本照明, 藤山昌男, 藤森寛敏: 川崎製鉄技報, 23(1991)2, 130
- 2) 宮川昌治, 武田幹治, 田口整司, 森本照明, 藤森寛敏: 金属学会会報, 31(1992)4, 330
- 3) 澤田寿郎, 上谷年男, 谷吉修一, 宮川昌治, 菅原英世, 山崎 信: 鉄と鋼, 78(1992)8, 1337
- 4) 岡分春生, 田口整司, 堀 勝利, 大神正道, 妹尾義和: 材料とプロセス, 6(1993)1, 104