

3 並列バンカー式ベルレス高炉の操業と 装入物分布制御

© 1992 ISIJ

論 文

沢田 寿郎*・上谷 年男*・谷吉 修一*
宮川 昌治*²・菅原 英世*・山崎 信*

Blast Furnace Operation and Burden Distribution Control with Bell-less Top of the 3 Parallel Bunker Type

Toshirou SAWADA, Toshio UETANI, Shūichi TANIYOSHI,
Masaharu MIYAGAWA, Hideyo SUGAWARA and Makoto YAMAZAKI

Synopsis :

No. 3 blast furnace (3rd campaign) equipped with 3 parallel bunker bell-less top, first in Japan, was blown in June 19th, 1990 at Mizushima Works, after revamping for 111 days.

The characteristics of the charging system which strengthens the behavior discharging fine materials first and coarse materials later, are the segregation control plates to control burden surface profile in the bunkers, the multi batch charging facilities, and the two size fraction charging equipment for sinter.

The new burden distribution control technique are described as follows.

- (1) The dynamic control of material flow rate during charging.
- (2) The two size fraction charging of sinter with short terrace.
- (3) The coke vertical charging aimed at simple control of ore/coke at central region.

With the adaptations of improvements, the increase in the consumption of small size materials recycled from fines under screens was performed keeping high productivity.

Key words : iron making ; blast furnace ; burden distribution ; 3 parallel banker ; bell-less top ; ore/coke ; gas flow ; all coke operation.

1. 緒 言

水島 3 高炉 3 次 (内容積 4 359 m³) は, 111 日間の改修工事後, 1990 年 6 月 19 日に火入れを行った。今回の改修の最大の特徴は, 装入物分布制御の向上をねらいとして, 2 次のベルアーマータイプから日本で初の 3 並列バンカータイプ (以下 3PB と略す) のベルレストップへ改造した点である。

3PB ベルレストップを採用した理由は, 粒度や品質が異なる複数の原料を多バッチにわけて任意の場所に装入できる利点を有しているためである。水島 3 高炉の原料排出特性は, 長期的に安定な操業実績を有する千葉 6 高炉 (4 500 m³, 1977 年火入れ) の並列バンカーに特有

な細粒から粗粒に変化する排出挙動の研究¹⁾を踏まえ, ガス流分布の制御性向上を図るためさらに粒度偏析を強化する方針をとった。

本報告では, 実操業における 3PB ベルレストップを用いた装入物分布調整技術の開発, すなわち原料の多バッチ装入による装入物分布調整能力及び精度の向上について述べる。

2. 水島 3 高炉頂装入装置の概要

2.1 3 並列バンカータイプの採用

粒度や品位の異なる種々の原料を高炉へ装入する場合の概念図を Fig. 1 に示す。特に細粒原料を多量に使いこなすためには, 炉壁から中心にかけて原料の粒度偏析

平成 3 年 11 月 18 日受付 平成 4 年 4 月 10 日受理 (Received on Nov. 18, 1991 ; Accepted on Apr. 10, 1992)

* 川崎製鉄(株)水島製鉄所 (Mizushima Works, Kawasaki Steel Corp., 1 Kawasakidori Mizushima Kurashiki 712)

*² 川崎製鉄(株)鉄鋼研究所 (Iron & Steel Research Laboratories, Kawasaki Steel Corp.)

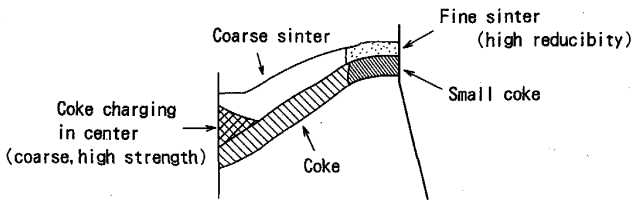


Fig. 1. Schematic diagram of ideal burden profile used by multi-batch charging method.

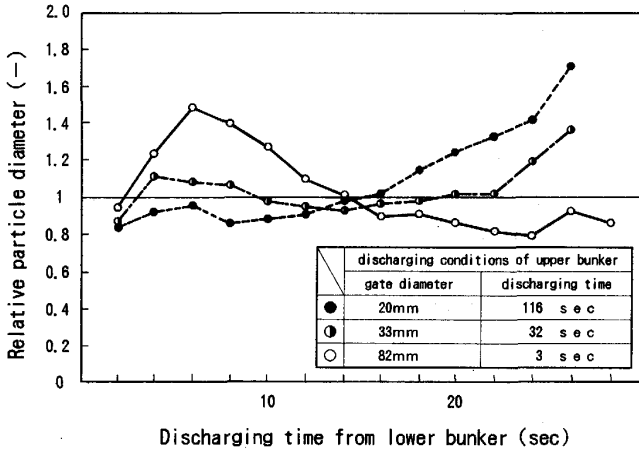


Fig. 2. Discharging behavior from lower bunker at the bell-less top of center feeding type.

を強化することをねらいとしたコークス、鉱石各々の粒度別分割装入と、さらに中心部の O/C を単独に制御するバッチとの計5バッチの装入能力が炉頂装入装置に必要である。

日本における稼動高炉の約半数がベルレストップを採用しており、最近の傾向として円周方向バランスに優れた垂直二段タイプの採用が増加している。しかし、垂直二段タイプでは上下部バンカー間の輸送と均排圧が制約となるため、上記装入能力は期待できず、並列型のマルチバンカータイプの導入が不可欠となる。

さらに Fig. 2 に示した縮尺模型により垂直二段タイプの炉頂装入装置におけるバンカーからの原料排出挙動をみると、装入能力を上げるために上部バンカーから下部バンカーへの装入時間を短くするほど、下部バンカーから排出される原料は、初期に粗粒、末期に細粒が出やすくなるのがわかる。これは、炉壁から炉中心側へのベルレス装入を実施する場合に、炉壁に細粒、中心に粗粒を装入して粒度偏析を強化するという装入物分布思想と矛盾する。これらの理由により、水島3高炉(3次)の炉頂装入装置は3PBタイプを選択した。

2.2 3 並列バンカータイプ炉頂装入装置の特徴

Fig. 3 に水島3高炉(3次)の3PB炉頂装入装置の

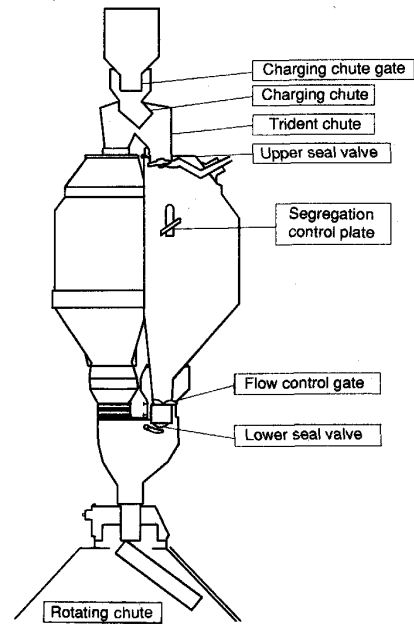


Fig. 3. Outline of discharging equipment of Mizushima No. 3 blast furnace.

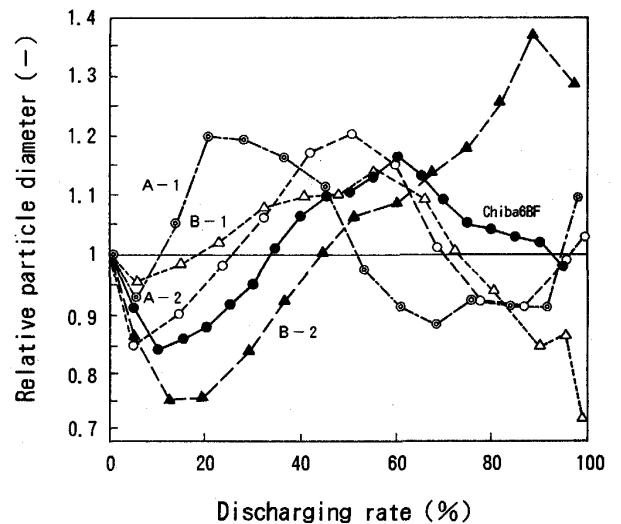
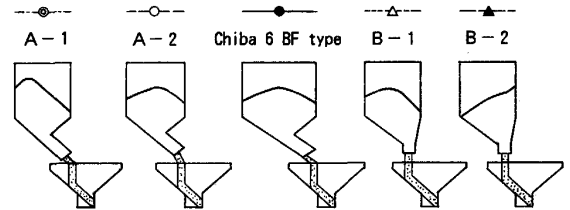


Fig. 4. The effect of bunker type and burden profile for discharging behavior from the bunker.

概略を示す。炉口径 10.6 m に対し、旋回シュート長さは 4.5 m である。炉頂バンカー (85 m³) を3つ有するため、バンカー上部に切りかえシュートを配置し、上部シール弁は、バンカー容量を最大限確保するため、2リ

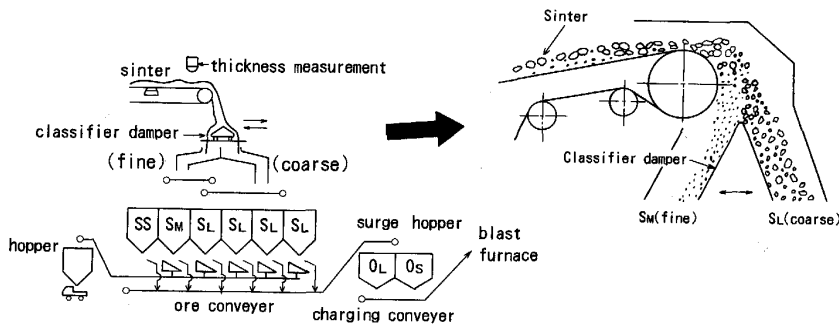


Fig. 5. Outline of two size segregation equipment of sinter at the top of ore bins.

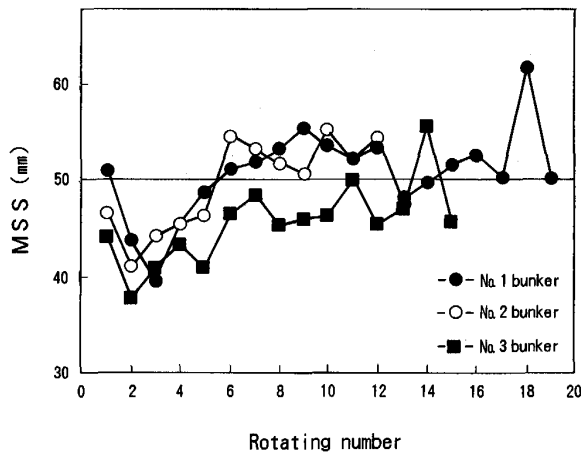


Fig. 6. Discharging behavior of coke from the bunker.

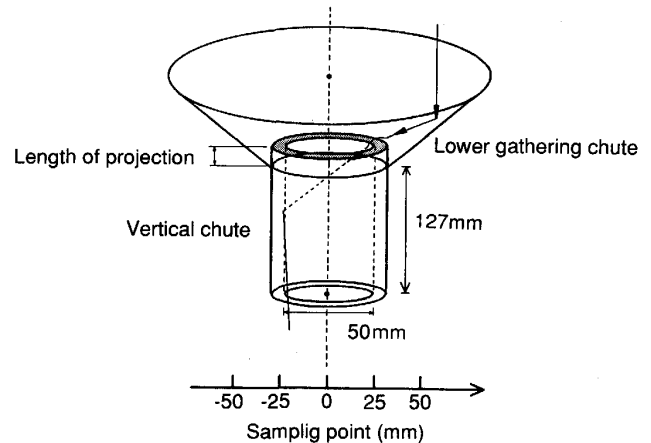


Fig. 7. Experimental apparatus for an examination of burden flow in the vertical chute.

ンク機構方式を採用した。

Fig. 4 には、縮尺模型によるバンカー型式とバンカー内堆積形状が原料排出挙動に及ぼす影響を示した。千葉6高炉タイプのバンカー型式(Aタイプ)より、排出ゲート部をストレートにして堆積形状の頂点が排出ゲートの直上に位置するようにしたB-2タイプの場合に粒度偏析が最大となる。この結果に基づいて炉頂バンカーの型式は排出ゲートを炉中心側へよせたB-2タイプとした。

また、炉頂バンカー内には、堆積形状を制御できるように角度調整可能な分配板を取り付けた。さらに Fig. 5 に示すような焼結鉱の粒度別分級設備を貯鉱槽上に設置し、炉半径方向の粒度偏析を積極的に強化することにした。

2.3 炉頂装入装置の基本特性

2.3.1 炉頂バンカーからの原料排出挙動

Fig. 6 には、炉頂バンカーから装入されるコークスの算術平均粒径 (MSS) の経時変化を示した。3つのバンカーに多少の差はあるが、巡回初期において細粒が排出され、末期には粗粒が排出されることが確認できた。

2.3.2 垂直シュート部の原料流れの調査

円周方向のアンバランスを発生させる原因の1つが垂直シュート部での原料の偏流である。これを把握するため、以下のような調査を行った。Fig. 7 には、縮尺模型を用いた中心軸に対する偏流測定実験の模式図を示す。実機の垂直シュート内径が780 mm に対し、模型サイズ50 mmの垂直シュート上部を流れる原料を原料の流れてくる方向を正とし、10 mmピッチでサンプリングする。Fig. 8 には、鉱石を121.5 cm³/sで装入し、垂直シュート端の集合ホッパー内への突き出し長さを変更した時の垂直軸に対する偏流度を示す。突き出し長さが長いほど、垂直シュート内での衝突によるはね返りが少ないため、中心軸からの偏流が増加する傾向にある。これは、中心軸からの偏流が突き出し部分での原料速度に支配されていることを意味している。

Photo. 1 には、填充時に下部集合ホッパー内、垂直シュート上端に取り付けた100 mmの突き出し部と垂直シュート下部に取り付けた治具による垂直シュート内の鉱石の偏流調査の状況を示す。Photo. 1(a)は排出速度0.73 m³/s、Photo. 1(b)は0.40 m³/s時の、垂直シュート原料流れと偏流状況を示す。排出速度が0.40 m³/sの場合、垂直シュートへの原料の流れ口と反対側に偏流を

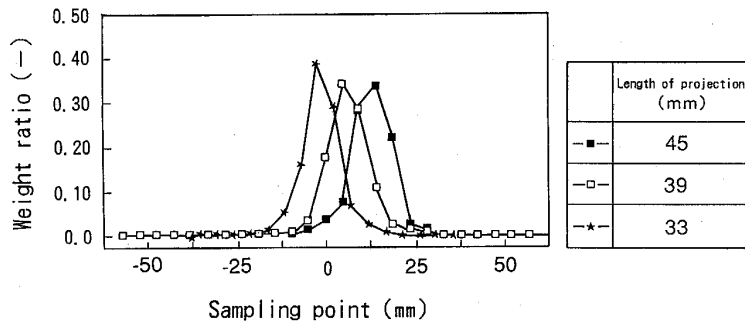
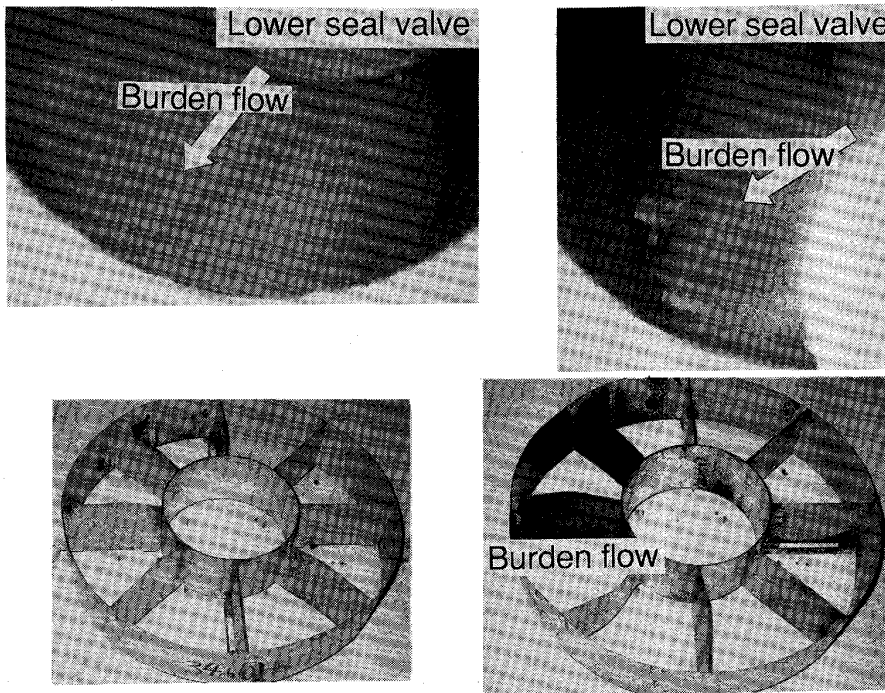


Fig. 8. Result of an examination of burden flow in the vertical chute.



(a) Discharging speed $0.73\text{m}^3/\text{s}$ (b) Discharging speed $0.40\text{m}^3/\text{s}$

Photo. 1. Experimental apparatus for an examination of burden flow and measuring results.

生じているのが顕著に認められる。逆に $0.73\text{m}^3/\text{s}$ の場合、垂直シュート上部で原料の滞留が発生して偏流は生じていない。通常操業での排出速度は、装入能力の関係から $0.7\sim 0.8\text{m}^3/\text{s}$ を設定するため、操業上の問題となるような垂直シュート内での偏流は、発生しにくいと判断した。

2.3.3 ベルレス落下軌跡のシミュレーションによる検討

半径方向の層厚分布を知る上で有効な手段として装入物分布シミュレーションモデルが開発されている²⁾。シミュレーションモデルは、ベルレスの各傾動ノッチから推定した落下軌跡により1旋回の装入毎の堆積計算を実施して層厚を推定するが、その場合の落下軌跡を実炉とあわせることが重要である。Fig. 9に示した填充時の鉸石落下位置の調査結果をみると、計算による落下軌跡

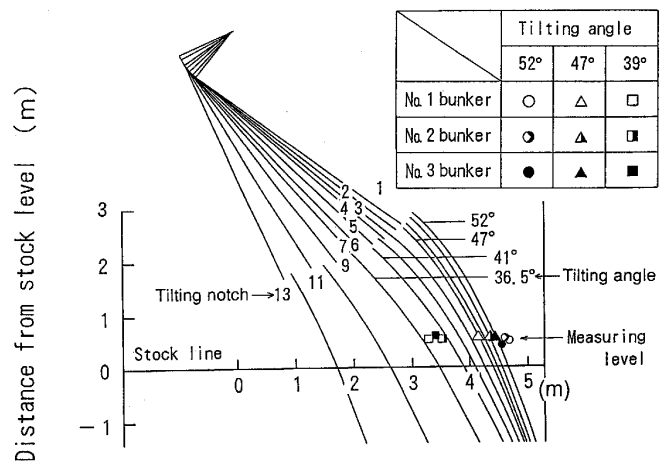


Fig. 9. Comparison between a falling curve simulated by mathematical simulation model and actual measuring points.

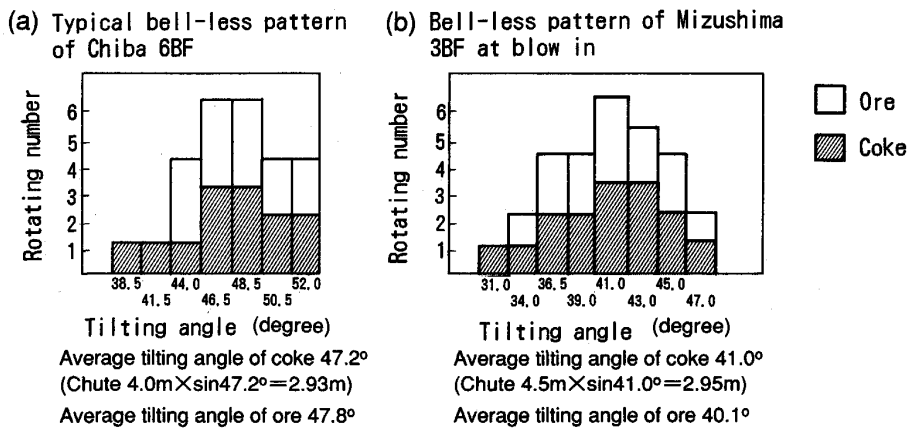


Fig. 10. Comparison between bell-less pattern of Mizushima No. 3 BF at blow-in and typical bell-less pattern of Chiba No. 6 BF.

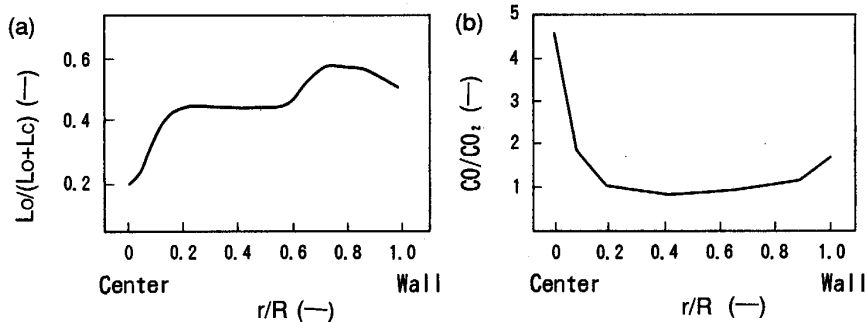


Fig. 11. Target of ore layer thickness and gas distribution in radial direction of Mizushima No. 3 BF at rating up.

と実炉の落下位置はほぼ等しく、3つのバンカーの差も顕著でないことが把握できた。

2.4 基本装入方式の検討

2.4.1 基本装入パターンの設定

火入れ～立ち上がりの基本装入パターンは、千葉6高炉のオールコークス操業時に長期的に安定した操業が行えた時に使用していた装入物分布パターンを志向した。

Fig. 10(a)に千葉6高炉の代表的なベルレスパターンを、Fig. 10(b)に水島3高炉火入れ時の基本装入パターンを示した。シュート長さが千葉6高炉より0.5m長いので、同じストックレベルで半径方向の同じ位置に装入するには、傾動角を約6～7°千葉6高炉より炉中心側へ寄せる必要がある。

2.4.2 立ち上がり時のベルレス分布調整方針

立ち上がり時のベルレス分布調整方針は、Fig. 11(a)に示すシミュレーションモデルによる層厚分布 ($Lo/Lo+Lc$) を参考にしながら、Fig. 11(b)に示す CO/CO_2 分布を満足するように傾動ノッチを調整した。傾動ノッチの変更は、あらかじめシミュレーションモデルによりコークスや鉱石の傾動ノッチの変更が半径方向の層厚分布にどの程度影響するかを把握した後に実施した。

3. 実炉における装入物分布調整

3.1 操業状況

操業状況は大きく2つの代表期に分けられる。各期における操業方針、および特徴的な炉況を以下に述べる。

(I)期 火入れ～立ち上げ時の CO 装入における分布調整期 (1990年7月～11月)

火入れ当初の中心流過多のガス分布を徐々に目標ガス分布へ近づける期間である。この時期には、炉頂ガスの急変や急激に炉壁部へガスが吹きぬける状態がみられ、時おり羽口へブロック状の生降りが見られた。これに対し、コークス傾動ノッチの炉壁側へのひきあげによるショートテラス志向を選択した。さらに円周方向のバランス改善のため、後述の原料装入速度制御を開発した。

(II)期 $CCOO$ 装入による小塊原料の粒度別装入とコークス垂直装入への移行 (1990年12月～1991年9月)

ベルレス導入時に理想とした装入イメージを追求するため $CCOO$ 装入による粒度別装入と炉中心の O/C 単独制御を狙いとした、コークスの垂直装入 (傾動角 13°) へ移行した。小塊原料使用比率増大の中でさらに炉壁流化を強化しながら分布調整を実施した。

3.2 CO 装入における装入物分布調整

Fig. 12には (I) 期における代表的なベルレスパター

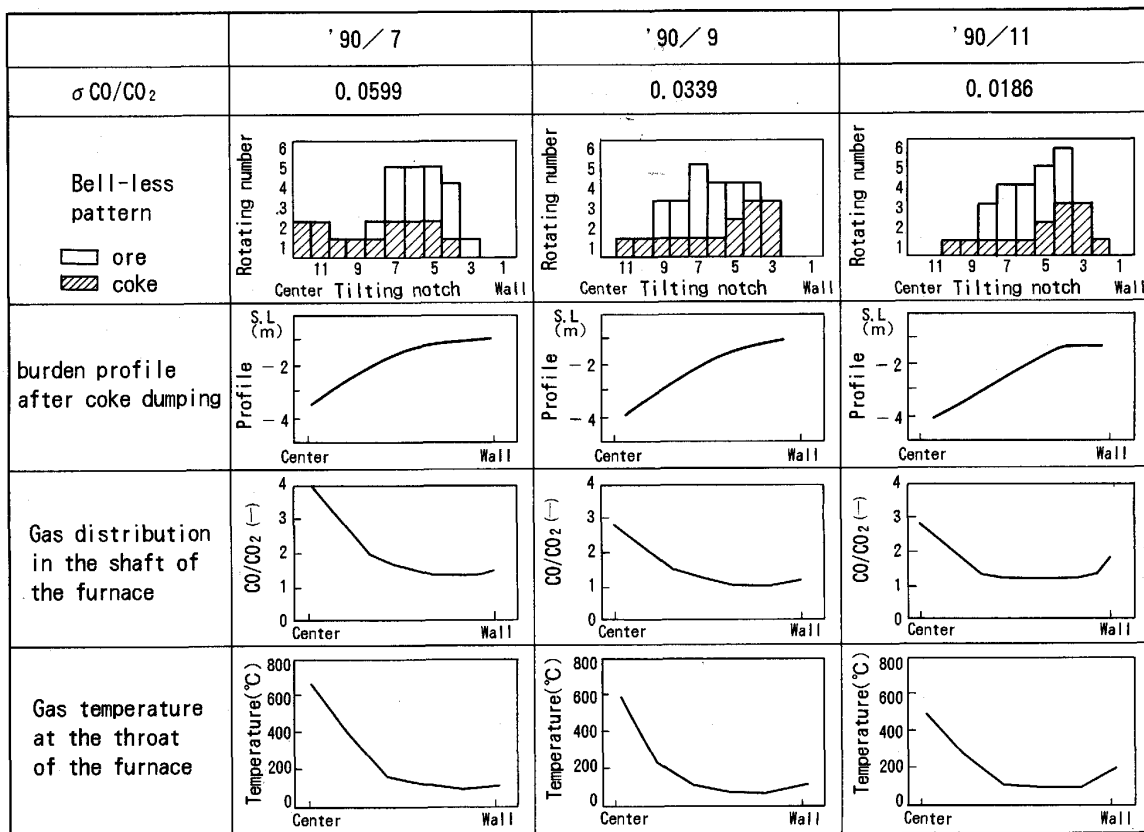


Fig. 12. Typical bell-less pattern, burden profile and gas distribution at the period of (I).

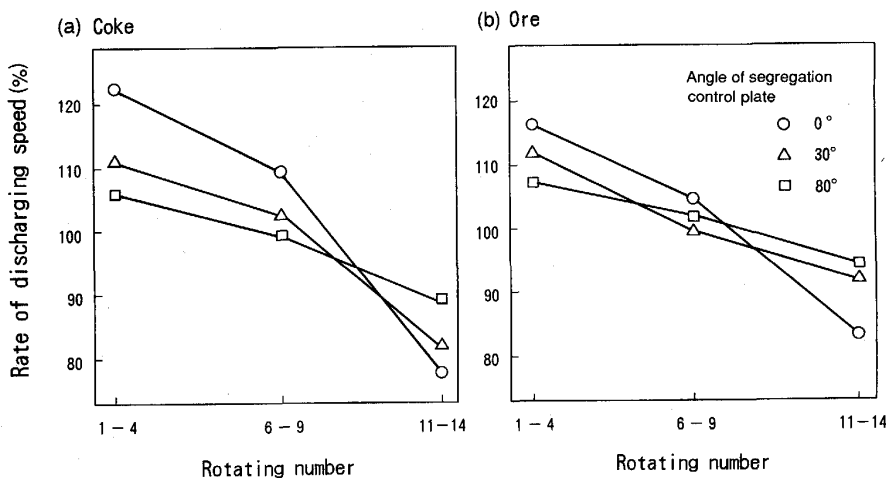


Fig. 13. Comparison of variation of discharging seed according to the angle of segregation control plate.

ンとガス分布、および堆積形状の変化を示す。Fig. 12中の代表的なガス分布が示すように中心流強化型から徐々に炉壁流強化を志向した中で、コークステラスを短くして半径方向の層厚分布の均一化をはかった。

3.3 原料装入速度制御の開発

水島3高炉のベルレストップは、前述のように粒度偏析を強化した特徴を有し、従来実施してきた原料装入中の流調ゲート開度一定値制御では、初期に細粒が、末期に粗粒が排出されるため、装入速度が徐々に低下する。

Fig. 13には、炉頂バンカー内に設置している分配板の角度を変更した時の巡回初期、中期、後期における装入速度の変化を示す。分配板角度0°は、軸が垂直方向にあり、分配板による粒度偏析を最も引きおこす位置である。また、80°は炉中心から離れる方向にふり上った状態であり、原料は分配板に衝突しない。分配板の角度が大きくなるほど堆積形状の頂点の位置が、バンカーの排出ゲート直上より炉壁側にずれ、偏析が小さくなる。一方、Fig. 13の縦軸は所定の原料を14巡回で平均的

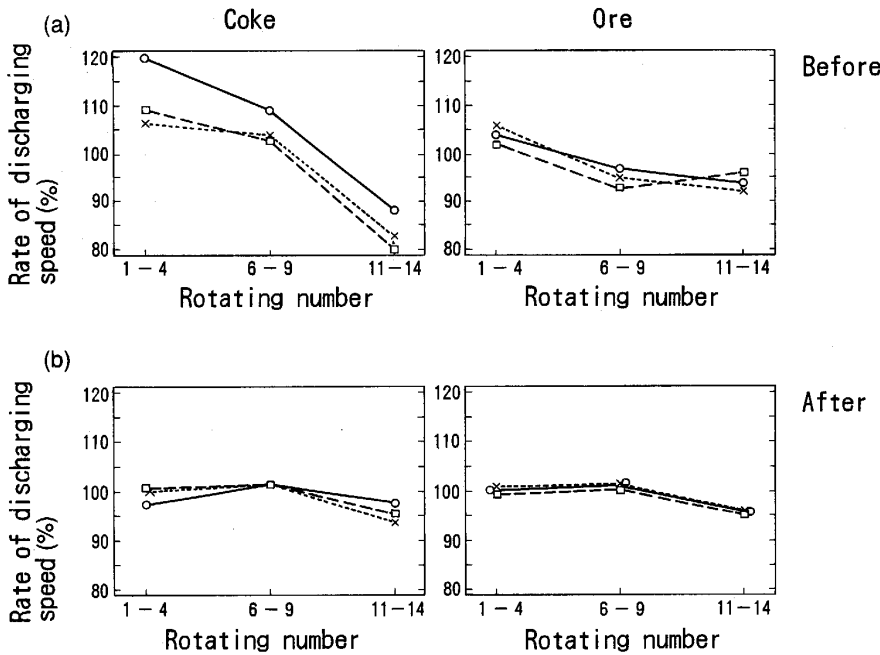


Fig. 14. Comparison of variation of discharging speed in relation to the discharging speed control system.

に装入する場合の装入速度を 100 とした時の前、後期の装入速度を示す。コークス、鉱石とも後半の装入速度が低下している。即ち、原料は装入中徐々に粗粒化しており、分配板が偏析に与える影響が大きいことがわかる。

そこで、偏析が装入速度に影響を与えないように、装入中の排出速度を所定の装入速度で一定となるように、かつ最終的には、所定の回転数で排出完了となるよう終点制御を行うために、流調ゲートの開度をリアルタイムに制御する装入速度制御を開発した。

Fig. 14(a) には、装入速度制御導入前の装入初期（回転数：1～4）、中期（回転数 6～9）、後期（回転数 11～14）における装入速度分布を、Fig. 14(b) に導入後を示す。本技術により、装入中の装入速度の変動が、10～20% から 5% 以内に減少した。また、原料装入完了回転数精度は目標回転数 14 ± 0.4 回転に対し、装入速度制御導入前後で達成率が 88.1% から 98.4% へ向上した。

3.4 コークス垂直装入と粒度別装入の適用

Fig. 15 には II 期における代表的な装入方法を示す。1 バッチ目のコークスは、炉中心部への細粒の流れこみを防止するためにテラス長さを管理しながら、炉壁から 12 回転で装入する。2 バッチ目のコークスは、中心部の O/C の単独制御を目的としてコークス重量の 10% を傾動角度 13° 、2 回転で装入している。

一方、焼結鉱は Fig. 5 で示した分級設備で、粗粒と細粒の重量分率が 2.5～3.5 の割合になるように分級を行う。

代表的な算術平均粒径は、粗粒 20 mm、細粒 14 mm

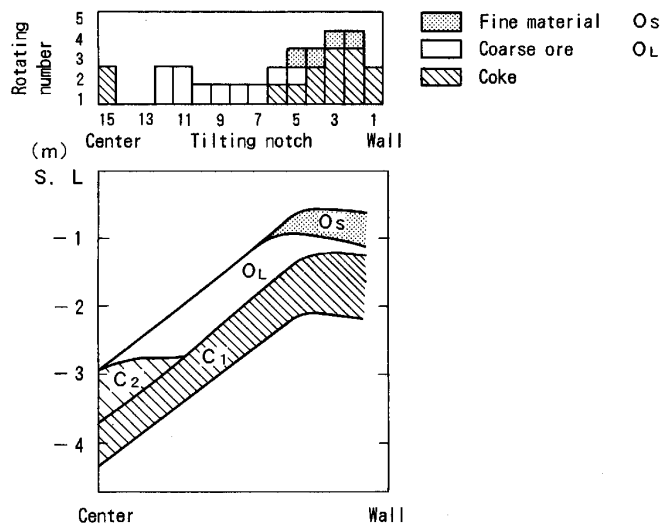


Fig. 15. Typical bell-less pattern and burden profile image of Mizushima No. 3 BF at the period at (II).

であり 3 バッチ目は、この粗粒焼結鉱や塊鉱石を O_L として、4 バッチ目は、細粒焼結鉱を O_s として、各々 10 回転と 4 回転で装入する。 O_L と O_s の重量比は、7:3 である。種々の細粒原料は、混合を防ぐため、炉頂バンカーへの順序切りだしにより、炉壁側から順々に装入している。

Fig. 16 には、代表的なコークス装入後の堆積形状とガスサンプラーの分布を示す。コークステラス長さは、1.5 m に管理しており、中心部には垂直装入コークスの盛り上りが認められる。半径方向の CO/CO_2 分布は、粒度別装入前に比べ、炉壁流が強化されたパターンと

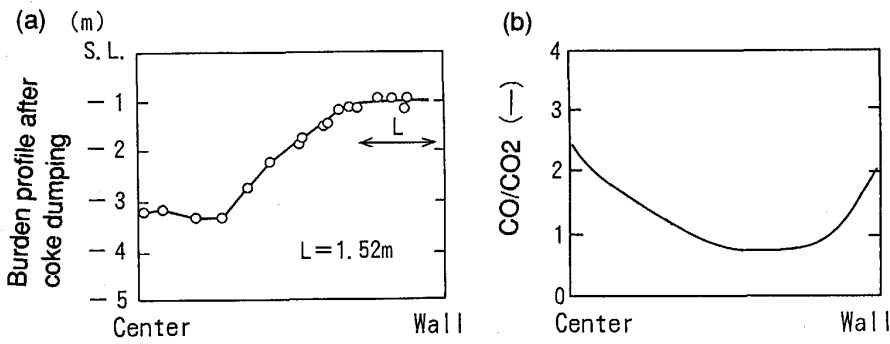


Fig. 16. Actual burden profile after coke dumping and gas distribution at the period of (II).

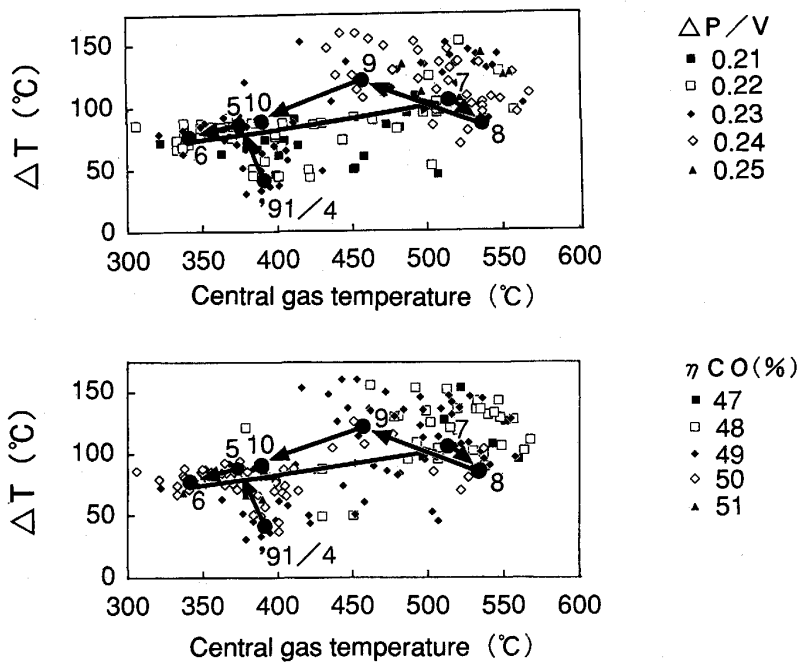


Fig. 17. Relation between fixed probe pattern and CO gas utilization or permeability.

なっている。

ただし、Fig. 17 に示す、1991年4月～10月の固定ゾンデの中心部温度や炉壁部の温度差 ΔT と炉内通気性 $\Delta P/V$ 或いは炉頂ガス利用率との関係からわかるように、中心部と炉壁部の両方のガス流をともに強化した温度パターンよりは、どちらも抑制した温度パターンの方が、通気もよく炉頂ガス利用率も良いことがわかる。

現在、操業度は、出鉄比 $1.9 \text{ t/d}\cdot\text{m}^3$ 、コークス比 500 kg/t 、 $[\text{Si}] 0.25\%$ ($\delta[\text{Si}] 0.05\%$) の安定操業を行っており、篩下等から再回収した小塊原料の使用比率は、焼結鉱、コークスとも12%に到達した。

4. 結 言

水島3高炉(3次)において、3並列バンカータイプのパルレストップを採用し、以下に示す装入物分布調整

技術を開発した結果、低品位原料の使用拡大が可能となった。

- (1) 並列バンカータイプの採用、及びバンカー形状の改善による高炉内半径方向の粒度偏析強化技術。
- (2) 多バッチ装入機能による鉱石の粒度別分割装入技術。
- (3) 垂直装入コークスによる高炉中心部 O/C の単独制御技術。
- (4) 装入速度制御による装入物分布の安定化技術。

文 献

- 1) 宮川昌治, 武田幹治, 田口整司, 森本照明, 藤田昌男: 材料とプロセス, 4 (1991), p. 105
- 2) 小西行雄, 武田幹治, 村川恵美, 田口整司, 西村博文, 高島暢宏: 材料とプロセス, 1 (1988), p. 74