
ベル・ムーバブルアーマー方式における新しい装入物分布制御法

The New Methods of Burden Distribution Control by Bell-Movable Armour Equipment

沢田 寿郎(Toshirou Sawada) 金子 憲一(Ken-ichi Kaneko) 奥村 和男(Kazuo Okumura) 安野 元造(Motozou Yasuno) 才野 光男(Mitsuo Saino) 浜田 尚夫(Hisao Hamada)

要旨：

高炉の安定操業に必要な装入物分布調整は中心部でのガス流をシャープにし、かつ、炉壁流を適正にして、炉壁不活性帯の制御と炉内循環Znの排出を促進することにある。しかし、ベル・アーマー方式による装入物分布調整は、ベルレスに比較して、炉半径方向の粒度偏析が小さいため、その微調整が問題視されていた。若者らは、この課題に取組み、ベル・アーマー方式の新しい使用法を開発した。これは、ベルのダンプ方法に関するもので、ベルストロークの制御により、炉半径方向の粒度偏析を助長させるものである。この技術により、ベル・アーマー方法においても分布制御を高度化し、高炉の操業を向上させた。

Synopsis：

The purpose of controlling technique on the gas distribution for a stable furnace condition is to maintain an adequate peripheral gas flow and a sharp center gas flow, for preventing a scaffold (ansatz) at wall side and for improvement in the discharge of Zn from the furnace top. The gas distribution of a furnace equipped with a bell-armour in comparison with that of the bell-less top has a tendency to be flat owing to the difference in size segregation behavior in the radial direction, thus posing a problem in micro-control of the burden distribution. The authors have recently developed a new method of burden distribution control by the movable armour and introduced it to No.5 BF. This method is aimed at promoting large particle size segregation at the center and wall side by controlling the bell stroke and speed. This method has resulted in higher-level gas distribution by the movable armour even under the current sluggish production, and improvement in blast furnace operation.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

ベル・ムーバブルアーマー方式における 新しい装入物分布制御法*1

沢田 寿郎*2 金子 憲一*3 奥村 和男*4 安野 元造*5 才野 光男*6 浜田 尚夫*7

The New Methods of Burden Distribution Control by Bell-Movable Armour Equipment

Toshirou Sawada, Ken-ichi Kaneko, Kazuo Okumura, Motozou Yasuno, Mitsuo Saino, Hisao Hamada

要旨

高炉の安定操業に必要な装入物分布調整は中心部でのガス流をシャープにし、かつ、炉壁流を適正にして、炉壁不活性帯の抑制と炉内循環 Zn の排出を促進することにある。しかし、ベル・アーマー方式による装入物分布調整は、ベルレスに比較して、炉半径方向の粒度偏析が小さいため、その微調整が問題視されていた。

著者らは、この課題に取り組む、ベル・アーマー方式の新しい使用法を開発した。これは、ベルのダンプ方法に関するもので、ベルストロークの制御により、炉半径方向の粒度偏析を助長させるものである。この技術により、ベル・アーマー方式においても分布制御を高度化し、高炉の操業を向上させた。

Synopsis:

The purpose of controlling technique on the gas distribution for a stable furnace condition is to maintain an adequate peripheral gas flow and a sharp center gas flow, for preventing a scaffold (ansatz) at wall side and for improvement in the discharge of Zn from the furnace top.

The gas distribution of a furnace equipped with a bell-armour in comparison with that of the bell-less top has a tendency to be flat owing to the difference in size segregation behavior in the radial direction, thus posing a problem in micro-control of the burden distribution.

The authors have recently developed a new method of burden distribution control by the movable armour and introduced it to No. 5 BF. This method is aimed at promoting large particle size segregation at the center and wall side by controlling the bell stroke and speed.

This method has resulted in higher-level gas distribution by the movable armour even under the current sluggish production, and improvement in blast furnace operation.

1. 緒 言

高炉操業における装入物分布制御の進歩は著しく、ムーバブルアーマー（以下 MA と略す）や、ベルレス装入装置の導入と炉内各種センサーの開発により、高炉の優れた操業成績^{1,2,3)}に寄与してきた。最近では、オールコークス操業下における減産基調の中で炉壁の不活性帯コントロールやダスト中の Zn 濃度の管理が高炉の安定操業を左右するためその最適分布の思想はさらに重要性を増している。

一方、高い装入物分布制御性を有するベルレス装入装置の出現で、ベル・アーマー高炉との優劣比較や MA による装入物分布制御のあり方が論じられるようになってきた。そのため、国内稼働中の高炉の約 8 割を占めるベル型高炉における装入物分布調整技術の確立と問題点の明確化が必要であった。

このような背景のもとに、両者の高炉を有する千葉製鉄所では、ベル・アーマータイプの第 5 高炉（内容積 2 584 m³）の立ちあげ以降、MA による装入物分布調整技術の確立をめざし、積極的に取り組んできた。

今回、従来ベル・アーマー高炉における炉半径方向の粒度分布を改善する手段として、大ベル開度、開速度変更技術の開発を行い、良好な結果が得られた。この技術により、ベル・アーマー高炉でもベルレス並の装入物分布制御が可能となった。

本報では、その開発経過ならびに適用結果を述べる。

2. ベル・アーマー装入方式の特徴

2-1 千葉第 5 高炉の操業状況

千葉第 5 高炉の炉頂装入装置の模式図を Fig. 1 に示す。川鉄式 MA を有する 3 ベルタイプの中型高炉である。川鉄式 MA は駆動軸部を垂直にすることにより、ダスト付着を防止し、駆動軸の上下方向の微調整により大きな分布制御の効果を得られることが特徴である。分布制御はストーンボックスタイプのアーマーを大ベルとウェアリングプレート間に設定し、原料をそれにあてて炉頂半径方向の落下位置の制御を行う。MA の設定位置は、炉壁部を 0 ポイントとし、460 mm 炉内側から 54 mm 間隔で 1 ~ 6 ポイントとする。装入方式は、所定の原料を一度に炉内に装入する 2 バッチ 1 チャージ方式で、コークス、鉱石とも所定のストックラインまで降下させる共装入を基本としている。

分布制御の指標は、主に炉頂から排出されるダスト中の Zn 濃度とステープ温度指数⁴⁾を重要な因子とした。ステープ温度指数は、円周方向各段のステープに設置された温度計により、それぞれのステープにおける温度の高低を点数づけた指数であり、点数が高いことは、炉壁部が活性化していることを示す。Fig. 2(a) に固定ゾンデ中心温度の低下とともにダスト中 Zn 濃度が低下し、周期的なアンザツ落下により、溶銑温度が低下した例を示す。また、Fig. 2(b) には、ステープ温度指数とスリ

*1 昭和58年2月25日原稿受付

*2 千葉製鉄所製鉄部製鉄技術室

*3 千葉製鉄所製鉄部製鉄技術室主任（掛長）

*4 千葉製鉄所製鉄部製鉄技術室主任（課長）

*5 千葉製鉄所製鉄部製鉄課課長

*6 千葉製鉄所製鉄部製鉄技術室主任（部長補）

*7 技術研究所第1研究部製鉄研究室

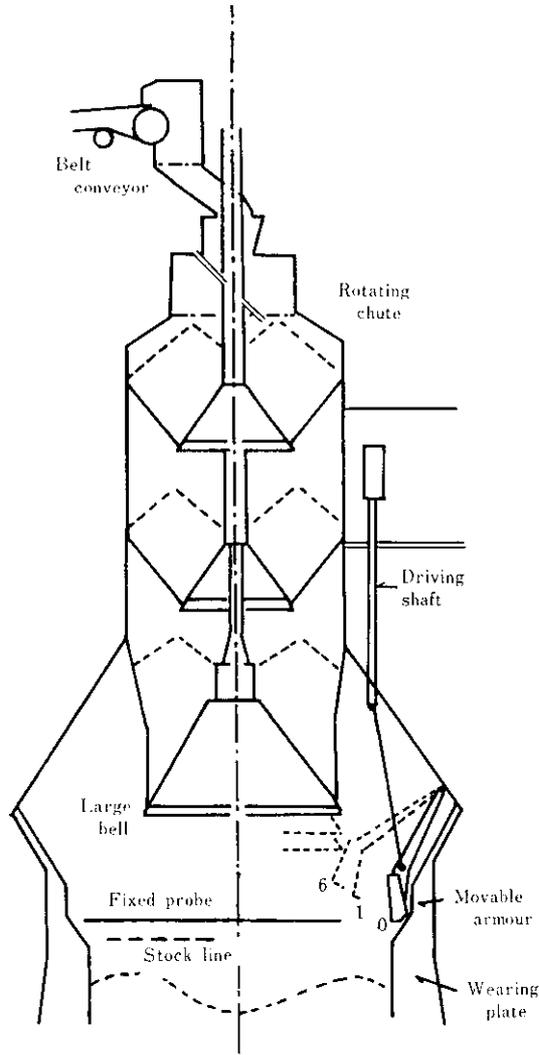


Fig. 1 Schema of discharging equipment of No.5 BF

ップの関係を示す。ステーブ温度指数が極端に低下すると荷下りが悪化する傾向にある。これらは、オールコークス操作における極端な減産下では、特に、炉壁沈静化による荷下り不順の防止³⁾および炉内循環 Zn の排出に必要な炉頂ガス温度の確保^{6,7)}が必要であることを示唆している。これらの知見から両者の指標を満足するように MA 設定位置を変更した。

すなわち、ダスト中 Zn 濃度が 0.2% 以上であれば、炉壁部を活性化するため、積極的にコークスを炉壁側へ装入し、さらに中心部での高温ガス領域をできるだけ小さくしたシャープな分布にするため、鉍石を炉内側に装入した。

Fig. 3 に千葉第 5 高炉での MA パターンの推移と各パターンにおける固定ゾンデ中心部でのガス流のシャープさを示す ΔT_{CL} (中心部ガス温度 - 中間部ガス温度) および固定ゾンデ炉壁部でのガス流の強さを示す ΔT_W (炉壁部ガス温度 - 中間部ガス温度) の変化を示す。コークス装入時の MA 位置を炉壁側に引き戻し、鉍石装入時の MA 位置を炉内側に設定したことにより、 ΔT_W が確保される傾向が認められたが、逆に中心部でのシャープさが減少した。ここに MA 方式における分布制御の技術的課題があった。Fig. 4 に MA における分布制御の難点を示す。ステーブ温度指数の低下とともにスリップが増加した。そこでコークス装入時の MA 位置を炉壁側へ引き戻すため、 C_1O_3 パターン (コークス装入時に MA 設定位置を 1 ポイントに、鉍石装入時に MA 設定位置を 3 ポイントに設定する) から $C_1O_3C_0O_3$ パターンに変更したが、逆に固定ゾンデ中心温度が低下し、Zn の排出不良を招いた。図中(A)(B)期の固定ゾンデ温度分布を Fig. 5 に比較した。

一方、Fig. 6 にはベルレス装入装置を有する千葉第 6 高炉のベルレスパターン推移を示す。両軸の指数は、複数の傾動ポジションからなるパターンを平均化することで炉半径を 1 としたときの炉中心からの平均的な原料装入位置を示す指数⁸⁾である。

火入れ以降、羽口曲損期から羽口溶損期にかけてコークスパターンを炉壁側へ変更し、さらに低燃料比期、オールコークス

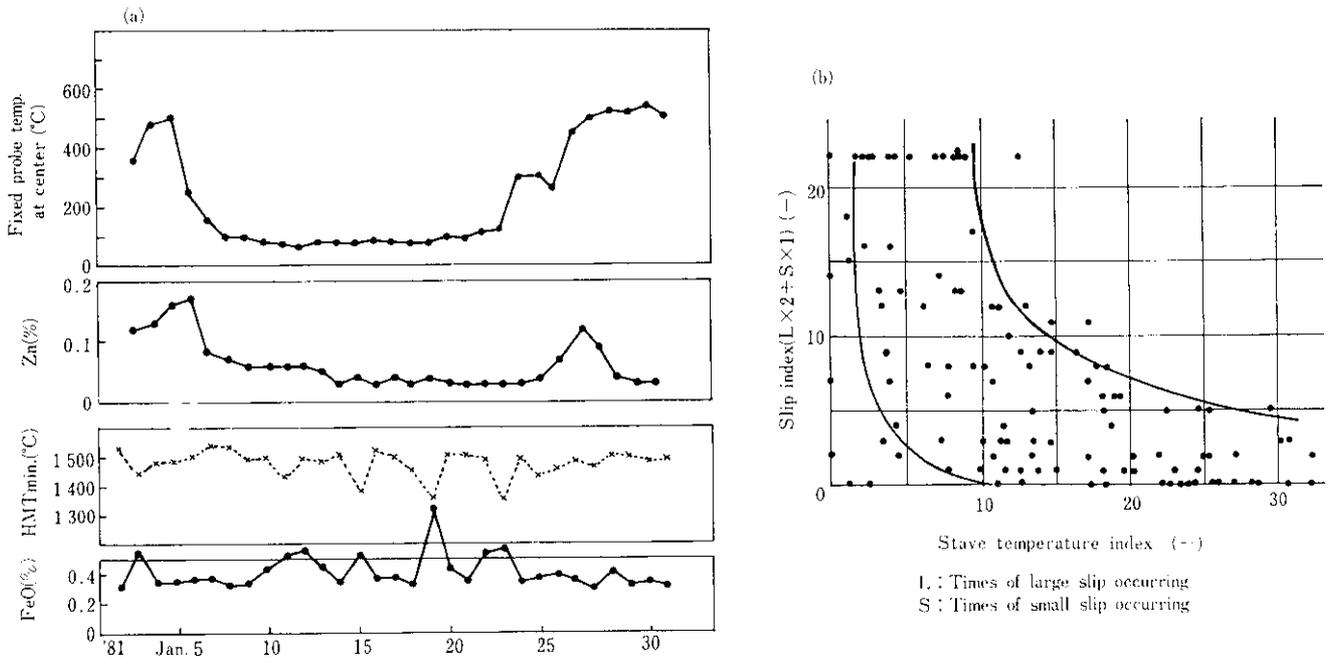


Fig. 2 Effect of the fixed probe temperature at center and Zn percent in dust on hot metal temperature (a), and relation between slips and stove temperature index (b)

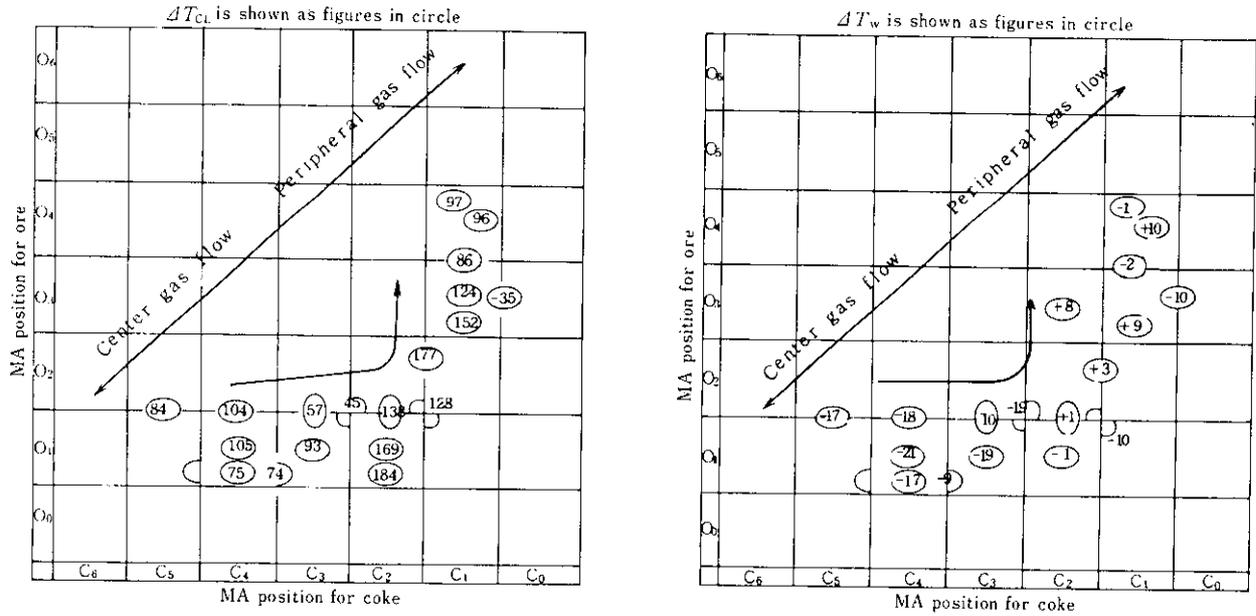


Fig. 3 Transition of ΔT_{CL} (sharpness) and ΔT_w (peripheral gas flow) on every MA notch at Chiba No.5 BF

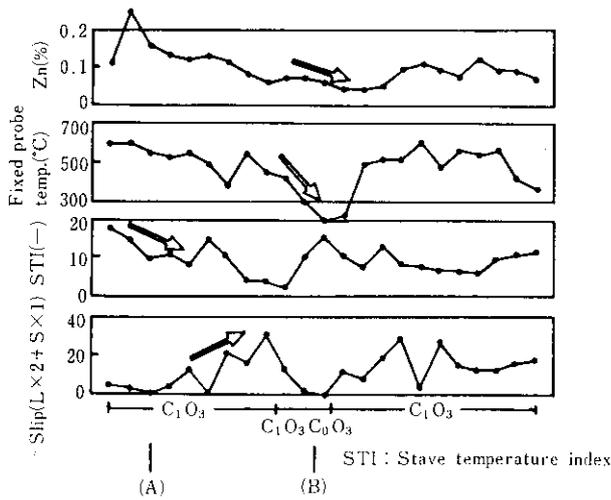


Fig. 4 Operational data on gas distribution control by the use of MA at No.5 BF

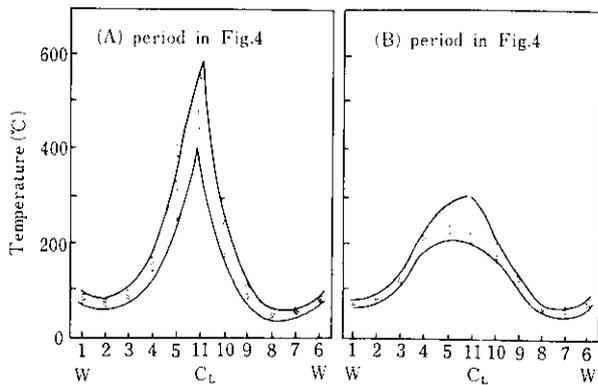


Fig. 5 Comparison of gas temperature distribution measured by fixed probe in radial direction

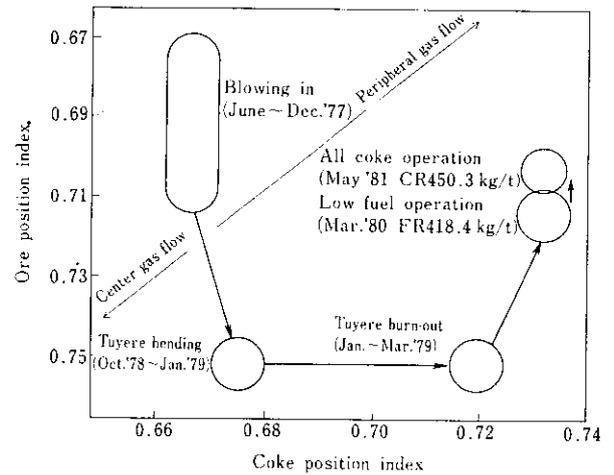


Fig. 6 Transition of bell-less pattern under typical operation at Chiba No.6 BF

期で鉱石パターンを炉内側へ変更したことにより、ガス流の炉壁側での適正化と中心部でのシャープさが達成され、炉況の安定が得られている。

つまり、MAでもベルレスでも同じ装入物分布制御の経過をたどり、目標ガス分布を追求したことは、いかに中心部のガス流のシャープさを図り、かつ、炉壁部での安定したガス流を確保するかという同じガス分布思想に基づいている。そこで、上記課題を解決すべく、MAにおいても炉壁流を確保しながら、かつ、中心部のガス流をシャープにする技術の開発が、不可欠なものとなった。

2.2 ベルレスとMA両方法の比較

ガス流分布を適正に管理することは、炉半径方向の層厚と粒度分布を適正にすることに他ならない。そこでこれらの観点からベルレスとMAの比較を行う。

Fig. 7には、ベルレスとベル・アーマー型装入装置の模式図を

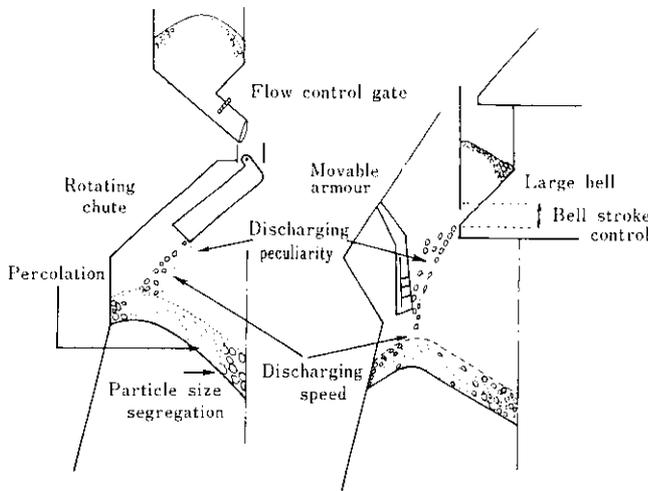


Fig. 7 Schema of discharging equipment of bell-less type and bell-armor type

示す。装入状態に関する違いは

- (1) ホッパーからの排出挙動
- (2) 装入面に対する落下軌跡
- (3) ダンプ数（原料の上に次の原料を装入する回数）
- (4) 原料装入速度

が挙げられる。これらの要因により、推積形状、粒度偏析、パーコレーション、混合層の形成、に差を生じる。また、一般的には、ベル高炉の方が、ベルレスに比べて炉半径方向の粒度偏析が小さいことが知られている⁹⁾。

2.3 ベル・アーマー高炉における粒度偏析の改善

さて、ベル・アーマー高炉における粒度偏析を改善する方法に①分割装入¹⁰⁾、②粒度別装入¹¹⁾、等が知られているが、前者は、ダンプ数を増やす、あるいは1ダンプあたりの装入速度を減少させることにより、後者は、炉中心部へ積極的に粗粒を装入することにより、炉中心部における粒度偏析を助長することが狙いである。

筆者らは、ベル高炉の粒度偏析を助長する方法として、ベル・アーマーとベルレスの違いの中から最も効果を及ぼすと思われ

る装入速度を減少させる方法を考えた。千葉第2高炉¹²⁾ベルレス実機大テストにおいてもFCG開度（流量コントロール）を小さくすれば、粒度偏析を助長することが報告¹²⁾されており、ベル・アーマー高炉においてもベルレス高炉のFCGと同一の機能をもたせるために、大ベル開度、大ベル開速度を調整する技術開発を試みた。

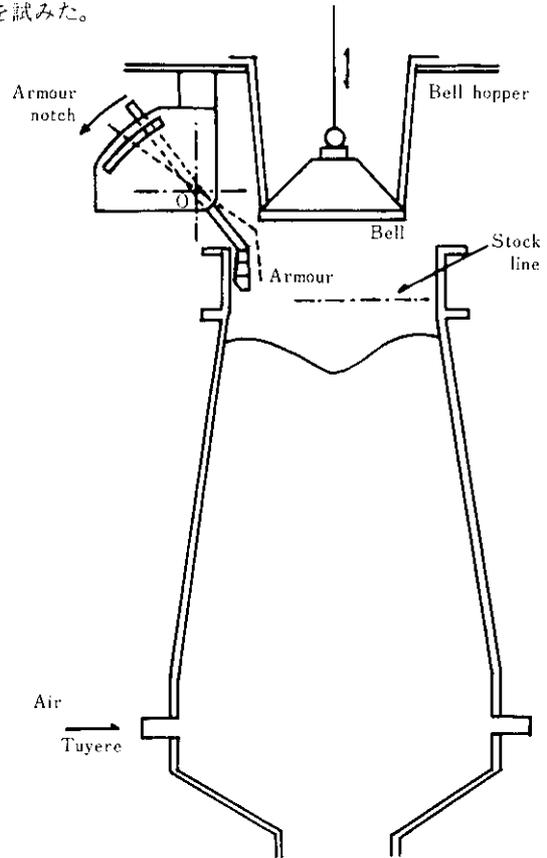


Fig. 8 1/15 scale segment model of Chiba No.5 BF

3. MAによる新しい分布制御技術の開発

3.1 縮尺模型による分布調査

炉内装入後の原料粒度分布や層厚分布を論ずるための実測デ

Table 1 Comparison of particle size

	No.5BF		1/15 scale segment model	
	Particle size (mm)	Weight percent (%)	Particle size (mm)	Weight percent (%)
Ore	+50	4.7	4-3	4.2
	50-35	5.5	3-2	10.1
	35-30	4.1	2-1.5	9.1
	30-25	5.3	1.5-1.0	17.1
	25-20	8.6	1.0-0.6	33.1
	20-15	12.3	0.5-0.4	14.4
	15-10	25.8	0.4-0.2	12.0
	10-5	28.7		
	-5	5.0		
Coke	+100	0.0	6-4	27.5
	100-75	6.5	4-3	32.5
	75-50	43.2	3-2	40.0
	50-25	48.4		
	-25	1.9		

ータがないため、各社とも縮尺模型や実機大模型により、部分的にでも定量化しようという試みがなされている^{11,13,14}。ベル開度、開速度変更技術を導入するに先立ち、縮尺模型による分布調査を行った。Fig. 8には千葉第5高炉の1/15に相当する炉頂装入装置を示す。前面は透明ガラス張りの半截模型である。アーマーは、図中の支点Oを中心にして回転することにより、設定位置が変更できる。Table 1には、実験試料の粒度構成を示す。この原料を大ベル上に均一に装填した後、空気を1.2 m³/minで下部の羽口から流しながら、所定のベル降下速度で、かつ、所定のベル開度まで大ベルを降下させ、原料を装入する。装入後、下部排出口から炉内装入物を抜きとり所定のストックラインまで降下させる。これを数回繰り返した後、堆積形状、炉半径方向のガス流速等の測定を行う。最後に等面積になるように9分割した金棒を装入面に打ちこみ試料を採取して粒度分析に供した。

Fig. 9には測定結果を示す。Fig. 9(a)はベル開速度一定の条件下でベル開度を全開から1/2に変更した場合の炉半径方向の層厚比(鉱石層厚 L_0 /コークス層厚 L_c)、粗粒(+2 mm)、細粒(-35 mesh)の分級割合を比較した。なお、図中 $C_0O_3^{3/2}$ は鉱石装入時のMAをポイント3に設定し、かつベル開度を1/2にすることを示し、+2 mmは実炉での+30 mm、-35 meshは-5

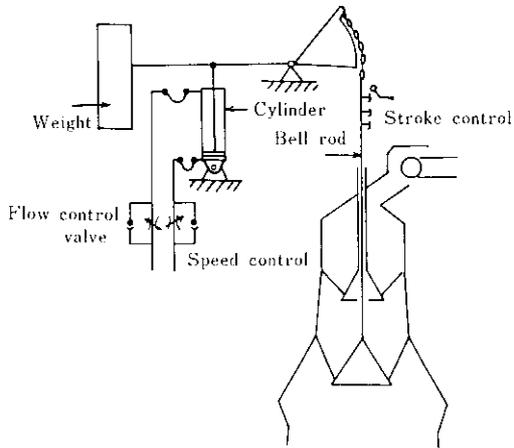
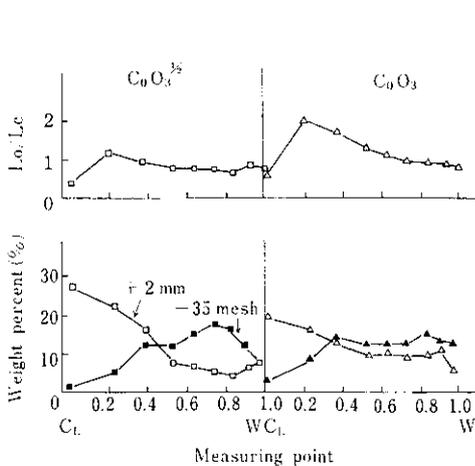
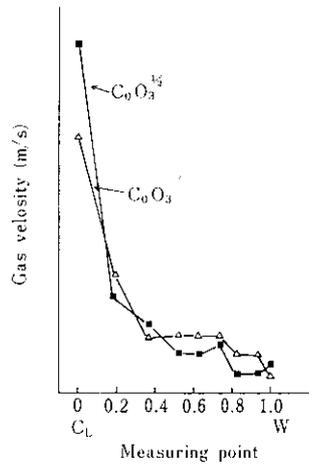


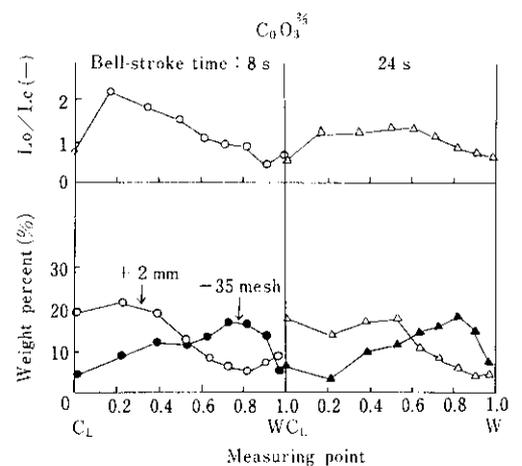
Fig. 10 Control system of bell stroke and bell speed



(a) Effect of bell stroke on the particle size segregation in radial direction



(b) Effect of bell stroke on the gas distribution in radial direction



(c) Effect of bell stroke speed on the particle size segregation in radial direction

Fig. 9 Results of investigation on burden distribution at 1/15 model

mmに対応する。ベル開度を小さくすることにより、中心部近傍での層厚比 L_0/L_c が減少するだけでなく、中心部と炉壁部への粗粒の分級効果が著しい。その結果、Fig. 9(b)に示すように炉半径方向のガス流速は、中心部と炉壁部近傍で増加する。さらにFig. 9(c)には、ベル開度を2/3の一定条件下で、開速度を8秒から24秒にした場合の粒度分布を示す。ベル開速度を遅くすることにより、中心部近傍での細粒の集中が減少する。これらの知見から、大ベル開度、開速度の変更は、炉半径方向の層厚比だけでなく粒度分布にも影響を及ぼすことが明らかになった。

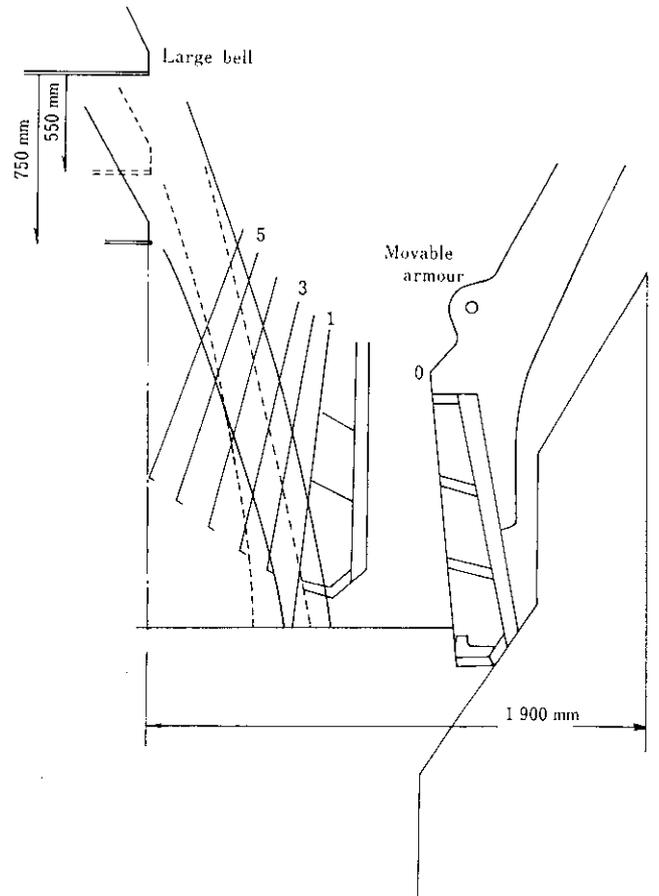


Fig. 11 Discharging behavior from large bell measured at scheduled shut down of No.5 BF

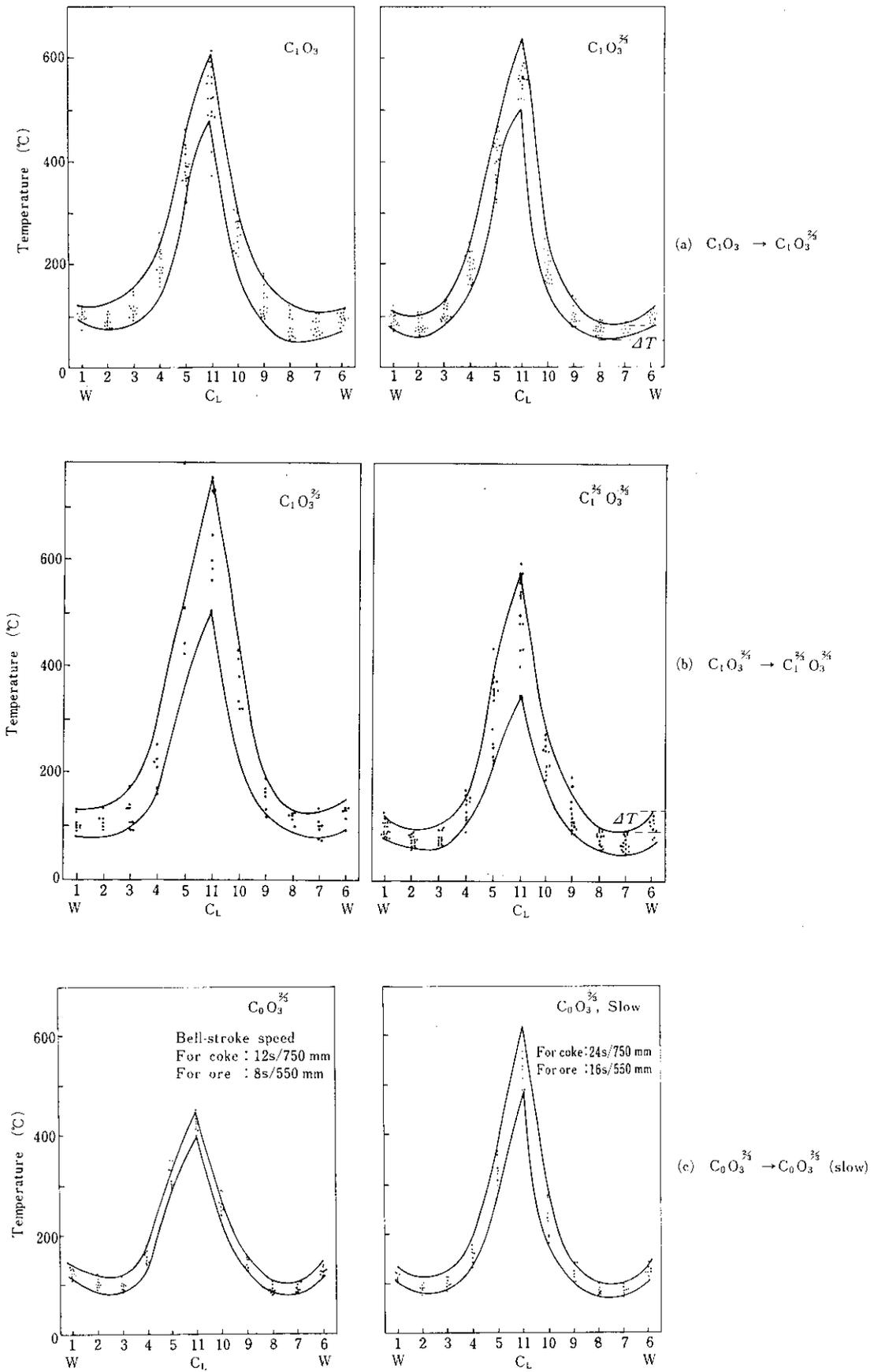


Fig. 12 Change of the gas temperature distribution by bell stroke control

3.2 実機への適用

Fig. 10には実機における大ベル開度、開速度の制御システムを示す。開度はベルロッドにとりつけたリミットスイッチの位置により、開速度は油圧シリンダー配管の流量調整バルブにより制御する。

Fig. 11には休風時の大ベルからの落下軌跡の測定結果を示す。大ベル開度を2/3にすれば、図中破線で示すように、原料は高いところから排出されるため、下方で炉内側に寄る。したがって、MAを使用しないOポイントでは、2/3開の方が全開に比べて炉内側へ原料が装入される。また、1~2ポイントにおける2/3開では、原料の主流がMAにあたる全開の場合に比べて炉壁側へ装入され、3~4ポイントではMAがストーンボックスタイプのため、炉半径方向の落下位置に及ぼす影響は少ないと考えられた。

これらの知見に基づき、ベル開度制御は主として炉壁流を強化するため、前述の炉壁部粒偏析の観点から $C_1O_3 \rightarrow C_1O_3^{25} \rightarrow C_1O_3 \rightarrow C_1O_3^{25}$ の順に、あるいは、コークスの落下位置の観点から、 $C_1O_3 \rightarrow C_1^{25}O_3 \rightarrow C_0^{25}O_3 \rightarrow C_0O_3$ の順にパターンを変更した。開速度制御は、炉壁流強化時の中心流が過度に抑制されるのを防ぐ目的で中心部での通気抵抗を阻害しない粗粒を分布させることを意図して実機へ適用した。

3.3 操業の改善

Fig. 12(a)には、アーマー位置を鉱石装入時3ポイントにし、大ベル開度を2/3にすることで炉壁流の増加が図られた1例を、(b)には同じくコークス1ポイントの大ベル開度を2/3にすることで炉壁流の増加が図られた1例を示した。

一方、(c)には大ベル開速度をコークスの場合12→24秒/750 mm、鉱石の場合8→16秒/550 mmに変更しシャープな中心流が得られた1例を示す。

このように、ベル開度、ベル開速度を調整することにより、従来、フラット分布になりやすい中心部でのガス流の制御および炉壁部での安定なガス流の確保が可能となった。

Table 2には、千葉第5高炉における代表的な操業因子が操業状況に与える影響の比較を示す。ベル開度、開速度の変更技術により、ステーブ温度指数とダスト中Zn濃度の適正化が図られ、その結果、溶銑温度の極端な低下は解消し、スリップ数も減少し、操業の安定に寄与した¹⁵⁾。

4. 結 言

川鉄式ムーバブルアーマー装入装置を備えた千葉第5高炉において、稼動以来2年余の操業を通してMAによる新しい分布制御方法を確立した。以下に得られた知見と内容を要約する。

- (1) 高炉操業の安定に必要な中心部でのガス流をよりシャープにし、かつ、炉壁部での適正なガス流を確保するための装入物分布目標は、ベルレスでもベル・アーマータイプでも同じである。
- (2) 上記の装入物分布は、炉壁不活性帯の抑制と炉内循環Znの排出に適したガス流分布を得ることにある。
- (3) MAにおける技術的課題は、ガス流の炉壁流化を志向した場合の中心部でのシャープなガス分布を達成することであり、このガス流分布は炉半径方向の粒度分布に大きく左右される。
- (4) 従来のベル・アーマータイプの高炉における炉半径方向の粒度偏析を改善するため、ベル開度、ベル開速度変更技術を開発した。この技術は、高炉への原料装入速度を遅くすることにより、炉中心部と炉壁近傍での粒度分布を制御できるという実験結果とよい対応を得た。
- (5) この技術により、炉壁部ガス流を適正に確保しながら、中心部でのシャープなガス流の達成が可能となり、昨今の減産下における炉況安定と操業幅の拡大に大きく寄与している。

Table 2 Comparison of typical factor on the blast furnace operation

	Jan. '81	Oct.	Dec.	May. '82	Sept.
Zn percent in dust (%)	0.07	0.22	0.11	0.36	0.23
Stave temperature index (-)	43.4	15.7	9.6	13.3	22.6
Total slip number (L,S)	15.36	115.95	102.72	32.15	14.15
Permeability (-)	0.69	0.75	0.71	0.67	0.66
Hot metal temp. min. (C°)	1428	1403	1463	1465	1473
Typical MA notch	C ₁ O ₀	C ₁ O ₁	C ₁ O ₃	C ₀ O ₃ ²⁵	C ₀ O ₃ ²⁵ (slow)

参 考 文 献

- 1) 奥村和男, 河合隆成, 丸島弘也, 高橋洋光, 栗原淳作: 「ベルレス型大型高炉による低燃料比操業」, 鉄と鋼, **66** (1980) 13, 1956
- 2) Tomio Haru and Junsaku Kurihara; "Energy Saving in Blast Furnace Operation" II Ilafa-Blast Furnace Congress Rio De Janeiro, Brazil-May 14-16, 1982
- 3) 梶川修二, 山本亮二, 中島龍一, 岸本純幸, 福島勤: 「低燃料比操業時の高炉内諸現象」, 鉄と鋼, **68** (1982) 15, 2361
- 4) 安野元造, 田中和精, 河合隆成, 渡辺実, 栗原淳作: 「千葉2高炉における低出銑比操業」, 鉄と鋼 **67** (1981) **11**, S771
- 5) 早瀬敏一, 高橋洋光: 「高炉のオールコークス操業」川崎製鉄技報, **13** (1981) 4, 59
- 6) 田口啓司, 小坂橋寿光, 梶谷暢男, 高橋洋光: 「高炉内でのアルカリ, Znの挙動と操業への影響」, 鉄と鋼, **68** (1982) 15, 2346
- 7) Seiji Taguchi, Hideshi Katayama, Nobuo Tsuchiya, Kyoji Okabe, Kazuaki Tanaka and Kazuo Okumara: "Messung der Temperaturprofile im Hochofen und Bedeutung für den Hochofenbetrieb", Stahl und Eisen, **101** (1981) 18, 43-51
- 8) 栗原淳作, 橋爪繁幸, 高橋洋光, 奥村和男, 丸島弘也, 河合隆成: 「千葉6高炉の高ガス利用率操業について」, 鉄と鋼, **66** (1980) 4, S103
- 9) 桜井昭二: 「装入物分布制御の考え方」, 鉄と鋼, **68** (1982) 15, 2319
- 10) 日本鋼管(株): 「実物大装入物分布模型による実験と実機の装入物分布に関する考察」第57回製鉄部会資料, 鉄57-⁶/₁₉講
- 11) 磯山正, 近松栄三, 齊藤武雄, 奥野嘉雄, 今井徹, 須沢昭和: 「高炉への粒度別焼結装入法の適用」, 鉄と鋼, **67** (1981) 4, S83

- 12) Kazuo Okumura, Takanari Kawai, Hironari Marushima, Hiromitsu Takahashi and Junsaku Kurihara: "Lower Fuel Rate Operation by a Large Blast Furnace Equipped with Bell-less Top" Transactions ISIJ, **22** (1982) 4, 244
- 13) 成田ら:「ベル装入とベルレス装入の装入物分布特性」, 鉄と鋼, **67** (1981) 4, S19
- 14) 成田ら:「実物大模型による高炉炉口部の O/C 分布の検討」, 鉄と鋼, **65** (1979) 3, 3
- 15) 春富夫, 才野光男, 安野光造, 奥村和男, 金子憲一, 沢田寿郎, 小西行雄:「新しい装入物分布調整方法」, 鉄と鋼, **69**(1983) 4, S58