

討 4 ベル式およびベルレス式高炉での装入物分布制御手段の多様化

川崎製鉄㈱ 千葉製鉄所 芹沢保文○田中和精 沢田寿郎
技術研究所 福武 剛 田口整司 小西行雄

1. 緒 言

当社ではベル式高炉とベルレス式高炉の両者を保有し、それぞれの高炉での装入物分布制御技術の向上に努めてきた。ベルレス式高炉の稼動当初はベル類似分布パターンの実現を目指したが、操業の安定に伴ない半径方向の粒度偏析が大きいことが特性として注目された。最近の減産操業や低Si操業では炉中心部や炉壁部のガス流分布をよりきめ細かく管理することが重要となった。そのため分布制御技術も従来の手段だけに頼れなくなり、新たな制御手段を開発した。本報告ではベル式高炉における半径方向の粒度偏析装入技術およびベルレス式高炉における半径方向の粒度変動の抑制と円周方向堆積重量偏差の抑制に関して、基礎的検討ならびに実高炉への適用結果を述べる。

2. ベル開度、開速度変更による炉頂半径方向の粒度偏析の制御

ベル式高炉における粒度偏析の助長方法としては、(1)分割装入、(2)粒度別装入が知られている。前者は1ダンプあたりの装入量を減らすことにより、後者は1ダンプ毎の粒度調整とムーバブルアーマー(以下FMA)による落下位置制御とを併用することにより、炉頂半径方向の堆積粒度分布を制御しようとしている。筆者らはベルレス装入とベル装入との堆積機構の違いの中から、粒度偏析に対して最も効果が大きいと考えられる装入速度に着目し、これを制御する技術を開発した。

2.1 縮尺模型による分布実験

対千葉第5高炉 1/15 の炉頂装入物分布模型¹⁾を用いて、通風状態下で実験を行なった。実験用装入物の粒度構成を Table 1 に示す。Fig. 1 (a) にベル開速度一定の条件下で、ベル開度を全開 (Base) から1/2に変更した場合の炉半径方向の鉱石層厚Loとコークス層厚Lcとの比、および粗粒 (+2 mm)、細粒 (-0.4 mm) の重量存在率を比較して示す。図中 $C_0O_3^{1/2}$ は鉱石装入時のM.A.をポイント3に設定し、かつベル開度を1/2にすることを示す。また、実験装入物の+2 mm、-0.4 mm はそれぞれ実炉での+30 mm、-5 mmに相当する。ベル開度を小さくすることにより、中心部と炉壁部への粗粒の分級効果が著るしい。その結果、Fig. 1 (b)に示すように炉半径方向のガス流速は、中心部と炉壁際で増加する。さらにFig. 1 (c)ではベル開度を2/3の一定条件下で、開速度を8秒 (Base) から24秒にした場合の粒度分布を示す。

開速度を遅くすることにより、中心近傍で細粒が減少する。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、粒度分布を変化させ

Table 1 Particle size distribution in model experiment

	Particle size (mm)	Weight percent (%)
Ore	4-3	4.2
	3-2	10.1
	2-1.5	9.1
	1.5-1.0	17.1
	1.0-0.6	33.1
	0.5-0.4	14.4
	0.4-0.2	12.0
Coke	6-4	27.5
	4-3	32.5
	3-2	40.0

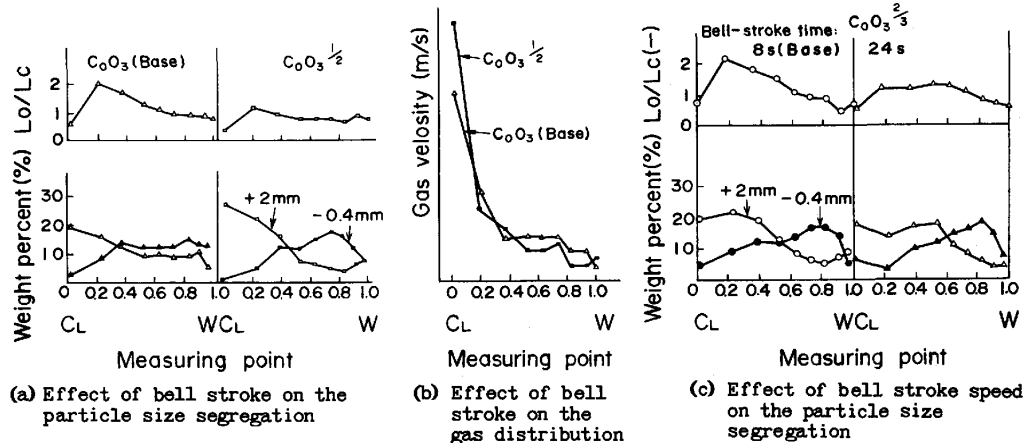


Fig.1 Results of investigation on burden distribution at 1/15 model

る効果が大きいことが解った。

2.2 実機での制御技術の確立

休風時に大ベル開度変更の装入実験を行ない、装入物の落下軌跡を測定した。開度を2/3とすることにより、落下軌跡はFig. 2中の実線から破線に移る。すなわち、原料の炉壁方向への飛び出し速度が小さくなり、軌跡は下方では炉内側へ寄る。この測定結果から、M.A.のポイント変更と大ベル開度2/3の組み合わせにより、Base(全開)に比べて次のような変化が予想された。M.A.を使用しない0ポイント位置では2/3開の方が原料は炉内側へ落下し、1~2ポイントでは原料の主流がM.A.に当たる全開の場合に比べて炉壁側へ落下する。また、3~4ポイントではM.A.がストーンボックス型であるため反撥力が小さく、落下位置に及ぼす影響は少ない。

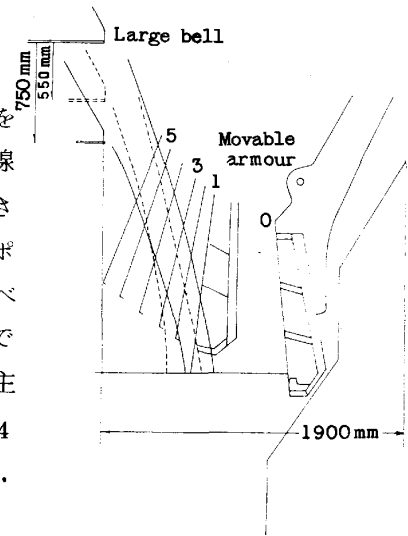


Fig. 2 Discharging behavior from large bell measured at scheduled shut down of No. 5 BF

以上のことから、実機のベル開度制御は主として炉壁流を強化する手段として用い、開速度制御は炉壁流強化時に中心流が過度に抑制されるのを防ぐ目的で中心部に通気性の良い粗度を多く分布させる手段として実機に適用した。鉍石装入時のアーモア位置を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を図った例をFig. 3(a)に示した。一方、大ベル開速度をコークスで12→24秒/750mm、鉍石で8→16秒/550mmに変更して、シャープな中心流を得た例をFig. 3(b)に示す。このようにベル開度、ベル開速度を調整することにより、従来フラットな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。

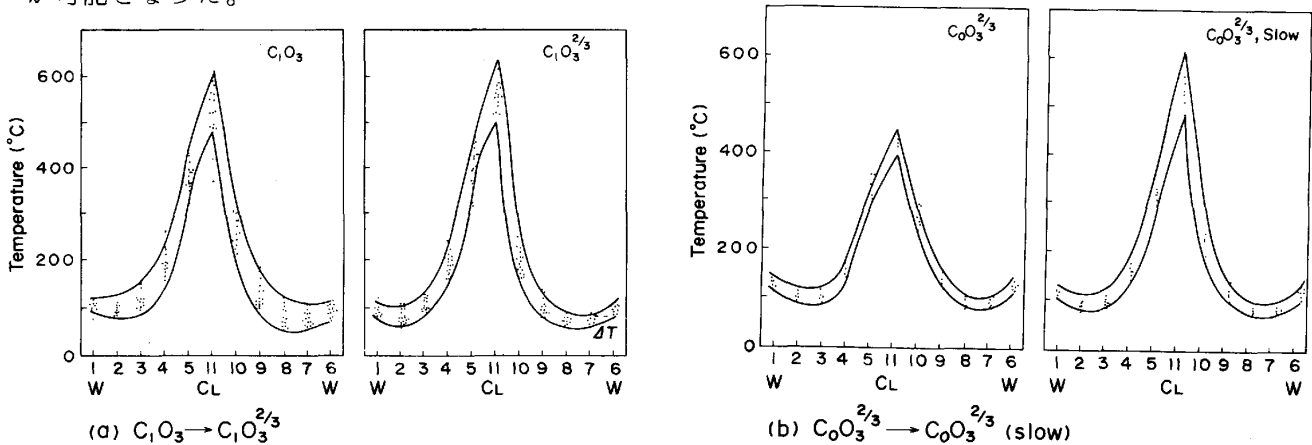


Fig. 3 Change of the gas temperature distribution by bell stroke control

3. ベルレス式高炉炉頂バンカーからの排出粒度変化の制御

千葉第6高炉の稼動初期において、対向する2つの炉頂バンカー(IおよびIIと呼ぶ)に交互に装入する鉍石とコークスの順序を変えると炉内ガス分布が異なるのが認められた。すなわち、Fig. 4に示すように、鉍石を装入するバンカーが、(a) I側である場合と、(b) II側の場合、とで炉内半径方向のCO、CO₂組成分布が変化した。休風時に炉頂バンカー内での装入物の堆積プロセスを調査したところ、Fig. 5に示すように2つのバンカー内で装入物の落下軌跡が異なることが解った。その結果、図中のケース(a)ではスト

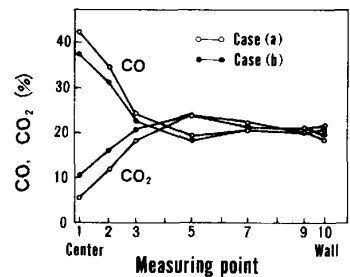


Fig. 4 Comparison of radial gas distribution in relation to the ore piling conditions in furnace top bunker

ンボックスに落下鉱石の主流が当らず，(b)に比べてバンカー内での粒度偏析が大きい。炉内ガス分布の変化は，この偏析の差異に基づく排出時の粒度変化パターンが異なることによるものと予想された。そこで粒度変化パターンの違いを定量化するために，サージホッパーと炉頂バンカーを含めた高炉装入系の模型実験²⁾および実機でのサンプリング測定を行なった。

模型実験におけるサージホッパーでの粒度偏析状態と堆積粒子の排出順序を模式的にFig. 6に示す。図において実線は堆積表面の推移，破線は数字の排出量割合(%)でホッパーから出て行く堆積層の領域を示している。堆積過程で中心領域に集まった細粒は最初に排出され，排出時間とともに粒子径は大きくなる。それ故に，炉頂バンカー内の粒度偏析状態はFig. 7に示すようにサージホッパー内とは異なってくる。このように炉頂バンカーから排出される時の粒子径変化はサージホッパーでの偏析状態の影響を含んだものになる。Fig. 8に模型および実機での炉頂バンカーからの排出に伴う粒子径変化の測定結果を示す。粒子径は最初減少し，次に増大し，最後に再び減少に転ずる。このパターンは模型と実機でよく一致している。ベルレス装置では周辺から中心に向って順次装入されるので，排出量35%までの相対的に小さい粒度の装入物は周辺部に装入され，半径方向の粒度偏析を助長する結果となる。模型実験の結果，I側バンカーとII側バンカーからの排出粒子径変化はそれぞれ破線と一点鎖線のようになった。その違いは顕著ではないが初期の排出量30%までの部分でII側バンカーから排出される粒子の方が小さくなっている。I側バンカー内のストーンボックスを装入物落下流に当る位置に移動させると，図中の実線に示すように，粒子径の推移はI，II側とも同じになった。これは実機での実験でも全く同様になった。

このようにして，炉頂バンカー内のストーンボックスの位置を変えることにより，実炉でFig. 4に見られたガス分布の変化が無くなり，ガス利用率を全体として約1.5%向上させることが出来た。この例も半径方向の粒度分布が重要な制御要因である事を示している。

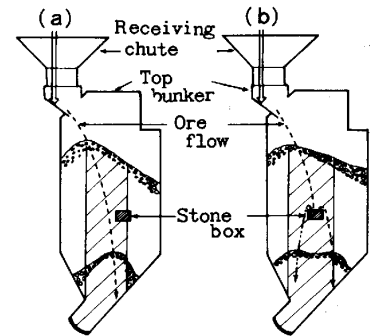
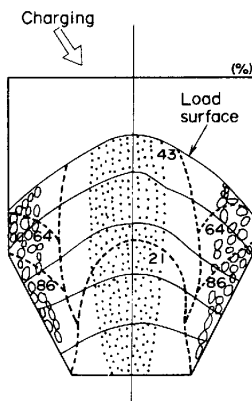


Fig. 5 Comparison of ore piling conditions in top bunker in relation to the position of stone box. (a) Without collision. (b) With collision.



[Figures show contours of discharged region (100%: fully discharged)]

Fig. 6 Retention time distribution of particles in surge hopper

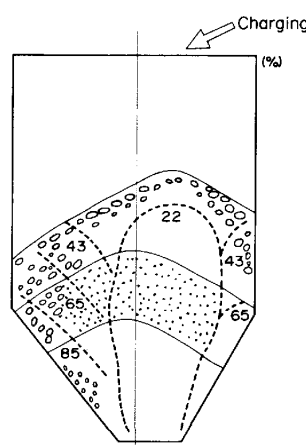


Fig. 7 Retention time distribution of particles in furnace top bunker

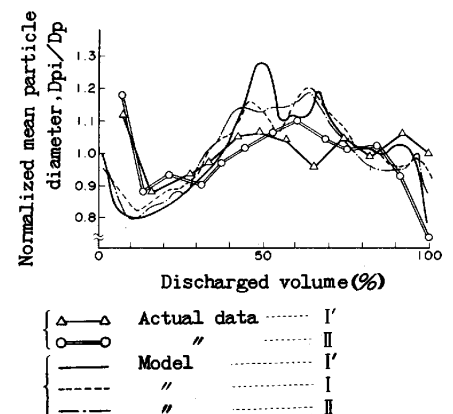


Fig. 8 Variation of particle size of sinter discharged from furnace top bunker

4. 円周方向の装入物分布アンバランスの検出と制御

高炉内円周方向の装入物分布が不均一になると操業の不安定を招いたり，複数の出鉄口から出てくる溶鉄成分に偏差を生じることが多い。千葉第6高炉では装入物分布の不均一性を定量化するために炉頂

4本のアップテークU1, .., U4とベンチュリー後からガスを採取して迅速に分析するシステムを開発した³⁾。各アップテークに対応する炉内4領域のコークス比をガス分析結果と装入物の化学分析値および送風条件とから与えることが出来る。Table 2は上述の測定結果に基づく各領域のコークス比とU1およびU3の領域に対応する出銑口からの溶銑の温度とSi濃度を示している。一週間平均値でも、コークス比の高い領域から出てくる溶銑の熱レベルは高い。

ベルレス高炉の炉頂対向バンカーから交互に排出される装入物は垂直シュートを通して分配シュート上に落下する際に垂直シュート内で若干の偏流を生ずる。この偏流により、分配シュートが一回転する間に装入物のシュート上での滞留時間が異なり、円周方向への落下堆積量に正弦曲線的な偏差を生じる⁴⁾。この偏差は、

炉頂バンカー I, II から排出する鉱石、コークスの別による違いと分配シュート回転方向の正、逆転との組み合わせ (Table 3) により4つのパターンを生ずる。測定結果をまとめると各パターンでの炉内のコークス比偏差は Fig. 9 のようになる。ここで炉頂バンカー I, II は東西方向 (E-W) に設置されている。図においてコークス比が最大, 最小となる領域間の偏差は測定期間中で ± 18 kg/t-pig であった。パターン変更により、炉頂ガス利用率の相応する領域間の偏差は Fig. 10 のような時間応答性を示す。すなわち、炉頂装入物分布の不均一に由来する円周方向のアンバランス状態は、一日のオーダーでは定常状態に致達していない。このようにパターン変更に対する応答性が遅いことから、Fig. 9 に示した4つのパターンを時系列的に組み合わせることにより、コークス比偏差のきめ細かな調整が可能である。出銑口間の溶銑温度偏差を解消した例を Fig. 11 に示す。図中偏差制御期において、B A B のように1日のうちで B と A との装入パターンを時間分割で用いることにより、溶銑温度の偏差は解消するに至った。各出銑口の溶銑温度に対する炉頂でのコークス比偏差の影響は、定常となるのに数日を要する比較的遅い効き方を示すことが解った。

5. 結 言

高炉操業の制御手段のうち炉頂での装入物分布制御は最も重要なものであり、操業成績の向上とともにますます高度で複雑な制御が要求されるようになった。当社において、半径方向および円周方向の装入物分布を制御するために、数多くの手段を試み、実用化してきた。高炉の安定操業に対するこれらの寄与は大きい。

[文献] 1) 沢田 ほか ; 川崎製鉄技報, 15('83) 3, P.185, 2) 福武 ほか ; ibid, 14('82) 4, P. 405, 3) 野村 ほか ; 鉄と鋼, 68 ('82) 4, S 117, 4) 近藤ほか, ibid, 68 ('82) 11, S 703

Table 2 Variables in each region (One-week-averaged data)

Item	Region			
	U1	U2	U3	U4
Coke Rate (kg/t-p)	457	446	446	458
Hot metal temperature (°C)	1499	-	1476	-
Si content in hot metal (%)	0.312	-	0.261	-

Table 3 Classification of charging pattern

Charging pattern	Discharged material		Rotating direction of distributing chute
	Bunker I	Bunker II	
A	Coke	Ore	Clockwise
B	Ore	Coke	Clockwise
C	Coke	Ore	Counter clockwise
D	Ore	Coke	Counter clockwise

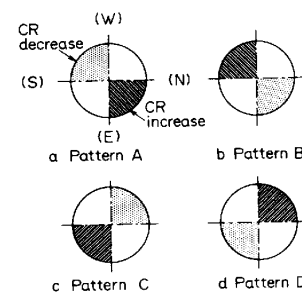
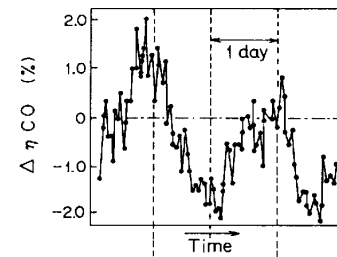


Fig. 9 Schematic representation of the circumferential distribution of coke rate on each of four charging patterns (in Table 3)



Charging pattern	C	B	A	B
------------------	---	---	---	---

Fig. 10 Comparison of the variation of CO gas utilization difference between two region: $\Delta \gamma_{CO}$ and the change in charging pattern

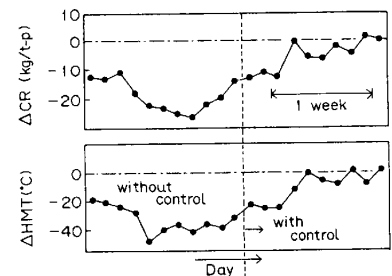


Fig. 11 Chronological changes in calculated coke rate difference: ΔCR and hot metal temperature difference: ΔHMT between east and west half regions