

千葉 2 高炉におけるベルレス装入装置の活用

Bell-less Top Operation at Chiba No. 2 Blast Furnace

栗原 淳 作*

Junsaku Kurihara

高橋 洋 光**

Hiromitsu Takahashi

奥村 和 男***

Kazuo Okumura

荻 込 洋 一****

Yoichi Karikome

岡 部 俠 児*****

Kyoji Okabe

近 藤 幹 夫*****

Mikio Kondo

Synopsis:

A bell-less top has been installed for the 4th campaign of Chiba No. 2 blast furnace in due consideration of its high flexibility in controlling burden distribution in the furnace. Before blowing-in, tests were conducted to obtain comprehensive information about the burden distribution by using the full-scale top for No. 2 blast furnace as well as a reduced-scale model. ITV-system and mechanical profile meter for observing the motion and piling behavior of burden materials have been developed and installed to fully utilize the flexibility of the bell-less top. Various charging patterns were tried in actual operation. As a result, the control method of the burden distribution has been established to meet any operational requirement, either for full-capacity or reduced, as well as foundry pig iron production. Furthermore, the charging method for small size sinter has been newly developed to reduce the overall cost of pig iron.

1. 緒 言

高炉炉頂部での装入物分布は、炉内のガス流れを直接支配し、したがって操業を左右する重要な因子である。そのため、生産計画、原料事情などの比較的長期の経済的条件のみならず、日常の炉況変動にも即応する手段として、装入物の適切な装入方法を確立することがきわめて重要である。このような要求に応じ、従来のベルタイプよりいっそう自由度の高い装入装置として Paul Wurth 社がベルレス装入装置を開発した¹⁻³⁾。当社では本装置の利点を評価して、千葉 2 高炉にこれを導入し、さらにその経験に基づいて大型高炉としては我が

国で初めて 6 高炉にも採用した。

本装置は装入物分布を操作できる自由度が非常に高いが、装入方法と装入物分布との間の定量的な関係を十分研究しておかないと、その特徴を活かし切ることとはできない。そのために、以下の検討を行った。

- (1) 装入物分布形成の機構とそれに対する装入条件の影響についての検討
- (2) 操業中の高炉における装入物分布の実測
- (3) 最適な装入物分布の把握

その結果、好炉況の維持、低燃料比の達成はもちろんのこと、鋳物鉄吹製、小塊焼結鉱の装入方法等の新技術開発に成功した。

本報告では、実機および縮尺模型による装入実

* 千葉製鉄所製鉄部部長

*** 千葉製鉄所製鉄部製鉄課掛長

***** 技術研究所次長兼企画室、製鉄研究室室長

〔昭和53年11月16日原稿受付〕

** 千葉製鉄所製鉄部製鉄課課長

**** 千葉製鉄所製鉄部製鉄技術室

***** 技術研究所製鉄研究室主任研究員

験、実操業において最適装入パターンを得るに到る過程、さらに鋳物鉄操業、小塊焼結鋳装入方法などについて紹介する。

2. 設備とベルレス装入法の概要

千葉2高炉は1976年7月26日に火入れを行い、第4次操業に入った。Fig. 1 にベルレストップの概略図を、Fig. 2 に炉体プロフィールを示す。垂直シュートの口径600mm、分配シュート長さ3000mm、回転速度8rpm、傾動速度0.27rpmであり、傾動角は2°~52°の10ポイントの選択ができる。

ベルレストップは流量調整ゲートの開度調整によって、炉頂バンカー1個分の原料を炉内へ排出するのに要する分配シュートの回転数を一定に制御し、分配シュートの傾動角を巡回毎に変更することにより、炉径方向の原料の分布を自由に調整できる。2高炉のベルレストップの場合、1チャージ分相当のコークス量、鋳石量は各々二つの炉頂バンカーに2分割して装入し、1個のバンカー分、すなわち1バッチにつき、分配シュートが5巡回する間に炉内へ装入する。すなわち、コークス10巡回、鋳石10巡回、計20巡回で1チャージを構成する（以後、バッチごとの装入順を、例えば

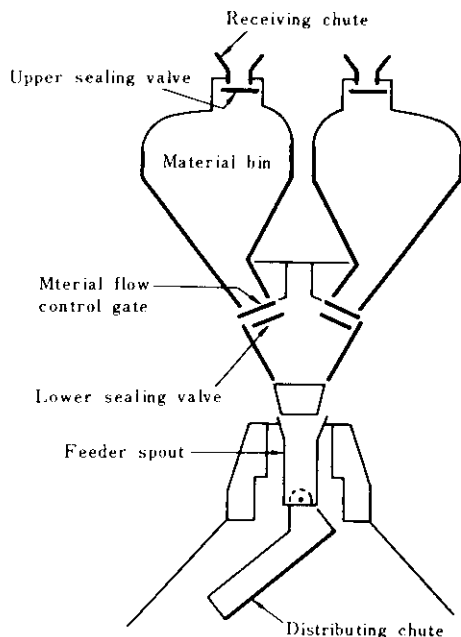


Fig. 1 Bell less top of Chiba No. 2 blast furnace

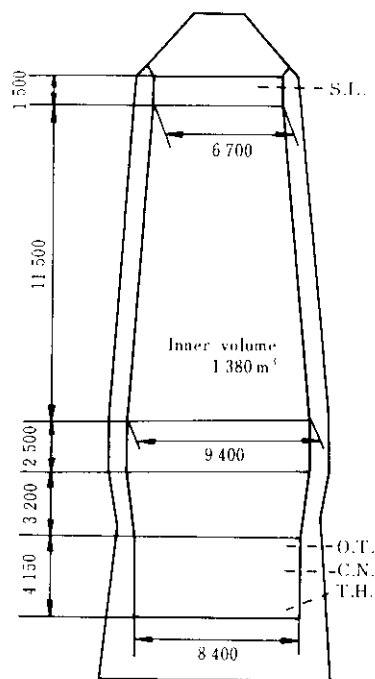


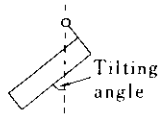
Fig. 2 Profile of Chiba No. 2 blast furnace

$C_1 \downarrow C_2 \downarrow O_1 \downarrow O_2 \downarrow$ のように示す)。

次に傾動角の使い方を述べる。傾動角は分配シュート1巡回毎に変えることができる。すなわち、1巡回に対して1回、1バッチ最大5回設定できる。設定は、あらかじめ10に分割されたポイントで行う。各ポイントに対応する傾動角をTable 1に示す。1チャージ分の傾動ポイントの設定は、(C_1 : 22444, C_2 : 56789, O_1 : 33344, O_2 : 55566)のように表すことにする。この C_2 を例にとると、1巡回目5ポイント、2巡回目6ポイント、3巡回目7ポイント、4巡回目8ポイント、5巡回目9ポイントの傾動位置で装入することを意味する。この1チャージの傾動ポイントの組合せを装入パターンと称する。 $C_1 \downarrow C_2 \downarrow$ あるいは $O_1 \downarrow O_2 \downarrow$

Table 1 Tilting angle for each tilting point

Tilting point	1	2	3	4	5
Tilting angle	49.0°	47.0°	46.5°	44.5°	42.5°
	6	7	8	9	10
	40.5°	38.2°	35.0°	30.8°	24.3°



各10旋回の中で、傾動ポイントの一つしか使用しない装入を1重リング装入、二つは2重リング装入、三つ以上をまとめて多重リング装入とも称する。例えば、(C_1 : 22222, C_2 : 77777, O_1 : 33333, O_2 : 33333)の装入パターンはコークスの2重リング、鉬石の1重リング装入と称する。

3. 実機テスト

実炉にベルレストップを設置する前に、炉頂装入装置の実機を千葉製鉄所内の原料ヤードに仮設し、各種の実験を行った。装入物として、コークス(+30mm)、焼結鉬(末篩のヤード焼結鉬)、塊鉬石(Newman 鉬石)、ペレット(Whyalla ペレット)および実操業での配合比に合わせた焼結鉬75%、塊鉬石22%、ペレット3%のものを使用した。

3.1 装入物流量の測定

流量調整ゲートと排出流量の関係を Fig. 3 に示す。コークスの場合、ゲート開度 43°以上では、垂直シュート上でのブロッキング現象により、排出流量は一定となる。鉬石、コークスとも、1バッチ分の原料を炉内へ装入するための流量調整ゲート開度はこの関係から設定できるが、原料の粒度、種類、粘着性、その他の条件の変化によりこの関係は変化するものであり、実操業では排出時間の変化に応じた開度調整が必要となる。

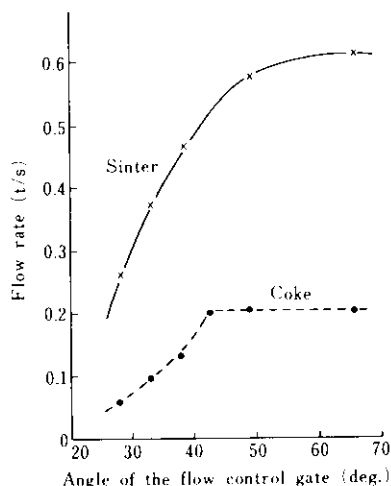


Fig. 3 Characteristic curves of the flow control gate

3.2 ストックライン形状の測定

ストックライン形状のベルレス装入パターンによる変化を把握するために、単一銘柄による装入実験を行った。3～4チャージ連続して装入した後、ストックライン形状を測定した結果をまとめて Fig. 4 に示す。

3.2.1 コークス

1ポイントまたは3ポイントの1重リング法ではV型分布を示し、炉壁部に500～800mmの平坦部を形成する。6あるいは8ポイントを使うとM型となる。10ポイントでは、中心部に200mmほどのくぼみを持つ山を作り、頂上は中心から500mm外に形成される。1ポイントから10ポイントへと傾動角が減少するに従って、頂上の位置は中心に向かい、炉壁方向の装入物の堆積は減ってくる。傾動角によらず中心部の安息角は39°で一定である。

落下流帯の軌跡を観察すると、1あるいは3ポイントでは落下流帯の延長が炉壁に当たり、4ポイント以降では当たらない。平坦部の形成には、炉壁への衝突が関与していると言える。

次に、2重リング法においては、ストックライン形状は傾動角の小さい炉中心寄りの傾動ポイントの影響を強く受けるがリングの組合せにより形状を変化させることができる。しかし、二つの傾動角が離れるに従って、ストックライン形状に凹凸を生じやすくなる。炉中心部における安息角は、第2のリングにより決まるので、1重リングの場合と大差ない。

多重リングにすると、凹凸の差が減り、なめらかなストックラインになる。1, 3, 8ポイントによる3重リングでは緩やかなV型を成し、炉壁部の緩傾斜部は1000mmほどになる。炉壁部では1, 3ポイントの2重リングに、炉芯部では3, 8ポイントの2重リングに類似している。10重リングでは緩やかなM型分布を形成し、層厚分布が均一になる。

3.2.2 焼結鉬

1重リング法では、コークスと比較して6, 8ポイントを使ったM型分布の山の位置は炉芯寄りと

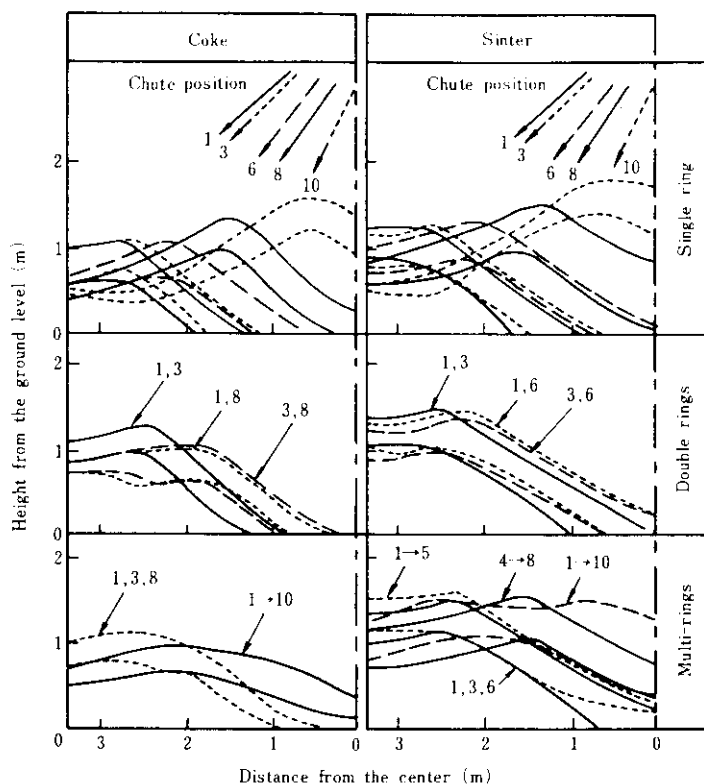


Fig. 4 Burden distributions at full-scale tests with charging of either coke or ore

なり傾斜は緩やかになる。10ポイントでは中心のくぼみの少ない台形を形成し、コークスよりも斜面の傾斜が緩く頂上の峰も外側になる。中心よりの安息角は約 37° で、傾動角によらずほぼ一定である。2重リング法では、コークスと比較して1, 3ポイントでは斜面が緩やかである。興味ある点は1, 6ポイントと3, 6ポイントの間に大きな差は無く、6ポイントの1重リングとはほぼ同形となることである。これは、1ポイントと3ポイントでの堆積状況に大きな差が無いためと考えられる。

3重リング法では、コークスの場合と同様、二つの2重リングの組合せの形となる。

1, 2, 3, 4, 5ポイントを用いた5重リングはV型、4, 5, 6, 7, 8を用いた5重リングはM型となり、いずれも、1重、2重リングよりも斜面は緩やかである。

3・2・3 銘柄間比較

3ポイントによる1重リング装入で銘柄間の比較を行った。その結果をFig. 5に示す。コークス

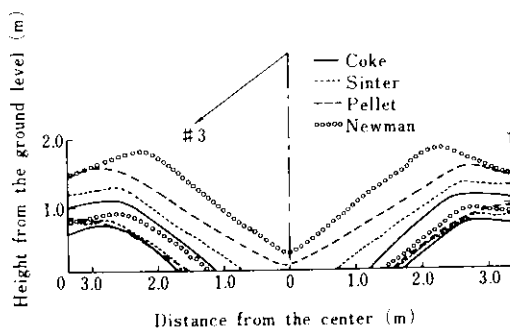


Fig. 5 Burden profile of different kinds of materials with No. 3 chute position

および焼結鉱がV型であるのに対し、ペレットおよびNewman鉱石は若干M型の傾向を示している。斜面の傾斜は焼結鉱と比較して、Newman鉱石は急であり、ペレットは緩やかとなる。これは粒子形状の違いによるものと思われる。

3・3 層状装入実験

鉱石とコークスを交互に装入し、試料採取と実

層厚の測定を行った。層厚測定には、コークス層と鉱石層との電気伝導度が異なることを利用した装置を用いた⁴⁾。

これら層厚、粒径分布から単位層高あたりの通気抵抗指数 ϕ を推算した。代表的な装入パターンにおける粒径分布を Fig. 6 に、通気抵抗分布を Fig. 7 に、さらに主な結果を Table 2 に示す。ここでは粒度偏析の程度を調和平均径(D_p)の最小値に対する最大値の比 $D_p(\max)/D_p(\min)$ で評価した。

(1) 粒度偏析を鉱石の装入パターン別にみるとコークスの装入パターンは同一でも (O_1 : 33333,

O_2 : 33333) の1重リングで最も起こりやすく、3ポジションを中心位置にした(O_1 : 12345, O_2 : 12345)の多重リングでもかなりの偏析が起こる。この多重リングのほぼ両端を用いた(O_1 : 11111, O_2 : 66666)の2重リングでは偏析が著しく抑制される。

(2) 鉱石1重、コークス1重の組合せによると、 ϕ が局部的に高い部分があらわれ、これは装入物の装入面への衝突点より若干内側に寄った点に相当し、粉の偏析によるものと思われる。この傾向は多重リングの組合せでも見られる。

(3) 鉱石、コークスともに2重リングの組合せでは傾動ポイントの選択を適切に行えば、粒度偏析

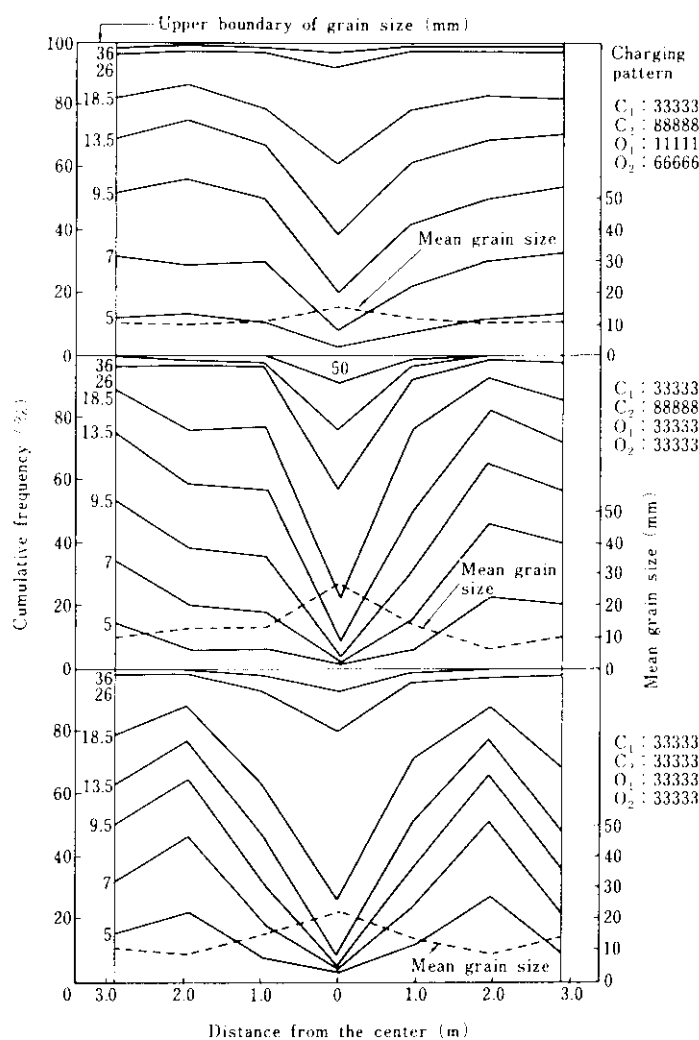


Fig. 6 Comparison of radial grain size distribution of ore for various charging patterns

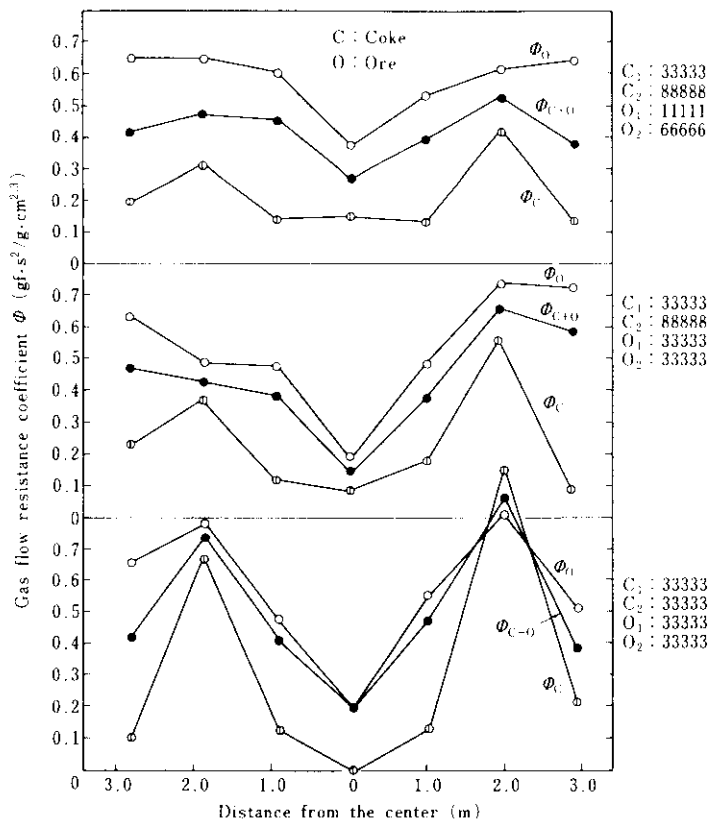


Fig. 7 Comparison of radial gas flow resistance distribution for various charging patterns

が少なく Φ のフラットな分布が得られる。

従来ベル式装入における通気抵抗指数は炉半径方向ではほぼ均一に分布している。当所2高炉火入時の装入パターンとして、基本的にベル式装入法による通気抵抗分布を維持する意図で、実機テストによる装入パターンから、(C_1 : 33333, C_2 : 88888, O_1 : 11111, O_2 : 66666)を選択した。

4. 縮尺模型による装入実験

実機テストでは、高炉内での装入物の降下状況とガス流れが再現できない欠点があるうえに、多量の原料を取り扱うために費用と労力がかさむ。これらの欠点を避けるために第2高炉の $\frac{1}{2}$ の模型を製作し実験を行った。

4.1 実験装置

高炉炉体部は、前面がガラス張りで、炉口径が

540mm ϕ の半截模型⁵⁾である。下端にある排出装置で装入物の降下状況を、そして羽口部より空気を吹き込んでガス流れをシミュレートできる。ベルレストップ模型の製作に際しては、実機の装入方式のすべてを再現できることと、分配シュートの旋回および傾動速度を無段変速機構により広い範囲で変えられるようにして後述する落下軌跡の相似条件が満足できるように留意した。

4.2 実験方法と装入物分布の測定

装入物粒度は実炉での値の $\frac{1}{2}$ とした。装入方法は実炉とほぼ同じであるが、装入物の降下は鉋石およびコークスの第1バッチ装入直前にのみ行って、ストックラインを調整した。1回の実験では、3チャージの装入にとどめた。装入実験進行中に、装入面形状を測定した。装入完了後、炉の横断面を面積で3等分する同心半円状の棒を装入物層内に打ち込み周辺部、中間部および中心部に

Table 2 Harmonic mean grain size and calculated gas flow resistance at full scale tests with charging layer by layer of coke and ore

Coke charging pattern	Radius (m)	Ore charging pattern					
		Single ring (33333 33333)		Multi rings (12345 12345)		Double rings (11111 66666)	
		D_p (cm)	ϕ (g/s ² g/cm ²)	D_p (cm)	ϕ (g/s ² g/cm ²)	D_p (cm)	ϕ (g/s ² g/cm ²)
Single ring (33333 33333)		Pattern No. 3					
	0	1.80	---	1.84	0.11	1.30	---
	0.95	1.00	0.44	0.90	0.42	0.96	0.39
	1.90	0.65	0.81	0.69	0.69	0.73	0.58
	2.85	0.89	0.40	0.86	0.48	0.83	0.42
	$D_p(\max)/D_p(\min)$	2.77		2.67		1.78	
Single ring (66666 66666)	0	1.83	0.15	1.71	0.24	1.46	0.12
	0.95	0.89	0.35	1.01	0.37	0.99	0.33
	1.90	0.66	0.72	0.75	0.56	0.72	0.55
	2.85	0.83	0.57	0.84	0.49	1.08	0.32
	$D_p(\max)/D_p(\min)$	2.77		2.28		2.03	
Double rings (33333 88888)		Pattern No. 2				Pattern No. 1	
	0	2.04	0.14	---	---	1.22	0.26
	0.95	1.01	0.38	0.96	0.24	0.86	0.42
	1.90	0.81	0.54	0.70	0.58	0.79	0.50
	2.85	0.74	0.53	0.96	0.41	0.79	0.40
	$D_p(\max)/D_p(\min)$	2.76		---		1.54	
Multi-rings (12345 12345)	0	2.73	---	2.07	---	1.41	---
	0.95	1.07	0.28	1.08	0.44	1.11	0.35
	1.90	0.67	0.63	0.66	0.80	0.81	0.49
	2.85	0.85	0.47	0.77	0.52	0.98	0.35
	$D_p(\max)/D_p(\min)$	4.07		3.14		1.74	

分けて装入物を全量採取した。これらの試料をワークスと鉱石とに分離し、各々について平均層厚 H 、粒度構成および通気抵抗指数 ϕ を測定した。

4・3 実機との相似性についての検討

ペルレストップによる装入物分布に影響を与える物理的要因は、分配シュートの運転条件、ガス流速および、装入物の物性である。本実験では前者について検討した。まず分配シュートの運転条件は、落下軌跡に影響を与え、これは装入物に

作用する重力、コリオリの力および遠心力によって決定されるので、実機との相似条件は、これらの力を等しくすることにある。すなわち、次の(1)および(2)式が得られ、実機でも模型でも g は一定であるから、 $\omega \sqrt{\ell}$ を等しくすれば良い。

$$F_{co}/F_G \propto \omega \ell^{1/2}/g^{3/2} \quad \text{.....(1)}$$

$$F_{co}/F_G = \omega^2 \ell / g \quad \text{.....(2)}$$

ここに、 F_G : 重力

F_{co} : Coriolis の力

F_{ce} : 遠心力

ω : シュート角速度

l : 代表長さ

g : 重力加速度

これを本実験に適用するとシュート回転速度は 28rpm となる。そこでシュート回転速度を 8～35 rpm の範囲で変えて、コークス、鉱石とも 3 ポイントで装入し、鉱石の装入面形状を求めると、Fig. 8 に示すように 28rpm では実績と一致せず、20rpm で一致することがわかり、実験では 20rpm を採用した。ガス流量については、ベルの場合の経験をもとに適用したところ、Fig. 9 に示すように層厚分布が後述する実炉の移動式原料測深装置による測定結果とはほぼ一致した。ガスの空筒速度は 17cm/s である。

4.4 実験結果の表示方法

通気抵抗分布を評価するにあたり、堆積状態で

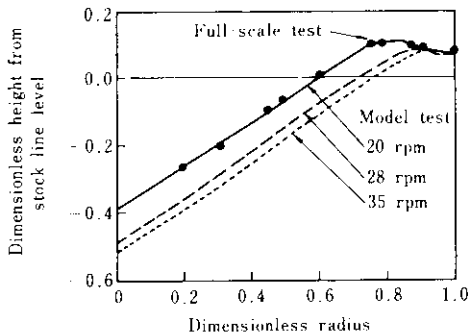


Fig. 8 Comparison of model test with full scale test in terms of the surface profile of ore bed

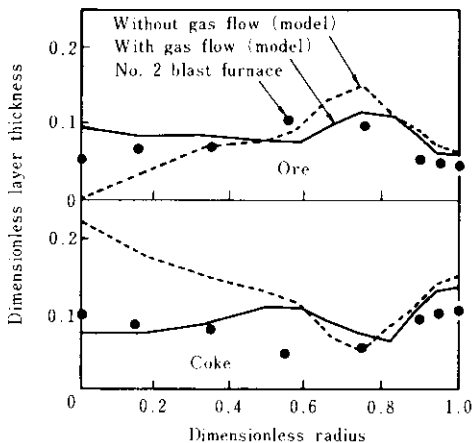


Fig. 9 Comparison of model test with the top of No. 2 blast furnace in terms of the burden layer thickness

の通気抵抗指数 Φ と平均層厚 H の積の 3 元表示を試みた。鉱石層に適用した Fig. 10 に基づいて、表示方法、評価方法について説明する。

炉口断面積を中心部、中間部、周辺部に 3 等分し、炉断面全体の平均 $(\Phi \cdot H)$ に対して各部分の平均 $(\Phi \cdot H)$ が占める百分率を算出し、それぞれ $(\Phi \cdot H)_C$, $(\Phi \cdot H)_M$, $(\Phi \cdot H)_P$ とする。この値から、3 元図中の位置が決定される。例えば、中心部 10%、中間部 30%、周辺部 60% であるとした場合の 3 元図中の位置は、Fig. 10 右上図のように決定する。これらの位置によって、中心流、中間流、周辺流の分布のいずれであるかを判定する。3 元図は、3 本の中線によって 6 個の領域に分割される。A, B を中心流、C, D を周辺流、E, F を中間流と定義する。中心点 U は通気抵抗分布が全く均一である状態に対応する。

4.5 実験結果

1 重リング装入に限定した実験 I (ガス流なし) の実験条件を Table 3 に示す。その結果をまとめると次のとおりである。分配シュートの回転数の増加、ストックライン (SL) レベルの低下、鉱石装入時の傾動角の増加およびコークス装入時の傾動角の減少により、ガス流分布は周辺流領域から均一な分布を経て中心流領域へと変化する。次に実験 II として、実機テスト、層状装入実験に対応する装入パターン (Table 2 中の No. 1～No. 3)

Table 3 Conditions for the model experiments I

Series No.	N_ω (rpm)	S_L (m)	N_O	N_C
1	8, 14, 20 28, 35	0.5	3	3
2	20	0.2, 0.5 1.0, 1.5, 2.0	3	3
3	20	0.5	0, 1, 2 3, 4, 6	3
4	20	0.5	3	1, 3, 4 6, 8
Standard	20	0.5	3	3

N_ω : Rotating speed of chute

S_L : Stock line level

N_O : Chute position number of ore charge

N_C : Chute position number of coke charge

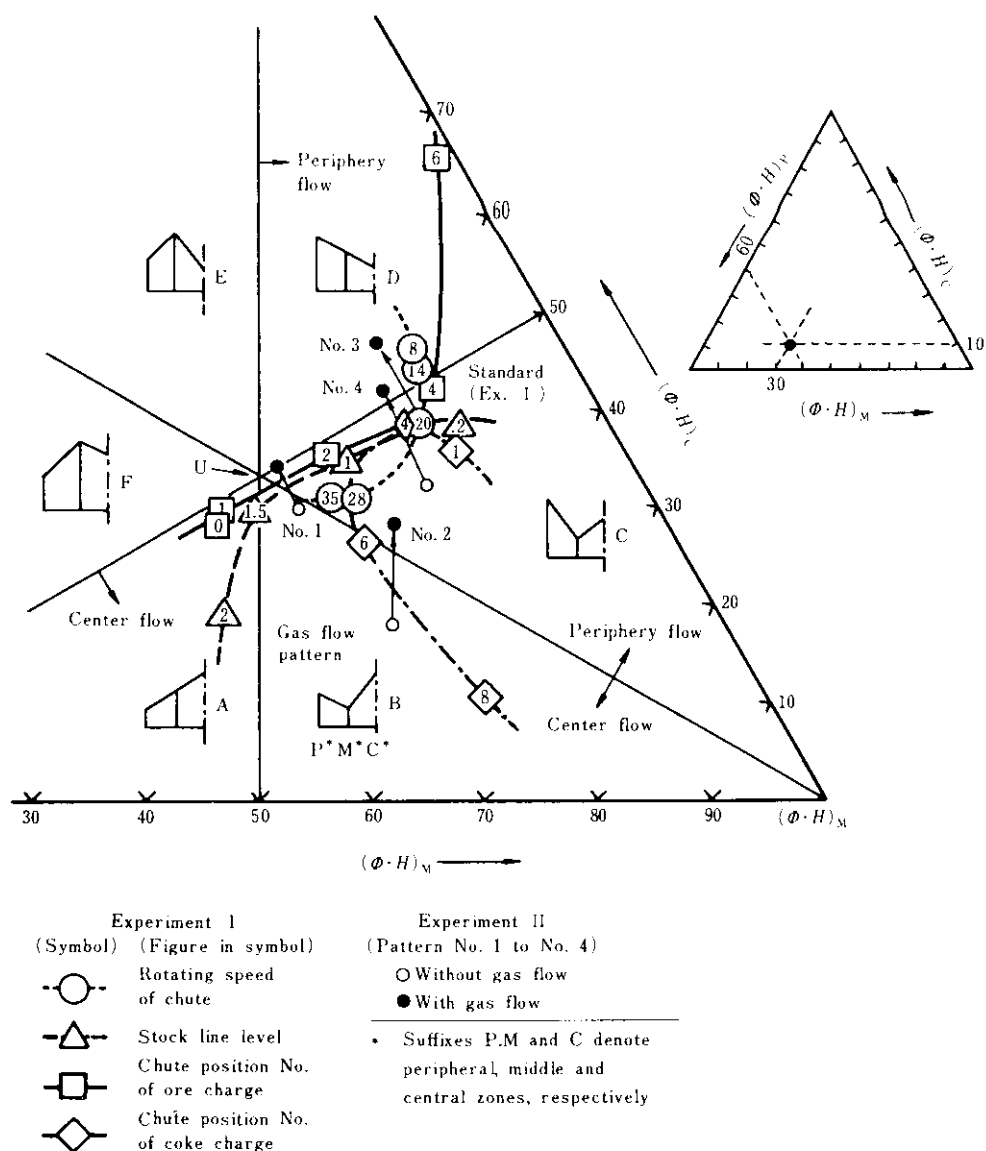


Fig. 10 Ternary diagram for graphically expressing the radial distribution of gas flow resistance

と、さらに No. 4 として (C_1 : 11233, C_2 : 56789, O_1 : 33444, O_2 : 44444) のパターンの合計 4 種類について行った実験の結果も Fig. 10 に示した。その結果、No. 1 は均一な分布、No. 2 は中心流、No. 3 は周辺流のパターンとして特徴づけることができ、コークス多重のパターンである No. 4 は No. 2 と No. 3 の中間のパターンと言える。

ガス流が存在すると、通気抵抗分布の相対的な関係はガスの無い場合のそれがかなり保たれるが、 $(\phi \cdot H)_P$ の値がほぼ一定のまま中心流が抑制され

るように変化する。

5. 操業技術の確立

火入れ以来約 2 年半経過した現在までに、高出銑比操業、減産操業および鋳物銑操業などを経験したが、それぞれに適合した装入物分布が実現できるようになった。現在ではさらに発展した、特殊な活用も試みている。

5・1 新しいセンサーの開発

実操業においてペルレス装入装置の有効活用を図るために、新たに次の二つのセンサーを開発し操業診断に供した。

5・1・1 移動式原料測深装置⁶⁾

本装置は、高炉炉口原料面上を低速で移動しながら連続的に炉内ガスを吸引し、分析値をガス温度とともに記録する川鉄式連続型ガスサンプラー装置^{7,8)}に小型のサウンディング装置を装着したプロフィールメーターである。概略構造を Fig. 11 に示す。ガスサンプラーのガス吸引管を2重円筒とし、内筒側に測深用ワイヤーを通し測深装置を構成している。

このプロフィールメーターの特徴は、

- (1) ガスシールが完全になされており実操業中に

使用可能なこと

- (2) 半径方向の任意の点での測深が可能なこと

- (3) ガス分析データも同時に得られること

等であり、本装置により以下のような操業中の情報が得られる。

- (1) 鉱石、コークス装入後の原料面プロフィールおよび安息角
- (2) 同じく層厚分布
- (3) 任意の点での原料沈降挙動

5・1・2 炉頂暗視装置⁹⁾

本装置は、高炉炉頂の装入物表面の形状、位置、挙動などを映像としてとらえるものである。照明光源なしでもガス温度で約150℃以上の高温域が撮像可能である。さらにキセノンランプを用いた照明装置を備えており、炉頂温度の低い休風後の増風過程における装入物挙動の観察も行っている。装置構成を Fig. 12 に示す。映像の一例を Photo. 1

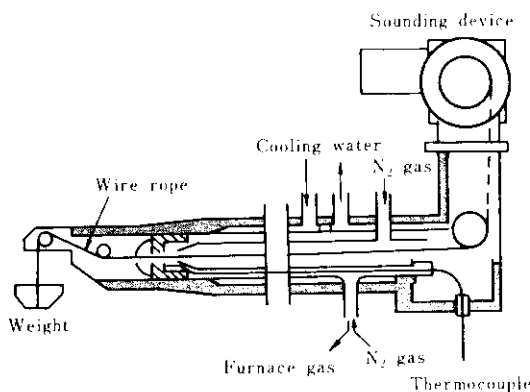


Fig. 11 Horizontal probe with the mechanical profile-meter



Photo. 1 An example of ITV-picture showing the high temperature zone

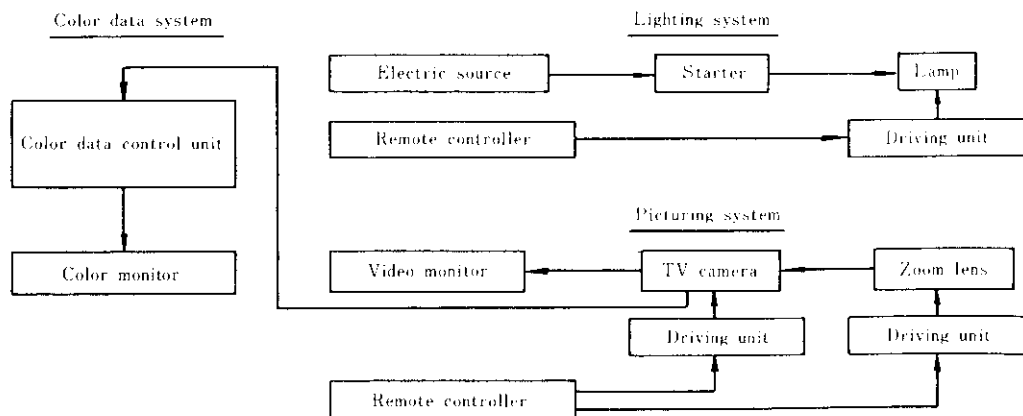


Fig. 12 Schematic representation of ITV-system

に、本装置の応用例を Table 4 に示す。

さらにこれらの情報を定量的に把握するために以下のように指数化を行っている。すなわち、

(1) 炉芯赤熱帯の広がり D :

これは、炉頂暗視装置によって得られた映像の濃度情報を12段階にカラー表示し、各々の面積比率を自動演算して、デジタル表示するもので、中心流の多少の判定に用いる。

(2) 流動化度 F :

これは、目視によって赤熱部全体の装入物の流動化度を5水準に分類するものであり、この値は経験的に1～3未満の範囲で正常な炉況、3以上では吹抜けと判断している。

5.2 操業推移

5.2.1 操業基準

ベルレス装入パターンの優劣を評価する基準と

Table 4 Some examples of application of ITV-camera for blast furnace operation

Category	Example
A. Check on the function of the charging equipments	1. Hanging in the material bin 2. Number of rotation of the chute per batch
B. Observation of the burden behavior	1. Intensity of localized fluidization on the burden surface 2. Flow of the charged materials towards the furnace center 3. Burden surface deformation during the intervals of charging 4. Detection of the abnormal conditions 1) Hanging 2) Slipping 3) Channeling 4) Non-uniform descent of burden around the circumference
C. Special usages	1. Confirmation of hanging dissolution 2. Substitution for the sounding device 3. Inspection of equipments in the throat, e.g., horizontal probe etc.

しては、3次操業のデータを参考に次のように設定した。

(1) 経済性指標としての基準

燃料比 476kg/t iron 以下、ガス利用率 48.5% 以上

(2) 通気性判定指数としての基準

$\Delta P/V$ 0.58 以下、 $\Delta P/V$ の日間変動範囲 0.05 以下。ただし、 ΔP , V はそれぞれ(送風圧力・炉頂圧力)、送風量を意味する。

(3) 長期的な異常炉況を示さないこと。

棚吊りなし、スリップ(1m以上)が1回/班以下、片減りなし、溶銑温度日間変動範囲 30℃ 以内。

上記(1)、(2)、(3)を満足しない場合、装入パターンを変更し操業の改善を図った。

5.2.2 炉頂ガス指数⁷⁾

炉口断面積を5等分する炉半径方向の6点から6組のガス成分(CO, CO₂%)を抽出する。次に、それぞれの特性値 N を次式で計算する。

$$N = \frac{a \times (\text{CO}_2 \%) }{(\text{CO} \%) + (\text{CO}_2 \%) } - b$$

ここで $a=18$, $b=3$ として N を四捨五入した整数値として求めると、通常 0～9 の値をとる。最後に、この6個の特性値を中心から壁への順に並べて、例えば 366665 というガス指数分布を得る(後述の Fig. 13, Table 6 参照)。

すでに千葉製鉄所のベル式装入高炉において、同様のガス分布指数を採用しており、好調時の指数はいかにあるべきかが把握されている。ベルレス装入である第2高炉では、装入パターンの優劣の判断に使用している。

5.2.3 操業結果と考察

火入れ以降の代表的な期間の操業指数を Table 5 に、さらに炉頂装入物分布、ガス分布およびそのときの装入パターンを Fig. 13 に示す。実機テストから選択した(C₁: 33333, C₂: 88888, O₁: 11111, O₂: 66666)の装入パターンの第1期では、 $\Delta P/V$ のレベルは低いに変動が大きく、ガス利用率が低く、高燃料比となったので周辺流が強い分布と判断した。

したがって第2期では、中間部から周辺部へかけての鉱石の層厚を増す意図で、2重リングから

Table 5 Operational indices

Operation period No.		1	2	3	4	5	6
Hot metal production (t/day)		2 957	2 457	2 805	3 055	2 413	2 680
Blast volume (Nm ³ /min)		2 295	2 234	2 260	2 302	1 977	1 981
Blast temperature (°C)		1 069	1 062	1 064	1 032	1 046	1 225
Blast pressure (kg/cm ²)		2.113	2.295	2.156	2.166	1.857	2.070
Oxygen enrichment (Nm ³ /h)		2 000	3 000	3 000	4 000	1 000	0
Blast moisture (g/Nm ³)		17.3	18.2	11.0	11.8	9.3	9.7
Top pressure (kg/cm ²)		0.92	1.00	0.80	0.90	0.75	0.86
Pressure loss/blast volume (gf·min/cm ² ·Nm ³)		0.52	0.58	0.60	0.55	0.56	0.57
Top gas temperature (°C)		131	163	151	148	163	123
CO gas utilization (%)		46.5	44.5	48.2	49.0	50.3	51.6
Coke ratio (kg/t iron)		443	445	439	441	437	410
Oil ratio (kg/t-iron)		75	77	52	37	30	39
Fuel ratio (kg/t-iron)		518	522	491	478	467	449
Hot metal	Temperature (°C)	1 495	1 510	1 510	1 515	1 485	1 497
	[Si] (%)	0.42	0.53	0.44	0.51	0.43	0.54
	[S] (%)	0.036	0.038	0.029	0.031	0.039	0.026
Slag	Volume (kg/t-iron)	322	311	301	291	311	308
	(Al ₂ O ₃) (%)	15.6	14.4	15.8	14.5	14.7	14.4
	(CaO/SiO ₂)	1.20	1.23	1.25	1.19	1.14	1.22
Beneficiated ore (Sinter + Pellet) (%)		80.2	83.4	80.3	76.4	83.1	87.3
Coke ash (%)		11.0	10.9	11.0	10.0	11.3	11.5

(O₁: 33333, O₂: 33333) の 1 重リングへと変更したが、その効果が強すぎ、極端な中心流となった。これは、コークス装入時の 3 と 8 ポイントが離れ過ぎており、中間部の凹み、あるいは広い周辺平坦部が形成され、3 ポイントで装入する鉬石の中心方向への流れの障害となるためと判断した。

そこで第 3 期では、鉬石の中心への流れを円滑にするためにコークスを 3 ポイントの 1 重リングに変更し、1 重リングの組合せにした。当初、この装入法はベル式装入に近いものと想像していたが、が況は Fig. 13 に示すように周辺流が強くなった。ベルレスでは予想以上にコークスが外に飛ばされているものと推定できる。この期では、ガス利用率は向上したものの、 $\Delta P/V$ のレベルが高く変動が大であった。

第 3 期までは実機テストや模型実験の結果を参

考にして典型的な装入パターンを試験したが、満足な結果は得られなかった。そこで第 4 期においてコークスのリング数を 8 重に増し、鉬石を 2 重リングとした。この目的は、コークスの安息角を減少させ、鉬石の中心部への過大な流れ込みを防ぎ、安定した鉬石装入を達成することにあった。結果的には、中心、炉壁部の ore/coke 比が極端に高い分布を回避できた。本期間において、1032°C の送風温度を考慮すれば、478kg/t-iron と低燃料比の安定操業が得られた。以後は本パターンを基にして調整をすすめた。

第 5 期において、減産期の基本パターンを確立した。

第 6 期では、新熱風の使用により 1225°C の高温送風が可能となり、440kg/t iron 台の燃料比を達成した。

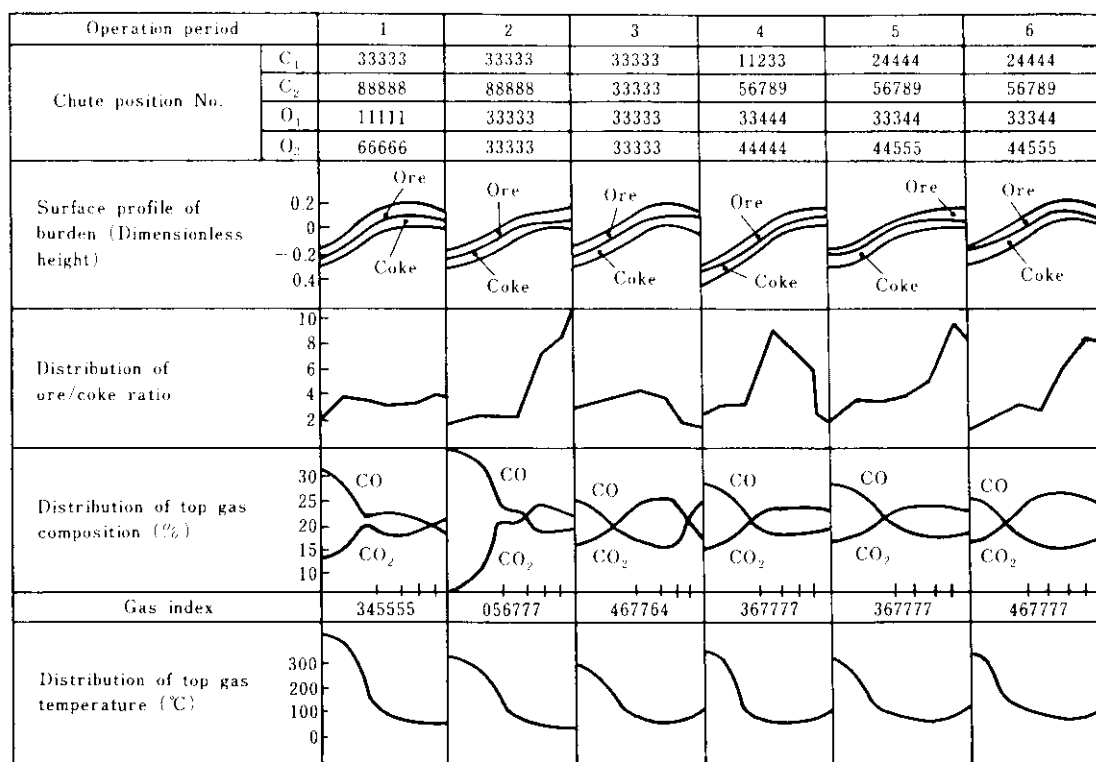


Fig. 13 Profile of burden surface, gas index, and distribution of ore/coke ratio, of top gas composition and of top gas temperature during each period

参考までに、第6期の装入パターンによる実機テストにおける鉱石粒度分布から、通気抵抗指数 ϕ を算出した結果をFig. 14に示す。一般に減風

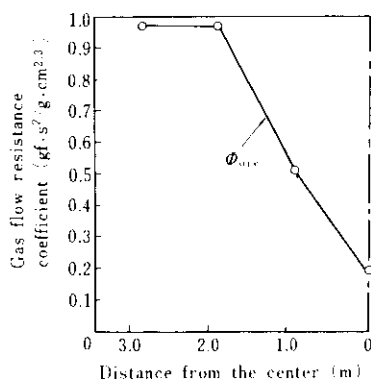


Fig. 14 Gas flow resistance distribution of ore at full scale test with the same charging pattern as that used in the latest operation of No. 2 BF

を行った場合には、周辺流が過大なガス分布となると言われているが、Fig. 7に示した三つの装入パターンによる通気抵抗分布に比較して周辺部の通気抵抗の増大が認められる。このため、周辺流が抑制され、適正なガス分布が維持できたものである。これらの分布調整については装入パターンの変更のみで行い、ストックライン、コークベースなどの調整は行わなかった。

前述した移動式原料測深装置による層厚測定から得られる炉内各点でのore/coke比と、このときの N 値、炉頂ガス温度の関係をFig. 15に示す。ore/coke 4.0程度までは明らかに N 値は上昇し、ガス温度は低下している。しかしながらそれ以上ではその傾向は認められない。これは還元ガスの利用率が間接還元反応の平衡状態によって制約を受けるためであろう。したがって炉全体でのガス利用率の向上、すなわち燃料比の低下のためには、通気性を確保するための炉芯の低ore/coke部を必要最小限に保ち、それ以外の部分は均一な

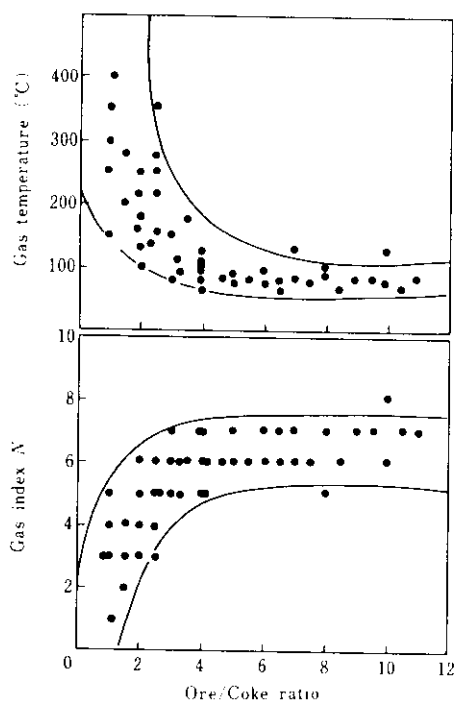


Fig. 15 Changes in gas temperature and N-value, a digitized index for CO-gas utilization, as a function of ore/coke ratio

ore/coke 分布が望ましいことを示唆している。

5.3 鋳物鉄操業

今回ベルレストップを活用し鋳物鉄としては記録的な低燃料比を達成した。本操業に際し装入パターンの特に大きな変更による分布調整は行わなかったが、壁際の ore/coke 比の減少による周辺流過多の回避に留意した。その方法としては、コークベースおよび流量調整ゲート開度を一定にし、ore/coke の低下（すなわち 1 バッチあたりの鉍石量減少）分を鉍石の有効旋回数の減少に結びつけた。その結果、中心流指向となり、若干の通気性の改善が認められ、熱目操業による風圧上昇に対して好都合であった。

最新の鋳物鉄の操業実績を製鋼鉄吹製期と比較して Table 6 に示す。特徴を以下に示す。

- (1) 中間部から中心部にかけての ore/coke の減少が顕著である。これは鉍石の有効旋回数の減少が大きく寄与している。
- (2) 炉頂ガス分布、ガス温度分布とも中心流傾向を裏付けている。しかしながら、炉頂ガス温度は

193°C と比較的低位である。

- (3) が況の良否を示す Go-Stop 指数¹⁰⁾にも大差なく、が況の好調さを示している。
- (4) 炉頂暗視装置の映像からの情報である、が芯赤熱帯の広がり D は、製鋼鉄吹製期よりも大きい。一方、流動化度 F は両者とも 1.0~3.0 の管理範囲内の値である。

5.4 小塊焼結鉍装入法

通常の操業に関するベルレス操業技術を確立した後、さらに発展した活用を試みた。

従来、高炉内の通気性を確保するために、高炉装入時の焼結鉍粒度は 5mm が 5% 以下に管理され、炉況安定の観点より -5mm を極力低下させる努力がなされてきた。その反面、スクリーン能力の問題から高炉槽下篩で発生する返鉍にはかなりの +5mm が混入している。今回、これら返鉍を再篩いし 5mm の小塊焼結鉍（以下 SS と称する）を回収し、炉内の通気性を悪化させずに使用する技術を確認した。

検討結果を以下に示す。

実操業の装入パターンによる実機テストの際の粒度構成、空隙率¹¹⁾を Table 7 に示す。この結果に基づき、SS を混入した時の粒度構成、空隙率を計算し Fig. 16 に示した。計算に際して次の仮定をおいた。

- (1) SS の粒度構成は従来の実績から 10~5mm 50%、5~3mm 50% と見なす。
- (2) SS 配分割合は塊焼結鉍 95.2% に対して 4.8% とする。

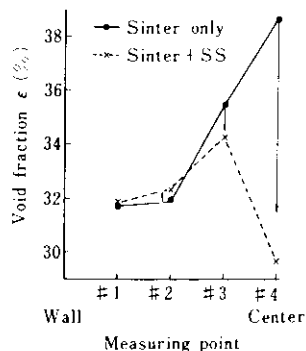


Fig. 16 Influence of SS (Small Sinter) on the radial distribution of void fraction of ore layer

Table 6 Comparison of operation data between steelmaking and foundry pig iron production

			Foundry pig iron production		Steelmaking pig iron production	
Operational indices	Hot metal production (t/day)		2 096		2 492	
	Coke ratio (kg/t-iron)		463.4		426.8	
	Oil ratio (kg/t iron)		44.9		40.5	
	Fuel ratio (kg/t-iron)		508.3		467.3	
	Oxygen ratio (Nm ³ /t iron)		9.2		11.0	
	Blast volume (Nm ³ /min)		1 945		1 957	
	Pressure loss/Blast volume (gf·min/cm ² ·Nm ³)		0.56		0.56	
	Blast temperature (°C)		1 039		1 047	
	Hot metal temperature (°C)		1 543		1 492	
	(% Si)	Mean	2.19		0.51	
		Standard deviation	0.34		0.11	
	(% S)	Mean	0.025		0.034	
		Standard deviation	0.008		0.007	
	Sinter + Pellet (%)		69.5 + 0		83.0 + 1.7	
	Ore/Coke ratio		3.41		3.83	
Information from various sensors	Top gas temperature (°C)		193		129	
	CO gas utilization (%)		47.6		50.4	
	Charging pattern	C ₁	24444	56789	24444	56789
		O ₁	3344	4445	33344	44555
	Distribution of ore/coke ratio					
	Distribution of top gas composition (%)					
	N value distribution (-)		2 5 6 7 7 6		3 6 7 7 7 7	
	Top gas temperature distribution (°C)		320, 151, 88, 80, 85, 90		250, 90, 70, 70, 70, 72	
	D (%)		54.3		36.2	
	F		1.4		1.9	
	Go-Stop number		67		68	

Table 7 Grain size distribution and void fraction of sinter in the furnace

(1) Without SS

Point	Grain size distribution (%)								D_p	I_s	I_p	I_{sp}	ϵ
	70~50	50~35	35~25	25~15	15~10	10~5	5~3	3~1					
1	1.5	2.1	4.6	14.3	19.4	53.5	2.1	2.9	7.64	0.644	1.832	108.6	0.317
2	0.4	2.4	4.8	15.4	17.2	54.5	2.4	3.4	7.40	0.681	1.571	103.4	0.319
3	2.4	5.0	11.4	28.0	23.7	28.5	0.6	0.6	11.33	0.547	1.221	81.7	0.354
4	46.7	24.2	15.3	7.4	2.3	3.3	0.6	0.4	29.74	2.199	0.511	106.0	0.386

(2) With SS (Calculated)

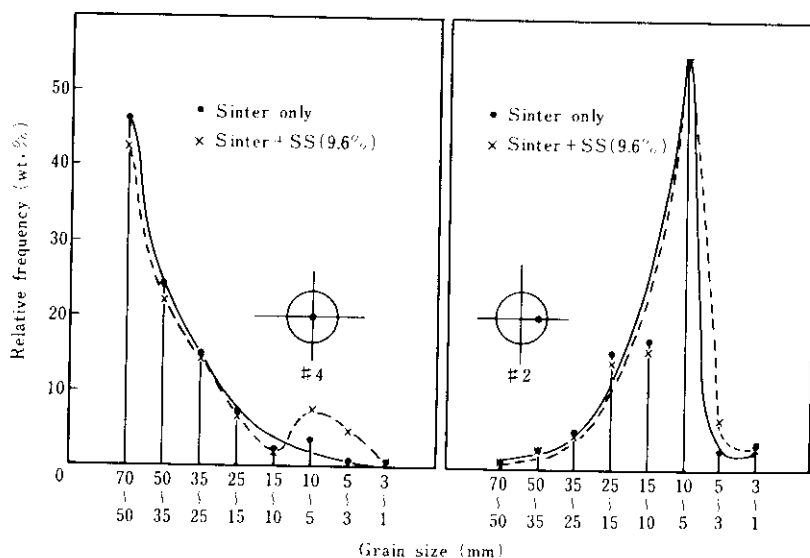
Point	Grain size distribution (%)								D_p	I_s	I_p	I_{sp}	ϵ
	70~50	50~35	35~25	25~15	15~10	10~5	5~3	3~1					
1	1.4	1.9	4.2	13.0	17.6	53.2	6.5	2.6	7.27	0.567	1.922	104.4	0.318
2	0.4	2.2	4.4	14.0	15.6	54.1	6.7	3.1	7.06	0.531	1.656	93.8	0.323
3	2.2	4.5	10.4	25.5	21.5	30.5	5.1	0.5	10.12	0.530	1.546	90.5	0.342
4	42.5	22.0	13.9	6.7	2.1	7.5	4.9	0.4	20.22	2.104	1.845	197.0	0.296

(3) 炉の半径方向に4分割した任意の2箇所に半量ずつ分配する。

当然のことながら、炉の径方向に粒度偏析が全くない場合には、SSを混合することによって全体としての空隙率は低下する。しかしながら各測定位置別にみると、#3、#4では低下しているが、#1、#2ではほとんど変化しないか逆に増大して

いる。

以上のように、ベースとなる焼結鉱粒度分布が小塊側に寄っている個所には空隙率を低下させずに装入することができる。#2および#4におけるSS使用による粒度分布変化をFig. 17に示す。空隙率を低下させない#2近傍、すなわち炉口の無次元半径で0.5~0.9の範囲に装入するためには、

**Fig. 17** Influence of SS on the grain size distribution in the furnace

傾動ポイント3～6を用いれば良い。実機装入実験結果に基づく装入物落下曲線をFig. 18に示す。

実際に高炉で使用する場合には、装入位置の調整には次の基本的な方法が考えられる。

- (1) SSのみ単独のIバッチ装入として、#2ポイント近傍に堆積させる方法(例えば、C1C1O1O1SS1, C1C1O1SS1)。
- (2) 2重リング以上の鉱石チャージにおいて、炉頂バンカーでのI側、II側の選択、バンカー内での上下位置によりチャージ内でのSS装入時期を

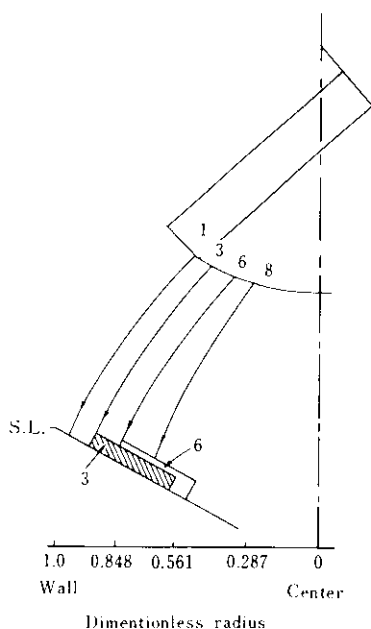


Fig. 18 Falling curves of burden for various tilting angles of distributing chute

考慮し、#2ポイント近傍に堆積させる方法。

当初、装入バッチ数を増やす必要もなく、装入スケジュールも簡単であるとの理由から後者を採用し、操業指数を見ながら鉱石の装入パターンを微調整した。

その後、所定位置への命中率の向上を意図して、前者の方法を実験した。すなわち、毎チャージ装入するのではなく、一定チャージ間隔に鉱石の第2バッチをSSにおきかえて多量に装入する方法である。第2バッチで装入するのは、コークスとの混合層の形成を抑制することを意図している。

実操業における使用結果では、当初の検討どおり通気性の悪化なしに順調な操業が維持できている。その結果、返鉱中の+5mmを85%以上回収し、焼結工場における焼結鍋歩留りを0.7%程度上昇させることができた。

6. 結 言

千葉2高炉に当社で最初のPaul Wurth型のヘルレストップが採用された。火入れ前に実機テストや模型実験により、本装置の装入物分布に関する諸特性を調査した。一方、炉頂における装入物の堆積状態を操業中に監視する炉頂暗視装置と移動式原料測深装置を開発した。

これらに基づいて、実操業において多くの装入パターンをテストし、高出銑比操業、減産操業、銑物銑操業等、それぞれに適合した装入物分布が実現できるようになった。現在ではさらに小塊焼結銑の装入等、特殊な技術の確立も試みている。

参 考 文 献

- 1) J.B.Orr and E.Legille: Consistent Iron Proceedings of a Technical Meeting, (1975), 52~57, (The Metals Soc.)
- 2) G. Heynert and E.Legille: Developments in iron making practice, (1973), 109~130, (The Iron and Steel Institute)
- 3) G.Heynert, K.H.Peters and G.Ringkloff: Stahl u. Eisen, 93 (1973) 12, 505
- 4) 山田, 田口ほか: 川崎製鉄技報, 6 (1974) 1, 16
- 5) 岡部, 浜田ほか: 川崎製鉄技報, 1 (1969) 2, 160
- 6) 長井, 高橋, 奥村ほか: 鉄と鋼, 63 (1977) 11, S438
- 7) 第45回製鉄部会資料: 鉄45-8-1自1
- 8) 長井, 田村, 奥村ほか: 鉄と鋼, 60 (1974) 11, S356

- 9) 栗原, 高橋, 奥村ほか: 鉄と鋼, 64 (1978) 11, S469
10) 長井, 田村ほか: 鉄と鋼, 64 (1978) 4, S51

