

千葉第6高炉の建設と操業

Construction and Operation of No.6 Blast Furnace at Chiba Works

長 井 保*

Tamotsu Nagai

栗 原 淳 作**

Junsaku Kurihara

丸 島 弘 也***

Hironari Marushima

高 橋 博 保****

Hiroyasu Takahashi

Synopsis:

The Chiba No.6 blast furnace, with an inner volume of 4 500 m³ and a daily production capacity of 10 000 metric tons, was designed to get a stable yet flexible operation on the basis of iron-making experiences at Chiba and Mizushima Works. It features some new pioneering equipment such as PW type bell-less top charging facility, blast furnace energy recovery turbines and the Ljungström air preheater.

Since its blowing-in on June 17, 1977 after its construction work from April 1975, it has been operating satisfactorily, recording a pig iron output of 7 800 t/d and fuel ratio of 484 kg/t-pig in June, 1977.

1. 緒 言

千葉製鉄所第6高炉は昭和50年4月に建設を開始し、昭和52年6月17日に火入れを行った。内容積4 500m³、出鉄量10 000 t/dの能力を有する当社最大の高炉で、その完成により西工場の一貫体制が整った。建設にあたっては、千葉、水島両製鉄所での操業経験をふまえ、さらに積極的に新技術を導入し、それらを総合的に体系化して操業しやすくし、かつ環境保全、省エネルギー、省コスト、設備保全の面も配慮した柔軟性のある高炉を設計した。火入れ操業および立上り操業はほぼ順調に推移した。以下に設備の概要と立上り状況に

ついて紹介する。

2. 設備の概要

第6高炉のレイアウトをFig. 1に、主仕様をTable 1に示す。

高炉本体はフリースタンディング形式で、炉頂装入装置としては自由度の高いPW (Paul Wurth) 式ベルレストップを、また羽口接続管には本邦初のPW方式を採用した。コップース外燃式熱風炉4基は低NO_x操業用に大きな燃焼面積を確保した。

さらに、高炉炉頂圧力による排ガスタービンや熱風炉用空気予熱器の設置など、また、諸種の集

* 製鉄技術本部副本部長
*** 千葉製鉄所製鉄部製鉄課掛長
〔昭和53年7月26日原稿受付〕

** 千葉製鉄所製鉄部部長
**** 千葉製鉄所製鉄部製鉄技術室主査(掛長待遇)

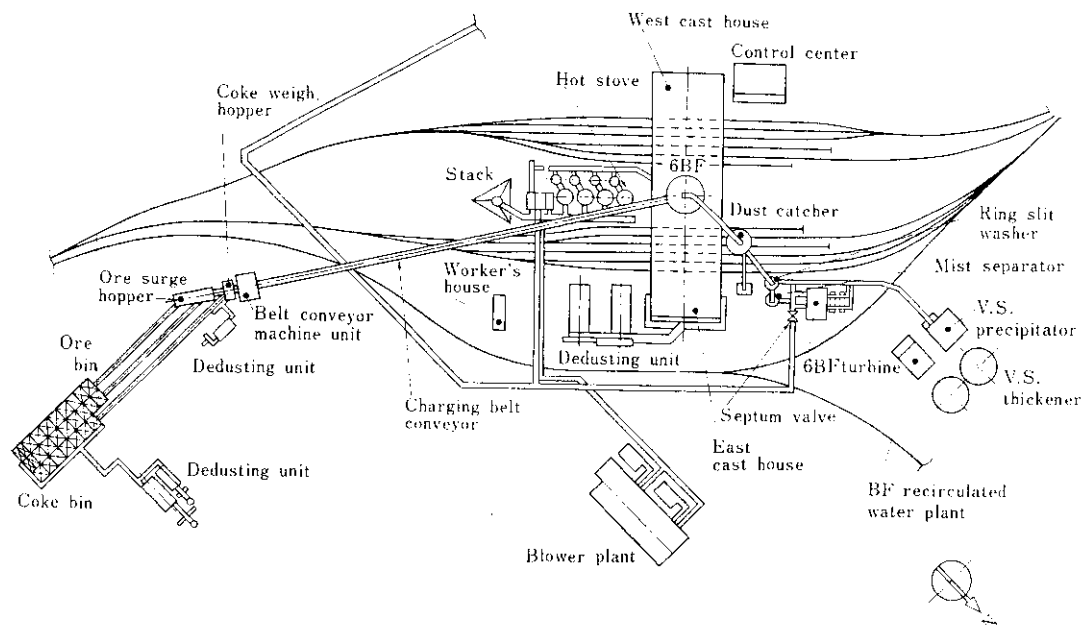


Fig. 1 Layout of Chiba No.6 blast furnace

塵装置や消音装置などの省エネルギー、環境保全のための設備も多く採り入れた。

高炉計装設備に関する詳細は別報に譲る。

レイアウトの決定にあたっては、西工場における将来の計画も考慮し、第6高炉の位置を可能な限り南側に配置し、付帯設備をコンパクトにして北側に広い空間を確保した。鋳床周辺のレイアウトは溶銑滓の輸送に便利な平行四辺形とし、鋳床下を通り抜けできる輸送経路とした。受銑は350tトロービードカー、受滓は60t鍋方式である。

3. 設備の特徴

3.1 高炉本体

Fig. 2に第6高炉のプロフィールを示す。プロフィール決定にあたっては、我が国大型高炉のプロフィールと操業成績、炉体レンガ損傷、安定操業等の観点から、水島製鉄所第4高炉の実績をふまえて決定した。

炉体支持方式はフリースタンディングで、非常時にシャフトブラケットを設置している。なお

鉄皮亀裂防止対策として、鋼材はSM 41C、Bを使用し、設計は第2種圧力容器の設計基準に準拠した。

炉底はすべてカーボンレンガ積みで行い、炉底調整用レンガ1段、大型カーボンレンガ5段とした。コーナー部の侵食対策には、粘土質レンガの面積を少なくし外周部のカーボンレンガを厚くした。朝顔、炉腹、シャフト下部には熱間曲げ強度が高く熱伝導性の良い炭化珪素質レンガを採用した。炉体の冷却には、純水強制循環方式のステープクーラーを採用した。なおレンガ受けの構造強化の意味から、F型ステープの代用として密閉型冷却函を設置した。

送風羽口数は40個で、先端強冷縦リブ型（鋳込式）および高流速型（溶接式）を採用している。

環状管は羽口接続管変位防止のため可能な限り固定化し、羽口まわりは羽口および小冷却函のみの2段冷却とした。羽口の向上き変形防止およびガスシール性の向上を図るため、羽口接続管は従来方式よりも変形許容度の極めて高いPW式を採用した。その結果、羽口回りの漏風、羽口の向上き等が皆無となり、極めて静かな作業環境を得る

Table 1 General items of Chiba No.6 blast furnace

Blast furnace		Blower	
Type	Free standing	Capacity (Nm ³ /min)	Max. 9000
Inner volume (m ³)	4500	Pressure (atg)	Max. 5.5
Hearth dia. (m)	14.1	Casting floors	
Tapholes	4	Cast house area (m ²)	9000
Cinder notches	0		Perfect flat floor *
Tuyeres	40	Runner	
Tuyere stocks *	PW type	Hot metal main	
Cooling system		Type	Replaceable
Bottom	Cooling tube (recirculated water)	Size (mm)	1900w×2000l×1450h
Shaft, belly, bosh	Cooling stove (pure water)	Hot metal treatment	Torpedo car (350t)
Hearth	Spray water (recirculated water)	Slag treatment	Open ladle, (60t)
Hot stove		Cast house crane	2 emergency dry pits
Type	Koppers external combustion type		125/20t×25m×2
Blast temperature (°C)	Normal 1250, Max. 1300		20t×9m×1
Hot stoves	4		20t×8m×2
Heating area (m ²)	110000×4	Mud guns	4
Type of burner	Ceramic	Type	Hydraulic
Dome temperature (°C)	1460	Cylinder volume (m ³)	0.3
Operation mode	Staggered parallel	Cylinder force (t)	Max. 350
Air preheater *	Ljungström type	Openers	4
Charging equipment *		Type	Rotatory post type
Type	PW-IHI bell-less top	Jib crane	10t×10.75m×4
Distribution chute		Top pressure control equipment	
Length (m)	4.0	Septum valves	
Tilting angle (°)	17~52, 10 setting points	Type	Sealing type
Rotation speed (rpm)	7.97	Dia. (mm)	600×2, 850×3
Flow control gate		Gas turbine	
Opening angle (°)	40~47, 8 setting points	Type	2-stage axial expansion turbine (ГУБТ-12)
Charging capacity (ch/d)	Normal 180, Max. 250	Output capacity (kW)	12000×2
Gas cleaning equipment		Input capacity (Nm ³ /h)	340000×2
Dust catcher		Process computer	
Capacity (Nm ³ /h)	750×10 ³	Type	YODIC-1000
Venturi scrubber		Capacity	Core 96 kW, drum 1 MW, disk 4.8 MW
Type	Kawasaki-Bischoff	* Newly adopted technique, facilities	
Outlet dust (mg/Nm ³)	Max. 5		
Capacity (Nm ³ /h)	750×10 ³		

ことができた。また羽口接続管取替等もフォークリフトを使用できるようにし、炉前作業の機械化を図った。

3・2 鋳床、作業床

鋳床は東西に2面配置し、作業性を第一に考えて完全な平坦構造とし、鋳床面積をできる限り広く取り各鋳床下に樋修理場を設けた(Fig.3参照)。出銑孔は鋳床に2個ずつ合計4個設置し、常時3

個使用、1個は予備とした。鋳床機器類は設備の信頼性に重点を置き、最新鋭の機種を選択し、かつ改善を加えて設置した。たとえば傾注樋を移動可能にし、鍋合せ、傾注樋取替等が容易にできるよう配慮した。出銑大樋は20mの一体物とし、変形防止のため自然空冷方式の構造とした。さらに枝樋カバー、傾注樋ビットカバー等もフラットにし、作業性の飛躍的な向上を図った。

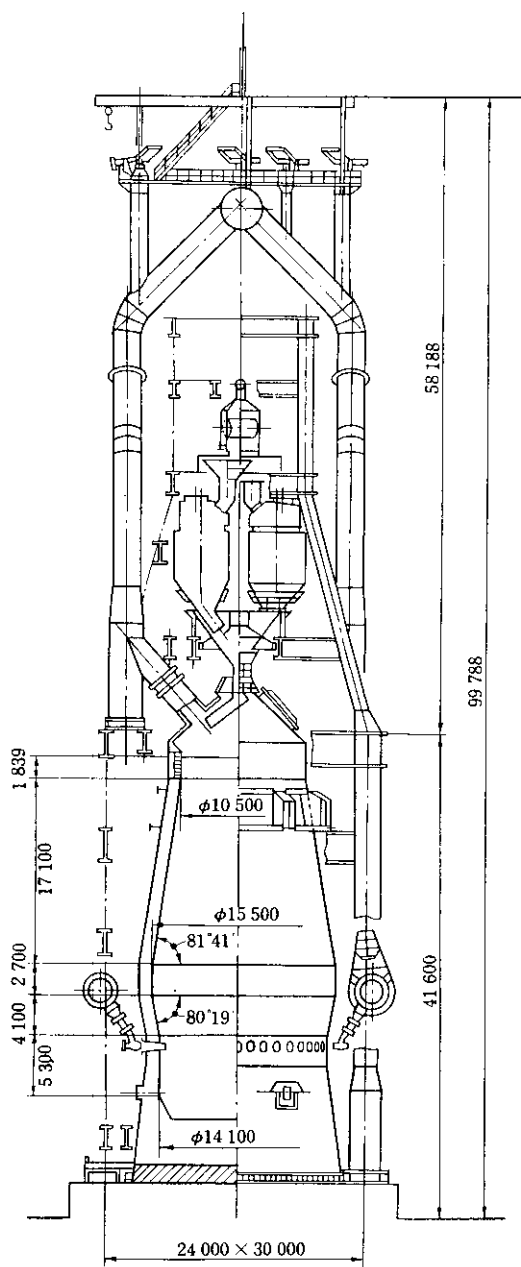


Fig. 2 Profile of Chiba No.6 blast furnace

3・3 熱風炉

コッパース外燃式熱風炉を4基設置した。公害対策の面から、燃焼温度を下げて NO_x 、 SO_x を低減させるため、加熱面積を $110,000\text{m}^2/\text{基}$ と大型

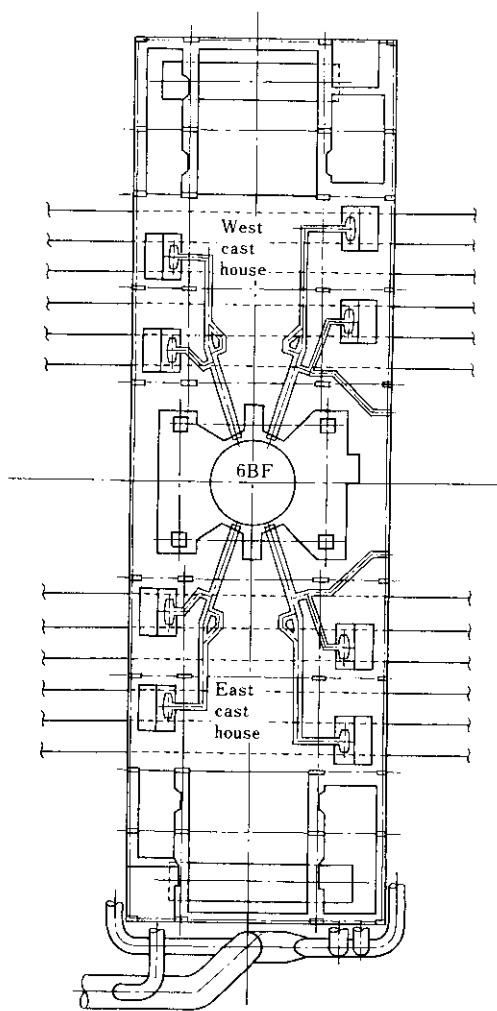


Fig. 3 Cast house layout of Chiba No.6 blast furnace

化し、構造は蓄熱室、燃焼室とも独立直立型とした。鋼材は耐応力腐食の観点からSM 41Cを使用し、コーナー部にはすべてR曲げを施した。炉内のレンガは実績を参考にし、炉内の温度分布等から珪石レンガ、シャモットレンガの境界を決定した。レンガ積みにあたっては、各炉ごとに専用エレベーターを蓄熱室外部に仮設し、能率向上を図った。鉄皮の腐食防止対策として、熱負荷の大きい範囲に耐酸塗料の内部吹付けを行った。熱風炉の各種弁類のうち、空気弁、ガス弁には気密性の良好なリンク弁を採用した。新しい技術として計

算機による燃焼排ガス O_2 制御、富化Cガスの2段吹込み、炉切替時の均充圧制御等を行っている。

3・4 炉頂装入装置

大型高炉としては我が国初のPW式ベルレストップ方式を採用した。設計にあたっては千葉製鉄所第2高炉の実績、経験等をもとに種々の改良を重ね、保守性の向上を重要視した。たとえば、分配シュート、垂直シュートの耐摩耗対策、炉頂バンカー重量計の信頼性の向上、シール弁の粉塵バージ機構の採用などがある。特に各機器の取替えを考慮し、取替治具を設置した。装入装置は常用シーケンサーによる自動運転で、運転操作上の安全対策として非常時用に予備シーケンサーがあり、異常が生じれば即座に切替可能である。

なおルーツプロアを用いて駆動部のドライビングユニットに高炉清浄ガスを吹込み、所定の温度以下に抑えている。火入れ以来、炉頂装入機器類の大きな故障は皆無で、安定した装入を行っている。

3・5 原料秤量設備

貯鉱槽は20槽（焼結鉱用10槽、単味鉱用6槽、雑原料用4槽）、貯骸槽は6槽とし、焼結鉱、コークスの槽下ふりを設置し、整粒強化を図っている。装入装置がベルレスであるという特殊事情にかんがみ、鉱石ベルトコンベア上で鉱石銘柄を混合し、炉内偏折を防止している。コークス中の水分については専用バンカーを設置し、中性子水分計で測定を行っている。

3・6 省エネルギー設備

第6高炉の省エネルギー設備としては、熱風炉排ガスとの熱交換による熱風炉燃焼用空気予熱器および高炉炉頂圧力による排ガスタービンが特筆される。空気予熱器により燃焼排ガス中の約30%強の熱量が回収され、熱風炉の熱効率が約3~4%上昇した。排ガスタービンは、総合的な効率と価格からソ連式タービンを採用した。高炉炉頂から発生する粗ガスは、乾式除塵器を経てビショフ式ベンチュリスクラバにより含塵量 $5\text{mg}/\text{Nm}^3$ 以下の高圧清浄ガスとした後タービンに導かれる。発電量は $12\,000\text{ kW} \times 2$ 基であり、炉頂圧制御はター

ビンを主体とし、そのバックアップとしてセプタム弁を設置している。

3・7 公害防止設備

(1) 集塵装置

鑄床集塵装置は、局所集塵風量 $10\,000\text{ m}^3/\text{min}$ の2系列ラップと建屋集塵風量 $17\,000\text{ m}^3/\text{min}$ を基準とし、全体風量を $40\,000\text{ m}^3/\text{min}$ として設計した。省エネルギー対策として、ファンと電動機の間に変流継手を使用し、風量調節を行っている。その他に原料秤量切出関係として、貯鉱槽系統 $7\,000\text{ m}^3/\text{min}$ 、貯骸槽関係 $3\,000\text{ m}^3/\text{min}$ 、サージホッパー関係 $2\,000\text{ m}^3/\text{min}$ の集塵装置を設置した。

(2) 消音装置

騒音対策は、まず全体の規制値を定め、諸条件を勘案してその範囲に十分入るよう個々の騒音許容レベルを決め、必要な処置を施した。以下にサイレンサーおよび防音ラギング施工設備を示す。

(a) サイレンサー付属設備

炉頂排圧弁 $\times 2$
セプタム弁 $\times 1$
炉頂冷却用清浄Bガス昇圧機 $\times 2$
炉体換気ファン $\times 1$
炉頂ガス抜ファン $\times 1$
熱風炉燃焼ファン $\times 3$

(b) ラギング施工設備

炉頂排圧管 $\times 2$
ミストセパレーター以降セプタム弁上流までの高炉出側清浄ガス管（含第6高炉発電所）
熱風炉燃焼ファン出側配管 $\times 3$
熱風炉均排圧充圧配管 $\times 4$
鑄床建屋集塵機機側吸込配管 $\times 4$

(3) 冷却水関係

高炉使用の冷却水とベンチュリスクラバーの集塵水はすべて完全密閉かつ循環方式とし、海水は高炉冷却水の冷媒のみに限定した。高炉の生命ともいえるスチーブ冷却水は、純水を循環させるとともに腐食防止用に厳選した薬品を注入した。

3・8 計装設備

計装設備関係で特筆すべきものについて以下に述べる。

まず高炉本体まわりでは炉体熱流計（シャフト部12点）によりアンザッツ脱落等の炉体熱負荷の変動が容易に検出でき、シャフト圧力計（中段4点、下段4点）により溶融帯のレベル変動が推察される。

また固定温度ゾンデ（6点）、DDS式水平ゾンデ（9点）、炉頂赤外線カメラ、炉頂暗視装置等からのデータを総合判断し、炉頂装入物分布改善を図る際の一助としている。

炉頂レーダーサウンディングは非接触型のため、棚落とし、スリップの際の検尺棒の巻き込み等がなく、緊急時に威力を発揮する。

送風支管流量計は、重油吹込量と組合せることにより羽口ごとの風量分布管理に役立っている。

次に鑄床鍋まわりではトーピード番号自動読取装置によって、時々刻々のトーピード配置状況がわかり最適台数管理が可能となっている。

4. 熱風炉、高炉の乾燥

熱風炉乾燥はKoppers社の昇温曲線にもとづき、昭和52年3月19日から5月10日まで延52日間で行い、最高ドーム温度800°Cまで順調に昇温した。その後、本バーナーに切換え、続いて高炉本体の乾燥に入った。高炉本体の乾燥は5月14日から5月30日まで行い、その間に第2種圧力容器基準に準じて熱風炉耐圧テストを実施し、末期には高炉本体耐圧テストも行った。送風量は1500Nm³/min～3500Nm³/min、送風温度は150°Cから430°Cまで上昇させ、その後100°Cまで徐冷した。

5. 填 充

5.1 枕木填充

枕木填充に使用した材料は、枕木6000本、薪90t、松丸太8700本、木炭160俵である。

填充にあたっては、時間、労力の節約を図るため炉内安全天井を解体せずに行い、5日間で終了した。

5.2 鉬石填充

鉬石およびコークスの填充は6日間で53チャー

ジ行い、トップチャージでベルレス装入装置による装入物落下軌跡の測定を行った。填充諸元は次のとおりである。

- (1) コークスペース(乾量): 31t/ch
- (2) 使用鉬石: 焼結鉬 80%
ハマスレ (Hamersley) 15%
アルカロボ (Algarrobo) 5%
- (3) 目標初湯成分: [Si] 3.50%
[Mn] 0.60%
- (4) Ore/Coke: トップチャージ 2.10
炉内平均 0.42
- (5) スラグ量: トップチャージ 387kg/t-pig
- (6) ベッドコークス: 1311t

6. 火 入 れ

昭和52年6月17日14時15分送風を開始し、翌18日15時に第1出銑口にて初出銑した。初湯量357t、初湯成分は[Si]4.25%、[S]0.008%、溶銑温度1415°C、スラグ塩基度1.11であった。

7. 立上り操業

火入れ直後の数日間、銑中[Si]が高めのため出銑作業面で若干の難渋はあったが、炉況は好調で、計画的な増風増荷を図り6月30日には送風量4950Nm³/min、O/C3.05、出銑量5500t/dに達した。設備的には、装入関係に若干の初期トラブルが発生した程度でまったく問題はなかった。

7月上旬は1日100Nm³/minの増風を行い、7月10日には送風量5850Nm³/min、O/C3.15、出銑量6000t/dに達した。また7月6日に熱風炉へCガス混焼を、11日に高炉への重油吹込みを開始し、18日には第4熱風炉の乾燥を終了し、20日よりスタッガードパラレルの4基操業へ移行した。下旬は増荷にあわせて重油量を増し、7月31日には送風量6150Nm³/min、O/C3.74、風熱1280°C、重油15000l/h、炉頂圧1.9atgまで順調に立ち上った。なお火入れ後1箇月間の日間操業データをFig.4に、7月下旬までの旬間値をTable2に示す。

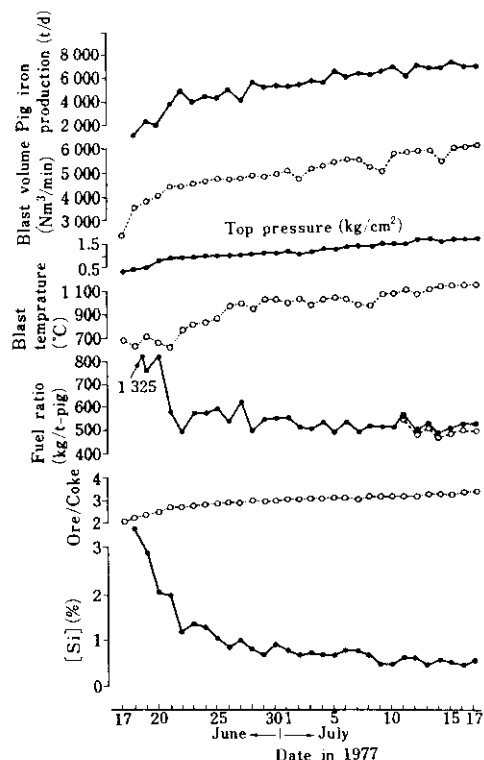


Fig. 4 Daily operational data at the commencement of Chiba No.6 blast furnace

8. ベルレス操業による炉況調整

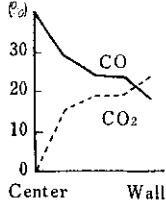
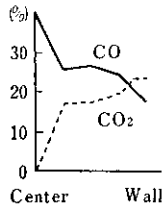
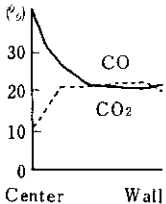
PW式ベルレストップは、炉口部のシュートを旋回させ装入物(原料)を炉内へ分配する装置で、原料の装入速度を炉頂バンカーの出口にある流量調整ゲートにより 0° から 76° まで8ポイントの任意の角度で制御する。シュートの傾動角度は鉛直方向に対し 52° から 17° まで、回転数は16回まで変更可能である。したがって、操業者は好みの回転数になるように流量調整ゲートで原料の装入速度を変え、その指定回転数に応じて任意に設定した傾動角度で回すことができる。さらに分配シュートの停止も 60° ごとにシフト可能で、円周方向における装入物分布の均一化を図っている。ベルレス装置は、ベルと異なり装入物分布を多種多様に変更させることができ、炉況への影響度が顕著である。操業者としては、理想の分布状態を維持するためにベルとは違った面でパターンの制御、管理を行わなければならない。

管理するにあたっては、装入物分配中の回転数および流量調整ゲートの開度の調整を行い、鉬石およびコークスを指定回転数で装入するようにし

Table 2 Early operation data of the No.6 blast furnace (10 days average)

Calendar month			June		July		
Ten days			Second	Third	First	Second	Third
Pig production (t/d)			2 121	4 862	6 208	6 579	7 799
Sinter ratio (%)			80.1	80.1	79.7	79.5	79.7
Coke ratio (kg/t)			910.9	556.0	522.3	515.1	456.1
Fuel ratio (kg/t-pig)			910.9	556.0	522.3	520.9	484.4
Ore/Coke ratio			2.39	2.89	3.11	3.31	3.60
Blast	Ratio (Nm ³ /t)		2 615	1 407	1 238	1 214	1 131
	Volume (Nm ³ /min)		3 853	4 750	5 337	5 910	6 129
	Temperature (°C)		680	894	1 031	1 120	1 205
Theoret. flame temp. (°C)			2 018	2 198	2 307	2 329	2 370
Top pressure (atg)			0.66	1.09	1.42	1.67	1.88
Hot metal	Temperature (°C)		1 448	1 503	1 505	1 513	1 513
	[Si]	$\bar{x}$ (%)	2.86	1.11	0.68	0.59	0.47
		σ (%)	0.76	0.46	0.17	0.14	0.12
Slag (Al ₂ O ₃) (%)			13.2	14.4	14.7	14.3	14.3
Slag basicity	B ₂		1.11	1.14	1.13	1.12	1.14
	B ₄		0.95	0.94	0.93	0.93	0.95

Table 4 Operational data of Chiba No.6 blast furnace

Period				Jun.~Sep. '77													Oct.~Dec. '77													Jan.~Jun. '78														
Charging program	Batch	Material	Number of chute revolution	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
	First	Coke (C1)	Chute tilting position number	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	-	2	3	3	4	4	5	5	6	7	7	8	8	9	1	1	2	2	2	3	3	4	4	5	5	6	7	10	
	Second	Ore (O1)		2	2	3	3	4	4	5	5	6	7	7	-	-	1	1	1	2	2	3	3	3	4	4	4	-	-	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	5	5	5		
	Third	Coke (C2)		3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	-	2	3	3	4	4	5	5	6	7	7	8	8	9	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	5	5	6	7	10
	Fourth	Ore (O2)		2	2	3	3	4	4	5	5	6	7	7	-	-	1	1	1	2	2	3	3	3	4	4	4	-	-	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	5	5	5	5	
Distribution of shaft gas composition																																												
Utilization of top gas (%)				Ore/Coke				47.9				3.72				47.5				3.72				51.0				4.01																
Comment				Coke, ore: Spiral charging Blast pressure was fluctuated. Deviation of burden level was large.													Coke: Spiral charging Ore: Ring charging Excessive gas flow in center Composition of pig iron was not stable.													Coke, ore: Ring charging Coke base: 31→34 (t/ch) Blast pressure was low and stable.														

ている。

パターン変更は、装入物上の炉頂固定温度、シャフトガスサンプルによる温度およびガス分布、ステープの炉体熱負荷、炉頂ガス成分、炉頂赤外線カメラによる装入物表面の温度分布、シャフト圧変動、風圧、差指等を勘案対比しつつ、理想的装入物分布へ近づくようにしている。

次に旋回シュートのポジションと傾動角度の対応を Table 3 に示す。装入パターンは多重リング方式による C1, O1, C2, O2 の 4 バッチ 1 サイク

ルで、コークスペース 34 t、通常の指定旋回数は 12~13 旋回/バッチである。

約 1 年間の操業経過の特徴を Table 4 に示す。ベルレスパターン変更は中心流を維持しつつ、炉壁流を管理して全体のガス利用率を上昇させる方針をとり、現在ガス利用率は 51% 強と好調である。ベルレス装置については、大きなトラブルはなく、シュートの耐用度は十分である。

9. 結 言

当社千葉製鉄所第 6 高炉は昭和 52 年 6 月 17 日に火入れを行い、日本最大のベルレス高炉として順調な立上り操業を続け、同年 7 月下旬には出鉄量 7 800 t/d、燃料比 484 kg/t-pig の水準に達し、現在も順調に操業している。

Table 3 Relation between chute position number and tilting angle from vertical plane

Position number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Angle (°)	52	50.5	48.5	46.5	44	41.5	38.5	35.5	31.5	25.5