

京浜1高炉における長期安定高出鉄比操業

Stable and High Productivity Operation in Long Term at Keihin No. 1 Blast Furnace

NKK 京浜製鉄所 下村 昭夫*・服部 道紀・飯野 文吾
木村 康一・脇田 茂・築地 秀明

1. 緒言

石油ショック以降、鉄鋼需要の低迷により、高炉部門においては、長く低出鉄比操業を強いられてきた。しかし、1987年以降、飛躍的な景気拡大に伴い、鉄鋼需要が増大し、高いレベルの安定した溶鉄供給、すなわち、安定した高炉の高出鉄比操業の継続が、再び強く望まれている。さて、京浜1高炉は（2次-内容積4907m³）、1989年11月28日に再火入れを行ったが、その後、1990年7月の第2高炉の吹き出しにより、高炉1基体制となるため、安定した高出鉄比操業の継続が強く求められ、今回の改修にあたっては、新技術の導入及び、操業改善を積極的に図った。その結果、出鉄量11000T/Dの安定した操業を継続し、1991年10月には、出鉄量11845T/Dを記録した。本報告では、京浜1高炉の高出鉄比操業の考え方及び、その特徴について、紹介する。

2. 高出鉄比操業の考え方

京浜1高炉の高出鉄比操業を検討するために、微粉炭吹き込み量及び、酸素富化率の影響を考慮した適正操業範囲図を導入した。微粉炭吹き込み量（酸素過剰係数）に対する置換率の影響は図1の京浜2高炉における実績を取り入れた。操業制約条件として①羽口先温度2400℃以下、②熱流比0.85以下、設備制約条件として③送風圧4.30kg/cm²以下、④送風温度1200℃以下を考慮した適正操業範囲図を図2に示す（送風量7800Nm³/min一定）が、この適正範囲図より、高微粉炭比下で高出鉄比操業を維持するためには、高酸素富化操業を行い、適正操業範囲を拡大することが望ましいことが分かる。京浜1高炉において、11000T/Dを安定して操業するために微粉炭比は60kg/T（設備上限）、酸素富化率は2.8%をベース諸元とした。

3. 操業推移

図3に京浜1高炉の操業推移を示す。1990年5月の微粉炭設備移設後、酸素量を漸次増加させ、11月には当初予定の11300T/Dを記録した。その後もベルレスモードの調整を実施し、通気抵抗の軽減を図り、増風を重ねることにより、1990年8月以降の平均出鉄量は、11000T/Dを上回る安定した操業を継続しており、1991年10月には、出鉄量11845T/Dを記録した。更に、1991年6月か

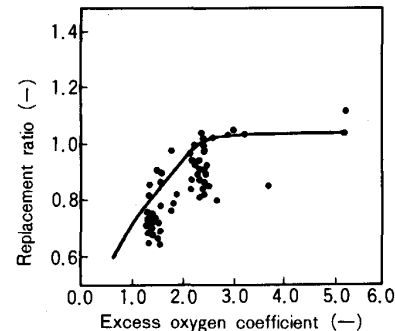


Fig. 1 Relationship between the excess oxygen coefficient and the replacement ratio

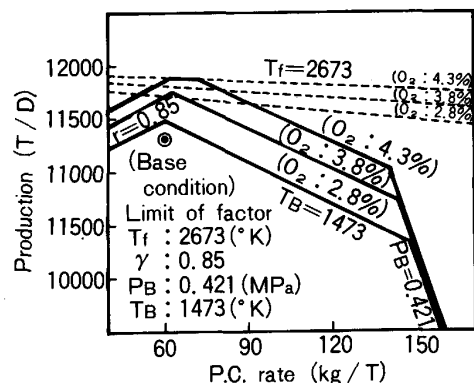


Fig. 2 Effect of P.C. rate and O₂ enrichment on production

らは、小粒焼結鉱の使用も開始している。

4. 京浜 1高炉における高出鉄比操作の特徴

4. 1 原燃料条件

炉内通気性を確保するために、焼結鉱及び、コークスの炉前粒度管理の強化を図った。更に還元粉化率は40%以下に、ドラム強度は、95.30%の維持に努めた。

4. 2 装入物分布制御

京浜 1高炉における装入物分布制御の実績を図 4に示す。京浜 1高炉は、垂直 2段ホッパー式のベルレス高炉であり、ベルレスにおける分布制御を定量的に表すための指数として IOS、ICS を導入した (SL=0 mにおける鉱石、コークスの平均落下位置の炉壁からの相対距離)。分布制御としては、鉱石・コークスの内振りの強化を実施してきた。図 5に代表的なマイクロプロフィールメータによる装入物分布形状の測定結果を示すが、1990年 8月以降、多重リング (Charge Pattern A → Charge Pattern B) により鉱石・コークスの内振りを強化するとともに、ロングテラス化を指向し、分布の安定性・再現性を図った。

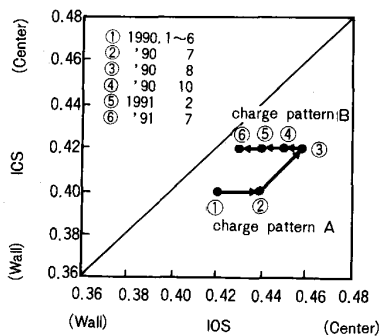


Fig. 4 Change of ICS and IOS in transition to high productivity operation

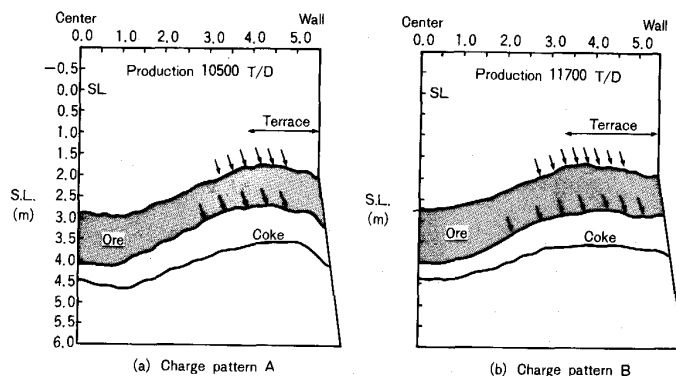


Fig.5 Burden profile by microwave profile meter at high productivity of Keihin No.1 BF

4. 3 出鉄滓管理

高出鉄比操作を安定して継続するためには、出鉄滓の管理は重要な管理項目の 1つである。京浜 1高炉の出鉄口は 4本で、常時 3本の交互出鉄を行っている。また開口方法は、口径60~65mmのドリルによる揉み抜きを実施しており、出鉄回数は、平均 9回である。ここでは、おもに出鉄口の補修方法について述べる。図 6に定期休風時の出鉄口補修方法の模式図を示す。従来、解体後、煉瓦母材にモルタル塗布後キャスト

の 2層流し込み施工を実施してきたが、ガス吹きが多く、下記の様なテストを行い改善を図った³⁾。加熱された煉瓦表面にモルタル塗布及び、キャストの吹き付け実施後、キャスト施工をした場合の接着強度の測定の結果を図 7に示すが、旧材の温度上昇にともないモ

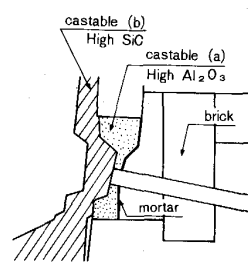


Fig.6 Schematic view of taphole.

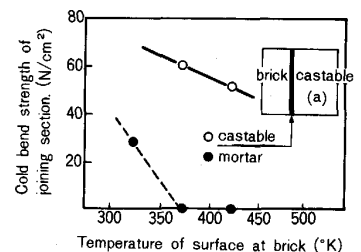


Fig.7 Comparison of cold bend strength with castable and mortar

ルタル塗布のケースでは、接着強度が急激に低下していることが分かる。この結果をもとにキャストブル吹き付け施工を実施し、良好な結果を得ている。

4・4 設備管理強化

高出銑比操業下においては、設備トラブル発生も起こりやすいため、TPM (Total productive maintenance)を導入し、日常の管理強化に努めている。主たる減産要因である羽口については、交換周期を6ヶ月にするとともに、先端部分の冷却水の流速を増加し、羽口破損の減少を図った。

5 炉内解析

多重リング装入時は図8に示すようにCSRの変化に対し、通気性が改善されており、安定操業に大きく寄与している。これらの現象を明らかにするために各種ゾンデを用い、炉内測定を行った。多重リング変更前後の水平ゾンデによるガス組成分布の測定結果を図9に、FVPによる炉内温度の測定結果を図10に示す。

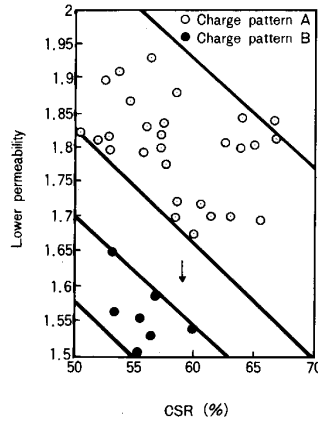


Fig. 8 Relation between CSR and lower permeability

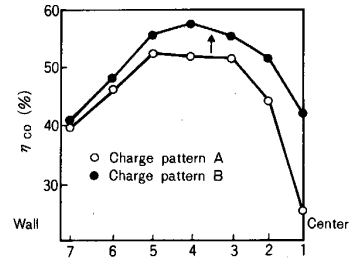


Fig. 9 Comparison of gas distribution at upper shaft level

多重リングにより、ガス流はおわん型になり、中心部のガス利用も向上し、表1にリストモデルによる計算結果に示すように、ソリューションロスが、減少している。その時の炉芯ゾンデの測定結果を図11に示すが、炉芯周辺部において粒径がアップ、5mm以下の粉率が低下、更にはホールドアップも低下している。また、田村らの式により空隙率を

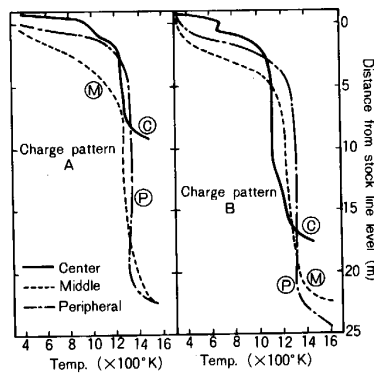


Fig.10 Comparison of temperature distribution by FVP

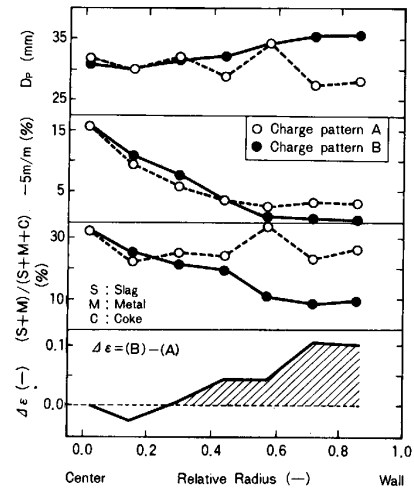


Fig.11 Comparison of coke diameter at deadman by deadman probe

求めると0.08程度増加しており、これからも炉下部の通気性が改善されていることが分かる。これらの測定結果から、多重リング装入時は、コークスの劣化の抑制により、特に周辺部の炉芯の通気性が向上するものと推定される。

6 炉熱制御AI・装入物分布制御AI

高出銑比操業を安定して継続するためには、炉熱アクション・装入物分布の細かい日常管理が必要である。京浜1高炉では、これらのニーズの対応するため、福山5高炉から炉熱制御AIの導入、更には、装入物分布AIの開発を行い、操業に適應し、良好な結果を得ている。

Table 1 Calculation result by Rist model

Charge pattern	A	B
P.D. (T/D)	10700	11427
C.R.+P.C.R. (kg/T)	442+61	438+62
Heat loss (kcal/T)	199000	192000
Shaft efficiency (-)	96.6	98.4
Solution loss (kg/T)	78.2	74.0

6・1 炉熱制御AI

福山 5高炉で開発された炉熱制御AIをベースに以下の点を改造した。

- ①日本語使用による知識のメンテナンス性の向上。
 - ②コンパイラ形式による高速リアルタイム推論処理。
 - ③学習機能によるメンバーシップ関数の自動調整。
- 表 2に実炉への適応結果を示すが、オペレータによる制御と同等以上であることがわかる。現在の適用率は95%に到達している。

Table.2 Comparison of operation between BAISYS and operator

		Target	BAISYS	Operator
Hot metal temperature (°C)	X	1510	1511	1508
	σ	8	9	13
Si content (%)	X		0.25	0.27
	σ		0.06	0.29

(N=100Tap)

6・2 装入物分布制御AI

京浜 1高炉は今回の改修で炉頂装入設備をベルからベルレスに更新したが、ベルレスについては、操業知識が十分でなかったため、従来のAI技術の適用は困難であった。この問題を解決するために、高炉操業の事例を逐次蓄積し、この事例に基づいて操業のガイダンスを行うシステムを開発した。図12にシステムの処理構成を示す。事例に用いられる操業データは、日単位で約1000項目であり、操作量とともに1炉代蓄積(約5000日)される。現在と同様の過去の事例の検索は、(1)式の距離計算によって行われ、抽出された同様事例は、メンバーシップ関数で記述されている評価項目で『良い例』、『悪い例』に識別される。図13に適用結果を示すが、この場合周辺流を強化したほうが、炉況は良くなることを示している。京浜 1高炉は、火入れ後、2年を経過しており、事例の蓄積の増加により、現在、日常の管理に有効な手段となっている。

$$J_i = \sum W_i (X_i - R_{ij})^2 \quad (1) \quad w_i: \text{重み係数} \quad X_i: \text{現在値} \quad R_i: \text{過去の事例}$$

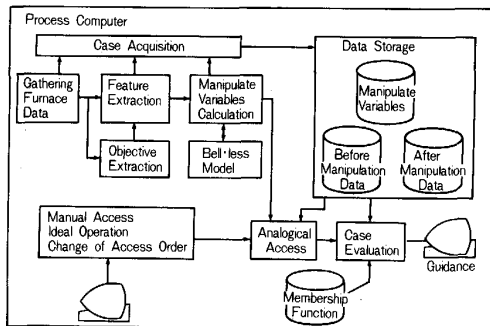


Fig.12 Schematic diagram of the burden distribution guidance system

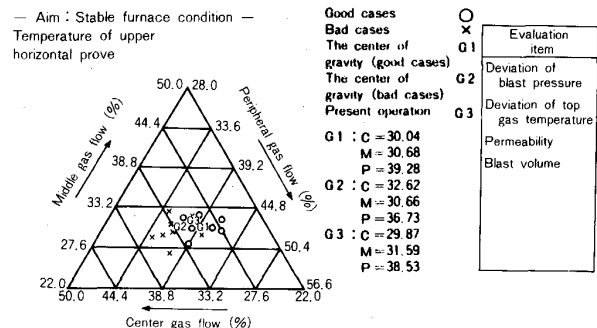


Fig.13 Example of guidance by the burden distribution AI

7 結言

京浜 1高炉は、適正操業範囲の考え方及び、以下の検討により (①原燃料の性状管理の強化、②ロングテラスを指向した装入物分布制御、③出銑口管理の強化、④炉熱制御AI・分布制御AIの適用による日常管理の強化)、1990年 8月以降の平均出銑量は、11000T/Dを上回る安定操業を継続している。

今後は、更に装入物分布制御の向上を図り、高出銑操業を維持しつつ、微粉炭の多量吹き込み、小粒焼結鉱の多量使用等を検討していく予定である。

(参考文献)

1. 中島, 岸本, 飯野: 鉄と鋼, 76(1990)9 P1458
2. 中島, 飯野, 下村: 材料とプロセス, 4(1991) P1073
3. 中島, 服部, 飯野: 材料とプロセス, 4(1991) P107
4. 炭竈, 酒井, 桜井: 材料とプロセス, 1(1988) P112