

福山5号焼結 (HPS) における生産性向上対策

Technological Improvements to Attain High Productivity at Fukuyama No.5 Sintering Machine (HPS)

酒井 敦 福山製鉄所 製鉄部 部長
 野田 英俊 福山製鉄所 製鉄部 原料工場 工場長
 佐藤 秀明 福山製鉄所 製鉄部 統括スタッフ
 塩原 雅之 福山製鉄所 製鉄部 原料工場 班長
 橋本 健 福山製鉄所 製鉄部 原料工場 統括スタッフ
 山下 勝宏 福山製鉄所 製鉄部 原料工場

Atsushi Sakai, Hidetoshi Noda,
 Hideaki Sato, Masayuki Shiobara,
 Ken Hashimoto and Katsuhiko Yamashita

HPS プロセスは、安価で高品位な微粉鉱を大量に処理できるプロセスとして、当社が独自に開発し、1988年11月福山5号焼結機を改造し実機化された。その後は、一貫して、生産性の向上を狙った技術開発を行ってきた。偏析装入設備の開発は、原料粒子に適度な偏析を与え生産性を向上させた。HPSの低SiO₂化は、高炉の高PCI操業に有効であり、同時に、Fe生産量を増大させた。さらに、コーティングミキサーの増強を中心とする増産工事では、1.85T/m²/Hを越える増産を達成した。

To use a large amount of pellet feeds containing high iron, HPS process was developed by NKK. And real operation started in November 1988 by remodeling the Fukuyama No.5 sintering machine. Since then, various new technological improvements have been developed. The new charging equipment gave suitable segregation along the bed height to quasi-particle and coke breeze. It contributed to improve the productivity. Decreasing SiO₂ content in HPS was effective for high PCI operation of blast furnace and for increasing Fe production of HPS. In the increasing capacity construction, enlarging the coating mixer expanded the productivity more than 1.85T/m²/H.

1. はじめに

HPS (Hybrid Pelletized Sinter) プロセスは、安価で高品位な微粉鉱石を大量に処理でき、品質的にも低スラグで高い還元性を有する焼結鉱を製造するプロセスとして当社が独自開発し、1988年11月に福山5号焼結機を改造し実機化された(有効焼成面積530m²)。その後、鉱石性状の変化や高炉の操業変化に対応し、低スラグ化など品質の改善も進めながら、一貫して生産性の向上を目的とした技術開発

や増強工事を実施してきた。その結果、実操業開始当初1.38T/m²/Hであった生産率は、1999年には、1.88T/m²/Hまで拡大できている。本稿では、生産性向上に寄与した技術開発や設備増強の概要について報告する。

2. HPS 生産性向上の考え方と対策

排風量一定の条件における HPS 増産の考え方と対策について Table 1 にまとめた。

Table 1 Concept and measures for increasing HPS production

Purpose	Items should be improved	Measures	Technological improvements developed by NKK
Higher production	Increase in sintering speed	Prevention quasi-particle from disintegration	Improvement of coating mixer
		Reduction of raw materials interfere with sintering reaction	
	Increase in yield	Production of coarse sized quasi-particle by adding burnt lime	Development of segregation charging equipment
		Decrease in charging density of sinter bed	
Increase in Fe content	Improvement of upper layer's yield	Enhancing segregation of quasi-particle and coke breeze	Low SiO ₂ content sinter ore
	Uniform sintering along longitudinal and width direction of pallet	Uniform charging of raw material	
	Prevention against over-crushing	Enlargement gap and pitch of crusher	
	Decrease in slag content	Decrease in gap of conveyer connection part	
		Decrease in SiO ₂ content	

Table 1 からわかるように，HPS プロセスにおいても基本的には従来の焼結プロセスと同様の考え方が可能である。

本稿では，Table 1の技術的改善の項目に示した偏析装入設備，低シリカ焼結鉬製造における技術開発内容，およびHPSプロセスの問題であったコーティングミキサー内の擬似粒子崩壊防止対策としてのコーティングミキサー改造を中心としたHPS増産工事の概要を以下の章で述べる。

3. 偏析装入設備の開発

HPS プロセスでは，ディスクペレタイザー（Disc Pelletizer：DP）で造粒された原料擬似粒子を，焼結機パレットに装入するまで崩壊させず輸送することが重要な課題であった。そこで，焼結機に一般的な，サージホッパーとロールフィーダーによる装入方法は避け，パレットプラントで採用される幅広ベルトによる装入設備が導入された。Fig.1に，HPSプロセス実機化時の装入設備を示す¹⁾。

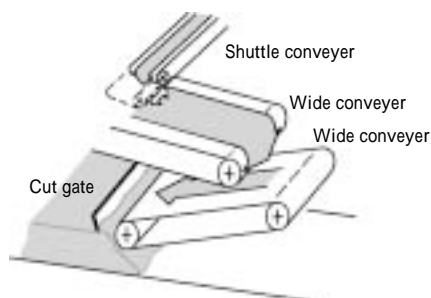


Fig.1 Schematic drawing of charging equipment

この装入設備は，傾斜の小さな幅広コンベヤから直接パレットに装入するため無偏析装入となること，およびカットゲートの手前の堆積層が堆積限界を超えると崩れ落ちる雪崩現象が発生し，“むら焼け”を起こすこと，が歩留りを悪化させ生産性を阻害する原因となっていた。HPSの歩留り向上対策としては，雪崩現象を回避しかつ分級機能を強化した粒度偏析装入の開発が必要であった。

当社では種々の試験を繰り返し Fig.2 および Fig.2 の写真に示すように，幅広ベルトを1本化するとともにシャウトに篩機能を持たせ，粒度偏析の強化と雪崩現象の回避を可能とした，ワイヤーを湾曲型に配置する偏析スリットワイヤー，SSW (Segregating Slit Wire) を開発した²⁾。

SSW は原料付着防止のため表面をウレタン樹脂で被覆した鉄心ワイヤーで構成されているが，原料の付着は避けられず2時間も経過すると部分的にワイヤー間隔が閉塞する問題があった。そこで，ワイヤー摺動式のオートクリーナを開発し1995年7月に実機に設置した。これにより経時的偏析状態の悪化は回避され，安定した偏析状態の維持が可能となった³⁾。

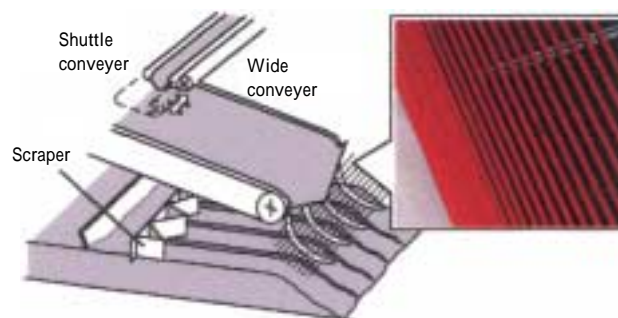


Fig.2 Schematic drawing of charging system introducing after SSW (Segregation Slit Wire) system

これら一連の装入設備改善に伴う焼結機の操業推移を Fig.3 に示す。

SSW の設置，オートクリーナーの開発により，生産率は HPS 実機化当初の 1.38T/m²/H から 1.65T/m²/H まで向上した。一方，返鉬は 220kg/T から 130kg/T まで低減でき歩留りは約 3% 向上した。また，コークス原単位も 2.0kg/T 低減できた。

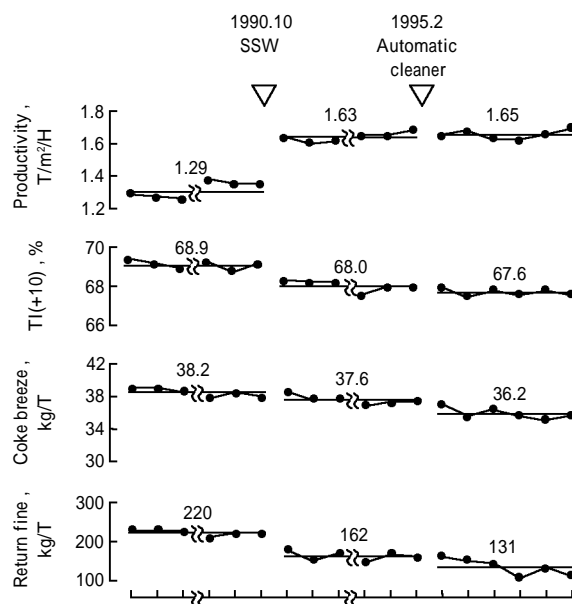


Fig.3 Effect of introducing SSW and automatic cleaner on the operation of HPS process

4. 低 SiO₂ 焼結鉬の製造

焼結鉬の低 SiO₂ 化は被還元性向上やスラグ量低減に対し有効な手段であるが，一方では，焼結反応過程で生成する融液生成量を減らすため強度，歩留り，生産性の低下および還元粉化性状が悪化し，従来焼結鉬の SiO₂ レベルは，5.0 ~ 6.0% のレベルに制限されてきた。しかし，近年の高炉操業においては微粉炭吹き込み（Pulverized Coal Injection : PCI）量の増加に伴い，焼結鉬粉化領域での滞留時間が短縮され RDI の管理値が緩和される傾向にある。

Fig.4 は高 PCI 操業下で低 SiO₂ 焼結鉱の使用が高炉炉内現象に与える影響をまとめたものである⁴⁾。

Fig.4 より焼結鉱の低 SiO₂ 化は、高炉スラグボリュームを低減させるとともに焼結鉱の被還元性も上がるため炉下部通気抵抗改善に有効である。

HPS 鉱は、焼成過程で固体間の拡散結合を利用した結合メカニズムで製造されるため、従来焼結鉱に比べ低 SiO₂ が達成可能であった。偏析装入設備導入以来、強度、歩留りとも向上し、また品質も改善できたことで、さらに、SiO₂ 含有量の低下が可能となった。低 SiO₂ の手段は、HPS 鉱の MgO 源副原料である、滓化性の悪い蛇紋岩の配合を減らし、焼結鉱の生産性を悪化させない方法を採用した。

Fig.5 は、1995 年 1 月～1996 年 11 月の 5 号焼結機 (HPS) と 4 高炉の操業推移を示す⁴⁾。

この期間、4 高炉で使用した焼結鉱は全量 HPS である。HPS の SiO₂ レベルは 1995 年 10 月より 1996 年 2 月にかけて、4.8% から 4.2% 以下まで低下させた。HPS の品質として SiO₂ の低下に伴い、RDI は上昇したものの強度 (TI+10) の低下、返鉱の上昇は低位に押さえられており、生産率は 1.65T/m²/H で一定に維持できている。生産率のグラフには、併せて Fe 生産量で補正した生産率も示した。生産率一定下では、SiO₂ の低下により焼結鉱の増産効果があることがわかる。

低 SiO₂ に伴い、還元率 (RI) は向上する傾向が認められた。Photo 1 は、SiO₂ 含有量の異なる 3 種類の焼結鉱のミクロ組織である。SiO₂ 含有量の高い焼結鉱 A は従来型焼結鉱、焼結鉱 B は現状の福山 4 号焼結機で製造された焼結鉱、焼結鉱 C は低シリカ操業移行期の HPS である⁴⁾。

SiO₂ 含有量の低下に伴い、二次ヘマタイトや結晶状のカルシウムフェライトは見られず、組織は大部分微細なヘマタイトで、気孔も微細かつ分散しており被還元性の向上に寄与していると考えられる。

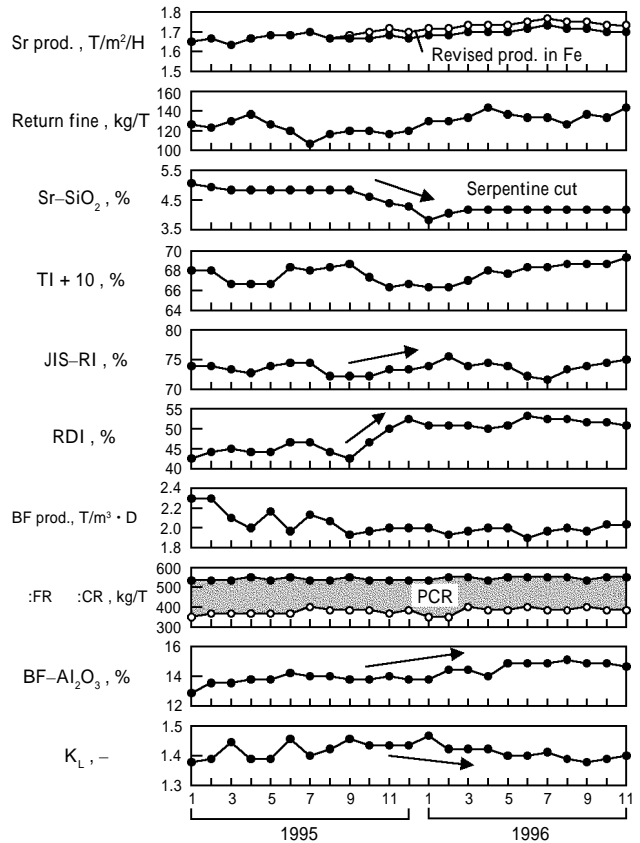


Fig.5 Operational results for producing low SiO₂ HPS

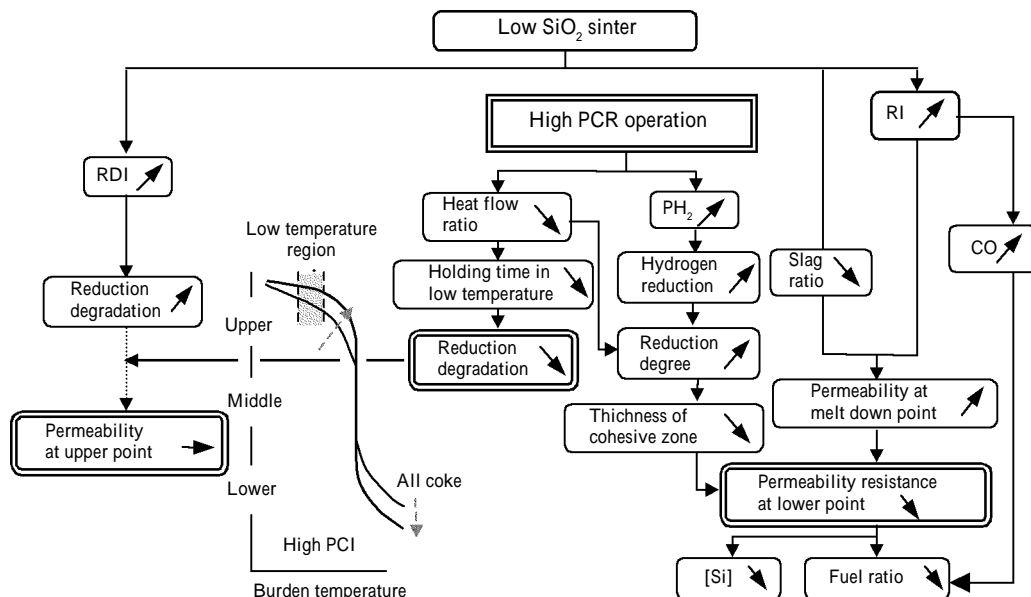


Fig.4 Concept of an effect of low SiO₂ sinter on in-furnace condition at high PCI

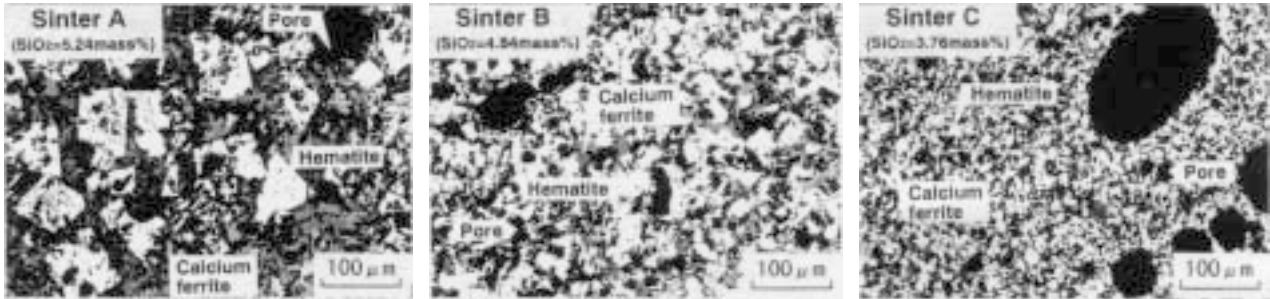


Photo 1 Microstructure of sinter products (Sinter A:Ordinary sinter ore, SiO₂=5.24% /Sinter B:Fukuyama No.4 sinter ore, SiO₂=4.84% / Sinter C:HPS, SiO₂= 3.76%)

一方, Fig.5中4高炉の操業は, 出銑比2.0を維持したまま, 170kg/TのPC吹き込みが順調に継続できている。また, 低スラグの結果Al₂O₃は15%近くまで上昇したが, 炉下部通気抵抗指数(K_L)には改善傾向が認められており, HPSのSiO₂含有量低下は, 高PCI操業に有効であったと言える。

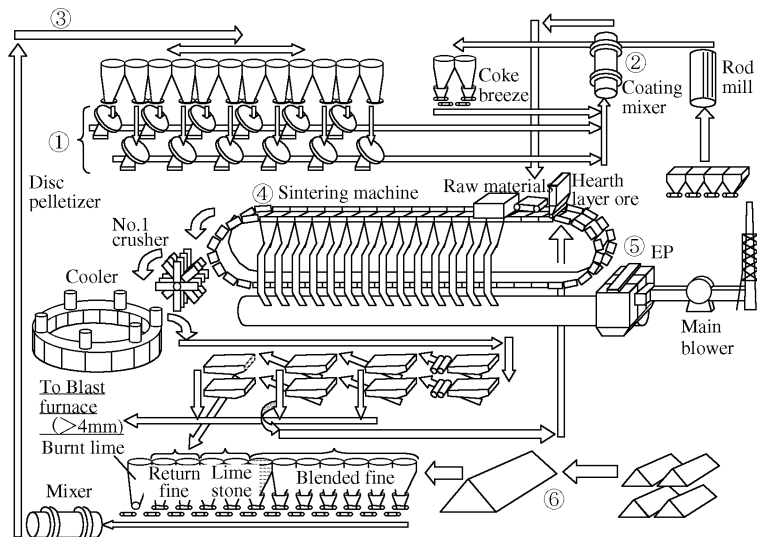
5. HPS 増産工事の概要

1990年代半ばからの世界的な鉄鋼生産の伸びは, ペレットの需給を逼迫させ価格を上昇させた。高炉出銑能力に比べ焼結銑生産能力が低く, ペレットの使用比率が高い当社では, 溶銑コスト削減のため, 焼結銑のさらなる増産

が要求され, HPSの生産能力を1.65T/m²/Hから1.85T/m²/Hまで拡大する増産工事が計画された。

増産工事の項目と内容をFig.6にまとめた。

HPSプロセス稼働後生産量が増加する中でも, コーティングミキサーは実機化当初のままであり, 原料の占積率が高くなりすぎ, 原料擬似粒子はミキサー内で掻き上げられ落下の際衝突により崩壊していた。そこで, 増産工事ではコーティングミキサー増強による擬似粒子の崩壊防止を最優先項目とした。また, 増産の方法としては, 歩留り低下を防ぐため, パレットスピードの上昇は極力抑え, 焼結ベッドの層厚を上げる方向での操業を指向した。そのため, DPを2台増設して造粒能力の維持を図ることとした。



	Equipment	Item & Content
Sintering plant	① Pelletizer	Added disc pelletizer×2 7.5φm×H0.8m
	② Coating mixer	Enlarged coating mixer 4.4φm×L17.5m→5.5φm×L15.0m
	③ Belt conveyer	Increased capacity of belt conveyer
	④ Sinter pallet	Rose side-wall 620mm→690mm, Remodeled lower part of ignition furnace
	⑤ Measure for environment	Built a new EP
	Incidental construction	Remodeled controlling systems, Built a new electric source
Raw material treating plant	⑥ Piling line (Sinter feed)	Built new piling conveyers : 3→4series Built new surge hopper & new CFW

Fig.6 Outline of the increasing capacity construction of HPS

コーティングミキサー増強については、既設ミキサーを用い原料の量を増減させ原料粒子の転動状態調査およびミキサー内各場所における擬似粒子の崩壊量を調査した。その結果、新コーティングミキサーには、5号焼結機二次ミキサーを転活し、ペレットプラントのデータも参考にして、占積率を従来の半分以下の5%に決定した。ミキサー内の滞留時間は過去の試験より1.5分あれば十分と判断しW・C・Saemanの式⁵⁾から回転数や傾斜角を決定した。改造前後のコーティングミキサーの仕様をTable 2に比較した。

Table 2 Comparison of the new coating mixer specifications with the former's

	Former mixer	New mixer
Transporting material weight (T/H)	1100	1350
Length (m)	16.0	13.5
Diameter (m)	4.4	5.5
Inclination angle (-)	4/100	7/100
Revolution (rpm)	5.5	4.6
Hold up rate (%)	12	5
Retention time (min)	3.0	1.5

Fig.7は、改造前後のミキサー内擬似粒子の崩壊挙動を示した。

改造後の崩壊率は改造前に比べ大幅に改善しており、焼結ベッドの通気性を大きく悪化させる微粉量を減らすことで生産率向上に大きく寄与している。

Fig.8には、増産工事後のHPS操業推移を示した。

増産工事の後、生産率は順調に増加し、低シリカなど品質面での劣化もなく、計画値1.85T/m²/Hを達成した。しかしながら、増産の影響でSSWの分級効率が低下し、強度・歩留りが低下する傾向にあった。そこで、SSWのワイヤーの配列を再検討し、曲率半径が下部側で増大する配列に変更した。この変更により分級効率は回復し偏析が強化さ

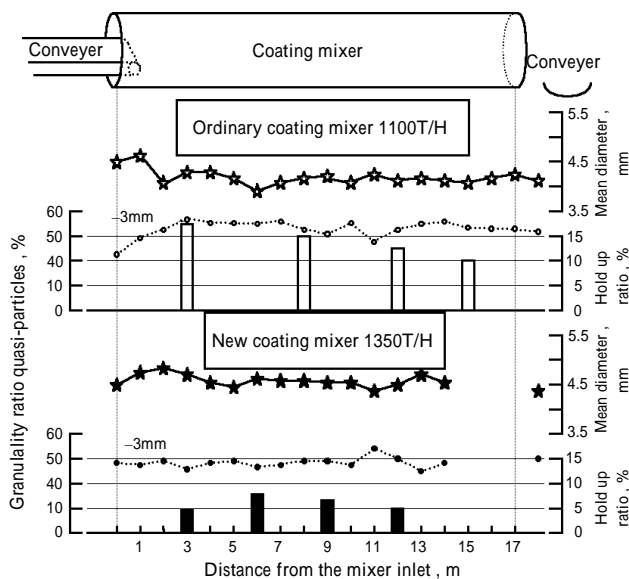


Fig.7 Quasi-particle disintegration behavior in the new coating mixer

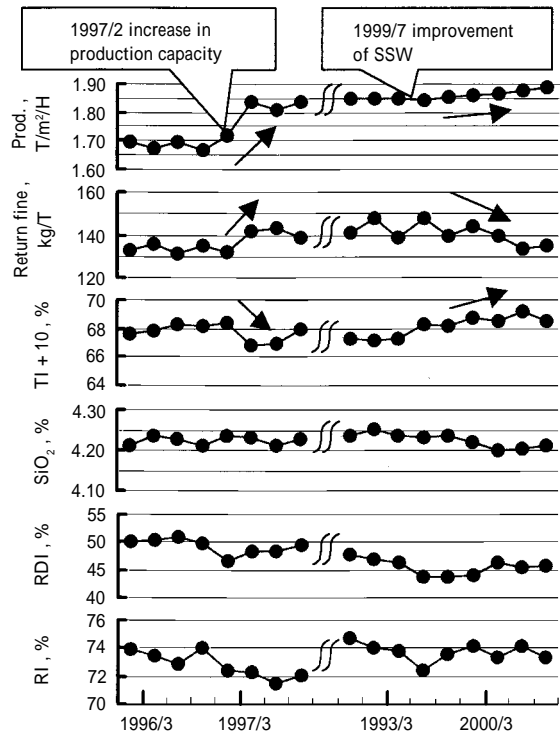


Fig.8 Operational results after increasing production capacity of HPS process

れ、強度・歩留りは増産前以上に改善でき、生産率も目標値を上回る1.88T/m²/Hを達成している。

6. おわりに

福山5号焼結機は、HPSに改造後、SSWを中心とする一連の装入設備の導入、溶化性の悪い蛇紋岩配合低減による低SiO₂・高Fe化、さらには、コーティングミキサー増強を主体とする増産工事により、品質や歩留りの低下なく生産量を増大させ、現状1.88T/m²/Hの生産率で順調な操業を継続している。

参考文献

- 1) 丹羽康夫ほか。“低脈石微粉鉱石を大量に使用する高炉用塊成鉱の商用生産”。鉄と鋼。Vol.78, No.7, p.1029(1990).
- 2) 高井力ほか。“福山4焼結における装入部改造”。CAMP-ISIJ。Vol.6, No.4, p.916(1993).
- 3) 佐藤秀明ほか。“福山4号焼結機の無人化操業”。NKK技報。No.158, pp. 67-70(1997).
- 4) 野田英俊ほか。“高炉微粉炭多量吹き込み操業条件を考慮した低SiO₂焼結鉱の品質評価”。鉄と鋼。Vol.86, No.11, p.725(2000).
- 5) W. C. Saeman. Chem. Eng. Progr. Vol.47, p.508(1951).

<問い合わせ先>

福山製鉄所 製鉄部

Tel. 0849 (45) 3248 佐藤 秀明

Hideaki_Sato@ntsgw.tokyo.nkk.jp

Tel. 0849 (45) 3248 山下 勝宏

Katsuhiro_Yamashita@ntsgw.tokyo.nkk.jp