
フィリッピン焼結鉱の粉化防止

Minimization of Degradation of Philippine Sintered Ore

大島 位至(Takashi Oshima) 早瀬 鉱一(Kouichi Hayase) 佐藤 幸男(Yukio Satoo)

要旨：

千葉製鉄所の粗鋼年産 850 万 t 体制の一環として焼結工業 (500 万 t/年) をフィリッピン・ミンダナオ島に建設した。海外に焼結工場を建設するにあたり最大の問題は、焼結鉱の粉化であった。工場建設に先立ち、焼結鉱の粉化の実態を調査し、下記の粉化防止対策を実施した。すなわち設備面では(1) 小径プーリーの採用、(2) 船艙にスライドシュートの設置、(3) バースの増強、操業面では(1) 硬度焼結鉱の製造、(2) スタッカー・ブーム位置の低下による落差の減少、(3) 小塊焼結鉱の使用、である。以上の対策により最終粉率 16.5% を達成した。またフィリッピン焼結鉱は、常温強度および被還元性が優れており高炉の安定操業および低燃料比操業の達成に大きく寄与している。

Synopsis：

As a part of the project for 8.5 million ton crude steel a year at Chiba Works, a sinter plant of 5 million tons a year was built in Mindanao Island of the Philippines. One of the biggest problems encountered in the sinter plant project abroad was the degradation of sintered ore during transportation. Investigations for minimizing degradation were carried out, and countermeasures were executed in both equipment and operation, as follows: Countermeasures in equipment (1) Adoption of mini-diameter pulleys (2) Installation of slide chutes in holds of ships (3) Installation of a new unloading berth in Chiba Works Countermeasures in operation (1) Production of high strength sintered ore (2) Decrease in drop height by keeping booms of stackers as low as possible to the stockpile of sintered ore in yard (3) Recovery of small-sized sintered ore from screened undersize By the above-mentioned countermeasures, a final fine rate of 16.5% was achieved. Besides, Philippinesintered ore has an excellent shatter index and high reducibility and has contributed greatly to the stable operation and low fuel rate of blast furnaces.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

フィリッピン焼結鉱の粉化防止

Minimization of Degradation of Philippine Sintered Ore

大 島 位 至*
Takashi Oshima

早 瀬 鉦 一**
Kouichi Hayase

佐 藤 幸 男***
Yukio Satoo

Synopsis:

As a part of the project for 8.5 million ton crude steel a year at Chiba Works, a sinter plant of 5 million tons a year was built in Mindanao Island of the Philippines. One of the biggest problems encountered in the sinter plant project abroad was the degradation of sintered ore during transportation. Investigations for minimizing degradation were carried out, and countermeasures were executed in both equipment and operation, as follows:

Countermeasures in equipment

- (1) Adoption of mini-diameter pulleys
- (2) Installation of slide chutes in holds of ships
- (3) Installation of a new unloading berth in Chiba Works

Countermeasures in operation

- (1) Production of high strength sintered ore
- (2) Decrease in drop height by keeping booms of stackers as low as possible to the stockpile of sintered ore in yard
- (3) Recovery of small-sized sintered ore from screened undersize

By the above-mentioned countermeasures, a final fine rate of 16.5% was achieved. Besides, Philippine sintered ore has an excellent shatter index and high reducibility and has contributed greatly to the stable operation and low fuel rate of blast furnaces.

1. 緒 言

千葉製鉄所の粗鋼年産 850 万 t 体制の一環として第 6 高炉を千葉製鉄所西工場に建設し、それに対応してフィリッピン・ミンダナオ島に焼結工場（500 万 t/年）を建設した。この焼結工場は 1974 年 8 月に整地を開始し、1976 年末に建設を完了して 1977 年 4 月より運転を開始した。以後順調に操業を継続している。

日本国内での使用を前提とした海外焼結工場の建設がこれまで例を見なかった最大の原因は、焼

結鉱輸送過程での粉化である。塊鉱石、ペレットに比較して焼結鉱は本来脆弱な性質を有しており、ハンドリング過程でかなり粉化する。海外焼結工場の場合はハンドリング条件が厳しいため、設備および操業の両面より検討し粉化防止対策を実施した。その結果、計画粉率を下回る良好な結果を得ている。以下にフィリッピン焼結鉱の粉化防止対策について報告する。

2. フィリッピン焼結鉱の品質設計

フィリッピン焼結鉱（以下 PS と称す）の品質

* 千葉製鉄所製鉄部製鉄技術室主任（課長）
（昭和 56 年 9 月 7 日原稿受付）

** 千葉製鉄所製鉄部原料処理課掛長

設計にあたり、海外焼結工場の特殊性により特に焼結鉱の強度、化学成分の管理体制に留意した。PSは長期的に同一配合、同一品質を目指し、高炉のスラグ成分調整等は千葉製鉄所焼結鉱（以下自家焼結鉱と称す）を用いて行うことを前提とした。使用原料は焼結性が良好なことおよびコスト的に有利な大型船の使用可能な銘柄であることを考慮して、各種鍋試験、実操業実験に基づき下記4銘柄を基本配合に選定した。

NEWMAN : 25%

HAMERSLEY : 25%

RIO DOCE : 40%

CAROL LAKE : 10%

粉化防止を考慮し、品質規格は以下の通り自家焼結鉱より厳しく設定した。

$S1 \geq 88\%$, $RD1 \leq 38\%$, -5mm 含有率 $\leq 3\%$

なお、自家焼結鉱の場合は $S1 \geq 87.5^*$, または $89.0^{**}\%$, $RD1 \leq 40\%$, -5mm 含有率 $\leq 6.5^*$, または $10.0^{**}\%$ である。

3. 焼結鉱の粉化に関する検討

海外焼結工場の建設に先立ち焼結鉱粉化に対し、その実態の調査、粉化防止設備の開発とその実施についての検討を行った。

3-1 粉化の実態調査

海外焼結工場で製造された焼結鉱が、千葉製鉄所の高炉で使用されるまでに下記の長い工程の各々の段階で粉化が発生している。

焼結工場→ヤード貯鉱→船積→海上輸送→荷揚
→ヤード貯鉱→篩分→貯鉱槽→篩分→高炉

焼結鉱粉化の要因として衝撃、摩擦、圧縮、風化等が考えられる。

3-2 衝撃による粉化

3-2-1 落下床面の効果

ベルトコンベヤーシュート等のジャンクションにおける粉化防止のため、焼結鉱の落下に対する床面の効果を調査した。20kgの焼結鉱を落下させた場合の調査結果をTable 1に示す。水面上へ焼

Table 1 Floor Surface and degradation

Condition of floor surface	Degradation with steel plate as 10	Remarks
Water	0.0	Fall into water from height of 6.2 m
Sintered ore	6.7	Fall from height of 2.0m, repeated 10 times. ~10mm index
Steel plate	10.0	Same as the above
Rubber	—	Insufficient resistance against wear (hard to use for practical purposes)

結鉱を落下させた場合は全く粉化しないことを確認した。また床面が焼結鉱の場合は鉄板に比較し粉化は $2/3$ 程度に低下した。一方、ベルトコンベヤーシュートの衝撃面に硬質ゴムライナーを張った場合は、通過量 25 000t で損耗し、実用に耐えなかった。

3-2-2 落差および落下繰返し回数の効果

落差および落下繰返し回数と粉化の関係をFig.1に示す。この試験結果より同じ距離を落下させる場合は落下距離を分割した方が粉化が少ないことがわかった。

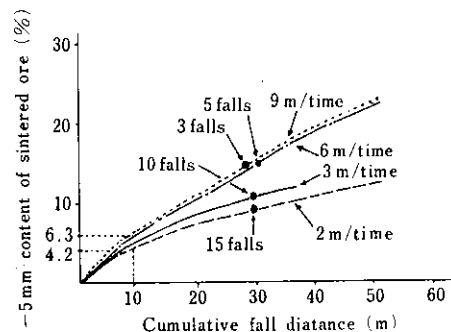


Fig. 1 Relation between generation of -5mm content and cumulative fall distance

3-3 摩耗による粉化

焼結鉱強度の測定法としては、衝撃に關してのシャッターテストと摩耗に關してのタンブラーテストがある。Fig. 2に示す両者の関係から衝撃と摩耗による粉化を比較すると、移動距離 1 m 当り

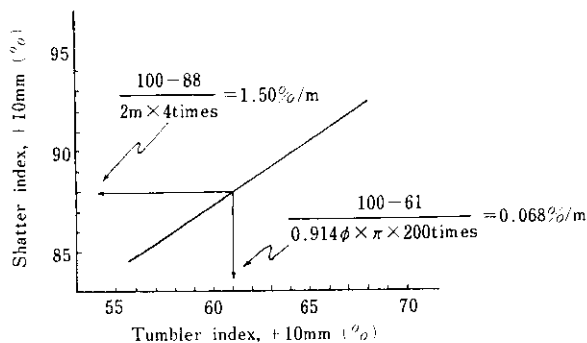


Fig. 2 Degradation due to impact and abrasion

の-10mmの発生率はシャッターテスト(2m×4回落下)では、1.5%/m、またタンブラーテストの場合、円筒内周を成品が回転移動(0.914mφ×200回転)したと仮定して、0.068%/mとなる。これから定性的には転動は落下より粉化がはるかに少ないと言える。

3-4 振動による粉化

焼結鉱を海上輸送する際の粉化を推定するため、模型による揺動実験を行った。Fig. 3に示す装置で振動を10⁵回(日本とオーストラリア間の航海に相当)かけた後の粒度変化を測定した。結果をTable 2に示す。振動による-5mm含有率の増加は比較的少ないことがわかった。

3-5 静置状態での粉化

フィリピンで製造された焼結鉱は高炉に供される迄に通常1~3箇月貯蔵される。従って、ヤードにおける焼結鉱のウェザリングによる性状の劣化状況の調査を行った。Fig. 4, 5に千葉製鉄所、水島製鉄所における調査結果を示す。

千葉での調査ではシャッター強度、粉率に劣化の傾向が認められるが、水島での調査の場合は特に劣化傾向が認められない。千葉における焼結鉱

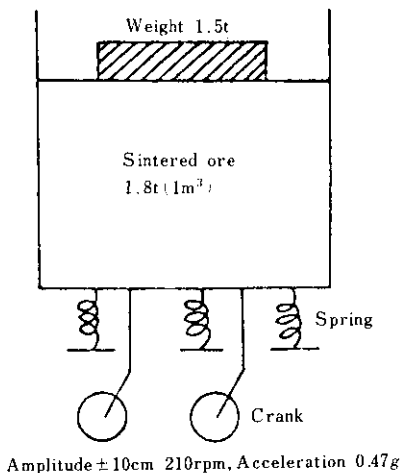


Fig. 3 Rolling test equipment

の性状劣化は高塩基度(CaO/SiO₂=1.93)と高生産率(1.96t/m²・h)により成品中にFree-CaOが多く残存したためである。

PSの原料、操業、品質の設定に当っては上記状況を十分考慮し、ウェザリングによる性状劣化を極力さけることとした。

3-6 Kwinana 焼結鉱の輸送試験

上記粉化実態調査結果をもとに、総合的な粉化状況を把握するため、オーストラリアBHP社Kwinana工場より焼結鉱を輸入し粉化調査を実施した。

輸送試験は2万トン級の船を利用して6回実施した。Table 3に各工程での粉化状況を示す。

この結果、揚地と積地の粉率(-5mm%)の差の平均は6.8%であり、高炉における最終粉率は25.5%であった。

また輸送時の船内での焼結鉱の荷崩れによる粉化は認められなかった。

Table 2 Degradation due to rolling of ship

-5mm content (%)	First				Second			
Before rolling (a)	7.45	7.92	8.45	Ave. 7.94	3.47	3.69	3.96	Ave. 3.71
After rolling (b)	8.53	8.82	8.95	8.77	4.0	4.1	4.3	4.13
(a) - (b)				-0.83				-0.42

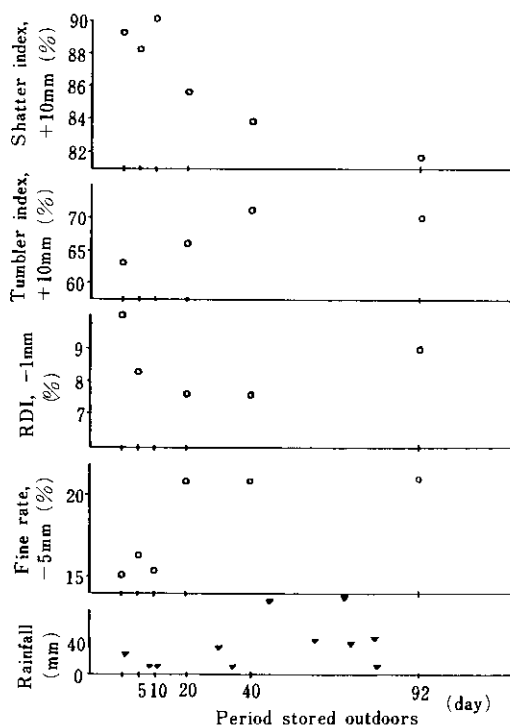


Fig. 4 Changes of sintered ore qualities by weathering at Chiba Works

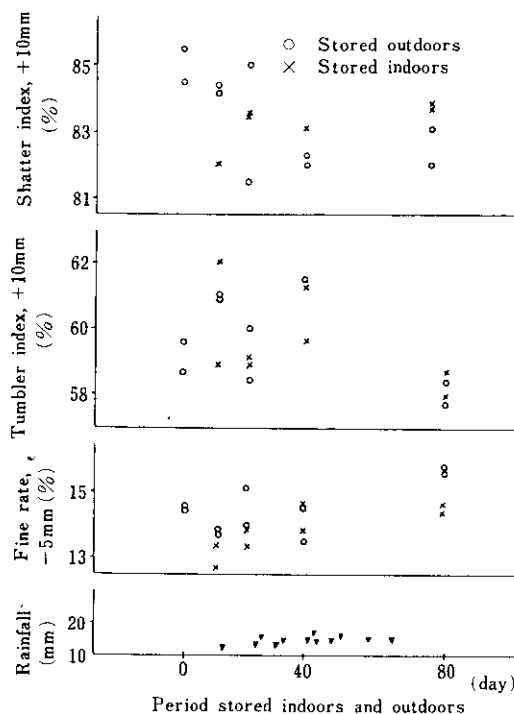


Fig. 5 Changes of sintered ore qualities by weathering at Mizushima Works

Table 3 Degradation by transportation test of Kwinana (Australia) sintered ore

	First	Second	Third	Fourth	Fifth	Sixth	Average
Load (t)	21 994	20 492	20 393	19 662	22 840	21 118	21 083
Hold depth (m)	14.0	10.8	10.8	10.8	16.6	16.6	13.3
-5mm (%)	Loading point at Kwinana (a)	11.1	11.3	7.3	7.0	7.0	8.5
	Unloading point at Chiba (b)	17.3	16.3	13.1	11.9	18.1	15.3
	(a) - (b)	6.2	5.0	5.8	4.9	11.1	6.8
	Total fine rate	24.5	32.1	22.1	20.2	29.5	25.5

3-7 粉化防止対策の検討

3-7-1 ベルトコンベヤジャンクションにおける粉化防止

上記一連の粉化実態調査をもとに、ベルトコンベヤ輸送時の粉化防止に最も有効なジャンクション部の改善について検討した。

(1) シュート形状

コンベヤジャンクション部の落差が一定の条件でシュート形状の差による粉化の違いを調査した。その結果、シュートの形状により明らかに粉化の差が認められ、階段式シュートが最も粉化の少な

いことがわかった。Fig. 6 に試験結果を示す。

(2) 特殊プーリ

シュートの設計において、ヘッドプーリの径、位置が重要な因子になる。普通のプーリに替わる、粉化の減少に有効なプーリの開発を検討した。

(a) マグネットプーリ

焼結鉱の着磁性に着目しマグネットを利用する方法について検討した。リフマグによる焼結鉱の吸着テストの結果、自重 2 250kg のマグネットに焼結鉱が 152kg 吸着した。この時の焼結鉱の層厚は 150~200mm であり 1 500~2 000 ガウスあれば十分吸着することがわかった。

以上の結果をもとにマグネットプーリを製作、

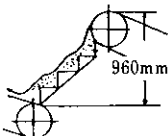
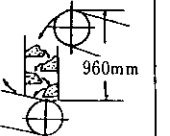
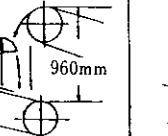
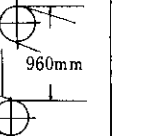
Chute	Slide	Ladder	Stone-box	Ordinary type
Sectional view				
(%) -5 mm/time	0.060	0.186	0.310	0.404

Fig. 6 Sinter degradation at junction point

1 000t/h 規模の閉回路プラントを設置して実験を行った。この結果、自由落差を 1 m まで小さくする事ができ、粉化は従来の $1/3 \sim 1/4$ に低下した。

Fig. 7 にマグネットプーリの概念図を示す。

(b) 小径プーリ

径 400mm の小径プーリを取付けて粉化テストを行った結果、マグネットプーリとはほぼ同等の結果を得た。小径プーリを使用する場合、ベルトの曲げが強くなるためベルトの劣化が生ずる。メーカーと共同で特殊ベルトを開発し、プーリ径 450

mm までは長期の使用が可能となった。

3-7-2 船積み時の粉化防止

船積み時の粉化防止対策として、当初、構造の簡単なラダーシュートを開発したが、その後、高速度カメラの使用によりシュートの通過速度と粉率の関係を把握し、さらに粉化の低減が可能であるスライドシュートを開発した。Fig. 8 に各シュートの構造と、船 (130 000DWT) に設置を仮定した場合の推定粉率を示す。

以上の検討により、各種粉化対策を実施した場合の高炉槽下における最終粉率 (-5 mm %) を、当初目標として 20 %, 最終の目標として 16.5 % に設定した。

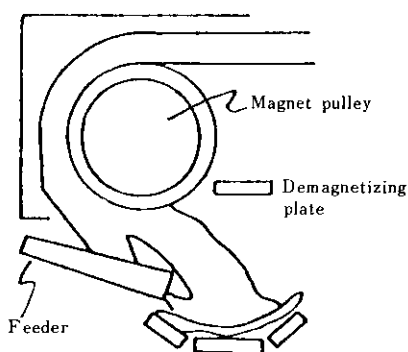


Fig. 7 Schema of belt conveyor chute using magnet pulley

3-8 粉化防止対策の実施

3-8-1 設備上の対策

粉化防止対策として実施した主な項目を以下に示す。

- (1) 落下回数を少なくするためにレイアウトを単純化してベルトコンベヤの連数を少なくした。
- (2) コンベヤ・ジャンクション部の落差を減少す

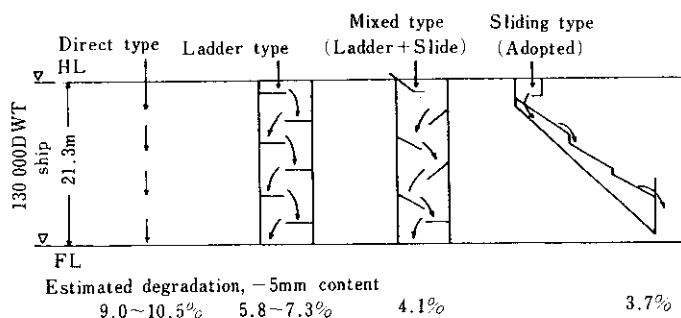


Fig. 8 Estimated sinter degradation during loading with different types of chute

るため小径プーリを採用し、駆動モータもヘッド部から外した。

(3) スタッカー・リクレーマーによる焼結鉱払出しは機内ホッパーを経由せず、直接ブームコンベヤからトリッパーに供給する方式をとって落差を小さくした。(Fig. 9 参照)

(4) 船積み時の粉化対策としてスライドシュートを船艙内に設置した。

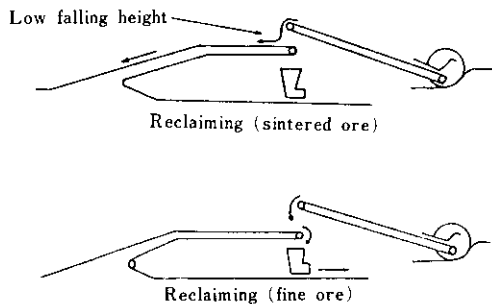


Fig. 9 Reclaiming method of sintered ore by a reclaimers

3-8-2 操業上の対策

以下に操業上の対策を示す。

(1) 船への積み込み作業は Fig. 10 に示すように、

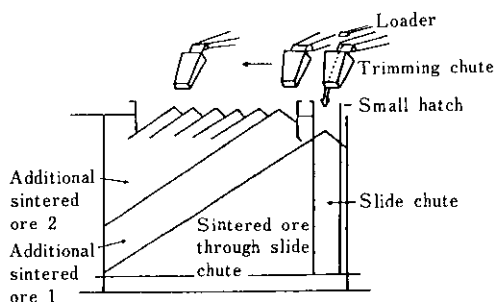


Fig. 10 Ship loading method

焼結鉱がシュートの上端に達するまでシュートを利用し、以後ローダーを移動して焼結鉱の上に追い積みする方式を採用した。

(2) ヤード卸し時にスタッカーブーム位置を極力下げ、落差を減少した。

(3) 高炉貯鉱レベルの管理を強化し、貯鉱容量の70%以上を常に維持することにより落下距離を減少した。

4. 焼結工場稼動後の操業推移と焼結鉱粉率状況

Fig. 11 に操業開始 (1977年5月)以降の操業状況と粉率の推移を示す。

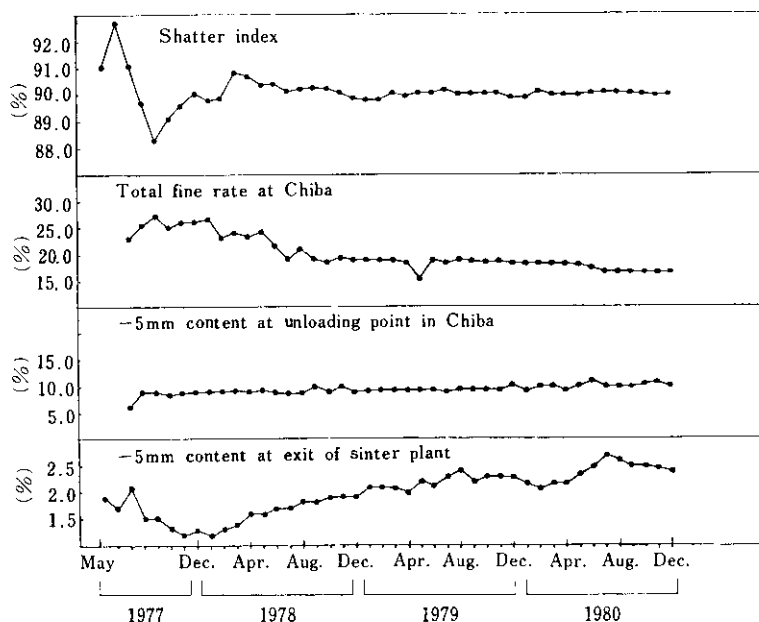


Fig. 11 Transition of SI and fine rate

焼結鉱の品質については、所期の設定通り、高シャッター強度、低粉率（-5mm%）を達成維持しており、優れた焼結鉱性状が得られている。

また粉率については、操業当初26~27%で推移した。これは高炉槽下篩の篩目を、高炉炉況との関係より、計画の5×30mmに対して6×30mmとしたためである。1978年2月に5×30mmに変更し、粉率は23~24%に低減した。

その後、さらに粉率の低下を図るため高炉槽下篩の篩目変更、バースの増強、小塊焼結鉱の回収等を実施し、最終の目標粉率16.5%を達成した。

4-1 バースの増強

千葉製鉄所は3地区（本工場、西工場、生浜工場）からなっており、PSの荷揚げは水深の大きい西工場で行われていた。そのため西工場に位置する第6高炉へ至るベルトコンベヤの落差合計は60.4mと比較的小さいが、本工場にある高炉迄のベルトコンベヤの落差合計は119.5mと大きく、本工場の高炉におけるフィリッピン焼結鉱の粉率は西工場のそれに比較して常に約5%高目で推移していた。そのため、石炭荷揚げ兼用バースとして本工場にJバース（水深18m）を増強し、本工場の高炉に対しては直接Jバースからの荷揚げを可能とした。その結果本工場での粉率は西工場とほぼ同等となった。

4-2 小塊焼結鉱の回収

第2、第5高炉は槽下篩に櫛歯の篩目（3×7×25mm）を使用している。このため槽下篩の篩

下（返鉱）には+5mmサイズが約20%程度も含まれているので、返鉱中より+5mmサイズの回収をはかった。

回収フローをFig. 12に示す。返鉱をヤード篩で再度篩分けて+5mmサイズを回収し、槽下篩の設置されていない貯鉱槽に装入して単一銘柄として使用する方式を取った。Table 4に返鉱再篩における篩上、篩下の粒度分布を示す。返鉱中の+5mmはこの方式により80%程度回収可能である。

しかし、上記方式で回収した小塊焼結鉱中には約50%の-5mm分が含まれているため、使用に際しては、ヤードに試験用に設置している実機大のベルレス装入装置により高炉炉頂装入分布の予備実験を行った。

その結果、高炉通気性を阻害することなく小塊焼結鉱を使用できる最適装入パターンを見出し、実炉への使用を図っている。この小塊焼結鉱の使用によりPSの粉率は約0.5%低下した。

Table 4 Size distribution of oversize and undersize of re-screened undersize sintered ore

	Size distribution (%)				Rate(%)
	+5 mm	5~2 mm	2~1 mm	-1 mm	
Undersize sintered ore	20.6	48.0	14.6	16.8	100
Rescreened oversize (small size sintered ore)	51.0	45.0	1.6	2.4	33.1
Rescreened undersize	5.5	49.5	21.0	24.0	66.9

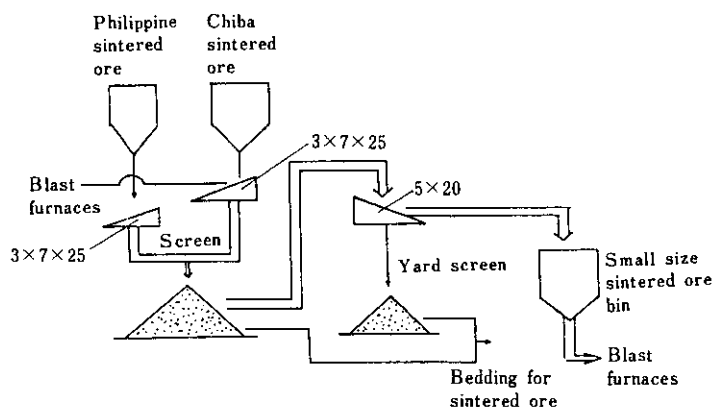


Fig. 12 Flow for recovery of +5mm sintered ore in undersize sintered ore

5. フィリピン焼結鉱の使用状況

Table 5に最近のPSの性状を示す。前述の如く焼結原料はその大部分がヘマタイト系であるため成分的に低FeOであり、この結果、良好な被還元性を示している。また粉化防止の観点から高シヤッター強度を維持している。

RDIに関しては管理基準(38%以下)に対してかなり低めに推移しており、総じて非常に優れた性状の焼結鉱と言える。

PSの70%~80%は千葉製鉄所最大の第6高

炉で使用されている。Table 6に1980年の第6高炉における出銑量、燃料比、装入物配合推移を示す。

PSはこの高炉の主要原料として高炉安定操業と低燃料比に大きく寄与している。特に1980年3月は燃料比418.4kg/t-pigの世界記録を樹立したが、この時のPS配合比は56%と高くこの記録を支えた。

6. 結 言

海外に焼結工場を建設するにあたり、最大の間

Table 5 Operational data of Philippine Sinter plant

		'80 Oct.	Nov.	Dec.	'81 Jan.	Feb.	Mar.
Chemical composition (%)	T.Fe	57.48	57.43	58.20	57.57	57.73	57.50
	SiO ₂	5.99	6.04	5.75	6.02	5.96	6.05
	Al ₂ O ₃	1.75	1.92	1.65	1.98	2.13	1.81
	CaO	9.26	9.13	8.44	9.14	8.99	9.53
	MgO	1.03	0.99	0.77	0.68	0.59	0.63
	FeO	4.90	4.90	5.06	4.91	4.74	5.14
Size distribution* (%)	SI (%)	90.0	89.9	90.0	90.0	89.9	90.0
	RDI (%)	32.3	30.4	26.4	28.1	32.3	28.4
	RI (%)	69.2	65.0	66.0	67.8	66.7	69.7
	+50mm	2.8	2.9	2.5	2.1	2.8	2.8
	50~25mm	14.6	13.4	13.9	14.1	14.4	12.4
	25~10mm	43.1	39.9	43.6	43.8	43.3	40.0
	10~5mm	29.1	32.5	30.0	29.9	28.2	33.6
	-5mm	10.4	11.3	10.0	10.1	11.3	11.2
	≦mm	17.6	16.9	17.2	17.0	17.5	16.6

* Sample taken during unloading at Chiba Works

Table 6 Operating results of Chiba No.6 BF

1980 month	Production (t/d)	Fuel ratio (kg/t-pig)			Beneficiated ore			Total (%)
		Coke	Oil	Total	Sinter (%)		Pellet (%)	
					PSC	Chiba		
Jan.	10 227	399.5	33.1	432.6	41.2	43.1	3.9	88.2
Feb.	10 301	403.5	32.9	436.4	40.5	44.1	3.9	88.5
Mar.	10 310	381.0	37.4	418.4	55.8	37.8	3.1	96.7
Apr.	10 375	404.1	34.1	438.2	44.9	40.1	3.0	88.0
May.	10 279	401.3	35.9	437.2	44.1	40.8	3.3	87.3
June.	10 279	410.8	32.5	443.3	43.2	39.1	3.3	89.3
July.	9 700	417.2	26.4	443.6	45.0	41.0	3.3	89.3
Aug.	9 805	426.0	19.6	445.6	43.1	41.7	3.5	88.3
Sept.	10 248	426.2	19.9	446.1	44.2	40.2	3.4	87.8
Oct.	9 473	426.0	18.9	444.9	45.8	38.9	3.4	88.1
Nov.	9 153	436.9	16.4	453.3	36.9	45.7	3.5	86.1
Dec.	8 435	460.4	0.5	460.9	37.2	43.2	2.9	83.3

Remarks: Inner volume 4 500m³, bell-less type

題は焼結鉱の粉化であった。工場建設に先立ち、焼結鉱粉化の実態を調査するとともに、設備および操業上の粉化防止対策を実施した。また、焼結工場稼動後もバースの増強、返鉱中の+5mmの回収をはかり、粉率は当初の粉率目標(20%以下)を大幅に下まわって最終目標値16.5%を達成した。またフィリピン焼結鉱は常温強度および被還元性等が優れており、千葉第6高炉の主要原料として高炉の安定操業および低燃料比に大きく寄与している。

参 考 文 献

- 1) 川崎製鉄㈱：海外焼結工場の計画建設操業について、日本鉄鋼協会第54回製鉄部会、(1979)、8-20講
- 2) J.Kurihara：“Sintering Operation of Philippine Sinter Corporation and Performance of PSC Sinter at Chiba Works”, AIME 39th Iron-making Conference, (1980), Washington U.S.A.
- 3) T.Oshima：“On the minimization of the degradation of sintered Ore during transportation”, 3rd. International Symposium on Agglomeration, (1981), Nürnberg West Germany