

Philippine Sinter Corporation in 18 Years of Operation



高橋 博保
Hiroyasu Takahashi
千葉製鉄所 製鉄部製
鉄技術室 主査(課長)**



ガブリエル エバンゲリスタ
Gabriel Evangelista
フィリピンシンターコ
ーポレーション ミン
ダナオ焼結工場 取締役
副社長工場長



田中 隆夫
Takao Tanaka
フィリピンシンターコ
ーポレーション ミン
ダナオ焼結工場 取締役
技師長

要旨

フィリピン焼結工場 (PSC) は川崎製鉄の 100% の子会社として設立し、1977 年に操業を開始した。設立にあたっては、設備および操業上の粉化防止対策を実施した。稼動後の粉率も川崎製鉄での小塊焼結鉱の大量回収方法および高炉での大量使用技術の確立によって、大幅に低下し良好な結果を得ている。1979～1980 年の PSC 焼結の大量使用テストで、燃料比低下に大きな貢献をすることがわかった。さらに 1987 年 7 月以降、千葉製鉄所第 5 高炉では焼結鉱全量を、PSC 焼結で使用し、優れた品質と安定供給が維持されている。PSC での操業改善、設備改善、さらに設備の予防保全、高生産率操業の結果、1990 年には生産量 500 万 t/年を達成した。工場運営面でも日比混成の管理体制により、環境管理、安全衛生管理、小集団活動等比国内で抜群の成績をおさめ、現地での指導的役割を果たしている。

Synopsis:

Kawasaki Steel Corporation (KSC) established Philippine Sinter Corporation (PSC) in 1974 as an overseas subsidiary with 100% foreign equity. The sinter plant was inaugurated on May 10, 1977 in Villanueva, Mindanao Island, Philippine. Degradation during handling is kept at a minimum due to countermeasures adopted. After unloading PSC sinter at Chiba Works, two steps of screening are done at the yard and under the blast furnace bins. Fine-ore ratio is reduced year by year from 24% to 10% by the recovery process of small sinter (+3 m/m ~ -5 m/m) and by the small sinter charging system for the blast furnace as the burden material. Chiba No.6 BF achieved a low fuel ratio of 429 kg/t with 100% agglomerated ore in July 1979 and 418 kg/t (world record) in March 1980. In these periods, PSC sinter ratio was as high as 54% and 56% respectively. In Chiba No.5 BF, PSC sintered ore is a main source in place of domestic sinter, i.e., about 70% of the total burden material since July 1987. These results mean that PSC sinter has good quality, and keeps steady supply at any time. PSC has made the efforts of achieving cost reduction, increasing productivity and constant availability and finally attained an annual production of 5 million tons in 1990. As to plant management, PSC is a model company in the following areas: Environmental control, QCC, industrial safety, maintenance, public and community relations, all achieved by mixed (Japanese Pilipino style) management.

1 緒 言

千葉製鉄所の粗鋼年産 850 万トン体制の一環として、1970 年代前半に第 6 溶鉱炉が、第 3 製鋼工場が、千葉西工場に建設され、それに対応して焼結工場を比国 Mindanao 島に建設することになった。川崎製鉄の場合、かつて比国 Larap にペレット製造の実績があったので、この計画を進める下地があり、一方比国自身北部 Mindanao を工業地帯として開発を予定しており、一貫製鉄所設立の希望があったので、この焼結工場もそれとの調和をはかることによって応分の協力が期待できると考えられた。

比国 Mindanao 島北部の Villanueva に年産 500 万トンの焼結工場を建設し、その製品を川崎製鉄の製鉄原料に充当して原料の安定確保の一助とするために 1974 年 12 月比国法人 Philippine Sinter

Corporation (PSC) が設立された。それに先立って 1974 年 8 月整地を開始し、1976 年末に焼結工場が完成し、1977 年 4 月から順調に操業を継続し、1992 年末には焼結鉱の累積生産量は 6370 万トン、石灰石の累計産出量は 1130 万トンに達した。

ここでは、PSC の 18 年にわたる歩みについて報告する。

2 海外焼結工場

2.1 フィリピン焼結プロジェクトの背景

2.1.1 比国 (ミンダナオ地区) 選択の理由

- (1) 世界の大部分の鉄鉱石の日本への輸送途上に位置するため、輸送距離が増えない (Fig. 1)。また自由な原料配合が可能である。
- (2) 比国と川崎製鉄の歴史的関係。Pellet Corporation of the Philippines の工場建設および操業を行い人的なつながりが深い。

* 平成 5 年 6 月 27 日原稿受付

** 現本社 人事部付出面(株)セフコ企画部長

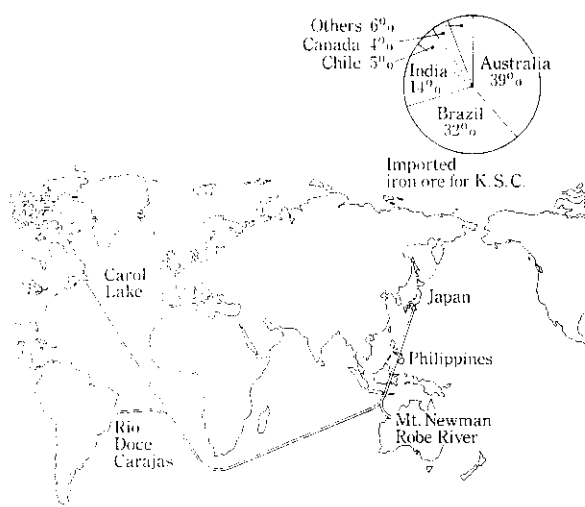


Fig. 1 Main shipping route to Japan from the sources

- (3) 気候が安定し（台風の進路から外れ）、港湾条件が良い（水深25mで30万t船舶入港の港湾建設可能）。
- (4) 石灰石（ボホール島）、ドロマイト（セブ島）等国内副原料がある。
- (5) 電力、労働力が豊富かつ安定。
 ミンダナオ地区：電力単価 ¥1.77/kW・h（1974年）
 千葉製鉄所：電力単価 ¥6.00/kW・h（1974年）
- (6) 比国政府の政策と合致している一北ミンダナオ開発計画（用地入手条件一焼結工場用144ha；PHIVIDECONより借用）。

2.1.2 プロジェクトにおける川崎製鉄とPSCとの協力体制

地域の振興を図るために以下の方針が決定された。

- (1) 地域経済との調和
- ・建設と操業資機材の現地調達
 - ・建設、操業要員の現地採用
 - ・焼結および関連技術の現地への技術移転
 - ・将来における現地資本の参画
- (2) 地域社会との調和
- ・外国資本の社会的責任の認識、現地社会との友好関係の樹立

2.2 海外焼結工場の課題（焼結鉱の粉化防止対策）¹⁻³⁾

1970年代初頭、高炉の装入原料としての自溶性焼結鉱の使用比率は高炉操業成績を良くするため増加の傾向をたどり、焼結鉱の供給源の確保手段として、海外焼結工場の建設も実行可能な選択の一つとなっていた。この際、最も重要な課題は、焼結鉱の輸送中の粉化防止対策である。

2.2.1 焼結鉱粉化の実態調査

焼結鉱の粉化は各段階で発生すると考えられる。

焼結工場 ⇒ ヤード貯鉱 ⇒ 船積 ⇒ 海上輸送 ⇒ 荷揚 ⇒ ヤード貯鉱 ⇒ 篩分 ⇒ ホッパー貯鉱 ⇒ 溶鉱炉

この長い輸送工程のなかで粉化発生の要因は①ベルトコンベヤ、シュートなどで落下するときの衝撃による粉化、②ホッパー内、振動篩等で転動摩擦による粉化、③ヤード貯鉱、船積の状態での圧縮、またはヤードで雨水等による風化によると考えられる。

(1) 垂直落下による衝撃粉化

落下衝撃に弱い焼結鉱はコンベヤ、ジャンクション部を通過する際の粉化は避けられないが、落下条件（落下の大きさ或いは落下の繰返し回数）によって粉化がどのように変化するかを

調査した。同じ合計落差を落下させる場合、落下距離9mで1m当たりの-5mmの発生は0.63%/mで、落下距離を2mにした場合は0.42%/mとなり分割落下の方が粉化が少ないことが判明した。

また落下床面の状態も粉化に大きな影響があり、鉄板上と焼結鉱上とでは、焼結鉱上の方が粉化が少なかった。

(3) 揺動による粉化

焼結鉱を船で海上輸送する際の粉化を推定するため、簡単な模型による揺動実験を行った。焼結鉱1.8tを容器に入れ、1.5tの重量を載せ、振幅10cm、回転数210rpm、加速度0.47Gの装置で10³回（日本ーオーストラリア間の航海に相当）振動させた後の粒度変化を測定したが、-5mmの増加は0.4~0.8%と比較的少なかった¹⁾。

(4) 静置状態での粉化

ヤードでの劣化の状況を調べるため焼結鉱を屋内及び屋外に長期間放置して調査したが、顕著な劣化は認められなかった。

2.2.2 焼結鉱粉化防止のための実験

(1) ラダーシュートの効果

衝撃による焼結鉱の粉化が大きく、摩擦による粉化が小さいことを確認するため、10mの落差を自由落下する場合とラダーシュートを利用して落下させた場合を比較した。その結果ラダーシュートを使用した場合の方が粉化が少なく、焼結鉱は衝撃力に弱く、摩擦に対しては比較的強いことを示している（Table 1）。

Table 1 Degradation in loading test

Condition	Feed rate (t/h)	-5mm content (%)		
		Before loading (a)	After loading (b)	(b) - (a)
Direct type	2 000	1.58	4.61	3.0
Ladder type	2 000	1.40	1.68	0.3

(2) 海外焼結工場から高炉までのハンドリングによる粉化実験
 BIIP社Kwinana工場から日本までの焼結鉱輸送テストを6回にわたり実施した。この実験で焼結鉱強度と粉化の関係を調査すると共に特定の船舶にラダーシュートを取付け、ラダーシュートのない場合と比較した結果、ラダーシュートの効果に期待がもてた。

(3) シュートの形状の違いによる粉化の差

これまでに得られた知見を活かしベルトコンベヤジャンクション部の形状を検討した。落差が一定でシュートの形状が異なることが粉化にどの程度の差を生ずるかを調べるため、ベルトコンベヤ4機を閉回路に組み、4種類（スライド、ラダー、ストンボックス、通常方式）のシュートを用いて試験した。その結果シュート形状の違いによりスライド型が一番粉化が少なく明らかに差があることが分かった。

2.2.3 PSCにおける粉化防止対策

焼結鉱の粉化防止対策として焼結強度を上げるのが有効であることから、PSC工場出側の焼結鉱の品質規格を次のように定めた。

シャッター強度	88% 以上
粉率（-5 mm）	3.0% 以下
RDI（-3 mm）	38% 以下

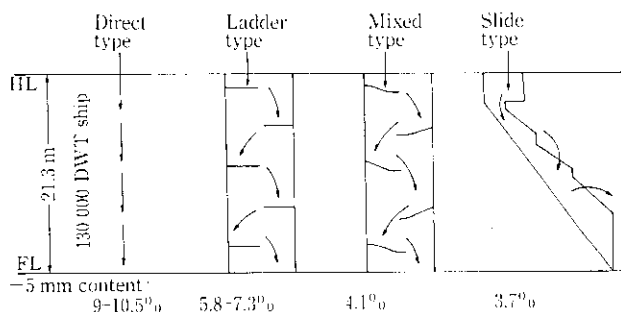


Fig. 2 Estimated sinter degradation during loading with different type of chute

FeO 6.5%以上

操業面では強度確保の面から生産率を低めに設定し、設備面では各種実験の結果から次のように計画した。

- (1) 落下回数を少なくするために、ベルトコンベヤーの連数を出来るだけ少なくした。
- (2) コンベヤージャンクション部を低落差にするため、ヘッドプーリーには小径のプーリーを使用し、駆動モーターもヘッド部から外した。
- (3) シュート部はスライド型、ラダー型を用い、焼結鉱によるストンボックス方式とした。
- (4) スタッカークレーマ (SR-1) による焼結鉱払出は機内ホッパーを経由せず、直接ブーム BC 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。
- (5) 船積時の粉化防止として当初構造が簡単なラダーシュートを開発し、その後改善をすすめて、スライド型シュートを開発して本船に取付けた (Fig. 2)。

3 設備計画および工場建設¹⁾

3.1 生産および原料供給計画

原料の鉄鉱石は、豪州、ブラジル、カナダの輸入鉱、石灰石は、フィリピン・ボホール島産を使用し、粉コークスは、日本または豪

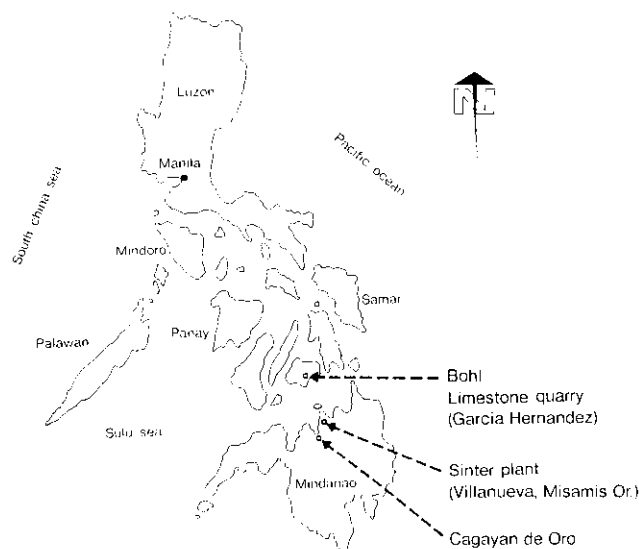


Fig. 3 Location of the plant and mine

州から輸送することとした。鉄鉱石運賃の低下を図るため 15~25 万トン型の大型船を使用することとした。

ボホール島の石灰石鉱山開発は、川鉄鉱業が行い、年産 90 万トンの規模である (Fig. 3)。

3.2 工場立地

工場の所在地は比国 Mindanao 島北部 Misamis Oriental 州 Villanueva (東経 124°45', 北緯 8°35' 付近) にあって約 144 ha を PHIVIDEC 工業開発公社から借地した。立地についての主要点を示す。

- (1) 日本向けの南まわりの鉄鉱船の航路に近く大きな迂回がないため海上運賃が割安である。
- (2) 工場北側はマカハラ湾に面し、気象海象が良く台風の直撃が皆無であり、かつ水深が深く大型船の航行、離接岸に適している。
- (3) タグロアン川に沿って地耐力のある広大な平地と豊富な用水が得られる。
- (4) 隣接したイリガン地区から水力発電による電力の供給が受けられる。
- (5) 海路 140 km のボホール島から良質の石灰石が得られる。

3.3 工場配置および設備計画

工場の配置を Fig. 4 に、設備仕様を Table 2 に示す。工場の配置の設備計画にあたって次の点を配慮した。

- (1) 設備およびレイアウトは出来る限り単純化、合理化を図り、また将来の増設拡張が可能な配置にする。
- (2) 焼結鉱粉化防止の見地から、成品輸送用のベルトコンベヤーの連数を極力少なくし、各機械にも改善工夫を払う。
- (3) 実績のある設備機械を導入する。
- (4) 公害防止、環境保全に努める。

3.3.1 港湾設備

原料の受入れ、成品の積出しの両機能を持ち、25 万トン級の大型船の着岸ができるよう水深 23 m (陸側は min. 7 m) 岸壁長 351 m のシーバース岸壁とし、アンローダーはローブトローリー式 1800 t/h を 2 機設置し、シップローダーはシャトル俯仰式 6000 t/h を 1 機設けた。

3.3.2 貯鉱場

鉱石ヤードは、50 m 幅×900 m 長を 4 面設け、ヤード機械はスタッピングとリクレーミングの両機能をもったスタッカークレーマ (SR) を 2 機設置し、スタッピング能力は各々 3600 t/h、リクレーミング能力は、SR-1 が 6000 t/h、SR-2 が 1500 t/h とした。焼結鉱積付用として 800 t/h シングルウィングスタッカーを 1 機設けた。

3.3.3 焼結設備

焼結工場の規模は年産 500 万トンとし、常温強度の高い焼結は粉化防止に効果的であり、生産率をやや低目の 1.35 t/h・m² と設定し、火格子面積を 450 m² にした。パレット幅は 5 m、層厚 480 mm、クーラーは押込型円形 (400 m²) とした。

3.3.4 電気計装設備

熱帯に位置するためモータ等の冷却効率を十分考慮し、日本の国内規準と Philippine Electrical Code に準拠した。電気計装設備もできるだけ単純化をはかり、機器設備は実績のあるものを選び、将来の予備品、消耗品調達を考慮して部品の互換性に留意した。

3.3.5 分析設備

分析設備の選択に際して、熟練者が少ないので、操作が簡単で信

Fig. 4 Sinter plant layout

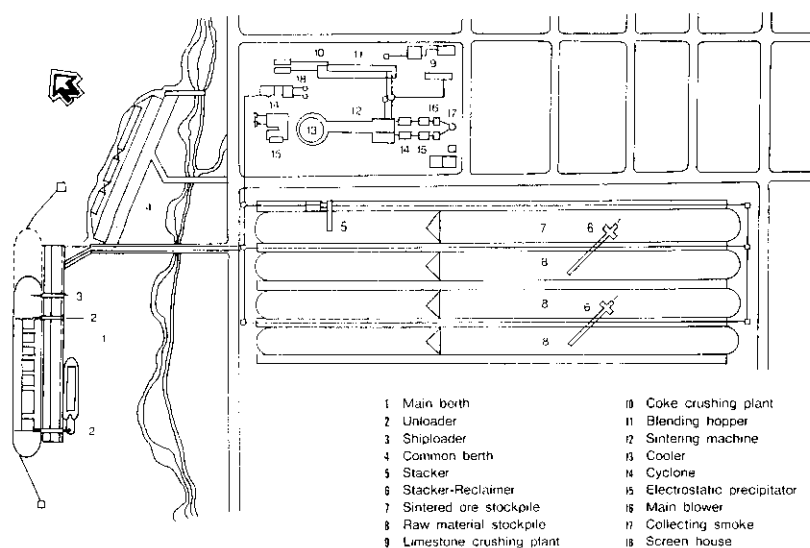


Table 2 Specifications of PSC sinter plant equipment

Equipment	Specifications
Main berth	Mooring depth, -23m ; Berthing length, -351m ; can berth vessels from 6 000 DWT to 270 000 DWT
Vessels	2-tugboat for docking 2-tug pusher boat for ferrying 6 000 DWT limestone barge 2-6 000 DMT barges 2-line boats for line handling
Unloader	2-units, rail mounted rope trolley bucket type 1 800 t/h
Shiploader	1-unit, rail mounted luffing-shuttling, 6 000 t/h
Storage yard	3-50m×900m length, for iron ore, coke breeze and limestone 1-50m×900m length, for sinter product
Stacker-reclaimer	1-unit 3 600/6 000 t/h, 1-unit 3 600/1 500 t/h
Wing stacker	1-unit single wing, can luffing, 800t/h
Blending hopper	12-units, 600m ³ capacity each with individual belt feeders and contant feed weighers.
Drum mixer	1-unit, 5m dia×22m long, capacity 1 300t/h
Sintering machine	1-unit, Dwight Lloyd type, 5m wide, 450m ² grate area, 480mm bed height, ignition furnace with 3 line ×14 oil burners
Sinter cooler	1-unit, circular type, 43m dia, 400m ² bed area
Cooler fan	3-units 15 000m ³ /min, at 400mm aq.
Main blower	2-units, double suction type, centrifugal, 18 000m ³ /min at 150°C, -1 500mm aq, 6 500kW
Sinter screent	2-lines×3 vibrating screem ; 3m×7m ; screen aperture, primary 20mm, secondary 10mm, tertiary 5mm
Dedusting	
Waste gas cyclone	4-banks×5 units/bank, dry type, 3.4m dia×14m height, 36 000m ³ /min
Waste gas electrostatic precipiator	2-banks in series with cyclone, Lurgi type, 18 000m ³ /min at 150°C each
Room dedusting cyclone	2-banks of 4 units, dry type, 3.5m dia×14m height
Room dedusting electrostatic precipiator	1-unit in series with cyclones, Lurgi type, 16 000m ³ /min
Rod mill for coke grinding	2-units, dry type mills, 2.7m dia×4.5m long, 18rpm, 400kW, peripheral discharge
Impact breaker for limestone crushing	1-unit, primary crusher, 140t/h, 50-300mm charge 2-units, secondary crusher, 125t/h, product size -3mm 60%
Power receiving	
Receiving sub station	70MVA, 138kV, receiving voltage down to 33.5kV.
Main transformer bank	33.5kV to 3.3kV 1-unit, 17.5MVA (6.6kV) 3-units 15MVA (3.3kV)
Secondary transformer bank	3.3kV to 440V ; 5-units, 2 000kVA ; 1-unit, 1 000kVA ; 1-unit, 750kVA

頼性迅速性のある機器分析を採用し、試料採取設備は電動式サンプラーを設置するにとどめた。

3.3.6 環境対策

現地の環境対策のため、主排風および環境集塵設備はマルチサイクロンと電気集塵機を併用し、送排風機等の騒音源にはサイレンサーを設置した。原料ヤードの粉塵飛散防止は散水車を用い、雨水の排水は有孔ヒューム管による濾過と、沈澱池方式を採用した。

3.4 石灰石鉱山

焼結用石灰石の新規鉱山を自社開発する目的で調査を行い、Bohl 島 Garcia Hernandez 地区の開発を進めた。鉱床は東西 3 km 南北 1.2 km にわたり鉱量は約 6 億トンと推定される。日本産石灰石に比べ気孔率が高く（軟質）、化学組成は CaO が 54% 以上ある。設備は当初生産規模 90 万トン/年でスタートし、将来 200 万トン/年まで拡張可能とし、切羽造成、鉱山道路、1 次破碎設備（-150 mm）、貯鉱設備、輸送設備、港湾設備（水深 12 m、3 万トン級船舶）、船積設備（1 000 t/h 船積機）等を計画した。なお当地は無電力地域のため自家発電設備を設けた。

3.5 建設工事

建設工事に際し日本での製作と現地調達を明確にしておく必要があり、かつ技術的、経済的な範囲で現地調達をはかった。原則として、機械、電気計装品は千葉、水島製鉄所で実績のある設備を選び建設技術の指導管理のしやすさを配慮した。一方現地で調達するものとして、砂、砂利、セメント、油脂、酸素、アセチレンガス、小径の鋼管、棒鋼、一部の電線等の資材と焼結工場建家、配合槽、篩分室、及び製品の一部を現地加工とした。日本のメーカーとは、機器の供給契約の他に建設工事の技術指導のため、エンジニア、スーパーバイザー契約を結び、現地の建設業者とは PSC が直接契約し、その能力特徴を考慮して優先割付を行い、工事をいくつかの地区に分割し、一貫性のある責任施工を原則とした。建設は、1974 年 11 月に始まり、1976 年 12 月に完了した。実際の操業開始は、1977 年 4 月である。

4 操業実績および稼働率推移^{4,5)}

4.1 焼結鉱および石灰石の生産推移

Fig. 5 に、1977~1992 年の焼結鉱・石灰石の生産量推移を示す。

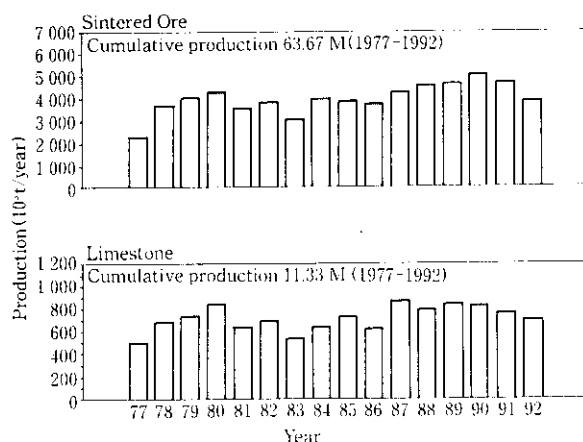


Fig. 5 Sintered ore and limestone production

生産量は、基本的には川崎製鉄によって決められている。

1987 年まで、焼結鉱の生産量は年間 400 万トンであったが、それ以降、千葉 3 焼結工場の操業停止による、増産要求に対し、生産率と稼働率のアップを図り、生産量は、1990 年には年間 500 万トンに達した。

1977~1992 年の累計生産量は、6 370 万トンである。焼結鉱は、主に千葉・水島製鉄所に輸出し、一部、日本の他ミルや外国にも出荷している。一方、石灰石の生産は、年間 60~80 万トンであり、累計生産量は、1 130 万トンである。

4.2 原料配合と化学成分

原料の鉄鉱石と炭材は川崎製鉄が支給し、石灰石等の副原料は PSC が購入する方式を取っている。

Table 3 に、焼結鉱の代表配合と化学成分を示した。

Table 3 Typical raw material blend and chemical composition of sintered ore

Blending ratio	%	Chemical composition	%
Brazil	42.1	Total	56.6
Australia	40.0	FeO	5.0
Canada	10.0	SiO ₂	5.8-6.0
Others	8.0	Al ₂ O ₃	1.6
Total	100.0	MgO	1.5
Limestone	18.0		

4.3 原料荷揚げおよびヤード操業

PSC の主原料岸壁は、水深 23 m で 25 万トン級の鉄鉱石の荷役実績はアンローダー 2 基で 2 500 t/h である。

焼結鉱の船積みは、能力 6 000 t/h に対し、ホールドがえにより平均能率は 3 800 t/h である。

4.4 焼結工場の操業と焼結鉱の品質

4.4.1 操業実績

Fig. 6 に、1977~1992 年の生産率、原料層厚、パレットスピー

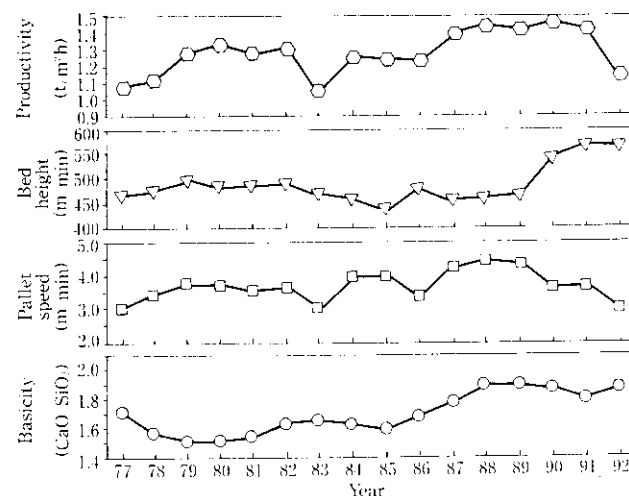


Fig. 6 Transition of operation indices

下、塩基度の実績を示した。生産率は、日本鉄鋼業の景気に左右され、好況時の増産、不況時の減産により増減している。1987 年以降は千葉製鉄所第 3 焼結工場停止による、フィリピン焼結鉱の引き取り量増で生産率はそれ以前の水準よりアップしている。原料層厚は 1990 年に 460 mm から 560 mm に改造し、コークス原単位低減をはかるため操業上、可能な範囲で上げるようにしている。一方それに伴いパレット速度は低下方向である。焼結鉱の塩基度は川崎製鉄の高炉装入原料の処理鉱比によって決まり、川崎製鉄の指示で焼結鉱の配合比が高い時は塩基度を下げ、低い時は上げて管理している。

4.4.2 各種原単位の推移

Fig. 7 に、1977～1992 年の炭材、点火炉燃料、電力原単位の実績を示した。ヘマタイト系鉄鉱石を使用しているため、炭材原単位は、約 60 kg/t-sinter で推移している。1990 年から、ベトナム産の無煙炭の使用を開始した。点火炉燃料原単位は、0.901/t-sinter (≒ 8 Mcal/t-sinter) 台である。電力原単位は、生産率の向上、主排風機の改造、EP の間欠荷電等により 32 kW・h/t-sinter まで低減した。

4.4.3 焼結品質の推移

Fig. 8 に、品質実績を示した。PSC では、成品中 -5 mm の目標は 3 (%) 以下、SI の目標は 90 (%) 以上としている。なお

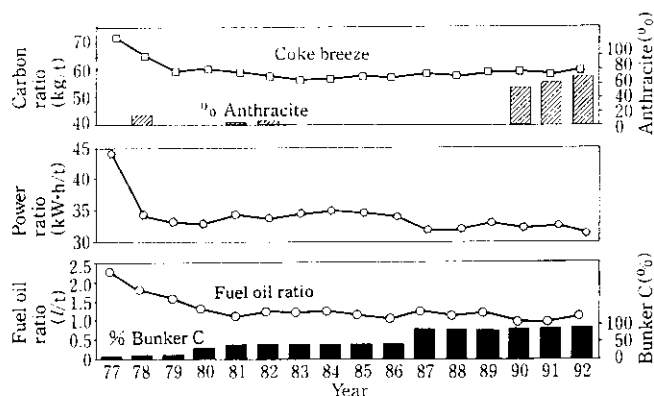


Fig. 7 Trend of unit consumption

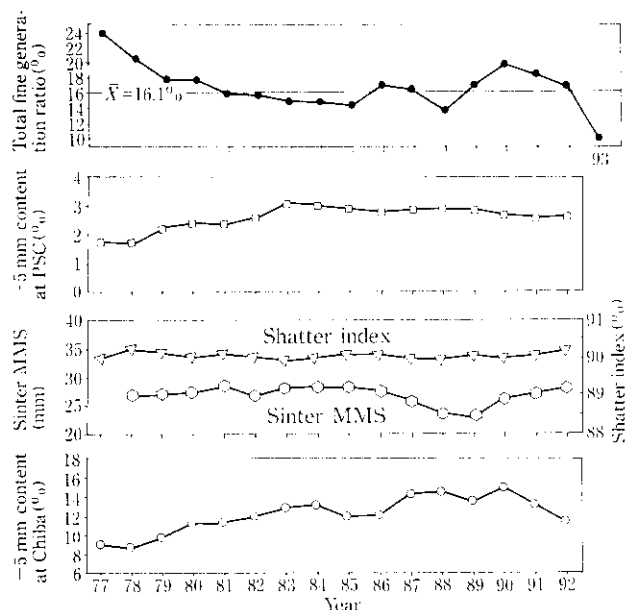


Fig. 8 Transition of main qualities

RDI は、安定しており、28～32 (%) である。

4.5 設備稼働率の推移

Fig. 9 に、1977～1992 年の対暦稼働率、予定休転、突発休転の推移を示した。対暦稼働率が低いのは、製鉄所内の 1 工場と違い、設備工事要員が少なく休転工事時間が長くなるためである。突発休転は、約 2 % で、操業、機械、電気トラブル等がその原因であった。稼働率向上のため休転時間を短縮する対応策をとり、以下の項目を実施した。

- (1) 修理項目の削減 (長寿命化)
- (2) 予定休転周期の延長 (30 日 → 45 日)
- (3) マンパワー確保のため外部業者の導入

これらの対策により、対暦稼働率は、1990 年には、89.1% に向上した。

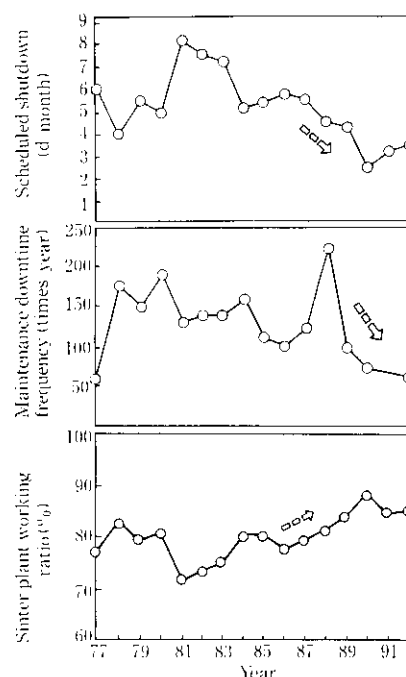


Fig. 9 Sinter plant indices

5 操業技術改善および設備改善⁶⁾

5.1 操業技術改善による各種原単位の削減

焼結鉱の変動費に占める主なコストとして、コークス、電力費、点火炉燃料があるが、これらは Fig. 7 に示すように操業後 7 年間に大幅に低下している。その手段と効果について記す。

5.1.1 コークス比 (kg/t)

コークス比削減手段と実施時期およびその効果についてに示す。概要を述べると、

- (1) 原料配合の変更、ならびにスラグ組成の改良に伴う焼結性の向上 (Ni スラグの添加、ミルスケールの配合、成品 Fe 0% の低下)
- (2) 給鉱部シュート改造による偏析の作り込み (平板シュートからドラムシュートへの改造による給鉱部粒度および炭材偏析の促進)

(3) 成品スクリーン篩分方法の改善(成品 3 次スクリーンの篩目変更による返鉱中の粗粒 (+5 m/m) の減)
等によって、1977 年の操業当初、75 (kg/t) のコークス比を 1983 年 7 月には 54 (kg/t) まで低下させた。その後の方向としては、炭材を粉コークス以外に安価な無煙炭の使用、あるいは千葉 3 焼結工場休止による、PSC 焼結鉱の需要増をまかなうために、高生産率操業としたこともあり、高層厚操業 (1990 年 460 m/m → 560 m/m) 排鉱部熱風吸引等の改善を行っているが、横這いなし、若干高めで推移している。

5.1.2 電力原単位 (kW・h/t)

電力原単位削減について、主なものは、

- (1) 焼結鉱の生産率アップ
- (2) 各種ファンの運転台数の削減
- (3) 成品の I 系列運転
- (4) 体転前後のシーケンス改造
- (5) ベルトコンベア類の間歇運転

等であり、電力原単位も操業当初、44.5 (kW・h/t) のものが、1983 年 4 月には 31.5 (kW・h/t) まで低下させることができた。その後電力事情の悪化に伴い、原単位の削減を更に徹底し、(サイドウォールの一体化による漏風防止、省電力型への主排風機改造、主排風機の 1 基運転等) 1992 年平均では、30.9 (kW・h/t) まで低減することができた。

5.1.3 点火炉熱量 (重油) 原単位 (l/t)

操業開始以降の主な改善点を次に示す。

- (1) 点火炉温度の低下 (1100°C → 1000°C)
- (2) 焼結配合原料の水分調整 (6.1% → 5.8%)
- (3) 給鉱部風箱の絞り込み (No.1 W.B 全閉, No.2, 3 W.B 開度調整)
- (4) 給鉱部における装入原料の圧密化 (原料表層部押付装置の設置)
- (5) 空熱比の変更

これらの総合効果により、1981 年 9 月には 0.90 (l/t) (熱量原単位 8010 kcal/t) を記録し、当時の日本国内新記録 (1981 年 3 月住友金属工業神鹿島 3 焼結 C ガス 1.82 Nm³/t, 熱量原単位 8190 kcal/t) を破った。さらに、同年 10 月には 0.88 (l/t) を記録した。その後コスト削減のため C 重油の使用比率を上げ、1990 年には、川鉄式点火フードへの改造、高層厚操業化に伴って年平均 0.94 l/t のレベルまで低下した。

5.2 生産率の向上

1987 年千葉 3 焼結工場の休止により、一層、生産率の向上要請にこたえるべく、生産率のアップを指向した操業改善 (給鉱部の改造による偏折強化、配合原料保熱、粉コークス粒度の適正化、漏風防止、成品粉化防止) を行った。1985 年と 1990 年の生産率の比較および、改善効果を Table 4 示す。これらの総合効果で 1990 年には、念願の 500 万 t/年の生産量を達成することができた。

5.3 設備保全の進歩

PSC 保全の進歩と発展は、三つの段階に分けられる。最初の段階は、操業初期の 1977~1982 年で、基礎トレーニング、データ収集、修理保全の標準作りの段階である。設備保全の考え方は、簡単な点検体制下でのブレイクダウンメンテナンスであった。第 2 の段階は、1983~1984 年で、この時期に Preventive Maintenance Department を組織し、PM システムを導入して発展させた。点検、保全計画、予備品管理、作業分析システム等の PM サブシ

Table 4 Comparison of productivity in between 1985 and 1990

		1985	1990
Productivity	(t/km²)	1.24	1.45
Working ratio*	(%)	80.0	89.1
Working ratio**	(%)	97.4	98.0
Quality	S.I	(%)	90.1
	R.D.I	(%)	33.6
	~5mm	(%)	2.9

* including scheduled shut down

** excluding scheduled shut down

テムも確立した。第 3 の段階 (1984 年~) は、PM システムの向上である。この時期は高生産率操業のために、徹底した保全活動をし、生産設備に対し高生産率操業に向けての設備診断と大規模な補修工事を行った。

6 フィリピン焼結鉱の使用状況

6.1 千葉におけるフィリピン焼結鉱発生粉率の推移

前述した PSC 工場側での粉化防止対策、および千葉製鉄所での荷役後の対策ならびに小塊焼結鉱 (SS) の大量回収方式の採用等により、ヤード発生粉および高炉槽下節の発生粉から小塊焼結鉱を控除した全粉率は、PSC 操業当初 24% と著しく高かったが、13~16% 台まで低下した。

1988 年に記録した 13.5% は PSC サイドの成品粉率の低下 (-5 m/m ≒ 2.7%) および成品中 Al₂O₃ の低下 (1.7% → 1.6%) 塩基度の上昇 (B₂ 1.7 → 1.9) に伴う焼結性の向上、千葉 5 高炉の SS 使用量の増 (130 kg/t pig) 等の総合効果による。その後 1990 年の粉率上昇は PSC 工場の年産 507 万 t の増産に伴う持込粉率の上昇による。なお 1993 年の粉率低下 (10%) はフィリピン側ならびに川崎製鉄側の粉化防止対策および千葉 5 高炉の粒度別分割装入による SS の大量使用のためである (Fig. 8 参照)。

6.2 第 6 高炉の低燃料比操業への寄与⁷⁾

フィリピン焼結鉱の大量使用例として 1979 年 7 月に千葉 6 高炉で行った操業試験結果を示す。

千葉 6 高炉は 1977 年 6 月 17 日に火入れし、大型高炉として本邦初のベルレス炉頂装入装置を採用しており、焼結鉱の大量使用試験時には、ベルレス使用に関するソフト、ハード面での know-how を蓄積し、技術的に確立していた。

1979 年 7 月に行った処理鉱比 100% 試験時の 6 BF 装入物と操業結果を Table 5 に示す。本試験は処理鉱比の増加はフィリピン焼結鉱で行い、自家焼結鉱は横這いなし減少、ペレットは主にスラグ比の微調整用に使用した。

操業結果からフィリピン焼結鉱の増配により大幅に操業成績が向上しているのが伺える。例えば、III 期と V 期を比較すると、燃料比では 17 kg/t 減少し、ガス利用率では 1.0% 向上した。

なお、月間の燃料比は 429 kg/t と当時の大型高炉としては驚異的な記録を樹立した。フィリピン焼結鉱は原料として、十二分にその役割を果たしたことになる。

さらに、1980 年 3 月にも同様の試験操業を行い燃料比で 418 kg/t と世界記録を更新した。この場合も装入物中に占めるフィリピン焼結鉱の比率は 56% と通常より高く、6 BF の操業成績の向上に

Table 5 Agglomerated ore ratio of burden and operating results of Chiba No.6 blast furnace

Item	Test No.	Period	I	III	V	VI
			May25 -June1	June9 -24	July3 -31	Aug.25 -30
Burden material	Sinter + Pellets (%)		77.1	92.6	100.0	84.6
	Phil. sinter (%)		26.7	47.9	54.6	43.4
	No.4 sinter (%)		48.1	38.0	37.7	40.1
	Algerrobo pellet (%)		2.3	6.7	7.7	1.1
Operating result	Output (t/d)		9 940	9 888	10 345	10 022
	Coke rate (kg/t-p)		397.5	394.8	381.4	404.1
	Oil rate (kg/t-p)		47.2	49.6	427.4	39.2
	Fuel rate (kg/t-p)		444.7	444.4	427.4	443.3
	Blast volume (Nm ³ /min)		6 908	6 824	6 873	6 792
	Blast temp. (°C)		1 290	1 307	1 325	1 314
	η CO (%)		51.7	52.2	53.2	52.8
	Hot metal temp (°C)		1 515	1 511	1 506	1 507
	[Si] (%)		0.36	0.30	0.30	0.35
	O/C		4.06	4.13	4.19	4.01

多いに寄与した。

6.3 千葉5高炉の全量ヤード焼結鉱使用結果

千葉製鉄所では、従来から焼結鉱の高炉篩下粉から+3 mmを回収し、通常原料と混合して使う方式を採用してきたが、(1) 回収時のハンドリングコストの増加、(2) 打抜きプレート篩での篩分け効果の低下(目詰まり)、(3) 高炉での安定した通気性確保の困難等の問題があった。

これを改善する目的で、Fig. 10 に示すような、千葉製鉄所第3焼結工場—第5高炉間に高炉篩下粉からの再回収篩として“モーゲンサイザ”の導入を試み⁹⁾、篩分け効率の向上とハンドリングコスト低減を図った。その結果、ベル・アーマによる細粒分割装入方式の採用とともに約100 kg/t-p (鉱石装入量の6%相当)の細粒原料の使用が可能となった。

第5高炉では、1987年7月から3焼結工場の停止に伴い、使用する焼結鉱(約78%)は全量フィリピン焼結鉱となるため1987年5月20~29日に、フィリピン焼結鉱の全量使用操業実験を行い、ヤードハンドリング、並びに高炉操業へ与える影響を事前調査した⁹⁾。

直送焼結鉱とフィリピン焼結鉱とを比較すると、(1) 粒径が細かい(平均粒径フィリピン焼結鉱10.1 m/m, No.3焼結鉱12.7 m/m)、(2) 付着水分が多い(1~1.5%)といった性状の相異がある。

その性状から、全量フィリピン焼結鉱の使用時の問題点は、炉内通気性悪化にあると考えられる。そこで本実験ではその対策として、荷揚げ初期のホールドの上方中心部の細粒をヤードに別置きし、この細粒焼結鉱(PSS)をO IIバッチ(炉壁装入)、粗粒焼結鉱(PSL)をO I(炉中間、炉芯装入)バッチで使用することによって、粒度別分割装入を強化した(Fig. 10)。

簡便な粒度別分割法の結果、装入する鉱石バッチごとにフィリピン焼結鉱の炉前粒度を変更させることが出来た。これによりO I(炉中間~炉芯装入)バッチとO II(炉壁装入)バッチの平均粒径はそれぞれ11.6, 8.5 mmとなった。

第5高炉の試験結果⁹⁾、全量フィリピン焼結鉱使用によって炉内通気抵抗指数 $\Delta P/BV$ はそれほど変化せず、一方、炉頂ガスの炉壁部温度と炉口レンガ温度は沈静化しており、全体的には中心流が強化していると考えられた。炉頂粒度ゾーデによる炉頂堆積状況の観察により、O IIの細粒が炉中心部に流れ込むことなく、狙い通り炉周辺部へ堆積していることを確認した。その後、予定通り1987年7月に第3焼結を休止し、全量フィリピン焼結鉱を使用し、今に至っている。その前後の操業状況をFig. 11に示す。第5高炉は細かいフィリピン焼結鉱を使用しているが、粒度別分割装入の手段により、良好な炉況を維持し順調な操業を続けている。

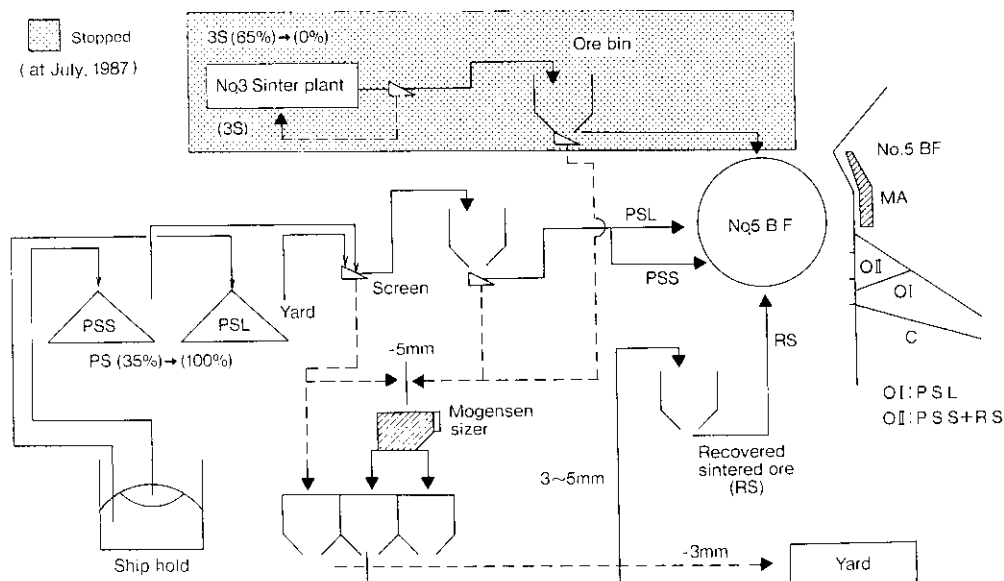


Fig. 10 Handling flow before and after No.3 sinter plant closure

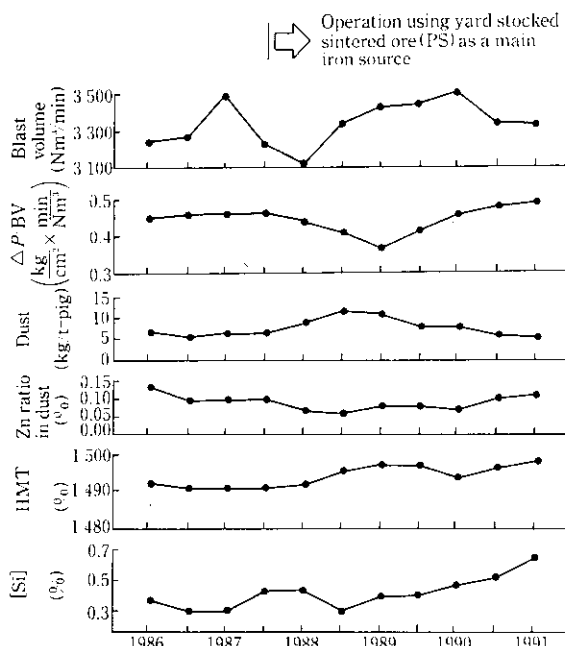


Fig. 11 Operation trends of Chiba No.5 blast furnace

7 工場管理

7.1 原価管理

予算とコスト管理システムを、Fig. 12 に示すが、実績管理に基づいたアクションが取れるような仕組みにしている。

7.2 環境管理

PSC は、3.3.6 項のように厳しく大気、水質、騒音等の環境を管理している。その結果、PSC は 1979 年と 1984 年に、NPCC (National Pollution Control Commission) から、汚染防止管理面で表彰された。

PSC は、また環境改善と魅力的な職場作りのために工場内に植樹を行い、現在、数種類 32 000 本以上の木が植えられている (面積 15 ha)。その樹木・風致林で構成されるグリーンベルトは、生態保護に関する見本となっている。更に大気と水質汚染に関し PSC は、ミンダナオ地区で唯一の監視装置と試験装置を所有し、厳しい管理体制をしいてると同時に、他の企業、大学、政府機関への技術援助も行っている。

7.3 安全衛生管理

Fig. 13 に、安全成績を示した。1977 年の操業開始後 6 年目から災害発生率は低下した。1981 年 9 月 30 日以降、休業災害ゼロを継続中である。これは、現地の人々が受入れやすい形で活性化を図ったために他ならない。1982 年以降、安全トレーニング (特に危険予知トレーニング; KYT), QC サークル活動、安全表彰制度、5 S 活動 (清掃, しつけ, 整理整頓, 資料整理, Safety), 効率的な安全活動より良い成績を残している。

PSC の長期間無災害記録は、比国で有名であり、多くの現地企業が安全活動を向上させるための援助を PSC に要請している。

7.4 小集団活動

小集団活動、QC サークル活動は、1981 年に導入し、現在、39

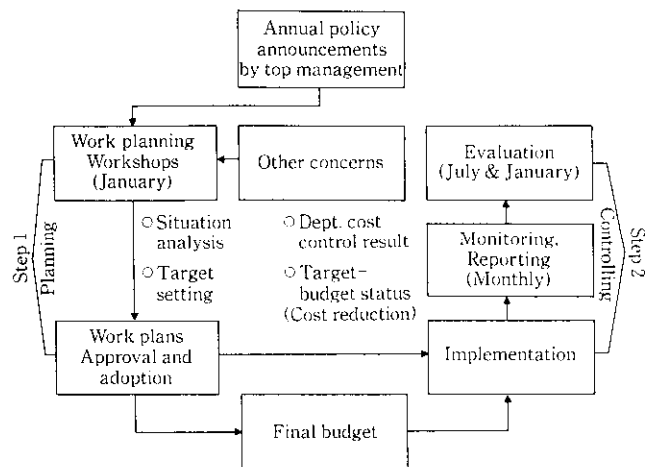


Fig. 12 Planning and control flow procedure

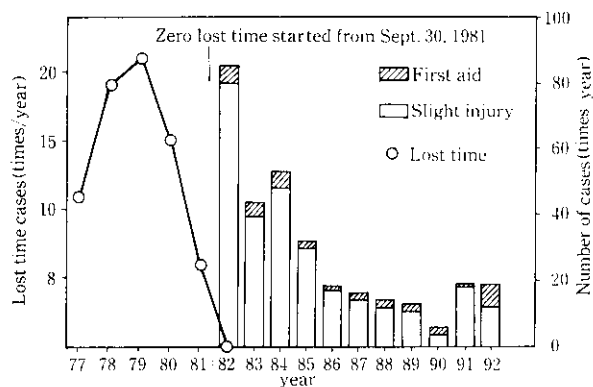


Fig. 13 Sinter plant safety record

のサークルがあり、従業員の 75% が活動に参加している。QC 大会を年ごとに行い、優秀サークルには特別賞を授与している。年大会の優勝グループは、川崎製鉄の全社大会に参加して発表している。一方個人の知恵を引き出すために、改善提案活動も実施しており、目標は、2.5 件/人・年である。現在 PSC の QC サークル活動は、近郊の企業に援助出来るまでに成長し、ミンダナオ地区で QC サークル活動を導入している企業は 40 社にのぼるようになった。

7.5 日比混成の管理体制

1967 年、川崎製鉄がフィリピンに初めて工場 (Pellet Corporation of Philippines) を建設して以来、フィリピン人幹部および管理者は、日本のマネジメントを学習し定着させ、日本式とフィリピン式を混在させた管理方式を確立した。PSC は、この日比混成の管理体制を全ての面で採用している。

7.6 技術移転

7.6.1 事前操業トレーニング

フィリピン焼結プロジェクトの発足時期から、現地の管理者および作業者の技術トレーニングを開始した。トレーニングは、上級管理者を含めた頂点部分より始め、それから下部の核になる作業グループに展開する方式を採用し、核グループが、日本でトレーニングを受けて現地へ帰り、日本人指導者と共に残りの作業員のトレーニングを行った。海外での日本プロジェクトの大きな問題は、日本人と現地人との人間関係である。PSC では、日比間で家族的な親切、誠実、協力、という人間関係を発展させてきた。

7.6.2 技術会議

1978 年から、6 箇月ごとの技術会議を川崎製鉄と PSC 間で行っている。通常春は日本で操業方針を決め、秋はフィリピンで最新技術情報（川崎製鉄の研究開発、設備改善、操業改善等）を発表している。

7.6.3 技術移転

川崎製鉄で焼結、ヤード、バース関係の技術開発（研究開発、設備改善、操業改善等）が成功した案件について、現地の管理者は PSC への採用の可否を判断し、メリットを試算し、投資回収が可能な場合は、積極的に導入している。特に PSC の管理組織がスリムなために、その過程は迅速である。現在までに導入したアイテムは 20 件を超える。

7.7 地域社会活動

PSC は、地域社会および多くの公的機関と調和のとれた関係を維持したいと考えている。多分野の人達（地方自治体、学校、大学、教会、報道機関、近隣会社等）と PSC の役割（篤志家）を通じて友好関係を確立している。

8 結 言

川崎製鉄のフィリピン焼結プロジェクトは、高炉から離れた海外に、高炉原料を供給するための焼結工場を建設するという特異なプ

ロジェクトであった。

- (1) 海外に焼結工場を設立するにあたり、最大の問題は焼結鉱の粉化であり、F/S として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。フィリピン焼結工場稼働後、全粉率も、川崎製鉄側での小塊焼結鉱の大量回収方法の採用および高炉での粒度別分割装入技術による大量使用等の努力もあり、大幅に低下し、最近では 10% 台となっている。
- (2) 1979 年 7 月、1980 年 3 月の千葉 6 高炉でのフィリピン焼結鉱の大量使用時はそれぞれ燃料比で 429 kg/t-pig, 418 kg/t-pig（世界新記録）という良好な成績をおさめており、さらに 1987 年 7 月以降第 5 高炉では、焼結鉱の全量をフィリピン焼結鉱を使用しており、優れた品質を維持し、高炉の安定操業に大きく寄与している。
- (3) 一方フィリピン焼結工場での操業改善、設備改善の結果、操業開始 7 年間で変動費が大幅に低下し（約 70%）、また、設備の予防保全、高生産率操業に努めた結果、1990 年には生産量 500 万 t を達成した。工場管理面でも、環境管理、安全衛生管理、小集団活動等、比国内で抜群の成績をおさめ、現地企業での指導的役割を果たしている。

最後に、今回 PSC の 18 年の歩みをまとめるにあたり、PSC に関係されたさまざまな会社の幾多の先輩諸兄、関係各位に対して謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 川崎製鉄㈱：日本鉄鋼協会共同研究会、第 54 回製鉄部会資料鉄-54-8-講、鉄-54-20-講、(1979)、私信
- 2) J. Kurihara, S. Hashizume, K. Shinozaki, and T. Tanaka : Iron-making proceeding of AIME, Washington (U.S.A), 39 (1980), 322
- 3) T. Oshima, K. Hayase, and Y. Satoo : International Symposium on Agglomeration, Nurnberg (West Germany), May (1981)
- 4) Marcil C Aguirre : SEASI Symposium on Raw material, Feed & Energy Sources for the Iron & Steel Industry, Oct. (1984)
- 5) Philipinn Sinter Corp., 川崎製鉄㈱：日本鉄鋼協会共同研究会第 82 回製鉄部会資料鉄 82-講、(1993)、私信
- 6) 依川善助、篠崎佳二、大島位至、高橋博保：川崎製鉄㈱製鉄技術部会資料 26 鉄-06、(1982)、私信
- 7) J. Kurihara, S. Hashizume, H. Takahashi, H. Marushima, K. Okumra, H. Takahashi : Kawasaki Steel Technical Report, 1 (1980), 14
- 8) 川崎製鉄㈱：日本鉄鋼協会共同研究会、第 68 回製鉄部会資料鉄 68-8-自、(1986)、私信
- 9) 桃川秀行、駒村聖、安田素郎、皆川俊則、村川恵美、田口整司：鉄と鋼、73 (1987)、S 788