

フィリピンシンター 30 年間の歩み

History and Prospect of Philippine Sinter Corporation

山名紳一郎 YAMANA Shinichiro フィリピン・シンター・コーポレーション 社長

要旨

JFE スチールの 100% 子会社であるフィリピン・シンター・コーポレーション (PSC) は、1977 年に操業を開始し、昨年 2007 年には 30 周年を迎えた。旧川崎製鉄の時代から始まり、現在の JFE スチールの時代においても、製鉄原料の重要な製造拠点として、JFE スチール向け高炉主原料である焼結鉱を生産している。本論文では、過去 30 年間の歴史を振り返りつつ、技術、経営面における最近の主な活動事例を紹介するとともに将来の課題を述べる。

Abstract:

Philippine Sinter Corporation, "PSC," started operation in 1977 and since that time it has continuously operated and has accumulated a production record of 125 million tons in 2008. During PSC's long history, enormous kinds of activities have been carried out to make progress in both operation and administrative fields. Ever since, PSC is playing the important role as a processing company supplying sintered iron ore for JFE Steel. In responding to the high steel demand recently, PSC is continuing to enhance its performance in both production and quality in order to pursue much higher productivity of JFE Steel's blast furnaces. This report will discuss substantial technical theme lately developed in the sintering plant and will summarize the 30 years history of PSC.

1. はじめに

フィリピン・シンター・コーポレーション (以下、PSC) は、1977 年の操業以来、経済環境の大きな変化に適応しながら JFE スチールにおける重要な海外の原料加工拠点としての地位を築いてきた。最近では、高まる鉄鋼需要を受け、設備能力を増強した結果、生産能力は年産約 550 万トンに達した。また操業開始後の 31 年間の累計生産量は 1 億 2 千万トン強に及ぶ。

2. 創設の歴史

2.1 海外焼結工場の建設 (1974 年~1976 年)

PSC の誕生は、旧川崎製鉄とフィリピンとの間における製鉄原料の調達から始まる。1950 年代の当時、旧川崎製鉄はフィリピン (ルソン島南部ラップ鉱山) の鉄鉱石を千葉製鉄所の高炉原料として輸入していた。その後、高炉の生産性を向上させるためペレットの使用を検討した結果、フィリピンに PCP 社 (Pellet Corporation of Philippines) を

設立し、1968 年よりペレットの製造を開始した。しかし、1975 年に鉱石資源は枯渇した。当時、旧川崎製鉄は、千葉製鉄所の増強を検討していたが、土地利用などの制約があり、海外における焼結工場の検討を開始していた。一方、当時のフィリピン政府 (第 10 代 Marcos 大統領) は、ミンダナオ島の産業育成を重要な課題としており、熱心に旧川崎製鉄へ企業誘致を行った。このような背景のもと、オーストラリア、ブラジルなどからの鉱石輸送ルート上にあり、かつ港湾条件、気象などの条件に恵まれたミンダナオ島北部のカガヤンデオロ市近郊の工業団地 (Phividec*) への進出が 1973 年に決定された (図 1)。

ミンダナオ島北部の立地上の優位性には以下がある。

- (1) 海外鉱石資源の日本への輸送途上にあり効率が良い。
- (2) 水深大の港湾を有し大型船によるフレート低減が可能である。
- (3) 通年穏やかな気候で台風などの通過がほとんどない。
- (4) 副原料 (石灰石、ドロマイト) が近隣の島より調達可能である。
- (5) フィリピン政府との長い歴史に基づく信頼関係がある。約 2 年半に及ぶ建設工事の後、1977 年 4 月から操業が開

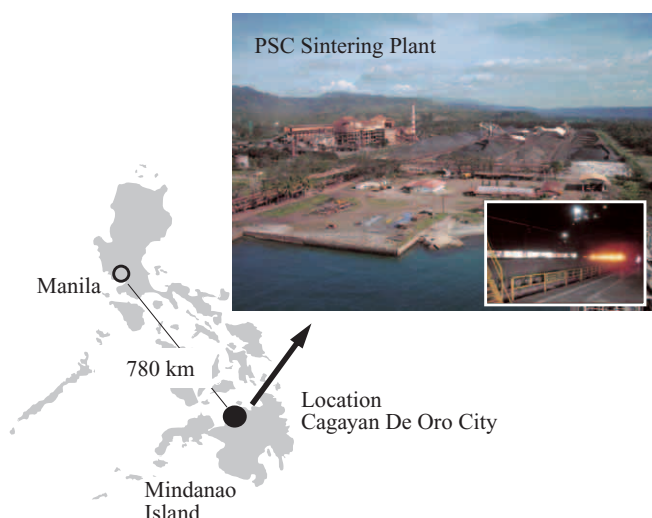


図1 比国フィリピン・シンター・コーポレーションの場所
Fig.1 Location of PSC in Philippines

表1 PSC焼結工場の設備諸元
Table 1 PSC plant specification as of 2008

Process	Item	Specification
Sintering machine	Total area of strand	495 m ²
	Dimension of pallet	5.5 m×90 m (146 pcs)
Burnt lime kiln	Shaft type kiln (Furnace, Chisaki Corp.)	No. 1, 2 each 70 t/d
		No. 3 100 t/d
Yard	Number of yard Handling machine	4 yards (50 m×900 m)
		Product×1
		Raw material×3
		Reclaimer×2 Stacker×1
Berth	Sea depth 25 m×length 351 m Grab bucket unloader×2 sets (1 800 t/h)	
Vessel	Tug boat×2 sets	
	Pusher boat and barge each 2 sets	

始された。

表1に現時点におけるPSCの設備諸元を示す。

2.2 経営基盤の構築 (1977年～2002年)

旧ペレット会社(PCP社)から移った経験豊かなフィリピン人スタッフと日本人スタッフとの相互協力の下、生産、品質、安全などの管理手法をフィリピンの文化や風土に調和させつつ順次導入を図ってきた。

- 1983年 工場長に初のフィリピン人を起用
- 1997年 20周年式典(12代 Ramos 大統領列席)
- 1998年 国際標準 ISO 9801 承認(品質)
- 1999年 増産対応 石灰焼成炉設置(1,2号機)
- 2001年 国際標準 ISO 14001 承認(環境)

2.3 JFE スチールにおける生産能力の拡大 (2003年～)

世界的に鉄鋼業の統合再編が繰り返される中、旧

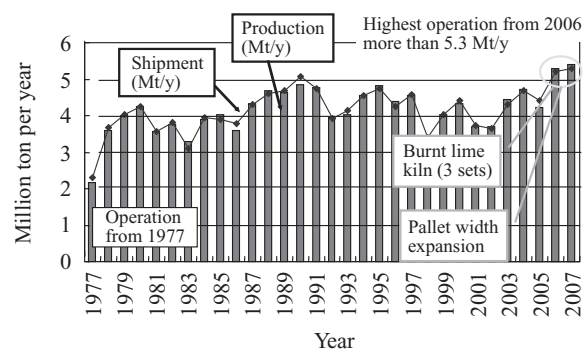


図2 過去30年間の生産量と出荷量
Fig.2 Production and shipment record from 1977

NKKと旧川崎製鉄が統合してJFEスチールが2003年に誕生した。統合はPSCにとって生産、品質への要求が一段と高まる契機となった。コスト面でも割高なペレットの使用抑制などを目的に生産能力の拡大と輸送時の歩留向上(粉率低減)などの活動を開始した。

- 2002年 高強度焼結鉄の開発と製造
- 2003年 フィリピン全国公募による新人募集と採用
- 2005年 増産対応:パレット拡幅(総面積450→495 m²)
増産対応:石灰焼成炉設置(3号機)
- 2006年 設備信頼性向上対策:大型劣化更新工事
- 2007年 累計生産量1億2千万トン達成:30周年式典
- 2008年 排熱回収発電導入(2008年9月稼働)

図2に操業開始後の年間生産量と出荷量の推移を示す。稼働当初、年産約400万トンであったものが、近年では増産対策の結果、約540万トン規模に至っている。これはパレット拡幅(焼成面積拡大)、石灰焼成炉(生石灰添加)の導入、さらには地道な操業改善の結果といえる。現在の公称能力は年産約550万トンであり高需要下でのフル生産が続いている。

3. 生産体質の強化

生産能力の拡大策として、(1)設備稼働率の向上、(2)焼成面積の拡大、(3)原料通気改善などを推進してきた。

(1)の設備稼働率の向上については、設備安定化のための類似トラブル防止の水平展開、徹底した計画工事の工程管理などに関し、優れたJFEスチール各製鉄所の手法を導入してきた。その結果、対暦稼働率が2000年～2003年実績で93%程度であったものが、一連の活動後には95%以上のレベルにまで改善された。

(2)の焼成面積拡大の手法には、一般にパレット拡幅、ストランドの機長延長などがある。PSCでは投資効率と工期短縮による生産ロスの最小化を考慮した結果、パレット

拡幅を2005年に採択した。

(3)の原料通気改善については、生石灰(石灰焼成炉)による原料通気の改善で高層厚化を行い歩留りを向上させた。

3.1 焼成面積の拡大—パレット拡幅—

図3に焼結機の側面図とパレット拡幅の状況を示す。

パレットの拡幅検討は焼結機のメインフロアを含む排ガス系統の吸引能力やクーラー冷却能力を考慮しつつ、既存ストランド軌条構造による設備条件から設計した。

その結果、パレット幅を改造前5.0mから5.5mへ拡幅した。2005年3月、周到な事前段取りの末、旧パレットから新パレットへの切替(146台)および装入部、排鉤部の改造を含む焼結機本体の工事を約1週間の短期工程で完遂した。図4に拡幅による増産実績を示す。

拡幅前の日毎生産量は約13000トンであったが、拡幅後には約15000トン強となり約13%の増産を達成した。

3.2 原料通気改善—生石灰添加—

生石灰CaOは水と反応して消石灰Ca(OH)₂となる。これは焼結原料の擬似造粒性を促進するバインダーとして生産性改善のため使用されている。PSCでも近隣のボホール島産の石灰石を利用した生石灰の製造(石灰焼成炉の新設)を検討し、1999年に高い熱効率が期待できる炉床回転式シャフト炉((株)チサキコマ式石灰炉)を導入した。

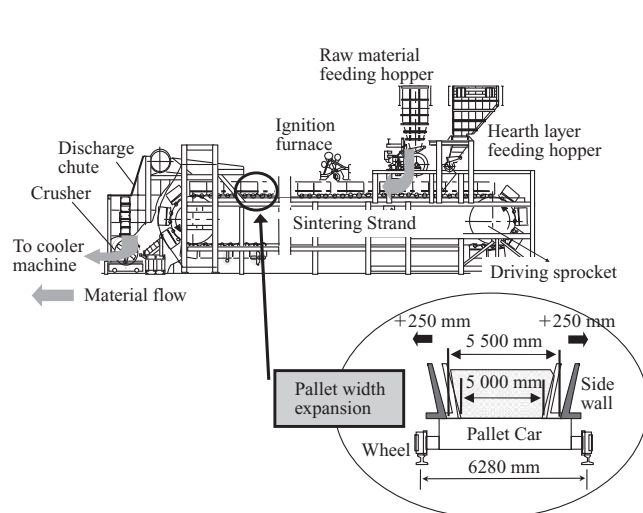


図3 焼結機の本体側面図とパレット拡幅

Fig.3 Cross sectional view of sintering machine

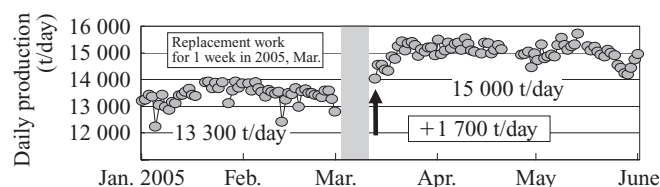


図4 パレット拡幅による増産実績の推移

Fig.4 Increase of production through pallet width expansion

ボホール島産の石灰石は地質学的に若く多孔質で包蔵水分が高いが、炉床回転式シャフト炉により高品質の生石灰の製造が可能であることを確認し実機導入を図った。

図5に回転炉床式の石灰焼成炉の概要図を示す。

炉上部の円周方向より装入された塊石灰石は予熱ゾーンで水分を蒸発し予備乾燥された後に炉内へ入る。

天井ドームに設置された重油バーナーの燃焼火炎は、下部から送風された空気を昇温し、その高温気流は石灰石を生石灰へ焼成改質する。これにより高温空気は炉内を循環して、高効率かつ連続的に生石灰の製造を行うことができる。

2005年にはさらに石灰焼成炉の3号機を増設した。現在の生石灰のトータル生産量は日産約240トンである。

図6に示すように生石灰の添加により生産量は増加することが分かる。現在1.5%の配合率で操業中である。

3.3 日常操業改善活動

高炉へ安定した品質の焼結鉍を供給する事を目的として体系的な品質管理を継続的に推進している。

重要な品質管理項目のひとつに輸送時の粉化度合の目安である揚地港での粉率(粒度5mm以下の比率)がある。この情報を常時監視し、操業アクションへ反映している。

同時に焼結工場の成品ラインでは、一般的な落下式強度試験方法(shatter strength index)に加え、揚地港での粉

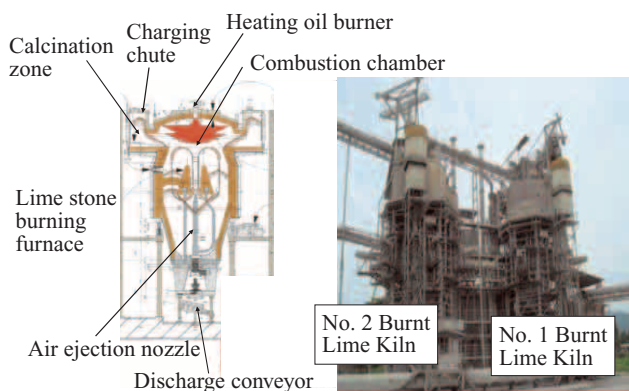


図5 石灰焼成炉の構造概要と写真

Fig.5 Structure of burnt lime kiln

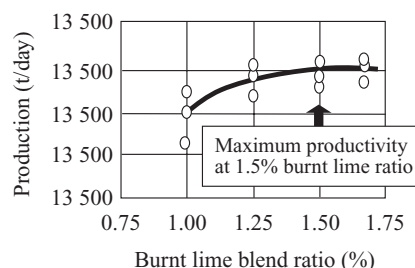


図6 生石灰配合率と焼結生産量との関係

Fig.6 Relation between sintering productivity and burnt lime ratio

率と相関のある、多数回落下強度試験（落差 2 m × 50 回後の 5 mm 以下の粉率測定）を導入した。これも重要な品質管理指標として常時監視し操業アクションへ反映している。

一方、安定した品質を維持するためには、原料品質の管理は重要課題と考え、原料ヤードにおける品質改善活動（コンタミネーション防止など）を推進している。

さらに、副原料（石灰石、ドロマイト）の品質管理に関しては、フィリピン国内に位置する供給元の鉱山会社（PMSC 社、Philippine Mining Service Corporation）と密な連携を取りつつ品質管理活動を展開している。

4. 輸送時の塊歩留り改善 — 高強度焼結鉱の開発 —

焼結鉱は、その形成過程における鉱物の組織変化が複雑で、熔融組織の間に元鉱石の残留もある複合組織体であり、かつ焼成後は、破碎された結果、角張った形状であるためペレットに比べ粉化しやすい。

したがって、海外から長距離輸送する際、焼結鉱の粉化防止は重要な課題である。これまでもコンベア輸送システムなどにおける落差低減、落下衝撃の改善を実施してきた。

一方、焼結鉱の組織自体の強度向上も粉化防止に重要な課題として使用鉱種の特性に応じた最適組織設計を研究してきた。その結果、より高強度で粉化の少ない焼結鉱の開発に成功した。

図 7 に示すように、焼結鉱の強度向上には基質組織と熔融接着部分との強度改善が必要となる。

鉄鉱石は化学成分の他、熔融特性、気孔特性、濡れ性など地質形成、産地などで異なる特性を有しており、スラグ設計を考慮した上での最適配合が強度発現にとり重要なポイントとなる。

生産性を維持しつつ高強度の焼結鉱を製造する手法として、2 種類の異なる特性のヘマタイト鉱石を用いた最適配合を見出した。すなわち、造粒性に優れ生産性向上に適したヘマタイト鉱種と粗大気孔が少なく緻密組織を有するヘマタイト鉱種とを最適に組み合わせることで、より粉化の少ない高強度の焼結鉱製造を可能とした。特に、粗大気孔

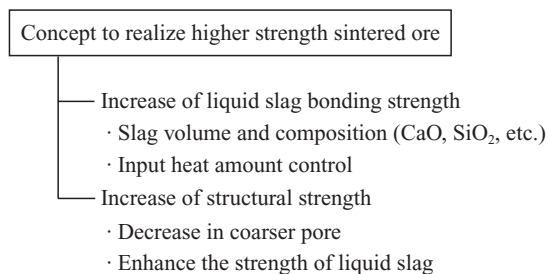


図 7 焼結鉱組織の強度向上の考え方

Fig. 7 Improvement concept of sintering ore strength

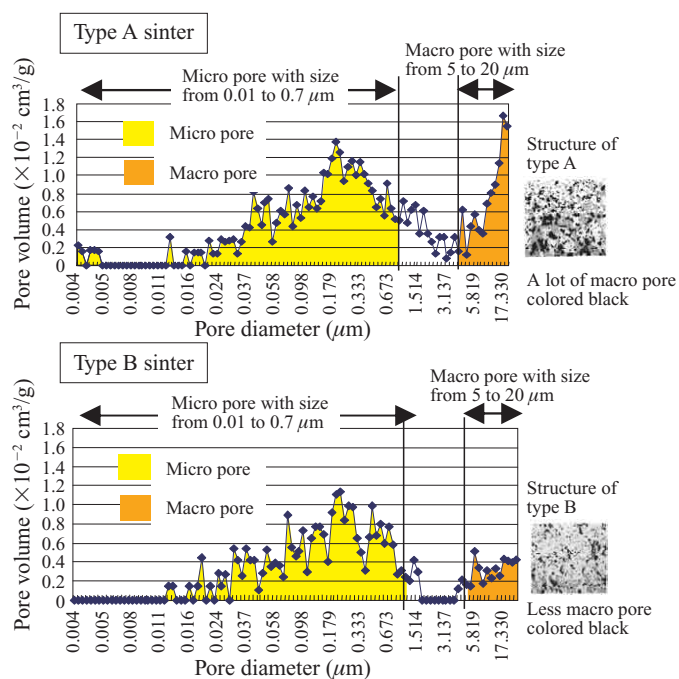


図 8 高強度焼結鉱と従来焼結鉱との気孔径分布と組織写真
Fig. 8 Pore distribution in comparison with 2 type sintered ore

の低減がひとつの重要なポイントとなる。

図 8 に鋼試験で製造した焼結鉱の気孔分布を示す。この図から、従来の配合設計で製造した焼結鉱（タイプ A）に比べ、新しい配合設計で製造した焼結鉱（タイプ B）は、微細気孔の割合はほぼ一定のまま、粗大気孔が減少しており、その結果、組織が緻密で強度が高いことが分かる。タイプ B の焼結鉱は 2002 年に JFE スチール（千葉、倉敷、福山）へ出荷を開始した。

表 2 にタイプ A とタイプ B の焼結鉱に関する揚地（日本）における性状比較（直後 9 船）を示す。

揚地での粉率を表す Under 5 mm %（粒度 5 mm 以下の比率）はタイプ A に比べると、タイプ B の焼結鉱では小さく、粉化が抑制されていることが、これより分かる。

表 2 高強度焼結鉱と従来焼結鉱の揚地での性状比較
Table 2 Comparison between two different type sintered ore

	Type A Sintered ore	Type B Sintered ore
Blending style of iron ore	Conventional Iron ore blending	Two different type hematite by optimum blending
T.Fe (%)	58.2	60.0
SiO ₂ (%)	4.7	3.0
CaO (%)	9.5	8.7
Al ₂ O ₃ (%)	1.5	0.8
Mean size (mm)	15.0	20.2
Fine size under 5 mm (%)	15.6	9.3
RI (%)*	63.0	62.5

Type A sintered ore: Conventional sintered ore

Type B sintered ore: High strength sintered ore

*Reducibility index

5. 省エネルギー活動の推進

5.1 従来の活動事例

PSC での焼結鉍製造に使用するエネルギーは主に電力と重油である。電力は総エネルギーの 70% (117 MJ/t) であり、焼結点火炉と石灰焼成炉 (熱風発生バーナ) で使う重油は約 25% (34 MJ/t) である。

これらエネルギー使用量の削減は経済性の向上と地球環境保全にとって重要な課題である。

これまでの省エネルギー活動事例を以下に掲げる。

(1) エネルギーロス低減

焼結機の本体廻り、排ガス系における漏風防止活動
焼結機クーラー排ガスの点火炉混合空気への再利用

(2) 操業度変化時の省エネルギー対応

メインプロア (2 台) の最適組み合わせ運転
凝結材の破碎ミル運転台数の最適化

5.2 排熱回収発電の導入

PSC のあるミンダナオ島は水資源が豊富なため水力発電が 60% と高い。反面、化石燃料による火力発電は少ないが、電力政策面の問題などのため、他の東南アジア諸国に比べて電力単価が依然割高である (約 3 ペソ / kWh)。

このような背景より、焼結機クーラーの高温排ガスを利用した排熱発電システムの導入を検討した。

システムは排熱ボイラー、タービン、発電機などから構成される。回収電力は約 18 MW である。これは現在 PSC で使用している電力の約 73% に相当し、大きな省エネルギーおよび経済効果が期待できる。図 9 に本設備の全体構成を示す。

焼結機クーラーで高温焼結鉍の冷却に使われた空気は大気へ放散していたが、本設備によりこの高温空気をボイラーへ送り蒸気を回収する。回収した蒸気 (量 85 t/h 圧力 2.13 MPaG) はタービンへ送られ発電機で電力を回収する。タービンを通過した蒸気は復水器で再び循環水に再生され

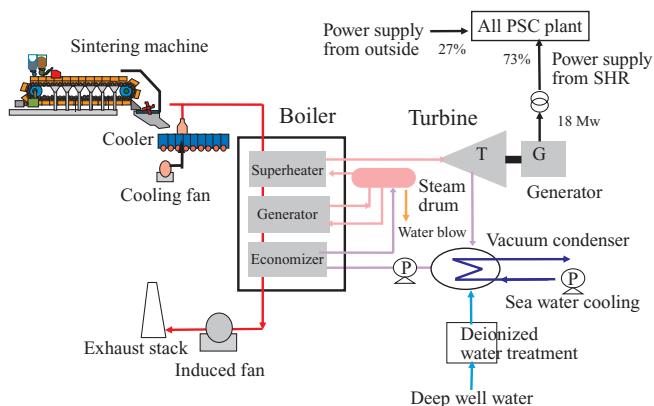


図 9 焼結排熱回収発電プロセス
Fig.9 Sinter heat recovery process flow

表 3 焼結排熱回収発電装置の基本仕様

Table 3 Specification of sinter heat recover process

Equipment	Item	Specification
Boiler	Supplier	JFE Engineering
	Type Steam condition	Forced circulation type Volume 85 t/h Temperature: 380°C Pressure: 2.13 MpaG
Turbine and generator	Supplier	Turbine: JFE engineering
	Type Power	Generator: Meidensya Corp. Condensed water type (By seawater cooling) 18.6 MW

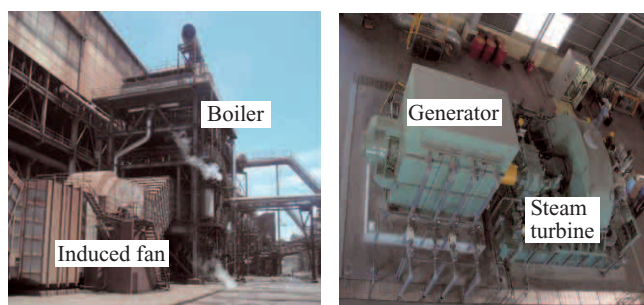


写真 1 クーラー排熱回収のボイラー、タービン、発電機
Photo 1 Boiler, turbine and generator of sinter cooler heat recovery system

る。表 3 に排熱発電システムの基本仕様を示す。

今回導入した排熱発電装置は海外においても実績のある JFE エンジニアリング製のシステムである。

写真 1 は今回稼働した排熱回収設備のボイラー、タービン、発電機である。

同時に本件は日本とフィリピンの両国間における「国連気候変動枠組条約に対する京都プロトコル」に準拠した CDM (Clean Development Mechanism) 案件である。

日比両国の環境省庁で承認された後、国際連盟 (CDM 理事会) へ提出され、2007 年 5 月に CDM 案件として登録された。目標とする CO₂ の削減量は年間約 6 万トンである。地球環境国際年のスタートにあたり本システムを有効に活用して環境保全へ貢献していく。

6. 今後の課題

6.1 省エネルギー・地球環境保全への取り組み

世界的な広がりを見せつつある資源ナショナリズムと拡大する地球環境問題に、鉄鋼業は今直面している。PSC も例外ではない。一方、鉄鉍石資源の採掘の進展にともない、今後、品位の低下がますます進むものと予想される。これら多様化する鉍石資源を使いこなす、より優れた技術開発が問われている。

同時に、地球環境保全は今後、ますますクローズアップされていく。PSC はこれらの諸課題へ積極的に取り組んで

いく。

6.2 技術力基盤の向上

技術力の向上は製造業にとり最重要の課題である。

操業開始から30年以上が過ぎ、大きく世代が交代する中、優秀な人材の採用と企業内での体系的な育成は重要な経営課題と認識している。

2003年より開始したフィリピン全国を公募とする新採用制度は着実に技術力の向上に貢献しつつある。また、技術教育の充実化、熟練技能者を投入した若手技師への教育指導、さらには昨年からは開始したJFEスチール国内製鉄所での短期技術研修など、さまざまな人材育成の諸策を在展開中である。

7. まとめ

PSCの誕生から発展までの歴史をたどるとともに、最近における技術トピックスの事例をいくつか紹介した。

今後、新たに遭遇するさまざまな環境変化へ柔軟に対応しつつ、環境に優しく競争力に富む製鉄原料の加工拠点としていっそうの発展に尽力していきたい。

最後に、PSCの歴代社長ならびに最近における製造技術の改善活動に従事してきた関係者を以下に紹介する。

7.1 歴代社長

1975～1980年	榊 幹 (さかき もと)
1980～1983年	上谷 繁 (かみや しげる)
1983～1985年	榊 幹 (さかき もと)
1985～1989年	遠藤 攻 (えんどう おさむ)
1989～1993年	徳永康之 (とくなが やすゆき)
1993～1996年	長谷川 茂 (はせがわ しげる)
1996～2000年	安野 元造 (やすの もとぞう)
2000～2005年	松本 敏行 (まつもと としゆき)
	現 JFE マテリアルズ社長

7.2 PSCの発展に貢献してきた フィリピン人幹部 (工場長他)

1983～1996年	G. Evangelista
1996～1997年	B. Manus
1997～2002年	M. Aguirre
2002～2007年	R. Noble

2007年～	N. Sagrado
	A. Adis
	R. Santos

7.3 最近の操業改善に関与した駐在技師

- パレット拡幅, 生石灰キルン, 排熱回収発電
森川 泰之 (もりかわ やすゆき)
現東日本製鉄所 (千葉) 製鉄部製鉄技術室
主任部員 (課長)
橋本 健 (はしもと けん)
現西日本製鉄所 (福山) 製鉄部原料工場長
大屋 憲司 (おおや けんじ)
現西日本製鉄所 (福山) 製鉄部製鉄技術室
主任部員 (副課長)
高橋 保 (たかはし たもつ)
現東日本製鉄所 (千葉) 設備部設備技術室
主任部員 (課長)
長田 泰 (おさだ やすし)
現東日本製鉄所 (京浜) 設備部製鉄設備室
主任部員 (課長)
横塚 智人 (よこつか ともひと)
現西日本製鉄所 (倉敷) 設備部製鉄設備室
主任部員 (副課長)
植木 貴之 (うえき たかゆき)
フィリピン・センター・コーポレーション
(設備担当技師), JFE スチール (課長)
益本 慎一 (ますもと しんいち)
フィリピン・センター・コーポレーション
(操業担当技師), JFE スチール (副課長)
- 高強度焼結鉄の製造開発
主代 晃一 (ぬしろ こういち)
現スチール研究所 製鉄研究部 主任研究員 (課長)



山名 紳一郎