

JFE スチールにおける環境保全と省エネルギーへの取組み

Environmental Conservation and Energy Saving Activities in JFE Steel

小倉 滋 OGURA Shigeru JFE スチール 専務執行役員
手塚 宏之 TEZUKA Hiroyuki JFE スチール 技術企画部地球環境グループリーダー
弓手 崇生 YUNDE Takao JFE スチール 環境・リサイクル部長
田村 望 TAMURA Nozomu JFE スチール 技術企画部エネルギー SBU リーダー

要旨

JFE スチールは、「環境と調和した事業活動を推進することにより、豊かな社会づくりを目指す」という環境理念のもと、地球温暖化防止、製鉄プロセスにおける環境負荷の低減、資源のリサイクルなどに積極的に取り組んできた。本稿では、JFE スチールのこれらへの取組みの実績と、今後の取組みについて紹介する。

Abstract:

JFE Steel has been actively tackling on prevention of global warming, reduction of the environmental load in steelmaking processes and recycling of resources to achieve the environmental philosophy of the corporation, "aiming to build a prosperous society by promoting business activities, which are in harmony with the environment." This paper outlines achievements and future efforts in these activities in JFE Steel.

1. はじめに

近年、地球温暖化や生物多様性のような地球規模の環境問題に関心が高まっている。一方で、大気汚染防止や水質汚染防止などの身近な問題についても引き続き注意が向けられており、環境保全に対する重要性はますます高まっている。

鉄鉱石、石炭、水などの多くの資源、電力・燃料などのエネルギー、各種の化学物質を必要とする製鉄プロセスにおいては、環境負荷の低減に努めることが重要である。

JFE スチールは、「すべての事業活動における環境負荷低減」を環境方針としており、これを実行するために、社長を委員長とする「地球環境委員会」を設置し、トップマネジメントにより、技術開発や設備投資などさまざまな環境への取組みを企画・推進している。

以下に、鉄鋼業における地球温暖化防止対策、製鉄プロセスでの省エネルギー、環境負荷低減対策および循環型社会構築に関するこれまでの活動と、今後の取組みについて述べる。

2. 鉄鋼業の地球温暖化防止への取組み

2.1 「3つのエコ活動」

一般社団法人日本鉄鋼連盟（以下、日本鉄鋼連盟）は2009年11月に地球温暖化対策への取組みの考え方を公表し

ている。その基本的な考え方は「エコプロセス」、「エコプロダクト」、「エコソリューション」の「3つエコ」を柱とし、自社の鉄鋼プロセスの範疇を超えた、他産業や海外メーカーにも及ぶ広がりある活動により、地球規模での温暖化ガス排出削減に貢献することをめざしたものである。

2.2 「エコプロセス」

生産体制の最適化や操業設備・技術の改善、最先端の省エネルギー技術・設備により、生産工程でのCO₂削減をめざすのが「エコプロセス」である。図1に示すように、1970年代の二度にわたる石油危機を経て、日本の鉄鋼業は、連続鑄造設備やCDQ（Coke dry quenching）などの大型省エ

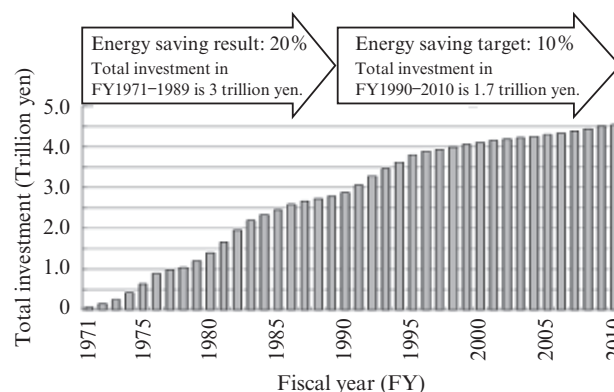
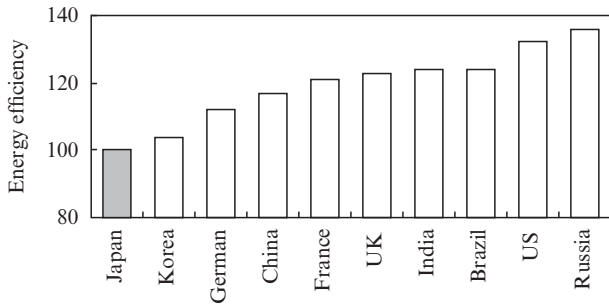


図1 日本の製鉄所における環境対策および省エネルギー投資額の推移

Fig. 1 Trend in the total amount of environmental/energy saving investment of Steel Works in Japan¹⁾



JISF indexed original figures (GJ/t-s) which are reported in RTE "Estimation of Energy Unit in 2010" when taking it of Japan as 100.

図2 鉄鋼生産のエネルギー使用効率

Fig. 2 Comparison of steel industry energy efficiency (2010)¹⁾

エネルギー設備を導入するなど、1970年代から1980年代にかけて環境保全や省エネルギーのために3兆円の設備投資を行ない、20%の省エネルギーを達成した。1990年度から2010年度には約1.7兆円の投資を実施しており、2008年度から2012年度の京都議定書第一約束期間における日本鉄鋼連盟の自主行動計画では、1990年度に対して10%のエネルギー消費量削減を目指す取組みを進めてきた。これはCO₂排出削減に換算すると1990年度比で9%削減、年間1787万t-CO₂の削減に相当するものであり、日本鉄鋼連盟はこの目標を達成する見込みである。

このような省エネルギーに向けた弛まぬ努力により、日本の鉄鋼業では省エネルギー技術・設備の普及が大幅に進んでおり、現時点で実用化レベルにあるものはほぼ100%導入されている。その結果、世界最高水準のエネルギー効率を実現しており、図2のように他国に対してエネルギー効率が最大30%程度優れているとされている。

このような優れた設備・技術を海外に展開すること、すなわち2.4節で述べる「エコソリューション」が、地球規模での省エネルギー・地球温暖化対策に向けた実効ある手段として期待されている。

2.3 「エコプロダクツ」

「エコプロダクツ」では、高機能鋼材の供給を通じて最終製品の使用段階での省エネルギーを促進する。たとえば自動車用の高張力鋼板など、自動車の強度維持・向上と軽量化を同時に満たす素材を開発・供給することで、燃費改善による省エネルギー、CO₂排出削減を実現し、社会に貢献するものである。

こうした高機能鋼材の開発と、それを通じた省エネルギー、CO₂排出削減効果は、鋼材を使用するお客様との連携や共同開発により初めて実現可能なものであり、最終製品で具現化する効果のうち鋼材による寄与分を特定することは必ずしも容易ではない。

一般財団法人日本エネルギー経済研究所では、効果を定

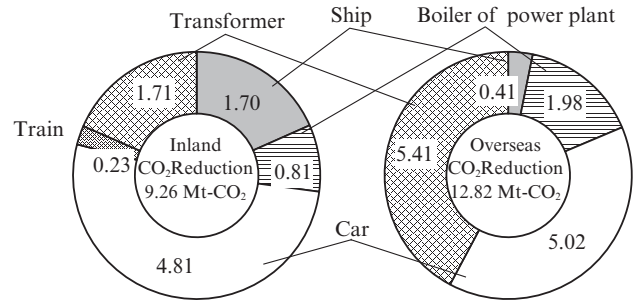


図3 鉄鋼製品使用によるCO₂削減効果

Fig. 3 CO₂ reduction by using steel products¹⁾

量的に把握できる代表的な高機能鋼材（自動車用鋼板、方向性電磁鋼板、船舶用厚板、ボイラー用鋼管、ステンレス鋼板）について、2010年時点における最終製品の使用段階でのCO₂削減効果を試算している。図3に示すとおり、これら5品種だけでも国内で使用された鋼材では926万t-CO₂、海外で使用された鋼材（輸出鋼材）では1282万t-CO₂、合計で2208万t-CO₂の削減効果があると評価している。

鉄鋼業をはじめとして、製造プロセスにおける省エネルギー・CO₂削減が進み、他国に比べて追加の改善余地が小さいとされる日本の産業界で、引き続き技術を活かした実効ある対策を推進していくためには、このようなLCA（Life cycle assessment）的な視点を導入し、製品使用段階での貢献を適切に評価することで、産業界の動機付けを行なうことが必要と思われる。

2.4 「エコソリューション」

「エコソリューション」は、日本鉄鋼業の持つ世界最高水準の技術を海外に展開・移転し、地球規模でのCO₂削減を目指すものである。

日本の鉄鋼業が開発・実用化したCDQやTRT（Top pressure recovery turbine）などの優れた省エネルギー技術・設備が世界各国で導入されているが、これら主要省エネルギー設備による削減効果は、日本企業が設置した稼働中の設備だけで2011年度は年間4341万t-CO₂にのぼる。

また、日本の鉄鋼業は世界各地の鉄鋼業のエネルギー効率改善やCO₂排出削減を進めるため、国際的な活動に参画し主導的な役割を果たしている。たとえば2005年7月に開始した日中鉄鋼業環境保全・省エネ先進技術交流会は、日中間のセクター別アプローチの重要な取り組みの場となっている。APP（Asia-Pacific Partnership for Clean Development and Climate）鉄鋼タスクフォースを継承したGSEP（Global Superior Energy Performance Partnership）では、省エネルギーや環境パフォーマンスの向上に焦点を当てた官民共同の活動が推進されている。世界の主要鉄鋼企業が加盟するworldsteelでは鉄鋼生産におけるCO₂排出量、原単位計算方法を策定したが、これをベースに日本主導で国際標準化機構（ISO）に規格化を提案し、2013年3月には新たな規

格 (ISO14404) の発行が実現した。worldsteel では抜本的な CO₂ 削減技術開発プログラム (CO₂ Breakthrough Programme) にも参画している。

上記のように、「3つのエコ」合計で約 8300 万 t-CO₂ の削減を見込んでおり、これは日本の CO₂ 総排出量 (1990 年度) の約 7% にも相当する大きなものである。

さらに、将来の抜本的な CO₂ 排出削減のため、新しい高炉原料として期待される「フェロコックス」、排出量の大幅削減を目指す「COURSE50 (CO₂ Ultimate Reduction in Steelmaking process by Innovative technology for cool Earth 50)」など、革新的技術の開発にも取り組んでいる。自主行動計画は 2012 年度で終了したが、新たに低炭素社会実行計画を策定し、2020 年度に向けた CO₂ 排出削減活動を引き続き国内外で強力に推進する予定である。

3. 省エネルギー・CO₂ 削減活動

3.1 省エネルギー・CO₂ 削減活動の経緯

1973 年第一次オイルショック以降スタートした JFE スチールの省エネルギー活動は、主にコストダウンを目指したものであった。その後 1997 年 COP3 で採択された京都議定書、およびその前年 1996 年 12 月に制定した日本鉄鋼連盟の自主行動計画に基づき、省エネルギーに加え、CO₂ 排出削減も視野に入れたものに変貌し、新プロセス・新技術への展開が必要となった。表 1 に各製鉄プロセスにおける省エネルギー・CO₂ 削減のための主要な適用技術・設備を示す。

従来からの排熱回収や熱効率向上に加え、CO₂ 負荷の小さい燃料種への転換などを 2000 年以降推進した。

このような活動の成果として、図 4、5 に示すように、粗鋼当りのエネルギー消費原単位は 1990 年から 18% 削減、CO₂ 排出原単位は 20% 削減を達成し、世界トップレベルのエネルギー効率を維持し続けている。

3.2 省エネルギー・CO₂ 削減対策の具体例

本節では、特に 2000 年以降省エネルギーおよび CO₂ 削減対策として実施した内容について、具体例を挙げて紹介する。

3.2.1 新型シャフト炉

地球温暖化対策の一環として、東日本製鉄所 (京浜地区) 扇島エリアに 2008 年 8 月に火入れした「新型シャフト炉」は、高炉操業などで培った最新のセンサー技術や排ガス回収技術などを導入することにより、スクラップというリサイクル資源を高いエネルギー効率により再資源化する設備である。図 6 に同設備の概要を示す。同種の設備としては、国内最大規模 (スクラップ溶解能力 50 万 t/年) となる。

3.2.2 Super-SINTER®

焼結鉱の製造プロセスで使用する粉コークスの一部を、CO₂ 排出負荷の小さい天然ガスなどの水素系ガスで代替する技術が Super-SINTER® (Secondary-fuel Injection Technology for Energy Reduction) である。2009 年 1 月に東日本製鉄所 (京浜地区) に導入後、2012 年度までに JFE スチール全地区への導入を完了した。

表 1 省エネルギー技術の一覧

Table 1 Overview of energy conservation technologies

Counter-measures-Facility		Coke dry quenching (CDQ), Coal moisture control (CMC), Combustion control	Sintering cooler waste heat recovery, Ignition furnace line burner, Super-SINTER®	Waste plastics feeding, Pulverized coal injection, Top pressure recovery turbine, Hot stove waste heat recovery, Fuel gas preheating, Shaft furnace, City gas injection	Gas recovery, Gas sensible heat recovery, Nitrogen jet heater, Ladle heating	Regenerative burner, Direct charging, Low-temperature extraction, Fuel switch from oil to gas	Endless rolling, Process coupling	Waste heat boiler, Rotary regenerative heat exchanger	Selection of transportation mode, Shortening of transportation distance, Improvement of load efficiency, Modal shift, Application of information technology (IT)
		Gas turbine combined cycle power plant, Power plant fuel preheating device, High efficiency air separation equipment							
Steel production process	Raw material yard	Coke oven	Sintering plant	Blast furnace (BF)	Basic oxygen furnace (BOF), Electric-arc furnace (EF), Continuous casting (CC)	Reheating furnace	Hot rolling, Cold rolling	Continuous annealing, Coating	Shipment

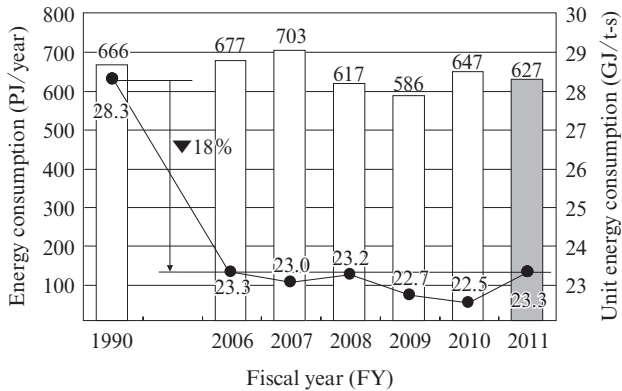


図4 JFE スチールにおけるエネルギー消費量および消費原単位の推移

Fig. 4 Trend in total and unit energy consumption of JFE Steel

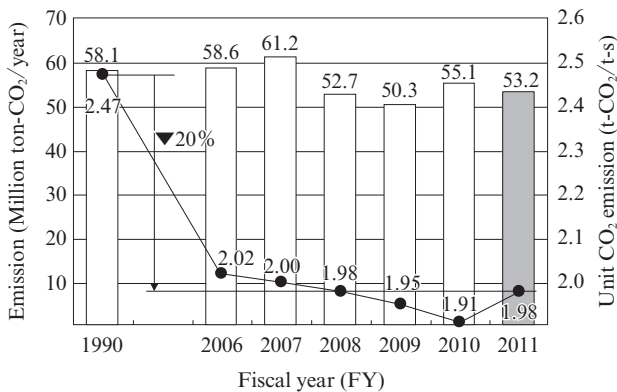


図5 JFE スチールにおけるCO₂排出量および排出原単位の推移

Fig. 5 Trend in total and unit CO₂ emission of JFE Steel

焼結プロセスでは、粉状鉄鉱石と石灰石に、凝結材の粉コークスを混合した後、焼結機に装入・点火し、焼結反応を進行させ塊成化する。高品質な焼結鉱を製造するためには焼結時の温度を1200℃から1400℃に維持する必要があり、この温度領域以下では原料が十分に熔融しないため必要な強度が得られず、1400℃を超えると低強度のガラス質鉱物の増加により品質の劣化を招くことになる。

Super-SINTER[®]では、粉コークスの一部代替として水素系気体燃料（都市ガス）を装入原料上面より吹き込む。水素系燃料は粉コークスと燃焼ポイントが異なるため、燃焼最高温度を上昇させることなく、最適な焼成反応温度を長時間保持することができ、その結果、焼結プロセスのエネルギー効率が大幅に向上し、CO₂排出量が削減が可能となった。

本技術は、2009年度「低CO₂川崎パイロットブランド」や2010年「日経地球環境技術賞大賞」（主催：日本経済新聞社）、第38回（平成23年度）「岩谷直治記念賞」（公益財団法人 岩谷直治記念財団）を受賞した。

3.2.3 発電設備・電力使用機器の高効率化

製鉄業では電力はもとより電力をエネルギー源として製造した酸素・窒素などを大量に使用する。JFE スチールでは

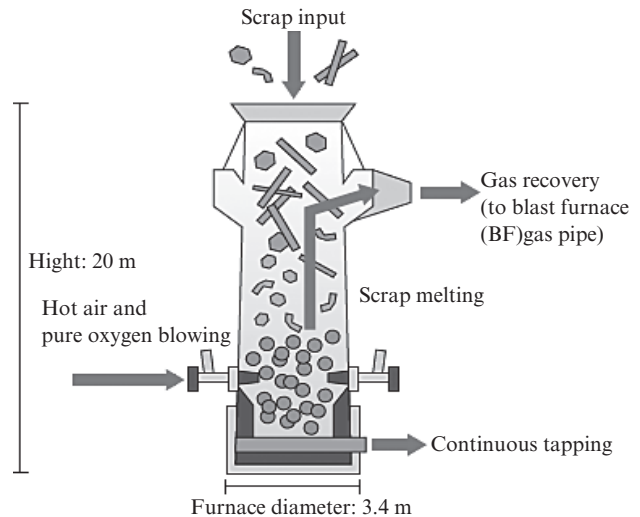


図6 新型シャフト炉の概要

Fig. 6 Structure of new shaft furnace

これら電力多消費機器の高効率化を進め、高圧酸素・窒素コンプレッサーの高効率機器への更新をはじめ、酸素製造プラントも京浜4号、千葉14号、倉敷12号、福山15号（京浜と福山はJFE サンソセンター設備）と各地区継続的に高効率機への更新を進めている。

また、東日本製鉄所（千葉地区）においては150 MW級のGTCC（Gas turbine combined cycle）自家発電設備を建設中であり、発電効率アップによる省エネルギー・CO₂削減を推進している。同設備は2015年稼働予定である。

2011年3月の東日本大震災以降、電力需要逼迫への対応が急務となっており、今後も他地区発電設備のリフレッシュを計画推進していく。

3.2.4 地球温暖化対策技術開発

JFE スチールは、高炉法製鉄からのCO₂排出削減を目指した革新技術開発プロジェクト「COURSE50」の中核メンバーとして、PSA（Pressure swing adsorption）プロセスを利用したCO₂分離技術や、製鋼スラグの未利用排熱回収技術開発に取り組んでいる。

PSAプロセスは、高炉副生ガスに含まれるCO₂を、ゼオライトを吸着剤として分離回収するもので、西日本製鉄所（福山地区）に3t-CO₂/日規模のパイロットプラントを建設して開発を進めている。

また、将来の抜本的なCO₂排出削減に向け、新しい高炉原料として期待される「フェロコークス」の製造プロセス技術開発も推進しており、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）（2011年度からは経済産業省）による「資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発」プロジェクトとして東日本製鉄所（京浜地区）にフェロコークス製造能力30t/日のパイロットプラントを建設した。

日本の鉄鋼業においては、長期的かつ安定的な原料調達

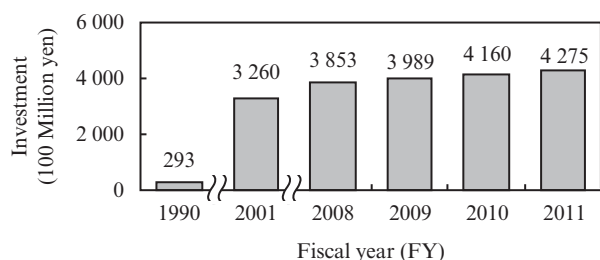


図7 JFE スチールにおける 1990 年度からの省エネルギー、CO₂ 削減投資の累積額推移

Fig. 7 Trend in total amount of energy saving and CO₂ reduction investment of JFE Steel since 1990

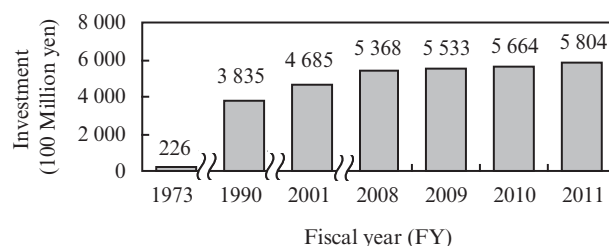


図8 JFE スチールにおける 1973 年度からの環境保全投資の累積額推移

Fig. 8 Trend in the total amount of environmental conservation investment of JFE Steel since 1973

が極めて重要な課題のひとつであると同時に、中長期的に大幅な CO₂ 排出抑制が求められており、これらの課題解決を図るべく産官学共同で実用化技術の開発を目指している。

3.3 省エネルギー・CO₂ 削減投資の推移

図7に1990年度以降の省エネルギー・CO₂削減のための設備投資累積額の推移を示す。世界最高レベルのエネルギー利用効率実現のための投資額は、2011年度までに累計で4275億円に達し、現在も発電設備のリフレッシュなど1件100億円以上の大型案件を計画推進中である。

4. 環境保全活動

4.1 環境管理機能の強化

JFE スチールでは、2005年度以降、環境管理部門を操業部門から独立させ、指導力を強化するとともに、監査部による環境監査制度を導入し、業務監査を実施することにより環境管理機能の向上を図ってきた。

また、職種や職階ごとの環境教育制度を整備し、環境保全意識と知識を向上させるとともに、技術系社員に国家資格である公害防止管理者の資格取得を推奨し、2005年度以降で累計1074名が資格を取得、活動の質の向上に寄与している。

4.2 環境負荷低減活動

高度経済成長期の公害問題以降、ばいじん、硫黄酸化物、窒素酸化物などの排出抑制に関する技術開発や設備導入を積極的に進めてきた。2000年度以降はその他の化学物質の大気への排出低減対策も進めている。図8には、1973年度以降の環境保全設備投資累積額の推移を示すが、これらの環境保全設備投資は、1973～2011年度の累計で5804億円に達しており、現在も毎年100億円強の設備投資を継続し自主的な環境負荷低減活動に取り組んでいる。

4.2.1 硫黄酸化物、窒素酸化物対策

製鉄所内で利用されるコークス炉ガスの脱硫設備導入や、焼結機排ガスの脱硫・脱硝設備の導入などを実施した。

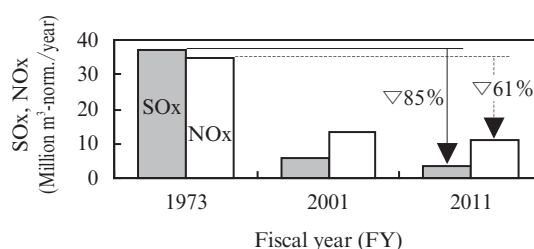


図9 JFE スチールの SOx, NOx 排出量推移

Fig. 9 Trend in SOx and NOx emission of JFE Steel

2000年度以降も脱硫機能をもった活性コークス法排ガス処理設備を焼結炉に設置するなど、引き続き低減活動に取り組んでいる。図9には1973年度からのSOx, NOx排出量の推移を示すが、2011年度のSOx, NOx排出量は1973年度比でそれぞれ85%、61%減と大幅に低下した。

4.2.2 化学物質排出削減

2000年度以降、ベンゼン、ダイオキシン類などの排出削減に自主的に取り組んできた。

ベンゼンについては、コークス炉ドアクリーナー高効率化によるガス洩れの低減、コークス炉へ石炭を装入する際に排出されるガスの燃焼処理や活性炭吸着処理の導入、粗軽油タンクのペーパー回収・燃焼設備導入などを実施した。図10に2001年度と2011年度のベンゼン排出量を示すが、2011年度の排出量は2001年度比で70%減少した。

ダイオキシン類については、主要な排出源である焼結機の排ガス対策として、除塵効率を向上させるために湿式電気集塵機の増強、およびダイオキシン類の発生要因となるClを焼結原料から低減する対策を行なった。図11には2001年度と2011年度のダイオキシン類排出量を示すが、2011年度の排出量は2001年度比で88%減少した。

4.2.3 粉じん飛散対策

粉じん飛散対策については、従来から集塵機の増設や能力増強、原料ヤードの散水や飛散防止剤のコーティング、および構内の清掃や道路散水などの対策を実施してきた。これらの活動に加え、2000年度以降は防風フェンス設置(東日本製鉄所(千葉地区)、西日本製鉄所(倉敷、福山地区))：写真1に倉敷、福山の例)や散水設備増強(東日本製鉄所(京

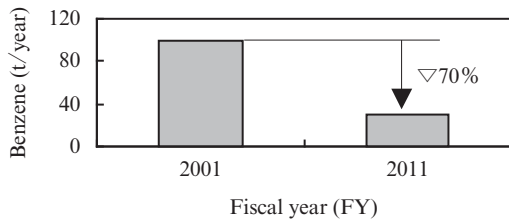


図 10 JFE スチールのベンゼン排出量推移
Fig. 10 Trend in Benzene emission of JFE Steel

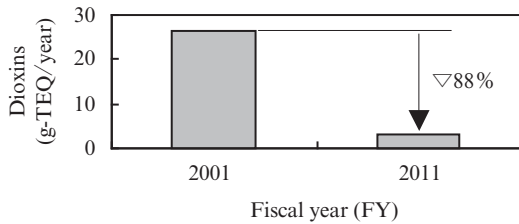


図 11 JFE スチールのダイオキシン類排出量推移
Fig. 11 Trend in dioxins emission of JFE Steel



写真 1 石炭ヤードに設置した防風フェンス
Photo 1 Windbreak of coal stock yard

浜地区))を行なうとともに、シミュレーション解析により対策実施ポイントを選定し、集中的、効果的に設備改善を推進し、飛散量の低減を図っている。

5. 資源循環への取組み

5.1 副生物の排出抑制への取組み

製鉄プロセスでは、鉄鉱石、石炭、石灰石などを原料として投入し、鉄鋼製品を製造する一方で、原料中の鉄分以外の酸化物などからなるスラグ、燃焼炉などから発生するダスト、水処理工程より発生するスラッジなどの副生物も生成する。当社の2011年度のマテリアルフローを図12に示す。約68百万tの原料を投入し、約15百万tの副生物を生成している。

当社では、生成した副生物を製鉄原料、土木建築材料などとして資源化し、最終処分量を徹底的に削減する活動に取り組んでいる。図13に2011年度の副生物生成量の内訳を、図14に1990年以降の最終処分量、リサイクル率の推移を示す。2011年度の副生物の資源化率は99.7%に達している。

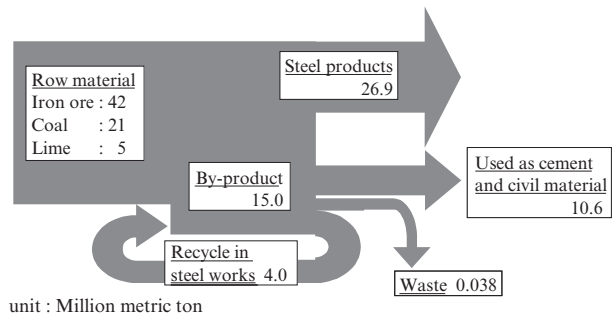


図 12 JFE スチールのマテリアルフロー図
Fig. 12 Resources recycling flow of JFE Steel (Fiscal year 2011)

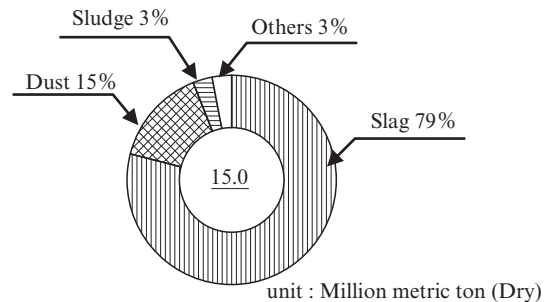


図 13 JFE スチールにおける2011年度の副生物生成量の内訳
Fig. 13 Breakdown of steelworks byproduct of JFE Steel (Fiscal year 2011)

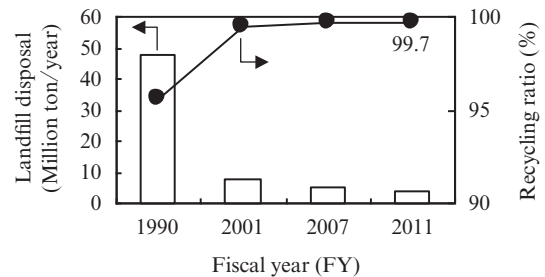


図 14 JFE スチールの1990年度以降の最終処分量、リサイクル率の推移
Fig. 14 Transition of landfill disposal/recycling ratio of JFE Steel

5.2 副生物資源化に向けた技術開発の推進

製鉄プロセスから発生する最大の副生物である鉄鋼スラグは、従来から高炉セメント材料、セメント原料、道路路盤材、港湾工用材料、農業用肥料などの製品として販売しており、100%資源化している。現在では、鉄鋼スラグに含まれる酸化カルシウム成分や酸化鉄成分を活用した海域修復工事材料や、鉄鋼スラグを二酸化炭素で固化させたマリンプロック®を用いたサンゴ礁再生などの新しい用途の開発にも取り組んでいる。

ダスト・スラッジについては、鉄分の含有量が高く貴重な製鉄原料となるものが多いが、その発生工程によっては製

鉄プロセスにリサイクルが困難な Zn などの不純物を含む場合もある。当社は、ダストから Zn を除去し製鉄原料とするためのダスト精錬炉（2008 年西日本製鉄所（福山地区））、油分を含有したスラッジから油分を除去する焙焼炉（2009 年西日本製鉄所（倉敷地区））の資源化設備の導入など、所内資源化を推進している。

5.3 製鉄プラントを活用した循環型社会への貢献

製鉄プラントは、大型で高温の燃焼炉、溶融炉を有しており、JFE スチールはそのインフラを活用した製鉄所外の使用済みプラスチックや、一般廃棄物である容器包装プラスチックの資源化技術の開発を進めている。

1996 年に世界で初めて実用化した使用済みプラスチックの一貫高炉原料化に続き 2007 年には、容器包装プラスチックを微粉化する技術開発・実用化にも成功し、高炉での鉄鉱石の還元剤としての高度利用を行なっている。これらは、優れた資源化技術として、「資源循環技術・システム表彰経済大臣賞」（2004 年度）をはじめ、外部から高い評価を得ている。

6. おわりに

鉄鋼業における地球温暖化防止対策、JFE スチールの省エネルギー、CO₂ 削減、環境保全、資源循環への取組みについて紹介した。工場地域や幹線道路周辺の大気汚染など地域環境の状況は、高度経済成長期以降大幅に改善してい

るものの、環境問題が地域住民の方にとって大きな関心事のひとつであることには変わりはない。

JFE スチールは、グローバル企業、地域社会の一員としてさまざまな環境活動に継続的に取り組み、持続的発展が可能な社会の実現に貢献していく所存である。

参考文献

- 1) 日本鉄鋼連盟公式ホームページ。
(<http://www.jisf.or.jp/business/ondanka/eco/process.html>)



小倉 滋



手塚 宏之



弓手 崇生



田村 望