Invited Review

Development of Coal Utilization Technologies and Future Tasks
in Cokemaking ProcessKenji KATO*¹, and Yutaka SUZUKI*²

(Received July 22, 2013)

コークス製造プロセスにおける石炭資源利用技術の発展と今後の課題

加藤健次*¹, 鈴木 豊*²

Coal is very important resource for producing high quality metallurgical coke. In Japan, improvement of coke quality is strongly demanded to operate large inner volume blast furnaces smoothly. So, effective coal utilization technologies involving new cokemaking process were developed for a long period. Research themes are mainly focused on the expansion of coal resources useable for cokemaking, improving coke productivity and reducing energy consumption. Especially improvement of coke quality is very important, because it generally leads to increase the blending ratio of low grade coals in coal charge without deteriorating coke strength.

In this paper, new cokemaking technologies such as DAPS process and SCOPE21 process are introduced. Understanding of these processes is expected to contribute to further innovative development of new cokemaking process.

石炭は、高炉用コークス製造原料として重要な資源である。日本では、大型高炉を安定的に操業するために、高強度のコークスを製造する技術開発が求められている。このため、石炭資源を有効に利用して、高品質のコークスを製造するための新コークス製造プロセスの開発が長い間行われてきた。課題として、コークス製造用原料として使用可能な石炭資源範囲の拡大、コークスの生産性向上、省エネルギーに重点を置いた研究開発が実施されてきた。コークス品質を向上させる技術が開発できれば、コークス製造用原料として低品位な石炭の使用比率を上昇させても、コークス強度の低下を抑制することが可能となる。

本論文では、コークス製造技術開発の中でも特徴のある石炭事前処理技術として、DAPS プロセスおよびSCOPE21 プロセスを紹介する。これらの新コークス製造技術の開発内容が、今後の革新的な技術開発の一助になれば幸いである。

Key Words

Coal, Coke, DAPS process, SCOPE21

1. はじめに

わが国の鉄鋼業で使用される総エネルギーのうち、石炭系は約 86% を占めており、重要なエネルギー源である¹⁾。製鉄用コークスは、高炉において鉄鉱石を還元する

際の還元材として使用される。わが国では、1 年間に約 6 千万トンの石炭を原料として、約 3 千 2 百万トンのコークスが製造されている²⁾。コークス製造時の副産物として、コークス炉ガスおよびタール、軽油などの油分が

* 1 Engineering R & D Institute #2,
Nippon Steel & Sumikin Engineering Co., Ltd.
10-12, Koyochō, Wakamatsu-ku, Kitakyūshū-city, Fukuoka
808-0002, Japan

* 2 Ironmaking Technology Div.,
Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation.
6-1 Marunouchi, 2-Chome, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8071,
Japan

* 1 (元) 新日鐵住金(株)
(現) 新日鐵住金エンジニアリング(株) 技術開発第二研
究所

〒808-0002 福岡県北九州市若松区向洋町 10-12

* 2 新日鐵住金(株) 製鉄技術部
〒100-8071 東京都千代田区丸の内 2-6-1

製造される。コークス炉ガスは、脱硫、脱アンモニアなどの処理を行った後に、クリーンなガスとして製鉄所内の加熱設備および発電所などの燃料として使用される。タール、軽油などの油分は化学原料として、全量有効に使用される。

近年、コークス製造用の石炭（原料炭）の価格が大幅に上昇している。さらに、長期的な視点からみると、粘結性の高い良質原料炭の資源賦存量は少ないため、良質な石炭は今後枯渇傾向である。そのため、低品位な石炭資源の高度利用技術開発が盛んに行われており、研究開発成果の早期実機化に対する期待が大きい。

このような背景を踏まえて、わが国の鉄鋼業における石炭資源の有効利用技術の開発および将来の開発課題について述べる。

2. 高炉におけるコークスの役割とコークス使用比率の推移

高炉法による製鉄プロセスの概要を Fig. 1 に示す。鉄鉱石（焼結鉱）とコークスは高炉の炉頂部から層状に装入される。炉頂から装入された原料が高炉内を降下するにしたがって向流する高温ガスによって加熱され、直接あるいは間接に還元反応が進行して溶鉄とスラグに分離され、銑鉄が生産される。高炉内で鉄鉱石を還元するためにコークスが果たす主な役割は、①還元材、②熱源、③通気性・通液性維持材の3つがある（Fig. 2）。

Fig. 3 に、高炉におけるコークス、重油および微粉炭（Pulverized Coal Injection: PCI）の使用比率の推移を示す。1960年代より、高炉羽口からの重油などの燃料吹き込み技術が開始され、低還元材比操業が志向されてきた。しかし、重油吹き込み技術は、1970年代に起こった2度の石油危機（オイルショック）以降は価格競争力を失い、1982年以降はわが国のすべての高炉において、重油などを使用しないオイルレス操業に移行した。この後、高炉操業では微粉炭吹き込み（PCI）技術の開発が盛んに行われた。1981年6月に新日鐵住金（株）大分製鉄所第1高炉に微粉炭吹き込み設備が導入されて以降、わが国の各社の高炉で

Fig. 1 Ironmaking process flow

Fig. 2 Role of coke on Blast Furnace operation

Fig. 3 Trend of average reducing agent ratio for the Blast Furnaces in Japan

PCI設備が急速に普及した³⁾。1988年には国内の全高炉にPCI設備が設置され、銑鉄1トンの製造に対する微粉炭の平均使用量は130 kg/tに達した。1998年には神戸製鋼所加古川第1高炉で254 kg/t⁴⁾、JFE福山第3高炉で266 kg/t^{5) 6)}のように多量のPCI使用試験が実施された。PCI比率を上昇させて高炉を安定的に操業するためには、焼結鉱に対するコークス比率が低下した条件下で、高炉内で焼結鉱が還元される融着帯における通気性を十分に確保することが重要である。また、わが国の高炉は生産性向上を目的として大型化が進められてきており、内容積が5000 m³以上の大型高炉が13基稼働している⁷⁾。このような大型高炉で鉄鉱石の還元反応を効率よく安定的に行う還元材として、高炉内で必要な還元材、熱源、通気性・通液性維持材としての役割を同時に果たし得る安価で堅牢な炭素材料はコークスの他にない。このため、コークスは近年益々重要視されている。

3. コークス製造技術における石炭有効利用技術の開発状況

西岡は、石炭がコークスに変化する過程の物理的、化学的变化を以下のように解説した⁸⁾。石炭の化学的变化としては、約400℃から揮発分の放出が始まる。冷却されてタールになる成分と気体で放出されるメタン、エタンなどの炭化水素が揮発し、さらに温度が上昇すると水素が

多く揮発する。一方、物理変化としては約100℃での脱水に始まり、揮発分が多く発生する約400℃から石炭の膨張が始まる。さらに温度が上昇すると収縮が始まり、約1000℃まで乾留するとコークスが生成する。

室炉式コークス製造プロセスの概要を Fig. 4 に示す⁹⁾。室炉式コークス炉で石炭を乾留して製造されるコークスは、約45～50%の気孔率を有する多孔性炭素材料である。コークス炉は炭化室と燃焼室がサンドイッチ状に交互に連なっている (Fig. 5)。高品質なコークスを製造するためには、石炭の選択と配合、粉碎処理、乾燥処理などの事前処理技術が重要である^{10) 11)}。わが国のコークス製造技術では、長い間、石炭配合技術の研究が重点課題とされてきた。例えば、城は石炭配合理論について、石炭の粘結成分 (粘結性の指標) と石炭の繊維質成分の強度 (石炭化度に相当する指標) を用いて検討し、Fig. 6 を提案した¹²⁾。Fig. 6 は、石炭の繊維質部分と粘結成分のバランスを示した図であり、粘結成分と繊維質部分の均衡を取ることにより、繊維質部分由来のコークス組織が緻密になり、コークス強度が向上することを示唆している。石炭配合理論の研究は、今後の低品位な石炭利用技術を検討する上で、益々重要な課題である。

各種の事前処理設備で処理された石炭は、コークス炉の炭化室に装入されて、約1100～1200℃に加熱された両側の煉瓦壁を介して間接的に加熱され、還元雰囲気条件下で炭中温度が約1000℃になるまで乾留されてコークスとなる。高炉用コークスの原料として使用可能な石炭は粘結炭が中心であるが、世界の石炭資源のうち7割以上

Fig. 4 Conventional cokemaking process flow

Fig. 5 Appearance of coke oven battery

Fig. 6 Relationship among the coke strength, the amount of caking component and the strength of fibrous component

は粘結性の低い劣質な石炭である。そこで、劣質な石炭を多量に使用する条件で強度の高いコークスを製造する技術開発が重要な課題である。わが国では石炭事前処理設備の開発が盛んに行われており、世界でも類をみない石炭乾燥技術が実機化されている^{13) 14)}。

最初に開発された石炭乾燥技術は、CMC (Coal Moisture Control) プロセスである。コークス製造用に使用する石炭は海外から輸入されており、水分を約10%程度含んでいる。CMCプロセスの発想は、石炭の水分を低下させることにより、コークス炉に装入する石炭の嵩密度を上昇させて、コークス強度を向上させるものである。具体的には、回転式の加熱機を用いて石炭の水分を約5～6%の範囲に乾燥する。CMCプロセスは1983年に新日鐵住金(株)大分製鐵所で第1号機が稼働開始された¹⁵⁾。理論的には、石炭水分を5%レベルよりも低下させた方が石炭の装入密度が上昇するので、コークス強度は向上する。しかし、石炭水分を5%未満まで乾燥すると、石炭を乾燥機からコークス炉まで輸送する途中のベルトコンベアやコークス炉周辺で微粉炭に起因する発塵量が大幅に増加し、環境が悪化する。また、微粉炭量の増加に伴ってコークス炉内の炉壁に付着するカーボン量が増加するため、コークス炉の炭化室からコークスを押し出す際の押し出し負荷が上昇し、コークス炉の安定操作が不可能となる。

そこで、石炭水分をCMCプロセスよりも低下させるために、微粉炭の発塵による環境問題およびカーボン付着によるコークス押し出し負荷の問題を解決する対策を検討するとともに、コークス強度をさらに向上させるための研究開発が行われた^{16) 17)}。石炭乾燥時の発塵量増加のメカニズムを調べた結果、水分が高い場合は石炭中の粗粒炭に微粉炭が付着しており、水を結合材とするファンデルワールス力により擬似粒子が生成されているため、発塵量が少ないことがわかった¹⁸⁾。石炭を水分5%未満

まで乾燥すると、擬似粒子が崩壊して微粉炭の単粒子化が起こるために発塵量が増加する。このため、石炭の発塵量を増加させないためには、石炭水分を約2%レベルまで乾燥して石炭の擬似粒子を完全に崩壊させた後に、微粉炭を分離して塊成化する必要があることがわかった。

さらに、石炭に含まれる微細組織成分と石炭粒度の関係について研究が行われた。石炭の微細組織成分のうち、粘結性の高いビトリニットは柔らかく、粉碎されやすい特性を有している。顕微鏡を用いて石炭の微細組織を調べた結果、微粉炭中には粘結性が高いビトリニットが濃縮されていることがわかった。そこで、微粉炭を塊成化した場合の粘結性を調べた結果、微粉炭を塊成化して嵩密度を上昇させることにより、Fig. 7に示すように粘結性が大幅に向上することがわかった¹⁹⁾。

これらの基礎研究成果を基に、微粉炭を加圧成型して塊成化することにより微粉炭の粘結性を向上させてコークス強度を向上させるとともに、乾燥炭の発塵を抑制する実機プロセスの開発が行われた。このプロセスを確立するためには、多量の石炭を乾燥しながら微粉炭を分級する装置の開発が必要であった。そこで、流動層による乾燥分級設備の開発が行われ、その結果、世界で初めて、Fig. 8に示す約6800 t/d規模の大型装置によりコークス製

Fig. 7 Relationship between total dilatation coefficient and bulk density

Fig. 8 Process flow of DAPS process

Fig. 9 Fluidized bed dryer

造用の原料炭を効率よく乾燥・分級する設備が開発された (Fig. 9)^{16) 17)}。

このプロセスはDAPS (Dry-cleaned and Agglomerated Precompaction System) と命名され、1992年に新日鐵住金 (株) 大分製鐵所で実機化された。コークス強度が同一の条件で非微粘結炭の使用比率を比べると、DAPSプロセスは湿炭プロセスに対して30%、CMCプロセスに対しては20%多く使用できる優位性がある^{16) 17)}。

以上のように、CMCプロセスおよびDAPSプロセスは石炭資源の有効利用技術を開発することを目的として、石炭粒子の性状およびハンドリング性を改善しながら、コークス品質を向上させる技術開発に取り組んだ成果として実機化された設備である。

4. SCOPE21 技術の開発と実機化

4.1 SCOPE21 プロセスの開発課題

わが国で現在稼働中のコークス炉は合計で48炉団あるが、そのほとんどは昭和40年代の高度経済成長期に集中的に建設されており、コークス炉の稼働年数は平均で約37年を経過している。このため、日本のコークス炉のほとんどは21世紀初頭に老朽更新時期を迎える。そこで、コークス炉のリプレース (新コークス炉の建設) に向けて、次世代コークス製造プロセス開発が進められてきた。現在のコークス製造プロセスは、原料炭として粘結炭を多量に使用しなければならないという石炭資源制約があること、コークスの生産性が低いこと、エネルギー多量消費構造であること、環境対応力が低い (NO_x 規制への対応が必要) など、解決すべき問題点が多い。コークス炉のリプレースを行うタイミングは、現状抱えるコークス製造上の問題点を解決する絶好の機会である。新コークス製造プロセス開発を行う上での課題は、わが国の鉄鋼業界でコークス製造を行うすべての企業にとって共通な課題である。コークス炉の建設費は、1炉団 (コークス生産能力100万 t/y) 当たり数百億円規模の投資が必要

であり、実機規模のパイロットプラント試験を行うためには約 100 億円規模の研究開発費と多くの研究者による研究体制の構築が必要である。これらの背景を踏まえて、日本鉄鋼連盟に参加するコークス製造に関する企業による国家プロジェクトとして共同で研究開発を実施することが決定され、1994年から2003年にかけて次世代コークス製造技術の開発が行われた。本プロジェクトは、スコープ 21 (SCOPE21 ; Super Coke Oven for Productivity and Environmental enhancement toward the 21st century) と呼ばれている^{20) 21)}。

このプロジェクトでは、以下の4点を目標として、新コークス製造プロセスの研究開発が進められた。

- ①コークス製造用原料として、従来は多量に使用することが不可能であった低品位炭(非微粘結炭)の使用比率を従来の20%から50%まで上昇させることにより、使用可能な石炭資源の炭種を拡大する。
- ②コークスの生産性を向上させる。すなわち、コークスの乾留時間を短縮させてコークスを製造することによって、同一のコークス生産量の場合はコークス炉の窯数を減少させ、コークス炉をコンパクト化する。
- ③コークス製造工程の省エネルギー化を図る。
- ④環境問題対策として、NO_xの低減を図る。

SCOPE21 プロセスの開発スケジュールを Table 1 に示す^{22) 23)}。1994年から1997年にかけて基盤技術研究が行われ、1996年から1999年にかけて要素技術研究(ベンチプラント試験)、1999年から2003年にパイロットプラント研究が実施された。さらに、2004年からは実機化が進められた²⁴⁾。

SCOPE21 プロセスでは、抜本的に室炉式コークス製造プロセスの生産性を極限まで向上させる方法を検討した。従来のコークス炉では、乾留時間18 hのうち、石炭水分の乾燥だけで8~10 h程度を要している。コークス炉に装入する前の石炭事前処理工程で水分の乾燥・加熱を急速に行えば、コークス炉での乾留時間を短縮でき、全体

としての生産性を大幅に向上できる可能性がある。この発想から、本開発では、コークス炉の事前処理工程として石炭の急速加熱技術を検討した。その検討過程で、急速加熱により石炭が改質されることが発見され、その効果で劣質な低品位炭(非微粘結炭)の使用比率を大幅に上昇させる可能性のあるプロセスとして開発が進められた。

4.2 SCOPE21 プロセスの特徴

Fig. 10 に SCOPE21 のプロセスフローを示す²³⁾。コークス製造用に使用される石炭を流動床乾燥分級機によって乾燥分級した後に、粗粒炭と微粉炭を別々に330~380℃まで急速加熱する。微粉炭は熱間成型機を用いて加圧成型した後に粗粒炭と混合する。このような石炭の事前処理技術によって、コークス用原料として適さない低品位炭(非微粘結炭)の使用比率を大幅に上昇させることを可能とするとともに、コークスの生産性を大幅に向上させて省エネルギーを図る。次に、高温に加熱した石炭を乾留することにより、炭化室内でのコークス乾留に必要な時間を短縮し、生産性を大幅に向上させる。

以上の基本コンセプトから構成された新しいコークス製造技術を開発することによって、Fig. 11に示すように、コークスの乾留時間を大幅に短縮させて、従来のコークス製造プロセスをコンパクト化し、高効率のコークス製造プロセスを実現することを目指している²³⁾。

Fig. 12にSCOPE21プロセスにおけるコークス品質向上

Fig. 10 Schematic diagram of SCOPE21 process

Fig. 11 Comparison of coking time between SCOPE21 and conventional process

Table 1 R&D Schedule of SCOPE21 project

(Fiscal year)									
1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Basic research									
Bench scale test									
Pilot plant test									
								Test operation

Fig. 12 Technologies for improving coke quality

技術の概要を示す²²⁾。事前処理工程で石炭水分を0%まで乾燥、加熱することおよび微粉炭を高密度に塊成化することによって、コークス炉の炭化室に装入する石炭の嵩密度がCMCプロセスと比較して750 kg/m³から850 kg/m³まで上昇する。さらに、石炭を急速加熱することによって石炭を改質して軟化溶解性を向上させることによってコークス化性が向上する。すなわち、SCOPE21では、石炭の装入密度上昇および石炭改質の効果によって、コークス強度を向上させる^{22) 25)}。コークス強度向上分は、低品位の非微粘結炭の使用比率を上昇させても高炉用コークスとしての所定の強度を維持することができる。

4.3 設備技術開発

SCOPE21 プロセスは、石炭を 330 ~ 380℃に急速加熱することを基本として構築された。急速加熱の実現のため、石炭加熱装置として、気流塔加熱機の採用が考えられた。気流塔加熱機では高温の加熱ガスと石炭が並流で接触する。石炭は伝熱が遅く、また粒度分布をもっており、粗粒は徐々に昇温するが、微粉は比較的速やかにガス温度まで昇温するので、加熱条件によっては380℃以上に過加熱されて、品質劣化や粘着トラブルを招く恐れがある。そこで、本プロセスでは、気流塔加熱機の前段に流動床乾燥分級機を設置し、石炭を250℃程度まで乾燥・予熱することにより気流塔加熱機の負荷を低減するとともに、加熱に時間を要する粗粒炭と比較的加熱の容易な微粉炭に分級し、それぞれ別個に気流塔加熱機で急速加熱する方式を採用した。流動床乾燥分級機および気流塔加熱機等の石炭事前処理設備については、ラボスケールからパイロットプラントまで、段階を踏んで開発を進めた。試験装置を用いて技術検討とエンジニアリングデータ採取を推進するとともに、ソフトシミュレーターの開発も同時に進めた。流動床乾燥分級機で加熱、分級された石炭は、気流塔加熱機を使用して、約330~380℃まで急速加熱処理される。

石炭は約400℃以上では熱分解し、粘結成分が散逸するため石炭の軟化溶解性が低下し、コークス強度が低下す

る。このため、気流塔加熱機における石炭加熱時の温度制御は非常に重要である。気流塔加熱機に求められる機能は、流動床乾燥分級機によって約200~250℃に予熱された石炭を約 330 ~ 380℃まで均一に急速加熱することである。さらに、気流塔加熱機の内部で石炭を落炭させないように、加熱ガス流速を設定する必要がある。

パイロットプラントの気流塔加熱機の主仕様は、石炭処理量 (6 t/h) を考慮して、内径 770 mm, 高さ 25 m に設計された。気流塔加熱機内部で石炭を落炭させないために、気流塔加熱機下部の加熱ガス入口に整流板および分散板を設置し、ガス流速分布の調整を可能とした。パイロットプラントの気流塔加熱機の運転条件を検討するために、気流塔加熱機内におけるガス流速分布計算および伝熱計算による石炭の加熱特性を評価するためのソフトシミュレーターを開発した^{26) 27)}。このソフトシミュレーターを用いて、粗粒炭および微粉炭を各々適正な温度範囲まで急速加熱処理し、過加熱を防止するための加熱ガス温度およびガス流量条件を計算した。伝熱計算により気流塔加熱機の出側における石炭温度を推算した結果、各粒度分布の石炭は目標とする温度範囲 (330 ~ 380℃) まで加熱されることがわかった。このように、粒度分布を有する石炭粒子を過加熱することなく目標の温度範囲内に加熱できる技術が開発された。

4.4 パイロットプラント操業試験

石炭事前処理~乾留炉の一貫した設備機能を有するパイロットプラントが新日鐵住金(株)名古屋製鐵所の構内に建設され、2002年3月から2003年3月まで操業試験が行われた。パイロットプラントのプロセスフローをFig. 13に示す。パイロットプラントの石炭事前処理設備は、石炭処理量が 6 t/h で、実機設備の1/20のスケールである。乾留炉は1窯で、コークス炉の炉長は実機の1/2の 8 m, 炉幅は実機と同じ寸法の 450 mm, 炉高は 7.5 m で実機同等の寸法の設備である。パイロットプラント試験操業は、低炉温条件で設定した第1次操業 (炉温; 1100 ~ 1150℃) と高炉温条件の第2次操業 (炉温; 1200 ~ 1280℃) の2段階に分けて、約1年間実施された。コークスの乾留試験は合計で 440 回実施された²⁸⁾。

パイロットプラントによる一貫したコークス製造の操業試験の結果、石炭を高温に急速加熱処理することによりコークス強度 (DI¹⁵⁰₁₅) が向上し、非微粘結炭を 50% 使用しても強度の高い高炉用コークスを製造できることおよび生産性の高いコークス製造プロセスの実施が可能であることが確認された²⁸⁾。また、燃焼試験炉等での検討により新たに開発された低 NO_x 燃焼構造が採用され、排ガス中の NO_x 濃度 100 ppm 以下という目標を達成することが確認された。

パイロットプラント試験までの研究開発段階で取り組

Fig. 13 Process flow of SCOPE21 pilot plant

まれた主な新技術の開発成果は、以下のとおりである。

①石炭資源有効利用技術

従来のコークス製造方法では、粘結性が低い非微粘結炭を多量に使用すると、コークス強度が低下する。そのため、従来のコークス炉では約20%程度しか非微粘結炭を使用できなかった。これに対して、SCOPE21 プロセスでは石炭を 330～380℃に急速加熱処理することにより石炭の粘結性が向上し、コークス化性が向上する。また、原料炭中の微粉炭が塊成化することにより、嵩密度が上昇し、コークス化性が向上する。

これらの効果により、非微粘結炭を50%使用した場合でも強度が高いコークスの製造が可能である。本技術の適用により、コークス製造用原料炭中の非微粘結炭の使用比率を50%まで高められる見通しを得た。

②コークス生産性向上技術

事前処理工程で石炭を急速加熱処理した高温炭をコークス炉炭化室に装入することにより、コークス製造時間の短縮が可能となり、生産性が大幅に向上する見通しを得た。

③環境対応技術

新たに開発された低NO_x燃焼構造により、コークス炉の最高炉温においても燃焼排ガス中NO_x濃度を従来と比較して飛躍的に低下できることが確認された。

4.5 SCOPE21型新コークス炉の建設および稼働状況

国家プロジェクトの研究開発成果を受けて、SCOPE21型の新コークス炉の第1号機が新日製住金(株)大分製鐵所構内に建設された²⁴⁾。大分第5コークス炉の建設工程の概要をTable 2に示す²⁴⁾。2006年4月～2008年4月にかけてコークス炉の建設工事が行われた。コークス炉本体の建設工事は2008年1月に完了し、2008年2月1日にコークス炉に石炭が初めて装入され、翌日、コークスの初窯出しが行われた。その後、石炭事前処理設備、コークス炉、改質チャンバー(CDQ; Coke Dry Quenching)全

系による総合運転が行われ、2008年5月に竣工した。大分第5コークス炉の設備フローをFig. 14に、主な設備仕様をTable 3に各々示す²⁴⁾。コークス生産能力は100万t/年であり、石炭を装入して乾留する炭化室は64門であり、従来型で同一の生産量のコークス炉と比べて、非常にコンパクト化されている。

現在、大分製鐵所の新コークスプロセスは石炭配合として非微粘結炭比率50%以上使用した条件で、高強度のコークスを安定的に製造しており、順調な操業を継続中である。大分第5コークス炉における1年間のエネルギー削減量を評価した結果、コークス生産量100万t/年時の1年間の重油使用量の削減量は9.43万klに相当する。これは、CO₂排出量では1年間に25.6万tのCO₂削減に相当する²⁴⁾。SCOPE21の第2号機は新日鐵住金(株)名古屋製鐵所に建設され、2013年6月に竣工した²⁹⁾。

Table 2 Construction schedule of Oita No. 5 coke oven battery (Fiscal year)

2004	2005	2006	2007	2008
Environmental assessment		Construction		
			Start up Feb. 1st, 2008

Fig. 14 Process flow of Oita No. 5 coke oven battery

Table 3 Main specification of Oita No. 5 coke oven battery

Equipment		Specification (Capacity)
Coal Pre-treating	Fluidized bed dryer	155 dry-t/h
	Pneumatic pre-heater	106 dry-t/h
	Agglomerater	34 dry-t/h × 2
Coke oven	Coke oven chamber	64 ovens, 6.7 mH × 0.45 mW × 16.6 mL
CDQ		120 t/h

わが国の鉄鋼業におけるコークス製造部門における石炭有効利用技術の開発の中で、SCOPE21 プロセスの開発プロジェクトは、わが国のコークス製造技術の発展に向けて、各社が共通の問題意識を持ってその課題に取り組み、実を結んだ成果である。将来的に、わが国で開発されたSCOPE21プロセスによる新しいコークス炉が順次建設され、鉄鋼業の発展に対して貢献することが強く期待されている。

5. まとめ

鉄鋼業における高炉操業にとって、コークスは重要な還元材であり、他に代替できる炭素材料はない。近年、鉄鋼の世界的な需要および生産の拡大により鉄鋼原料の需給は逼迫し、その価格は高騰している。特に、良質な原料炭はその傾向が一層強くなっている。SCOPE21 プロセスは、石炭資源の有効利用および地球温暖化防止対策(CO₂削減)に直接的に貢献できる方法である。今後、わが国の鉄鋼業の国際競争力の強化に大きく貢献するとともに、地球温暖化問題への解決にも大きく貢献することが期待される。

コークス製造技術は、高温の還元雰囲気条件下で石炭を乾留して、高炉用コークスを製造する技術である。わが国では、石炭資源の特性を十分に検討するとともに、石炭性状に適したプロセス開発が盛んに行われ、実機化されてきた。コークス製造技術の開発を通じて得られたこれまでの成果が、石炭利用技術の進歩に貢献することが期待される。

今後は、さらに新しい切り口と最新技術を導入することにより、石炭資源の特性に応じた有効利用技術の研究開発が飛躍的に発展することが望まれる。従来のコークス製造プロセスに比べて、魅力のある新しいコークス製造プロセスが永続的に研究開発され、世界に発信されることが大いに期待されている。

文 献 : References

- Handbook for Iron and Steel Statistics, (JISF Ed.), **52**, pp. 114-115(2012) : 鉄鋼統計要覧, 日本鉄鋼連盟編, **52**, pp. 114-115(2012)
- J. Jpn. Inst. Energy*, **87**, 564(2008)
- Wakuri, S.: *Ferrum*, **8**, 371(2003) : 和栗眞次郎, ふえらむ, **8**, 371(2003)
- Nozawa, K.; Maki, T.; Shibata, K.; Goto, T.; Matsui, Y.: *CAMP-ISIJ*, **11**, 833(1998) : 野沢健太郎, 牧剛司, 柴田耕一郎, 後藤哲也, 堀隆一, 松井良行, *CAMP-ISIJ*, **11**, 833(1998)
- Maruyama, T.; Maki, A.; Shimomura, A.; Okouchi, I.; Mori, K.; Sato, M.: *CAMP-ISIJ*, **11**, 834(1998) : 丸山太一, 牧章, 下村昭夫, 大河内巖, 森候寿, 佐藤道貴, *CAMP-ISIJ*, **11**, 834(1998)
- Sato, M.; Murai, R.; Ariyama, T.; Maki, A.; Shimomura, A.; Mori, K.: *Tetsu-to-Hagane*, **84**, 37-42(1998) : 佐藤道貴, 村井良太, 有山達郎, 牧章, 下村昭夫, 森候寿, 鉄と鋼, **84**, 37-42(1998)
- Japan. Institute of Energy Ed., Coke note, p. 24(2010) : 日本エネルギー学会編, コークス・ノート, p. 24(2010)
- Nishioka, K.: *Taiyo-no-Kaseki Sekitan*, (Agune), p. 200(1990) : 西岡邦彦, 太陽の化石 石炭, (アグネ), p. 200(1990)
- Kato, K.: *J. Jpn. Inst. Energy*, **86**, 480-487(2007) : 加藤健次, *J. Jpn. Inst. Energy*, **86**, 480-487(2007)
- Kimura, H.; Fujii, S.: *Sekitan Kagaku to Kogyo* (Sankyo Shuppan), pp. 24-42(1984) : 木村英雄, 藤井修治, 石炭 化学と工業(三共出版), pp. 24-42(1984)
- Sakawa, M.; Komkai, I.; Yamaguchi, K.: *Coal and Coke*, (ISIJ Ed.), pp. 68-79(2002) : 坂輪光弘, 古牧育男, 山口一良, 石炭・コークス, 日本鉄鋼協会編, pp. 68-79(2002)
- Jo, H.: *Nenryo Kyokai-shi*, **26**, 1-10(1947) : 城博, 燃料協会誌, **26**, 1-10(1947)
- Kato, K.: *J. Jpn. Inst. Energy*, **87**, 344-352(2008) : 加藤健次, *J. Jpn. Inst. Energy*, **87**, 344-352(2008)
- Mochida, I.: *Clean Coal Technology*, (Kogyo Chosakai), pp. 138-146(2008) : 持田勲編著, 図解 クリーンコールテクノロジー(工業調査会), pp. 138-146(2008)
- Wakuri, S.; Ohno, M.; Hosokawa, K.; Nakagawa, K.; Takanohashi, Y.; Ohnishi, T.; Kushioka, K.; Konno, Y.: 45th Ironmaking Conf., 303(1996)
- Nakashima, Y.; Mochizuki, S.; Ito, S.; Nakagawa, K.; Nishimoto, K.; Kobayashi, K.: 2nd International

- Cokemaking Congress, 518(1992)
- 17) Tanaka, S.; Okanishi, K.; Kikuchi, A.; Yamamura, Y.: 56th Ironmaking Conf., 56(1997)
- 18) Kobayashi, K.; Yamaguchi, T.; Okuhara, T.: *Tetsu-to-Hagané*, **71**, S841(1985) : 小林勝明, 山口徳二, 奥原捷晃, 鉄と鋼, **71**, S841(1985)
- 19) Nakashima, Y.; Yamamura, Y.: *Tetsu-to-Hagané*, **73**, S796(1987) : 中嶋義明, 山村雄一, 鉄と鋼, **73**, S796(1987)
- 20) Nishioka, K.: *Tetsu-to-Hagané*, **82**, 353-360(1996) : 西岡邦彦, 鉄と鋼, **82**, 353-360(1996)
- 21) Nishioka, K.: *J. Jpn. Inst. Energy*, **77**, 899(1996) : 西岡邦彦, *J. Jpn. Inst. Energy*, **77**, 899(1996)
- 22) Kato, K.: Recent Development and Future of Ironmaking technology, 61(2003) : 加藤健次, 第179回西山記念講座, 製鉄技術の最近の進歩と今後の展開, 61(2003)
- 23) Nishioka, K.; Oshima, H.; Sugiyama, I.; Fujikawa, H.: *Tetsu-to-Hagané*, **90**, 614-619(2004) : 西岡邦彦, 大島弘信, 杉山勇夫, 藤川秀樹, 鉄と鋼, **90**, 614-619(2004)
- 24) Kato, K.: Advanced Clean Coal Technologies in Japan, (CMC Publishing), pp. 193-202(2009) : 加藤健次, 石炭利用の最新技術と展望(CMC出版), pp. 193-202(2009)
- 25) Matsuura, M.; Sasaki, M.; Kato, K.; Nakashima, Y.: *Tetsu-to-Hagané*, **90**, 656-660(2004) : 松浦慎, 佐々木正樹, 加藤健次, 中嶋義明, 鉄と鋼, **90**, 656-660(2004)
- 26) Nagai, K.; Suzuki, A.; Sunagawa, T.; Suyama, S.: *Tetsu-to-Hagané*, **90**, 627-633(2004) : 永井和範, 鈴木淳, 砂川辰則, 須山真一, 鉄と鋼, **90**, 627-633(2004)
- 27) Matsuda, Y.; Yokomizo, M.; Sasaki, M.; Matsuura, M.: *Tetsu-to-Hagané*, **90**, 648-655(2004) : 松田雄市, 横溝正彦, 佐々木正樹, 松浦慎, 鉄と鋼, **90**, 648-655(2004)
- 28) Kubota, Y.; Arima, T.; Kato, K.; Matsuura, M.; Nakai, H.; Sasaki, M.; Sugiyama, I.: *Tetsu-to-Hagané*, **90**, 686-693(2004) : 窪田征弘, 有馬孝, 加藤健次, 松浦慎, 中居裕貴, 佐々木正樹, 杉山勇夫, 鉄と鋼, **90**, 686-693(2004)
- 29) NIKKEI BUSINESS DAILY, 2013.6.19 : 日経産業新聞, 2013年6月19日
-