

## 連携記事

# 次世代コークス製造技術 (SCOPE21) の開発および実機化

## Development of New Cokemaking Technology (SCOPE21)

加藤健次

Kenji Kato

新日本製鐵 (株)

環境・プロセス研究開発センター

部長

### 1 緒言

高炉用コークスは、高炉で鉄鉱石を還元するための還元材として使用される。高炉内には、鉄鉱石 (焼結鉱) とコークスが層状に高炉の炉頂部から装入される。高炉では、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は、①高炉内の通気・通液機能、②熱交換、溶解機能、③還元材の3つの機能が必要とされる。大型高炉で鉄鉱石の還元反応を効率よく安定的に行う上で、高炉内で必要な上記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をおいて他にないことから、コークスは益々重要視されている。

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年代の経済高度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35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世紀初めの近い将来に老朽更新時期を迎えることになる。そこで、来るべき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、環境対応力が低いことなど、解決すべき課題が多い。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。

石炭資源全体をみると、製鉄用コークス製造用に適した良質な粘結炭の比率は少ない。コークス製造用原料として低粘結性石炭の多量使用技術を開発することは、石炭資源有効利用の観点から大きな意義がある。

これらの背景を踏まえて、日本鉄鋼連盟の参加企業による

国家プロジェクトとして、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<sup>1-5)</sup>。

本稿では、次世代コークス製造技術 (SCOPE21) の開発経緯と実機化状況について述べる。

### 2 SCOPE21 プロセスの開発状況

#### 2.1 SCOPE21 プロセスの特徴と開発課題

Fig.1にSCOPE21のプロセスフローを示す<sup>1,5)</sup>。SCOPE21プロセスの主要課題は、以下のとおりである。①コークス生産性の大幅な向上技術の開発、②石炭資源有効利用技術の開発、③省エネルギー技術の開発、④環境対応力向上技術の開発。

SCOPE21プロセスでは、コークス炉の生産性を従来の室炉法に比べて飛躍的に向上させるために、コークス製造工程

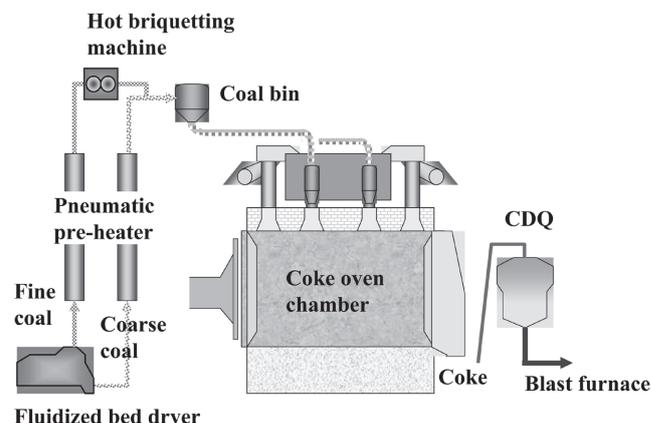


Fig.1 Schematic diagram of SCOPE21 process

の各機能に対応させて乾留設備を3つのユニットに区分して考え、これらのユニットを効率良く組み合わせることによって、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が検討されている。

第一の工程で、コークス製造用に使用される石炭は流動床乾燥分級機を用いて乾燥分級した後に、粗粒炭と微粉炭が別々に330～380℃まで急速加熱する。微粉炭は熱間成形機を用いて成形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原料炭（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。

第二の工程で、高温に加熱した石炭を高熱伝導率の薄壁煉瓦が採用されたコークス炉の炭化室内に装入して石炭を乾留するとともに、コークスの乾留温度を通常の乾留温度（約1000℃）より低温（中低温乾留；約700～800℃）に設定することにより、炭化室内でのコークス乾留に必要な時間を短縮する。

第三の工程で、コークス炉から中低温で系外に窯出したコークスをCDQ（Coke Dry Quenching；改質チャンバー）を用いて通常の乾留温度レベル（約1000℃）まで再加熱することにより、コークス炉炭化室内で1000℃まで乾留した場合と同等のコークス品質を確保しながら、生産性を大幅に向上させる。

以上の3つの基本工程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.2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、非常に効率の良いコークス製造プロセスを実現することを目標としている。

2.2 SCOPE21プロセスにおけるコークス品質向上技術

Fig.3にSCOPE21プロセスにおけるコークス品質向上技術の概要を示す<sup>5)</sup>。石炭を予熱して粗粒炭と微粉炭に分級し

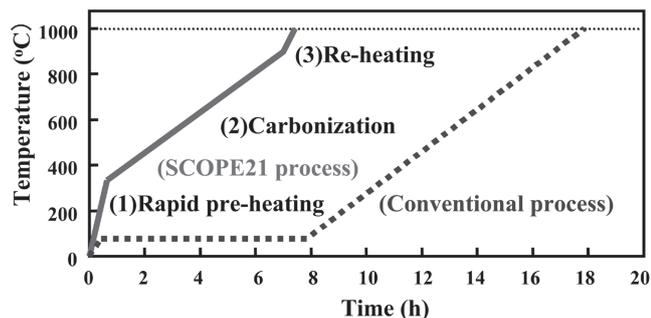


Fig.2 Comparison of coking time between SCOPE21 and conventional process

た後に、微粉炭を熱間成形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高密度を上昇させる効果と、石炭を急速加熱することによって石炭を改質してコークス化性が向上する効果の両方によって、高炉用コークスとしての所定のコークス強度を維持しながら、非微粘結炭の使用比率を従来技術の20%から50%まで上昇させる技術開発を行うことを目標とした。

2.3 研究開発のステップおよびパイロットプラント操業試験

SCOPE21プロセスの開発においては、1994年から1995年にかけて基盤技術に関する検討が行われ、その結果を踏まえて1996年から1998年にかけて要素技術検討、1998年から1999年にベンチスケールテストが実施された<sup>3,5-7)</sup>。SCOPE21プロセスの開発スケジュールをTable 1に、各開発ステップにおける試験装置規模をTable 2におのおの示す。

初期の基盤技術研究段階では、石炭の急速加熱処理がコークス強度に及ぼす影響および高温急速加熱炭のハンドリング性などを調べるために、石炭処理量200gの小型試験装置を用いた基礎的な調査研究および石炭処理量が約90kgのラボ試験装置を用いてコークスのドラム強度を評価する試験が行

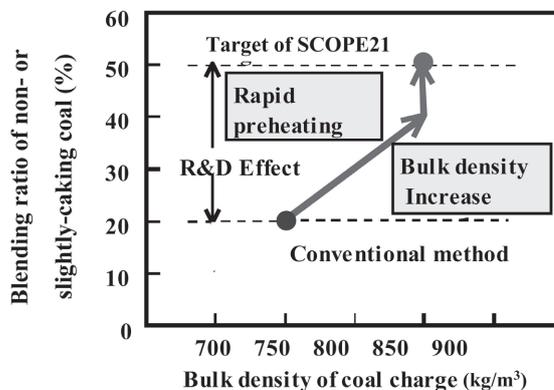


Fig.3 Technologies for improving coke quality

Table 1 SCOPE21 development schedule

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

われた。

次に、パイロットプラントの設計およびエンジニアリングデータ取得のために、要素技術を検討することを目的として、ベンチプラント試験が行われた。ベンチプラント試験装置の石炭処理量は0.6t/hで、実機設備の1/200規模の設備である。

それに引き続いて、SCOPE21の開発コンセプトの検証と実機設備の設計に必要なエンジニアリングデータ取得を目的として、実機規模のパイロットプラントが建設された。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本製鐵(株)名古屋製鐵所構内に建設され、2002年3月から2003年3月までパイロットプラントの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.4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6t/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8m、炉幅は実機と同じ寸法の450mm、炉高は7.5m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<sup>6)</sup>。

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(DI<sup>150</sup>)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(Fig.5)。また、燃焼炉構造の検討により、低NO<sub>x</sub>燃焼を可能とする新しいコークス炉の燃焼構造が開発された<sup>8)</sup>。

SCOPE21プロジェクトで取り組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、原料炭中の微粉炭を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%迄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

Table 2 R&D steps of SCOPE21 project

Development step	Plant scale	Coal pre-treatment process	Coke oven
1st step	Bench scale plant	0.6 t/h (1/200 × Commercial plant)	Combustion chamber (Actual scale test)
2nd step	Pilot plant	6.0 t/h (1/20 × Commercial plant)	1 coke oven (1/2 length)
3rd step	Commercial plant	240 t/h (120t/h × 2 set)	34 t/charge × oven number

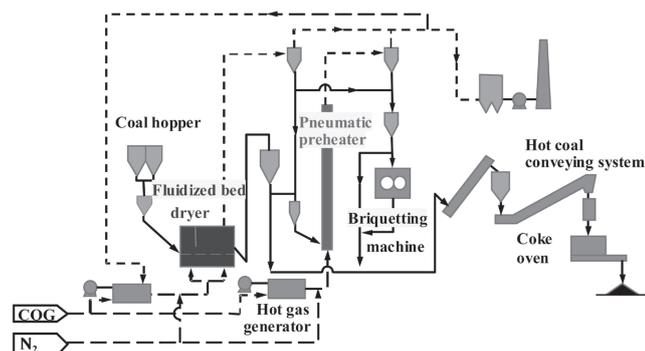


Fig.4 Process flow of SCOPE21 pilot plant

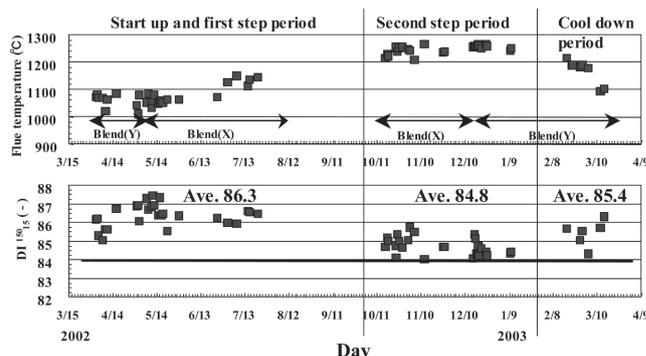


Fig.5 Change of DI<sup>150</sup> in SCOPE21 pilot plant test

可能となり、生産性が大幅に向上する見通しを得た。

③省エネルギー技術

コークス生産量が1年間に100万t規模のSCOPE21型コークス炉を1基導入することによる省エネルギー効果は、従来の室炉式コークス炉に比べて、原油換算で10万kl、CO<sub>2</sub>削減効果として年間40万t程度になると試算された。SCOPE21技術の適用により、省エネルギーのための基礎技術が確立された。

### 3 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号機が新日本製鐵(株)大分製鐵所構内に建設された。大分製鐵所第5コークス炉の建設工程の概要をTable 3に示す。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<sup>9-11)</sup>。

大分第5コークス炉の設備フローをFig.6に、主な設備仕様をTable 4におのおの示す。コークス生産能力は100万t/年、石炭を装入して乾留する炭化室は64門である。炭化室の炉

Table 3 Construction schedule of Oita No.5 coke oven operation

(Fiscal year)				
2004	2005	2006	2007	2008
Environmental assessment		Construction		
			Start up Feb. 1st, 2008	

幅は0.45m、炉高6.7m、炉長16.6mである。石炭は石炭粉砕機で約3mm以下に粉砕した後、流動床乾燥分級機で微粉炭と粗粒炭に分級する。さらに、粗粒炭は気流塔加熱機で約350℃の高温度域まで急速加熱される。微粉炭は塊成機で塊成化された後に粗粒炭と混合し、コークス炉に装入される。大分第5コークス炉の建設状況をFig.7に、建設完了後の外観をFig.8におのおの示す。現在、大分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。

### 4 結言

2008年2月にわが国の国家プロジェクト体制で開発した次世代型のSCOPE21プロセスによるコークス炉の第1号機が新日本製鐵(株)大分製鐵所で稼働開始した。これらの技術開発成果が、将来の石炭資源有効利用に貢献するとともに魅力あるコークス製造プロセスとして、わが国の鉄鋼業の発展に対して大いに貢献することが強く期待されている。

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。わが国では、既存コークス炉の老朽化が進んでいることから、今後コークス炉を新設する際にはSCOPE21プロセスの導入が考えられる。SCOPE21プロセスの導入により、地球温暖化問題への解決

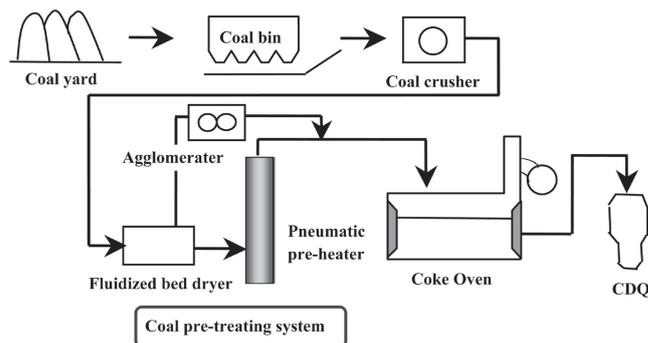


Fig.6 Process flow of Oita No.5 coke oven battery

Table 4 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 CDQ	Coke oven chamber	64 ovens, 0.45mW × 6.7m H × 16.6m L
		120 t/h

にも寄与することが期待される。

高炉法による鉄鋼製造技術を支えるコークス製造技術が益々進歩し、環境対応力が高く、資源対応力が高い新コークス製造技術の開発が強く期待される。

参考文献

1) 西岡邦彦：鉄と鋼, 82 (1996) , 353.  
 2) 西岡邦彦：日エネ誌, 77 (1996) , 899.  
 3) 西岡邦彦, 大島弘信, 杉山勇夫, 藤川秀樹：鉄と鋼, 90 (2004) , 614.  
 4) 松浦慎, 佐々木正樹, 齋藤公児, 加藤健次, 古牧育男：鉄と鋼, 89 (2003) , 565.  
 5) 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, 日本鉄鋼協会編, (2003) , 59.  
 6) 窪田征弘, 有馬孝, 加藤健次, 松浦慎, 中居裕貴, 佐々木正樹：鉄と鋼, 90 (2004) , 686.  
 7) 松浦慎, 佐々木正樹, 加藤健次, 中嶋義明：鉄と鋼, 90 (2004) , 656.  
 8) 吉田周平, 高瀬省二, 内田誠, 佐地孝文, 小山博之, 山本雅章：鉄と鋼, 90 (2004) , 679.  
 9) 加藤健次：日エネ誌, 87 (2009) , 344.  
 10) 加藤健次：石炭利用の最新技術と展望, シーエムシー出版, 東京, (2009) , 193.  
 11) 加藤健次：鉄と鋼, 96 (2010) , 196.

(2011年2月24日受付)

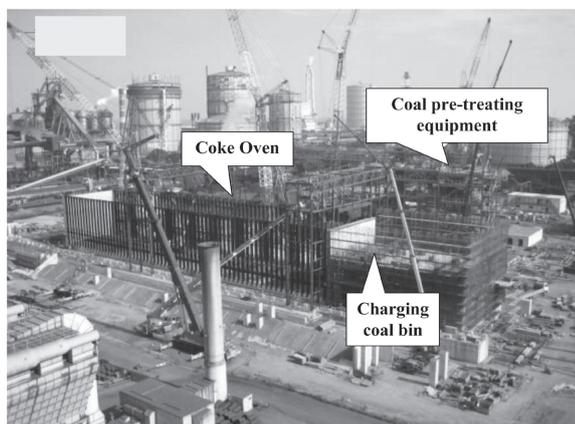


Fig.7 Outlook of Oita No.5 coke oven battery (under construction)



Fig.8 Outlook of Oita No.5 coke oven battery