

コークス製造技術の21世紀展望

Viewpoints of the Japanese Cokemaking Technology for 21st Century

西岡邦彦 / Kunihiko Nishioka・総合技術研究所 研究主幹

要 約

日本のコークス工業は、コークス炉の老朽化のため、2000年台初頭には大幅なコークス不足が懸念される状況にある。作業環境改善や地球環境対応も厳しさを増している状況下で、今まさに次世代コークス製造技術に向けて革新技術への挑戦が迫られている。

日本では次世代コークス製造について、すでに開発を完了した成型コークス製造法と革新的コークス製造法との2つの選択肢をもって対処しようとしている。

次世代対応の革新的コークス製造法は、1994年4月から8年間の予定で、鉄鋼連盟参加企業による開発プロジェクトとして進められている。本プロジェクトはSCOPE21 (Super Coke Oven for Productivity and Environment enhancement toward the 21st century) と命名され、要素技術の開発に続いて100t/d規模のパイロットプラント試験が計画されている。

Synopsis

A serious problem is predicted to occur to the domestic cokemaking industry in the early years of the 21st century. With the majority of existing coke ovens worn out or obsolete, a significant shortage of coke production is likely to occur. Considering environmental pollution and improvement of work conditions, the development of an innovative process is strongly required.

The cokemaking industries in Japan have two potential processes as candidates, i. e., the Formed coke process and the New Cokemaking process. For the New Cokemaking process, member companies in the Japan Iron and Steel Federation have promoted an eight year project to develop innovations, starting in 1994. This project is named after SCOPE 21 (The Super Coke Oven for Productivity and Environment enhancement toward the 21st century). A bench scale test will follow in three years from 1996 and the project is expected to proceed to a 100t/d pilot plant test over the following three years to the year 2001.

1. はじめに

コークスは石炭を空気を断つて加熱する、いわゆる乾留によって熱分解ガスとタールを除去して得られ、高炉法で鉄鉱石を還元して金属鉄を得るために不可欠の原料である。そしてその製造量はわが国だけで現在年間約3千5百万トンあり、その技術レベルは低品位原料利用と省エネルギー技術の面で世界に誇れる水準にある。しかし近年は粗鋼量の伸びの停滞と相まってコークス生産量も停滞し、コークス炉の更新は進まず、老朽化の道を辿っている。この先コークス炉の延命を図り、高炉の微粉炭吹き込み量の増大やコークスを使わない溶融還元製鉄法の実用化を見込んでも、21世紀前半には大幅なコークス不足が懸念される状況にある。ここでは21世紀前半の視点に立ってこれまでのコークス製造技術の歩みを整理し、次世代のコークス工業の展望

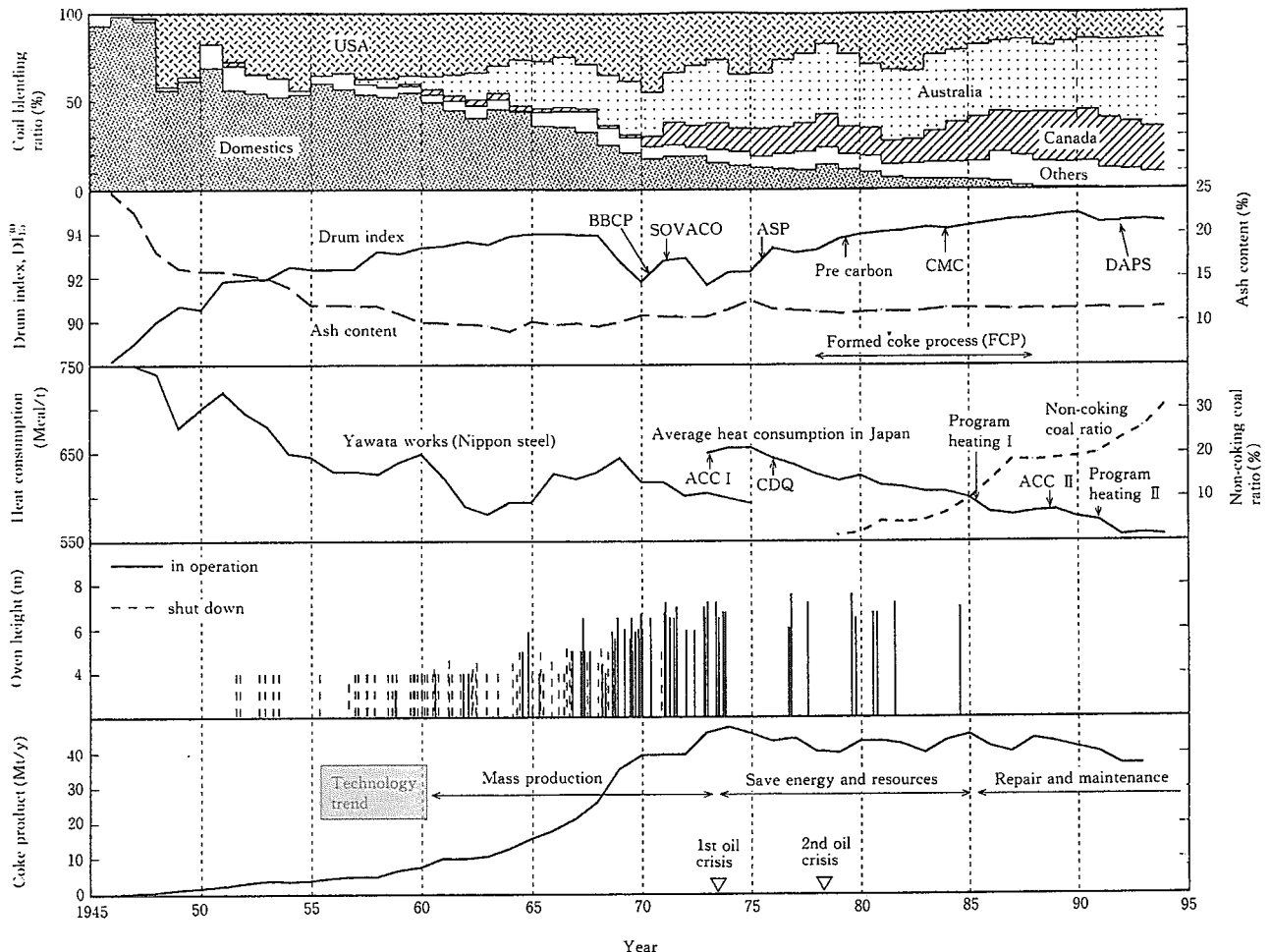
について概説する。

2. コークスの生産概況

まず第1図を参考にしながら、戦後50年の製鉄用コークス生産の歩みを概説する。

2-1 コークス生産量と生産設備

わが国の製鉄用コークスは、1960～70年代の高度経済成長期と相まってその生産量を伸ばし、第一次石油危機直前には5千万トン/年に迫る勢いであった。その後、粗鋼年産1億トン見合いの4千万トン/年前後の生産で推移していたが、近年の高炉への微粉炭直接吹き込み (PCI) 技術の普及に伴いコークス使用量は漸減し、'94年時点で3534万トン/年の生産¹⁾がなされている。



第1図 戦後50年のコークス技術発展の経過

Fig.1 History of Japanese cokemaking technologies since World War II

コークスの生産設備は、室炉式コークス炉と呼ばれるレンガ構築物である。コークス炉の規模は一般に炉高で代表されるが、1960年前後まで炉高4mのコークス炉が建設されたものの、1965年以降は大量生産技術の一つとして設備の大型化が図られ、炉高7m台まで一気に大型化した。しかし石油危機以降は設備新設が殆どなく更新されないため、コークス炉設備の老朽化対応が現在大きな課題になっている。

2-2 原料炭使用量と輸入炭比率

石油危機以降の20年間、原料炭使用量は粗鋼量の伸び悩みの中でコークス生産量に比例して漸減傾向を示している。それでも'94年時点で、製鉄用として5927万トン/年の石炭が消費され、わが国の全石炭使用量(1億2527万トン)の約半量を占めている。現在、その全量を海外からの輸入炭に依存し、コークス製造用には約5000万トンを使用している。

日本の鉄鋼業は、戦後の一時期国内炭を100%使用したこともあったが、良質で安価な海外からの輸入炭によって代われ、現在では国内炭の使用比率は零である。'94年時

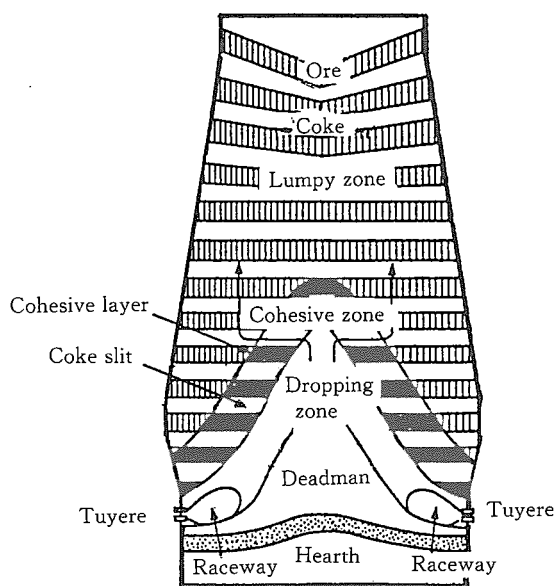
点での輸入炭としては豪州炭の比率が高く49%を占め、次いでカナダ炭(24%)、米国炭(11%)の順¹⁾となっている。

2-3 コークス品質と生産技術

第2図に模式的に示す高炉内²⁾でのコークスの役割は、次の4つに要約される。

- ①還元材：Fe₂O₃のような酸化物の形で装入される鉄鉱石を還元し、金属鉄とする。
- ②熱源：高炉の下部から吹込まれる高温の空気により燃焼し、発生熱で還元反応に必要な熱と鉄の溶融に必要な熱を供給する。
- ③通気/通液性：高炉内の円滑なガス流れを確保し、均一な還元反応の進行と燃焼を行わしめる一方、溶融鉄や溶滓の炉下部への滴下流路を与える。
- ④熱交換材：高炉の下部で還元反応を終えて上昇してくる高温のガスの顕熱を利用して、常温で装入される鉱石とともに熱交換し予熱される。

これら4つの役割を同時に果たし得る安価で堅牢な材料は、コークスをおいて他になく、高炉法が存続するかぎり



第2図 高炉の炉内状況

Fig.2 Schematic behavior of inner blast furnace

コークスは使用され続けるであろう。

戦後50年の歩みの中で、強度向上/灰分低減のようなコークス品質の改善は、まず国内炭に代え、米国炭をはじめとする良質の輸入炭を使用することで達成された。その後、米国炭に比べて安価ではあるが質の劣る豪州炭やカナダ炭、さらには非微粘結炭を使用するために、選択粉碎法 (SOVACO)、成型炭法 (BBCP)、予熱炭法、調湿炭法 (CMC) などの各種事前処理技術が採用された。その結果、コークス品質 (ドラム強度 DI) を落とすことなく、安価低品位原料の使用拡大が図られてきた。

一方、石油危機以降は燃焼制御法 (ACC) や乾式消火法 (CDQ) などの省エネルギー技術、熱回収技術の導入に積極的に取り組み、乾留に必要な熱量は、石油危機直前から現在までに約100Mcal/t も低減した。この結果、先の安価原料炭の使用拡大とともにコークス製造コストの低減に大きく寄与している。

3. 21世紀前半のコークス製造環境

3-1 粗鋼生産体系とコークスの位置づけ

現在、日本の粗鋼は約70%が高炉製鉄法、残り30%が電気炉法により生産されている。これまで電気炉法による粗鋼生産は、一貫して拡大基調で推移してきたが、将来的には原料のスクラップの需給および鋼の性状問題などから、電気炉法が今後とも同じ歩調で拡大していくとは見込まれていない。

一方、コークスを使用せず直接石炭を利用する溶融還元製鉄法は高炉製鉄法への代替が期待されている。しかしながら、COREX 法のように諸外国で一部実用化された例も

報告³⁾されているがまだ小規模である。またわが国が開発中の DIOS 法⁴⁾もまだ実用技術としての実績を積む必要があり、21世紀前半において新製鉄法が高炉製鉄法を凌駕するとは考えにくい状況にある。

こうした背景から、高炉製鉄法は新製鉄法に逐次代替されていくであろうが、21世紀前半はまだ高炉製鉄法が粗鋼生産の重要な位置を占め続けるものと考えられる。ところが高炉製鉄法を支えるコークス炉は、その寿命が一般に35年程度と言われるのに対して、日本のコークス炉は1995年末時点で平均稼働年数25年に達している。したがって、21世紀初頭にはわが国のコークス炉は次々と炉寿命を迎えると思⁵⁾されている。

またコークス使用面で考慮すべきは、高炉製鉄法におけるコークス代替の微粉炭吹き込み (PCI) 技術の進展が挙げられる。1994年の実績⁶⁾では、高炉による鉄生産量は7373万 t/年であり、平均燃料比は514kg/t、うち微粉炭比は102kg/t、コークス比は412kg/t となっている。したがって高炉でのコークス使用量は3040万 t/年であるが、粉コークス込みの全コークス製造量は3534万 t/年となる。微粉炭比は近い将来さらに増大し、平均的には150kg/t まで到達すると推定される。そして機械的/熱的な耐衝撃摩耗強度、CO₂との反応による耐劣化性への要求は大型高炉ほど強く、大量の微粉炭吹き込みが行われるに伴い一段と強くなっている。

これまでの議論を総括し、第1表に示す大胆な前提条件で近い将来のコークス需給量を試算すると、第3図のように2003年頃から急激なコークス不足を来し、2020年時点では必要コークス量2300万 t/年の全量が新設のコークス炉で生産されると予想される。

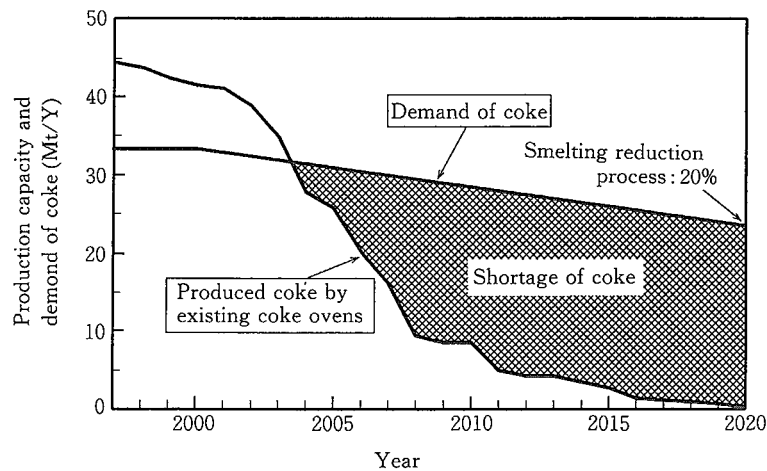
第1表 コークス需給予測の前提

Table 1 Assumptions of coke demand and supply

Items	Year	2000	2020
Steel product (×10 ⁴ ton)		10 000	
BF/EAF ratio		70/30	
Smelting reduction (DIOS) ratio (%)		0	20
Coal ratio (kg/HMT)		100	150
Coke ratio (kg/HMT)		414	364
Fine coke ratio (%)		12	
Coke demand (×10 ⁴ ton/year)		3 290	2 320

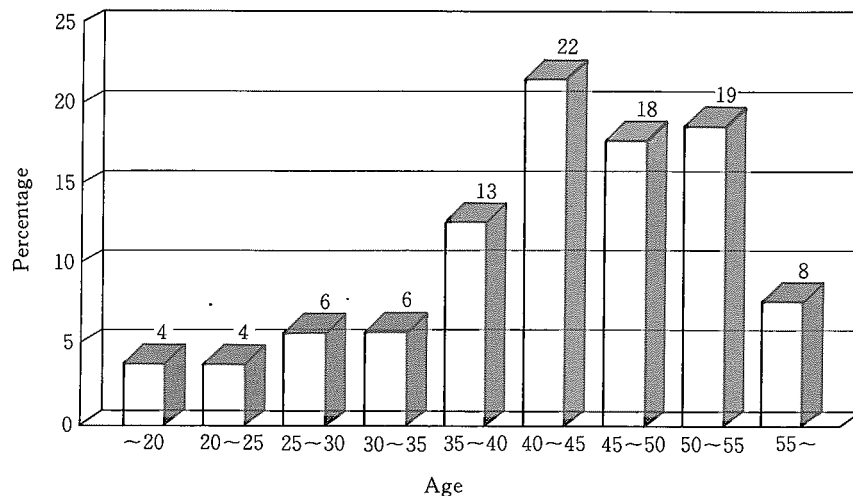
3-2 労働力構成

現在、わが国におけるコークス製造に従事する従業員の平均年齢は、第4図に見られるように43歳を超えており、若年層労働力の確保および操業運転技術の伝承は大きな課題である。それにもかかわらず、現在のコークス製造プロセスは、まだ高熱、粉じんなどの悪条件の中で人に頼らざるを得ない作業も多く残されている。今後、コークス工場



第3図 日本のコークス需給予測

Fig.3 Prediction of coke demand in Japan



第4図 コークス製造業に従事する従業員の年齢構成

Fig.4 Age construction of employees in Japanese cokemaking industry

では一層の自動化推進と若年層にも魅力ある作業環境づくりを進め、労働力年齢構成の是正を図りながら技術の伝承を進めることが極めて大きな課題である。

3-3 石炭資源

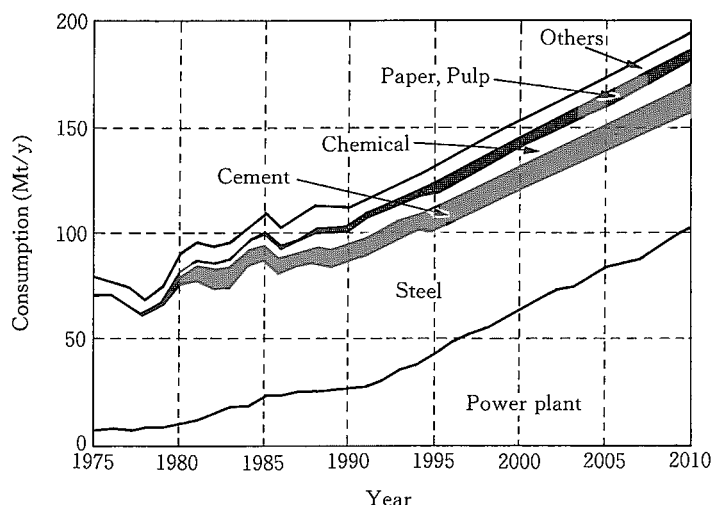
石炭は数千万年～数億年前の樹木が微生物による腐植作用を受けた後、地中においてマイルドな温度と数十～数百気圧の圧力下で長年月の間に、石炭化作用(Coalification)と言われる脱水素、脱メタン、脱炭酸反応を受け、C、H、Oの3元素を主成分とする天然の有機高分子物質に変化したものである。このようにして生成した石炭は、根源植物種、地質年代、地質条件によって性質を異にする。コークス製造を目的とする原料炭は燃料を目的とする一般炭と異なり、石炭粒子が加熱によって軟化溶融する性質(粘結性)を具備している必要があり、すべての石炭が使用できるわけではない。炭素含有量80～90%の瀝青炭を中心とする一部の石炭が利用対象とされ、その資源量は全石炭資源量の

約2割とも言われる。

わが国の石炭需要は、第5図に示すように、1994年は総需要量約1億2500万tで、そのうち一般炭と原料炭はほぼ50%ずつであった。しかし2010年予測では、総需要量は約2億tに増大するものの原料炭は約5000万tに減じ、一般炭が1億5000万tに達するとの試算も⁷⁾ある。こうした趨勢にもかかわらず、現在のコークス製造技術水準では、原料炭の大半を粘結炭に依存せざるを得ない。ちなみに、現状の事前処理技術では非微粘結炭使用比率は20%程度が限度である。したがって石炭資源に乏しいわが国が、流動的な世界の石炭市場に今後とも柔軟に対応していくためには、粘結炭から非微粘結炭まで幅広く使用できる技術を開発しておく必要がある。

3-4 環境保全

1968年に大気汚染防止法が施行されて以来、日本のコークス工業はNO_x、SO_xの発生量低減、粉じんや臭気抑



第5図 石炭需要量の推移と予測

Fig.5 Trend and prediction of coal consumption in Japan

制、排水処理の対策を進め、現在では世界的に最も環境対策の進んだ国になっている。しかしながら、製鉄所においてコークス工場は、最も作業環境の悪い職場に数えられ、より一層の努力が求められている。

さらに1990年、米国において抜本的な改訂が行われた大気汚染防止法 (Clean Air Act Amendments, 以下CAAと略記)⁸⁾は、米国のコークス業界のみならず日本のコークス業界にとっても厳しい対応を迫るものとなった。CAAでは1992年の乾留ガス漏れ規制値の告示から始まって、2020年までの段階的な改善スケジュールを明示しており、その達成ができなければ、コークス炉を休止せざるを得ない厳しい内容である。

このように、作業環境および地球環境保全の世論の中で、日本のコークス工業は21世紀に向かって完全無公害を目指した技術開発が不可欠との認識に立っている。

4. 新コークス技術の目指すべき方向

次世代コークス製造技術の方向としては、少なくとも下記の要素を具備する必要がある。

- ①投資コスト低減のための高生産性プロセス
- ②石炭資源の有効活用のための低品位原料炭の高度利用
- ③快適作業環境の確保と地球環境の保全のための環境汚染の完全抑制

上記要素を満足させる次世代コークス技術として、世界のコークス炉を支配しているドイツは、1980年代に入って労働生産性と環境改善を狙いに、自国のコークス炉設備の大幅な集約に乗り出した。1984年、マンネスマン社のHuckingen工場に世界最大の大型コークス炉を建設したのを皮切りに、1985、1989年にはルアコーレ社 Prosper 工場、1992年には Kaiserstuhl III工場へと大容量のコークス炉を建設 (第2表) して注目を集めた。これらのコークス炉の特徴は、炉長・炉高の拡大に加え、それまで生産性コークス品質面から難しいとされていた炉幅をも拡大した点にある。

広幅コークス炉の成功に自信を得たドイツは、さらに大型化を追求した超大型乾留炉 (Jumbo Coking Reactor) 開発計画を、1990年よりドイツを主体に欧州共同体で EUREKA プロジェクトとして進めている。これは炉長・炉高・炉幅とも大幅に拡大したもので、内容積は実用炉でわが国最大の扇島の約5倍の規模 (第3表) であり、テスト炉の成果が期待される。しかしこうした単純な大型化は必ずしも投資コストの低減につながらず、低品位原料の高度利用や厳しさを増す一方の環境規制にも十分に対応できるかどうか疑問である。

第2表 大型コークス炉の炉体緒元

Table 2 Dimensions of large scale coke oven

Oven batteries	Dimensions (m)			Useful volume		Operating years (Years)
	Height	Length	Width	(m ³)	(%)	
Ohgishima (Japan)	7.65	16.4	0.435	52.2	100 (Base)	1976
Huckingen (Germany)	7.85	17.2	0.550	70.0	134	1984
Prosper (//)	7.10	15.9	0.590	62.3	119	1985, '89
Kaiserstuhl III (//)	7.63	18.0	0.610	78.9	151	1992

第3表 JCRの基本設計緒元
Table 3 Basic designs of JCR

State of the art			Ohgishima (Reference)	JCR	
				Basis	Feasibility
Dimensions, (usable)	Height (m)		7.65	10.00	12.50
	Length (m)		16.40	19.00	25.00
	Width (m)		0.45	0.85	0.85
Useful volume (m ³)			52.2	150.0	250.0
Productivity (Coke/Oven) (t)			32.2	100.0	165.0
Number of ovens (—)			123	55	33
Total ovens operations			984	110	66
Length of sealing faces (km)			5.1	2.4	1.8
Number of pushed ovens/d			171	55	33
Total of operating cycles/d			1 368	110	66
Length of sealing faces to be cleaned (km/d)			7.2	2.4	1.8

*Coke production base ; 5 440t/d

4-1 日本の選択肢

日本では連続式コークス製造を目指した成型コークス技術と、現行室炉式コークス炉をベースとする革新的コークス技術との、大きくは2つの選択肢を模索している。

成型コークス技術について、第6図に示す鉄連式連続成型コークス製造法 (FCP)⁹⁾が1978~1987年の10年間にわたり、国家プロジェクトとして200t/dのパイロットプラントの建設と操業が行われ、実用化技術が開発された。しかし成型コークスは原料石炭制約や高炉使用上の制約から、通常コークスの20~30%を代替が高炉の安定操業の限界であると認識されている。そこで現行の通常コークス製造法に関しても、前記した次世代コークス技術の具備条件を満足する革新的な技術を付加した新しいタイプのコークス製造法を開発し、第7図に示すような成型コークス法とのコンビネーションでもって対処しようとしている。

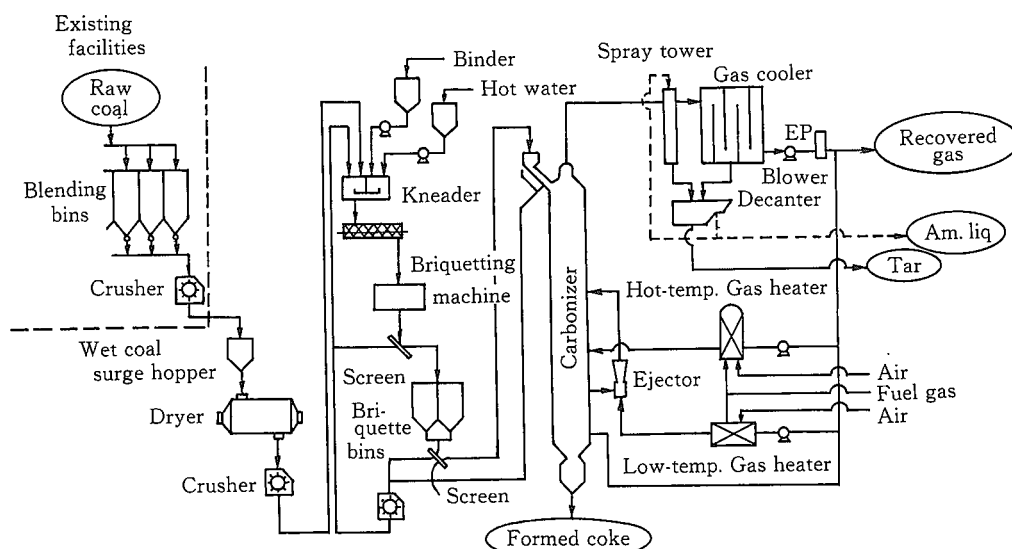
4-2 革新的コークス製造プロセス開発への始動

4-2-1 プロセス基礎研究

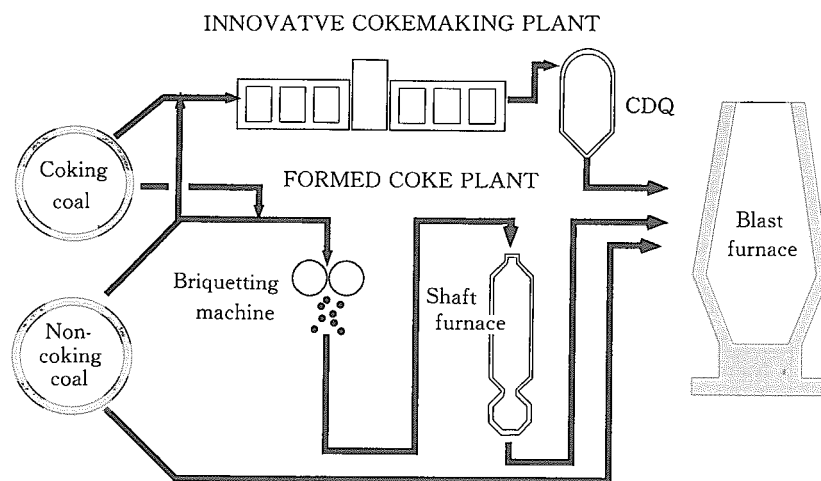
日本鉄鋼協会は基礎研究支援活動の一つとして、1977年以来今日まで産学共同によるコークス製造の基礎研究を推進してきた。活動の成果は、低品位原料の活用や省エネルギーなどの技術開発を側面から支援¹⁰⁾してきた。

1990年から1993年までの研究活動では、第8図に示すコンセプトの次世代コークス製造技術の創出を目指した基礎研究が行われた。低品位石炭の高度利用と高生産性のコークス製造技術の確立を目的に、急速加熱された石炭を塊成化、700℃程度の中温で乾留してコークスとするものである。

これらの成果を踏まえ、1994年から3カ年の予定で、コークス製造工程における熱と物質の変化過程を定量化でき



第6図 鉄連式連続成型コークス製造プロセス
Fig.6 Process flow of the FCP pilot plant

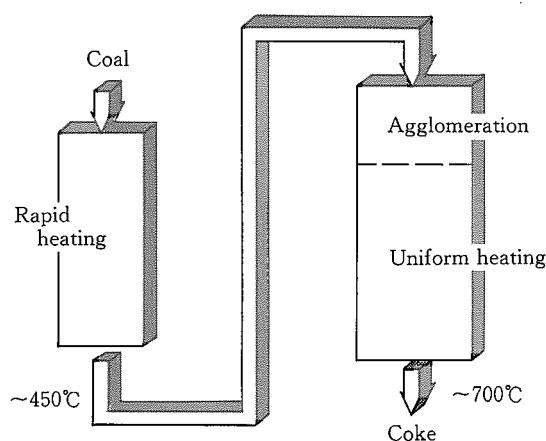


第7図 将来のコークス製造プロセス概念
Fig.7 General view of future cokemaking process

る数学モデルの開発とモデル入力値となる石炭物性値の評価が進められている。

4-2-2 プロセス技術開発

第8図のコンセプトを基本に、1994年より鉄鋼連盟参加企業による次世代コークス製造技術の調査研究が進められている。本プロジェクトはSCOPE21(Super Coke Oven for Productivity and Environment enhancement toward the 21st century)と命名され、1996年以降要素技術の開発に続き100t/d規模のパイロットプラント試験が計画¹¹⁾されている。



第8図 革新的コークス製造プロセス概念
Fig.8 Concept of the innovative cokemaking process

SCOPE21の主な技術開発テーマと目標は、以下のとおりである。

(1) 低品位石炭の高度利用のための石炭事前処理

コークス炉に装入する石炭を従来安定操作の限界とされていた200℃を大きく上回る350～400℃に予熱するとともに、微粉部分を塊成化して混合装入する技術開発が行われ

ている。これらの処理により装入炭嵩密度の向上と均一装入効果に加え、石炭の急速加熱効果が期待され、コークス品質が一定でも配合原料に非微粘結炭を最大で約50%使用可能と見積もられている。

(2) 高生産性コークス化システム

前記した装入炭の350～400℃の高温予熱に加え、コークス炉炭化室壁のレンガを熱伝導性が良く、かつ薄壁にすることで生産性を上げる技術開発が進められている。

また、乾留終了温度を炭中部コークスで700～800℃の中温乾留に制御できる均一加熱技術の開発が進められている。そして中温乾留されたコークスは、CDQの上部のプレチャンパー部において、再加熱して高温乾留コークス並みの品質に改質する技術開発を推進されている。これらの技術開発により、通常的水分を有する装入炭と比較して、SCOPE21は少なくとも300%の生産性向上が見込まれている。

(3) 環境汚染物質の完全抑制

まず、粉じん・発火性の高い高温予熱炭の搬送には、少ないガス量で高濃度・低流速で搬送可能な気流輸送による密閉搬送技術を開発中である。この結果、装炭車を介することなく、クリーンかつ安全に高温予熱炭をコークス炉に装入可能とするものである。

また、コークス炉からのガス漏れ完全防止、コークス炉から排出される発じん・発煙性の高い赤熱コークスの密閉搬送など、環境改善対策には多くの工夫が凝らされ、石炭の搬送から乾留およびコークスの搬送までの一連の工程で発じん・発煙の完全抑制を目指した試みがなされている。

5. おわりに

21世紀前半も高炉製鉄法が主流の座を継続することは間違いなく、基盤プロセスであるコークス製造技術にも強

く変革が求められている。日本はすでに開発した連続式成型コークス製造法に加え、二つ目の選択肢として革新的通常コークス製造法の開発に着手した。解決すべき課題は山積しているが、これまでの歩みに自信をもって期待に応える次世代コークス製造技術が生み出されるものと確信する。

そして産学共同による基礎研究が、この技術開発を側面から支援し、21世紀のコークス工業の基盤をより強固なものにするであろう。



西岡 邦彦 / Kunihiro Nishioka

総合技術研究所 研究主幹

(問合せ先：0479(46)2111)

参考文献

- 1) 日本エネルギー学会編：日本エネルギー学会誌，Vol. 74 [7] (1995)，p. 421
- 2) 日本鉄鋼協会編：「製鉄・製鋼法」，(1981)，地人書館
- 3) H. M. W. Delport：2nd EIC Proc., Institute of Metals (1991)，p. 289
- 4) K. Shiohara：2nd EIC Proc., Institute of Metals (1991)，p. 310
- 5) M. Tateoka：2nd Inter. Cokemaking Cong. Proc., 2 (1991)，p. 21
- 6) 日本エネルギー学会編：日本エネルギー学会誌，Vol. 74 [7] (1995)，p. 480
- 7) 珪石炭利用総合センター流通委員会編：コール・ジャーナル，Vol. 6 [4] (1995)，p. 7
- 8) D. U. Prabhu and P. F. Cilione：Iron & Steel Eng. Jan., (1992)，p. 33
- 9) T. Okuhara, F. Izumiya, T. Matsuo and Y. Tawara：Proc. of 45th Ironmaking Cong., AIME, 45 (1986)，p. 269
- 10) K. Nishioka：Proc. of 1st Inter. Cong. Scie. & Tech. of Ironmaking, (1994)，p. 378
- 11) 坂輪光弘：鉄と鋼，81 (1995)，p. 15