

次世代コークス技術の展望

解説

滝 沢

讓*

Prospect of Cokemaking Technology in Next Generation

Yuzuru TAKIZAWA

1. はじめに

我が国の鉄鋼業は設備効率、操業技術の良さで、その繁栄をおう歌してきたが、上工程においてその基本である設備の老朽化が目立ち始めている。特にコークス炉は、設備寿命が長いいため設備更新の機会がなく、かえってその傾向が顕著である。我が国のコークス炉は、1970年代前後の高度成長時代に相次いで建設されたものが多く、その平均炉齢は約20年である。しかも高炉の大型化に合わせ、炉高4mの中型炉から炉高6~7mの大型炉に、その構成も変化した。

大型コークス炉の寿命に関する定説はないが、我が国ではコークス炉寿命=30~35年が通説になりつつある(世界の平均炉寿命=25年)。仮に炉命を35年とすると、図1のように21世紀初頭には、日本ばかりでなく世界的なコークス不足が生じる¹⁾²⁾。これに合わせてコークス炉を更新した場合、ばく大な設備投資が集中的に発生し、大きな経営問題となる。

またコークス製造は製鉄業の中でも3Kと言われる

汚い、きつい、危険な作業が多く、粉塵、タール等の環境対策、労働力の確保など、操業の根幹にかかわる諸問題が山積している。

したがって今後のコークス炉更新問題は、鉄鋼業全体にとって重大な意味を持ち、溶融還元法等のコークス炉を省略した新精錬プロセスの開発³⁾とともに、新コークス炉の開発が進められている。

新コークス炉の開発は、ヨーロッパのEDCCT (European Development Centre for Cokemaking Technology) を中心に現状の室炉式コークス炉をさらに大型化するプロジェクト⁴⁾や日本鉄鋼協会の乾留制御部会を中心とする室炉と異なるコークスプロセスの開発等、様々な視点からその開発が進められている。

その結果、21世紀の精錬プロセスは、新精錬プロセスが国内外で稼動すると共に、高炉法も新コークス炉を導入し高熱効率等の経済的優位性を活かし、主要精錬プロセスとして存続するという形に変化していくと思われる。

本稿では、最近のコークス技術の進展に基づき、転換

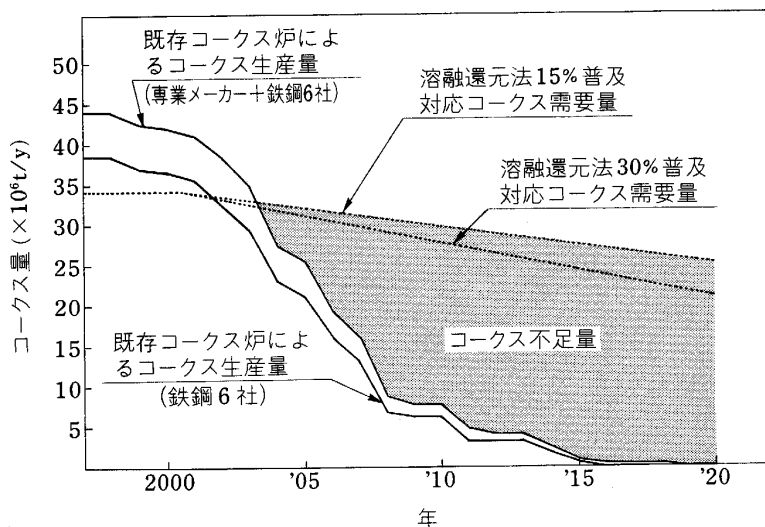


図1 日本のコークス需給予測

平成3年11月18日受付 平成4年4月10日受理 (Received on Nov. 18, 1991; Accepted on Apr. 10, 1992) (依頼解説)

* 川崎製鉄(株)鉄鋼技術部製鉄技術室長 (Iron and Steelmaking Technology Dept., Kawasaki Steel Corp., 2-2-3 Uchisaiwai-cho Chiyoda-ku 100)

Key words: cokemaking; coke oven; coke plant; cokemaking capacity; formed coke process; jumbo coking reactor; clean air act amendments; FCP; JCR.

期である今後 10~20 年間に起こるコークス製造プロセスの変化をコークス炉を中心に展望し、その解説を試みた。

2. 将来の操業環境(検討の前提)

2.1 社会情勢の変化

2.1.1 労働力問題

まず顕在化するの、労働力不足である。現状のコークス炉作業者は高齢者が多く、今後 10 年以内に大幅な世代交代の必要に迫られる。3K 作業の多いコークス炉作業にとって、その補充にはかなりの困難が予想される。

またこの問題は、関連業種である築炉業界において差し迫った問題になっている。高炉、コークス炉関連の築炉工は、現在両者合わせても約 600 人と 10 年前に比べ半減している⁵⁾。その中のコークス炉建設経験者は、さらに少なく現在約 130 人であり、しかも図 2 のように高齢化が進んでいる。また築炉工の新規採用者の定着率は全般的に悪く、建設時の主体となる築炉メーカーの協力会社においては、4% 以下と極めて低い。したがって将来のコークス炉の建設・補修は、技能伝承が途絶えるばかりでなく、大幅な築炉工不足にみまわれる。

2.1.2 環境問題

コークス炉の環境は、1970 年代に高まった国内外の環境改善要求を受けて、法体系の整備、製造側の環境対策が進み、大幅に改善された。しかし近年の CO₂ 問題に代表される地球環境問題、コークス炉からの乾留ガス洩れによる作業環境問題など、より一層の改善が要求されている。

CO₂ による地球温暖化問題は、産業別 CO₂ 排出量が電力業界に次いで多い鉄鋼業(日本全体の 13.7%)にとって大きな問題である⁶⁾。製鉄所における CO₂ 排出量をみると、製鉄部門と高炉、コークス炉ガスを用いた自家発電部門とで全体の約 8 割を占めている。これはコークス炉を用いて石炭から高カロリーガスと鉄鉱石の還元用コークスを得て、エネルギー効率の向上を図っているという製鉄所の構造的な問題に起因している。この

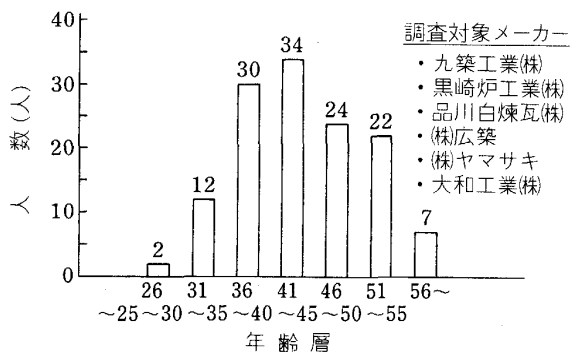


図 2 コークス炉建設に従事可能な築炉工の年齢構成 (1989 年)

表 1 CAA のコークス炉からの乾留ガス洩れ規制値

	MACT	LAER
ドア蓋 (リーク率)	5%	3%
上昇管 (リーク率)	1%	1%
装入発煙時間	5%	4%
	16 秒/装入	16 秒/装入

対策として、コークス、CO を燃料源でなく、化学原料として積極的に利用することも考えられるが⁷⁾、CO₂ 発生量全体から見ると微々たるものであり、CO₂ 排出量低減へ向けてのプロセス変換、省エネルギーの実施が先決であろう⁸⁾。

一方コークス炉の作業環境に関しては、ドア等からの乾留ガス洩れに対する規制強化が旧西独⁴⁾、米国等で行われている。

例えば、米国では 1990 年に大気汚染法の改正 CAA (Clean Air Act Amendments)⁹⁾¹⁰⁾ がなされた。鉄鋼業も当然その規制を受け、特にコークス炉は現状設備で規制値を満足できるものが少なく、更新の必要に迫られている。

CAA による個々の有害物質の規制基準では、189 の規制対象有害物質が 4 段階に分けて順次告示される。その規制方法は、先ず現状の最高レベルの技術を用いて低減可能な最少排出量である MACT (Maximum Achievable Control Technology) 規制値まで有害物質を抑制し、次に衛生上無害なレベル(地域住民の発ガン率が 1 万分の 1 以下)の規制である。New MACT を環境アセスメントを行い制定し、これを達成しようとするものである。

コークス炉は、ベンゼンの規制に次いで 1992 年 12 月までに乾留ガス洩れの規制値が告示されることになっており、その規制は、コークス炉毎に表 1 のような厳しい規制値である MACT か、より厳しい LAER (Lowest Achievable Emission Rate) を選択し、コークス炉からの乾留ガス洩れを図 3 に示したスケジュールに沿って防止するというものである。

2.2 使用石炭の供給予測

コークス製造用の石炭には、良質なコークスとなる粘結炭(原料炭)と安価な非・微粘炭(一般炭)を配合して用いる。石炭の埋蔵量は表 2 に示したように、今後 300 年分以上の埋蔵量があり、量的な問題はない¹¹⁾。しかし今後の 10 年間を見ると、原料炭は既存炭鉱の枯渇による生産量減少及び価格上昇の可能性がある。一方一般炭も、電力業界を中心に原料炭以上の需要増加が見込まれ、割高な新規炭鉱からのものが増加して一般炭の価格優位性が縮小すると思われる。

したがってコークス製造費を左右する原料配合は、従来の一般炭の多量使用だけでなく、原料事情に合わせて一般炭、原料炭を自由に選択し最適化できる技術が必要になる。

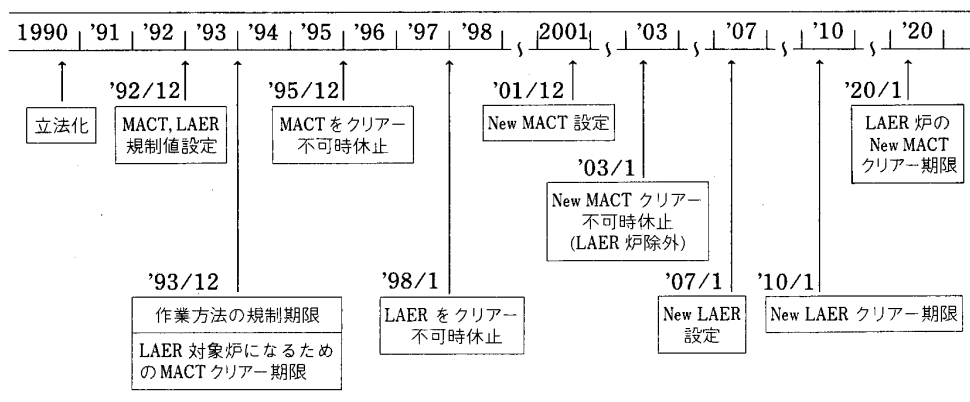


図 3 Clean Air Act の適用スケジュール

表 2 主要石炭生産国の概要

国名	埋 蔵 量			生産量 1998 年 (Mmt)	輸 出 量 (1988 年)			
	確定可採炭量 (Mmt)	露天掘 (%)	コークス用炭 (%)		原料炭 (Mmt)	一般炭 (Mmt)	小 計 (Mmt)	輸出比率 (Mmt)
中米	610 700	1.3	37	899.0	5	11	16	1.7
国連	112 972	18.9	—	783.5	56	30	86	11.0
ポーランド	104 000	20	—	526.4	18	17	35	6.6
インド	28 700	0	32.3	193.0	9	23	32	16.6
南アフリカ	60 648	60	10	187.4	—	—	—	—
豪州	55 333	58.7	4.1	178.2	4	40	44	24.7
英独	45 340	45	—	134.6	58	42	100	74.3
西独	3 300	8	10	103.8	—	—	2	1.9
カナダ	23 919	—	60	79.3	—	—	9	11.6
その他	3 831	88	66	38.6	28	4	32	32.9
合計	26 730	—	—	198.9	—	—	—	—
合計	1 075 473	—	—	3 322.7	181	185	366	11.0

Mmt : ×10⁶ metric ton

2.3 精錬プロセスの変化

21 世紀初頭においては、溶融還元法等の新プロセスが実機化されているだろうが、高炉法が主流であることはまず間違いないと思われる¹⁾。しかし上記の環境変化は、高炉プロセス自体にもその変革を求めるものであり、コークス製造に影響を与える高炉の操業、設備改善がなされると思われる。

今後の高炉操業には、

①コークス炉の老朽化対応、CO₂ 削減のためのコークス比低減

②下工程の連続化に対応した生産弾力性と溶銑品質の安定化

③3 K 作業の機械化・自動化
という課題がある¹²⁾。

この中でコークス製造に影響する技術としては、微粉炭多量吹込み操業 (PCI)、羽口からの粉鉱石多量吹込み技術、R. Durrer の提唱した酸素高炉法¹³⁾などが考えられる。

PCI は、有効なコークス比低減手段であり、コークス炉の老朽化対策とコストダウンを目的に我が国の稼動高炉の約 80% に設置されている。その吹込み量も、装入物分布制御の進歩で 100~180 kg/t pig-iron の使用実

績があり¹⁴⁾¹⁵⁾、今後は 200~300 kg/t pig-iron の吹込みが期待されている。羽口からの粉鉱石多量吹込み技術は、これまでは溶銑中の Si 濃度低減を目的に検討され、50 kg/t pig-iron 程度の実操業テストがなされてきた¹⁶⁾¹⁷⁾。この技術を発展させ、PCI と粉鉱石との多量混合吹込みができれば、最大出銑比が 2.5→3.5 に拡大できる余地があり、今後の高炉の生産弾力性改善の有力な手段となる可能性がある¹²⁾。また酸素高炉は、高効率操業、炉高低減による冷間コークス強度低下による安価石炭の使用を狙ったプロセスであり、モデル、試験炉で実機化の可能性が検証されている¹⁸⁾¹⁹⁾。

このように今後も高炉法が精錬プロセスの主体であったとしても、その展開次第でコークスへの要求品質は、大きく変化する可能性がある。

3. 現状のコークス技術レベル

3.1 コークス製造技術の進展

現状タイプのコークス炉は、約 100 年前に誕生したが、それ以前にも図 4 のように長い歴史がある²⁰⁾。この間一貫して指向されたプロセスの改善課題は、自国で産出される石炭を用いて、その石炭特性の制約の中で

1)生産性向上 (作業の高効率化、炉の大型化)

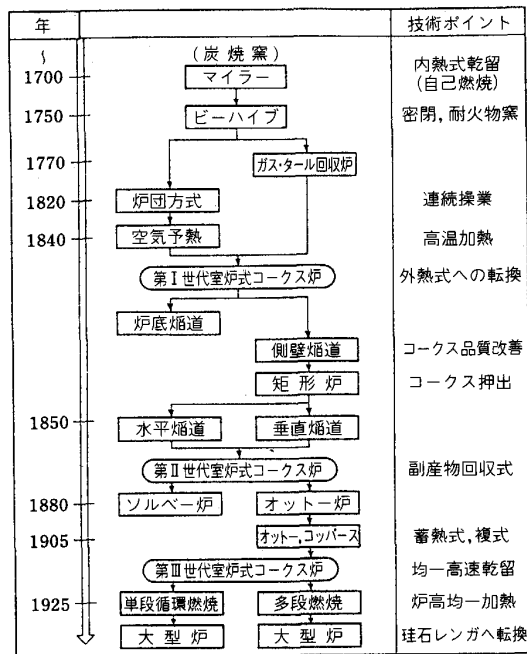


図 4 コークス炉技術の変遷

- 2) 熱効率向上 (蓄熱室の設置)
 - 3) 副産物回収 (石炭化学・都市ガスへの利用)
- を図ることであった。

これに対し、戦後の我が国では石炭を自由に輸入し、最適な石炭配合を達成することを指向して上記のプロセス改善に取り組んできた。すなわち多銘柄配合理論の確立とコークス品質変動抑制を主体に、熱効率改善、操業自動化による労働生産性向上等の技術開発を進めてきた。

これら技術の基本は、コークス炉内の乾留プロセスを解明し、適切な乾留制御を行うことにあるが、従来はコークス炉内の乾留プロセスをブラックボックスとして扱い、事前処理条件を変化させて平均的なコークス品質 (特にコークス強度) への影響を調査することが主体であった。しかし近年の測定技術の急速な進歩に合わせ、炉内乾留プロセス解明が進んでいる。我が国でも鉄鋼協会の石炭の炭化反応機構部会で乾留反応の定量化がなされ²¹⁾、それを裏付ける実炉での炉内調査結果^{22)~24)}と相まって、乾留プロセスを考慮した従来技術の再評価と新技術の検討がなされている。

その顕著な例として、装入炭水分の乾留進行に与える影響の解明がある。コークス炉内の乾留プロセスは、図 5²⁰⁾ のように複雑な反応であり、しかも燃焼室に近い壁から炭化室中心に向かって逐次部分的に進行する。W. Rohde らの乾留途中の窯を急冷した炉内調査や X 線 CT 法による小型試験炉での乾留挙動の観察²⁵⁾で、装入炭水分が炉内の部分的な乾留遅れの原因となり、それがコークス品質のバラツキにも影響していることが判明し

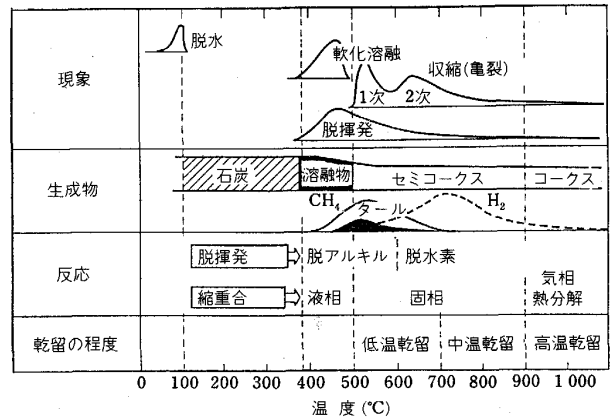


図 5 乾留過程の現象および各種反応の推移

た。この知見を活かし、炭中部に水蒸気の抽出孔を設ける水蒸気抽出法²⁶⁾²⁷⁾が提案されたり、調湿炭 (装入炭水分 = 5%)、予熱炭 (装入炭水分 = 0%) 等の乾燥炭プロセスも、単に強度向上、生産性向上ばかりでなく、炉内の品質バラツキ低減に有効な技術と再評価され、普及しつつある。さらに本研究を契機に、従来遅れていたコークスの塊成化の検討も、コークスの亀裂発生メカニズム²⁸⁾、コークス強度の発現温度^{29)~31)}等、定量化が進みつつある。

また操業のシステム化も、エレクトロニクス等の周辺技術の進歩を取り入れ、コークス炉の燃焼制御、コークス炉移動機械の自動運転システム、各種の計画システムの開発が進んでいる³²⁾。

3.2 既存コークス炉技術の可能性とその限界

大きな転換期にある今後のコークス技術の課題は、原料、燃料費低減によるコストダウンに加えて、高炉の厳しい品質要求への対応と、コークス不足に対する設備生産性の向上にある。

まず品質面では、現在開発中の技術を含め図 6 と図 7 の技術の組み合わせで対応することになるが、この重要課題は、品質変動の低減である。品質変動の根本原因は、窯単位の均一乾留制御の難しさにある。これは、過去の生産性向上対策から生まれた、複数窯を集合して燃焼制御を行うというコークス炉の設備制約に起因している。この制約下での均一乾留へのアプローチとしては、窯内の高密度の均一化が最も有効と考えられ、そのためには炉高方向の高密度偏差の低減が必要であり、加振レベラー³³⁾、2 段装入法³⁴⁾³⁵⁾等の装入技術の開発が行われている。

生産性向上に対する手段としては高密度増加と乾留時間低減の 2 つのアプローチがある。図 8 は、既存の石炭事前処理技術の生産性を高密度と乾留時間をパラメータとして整理したものである。この中の中低温乾留技術は現在実機化の検討が進められているが、実操業へ適用する場合、コークス炉からの排出時の発塵増など解決す

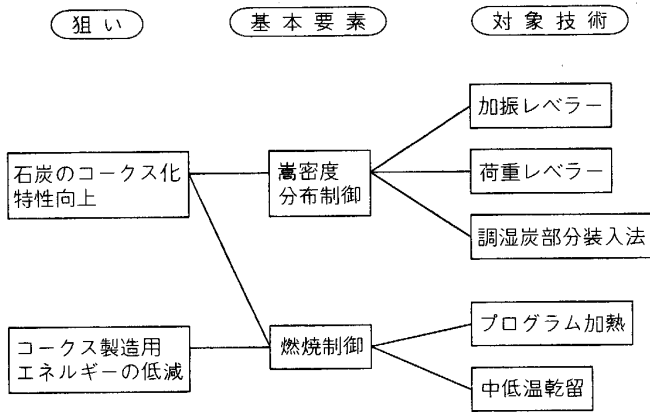


図 6 乾留制御技術

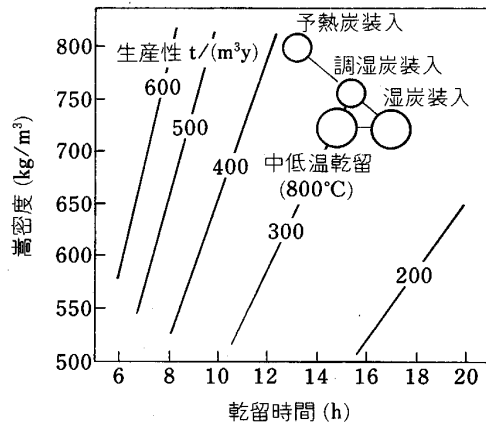


図 8 既存の石炭事前処理技術の設備生産性

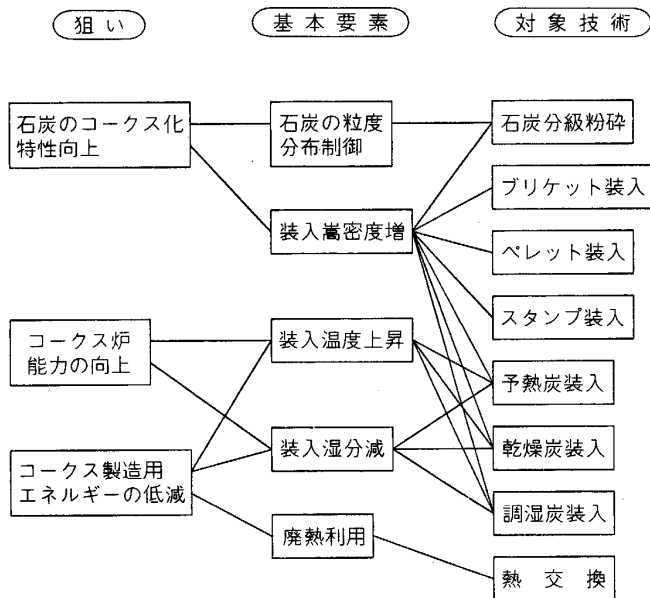


図 7 石炭事前処理技術

べき問題が多々ある。また調湿炭、予熱等の乾燥炭装入は、嵩密度、乾留時間共に効果がある上に均一乾留の効果もあり、生産性向上に有効である。しかし乾燥炭装入は、石炭膨張圧が増加しコークス収縮率が減少するので、原料炭選択範囲及び炉体保護上の制約がある。老朽化した既設炉に対しては、調湿炭装入の適用が限度であろう。また高嵩密度化はコークス粒度の低下を招くので、今後の高炉操業が指向している PCI 増強、高出銑比操業時に必要なコークス品質に反する面がある。現状のコークス技術では、粒度向上対策として稼働率の低下や不活性物添加等³⁶⁾³⁷⁾があるが、いずれもコークス強度の低下を招く。このことも乾燥炭装入技術の大きな制約になるとと思われる。

以上のように今後のコークス品質制御は、乾燥炭を用いたプログラム加熱等の窯毎の乾留プロセス制御が求められるようになると思われる。しかし前述の乾燥炭装入

技術の限界、窯毎に制御しにくい現状コークス炉の設備制約のため、その対応には限度があると思われる。

また品質面の問題を解決しても、オペレータの確保が最大の障害となり、無人化技術の導入が不可避と考えられる。このため従来からの炉体作業の機械化、無人化技術の開発に加え、近年では炉体作業に付随する炉体設備診断用のセンサー開発が進められている^{38)~43)}。これらの要素技術をシステム化し、いずれは無人化が達成できるだろうが、大幅なコスト増を強いられると思われる。また山積している諸問題を解決し、コークス炉更新時期を迎えても、現状のような多種類の珪石れんがを用いたコークス炉では、前章に述べた築炉工不足と珪石れんが不足のため建設できない可能性もある。

したがって現状コークス炉自体を抜本的に見直す時期にきており、それを踏まえたコークス技術の開発を行う必要がある。

4. 次世代コークス炉への展望

4.1 新プロセスの方向づけ

次世代のコークス炉は、前述の環境変化を満足すると共に、設備更新時期が重なることにも配慮し、下記の特性を具備するものでなければならない。

- 1) 環境対策の完全実施
- 2) 完全無人化 (労働力不足対応)
- 3) 設備休止を含む操業弾力性の向上
- 4) 高炉の要求に応じた品質の作り込み技術
- 5) 経済性の向上 (高熱効率, 原料炭使用範囲の拡大)
- 6) 設備生産性の向上 (設備投資抑制)

これらの要求を満たす将来のコークス炉の動向を考える時、加熱方式の選定は、大きな選択肢になると思われる。すなわち従来の間接加熱を指向すれば、現状コークス炉と類似のものとなる。またその技術課題は、必然的に窯の大型化・乾留時間の短縮技術となり、高熱伝導率で高強度な耐火物、予熱炭関連技術の開発が必要不可欠となる。一方直接加熱を指向すれば、粉炭の成型操作を

心要とするが、加熱面積の増大から乾留時間の大幅な短縮が期待できる。

これらの新プロセスの具体例として、間接加熱方式では、広幅炉と究極的な室炉方式の JCR (Jumbo Coking Reactor) プロセス⁴⁾があり、直接加熱方式には、日本鉄鋼連盟の FCP (Formed Coke Process)⁴⁴⁾に代表される成形コークスプロセスがある⁴⁵⁾。以上の既存コークス炉を含めた各コークス炉の特色を表3にまとめた。現状技術の範囲で考えると、副産物品質、後述する高炉での充填特性など改善すべき点多々あるが、FCP 系統の直接加熱方式の成形コークス炉の方が、次世代コー

クス炉の具備すべき条件を満たす有力な候補と考えられる。

なお最近鉄鋼協会の乾留制御部会で、次世代コークス製造プロセスの基礎研究が行われている。このプロセスの狙いは、急速加熱と熱間成形を組み合わせ、乾留時間の短縮と使用炭種範囲の拡大にあり、その成果が期待されている。

4.2 次世代コークス炉の技術課題

次世代コークス炉の典型例である JCR と FCP を用いて、その技術課題をコークス品質を中心に検討する。

両者の設備概要を図9、10に示した。JCR は、G. Nashan (Ruhrkohle AG) を中心に、EC の Eureka プロジェクトとして現在開発が進められている。その開発計画は、図10のような蓄熱室配置の異なる2タイプの実機大パイロットプラントを建設し、技術的に問題の少ない蓄熱室下置型の方を1995年以降に実機化するというものである。JCR は、既設炉同様バッチプロセスであるが、従来炉団単位で行われている燃焼制御を窯毎の独立制御とし、プログラム加熱を可能にすると共に、窯間に仕切り壁を設け炉体を強化している。また環境対策では、窯容積の増加により、コークス生産量当たりの開

表3 コークス炉の形式と評価

評価項目	Pad-up 炉	広幅大型炉	JCR	FCP
1. 建設費	○	—	—	△
2. 環境対応力	△	△	○	◎
3. 無人化	△	△	△	◎
4. 生産弾力性	△	△	△	◎
5. 資源対応力	△	△	△	△
6. 省エネルギー	△	△	△	△
7. 化学事業	△	△	△	×

◎現状より優れている ○現状より良い △現状並 ×現状より劣る
Pad-up 炉: 基礎のみを残し、れんが及び炉金物類を更新したコークス炉

(5 440t/d ベース)

		従来炉	JCR
仕 様 (有効)	炉高 m	6.00	12.50
	炉長 m	14.20	25.00
	炉幅 m	0.45	0.85
有効内容積	m ³	36.4	255.0
生産性	t-coke/窯	21.3	165.0
必要窯数		187	33
開口回数合計		1 496	66
開口シール面総延長	km	6.9	1.8
1日当たりの押出回数		257	33
1日当たりの開口回数		2 056	66
清掃シール面総延長	km	9.5	1.8

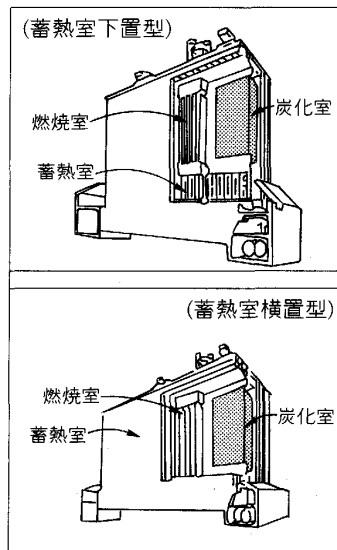
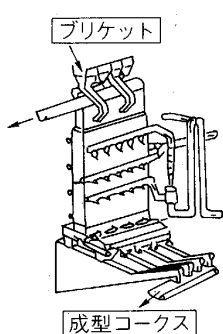
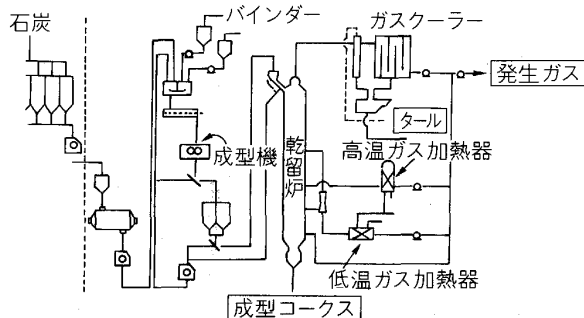


図9 JCR の概念図



乾留炉の設備イメージ



パイロットプラント・プロセスフロー

図10 FCP の概念図

表4 JCR, FCP, 現状室炉の品質比較

	JCR	FCP	現状室炉
冷間強度 DI ₅₀ ⁰	83~85	83~85	83~85
熱間強度 CSR	50~60	30~55	50~60
JIS 反応性	15~25	20~50	15~25
平均粒度 (mm)	60~70	30~40	45~55
安息角 (°)	42	38	42
空隙率 (%)	50	44	50
見掛比重	0.9~1.0	1.2~1.3	0.9~1.0
非微粘炭使用率 (%)	20~30	70~80	5~10

口部シール長を減少させ、ガス洩れを低減させるとともに、コークス炉全体を建屋で覆い外部への有害ガスの拡散を防止しようとしている。

一方 FCP は、200 t/d のパイロットプラントを用いて、その基本製造技術が確立されている。本プロセスは、乾留ガスによる直接加熱方式の連続システムであり、無人化、生産弾力性の大幅な改善の可能性がある。また環境対策は、完全閉鎖系なので JCR と異なり、ガス洩れを皆無にすることができる。

両者の品質比較を表4に示した。JCR に関しては品質データがないので、広幅炉データやラボ実験データ⁴⁶⁾を参考に推定した。なお JCR には予熱炭を、現状炉は事前処理のない場合を想定して求めた。

JCR のコークス品質は、現状の室炉コークスと比べ粒度は大きくなるが、炉幅方向の冷間・熱間強度のバラツキが増大するため、炉芯部の強度低下を配合炭品位の向上で補償する必要がある。これは、石炭の軟化帯の昇温速度が、炉壁から遠ざかるにつれ低下するためである。

したがって炉幅の広い JCR は、粘結炭の多配合と予熱炭処理等の嵩密度向上対策が必要であり、日本のようなコスト最適指向で外国炭を自由に選択できる国では、原料炭選択の自由度が少なくなる可能性がある。

一方 FCP のコークス品質の特徴は、見掛密度が大きい点と、安息角が小さいので空隙率が小さい点にある。これは、コークスの冷間強度を向上させるため気孔率を小さくすることと、成型工程を経るのでコークス表面が滑らかなためである。また石炭化度の低い非粘炭を多量使用するので、熱間強度 (CSR) を維持するには、気孔率を下げるか、バインダー・粘結炭等の粘結剤を補填する必要がある。

以上のように、JCR と FCP はコークス品質が大きく異なる。したがって次世代コークス炉を決める大きな要素は、将来高炉で要求されるコークス品質である。

JCR の技術課題は、コークス品質が現状並で推移するならば、基本的には現状室炉と同じであり、コークス品質面の課題は無く、環境対策、炉体構造変化に対応した設備投資、原料費増の抑制である。

一方 FCP の延長上にある新プロセスの場合、現状品質をいかに達成するかが、その主要な技術課題となる。

具体的には、高炉使用に影響する成形コークスの形状

と、経済性を左右する熱間性状、最終乾留温度である。高炉使用に関するコークス品質の中で冷間・熱間温度は、配合品位調整で高炉の要求品位を満足できる。しかし見掛密度大、安息角小という特徴は、その強度発現プロセスに由来するため避けられない。見掛密度が大きいこと自体は、高炉内でのコークス流動化抑制上好ましい面もあるが、コークス層の厚みが薄くなり、抵抗の大きい鉍石層が増すので高炉内の圧損が増加し、炉況を悪化させる可能性が大きい。また安息角が小さいと、高炉内での落下挙動が不安定となり、高炉の装入物分布制御が難しくなる。その上空隙率も小さくなるので、高出銑比操業時高炉内の溶銑、溶滓の流れに悪影響を及ぼす可能性もある。室炉コークスの場合、粒度を大きくすることで空隙率の改善ができるが⁴⁷⁾、成形コークスではその形状が異なるので、その効果は小さいと思われる。成形コークスの粒度自体は、ダブルロール成型機を用いれば、枕型のブリケットで、長さ 110 mm 以上、幅 110 mm、厚み 70 mm 程度の大粒度のものまで製造できる。今後の大きな課題の一つは、成形コークスの粒度と形状の最適化により、上記の問題点をどこまで解決できるかにある。

また最終乾留温度の低下は、炉材を耐火物から金属へ転換する可能性を秘めており、設備費の大幅な低減効果ばかりでなく、れんが工不足の解消、乾留熱量の大幅な低限効果が期待できる。しかし最終乾留温度の低下は、熱間性状を低下させる³⁰⁾。したがって最終乾留温度は、原料炭性状と熱経済性を加味した製造コストと設備費の最適化を考慮して決定する必要がある。

このように次世代コークス炉の技術課題は、炉のタイプにより大きく異なってくる。したがって最大の技術課題は、どちらのタイプを選ぶかであり、そのポイントは将来の高炉操業をどう捉えるかにある。

5. おわりに

将来のコークス炉を取り巻く環境を考える時、コークス炉は変革せざるをえない。確かに現状コークス炉は、大型化、自動化を進めて行けば生産性も向上し、熱効率の良さも相まって、将来も十分コスト競争力のある設備であり続けられると思われる。しかし昨今の経済性を超えた環境問題の動向を考えると、次世代コークス炉を現状コークス炉の延長線上で捕らえては、環境問題を乗り越えられないと思われる。

一方の FCP の延長上にある新プロセスを選択すれば、高炉操業にも大きな変革を要求することになる。しかし極論すれば、高炉にとってコークスが必要不可欠なものならば、高炉がコークスプロセスの変革に合わせて変わってもよいのではなかろうか。現在、高炉-コークス炉法は、そのプロセスの存在意義を問われている。互いの技術を再度見直し、将来の環境変化に対応できるプロセスに自己変革しなければならないと筆者は考えている。

文 献

- 1) 21 世紀のスチールプラントテクノロジー (日本鉄鋼連盟編) (1990)
- 2) K. Wessiepe: *Coke Making International*, **2** (1990), p. 31
- 3) 例えば, 野崎 努: 燃料協会誌, **70** (1991), p. 159
- 4) G. Nashan: *Coke Making International*, **2** (1990), p. 19
- 5) 山崎精一, 山田宣弘, 筒井 修, 中林 茂, 高橋 勲: 耐火物技術協会年次講演会報告資料 築炉工不足の現状と築炉技能の継承 (1989 年 12 月)
- 6) 井上清彦: 日本機械学会誌, **94** (1991) 869, p. 316
- 7) 桜谷敏和, 藤井徹也, 矢治源平, 松木隆郎, 松井滋夫, 林 茂樹: 川崎製鉄技報, **17** (1985) 2, p. 135
- 8) 吉越成光: 鉄鋼界, 1991 年 3 付「資源のリサイクルと鉄鋼業」特集号
- 9) R. R. Geddis and R. V. Chalfant: *Iron Steelmaker* (1991) Feb., p. 44
- 10) R. R. Geddis and R. V. Chalfant: 同上 (1991) Jun., p. 46
- 11) 大竹信彦: コークス・サーキュラー, **40** (1991), p. 22
- 12) 山口一良, 内藤誠章, 上野浩光, 寺田雄一, 川鍋正雄: 材料とプロセス, **4** (1991), p. 1016
- 13) R. Durrer: *J. Iron Steel Inst.*, **156** (1947) Jun., p. 253
- 14) 石脇史郎, 吉田康夫, 多田彰吾, 北山修二, 星野剛一: 材料とプロセス, **4** (1991), p. 1062
- 15) 藤原 豊, 中山岳志, 松岡芳幸, 阿南邦義, 内藤誠章: 材料とプロセス, **4** (1991), p. 1061
- 16) 小西幸雄, 武田幹治, 田口整司, 浜田尚夫: 鉄と鋼, **73** (1987), p. 2004
- 17) 春 富夫, 才野光男, 奥村和男, 阪口泰彦, 稲谷稔宏: 鉄と鋼, **71** (1985), p. 951
- 18) 大野陽太郎, 松浦正博: 鉄と鋼, **76** (1990), p. 1262
- 19) 山岡秀行, 亀井康夫: 鉄と鋼, **77** (1991), p. 1601
- 20) 西岡邦彦: 太陽の化石: 石炭 (1990), p. 200 [アグネ]
- 21) 石炭の炭化反応機構 (日本鉄鋼協会特定基礎研究会石炭の炭化反応機構部会編) (1989) [日本鉄鋼協会]
- 22) W. Rohde, D. Habermehl and V. Kowitz: *Ironmaking Conf. Proc.*, AIME, **47** (1988), p. 135
- 23) 鈴木 豊, 福永正起, 横溝正彦, 赤坂里志, 野中正弘, 中川美男: 材料とプロセス, **2** (1989), p. 38
- 24) 西村 勝, 朝田真吾, 上村信夫, 中西敦彦: 第 90 回コークス特別会研究発表要旨集 (1991), p. 35
- 25) 野村誠治, 有馬 孝, 荒牧寿弘: 第 90 回コークス特別会研究発表要旨集 (1991), p. 45
- 26) 西岡邦彦, 井上恵三, 三浦 潔: 材料とプロセス, **4** (1991), p. 146
- 27) 西岡邦彦, 井上恵三, 三浦 潔, 吉田周平, 佐地孝文: 材料とプロセス, **4** (1991), p. 145
- 28) 吉野博之, 佐藤洋史, 埜上 洋, 三浦隆利: 化学工学論文集, **17** (1991), p. 775
- 29) 光来要三, 持田 勲: 材料とプロセス, **2** (1989), p. 908
- 30) 岩切治久: 材料とプロセス, **3** (1990), p. 992
- 31) 持田 勲, 光来要三: 鉄と鋼, **77** (1991), p. 471
- 32) 小幡晃志, 田村 榮: *Engineers* (1990) 12, p. 1
- 33) 村松 匠, 大島正矩, 尾之内邦仁: 鉄と鋼, **73** (1987), S56
- 34) 花岡浩二, 井川勝利, 藤井徹也, 多久和浩, 寺園清己, 笠岡玄樹: 材料とプロセス, **4** (1991), p. 1101
- 35) 花岡浩二, 井川勝利, 藤井徹也, 多久和浩, 寺園清己, 笠岡玄樹: 材料とプロセス, **4** (1991), p. 1102
- 36) 中島龍一, 長谷部新次, 船曳佳弘, 大橋 茂, 鈴木喜夫: 材料とプロセス, **4** (1991), p. 148
- 37) 鈴木 豊, 小林 純, 横溝正彦: 材料とプロセス, **4** (1991), p. 1099
- 38) 笠岡玄樹, 本間道雄: 材料とプロセス, **3** (1990), p. 1024
- 39) 渡辺生司, 村上富士雄, 大木孝市, 串岡 清, 羽田野裕朗, 金野好光: 材料とプロセス, **4** (1991), p. 1117
- 40) 橋本邦俊, 笠岡玄樹, 伊藤正治: 材料とプロセス, **4** (1991), p. 1116
- 41) 富山博次, 吉田周平, 渡辺幹夫, 藪内一明: 材料とプロセス, **4** (1991), p. 1112
- 42) 上坊和弥, 井上恵三, 三浦 潔, 西岡邦彦: 材料とプロセス, **4** (1991), p. 1111
- 43) 平野滋幸, 炭竈隆志, 山手義友, 石田由紀夫, 松本和俊: 材料とプロセス, **4** (1991), p. 1110
- 44) 奥原捷晃: 第 68 回コークス特別会研究発表要旨集 (1980), p. 28
- 45) 角南好彦: 燃料協会誌, **58** (1979), p. 985
- 46) 西岡邦彦, 三浦 潔, 植田 宏, 小川真資, 吉田周平: 鉄と鋼, **72** (1986), A159
- 47) 田口整司, 宮崎伸吉, 岡部俠児: 学振 54 委-No. 1315 (1974 年 2 月)