



鉄の歴史

戦後復興・発展期における我が国鉄鋼製造技術史—技術編

灼骸回顧 —コークス技術抄史 1945-1965

石川 泰

Yasushi Ishikawa

新日鐵化学(株) 社友

Historical Aspects of the Cokemaking in Japan 1945-1965

プロローグ

1945年8月、第2次世界大戦が終結し、日本の経済は壊滅した。極東委員会並びに連合軍の対日占領政策は、既に壊滅的打撃を受けていた日本の重工業に対し、「日本の潜在的戦争能力の完全排除」と「経済の民主化」を主眼として行われた。1946年8月にはGHQ（連合軍総司令部）より鉄鋼13社22工場に対して賠償指定が行われた。財閥解体が命じられ、持株会社整理委員会条例が公布され、さらに過度経済集中排除法により日本製鉄を始め13社が分割が指示された。

8年間にわたる戦争は国内の全ての機能を疲弊させ、国民は食糧難、住宅難、全ての物資の不足に喘ぎ、さらには精神的にも虚脱感を味わった。

この中で、1946年12月、経済安定本部を中心に計画された経済危機突破政策が、いわゆる「傾斜生産方式」であり、鉄鋼、石炭ならびに化学肥料の超重点増産計画である。鋼材を石炭部門に供給し、石炭を鉄鋼部門に重点的に投入し、相互に両者の生産の復興を図ることであった。この間、八幡製鉄所から筑豊炭鉱へ従業員を送り、石炭増産を応援するような努力も行われた。この傾斜生産方式は、戦後の復興に最も効果的な政策であったと評価されている。

戦時の最盛期の全国粗鋼生産は1943年の765万トン、銑鉄生産は1942年の426万トンであり、高炉の稼働基数は37基を数えたが、1945年の終戦当日には高炉12基の稼働、そして1946年秋には、八幡の3基を残すのみとなっていた。因みに、1945年の銑鉄生産は98万トン、粗鋼生産は196万トン、さらに1946年の銑鉄生産は僅か20万トン、粗鋼生産は56万トンに低落していた。

1947年6月、鉄鋼用重油の輸入許可、年末には、EROA資金（占領地復旧資金）による鉄鉱石並びに原料炭の輸入が開始され、傾斜生産方式は顕著な効果を上げた。一年後の1947年の石炭生産は3000万トンに迫り（戦時の最盛期

5000万トン）、粗鋼生産は209万トン、銑鉄生産は35万トン記録し得た。

こうして国民生活の危機的状況を徐々に脱していったが、折しも世界は、東西両陣営の対立が強まり、米国の対日、対独占領政策は、徐々に緩和の方向をたどり、欧州ではMarshal Planが発表されるにいたった（1948年6月）。日本では賠償指定が解除された（1949年5月）。

1950年2月、鉄鋼各社の技術者からなる日本鉄鋼協会の鉄鋼調査団が米国に受け入れられ、戦中、戦後の世界から隔離された10年の先進技術の空白を埋める機会を得ることが出来た。

日本経済は、1948年12月GHQの指示による経済安定9原則により強いデフレ政策を実行中であり、それまでの対日援助は廃止され、また輸入貿易も民間に切り換えられるなど、高い外貨のもとで、不況に呻吟していた。

1950年6月に勃発した朝鮮戦争は、世界の政治・経済関係を大きく変え、日本経済は新たな路線を歩むことになる。

粗鋼生産量は、1949年340万トン、1950年530万トン、1951年672万トン、1952年691万トンと伸び、1953年には803万トンと戦時の最盛期の765万トンを一気に凌駕した。

1951年9月8日の旧連合国48カ国とのSan Francisco講和条約調印により、貿易立国の方向が確立し、鉄鋼業がその基盤となり、世界に鉄鋼新時代を画した千葉、戸畑、和歌山等に始まる新製鉄所建設を進めて行くことになる。

遠隔地の良質の原料炭と鉄鉱石を効率的な輸送により、長期契約による安定供給を図った事が、日本鉄鋼業の発展の第一の根拠である。これにより、大型高炉の高効率生産が可能となり、銑鋼一貫製鉄所の大量生産を可能とした。

戦時中の空白を埋めるため多くの技術を導入し、改良し、大型化、大規模化し、また固有の技術も開発した。

戦後の10年間、20年間のこの時期に、祖国の復興と発展を担って、深く思考し、遮二無二行動した先人の貢献は、貴重であり、畏敬である。

この度、日本鉄鋼協会が、「戦後の復興・発展期（終戦から昭和30年代まで）の鉄鋼製造技術の推移を想起し、先人の貴重な体験と技術の変遷を記録に留めること」を企画したことは意義深い。この時期の鉄鋼製造技術を記述した書物、解説、記録は意外に少ない。

特に高炉用コークスの分野は、鉄鋼会社以外にガス会社、化学会社更には子会社による製造にまで及んでいるので、短期間にかつ、限られた誌面に、波瀾の時期のコークス技術史を記すことは大胆に値する事を知覚しつつ筆を起こした。

焦土のコークス工場

1944年8月20日、八幡製鉄所が第2次空襲に見舞われた。洞岡の第2コークス課区域は500ポンド爆弾35発を被弾し、コークス掛の6名が殉職した。第4コークス炉（黒田式複式炉75門）は炉中央部に被弾した。全面休止したその他のコークス炉は、7日後に生産を再開し、被弾した第4コークス炉の修理は47日間を要して、57窯を復活再開した。

1945年年初、高炉用コークスを生産していたコークス炉は全国で12工場、32炉団、1815門が数えられる。空襲は逐次激化し、主要工業地帯、大都市、更には全国の小都市に到るまで、大量の焼夷弾攻撃により消滅していった。釜石、室蘭など数都市が艦砲射撃を受け破壊された。その結果、8月15日の終戦の日の稼働コークス炉は15炉団に減少していた。その後、さらに原料炭の不足、枯渇、従業員の不足の為、逐次休止してゆき、1946年末の稼働コークス炉は、僅か7炉団となった。

休止した冷えたコークス炉は、炉体保護のため、炉蓋の目張り、浸水可能箇所のセメント・モルタルの塗布、金物類へのグリース塗布、防水対策に努めた。

1947年の傾斜生産方式による経済復興の効果が上がり始めるとともに、各コークス工場で、休止コークス炉の復旧再開が図られた。

突発休止したコークス炉の再開作業は大工事である。八幡洞岡第1コークス炉では、窯内コークスの掘り起こしから始め、炉敷煉瓦の取替え、炉蓋フレームの全面的据替え等、延べ作業人員は5000人に及んだ。炉壁の湾曲した窯は、湾曲の限界を25mmに抑えるため、燃焼室6本即ち12本の炭化室壁の積み替えを実施した。このコークス炉の復旧方法で特記すべきは、冷却の結果、煉瓦の収縮により生じた目地切れ及び亀裂は、再度の昇温によって膨張し、密着することを確認し、実行したことである。1948年7月に加熱再開したこの炉（3.5m炉、75門）は、狙い通り正常な操業状態に復帰し、その後23年間順調に稼働し、戦時の4年間を合

わせて合計27年に及び、製鉄量702万トン記録し、使命を果たし炉命を全うした。

広畑においては、戦争末期には石炭の入手が困難となり、コークス炉2炉団の通常操業が不可能となり、1945年春から分散蒸し込みの軽作業を行い、遂に第一コークス炉はbankingに到った（徐冷期間150日）。第2コークス炉は最低操業後1946年夏休止した。

第1コークス炉は1951年4月、炉体昇温の再火入れを行い、6月操業を再開した。十分な冷却期間を取り休止し、設備保全に相当な配慮を行ったにもかかわらず、4年間の休止は、炉体と機械類に大きな損傷を与えた。炭化室の煉瓦積み替え（75室中15室）、蓄熱室の目地押し（端室より2-3室を全炉）、炉体付属金物の整備全般等8カ月間の大工事であった。再開後操業は安定せず、西半炉団は段階的に休止し、東半炉団は7年間稼働した。戦時の稼働と合わせて13年間の炉命であった。

第2コークス炉は過酷な軽操業と突発停止のため、損傷著しく、再稼働できず、改修に入った。広畑では、第3コークス炉が1940年に完成していたが、火入れは行われず、10年間待機状態にあった。この炉は1950年に炉手当ての上火入れし、13年間稼働した。

日本鋼管では1945年7月、扇町コークス工場が被爆した。第1コークス炉は500ポンド爆弾の直撃を受けた。既に石炭が不足して50%以下の極度の低稼働率になっていた、第2、第3コークス炉もこの空襲により休止に到った。終戦の日に稼働していたのは、大島第4コークス炉のみであった。1949年第2コークス炉（黒田式複式40門）の復旧を行った。湾曲して傾いたバックステーを切り、修正してリベットで止め、端フリーの煉瓦を積み替え、目塗りドアを装着する窯口煉瓦を積み替えた。3窯を埋め窯として擁壁とし、先ず40窯中15窯を復旧、火入れし、数カ月後に更に19窯を復旧した。煉瓦の大亀裂は、モルタル押しをし、小亀裂は加熱再膨張による密着を図った。再開後、水平導溝に貧ガスを入れる時の爆発が恐かったと当時を回顧した証言がある。この炉は12年間順調に稼働した。

第3コークス炉も同様に復旧再開したが、直撃弾を受けた第1コークス炉は再開できなかった。大島のコークス炉は、乏しい石炭を集めて、終戦前後も休止すること無く、既に高炉は総て止まっていたにも拘らず製鉄を続け、鋳物向けにコークスを出荷して苦境を凌いだという。

この様にして、1948年以降、終戦前後に休止したコークス炉の再開が行われた。室蘭仲町、釜石、東京ガス末広等10炉団が逐次修理し、生産を再開した。残りの10数炉団には再開の機会が与えられることは遂に無かった。

炉の復旧に当たり、ソール・フリーにまで人が入り、

丹念に目地押しをした例も見られた。

休止したコークス炉の再開に関する実績は、同じような社会状況におかれたドイツにも多くあるが、休止時の冷却状況と休止中の保守の程度により、復旧の方法は異なるとはいえ、コークス炉は、その状況を正しく判断し、適正な修理を行えば、経済性は別として、正常な状態に復旧されるのである。先年、1990年に、室蘭第5コークス炉半炉団が、3年間の休止後、再開されその技術は高く評価されたが、戦後の過酷な条件下で再開されたこれらの経験と技術が、役立ったのは申すまでもない。

2 原料炭の変遷

1947年末に始まった原料炭の輸入は、GHQの管理下で鉱工品貿易公団により行われ、配炭公団により国内炭と同等価格で製鉄業に配分販売された。輸入先は、樺太、中国、米国、インドであった。1948年度124万トン、1949年度114万トン、1953年度には300万トンに達した。一時期を除き米国炭がその大部分、80%以上を占めている。1953年の原料炭の使用量578万トンの構成は、国内炭286万トン、輸入炭293万トン(内米国炭242万トン)で、一時的ではあったが国内炭を凌駕した。

戦前の輸入炭は、中国炭が過半量を占めていたが(1927-1936年平均65%、1937-1945年平均52%)、1950年以降は、米国炭が日本鉄鋼業のベース・コールになったのである。このことが日本の鉄鋼の大躍進の最大原因の一つであると言っても過言ではない。

米国炭の高品質は、日本のコークス技術者にとって驚嘆であった。灰分、揮発分、水分、特に粘結性の高さは、明治以来常に苦悩の種であったコークス品質の問題を一気に解決の方向へ向けた。

コークスの品質は急激に改善された。灰分は20%前後から10-12%に低下し、潰裂強度は80-90%前後の大きな幅から、91%以上の安定した領域に入った。イオウ分も0.7%以下に低下した。この結果、高炉の操業は安定し、コークス比の著しい低下とともに、出鉄量は増加した。1949年以前の全国平均のコークス比は常に1000kg以上であったが、1950年に初めて901kgを記録し、以降1954年度756kg、1958年度664kg、そしてoil injection開始の前年の1961年度には598kgをマークするに到る。

ベース・コールが米国炭になったこの頃から、コークス技術は大きな変化を必要とした。原料炭配合の基本的な手法の開発であり、石炭事前処理設備の変更である。

既に粗鋼1000万トン台となった1956-1958年には、増大する原料炭需要を満たすため、また遠距離輸送の米国炭価格

の負担を緩和するため、豪州の既存炭(Port Kembla積みとNew Castle積み)が米国中揮発分炭の代替として輸入を開始された。更にカナダ、ソ連Kuznetskからの輸入も開始された。1967年からはポーランド炭も購入された。そして1962年の最初の長期契約である豪州QueenslandのMoura炭、1965年の最初の開発輸入となるBlack Water炭へと展開し、日本のコークスの原料炭配合は多彩に変遷し、原料炭種は更に多様化の一途を辿った。

国内の石炭は、戦後復興のバロメーターとして、一途に増産の道を歩み、1957年には戦後最高の出炭量5225万トン(過去)を記録した(過去)の最高記録は1940年の5631万トン)。Suez動乱終焉後、重油価格の安定により、産業界において高価格の石炭から重油への転換が急速に進むことになる。1962年以降政府と石炭業界は炭鉱のscrap and buildを進めてゆくが、度重なる人身災害を伴う大規模のガス爆発事故により、石炭は価格競争力を回復することはなく、1970年以降急速に衰退の一途を辿っていった。

原料炭としての国内炭の使用量は1960年代に増加して、1967年には1000万トン(過去)を記録した。配合割合は粗鋼規模の拡大により30%に下がっていた。国内炭の使用量のピークは1972年度の1002万トンであった。

1973年度において、わが国の鉄鋼生産はピークに達した。粗鋼生産1億2002万トン、銑鉄生産9093万トン(過去)を記録し、原料炭の使用量は6538万トンに達した。国内炭は976万トンの高水準であったが配合比は既に15%に低下していた。豪州の相次ぐ新規開発炭が輸入され、豪州のQueenslandの良質強粘結炭がベースコールになって行く。

この様な1970年前後の急激な鉄鋼生産の増加に対して、炭鉱の新規開発が追従できず、1970年には原料炭の価格の高騰を招いた。それ以前の原料炭平均輸入価格はトン当り15-16US\$であったが、1970年度20US\$、1971年度21US\$に上昇し、更に1974年度以降、oil shockにより100\$以上に及ぶエネルギー高価格時代に入った。

原料炭の輸送は進化した。10000海里もの遠距離の米国炭は従来、C&F契約により、外国船によって輸送されていたが、1960年代にはいり、既に実現していた鉄鉱石同様、邦船の石炭専用船を登場せしめ、1965年以降は豪州の新規炭をはじめ、米国炭に到るまで、その多くをFOB契約とし、船型の大型化により輸送費を逡減する事が出来た。

日本の原料炭の需給並びに配合が最も安定し、且つ品質的にも恵まれた時代は、1960年代であった。1959年から1968年の10年間のコークスの品質は、コークス灰分9-10%、潰裂強度DI₂₀は92%以上、%Sは0.6以下、配合炭の粘結性は高く、揮発分も安定していた。この為、コークス炉を大型化することが出来ると共に、安定した操業を行うことがで

きた。また新しい石炭配合理論が芽生え、多様な炭種に対応したブレンド技術が確立し、石炭事前処理技術も進歩した。高炉は大型化され、年々出銑量、出銑比、燃料比、コークス比の記録を更新した。この様に、high levelの原料炭配合と、高品位の鉄鉱石の供給に恵まれて、10000T/Dの高炉の企画、建設に到ったのであった。

3 石炭事前処理

石炭の事前処理は、コークス炉に装入する原料炭の性状を適正化、効率化することであり、また特別な目的を持った処理でもある。前者は洗炭と粉碎であり、本来炭鉱において、出荷前に十分な洗炭と粉碎(大塊の)が行われるべきであるが、それが不十分であるため、製鉄所のコークス炉前で実施されねばならなかった。後者は、コーライト配合コークス法、配合粉碎、スタンピング法、オイリング法、バインダー配合法、成型炭配合コークス法等であり、原料炭の配合特性を最も効果的にし、コークスの品質を向上せしめ、また劣質炭の利用技術として開発された。

3.1 洗炭

明治の創成期以来、全てのコークス工場に洗炭機が設置された。初期はすべての石炭を洗炭したが、国内の炭鉱に洗炭機が普及するにつれ、中国炭がその主対象となった。戦後は中国炭、インド炭及び初期入荷の米国炭の洗炭を行った。

洗炭機は、Luerich Type, Jicker Type, Humbolt Type, Robinson Typeなどあるが、最盛期はドイツのBaum式洗炭機が多く装備された。

Baum式洗炭機は、石炭を多室式U字管状の洗炭水槽に導き、圧搾空気により網上で上下攪拌を行いつつ石炭とボタを連続的に分離し、灰分を低下させる。

1950年代に入り、洗炭の必要性は低下し、1957年には全国のコークス工場の洗炭機は、殆ど休止した。

3.2 コーライト配合コークス法

1929年、高揮発分弱粘結炭の北海道炭のみによる良質な高炉用コークスの製造法として、下村博士により発明されたX炭法がコーライト配合コークス法である。室蘭において、数次に亘る製造テストと高炉操業テストを経て、1936年、実用化された。

本プロセスは、VM40%前後の殆ど粘結性の無い粉炭を、外熱式ロータリーキルンに於いて、予熱釜(200℃予熱炭)と乾溜釜(450-500℃)の二段の低温乾溜を行いコーライトとする。発生ガスは、冷却後吸収塔を経て、タール、揮発

油、中油、重油等を回収した。コーライトはVM20-25%、灰分17-20%、であった。戦時中は、コーライト配合(10-20%)コークスは潰裂強度が低いため小型高炉(225T/D)のみに使用した。

戦後生産再開後、1949年には、コーライトを0.3mm以下に微粉碎し、15-25%を北海道炭に配合し、潰裂強度80%の良質なコークスを得、700トン高炉に使用することができた。1951年米国炭の輸入が順調になるとともに、本法は品質および価格の点で競争力を失い、1951年8月、休止した。同36年から1951年の間、良質原料炭の供給の困難な時期に、この国産の技術は所期の成果を上げた。コーライトの生産量は合計約60万トン記録している。

3.3 配合粉碎技術

ヤード-ベルト輸送-配合ビン-秤量-混合-粉碎-ベルト輸送-装入炭槽-コークス炉という現代の配合粉碎工程の原型は既に大正時代に行われていた。秤量方式の改善と粉碎機の改良は逐次行われたが、1950年頃までは大きな変化はない。1953年に新設された千葉のコークス工場においても、在来の粉碎・混合の目的のDisintegraterが配合槽後に設置されている。

1955年以降、硬質、難粉碎性多不活性質の原料炭である豪州、ソ連、カナダ炭が輸入されると、これに耐える強力な粉碎機が必要とされた。国内炭は軟質で粉碎が容易であり、また新たにベースコールとなった米国炭も粉碎性は良好であった。1959年戸畑において、impeller breakerを導入し、以後全国各コークス工場で一斉に採用された。100-200T/Hであった粉碎能力は350T/Hに増大し、又同じ頃採用されたhammer crusherも400T/Hの大型機に拡大されてゆく。この様に粉碎機の能力の強化と原料炭の破碎特性、更には粉碎粒度と各銘柄のコークス化特性との関係の解明が進歩した。

粉碎と配合のライン構成は、それまでの配合-粉碎に加えて、一次粉碎機を入れ、炭種毎の粉碎を行うようになった。この一次粉碎-配合-二次粉碎の配列をとった選炭設備が多い。1960年代後半には、石炭の粉碎特性に応じて、炭種のグループ別に粉碎する系統別粉碎方式も現れた(1968年君津)。

1950年代まで、粉碎粒度は-3mm指数で80%台、一部の工場で更に粉碎度を上げた例もあった。1955年以降の硬質炭の入荷とともに、粉碎粒度のコークス化性に及ぼす研究が進み、後述の城理論と呼ばれる原料炭配合の基本概念に基づき、炭種毎の粉碎の目標が、コークス品質と生産性の向上のため設定された。一例として、

1) L米炭は微粉碎する。Bitumen(粘結成分)の均一分散効

果。

2) 国内炭特にhigh VM、高流動性の夕張系は粗粉碎。過粉碎による装入密度の低下の防止。

3) 豪州（当時の）とカナダ炭は粗粒のコークス化が悪いので極力微粉碎する。

粉碎の考え方は全国各工場で多少考え方に差があった。

この頃、わが国の炭種別の粉碎の考え方に大きな影響を与えたのがフランスにおいて開発されたSOVACO法であった事は否めない。選択粉碎である。SOVACO法は、1951年、USINOR社のBurstlaineにより開発され、実機化されたLorraine地方の石炭に適用した選択粉碎法である。Thionville 製鉄所のコークス工場は、90T/Hの6基の電熱篩と粉碎機により原料炭の性状に従い、3mm、2.5mm、1.5mmの3種に粉碎し、配合した。篩の目詰まりを防止するため、原料炭に重油が添加された。

日本で、SOVACO法が採用されたのは、和歌山の湿式SOVACO法(1970年)と、鹿島の乾式SOVACO法であったが、前者はやがて成型炭配合法に変わり、後者は粉塵問題で数年後に休止に到った。

1959年、戸畑のコークス工場の選炭工場(この時、従来の洗炭は選炭にその名を変えた)は、石炭ヤードのスタッカー・ジブローダー方式、ロードセンターによる石炭輸送制御等の斬新な選炭設備であった。

1954年、広畑では、原料炭の入船毎の品質変動と船内変動を減少させるため石炭ヤード内coal beddingを実施し、品質変動の抑制に成果を収めた。1967年、水島は大々的に原料炭のyard blendingを実施した。因みに、広畑、水島付近は降雨量の極めて少ない地域である。

3.4 オイリング技術

原料炭の粉碎粒度を上昇させた結果、コークス炉に於ける装入密度が低下し、コークス生産性の低下が発生した。その対策として、装入炭に重油を添加し、嵩密度を上昇させるオイリング技術の開発（八幡東田）と界面活性剤添加による嵩密度の上昇を図る技術（大阪ガス）が開発、実施された。当時、重油添加0.1%、または界面活性剤0.05%添加により、嵩密度3-5%の上昇、コークス潰裂強度 DI_{10}° で0.3-0.5%の上昇の効果が認識されている。

3.5 成型炭配合法

高価な米国炭を節約し、国内炭の使用を促進するため、コークスの強度を補う手段として、全ての装入炭を成型機にてbriquetteにして、装入密度をあげる方法が考案された。1965年、八幡・洞岡コークス工場において、共同研究（通産省、日本鉄鋼協会、石炭協会、鉄鋼9社）として、装

入炭全量を成型してコークス炉へ装入する実機試験が行われた。コークスの強度の向上と生産性向上が認められたが、binder無しの成型であったためbriquetteの強度が低く、搬送中の破損が多く、実機化へは到らなかった。

成型炭配合法が実機化されたのは、1971年の戸畑であり、装入炭の約30%をpitch等のbinderを添加し、強固なbriquetteとして、配合、装入した。コークス強度は DI_{10}° で1.0%、 DI_{10}° 2.5%の向上が報告され、その後全国8コークス工場に実施され、1980年代に非粘結炭、微粘結炭の使用を強く押し進める原動力となった。

新日本製鐵から特許実施権を得た住友金属は、1975年和歌山において成型炭配合法を実施し、後にASP（Asphalt Pitch）をバインダーとする成型炭配合法（Sumicoal System）を開発し、鹿島でも実施した。

3.6 装入炭乾燥法

今日多くのコークス工場で普及拡大しつつある装入炭乾燥法は1967-1970年の間、新技術開発事業団との共同研究として福山で試験を行った。水分を9-10%から5%に低下させた。この設備を流用し福山では、乾燥炭装入を実炉で継続したが、炉の天井と上昇管基部のカーボン付着が増加し、粉炭のキャリーオーバーの増加によるタール品質劣化の問題があり（当時タールのsuper decanterは未設置）、成型炭装入法の導入とともに中止した。

4 石炭配合理論の展開

1950年代まで、コークスの強度を決定する要素は、粘結成分(Bitumen)であるとした所謂Bitumen説によっていたが、八幡製鉄の城博の石炭配合の基本的概念が、1947年頃に示された。これは石炭の持つ粘結成分と熱的に不活性な繊維質部分の組合せがコークス強度を現出する。更に繊維質の強弱によりコークスの質は変化するとし、各種の石炭を実験してCaking Index、CIにて表現した。即ち石炭のコークス化性をその石炭化度と粘結性によって評価し、具体化したのであった。

石炭の加熱時の挙動、即ち流動性や膨張性を測定して、粘結性を研究したのは1950年代である。そして流動性と揮発分の組み合わせにより、石炭のコークス化性を評価し、また配合を決める方法である。これによりコークスの強度の推定も行われた。

石炭の組織分析が行われ、Vitrinitの反射率を測定し、石炭化度として用い、最高流動度と対比して、石炭の評価法を更に進めた。

1961年に、米国のN. Shapiro等の研究により、石炭の組

織分析によるコークス強度推定法が発表された。石炭の微細組織成分群 (Vitrinit, Exinit, Inertinitの3種) を分析し、石炭の最高流動度との関係図を作り、原料炭としての石炭の評価を行う。更にこれを石炭の加熱性状、即ちコークス強度要素と対比し、配合毎のコークス強度の推定を試行できる。SI-CBI (Strength Index-Composition Balance Index) Diagramである。

粗鋼生産の急速な伸びによる、原料炭の使用量の増大と多様化は、これ等に基づく石炭配合理論の展開により、購買する原料炭の評価と原料炭配合の決定に進歩を与えた。

1950年代のコークス工場における、原料炭配合の決定は、各銘柄毎の工業分析と単味炭のコークス化特性(ボタン指数、CI、Gieseler Plastometer, Dilatometer等) から凡その配合案を作り、缶焼きテストを行い配合計画を決定した。更に1/4ton試験炉と電気炉にて各原料炭の単味炭と配合炭のコークス強度特性が研究され、データが蓄積されていた。

5 コークス炉

1950年の日鉄解体に続き、1951年には銑鉄の価格統制、配給統制が撤廃され、高炉4社(八幡、富士、日本鋼管、小倉製鋼)の平炉向け銑鉄はフリーマーケットになった。この為、平炉メーカーは銑鉄の供給を安定させるため、自ら高炉を持ち、銑鋼一貫体制を目指すことになる。川崎製鉄は千葉製鉄所を創設し(1953年)、住友金属は先ず小倉製鋼を併合し(1953年)、更に和歌山製鉄所を建設する(1961年)。神戸製鋼は神戸製鉄所を作り(1958年)、日新製鋼は呉製鉄所を建設した(1962年)。八幡、富士、日本鋼管の3社は高炉を増強した。

1951年から1955年の産業合理化審議会の第1次合理化計画の結果、製鋼能力は16%の増に対し、出銑能力は294万トンから629万トンへと倍増した。1965年には、高炉稼働基数は34基に達し、コークス炉は24炉団が稼働するに到る。

5.1 コークス炉の建設と増強

わが国のコークス炉は、明治中期の釜石、八幡、室蘭に導入された洋式製鉄法に伴い、ドイツ、フランス等から室炉式コークス炉を輸入した。それらは、Beehive式、Haldy式、Solvay式、Coppée式、Koppers式、Otto式等のコークス炉であった。炉容は徐々に大型化され、熱効率も上昇し、また副産物の回収が可能になっていった。

コークス炉の型式は、英国、ドイツ、フランス等、各国、各地域の石炭の性状に適合すべくコークス炉が考案され、改良され、発展してきた事が、その歴史に示されている。

1916年、明治以来の導入と模倣の時代を経て、日本の石

炭に適合する黒田式コークス炉が黒田泰造に依り考案され、1920年、八幡東田第三コークス炉(100門)として操業を開始した。更に1935年、大野宏により大野式コークス炉が考案され、1938年、八幡洞岡第五コークス炉(75門)として火入れされた。これが日鉄式複式コークス炉である。因みにこの炉の寸法は、400W×4,000H×12,400Lであった。排気温度は低く、乾溜熱量は低下し、炉体は堅固で、作業性も改善された。そのため室蘭、釜石、広畑、尼崎、東京ガス、大阪ガス、更に清津と兼二浦にも建設、操業された。

戦争末期に入った1944年末、高炉は30基稼働しており、これに対応するコークス炉は31炉団が数えられた。その炉型式を見ると、日鉄式15炉団902門(49%)、黒田式12炉団750門(41%)、Otto式2炉団140門(8%)、Koppers式44門(2%)であった。

八幡への鉄鋼傾斜生産方式による復興の開始後暫くして、各製鉄所で生産が再開された。休止したコークス炉は逐次再開され、また新コークス炉が建設、火入れされた。

1953年、川崎製鉄・千葉製鉄所が戦後初の銑鋼一貫製鉄所として建設され稼働した。当時の緊迫した資金事情から、コークス炉は建設費の節減を強いられ、たまたま休止していた北海道の滝川化学(株)のコークス炉(Otto単式)並びに移動機械全てをスクラップとして購入し、解体して千葉に再建された。解体に当たり、母材に傷を付けぬようリベットをガスで丁寧に取り、全部品を千葉に輸送したと伝えられている。煉瓦だけは新たに購入し、Otto社の図面によりNew Otto複式炉(55門)として築造、再現された。従業員も多くが滝川から千葉に移り採用され、作業技術、洗炭、配合、タール技術も滝川の技術であったという。又広畑にて、従業員の訓練が行われた。こうした大変な労苦の末、戦後初の新コークス工場は操業を開始した。

この第一コークス炉は、順調に稼働し、1975年まで22年間、窯出11,666本/窯、製骸量606万トンを記録した。

1958年稼働の第二コークス炉(New Otto式60門)は、移動機械に大きな進歩が見られた。押出機はtwin driveの門型とし、levellerを高速化し、炉の表裏の連絡装置に超短波無線を採用した。石炭装入車は鳴崎式cone feederにより給炭時間を短縮し、消火塔は鳴崎式自動消火装置を採用して、無人化した。その他油圧リフター、thrustor brake、集中給油方式、等の新機能が試みられた。

1960年1月稼働の千葉第3高炉対応の第三コークス炉(74門、New Otto式)は、わが国のコークス炉として、初めて炉高4米の壁を破り、4,160mmHとした。僅か煉瓦一枚の積み増しにしか過ぎないが、コークス炉の大型化に対するコークス技術者の意欲を示した。

1959年9月に操業を開始した戸畑は、大型高炉(1603m³)

のコークス需要に対応するため、コークス炉のdimension, 特に炉高は4 米のままで、炉門数を96門に飛躍的に増加させた。即ち窯出し本数は、従来の最大120本/D程度から一気に140本/Dに増加した。コークス炉稼働率は146%である。この頃、日本の戦時中の世界から隔離された技術の遅れが、戦後10年にして追いつき、特に機械、電気、制御、計装の分野で著しく改善されつつあった。戸畑のコークス炉には、これらの技術を取り入れ、炉蓋脱着及び移動機械の高性能化が図られ、特に油圧機器の導入がこの高い窯出し本数を実現したのである。

この第1 コークス炉は、1978年の合理化休止まで19年間稼働し、820万トン製鉄の記録を作った。同型の第2 コークス炉は、1988年の炉寿命を残した合理化休止までに、1190万トン、窯出本数2A炉13491本、2B炉13291本の記録をマークした。

1960年の第2 高炉—第2 コークス炉に続く、第3 高炉—第3 コークス炉（1962年稼働）の企画が、1960年初めに行われ、日鉄式コークス炉の大型化の提案がコークス技術部門から提起された。しかし実現は無かった。

コークス炉のdimensionは、原料炭性状と強い関係があり、特にわが国の原料炭配合は、欧米に比し揮発分が高く、収縮率が高い。これがコークスの品質とコークス炉の熱分布制御に大きく影響することを危惧したからである。

『わが国の原料炭性状から見て、炉幅400mm、炉高4,000mmが品質上最適である。』と言う、戦前からのコークス炉技術指針は余りに強かった。特にこの時は、初の豪州炭の長期契約の準備段階の時期にあたり、原料炭性状の先行きに確信の持てない時期、即ち過渡期にあった為、この逡巡は止むを得なかったのかも知れない。

日鉄式コークス炉の大型化は、1961年室蘭仲町3CO (BFG 単式73門)が4600mmを実行した。burnerのBFGとAirとの会合を遅らせる構造とし炉高方向均一加熱に配慮した。本格的な大型化は、八幡において実験炉(多段燃焼試験炉)の建設、試験を開始し、その実現は1968年の君津の第一コークス炉まで待つことになる。

日本鋼管では1952年、被爆した扇町第1 コークス炉に代わり、新炉を建設した。TN式複式炉74門(東京ガス—NK K式、Koppers type)であった。1960年大島第5 コークス炉(80門)を同じTN式で新設した。

5.2 コークス炉の大型化

1960年代に入り、高炉の大型化と高出鉄比により、建設されるコークス炉は一斉に大型化に向かわねばならなかった。1961年以降に建設された主たるコークス炉のdimensionを火入れ順に列記すると以下の通りである。

1961	室蘭仲町	3CO	日鉄	73門	410×4,600×13,200
1962	水江	1CO	Otto	86	400×4,500×13,770
1963	大ガス塚	1CO	DG-Otto	100	450×4,500×13,700
1964	広畑	4CO	D.K.H	70	450×5,000×13,000
1964	千葉	5CO	C.Still	92	460×5,910×14,850
1965	和歌山	3CO	Koppers	76	450×5,000×14,620
1966	福山	1CO	Wilputte	94	430×5,100×14,540
1966	関熱扇町	1CO	Koppers	40	450×5,000×14,620
1967	水島	1CO	C.Still	78	435×6,456×15,750
1968	名古屋	3CO	C.Still	100	435×5,910×15,750
1968	君津	1CO	新日鉄M	90	450×5,500×15,700
1969	坂出	1CO	N.Otto	100	430×6,000×15,430
1969	和歌山	6CO	Koppers	106	450×6,000×16,500
1969	福山	3CO	Wilputte	104	430×6,500×15,430
1969	水島	3CO	C.Still	86	435×6,706×15,750
1970	名古屋	4CO	新日鉄S	50	435×5,920×15,670
1970	戸畑	5CO	新日鉄M	110	450×6,000×15,700
1970	加古川	1CO	Koppers	60	450×6,500×15,560
1971	鹿島	1CO	S-Koppers	154	460×7,125×16,500
1971	君津	4CO	新日鉄M	92	430×6,500×15,700
1972	大分	1CO	新日鉄S	78	440×5,625×14,930
1973	坂出	2CO	C.Still	100	432×6,915×16,880
1973	三井鉱山	1CO	Koppers	92	430×7,125×16,500
1973	千葉	6CO	C.Still	102	435×6,706×15,750
1976	扇島	1CO	C.Still	124	450×7,550×17,220

上記の中で、1 炉団の装備門数が著しく異なるのは、コークス炉1 炉団の呼称を、1 チームの作業単位としての1 炉団と、或いは炉配置上の構成単位としての1 炉団等、会社ごとに呼称単位が異なるからである。

コークス炉の製鉄量は、次式に依って表される。

$$\begin{aligned} \text{炉団製鉄量 (T/D)} &= \text{一窯当たり製鉄量} \times \text{一日当り窯出本数} \\ \text{一窯当たり製鉄量} &= \text{炉幅} \times \text{炉高} \times \text{炉長} \times \text{装入密度} \times \text{歩留} \\ \text{一日当り窯出本数} &= \text{装備門数} \times \text{稼働率} \end{aligned}$$

$$= \text{装備門数} \times (24 / \text{炭化時間})$$

$$\text{炭化時間} = C \times (\text{炉幅})^n$$

$$n, c: \text{定数}$$

但し炉温限界一定とする

炉高を高くした場合、燃焼室の垂直方向の均一加熱を如何に実現するかである。高い炉高に対してはその分だけ熱を上部に与えねばならず、反面高い炉高では炭柱の全収縮量(焼き減り)が大きく、炭化室頂部空間が乾溜末期に大き

くなり、過熱によるカーボン・トラブルの原因となる。即ち上熱と下熱のdilemmaである。、言わばAntinomie、二律背反とも言える。コークス工場とコークス炉メーカーは、これに対処するため、2段バーナー(Wilputte)、多段燃焼(Otto, C. Still、新日鉄M)、排ガス循環(Koppers)、taper corn(Koppers)、独立型上部加熱焔道(Sumitomo-Koppers)等の新しい方式を貧ガスと富ガスのそれぞれに応じて適用した。コークス炉の燃焼挙動は、極めて経験的な要素が強く、炉の設計も試行錯誤の繰り返しであったと言える。

炉幅が増加すると、炭化時間は炉幅の1.7-2乗に比例すると長い間認識されていた。このexponent, nはフリー温度の限界と炉壁厚みと熱伝導率等によって変化し、今日ではかなり低下している様である。

この炉幅の関係から、コークス炉の一炉団製熱量-設置門数-最高稼働率-押し出し本数の関係が広い解をもつ。一炉団製熱量一定であれば、1チームの窯出し本数の限界に見合う最大稼働率を得る狭い炉幅を選び、設置門数を少なくして投資効率を上げる事が出来る。他方最大製熱量を得るためには、炉幅を大にして稼働率を下げ、設置門数を多くして、窯出し本数の限界に入れることになる。

こうして1963年以降、最大製熱量を得る必要性のために、430-460mmの炉幅が挑戦的に採用された。先に述べた如く、原料炭は既に良質で且つ安定しており、かつて危惧したコークス品質の問題は殆ど起こらなかった。

炉幅の拡大は、押し出し抵抗を緩和し、押出機のラムとレベラーを太く強固に出来(炉長の延長の対策)、巨大化する炭柱を容易に処理した。又、上昇管径が大になり、大量の発生ガスを吸引し得た。

炉長の延長は、各フリーへのガスの適正な分配に更に配慮された。underjet、多層式ソールフリー、バーナー口径配列調整、スライド煉瓦等である。

炉の内容積は、4m炉の21m³から飛躍的に上昇し、15年後には60m³(扇島1CO)に到る。一窯当たりの製熱量は、約10トンから31トンに増加したのである。

日本のコークス炉の大型化の過程は、その型式に見る如く、世界有数のコークス炉メーカーが競合する巨大なマーケットになった。D.K.H, Otto, Koppers, C. Still, Wilputteの各社である。国産技術は日鉄式(後の新日鉄M式)と富士式(後の新日鉄S式)であった。特に黒田泰造、大野宏以来伝統ある日鉄式が戸畑2期計画に於いてその大型化を逡巡し、その結果コークス炉の国産技術に依る大型化に遅れを取ったこと、更に八幡製鉄が日鉄式コークス炉の商品化を計らなかったことを惜しむのは果たして筆者だけであろうか。日鉄式コークス炉は、ブラジルのUsiminas 4炉団(1962-1979)、C.S.N(1976)、更に上海宝山(1985)に建設さ

れた。

日鉄式、特に戸畑以降は、炉の稼働率の動きに対し柔軟性があり、また乾溜熱量が相対的に低いが、高度の操業技術が要求され、メンテナンスの負荷がやや高く、又使用する煉瓦の種類が多いといった長短両面の評価もある。

八幡以外の各社が、外国メーカーのそれぞれの型式を選択した経緯を聞くと、大変興味深い。1964年の千葉第5コークス炉は、C. Stillの多段燃焼に着目し採用し、一気に460mm幅の6m炉にした先見性と大胆さを筆者は感じる。福山は、当時米国で5m炉として最も高生産の実績を上げていたWilputte式を採用したが、第3コークス炉(1969年)の段階では、既にWilputte社の大型化の設計能力に限界を感じ、炉体をOttoに設計させ、付属金物類をWilputteに作らせて、Wilputte-Otto式を構成し、6m炉を完成し、成功した。更に1976年の扇島の7.5m炉には、大型炉の実績の多いC. Stillを採用し、当時世界最大のコークス炉とした。

又、コークス炉の操業結果から積極的に原型の改良を行い、大ガス・オート式(entire underjet化)、住友・コッパース式(hairpin反転部位低下と上部補助加熱焔道の改良)と呼称する炉型式が誕生した。

因みに今日リストラの一段落した状態での、1992年の全国稼働コークス炉のメーカー別型式を見ると、C. Still式1235門(門数比30%)、新日鉄式1295門(32%)、Koppers式(含むSumito-mo Koppers式)1119門(27%)、Wilputte式444門(11%)等である。

5.3 コークス炉の耐火物

コークス炉の耐火物は、珪石煉瓦、粘土質煉瓦が大部分で断熱煉瓦と赤煉瓦とモルタルを使用する。この他近年になってコークス炉炉蓋と上昇管基部に溶融石英煉瓦が使用されるようになった。

19世紀末、アメリカで初めて珪石煉瓦のOtto-Hoffmann炉が開発されて以来、耐火度の高いそして熱伝導率の高い珪石煉瓦がドイツで使われ、コークス炉は大型化、高温化して今日に到った。炭化室、燃焼室、蓄熱室壁等高温部に使用する珪石煉瓦と蓄熱室等炉下部に使用する粘土質煉瓦の比率は、コークス炉のメーカー別型式によりかなり異なる。珪石煉瓦は48-64%、粘土質煉瓦は30-48%と見られる。

既に戦前から耐火物工業は製鉄業とともに発達し、特に珪石煉瓦はその原料にわが国の良質な赤白珪石を使用したため、品質は比較的良好であった。

戦後の復興期に、煉瓦の製造方法、成形と焼成が大幅に改善された。煉瓦の成形は大半を手打ち成形で行い、機械成形の比率は低かったが、1955年には機械成形が50%を越え、その後特殊な異形煉瓦を除くすべてを機械成形とした。

成形機は油圧プレスを導入し、成形圧500kg/cm²、プレス能力500トンになり、その後更に大型化する。

珪石煉瓦の焼成は丸窯で行われるが、1950年代に大型化され、炉温制御が進歩して均一加熱が出来るようになった。

珪石煉瓦の物理的性質、見掛比重、嵩比重、見掛気孔率、荷重軟化性(T₁&T₂)、圧縮強度は徐々に向上したが、特に顕著であったのは、大型油圧成形機による煉瓦毎の品質のばらつきの減少であった。

1959年八幡は洞岡第4コークス炉をKoppersに発注し、敢えて外部の血を入れることを試みた。炉の全ての機材をドイツから搬入したが、珪石煉瓦だけは、ドイツのそれより優位な品質である事がドイツで検査、立証され、国産煉瓦を使用したと伝えられている。

5.4 コークス炉の附帯設備と移動機械

1950年代は欧米の新しい機械、電気、計装が次々に取り入れられ、コークスの附帯設備は年々変貌を遂げてゆく。

装炭車は自然落下式からテーブルフィーダー或いはコンフィーダーに代わり、石炭詰りが無くなり円滑な装炭作業が出来るとともに、炉内への均一装入が可能となり、フィーダーのタイマーにより一定量の装炭が可能になった。更に装入蓋の電磁式蓋取り装置が開発された。

1960年代は装炭車への石炭投入—装入蓋脱着—フード合せ—石炭装入の一連の操作が、装炭車の運転室の操作盤から遠隔操作されることになる。装炭車の走行速度も上がり、窯出し本数は更に向上した。

押出機とコークガイド車についても同様の機能向上がみられたが、特に炉蓋脱着装置に油圧式が開発され、門も自動的に開閉された。炉蓋の着脱の機械化と押出機側の戻りコークスの処理は、コークス炉の高熱重筋作業の負荷を大幅に軽減した。

さらに炉蓋のクリーナー即ちdoor cleanerとseat cleanerが考案され、徐々に改善された。

消火塔による消火作業は、完全な消火とコークス水分の抑制並びに消火蒸気中の粉塵の抑制のため、散水制御とハードル方式が考案された。

これらコークス炉の附帯設備の改善策は、次々新設されるコークス炉に果敢に取り入れられ、欧米の技術と各社の自己開発が混在した。特に国内のコークス炉附帯設備専門メーカーの努力と貢献は特記されなければならない。

1960年代後半から、製鉄所の規模の拡大もあり、環境問題の解決に迫られた。1968年に施行された大気汚染防止法の遵守であった。コークス工場は先ず粉塵対策であった。特に市街地に近いコークス工場では、集塵機の強化、増設であった。装炭車集塵、ガイド車集塵、窯口集塵が装備さ

れ、当初の湿式タイプから始まり、後には電気集塵機(加古川)、バグフィルター(福山)へと強化されてゆく。

無煙装入法の考案、普及はコークス炉炉上作業の熱負荷の軽減に大きく寄与するとともに、環境の改善となった。コークス炉の窯出し—装炭の約7分間、上昇管蓋を開き、装炭と共に盛大に火焰と粉塵を排出していたが、窯出し後、上昇管蓋を閉じ、装炭を行う実験が各地で試みられた。その中で三菱黒崎で開発された無煙装入法(1966年特許)が特に優れているため、短期間のうちに全国に普及した。本法は、従来上昇管蓋のシールに使用していた低圧の安水を高圧安水(約20kg/cm²)として噴射し、aspirationにより、装炭時に炉内で急激に発生するガスをドライメンへ吸引する方法である。簡潔であり、効果的であり経済的であり、独英米、全世界で採用された。この技術は特記に値する。

この他、石炭ヤード粉塵対策、送炭、送骸ラインの集塵が強化された。

この他製鉄所の全体としての、SOX、NOXの規制に対し、幾つかのコークス工場に対策がとられたのは、1970年前後の鉄鋼大拡張時期であった。

6 コークス炉の高稼働率操業

コークス炉の炭化時間は、炉幅の1.7-2乗に比例するため、最高稼働率(24時間/炭化時間×100)はフリー温度の上限に対し、炉幅毎にはほぼ決定される。置時間の長短で多少の差があるが、400mmは160%前後、450mmは140%前後と一般的に認識されていた。

高度成長の時代には、しばしばコークスの需給が切迫し、従来の常識を破る高稼働率操業が果敢に行われた。

1967-1969年、広畑では第1コークス炉(400mm)190%、第3コークス炉(410mm)180%、第4コークス炉(450mm)155%の操業を行った。炉温管理に常時火見の6列6点法を考案し、平均フリー温度1300℃以上の操業を長期間継続した。

同じ1969-1971年、千葉の第1コークス炉(400mm)185%、第2コークス炉(400mm)174%、第5コークス炉(450mm)141%の高稼働率で増産を行った。燃焼系統の改造(grate brickの一部撤去、jet nozzleの一部撤去、補助空気孔設置等)を行い、平均フリー温度を1350℃に上昇せしめた。実際には1400℃を越えるフリーが相当あり、炉温の異常上昇に配慮を要した。カーボントラブルがしばしば発生し、空炉によるカーボン焼却まで実施し、又押詰まり、コークス掻出しの難作業をしばしば経験したと伝えられている。

各社でこの様な果敢な操業を体験したのち、大型コークス炉では、鹿島の第1コークス炉(460mmW,7125mmH)は常時1330℃の平均炉温で140%の高稼働率をうるべく設計さ

れ、1971年に稼働し、それを実現している。

コークス炉の最高稼働率を論ずる場合、炭化時間の決定方法と炉温の限界に触れねばならない。前者はコークスの品質と押し出しの負荷であり、後者は炉体保護、後の寿命に影響する問題である。炭化時間の決定は、例えば火落ちの判定と置き時間(soaking time)の概念の整理である(八幡、京浜、福山等)。各社ごとに微妙に表現が異なるが、昨今コークス炉自動燃焼システムが開発、装備され、温度測定が自動化されて、炭化時間の決定は同化の方向にあると思っている。

7 コークスの品質

明治の創世記以来、わが国の高炉用コークスの品質は、良質の原料炭の入手の困難から、高炉は苦難の道を歩んだ。戦後米国炭が輸入され、ベースコールになるに及んで、初めて、欧米の水準に達した。そして1959年から1968年の10年間の原料炭の需給と品質は、コークス品質の黄金時代とも言える状態を作りだした。更に石炭の事前処理と品質管理法の普及、発展によって、品質は一層安定した。

高炉に於けるコークスの評価については、1955年頃高炉休風時の羽口採取試料の調査により高炉炉内でのコークスの変化を測定し、その炉内での挙動を推察する試みが行われていた。またコークスの冷間強度に対し、高炉炉内を想定した熱間強度の研究が始められたのは1960年代である。

高炉の炉内挙動の研究は、1968年秋の東田5高炉解体調査とそれに続く数回の高炉解体調査によって進んだ。コークスのガス、アルカリによる反応が条件ごとに判明し、その後コークスの日常の品質管理に熱間反応強度の指標も現れる事になった。

コークス自身の品質とともに、高炉に装入するコークスのサイズが高炉の大型化に伴い変わった。コークスのアンダーカット、下限粒度である。1960年代から、15mm上が20mm上になり、25mm上になった。高炉の通気性と炉下部の通液性を考えれば、下限粒度は高いほうがよい。高炉の高出鉄比と安定性の為の高炉用塊コークス歩留の低下は、発生する粉コークスの増加が、高炉装入の焼結鉱使用比率の増加の価値で補償され、常に粉塊バランスが保たれて来た。

8 副産物の回収処理

石炭を乾溜してコークスを製造する場合、石炭の30%(重量比)近い副産物が発生する。高カロリーのガス、タール、軽油等であるが、副産物とはいえこれらが果たす役割は大きく、製鉄業のみならず、化学工業にも大きく貢献して来

た。19世紀中葉に副産物回収炉が出現し、わが国では1898年に大阪舎密工業にて初めて稼働し、而後、製鉄業のコークス炉も逐次副産物回収炉に変わってきた。

副産物の生成比率や性状は、原料炭の性質とコークス炉の操業条件により変化するが、通常の高炉用コークスを製造する高温乾溜の場合、一次冷却後に得られる副産物は、ガス、タールと安水である。コークス工場ではこれらをそれぞれの処理工程として、ガス精製、化成品処理、安水処理に系統化している。

ガス精製は、戦後、タール・ミスト、アンモニア、ナフタリン等の不純物の除去のため精製工程が改善されたが、1960代には、環境対策から脱硫装置が導入された。特に1970年の硫酸酸化物の排出規制強化により全てのコークス工場はCOGの脱硫装置を装備した。COG脱硫装置は、既に戦前から東京ガスや大阪ガスにおいて都市ガスの品質上から設置されていたため、これを導入して短期間に対処し得た。

脱硫装置の大型化とともに、硫酸の回収量が増加し、硫酸の生産は増加した。コークスの副産物としての硫酸は戦前戦後、久しきにわたり重要な物資であり、その製造方法も改善された。しかし1965年には急速に台頭した石油化学工業から、合成繊維原料の製造過程で回収される回収硫酸に、品質と価格両面で劣位に立ち窮地に陥った。

化成品処理は軽油とタールの二系統であり、一般的にコークス炉の原料炭の約1%の軽油と約3%のタールが発生回収される。1950年代は回収効率を高めるため新鋭設備が導入された(ファイナルクーラー、ベンゾール・スクラッパー、吸収油再生法等)。粗ベンゾール以後の工程は、化成部門或は製鉄会社の子会社の化学会社で精製分離或いは新化学品が製造される。

安水処理は当時、安水を蒸留してアンモニアを回収し硫酸の原料にした後、廃棄されていた。1960年代に排水量の増加に伴い、安水中の残留アンモニアと石炭酸類による水質汚染の対策を必要とした。生物学的処理としての活性汚泥法を採用し、普及した。

こうしてコークス工場の副産物処理は燃料ガスの精製と価値の高い化成品の回収のため、1950年代に鉄鋼各社は化成部門に力を入れ技術力の向上を図り、また、化成部門を分離し別会社を設立した。その成果は高かったが、1957年頃、わが国に石油化学が誕生し、外国資本との提携などをはかり、石油コンビナートが次々に出現し、急激に台頭した。例えばベンゼンの生産量に占める石炭系と石油系の比率をみると、1957年石炭系100%、1960年89%、1963年67%、1966年には47%で比率は逆転し、1969年28%、1972年15%となり、1975年には13%にまで低下した。先に述べた硫酸等とともに、既に1970年以降、世界的に石炭化学の凋落は

著しく、僅かに多環芳香族化成品とタールからの電極用バインダーピッチ、一部のタール系塗料等のみが石炭化学の占拠するのみとなった。

1970年以降に建設された製鉄所では、ガスから回収したアンモニアを燃焼廃棄したりする例もあった。社会産業構造の変化を背景にして、副産物回収の意義は大きく変わったのであった。

エピローグ

1973年度に粗鋼 1億2002万トン、銑鉄9126万トンを記録しピークとなった。前後2回のオイルショックがあり、高炉は重油吹込みを中止し、オールコークス操業とし、更に石炭吹込みへと移行した。省エネルギーは、エネルギーの節減と廃棄エネルギーの回収であり、前者はコークス炉の乾溜熱量、消費電力の低下として実行され、後者はCDQの導入、普及であった。コークス炉自動燃焼管理システムが開発され、石炭乾燥機による低水分制御が行われている。コークス炉作業は機械化、自動化され操業要員は大幅に減った。国内炭の使用は1995年に遂にゼロとなった。

今日の日本のコークス工場は、原料炭のコストの節減のため一般炭(配合炭としての一般炭は弱粘結炭の低品位炭が多く、非粘結炭は少ない)を多量に使用し、事前処理として乾燥(CMC, DAPS)、加熱(Precarbon)を行い、コークス炉の熱負荷を下げ、高度な燃焼管理システムにより乾溜熱量を低下せしめた。コークス炉に与える負荷から見ると、装入密度は高いが、石炭の膨張性は低下し、高水分による煉瓦へのヒートショックも緩和されている。適正な稼働率のなかで炉温も適度である。コークス炉に与える熱的負荷は下がっていると思う。

数年来、製鉄所の合理化が進み、現存するコークス工場は18工場、50数炉団、となったが、それらは総て1960-1970年代の大型コークス炉であり、平均炉令は約25歳を数えている。コークス炉の寿命の延長と将来の改修の経済負担、更には次世代のコークス炉の姿が今日の命題である。

コークス炉の寿命は、かつては『炉命は20年、窯出10000回/窯』と言われたものだが、煉瓦の品質向上と炉の構造の進化、そして上述の様な炉の熱負荷の適正化により今後、大幅な寿命の延長が期待出来るだろう。戦後に休止、再開を行った多くの炉の例と、近年合理化のため休止した炉の損傷状態から見れば、コークス炉は頑強である。今後、炉体のメンテナンスをより科学的に、より技術の執念を持って一途に行う事である。

次世代のコークス炉の形に、ここ10年間にドイツで建設された超大型炉のほかに、新しい幾つかの動きがあるよう

だ。第一は日本の鉄鋼各社の共同研究の石炭高度転換コークス製造プロセス(SCOPE-21)、第2はドイツを中心としたEUの共同開発のJambo Coking Reactor(JCR)、第3は米国で考案されている副産物非回収型コークス炉である。

SCOPE-21は、石炭の熱的事前処理を極限まで高めて装入し、コークス炉内の乾溜は早期に中止して排出し、CDQにおいて熱的事後処理を行うことにより、コークス炉の総仕事量を大幅に減じ、コークス炉の見掛け生産量を倍増、三倍増させると言う、発想であり、極めて興味深い。両サイドから加熱、乾溜する室炉式コークスの順次炭化の本質を見極めて、研究されて行く事だろう。

JCRは、1000mmW×10000mmH×20000mmL=200m³という巨大な炭化室を独立して作り、Precarbonを導入するという、コークス炉1窯としての極限を狙っている。これを多数組み合わせで1炉団とした場合の構成で評価されるであろう。

副産物非回収型コークス炉はPort Kemblaで既に稼働しており、又米国においても近く建設される予定と報じられている。100年前のBeehive炉の復活を思わせるこのタイプのコークス炉は、石炭化学が石油化学に圧迫された今日、副産物をすべて燃焼し、電力として回収する方向へ向けている。

扱て、今、コークス—高炉間で、送骸ベルトのフードから垣間見るコークスは、鈍色で光沢はなく、角もとれたどちらかと言えば丸いコークスである。品質の数値は高い。かつて、コークワークで見た湯気を立て、朝日に光る銀灰色の、衝れば金属音をたてる角張った見事なコークスは最早ない。この綺麗なコークスを眼近に見て、高炉の炉内を想像したものであった。

1945年からの20年間は、焦土からの復興と驚異の発展に到るダイナミックな時代だった。国内では幾多の困難があったが、世界の政治、経済の大きな流れのなかで、日本は強運に恵まれた。日本鉄鋼業はそれを生かして、予想だになかった粗鋼1億トンに到達した。

この時代に生きた技術者は自分の能力を遙に越える未知の領域の仕事、高い目標を与えられ、それに挑み、また迅速さが要求された。

今回、鉄鋼協会から、突如としてしかも限られた時間で、コークス技術史1945-1965年を書くよう求められた。

『技術史は設備の近代化や大型化の解説と操業成績の羅列では不可ない。その時代に生きた技術者たちの思考に触れねばならぬ。』と思って、私は筆を取ったが、果たせなかった様である。この時期のコークス技術に関する記述は意外に少ないことも知った。又、限られた字数なので、図表と

写真は一切省略した。

最後に、本稿の執筆に当たり、快くインタビューに応じて下さった方、資料の調査にご協力いただいた下記の諸氏に深く感謝申し上げます。(順不同)

真田貢氏、佐田敏雄氏、森口三昔氏、栗山哲郎氏、野口信雄氏、足立剛氏、田村栄氏、小串嘉弘氏、山本英樹氏、竹村末吉氏、植松宏志氏、長谷部新次氏。

参考文献

- 1) 社団法人日本鉄鋼協会：わが国における製鉄技術の進歩 1977年
- 2) 飯田賢一著：日本鉄鋼技術史 東洋経済新報社 1979年
- 3) 社団法人鋼材倶楽部：鉄鉄需給史 1987年
- 4) 田部三郎著：日本鉄鋼原料史(下巻)
産業新聞社 1982年
- 5) 社団法人燃料協会：日本のコークス炉変遷史 1962年

- 6) 真田貢著：コークス炉辺談話
- 7) 桐谷義男著：自伝的コークス技術史：住友におけるコークス事業 1988年
- 8) 川鉄化学社史
- 9) 八幡製鉄所80年史 1980年
- 10) 室蘭製鉄所50年史 1958年
- 11) 広畑製鉄所30年史 1970年
- 12) 堺製鉄所20年史 1984年
- 13) 株式会社神戸製鋼所70年史 1974年
- 14) 日本鉄鋼連盟：鉄鋼統計要覧
- 15) 燃料協会：コークス・サーキュラー誌 多数
- 16) The Making, Shaping and Treating of Steel, 10th Edition, U. S. Steel, AISE 1985
- 17) 和田亀吉：実際製鉄法 丸善 1949年
(1997年2月28日受付)