



鉄鋼産業における石炭利用技術開発の展望

持田 勲
Isao Mochida

九州大学 機能物質科学研究所
所長・教授

Future Development of Coal Utilization Technologies in Japanese Iron and Steel Industry

1 序

1945年以来半世紀、我が国の鉄鋼産業は敗戦後に新設された臨海一貫製鉄所を軸に、世界中の発想を基礎に多数の実用技術を開発して、大量高品質の鉄鋼を生産し、船舶、家電、自動車用的高级鋼材を供給して、世界トップの座を獲得した。世界に高級鋼材を供給する一方、開発した技術をアジア諸国を初め、世界中に輸出し、鉄鋼生産の増加に貢献してきた。その間、需要構造の変化、数次の為替変動、オイルショック、貿易規制、環境規制、バブルの膨張等を経験し、世界経済、メガコンペティションの枠に直接組み込まれる過程の苦難を克服して、世界の最高水準の規模と技術を維持しながら、一定の収益を確保できてきた。多角化を目指した多数の新規事業への参入も試みられた。90年代に入って、我が国のバブルが崩壊し、需要が停滞し、日本中に不良資産の山が残り、経済のマイナス成長を記録、気がつけば日本は世界から問題児視されている。鉄鋼産業も、現在本業復帰の名の下に、新しい投資マインドが著しく低下している。一方で、温暖化ガスの削減を柱に地球環境、地域環境への負荷の大幅な削減が厳しく要求されている中で、東アジアに展開した鉄鋼生産との競争に曝されながら、アメリカへの鋼材輸出制限が強化され、日本の鉄鋼産業の収益構造は硬直化、そのために生産設備の老齢化が進んでいる。さらに、先進国における成熟産業の見通し不透明感から生産設備の新鋭化、とくに一貫ラインの新構築は発想されていない。むしろ生産性の低い製鉄所を閉鎖し、比較的新しい製鉄所への生産集中により、過剰生産を削減して、生産性を向上して、当面の収益維持が主として計画されている。

エネルギー多消費の鉄鋼産業を支えるエネルギーは、伝統的に石炭を中心としており、高品質コークス、石炭ガス(コークス炉ガスCOG、高炉ガスBFG、転炉ガスOFG等)燃

料、製鉄化学を組み合わせたエネルギー利用構造を有している。過去にはエネルギー供給の多様化、価格変動、環境負荷への配慮によって、石油系燃料、天然ガスを効果的に併用してきたが、現時点では、高価格の石油、天然ガスから石炭の使用比率が再び上昇している。しかも、高炉への微粉炭吹き込みを拡大して、コークス使用の削減によるコスト削減が追求されている。

20世紀の最後の年にあって、こうした状況をふまえ、21世紀の前半の鉄鋼産業の姿をイメージしながら、エネルギーの供給、利用、生産のあり方を石炭を中心に考えてみたい。鉄鋼産業がエネルギー多消費、限定された収益、厳しい作業環境、大きな環境負荷から、人口の高齢化が進む先進国では撤退すべきとの論もある。より先端性の高い情報、バイオに関連する産業において、アメリカに追いつくよう強化することはもちろんであるが、農業が日本を除く先進国の最大産業のひとつである現実をみると、先進国に適している産業か否かの判断は、今後の経済ならびに技術の革新可能性によって判断されるべきである。鉄鋼産業も予断を排して、その視点から判断して、我が国が誇れる産業として世界に貢献し、かつ収益を確保できる将来の方針および計画をいかに立てられるかにかかっている。つまりエネルギー素材産業における経営と技術が世界潮流を先駆ける開拓精神と冷徹な利益追求の緻密性が問われていると考えるべきであろう。加えて社会や学界の支援も不可欠である。

2 鉄鋼生産における石炭利用技術開発

高炉製鉄は高炉コークス、吹き込み微粉炭、焼結鉱生産用粉コークス、製鉄所動力としてのCOG、BFG等石炭を中心のエネルギー源としている。還元鉱を電気炉製鋼あるいは

は転炉製鋼する直接製鉄においても、石炭火力を発電の主力にすることにより、石炭が還元剤エネルギーの主軸となる。こうしたエネルギー利用構造は今後も続くと思われ、ことから、鉄鋼生産における石炭利用技術開発は鉄鋼産業とくに上流部門の中心的課題であり続けよう。鉄鋼産業の生産性、高品質性、エネルギー効率、コスト効率と環境負荷削減のバランスのとれたより優れた技術開発を継続的に進める必要がある。

コークス生産は鉄鋼産業の最大の石炭利用先である。長い歴史を持つ室炉式コークス生産も石炭資源、環境対応から変革が不可欠であるが、現在の室炉式コークス炉は、老朽化し補修による延命を図りながら稼働を続けているのが現状である。さらに国際競争力の向上からは生産性を大幅に高め、コストが削減できる技術革新、新鋭設備が必要である。

現在、次世代の室炉式製造技術として、石炭の急速加熱、熱間成型を軸に石炭前処理の充実による石炭改質、生産性向上を目標とする新しい室炉コークス製造、石炭高度転換コークス製造技術(SCOPE21)の技術開発が進められている。一方、長期にわたって開発努力がなされた成型コークス製造技術も実用化スタンバイの状況にある。

SCOPE21技術は高炉操業からの要求により、現状と同じ不定型のコークスを製造する室炉乾留を取り入れている。急速予熱、熱間成型、急速乾留による非微粘炭の使用増大、生産性の向上、コークス乾式冷却(CDQ)を改造してコークスの再加熱処理を行い、品質の確保をしている。こうして現行高炉コークスに準ずるコークスを3倍強の生産性、20~30%のコスト削減で製造することを意図とする画期的プロセスで、その成功が大いに期待されている。

一方、コークス生産の全過程を管理制御できる直接加熱型成型コークス法は定型状のための高炉の通気性の低下が懸念されていたが、通気性向上を目指す形状設計も可能である。粘結材の使用および排ガス温度が高いため低い熱効率、加熱循環ガス動力費が成型コークス法の改良ポイントである。SCOPE21型の乾燥、予熱、熱間成型を含む成型コークス法は、非微粘炭の粘結性の向上による粘結材の削減、生産性の向上、排ガス温度を50~200℃に低下および加熱ガス量の削減による熱効率の大幅改善、完全な閉塞操業による環境影響負荷低減において、SCOPE21を上回る技術に発展できよう。さらに成型炭の形状制御により乾留時の圧損も低下でき、動力費も削減できる。

非微粘炭の粘結性向上は添加剤によって可能なことはよく知られているが、価格が粘結炭を上回ることはないようになければならない。溶媒和、膨潤、水素移動等の化学的改質は大きな効果があることは広く証明されている。

極めて少量、あるいは副生物タール中の重質分の直接利用によって実現する場合を除いてコスト的に厳しいことが懸念される。粘結性向上は急速予熱、熱間成型、急速乾留に加えて、原料石炭の希酸洗浄による架橋金属イオンの除去が現実的手段であろう。

高炉コークスの形状上の理想は多孔、低密度、高強度(適当な反応性)である。高炉コークスのスパーサーとしての機能を極大にして、熱源、還元剤としての役割を極小に、後者の役割に対して他のより安価な炭化水素エネルギー、微粉炭、あるいは石炭ガスの利用を拡大することは、銑鉄コストの低減につながる。

コークス製造でも石炭コークスの粉塵、コークス炉から漏出する芳香族タール等が作業環境上の有害物となる。粉砕以降、コークス化まで、石炭に対して密閉プロセスとすることが要求される。成型コークス法の直接加熱、形状物性の造り込み、高温の石炭ガス化プロセスとの結合と高温排ガスの利用等のインターフェース技術開発が興味深い。

焼結は極めて安価なプロセスで広く実用化されているが、加熱効率、排ガス処理、エネルギー消費にかかわらず還元率が低いこと等21世紀に向けて問題なしとしない。少量の粘結炭、あるいはピッチを粘結剤とするペレット、焼成による部分還元による多孔性高強度成型体は考えられないだろうか。

高炉の将来は、コークス量の削減、微粉炭装入を最大にすることが現実的である。このために理想の性状のコークス鉄鋼原料を設計する。さらに高温高圧石炭ガス化ガスを利用する高炉操業も考えられないか？ 夜間生産の増強が可能であれば、ガス消費の平準化に貢献できる。高温ガス利用により、高炉の燃焼部は小さくなり、スラグ処理もガス化炉に集中する。鉄鉱石の還元速度の上昇による生産性向上は、高炉のコンパクト化になる。

高炉—転炉—鑄造—圧延の流れの合理的レイアウトも製鉄所の新設にあたっては再考されよう。製鉄・製鋼において多量に消費されている耐火物、耐熱材料の機能向上も石炭から誘導される高機能炭素材との複合により可能となる。

3 鉄鋼生産とリンクした石炭化学工業の展開を支える石炭利用技術

19世紀前半以来、コークス生産で併産されるガス、タールを原料に石炭化学工業が成立している。20世紀後半には石油の大量消費を背景に、化学産業の主力は石油化学に移っている。コークス生産の縮小から、将来の原料の手当でも考えなければならない。21世紀後半には、エネルギー源の大変革から石油、石炭、天然ガスの化石炭素資源を化

学原料のみに利用される事態もありうるので、当面のコークスあるいは鉄鋼生産に附随した化学原料生産と同時に、石炭を液化、ガス化を通して流体化し、タール、一酸化炭素(水素)を原料とする新しい化学を成立させる可能性も追求しておくべきであろう。化学における原料量はエネルギー生産に比較して規模が小さくなり、コスト上昇は避けられないが、長期的なイメージを描き、大きな変革に準備しておく必要がある。コークス生産の縮小から、現状では、規模縮小による生産性の低下は必然であり、根元的には製鉄の集約が不可避である。コークス生産の合理化は、化学原料、材料原料として最適とはいえないタールの利用もその影響を余儀無くさせる。規模拡大により熱処理、水素処理等、原料改質プロセスを商業化継続を可能にする必要が生じよう。

4 鉄鋼生産に関わる環境保全のための石炭利用技術

鉄鋼生産における最大の環境負荷はエネルギー多消費に基づく二酸化炭素放出である。二酸化炭素の捕捉貯蔵ひいては変換の技術が提案されているが、エネルギー経済から見れば、省エネルギー、非炭素系エネルギーとしての太陽エネルギーの直接利用、自然界の二酸化炭素循環システムの保全、育成、例えば砂漠化の防止、熱帯雨林、温帯林の保全が確実な方法である。鉄鋼生産は当面省エネルギー、熱の高度利用、廃棄物利用の強化による。原子力の位置付けは依然むずかしいところである。技術的には、かつて追求されたように高温ガス炉を柱とする電力、製鉄、炭素資源の転換、熱供給のコンビナートが理想的ではあるが、原子力の安全性に対する不安解消は容易でない。

緊急の課題は焼結炉、コークス炉、高炉稼動に伴うSOx、NOx、CO、芳香族化合物、粉塵、無機有機の極微量有害物の排出の大幅な削減である。いずれも石炭、コークス、鉄鉱石を起源としている。筆者は活性コークス、あるいは活性炭素繊維による、低温(30~100℃)での、硫酸回収型SOx捕捉(0.1ppm以下)、NOxの還元、無害化、また硝酸捕捉を実証している。COの酸化、無害化は金属担持によって同温度域で処理できる。粉塵、有機化合物の捕捉は問題ないが、捕捉した粉塵の処分を考えれば、安価な活性コークスによる捕捉(高炉での、あるいはガス化炉での)焼却処分、スラッグ化になろう。Hg、As、Cr等の微量有害無機物の処理は物質収支をとることから始まるが、どのステップで捕捉し、回収または無害化するか設計を始める必要がある。

いずれにしても、排出物の資源化という視点は、国内での最終処分の余裕が減っていることを考えれば不可避である。

5 鉄鋼産業の多角化と石炭利用コンビナートの中核的役割

多様エネルギーの大量消費、多様な原材料、製品、副産物の観点からは鉄鋼産業の多角化は必然であり、石炭をエネルギー、副原料として多量に消費する限りにおいて、“石炭”を基盤とするコンビナートの成立も自然である。むしろ日本の臨海、大都市近隣立地を生かした、多様な巨大産業の先進的結合による競争力の維持向上が、先進国鉄鋼産業が優位性を発揮できる残された最良の切符と考えるべきであろう。かつて、コークス炉を中心に都市ガス、製鉄化学が成立していたが、天然ガスの普及によって、現在石炭から都市ガスは製造されていない。将来、天然ガス供給が限定されれば、石炭ガスの復活もありうるが、かなり先の話になろう。ただし、天然ガスに対するバーゲニング力を確保することは、無資源の日本の宿命的課題である。

今後の方向は、石炭ガス化を基幹として石炭液化を配置した電気、鉄鋼、輸送用燃料、都市ガス、化学、熱供給を結合した石炭エネルギーコンビナートの形成であろう。コークス製造、ガスタービン/燃料電池/スチーム/熱電変換、焼結、高炉操業、製鉄動力、都市ガス、一酸化炭素/水素、芳香族化合物の合成化学、高機能性炭素材、さらに200~300℃の低温排熱の民生供給も視野に入れることによって、エネルギーの高度利用が完結する。大都市近郊の立地を活かした先進国超大型コンビナートがイメージできる。大都市近郊の立地は環境保全には十分な配慮が不可欠で、生成物をすべて資源化する方向が追求される。原料の貯蓄、搬送についても完全閉塞型が求められる。

コンビナートの形成は、石炭転換の大規模化によるスケールメリット、熱、原料のカスケード・利用をメリットとしているが、石炭転換の定率稼動を実現するため、利用と需要の柔軟性向上が強く求められる。とくに電力に対する昼夜需要の格差を埋める鉄鋼生産、化学生産における柔軟性拡大が最大の技術開発課題である。夜のみの稼動を前提としたり、貯蔵バッファの導入といった対症的解決でなく、30~50%の生産調整の実現を企画しなければ真のメリットが生まれてこない。多数のプロセスの併列により、調整幅が小さくなり、実施が容易になろう。

石炭のガス化は、テキサコ、ルルギ型ガス化が実用化されており、噴流床、流動床ガス化(トッピングサイクル)が開発途上にある。これらの早期な実証、商用化により、国際競争力のある技術として完成させなければならない。同時にその次の世代のガス化も20~30年後の商用化を目標に、今から新しい発想と必要な技術の開発、詳細な検証を世界に先駆けて着手する必要がある。いずれにしても、石

炭からより低温(600~700℃)で、より多くの高カロリーガスを高速で生産することが目的である。

筆者らは、遷移金属ペロブスカイト型酸化物に担持したアルカリ金属塩が、石炭およびチャーに直接担持することなく、ガス化を促進できることを見出している。炭酸塩はもちろん、硫酸塩、塩化物、さらに酸化物塩になっても担体上で還元活性化されることから、ガス化中の活性低下を阻止できる特徴を持っている。従って、石炭(チャー)および触媒の流動床によって連続ガス化が可能となる。灰と触媒の分離は、触媒担体の粒径調整によって原理的には可能である。一方、石炭からの揮発分の水蒸気改質は現行技術の改善、流動床化は射程内にある。石炭の水素化熱分解チャーの徹底ガス化も発想できる。

灰の処分はスラッグ化骨材利用が一般的である。自然環境保全から見れば、我が国の良質な砂利、礫の不足は決定的であり、かつ品質の低下も考慮されている。スラッグも商品として位置づける時期が来ている。タール等による成型、焼結被覆した構造体の製造とその機能を生かした有効利用も可能であろう。

6 石炭コンビナートにおける排熱の民生供給

省エネルギー・エネルギー高度利用の仕上げは低温排熱の民生利用になろう。大都市から50~10km圏内にある、石炭転換一貫製鉄発電施設から、200℃以下の排熱を民生用の給湯、暖房はもちろん、吸熱式冷房のエネルギー源とする効果は大きい。熱源の輸送のための大規模なインフラ

ラクチャーの整備と民生用として、使い易い型に変換する技術が必要である。このために、巨額な投資と新機軸の技術と産業都市構築の発想を用意しなければならない。

7 結言

20世紀最後の年に当たって、鉄鋼産業が我が国に存立する根拠を問う必要がある。鉄鉱石も石炭も産出しない我が国が、今世紀に世界最大の鉄鋼生産基地になりえたのは、時代を先取りした臨海一貫製鉄所の建設、たゆまざる合理化追求、船舶、電気製品、自動車へ的高级鋼板の供給、欧米製鉄の慢心と老朽化の放置も要因である。時代は流れ、我が国の製鉄所も設立から少なくとも40年が経過した。一方、アジア新興国は日本の技術を取り入れて、一貫製鉄所が稼動している今日、我が国の優位性が失われつつある。21世紀における飛躍を目指し、電気製品、自動車に向けた鋼板の一大技術革新、先進工業国の立地の有利さを充分に取り込んだ新鋭製鉄所における原料調製、製鉄、製鋼、鋼板のすべての工程の組織的合理性の追求が必須になっている。製鉄における主要エネルギー源である石炭を軸に、鉄とエネルギーの生産に適した産業再編、競争力強化を発想し、その実現のため技術革新の可能性を考察してみた。3000年の世界史のなかで、数多くの盛衰の過程を繰り返して、また製鉄産業が我が国においても、歴史の必然が改めて証明されるか否かの岐路に至っている。歴史の必然の当面の延長は我が国社会の英知と決断にかかっている。研究、技術、開発、経営力の真価が今問われている。未熟な構想に多くのご批判を戴きたい。

(2000年2月8日受付)