

特 集 号 に よ せ て

吉 井 周 雄*

最近では高炉の解体調査により、ブラック・ボックスとされている高炉の炉内状況に多くの有益な知見が得られてきました。また、大型化した高炉の作業を制御せねばならないようなことも必要であります。日本鉄鋼協会では高炉に関する討論会をたびたび行なっており、次第に高炉の炉内のイメージを胸に画きながら論議のできるようになってきたことは喜ばしいことです。高炉の炉内状況という特集号には多くの方々の貴重な御投稿を頂いて、本号の内容が高炉技術の将来の発展に寄与するところ大であると信じています。専門家とはいえない著者が緒言的のものを述べるのはおこがましいこととは思いますが、機会を御与え下さいましたので所感を述べさせていただきます。

高炉の炉内で何が、どんな風に起こっているかを知りたいということは高炉技術者の強い関心事であります。最近 20 年間に高炉の炉内調査の報告は多々ありましたが、その中でシャフト部の原料の組成変化については操業中の炉の炉口部から鉄管を垂直に挿入して装入物層の中へもぐり込ませて、高温で鉄管が変形するような位置まで縦方向の試料を取り、また炉壁から試料採取器を打ち込んで横方向の炉内試料を採取して、間接還元過程について研究され、かなり精確に把握されている。そしてこれらの研究は固気向流充填塔に相当するシャフト部に限られた炉内状況であつて、その結果は永年の還元に関する基礎的研究や化学工学的研究により理解し得る内容が多く見られます。

しかし、石灰焼結鉱が広く使用されるようになってから、高炉内で石灰石の熱分解とそれに伴うソリューション・ロス反応、そして鉱石中の脈石と反応して溶融しやすいスラグを作るという重要な段階は大部分焼結機内での反応に移されている。すなわち、製鉄反応は焼結工場から始まっているといつても過言ではありません。したがつて、従来は鉱石の整粒による粉鉱処理の過程であつた焼結は造滓反応を伴うようになって、石灰が微還元性雰囲気中で短時間にいかに脈石などと滓化するか、そして焼結鉱が高炉内でいかなる挙動を示すかは炉内状況の研究の一つの重要な課題となつている。

高炉技術者は長い間ブラック・ボックスの中身を見たいという欲望があり、1928年にスエーデンの Bom は試験高炉の解体調査を行ない、炉内の成分、組成の変化を調べて現在も教科書などに採録されている興味ある結果を示した。戦後ではソ連などで実炉の解体調査があり、我が国でも東大生産研、日本鋼管などで小型試験高炉の解体調査が行なわれた。しかし、大型高炉へ推移して行く時期に、生産能率が世界で最も進んだ我が国の高炉技術の裏付けとして、大きな出費にかかわらず、数次にわたり高炉吹卸し時に実操業のまま冷却して解体調査を慎重に行なつて、その時の炉内状況を正確に把握した。その結果は従来推論に基づいて解析した結果や高炉技術者の持っていたイメージと対比して多くの新しい知見と重要な課題を投げかけている。特に軟化溶融帯については注目すべき現象の数例が見られた。高炉内で還元されつつある鉄鉱石・焼結鉱はいかなる状態で溶融し、滓と溶鉄に分離して行くかということはほとんど分かつておらず、主として推論によつた。しかし、高炉内では軟化溶融の条件が満されたところで溶融し分離が起こっていることがはつきり観察できた。軟化溶融ということを考えるとき、還元の過程にウスタイトが介在しているのであるから、その FeO が脈石あるいは焼結鉱の結合滓と反応して滓の溶融を促進し、更にこの滓が下降すると次第に高温に曝され、その FeO は金属鉄に還元され、一方滓は FeO が存在しなくとも流動性を保てるようになる。滓中の金属鉄も吸炭して小滴となり、凝集して大きな液滴となつて分離して行く。故に、朝顔部や湯溜へ流下して行く滓の温度はその溶融温度が高い程高くなり、そのために湯溜の溶鉄の温度も高く高温出鉄となる。このような自己制御方式で高炉の

* 北海道大学工学部教授 工博

熱は制御されるので、造滓ということは大変重要な意味を持つている。したがって、解体高炉における滓の組成の変化の状況は重要な知見である。またコークスの灰分は羽口で生成する還元ガスとともに吹きあげ、朝顔部へ運搬されるであろうし、 Na_2O 、 ZnO などと反応して液滴となつて吹き飛ばされているかも知れない。これらの灰分は流下してくる溶滓と反応して溶け込むことも考えられるから、流下してくる滓中の SiO_2 の挙動は炉内の羽口・朝顔部でのガスの上昇に密接な関連があると考えられる。

銑鉄中の Si の挙動については、最近の多くの SiO_2 の還元、または SiO の生成と還元の詳細な基礎研究により解明されるところが多い。高炉内では特に羽口面の高温と還元性（低い酸素分圧）のためにコークスの灰分の SiO_2 は還元され、 SiO ガスとして還元ガス中に含まれて、朝顔部のコークス層中を流下してくる溶銑と反応して Si を供給する。そしてスラグ中の SiO_2 との液液反応のみでなく、気液反応の寄与も大きいことが知られ、炉内の Si の挙動が理解された。

高炉内での S ほどのように形態を変えながら炉内を動き廻つているのであろうか。メタルスラグ反応のみでなく、 COS 、 H_2S などが反応して鉱石や焼結鉱、そして溶銑やスラグ中に S が移行し、あるいは溶銑が滴下または流下する時にスラグと接触して反応し、加硫、あるいは脱硫されたりしていることであろう。したがって解体高炉中の試料の S の挙動は複雑で、充分説明し得ないことが多く、さらに気固・気液・液液間の反応とそれらの組合せについての基礎研究を要する。

高炉内のコークスの挙動は最も重要で、幸に良質の石炭の輸入に恵まれていたが、49年秋に突然悪質炭の使用を余儀なくされ、操業成績は著しく悪化した。朝顔部のような高温部分では灌液充填塔であつて、高炉の通気性には大きな抵抗を示している。この部分の通気性を支配するものはコークスであつて他の物質に代替することは不可能で、コークスの品質に依存するところが最も大きい。また解体試験ではソリューション・ロスや滲炭などの反応を受けたコークスは性質が装入時のものと同質とは見なせないものもあり、 Na_2O 、 ZnO による汚染を受けたりして強度や反応性への影響はまぬかれない。羽口面においてコークスの燃焼は炉内の必要な熱を発生しているが、レースウェイのコークスの挙動、即ち、衝風によるコークスの燃焼、又は相互の衝突などによる破碎のために細粒化したコークスはレース・ウェイ周辺にいかなる影響を与えているかということも解体試験により知られた問題であり、研究の対象となつている。その他に羽口面でのスラグ・溶銑の流下通路や炉芯の状況など興味ある観察があつた。

高炉の下部、すなわち朝顔から羽口・湯溜への正確な情報は従来知ることが困難であつたので、解体調査により得た観察は今後の考え方に大きな前進を与えた。またストック・ラインから朝顔まで原料層が装入時の層別を保ちつつ、ピストン・フローで下降していることが知られた。そして鉱石層中に一部溶着、溶融が起こつていても、鉱石層の間に挟まれたコークス層を還元ガスが通過するので、鉱石とガスとの接触面は非常に大きくなつており、このために還元面・溶融面が高炉の断面積の何倍という大きな面積を示していることとなり、これが生産性の著しい向上が得られていた原因とも考えられる。

さて、このような多くの知見も冷却された炉内の状況であつて、送風停止後少なくとも数時間は高温に曝されていて、その間に原料は変化を受けている筈であり、操業時の状況に直接結びつけることは難しい。人体の解剖図により人間の体内の臓器の配置が知られても、生きている人間の生理を究明する多くの基礎医学の研究が行なわれて体内の臓器の機能とその相互関係などが知られ、基礎生理を生体に結び付けて生命現象を解明し、信頼し得る臨床医学の進歩となつたのである。高炉技術についても解体調査によりブラック・ボックスの中身が知られた時点で解明すべき問題点のはつきりしてきたので、それに対応した基礎研究を盛んに行ない、また実炉の多くのセンサーからの情報と相俟つて炉内状況に適切に判断を下すことができるよう一步一步進んで行かねばならない。

医学の進歩のように基礎研究と高炉技術に連続を持ちつつ、両者にたづさわる人々が互にその知識を交換して高炉の炉内現象を把握して、技術の完全な確立と自由な制御を行ない得る時を目指して、本特集号も一つの非常に貴重な貢献をなすものと信じております。