

随 想

## 高 炉 操 業 の 一 局 面

桜 井 昭 二\*

高炉操業に従事してからもう 30 年になる。操業面で一番印象に残ることはと言えば、やはり冷え込み事故であらう。(高炉の冷え込みとは炉床や炉底にある溶融物の鉄や滓が、熱不足で固まり、出鉄口から出なくなる。高炉の生産が停止し、下工程に重大な影響を与える。) なにせ相手は巨大なブラックボックスであり、その正体はなかなかわからない。いきおい勝手な想定をして対策を講じ、チャレンジしてゆくのだが、初めは直し方がわからず随分と時間をかけて直したものである。

炉の動かしかたを含めて、直しかたはこの道何十年と言う現場出身の技師に付いて習ったが、昭和 20 年から 30 年代の製鉄技術は、まだ定性的なことが多く、核心をつかむのに苦勞した記憶がある。芸は習うのではなく盗めというタイプの、いわゆる職人的技師の多かつた頃である。

川鉄が昭和 28 年に火入れした千葉第一高炉は、高炉本体の図面を西独のポール・ウルフというエンジニアリング会社から図面を購入し製作したもので、炉体構造は自立式であり、熱風炉を含めた付帯設備も、当時の世界としては最高の技術水準のものであつた。しかし、この最新鋭の高炉にもたつた一つの欠点があり、それが災いして、火入れ後約 1 年に亘り、冷え込みを含めた炉況不調の期間を過ごした。この原因は装入装置の欠陥によるもので、高炉の機能を無視した構造になつていたのであつた。この間、羽口から逆流した滓と共にれんがやスクラップとして装入したリベットが溶けずに出てきたり、炉口部から脱落したれんがのマークが明瞭に操業中の羽口の覗孔から見えたことなどが思い出される。

冷え込み事故の原因を歴史的に眺めてみると、直接、間接に、この装入物分布の不適當さに起因しているものが多いように思われる。分布の不良は棚吊りやスリップあるいは片減りなどを生じ、炉の冷え込みを起しやす。もちろん、冷却水の洩漏や停電、銑滓の炉内への過大な残量、及び炉内付着物の落下等に起因する冷え込みもかなりあることは承知している。

高炉の装入物の分布制御の重要性は昔から言われてきたことであるが、今日ではますます、その重要性が認識されている。そして、昭和 40 年代の中頃から言われ出した高炉の軟化融着帯に関する論議によつて、その制御技術に各社がますます意を払うところとなつている。

さて、水で満たされた円筒型の容器に、その内径より僅か小さい径の茶碗を逆さまにして容器に入れ、下方にそのままの形で沈めるにはどうしたら良いか考えてみ

た。茶碗の外径と円筒の内径との間に適当な間隔があり、しかも茶碗の底に茶碗の重量に見合った径の孔が開いてなければ、茶碗は下を向いたままうまくは沈まない。

高炉の棚吊り、スリップや片減り現象も水中を沈下する茶碗の沈み方で説明できる。すなわち、棚吊りは融着帯としての茶碗の縁が円筒の内面に融着してしまつたり、茶碗の底の孔がつまつたり、また、孔が適当な大きさの径でなく、下から上へ抜ける水の移動が妨げられ、茶碗が宙吊りとなつた状態であると考えられる。そして、スリップは茶碗の底の孔が急に大きくなつたり、円筒の内面に付いた縁が自然にはずれて急に落下することであり、片減りは茶碗が傾いて沈下する状況と説明できよう。水は炉内を上昇するガスであり、コークスは羽口から吹き込まれた空気で燃焼し、消費されて空間を作り茶碗を沈下させている。また、茶碗をパラシュートと見たてても説明できる。水道橋の後楽園にあるパラシュートは天井にまるい風抜き用の孔と横方向にも多段のスリット状の孔を持つており、高炉の多段のリング状の融着帯のイメージを、彷彿とさせている。

融着帯の荷下がりがいかにあるべきかをつきつめていくと、大体次のようにあるべきであると考えられる。

すなわち、(1) 炉頂で装入された固体のコークス層と焼結を含む鉱石層は、全体が下方に向かつて垂直に降下すべきである。もちろん、壁際の装入物はシャットの拡がりを考えると中心部よりはやや早く、やや外開きに降下する。(2) 炉内の圧損を考える場合、圧損を少なくするには融着帯の水平方向の長さは短い方がよい。換言すれば、茶碗の肉の薄い方が抵抗が少ないことは自明の理である。ではそのためにはどうしたらよいか。融けたものをどンドン下に滴下させるためには、融着帯は炉芯に向かつて内下がりのある角度をもつて炉内を降下すべきである。融着帯の上面が炉周方向に対して外下がりに下がっていると、自分で融けた分と、自分以上のレベルにある融着帯から融けた分とが合流し、融けた滓や銑鉄が融着帯の背面を通つて壁際に延びて行き、全体としての融着帯の水平方向の幅は拡がつてしまい、炉内の通気抵抗は増すことになる。安定した高炉操業を保ち、冷え込みのない状態にするには装入物の降下に対する配慮は欠かせない因子である。

冷え込み事故は炉容が大きくなればなるほど発生しやすく、その速度も速い。小型炉のスリップは大したことではないが、大型炉のスリップは瞬時にして炉床で生鉱石と溶銑滓が反応し、激しい吸熱反応を起こさせて冷え込ましてしまう危険性をはらんでいる。したがって大型高炉の操業は小型炉よりも更に細心の注意を払う必要がある。

冷え込んだ炉を直すには、昔からまず複数の羽口を酸素で洗い、羽口の前面に乾いた、滓で汚れていないコー

\* 川崎製鉄(株)

クスを蓄え、送風して隣り同志の羽口をつなぎ、恢復途上でのスリップや生下がりに対して強い抵抗力を持たせることが肝要である。三本の矢は一本の矢より強いという諺の通り、三本の隣接した羽口は一本の羽口より強い。

溶けた滓が羽口前面から下へ流れ、そして出銃口や滓口から炉外に出さないと溶けたものが炉内に貯まり、羽口に滓が逆流したりして炉を止めざるを得ない。いつもはコークスで充たされ、ガスの良い通路になつている炉芯に滓が流れ込み極端な滓詰りを起こして冷え込んだ経験があるが、休風して羽口前を酸素で洗浄したら、何と炉芯近くまで滓で形作られたトンネルができ上がってしまったことがある。

先達からの言い伝えとして、一本の羽口と一個の出銃口で一本の高炉ができていると言われて来た。これは、けだし名言であり、高炉操業従事者はこの意味を良く理解すべきであると思う。羽口数を増し、炉容を拡大し、生産量の増大を維持して来た事実は羽口が原点であることを示している。

羽口情報を定量化しようという試みは数年前から種々行われて来た。たとえば工業用テレビの応用、微圧振動、ファイバースコープ、羽口先端埋め込み温度計及び羽口サンプラー等々が数えられるが、その全容を明白にしてくれるものにはなっていない。ブラックボックスとしての高炉は、理論的にも経験的にもかなり解明されて来たが、羽口から得られる情報はすべての出発点となるものであり、それは非常に重要な情報であると考えている。

最近のオールコークス操業の場合、高炉の荷の重さとしての鉱石/コークスの比は、昔の重油吹き込み時代のそれと比較して 4.2 から 3.5 へと約 0.7 減つている。しかし、荷が軽いことは炉内ガス分布を制御する鉱石がそれだけ少ないことであり、高炉の操業をやさしくどころか難しくしている。最近の高炉ではスリップがよく発生するが、これはオールコークス操業によつて不活性帯や炉内付着物ができやすく正常な荷下がりを妨げていること、羽口前のレースウェイに対するコークスの供給速度が従来より約一割方多く、それだけレースウェイ形成が不安定になつていることに他ならない。

一般的に言つて、最近の日本では冷え込み事故はかなり減つて来ていることは操業技術の進歩によるもので、喜ばしいことである。

高炉操業の一面としての冷え込み事故は、いままでその影響が大きいことから、各事業所とも外部に洩らさず、好んで発表することがなかつたが、冷え込み高炉の復旧方法としての考え方を整理してみると次のようにな

ろう。

(1) 羽口前の状況を確認する。

操業不可能になり休風した高炉の羽口前面の状態をよく調査し、滓や鉄鉱石類の溶融物があれば酸素で洗い除去する。羽口前の洗浄は上下左右を対照に行い送風後の溶融物の沈下がしやすいようにする。

(2) 羽口前に早く軽い荷を下げる。

出銃口上の羽口 2 ないし 3 本を残し、他の羽口は羽口内をボタ詰めし炉と切り離す。炉頂に装入された軽い荷は選択的に生きている羽口に向かつて降下し、重い荷と入れ替わる。

(3) 羽口一本当たりの風量を確保する。

羽口一本当たりの風量が少ないとレースウェイの形成が困難になり、溶けた鉄鉄や滓の下部への沈下ができず、滓が羽口に逆流して再び休風を余儀なくされる。大型炉の必要風量は一本当たり 100 m<sup>3</sup>/min 以上である。

(4) 新しい羽口を生かす。

溶けた滓が羽口前で脈動している場合は羽口前と下部出銃口とが完全につながっていない。最低 8 h 羽口前での脈動のない時間を経て新しい羽口を開孔する。新しい羽口は生きていた羽口の両隣りとし、約 8 h 経過すれば、大体その羽口の前と下部出銃口間との間の未溶解物が洗い流されると考えている。

(5) 送風温度を制御する。

送風温度についてはコークスの旋回が確認できる程度の輝度に保ち、過度に輝度を上げ高温にしない。

(6) 溶銃・滓の成分を調節する。

溶銃の [Si] は 1.0%，溶滓の塩基度は  $B_2=1.2$ , (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) (MgO) 等を調節し、良好な銃滓の流動性を維持する。

(7) 溶銃・滓の炉外への排出。

出銃口を使用しての銃滓の排出を積極的に行い、必要あれば出銃口より酸素を吹き込み加熱し、溶解、排出の作業を積極的に行う。出銃口よりのガス吹きは恢復の必要条件である。

(8) 大スリップの発生

恢復途上において大スリップ等が発生することがあるが、恢復現象の一つの過程として対処し、風量低下等の後退は極力避ける。

まだ経験工学的要素の残る製銃技術ではあるが、苦勞して得た貴重な知識や技術により、今や高炉の冷え込み事故は恢復操業開始後一週間で約六割、二週間後にはほぼ完全に復旧するようになつている。

高炉技術者として冥利に尽きる処であるが、高炉にはまだ解明すべき多くのものが残つていると思う。