

第1章

高炉法概要

1. 高炉法とは

(1) 高炉とは

有用金属を不純物から分離する目的で、鉱石を溶融するための炉を溶鉱炉というが、製鉄所における溶鉱炉は、空高くそびえ立つその偉容から、特に高炉と呼ばれ、鉄鋼業のシンボルとなっている。

いうまでもなく高炉は銑鉄を生産する設備であり、高炉法とは、鉄鉱石、石灰石、コークス、微粉炭などを原料として、高炉上部から装入し、一方、炉下部の羽口から熱風を吹き込み炉内でコークスを燃焼させ、発生したガス(還元ガス)で鉄鉱石を還元し、溶解させ、できた溶銑(銑鉄)と溶滓(高炉スラグ)を一定時間ごとに、出銑口から取り出す一連のプロセスをいう。

このような銑鉄の製造プロセスである高炉法における物の流れを模式的に示すと、図1-1のようになる。

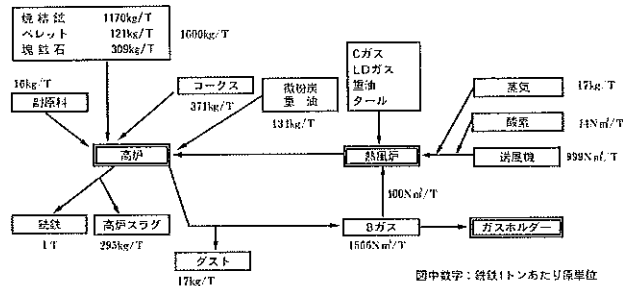


図1-1 高炉法における物の流れ概念図

銑鉄は、数%の炭素(C)を含有し、リン(P)や硫黄(S)などの不純物も多く混入しているため、かたくてもろい。そこで、銑鉄は製鋼工場に送られ、不純物の除去、および必要成分の添加が行われ、強い靱性を持つ鋼になる。

(2) 高炉の歴史

高炉が出現したのがおよそ500年前の中世ヨーロッパといわれている。当初、高炉の還元材は木炭であったが、鉄の需要が増すとともに木炭が著しく不足していった。このために木炭に代わるものとして、17世紀のはじめ、イギリスのダッド・ダッドレーは石炭を使用することに成功し、さらに18世紀のはじめ、イギリスのアブラハム・ダービーは石炭から作ったコークスを使用することに成功した。このコークスによる製鉄法はヨーロッパに広まり、炉体規模の拡大、生産量の増加となつて、製鉄技術の近代化がはじまった。コークスは木炭と比較すると燃焼しにくく、また灰分が多く、それをスラグ化(高炉滓化)するのに多量の熱が必要であった。そのために、まず、強力な送風機が必要であったが、それはジェームス・ワットの発明した蒸気機関(1769年)を、送風機に応用することによってほぼ解決した。次にイギリスのニールズンが1828年に熱風炉を築造し、それまで冷風であった高炉の送風を熱風に変え、高炉をより高温で操作する技術を開発した。こうして高炉技術の方式はほぼ定まり、現在に至っている。

日本では、古来より“たたら法”といわれる製鉄法が行われており、江戸時代末期まで、この方法により刀剣や農具が作成されていた。日本における近代高炉法は安政4年(1857年)、大島高任が大橋(現在の釜石市)に洋式木炭高炉を建設したのがはじまりである。1894年には、北海道夕張炭によるコークス製造法も成功した。1901年には、官営八幡製鉄所が東洋最大かつ最初の銑鋼一貫工場としてスタートした。

その後、明治末期から大正初頭にかけて、住友鋳鋼場(現在の住友金属の前身)、神戸製鋼所、日本鋼管、川崎造船製板工場(川崎製鉄の前身)、などの会社があいついで創業し、今日の製鉄業の基礎となった。

(3) 製鉄所における高炉の位置付け

製鉄所における製造工程は、銑鉄→製鋼→分塊圧延→鋼材圧延と分けられるが、この製鉄部門の中心が高炉であり、高炉を持つメーカーを特に一貫メーカーと称する。鉄鋼業は、“熱と運搬の産業”といわれるが、一貫工場では銑鉄、鋼塊が熱いまま次工程へ流れるため、熱経済的に有利であり、同一敷地内で、銑鉄から最終製品にまで加工されるため、輸送コストを最小限にとどめることができる。

この観点から見ると、一貫体制は資源エネルギーの有効利用を可能とする最も合理的な体制といえる。

高炉は、その操業技術の進歩により、しだいに大型化し、^{5.5t}転炉・連続铸造機の採用、圧延作業の連続化・高速化とともに、高能率設備として大量生産システムを中心に位置付けられる。全世界主要国の粗鋼生産量の変化を図1-2に、国内粗鋼の炉別生産量を図1-3に示す。高炉-転炉法という一貫システムは、普通鋼の大量製造法として最適で、1950~60年代にかけての高度成長期においては、その威力を発揮し、粗鋼生産量は飛躍的に拡大していった。

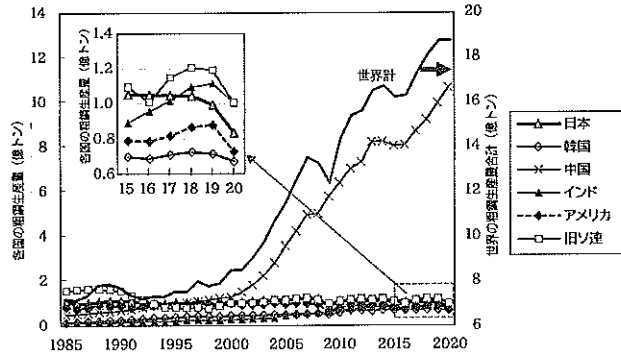


図1-2 日本および主要国における粗鋼生産量の推移

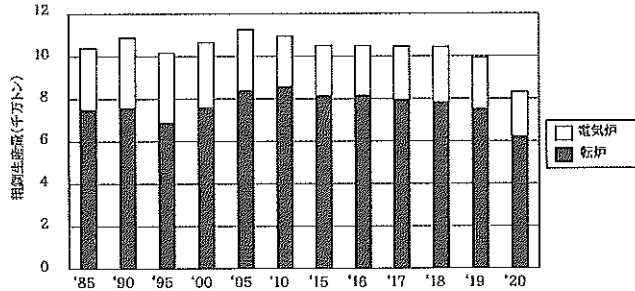


図1-3 粗鋼の炉別生産量
出典: 日本鉄鋼連盟 鉄鋼統計要覧

しかし、第1次・2次の石油危機を経て1975年以降経済成長の鈍化から粗鋼生産は横ばいになり、しかも産業構造の変化・ニーズの多様化から、製鋼炉別生産比率では図1-3に示すように、高級鋼・特殊鋼を中心とした電気炉鋼の割合が上昇し、普通鋼を主とした転炉鋼の割合が減少する傾向となった。そこで、高炉-転炉法を基盤とする一貫製鉄所においては、高炉を中心とした、より効率的なエネルギー運用による製造コストの低減、および高級鋼・特殊鋼の製造分野の拡大を図った。1980年以降転炉鋼と電気炉鋼の比率はほぼ一定で推移している。

2000年以降、中国の粗鋼生産量は急激に拡大しており、世界最大の粗鋼生産国となった。また、近年ではインドの粗鋼生産量も増加している。

(4) 高炉設備

高炉設備としては、高炉本体および付帯設備としての鉄鉱石、コークスなどの装入物を貯蔵し、秤量して炉頂へ運び炉内に装入する原料装入設備(原料貯蔵切出し設備、輸送設備、炉頂装入設備)の3つから構成されている。炉内へ空気を送り込む送風機、その空気を炉内に送り込む前の高温(1,000~1,300℃)に加熱する熱風炉、高炉下部から排出される鉄銹および高炉滓を処理する鑄床、炉頂から排出されるガスを除塵するガス清浄装置等がある。図1-4に高炉本体およびその周辺設備の系統図の一例を示す。

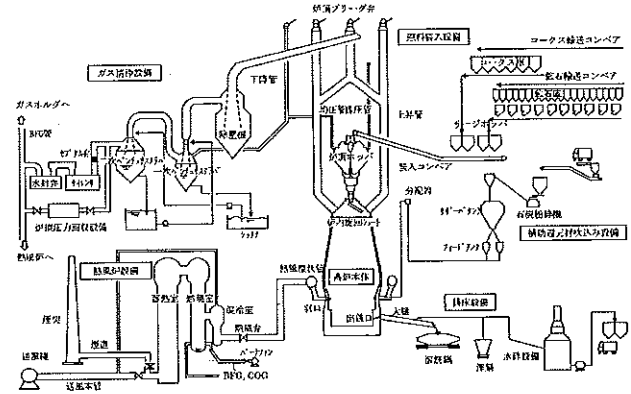


図1-4 高炉本体および周辺設備の系統図の一例
出典: 日本鉄鋼協会 第5版鉄鋼原簿第1巻

(5) 高炉本体内部

高炉本体は耐火レンガで築かれ、口の大きなトックリ形をしている。内部は空洞になっており、外側は鉄皮によっておおわれている。その底の方に溶銹とスラグを出す出銹口その上の全周に一定間隔で羽口と呼ばれる熱風を炉内に入れる孔が多数あいている。高炉の各部は図1-5に示すように、上から炉口(スロート)、炉胸(シャフト)、炉腹(ペリー)、朝顔(ボッシュ)、湯溜りまたは炉床(ハース)と呼ばれている。

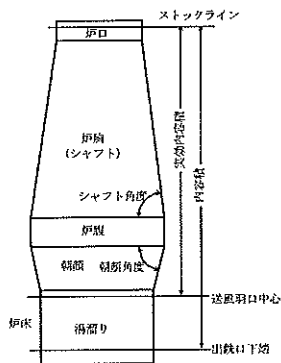


図1-5 高炉各部の名称
出典:日本鉄鋼協会 第5版鉄鋼便覧第1巻

高炉の建設が終り、装入物を炉内に入れる(填充という)前に、高炉内に入り、炉内をながめると高炉内は巨大な怪物の腹の中という

感じがする。最近の大型高炉では、この腹の中から最大1日1万トンもの溶銹が排出されるわけであるが、その食物というべき装入物は、鉄鉱石(焼結鉱やペレットも含む)約16,000トン、コークス3,700トンとなる。また、約1,100万Nm³の空気と1,300トンの微粉炭を吹き込み、3,000トンもの溶滓を溶銹とともににはき出すまさに怪物の腹である。

(6) 炉内反応の簡単な説明

高炉の腹の中というべき炉内でどのようにして鉄が作られるのであろうか。

図1-6を見ながら説明しよう。

まず高炉に入った装入物についてみると、これは炉上部で下から上昇してくるガスによって乾燥、予熱される。羽口でコークスが燃焼することにより溶解に必要な熱量と還元に必要なガスが供給される。装入物は下部の温度が高い領域に下っていき、鉄鉱石は一酸化炭素(CO)、水素(H₂)、および炭素(C)により還元される。さらに下部に至ると鉄鉱石から分離した脈石分とコークスの燃焼後の灰分とが石灰石と反応して高炉スラグとなり、湯溜りにたまる。一方、還元されて生成した鉄分は、炭素、ケイ素(Si)などを吸収して銹鉄となり、高炉スラグと同様湯溜りにたまり、出銹口から排出される。

羽口先でコークスの燃焼と発生する還元ガスが上昇するときの変化をみると次のようになる。まず羽口より熱風が送られ、この中の酸素(O₂)により、コークス中の炭素(C)が燃焼し、高温のCOおよびH₂が発生する。空気中には窒素(N₂)があるので、この高温のガス中にはN₂が加わっている。このガスが炉内を上昇していく途中で装入物に熱を与えて、炉下部から炉上部へ上昇するにつれて、溶解、還元、予熱、乾燥などに使われ、炉頂まで上つていくと、ガス温度は下り、COおよびH₂が少なくなり、炭酸ガス(CO₂)および、水蒸気(H₂O)が増加する。従って、炉頂まで上ったガスは、鉄鉱石を加熱したり、還元する力が弱くなって炉外へ排出される。このように炉内では固体(装入物)、液体(溶銹および溶滓)、気体(ガス)が共に存在して複雑に反応している。

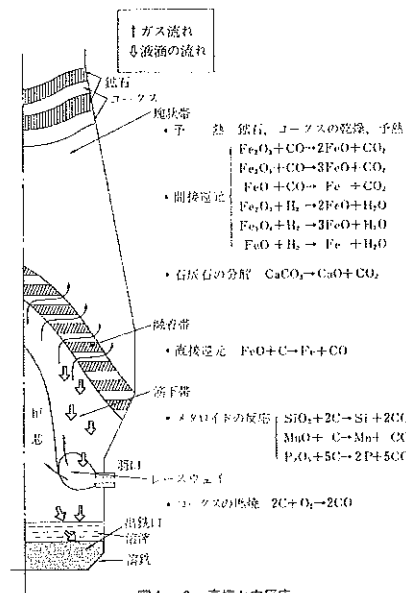


図1-6 高炉炉内反応