

第 92 回講演大会討論会報告*

I. 高炉の反応

北海道大学工学部 工博

座長 吉井周雄

高炉はブラックボックスとして取扱われつつもその反応の解明に努力が払われてきたが、解体高炉の調査や高炉内試料のサンプリングが行なわれるようになって多くの現象が知られてきた。そして特に溶着層・溶融帯の形成に反応論的に説明を加えることが必要となった。この観点から装入の軟化・溶融と高炉内の元素の反応について高炉操業の手懸りとなるように論議された。

討1 鉄鉱石類の溶融滴下について、新日鉄生産研、斧により発表された。荷重の下に1500°Cまで加熱還元し、各温度で滴下物を捕集して、スラグ・メタルの組成を調べた。鉄鉱石についてはその脈石の凝集が悪く、メタルの滲炭によつて滴下開始温度がきまる。酸化ペレットでは凝集しうる程、脈石の多いものはFeOを含めた実質融点で滴下開始がきまる。焼結鉱は高塩基度のもは脈石融点高く、スラグが粘いため、滲炭したメタルの凝集をさまたげて滴下開始温度は高くなる。塩基性ペレットも焼結鉱と類似の挙動を示す。コールド・ペレットは高温で還元されたときには塩基性ペレットと同様の挙動を示す。予備還元した場合は、スラグの溶融開始温度への影響は塩基度により異なるが、還元率が高くなるとその温度も高く、80~90%還元するとき最も高くなっている。また焼結鉱に他の原料を配合した場合はその滴下形式のみでなく、原料の総合脈石融点も加味せねばならない。このように滴下挙動は脈石量、脈石融点、予備還元率に依存し、メタルの滲炭、スラグの溶融のいずれかが律速となる。

これに対し神鋼前川はペレット・焼結鉱ではFeOの高いスラグができると泡立つて流下しない、MgO含有ペレットはスラグの融点高く、自溶性ペレットと同様の挙動を示すと述べ、川鉄岡部は高炉休風時に炉内上り採取した試料は、炉内を降下するに従い原料はCaOが増加し、自溶性焼結鉱ではSiO₂・Al₂O₃が増している。このような変化から原料そのものの軟化溶融より炉内でその組織に変化を受け、またSやアルカリの吸収もあつて炉内での試料の溶融についての試験としてはかなり複雑であろうと述べた。予備還元の影響についての質問に対し、予備還元率50%のときは脈石のSiO₂の含有量が増すとともに溶融開始温度は低下するが、予備還元率90%のときは高くなると述べた。焼結鉱に対してFeOは軟化帯の抵抗や荷重軟化に影響があるが、滴下開始温度に影響はないかという質問もあつた。解体高炉で溶融帯に入る前の原料の還元率は再酸化によつてよく分からないがこの実験では還元率90%のものを試料とし使った。スラグの凝集ということは一般に言われている巨視的意味でスラグの粘性とスラグの絶対量によつて凝集の仕方が異なってくる。

討2 酸化鉄ペレットの酸化溶融に及ぼすガス状硫化物の効果について、東北大選研・高橋礼次郎が発表した。還元ガス中にH₂SまたはSO₂を添加して酸化鉄ペレットを還元した1100°Cで還元速度は著しく低下し、塩基性ペレットでも同様であつた。顕微鏡観察またはEPMAによりFeO-FeSを含む融液が生成し、状態図よりの考察と一致している。また還元硫化を低温で行つて、N₂中で1100°Cに加熱したときはその還元率の大小により融液の量が左右された。したがつて、高炉内ではFeO-FeSの間に低融点化合物が生成した。これに金属鉄およびFeOが溶解して融液量が増加して行くと推論した。高炉内の原料の挙動を知るための荷重軟化試験に微量のSO₂またはH₂Sを含むガスを用いると軟化温度が100°C低下することが知られるが、自溶性焼結鉱ではこの現象が顕著に現れないという事実とよく一致する。

これに対して自溶性ペレットは酸性ペレットに比し気孔率が小さいので還元停滞が起こりやすい。解体高炉の溶融帯に近い部分で還元停滞を起こしているものといないものが認められている。高炉内に還元停滞を起こす要因となるものがあつて、それを強く受けるペレットとあまり受けないものがあるようである。その要因の一つは炉内雰囲気であろう。停滞を起こす融液はFe-S-Oの状態図からも950°C前後の融点を示す。ペレットをH₂Sを含むガスで還元するときの挙動をX線透過法で観察すると1050°C付近で還元は止まり、溶融が起こつていて本発表を裏付ける結果を得ているとの発表もあつた。しかしこれらの実験のサルファー・ポテンシャルは高炉内に比し高過ぎる旨指摘した。またガス状硫黄化合物のみでなく、アルカリも還元停滞を起こすであろうから、硫黄化合物とともに無視できない要因であろう。

討3 熱力学的にみた高炉内での各元素の反応挙動と操業因子との関係、川崎製鉄技研・田口が発表した。高炉々内では熱力学的平衡に到達していることはなく、スラグ・メタル間の分配比はその炉の操業状態に依存している。

高炉下部のメタル・スラグ間の平衡分配比と実績分配比を求める。平衡分配比を求めるためにCO分圧として送風圧とスラグ層深さをもつて計算している。炉況判定指数として炉床熱指数には溶銑温度、炉熱指数としてSiの平衡到達度 R_{Si} を求め、炉腹・朝顔部の温度の指数とし、また、炉床ではスラグ・メタル間のMn、Sの分配は炉下部のFeO濃度などによりきまるので、それらの分配平衡到達度 R_{Mn} R_{Si} を炉況指数とし、 R_{Mn}/R_{Si} 、 R_S/R_{Si} を補助指数として、実験における低燃料化操業のデータおよび燃料化増加に伴う炉熱回復の状況をこれらの指数を用いて判定し、炉況の解析を行つている。

住金中谷は自社の高炉内Siの移行モデルを紹介して R_{Si} は溶銑の滴下距離に左右されるものであり、本発表の低燃料化操業でも溶融帯が下部にあつたという事実とよく一致すると述べた。低燃料比で安定な操業の時は R_{Si} は低い値を取つており、ヨークス灰分が11%以上のときには $R_{Si}>100$ となつてくることもあるようである。

* 本報告は昭和51年10月1, 2, 3日に行なわれた第92回講演大会における討論会のまとめです。

また、本発表の分析に供した試料は急冷試料を用いており炭素の分析で 95% の精度であった。操業速度の早いときとおそいときは同じ Si 含有量でも、平衡分配比 L_0 は異なっているのだからこれによつて Si の管理に結びつけられないし、また高炉内の状態は必ずしも各所が同一であるとは言えないので熱力学的取扱いには合意を要するところであるという意見も出た。炉況指数として酸素ポテンシャルの比を取つたならより直接的な指数となるであろうし炉況指数として R_{Mn} と R_S とを比べると必ずしも同じ関係を示さず、何れの値を取つたらよいかというような意見もあつた。

討 4 高炉内における装入物の挙動と反応について日本鋼管技研・福島が発表した。高炉内装入物分布特に溶解帯の状態とガス流れとの関連に注目して、炉の下部におけるガス化物質の挙動を論じている。コークス中のアルカリの蒸発・凝縮の実験により蒸発速度はコークス粒径が小さい程、アルカリ濃度が高い程大きく、1%を超えるとアルカリ濃度が蒸発速度に依存しなくなる。レースウェイ上部の溶融帯の上では外周部より中心部がアルカリ蒸気の上昇が速くであり、この結果より解体実高炉のアルカリ濃度分布を検討すると中心部では上昇ガスとともにかなりアルカリ蒸気が出ていると考えられる。また Si の挙動についても SiO に注目して高温におけるコークス灰分中の SiO_2 の還元量を知り、それより SiO の生成量、温度・加熱時間・CO 分圧との関係を示し、その結果から高炉下部における Si と SiO ガスの分布が同じ傾向を示すことを述べている。しかし、さらに理解を深めるためには溶銑がコークス層中を降下する速度帯留現象についての研究結果と解体高炉の溶銑粒の履歴との間の知見を明らかにする必要があると述べた。

討論終了の時間が近づき本発表に充分討論する時間的余裕が持たなかつたので、質問事項についてやや詳述する。レースウェイ上部の材料の流れ込み角度が自由表面安息角に近いと述べているが、その定量的評価が必要であろうという質問があつた。その他はアルカリ分布と Si の還元集約されていた。アルカリ分布について、高炉内のアルカリの蒸気は K_2O の形か、単体の K で存在するのに対して、著者は KCl などの形であろうと述べた。また試験高炉では $1100 \sim 1300^\circ C$ でアルカリが最も高いが、実験結果と矛盾するように思えるが、実験で何か見落した要因がないのか、蒸発するのはコークス中の灰分中のアルカリのみを考えているが、スラグ中のものも考慮しないのか、中心ガス流によりアルカリ蒸気の運搬が実高炉でも相当あると思うか、0.3~1.0%アルカリの存在は凝縮による増加を起す範囲とも考えられるかどうかというような質問が出された。 SiO_2 の還元について、実炉では羽口面で灰分の SiO_2 が 100% SiO として蒸発したと考えてよいか、高炉が大型化する程銑鉄中の Si は低下して来る傾向があるが、化学反応上にそれに寄与する要因となるものがあるか、また SiO_2 の Si への還元と、 SiO を介しての Si の還元について、それぞれに反応熱を考慮すると炉内の熱的条件が異なるがその点についてどう考えるかというような質問があつた。なお新日鉄生産研西田は従来解体された高炉の Si の挙動として炉腹から朝顔にかけて Si の急激な増加と羽口面での低下について示した。そして製鋼用銑・スラグとコ

ークスとを 0.5, 2, 4 時間加熱して、スラグ・メタル反応、ガスメタル反応により溶銑中の Si の増加が相当量であることを実験で知つた。また羽口面の Si の低下はスラグ中の FeO , MnO による酸化と考えたが、朝顔部スラグ中のそれらの含有量からこれを説明することが出来ない。これらの事実から、高炉の冷却中に赤熱コークス上での反応により Si の増加が起つていたため、炉腹・朝顔では操業時より高い値を示したものである。また中心部と周辺部での Si が異なるのはそれぞれの温度および通過ガス量が異なるためということを実験により示した。かくして、解体高炉のデータを直ちに稼動中の高炉内の組成と考えることは誤解を招きやすいので注意を要するという重要な提言を述べた。

近年高炉炉内の溶着層、溶融帯の様子が理解され、解体高炉の調査から得られた結果は物理的挙動、化学的反応の研究によつて解釈され、さらに操業時の過程に結びつけて行くためには、多くの討論を重ねて行くことが有意義であると、参加者は感ぜられたことと思います。しかし、4つの講演に対し多くの質問が提出され、時間的制約のため充分の討議をつくすことがことは残念でした。講演数と質問数の最適な状態が得られず、司会として充分な配慮が必要であるといつもながら痛感します。講演者・討論者の御協力により有意義に終つたことを深謝します。

II. 連鑄々片の内部割れの発生とその防止法

金属材料技術研究所

工博 郡 司 好 喜

新日本製鉄(株)広畑製鉄所

大 橋 徹 郎

わが国の連続鑄造鋼の生産量は全粗鋼の約 1/3 にも達し、その操業技術は着実に進歩している。鑄片の内外に発生する多くの欠陥も、その生成機構の解明と防止対策の進歩によつて大幅に減少しつつある。しかし連続鑄造法はいまだ発展途上にある技術であり、その完成には克服しなければならないいくつかの問題を抱えていることも事実である。たとえば鋼の熱伝導度が小さいことが原因となつてその生産性は小さく、酸素転炉の生産性に到達するまでには解決すべき 2, 3 の大きな問題が依然として残っている。

この討論会には生産性向上のための高速連鑄を実現するにあつてもつとも大きい障害と考えられる“内部割れ”を取上げました。内部割れの発生機構を理解するには、基礎的には鋼の高温強度、鑄片内の諸応力の解析が必要であり、さらに連鑄機の形式、操業条件など広範囲な検討が必要とされています。

この討論会においては、下記の 3 編の研究結果が報告され、それらを中心にきわめて活発な質疑応答が行われました。

討 5 「連鑄々片の応力と内部割れ」日立製作所、日立研究所：○児玉英世、新山英輔、堀口 穰、日立工場：木村智明

討 6 「SUS 430 連鑄々片の内部割れに関する研究」