

## 第 86 回講演大会討論会報告\*

### I. 高炉の溶融帯における反応について

九州大学工学部 工博 座長 川合 保治

試験高炉ならびに生産高炉の解体調査のデータや、水平ゾンデ、垂直ゾンデによる測定データが集積されるにつれ、高炉炉内の状況も次第に明らかになりつつあるが、まだ不明の点も多い。とくにシャフト下部から炉床までの溶融帯の状況を知ることは最も重要であるが、同時に最も不明確な所である。今回の討論会ではこの問題が取り上げられた。以下講演および討論の内容を簡単に紹介する。

#### 討論 1. 広畑第 1 高炉解体調査結果からみた溶融帯の状況

佐々木 (新日鉄基礎研) は広畑第 1 高炉の解体調査の結果判明した溶融帯の形成状況、溶鉄、スラグの分離過程などについて報告した。装入鉱石層の融着は炉内のかなり上方で始まり、降下とともに溶融帯を形成するのであるが、溶融帯は高炉内の一定レベルにあるのではなく、半径方向でも大きく相違すること、融着層内で進行する滓化には石灰石は関与しないこと、融着層の半溶融部などに存在する金属中の C, Si は低いと滴下後急速に増大していることなどが報告された。なお溶融滴下する金属、スラグの成分変化を知るためには生きた高炉での調査技術の開発が必要であるとの意見が附言された。

中谷 (住金和歌山) は送風停止、注水までの間の装入物の降下の程度、炉内の温度分布に乱れが発生することはないかと質問した。装入物の降下距離は注水までに 2 m 位、注水後に約 1 m であつた。送風停止後の炉下部からの熱上昇によつて上部の溶融帯に影響があつたかもしれないが、溶融帯を変えるほどの炉熱上昇はなかつたと考えられるとの答えであつた。

福島 (鋼管技研) は従来の解体調査のデータを見ると溶融帯の形成には 3 つのパターンがあり高炉の操業法が内部操業か、外部操業かに関係があると思うと述べ、日本鋼管の試験高炉 (内部操業) で見られたような炉芯コークスが存在していたかと尋ねた。溶融帯の形成と操業法との関連については同意見である。炉芯に相当するような明確なコークスの堆積部分を見つけることはできなかったが、羽口レベルの中心部のコークス層の降下速度はかなり遅いことが判明したとの解答であつた。

李 (東大生産研) が融着部附近における還元状況に関連して、融着→半溶融の移行の際、残留酸化鉄がスラグに入り分離するまでの間にかんがりの直接還元が行なわれると考えているかと質問した。融着部の残留酸化鉄の大部分は融着層内を流れるガスによつて還元されると考えている。直接還元の寄与率を推定するのは困難であると答えた。

岡部 (川鉄技研) は自社の高炉休風時に採取した試料の調査結果に基づき、つららや滴下物は FeO を含むスラグから成つており還元が進んで金属鉄が遊離するのであつて、半溶融部の FeO が還元された後につららや滴

下物になるのではないと思うと述べた。これに対しては融着層およびつららの組織をも示して、粒鉄、ヴェスタイト粒、スラグの混合物がコークス間隙にたれ下がり、還元をうけてつららの管壁と低 FeO スラグが形成されるのであつて、融着層から分離するスラグについては FeO に富むものは考えられないと答えた。

討論 2. 高炉の溶融帯における装入物の挙動について  
福島 (鋼管技研) は川崎第 4 高炉の解体調査結果より溶融帯における装入物の挙動について報告した。ボッシュ部から焼結鉱の融着が始まり、溶融帯が形成されるが、溶融帯においてもコークスと鉱石は層状を保っており、炉芯部は大半が未溶融鉱石であつてコークスが少ないこと、溶融前の半溶融ブロックの状態では脈石はスラグとして分離し始めることなどが報告された。また本高炉は外部操業であつたため、周辺部の方が溶融レベルが高いことが明らかにされた。

この報告に対し重見 (新日鉄八幡技研) は吹止め前の操業状況について、川合 (九大) は高炉下部の特異の状況についての詳しい説明を求めた。順調な操業をつづけていた高炉であるが、中心部の ore/coke が高く、外部操業であつたことが特異な状況を生じた原因と考えているとのことであつた。

西田 (神鋼中研) は実験室における還元実験において試料の中心部に残存する FeO が脈石と反応、スラグ化し、このスラグが表面に滲出し、その後の還元を妨害する現象を観察した結果にもとづいて、高炉内の焼結鉱および塊鉄の半溶融ブロックの還元率に差が見られたかどうかを質問した。これに対し還元率の測定は困難であり十分には行なわなかつたと述べ、スラグが表面へ滲出する現象は観察されたが、炉内では温度が連続的に変化するので還元に対する影響は大きくないであろうとの意見を述べた。

稲角 (新日鉄名古屋) は造滓過程におけるマスの効果を重視すべきであるとの講演者らの見解に関連して、原料の荷重軟化特性と炉内状況観察結果との関係、ペレットと焼結の混合配合と焼結単独の場合との優劣について質問した。荷重軟化特性と炉内状況との関連は明確ではなかつた。混合配合か焼結単独かについては結論を得ていないとの答えであつた。

#### 討論 3. CaO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> 系ペレットの溶融をともなう高温還元について

佐々木 (川鉄技研) は CaO, SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の試薬より作成した塩基度 1 および 0.5 のペレットを 870~1350 °C において還元した場合の溶融体生成量の変化、組成変化、溶融体が還元に及ぼす影響などを調べた。還元の進行とともに酸化鉄の溶解がすすみ、生成融体が表面に滲みだして気孔をふさぐため還元が融体を介して行なわれることになり、還元速度が遅くなる。また溶融体中の Fe, CaO, SiO<sub>2</sub> の半径方面の濃度分布が著しく不均一であ

\* 本報告は昭和48年10月19, 20, 21日に行なわれた第86回講演大会における討論会のまとめです。

ることが報告された。

相馬（東大）は実験条件、とくに還元ガス濃度が実際の高炉の場合と相違していることについてどのように考えるかと質問した。本研究結果より炉内溶融帯の状況を説明するつもりはなく、解体調査結果と結びつけながら明らかにしてゆきたいと答えた。

吉井（北大）は溶融体中の成分の分布の不均一は活量の変化で説明できるのではないかとの意見を述べた。活量のデータが不十分なため明らかにできないが、溶融スラグをガス還元した場合の濃度変化と傾向は合っていたとのことであつた。

近藤（新日鉄基礎研）は高炉原料の予備還元率と溶け落ち温度およびスラグ組成との関連を調べた結果では還元率が低い場合には FeO 含量の高いスラグが低温で先に溶け落ち、還元率が高い場合には高温でスラグとメタルが同時に溶け落ちる現象が見られたことを、そして広畑第 1 高炉の解体調査でも両形式の溶け落ち状況が観察されたことを報告した。川鉄における実験でも同様な結果が得られたとのことであつた。

小野（九大）は還元が進み金属鉄が生成しはじめると還元速度が小さくなることの機構についての考えを質した。1250°C、還元率 55% のペレット表面を調べると金展鉄は緻密であり、内部からしみだしたと思われるスラグに包まれていることが観察され、反応面積が小さくなるのが還元速度の小さくなる主要原因であろうと答えた。

#### 討論 4. ガスを介しての硫黄の反応と溶融帯の挙動

吉井（北大）は石灰焼結鉱を Ar-H<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>S-CO ガス気流中で加熱し、還元と同時に起こる S の吸収を検討した結果について報告した。加熱時間 60 min の実験においては S は低温（1000°C 以下）では還元された鉄中に吸収されるが、高温では生成されたスラグにも吸収されるようになり、1400°C では半溶融あるいは溶融した鉄は炭素飽和であり、スラグ中の FeO も少なく (S)/[S] は平衡値に近いことが示された。

日野（東北大）はスラグ中へのガスよりの S の溶解には  $p_{O_2}$  の影響が大きいと考えられるが  $p_{O_2}$  の値はどうであつたかと質問したのに対し、強還元性雰囲気であつて  $p_{O_2}$  は 10<sup>-16</sup> atm 程度で RICHARDSON らの言う sulphur capacity の範囲である。メタルおよびスラグへ吸収された S については (CaO) + [S] → (CaS) + (FeO) 反応の平衡関係により (FeO) が低いとメタルの S 吸収は少ないことになると答えた。

榎谷（川鉄技研）は 1400°C での実験では急速還元、急速滲炭によつて短時間のうちに溶融した鉄の S 吸収であるから、低温領域をゆつくり通過する場合の S 吸収とは事情が異なるのではないかと、高炉の溶融帯のスラグにはかなりの FeO が含まれるのでスラグによる脱硫は期待されないのではないかとの意見を述べた。この点について吉井は 1400°C の場合 C の高い溶鉄と FeO の低いスラグとが接触して存在していたので反応ガスとの接触は十分だつたと考えていること、急速還元であるので S を吸収しやすい FeO の生成が早い、この時期から最終状態にいたる過程については更に研究を要すると述べた。さらにスラグによる脱硫に関しては、溶融帯では FeO が溶融スラグの生成に関与するが、溶鉄の滲炭量も

多く、溶融に接触するスラグ中の FeO は急速に還元されるので効果的な脱硫が期待されると思うと述べた。

今回の討論では貴重な解体調査結果が 2 件報告されたが溶融帯附近の状況は対照的に相違するものであつた。溶融帯の生成は装入原料操、業法に大きく影響され、その位置も一定ではない。したがつて炉内状況を推定する場合には操業との関連に留意することの必要性、またメタル、スラグの組成変化についても慎重な検討が必要なが明らかになされた。さらに多くの解体調査のデータが望まれる次第である。

溶融帯附近の反応に関して興味ある実験室的研究が 2 件報告されたが、この種の実験の困難を克服して研究を押し進める必要性が痛感された。

## II. 溶鋼の複合脱酸について

京都大学工学部 工博 座長 盛 利貞

鋼が製造されるかぎりなくならない研究テーマが溶鋼の脱酸である。このテーマを主題とする討論会は 3 年おきに開催することになっている由で、本年はちょうど開催の年に当たっている。問題はいろいろあるが、最近注目されてきた複合脱酸に焦点をあてて企画することにしたところ、5 件の講演応募があつた。いずれも内容が充実しており、どれを省くというわけにもいかないので、すべて講演願うことにした。以下講演の内容と討論の要旨を述べ、さいごに問題点をまとめて報告としたい。

#### 討 5. Al-Si および Ca-Si 合金による鋼の複合脱酸について

吉田千里は Ca-Si, Al-Si 2 種類、Al および Si を用いて、攪拌浴またはほぼ静止浴の条件で Ar 中または大気中でそれぞれ脱酸を行ない、鋼浴中 Q と保持時間との関係を求めて複合脱酸の効果を検討した。

攪拌浴 Ar 中での脱酸においては Al 単独の方が Al-Si 合金より有効で、大気中での脱酸は Al 単独脱酸の場合には添加 2~3 min 後には再酸化が起こり、いつぼう Al-Si 添加の場合は Al が 0.3% 以上であれば 10 min 程度までは Si が溶鋼の再酸化を防止する。つぎに準静止浴 Ar 中での脱酸については、Al-Si 複合脱酸剤の方が早期に脱酸する。Al 単独添加ではアルミナクラスターが Al の拡散を妨げるが、Al-Si 添加ではクラスターが小さく Al, Si の拡散が容易である。Si が増加すると溶鉄とアルミナとの界面エネルギーが低下するためにクラスター化を防止すると推定している。まとめとして Al, Ca は脱酸の初期に効果が強いが、Si は後期に再酸化を防止し、Ca-Si より Al-Si が再酸化防止に良いとしている。

坂尾弘は Al 単独脱酸と Al-Si 脱酸とのちがいは脱酸反応による熱効果の差、したがつて対流の強弱が影響するのではないかと質問し、梶岡博幸は脱酸剤の歩留、溶解速度、脱酸剤添加後も Q 量が高い理由、Al-Si 添加で再酸化が防止される機構などについて訊ねた。回答をつぎに要約する。

1. 脱酸反応の熱効果に伴う対流が介在物にいかなる影響を及ぼすかを考えると、a) 固体脱酸剤の溶融と b) 溶融した脱酸剤すなわち Al, Si などの溶鉄中への溶解と脱酸反応の 2 段階に大別できる。Al-Si は Photo,