

第 85 回講演大会討論会報告

装入物の性状と高炉操業*

座長 鈴木 驥 一**

装入物の性状と高炉操業について、嶋田（新日鉄・名古屋）は、焼結鉱の効果、北村（神鋼・技研）は、ペレットの影響について述べ、さらに安藤（鋼管・技研）は、原料の研究に関する見解を示し、それぞれの発表に対し新論を行なった。以下は、その発表要旨と討論である。

討 1 嶋田は「高炉操業と焼結鉱の性状」と題し、次のように報告した。

焼結鉱は 5 mm 以下の微粉の除去は勿論のこと、とくに還元粉化性状の向上が重要であり、焼結鉱製造の面からは、FeO の高い焼結鉱、すなわち、コークス増使用による焼結鉱にする必要がある。しかし、焼結鉱のFeOの上昇は、被還元性の変化を伴い、高炉での燃料比を高める傾向があるので、熱間冷間強度を悪化させない範囲で焼結鉱 FeO を、可及的下限に抑えるのが好ましい。このためには、各種原料をうまく処理し、性状のすぐれた焼結鉱を製造する。技術的改善が必要である。また、高炉の燃料比を下げる一手段としての低Si操業に関連し、焼結鉱塩基度の上昇が効果的であることを示した。溶銑中の Si は、溶融滴下過程におけるスラグの挙動、とくに、ポッシュスラグの溶融温度に左右される。単味で装入される石灰石は、スラグ溶融温度に関与せず、そのため、高塩基度焼結鉱は効果があるとした。また、焼結鉱は、ペレットと比較した場合、シャフト部における溶融滴下の関係から、溶融温度幅がせまく、通気性の面で、ペレットより有利である。しかし、高炉下部での装入物の挙動は、不明な点が多く、基礎的な面から、データの実験が必要であり、とくに、今後炉下部での特性に合わせた焼結鉱の製造法、試験管理法の開発が必要であることを指摘した。

これに対し、樋口（鋼管・福山）は、福山の高炉操業の実績からは、焼結鉱の冷間強度で充分管理できることをデータで示し、さらに、垂直ゾンデによる炉内温度測定から、低湿域が少なく、実操業面から焼結鉱の還元粉化は、あまり起こらない可能性のあること、また、還元粉化を改善するため、増コークスで焼結することは焼結、高炉双方において燃料比を高めることになることと述べ、経済性の面での見解を永めるとともに、福山での焼結鉱冷間強度と FeO の関係は負相関であり、必ずしも FeO を高める必要性のないことを示し、適正 FeO の限界について質問した。

これに対し、嶋田は、焼結鉱を冷間強度だけで管理したいが、焼結鉱の鉱物組成、原料配合、操業方法によつては、還元粉化との相関が必ずしもなく、還元粉化も管理する必要があるとし、また、焼結鉱 FeO は、SiO₂、Al₂O₃、MgO のレベルで異なつた最適値があると述べた。さらに、炉内における低湿域が少ない点については

燃料比のレベルによつては、この温度パターンが異なり今後さらに研究を要する問題とし、総合的にみれば、焼結鉱 FeO の上昇により、製銑工程での燃料比は上がるかもしれないが、製銑以後の工程に、安定した品質の溶銑供給の面より、増コークス焼結操業は必要であるとの見解を示した。つぎに、岡部（川鉄・技研）は、高炉操業で棚スリップの減少などは、溶銑 Si の変化に関係しており焼結鉱の品質、還元粉化の向上とは必ずしも一致していない。また、低 Si は焼結鉱塩基度とは直接関係がないと見解を求めた。これに答えて、嶋田は、高炉操業の向上は、焼結鉱品質向上が効いており、低 Si も焼結鉱塩基度に関係があるとの考えを述べた。

討 2 北村は、ペレットの高炉操業に及ぼす影響について見解を述べた。ペレットの特性としては、現場的には気孔率が高炉操業と密接な関係があり、これが荷重軟化試験の代用にできることを示した。しかし、この特性も高炉操業が不調の場合には、必ずしも良い指数とならない欠点がある。ペレットの炉内高温域での挙動については、1100°C 以上の高温域で、とくにペレットの高温還元性状は重要であり、また、ペレット表面に Metallic shell の生成が起こり、さらに Sintering が進めば還元が著しく停滞するとし、この現象は焼結鉱に比較して不利な条件となる。これを極力防止するには、急速還元を避ける必要があり、未反応部の残留を少なくすることが重要である。高炉操業的には、極端な周辺流、中心流を避けることが必要である。今後は、ペレットの高温還元挙動を把握する試験方法の開発が必要であるとともに、Metallic shell の Sintering の防止に関し、ペレットの脈石量、組成の改善などにより、本質的にペレットの高温性状の向上をはかることが今後の課題であるとした。

この発表に対し、高橋（東北大・選研）は、ペレットによる高炉操業は焼結鉱と比較して必ずしも利点が多いとはいえない。問題はペレットの高炉内での挙動と高炉操作に関係するとした。すなわち、ペレットは Wüstite までの還元過程よりも、金属鉄などの還元速度および、1100°C 以上の高温域におけるペレットの性状と還元速度に問題がある。高炉操作については、ガスとペレットの接触にかかわる装入方法で、重油、天然ガス、還元ガス吹込などによる H₂ 添加の効果とペレットの炉内での反応も重要な課題になるとの見解を述べたのち、北村の資料ではペレットの諸特性と高炉操業との関係は全般に相関が弱く、特性として還元性と強度を抱き合わせた気孔率を採用することは、とくに強度の評価の点で疑問があり、他の試験方法が必要でないか、また、ペレットの還元停滞について、1100°C 以上の高温下での挙動に対し、未反応核モデルの適用は妥当でなく、焼結鉱とペレットの製造条件の対比、ペレットの鉱物組成や構造から要因を解明する必要があるのではないかと質問した。

北村はこれに対し、ペレットの特性と高炉操業との相関が弱いのは、ペレット性状以外の諸要因が複雑に交絡しているためである。試験方法としては、気孔率は迅速性の点で現場管理的に優れており、現状では、熱間性状

* 昭和48年4月本会講演大会討論会

** 日本鋼管(株)技術部

の代用特性と考えていること、また、高温下における還元挙動について未反応核モデルの適用は確かに問題があるので簡単な検討に止めたいと回答した。

討 3 安藤は「高炉装入原料性状の研究方向」と題し原料研究面よりの考え方を述べた。

従来の原料研究について、原料は天然の産物でありその特性はきわめて複雑で、個々の銘柄によりそれぞれ特性を有していること、高炉の検出力が悪かつたこと、また、高炉は Black box であるため推論しか出せなかつたことなどの理由で、防衛的姿勢をとらざるを得なかつたと述べ、今後は高炉の炉内解体調査の進展、高炉での検出力の向上に期待し、研究の効率上から、問題をみきわめて研究を進めるのが良く、現在その時期にさしかかっているとした。その他試験高炉の解体調査、実高炉での諸計測の観点より、焼結鉱の還元粉化は通常操業では起こらず、高炉炉内の温度分布、滞留時間によつては生じることがあるとし、さらに炉内ガス分布の均一化による操業改善の例を挙げ、炉内通気性に関連し、還元粉化以外の要素も多く、装入物個々の特性の解明もさることながら、粒子群としての特性をとらえる必要性があることに言及した。

これに対し、水野（住金・和歌山）は、焼結鉱の還元粉化は炉内荷下り速度に影響され順調な操業時には考慮する必要がないかも知れないが、実操業で無視できない経験があること、また、何によつて順調な高炉操業を保証するか、還元粉化の改善は一つの保証条件であるとした。

また、下村（新日鉄・広畑）は、原料研究は、経済面での原料購入時の選択と、原料処理技術の開発の両面より今後共装入物性状の改善、均質化に取り組む必要があると述べ、原料研究に対しより積極的姿勢の必要性を示した。その背景として、新日鉄、広畑高炉の炉内解体調査結果の一部を示し、現在行なわれている装入物性状試験に対する考え方の再検討、装入原料の組み合わせ、装入方法など今後の研究の必要性、あり方を述べ、試験高炉解体調査から得られる知見より、今後の研究方向についての見解を永めた。また、炉内ガス分布の均一化が操業面、設備面で必ずしも好ましいものであるといえるのか疑問があると質問した。ガス分布については、水野も、装入物炉内分布、操業方法の関連において、原料性状の研究が思考されるべきとの意見を述べた。また、下村は装入物としてのコークスの性状について、今後の研究方向に対する意見を求めた。

これに対し、安藤は、還元粉化は重要な項目であると考え、炉内温度分布により還元粉化の影響が異なることがあることを指摘したものである、また、高炉操業成績の向上で最も重要な課題は通気性の向上であり、これにはガス流の均一化が必要と考えている。通気性に関しては、装入物の高温における性状が大きく影響すると考えられるが、ガス流均一化により通気性が向上することは、装入物以外のなんらかの要因を無視できないことを示している。したがって、装入物の高温性状の重要性は、高炉操業全体の中での位置付けが重要となる。これらは試験高炉の解体調査による情報、実操業の解析による一つの見解であり、今後の研究方向もこれら知見から現在方向付けがなされつつあると考えていると回答し

た。また、コークス性状についての検討は是非必要であり、アルカリに関する問題、鉱石との関連におけるスラグ生成に関する問題などは興味ある課題と考えていると述べた。

以上、いずれの討論においても、装入物の高温時における性状、挙動についての研究の必要性が議論され、今後の一つの指標となるであろう。

これら討論をまとめると次のように考えられる。

装入原料に要求される特性の論議はほぼ出尽した感があるが、必ずしも全部意見の一致を見ているわけでないので、操業との関連をマクロ的に見定めて、管理範囲を限定していくことが必要である。そのためには、代用特性を含め、測定方法の開発が必要で、また、この方法による管理が重要である。一方、高炉炉内解体調査、または、理論的アプローチで、とくに原料の溶融特性のコントロール、高温性状、スラグ反応をも含めた検討を進め、これにより、たとえば共同研究といった型で管理範囲を収録させていくことが今後の方向と考えられる。

連続鑄造の凝固について*

座長 高橋 忠義**

討 4 連続鑄造の品質に及ぼす冷却条件

奥村ら（新日鉄）は鑄片縦割れの起因は鑄型での不均一、過大な熱応力によるものであることを鑄片表面での最大剪断応力の計算を試み、実操業結果と合わせて、割れ防止には均一冷却条件が得やすいテーパ鑄型を用いるのがよく、かつ緩冷却することが有効であるとし、またマクロ偏析の軽減にはスプレー冷却領域の緩冷部が望ましく、かつロール整列基準を厳しく管理する必要性をのべるとともに、組織の遷移に関して界面安定係数で整理している。これに対し野崎（神戸製鋼）は厚肉円筒のRの大小とスラブ幅の大小とを同一視した計算結果を縦割れ発生への適用に疑問があるとし、さらに中心濃厚偏析の生成機構に対する見解が出された。これに対し奥村らは扁平比の大きなスラブを対象とした場合は、広面の中央に発生することを考慮すると、鑄片は無限平行平板に置換でき、したがって写像によつて円筒で考えることが可能となるとしている。しかし鑄片の大きさを示す代表値と円筒の半径の対応については数学的には矛盾があることを認めている。宮下（日本鋼管）は縦割れ発生にはパウダーの管理が最重要であるとの見解をのべるとともに、縦割れ防止に関し、テーパ鑄型の有効性が均一冷却だとすることで原理的に説明し得るかという設問を出すとともに、中心偏析の改善にはスプレー冷却強度を強めることによつても行ないうることを経験していること、したがって低温、低速鑄造が好結果をもたらすことを考慮すると、緩冷部よりも強冷却が望ましいのではないかとの意見が出された。これに対し奥村らはテーパ鑄型の均一冷却性に関し、彎曲鑄型はストレート鑄型に比べて本質的にエアギャップができやすく、凝固殻の鑄型内壁への片当りの頻度が多く、このような管理不可能な現象をなくするためにテーパをつけ鑄片をいわば拘束することであると、また中心濃厚偏析とスプレー

* 昭和48年4月本会講演大会討論会

** 北海道大学工学部 工博