

第 113 回講演大会討論会報告

I. 高炉炉下部内現象

座長 新日本製鉄(株)製鉄研究センター

須賀田 正 泰

急激な円高の進行やオイル価格の変化によつて製鉄部門のコスト構造は大幅に変化し、かつ低出鉄比が強要されている。このため設備費が低く生産フレキシビリティの大きい新製鉄法(溶融還元法)が検討されている。しかし高炉法の改良の歴史が示すように新しい製鉄法で得られた知識を高炉に取り入れ、一段と能率向上が行われる可能性が大きい。

現在の高炉の未知の部分である炉下部を明らかにすることは、正にこのことに繋がる。そして高炉が直面する変化に対応できる最も近道ではないかと思われる。このような点から最近研究成果の著しい滴下帯以下特にレー

ス・ウェイ近傍で発生したコークス粉の挙動とガス流れ、炉芯内外でのコークス降下、メタル・スラグ流れおよび Si を中心とした炉下部反応について炉内イメージを含めて討論した。

討論中に触れた炉下部内現象の機能と要因のうち主要なもの(太下線)を図1に示す。以下に講演・討論の概要を記す。

(討1) 高炉内における粉粒体の挙動

(住友金属工業(株)総合技術研究所 高谷幸司ほか)

装入物の反応や衝撃による粉化および羽口から吹き込まれた微粉炭等によつて生じた粉体は、気流に随伴して炉内を移動し、局所的に蓄積する。この堆積物は、装入物の降下に影響をあたえ炉下部不活性のような操業不安定を起こす。

そこで粉体の挙動に関するモデル実験を行い、粉体の運動方程式を導出し数式モデルを作った。このモデルの計算によれば粉の蓄積は、ガス流速の変化の大きな部分や流線が大きく湾曲する部分に起こることや羽口ガス流速が低下すると炉下部で発生した粉が炉芯部や融着帯根部のボッシュ側壁部に蓄積し、通気不良の原因になる。また融着帯形状によつて側壁部への粉堆積量が変わりその制御の可能性があることを示唆した。この結果は、実炉の減産過程でボッシュ部の側壁温度の低下と共に炉内圧力が増加することと良く一致していた。

この発表に対して炉芯部の粉堆積の制御に関連して適正融着帯形状の存在の有無や炉下部側壁部の粉の堆積がありその後還元揮発物が沈積し炉下部不活性へ繋がるのではないかと等について議論があつた。

(討2) レースウェイと炉芯の形成挙動およびその固液流れに及ぼす影響

(新日本製鉄(株)製鉄研究センター 田村健二ほか)

レースウェイ炉および炉下部2次元模型実験によるとレースウェイの外側にコークス粉と灰分の結合による殻が形成される。この殻は、 -3 mm のコークス5~10%の等粉率面に沿つて形成されており、その大きさは、羽口風速やコークス強度等に関係する。この殻が大きくなると炉芯が肥大しレースウェイ上部の炉壁・炉芯間の装入物降下が早くなり、未溶融の擬似鉱石がレースウェイ内に降下してくる。レースウェイの制御が、炉下部安定化の一つのポイントであることを示した。

次に滴下帯中の溶鉄・スラグの流れについてモデル実験から運動方程式を導き数式シミュレーションを行った。液は、炉芯の空間率・粒径が小さくなると炉芯内を流れなくなることや炉芯温度が 1350°C 以下になりスラグの粘性が約 10 poise になると流下しなくなる。炉芯の活性のためにはスラグ粘度の管理が、重要であると述べた。

この論文に対してレースウェイ内での粉の発生と蓄積およびその影響や炉芯部での液流れ・ガス流れの有無が

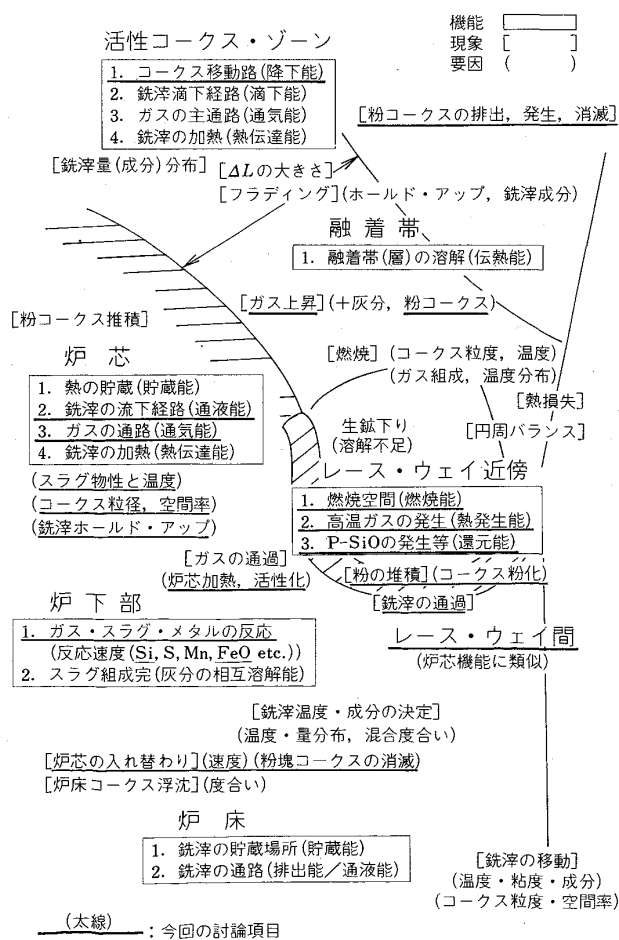


図1 羽口炉床の機能と要因

操業安定に重要なこと、炉中心部の加熱はガスよりも液の方が大きいこと等の議論があつた。また計算結果は納得するもののシミュレーション・モデルの基礎式の妥当性についての質問があつた。

(討3) 炉内サンプリングによる炉芯コークス挙動の解析

((株)神戸製鋼所鉄鋼技術センター 上條綱雄ほか)

休風時に羽口から採取した羽口～炉芯部の試料を解析し、炉下部での粉コークスの発生・蓄積機構やその炉への影響について検討した。採取されたサンプルは、 -3 mm 粉コークスを $5\sim 30\%$ 含んでいるが炉芯部への粉の蓄積が増加すると共に融着帯形状がW型に変化した。この粉は、コークス内で 40% 以上ガス化した部分が摩耗・剝離したものでこれによつて炉内で最大 10 mm の粒径変化があると推定している。粉コークスが炉芯部および炉芯表層部に蓄積するとスラグ・メタルのホールド・アップが増加し、高炉の通気性が悪化する。またマーカークークスを用いた炉芯コークスの入れ替わり日数は、 $8\sim 12$ 日で活性化に長時間かかることから炉芯部への粉コークスの堆積抑制が特に必要であると報告した。

発表に対してコークス粉の発生原因は、降下時の摩耗破壊、熱衝撃、レースウェイ内の衝撃破壊等が考えられるがガス化反応後の衝撃が重要であること、また炉芯部への粉コークスの堆積と炉芯表層部への堆積とでは炉への影響は、どの程度違うかについて議論された。

(討4) 高炉燃焼帯、炉芯部での溶銑・滓・ガスの反応と流動

(川崎製鉄(株)鉄鋼研究所 武田幹治ほか)

稼動中の高炉のレースウェイ間や炉芯部の測定ができる“斜行羽口ゾンデ”による測定結果および小型燃焼炉、コールド・モデル実験結果からレースウェイ近傍でのスラグ・メタル・コークスの反応について報告した。

メタル中の Si の値は、レースウェイ内では $1\sim 2\%$ と高いがレースウェイから離れるにしたがつて低くなり出銑 Si に近づく。レースウェイ内の Si 値は、 (FeO) と平衡する値より高い。レースウェイ近傍の特徴は、高 Si メタル・高 FeO スラグといえる。このスラグ中の Fe は、X線回折から Fe_{304} であること、塩基度の変化やスラグ成分と平衡する酸素分圧がほぼ送風のそれに等しいことから、送風中の酸素との反応によつて生じたものと推定している。また炉内試料中の (FeO) と Si は、独立に変化していること小型燃焼炉の羽口から吹き込んだ鉬石と Si の反応量が少なかったことからスラグ・メタル反応の寄与は小さいと結論している。

この報告に対して (FeO) が、メタル銑から酸化生成したならメタル中の Si が先に酸化されるはずである。また炉内での SiO の発生・吸収領域は、どの辺かまたこれに関係してレースウェイ内外のスラグ・メタルの液量比等について議論が行われた。さらに Si 移行反応は、

ほぼ一致しているが炉内の Si 移行を完全に説明するには問題があり、もつと炉内サンプルのきめ細かい分析やデータの蓄積が必要であるとの意見も述べられた。

(討5) 高炉炉下部におけるスラグ・メタルおよびコークスの挙動調査

(日本鋼管(株)福山製鉄所 中島龍一ほか)

稼動中測定可能なシャフト下部サンプラー、羽口ゾンデ、休風中の羽口・炉芯サンプラーを使用し炉内の Si 移行やコークスの劣化挙動の調査結果について報告した。

SiO の発生は、レースウェイ近傍のコークス温度と関係する TFT、平均 O/C 、装入物分布によつて変化する。羽口レースウェイ先端 200 mm の所での Si 濃度は、出銑 Si に近くまた (FeO) は $12\sim 34\%$ 、 $\text{C/S} \leq 1$ であることからレースウェイ内での SiO の発生の可能性は少ない。また休風時に採取したコークス中の SiO_2 の減少は、炉周辺部と中心部が大きいことから、 SiO の発生はレースウェイ外周部より内側であると推定している。また炉内のスラグは、 1600°C を境にして SiO の発生体にも、吸収体にもなる。コークス粉の発生は、主として熱的劣化によることを示した。

この講演に対してレースウェイ内の生鉬落ちと Si の関係、レースウェイ内のメタル中に Si が入っているのに C が平衡より低いことの解釈、別高炉の休風中サンプルでは羽口先端 $2\sim 4\text{ m}$ のメタル中 Si と出銑 Si とは関係があるので羽口レベルの溶銑降下の主流は、この辺にあるのではないかな等の議論があつた。

以上の講演・討論をまとめて見ると炉下部の現象のうち 1) コークス粉やスラグ・メタル流れの挙動とその安定操業への影響、2) 低 Si 操業に関連して Si 移行機構が二大テーマであつた。前者は、コークス燃焼実験・実炉サンプリングの外に、モデル実験結果から粉体・液体の運動方程式を求め数学モデル内に組み入れる。このモデルを使つて種々な炉内状態の時の粉・液体の挙動を予測する方法が用いられている。この結果粉の発生・移動・堆積は、融着帯形状等の炉内状態や操業条件によつて変わることやスラグ・メタルの流れがコークスの空間率・粒径・温度条件(粘性)によつて著しく変わることなど粉体・流体の挙動は、かなり把握されてきたといえよう。ただしこのような解釈に対してまったく問題が残っていないわけでない。数式モデルの基礎式(運動方程式等)は、どの程度事実を表現しているか、炉内の粉体をどのような手段で排出させ、制御できるかが問題として残つた。

2) の Si 移行については、今までに何回か討論がおこなわれている。 Si は、 SiO 経由で溶銑に入るが、この SiO 発生に影響を与える TFT、平均 O/C 、装入物分布との関係が定量的に分かつてきている。しかし炉内の発生場所は、レースウェイ先端が有力ではあるが、依

然として確証がない。これらの残された問題を明らかにするためには、SiO₂ 検出端や新しい発想によるサンプリング等の調査が必要である。これらの点が明らかになれば、羽口からの鉬石吹込みによる Si 低下技術等の事前検討が容易にできるとの指摘もあった。

最後に炉下部現象全体に関する今後の問題として

- 1) 各種のモデルが提出されているが、これを実炉でモデルの確証を行う必要があること
- 2) 炉内の各種のイメージ・仮説が提出されたが、実測によつてこの仮説を確認すること
- 3) 討論で触れられていない炉下部部分の解明が必要であること

これらによつて製鉄をとりまく将来の変化に対して柔軟に対応できる高炉技術力が確立されることを確認した。

II. 転炉における精錬機能の拡大

座 長 千葉工業大学 雀 部 実
副座長 川崎製鉄(株)鉄鋼研究所 野 崎 努

まず座長より、本討論会を開く主旨説明があつた。鉄鋼の製造の歴史はたたら炉やパドル炉のように鉬石から鋼を直接製造する方法から、製鉄炉と製鋼炉へ分化した。これは初期における精錬の機能分化の歴史として捕らえることができる。製鋼炉はさらに予備精錬炉と平炉に分化する兆しを見せたが、LD 転炉の出現で製鋼は集約の方向に転換した。さらに、精錬機能の分化と共に、転炉に溶融還元やスクラップの大量溶解といった別の機能を付与する動きも出はじめている。このような転炉精錬の現状を明らかにするため

1) 転炉の機能分化として処理溶銑を用いるレス・スラグ吹錬

2) 転炉への別機能の付与として熱補償と溶融還元

3) 上記 1), 2) を支える耐火物技術の発展
を本討論会で取り上げる。

5 年前の 1982 年に「新しい転炉製鋼技術」が討論会で論議された。この時代は精錬における攪拌の役割が認識され、LD 転炉の見直しの契機となり、複合転炉へのスタートとなつた。5 年経過した現在、転炉精錬の進歩を確認し、今後に残される課題を明確にしたい。

(討 6) 転炉用耐火物の改良発展と今後

(名古屋工業大学 山口明良)

約 10 年前に炭素を含有させるという画期的な技術開発により、転炉耐火物は飛躍的に進歩した。これは酸化物のみでは熱衝撃抵抗性が気孔や粒界からのスラグ侵入によつて劣化するのを、炭素の濡れ性の悪さに着目したことによる。また、含炭素耐火物は酸化されやすいことと強度に問題があつたが、メタリックの Al, Si, Mg

を添加して、解決しようとしている。今後はさらに高粘性で緻密なスラグ面との反応層を有することが必要で、構造まで含めた検討を行うべきとの指摘があつた。

(討 7) 転炉精錬機能の拡大

((株)神戸製鋼所神戸製鉄所 青木松秀ほか)

予備処理法として転炉タイプの H 炉を用いる方法を確立し、その処理溶銑を用いた転炉精錬技術の改善を行つた。転炉における予備処理溶銑の充当比率は約 85% と高いレベルにあり、転炉精錬の安定化、耐火物原単位の削減、副原料の低減及びこれらの確立に伴い、転炉の生産性向上が計れた。

(討 8) レススラグ吹錬における精錬特性

(日本鋼管(株)福山製鉄所 山瀬 治ほか)

予備処理溶銑を用いた時の上底吹パターンの改善、無倒炉出鋼比率の向上に関しての報告である。媒溶剤添加量の最適化、T.Fe の低減、Mn 鉬石添加量の適正化を計り、終点 [Mn] の推定技術を酸素プローブを用いる方法で確立した。レススラグ吹錬のプロセス化により、転炉で積極的に Mn 鉬石の炉内還元を行い、月間約 120 kt の処理を行つている。

(討 9) 上底吹転炉内のクロムの溶融還元反応に関する熱力学的考察

(東京工業大学 朱 英雄ほか)

転炉内でクロム鉬石を溶融還元する際の熱力学について述べた。熱力学に基づく還元温度や鋼中炭素濃度との関係をまとめた。Cr₂O₃ を含む溶融スラグの優先還元と臨界温度の計算から、N₂ 底吹き時の還元臨界温度、還元サイトの検討などを熱力学的に考察した。

(討 10) 5 t 転炉での微粉炭燃焼ランスを用いるスクラップ溶解とクロム鉬石の溶融還元

(川崎製鉄(株)鉄鋼研究所 岸本康夫ほか)

5 t 多目的転炉を用いて、微粉炭を炭材として吹き込む微粉炭燃焼ランスを開発し、スクラップの 100% 溶解とクロム鉬石の溶融還元について実験した。クロムの溶融還元は [%C] と鋼浴温度で整理され、底吹き法と微粉炭燃焼ランスのクロム還元率の比較から、微粉炭燃焼ランスを用いる方法はクロム鉬石の還元回収率に優れたプロセスと結論づけている。

(討 11) 転炉における炭材利用技術の開発

(住友金属工業(株)総合技術研究所 姉崎正治ほか)

15 t 試験転炉を用いて、製錬及び精錬の開発実験を行つた。発熱、ガス回収、酸化、還元、溶解についてその方法を確立した。鉄浴式石炭ガス化法、それと 2 次燃焼の組合せ、酸化発熱反応と還元反応の分離、攪拌力強化による還元時間の短縮などについて転炉を種々活用して、精錬容器としての優秀さを示した。

(討 12) CO 酸化反応機構から見た CO 濃度低減技術の可能性

(豊橋技術科学大学 大竹一友)