

第 119 回講演大会討論会報告

I. 高炉炉下部におけるコークスの挙動

座 長 NKK 鉄鋼技術部

山 岡 洋次郎

副座長 住友金属工業(株)鉄鋼技術研究所

岩 永 祐 治

高炉用コークスには、燃焼による還元ガスと熱の供給源および炉内ガスのスペースとして極めて重要な役割が課せられており、その挙動の変化は高炉炉況に大きな影響をもたらす。さらに、近年、微粉炭吹込み操作が急速に増加しつつあり、コークス比の低下という面から、炉況への影響度はますます大きくなりつつある。

このような背景から、本討論会では、1)最新の知見を盛り込んだコークスの炉下部挙動の総合的把握、2)これに基づくコークスの品質および高炉使用法の今後の改善方向の検討；を主眼にして討論を行った。

発表件数は5件であり、以下にこれらの発表の内容と討論の概要を記す。

(討1) 羽口サンプリングによるコークスの炉内劣化挙動解析と炉芯コークス活性化の制御

(住友金属工業(株)鹿島製鉄所 横井 毅ほか)

炉内容積の異なる3基の高炉からの羽口コークスのサンプリング調査により、大型高炉ほど金棒深度(羽口先端から炉芯コークス表層部までの距離)が浅くなり、炉芯コークスの温度が低下することが明らかになった。これは、大型高炉ほど羽口衝風エネルギーが大きく、レースウェイでのコークスの粉化が著しくなるため、炉芯部へガスが流れにくくなることに起因している。また、炉芯コークス温度が低下すると、炉芯表層コークス中のアルカリ濃度が高くなり、さらにコークスの粉化を促進させるという悪循環が生じる。

さらに、数式モデルおよび模型実験により、1)ボッシュ部のコークス粒径を25mm以上にすれば、ボッシュ炉壁部および炉底の不活性化(温度低下)を回避できること、2)これは、装入コークスの品質および粒度の向上によって対処できること；などを推定した。

この発表に対して、炉容による炉芯体積割合や溶解帯長さの変化とこれに伴うガス・スラグ・メタル流れの変化、炉芯の活性度を保つための具体的なコークス品質管理基準(粒度、DI(ドラム強度)、CRI(反応性)、CSR)；などについて討論がなされた。

(討2) 高炉内でのコークス劣化挙動

(NKK 京浜製鉄所 石井邦彦ほか)

炉高方向3か所(シャフト中・下部、羽口)からのサンプリング調査により、炉内降下に伴うコークス性状の変化を調査した。その結果、1)炉上部では、スタビライズにより粉化と基質強度(MSI)が上昇、2)炉下部では、ソリューションロス反応およびアルカリ触媒作用により、熱間強度が大きく低下、3)羽口レベルでは、レ-

スウェイ内での燃焼粉化により、羽口先2~3m(炉芯表層部)で-5mm粉率が急激に増加するとともに、この粉コークスと滴下スラグの反応が優先的に進行；などが判明した。

また、レーザーラマン法によるコークス履歴温度の推定により、レースウェイで発生したコークス粉は、炉芯部には堆積するが、シャフト中部までは飛散しないことを推定した。さらに、炉芯コークスの粉率には、コークスのDIとCRI(反応性)が最も大きく関係していること、炉芯コークス粒径の増大により、炉内通気性が改善されるとともに、溶銑の炉底環状流を抑制できる可能性があること；なども示した。

この発表に対して、コークスの粉化に及ぼすアルカリ凝縮、ソリューションロス反応、燃焼の影響や、レースウェイ近傍でのコークスの選択反応機構；などについて討論がなされた。

(討3) 高炉炉芯領域の解析とコークス品質規格の適正化

(川崎製鉄(株)鉄鋼研究所 武田幹治ほか)

炉芯コークスサンプラー、斜行羽口ゾンデ、高炉解体調査により、コークスの炉内粉化機構を検討し、塊状帯、滴下帯領域では体積破壊が、レースウェイ近傍では表面摩擦破壊がコークス粉化の主要因であることを明らかにした。また、炉芯の粉率は表面摩擦強度に対応するTI(タンブラー強度)、気孔壁強度と関係しており、炉芯活性化のためには、炉中心部でのソリューションロス反応量の低減とTIを用いたコークス品質管理が重要であることを示した。

実操業においては、この考え方に基づいて、操業度に応じたTI管理値変更を行い、高出銑比操業(2.85t/m³・D)を達成した。

この発表に対して、炉芯活性化のための装入物分布制御、コークスの各種品質間の管理の重みづけ；などについて討論がなされた。

(討4) 高炉炉芯コークスの挙動とその制御

((株)神戸製鉄所鉄鋼技術研究所 清水正賢ほか)

模型実験と炉芯サンプリング調査により、1)炉芯コークスは炉口中心部に装入されたコークスにより形成される。2)炉況に大きな影響を及ぼす炉芯中間部のコークス粉は、上方の炉中心近傍で発生したものが主体である。3)炉芯の粉率は、コークスのDIおよびソリューションロス反応量と密接に関係している；ことを明らかにした。

また、これらの知見に基づいて、炉芯の通気・通液性を確保するためには、炉中心部でのソリューションロス反応量の抑制およびコークスの粒度管理が重要であり、そのための具体的手段として、1)装入物分布制御による中心部Ore/Cokeの低減、2)装入コークスの強度、粒径の増大化、3)炉中心部へのコークスの粒度別、強度別装入が有効であること；を提案した。

この発表に対して、炉芯コークスの更新の機構および更新期間を左右する因子、中心装入コークスの品質、粒度の管理基準、コークス中心装入による周辺装入コーク

表 1 報告概要の一覧

		討 1 (住金)	討 2 (NKK)	討 3 (川鉄)	討 4 (神鋼)	討 5 (NSC)
特 徴		<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">サンプリング調査</div> ①大型高炉>小型高炉 ×ソリューションロス反応 ×熱衝撃 ◎機械衝撃 ②モデル→粒径推定 ③金棒深度	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">サンプリング調査</div> ①レーザーラマン法による温度分布 →粉コークスの発生移動推積挙動の解析	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">サンプリング調査</div> ①ドラム試験, タンブラー試験による粒度分布変化 →劣化様式推定 ②モデル→粒径推定	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">サンプリング調査+基礎実験</div> ①炉口中心部コークス→炉芯コークスと置換 ②炉芯コークス更新期間 (中間<3日) (中心3~7日) ③モデル→湯流れ	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">成型コークス使用テスト</div> ①成型コークスと室炉コークスの比較 ②成型コークスの中心装入→比較調査
主要結果	ボッシュ部	①炉上部炉壁部に蓄積→不活性	①シャフト中部に飛散	①体積破壊	①発生粉は炉芯に降下	①強度, 粒度→同等
	羽口レベル	①炉中間~炉芯に蓄積	①炉中間~中心に飛散推積 ②炉上部への吹上げはない	①表面破壊		①強度はむしろ高く, ばらつき小 ②燃焼性→同等
	アルカリ	①低温部に濃縮	①低温部に濃縮			①室炉コークスのソリューションロス反応促進
	操業への影響	①ガス流れ→炉壁流 ②炉芯温度低下	①粉率↑⇔スラグ・メタル収率↑	①粉率↑⇔炉芯温度低下	①粉率↑⇔Hold up ↑ ⇔環状流 ②ガス流れ→炉壁流	①74 日間の連続使用→安定操業可能
コークスの劣化要因	①ソリューションロス反応 ②旋回摩耗	①熱衝撃とその後の反応 ②旋回摩耗	①燃焼, ソリューションロス反応 ②旋回摩耗	①ソリューションロス反応	①ソリューションロス反応 (表面反応→内部健全拡散反応→強度↓)	
炉芯活性度制御因子	①Tf ②VT ③CSR ④(出鉄比)	①Tf ②VT ③DI30 ④CRI	①TI ②旋回エネルギー ③O/C 分布制御 (中心 O/C↑)	①ソリューションロス反応↓ ②強度 ③粒度 ④O/C 分布制御 (中心 O/C↓)	①ソリューションロス反応↓	

スの品質低減化の可能性; などについて討論がなされた。

(討 5) 高炉内における成型コークスの挙動

(新日本製鉄(株)八幡製鉄所 小野 創ほか)

高炉用成型コークス製造法の開発(ナショナルプロジェクト)の最終段階として行った戸畑 4 高炉における実炉使用試験('86 年 8 月~'87 年 1 月, 成型コークス配合率 20~30%, 使用総量 6100 t) および装入物充填吹止めによる炉内調査結果に基づいて, 成型コークスの炉内挙動を検討した。

その結果, 成型コークスは室炉コークスに比べて初期 CRI が高いにもかかわらず, 炉上部から炉腹までの強度は室炉コークスと同等であり, 羽口レベルでは逆に高くなっていることが判明した。これは, 成型コークスの基質の反応性が高く, かつ気孔率が低いため, ガスが内部に浸透しにくく, 表面反応が支配的で, K₂O の吸収量も少ないためである。

また, 炉芯部においても, 成型コークス中の Ash の増加が顕著に認められず, 室炉コークスより劣化が少ない。

操業面においても, 成型コークスの周辺装入により炉況は安定しており, 長期・多量連続使用が可能であることが証明された。

この発表に対して, 成型コークスの配合上限および上限があるとしたらその制約要因は何か, 成型コークスの特徴を生かした最適使用方法はどのようなものか; などについて討論がなされた。

(総合討論)

以上の 5 件の個別発表・討論の後, あらかじめ設定しておいた共通テーマに対して各発表者の見解を報告してもらい, 総合討論を行った。以下にその概要を記す。

(テーマ 1) 炉芯状態の計測・制御法

炉芯状態の計測手段としては, レースウェイ深度計, 羽口サンプラー, 炉芯ゾンデ, 炉底れんが温度計などがあり, 炉芯活性度は, これらのセンサーから得られる炉芯の大きさ, コークス温度・粒度, 空隙率などを総合して判断すべきである。炉芯の活性化のためには炉芯空隙率すなわち炉芯コークスの粒度を維持する必要がある。そのためには, 装入コークスの DI, CRI, 粒度を総合的に管理する必要がある。

(テーマ 2) 微粉炭多量吹込み操業においてコークスに要求される品質

微粉炭多量吹込み時に懸念される問題には, コークス層厚の減少に伴う通気性の悪化, ソリューションロスおよびレースウェイ内旋回摩耗劣化の増大による炉芯の不活性化などがある。対策としては, 装入物分布制御による適正な中心流の確保, 羽口温度の適正化, コークスの品質改善(特に CRI)と粒度増大などが有効である。

(テーマ 3) コークスの炉内挙動および必要品質を明確化するための今後の研究課題

今後の主たる研究課題としては, コークスの劣化, 粉の発生・蓄積・消滅, 炉下部, 炉底での溶銑・滓の流れとコークスの反応の各挙動の体系化がある。そのためには, 模型実験と数式モデルの組合せによる基礎解析, および

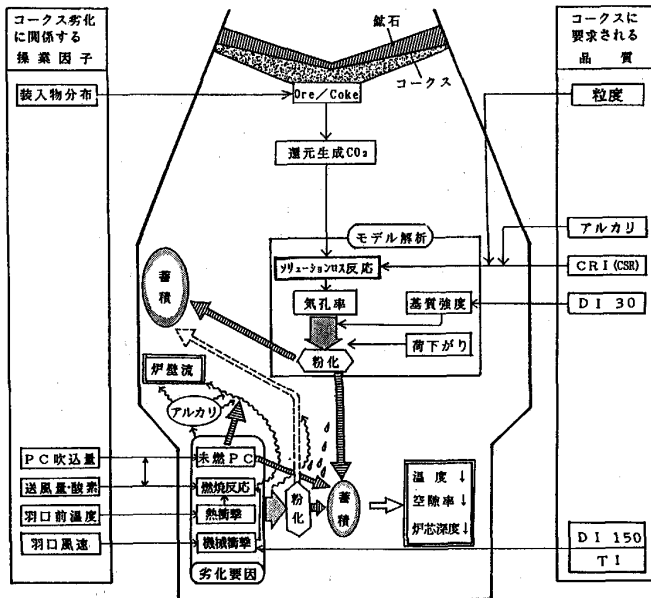
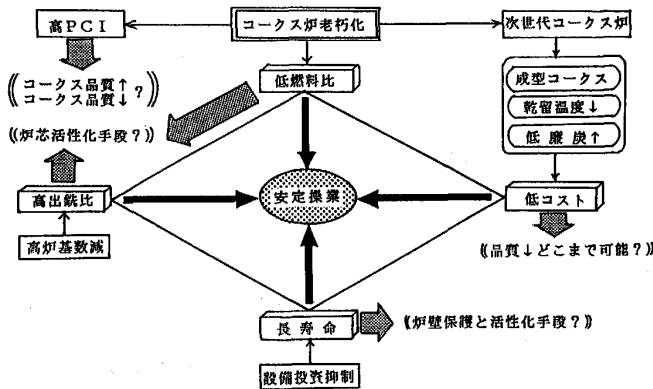


図1 高炉内におけるコークスの劣化機構



【研究課題】	【技術課題】
① コークス劣化モデルの精度アップ →コークスの内部摩擦角、せん断強度 →高炉内のせん断応力分布 ② レースウェイ部粉発生モデル化 ③ 粉の移動・蓄積のモデル化 ④ 炉芯コークス更新機構の解明 →落下FeOによる細粒化現象 ⑤ 熱間強度の管理方法 (or管理は必要か?) → $\Delta CSR / \Delta CRI$ (CSR) CRI=const 	① 柔軟性のあるコークス品質管理 { 高出鉄比 } { 低燃料比 } { 高PCI } ② 品質の総合管理 →焼結鉄品質との互換性 $\begin{pmatrix} TI \\ RDI \\ RI \end{pmatrix} \xleftrightarrow{\text{粒度}} \begin{pmatrix} DI \\ CRI, CSR \\ TI \end{pmatrix}$ (空隙率) ③ 炉芯状態の計測・制御方法の確立

図2 高炉におけるコークス使用技術の今後の課題

これを踏まえた実炉検証が必要である。また、この実炉検証と操業管理の精度を上げるためにも、新センサー・サンプラーの開発も必要となる。

(テーマ4) 成型コークスの将来の位置づけ

成型コークス製造技術そのものは既に開発は完了しており、高炉での多量使用には、高嵩密度による通気抵抗の上昇への対策が課題である。今後一般炭と原料炭の価

格差の拡大、現有コークス炉の寿命など、投資効率を満足させる環境が整えば、実用化の可能性は高い。

以上の総合討論の後、副座長が今回の各発表の要点のまとめを行い(表1, 図1, 2), 最後に、東北大学 八木順一郎, 新日本製鉄(株) 須賀田正泰の両氏から、今後の課題と進むべき方向について貴重なコメントがなされた。

今回の討論会によって、従来あまり明確でなかった炉下部におけるコークスの挙動、および炉芯コークスの活性化のためのコークス品質管理と高炉操業法について、かなり体系的に整理することが可能となった。今後は、高炉での微粉炭多量吹込み、高炉、コークス炉の生産弾力性の向上、コークス炉での一般炭多量使用に向けて、前述の課題についてさらに研究開発が進められることが期待される。

最後に、今回の討論会を成果の多い極めて有意義なものにしていただいた発表者、参加者の方々に心から感謝いたします。

II. 極低炭素鋼・低窒素鋼の精錬技術の現状と課題

座長 名古屋大学工学部

佐野正道

副座長 川崎製鉄(株)鉄鋼研究所

藤井徹也

高度な材料特性を持つ鉄鋼材料の需要は年々増大しつつある。そのため、製鋼段階では、不純物元素の極限までの低減と合金濃度の狭幅制御の技術開発が重要な課題となっている。炭素濃度についてその例をみると、延性と絞り性に優れる冷延鋼板を連続焼鈍プロセスで製造するには Ti や Nb の添加と共に炭素濃度を 30 ppm 以下とする必要がある。また、プレス成形時には軟質で加工性に富み、その後の焼付け塗装時の熱処理で降伏強度を上げて完成部品の強度の上昇が可能な焼付け硬化型の高張力冷延鋼板においても極低炭素濃度化が要求される。

以上のような観点から、極低炭素溶鋼の経済的な大量生産技術の研究開発が活発に行われている。また、炭素と同様に侵入型元素である窒素に関してもいっそうの低減技術の確立が望まれている。

本討論会では、極低炭素鋼・低窒素鋼の精錬技術の現状と課題として基礎研究と工業規模の製造技術開発について、大学と企業合わせて8件の講演が行われた。講演内容を大別すると、

- (1)高純度化のためのプロセス工学概説
- (2)小型溶解炉を用いた基礎研究
- (3)反応の容量係数に関するアンケート結果のまとめ
- (4)RH脱ガス装置の脱炭反応モデル
- (5)RH脱ガス装置による極低炭素鋼製造の操業解析と改善

以上の5項目であり、特に、30~40 ppm以下の極低炭素濃度領域で脱炭反応速度が急速に低下する理由、および、10 ppmレベルの超極低炭素鋼の製造技術に関して