

● 討論会 ● まとめ ●

第 121 回 (平成 3 年春季) 講演大会

高炉への微粉炭の多量吹込み技術

座長 新日本製鉄(株)第三技術研究所

田村 健 二

高炉への微粉炭の多量吹込み技術は、コークス比の低減、炭種の拡大および高炉生産弾力性の拡大のための有力な技術であり、本技術の確立は製鉄分野の重要な課題の一つである。そこで、本技術の最適化のための方策と課題を整理するため、討論会では、微粉炭の燃焼性に及ぼす操作因子や石炭性状の影響に関する基礎実験や理論解析および微粉炭多量吹込み時の高炉内現象や高炉操業法に主眼をおき討論を行った。

発表件数は 6 件であったが、このうち 1 件は、討論会としては初めての外国からの発表 (フランスの Sollac 社, Lorfonte 社および IRSID の共同研究) であった。以下、これらの発表と討論の概要を記す。

(討 1) レースウェイでの微粉炭の燃焼挙動と多量吹込み技術

(NKK 鉄鋼研究所 古川 武ほか)

レースウェイでの微粉炭の燃焼率を推定するための理論式を導出し、操作因子の影響を解析して、微粉炭燃焼が微粉炭と酸素との乱流拡散に支配されることを明らかにした。また、種々の先端構造をもつバーナーを用いた燃焼実験により、微粉炭と酸素の混合の度合いおよび微粉炭の吹込み量の限界を検討し、酸素を多数の小孔から噴出させる多孔式バーナーが優れていることを報告した。そして、微粉炭の多量吹込みのためには、酸素濃度の増加および微粉炭と酸素の混合促進が重要であることを提案した。この発表に対して、多孔式バーナーと巡回式バーナーの性能比較および空気比が 2 以下でコークス置換率が急激に低下する原因などについて討論がなされた。

(討 2) 高炉微粉炭多量吹き込み時の高炉内挙動の基礎検討

(住友金属工業(株)鉄鋼技術研究所 山縣千里ほか)

コークス充填型熱間試験炉を用いた燃焼実験および理論解析 (レースウェイ内燃焼モデル, 充填層固気二相流モデル) に基づき、微粉炭吹込み量の増加、揮発分の低下および粗粒化によりレースウェイ内での燃焼率は大幅に低下するが、羽口上 700 mm での燃焼率は 95% 以上確保され、ソリューションロス反応による未燃チャーの

消費速度が大きいことを報告した。また、粉の滞留箇所は炉芯の中心部および炉腹下部の炉壁部であり、吹込み量が 200 kg/t 以上では粉の滞留量が増加する可能性を明らかにした。この発表に対して、数学モデルの構成 (混合, 炭種評価), 微粉炭吹込みに伴うコークスの粉化現象および粉の消費機構などについて討論がなされた。

(討 3) 微粉炭多量吹込み操業における高効率燃焼技術 (新日本製鉄(株)製鉄研究センター 山口一良ほか)

空炉, コークス存在下, 溶融鉱石存在下での微粉炭の燃焼実験および理論解析に基づき, レースウェイ内で微粉炭を 100% 燃焼できる空気比の下限値は 0.8 (微粉炭比 180 kg/t 相当), 粗粒化の上限値は 0.7 mm, 空気比 0.7 (微粉炭比 200 kg/t 相当) では約 10% の未燃チャーがレースウェイ外へ放出されることを明らかにし, 君津第 4 高炉での羽口 1 本からの微粉炭 200 kg/t 吹込み試験により炉芯表層部に未燃チャーが存在することを確認した。また, 燃焼性に及ぼす操作因子の影響として, 送風温度の上昇および送風湿度の増加は燃焼性を向上するが酸素富化の効果は不明確なことを解析し, 微粉炭多量吹込み時には吹込み位置を羽口先端に近づけることを提案した。この発表に対して, 燃焼効率に及ぼす石炭性状の影響および送風温度とフレーム温度の適正化などについて討論がなされた。

(討 4) 高炉への微粉炭多量吹込技術

(川崎製鉄(株)水島製鉄所 妹尾義和ほか)

急速加熱・乾留実験により高揮発分・低流動度炭ほど燃焼性が優れていること, および空炉燃焼実験により, 微粉炭吹込み量が 100 kg/t 以上では燃焼性が直線的に低下し, 160 kg/t での炭素ガス化率は 57%, ソリューションロス反応により消費できる未燃チャー中の炭素量は約 50 kg/t であることを示し, さらに酸素富化 1% により微粉炭の燃焼率が 1.0~1.5% 増加することを明らかにした。この発表に対して, 微粉炭として高揮発分・低流動度炭を使用した場合のコークス炉操業上の問題, 揮発分の適正レベルおよび炉内で消費可能な未燃炭素量などについて討論がなされた。

(討 5) 高炉への大量石炭吹き込みと主な問題点

(フランス鉄鋼研究所 IRSID R. NICOLLE ほか)

粉碎性・搬送性実験により, 粉碎エネルギーは揮発分が 25% の場合最小であり, 粗粒化により流動性 (搬送性) が改善されること, および輸送過程で微粉化が進行すること (粉碎機出口での粒径 500 μm が羽口手前で 100 μm に減少) を明らかにした。また, 燃焼実験により送風温度の上昇および酸素富化により燃焼性が改善さ

Table 1. Summary of symposium on "High-rate Injection Technique of Pulverized Coal into Blast Furnace".

Item	Findings (best records) and measures		Subjects in future
	Experiment (Theory)	Actual operation	
1. Maximum injection rate of coal (PCR)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Lower limits to fuel equivalence ratio (Excess O₂) is 0.80. 2. Maximum combustion amount of PC in raceway; 165 kg/t(FR 480) 180 kg/t(FR 500) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Maximum PCR; 180 kg/t (FR 475) (Dunkerque 4BF) 170 kg/t(Kobe 3BF) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Maximum amount of unburnt char consumed in solution loss reaction? 2. PCR > 200 kg/t? 3. Lower limits to coke rate (< 250 kg/t?)
2. Maximum particle sizes of coal (dp)(80% pasr)	<ol style="list-style-type: none"> 1. dp; 0.3~0.7 mm 2. Combustion efficiency > 97% (Even coarse PC of 1.18 mm) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. dp; 0.4~1.0 mm (95% pass 1~2 mm)(BSC, Scunthorpe) 2. Disintegration of PC during transportation (0.5→0.1 mm) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Desirable particle size of pulverized coal (PC)? (Granular or coarse PC)
3. Improvement in combustibility of pulverized coal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Raise in blast temperature (T_b) 2. Increase in oxygen enrichment 3. Promotion of mixing of PC with air (Structure of PC burner) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. T_b > 1500°C (Uckange 1BF) 2. Low flame temperature (T_f)=2050°C (Dunkerque 4BF) 3. High blast moisture decreases solution loss carbon. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Optimum oxygen enrichment? 2. Lower limits to flame temperature (< 2050°C)? 3. Improvement of structure of PC burner
4. Expansion of kind of coal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Combustion efficiency > 95% (Even low-VM coal (< 20%)) 2. Transportability is bad for low VM PC, but improved with coarse PC 	<ol style="list-style-type: none"> 1. High-VM PC generates soot. 2. Even low-VM (11%) PC attained high rate PC injection of 180 kg/t. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Expansion of kind of coal 2. Utilization of low VM coal 3. Utilization of coarse pulverized coal
5. Behavior of fine particle and coke disintegration	<ol style="list-style-type: none"> 1. Deposit of unburnt char increases in deadman. 2. Prolongation of traveling time of coke in raceway promotes coke disintegration. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Amount of char and fine coke increases in the periphery of deadman at high rate PC injection. (Kobe 3BF, Kimitsu 4BF) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Optimization of coke quality? 2. Decrease of raceway depth (Decrease of blast velocity) 3. Measures to remove fine particles?
6. Blast furnace operation (Estimation of inner state)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Coal injection position requires to be brought close to tuyere nose. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Blast pressure rises due to high O/C, combustion in tuyere, thick root. 2. Low heat flow ratio raises shaft temperature and heat loss. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Optimum control of burden distribution? (High-O/C ratio at furnace periphery and center coke charge, coke base?)

れることおよびチャーはコークスより CO₂ との反応性が高いことを報告した。さらに、Dunkerque 第 4 高炉で 1990 年 7 月、微粉炭比 180 kg/t、大塊コークス比 270 kg/t、小塊コークス比 25 kg/t の操業成績を達成し、微粉炭の多量吹込みに伴い通気性が悪化したことを報告した。この発表に対して、コークス置換率に及ぼす酸素富化の効果、フレーム温度の下限值、微粉炭多量吹込み時の熱収支などについて討論がなされた。

(討 6) 高炉への微粉炭多量吹き込み操業

((株)神戸製鋼所神戸製鉄所 大鈴克二ほか)

加古川第 2 高炉で 1990 年 4 月、微粉炭と重油吹き込み(補正微粉炭比 200 kg/t 相当)により低コークス比 298 kg/t を達成し、神戸第 3 高炉では 1991 年 1 月、微粉炭比 170 kg/t を達成したことが報告された。微粉炭比 160 kg/t まではダスト中の炭素濃度の増加はみられなかったが、補正微粉炭比 180 kg/t 以上の低コークス比操業では、炉内圧損が急激に増加し、シャフト温度の上昇、炉芯内粉率(-3mm)およびスリップの増加がみら

れた。そして、微粉炭多量吹込みに伴う高 Ore/Coke 操業では、Ore base 一定で、炉壁近傍の Ore/Coke を増加することが重要であり、コークス強度の増大により炉芯内粉率の低減が可能であることを明らかにした。この発表に対して、炉壁近傍の Ore/Coke の上限値など装入物分布の考え方、炉芯内粉率の増加原因などについて討論がなされた。

以上の討論終了後、(株)神戸製鋼所鉄鋼技術研究所 稲葉晋一氏から、外国人として討論会の最初の発表者となった R. NICOLLE 氏に対する感謝の言葉と微粉炭多量吹き込み技術の今後の方向についての貴重なコメントがなされた。最後に、座長が今回の討論会発表の要点のまとめを行い、Table 1 に示したように、微粉炭多量吹き込みに関する主要な課題ごとに、現在までに判明した知見・方策と今後の研究課題を報告して討論会を終了した。

最後に、今回の討論会を成果の多い、有意義なものにしていただいた講演者および討論者の方々に心から感謝いたします。