

微粉炭多量吹込み時のコークス粉化機構と粉化抑制

山口 一良*・鶴野 建夫*²・山本 哲也*³・上野 浩光*⁴・今野 乃光*・松崎 眞六*

Coke Degradation Mechanism and Suppression Measures during High-rate Pulverized Coal Injection
Kazuyoshi YAMAGUCHI, Takeo UNO, Tetsuya YAMAMOTO, Hiromitsu UENO, Norimitsu KON-NO and Shinroku MATSUZAKI

Synopsis : The coke degradation mechanism was considered in order to suppress the fine coke increase during high-rate pulverized coal injection. The following conclusions were derived as a result of model experiment.

- (1) The reasons why the fine coke increases at the tuyere level during high-rate pulverized coal injection are the degraded coke surface existence because of the lack of gasification by O₂ and the increase of gasification by CO₂ in the raceway.
- (2) The use of high reactive coke is effective in order to suppress the coke degradation.
- (3) The permeability in the lower part of the blast furnace is controlled by the fine coke amount at the bosh level during high-rate pulverized coal injection. The decrease of load on the coke bed is effective in order to suppress the coke degradation at the bosh level.
- (4) In order to apply the model experimental results to the actual blast furnace, it is necessary to consider the effect of coke strength at room temperature and the decrease of coke surface strength after gasification during the use of high reactive coke.

Key words : ironmaking ; blast furnace process ; pulverized coal injection ; coke degradation ; raceway ; deadman ; unburnt char.

1. 緒言

高炉への微粉炭吹込みは、操業安定、収益改善、生産性向上、石炭選択自由度拡大の手段として有効な技術である。とくに微粉炭多量吹込みは、コークス炉老朽化、環境問題等にも対処できる効果的手段として、近年その重要性の認識が高い。すでに実高炉で微粉炭比200kg/t-pig以上の吹込み実績が達成されており¹⁻⁴⁾、今後250kg/t-pig台の吹込み技術の確立が求められている。

微粉炭吹込み量が増加するに伴い顕在化したのが、羽口部におけるコークス粉の増加である。この現象は休風時に羽口部より採取したコークス中の粉の量の測定により明らかになり、高炉炉下部通気性悪化の傾向が認められた。これらの問題に関しては、炉頂より装入されるコークスの冷間強度(Drum Index, DI)を向上させることにより粉の量が低下する経験的な事実⁵⁾から、微粉炭多量吹込みを実施しているほとんどの高炉でDIを向上させて対処し、羽口部におけるコークス中の粉の量を抑制している^{1,3,5-7)}。

しかし、DI向上は良質な強粘結炭を増配合するためコークス製造コストの上昇を招き、微粉炭多量吹込みによるコスト低減に逆行するため恒久的対策とはなり得ない。したがってDI向上によらない粉化し難いコークス製造技術の開

発が必要であるが、DI向上に代わる粉化抑制策の検討はまだ緒についたばかりである。(株)神戸製鋼所加古川1高炉において、中心コークス装入技術により高炉内の通気性改善が達成された結果としての、周辺部装入コークスの品質緩和(DI低下)²⁾が唯一報告されている程度である。また微粉炭比110kg/t-pigを越えるとコークス粉化は飽和する現象⁸⁾や、単純に微粉炭吹込み量を増加してもコークス粉の量は増加しないモデル実験結果⁹⁾も報告されており、この領域における現象は複雑である。

本論文では、高炉内でのコークス粉化機構について考察し、モデル実験により新たな粉化抑制策を提示した。

2. 高炉内におけるコークス粉化位置の推定

2・1 炉下部におけるコークス粉化

新日本製鐵(株)名古屋1高炉の解体調査結果に基づく、コークス黒鉛化度測定による推定炉内温度とコークス平均粒度および冷間強度(DI¹⁰⁾の関係¹⁰⁾から、粉化に関する考察を行った結果、次のことがいえる。

常温~1000°Cまでの温度範囲(高炉のシャフト上段から中段に相当)では、粒度、強度ともにほとんど変化しておらず、この領域でのコークス粉化は少ない。

平成8年1月16日受付 平成8年4月12日受理 (Received on Jan. 16, 1996; Accepted on Apr. 12, 1996)

* 新日本製鐵(株)プロセス技術研究所 (Process Technology Research Laboratories, Nippon Steel Corp., 20-1 Shintomi Futtsu 293)

* 2 (株)新日化環境エンジニアリング君津事業所 (Kimitsu Branch, Shin-nikka Environmental Engineering Co. Ltd.)

* 3 新日本製鐵(株)技術開発本部 (Technical Development Bureau, Nippon Steel Corp.)

* 4 新日本製鐵(株)君津製鐵所 (Kimitsu Works, Nippon Steel Corp.)

1000~1400°Cの温度範囲(シャフト中段から融着帯頂部に相当)では、粒度は変化しないが温度上昇とともに強度が低下している。この領域では、塊コークスはコークス組織の選択的ソリューションロス反応により表面からガス化消失して気孔率が高くなり、表面部分が劣化する。しかし、高炉内を降下する際の磨耗力や衝撃力が小さいため粒度は変化しないものと推定され、粉化も少ない。

1400~1600°Cの温度範囲(シャフト下段から羽口直上部に相当)では、温度上昇とともに粒度は急激に低下し粉化が起きているが、強度は逆に若干上昇している。この領域では磨耗力や衝撃力が大きくなるため、表面の劣化部分が粉化する。

同様の結果は、住友金属工業(株)鹿島1高炉におけるコークス熱間強度(Coke Strength after Reaction, CSR)変更試験操作時の炉内採取コークスの解析結果でもみられる¹¹⁾。したがって、コークス粉化位置の1つは1400~1600°Cの温度範囲であると推定される。

2.2 レースウェイ内におけるコークス粉化

名古屋1高炉解体調査の結果得られた、塊コークスと粉コークスの黒鉛化度の高さおよび半径方向の分布¹⁰⁾から粉化に関する考察を行った結果、次のことがいえる。

羽口レベル炉壁部の塊(+10mm)の熱履歴は80Å(1700°C)程度であり、Rammの式¹²⁾によるフレーム温度(吹卸し直前、2250°C)の0.75倍(1690°C)とほぼ同一であり、レースウェイ内に存在したコークスとみなせる。一方羽口レベル炉壁部の粉(-3mm)の熱履歴は80~100Å(1700~1800°C)であり塊よりも高く、この粉はレースウェイ内発生粉とみなせる。すなわちコークスのもう1つの粉化位置は、レースウェイ内であると推定できる。

また、1400~1600°Cの温度範囲に存在する塊コークスが2000°C以上のレースウェイ内に侵入したときに、コークス塊内に生じた熱応力がコークス引張り強度を上まわり、コークス体積破壊の起こる可能性に関して、数学モデル計算による推定熱応力と引張り強度との比較により検討した結果では、体積破壊の可能性は小さい¹³⁾。

さらに、新日本製鐵(株)君津3高炉に設置したレースウェイ観察装置によるレースウェイ内コークス粒度分布、休風時の羽口部採取コークスの粒度分布は、ともに炉頂より装入されたコークス粒度分布とほぼ同一の正規分布を示しており、体積破壊の起こった可能性は少ない¹⁴⁾。

以上より、高炉内におけるコークス粉化位置は、1400~

1600°Cの温度範囲(炉下部滴下帯)およびレースウェイ内と特定できる。

3. 微粉炭多量吹込み操作時のコークス粉化の実態

新日本製鐵(株)君津3高炉の微粉炭吹込み操作において、休風時の羽口部採取コークスのうち、炉芯表層部(羽口先端より2.0~4.5m)コークス中の粉(-3mm)の量と微粉炭比(Pulverized coal rate, PCR)との関係を、コークス冷間強度(DI^{15%})で層別した結果¹⁵⁾によると、微粉炭比の上昇とともに粉の量は増加し、同一微粉炭比で比較するとDI^{15%}の高いほうが粉の量は少ない。

同様の結果は、(株)神戸製鋼所神戸3高炉における羽口レベル採取コークスの解析でもみられる⁵⁾。

この現象を確認するために、既報の高炉炉下部の反応を伴う伝熱を模擬できる実験装置¹⁶⁾を使用し、通常冶金用コークス(Normal coke, NC)を装入して、微粉炭濃度200g/Nm³-blast, 送風温度1250°C, 酸素富化率3%, 空気比0.75の送風条件下で実験を行った。実験装置の炉芯表層部(羽口先端より500mm奥)および朝顔部(羽口中心より400mm上)で、操業中にダストを採取した結果をFig. 1に示す。この図の縦軸はオールコークス操作時のダスト量(g/Nm³)に対する変化量で示してある。

この図から、微粉炭濃度200g/Nm³-blastの操業では炉芯表層部の粉が増加しており、実高炉の解析結果と同様の傾向を示す。なお朝顔部の粉の増加は顕著ではない。

4. 微粉炭多量吹込み操作時のコークス粉化の原因

4.1 微粉炭多量吹込み操作時のカーボンバランス

Table 1に君津3高炉における微粉炭多量吹込み試験操

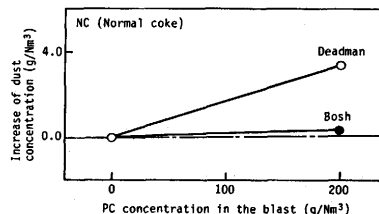


Fig. 1. Relation between PC concentration and dust increase both in the deadman and at the bosh.

Table 1. Carbon balance in the blast furnace.

	Raceway						Dropping zone			Dust loss	Input coke	Input PC
	Coke			PC			Coke	PC				
	C+O ₂ =CO ₂	C+CO ₂ =2CO	C+H ₂ O =CO+H ₂	C+O ₂ =CO ₂	C+H ₂ O =CO+H ₂	Solution loss	Carburization etc.	Solution loss				
PCR=117.6kg/t -pig. μ=1.23	25.6kg/t (7.5%)	117.7 (34.5)	60.6 (17.8)	92.1	0	81.4 (23.8)	51.3 (15.0)	0	4.7 (1.4)	341.3 (100)	92.1	
PCR=203.2kg/t -pig. μ=0.67	0	102.0 (0)	54.4 (20.9)	102.0	23.5	47.8 (18.4)	50.1 (19.3)	40.3	5.6 (2.2)	259.9 (100)	165.8	

μ : Excess O₂ ratio(-)

Table 2. Coke properties²¹⁾

Brand	D ₁₀₀ (%)	CSR(N)	GRI(N)	JIS-Reactivity(N)	MSI(N)	Porosity(N)	Apparent density(kg/m ³)
Coke A	85.3	61.5	26.8	25.3	30.9	48.4	980
Coke C	83.7	52.7	35.1	54.0	25.1	41.4	1120

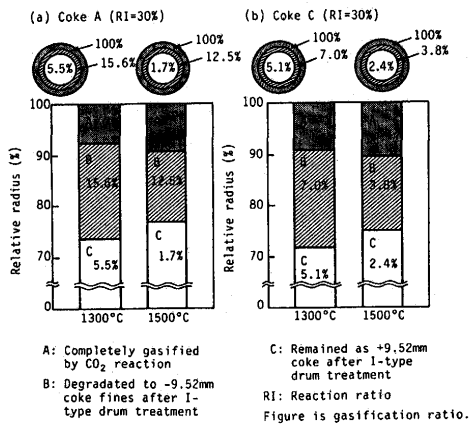


Fig. 2. Difference of reaction state for each coke by use of a reaction model of lump coke with CO₂²¹⁾.

業時(PCR=203.2kg/t-pig)¹⁷⁾のカーボン収支を、通常操業時(PCR=117.6kg/t-pig)と比較して示す。カーボン収支算出に当たって、既報の1次元数学モデル¹⁸⁾計算により微粉炭燃焼効率をPCR=117.6kg/t時は100%、PCR=203.2kg/t時は79%とした。後者において、79%のうち微粉炭中水素、酸素は100%ガス化するとしたので、カーボンのガス化率は76%となる。山縣らの微粉炭200kg/t-pig吹込み時のレースウェイ内ガス組成測定結果¹⁹⁾によると、羽口先端より200mm位置ですでにO₂=0%となっていること、および熱分解で生成したチャーの反応性は高い²⁰⁾ことを考慮して、送風中の酸素は微粉炭中の炭素、水素がCO₂、H₂Oに燃焼するために全量使用され、発生した未燃チャーはレースウェイ外へ放出された後全量ソリューションロス反応で消費されるとした。

この表によると、微粉炭多量吹込み時は通常操業時と比較して、レースウェイ内におけるO₂によるガス化反応がなく、CO₂によるガス化反応量が多く、炉下部におけるソリューションロス反応量の少ないことがわかる。

4.2 コークス塊中の反応形態の推定方法

前述したカーボン収支を使用し、西らが提唱した塊コークスの単粒子反応モデル²¹⁾により、コークス塊中の反応形態の推定を試みた。Table 2 に示すCoke A (通常冶金用コークス)を用いた場合の、ある反応温度での平均反応率30%におけるコークス塊中の反応深さと反応率の関係をFig. 2 (a)に示す。推定に当り次の仮定を設けた。

①レースウェイ侵入前の炉下部平均反応温度を1300°C、レースウェイ内平均反応温度を1500°Cとした(Fig. 3における1400°C以上の傾きはほぼ一定であり、より高温での粉化を同一とみなした)。Fig. 2 (a)に示す平均反応率(30%)におけるA, B, Cの反応深さおよび反応率は、実際の平均反応率に比例して変化する。

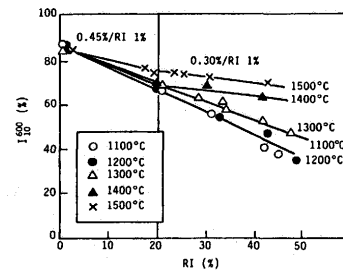


Fig. 3. Relation between reaction ratio (RI) and strength after reaction (I_{600/3})²¹⁾.

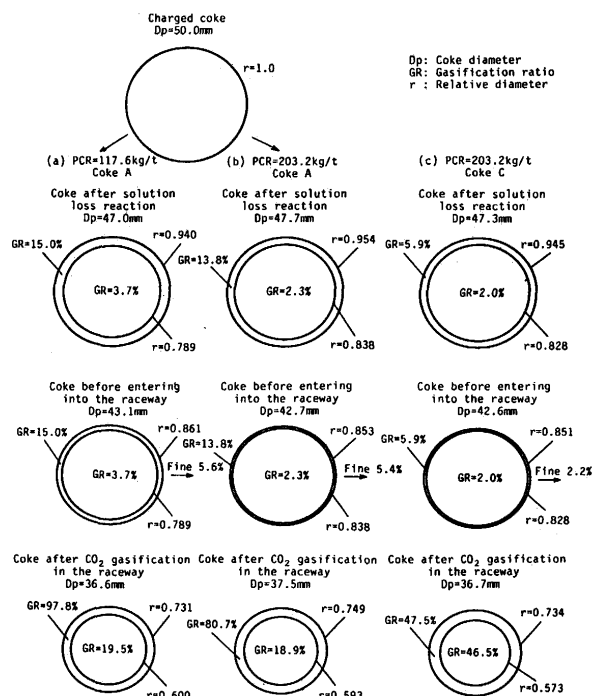


Fig. 4. Estimated results of lump coke reaction by use of a reaction model.

②1300°C反応後の粉化は、前述した粉化位置の1つ(1400~1600°Cの温度範囲)を考慮しFig. 3での1500°C時の直線に従い、反応率の増加とともに増大する。

③侵炭によるコークス消耗、レースウェイ内でのO₂によるガス化は単純に表面から起り、劣化を伴わない。

④レースウェイ内でのH₂O+Cの反応は遅いという数式シミュレーション結果²²⁾を考慮し、レースウェイ内ではO₂、CO₂、H₂Oの順にガス化が起こるとした。

推定方法を以下に示す。

①装入塊コークスを50mm球とし、1300°CでTable 1に示す量だけソリューションロス反応を行わせ、Fig. 2を用いて塊コークスの反応形態を推定する(Fig. 4の2段目に推定結果を示す)。

②Fig. 3を用いて粉化量を求め、その後Table 1に示す量だけ侵炭を行わせ反応形態を推定する(Fig. 4の3段目に推定

結果を示す(レースウェイ侵入前の状態)}。

③レースウェイ侵入後、1500°CでTable 1に示す量だけO₂によるガス化、引き続いてCO₂によるガス化を行わせ、Fig. 2を用いて反応形態を推定する(Fig. 4の4段目に推定結果を示す)。

④H₂Oによるガス化の結果コークスは消滅するので、今回はこの反応による粉化は考慮していない。

4・3 コークス塊中の反応形態の推定結果

Fig. 4 (a), (b)に推定結果を示す。この図に示す反応形態は、外殻部がFig. 2のB領域に相当し、相対粒子径(r)とその領域のガス化率(GR)を示してあり、内部はC領域に相当し、同様にrとGRを示している。Coke A(通常冶金用コークス)を用いた場合の、通常操業時(PCR=117.6kg/t-pig)と微粉炭多量吹込み時(PCR=203.2kg/t-pig)の反応形態を比較すると、次のような差異がみられる。

レースウェイ侵入前のコークス粉化量は両者ともほぼ同じである。レースウェイ内におけるCO₂ガス化反応後のコークス反応形態をみると、外殻部のガス化率が80~98%と非常に高くFig. 3の横軸の範囲を越えており、この部分はすべて粉化すると考えられる。通常操業時は外殻部の反応率はほぼ100%に近く、この部分からの粉発生量が少ない(0.4%)と推定されるのに対して、微粉炭多量吹込み時は外殻部の反応率が80%と低下し、この部分からの粉発生量は多い(4.0%)。内部のガス化率はほぼ同じでこの部分からの粉発生量の差はないと思われる。

レースウェイ侵入前のコークス反応形態をみると、通常操業時はソリューションロス反応量が多いため外殻部の反応深さが深い(内部の粒子径が小さい)が、レースウェイ侵入後この外殻部がO₂によるガス化で消滅するとともに、レースウェイ内におけるCO₂によるガス化反応量の少ないことが上述差異を生み出している。

これに対して、微粉炭多量吹込み時にTable 2に示す高反応性コークス{Coke C、反応深さと平均反応率の関係はFig. 2 (b)}を使用して、同様の推定をした結果をFig. 4 (c)に示す。コークスの反応性を示す指標のうち、CRI(Coke Reaction Index)はコークス塊としてのガス化反応性の指標であり、JIS反応性はミクロ的なコークス気孔壁のガス化反応性の指標である。

Fig. 2 (b)によると、反応性の高い分だけ反応深さは深くなるが反応は表面に集中し、レースウェイ侵入前のコークス粉化量は通常冶金用コークス使用時に比較して少なくなる。レースウェイ内におけるCO₂ガス化反応後の反応形態は、Fig. 2 (b)に示す外殻部と内部の反応率の差が小さいことに起因して、塊内の反応率がほぼ均一となり外殻部の反応率

が低下するため、粉化が通常冶金用コークス使用時より抑制される可能性がある。

ただし本推定においては、Fig. 3に示す通常冶金用コークスにおける反応率と冷間強度(I⁶⁰⁰)の関係を前提としており、コークス反応性が高くなることによる反応後強度低下(すなわち外殻部の強度低下)を考慮していない。この点に関しては今後検討する必要がある。

以上より微粉炭多量吹込み時は、レースウェイ内におけるO₂によるガス化の結果として生ずる劣化部分の消滅がなく、CO₂によるガス化反応量が多いことにより、コークス粉化が増大し、粉化抑制のためには高反応性コークスを使用する策が有効であることが示唆される。この点に関しては清水らも指摘しているが²³⁾、高反応性ととも高強度(DI向上)を条件としている。

4・4 微粉炭多量吹込み操業時のレースウェイ内コークス劣化状況

君津3高炉の微粉炭多量吹込み操業(PCR=203.2kg/t-pig)の休風時に、羽口部より採取した炉芯表層部コークス(羽口先端より1.0~4.0m)中の粉(-3mm)の量は、通常操業時(PCR=117.6kg/t-pig)とほぼ同じであった¹⁷⁾。

炉芯表層部コークスをI型ドラムで回転させ、有馬らが提唱したコークス粉化速度式(dM/dt=-aM、a=a₀+a₁、ただしM:コークス重量、t:I型ドラム回転数、a:表面破壊速度定数²⁴⁾における表面劣化層の破壊速度定数(a₁)として、t=600回転後の値を求め、コークス中心部(未反応核)の気孔率(η)との関係をプロットすると、Fig. 5が得られる。通常操業時の装入コークス(CRI=27.6%、DI⁵⁰=84.9%、η=47.1%)に対して、微粉炭多量吹込み操業時の装入コークス(CRI=27.3%、DI⁵⁰=86.1%、η=50.0%)は、CRIがほぼ同じでDI⁵⁰とηの高いコークスであった。

コークス中心部の気孔率は装入コークス性状が反映されて微粉炭多量吹込み操業時のほうが高いが、η<52%まではηによらず表面粉化の程度は一定で両者の差がない。これはDI⁵⁰を増大させ反応後の外殻部の強度を向上させた効果が

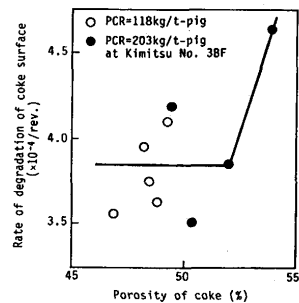


Fig. 5. Relation between coke porosity and coke surface degradation.

Table 3. Coke properties.

Brand	DI ⁵⁰ (%)	I ⁶⁰⁰ (%)	CSR(%)	CRI(%)	JIS-Reactivity(%)	Ash(%)	Porosity(%)	Bulk density(kg/m ³)
Normal coke, NC	85.0	90.1	58.0	25.0	28.8	11.1	49.3	538
Formed coke, FC	84.7	91.4	57.5	35.1	48.2	9.8	39.3	666
Single brand coke, SC	83.7	87.1	35.5	40.5	31.0	11.4	55.8	463

発現した結果と思われる。この図はFig. 4 (a), (b)の推定結果を直接検証していないが、微粉炭多量吹込み時にガス化が進行して気孔率が高くなり52%を越えると、表面粉化が多くなる傾向はみられる。

5. 微粉炭多量吹込み操業時のコークス粉化抑制策

前節での検討から、微粉炭多量吹込み時のコークス粉化抑制のためにコークス反応性向上が有効であると示唆されたので、既報の高炉炉下部の反応を伴う伝熱を模擬できる実験装置¹⁶⁾を使用してその効果の検証を行った。

5・1 実験条件

Table 3 に示す通常冶金用コークス (Normal coke, NC) に対して、反応性を向上させたコークスとして、成型コークス (Formed coke, FC) および弱粘結単味炭配合による試験炉製造コークス (Single brand coke, SC) の2種類を使用した。FCはCRI, JIS反応性が高いが冷間強度 (I^{600}) は高く (気孔率が低く), SCはCRIが高い (気孔率が高い) がJIS反応性は低く I^{600} も低い特徴をもつ。

Table 3 にコークス冷間強度の指標としてDIと I^{600} の2つを示した。DIは実炉のコークス強度の指標 (供試粒度+50 mm) であるが、本実験装置では9~13mmに破碎したコークスを使用するためDIで強度評価ができず、9~13mmを供試粒度とした I^{600} を指標とした。また、CRIとJIS反応性の差をみるためにSCを用いたが、SCのJIS反応性が低いのは単味炭性状で決まるコークス基質の反応性が低いためであり、CRIが高いのは高气孔率のためである。

実験条件として、微粉炭濃度200g/Nm³-blast, 送風温度1250°C, 酸素富化率3%, 空気比0.75を採用した。

5・2 実験結果

稼働中に炉芯表層部、朝顔部より採取したダスト濃度の測定結果をFig. 6 に示す。この図の縦軸はオールコークス操業時のダスト量 (g/Nm³) に対する変化量で示した。CRI向上に伴い炉芯表層部のダスト濃度が減少しており、前節で示唆された現象が検証されている。

コークス反応性の指標であるCRIは、本来基質と気孔の両者の影響を表現しているが、今回もっとも粉化し難かったSCはCRIが高くJIS反応性の低いコークスである。すなわち炉芯表層部のダスト濃度がCRIで整理された事実は、レースウェイ内でのCO₂ガス化による劣化は、コークス気孔壁の反応性 (JIS反応性) ではなく、コークス塊の反応性 (CRI, 気孔) に支配されることを示している。

またコークス冷間強度 (I^{600}) の影響は検出されなかったが、これは本実験装置のレースウェイ深度が実高炉の1/5であり、レースウェイ内衝撃力が小さい (羽口エネルギーで比較すると、本実験装置の場合; 40kg・m/s, 実高炉の場合; 7250kg・m/s) ためと考えられ、実高炉では冷間強度 (DI) の

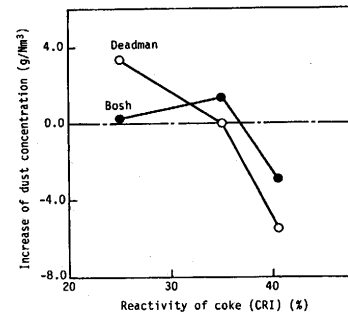


Fig. 6. Relation between reactivity of coke (CRI) and dust increase both in the deadman and at the bosh.

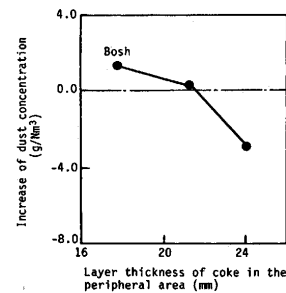


Fig. 7. Relation between layer thickness of coke in the peripheral area and dust increase at the bosh.

影響は無視できないものと思われる。

一方朝顔部のダスト濃度はコークス反応性 (CRI, JIS反応性) に支配されておらず、種々の要因との対応を検討した結果、Fig. 7 に示すように炉腹炉壁部 (炉腹径660mmのうちの100mm) におけるコークス層厚により支配されており、コークス層厚が厚いほど粉の量が少い。本実験における装入方法として (鉬石+コークス) 層厚一定を採用したため、気孔率が高い (嵩密度が低い) SCコークスを使用したときはコークス層厚が増大している。コークス層厚の厚いほうが、コークス単位体積にかかる装入物荷重が小さく (計算結果では、NC使用の場合; 16.5t/m³-coke, SC使用の場合; 14.5t/m³-coke), その結果粉の発生量が少いものと推定した。

なおFig. 4 (b), (c)の微粉炭多量吹込み時におけるレースウェイ内CO₂ガス化反応後のコークスをみると、高反応性コークス (Coke C) のほうが平均粒度は小さい。上述実験終了後冷却解体時におけるレースウェイ奥 (羽口先端より200mm) の採取コークス平均粒度は、NCの場合; 9.72mm, SCの場合; 9.45mmと後者が小さくなっており、Fig. 4の推定結果を検証している。

5・3 炉下部通気性を支配する要因

高炉における炉下部通気性に及ぼす発生粉の影響を検討した。本実験装置における炉下部通気性の指標として、羽口レベルの炉内圧力 (P_1), 羽口上+500mmの炉内圧力 (P_2) およびボッシュガス量 (VB) を用い、 $(P_1^2 - P_2^2) / VB^{1.7}$ で算出した通気抵抗指数を、オールコークス操業時の値で無次元化した値を採用した。

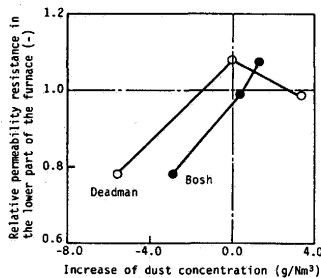


Fig. 8. Relation between dust increase and permeability in the lower part of the furnace both in the deadman and at the bosh.

Fig. 8 に炉芯表層部および朝顔部の発生粉の量と炉下部通気性との関係を示すが、炉下部通気性は朝顔部発生粉の量で支配されていることがわかる。すなわち微粉炭多量吹込み操業時は、コークスにかかる荷重を軽減して劣化を抑制することが重要であり、コークス品質面から気孔率の高いコークスが有効であり、高炉操業面から炉壁部コークス層厚確保が必要である。

また前述粉化機構によればコークス冷間強度確保も重要な要因と考えられるが、本実験では $I^{60\%}$ の影響は検出されていない。これは本実験装置のシャフト高さが 2.0m と低いいため、装入物荷重が小さい(計算結果では、本実験装置の場合; $16.5\text{t}/\text{m}^3\text{-coke}$, 実高炉の場合; $97.2\text{t}/\text{m}^3\text{-coke}$) ことによると推定され、実高炉では冷間強度(DI)を考慮する必要があると思われる。実高炉で微粉炭多量吹込み時にDIを向上させて対処しているのはその証左と考えられる。

また本実験装置と実高炉の操業条件の差も大きい。君津3高炉微粉炭多量吹込み条件(燃料比= $497\text{kg}/\text{t-pig}$, PC= $217\text{g}/\text{Nm}^3$, ソリューションロスカーボン= $88\text{kg}/\text{t-pig}$)に対して、本実験装置の吹込み条件(燃料比= $643\text{kg}/\text{t-pig}$, PC= $200\text{g}/\text{Nm}^3$, ソリューションロスカーボン= $58\text{kg}/\text{t-pig}$)では、ガス化反応量が少ない。有馬らのコークス粉化速度式²⁴⁾におけるコークス中心部(未反応核)の破壊速度定数(a_0)として、 $t=600$ 回転後の残留中心部を再度I型ドラムで回転させ $t=1200$ 回転後の値を求めると、実高炉に比較して本実験装置のコークス劣化は約0.7倍と少ない。すなわち実高炉なみのガス化反応量下での検討が必要である。

6. 結言

微粉炭多量吹込み時に顕在化する羽口部でのコークス粉の量の増加、および炉下部でのコークス粉の量の増加を抑制するために、コークス粉化機構を考察し、モデル実験による検証を行って、次の結論を得た。

(1) 微粉炭多量吹込み時の羽口部におけるコークス粉の量の増加原因は、レースウェイ内における O_2 によるガス化の結果として生ずる劣化部分の消滅がなく、 CO_2 によるガス

化反応量が多いことによる。

(2) このコークス粉化を抑制するために高反応性コークスを使用する策が有効である。またガス化による劣化はコークス気孔壁の反応性(JIS反応性)ではなく、コークス塊の反応性(CRI, 気孔)に支配される。

(3) 微粉炭多量吹込み時の高炉炉下部通気性は朝顔部発生粉の量に支配されており、この領域の発生粉を減少するためには、コークスにかかる荷重を軽減して劣化を抑制する策が有効である。

(4) モデル実験装置は、実高炉に比較してレースウェイ内衝撃力、装入物荷重の影響が小さく、かつソリューションロスカーボン量も少ない。本モデル実験結果を実高炉に適用するためには、コークス冷間強度(DI)の影響、およびコークス反応性が高くなったときの反応後の外殻部の強度低下を考慮した検討が必要である。

文 献

- 1) 柿内一元, 松永伸一, 坂本愛一郎, 松岡裕直, 上野浩光, 山口一良: 材料とプロセス, 7 (1994), 126.
- 2) 厚 雅憲, 中矢 尚, 北野新治, 山形仁朗, 柴田耕一郎, 後藤哲也, 小野玲児, 矢場田武: 材料とプロセス, 8 (1995), 321.
- 3) 森 侯寿, 高垣法義, 井上英明, 光藤浩之, 岸本純幸, 酒井 敦: 材料とプロセス, 8 (1995), 319.
- 4) R.Maldonado, R.C.Mills, B.K.Hartley and N.J.Busby: Proc. 1st Int. Cong. on Science and Technology of Ironmaking, Sendai, ISIJ, (1994), 535.
- 5) T.Kamijo, N.Takahashi, M.Shimizu, Y.Yoshida and R.Ito: Proc. 1st Int. Cong. on Science and Technology of Ironmaking, Sendai, ISIJ, (1994), 505.
- 6) 奥田哲央, 中矢 尚, 小野玲児, 山形仁朗, 後藤哲也, 伊藤良二, 水口征之: 材料とプロセス, 6 (1993), 111.
- 7) K.H.Peters, H.Mohnkern and H.B.Lungen: Proc. 1st Int. Cong. on Science and Technology of Ironmaking, Sendai, ISIJ, (1994), 493.
- 8) 笠井昭人, 岩切治久, 厚 雅憲: 材料とプロセス, 7 (1994), 962.
- 9) 野沢健太郎, 宮川一也, 小野玲児, 上條綱雄, 清水正賢: 材料とプロセス, 7 (1994), 961.
- 10) 原口 博, 西 徹, 美浦義明, 牛窪美義, 野田多美夫: 鉄と鋼, 70 (1984), 2216.
- 11) 清水英男, 佐藤憲一, 小島正光, 網永洋一, 中村文夫, 岩永祐治: 鉄と鋼, 72 (1986), 195.
- 12) A.N.Ramm: Contemporary Problems of Metallurgy, ed. by Samarin, Consultants Bureau, (1960), 51.
- 13) K.Yamaguchi, M.Nakagome, M.Sugata, H.Nishikawa and Y. Abe: Trans. ISIJ, 25 (1985), 371.
- 14) M.Kase, M.Sugata, K.Yamaguchi and M.Nakagome: Trans. ISIJ, 22 (1982), 811.
- 15) 山口一良, 杉山 喬, 山本哲也, 上野浩光, 松永伸一: 材料とプロセス, 8 (1995), 2.
- 16) 山口一良, 上野浩光, 内藤誠章, 田村健二: 鉄と鋼, 77 (1991), 1609.
- 17) K.Yamaguchi, H.Ueno, S.Matsunaga, K.Kakiuchi and S. Amano: ISIJ Int., 35 (1995), 148.
- 18) 田村健二, 上野浩光, 山口一良, 須賀田正泰, 天野 繁, 山口一成: 鉄と鋼, 77 (1991), 775.
- 19) 山縣千里, 須山真一, 堀坂 修, 梶原義雅, 小松周作, 紫富田 浩, 網永洋一: 材料とプロセス, 4 (1991), 84.
- 20) 岩永祐治: 鉄と鋼, 77 (1991), 71.
- 21) 西 徹, 原口 博, 奥原捷晃: 鉄と鋼, 73 (1987), 1869.
- 22) 杉山 喬: 材料とプロセス, 3 (1990), 1043.
- 23) 清水正賢, 伊藤良二, 星野剛一: 材料とプロセス, 8 (1995), 6.
- 24) 有馬 孝, 西 徹, 奥原捷晃: 鉄と鋼, 78 (1992), 1101.