

討 3

炉内サンプリングによる炉芯コークス挙動の解明

(株)神戸製鋼所 鉄鋼技術センター ○上條綱雄 岩切治久

神戸製鉄所 木口淳平 加古川製鉄所 野間文雄

生産技術部 田中英年 技術情報企画 北村雅司

1. 緒 言

適確な炉況制御のためには、高炉下部での気体、液体、固体相互の関係や炉上部との関連性を明確にすることが極めて重要であり、近年、各種センサーを用いた高炉下部領域の調査が行なわれている。^{2), 3)}

当社においても休風時に羽口部より炉内サンプリングを行ない、高炉下部現象に及ぼす炉芯コークス粉の影響を調査した。⁴⁾

ここでは、炉下部でのコークス粉の発生・蓄積機構と炉況に及ぼす影響ならびにガスとスラグ、メタルの流れに及ぼす影響について検討した。

2. 炉況に及ぼすコークス粉蓄積の影響

2.1 炉内粉率分布

神戸No.3高炉において、羽口部より炉の中心部まで押入できるポケット式の炉芯ゾンデ（内径200mm）を用い、予定休風時に高炉内容物を採取した。Fig. 1に-3mmコークス粉率の半径方向の分布を示す。-3mmコークス粉率はレースウェイ奥2～3mの領域で調査期間中5～30%の間で変化している。この領域は炉内の中間部に相当しており、同時に、-3mmのスラグ、メタル量およびコークスの結晶子測定より求めた推定温度も大きく変化する遷移領域である。なお本稿では炉内中間部および中心部を合わせた領域を炉芯部とする。

2.2 粉の蓄積状況と炉況

炉内中間部のコークス粉率が低下すると、通気抵抗指数が低下し（Fig. 2）、鉄中Siの変動係数が小さくなり（Fig. 3）炉況が安定化に向う。なお、調査期間中の羽口前風速と装入コークスの性状はほぼ一定であった。

高炉2次元ガス流れモデルを用いて、炉内のガス流れと温度

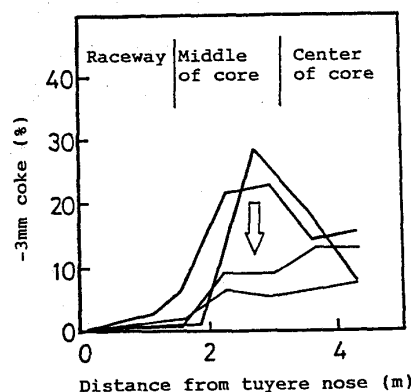


Fig. 1 Radial distribution of amount of fine coke at tuyere level.

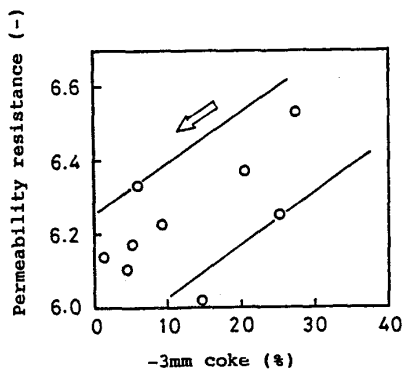


Fig. 2 Relation between amount of fine coke at middle of core and permeability resistance.

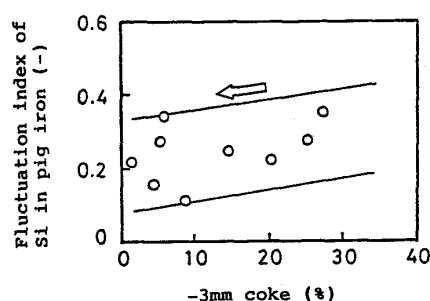


Fig. 3 Relation between amount of fine coke at middle of core and fluctuation index of Si in pig iron.

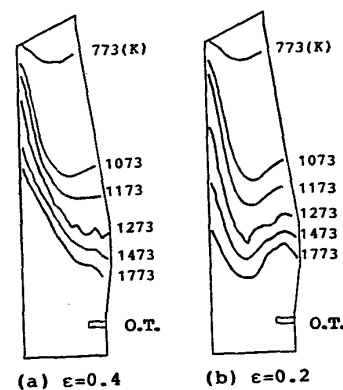


Fig. 4 Effect of void fraction (ϵ) of dead man on isotherms of gas.

分布に及ぼす炉芯部の空隙率の影響を調べた。コークス粉を考慮しない時の空隙率 0.4 から、コークス粉率 40% 時の空隙率 0.2 (粉がコークス塊の空隙を埋める固まりであると仮定) に低下させると、炉芯部へのガス流れが減少して周辺流化し、融着帯外部形状と推定される 1473K の等温線は逆 V 型から W 型へ変化する (Fig. 4)。一方、高炉熱間模型実験および操業解析結果において、融着帯形状が著しく W 型化した場合は、荷下りが不安定になって風圧変動や銑中 Si の変動が大きくなることが判明している。これらの結果から、炉況悪化の要因として炉芯部充填層内の粉の蓄積状況が重要であることが明らかになった。

3. コークス粉の蓄積および発生機構

3.1 炉芯部へのコークス粉の蓄積

炉芯部へのコークス粉の蓄積を(1)同一サンプリング位置におけるコークスの塊と粉の履歴温度の差と(2)未燃微粉炭の有無とから推定した。Fig. 5 にコークスの塊と粉の履歴温度の関係を示す。レースウェイ部と炉内中心部では塊と粉の温度は同程度で、ほぼ同じ履歴を経てきたと見なすことができる。しかし、コークス粉量の変動が大きい中間部では塊と粉の温度差が大きく、両者の履歴が必ずしも同一でないことが伺える。そこで炉芯内へのレースウェイ粉の飛散について検討した。レースウェイ部から採取したコークス粉を実炉装入前のコークス粉と混合して見掛上の履歴温度を測定すると、レースウェイから採取したコークス粉が少量存在するだけで履歴温度は著しく上昇する (Fig. 6)。Fig. 5 で中間部の粉の履歴温度が塊より約 100K 高い場合 (約 1950K) には、

Fig. 6 よりレースウェイ粉の割合は 25% 程度である。

また、微粉炭の多量吹込みにより発生すると考えられる未燃の微粉炭の蓄積状況を微粉の顕微鏡観察によって調査した結果、バルーン状の微粉炭 (チャー) は炉芯表層部にのみわずかに認められた (Photo. 1)。

以上の結果から、炉芯部のコークス粉は滴下帯もしくはその上部で発生し降下してきたものが大半であると推察される。

3.2 コークス粉の発生機構

サンプリングしたコークス塊内部の半径方向における反応量の分布を Fig. 7 に示す。コークス塊の表面では 30~40% 程度反応した組織が残存している。これは、40% 以上反応した部分が塊表面から剝離したことを示唆している。無次元半径 0.8 以内の領域ではほとんど反応していないことから、高炉内でのコークスの反応は表面反応、すなわち拡散律速段

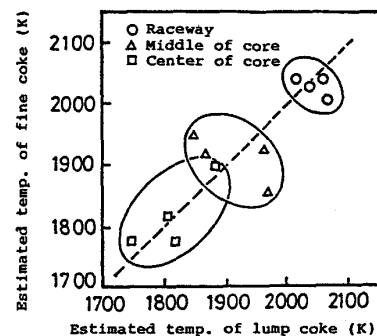


Fig. 5 Relation between estimated temperature of lump coke and fine coke.

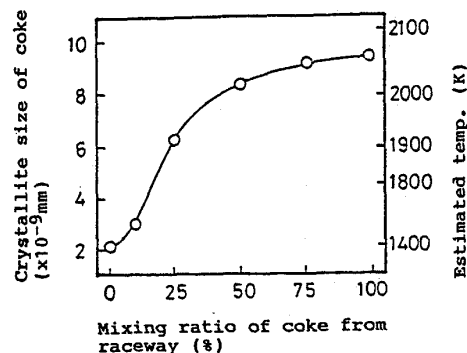


Fig. 6 Effect of mixing of coke from raceway on apparent change of crystallite size of coke.



Photo. 1 Micrograph of unburned pulverized coal (char).

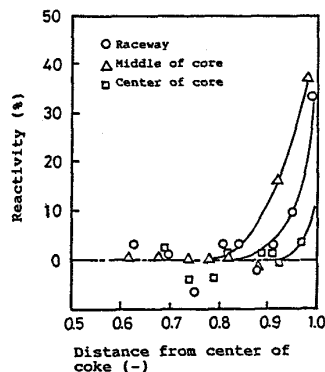


Fig. 7 Radial distribution of reactivity in lump coke from tuyere level.

階の温度域に相当する融着帯近傍でのソリュージョンロス反応が支配的であると考えられる。

高炉モデルより求めた高炉内のソリュージョンロス量分布に基づいて、高さ方向のコークス粒径変化を推算した⁶⁾(Fig. 8)。ソリュージョンロス反応を受けたコークスが粒内の限界強度まで破壊すると仮定すれば、コークス粒径は羽口レベルまでに約10mm低下し、炉内サンプルの平均粒度にほぼ一致する。

炉芯部の温度域ではコークス中灰分の還元揮発に伴うコークス塊の強度低下はあまり顕著でなく、それによる粉発生の可能性は少ない。

したがって、コークス粉の発生機構は、ソリュージョンロス反応によりコークス塊表面近傍に形成される劣化層の摩耗破壊によるものと考えられる。

4. 炉芯部でのスラグ、メタルの挙動

4.1 ホールドアップ

炉内サンプル中のスラグ、メタル量とコークス粒径との関係をFig. 9に示す。図中には福武の式より求めた静的ホールドアップ量をスラグ、メタル重量に換算した結果を示す。実測値がホールドアップ量を示していると想定すると、平均粒径の小さい所では計算値と比較して高い値を示す。コークス粒径の低下がコークス粉率の増大に原因していることを考慮すると、実測値はコークス粉率の増大に伴う空隙率の低下によってホールドアップが助長されたことを示していると思われる。

Fig. 10にスラグ組成およびコークスの履歴温度から求めたスラグの粘度分布を示す。通常のスラグは炉芯部で0.6～0.8 Pa・sの値を示し、流動性の悪いことが伺える。しかしMgO量の高い場合、粘度は大幅に低下しており、流動性が向上していることが判る。

炉芯部の通液性を改善するには、コークス粉の蓄積を抑制するとともに、スラグの組成を調整することが有効な手段と言える。

4.2 スラグ、メタルの流下領域

Fig. 11よりレースウェイ内と炉芯表層部ではスラグやメタルが付着したコークスが多く、しかも-3mmのスラグやメタル粒の量が少ない。この結果より、レースウェイ外周部を多量のスラグ、メタルが落下していたとみなせる。

また、半径方向におけるスラグの塩基度と組成の分布をFig. 12に示す。レースウェイ奥1.5～2.0mの領域では SiO_2

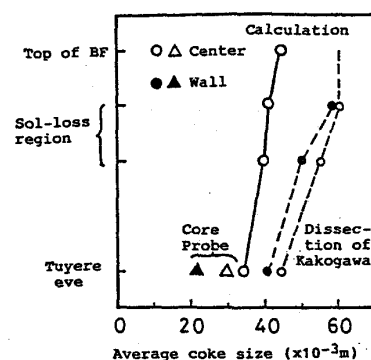


Fig. 8 Radial distribution of reactivity in lump coke from tuyere level.

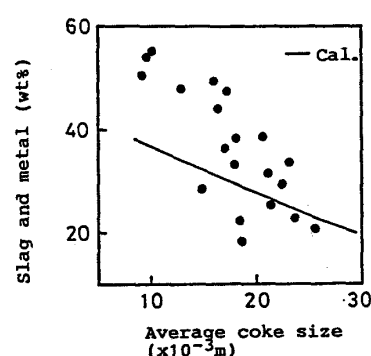


Fig. 9 Relation between average coke size, and amount of slag and metal.

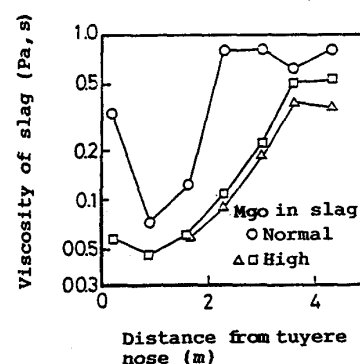


Fig. 10 Radial distribution of viscosity of slag.

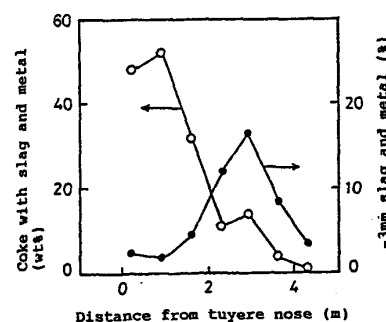


Fig. 11 Radial distribution of coke with slag and metal, and of amount of fine slag and metal.

が低くなっていることからSiOの発生場所と考えられる。これは、この領域が高温で低酸素分圧下であり、しかもスラグとコークスの接触頻度が高いことによるものと推定される。

銑中 Si の変動は融着帯の位置だけでなく、炉芯の充填構造に起因したスラグ、メタルの流下領域とSiOの発生場所にも関係していると考えられる。

5. 炉芯コークスの挙動と制御

以上のように炉況が炉芯部の充填構造、特にコークス粉の蓄積状況に強く影響されることから、炉芯へのコークス供給経路や炉芯の更新日数を明らかにする必要がある。

炉芯部に流入するコークスは模型実験で得られた固体の流線から、高炉中心近傍に装入されたコークスが主体であると推定される。すなわち、炉芯部へのコークス粉の流入を抑制するには装入物分布制御によって中心領域でのソリュージョンロス反応を低減させることが必要であると考えられる。

炉芯の更新日数を推定するためにマーカーコークスを装入し、炉芯ゾンデによるサンプリングを実施した。Table 1 にマーカーコークスの装入期間とサンプリング結果を示す。マーカーコークスはおよそ4～6日間で羽口レベルの炉芯に到達している。炉芯の降下速度が高さ方向ではほぼ一定と仮定すれば、炉芯が完全に更新されるには8～12日間を要する。

6. 結 言

コークス粉の発生は、ソリュージョンロス反応によるコークス塊の劣化に起因し、特に炉中心領域での発生粉が炉芯内部に蓄積されることを明らかにした。また、炉芯部でのコークス粉の蓄積が高炉の通気性やスラグ、メタルの流れ、融着帯形状等に大きく影響することを示した。これらの結果より、コークスの品質管理や装入物分布制御によってコークス粉の炉芯への蓄積を抑制することが、円滑な操業を維持する上で特に重要と言える。

今後は送風条件等の影響も考慮しながら、さらに炉芯の挙動を含めた炉下部現象の解明を進める。

(参考文献)

- (1) 笹原ら：鉄と鋼，72(1986)，A5
- (2) 和栗ら：鉄と鋼，71(1985)，S62
- (3) 武田ら：鉄と鋼，72(1986)，S40
- (4) 北村ら：鉄と鋼，72(1986)，S45
- (5) 大塚ら：鉄と鋼，71(1985)，S886
- (6) 上條ら：鉄と鋼，72(1986)，S44
- (7) 成田ら：鉄と鋼，66(1980)，S635
- (8) 福武ら：鉄と鋼，66(1980)，P1947
- (9) 須賀田ら：学振54委提出資料，54委-1753

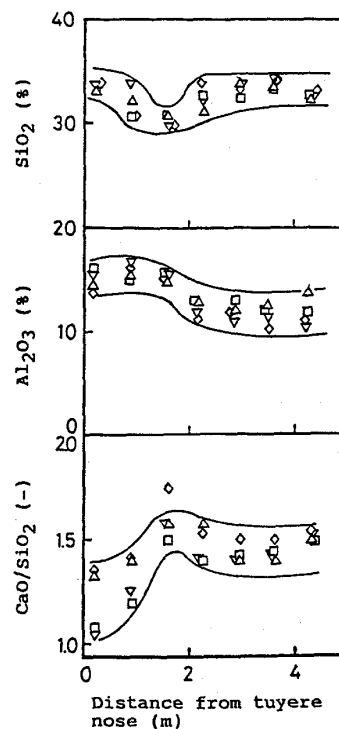


Fig.12 Radial distribution of slag composition at tuyere level.

Table 1 Charging and sampling results of marker coke added with PC.

Charging periods of marker before sampling date. (day)	Existing ratio of marker in each part of core probe. (%)		
	Raceway	Middle	Center
0	94	93	90
10	0	0	13
20	95	100	95