

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㈱ 福山製鉄所 中島龍一 炭竈隆志 脇元一政 ○桜井雅昭
京浜製鉄所 鴨志田友男 脇田 茂

1. 緒 言

高炉炉下部における反応挙動を解明するには、その領域における気・固・液の温度、組成、酸素分圧あるいは物質移動等を明らかにすることが重要である。そのため、最近、稼動中高炉のレースウェイ、炉芯用計測設備の開発が積極的に行われている。当社においても、^{1)~5)}〔Si〕移行反応やコークスの劣化挙動を調査するため、炉下部計測装置の開発、設置を進めてきた。本報では、これらの測定結果から得られた知見を報告する。

2. 計測設備概要

当社における炉下部計測設備の概要を Table 1 に示す。シャフト下部サンプラー、羽口ゾンデ、は操業中に測定可能であり、羽口・炉芯サンプラーは休風中に炉内容物を採取するものである。これらのゾンデの一例として、羽口ゾンデ設備概要を Fig. 1, Table 2 に示す。

レースウェイ温度計測は、ファイバー集光により二色高温計で行い、ガス分析はヘンペル分析によった。 N_2 で急冷した炉内容物の組成の定量にあたっては、メタル、スラグとして明瞭に区別できるものについてのみ分析試料とし、前者については表面酸化皮膜を除去した後に分析に供した。

3. 測定結果と考察

3.1 羽口レースウェイ状況

3.1.1 羽口先コークス温度とレースウェイ温度

羽口先でのコークス温度は、 SiO ガスの発生量と密接な関係があると考えられているため、操業要因との関係を明らかにする必要がある。Fig. 2は、休風時に羽口先より採取したコークスの履歴温度(Lc法)とRammの式による羽口前理論燃焼温度(TFT)を比較したものである。図より、コークス温度(T_c)は、TFTの0.75倍に近い値を示しているものの、その変動は非常に大きい。これは実際の T_c はTFTにより一義的に定まらず、その他の操業要因にも大きく影響を受けることを示唆している。

そこで、羽口先コークスの温度に与える操業要因の効果を確認するため、福山5高炉、扇島2高炉において稼動中のレースウェイ温度測定を実施した。操作因子は、1) TFT 2) 平均O/C 3) 装入物分布 とした。測定結果をFig. 3に示す。

Case 1は、送風量、酸素富化率を一定とし、送風温度、送風湿分によりTFTを変更した例であり、TFTの上昇によりレースウェイ温度は高くなる傾向を示している。

Table 1 Outline of equipments

Equipments	Stroke	Measurements	B.F	Remarks
Shaft lower sampler	5m from shell	Gas, Ore, Coke	F-5, O-2	Under Operation
Tuyere probe	2.5m from tuyere	Gas, Slag, Metal Observation	F-2.5 O-2	Under Operation
Dead man sampler	5.95m from tuyere	Coke, Slag, Metal	F-2	During S.D.

Table 2 Specifications of raceway probe

Drive	Electric
Probe	48.6φ, Water-cooled
Measuring item	Depth (load cell) Temp. (optical fiber) pyrometer Gas sampling
— range	2.5m from tuyere tip

Fig. 1 Schematic drawing of Tuyere probe

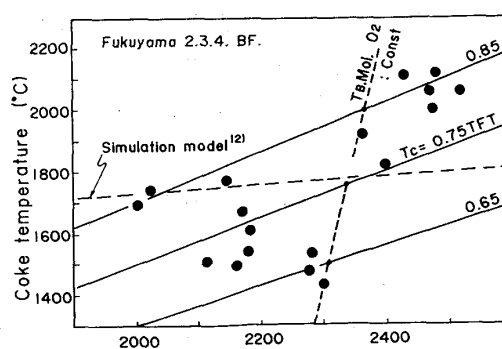


Fig. 2 Relation between theoretical flame temperature (TFT) and coke temperature (T_c) by Lc method

一方、Case 2は、O/C上昇による効果を示した例である。また、Case 3は、ムーバブルアーマーの変更により周辺部のO/Cを上げた場合である。これらの測定結果から、レースウェイ温度はTFTの他にO/Cあるいはその分布の影響を受けることが明らかとなった。従って、羽口先でのSiOガスの発生も、TFTのみならずO/C分布などによって影響を受けるものと推察される。

なお、Fig. 4は、レースウェイ内ガス組成分布、計算ガス温度および测温結果を示す。この結果とFig. 2.3を考慮すると羽口ゾンデによる测温値はコークス温度と推定されるが、今後さ

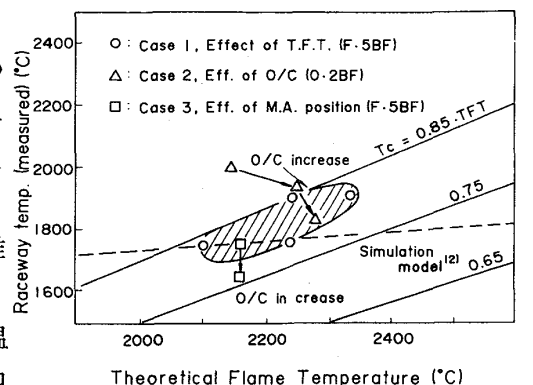


Fig.3 Relation between T.F.T. and Raceway temperature measured by tuyere probe

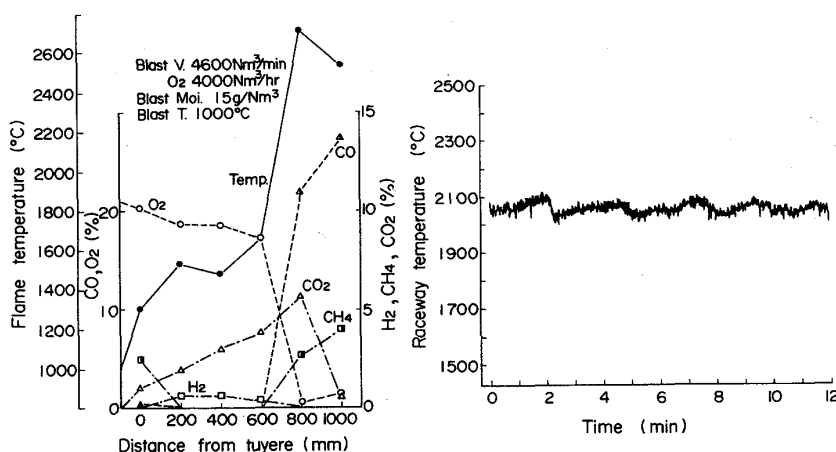


Fig4 Distribution of gas composition and temperature measured by tuyere probe

Table.3 Composition of metal and slag at raceway

		Average	Min	Max	Tap Value
Metal	Si (%)	0.23	0.12	0.40	0.28
	C (%)	0.57	0.07	1.11	4.56
	Mn (%)	0.01	0.01	0.02	0.18
	S (%)	0.064	0.036	0.08	0.027
Slag	FeO (%)	24.4	12.2	31.1	0.34
	MnO (%)	0.40	0.24	0.77	0.33
	CaO/SiO₂ (%)	0.93	1.22	0.69	1.27
	Al₂O₃/SiO₂ (%)	0.58	0.43	0.64	0.39

(n=8, F-2-5BF)

3.1.2 レースウェイ滴下スラグ、メタル組成

高炉内での(Si)移行を考える上で、稼動中高炉の滴下メタル、スラグ組成を明らかにすることは重要である。Table 3に羽口先端200 mmで採取した溶融物の組成と測定期間の平均出鉄成分を示す。採取試料はほとんどメタルとスラグの混合物であったため、試料粉碎後目視にてメタルを摘出後残留物を磁選し、メタル、スラグ、磁着物として分析に供した。メタルの(Si)濃度は、出鉄値に近いが、(C)濃度は従来の報告⁵⁾と異なり、出鉄値に比べかなり低い。スラグの(FeO)濃度は、12%~31%と変動が大きく、またCaO/SiO₂は平均値で0.93であり出鉄値より低い。これらの値が滴下時の組成か羽口前の酸化性雰囲気下で得られた値であるか今後の検討課題であるが、少なくともレースウェイ内ではSiOガスの発生は非常に少なく、レースウェイ外周部あるいはより炉内側であると思われる。いずれにしてもレースウェイ内のスラグ、メタルの挙動は炉全体から見れば特異であると思われるため、今後、レースウェイ外周部~炉芯でのサンプリングを行う必要がある。

3.2 休風時における炉芯測定結果

3.2.1 羽口レベル径方向のコークス温度、灰分、スラグ、メタル組成の分布

Fig. 5に羽口・炉芯サンプラーより採取されたコークス温度、Al₂O₃収支より求めた灰分中SiO₂減少率、および(Si)の分布を示す。Table 4に、Case A, Bの採取休風日前5日間の平均諸元を示す。

コークス温度の分布は、Case Bに比べCase Aの方が中心部および周辺部で高くなっている。これは、Case Aの方がCS温度、炉下部熱損失が大きいことから明らかなように、ガス流れが周辺流化してい

たことが一因と思われる。すなわち、レースウェイへのコークス供給量に対し周辺部ガス量が多いことにより T_c が上昇したと考えられる。また炉下部熱レベルも Case A の方が高かったことにもよると思われる。

SiO_2 減少率は、A・B共に中間部で低いが中心部およびレースウェイ側で高くなる傾向を示し、 T_c 、 $[Si]$ の分布と傾向は一致している。ここで、休風中の $[Si]$ 濃度は出銑 $[Si]$ に比べ著しく高いが、この理由は休風に入る過程で滴下メタルの滞留時間が長くなったためと考えられる⁷⁾。いずれにしても、 SiO ガスの発生は中心部においても活発であり、その発生はコークス温度に依存していると推察される。

Fig. 6 は、Case A のコークス灰分およびスラグ組成を $CaO-SiO_2-Al_2O_3$ 三元系状態図に示したものである。炉芯コークス (O) の灰分組成は、初期の組成に比べ CaO が多く、融点が低下している。さらに、 T_c が高い中心部、周辺部ほど CaO の同化が進んでいる。従

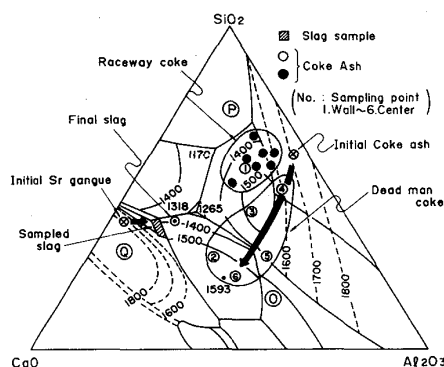


Fig. 6 Chemical composition of slag and Coke ash

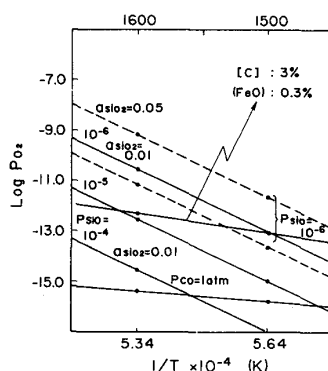


Fig. 7 Equilibrium P_{O_2} lines of SiO reactions

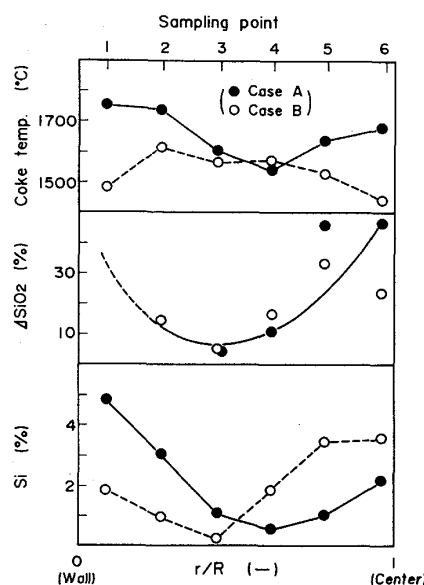


Fig. 5 Distribution of T_c , ΔSiO_2 , $[Si]$

って、炉下部高温帯でのコークス灰分からの SiO ガス発生は、コークス温度の上昇と CaO の付着、吸収による灰分融点の低下により促進されると考えられる。また、羽口先コークス (P) は、炉芯コークスに比べ Al_2O_3 濃度が低いことから Al_2O_3 の気化反応も生じていることが示唆される⁸⁾。滴下スラグ (Q) は、焼結鉱の脈石成分から最終スラグ組成への移行過程にあり低融点スラグとなっている。このスラグのシリカ活量 (a_{SiO_2}) は 0.05 以下であり、Fig. 7 に示すように、1600℃以下ではこのスラグと平衡する P_{SiO} は $10^{-5} \sim 10^{-6}$ atm であり、実炉内の P_{SiO} が $10^{-2} \sim 10^{-3}$ atm とすれば SiO ガスの吸収体と成り得る⁹⁾。一方、コークスとの接触によりスラグーコークス界面が 1600℃以上の高温になれば SiO ガスの発生体にも成り得ることが考えられる。Fig. 8 は、これらのことを模式的に示したものである。

3.2.2 コークス性状と炉内状況

Fig. 9 にコークス調和平均径と粉率 ($-5\mu m$) の分布を示す。Case A は、Case B に比べ羽口先と中心部で粒度が大きく粉率が低い。また、レースウェイ内での粉率は、A・B共に炉芯部より低い。さらにレースウェイと炉芯の中間領域も従来の報告と異なりコークス粉の堆積はみられない。

Fig. 10 はコークス黒鉛化度 (L_c) とコークス性状の

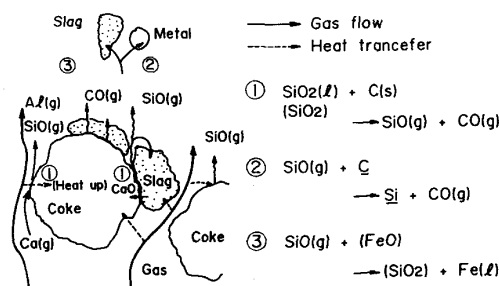


Fig. 8 Concept of SiO gas reactions.

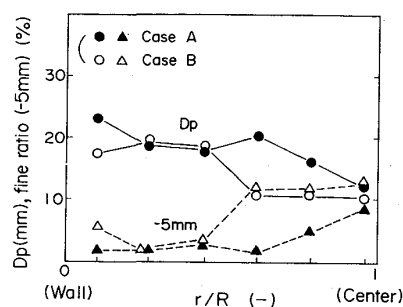


Fig. 9 Distribution of mean diameter and fine ratio (-5mm)

関係を示したものである。 Al_2O_3 収支より求めたコークスガス化率は T_c によらずほぼ一定であることがわかる。しかし、コークスの基質強度を表す MSI_{65} は、 T_c の上昇にともない低下している。このことから、コークスの高温における強度低下は熱的劣化が主な要因になっていることが示唆される。また、粉率は L_c と明瞭な相関が見られず、強度劣化に依存していないことからコークス粉は他の場所から移動してきたと思われる。

Fig. 11にコークス灰分中のアルカリ濃度と L_c の関係を示す。これから、アルカリは相対的にコークス温度の低い所に蓄積されることがわかる。

Fig. 12は、以上の測定結果に基づき炉下部の状況を推定し、模式的に示したものである。

4. 結 言

高炉炉下部の現象を解明するため、検出端の開発、測定を行いいくつかの知見を得た。今後、さらに種々の操業形態でデータを蓄積し、炉下部の現象を明らかにして行く予定である。

文 献

- 1) 和栗, 芦村ら ; 鉄と鋼 72 (1986) A9
- 2) 栗田, 岩永ら ; 鉄と鋼 72 (1986) A13
- 3) 武田, 田口ら ; 鉄と鋼 72 (1986) A17
- 4) 稲葉, 上場ら ; 学振 54 委-1793 (1986)
- 5) 須賀田, 九島ら ; 学振 54 委-1756 (1985)
- 6) 加藤, 脇田ら ; 鉄と鋼 72 (1986) S-872
- 7) 中西, 田口ら ; 学振 54 委-1758 (1985)
- 8) 斉藤, 光藤ら ; 学振 54 委-1749 (1985)
- 9) 徳田, 大谷ら ; 学振 54 委-1753 (1985)
- 10) 石川, 矢動丸ら ; 鉄と鋼 65 (1979) S-529
- 11) 奥山, 岸本ら ; 鉄と鋼 69 (1983) A161
- 12) 山本, 脇元ら ; 学振 54 委-1759 (1985)

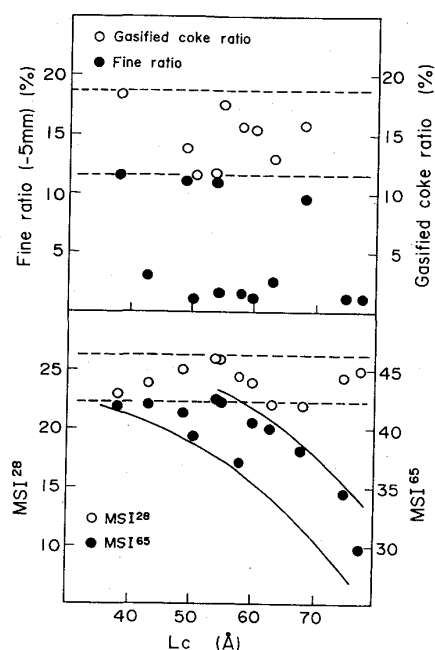


Fig. 10 Relation between L_c and properties of coke

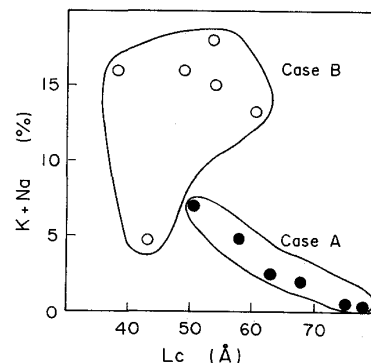


Fig. 11 Relation between L_c and alkali content in ash of coke

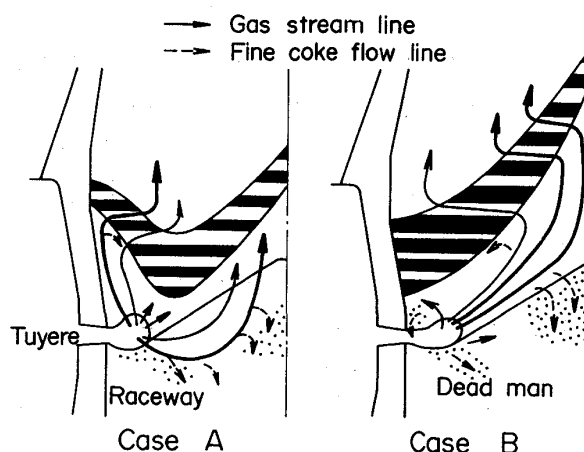


Fig. 12 Concept of lower part of the blast furnace