

討 5 高炉レースウェイ近傍での溶銑，スラグの反応，滴下挙動

川崎製鉄㈱ 鉄鋼研究所 武田幹治 田口整司 工博 福武 剛
千葉製鉄所 加藤治雄 池田義俊

1. 緒 言

高炉下部滴下帯内および燃焼帯での溶銑，スラグ，コークスの挙動は出銑される溶銑の温度，成分に対して直接影響を及ぼす。この領域の現象を明確に把握することは，低[Si]操業のみならず，微粉炭，酸化鉄等の粉体吹込みの操業技術を確立するため重要なことである。レースウェイ内でのコークスの運動，反応や微粉炭の燃焼状態については，既にレースウェイゾンデによる測定結果が報告されている。^{1),2)}しかし，炉芯部等のレースウェイ周辺部については，休風時のコークスサンプラーによる測定は行なわれているが，稼動中では和栗ら³⁾の「コアゾンデ」による測定例だけである。

当社では稼動中のレースウェイ内およびその周辺領域でのガス，スラグ，メタルの挙動およびコークス層の状態を明らかにするため，「小型燃焼炉」実験，休風中のコークスサンプラーによる測定，新たに開発した「斜行羽口ゾンデ」による測定を実施している。本報では，「斜行羽口ゾンデ」による炉内測定結果および，「小型燃焼炉」実験による[Si]の変化とレースウェイ部での反応について報告する。

2 「斜行羽口ゾンデ」

2.1 設備 レースウェイ部を測定する検出端としては，いわゆるレースウェイゾンデや，炉芯部までの測定が可能なコアゾンデが報告されている。従来のゾンデはいずれも送風の通路であるブローパイプ，羽口を通して炉内に水冷ゾンデを挿入している。このため，測定時に送風量，送風温度が低下し，レースウェイ内の温度，ガス流れ，反応が測定により乱されるという問題があった。当社では，粉体吹込み時のレースウェイ部の測定を行うため，レースウェイ間の滴下帯領域，炉芯部も測定可能なゾンデを開発した。

Table. 1 Main specification of sideways tuyere sonde.

Item	Specification
Equipment	Stroke : 3m from tuyere
	Drive : Chain drive max. thrust 13t
	Probe : Water cooled
Measurements	Gas, dust and melts sampling
	Temperature measurement with optical fiber
	Observation with image fiber

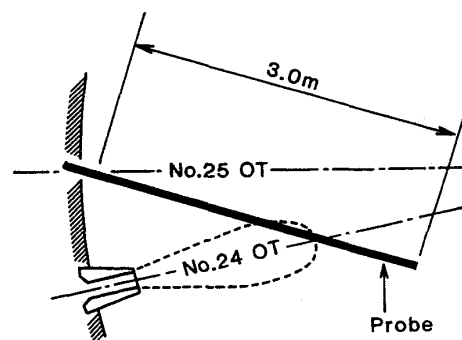


Fig. 1 Location of sideways tuyere sonde.

本ゾンデは，千葉5高炉25番羽口に水平に取付けられ，炉中心軸方向から24番羽口側に偏寄せ，24番羽口のレースウェイ，およびその周辺の測定が可能である。水冷式のゾンデを用いて，炉内のガス，ダスト，溶融物の採取，光ファイバーを用いた温度測定，イメージファイバーを用いた炉内観察が可能な多機能ゾンデである。また，本ゾンデは，レースウェイ間の測定も可能であり，従来のゾンデと異なりレースウェイ側面の測定が可能であるという特徴をもっている。

2.2 測定結果 ゾンデを炉内に挿入する際の推力は、主としてゾンデ先端で装入物を押しのける力であり、炉内の装入物の充填状態に対応している。

Fig. 2に炉内挿入位置と推力との関係を示す。炉壁部からレースウェイに接近するにつれ推力が低下し、レースウェイ内で最小値を示す。その後、推力が急上昇し、高推力でほぼ一定値となっている。推力から判断すると、炉芯とレースウェイの境界は2~2.25mの位置にあるものと考えられる。また、この測定例では、レースウェイ間の領域が炉芯に比較してルーズな充填状態にあることがわかる。同時期のガスサンプリングの例をFig. 3に示す。レースウェイに近づくにつれ、H₂濃度が低下し、CO₂濃度が増加している。また、炉芯部と、レースウェイ間は、ほぼ同一のガス組成であり、反応がレースウェイを中心に同心円状に起こっていることを示している。ガス中のN₂濃度を計算ボッシュガス組成と比較すると、レースウェイ内では実測N₂が高く、他の領域では低くなっている。このことは、レースウェイ内では、気相中の酸素が他の相へ、他の領域ではその逆方向の反応が起こっていることを示している。

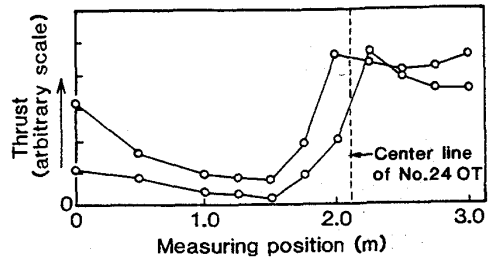


Fig. 2 Thrust changes measured with sideways tuyere sonde.

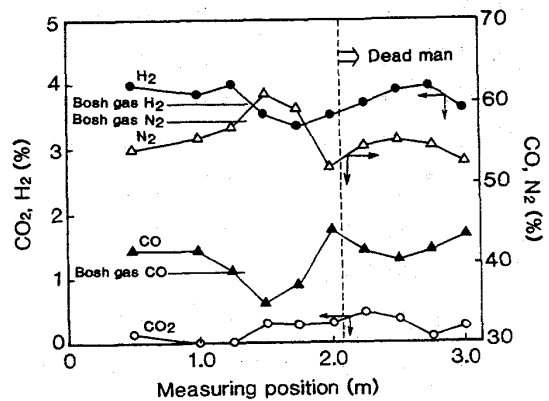


Fig. 3 Gas composition distribution.

Fig. 4には炉内温度分布の測定例、および同時に測定したガス中のCO₂濃度を示す。測定位置1.5mで理論燃焼温度に近い2100~2200°Cに達している。また、温度の分布とCO₂の分布は良く一致しており、測温値の最大位置で最もレースウェイ内部に入っていることがわかる。炉芯部、レースウェイ間の温度は1100~1300°Cと通常考えられている値より著しく低い。コークスの運動が無い充填層領域では、測温値がゾンデ自体の冷却の影響を受けているものと考えられる。

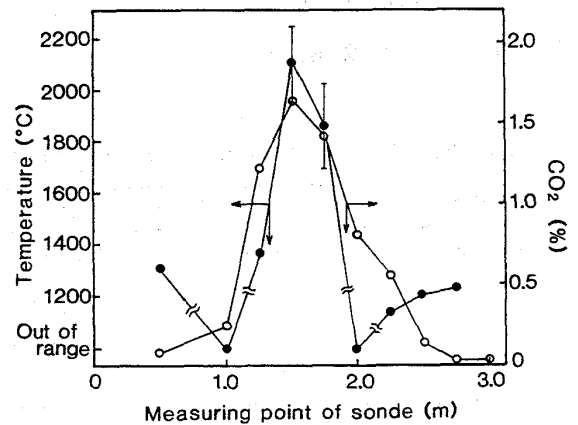


Fig. 4 Temperature distribution around the raceway.

Fig. 5には、イメージファイバーの観察結果からコークスが激しく運動する領域、溶融物が滴下する領域を示す。コークスが運動する領域は、Fig. 4の高温域にあり、推力、ガス組成から推定されるレースウェイ領域よりも小さい。また、この測定例では、炉芯部に滴下する溶融物は全く観察されず、融体の滴下は炉芯前面、レースウェイ側部で著しい。このように、「斜行羽口ゾンデ」を用いることにより、羽口レベルでの反応、物の移動を2次元的に測定することができた。

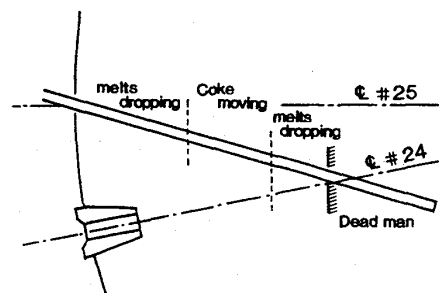


Fig. 5 Schematic presentation on raceway region observed with an image fiber

3. 粉体吹込み時のレースウェイ周辺の伝熱と反応

羽口から鉄鉱石を吹込んだ場合の炉内現象を把握するため、実験条件の設定が容易な小型燃焼炉における測定結

果と実炉測定結果との比較を行なった。

3.1 小型燃焼炉実験^{4),5)} 小型燃焼炉は、内径0.4^mの円筒炉であり、32^{mm}の羽口から熱風とともに粉鉱石の吹込みができる。N₂雰囲気中で800℃まで予熱した後に、所定量の熱風と粉鉱石を吹込む。粉鉱石吹込み中には、ガス、ダストおよび粉鉱石のサンプリング、温度の測定を行なった。また、実験後直ちにN₂で急冷し、炉内試料を採取した。実験条件を表2に示す。粉鉱石の吹込量および、送風中酸素量を操作因子として実験を行なった。羽口上1^mの位置に、[Si]=0.83%、[C]=3.72%の粒状の銑鉄を充填し、滴下帯内の滴下溶銑の代替とした。炉高方向の銑中[Si]の変

Table 2 Experimental conditions.

Blast volume	Nm ³ /min	1.0
Blast temp.	°C	800
O ₂ enrichment	%	0, 5, 10
Ore injection ratio	g/Nm ³	0, 50, 100, 150
Coke size	mm	10~15

Table 3 Dust content and its chemical compositions.

Ore injection ratio g/Nm ³	T.Fe %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	Dust content g/Nm ³
50	18.7	72.9	1.3	0.2	0.8	13.8
100	18.5	61.0	12.4	1.1	1.5	7.7
150	30.2	56.0	0.9	0.2	0.5	6.7

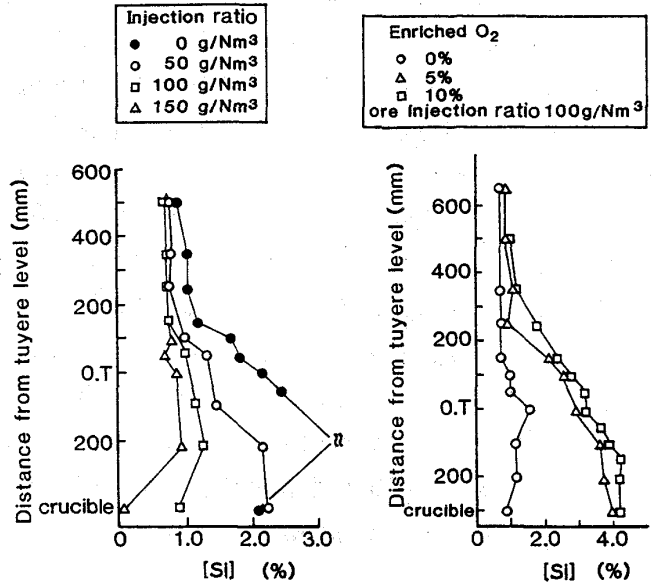


Fig. 6 Change of metal composition with ore injection

化をFig. 6に示す。[Si]は、羽口上100~150^{mm}で上昇し始め、羽口下200^{mm}のるつば目皿上まではほぼ直線的に増加する。鉱石吹込みにより[Si]上昇の傾きが減少し、150g/Nm³では[Si]の上昇がほとんど無くなる。また、鉱石吹込み量が増大しても、コークス充填層内の脱珪は認められず、るつば内に至ってスラグメタル反応により[Si]が低下するようになる。表3には、羽口上60^{mm}の位置で採取したダスト成分を示す。吹込み量の増加によりダストの量および、SiO₂割合が低下しており、羽口部でのSiOの発生が減少していることを示している。また、Fig. 7に示す吹込量とレースウェイ部の温度の関係によると、鉱石吹込量50g/Nm³の増加で、約80℃最高温度が低下する。これは、酸化鉄吹込み時の理論燃焼温度の低下にほぼ一致する。

また最高温度は、理論燃焼温度より、約200℃低い。Fig. 8には、鉱石の吹込みを考慮した理論燃焼温度と、るつば目皿上までの[Si]増加量の関係を示す。理論燃焼温度1900~2100℃の間で[Si]増加量が急激に低下している。コークス灰分の融点以上でSiO(g)の発生速度が増加するという報告⁶⁾と温度的には一致し、酸化鉄吹込みによる[Si]の低下が温度低下によるSiO(g)の発生速度の低下によるものであることを示している。また、

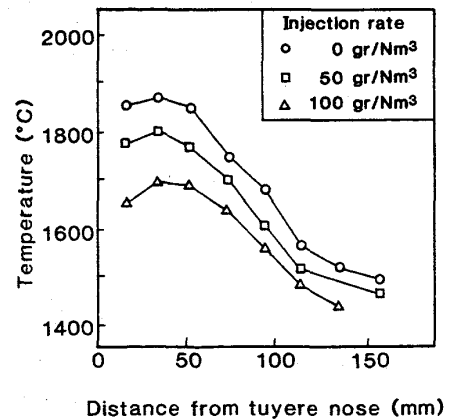


Fig. 7 Change of temperature distribution in the raceway with ore injection.

低[Si]操業を達成するうえで、レースウェイ内のコークス温度が重要であり、レースウェイに外乱を与えずに温度分布を測定するセンサーが重要であることがわかる。

3.2 レースウェイ部での反応 小型燃焼炉実験
 では、羽口から鉍石を吹きこんだにもかかわらず、レースウェイ部でのFeOによる直接脱[Si]の寄与は小さい。その理由がレースウェイ内のスラグメタル反応に起因すると考え、レースウェイ下部融体中のスラグ中FeOと[Si]の関係をFig.9に示した。また、スラグメタル反応 $2(\text{FeO}) + [\text{Si}] = 2\text{Fe}(\ell) + \text{SiO}_2(\ell)$ の平衡関係から決定される(FeO)と、[Si]の関係を破線で示す。⁷⁾ 温度が上昇すると同一の[Si]と平衡するFeO濃度が増加するが、実測のFeO濃度は平衡値よりさらに高い。また、図中の「斜行羽口ゾンデ」による測定値でも、小型燃焼炉の場合と同様な高FeOスラグがレースウェイ部で採取されている。一方、レースウェイ間では、[Si]、(FeO)ともに出鉄成分にはほぼ等しい。したがって、レースウェイ部のFeOが上部からの未還元FeOスラグに由来するとは考えにくい。Fig.10でガス中の酸素量をボッシュガス組成と比較すると、レースウェイ内で気相中酸素量が減少している。したがって、鉍石吹込みを行っていない羽口においても鉄が酸化され高FeOスラグが生成している。また、(FeO)、[Si]の関係が小型燃焼炉実験と同一レベルにあることから、実炉においてもFeOによる脱珪が顕著ではないと思われる。

4 ま と め

稼動中高炉のレースウェイ近傍を2次元的に測定できる「斜行羽口ゾンデ」を開発した。小型燃焼炉実験、ゾンデによる測定により、鉍石吹込み時の炉内現象について以下の知見を得た。

- 1) 小型燃焼炉実験での鉍石吹込みによる[Si]の低下は、温度低下によるSiO(g)発生速度の低下が主要因である。
- 2) レースウェイ近傍に存在するスラグ中FeOによる脱珪反応の[Si]低下への寄与は小さい。
- 3) レースウェイ間のスラグ、メタルは出鉄成分にはほぼ等しいが、レースウェイ部のスラグ中のFeOは著しく高い。

参考文献

- 1) 清水, 長井, 岡部ら ; 鉄と鋼 58 (1972) 589
- 2) 川辺, 竹村, 和栗ら ; 鉄と鋼 68 (1982) A17
- 3) 和栗, 望月, 井上ら ; 鉄と鋼 71 (1985) S 62
- 4) 小西, 武田, 田口ら ; 鉄と鋼 71 (1985) S 87
- 5) 小西, 武田, 田口ら ; 鉄と鋼 70 (1984) S 806
- 6) 山縣, 梶原, 須山 ; 鉄と鋼 71 (1985) S 793
- 7) 徳田, 榎谷, 大谷 ; 鉄と鋼 58 (1972) 219

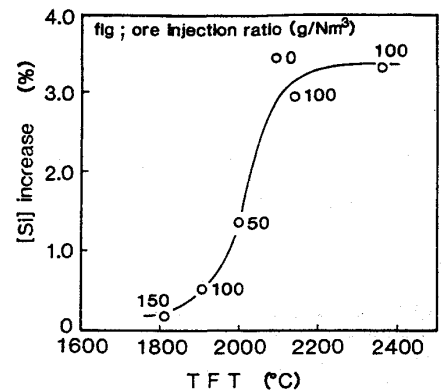


Fig.8 Effect of T F T on [Si] change.

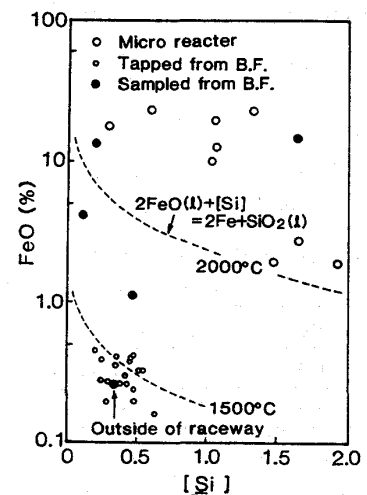


Fig.9 Relationship between (FeO) and [Si]

Table 4 Slag and metal compositions sampled with sideways tuyere sonde.

	[Si]	[Mn]	(FeO)	B ₂
Raceway	1.66	0.20	15.1	1.39
Outside of raceway	0.35	0.37	0.26	1.48

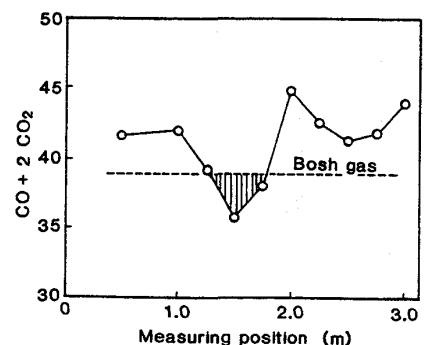


Fig.10 Oxygen balance in raceway region