

斜行羽ロゾンデによる高炉レースウェイ領域の測定

武田 幹治*・田口 整司*・浜田 尚夫*
加藤 治雄*²・中井 歳一*³

Measurement on the Region in and around the Raceway in a Blast Furnace by Use of a Sideways Tuyere Probe

Kanji TAKEDA, Seiji TAGUCHI, Takao HAMADA,
Haruo KATO and Toshikazu NAKAI

Synopsis :

A sideways tuyere probe has been developed to measure in and around the raceway and deadman region in the blast furnace in operation. The probe was installed at No. 5 blast furnace in Chiba Works. The probe has the advantage that it does not introduce any disturbance in the raceway phenomena because the probe is driven 3m into the furnace with an oblique angle to the tuyere axis through the No. 25 tuyere adjacent to No. 24 tuyere that is to be observed.

Measurements were mainly carried out to investigate chemical composition of gas, coke and molten materials, temperature profile and fluid dynamics in the vicinity of the raceway region. Results obtained are as follows :

- (1) The combustion in and around the raceway occurs symmetrically both to the deadman and to the side direction of the raceway.
- (2) Change in raceway depth with the blast condition can be estimated with HATANÓ's equation.
- (3) The silicon content of dripping metal is high in the interior of the raceway while outside it is almost the same level as that of tapped metal.
- (4) High (FeO) slag which is oxidized by the blast oxygen exists within the raceway.

Key words : ironmaking ; blast furnace process ; raceway ; deadman ; measurement ; temperature measurement ; observation ; silicon content ; tuyere.

1. 緒 言

高炉の解体調査により融着帯の存在とその高炉操業における役割が明らかにされて以来、融着帯形状を精度良く制御するため炉口ゾンデ、シャフトゾンデ等の多くの測定装置が設置されてきた¹⁾²⁾。しかしながら、稼動中の高炉内測定センサーの多くは塊状帯を対象にしており、レースウェイ内部を測定するレースウェイゾンデを除いては、炉下部滴下帯領域に関するセンサーの開発はほとんど報告されていない³⁾。

一方、レースウェイ領域は、高炉にとって必要な熱、還元ガスの発生源であると同時に送風温度、送風量等の

送風条件の変更により外部から直接操作できる領域である。レースウェイゾンデによる研究は羽口への重油、微粉炭吹込み等の複合送風が実施された時のレースウェイ領域の熱的变化、吹込み剤の反応挙動の解明に重要な役割を果たしてきた⁴⁾⁵⁾。

最近の低 Si 操業、羽口からの酸化鉄吹込みによる低 Si 鉄の製造⁶⁾等の技術開発は、鉄中 Si の低減に関してレースウェイおよびその近傍の滴下帯でのガス、熔融物の流れ、成分および温度の分布の制御が重要であることを明らかにしつつある。レースウェイ内、周囲、レースウェイと隣接するレースウェイ間あるいはデッドマンでのこれら諸変数の分布を知ることが低 Si 操業技術を確認

昭和 61 年 4 月本会講演大会にて発表 昭和 63 年 4 月 12 日受付 (Received Apr. 12, 1988)

* 川崎製鉄(株)鉄鋼研究所 (Iron & Steel Research Laboratories, Kawasaki Steel Corp., 1 Kawasaki-cho Chiba 260)

*2 川崎製鉄(株)千葉製鉄所 (Chiba Works, Kawasaki Steel Corp.)

*3 川崎製鉄(株)鉄鋼技術本部 (Steel Technology Division, Kawasaki Steel Corp.)

立する際に重要となるが、稼動中の高炉でこれらを総合的に測定する手段は今までに開発されていなかった。

そこで、稼動中のレースウェイ領域、炉芯領域、レースウェイ間の領域の測定が可能なゾンデ（斜行羽口ゾンデ）を開発し千葉5高炉に設置した。斜行羽口ゾンデを設置した千葉5高炉は、鉱石、フラックス、微粉炭の吹込みが可能な、多目的粉体吹込み設備を有しており、粉体吹込み時の炉内現象の変化を同時に知ることができる。

本報告では、斜行羽口ゾンデの特徴とゾンデ測定で得られた炉内での気相、液相、固相に関する炉内変数の分布状況について述べ、レースウェイ形状および Si 移行に関する炉内反応について考察を行った。

2. 斜行羽口ゾンデの特徴

稼動中実炉内のレースウェイ部を測定する従来のレースウェイゾンデ⁴⁾⁵⁾は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。

Fig. 1 に斜行羽口ゾンデの測定範囲を示す。本ゾンデは、千葉5高炉 25 番羽口に設置され、隣接する 24 番羽口レースウェイ領域を測定対象にしている。また 25 番羽口中心軸方向に対し 24 番羽口方向に水平に偏つてプローブが挿入される。斜行羽口ゾンデは、送風の通路を通さずに測定対象のレースウェイ領域にプローブを挿入することに特徴がある。そのため、レースウェイ間、レースウェイと炉壁間の領域という従来のゾンデでは測定できない領域を測定できる。同時に、測定対象の羽口の送風通路内をプローブが通過しないため、測定自体がレースウェイ領域の現象に対して外乱を生じないという利点がある。25 番羽口は、Fig. 1a) のように送風を全く行わない場合と、Fig. 1b) のようにレースウェイを

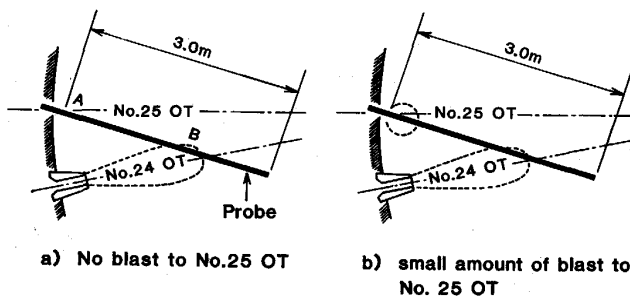


Fig. 1. Location of sideways tuyere probe at No. 5 blast furnace in Chiba Works.

Table 1. Main specification of sideways tuyere probe.

Item	Specification
Equipment	Stroke : 3 m from tuyere Drive : Chain drive Cooling : Compressed water
Measurements	Gas, dust and melts sampling Temperature measurement with optical fiber Observation with image fiber

25 番羽口前に形成させる場合の 2 種類の条件で測定している。

レースウェイ部およびその周辺部という温度的にも、熱的にも最も厳しい条件下で測定するため、以下の点を考慮してゾンデを開発した。

- ①昇圧された羽口の冷却水を利用することにより高温、高熱負荷に対するプローブの冷却能力の確保
- ②シール部の二重化等、プローブの溶損を考慮した設計により炉内ガスの吹出し等の事故に対する安全性確保昭和 60 年 5 月に千葉 5 高炉に設置して以来、約 50 回/年の頻度で順調に測定を継続している。

斜行羽口ゾンデの主な仕様を Table 1 に示した。駆動方式は油圧モーター、チェーン駆動方式であり、無段階に速度変更ができる。25 番羽口先端から炉内 3 m、24 番羽口前の炉芯部までの測定が可能である。炉内所定位置まで挿入後、後退しながら各種の測定を行う。炉内ガス、ダスト採取という通常の測定のほかに、溶融物採取、炉内温度測定、炉内観察という多種の測定機能を備えている。ファイバー方式の二色高温計を用いることにより、炉内の放射率の影響を受けずに温度測定ができる。また、石英系のイメージファイバー（3 万画素）を用いて炉内のコークス、溶融物の挙動を TV カメラに収録し、観察、解析できる。

3. 測定結果

3.1 炉内ガス組成の測定

従来のレースウェイゾンデによる測定では、レースウェイ中心軸方向のガス組成は Fig. 2 のようになることが知られている⁴⁾。送風中の酸素 (O_2) は炉内のコークスと反応し二酸化炭素 (CO_2) になり、生成した CO_2 はレースウェイ境界より内側で一酸化炭素 (CO) になる。レースウェイ外周部で CO_2 濃度は急激に低下しているため、 CO_2 の濃度分布はレースウェイ形状を判断する情報になりうる。

斜行羽口ゾンデによつて炉内から吸引されたガスは除塵後、サンプリングバックに採取され、ガスクロを用いて組成を分析した。斜行羽口ゾンデで測定したガス組成

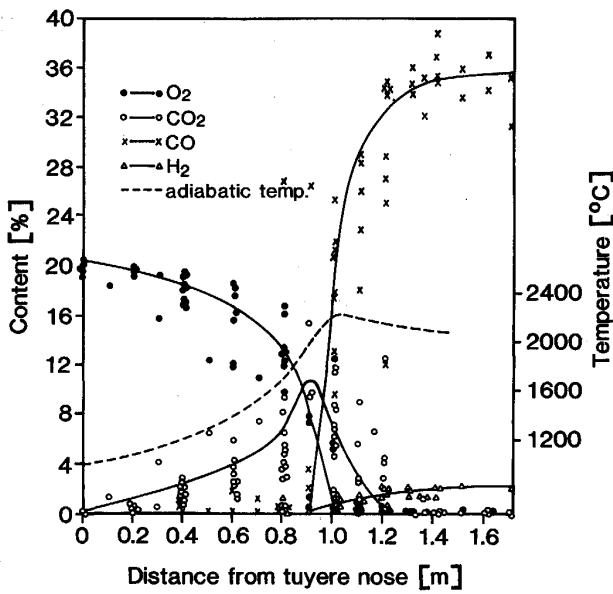


Fig. 2. Gas composition and adiabatic flame temperature in the raceway.

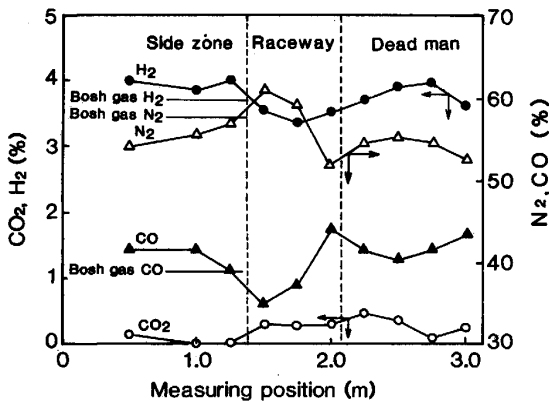


Fig. 3. Typical distribution of gas composition around the raceway.

の代表的な結果を Fig. 3 に示す。レースウェイに近づくにつれ、水素 (H_2) 濃度が低下し、 CO_2 濃度が増大し、その後逆の変化を示している。このことより、本ゾンデが当初の計画どおりレースウェイ内を通過して炉芯部に到達していることがわかる。また、炉芯内と、レースウェイ横の領域では、ガス組成がほぼ同一であり、コークスの燃焼反応がレースウェイを中心に同心円的に起こっていることを示唆している。

3.2 プローブ挿入推力

ゾンデを炉内に挿入する際の推力は、主としてプローブ先端で装入物を押しつける力であり、炉内の装入物の充填状態に対応する。従って、推力は従来の炉芯測定⁷⁾のようにレースウェイ境界を判断する情報となる。Fig. 4 に炉内挿入位置と推力の関係を示す。炉壁部からレー

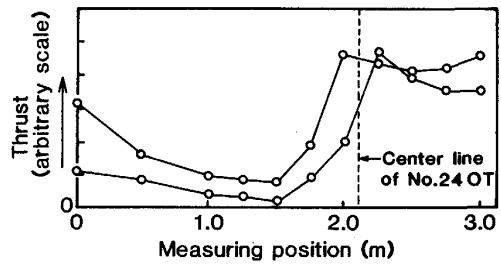


Fig. 4. Thrust change measured with the sideways tuyere probe.

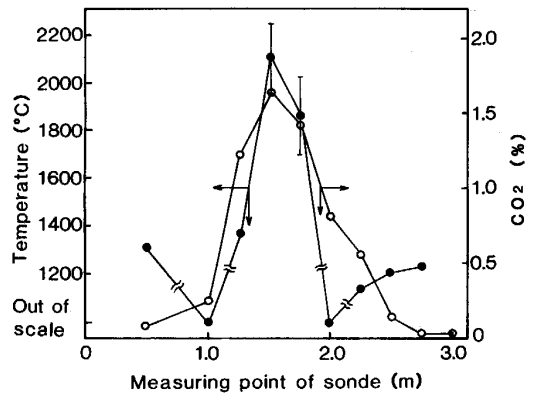


Fig. 5. Temperature and CO_2 content distribution around the raceway.

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挿入位置 2~2.25 m の位置にあり、測定ごとに Fig. 4 に示す程度にばらついている。またこの測定例ではレースウェイ横の領域は炉芯部に比べて疎な充填状態にあることがわかる。

3.3 炉内温度分布の測定

光ファイバーの視野角内にあるコークス、溶融物の温度を光ファイバー、二色高温計を用いて測定した。Fig. 5 に温度分布の測定結果と同時に測定されたガス中の CO_2 の分布を示す。

コークスが運動しているレースウェイ内では温度指示値が激しく変化し、最高温度は 2 000 から 2 300°C とほぼ理論燃焼温度に近い値を示している。また、ガス中の CO_2 濃度の高い領域と温度が高い領域は対応しておりレースウェイ内部のコークスが運動している領域にはまだ CO_2 が残留していることがわかる。

3.4 溶銑, 溶滓の成分

斜行羽口ゾンデで採取される溶融物の多くは採取位置を特定でき、その結果から炉内の溶銑, 溶滓の成分分布

を求めることができる。Fig. 6 に測定方向の $\underline{\text{Si}}$ の分布とその時のガス組成から判断したレースウェイ領域を示す。レースウェイから離れた炉壁近傍での $\underline{\text{Si}}$ はほぼ出銑 $\underline{\text{Si}}$ に等しいが、レースウェイ近傍の $\underline{\text{Si}}$ は 1~2.0% と出銑 $\underline{\text{Si}}$ の 0.35% に比較して著しく高い。また、Table 2 に炉内スラグ組成を出滓時の値と比較して示す。レースウェイ内のスラグ中 FeO は数%~数十% と出滓される値に比べて著しく高いが、レースウェイから離れた領域のスラグ中 FeO は出滓値にはほぼ等しいことが特徴的である。

3.5 炉内ガス中ダストの組成

羽口レベルでの SiO (g), アルカリ, 亜鉛等の揮発物質の量, 割合を検討するため, ガスサンプリングと同時にガス中に含まれるダストを採取し蛍光X線法で分析した。

Photo. 1 には採取されたダストの SEM 像を示す。ダストは 1 μm 程度の粒子から成り立っており炉内の揮発物質が採取時に凝縮したものが大半であることを示唆

している。Table 3 に示すダストの分析結果の特徴を列記すると次のようになる。

1) レースウェイ内部ではダスト中の B_2 (CaO, SiO₂ の重量比) は出滓スラグより低い。ただし、Table 3 の測定例ではガス組成から判断したレースウェイ領域は、測定位置 2 m よりも奥にある。また、Fig. 7 ではレースウェイに近づくにつれて B_2 が低下し、コークス灰分に由来する SiO (g) の割合が増大していることを示唆している。

2) K₂O, Na₂O の濃度が著しく高く、レースウェイに近づくにつれてその値は増加する。また、ダストの主成分は K₄Fe (CN)₆, あるいは採取中に生成したと思われる NaHCO₃ である。軽元素の測定を行っていないので K₂O, Na₂O の増加に伴い、成分の合計値が減少している。

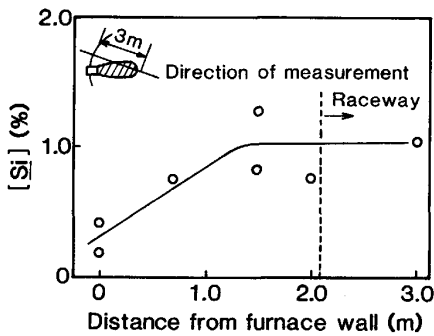


Fig. 6. Silicon content distribution around the raceway.

Table 2. Comparison of chemical compositions between tapped slag and sampled slag by using the probe.

	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	MnO	B ₂
Raceway	15.1	27.2	10.3	37.9	6.4	1.23	1.55	1.39
	0.32	34.5	13.3	42.1	7.14	1.29	0.73	1.22
Outside of raceway	0.26	31.2	11.9	46.3	8.8	0.58	0.25	1.48
	0.31	34.6	12.8	42.3	7.29	1.34	0.46	1.22
Sampled								
Tapped								

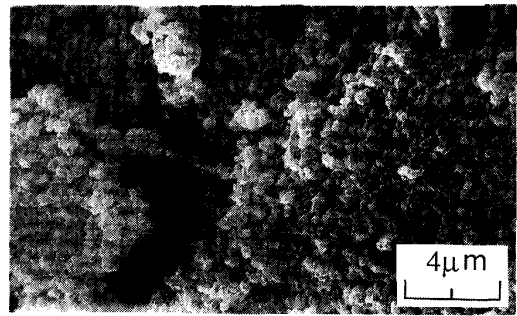


Photo. 1. SEM micrograph of dust particles.

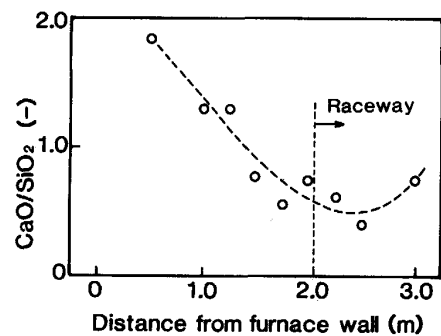


Fig. 7. Change in basicity (CaO/SiO₂) around the raceway.

Table 3. Chemical compositions of dust samples.

Sampling position	T. Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	ZnO	B ₂
1.0 m	1.02	14.3	17.8	20.3	11.7	1.98	5.24	15.0	1.0	1.29
2.0 m	0.83	4.94	4.34	4.62	1.95	0.35	7.21	37.5	1.9	0.75
2.5 m	1.18	3.35	1.53	1.76	0.48	0.22	7.73	41.4	2.3	0.4

$B_2 = (\text{wt}\% \text{CaO}) / (\text{wt}\% \text{SiO}_2)$

4. 考 察

4.1 レースウェイ近傍のコークス, 溶融物, ガスの挙動

レースウェイ領域ではコークスが旋回運動を行いながら燃焼反応を起こし, SiO 等の揮発物質を含む高温ガスを生成している. 炉内の Si 移行を検討する際には, レースウェイ領域でのガス流れ, 溶銑滓の移動, 温度分布と関連づけて各反応の起こる場所を明らかにする必要がある. ここでは, 斜行羽口ゾンデの測定結果に基づき, レースウェイ領域とその周辺での運動, 反応について考察する.

コークス旋回領域では, コークスが高速で運動しているため個々の粒子の観察はできないが, コークスが動き始める位置, 停止し始める位置から旋回領域の境界は明確に識別できる. Fig. 8 にはイメージファイバーの観察結果からコークスの運動している領域, 溶融物の滴下する領域を示すと同時に燃焼反応, 推力変化から判断したレースウェイ領域を示す. コークスが運動する領域はプローブの推力から推定される炉芯部より小さく, 温度の高い領域に一致している. また, 炉中心方向では燃焼反応から定義されるレースウェイ領域は推力の上昇する位置とはほぼ一致する.

溶融物はレースウェイ周囲の領域に最も多く観察され, Fig. 6 からわかるようにこの領域の溶銑中 Si は 1% 前後と出銑される値に比べて高い. したがって, レースウェイ周辺部で観察された溶銑の Si 吸収領域は羽口レベルより上部にあると考えられる.

4.2 レースウェイ近傍での温度分布とガス組成

斜行羽口ゾンデにより, レースウェイ近傍の温度分布,

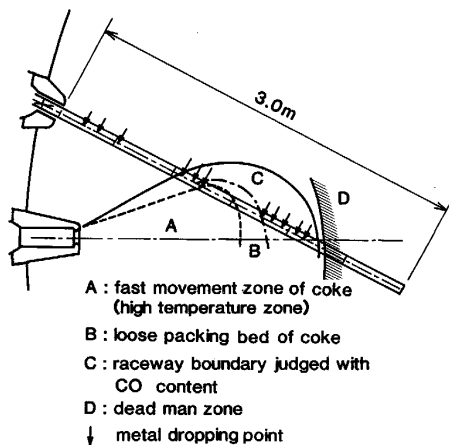


Fig. 8. Schematic representation of raceway region.

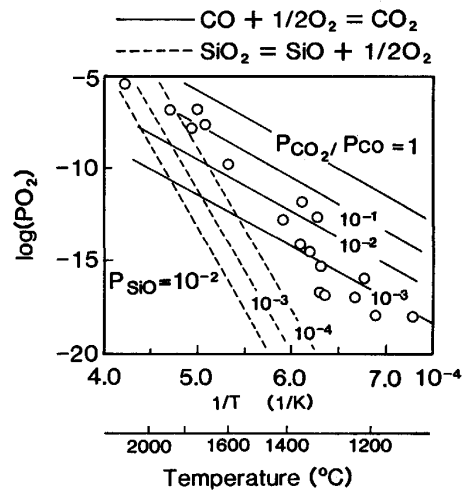


Fig. 9. Effect of oxygen potential and temperature on the equilibrium of SiO-SiO₂.

ガス組成分布を測定し, 平衡酸素分圧を求め SiO ~ SiO₂ の反応の平衡酸素分圧と比較した. 斜行羽口ゾンデで測定されるガス組成, 温度における SiO-SiO₂ の平衡関係を Fig. 9 に示す. ここで a_{SiO_2} は 1.0 とした. コークス中灰分から SiO (g) を生成しうる 1650°C の高温ではガス中には CO₂ が残留しており, SiO (g) は平衡論的には安定ではない. 一方 CO₂ 濃度の低い領域では温度が低く, SiO (g) は安定でなくなる. したがって, 今回の測定で得られたレースウェイ奥行き方向および側方では, レースウェイ近傍の高温部のコークス粒内で SiO が発生するとしても, 発生した SiO は CO₂ により再酸化する可能性があることがわかる. また, レースウェイ外周部の Si は 1%, スラグ中の (FeO) は数% から数 10% であり, それぞれ平衡する酸素分圧が異なっている.

レースウェイ領域でのガスの滞在時間は, 数 10 ms と短くこの間に酸素分圧 0.21 atm から 10⁻¹⁶ atm, 温度 2000°C から 1400°C へと急激に変化する. このため, コークス, 溶銑, スラグ, ガスはそれぞれ異なった酸素分圧を有し, 平衡状態にはないと考えられる. 従って, レースウェイ領域での反応, 特に重要となる Si 移行反応を解明するためには, 反応速度, 伝熱速度を考慮した解析を実施していく必要がある.

4.3 送風量の変化に伴うレースウェイ形状の変化

溶銑, 滓等の炉内の諸変数はレースウェイからの距離に応じて大きく変化する. このため, 測定された炉内変数に基づき炉内解析を実施する際にはレースウェイの奥行き, 幅と操業因子の関係を明らかにする必要がある.

実炉のレースウェイ深度に関する測定値はコールドモ

デル実験, 燃焼炉実験の結果に基づき, 中村ら⁸⁾, あるいは羽田野ら⁹⁾ の関係式として整理されている. ここでは, 他の操業条件がほぼ同一の短期間の内に試験的に送風条件を大きく変更した際のガス組成, 推力の測定結果を用いてレースウェイ形状を求め, レースウェイ形状と送風条件の関係を従来の報告と比較検討した.

Table 4 に示すように, 約 20 日間の短期間に送風量を 15% 増加し, 酸素富化率を 0 から 3.0% まで増加した. この時の測定結果を Fig. 10 と Fig. 11 に示す. Fig. 10 に示すようにガス中の CO₂ 濃度は, 25 番羽口レースウェイ内で高く, 一度低下したのちに 24 番羽口内で再度上昇する. 送風量を Case A から Case C へと

Table 4. Blast condition in each operational period.

Period	A	B	C
Blast volume (Nm ³ /min)	3204	3413	3672
Oxygen (1 000 Nm ³ /h)	0	3.3	7.1
Blast moisture (g/Nm ³)	42.6	45.2	47.0
Blast temp. (°C)	1060	984	1031
Blast pressure (kg/cm ²)	2.778	2.963	3.190

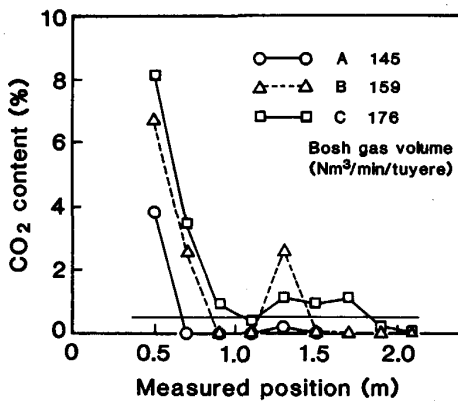


Fig. 10. Change in CO₂ content distribution with the blast condition.

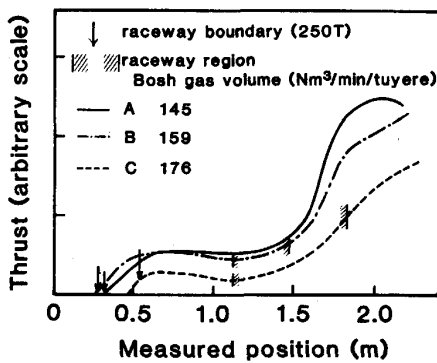


Fig. 11. Effect of blast condition on the thrust change during the insertion.

増大させると, 測定位置 1.3 m から 1.9 m の間で CO₂ 濃度が増大し, レースウェイが拡大していることがわかる. また, Case A の場合には, CO₂ の分布に最大値が無くプローブが 24 番羽口前レースウェイ内に入っていないことを示している.

レースウェイ形状の変化と密接に関係しているプローブ挿入推力の変化を Fig. 11 に示した. 24 番羽口前レースウェイに着目すると, レースウェイ境界と推力の変化は対応しており, ガス成分から求めたレースウェイ形状は従来の炉芯テスト⁷⁾ の測定値と対応していると考えられる.

Case A から Case C へと, 送風量の増加に伴い挿入推力が低下するが, Case C では他に比べて急激に低下している. レースウェイの拡大に伴い, 25 番羽口にも送風しているため, 24 番, 25 番羽口前のレースウェイが接近し, その間のコークスの充填状態が緩やかになったためと考えられる.

25 番羽口前のコークスが旋回しているレースウェイ領域は, Fig. 11 中 (↓) に対応し, 低送風量の場合には, 燃焼反応から判断した Fig. 10 より明らかに小さくなっている. これは, 同一粒径で送風量を低下させた場合には燃焼反応が律速になり, 火格子燃焼のように充填層内で燃焼反応が起こるようになることを示している.

レースウェイ形状をガス成分から判断し (CO₂ < 0.5%) 各ケースについて Fig. 12 に示した. 従来, 解体調査結果に基づき隣接羽口間のレースウェイは互いに分離していると考えられていた¹⁰⁾. しかし, 本測定で得られた 24 番羽口前レースウェイ形状は従来報告された形状より横長の形状であり, 送風量の増加とともに隣接レースウェイが一部接する可能性があることを示している.

休風中にコークスサンプラーで採取したコークス粒径 (20 mm) を用いて中村ら⁸⁾, 羽田野ら⁹⁾ の関係式でレー

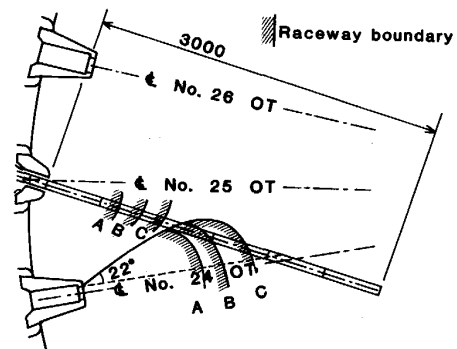


Fig. 12. Effect of blast condition on raceway shape judged by the CO₂ content.

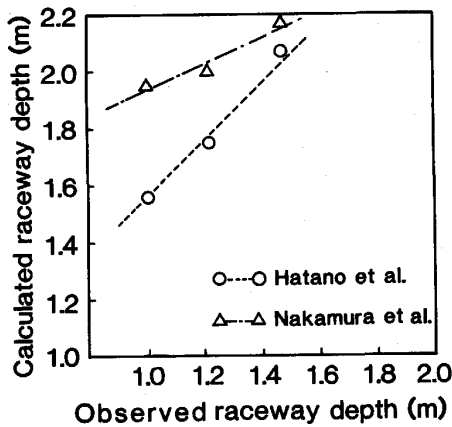


Fig. 13. Comparison of raceway depth between observed value and calculated one.

スウェイ奥行きを計算し、実測値との比較を Fig. 13 に示した。奥行きの絶対値は、両計算値に比較して著しく小さいが、送風条件の変化による奥行きの変化幅に着目すると、羽田野ら⁹⁾の式に基づく変化幅に等しい。今回の送風条件の変化が、送風量と同時に酸素量の変化を伴っているため、羽口前のガス量を送風量基準で表した中村ら⁸⁾の式より、ボッシュガス量の二乗に比例すると表現した羽田野ら⁹⁾の式に一致したものと考えられる。また、レースウェイの奥行きと幅の比は、中村らの式に比べて大きく、千葉5高炉のレースウェイ形状が横に張り出した形となっていることが明らかになった。

レースウェイ形状に関係する操業条件、原料性状の影響については今後さらに検討していく必要がある。

4.4 レースウェイ内の高 FeO スラグの生成

レースウェイ内に高 FeO のスラグが存在することは九島ら¹¹⁾によつても報告されているが (FeO) の由来については明らかになっていない。ここでは、滴下スラグ中 FeO 濃度、レースウェイ近傍スラグの酸素分圧、レースウェイ近傍のガス成分の変化に基づいてレースウェイ内の高 (FeO) スラグの生成について考察する。国分ら¹²⁾は高温荷重軟化試験装置で得た滴下スラグの組成について検討し高温性状が劣ると言われているマルコナベレット (酸性) の場合でも滴下スラグ中 (FeO) は 5~6% であることを報告している。また、Fig. 14 には千葉1高炉の解体調査で得られた炉中心部での滴下スラグの組成を示す。滴下スラグ中の FeO は融着帯近傍で高く、レースウェイ上部で最小値を示しているが、最大でも FeO 濃度は 6% 以下であり、レースウェイ内で採取される 10~数 10% に比較すると低い。融着帯から流出したスラグ中の未還元 FeO は周囲の кокс により急激に還元される。したがって、滴下開始時の

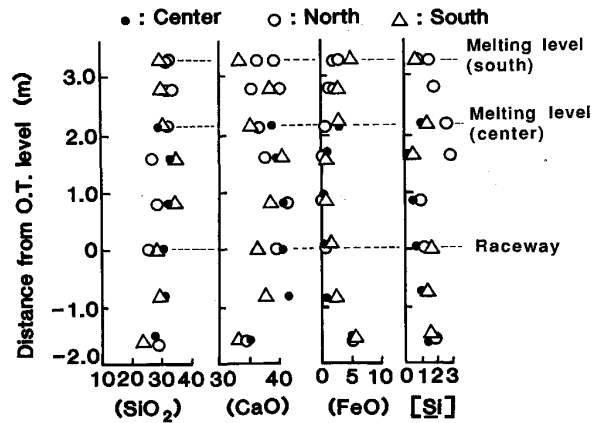


Fig. 14. Change in slag and metal compositions in dripping zone (Chiba No. 1 blast furnace).

(FeO) 濃度は低いと考えられており、レースウェイ内のスラグ中の FeO の由来を滴下スラグ中の FeO に求めることには無理がある。

斜行羽ロゾンデを用いてレースウェイ内部のスラグ組成を検討するため、Fig. 1b) に示すように、プローブの通路である 25 番羽口に送風し、25 番羽口前のレースウェイ内の溶融物を採取した。試料の顕微鏡観察により、固相状態での再酸化を受けていないことを確認し X 線回折により定量分析した。平均的な組成は、Fe₃O₄ 41%、FeO 4% であり、羽口前で、溶融物の酸化が起こっていることを示している。

採取されたスラグ成分から平衡酸素分圧を算出することにより溶融物の酸化について検討する。FeO_x 濃度が高い場合には、Fe(l)~FeO_x(l) の平衡ではなく、沈ら¹³⁾が報告しているように Fe²⁺~Fe³⁺ 間の平衡を表す(1)式の反応を用いて平衡酸素分圧を求める必要がある。活量係数 γ_{FeO}、γ_{FeO_{1.5}} については、LUMSDEN の正則溶液モデルをスラグに適用した沈ら¹³⁾の結果を用いた。

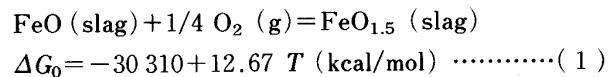


Fig. 15 に 25 番羽口前レースウェイ内のスラグの P_{O₂} の計算結果を示す。光ファイバーで測定した 25 番羽口前レースウェイ内の温度 (1825~2050°C) の範囲では、スラグと平衡する P_{O₂} は送風中の P_{O₂} にはほぼ等しい。このことは、レースウェイ内の高 FeO スラグは送風中の酸素により溶融物から酸化生成したものであることを示している。また、レースウェイ近傍での気相中の酸素バランスをガス分析結果から検討し、Fig. 16 に示した。ボッシュガス中の酸素がレースウェイ領域で減少しており、レースウェイ内での溶融物の酸化を裏付け

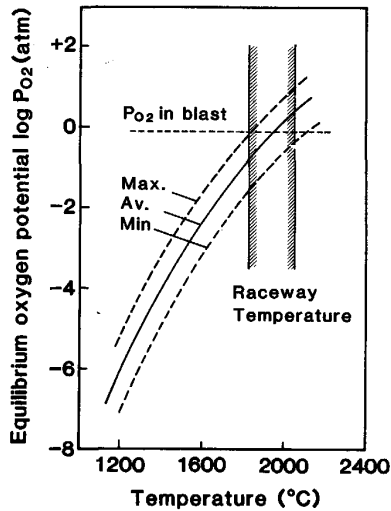


Fig. 15. Oxygen potential of slag calculated with the Fe^{2+} - Fe^{3+} equilibrium.

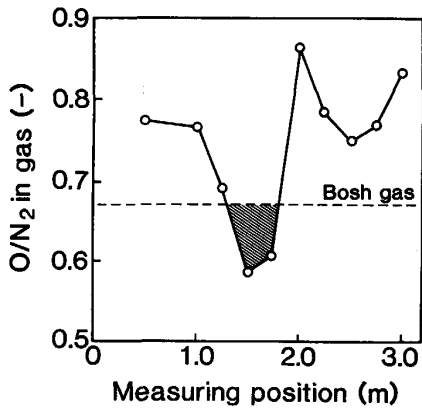


Fig. 16. Oxygen balance in raceway region.

ている。

このような、レースウェイ領域での溶融物の酸化と還元は大きな反応熱を伴うため、レースウェイ領域の温度分布に影響を与えると考えられる。また、レースウェイ領域に送風中の酸素により酸化された高 FeO スラッグが常時存在することは、 Si 移行現象、とくに酸化鉄吹込みによる Si 制御技術の検討に際しては十分考慮する必要がある。

5. 結 言

稼動中実炉内のレースウェイ近傍および炉芯部でのガス、溶銑滓、コークス層の状態を明らかにするため、斜行羽口ゾンデを開発した。

斜行羽口ゾンデによる測定結果から、現在のところ以下の点が明らかになっている。

(1) 炉芯内、レースウェイ横の領域のガス組成はほぼ同一であり、レースウェイを中心に同心円状に反応が進んでいる。

(2) レースウェイ近傍の Si は 1~2% と出銑 Si に比較して著しく高いが、レースウェイから離れた位置の Si は出銑 Si にほぼ等しい。レースウェイ近傍には高 FeO スラッグが存在する。

(3) 採取されたダストの B_2 はレースウェイに近くにつれ低下する。

(4) 炉内観察結果によると、融体は、レースウェイ~炉芯間、レースウェイ横に集中的に滴下する。コークスが旋回するという意味でのレースウェイ領域は、燃焼反応、推力変化から判断するレースウェイ形状より小さい。

(5) レースウェイ近傍での溶銑、スラッグ、ガス、コークスの酸素分圧はそれぞれ異なり、平衡状態にない。

(6) 送風条件とレースウェイ形状の関係を検討し、レースウェイ奥行きの変化は、ボッシュガス量の 2 乗に比例するとした羽田野らの関係に近い。また、千葉 5 高炉の場合には、隣接羽口間のレースウェイは送風量の増加とともに接する可能性がある。

(7) 羽口前に存在するスラッグ中の FeO の由来について検討し、 FeO が主として溶融物の空気酸化によるものであることを示した。

文 献

- 1) T. IWAMURA, H. SAKIMURA, Y. MAKI, T. KAWAI and Y. ASANO: Trans. Iron Steel Inst. Jpn., 22 (1982), p. 764
- 2) T. YAMAMOTO, T. SHOKYU, H. KANOSHIMA, Y. HAYASHI, K. TAMURA and T. TAKAHASHI: Trans. Iron Steel Inst. Jpn., 22 (1982), p. 774
- 3) 和栗真次郎, 望月志郎, 井上義弘, 平田達郎, 樋口彰司, 田村健二: 鉄と鋼, 71 (1985), S 62
- 4) 清水政治, 長井 保, 岡部俠児, 近藤幹夫, 稲谷稔宏: 鉄と鋼, 58 (1972), p. 589
- 5) 川辺正行, 竹村穎二, 和栗真次郎, 梶原豊太, 馬場昌善, 石川 泰, 長谷川晟, 南 昭三: 鉄と鋼, 68 (1982), A 17
- 6) 春 富夫, 才野光男, 奥村和男, 阪口泰彦, 稲谷稔宏: 鉄と鋼, 71 (1985), p. 951
- 7) 重見彰利: 製銑ハンドブック (1979), p. 219 [他人書館]
- 8) 中村正和, 杉山 喬, 鶴野建夫, 原 行明, 近藤真一: 鉄と鋼, 63 (1977), p. 28
- 9) 羽田野道春, 平岡文章, 福田充一郎, 増池 保: 鉄と鋼, 62 (1976), p. 505
- 10) 神原健二郎, 萩原友郎, 重見彰利, 近藤真一, 金山有治, 若林敬一, 平本信義: 鉄と鋼, 62 (1976), p. 535
- 11) 九島行正, 柴田 清, 佐藤裕二, 吉田 均: 鉄と鋼, 72 (1986), S 69
- 12) 国分春生, 佐々木見, 岡部俠児: 学振 54 委-No. 1524 (昭和 55 年 7 月)
- 13) 沈 載東, 萬谷志郎: 鉄と鋼, 67 (1981), p. 1745