

## 討 4 高炉内容物サンプリングによる炉内現象の解明

住友金属工業(株) 中央技術研究所 栗田興一、工博 岩永祐治  
 小倉製鉄所 川口善澄  
 鹿島製鉄所 海老沢幸弘

### 1. 緒言

高炉のシャフト部における半径方向のガス、温度サンプリング結果から、炉内状態を推定する試みは、既に多くの高炉で実施されているが<sup>1)</sup>、直接炉内の装入物を炉高さ方向数レベルでサンプリングし、そのサンプリング試料を分析することにより、炉内状態を推定する試みはあまり見られない。しかし、実炉において装入物の炉内における挙動を把握し、その結果を装入物分布制御、又は、操業管理に利用することは極めて重要である。この意味で、炉内装入物サンプリングは、今後、検出端の一つとして重要になると考えられる。

当社では、炉内容物サンプリングを通じて、炉内現象の解明に努めてきたが、いくつかの知見が得られたので報告する。

### 2. 炉内におけるコークスの挙動

炉内コークス挙動の検討課題は、主要な品質管理指標としての冷間強度の役割の確認、ついで熱間性状の管理指標として提出された反応後強度の有効性の評価から、羽口前への降下過程における劣化、細粒化挙動の解明へと変化しつつある。

当社、鹿島1BFでは、休風時にシャフト下部(S2)、ベリー部(B2)および、羽口(OT)の高さ方向3レベルより炉壁サンプリングを実施し(Fig. 1)、コークス強度、粒度、操業条件変更の影響について調査したので、その結果について述べる。

#### 2.1 コークス強度の変化

コークスの強度は、Fig. 1に示すごとくS2からB2にかけて急激に低下しており、この低下率は、CSRが、高いほど少なくなっている。一方、コークス性状評価モデルを<sup>2)</sup>高炉2次元数式モデル<sup>3)</sup>に適用して高炉内のコークス強度を評価した結果からも、コークス強度は丁度ソリューションロス帯を境に急激に変化しており、このことからシャフト部における強度低下の主因はソリューションロス反応で

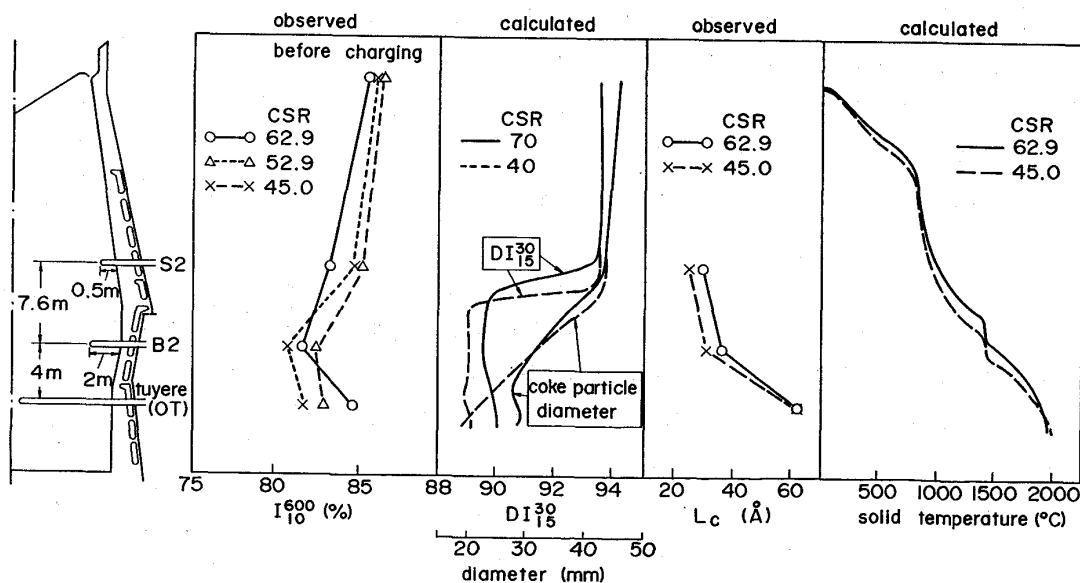


Fig.1 Longitudinal distributions of coke strength, coke size,  $L_c$  and solid temperature along the blast furnace wall.

あると考えられる。

またCSRの変化は、コークス強度のみならず、ソリューションロス反応を介して炉内温度分布に影響を与えることが判明した (Fig. 1)。

B 2 から羽口炉芯部にかけての実炉サンプリング結果からは、サンプルの代表性の問題は残るが、強度回復率が大きいほど、粒径低下率が大きくなる傾向のあることが分かった (Fig. 2)。このことは、粒子の脆弱部分のはく離によって、見掛け上強度が回復することを示しているものと解釈できる。

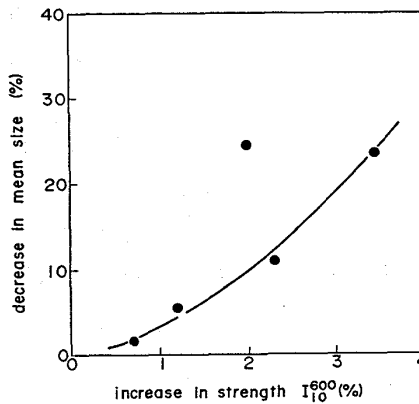


Fig. 2 Changes in mean size and strength caused by the degradation of coke<sup>4)</sup>

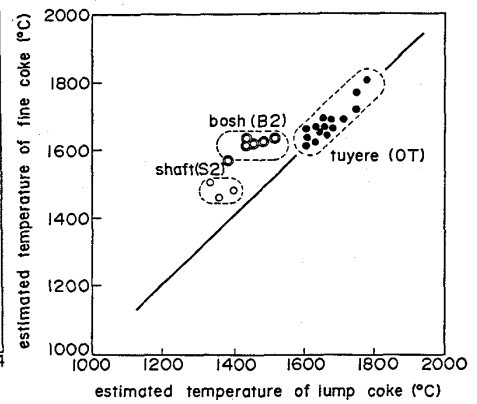


Fig. 3 Difference of estimated temperature between fine coke and lump coke<sup>4)</sup>

炉下部で発生した粉は、Fig. 3 に示すように、S 2、B 2 レベルでの粉コークスの温度が塊コークスに比べて高いことから、炉上部に移動したものと推定される。<sup>4)</sup>

### 2.2 コークス粒度の変化

S 2 および B 2 でのサンプリング管径は 50 φ であり、コークス粒径を測定するには不適であるが、羽口軸上については、250 A の 2 重管方式のサンプリング装置を用いており、半径方向のコークス粒度分布が測定可能である。羽口軸上での半径方向コークスの粒度構成 (Fig. 4) は、炉壁から炉心にかけて、粒度が減少する傾向を示している。この傾向は装入時の半径方向粒度分布 (炉芯側粒度のほうが炉壁側より大きい) と逆であり、炉芯コークスの粒度劣化機構を考える必要のあることを示唆している。一方、目視観察によれば、羽口軸上炉芯側サンプリングコークス塊上に液滴による浸炭と推定される Dimple 状の侵食痕 (径 2-3 φ) が見られることから滴下液によるコークス侵食作用を劣化要因の一つとして再認識する必要のあることを示している。炉芯部の通気、通液性を評価するためには、今後、この点の検討が必要と考えられる。

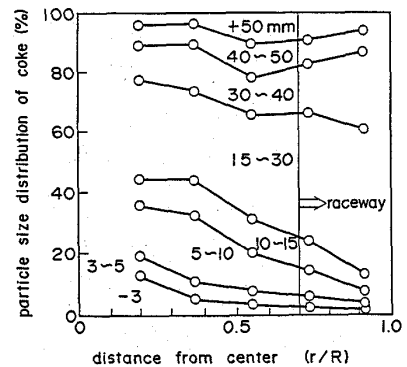


Fig. 4 Radial distribution of particle size of coke at the tuyere level.

### 2.3 操業条件によるコークス挙動の変化

羽口軸上でのコークス温度は、レースウェイ内と推定される領域で高く、レースウェイ境界を離れるに従って急激に低下し、炉心に向かってわずかに上昇するパターンとなった (Fig. 5)。この温度パターンは、融着帯の形状によって次のように変化する。即ち、Fig. 6 に示すごとく融着帯形状が W 型の場合には、温度低下位置が炉心寄り、逆 V 型に近い形状の場合には温度低下位置が炉壁側に移動する。この分布は主に装入物の半径方向 O/C 分布に支配されることがモデルシミュレーションの結果判明した。この事から、Fig. 5 の温度分布は、W 型に近い融着帯形状のもとで形

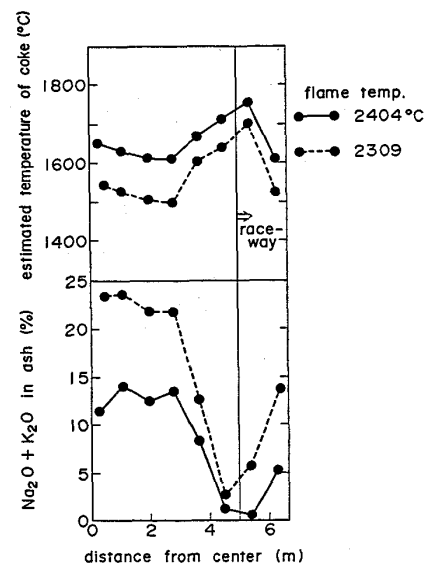


Fig. 5 Radial distributions of coke temperature and alkalis at the tuyere level.

成されたものと推定される。

また、羽口軸上のコークス温度は、羽口前温度に比例して変化する (Fig.5)。この羽口軸上のコークス温度とコークス灰分中アルカリ濃度 (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) とは、よい対応があり、コークス温度の低下とともにアルカリ濃縮が進むことが分かる。

一方、羽口衝風速度を変化させた場合、炉芯側コークス中の-3mm粉率はFig.7のように変化しており約240Nm/sで炉芯への粉堆積が最小となった。このことは炉芯通気性確保という点から最適な衝風速度の存在する可能性を示唆している。この現象は、衝風速度を上げた場合にはレースウェイ内での粉発生が増加し、また逆に、衝風速度を下げた場合にはレースウェイが縮小し、炉芯へのガス流れが弱くなる結果、炉芯への粉の堆積が加速される結果であろうと考えられる。

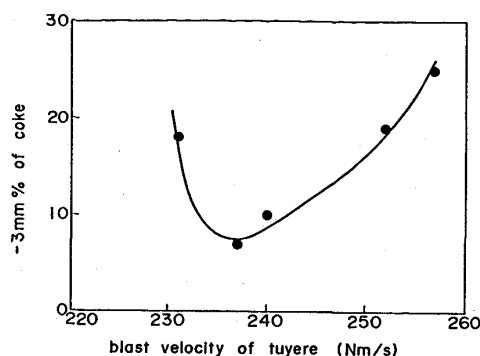


Fig.7 Relationship between -3 mm of coke at the center of the tuyere level and blast velocity of tuyere.

### 3. 炉内における焼結鉱の挙動

炉内における焼結鉱の挙動については、還元反応挙動および還元粉化挙動の解明から、軟化融着挙動さらには溶融挙動の解明へと進展しつつある。ここでは、小倉2BFにおける休風中サンプリング結果をもとに還元粉化ならびに還元反応挙動について調査した結果を述べる。

#### 3.1 焼結鉱粒度の変化

炉高さ方向炉壁側サンプリングによって得られた焼結鉱の粒度分布はFig.8の◆印で示すごとく、炉頂から7m近傍で還元粉化を起こしている事が分かる。この結果を還元粉化モデル<sup>5)</sup>を用いてシミュレートすると、同図中に示すごとく、焼結鉱の還元粉化は炉頂から約5m以内で、ほぼ終了しシャフト中段領域では粒度、還元率とも、ほぼ一定となる事が分かった。

また、シャフト下端 (SL-16.3m) におけるサンプリング焼結粒子の中には、粒子同士が軽くくっつき合った団塊が見られたことから、炉壁側のこのレベルから、融着を開始している事が判明した。

#### 3.2 焼結鉱の還元率の変化

炉壁側のコアボーリング試料の還元率はFig.8の●印で示すごとく、シャフト中段では約20%一定を示し、シャフト下段からさらに還元が進行し、シャフト下段では

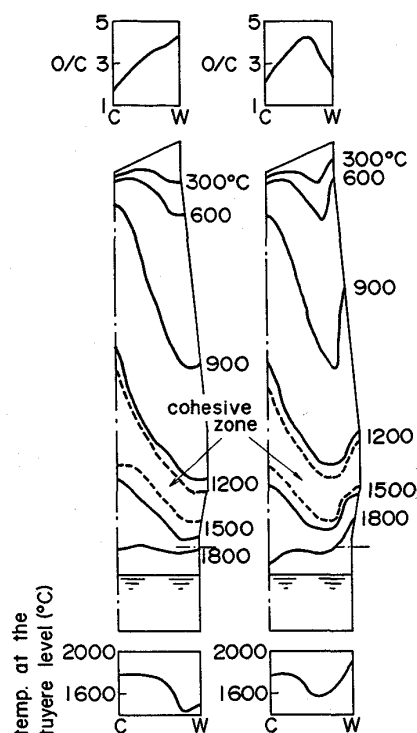


Fig.6 Relationship between O/C distribution and solid temperature distribution.

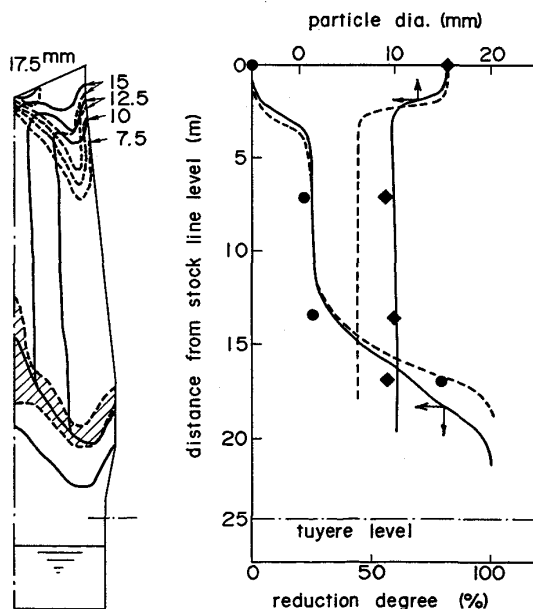


Fig.8 Effect of RDI on the degradation of sinter in the blast furnace.  
 — RDI = 32, --- RDI = 45  
 ●◆ observed results (RDI = 37)

約80%を示した。コークスの黒鉛化度から推定したこの位置の温度は約1200°Cでありモデルシミュレーション結果とも一致した。

4. 炉内における融体の挙動

小倉2BFの休風時に羽口軸上炉心までサンプリングした溶銑滓の分析結果をFig.9に示す。羽口軸上のコークス温度は炉中間部で低下しており、この温度低下位置で約150mmの融着物をサンプリングしたことから、この炉の融着帯形状は、炉中間部で低下したW型であると考えられる。なお、他の位置での融着物の直径は50mm以下であった。

溶融スラグ中のFeO%は比較的粒度の大きいサンプルでは温度の高いところで約10%と高く、3-5mmの粒滴では約5%を示した。即ち、未還元FeO%は温度分布にほぼ比例した分布を示し、かつ粒滴となるに従って還元が進行している事が分かった。炉芯部での粒滴は滴下距離が長いためほぼ還元が終了したものと考えられる。

銑中Si%の分布は、温度分布とほぼ比例した傾向を示したが、絶対値で見ると羽口前で2%と高く、休風による影響も考えられ、絶対値については今後の検討課題である。

田口らのSi移行モデルを<sup>6)</sup>高炉2次元半径方向モデルに導入して、炉下部のSi%半径方向分布を求めた所、Fig.10に示すごとく、Si%は炉内温度分布に比例する事が分かり、実測結果と傾向的に一致することが分かった。またFeO%についても羽口前に接近するほど高くなり実測結果と一致することが分かった。

5. 結言

- 1) 高炉休風中におけるシャフト下部、ベリー一部および羽口部における炉内容物サンプリングを実施することによりCSR指数が炉内コークス挙動に及ぼす影響、羽口前温度と羽口レベル半径方向温度分布との関係等、炉内状態に関する知見が得られた。
- 2) 羽口サンプラーによる炉芯迄半径方向の融体のサンプリングから炉内温度と銑中Si、スラグ中Feとの関係を明らかにすることができた。
- 3) 高炉2次元数式モデルによるシミュレーションを実施し、炉内状態予測モデルとしての機能を確認した。
- 4) 今後、操業中における炉内容物サンプリング等、実測精度の向上と解析技術の向上が重要になると考えられる。

文献 1.羽田野道春、沖宏治、山岡秀行、山縣千里、村上陽一：鉄と鋼、65(1979)4, S. 47

2.羽田野道春、宮崎富夫、岩永祐治：鉄と鋼、65(1979)9, P. 1365-1374

3.羽田野道春、栗田興一：鉄と鋼、66(1980)13, P. 1898-1907

4.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)2,掲載予定

5.岩永祐治：鉄と鋼、68(1982)7, P. 740-749

6.田口整司、久保秀穂、槌谷暢男、一藤和夫、岡部俠児：鉄と鋼、68(1982)15, P. 2303-2310

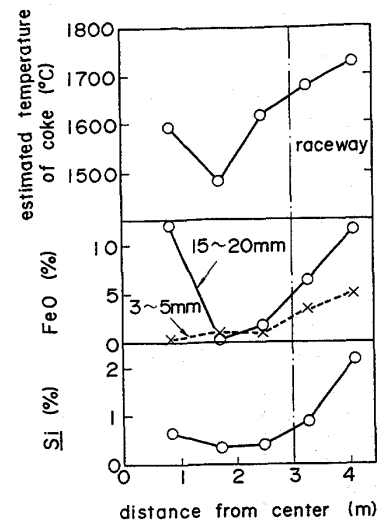


Fig.9 Radial distributions of estimated temperature, FeO and Si at the tuyere level.

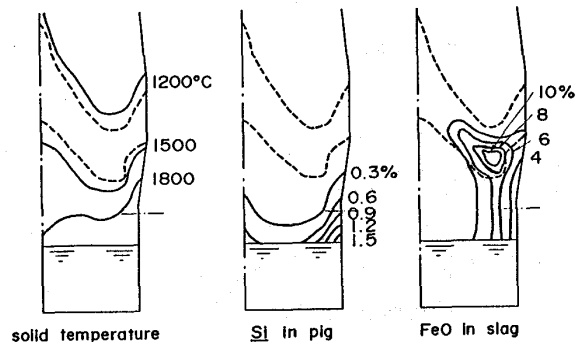


Fig.10 Distributions of solid temperature, Si in pig iron and FeO in slag in the lower part of the blast furnace. (=== Cohesive zone)