

# 討4 高炉ガス流分布制御のためのセンサとその定量化

川崎製鉄 千葉製鉄所 ○岩村忠昭 河合隆成  
技術研究所 浅野有一郎

## 1. 緒言

近年の高炉操業の安定化と効率化に大きく寄与しているものに、ガス流分布制御がある。高炉解体調査およびそれに端を発した炉内現象の解析により、融着帯の存在やガス流分布のあり方が追求され、さらに各種検出端の進歩が、それらの実機における確認を容易にしてきた。

炉内ガス流分布は高炉の主要三機能である熱交換、通気および還元に大きな影響を及ぼすものであるが、とくに炉内還元ガス利用効率の向上に大きく寄与している<sup>1)</sup>。またその制御は装入物の半径方向の分布(鉱石とコークスの層厚比分布)が操作端となるが、その操作のために何ら新しいエネルギーを必要としないことも大きな利点である。本報告ではガス流分布制御に寄与しているセンサの概括、千葉第6高炉におけるガス流分布制御の経緯とその実績に基づくガス流分布の定量化、さらには新しく開発された装入物プロフィール計の現状と操業との対応について述べる。

## 2. ガス流分布制御のためのセンサ

ガス流分布としては半径方向、円周方向、高さ方向の三つが考えられるがここでは還元ガス利用効率の向上にもっとも関係の深い半径方向に限定して議論を進める。

図1はガス流分布に関連するプロセス情報を概念的に系統化して示したものである。

### 2.1 原料分布の測定

操作端である装入物分配制御の結果を直接的に測定しようとするものであり、その他の反応結果の分布情報に比して時間遅れの少ないフィードバック情報となる。これがガス流分布の基本となることから当社ではその測定を重要視し、後述する三方式を開発している。

### 2.2 融着帯形状の測定

シャフト圧力の情報をもとに推定する方法、炉頂ガス流分布をもとに多重同心円モデルから推定する方法、あるいは炉頂より装入した特殊ワイヤの残存長さを直接測定する方法などが提案されているが、日常操業の管理に工程的に使用していくまでにはなっていない。当社でも炉頂より熱電対を装入し、その長さから融着帯形状を測定する試みを行っている。今後の開発の最大のターゲットとすべき課題である。

### 2.3 ガス流分布の測定

ガス流分布を直接的に流速分布のかたちで測定しようとするものであり、Heトレーサ法、加熱熱電対法、フルイド流速計やタービンメータによるものなどの種々の方法が報告されているが、保水性やデータの再現性などでまだ十分なものではない。当社でもタービンメータを試みている。

### 2.4 ガス温度分布の測定

炉頂またはシャフト上部の水平ゾンデにより測定でき、ほぼどの高炉でも工程化されている。装入物上部の固定式のものがあることから最も一般的であり、円周方向のばらつきを考慮して2方向以上設置している場合もある。装入時の温度

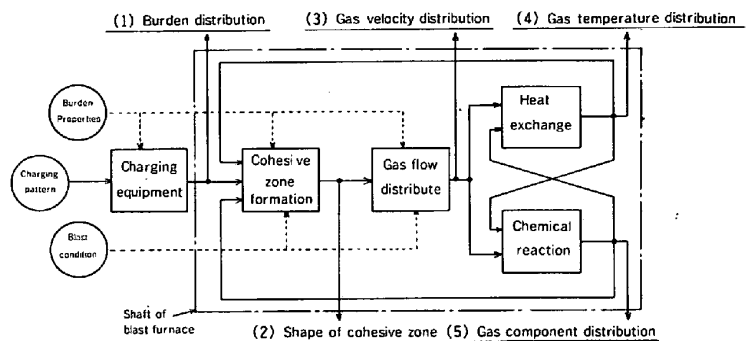


図1 ガス流分布に関連するプロセス情報

低下を考慮する必要があり、装入タイミングを考えたデータ採取を行なわなければならない。水平ゾンデにより装入物内部で測定する場合は、温度計の応答性と装入物の加熱状態の半径方向における相違を考慮しなければならず使い方が難しい。

2.5 ガス成分分布

温度と同様に炉頂またはシャフト上部の水平ゾンデで測定されるが装入の影響の少ない後者が使い良い。ただし、ゾンデの耐久性とダストに対する配慮を厳しくしなければならない。分析項目としてはCOとCO<sub>2</sub>が測定できれば十分であるが、精度の点でガスクロマトグラフが優れている。

2.6 その他のセンサ

ガスにより加熱された原料表面の温度分布をみるものとして赤外線カメラがあり、原料の挙動をみるものとして炉頂ITVがある。ながれ込みや炉芯の移動あるいはガス流速が適正であるか否かを視覚的にとらえるのに役立っており、とくに後者はコストの安いこと、ベルレス高炉における巡回毎の装入状況の監視も可能であること、後述するプロフィール計への発展が可能なことなどの理由により重視している。ともに視野をひろくすること、情報を定量化することなどが今後の課題である。

また、シャフト圧力やステーブ熱負荷などもガス流分布をマクロ的に判定する重要な情報である。

3 千葉第6高炉におけるガス流分布制御とその定量化

千葉第6高炉では昭和55年3月に燃料比で当時の世界記録を達成するなど好調な操業を続けている。ベルレス装入装置の機能を最大限に活用した最適なガス流分布制御に負うところが大きい。

3.1 ガス流分布センサと装入物分布制御

図2にセンサの配置ならびに制御装置の構成を示す。(1)固定温度ゾンデ、(2)シャフト水平ゾンデ、(3)炉頂カメラの3つが火入れ当初からのものであり、(4)炉頂ITV、(5)炉頂プロフィール計が途中で新たに設置したものである。装入物分布は(1)ベルレス装入パターンの変更、(2)ストックラインの変更、(3)装入開始シーケンスの変更(鉱石装入のタイミングをコークス装入に続いて行うか、レベル低下を待つかの選択)の3つを組み合わせている。<sup>2)</sup>ベルレス装入パターンは図2のFile内に示されているように、基本的な8パターンを計算機に登録しておき、どれをいつから使用するかを指定する。ベルレス装入方式の持つ自由度を適切に整理し、かつ制限することが重要である。

3.2 操業経過とガス流分布制御

図3は第6高炉の操業経過を示し、典型的な3つの状況についてその時期の代表的装入パターンを記している。

A: 中心流過多のため炉壁が不活性化となり「羽口曲損」のトラブルが頻発した。

B: 周辺流過多のため炉壁部が活性化しすぎ、通気性の不安定化と羽口溶損が頻発した。

C: 処理鉱比の高配合(97%)テストを行い、月間

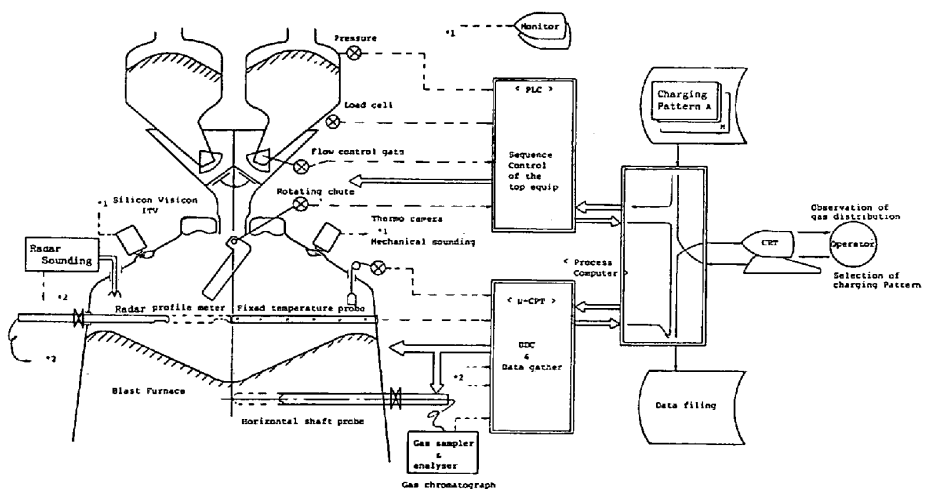


図2 千葉第6高炉のガス流分布制御の構成

燃料比 418.4 kg/t-p を得た。

図 4 (a),(b) は上記各期間におけるガス成分分布 (シャフト水平ゾンデ) とガス温度分布 (固定温度ゾンデ) の一日平均値でのパターンを示している。A、B、C の各期間での重複が大きい。

### 3.3 判別関数によるパターン情報の定量化

図 4 (c) (d) は判別関数手法により上記各時期のデータを群分けさせたものである。<sup>3)</sup> ガス成分、ガス温度ともに完全に群分けされており、パターン情報のあいまいさが消えている。

(c) に破線で示したものは、時期 A から C に至るまでのガス流分布の大まかな動きを判別空間上に示したものである。極端な内部操業のゾーン A から極端な外部操業のゾーン B に大きく振り、ついで最適と考えられるゾーン C に試行錯誤を繰り返しながら到達し、その後は C の附近で操業を続けている。

判別関数手法で得た知見は以下の通りである。

- (1) 判別関数手法により、成分、温度ともパターン情報が明確に群分けされ定量化できる。
- (2) ガス成分情報、ガス温度情報ともガス流分布の評価に十分寄与しており、装入時の影響を受けないだけ前者の方がばらつきが小さい。
- (3) 判別関数の固有ベクトルから判断して、温度ゾンデの場合、炉芯部のデータはばらつきが多く、群分けに寄与しない。壁際の情報が重要である。成分分布の場合は全測定点が充分に寄与している。
- (4) 判別空間上に現状のパターン情報を投影し、A、B、C 各中心点との距離を管理することにより、ガス流分布の定量的なオペレータガイダンスを与えることができる。

### 4. 装入物プロフィール計の開発

装入分布の早い情報を得ることと、装入分配制御装置単体でその誤差をおさえることはガス流分布制御を簡素化する上で重要であり、当社では表 1 に示すような三方式を開発した。

#### 4.1 装置仕様と開発状況

表 1 に示す通りで、3 種類のをそれぞれ水島、千葉、技研の 3 者で同時開発を行った。3 者ともほぼ所期の機能を満たすにいたっている。現在測定データと高炉操業の関係を詰めており、プロフィール計としてどこまでの機能が真に必要なについても比較検討を行っている。

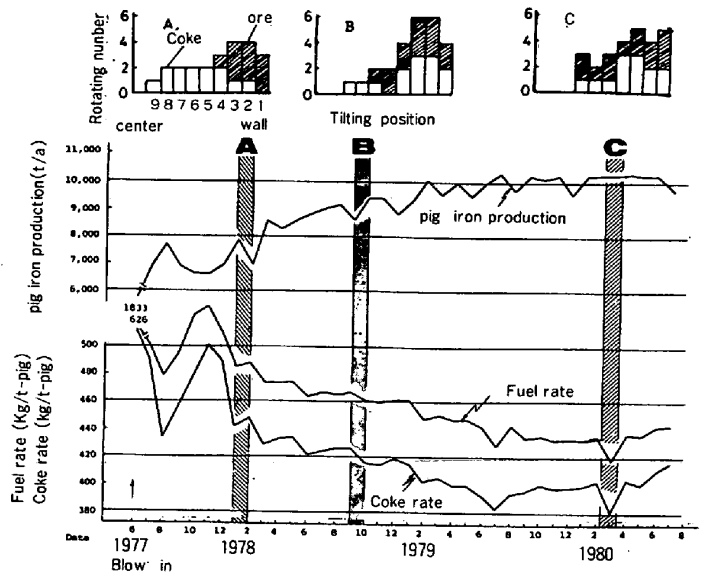
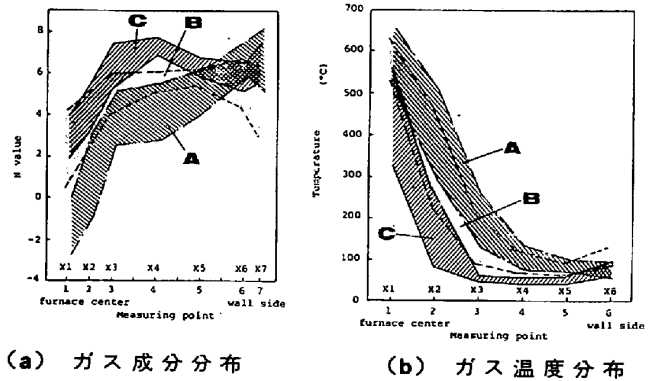
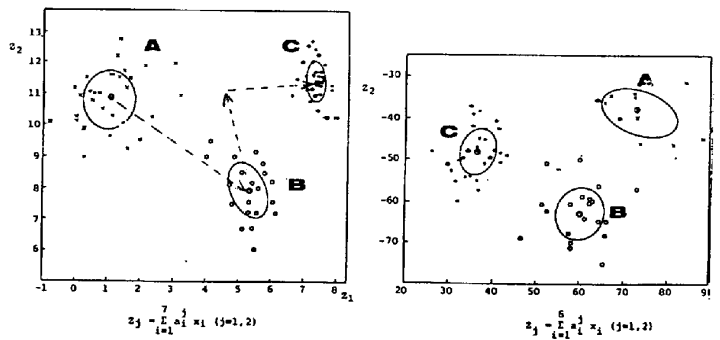


図 3 操業経過と代表的ベルレス装入パターン



(a) ガス成分分布

(b) ガス温度分布



(c) ガス成分の判別結果 (d) ガス温度の判別結果

図 4 各操業時期のガス流分布

4.2 測定状況

図5にμ波式での測定結果の一例を示す。一般的に鉱石の方がばらつきが大きく200~300mmの差がでる。安息角も図に示す通りであるが装入物に±2°程度のばらつきが出る。

図6はレーザ方式による測定例でありベルレスシュートの巡回毎のデータを示したものである。シュート傾動角に対応した巡回毎の原料投下の様子が明確に捉えられている。本方式においても安息角は±2°程度のばらつきが観測されている。

4.3 操業との対応

図7は同一装入パターンでストックラインを変化させた場合の肩部の動きを示している。ストックラインの上昇とともに肩部が炉芯側に寄っており、ストックラインによるガス流分布の調整機能が確認できる。

図8は巡回装入シュート変更前後の安息角ならびに肩部の位置の動きを示している。シュートのライナが新しくなったこと。シュートの取付角度に取替前後で誤差のあったことなどがその原因と考えられる。

一般的には通常の操業における装入パターンの操作は、一回の変更幅が小さいためプロフィール計には明確には表われない。それでいてガス流分布が変化しうるのは流れ込みによる混合層の形成が変化するためと思われる。今後データの積み重ねと混合層の測定に注目する必要がある。

5. 結言

ガス流分布制御は操業者の経験則的には確立したとあって良い。しかし新しい高炉で最適なものを得るまでに、火入れ後2年以上を経過しているのが現状であり、その客観性は末しと言わざるを得ない。ここに示したような信頼できるセンサ技術および情報の定量化に関する努力が一層必要である。

参考文献

- 1) 研野：日本金属学会会報 17 (1978)、P570
- 2) 奥村他：鉄と鋼 66(1980)、P176
- 3) T. Iwamura et al：IFAC VⅢ (1981) Paper No. 459
- 4) 秋本他：鉄と鋼 66(1980)、S29
- 5) 崎村他：鉄と鋼 67(1981)、S17
- 6) 浅野他：鉄と鋼 66(1980)、S681

表1 装入物プロフィール計仕様

	機械式 <sup>4)</sup>	μ波式 <sup>5)</sup>	レーザ式 <sup>6)</sup>
原理	重錘+ゾンデ	μ波+ゾンデ	アルゴンレーザ+ISITカメラ
機能	半径方向12~13点	半径方向連続	平面形状
測定時間	40sec(-半径)	1.2mm(-半径)	2sec(-半径)
精度	±50mm	±130mm	±50mm
コスト	1	1.4	2.3

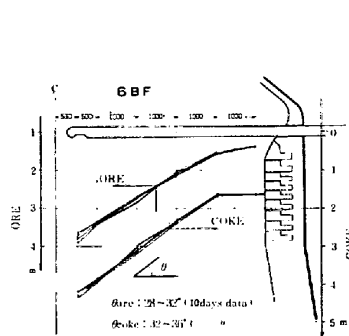


図5 μ波方式による測定例

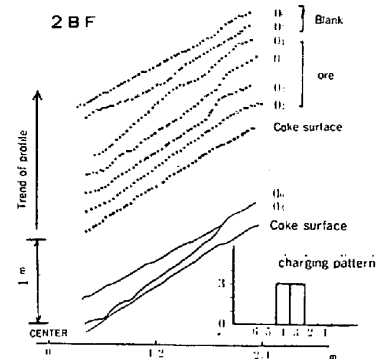


図6 レーザ方式による測定例

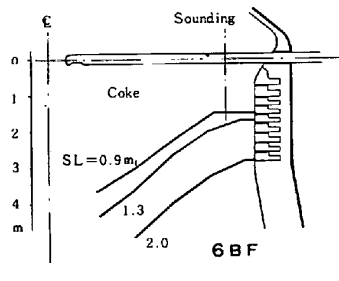


図7 スtockラインと肩の位置

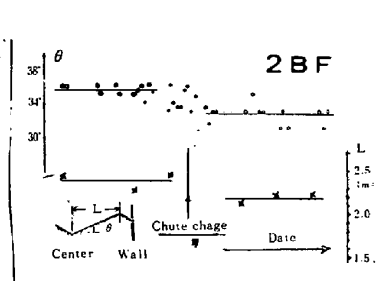


図8 シュート取換前後のプロファイル変化