

## 高炉炉頂装入物プロファイルの測定と解析

技術報告

岩村 忠昭\*・崎村 博\*<sup>2</sup>・近藤 幹夫\*<sup>3</sup>・浅野有一郎\*<sup>3</sup>  
 秋本 圭一\*<sup>4</sup>・牧 勇之輔\*<sup>2</sup>・春 富夫\*<sup>2</sup>・小幡 昊志\*<sup>4</sup>

## Measurement of Burden Profile in Blast Furnaces and Analysis of Measured Results

Tadaaki IWAMURA, Hiroshi SAKIMURA, Mikio KONDOH, Yuichiro ASANO,  
 Keiichi AKIMOTO, Yunosuke MAKI, Tomio HARU and Hiroshi OBATA

### Synopsis:

Three different types of burden profile meter used at blast furnaces, mechanical, micro-wave, and laser types, were developed during almost the same term. At present, these are used in actual operations of blast furnaces.

Main characteristics of each type are as follows. They are mechanisms to drive the weight and to prevent the swing of it (mechanical type), one-antenna system and countermeasures to the power attenuation caused by the interference phenomenon (micro-wave type), and utilization of visible argon laser and data processing technique (laser type).

Indices of measured burden profile are scattered even under the same charging condition. Statistical analysis and simulation model are effective for using the measured results in a usual operation.

At the present stage, the micro-wave type is best mainly from the viewpoint of maintainability. Completion of a maintainance-free laser type is expected due to its excellent functions.

## 1. 緒 言

最近の高炉操業技術の進歩において、装入物分布制御は常に重要な地位を占めてきた。制御効果の判断はガスの温度や組成の半径分布によつてきたが、装入条件との関係が直接的でないことから、実際の装入物プロファイルを測定し、層厚分布を最適化しようとする動きが、ベルレス装入装置の導入を契機として急速に高まつた。

著者らは、機械式プロファイル計を千葉 2BF で実用化した後、大型高炉用の改良型を水島で開発した。一方、シーズ技術であるマイクロ波及びレーザを用いた距離測定技術の適用範囲拡大と、プロファイル計早期開発の必要性とから、前者を千葉で、後者を技術研究所が担当した。ほぼ同時期に並行して進め、3方式ともに開発に成功した。現在、実高炉に設置され、操業に活用されている。

本報告では、これら3方式のプロファイル計について、計測装置としての性能面からだけでなく、高炉操業で

の利用面からの検討結果も報告する。

## 2. プロファイル計の開発

### 2.1 機械式プロファイル計

最も直接的で確実なプロファイル測定法は機械式サウンジング装置を応用する方法である。この方式の原型を千葉 2BF で使用していた<sup>1)</sup>が、測定点ごとにランスの停止と重錘の昇降を繰り返す方式のため、1半径6点の測定に5minを要した。Fig. 1に示す新しく開発した装置では、所要時間が1minに短縮され(Table 1)、水島 3, 2, 4 BF の順に設置した。(1~3号機)

ランスを停止することなく測定し、重錘の昇降幅を最小限にすることで測定時間の短縮と測定点数の増加を同時に達成しているのが本装置の特徴である。重錘はワイヤーにより2点で支持し、ランスの高速駆動で生じる振れを防止している。また、機械系全体を密閉ケースに収納し、ガスシール性を高めた。実機化の過程では以下の代表例のほかにも多くの改善を施し、現在では工程計器

昭和 56 年 11 月本会講演大会にて発表 昭和 58 年 11 月 14 日受付 (Received Nov. 14, 1983)

\* 川崎製鉄(株)千葉製鉄所 (現: 川崎製鉄(株)水島製鉄所) (Chiba Works, Now Mizushima Works, Kawasaki Steel Corp.)

\*<sup>2</sup> 川崎製鉄(株)千葉製鉄所 (Chiba Works, Kawasaki Steel Corp.)

\*<sup>3</sup> 川崎製鉄(株)技術研究所 (Research Laboratories, Kawasaki Steel Corp., 1 Kawasaki-cho Chiba 260)

\*<sup>4</sup> 川崎製鉄(株)水島製鉄所 (Mizushima Works, Kawasaki Steel Corp.)

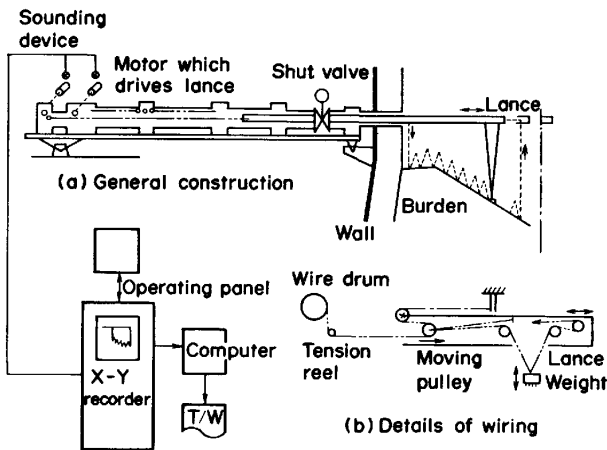


Fig. 1. Mechanical type profile meter.

Table 1. Specifications of three different types of burden profile meter.

| Item                         | Mechanical type                     | Microwave type   | Laser type   |
|------------------------------|-------------------------------------|--|--|
| Measuring area               | One radius                          | One radius   | 1/4 of full surface  |
| Measuring range              | 0-5 m                               | 0-6 m  | 0-5 m  |
| Measuring time               | 60 s                                | 120 s  | 2 s for one radius*  |
| Measuring accuracy           | ± 50 mm                             | ± 130 mm   | ± 50 mm  |
| Probe scanning speed         | 6 m/min                             | 3 m/min  | 3-30 m/s**   |
| Specifications of equipments | Weight : 20 kg<br>Wire : SUS, 6 mmφ | Modulation frequency : 8.5-10.5 GHz<br>Output power : 5 mW<br>1-antenna system | Argon laser<br>Wavelength : 514 nm<br>Output power : 4 W<br>ISIT Camera (RCA-TC1040/H10) |

\* only for data acquisition, \*\* beam scanning speed

として満足できるものとなつている。(1) 1本のワイヤーをループして重錘を吊り、破断時には重錘を炉内に落とす方式とした。(2) 着地検出器の2重化とインタロック強化により、検出器の動作不良で起こるワイヤーの繰り出し過ぎを防止した。

測定結果は XY レコーダに出力して操業者に示す一方、プロセス計算機を経て中央計算機に伝送し、データベース内に保存する。このデータを用いて各種の計算を行う。

### 2.2 マイクロ波式プロフィール計

当社で稼働実績のあるマイクロ波式固定サウンジング計<sup>2)</sup>を応用したプロフィール計であり、千葉 5,6BF に設置されている。測定原理は FM-CW レーダ方式であり、概略を Fig. 2 に、装置仕様を Table 1 に示す。ゾンデ先端に搭載したリフレクト型ホーンアンテナにより送受信されるマイクロ波をミキシングし、得られるビート波の周波数から原料面までの距離が求まる。

一般に、マイクロ波による距離計測では次の2つの問

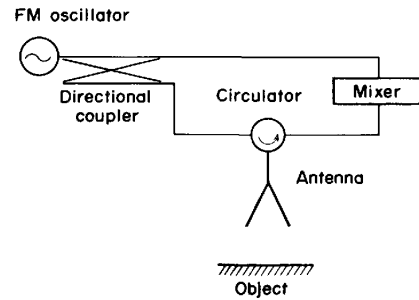


Fig. 2. Principle of burden profile measurement with microwave method.

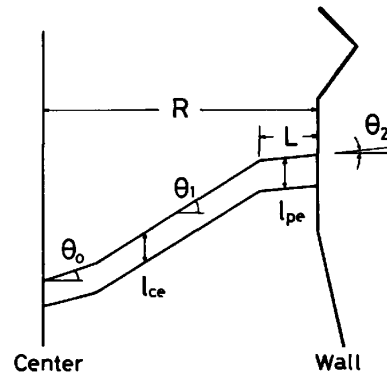


Fig. 3. Indices of burden profile and distribution.

題がある。一つは、原料面の凹凸の大きさがマイクロ波の波長と同程度であるため、反射波どおしが干渉し、受信マイクロ波パワーの減衰によつて測定不能となる場合があることである。これに対しては、マイクロ波変調幅を発振器の最大許容値まで拡大し、干渉効果によるパワー減衰を軽減している。またマイコンでのデータ処理では、パワー減衰時に出力ホールドを行つたり、原料面傾斜角の学習により異常値を排除している。

もう一つの問題はマイクロ波の指向性が低い場合、十分な反射強度が得られず、この傾向は原料面傾斜の増大につれ大きくなることである。指向性を高めるために、1アンテナ方式にするるとともにアンテナ口径を十分大きくしている。1アンテナ方式ではアンテナ面や導波管等でマイクロ波が漏れやすく、これがノイズとして反射波に加わるが、導波管の短縮によりノイズの周波数を小さくし、これをフィルタで除去している。

各測定値は本装置の測定精度 ±130 mm 程度ではらつづくが、プロセス計算機でデータ処理し、Fig. 3 に示すように、2直線近似により単純化した3つの指数、すなわち中心部と周辺部の傾斜角  $\theta_1, \theta_2(^{\circ})$  および炉壁近傍での肩部の長さ  $L(m)$  を算出している。

本装置は構造が単純で検出部に可動部がないのが長所である。当初、ダスト堆積によるリフレクトアンテナ部

の閉塞が発生したが、アンテナ底部の構造改善により解決し、現在では定期的保守は不要となっている。

### 2.3 レーザ式プロフィール計

光切断法による本方式には高精度かつ迅速に、また広範囲のプロフィール測定が炉外からできるという利点があり、ベルレス高炉である千葉 2BF で開発した<sup>3)</sup>。

光切断法を高炉炉頂に適用する場合の最大の問題点は炉内ガス中に浮遊する多量のダストによる光散乱と減衰および高温炉芯部から生じる輻射光の存在であり、レーザー光波長の選択が重要となる。高い透過率を得る目的で赤外レーザーを用いた例<sup>4)</sup>があるが、本開発では可視光域を用いる場合の次のような利点を考慮し、安定した性能をもち、大出力で連続使用が可能なアルゴンレーザーを用いた。(1)受像器として暗視機能を有する超高感度 ITV が使用できる。(2)炉芯部から生じる輻射光の影響が小さい。(3)光学系の調整と保守が容易である。

測定原理を Fig. 4 に、装置の仕様を Table 1 に示

す。高炉炉頂に設けた 2 つの窓の一方からビームスキャナによりレーザー光を原料面に投射、走査し、描かれた光軌跡を他の窓から TV カメラで撮像する。光軌跡像各点の TV 画面上における 2 次元位置座標 ( $H, V$ ) を検出し、これらの値と光切断面の水平方位角  $\xi$ 、ビームスキャナとカメラの幾何学的配置等から定まる座標変換式により 3 次元位置座標 ( $X, Y, Z$ ) を求める。

本測定法では、TV カメラにより得られる原画像がダストによる光散乱像を含み不鮮明である場合が多く、画質改善のための信号処理方法が要点である。これに関しては次の問題点があつた。(1) 超高感度 ITV の使用により多量のランダムノイズが生じる。(2) 強い背景画像が生じる。(3) S-N 比、ノイズ量が大幅に変動する。(4) 高温炉芯部の像を生じる場合がある。(5) 欠落データの補間や異常データの排除が必要である。これらを解決するために、Fig. 5 に示すマイコン制御による信号処理系を用いている。信号処理系は 2 系列の前処理部を持ち、一方はスキャンコンバータの書き込み入力に、他方は消去入力に接続される。前者に被測定画像信号を入力した後、後者に  $\xi$  をわずかに移動した画像を入力し、両者の減算処理により背景画像と炉芯像を消去する。なお、前処理部ではランダムノイズの平滑除去、プロフィール輪郭の強調、ビデオ信号強度の調整を行う。スキャンコンバータでは S-N 比の改善のために多重書き込みを行うが、書き込み強度と回数はマイコンから指示できる。画像処理の例を Photo. 1 に示す。信号処理系が所期の目的を達成していることがわかる。レーザー光の透過状態は炉内ダストの発生状況に強く依存するので、光軌跡の大幅な変動に対しては、光走査速度や受光感度の切り換えによって対応できる。

同一原料面のプロフィールを 1 min ごとに連続的に測定した例を Fig. 6 に示す。原料面の降下状況が明確にとらえられている。相対精度は  $\pm 50$  mm、1 半径方向あたりの測定所要時間は約 2s であり、前記 2 方法より高精度かつ高速である。

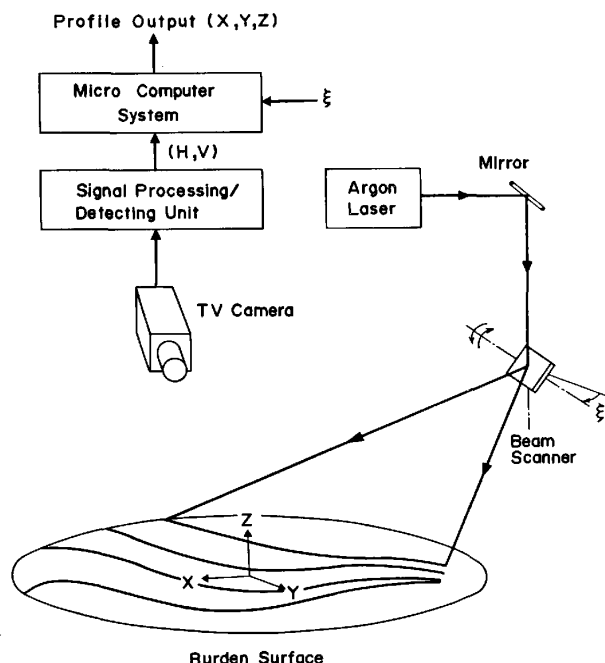


Fig. 4. Principle of laser type profile meter.

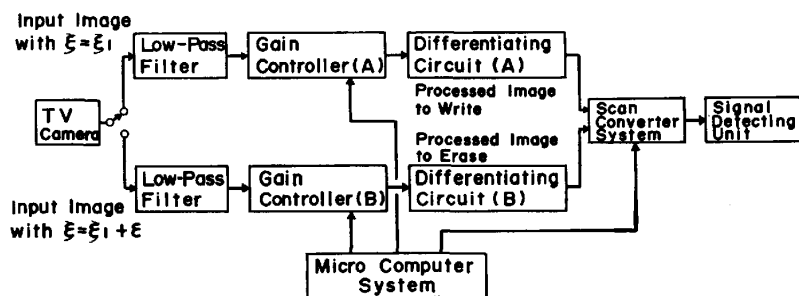


Fig. 5. Block diagram of the signal processing unit.



Photo. 1. An example of image processing. (a) Original image, (b) input and (c) output images of the scan converter system.

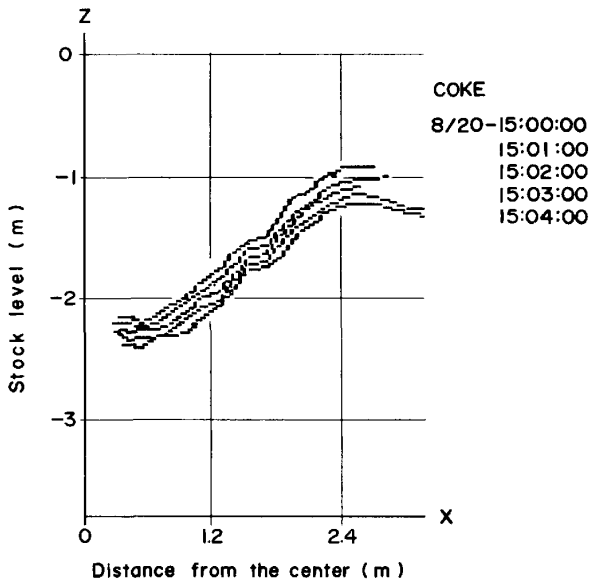


Fig. 6. Examples of the burden profiles measured by laser type profile meter every one minute (Chiba 2BF).

### 3. プロフィール情報の特徴

#### 3.1 プロフィルの再現性

測定値の再現性を確認するために、各方式それぞれに同じ装入パターンの中で、 $L$ 、 $\theta_1$  および  $\theta_2$  のチャージごと変動を求めた。Fig. 7 には代表例として、レーザ方式で測定した鉱石の  $L$  と  $\theta_1$  を示す。各々、 $\pm 250$  mm および  $\pm 3.5^\circ$  の変動範囲はレーザ方式の相対精度

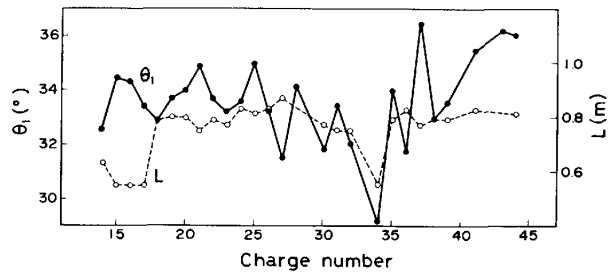


Fig. 7. Change in  $L$  and  $\theta_1$  of ore for every charge (Chiba 2BF).

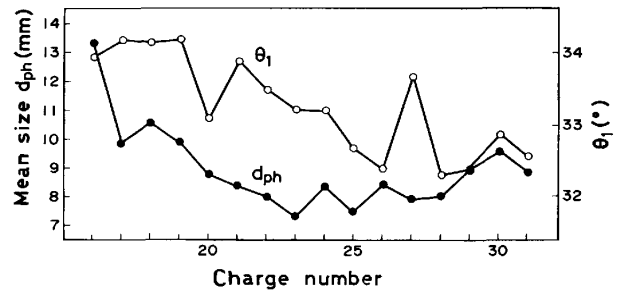


Fig. 8. Change in  $\theta_1$  and ore mean size for every charge (Chiba 2BF).

である  $\pm 50$  mm と  $\pm 1.5^\circ$  に対し、非常に大きい。Table 2 に示す  $\theta_1$  の標準偏差  $\sigma$  には、測定方式による有意差はみられないことから、測定対象自体の変動が大きいと考えられる。 $\theta_1$  の  $\sigma$  には、装入の前後で、あるいはコークスと鉱石とでも差がみられない。異なるのは炉中心近くの傾斜角  $\theta_0$  (Fig. 3) の  $\sigma$  が  $\theta_1$  の  $\sigma$  の 2

Table 2. Variation in burden profile data under one charging pattern.

| Type       | Profile data   |                            | Coke           |                | Ore            |                | Charging pattern  |
|------------|----------------|----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---|
|            |                |                            | C <sub>1</sub> | C <sub>2</sub> | O <sub>1</sub> | O <sub>2</sub> |   |
| Mechanical | $\theta_0$ (°) | a.* $\bar{x}$ ( $\sigma$ ) | 21.9 (4.3)     | 21.6 (3.8)     | 25.5 (4.0)     | 17.3 (3.2)     | C <sub>2</sub> O <sub>3</sub> C <sub>8</sub> O <sub>0</sub> |
|            |                | b.* $\bar{x}$ ( $\sigma$ ) | 20.5 (5.2)     | 19.5 (3.5)     | 23.4 (3.5)     | 16.6 (2.3)     |   |
|            | $\theta_1$ (°) | a. $\bar{x}$ ( $\sigma$ )  | 27.8 (2.2)     | 27.0 (1.2)     | 26.1 (1.6)     | 25.0 (1.3)     |   |
|            |                | b. $\bar{x}$ ( $\sigma$ )  | 27.6 (1.9)     | 26.6 (1.3)     | 24.4 (1.4)     | 24.5 (1.4)     |   |
| Micro-wave | $L$ (m)        | a. $\bar{x}$ ( $\sigma$ )  | 1.21 (0.10)    |                | 1.21 (0.13)    |                | C: 1112233444567<br>O: 1123344556677                        |
|            | $\theta_1$ (°) | a. $\bar{x}$ ( $\sigma$ )  | 36.2 (1.1)     |                | 30.4 (2.5)     |                |   |
|            | $\theta_2$ (°) | a. $\bar{x}$ ( $\sigma$ )  | 4.1 (6.4)      |                | 2.1 (8.7)      |                |   |
| Laser      | $L$ (m)        | a. $\bar{x}$ ( $\sigma$ )  | 0.88 (0.12)    |                | 0.75 (0.10)    |                | C: 11223345<br>O: 33344455                                  |
|            | $\theta_1$ (°) | a. $\bar{x}$ ( $\sigma$ )  | 37.3 (1.3)     |                | 33.6 (1.6)     |                |   |

\* a.: after charging, b.: before charging of next batch  $\theta_0$ : averaged inclination angle within 1 m from the center  $n=20\sim 30$

倍以上になっていることで、中心部ではコークスの流動化現象や装入物の流れ込み<sup>6)</sup>により、層の堆積状態が不安定であることを示している。Table 2の統計データから、信頼度 95% で  $\theta_1$  の測定精度を  $\pm 1^\circ$  あるいは  $\pm 2^\circ$  とするのに必要な測定回数は、各々 20 回、5 回となる。

$\theta_1$  のチャージごと変動のために、日常操業でとる比較的小さな装入条件の変更がプロフィールに及ぼす影響はこの変動の範囲内に入っているといつてよい。その原因の 1 つである鉱石粒度変動を  $\theta_1$  とともに示したのが、Fig. 8 である。時間の経過とともに、調和平均径  $d_{ph}$  も  $\theta_1$  も減少している。西尾ら<sup>5)</sup>が導いた  $\theta_1$  の理論式に  $\theta_1$  測定時の操業データを代入し、 $\theta_1$  への粒度の影響度  $\partial \tan \theta_1 / \partial d_{ph}$  を求めると、11 (1/m) が得られるのに対し、Fig. 8 では 12 (1/m) となり、よく一致する。

高炉炉内現象に関係する要因で影響の大きいのは装入物降下速度の半径方向分布とその経時変化である。装入物降下が断続的に起こったり、速度分布が不均一であることは Fig. 6 でもみられ、 $\theta_1$  が原料と装入条件で決まる固有の値から偏倚しやすいことはよく理解できる。

### 3.2 装入条件の変更によるプロフィールの変化

本節では原料配合や装入条件を変更した場合の測定例を示す。Fig. 9 a) より、鉱石の  $\theta_1$  はペレット配合比

Table 3. Burden profile data for four different charging patterns (Chiba 6BF).

| Term | n | L (m) | $\theta_1$ (°) | $\theta_2$ (°) | $l_{ce}$ (m) | $l_{pe}$ (m) | $l_{ce}/(R-L)$ (-) | Charging pattern |                |
|------|---|-------|----------------|----------------|--------------|--------------|--------------------|------------------|----------------|
| Ore  | a | 4     | 1.15           | 31.5           | 5            | 0.847        | 0.809              | 0.21             | 1223444456677  |
|      | b | 8     | 1.20           | 30.5           | 0            | 0.907        | 0.802              | 0.22             | 12334444566667 |
|      | c | 7     | 1.25           | 30.0           | 0            | 0.927        | 0.802              | 0.23             | 22334444566667 |
|      | d | 6     | 1.45           | 29.5           | 2.5          | 0.968        | 0.806              | 0.26             | 23334444566677 |
| Coke | a | 4     | 1.05           | 35.5           | 2.5          |              |                    |                  | 1112233444567  |
|      | b | 8     | 1.15           | 35.5           | 5            |              |                    |                  |                |
|      | c | 7     | 1.20           | 36.0           | 7.5          |              |                    |                  |                |
|      | d | 6     | 1.35           | 36.5           | 7.5          |              |                    |                  |                |

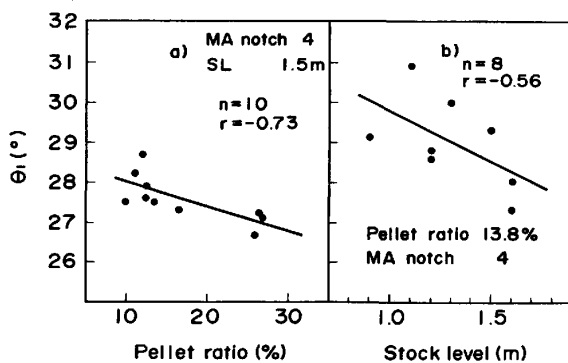


Fig. 9. Influences of pellet ratio and stock level on  $\theta_1$  of ore (Mizushima 3BF).

の増加につれて低下し、その割合はペレット 1% 当たり  $-0.07^\circ$  となる。実機大模型実験<sup>6)</sup>での  $-0.1^\circ/\%$  に近い。

Table 3 は千葉 6BF で鉱石装入パターンを変更し、順次、周辺流化を図った 4 期間の結果を示す。各期の平均値によると、L の増加、鉱石の  $\theta_1$  および  $\theta_2$  の減少がみられる。鉱石のプロフィールが V 型から M 型へと変化し、鉱石層厚は中心部で増加し、周辺部で減少しており、意図した制御が実現できている。

L の変化とともに、プロフィールの屈曲点を境にして、V 型の中心部と長さ L の周辺部への堆積量も変化すると考えられる。次バッチの装入で前バッチの堆積状態が変化しないと仮定し、O/C とコークベースの補正も行って、 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、L から中心部と周辺部の平均層厚  $l_{ce}$ 、 $l_{pe}$  (m) を計算した (Fig. 3, Table 3)。中心部に注目して、これを 1 基の高炉とみなせば、L の増加は炉口径 R の減少に対応し、一方  $l_{ce}$  は増加しているので、成田ら<sup>6)</sup>が用いた無次元装入量と同義の  $l_{ce}/(R-L)$  も増加し、 $\theta_1$  が低下する条件となる。 $\Delta \theta_1 / \Delta (l_{ce}/(R-L))$  を a 期と d 期とから求めると  $-42^\circ$  が得られ、成田らの図<sup>6)</sup>から読みとれる  $O \downarrow$  の場合の  $-45^\circ$  および  $O \downarrow O \downarrow$  の場合の  $-48^\circ$  とよく一致し、L の増加は  $\theta_1$  の低下を促すと解釈できる。値が小さいのは、ベルレス高炉での装入速度が小さいことによると思われる。一方、周辺部では層厚の減少と L の増加による壁効果の減少とから  $\theta_2$  も低下する。

この関係がベル高炉でみられるのは、MA 位置を変更した場合であり、Table 4 に示すとおりである。これに対し、 $S_L$  と  $\theta_1$  の関係 (Fig. 9 b)) は上述の推論に反するように思われるが、落下軌跡から判断すると、 $S_L$  の 0.5 m 上昇で、L は炉壁近くで 0.15 m 増すだけであり、中心部への実質的な装入量の増加はわずかしかない。むしろ、装入物が装入面に衝突する際の運動エネルギーか、あるいは、 $O \downarrow$  時の臨界堆積量を越えた範囲における  $\theta_1$  と無次元装入量の関係<sup>6)</sup> によつて、ベル高炉での  $S_L$  と  $\theta_1$  の関係が決まると考えられる。

## 4. 高炉操業におけるプロフィール情報の利用

### 4.1 プロフィール情報の処理と装入物分布モデル

水島製鉄所では、装入物プロフィールと差指のデータか

Table 4. Relation between MA notch and  $\theta_1$  (Mizushima 3BF).

|                | Ore  |      | Coke |      |      |
|----------------|------|------|------|------|------|
| MA notch       | 0    | 2    | 2    | 3    | 4    |
| $\theta_1$ (°) | 29.3 | 27.9 | 32.8 | 31.5 | 29.9 |

ら層厚分布の推定と予測を行う装入物分布モデルを開発した。このモデルは次の2つの仮定から成り立っている。(1) 装入直後のプロフィールは原料の種類と MA 位置によつて一義的に決まり、これを標準プロフィールと呼ぶ。(2) 装入面各点の降下量は差指降下量に比例し、比例定数は半径の1次式である。

プロフィールの各点ごとに、装入完了から測定までの時間を考慮して、仮定(2)により、装入直後の上面プロフィールを逆算する。この計算を、同一装入条件で10回以上測定したプロフィールのすべての点に適用した後に、最も誤差の小さいプロフィールを最小自乗法で求め、これを標準プロフィールとする。層厚分布は次のように推定する。(1) 標準プロフィールを実装入量で補正し、装入直後のプロフィールとする。(2) このプロフィールから、実績の差指降下量と仮定(2)を用いて、次バッチ装入直前のプロフィールを求める。(3) 次バッチ装入直後のプロフィールを同様に求め、次バッチの層厚分布を計算する。予測の場合も同様に、標準プロフィールを用いるが、装入量の計画値を使う点と、差指降下量のかわりに  $S_L$  を合わせる点異なる。

4BF で行つた装入物分布制御の実験例から、層厚比  $l_0/l_c$  の推移を Fig. 10 に示す。期間1~4では MA 位置の変更にもかかわらず、層厚分布の変化は小さい。7期になつて、層厚比が周辺部で増加し、中間部で減少した結果、ガス分布が大きく変わり、中心流型となつた。

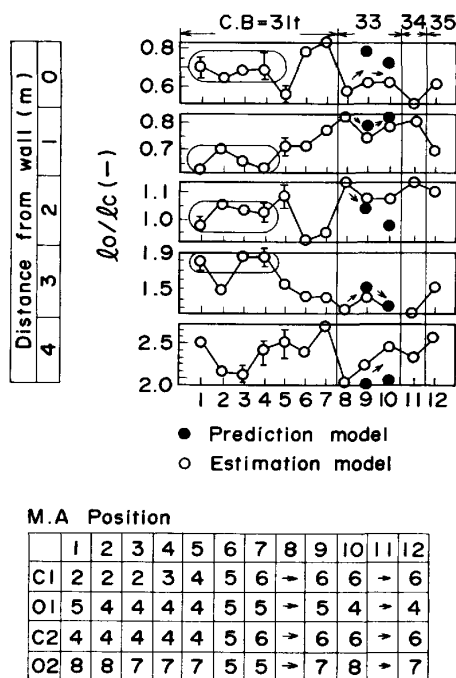


Fig. 10. The ratios of layer thickness obtained by the estimation model and the prediction model.

8期以後では、中間部温度の維持とガス利用率の向上を目的として、層厚分布を予測しつつ、MA 位置を変更した。この予測が、ほぼ妥当であつたことが Fig. 10よりわかる。

本モデルでは、チャージごとの生データを直接使用することを避け、10チャージ以上のプロフィール情報に、各種の処理や補正を加えて、信頼性を高めている。

4.2 燃焼帯温度に及ぼす層厚の影響

ガス側入口である羽口部でも、ITV 技術を利用した羽口輝度や生鉱降りの計測が行われ、情報が増しつある。曾我ら<sup>7)</sup>の知見は装入物分布が羽口部の固体および融体温度に影響することを示唆している。そこで、千葉2BFにおいて、プロフィール計下方の羽口で燃焼帯温度  $T$  を2色温度計により測定し、プロフィール計による鉱石層厚  $l_0$  との関係の時系列相関解析により調査した。 $T$  と  $l_0$  との相互相関係数は時間遅れ 12.5h で  $-0.58$  のピーク値を示した。この時間遅れにおける  $T$  と  $l_0$  の対応状況を Fig. 11 に示す。装入回数 19~22 回を除いて、相関は強く、炉熱調整を目的とした 29 回のプランク装入が相関係数に寄与している。燃焼帯温度の代表値として操業管理に用いている RMM の理論燃焼温

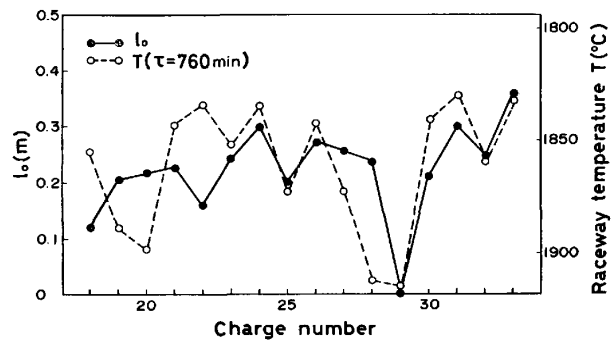


Fig. 11. Correspondence of raceway temperature to ore layer thickness for time lag of 12.5h.

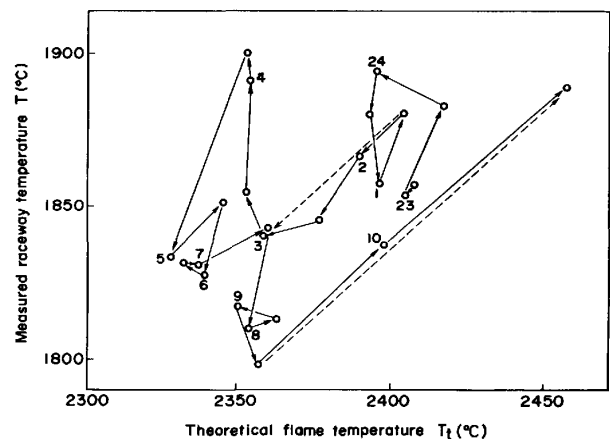


Fig. 12. Relation between measured raceway temperature and theoretical flame temperature.

度 $T_t$ と $T$ との関係を Fig. 12 に示す. 図中の数字は時刻を示し, 破線は送風条件を大きく変更した時間帯を意味する. 第1回は湿分 +4.2 g/Nm<sup>3</sup>, 送風温度 -22°C, 第2回は湿分 -12.1 g/Nm<sup>3</sup>, 送風温度 +32°C に対応する. これらの時間帯で, 送風条件の変更に応じて $T$ が変化し, 変化の方向と量には期待どおりの効果がみられる. Fig. 11 で $l_0$ と $T$ の相関がない19~23回は最初の送風条件変更時と対応するのであるが, $T$ が送風条件の方に強く依存し, $l_0$ の影響が現れなかつたと考えられる. 一方, Fig. 12 において, 3時から5時までは大きな送風条件の変更がなく, $T_t$ がほぼ一定であつたにもかかわらず, $T$ が約60°C上昇したのは, ブランク装入の影響とみることができる. 本節の結果より, ブランク装入が炉熱調整に有効であるとともに, 層厚の変動防止が溶銑温度や[Si]の安定化にとつて重要であるといえる.

## 5. 結 言

測定原理の異なる3方式の高炉装入物プロフィール計を開発し, 実高炉に設置して操業に活用している. プロフィール情報と高炉操業についても, 解析を行い, 種々の知見を得た. 装入条件が同じであつても, 炉内現象や装入物性状の変動に起因するプロフィール測定値のばらつきは大きく, 統計処理やモデル計算により, プロフィール情報

としての信頼性を高めるための努力を行つてきた. 今後その努力は続けなければならないであろう.

プロフィールのチャージごと変動が大きい中で, プロフィールの基本的な特徴や大きな装入条件変化の効果はどの方式でも把えることができる. 現状では, 保全上の理由からマイクロ波式が使いやすく, 将来的には, 機能上の理由からレーザ式が最良と考えられる.

本報に述べた一連の作業の中で得られた計測固有技術は他分野へも技術転移がなされた. 約5年の長期間にわたる研究開発では, 執筆者に挙げた以外にも多くの人たちの貢献があつた. ここに感謝を捧げたい.

## 文 献

- 1) 長井 保, 高橋洋光, 田村 栄, 奥村和男, 中村勝: 鉄と鋼, 63 (1977), S 438
- 2) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 65 回計測部会 (1977 年 2 月) 川崎製鉄(株) (私信)
- 3) 浅野有一郎, 矢部 直, 栗田邦夫, 平橋 明, 守屋 進, 百瀬 惇: 第 20 回 SICE 学術講演会予稿集 (1981), p. 439
- 4) 稲崎宏治, 南外 孝, 藤森康朝, 木村博一: 計測と制御, 22 (1983), p. 477
- 5) 西尾浩明, 有山達郎: 鉄と鋼, 66 (1980), p. 1878
- 6) 成田貴一, 稲葉晋一, 小林 勲, 沖本憲市, 清水正賢, 矢場田武, 玉田慎一: 鉄と鋼, 65 (1979), p. 358
- 7) 曾我 弘, 中村正和, 須賀田正泰: 製鉄研究 (1976) 289, p. 23
- 8) たとえば 館 充: 鉄と鋼, 58 (1972), p. 566