

レーザーセンサーによる実炉レースウェイ深さの測定

Measuring of Raceway in Actual Blast Furnace by Using Laser Sensing System¹⁾

(株)中山製鋼所製鉄部

久米正一*・福井雅之・溝口健次

田中祥之・逸見健治・西台 太

(株)天野研究所

天野 豁

1. 緒言

本測定は、豪BHP社で開発されたレースウェイセンシングシステム¹⁾を用いて、当社1高炉(内容積:1000m³)で稼働中のレースウェイの深さを測定した。本測定法は、長時間の連続測定が可能のため、比較的長い時間で、かつ、周期的に発生すると思われる、貯鉄滓量の変化に対応したレースウェイの変化を検知することができた。本報告では、レースウェイセンシングシステムでの測定結果および貯鉄滓量管理への適用の可能性について報告する。

2. テスト装置・機器構成

本テストに使用した窒素レーザーの特性についてTable. 1に示す。今回のテストでは、レピティションレートは10Hzで実行した。また、Fig. 1にレースウェイセンシングシステムの機器構成を簡単に示す。本システム測定装置のメインとなるオプティカルヘッド部は、ブローパイプの覗口カバーと、ボールバルブで縁切りが可能となっており、Photo. 1に、その様子を示す。オプティカルヘッド部は、直径180mm、長さ410mmのハンディタイプであり、止め金具にて、ワンタッチで着脱が可能な機構になっている。

Fig. 2に機器の配置と測定羽口No. 9の位置関係を示す。Fig. 1で示した、オプティカルヘッド部以降のデータ処理装置等は、図中のCPUと記された位置に配置した。

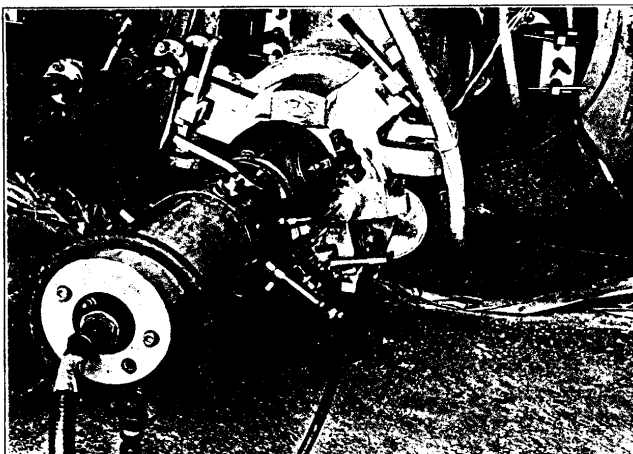


Photo. 1 Setting condition of Optical-head

Table. 1 Characteristics of Nitrogen laser

I t e m	V a l u e
Wave Length	3 3 7 . 1 (n m)
Spectral Bandwidth	0 . 3 (n m)
Repetition rate	1 ~ 2 0 (H z)
Pulse width	2 . 5 (n s)
Pulse energy	1 7 5 (μ J)

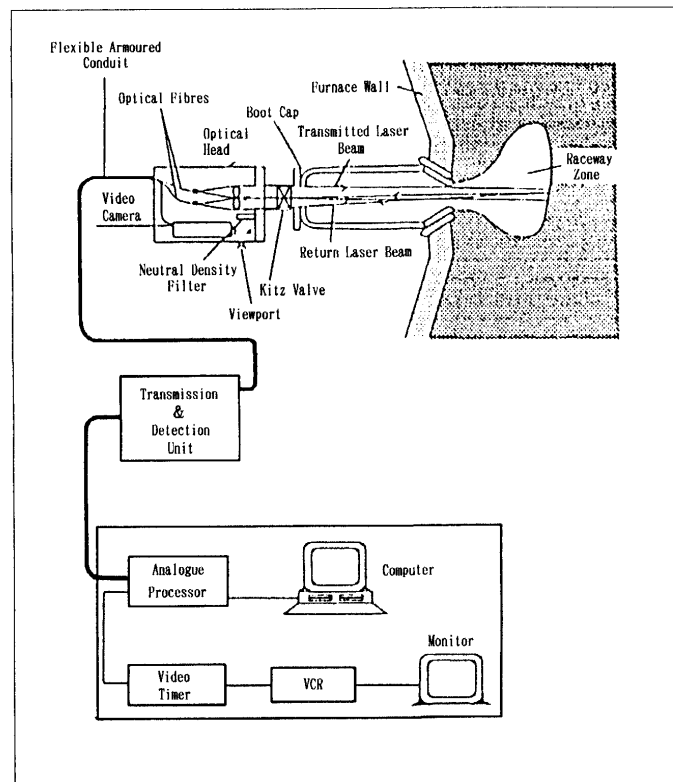


Fig. 1 Schematic diagram of raceway system

3. 測定方法

本テストでは、出鉄口の反対側に位置する羽口 No. 9 を測定用羽口に選定し、およそ 9 時間に渡って高炉送風条件を一定に維持しながら測定した。

測定頻度は 1 時間毎に、測定条件は 5 分間微粉炭をカットしオールコークスの状態で、また、レーザーの透過方向は、一定とした。

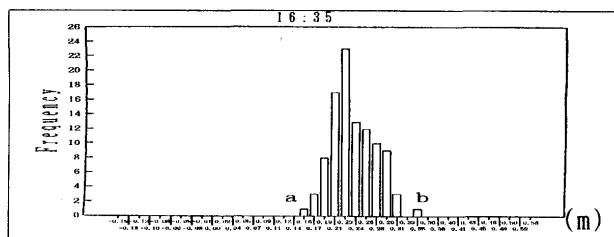


Fig. 3 Example of output data from BHP's raceway sensing system (histgram)

Fig. 3 と Fig. 4 に、本センサーの出力結果の一例を示す。Fig. 3 の縦軸は、レーザーが粒子と衝突した回数を、横軸は、羽口先端を 0 mm とするレーザーの透過方向の距離を示す。ヒストグラムの a 点を Min. 値、b 点を Max. 値と呼称した。

Fig. 4 は、Fig. 3 の a 点の Min. 値と b 点の Max. 値、および両者の単純平均値の時系列推移グラフである。レースウェイ深さの推移とは、本システムでは、Max. 値の推移に対応する。

4. 測定結果

Fig. 5 に出鉄滓とレースウェイ深さの関係を示す。横軸に時刻、縦軸にレースウェイ深さとした。出鉄滓中、閉塞中に出鉄滓作業とレースウェイ深さには、なんらかの周期性が認められる。

Fig. 6 は、その原因を究明するため、出鉄中、閉塞中で大きく変化する炉内貯鉄滓量（計算値）とレースウェイ深さについてプロットしたもので、横軸は炉内に残留している溶鉄滓蓄積容量を、縦軸は、レースウェイ深さを示している。

この結果より、炉内貯鉄滓量が増大するとレースウェイは縮小し、貯鉄滓量が低下するとレースウェイは、逆に、拡大する傾向みられる。

Table. 2 は一例として、レースウェイ深さが増大している (A) 点と、逆にレースウェイが縮小している (B) 点の高炉操作条件とレースウェイ深さ D_p を比較した表である。操作条件は、2～4 % の変化であるが、 D_p は 33 % 程度変動しており、 D_p の変化は、顕著であることがわかる。

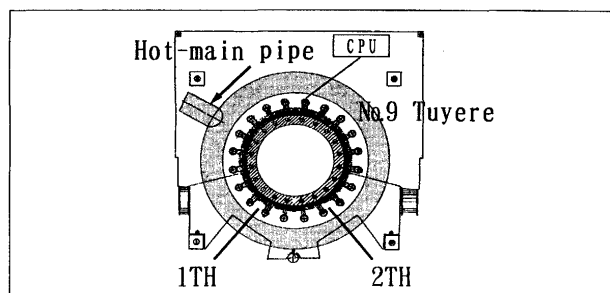


Fig. 2 Schematic diagram of layout of sensor

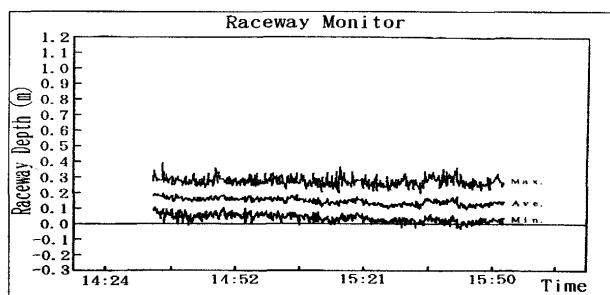


Fig. 4 Example of output data from BHP's raceway sensing system (trend-graph)

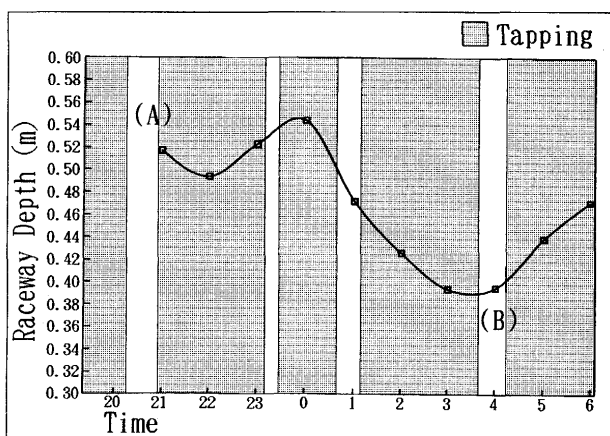


Fig. 5 Periodical changing of raceway depth

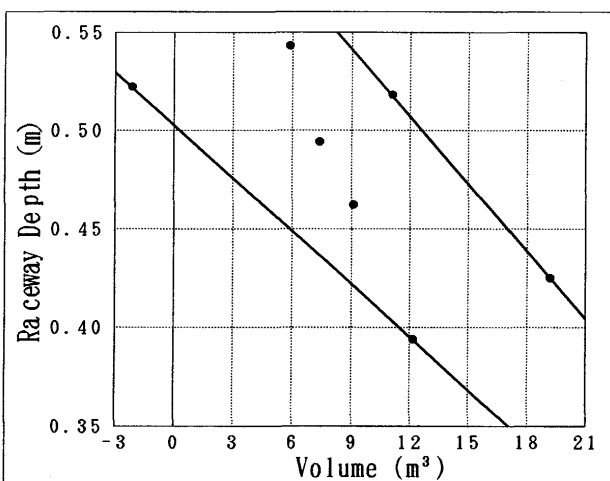


Fig. 6 Relationship between raceway depth and accumulated molten iron and slag

5. 考察

操業条件は、2～4 %の変化であるが、D_pは33%程度変動した理由として下記の5点、つまり①測定点（A）では出銑滓作業を、2回出し（仮止め再出銑）によりスラグの排出に努め、極力炉内の貯銑滓量を少なくするよう作業側で配慮したこと。

②測定点（B）では通常の出銑であったが、出銑時間が145分と若干短く、貯銑滓量が多かったこと。

③貯銑滓量の増大により、炉芯が浮上することから物理的にレースウェイ空間が縮小傾向になること。

④レースウェイ上部より、降下してくる塊コークスが減少し、レースウェイ下部に存在するそれよりも粒子径の小さなコークスの消費が、増大してくること。

⑤特に当社では、出銑口が片側のみに2本あり、その反対側に位置する羽口No.9付近には、どうしても排出の遅延したスラグが残留し易いこと、等を想定している。

以上、レースウェイ深さの変化に関する理由について若干の考察は行ったものの、レースウェイ空間、つまり、3次元的にはどうであったかについてのなんら知見は得られていない。そのため以下に述べる手法、すなわち、レースウェイ内でのレーザーの散乱係数を試算し推論を試みた。試算は以下の通りである。散乱係数は、ランベルト・ベア²⁾の光の散乱の一般式で、吸収係数は無視できるとし、下式より求めた。

$$\mu = (-\log_e (N/N_0)) / L \text{ ----- (1)式}$$

〔 μ ：散乱係数， N ：散乱後の光子数， N_0 ：入射前の光子数， L ：通過距離〕

上式は、本テストで対象とする浮遊コークス粒子径のほとんどが数十 μm 以上であり、レーザーの波長は、0.337 μm で一定あり $r \gg \lambda$ である為、ミー理論³⁾を採用できる可能性があり、下式がなりたつとした。

$$\mu = \pi r^2 \cdot n \cdot K \text{ ----- (2)式}$$

〔 r ：粒子径， n ：単位体積当たりの粒子数， K ：散乱効率（ $r \gg \lambda$ の時，定数³⁾）〕

つまり、本テストは、測定したデーターを(1)式へ代入し、散乱係数をもとめ、(2)式により解釈することを試みたわけである。Fig. 7は、その計算結果を示す。

Fig. 7の上段は、測定点（A），（B）のヒストグラムの比較を示す。縦軸はレーザーが粒子と衝突した回数を、横軸は、羽口先端を0mmとするレーザーの透過方向の距離を示す。

Fig. 7の下段は、ヒストグラムをもとに、レーザーと衝突した位置別の散乱係数 μ を両ケースで比較したものである。下段右下のグラフが示すように、ケース（B）の方がレースウェイ縮小分だけコークス粒子濃度が上昇し、その結果、散乱係数は上昇したと思われる。

次にこの散乱係数の上昇を定量的に説明するため、簡単な試算を実施した。以下にその結果を示す。レースウェイを球と仮定すると、(2)式の n は、下式のように書き換えることができる。

$$\mu_A = \pi r^2 \cdot N / D_A^3 \cdot K \text{ [}\mu_A\text{: ケースAの散乱係数, } r\text{: コークス平均粒子径, } N\text{: コークス粒子数]}$$

$$\mu_B = \pi r^2 \cdot N / D_B^3 \cdot K \text{ [}\mu_B\text{: ケースBの散乱係数, } D_A, D_B\text{: ケースA, Bのレースウェイ深さ]}$$

$$\text{上式より, } \mu_A / \mu_B = (N / D_A^3) / (N / D_B^3) = D_B^3 / D_A^3 \text{ ----- (3)式}$$

(3)式にレースウェイ実測値を代入すると、 $D_B^3 / D_A^3 = (437.5^3 / 537.5^3) \approx 0.54$ となる。一方、Fig. 7図中の実線で囲んだ部分の μ の平均値より、 $\mu_A / \mu_B = 0.097 / 0.208 \approx 0.47$ となる。両者は十数パーセントの誤差があるものの良い一致を示し、レースウェイは、ケース（B）の体積的な変化による縮小と推察される。

以上の試算結果より、貯銑滓量の変化でレースウェイ深さは変化するが、それはレースウェイ空間の体積的な変化であって、少なくとも、深さ方向の一次元的なものではないと推察している。

Table. 2 Results of test

I t e m	C a s e		
	(A)	(B)	$\frac{(A)}{(B)}$
Blast volume (Nm ³ /min)	1846	1843	1.00
Blast temp. (°C)	1229	1229	1.00
Blast moisture (g/Nm ³)	21.2	22.6	0.98
Oxygen volume (Nm ³ /Hr)	899	899	1.00
Blast Pressure (g/cm ²)	2370	2432	0.98
E k (Kgm/sec)	5283	5099	1.04
D p (m)	0.52	0.39	1.33

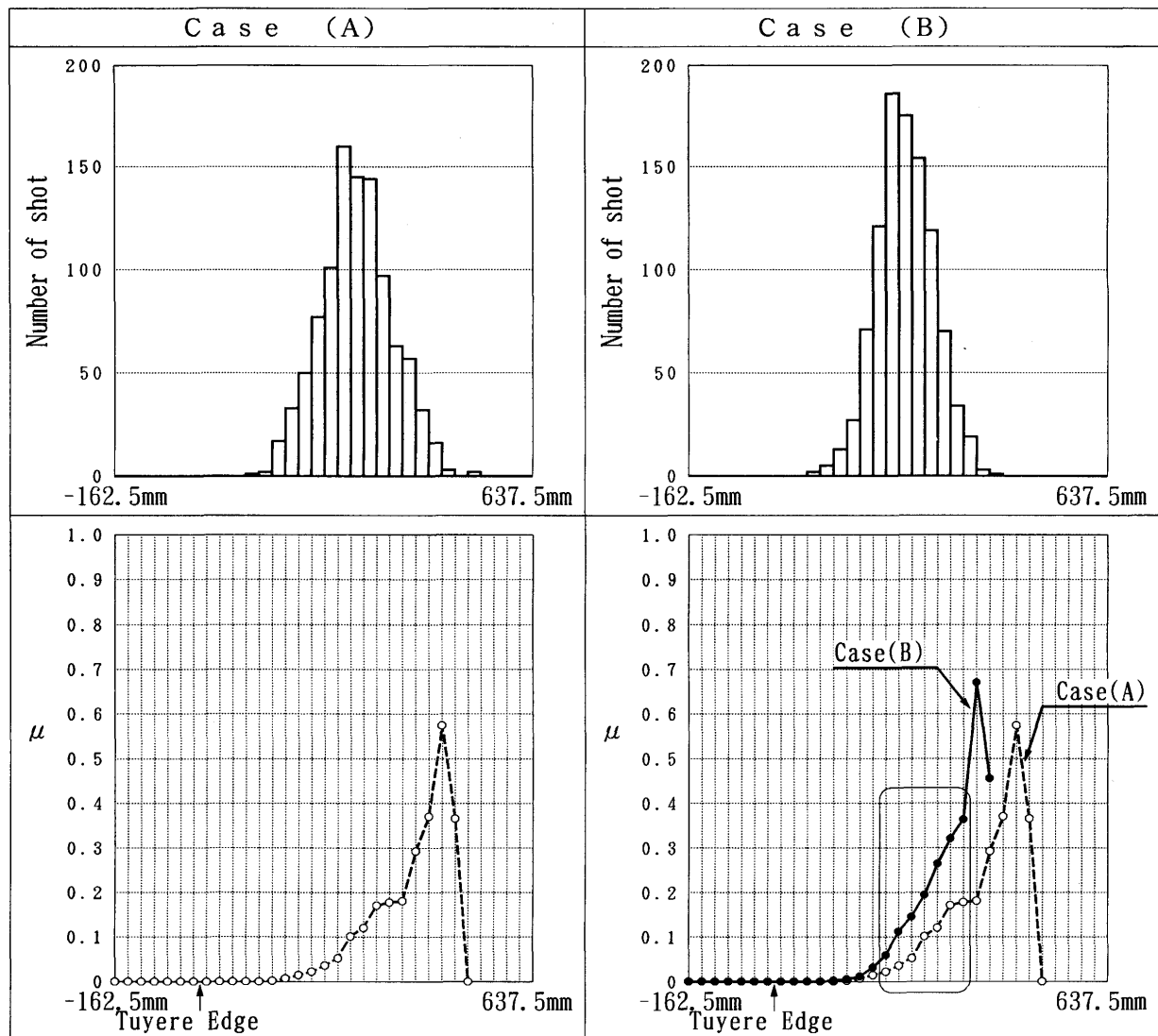


Fig. 7 Changing of μ and histogram on condition of Case(A) and Case(B)

6. 結言

豪BHP社で開発されたレースウェイセンシングシステムを用いて、当社1高炉（内容積：1000m³）で稼働中のレースウェイの深さを測定した。本測定法は、長時間の連続測定が可能のため、比較的長い時間で、かつ、周期的に発生すると思われる、貯銑滓量の変化に対応したレースウェイの変化を把握することができた。これは、レースウェイセンシングシステムの、出銑滓作業への適用の可能性を示唆しており、非常に興味深い知見を得られたと考えている。当社1高炉は、出銑口角度が72度で片面に2本保持しているものの、TPC軌条の問題および水砕設備の問題から同時出銑は不可能であり、出銑滓作業の良否による操業への影響は大きい。従って当社のように、出銑口の少ない高炉での出銑滓作業管理には、本センサーが、特に有効であると考えている。

参考文献

- 1) A B Dubal, J C Scott, P C Wall and J M Burgess : Proceeding of the Sixth International Iron and Steel Congress, 1990, Nagoya, ISIJ , P. 405
- 2) 久保田広, 浮田祐吉, 會田軍太夫編集 : 光学技術ハンドブック (朝倉書店) P. 1112
- 3) 久保田広, 浮田祐吉, 會田軍太夫編集 : 光学技術ハンドブック (朝倉書店) P. 1113~1115