
レーザ式高炉装入物プロフィール計の開発

Development of Laser Type Burden Profile Meter at Blast Furnace

浅野 有一郎(Yuichiro Asano) 塩住 基仁(Motoji Shiozumi) 虎尾 彰(Akira Torao)
柳本 隆之(Takayuki Yanagimoto) 栗田 邦夫(Kunio Kurita) 八角 忠明(Tadaaki Yasumi)

要旨：

ベルレス高炉である千葉製鉄所第2高炉と第6高炉で、可視光レーザを用いた装入面プロフィール計を開発した。光切断法を用い、装置はArレーザ、ビームスキャナー、投光レンズ系イメージファイバー、TVカメラ、信号処置装置、マイコンなどからなる。炉頂の一方からレーザビームを投入・走査し、光軌跡を他方から撮像する。画像処理を行って、各測定点の位置を求める。炉内ダストなどによる画質の劣化に対処するために、種々の工夫をしている。1半径の測定で、分解能50mm、測定時間20secであり、高精度かつ迅速な測定が可能である。測定結果により、本装置の機能上の特徴を示すとともに、プロフィール変動原因の考察、操業への活用について述べた。

Synopsis：

Burden profile meters using laser light have been developed at Chiba No.2 and No.6 BF's. A light cross section method is applied. The measuring system consists of an argon laser head, a beam scanner, a lens and prism system, image fibers, a TV camera, a signal processing unit and a microprocessor. A laser beam with visible wavelength is projected and scanned on the burden surface from a given direction. The camera views the spot on the surface from another direction. The position of the spot is determined by image data processing. The image quality is improved by data processing techniques, because the original image is damaged by the beam scattering effect of dust. The profile meter has the following functions; a resolution of 50 mm and a measuring time of 20 sec for one radius. On the basis of measured results, the functions of the burden profile meter are shown and its characteristics discussed.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

Development of Laser Type Burden Profile Meter at Blast Furnace



浅野 有一郎
Yuichiro Asano
鉄鋼研究所 計測制御
研究部 主任研究員(掛
長)



近藤 幹夫
Mikio Kondoh
鉄鋼研究所 計測制御
研究部 主任研究員(課
長)



柳本 隆之
Takayuki Yanagimoto
鉄鋼研究所 計測制御
研究部



栗田 邦夫
Kunio Kurita
鉄鋼研究所 計測制御
研究部 部長



平橋 明
Akira Hirahashi
本社 計量器技術セン
ター 主査(掛長)



友成 和弘
Kazuhiro Tomonari
本社 計量器技術セン
ター

要旨

ベルレス高炉である千葉製鉄所第2高炉と第6高炉で、可視光レーザを用いた装入面プロフィール計を開発した。光切断法を用い、装置は Ar レーザ、ビームスキャナー、投光レンズ系イメージファイバー、TV カメラ、信号処理装置、マイコンなどからなる。炉頂の一方からレーザビームを投入・走査し、光軌跡を他方から撮像する。画像処理を行って、各測定点の位置を求める。炉内ダストなどによる画質の劣化に対処するために、種々の工夫をしている。1 半径の測定で、分解能 50 mm、測定時間 20 sec であり、高精度かつ迅速な測定が可能である。測定結果により、本装置の機能上の特徴を示すとともに、プロフィール変動原因の考察、操業への活用について述べた。

Synopsis:

Burden profile meters using laser light have been developed at Chiba No. 2 and No. 6 BF's. A light cross section method is applied. The measuring system consists of an argon laser head, a beam scanner, a lens and prism system, image fibers, a TV camera, a signal processing unit and a microprocessor. A laser beam with visible wavelength is projected and scanned on the burden surface from a given direction. The camera views the spot on the surface from another direction. The position of the spot is determined by image data processing. The image quality is improved by data processing techniques, because the original image is damaged by the beam scattering effect of dust. The profile meter has the following functions: a resolution of 50 mm and a measuring time of 20 sec for one radius.

On the basis of measured results, the functions of the burden profile meter are shown and its characteristics discussed.

1 結 言

装入物分布制御技術は、原料性状管理および炉熱制御と並んで、最も重要な高炉操業技術の1つである。最近では装入物分布制御の実績が挙がるにつれ、その重要性は再認識されてきている。装入物分布制御は原料性状管理や炉熱制御のように伝統的な製鉄冶金学の研究対象でないことから、元来、研究のおくれていた分野であったが、その進展についてはトリガーとなった2つの事象があった。その1つは解体調査である。融着帯が発見されたことを契機として、融着帯形状と高炉操業との関係が注目を集め、融着帯形状の最適化のために、炉内ガス流れと装入物分布に関する定量的な理論研究が盛んになった。もう1つは、装入物分布制御のための操作端として、ムーバブルアーマーに加え、さらに多彩な制御が可能なベルレス装入装置が実用化され、極めて有効な操作手段が実現したことである。

一方、オイルショック前後より、省コストのための操業ニーズ、すなわち、低 Si・低燃料比操業、オールコークス操業、低出鉄比操

業などが要請され、装入物分布の理論と操作端の有効活用が急務となった。このことは高炉操業における制御の考え方を、従来のものから、より本来的なフィードバック制御への志向へと変えるものであり、理論の確認、装入条件および操業条件の最適設定のために、より早く、信頼性のある装入物分布に関する情報が必要となり、センサー開発は不可欠の要件となった。

当社では、上記の操業ニーズとはほぼ同時期に、千葉製鉄所第6高炉(BF)でベルレス装入装置が採用され、装入物分布制御を高炉操業技術上の最重要課題の1つとして位置付け、装入物分布のオンライン計測に力を注いできた。機械式プロフィール計、μ波プロフィール計およびレーザ式プロフィール計を相前後して開発し、操業に活用してきた。本報告では、ベルレス高炉に最適な計測装置として開発した可視光レーザによる高炉装入物プロフィール計の装置概要と操業への活用について報告する。

* 昭和61年1月30日原稿受付

2 装入物分布形成機構とプロフィール計測の必要性

高炉炉頂での原料装入にともなう起る基本的な物理現象は装入物粒子の集合体としての運動 (bulk flow) と粒度構成に起因して起る粒度偏析とから成る。ペルレス装入装置の場合を例にとると、装入物分布に影響を及ぼす各種要因は複雑に絡み合うが、主たる影響因子は (1) 装置条件、(2) 分配シュート旋回条件、(3) 原料装入速度、(4) 装入物の物理的性質、(5) 炉内ガス流速である。このうち、操作が容易で、装入物分布制御を目的とする操作量は (2) だけであり、その他は与条件と見なすべきものである。一方、装入物分布という用語が意味する実体は、半径方向の層厚分布と粒度偏析に集約される²⁾。従って、計測すべき対象としては、この2つが最も望ましい。しかし、粒度偏析には適当な手段がなく、層厚分布計測に関してもマグネットメータ方式³⁾などが報告されているが、装入物層の中に検出部を挿入する必要がある、耐久性と保守性の面で困難が多いうえに、コークス層と鉄石層間の境界を高精度で判別することはできないなど、信頼性の高いオンライン測定法は未だ確立されていない。

装入物層厚の高精度計測が困難ならば、層厚分布に至るまでの中間段階で、これを推定できる計測量を対象とし、さらにそこから読みとれる装入物分布に関する有効な情報を操業に利用することは、次善の策として重要なことである。このような計測量に該当するのは装入面プロフィールである。

装入面プロフィールは装入物流が堆積斜面上を運動した結果として形成され、前チャージの堆積面形状、装入パターン、装入物の物理的性質と装入速度および炉内ガス流速に影響を受けるが、装入物分布制御上、実質的には唯一の操作量ともいえる装入パターンをよく反映する計測量である。したがって、操作量に最も近い検出値であり、操作量変更へのフィードバックがより容易となる利点をもつ。

しかし、装入面プロフィールは装入物層表面の情報にすぎず、降下速度分布、混合層の形成、装入時の下層の変形など隣接層間および充填層全体にわたる物理現象を仮定するか推定するかしないと層厚は求められない。これらの物理現象には現象自体の不確実性が存在するので、それらの影響を受けた量としての層厚分布を計測することが、高炉操業上からはより本質的な要請であったとしても、操作量である装入パターンに固有の値として層厚分布を把握することは装入面プロフィールよりも困難になる。両者を計測し、それぞれの長所を共に生かしていくべきである。

3 千葉第2高炉におけるレーザ式プロフィール計の開発

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、炉頂装入物面上方の空間に制約のないペルレス高炉を対象にして、まず千葉第2高炉で実験機を開発を行った。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を用いた例⁴⁾があるが、本研究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) 炉心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。

3.1 測定原理と装置概要

Fig. 1 に示すように、高炉炉頂に設けた2つの窓の一方からビームスキャナーによりレーザ光を原料面に投射、走査し、描かれた光軌跡を他方の窓からTVカメラで撮像する。得られた光軌跡像各点の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 ξ 、ビームスキャナーとTVカメラの幾何学的配置などから定まる座標変換式により炉内の3次元位置座標 (X, Y, Z) を求める。レーザビームが炉中心軸を通るように ξ を固定すれば、1直径あるいは1半径でのプロフィール測定ができ、 ξ の値を順次変化させて、この操作を繰り返せば原料面の広い範囲にわたるプロフィールの面測定が可能である。

装置のブロック図を Fig. 2 に示す。実座標の変換演算のほか、

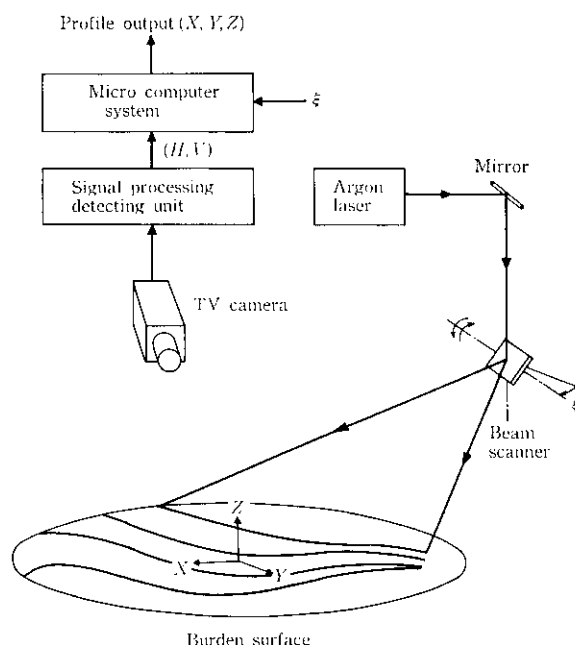


Fig. 1 Principle of laser type profile meter at Chiba No. 2 BF

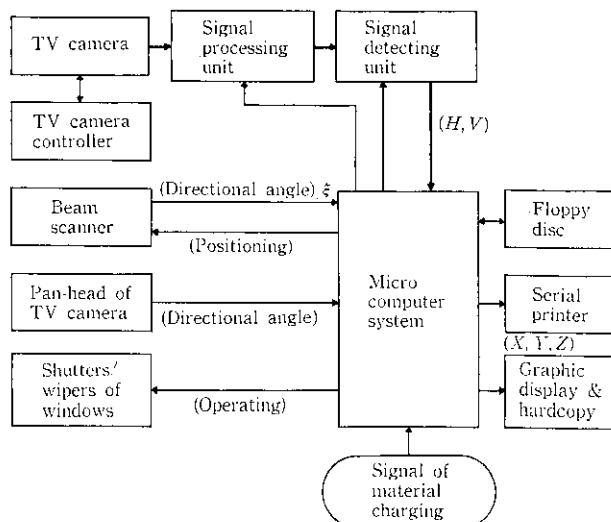


Fig. 2 Block diagram of the measuring system

Table 1 Equipment specification of laser type profile meter

		No. 2 BF type	No. 6 BF type
Light source	Type	Argon laser	Argon laser
	Wavelength	514 nm	457, 476, 488, 514 nm
	Output power	4 W max.	8 W max.
Beam scanner	Accuracy of directional angle	0.1°	
TV camera		ISIT camera (RCA-TC1040)	ISIT camera (RCA-TC1040)
Optical filter		Color filter and interference filter	Interference filter
Signal processing unit		- Low-pass filter - Gain controller - Differentiating circuit - Scan converter	- Low-pass filter - Gain controller - Differentiating circuit - Flame memory
Micro computer system	CPU	Z80A	Z80A
	RAM	32 KB	32 KB
	Floppy disc	512 KB	512 KB

Table 2 Performance of the measurement system

Item	Chiba No. 2 BF type	Chiba No. 6 BF type
Measuring area	1/4 of full surface	two radii
Measuring range	0—5 m	0—5 m
Measuring time for one radius	2 sec for only one time scanning and data acquisition	20 sec, including optimization of gain and slice level, scanning and data acquisition
Measuring accuracy	±50 mm	±100 mm
Beam scanning speed	3—30 m/s	13 m/s

データ処理、測定シーケンスの制御などをマイクロコンピュータにより行っている。TV カメラにより得られる原画像は後述する信号処理系により処理され、画質の改善を図った。処理、演算後のデータは CRT あるいはプリンターに出力されるとともに、フロッピー

ディスクに蓄えられ、随時出力できる。測定シーケンスには手動と自動の2つのモードがあり、自動モードにおいては原料装入信号に従って、自動測定が可能である。装置の仕様と性能を Table 1 および 2 に示す。測定分解能は ±50 mm、1 半径プロフィールのデータ取込みの所要時間は約 2 sec と、高速かつ高精度のプロフィール計測ができることが実証された。

3.2 信号処理系

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むために、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重要となる。これに関しては次のような問題点があった。

- (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 比および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。

これらの問題を解決するために、Fig. 3 に示す信号処理系とマイクロコンピュータによる処理を行う。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込入力に、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に、後者にはビームスキャナーをわずかに移動して、 ξ が微小変化した画像を入力し、前者から後者を減算処理することによって、背景画像と高温の炉芯像を消去する。なお、前処理部ではフィルタリングによる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クロコンピュータから指示できる。

光軌跡の TV 原画像、スキャンコンバータの書込入力画像および出力画像の例を 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よくわかる。レーザ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、光軌跡の強度が大幅に変動する場合があり、このような時に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。

4 他方式のプロフィール計との比較

千葉第2高炉で実験機を開発した時点で、機械式およびマイクロ波式ともに実機が使用されており、この3方式の機能とプロフ

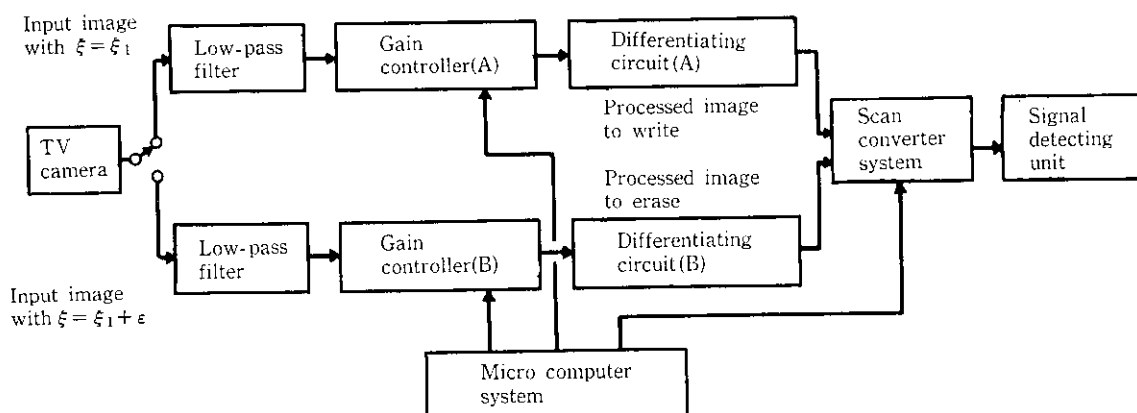


Fig. 3 Block diagram of the signal processing unit

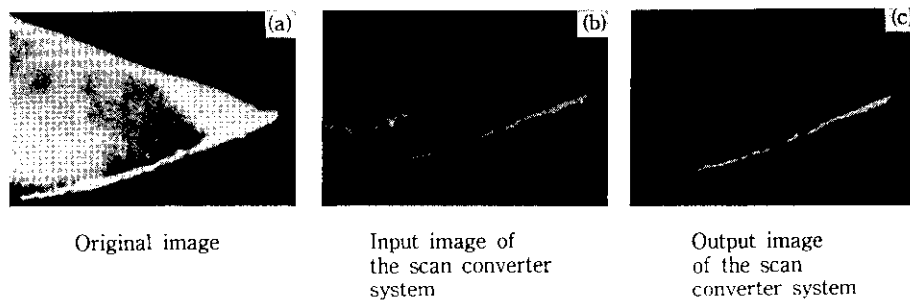


Photo 1 An example of image processing

ルデータ解析結果をもとに、プロフィール計としての望ましい仕様に対する満足度を評価し、以後の開発と改善についての方針を検討した。

悪環境における計測装置としての信頼性と保守性の面から、マイクロ波式が最も使い易いが、測定精度、測定頻度および情報量の多さなど測定値の質的な面の評価では、レーザ式が優れており、その将来を有望視した。一方、プロフィールデータの解析結果からは、プロフィールの基本的な特徴はどの方式でも把握されていること、プロフィールの瞬時値は測定ごとの変動が大きいため、大幅な装入条件変化は検知するものの、微小な変更には3方式とも平均処理か統計的解析が必要であることが判明した。

5 大型高炉におけるレーザ式プロフィール計の開発

3章に述べた実験機により、プロフィール情報を実操業に活用しつつあった千葉第2高炉が昭和57年8月に吹止めとなったので、4章で述べた3方式間の総合評価を経て、第2高炉で蓄積した基礎技術に改善を加えることにより大型高炉で実用機を開発することにした。第2高炉と同じPW式ベルレス装入装置をもち、開発メリットの最も大きい千葉第6高炉を選択した。当時、第6高炉はすでに世界屈指の成績を誇っていたが、PW式ベルレス高炉特有の円周方向偏差の問題があり、その解消に寄与することが本開発のもう1つの目的であった。

5.1 測定原理

千葉第6高炉では第2高炉と同様に光切断法を用いているが、投光器と受光器を内蔵するプロフィール測定装置2台をFig. 4のように、炉頂炉体壁面上に、90°に配置し、一方の投光器から炉内に投入したレーザ光束の原料面上での反射点を、もう一方の受光器でとらえる点が異なる。投光位置と方位および受光位置と方位の幾何学的関係から原料面上のレーザ光反射点の基準座標における位置を求める。レーザビームは原料面上の直交する2直径上で走査され、各々の直径プロフィールをその側面からTVカメラで撮像する配置となっている。

5.2 開発の要点

レーザプロフィール計を大型高炉に適用するうえで、次の様な新たな問題が予想された。

- (1) 炉頂内径が第2高炉の約1.5倍と大きく、光路長が長いため、レーザ光の散乱と減衰が大きい。
- (2) 第2高炉では1半径を測定するのみであったが、新装置では直交する2直径を測定域とするため、投光受光装置に工夫を要する。
- (3) 炉内圧力が第2高炉の0.7から2.5 kg/cm²と大きくなった

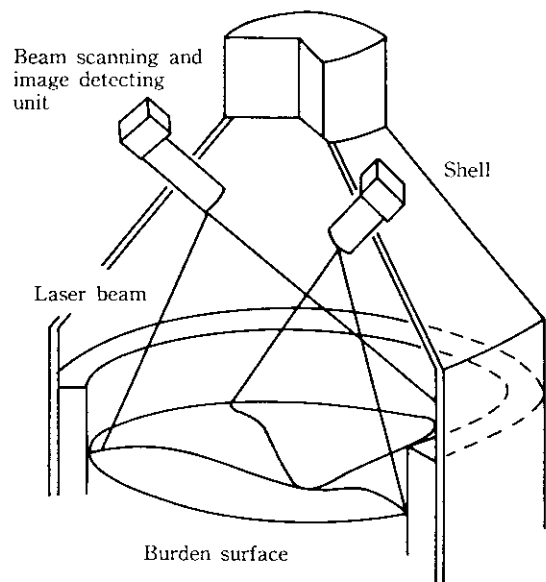


Fig. 4 Geometrical arrangement for profile measurement at Chiba No. 6 BF

め、特に、シャッターや窓ガラスのシール部分に配慮が必要となる。

- (4) 本方式では2台の投光受光装置を用いるが、この両方に1台のレーザ光源からレーザ光を伝送する。この伝送路が6~7mとなり、ビーム径が大きくなる。また伝送方向を正確に設定する必要がある。

5.3 装置の特徴と概要

本装置の設計にあたって、上記の各問題点を克服するために、特徴的な新しい対策が施されている。システム全体としては複雑になるのは避けられないので、装置の保守・点検を簡略化する構造とした。計測システムのブロック図は、基本的にはFig. 2によっているので省略する。以下に改善点を中心に述べる。

5.3.1 装置各部の特徴

(1) レーザ発振器

アルゴンイオンレーザは、第2高炉の場合、発振波長が514 nmのみで最大出力4 Wであったのに対し、第6高炉は、ダスト条件が厳しいので、457, 476, 488 および514 nmの各波長を同時に発振でき、最大出力8 Wのものを使用している。レーザ発振器内には発振用のミラーがあり、外気温の変動や大きな振動などによりミラー配置が変化してレーザ出力が低下することがあるので、本装置では出力を最大に保持するための機構を設けている。

(2) レーザ光伝送系

1台のレーザ発振器から出たレーザビームは光路切替装置によ

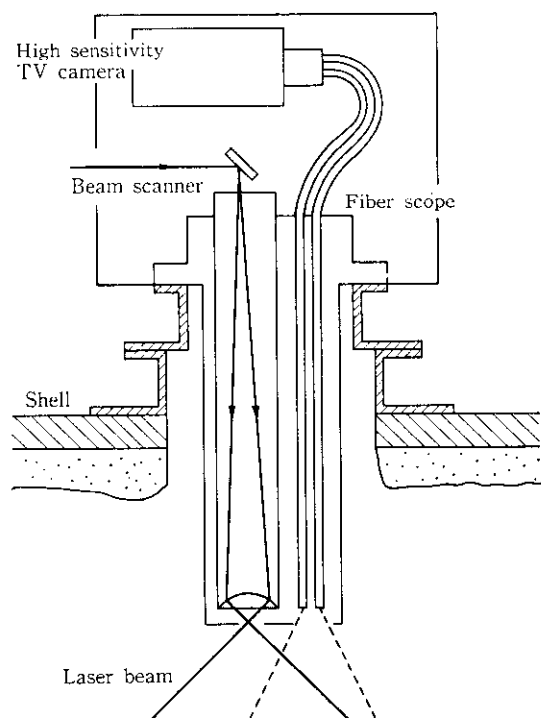


Fig. 5 Inner structure of the beam scanning and image detecting unit

り、必要に応じて2台の投光器のどちらかに送られるが、ビームの伝送はミラー系によっている。前節の(4)に挙げたビーム径の拡散に対しては、投光器直前にビームを平行に絞るレンズ系を設け、20 mm のビーム径を 2 mm にしている。また、中継ミラーの角度に変化が生じないように配慮されている。

(3) 投光受光装置および保護筒

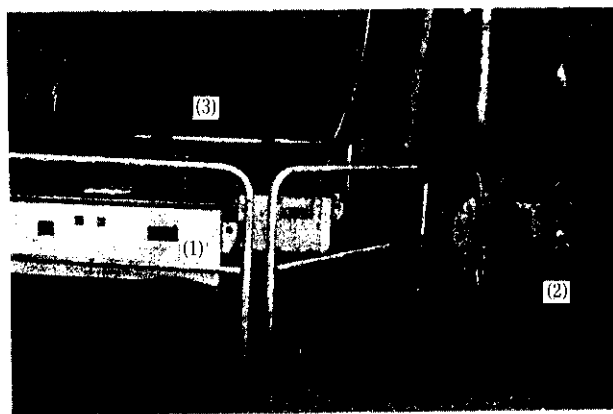
投光受光系は広い視野を確保するため、Fig. 5 に示すように炉内に突入した構造となっている。本装置は小型でかつ高度な機能を有しており、レーザ式プロフィール計の主要技術となっている。

レーザ発振器より伝送されたレーザビームを走査するビームスキャナーではパルスモータでカムを回転させ、ミラーが $\pm 3^\circ$ だけ往復回転する。また、4.2 節で述べた背景画像消去のための光切断面の切替機能を持つ。スキャニング速度は 10 Hz 以下で可変である。

投光装置はビームの導入とガスシールのための石英板、球面レンズおよびプリズム・シリンドリカルレンズ系から成りビームスキャナーにより走査されたレーザビームは、常に保護筒先端の開口部を通して、炉内直下から対向する炉壁部までの原料面直径上を走査するように設計されている。プリズム・レンズ系は2系列あり、投光器中心軸外に配置されたもう一方の系列は、背景画像除去対策として、測定画像から減算する画像を得るためのものである。耐熱温度は 200°C である。

受光装置は2本のイメージファイバーから成る。各々半径プロフィールを測定するためのものであり、合わせて直径プロフィールとする。2本のファイバーは1台の ISIT カメラに継がり、1画面で両ファイバーの視野が得られる。イメージファイバーは石英製で、画素数 50 000、視野角 $\pm 25^\circ$ 、最小曲げ半径 200 mmR、耐熱温度 200°C である。これら測定用ファイバーに加えて、光軸合わせの時に使う炉内監視用ファイバーを1本さらに取付けてある。

外径 170 mm の保護筒は先端に 20 mmφ の投光用と受光用の



(1) Box for laser head and power unit
(2) Box for sensor head
(3) Uptake of blast furnace

Photo 2 View of laser type profile meter

開口部を2個有し、これらはロータリーシャッターにより開閉される。筒の周囲を2重管の水冷構造とし、光学系を熱的に保護している。筒の内部は N_2 ガスにより加圧して、炉内圧より常に 1 kg/cm² 高く保たれている。シャッター開の時には、 N_2 ガスが噴出して、炉内ガスによる光学系の汚れを防止している。さらに、シャッターのスライド部分には別系統で N_2 パージし、ダストの噛込みによりシャッター開閉が困難になることを避けている。保護筒本体は耐熱を考慮、ステンレス鋼製である。これらの対策により、保護筒内は常に常温に保たれるとともに、炉内からのダストとガスの侵入を防止している。Photo 2 は炉頂デッキに置いたレーザ発振器と投受光装置の外観写真である。

(4) 光路確保のための炉内ダストパージ機構

第2高炉でもダスト濃度の高い場合、炉内の光路に向って N_2 ガスを噴射し、レーザ光の散乱と減衰の低減に効果があったので、本装置では、予め行った縮尺模型実験の結果に基づいて、上記保護筒の外側にさらに、パージガスのガイドとなる大径パイプを取付け、これと保護筒の間から、全く別系統のガス噴出機構を設けた。保護筒先端から噴出する N_2 ガスとの相乗効果により、光路長にして約 1 m の短縮が図れる。

5.3.2 信号処理系とソフトウェアの特徴

本装置で用いているソフトの概略を Fig. 6 に示す。

(1) 画像処理系

ノイズ除去と信号強調のためのアナログ処理回路、画像を加減算し S-N を向上するための画像メモリーおよび各種のソフト処理を行うマイクロコンピュータから成り、基本的には Fig. 3 と変わらないが、画像メモリーとしてアナログ処理系であるスキャンコンバータにかえて、フレームメモリーを用いている点と、2直径のプロフィール測定を行うため Fig. 3 の信号処理系を2系列持っている点異なる。

(2) レーザ出力調整プログラム

レーザ出力を検出し、これが一定値以下の場合に、レーザ共振器内の水平および垂直方向のミラー方位調整ネジを回転させ、自動的に、出力を最大にする。

(3) 画像処理系ゲイン決定プログラム

炉内ダストの濃度は測定ごとに変動するので、ゲインおよびしきい値を一定のままでは、誤った結果を与える。第2高炉ではこれらが手動設定であったのを、どんな状態でも充分な信号強度を

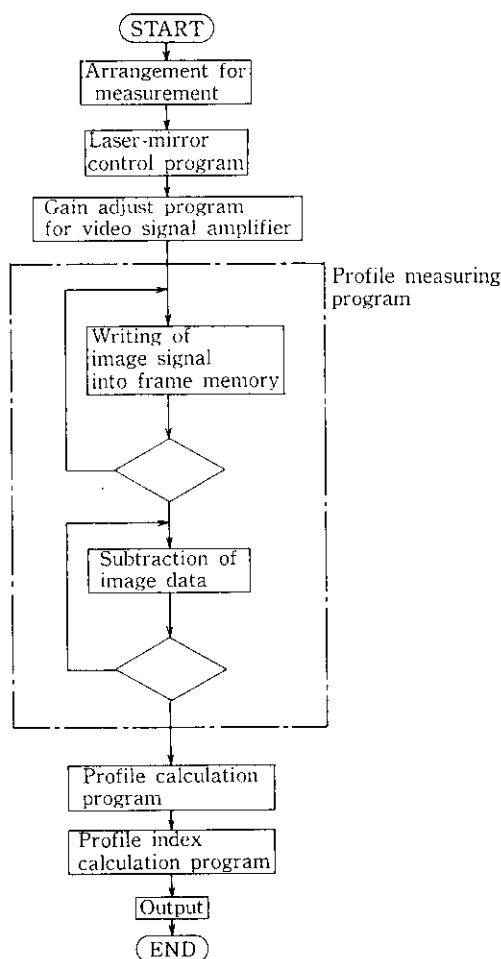


Fig. 6 Outline of software

得るために、プロフィール測定ごとに予めレーザビームを原料面上に投射し、その反射点の輝度から最適値を自動的に決定する。

(4) プロフィール測定プログラム

フレームメモリーへの多数回書き込みと減算処理の回数は手動設定から、モニターしながら最適に決定できるように改善した。

(5) プロフィール算出および指数算出プログラム

イメージファイバーに起因する歪画像の補正演算、視野設定による異常値排除と演算時間短縮の機能を付加した。プロフィールデータより、最小2乗法による2直線近似を行い、中心部と周辺部の傾斜角 θ_1 および θ_2 、炉壁から肩部までの距離 L を求め、出力する。

5.4 装置性能

炉内に投射されたレーザビームは中心流に含まれる多量のダストによって散乱され、炉中心の向う側には到達していない。したがって、現在のところ、投光器に近い方の2半径を測定している。

Photo 3 は測定結果の CRT 表示例である。

測定精度については、操業中の実炉で評価することが困難なため、第6高炉に既に設置されているマイクロ波式との比較、1/5 縮尺模型実験、プロフィール測定結果の再現性などより推定した。位置精度としては ± 100 mm、傾斜角の精度としては $\pm 1.0^\circ$ である。装置性能をまとめた Table 3 において位置精度が第2高炉より低下しているのは、1画像で直径プロフィールを撮影するために分解能が低下したことによる。また、測定時間が10倍になっているのは、

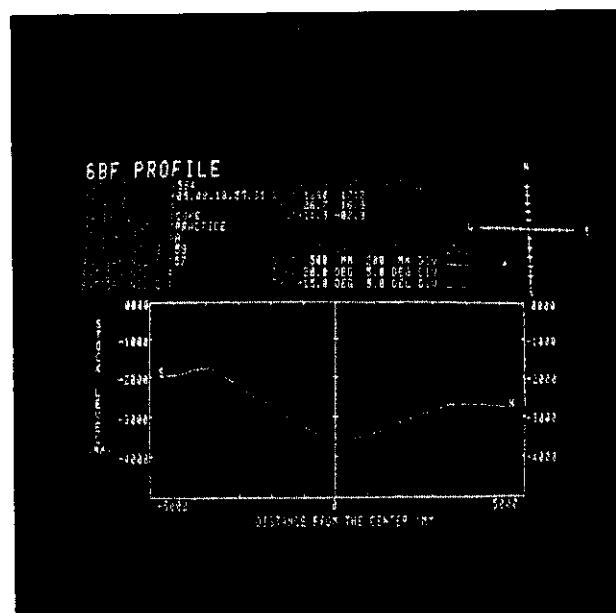


Photo 3 CRT display of measured burden profile at Chiba No. 6 BF

第2高炉の場合、ゲイン・スライスレベルが手動設定であったため、基準となる測定時間としては1回の scanning と信号処理に要する時間をとっているのに対し、第6高炉では5.4節の(2)、(3)のプログラムのもとで、適正なプロフィール計測が行える時間を意味している。フレームメモリーへの書き込み回数が50~100回に及んでいることを考慮すると実質的な機能は格段に向上している。

6 測定結果と操業への活用

6.1 降下速度および層厚分布の算出

鉱石とコークスの装入前後に計4回のプロフィール測定を行い、第2および第3回目の測定結果の差から降下速度分布をまず求め、第1および第2回目の測定結果の差および第3および第4回目の差に降下速度分布の補正を加えることにより、それぞれ鉱石層厚とコークス層厚が算出できる。Fig. 7 および 8 はその結果である。ここで算出した層厚分布は、前述のようにとくに鉱石装入時に起る下層コークス層の変形および混合層の形成は考慮されないもので、真の層厚分布ではない。しかし、第2高炉²⁾ および第6高炉¹⁾ の操業改善の過程で、これらの情報を活用して成果を挙げている。その理由は次のように考えられる。1つは、ベルレス高炉では、層の変形がベル高炉に比較して小さいことがあり、もう1つは、測定値が真値でなくても、操作量変更の影響が測定値の相対的变化として現れていることがプロフィール計により検出されていることである。

6.2 レーザ式プロフィール計に特徴的な測定例

測定時間が短いことを利用して興味深いプロフィール情報が得られる。Fig. 9 は原料装入用の分配シュートが旋回することによって測定したプロフィールである。シュート傾動角に応じた原料投入と堆積状態が明確にとらえられている。シュート旋回の前半では、鉱石が周辺部に堆積し、その結果ガス流が中心に向かって偏流する後半では、装入物面の傾斜角が低下するので、中心部の堆積量が増加することがよくわかる。このように炉内ダスト状態が良好な場合には、他の方

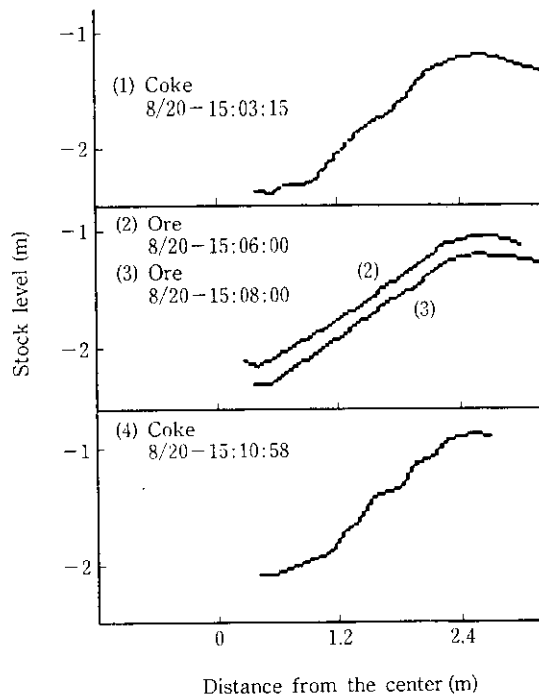


Fig. 7 An example of measuring layer thickness and descending velocity (part 1)

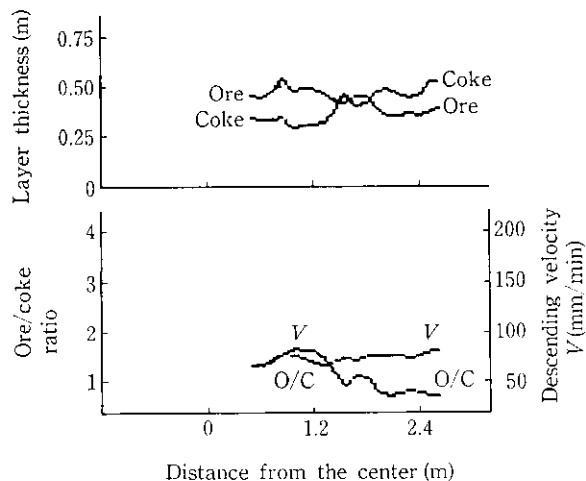


Fig. 8 An example of measuring layer thickness and descending velocity (part 2)

式では考えられない情報が得られる。したがって、もっとダスト状態のよい装入待ちの時間帯では、1 半径に限定すれば、原料面の降下状況を詳細に見ることができるし、測定する半径方向を連続的に変えると面測定ができる。

6.3 プロファイルの変動

測定値の再現性を確認するために、同一装入パターンのもとで、 L および θ_1 のチャージごと変動を鉱石に対して求めた結果を Fig. 10 に示す。Fig. 10 では、 L および θ_1 の変動範囲はそれぞれ ± 250 mm および $\pm 3.5^\circ$ となり、レーザ方式の相対精度 ± 50 mm, $\pm 2^\circ$ に対し、非常に大きい。 θ_1 の標準偏差 δ は他の方式でも同程度であることから、測定対象自体の変動が大きいと考えられる。その原因の1つである鉱石粒度変動を θ_1 とともに示したのが Fig. 11 である。時間の経過とともに、調和平均径 d_{ph} も θ_1 も減少してい

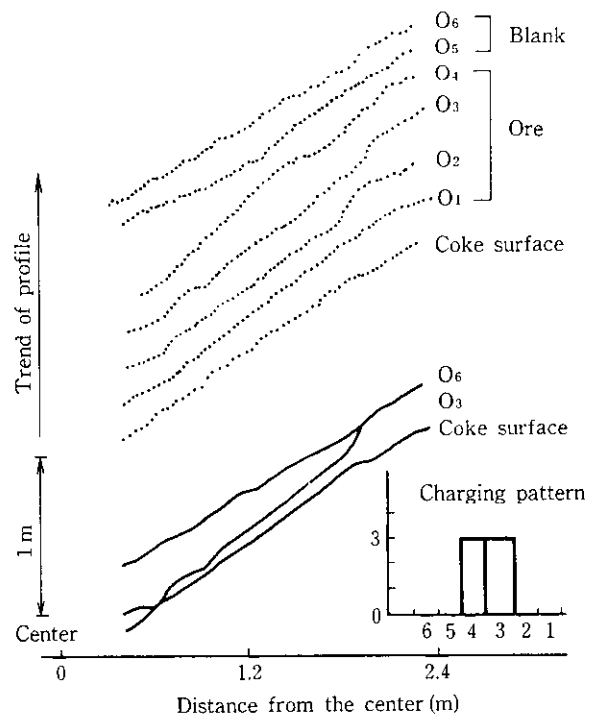


Fig. 9 Continuous measuring of ore surface for every rotation of the chute

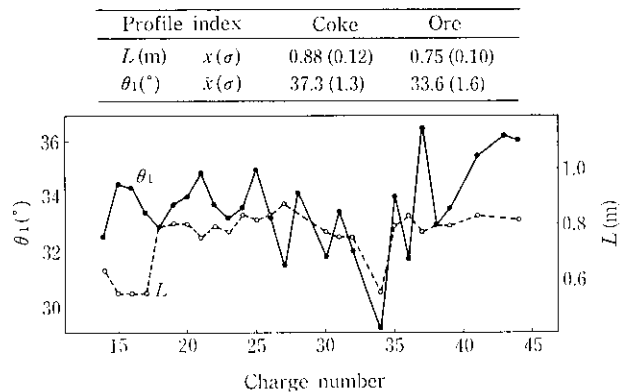


Fig. 10 Variation in burden profile data under one charging pattern

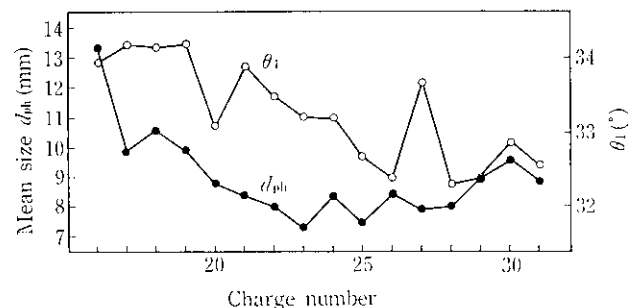


Fig. 11 Change in θ_1 and ore mean size for every charge

る。粒度が低下すると、炉頂ホッパーからの原料排出速度が増加し、ガス流がない場合でも θ_1 が低下することに加えて、高炉内では通気抵抗が増加するのでさらに θ_1 は小さくなる。その他の変動要因として、下層のプロファイルがある。 θ_1 に関しては相関がみと

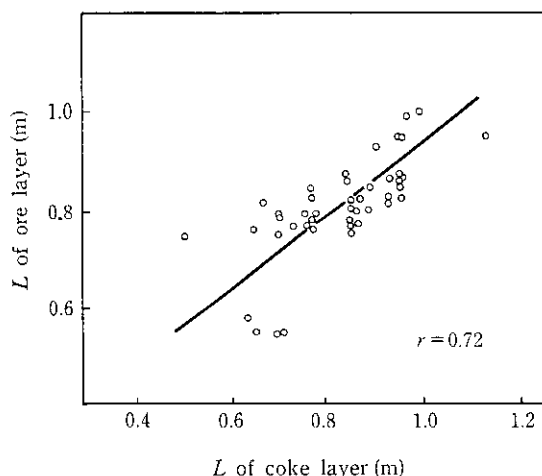
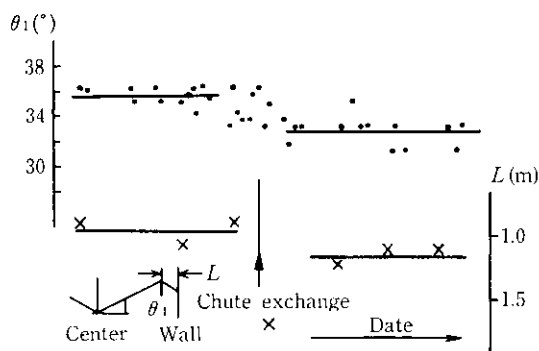
Fig. 12 Relation between L of ore layer and that of coke layer

Fig. 13 Remarkable change of burden profile caused by exchange of chute

められなかったが、 L については下層が鉱石でも、コークスでも正相関がある。Fig. 12 は下層がコークスの例である。ore/coke 比が低い場合にこの傾向がよくみられる。

6.4 設備監視への利用例

Fig. 13 は分配シュートのライナー取替前後のプロフィール変化を示している。リップ付きに変更したため、落下軌跡が炉中心寄りに変化し、 L が増大している。その結果、中心部への原料投入量が増して、 θ_1 が低下するのは予測できたが、 L と θ_1 の変化量が大きく、

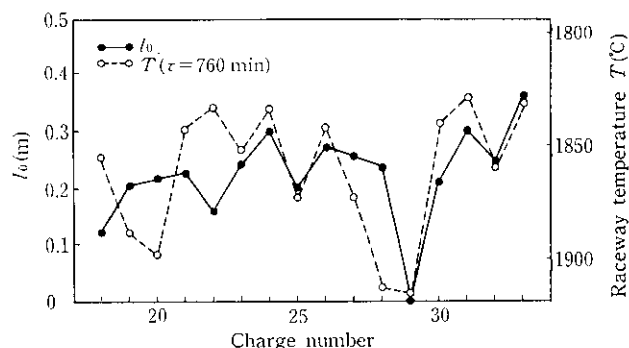


Fig. 14 Correspondence of raceway temperature to ore layer thickness for time lag of 12.5 h

点検の結果、シュートの取付角度に取替前後で誤差のあったことがわかった。

6.5 燃焼帯温度におよぼす層厚の影響

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むだ時間 12.5 h 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 の関係を Fig. 14 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第 29 回のブランク装入が相関係数に寄与している。この結果はベルレス高炉の円周方向装入物偏差が出鉄口間の溶銑 [Si] 偏差⁹⁾の原因となることを証明するものである。

7 結 言

可視光レーザを用いた光切断法による高炉装入物プロフィール計を、まず、千葉第 2 高炉で開発し、高精度かつ高速でプロフィール計測が可能な基本技術を確認した。その後、千葉第 6 高炉で実用機の開発を継続することになり、大型高炉特有の諸問題に対処するために、第 2 高炉での技術に、さらに、投光受光装置、ガスシール方式など各種の改良を加えて、開発した。装置の故障も少なくなり、長期的な使用にも耐えられるようになったので、今後はレーザ式プロフィール計の特徴を生かしたデータの活用法を中心に検討し、世界有数の高炉の操業技術をさらに向上させるのに寄与していきたい。

参 考 文 献

- 1) 岩村忠昭, 崎村 博, 近藤幹夫, 浅野有一郎, 秋本圭一, 牧野之輔, 春富夫, 小幡晃志: 鉄と鋼, 70 (1984) 9, 1059
- 2) T. Nagai, J. Kurihara, H. Takahashi, K. Okumura, K. Okabe and M. Kondo: "Optimum Burden Distribution in the Blast Furnace", 6th McMaster Symposium on Iron and Steelmaking, Hamilton, Canada, May (1978)
- 3) 山本崇夫, 正久徳治, 彼島秀雄, 林 洋一, 田村健二: 鉄と鋼, 67 (1981) 9, A117
- 4) 稲崎宏治, 南外 孝, 藤森康朝, 木村博一: 計測と制御, 22 (1983) 5, 477
- 5) M. Nomura, S. Taguchi, N. Tsuchiya, H. Sakimura and K. Tanaka: Ironmaking Proceedings, 43 (1984), 111