

製鉄工程における計装技術

Instrumentation in Iron-making Process

岩 村 忠 昭*
Tadaaki Iwamura

崎 村 博**
Hiroshi Sakimura

田 宮 稔 士*
Toshio Tamiya

瀬 川 佑二郎***
Yujiro Segawa

Synopsis:

Instrumentation in ironmaking process is described as follows, mainly on some unique functions of sensors developed by Kawasaki Steel Corporation:

- (1) Yard: ore bin level meter, automatic operation of yard machines, bed quality monitoring system
- (2) Sinter plant: raw material moisture meter, waste gas analyser, heat pattern measurement, waste gas volume pattern measurement,
- (3) Blast furnace: gas distribution measurement, burden profile meter, burden surface monitor, vertical distribution measurement, circumferential distribution measurement, burden distribution control, equipment monitoring system, instrumentation for hot metal handling.

1. 緒 言

製鉄部門は一貫製鉄所における生産工程の入口に位置するだけに、常に安定した溶鉄の供給がまず第一に要求される。またそのエネルギー消費量は製鉄所全体の約75%にも達し、したがってその効率的な操業も必要不可欠であり、これらの成否は経営基盤を左右すると言っても過言ではない。

製鉄部門の各プロセスに共通する問題は、そのプロセスの定量的な解析の困難さと、プロセスを端的に表現する情報量の欠如であった。しかし近年、高炉の解体調査などに代表される、プロセスの真髄にせまる研究が数多くなされた。さらにそれらの知見に基づいた新しい計測技術の開発と計算機を有効に利用した情報処理技術の発達で、製鉄部門の各プロセスを「見える」ものにしつつあり、焼結における成品品質の安定や低SiO₂低Fe

O操業への挑戦、高炉における操業の安定と燃料比の大幅な削減あるいは各設備の長寿命化などの点ですぐれた成果をあげている。

本報においては製鉄部門のセンサー技術を中心に、操業の改善に寄与しかつ計測技術的にも特色あると思われるものを紹介する。

2. 原料処理部門の計装

製鉄プロセスの物流は原料ヤードからはじまる。次工程である焼結や高炉への原料の安定供給と次いで原料品質の向上や成分の安定化が要求される。さらに巨大なヤード機械や膨大かつ複雑なコンベアの系統の能率的運転が操業上の要点となる。

したがって、原料の量の正確な把握が計装上の要点となり、ベルトコンベアやバンカレベル計の精度向上に努力が払われてきた。さらにこれらの情報を計算機にとり込むことによる、在庫量の

* 千葉製鉄所設備部設備技術室主査(課長)
*** 水島製鉄所システム制御技術室主査(掛長)
[昭和56年9月17日原稿受付]

** 千葉製鉄所設備部設備技術室主査(掛長)

把握や原料品質の管理、ならびにコンベアスケジュールの最適化などが早い時期から指向されてきた^{1,2)}。また最近では省力を目的としてヤード機器と各種センサーならびにマイクロ計算機を組み合わせることにより、その自動運転あるいは遠隔運転に成功している^{3,4)}。

一方、焼結プロセスは高炉に装入される主原料の70%以上を処理しているだけに、その成品の品質が高炉操業に与える影響は非常に大きい。さらにここで消費されるエネルギーは製鉄所の10%近くを占めておりコークス消費量や点火炉原単位の低減等も大きな課題である。また排ガスの脱硫や脱硝等、環境面への配慮も他プロセスに比して厳しい。

当社では早い時期から焼結プロセスのDDC (Direct Digital Control) 化を進めており⁵⁾、脱硫脱硝をも含めてその効率的な計装システムが確立されている。最近では焼結プロセスそのものをより詳しく把握するための計測システムの開発

に重点を置き、新しい計装の開発を進めている。

2.1 ヤード機械の自動化

広大なヤードにおける現場作業からオペレータを解放し、同時に省力を図ることを目的にその自動化に早くから取り組んだ。

最初に実現したのは高炉貯鉱槽の無人化である。超音波を利用した自走式レベル計⁶⁾や高炉プロセス計算機とヤードプロセス計算機間のデータ伝送により、貯鉱槽上の完全無人化を行った²⁾。

さらに千葉製鉄所西工場では既設のスタッカ4台とリクレーマ5台を対象としその自動化をはかった^{3,4)}。主な内容は、

- (1) スタッカーおよびリクレーマのヤード運転室からの遠隔手動運転 (機上無人化)
- (2) スタッカーのプリセット後の全自動運転
- (3) リクレーマの遠隔手動着地後の自動払出し等であり、Fig. 1 に示すシステムで実現している。センサーとしては機上のITV 5 台、超音波レベル

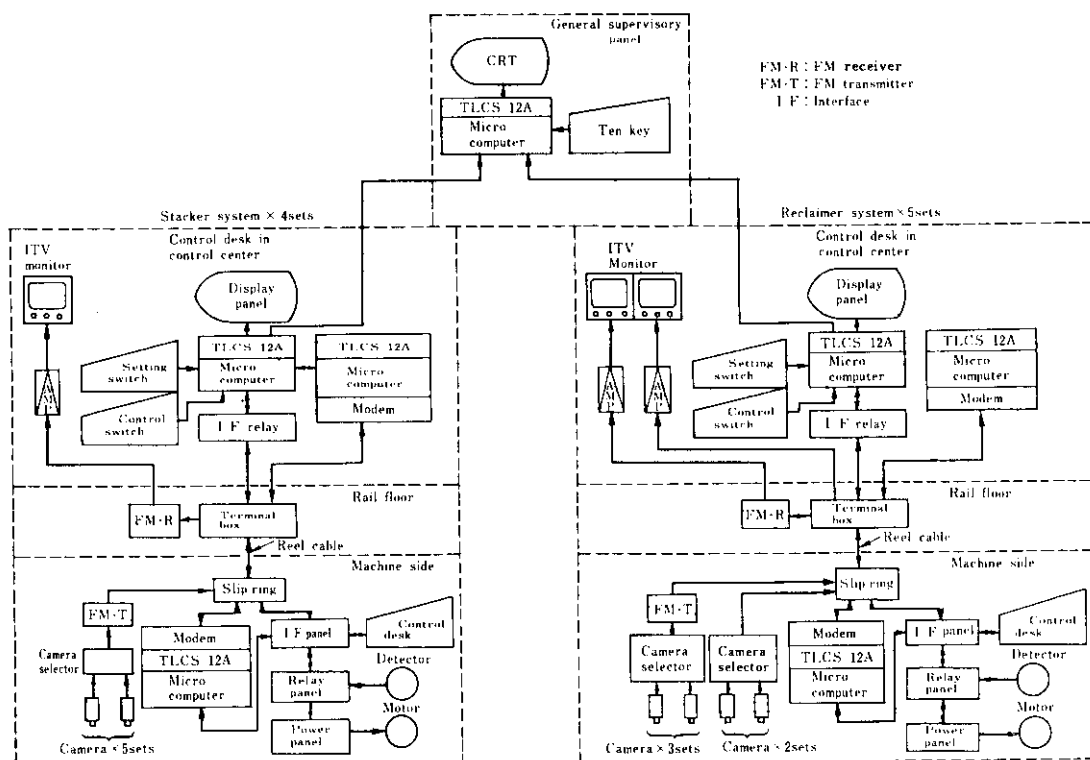


Fig. 1 Automatic control system of stackers and reclaimers

計、静電容量型レベルスイッチ、さらには、マイクロ波を用いた衝突防止装置などが特徴的である。本システムにより20名の省力が達成され、処理能力も機上運転時と比して変化ない。

これらの自動化システムは単に自動化に寄与するだけでなく、貯鉱槽のレベル管理による高炉供給原料の粒度偏析の防止など操業上の寄与も見逃せない。

2.2 焼結プロセス計装の改善

2.2.1 原料水分測定の改善

原料やコークスの水分測定は、配合比率精度の向上、通気性の維持のため極めて重要である。従来中性子水分計が用いられていたが、放射線安全衛生管理上の問題、精度上の問題から、新しく赤外線式水分計に置換えた。これは2波長比較型で、被測定物体の色や表面状態、光源の強さの影響を受けずに精度の良い測定値が得られる。Fig. 2に乾燥法との測定値比較を示す。

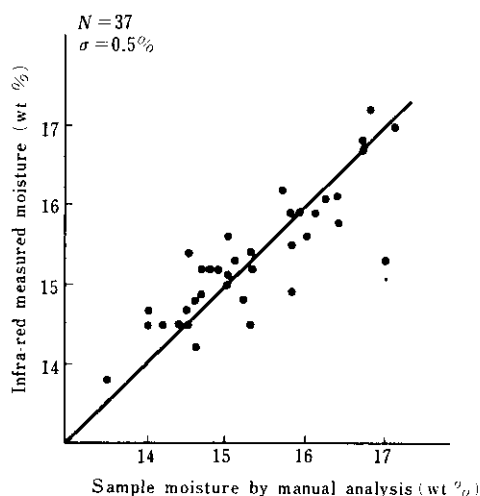


Fig. 2 An example of coke moisture measurement performance by infra-red type moisture meter in comparison with conventional manual analysis by drying method

2.2.2 焼結点火炉圧力制御

点火炉は、原料表層部のコークスに着火し、焼結反応に必要なエネルギーと空気を供給する事により、焼結反応の進行を行なわせるための重要な

機能を持つ。この点火エネルギーを低減するために、点火炉吸引圧力を適正に管理する吸引圧力制御を実施している⁷⁾。これにより適正な表面温度を維持し、燃料ガス $1\text{Nm}^3/\text{t-sinter}$ の低減効果をあげている。

2.3 焼結過程の解析のための計装

2.3.1 排ガス分析

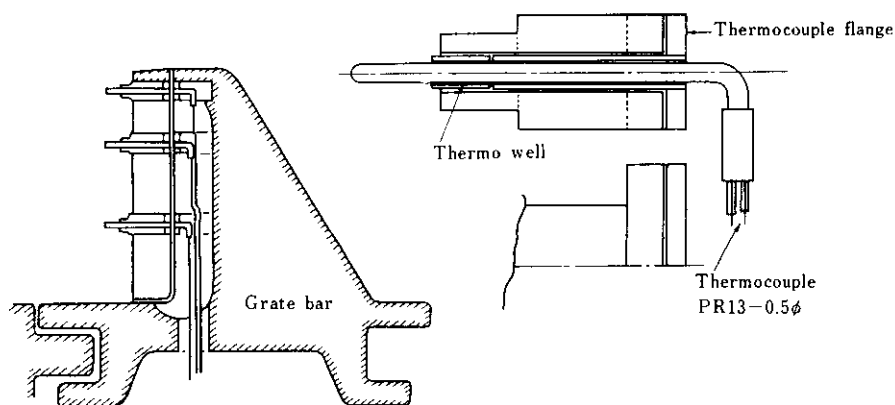
焼結過程における化学反応の状態を把握するため、排ガスの分析を行っている。排ガス分析値は、排ガス流量、温度、その他のデータとともにプロセスコンピュータにとり込まれ焼結プロセスの監視に利用されている。

2.3.2 ヒートパターン測定

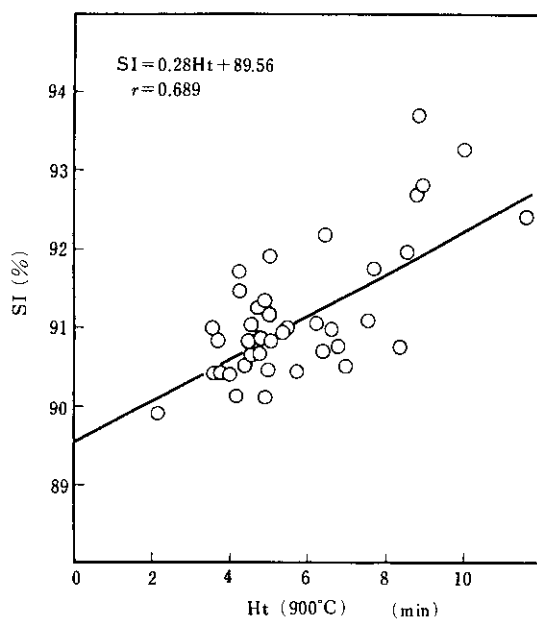
焼結鉱品質は、その原料成分とともに焼結過程における高温溶融帯の特性に大きく左右される。焼結層内の温度分布状態を把握するためのヒートパターン測定装置を開発した⁸⁻¹⁰⁾。特殊グレートバー上に高さ方向3点に固定した熱電対で層内温度を測定し、無線送信する方法である。Fig. 3(a)にその構成図を示す。この装置により得られたヒートパターンを指数化しシャッター強度との関係をFig. 3(b)に示した。ヒートパターンと成品品質の間には強い相関があり、ヒートパターンの管理・制御により、焼結鉱品質を管理できる。

2.3.3 風量分布測定

焼結機長手方向の風量は、焼結ベッドの通気抵抗の違いによって変化する。通気抵抗の違いは、焼結過程の進行によって生じるので、間接的ではあるが風量測定を通じて焼結層内の状況を推定できる。そこで、漏風の影響を避けるため、焼結ベッド上に置いた風箱で吸引風量を測定する装置を開発した¹¹⁾。この装置は、風箱内に安定した流速分布を得るための機構と、焼結機の移動に伴って測定と復帰を行う自動測定機構からなっている。Fig. 4に風箱の断面図と、風箱内流速分布を示す。流速測定点では乱流が形成されており、安定な測定値が保証される。測定した風速分布による焼結層内の反応状況の推定や、操業管理、風量分布制御への応用を進めている。



(a) Measuring device



(b) Relation between shutter index, SI and high temperature holding time Ht

Fig. 3 Sinter heat pattern measuring device and applied data

2・4 原料処理品質管理のための計装

一例として鉄鉱石ベッド品質モニタリングシステムについて説明する。

焼結用鉄鉱石は、ベッドでのスタッカーリクレマによる多層積み付け、切り出しにより化学成分の均一化を行っている。品質モニタリングシステムは、このベッディング段階での化学成分

の評価を行うもので、ベッドの長手方向各位置に積み付けられた原料の重量を計測積算し、既知の個別成分を用いてベッド内化学成分分布を知るシステムであり、次の特長を持つ¹¹⁾。一つはベッディング段階で品質（化学成分）を評価できることで、このため品質の異常（積み付けの異常）に早く対応できる。他の一つは、高価なサンプラーと分析設備を必要としないことである。Fig. 5に実測（分析）した化学成分（ SiO_2 ）とモニタリング

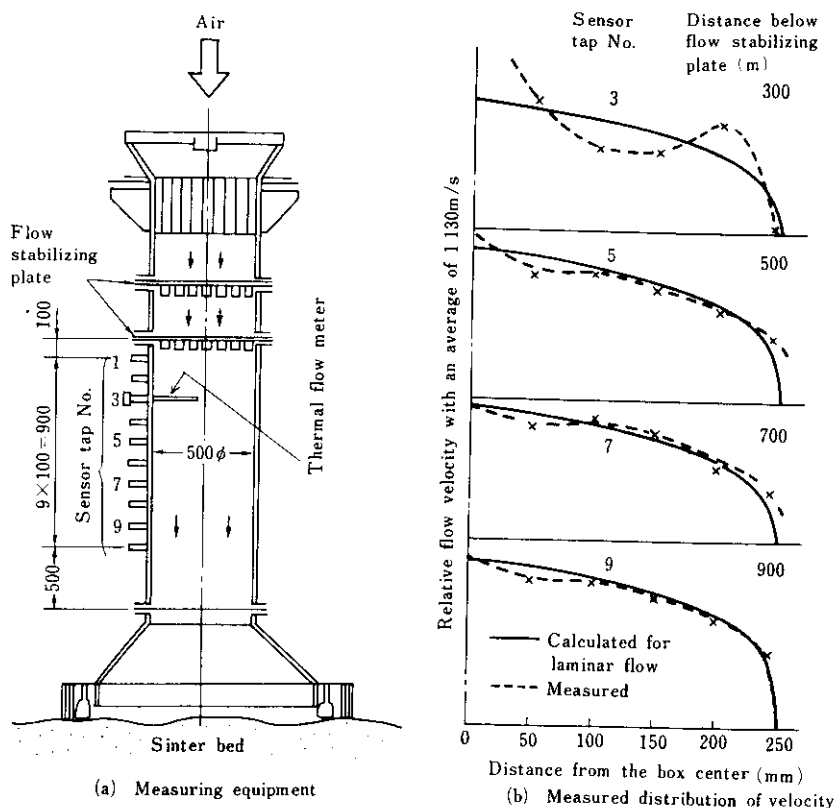
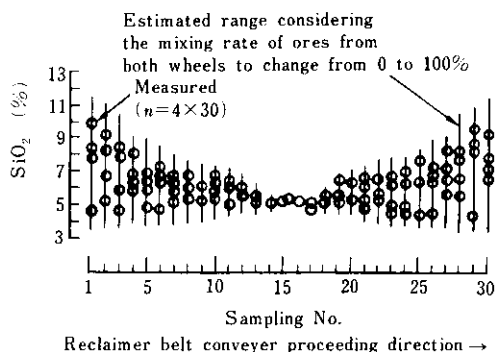


Fig. 4 Gas flow measurement on a sintering bed

Fig. 5 Comparison of estimated and analyzed content of SiO₂ in ore bed quality monitoring system

システムにより推定した成分値の比較を示す。

3. 高炉の計装

近年、高炉はそれ自身的大型化と各種省エネルギー設備の設置、さらには環境汚染防止設備や省力

設備の充実がなされ、一つの巨大プロセスとして完成しつつある。この大規模システムを効率よくかつ高度の信頼性を持って操業して行くために計測制御装置にも新しい技術を積極的に採用してきた¹²⁾。新センサーの開発、それら多種多様の情報の集約、さらには高炉トータル制御への試行等がその例である。Fig. 6 に千葉第6高炉の例を示すが、デジタル計装技術と通信制御技術を最大限に採り入れて、各サブシステムの分散制御と隣接プロセスをも考慮した高炉トータル制御を目指している¹³⁾。高炉操業面からみたときの近年における大きな進歩として、

- (1) ガス流分布制御の確立とそれによる低燃料で安定した操業の確立
- (2) 高炉設備トラブルの減少と炉寿命の大幅な延長
- (3) 高炉プロセスの定量化と各種情報の有効活用が挙げられる。計装技術は、あるときはこれらのニーズに応える形で、またあるときはシーズとし

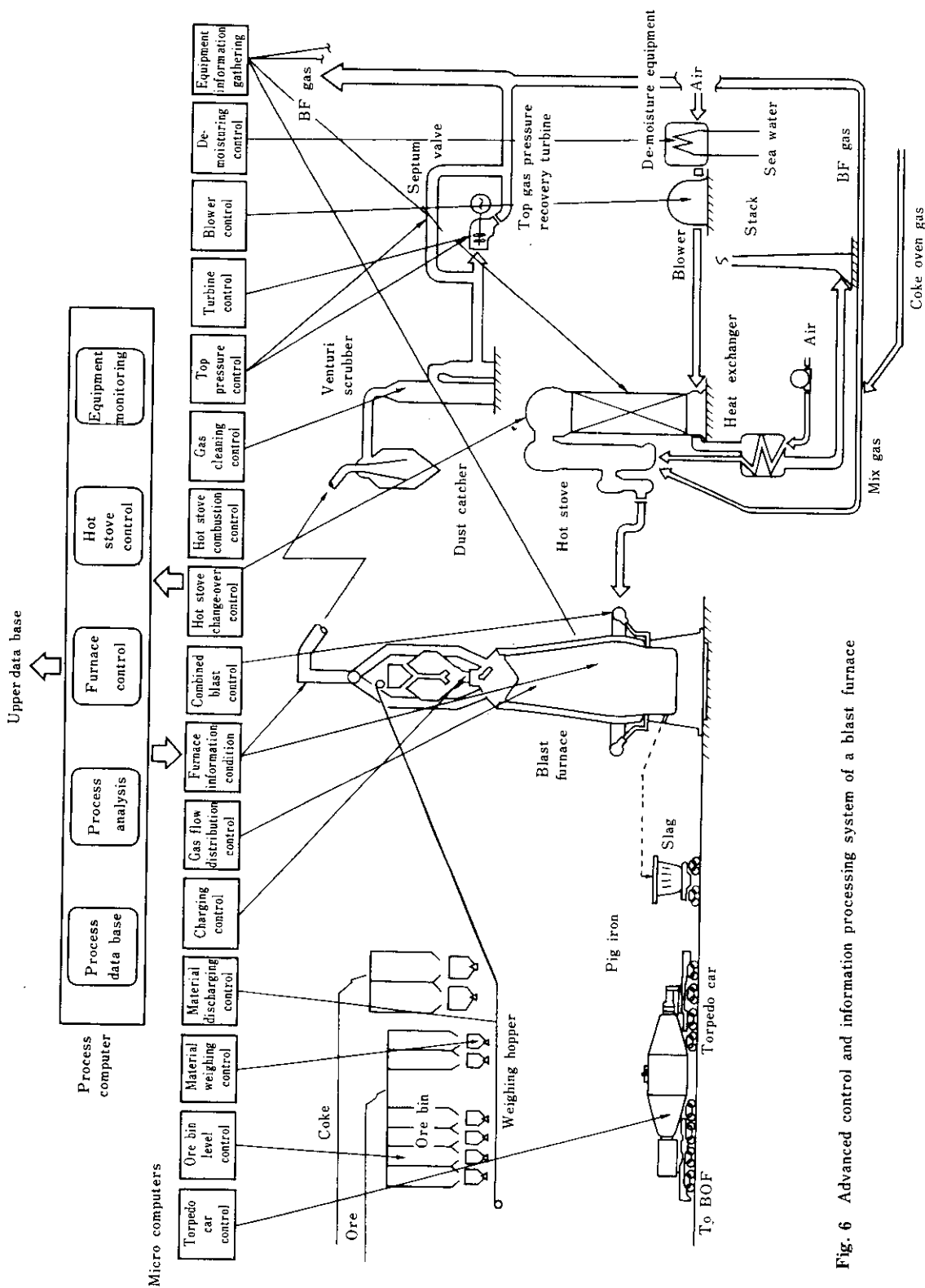


Fig. 6 Advanced control and information processing system of a blast furnace

て操業技術にインパクトを与える形で相互に刺激しあいながら発展した。

本章ではこれらのベースとなった高炉のセンサ技術を中心に特色あるものを紹介する。

3-1 ガス流分布の計測制御

高炉の炉内ガス流分布は、高炉操業効率と密接な関係にあり、この適切な調整は高炉操業上きわめて重要である¹⁴⁾。また、高炉解体調査の結果、融着帯の存在をはじめ、多くの炉内反応機構が明らかにされ、これらとガス流分布との関係も徐々に解明されつつある¹⁵⁾。

このような背景のもとに、近年、操業中の炉内状況、特にガス流分布を測定するためのセンサーの開発を意欲的に進めてきた¹⁶⁾。

3-1-1 ガス流速分布測定

ガス流速分布の測定法として、タービンメータ、フルイディスク流量計等により直接的な風速測定も試みられているが^{17,18)}、現状で実用化されているものは、温度またはガス成分による間接測定法である。

温度によるものには炉口部の固定温度ゾンデがあり、半径方向に間隔をおいて配置されたCA熱電対によりガス温度の分布が測定される。

一方、ガス成分によるものには、原料上または原料中の移動式サンプラーがある。後者は前者にくらべて大駆動力および耐久性等が要求されるが、炉頂におけるガス流れの乱れの影響を受けずに測定できる利点がある。

Fig. 7に、千葉第6高炉の操業経過と、典型的な次の3時期の代表的装入パターンを示す。

A：中心流過多、羽口曲損トラブル頻発

B：周辺流過多、羽口溶損が頻発

C：高処理鉱比テストを行い低熱料比を達成

Fig. 8 (a)は上記各期間におけるガス成分分布(N値で表わす。 $N = 18 \times (\text{CO}_2\%) / \{(\text{CO}\%) + (\text{CO}_2\%)\} - 3$)の1日平均値のばらつきの範囲を示しているがA, B, Cの各期間での重複が大きい。

Fig. 8 (b)は、このデータを判別関数の手法で群分けしたものであり、はっきりと分離が行われている¹⁹⁾。

これらのことから日常の操業におけるガス流分

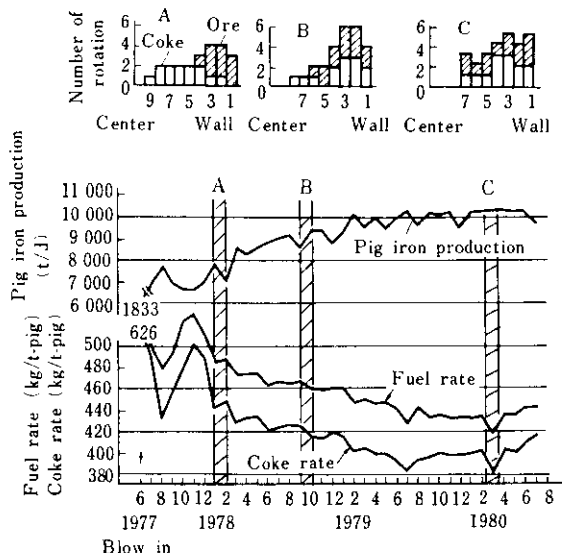


Fig. 7 Operation trend and typical charging pattern of Chiba No.6 BF

布の管理は、固定温度ゾンデまたはガス成分測定用の移動式サンプラーで十分に行えることが分かる。その際、それらから得られるパターン情報も本例のような適切な定量化を行うことが大切である。

3-1-2 装入物堆積プロフィール測定

ガス流速分布はムーバブルアーマやPW式ベルレス装入装置により、鉱石とコークスの半径方向の層厚分布を調整することにより制御される。したがって鉱石やコークスの堆積プロフィールはガス流速よりも直接的な、かつ遅れの少ないフィードバック情報として重要である¹⁶⁾。当社ではこの測定に機械式²⁰⁾、マイクロ波式²¹⁾ならびにレーザー式²²⁾の3方式を並行して開発を進めた。3方式の比較をFig. 9に示す。またFig. 10に各方式による測定例を示す。同図で(b)はストックライン変更時の動きをマイクロ波方式で測定したものであり、(c)はレーザー方式によりPW式旋回シュートの旋回毎のプロフィールの動きを測定したもので、ともに興味ある結果を得ている。

これらの3方式はそれぞれに特徴があり、いずれを採用するかは、必要とする機能とコストを勘案して決めなければならない。

現在プロフィール計のデータと操業との対応についてさらに調査を進めているが、装入層の流れ込

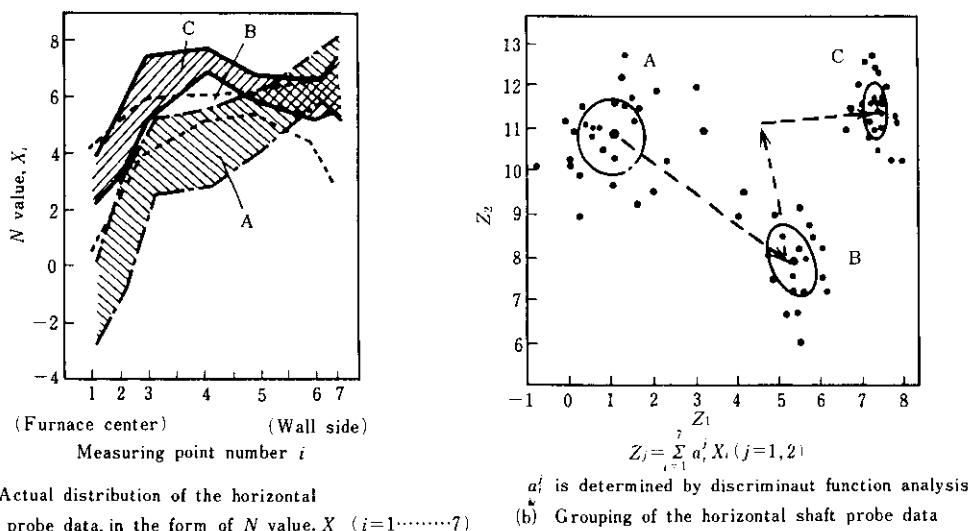


Fig. 8 Evaluation of data given by horizontal shaft probe

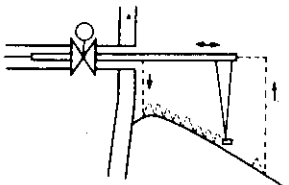
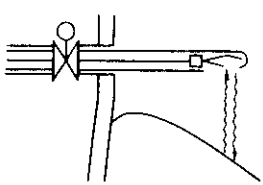
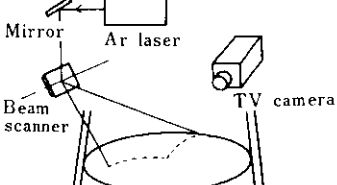
Type	Mechanical	Electro magnetic	Optical
Means	Wire and weight	Micro wave	Laser light
Principle			
Specification	(1) Measuring time 60s (2) Accuracy $\pm 50\text{mm}$ (3) Measuring area About 10 points	120s $\pm 130\text{mm}$ One radial line	2s $\pm 50\text{mm}$ A part of surface
Merits	Low cost and good accuracy	Easy for maintenance Multi-purpose use of probe	High speed measuring Surface measuring

Fig. 9 Outline of three methods of profile meter

みによる再分布の評価を行う必要があるものと思われる。

3-1-3 炉頂原料監視

炉頂原料表面の観察装置として赤外線カメラによる原料表面温度の監視装置およびシリコンビジコンによる原料挙動の監視装置がある^{13,23)}。

水島第2高炉では赤外線カメラによって得られ

る8段階の温度分布情報をマイクロコンピュータにより処理し、各温度帯の面積の時間的変化に着目して原料の流れ込みを検知するシステムを開発した。

原料挙動監視装置はシリコンビジコンにより、原料表面の近赤外域でのテレビ画像を得るもので、原料塊自身の挙動を映像により直接観察でき、流れ込み、吹抜け等炉内の異常状態の監視に用いら

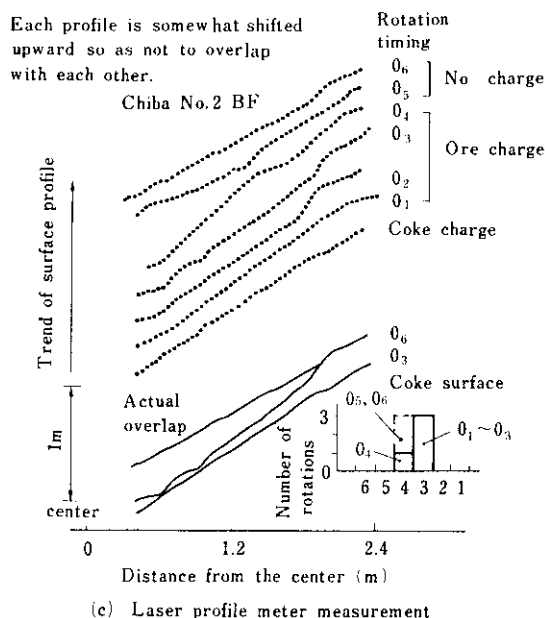
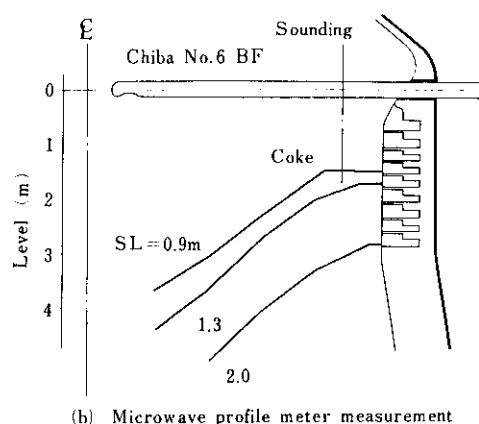
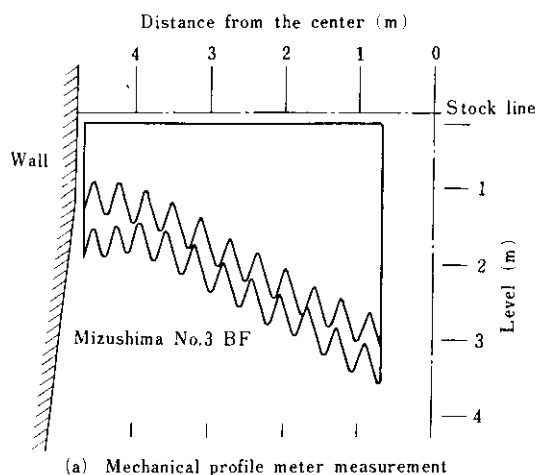


Fig.10 Examples of burden profile measurement

れている。

高炉炉内は高温高压で多量のダストがあるため、両者共に測定窓の洗浄保護に種々の工夫がなされている。Fig. 11 に原料挙動監視装置の構成を示す。

3・1・4 垂直方向の分布測定

炉内の垂直方向でのガス温度、成分の変化の測定は、炉内の鉄鉱石の還元熱交換過程を、またガス圧力の変化の測定は原料の物理性状の変化（粉化、軟化融着等）や降下の異常を把握するために行われる。従来このような測定は炉内の過酷な条件のために非常に困難であったが、近年は炉内状況の定量的把握のために、強力に開発が進められている²⁴⁾。測定方式としては炉内にゾンデを固定する連続測定方式と原料の降下と共に検出端を送り込むバッチ測定方式とがある。Fig. 12 に2方式の概要を示す。

固定式ではゾンデの原料による摩耗を考慮せねばならず、耐久性が要求される。送り込み式では検出端が原料と共に降下するので測定位置の同定に原料の動きの水平成分を考慮しなければならない。Fig. 13 に千葉第2高炉で開発した3点式測温ゾンデ²⁵⁾による測定例を示す。図より明らかに熱保存帯が存在していることが分かる。

マクロ的な高さ方向の圧力分布測定対象としてはシャフト圧力があり、これは完全に工程計器化

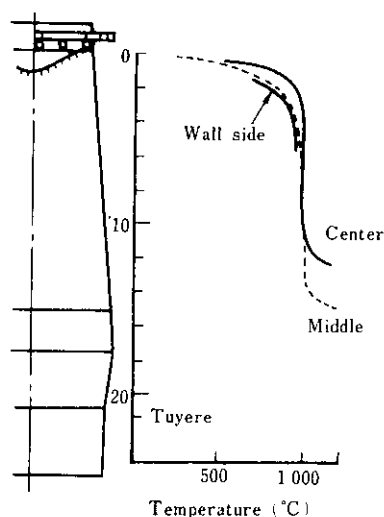


Fig. 13 An example of temperature pattern measured by 3-point sonde

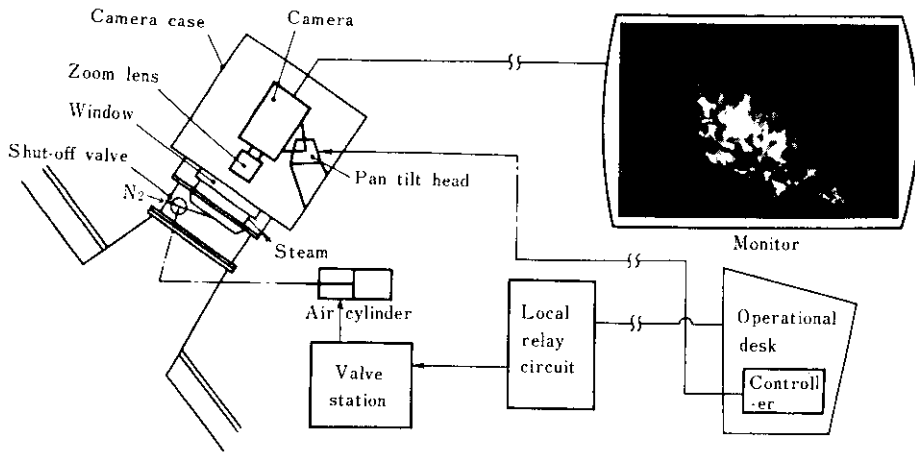


Fig. 11 Configuration of ITV system

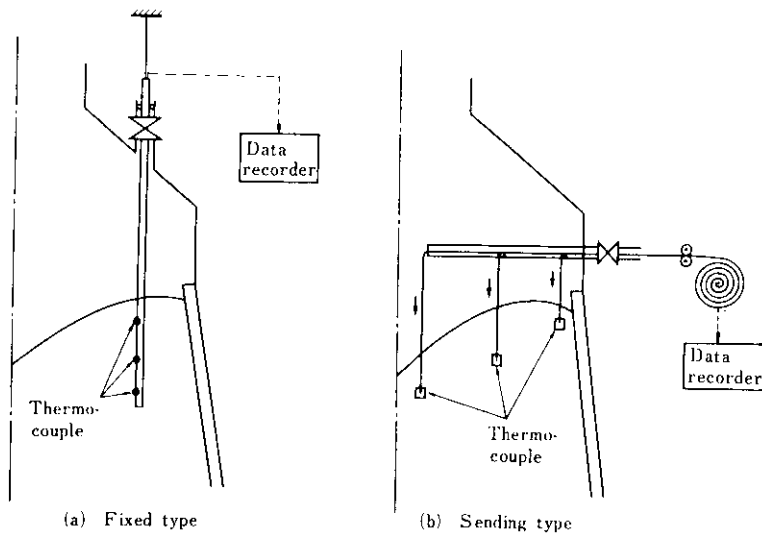


Fig. 12 Two methods of temperature distribution measurement in vertical direction

されている。圧力取出孔をできるだけ大きくすること、導管内の息づき現象によるダストの吸込を少なくすることが要点である。Fig. 14 は当社で新しく採用している方式であり²⁶⁾、ラインマウント型の圧力センサを利用して良い結果を得ている。

3・1・5 円周方向の分布測定

出鉄滓のタイミングや炉壁付着物の影響により、円周方向にも不均一分布を生じ、これがこうじると出鉄孔偏差や局部的な棚吊り、スリップあるいは特定の羽口の破損などを誘起する。このため、円周方向の不均一を早期に発見し、その原因を除

去する必要がある。

羽口ごとの風量分布は、円周方向の炉内通気性の検知手段となるものであり、羽口支管のベンド部の圧損と全送風量より計算する¹³⁾。

また、前述した固定温度ゾンデを円周方向に複数箇所設置し、それらの情報から円周方向の不均一分布を推定することもできる。

3・1・6 装入物分布制御

装入物分布はベル式高炉では Movable Armor の位置、PW式高炉ではシュートの旋回パターンにより制御される。さらにストックラインやパッ

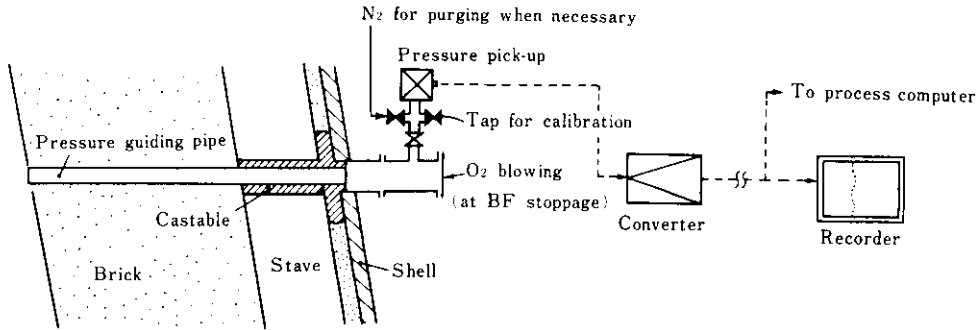


Fig. 14 Configuration of a shaft pressure measuring equipment

チ装入方式の変更も、分布制御の手段として用いられる。

PW式装入装置はベル式にくらべて大きな自由度を持っているが、その反面、機器の厳密な制御が要求され、制御装置の負荷は大きくなる。

Fig. 15 に千葉第6高炉の例を示すが、最も重要なのは原料の排出速度制御であり、所期の装入分布を得るためには適切な一定範囲内に制御されねばならない。流量調節ゲートの開度がその操作端となるが、原料粒度の変動や調節ゲートのライナの摩耗や粉の付着等の理由から排出速度の測定値に基づくフィードバック制御が必要である。そのため、ロードセルからの排出速度情報に基づき、

チャージごとに流量調節ゲートの開度を調整する方式を採っている。

3.2 設備異常検知のための計装

高炉の安定操業を維持するためには、重要設備の異常を初期の段階で検知し、適切な処置をとり大事故を未然に防止しなければならない。本節では設備の異常を検知するための計装装置について述べる。

3.2.1 羽口漏洩検知

羽口冷却水の漏洩は装入物降下異常等に基づく羽口破損により発生するが、これを初期の微量な

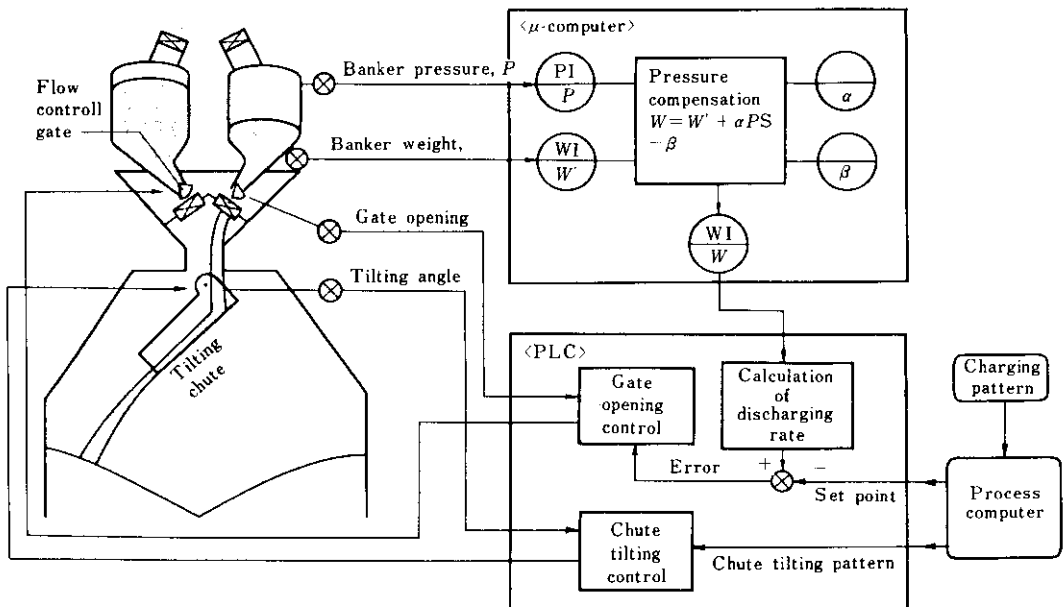


Fig. 15 Charging rate control system

リークの段階で発見し、大量の漏洩にいたる前に羽口交換することが重要である。最近では摩耗等によるものを除いては、羽口破損は非常に少く、それ故に、とくに信頼性が要求される。

漏洩を検知する方法としては、高精度流量計により給排水の流量差を監視する方法がとられる。流量計としては、圧損が無く冷却水中の異物による誤警報の恐れがない電磁流量計が最も適している。

千葉第6高炉では、配管系に校正用バイパスラインを設けて給排水の流量計に同一流量を流し、その器差を自動的に補正することにより、ドリフトの影響を解消している。この器差補正により、差流量の精度は $\pm 1\text{ l/min}$ ($\pm 3\sigma$) と2倍に向上している。Fig. 16に破損検知例を示す。警報設定値は 3 l/min で使用し、検知率は100%である。誤警報も全く無い。

3-2-2 ステープ漏洩検知

前項で述べたように羽口では流量差方式が実用化されているが、流路数の非常に多いステープでは、流量差方式はコスト高で実用的ではない。そこで当社では、冷却排水中の溶存CO量を測定す

ることにより検知する方法を開発した²⁷⁾。本方法はステープの破損により炉内ガスが混入した排水を、キャリアガスでばっ気し、その中のCOガスを測定するものである。本装置によりテスト期間中の3回のステープ破損をすべて検知できた。

Fig. 17に破損時の溶存CO指示値の変化を示す。

3-2-3 炉体温度監視

大型高炉においては炉体温度の監視のための測温点数は数百点にのぼり、かつこれらの測温点は位置的に広範囲にわたっている。このため、測定点1ループ毎に受信計器を設置することは、コスト的に莫大なものとなる。そこで多数の温度測定を効率的に行うため、切換方式が採用されている。現場の数箇所に信号切換装置を設け、温度信号を切換えて、シリアル方式で中央のデータ処理装置に伝送する。温度データはさらに上位のプロセスコンピュータに伝送され、整理された形で操業者に提示される²⁸⁾。

3-3 溶銑管理のための計装

溶銑の量と品質を把握することは、高炉操業にとって重要であるだけでなく、溶銑輸送、次工程

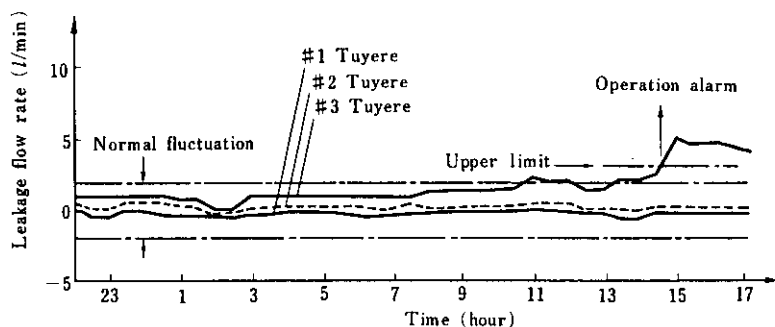


Fig. 16 An example of tuyere leakage detection system

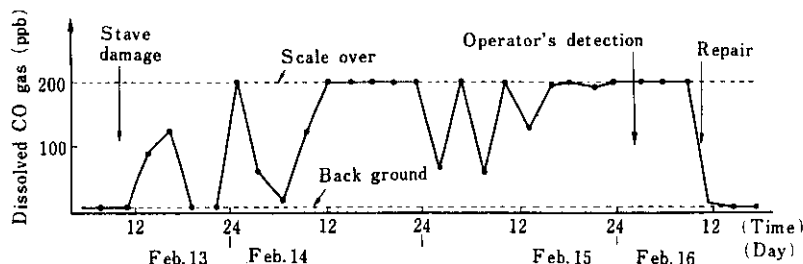


Fig. 17 Record of dissolved CO gas when a stave was damaged

の製鋼プロセスの効率的操業にも大きな影響を与える。本節では、溶銑管理のための計装として、溶銑情報管理システムとトピードカー溶銑レベル計について述べる。

3-3-1 溶銑情報管理システム

溶銑情報の自動収集とトピードカーの運転効率向上を目的として、千葉西工場では無人の溶銑情報管理システムを開発した¹³⁾。本システムではトピード番号自動読取装置の導入により、トピードカーの位置を自動的にトラッキングしており、また軌道衡においても、読取装置と組み合わせることにより自動計量を行っている。これらの情報は、分析計算機から伝送される溶銑分析値と共に、第6高炉プロセスコンピュータで集中管理が行われる。Fig. 18 にトラッキングシステムの構成を、Photo. 1 にトピードカーの位置を表示する CRT 画面を示す。本システムにより、省力効果はもとより、トピードカー運行効率が向上し（回転率で 3.0 回/日）、溶銑温度低下が 130°C（通常 200°C）に抑えられて、その省エネルギー効果も非常に大きい。

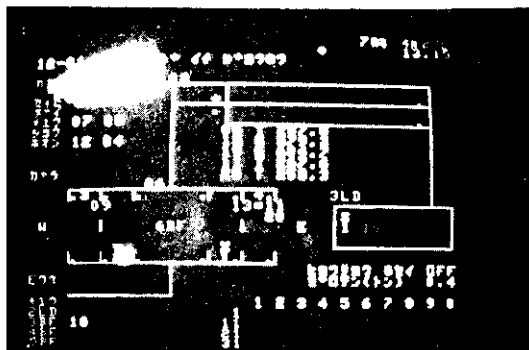


Photo. 1 An example of CRT display of torpedo car tracking

3-3-2 溶銑レベル計

高炉の炉前作業は、高炉操業において最も自動化が遅れている分野である。トピードカーの所定レベルまで溶銑を注入するための溶銑レベル監視は炉前自動化のキーポイントであり、また安全面の配慮からも、その自動監視が強く要請されている。

当社では従来、溶銑鍋用に電極棒式レベル計を

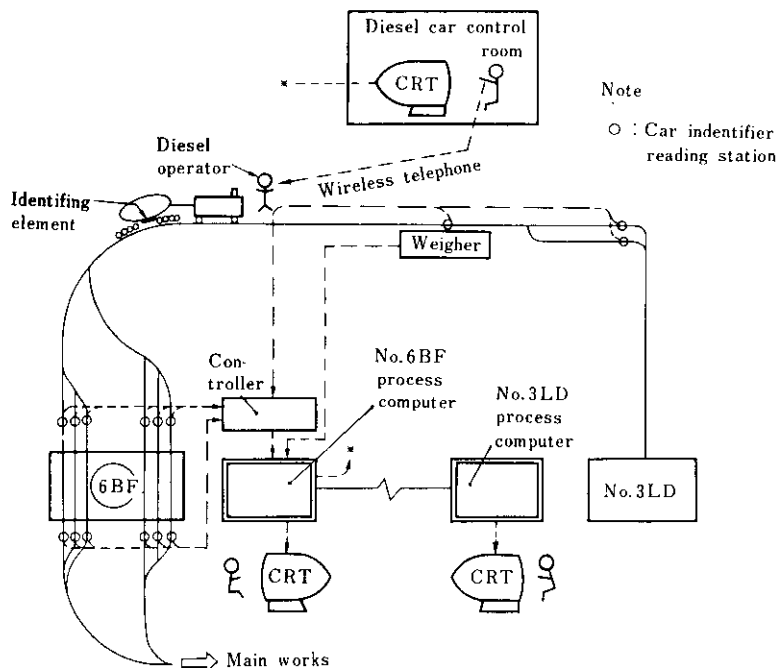


Fig. 18 Torpedo car tracking system at Chiba Works

使用していた²⁹⁾。しかしトビードカーに対しては、その受鉄口が小さいため適用が困難であり、水島第3高炉では、マイクロ波による溶鉄レベル計を開発した³⁰⁾。ダスト等に影響されることなく湯面レベルを $\pm 50\text{mm}$ 以内の精度で測定できる。Fig. 19にレベル測定例を示す。

また千葉第6高炉ではレールの歪を測定する方式によりトビードカーの重量簡易測定を行い、レベル監視に役立てている³⁰⁾。本方式はトビードカーの車輪がレールに与える歪をレールに貼りつけたストレインゲージで測定するもので、停止位置の位置決めを正確に行うことにより $\pm 5\%$ の重量

精度が得られている。Fig. 20に軌道衡値と比較した結果を示す。

将来的には、重量式とマイクロ波式を組み合わせることにより信頼性を向上させ、受鉄作業の自動化をはかっていく。

3.4 通常計装の改善

本節では、前述した計装設備以外の通常計装における各種の改善について述べる。

3.4.1 コークス秤量機

高炉に装入されるコークスの秤量機は最重要計器の一つであり、厳重な精度管理を要求される。そこで、コークス秤量機をロードセルによる直受式とし、桿杆類をなくすと共に、精度管理のためロードセルを二重にし、校正用に分銅検重装置を設けている。Fig. 21にシステム構成を示す。

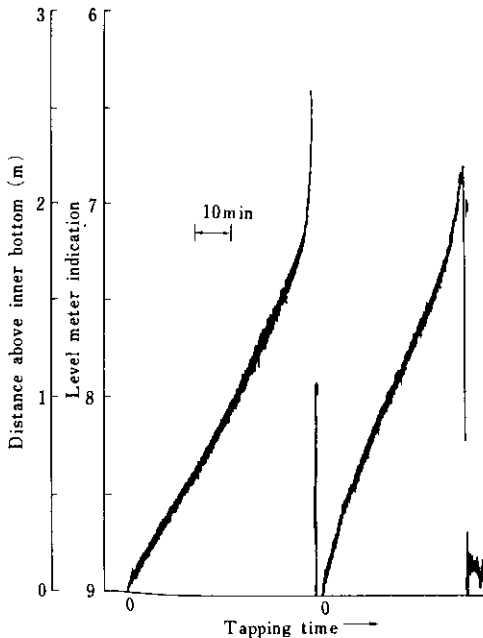


Fig. 19 An example of molten iron level measurement in torpedo cars by microwave level meter

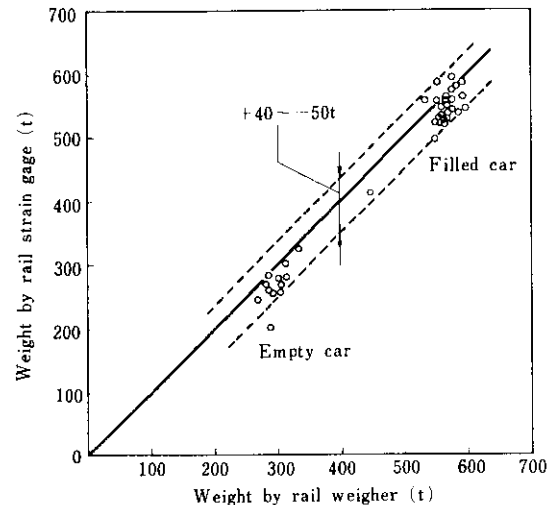


Fig. 20 Accuracy of rail strain gage

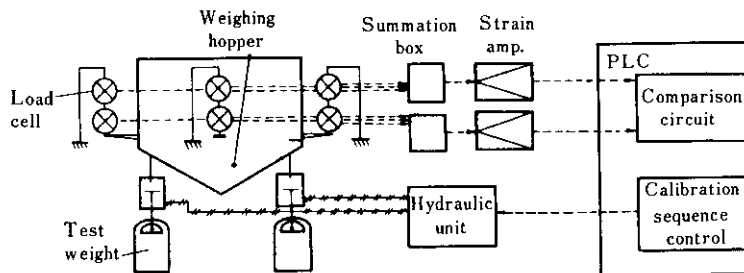


Fig. 21 Coke weighing system

3-4-2 専用ホッパー水分計

コークス水分の測定条件を改善するため、計量ホッパーに装入されるコークスを縮分サンプリングし、専用のサンプリングホッパーに投入して測定する^{13,28)} Fig. 22 に乾燥法との相関を従来方式と比較して示すが、総合精度を乾燥法との回帰からのばらつき $3\sqrt{V_{xy}}$ で評価した場合、従来法で 2.91 % に対し本方式では 1.92 % であり明らかに精度向上が得られた。

3-4-3 マイクロ波サウンディング計

従来の機械式をマイクロ波方式に置き換えたもので、装入中でも測定できること、保守性が良いこと、原理的にドリフトの無いこと等の特徴がある^{23,31)}。発振器、信号処理の改良により、機械式に劣らない精度が得られた。Fig. 23 に機械式と比較した測定例を示す。

さらに本技術は空炉吹卸時にも適用（従来法は利用できない）し、好結果を得た。

3-4-4 アニューバ流量計

流量測定による永久圧損が小さく取付けや保全が容易であるアニューバ流量計を大幅に導入している。千葉第 6 高炉では監視用の目的で 30 箇所以

上に設置しており²⁸⁾、制御用としても熱風炉燃焼空気流量に使用している。高炉送風流量についてオリフィスと比較した結果その差は測定流量の $\pm 2\%$ の範囲内であった。Table 1 に熱風炉燃焼空気流量についてオリフィスとの運転コスト比較を示す³²⁾。

3-4-5 歪ゲージ型圧力センサー

高炉計装における圧力測定系に、ラインマウントが可能な歪ゲージ型センサを導入している²⁶⁾。従来の導圧管と圧力伝送器方式に比べて、計装工事費の削減、保全性の向上、ダスト、ドレンによる導圧管トラブルの絶滅、信号伝送遅れの減少等多くのメリットがあり今後本方式を増加させて行く予定である。千葉製鉄所において第 6 高炉でのテスト実績を基に、第 5 高炉には、42 点設置した。

3-4-6 熱風炉ガス分析

熱風炉の燃焼管理強化のため燃料および排ガスの分析を行っている¹³⁾。すなわち燃料 B ガスおよび C ガスをガスクロで分析し所要 M ガスカロリーを得るための C/B 比率を設定するフィードフォワード制御と共に、排ガス O_2 計による M ガス空燃比のフィードバック制御が行われ熱風炉燃焼効率の向上に寄与している。

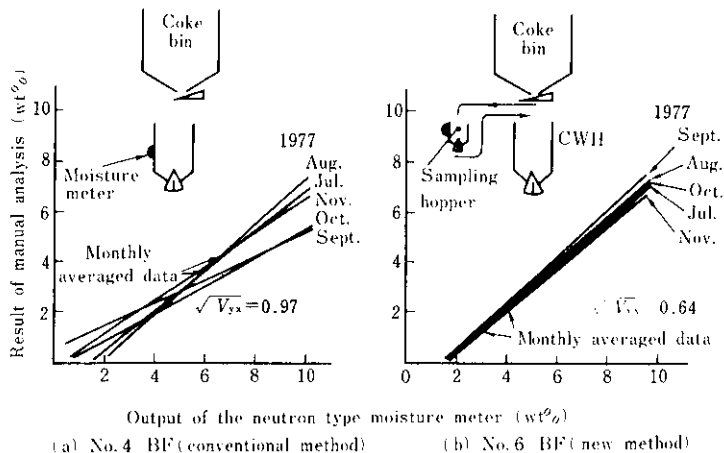


Fig. 22 Comparison of calibration curves between the new and conventional coke moisture measuring systems

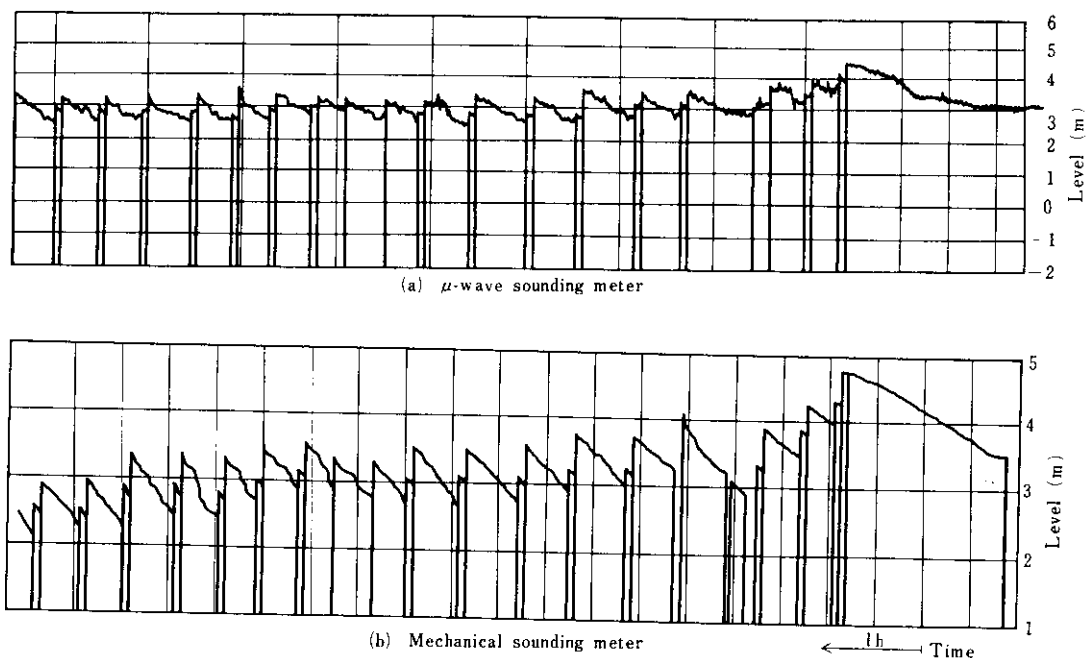
Fig. 23 An example of μ -wave sounding meter measurement

Table 1 Running cost comparison for measuring combustion air flow rate of hot stove

Running condition			
Measuring points			4
Line flow rate	Q (m^3/h)		1.80×10^5
Specific gravity in line condition	γ_1 (kgf/m^3)		0.718
Fan utilization	η_1		0.97
Fan efficiency	η_2		0.80
$\alpha\beta^2$ value of orifice	$\alpha\beta^2$		0.30
Item		Anubar	Orifice
Differential pressure, DP	(mmH_2O)	24.4	126.5
Permanent pressure loss, PPL	(mmH_2O)	0.732	68.1
Power required to make up for PPL	(kW)	0.448	41.7
Yearly operating cost	(yen/year/measuring point)	4.40×10^4	4.09×10^6
Yearly costs saving			
(yen/year/measuring point)	4.05×10^6		
Total cost saving per year	7 860 000yen/year		
Note : Overall fan utilization is assumed to be 97%.			
Only two lines are active simultaneously.			

4. 今後の方向

4.1 原料処理計装

原料ヤードにおいてはヤード機械の自動化の高度化と在庫把握システムの精度向上、さらには広大なヤードに点在するヤード機械の設備診断がと

りあえずの目標となる。さらに原料の物理的・化学的性状の把握とその制御が将来的な課題となろう。

焼結過程においては現設備の省力化の推進と焼結プロセス解明に役立つ新しいセンサの実用化がとりあえずの目標であり、さらに焼結プロセスの入出力を明確に検出する計測装置の開発が将来

的な展望である。原料の性状だけでなく、成品の品質の指数である還元崩壊指数やシャット強度あるいはそれに代る新しい指数のオンライン測定方法を開発していかなければならない。

4.2 高炉計装

センサとしてはより直接的な計測装置、例えば融着帯形状、炉内溶銑溶滓レベル、炉内熱レベルさらには炉壁や炉底の侵食量等を間接的でなく直接的に測定するものの開発が望まれる。

同時に留意しなければならないことは既存の開発を完了したセンサの整理統合である。今までは何とか測ろうとの意思のもとに多くの直接的あるいは間接的センサが開発されてきたが、それらの提供する情報の中には多分に重複するものがある。自然淘汰を待つのでなく積極的に整理し、その中から真のニーズを見つけていかなければならない。

将来的には、溶銑の量の確保から品質の確保に操業のターゲットを変えていくべきである。多くのセンサ情報をとり入れた精緻な高炉モデルの作成と同時に、オンラインでの溶銑や溶滓の成分分析、あるいは羽口等からのより早い情報の採取が必要となろう。

また微粉炭吹込み等に見られるような原燃料の変更に伴う新しい計装設備の開発や、炉前の自動

化のためのセンサの開発やシステム化、さらには次工程である製鋼プラントや製鉄所のエネルギー管理システムとの結合なども別の角度から検討を進めていかなければならない課題である。

5. 結 言

製鉄プロセスの計装についてそのセンサを中心に概括した。当社で開発されたものに力点を置いており、制御モデルに関しては割愛しているため若干の偏りは否めない。

ここに紹介した技術や他社で開発された技術の積み重ねにより、今や製鉄プロセスも次第に「見える」プロセスとなっており、従来は時折り冷え込み状態に陥ることの少なかった高炉においても、安定操業が当たり前になってきている。また高炉寿命も10年が当然の目標にされつつあり、今後の計装技術にかかる負荷はますます増大する。

個々の新センサの開発はもとより、それらセンサ情報の総合化、各プロセスならびに製鉄工程全体としてのシステム化をより強力に進めていかなければならない。

プロセスの進歩について行くのではなく、計装面の進歩がより新しい操業を生み出すようでありたい。

参 考 文 献

- 1) 山越, 塩川, 稲垣: 「千葉製鉄所ヤード用コンピュータによる鉱石のベルトコンベヤ輸送スケジューリングについて」, 鉄と鋼, 59 (1973) 4, S22
- 2) 田宮, 前田, 斉藤, 佐藤: 「原料ヤード計算機システムの概要」, 計測技術, 6 (1978) 5, 38
- 3) 篠崎, 島田, 佐藤, 山下: 「スタッカー, リクレーマーの自動化」, 鉄と鋼, 66 (1980) 11, S709
- 4) 水野, 秋葉, 佐藤, 山下, 福井, 竹中: 「千葉西工場ヤード機械の自動化」, 川崎製鉄技報, 12 (1980) 4, 676
- 5) M. Itoh, N. Shiokawa, M. Maeda, T. Takehara: "Computer System at Chiba Works No.3 Sinter Plant", Iron and Steel Engineer, 51 (1974) 4, 101
- 6) 岩村, 田宮: 「走行式レベル計による貯鉱槽のレベル計測と無人運転」, 計測技術, 5 (1977) 8, 54
- 7) 山田, 福留, 若井, 三浦, 近藤, 奥山: 「焼結機点火炉の吸引圧力制御について」, 鉄と鋼, 65 (1979) 4, S57
- 8) 安本, 太田, 荻野, 田中, 福留, 山田: 「焼結層内ヒートパターン連続測定装置の開発」, 鉄と鋼, 66 (1980) 4, S5
- 9) 館野, 福留, 木村, 井山, 太田, 山田: 「焼結機における焼結層内ヒートパターンの推定」, 鉄と鋼, 66 (1980) 4, S6
- 10) 安本, 田中, 福留, 小幡, 山田, 太田: 「焼結層内ヒートパターンと品質との関係」, 鉄と鋼, 67 (1981) 4, S101
- 11) 山名, 児子, 福田, 若井, 才野, 山田: 「焼結原料の化学成分変動低減対策の検討」, 鉄と鋼, 67 (1981) 4, S99, S100
- 12) 川崎製鉄(株)千葉製鉄所: 「高炉計装システムの考え方と具体例」, 日本鉄鋼協会共同研究会第66回計測部会資料, 計測-66-1-共2, (1977)
- 13) 田宮, 岩村, 高橋, 崎村, 片桐, 古内: 「千葉第6高炉の計装システム」, 川崎製鉄技報, 10 (1978) 2・3, 33
- 14) 奥村, 河合, 丸島, 高橋, 栗原: 「ベルレス式大型高炉による低燃料比操業」, 鉄と鋼, 66 (1980) 13, 176

- 15) 研野:「高炉の操業診断」, 日本金属学会会報, 17 (1978) 7, 570
- 16) 岩村, 河合, 浅野:「高炉ガス流分布制御のためのセンサとその定量化」, 鉄と鋼, 67 (1981) 9, A121
- 17) 佐野, 宮崎:「高炉炉口ガス流速分布の測定」, 鉄と鋼, 66 (1980) 4, S36
- 18) 神戸製鋼(株)浅田研, 加古川製鉄所:「タービン式風速計の炉口風速計測への応用」, 日本鉄鋼協会共同研究会計測部会, 計測76-1-8, (1980), 11月
- 19) T.Iwamura, T.Tamiya, H.Sakimura, T.Kawai, H.Kubo: "The New Instrumentation System at Chiba No.6 Blast Furnace and Its Contribution to Operation", International Federation of Automatic Control Congress VIII, (1981) Aug. Paper No. 459
- 20) 川崎製鉄(株)水島製鉄所:「高炉装入物表面プロフィール測定装置について」, 日本鉄鋼協会共同研究会計測部会, 計測73-1-3, (1979), 11月
- 21) 川崎製鉄(株)千葉製鉄所:「マイクロ波による高炉装入物レベル計の機能拡大」, 日本鉄鋼協会共同研究会計測部会, 計測76-1-4, (1980) 11月
- 22) 浅野, 矢部, 栗田, 百瀬, 平橋, 守屋:「高炉炉頂装入物プロフィール測定装置の開発」, 鉄と鋼, 66 (1980) 11, S681
- 23) 田宮, 岩村, 下西, 高橋, 森:「鉄鋼業における特殊センサの開発と応用」, 計装, 23 (1980) 2, 12
- 24) 日本鋼管(株)福山製鉄所:「高炉溶融帯位置形状測定装置について——送り込み式垂直ソンの開発——」, 日本鉄鋼協会共同研究会計測部会, 計測76-1-7, (1980) 11月
- 25) 片山, 稲谷, 岡部, 田口, 奥村, 田村:「懸垂型多点式温度計による高炉内温度分布の測定方法」, 鉄と鋼, 66 (1980) 11, S682
- 26) 川崎製鉄(株)千葉製鉄所:「歪ゲージ型圧力センサーの工程計器化」, 日本鉄鋼協会共同研究会計測部会, 計測75-1-4, (1980) 7月
- 27) 川崎製鉄(株)千葉製鉄所:「溶存 CO 量の測定による冷却水漏洩の検知」, 日本鉄鋼協会共同研究会計測部会, 計測73-1-4, (1979) 11月
- 28) 川崎製鉄(株)千葉製鉄所:「千葉第6高炉計装システム事例紹介」, 日本鉄鋼協会共同研究会計測部会, 計測70-1-2, (1978), 11月
- 29) 西野, 栗原, 水野, 相原, 三谷:「高炉炉前作業の機械化」, 川崎製鉄技報, 12 (1980) 2, 351
- 30) 川崎製鉄(株)水島製鉄所, 千葉製鉄所:「トービードカー溶銑レベル測定システムの開発」, 日本鉄鋼協会共同研究会計測部会, 計測78-1-4, (1981) 7月
- 31) 川崎製鉄(株)技術研究所, 千葉製鉄所:「高炉 μ 波サウンディング計」, 日本鉄鋼協会共同研究会計測部会, 計測65-1-1 (1977), 2月
- 32) 加藤, 岩村, 片桐:「流量計による省エネルギー化の実例」, 空気調和と冷凍, 19 (1979) 8, 64