
千葉第6高炉の計装システム

Instrumentation System of Chiba No.6 Blast Furnace

田宮 稔士(Toshio Tamiya) 岩村 忠昭(Tadaaki Iwamura) 高橋 暁(Satoru Takahashi) 崎村 博(Hiroshi Sakimura) 片桐 秀明(Hideaki Katagiri) 古内 真積(Matsumi Furuuchi)

要旨：

千葉製鉄所第6高炉の計装システムの特徴は、マイクロ計算機に代表されるデジタル計装技術と通信制御技術の全面的な採用および上位計算機による高炉のトータル管理などであり、その具体的な効果としては、(1)計測器の多重利用や精度向上のための機能付加による計測値の信頼性向上、(2)複雑な計測制御システムや豊富なデータ収集機能の効率的な実現、(3)マンマシンインタフェースの質量両面の充実、などが挙げられる。また新しいセンサーの開発や導入も積極的に行った結果、本システムは昨今の厳しいコストミニマムの要求に対処した操業改善の有力な武器となっている。

Synopsis：

This new instrumentation system is characterized by the full utilization of digital instrument system represented by micro-computers and programmable logic controllers and of data communication technique, under the blast furnace total control by using supervisory process computer. The intelligent terminals of the micro-computers have made it easy to apply advanced measurement and control techniques. The reliability of sensor has remarkably been heightened through precision improving measures such as multi-point measurement using the same instrument, etc. A complicated measurement control system and huge facilities for the memory and utilization of several information have been realized. The detailed process analysis and the complicated manipulation of the furnace have been made easy by the improved man-machine interfaces. Furthermore, new sensors have been developed to obtain new process information and to improve conventional ones. Such data processing and control system has proved to have an elastic versatility in operation improvement in compliance with the increasing demand for minimizing production cost.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

千葉第6高炉の計装システム

Instrumentation System of Chiba No.6 Blast Furnace

田宮 稔 士*

Toshio Tamiya

岩村 忠 昭**

Tadaaki Iwamura

高橋 暁***

Satoru Takahashi

崎村 博***

Hiroshi Sakimura

片桐 秀 明***

Hideaki Katagiri

古内 真 積***

Matsumi Furuuchi

Synopsis:

This new instrumentation system is characterized by the full utilization of digital instrument system represented by micro-computers and programmable logic controllers and of data communication technique, under the blast furnace total control by using supervisory process computer. The intelligent terminals of the micro-computers have made it easy to apply advanced measurement and control techniques. The reliability of sensor has remarkably been heightened through precision improving measures such as multi-point measurement using the same instrument, etc. A complicated measurement control system and huge facilities for the memory and utilization of several informations have been realized. The detailed process analysis and the complicated manipulation of the furnace have been made easy by the improved man-machine interfaces. Furthermore, new sensors have been developed to obtain new process informations and to improve conventional ones. Such data processing and control system has proved to have an elastic versatility in operation improvement in compliance with the increasing demand for minimizing production cost.

1. まえがき

近年の大型高炉は代表的な大規模システムの一つであり、その制御と管理を行う計装設備の規模も非常に大きなものとなる。膨大なプロセス情報の計測、その能率的な処理、さらには信頼性の高い制御の方法について十分な検討を行い¹⁾、デジ

タル計装技術と通信制御技術を駆使した新しい計装システムを完成した。

本システムは、個々のサブシステムの最適な操業管理とともに高炉トータルシステムとしての統括的な管理を狙いとしており、情報の収集から制御に至るまでその思想を一貫して維持している。

本報では、計装システムの概要と特徴を述べる

* 千葉製鉄所設備部設備技術室主査(課長待遇)

** 千葉製鉄所設備部設備技術室主査(掛長待遇)

*** 千葉製鉄所設備部設備技術室

[昭和53年7月25日原稿受付]

とともに、本システムで実用化された計測上の新しい技術とその効果も略述する。

2. 設備概要

2.1 システム構成

Fig. 1 に全体構成図を、Table 1 に主要機器の仕様概略を示す。本システムは四つの階層から構成されており、以下に示すような機能分担を行っている。

(1) フィールド部

現場のセンサーや操作機器。

(2) ローカル部 1 (従来計装部)

遠隔手動制御の操作部で、重要なプロセス情報についてはデジタル計装と重複してバックアッ

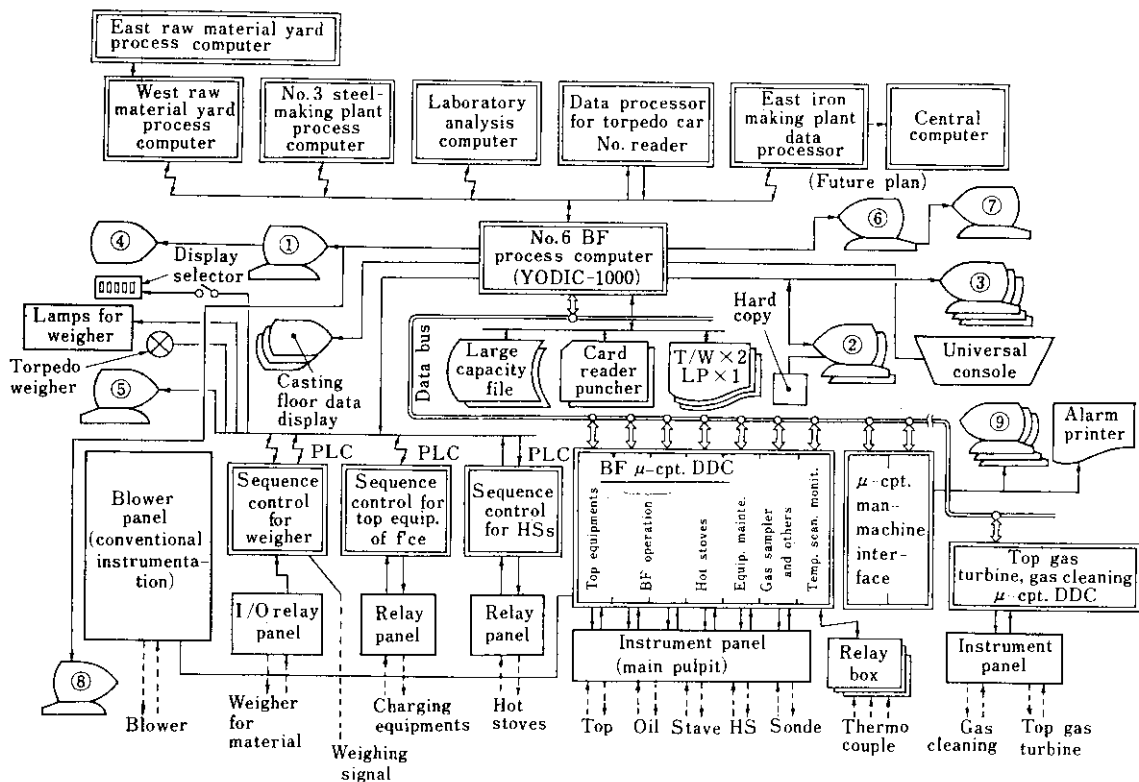
プ機能を持つ。

(3) ローカル部 2 (デジタル計装部)

本システムの中核部で、多くのマイクロ計算機やPLC (Programmable Logical Controller) で構成され、危険分散が行われている。センサーベースの処理と制御をそれぞれ自己完結させる。操業者が一連の動作のきっかけを与えると、以後は自動的に動作が行われる半自動制御の操作部でもある。

(4) 上位部 (プロセス計算機)

ローカル部より情報を吸い上げ各種の操業指数を計算し、また大容量のデータバンクを構築する。さらに原料ヤードや製鋼部門との通信により高炉の統括的管理を行い、操業者には情報を整理統合し直感的な形で提供する。制御面ではローカル部の監視と統括的制御を行う。



CRT utilization	① Computer room	④ Operation room on casting floor	⑦ East ironmaking office
	② Input and output (two sets)	⑤ Torpedo car operation room	⑧ Blower pulpit
	③ Process monitoring (three sets for weighing, BF, and HSs)	⑥ West office	⑨ Local CRTs

Fig. 1 Instrumentation and process computer configuration for Chiba No.6 BF (μ -cpt. means "micro-computer")

Table 1 Main specifications of process computer, micro-computers and PLCs

	Specifications	Function
Programmable logic controller {Yasukawa} [15]	Model MEMOCON SC 184 Memory capacity $4\text{kw} \times 15$ (core) Memory cycle time $2.0 \mu\text{s}$ Computer interface 8 Remote I/O 7 Process I/O (total) A/I 48 points A/O 4 " D/I 2 560 " D/O 2 100 "	Material weighing control Sequence control for weighing and discharge at bunkers, bell-less charging, hot stove, and dedusting equipment
Micro-computer instrumentation system {Yokogawa} [FCC: 8, DFC: 2]	Model CENTUM Memory capacity $16\text{kw} \times 2$ (core) $32\text{kw} \times 6$ (core) $48\text{kw} \times 2$ (core) Memory cycle time $1.4 \mu\text{s}$ Process I/O (total) A/I 420 points A/O 90 " PI 80 " D/I 680 " D/O 720 " CRT color display 3 Printer 1	Measurement and control for blast furnace operation, top equipments, hot stove, gas cleaning, and blast gas furnace turbine Monitoring of temperatures, cooling water leakage, and others
Process computer {Yokogawa} [1]	Model YODIC-1000 Memory capacity 96kw (core) $1\,024\text{kw}$ (drum) $4\,096\text{kw}$ (disc) Memory cycle time $0.7 \mu\text{s}$ Process I/O PI 96 points D/I 256 " D/O 256 " Data communication MODEM 3 Data bus 2 Modified MODEM 8 CRT color display 11 Printer 2 Line printer 1	Total control of blast furnace. A/I Analog Input A/O Analog Output D/I Digital Input D/O Digital Output PI Process Interrupt

Note: Makers are shown in braces and the number of computers in square brackets

2・2 各サブシステムの概要

2・2・1 原料関係

計算機と8台のPLCで鉱石20槽、コークス2槽の秤量を管理している。各槽の秤量および補正制御、炉内での鉱石の偏析防止のための混合排出制

御、コークス水分測定とコークス乾量制御がローカル部の主な機能である。また計算機は原料ヤードとの情報交換による貯鉱槽残量管理、鉱石分析値と切出量に基づく炉内物質収支演算、さらには切出量変更のスケジューリングを行っている。

Fig. 2 にコークス系統の構成を示す。

2・2・2 炉頂装入関係

旋回シュートの傾動角度と回転数のプログラム制御、さらには流調ゲートによる排出速度制御がベルレス装入装置²⁾の操業上重要なものである。

Fig. 3 に炉頂部計装の概念図を示す。炉内ガス流速分布を間接的に測定することに重点を置いており、固定式温度ゾンデ、原料内挿入水平ゾンデ、原料表面の温度分布を見る赤外線カメラ、原料の挙動を見る炉頂ITVを設置している。またマイクロ波利用のレーダーサウンディング³⁾を開発し、原料レベルの常時監視を行っている。

2・2・3 高炉操業関係

操業上の主要な操作量である送風流量、温度、湿

分、重油、酸素および炉頂圧力はマイクロ計算機で個々に制御し、計算機によりその設定値を管理する。シャフト圧力と羽口ごとの風量は、円周方向の分布に重点をおいて測定し、その不均衡の修正手段として羽口ごとの重油流量制御を行っている。また炉体温度も多数の測定点をマイクロ計算機により一括管理し、計算機の CRT でパターンによる監視を行う。さらに高速ガスクロマトグラフによる炉頂ガス分析結果から種々の操業指数を計算する。そのほか多くの情報を統括的に判断するゴー・ストップシステム⁴⁾など計算機を多岐にわたって活用している。

2・2・4 高炉設備管理

炉体や各種冷却水さらには電動機の軸受をも含めて約 300 点の温度監視を行っており、現場にリレースキャナを設置し、マイクロ計算機と上位計算機により一括管理を行っている。また、羽口、ステーブさらには熱風弁等の冷却水の炉内漏洩検知のため、給排水の流量差を監視している。

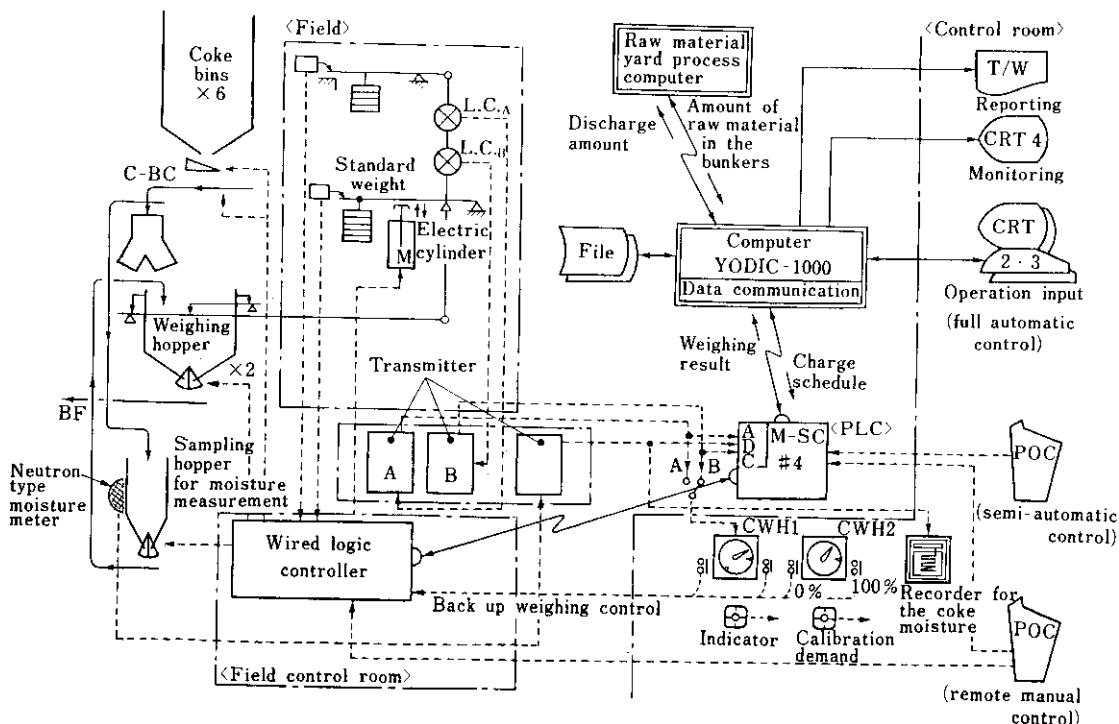


Fig. 2 Coke weighing control system

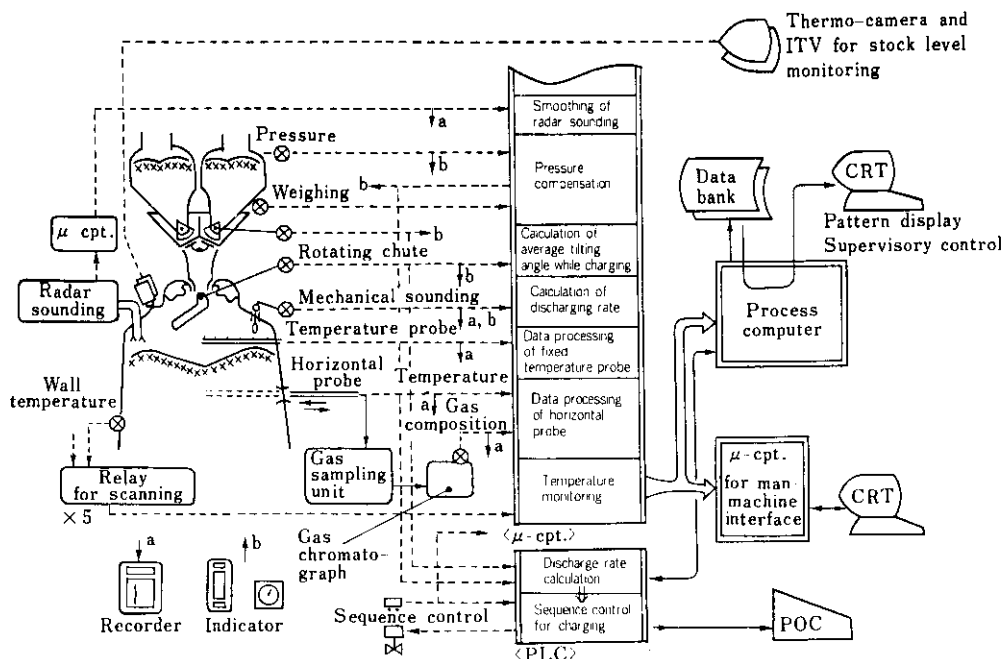


Fig. 3 Instrumentation at the furnace top

2-2-5 熱風炉操業関係

省エネルギーを目的としてマイクロ計算機の機能をフルに活用している。Fig. 4にそのブロック図を示す。燃焼排ガスと燃焼用空気との熱交換のため制御方法が複雑になっており、燃焼期にはガスカロリー制御や2次Cガスによる炉ごとのきめ細かい燃焼制御のほか、理論空気量、排ガスO₂、ドーム温度、排ガス温度などの制御を行っている。

炉切替のシーケンスはPLCで処理し、計算機と結びつけて自動化している。炉替時は均排圧制御ならびに充圧制御を行い、その動作完了は差圧計等のフィードバック信号を用いて動作時間の短縮を実現している。

2-2-6 送風機関係

送風流量はマイクロ計算機内で温圧補正や乾量化補正を行いその精度を上げている。また吸入風量制御にカスケードさせるかたちで吐出風量制御を行っている。熱風炉切替時は、この設定値をプロ

グラム制御することで送風圧力の変動を抑える(充圧制御)。

2-2-7 ガス清浄、炉頂圧回収タービン

ベンチュリースクラバの差圧制御と水位監視がガス清浄設備の主な計装である。

炉頂圧回収タービンはソ連製⁵⁾で、主なものとしてヒータの燃焼、起動停止シーケンスおよび保安計装の制御が挙げられる。なおタービン制御弁による炉頂圧力制御を実施し、回収エネルギーの増大を実現している。

2-2-8 トービード管理システム

溶銑運搬用のトービードカーの運行と軌道衡の自動秤量を計算機で管理している。本工場の溶銑なべ管理システム⁶⁾をさらに進めて、なべ番号読取を自動化し⁷⁾、トービードの運行管理を文字どおりのワンマンコントロールにした。Fig. 5にそのシステム構成を示す。

3. システムの特徴と効果

3-1 高炉トータル管理システム

サブシステム群を上位部で集中管理し、システム全体としての効率的な操業管理を行う。その具体的なものを以下に示す。

3-1-1 データバンクシステム

Table 2 にデータバンクの概要を示すが、操業に関係するほとんどすべての情報を長期間記憶し、情報ソースを一元化している。データバンクからのデータは CRT に直接表示でき、操業員、保守員、さらには操業管理者が目的に応じて利用できる。

3-1-2 全自動制御

全自動制御の主な対象としては、秤量やベルレ

ス操業のスケジューリングシステム、熱風炉の燃焼制御と炉替制御などがある。さらに操業上重要な操作量はすべて計算機による集中管理を行っており、操作の結果についての簡単な予測演算を確認したうえで変更を実施するチェック・アンド・ゴー方式を原則としている。

3-1-3 操業管理モデル

マイクロ計算機のインテリジェンスによりセンサー情報が高精度となり、それが演算モデルの信頼性向上に結びついている。たとえば、炉熱指数⁸⁾はその要因すべての精度が長期間にわたり正しく維持されることにより信頼性が著しく向上しており、炉熱操作の重要なフィードバック値として定着している。Fig. 6 に 2 週間にわたる炉熱指数と鉄中 Si 値との対応例を示す。

炉況を判断するためには多数の情報の総合的判断が必要であるが、それらを総合管理するためロー・ストップシステム⁴⁾がある。これは操業者の経

Table 2 The content of the data bank

File code	File name	File volume (kw)	Period of data gathering
A	Material bin control	1.3	Every 1h
B ₁	Material weighing control	180.9	Every charge, shift and manual direction
B ₂	Bell-less top control	19.2	Every charge
C	BF top charging	20.5	Every 5, 30min, 1, 10day
D	BF operation	144.4	Every 5, 30min, 1, 10day, 1 month and manual direction
E	Tap data	71.5	Every tap, 1, 10day, 1 month
F ₁	Plant maintenance	162.8	Every 5, 30min, 8h, 10day, 1 month
F ₂	Equipment maintenane	111.9	Every 5, 30min, 8h and manual direction
G	Hot stove	202.2	Every 2, 5, 30min, 1, 10day, stove changeover
I	Venturi scrubber	12.3	Every 5, 30min, 10day
J	BFG turbine	30.7	Every 5, 30min, 1 day
K ₁	Gas analyzer, gas sonde	91.1	Every 5min
K ₂	Top temperature sonde	6.4	Every charge, 16 charge, charging pattern
L	Torpedo car	341.8	
X	Auxiliary data gathering	452.7	Every 5, 30min, 8h, 1, 10day Every charge, shift, tap
	Total	1849.7	

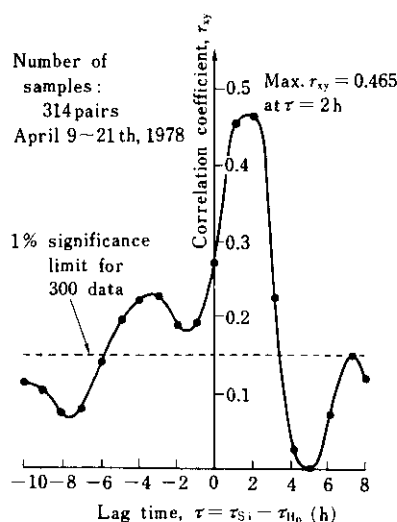


Fig. 6 Time-lagged correlation between the thermal index, H_θ , and silicon content of hot metal interpolated hourly from tap data

験則を論理化したものであり、操業者間の判断の差が少なく信頼性が高い。約20のプロセス要因の値を8カテゴリーに分けて1次判断を行い、その組合せから総合的かつできる限り単純化した最終判断をオペレータに出力している（後述 Photo.1, Fig. 7 参照）。

3.1.4 隣接プラントとの連携

隣接プラントを考慮した操業管理により、トータルの省力や省エネルギー効果を上げている。

(1) 対原料ヤード

貯鉱槽残量管理による省力と槽ごとの銘柄管理による操業ミスの防止。

(2) 対製鋼部門

トービード運行管理による省力と運行効率の向上。製鋼側での装入溶銑温度の上昇。出銑情報伝送による製鋼側での段取りの作業性向上。

(3) 対エネルギー部門

Bガス、Cガス分析値の伝送による燃焼ガスカロリー管理。

(4) その他

焼結鉱分析値の早期把握による操業の安定化。送風機との連絡の緊密化による操業ミスの防止。

3.1.5 マン・マシン・インタフェース

本システムではマン・マシン・インタフェースとしてCRTを重視している。ローカル部のCRTはセンサーベースの詳細かつ即時的な情報提供を行い、上位部のCRTは総括的かつ時系列推移に重点をおいた情報を提供する。なお重要な情報については大型記録計を設置し、弁の開閉表示や警報ランプも大型化することにより緊急時の操業に対応しやすく配慮しており、さらに従来計装とのギャップをできるだけ少なくしている。

口絵写真に高炉メータ室の概観を、CRT表示の例を Photo. 1 に、その解説を Fig. 7 に示す。

3.2 デジタル計装技術の応用

マイクロ計算機やPLCの具体的応用について以下に述べる。

3.2.1 複雑な制御システムの実現

従来のアナログ計装では構成が複雑になりすぎ実現の難しかったもの、あるいはデジタル計装により著しく構成が簡素化されたものの例として、PLCによる秤量制御、マイクロ計算機による重油吹込シーケンス制御、羽口ごとの重油流量制御ならびに熱風炉燃焼制御などが挙げられる。

秤量制御（Fig. 2 参照）はPLC内でシーケンス制御と同時に処理されており、実配線数の減少による信頼性の向上や補正式の工夫による精度の向上などの効果が上がっている。Table 3 に秤量制御の精度向上実績を示す。

Fig. 8 は、吹入重油を全酸素量に対し羽口ごとに比率制御した例である。その目的は、羽口ごとの燃料比の均一化あるいはその分布制御であり、炉内の動的不均衡を補正する手段となる。

熱風炉では省エネルギー指向のきめ細かい制御がなされており（Fig. 4 参照）、複雑なカスケード制御も実配線の不要なことからその信頼性が高く、熱効率（現在84%前後）の向上に貢献している。

3.2.2 計測器の多重利用

本システムでは、少数のセンサーを多数の測定対象に切換えて使用するスキャン方式を積極的に採り入れて、センサーの保全密度の向上と一

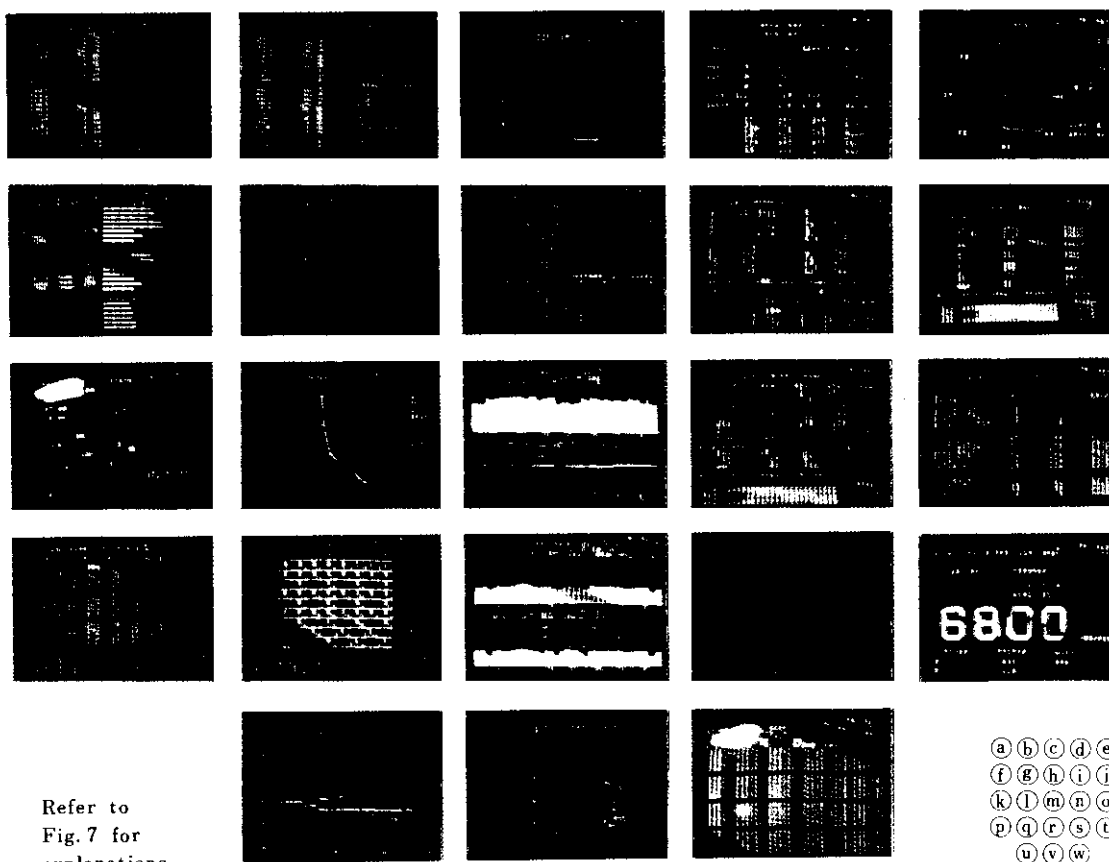


Photo. 1 Examples of CRT displays by the blast furnace total system

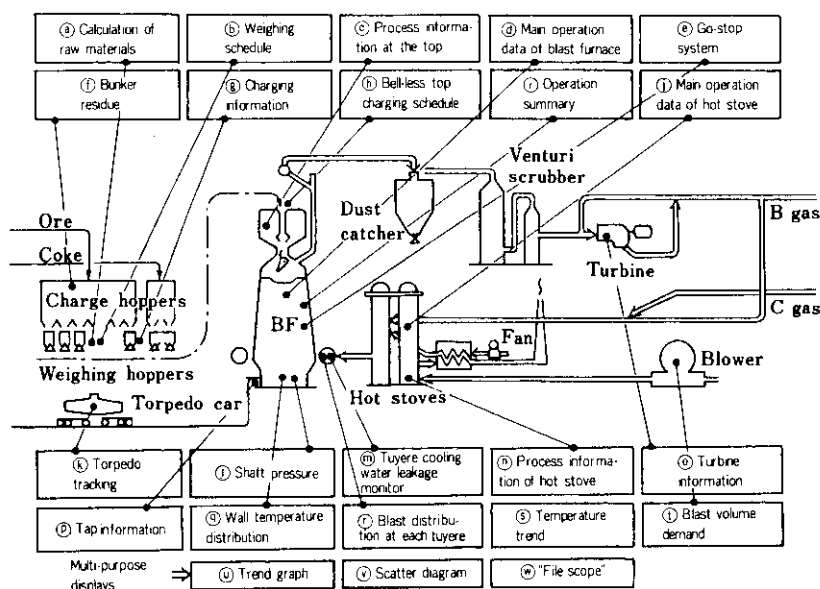


Fig. 7 Explanatory diagram of photographs in Photo. 1 in relation to corresponding equipments

Table 3 Comparison of the conventional and the new weighing control performance on November 6, '77, in terms of ore/coke ratio at Chiba Works

BF No.	Standard deviation	Mean deviation*	Control method**
2	0.078	0.009	A
3	0.042	-0.002	B
5	0.055	-0.006	A
6	0.024	0.000	B

* Remainder of subtracting the target value of ore/coke

** A: Conventional method (3 position control)
B: New method (continuous control with compensation of scale runover)

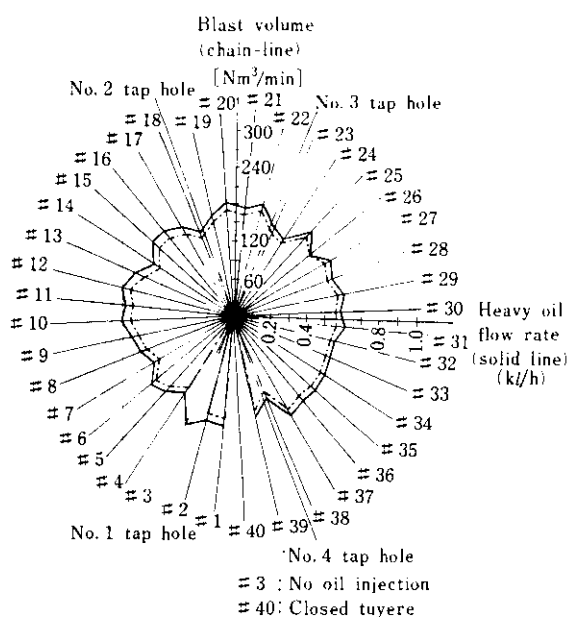


Fig. 8 An example of controlled oil injection for each tuyere (the ratio of oil flow rate to blast volume is controlled for each tuyere)

つのセンサーで比較測定することによる信頼性の向上とを期待した。スキャニング方式では、その制御回路とデータ処理が若干複雑になるが、デジタル計装のインテリジェンスが大きな武器となる。

スキャニングモニターによる温度測定システムでは表示計器の多重利用を行っている。現場に切替用リレー盤を置くことによる工事費の削減、温

度測定の一元化による保全性の向上、各点温度の計算機による緻密な管理の実現などが効果として挙げられる。多数の温度情報を処理して**Photo. 1** ⑨に示す温度マップを作成し、直感的な表示を行っている。

センサー多重利用の他の例として2台のガスクロ分析計による水平ゾンデガス、炉頂ガス、BガスおよびCガスの分析や、2台の排ガスO₂計による4基の熱風炉の排ガス分析、羽口やステープの漏洩検知などが挙げられる。

Fig. 2の一部にコークス水分計システムを示したが、水分計専用のホッパーとサンプリング設備を持ち、六つの貯蔵槽から切り出されるコークスの水分を一つの中性子水分計で測定している。この場合はスキャニング方式にすることが主たる目的ではなく、

- (1) 乾燥法との対応をよくすること
- (2) 水分計とコークス間のライナーの摩耗を減らすこと
- (3) サンプリングに縮分効果を得ること
- (4) 水分計の測定環境を改善すること

など測定器以外に起因する誤差要因を極力減らすことを意図したものである。**Fig. 9**に従来方式と比較して乾燥法との相関を示したが、本方式では明らかに精度が向上している。また保全工数も従来方式の1/4以下に減少した。

3.2.3 センサー保全への応用

センサーのオンライン検査や自動パージの制御にデジタル計装のインテリジェンスを利用し、センサーの保全性向上に寄与している。その具体例として、

- (1) 原料秤量設備の自動懸重装置
- (2) コークス秤量、送風流量、送風温度、炉頂圧力の測定さらにはガス分析装置等におけるセンサーの2重化と器差比較機能
- (3) アニューバ流量計やシャフト圧力、ガス分析サンプリング装置に設置した間欠パージ装置などが挙げられる。

3.3 新しいセンサーについて

本システムで新しく開発あるいは導入したセンサーについて概要を説明する。開発、導入にあた

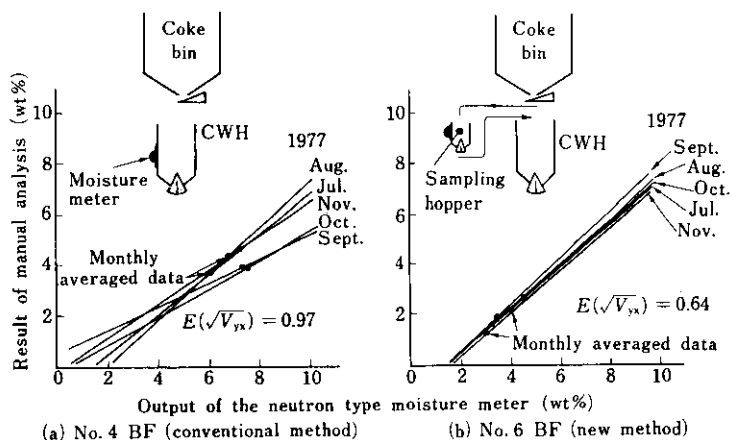


Fig. 9 Comparison of calibration curves between the new and conventional coke moisture measuring systems

っては、プラントに与えるじょう(擾)乱が少なくプラントとの分離性の良いものを採用すること、そのために非接触測定を重視すること、またパターン計測を重視することなどを基本方針とした。

3・3・1 マイクロ波利用の電波測深³⁾

従来の機械式に比較して有利な点は、

- (1) 原料装入時や炉頂トラブル時でも連続測定ができる、
 - (2) レンジの大きいもの(0~10m)でもコンパクトにできる、
 - (3) ゼロ変動やスパン変動が皆無である、
- などである。測定面の波長オーダーの凹凸に起因する干渉現象とアンテナ表面へのダストの堆積の

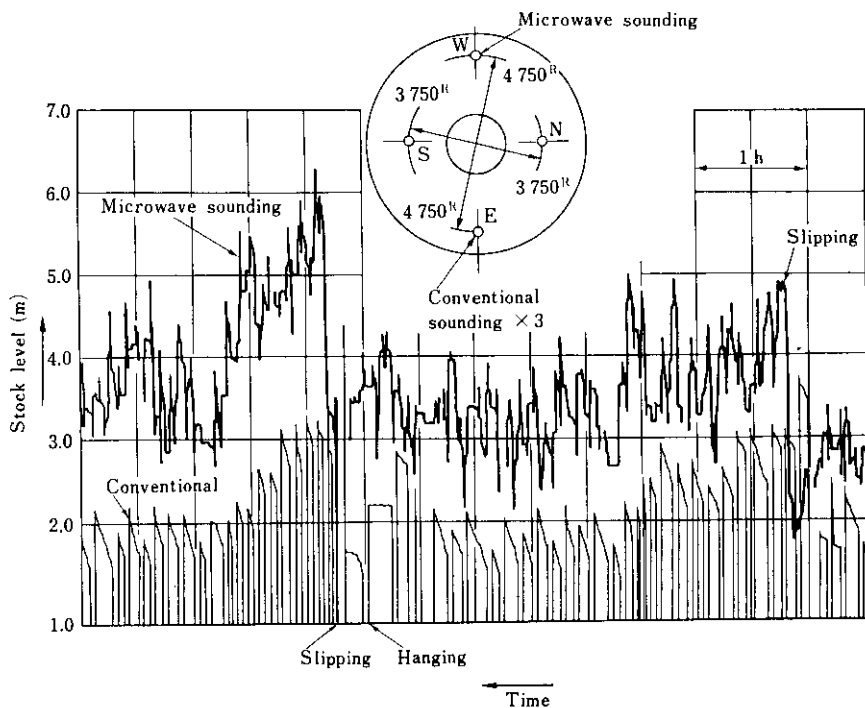


Fig. 10 Recorded chart of the microwave sounding and conventional sounding

2点が問題であるが、前者はマイクロ計算機による信号処理で解決し、後者は3箇月ごとのアンテナ手入れを実施している。Fig.10に測定結果の例を示す。

3・3・2 炉頂赤外線カメラ

炉頂における原料表面の温度分布をパターン測定するもので、これによりガス流量分布を間接的に判断できる。センサーはHg-Cd-Te合金で、測定範囲は $100^{\circ}\sim 800^{\circ}\text{C}$ である。測定波長が $3\sim 4\mu$ であるため観測窓にはシリコン単結晶を用い、水洗式洗浄を行っている。Photo.2に表示例を示す。



Photo. 2 An example of the thermo camera display

3・3・3 炉頂ITV装置²⁾

原料表面の物理的な動きを観測するもので、Photo.3に測定例を示す。原料の挙動、たとえば吹抜け気味の場合にコークスの跳び上がる様子や中心部への原料の流れ込み状況などを観測でき、操業上非常に有用である。

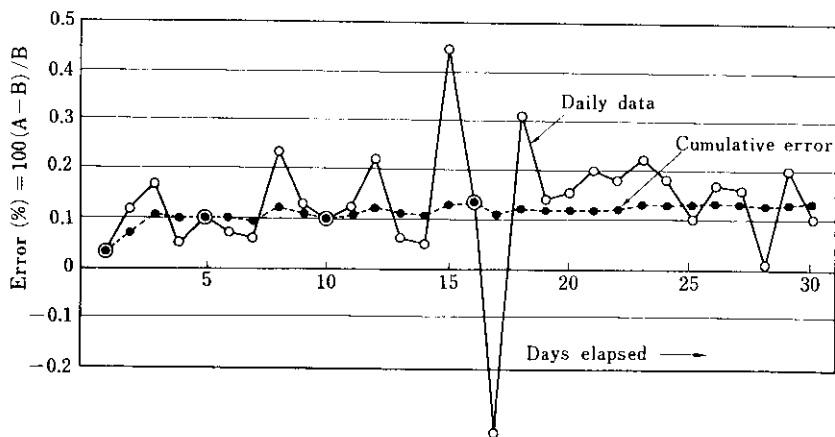
観測波長が $0.4\sim 1\mu$ であるため、窓は安価なバイレックスガラスですみ、洗浄には蒸気を用いている。



Photo. 3 An example of the ITV display

3・3・4 簡易式トーピード軌道衡⁹⁾

軸受型ロードセル32個で荷重を直接受ける方式である。従来方式に比較して1/4程度の大きさとな



A : Hot metal production measured by the new torpedo weigher
 B : Hot metal consumption measured by the conventional weigher at the No. 3 steelmaking plant

Fig. 11 Accuracy of the new torpedo weigher

り、基礎も簡易化できたので建設費用が半減した。
Fig. 11 は第3製鋼工場の溶銑秤量機(従来方式)との比較であり、十分な精度が確認できる。

3-3-5 トービード番号読取装置⁷⁾

トービードカーの位置追跡のため、電磁カップリング方式の車輛番号自動読取装置を導入した。
Photo. 4 に示すような地上子を軌条の所定位置に設置し、車上子を有するトービードカーがその上を通過することにより車輛番号を読取る。

車上子側が無電源であること、複数の地上子を一つの信号処理装置で制御できることが特徴であり、読取ミスも皆無である。秤量所では前記の軌道衡と組み合わせて計算機処理による完全無人秤量を行っている。

3-3-6 アニューバ流量計

流量測定による永久圧損が小さく、取付け取外しや保全が容易であるなどの理由により、**Fig. 12** に示すようなアニューバ流量計を大幅に導入した。適用部位としては各種冷却水流量、熱風炉燃焼用空気流量、熱風炉通過冷風流量など30箇所以上にのぼる。熱風炉燃焼空気流量は制御ループとして使用している。オリフィスを使用した場合に比べ、その全圧損が15%近く減り省エネルギー効果も大きい。得られる差圧が小さいため、ドレンやリークの影響を受けやすく、その適用にあたっては十分な配慮が必要である。

3-3-7 その他

炉壁や炉底の損耗を管理する目的で導入した熱流計、鑄床下での溶銑レベルと出銑速度を測定する炉下秤量機、ストレンゲージ利用の簡易型圧力センサーなどがある。

4. ま と め

デジタル計装技術の全面的な採用により、信頼性が高くかつ効率的なプロセスの情報収集と制御を行うことができた。マンマシンインタフェー

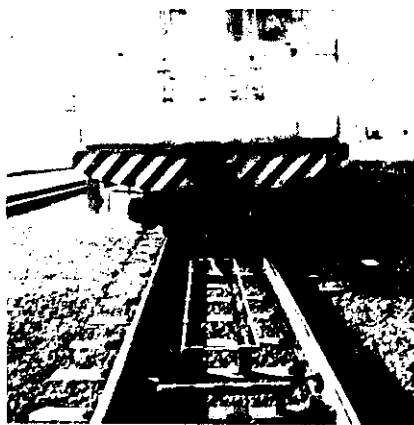


Photo. 4 An identifying element of the automatic car identifier

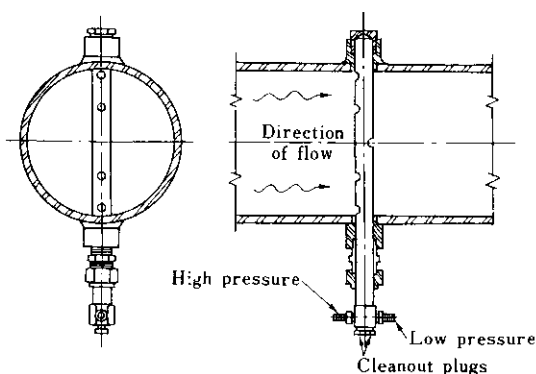


Fig. 12 Outline of annubar type flow meter

スに関しては CRT と従来計装を融合させたユニークなシステムを完成する一方、新しいセンサーの開発と導入を意欲的行った。

昨今の経済情勢から高炉操業にも大幅なコスト削減が課せられており、極限を狙った余裕のない操業が必要となってくる。計測装置に要求される精度は厳しくなる一方であるが、本システムはそれに十分耐え得るものと信ずる。

最後に、本システムの建設に献身的な努力を惜しまれなかった横河電機(株)、(株)安川電機製作所さらには川鉄計量器(株)等のメーカー各位に深謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 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)
- 2) T.Nagai et al.: Control of Burden Distribution by Bell-less Top at Chiba Works, Kawasaki Steel Corporation, McMaster Symposium, Canada, (1978)
- 3) 川崎製鉄(株)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第65回計測部会資料 計測-65-1-1，(1977)
- 4) T.Nagai et al.: "Go Stop System" Applied to Blast Furnace Computer of Chiba Works, Kawasaki Steel Corporation, 36th Ironmaking Conference of ISS-AIME, (1977)
- 5) 狐崎ほか：名古屋第3高炉が頂圧回収タービンについて，鉄と鋼，63 (1977) 11, S492
- 6) 川崎製鉄(株)千葉製鉄所：溶銑看貫無人化システム，日本鉄鋼協会共同研究会第46回製鉄部会資料 銑-46-8-自1，(1975)
- 7) 村上ほか：電磁誘導結合式列車・貨車番号自動読取システム，東芝レビュー，27 (1972) 7, 642~646
- 8) C.Staib, J.Michard: On-Line Computer Control for the Blast Furnace, Journal of Metals, 17 (1965) 1, 33~39; 17 (1965) 2, 165~171
- 9) 川崎製鉄(株)千葉製鉄所：簡易型トーチード軌道衡，日本鉄鋼協会共同研究会第68回計測部会資料 計測68 1-1，(1978)