
第3焼結工場の計算機システム

Computer System of No.3 Sintering Plant

前田 政和(Masakazu Maeda) 竹原 亜生(Tsuguo Takehara)

要旨：

千葉製鉄所第3焼結工場の計算機制御システムは1970年3月に稼働開始した。本計算機システムの主な機能は、直接デジタル制御、その設定値を与える制御およびデータ処理などであり、本計算機システムは焼結プラントの操業の効率化に大きく貢献している。本計算機システムの特長は次のとおりである。(1)従来のアナログ調節計に代ってDDC (Direct Digital Control) を採用し、制御性の向上をはかっている。(2)計算機で多くの情報を用いることによって従来むずかしかった制御を実用化した。(3)種々の計算機器、調節計および演算器の代替をした結果、計測設備のコストを低減した。(4)作業の自動化およびデータ処理によっておよそ16名の省力化に寄与している。(5)データ収集、ロギング、数式モデルに基づく演算およびオペレータガイダンスのための表示など完全なデータ処理を行なった。 (6)システムおよびメンテナンスの簡素化がはかられている。

Synopsis：

The computer control system of No.3 sintering plant in Chiba Works went into operation in March 1970. The main function of this system consists of direct digital control, supervisory control of set-points, data processing and the like. The efficient operation of sintering plant is maintained by full utilization of this computer system. The features of this system are as follows; (1) Adoption of DDC instead of conventional control with analogue regulator, aiming at the improvement in control accuracy. (2) Accomplishment of some of the hitherto-impossible control methods by utilized a great deal of information obtained by computer. (3) Saved investment as a result of replacing various instrument, controller and calculator by computers. (4) Achievement of man-power-saving of about 16 persons owing to automatization of some kinds of operations and data processing. (5) Performance of complete data processing; data acquisition, logging, calculation based on mathematical model and display for operator guidance. (6) Attempt at simplification of system and maintenance. Since the start to this day, the computer system itself has been working with high dependability.

本文は次のページから閲覧できます。

第3焼結工場の計算機システム

Computer System of No. 3 Sintering Plant

前 田 政 和*

Masakazu Maeda

竹 原 亜 生**

Tsuguo Takehara

Synopsis :

The computer control system of No. 3 sintering plant in Chiba Works went into operation in March 1970.

The main function of this system consists of direct digital control, supervisory control of set-points, data processing and the like. The efficient operation of sintering plant is maintained by full utilization of this computer system.

The features of this system are as follows :

- (1) Adoption of DDC instead of conventional control with analogue regulator, aiming at the improvement in control accuracy.
- (2) Accomplishment of some of the hitherto-impossible control methods by utilized a great deal of information obtained by computer.
- (3) Saved investment as a result of replacing various instrument, controller and calculator by computers.
- (4) Achievement of man-power-saving of about 16 persons owing to automatization of some kinds of operations and data processing.
- (5) Performance of complete data processing ; data acquisition, logging, calculation based on mathematical model and display for operator guidance.
- (6) Attempt at simplification of system and maintenance.

Since the start to this day, the computer system itself has been working with high dependability.

1. 緒 言

焼結プラントにプロセス計算機を導入する場合、その利用技術ならびに効果については種々の議論がある。また焼結プロセスの解析結果にもとづく最適操業モデル（数式モデル）も種々検討されている。従来、焼結プラントへ計算機を導入する必要性は、転炉における終点制御のように、手計算では一定時間以内に処理しきれない膨大な数

式モデルを計算機で処理しようとする点にあると考えられていた。しかし最近では、たとえこのような数式モデルが完成されていなくても、自動化、省力化、Direct Digital Control（以下DDCと記す）および情報処理などの面でプロセス計算機を導入して効果をあげようとする傾向が強くなってきた。当社、千葉製鉄所第1、2焼結工場にはそれぞれ小形ログが、水島製鉄所第1、2焼結工場には容量8k語の小形計算機がある

* 千葉製鉄所動力部計測課

** 千葉製鉄所製鉄部原料処理課

が、本格的なプロセス計算機を採用したのは千葉製鉄所第3焼結工場が初めてであり、その成果は焼結工場における計算機の一つのあり方を示すものとして注目される。

本計算機システムは、DDC、自動データ収集および処理とともに、数式モデルにもとづく操業の適正化を指向している。現時点では後者は未解決であるが、本システムは多くの機能を有し、今や焼結操業と完全に一体化したものになっている。

本稿では計算機システムの内容とその効果について述べる。

2. 計算機システムの概要

まず対象プロセスの概要としてFig. 1に第3焼結工場の原料および成品の流れを、また Table 1に焼結工場の主な設備仕様を示す。つぎに本計算機システムの導入経過を Fig. 2に最近5ヶ月の

Table 1 Technical data on No. 3 sintering plant in Chiba Works

Main equipment	Specifications	
Raw material bins	Number of bins	69m ³ ×9 97m ³ ×9
		380m ³ ×4 426m ³ ×2 (return fines)
Primary mixer	Type	drum
	Capacity	540t/h
	Revolutions	6.5rpm
Secondary mixer	Type	drum
	Capacity	540t/h
	Revolutions	6.5rpm
Surge hopper	Capacity	40m ³
	Feeder	drum feeder
Sintering strand	Sinter production	7000t/D
	Type	Dwight Lloyd Lurgi
	Grate area	203m ²
	Width	3.5m
	Number of wind boxes	16
	Strand speed	2.2~6.6m/min
Ignition furnace	Size	3,600mm×7,500mm×1,000mm
	Fuel	Mixed gas (BF gas, coke oven gas)
	Number of burners	15×3
Main blower	Type	Blade type
	Capacity	20,000m ³ /min, 150°C, -1,400mmH ₂ O
	Motor capacity	5,700kW
Cooler	Type	Circular
	Capacity	450t/h
	Circular diameter	30m
	Cooling area	263m ²

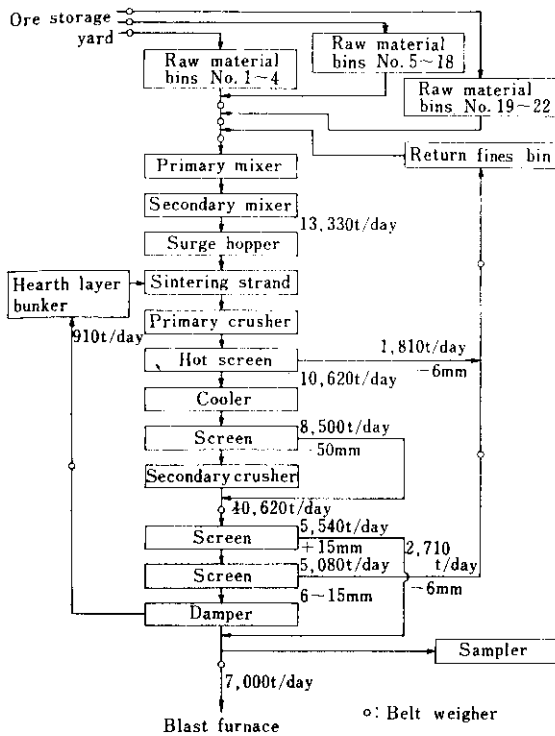


Fig. 1 Material flow of No. 3 sintering plant

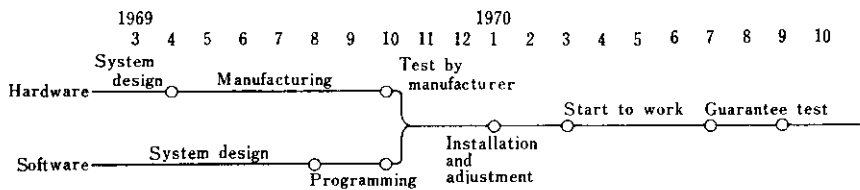


Fig. 2 Construction schedule

Table 2 Data of running operation

		1971 Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May
Central processing unit	Ratio of utilization (%)	99.4	100	100	100	100
	Number of troubles	5	0	0	0	0
Periferal unit	Ratio of utilization (%)	100	94.9	94.8	98.6	99.9
	Number of troubles	0	9	4	3	1
Others	Number of troubles	0	0	5	0	1

稼動状況を Table 2 に示す。

本計算機システムの範囲は第3 焼結工場を主対象にしているが、副原料および均鉦プラントも一部含んでいる。また管理情報システムの面では、中央計算機 (UNIVAC-494) に対してデータテープを供給している。

本計算機システムのシステムフローを Fig. 3 に、計算機本体のハードウェアの仕様を Table 3 に示す。

つぎに本計算機システムの機能の概要を、原料の流れに沿って以下に述べる。

(1) 原料槽レベルの計算表示

22 ケの原料槽について原料の在庫量および残り時間の計算結果を焼結運転室、均鉦指令室および副原料運転室に表示して、各原料槽への原料供給の遠隔運転を可能にしている。

(2) 原料切出制御

22 ケの原料槽および 2 ケの返鉦槽から原料を一定の比率で切出すように定量切出制御を行なっている。

(3) 1 次水分制御

各原料槽から切出された原料は 1 次ミキサ

に入り、混合されるとともに水が添加される。この原料中水分調整用の添加水の流量制御(DDC)およびその設定値を与える1次水分制御を行なっている。

(4) 2次水分制御

原料はさらに2次ミキサに入る。ここでも1次ミキサと同様に、添加水の流量制御(DDC)およびその設定値を与える2次水分制御を行なっている。

(5) 給鉱槽レベル制御

原料は2次ミキサを出た後、給鉱槽に装入される。この給鉱槽のレベルを一定に保つために、原料の総輸送量を調節している。

(6) 原料層厚制御

原料は給鉱槽のドラムフィーダによって焼結機へ装入される。このドラムフィーダの回転速度は焼結机上原料層高さを設定値通りに保つようにして調節されている。

(7) パレット速度制御、点火炉温度制御および通気度制御

焼結機関係では、パレットの進行速度を制御するパレット速度制御、点火炉温度の適正化をはかる点火炉温度制御およびパレット上原料層の通気性を制御する通気度制御がある。

(8) 床敷槽レベル制御

焼結機から排出された焼結鉱は成品、返鉱および床敷鉱に分けられる。床敷系統については、床敷槽のレベルは床敷採取ダンパの開度調節によって制御される。

(9) 返鉱槽レベル制御

返鉱系統については返鉱槽のレベル制御を行なっている。本制御の操作は返鉱切出量の変更によっている。この場合、返鉱配合比をできるだけ安定させるために操作のスパンを長くとしている。

(10) 自動サンブラとの連動・処理

成品の粒度・強度試験および化学分析用の試料

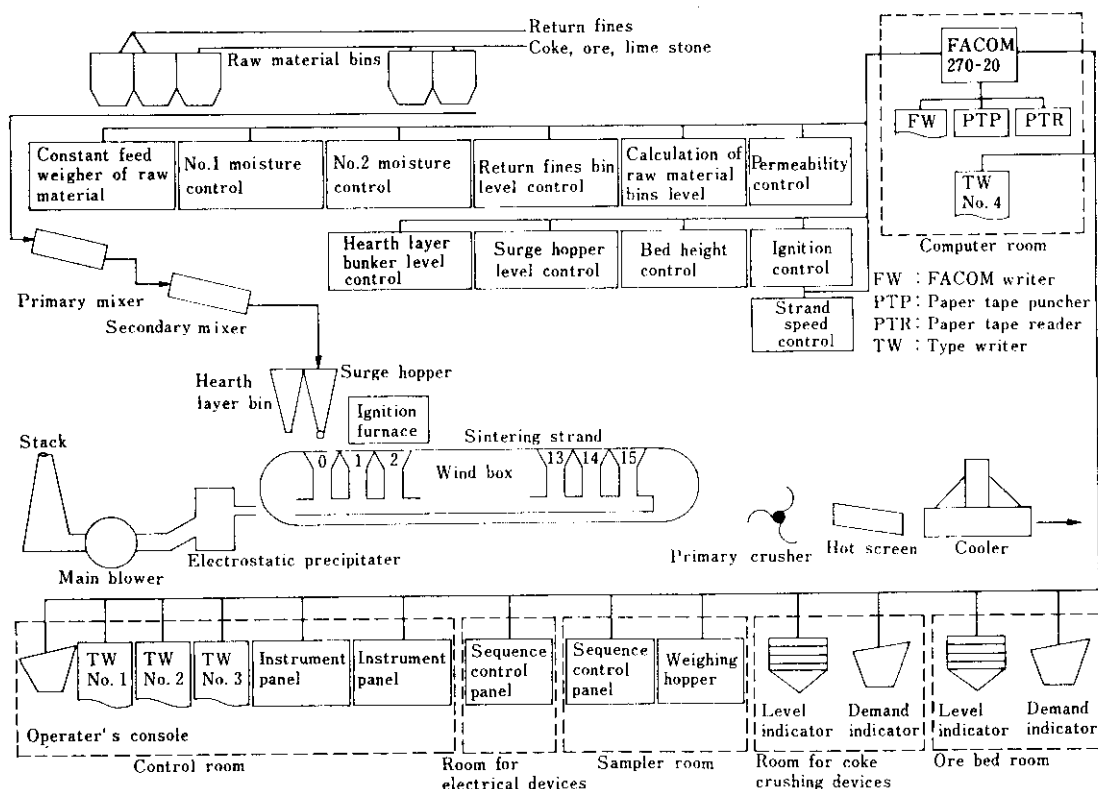


Fig. 3 Block diagram of computer system

Table 3 Specifications of computer system

	Type	FACOM 270-20	
		Type	Magnetic core
Central processing unit	Main internal memory	Cycle time	2.4 μ s
		Word length	16bits+MP+PC
		Memory capacity	16k words
	Auxiliary memory	Type	Magnetic drum
		Access time	20ms (average)
		Word length	16bits+MP+PC
		Memory capacity	131k words
		Transfer rate	12.5k words/s
	Operation speed	add	4.8 μ s
		multiply	20.4 μ s (average)
		divide	39.0 μ s (average)
	Instruction	Address modification	relative, actual, indirect indexing
		Number of Instruction	28 (base)
	Soft ware	Monitor program	MONITER III 3
		Assembler	FASP
Input-output controller	Type	RTC (Real Time Controller)	
	Input	Analog	60points (200~1,000mV)
		Pulse train	34points
		Contact closure	384bits
	Output	Analog	7points (0~-8V)
		Contact closure	240bits

採取のために自動サンプラが設けられている。本計算機システムは、この自動サンプラのシーケンスと連動し、各種データの採取およびその処理を行なっている。

以上は原料の流れに沿って述べたが、これらの機能以外に焼結プロセス全般にわたる仕事として以下のようなものがある。

(11) データ処理

操業記録、工場日誌、成品試験日報および操作設定変更記録の計4種の作表を行なっている。

操業記録：時間とともに移り変わるプロセスの状態を記録するもので操業用を使用

されている。任意時刻、1h、8hおよび24hごとに印字する。

工場日誌：1日の操業結果を集約したもので主に管理用を使用される。1日に1回印字する。

成品試験日報：自動サンプラ関係の粒度、強度および成品の化学分析値を印字する。周期は20~30minであり、第1、2焼結工場と第3焼結工場の双方のデータを印字する。

操作設定変更記録：各種操作因子の設定変更状態および計測機器の異常判別結果を

印字する。周期は30minである。

(12) ベルトウェィアの精度管理

合計33台のベルトウェィアの積算値を用いてバランス計算を行ない、ベルトウェィアの精度管理に利用している。

(13) 中央コンピュータへのデータ伝送

中央計算機で本プラントの長期間のデータファイルおよびその処理を行なうために、本計算機システムでは1日に1回操作データのテープを作成して供給している。

(14) 操作データの指示および記録

本計算機システムではオペレータガイダンスのために、いくつかの操作データを処理して出力している。これには、最高温度位置のアナログ指示、通気度のアナログ記録および6項目の操作データの打点式記録計によるロングスパン記録がある。

(15) 問合せおよび異常の判別と処理

オペレータの要求によるデータの表示、異常状態の警報表示および異常に対する自動処置を行なっている。

(16) 品質の制御

本システムでは成品の品質の向上をはかるため、成品塩基度の制御および成品強度の制御が行なえるよう検討が進められている。

3. 計算機制御

焼結プラントの代表的な制御である原料切出制御とペレット速度制御について本計算機システムにおける実施方法を以下に述べる。

3.1 原料切出制御

原料切出制御は Fig. 4 に示す24ヶの原料槽について、各槽の切出量の比率を一定にしようとする。

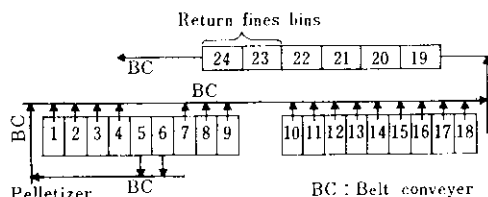


Fig. 4 Raw material bins

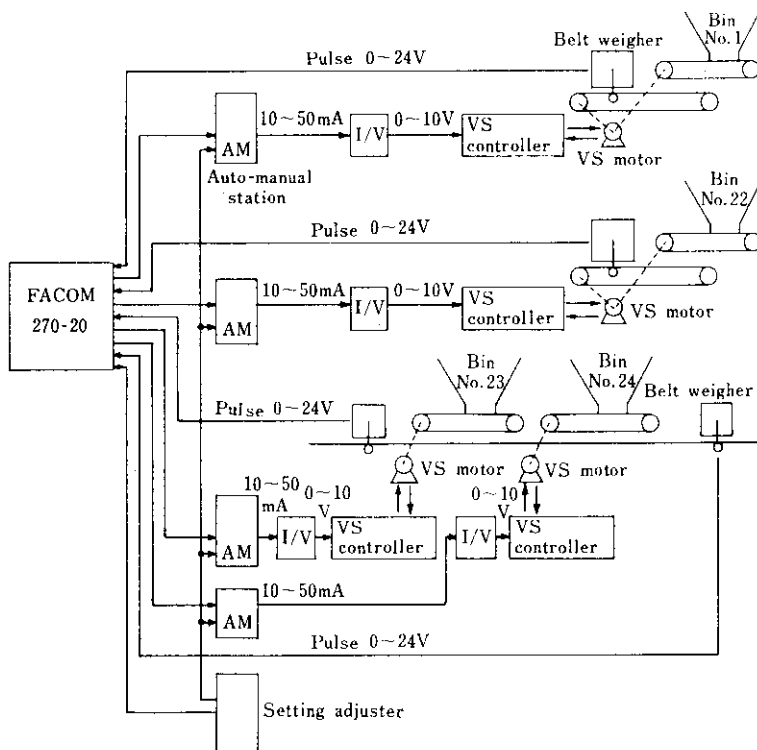


Fig. 5 Sequence of constant feed control of raw material

るもので、切出量 (t/h) の制御とコンベア駆動用 VS モータ (安川電機製) の回転制御の2つから構成されている。前者は後者の設定値を与えるもので計算機を用いて行なわれ、後者は通常のアナログ調節計で実施されている。本制御を実施する上の機能としては秤量値の検出、計算機への入力、指示計への指示、配合比の設定、制御のためのインターロック、制御演算と制御の結果の出力、ならびにタコジェネレータを用いたコンベアモータの制御などがある。本制御のシーケンスを Fig. 5 に示す。

本制御のための各原料槽の切出設定値は、焼結操業に適合させるために次のような配合比(乾量)で与えるようにした。

コークス：配合原料に対する比率 (%)

溶 剤：主原料に対する比率 (%)

主 原 料：主原料に対する比率 (%)

返 鉱：新原料に対する比率 (%)

ここに主原料とは原料中の鉄鉱石を表わし、新原料および配合原料はそれぞれ次式で示される。

新原料 = 主原料 + 溶剤

配合原料 = 新原料 + 返鉱 + コークス

一方、各原料切出制御の設定値は湿状態切出量 (t/h) で与えなければならない。このために

Fig. 6 のようにして設定値 (t/h) を求める。

すなわち手動設定される配合比 (%), 原料中水分比率 (%), 銘柄コードおよび銘柄変更時刻によって配合原料に対する各原料の湿量の配合比を求め、これと総輸送量 (t/h) から原料切出の設定値 (t/h) を求める。ここに総輸送量は給鉱

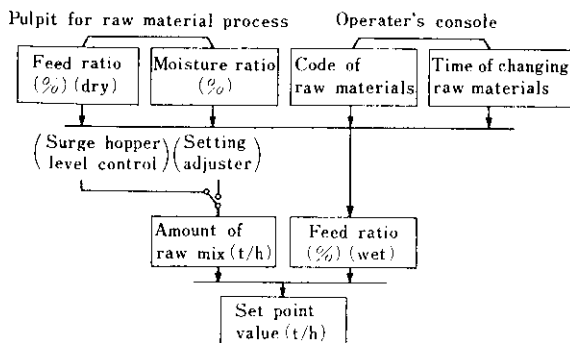
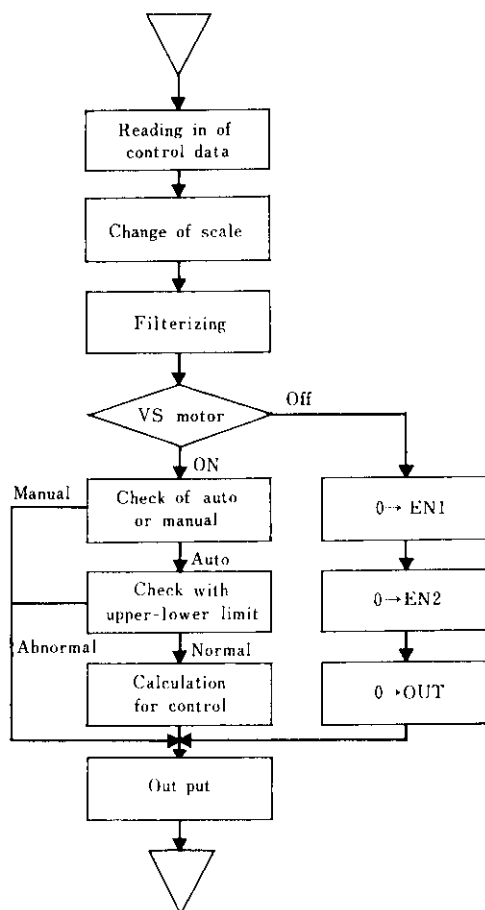


Fig. 6 Calculation flow of set point value for constant feed control of raw material

槽レベル制御系の出力値または総輸送量設定器による手動設定値として与えられる。前者の場合を全自動、後者の場合を半自動と呼び、スイッチにより簡単に切換えられるようにしているが、実際にはほとんど全自動で使用されている。

切出量の秤量信号はメリック式ベルトウェィブに取付けた近接スイッチによってパルス発信する方法をとっている。パルス仕様は槽によって異なるが、1パルスあたりの重量は最大10kgであり、発信数は最大28パルス/sである。計算機は制御周期の間(10s)のパルスの積算値にスケールファクタ(kg/パルス)を乗じてt/hに変換して秤



EN1 : Difference between set point value and feedback value at the last sampling point

EN2 : Summation of EN1

OUT : Output value

Fig. 7 Flow chart of control of raw material

量値として処理する。

制御計算は次式によっている。すなわち切出量の設定値と実際の切出秤量値の偏差が、ある設定された範囲内であれば

$$OUT = \{KI \cdot ERR + KP \cdot (ERR - EN1) + KI2 \cdot EN2\} / 100$$

KI, KI2: 積分定数

KP : 比例定数

ERR : 今回の設定値と秤量値の偏差

EN1 : 前回の設定値と秤量値の偏差

EN2 : これまでの設定値と秤量値の偏差の積算値 ($ERR + EN2 \rightarrow EN2$)

により操作変更量 (OUT) を求める。設定値と秤量値の偏差がある設定された範囲外のときにはオンオフ制御を行なう。すなわち、あらかじめ与えた定数値を出力する。本制御の制御演算の部分のフローチャートを Fig. 7 に示す。

3.2 パレット速度制御

本制御は

(1) パレット上の焼結層を未燃焼のまま焼結機

より排出しないこと。

(2) 後続機器の許す範囲でできるだけ早く焼結層を焼結機より排出すること。

の2点を満足させるようにパレットの速度を調節することを目的としている。(1)については、焼結機の排鉱部側の3ケのウインドボックスの排ガス温度の曲線を2次式で近似して、その頂点の位置 (Burn through point, 以下 BTP と記す), および頂点の温度 (以下 TMAX と記す) と最終ウインドボックスの排ガス温度との差 (以下 ΔT と記す) を用いて制御している。(2)についてはクーラの排ガス温度を用いて管理している。

本制御はウインドボックスやクーラの排ガス温度などのアナログ信号、インターロック関係を主体にしたいいくつかの接点信号およびオペレータコンソールより入力される各種設定値を用いて演算処理を行ない、その結果を総括制御へ供給するものである。本制御の機器シーケンスを Fig. 8 に示す。

また本制御の演算処理フロを Fig. 9 に示す。

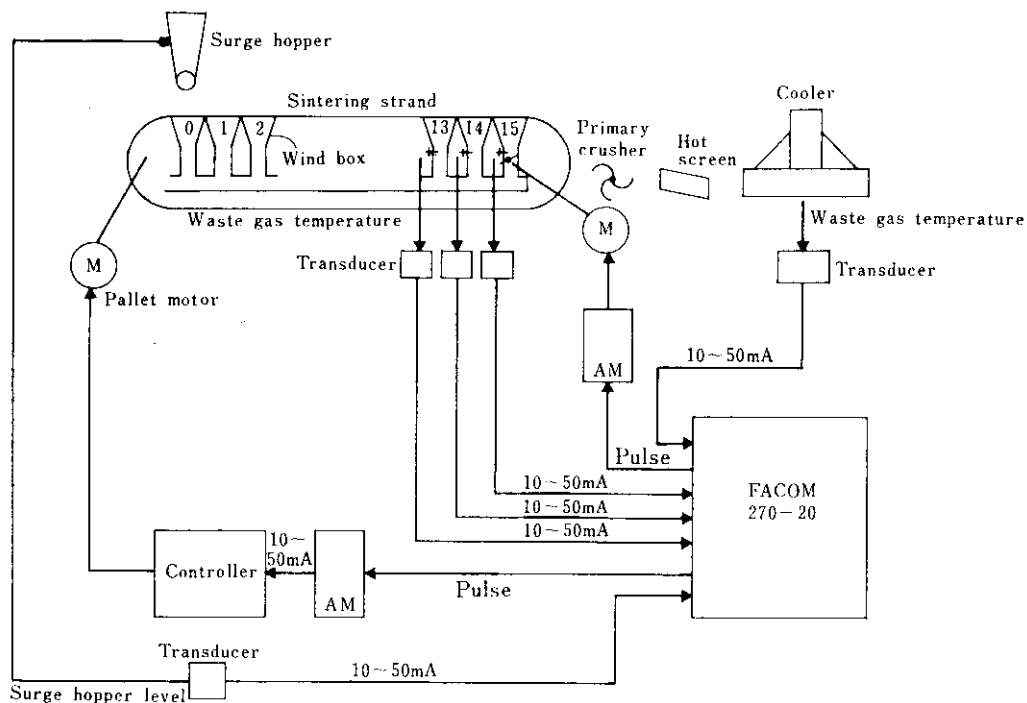
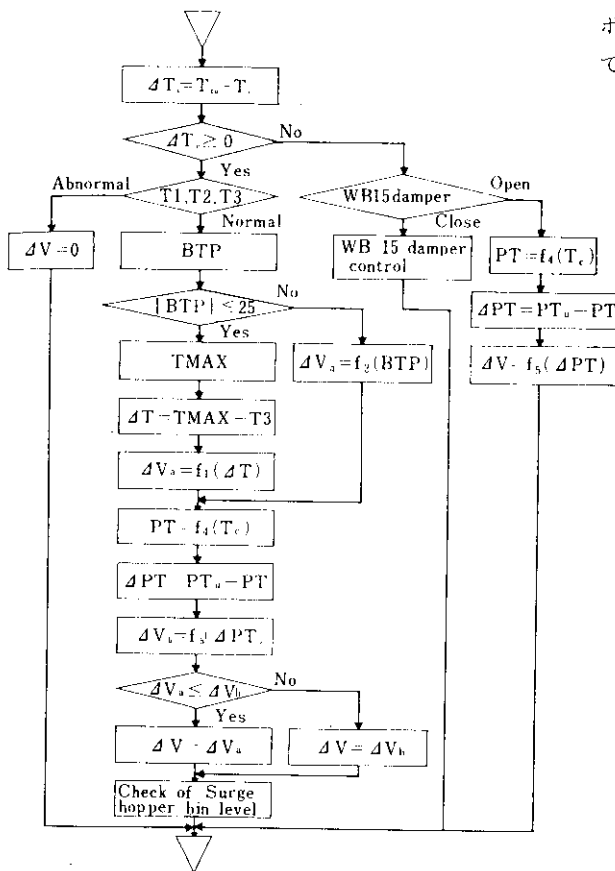


Fig. 8 Outline of sequence for strand speed control



$T_c(T_{cu})$: Waste gas temperature at the cooler fan (upper limit)
 BTP: Burn through point
 TMAX: Waste gas temperature at BTP
 T_1, T_2, T_3 : Waste gas temperatures at wind box No. 13, 14 and 15
 PT: Time interval between BTP and the end of sintering strand
 ΔV : Difference of manipulated value of strand speed

Fig. 9 Flow chart of strand speed control

ここに BTP, TMAX およびウィンドボックスの温度曲線の頂点の位置から排鉱部までパレットが進行する時間 PT は次式によって求める。

$$BTP = -b / 2a$$

$$a = (12T_1 - 28T_2 + 16T_3) / 21 \times 500^2$$

$$b = (16T_3 - 7T_2 - 9T_1) / 21 \times 500$$

$$TMAX = T_2 - b^2 / 4a$$

$$PT = 4a \cdot (50 - BTP) / 50 \cdot V$$

ここに T_1 , T_2 および T_3 はそれぞれウィンドボックス, No. 13, 14 および 15 の排ガス温度 ($^{\circ}\text{C}$) であり, V はパレットの進行速度 (m/min) である。

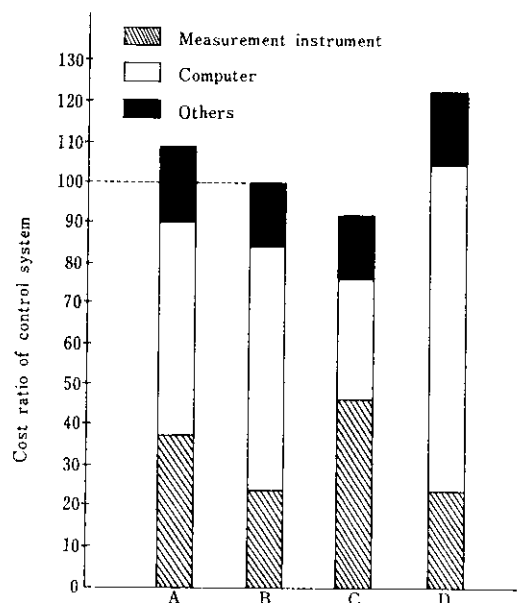
4. 本計算機システムの効果

本計算機システムの効果について, 導入時に期待した効果と実際にプラントを運転して測定した結果を以下に述べる。

(1) 計測設備費の低減

焼結プラントへの計算機導入が従来方式の計装設備費にどのような影響を与えるかということを知るために, 導入計画時に次の 4 つの場合を想定した。

- DDC を行わず, 他の制御およびロギングを計算機で行なう場合。
- DDC を行ない, さらに他の制御およびロギングを 1 台の計算機で行なう場合 (すなわち本計算機システムを導入



- Computer is not for DDC, but for set point control and data logging
- Under the subject computer system
- Computer is only for data logging
- A computer for A and another for DDC

Fig. 10 Cost ratio of various control system

する場合)。

C. 計算機の機能をロギングのみとする場合
(すなわちログを導入する場合)。

D. Aの計算機に加えて、別にDDC用の計算機を導入する場合。

各場合について、計装設備費の例を、Bを100として表わすとFig. 10のようになる。図からBは他の場合より計測機器の費用をかなり低減(Cの約1/2)していることがわかる。Cは全体の費用が最小であるが、後で述べるように一般のアナログ調節計では満足な制御ができない制御系が多いことなどにより、計装設備の性能としては他の場合より大幅に劣る。

(2) 制御の実用化

焼結プラントには基本的な制御系としてバレット速度制御系、1次および2次の水分制御系、ならびに給鉱槽レベル制御系などがあり、これらの制御方法について、従来数多くの文献がある¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。しかし実際には、これらの制御はかなりむづかしく、また異常状態や過渡状態に対する処理がアナログ調節計では実現しにくいという問題を含んでいる。本計算機システムでは、多くの入力データを用い、フィードフォワード制御を適用して従来の難点を除いて、これらの制御を全面的に実用化した。

(3) 制御性の向上

本計算機システムでは(2)に述べたように、従来実施が困難であった制御系を実用化しただけでなく、従来実施されていた制御機能の制御性の向上がはかられた。実例をあげると、コークス配合比の設定値と実切出値の偏差は、第2焼結工場が $\bar{x}=0.09\%$ 、 $\sigma=0.09\%$ であるのに対し、第3焼結工場では $\bar{x}=0.01\%$ 、 $\sigma=0.05\%$ である。

また第3焼結工場の層厚制御のバラツキは、第2焼結工場の50~60%におさえられている。

(4) 省力化への寄与

本計算機システムは、原料槽への原料供給の遠隔化、自動サンブラの処理の自動化および情報処理を行なった結果、合計16名の省力化がはかられた。

(5) オペレーションの簡易化

本計算機システムは、制御の設定値の与え方お

よび異常状態や起動停止時の自動処理などを通じてオペレーションの簡易化および誤操作の低減に貢献している。実例として原料切出制御の設定値の与え方を述べる。第3焼結工場の原料切出制御の設定値の与え方は3・1に述べたとおりであるが、第1、2焼結工場の場合には設定値をt/hの形で与えなければならない。原料の配合指令書は配合比(%)で表わされているから、第1、2焼結工場の場合には%をt/hに変更しなければならない。ところが%からt/hに変換するために原料の総輸送量(t/h)がわからなければならないが、この総輸送量は給鉱槽のレベルに応じて時々刻々変化していく。そこで第1、2焼結工場では基準の総輸送量を決めておいて、これと配合比の設定値から切出の設定値(t/h)を算出している。このあと実際の設定値(t/h)は総輸送量の変化に応じてアナログ的に変化させている。このようにした場合、実際の設定値(t/h)が手動設定値(t/h)と常に違っているという不都合が生じる。また返鉱の切出量の設定変更にとまらなければならないという不便さがある。なぜなら、返鉱の量に無関係にコークスを配合原料に対して一定比率で切出さなければならないからである。これは不便さだけではなく、不正確さをともない操業上好ましくない。本計算機システムではこのような問題を解決したことは前述の通りである。

(6) 操業の適正化

本計算機システムの機能はすべて操業の適正化を指向するものであるが、とくに生産量および品質を直接制御しようとするものに次のような制御がある。

- i) 塩基度制御(成品の塩基度のバラツキの低減をはかる)
- ii) 通気度制御(生産量の増大をはかる)
- iii) 点火炉温度制御(成品の強度の向上と生産量の増大をはかる)
- iv) 成品強度の制御(成品の強度のバラツキの低減と生産量の増大をはかる)

ii)~iv)は実プラントに適合できるモデルを目下開発中である。

(7) 正確な情報伝達

Table 4 Comparison list of instruments number between No. 2 and No. 3 sintering plant in Chiba Works

	No. 2 sintering plant	No. 3 sintering plant
Counter	26	1
Controller	20	3
Arithmetic unit	4	0
Recorder	27	7

(Not including of number of VS controllers)

に検討し、計測機器の機能を意欲的に計算機へ移
4種類の作表、中央計算機用のデータテープ作成、アナログ指示・記録、オペレータの要求によるデータ表示および警報表示などによって、本計算機システムはオペレータや管理者に適切な情報を正しく伝達している。これらの中には従来、計器の読取りによるデータ収集、手計算および人手によるグラフ化が行なわれていたものが多くあり、これらの自動化によって情報の同時性ならびに正確性の向上が著しい。

(8) 計測機器のメンテナンスへの寄与
設計の段階で計算機と計測機器の機能分担を十分

行した。代表的な計測機器の台数について、第2焼結工場と第3焼結工場で比較した結果を **Table 4** に示す。このように本計算機システムは計装設備をシンプルなものとし、この結果メンテナンスの省力化をはかっている。またループのチェックが計算機を使用すると容易になる点も大きな利点である。

5. 結 言

千葉製鉄所第3焼結工場の計算機システムについて、その設計思想、処理内容および効果について記述した。本システムは1台の計算機をできるだけ有効に使用するために、多くの機能をもり込み、従来の計測機器の分野にまで深く立入り、総合的にみて大きな成果が得られた。

本計算機システムを成功に導いた大きな要因の一つに社内の体制、とくにオペレータの意欲的な尽力がある。

おわりに本計算機システムの開発にご協力、ご指導いただいた関係各位、ならびに本計算機システムの建設に努力していただいた富士電機製造株式会社の相当者各位に深く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) D. E. Hamilton, R. L. Houlton: Blast Furn. Steel Pl., 48(1960)6, 569
- 2) 下村泰人, 片田中, 田藤純則, 安永道雄: 富士製鉄技報, 10(1961)4, 19
- 3) W. J. Tunny: Iron & Steel Eng., 39(1962)8, 117
- 4) 辻畑敬治, 沢田保弘: 製鉄研究, (1963)240, 1
- 5) A. D. Ishchenko: Stal, (1968)4, 302