

川崎製鉄技報
KAWASAKI STEEL GIHO
Vol.17 (1985) No.2

コンピュータ利用による原料炭操業管理

Computer Control System for Coal Yard Operation at Mizushima Works

笠岡 玄樹(Shizuki Kasaoka) 岡本 修(Osamu Okamoto) 滝沢 譲(Yuzuru Takizawa)

要旨：

水島製鉄所におけるコークス部門のシステム化の一環として、原料炭処理工程とコークス輸送工程を対象に、プロセスコンピュータを導入し、品質情報と操業情報の一元管理による操業管理レベルの向上を図った。ソフトウェアの機能的な特徴としては、(1)石炭の品質評価モデル、コークス強度予測モデルおよび石灰の粉碎粒度計画モデルによる原料炭配合計画の簡素化、(2)CRTによる運転・監視の支援、(3)受入サンプリング、粉碎機の供給量設定、およびベッディング終点制御の自動化、(4)作業計画を含めた帳表作成の自動化、等が挙げられる。本システムの稼動により、コークス品質の向上、電力消費量の低減、および制御室のワンマンオペレーション化が達成された。

Synopsis：

At Mizushima Works, a process computer system has been introduced into the coal preparation process and coke transport process to improve the level of centralized management of quality and operation information, which is part of the total systemization plan of the Coke-making Department. The features of the new system software are: (1) Simplification of planning the blending composition using models of coal quality prediction, coke strength prediction and coal crushing grain programming. (2) Use of CRT for supporting operation and monitoring duties, (3) Automation of received coal sampling, crusher feeder setting and finishing position control of the bedding, (4) Automation of work schedules preparation and work results documentation. Introduction of this system has realized improvements in coke quality, reduction in electric power consumption, and one-man operation of the central control room.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

笠岡 玄樹^{*2} 岡本 修^{*3} 滝沢 譲^{*4}

Computer Control System for Coal Yard Operation at Mizushima Works

Shizuki Kasaoka, Osamu Okamoto, Yuzuru Takizawa

要旨

水島製鉄所におけるコークス部門のシステム化の一環として、原料炭処理工程とコークス輸送工程を対象に、プロセスコンピュータを導入し、品質情報と操業情報の一元管理による操業管理レベルの向上を図った。ソフトウェアの機能的な特徴としては、(1) 石炭の品質評価モデル、コークス強度予測モデルおよび石炭の粉砕粒度計画モデルによる原料炭配合計画の簡素化、(2) CRT による運転・監視の支援、(3) 受入サンプリング、粉砕機の供給量設定、およびベッディング終点制御の自動化、(4) 作業計画を含めた帳表作成の自動化、等が挙げられる。本システムの稼動により、コークス品質の向上、電力消費量の低減、および制御室のワンマンオペレーション化が達成された。

Synopsis:

At Mizushima Works, a process computer system has been introduced into the coal preparation process and coke transport process to improve the level of centralized management of quality and operation information, which is part of the total systemization plan of the Coke-making Department.

The features of the new system software are:

- (1) Simplification of planning the blending composition using models of coal quality prediction, coke strength prediction and coal crushing grain programming,
- (2) Use of CRT for supporting operation and monitoring duties,
- (3) Automation of received coal sampling, crusher feeder setting and finishing position control of the bedding,
- (4) Automation of work schedules preparation and work results documentation.

Introduction of this system has realized improvements in coke quality, reduction in electric power consumption, and one-man operation of the central control room.

1 緒 言

コークス部門のシステム化の一環として、原料炭処理とコークス輸送工程における、品質・操業面の管理技術の向上と省力化を目的としたシステム化を推進してきた。昭和 55 年に原料炭処理工程に対してプロセスコンピュータを導入し、その後、昭和 58 年に原料炭処理工程とコークス輸送工程の制御室を統合するとともに、システムのレベルアップを実施した。システム化に際しては、品質情報と操業情報の有機的結合と、それによる制御室業務の質的向上に重点を置いた。本報では、代表的な事例を中心に、ソフトウェア機能について紹介する。

2 システムの概要

コークス部門全体のシステムの概略を Fig. 1 に示す。機能的には、原料炭処理とコークス輸送工程の操業管理システム、コークス炉燃焼管理システム、およびパーソナルコンピュータのネットワークシステムから構成される。本報で述べる原料炭処理とコークス輸送工程のシステム化において、制御室オペレータのワンマン化の観点から配慮した点は次の通りである。

- (1) 約 200 個の監視用計器類を大幅に削減し、CRT によるプロ

セス状態監視に置き換えた。

- (2) コンベヤおよびそれに付帯するダンパ、粉砕機等の起動・停止を選択スイッチ方式からシーケンサによるルート番号設定方式に置き換えた。
- (3) 日常の計画業務や運転条件設定業務のうち、高度な判断や複雑な操作を必要とする業務については、標準化を行いシステムに組み込んだ。
- (4) 帳表作成業務の大部分を自動化した。



Photo 1 Central control room

*1 昭和60年1月14日原稿受付

*2 水島製鉄所コークス部コークス課掛長

*3 水島製鉄所電気計装部電気計装技術室主査(部長補)

*4 水島製鉄所コークス部コークス技術室主査(部長補)

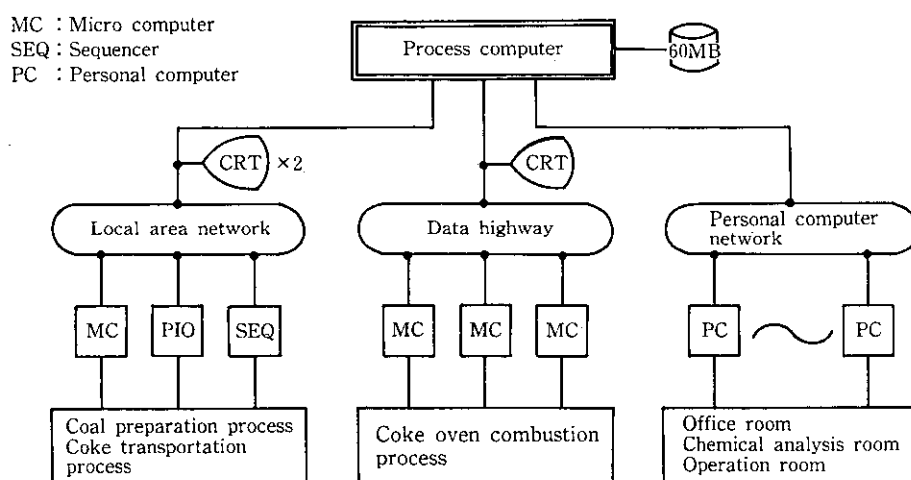


Fig. 1 Outline of the computer system in the coke-making department at Mizushima Works

- (5) CRT 2台を専用とし、両機いずれからもすべてのタスクが起動できるようにした。また、CRT キー操作を1タッチ起動を原則とし、起動要求から表示までのアクセスタイムを数秒以内に収まるようにした。さらに、常時監視が必要な画面については、5または10秒ごとに自動更新ができるようにした。

制御室の概観を Photo 1 に示した。

3 品質管理機能

3.1 原料炭の品質評価

品質管理上重要な石炭品質の情報のうち、主な項目は Table 1 に示す通りである。これらのデータは、マニュアル入力される入荷炭分析値およびそれからの計算結果で与えられる。とくに ϕ 値は、コークス強度推定上重要な因子であり、理論的にはセミコークスの熱応力に影響を与える石炭の物性値（線収縮率、ヤング率、ポアソン比）の関数形で示される。実際のシステムでは、石炭のピトリニットの平均最高反射率 $\bar{R}_0$ と活性炭質の含有率 TR を (1)(2) 式から推定し、さらに (3) 式から ϕ 値を求めている。

$$\bar{R}_0 = f(\text{VM}_{\text{daf}}, \text{MF}) \quad (1)$$

$$\text{TR} = g(\text{VM}_{\text{daf}}, \text{MF}) \quad (2)$$

VM_{daf} : 石炭の無水無灰ベースの揮発分

$$\phi = (a_1(\text{TR})^2 + a_2 \cdot \text{TR} + a_3) \bar{R}_0 + a_4(\text{TR})^2 + a_5 \cdot \text{TR} + a_6 \quad (3)$$

a_i : 定数 ($i=1, 2, \dots, 6$)

一方、TW, VM, Ash については、払出ごとに分析されてインプットされる。その際、指数平滑法等の統計的処理により、次の払出品質の予測値が決定される。これらの原料炭の品質評価値は、銘柄と入船月日で区分されるロットごとにファイルされる。

3.2 配合計画

水島製鉄所では、石炭をロットごとに粉砕し、ヤードブレンディング方式で配合を行っている。従って、現場における配合計画はベッド単位で作成される。この計画業務が制御室オペレータで容易にできるようにするために、主として次の点についてシステム化を行った。

(1) コークス品質の予測モデル

コークスのトータル硫黄 (TS), Ash については、配合炭の TS, Ash, VM 計算値から予測する。また、コークス強度については、配合炭の ϕ , MF, -3 mm, コークス炉温等からモデル式を用いて予測する。詳細については既報¹⁾を参照されたい。

(2) 石炭粉砕粒度の計画モデル

配合炭の目標粉砕粒度を -3 mm で与えたときに、配合炭を構成する各銘柄ロットの -3 mm は、コークス強度の向上効果に粉砕機の省電力効果を加味して、自動的に割り付けされる。

原料炭粉砕によるコークス強度の向上効果に関する理論モデルによると、基本的には、

$$F_i(\bar{\text{MF}} - \text{MF}_i)^2 \quad (4)$$

F_i : 各銘柄ロットの配合率

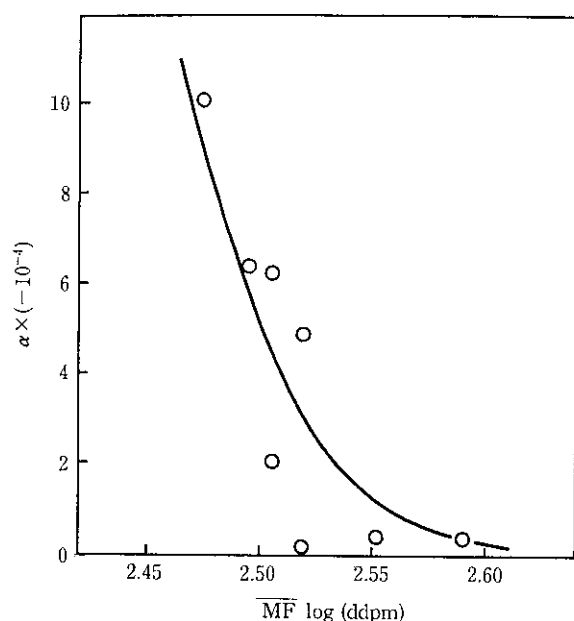
MF_i : 各銘柄ロットの流動度

$\bar{\text{MF}}$: 配合炭の流動度

をパラメータとして、この値が大きい石炭ほど細粒化すべきであるとしている²⁾。Fig. 2³⁾はこの理論を操業実験で確認した結果である。 α の絶対値が大きい程、コークス強度の向上効果が大きいことを示すものであるが、 $\bar{\text{MF}}$ が大きくなるに従ってその効果が小さくなるのがわかる。従って、 $\bar{\text{MF}}$ が過剰の配合となる場合には、粉砕機の省電力も配慮して各銘柄ロットの -3 mm を計画する。このパラメータとしては、後述の (6) 式に示す粉砕機動力モデル式から導びかれる (5) 式を用いている。

Table 1 Received coal analysis

Analysis item		Use
Proximate analysis	TW: Total moisture	Prediction of coal ash, TS, and P_2O_5
	VM: Volatile matter	
	Ash	
Ultimate analysis	TS: Total sulfur	Size monitoring system in coal crushing
	P_2O_5 : Phosphorus pentaoxide	
Sieve analysis	P_0 : Plus 3 mm percentage	Coke strength Prediction
	n_0 : Rosin-Rammler's distribution constant	
Grindability	HGI: Hardgrove grindability index	
Plasticity	MF: Common logarithm of Gieseler plastometer maximum fluidity	
Coal rank	ϕ : Calculated parameter using Eq. (3)	



S =coke strength, DI_{15}^{30}

$$D = \sum_{i=1}^m F_i (\overline{MF} - MF_i)^2 f(P_i)$$

m =number of coals blended

P_i =minus 3 mm crushed coal percent

Fig. 2 Coefficient $\alpha (= \partial S / \partial D)$ as a function of coal blend maximum fluidity ($\overline{MF}$)

Table 2 Actual results of coal size preparation

	Case I	Case II
Coal charge MF	2.46	2.58
Coal charge ϕ	0.96	0.98
Coke strength DI_{15}^{30}	93.7	93.6
Crusher power consumption (kWh/t-coal)	1.25	1.10
Size preparation parameter	Expression (4)	Expression (5)

$$\frac{b_1^{1/2n} - (b_2 \ln P_0)^{1/2n_0}}{\sqrt{HGI}} \dots \dots \dots (5)$$

b_1, b_2 : 定数

ここで、 P_0, n_0, HGI は Table 1 に示すデータであり、 n は後述するように n_0 と HGI から求まる値である。

実際に、本モデルにより -3 mm を計画して操業した結果を Table 2 に示す。Table 2 のケース II は、装入炭 MF が過剰であり、(5) 式を加味した粒度計画となっている。ケース I と比較すると、コークス強度は大差がなく、粉砕電力原単位が約 10% 低減していることがわかる。

(3) 在庫量チェック

配合計画に用いられる石炭の在庫量をチェックし、配合の妥当性を判定する。現在在庫量、払出計画量および入荷予定量の情報を検索してチェックが行われる。

現場における実際の配合計画手順は、次の通りである。前ベッドの実績配合を CRT に表示し、各銘柄の配合率と払出ヤードの場所コード、配合炭の平均目標粉砕粒度 (-3 mm%) およびコークス炉温をインプットする。計算機は最新情報をもとに上述した (1)~

(3) を実行し、結果を CRT に表示する。品質規格と在庫の確認を行い、必要に応じて修正インプットを行いながら計画を作成する。入荷予定ロットを計画する場合には、過去の同一銘柄の平均品質が検索され、その後、入荷炭分析値がインプットされると、自動的に配合計画の品質修正が行われる。本システムにより、長時間を要していた計画業務が、現場にて短時間でできるようになった。

4 操業管理機能

4.1 制御室オペレーションの簡素化

4.1.1 コンベヤ等の起動

従来、制御室からコンベヤ等の機器を起動させるためには、オペレータが設備を熟知した上で、多数の選択スイッチを誤りなく操作することが不可欠であった。本システムでは、オペレータの負担を軽減するために、運転系統の組み合わせをすべて番号化し、CRT 情報により起動番号が容易に判定できるようにした。各工程ごとにその特長と考えられる機能概要を述べる。

(1) 受入工程

受入ルートの組み合わせは 70 通りある。多数の銘柄を同時に荷揚げする場合、ルートの切替が頻繁になり、コンベヤ起動やそれに伴うサンプラー設定に複雑な操作を必要としていた。サンプラーは、3 系列の送り元コンベヤごとに設置され、各サンプラーに 4 個のサンプル槽が設置されている。ルートの切替ごとに、所定のサンプル槽の回転セットとサンプリング間隔を決めるメリック値をセットする必要があった。

本システムでは、これらに対して次のような簡素化を行った。まず、予め計画された置場計画を CRT に表示し、今から荷揚げまたはルート切替を行うロット番号を、同画面上の送り元 3 系列のいずれかに入力する。入力が正常であれば、自動的にコンベヤルート図とその番号が CRT 表示される (Photo 2 参照)。同時に、サンプル槽への銘柄割り付け、上述したサンプラー設定、およびその後のサンプリング監視が、自動的に実行される。なお、コンベヤの起動については、CRT 表示の番号をシーケンサーにセットすることにより行われる。従って、オペレータは、荷揚げロットの確認を誤りなく実行すれば、従来のような複雑な操作を必要とせず確実に起動ができる。

(2) 払出工程

払出工程は 2 系列あり、各系列ごとにサージビンと 3 台の粉砕機が設置されている。本工程で技能または経験を必要とする業務

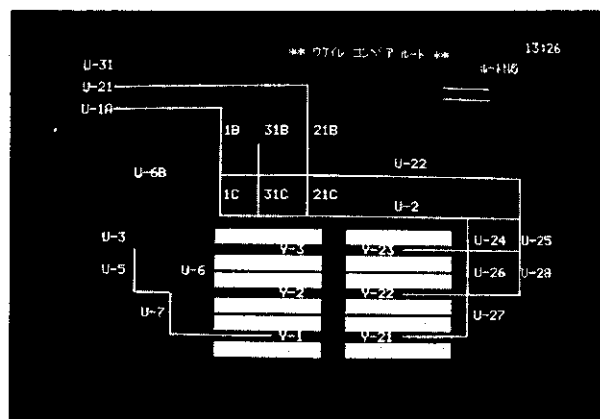


Photo 2 Conveyor route guidance display

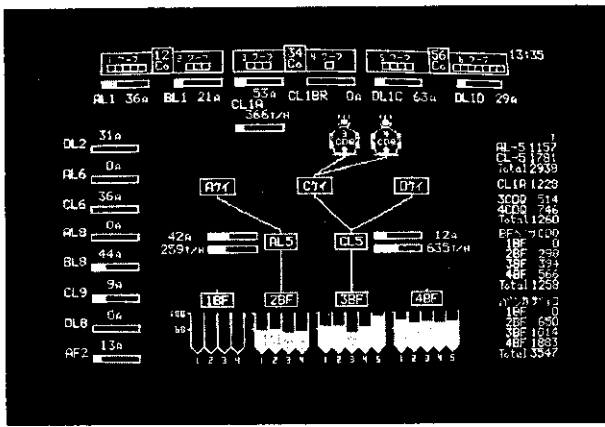


Photo 3 Coke transportation process display

は、サージピン切出設定値の決定と粉碎粒度の調整作業である。これらについて標準化を行いシステム化を可能にした。詳細は4.1.2項で述べる。

(3) 装入工程

各コークス炉に設置された合計6基の炭槽ごとに、現在庫量と各炉生産計画から在庫推移を予測してCRTに表示する。オペレータは、一定レベルの在庫を確保するために、送り先を決定してコンベヤを起動する。

(4) コークス輸送工程

各高炉のコークスパンカ在庫量やワーク在庫量の情報をCRTで監視し (Photo 3 参照)、ルート番号を決定する。コンベヤ起動と同時に、輸送コークスがCDQコークスかWETコークスかにより、バグフィルタ式とロートクロン式コンベヤ集塵機の切替ダンパ群を自動的に切替えて、集塵風量の適正化を図っている。

4.1.2 粉碎機の操業ガイド

粉碎機のギャップ調節は、通常、粉碎後の粒度を確認して行うが、粒度測定に時間を要する。さらに、石炭の種類や粉碎機供給量(t/h)によってもギャップ調節量が異なり、オペレータの経験が必要としていた。

これに対して、粉碎機の理論モデルを導出し³⁾、今回、さらに改良してシステム化を行った。基本となる式を(6)式に示す。

$$W = \frac{c_1 Q}{\sqrt{HGI}} \times [(c_2 \ln P)^{1/2n} - (c_2 \ln P_0)^{1/2n}] + W_0 \quad \dots\dots\dots (6)$$

W : 粉碎機の所要動力 (kW)

W_0 : 粉碎機の無負荷動力 (kW)

Q : 石炭の粉碎機供給量 (t/h)

HGI: 石炭のハードグロブ指数

P_0, P : 粉碎前後の石炭の +3 mm 重量割合

n_0, n : 粉碎前後の粒度分布の幅を示すパラメータで、Rosin-Rammler 分布式より求まる分散指数

c_1, c_2 : 定数

ここで、HGI, P_0 , および n_0 は Table 1 に示す入荷炭分析情報から検索される。また、 W は粉碎機の負荷電流信号から計算され、 Q はコンベヤ秤量器信号から与えられる。 n については、実操業で調査した結果、Fig. 3 に示すように n_0 と HGI の関数で精度よく計算されることがわかった。従って、これらの数値を(6)式に代入すれば P が計算できることになる。

(6) 式を応用した実際のシステムについて述べる。まず、オペレータがバグの配合計画をCRTに表示して、今から配合するロット番号を同画面上に入力する。入力が正常であれば、サージピン

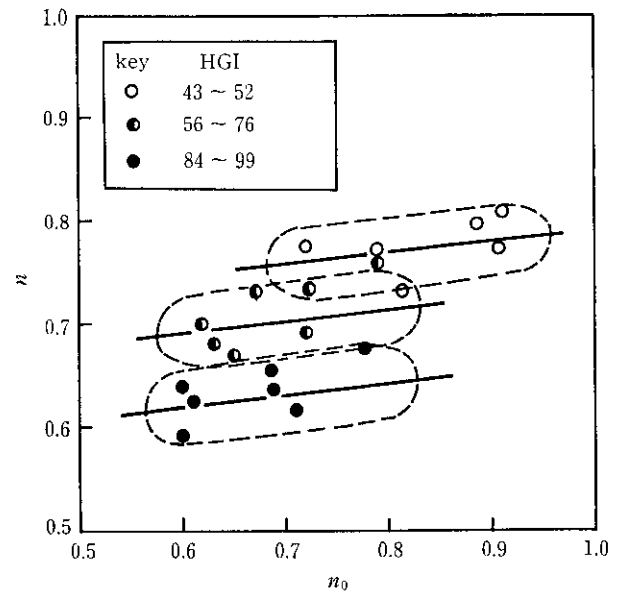
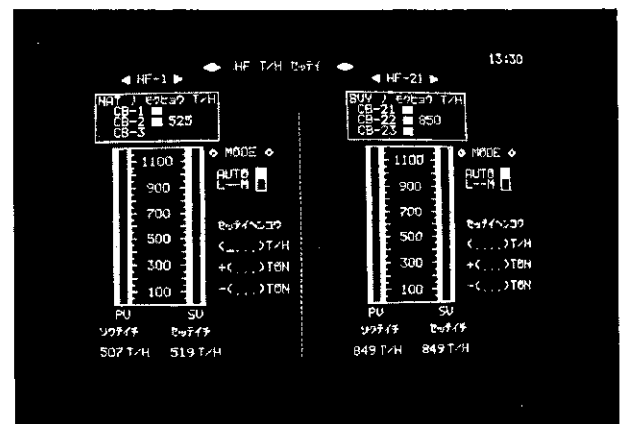
Fig. 3 Relation between n and n_0 for various coals⁴⁾

Photo 4 Crushed feed rate guidance display

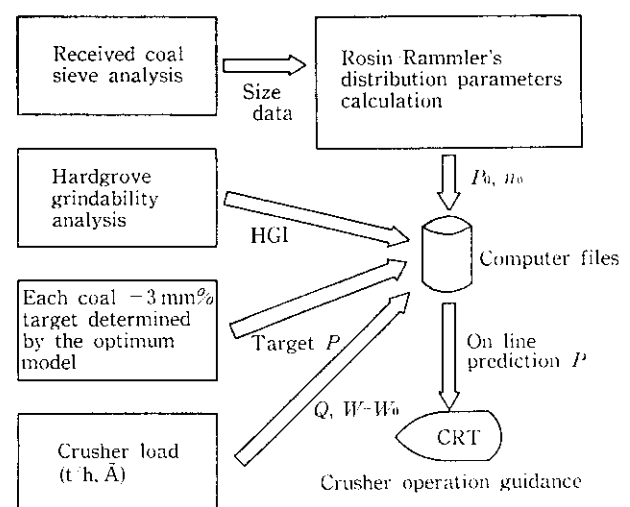


Fig. 4 Crushed coal size monitoring system

切出設定値の目標が表示され (Photo 4 参照)、コンスタントフィードが自動的に設定される。この目標値 (t/h) は、目標の粉碎粒度や粉碎機の上限負荷電流値から、(6) 式で計算される Q を基準値

として、石炭水分値や設備上の輸送能力を考慮して決定される。これにより、 Q が向上し、電力原単位 W/Q が約 $0.03 \text{ kW}\cdot\text{h/t}$ 低減した。

一方、粉碎後の粒度は、Fig. 4 に示すようにオンラインで予測計算され、経時変化とギャップ調節のガイダンスを CRT に表示する。これにより、ギャップ調節のための現場粒度測定のプロ化、および -3 mm の精度向上が可能となった。

4.1.3 プロセス状態の監視

運転中のプロセス全体の監視は、通常2台の CRT にそれぞれ原

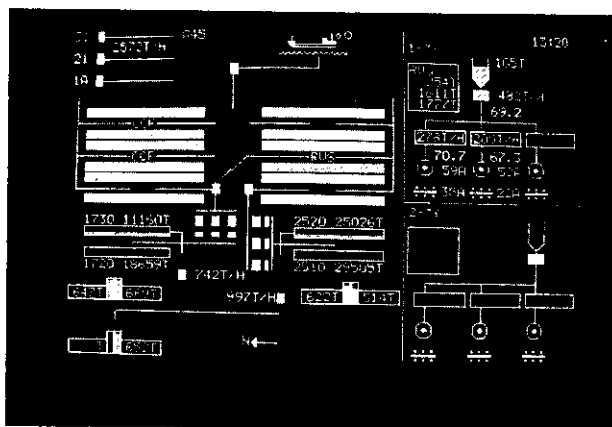


Photo 5 Coal preparation process display

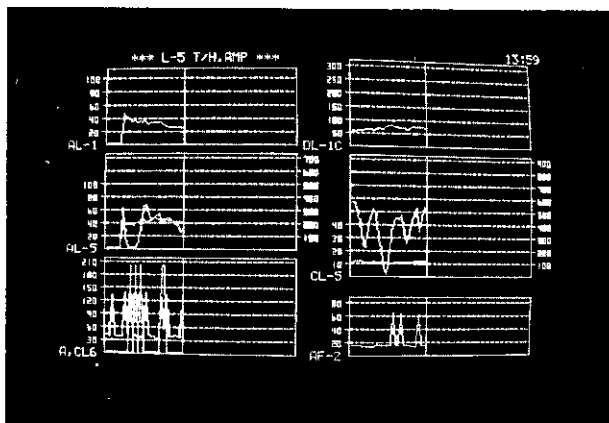


Photo 6 Conveyor load trends display

料炭処理工程 (Photo 5 参照) とコークス輸送工程 (Photo 3 参照) を表示して行う。これらの画面では、必要な情報が数字、グラフおよび色別で表示され、10 秒ごとにデータ更新が行われる。さらに、機器異常については同画面上にアラームメッセージを表示する。そのほか、関連機器の運転状況について、直近とその後の推移を時系列的に表示し (Photo 6 参照)、オペレータの監視を容易にしている。

4.2 ベッディング制御

ベッドの長さ方向の品質変動 $V(X)$ は、統計的な式の誘導により次式で示される^{4),5)}。

$$V(X) = \sigma_Q^2 + \sigma_P^2 \quad (7)$$

$$\sigma_Q^2 = \frac{Av}{B} \sum_{i=1}^m F_i \sigma_{X_i}^2 \quad (8)$$

$$\sigma_P^2 = \left(\frac{Av}{B} \right)^2 \sum_{i=1}^m X_i^2 \sigma_{i_i}^2 \quad (9)$$

A : スタッカの平均積付速度 (t/h)

B : ベッドの大きさ (t)

v : スタッカの走行速度 (h/層)

X_i : ある銘柄の品質特性値

m : 配合銘柄数

σ_{X_i} : ある銘柄の品質特性値の標準偏差

σ_{i_i} : ある銘柄のベッド長さ方向の積付層数の標準偏差 (層)

σ_Q : σ_{X_i} に依存するベッドの長さ方向の品質変動

σ_P : σ_{i_i} に依存するベッドの長さ方向の品質変動

σ_Q , σ_P の大きさを石炭灰分について調査した結果、Table 3 に示すように σ_P の寄与が大きいことがわかった。これは、ある銘柄のベッディングの開始と終了位置がランダムとなることにより、 σ_{i_i} が0から1の間のある値をとることによるものである。従って、例えば開始と終了の位置をベッド端に制御すれば、理論的には σ_P は

Table 3 Calculated σ -values (%) of coal ash in the longitudinal direction of a bed

Stacking method	σ_Q	σ_P	$\sqrt{\sigma_Q^2 + \sigma_P^2}$
Random stacking	0.023	0.059	0.06
Controlled stacking	0.023	0.020	0.03

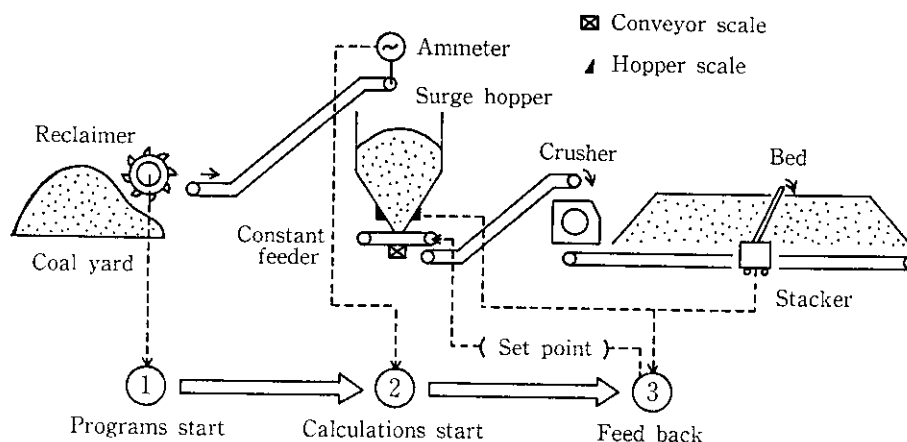


Fig. 5 Control system for final stacking position⁴⁾

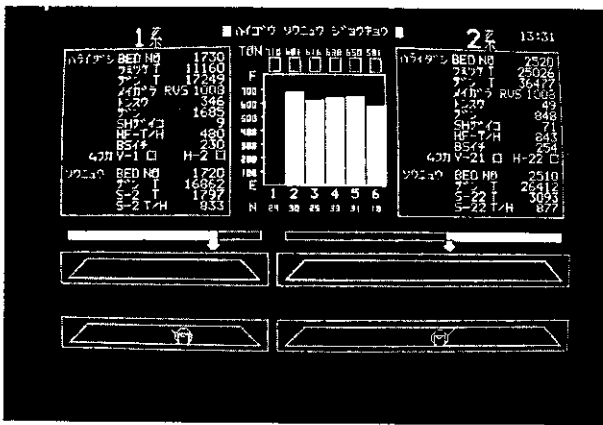


Photo 7 Yard blending process display

0 となる。

以上の考察に基づき、次のシステムを開発した。

- (1) ベッディング開始時に、スタッカを自動的にベッド端へ移動する回路。
- (2) 途中において荷切れが発生した場合に、スタッカの走行を一時的に停止して、屑の不連続化を防止する回路。
- (3) ベッディング終了位置をベッド端にする制御システム (Fig. 5 参照)。

この終了位置の制御は、積付銘柄ごとに、所定量が貯炭ヤードから払出された時点で起動する。スタッカの位置と進行方向およびサージピン在庫量から計算して、終了位置がベッド端となるように、サージピン切出設定値を自動的に変更するものである。スタッカの位置は折り返し点でリセットされ、車輪の回転をパルス値に変換して演算される。進行方向は両端の折り返し点の信号から判定される。Photo 7 にスタッカ等を含むベッディングの運転状況を監視する画面を参考までに示す。本システムにより、 σ_p は石炭灰分で 0.020% まで低減した (Table 3 参照)。

4.3 帳表作成

品質管理や操業管理に必要な帳表は、大部分計算機が作成し、手書き業務は大幅に減少した。設備機械と故障内容のマトリクス分析月報、作業ごとの電力原単位表、およびコンベヤ空転時間表等は、トラブル低減や省電力面に寄与している。さらに帳表作成の一つとして、作業指示書作成機能がある。

一例として、貯炭山への薬剤コーティング作業指示について述べる。貯炭面からの発塵を防止し、また降雨による水分浸透を防止するために、薬剤散布車により、表面固化剤、被膜形成剤、および水分浸透防止剤を散布している。散布作業のパターンを目的により分

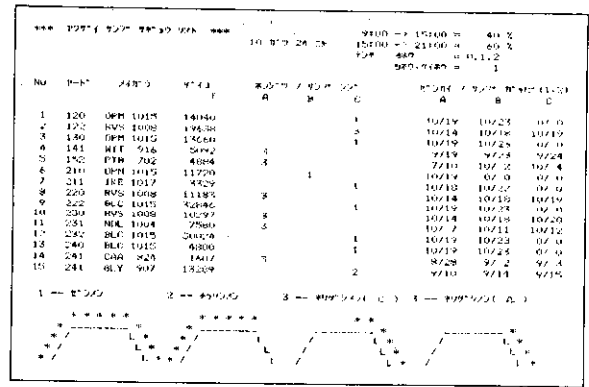


Fig. 6 Stockpiles spraying instructions by the computer

類すると、入荷直後に上記 3 種類の薬剤を段階的に散布する作業、その後一定周期ごとに各被膜の劣化を修復するための散布作業、さらには、切り出し露出面に対してそのつど散布する作業に分けられる。貯炭ヤードには、70~80 のロットがあり、各薬剤をむだなく確実に散布してその機能を発揮させるために、毎日の作業指示を計算機で行っている。作業指示を行う際には、貯炭ロットごとの散布履歴、在庫量、払出計画および切り出し露出面の情報、さらには散布の翌日の降雨や強風の予測が必要である。散布履歴については、毎日の作業終了時に実績を CRT より入力し、在庫量、払出計画および露出面の有無については、操業データを検索して判定している。また気象予測については、岡山地方気象台の予報をもとに判別関数等を用いて当所の予測を行っている。作業指示書の例を Fig. 6 に示す。

5 結 言

原料炭処理とコークス輸送工程における、プロセスコンピュータを利用した品質・操業管理システムは昭和 58 年 10 月に完成し、その後順調に稼働している。ソフトウェア機能として、

- (1) 原料炭の品質評価モデル、コークス強度の予測モデル、および粉碎粒度計画モデルを中心とした配合計画機能
- (2) 運転条件の設定やプロセス監視の機能
- (3) 帳表作成や作業指示の自動化機能

が含まれる。本システムの稼働により、品質・操業の安定化、省電力、および配合・運転計画を含む制御室業務のワンマンオペレーション化が可能となった。

現在、本システムにコークス炉燃焼制御の上位機能やパーソナルコンピュータネットワークを追加し、より一層のレベルアップを図っている。

参 考 文 献

- 1) 杉辺英孝, 宮川亜夫, 堀越英生, 安倍幹夫, 伊神峰生, 滝沢 譲, 笠岡玄樹, 青山充三: 「新しいコークス強度推定法の開発」, 川崎製鉄技報, 13 (1981) 2, 87
- 2) 杉辺英孝, 宮川亜夫, 笠岡玄樹, 青山充三: 「コークス強度に対する装入炭粒度構成の効果」, 鉄と鋼, 66 (1980) 4, S69
- 3) 笠岡玄樹, 青山充三, 山崎健二, 杉辺英孝, 宮川亜夫: 「新しい装入炭

- 粒度調整理論の応用」, 川崎製鉄技報, 13 (1981) 4, 493
- 4) 笠岡玄樹, 青山充三, 山崎健二: "Homogenizing of the Coking Coal Blend by the Yard Blending System," Paper presented at the 44th AIME Ironmaking Conference, Detroit, April 1985
- 5) 笠岡玄樹, 青山充三: 「ベッディングにおける原料炭配合の均質化対策」, 鉄と鋼, 68 (1982) 11, S817