

高炉プロセスにおける計算機制御

The Computer Control for the Iron Blast Furnace

Hitachi control computer 100 series was introduced into the blast furnace of New Japan Steel Co., Yawata Steel Mill in October, 1971, for the purpose of stabilizing furnace operation by equalizing the supply of raw materials to the furnace.

To realize such purpose, the control computer system carries out analysis of chemical compositions of raw materials, calculation of their mixing ratio (serving as an operation guide), high precision weight control, control of main material storage, pig and slag volume control, and data logging.

In designing the system most attention was paid for system reliability. The control computer is used as a supervisor for monitoring and controlling, while such duties as charging control and analysis of material compositions are assigned to the sequencer and mini-sized computer. Since installation the furnace has been in satisfactory operation yielding extremely favorable oil ratio and pig ratio.

橋本 信* *Shin Hashimoto*
 佐々木幸三* *Kôzô Sasaki*
 津田勉久* *Katsuhisa Tsuda*
 清水勝博** *Masahiro Shimizu*
 四元弘志** *Hiroshi Yotsumoto*

1 緒 言

鉄鋼業におけるコンピュータの利用はさまざまな方面で進められているが、現在最も活用されているのは生産の自動化における分野で、コンピュータコントロールがその主役になっている。

鉄鋼業におけるコンピュータコントロールは、電力、化学の分野とともに数多くの実施例を有し、その効果も高く評価されている。昭和33年にアメリカのMcLouth社のホットストリップミルに初めて実用化されて以来現在では、すでに世界で400例以上の導入がみられる。それらの実例は千差万別であるが、大勢としては生産作業に深く浸透し設備の自動運転および生産管理の中心的手段として必要不可欠なものになっている。

このような背景のもとで新日本製鐵株式会社八幡製鐵所八幡高炉工場では、第4高炉を改修し火入れ後、燃料比（銑鉄1tあたり所要コークス量+重油量）および出銑比（炉内容積1m³あたりの1日出銑量）において記録的な好結果を収め順調に稼（か）動中である。

この好記録には、制御用計算機HIDIC 100の導入によるところが大きい。すなわち計算機により

- (1) 秤（ひょう）量の高度な自動化
- (2) 各原料のオンライン組成管理

などを行なうことにより高炉への装入物の均一化を実施することができた。またシステム開発にあたっては、安全性および信頼性、特に誤操作および耐ノイズ性には留意した。

以下、計算機制御システムの概要ならびに今回開発した制御方式の中からいくつかの特徴的な点を中心に報告する。

2 システムの概要

2.1 高炉プロセス

高炉プロセスは、一言にしていえば鉄鉱石（酸化鉄が主成分）を高熱のもとにコークスにより還元して不純物を除去し、純度の高い銑鉄（Fe成分96%程度）を生産するものである。

最近の高炉プロセスは、「良い鉄をより安く」のローガン

のもとに、システム構成も複雑化する傾向にある。図1は高炉プロセスの一例を示すものである。

高炉設備は、(1)高炉本体、(2)原料の貯蔵および秤量設備（鉄石、コークスなど）(3)熱風炉設備、(4)ガス清浄設備、(5)原料運搬などの総括制御設備などで構成されている。

高炉プロセスは以上の諸設備を用いて、鉄鉱石、焼結鉱などの主原料から溶銑を生産するプロセスであり、ほぼ次に述べるとおりである⁽¹⁾

- (1) 原料設備にて鉄鉱石などの主原料、石灰石、珪（けい）石などの副原料、コークスを適切な割合に配合して高炉炉頂から装入する。
- (2) 事前に酸素富化、蒸気添加された空気を熱風炉で1,000°C前後まで昇温し、熱風にして高炉羽口から吹き込む。
- (3) 高炉内での装入鉄鉱石は、炉下部から吹き込んだ熱風とコークスが反応して生じたCOにより還元される。高炉の上、中、下部ではそれぞれ予熱、還元および溶解作用が行なわれ、生成された銑鉄は高炉下部の出銑口を定期的に開口して出銑される。
- (4) 石灰石などの副原料は、炉下部で鉱滓（さい）となる。その造滓過程での反応により、溶銑成分を規定範囲内に調整する働きをする。
- (5) 高炉ガスは、ガス清浄装置によりガス中の含塵（じん）量を減少させ、熱風炉、発電所などの燃料として利用される。

高炉プロセスの操業に関する評価は、燃料比および出銑比により評価され、燃料比が小さく出銑比が大きいほど良い高炉プロセスの操業状態といえる。

高炉操業の基本はある意味では数百年来変わっていない。すなわち、プロセス各部のマイナーループのコントロールが主体となっており、炉内状態のプロセス解析などはまだまだ不明な点も少なくない。

今回のシステムにおいても熱風炉の制御は、計器ベースのマイナーループのコントロールで行なわれ、制御用計算機HIDIC

*新日本製鐵株式会社製銑部

**日立製作所大みか工場

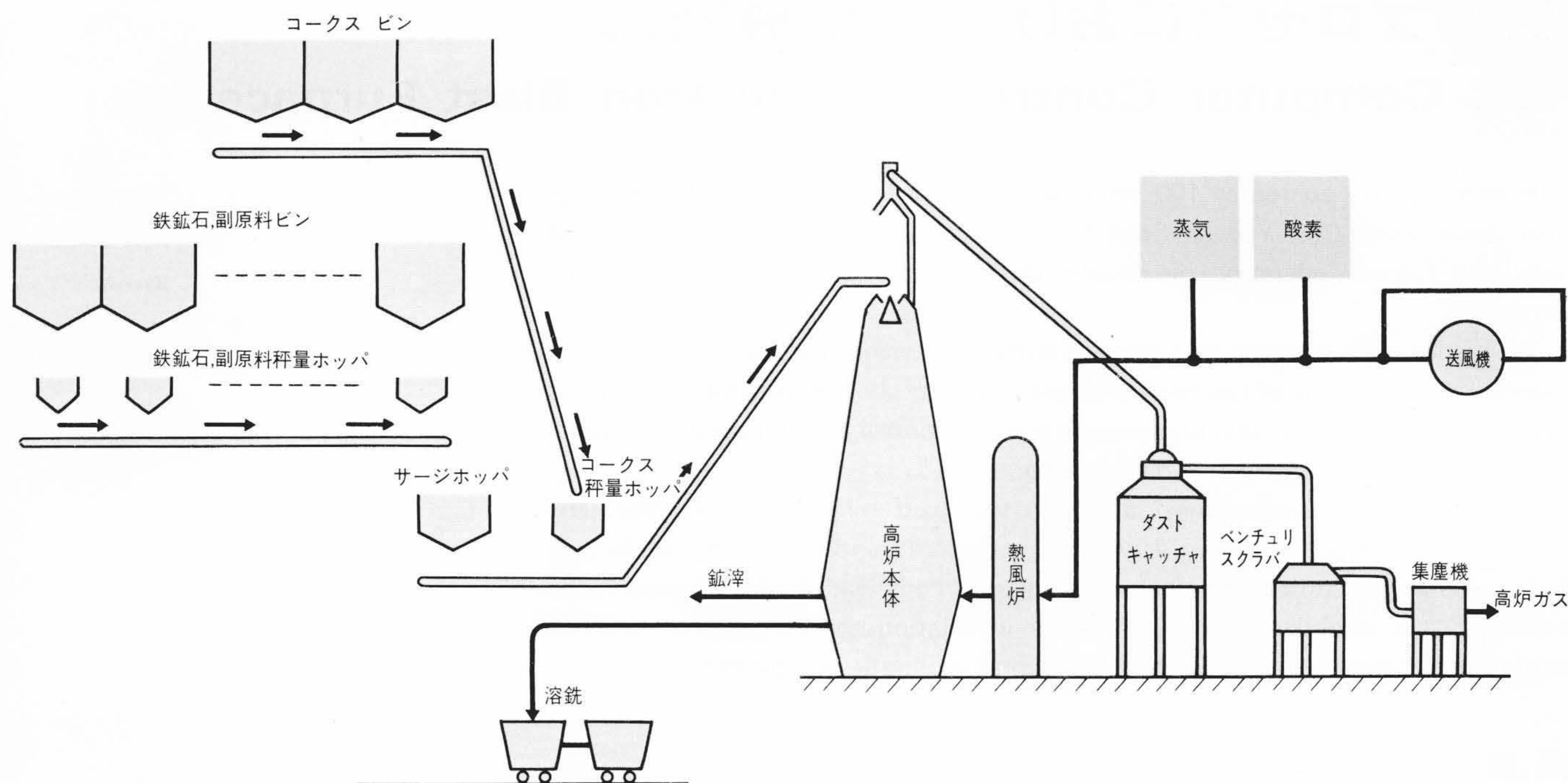


図1 高炉プロセスの一般説明図 全体は、高炉本体、原料設備、熱風炉、空気洗浄装置および総括制御装置より構成される。

Fig. 1 System Diagram of a Blast Furnace Process

100では秤量制御を中心に原料の在庫量管理、貯鉄滓量管理、原料の成分管理、データ処理、ロギングおよび各種オペレーションガイドなど幅広い制御システムを実現している。

2.2 計算機システムの機能

高炉内での反応はきわめて複雑であり、炉況制御を行なうために各種変数間の関係を十分な精度でモデル化することは、むずかしい。しかし、高炉操業者は経験的に炉況が炉熱（高炉のもつ熱量）と密接に関係していることを突き止めており、炉熱をその高炉固有のある値に保てば炉況が安定化することを知っている。炉況を安定化する基本的な方法として次の二つのアプローチが考えられる。

第一の方法は炉況をモデル化して炉内熱収支の定量化を主とするものである。すなわち、各種原料組成の変動などの外乱に対して、送風温度、湿度および重油吹込量など操作条件を的確に変更、操作し、炉内反応を安定化するものである。

第二の方法は炉況に及ぼす外乱を極力除去する制御を主とするものである。すなわち、高炉への各種装入原料の組成の計測、これに基づく精度よい配合比、装入量の制御、さらに送風量、重油吹込量などについても熱収支を一定化することにより、炉況を安定化させるものである。

今回の計算機システムでは、制御は主として、第二の方法によるものとした。本システムの構成ブロック図は図2に示すとおりである。また、制御用計算機HIDIC 100で行なったおもな処理項目は次のとおりである。

- (1) 主原料の入荷および在庫量管理
- (2) 主原料、副原料およびコークスの秤量制御
- (3) 貯鉄滓量管理
- (4) 主原料、副原料およびコークスの成分管理
- (5) データ ロギング
- (6) 各種オペレーション ガイド

なお、システム構成上、特に信頼性の向上に留意した。す

なわち、万一計算機ダウン時にも、高炉運転を停止することは不可なので、計算機は監視および制御のスーパーバイザーとして用いるよう構成し、ローカルな意味での装入制御および成分分析機能は、図2に示すようにそれぞれシーケンサおよび別のミニコンピュータに分担させる方式をとった。

3 制御方式の特徴

以下、本システム処理機能の中から、いくつかの特徴的な制御技法について述べる。

3.1 ビン在庫量管理

原料の在庫量を把(は)握することは、原料の補充、他銘柄への切替えなどにおいて、非常に重要なことである。在庫量は、その入荷、出荷量の管理により求まる。出荷量は自動秤量を行なっているため、自動的に容易に把握できるが入荷量はいろいろ困難な問題があり、従来設定盤から設定する方式が採用されていたが、自動秤量システムを開発し実用化できたのでその方式について以下に述べる。

ハードウェア構成とタイムチャートは図3に示すとおりである。該当高炉用ビンと他高炉用ビンは同一場所に並んでおり、同じ搬入ベルトコンベヤにより原料の投入は行なわれる。今回の入荷管理の方式としては、

- (1) 原料の投入は、同時に二つ以上のビンには行なわない。
- (2) 該当高炉用ビン上でのトリップは1台以内とする。
- (3) 投入原料、投入ビンを変更する場合には、一定時間（約15分程度）だけ投入を中断する。

以上、三つの条件のもとに、ロードセル信号が該当高炉のビンに投入中であると判断したときに、コンベヤスケールからのパルス信号の積算値を重量変換して入荷量とし、トリップ位置信号により投入ビンに加算する方式を採用し、原料の雨天によるストップ、銘柄などの合理性チェックなど、いくつかの問題を解決し所期の目的を達成した。

3.2 秤量制御

秤量は銘柄ごとに自動的に行なうものとして、副原料のように秤量値が少ない銘柄は、2銘柄を一つの秤量ホッパにて秤量することもある。図4は秤量関係の制御系統図を示すものである。

- (1) 計算機より各銘柄別に切出し設定値を自動設定する。
- (2) ビンより切り出された原料は、秤量ホッパにたくわえられロードセルにより秤量値が計測される。また磁気式比較演算器は実測秤量値と切出し値設定値とを比較するもので、秤量値が設定値の95%に達したとき信号を出し原料供給フィーダを減速するようにしている。
- (3) また100%に達した信号により供給フィーダを停止するとともに、計算機に満信号として割込みを入れる。計算機はこれを合図に秤量値を取り込む。

前述したように今回のシステムではあらかじめ計算により

求められた所定量の原料を正確に切り出すように秤量制御を行なうことが特徴の一つである。以下、今回採用した切出し値設定法あるいは補正法のいくつかについて述べる。

(1) 切出し設定値変更

切出し設定値変更は、高炉操業者が必要に応じて切出量を変更するとき、または原料ロットが変化したときなどに行なう切出し量そのものの変更でオペレータ コンソールから乾量値として設定される。このとき計算機では、乾量値を湿量値に変換して切出し設定器に設定する。

(2) 水分補正

水分補正とは、(1)による定量切出しを行なっても原料中の水分の変動によりその乾量値が変動することを補正するものである。方法として水分値が変動することにより、乾量値を湿量値に変換しなおして切出し設定器に設定する。これにより水分値が変動しても、乾量としてみると均一量の切出し制御を

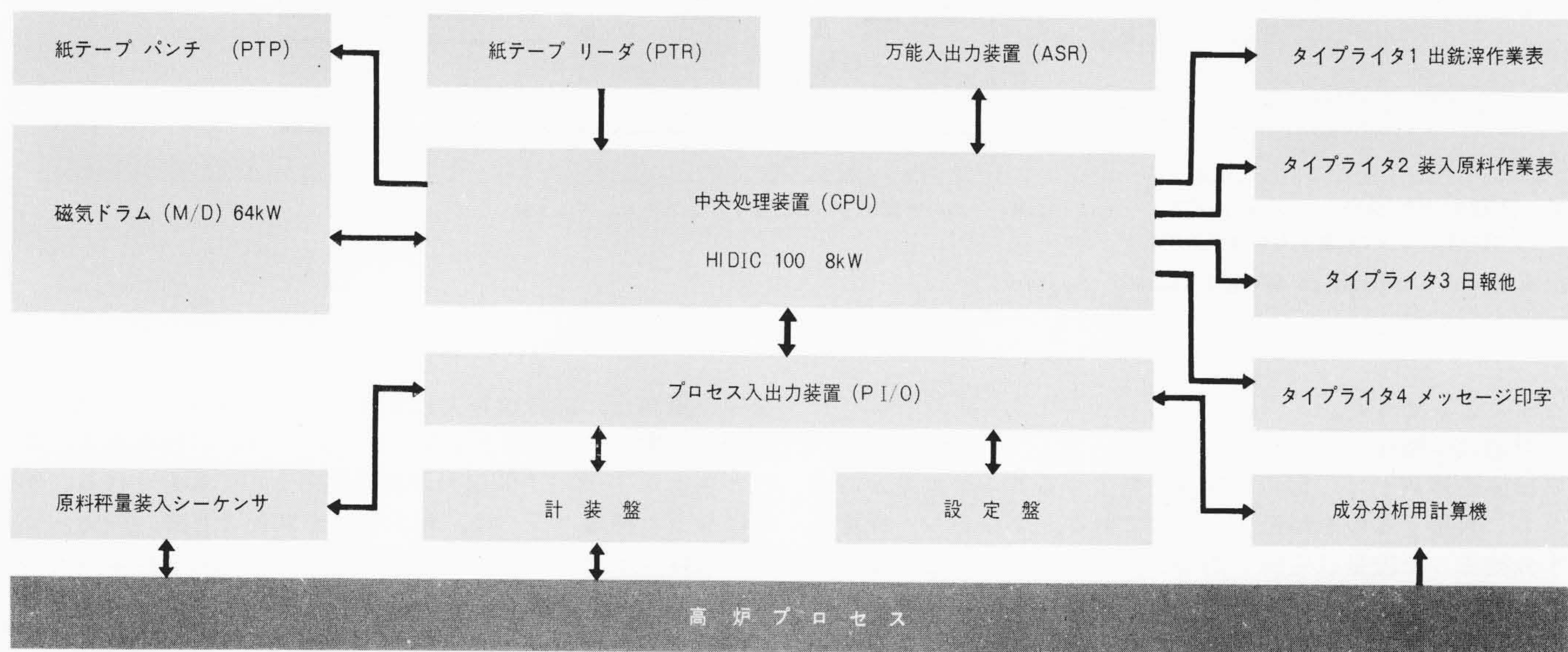


図2 計算機システムの構成 シーケンサおよびミニコンピュータを使用して機能の一部を分担させている。

Fig. 2 System Structure of the Computer System

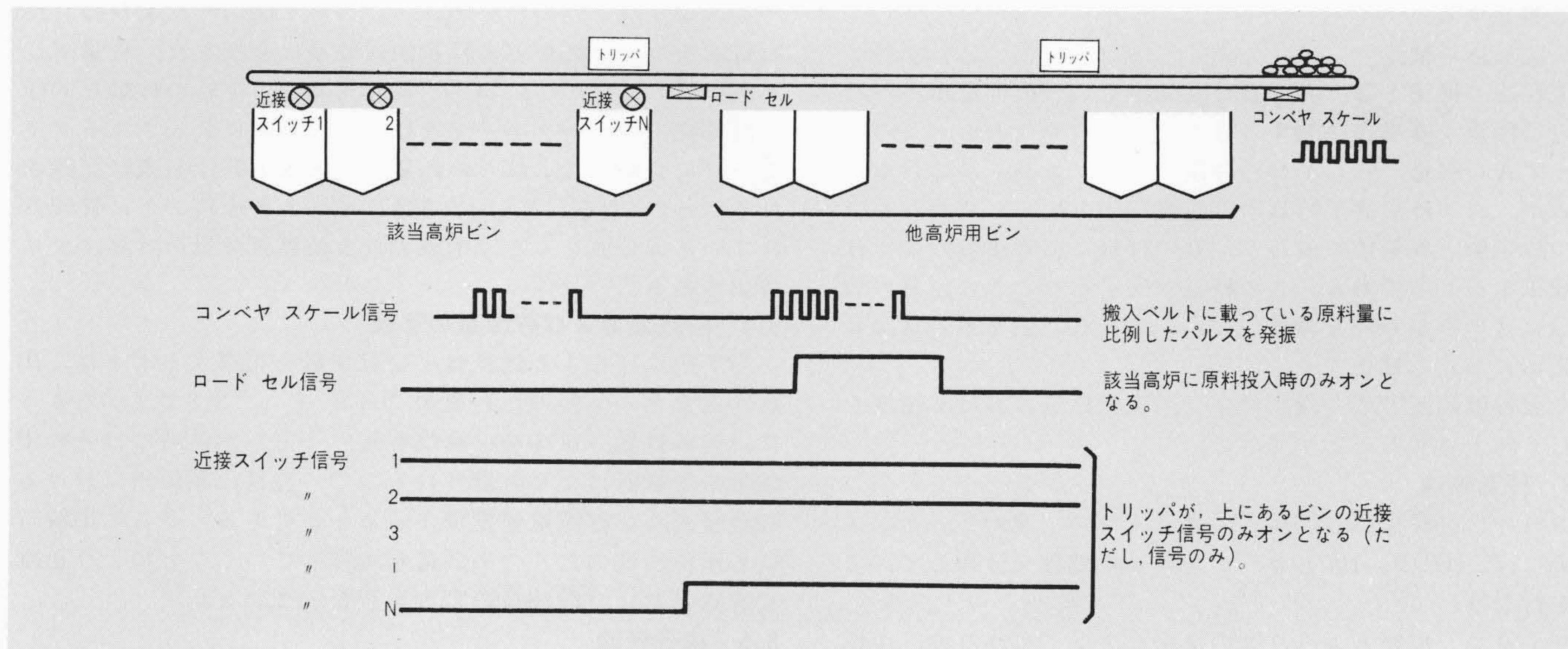


図3 ビン投入のシステム構成とタイムチャート 入荷管理を行なうための秤量システムである。

Fig. 3 Weight Control System of Raw Materials and Time Chart

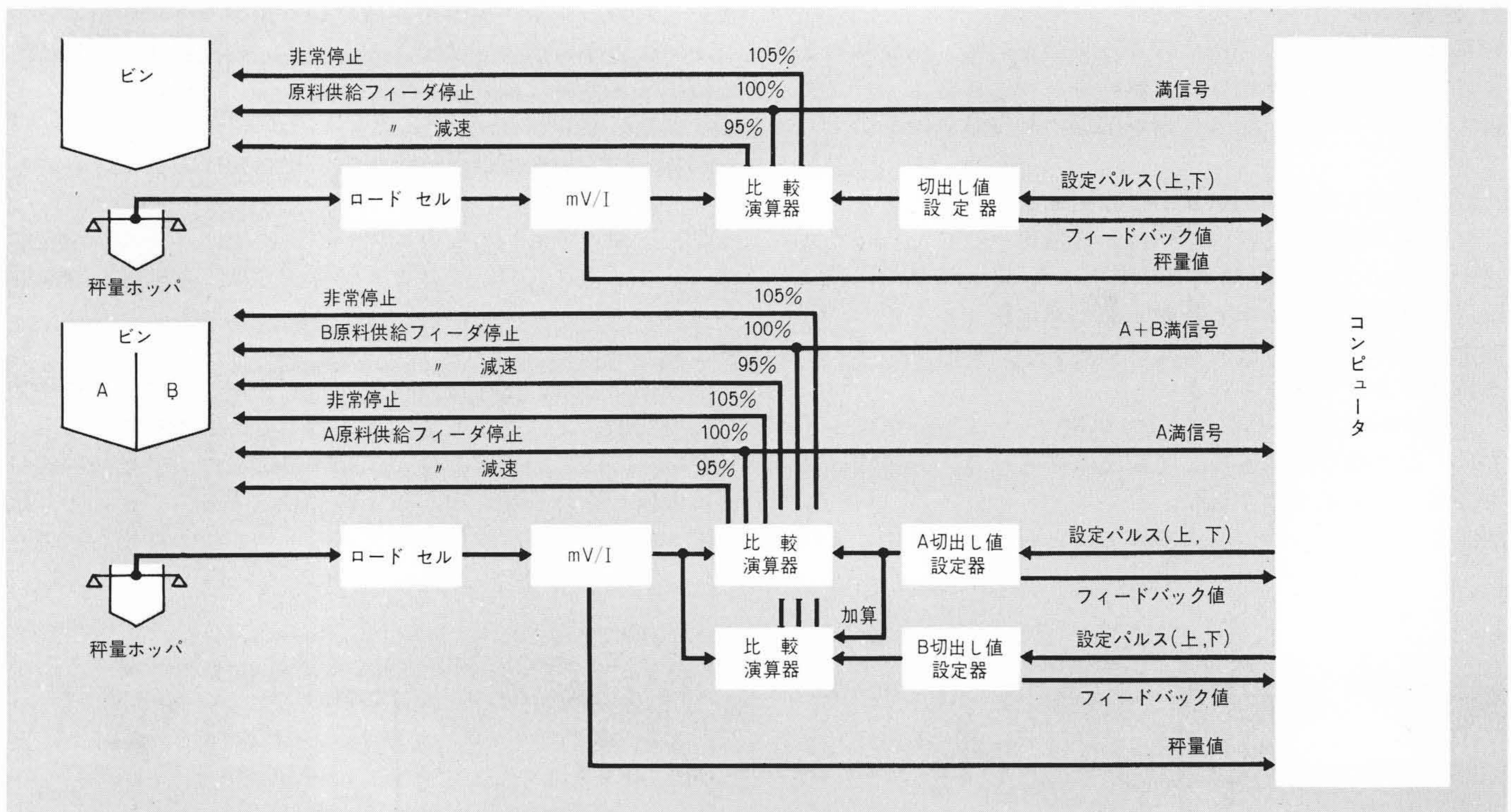


図4 秤量制御システム ブロック図 上は1銘柄を一つの秤量ホッパで計量するシステム、下は2銘柄を一つの秤量ホッパで計量するシステムである。

Fig. 4 Block Diagram of Weight Control System

行なうことができた。

(3) 累積偏差補正

累積偏差補正とは、毎回の秤量で発生する若干の偏差が時とともに累積するのを補正するものである。すなわち、秤量に水分補正した湿量設定値に基づき秤量を行なっても、フィーダ、排出ゲートなど使用機器の動作精度により設定値と秤量値に偏差を生じ、それが累積されると設定装入量とかなり違ってくる。そこで秤量ごとに設定値と秤量値の偏差を積算し、その積算値が一定値を越えると現在の設定値に累積偏差補正限界分だけ加算(または減算)した値を切出し設定器に設定し補正する。

(4) 流れ込み補正

流れ込み補正とは、A、Bの2銘柄を一つの秤量ホッパにおいて秤量する場合に関するものである。すなわち、この場合まずAの秤量、そしてBの秤量とシーケンシャルに行なわれるが、Aの秤量終了時Bの秤量設定値を補正しておかねばAの設定値と秤量値の偏差が、Bの秤量に影響するのでそれを補正するものである。Aの秤量が完了したときに、Bの設定値にAの秤量誤差を減算(または加算)した値をBの切出し設定器に設定し補正する。

上記各種補正方式の採用により、自動秤量における精度を著しく向上させることができた。

3.3 秤量処理

原料の自動秤量から高炉への装入までの一連のシーケンス制御には、HIDIC 100とシーケンサとが処理を分担して、これを行なう。

秤量系は、原料とコークスの2系に大きく分かれる。主原料、副原料は3.2で述べたように各銘柄ごとに秤量ホッパにて秤量され、設定値になると満信号が計算機に割込信号として受け付けられ、そのときの秤量値が読み込まれる。計算完に

なった原料は、鉱石類を入れるサージホッパがからになりしだい順次排出ゲート開となり、サージホッパに送られる。このときホッパゲート開信号が割込信号として入力される。からになった秤量ホッパは、順次秤量を開始される。一方、コークスはコークス秤量ホッパで秤量され、満信号によりその秤量値は読み込まれる。高炉に鉱石を装入する空間ができると、コークス秤量ホッパおよびサージホッパの排出ゲートは、シーケンシャルに開かれ高炉に送られる。からになると排出ゲートを閉じコークスの秤量および鉱石秤量ホッパよりサージホッパへの移動が始まる。

このような一連のシーケンスにおいて満信号により得られた鉱石やコークスなどの秤量値は乾量に変換され、秤量ホッパ開信号およびサージホッパ開信号により原料の移動と同様に計算機内のデータエリアを移動し、高炉に装入されるタイミングに合わせてこれらの秤量値は装入原料作業表に記録されるデータとなる。さらに、3.5に述べる各原料ごとに管理されている成分値をもとに生成できる銑鉄鉱滓量が計算により算出される。

3.4 貯銑量および貯滓量の管理

高炉内に存在する銑鉄および鉱滓量を把握することは、出銑作業などの準備のため重要である。そこで3.3で述べたように、生成銑鉄、鉱滓量は算出され、一方、出銑時にはその出銑量を計量計により計量されるので、容易に高炉内における貯銑量および貯滓量を把握することができる。さらに出銑時にも単位時間あたりの出銑量を減算していくなどにより正確な貯銑量および貯滓量の管理を行なっている。

3.5 成分管理

各原料・銑鉄などの成分組成を把握することは、

- (1) 高炉への装入物の均一化
- (2) 生成銑鉄、鉱滓量計算

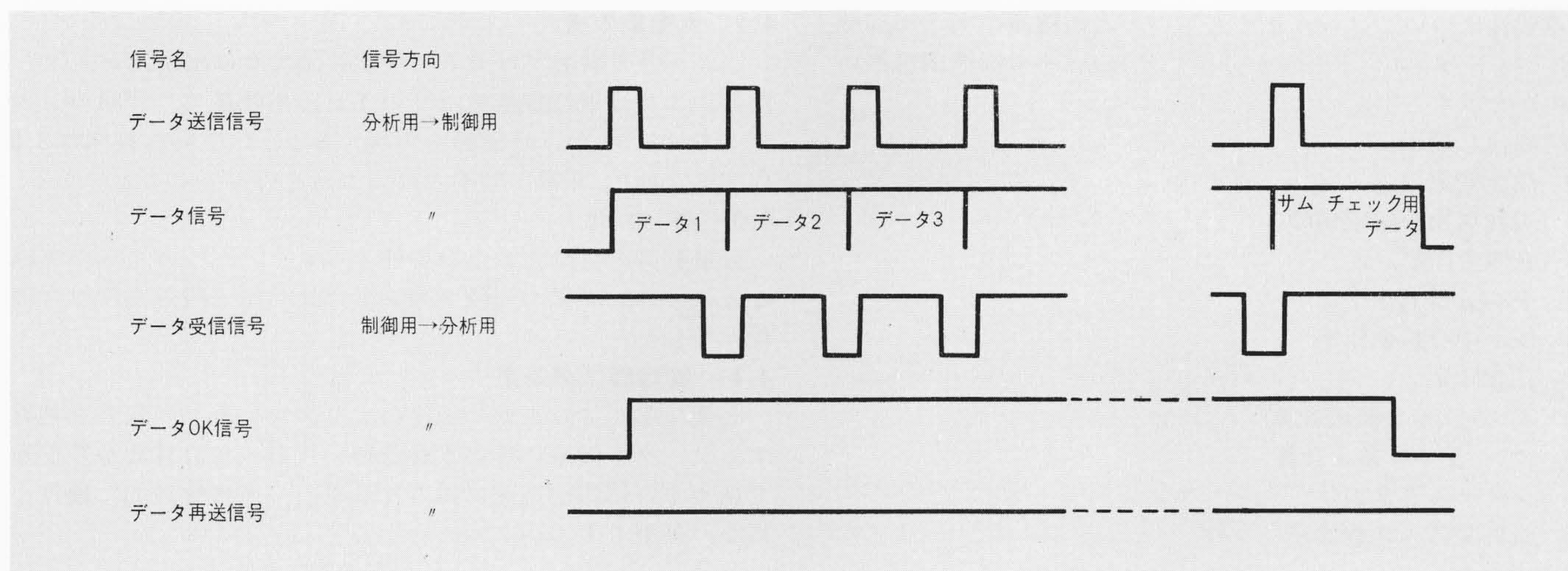


図5 成分分析用計算機と制御用計算機とのリンケージおよびタイムチャート データ送信信号、データ受信信号、データOK信号およびデータ再送信信号を割込みとし、データ信号をレベル信号とする。

Fig. 5 Time Chart and Linkage between Chemical Composition Analyzer and Process Computer

(3) 切出し設定値変更時の副原料切出し値の計算

(4) オペレーション ガイド用計算

(5) 銑鉄、鉍滓の品質管理

などを行なうために必要であり、今回のシステムにおいても重要なテーマとされている。これらすべての成分は、成分分析用計算機よりHIDIC 100に送られる。図5はそのリンケージおよびタイムチャートを示すものである。成分分析用計算機より送られたデータは、銘柄別に過去いくつかのバッチ分についてのデータをバンキング データとして管理され、その最新の成分データが、瞬時値または平均値として処理され各種上記演算に使用される。

3.6 データ ロギング

炉内状態のプロセス解析などまだまだ不明な点も少なくなくデータの収集は炉況の状態を把握し、かつ将来の解析用データとして使用するために必要となる。また高炉プロセスにおいては原料装入、出銑滓など特殊なロギングも必要であり、今回のシステムでも次のような作表を行なっている。

(1) 日 報

出銑量、燃料比などの高炉成績関係データ、送風量、送風圧力などの高炉操業関係のデータ、出銑滓量、出銑滓成分などの炉前作業関係のデータ、さらに高炉への装入物の切出変更など高炉を管理するうえに必要な広範囲のデータをまとめて印字記録する。

(2) 装入原料作業表

高炉への鉍石、コークスの装入実績を記録するもので、装入ごとに装入時刻、装入回数、鉍石、コークスの実秤量(乾量)、コークス水分値などを印字する。なお切出し設定値、水分値が設定変更されたときに、その変更内容を印字する。

(3) 出銑出滓作業表

出銑出滓状態を記録するもので出銑ごとに銑番号、出銑開始、同終了時刻、出銑量、出滓量、銑鉄成分、鉍滓成分などを印字記録する。また鉍滓の塩基度、複合塩基度を鉍滓成分により求め印字記録する。

(4) 記録計への記録

高炉操業上、特に必要と思われる羽口前理論燃焼温度、羽口風速、CO炉頂ガス利用率などのデータを計算により求め記録計に連続記録する。

(5) 設定盤のリクエストによる記録

設定盤からの操作により、各ビンについてビン名称、格納銘柄、在庫量について印字記録する在庫量印字、ビン名称、格納銘柄、切出し量(乾量)、水分値を印字記録する切出し値印字、ビン名称、格納銘柄、成分ごとのデータを印字記録する使用分析値印字および成分バンキング データより銘柄別に成分データ平均値を印字記録する平均分析値印字などがある。

3.7 オペレーション ガイド

従来机上にて計算していた装入計算などを、設定盤からの操作により容易に行なうなど次のような処理を行なっている。

(1) オフライン装入計算

設定盤より銘柄および切出し値を設定した後、リクエストにより設定された銘柄から成分バンキング データの平均値を使用して装入計算を行ない、そのときの銑鉄および鉍滓など必要データを印字記録する。その他オンライン装入計算、セミオンライン装入計算などがある。

(2) 在庫切れ警告

原料の在庫量が残り数バッチ分になったときに原料の補充を警告する。

(3) 出銑警告

貯銑量が上限値を越えたときに、出銑を行なうことを警告する。

(4) 入力監視

各アナログ入力について上下限チェックを行ない、その範囲を越えたとき警告する。

3.8 チェック機能

制御を目的としているため安全性と信頼性、特に誤操作防止と耐ノイズ性に注意している。特にシーケンサとの信号の授受において割込信号が多く、ノイズなどの影響で計算機処理の誤操作も心配された。このための対策として信号のタイミングをチェックし、正常な信号と判断したときのみ処理を行なうような判断機能を具備させ信頼性の向上を期した。また成分分析用計算機との情報の授受についてもサム チェックを行なうとともに、各成分について上下限值チェックを行なうなどデータの信頼性の向上を期している。

3.9 マン マシン コミュニケーション

オンライン制御におけるマン マシン コミュニケーション

の重要性についてはいうまでもない。この機能の大きな部分をオペレータ コンソールが分担しており、その機能項目のいくつかを示すと下記のようになる。

- (1) 呼出し表示
- (2) 設定変更
- (3) 現在切出し設定値印字
- (4) 在庫量印字
- (5) 平均分析値印字
- (6) 使用中分析値印字
- (7) 日報印字
- (8) オフライン装入計算
- (9) オンライン装入計算
- (10) システム異常表示
- (11) 原料関係の状態表示ランプ
- (12) 時刻表示

このほか印字記録、トレンド記録計への記録機能などにより現状のプロセス状態が把握できるなど、オペレータにとりきわめて使いやすいシステムになっている。

4 計算機制御による効果

すでに述べたような計算機システムの機能により実現できた計算機制御システムの効果について以下に述べる。

4.1 燃料の低減

高炉プロセスの性能の評価尺度の一つに燃料比がある。これは単位出銑量あたり消費したコークス量+重油量のことで小さいほどよく今回のシステムでは、437kg/t という驚異的な世界記録を樹立することができた。なお新日本製鐵株式会社では昭和48年1月にも438.9kg/t の記録を作ったが、今回これを更新したものである。

4.2 生産量の増大

他の一つの高炉プロセスの性能評価尺度に出銑比があげられる。これは単位容積あたりの1日の出銑量で、今回のシステムでは2.5という好記録を実現することができた。従来は2.0程度⁽²⁾であり、非常に効率の良い生産を行なったことになる。

4.3 省力化

秤量制御の自動化および各種オペレーションガイドの実施などにより、従来の同種プラントに比べて一段と高度な合理化ができた。

4.4 管理面での効果

必要に応じて設定盤の操作により、プロセスの状態を把握するデータを従来の手書き日誌類に代わって計算機から正確で見やすい情報が迅速に得られるなど、直接金銭的に換算し得ない効果も大きい。

5 結 言

新日本製鐵株式会社八幡製鐵所八幡工場で実施した高炉プロセスの計算制御システムについて述べた。本システムの完成により高炉プロセスにおける秤量制御ならびに原料の在庫管理、成分管理など幅広い制御システムを完成したが、さらに炉況制御、熱風炉制御など一連の制御を包含して、より完全なトータルシステムを実現していくことが、今後の課題と考えている。

参考文献

- (1) 野坂康雄：「コンピュータサイエンスシリーズ」 鉄鋼業のコンピュータ・コントロールp.61～78 1970産業図書株式会社
- (2) 日本鉄鋼連盟：「鉄鋼統計要覧」

日立評論 Vol. 55 No. 9 目次

■ 論文

- タービン排気室の特性と解明
- 火力発電所総合自動化シミュレータ
- 関西電力株式会社納め自動給電システム
- 400形および500形臨床用自動分析装置
- 毒性検査システム
- 脳波自動解析装置
- 吊上げ運搬装置の最近の応用例
- ボロン鋳鋼によるトラックシェーの強靱化
- 銅被アルミニウムブスバーの諸性能

■ 医療システム特集

- 医療におけるコンピュータ利用の展望
- 病院医療情報システムの開発
- 臨床検査室自動化システム
- 医療における波形および画像処理手法
- 患者監視システムの開発

日立 Vol. 35 No. 8 目次

- グラフ 砂丘の中の“こどもの国”
- 解説☆これからのエネルギーと発電方式
- ☆普及し始めた医療食
- ルポ ☆県民を災害から守る“青森県の防災行政無線システム”
- ☆振子式電車が登場
- 美術館めぐり 長崎市立博物館

- インタビュー 生物が凍るとのこと 朝比奈英三氏
- 家電コーナー “あとかたづけの簡単な2年目まる形” ジュースー・ミキサー
- 今月の豆知識 ☆体感温度 ☆ppm
- 新製品紹介 カラーテレビ、浄水器、ハンディポンプ、ファンコイルユニット
- 海外だより 紳士の国“英国”

発行所 日立評論社 東京都千代田区丸の内一丁目5番1号 郵便番号 100
取次店 株式会社 オーム社書店 東京都千代田区神田錦町3丁目1番地 郵便番号 101 振替口座 東京 20018番