

# セメント工場の計算機制御システム

## Multiple Unit Control Equipment for Cement Plant

セメントプラントにおいては、従来より総括制御装置の導入が活発であり、日立製作所においても多くの装置を各セメント会社に納入してきた。今回、大阪セメント株式会社高知工場に納入した総括制御装置は、セメント生産能力4,800t/dの能力をもつセメントプラントの制御に日立製作所の制御用電子計算機HIDIC 500システムを全面的に採用した。これにより、系統制御、原料制御のほかに原料切出し、ミルの制御などに直接計数制御あるいはセットポイントコントロールを適用して省力化、品質の向上と生産性の向上を図った。また、データ監視と記録についても機能向上を図り管理面での効果を挙げている。

吉井一夫\* Kazuo Yoshii  
 藤田惟之\*\* Tadayuki Fujita  
 中沢誠\*\* Makoto Nakazawa  
 五十嵐治男\*\*\* Haruo Igarashi  
 小野賢司\*\*\* Kenji Ono

### 1 緒言

セメントプラントにおける全工程は、原料の受入れから始まり、原料貯蔵庫への分配貯蔵、原料の配合、キルンでのクリンカー製造、クリンカーの輸送と貯蔵、クリンカーと石膏によるセメント仕上げ部門を経て製品の貯蔵と出荷に至るまで大規模なものである。そのうえ、生産性の向上を図るために年々プラントの大形化が進められている。今回、大阪セメント株式会社高知工場に納入した計算機制御システムは、セメント生産能力4,800t/dの能力をもつセメントプラント全プロセスの運転制御、及び集中管理に電子計算機を全面的に導入して、運転の省力化及び品質・生産性の向上を図るとともにプラントの安全運転を行なうことを主な目的として製作、納入したものである。本システムは、昭和49年初めより全面的に営業運転に入っている。本稿では、本システムについてその概要を述べる。

### 2 システムの概要

#### 2.1 セメント製造プロセス

現在、一般にセメントと呼ばれているものは、ポルトランドセメントのことで、その化学成分<sup>(1)</sup>として、石灰(CaO66~62%)、シリカ(SiO<sub>2</sub>23~19%)、アルミナ(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>8~5%)、酸化鉄(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>4~2%)、酸化イオウ(SO<sub>3</sub>2.5~1%)、その他(6~2%)が含まれている。今回のセメント製造プラントでは、原料として、石灰石(主としてCaCO<sub>3</sub>)、粘土及び軟ケイ石(主としてSiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、銅からみ(主としてFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)を使用し、これらを上記の成分になるように適当な割合で調合し、微粉碎し、焼成冷却したクリンカーを作り、このクリンカーに石膏(CaSO<sub>4</sub>)を調合し、微粉碎したものをセメントとして出荷している。工業的に得られる原料は、いずれも不純物が含まれている。

例えば、石灰石にも多少の粘土分を含むものがある。同様のことは他の原料についても言え、原料の調合については常に一定の成分の調合原料を得るため、オンライン分析計を用いている。

この適当な割合に調合された原料を微粉碎するため、粉碎機(Mill)に入れられ、微粉碎されたものはセパレータ(Separator)に投入され、後述のロータリーキルン(Rotary Kiln)の排ガスと熱交換される。この予熱器には、予備燃焼炉が取

り付けられ、石灰石の脱炭率を向上させ、生産量を増大させている。予熱器からロータリーキルンに送られ、徐々に加熱され、焼成帯では1,450°C程度に達する。その後、冷却器(Cooler)を通して70°C以下に冷却されたものがクリンカー(Clinker)と呼ばれている。このキルンは単に温度を上げるためだけの熱交換機ではなく、連続式高温固体反応機とも称すべきものである。調合原料の成分、不純物の微量成分、また原料(特に粘土、軟ケイ石)の鉱物的来歴、原料粉末の細度及び均一度、焼成条件、冷却条件などの複雑な条件下で固体反応が行なわれ、クリンカー鉱物中の結晶相、ガラス相の生成に影響を及ぼすと言われている<sup>(2)</sup>。図1にセメント製造プラントの概要を示す。

#### 2.2 プラントの系統分類

大規模なプラントの制御装置をまとめる場合には、装置を作りやすくするだけでなく、保守にも容易な方式を採用することが必要である。そのためには、大規模なプラントをある系統ごとに分割して系統単位ごとに装置をまとめることが有効である。本装置においては、物の流れ、すなわち製造工程の順序に従い次のようにaからmまでの系統に分割し、各系統をベースとしたシステムの制御を行なった。図1に分類の概略を示す。

- Ⓐ系統 石灰石受入れ系統
- Ⓑ系統 粘土、ケイ石受入れ系統
- Ⓒ系統 原料粉碎系統
- Ⓓ系統 原料ブレンディング系統
- Ⓕ系統 送窯系統
- Ⓖ系統 焼成系統
- Ⓗ系統 セメント粉碎系統
- Ⓙ系統 クリンカー船積み系統
- ⓰系統 セメント船積み系統
- Ⓚ系統 旧クリンカー輸送系統
- Ⓛ系統 雑原料受入れ系統

#### 2.3 システムの構成

図2及び図3は、本制御システムの構成を示したものである。中央制御室の操作卓(オペレータズコンソール)を操作することにより、各電気室(ロードセンタ)の変換器盤、リレー盤を経由してプラントの運転を行ない、且つその運転状態を

\* 大阪セメント株式会社企画部施設課 課長 \*\* 日立製作所大阪営業所 \*\*\* 日立製作所大みか工場

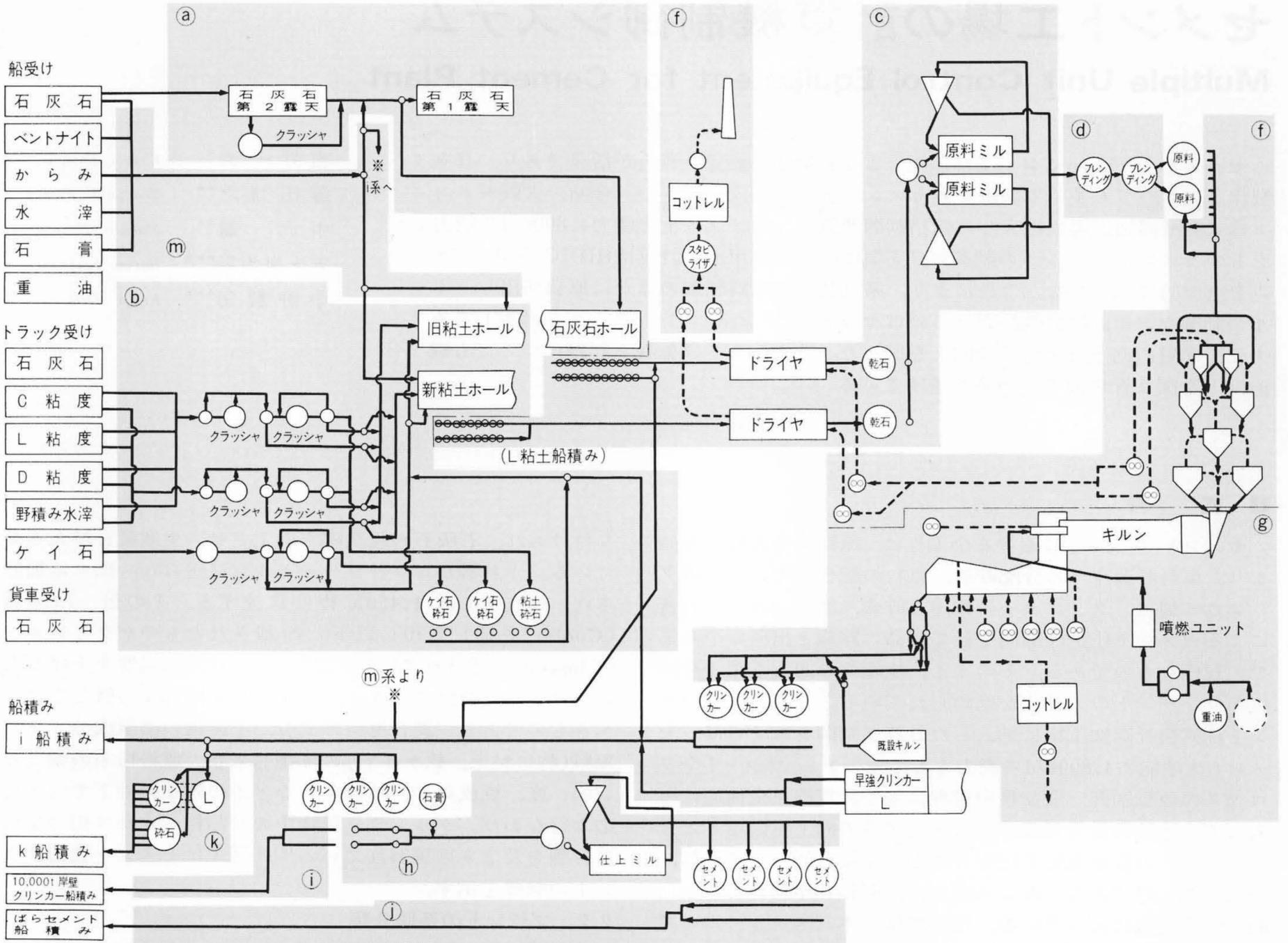


図1 セメント製造プラントの概要 セメント製造プラントの概要を示しており、a-mは各系統の系統名を示す。

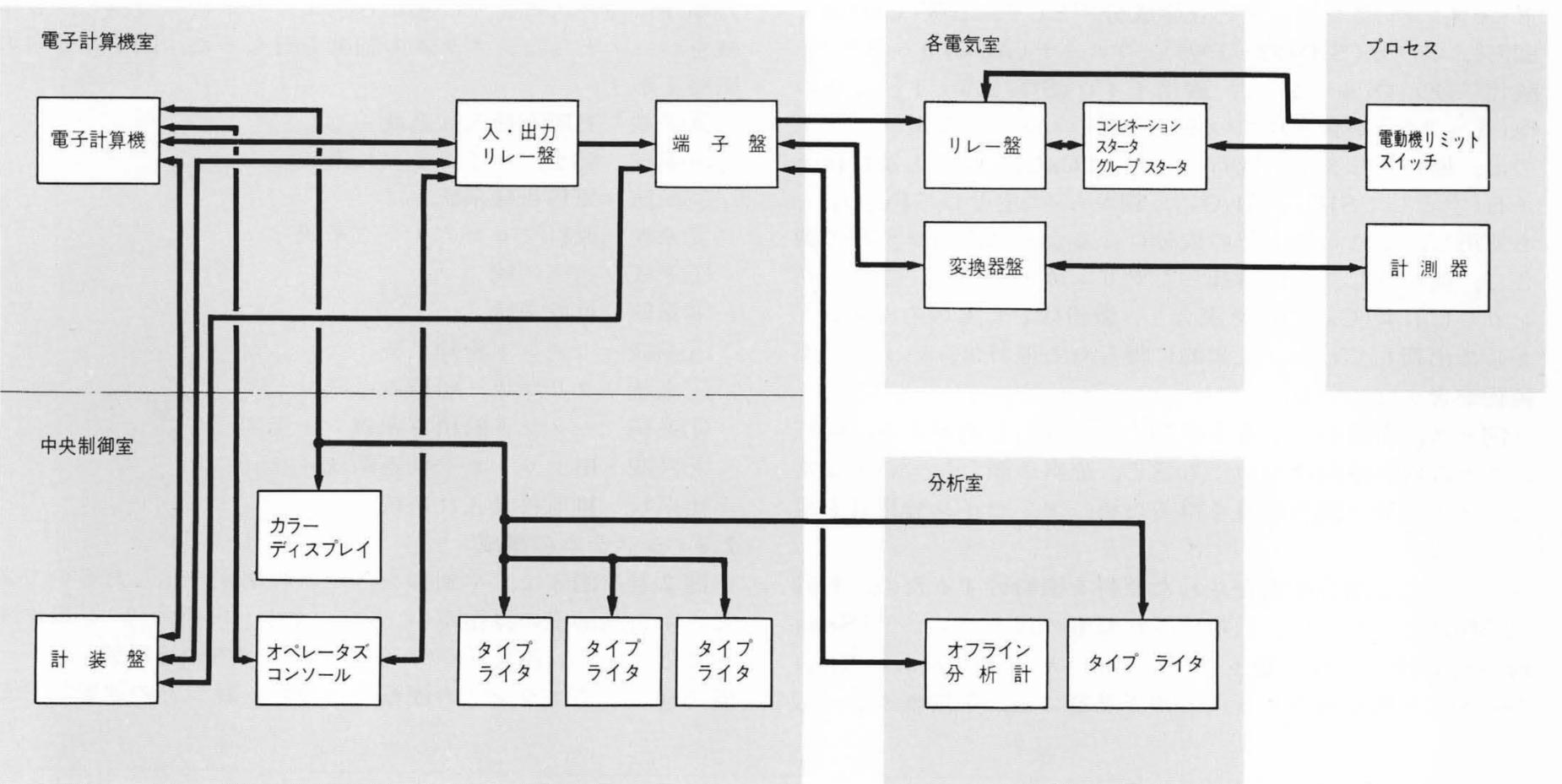
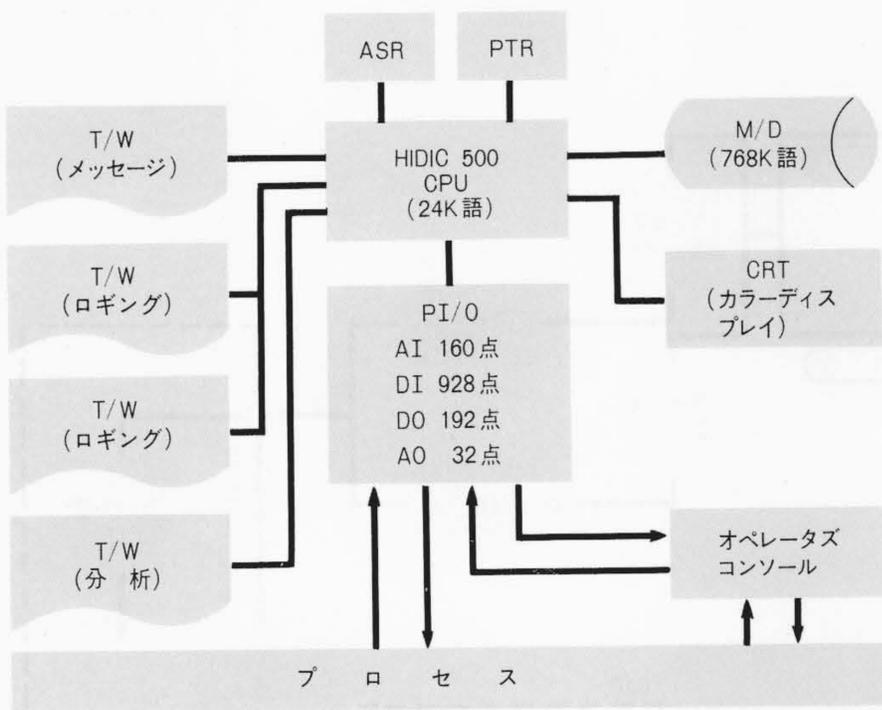


図2 システムの構成 中央制御室を中心とした各電気室間の相互関係を示す。



注：CPU=中央処理装置 M/D=磁気ドラム記憶装置  
 CRT=ブラウン管ディスプレイ AI=アナログ入力  
 T/W=タイプライタ DI=デジタル入力  
 PI/O=プロセス入・出力装置 DO=デジタル出力  
 ASR=万能入・出力装置 AO=アナログ出力  
 PTR=光電式紙テープ読取装置

図3 電子計算機システム構成 電子計算機システムの規模が分かる。

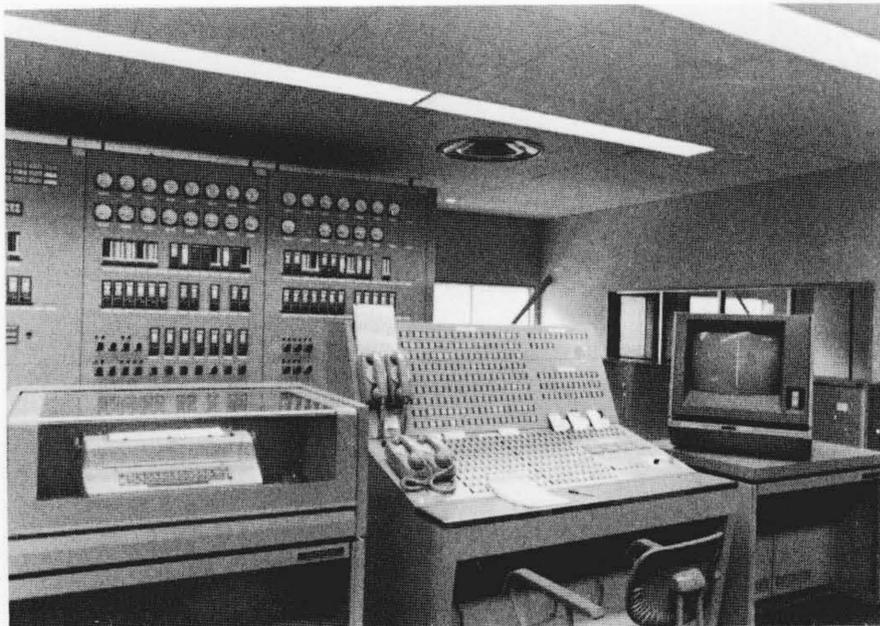


図4 中央制御室の概観 右よりカラーディスプレイ、オペレータズコンソール、タイプライタを設置し、完全にワンマンコントロールを可能とした。

変換器盤、リレー盤を通し、常に監視・チェックを自動的に行なっており、完全にワンマンコントロールを可能とした。図4に中央制御室の外観を示す。

### 3 計算機システムの機能

#### 3.1 データ監視と記録

セメントプロセスは原料の輸送系統のように機器の起動、停止を頻繁に行なうことが多い。従って、データの監視、あるいは記録についても連続的に行なうわけにはゆかず、プロセスの運転状況に合わせたデータ処理が必要となる。特にベルトコンベヤモータの負荷を監視するような場合は、起動時にかなり負荷が大きくなるため、単純な上・下限チェックを行なうことはできず、特殊な処理を行なうことが必要である。本システムにおける監視項目の幾つかを次に示す。

- (1) 上・下限チェック
- (2) 偏差チェック

- (3) 変化率上昇・下降チェック
- (4) 急変チェック
- (5) 時間遅れチェック
- (6) その他

上記の項目の監視は常時行なう場合と運転状況に合わせて行なう場合の二つのケースがあり、各データにより区別を行なった。

また、レポートの種類を次に示す。

- (1) 時報
- (2) 日報
- (3) 製造日誌
- (4) オンライン分析結果印字
- (5) オフライン分析結果印字

#### 3.2 系統制御

本装置における系統制御の方式について見てみると、従来の装置においてはセメントプラントの輸送系路、すなわち運転インターロックは本プラント内の関係だけでなく、既設プラントとの取合いもあるため複雑多岐にわたり、また将来増設時の仕様変更を考えた場合、その作業に要する労費のみならずそれを行なうためにプラントを長期間運転休止させねばならぬという不都合がある。これに対し、本装置においてはブロック運転方式、すなわち輸送系統中、単に順序運転を行なうだけの電動機群を1ブロックとし、そのブロック内の制御は従来のリレーシーケンスにて行ない、そのブロック間の複雑なインターロックは電子計算機が行なっている。本装置のブロック数は約150個である。この結果、運転系統の変更や将来の増設に対しても、一部のプログラムの変更により対処できるため極めて融通性のある方式となっている。次に系統制御の操作上から見てみると、このように大規模な装置を操作するには相当に熟練したオペレータが多く、指示計、表示計類を熟視しつつ操作し、それでも誤操作の危険はなくなる状態である。本装置においては、オペレータは輸送物をどこからどこまで運ぶかを輸送の始点と終点のブロックNo.をオペレータズコンソールから指示するだけで、自動的に運転できるようにして誤操作の防止に努め、また誤操作に対するチェックも自動的に行なわれるようにした。運転状況はCathode Ray Tube (以下、CRTと略す)により一目で判明でき、運転中はリレーシーケンス内での保護はもとより、計装及び間接測定計算から判断した保護も行なっている。

#### 3.3 原料調合制御

セメントの品質を決定する重要な要因のひとつに、原料の調合比率をあげることができる。本システムでは、調合原料のCaO成分をオンライン連続分析計で測定し、CaO成分から原料中の石灰石、及び粘土類の送量を制御すると同時に、CaO成分から他の成分を予測し、粘土類の中の粘土、ケイ石、からみの送量を算出、制御する方式を採用しセメント品質の安定、向上を図ることができた。図5に原料調合制御ブロック図を示す。原料粉砕機から送られた調合原料を、サンプリング装置により連続的に採取し、オンライン分析計によりCaO成分を算出する。CaO成分はHIDIC 500電子計算機システムで目標値と比較され、目標値との偏差から石灰石比率を算出し、石灰石比率と石灰石、粘土類の合計設定量から石灰石及び粘土類の設定送量を算出した。

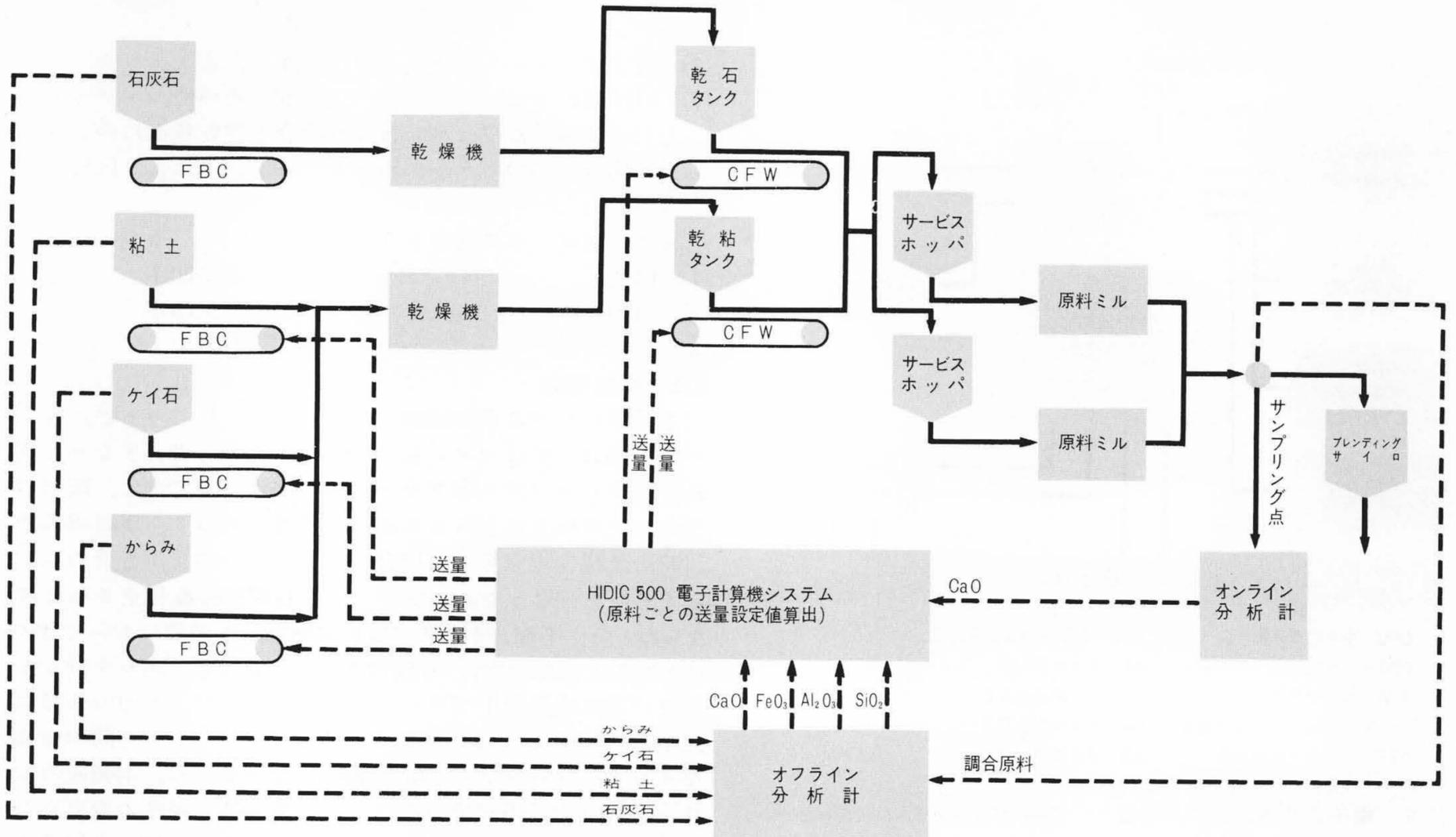
原料調合制御は、CaO成分の目標値に対して各原料の送量を制御しているが、最終的にはHM(水硬率)、SM(ケイ酸率)、IM(鉄率)と呼ばれる定数値が管理目標であり、CaO成分の目標値C<sub>0</sub>は、次式によりHMより算出される。

$$C_0 = HM \times (S + A + F) \dots\dots\dots(1)$$

ここに、HM：水硬率

S：調合原料中のSiO<sub>2</sub>成分

A：調合原料中のAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>成分



注：FBC=フィード ベルト コンベヤ CFW=コンスタント フィード ウェア

図5 原料調合制御ブロック図 本方式によりセメント品質の安定, 向上を図ることができた。

**F：調合原料中のFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>成分**

上記調合制御方式によりセメント各原料の送量を制御し、CaO成分についてはHMを一定に保つことができ、品質の向上に大きな効果を挙げることができた。

また、CaO成分の目標値との偏差から石灰石中の他成分を予測し、粘土類中の粘土、ケイ石、からみの各原料の送量を算出した。以上のように、本システムではCaO成分の目標値と測定値の偏差に対して、粘土類の各原料（粘土、ケイ石、からみ）の成分変動はないと仮定し、石灰石中の成分のみを算出することにより各原料の送量を制御する方式をとったが、更に調合精度を向上させる目的から、各原料中の成分(CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>)をバッチ的に分析し、石灰石以外の各原料の成分を算出し、調合精度を向上させた。

**3.4 直接計数制御(DDC)及びセットポイントコントロール(SPC)**

セメントプロセスにおける制御項目としては、従来、原料調合制御に最も重点をおいて考えられてきたが、本システムでは他に原料の切出し制御、粉砕機(ミル)の制御などにDDC、あるいはSPCを適用することにより、セメント品質の向上、設備の効率化、省力化などの点で極めて大きな効果を挙げることができた。本システムにおける制御ループを次に列挙する。

- (1) 粘土切出し制御
- (2) 石灰石切出し制御
- (3) ケイ石切出し制御
- (4) からみ切出し制御
- (5) 原料乾燥機フィード量制御
- (6) 原料乾燥機注水時間制御
- (7) 原料粉砕機(ミル)フィード量制御

- (8) クリンカー、石膏配合比制御
- (9) 石灰石、粘土配合比制御
- (10) 原料粉砕機(ミル)サービスホッパレベル制御
- (11) 船積み輸送量制御
- (12) 助燃炉重油流量制御
- (13) キルン重油流量制御
- (14) キルンフィード量制御
- (15) セメントミルフィード量制御

次にDDCの一例を図6をもとに説明する。

石灰石の切出し系統はホッパから石灰石を投入し、フィードベルトコンベヤ、ベルトコンベヤを通して送られる。この制御ループにおける目標値は、フィード量であり、ベルトコンベヤの重量からフィード量を算出し、目標値になるようにフィードベルトコンベヤの速度を制御する方式を採った。数式モデルとしては、次式により制御量を算出した。

$$(\text{rpm})_n = \frac{(\text{rpm})_{n-1}}{(\text{Wcob})_n} \{ \text{Wcsp} - (\text{Wcob})_n \} + (\text{rpm})_{n-1} [\text{rpm}] \dots \dots \dots (2)$$

ここに、(rpm)<sub>n</sub>：フィードベルトコンベヤの(n)回目の回転数  
 (rpm)<sub>n-1</sub>：フィードベルトコンベヤの(n-1)回目の回転数  
 (Wcob)<sub>n</sub>：フィード量の(n)回目の測定値  
 Wcsp：フィード量の設定値

また、本制御ループの特徴としては、石灰石の切出しが連続的に行なわれないため、石灰石の切出しに合わせて制御ループのオン、オフあるいはモードの切換えを自動的に行なっていることであり、このような制御方式により、高度な自動化、正確なフィード量制御、設備の効率運用などに大きな効

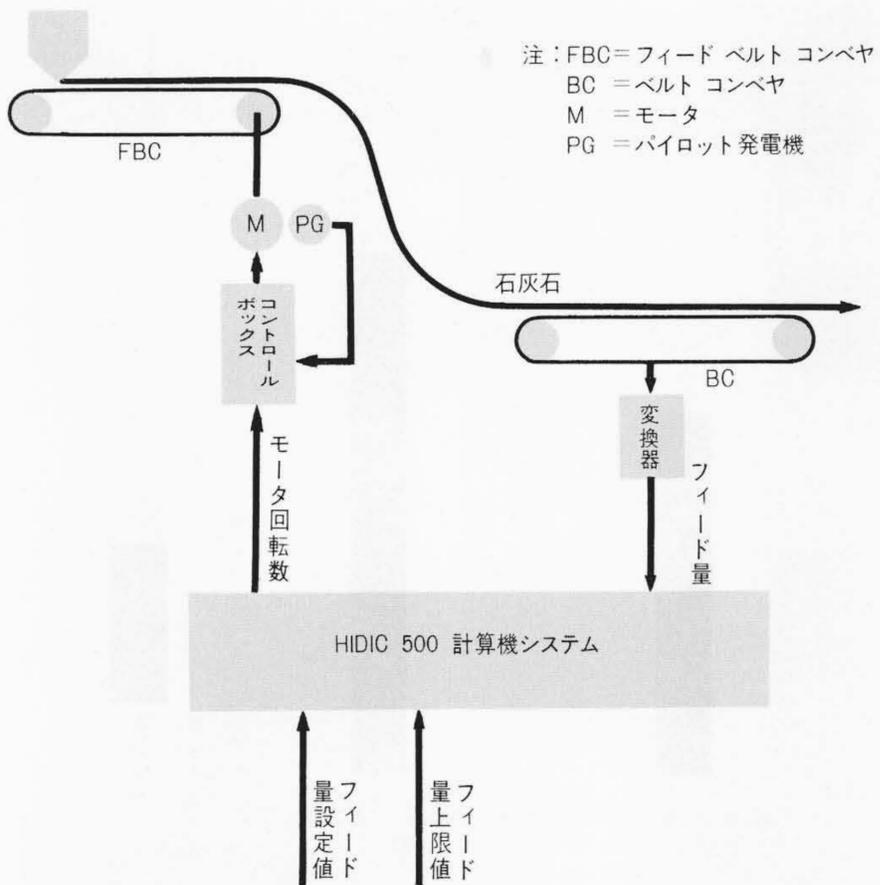


図6 石灰石切出し制御ループ図 ベルトコンベヤの重量からフィード量を算出し、目標値になるようにフィードベルトコンベヤの速度を制御する。

果を挙げることができた。

### 3.5 キルン制御とデータ収集

セメントキルンはその長いむだ時間と大きな外乱の存在のため、非常に制御しにくいプロセスとされていたが、新しいタイプのキルン(助燃設備をもったサスペンションプレヒータキルン)では、従来のキルンと比べて次の点から著しく制御しやすいものとなっている。

- (1) むだ時間/容量が小となってきている(キルンの大径化、高速回転)。
- (2) 助燃設備によって脱炭酸ガス反応が非常に安定することにより外乱が減少している。
- (3) キルン本体における熱負荷の減少で、燃料供給率の調節による焼成帯温度の応答を非常に良好なものとしている。

本システムでは、キルンの速度に同期して動くデータ処理と制御ループの構成により新タイプのキルン(ネオSPキルン)を制御することを考えており、これらの制御ループの一部は既に稼動しているが、他については将来順次追加していく予定であり、そのための基礎となるデータの収集を行なっている。また、本システムにはこれらの収集したデータについて統計的手法によりプロセス解析を行なうための多変量解析プログラムを有しており、これによって制御パラメータの調整、プロセス解析、工程解析などを行なうことが可能であり、将来の制御方式の開発を極めて容易にした。

### 3.6 異常検出方式

一般にプロセスの異常を発見したらできるだけ速く適切な処置をとることが必要であり、本システムにおいても例外ではない。特に省力化、生産量の増大などを目的とするシステムにおいて電子計算機の果たす役割は極めて重要である。以下に本システムにおける異常検出方式の幾つかを述べる。

#### (1) 起動条件チェック

システム起動を行なう際、そのシステムに含まれるブロックが正常であり起動可能かどうかをチェックする。

#### (2) 渋滞チェック

起動指令、あるいは停止指令に対して一定時間以内に動作が完了したかどうかをチェックする。

#### (3) 重故障チェック

起動中のブロックがなんらかの重故障を起こしていないかどうかをチェックする。もし重故障が発生した場合は、即座に関連するブロックの緊急停止を行なう。

#### (4) 軽故障チェック

起動中のブロックがなんらかの軽故障を起こしていないかどうかをチェックする。もし軽故障が発生した場合は、軽故障を起こしているブロックをアラームプリンタに印字する。

### 3.7 マンマシンコミュニケーション

複雑な輸送システムの運転やプロセスの監視を行なううえでマンマシンコミュニケーションの果たす役割は極めて重要である。本システムではCRTを用い、最少のオペレータで容易に操作できるようなマンマシンコミュニケーションシステムを採用し、計器室での集中管理が行なえるように配慮した。また、オペレーションミス防止のためのデータの各種合理性チェック、運転操作の各種合理性チェックなどを行ない、極めて信頼性の高いシステム構成とした。このほか、プロセス状態を一括表示し、異常データをブリンクさせるなどきめ細かいプロセス監視を行ないオペレータにとって極めて運転容易なシステムにすることができた。次に、機能項目の幾つかを示す。

- |              |                |
|--------------|----------------|
| (1) 呼出表示     | (9) コントロール開始   |
| (2) 設定変更     | (10) コントロールモニタ |
| (3) 時刻修正     | (11) コントロール停止  |
| (4) 任意印字     | (12) トレンド項目選択  |
| (5) CRT表示    | (13) トレンド印字    |
| (6) システムスタート | (14) 日報印字      |
| (7) ブロックスタート | (15) アラームサマリ   |
| (8) ブロックストップ |                |

## 4 バックアップ装置

### 4.1 運転モード

電気室設置のリレー盤面にブロック単位ごとに自動、半自動、手動の切換スイッチを設け、次の操作に切り換えることを可能とした。

#### (1) 自動

電子計算機による全自動運転を行なう。

#### (2) 半自動

電気室設置のリレー盤面のスイッチにより、ブロック単位の連動起動・停止を行なう。

#### (3) 手動

電気室設置のグループスタータ盤面のスイッチにより、電動機単独の起動、停止を行なう。

なお運転中は運転モードの切換えを行なっても、運転を持続させるものとした。

### 4.2 ホールド接点の使用

電子計算機からの起動指令にはホールド接点(ラッチ接点)を使用し、電子計算機ダウン時はダウン前の状態を維持させ運転に影響を及ぼさないようにした。

### 4.3 日立シーケンスコントローラ(フリーログ)の採用

粘土貯蔵タンクへの粘土投入操作は、8個の貯蔵タンクの中から空になったものを検出して、自動的に上流から運ばれてくる粘土を振り分け貯蔵することが要求される。この操作を行なうために使用される機械設備としては、ダンパ1台、

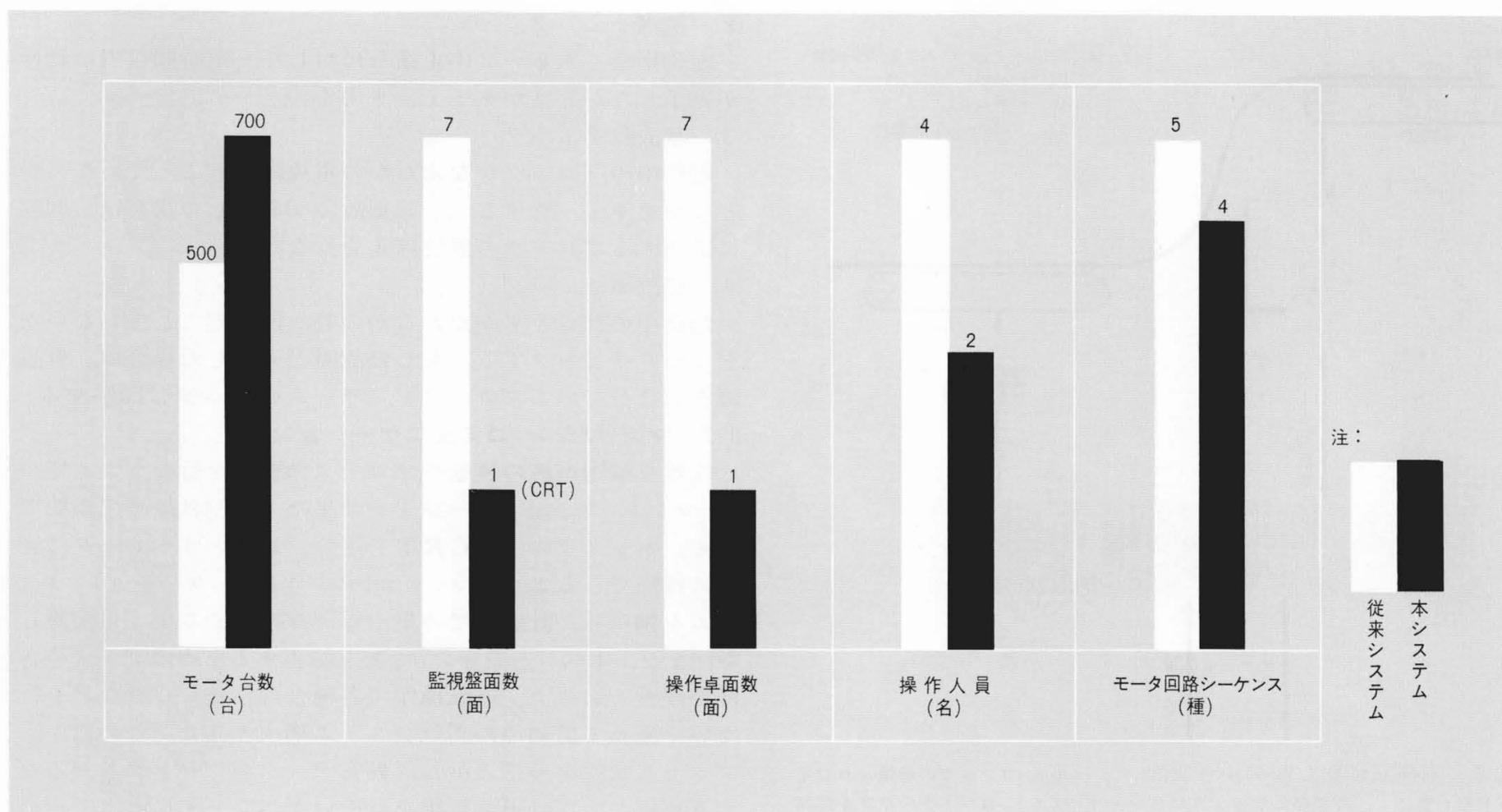


図7 従来システムと本システムの実績比較 同様プラントにおける従来システムより本システムが、どの程度省力化されているかが分かる。

ベルト コンベヤ5台、シャトル コンベヤ2台であるが、これらをシーケンス コントロールの1ブロックとし、制御回路をシーケンス コントローラにより構成した。

これはピン ボードによりロジックを構成するものであり、この設備のように複雑な回路となる場合及び将来貯蔵タンクの増設によりシーケンス変更が必要とされる場合においても容易に現地において改造が可能となるものであり、その目的を十分に果たすことができた。

## 5 電子計算機制御による効果

既に述べたような電子計算機システムの機能により、従来のリレー シーケンス回路では困難であった諸問題も容易に実現することができ、電子計算機制御による効果は極めて大きいと言える。それから得られるデータは、量、質ともにはるかに優れたものであり、またセメント製造技術の定量化、体系化が促進できたことなど種々の効果があったが、ここでは次に一般的な効果について述べることにする。

### 5.1 省力化

原料受入れからセメント製造、出荷までの広範囲な全工程を中央制御室で運転しており、オペレータは従来3~4人/直であったのが、2人/直で行なえる。またオペレータは、ある程度の訓練により十分操作が可能で今までのように熟練者を必要としない。

### 5.2 品質、生産性の向上

DDCの採用、オンラインでの原料調合制御の採用などにより、品質の均一化及び向上を果たすことができ、必然的に生産性の向上に役だっている。

### 5.3 安全運転

広範囲の異常を検出し、また的確に処置し、オペレータの判断を助け操作ミス未然に防止している。特にシステム異常の検出では、プロセス変量の変化条件を加味した上・下限

間接測定計算による警報が可能になったことは、安全運転上重要な意味をもつ。またCRTによるオペレータ ガイダンスは、運転状態及び異常を迅速に把握し、安全運転の保持には非常に有効であった。

### 5.4 管理面での効果

各種の日報、運転日誌、分析データは、自動的に作成され各種のアラーム、オペレータ ミスも記録されるため、異常発生に際しては正確な情報が残り、それにより精度の高い解析ができるため原因の追求が容易で、機械の保安全管理面及び運転技術の管理面の改善に資するところが大きい。

### 5.5 その他

多変量解析、プロセス コントロールの設計に必要なユーティリティ プログラムが含まれており、技術面での将来の向上が期待できる。同様プラントにおける実績の比較を図7に示す。

## 6 結 言

セメント工業はますます大規模化され、同時に高効率化、省力化も要求される。以上述べた電子計算機制御方式を始め、シーケンス制御装置として従来のワイヤード ロジック方式に代わるプログラマブル ロジック コントローラの採用も行なわれ、総括制御装置もこれらの要求に応じて本システムのように近代化されてきている。終わりに、本システムの完成に当たり御指導、御協力をいただいた大阪セメント株式会社並びに日立製作所の関係各位に対し、厚く感謝の意を表わす次第である。

### 参考文献

- (1) 窯業協会「セメント」窯業工学ハンドブック 1570 (昭41, 技報堂)
- (2) 中原, 村上「セメント」セメント, 石膏, 石灰 46~52 (昭40, 日刊工業)