

塩化ビニル重合プラントの計算機制御

Computer Control of a P.V.C. Plant

A huge P.V.C. plant comprizing several polimerization reactors with world's largest scale (each with a rating capacity of 130 m³) has been completed in the Kashima Petrochemical Industrial Zone. This plant makes use of two control computers, Hitachi Control Computer Series 100, as hierarchy systems. No. 1 computer deals with administration while No. 2 unit performs control thereby achieving high reliability and efficiency of the plant. Especially, in No. 2 computer system a series of process ranging from weighing and charging to polymerization control has been entirely automated. Also, it has incorporated many new control methods such as security control and DDC.

This article introduces the outline of this computer control system and its characteristics.

武城昭夫* Akio Bujô
佐藤爽一* Sôichi Satô
山田哲也** Tetsuya Yamada
佐藤哲夫** Tetsuo Satô

1 緒 言

塩化ビニル重合プラント計装の歴史は古く、国内においては約15年前、信越化学工業株式会社・直江津工場において空気式工業計器による重合罐(かん)の温度制御装置が稼動したことに端を発する。以来、計装技術の進歩とともに、電子式計器による計装、リレー式自動化計装と発展してきた。

塩化ビニル重合プラントは本質的にはバッチプロセス(最近では各社で連続プロセスの研究も行なわれているようであるが、まだ実用化には至っていない。)であり、これまで生産性の向上を図るために次の二点を中心に開発が進められてきた。

- (1) 重合罐の大形化
- (2) 重合時間の短縮

しかし、これらの開発にはシーケンス制御範囲の拡大と高度化および安全性の強化などが必須条件であるほか、品質の確保、保守性の向上もまた重要であり、従来のリレー式シーケンス制御および工業計器による計装では、おのずから限界があったため、より高度な制御技術が要望されていた。

近年、制御用計算機の進歩が著しく、価格、信頼性およびパフォーマンスにおいてすぐれた調和を有する制御用ミニコンピュータが開発され、各種産業に広く適用されつつあり、国外でも1967年にFoxboro社が、ドイツのChemish Werk Huelで80罐の塩化ビニル重合プラントにコンピュータを適用した例がある⁽¹⁾。

このような背景のもとで信越化学工業株式会社では従来の重合罐の3倍以上の規模を有する公称容積130m³という世界最大の重合罐数基による塩化ビニル重合工場を、鹿島石油コンビナートの一画に建設し、現在、好調に稼動中である⁽²⁾。

このプラントの制御には、HIDIC 100形制御用計算機2台をハイアラキ・システムとして構成し、生産計画から原料仕込み、重合、抽出、乾燥の各工程を経て出荷に至るまでを完全自動化した。また、この制御システム開発にあたって、最も留意したのは安全運転制御である。すなわち、制御対象が前例のない大形重合罐なので万一プラントに事故があれば、被害もまた大きく、長期間プラントを安全に運転することが生産性の向上のためにも必要であった。対策として今回のシステムでは異常の早期発見と処置につき従来にない徹底した処理方式を開発した。また、万一シーケンス制御中にプロセ

スまたは制御装置に異常が発生しても、異常をローカライズするとともに、オペレータの介入を少なくし極力自動運転を続行できる方式とした。

以下、計算機制御システムの概要と、今回開発したシーケンス制御方式の中から、いくつかの特徴的な点を中心に報告する。なお、これらを理解するのに便なるよう、最初に対象プロセスについても若干触れておく。

2 システムの概要

2.1 塩化ビニル重合プロセス⁽³⁾

塩化ビニル重合法としては、懸濁重合、乳化重合、溶液重合などの諸法があるが、生産設備および生産コストの低廉、生産管理の容易さ、あるいは製品品質の均一性などの理由から懸濁重合が、その主流を占めている。懸濁重合法は、少量の親水性保護コロイドを含む水そう中に、攪拌(かくはん)によってモノマーを微小な液滴に分散懸濁させ、モノマー可溶性の過酸化物の触媒を用いて、モノマー滴内でラジカル重合を行なわせ塩化ビニル樹脂のスラリを得るものである。

実際には重合器に、純水、分散剤、触媒および塩化ビニルモノマーを仕込み、45~65°Cで数時間~20時間激しく攪拌を続けて重合を行なわせるバッチプロセスで、重合は発熱反応であるため、ジャケットに冷水を通して内容物の温度を上記温度内のある値に、厳密に一定に保つことが行なわれる。

図1は鹿島工場の塩化ビニル重合プロセスの概略をブロック図で示したものである。数基の重合罐に共通に1系列の仕込み工程があり、純水、VC(塩化ビニルモノマー)触媒および各種助剤(1~m)は、あらかじめ定められたシーケンスに従って所定量だけ重合罐に計量され仕込まれる。製品品種によって、仕込むべき助剤の種類、仕込量、仕込みのタイミングおよび重合中の各種運転条件が異なる。仕込終了後、攪拌操作、真空N₂置換操作を経て、昇温工程、重合工程へと進行する。重合終了後、排ガス回収を行ない、生成ポリマーは、抽出タンクに抽出され、回収された未反応モノマーは回収工程を経て再使用される。抽出されたポリマーは、さらに乾燥され、製品品種別にサイロに貯蔵される。出荷時には、さらにパッカータンクに移され袋詰めとして出荷されるほか、

* 信越化学工業株式会社 ** 日立製作所大みか工場

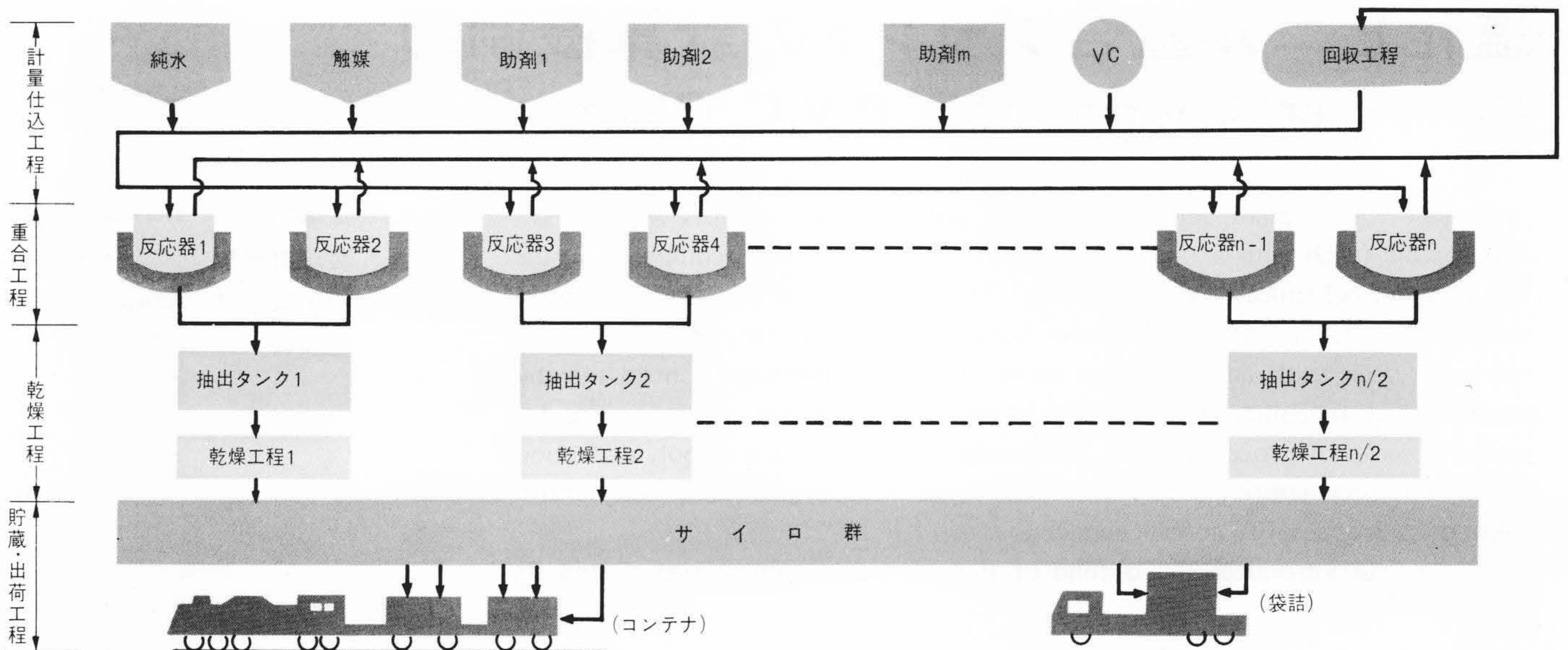


図1 プラント略図 全体は計量仕込工程、重合工程、乾燥工程、出荷工程より構成される。溶解工程、ユーティリティなどは図示されていない。

Fig. 1 Schematic Diagram of the PVC Plant

コンテナタンクに移され、タンクローリによる出荷も行なわれる。

以上述べたプロセスに対し、今回のシステムでは、原料の計量仕込みから重合に至る部分および乾燥から出荷に至るバッチプロセス部に対するシーケンス制御、生産計画および製品出荷に関する生産管理ならびにプロセス全体に関するデータの集中管理とデータ処理など幅広い総合監視制御システムを実現した。

2.2 計算機制御システムの機能

図2は計算機システムの構成ブロック図である。

本システムは2台の計算機システム（No.1 計算機システムおよびNo.2 計算機システム）をハイアラキ的に構成し、両者はプロセス入出力装置（P I/O）を介してデータ転送を行なっている。

No.1 計算機システム（上位計算機）は管理機能を分担しており主として下記を行なっている。

- (1) 外部情報やプロセス情報に基づく生産計画の立案
- (2) 製品処理ならびに出荷業務の自動化
- (3) 各種間接測定計算を含むオペレーションガイド計算
- (4) 全般のプロセス量の監視と各種帳票類の作成

また、No.2 計算機システム（下位計算機）は制御機能を分担しており下記を行なっている。

- (1) 計量、仕込み、重合などバッチプロセスの高度なシーケンス制御
- (2) 罐内温度のフィード・フォワード制御およびDDC（直接制御）
- (3) 各種バックチェック計算

このように、2台の計算機に処理を分担させた理由は、

- (a) 処理能率の向上を図ったこと
- (b) 機能分担によりシステム全体の信頼性の向上を図ったことなどによる。また本システムのプロセス入出力装置はアナログ入力、デジタル入力、デジタル出力などの機能に同時処理能力をもたせて、処理性の向上を図った。

図3は計算機システムと外部の操作盤を含めた全体システムの機能ブロック図を示し、図の上半分は計算機の機能、下半分は操作盤およびプロセスを示すものである。No.1 計算機

では、プロセス量の監視や、重合熱量の計算など各種オペレーションガイド計算を行ない、結果を運転日誌、管理日誌として編集印字する。また、各重合罐がどのような品種を何バッチ作ればよいかという生産計画を決定してNo.2 計算機へ情報を転送する。

No.2 計算機の基本シーケンスは、計量、仕込み、重合、排ガス回収などバッチプロセス部のシーケンス制御に関し、全体のシーケンス進行をスーパーバイズする中枢的な機能を行な

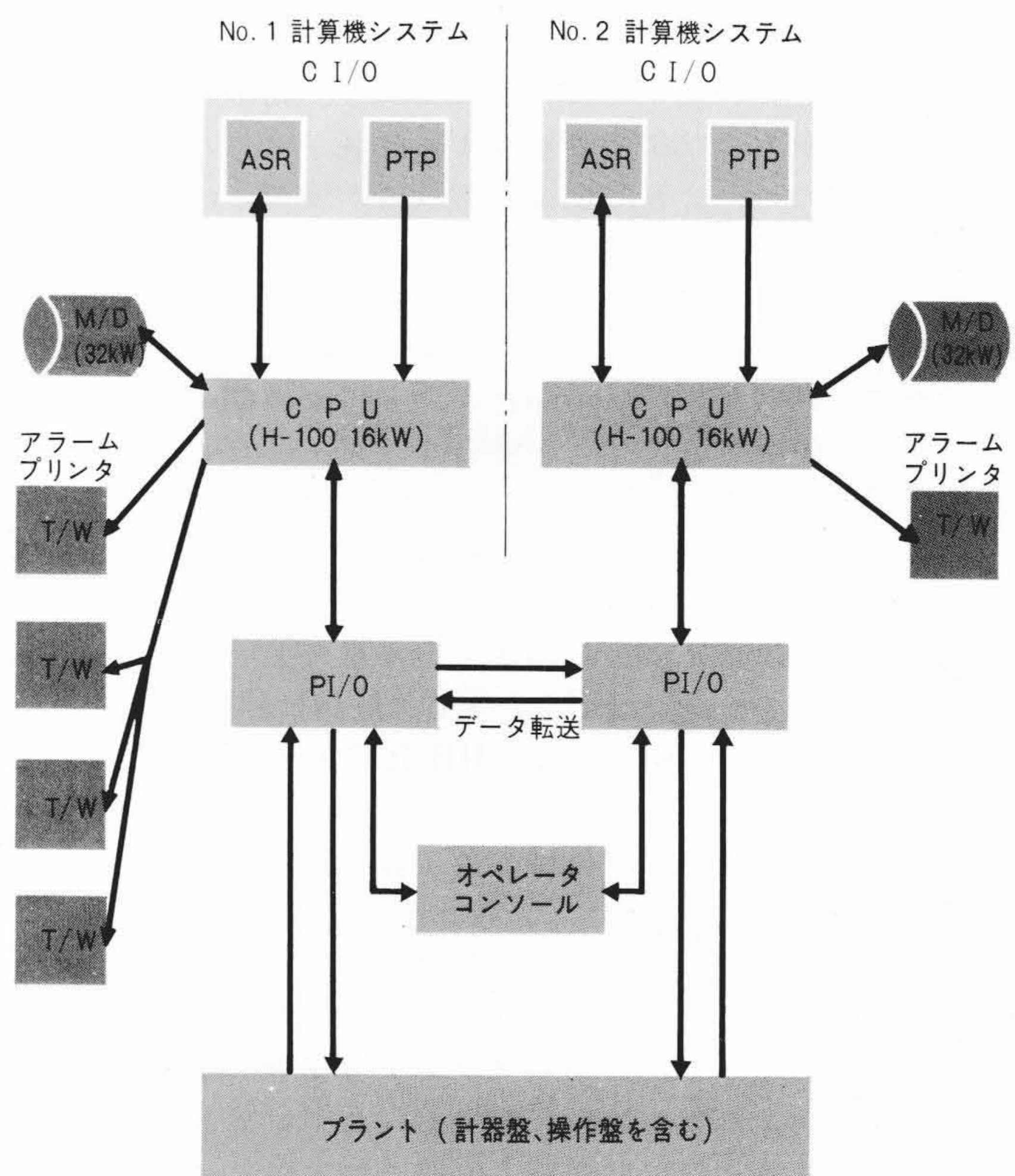


図2 計算機システムの構成 2台の計算機をハイアラキ的に結合している。No.1 計算機は管理機能、No.2 計算機は制御機能を分担している。

Fig. 2 System Structure of the Computer System

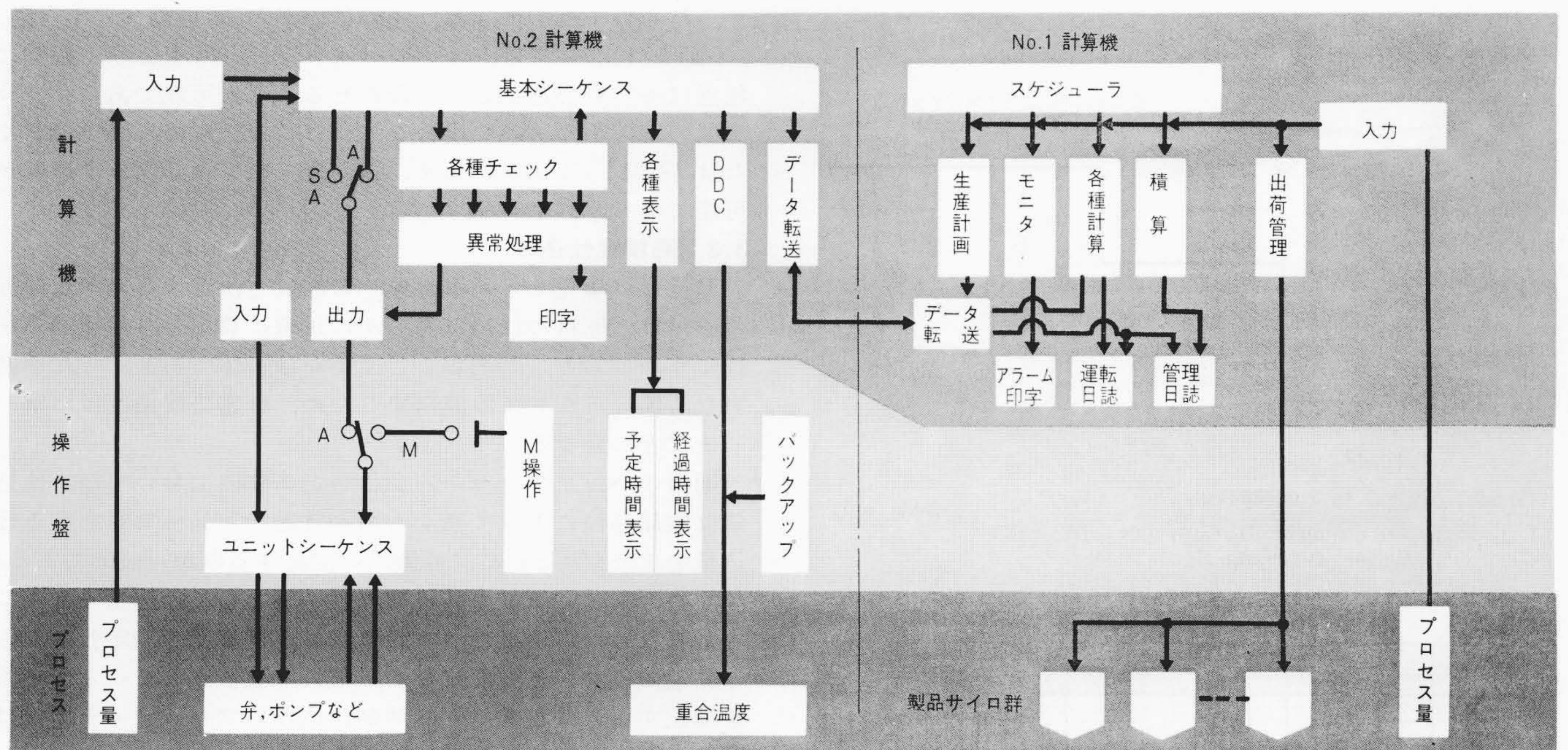


図3 計算機システム機能図 代表的な機能を図示したものである。操作盤のユニットシーケンスは自動/手動の切替が可能で、手動時には操作盤上のスイッチにより起動できる。

Fig. 3 Functional Diagram of the Computer System

うもので、操作盤のユニットシーケンスとハイアラキ的に構成される。すなわち、ユニットシーケンスは、プロセスに対して、一つのまとまった単位を実行するシーケンスであり、計算機からの指令を受けて、たとえば「純水仕込み」、「VC仕込み」などのシーケンス（工程）を実行する。

このユニットシーケンスは、無接点リレー回路で組み立ており、「手動」の場合には計算機と無関係に起動停止が可能である。

3 シーケンス制御方式の特徴

以下、制御機能を分担しているNo.2 計算機処理機能の中から、いくつかの特徴的な制御技法について述べる。

3.1 シーケンス制御アルゴリズム

一般に新設プラントなどでは、シーケンス仕様の変更はよくあることであり、変更しやすいプログラム方式を採用する必要がある。そのためには、テーブル部が多く、プログラム部を可及的少なくするような構成が有利である。今回用いたシーケンス制御アルゴリズムの一例として、シーケンス・ステップを更新するための条件チェック部のアルゴリズムを図4に示した。

プロセスから取込んだアナログ入力、デジタル入力および計算機内部のタイマから、現在のプラント状態に対応するテーブルを編集する。一方、各シーケンス・ステップに対応して上記プロセス状態テーブルのうち、有意なもののみを取り出すためのステップ更新マスクテーブルを設けておき、両者のAND条件をとる。この結果と別に設けられたステップ更新条件テーブルの内容とをEOR演算することにより、当該ステップから次のステップに移行するための条件が整っているか否かが判定できる。

3.2 ユニットシーケンスと運転モード

一般にシーケンス制御装置においては、リレー式または計算機による場合を問わず、「自動」および「手動」の運転モードを必要とすることがほとんどである。この場合問題となるの

は、自/手切替スイッチの設け方と切替のタイミングである。従来は、シーケンス全体を大きなブロックに分割し、ブロックごとに切替スイッチを設けることが多かったが、異常発生の場合には、そのブロック終了まで手動運転せざるを得ない

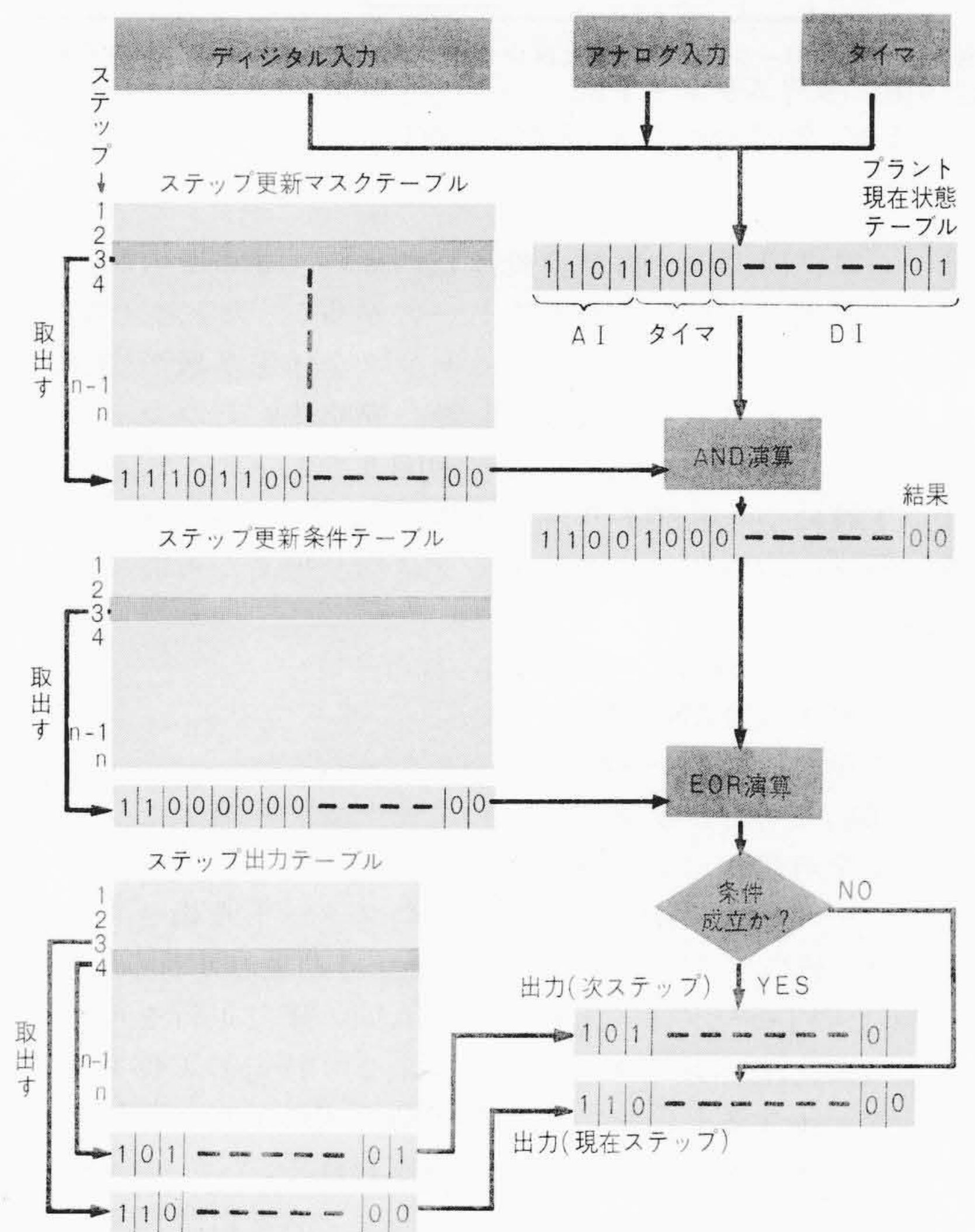


図4 条件チェックアルゴリズム 図示するような各種テーブルを設け、AND演算EOR演算を行なうことにより、シーケンス・ステップを更新する条件が満足しているか否かを判定できる。

Fig. 4 An Example of Sequence Check Algorithm

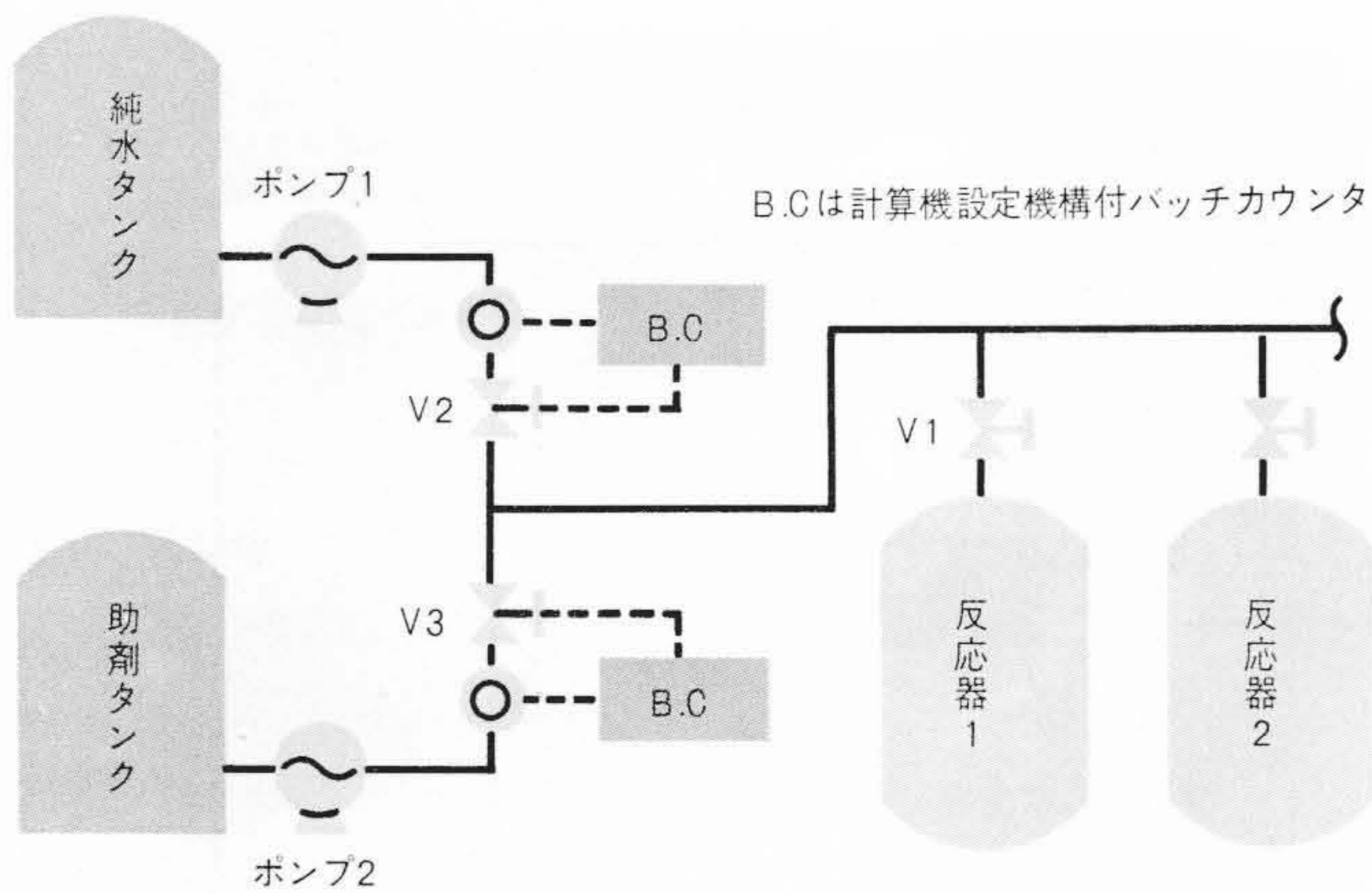
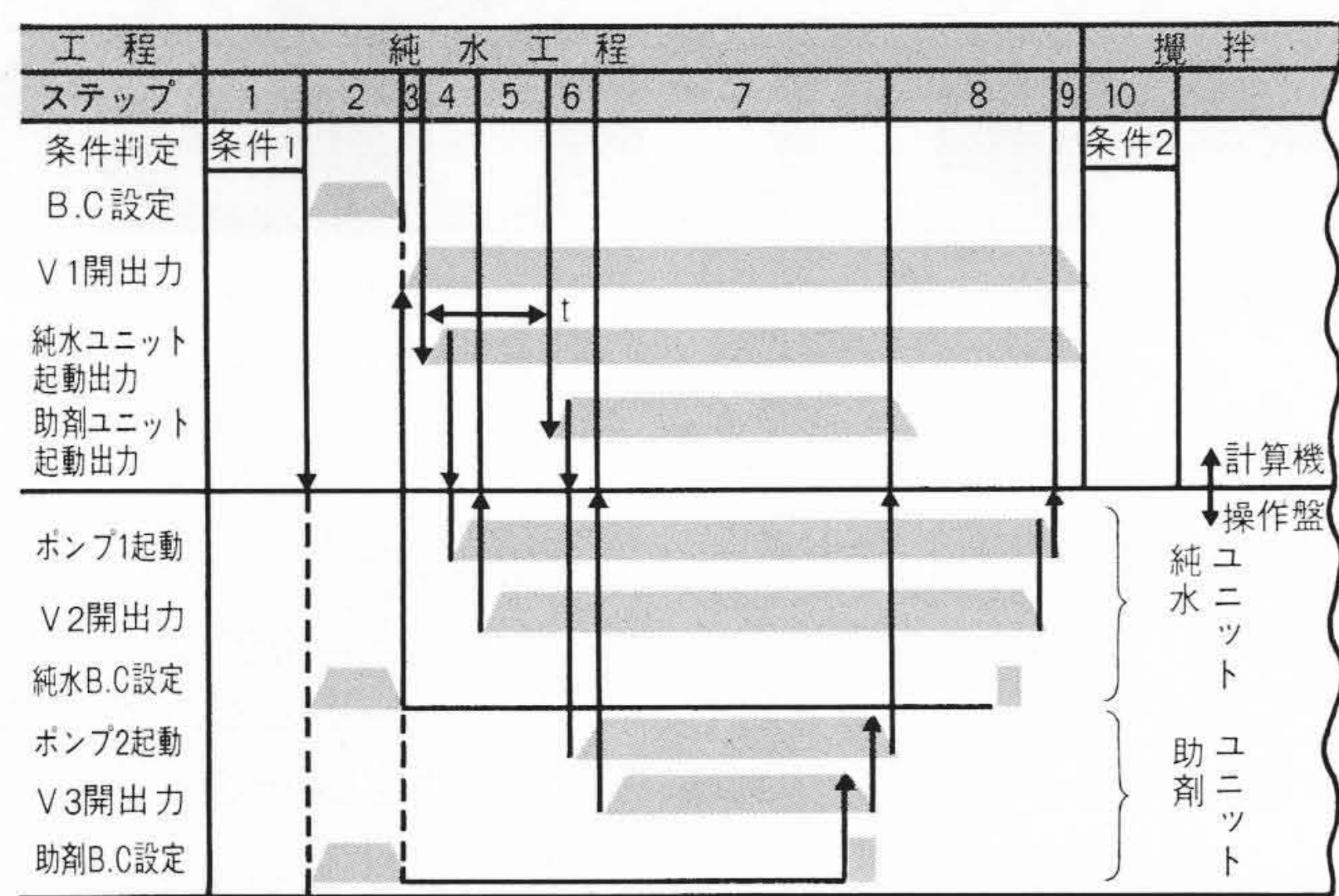


図 5(a) 純水工程フロー略図

Fig. 5(a) An Example of Flowsheet for Pure Water Charging Section



純水工程のフローシートの一例と操作タイムチャートを図示したものである。

図 5(b) タイムチャート例

Fig. 5(b) An Example of Time Chart

ほか、異常回復後、再び自動運転にはいれるまでの間、オペレータに大きな負担のかかるケースが多かったと考えられる。

今回開発した方式では、シーケンス全体を多数の「工程」と呼ぶ小さなユニットに細分化した。簡略化したフローの一部とタイムチャートを例示したのが図5である。これらの工程は、1罐につき約30あり、各工程のユニットシーケンスは任意、独立に次の四つの運転モードに切り換えが可能である。

- (1) 自動 (AUTO)
- (2) 半自動 (SEMI-AUTO)
- (3) 手動1 (MAN-1)
- (4) 手動2 (MAN-2)

「自動」モードは定常運転時のモードで、一貫したシーケンスの完全自動化による運転である。すなわち、オペレータ・コンソール上より指定した重合罐のスタートを指令することにより、該当する罐は重合終了まで全自動運転が行なわれる。

「半自動」モードは、工程ごとに人間の確認進行を可能とするもので、オペレータコンソール上より特定の工程を指定してスタートすると、その工程終了時は次の工程に選択されている運転モードに従った運転が行なわれる。

「手動1」モードは各ユニットシーケンスを計算機と関係なく、操作盤から起動停止するもので計算機異常時の運転モードである。

「手動2」は主として保守に使用されるもので、各操作端を直接手動駆動する運転モードである。

これらのモードのうち、運転にかかわる「自動」、「半自動」「手動1」については、オペレータコンソール上より工程別に任意にモードを選択し組み合わせることが可能であり、プロセスの一部不具合い場合などにはその工程のみ「半自動」または「手動1」とすればよく、きわめてフレキシブルな運転が可能である。

3.3 高精度仕込み

PVC (塩化ビニル重合体) の品質を決定する大きな要因の一つは、原料の仕込量をいかに正確に算出し計量仕込みを行なうかにある。助剤類のいくつかは粉体であり、それを適当な溶媒に溶かして溶液にするため、厳密には濃度は溶解バッチごとに異なる。

通常のバッチプロセスのシーケンス制御においては、仕込量は製品品種によって異なるのが普通で、品種に対応する仕込量をテーブルとして計算機内に記憶するのが一般的である。今回のシステムでは、品質管理の一環として仕込量を厳密に押えるために、現実の溶液の温度および濃度を測定しこれらの測定値によって、前記のテーブルに記憶されている仕込量を補正する方式を採った。助剤仕込みのフローチャート例は図6に示すとおりである。

計算機による仕込量制御の方法としては、計算機内にバッチカウンタ (定体積流量計) の機能をもたせる方法と計算機外部にバッチカウンタを設ける方法とがある。今回は、万一計算機ダウン時においても問題がないようにとの配慮から後者の方式を採用した。

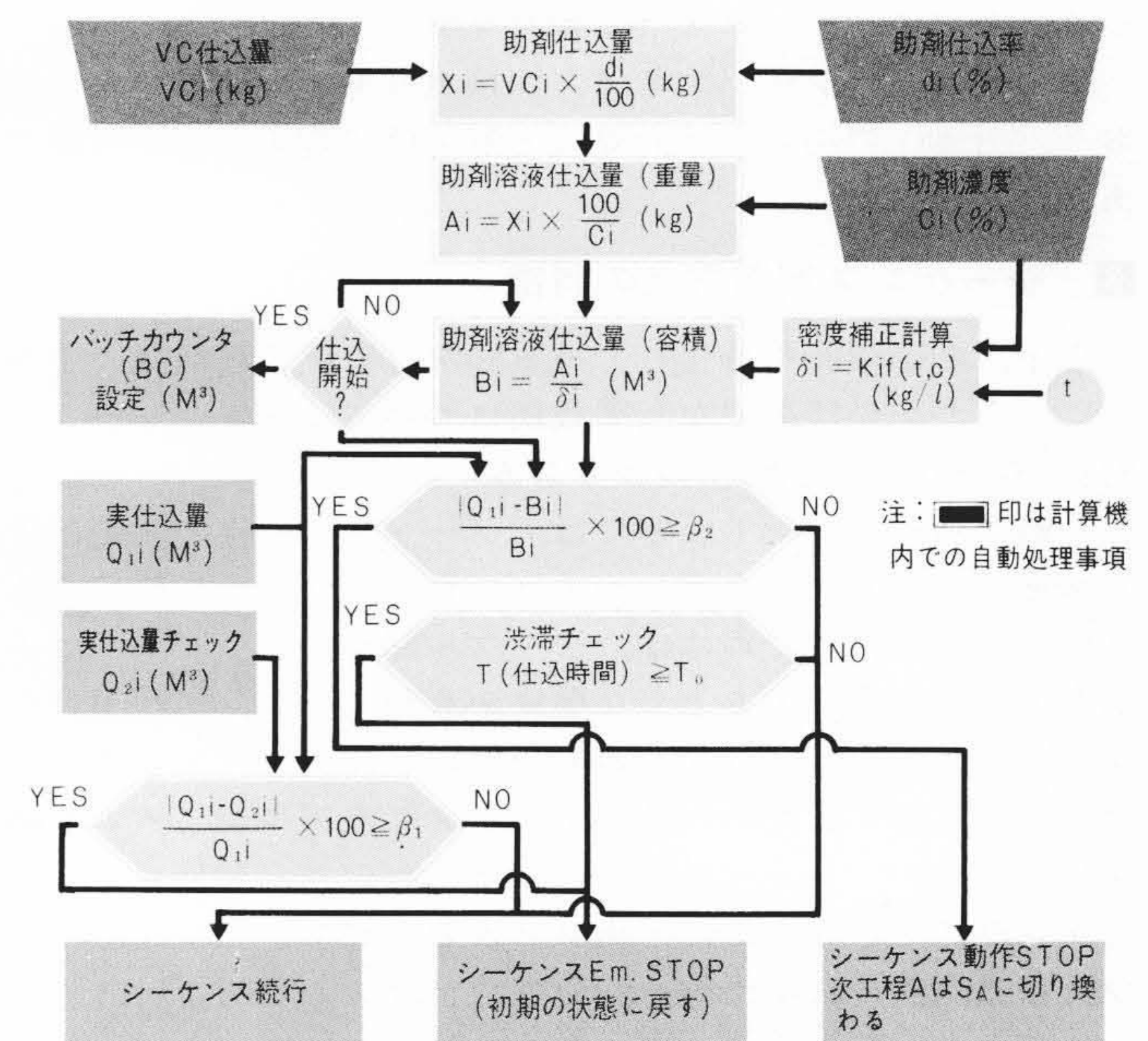


図 6 助剤仕込みフローチャート VC仕込量を基準にして助剤仕込量を計算し、さらに密度補正を行なって実際の仕込量を決定している。

Fig. 6 An Example of Submaterial Charging Flowchart

3.4 異常検出方式

異常は、大きくプロセスの異常と計算機の異常とに分けることができる。後者については3.5で触れるものとし、ここでは主として前者について考える。一般のプロセス制御にけると同様にPVCプラントにおいても、異常が発生した場合には下記が重要であり、従来のリレー式シーケンス制御にはおのずから限界があった。

- (1) 異常の早期検出。
- (2) オペレータに、できるだけ詳しい異常情報を提供する。
- (3) 適切な処置をとる。

とくに今回のPVCプラントは超大形のため、万一不良製品を出したときの被害は大きく、プラントを安全に運転し、システムダウンを少なくすることが生産量の増大や生産性の向上にそのままつながるわけで、安全運転制御を計算機導入の目的の一つとした所以(ゆえん)である。以下、異常検出手法のいくつかについて述べる。

(1) 開始条件チェック

すべてのシーケンス工程の開始に際しては、その工程を実行するために必要な各種条件を開始に先立ってチェックする。

(2) 渋滞チェック

シーケンス工程が開始してから渋滞なく、所定時間内に動作終了することをチェックする。異常を検出した場合にはアラームを発するとともに、時刻、異常の種類、系列No. および異常機器名称をメッセージ・タイプライタに印字している。

(3) 機器の動作状態パターンチェック

渋滞チェックではある動作の異常であることの発見が、所定の時間が経過せぬとわからない欠点がある。このチェックは、それをカバーするもので、弁などのプロセス機器の動作状態パターンがおかしくないことを早い周期で監視して、すみやかに異常を検出する。メッセージは渋滞チェックの場合と同様である。

(4) 計量チェック

計量仕込みは、品質に直結するものだけに異常検出の重要性はいうまでもないが、仕込終了後、仕込量が多すぎたことがわかって取り返しがつかない。したがって異常発生を即時に検出し、自動計量仕込を中止して、オペレータ

の手にゆだねることが望ましい。以下、今回開発した計量チェック方式について説明する。

(a) 仕込開始前のチェック

計量仕込みを開始する前に、オペレータが設定した仕込量あるいは計算機が演算の結果求めた仕込量の妥当性をチェックする。

(b) 仕込中のチェック

(i) 増分チェック

仕込中に一定周期で仕込量(測定値の積算)の増分をチェックし、変化分が所定の範囲内であることを確かめる。

(ii) 仕込計器とチェック計器との比較

オーバルあるいは定量ポンプが仕込計器として使用されているが、重要なものの仕込みにあたっては、レベル計、重量計その他によるチェック計器も用意し、両者の差が許容範囲内にあることをチェックする。

(iii) 上限チェック

仕込開始時点より一定周期ごとに、仕込終了時に許容される上限設定値と比較し、それ以下であることを確認する。これにはずれたときは、メッセージ印字を行なうとともに、該当する仕込工程のユニットシーケンスに緊急停止を指令し仕込を中止する。

(c) 仕込終了時のチェック

仕込終了後に、仕込終了時の値が設定値との間で許容偏差内にあることをチェックする。

(5) その他のチェック

上記のほかに、各助剤関係の溶解作業に対する「濃度チェック」や運転途中の各種状態値を指令値と比較する「運転管理チェック」などがあり、品質管理と安全性の確保に役立てている。

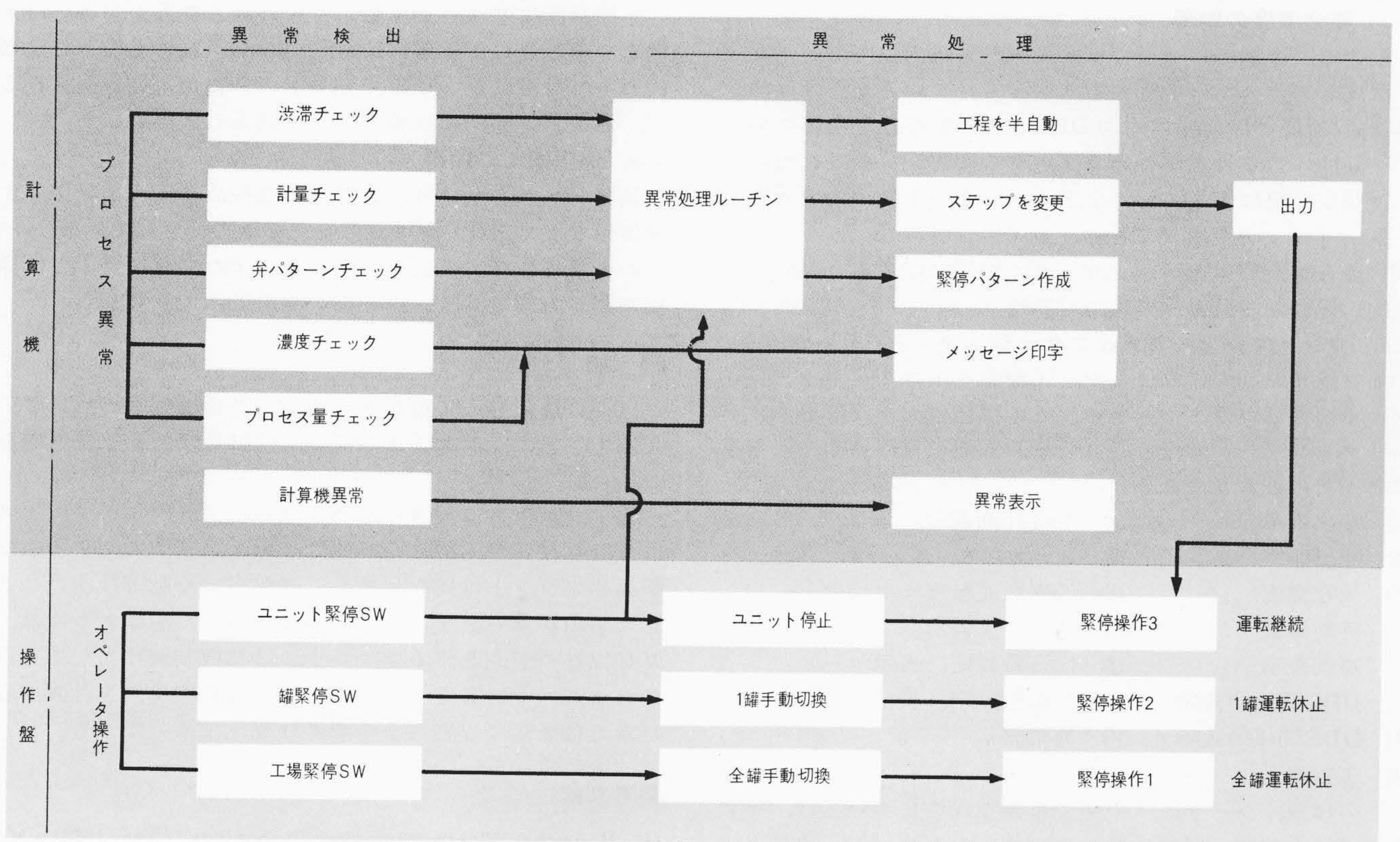


図7 異常処理系統図 プロセス異常発生時には、異常処理ルーチンにより適当な処理を行ない、異常内容に適応した緊急停止出力を行なうとともに、該当する工程を半自動に切り換える。

Fig. 7 Systematic Diagram for Abnormal Condition

3.5 異常時の処置

3.4に述べたような各種チェックにより異常が検出されると、従来は、運転を手動に切り換えシーケンスをその位置に止めておくか、あるいは、プラントにとって安全側となる出力を出し、その後の運転はオペレータの手にゆだねるなどの処置が多く、複雑なプロセスではオペレータに負担をかけるケースも少なくなかった。

今回のシステムでは、異常が発生しても極力計算機による運転を続行しようとする考え方を基本とした。以下、図7の異常処理系統図により説明する。

各種チェックにより異常を検出すると、プログラムの異常処理ルーチンに、ジャンプし、まず当該工程を強制的に「半自動」モードに切り換えるとともに、シーケンスステップを、その工程のスタートポイントに戻す。また、必要な場合には、異常発生時点と異常個所によって決まる緊急停止出力をプロセスに出す。オペレータはプラントを点検したのち、再スタートに際しては、「半自動」モードの運転が可能で、その工程のみ「半自動」で運転終了させたのちは、すみやかに自動運転にはいれることができる。

また、操作盤には、「ユニット緊急停止」、「罐緊急停止」および「工場緊急停止」の3種の緊急停止SWが用意されており、プラント状況に応じて的確な処置がとれるよう計画されている。

次に計算機システムに発生する異常を軽故障（タイプライタなど）と重故障（CPUなど運転続行不可能なもの）に分けるものとして、前者に対しては、ブザー、ランプ、メッセージ印字などの情報をオペレータに提供するのみであるが、後者に対しては、バックアップの機能をもつ操作盤に、計算機異常を知らせるとともに、プラントへの出力をその位置に保持している。

3.6 重合温度の制御

重合温度の制御については、従来から罐内温度とジャケット温度とのカスケード制御方式が知られているが、今回のシステムでは、次の理由によりDDCを採用し好結果を得ている。

- (1) 品種による設定値やパラメータの変更が自動的に可能。
- (2) 設定変更に伴う、マニュアル・リセット値の変更の容易さ。
- (3) 重合罐大形化とバッチサイクル短縮に伴う重合熱発生増加に対処する最適化実験の可能性。

3.7 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いる。機能項目のいくつかを示すと下記のとおりである。

- | | |
|--------------|----------------------|
| (1) 呼出表示 | (9) 生産計画表示 |
| (2) 呼出印字 | (10) シーケンスのスタート、ストップ |
| (3) 設定変更 | (11) 工程別運転モード切換 |
| (4) 時刻修正 | (12) ステップ表示 |
| (5) 時刻表示 | (13) 仕込量設定、表示 |
| (6) DDC関係の設定 | (14) 分析値設定、表示 |
| (7) DDC関係の表示 | (15) 異常表示 |
| (8) 工程表示 | |

このほか、シーケンスの中で重要な操作については、その操作の予定時間、経過時間を表示するなどオペレータにとって、きわめて運転しやすいシステムになっている。

4 計算機制御による効果⁽⁴⁾

すでに述べたような計算機システムの機能により、従来のリレー式制御装置では困難であった諸問題も容易に実現することが理解されたと思うが、ここでは今回のシステムで実現できた計算機制御による効果をまとめて述べることにする。

4.1 省力化

従来の同種システムに比べ、一段と高度な自動化および集中監視制御が可能となった。運転員は、プラント全体に対し約3人/直であり従来の同種プラントに比べて数倍の合理化ができた。

4.2 品質管理

運転員の個人差によるばらつきを除去し、各種原料の仕込精度を向上できるなどの理由で品質の均一化に役立つ。また高度な自動化により運転ミスも減り、不良製品を減少する。さらに、品質に関する各種計算（重合反応熱など）の結果を制御に結びつけるほか、将来の品質管理のためのデータとして用いることもできる。

4.3 生産量の増大

自動化によって運転員の遊休時間の減少が可能である。また重合反応終了時期の的確な検出、さらに安全運転を行ないながらの運転条件の改善により、サイクルタイム（重合時間）の減少を可能にし、これらによって生産量が増加する。

4.4 安全運転

タイミングを考慮した、綿密なプロセスの監視および計算機の機能を利用したの広範囲な異常の検出と処理により、運転の安全性が飛躍的に向上する。このことは新開発プラント、超大形プラントなど運転上、未知部分が懸念される対象には特に重要な意味をもつものと考ええる。

4.5 管理面での効果

生産計画に基づいた運転が行なわれる意義が大きいほか、従来の運転員によるfill in the blank 式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、金額的に換算しがたい効果も大きい。

4.6 保守面での効果

制御システム全体は、計算機と無接点リレーを素子とする操作盤などであり、有接点リレーを極力使用していないので、きわめて長寿命、高信頼性である。またプログラムも仕様変更に強い方式であり、保守性の改善度は大きい。

5 結 言

以上、塩化ビニル重合プロセスの計算機制御について、導入例をもとに、システムの機能、制御技法の若干例を紹介した。

化学プロセスは大きく、連続プロセスとバッチプロセスとに分けられるが、特にバッチプロセスの制御に関する限り、製品やプラントは異なっても、制御方式や制御技法には共通した事項が多い。その意味で本稿で述べた事項の多くは、PVC以外の製品を作るプラントの計算機制御に対しても適用できるものであると考える。本稿が計算機導入を計画するかたがたにとってなんらかの参考になれば幸いである。

参考文献

- (1) H. Amrehn: Instrumentation Technology, (Nov. 1967)
- (2) 中川、武城: 制御工学 14巻7号 (1970)
- (3) 朝倉書店: 石油化学工業ハンドブック
- (4) 山田、松香: システムと制御 16巻3号 (1972)