

攪拌反応機のバッチプロセス・コントロールシステム

Batch Process Control System for Agitated Reactor

(化)技術部 製品開発課

Shinko-Pfaudler has been providing mixing-vessels for small batch plants. Recently, Batch Process Control System (BPCS), which assists to manage small batch process, is developed. BPCS combines programmable process controllers with a personal computer, a 20 inch color graphic terminal and powerful software to provide data logging, graphical data display and reporting.

Sequence and control-pattern of batch changeover can be easily changed from the computer through an interactive system where prompt commands are displayed on the CRT.

当社は、従来バッチ反応装置を主体とした小規模プラントにおいて、攪拌反応槽単体機器として製造、販売を行ってきた。この度、多品種少量生産を主とするバッチプロセス向けの制御システム（BPCS：バッチプロセス・コントロールシステム）を開発し、攪拌反応槽、周辺装置、制御システム（BPCS）を含めた攪拌ユニット装置として販売することになった。

本稿では、この中の制御システム、すなわちBPCSの概要について紹介する。

まえがき

攪拌操作を主とするバッチプロセスにおいて、近年攪拌反応槽の多目的利用への要求が高まりつつある。例えば、同一装置による多品種少量生産、混合、反応、洗浄、ろ過、乾燥のサイクル操作への要求が想定される。この種の攪拌反応槽にとっては、装置性能と同時に操作の自動化および制御が従来にもまして重要となる。多様な工程と人的負荷を軽減するのみならず、各操作の最適化と正確さを期するためにも、自動化と制御が極めて有効な手段となっている。このような背景のもとで、BPCSを開発するにあたって以下の5項目を特に重視した。

- 1) 制御システムの柔軟性
- 2) CRT（カソードレイチューブ）オペレーションの充実
- 3) システムの拡張性
- 4) 制御プログラム（シーケンスなど）開発の容易性
- 5) 低価格システム

1. BPCSの概要

1.1 システム構成

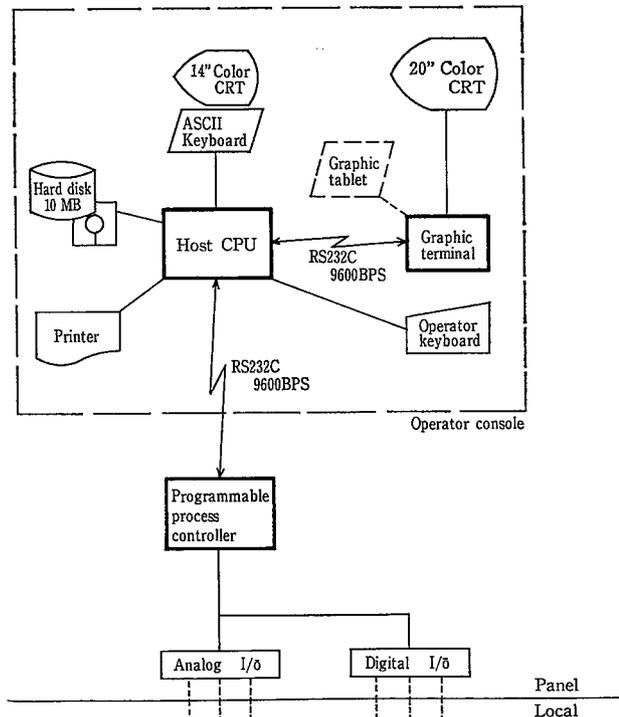
第1図は、BPCSのシステム構成を示す。

ホストCPU（セントラルプロセッシングユニット）は16ビットの汎用パソコンで、制御プログラムの開発支援

機としての機能および運転記録、日報集計などの情報管理の機能を有する。

プログラマブル・プロセス・コントローラ（PC）は、「シーケンス制御機能」、「ループ制御機能」、「演算機能」および「通信機能」を有するインテリジェンス性の高いコントローラでプロセス制御を行う。

グラフィック・ターミナル（GT）は、画像専用のCPUとメモリを有し、ホストCPUに依存しないで高速グラフィック処理が可能である。各種監視画面、トレンド・グラフなどの表示を行う。これらの構成要素は、RS-232Cインターフェイスにより相互間での各種情報のやりとりはもちろんのこと、LAN（ローカルエリアネットワーク）への拡張にも対応できる。



第1図 システム構成

Fig. 1 Control system construction

BPCS : Batch Process Control System
CRT : Cathode Ray Tube
CPU : Central Processing Unit
PC : Programmable Process Controller
GT : Graphic Terminal
LAN : Local Area Network
DDC : Direct Digital Control
PID : Proportion Integral Differential

1. 2 特長

1) ハードの分散化

従来、汎用パソコン主体のDDC（ダイレクトデジタルコントロール）システムでは、安価ではあるが信頼性が低い、処理速度が遅い、などの欠点があるといわれてきた。

BPCS では、プロセス制御はPCに、画像処理はGTに、そしてパソコン（ホストCPU）は制御プログラムの開発と情報管理に仕事を分散し、信頼性および処理速度の向上をはかっている。

例えば、運転中パソコンがダウンしてもPCは支障なく動作し、プロセスへの損傷を防ぐことができる。

2) 画像作成コストの低減

オペレータ業務を援助する各種運転監視画面は、各プロセスに応じて作成しなければならない。画面上に変数をもつグラフィック画面の作成をBASICプログラムで行うのは、コスト、工数の面で大きな負担となる。

BPCS では、グラフィック・タブレットを用いてキャンバスに絵を描く要領で簡単にグラフィック画面が作成でき、開発コストの大幅な削減が可能である。

3) シーケンス制御とループ制御の連係が容易

複合機能を有するPCによって、ホストCPUに依存しないでシーケンス制御とループ制御の連係がとれ、複雑な制御を容易に行うことができる。

4) 制御プログラムのメンテナンスが容易

第1表で示すように、制御プログラムのメンテナンスに必要なメニューを数多く備えており、品種切換に柔軟に対応できる。

5) アプリケーション・ソフトの作成が容易

アプリケーション・ソフトのうち、画像に関する部分は、GTが独自に受けもつので、ホスト側で画像プログラムを作成および記憶する必要はない。タグ番号による変数の受け渡しだけで、複雑な監視画面を短時間に作成することができる。またPCとの通信に関しては、通信ソフトがサブルーチンとして標準化されており、ホスト側はサブルーチン呼び出しだけで、PCと必要な情報のやりとりが行える。従ってアプリケーション・プログラムの作成は、通常のBASIC言語レベルですべて処理可能である。

1. 3 標準仕様

第2表に、BPCSの基本構成での標準仕様を示す。

1. 4 制御プログラムのメンテナンス

メンテナンス・ソフトは、第1表で示したように3つのメニューから構成される。パソコンを開発ツールとして、すべて対話形式でプログラムの開発、デバッグ、などを行うことができる。

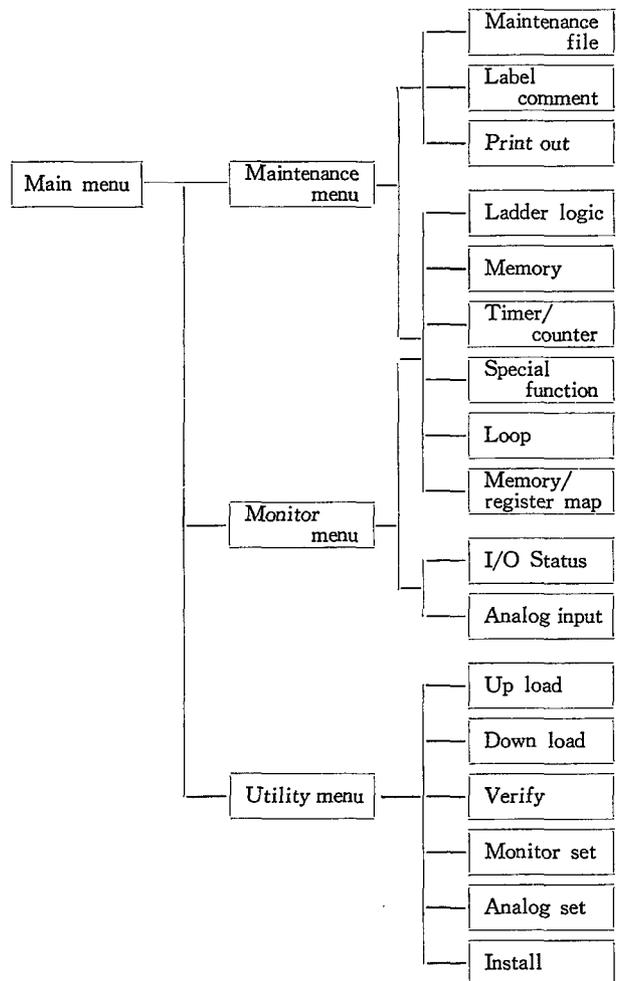
1. 4. 1 メンテナンス・メニュー

PCとオフライン状態で制御プログラムの作成、印刷、登録が行える。プログラムの作成はすべて簡易方式による。写真1は、ラダーロジックによるシーケンス作成画面の一例を示す。画面最下ラインの操作ガイドに従って対話処理ができ、また画面上で作成したシーケンス線図は完成図面としてプリントアウトもできる。

写真2は、制御ループの登録例を示す。温度制御などの制御ループは、YES/NOあるいは数値をブランクに記入

第1表 メンテナンス・ソフトのメニュー一覧

Table 1 Maintenance menu



第2表 標準仕様

Table 2 Standard specifications

Item	Specification	
Memory size	Logic program memory	4K words
	Variable data memory	1K words
	Constant data memory	2K words
Digital I/O	Input	Max. 256
	Output	Max. 256
Analog I/O	Input/Output	Max. 64ch
PID Control	Number of loop control	16
	Sampling period	0.1~1.0 sec

していただくだけでPIDあるいはカスケード制御を組み立てることができる。

このようにして作成したプログラムは、メンテナンス・ファイルとしてディスクに登録する。

生産品種の変更におけるシーケンスの組み替えは、この機能を用いて行うわけであるが、品種が異なっても基本工程が共通な場合も多い。従って、共通した基本工程のシーケンスをブロック化しておけば、生産品種変更に伴うシーケンスの組み替えもさらに容易に対応できる。また、あらかじめ各品種のシーケンスを作成してディスクに登録しておけば、後述するユーティリティ・メニューによって必要に応じてシーケンスの変更ができる。

1. 4. 2 モニター・メニュー

PCとオンライン状態で、各種情報をホスト(パソコン)側でモニターすることができる。

例えば、シーケンスの進行状況、I/O(入出力)のON/OFF状態、タイマ/カウンタの現在値および変数の変化が表示でき、プログラムをデバッグするうえでなくてはならない機能である。また、PIDパラメータ・チューニング機能を有し、オート/マニュアルのモード切替、設定値、バイアス、PID係数、上下限アラーム設定値等の変更もでき、独立した複数のループコントローラとして使用することも可能である。

1. 4. 3 ユーティリティ・メニュー

ホスト側のディスクとPC間でのプログラムの転送、アナログ入力表示の設定、通信方法の指定などを行う。

各生産品種の制御プログラム(シーケンスなど)をあらかじめ作成、登録しておけば、必要に応じてディスクから呼び出し、PCのメモリに転送するだけで制御プログラムが変更でき、生産品種の変更にも柔軟に対応できる。

1. 5 アプリケーション・プログラムの作成

BPCSの運転操作は、20インチカラーCRT(GT)とオペレータ・キーボード(写真4)によるCRTオペレーションを基本としている。

BPCSは、ユーザが自由にアプリケーション・プログラムを構成できることを特長としているが、データ・ロギング機能、プロセス操作機能、各種アナログ情報の表示機能などについては、オペレーション・プログラム(第3表)として標準化している。

特に、温度制御パターン設定機能、仕込制御パターン設定機能は、シーケンスは同様であるが温度あるいは仕込の制御パターンを変更する場合に有効である。

アプリケーション・プログラムを作成するうえで、PCとホストCPU間の通信ソフトはマシン語サブルーチンとしてパッケージされており、また、ホストCPUとGT間の情報のやりとりはタグ番号方式に簡略化されている。

従って、ユーザはBASICプログラムで容易に、かつプロセスに最適なマンマシン・システムを構成することができる。

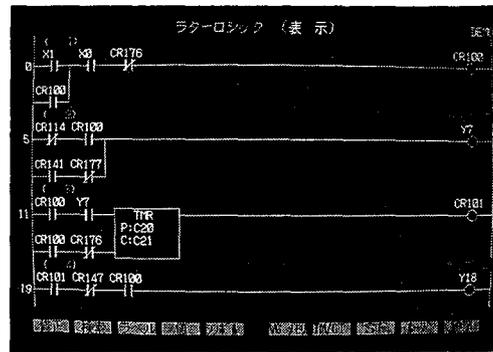
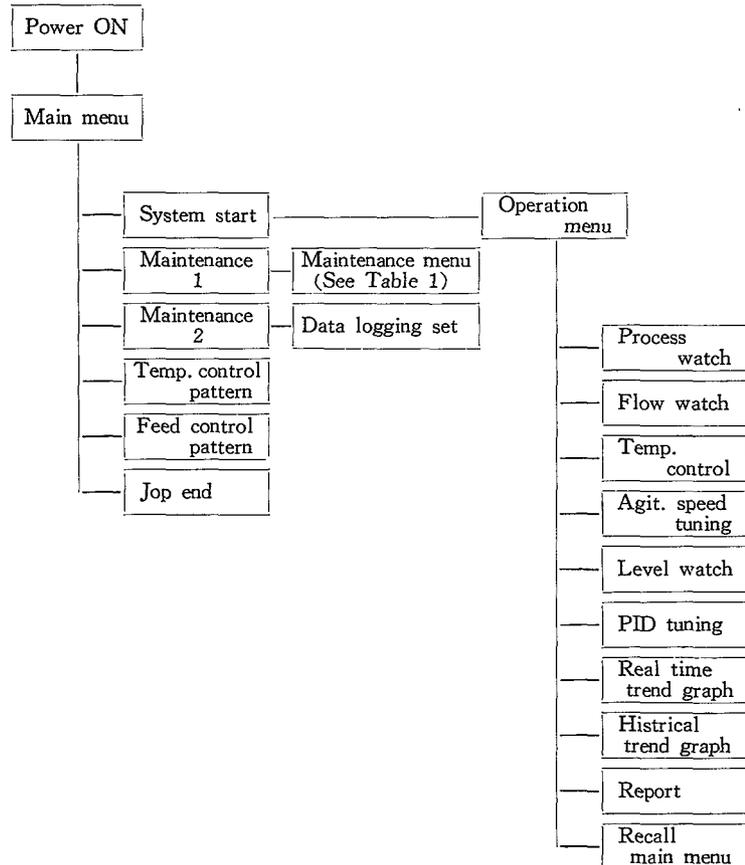


写真1 ラダーロジックによるシーケンスの作成例
Photo.1 Ladder logic

写真2 制御ループの登録例
Photo.2 Register of control loop

第3表 オペレーション・プログラムの標準メニュー
Table 3 St'd operation program menu



2. BPCS の適用例

2.1 模擬設備

写真3は、攪拌ユニット装置の模擬設備である。

本設備は、ガラス製の20ℓ攪拌反応槽（ジャケット付）、熱媒槽、原料槽、コンデンサ、製品槽、テフロン製の配管および計装品から構成され、内液の動きを目で確かめながら制御のシュミレーションを行うことができる。

写真4は、操作盤を示す。

CRT 2画面を標準とし、CRTオペレーションでの操作性、処理速度の向上をはかった。写真（左CRT）は、システム・メンテナンスおよび操作指示ガイド用として、また（右CRT）は運転監視用として用いる。

オペレータ・キーボードは、アスキー・キーボード（パソコンで使用される）と異なりすべてのキーがユーザ定義のできるファンクション・キーであり、オペレータが使い易いように自由に構成できる。また防水、防塵性を考慮したフラット・キー構造で、あらゆる現場での使用が可能である。

以上の設備を用いて、例えばシーケンス制御、温度制御、仕込制御、液面制御、攪拌速度制御のシュミレーション・テストを行うことができ、ユーザ各位の導入検討時にBPCSの機能をより深く理解して頂くべく準備している。

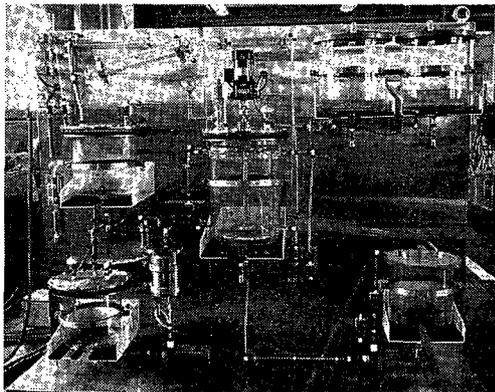


写真3 攪拌ユニット装置（模擬設備）

Photo.3 Demonstration equipment for mixing process



Operator keyboard

写真4 操作盤

Photo.4 Operating system

2.2 模擬プロセスの概要

2.1項の模擬設備による蒸留の模擬プロセスの自動化と制御事例によって、BPCSの機能を順次紹介する。

模擬プロセスの制御項目は、第2図で示すように

- 1) シーケンス制御
温水準備工程から洗浄工程までの8工程の自動化
 - 2) パターン設定による制御
温度制御と仕込制御
 - 3) その他の制御
液面制御と攪拌速度制御
- 以上の項目である。

次に各工程のシーケンス概要について、第3図に基づき説明する。

1) 温水準備工程

攪拌槽の加熱用の温水を準備する。

熱媒槽→ポンプP2→ヒーター弁V7のループで水が循環し、設定温度になるまで加熱され、その後加熱工程が始まるまで一定温度に保持する。

2) A液仕込工程

原料槽Aより弁V1を通してA液を攪拌槽に注入する。仕込量は、槽内に取り付けた3点式フロート型液面計により制御する。また、液レベルに応じてあらかじめ設定した速度で攪拌を行う。

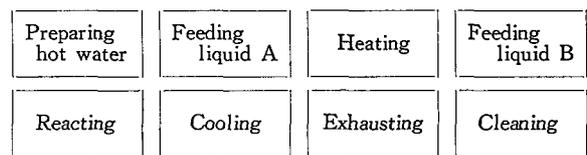
3) 加熱工程

A液仕込終了後、弁V6、V8を開き、弁V7を閉じて温水をジャケット内に注入し、攪拌槽内の加熱を開始する。先程示した時間と温度の設定パターンに従って槽内の温度制御を行う。

4) B液仕込工程

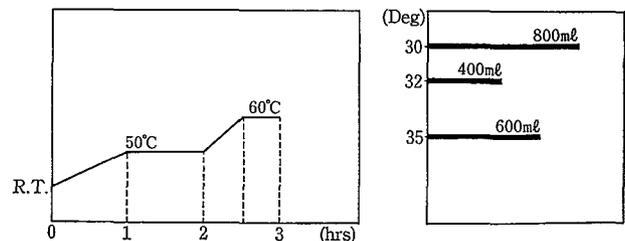
攪拌槽内のA液温度をパラメータとして、あらかじめ設定された量のB液を原料槽Bより弁V2を通して槽内に注入する。

Sequence of demo. process



Temp. control pattern

Feed (B liquid) control pattern



第2図 模擬プロセスの制御項目

Fig. 2 Description of demo. process control

）反応工程

槽内温度が 35°C になると減圧蒸留を開始する。

気開放弁 V 5 を閉じ、弁 V 4, V 12 を開きエゼクタで減圧する。また、コンデンサの却水ラインの弁 V 14 を開く。

）冷却工程

槽内温度が 58°C になると温水のジャケット内注入を停止し、冷却水を弁 V 11 より注して 37°C まで冷却する。また、冷却水は V 10 より排出する。

）液抜、洗浄工程

冷却後、攪拌槽内液を製品槽 D へ移送し、の後槽内洗浄と次工程の準備を行う。

3 シーケンス・プログラムの作成例

以上のような工程を自動化しまたは制御す

ためには、シーケンス制御とループ制御が一体となった複合的な制御が柔軟にできるものでなくてはならない。

BPCS では、P C がこの役目を果たす。

一連の動きを順次行わせていく「シーケンス制御機能」、度、圧力、流量などをあらかじめ決められた時期に決められたパターンに従って制御する「ループ制御機能」、各演算処理を行う「演算機能」を有し、上位コンピュータ依存しないで、シーケンス制御とループ制御が一体となった制御を行うことができる。また、各機能はそれぞれ独立した CPU によって作動し、しかもシーケンス・ロジック上で連携することができるので、高速かつ複雑な制御へ対応も可能である。

第 4 図に、模擬プロセスで作成したシーケンスの中か、基本的なパターンを数例紹介する。

例 1 はタイマ機能によるタイミング例を示す。

タイマの設定値の単位は 0.1 秒で、1 つのタイマで最大分までの計時が可能である。

様々な機能にカウンタがある。

例 2 は、SF (スペシャル・ファンクション) 機能によるシーケンスとアナログ制御の最も簡単な組み合わせ例である。モータ ON の信号を受けて、設定回転数に相当する制信号(4~20mA あるいは 0~20mA) を出力する。

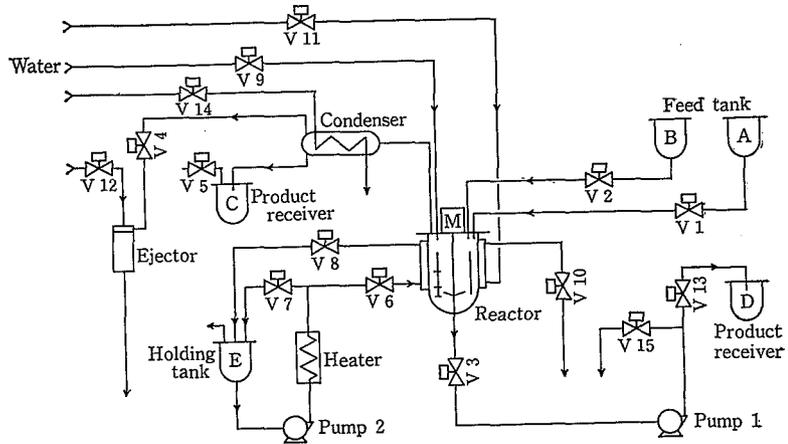
このような SF 機能が 16 種類サポートされており、シーケンス、ロジックとアナログ制御の組み合わせはこの例のように非常に簡単である。

例 3 は、アナログ入力値を設定しきい値と比較して、入値 \geq しきい値となった時点で ON 信号を出力する例である。入力値 $<$ しきい値の設定もちろん可能である。

このような制御プログラムは、1.4 項で述べたメンテナンス機能を用いて作成することができる。

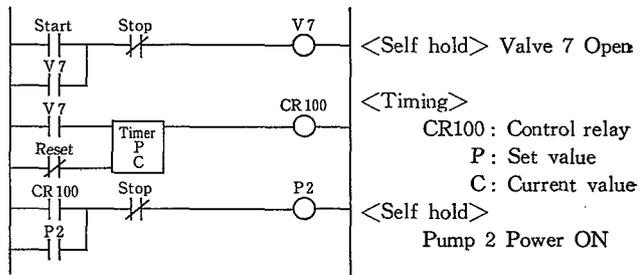
4 オペレーション・プログラムの紹介

バッチプロセスの運転を自動化すると、従来の現場確認式から遠隔地にて計装システムを通じて判断する方式になる。従って、現場操作以上のマン/マシン・コミュニケーションをはかる必要がある。

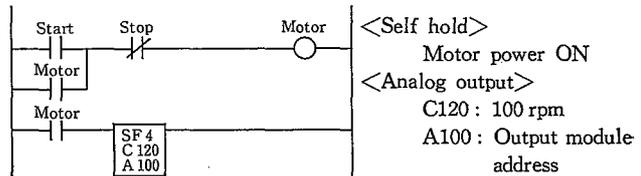


第 3 図 プロセス・フロー図
Fig. 3 Flow sheet

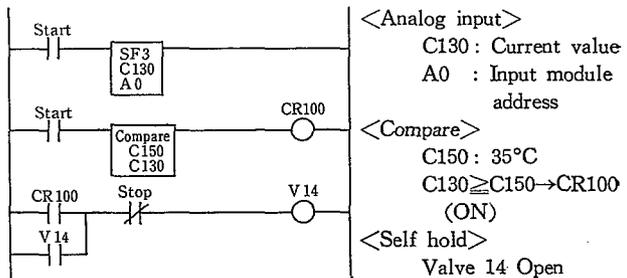
ex. 1 V7 (open) → P2 (ON)



ex. 2 Motor (ON) → Mixing at 100 rpm



ex. 3 Contents temp. >35°C → V14 (open)



第 4 図 シーケンス・プログラムの作成例 (第 3 図参照)
Fig. 4 Basic pattern of sequence program (ref. Fig. 3)

それには、CRT にアナログ量を表示したり、プロセス・フローを表示しバルブの開閉を確認したり、またその画面情報からプロセスを操作したりする CRT オペレーションが重要となる。

ここでは、標準的な CRT オペレーションを数例紹介する。

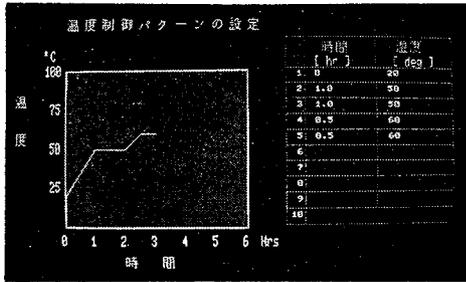


写真 5 温度制御パターンの設定機能
Photo.5 Temp control pattern set

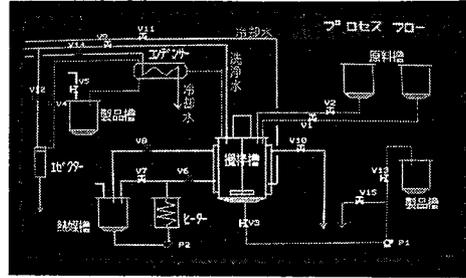


写真 7 フロー表示
Photo.7 Flow display



写真 6 工程表示
Photo.6 Process display

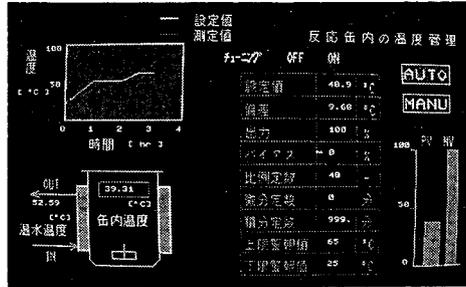


写真 8 温度管理画面
Photo.8 Temperature management

1) 温度制御パターンの設定 (写真 5)

右表に制御したい温度パターンをブレイクポイントの時間と温度で入力する。左図に入力した制御パターンが図示される。入力値は自動的に PC に送信され、あらかじめ決められたシーケンスと連係して、プロセス温度のパターン制御を行うことができる。標準で、ブレイクポイントは 10 点である。ホスト CPU は、PC のメモリに対してブレイクポイントを転送するだけで実際の制御には関与しない。システム・スタート以前であれば、何度でも設定変更は可能である。

変更頻度の高いパラメータに対しては、このような機能を準備することによって、オペレーターが現場サイドで容易に対応することができる。

2) 工程表示とフロー表示 (写真 6) と (写真 7)

工程の進行状態およびバルブの開閉状態を色変化で表示し、運転状態の確認ができる。

従来のグラフィック・パネルでは、若干の仕様変更に対処することも困難であったが、GT ではその心配は不要である。また、GT の採用で画面コストを意識する必要がないので、ユーザの希望する監視画面を構成することができる。最大 100 画面程度まで可能である。

3) 温度管理 (写真 8)

特に重要なパラメータに関しては、このような集中管理画面を設定することができる。

左上図は、温度制御設定パターン・グラフ (白線) に対して実測値を赤線でトレースしたヒストリカル・トレンド・グラフである。

左下図は、時々刻々に攪拌槽内の温度とジャケット内の温水温度を示すリアルタイム表示である。

そして右表は PID パラメータ・チューニング画面で各制御パラメータの変更ができる。バーグラフの PV は制御

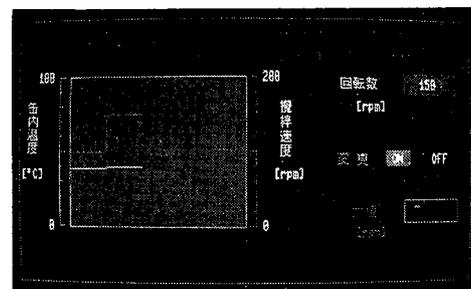


写真 9 攪拌速度制御
Photo.9 Agitating speed control

量, MV は操作量の変化を示す。

4) 攪拌速度制御 (写真 9)

攪拌速度と各種パラメータ (温度, 粘度など) の関係をリアルタイム・トレンドで監視することができる。また, シーケンス上で設定した攪拌速度を任意に変更することができる。

5) 日報とトレンドグラフの作成

BPCS では, 初期設定したサンプリング周期でデータを集録するロギング機能を有している。

サンプルしたデータはディスクに保存し, 必要に応じてトレンド・グラフや日報としてプリントアウトできる。

むすび

以上, 紹介した BPCS は, まますます多様化していくファインケミカル部門において, ユーザーニーズに答えられるような反応機を提供していくための一つのアプローチと考えている。

今後, 反応機自体の機能を高めるようなメカトロ化とともに, 本当に使いやすい自動・制御システムの確立に向けて努力する所存である。