

分散形デジタル計装システム「EX-5000シリーズ」

Distributed Digital Control System "EX-5000 Series"

プロセス産業の自動化には、分散形DCS(デジタル計装システム)が広く使われるようになった。運転実績の増加に伴って、使いやすさ、機能、信頼性などの向上が強く望まれるようになった。一方、多様化する市場ニーズに即応できる、より省力化された生産体制を求めて、CIM(Computer Integrated Manufacturing)化への動きが強まりつつある。

分散形DCS「EX-5000シリーズ」は、これらのニーズにこたえて開発したシステムである。最新のマイクロエレクトロニクス技術を採用して国際標準に準拠し、CIM化に対応したオープンなシステムとした。また、プロセス情報を高度に集約した統合オペレーション、二重化による高い信頼性、容易なシステム構築など、人に優しいシステムを実現した。

横川信幸* Nobuyuki Yokokawa

坂巻 勤* Tsutomu Sakamaki

田崎春二* Shunji Tasaki

布野俊彦* Toshihiko Funo

1 はじめに

プロセス計装の分野では、DCS(デジタル計装システム)が広く使用されるようになり、従来の計装盤に代わってCRTオペレータコンソールがプラント運転の中心になった。DCSは、基盤技術であるマイクロエレクトロニクスの発展に伴い、制御機能、性能、操作性、信頼性などを向上させており、従来は上位計算機で実現された機能が、計装システムに取り込まれるようになってきた。一方、近年プロセス産業では市場ニーズの多様化による多品種生産が増加しており、受注に迅速に対応した効率的な生産を行うことが重要となってきた。このため、製造から販売までの各部門をネットワーク接続するCIM化システムの実現が求められている。

日立製作所では、DCSとして「ユニットロールΣシリーズ」を昭和50年に発表して以来発展を重ねてきており、昭和57年には「EX-100シリーズ」を、昭和61年には「EX-1000シリーズ」を発表し、幅広い分野で使用してもらうことができた。その後も、マイクロエレクトロニクス技術は長足の進歩を遂げている。CIM化への要望にこたえ、計装技術を基盤にして最新のマイクロエレクトロニクス技術を駆使し、新しいDCS「EX-5000シリーズ」(以下、EX-5000シリーズと略す。)を完成させた。

2 人に優しいオープンなDCS

EX-5000シリーズは、国際標準技術を採用し、CIM化にこ

たえたオープンなシステムを目指している。また、最新技術の採用により、システムの運転・構築・保守の容易な人に優しいシステムを実現した。

(1) 使いやすいオペレータコンソール

使い慣れた計装盤のイメージを、CRT上に忠実に実現する統合オペレーション方式を採用し、画面スクロール、マルチウインドウなどを、タッチパネル、トラックボールで自由に扱える。高性能RISC(Reduced Instruction Set Computer)プロセッサの採用により、応答もスムーズである。

(2) 容易なシステム構築

主な制御機能は、ワークステーション上でCADイメージで作成できる。また、機能のモジュール化、ドキュメント出力機能、充実したデバッグツールなどにより、機能構築が容易になった。

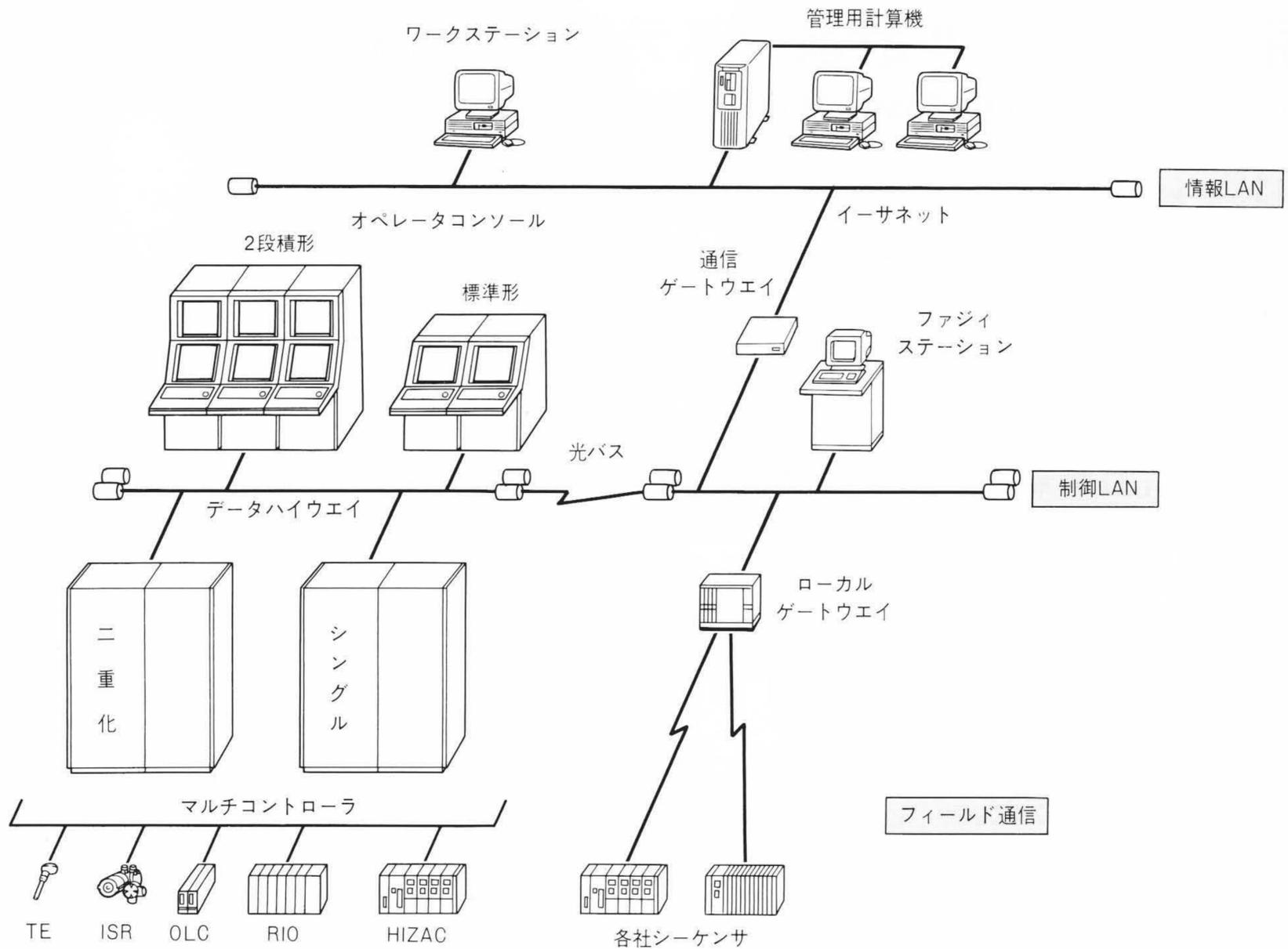
(3) CIM化対応のオープンなシステム

フレキシブルな生産を実現する、多品種生産管理機能を充実させた。さらに、オープンなイーサネット*1)を介して生産管理システムと接続することにより、市場の動きに即応できるシステムとすることができる。

(4) 国際標準技術の採用

*1) イーサネットは、富士ゼロックス株式会社の商標である。

* 日立製作所 計測器事業部



注：略語説明

TE (温度検出端), ISR (インテリジェント伝送器), OLC (ワンループコントローラ), RIO (リモートI/O), HIZAC (日立HIZACシーケンサ)

図1 EX-5000シリーズのシステム構成 オペレータコンソール、コントローラ、ワークステーションおよびこれらを接続する制御LAN、フィールド通信、情報LANから構成される。

国際標準のLANやOSを採用し、オープンなシステムを実現した。

(5) 高信頼化

システム構成機器の信頼性を向上させるとともに、システム全体の二重化構成が可能であり、ノンストップを目指した高信頼システムを構成できる。

3 システム構成

EX-5000シリーズは、図1に示すように階層化LANの構成に基づいた、機能分散形の計装システムである。本計装システムは、オペレータコンソール、コントローラ、通信ゲートウェイなどを結合する制御LANであるデータハイウェイを中心に、ワークステーションなどを接続する情報LAN、フィールドのインテリジェント機器を接続するフィールド通信から構成される。

(1) オペレータコンソール

オペレータコンソールの外観を図2に示す。オペレータコンソールは、計装システムの集約化したマンマシンインタ

フェースであり、プロセス運転の中心となるため使い勝手が大切である。

EX-5000シリーズでは、CRT表示に専用の32ビットRISCプロセッサを採用したマルチプロセッサ構成としており、大量の表示データを高速に処理することができる。高精細なCRT上で、画面スクロール、マルチウインドウなどの表示を、タッチパネル、トラックボールなどで自由に扱うことができる。標準の据え置き形と高集約な2段積形のオペレータコンソールが用意されており、仕様を表1に示す。

(2) コントローラ

コントローラはプロセスの制御を直接に行っており、ループ制御、シーケンス制御、簡易演算、データ管理などを実行する。演算性能を従来機種種の3倍に強化するとともに、工業単位表現での演算や、文字列・時刻データの処理など機能が向上しており、生産ラインでリアルタイムに発生するデータの管理まで行うことができる。シリーズとして、シングル構成、共通部二重化構成および全二重化構成の3種が用意されており、プロセスの信頼度要求に応じた計装システムを構築

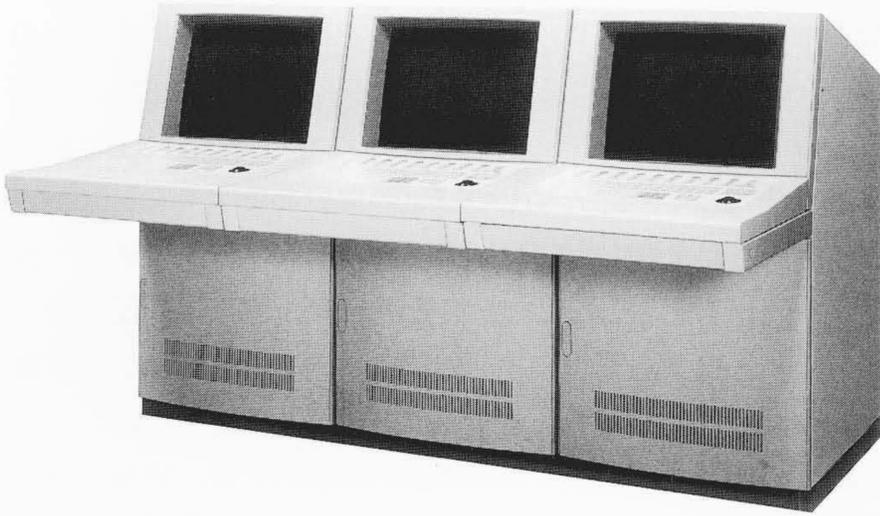


図2 EX-5000シリーズのオペレータコンソール 20形カラーCRT, 専用キーボード, タッチパネル, トラックボール, プリンタなどから成り, プロセスの監視・操作を行う。

表1 オペレータコンソールの仕様 最大約4万点のタグナンバー管理, 最大約5,000点のトレンド記録が可能である。

項目		標準仕様	最大仕様
グラフィックフレーム数		256枚	999枚
サポートタグ数	計器	2,560点	8,192点
	バルブ	3,840	16,384
	シーケンス	2,560	8,192
トレンド点数	リアルタイム	256	512
	バッチ	256	512
	サイクリック	256~2,048	4,096
CRT	寸法	20形	
	表示色	16色	
	表示方式	フルグラフィック	
	分解能	1,280×1,024	
	スクロール	グラフィック大画面スクロール	
	ウィンドウ	計器ウィンドウ 8台	
操作能力	オペレーション	専用フラットキー	
		タッチパネル	
		トラックボール	
	エンジニアリング	JIS準拠ストロークキー	

できる。

フィールドに設置されるインテリジェントな機器との通信機能を充実させており, 圧力や流量などを検出するインテリジェント伝送器, 電動機などの電機品を扱うHIZACシリーズシーケンサ, リモートPIO(Process Input and Output)などを統括管理することができる。コントローラの仕様を表2に示す。

(3) 制御LAN

データハイウェイは計装システムの神経系統であり, 一段と高い信頼性が要求される。国際標準のトークンバス方式(IEEE(米国電気電子学会) 802.4)を採用し, 通信バスはIEEEモデルの二重化構成を標準としており, 高い信頼性を確保している。

表2 コントローラの仕様 32ビットマイクロプロセッサと制御用ソフトウェアパッケージにより, ループ制御, シーケンス制御, 演算式などを実行する。

項目	仕様	
演算部	32ビットマイクロプロセッサ 浮動小数点プロセッサ付き	
メモリ	SRAM 2Mバイト ECC・バッテリーバックアップ付き	
入出力ユニット	接続台数	最大8ユニット/マルチコントローラ
	入出力パッケージ数	最大16枚/ユニット
制御規模	制御ループ: 80ループ・ 監視ループ: 176ループ デジタル入力: 512点 デジタル出力: 512点 シーケンスマップ: 256台 タイマカウンタ: 512点 バルブ: 512台 演算式: 256式	
制御機能	ループ制御	PID制御, ON-OFF制御, 上下限警報 アナログ・パルス積算, プログラム制御など
	シーケンス制御	● マップ方式工程制御 ● インタロック制御 ● バルブ監視など
	演算式	● 整数の四則演算 ● 工業単位数の四則演算 ● 関数演算(LOG, EXPなど)

注: 略語説明 SRAM(Static RAM)
ECC(Error Checking and Correcting)
PID(比例・積分・微分)

データハイウェイは画面表示データの収集や警報報告に使用されるため, 応答性能が重視される。通信速度を10 Mビット/sと高速にするとともに, 制御ステータスを短い周期でブロードキャスト報告するスキャン転送方式を採用し, 警報は1秒, 通常の画面は1~2秒で表示される。制御LANの仕様を表3に示す。

(4) 情報LAN

通信ゲートウェイを介して, 国際標準となっているイーサネット(IEEE 802.3 TCP/IP)に接続し, 工場全体の管理を行うCIMシステムを構築することができる。管理を行う機種としては, 日立製作所のUNIX^{※2)}ワークステーション2050/3050シリーズや制御用計算機HIDIC-V90シリーズを中心に, 各種のマシンが可能である。

(5) ローカルゲートウェイ

各社のシーケンサとシリアル通信で接続し, オペレータコンソールから監視・操作を行うことができる。

※2) UNIXオペレーティングシステムは, UNIX System Laboratories, Inc.が開発し, ライセンスしている。

4 システムの運転機能

4.1 統合オペレーション機能

(1) 統合オペレーションの考え方

表3 制御LANの仕様 10 Mビット/sの二重化通信により、最大64ステーションの構成を可能にした。

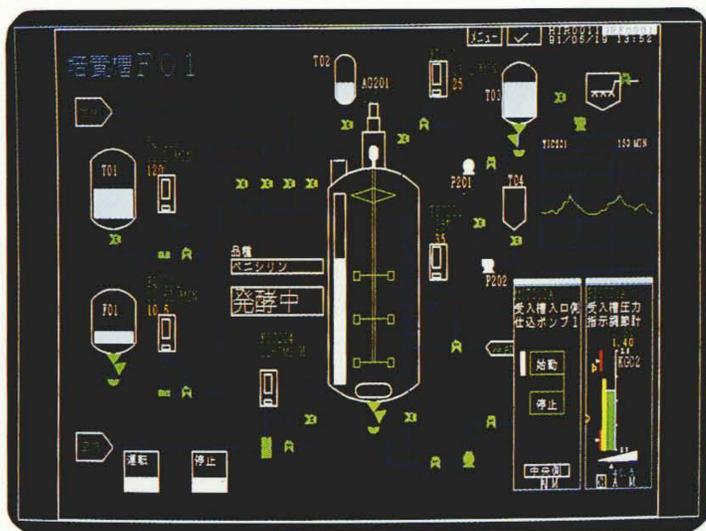
項目		仕様
コントローラ数		32台
オペレータ コンソール	メインコンソール数	16台
	サブコンソール数	3台/メインコンソール
通信ゲートウェイ数		16台
全ステーション数		64台
データ ハイウェイ	ビットレート	10 Mビット/s
	方式	IEEE802.4準拠 トークンバス方式
	二重化	IEEE802モデル準拠 メディア二重化方式
	スキャン転送	128 kワード
	距離	電気バス 500 m(リピータにより延長可) 光バス 2 km

従来のプラント計装では計装盤を監視し、必要ときにはは盤の近くに行って確認し、スイッチを押したり、回すなどの単純な操作で運転してきた。統合オペレーションでは、計装盤の機能をより使いやすくオペレータコンソールの上に実現する方法として、計装盤上の種々の機器のモデルをシステム内に実現し、それらをCRT画面上に実体イメージで表示・操作する方法を採用した。モデルとしては、調節計、記録計、警報計、工程表示器、バルブ計器、スイッチ、品種管理計器など、計装盤で使用されるすべての機器を備えている。

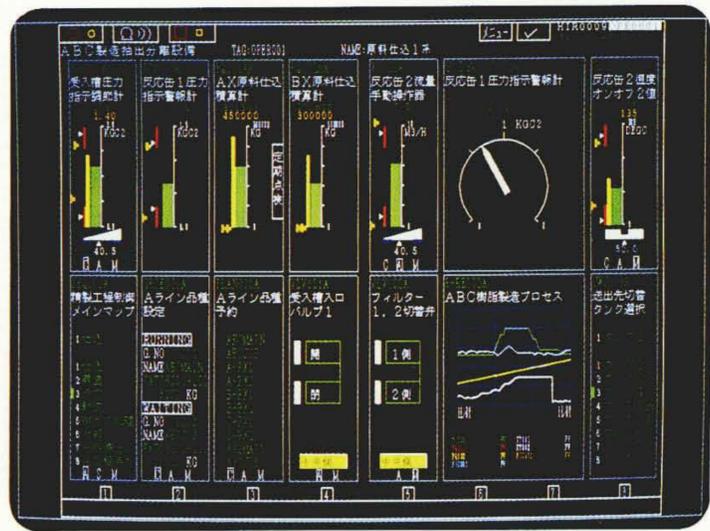
図3の統合オペレーション画面の表示例では、画面が16分割されており、各種の計器を並べて表示する。記録計や丸形計器は見やすいように、横2倍サイズで表示している。計器の操作は、画面を見ながら下部の専用キーで、計器移動やスイッチ操作を行うことができる。スイッチやバルブ計器などは、タッチパネルによって画面の表示部を直接タッチして、操作することもできる。調節計、指示計には記録機能が付いており、時系列トレンドグラフを切換表示できるため、プラントの動向が把握しやすい。

(2) グラフィックオペレーション

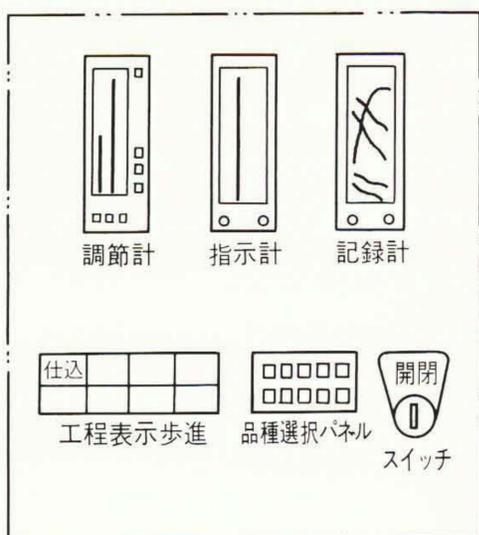
プラントの運転では、グラフィック画面で監視・操作を行



グラフィック画面



統合オペレーション画面



制御機器のモデル



トレンド画面

図3 統合オペレーションの概念 制御機器の一元化モデルを実現し、統合オペレーション画面での計器表示、グラフィック画面の簡易表示および詳細表示を行う。

うことが多いため、新機能を採用し使い勝手を向上させた。使いやすくするためには、画面に情報を集約して、画面の切り換えなしで監視できるようにするとともに、即座に操作できるようにすることが大切である。グラフィックオペレーションの体系を図4に示す。

(a) 大画面スクロール

CRT内部では縦、横とも2倍の大きさの大画面を動作させておき、画面をスクロールして隣接する部分の監視ができる。

(b) 簡易計器

画面はプロセスフロー図を中心に色替え、数値、グラフなどでわかりやすく表現でき、この中に簡易形の調節計、バルブ計器などを100台以上埋め込み、これらをフロー図から呼び出し操作できる。

(c) マルチ操作

画面スクロールやポインティングは、運転用フラットキーだけでなく、直観点タッチパネル、操作の容易なトラックボールを状況に応じて自由に使える。

(d) カーソル色変え

画面上のカーソルは、操作ウィンドウへ呼び出しできるシンボルの近くにくると色変わりするため、操作可能かどうか区別しやすい。

(e) 操作ウィンドウ

操作ウィンドウは8個あり、同時操作ができる。ウィンドウの移動・消去もワンタッチである。

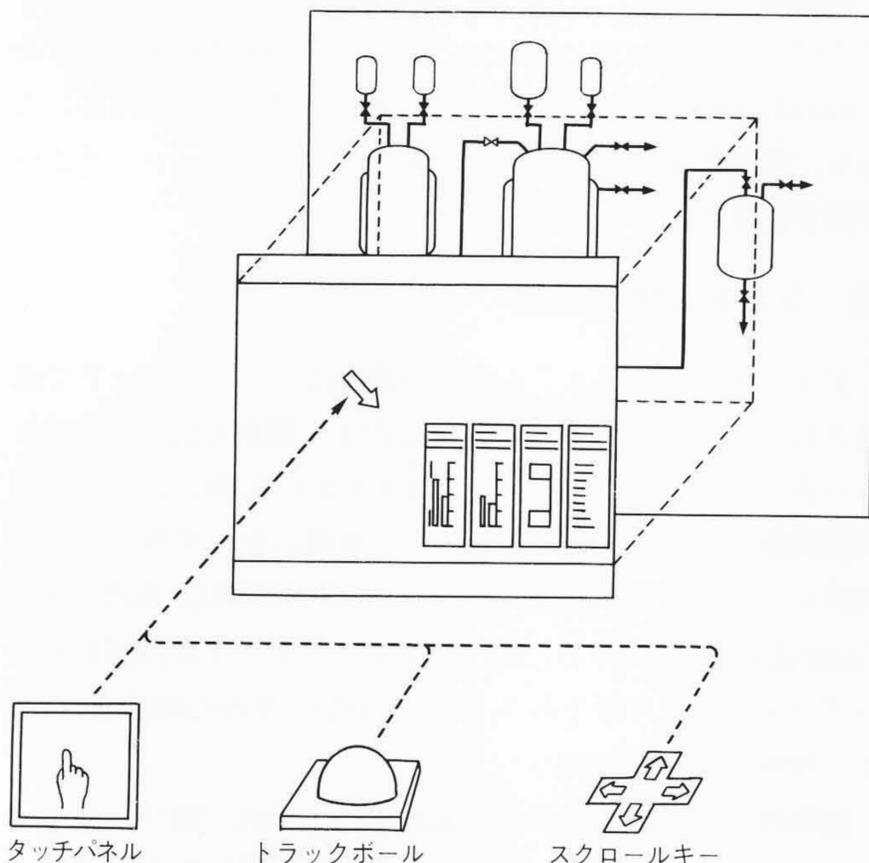


図4 グラフィックオペレーション方式 画面スクロール、マルチウィンドウなどの表示を、タッチパネル、トラックボール、スクロールキーなどで自由に扱うことができる。

4.2 警報システム

プラント運転中には、プロセスや制御機器の異常が発生したり、原料の人手による投入や現場での確認など、オペレータの介入が必要になる事象が発生する。これらの事象は、プロセスの異常を示すプロセスアラーム、制御機器の異常を示すシステムアラーム、操作ガイドを与えるオペレーションガイドに分類し管理する。

事象が発生すると、警報音が鳴ると同時に画面上部のアラームシンボルがフリッカし、事象内容を示すテロップウィンドウが自動表示されるため、何が起こったかを即座に知ることができる。複数の事象が発生したときにはアラームウィンドウを呼び出し、個々の内容を確認する。

アラームは日本語で表示されるためわかりやすく、また、重故障・軽故障を音や色で分けているので、状況を把握しやすい。制御ループの上上限(大幅な)異常は重故障に、上限異常は軽故障として扱う。

オペレーションガイドが発生すると、チャイム音を鳴らし日本語ガイドメッセージを表示する。また、音声によるボイスメッセージを出力し、理解しやすくすることもできる。ボイスメッセージはあらかじめデジタル録音によりハードディスクに格納しておき、必要時にメッセージとして再生する。

4.3 トレンド記録機能

プロセスの運転状態を正確に把握し、的確な判断を下したり、プロセス運転の改良を行うために、状態データを時系列で蓄積するトレンド記録機能が重要である。

EX-5000シリーズでは、運転しやすいシステムを目指して、トレンド記録機能を充実させている。すべての調節計や指示計では、10分間までのデータが記録されており、計器上で傾向を知ることができる。また、専用の記録機能として、リアルタイム、バッチ、サイクリックなどのトレンド機能が用意されており、1秒周期×30分から30分周期×15日までの幅広い記録ができる。

トレンド画面では時間軸方向のスムーズスクロール、参照トレンド表示、日本語コメント付きペンデータのデジタル表示など、わかりやすく正確な監視を行うことができる。また、ハードディスクに蓄積したトレンドデータは、フロッピーディスクに出力して保存し、オペレータコンソールで再表示したり、パーソナルコンピュータ(以下、パソコンと略す。)で解析することができる。

4.4 品種管理機能

プロセス産業の自動化は、現場作業を対象にしたオートメーションとしてスタートした。近年では、市場ニーズの多様化への対応、受注から発送までの時間短縮が大きな課題となっており、管理業務とも連携をとった工場全体のCIM化へと進んできている。

EXシリーズでは、ニーズの多様化に対応する品種管理機能

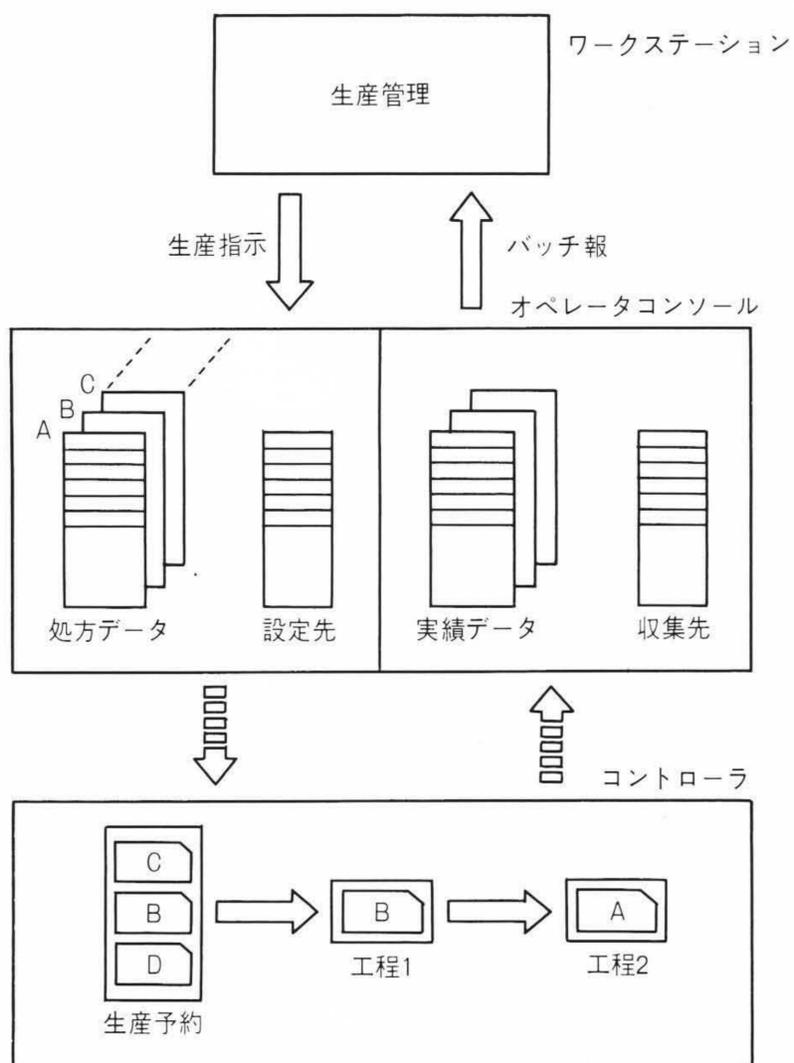


図5 品種管理機能の概念 生産管理ワークステーションからの生産指示に従い、制御機能の内容を品種ごとの処方データに設定し、自動運転を行う。

を標準化し実績を重ねてきたが、これをさらに強化したCIM化対応の多品種生産管理機能を完成させた。

品種管理機能の概念を図5に示す。多品種生産プロセスでは、制御機能の内容を品種ごとの処方データに従って、自動的に、かつダイナミックに切り替えなければならない。処方データはオペレータコンソールのハードディスクで管理し、生産計画は、製品名・生産量・ロット名などを記入した電子的なカードを、生産予約器に格納することで行う。このカードは荷札の役割を果たし、プロセスの物の流れに対応してコントローラ内を流れ、カードを受け取った品種設定器は、対応する工程に関する処方データをコントローラに伝送し、自動運転を実行させる。コントローラには、細かいタイミングを指定したパラメータ設定や実績データ収集の機能が用意されている。ワークステーションで作成した生産計画や処方データを、通信ゲートウェイ経由でローディングすることにより、市場の動きに即応した製造システムを構築することができる。

4.5 運転支援・生産管理

制御システムのいっそうの高度化を目指したAIの応用や、CIM化システムの実現へ向けて、幅広い計算機やワークステーションと通信接続していくことが必要である。EX-5000シリーズでは、通信ゲートウェイで10 Mビット/sのイーサネッ

トに接続し、オープンな高速通信を実現するとともにシステム機能の拡張を図った。

(1) ファジィコントローラ (FZC-5000)

ファジィ推論により、プロセス制御を行う。ファジィルールやメンバシップ関数を自由に定義し、熟練オペレータの状況判断に基づいた動作を対象にした、プロセス制御向けエキスパートシステムを構築できる。通常のPID(比例・積分・微分)制御では良い制御が難しく、対象が解析しにくい発酵やごみ焼却炉などの制御性改善に適している。

(2) ワークステーション

UNIXワークステーション2050/3050シリーズと接続し、生産計画やプロセスデータ管理を行う。ソフトパッケージEX-CIMは、プロセスデータやオペレータコンソールの品種管理処方ファイルやロギングファイルにアクセスし、EXシステムのデータ管理を行う。また、知識形計画支援システムHPGS/W(Hitachi Flexible & Intelligent Planning Support System)は、人間がカット アンド トライで作成していた生産計画業務を対象とした、わかりやすいエキスパートシステムである。作成された生産計画データをEXシステムの多品種生産管理システムにロードすることにより、刻々変化する市場に即応した生産を行うことができる。

(3) 管理用コンピュータ

オフィスコンピュータHITAC-L700には、EXシステムとの通信ソフトウェアパッケージが用意しており、ユーザーは信号名称(タグと呼ぶ)でEXシステムのプロセスデータにアクセスできる。生産計画の立案、出荷管理や部門OAとの統合システムを実現できる。

制御用コンピュータHIDIC-V90シリーズでは、プロセスデータベースHIDACS(Hitachi Process Data Acquisition & Control System)とEXシステムのインタフェースを用意しており、最適化演算やリアルタイム エキスパート システムへ展開を図ることができる。

5 システム構築機能

デジタル計装システムの制御機能は、ソフトウェアで構築される。CPUの性能は飛躍的に向上し価格も低下しつつある一方、人間が製作するソフトはますます貴重になっており、制御機能を容易に構築できることが重要になってきた。EX-5000シリーズでは、実績のある制御用言語SLC(Soft-Less Controller)で記述する。SLCは、計装エンジニアが理解しやすいグラフィック言語であり、CRTと対話しながら構築を行う。

(1) 理解しやすい表現

制御機能がグラフィカルに表現されるため、誤りにくい。また、信号をタグナンバと呼ぶ名前と工業単位表現のデータで扱え、理解しやすい。

(2) オープンな環境

機能構築はオペレータコンソールで行うとともに、国際標準となりつつあるUNIXワークステーション2050/3050シリーズのXwindow^{※3)}を用いて行うことにより、オープンな環境とした。データ入力にはMS-DOS^{※4)}パソコンで広く普及しているデータ管理ソフトLOTUS1-2-3^{※5)}を活用することができる。

(3) 機能間の独立性

制御機能はループ制御、シーケンス制御、データ設定・収集などが相互に関連しあっており、複雑になっている。これらの機能間のインタフェース方式を改良することにより、ループ制御回路に影響を与えずに、順序シーケンスを記述できるようにした。また、制御回路を変更することなく、データの設定・収集ができるため、段階的に機能構築を進めることができる。

(4) 機能のモジュール化

シーケンス制御では、類似シーケンスをサブルーチン化することができる。ループ制御では、「調節計」のような標準的な機能は、機能タイプを指定するだけで回路を作成することができるなど、簡単な機能は簡単に構築できるようにしている。

(5) デバッグツール

制御ループやバルブ、電動機などにはシミュレーションモードが設けてある。このモードでは、プロセスの動作を模擬した応答を自動的に行うため、制御機能の動作確認が容易である。接点入力やアナログ入力を模擬することもできるため、プロセス入出力装置がなくても、動作確認を進めることができる。

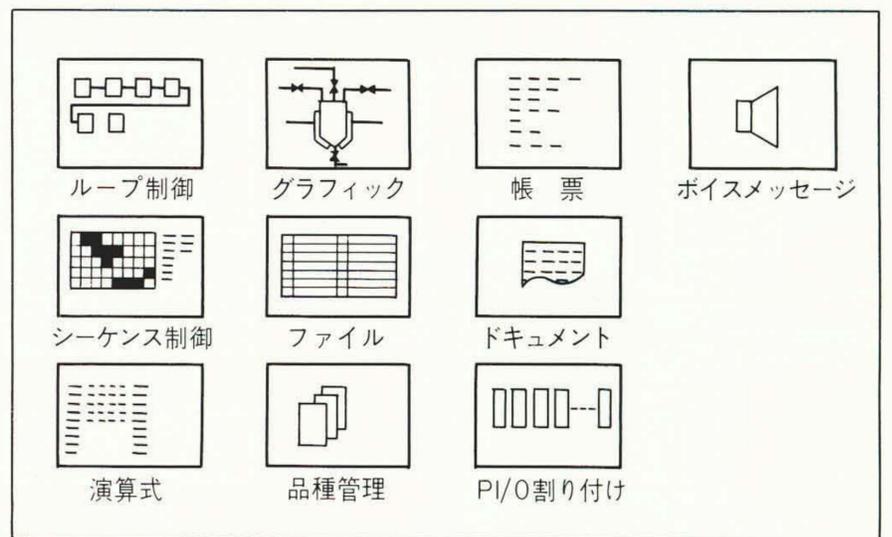
(6) ドキュメント出力

制御ループの機能ブロック結線図やシーケンス制御のインタロック回路図などの高度なドキュメントを、ワークステーションから出力できる。このため、手書き図面を管理する負担が大幅に軽減される。

SLCの体系を図6(a)に、ループ制御機能構築画面の例を同図(b)に示す。制御機能は、「調節計」のような機能タイプを選択し作成する。機能の追加・変更は、機能ブロックを画面上に追加し、結線を行う。

6 システムの高信頼化

計装システムはプロセスの運転に直結しているため、特に高い信頼性が要求される。EX-5000シリーズでは、単にダウ



(a) 構築機能の体系



(b) 構築画面の表示例

図6 システム構築機能 ワークステーションおよびオペレータコンソールで制御機能を作成する。機能がグラフィカルに表示されるため、作成しやすい。

ンしないだけでなく、安心して使えるノンストップシステムを目指している。

システム信頼性についての基本的な考え方を以下に記す。

- (1) 本質的に信頼度の高い設計と製作
- (2) 部分障害の発生時には自動修復を図り、修復できないときにはその影響の波及を防止する。
- (3) 故障個所の発見が容易で、修復しやすい構成

本質的な高信頼化のためには、高集積な1MビットSRAM (Static RAM)やカスタムLSIの採用により、部品点数を削減し故障確率を低減するとともに、全部品のテストを行い、不良品の混入を未然に防止している。さらに、従来のEX-1000シリーズの経験に基づき、信頼性を十分に考慮した設計を行っている。

万一の障害発生時には、発生個所に応じて自動修復を図っている。

- (1) リトライ機能を充実し、一過性エラーへの耐力を増す。
- (2) 主記憶にはECC(Error Checking and Correction)機構

※3) Xwindowは、MIT(米国マサチューセッツ工科大学)の商標である。
 ※4) MS-DOSは、米国マイクロソフト社の商標である。
 ※5) LOTUS1-2-3は、Lotus Development Corporationの商標である。

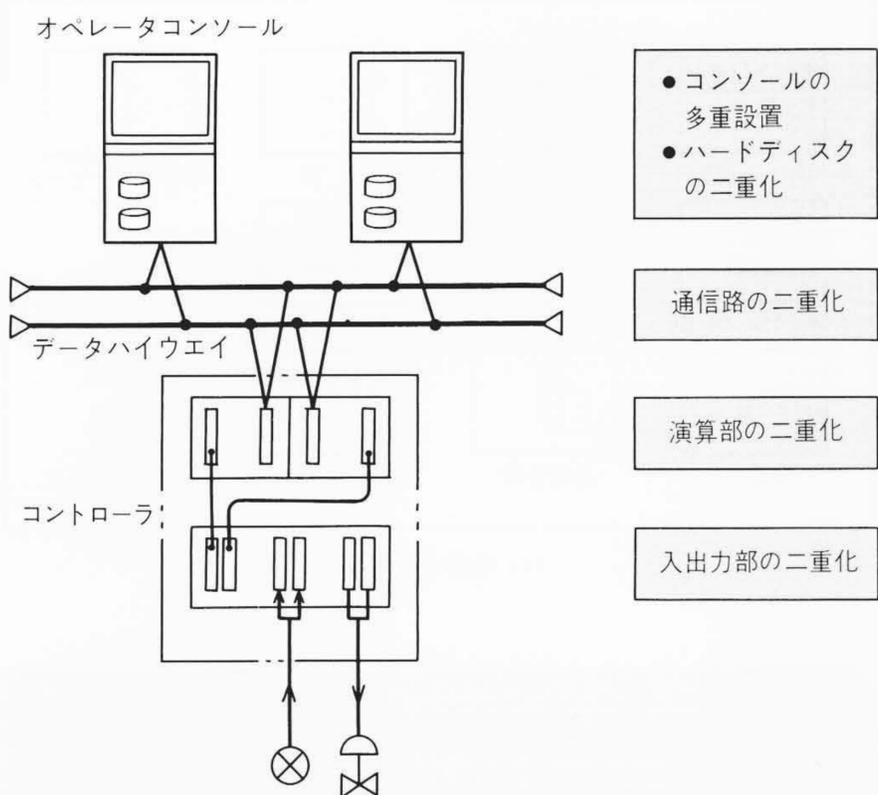


図7 二重化システムの構成 オペレータコンソールからコントローラの入出力部までの、高信頼二重化システムを構成できる。

を採用し、1ビットエラーは自動修復する。

(3) ハードディスクでは、壊れたデータトラックを自動修復する。

自動的に修復ができなかった場合、二重化構成によって機能障害を防止する。

オペレータコンソールは、多重設置によって相互バックアップをする。また、ハードディスクは標準で二重化構成としており、故障時には待機系に切り替えることにより、貴重な生産データの信頼性を確保している。コントローラは特に信頼性が重要なため、シングル系のほかに、共通部二重系、全二重系を用意してあり、演算部から入出力部までの二重化が可能である。データハイウェイは、標準で通信路を二重化しており、高信頼な通信システムとしている。二重化システムの構成を図7に示す。

保守のしやすさのために、自己診断による故障個所の検出と、オンライン保守を充実させた。自己診断により、ステー

ション単位、交換部品単位で、故障部位をシステム構成図上に表示する。二重化されたコントローラ、ハードディスク、データハイウェイでは待機系診断を行っており、予防保全に効果的である。二重化コントローラ、プロセス入出力部、二重化ハードディスクなどは、オンラインでの保守が可能であり、プロセスの継続運転に寄与することができる。

7 おわりに

新しい分散形デジタル計装システム「EX-5000シリーズ」を完成させた。EX-5000シリーズは、最新のマイクロエレクトロニクス技術を採用し、機能・性能・使い勝手を大きく向上させている。国際標準の技術に基づき、CIM化へのニーズにこたえるオープンなシステムとした。また、プロセスの運転情報を高度に集約した使いやすい統合オペレーション、ワークステーションでのシステム構築、ノンストップシステムを目指した高い信頼性・保守性など、使う人に優しいシステムにできたと確信している。

しかし一方では、より高機能に、より高信頼に、そしてより使いやすく構築しやすいシステムへと、発展することが求められており、CIM化への動きも強まっていくものと考えられる。システムを支えるマイクロエレクトロニクス、ソフトウェア、通信などの技術進歩をバランスよく取り入れ、要求にこたえていくことが使命であり、今後いっそうEX-5000シリーズの発展を図っていく考えである。

参考文献

- 1) 小宮山, 外: ユニtrol EX-1000シリーズの開発, 日立評論, 69, 2, 183~192(昭62-2)
- 2) 鈴木, 外: ユニtrol HX-1000シリーズ, オートメーション, Vol.33, No.9, 53~62(1988)
- 3) 横川, 外: ファジィ推論の制御システムへの適用, 計装, Vol.32, No.8, 14~17(1989)
- 4) 石村, 外: プロセス産業におけるCIM化対応システム, 計測ジャーナル, Vol.2, No.2, 13~20(1990)
- 5) 布野, 外: ユニtrol EX-1000/32シリーズ, 計測技術, Vol.18, No.2, 41~51(1990)