

総合計装制御システム **CENTUM** のアーキテクチャ

井上忠世, 渡部一字
山本 茂, 若狭 裕(横河電機)

1. はじめに

ワンチップLSIに代表されるコンピュータ・ハードウェア技術の急速な進歩は、アナログ技術主体の従来のプロセス制御技術の分野でも、従来の増して、大きな影響を与えようとしている。

コンピュータ技術は、既に10数年前より、操業管理、最適制御あるいは直接計算制御(DDC)の形で、プロセス制御の分野に、除々にではあるが、着実に導入され、定着しつつあり、いわゆる制御用コンピュータは、1つの市場を形成しつつある。しかしながら、そのような制御用コンピュータは、各種検出器、変換器、記録計器、制御装置、分析計などを含む、膨大なプロセス制御機器の分野では、ほんの一部を占めるにすぎない。

LSIを利用したマイクロ・コンピュータは、従来の制御用コンピュータのワケをこえて、コンピュータ技術と、プロセス制御技術、更には通信技術も統合したインテグレイテッド・インストルメンテーションへの道を開きつつある。

本文では、以上のようなコンピュータ技術、制御技術、通信技術を結集して、横河電機が開発した、新しい制御装置CENTUMについて、主として、そのアーキテクチャに焦点をあわせて説明する。

2. システム概要

2.1 構成

CENTUMは、マイクロ・コンピュータなどのインテリジェンス(処理・判断機能)を有するステーションと、それらを互いに結合する通信ライン(F-BUS)とから構成される。

ステーションは、それぞれの機能が明確化されており(専用化)、それらのステーションをシステム規模に応じてF-BUSで接続することにより、危険分散・機能分担型の制御システムを構成する。

2.2.1 ステーションの種類

(1) オペレータズ・ステーション

オペレータズ・ステーション(OPSと略記)は、オペレータが監視し操作するためのステーションで、インテリジェンスとCRTディスプレイを利用して、高度な表示・操作・記録機能を備えている。従来の、数メートルから数10メートルにわたるパネルの前を行き来してはじめて見ることのできた調節計の指針、アラーム状況、グラフィック・パネルなどを、オペレータはすわったままで、CRT上に見ることができ、従来のアナログ調節計相当の機能を操作できる。オペレータズ・ステーションには、インテリジェンスを有効に利用するために、フレキシブル・ディスク装置、CRT装置、ロッキング・ライトを装備し得る。F-BUS制御装置は標準として用意されている。

(2) フィールド・コントロール・ステーション

フィールド・コントロール・ステーション(FC&と略記)はプロセス・フィールドを制御するためのステーションで、検出端や操作端との信号変換を行なう

I/Oカード群及びインテリジェンス部分より構成される。

フィールド・コントロール・ステーションは、オペレータズ・ステーションと組合せて使用されるが、スタンド・アロン型としても使用可能で、その場合には卓上型オペレータズ・コンソール(インテリジェンス無し)が接続される。

写真1.
CENTUM

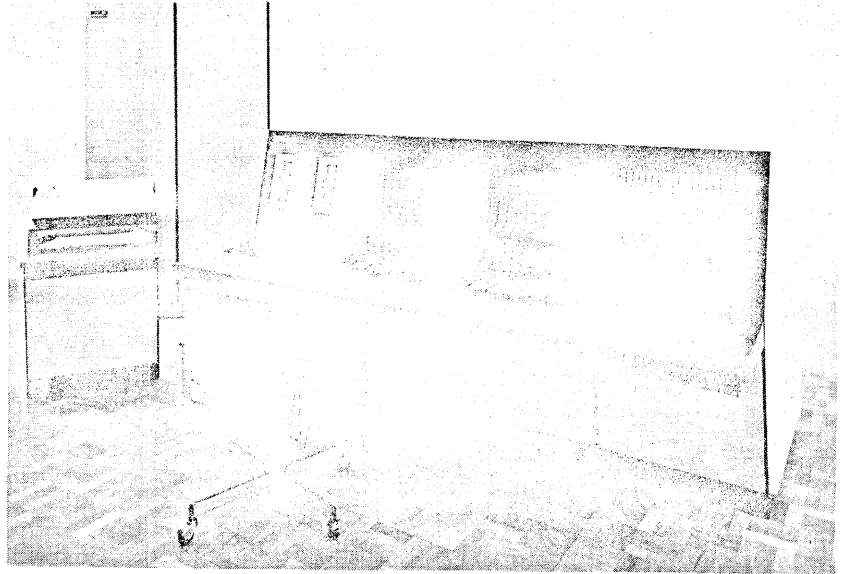


写真1は、オペレータズ・ステーションとフィールド・コントロール・ステーションとで構成された一例を示している。

フィールド・コントロール・ステーションは次の機能を有する。

- (a) フィードバック制御機能
 - (b) シーケンス制御機能
 - (c) アナログデータ機能
 - (d) 操作監視機能(卓上型オペレータズ・コンソール接続の場合)
 - (e) 通信機能(オペレータズ・ステーション接続の場合)
- (3) コンピュータ・アダプタ・ステーション

CENTUMに生産/操業管理用の汎用計算機を接続する場合、CENTUM側と、汎用計算機との間の通信制御手順の変換、データ形式の変換などを行うステーションであり、インテリジェンスを利用して、種々の計算機との間のインタフェースを容易にする。

(4) その他

温度表示用ステーションや監視・作表ステーションなど、それぞれの機能に応じたステーションがある。

2.2.2 F-Bus

各ステーション間を同軸ケーブルで接続するのがF-Busで、通信ライン系と各ステーションに内蔵される通信制御アダプタとから構成される。

図1は、各種ステーションを接続した大規模システムの構成例である。

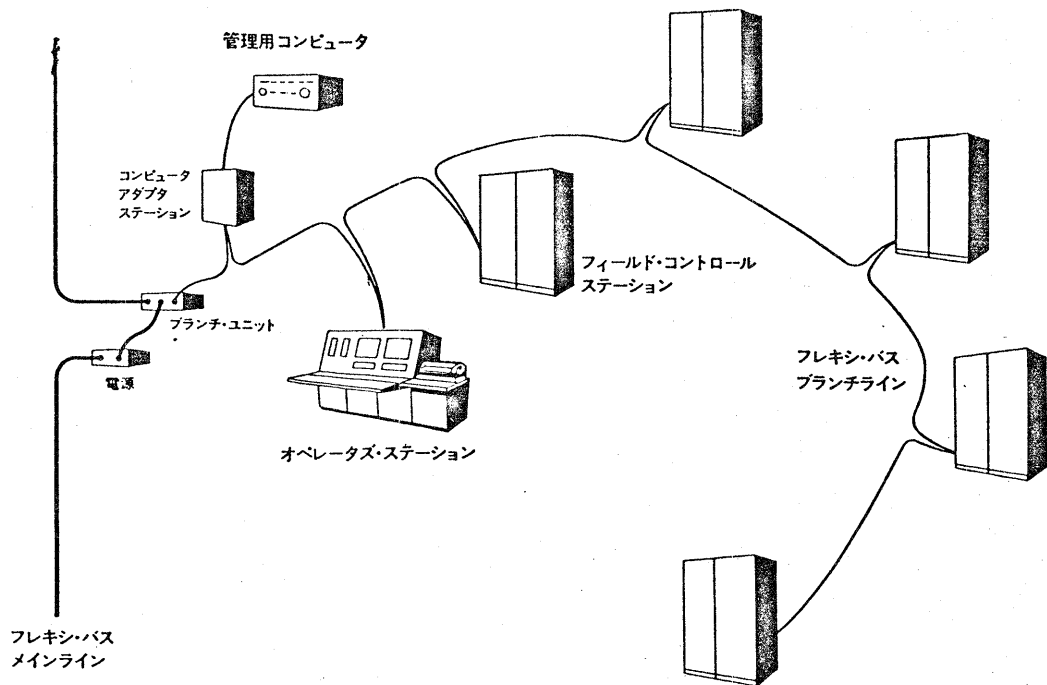


図1. 大規システム構成図

2.2 特長

以上のようなシステム構成からみたCENTUMは、次のような特長を有している。

- (1) 操作から見た特長 ----- インテリジェンスとCRTをフルに利用して、マン・マシン・システムの充実を図っている
- (2) 保全から見た特長 ----- 標準化されたコンパクトな実装方式
- (3) 情報流通から見た特長 --- コンピュータ適合性の充実
- (4) 計装から見た特長 ----- フィールド及びアナログ計装機器との適合性
- (5) 融通性から見た特長 ----- 柔軟なビルディング・ブロック構造
- (6) 信頼性/安全性から見た特長 --- 部品数の減少と危険伝播の防止
- (7) 制御性から見た特長 --- シーケンス制御, フィード・フォワード制御
- (8) 総合システムから見た特長 --- アナログ制御系, コンピュータ制御系との協調

3 アーキテクチャ

CENTUMは、物理的には、インテリジェンスを有するステーションを同軸ケーブルで接続した単純なアーキテクチャをとっているが、論理構成上次のような特長を有している。

3.1 F-BUSのアーキテクチャ

- (1) F-BUSは、1本の同軸ケーブルでステーション相互間を接続するため

、配線コストが安く、システムの増設・組立てが容易である。通信は、通信制御権を有するステーションがコマンドを送出し、他のステーションがレスポンスを送送するという形で、同軸線を時分割使用する事で実行される。

(2) CENTUMKにおいては、唯一の接続部分は通信ライン系である。CENTUMでは、サイクリック・リダンダンシー・チェックにより情報の高信頼度化を図ると同時に、通信ライン系の2重化構成を可能としている。

(3) IPL通信

F-Busでは、IPL通信ができるので、システム起動時の遷移ローディングや停止したステーションへの再起動が可能である。

3.2 ステーションの特長

ステーションの核をなすマイクロ・プロセッサは、その命令体系が、制御用計算機として多くの実績を持つYODIC 100の命令体系と同一である。これは、CENTUMとYODIC 100との接続を容易にするのみではなく、YODIC 100で蓄積されたソフトウェアが、CENTUMのソフトウェア開発に利用できることを意味しており、より広い意味でのコンピュータとの適合性を実現している。

図2は、フィールド・コントロール・ステーションの構成図である。

SCN(ステーション・コントロール・ネット)は、ステーションのインテリジェンスに相当し、この中には、マイクロ・プロセッサを含むCPU、コア・メモリMMU、通信制御アダプタFCAを標準的に含む。PBCとNCUは、入力制御部である。

AGN(アナログ・ネット)、DGN(デジタル・ネット)には、フィールド・コントロール・ステーションの用途によって、各種の入出力装置が組込まれる。

図に示すように、FCAはCPUと対等の立場にあり、IPL通信等メモリの内容を直接アクセスできる構成になっている。

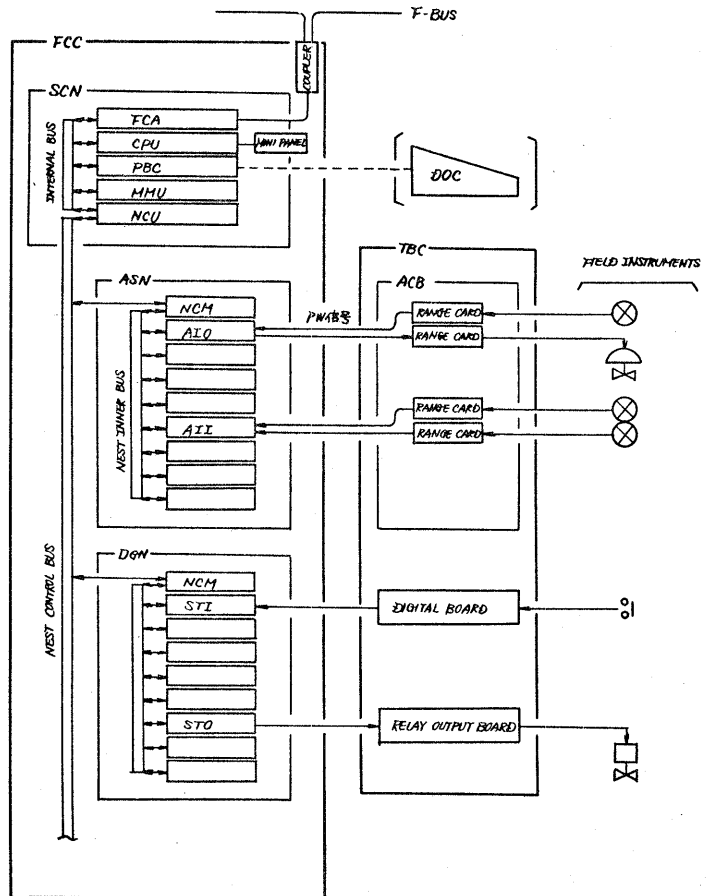


図2 FCS構成図

CA 17

4. ソフトウェア

CENTUMKは、2.2で述べたような多数の特長を有するが、そのソフトウェアは、これらの特長を生かすべく、用途別に専用化された各種の標準パッケージ・プログラムが用意されており、ユーザからの計装仕様書を、プロセス計装向3Kデザインされたワークシートに記入するだけで、必要なシステム・プログラムとデータベースが生成される問題向言語システムになっている。

4.1 ソフトウェア・システム構成

CENTUMのシステム機能の構成を図3に示す。フィールド・コントロール・ステーションに付く卓上型オペレータズ・コンソールは、フィールド・コントロール・ステーションをスタンド・アロン型で使用する場合の操作・監視装置で、オペレータズ・ステーションが付く場合には、F-BUS通信機能を置換えられる。

各ステーションの主なタスク及びデータベースの構成を図4に示す。

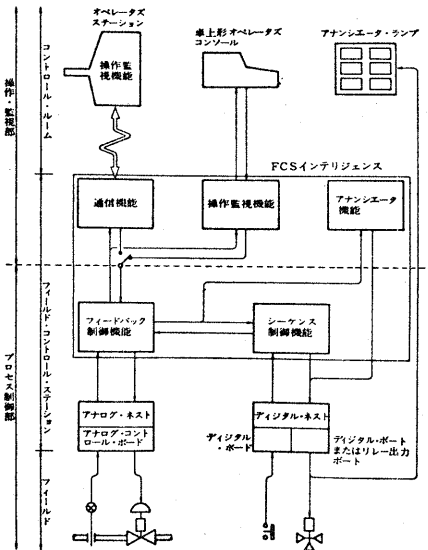


図3 システム機能構成

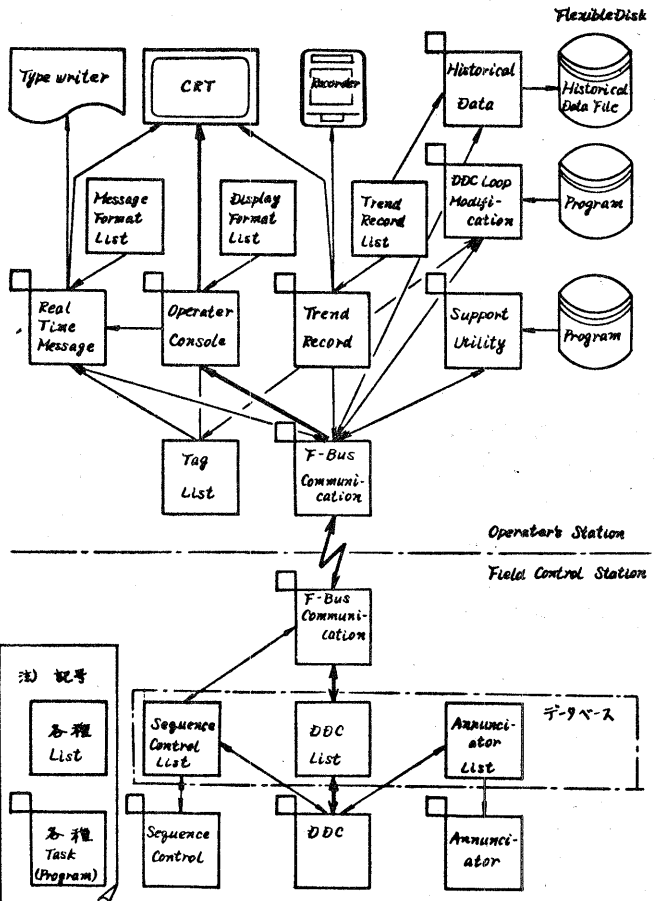


図4 CENTUMKのタスク及びデータベース構成図

4.2 通信機能

F-Busによるデータ通信機能としては、

(1) IPL通信より遠隔地に置かれたフィールド・コントロール・ステーションに対して、オペレータズ・ステーションからプログラム・ローディングしたり、機能を停止したステーションを再起動させたり、フィールド・コントロール・ステーションのプログラムの状態をオペレータズ・ステーションにある補助記憶媒体にセーブしたりすることができる。

(2) システムを構成するステーションの動作状態監視とメンテナンス通知

(3) 各種プロセス・データ、プロセス・ステータスの伝送

(4) 各種メッセージ・データの伝送

(5) オペレータズ・ステーションからフィールド・コントロール・ステーションのプログラムをメンテナンスするためのサポート・ユーティリティ通信等である。

この通信システムでは、それぞれがプロセッサを内蔵した複数のステーションが、1本の同軸ケーブル・バスを共有し、その使用時間を分割し相互に通信する方法である。しかも、この共通バスのスケジューリングを統轄する特別のステーションや制御装置が存在せず、個々のステーションが自分の持時間を管理し、どのステーションも一定時間以内には何等かの通信を行う事によって、互に異常を監視し合う事によって、システム全体の高信頼性をかち得ている。即ち、システムを構成するどのステーションが異常停止した場合でも、極力リスタートを試みたり、相互にバックアップして、残りのステーション間は正常な通信を継続するようにしている。

F-Bus通信では、同軸ケーブルと各プロセッサあるいはメモリとの間は、通信制御アダプタ(FCA)が接続する。このFCAの機能としては、

(1) 通信制御権(ボタン)の管理

(2) メモリ上のコマンドの送受とCRC(Cyclic Redundancy Check)ワードの付加

(3) 相手ステーションからのレスポンスを受信しエラー・チェックとプロセッサへの伝達

(4) 他のステーションからのコマンドを受信しプロセッサへの伝達及び相手ステーションへのレスポンスの返信

とがある。

F-Bus通信の使用時間の分割のスケジュールとしては、

- 通信制御権の移動のスケジュール

- 従属局の切換のスケジュール

とに分けて考えられる。

ボタンは全てのステーションに対し順送りで持回される。図5にその1例を示す。通信制御の主要な部分はFCAが行うので、システムを構成する各ステーションのプロセッサの演算処理能力がまちまちであっても、システムの動作上は、あまり影響を受けない。

個々のステーションは、多数の通信客がある場合でも、通常1回のボタン・パスに対し1回の通信しかしない。しかしオペレータズ・ステーション等高速な演算処理機能を有し且つ通信すべきデータ量の多いステーションでは、1回のボタン・パスで複数個のフィールド・コントロール・ステーションにコマンドを送

り出す場合がある。この場合でも、1個のフィールド・コントロール・ステーションに対しては、1通信に限定している。このようにすることによって、比較的低速な複数のステーションが対応するレスポンスを並行して作成できるので、システム全体の通信のスループットを上げることが出来る。図6には、その場合のタイミング・チャートを示す。

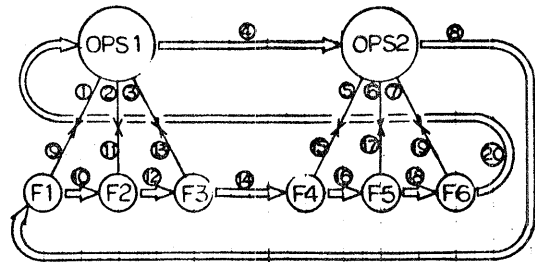


図5 通信制御のスケジューリング

⇒: ボタンパス
 - - - : 通信
 ①: 通信順序

通信のきっかけとしては、通信タスクが周期的に行うもの、各種アプリケーション・タスクからの通信要求があった場合、他のステーションからの通信コマンドを受け回答する場合、メッセージ通信でオペレータ・ステーションからのリソース割付けがあると順次通信する場合等である。

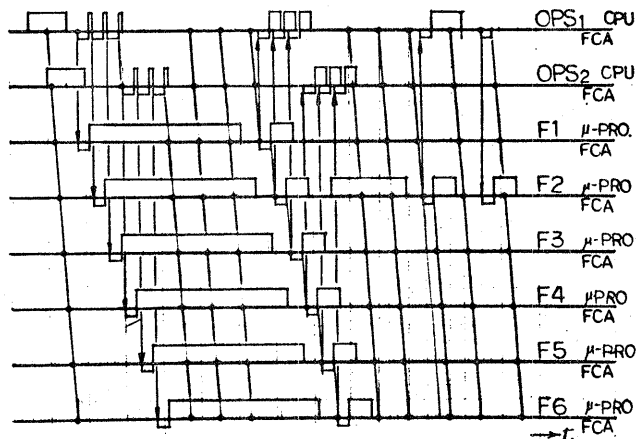


図6 通信タイミングチャート一例

●: ボタンパス
 ■: 作動中

システムを構成するステーションに状態の変化が生じた場合、それを検出したステーションから他のステーションに一齐にその状態を通報する。

4.3 分散型システムに於ける制御機能

個々のフィールド・コントロール・ステーションは、他のステーションが異常停止した場合にも、単独で作動しプロセス制御を継続できるだけの情報とプログラムを有している。制御機能としては、通常アナログ入出力を中心としたフィードバック制御機能(DDC)とステータス入出力を中心としたシーケンス制御機能とがある。フィードバック制御機能としては、アナログ入力処理、警報モニタリング、PID動作を主体とした制御演算処理及び出力処理が主な機能であるが、これらの処理に必要な各種制御パラメータ、警報設定限值及びプロセス変数等、1つの制御ループに属するデータが比較的多い。CENTUMでは、アナログ計器計装の場合との対応がとり易いように、これらの情報をループ単位に集めてリスト形式をとっている。DDCプログラムは、1秒周期で起動され、各種の検出端からの伝送信号を、それに対応した入力装置で受信し、線形化や補正演算を行い、測定値として、リストに格納する。また、リスト中の設定値との偏差を計算し、PID演算や非線形制御演算に基づき、その偏差を更正するような操作出力値を計算し、出力装置を介してバルブ等の検出端に出力する。また測定値や偏差値は、警報設定値と比較し、警報チェックする。全ループに対応するリストを集めたものは、データベースと呼ばれているが、このデータベース中のデータは、1

つのデータ・アクセス・ルーチンにより、ループ番号(タグナンバー対応)と、データの種別をデータ・タイプとでその内容を読み出したり、書き込みしたりすることができる。オペレータズ・ステーションでは、このデータベース中のデータを表示したり、設定したりする。特に測定値等の変数の表示は1秒毎更新表示されるが、表示の同期と制御の同期は非同期で行われる。またカスケード・ループ等で、2つのフィールド・コントロール・ステーションにまたがってプロセス・データがある場合、2つのステーションのDDCプログラムが同期して動作することは難しい。アナログ・データの場合、必ずしも厳密なデータの同期性を必要としないので、通常相互のステーション間のデータは通信プログラムがDDCのサンプリング・タイムとは非同期にデータベース中のデータの送信を行っている。図7にそのブロック構成図を示す。

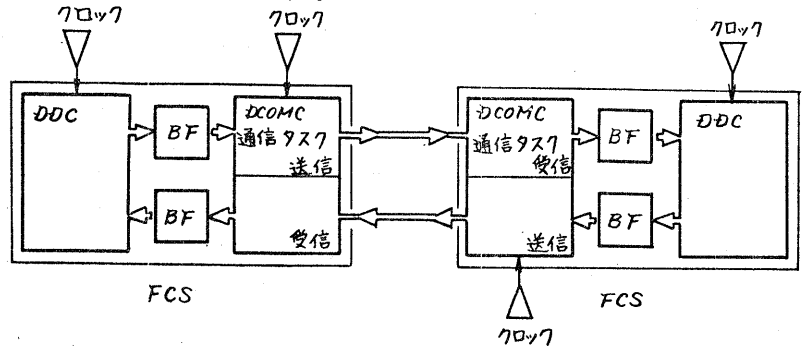


図7. FCS間プロセス・データ通信の動作原理

シーケンス制御は、基本的には、プロセスとの状態入力から論理演算を行って制御の各段階を逐次進める。CENTUMのシーケンス制御では、DDCでモニタリングされる警報状態を参照したり、制御ループの状態を変更できるようにしている。またタイマやカウンタ等の機能も有している。これらのアナログ値あるいは、カウント値は、シーケンス制御では例えば警報状態等のように値論理で取扱えるようにしている。CENTUMでは、シーケンス・ステップの記述を単純化し、且つ簡単に入ったからの変更を容易にするため、デジジョン・テーブル形式の記述形式を採用している。

フィールド・コントロール・ステーションには、この他、他のステーションとの通信がと絶えた場合にも最少限の操業ができるように、アンシエータ機能を有している。またフィールド・コントロール・ステーションのプロセッサの異常に対して、そのバックアップ装置も用意されている。

4.4 分散システムと操作監視機能

CENTUMでは、その制御機能がいくつものフィールド・コントロール・ステーションで行われるのに対して、その操作・監視はオペレータ・ステーションに集中して行われる。即ち、ハードウェア分散、情報集中型のシステム構成となっている。操作監視に必要な情報としては、

- 制御ループの状態表示
- プロセス・データのアナログ表示またはデジタル表示と設定
- トレンド記録表示
- グラフィック・ディスプレイ

CA
17

- アラーム・メッセージ印字
- オペレータズ・ガイド・メッセージ
- ログイン、アラーム・サマリ印字

等である。

制御ループの状態は、個々のフィールド・コントロール・ステーションでモニタリングされ、状態に変化があると、オペレータズ・ステーションに対し通報され表示される。

CENTUMでは、プロセス・データをCRT上にデジタル表示すると共にバ－グラフによるアナログ表示をしている。これは、従来のアナログ計器に横れたオペータに対して、その違和感を無くすのに役立っている。アナログ的な表示をする場合の難しさは、その変動が実感的な物の動くでとらえられず、スムースに見せる必要がある。特にアナログ表示上の設定指針を増加減しながら操作する場合には微妙な設定変更も可能にしたい。従ってプロセス・データの表示には1秒のクロックを、データの設定には50ミリ秒のクロックを使用している。また押印によってCRT上の画種を切換えて表示する場合必要以上その応答速度が要求される所から、押印が押されると、まず背

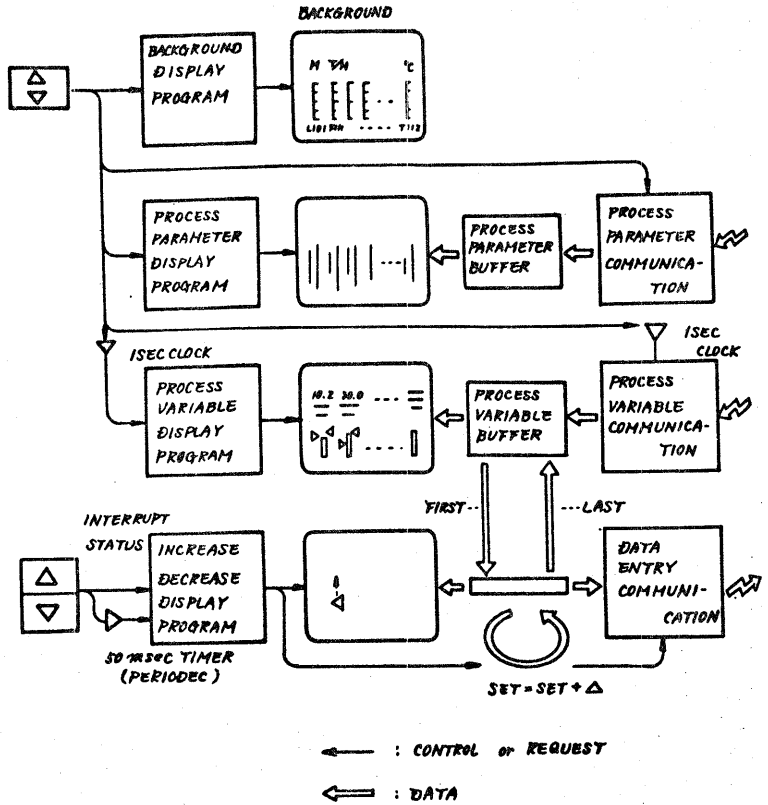


図8 CONTROL PANEL の DISPLAY 原理図

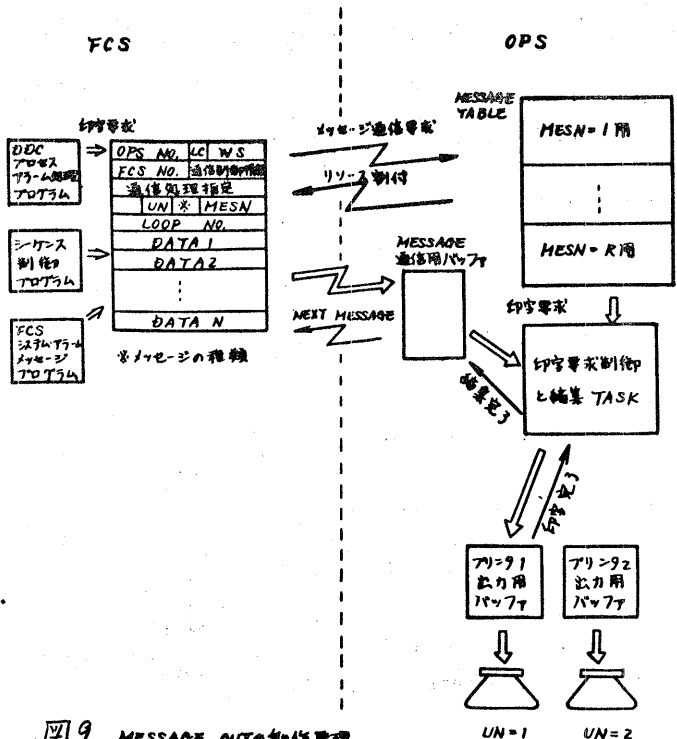


図9 MESSAGE OUTLINE 動作原理

最画面を表示し、プロセス・データについては、データの収集ができ次第表示することによりオペータに対する安心感を与えている。図9はその表示上の手順を示す。

アラーム・メッセージ印字やオペータズ・ガイド・メッセージ等は、フィールド・コントロール・ステーションでプロセス状態の変化が検出された時、メッセージ印字要求が出される。オペータズ・ステーションでは、このメッセージ印字要求に対し、タイプライタ等のリソース割付の管理を行い、フィールド・コントロール・ステーションに対し、そのメッセージ・データの送信を行う。オペータズ・ステーションではタイプライタ用のバッファを用意し通信による時間遅れがある場合にも印字能力がと絶えぬようにしている。図9はメッセージ印字の動作原理を示す。

4.5 専用システムとプログラミング

CENTUMでは、ユーザから出される計装ルール仕様書をワークシートに記入し、それに基づいてシステム・プログラム及びデータベースをホスト・マシンであるYODIC 100 (YOS-MD) 上でジェネレーションされる。

このワークシートは、販売員やユーザの計装エンジニアなら容易に書込可能な形式のもので、フィードバック制御用、シーケンス制御用、グラフィック・パネル用等がある。ジェネレートされたシステム・プログラムは、ステーション毎にフレキシブル・ディスクやカセット・テープあるいは紙テープに記録される。各ステーションでは、これらの記録媒体のシステム・プログラムを各プロセッサのROMかあるJPLプログラムでローディングする。他、通信ライン経由でのローディングも可能である。システム・ジェネレーションの手順は図10を示す。

データベースにあるテーブル類は、フィードバック制御ルール・モディファイ機能や、シーケンス・テーブル・モディファイ機能プログラムによりターゲット・マシン上で更新可能である。

5. おわりに

CENTUMのシステム構成とそのソフトウェアについて、通信関係を中心として述べた。

CENTUMの開発目的は、あくまで総合的な計装と制御であり、そのため用意された各種のI/O装置やソフトウェアあるいはアーキテクチャについては、ほとんど触れる事ができなかった。これらについては、別の機会を紹介することと思う。

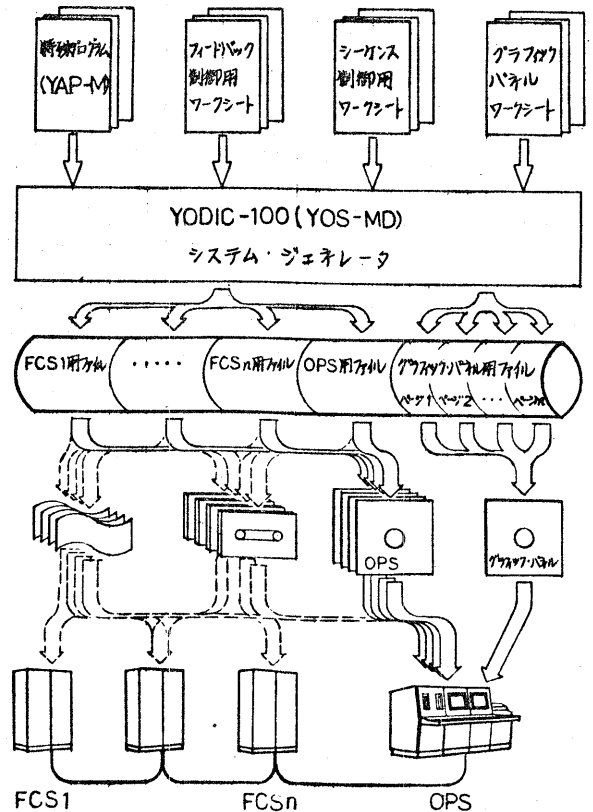


図10 システム・ジェネレーション

C
A
17