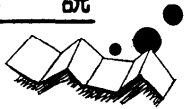


解説



分散形総合計装制御システム CENTUM†

山本 茂†† 若狭 裕††

1. まえがき

1975年6月に、横河電機が他社に先がけて CENTUM を発表して以来、分散形総合計装制御システムは従来のアナログ計器や DDC による制御システムに融合し、かつ新しい分野を開拓して来た。例えば CRT バーチャルパネルによる徹底した集中オペレーションは、導入初期、従来のアナログ計器との操作性の違いが懸念されたが、CRT のもつ情報量やその表現の自由度のゆえに現在ではプラントの操作や監視の中心として、もはや不可欠のものとなっている。このような分散形システムはアナログ計器による計装の概念を、高度に発展したデジタル技術、マイクロ・プロセッサ及びコミュニケーション技術を駆使して、制御の分散と情報の集中という理想的な形で実現した。

2. システム構成

一般に計装制御システムは、図-1 に示すような4つのインタフェースを持っている

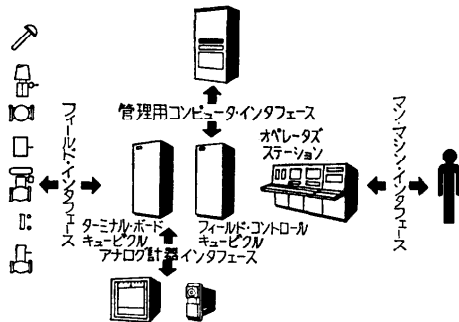


図-1 計装制御システムのインタフェース

† A Distributed Process Control System CENTUM by Shigeru YAMAMOTO and Yutaka WAKASA (Yokogawa Electric Works, LTD. D & E Section III, Systems Division).

††(株)横河電機製作所 システム技術部

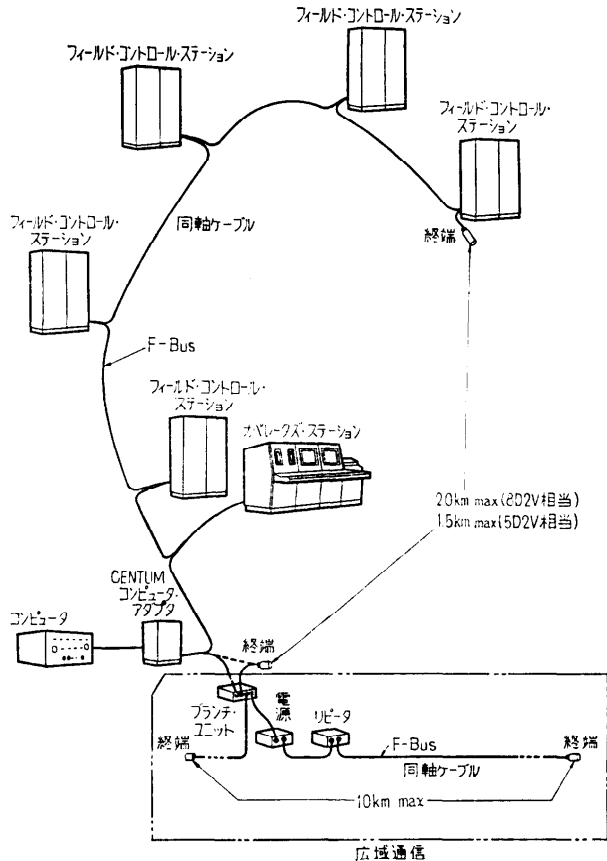


図-2 CENTUMのシステム構成

が、CENTUM では、これらのインタフェースごとにそれぞれの機能を有する専用のステーションが位置づけられている。

また図-2には、CENTUM の全体システム構成を示す。即ちプロセスの制御を受持つフィールド・コントロール・ステーション (FCS) はプラントユニットごとに分散設置され、それらは一本の同軸ケーブルから成る F-Bus 通信ラインで、中央操作管理室に置かれたオペレータズ・ステーション (OPS) に接される。OPS では CRT バーチャルパネルにより集中的な

表-1 CENTUM の性能諸元

構成	主な仕様	備考
F-BUS	ステーション数: 16台	オプションとして30台まで可能
	伝送ライン: 同軸ケーブル1本	2重化構成可能
	伝送距離: 1.5km (5D2V使用) 2 km (8D2V使用)	リピータを使用して10kmまで可能
	ビット伝送速度: 250 kBit/sec	
FCS	マイクロ・プロセッサ: 16ビット並列 CTL チップ 1 RALU チップ 1 ROM チップ 4 (マイクロ・プログラム) 1.4 μs/マイクロ命令	N ch MOS
	メモリ: コア 16kW 16ビット+1パリティ・ビット 1.2 μs (サイクル・タイム)	
	プロセス I/O: 6 I/O ネット/FCS 8 I/O カード/ネット I/O カード AIO (アナログ入出力各1点) AMI (アナログ入力16点) STI (デジタル入力16点) STO (デジタル出力16点) 等, 他に各種用意	48 I/O カード/FCS  すべてのプロセス入出力は絶縁されている。
OPS	プロセッサ: 16ビット並列 TTL マイクロ・プログラム制御方式 240 ns/マイクロ命令	
	メモリ: コア 48kW 16ビット+1パリティ・ビット 1.2 μs (サイクル・タイム)	オプションとして128kWまで可能
	マン・マシン I/O: カラー CRT 付 OPC 4台 FDD 2台 154 kW/FDC シリアル・プリンタ 8台 等	オプションとして8台まで可能

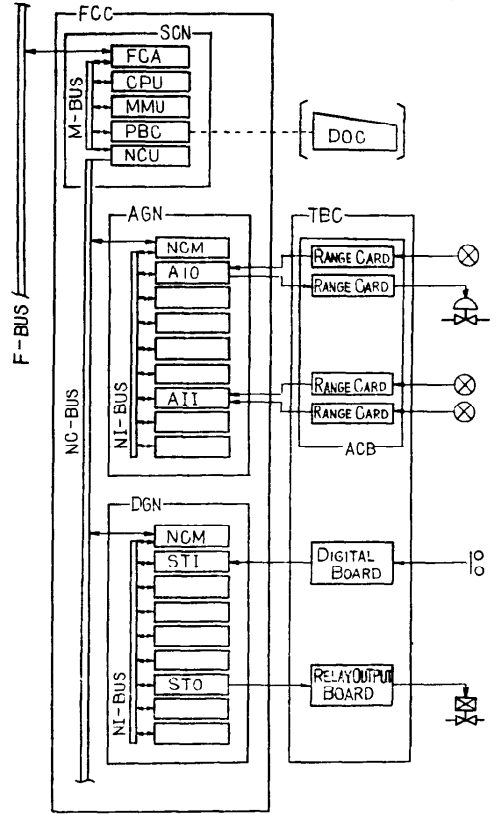


図-3 FCS のハードウェア構成

ラフィカルな操作及び状態監視を行う。更に F-Bus にはスーパー・バイザリ・コントロール・コンピュータ (SCC) を、直接的に或いは、コンピュータ・アダプタ・ステーション (CAS) を介して接続し、高度の制御演算やプラント操業の管理データ処理を行う。CENTUM のシステム性能諸元を 表-1 に示す。

3. 分散構成のアーキテクチャ

CENTUM を構成する各ステーションは、主としてマイクロ・プロセッサによるインテリジェンスを持ち 図-1 に示した個々の専用目的機能を独立に処理するとともに、F-Bus 通信制御処理により、他のステーションと有機的結合を行っている。

図-3 は、FCS の構成図である。ステーション・コントロール・ネット (SCN) 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。FCS をスタンド・

アロンで使用する場合に必要な卓上形オペレータズ・コンソール (DOC) 等は、P-バス制御カード PBC を介して SCN に接続される。アナログ・ネスト (AGN)、デジタル・ネスト (DGN) には、FCS の用途によって、各種のプロセス入出力装置が組み込まれ、それらは、NCU により CPU のメモリ・アドレス空間上に写像される。通常メモリの内容やプロセス入出力装置へのアクセスは CPU により行われるが、図-3 に示すように FCA が CPU と対等の立場にあるで、IPL 通信等ではメモリの内容を、また調整時にはプロセス入出力装置を F-Bus から DMA モードで直接アクセスすることもできる。この構成は、ノン・インテリジェントなプロセス入出力ステーションの可能性を示している。更に I/O ネットや I/O カードごとにマイクロ・プロセッサを階層的に配置してその分散度を一層高めたシステムや、インテリジェンス相互のバックアップを行うシステムも実現されている。

個々の FCS は、図-4 に示すように他のステーション

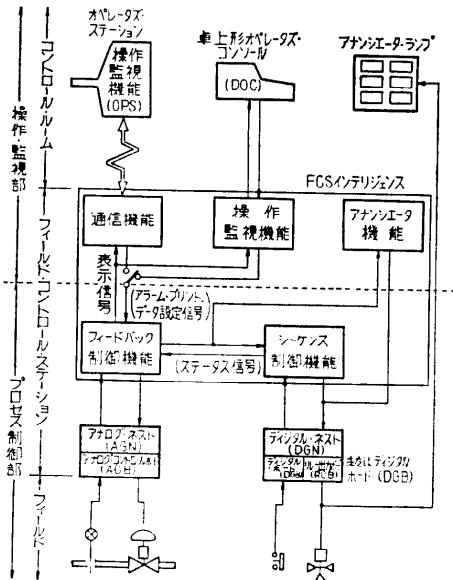


図-4 システムの機能構成

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、アナシエータ機能を有している。DDC では制御ループに関連するデータをアナログ計器計装の場合との対応がとり易いように、プロセスデータや各種設定値をループ単位に集めたリスト形式をとっている。シーケンス制御では、シーケンス・ステップの記述を簡単化し、且つ運転に入ってからの変更を容易にするために、デシジョン・テーブル形式の記述形式を採用している。なお、カスケード・ループ等で、2つの FCS にまたがってプロセス・データがある場合には、通信プログラムが DDC のサンプリング・タイムとは、非同期にリスト内のデータの交信を行っている。CENTUM では、その操作・監視は OPS に集中して行われる。その機能としては、

- 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
- 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

● ロギング、アラーム・サマリ印字等である。

#### 4. F-Bus 通信

分散システムの中核となる F-Bus 通信の特長的方式と機能の概要を以下に示す。

(1) ビット直列伝送：計装工事費の中に占める配線工事費の割合が増大している現在、従来の信号ごとに配線を用意する個別配線方式に比較して、同軸ケーブル 1 本を用いるだけの時分割多重方式は経済的なものであり、この意味において経済性とビット直列とは等価である。

(2) 二重化構成：分散形のシステムにあって、伝送線路は共通部分であり非分散部分である。伝送線路の障害 (開放/短路) に対して、システム機能が失われないことが望まれる。そのためにオプション機能として伝送線路の二重化構成が用意されている。

(3) 故障ステーションの切離し (局所化)：1 本の伝送線路に数多くのステーションがカップラを介して接続される。故障したステーションが送信要求を出し続け、他のステーション間の通信ができなくなってしまう現象が一番恐ろしいので、カップラにはそれをタイム監視で検出してステーションを切離す機能が与えられている。

(4) 誤り制御：F-Bus 上の通信コマンド (指令) とそのレスポンス (応答) は 図-5 に示すフレーム構成

( )内は有効データビット長であり  
伝送上は8ビットごとに1ビットの  
パリティが付加される  
なお  
LCW:Link Control Word

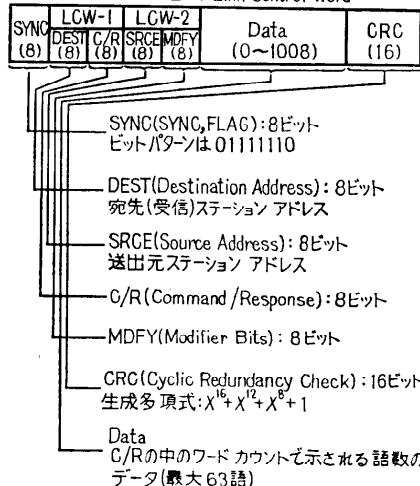


図-5 F-BUS 通信フレーム構成

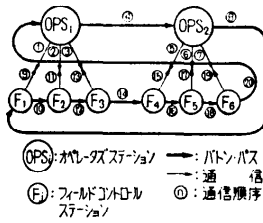


図-6 通信制御のスケジューリング

成を持っている。伝送制御情報を含む全情報が16ビットのCRC(Cyclic Redundancy Check)の対象になっているうえ、更に8ビットごとのパリティチェックも併せて行っているので誤り検出能力が高い。誤りが検出されたときには、自動的に再送が実行され情報伝送の信頼性を確保している。

(5) 通信制御のスケジューリング: 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(ボタン)の移動のスケジュール
- 従属局の切替えのスケジュール

とに分けて考えられる。ボタンはすべてのステーションに対し順送りで持回りされる。図-6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、多数の通信要求がある場合でも、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OPS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FCSにコマンドを送り出す場合がある。この場合でも、1個のFCS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列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できる。

(6) F-Bus通信の機能:

- IPL通信により遠隔地に置かれたFCSに対して、OPS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に再起動を与えたりFCSのプログラムの状態をOPSにある補助記憶媒体にセーブしたりすることができる。
- 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
- 各種プロセス・データ、プロセス・ステータスの伝送

表-2 CENTUMの特長と実稼働後の評価

設計方針から導かれる特長	実稼働を通じての評価
○処理方式から見た特長: ルーズ・カップリングなマルチ・プロセッサによるプロセス制御及び通信制御の並行処理。	○マイクロ・プロセッサの専用化により負荷の容易な見積りと、高負荷状態(最大80%程度)での有効利用。 ○F-BUS通信能力(250 kbps)の妥当性: 最大規模構成のジョブ例での通信ラインの負荷は約10%であった。
○情報流通から見た特長: コンピュータ適合性の充実。	○約10%のジョブには、F-BUS上に、自社の管理用コンピュータYODIC-1000が、又はCASを介して他社コンピュータが接続されている。(注1)
○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がよい。	○ほとんどすべてのジョブが、アナログ計器及びCENTUMのそれぞれの特長を生かした混合計装になっているアナログ計器の単なる置き換えとしてでは経済性等の評価は得られない事が多い。
○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。	○制御分野の拡大: バッチ制御、長無駄時間系の制御、多変数制御、多品種少量プロセス、間接制御等。 ○制御性の向上: 省エネルギー、省資源、高品質の達成。
○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。	○操作性の向上と省力化: グラフィック・オペレーションの大幅な導入、オペレータの大幅な削減とオペレータ・レベルの均一化。
○保全から見た特長: 標準化されたコンパクトな実装方式と、適切な保全情報。	○インテリジェンスによる自己診断とメッセージ出力及びステーション単位のカード交換方式によるオンライン・メインテナンスによりサービスビリティが向上。 ○アナログ計装分野におけるデジタル技術の有するサービスマンの必要性。 ○IPL通信によりステーション・フェイル時の異常データ収集とシステム復帰の高速処理。
○信頼性・安全性から見た特長: 制御単位あたりの部品数の減少と危険伝播の防止。	○分散化によっては、必ずしも全体の故障率を低減できないが、制御単位あたりの故障率は小さくすることができる。故障に対する被害度という観点では分散構成が有利。(注)定量的評価については今後の課題である。
○融通性から見た特長: 柔軟なビルディング・ブロック構造。	○ジョブのシステム規模は1~20ステーションに幅広く分布している。
○経済性から見た特長: 規模に見合ったシステム構成と計装配線工事費及びソフトウェア費用の削減。	○適用業種: 鉄鋼、石油、化学、公益、製紙等、大小多種業種にわたっている。 ○プログラミング: 問題向言語によるソフトウェア工数の削減。客先自身のメインテナンスにより、システム機能の最大限の発揮が可能。標準と特注の境界の明確化。 ○地理的に分散配置することにより、配線コストの削減が期待できるが、実際的には保全性やバックアップ機器の配置、装置によっては防備対策を併せて検討する必要がある。

- 各種メッセージ・データの伝送
- OPSからFCS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。

5. 分散構成の特長

以上のようなシステム構成からみたCENTUMの

特長及び4年間にわたる実プロセスへの応用を通じて明らかになった諸点を表-2に示す。

(注1) 他社コンピュータとの接続の要求も多いが、表-2に示されたCENTUMの特長を損なわないためにCASには次のような機能が用意されており、その有効性が実ジョブを通して明らかになった。

- (1) 両システム間の障害波及の防止
- (2) 通信手順の変換
- (3) 通信速度の変換 (バッファリング等)
- (4) 通信データのネームまたはアドレス変換
- (5) 通信データ形式の変換
- (6) 両システム間のテスト通信
- (7) 通信システム異常発生時のメッセージ出力
- (8) システム機能メンテナンス・プログラム
- (9) 特殊プログラム作成のための言語処理プログラムやユーティリティ・プログラム

## 6. むすび

分散形総合計装制御システムはCENTUMをはじめ内外各社で実用化されている。今後更に多くのシス

テムが開発され且つそれぞれの特長を生かした混合システムの必要性が高まるものと思われる。そのためには、プロセス用データハイウェイの国際標準化が必要であり、例えばIEC TC 65/SC 65/WG 6で現在進められているPROWAY標準化作業の成果等に期待したい。

## 参考文献

- 1) 渡部一宇, 若狭 裕: CENTUMのハードウェア構成, 横河技報, Vol. 21, No. 1, pp. 2-11 (1977).
- 2) 山本 茂: CENTUMのソフトウェア体系, 横河技報 Vol. 21, No. 1, pp. 12-19 (1977).
- 3) 多田 修: 新計装システムの背景, 計装, 19-4, pp. 6-9 (1976).
- 4) 井上忠也, 渡部一宇, 山本 茂, 若狭 裕: 総合計装制御システムCENTUMのアーキテクチャ, 情報処理学会, 計装機アーキテクチャ研究会, CA 17-1 (1975).
- 5) 渡部一宇, 山本 茂, 若狭 裕: マイクロ・プロセッサのCENTUMへの応用, 電子通信学会電子計算機研究会 EC77-59, pp. 33-42 (1978).  
(昭和54年1月16日受付)