

計測制御における電子計算機の役割

The Role of Digital Computer in Measurement and Control System

計測制御の分野において電子計算機が利用され始めてから十数年になる。安価なミニ コンピュータの出現や最近におけるマイクロ コンピュータの実用化など、計算機ハードウェアの発達に伴い、計測制御の分野における電子計算機の役割はますます大きくなってきている。本稿は、計測制御における電子計算機の使われ方を中心に、その果たしている役割につき述べる。

長谷川邦夫* Kunio Hasegawa

松家 敬** Takashi Matsuie

佐藤文俊*** Fumitoshi Satô

1 緒 言

プロセス工業に使用される電子計算機は工業用コンピュータ、プロセス コンピュータ、あるいは制御用計算機などと呼ばれており、明確な定義はなされていないが、日本電子工業振興協会が次のような計算機を対象として調査した報告⁽¹⁾がある。

- (1) ストアド プログラム方式のもので、プロセス入出力機器、あるいはその周辺機器などと接続、又は接続可能なもの。
- (2) 通称ミニ コンピュータと呼ばれる機種でも、プロセス用の周辺機器を装備し、明らかにプロセス制御用コンピュータとして独立に使用されているもの。
- (3) 汎用機種でも、特に日本電子計算機株式会社(J E C C)登録以外の機種で専用(例えば、交通管制・医療・教育・ビル管理・試験計測のデータ処理など)として使用されるもの。

それによると我が国における工業用電子計算機(以下、計算機と略す)の年次別累積設置台数は、図1に示すように、昭和49年10月現在において約6,000台となっている。この中で、食品、繊維、紙・パルプ、化学・石油、ガラス・セメント、鉄鋼、電力・ガスなどの業種に使用されている計算機台数は約1,500台であり、その大半が、いわゆる計測制御に使用されている計算機と考えられる。

計測制御における計算機は、当初はそれまで人手に頼っていた運転日志を自動化するためのデータ ロガー、品質制御や生産効率向上のためにアナログ調節計の最適設定値を計算する最適化制御というように計算機の故障が致命的にならないような使われ方であった。また、導入の効果と計算機の価格を勘案して導入する価値のある適用対象としては、鉄鋼の圧延機制御、大形火力発電所の起動・停止の自動化、石油精製における最適化制御など、一部の大規模なプラントに限られていた。

しかし、各産業では高度経済成長の波に乗って、生産規模の拡大及び生産品目の多種・多様化につれて熟練した運転員の不足、製品品質の確保などが問題になるほか、激しい企業競争に勝つための生産性向上が課題となり、これらの問題に対応するために、高信頼度、低価格の計算機が待望された。

このようなユーザー サイドの期待にこたえて、昭和43年ごろから、安価でコストパフォーマンスの優れた、いわゆる制御用ミニ コンピュータといわれる計算機が実現し、図1から分かるように昭和44、45年ごろから計算機の設置台数は飛躍的に増大してきている。更に現在ではマイクロ コンピュータの実現を見ている。

このような安価な計算機の出現はより高信頼度な計算機シ

ステム構成を実現するための複数台の計算機による冗長度システムや機能の分散配置を可能とし、Direct Digital Control(以下、DDCと略す)の採用も可能となってきた。

計算機間の結合方式も、電話回線を利用したデータ通信方式や、同軸ケーブルを利用したデータ フリーウェイ方式など種々開発されている。

マン マシン インタフェースでは、カラーCRTディスプレイの利用が一般化し、グラフィック表示やカラーによるア

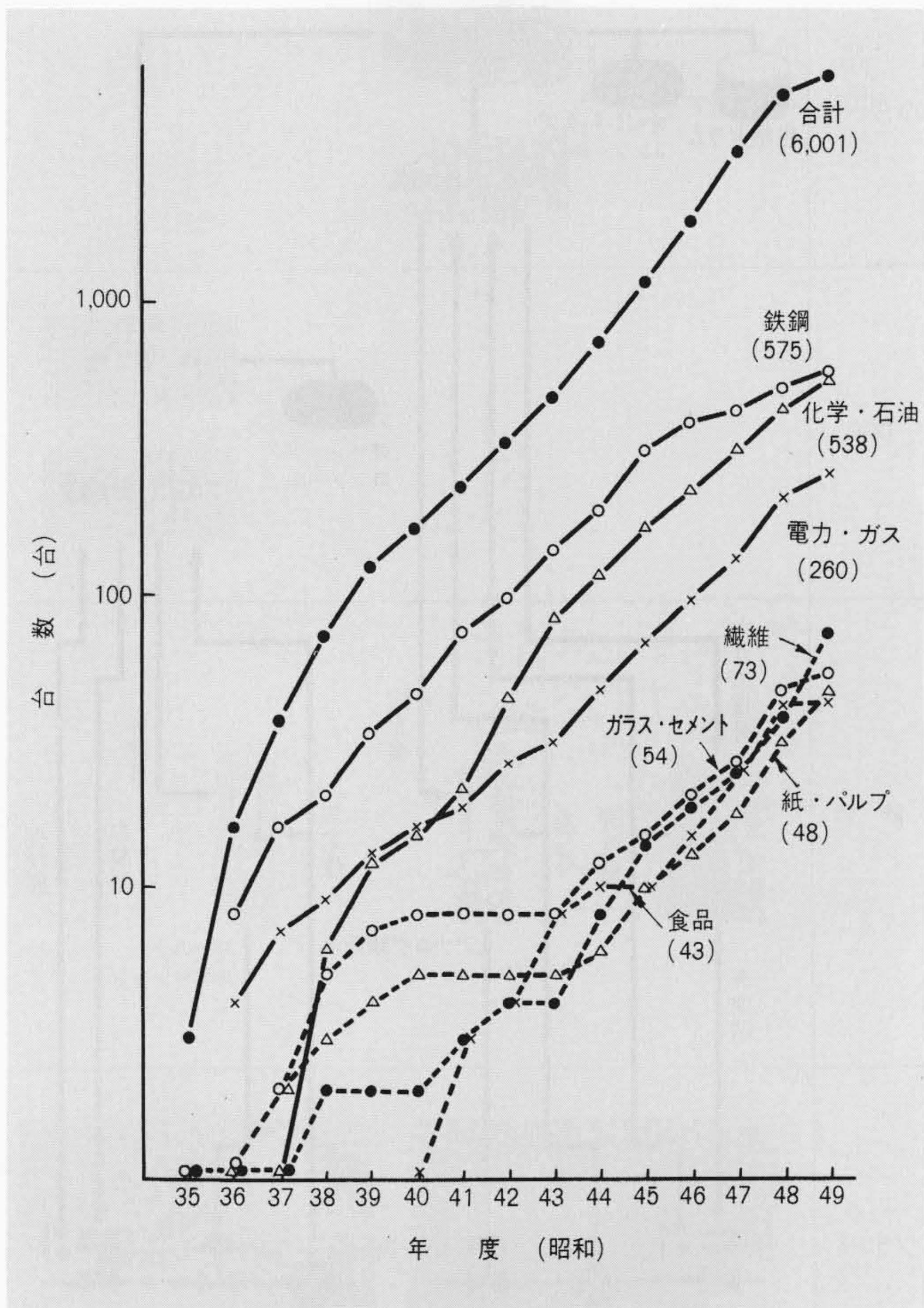


図1 制御用計算機の年度別累積設置台数 縦軸は対数目盛により表わされており、昭和40年度ごろから加速的に増加してきていることが分かる。

* 日立製作所大みか工場 ** 日立製作所計測器事業部 *** 日立製作所計算制御技術本部

ラームの区別など従来の計装盤の考え方をええつつある。
以下、これら計測制御に利用されている計算機の役割という観点から、その使われ方について述べる。

2 計測制御における計算機システム構成

計測制御における計算機の利用形態は図2に示すように、次の五つのレベルに分けて考えることができる。
Management Information System (MIS) のレベルは、汎用ビジネス コンピュータと称される計算機のつかさどる分野であり、プラント運転データをも含めた企業としての各種データ ベースをもとにして、長期計画の立案、短期計画における最適化計算などを行ない、各プラントのマクロな最適運転スケジュールの決定が行なわれる。
Supervisory Computer Control (以下、SCCと略す)

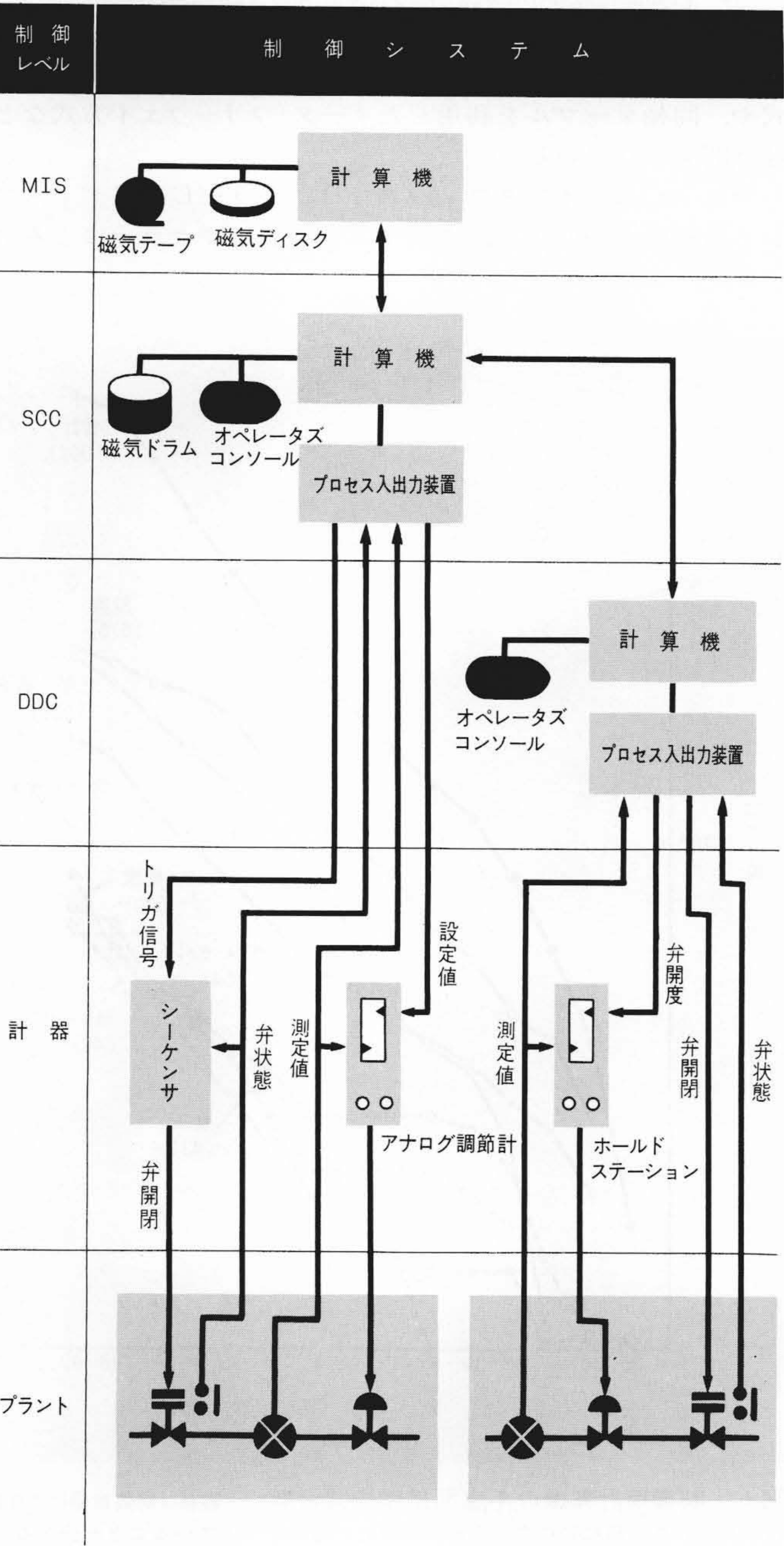


図2 計測制御におけるハイラーキ制御システム プラントにおける検出器や弁から、計器、更にDDC、SCC、MIS用の計算機が有機的に接続され、ハイラーキ構成をなしている。

レベルは、連続運転されるプラントと直接信号の授受を行ないつつ、最適運転スケジュールを維持するために、各マイナコントロール ループの最適設定値を計算し制御するものであり、プロセス コンピュータと称される計算機による。最適化計算などの複雑な演算や多量のプロセス情報の取扱いが必要となるため、比較的大形システムとなりコアメモリのほかに磁気ドラムや磁気ディスクなどのバルク メモリをも装備する。このため、万一の計算機故障時にも、プラントの操業は人手による設定で可能なように、システムの配慮を行なうのが通例である。

DDCレベルは、マイナ コントロール ループと称される自動制御系を時分割処理により、1台の計算機で複数ループ処理するものであり、3.4(1)で述べるような利点のために採用される。システムとして高信頼性を要求されるために、二重系などの冗長度システムとするか、分散形として故障時の波及範囲を局限化することが行なわれる。

計器レベルは各自動制御系ごとに独立した計器によるアナログ制御系であり、ループごとに独立して制御する。また、計算機故障時のバックアップにもなる。

プラント レベルは、緊急時の現場作業などの運転操作が主体となるが、プラントの安全確保のための最後のとりでである。

以上述べた五つのレベルのうち、SCCとDDCのレベルが制御用計算機のつかさどる分野である。

3 計測制御における計算機処理機能

以下、計測制御に関連して計算機によって処理されている機能の幾つかについて説明する。

3.1 プロセス情報の加工

線形化、各種補正、単位換算、平滑化などの計算処理を必要とするアナログ入力の加工や、ガスクロマトグラフなどの間欠的に情報が発生するような場合のプロセス情報の加工は、計算機処理の最も特徴とするところである。

3.2 プロセスの監視

所定の周期でプロセス情報を取り込み、種々の加工を行なった後、上下限チェック、変化率チェック、数式などによる相関関係チェックなどを行なうものであり、異常発生時には詳細な情報をカラーCRTディスプレイなどにプロセス フローなどを用いて運転員に提供することが容易にできる。特に、バッチ プロセスでは、タイミングを考慮した監視が可能であり、計算機利用の大きな特長といえる。バッチ プロセスの計算機によるシーケンス制御システムにおいて行なわれているプロセス監視手法の幾つかを説明する⁽²⁾。

(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。

(3) 機器の動作状態パターン チェック

渋滞チェックはシーケンス工程単位であるが、シーケンス進行中に早い周期で、弁などのプロセス機器の動作状態を監視して、速やかに異常を検出する。

(4) 計量チェック

計量仕込みは品質に直結するものであり、仕込終了後に仕込量が多過ぎたことが分かっても取り返しがつかない。従って、図3に示すようなきめ細かいチェックが必要である。

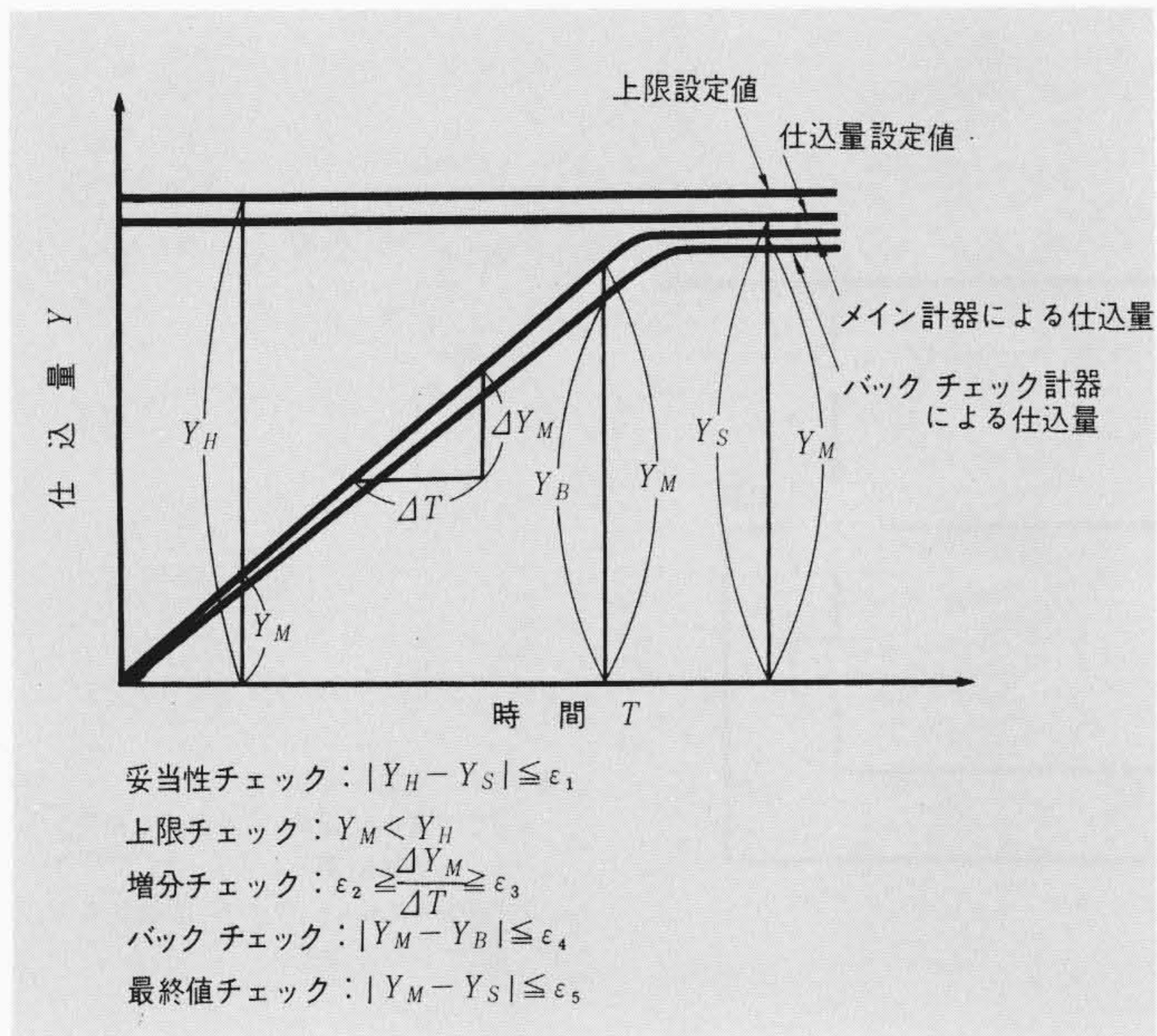


図3 計量チェック方式 バッチプロセスにおける計量仕込みの際に正確な仕込量を得るために種々のチェックを行なっている。

(a) 仕込開始前のチェック

運転員の設定した仕込量、又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

一定周期ごとに、仕込み終了時に許容される上限設定値との比較(上限チェック)、仕込量の増分が所定の範囲内であることを確認(増分チェック)し、且つ、メインの流量計のバックチェック計器として、レベル計、重量計などを用いて両者の差が許容範囲内にあることを確認(バックチェック)し、異常があれば仕込みを中断する。

(c) 仕込み終了時のチェック

仕込み終了後に、仕込み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。

3.3 運転管理、記録

計算機により加工されたプロセス情報及びプロセス監視により発生したアラーム情報は、計算機内部で利用されるとともに、運転管理のための情報としてマンマシンインタフェース機器を通じて伝達される。

(a) プラント運転のための情報伝達

カラーCRTディスプレイを利用して、より合理的な形でプラント運転のための情報を運転員に伝達することにより、プラントの安全運転に大きく寄与できる。二、三の例を以下に述べる。

(i) グループディスプレイ

1,000から3,000字の数字や文字を同時に表示できることにより、関連のあるプロセス情報を同時にグループ表示し、運転状況の把握が容易となる。

(ii) トレンドディスプレイ

時系列的なデータを数字、あるいはグラフにより表示することにより、運転傾向の把握が容易となり、的確な運転操作の助けとなる。

(iii) プロセスフローディスプレイ

プロセス監視の結果をプロセスフローにより表示することにより、運転員に対するオペレーションガイドが的確に与えられる。

(b) プラント管理のための情報記録

タイプライタへの印字、又は紙テープやカセットテープなどの記憶媒体への出力によるプラント管理のための情報記録の処理機能としては次のようなものがある。

(i) 運転来歴の記録

運転員の操作、プロセスの異常発生などの来歴を記録しておく。

(ii) プロセス情報の記録

計算機により加工されたプロセス情報を定期的に記録しておくことにより、製品の品質管理、プラント運転スケジュール作成、更には新規プラント開発のための解析などに役立てることができる。

(iii) 緊急時記録

プラントの緊急停止などの事態が発生した際に、きめ細かいプロセス情報を記録しておくことにより、緊急停止の原因追求、再発防止に役立てることができる。

3.4 ダイレクトコントロール

(1) DDC

DDCの応用では、シーケンス制御と組み合わせたパラメータの自動変更やアドバンス制御など、通常のアナログ調節計では実現することが難しい制御ができるような使い方が有利である。図4に加熱炉DDCにおけるアドバンス制御の一例を示す。本例では、加熱炉の出口温度 T_2 を一定に制御するために、燃料であるナフサ流量ループをスレーブループとしたカスケードループを組んでいる。この制御系の外乱となる要素は二つある。その一つは、フィード1、フィード2の流量及び加熱炉の入口温度の変動であり、これに対してはフィードフォワード演算系を組んでいる。他の外乱は、他の燃料であるガス流量の変動であり、これに対してはレシオ演算系を組んでいる。これらの二つのアドバンス演算系の出力をカスケードループの出力に加算することにより、安定した温度制御系を構成することができる。

(2) シーケンス制御

計算機の基本的な機能である論理演算能力を利用したシーケンス制御は、特にバッチプロセスの場合に多い。計算機を利用することにより、変更の容易なシーケンスアルゴリズムを作ることができ、3.2で説明したような高度な自動化、省力化、及び製品品質の向上が期待できる。

3.5 スーパーバイザリーコントロール

マイナコントロールループの設定値を計算し制御するという形のSCCとしては、大別して次の2種類がある。

(1) 安定化制御

不安定なプロセスであり、且つ数式モデル化が困難なプロセス、例えば、超高压連続重合プロセスや塵芥焼却炉プロセスを計算機を用いて安定化運転を行なおうとするものである。このようなプロセスの計算機による安定化運転アルゴリズムの開発のためには、少なくとも類似のプロセスが存在し、その運転知見、運転データなどのプロセスの特性に関する断片的な知識は存在する必要がある。これらの断片的な知識を総合して、プロセスの全体としてのあるべき姿を求めるシステム技法として、形態学的弛緩法⁽³⁾がある。これは、すべてのプロセス変数の定性的な相関関係を推定するものであり、断片的な知識をもつ小人数のグループにより、試行錯誤的に変数間の相関関係を求め、更に、運転データなどにより定量性を与えることにより、計算機アルゴリズムを開発するものである。このような手法により、少なくとも人手による安定化運転並みのプラント運転を計算機による自動運転により実現す

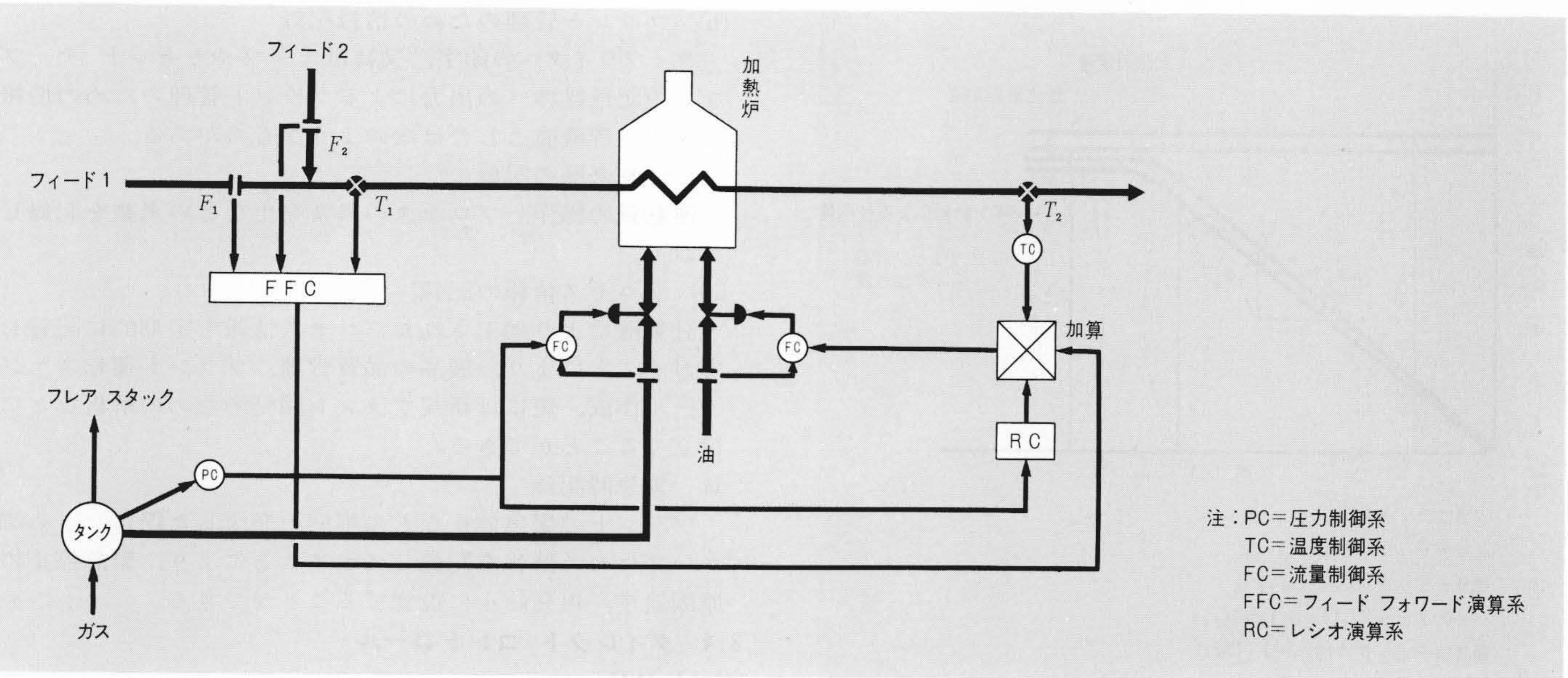


図4 加熱炉DDCの例 フィードフォワード演算，レシオ演算を行なうことで，温度制御系を構成することにより安定した制御を可能にしている。

ることが可能である。

(2) 最適化制御

生産量の最大化や品質の制御などの目的で最適化制御が行なわれる。これらの制御目標変数と流量，温度，圧力などの操作変数の間の数式モデルがあり，線形の場合であればLinear Programing (LP)，非線形の場合であればReal Time Optimizing Program (RETOP) やセクショナルLPなどの最適化アルゴリズムを用いて，各操作変数の設定値が計算される。

4 計算機と計器の協調

以上述べてきたように，計測制御の分野に計算機が通常的に使用されるようになると，計算機と計器の融合，調和は重要な問題になる。昭和50年に発表された制御用計算機HIDIC 80シリーズ及び新電子式制御装置ユニトリールΣシリーズでは，これら計算機と計器の合理的な結合を求めて種々の新技術が開発されている。以下，これらの幾つかについて紹介する。

4.1 計算機と計器のコンパティビリティ

アナログ計器と計算機はそれぞれ独立して発達してきたという歴史的背景がある。このため，これらを結合する部分のエンジニアリングに多大な労力が必要であった。例えば，アナログ調節計と計算機の接続を考えてもアナログ入力，デジタル入力，デジタル出力，パルス列出力と何種類もの信号の授受が必要である。従来，計算機側のプロセス入出力装置は，信号種別ごとに標準化していた。従って，1台のアナログ調節計の接続に4種のプロセス入出力装置プラグインカードとの信号接続を考えなければならなかった。このような煩雑さを排して，HIDIC 80シリーズのプロセス入出力装置には専用の計器リンケージプラグインカードを用意し，専用のカード1枚と1本の専用ケーブルにより，計器と接続できるよう配慮している。この計器リンケージプラグインカードの仕様を表1に示す。

一方，計器側でも演算部と指示操作部を分離した構造にしたことにより，プロセス入出力装置と計器演算部の同一筐体収

表1 計器リンケージ プロセス入出力仕様 表に示す仕様のプロセス入出力を，1台の計器とのインタフェース用とし，HIDIC 80では1枚のプラグインに4台分実装できる。

プロセス入出力装置信号	計器	アナログ調節計	ホールドステーション
アナログ入力	測定値	測定値	測定値
	設定値	設定値	弁開度
パルス列出力	設定値増	設定値増	弁開度増
	設定値減	設定値減	弁開度減
デジタル入力	リモートローカル状態	リモートローカル状態	リモートローカル状態
デジタル出力	リモートローカル切換	リモートローカル切換	リモートローカル切換

納が可能となり，接続のむだや不合理性が排除された。また，計器の指示操作部のミニサイズ化により計器とCRTオペレータズコンソールの同一実装が可能となった。これらにより，計器と計算機はあたかも一体としてアレンジすることが可能になり，両者の融合調和を図り得る機器となっている。

4.2 本質安全システム

電子式計器の応用範囲の拡大は，本質安全防爆システムのニーズをますます高めている。計装システムでは，本質安全バリア方式で実現しているが，計算機を含んだシステムでは通常の本質安全バリア(250V耐圧)では対処できないカラーCRTディスプレイと保守用のシンクロスコープなどの高圧機器に問題がある。これに対し，HIDIC 80シリーズでは，図5に示すように，本質安全の対象となる信号に接続されるプロセス入出力装置を，高圧機器，あるいはシンクロスコープによる保守を必要とする計算機システムと絶縁するため，光アイソレータによる高耐圧セーフティバリアを開発した。これにより本質安全防爆を必要とするプロセスでも容易に計算機やCRT表示装置を使用できる。

4.3 分散化制御のためのネットワーク技術

SCCとDDCのような高度な計算機利用によるハイブリッドシステムや分散形DDCなどでは，複数のプラン

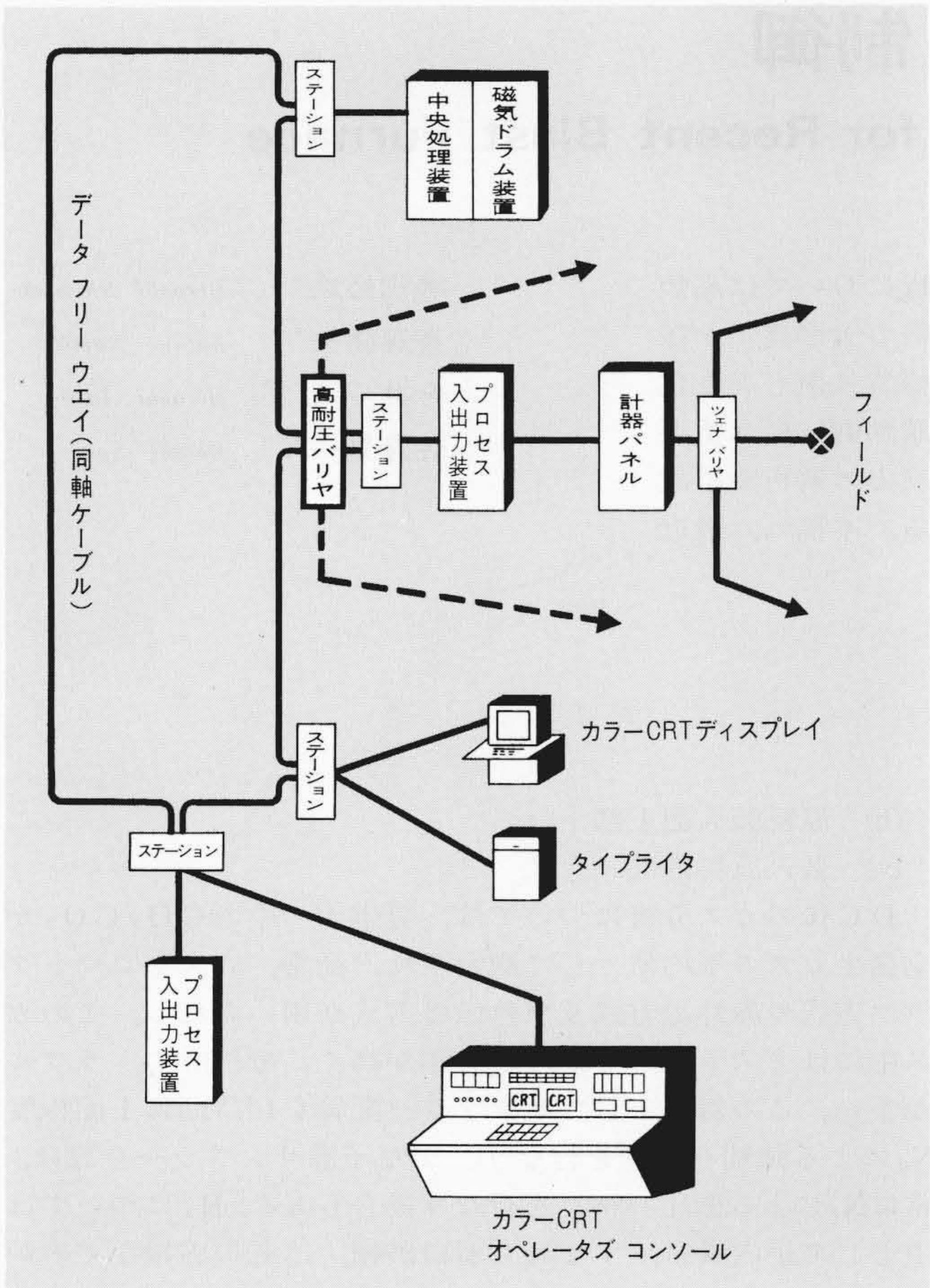


図5 本質安全計算機システム構成例 実線の左側では250V以下の機器が、点線の左側では30kV以下の機器としてCRTやシンクロスコープが使用できる。

数の計測制御室にまたがった信号の授受を一元化する必要がある。このようなニーズにこたえるため、1本の同軸ケーブルによるデータフリーウェイが用意されている。データフリーウェイはプロセス入出力装置、カラーCRTディスプレイ、タイプライタなどの入出力機器、更には複数台の中央処理装置をリンケージできる。このデータフリーウェイを使用してプロセス入出力装置を接続することにより4.2で述べた高耐圧本質安全バリアを1個所に装備するだけで、本質安全のための絶縁が可能となる。表2にこの計算機リンケージの仕様を示す。

5 計算機導入による効果

以上、述べてきた計算機処理機能により得られる効果を表3にまとめて示す。

6 結 言

以上、計測制御における計算機の役割ということで述べてきたが、計測制御という言葉は非常に広義であり、計算機と呼ばれなくても計測制御の分野では、リレーシーケンスによって代わるシーケンサ技術や、最近のマイクロコンピュータ利用のDDCシステムなど、計算機技術は従来のアナログ技術と称された計装技術に融和して利用されている。今後は、主体技術のなおいっそうの発展とともに更にこの方向が発達していくものと考えられる。

行

表2 計算機リンケージ仕様 分散配置される計測制御室に配置される計算機及び入出力装置間を接続するための計算機リンケージの仕様を示す。

項 目	仕 様	備 考
システム仕様	デバイス数	31デバイス/ループ max
	ステーション間距離	2 km max (ケーブル：5C-BVF)
	伝 送 速 度	2,000kビット/秒
	情報伝送速度	10K語/秒
	構 成 制 御	ステーションの遠隔制御 (1) Remote attach (2) Remote detach
伝送仕様	信 頼 性 向 上	二重系システム (1) 回線の二重化 (2) 上位計算機の二重化
	伝 送 路	同軸ケーブル1本
	伝 送 方 式	(1) 伝送符号：NRZ (2) 変調方式：位相変調 (3) 同期方式：独立同期
接続機器	誤 り 制 御	反転2連送照合
		(1) H-80PIO (2) H-80標準入出力装置 (但し、PCMA制御) (3) H-80シリーズCPU ○Remote IPL機能 ○Remote Start ○Remote Stop (4) オペレータズ コンソール

注：NRZ=Non-Return-to-Zero
PCMA=Program Control Memory Access
IPL=Initial Program Loader

表3 計算機による一般的効果 計測制御システムに計算機を導入した場合に得られる効果を、六つの大項目に分類し整理したものである。

大 項 目	小 項 目
A 生産性の向上	A-1 省力化、自動化 A-2 生産量の増大 A-3 生産効率の向上
B 製品品質の向上	B-1 製品品質の均一化、制御特性の改善 B-2 オフ スペック製品の減少
C 安全性の向上	C-1 運転ミスの低減 C-2 異常の早期検出と処置 C-3 詳細なトラブルシューティング C-4 労働条件の改善
D 管理面での効果	D-1 管理資料の提供 D-2 使いやすいフォーマット
E 保守面での効果	E-1 仕様変更時のフレキシビリティ E-2 機器スペースの減少 E-3 保守の容易性、信頼性の向上
F そ の 他	F-1 将来、より高度な方式の開発 F-2 プロセス及び運転の技術向上 F-3 教育、PRなど。

参考文献

(1) 「わが国における工業用コンピュータの利用状況」、日本電子工業振興協会電子工業月報、第17巻、49～52(昭50年8月)
(2) 武城、山田ほか：「塩化ビニル重合プラントの計算機制御」、日立評論、54、849、(昭47-10)
(3) 春名、小沢：「形態学的弛緩法による外乱依存型多変数非線形不確定プロセスの制御方略決定」、昭49電気学会全国大会予稿集1092(昭49-4)