

東京瓦斯株式会社納め

都市ガス工場計算機制御システム

Computer Control System for City Gas Plants Supplied to Tokyo Gas Co.

都市ガス発生プラントを数多くもつ都市ガス工場では、その公益的使命からの高信頼性のニーズ、ガス需要の大きな日間変動に対応できる柔軟性のある制御システムのニーズなどから、制御用計算機を使用した計測制御システム及び工場管理システムは不可欠といえる。

本稿では、東京瓦斯株式会社根岸工場に設置された都市ガス工場計算機制御システムについて、その要求される機能、実現するためのシステム構成技術及びソフトウェア技法につき論じ、最後にシステムの評価を行なった。

温井一光*	Nukui Kazumitsu
長谷川邦夫**	Hasegawa Kunio
四元弘志**	Yotsumoto Hiroshi
小宮山茂雄***	Komiyama Shigeo
三井善夫****	Mitsui Yoshio
中西保*****	Nakanishi Tamotsu

1 緒言

東京瓦斯株式会社ではナフサ、LNG(液化天然ガス)、石炭などを原料とした都市ガスを製造し、ガスパイプラインネットワークを通して関東首都圏の需要家へ供給している。都市ガスはその需要構造上、季節、天候、曜日、時間などによって大幅に変動する。この変動量に対処するために、総合的な都市ガス供給管理を行なう必要がある。このための総合管理システムとして、Total Gas Control System(以下、TGCSと略す)をもち、ガス製造工場、ガスホルダ、ガバナステーションなどを効率的に統括管理している。一方、ガス製造工場ではTGCSからの指令に基づいて年間、月間及び日間の各需要に応じた安定したガスの製造を維持する必要がある。東京瓦斯株式会社根岸工場(以下、根岸工場と略す)では、1965年にガス製造工場としてスタートして以来、都市ガス需要の増大につれLNGの導入、製造プラントの増設などを行なってきた。このように大規模化した都市ガス製造工場は、必然的に操業管理と安定制御のため制御用計算機導入の機運が高まった。同工場は、工場建設の当初からIBM-1800計算機による工場管理を行なってきたが、工場の大規模化によるデータ量の増大と操業管理の合理化及び将来への対処のために、日立製作所の制御用計算機HIDIC 80(以下、H-80と略す)を導入し、工場管理の業務処理を順次これに移行しつつある。同工場は1976年のSupervisory Computer Control(以下、SCCと略す)システムの導入、引き続いてDirect Digital Control(以下、DDCと略す)システムの逐次導入で、本格的なマルチシステムによるトータル制御システムのほとんどが完成をみたのでここに紹介する。

2 システムの構成

2.1 システム開発の着眼点

ガス製造工場の特徴を踏まえたトータル制御システムとして計画するに当たり、次に述べるような点に留意し様々な検討を行なった。図1にシステム開発上の着眼点と対応技法を示す。

(1) 制御性の向上

時々刻々変動する送出ガス量と夜間などの低ロード時に、バランスのとれた安定した制御を行なう。また、プラント異

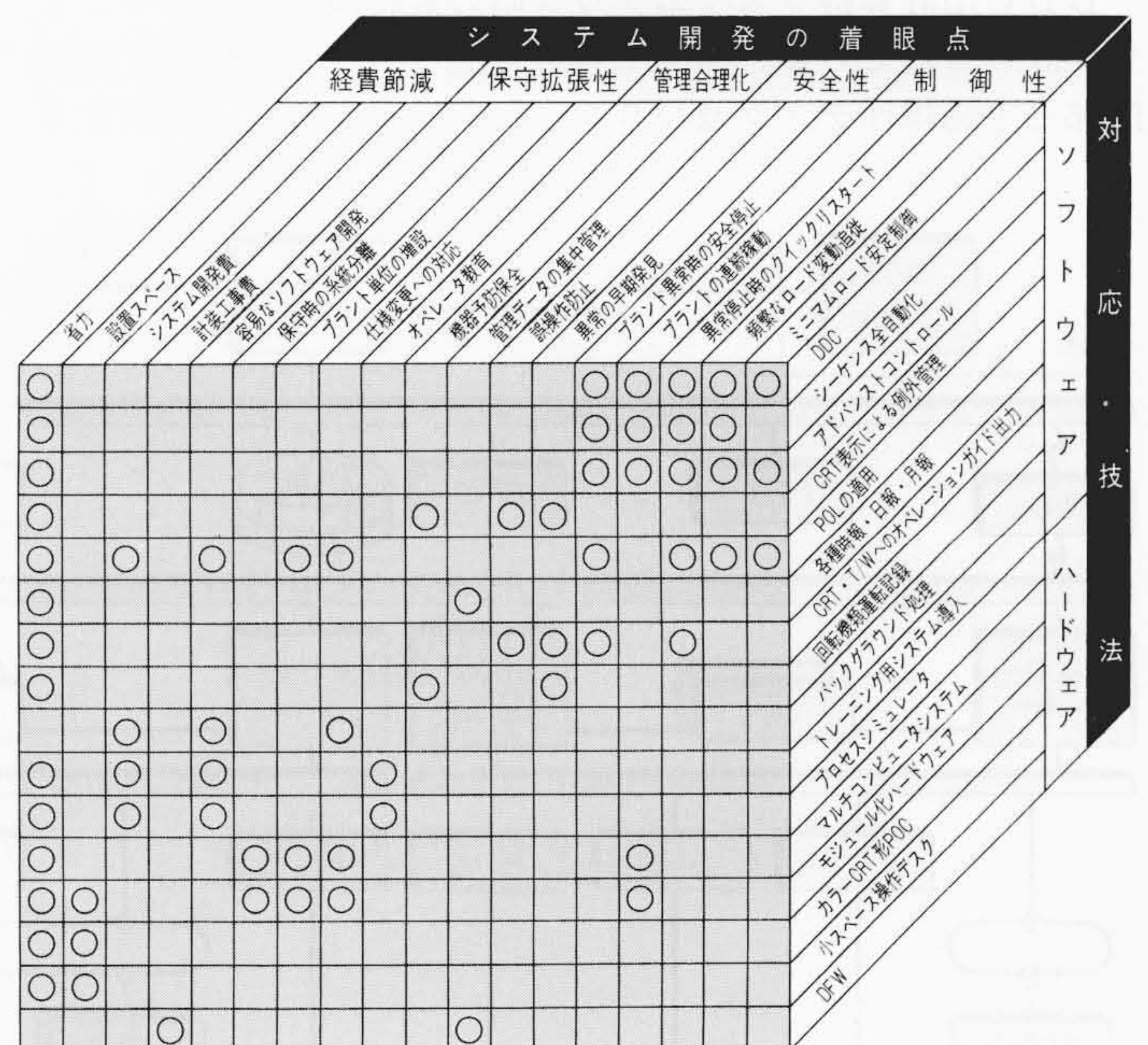
常時の安全停止と再送出のためのリスタート処理とを全自動化し、安定した送出ガス量の確保に努める。

(2) 安全性の向上

プラント異常の早期発見のため、監視機能を充実するとともに、異常発生時には迅速かつ安全に送出を停止する。また、誤操作防止のために、マンマシンコミュニケーションの充実を図る。

(3) 管理の合理化

中央集中管理方式により、工場全体を一元化した管理を行なう。膨大な情報量を整理のうえ管理帳票を作成し、更に適切なオペレーションガイドを出力して効率的な操業指針を与



注: DDC=Direct Digital Control T/W=Typewriter
CRT=Cathode Ray Tube DFW=Data Free Way
POL=Problem Oriented Language

図1 システム開発の着眼点と対応技法 制御性・安全性、管理の合理化、保守拡張性、経費の諸問題につき検討し、トータル制御システムとして構築された。

* 東京瓦斯株式会社工務部 ** 日立製作所大みか工場 *** 日立製作所那珂工場 **** 日立製作所計算制御技術本部
***** 日立製作所計測器事業部

える。また、オペレータトレーニングシステムの導入により、幅広い人材の育成を行ない安全操業に寄与する。

(4) 保守・拡張への対応

運転方案の変更やプラント増設などに対応できるように、制御システムのハードウェア、ソフトウェアの両面にわたり保守性・拡張性に富んだ柔軟な構成とする。

(5) 経費の節減

人件費、資材費など多面にわたる経費の節減を図る。

2.2 ハードウェア基本構成

(1) 根岸工場システムの概要

図2に根岸工場システムの構成図を示す。これらは、SCC用計算機システム、DDC用計算機システム、アナログバックアップシステム及びScanning Monitor Control(以下、SMCと略す)用計算機システムから構成される。

(2) SCC用計算機システム

工場全体の原料の受入れ及びガス製造量、送出量を管理して本社のTGCSへデータを伝送する。本社からの製造指令に基づき製造計画、原料使用計画を立て工場内各職場へのオペレーションガイド及び操業管理日報、月報の作成を行なう。更に、バックグラウンド処理として各種オフライン計算処理を行なう。

(3) DDC用計算機システム

プラントを直接制御し、安定かつ精度よく運転する。ロード変更時には、定められた時間内に目標ロードまでバランスよく自動的に変動させる。更に、プラント異常時にはシャットダウン・リスタートを迅速に行なう。常に安定したガスの製造、及び送出を行なう。DDC用計算機システムは、4台のH-80による分散制御を行なっているが、2台単位では相互バックアップを行なう。

(4) アナログバックアップシステム

DDC用計算機システムダウン時の最終段バックアップとして設けられている。ユニットロウルΣシリーズのアナログ調節部と手動操作デスク及びリレーモジュールなどから構成さ

れる。

(5) SMC用計算機システム

遠距離にあるプラントのアナログバックアップシステムの代行をするもので、Data Free Way(以下、DFWと略す)を使用することによりケーブル費用を大幅に節減することができる。常時は、スキャンニングと警報及び手動操作を行なう。このシステムは、このほかにオペレータトレーニング用としても活用される。

2.3 処理の分散

DDC用計算機システムは、4台の中央処理装置(以下、CPUと略す)で負荷分担してプラントの処理を行なう。図3に分担の範囲を示す。また同図に示すように、CPU2台単位に相互バックアップを行なう構成となっている。すなわち、1台のCPUがダウンした場合、他系のCPUが同図の破線で示すように接続されて、ダウンしたCPUの分担するプラントの処理をバックアップする。処理の連続性を保つために、各各のプラントの情報はすべてGlobal Memory(以下、GMと略す)に格納され、各CPUが参照できる構成となっている。この構成は処理分散、情報集中形システムである。

2.4 マルチシステム構成

マルチシステムのハードウェア構造とバックアップの考え方を図4に示す。GMには複数のプラントの処理仕様が格納され、複数のCPUはそのいずれをも参照することができる。各CPUがどのプラント仕様を参照すべきかは、同じくGM内にあるプラントインデックスにより決定され、プラントインデックスは構成制御プログラムが構成変更時に変更する。各プラントの入出力装置は、データベースにより各CPUに接続されスイッチによりいずれかのCPUだけに結合されている。スイッチとCPUの組合せは、同じく構成制御プログラムが切り替える。構成制御プログラムは、GMを経由したCPU相互診断、あるいはCPU異常信号の割込みにより起動され、構成を切り替える。常時は図4に示すように負荷分担をしているが、片系異常時にはプラントインデックスとデータベーススイッチが

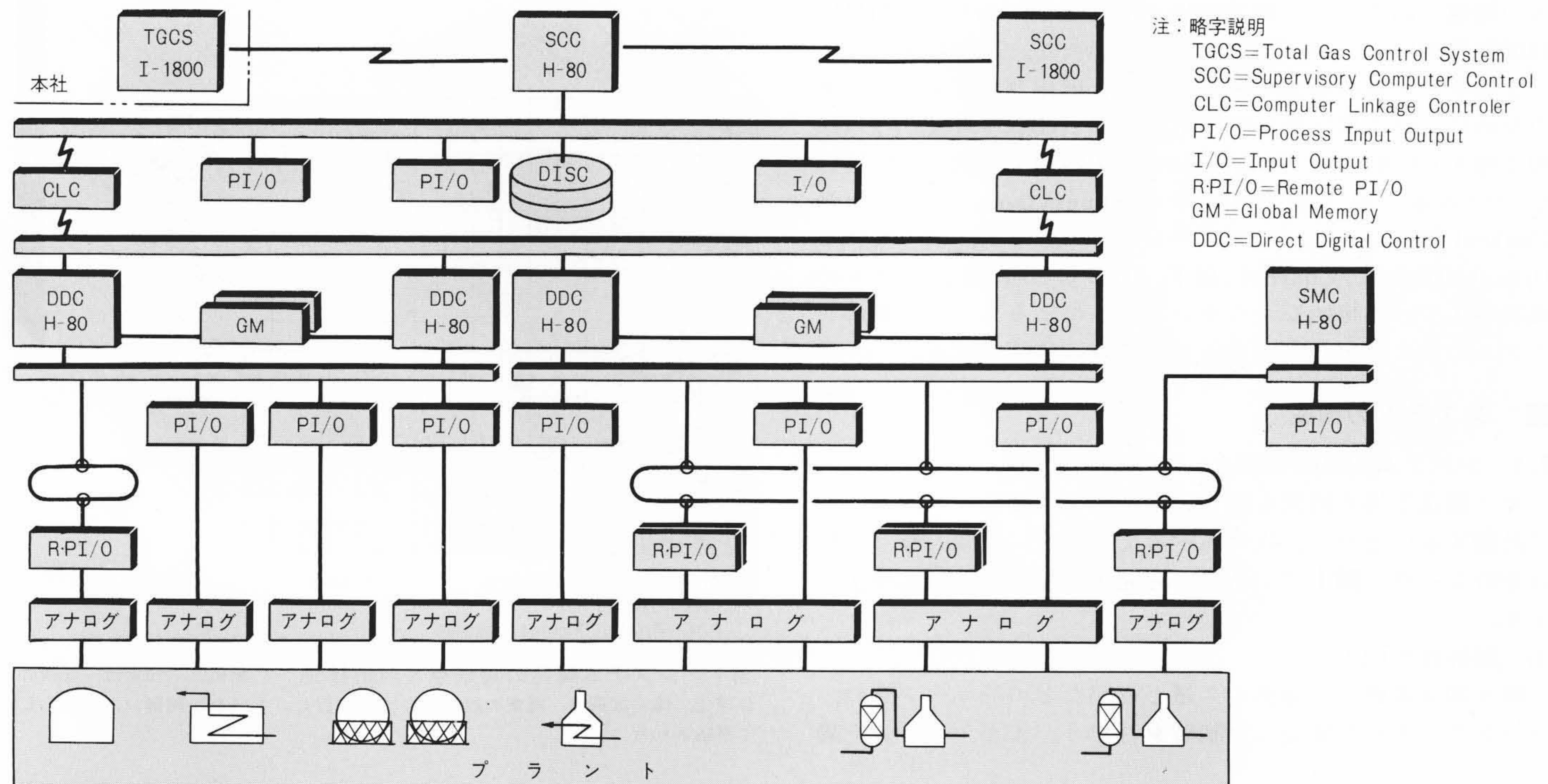


図2 東京瓦斯株式会社根岸工場システム構成図 HIDIC 806台とアナログバックアップシステムにより、根岸工場の操業管理及び制御をつかさどる。

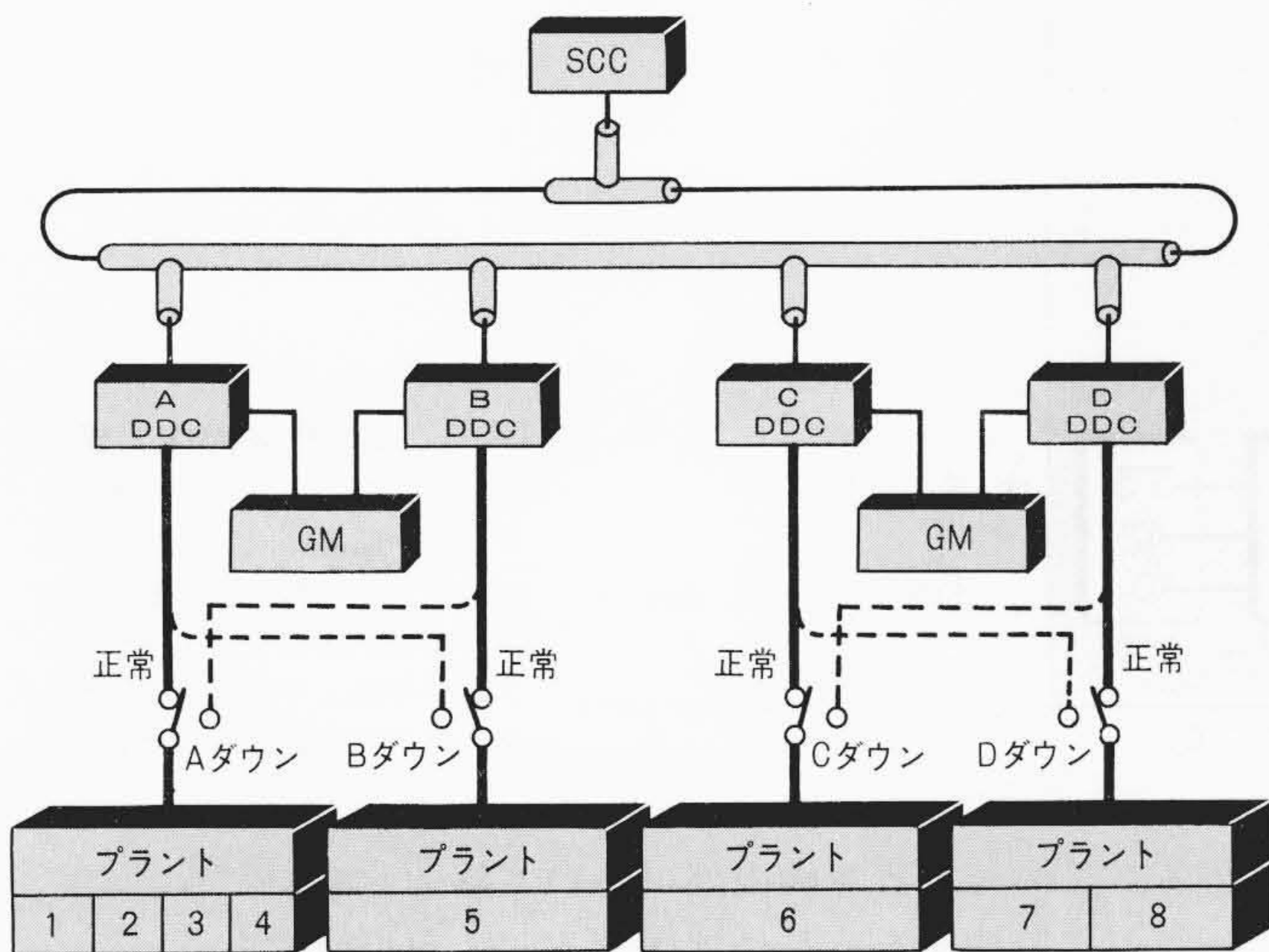


図3 ハードウェアとプラントの対応 DDCシステムは、プラントに対応した分散形構成になっている。各2台ずつの組合せで相互にバックアップする構成とした。

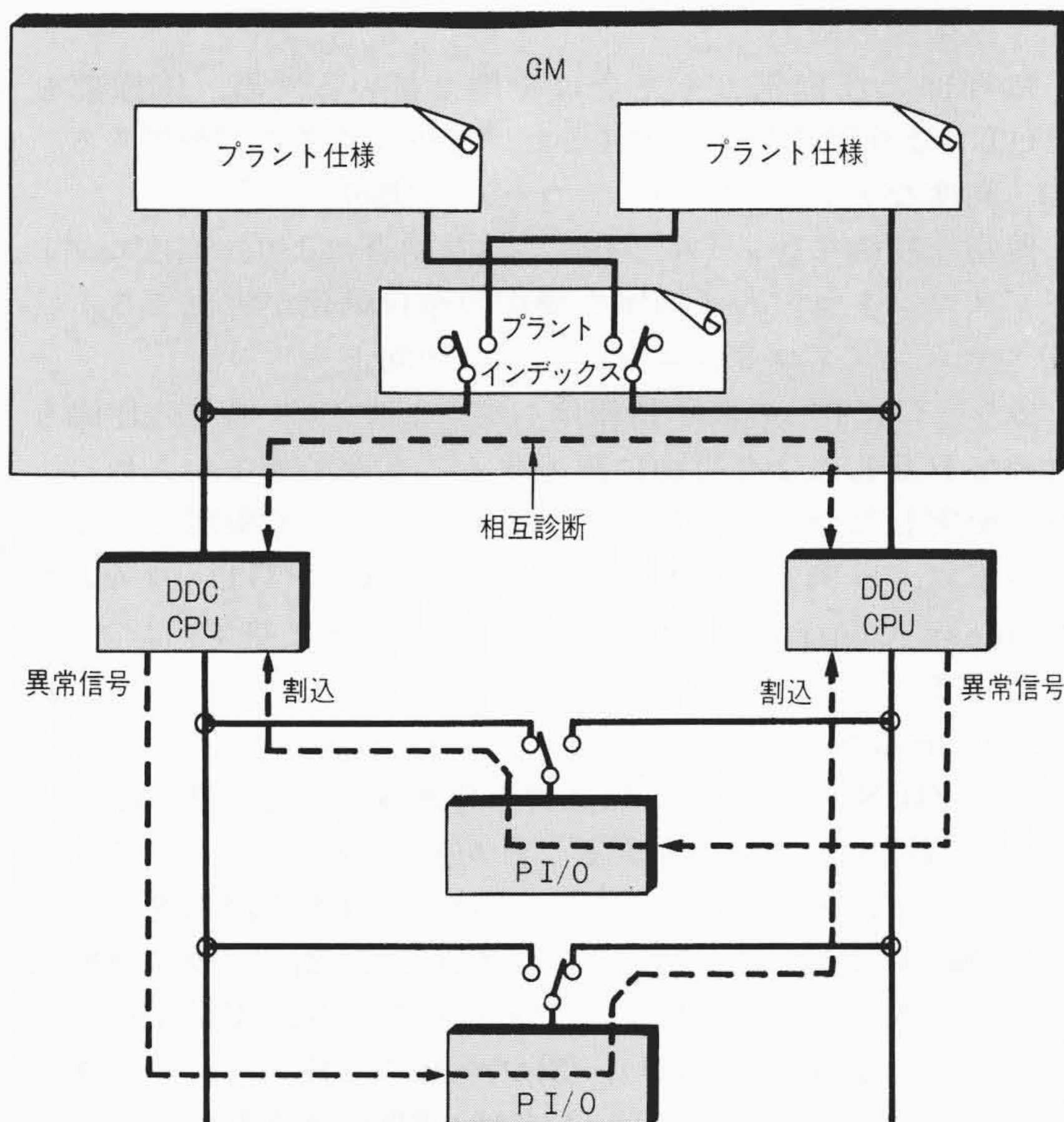


図4 マルチシステム構成 常時は、各CPUはプラントを分担して制御しているが、片系CPU故障時には、他系のCPUで故障CPUのプラントも制御する。

切り替わって、正常系で異常系の処理を継続して実行する。

2.5 アナログバックアップシステム

(1) マンマシンインタフェース

オペレータズコンソールは、DDC運転用カラー Cathode Ray Tube（以下、CRTと略す）と、バックアップ運転用のDDC出力ステーション及びPBL（Push Button Lamp）から構成されている。CRTはDDC運転時にプロセスフロー、バーグラフ表示、アラーム表示及びDDC定数の設定を行なうものであるが、DDCダウン時にはこれが使用できないので、すべてDDC出力ステーションとPBLの手動操作で運転する。このため、オペレータズコンソールは、コンパクトにかつ整然として、操作しやすく配慮してある。図5に一例を示す。

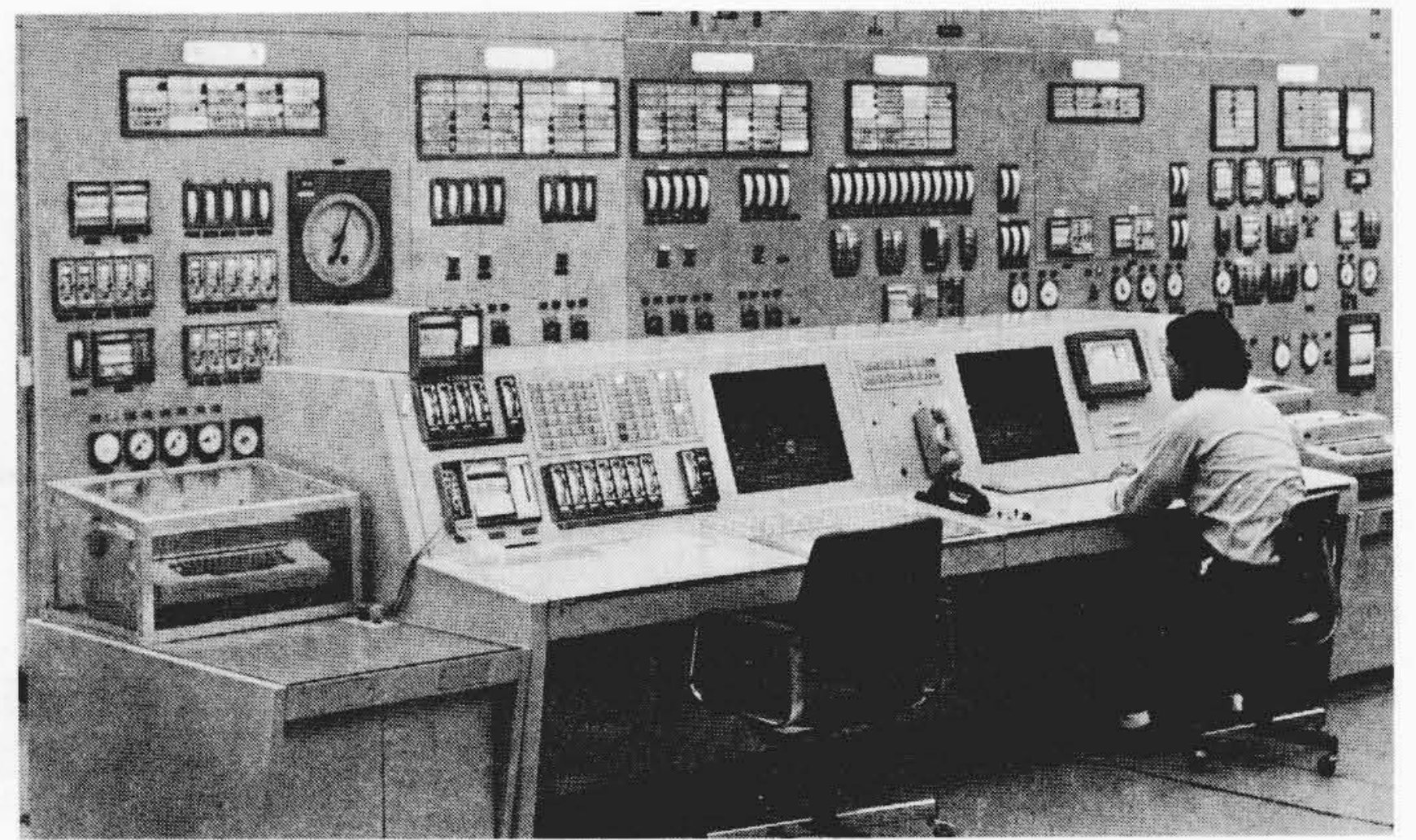


図5 オペレータズコンソールの例 カラーCRTを使用したオペレータズコンソールにより、プラントをワンマンコントロールする。

(2) DDC出力ステーション

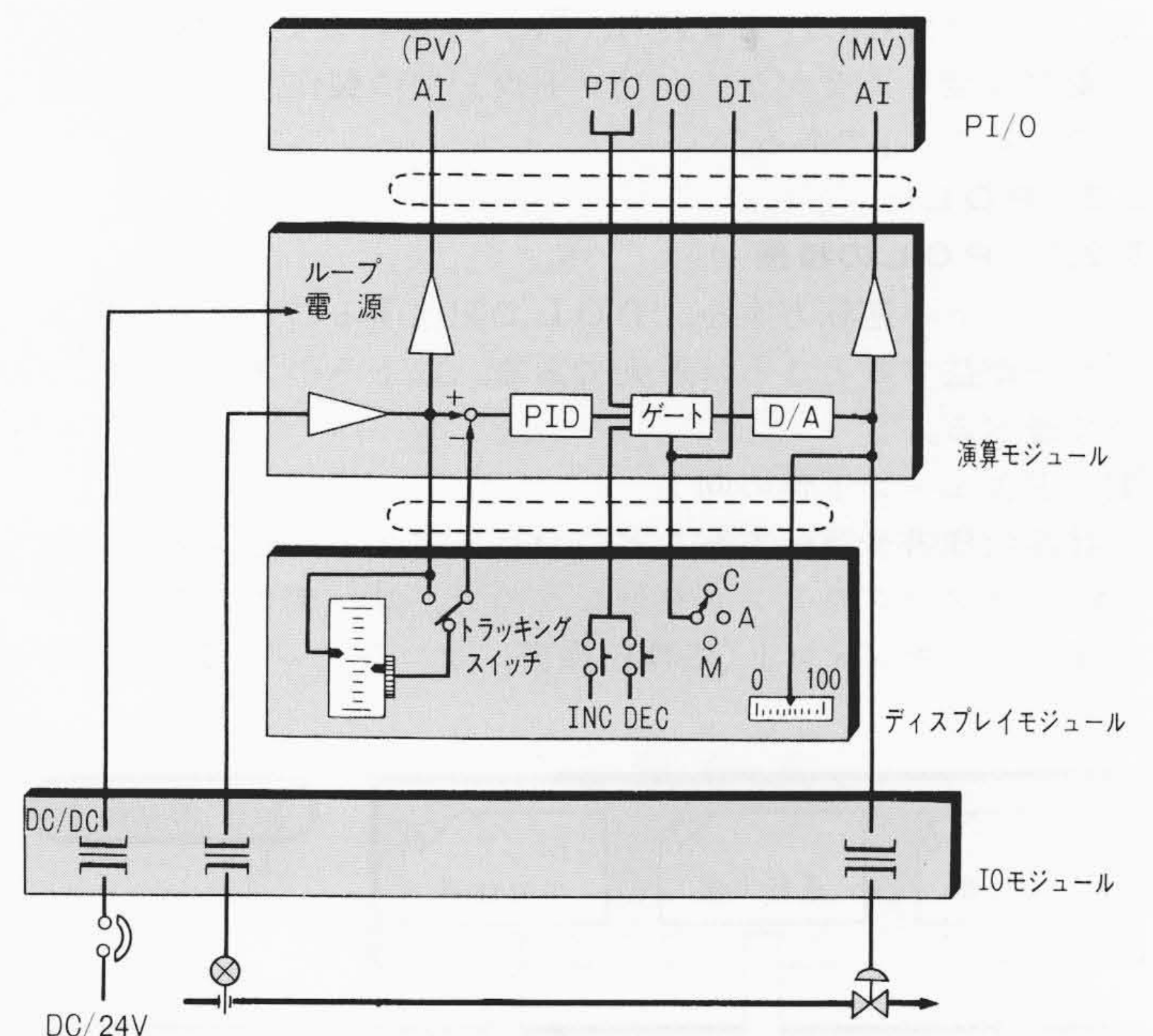
DDC出力ステーションは、計算機やオペレータを結ぶ重要なものである。以下、その特長について述べる。

- (a) システム電源とループ電源及びプラントとの入出力信号を絶縁し、ループ単位の独立性と耐ノイズ性を向上する。
- (b) IO（Input Output）モジュールをはじめ、計算機入出力部までループ単位にモジュール化し、各モジュール間はコネクタ付専用ケーブルで接続される。このため、指示操作部が小形化され操作デスクの縮小化が図られる。

図6にDDCループの構成を示す。

(3) 各種操作弁、回転機類及び緊急しゃ断弁の操作

どのような場合にもプラントを安全に運転停止するために、各所に操作弁、回転機類及び緊急しゃ断弁が設置してある。これを確実に操作できるように、下記の点について配慮した。

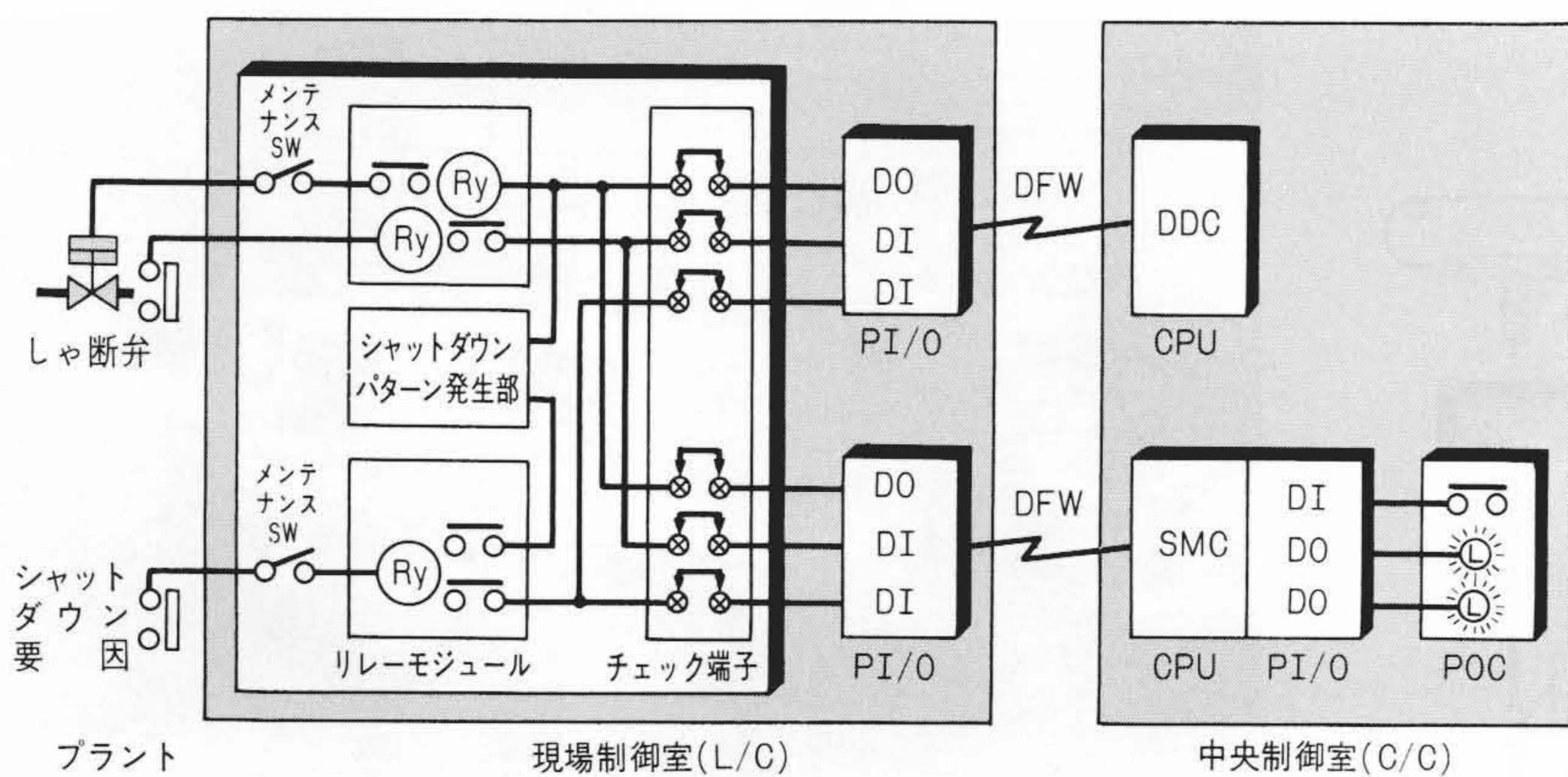


注：略字説明

PV=プロセス変数(制御量)
AI=アナログ入力
PTO=パルス列出力
DO=デジタル出力
DI=デジタル入力
PID=PID演算部

D/A=デジタル/アナログ変換器
INC=出力増
DEC=出力減
C=計算機モード
A=自動モード
M=手動モード
MV=操作量

図6 DDCループの構成 各部はモジュール化され、モジュール間は専用ケーブルで接続されるため、DDCループは簡単に構成される。



注：略字説明
 Ry=Relay
 SW=Switch
 SMC=Scanning Monitor Control
 DI=Digital Input
 POC=Process Operators Console

図7 シャ断弁操作の構成
 計算機とのインタフェースとなるリレー回路は、プリント板モジュール化され、また各所にはメンテナンスのしやすいチェック端子モジュールやメンテナンススイッチが付けられている。

- (a) 計算機のバックアップのためのシャットダウン回路や緊急シャ断弁、回転機類を作動させるリレー回路などは、各機能ごとにプリント基板としてモジュール化した。
- (b) 計算機からの指令信号は、パルス状の信号として出力されリレーモジュールで保持する形とした。このため、計算機故障時には出力をリレーモジュールから速やかに切り離し、手動によりバックアップ運転に継続できる。
- (c) 遠距離にあるプラントは、計算機入出力部を2系統化し、DDC用計算機システム及びSMC用計算機システムの両方からアクセスできる構成とした。図7にこれを示す。

3 ソフトウェア技法

3.1 プログラムの基本構造

具体的なプログラム構造は図8に示す構成を基本とし、これを実現するために、問題向き言語 **Problem Oriented Language** (以下、POLと略す) によるプログラミングを中心としている。すなわち、プログラミングでは処理手順(処理部)と処理スペック(仕様部)とを完全に分離し、次のような効果を期待した。すなわち、「スペックの変更がプログラムの変更に至ることがなく、ソフトウェアの製作、保守が容易にできること」である。

3.2 POL

3.2.1 POLの特長

プラントの運転方案を、POLで記述することによってユーザーが益するところは多大である。以下そのメリットについて述べる。

(1) ドキュメント性の向上

計器仕様書や運転方案などのマニュアルと同じレベルの記述によりプログラミングを行なうので、コーディングリストが従来のドキュメント(処理仕様書、フローチャート)に替わ

り得る。このため計算機内部について熟知しなくても、システムとしての機能を容易に理解することが可能である。

(2) 保守性の向上

上述のように、計算機のプログラミング言語を知らなくても、ドキュメント保守のイメージでソフトウェアの保守ができる。

(3) 拡張性の向上

処理部と仕様部とを完全に分離しているため、仕様部をPOLにより記述して追加するだけで拡張することができる。

(4) 高度なアドバンスコントロールの実現

豊富な制御モジュールとその容易な結合により、高度なアドバンスコントロールや複雑な操作の全自動化が実現できる。

(5) マンマシンコミュニケーションの向上

カラーCRTへの表示情報は、プロセスフローなどの作画も含めてPOLにより自由に記述することができる。これにより、充実したマンマシンコミュニケーションが実現できる。

以下に、一例としてDDCレベル計算機のPOL、すなわち **Process Control Software** (以下、PCSと略す) について説明する。

3.2.2 PCS/DDCの構造

PCS/DDCでは、計器仕様書を作成するのと同様の記述によって制御ループを作成することができる。したがって、各制御ループは図9に示すように、(1)その計器の計器タイプ、Tag. No, 目盛盤に対応する部分(TAG), (2)プロセスの検出端からの入力データを線形化するなどにより、工学単位値に変換する指示計部(IND), (3)プロセスの警報チェックを行なう警報設定部(ALM), (4)各種の制御演算を行なう制御演算部(CTL)及び(5)その結果を操作端へ出力する出力部(OUT)の五つの基本機能部から構成される。

3.2.3 PCS/SECの構造

PCS/SEC(Sequence Control)は、オペレータの運転方案(オペレーションマニュアル)と同等の記述でシーケンス制御ロジックを作成することができる。したがって、オペレータの運転方案に対応した各種の単語を準備し、これを運転手順どおりに記述できるように配慮してある。図10にその一例を示す。この例はシャ断弁の開閉を行なうための“VALVE”命令である。対応するリレーシーケンス回路を付記してある。同図から分かるように、1単語で弁の開閉と開閉リミットスイッチの確認及び不動作、故障時のタイムアウトチェックと警報を行なっている。

3.2.4 PCS/CFT, TFT, POC

上述のDDCやSECと密接に関連して、必要とされるマンマシンコミュニケーション用言語として、CFT(CRT Format Translator), TFT(Typewriter Format Translator)及び

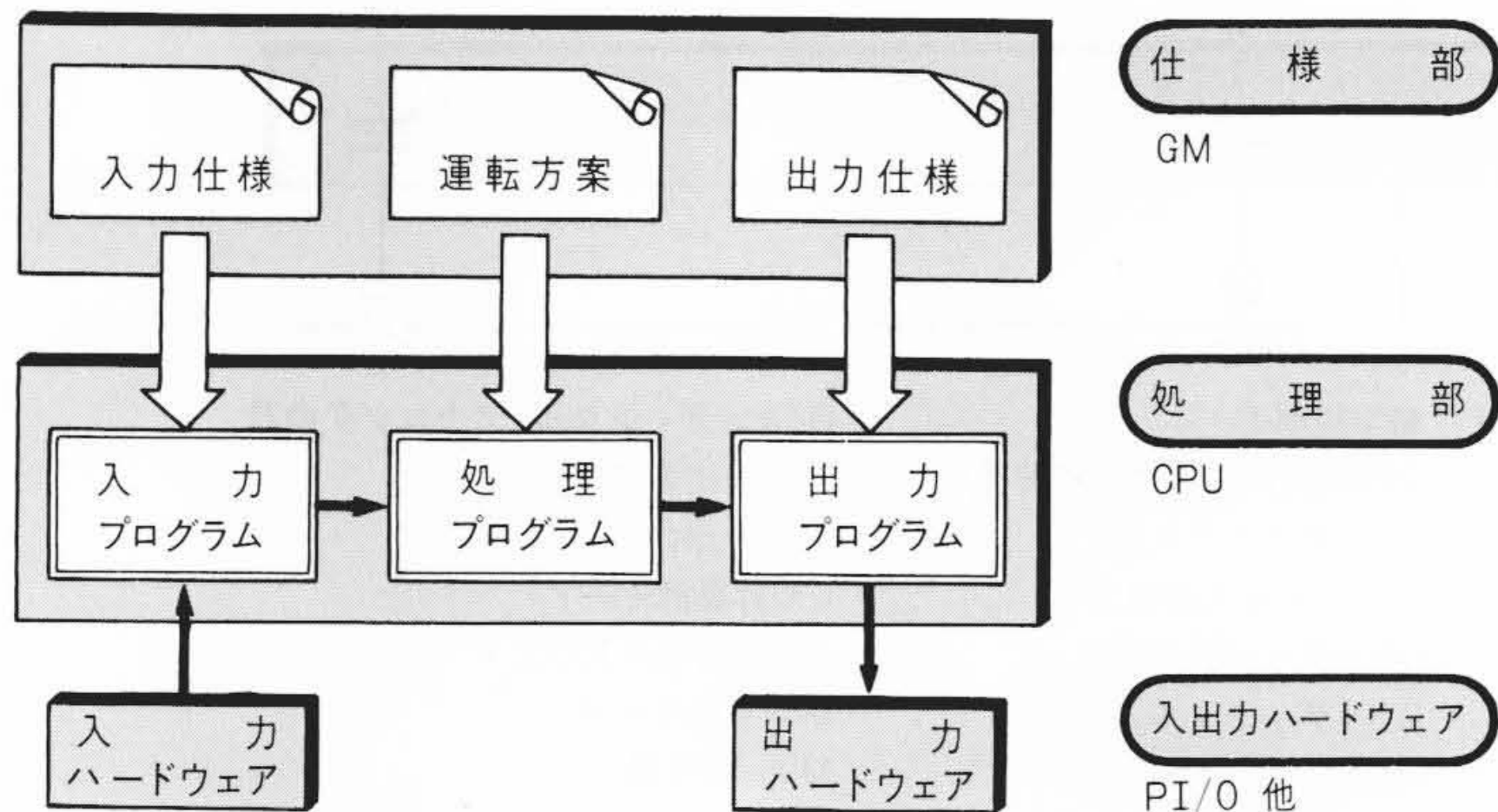


図8 プログラムの基本構造 処理部と仕様部が完全に分離されており、処理プログラムは仕様部を参照しながら仕様に従った処理を実行する。

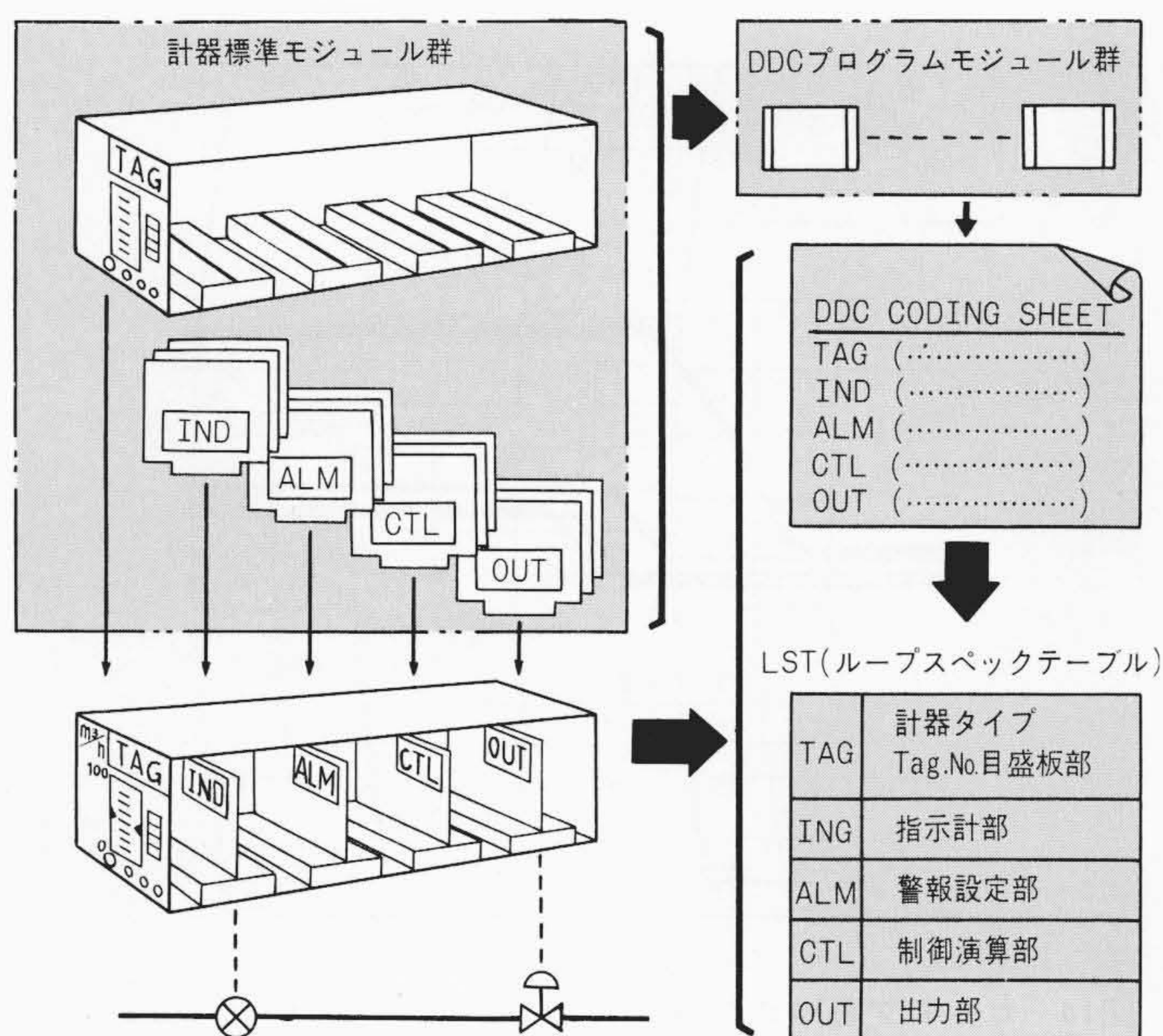


図9 アナログ計器とPCS/DDCの対応 アナログ計器自体を、モジュール化したイメージで作られているので、計器仕様書を記述すると同等レベルの作業でDDCが作成できる。

POC(Process Operator's Console)がある。これらの処理は、DDC、SECと一体となってトータルシステムとしての機能を果たすため、高速かつコンパクトに作られている。

3.3 マルチシステム構成制御方式

DDC用制御システムは、2台のCPU単位に相互バックアップを行なう。この相互バックアップを行なうために、構成制御プログラムにあらかじめCPU運転モードを定めておく必要がある。このシステムでのCPUモードとその遷移を図11に示す。ダウン、オフラインはなんら処理を実行できない状態を示す。常時オンライン時にはS・B(Stand By)、L・S(Load Share)及びB・U(Back up)の3モードをもっている。S・Bとは、なんら制御をしていないがいつでも制御に移れる状態、L・Sとは自系のプラントだけ負担している状態、B・Uとは自系のほか、他系のプラントをも負担している状態である。構成制御プログラムはGM経由、PI/O経由あるいはシステムコンソールからの構成変更要求により図示のようなモードに遷移する。例えば、自系L・S中に他系ダウン信号

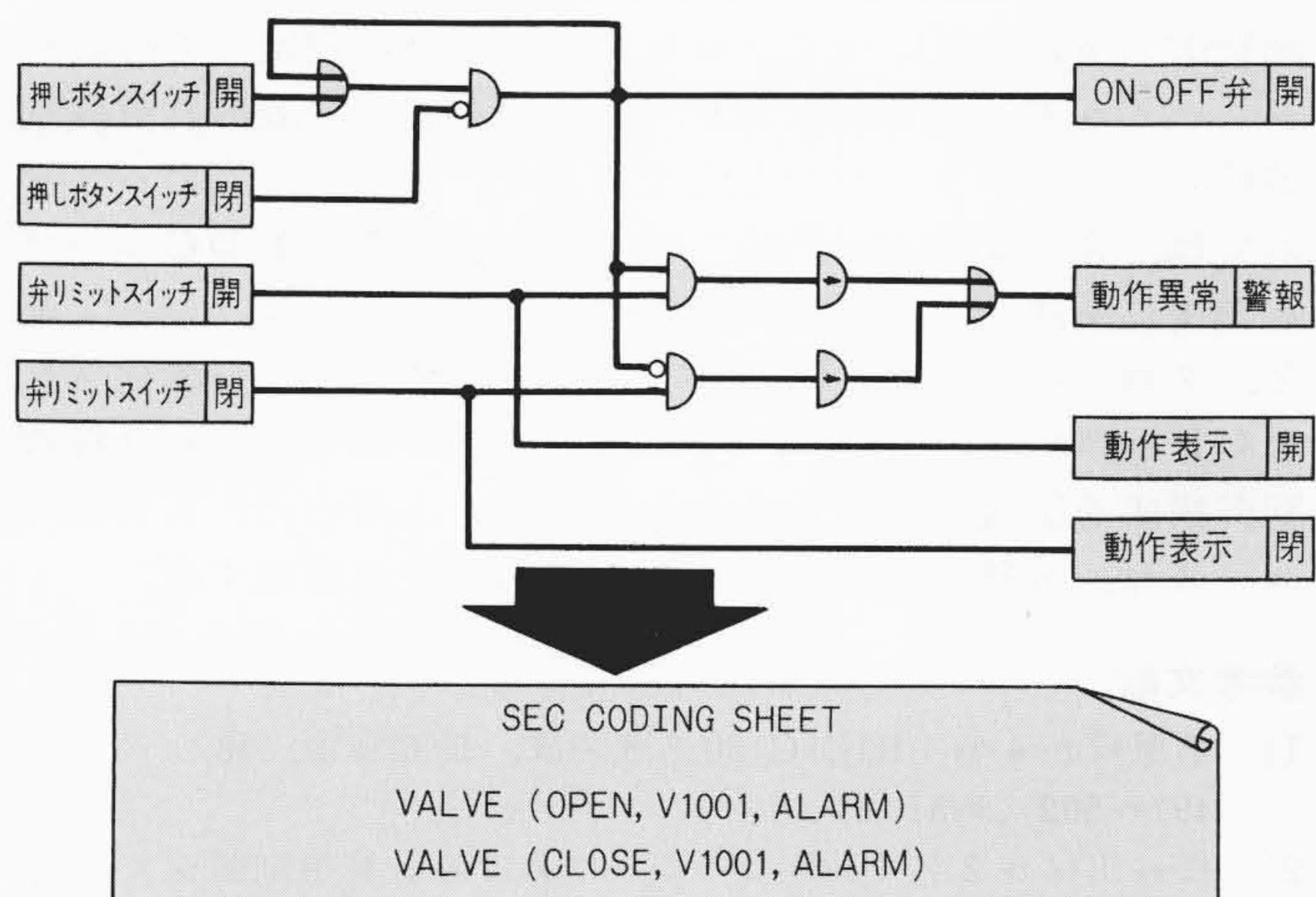


図10 リレーシーケンス回路とPCS/SECとの対応 単位動作のリレーシーケンス回路対応の記述単語を準備し、この単語を運転方案を作成すると同様に記述することにより、シーケンス処理が作成できる。

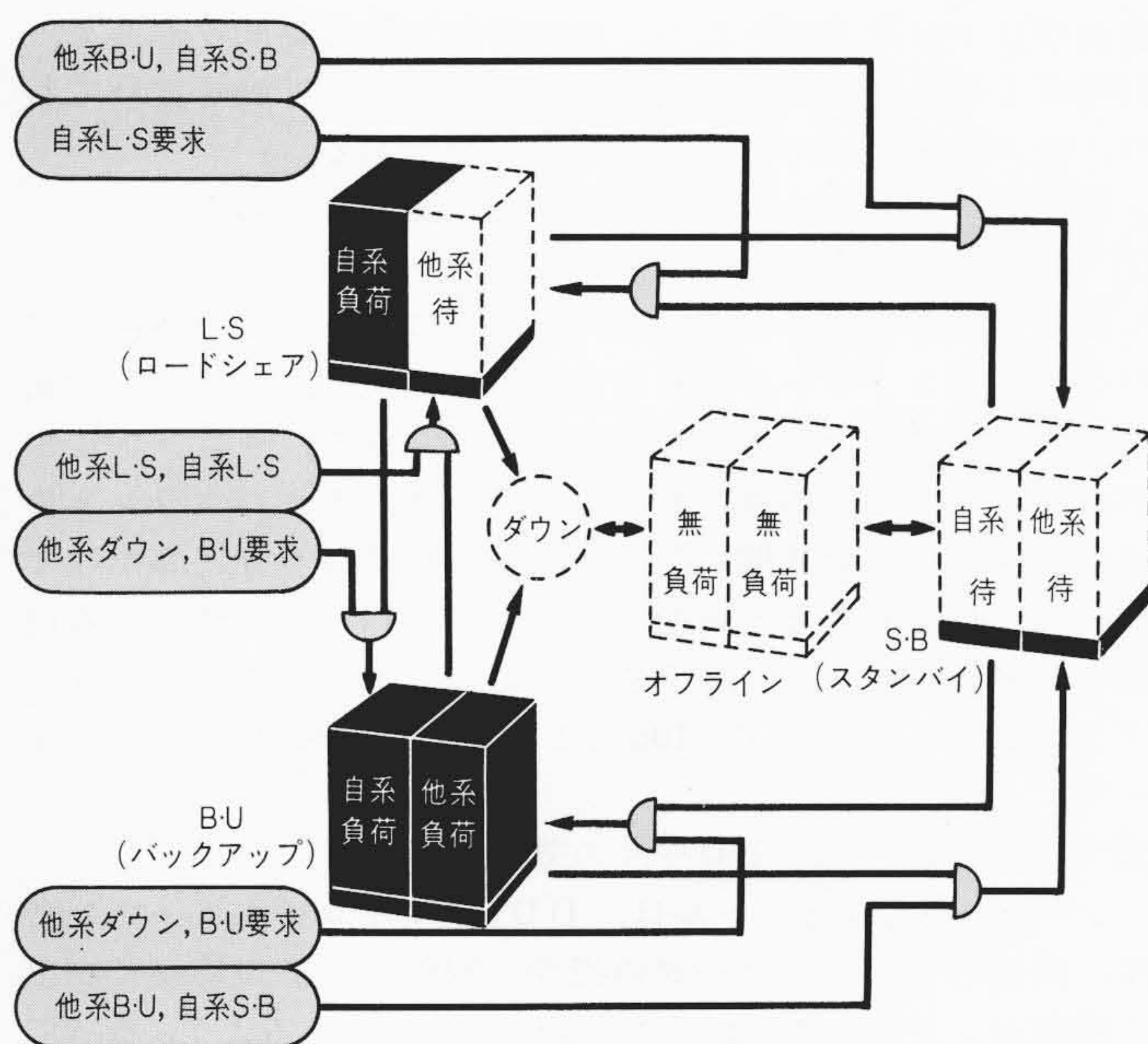


図11 マルチシステム構成制御 各CPUは、S・B(スタンバイ)、L・S(ロードシェア)及びB・U(バックアップ)の基本3モードをもち、他系の異常あるいはシステムコンソールからの要求により、負荷状態が変化する。

が入ると、自系はB・Uモードに遷移し他系のプラントまで負担する。

3.4 トレーニングシステム

SMC用制御システムは、バックアップシステムとしてのスキャンニング、警報及び手動操作の機能のほか、オペレータトレーニングの機能をもつ。図12に示すように、オンラインの処理仕様のほかにトレーニング用プラント仕様を登録すれば、入出力はあらかじめ登録されたシミュレーションモデルと結合され、あたかも実プラントを制御しているようにみえる。オペレータはこの機能により、オペレーションのトレーニングを実施し、高度化された制御システムの運転にとまどいなく対応できる。

4 システムの評価

このシステムは図13に示すように時系列的に逐次増設を行なって、プラント運転のニーズにこたえてきた。この過程で、当初のねらいであったハードウェア、ソフトウェアの増設の

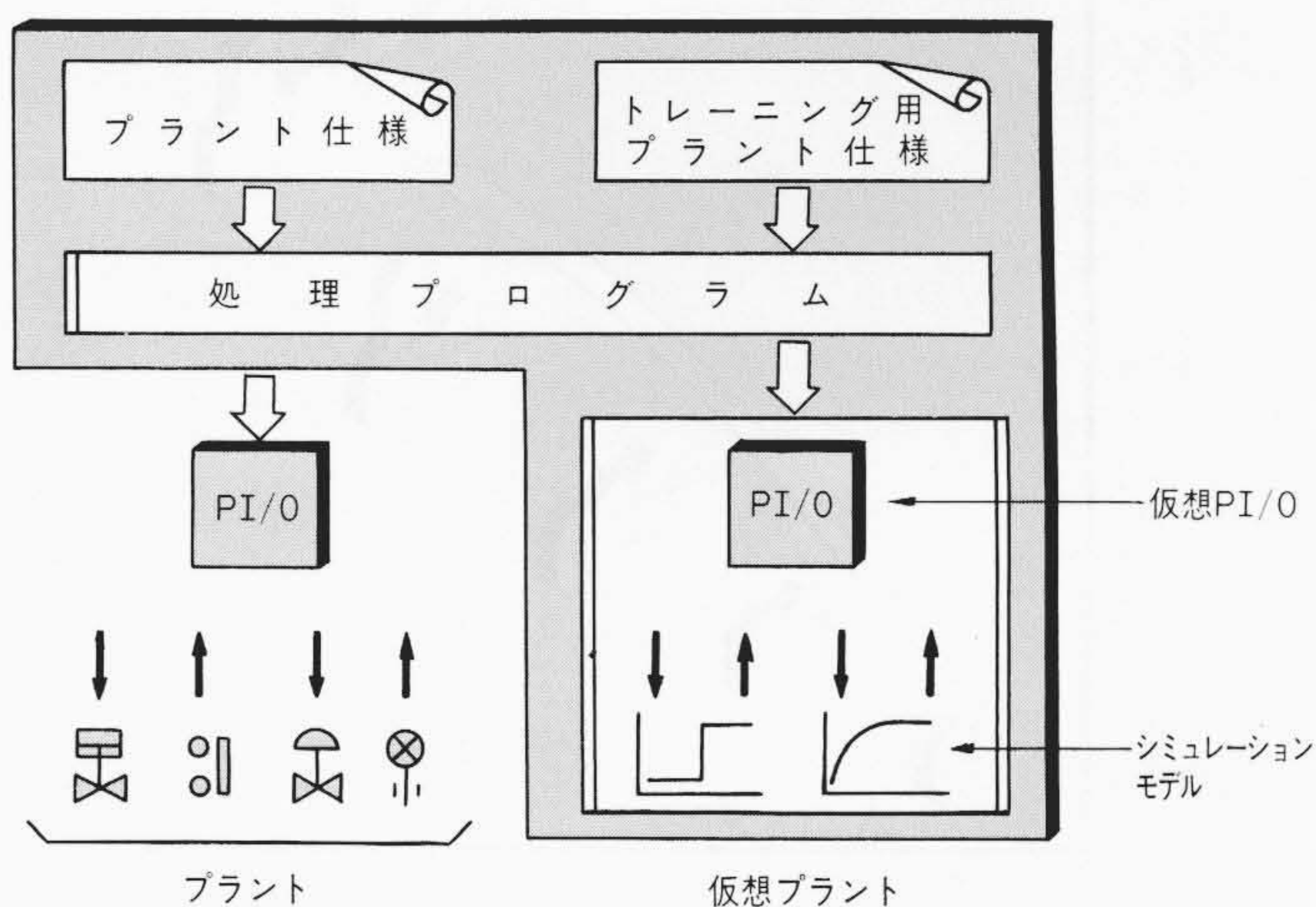


図12 オペレータトレーニングシステム ソフトウェアによるシミュレーションモデルと結合することにより、モデルによるオペレータの運転トレーニングが行なえる。

容易性は十分に立証された。当初計画した最終的な形態で、1978年1月以降、本格的運転に入って順調に稼動を続けており、その結果は極めて満足すべきものである。

以下に、システムの評価としての結論をまとめる。

(1) 制御性の向上

従来のアナログ計装ベースでは非常に難しかった各種アドバンストコントロールをDDCにより実現し、プラントの制御性の向上に大いに寄与した。例えば、従来、マニュアルオペレーションでは困難であったバランスのとれたプラントのロード変更は、計算機に対しロードの目標値を与えるだけで自動的に行なうことが可能となった。図14は計算機による自動ロード変更のチャート例を示すものである。これにより、プラントのロードを30～100%と大幅に自動変更が可能となった。

(2) シーケンスコントロールの効果

シーケンスコントロールは、DDCコントロールループと密接に関連しており、データの授受、制御モードの切換及び出力操作がシーケンスコントロールから指令できるようになっている。これにより、シャットダウン処理、リスタート処理、その他の特殊シーケンス処理などの自動化が容易に実現でき、プラントオペレーションの効率向上を図ることができた。

例えば、従来のオペレーションでは1.5～2時間を要したプラントのリスタート処理は、約50分で行なうことができ、外設ボイラでも30分かかっていたリスタート処理を5～6分で行なうことができるようになったなど、シーケンス制御を採り入れた効果は大きい。

(3) 計装費用

計装ケーブルの工事費用は、ループの数及びケーブルの延長距離に比例して増大する。このシステムでは、同軸ケーブルによるDFW方式を採用し、ケーブルの工事費用を節減した。CCR(Central Control Room)から500～1,000mの距離に配置されたプラントとの間で約1,600点の信号接続を必要とし、ケーブル工事費用は従来方式に比較して約 $\frac{1}{10}$ に節減することができた。

(4) 操作性の向上

多機能をもつオペレータズコンソールは、カラーCRTオペレーションの採用やバックアップ出力ステーションの小形化により、従来の操作パネルに比べて約 $\frac{1}{2}$ に小形化された。

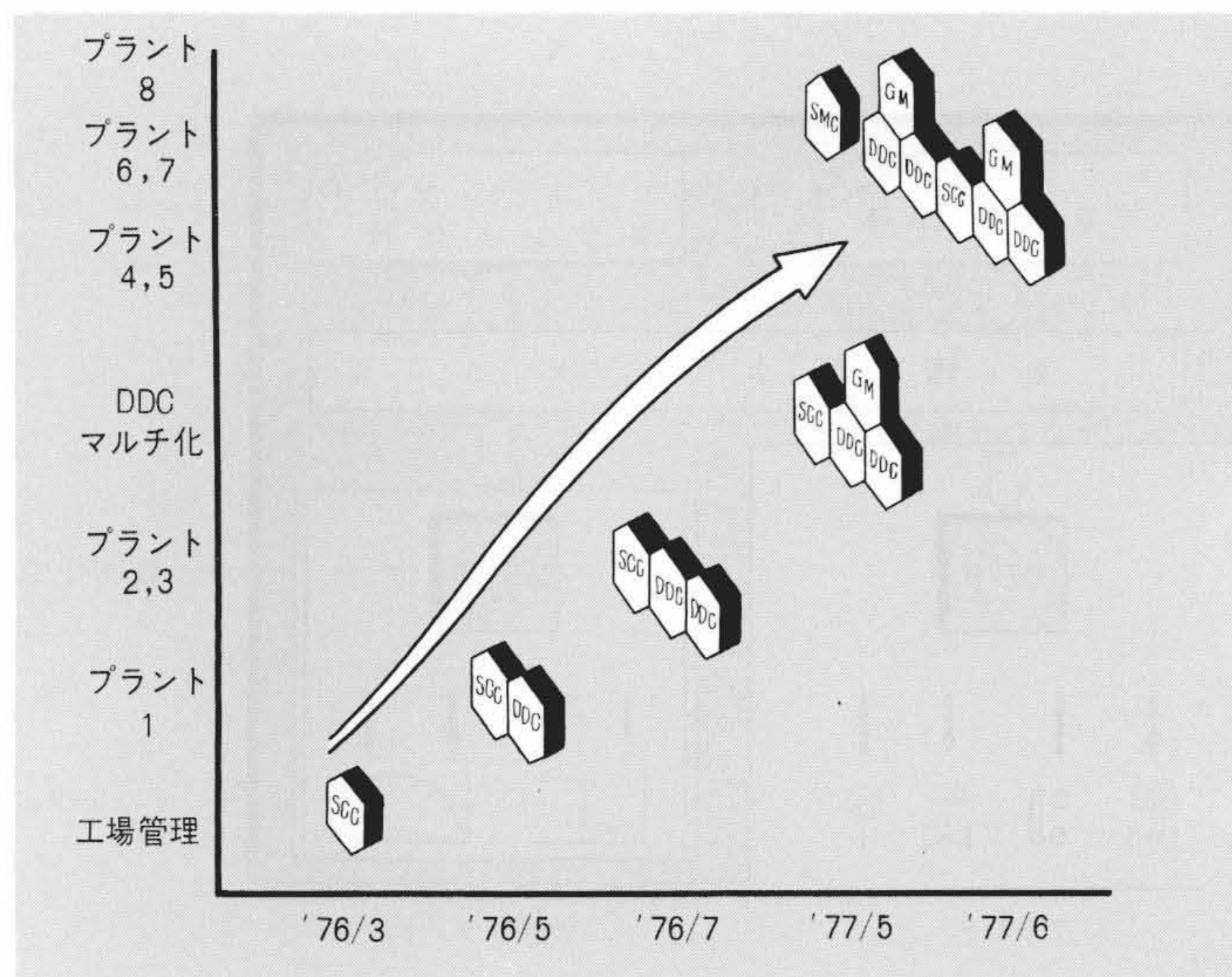


図13 根岸工場システムの構築 1976年3月から逐次増強を行ない、管理の合理化、制御の高度化が図られた。

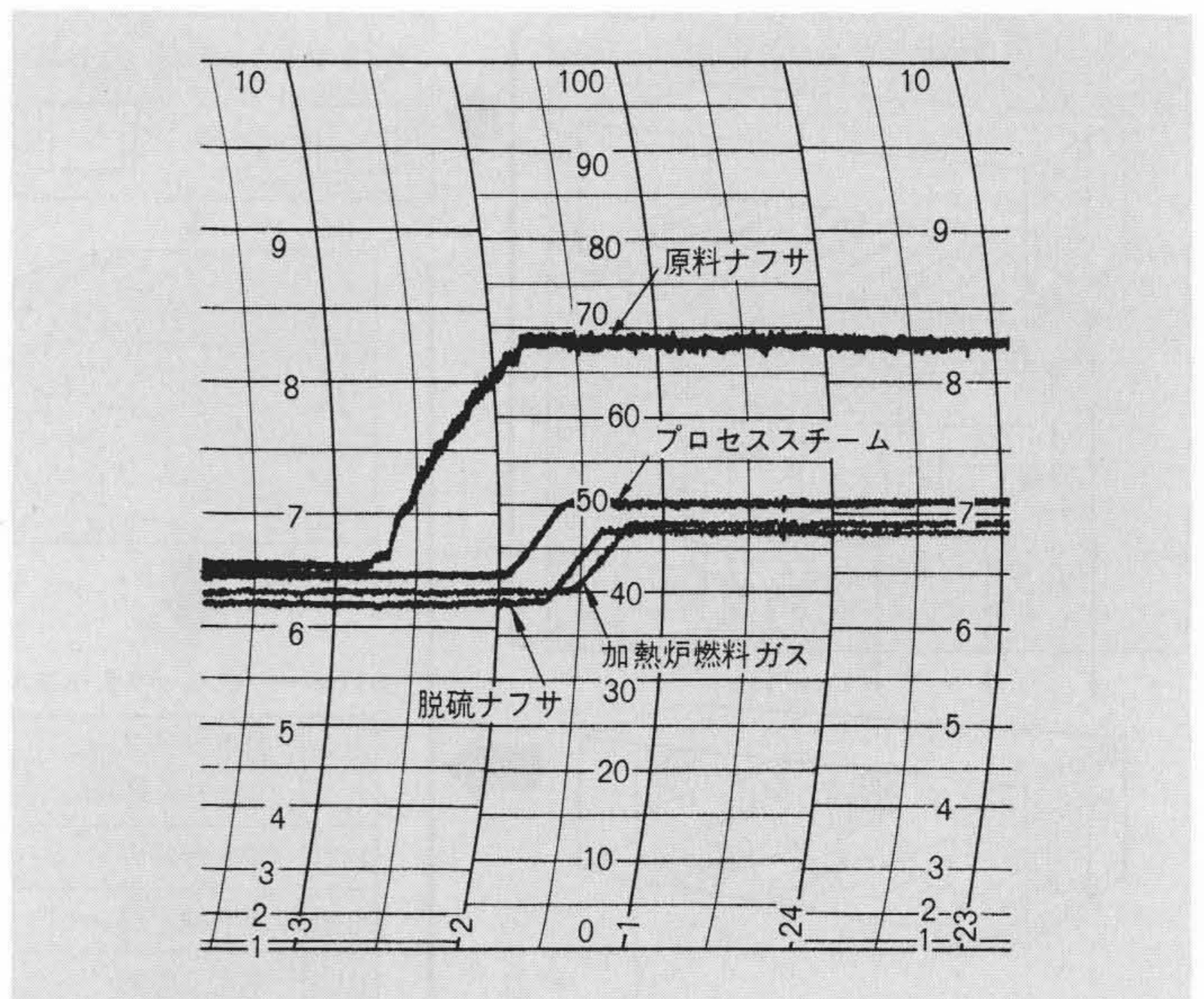


図14 ロード変動時のプラントの応答例 目標ロードを与えるだけで、バランスよくロード変更を行なうことができる。

この結果、オペレータの監視、操作の範囲を縮小することができた。

(5) ソフトウェアの生産性と保守性

POLの採用により、システム設計から試運転までの所要マンパワーはFORTRAN記述ベースの $\frac{1}{2}$ 以下の効率が期待でき、特に、計算機プログラム未経験者に対しても数日の教育で十分に製作、保守を行なわせることができるようになった。

(6) オペレータ教育

SMCシステムを使用したDDC操作教育を事前に実施したことにより、プラントのスタートアップがとまどいなく、円滑に実行できるようになった。また、SMCシステムのソフトウェアシミュレーションモデルにより、各プラントのDDCオペレーション、シャットダウン処理、リスタート処理など実プラントを想定したオペレータ教育ができる。これらの機能は、プラント運転中にもオペレータのフォローアップ教育に利用されている。

5 結 言

分散形計算機制御システムの一例として、HIDIC 80マルチシステムを効果的に利用した都市ガス工場の計算機制御システムについて紹介した。DDCやシーケンス制御といった計測制御の分野では、マイクロコンピュータを利用した分散形システムが実用化されており、これは今後の分散形計算機制御技術の進むべき一つの方向であろう。しかし、このシステムでは、完全なデジタルバックアップ、大量のDDCループと密接に関連したシーケンス制御を実現するというニーズから、グローバルメモリ（共用メモリ）を媒体として分散化されたCPU群をコンバインするという、特長のある分散形計算機制御構成を実現した。このような技術を応用したシステムのニーズは、今後ますます多くなるであろうと確信する。

参考文献

- 1) 桑原ほか4名：HIDIC 80処理装置，日立評論，58，497～502（昭51-6）
- 2) 長谷川ほか2名：化学プラントにおける計算機制御システム，日立評論，58，451～456（昭51-6）
- 3) 倉持ほか2名：新しいアナログ計測・制御，日立評論，58，173～178（昭51-3）