

ワンループコントローラ

Single-loop Electronic Controller

危険分散を目的とする制御システムの究極である1ループDDCを実現するVI87M-E形ワンループコントローラを開発した。

本ワンループコントローラの内容は次に述べるとおりである。プログラマブルであり、内部に実装する制御機能5種、演算機能24種を組み合わせ、希望する機能を実現している。コンピュータ知識の少ない顧客が容易に作成できるプログラミング手法を用いるとか、従来のアナログ調節計と違和感のないマンマシンインタフェースの構成により、混在計装を可能にするという特長を備えている。制御はループ単位に分散化しているが、オペレータコンソールなどによる集中操作監視を容易に実現する多重データ伝送の機能をもっている。

1 緒言

現在、プロセス制御に用いられる工業計器には、代表的な機器として電子式アナログ調節計と制御用計算機がある。アナログ調節計を中心とする電子式工業計器は、20年を超える永い歴史をもち、プロセス制御システムの高級化や複雑化に対応するため、次々と機種及びオプション機能を追加・付加し、現在に至っている。一方、制御用計算機によるDDC (Direct Digital Control: 直接計算機制御)は、マイクロコンピュータを中核とする計装制御システム¹⁾の完成以来、広く普及し始めた。DDCシステムは計算機の故障が広範囲に及ぶのを防止するため、1台の計算機で取り扱う制御ループ数を減らす分散形DDCの方向で発展し、当初の32ループシステムに加え、8ループシステムを開発し、現在に至っている。

今回、この発展の究極のシステムとして開発された完全分散形総合計装システムで、VI87M-E形日立指示調節計(通称、ワンループコントローラという。)は、DDCの機能を実現するものである。すなわち、危険分散の究極である1ループDDCを実現する。

また、一方、アナログ電子式工業計器の見地からは、高機能かつ柔軟性の高い機器、及び上位計算機との結合性の良い機器を実現する。

以下、ワンループコントローラの構成、プログラミング及び応用例について述べる。

2 システム構成

ワンループコントローラは、分散形計装システムの一環として1ループDDCを行なうとともに、アナログ調節計の代替をも行なうという性格をもっている。このため、構成上要求される主な内容として、次の項目がある。

- (1) 1ループからのシステム構成が可能であること。
- (2) システムの高機能化及び高精度化に対処できること。
- (3) 分散化した制御を集中操作監視するため、簡潔な手段でデータの通信ができること。
- (4) アナログ調節計との混在計装が可能であること。
- (5) 信頼性及び安全性が高いこと。
- (6) 保守性に優れていること。

これらの要求を満たすためにワンループコントローラに必

末広哲雄* Tetsuo Suehiro
立花幸治* Kôji Tachibana
浜田亘曼** Nobuhiro Hamada

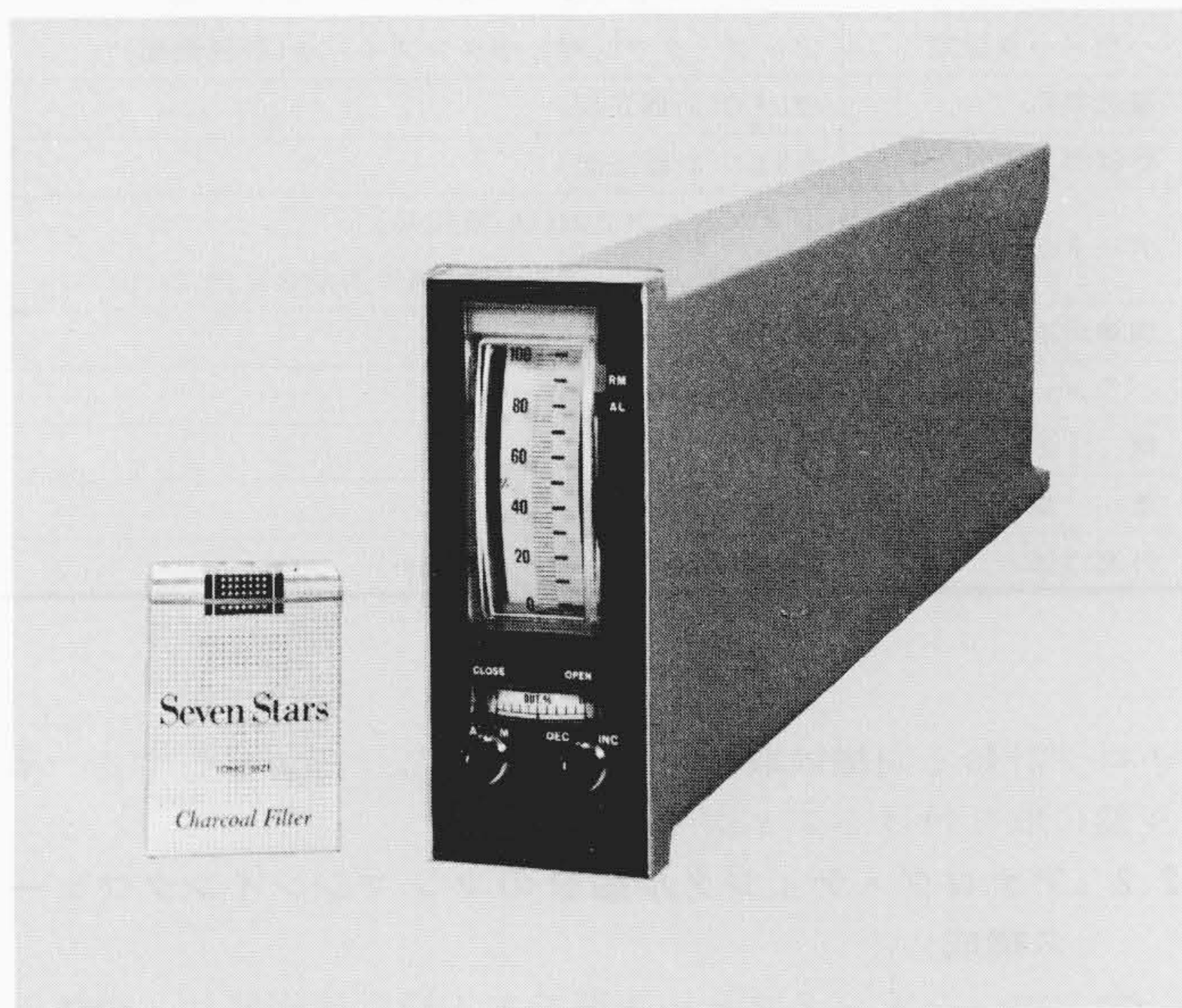


図1 ワンループコントローラの外観 従来のアナログ調節計と同一構造及び違和感のないデザインの計器であるが、分散の究極である1ループDDC (Direct Digital Control)の機能をもっている。

要な構成要素のうち、特長的な項目を以下に述べる。

なお、図1にワンループコントローラの外観を、表1に主な仕様を示す。

2.1 指示操作部と制御演算部の一体形構成

実装形態は従来のアナログ調節計と同一とし、指示操作部と制御演算部は同一ケース内に収め、一体形構成とした。この構成を、1ループDDCシステムの基本構成単位とする。これにより、1ループからの単独使用ができ、ループ数の増加に対してはコントローラを対応する台数だけ準備する効率の良いシステム構成ができる。また、ループ単位に機器が独立しているため、保守性に優れている。

また、低消費電力ICの使用や高効率電源回路など、熱設計は十分考慮し、放熱ファンを用いることなく防塵構造を実現した。これにより、信頼性が向上するとともに、従来のア

* 日立製作所那珂工場 ** 日立製作所日立研究所

表1 ワンループコントローラの主な仕様 1ループDDCを実現するのに必要な条件を備えている。

項 目	仕 様
測定値入力	1点 1～5 VDC
アナログ入力	4点 1～5 VDC
操作出力	1点 4～20mADC又は1～5 VDC
補助アナログ出力	1点 1～5 VDC
デジタル入力	2点 無電圧接点
デジタル出力	3点 リードリレー接点
設定値設定	定値設定 アップ・ダウンはね返しスイッチ リモート設定 内部演算処理後又は外部信号 データ伝送設定 データ伝送経路設定
設定値指示	フルスケール指示
測定値指示	フルスケール指示又は偏差指示
デジタル指示	測定値又は設定値(計器正面)
操作出力指示	0～100%指示
手動操作	増加・減少はね返しスイッチ
パラメータ表示	パラメータ番号及びパラメータ値(計器側面)
パラメータ設定	アップ・ダウン押しボタンスイッチ(計器側面)
警報表示	赤LED(計器正面)
計器異常表示	赤LED(計器正面)
データ伝送	ツイストペア2対(送/受信号) デジタルシリアル伝送(調歩同期式) 19.2kbps
演算周期	0.33秒
パラメータ停電保護	内蔵電池又は外部保護電源
電 源	24VDC±10%(0.35A)
重 量	5.5kg
外形寸法	幅70×高さ170×奥行570(mm)

ナログ計器と同様の取扱いができ、また、密着し並べてパネル盤に取り付けることができる。

2.2 アナログ・デジタル融合のマンマシンインタフェース構成

マンマシンインタフェース部である指示操作部は、全体としてアナログ調節計と違和感のないデザインとし、更にデジタル表示を併用した。これにより、一見して制御状況を判断できるアナログの良さと、個人差がなく、かつ高精度に読取り及び設定ができるデジタルの良さとを兼ね備えている。また、従来のアナログ計器に慣れた運転員に負担を与えることなくDDCを導入でき、更に、アナログ計器との混在計装が可能である。

各種パラメータ値や目標設定値などの設定は、数字キーによる直接設定でなく、現在値からの増加・減少による方式とした。これにより、従来の可変抵抗器の操作性に近く、かつ高精度に設定できる。また、誤操作による設定ミスを防止し、プロセスの安全運転に寄与することができる。

2.3 工業計器共通の入出力仕様

信号はDC1～5V、電源はDC24Vとし、工業計器共通仕様とした。実装形態及びデザインと合わせ、アナログ計器との混在計装を可能とした。更に、高機能のアナログ調節計としての適用が可能であり、プロセスの部分的な改造・増設時にワンループコントローラを適用し、省エネルギーや省資源などプロセスの部分的改良にも役立つものである。

また、入出力信号点数や可変パラメータ点数は、従来のアナログ調節計に比べ多く設け、高機能機器としての使用に処できるようにした。

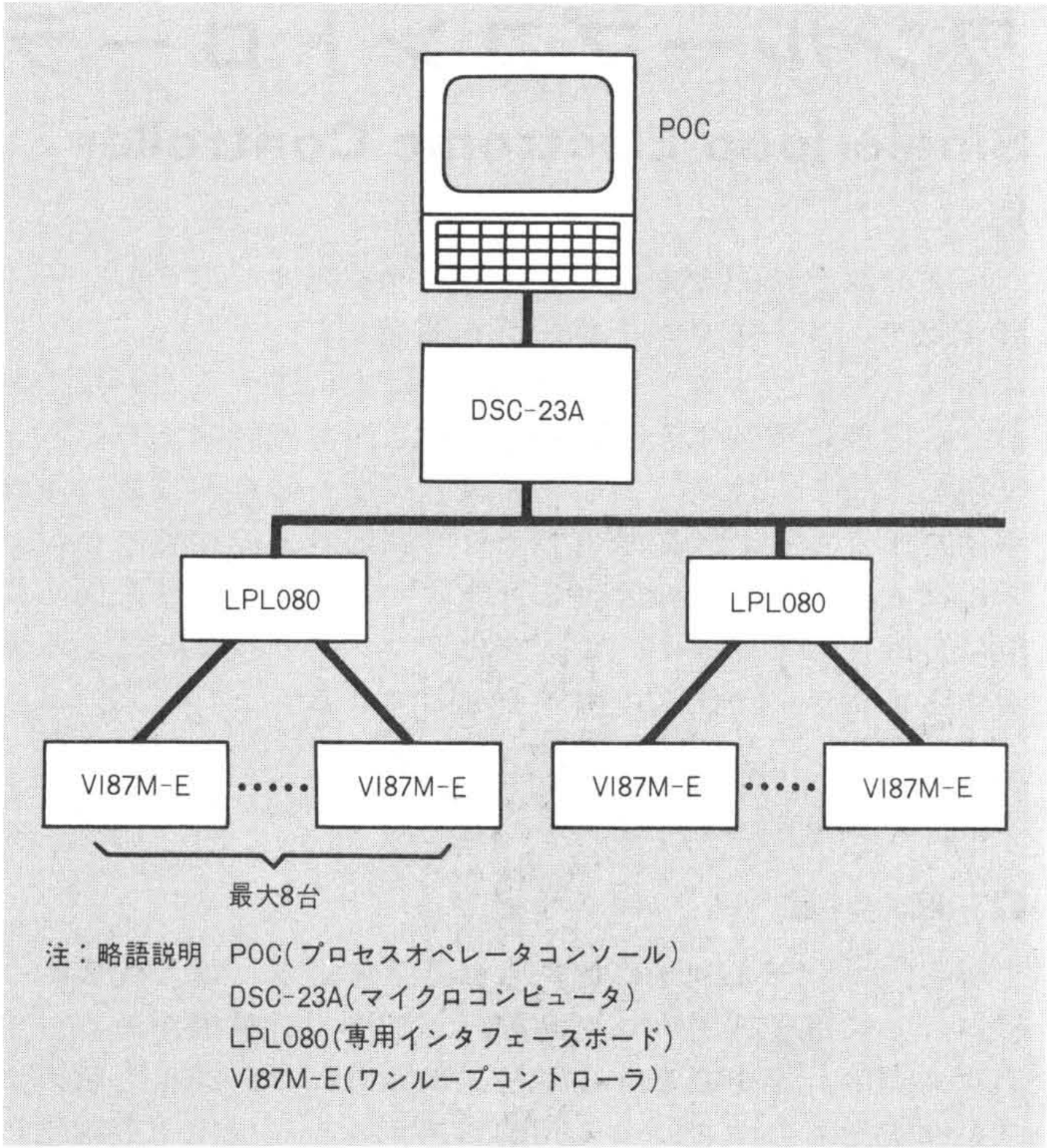


図2 データ伝送のシステム構成例 データ伝送機能により、制御は分散、操作・監視は集中のシステムを実現できる。

2.4 多重データ伝送

上位計算機とのデータ伝送のシステム構成例を図2に示す。ワンループコントローラのデータ伝送方式はDSC-23Aと送・受信2対の信号線で、デジタルシリアル信号による多重データ伝送を行なう簡潔な構成とした。DSC-23A側には専用のインタフェースボード(LPL080)を設け、ボード当たり最大8台までワンループコントローラを支援する。データ伝送により上位計算機が取り扱うことのできるコントローラのデータ種類は、

- (1) データ読取り
入出力データ、測定値や目標設定値などの制御データ、自動・手動などの制御モード、PID(比例・積分・微分)などの制御パラメータ、警報設定値などの演算パラメータ
- (2) データ書込み
目標設定値、制御パラメータ、演算パラメータ

であり、分散形DDCを構成するのに十分な内容とした。ワンループコントローラをデータ伝送機能により上位計算機と結合することにより、下記のような計装システム機能を実現できる。

- (1) オペレータコンソールにより集中監視操作を行なう。
- (2) 調節ループの設定値(SP)を上位計算機から与えるSPC(Set-Point Control)を行なう。
- (3) 各調節ループの制御量(PV)や警報値などを、上位計算機で読み取りシステム監視を行なう。
- (4) 調節ループにおけるPID演算の制御パラメータ(比例帯や積分時間など)や演算パラメータ(比率やバイアスなど)を上位計算機から与え、アドバンス制御を行なう。

2.5 自己診断と異常対策

- ワンループコントローラには、下記の自己診断機能を設けた。
- (1) ウォッチドッグタイマ
 - (2) 操作出力のリードバックチェック

(3) プログラムメモリのサミングチェック

これらは運転中常時行なわれており、異常時には表示及び外部出力信号を出し運転員に知らせる。これにより、機器の故障がプラントの異常にまで波及する以前に、プロセスの安全のための対策をとることができる。

また、異常時の対策として、プリセットマニュアル機能及び補助手動調節器との切換可能な機能を設け、コントローラ単独でも安全対策を行なえる構成とした。

この自己診断機能は、アナログ調節計では実現困難な機能であり、危険分散の究極を実現していることに加え、よりいっそうの高信頼化システム構成を可能としている。

2.6 機種統合

従来のアナログ計器の場合、機能に対応して計器が異なるため多くの機種がある。例えば、標準のアナログ調節計に限定しても、設定方式で定値、カスケード及び計算機設定の3種類が、演算方式でP IとP I Dの2種類があり、組み合わせで6種類となる。

ワンループコントローラは従来の調節計だけでなく周辺の演算器、警報器などまで代替するものであるが、開発に際しては機種の統合を図りハードウェアとしては1種類にすることができた。これにより、顧客では予備計器として1種類だけ用意すればよく、互換性や保守性は飛躍的に改善される。

3 プログラミング

ワンループコントローラは、その性格上、プログラミングの面から要求される主な内容として、次の項目がある。

- (1) システムの高機能化及び高精度化に対処できる十分な機能をもっていること。
- (2) 1ループから手軽にプロセス制御に適用できるようにするため、コンピュータの知識の少ない顧客でも理解及び作成できるプログラミング手法であること。
- (3) 小形で操作性の簡単なプログラミング機器が用意されていること。

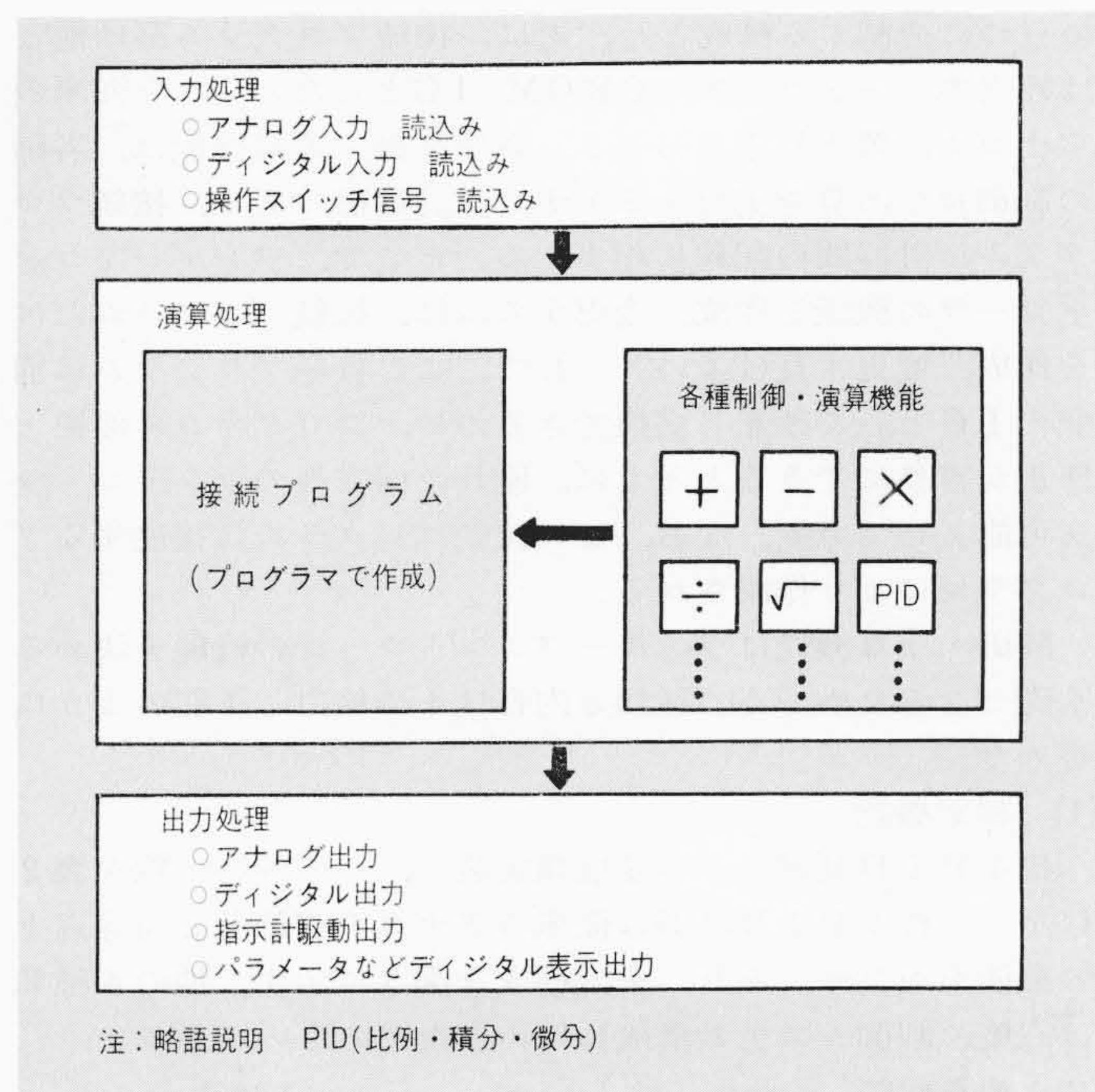


図3 ワンループコントローラのソフトウェア構成 処理内容により分割され、流れも簡潔なソフトウェア構成になっている。

- (4) プログラム変更に対しても保守性が良いこと。

これらの要求を満たすために実現したワンループコントローラのプログラミングの面からの構成を、ソフトウェア構成、演算原理及びプログラム作成の三つに分けて説明する。

3.1 ソフトウェア構成

図3にワンループコントローラのソフトウェア構成を、図4にソフトウェア処理から見た機能構成を示す。

ソフトウェア上の中心は演算処理部である。演算処理は、制御・演算機能、接続プログラム及び接続プログラム解読機能

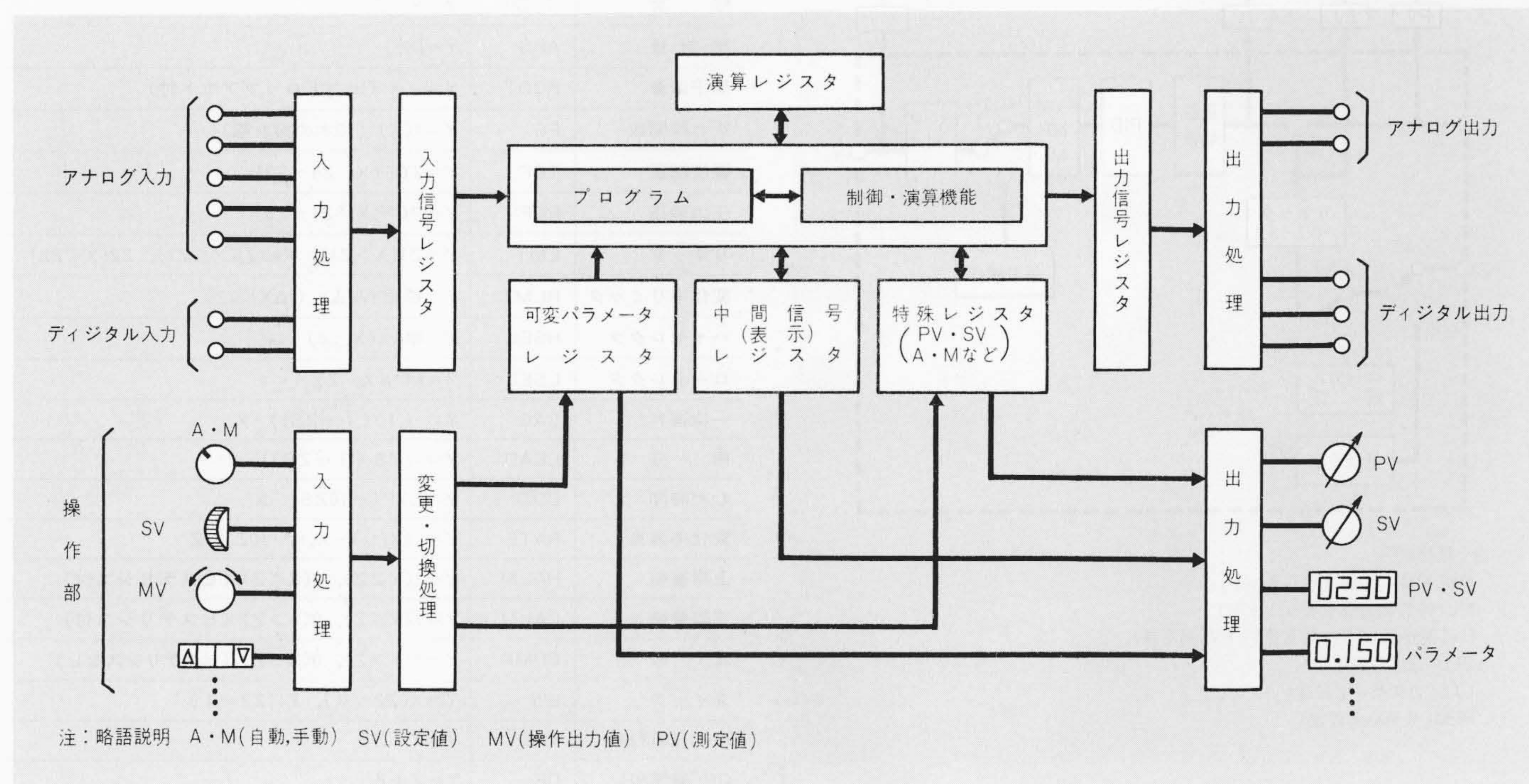


図4 ワンループコントローラの機能構成 プログラムにより、機能が自由にえられる構成である。

の三つに分割する構成とし、更に、接続プログラム部は他とは独立のハードウェアのPROM ICとした。これを従来のアナログ計器と対応させると、各種制御・演算機能は、各種の制御及び演算を実行するアナログ計器群であり、接続プログラムは計器間の配線に相当する。そこで、ワンループコントローラの機能を作成、変更するには、接続プログラムだけを作成、変更すればよい。そして、この接続プログラムは別個のICとして独立し交換できるので、プログラムの変更・修正が容易にできるとともに、優れた保守性のコントローラを可能としている。なお、この接続プログラムは後述するプログラマにより作成される。

制御・演算機能はワンループコントローラの機能を決める基礎となるため、その種類と内容は十分検討し下記のように定めた。

(1) 制御機能

標準PID制御のほか4種類実装し、その内容一覧を表2に示す。標準PID制御は従来のアナログ調節計と同等以上の機能をもたせてあり、その構成を図5に示す。他の4種類は高度の制御システム構成に用いるためのものである。

(2) 演算機能

加減乗除算など24種類実装し、その内容一覧を表3に示す。この機能にはDDCの利点を生かし、高機能化を実現するために、従来のアナログ計器にはない2系統の機能を付加し実装している。一つは従来のアナログ計器で実現困難であった

変化率リミッタ、変化率演算及びむだ時間である。他の一つは、アナログ演算とは特に関係ない論理判断に関するもので、AND、OR、NOT、アナログスイッチ及び比較である。この論理判断機能は、シーケンス制御と組み合わせバッチプロセスの制御を行なうときに有効に活用される。

表2 制御機能一覧 5種類の制御機能がファームウェアとして実装されている。

機能名称	記号	機能概要
標準PID制御	CTL1	PID演算 〔自動、手動切換、手動操作、正逆作動〕 切換、出力上下限リミッタ、外部設定、 定値設定切換、ローカル設定の各機能 付……制御機能共通
非線形PID制御	CTL2	偏差非線形演算+PID演算
比例制御	CTL3	PD演算+手動リセット
積分分離機能付PID制御	CTL4	PID演算 ↑↓(積分分離指令) PD演算+手動又は外部リセット
フィードフォワード入力付PID制御	CTL5	PID演算+フィードフォワード信号

注：自動、手動切換及び積分分離指令による切換は、すべて両方向バランスレスバンプレス切換

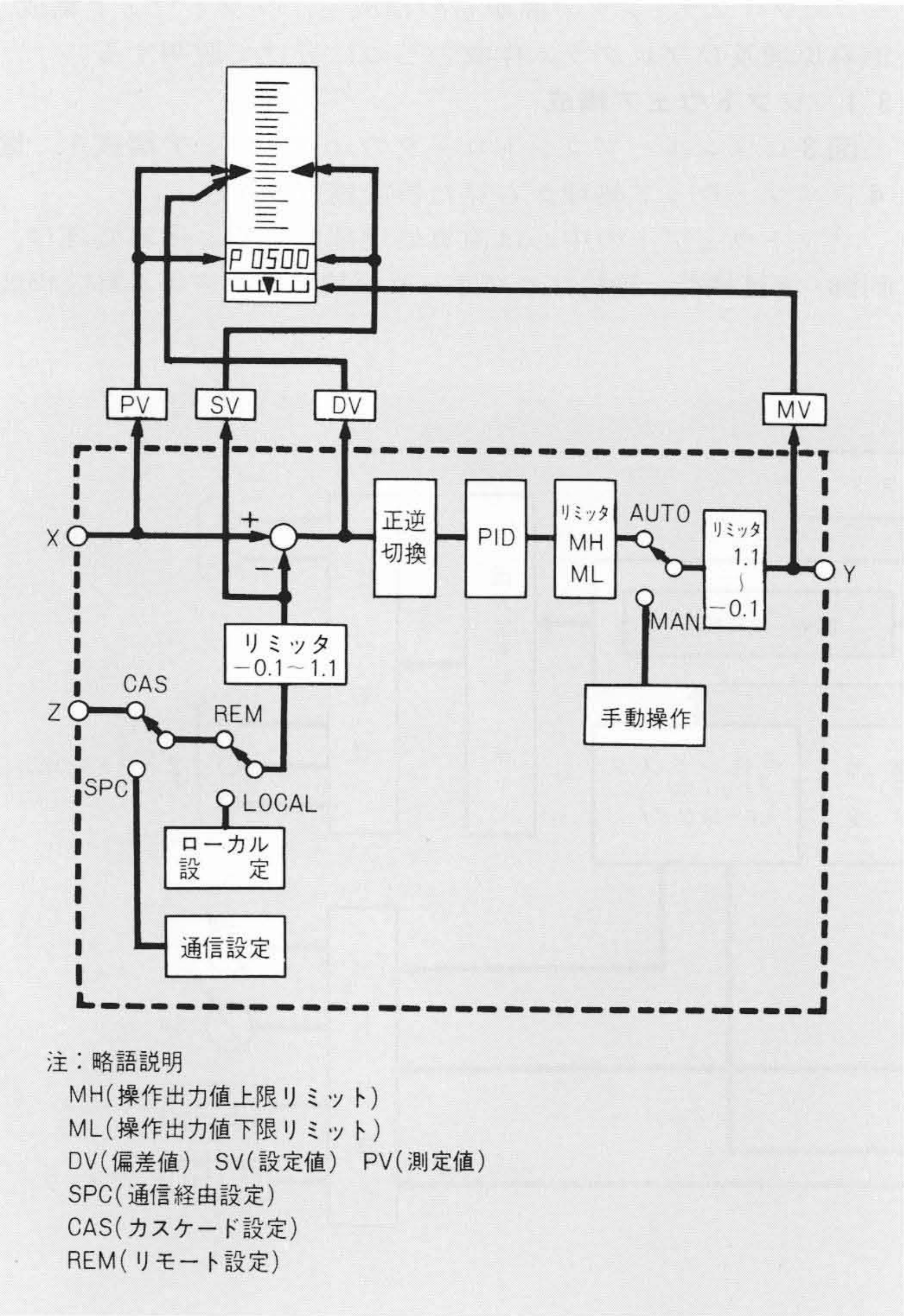


図5 標準PID制御機能 一機能であるが従来のアナログ調節計相当以上である。

表3 演算機能一覧 24種類の演算機能がファームウェアとして実装されている。

機能名称	記号	演算式
加算	+ / ADD	$Y = X + Z$
減算	- / SUB	$Y = X - Z$
乗算	× / MLT	$Y = X \times Z$
除算	÷ / DIV	$Y = X \div Z$
絶対値	ABS	$Y = X $
開平方根	ROOT	$Y = \sqrt{X}$ (出力ドロップアウト付)
折れ線関数	FG	$Y = f(X)$ (10本の折れ線)
温度補正	TCF	$Y = TCF(X, Z1 \sim Z3)$
圧力補正	PCF	$Y = PCF(X, Z1 \sim Z3)$
リミッタ	LMT	$Y = Z1(X > Z1), X(Z2 \leq X \leq Z1), Z2(X < Z2)$
変化率リミッタ	RLMT	$Y = \text{前回}Y + \Delta X \ (\Delta X \leq Z)$
ハイセレクタ	HSEL	$Y = \text{MAX}(X, Z)$
ローセレクタ	LSEL	$Y = \text{MIN}(X, Z)$
一次遅れ	LAG	$Y = [1 / (1 + ZS)] \cdot X$
微分	LEAD	$Y = [ZS / (1 + ZS)] \cdot X$
むだ時間	DDT	$Y = \text{EXP}(-10ZS) \cdot X$
変化率演算	RATE	$Y = [X(t_n) - X(t_n - 10Z)] / Z$
上限警報	HALM	$Y = 1(X \geq Z), 0(X < Z)$ (ヒステリシス付)
下限警報	LALM	$Y = 1(X \leq Z), 0(X > Z)$ (ヒステリシス付)
比較	COMP	$Y = 1(X > Z), 0(X \leq Z)$ (ヒステリシスなし)
スイッチ	SW	$Y = X(Z2 = 0), Z1(Z2 = 1)$
AND(論理積)	AND	$Y = X \cdot Z$
OR(論理和)	OR	$Y = X + Z$
NOT(論理否定)	NOT	$Y = \bar{X}$

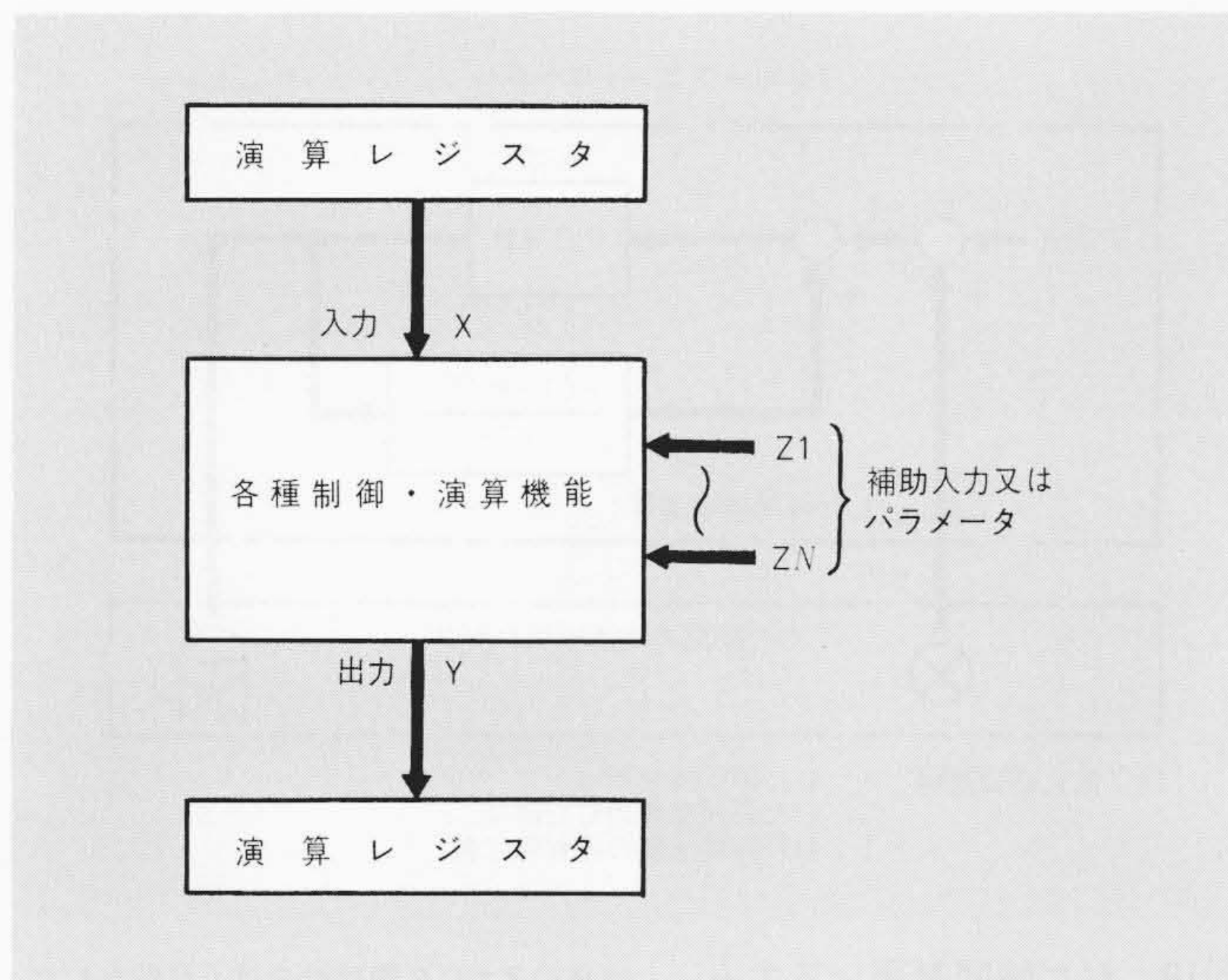


図6 演算処理基本構成 簡潔な演算原理により、プログラムの作成を容易にしている。

3.2 演算原理

図6に一つの制御又は演算機能を実行するときの原理を示す。演算の実行は演算の入出力用に設けられた演算レジスタを中心に行なう構成とした。ここで、ある「演算を実行する。」とは演算レジスタに格納されたデータに所定の演算を行ない、演算結果を再び演算レジスタに格納することを言い、すべての制御・演算機能に共通の基本原則とした。

このような演算原理とすることにより、一つの機能は1行のプログラムステップで終了し、機能とステップが1対1に対応し、プログラムが明確になる。更に、プログラムは10～30ステップ程度の短い簡単なものとなる。また、ステップごとに出力がそのまま次のステップの入力となるため、演算命令を次々と並べていくだけの簡単なプログラムでよい。

3.3 プログラム作成

図7にワンループコントローラの機能作成手順を示す。ワンループコントローラの機能を決定するには、プログラマで接続プログラムを作成し、そのプログラムをPROMに書き込み、プログラムを内蔵したPROMをコントローラに実装することにより実現する構成とした。この場合、プログラム作成の容易さはプログラマの操作性に依存することになる。そこで、X-EPG形プログラマは使いやすさを追求し、次の特長をもたせてある。

- (1) 電子式卓上計算機と同一の操作性
- (2) 慣用的な計装用語でプログラム作成
- (3) 各種機能をワンタッチで選択
- (4) 5×7ドットマトリックス表示により分かりやすい簡略文字表示及び印字
- (5) プリント出力機能
- (6) プログラム修正機能
- (7) プログラムのエラーチェック機能
- (8) A4判サイズの小型かつポータブル

これらの特長をもつプログラマでプログラミングを行なうことにより、コンピュータ知識の少ない人でも誤りのないプログラムを容易に作成できる。これにより、従来メーカー側主体であったプログラム作成が顧客側でも容易にできる。なお、プログラム作成が顧客側で容易に作成できることにより、プロセスノウハウの流出防止、及び従来面倒であったシステ

ム構成の試行錯誤的決定が容易にできるなどの利点をもつ。

図8にプログラマの外観を示す。

4 応用例

4.1 pH制御

図9にワンループコントローラを用いたpH制御システムの例を示す。pH制御はプロセスのゲインの非線形性が大きく、標準PID演算によるフィードバック制御では一般には困難である。本システム例では、中和剤の流量制御で、流量信号には中和剤の濃度を加味した補正を行ない、かつ流量調節信号には原液流量の変動をフィードフォワード信号として補正

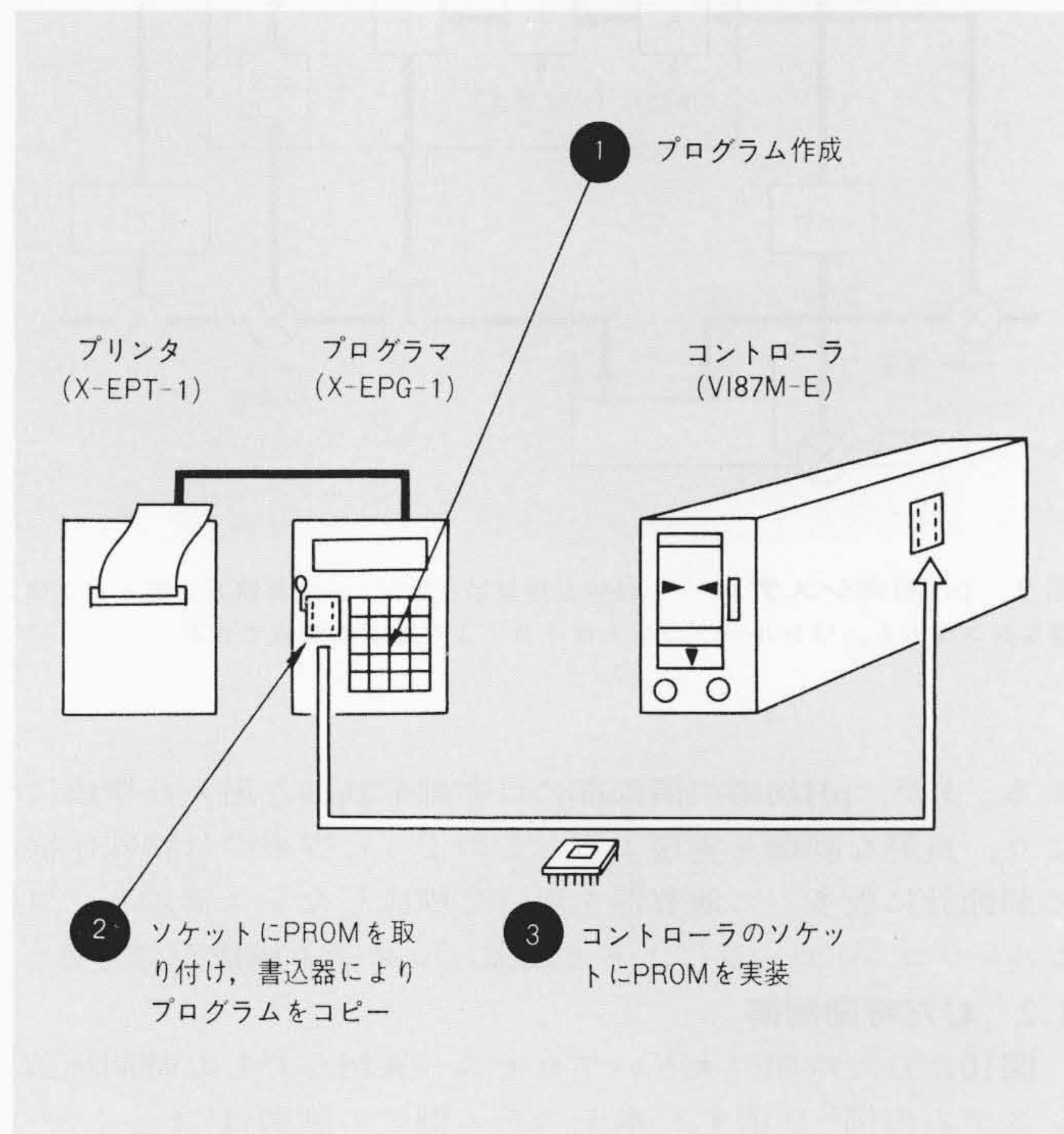


図7 ワンループコントローラの機能作成手順 ワンループコントローラの機能を定めるプログラムは、プログラマで作成する。

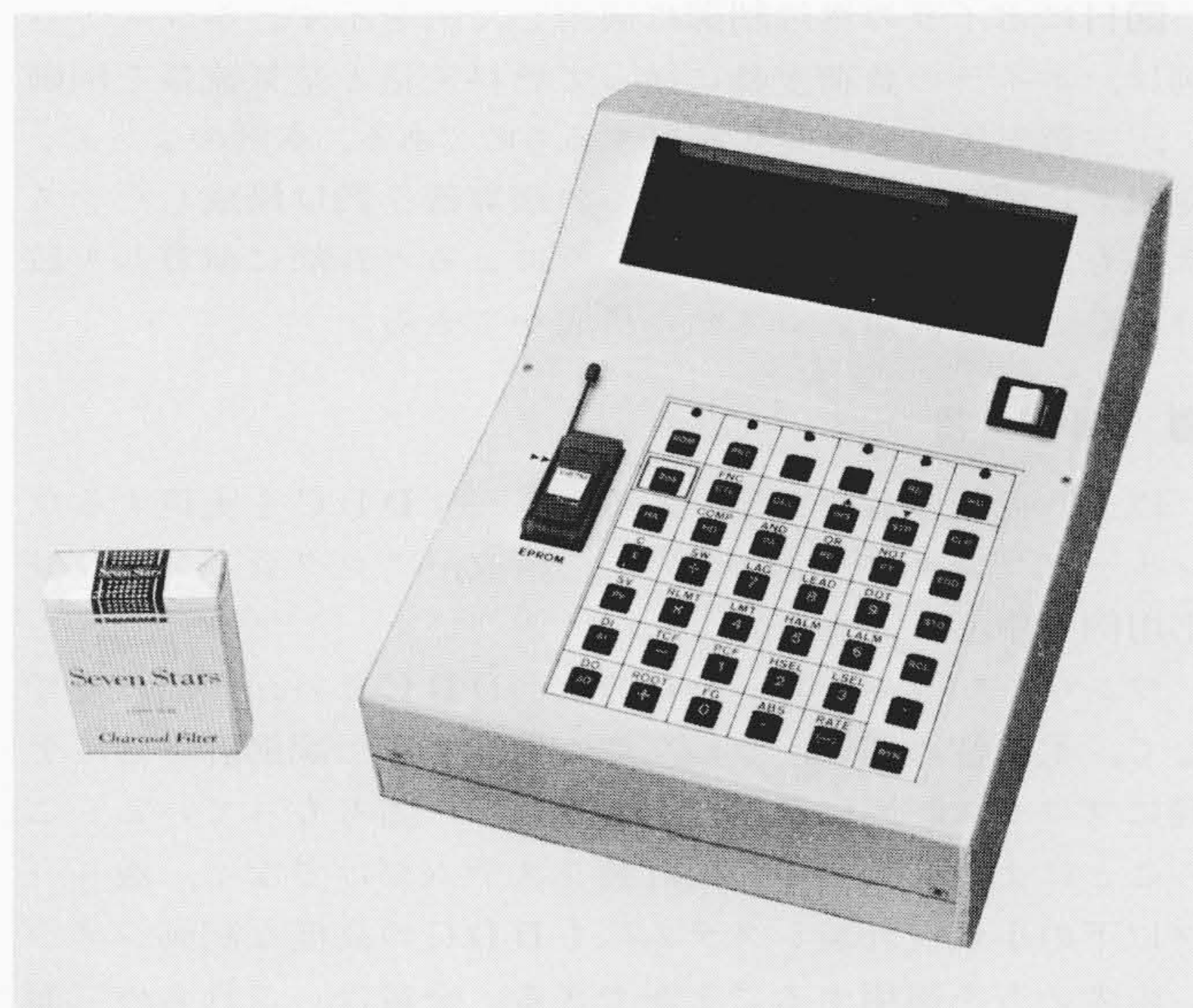


図8 プログラムの外観 電子式卓上計算機の操作性、読取りの容易な表示など使いやすさの点が特に考慮されている。

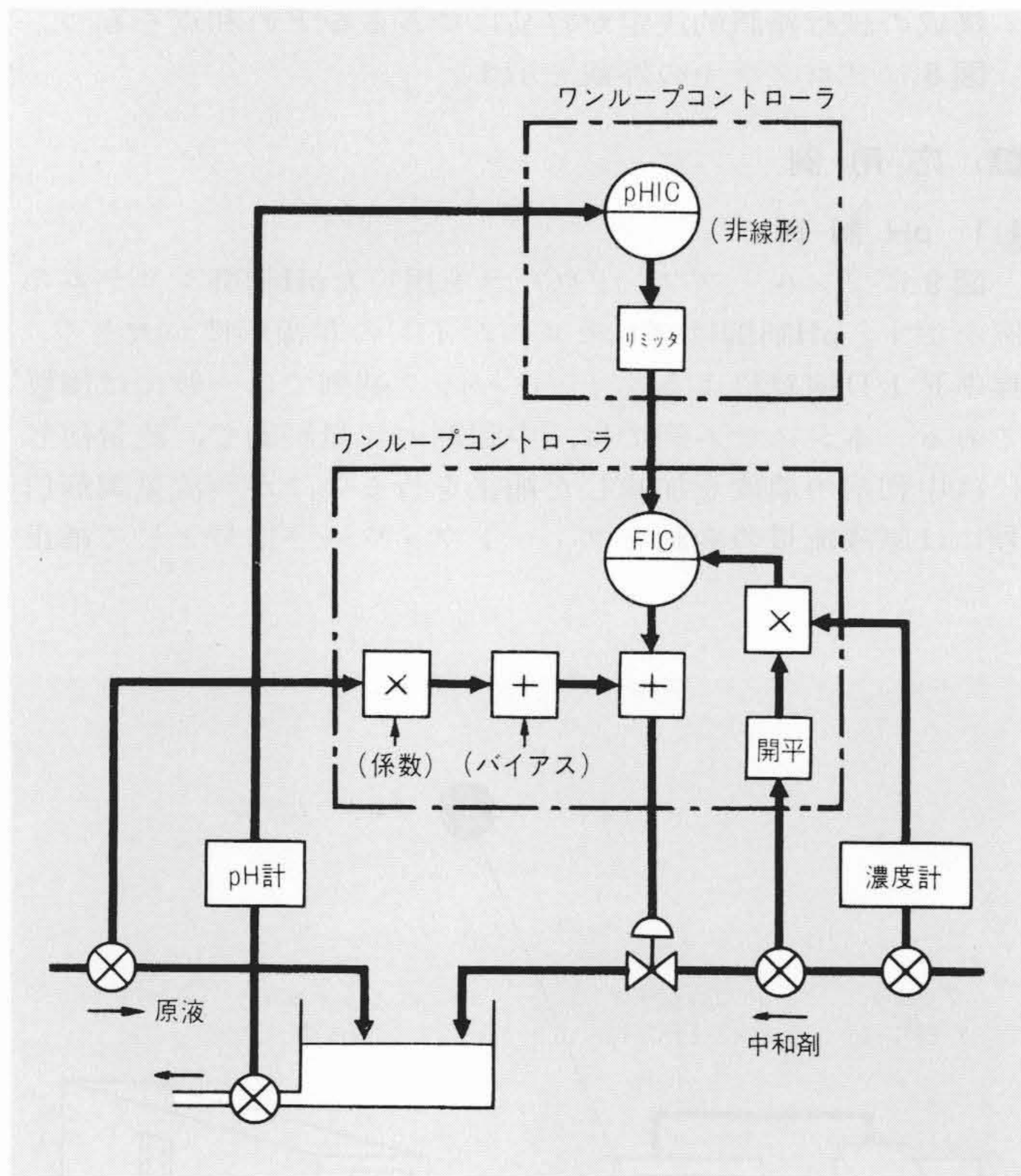


図9 pH制御システム 特殊な調節計と数多くの演算器を必要とする複雑なシステムも、ワンループコントローラにより簡潔に構成できる。

する。また、pH制御の調節部には非線形制御を用いた構成により、良好な制御を実現する。このように従来では特殊仕様の調節計に数多くの演算器を用いて構成したシステムも、ワンループコントローラによると簡潔にシステム構成ができる。

4.2 むだ時間制御

図10にむだ時間の大きいプロセスへ適用したむだ時間制御システムの例⁴⁾を示す。本システム例での制御は「オットー・スミスの方法」と呼ばれる方式で、従来のアナログ計器では不可能であった。しかし、ワンループコントローラによると、内蔵されている演算機能のむだ時間要素などを用い実現できる。

4.3 燃焼制御

図11にボイラの燃焼制御に適用した例を示す。本システム例は、ボイラの負荷変動に従って燃料流量と空気流量を制御し、主蒸気圧力を一定に制御するものである。本例のように、従来では調節計の周辺に数多くの演算器を設け構成したシステムも、ワンループコントローラによると外部に演算器を設けることなく簡潔にシステム構成ができる。

5 結 言

以上、危険分散の究極である1ループDDCを実現するワンループコントローラについて、構成、プログラミング及び応用例を中心に述べた。

ワンループコントローラは分散形DDCという一面だけでなく、柔軟性の高い、かつ高度な機能をもつ調節計として手軽にプロセス制御に適用できるという一面ももっている。このことにより、大・中規模計装システムだけでなく、数ループ以下の小規模計装システムにもDDCの高度な制御システムの考え方を適用することができる。今後は、これらの二面性を融合しながら、より良い工業計器として改良していきたいと考える。

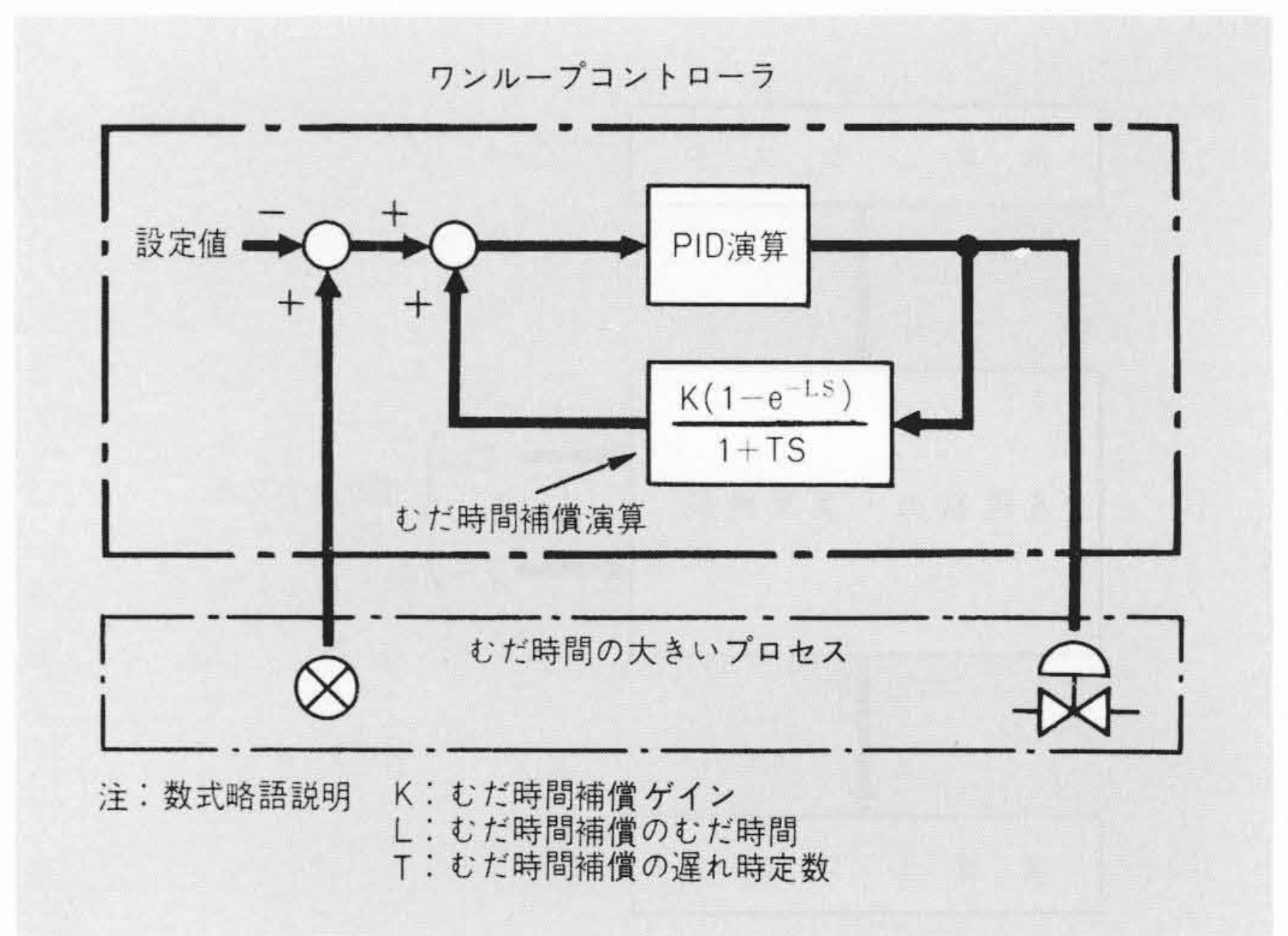


図10 むだ時間制御システム 従来のアナログ調節計では不可能なむだ時間の大きいプロセスを制御することができる。

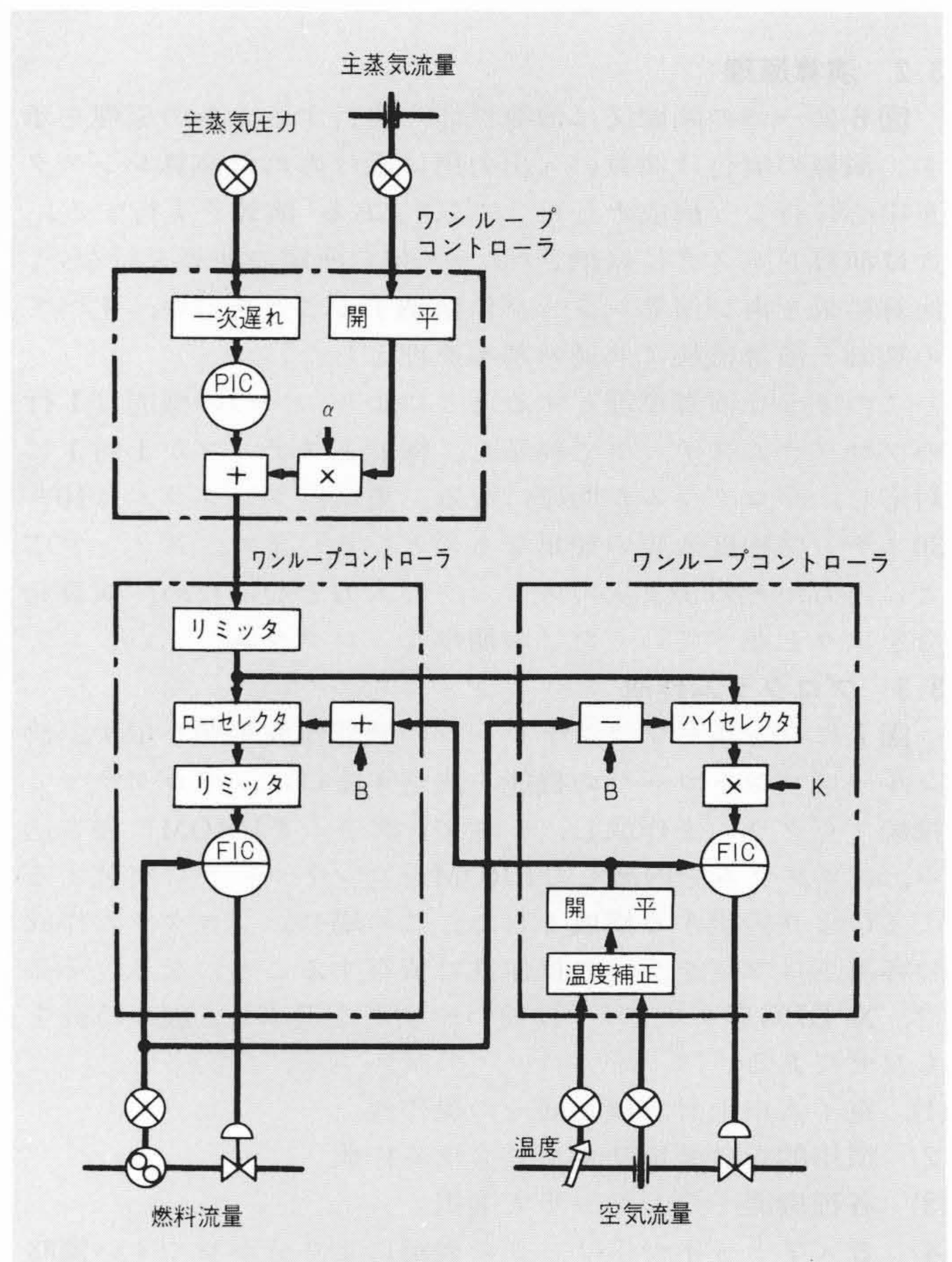


図11 燃焼制御システム 従来は、調節計の周辺に数多くの演算器を用いて可能なボイラの燃焼制御システムも、3台のワンループコントローラで実現できる。

参考文献

- 1) 小特集論文：新しい工業計測・制御，日立評論，58(昭51-3)
- 2) 高堀，外：プログラマブルな調節計，第19回計測自動制御学術講演会予稿集，203～204(昭55-8)
- 3) 立花，外：調節計用プログラマ，第19回計測自動制御学術講演会予稿集，205～206(昭55-8)
- 4) 野沢：むだ時間を含む系のある制御法についての研究，自動制御，7，2～7(昭35-3)