

検出端へのマイクロプロセッサの適用

Application of Microprocessor to Sensors

LSIの進歩と低価格化により、簡単なデータ処理やシーケンス制御を含む小規模な検出端にも、マイクロプロセッサの適用効果が期待されるようになった。そこで、検出端の機能・性能の向上を目的に、開水路流量計、電磁流量計及びプロセスガスクロマトグラフへマイクロプロセッサを適用した。

いずれも8ビットのプロセッサを用い、機種ごとに必要な機能をすべてROMに収め、用途ごとの多様な条件に対しては、マンマシンを介してプログラマブルにし処理した。この結果、電磁流量計では33倍に及ぶレンジアビリティを確保し、ガスクロマトグラフではカラムの経時変化に対する自動修正を可能にするなど、性能向上をはじめ、ハードウェア、ソフトウェアは機種ごとに標準化され、多様化する機能に対しても一段と柔軟性を増した。結局、この手法は装置の小形化にもつながり、従来の分散されていた幾つかのユニットが一体化され、小形に集約された。

西野 忠* *Tadashi Nishino*

主藤 剛* *Tsuyoshi Shudō*

福永正雄* *Masao Fukunaga*

平山 健** *Takeshi Hirayama*

1 緒 言

検出端では、経済性と機能の多様化に対するソフトウェアの生産性の面から、各種計測制御に比べてマイクロプロセッサの普及が遅れていた。しかし、メモリなどのLSIの進歩と低価格化により、必要な機能をすべて標準化してメモリへ収め、各種仕様に応じて選択できるソフトウェアとし生産性の向上を図れるようになり、検出端にも適用効果が期待されるようになった。マイクロプロセッサの適用により、必要な機能はソフトウェアのプログラムで処理が行なえる。このため、機能が多様化してもマイクロプロセッサの適用の仕方によって、各機能をプログラムにし、必要に応じてそれらを選択する方法で処理することができる。しかも、この方法は、性能の向上はもちろん、ハードウェア及びソフトウェアの統一化、ハードウェアの小形・集約化へも結びつけることができる。

本論文では、超音波式開水路流量計、方形波励磁式電磁流量計及びプロセスガスクロマトグラフへのマイクロプロセッサの適用の仕方とその効果を中心に述べる。

2 マイクロプロセッサの適用

流量計やガスクロマトグラフの多様化する機能及び性能を更に向上させるため、これらを従来のハードウェアだけで処理を行なうと、システム構成や装置が複雑になり、大形化が避けられない。また、用途ごとに異なる条件に対してはできる限り少ないハードウェアで処理し、しかも各種条件が変わっても柔軟性をもたせることも必要である。これらは、いずれも前述の検出端に共通した課題と言える。

これらの機種では、小規模ではあるが各種のデータ処理やシーケンス制御が含まれ、その処理が各機能及び性能にかかわっている。そこで、これらのデータ処理やシーケンス制御がプログラマブルに行なえる機能を持ち、しかも小形化され部品レベルで扱える利点を備えたマイクロプロセッサを適用して、前述の課題の解決を図った。

その適用の仕方は、必要な機能をすべてソフトウェアのプログラムに収めて、ハードウェアは機種ごとに標準化を図り同一のもので処理できるようにしている。これにより、メモリを

含めてハードウェアに互換性が得られた。また、用途ごとの差異に対してはそれぞれ次の方法で処理を行なっている。

(1) 流量計の場合、機能及び各種用途の差異は比較的限定されているため、例えば、開水路流量計の水路特性などや電磁流量計の流量測定範囲などの多様な条件に対しては、プログラムを選択するようにした。そしてその選択は、設定部のデジタルスイッチにより行なえるようにしている。

(2) ガスクロマトグラフの場合、流量計に比べて機能及び条件の差異は多様化し、データ処理内容も複雑であることから多種類のプログラムを収められるようにしている。更に、これらの選択はオペレータコンソールのキーボードにより行なえ、各種分析仕様に対処することができる。

次にこれら適用の具体例3機種について述べる。

3 超音波式開水路流量計への適用例

3.1 原 理

超音波式開水路流量計¹⁾の原理を次に述べる。水路の一部に一对の流速検出器を相対して設け、その間の平均流速を検出し、流速変換器を介して演算器に伝送する。一方、水路上方には超音波式水位検出器を設けて水位を検出し、水位変換器を介して演算器に伝送する。演算器では流速検出器からの信号で平均流速を、水位検出器からの信号で水路断面積をそれぞれ算出し、更に両者の値を乗じて流量を求め、これを流量信号として発信する。

3.2 機能と構成

開水路流量計測では水路の形状、勾配、水路壁の粗さ、水位など多種にわたる水路特性により演算内容が異なり、しかもその演算内容は複雑である。また水位が流速検出器以下になった場合でも、演算処理によって計測できるようにすることも必要である。更に、水位、水路の大きさ及び水路壁の粗さの複雑な関数形となる流速補正係数や流水断面積の演算を高精度に行ない、最終結果の流量値に対する演算誤差の累積を最小にすることが望まれる。

これらは、マイクロプロセッサでの処理により解決を図って

* 日立製作所那珂工場 ** 日立製作所日立研究所

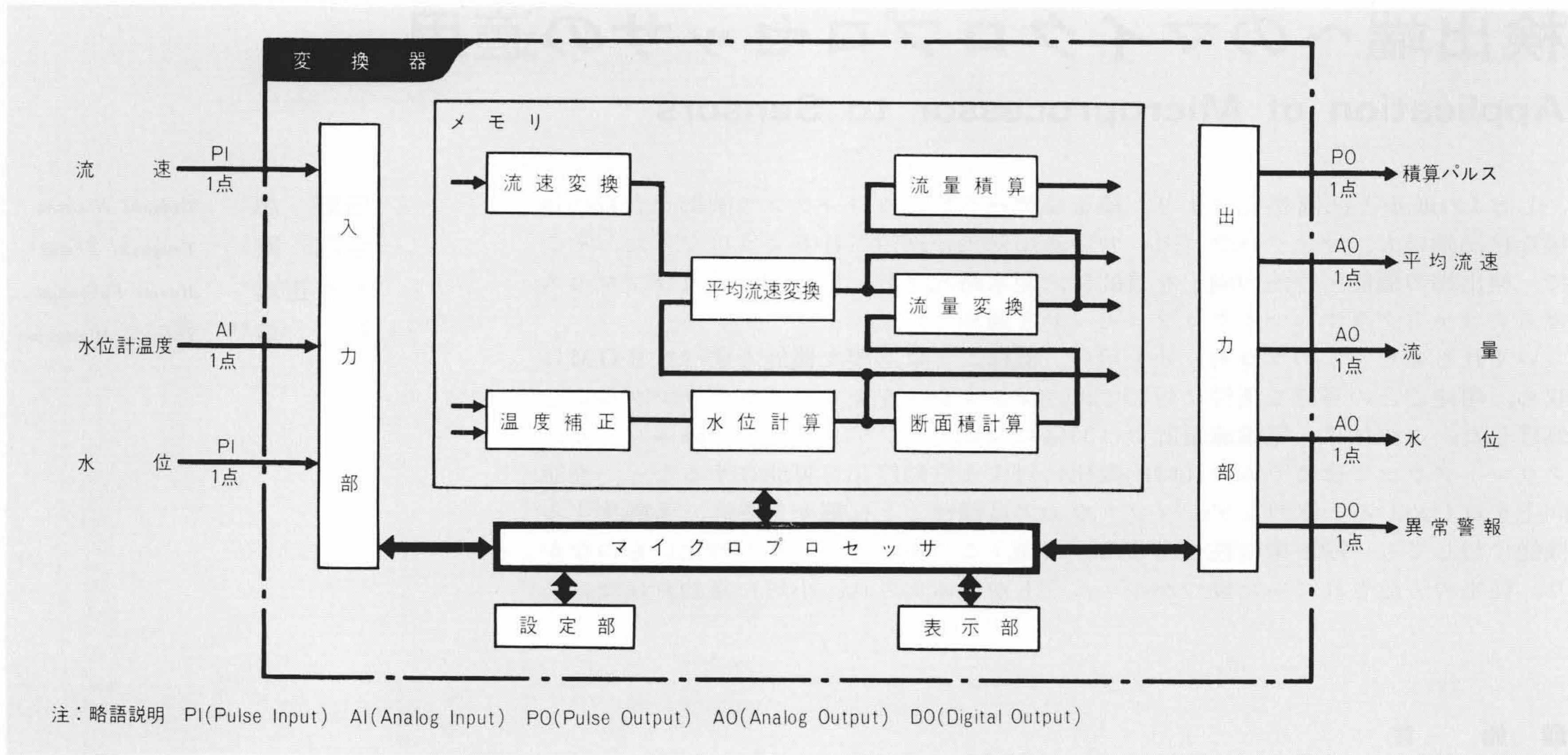


図1 超音波式開水路流量計の基本構成 流速と水位を測定し、これらにより流量を求める複雑な演算は、ソフトウェアのプログラムにより処理される。

いる。その基本構成を図1に示す。マイクロプロセッサは、あらかじめ設定された設定部の内容に応じて流速変換、温度補正、水位計算、平均流速変換、断面計算、流量変換計算、流量積算などの各種演算を行なう。そのほか、出力のダンピング処理、自動レンジ切換、ゼロ及びスパンのチェック及び零点付近の積算防止処理も併せて行なっている。

3.3 マイクロプロセッサ適用による効果

(1) 多様な条件への対応と変換器の簡素化

水路特性や設置条件などにより、表1の設定モードに示した項目・内容は流量計ごとに異なっている。これらに対しては、必要な演算式をすべてメモリへ記憶させておき、設定データの内容をマイクロプロセッサが判断して、いずれかを選択するプログラム構成にしている。また、マイクロプロセッサを各検出信号の変換・演算部へ適用した結果、従来の流速

表1 設定・表示部の内容 水路条件などの違いは、設定部から定数を変更することができる。出力は流量のほか、流速、水位もそれぞれ取り出せる。

モード	項目	内容
設定	出力	●水位スパン ●流速スパン ●流量スパン ●積算単位
	検出器設置条件	●水位検出器取付位置 ●流速検出器取付位置
	水路条件	●水路形状 ●水路口径(幅) ●粗度係数 ●水路勾配
表示	出力	●水位 ●流速 ●流量
	スパン設定	●水位スパン ●流速スパン ●流量スパン
	模擬信号入力値	●水位模擬信号 ●流速模擬信号
	動作確認	●異常表示 ●マイクロプロセッサ動作

変換器、水位変換器及び演算器の3ユニット構成は、1ユニットに集約され、その大きさも従来の流速変換器のケースに収納できるまでに小形化された。

(2) 流速補正演算と低水位での流速演算

流速検出器で得られた流速は、超音波の測線上の平均流速であり、流水断面全体の平均流速とは異なるので、流速補正演算が必要になる。流速補正係数の理論的な取扱い他文献²⁾に譲るが、その演算式は水位の複雑な関数形となる。従来はその特性をアナログ的に近似していたが、それに代わり関数形をデータテーブルとしてあらかじめメモリへ記憶させ、必要に応じてマイクロプロセッサにより呼び出す方式とした。

水位が流速検出器以下では流速検出は不可能であるから、この領域では、水位検出だけで平均流速を求める以外にない。このため水位と平均流速の関係によりManningの公式³⁾を用いるが、この公式中には水路の勾配と水路の粗さという不確定な要素を含む。そこで、水位がしだいに低下して流速検出器以下に達する場合には、その直前の水位と平均流速値を一時的に記憶し、この値を使ってManningの公式中の不確定要素を消去して、流速検出を行なったときと同じ精度を確保している。また、水位が一度も流速検出器以上に達しない場合でも、予測された水路勾配と粗さを設定して概略の流量計測を可能にしている。全水位にわたり流量を計測するためには、これら3種の流速演算を水位に応じて自動的に切り替える必要があるが、マイクロプロセッサを用いてこれを可能にした。その具体的なフローチャートを図2に示す。

4 方形波励磁式電磁流量計への適用例

4.1 原理

電磁流量計は、電磁誘導の法則を利用して流量に比例した信号を得るものである⁴⁾。すなわち、検出器の測定管内の流体に管軸と直角に磁界を与えると、流体中にはその流れによって管内平均流速、磁束密度及び管内径に比例した電圧が発生する。この電圧を管壁に設けた電極で検出し、変換器を介して増幅・演算し流量信号として発信する。

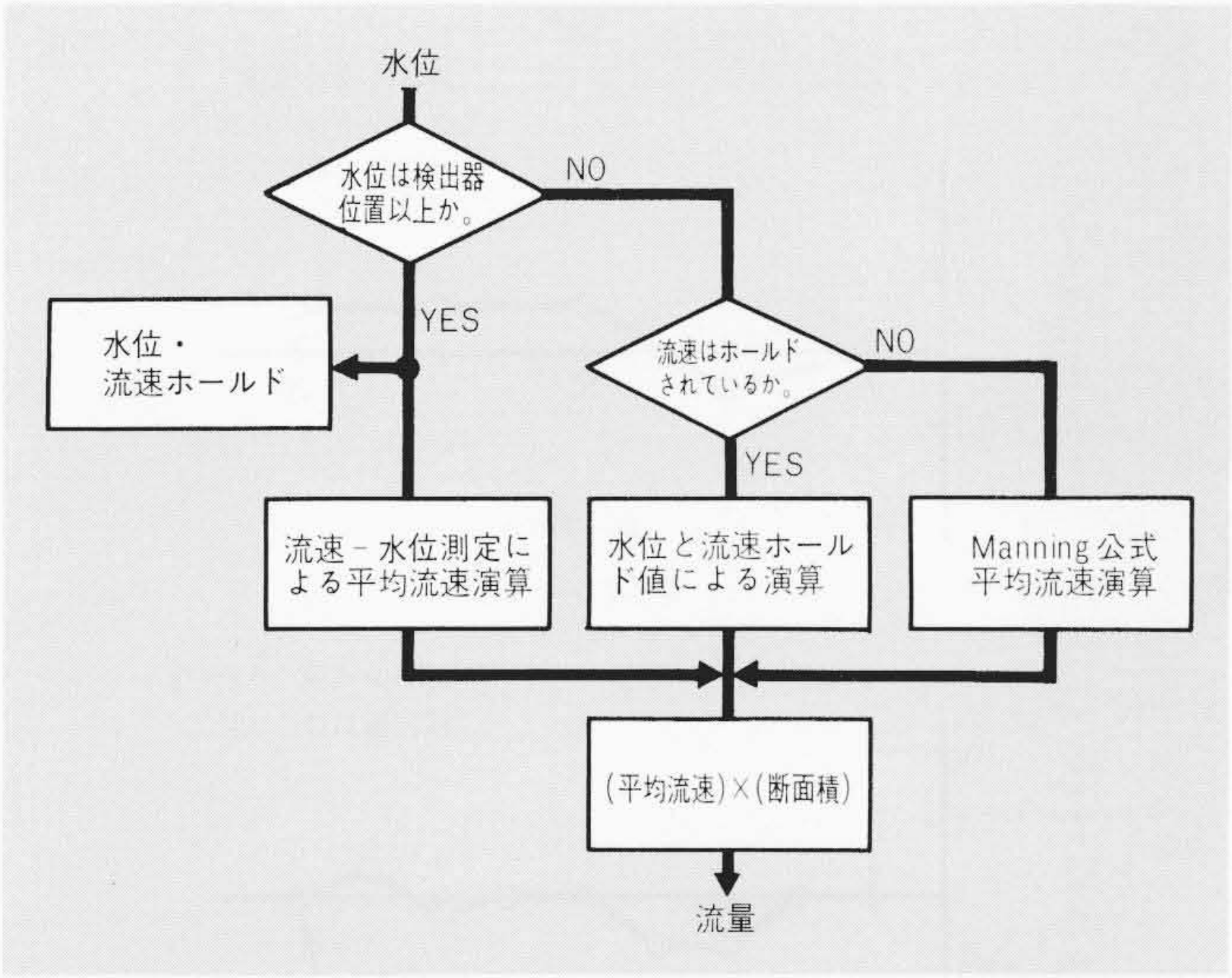


図2 流速-流量変換フローチャート 流速演算は、水位に応じて3種類の演算式を使い分ける。これによって、零水位から満水までの全水位で測定が可能である。

4.2 機能と構成

従来の励磁は商用電源を利用した正弦波励磁であった。このため、磁気誘導雑音や設置場所の電源に起因する誘導雑音を信号から十分分離することができず、電極の汚れなどが生じた場合零点が変化することがあった。しかし、励磁電流に低周波の方形波を用いると、前記雑音の除去が原理的に可能¹⁾となり、電極の汚れや外部誘導雑音に対して零点の安定性を高くすることができる。この方形波励磁方式では、励磁制御と流量信号の処理にデジタル技術が必要であり、これが重要な役割を果たす。また、最近の流量計測では、瞬時流量の測定だけでなく、流量計測に関連した多くの付加機能を必要とする。それらは、積算流量を求める積算パルス出力、流量に応じてスパンを自動又は遠隔操作で変更できるマルチレンジ切替、正方向流と逆方向流のどちらも測定できる自動正逆流切替、脈動の大きい流れに対し出力を安定化するダンピング量の調整などである。

マイクロプロセッサは、これら方形波励磁の処理及び各種付加機能の処理に適用されている。その基本構成を図3に示

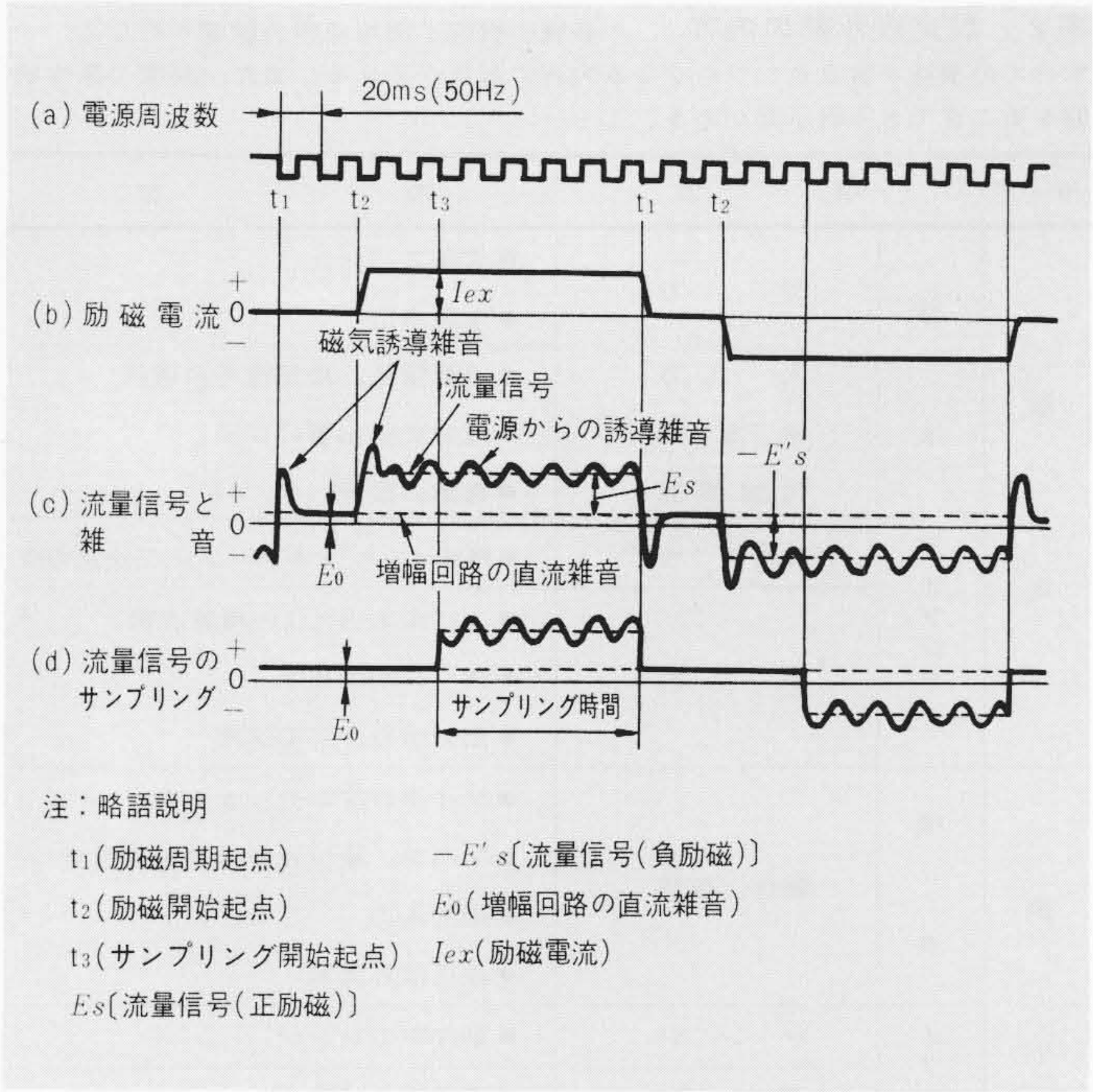


図4 流量信号の処理タイミング 方形波励磁に伴う重要な波形処理は、マイクロプロセッサにより正確にタイミング処理される。この結果、零点の安定性が向上する。

す。次に流量信号処理について述べる。その処理タイミングを図4に示す。マイクロプロセッサは、設定部の内容に応じてそのプログラムを順次処理していくが、この処理は電源周波数に同期した外部割込信号により行なわれる。励磁は、電源周波数(a)の周期に同期して、その周期の整数倍の周期をもつ励磁電流(b)で行なわれ、(c)に示す流量信号が得られる。しかし、この信号には励磁切換え時の磁気誘導雑音、電源からの誘導雑音及び増幅部の直流雑音が重畳している。これに対して、流量信号のサンプリングを(d)のタイミングで行ない、磁気誘導雑音の取込みを避けている。また電源からの誘導雑音は、流量信号を電源周期の整数倍で積分することにより消去している。更に直流雑音は、流量演算の際、正と負の信号を差でとり、1周期の平均値をとって消去している。

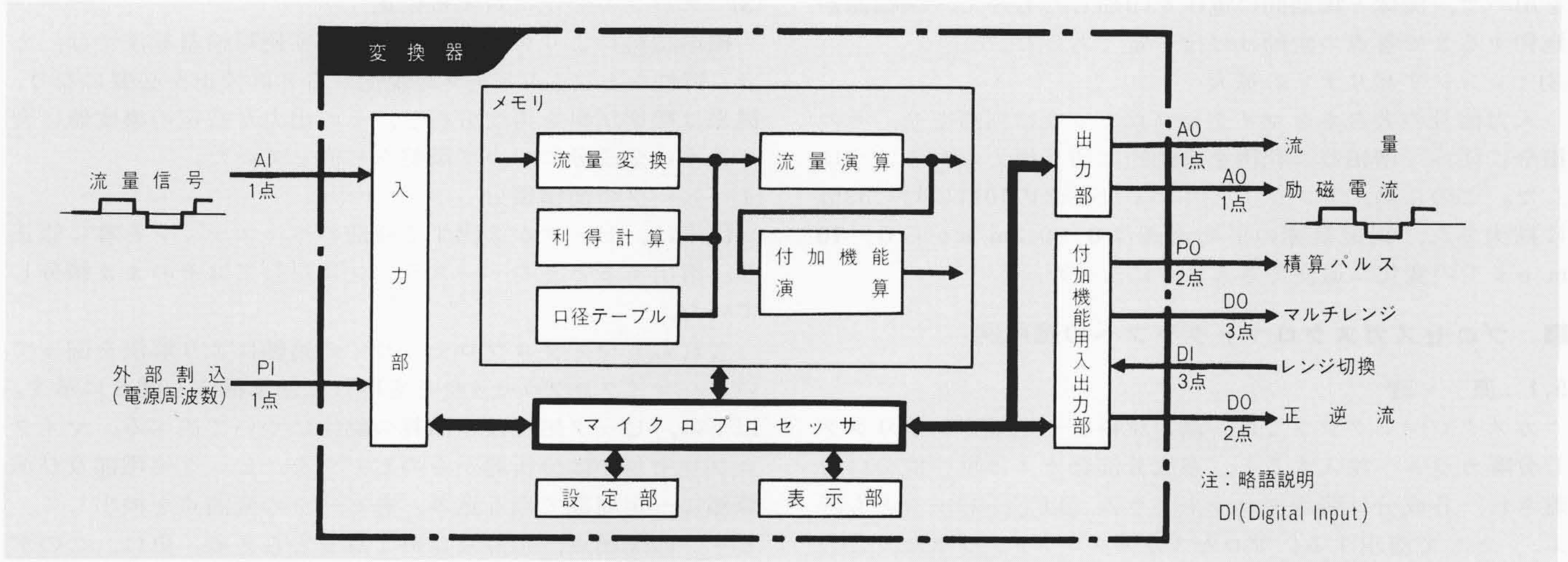


図3 電磁流量計変換器の基本構成 流量信号の各種演算、シーケンス制御、付加機能などの処理は、ソフトウェアのプログラムにより行なわれる。また、設定部・表示部は、開水路流量計の場合と類似している。

表2 設定表示部の内容 各種の機能や使用条件の設定が行なえ、すべての機能が含まれたプログラム内容の選択ができる。また、装置の動作状態をモニタできる表示部がある。

モード	項 目		内 容
設 定	標 準	出 力	● 流量スパン ● 流量単位
		入 力	● 流量信号, 校正信号の選択
		検 出 器 付 加 機 能	● 組合せ検出器の口径 ● 有無の設定
	オ プ シ ョ ン	付加機能の種類	● 積算パルス, マルチレンジ, 正逆流切換
表 示	標 準	動 作 , 確 認	● 1パルス当たりの積算流量 ● スパン切換比率 ● 出力信号の応答速度
			● マイクロプロセッサ動作 ● スパン, 単位及び口径の誤設定 ● 過大入力 ● 校正信号異常
			● 動作中のレンジ
			● 正逆流の状態
	オ プ シ ョ ン	確 認	● 積算単位の誤設定

4.3 マイクロプロセッサの適用による効果

(1) 各種の機能への対応と変換器の簡素化

組合せ検出器、流量測定範囲、要求される機能などにより表2の設定モードに示した項目・内容は流量計ごとに異なるが、この場合にもプログラマブルに処理が行なえる。この結果、従来の付加機能をもたない変換器と同じ大きさに小形化することができた。

(2) 零点の安定化

前述の方形波による信号処理とそのタイミング処理をマイクロプロセッサにより正確に行なった結果、零点の安定性が大幅に向上し、通常の設置条件下では零点調整がほとんど不要となり、電極の汚れや外部誘導雑音に対しても零点の安定性は著しく向上した。零点の安定性の一実測例を図5(a), (b)に示す。同図(a)は長時間の零点ドリフトであるが、その値は、雑音に対しては不利な最小スパンの場合でもフルスケールの0.1%以内の良い結果を示した。同図(b)は雑音として計器の電源を用いて、流体と接地間に電圧を印加したもので、増幅器が飽和するまで零点の変動はほぼ一定であった。

(3) レンジアビリティの拡大

入力信号の大きさをマイクロプロセッサに判断させ、その指令に従って増幅器の利得を自動的に切り換えられるようにした。このため、レンジアビリティは従来の10倍に対し33倍に拡大され、測定範囲の平均流速は0~0.3m/sから0~10m/sまでの変化に追従できるようになった。

5 プロセスガスクロマトグラフへの適用例

5.1 原 理

ガスクロマトグラフでは、測定試料を一定量サンプリングし分離カラムへ注入すると、多成分混合ガスは単一成分に分離され、各成分は順次クロマトグラム（以下、ピークとも呼ぶ。）として溶出する。プロセスガスクロマトグラフは、このピークの面積又は高さが濃度に比例することを利用して、各成分の濃度を連続的に計測する。

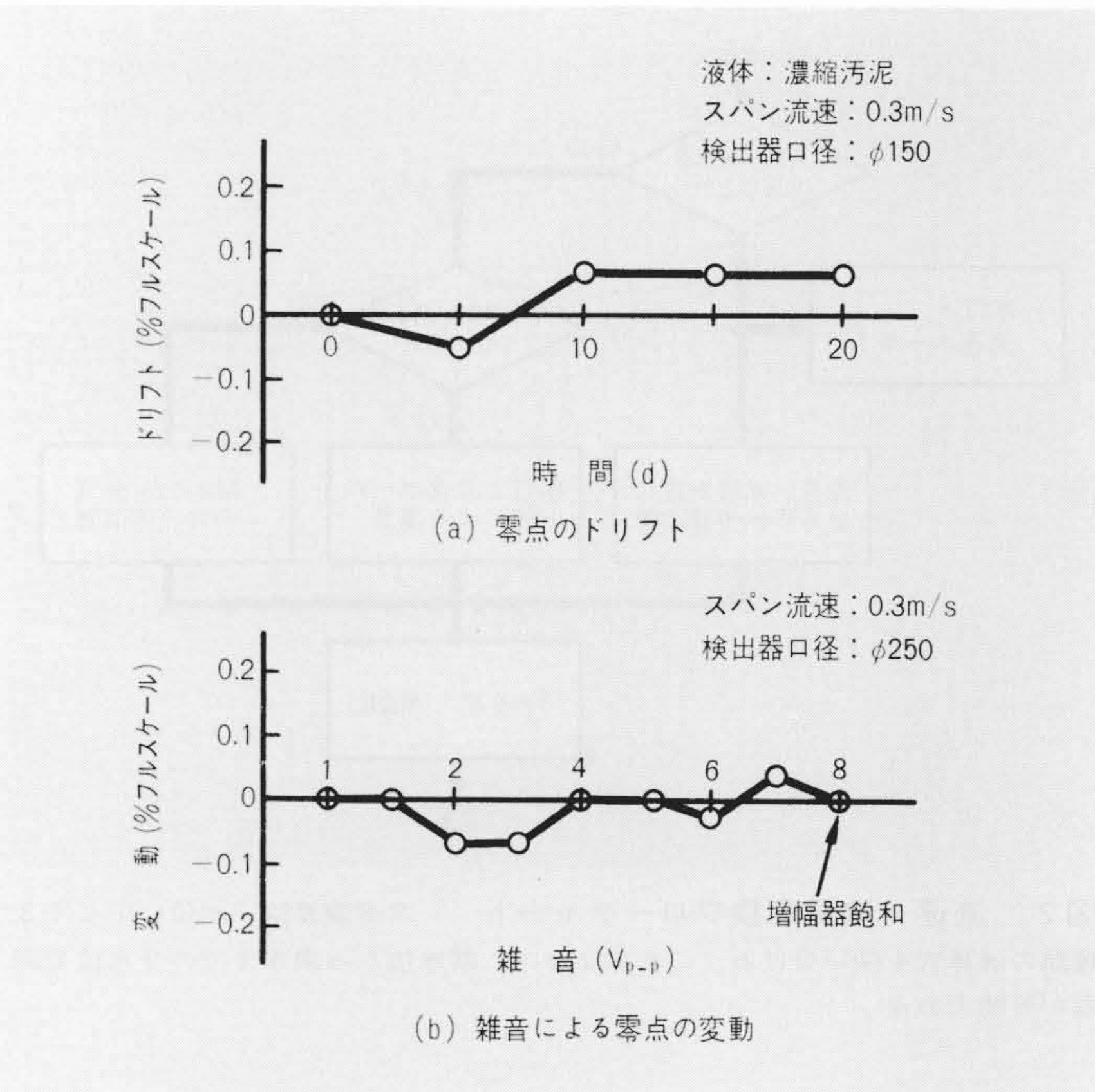


図5 零点の安定性(一実測例) 図(a)は下水の濃縮汚泥で長時間の零点変動を測定したもの、図(b)は、雑音として計器の電源を用いて、流体と接地間に増幅器が飽和するまで電圧を印加したものである。

5.2 機能と構成

プロセスガスクロマトグラフは、従来そのデータ処理はアナログ技術を主体としていたため、適用上の制限や操作・保守上の不便さなどの問題があった。以下に主なものを記す。

(1) ピークの溶出位置の変化に対する修正

正確な濃度計測には、測定ピークの正しい識別と濃度計算を必要とし、従来はこれらを初期の溶出位置に合わせて行なっていた。しかし、溶出位置は経時的なカラム特性変化により変化し、これが誤差の原因になった。したがって、定期的に分析を停止し、ピーク検出時間の修正が必要であった。

(2) 分離の不完全なピークに対する処理

従来の濃度計算では、ピークの形状や分離状態に対する積極的な処理を行なっていないため、不完全分離ピークは測定不能か又は誤差が大きくなり、カラムでその対応を行なっていた。

(3) スパンの変化に対する校正

標準試料によりスパン校正を行なう絶対検量線法では、カラム特性などによりピークが変化すると再校正が必要になり、従来は標準試料を再度分析し、その出力が所定の濃度値に合うように全成分について調整をし直していた。

(4) ピークの面積積分

従来は、ピークが溶出する直前のベースラインを零に修正し、溶出するときのベースラインに対してはそのまま積分していた。

これらもマイクロプロセッサでの処理により解決を図っている。マイクロプロセッサを適用した基本構成を図6に示す。以下に、ピーク処理及び演算の動作について述べる。マイクロプロセッサは分析器からのピークを、ピーク処理部及び演算部に一定周期で取り込み、各ピークの変曲点を検出して、ピークの開始点、頂点及び終了点をとらえる。更に、このデータを利用してピークの検出及びベースラインの変化に対する補正演算を行なう。一方、標準試料のピークの位置を基準と

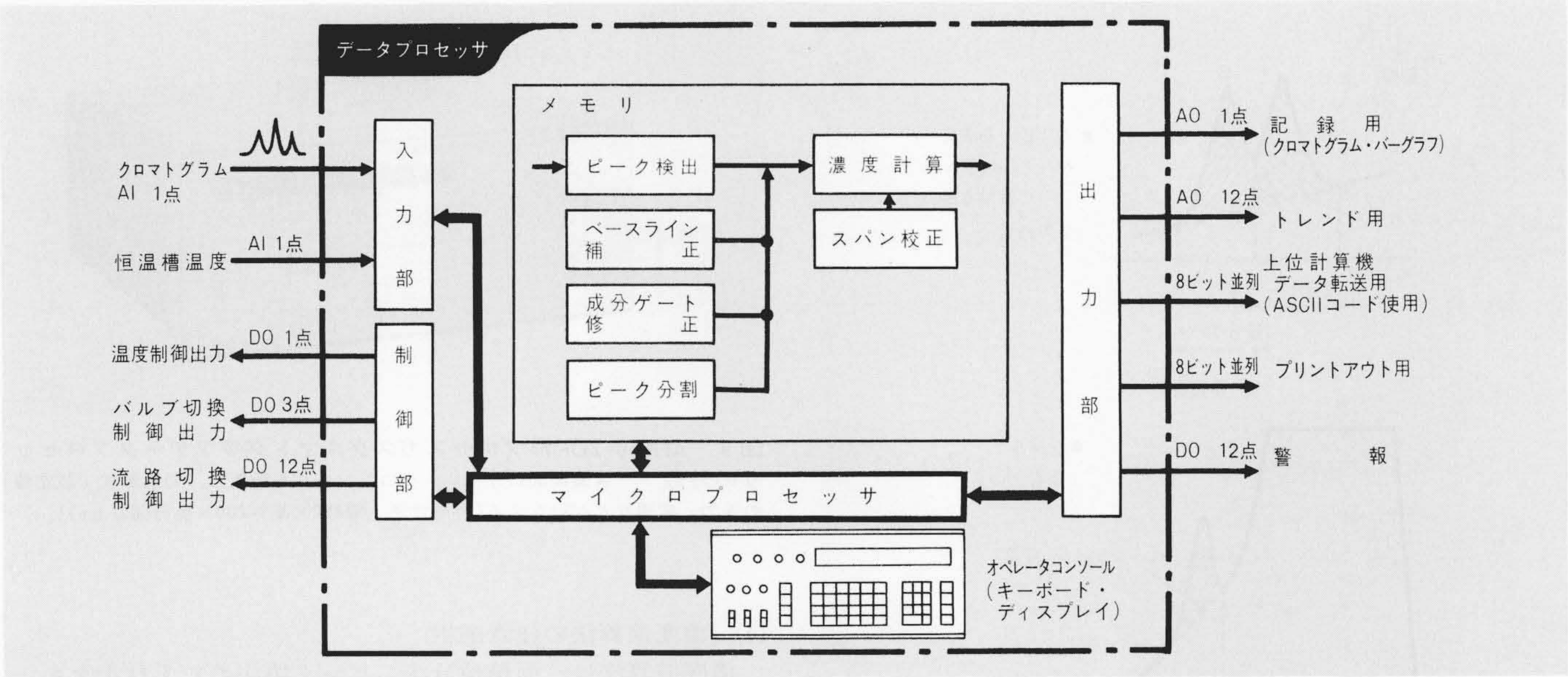


図6 プロセスガスクロマトグラフデータプロセッサの基本構成 各種ピーク処理・演算及びシーケンス制御、出力などの処理は、ソフトウェアのプログラムにより行なわれる。特に、制御と出力の処理点数は多岐にわたっている。

して、これに対し測定試料の位置のずれを求め、これに応じてピークを識別するために設けた成分ゲートの位置を移動させ、常に測定ピークを成分ゲート内に保持する。また、測定ピークが隣接する場合、相互の成分ゲートの位置関係をとらえて、図7(a)に示すように重なれば不完全分離と判断して垂線を引き、これを境界に互いのピークを分割し個別に処理する。その後、例えば絶対検量線法では、あらかじめ標準試料により求めて記憶しておくスパン校正值を用い、各成分の濃度計算を行なう。なお分析仕様で異なる成分ゲート位置、タイマ周期、演算法など表3に示す設定項目をキーにより設定すると、マイクロプロセッサは設定内容を判断して、プログラムを順次処理していく。

5.3 マイクロプロセッサの適用による効果

(1) 成分ゲート位置の自動修正

ピークの溶出位置の緩やかなずれに対しては、成分ゲート

位置を分析ごとに自動的に修正するようにしたため、カラムの経時的な特性変化が生じて、分析を停止させる必要がなくなった。また、前回の分析に対してずれがある一定以上の大幅な値になると修正は行なわず、異常と判断して警報を発信し故障を知らせる。この判断は分析ごとに行なうので、ピークの位置が元にもどれば分析は継続することができる。

(2) 垂線又は接線分割による自動ピーク分割

図7(a)、(b)に示すピーク分割が処理できるようになり、初めには完全分離であって経時的に不完全分離になった場合でも、各ピークの濃度は正確に求められる。したがって、このような場合でも分析は停止しなくて済み、カラム交換の頻度も少なくなった。

(3) スパンの自動校正

スパン校正は、絶対検量線法、相対面積比較法のいずれかをキーにより選択すれば自動的に行なえるようになった。

表3 設定・表示部の内容 必要に応じて、いつでも設定値の変更ができ、その操作はキーにより電子式卓上計算機並みに行なえる。

設 定		表 示		
項 目	内 容	設定内容の表示	分析中のときの表示	指 定 に よ り 表 示
タイ ミ ン グ *	●成分ゲート位置 ●タイマ周期 ●バルブ(サンプル, カラム)切換時間	○	●分析中の成分番号	●分析中の流路・成分番号及び分析経過時間
温 度 *	●恒温槽温度	○	○	—
信 号 レ ベ ル *	●ゲイン倍率	○	—	—
ス パ ン 校 正 *	●標準試料濃度(絶対検量線法) ●検出感度係数(相対面積比較法)	○	—	—
出力レンジ, 成分	●出力レンジ ●トレンド出力成分	○	—	—
そ の 他	●流路切換数・順序 ●演算法選択 ほか	○	●分析中の流路番号	●1 分析前の分析結果 ●異常内容

注：＊ 試料の組成、濃度及びカラムの特性など、分析仕様が関係する。
○ あり

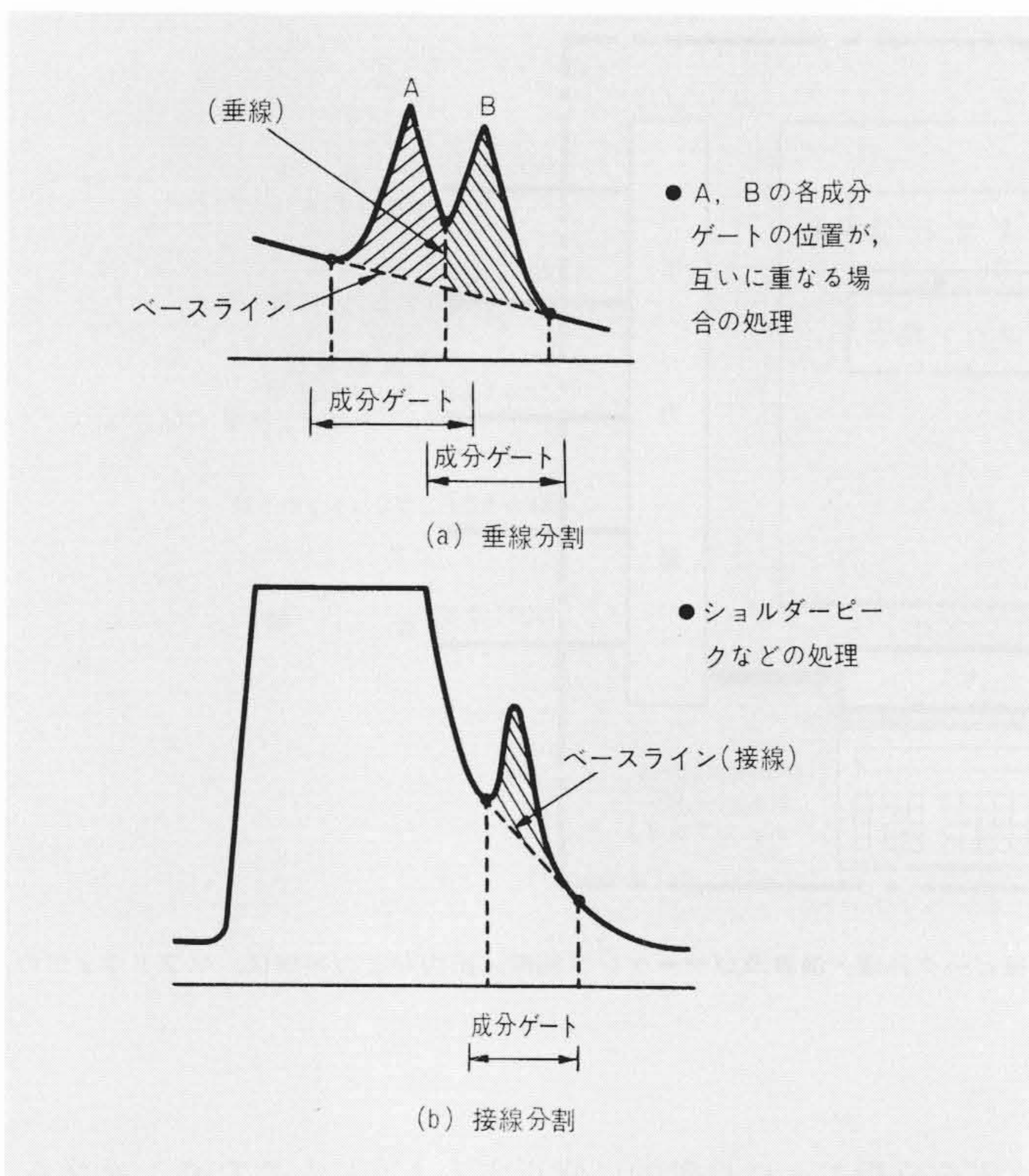


図7 ピーク分割処理 不完全分離ピークのときでも、ピーク分割とベースライン補正の機能を併用しているため、成分A、Bの濃度は正確に計測できる。

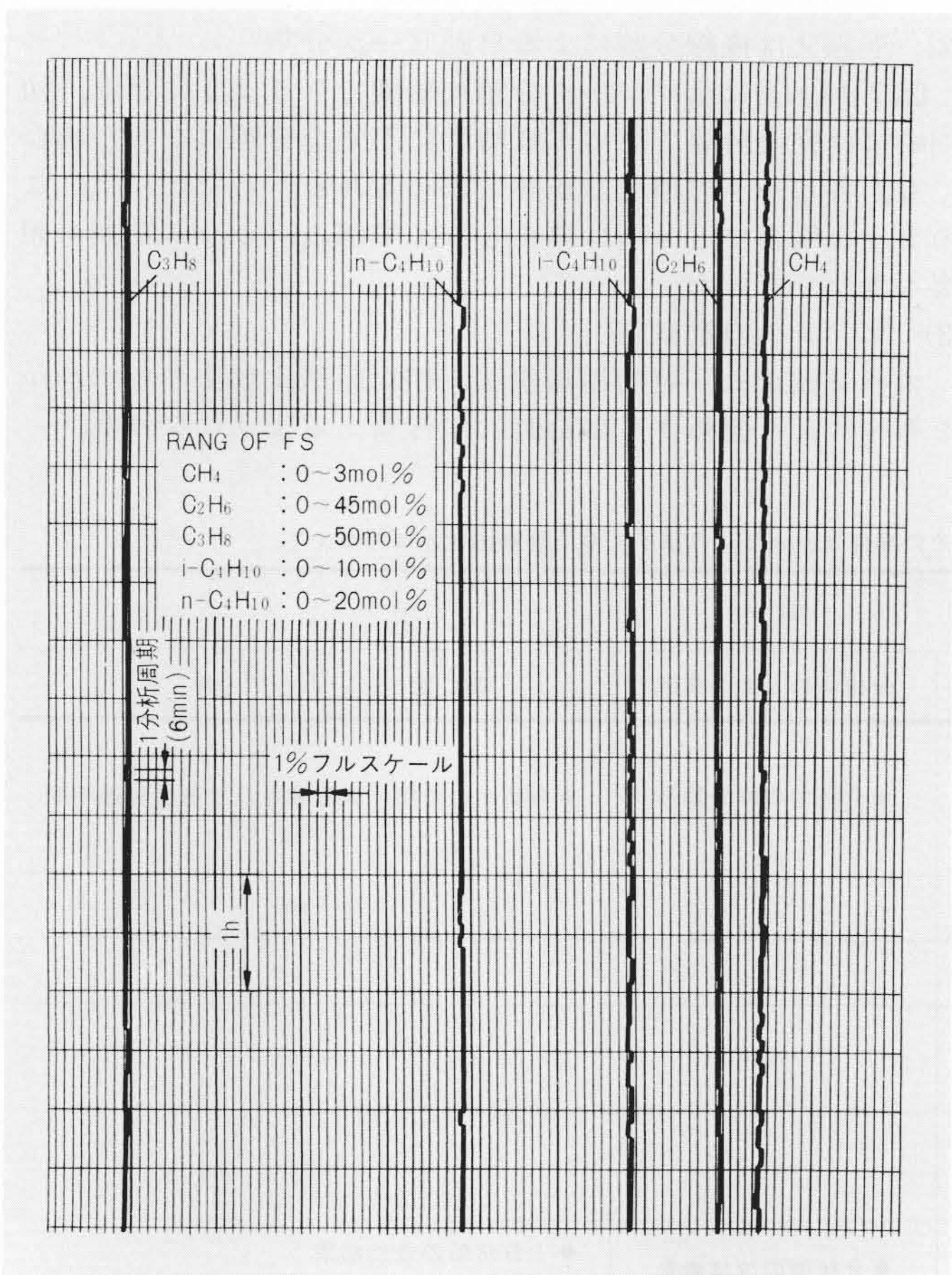


図8 面積積分法による再現性(一実測例) 面積積分法は直線性が良いのはもちろんであるが、再現性も±1%フルスケール以下と良い特性が得られている。



図9 AN650-2DP形プロセスガスクロマトグラフデータプロセッサの外観 装置前面にオペレータコンソールを配置し、対話形式で設定値の入力、変更などが行なえる〔外形寸法：幅480×高さ200×奥行565(mm)〕。

(4) 濃度演算法の任意選択

濃度演算法は、面積積分法、ピーク値法のいずれかをキーにより成分ごとに選択できるため、基本的には直線性の良い積分法を用い、面積値がどうしても不安定な場合、再現性の安定したピーク値法に変更も可能である。面積積分法を用いて繰り返し計測したときの一実測例を図8に示す。この結果、溶出位置の変化、分離状態、ベースライン変化などを考慮に入れてもフルスケールの±1%以内の安定な値を示した。

(5) 付加ユニットの集約化

記録及び制御用として、濃度値をアナログのホールド値で最大12点を出力できる機能を内蔵した。従来は出力点数ごとに外部にユニットを用意して、これらを介して出力したが、集約して部品点数の削減を図り信頼性を高めた。

上述したガスクロマトグラフ用データ処理装置の外観を、図9に示す。

6 結 言

以上、マイクロプロセッサを適用した超音波式開水路流量計、方形波励磁式電磁流量計及びプロセスガスクロマトグラフについて述べた。開水路流量計では、全水位での流量計測の自動化など従来にない多くの機能を盛り込んで、水位変換、流速変換及び演算の各ユニットの集約化とその小形化を実現した。電磁流量計では、方形波励磁という原理的な零点の安定化に加えて、マイクロプロセッサでこれを更に高度化し、電極汚れや外部誘導雑音に対し±0.1%の安定度を得た。また、入力信号レベルの自己判断による利得調整でレンジアビリティ33倍を得、変換器の小形化にも役立った。ガスクロマトグラフでは、カラムの経時変化に対する自動修正、スパンの自動校正、不完全分離の精度向上など性能・機能を大幅に向上し、ここでもデータ処理装置の集約化と小形化に効果があった。これらのことから、データ処理の簡単な検出端でもマイクロプロセッサの適用価値が高いものと判断することができ、更に今後とも各種検出端へ適用していく考えである。

参考文献

- 1) 植松, 外: 最近の流量計測, 日立評論, 62, 611~616(昭55-8)
- 2) 植松, 外: 開水路流量計測に関する一考察, 下廃水処理の自動制御と水質の計測監視に関するワークショップ論文集, 環境技術研究会, p.37~40(昭55-10)
- 3) 倉持, 外: マイクロコンピュータの計測制御への応用, 日立評論, 61, 292~294(昭54-4)
- 4) JIS Z8764-1975, 電磁流量計による流量測定方法