マイクロコンピュータの計測制御への応用

Application of Microcomputer to Industrial Measuring and Control

計装システムでのマイクロコンピュータの応用は、シーケンス制御、直接ディジタル制御、両者の組合せ制御と進み、各工業に幅広く採用されている。最近では、在来のアナログ計装では制御困難なプロセスにも適用されてきている。その一例として、むだ時間の大きいプロセスのアドバンス制御例について紹介する。

一方,マイクロコンピュータは計測器にも内蔵されてきており,従来の計測器の弱点補強と,より積極的に新しい機能,性能を付加することができる。更に,従来測定困難とされていたものも,複雑な演算を行なうことにより測定可能となっている。これらの例として,マイクロコンピュータを内蔵したプロセスガスクロマトグラフ,開水路流量計の例について紹介する。

倉持義徳* Kuramochi Yoshinori 植松 誠* Uematsu Makoto

佐藤 隆* Satô Takashi

□ 緒 言

マイクロコンピュータの計測制御への導入は、8ビットのマイクロコンピュータが発売された段階から試みられた。当初は、簡単なロガーへの応用が試みられた程度であったが、マイクロコンピュータの機能が高まるにつれて、しだいに在来のミニコンピュータの置換えという応用分野へ発展した。すなわち、1975年にはマイクロコンピュータを制御の中核とした総合的な計装システム^{1),2)}があいついで発表された。

このような計装システムでのマイクロコンピュータは、コンピュータネットワークの最下位レベルのコントローラとしての応用(鉄鋼工業、自動車工業)、シーケンス制御とフィードバック制御の合理的な組合せ、在来のアナログ計器では実現が困難であった各種制御理論の実現(化学工業、食品工業、鉄鋼工業など)など、新しい市場を確実に伸ばしてきている。

一方、8 ビットのマイクロコンピュータは、部品レベルで随所に使用されつつある。特に、計測器への応用としてはプロセスガスクロマトグラフなどの分析計や放射線応用計器、あるいは開水路用超音波流量計など、特殊計器に内蔵してそのサンプリングシーケンスやデータ処理などによって計測器の機能を上げることを行なっている。

この論文では、総合計装システムのプロセス制御の応用例として、むだ時間の大きいプロセスの制御について述べる。また、特殊計器への応用例として、プロセスガスクロマトグラフへの導入と、開水路用超音波流量計への応用についても述べる。

2 プロセス制御例

総合計装システムの例として、「日立ユニトロール∑シリーず」3)~5)が挙げられる。このシリーズは、アナログ部とDSC-23形及び18形マイクロコンピュータを含むディジタル部とから構成されている。

DSC-23形マイクロコンピュータシステム 6 は、大規模(最大32ループ)計装用として設計され、拡張性、柔軟性に富むものである。主メモリは最大 6 4 k語まで実装でき、カラーCRT (ブラウン管)のサポートも可能である。

DSC-18形マイクロコンピュータシステムは7, 小規模(最

大8ループ) 計装で、かつシステム変更の少ないプロセス用として作られたものである。しかし、1台でDDC(直接計算制御)とシーケンス制御を同時に行なうことができ、PROM (Programable Read Only Memory)を用いているがコアメモリと同じ使い方を可能にし、諸パラメータのチューニング問題を解決している。

図1に「日立ユニトロール∑シリーズ」の納入実績を示す。 同図(a)から、各業種に平均して使用されていることが分かる。 また同図(b)に前記4種の機能別の実績を示す。 バッチプロセス制御が高い比率を示している。このことは、「日立ユニトロール∑シリーズ」が単なるアナログPID(比例・積分・微分)調節計の置き換えではなく、プロセスの必要とする制御を組合せした形で実行できる点によるところが大きい。

ここでは、そのような一例として、アドバンス制御を利用した図2に示す原料の乾燥工程の制御について説明する。このプロセスでは、制御対象のむだ時間が非常に大きいため、従来のアナログ調節計で制御するのは非常に困難である。すなわち、同図に示す燃料流量調節計FIC-6で調節弁を動作させてから、ベルトコンベヤ上の原料が乾燥し、温度変化がTIC-2でとらえられるまでのむだ時間が非常に大きい。しかもこのむだ時間は、ベルトコンベヤの速度、原料の量や種類などによって実際のプラントでは20~30%変化する。

この装置では、むだ時間のあるプロセス制御のために図3に示すOtto Smithの方法 $^{8)}$ を用いた。前述のように、プロセスのむだ時間Lpが変化するので、むだ時間補償回路のむだ時間Lcを一定にして制御すると、制御系として不安定領域に入ってしまう。これを防ぐため、混合器出力を流量としてFRCA-1でとらえ、プロセスのむだ時間Lpを流量との関係式から計算して求めることを行なう。このようにして、前段、後段ドライヤの温度制御のむだ時間Lcをオートチューニングする制御系をマイクロコンピュータで実現させた。

このほかに、原料を混合器へ注入するパイプの詰まりを、その流量FI-4をとらえ、統計的手法を用いた間接測定により事前に検出するなど、マイクロコンピュータの演算機能を十分に活用し実用化に成功した。

^{*} 日立製作所那珂工場

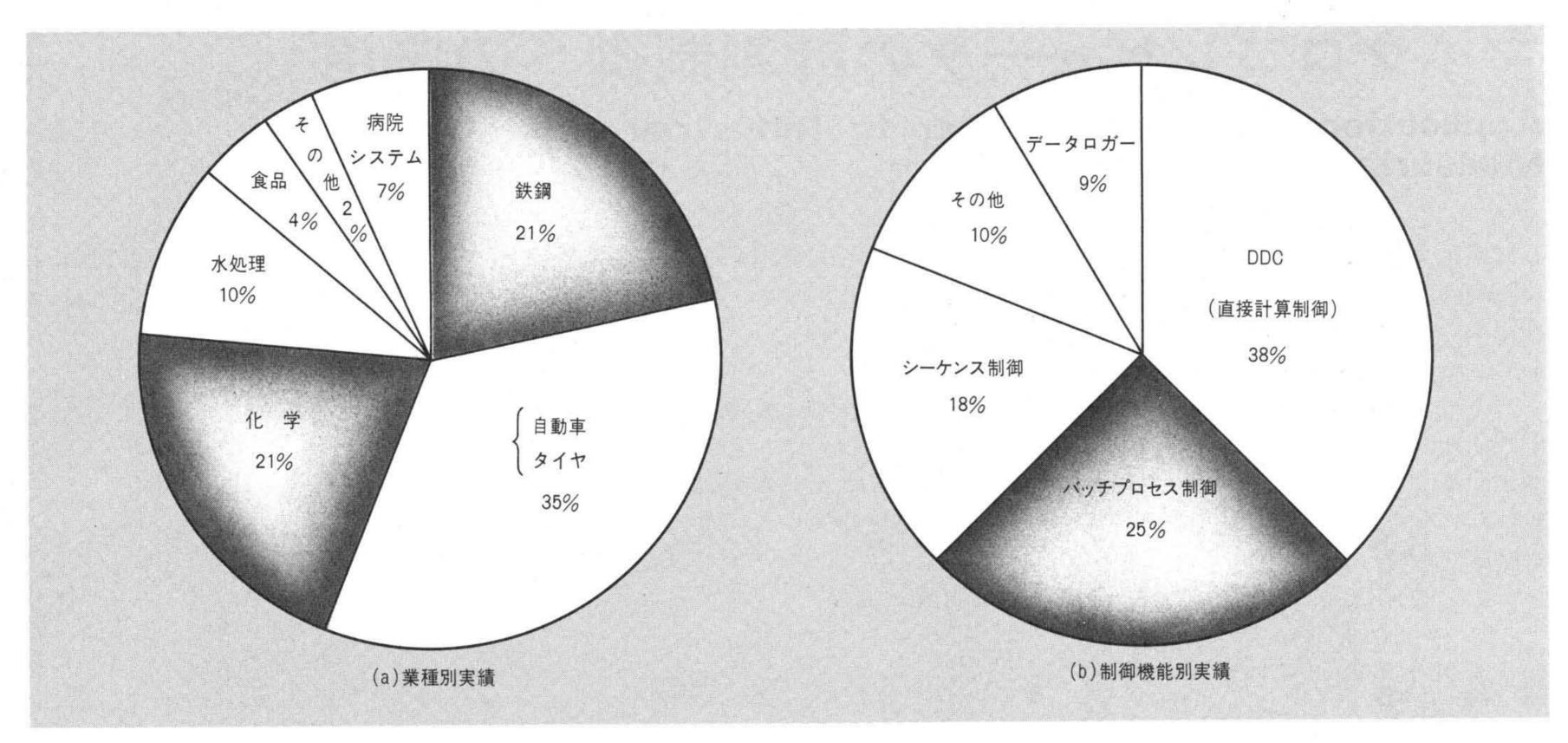


図 | マイクロコンピュータの納入実績 納入先業種は広く分布している。また、機能別ではバッチプロセス制御に高い比率を示しているのが特長である。

3 プロセス計測例

マイクロコンピュータの計測への応用の最大の目的は、従来の計測器の弱点補強と、より積極的に新しい機能・性能を付加することにある。更に従来測定困難とされていたものに、マイクロコンピュータを内蔵させ、複雑な演算を行なわせることによって測定が可能になった例もある。次に、これらの応用について二例を紹介する。

チむ ユナニ 一時 温前 温後 コング機構 度ド 度ド 制イ 制イ 御の 御の FRCA-1 TIC-2 FI-4 コベ ■ 原料 ンル ベト ス 000000 00000 **公** 前段 後段 **公** × ドライヤ **X** → **D** ■

図 2 原料乾燥制御ブロック図 むだ時間が大きく、更にそれが変化 するプロセスの制御は、従来のアナログ調節計では困難である。

3.1 プロセスガスクロマトグラフへの応用

ガスクロマトグラフは、元来、成分ごとに検出されるピークの面積が各々濃度に比例することを利用した多成分濃度計である。しかし、ピークの面積を求める処理が複雑なため、濃度は直線性は劣るがピークの高さで表わし、プロセスの安定状態からの変化をとらえることに重点を置いていた。各ピークは時系列的に送り出されるが、その時間が各成分とそれらを分離するカラムとの相互関係で決まる。しかし、カラムの

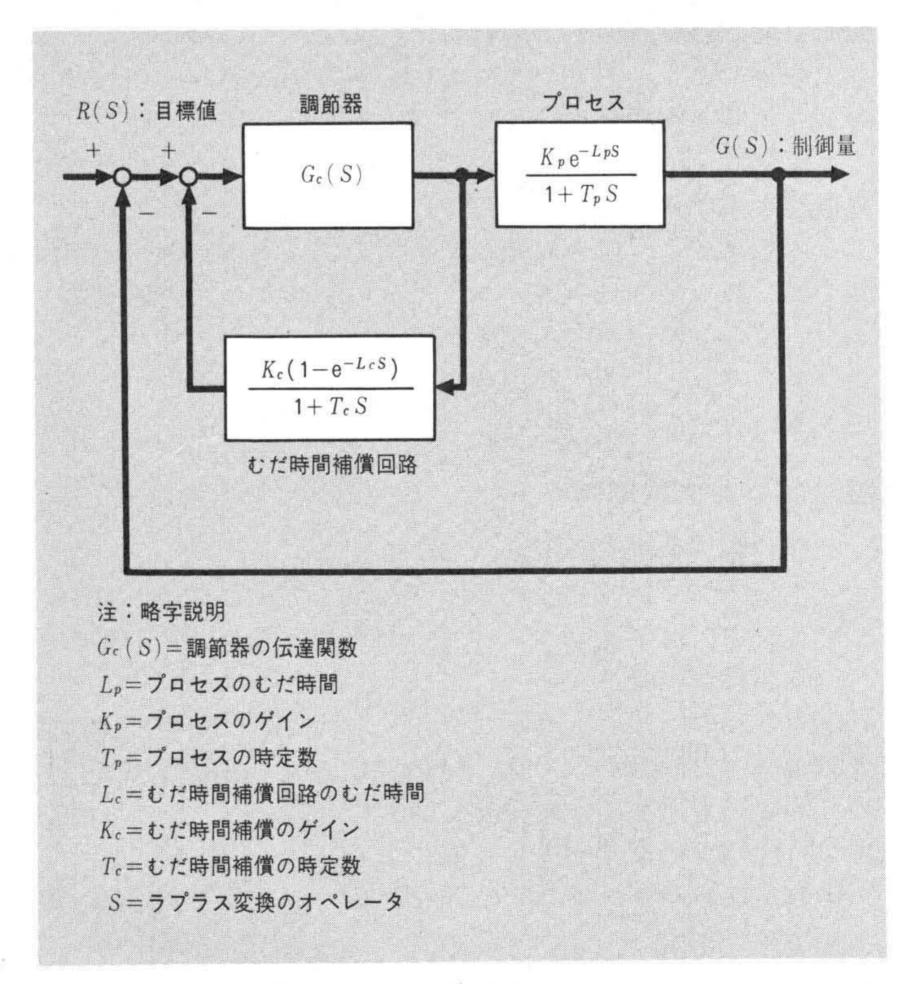


図3 Otto Smithの方法による制御系 プロセスのむだ時間Lpの変動に対応して、むだ時間補償回路のむだ時間Lcをオートチューニングする。

特性は経時的に変化し、ピークの時間的位置及び高さが徐々 に変わるため、ピークを識別するタイマの設定位置やピーク 高さと濃度との関係を、1回/月程度の頻度で修正していた。 そこで、これらの問題解決を主目的に、8ビット、16k語 のマイクロコンピュータを導入し, 更に新しい機能を付加し

た。この基本構成を図4に示す。

- (1) 各ピークは積分して濃度出力の直線性を向上させ、ピー クの前後でベースラインの変動分をとらえて積分値を補正す る。このため、完全分離のピークでは濃度変化0~100%で ±0.5%の直線性がある。
- (2) 各分析周期の終点で約3秒間で時系列的に各ピークの積 分値を送り出し、上位コンピュータ、プリンタ及びD-A変換 してトレンドレコーダに転送する。このため、各受信器内の データは一挙に更新され,成分によるデータ更新の時間差が なくなる。
- (3) ピーク分割機能をもたせることにより分離が不完全なピー クの処理測定が可能である。このため、カラムの長さが短縮 され、構成が単純になる。また、分析が一段と高速化してプ ロセス制御用としての適用性を高めることができる。
- (4) ピーク位置の検出に、その始点、最高点及び終点を微分 でとらえるとともに、ノイズや不明成分などの不測ピークは マスキングして、自動的にピーク検出を行なうようにし、更 にマスク位置の自動修正機能も盛り込んである。このため, 従来のタイマ修正という保守が大幅に削減される。
- (5) 標準試料によるスパン校正(絶対検量線法)を自動化し, 相対面積比較法による校正機能をもたせてある。相対面積比 較法の導入は,不完全分離ピークの処理機能とあいまって, 測定精度が大きく向上し、これまで行なってきた化学工場の 試験室でのルーチン分析の代行が可能である。

3.2 開水路用超音波流量計への応用

図5に示すように、水路の部分流速と水位を検出して開水 路の流量を測定する場合,これらの部分流速と水位から平均 流速を計算し,これに水路の断面積を乗じて流量を求める演 算式はかなり複雑である。更に,流量計としては水位が流速 検出器以下のときの測定も考慮する必要がある。

(1)式は円形断面水路の平均流速変換式であり、(2)式はその 流量変換式である。

$$Uav = \frac{1}{1 + \frac{n\sqrt{g}}{R^{\frac{1}{6}}} (An + \frac{1}{K} \ln \frac{y}{R})} \bar{u} \\ R = \frac{D}{4} \left\{ 1 - \frac{2(1 - \frac{2h}{D})\sqrt{\frac{h}{D}(1 - \frac{h}{D})}}{\cos^{-1}(1 - 2h/D)} \right\} \dots \dots (1)$$

$$Q = S \; Uav \\ S = \frac{D^2}{4} \left\{ \cos^{-1} \left(1 - \frac{2h}{D} \right) - 2 \left(1 - \frac{2h}{D} \right) \sqrt{\frac{h}{D} \left(1 - \frac{h}{D} \right)} \right\}^{-\dots(2)}$$

ここに Uav:水路の平均流速

ū:流速検出器間の部分流速

n:水路内壁の粗度係数

g:重力の加速度

R: 径深[水位hでの断面積/潤辺(水路断面の水 でぬれている部分の長さ、図7中の太線部分)〕

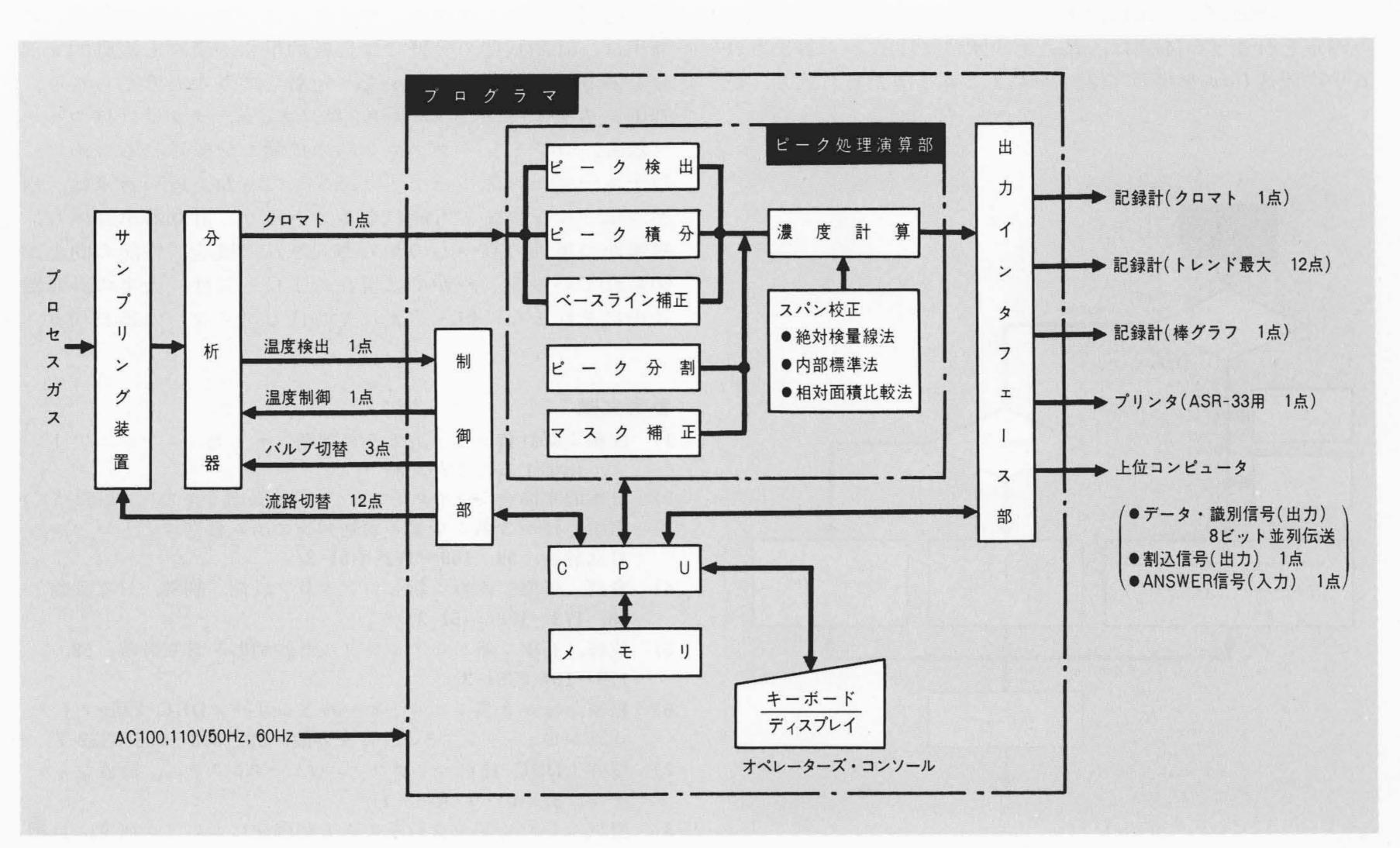
An: y, h, Dで決まる補正係数

K:カルマン定数

y:流速検出器取り付け高さ

h:水位 D: → 路内径

Q:流量



マイクロコンピュータ内蔵プロセスガスクロマトグラフの基本構成 分析器の制御と分析 結果をマイクロコンピュータで処理し、その信号を上位コンピュータや記録計などに伝送する。

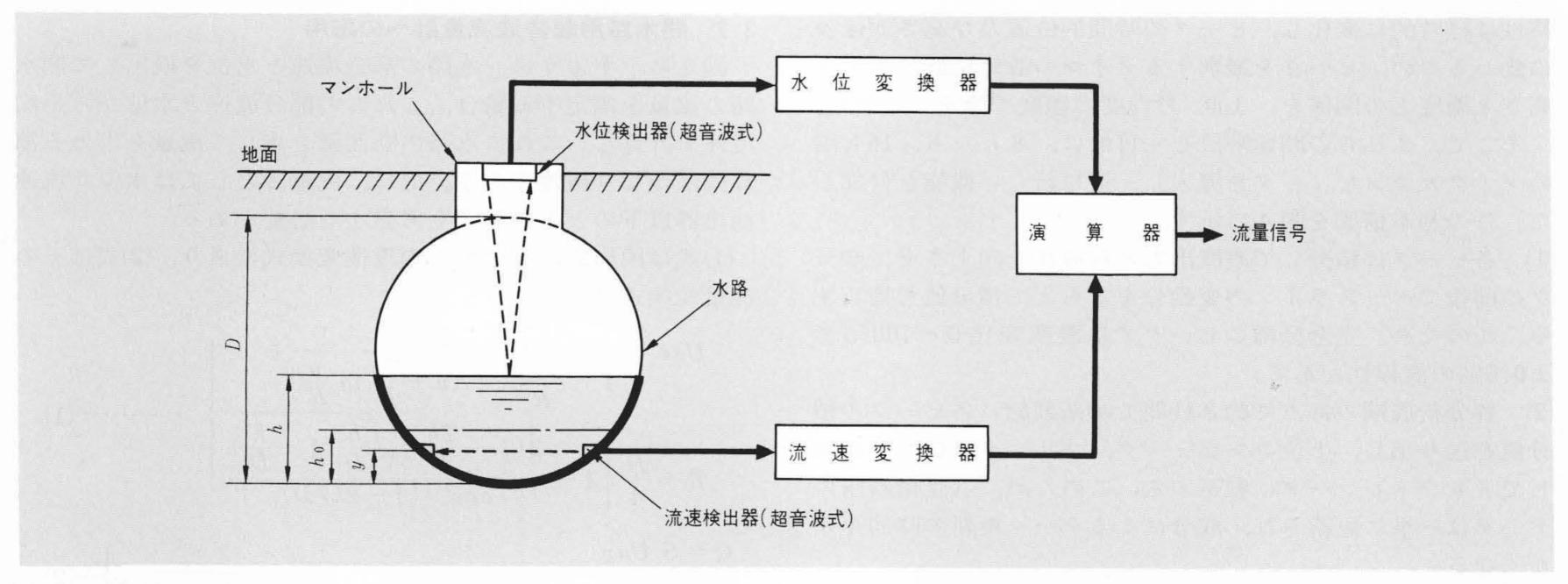


図 5 開水路用超音波流量計の原理構成 水路の液面の高さと, 平均流速を測定して, 演算により非満水水路の流量を求める。

S:水位hでの水路断面積

また,次の(3)式及び(4)式は,水位が流速検出器以下の平均 流速変換式である。

$$Uav = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad \cdots (3)$$

$$Uav = \left(\frac{R}{R_0}\right)^{\frac{2}{3}} Uav_0 \qquad \cdots \qquad (4)$$

ここに 1:水路の動水こう配

Ro:流速検出器以上のある水位hoでの径深

 Uav_0 : 径深 R_0 での(1)式で得られる平均流速

(3)式は水位が一度も流速検出器以上に達しない場合の式でマニングの公式と呼ばれ、Iとして土木設計値を用いた概略の測定を行なう。(4)式は、 R_0 とその水位で(1)式から算出される平均流速 Uav_0 を用いて(3)式からIとnを消去した式で、低

 $h \stackrel{h}{\underset{h \ge h_0}{}} h \stackrel{h < h_0}{\underset{h \ge h_0}{}}$ $1 + \frac{n\sqrt{g}}{R^{\frac{1}{6}}} \left(An + \frac{1}{K} \ln \frac{y}{R}\right)$ $S \cdot u_{av}$

図 6 流速-流量変換フローチャート 水位に対応する流量演算式を自動的に選択して、流量計算を行なっている。

水位での流量測定精度を向上させている。そして, (1)式, (3)式, (4)式間の変換は図6に示すように水位判定で行なっている。

このように水位によって演算の仕方を変え、性質の異なる 多くの要素を用いて複雑な演算を精度良く行ない、かつ装置 を小形化するためには、マイクロコンピュータは極めて効果 的であり、水路の形状、大きさ及び性質をソフトウェアで補 正できる利点がある。

4 結 言

以上、マイクロコンピュータの制御システムと計測器単品への応用について述べた。マイクロコンピュータの製品への適用は、計測制御の分野では比較的早く、現在も流動的な部分もあるが、部分的にはかなり定着してきたと考えられる。制御システムで、一つのマイクロコンピュータが受け持つループ数も、コンピュータダウン時の危険を分散させるために、数十ループから数ループへと減少してきた。近い将来は、当然、単一ループまで可能になるであろう。計測器単品へも、複雑かつ単価の高いものから導入され、機能、性能の向上が図られているが、やがては現在のICと同様、大半の計測器の中にそれとなく組み込まれる時代も遠くないと思われる。

参考文献

- 1) 佐藤:新計装システムとその課題, ケミカルエンジニアリング, 化学工業社(昭53-2)
- 2) 日本能率協会:マイクロコンピュータ会議テキスト,(昭53-5)
- 3) 宮添, ほか3名:全電子式制御システム日立ユニトロール, 日立評論,58,169~172(昭51-3)
- 4) 倉持, 篠原, 西原:新しいアナログ計測, 制御, 日立評論, 58, 173~178(昭51-3)
- 5) 佐藤, 石田:新しいディジタル計測制御, 日立評論, **58**, 179~184(昭51-3)
- 6) 松家, ほか 3 名: ユニトロール Σ シリーズ DSC-23形マイクロコンピュータシステム, 日立評論, 59, 603~608(昭52-7)
- 7) 桜井: DSC-18形マイクロコンピュータシステム, 計器ジャーナル, 3, 4~7(昭52-4)
- 8) 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)