

新鋭浄水場の制御

Control Systems for Modern Purification Plants

最近の水需要の増大に対応し、上水道設備がより大形化、広域化する中で、その中枢となる浄水場では、安定した水質を安全かつ効率よく供給するための制御が要求されている。

それには、制御システム構成と水量・水質を扱う制御ソフトウェア、両面からの信頼度向上策が必要であり、この両方が満足して初めてシステム信頼度の高い制御設備となる。

本論文では、最新の浄水場を例に、浄水場制御システム構成と、その構成要素の中から水量制御、水質制御及び保全システムについて論述する。

佐藤文俊* Fumitoshi Satō
鈴木程久** Michihisa Suzuki
高木照夫** Teruo Takagi
芳賀鉄郎*** Tetsurō Haga

1 緒 言

上下水道の中枢である浄水場の制御の基本は、

- (1) 送配水量の常時確保
- (2) 水質安全の常時確保

である。この実現のためには、信頼性、安全性及び増設拡張性という問題を、ハードウェア、ソフトウェア両面から追求した制御システムが必要となる。

このような浄水場の制御の一例として、分散制御集中監視の思想から構成された“AQUAMAX-80F”システムと、こ

れを構成するハードウェア、及びシステム構成要素として水量制御、水質制御及び保全システムについて、適用例を含めて紹介する。

2 制御システム構成

2.1 システム構成

図1に新鋭浄水場の制御システム構成モデルを示す。各系のローカル設備ごとに、マイクロプロセッサを内蔵した日立

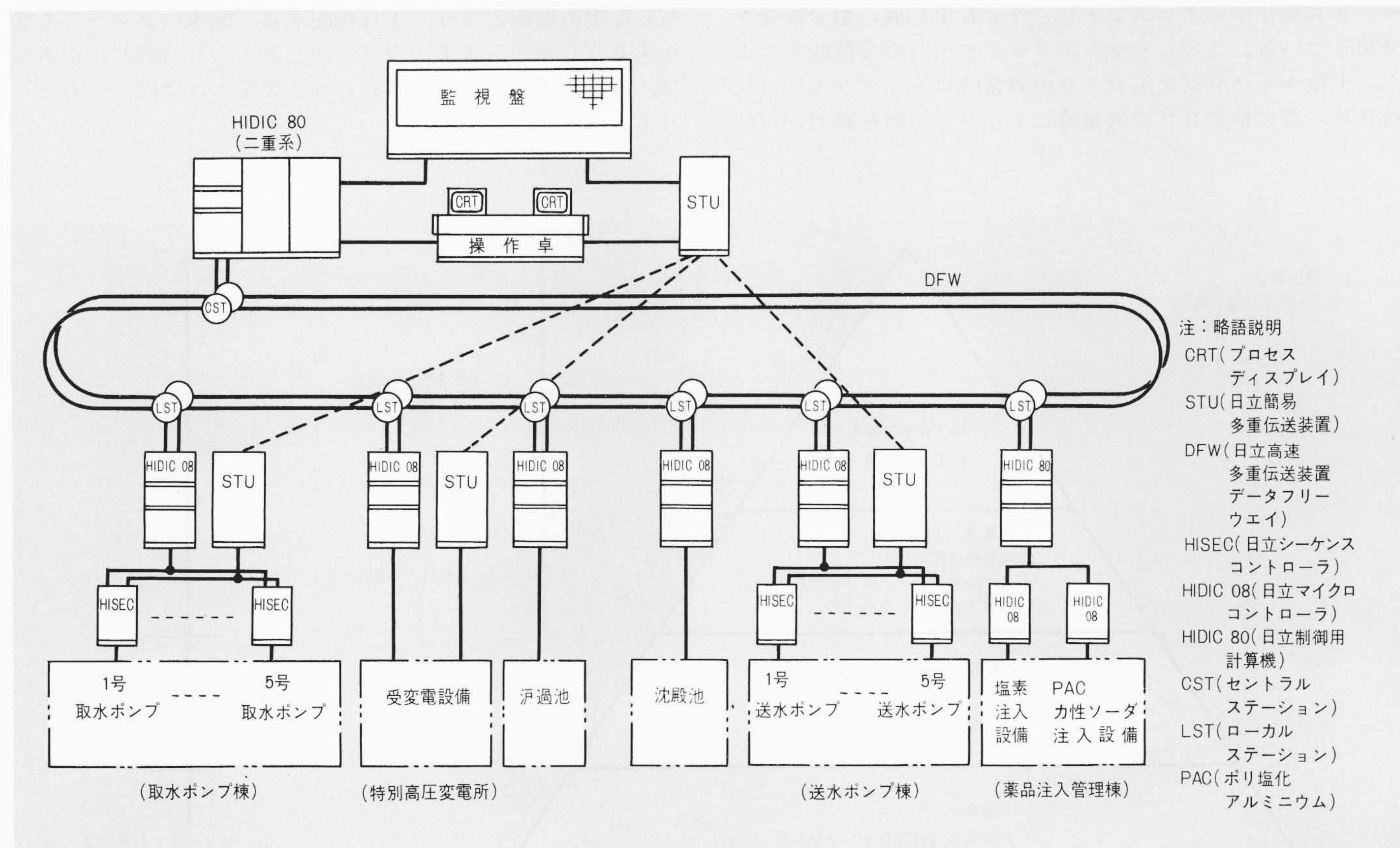


図1 大規模浄水場制御システム“AQUAMAX-80F”構成 ローカル電気室ごとに分散設置されたマイクロコントローラHIDIC 08と中央管理計算機HIDIC 80とは、二重化高速多重伝送路データフリーウェイで結ばれる。

* 日立製作所機電事業本部 ** 日立製作所大みか工場 *** 日立製作所日立研究所

コントローラHIDIC 08が設置され、中央管理用の日立制御用計算機HIDIC 80と二重化高速多重伝送路DFW(Data Free Way)で結合される。浄水場の運転継続にとって最も重要な送水ポンプ所、原水ポンプ所及び変電所は、簡易多重伝送路STU(Signal Transmission Unit)によっても中央操作卓と直結され、計算機設備及びマイクロコントローラを介することなく中央からの操作監視が可能となっている。

また各ローカル設備には、系統ごと、主機ごとに連動シーケンス及び現場監視操作用の日立シーケンスコントローラHISECが置かれ、分散制御の徹底化が図られている。

2.2 マイクロコントローラの機能分担

中央管理計算機は、場内の水量バランスを考慮し、最適の水運用が可能な取水量、汙過水量及び送水量を予測し、これら制御目標値を各ローカルのマイクロコントローラへ指令する。この目標値に基づくプラントの制御をマイクロコントローラで実行することで、中央管理計算設備の負荷を軽減し、応答速度を上げるとともに、万一、中央管理用計算機がダウンしても浄水場システムの自動運転が続行できるようになっている。

薬品注入管理棟では、専用の制御用計算機として、HIDIC 80が設置され、薬品注入制御モデルによる最適注入率を演算している。この注入率は、塩素用及びPAC(ポリ塩化アルミニウム)、カ性ソーダ用それぞれ専用に設置されたマイクロコントローラに取り込まれ、薬品注入量の制御が行なわれる。

2.3 シーケンスコントローラの機能分担

各ポンプ設備には、系統ごと、主機ごとに日立シーケンスコントローラHISECが設置され、現場監視操作機能、連動シーケンス及びマイクロコントローラとSTU間の信号授受を分担している。このシーケンスコントローラの分散設置により、上位マイクロコントローラの異常時にもポンプ運転は続行され、更に他ポンプの異常時にもプラント運転続行が可能

なハイアラキ構成となっている。

2.4 インタフェースの統一性

以上に述べた中央計算機、薬品注入制御用計算機HIDIC 80、マイクロコントローラHIDIC 08、シーケンスコントローラHISEC及び信号伝送装置STUはファミリーであり、言語の統一性、プロセス入出力の共有化のほか、STU信号による結合が可能であり、これら機器間のインタフェースは簡略化され、信頼性向上の大きな理由となっている。

3 水量制御システム

上水道での需要端の負荷は常に変動しており、設備はこの需要変動に応じて常に安定した給水をしなければならない。この負荷変動に対処するものとして配水池があり、浄水場の送水ポンプはいったんこの配水池へ水を送り、ここから最終需要家へ配水される。このような水系での浄水場の水量制御を合理的に運営するためには、

- (1) まず、配水池出側の需要量を予測し(需要予測)、
- (2) 次に、配水池の貯留量と需要量の関係から、浄水場の水量変化の少ない安定な送水ポンプ運転(配分計画)を行なうこと、が必要である。

以下、需要予測と配分計画について述べる。

3.1 需要予測

予測方式は、類似日検索による方法と予測モデルによる方法とがあり、両方式の選択はオペレータの判断によって決定する。

(1) 類似日検索による方法

需要量は年々増加し、更に、季節、曜日、天候、気温、祝祭日などの要因により、1日総配水量、配水パターンとも変化する。しかし、過去に翌日と同じ要因の日(類似日)があれば、翌日の需要量はその類似日の需要量とほぼ同じと考えられる。

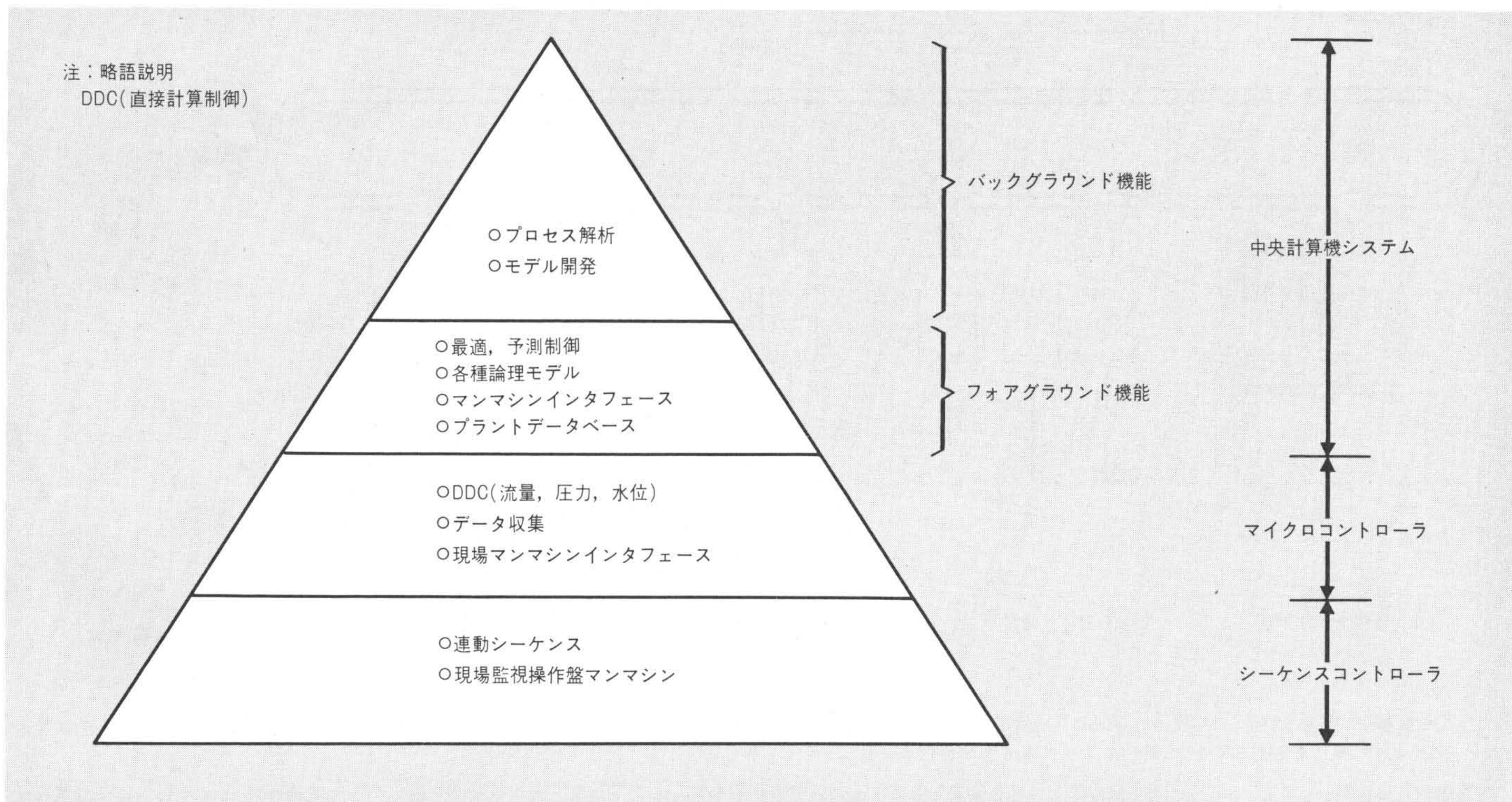


図2 制御のハイアラキ構成 中央計算機、マイクロコントローラ及びシーケンスコントローラというハイアラキ構成により、制御の信頼性確保を図っている。

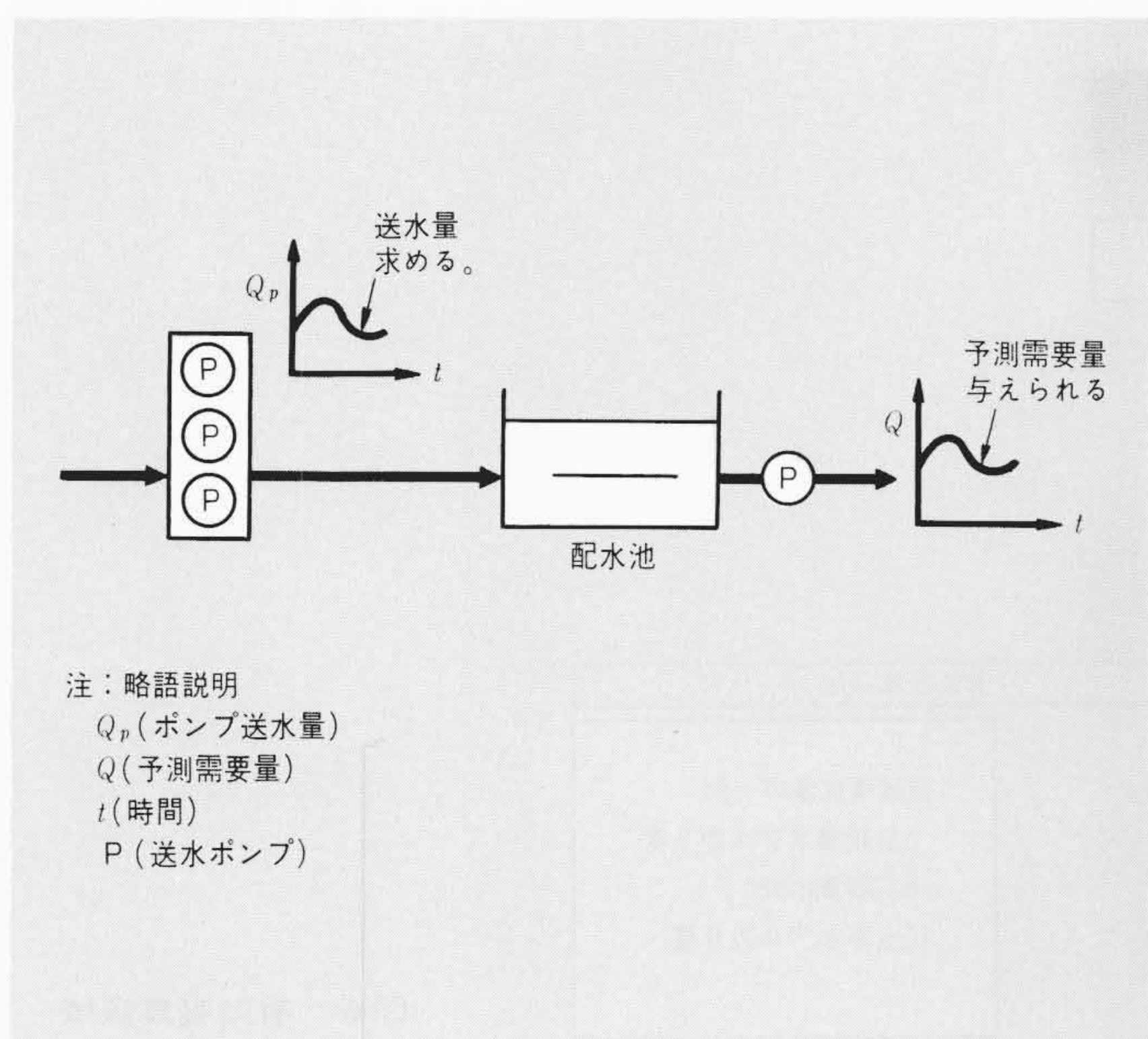


図3 配水池とポンプ設備 需要変動を配水池で緩衝し、ポンプ運転をできるだけ一定にすることが好ましい。

そこで、オペレータが類似日を選択し、指定された日付の配水実績をファイルから検索し、翌日の予測値としてCRT (Cathode Ray Tube)に表示する。また、オペレータにより予測値の修正も可能である。

(2) 予測モデルによる方法

予測モデルは、翌日の総配水量を予測する部分と、翌日の配水パターンを予測する部分から成る。

翌日総配水量を予測する方法としては、前1週間の平均配水量に曜日比率(週平均配水量と当該曜日の配水量との比率)を乗じたものを基本水量とし、これを翌日の天候、気温、特殊日などの要因で補正するものである。

配水パターン(各時間の配水量と1日総配水量の比率)も季節、曜日、天候、温度などの影響を受けて変化するが、これらの要因と配水パターンの関係を解析した結果、曜日、天候により分類したパターンテーブルを使えば予測できることが分かっている。配水パターンテーブルは、日々の実績配水の積み重ねで更新される。

3.2 配分計画

配分計画の目的は、配水池の貯留を最大限に有効に利用しポンプ運転の変更を極少とすることである。その手法としては、日立製作所が開発したQRS法(準最適ポンプ運転台数決定法)を使用する。

QRS法は図3に示すような水系を対象として配水池出口流量が需要予測パターンから与えられるとき、配水池の上下限を割ることなく配水池への送水ポンプの運転法を決める手法で、ポンプ台数の切換頻度や電力使用量の最小量を求めることができる。図4に示すように、送水量の累積曲線①は、負荷を満足し池を空にしないためには、配水量の累積曲線②と池容量を加えた曲線③との間でなければならない。また曲線①のこう配は各ポンプ組合せに対応する。QRS法は、このような曲線①のルートをヒューリスティックなアルゴリズムにより求め、その中から評価関数(例えば、切換頻度や使用電力)を最小にする解を選ぶという手順をとっている。

QRS法によって求めた翌日の取水量予測値(ポンプ運転計

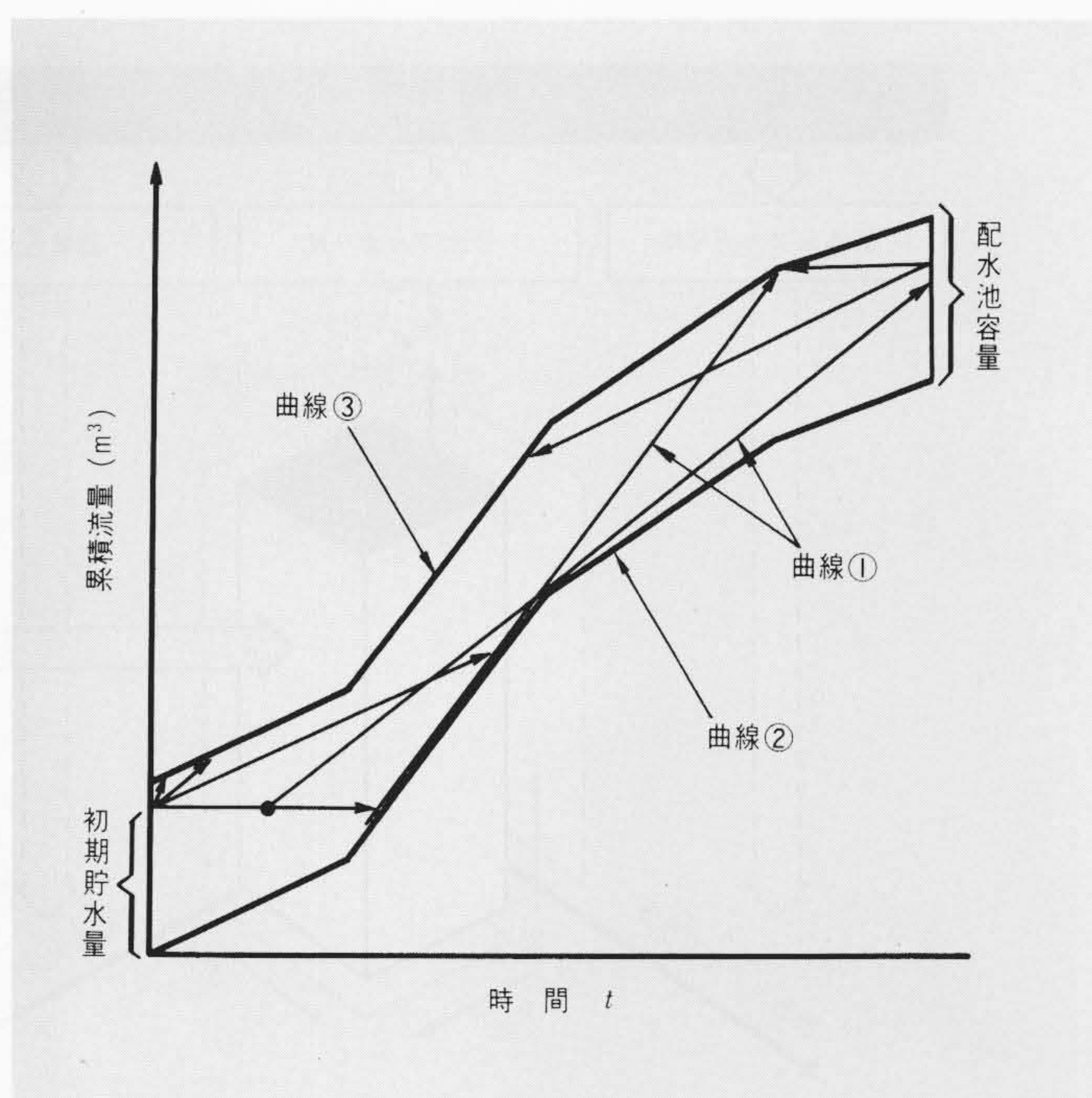


図4 QRS法の説明図 需要量と送水量を時間累積曲線の形で取り扱う。これをCRT表示することにより、ポンプ運転計画の良否が視覚的に分かる。

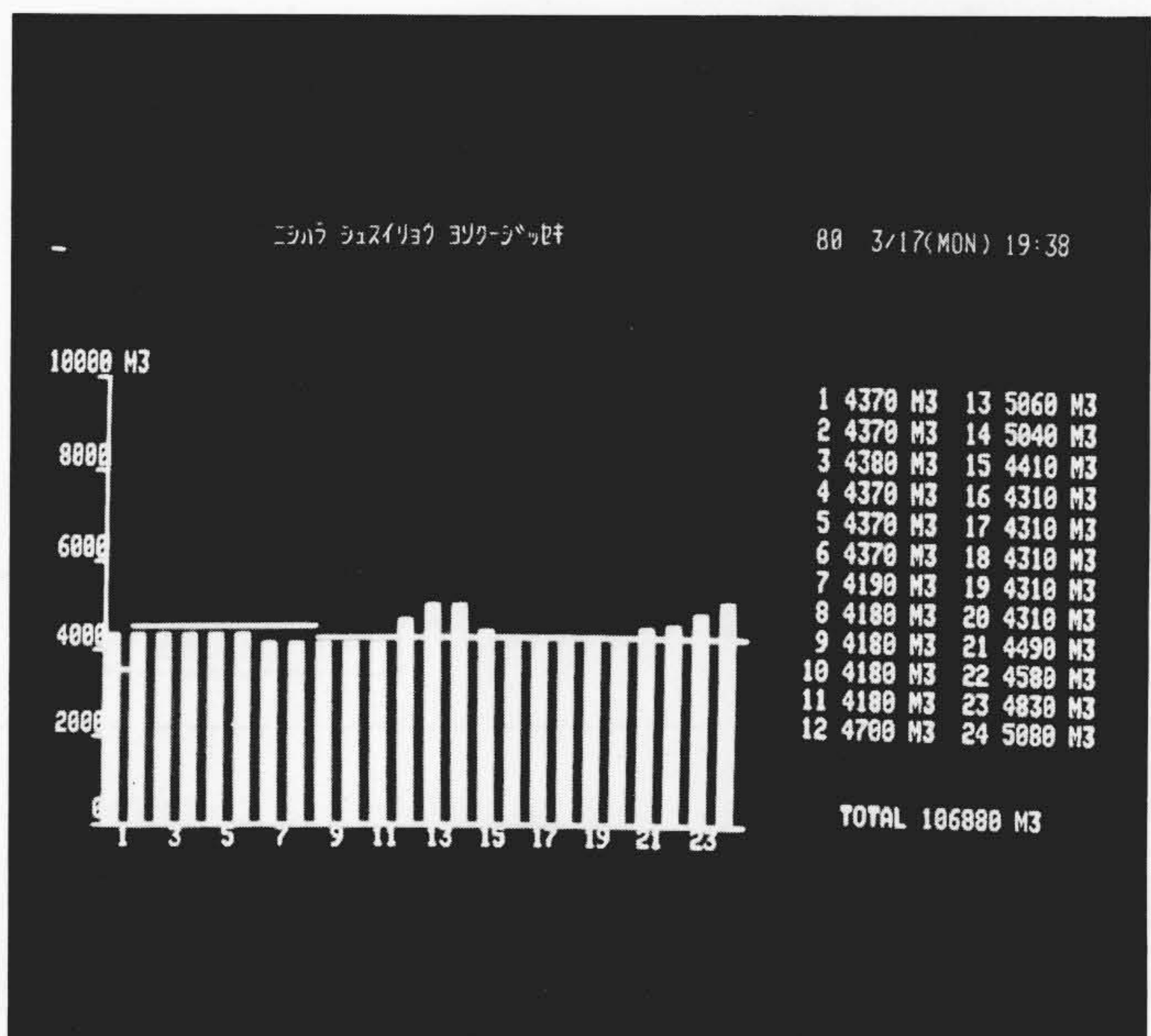


図5 取水量、予測・実績画面 QRS法により、翌日の取水計画を時間単位に求めたものである。この例では、取水量変更は2回である。

画値)とは、この場合の配水池予測水位である。一つの画面で予測と実績値の両方が表わせるように、予測値は白色のトレンドで、実績値は青色の棒グラフでそれぞれ表示している(図5参照)。

4 薬品注入制御システム

河川水などの原水水質は、地域条件及び気象条件などの外的要因の影響を受けて大きく変化する。一方、水の製造側である浄水場では、この原水水質の変化状況に対応して安全かつ良質な水を製造するため、柔軟性に富んだ薬品注入制御の効果的な運用が必要とされる。本章では、有効凝集領域の

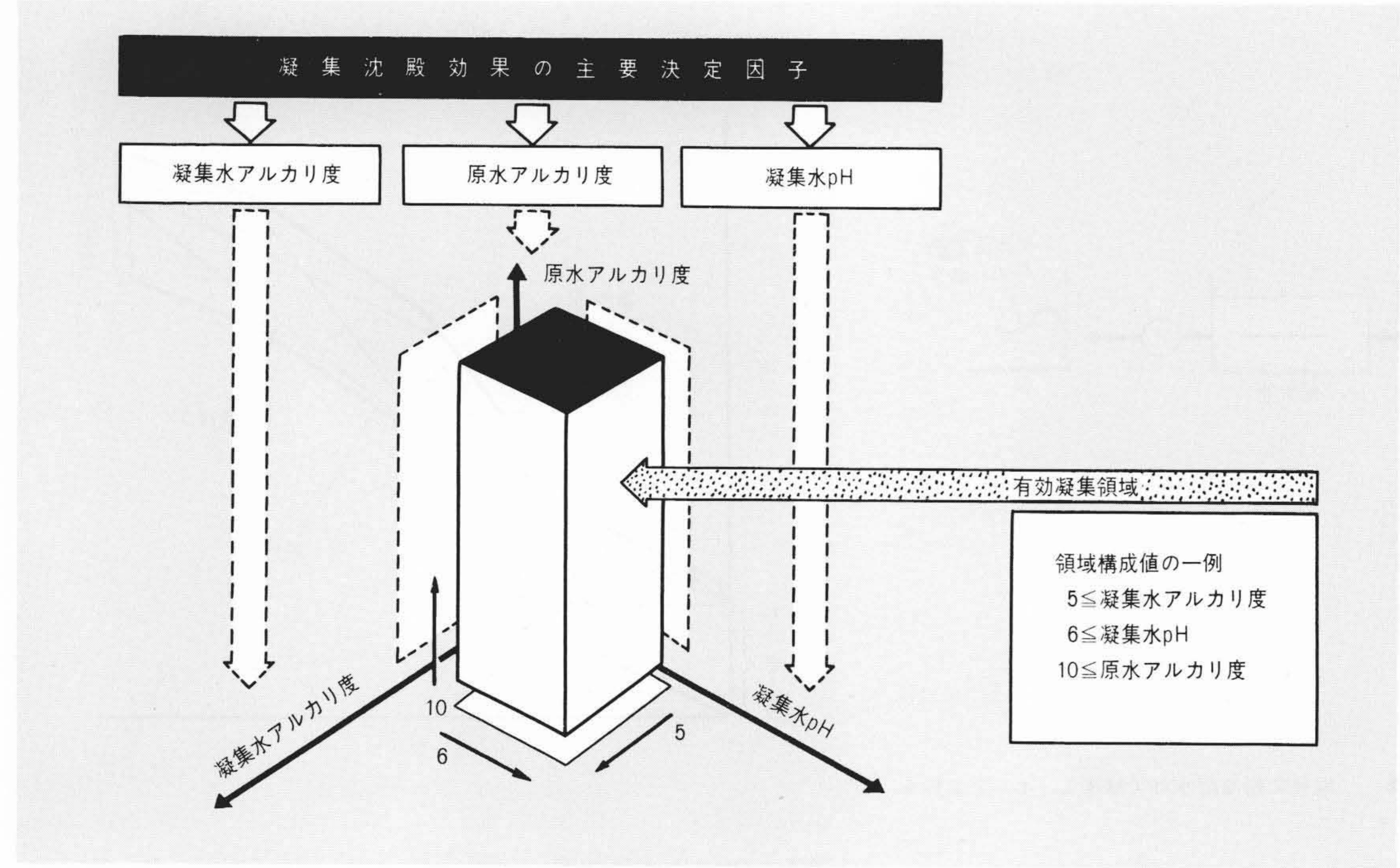


図6 有効凝集領域
凝集剤が凝集機能を良好に
発揮する水質領域がある。
これが“有効凝集領域”で
ある。

概念に基づく薬品注入制御システム、及びこのシステムに付随する凝集沈殿効果の監視システムについて紹介する。

4.1 有効凝集領域の概念¹⁾

浄水場での薬品注入の主目的は、原水中の濁質分の除去にあり、凝集剤及びアルカリ剤などの凝集助剤を注入すること

により、濁質分を凝集させてフロックとし、これを沈降分離することにより濁質分を除去する。

この凝集沈殿プロセスには様々な要因が有機的に関連し、影響を及ぼしているが、凝集に影響を及ぼす水質因子の中で、原水アルカリ度、凝集水アルカリ度及び凝集水pHの3要素を

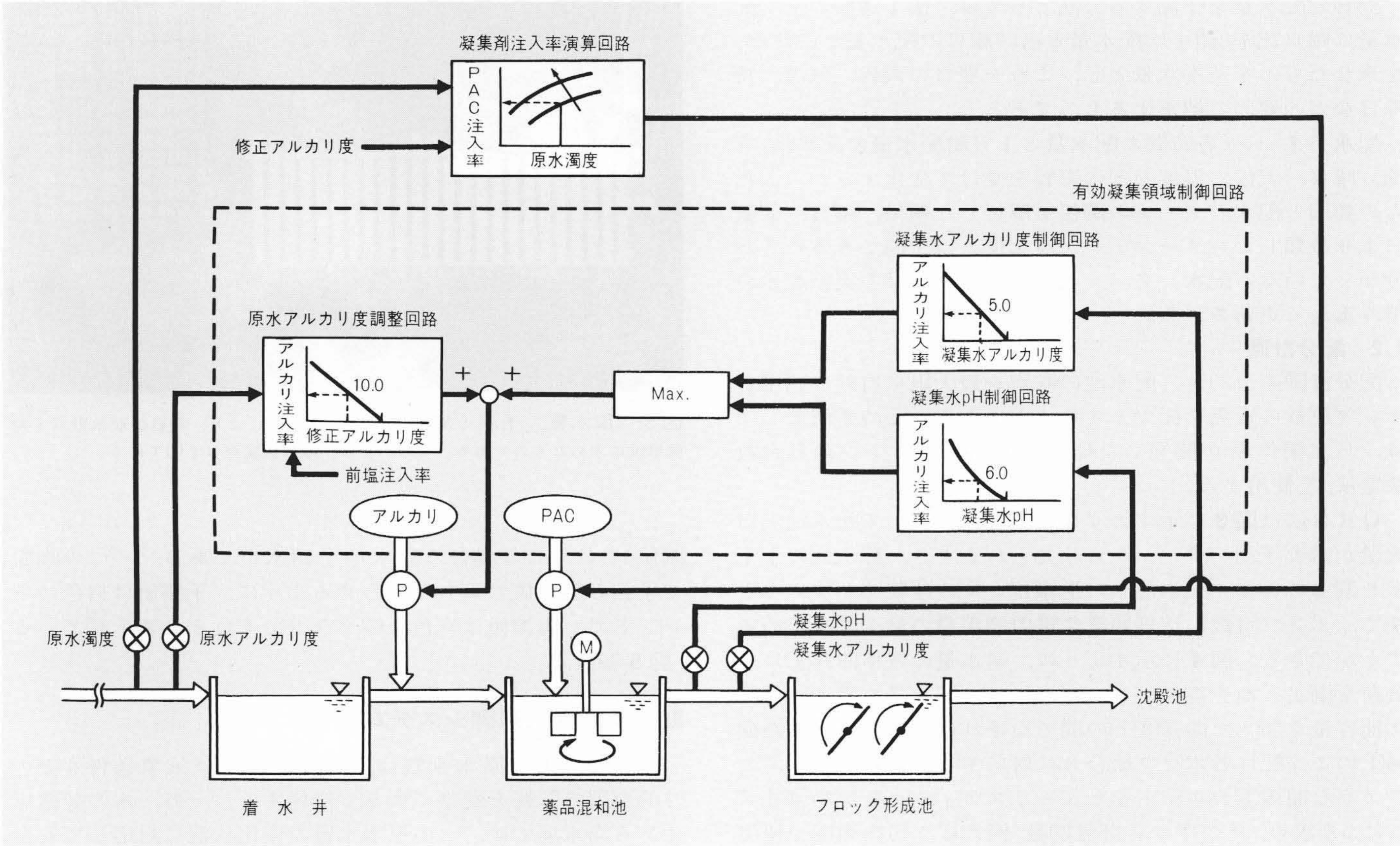


図7 3次元水質補整・薬品注入制御方式
原水アルカリ度、凝集水アルカリ度及び凝集水pHの三つを指標として、有効凝集領域内に水質を維持して凝集剤を注入する。

凝集剤が凝集機能を発揮しやすい水質領域，すなわち有効凝集領域内に維持すれば良好な凝集沈殿効果が得られる。

図6に有効凝集領域を示す。有効凝集領域は，前記原水アルカリ度，凝集水アルカリ度及び凝集水pHの三つの水質指標から定まる。したがって，この領域からいずれかの水質因子が外れている場合には，水質環境を整えて有効凝集領域内に移行させた後，凝集剤を注入すれば良好な凝集沈殿効果が得られる。

4.2 3次元水質補整・薬品注入制御方式

図7に有効凝集領域の概念に立脚して構成した3次元水質補整・薬品注入制御方式を示す²⁾。この薬品注入制御方式は，アルカリ剤注入によって有効凝集領域内に水質を維持し，その領域内で凝集剤を注入することを基本としている。

制御方式は，大別して，(1)有効凝集領域制御回路，(2)凝集剤注入率演算回路から構成されている。更に，前記有効凝集領域制御回路は，図7に示すように次の三つの制御回路から構成されている。

- (a) 原水アルカリ度調整回路
- (b) 凝集水アルカリ度制御回路
- (c) 凝集水pH制御回路

この三つの制御回路によって，良好な凝集沈殿効果が得られる有効凝集領域内に水質が維持される。

(1) 有効凝集領域の制御

原水のアルカリ度を指標としたフィードフォワード制御系と凝集水のアルカリ度，凝集水pHを指標としたフィードバック制御系とによって，原水の水質変化に対応してアルカリ注入を制御し，水質を有効凝集領域内に維持する。

(2) 凝集剤注入制御

前記の制御回路により有効凝集領域内に維持されている水に対して，凝集剤注入率演算回路では，原水濁度などの原水水質及び凝集剤が注入される時点での修正アルカリ度(塩素注入によるアルカリ度補償)に対応して凝集剤注入率を演算し，凝集剤を注入する。本方式では，水質変動に追従して注入率に変更され，余裕率を小さくでき，20%程度薬品注入量を減少できる。

図8に有効凝集領域内の水質で形成されたフロックと，同

領域外で形成されたフロックの外観を示す。水質が有効凝集領域内に維持されている場合(a)は，沈降性の良い大きなフロックが形成される。水質が有効凝集領域から外れている場合(b)では，凝集機能が良好に遂行されず，沈降性の悪い小さなフロックが形成されることが分かる。

4.3 凝集沈殿効果の監視システム

一般に凝集剤注入後での凝集沈殿効果の監視は，沈殿水濁度の測定結果に基づいて行なわれている。しかし，浄水場の処理プロセスの特質上，数時間の滞留時間分の遅れがあるため，監視結果を薬品注入制御に即応させることが困難である。

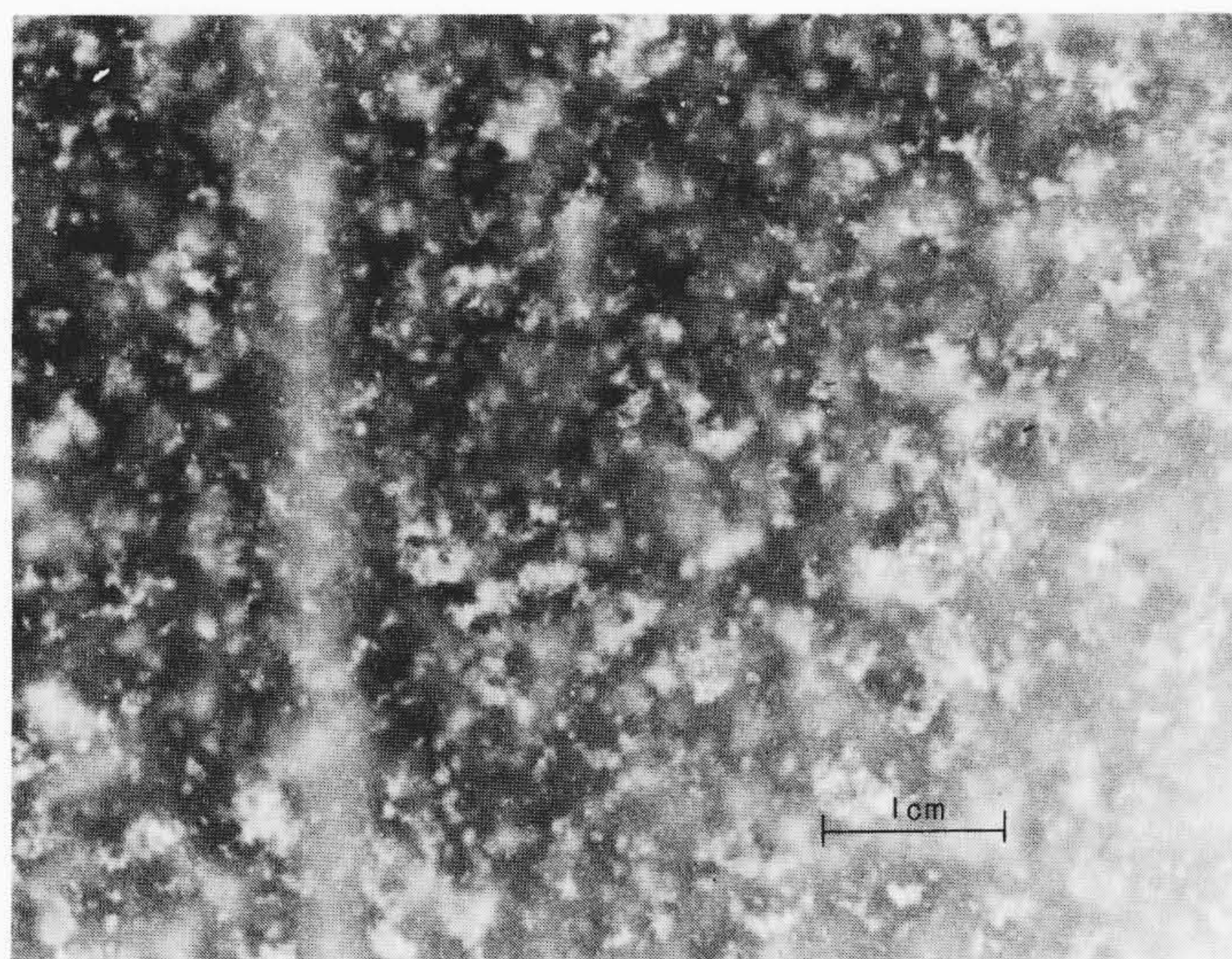
図9に凝集沈殿効果の監視システムを示す。本監視システムは，フロックセンサ³⁾を監視システムに組み入れることによって，凝集沈殿効果の早期検出を目指したもので，即応性を備えた監視システムとなっている。フロックセンサは，凝集剤注入後での凝集水滞留時の損失水頭上昇速度と，その変化状況を検出するものである。図10に，フロックセンサによる凝集沈殿効果の検出結果の一例を示す。凝集効果の良否によって損失水頭上昇速度が変化し，速度が遅くなると沈殿水濁度は高くなる。フロックセンサを用いれば，凝集沈殿効果の良否を早期に検出することができ，即応性のある監視システムとなる。

5 保全システム

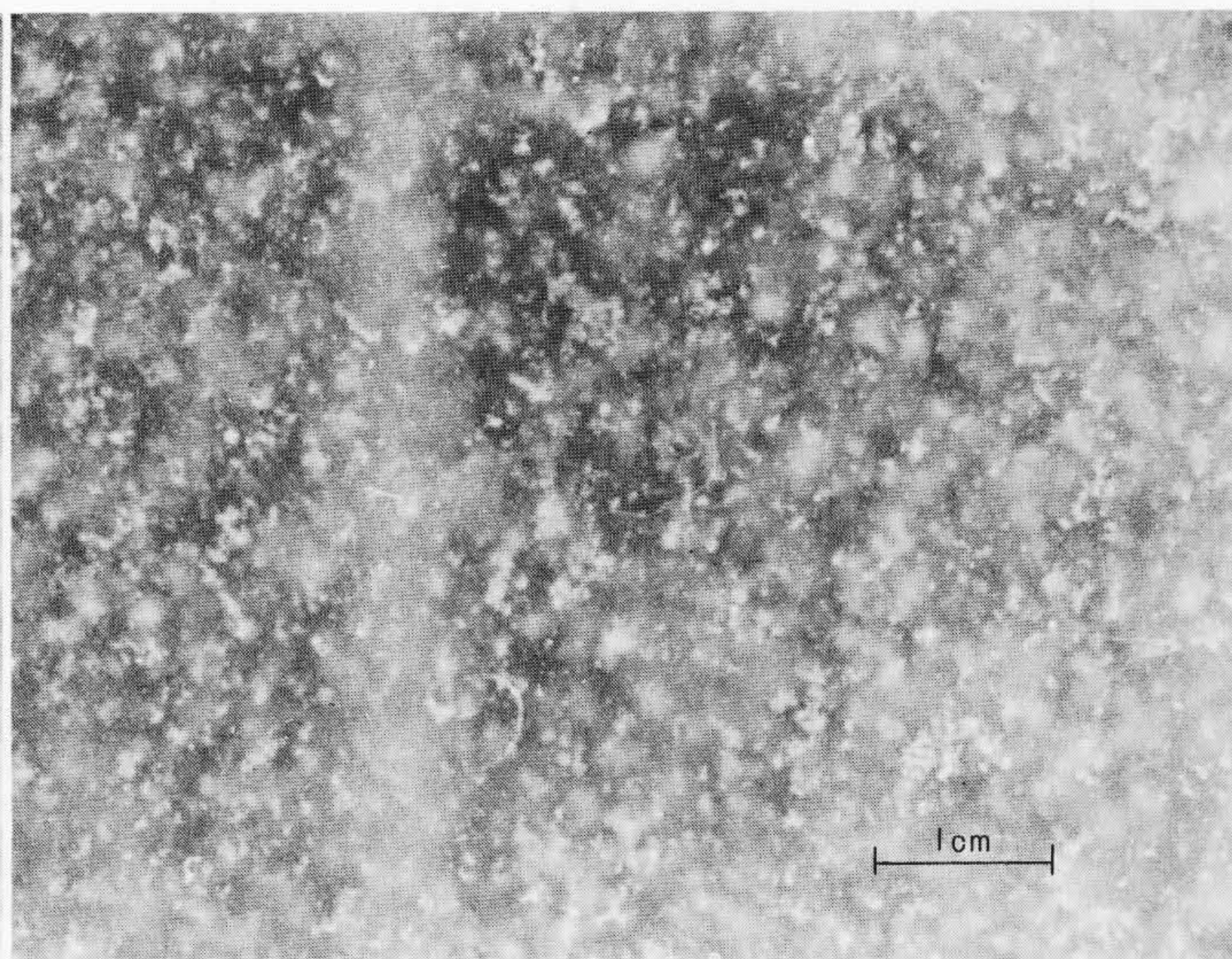
浄水場を維持管理する人に対し，計算機は何を行なうことができるか。従来の計算機システムは監視制御が主体であったが，今後は保全及び事務処理まで含めた浄水場管理システムとしてとらえる必要がある。ここでは保全システムについて概要を説明する。

(1) 在庫管理

浄水場で保全にかかわる在庫品といえば，電機，機械の予備品のたぐいである。従来の台帳による管理をCRT化し，ノートに記述するように自由に部品の登録，削除や入出庫数の記帳が行なえるようにする。そして部署間で部品を検索しあい，融通を図るとともに，使用量と購入量の統計表を作成し，保全管理の一助とする。



(a)



(b)

図8 フロックの外観 有効凝集領域内であると，沈降性の良い粒径大のフロック(a)となる。領域を外れるとフロックの粒径は小さくなり，沈降性が悪化する(b)。

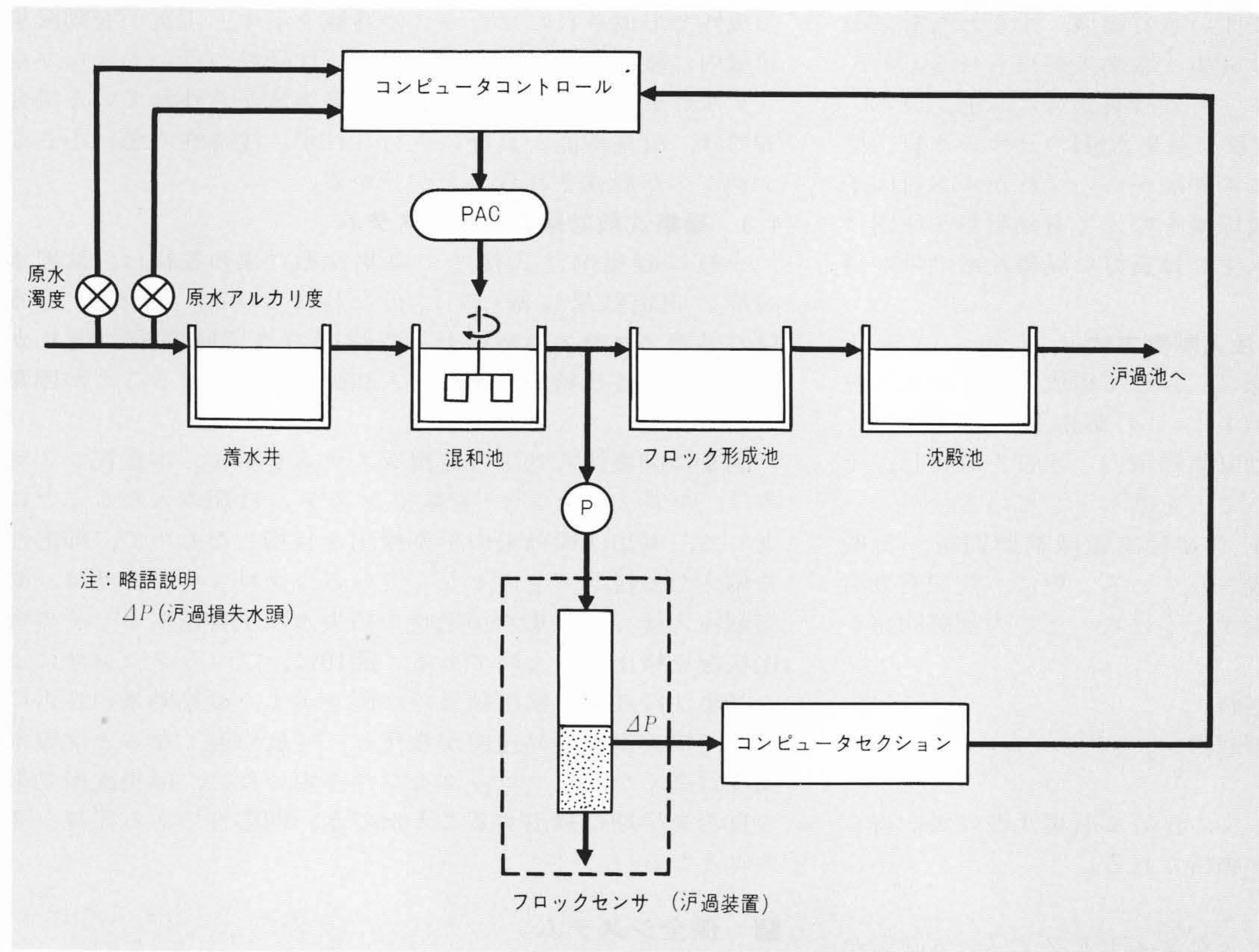
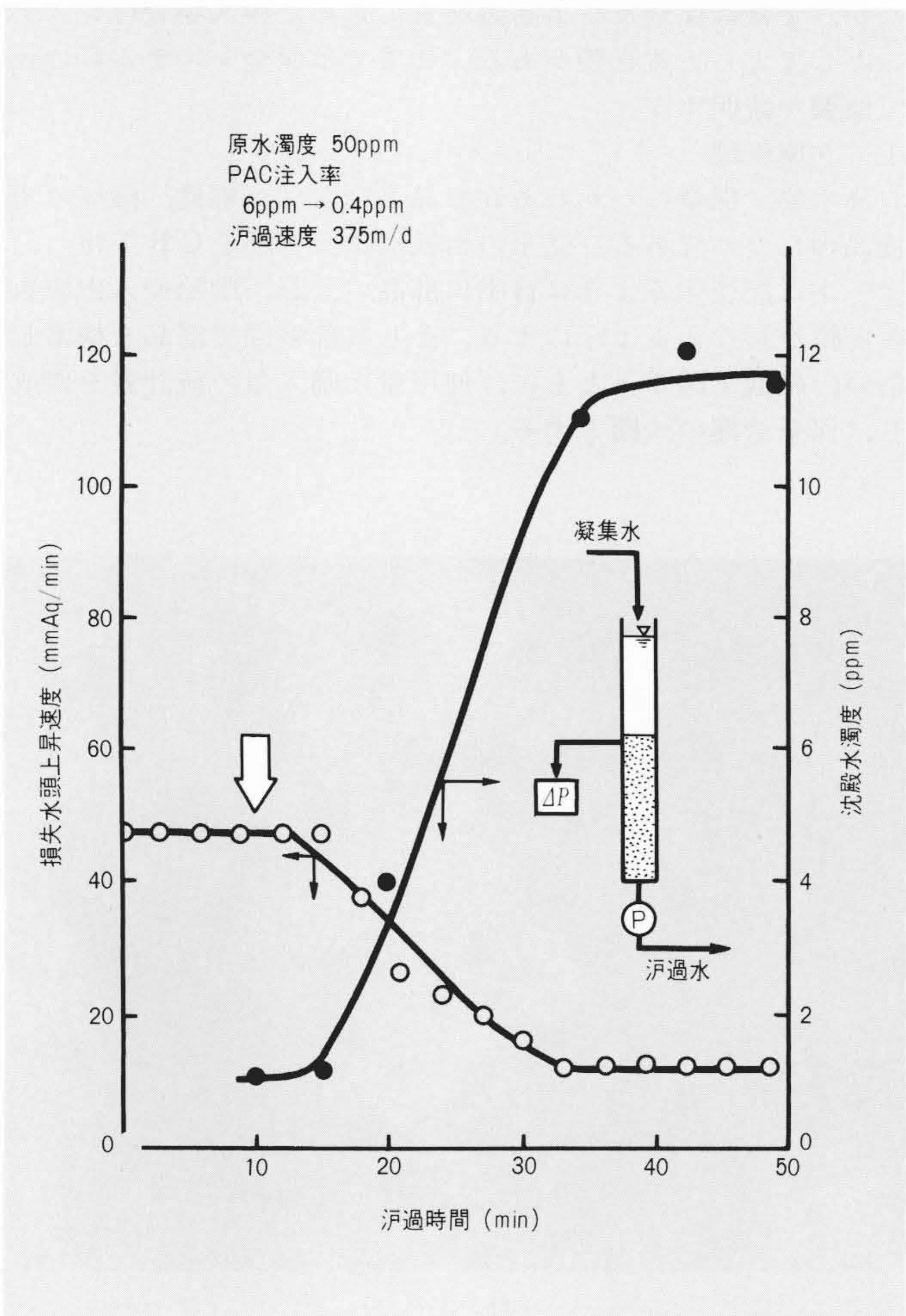


図9 凝集沈殿効果の監視システム フロックセンサ及びコンピュータコントロールセクションから構成される。



(2) 故障処置ガイダンス

故障は非日常的、まれなものであるもので、間違わないようにオペレータや保全員に対応策をCRTにガイダンス表示する。数千点に上る故障信号すべてにガイダンス表示することは不可能なのでレベル分けを行ない、上位のものだけを対象とする。レベル分けの方法は、重要度を一つの尺度で数値化し、かつ数値化に当たって、あいまい性を加味したデータ処理を行なう。

(3) 予防保全

接触子の交換スケジュールをCRT表示させたり、変圧器の窒素ガスを常時監視し、基準値を超えると警報を出す予知保全を行なう。また、事故記録や保全記録をマークシートに書き、これを計算機に読み取らせ、長期にわたる統計管理を行なう。10年のオーダでは、装置の改造やリプレイスも発生するが、このとき、事故・保全統計データは大いに役立つであろう。

6 結 言

以上、浄水場制御システムの構成と制御ソフトウェアについて紹介したが、浄水場のより良い制御を行なうには、制御、管理すべき対象そのものを、より深く理解、解明することが不可欠である。

今後もこの思想を基に、あらゆる機会をとらえ、浄水場制御技術の向上を推進していく考えである。

参考文献

- 1) 芳賀，外：有効凝集領域概念に基づく3次元水質補整制御方式，第30回全国水道研究発表会講演集，545～547（1979）
- 2) 三好，外：浄水場の制御，日立評論，59，637～642（昭52-8）
- 3) 梅原，外：ろ過筒による凝集効果の早期検出法，第31回全国水道研究発表会講演集，364～366（1980）