

浄水場の制御

Control Systems for Purification Plant

近年、上水道がより広域化・大規模化する中で、その最重要施設である浄水場をより安全かつ安定に、しかも効率よく運転管理する技術の導入が強く要望されている。これに応ずるため、プロセスを解明・分析し、エレクトロニクス技術とソフトウェア技術とを有機的に結合し、浄水場の運用に貢献度の高い水量バランス制御、薬品注入制御などを開発し実用化の段階に入ったので、これらの新技術について紹介する。

場内流量バランス制御は、取水、浄水プロセスを時間的に平滑化を保持しながら、かつ需要変動に問題なく応ずるための取水から配水に至る流量・水位の均衡、バランスを自動的に実行する技術である。薬品注入制御は、凝集メカニズムとジャーテストの手法を対応性よく制御ブロックに置き換え、水質管理者、運転者と制御システムの対話性及び実用性を可能とした方式で、凝集環境を整え凝集剤を注入する制御法で低濁度から高濁度まで同一回路で実行できるシステムである。

本稿では、上述の技術のほかにポンプシステムの制御、及びCRTの進歩した応用技術などについても記述する。

三好 隆* *Miyoshi Takashi*
 森 俊二** *Mori Shunji*
 山中邦夫** *Yamanaka Kunio*
 池口 隆*** *Ikeguchi Takashi*

1 緒 言

浄水場の運転・管理での基本技術は、水量の管理・運搬を行なう水量制御、及び原水を安全かつ安定した水質に変換する水質制御、並びに高い信頼性を維持し浄水場を運営するためのマンマシンコミュニケーション技術に大別できよう。近年、これらの技術をより向上させるため、浄水場プロセス、プラントの運用技法とともに浄化メカニズムなどを把握・解析し、これを実用性の高い制御化へ発展させる技術が急速に進められている。そして、計算機を中心とするエレクトロニクス、ソフトウェア技術の飛躍との有機的結合を図りながらこの制御化を実行することで、浄水場制御の面で、進歩した制御技術を実用化できる段階に至った。

以下にこの代表的技術として、水量制御に関しては場内流量バランス制御、及びポンプシステムの自動制御を、水質制御に関しては薬品注入制御を、また、マンマシンコミュニケーション技術についてはCathode Ray Tube(以下、CRTと略す)を活用した監視操作技術を取りあげ、これらの技術的内容、性能、特長などを中心に述べる。

2 場内流量バランス制御

場内流量制御を計算機制御化して満足のいく制御結果を得るためには、取水量制御、汙過流量制御、ポンプ井水位一定制御及び配水池水位制御といった各々の流量水位制御ループを計算機で置き換え、SPC(Set Point Control)又はDDC(Direct Digital Control)制御方式にするだけでは不十分であり、運転者の運転ルールをアルゴリズム化、抽象化して制御プログラムとする必要がある。このたび、計算機主体の自動運転方式を導入し、場内流量バランス制御を実現したので次に紹介する¹⁾。

場内流量バランス制御は、その基本的機能として次の3本の柱から成り立っている。すなわち、

(1) 短い時間幅での個別の流量制御系の変動をいかに場内で

吸収できるか、その結果として浄水場の安定な運転制御を行なう機能

(2) 1日の中で、場内全体としての水の収支が過不足なく需要の変化に応じてバランスを保てるか、現状の配水池水位のトレンドがどう変化していくかを総合的に判断して、これを取水にどう反映するかを決定する機能

(3) 場内の流量バランスが許容できる範囲を超えたとき、的確に時間遅れを少なく操作員に異常を伝達し、早期に安定を回復できる処置をとることのできる警報を発するマンマシン・コミュニケーション機能

このうち(3)は、場内流量バランスの制御での監視機能ということもできる。

次に、場内流量バランス制御の手法について具体的に述べる。

図1に流量バランス制御の構成を示す。浄水場は機能的に、原水工程、処理水工程及び配水工程の3工程に分けて流量のバランスを考えることができる。これらの工程は、各々流入量、流出量で結合されるユニットプロセスとしてとらえることができる。しかし、各工程の中に貯水量を持つため、流入量は前工程の流出量と必ずしも等しいプロセスとはならない。すなわち、原水工程では、

$$\text{流入量} = \text{流出量}$$

であり、処理水工程、配水工程では次のようになる。

$$\text{流入量} < \text{流出量}$$

したがって、場内流量バランス制御では各工程の流出量と流入量の差をいかに工程内、あるいは工程間で融通するかが制御のポイントとなる。以上をベースとして、具体的には次のような階層構成を持つ制御ロジックとして、個別制御ループの上位に場内流量バランス制御を位置づけて、流量の融通制御を行なうこととしている。

図1に示すように制御レベルを三つのレベルに階層化し、カスケードに接続している。第1レベルは、着水池水位一定

* 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

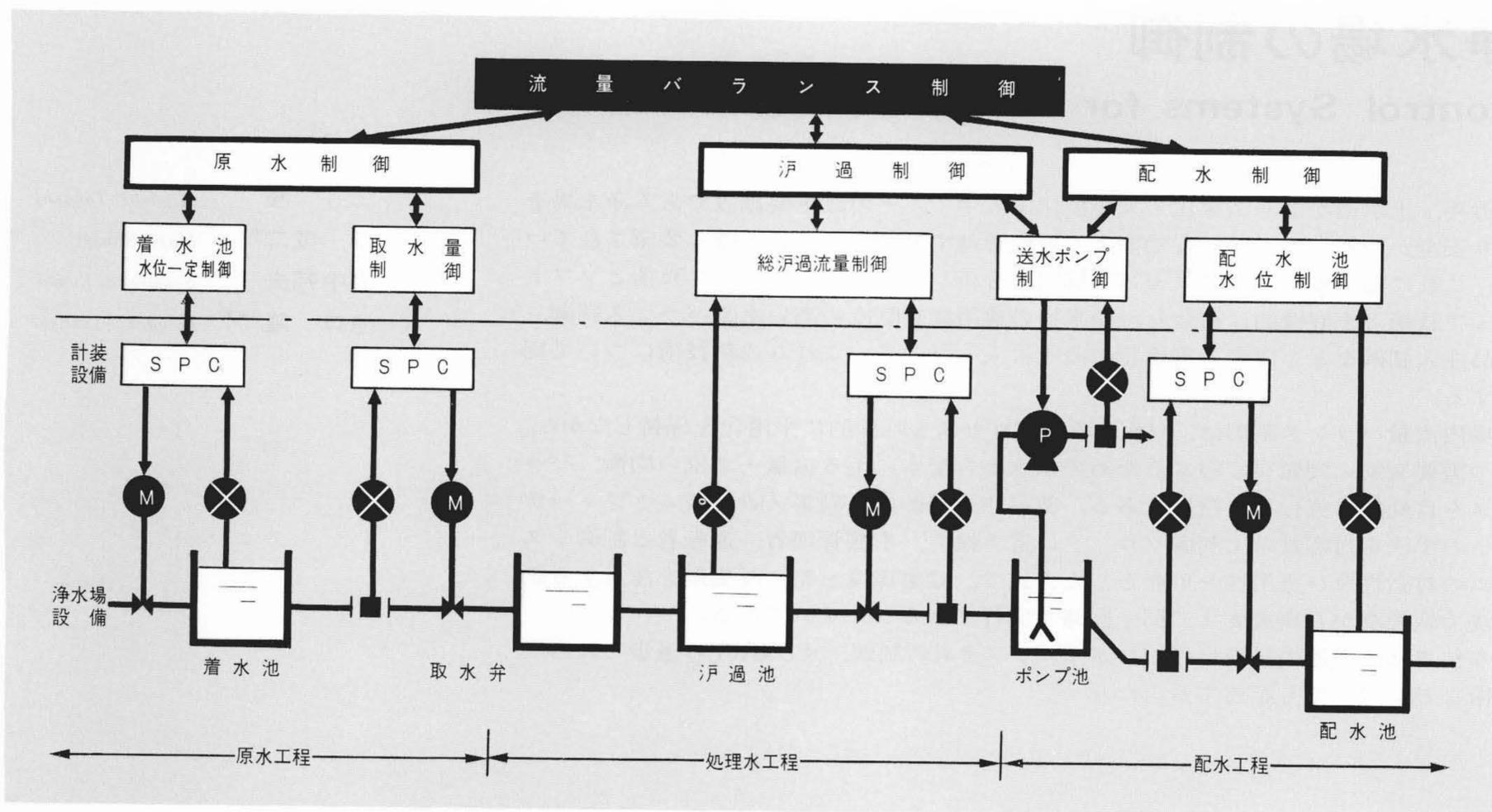


図1 流量バランス制御の構成 本制御システムは流量バランス制御を上位とし、浄水工程に従った原水、汙過及び配水の3制御ループと下位の各マイナ制御ループより構成される。

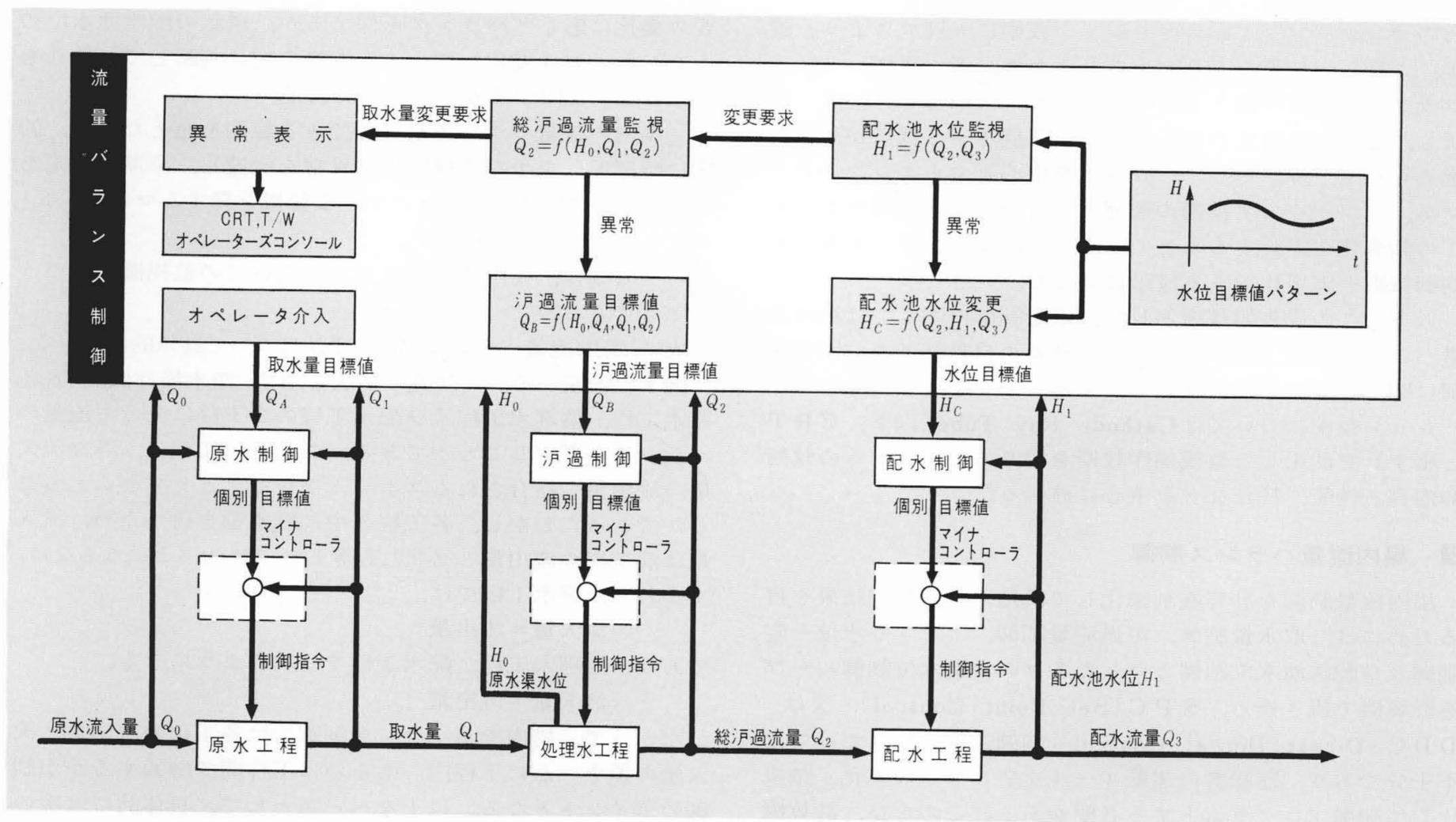


図2 流量バランス制御方式 流量バランスは、3ユニット内とユニット間の関係制御により実行される。

制御から配水池水位制御まで、各制御対象に対応したマイナコントローラの機能を持たせてある。第2レベルは、浄水場流量制御を三つのブロックに分割して、各責任ブロックの水の収支を管理する、原水制御、汙過制御及び配水制御であり、最上位レベルに全体の水量収支を管理し制御指示を行なう流

量バランス制御の機能を持たせてある。

図2に従って流量バランス制御を説明すると、流量バランス制御は、配水工程、処理水工程及び原水工程の順序で各ブロックの水収支を管理し、全体水量のバランスをとる。配水工程に対し、総汙過流量(Q_2)及び配水量(Q_3)より現在の配

水池水位(H_1)の合理性を判断する。異常と判断した場合、配水工程内部の水収支を変更するだけで異常状態が解消できる場合は、 Q_2 、 Q_3 及び H_1 より新しい時間帯の水位目標値(H_c)を配水制御に指示し、配水工程内部で収束できない場合、処理水工程に対し総汙過流量の変更要求を出す。

処理水工程に対しては、配水工程からの総汙過流量変更要求と、現在目標値の合理性をチェックし、目標値変更の必要性を判断する。また総汙過流量(Q_2)、取水量(Q_1)及び原水渠水位(H_0)に対しては、不必要な制御動作を起こさないようにしている。すなわち、 H_0 に対して目標値を定めそれに対する不感帯 α を設け、実入力に対し長期的なトレンドを調べ、 Q_0 及び Q_1 に対してその差分 ΔQ を計算し、原水渠水位、取水量及び汙過量の状況からどのタイミングで汙過量の変更を行なうかを判断するアルゴリズムとしている。この機能により、極力取水量変更を行わず、浄水場全体の水の収支バランスをとることを可能としてある。

この流量バランス制御の実現により、取水変更を最小限に抑えた制御、不必要に弁、ポンプの制御変更をしない制御、異常の予防制御、及び全体の流量バランスのための時間遅れを考慮した取水量制御を実現することができる。その結果、浄水場の安定な運転により、需要の変化に耐え、水の供給を行なっている。

3 ポンプシステムの自動制御

ポンプを制御する目標値としては、その用途に応じ末端圧力、吐出圧力、流量、水位などとする事が多い。ポンプは一般には電動機で駆動されることが多く、我が国では誘導電動機(IM)が最も多く使われている。

速度制御には各種の方式が採用されるが、低容量機には二次抵抗制御、あるいは二次抵抗チョッパ方式が、100kWを超える容量では省エネルギーの面でサイリスタモータ、サイリスタセルビウス、サイリスタクレーマなどが採用される。セ

ルビウスを採用する場合、浄水設備用としては瞬時停電対策付きであることが望まれる。

ポンプシステムの自動制御としては、前述のように種々の目的があるが、従来これらは、例えば一人制御リレーシーケンス、台数決定用アナログ警報計、アナログPID調節計などを使用して実現していた。しかし、これらのものはワイアードロジックのため機能が固定されており、改造及び増設の多いポンプ設備には適しておらず、また複雑な制御には非常に大形な制御装置となる欠点があった。最近ではこれらを解決するものとして、制御用計算機、あるいはマイクロコントローラが用いられる傾向にあり、その制御内容も急速に高度化が図られている²⁾。

次にマイクロコントローラによるポンプ自動制御装置の例として、HIDIC 08Sによるポンプ自動制御装置について述べる。

HIDIC 08Sは16ビットのワンチップコンピュータであり、シーケンスモード(Sモード)、コンピュータモード(Cモード)の両機能を持つコンピュータシーケンサであり、浄水場をはじめ一般工業制御へ数多くの実績を持っているマイクロコントローラである。このマイクロコントローラによるポンプ自動制御装置のブロック図を図3に示す。この制御装置により次に述べる制御を実行している。

- (1) 配水量と圧力補正によるポンプ台数制御
- (2) 簡易形ポンプ経済運転の実施
- (3) ポンプ故障時の予備機への自動切替
- (4) プロセス量異常時の制御ロック

図4にその制御結果を示す。図3で示したように、ポンプが X_1^{kW} 、 X_2^{kW} 、 X_3^{kW} など大小多くの組合せがある場合は、その切替回数を減らすとともに切替時の圧力、流量などの過渡変動を少なくすることが重要であり、更に最適な組合せのポンプを選択することにより経済運転も可能となる。図4の結果はその一例を示しており、HIDIC 08Sによりきめ細かい制御を実行することにより過渡圧力変動を 0.5kg/cm^2 以内に収

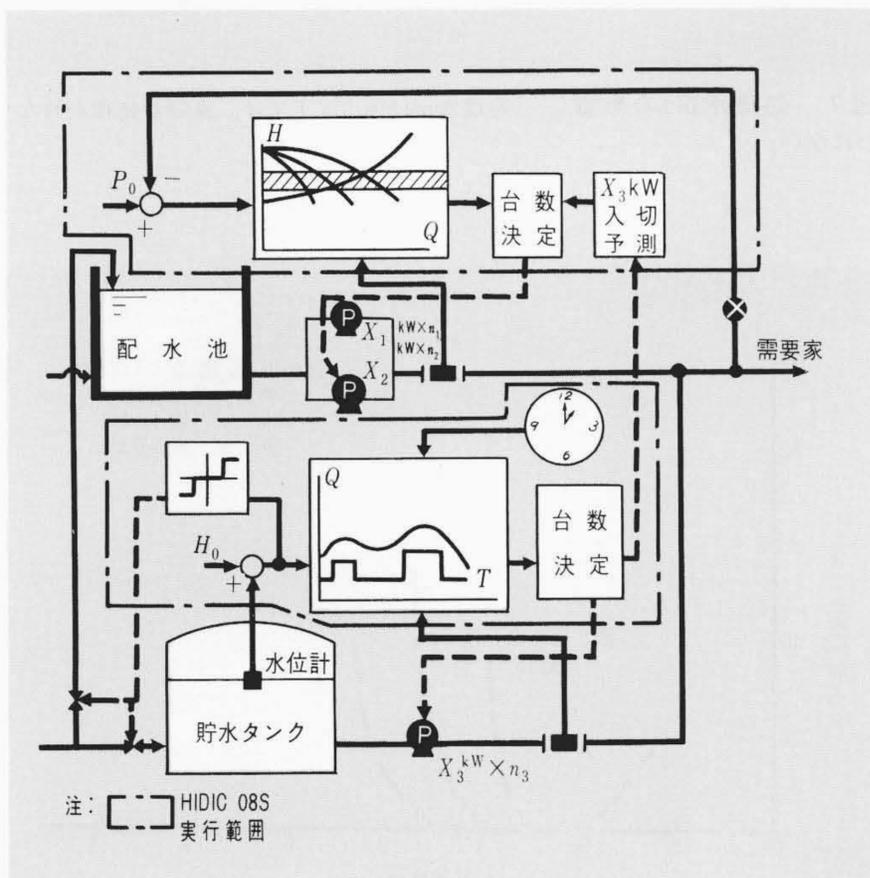


図3 HIDIC 08Sによるポンプ自動制御ブロック図 マイクロコントローラHIDIC 08Sにより、従来工業計器及びリレーでは実現不可能なポンプ自動制御が可能となった。

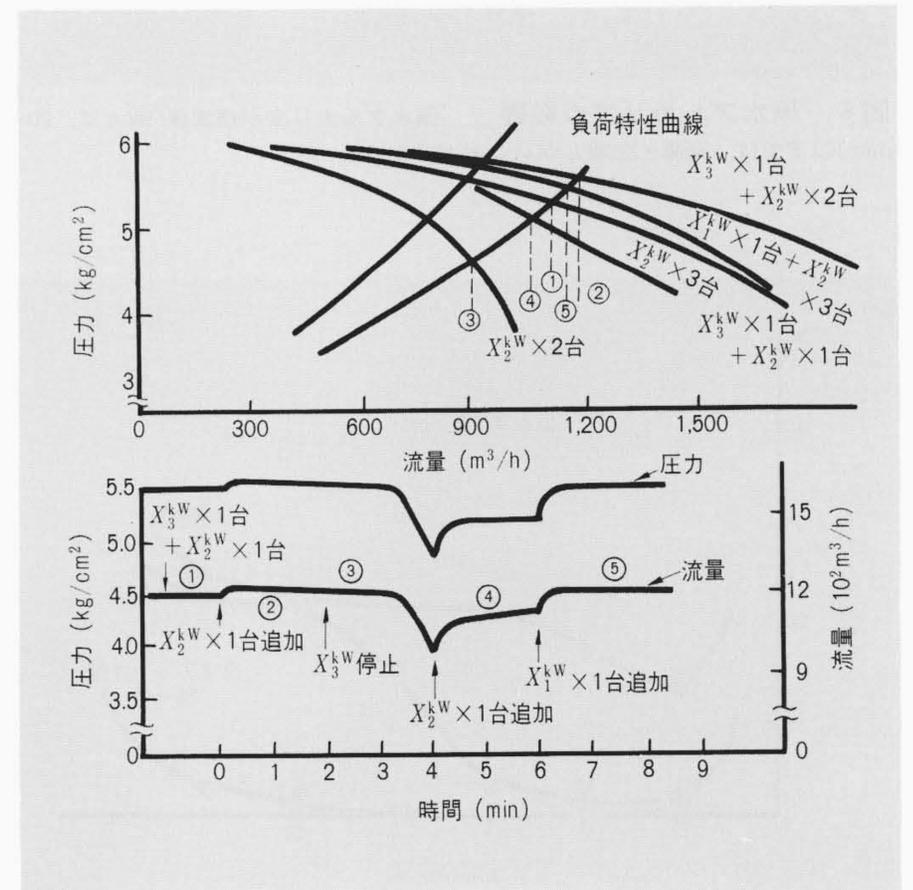


図4 マイクロコントローラHIDIC 08Sによるポンプ自動制御結果 HIDIC 08Sによりきめ細かい制御を実施し、従来のアナログ形と比較し、圧力変動幅で $\pm 0.5\text{kg/cm}^2$ に、運転電力で約10%の低減が可能となる。

めて、従来のアナログ形の場合の約 $\frac{1}{2}$ に低減している。また1日の所要電力量(kWh)でもアナログ形に比較し約10%低減効果の見通しを得ている。このように、マイクロコントローラを導入し前述したように拡張性、コンパクト化を実現するとともに、アナログ形でも実現不可能なきめの細かい制御を実行することによりポンプ運転の最適化が可能である。

4 薬品注入制御

(1) 凝集沈殿プロセス

浄水場では、河川などより取水した原水中に分散あるいは浮遊している粒子を除去、殺菌し飲料水としている。自然沈降法で除去できるのは、直径 $10\mu\text{m}$ 以上の粒子であり、それ以下の直径の粒子に対しては硫酸バンド、PAC(ポリ塩化アルミニウム)などの凝集剤を加えてフロックを形成させ、沈殿除去している³⁾。このように、コロイド次元の粒子が互いに凝集してフロックを形成し、それが分散媒である水と分離して沈降する過程を凝集沈殿プロセスと呼んでいる。

この凝集沈殿プロセスでは、様々な要因が有機的に関連し影響を及ぼしているが、中でも大きな影響を与えているのは

原水濁度、アルカリ度、pH、凝集剤などの薬品注入率である。

本章では凝集沈殿プロセスに及ぼす上記要因の影響を明らかにし、凝集沈殿メカニズムに合致した薬品注入制御アルゴリズムを紹介する。

(2) 実験

原水濁度20ないし2,000ppm、原水アルカリ度5ないし80ppmと広範囲内で調整した原水を用いて、ビーカ実験(ジャーテスト)を行なった。結果の一例を図5~8に示す。

なお、原水として蒸留水と河川水、及び凝集剤として硫酸バンドとPACを用いて比較した。

(3) 薬品注入制御

ジャーテストより得られたデータを凝集沈殿メカニズムに沿って整理し、薬品注入制御アルゴリズムを構成した⁴⁾(図9)。

このアルゴリズムは、アルカリ度増強回路、凝集剤注入率演算回路及びpH制御回路より成り立っている。

(a) アルカリ度増強回路

塩素注入に伴う原水アルカリ度減少分を補正し、修正アルカリ度を求める。低濁度時には、この修正アルカリ度を20ppm程度(硫酸バンド使用時)又は5ppm程度(PAC使用

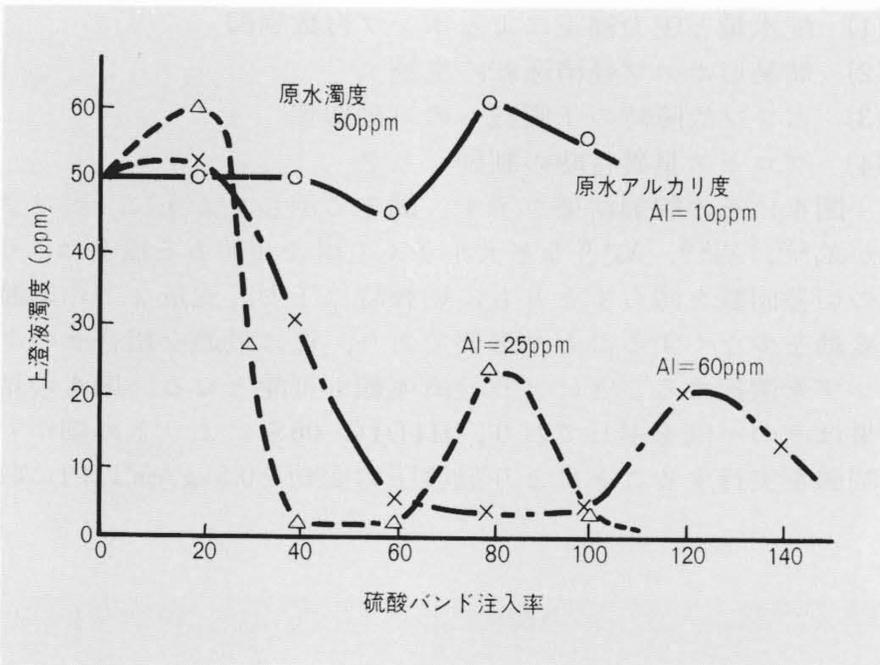


図5 原水アルカリ度の影響 原水アルカリ度が規定値(例えば、20ppm)以下では、凝集・沈殿しないことが分かる。

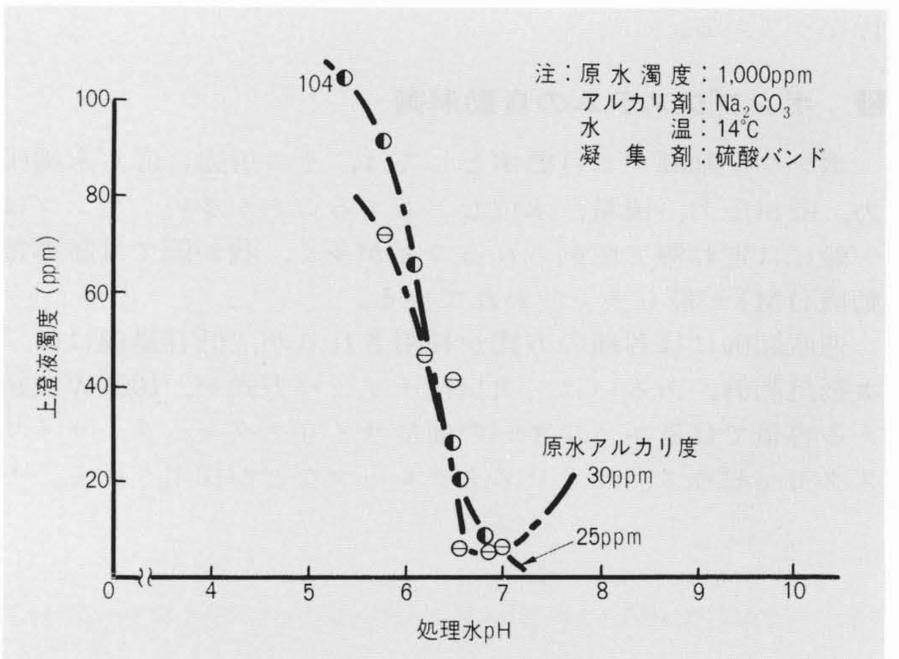


図7 処理水pHの影響 処理水pHが6.5以下では、良好な処理が行なわれない。

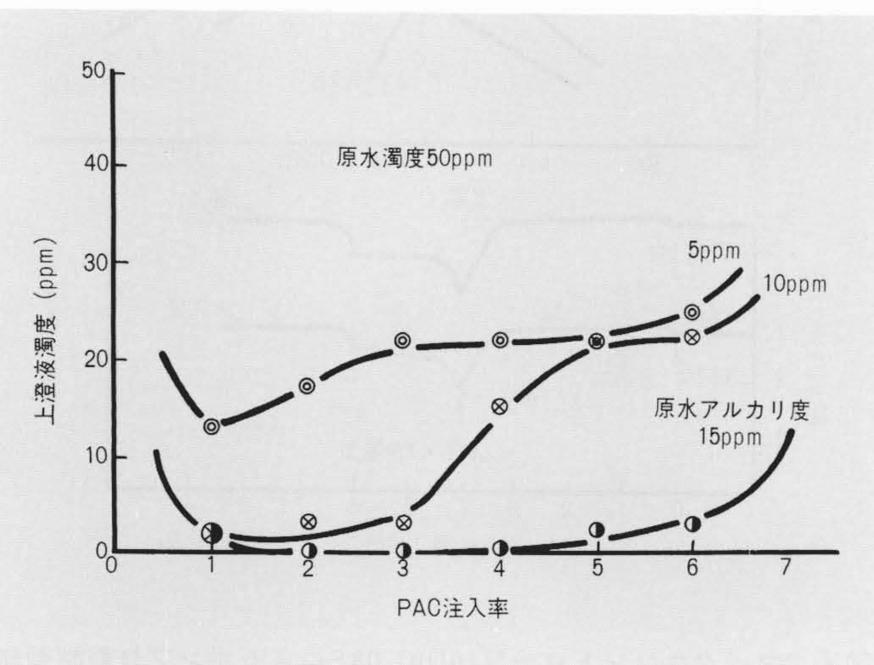


図6 原水アルカリ度の影響 PACの場合にも、原水アルカリ度が規定値(5ppm)以下の場合、凝集・沈殿現象が見られない。

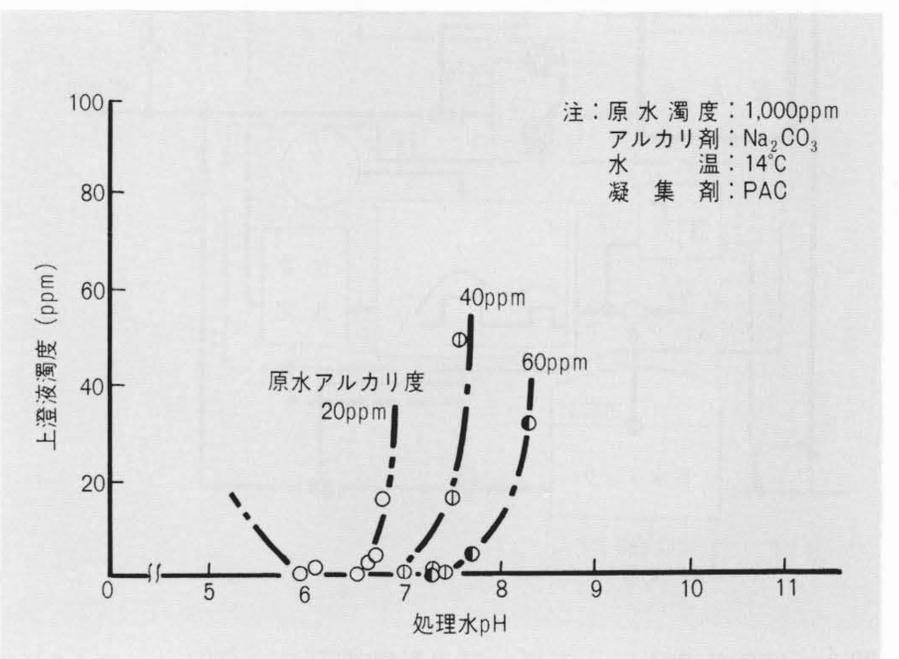


図8 処理水pHの影響 原水アルカリ度により異なるが処理水pHを少なくとも6.5以上に保てば、良好な処理が行なわれる。

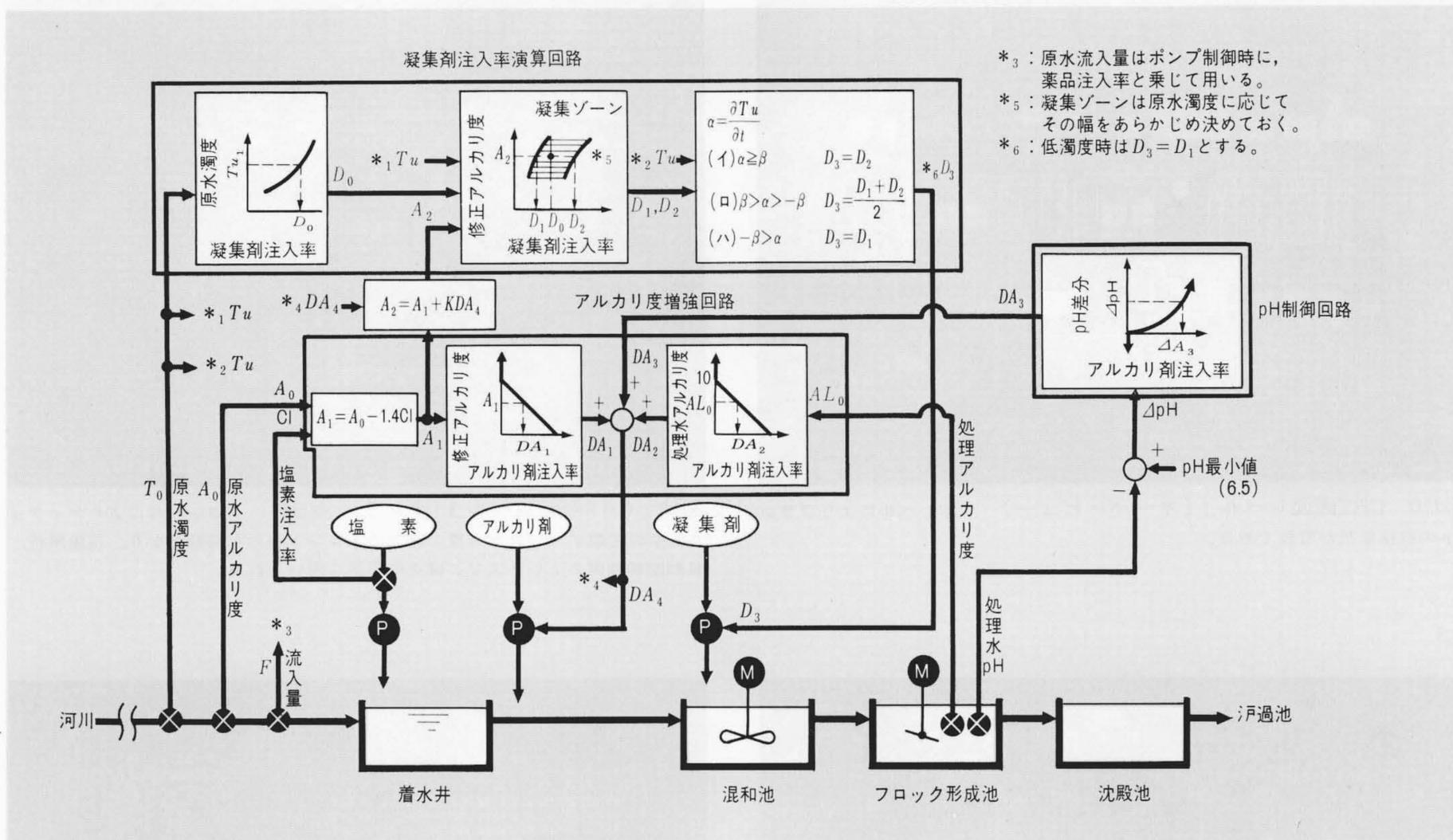


図9 薬品注入制御アルゴリズムの構成 凝集沈殿メカニズムに沿って機能を分割した構成にした。

時)以上に保ち、凝集剤が凝集機能を発揮しやすい環境を整える。高濁度時には、修正アルカリ度の最少値を更に高い値に保ち、広い凝集ゾーンを形成しやすい水質にする。最後にアルカリが適正量注入されているかを監視するため、処理水アルカリ度を10ppm以上に保つ。

(b) 凝集剤注入率演算回路

原水濁度に比例して注入率を求め、原水アルカリ度でその値を補正する。高濁度時には凝集ゾーンを設け、原水濁度が急激に増加している場合には凝集ゾーン内で凝集剤を多めに注入し、逆に急激に減少している場合には少なめに注入する。

(c) pH制御回路

フロック形成池でのpHを測定し、約6.5以上に保つ。

以上述べた制御アルゴリズムは、凝集沈殿プロセスを支配するアルカリ度、pHなどの条件を整えた後、凝集剤を注入するようにしてある。

このアルゴリズムを適用すれば次のような特徴が生かされる。

- (i) 凝集メカニズム及びジャーテストを基にして構成され、かつ機能ごとにブロック分割された制御方式であるため、低濁度から高濁度まで同一の制御回路が運用できる。
- (ii) 水質テスト、すなわちジャーテストに直結した制御回路で構成されているので、オペレータが理解しやすく、また凝集メカニズムに沿って容易に調整できる。
- (iii) 過去に経験の少ない高濁度時でも、河川床の泥を用いたジャーテストからモデル式を確立できる。
- (iv) 低濁度時には経済性を、高濁度時には安定性を重視した運用が行なえる。

今後は、河川水及び河川床の泥を用いて、系統的にジャーテストを行ない、本制御アルゴリズムの妥当性を確認する予定である。

5 監視操作システム

5.1 最近の監視操作システムの動向

監視操作システムは、従来オペレータ(運転負)の運転操作、運転状況の監視、運用異常に対する対応制御などに対するものであったが、最近では運転管理者、調整員、保守員などの業務も容易にできるようなシステム構成になりつつある⁵⁾。この後者に属するものには運転条件の変更(例えば、設備一部休止時などの処置)、監視制御パラメータ設定変更(例えば、制御定数、タイマ変更など)、計算機本体、入出力機器操作、プログラム固定ファイルの修正、システムの保守点検などがある。すなわち、最近の監視操作システムは従来のグラフィックパネル、操作デスクなどに加え計算機を導入しCRT、タイプライタなどを活用して上述の諸機能を実行しており、同時に従来のグラフィック盤、工業計器員数などを縮小化する傾向にある。

5.2 監視制御へのCRTの活用

CRTは、操作面、管理面、解析面など従来のグラフィックパネル機能を置き換えるだけでなく、幅広い応用面を持っており、無限に近く応用が考えられると言っても過言ではない。また、浄水設備関係では数秒~30秒程度と比較的ゆるやかなマンマシン伝達速度でよいものが多くあり、それだけ経済的な計算機システムを構成できる。図10~13に実績例の紹介としてCRT画面を表わす。これらの画面は1台のCRTに順次出すことも可能であり、また3台のCRTに同時に出すことも可能である。図10はレベル1の画面で、いわゆるオーバービューと呼ばれる全体プロセス図である。全体プロセスの状態を一目で分かるように表現している。図11はレベル2に相当し、レベル1のオーバービュー中の1点を選択することにより、その部分が拡大して表現される。また上部にはそのプロセスに関連した各種計測量が現状値を棒グラフ状に、セット

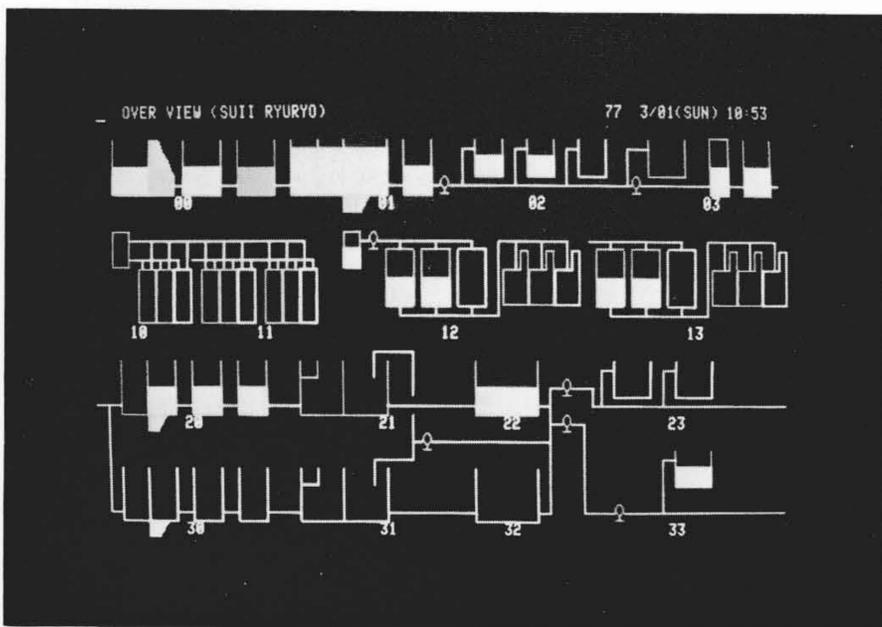


図10 CRT画面レベル1 (オーバービュー) 本レベルによりプラントの統括監視が可能である。

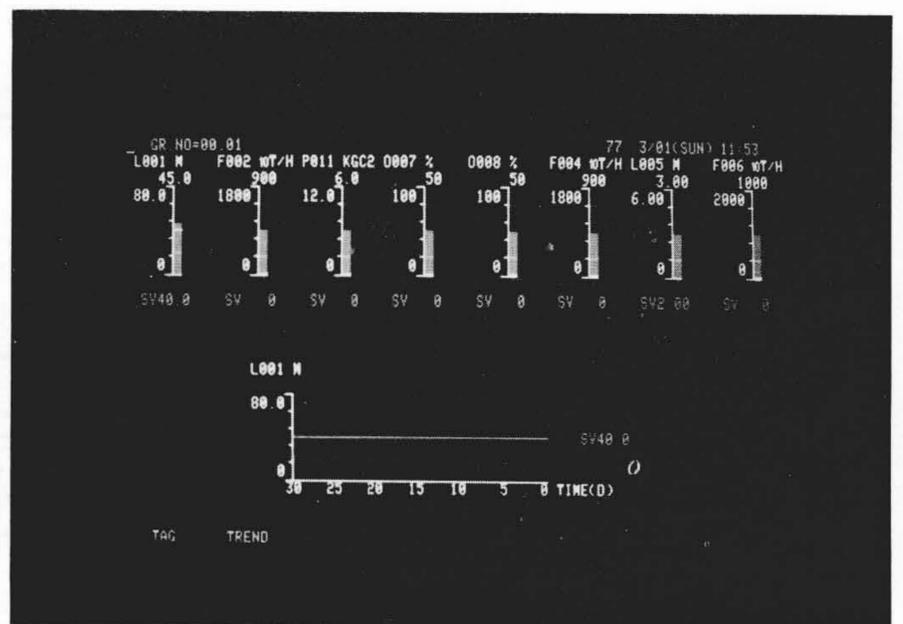


図12 CRT画面レベル3 (ディテイルB) 本レベルによりディテイルA中の任意の1プロセス量の過去のトレンド表示が可能となり、現象解析、自動制御結果のトレースなど種々の用途に用いられる。

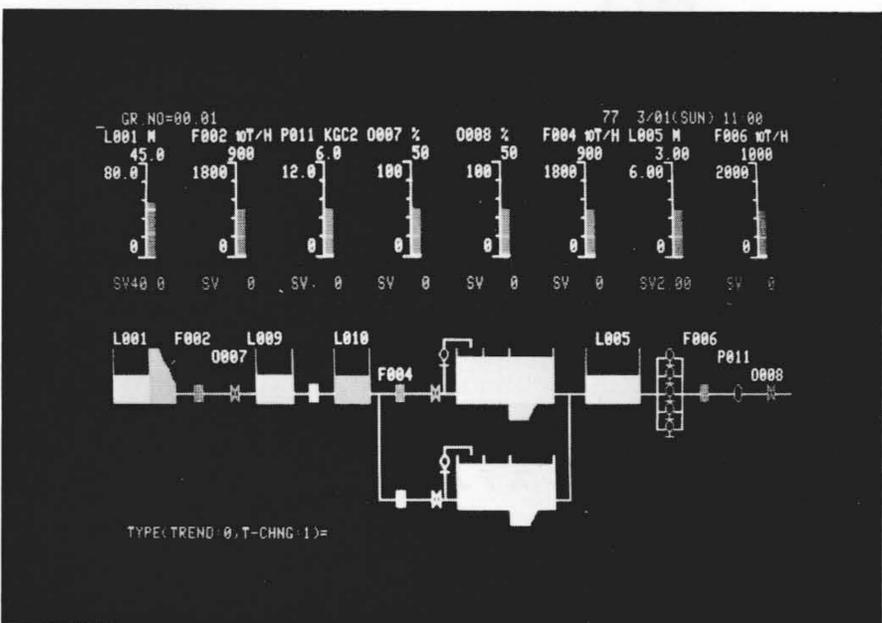


図11 CRT画面レベル2 (ディテイルA) 本レベルによりオーバービュー中の一部を拡大して監視するとともに、関連プロセス量の現状値を棒グラフ状に、上下限設定値を数字により表現し一目で監視が可能となる。



図13 CRTによる故障アナウンスメント例 CRTにより故障種別を発生時刻、回復時刻とともにアナウンスメントしており、従来の故障表示器による方式よりマンマシン性の良い対話ができる。

値、上限警報値及び下限警報値を数字で表わしている。図12はレベル3に相当し、計測量中の任意の1量をトレンド表示することができる。以上のCRT表示により、従来のランプ、記録計などでは得られない高度なマンマシン性が得られるとともに、大幅に盤面積を縮小することが可能となる。また図13は、故障発生時でのアナウンスメントをCRTにより実施している例である。故障の発生及び回復の時刻を同時に表示しており、従来の故障表示器方式より高度で高集約なマンマシンコミュニケーションを実現できる。

先にも述べたように、CRTの応用は無限に近いと考えられる。今後もユーザーの意見の導入、設備費との評価を通じてCRTによるマンマシンコミュニケーションがよりいっそう向上するものとする。

6 結 言

以上、浄水場の制御について各種の新技术を紹介した。浄水場のより理想的運用を行なうには、なんといっても信頼性、拡張性の高い制御システムとともに、制御・管理すべき対象をより深く理解・解明し、これを制御化することが不可欠で

あろう。今後もこの思想を基とし、これら技術の向上を図るとともに、特に薬品注入制御に関しては、検出端の性能と維持管理手法の改善、及び河川・湖沼など各種原水に対するエンジニアリングを推進していく考えである。

終わりに、特に薬品注入制御につき御指導いただいた大阪府水道部、及び平素から浄水場の制御技術の推進、実現について御指導をいただいている浄水場の関係各位に対し深謝の意を表わす次第である。

参考文献

- 1) 岡本ほか1名：計算機による浄水場水量バランス制御，第28回全国水道研究発表会講演集，254 (1977)
- 2) 仲野ほか1名：浄水送水ポンプ制御への計算機の適用，第28回全国水道研究発表会講演集，210 (1977)
- 3) 浅岡：用水廃水処理技術，凝集と沈澱，p. 22 三共出版(1973)
- 4) 香取ほか3名：高濁度原水に対する薬品注入量の決定法，第28回全国水道研究発表会講演集，478 (1977)
- 5) 山中：浄水場監視制御システムにおけるマンマシンインターフェイスの考察，第28回全国水道研究発表会講演集，245 (1977)