

河川及び上水道における計算機制御システム

Computer Control Systems for Dam and Water Supply

河川に建設されるダム及び堰の制御、灌漑、上水道の制御は、水資源の枯渇化に伴い、広範囲にしかもきめの細かい制御を要求されており、制御用計算機を中心としたシステムによる制御が続々と導入されている。本稿は、利水のための制御システムを紹介し、計算機制御システム計画の立場から、特にダム堰の制御、上水道の制御について概要を述べる。

井原廣一* Ihara Hirokazu
坪井宏文* Tsuboi Hirobumi
小野寺傑* Onodera Takeshi
松尾六郎** Matsuo Rokurô

1 緒言

資源の乏しい我が国で、水資源については幸いに比較的豊富であり、これを湯水のように消費する風習が続き、水の貴重さについての認識は、諸外国に比べて少ないように見受けられる。しかし、産業経済の発展、生活様式の変化などの著しい変化により、水の需要は増大する一方であるにもかかわらず、利用できる水の量は限定されているため、より有効に互いに譲り合って自然の恩恵を受けねばならない状態に立ち至っていることは、関係者のつとに指摘しているところである。

水の貯留、取水、導水施設も複雑大型広域化しており、従来のような単純で部分的な制御方式では、有効な水利用が不可能となり、広く情報を集め、長期的あるいは短期的需要供給の予測を精度高く行ない、より確実で安全に利用者に分配する手段として計算機制御システムが導入されてきた。計算機制御システムは、降雨から海への流出までを全般的に制御するものであるが、現状では種々の制約があり、ダムの制御、堰の制御、上水道の制御のように部分的で手近な設備の制御が中心である。近い将来、系統としての総合的な制御に移っていくものと予想されている。

2 河川及び上水道制御の特色

河川の制御と池の制御とを比較した場合の特徴を挙げると、河川は以下に述べるように特異な制御対象であり、その特質を十分に考慮した制御システム構成を採らねばならない。

制御目的は、ダムあるいは堰の水位を一定にし、必要な水量を得ること、及び下流の洪水を防止することにあり、比較的単純な目的である。ところが水位、流量が変化する要素は、降雨量の大きさと時間的変化、降雨領域、集水面積、土質、集水地域の地形、河川の形状、河床の変化、潮の干満、貯留容量の変化、流下遅れ時間など、自然現象に大きく左右され、直接、間接に計測することは困難で、かつ時間的変化の予想がたてにくいものである。

一般の制御対象では、ひとたび制御モデルを確立すれば、これがほとんど不変で、変数の変化に対応して制御すればよく、また数式として表わすことができる。

このように河川制御システムでは数式モデル化が難しく、水文学、水理学の分野でも十分解明されていない。比較的正確に測定できるのは水位であるが、これも波浪、動水こう配、不等流、水流エネルギーによるサージングなど、測定点により大きな差が出る場合がある。放流量も直接計測することはできず、水理公式を応用して、水位、ゲート開度から近似的

な計算で算出する。

以上述べたように、制御系としてみた場合、実験的あるいは体験的な要素が多く、いろいろな経験を積み重ねてシステムを作り上げていく必要がある。

水利権については長い歴史があり、これらが複雑に絡み合っており利害関係者も多い。したがって、システム計画はこれらの関係を十分理解してシステム作りを行なうとともに、社会の変化に対応できるようにしておく必要がある。また、河川の異常操作は流域住民や産業に対して不測の災害をもたらすので、この点システムは特に注意を払ったものでなければならない。上水道あるいは農業用水にしても同様に広範囲の影響を与えるので、断水に至らぬようシステム上の防護が必要である。

ダムや堰の建設は、プラント建設と異なり想像以上に長い年月を要する。ところがダムの計算機制御装置は建設の最終段階に設備されるので、制御しやすいように検出端を取り付けたり、ゲートの制御装置を選択したりすることはまず不可能である。また、計算機制御装置の技術進歩は目まぐるしく、たとえダム建設開始時に計算機制御を計画しておいても、実現の段階で運用方法の変更や技術の進歩により改造が発生するので、ハードウェア、ソフトウェアの標準インタフェースを規定し、明確にしておくことが重要である。

計算機制御システムは、一般にシステムの性能をテストするために制御対象を人為的に変化させたり、試験的な生産を行なうのであるが、河川の場合はこのようなテストによる確認はまったく不可能である。例えば洪水の制御をテストしようとしても、またテストのために自由にゲートを開閉することも不可能である。このためテストはシミュレーションで行なっており、シミュレーション技術が信頼性を決めることになる。オペレーションの教育も同様に、訓練シミュレータも必要となろう。

3 河川利水制御対象

河川の上流から河口までの制御の代表例を図1に示す。山岳地帯の降雨量は雨量観測所で一定時間ごとに観測され、また同時に河川の水位も観測され、これらのデータは、無線あるいは有線テレメータでダム管理所に伝えられる。ダムに流入する水量は、これらのデータから推定されるが、一方、ダム地点での水位変化、放流量から逆算することにより推定される場合が多い。ダムの目的は、水をできるだけ多く貯留す

* 日立製作所大みか工場 ** 日立製作所計算制御技術本部

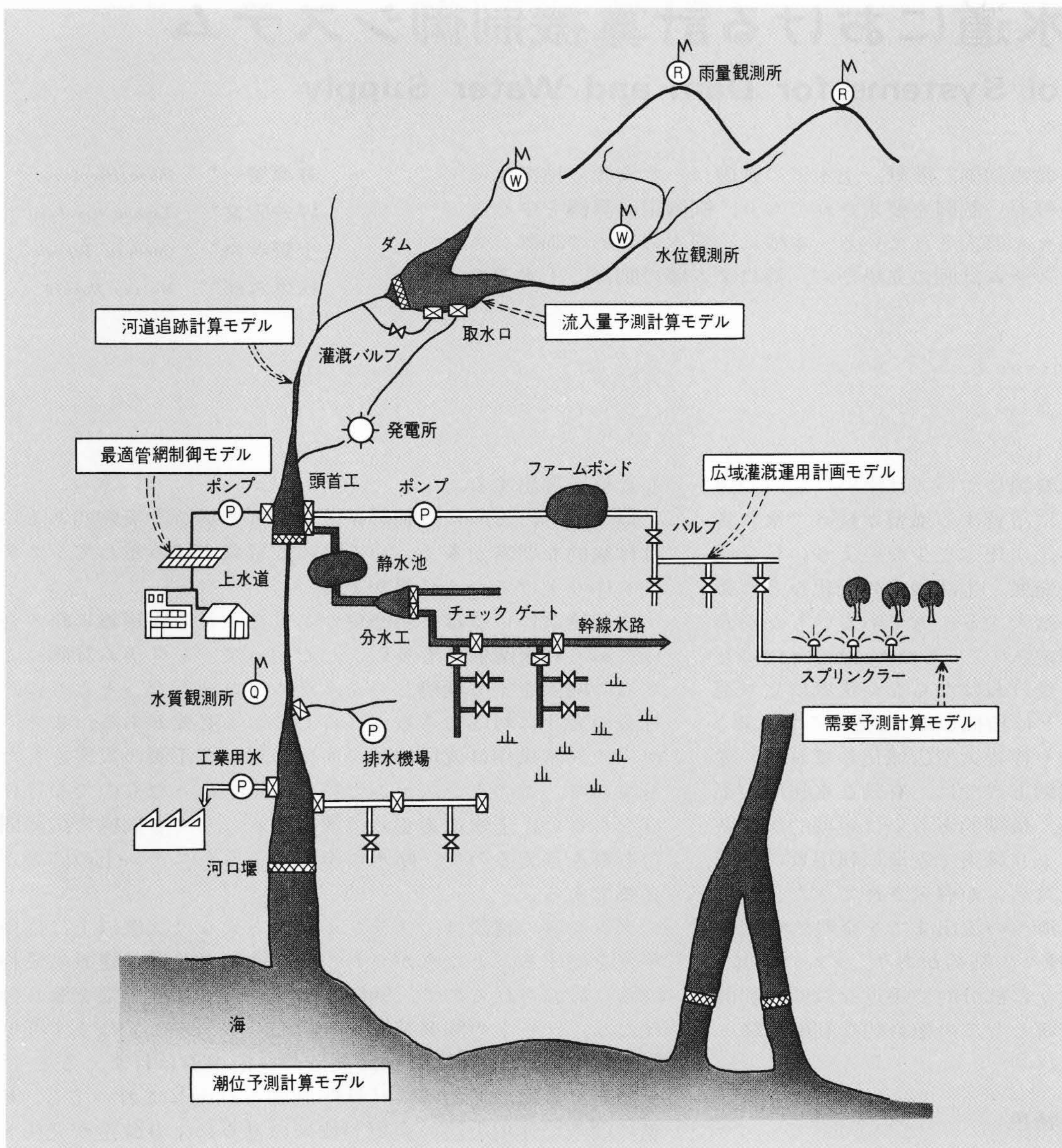


図1 河川利水設備系統
本稿で述べる制御対象と関連する代表的な数式モデルを説明している。

ることにあるが、同時に流量を平均化して洪水を防ぐこと、一定の取水を可能にすることにある。したがって、制御はこれらの目的を達成するために行なうが、制御の基礎となるダム流入量が上記のように直接測定できないため、この流入量の予測が制御の良否を左右する。

最近同一水系や同一地域に複数のダムが建設され、相互に影響を与える場合が多くなり、各ダムの総合運用制御を計算機で行なわせ、洪水の予防(高水管理)、渇水時の融通給水(低水管理)を行なうようになっている。

河川の中流には、農業用水あるいは飲料水、工業用水の取水をするための堰が設けられる。これは頭首工と呼ばれているものである。これも水を貯留するものであるが、堰の上流より一定の水をポンプあるいは取水堰を使って取り入れることが主目的である。頭首工大堰はゲートのスパンが大きくゲート門数も多く、その用途ごとに形式や使用方法が異なり複雑な制御となる。通常は調節門による定水位制御であるが、洪水時には洪水吐門、土砂吐門による洪水制御を行なう。このほか、船舶交通用の閘門、魚道にある魚道門も制御する場合がある。

河口近くには河口堰と呼ばれるものが建設される。これは上流における取水の結果下流の取水が困難になり、臨海地帯

の農業用水と工業用水の需要をまかないきれなくなったことに対応するため、河口地点の河川を堰止めし海水防除によって淡水を得るものである。この堰は、頭首工大堰と類似の規模で、制御もほぼ同様であるが、潮位の条件を考慮し、塩水の流入を防止しなければならない。河川は複数の河口を持っている場合があり、それぞれに河口堰を設けた場合、相互干渉を考慮して制御する。

水の利用の面からみると、前述の本流を堰止めて出現した貯水池から、発電用水、灌漑用水、上水道、工業用水として取水口あるいは取水堰により導水路に取り出される。灌漑用水は人工水路で、ポンプ、開水路、管路、チェックゲート、取水ゲート、バルブ、ファームポンド、パイプライン、制水弁、スプリンクラーなどにより需要先に配水される。これらの装置は広い地域に点在するため、計算機と遠方監視装置とにより制御が行なわれる。水の需要は作柄、天候、季節などに左右されるので、特別な予測技術や水分検出技術が必要であり、小容量で時定数の小さい設備を多数、タイミングよく制御しなければならない。上水道では、需要の増大に伴って上水道系統が大規模化、複雑化しており、各施設を有機的に階級構成による運用を行なうため計算機が導入され、複数台の計算機により総合中央制御を行なうようになっている。

以上述べた河川の制御アルゴリズムとして開発されたものに、流入量予測計算¹⁾、河道追跡計算、広域灌漑運用計画²⁾、最適管網制御、需要予測計算、潮位予測計算などがある。

4 ダム及び堰の計算機制御^{3), 4), 5)}

4.1 機能

ダム及び堰の計算機制御装置の機能を列挙すると、

- (1) ゲートの自動制御
- (2) ゲートの手動開閉制御
- (3) ゲート駆動用発電機の起動停止制御
- (4) 流入量計算(水位と放流量から推定する)
- (5) 貯留量計算(水位と河床形状から計算)
- (6) 放流量計算(ゲート開度、水位差、流出形態より計算)
- (7) 積算放流量(流出量の積算)
- (8) 水位-流量計算
- (9) データ転送(他の監視所とデータを交換)
- (10) 記録 操作記録、ダム状況記録、アラーム記録、トレンド記録、メッセージ記録など。
- (11) 表示 ダム状況の表示(水位、放流量、ゲート開度など)、制御状態表示、異常表示など。
- (12) 監視警報(各種関連設備の動作状態監視)となる。

4.2 自動制御

ダム及び堰の制御を分類してみると、大別して上流のダム、中流のダムあるいは堰、河口近くの堰の3種になる。下流に

表1 制御モード 代表的な制御モードを一覧表で説明したものである。

制 御 モ ー ド	制 御 内 容
予 備 放 流 制 御	洪水の始まる前に、あらかじめ水位を下げ貯留余力を保つ。
定 水 位 (Ⅰ) 制 御	調節ゲートによって、水位偏差に比例してゲート放流量を調節(少流量時)
定 比 率 放 流	洪水時の流入量増加時、流入量の一定率を放流する。
(ダム) 定 量 放 流 (堰)	洪水の流入量減少時、ピーク流入量時の比率放流量を維持。 洪水時、流入量に比例して段階的に放流量を増加させる。
定 開 度 制 御	定量放流中、流入量が放流量以下になったとき、開度を固定し、徐々に水位を低下させる。
定 水 位 (Ⅱ) 制 御	中流量から洪水に至る間、定水位を保つよう調節ゲートで微調整を、制水ゲートで粗調整を行なう。
洪 水 制 御 (全 門 全 開)	大洪水時、全ゲートを順次全開とする。
湛 水 制 御	洪水終了時、水位の回復を図るため、流入量によりゲートを順次半開状態とする。
全 門 全 閉 制 御	潮位が内水位より高くなった場合、塩水の浸入を防止するため、全ゲートを全閉とする。
追 随 制 御	全門全閉時、内水位が潮位より高くなったとき、潮位に内水位を追随させるように放流する。
設 定 開 度 制 御	あらかじめ設定した開度にゲートを動作させる。

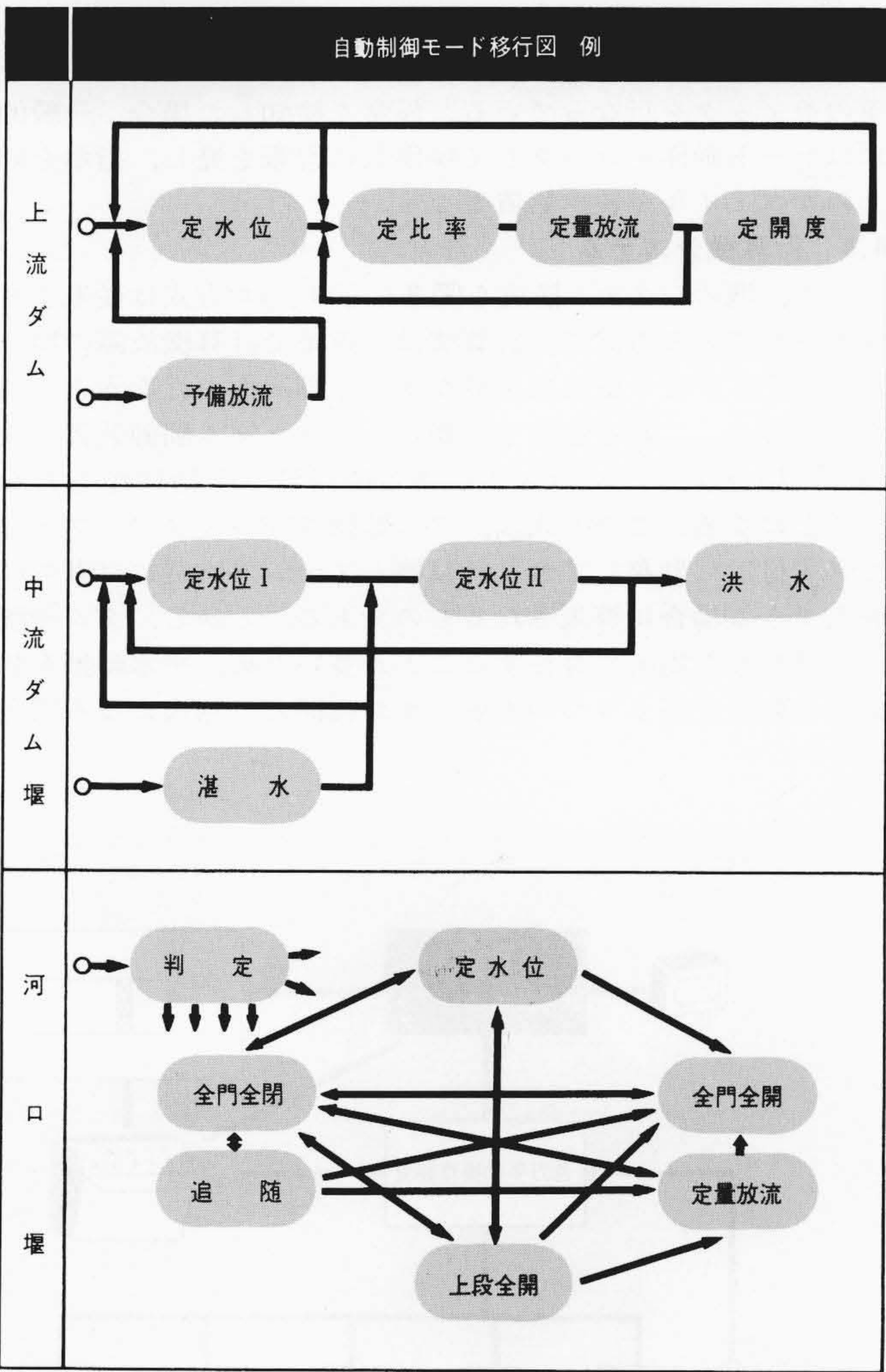


図2 ダム、堰自動制御モード移行図 上流、中流、河口に建設されたダム、堰の制御モードの移行関係を示す。

なるに従って、ゲートの種類も数も増加してくるので制御も複雑になる。表1に制御モードの説明を掲げる。制御モードの遷移の条件は、ダム、堰の目的形状に従って、ダム堰ごとに決定されるが、典型例について図2に示す。上流ダムの場合は、制御モードは多いがゲート数が少なく、モードの遷移は比較的単純である。中流ダムは、ゲートの種類が多くモードは少ないが制御は複雑となる。河口堰の場合は、潮の干満が制御を複雑にしている。

4.3 システムの安全性

前述したようにシステムの誤動作は、重大な災害の発生を引き起こす可能性があるから、システムの信頼性を高めると同時に、万一異常状態が発生した場合でも安全側に動作するようなフェイルセーフ性を具備していなければならない。システムが監視している項目を掲げてみると、

- (1) ダム水位上下限
- (2) ダム水位変化率
- (3) 流入量過大
- (4) 無害放流量オーバ
- (5) 放流量増加率過大
- (6) ゲート ロック
- (7) 水位信号異常
- (8) ゲート開度信号異常
- (9) ゲート過開

などがあり、いずれも計算機による合理性チェック、ウォッチドック タイマ、ダム制御装置のハード タイマにより、多重のチェックを行なっている。異常を検知した場合、一般的にはゲート動作をロックして操作員に警報を発し、指示を仰ぐのがフェイルセーフ処置となる。

4.4 計算機システム

ダム、堰のシステム構成を図3に示す。(a)方式は従来より採用されている方式で、計算機は一重系で計算機故障の場合は監視デスクより監視盤を見ながら手動操作を行なうようになっており、これを遠方手動操作という。ダム制御装置が故障した場合は、ダム サイトにある機側盤で手動操作を行なうことになる。この方式は、ダム監視者がバックアップとして必ず付近に勤務しており計算機システム異常時には直ちに介入できる場合に導入されるものである。しかし、ダムや堰は人里離れた場所に存在することが多いため、平水時無人制御の必要性が高まりつつある。また夜間だけ無人になる場合

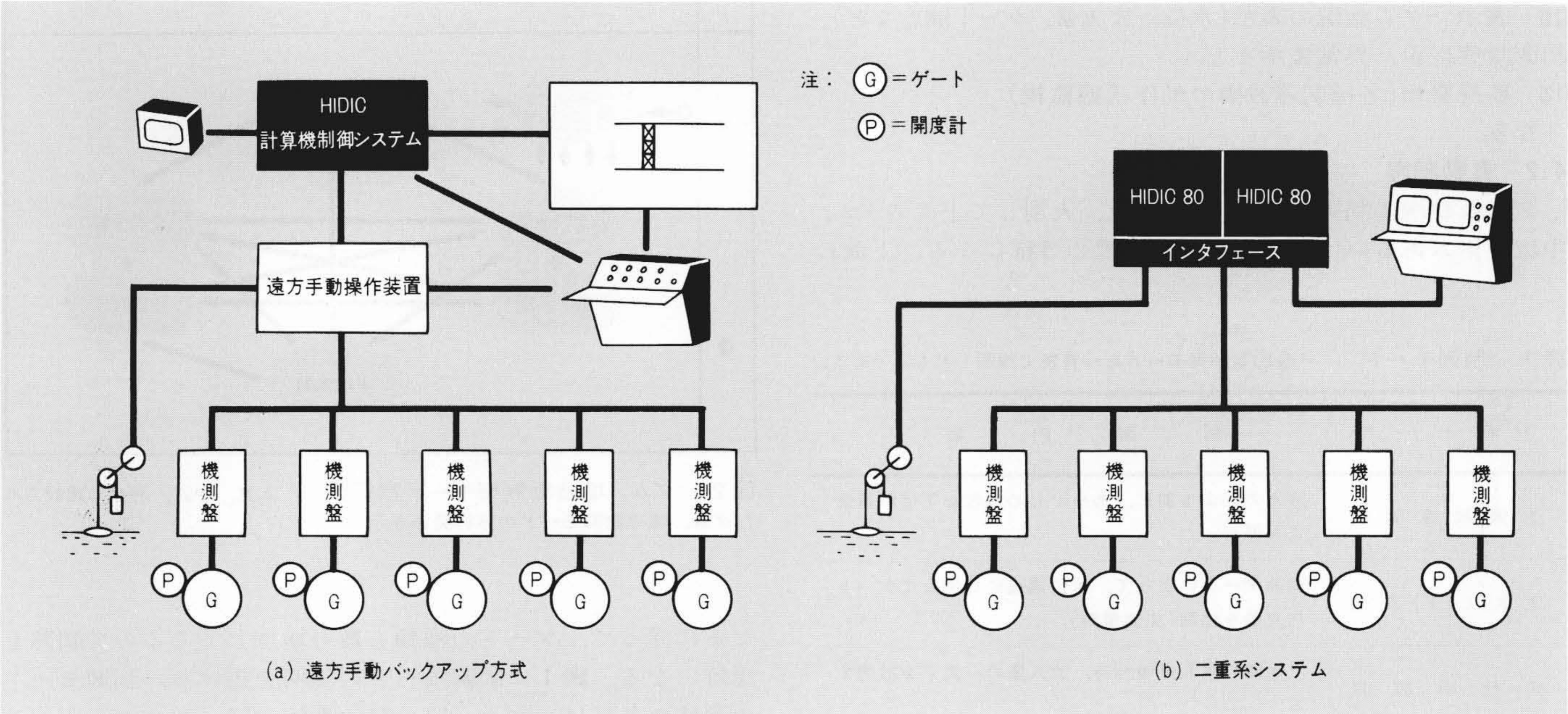


図3 ダム、堰の計算制御システム構成図 (a)は遠方手動によるバックアップによるシステム構成を、(b)は二重系計算機による高信頼システム構成例を示す。

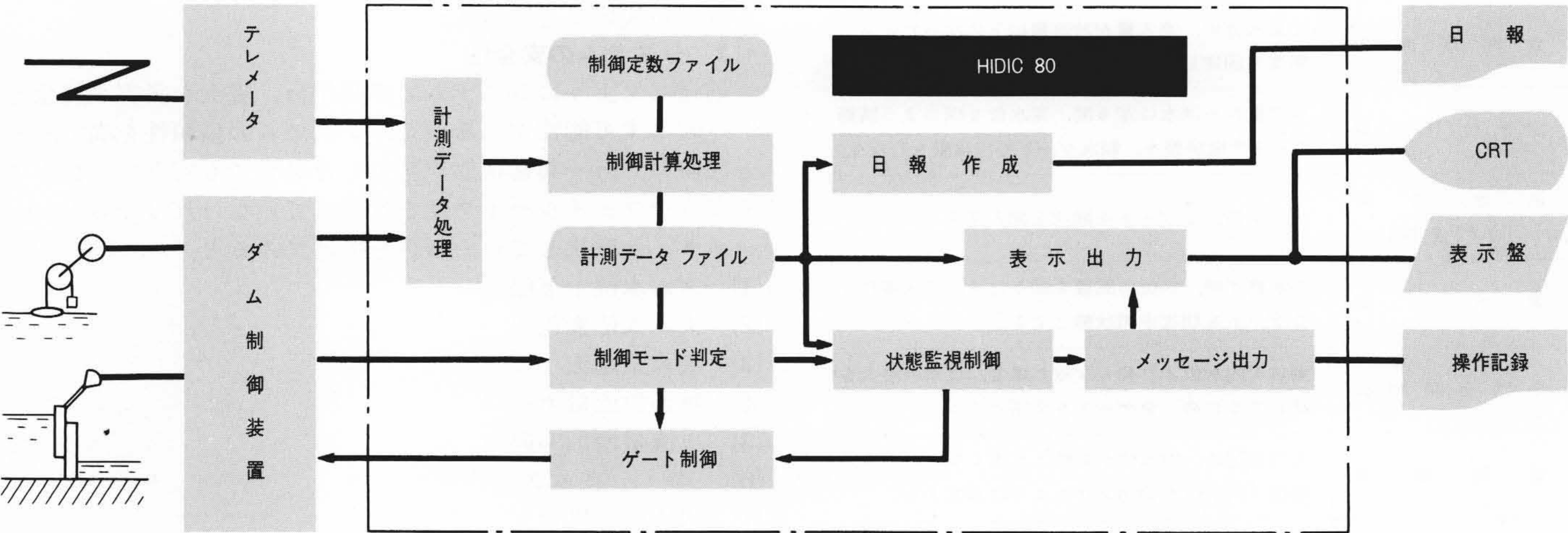


図4 ダム堰計算機制御装置のソフトウェア構成図 計算機のソフトウェア サブシステム間の関係を示す。

5 上水道計算機制御

5.1 機能

上水道計算機制御システムの主な機能を次に述べる。

(1) 流量配分

流量の制御は、最終的には弁とポンプの制御となるが、これらの制御は、マイナの専用装置が普及してきている。しかし、水路の流下時間遅れ、流量に比べて調整能力の低い配水池、ループを形成した送配水系統など、需要の増大に伴って複雑化した系統では、これらを有機的に運用しなければならない。このための最適化計算にはLP (Linear Programming) 法が一般的に考えられるが、制限条件のもとで短時間に結果を求め、制御に反映させるために、最近では山登り法の一つであるFletcher Powell法に、圧力、水位差の条件を加味したオンライン最適配分計算法が開発、適用されるようになってきている。

(2) 需要予測

従来の経験と勘から、複雑化した需要を的確に予測し、最適な流量配分に結びつけるため、天候、曜日、季節などの属

性と実績データを加味した予測モデルとによる短期的予測と、設備の保守点検計画、拡張計画まで反映させるため、配水区域別の属性と季節変動要因とを組み合わせた予測モデルによる長期予測とがある。

(3) 管網圧制御

刻々と変化する需要に対し、需要家末端の圧力を常に最適に保ち、漏水の防止による節水、施設保護のため管網計算を行なう。代表的手法として、Hardy Cross法や、Marlow法があり、管路の水量と水圧の非線形関係を示すHazen Williamsの実験式を収束計算によって解く方法が広く適用されている。

(4) 水質制御

飲料水として使用される上水道の水質は、種々の法的規制を受けているが、最近では良質な原水の取得が困難で、複雑な処理を必要とし、高度に機械化された浄水施設が適用されてきている。このため、原水水質(濁度、pH、アルカリ度、水温など)の要素を監視し、最適、最経済的な薬品(バンド、バック、塩素など)注入率、フロキュレータ回転数の決定を有機的に行なうモデル式が適用される。

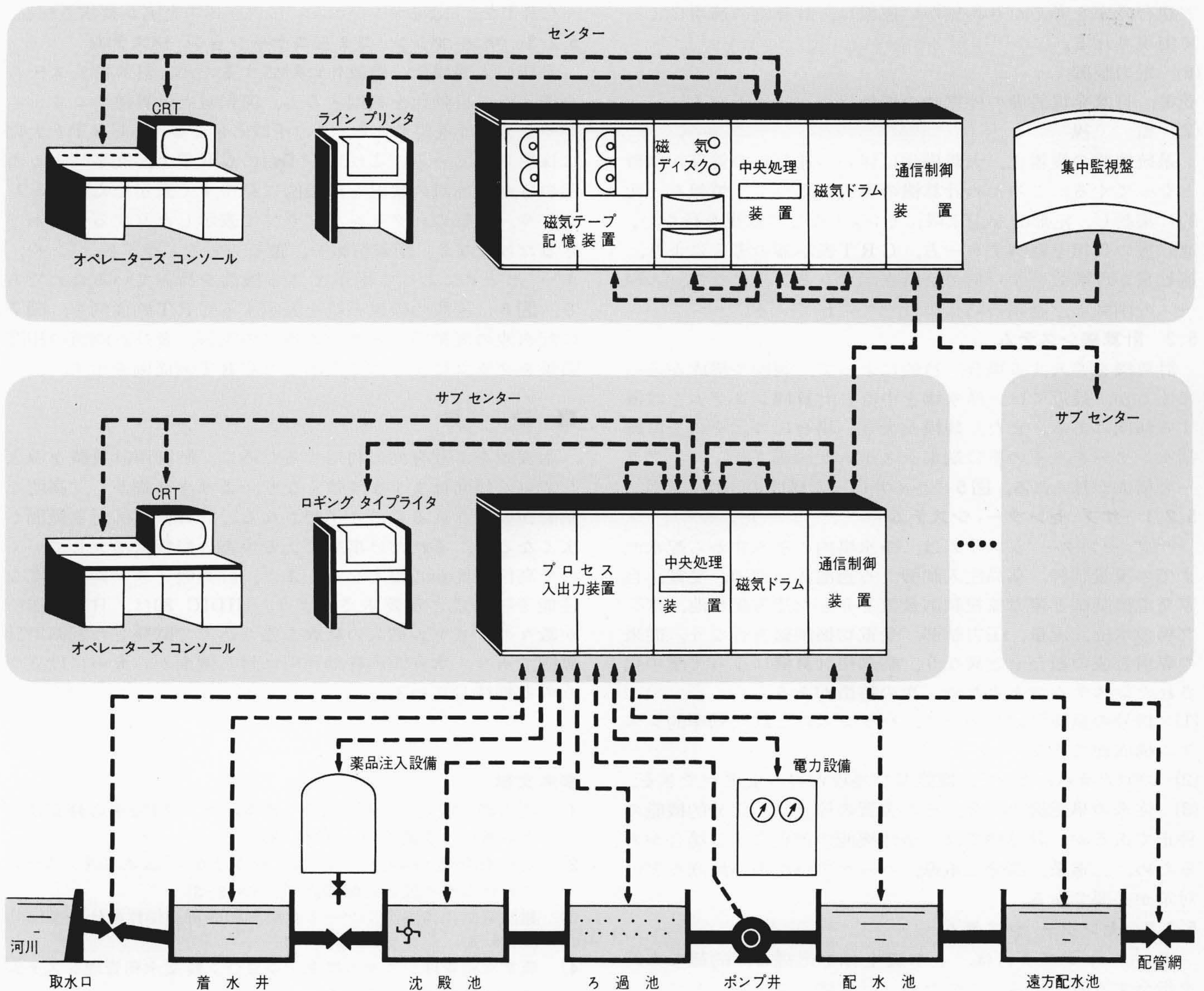


図5 上水道計算機制御システムのハイアラーキ構成 小規模システムでは、センター、サブセンターは、一つのシステムとなる。大規模システムでは、サブセンターの下に複数の計算機システムが設置される。

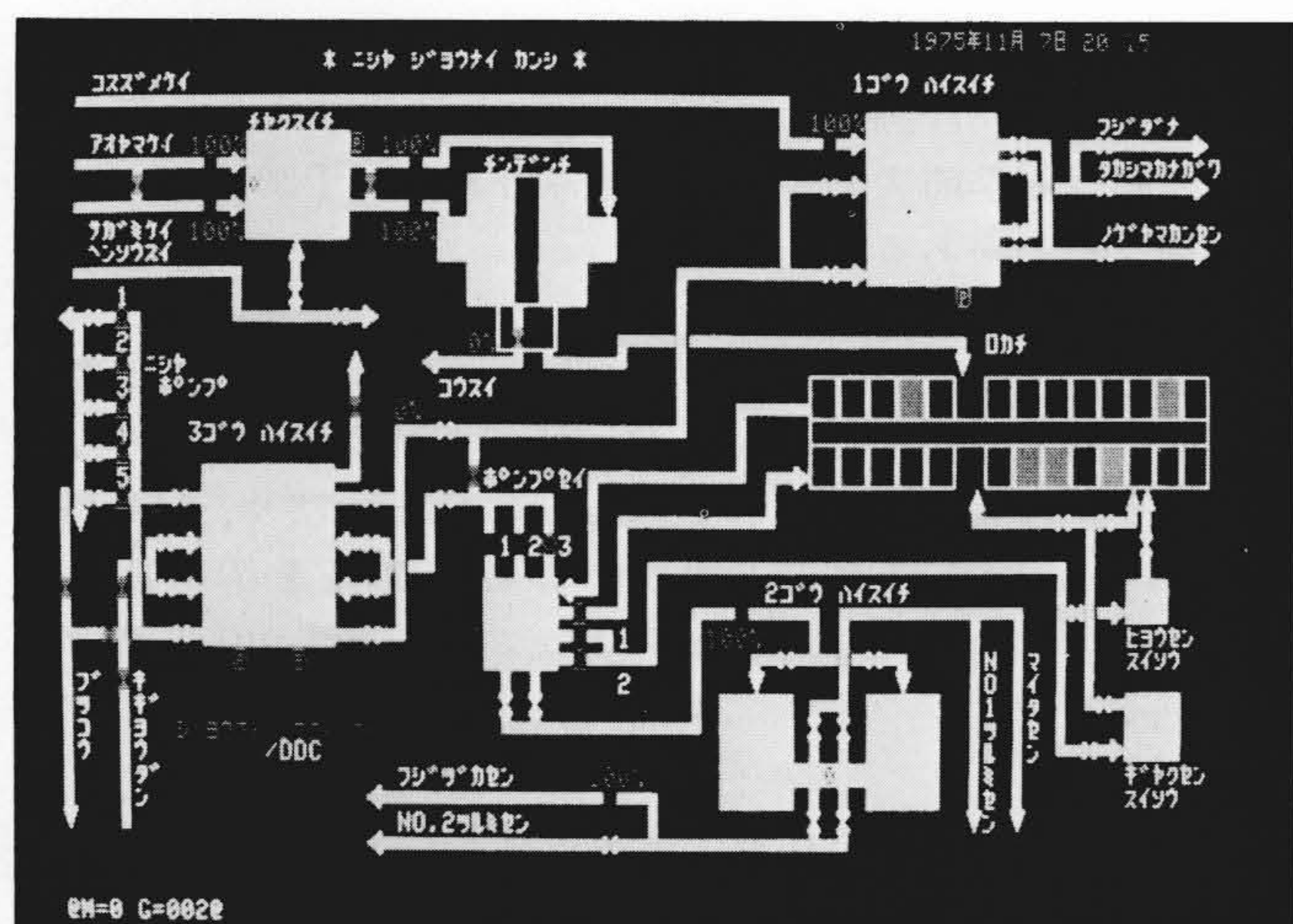


図6 施設の模擬系統を表示するCRT画面例 カラー表示によって、施設の状態変化を、逐次表示することができる。

(5) ろ過池制御

ろ過池の洗浄には、最近シーケンス制御装置が多く適用されてきているが、損失水頭、ろ過時間、ろ過水量の相互の関係による洗浄時期の決定と、洗浄、待機、強制ろ過、休止など総合効率を考えたきめ細かい運用は、計算機の適用によって実現される。

(6) 電力制御

受電、自家発電設備の停電時の切換操作が対象となる。

(7) 監視

系統施設の複雑化、大規模化に伴い、運転員の管理が困難となってくる。このため計算機の導入によって、情報を一元的に集約し、定形的な上下限、トレンドなどの監視を行ない、運転員の負担を軽減する一方、CRT表示器の導入により、運転員が理解しやすい形で適時表示できるようになり、スペースの削減と、過誤の防止に役立てられている。

5.2 計算機システム

計算機を導入する場合、目的によって、規模や構成が違ってくるが、最近では、浄水場を中心に計算機システムを設置する傾向にある。また、規模が大きい場合には、その上に統括センターを、その下に端末システムが設置され、ハイアラキー構成が採られる。図5にハイアラキー構成の一例を示す。

5.2.1 サブ センター システム

サブ センター システムは、浄水場内の着水井から配水池までの流量制御、薬品注入制御、ろ過池洗浄制御、受電、自家発電機制御と遠方監視制御装置を介した遠方配水池、ポンプ場の水位、流量、圧力制御、受電切換制御を行なう。従来の専用装置の組合せと異なり、制御用計算機によって集中化されたシステムであるため、次の特徴がある。

- (1) 信号の重複引回しがなく、バランスのとれた効率的システム構成ができる。
- (2) プログラムによって、機能及び処理内容の変更ができる。
- (3) 従来の単能機の場合、その装置の停止は、部分的機能の停止であるが、計算機では、全体機能の停止に至る場合があるため、二重系、部分二重系、バックアップ系の用意などの対策が必要である。

5.2.2 センター システム

センター システムは、上水道全体を把握し、的確な方針を指令する所である。このため、計算機システムとしては、次の機能が要求される。

- (1) 磁気ディスク、磁気テープなどの大量データ バンク シ

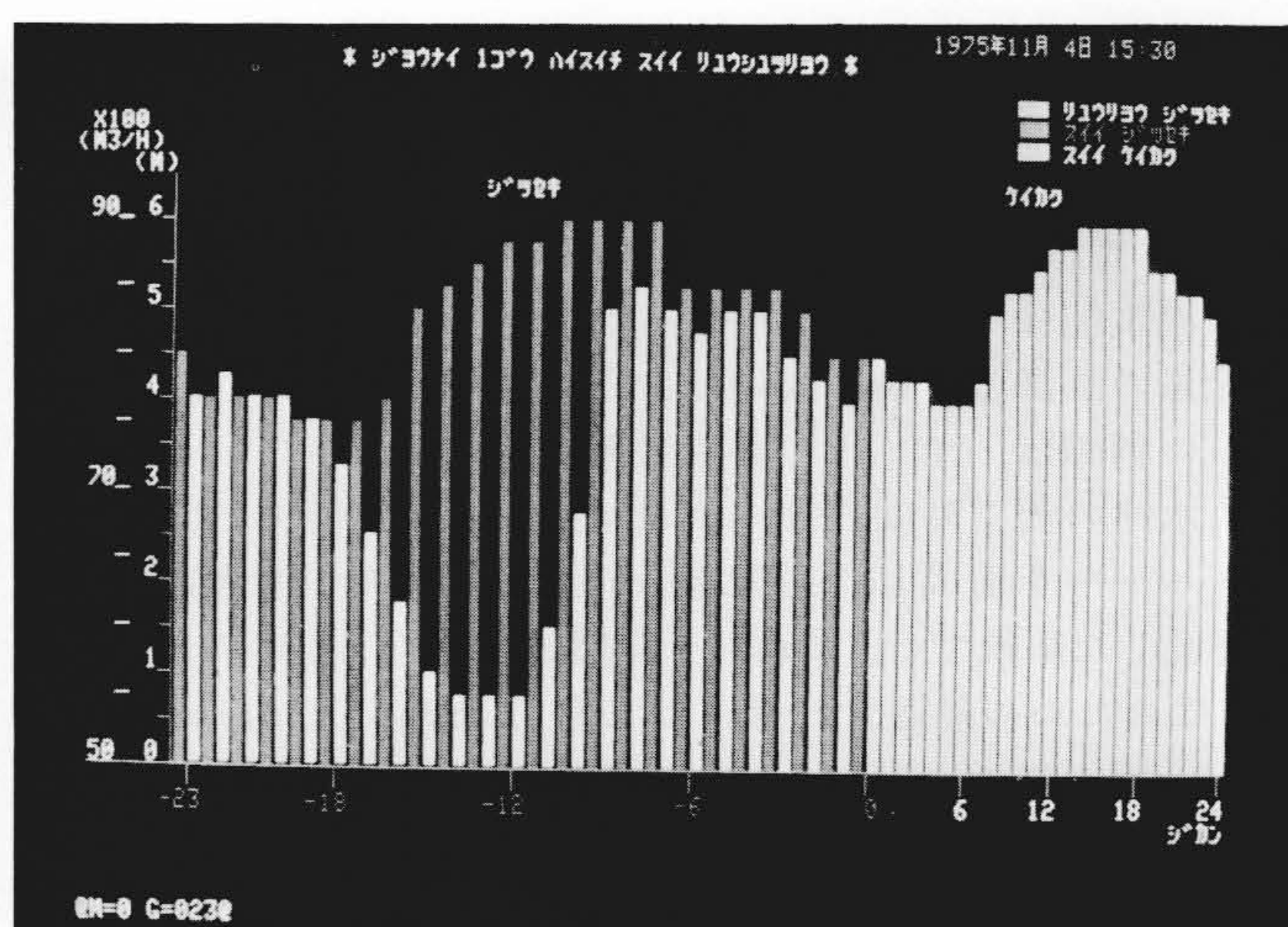


図7 グラフ表示によるCRT画面例 流量実績と水位の計画及び実績値の推移の関係を表示した例を示す。

ステムが要求される。

- (2) 全体システムの運用方針を指令するため、大型のモデル計算プログラムの処理のできるシステムが要求される。

- (3) 全体システムの運転状態を監視するため、グラフィック盤、カラーCRTなどによるマン マシン システムの充実が要求される。

5.2.3 マン マシン コミュニケーション システム

系統の大規模化、複雑化に対処するため、計算機システムを導入して自動化を推進すると、運転員と計算機のコミュニケーションは重要である。この手段としてカラーCRTが大幅に採用されている。これは、1台のCRTで、文字による表示のほか、施設の状態を模擬的に見やすく表示したり、トレンドや、運転のパターンをグラフで表示したりすることができるだけでなく、制御情報や、運転方針を、ライト ペンや、キー ボードによって指示できる機能を持っているためである。図6に施設の模擬系統を表示するCRT画面例を、図7に配水池の流量実績と水位の推移の実績、及び計画値の相関関係をグラフにまとめて表示したCRT画面例を示す。

6 結 言

水資源をより有効に利用するために、制御用計算機を導入していく傾向はますます強くなり、よりきめ細かく、高度な制御が要求されるものと予想される。計算機制御対象範囲が広くなると、それだけ事故による災害の影響は増大していくので高信頼性が必要となる。また、計算機システムも高度な性能を持つことが要求されよう。HIDIC 80は、日立製作所が数々のシステム納入の経験を盛り込んで開発した制御用計算機であり、水資源の有効利用に対し側面から大いに役立つものと期待している。

参考文献

- 1) 昭和49年電気学会全国大会：橋本ほか：「相関適応修正法による河川の水量予測」(昭49-3)
- 2) 昭和49年電気学会全国大会：松本ほか：「広域灌漑システムにおける水の最適送配分計画」(昭49-3)
- 3) 建設電気技術協会：ゲート自動制御装置製作標準仕様書(案)(昭45-3)
- 4) 農業水利管理システム標準化委員会：農業水利管理システム標準仕様書(案)(昭50-8)
- 5) 建設電気技術協会：取水施設、導水路自動制御装置設計製作標準仕様書(案)(昭46-12)