

最近の工業用水管理システム

* 河野道之輔(こうの みちのすけ)・* 多田 弘(ただ ひろし)・** 土屋 泰則(つちや やすのり)・*** 黒谷 憲一(くろたに けんいち)

1 まえがき

我が国の工業用水は、昭和30年代後半からの産業の急速な発展に伴って大規模・広域化し、目ざましい進歩を遂げてきた。しかしながら、水資源の枯渇は慢性化し、水源の確保は、今後、工業用水の整備を進めていく上で不可欠の前提条件となってきた。特に、新規ダム水源の開発は、適地難、補償、環境問題などから長期化する傾向にあり、計画的な水源の確保がますます必要とされてきている。

このような状況のもとに、慢性的な水不足を解消するために、①河口せきからの流出余剰水の利用、②河川余剰水の利用、③ダム貯水、④広域的な水源運用(応援水)など、全国的にも新しい利水方式で新規水源を開発し、取水から給水までの水の総合的な運用、管理を合理的に実現しよう

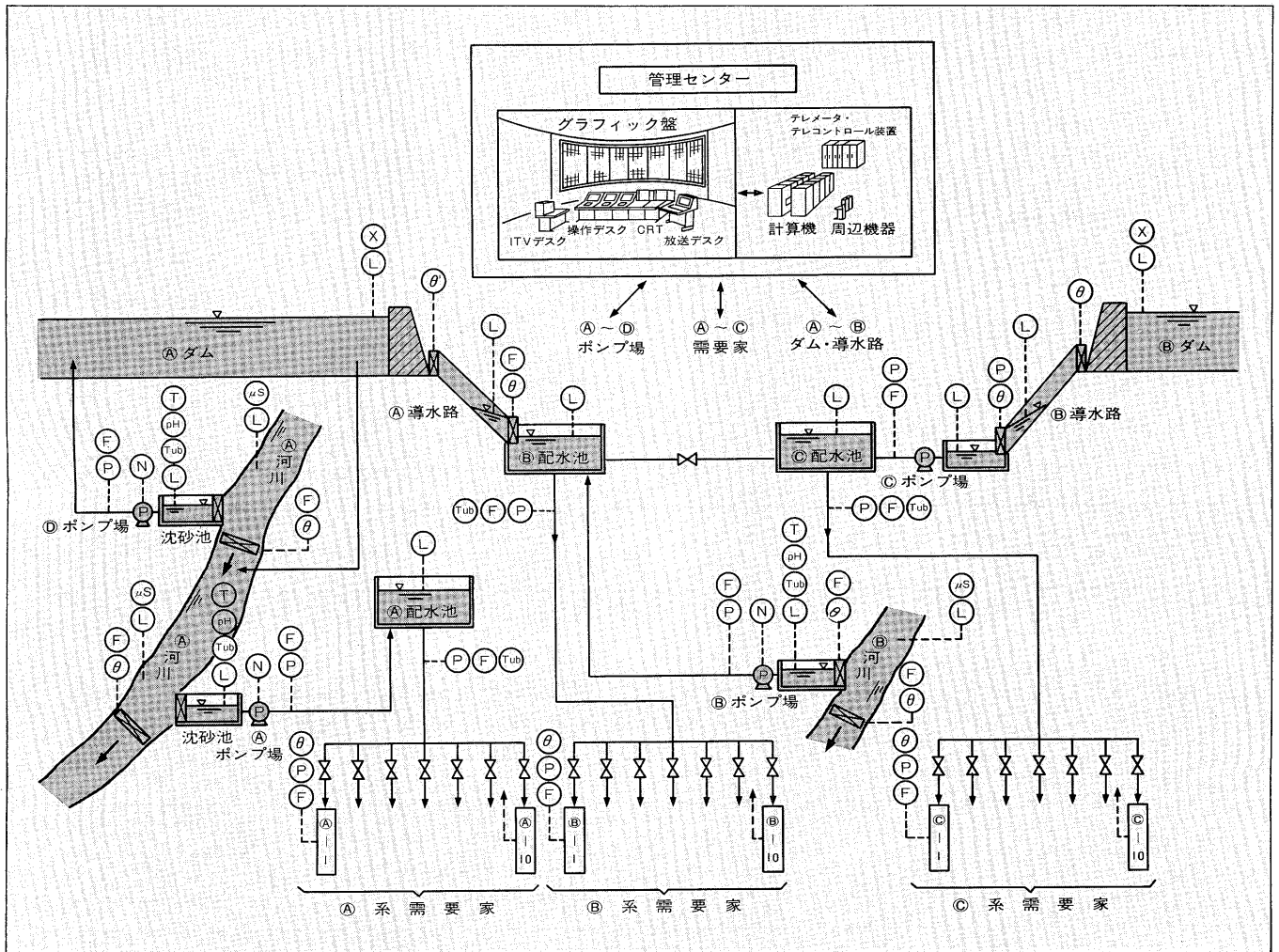
とする動きがある。ここでは広域伝送ネットワークシステム、ハイアラキーシステム、高密度カラー CRT によるマンマシンシステム及び各種シミュレーションモデルなどから構成される最近の工業用水管理システムの一例を紹介する。

2 工業用水管理システムの概要

2.1 システムの概要

ダム、河川などの複数の水源で運用される工業用水設備では、時々刻々と変化する取水源の水量を的確に把握し、需要家へ安定した給水を維持することが最も重要な目的の一つである。本システムは、取水設備としてのポンプ場、貯水設備としてのダム、給水設備としての需要家設備群、

図1 工業用水道施設概要図



更にこれら広域に点在した各設備を有機的に結合し、その機能を十分に発揮させるための管理センターから構成される(図1)。

2.2 システムの機能と特徴

各設備は以下のような機能と特徴を持っている。

(1) ポンプ場

河川余剰水を取水するための取水ポンプ場では、河川流量から取水可能な余剰水量を求め、可変速ポンプで取水し、ダム又は配水池へ送水する。ポンプ場の各種データは、上位の管理センターに情報伝送されるとともに、上位からの制御指令や操作がテレメータ・テレコントロール装置を介して行われる。通常は無人ポンプ場となっており、マイクロコンピュータを使った分散形の自動運転が行われている。

(2) ダム

流域面積の広いダムでは、その自流によって用水を確保している。しかし、自流の少ないダムでは、その貯水量だけでは用水が不足する場合が考えられる。そのために河川余剰水を一時ダムへ貯水し、渇水時には、この余剰水を用水として活用するような運用が行われる。

(3) 需要家設備

需要家では、一定した給水量を確保するため使用水量、水圧、弁開度などの計測と自動制御弁で水量調節が行われる。上位ポンプ場や管理センターとの間では、テレメータ・テレコントロール装置で情報の伝送が行われる。特に、渇水時には給水制限の計画に従って、遠方から節水量の設定

を変更し、用水の確保に努めている。

(4) 管理センター

広域の設備情報を一元化し水の合理的な運用を図るため、管理センターが設置される。ここでは、河川水の管理、ダム貯水量の管理、導水路の管理、ポンプ場の管理、需要家設備の管理を広域ネットワークで総合的に行うとともに、ダム流入量予測、河川流出量予測、需要予測などの予測値を使って、水源の運用及び短・長期需給計画の立案に反映させる。

③ システムの構成

3.1 ハードウェアシステムの構成

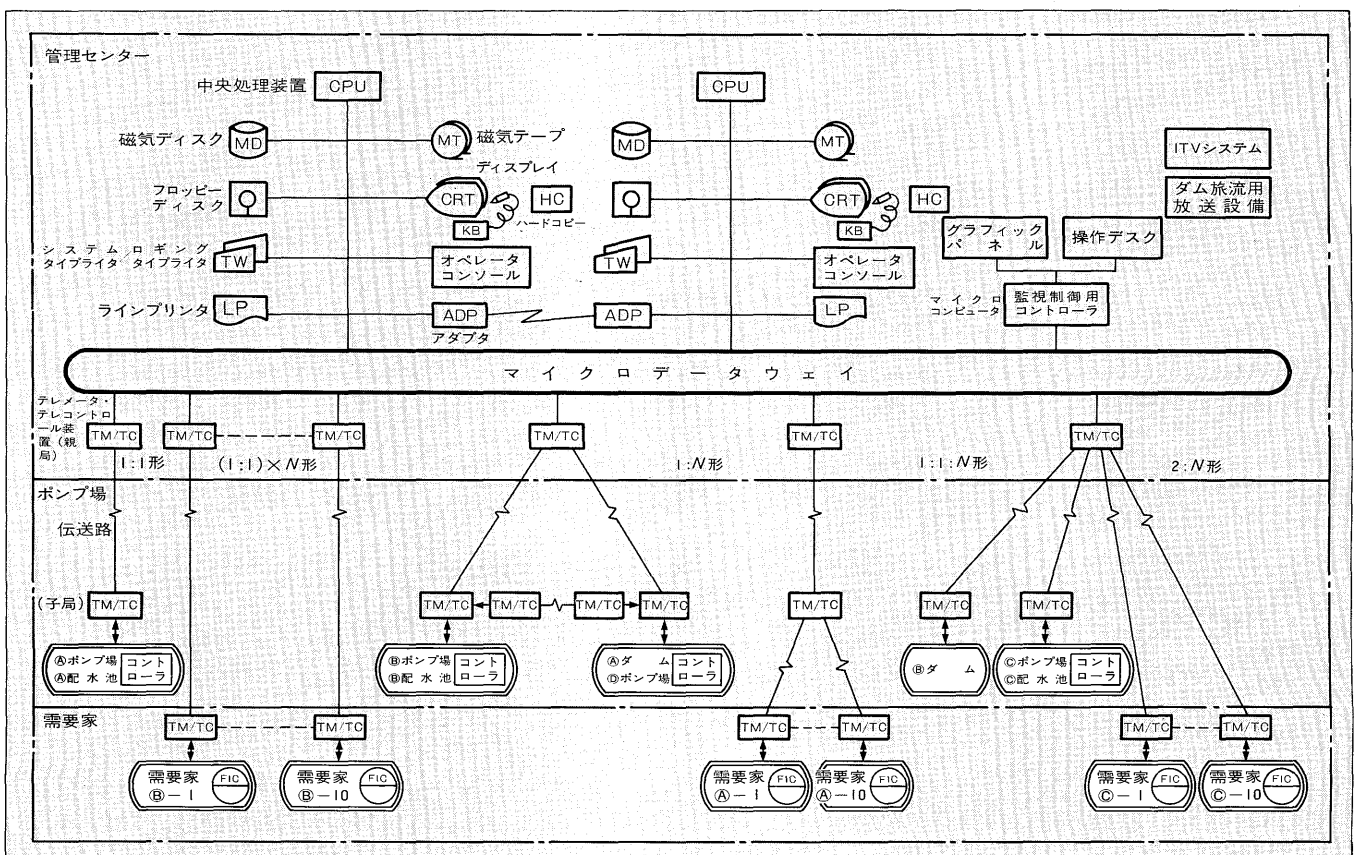
本システムは、図2に示す各階層から成るハイアラキーシステムで構成される。

第1階層は需要家群であり、需要家側で流量調節計を用いた給水制御を行うものである。

第2階層はポンプ場群であり、マイクロコンピュータを主体としてポンプ場での取水配水制御をはじめ、ポンプ場から給水を行う需要家群の監視制御を行うものである。

第3階層は管理センターであり、ここでは、計算機システムによる総合的な監視制御を行っている。需要家群、ポンプ場群からテレメータ・テレコントロール装置により伝送された情報は、マイクロデータウェイ経由で計算機システムに入力される。そして高密度CRTによるプラントの詳細な監視、ハードコピーによるCRT画面の記録のほか、

図2 ハードウェア系統図



フロッピーディスク、磁気テープにより水運用のためのデータ保存が行われる。計算機システムは工業用水の水源から給水までの一連の水系ごとに CPU を持ち、それぞれ独立した監視制御を行うが、一方の障害時にはもう一方の正常なシステムで障害系の監視の継続が可能である。更に、データウェイには計算機システムをバックアップするためのグラフィックパネル、操作机用のマイクロコンピュータが接続されている。グラフィックパネルでは工業用水全域にわたるプロセス表示と機器状態表示、操作机ではプロセスの制御が可能となっている。また ITV による設備監視、ダム放流用放送設備により安全性の高い監視制御を実現している。図 3 にその例を示す。

3.2 ソフトウェアシステムの構成

ソフトウェアシステムの構成は図 4 に示すとおり、計算機システムとマイクロコンピュータシステムとに大別される。マイクロコンピュータシステムでは、個々のポンプ場回りの制御とロギングを行い、計算機システムではそれらを統括した監視制御を行う。計算機システムのソフトウェアは 6 種類のプログラム群から構成される。

第一はデータ処理プログラムであり、マイクロコンピュ

ータから伝送されてきたデータを加工し、データベースに格納する。

第二は警報処理プログラムで、データ処理プログラムで加工されたアナログデータ、接点データをもとにプラントの状態を監視し、異常状態が発生したらその内容を CRT やメッセージ TW に表示・印字する。また異常状態には色色なものがあり、オペレータが即座にその対応をとるのは難しい。そこで、故障対策マニュアルを作製しておき、異

図 3 管理センター例

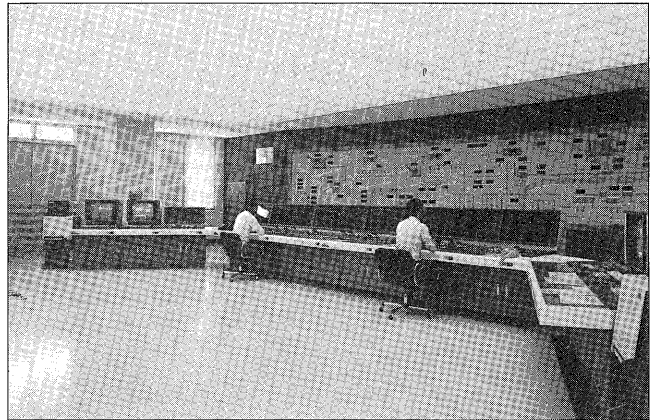
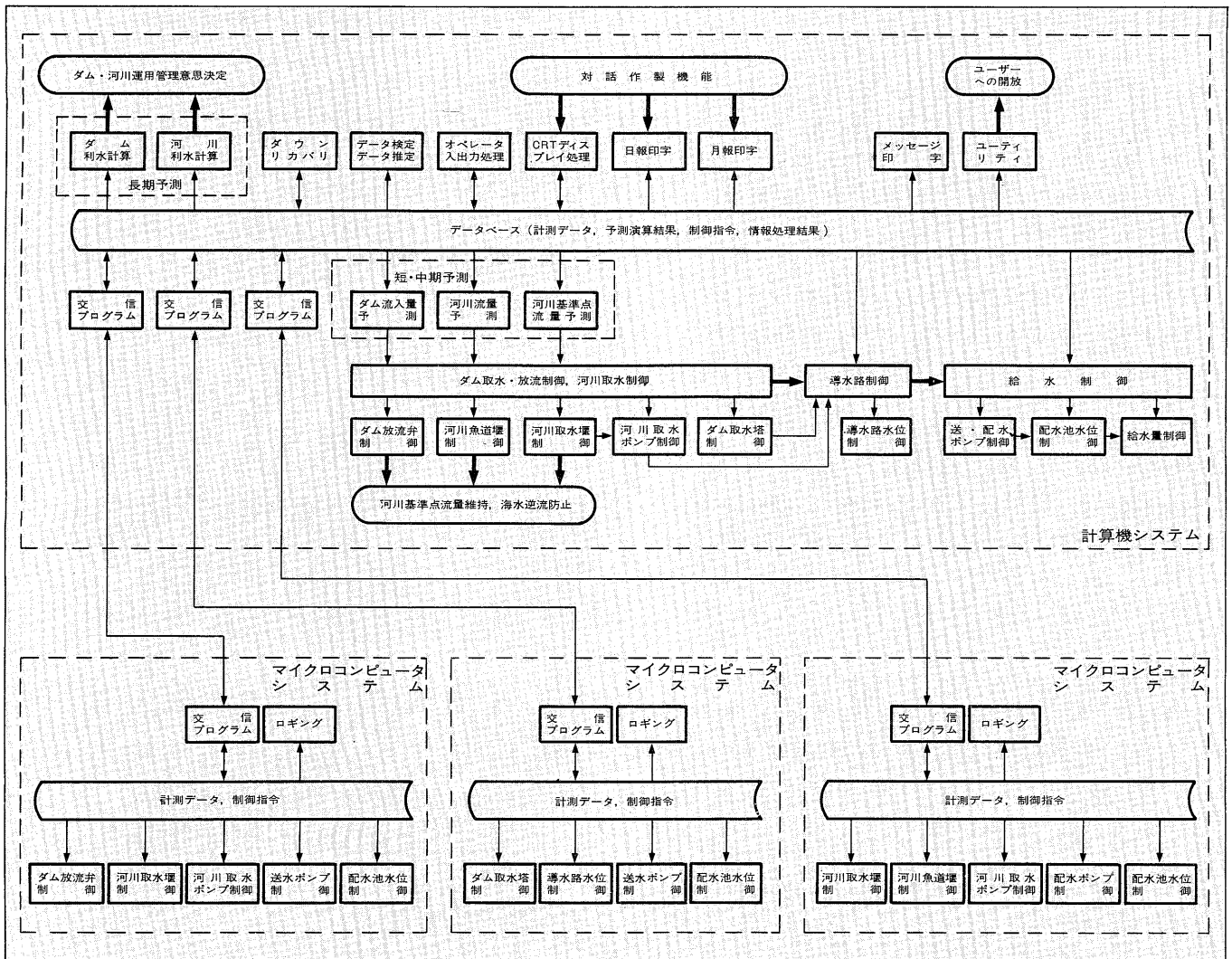


図 4 ソフトウェアシステムの構成



常状態に応じたマニュアルのページをCRTに表示する。
第三はマンマシンプログラムである。詳細を⑥章に記す。

第四は予測プログラムである。予測プログラムは長期予測と短・中期予測の二つに大別されるが、オンラインリアルタイムで行うのは後者である。短・中期予測プログラムは、シミュレーションによって求められたタンクモデルをオンラインプログラム化したものである。このプログラムにより、ダム流入量や河川流量を予測し、河川からの取水やダムからの放流の時間単位運用計画を1週間先まで立てる。長期予測は過去の統計データをもとに利水計算の形で行い、日単位で数月から1年先までのダム流入量や河川流量の予測演算を行い、ダム・河川運用管理の意志決定に使用する。

第五は制御プログラムであり、予測演算で得られた時間単位運用計画値を、現場のマイクロコンピュータに伝送し、河川やダムからの取水及び放流制御を行う。なお現場のマイクロコンピュータがダウンした場合には、計算機システムでそのバックアップ制御を行う。

第六はユーティリティプログラムで、データベースをユーザーに開放し、ユーザーはそのデータベースから必要なデータを取り出し、ロギング以外の各種報告書などが作成できるようになっている。

④ データ伝送方式

広域にわたって散在する需要家、ポンプ場と管理センター間を結ぶデータ伝送は、音声帯域を使用した有線方式のテレメータ・テレコントロール装置で行っている。その伝送形態はそれぞれの給水系統のもつ特徴、管理体制に応じてシステム構成が異なっている。

(1) (1:1) 形

管理センターとポンプ場又はダム間の伝送を(1:1)で構成するものである。この方法は給水系統が独立していて他の施設とデータのやりとりが必要のないポンプ場の監視制御に用いられる。

(2) (1:1)×N 形

管理センターとN個の需要家間の伝送を(1:1)×Nで構成するものである。これは需要家の監視制御を管理センターからだけ行う方法であり、ポンプ場などが無人管理のため、そこから需要家の監視制御が不要の場合に用いられる。

(3) (1:N) 形

管理センターと複数の水系的に関連の深いポンプ場間の伝送を(1:N)で構成するものである。テレメータ・テレコントロール装置親局の万一の障害時は全子局の監視制御が不可能となるため、子局側にプラントの十分な監視制御機能がある場合に用いられる。

(4) (1:1:N) 形

管理センター、ポンプ場とN個の需要家間の伝送を(1:1:N)で構成するものである。人が常駐するポンプ場で需要家の監視制御をポンプ場からも行う場合に用いられる。

(5) (2:N) 形

管理センター、ダム、ポンプ場、需要家から成る一連の施設間の伝送を(2:N)で構成するものである。子局側での制御を上位システムに依存しているために、テレメータ・テレコントロール装置の信頼性が特に要求される監視制御システムに用いられる。

⑤ 計測と制御方式

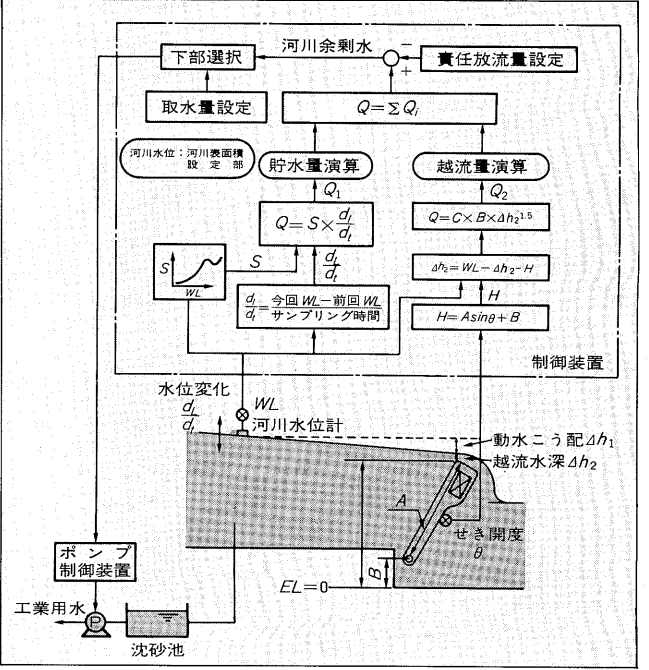
工業用水の計測は取水量、配水量、給水量などの流量計測とダム、河川、配水池などのレベル計測、また制御面では、取水制御、配水池水位制御、需要家流量制御などがその主体となっている。

ここでは取水制御の一例として、防潮河口せきからの河川余剰水の取水制御を図5で紹介する。河川には各種の水利権があり、河川水量も時々刻々変化するため取水可能な余剰水も一定でない。このため、本制御は河口せきの通過水量と海への責任放流量から常時河川余剰水を演算し、工業用水として取水するものである。なお、潮位の影響で河口せきの傾きが変化した場合も対応できる機能を兼ね備えている。そのため、水没形開度発信器によるせきの傾き計測と現場演算器による流量演算を行っている。

⑥ マンマシンソフトウェアシステム

広域工業用水では、用地問題、環境対策、企業進出計画などが、システムの変更要素となることは避けられない。したがって、全体システム、特にマンマシンシステムのソフトウェアは、容易に変更拡張できるシステムが要望される。そこで、CRT画面には対話形のシステムを採用し、画面を見ながら設備図形や文字名称の追加、削除、変更が

図5 防潮河口せきからの余剰水取水制御



自由にできるようになっている。また、作表機能にも工夫をこらし、CRT 画面を使って作表フォーマットが対話形式で変更可能となっている。以下にその機能の詳細について紹介する。

6.1 CRT ディスプレイ

(1) 対話作画システム (PICT)

CRT ディスプレイを使用したシステムでは、CRT 画面の設計、製作、保守に多大の労力を費やしてきた。しかし、対話作画システムを開発したために、キーボード上からの操作で、画面を見ながら自由に変更ができるようになり、特に系統画面などの変更に威力を発揮している。また PICT は、システムがオンラインで稼動中であっても、システムに何ら影響を与えることなく、画面の追加、変更ができる。そして画面作成が終わったときには、その画面内容リストをラインプリンタに印字させ、変更画面の管理を行っている。

(2) 対話画面編集システム

対話作画システムは、主として系統画面を対象としたものである。その他の画面、例えば日報・月報画面、計測値画面、計測上下限值画面、制御のループ画面などのリスト形式画面や、グラフ表示画面を、CRT 画面を見ながらキーボード操作で編集、組み立てて行くのが対話画面編集システムである。本システムを使用して、計測項目、ロギング項目などの追加、削除、変更などが容易に行えるようになった。図 6 にその例を示す。

(3) 対話 CRT メッセージ作製システム

プロセスコンピュータシステムでは、アラーム発生時及び現在発生中のアラームの集まりを表示するアラームサマリー画面、アラーム復帰時のアラーム復帰画面などがある。これらの画面に表示するメッセージの作製は、従来はシステムタイプライタで行われていたが、本システムを使用することで CRT 画面を見ながら作製することが可能となった。

6.2 ロギング

従来のロギングは、タイプライタに定刻印字する場合やラインプリンタにまとめて印字する場合も、あらかじめ印字フォーマットを決めると設備の追加、変更があった場合、プログラムやテーブルを変更するしかなく、ある程度のプログラミングの知識を必要とした。そこで考え出されたのがこの対話ロギング作製システムである。

このシステムでは、考えられるロギング項目に通番をつけておき、CRT 画面を使用して、まとめたい順序に日報・月報項目を指定する。指定終了後計算機に対して通知をすれば、計算機はその通番を解析して、ロギング項目の名称、単位、データを組み立て、通常の日報、月報の形でタイプライタに印字する。

7 シミュレーション

ここでは、取水に関する効率的運用方式とそのシミュレーションの例を示す。

取水計画を立てる上で、河川流量の予測、ダムへの流入量の予測が重要である。更に、一本の河川に何箇所かの取水点がある場合、これらを連係して制御することにより、効率的な水資源の利用ができる。

7.1 タンクモデルによる河川流出予測⁽³⁾

菅原によるタンクモデルは河川流出モデルとして最も適合するものといわれ、洪水流出のような短期間用にも、日・月単位の長期間用にも使用される。

日流出モデルは図 7 のような直列 4 段タンクモデルが使用される。最上段は表面流出を表し、2～4 段が中間流出、基底流出を表す。計算は入力として、日雨量を最上段のタンクに入れる。雨量が 1 mm 以下の日は月ごとに定めた一定の蒸発散量を差し引く。1 段目のタンクが空の場合は 2 段目から差し引く。横孔から出る水の合計が流出高で、底孔から出る水が下段タンクへの浸透を表す。

n 段目のタンクの計算は次のように行われる。

図 6 対話作画システムによる CRT 画面

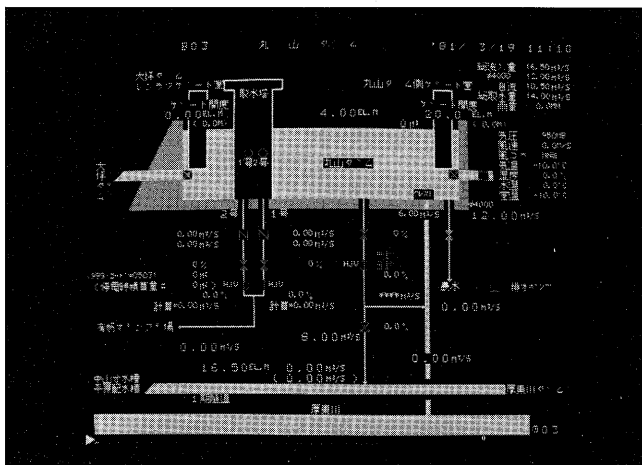
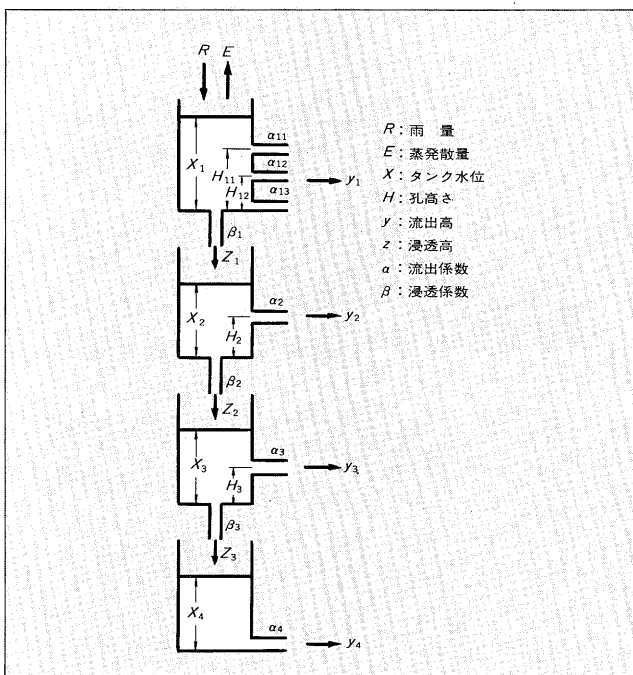


図 7 タンクモデル



$$\begin{aligned}
 X_n' &= X_n + Z_{n-1} \cdots \cdots \cdots (1) \\
 Y_n &= \alpha_n \cdot (X_n' - H_n) (X_n > H_n \text{ のとき}) \cdots \cdots \cdots (2) \\
 Y_n &= 0 (X_n \leq H_n \text{ のとき}) \cdots \cdots \cdots (3) \\
 Z_n &= \beta_n \cdot X_n' \cdots \cdots \cdots (4) \\
 X_n'' &= X_n' - Y_n - Z_n \cdots \cdots \cdots (5) \\
 X_n &= X_n'' \cdots \cdots \cdots (6)
 \end{aligned}$$

$X_n, Y_n, Z_n, \alpha_n, \beta_n, H_n$ はそれぞれ、 n 段目タンクの水位、流出高、浸透高、流出係数、孔の高さである。

タンクモデルのパラメータのうち、孔の高さは標準的に定め、係数は流出高の実測値に適合するように決める。このための菅原の自動化プログラムで概略の値を決め、更にシミュレーションを繰り返して、最終的に決定する。

タンクモデルでは、パラメータを決定してしまうと、流出高計算において雨量を入力として用いるが、流出高の実測値は使用されない。このため、実測値と大きくずれていく可能性がある。そこで、次のように実測流量を加味して、流量の予測を行う。

$$\hat{Q}_k = Q_{k-1} \cdot \bar{Q}_k / \bar{Q}_{k-1} \cdots \cdots \cdots (7)$$

ここに、 $\hat{Q}_k$: k 日の予測流量、 Q_{k-1} : $(k-1)$ 日の実測流量、 $\bar{Q}_k, \bar{Q}_{k-1}$: $k, (k-1)$ 日のタンクモデルによる計算値である。

図 8 は 1 年間のシミュレーションの例である。ただし、この例ではタンクモデルによる推定値に実測流量を加味していない。

7.2 基準点放流制御

同一の河川から取水する 2 か所の取水場を連係制御する場合を示す。

上流側の D 取水場には比較的大きなダム式貯水池があるが、下流側の A 取水場には、数日分程度の容量の調整池しかない。貯水池、調整池へは取水ポンプにて揚水される。

このため、渇水時、河川水量が不足し、A 取水場で取水不可能となる場合は、D 取水場で取水を制限、更には、貯水池から放流し、A 取水場での取水を確保する。これを、

A 取水場を基準点として、放流などの補給を行うことから、基準点放流制御と呼ぶ。

制御の基本的考え方を以下に示す。

- (1) タンクモデルによる河川水量の予測をもとに、取水量、放流量の日単位運用計画を立てる。
- (2) 予測のずれは時間単位修正で補償する。
- (3) 河川の維持水量を各取水点で確保する。
- (4) 基準点での水量が不足する場合、① D 取水量制限、② D 貯水池放流、③ A 取水量制限、④ A、D 給水量制限という順位で制限する。

日運用計画は図 9 に示す。伝播遅れを無視した河道水収支モデルをもとにする。水収支モデルを記述する式は以下のとおりである。

$$Q_{d1} = Q_{d2} + Q_{d3} \cdots \cdots \cdots (8)$$

$$Q_{d5} = Q_{d3} + Q_{d4} \cdots \cdots \cdots (9)$$

図 9 河道水収支モデル

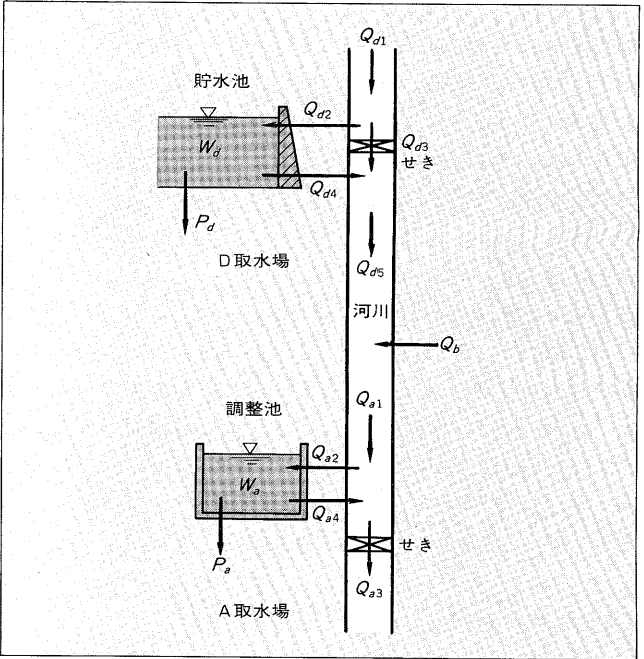


図 8 河川水量の実測値とタンクモデルによる推定値

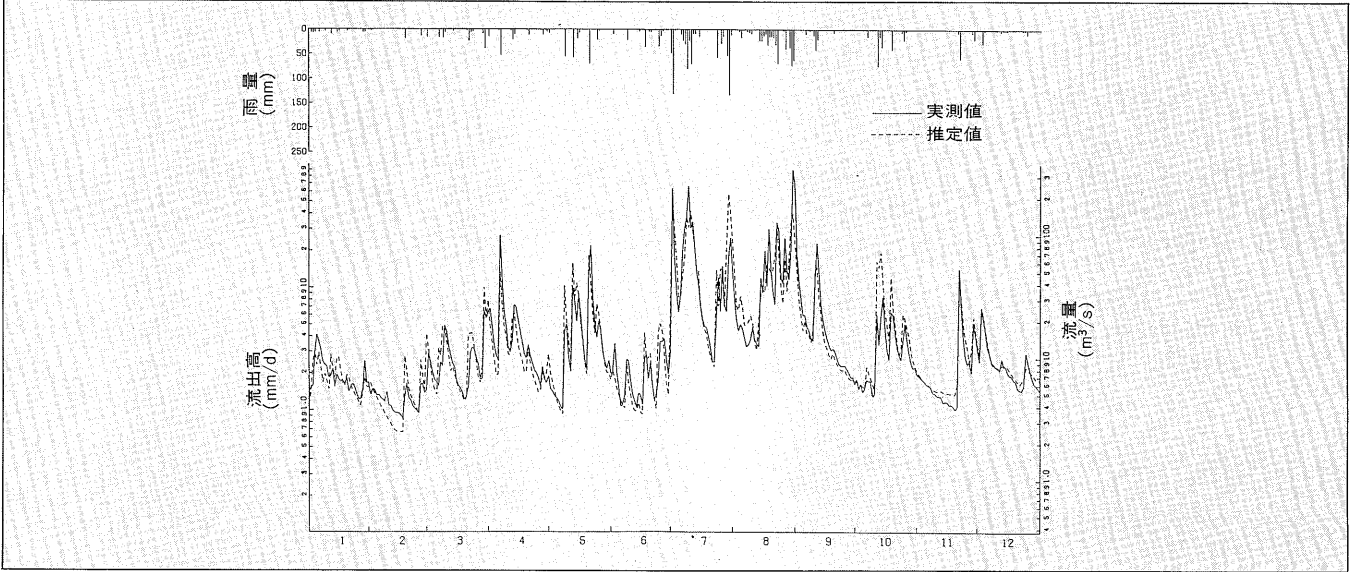
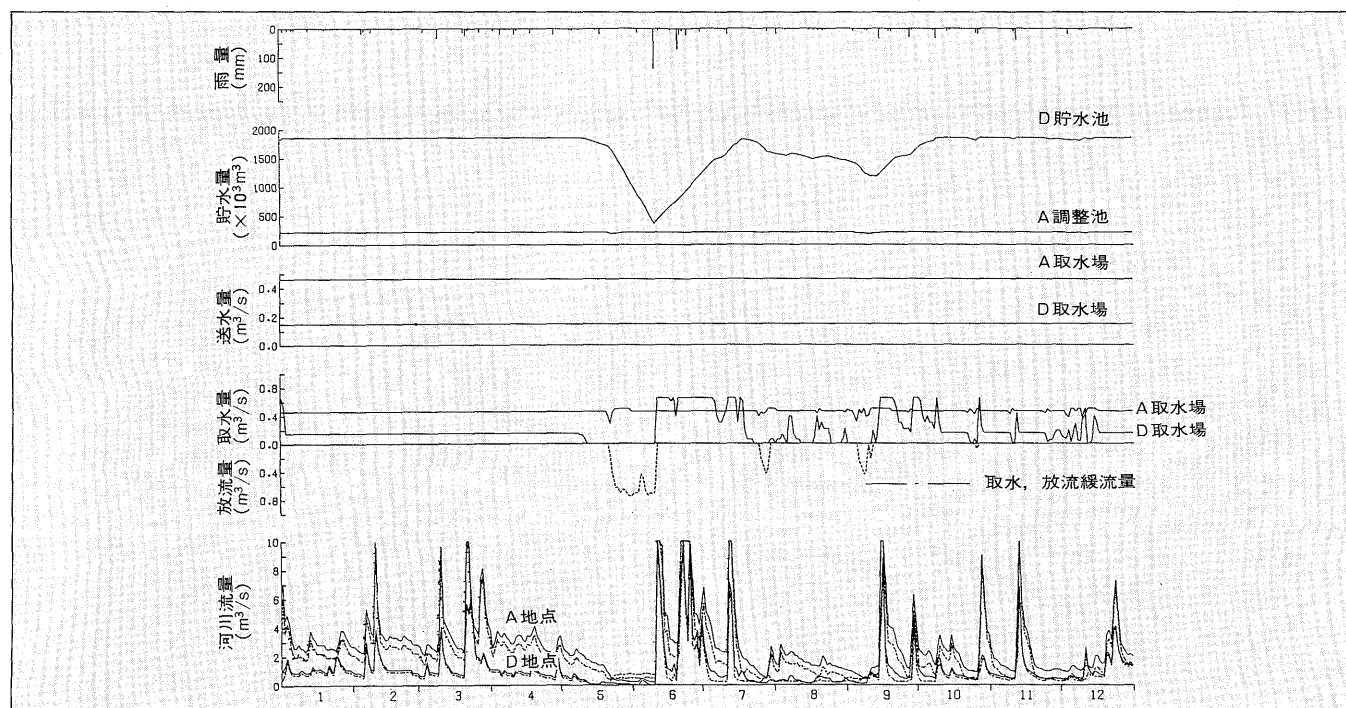


図 10 基準点放流制御シミュレーション



$$\Delta W_d = Q_{d2} - Q_{d4} - P_d \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$Q_{a1} = Q_{a2} + Q_{a3} - Q_{a4} \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$Q_b = Q_{a1} - Q_{d5} \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$\Delta W_a = Q_{a2} - Q_{a4} - P_a \quad \dots\dots\dots (13)$$

ただし、 Q_{d1} 、 Q_{d2} 、 Q_{d3} 、 Q_{d4} 、 Q_{d5} 、 P_d 、 ΔW_d はそれぞれD取水場での、河川水量、取水量、せき流量、放流量、送水量、貯水量変化を表し、添字 a はA取水場での量を表す。 Q_b は流域流入量である。

Q_{d1} 、 Q_{a1} 、 Q_b はタンクモデルにより予測され、貯水池空き容量、送水計画量、河川維持水量から、取水量、放流量の日単位運用計画を決定する。

図10は1年間の日単位運用計画のシミュレーション結果である。

⑧ あとがき

工業用水の管理システムの概要を紹介した。工業用水も省資源、省エネルギー、省労化の観点からシステムの管理制御をしなければ大きな効果が望めない。そのためには、末端の個別の設備を制御するだけではなく、トータルの見方が必要であり、種々の予測手法をシステムの管理制御に組み込み、その予測結果を用いた広域水系の運用、制御が要求されてくるであろう。本稿がその計画の一助となれば幸甚である。

終わりに、このシステムの開発、設計及び製作に際し、御指導、御支援を頂いた関係各位に感謝の意を表す次第である。

参考文献

- (1) 伊東祐輝・山本正明：工業用水道の総合管理システム、工

業用水、No. 267, pp. 9～20 (1980)

- (2) 大倉和郎ほか：水道における計算機制御システム、工業用水、No. 267, pp. 31～38 (1980)

- (3) 菅原正己：流出解析、共立出版 (1978)



＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。