

中国四国農政局吉野川北岸幹線用水路管理システム

Outline of the Large Scale Irrigation Project of the North Bank Tract of the YOSHINO River for CHUSHIKOKU Agricultural Administration Bureau

中国四国農政局吉野川北岸事業所では、幹線用水路を集中監視制御する幹線用水路管理システムを完成した。幹線総延長68.5kmの用水路管理システムは、制御用情報処理装置HIDIC-80Mと、インテリジェンス形TM/TC SPR5050で構成している。本システムは、水路途中に調整池がなく、開水路特有の流下遅れによる用水の不公平配分やゲートハンチングによる水面振動などを抑えることを目的として、水路内貯留量を利用し、不等流計算^{*1)}による多段ゲート同時制御方式を採用し、流下遅れによる上下流域の用水不公平配分、ゲートハンチングによる水面振動を少なくできたものである。

以上の内容は、現地通水試験による実証を経て実用化を図ったので、その一端を述べる。

中島淳一郎* Jun'ichirō Nakajima
中森一郎* Ichirō Nakamori
斉藤 健** Takeshi Saitō
土屋義雄*** Yoshio Tsuchiya
石坪正勝**** Masakatsu Ishitsubo
土屋 稔** Minoru Tsuchiya

1 緒 言

近年、農業用水を取り巻く環境は、機械化、自動化が発達し、水需要の社会構造が大きく変化し、各地で水配分がうまくいかないなどの問題が表面化して、需要と供給を結ぶ水路系全域にわたる水管理のあり方が問われている。このような背景のもと、吉野川北岸農業水利事業は、水路系全体の使命を左右する幹線用水路を需要から供給、上流域から下流域までと、一貫した集中管理を目指し、以下の問題点を解決するため幹線用水路管理システム^{1),2)}の導入を図った。

(1) 用水施設の適正操作

農業用水のため、需要の変動が大きく取水が不均一になりやすいこと、その上にトンネル部分が多くハンチングを起こした場合、満流はく離^{*2)}を生ずるおそれがあるので、これを事前に防止する必要がある。

(2) 取水、分水操作の精度向上

こう配が小さく流速が遅いので、タイムラグが大きくなり、用水の流下時間や波動など誤差要因が多い中で、幹線ゲートを適切に操作し、不要、過剰な配水や不公平な配水を最小限にとどめる。

(3) 水路の安全管理

水路状況を監視し、異常時の緊急制御を迅速確実にこなえること。

日立製作所は上述した内容を達成するため、取水一定自動制御の採用、幹線水路内の貯留量を考慮した不等流演算による幹線チェックゲート^{*3)}制御方式、4:N方式による余水予告情報収集テレメータなどを採用し、所期の目的を達成した。

以下、本システムの内容について詳述する。

2 用水路の構成

2.1 設備系統

吉野川北岸幹線用水路の設備系統³⁾を図1に示す。この水路は池田ダムから取水し、総延長68.5kmを送水する長大用水路である。池田ダムからの取水は、あらかじめ申告した取水計画に基づいている。用水路は暗きょ^{*4)}、サイホン^{*5)}、トンネルなどで構成されているが、余水を貯留する貯水池や調整池などはない。バイパスゲートは、ベース量通水を目的としており制御対象外である。緊急放流時の対応として、上流側と水路中間点の2箇所に放水工を設置している。チェック工は水路内分水位の確保と下流への送水用で、ほぼ等間隔に設置されている。水路こう配は $\frac{1}{3,300}$ と極度の緩こう配であり、流速が遅い。

施設諸元を表1に示す。

2.2 施設構成

本地区の施設構成は以下に述べるとおりである。

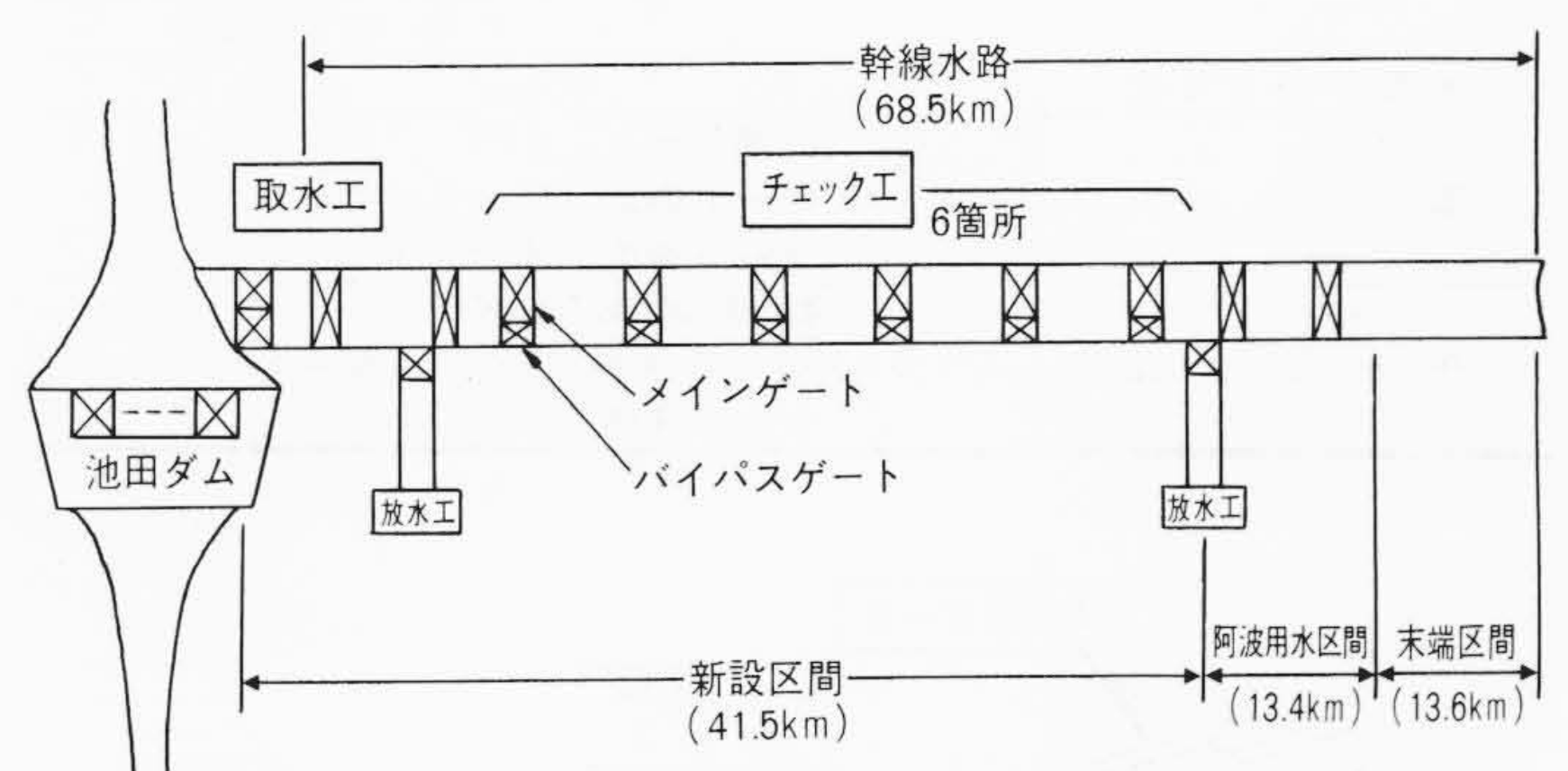


図1 吉野川北岸水利事業の設備系統 制御対象は、取水工1箇所、放水工2箇所及びチェック工6箇所である。バイパスゲート、阿波用水区間及び末端区間はゲート状態、水位、流量を計測監視している。

*1) 不等流計算：水路を適当な計算区分に分割して、順次水面形を求め、更に目標流量を得るためのゲート開度を求める。

*2) 満流はく離：水面振動によりトンネル内壁面が真空になり破壊すること。

*3) チェックゲート：水路要所に設けられた作動と調整操作により、水量を任意に調整できるゲート。

*4) 暗きょ：地下に設ける水路

*5) サイホン：水压を受けた満流管で、鉄道、道路、河川などを避けて水を流す管路。

(1) 取水工

スクリーン、除じん機、流量調節ゲート2門、非常ゲート1門が設置されている。流量調節ゲートは、2門を交互切換使用し、1門で取水量調節が可能である。

(2) 放水工

幹線非常時用として、制水ゲート1門、放水ゲート1門が設置されている。

(3) チェック工

チェック工の構成例を図2に示す。
チェック工は、流量調節用メインゲート1門、ベース流量確保と流況安定を図るためのバイパスゲート(越流せき)がある。異常取水や分水による余水が発生した場合を考慮し、放水工、余水吐を併設している。余水吐が土木構造上、必要容量確保できない箇所は、サイホン余水吐が設置されている。越流せきでの通過流量は最大5m³/sであり、これ以上の通過流量はメインゲートで調節する。

(4) その他施設

新設区間、阿波用水区間及び末端区間の主要点には、水流、流量の計測センサ施設が設置される。
以上の各施設を管理するためには、幾つか解決しなければならない課題がある。

3 長大用水路制御の課題と対応技術

我が国の用水路制御は、大部分が上流水位一定制御を用いている。この方式はゲートの上流水位観測データに基づくフィードバック制御であり、ゲート下流区間の状態は無視される。本地区でも同様なことが言え、以下の問題を管理システ

表1 施設諸元 水路こう配が小さく、水路が長く流下遅れが大きい設備である。トンネル内を満流にさせるとはく離現象が発生するので、水面振動は発生させられない。

項目	内容
受益面積	7,030ha
最大取水量	14.8m³/s
用水路構造	延長 68.5km 開きよ: 0.2km 暗きよ: 9.2km サイホン: 21.4km トンネル: 37.1km その他: 0.6km
水路平均こう配	3,300
取水工	調節ゲート: 2門 ゲート形式: ローラーゲート ゲート速度: 30cm/min
チェック工	調節対象: 6箇所 ゲート形式: ラジアルゲート ゲート速度: 6cm/min

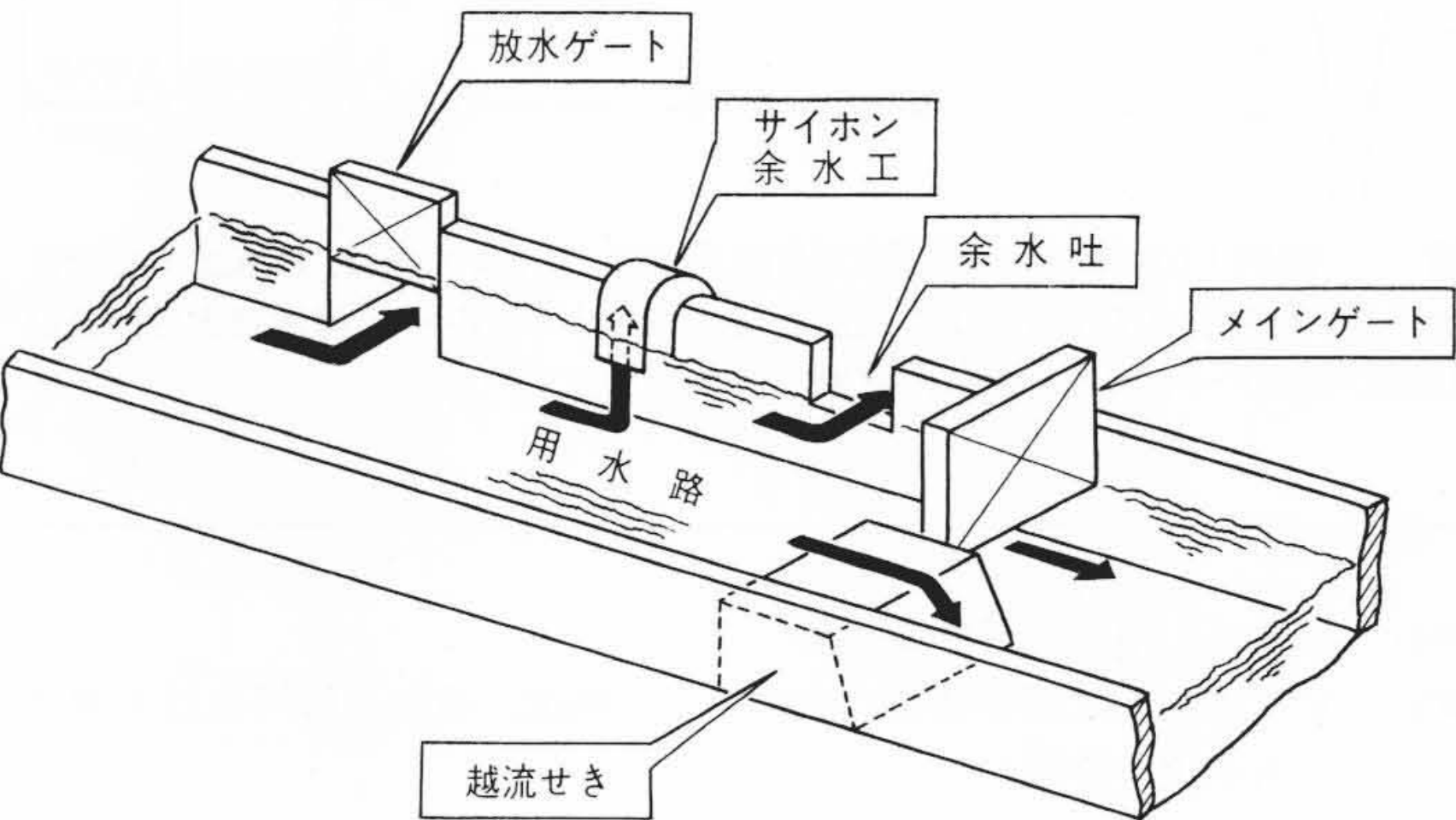


図2 施設構成(チェック工) チェック工は、余水対策として越流形の余水吐と、余水吐能力不足の場合、サイホン式余水吐を併用する。越流せきはバイパスゲートでせき止めすることも可能である。

ムで解決する必要がある(図3)。

- (1) 下流域への流下時間遅れ⁴⁾
- (2) 上流域と下流域の不公平配分
- (3) 単一区間ごとの制御は、区間干渉によりハンチング現象が発生する。
- (4) 流量の需給アンバランスによる無効放流、余水の発生
- (5) 急激な流況変動制御は、トンネル壁面の満流はく離の原因となる。

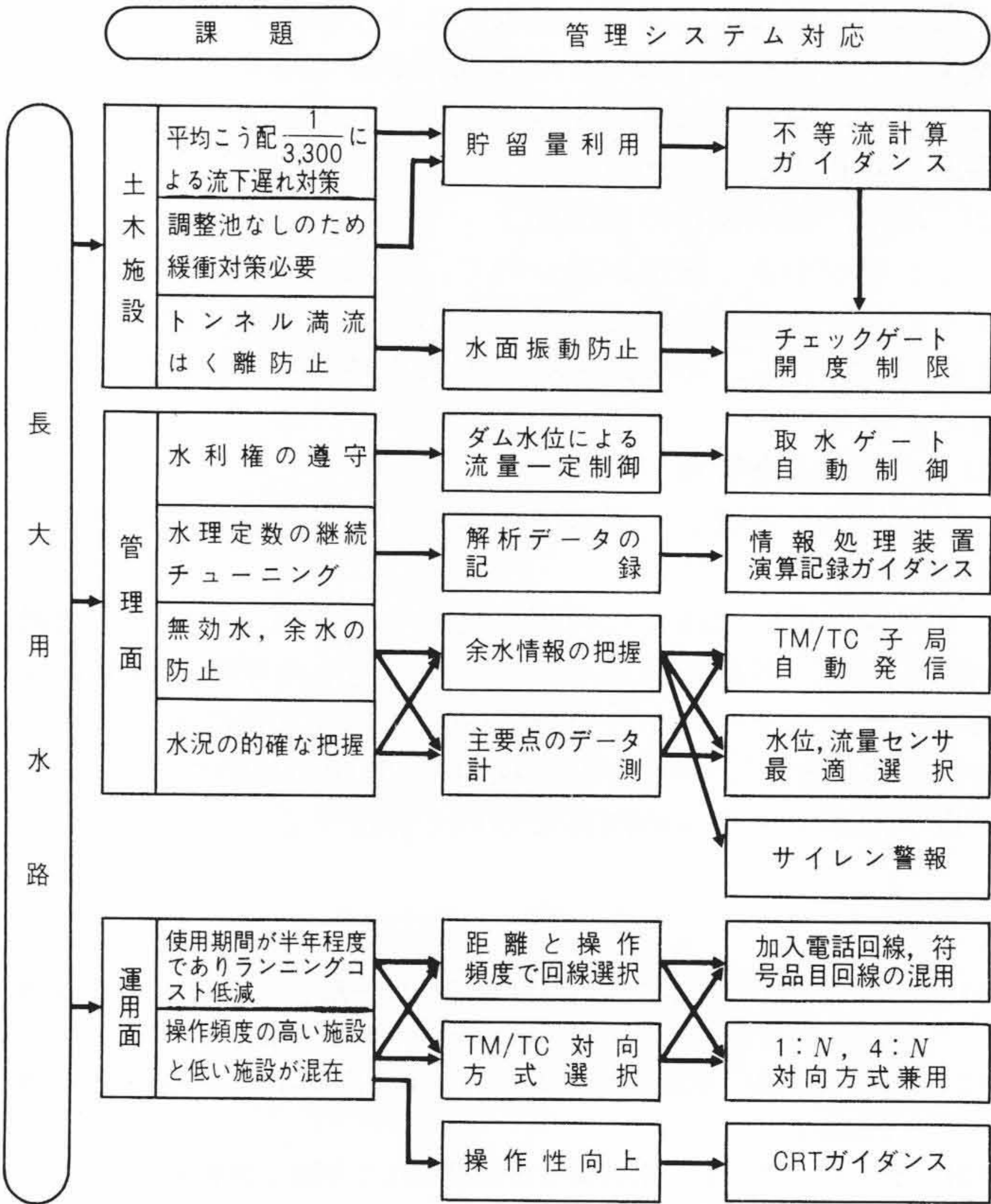
3.1 土木施設上の課題と対応

流下時間を早めるには、幹線水路内の貯留量を考慮し予測的なゲート制御を行なう必要がある。このため、需要分水量から不等流計算を行ない目標ゲート開度を求め、この値に全ゲート同時制御する方式とした。ゲート制御時の水面振動を抑えるため、ゲート動作量制限を設けるものとした。この結果、ゲートハンチングによる水面振動や、流下遅れによる上下流域の需要家取水条件の不公平を少なくすることができた。

3.2 管理上の課題と対応

ダムからの取水規定を遵守し、需要分水量を確保するために、ダム水位に連動した取水制御が必要である。流下遅れ補償に制御効果待ち時間が必要で、一般の流量制御では目標値到達が遅くなるため、本システムでは開度制御と流量制御の組合せ方式により目標到達が早く、ハンチングのない流量一定制御を実現している。

予測制御、試算演算など継続的なデータの蓄積、記録や修正を容易にする必要があり、情報処理装置を最大限活用する。この情報源となる計測センサは、用途に応じ取付位置、精度などの検討を加え選択する。無効水、余水は災害をひき起こしかねず確実な情報収集が必要で、周期監視テレメータでも、



注:略語説明 TM/TC(テレメータ・テレコン), CRT(Cathode Ray Tube)

図3 長大用水路制御の課題と対応技術 長大用水路制御の課題は多岐にわたっている。土木施設など制約条件の中で、管理システムをいかにマッチングさせるかが重要である。

周期時間に関係なく情報を伝送できる必要がある。このため、子局自動ダイヤル発信機能を採用した。

3.3 運用上の課題と対応

施設使用期間は半年程度であり、ランニングコスト低減が重要で、特に伝送路使用料⁵⁾を低減する必要がある。連続監視の施設を最小とし、周期監視の対象施設を増すように考慮したデータ収集方式とする。借用する伝送路も低価格帯のものを使用するほかに、NCU(Network Control Unit)⁵⁾は借用とせず本システムで準備するなど、ランニングコスト低減を図った。加入電話回線は、接続不能を考慮した対向方式のほか、2回線ごとの相互バックアップ機能をもたせている。

4 システム構成

システム構成を図4に示す。本システムは制御用情報処理装置(HIDIC-80M)システムと、TM/TC(テレメータ・テレコン)システム⁶⁾から構成される。制御はCRT(Cathode Ray Tube)画面によるガイダンス表示と、監視操作卓からの設定値制御を基本とする。バックアップとして開閉停のオン・オフ制御機能をもっている。図5に中央管理所操作室を示す。

4.1 情報処理システム

4.1.1 設定流量ガイダンス機能

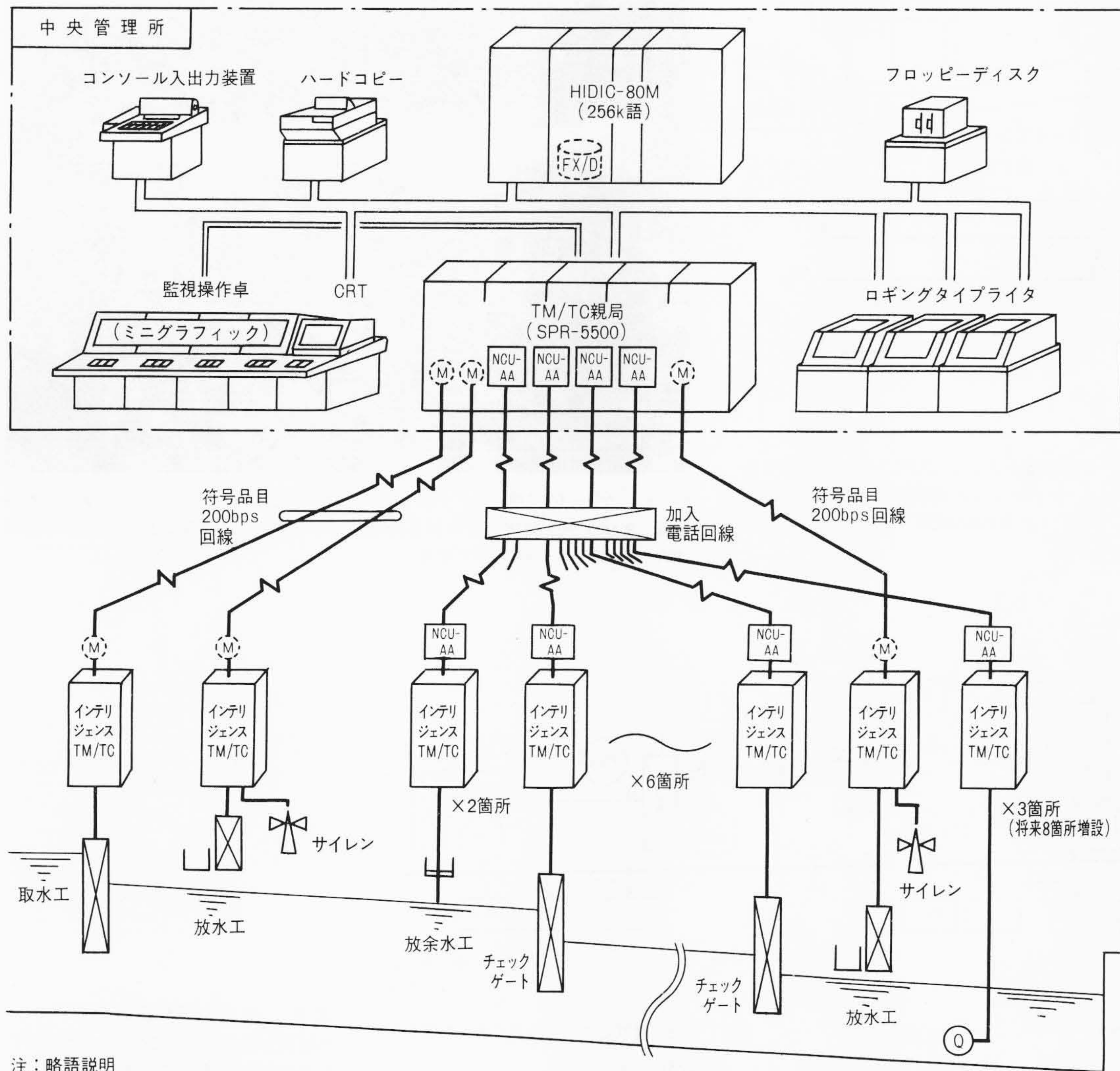
設定流量ガイダンス操作手順と計算方式を図6に示す。これは設定流量になる予想ゲート開度を算出し、取水一定自動制御の目標値として使用する。

4.1.2 不等流ガイダンス機能

本機能概要を図7に示す。CRT対話方式により、設定入力と演算出力の繰り返しにより各チェックゲートの目標開度をガイダンス表示する。ガイダンスのための水理演算は下記の3ステップから構成され、計算に要する時間は各水路区間平均で5秒程度である。



図5 中央管理所操作室 需要分水量の入力からゲート操作まで、全用水区間の監視、制御をこの操作室で行なっている。ミニグラフィックパネルは、水路を2分割配置としている。



注：略語説明

NCU-AA(Network Control Unit AA Type), FX/D(Fixed Disk), M(MODEM), Q(流量計)

図4 システム構成図 吉野川北岸用水利事業のシステム構成図を示す。重要施設は1:1対向符号品目200bps回線、その他施設は加入電話回線4:N対向方式とし、子局はインテリジェンス形を採用している。

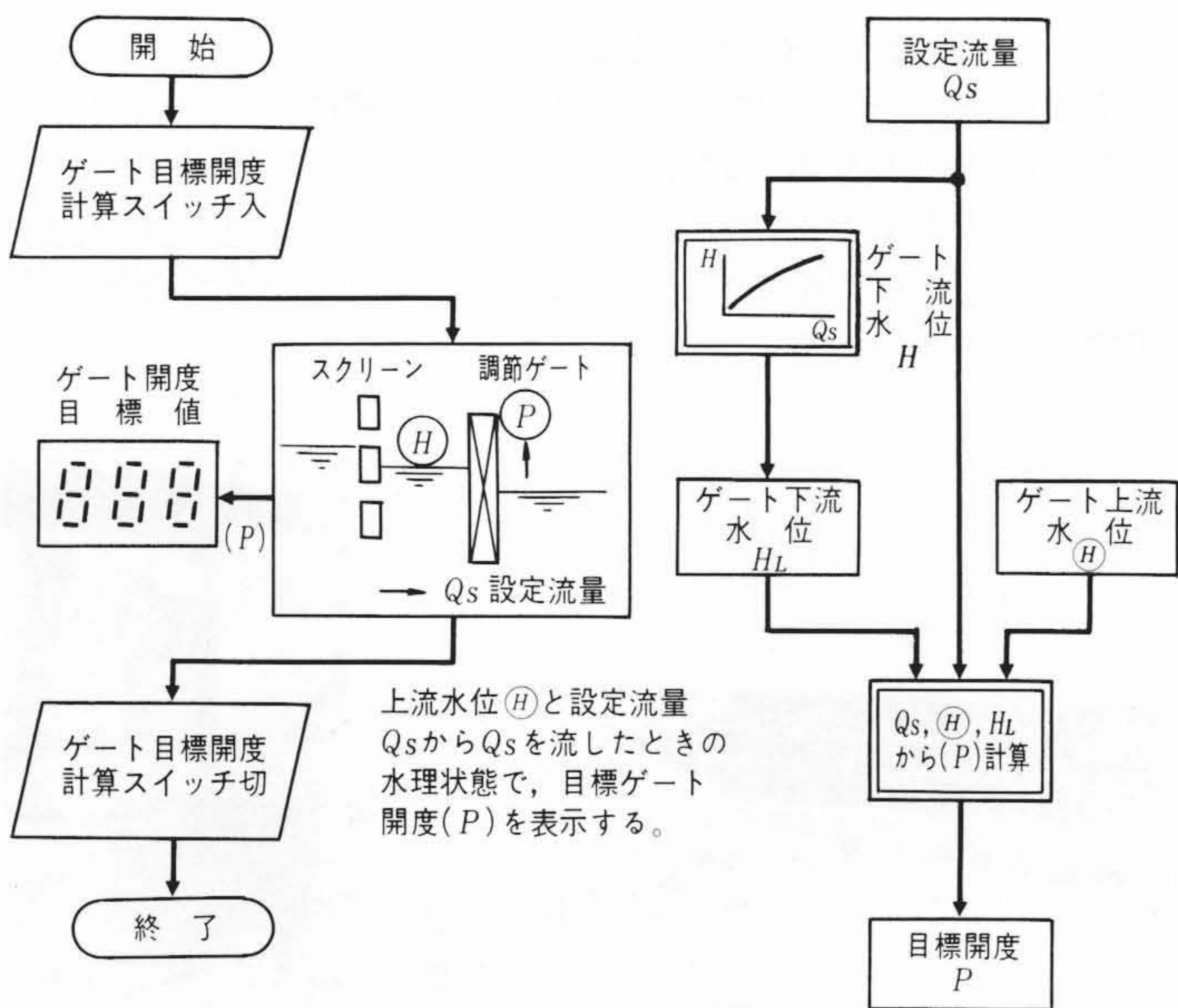


図6 取水量一定制御開度ガイダンス 操作卓で設定量 Q_s を設定し、子局流量制御目標値として伝送すると同時に、情報処理装置では予想目標開度を計算して表示する。

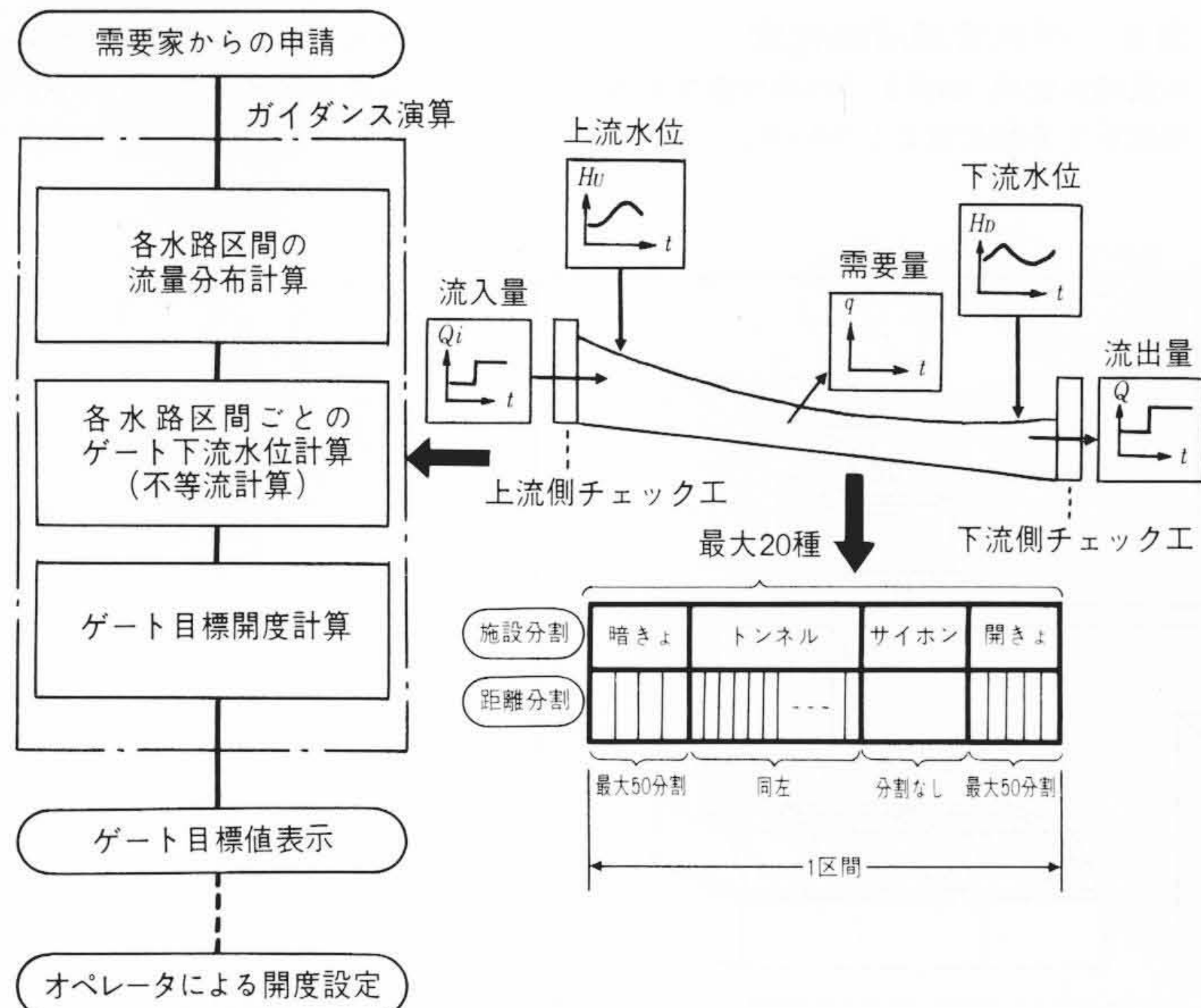


図7 不等流ガイダンス概要 需要量を入力し、区間ごとの流量分布を求める。不等流計算はトンネル、暗きよ、サイホンなど施設種類20種、距離分割は50区分の容量とした。本システムでは、1区分200m程度で、サイホンは損失係数から距離に関係なく1区分としている。

- (1) 需要家からの当日水使用申請量を基に各水路区間での流量分布を計算する。
- (2) 各ゲートごとの下流水位安定点を求めるために、水路区間ごとに不等流計算を行なう。
- (3) 各ゲートごとの上流規定水位と上記(2)で求めた下流水位及びゲート水理特性から、ゲート開度の目標値を計算する。

本制御方式は用水路内貯留量を利用し、ラジアルチェックゲートを同時操作し、流下遅れによる流量不足や上流域と下流域の不公平な水配分を緩和することができる。

設定入力と演算出力区分を図8に、計算結果の最終ガイダンスを図9のCRT画面に示す。

4.1.3 解析データ記録機能

開水路演算の基本データは通水結果のデータを集大成し、随時修正を考慮する必要がある。解析データ記録用としてフロッピーディスクにファイルする機能をもたせた。ファイルは日データと10分ごとデータから構成する。日データは記録指令の前月1箇月分データとした。10分ごとデータは記録指令の前10分データから過去2時間分データとした。

4.2 TM/TCシステム

子局側TM/TCにインテリジェンス機能をもたせ、異なる施設にも柔軟に対処できるものとした。

4.2.1 取水量一定制御

流下遅れのため取水ゲート制御後、制御効果待ち時間を取り制御のハンチングを防止する必要がある。これは設定流量

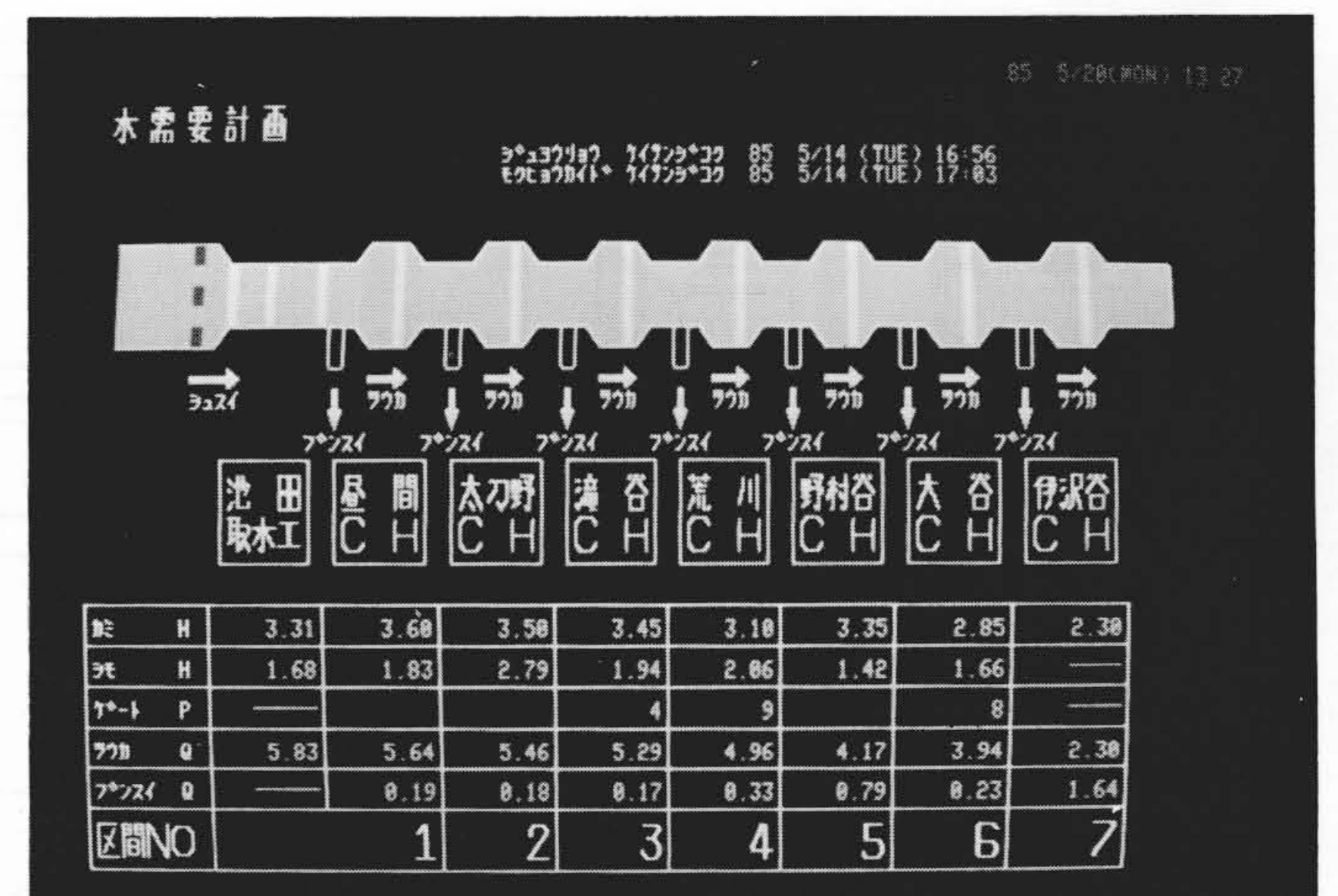
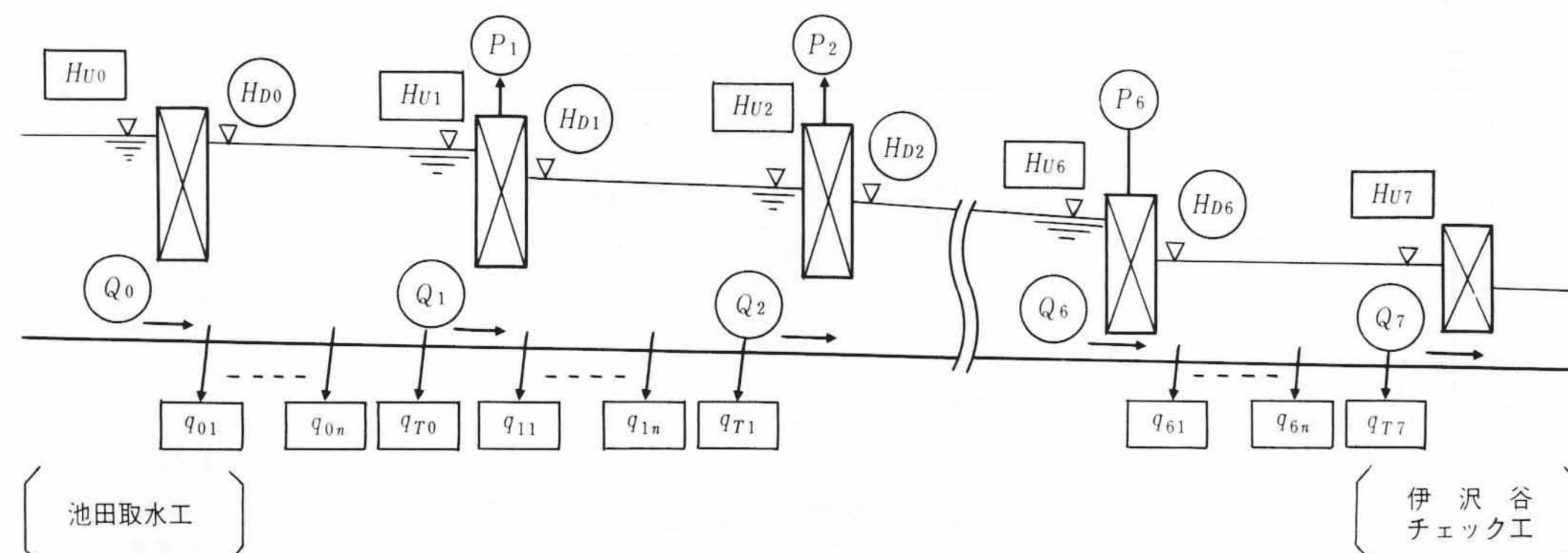


図9 ゲート開度ガイダンス 各区間ごとに、ゲート上下流水位、通過流量、及びゲート開度などの計算結果が表示され、この画面により開度設定値制御で、全ゲート同時動作させる。



注：略語説明など $P_1 \sim P_6$ (ゲート開度) $Q_0 \sim Q_7$ (通過流量)
 $H_{U0} \sim H_{U7}$ (ゲート上流水位) $q_{01} \sim q_{6n}$ [需要量(個別)]
 $H_{D0} \sim H_{D6}$ (ゲート下流水位) $q_{T0} \sim q_{T7}$ [需要量(一括)]

図中○は、計算して求めるガイダンス値を示す。
 □は、設定値を示す。

図8 不等流計算ガイダンス 不等流計算手順は、CRTとの対話形で入力処理と演算を区間数分繰り返す。
 1 計算は約5秒程度で可能である。

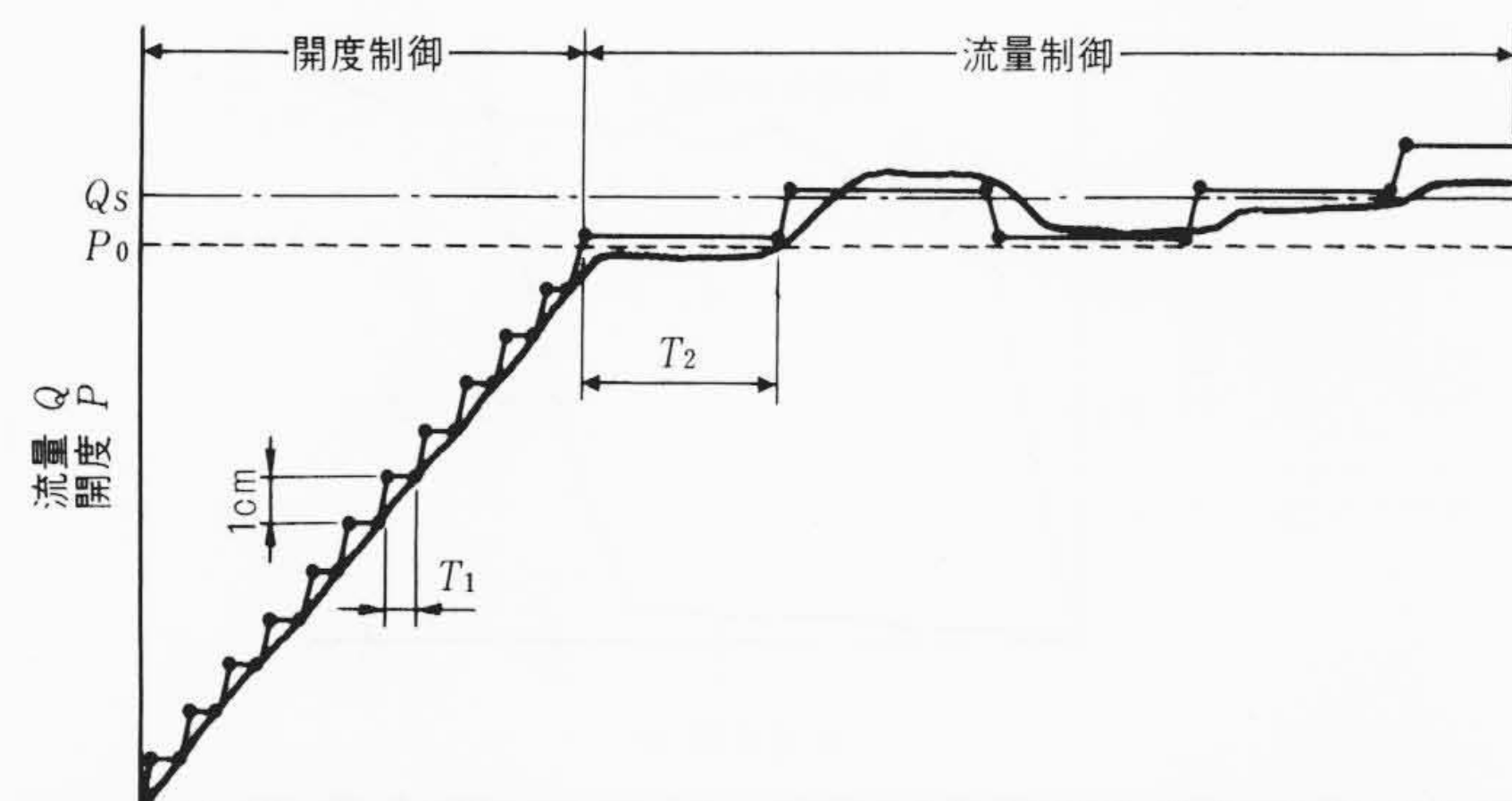
の変化が大きい場合、目標値到達に数時間要するからである。これを防止するため、**図10**に示すゲート制御方式を採用した。目標流量設定変更時は、ガイダンスにより目標開度を求め、開度制御で目標流量付近に近づける。その後は比例・積分方式で制御効果待ち時間を持ちながら、目標流量に一致させる。これにより、目標値到着時間が短縮する。ダム水位による流量変動分の吸収は、流量制御で行なう。本方式採用で応答が速くハンチングのない流量一定制御が実現した。本方式のブロック図を**図11**に示す。

4.2.2 チェックゲート開度制御

不等流計算結果を基に、開度制御を行なう。開度制御は1cm応動した結果で一定時間休止する動作量制限回路を設け、水面振動を防止した。本ゲートの誤動作による災害を抑えるため、目標開度一致後は次回開度変更までフィードバックループをオフする方式、開度が1ステップ一定値以上の過大動作、逆動作などの異常検出機能を付加した。

4.2.3 データ収集方式

ランニングコスト低減を図るべく、施設に応じたデータ取



注：略語説明など
 — (開度), — (流量), P_0 (目標開度), Q_s (設定流量), T_1, T_2 (休止時間(任意設定))

図10 ゲート制御方式 設定流量 Q_s と情報処理装置でのガイダンス開度 P_0 を受けて、 P_0 値までは開度制御を行ない、開度一致により自動的に流量制御に移行し、以後流量制御を継続する。開度制御は、1cm動作応答後、一定休止時間を持つ動作量制限を行なう。

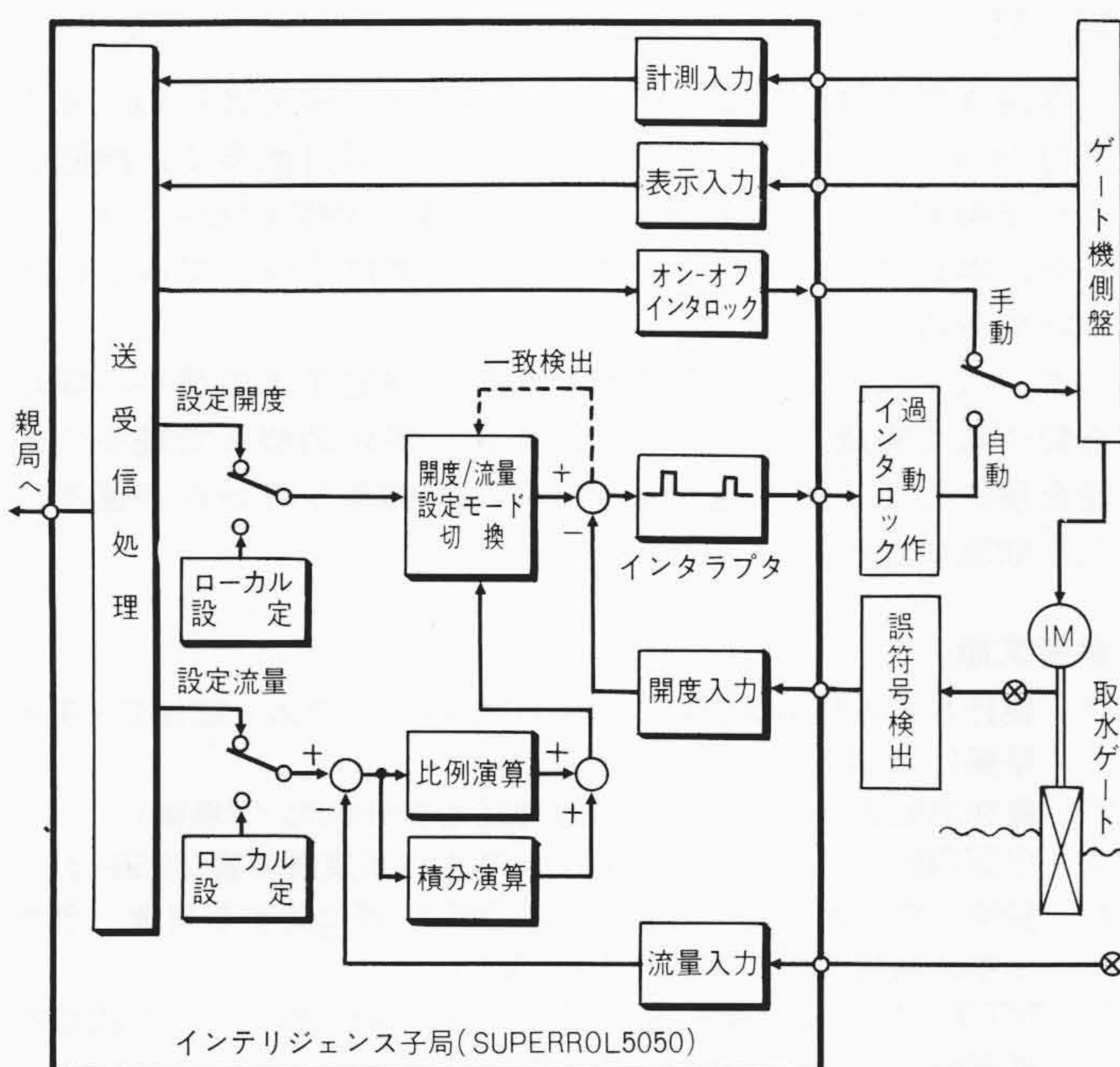


図11 流量一定制御ブロック図 幹線取水ゲート流量設定値制御に適用したもので、伝送回線が異常時でもインテリジェンス機能は動作継続する。

表2 データ収集方式 施設の種類、情報の精度などから対向方式や呼出し周期を選定している。

施設	方式	制御方式	ゲート操作		定 常 時							
			操作中	操作後2h	かんがい期				非かんがい期			
					連続	最短周期	30分周期	連続	最短周期	30分周期	2h周期	8h周期
重要施設	取水工	1:1対向	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	放水工	4:N対向	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
一般施設	各チェック工	1:1対向	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	監視局	4:N対向	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

集方式とした(**表2**)。

(1) 伝送路

1：1の連続監視が必要な施設は、日本電信電話株式会社(NTT)の専用回線⁷⁾が必要となる。この中に帯域品目3.4kHzと符号品目200bps回線があり、伝送距離が10km以下では帯域品目3.4kHzのほうが安く、それ以上の長距離では符号品目200bps回線が安価である。本システムは長距離、連続監視の必要な取水工、放水工に符号品目200bps回線を採用している。

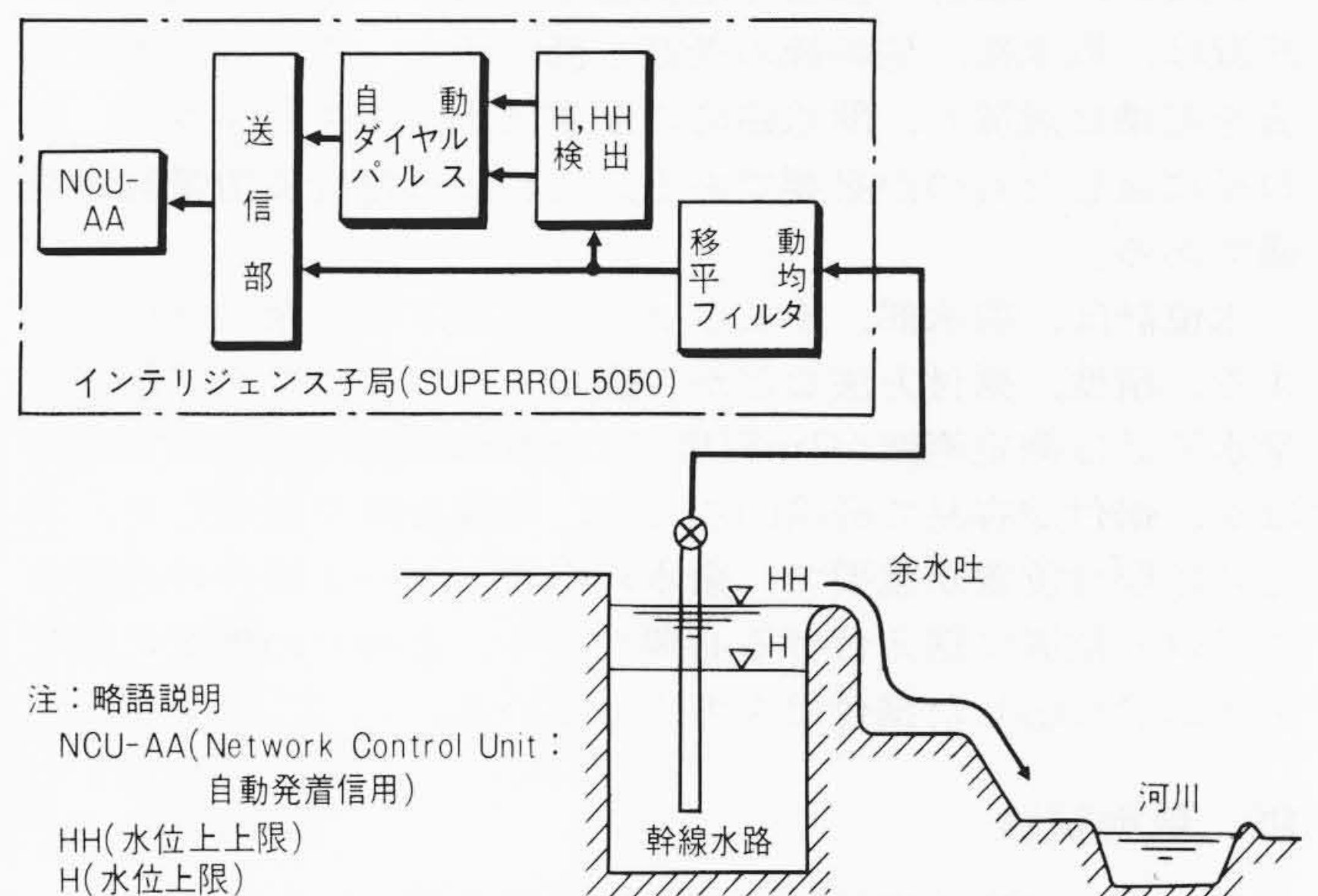
周期監視の施設は、NTT加入電話回線が最も安価であり、これを採用した。本回線は接続階てい話中^{6),*6)}となることがあり、接続不能の対応策として自動再呼出しを3回まで行なうものとした。実運用では2回目までで接続成功している。

(2) 子局自動発信機能

周期監視の欠点は、施設の重大情報も8時間周期であれば最悪8時間後しか把握できないことである。これを防止するため、特に重要な情報(例えば余水の発生、子局自動制御異常)に限って**図12**に示す子局からの自動発信機能をもたせた。

(3) 4：N対向方式

平常時は周期監視でも、ゲート制御中は水路系全体を速い周期で監視する必要がある。このため1箇所制御でも、



注：略語説明
 NCU-AA(Network Control Unit：自動発着信用)
 HH(水位上上限)
 H(水位上限)

図12 余水予告監視 施設の安全性は水況監視が重要である。周期監視では余水のおそれがある場合、子局からの自動ダイヤル発信機能により、中央管理室で把握できる。

*6) 接続階てい話中：発信加入者がダイヤル途中もしくはダイヤル終了後、着信加入者に接続される途中で中継線又は交換機が使用中となっているため、接続できなくなること。

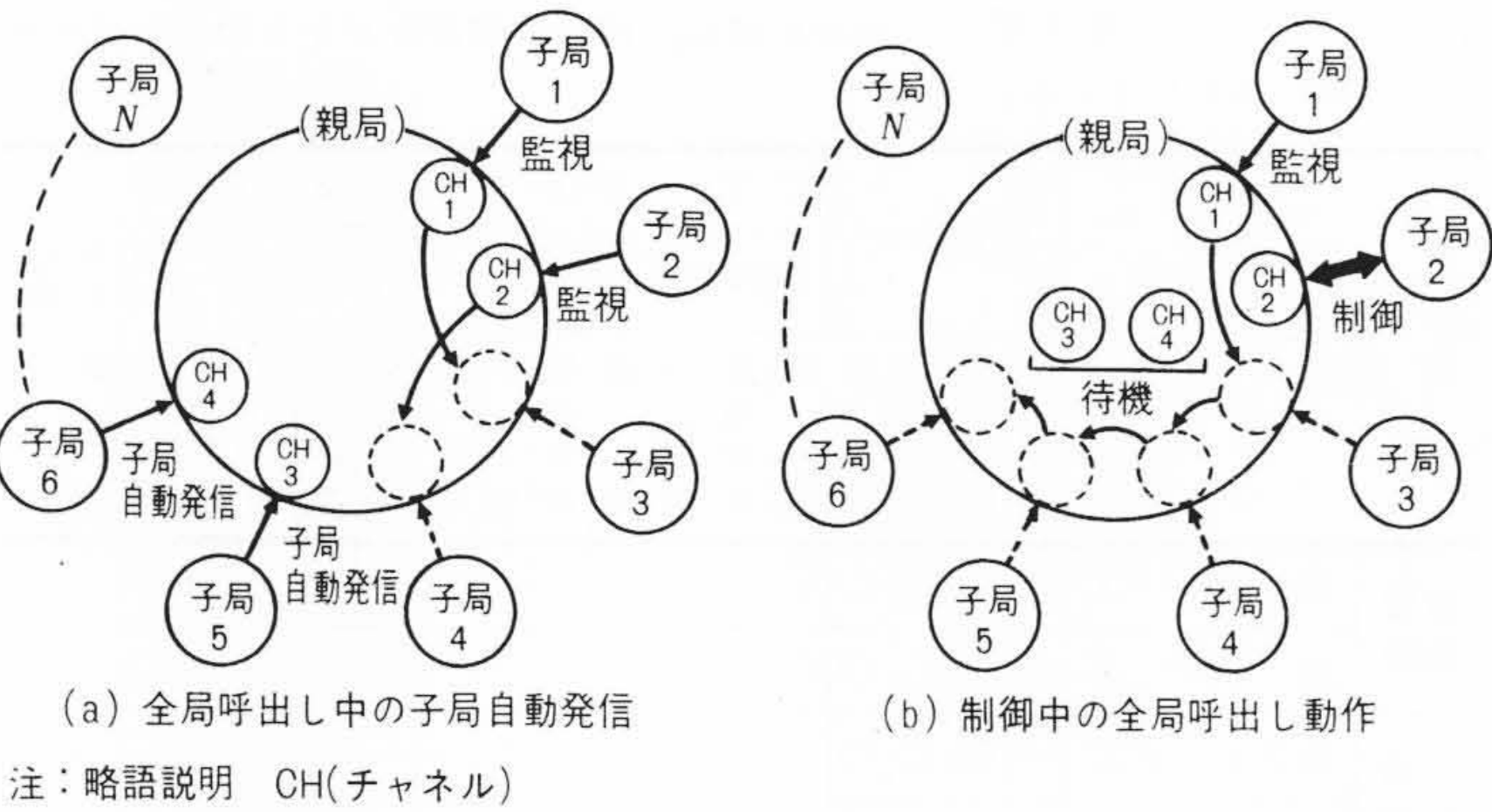


図13 4：N対向方式 (a) 親局で待機しているCH3及びCH4で受信し、CH1とCH2は全局呼出しを続行する。1チャンネル故障時は残りのチャンネルがバックアップする。(b) 制御中は一つのチャンネル(CH2)が子局と対向し、残りの1チャンネルで全局呼出し続行する。

他局の監視や緊急割込が可能な方式が必要であり、今回4：N対向方式を採用した。

図13(a)は定時呼出し中に子局から自動発信があった場合の対向状態を示す。子局自動発信前のチャンネル3とチャンネル4は同図(b)に示すような待機状態にあり、チャンネル1とチャンネル2が子局1、子局2と順に全局を呼び出す。子局から自動発信は、チャンネル3又はチャンネル4が対応する。ダイヤリング開始から通信終了までの時間は、市内回線で約25秒/局、市外回線で約35秒/局必要である。しかし、従来の1：N対向に比べ2チャンネルで収集が可能であり、接続時間を短縮できるうえ1チャンネル故障時は残りのチャンネルでデータ収集が可能なシステムとなっている。

4.3 計測，センサ

4.3.1 開度計

鉛直変換はゲート側で行なう場合と情報処理装置で行なう方式があるが、子局側マイナ制御のためゲート側で行なう方式とし、1cm単位の制御、表示を必要とするためデジタル式を採用した。

4.3.2 流量計，水位計

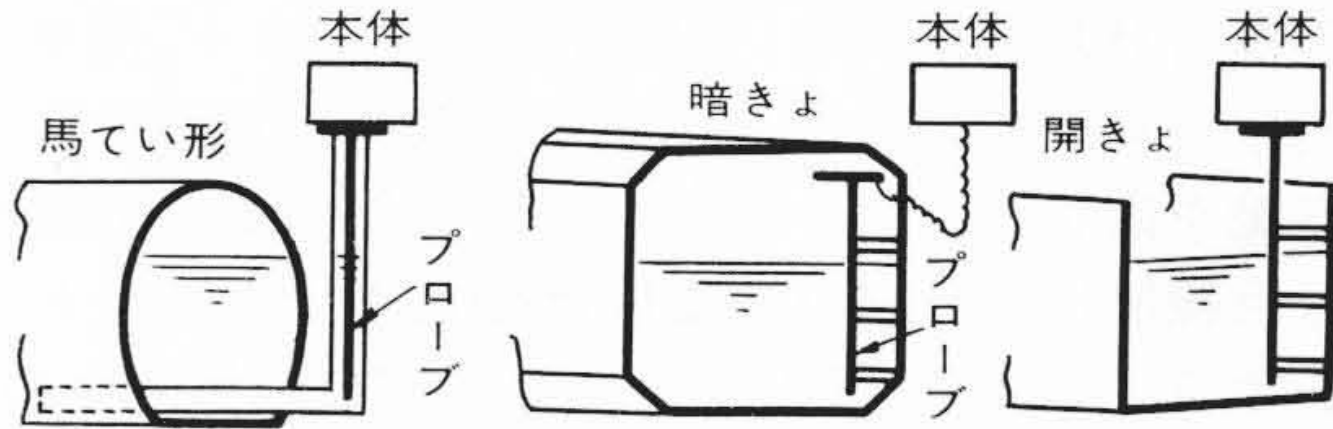
流量計，水位計の設置と選択結果を表3に示す。流量計の設置は、取水部，他幹線の受渡し部，チェック工区間単位設置を基準に設置し，開水路時の配慮は水路損失が小さく，大口徑に適したものが必要である。これには超音波流量計が最適である。

水位計は，取水部，チェックゲート上下流，余水吐に設置する。精度，据付方法などから選定する。アナログ式静電容量水位計は測定範囲が1m程度で，±1cm程度の把握が可能なほか，据付が容易で経済的なため，可能な限り適用した。水位計は取付位置が重要で，余水の影響，ゲート操作時の背水を避ける位置に据え付ける必要があり，このため表3に示す土木施設に応じた据付けを考慮している。

5 現地試験

- 現地通水試験を実施し，下記の結論を得た。
- (1) 流下遅れが従来の上流水位一定制御に比べ大幅に改善され，水路の安定時間が短縮する(図14)。これにより上下流域需要家に対し，取水条件の格差是正が図れた。
 - (2) ラジアルチェックゲート制御に発生しやすい水面振動や，ゲートハンチングのない流量制御を実現した。
 - (3) 加入電話回線の接続話中率⁵⁾も4%以下であり，監視制御上支障がないことを確認した。これにより，回線使用料⁵⁾が大

表3 計測，センサ選定 管理システムのデータは特に重要であり，センサの選択据付けなどは，施設構造や水況を見極めて決定する必要がある。静電容量式は可動部がなく，各種土木構造にマッチングが容易なため採用した。

条件 種類	設 置 位 置	開水路上の配置	使 用 セ ン サ	
流量計	取 水 部 他幹線の受渡し部 分水量チェック(区間単位)	水路ロス → 小 口 径 → 大	超音波式流量計	
水位計	取 水 部	必要精度	測定スパン	
			1m以内	1m以上
	チェックゲート上下流	±1cm程度	静電容量式	測柱式
		±5cm程度	静電容量式	静電容量式
	余 水 吐	±1cm程度	静電容量式	測柱式
				
静電容量式水位計据付方法				

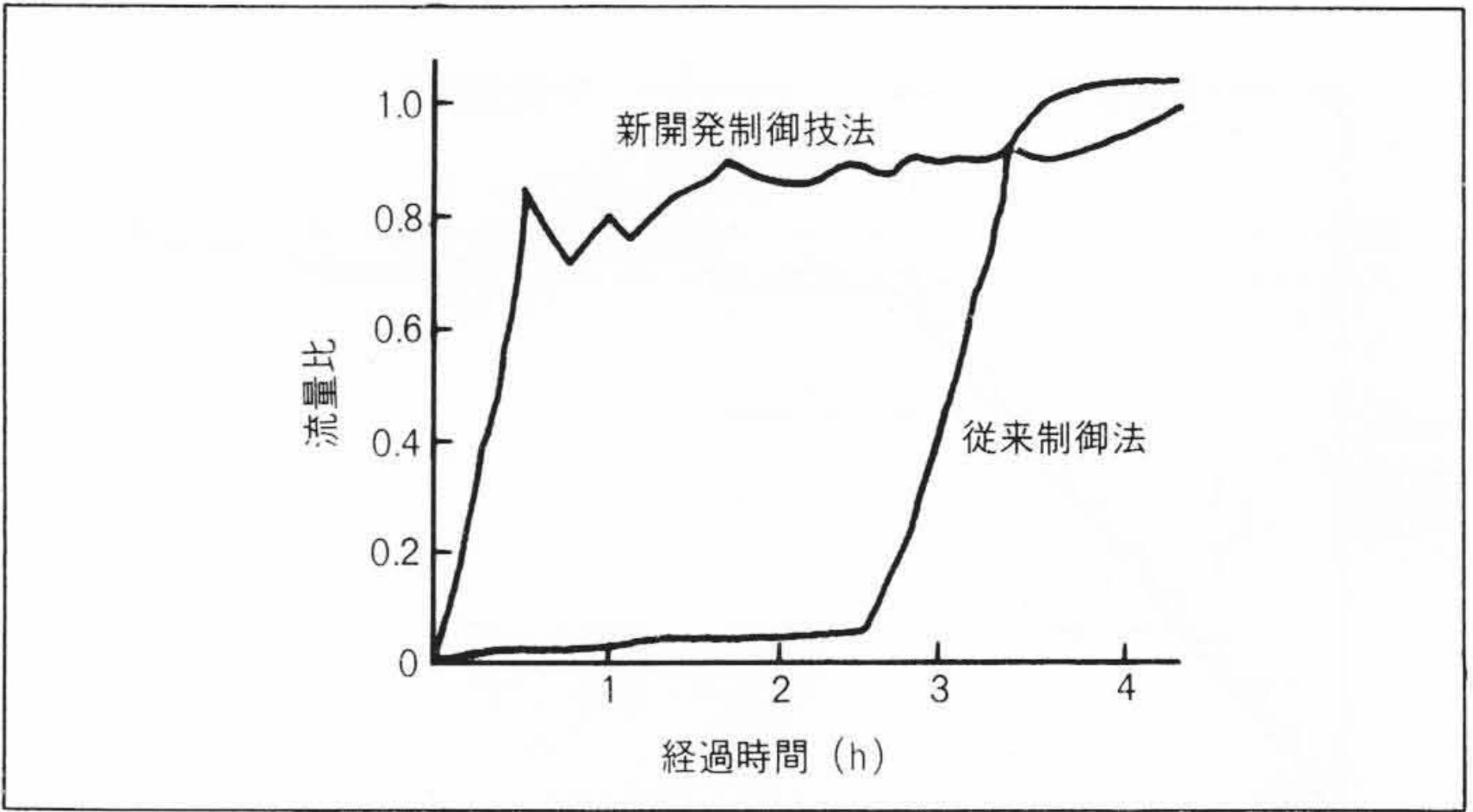


図14 水路安定時間の比較 従来制御法の上流水位一定制御との比較で，実通水試験の結果，新技法は大幅に改善されることが確認できた。流量比は試験前流量を0とし試験終了流量を1とし，経過時間は池田取水工から曾江谷放水工までを示す。

幅に低減したシステムを構築することができた。

6 結 言

本論文でも述べたように，ゲート制御方式をはじめ，4：N対向方式など今回新たに開発された項目は数多く，機能的にも予測制御から計測センサまで，多彩な内容になっている。今後，本システムで得られた技術を有効に生かしてゆければ幸いである。

本システムは，設計着手から現地調整完了まで長年の歳月を費やして完成したが，設計，製作，現地調整まで幾多の困難を解決して完成を見たもので，昭和60年5月から実運用に入り順調に運転している。

参考文献

- 1) 農林水産省構造改善局：水管理技術指針(ダム・頭首工・用水路編)，農業土木事業協会(昭57)
- 2) 農林水産省構造改善局：水管理技術指針(ポンプ場編)
- 3) 中国四国農政局：吉野川北岸農業水利事業概要書(昭56-4)
- 4) 岩崎：農業用水路における用水到達時間に関する研究，農業土木試験場報告，第21号別刷(昭56)
- 5) NTT：加入電話網を利用するデータ通信等のための技術参考資料(第2版)(昭51)
- 6) 農業土木機械化協会：農業土木の機械化，第16巻，第3号(昭57)
- 7) NTT：専用線・特定通信回線の主な新旧料金一覧表(昭59)