

上下水道分野における計算機制御システム

Computer Control Systems for Water and Wastewater Plants

上下水道分野での計算機制御システムは、省力化・自動化のニーズにこたえ、当初はデータロガーから始まり、順次水量、水質のプロセス制御へと発展してきた。現在では高精細CRT採用によるプラント監視マンマシン機能高度化、プラント運転自動化率の向上、オペレーションガイド機能充実による運転操作性向上など、機能高度化と使いやすいシステムへの努力が続けられている。一方、機能の拡大とともにシステム構成機器の冗長化、危険分散、処理の負荷分担を図って、計算機システムの信頼性・処理性を向上させ、重要度の増大する計算機制御への期待にこたえている。

笠井武郎* Takeo Kasai

高木直文* Naobumi Takagi

1 緒 言

上下水道分野での計算機制御システムは、当初、浄水場あるいは下水処理場のデータロガーシステムとして導入された。以来水質、水量など計測計器の進歩とあいまって、プロセス自動制御へと発展してきた。最近では都市機能維持の基本施設としての上下水道施設の重要性が高まり、上下水道施設の稼働信頼性(上下水道施設の無停止)向上、及び水質、水压などサービス性向上の追及が続けられている。

日立製作所は、このような背景のもとに典型的な社会システムである上下水道施設計算機制御システムの高度化に対し

開発と実用化を推進してきた。

上下水道施設と代表的計算機システムの関係を示す。

上水道施設は、取水場、浄水場、配水池及び配水管網から構成されている。同様に下水施設は、中継ポンプ場、下水処理場、雨水排水機場などから構成されている。このように上下水道施設は、主要施設が都市全域にわたって設置される広域大規模システムである。

これら大規模システムを統轄制御する計算機制御システム

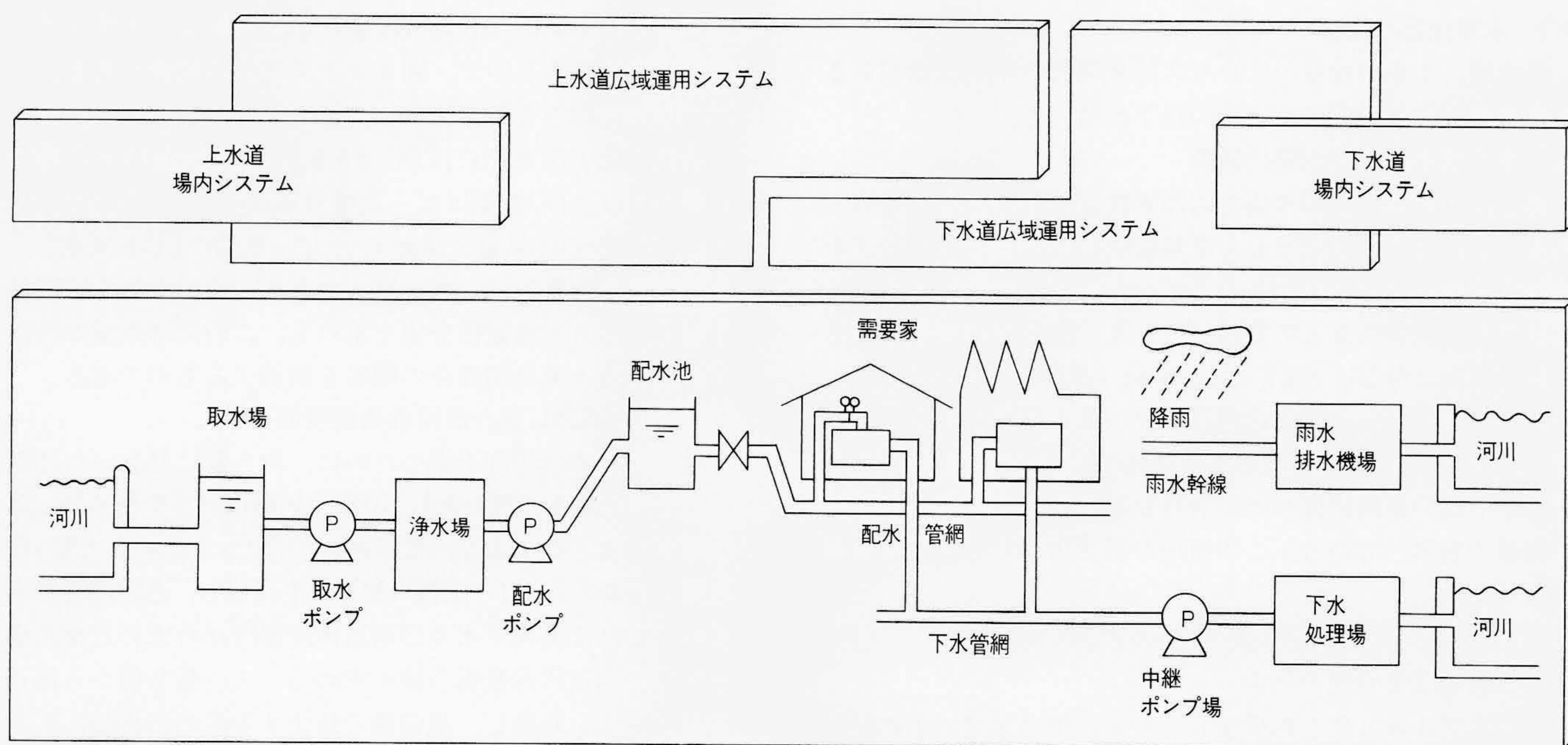


図1 上下水道施設と計算機制御システム 広域大規模システムである上下水道施設を統轄制御する計算機制御システムは、上下水道とも、主要施設の機場場内システムと広域運用システムに大別される。

* 日立製作所大みか工場

は、空間的に機能階層、水平分散配置された広域ネットワークシステムを構成している。大別して、浄水場・下水処理場など主要プロセスを監視制御する場内監視制御計算機システムと、上水道及び下水道施設を統合的に運用管理する上下水道広域運用システムに分けられる。

日立製作所は、上下水道施設全域にわたってプロセス制御、運用制御の技術開発を進めてきた。以下、上下水道分野での計算機制御システムの現状について述べる。

2 場内監視制御計算機システム

上下水道の中核機場である浄水場・下水処理場プラントは、土木・建築・受配電設備・ポンプ設備・薬品注入設備から成る複合システムである。監視制御項目は大規模浄水場では1万点に達し、巨大化の傾向にある反面、少人数運転の要請が高まっている。一方、中心技術である水質・水量の制御は、自然界である用水環境に依存する部分が大きく、プロセス運用を困難にしている。このような運転環境では、計算機システムの持つ情報の高速収集・演算制御能力の導入が不可欠で、上下水道システムの機場への導入が進められている。このため、計算機システムに対する要求も機能、性能の両面にわたって高度なものとなってきている。

このような要請にこたえる場内監視制御用計算機システムは、次のような特長を持たせている。

- (1) プロセス運用ノウハウ蓄積と、水質・水量制御技術を確立して、各種モデル、アルゴリズムを用意していること。
- (2) 新しいマンマシンデバイスを積極的に導入して、マンマシンコミュニケーション機能の高度化を図ること。
- (3) 二重化構成技術を確立して、高信頼システムを実現すること。

2.1 水質制御の概要

浄水場、下水処理場のプロセス計算制御の中心技術である水質制御技術の概要について、以下に述べる。

(1) 浄水場薬品注入制御の概要

薬品注入制御は、浄水場での浄水技術の中心となるものである。これは原水の濁質分を凝集剤の凝集効果でフロック形成し、沈殿池で沈降除去させるものである。取水した原水水質は季節、天候によって変動しており、凝集剤の凝集効果も水質の変動に対応して変化する。有効な凝集効果を得るには、一定の水質を保ちながら凝集剤を注入する必要がある。この際に、原水アルカリ度、凝集水アルカリ度及び凝集水pHの3要素を一定の範囲に保つと、有効な凝集効果が得られることが実験で判明している。この領域が図2に示す「有効凝集領域」である。

計算機による薬品注入制御は次のとおりである。

(a) 有効凝集領域の制御

原水アルカリ度を指標としたフィードフォワード制御、凝集水アルカリ度、凝集水pHを指標としたフィードバック制御により、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。

(b) 凝集剤注入制御

有効凝集領域内に維持されている水に対し、原水濁度及

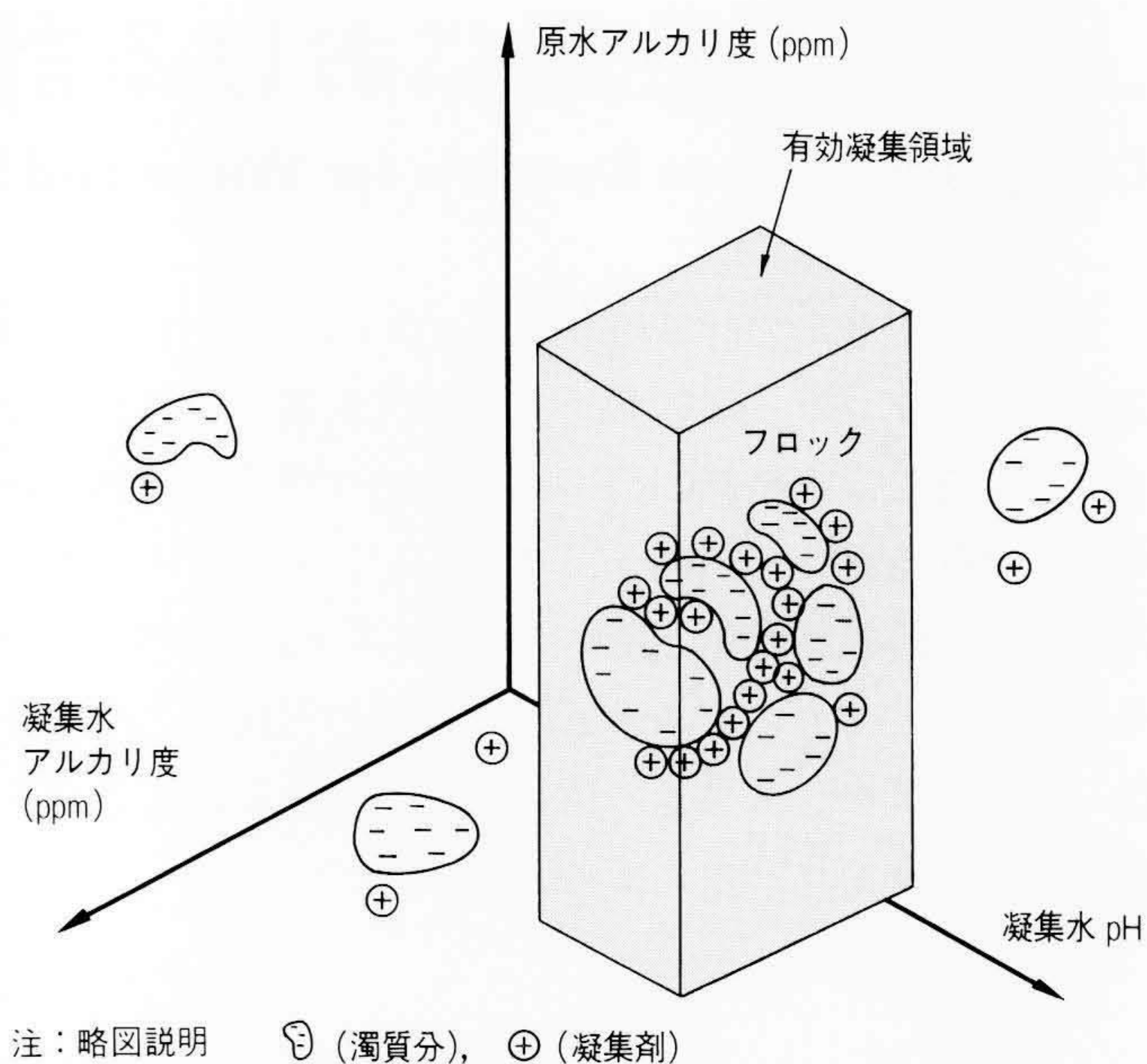


図2 有効凝集領域 凝集剤が凝集効果を良好に発揮する水質領域がある。これが「有効凝集領域」である。

び凝集剤が注入される時点での修正アルカリ度(滅菌のための塩素注入によるアルカリ度補正)に対応して凝集剤注入率を演算し、凝集剤を注入する。

本方式による制御では、水質変動に追従して注入率が変更され、余裕率が小さくでき、凝集剤使用量が20%程度減少できる。

(2) 下水処理場水質制御の概要

下水処理場の汚水浄化プロセスは、ばっ気槽内の活性汚泥が流入下水中の有機物を栄養分として増殖し、沈殿池で沈降除去するものである。計算機による水質制御は、活性汚泥の活性度を維持するもので、図3に示す三つの制御がある。

(a) DO制御(溶存酸素濃度制御)

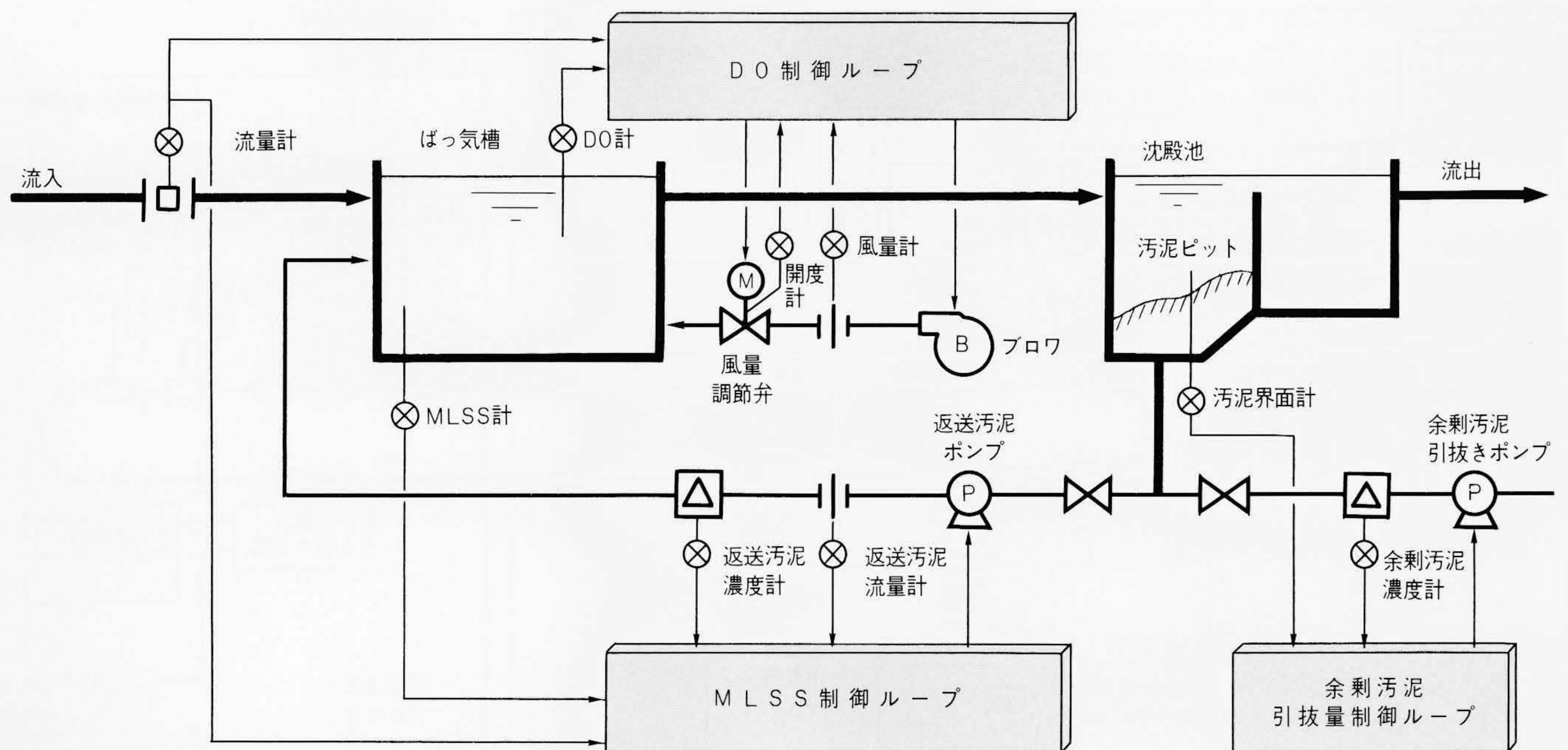
活性汚泥の活性化にはDO値を0.5~1.0 ppm以上に保つ必要がある。DO制御はばっ気槽のDO濃度が一定になるように、ブロワの送風量を制御する。ばっ気槽のDOを測定し、必要な風量を算出、これに流入水量から算出される補正値を加え、ばっ気風量指令値を求める。この指令風量から、ブロワ台数と風量調節弁の開度を制御するものである。

(b) MLSS制御(混合液浮遊物濃度制御)

活性汚泥の活性度を保つために、流入量に見合った活性汚泥を供給する必要がある。MLSS制御はばっ気槽のMLSS濃度が一定になるよう、沈殿池の汚泥ピットからの返送汚泥量を制御する。ばっ気槽のMLSSを測定し、返送汚泥量を求め、これに流入下水及び返送汚泥濃度から求めた補正値を加え、返送汚泥量指令値を求める。この指令値から返送汚泥ポンプを起動し、規定量で停止するものである。

(c) 余剰汚泥引抜量制御

余剰汚泥引抜量制御は、返送汚泥に必要な汚泥量を確保した上で、余剰分を引き抜く制御で、活性汚泥の活性度を保つため、汚泥の交替を図るものである。沈殿池の汚泥界面を測定し、規定値以上の場合引抜きポンプで引き抜く。



注：略語説明 DO（溶存酸素）、MLSS（混合液浮遊物濃度）

図3 下水処理場の水質制御 活性汚泥処理プロセスの汚泥活性化を目的として、DO、MLSS、余剰汚泥引抜量の3制御がある。

引抜きの停止は引抜量が規定値になったとき、又は濃度が規定値以下のとき停止するものである。

以上の制御方式は代表例であり、プロセスの構造、流入水量・水質の特性により異なる。複数の制御方式を用意して、処理場の特性に合わせ選択使用している。

2.2 監視制御計算機システムの構成

少人数運転が可能で、水質・水量のプロセス制御が中心となる場内監視制御計算機システム構築の基本は次のとおりである。

(1) 自律分散形システム

水処理プロセスや主要機器は、複数系列、複数台数設置して、機能の全面停止を防止している。監視制御計算機システムは自律分散形システムとし、信頼性を確保する。すなわちローカルのプロセス機器の制御は、機器の分散度合と協調をとり、水平分散設置する。統合監視と管理及び協調制御は中央に設置した管理用計算機に集中して、情報処理と制御指令演算を担当させる。伝送路は高速多重伝送路を採用し、ローカルコントローラ間、ローカルと中央計算機間のデータ伝送を行う。高信頼化による少人数運転を可能とし、負荷分散による処理性向上と高速伝送路により高い応答性を実現する。

(2) 全員参加のシステム

プラントの維持管理、水質管理、設備計画を担当する各エンジニアに必要なデータを提供し、相互対話を可能とし、全員参画意識もてるシステム作りを図る。この対応具体策を以下に示す。

- 監視制御計算機にアクセス容易なプラントデータベースを構築する。
- エンジニアリングワークステーションを分散配置し、データベースの検索と相互交信を可能とする。

(c) ワークステーションにはパッケージソフトを豊富に装備し、個別業務を支援する。

以上のような構築の基本思想に沿ったシステムの具体例として、大規模浄水場、大規模下水処理場の監視制御計算機システムを以下に述べる。

2.2.1 大規模浄水場の監視制御計算機システム例

大規模浄水場の監視制御計算機システムの代表的な構成例を図4に示す。本システムは次の特長を持つ。

(1) 高信頼化システム

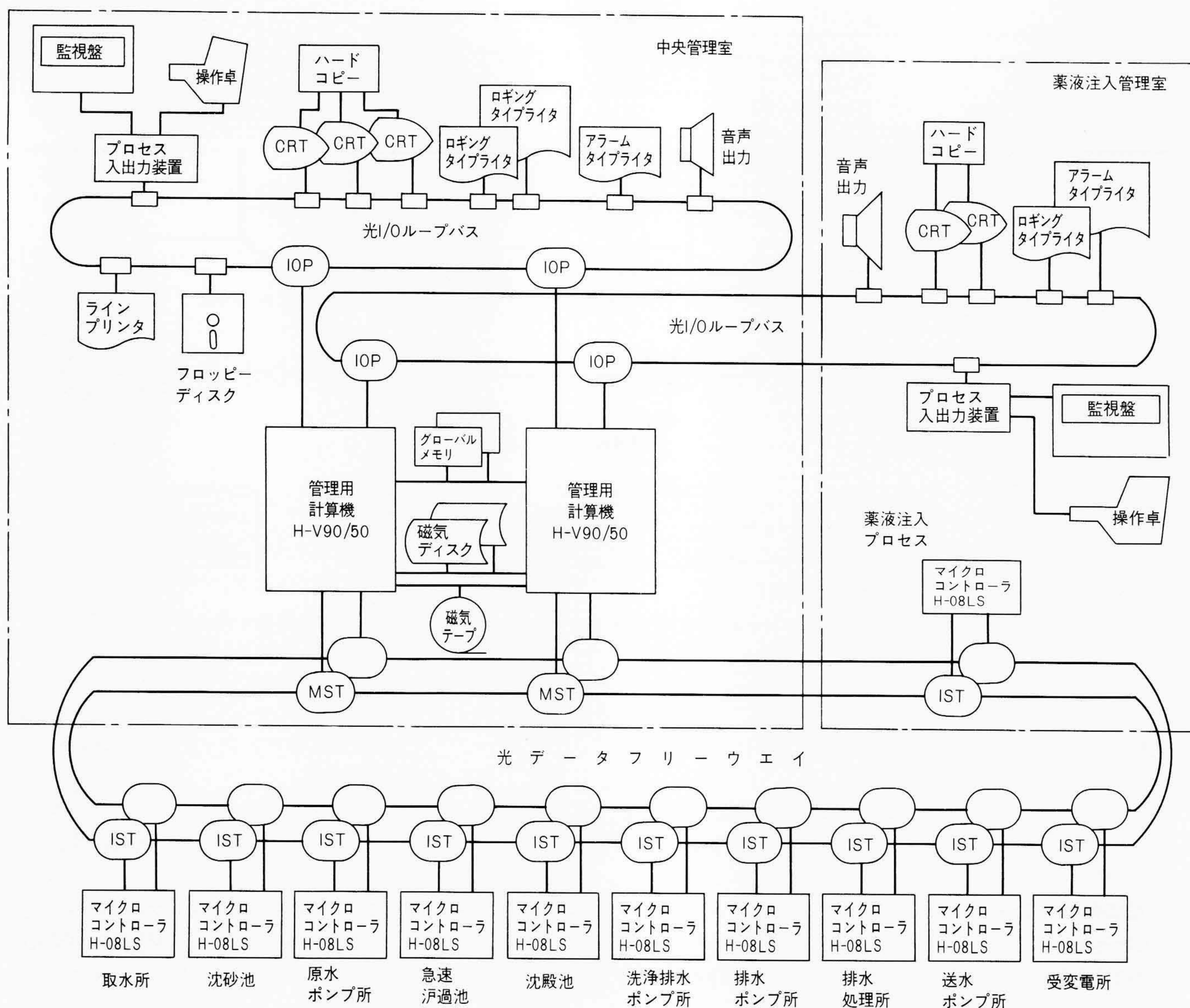
機械設備単位にコントローラを分散設置し、1台のコントローラの障害波及範囲を局所化し、設備運転の高信頼化を図った。中央の監視盤、操作卓、CRT(Cathode Ray Tube)による監視操作機能の停止を防ぐため、管理用計算機、伝送路を二重化した。伝送路は光データウェイを採用し、高いサージ、雑音耐性を実現した。

(2) 運転自動化率の拡大

運転負担の軽減と高い精度で安定した運転の維持を目的として、自動運転の徹底を図った。水配分計画、薬品注入モデル制御などの統括制御は中央管理用計算機が担当し、設備に直結した制御はローカルコントローラに担当させて、制御機能の負荷を分散し、処理性の向上を図った。

(3) マンマシン性の向上

高度に自動化されたシステムでは、運転員がプラントの状況を的確に把握するために、マンマシンコミュニケーション機能が重要である。プラント運転状態のマクロな監視は監視盤で行わせている。CRTにはミクロな監視とポンプの起動・停止など、関連設備が多岐にわたる主機の操作に、必要な情報を集約表示している。監視盤とCRTの特性を生かした機能分担で、監視操作性の向上を図った。



注：略語説明 H-V90/50(HIDIC V90/50日立制御用コンピュータ), IOP(入出力プロセッサ), MST(マスタステーション), IST(インテリジェントステーション)

図4 大規模浄水場の監視制御計算機システム例 大規模浄水場システムでは、分散制御集中管理システムが多用され、伝送路や管理用計算機の二重化が定着しつつある。

音声出力装置は、自動運転の進行状況や故障ガイダンスの通報に使用している。また、放送設備と連結して、運転員がローカル設備の巡回点検中でも、情報伝達を可能にしている。大規模浄水場中央管理室の監視盤、操作卓の概観を図5に示す。

2.2.2 大規模下水処理場の監視制御計算機システム例

大規模下水処理場の監視制御計算機システムの代表的構成例を図6に示す。本システムの特長は次のとおりである。

(1) 中央機能の分散

必要な箇所に必要な機能を分散装備する自律分散システムの思想に基づき、中央機能を分散している。管理用計算機側のCRTによる監視操作機能の停止に備え、監視操作マイクロコントローラを独立設置して監視盤、操作卓を駆動する。これによって、監視、操作の機能信頼度の向上を図っている。

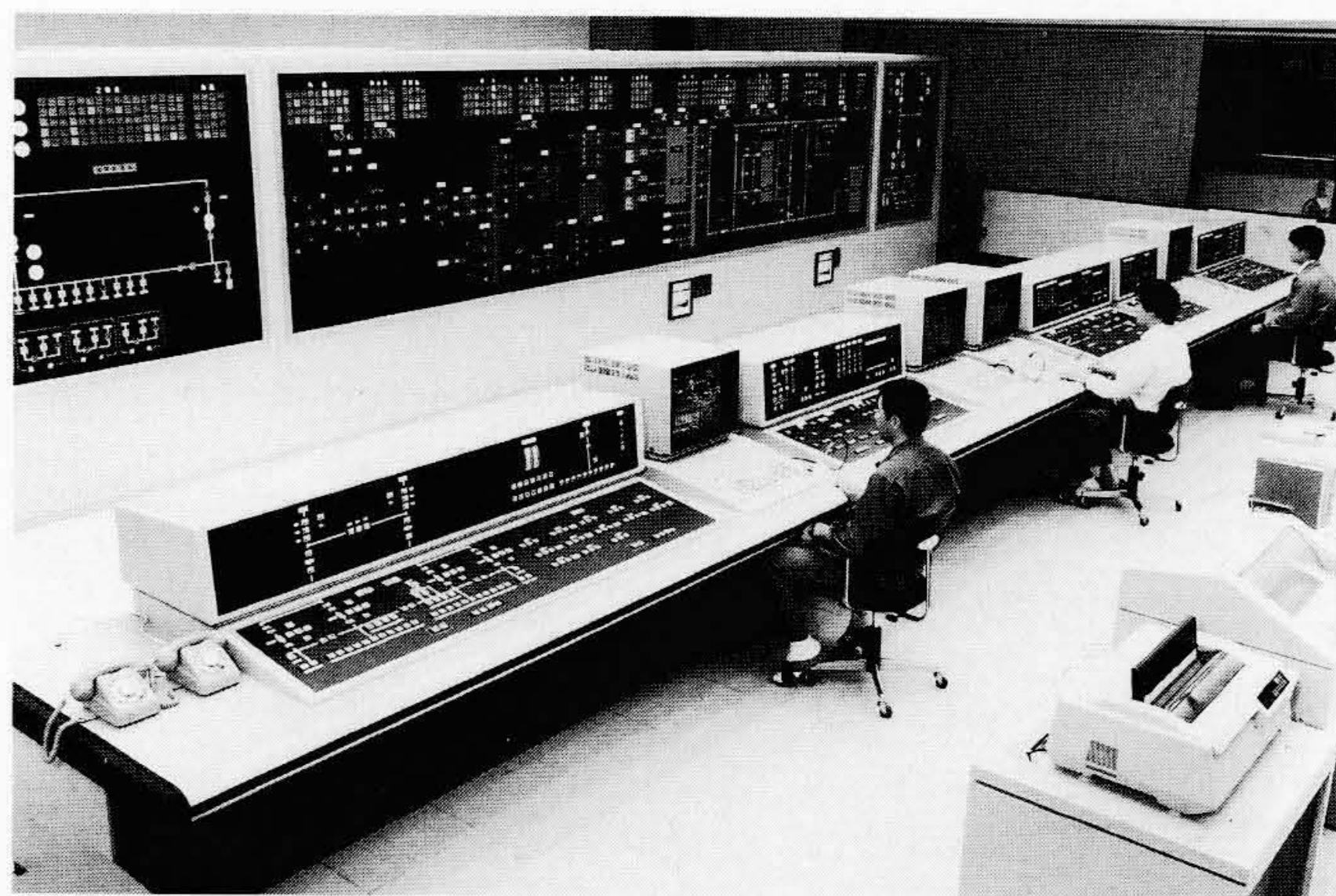
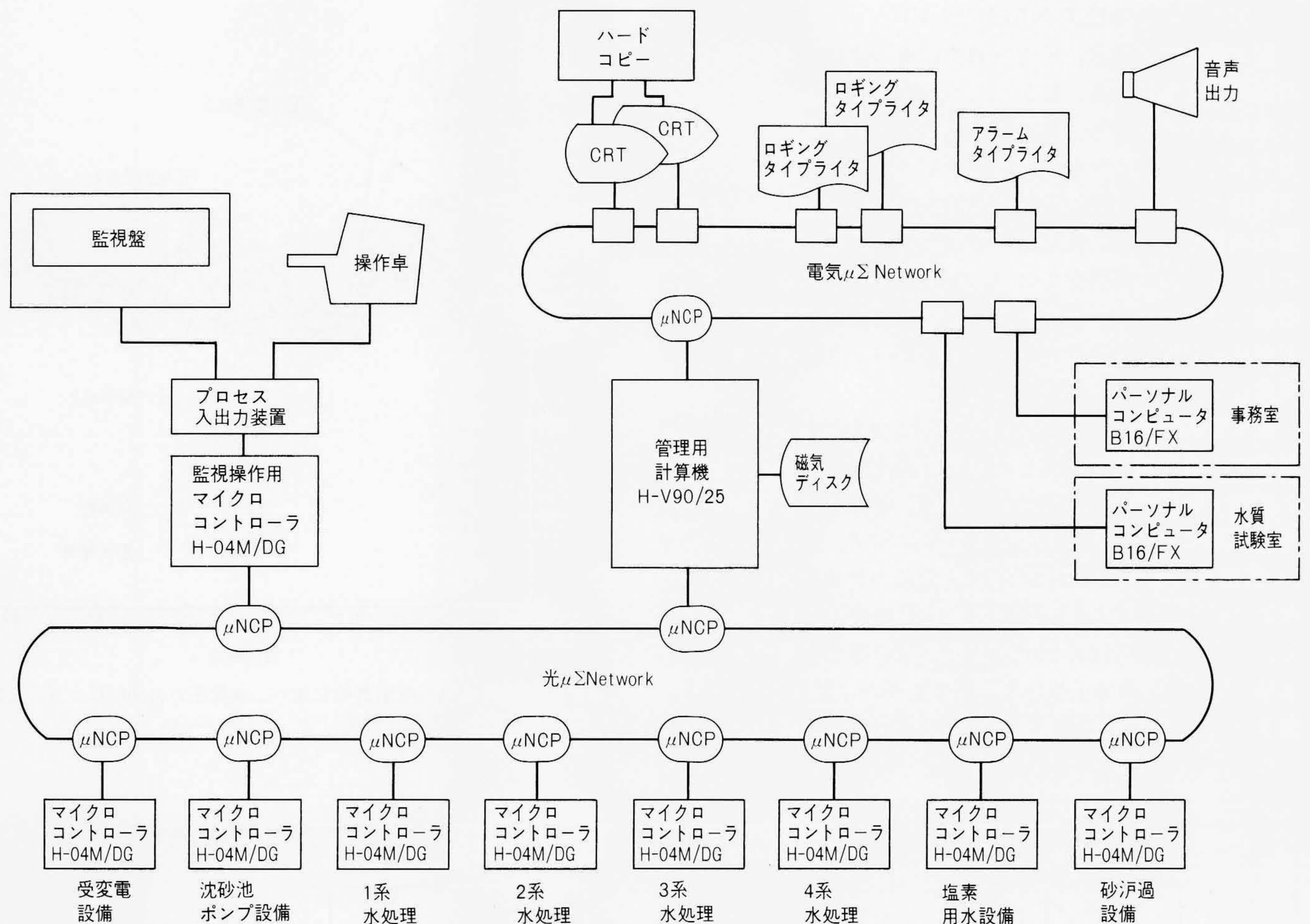


図5 大規模浄水場中央管理室の監視盤と操作卓 プラントのマイクロ監視は監視盤で行い、ミクロ監視と制御は関連データを集約表示したCRTで行い、監視操作性の向上を図っている。



注：略語説明 μ NCP(μ Σ Networkコントロールプロセッサ), H-V90/25(HIDIC V90/25日立制御用コンピュータ)

図6 大規模処理場の監視制御計算機システム例 監視盤、操作卓用にマイクロコントローラを置き、中央の監視・操作機能をCRTのほかに、独立して持たせた自律分散システムである。

(2) 全員参加のシステム

プラントデータを公開し、相互対話による全員参加を図っている。設備計画と維持管理を行う事務室、水質管理を行う水質試験室にオンライン端末としてパーソナルコンピュータを置いている。水質・水量の水の挙動に関するデータ、機器の運転時間、動作回数の保全に関するデータのほか、単位処理量当たりの電力や薬品使用料などの効率に関するデータも提供している。

3 広域運用システム

3.1 上水道広域運用システム

原水取水施設、浄水場、配水池及び配管網から成る上水道広域システムを統合体としてとらえた広域運用技術は、当初、データの集中計測及び集中制御を目指す遠方制御から始まった。次いで平常運転コスト最小化、省資源を目的とした経済運用へと移行した。最近では水供給安全性確保のため、異常時対応(施設故障、水質事故)及び情報高度利用、情報サービスネットワークへ進展しつつある。

3.1.1 上水道水運用システム

水運用システムは取水、浄水場及び配水池設備の経済運用(薬品、水輸送コスト)と水資源、施設の有効活用を図るもの

で、中核技術は次のとおりである。

- (1) 長期運用計画(需要予測と配分計画)
- (2) 短期運用計画(日単位需要予測と配分計画)
- (3) 翌日運用計画(時単位需要予測と配分計画)
- (4) 安全制御(系安定評価、緊急及び復旧制御)

3.1.2 上水道配水系運用システム¹⁾

配水系運用システムは、配水管網内のバルブやポンプを操作して、需要家サービス水圧の確保、過剰水圧防止による漏水低減、及び他事業体との契約水量遵守を目的としている。広域に配置されている配管網を制御する主な技法は次のとおりである。

(1) 最適設備計画技法(NEFLAN-A)

配水管網の圧力制御のためには、管網の流量、流向、水圧分布、最適計測点(流量、圧力)、操作バルブ設置点を決定する管網解析が不可欠である。管網のノード数は数百、変数は数千に達するうえ、非線形特性のため解析に長時間を要する。NEFLAN-A(Network Flow Analysis and Planning Method-Analysis)は、管網の流量収支と圧力平衡式を満足する流れが、ある種の最適化問題の解になることに着目して、Primal-dual法を採用し、従来のマーロー法に比べて $\frac{1}{7}$ の時間短縮を実現している。

(2) 配水管網制御技法 (NEFLAN-C)

配水管網内の流量、圧力を適正に保つには、多数のバルブの操作が必要になる。しかし、バルブ操作は圧力と流量が強い非線形特性を持ち、また、これらが多数全域にわたって相互干渉しあうことから、単独なフィードバック制御だけでは不可能である。NEFLAN-C (NEFLAN-Control) は配水池出側の流量をとらえ、まずその需要量での最適バルブ開度を求める。かつその需要量でのバルブの感度を求める圧力・流量最適化計算部分と、感度を用いて微小な需要変動に対処し、計測値を目標値に合致させるフィードバック制御計算部分で構成した。

配水管網制御は、このNEFLAN-Cと実用精度を得られる範囲内で、実管網を簡略化した縮約管網モデルによって制御用計算機で制御可能としたものである。本方式による制御を実施中の高松市のシステム構成を図7に示す。同図に示すように、制御は計算機と広域に散在する施設の計測情報を収集し、制御情報を送出する遠方監視制御装置を中核として構成される。バルブ制御所は計測、制御両機能を持つ子局であり、浄水場・配水池、高地区給水所、圧力監視所は計測子局である。図8はバルブ制御後の末端圧トレンドである。圧力は平坦となり、特に夜間の高水圧がなくなっている。

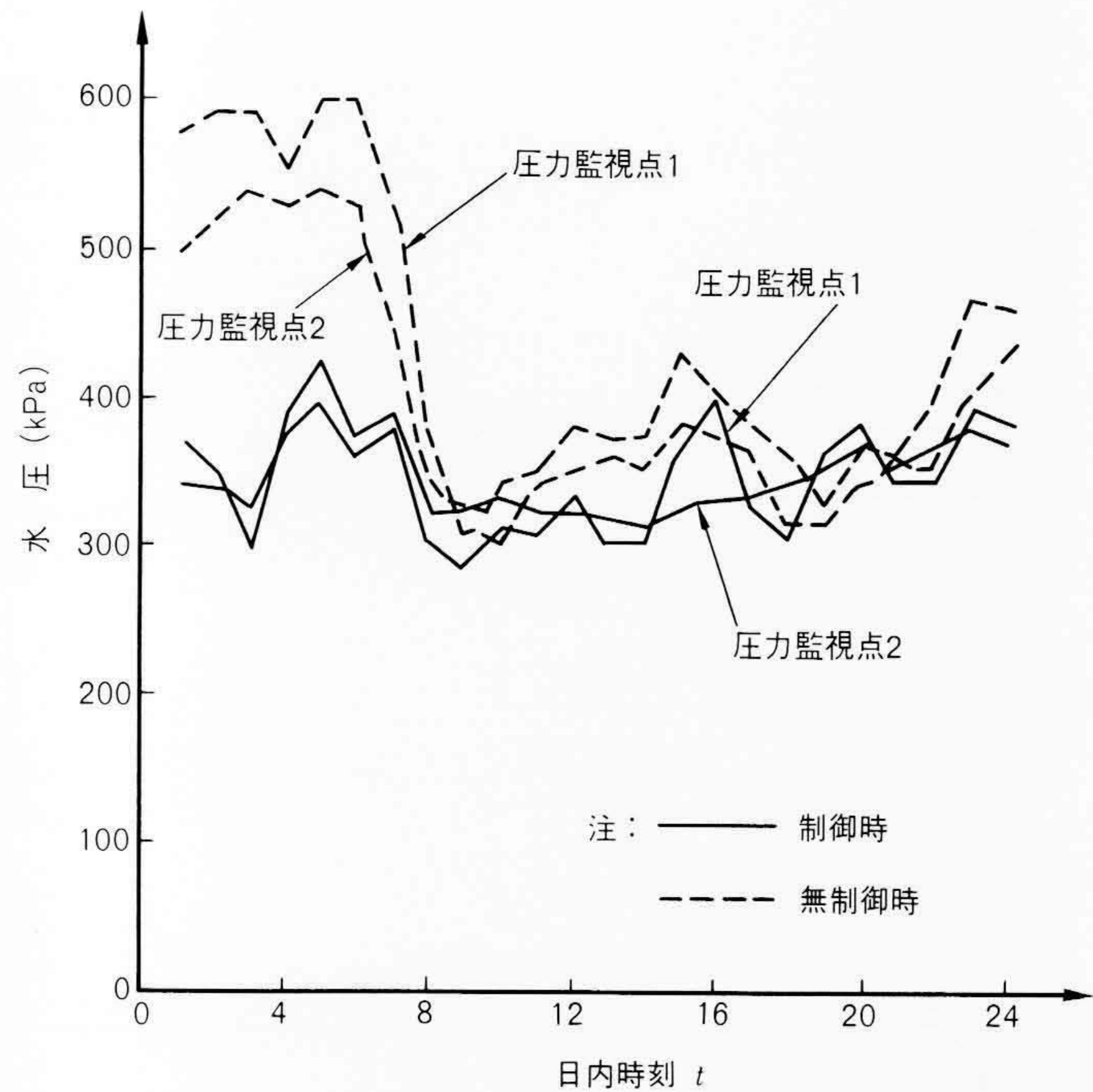
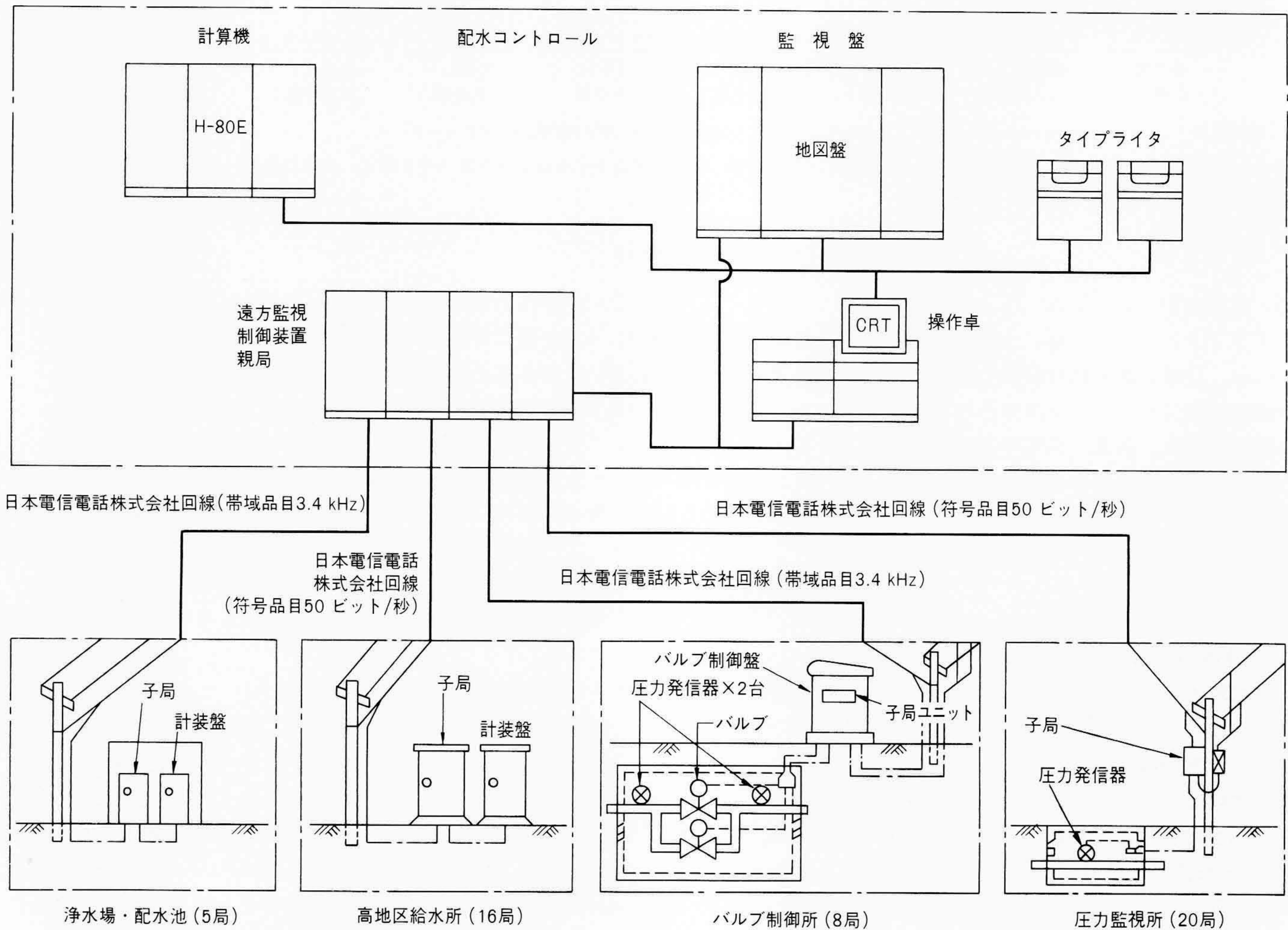


図8 制御実績 無制御時に比べ、夜間圧力の抑制により、圧力均一化の効果が分かる。



注：略語説明 H-80E (HIDIC 80E 日立制御用コンピュータ)

図7 配水コントロールシステム構成図 遠方監視制御装置で収集したデータで、最適なバルブ開度を計算し、バルブ制御所へ設定値を送出する。

3.2 下水道広域運用システム

下水管きょ(渠)、中継ポンプ場、下水処理場、雨水排水機場が都市全域に設備された広域下水道システムの運用は、汚水量、水質、降雨状況を全域にわたって計測、監視しながら統合的判断のもとに運用されている。広域下水道運用システムの構成例を図9に示す。管理用計算機、各施設との情報伝送を行う遠方監視制御装置及び通信制御装置を中心に構成する。

管理用計算機の運用制御技術は次のとおりである。

(1) 監視・規制

主要地点に検出端を設け、水量・水質特性を把握し、制御と規制のための基礎データを収集する。排出基準違反の排出源に対し報告し、処理場の負荷軽減を図る。

(2) 雨水放流制御

河川の汚濁防止のため、初期雨水の貯留・処理と、いっ(溢)水防止・機器冠水防止を目的とする雨水の河川放流を行う。ポンプ場、処理場を対象に行う。

(3) 混合希釈制御

処理場の負荷軽減のため、悪性汚水の希釈を行う。ポンプ場を対象に行う。

(4) 負荷平滑化制御

処理場の負荷変動を軽減し、処理効率の向上と安定化を図る。ポンプ場と処理場を対象に行い、高濃度汚水の希釈と負荷変動の両面から平滑化を行う。

(5) ポンプ運転制御

管きょ内への砂石たい(堆)積防止を目的とする管きょ内流速制御、流入予測による起動・停止タイミング制御、省エネルギー経済運転制御を行う。

3.3 遠方監視制御技術

広域運用制御で、広域に散在する施設の監視と制御を行うために、遠方監視制御装置が使用されている。計算機制御システムと遠方監視制御装置との関係を図10に示す。遠方監視制御装置は、計算機システムからみた場合、情報伝送装置として位置づけられるが、計算機故障時は単独で監視操作を行う機能を持ち、システムの信頼性を高めている。

広域運用制御システムが対象とする施設群は、規模や機能が異なるため規模、機能と合理的に整合できるように大容量から極小容量まで、装置はシリーズ化されている。施設側に設置される子局の機能は、その制御内容によって図11に示すとおりに区分し、最適な機種を提供している。また、子局の

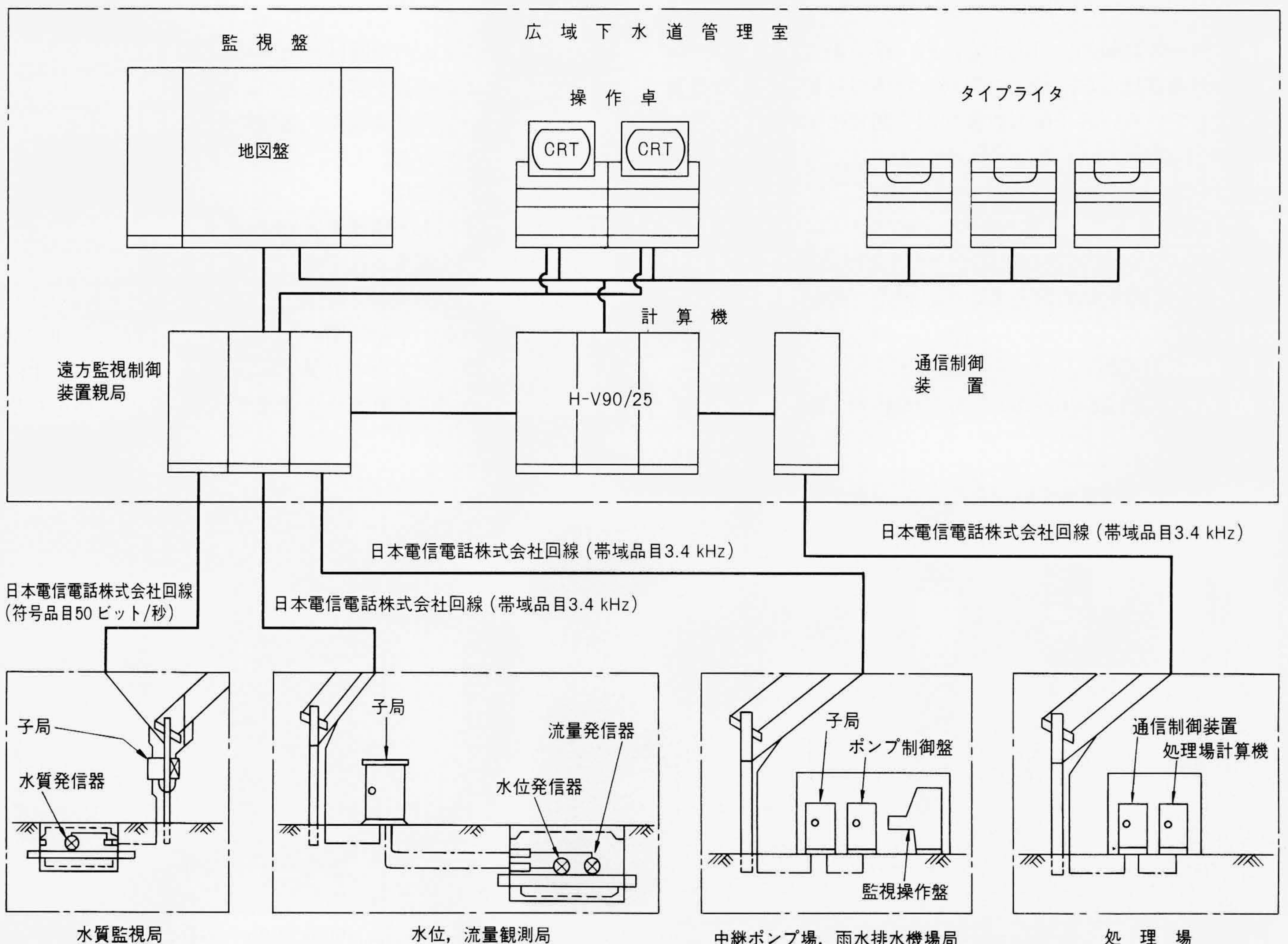
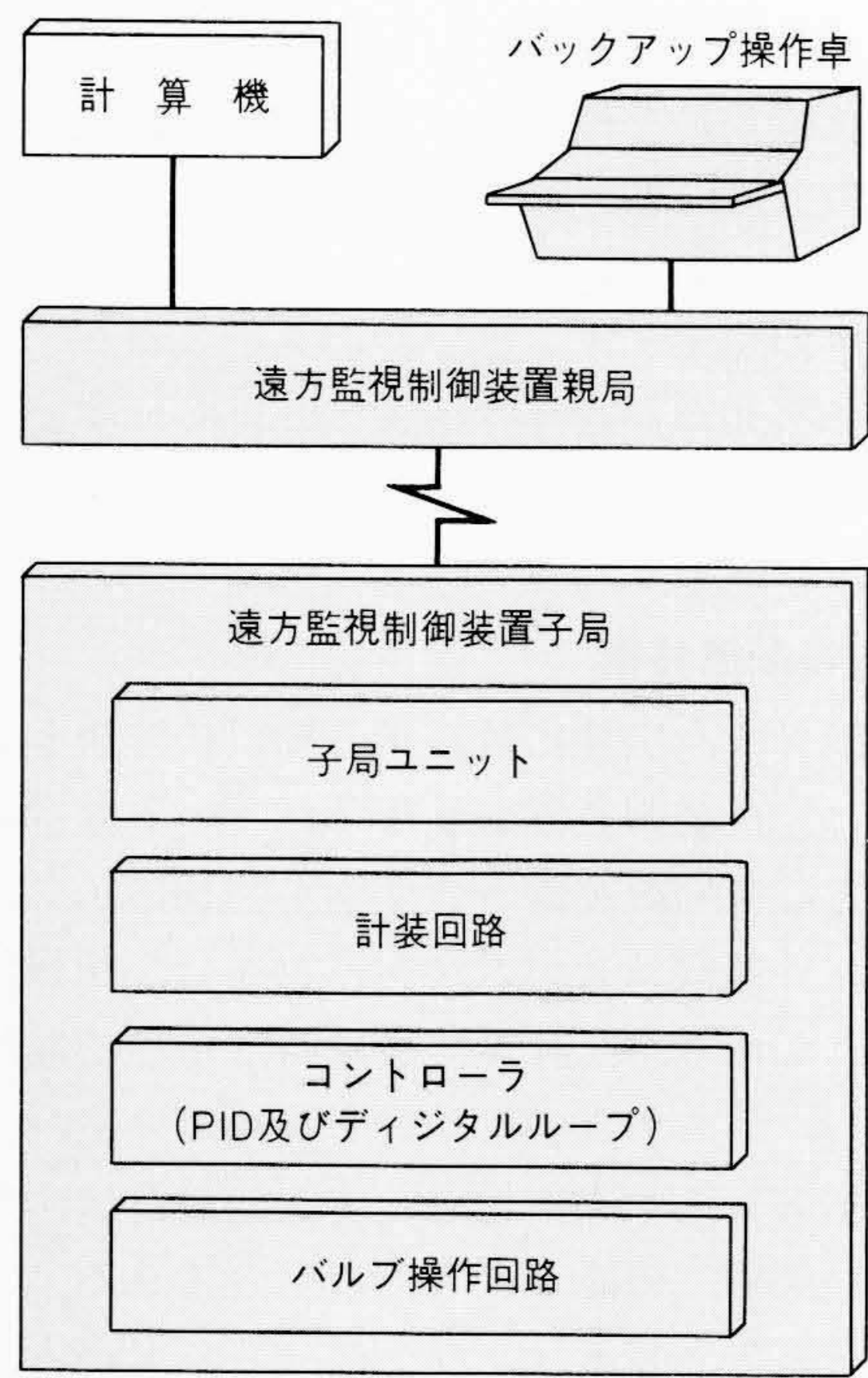


図9 下水道広域運用システムの構成例 遠方監視制御装置及び通信制御装置で各機場と結び、総合的な運用管理を行う。



注：略語説明 PID(比例・積分・微分)

図10 遠方監視制御装置の構成 計算機システムとの関係では情報伝送装置となり、単独では監視操作設備の構成をとる。

圧力，流量 プログラム 制御				マイクロ コント ローラ
圧力，流量 設定制御			ワン ループ コント ローラ	
バルブ 開度制御		電電 ポジション		
バルブ 手動調整		バルブ操作回路		
データ測定		弁 開 度 計		
	圧 力 ， 流 量 計			
データ送受信	TM (01M/12M)	TM/TC (04M)	TM/TC (14M)	TM/TC (5050)
機 能	監 視	バルブ 開度制御	圧力，流量 制御	
	子 局 機 能			

注：略語説明 TM(遠方監視装置), TM/TC(遠方監視制御装置)

図11 遠方監視制御装置の子局機能 監視、制御の機能レベルにより、装置のハードウェア構成は異なる。

設置スペースの制約に対応するため、路上局、柱上局、マンホール内設置局など、種々の形状、対環境対策を施した装置を用意している。各子局の設置状況を図12に示す。

4 最新技術の上下水道分野への展開

上下水道計算機制御システムは、ますますニーズが高度化している。これを実現するため、各種新技術の上下水道分野への導入が積極的に行われている。以下、代表技術について説明する。

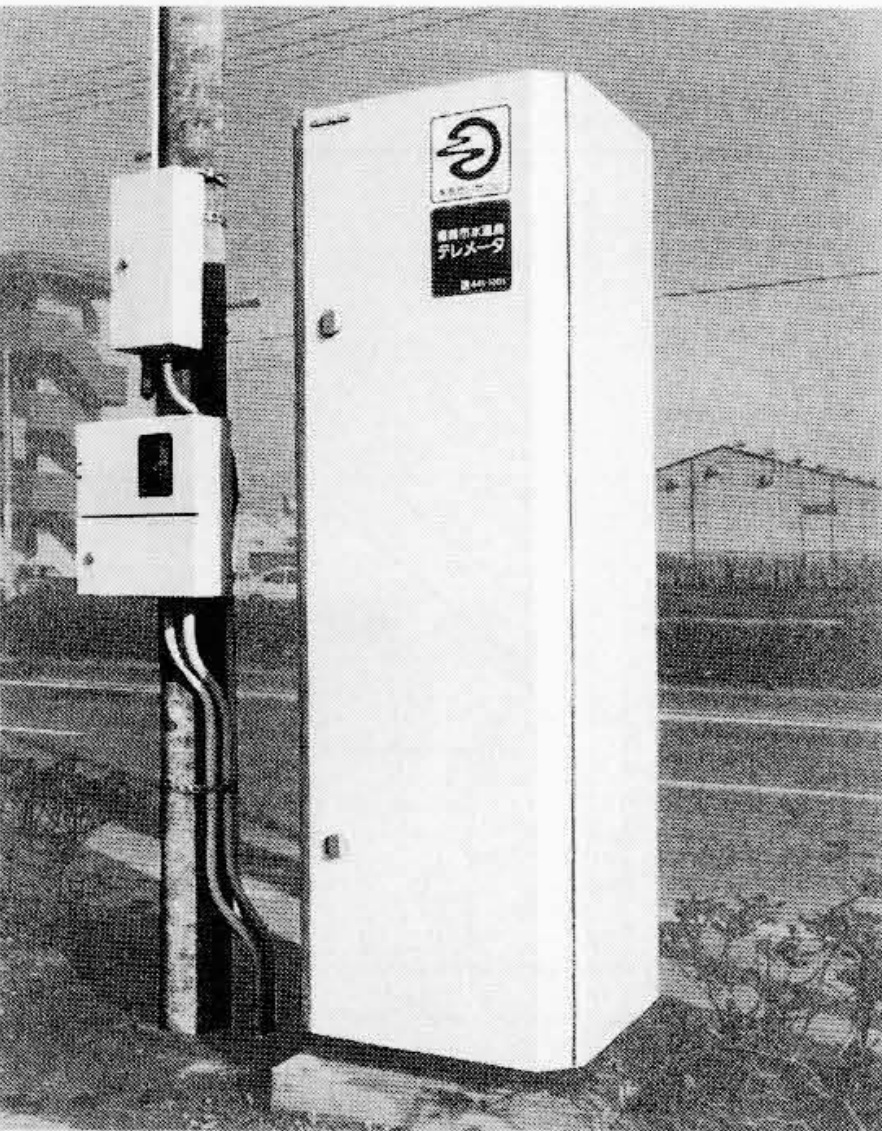
4.1 AI応用技術²⁾

AI(Artificial Intelligence：人工知能)研究の成果であるエ

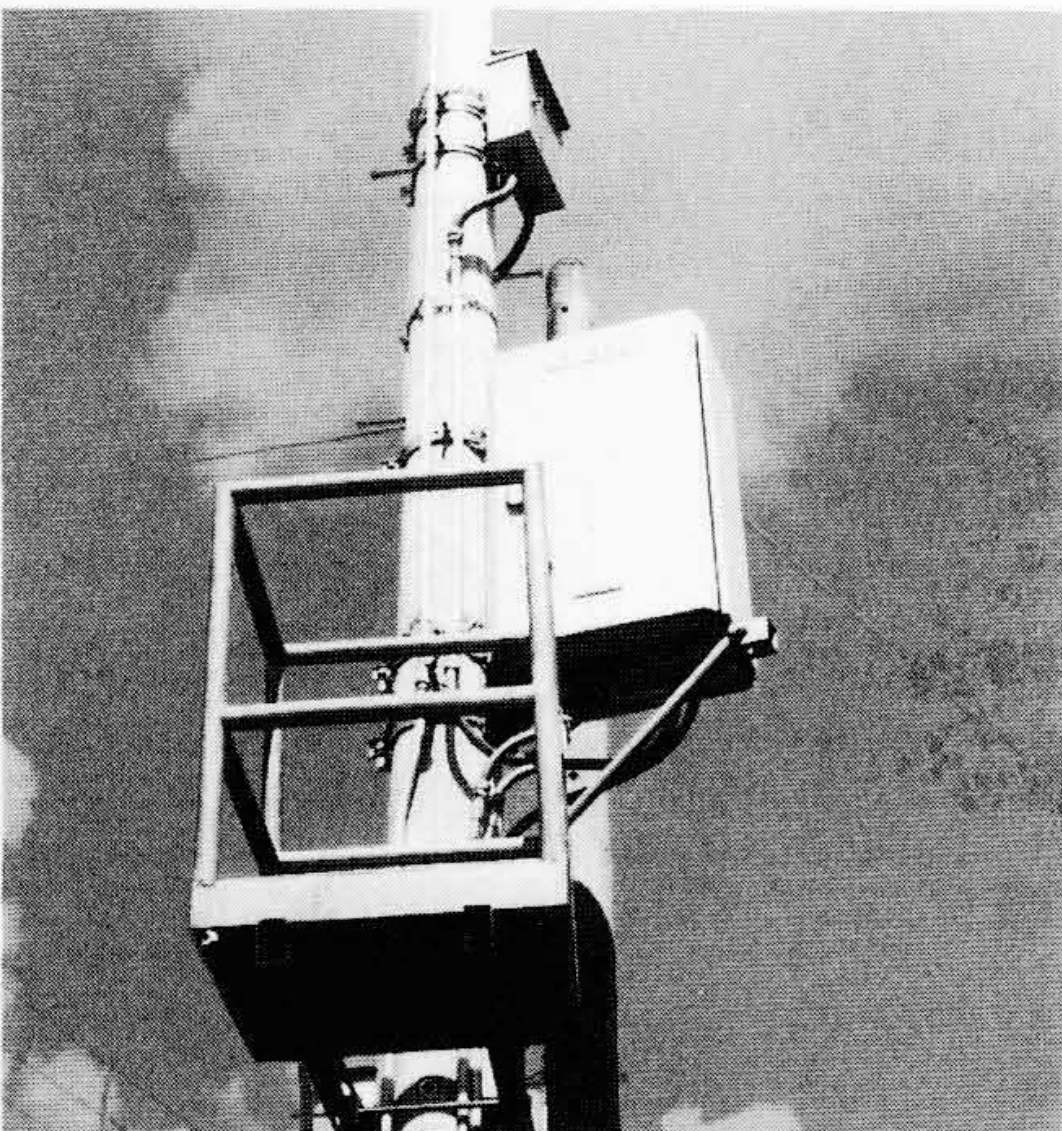
キスパートシステムの構築は、上下水道技術者の知識を結集でき、経験による成長を容易にした。従来、熟練運転員の力量に依存していた異常診断や、運転制御の計算機化を目的として導入を図っている。

(1) 異常診断への応用

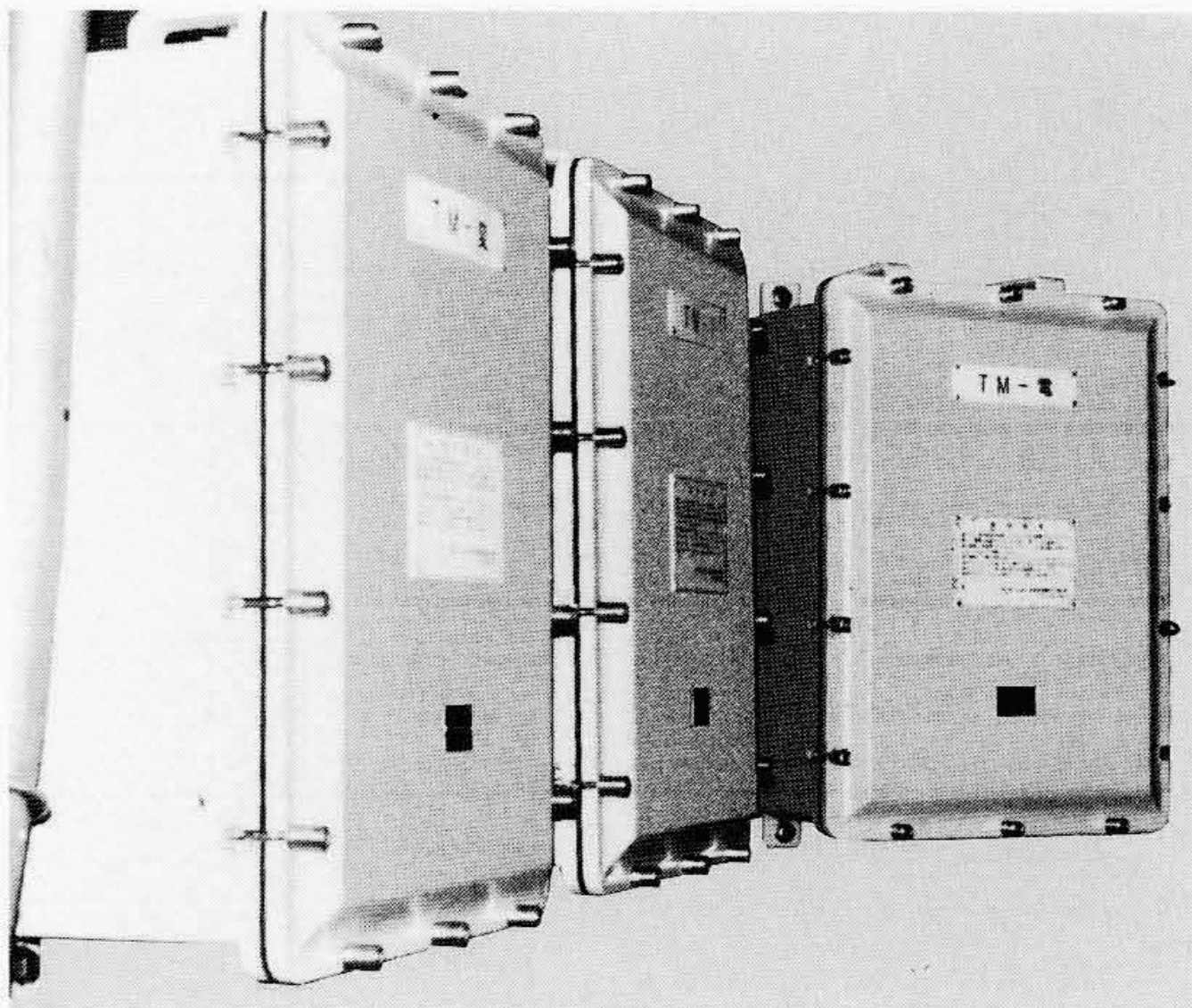
上下水道プラントを構成する機械、電気設備を対象とし、生じたアラーム信号から真の原因を推定し、対策処置を提示するものである。最近では故障の未然防止を図る予防診断にも導入している。予防診断の導入例を図13に示す。同図は大規模雨水排水ポンプ所の計算機制御システムを示す。予防診断は排水ポンプに給電する自家用ディーゼル発電機を対象



(a) 路上局



(b) 柱上局 (TM局のみ)



(c) マンホール内設置局

図12 子局の形状 設置場所の地形的制約に対応して、各種形状の子局を用意し、選定使用している。

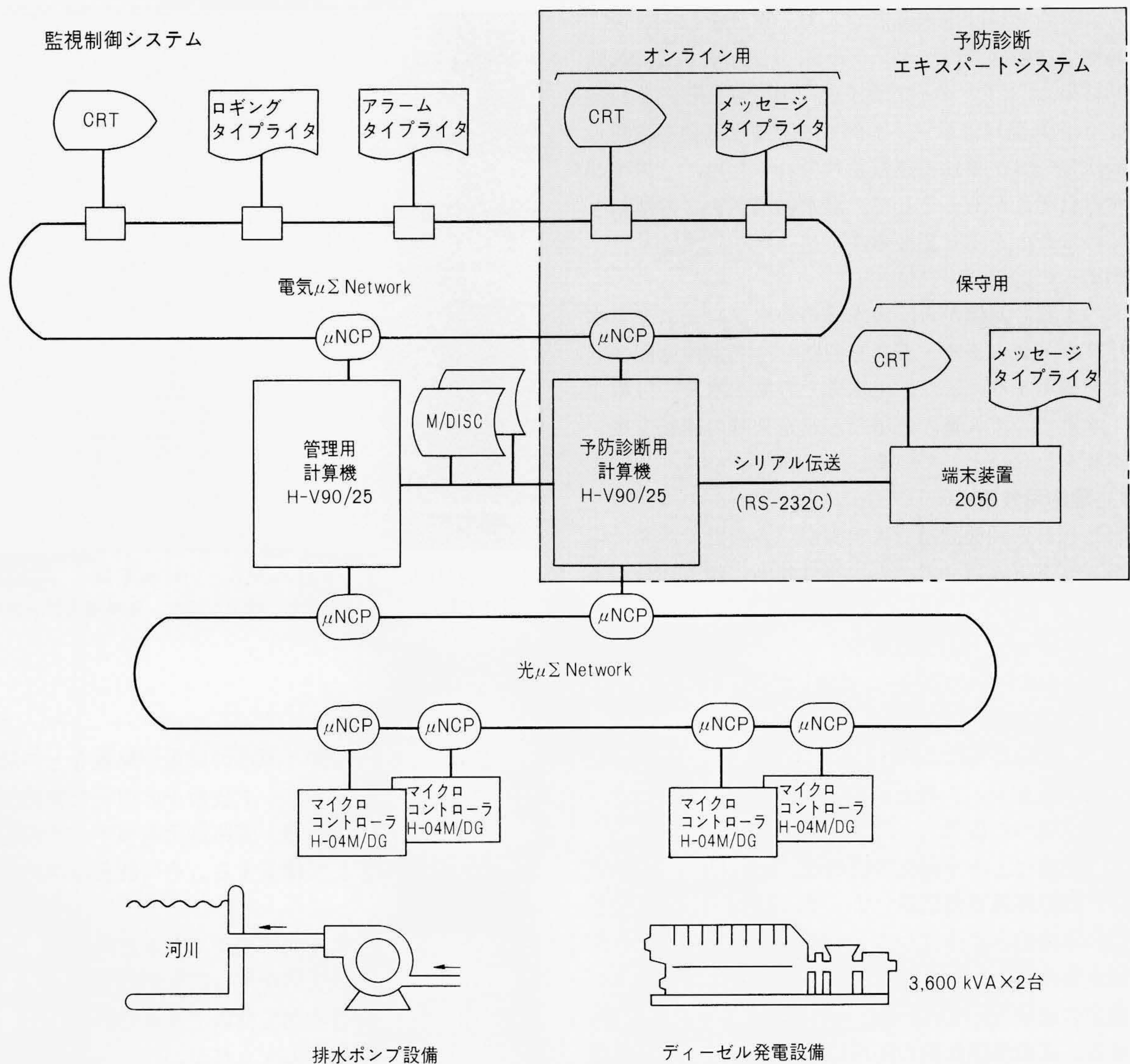


図13 予防診断エキスパートシステムの構成 監視制御システムのサブシステムとして動作し、診断結果はオンライン用のCRT、メッセージタイプライタに出力される。

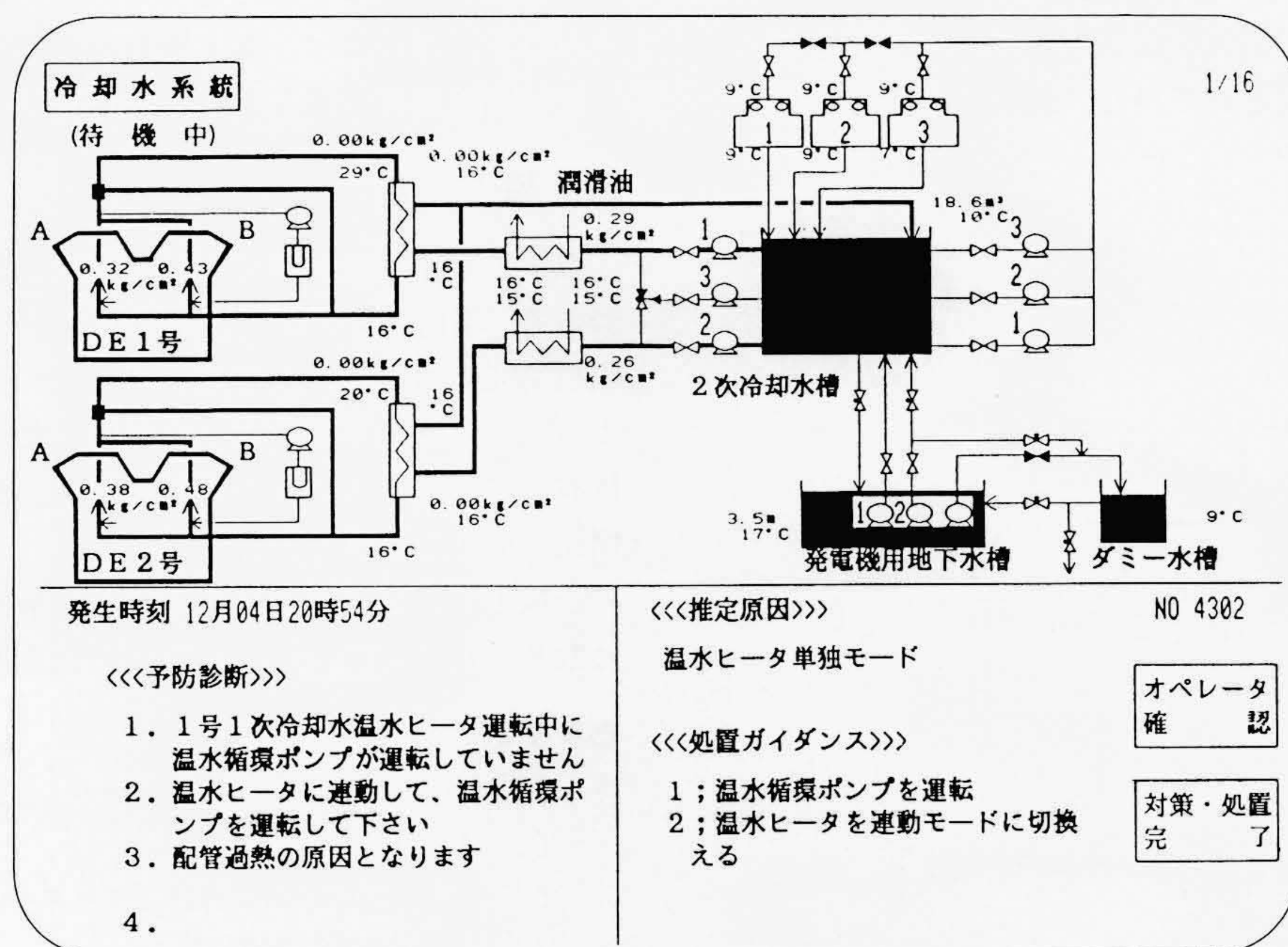


図14 予防診断のCRT表示例 診断結果は、該当する設備のグラフィック表示、推定原因、処置ガイダンスを1画面にまとめ表示する。

としている。診断知識は端末装置で入力、検証を行った後、管理用計算機2に転送され、オンラインリアルタイムで診断する。診断結果はCRTとタイプライタに出力される。診断結果のCRT表示例を図14に示す。本例では冷却水システムを診断した結果、温水ヒータが単独で運転されているため、一次冷却水が過熱するおそれがあるとして、温水循環ポンプの運転をガイドしていることを示している。

(2) 運転制御への応用

プラントの水質計測値から、浄水場の浄水プロセスや下水処理場浄化プロセスの正常・異常を判断し、異常の原因推定と対応処置を提示する。また、上水道での原水水質の急激な変化や、下水道での流入量の急増など非定常時の運転支援システムの構築をねらいとしている。

4.2 画像処理応用技術

人間の目に代わる画像認識システムが、各分野で活発に応用されている。上下水道分野でも、視覚判断に頼る部分が多く、連続かつ定量的な観測システムとして応用範囲は広い。

(1) 浄水場のフロック監視への応用

凝集沈殿プロセスの浄化機能を、連続して監視するために、フロックの形成状態を連続かつ定量的に監視する技術が必要であった。画像処理応用はこの技術を実現したもので、浄水プラントの信頼性を大きく向上させた。

(2) 水質安全監視への応用

魚態の行動観察による水質異常検知は、従来目視観察に頼っていたが、画像処理技術応用によって、連続監視が可能となり、異常の早期発見に役立つ。

(3) 下水微生物認識への応用

活性汚泥中の糸状性微生物量の増加は、フロックの沈降性を悪化させる。画像処理技術の応用により糸状性微生物の定量的計測が短時間で可能となった。

画像処理装置の構成を図15に示す。

4.3 コンピュータマッピング応用技術³⁾

従来、上下水道施設の維持管理は、地図上に管路を記入した施設管路図を基に実施されていた。図面での管理は検索が

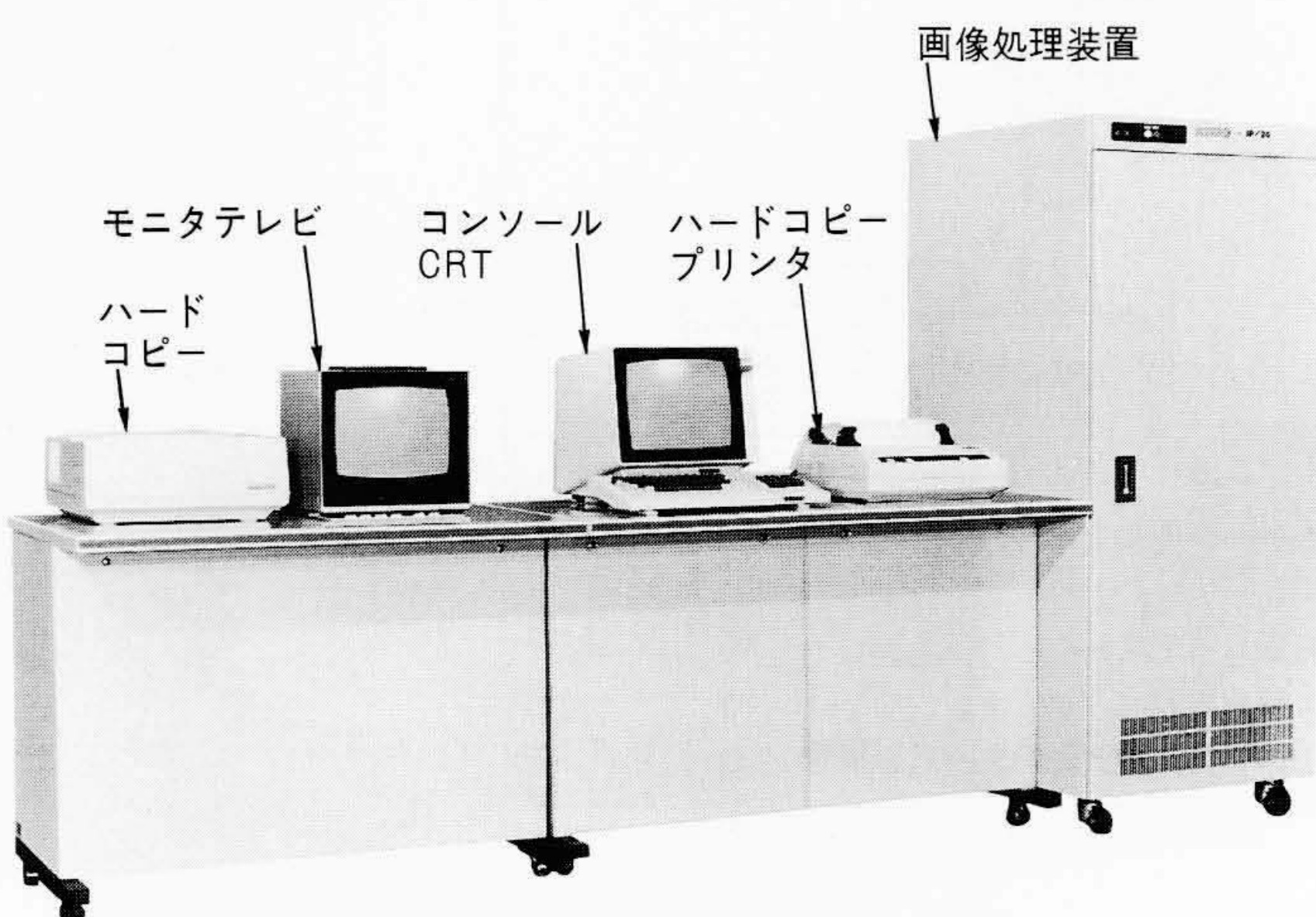


図15 画像処理装置 人間の視覚認識の代替を、連続的、定量的に行うもので、制御系のセンサとして期待される。

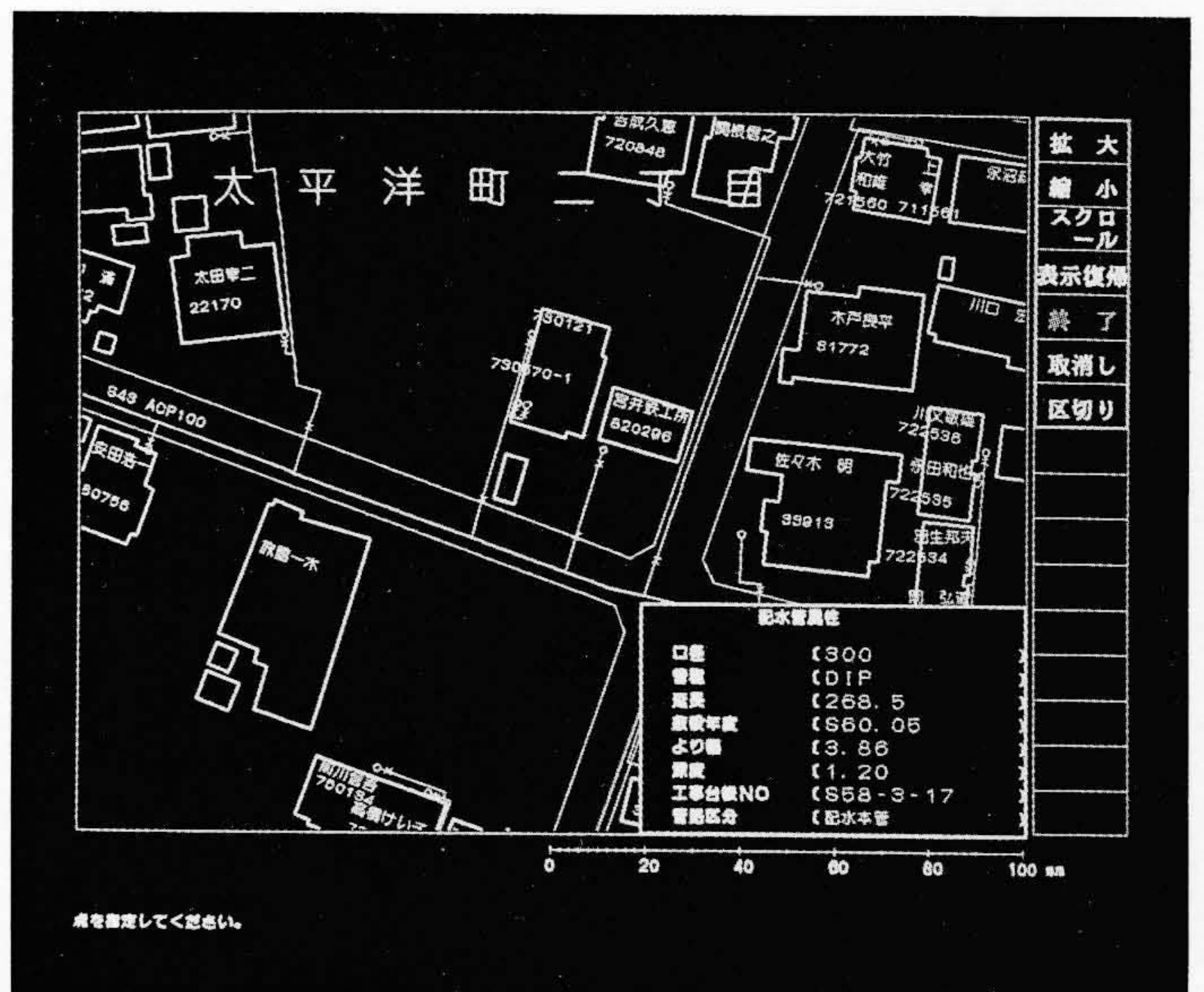


図16 管路図面情報管理システムのCRT表示例 1/500縮尺給配水管路図の検索表示の例で、拡大、縮小のほか、管路諸元データのマルチウインドウ表示も行う。

困難で、管路布設に伴う原図の修正が複雑などの問題があった。コンピュータマッピング技術を応用した管路図面情報管理システムは、地図情報と管路諸元数値データの関連をとってデータベースとして構築する。その特長は次のとおりである。

- (1) 迅速かつ容易に図面修正ができるため、工事に伴う配管の新設、撤去の図面管理がだれでも効率よく行える。
- (2) 目的の図面を短時間で検索できるため、窓口業務の効率化と緊急時に迅速な対応がとれる。
- (3) 高精度図面の作成ができ、目的により、ハードコピーやプロッタにカラー出力できる。
- (4) 図面データはすべて電子ファイル化されるため、経年変化がなく、保管スペースも少なくて済む。

管路図面情報管理システムのCRT表示例を図16に示す。

5 結 言

以上、上下水道分野での計算機制御システムの現状技術について、場内システム、広域運用システムを例にとり述べた。CRT中心のマンマシン機能、オペレータガイド機能の充実によって、運転操作性の向上を実現した。また、自律分散、冗長設計によるシステムの高信頼化は、上下水道施設の稼働信頼性の向上を実現した。

今後とも、急速な進歩を遂げつつある計算機技術を積極的に取り入れ、いっそうの高度化を図る考えである。

参考文献

- 1) 西岡, 外: 上水道配水コントロールシステム, 日立評論, 64, 6, 447~452(昭57-6)
- 2) 船橋, 外: 制御分野におけるエキスパートシステム, 情報処理学会誌, 28, 197(昭62-2)
- 3) 筒井, 外: 上下水道管路図面情報管理システム, 日立評論, 68, 9, 749~754(昭61-9)