

上水道における監視制御システム

Supervisory Control Systems for Water Plants

我が国の上水道の普及率は90%を超え、設備建設の時代から維持管理の時代へ入ったと言われている。このような環境のなかで、上水の供給信頼性、水質安全性の確保に重点がおかれ、高度な水運用が図られており、更に、人間に頼っている判断業務の合理化が望まれている。日立製作所は、これらの背景からくるニーズにこたえ、自律分散形監視制御システムNEW-AQUAMAX-Pを開発した。本システムは、設備稼働中の保守、プラント稼働しながらの設備更新、故障範囲局部化によるシステム無停止を実現する。また、知識工学応用の故障ガイダンスシステム、画像処理技術応用の水質安全支援、フロック監視システムを開発し、人間の判断業務を合理化した。

藤田良成* *Ryōsei Fujita*
 依田幹雄* *Mikio Yoda*
 中沢昭夫** *Akio Nakazawa*
 馬場研二*** *Kenji Baba*

1 緒言

上水道は、ライフラインとして人間の生命・都市機能の維持と安全に大きくかかわり、水道設備の監視制御システムの重要性がますます高まっている。

水道設備の監視制御システムの使命は、上水の供給信頼性と水質安全性を確保することである。このような背景から、監視制御システムの信頼性、安全性、操作性の向上が強く要求される。一方、水不足や水利権の事情から水資源の有効活用が図られ、浄水場や配水設備など水道設備の高度な運用が行われている。監視制御システムには高度水運用を実現するため、運転自動化率向上、監視制御機能の高度化、情報管理機能の付加などの機能が求められている。

日立製作所はこれらのニーズにこたえるべく、上水道監視制御システムAQUAMAX-Pシリーズでの実績を踏まえ、電子化コントローラを駆使したNEW-AQUAMAX-Pを開発し

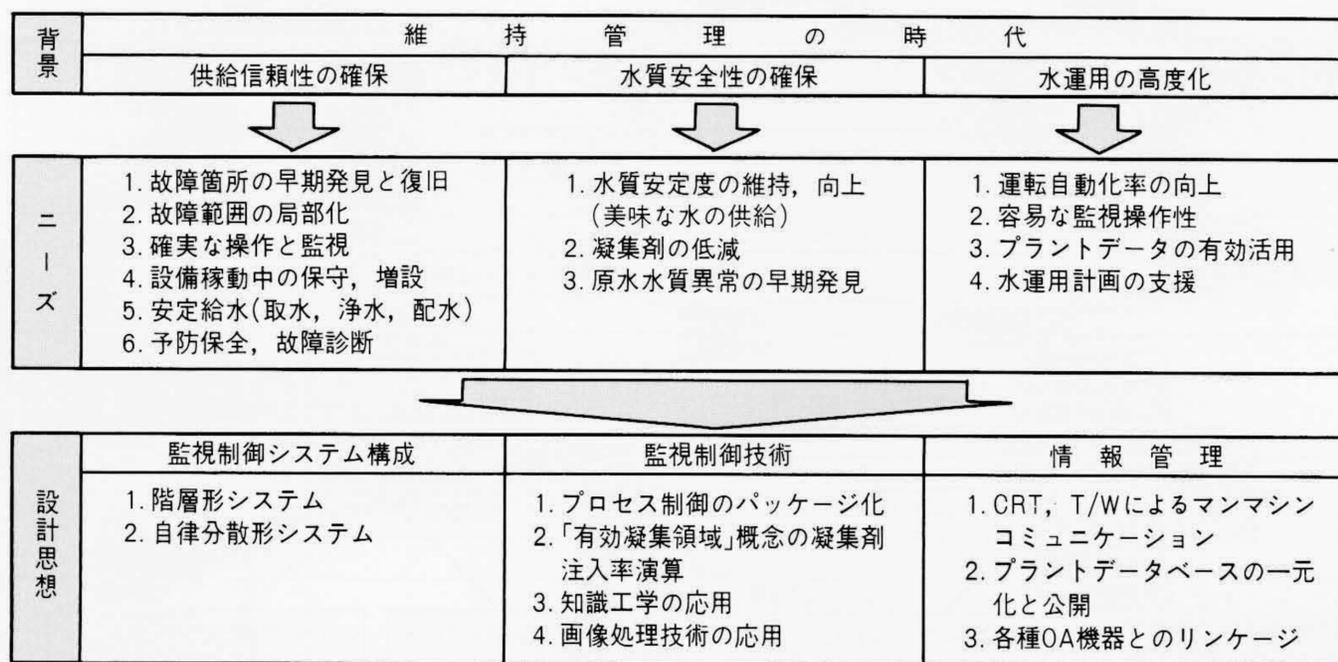
た。更に、運転操作を支援する故障ガイダンスシステム、従来計測できなかったフロックの監視システムなど、水道設備での監視制御技術の開発に取り組んできた。

本稿では、上水道の監視制御システムと監視制御技術について述べるとともに、水道が維持管理の時代に入り重要な課題となっている設備の近代化リプレースの実例についても合わせて紹介する。

2 監視制御システム

2.1 監視制御システムのニーズと設計思想

上水道監視制御システムのニーズは、維持管理の時代を背景に、供給信頼性の確保、水質安全性の確保、水運用の高度化に重点がおかれている。具体的なニーズに基づいた監視制御システムの設計思想を図1に示す。



注：略語説明
 CRT(Cathode Ray Tube)
 T/W(タイプライタ)
 OA(Office Automation)

図1 監視制御システムのニーズと設計思想 種々のニーズから監視制御システム構成、監視制御技術、情報管理の観点で設計思想を決めた。

* 日立製作所大みか工場 ** 日立製作所機電事業本部 *** 日立製作所日立研究所

2.2 監視制御システムの基本構造

システム信頼性を確保するためには、プロセス(例えば沈殿池、滷過池)、機器(例えばポンプ、電動機)そのものの信頼性を高めるとともに、それらを統括制御する監視制御システムの信頼性を高めることが重要である。プロセス、機器などは複数系列、複数台数設置して、全面機能停止を防止している。

監視制御システムは、自律(自分で決めた規則に従うこと)分散形監視制御システムを構成して信頼性を確保している。そのシステム基本構造を図2に示す。

プラントの総合監視と管理及び制御は、上位のプロセス計算機に集中して、情報処理と制御指令、計算を担当させる。システムレベルと機器レベルは、それぞれの機器レベルごとにコントローラを水平分散配置する。また、電気(Electric)、計装(Instrumentation)、計算機(Computer)を統合したEICシステムとして、情報管理、機器制御の一元化を追求している。このように、監視制御システムを対象プロセスの機能、運用レベルに合致した機能階層自律分散システムとして、高い信頼性と運用管理の容易性、保守性の向上を基本としている。

2.3 システムのメニュー化

上水道設備は取水場、浄水場、ポンプ場及び配水場の設備から成るが、これに対する監視制御システムは、それぞれの設備規模や運転管理形態に合致したコストと機能のバランスのとれたシステムとする必要がある。そこで、小規模から大規模なプラントに適用できるシステムのメニュー化を行い、ユーザーの要求にきめ細かく対応できるNEW-AQUAMAX-Pシリーズをレパートリー化している。NEW-AQUAMAX-Pシリーズには、図3に示すように、処理水量-情報量(入出力点数)に対応できるように、AQUAMAX-P 1000, P 2000, P 5000の各システムメニューを用意している。これらのシステム構成と機能を表1に示す。各システムは、デジタル化技術を徹底的に採用するとともに、機能メニューを充実させた。

中央監視室での監視操作は、CRT(Cathode Ray Tube)による随時監視操作方式と、グラフィックパネル及び操作デスクによる常時監視操作方式の併用方式を採用している。CRT

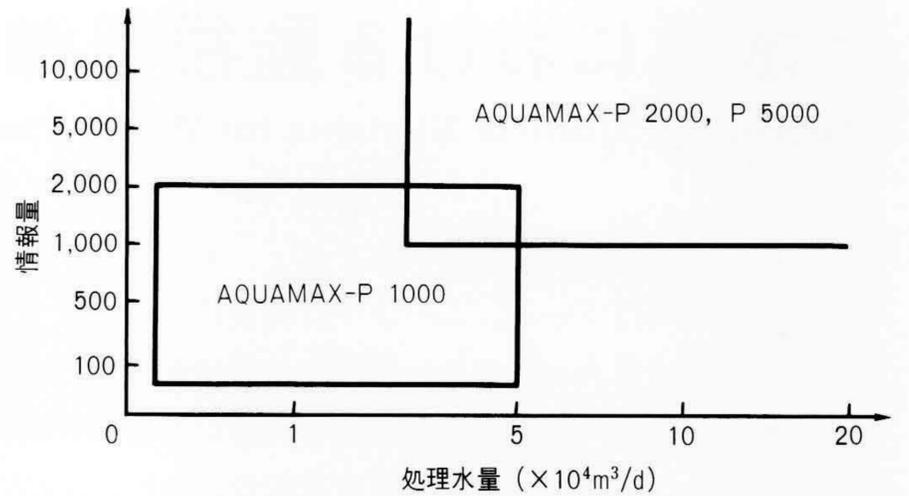


図3 設備規模に対するシステムの適用範囲 プロセスの処理能力、情報量に基づく設備規模が、システム選定の目安となる。

はマンマシン性に優れ、プロセス細部にわたる監視操作を行う。グラフィックパネルはプラント全体の監視、操作デスクは主要機器の操作を行う。この併用によって、オペレータに対し状況に応じた監視操作法を提供するとともに、信頼性の向上を図っている。

ローカル側では、ローカルコントローラ(PCU: Process Control Unit, PCS: Process Control Station)を各プロセスごとに水平分散設置し、デジタル制御化と処理性の向上、故障時の危険分散化を図っている。

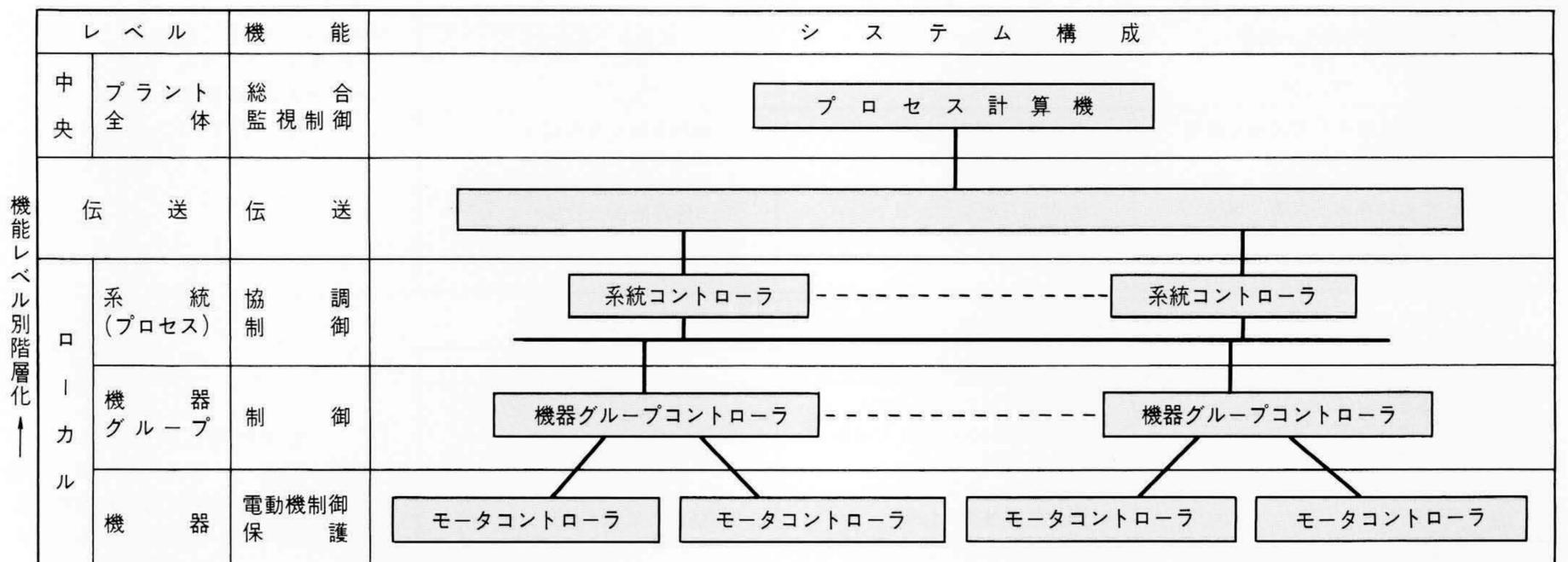
中央とローカル間の信号伝送は、二重化光ファイバ又はツイストペア線による高速多重伝送方式を採用している。これによって、設備更新工事期間、増設工事期間の短縮ができる。

2.4 システムの特徴

監視制御システムNEW-AQUAMAX-Pシリーズは統一した設計思想のもとに、下記の特徴を持っている。

(1) 高い信頼性

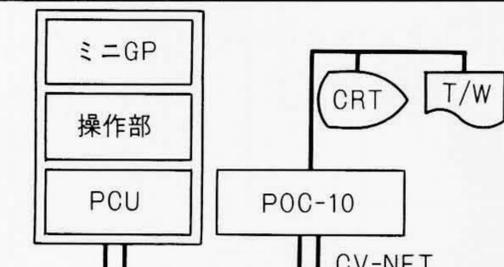
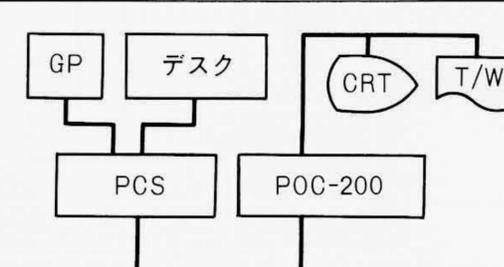
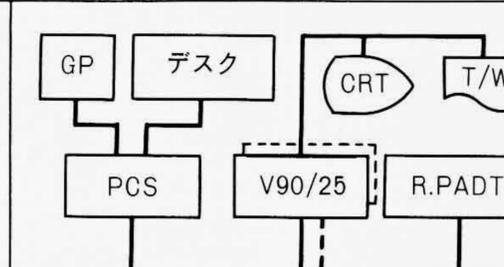
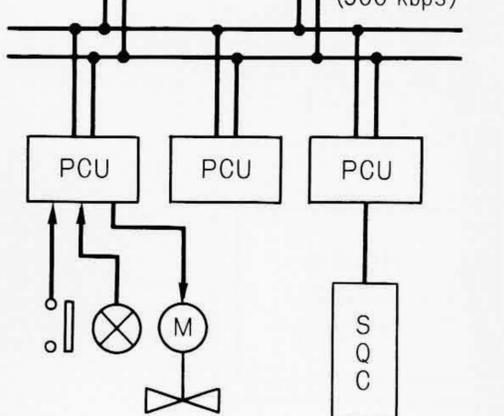
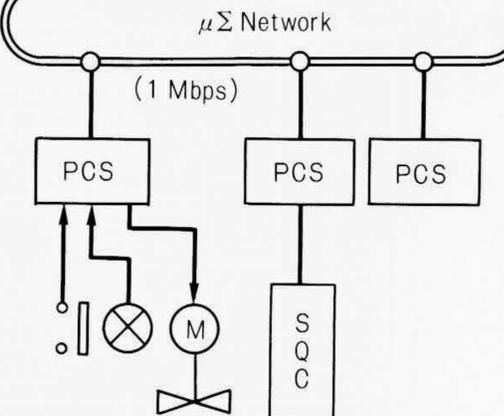
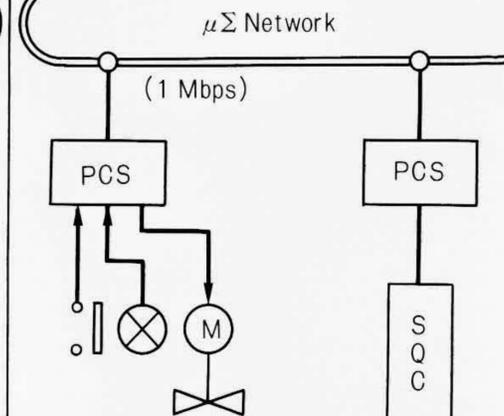
中央コントローラとローカルコントローラの機能分割の最適化を図り、コントローラ間は標準的に二重伝送路でリンクされ、また、中央コントローラ及びローカルコントローラの二重化構成も可能とし、高信頼化システムのニーズに柔



注: → 系統・機器単位分散化

図2 自律分散形監視制御システムの基本構造 伝送で接続されるコントローラは、それぞれ自律性を持って分散する。

表1 システム構成の比較 監視操作の集中化, 制御の分散化を基本としている。

システム名		AQUAMAX-P 1000	AQUAMAX-P 2000	AQUAMAX-P 5000
規模		小	大	大
システム構成	中央			
	伝送	CV-NET (500 kbps)	μΣ Network (1 Mbps)	μΣ Network (1 Mbps)
	ローカル			
主な機能	中央	(1) デスク, GPによる常時監視操作 (2) CRTによる随時監視操作 (3) データロギング機能 (4) DDCのチューニング機能 (5) PCU, PCSソフトプログラムの一括管理		(1)~(5) 同左 (6) 最適化制御 ● 水配制御 ● 需要予測制御 ● 薬品注入率演算 (7) 故障ガイダンス (8) 予防保全
	伝送	(1) 二重化伝送路 (2) ブロードキャスト方式(自律分散アーキテクチャ)		
	ローカル	(1) ループ制御, ポンプ台数制御などのDDC (2) シーケンス制御 (3) プロセスへの入出力処理 (4) 自律分散制御		

注: 略語説明 GP(グラフィックパネル), POC(Process Operator Console), PCU(Process Control Unit), SQC(Sequence Controller), M(Motor) PCS(Process Control Station), V90/25(日立制御用計算機HIDIC-V90/25), R.PADT(Remote Programming and Debugging Tool)

軟に対応できるようにしている。

(2) 制御統合化による優れた監視操作性

監視操作機能はCRTに主体性を持たせ、電気制御、計装制御、プロセスの状態監視をCRTに集中し、情報を一元化して運用面の合理化を図っている。

(3) 段階的な設備更新計画に応じた拡張性

設備の段階的な更新に対し、システムをノーダウンで拡張できるように、各設備区分ごとにコントローラを配置する。

(4) 保守性の向上

オンライン状態で、プログラムメンテナンスや、ローカルコントローラのシステム立上げを容易に中央側で実行するためのソフトサポートツール(ビルダ及びメンテナンス)を完備している。

(5) 豊富な制御機能

ループ制御、シーケンス制御、ループ制御とシーケンス制御が一体化した複合制御、及び各種非線形な高度制御に対して柔軟に対応できるように、プロセスの特性に応じた各種の制御パッケージ、演算パッケージを標準装備している。

3 監視制御技術

システムが複雑化、多様化していくなかで、人間に頼っている判断業務の合理化が望まれ、これを実現する新しい技術の導入がなされつつある。熟練した操作員の持っている専門知識を利用する技術、すなわち知識工学応用技術と、人間の視覚で判断している事象を定量的に把握する技術、すなわち画像処理応用技術がその例である。

知識工学応用技術は、計算機の持つ情報処理機能をより人間の判断に近づけ、画像処理応用技術は、人間の視覚から判断するものにとって替わるものである。これらの技術は、今後の研究開発とあいまって加速度的に普及するものと思われる。

以下、これらの技術を応用した

- (1) 知識ベース形故障ガイダンスシステム(知識工学応用)
- (2) 水質安全監視支援システム(画像処理応用)
- (3) フロック監視システム(画像処理応用)

を紹介する。

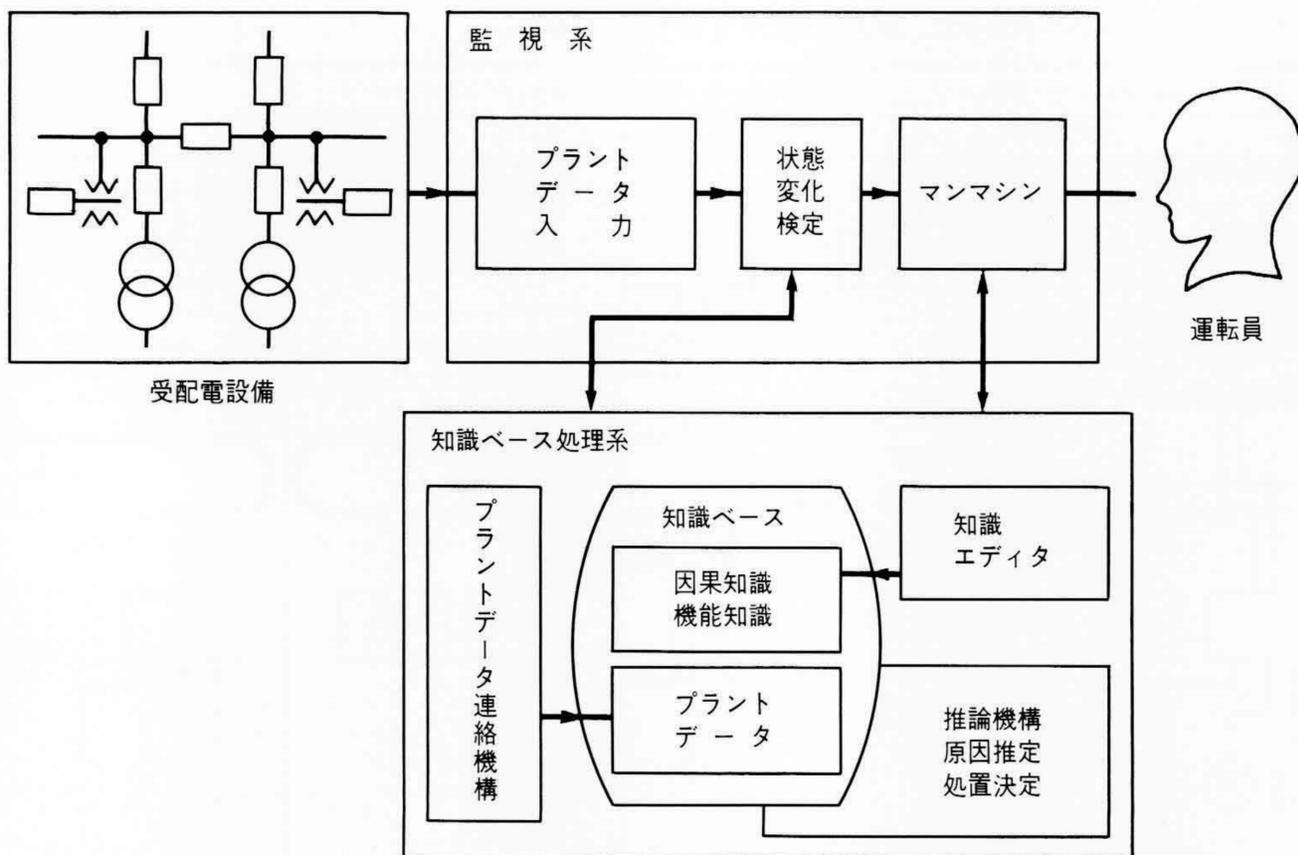


図4 故障ガイダンスシステムの構成 監視系からの情報を基に、知識ベース処理系で原因推定、処置決定を行い監視系へガイダンスを出力する。

3.1 知識ベース形故障ガイダンスシステム

設備が大規模化、複雑化していくと、プラント故障の早期原因発見、復旧が困難になってくる。水道設備での受配電設備の故障は断水につながる。したがって、その復旧を迅速に行う必要がある。しかし受配電設備の故障は、一つの故障から幾つもの異常、状態変化がほぼ同時に発生するため、真の故障原因を見つけ出すのに時間がかかる。また経験も必要である。知識ベース形故障ガイダンスシステムは、専門家、熟練操作員の持っている故障原因の発見方法、その対処方法などを知識ベースとして記憶し、操作員に提示する知識工学応用のシステムである。

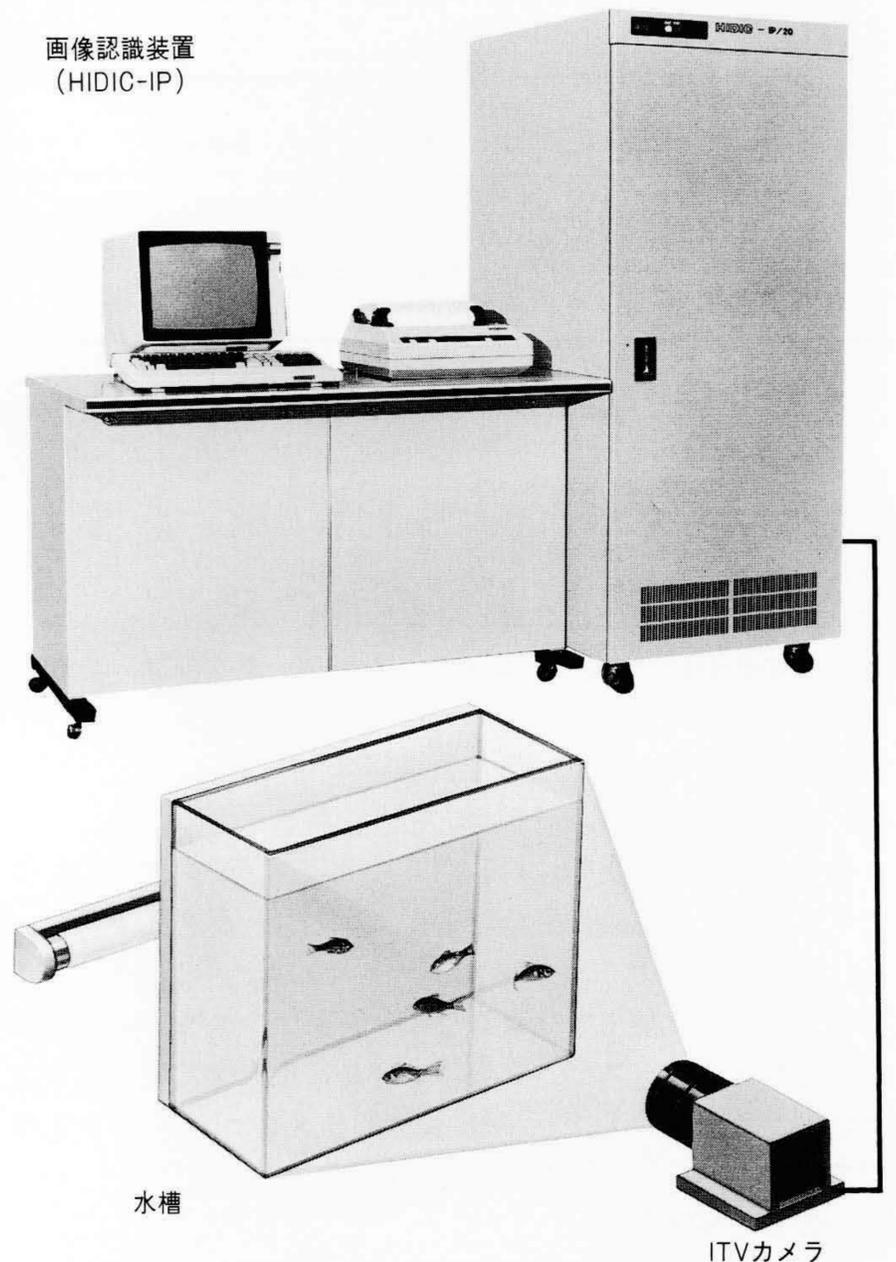
受配電設備を対象とした知識ベース形故障ガイダンスの構成を図4に示す。受配電設備から周期的に取り込んだプラントデータは、状態変化時、監視系からプラントデータ連絡機構を介して知識ベース処理系に渡される。知識ベースには、プラントデータのほかに2種類の知識(因果知識と機能知識)を、IF~THEN形のプロダクションルールとして格納している。

プラントデータ格納と同時に、推論機構はルールの成立を検索し、故障原因と対応する処理法を決定する。この結果は監視系のマンマシンで操作員へガイダンス表示する。

推論ソフトウェアは、EUREKA-II (Electric Understanding and Reasoning by Knowledge Activation-II)を採用している。

3.2 水質安全監視支援システム

浄水場では、水の安全性の確保のために、濁度、pH、アルカリ度など水質項目を、連続的にモニタあるいは適時分析している。更に、原水でコイ、フナなどの淡水魚を飼育し、その魚の行動から水の安全性確認を行っている。魚の行動監視は、人間による目視監視であるため、個人差の相違やタイム



注：略語説明 ITVカメラ(工業用テレビジョンカメラ)

図5 水質安全監視支援システムの構成 ITVカメラからの画像は、画像認識装置によって高速に認識、統計処理され正常、異常の判断がなされる。

りな監視ができないなど、不十分になりやすいのが実情である。水質安全監視支援システムは、この監視作業を支援する画像処理技術を応用したシステムである。

水質安全監視システムの構成を図5に示す。水槽は後方から光散乱板を通して照明し、水の濁度に関係なく魚を暗い物体として認識できるような構造にしている(影絵の原理)。目に代わるITV(工業用テレビジョン)カメラからの映像を画像認識装置に伝送し画像処理する。得られた画像から魚の行動パターンを統計処理して正常,異常の判定をしている。判定は魚の位置分布(水深方向)と速度分布を用い、水質が異常なときに起こる特徴的な行動パターンと照合する方式をとっている。魚群の認識方法と行動パターンを図6に示す。本システムによれば、シアン0.1 ppm(水質基準)という極めて低い濃度の異常物質を約10分で検出することができる²⁾。また、魚の種類,数量に制限がなく、魚を自然の姿で飼育でき、24時間連続監視ができる。

3.3 フロック監視システム

浄水処理のかなめである凝集沈殿プロセスは、フロック(凝集物)形成の良否が沈殿, 汙過の処理性能を直接的に左右す

る。現在、模型実験であるジャーテスト, 薬注制御モデルなどによる凝集剤の注入率を決定しているが、オンライン性, 連続性に欠ける。そのため、フロックの形成状態を目視観察し、その制御を補正しているのが実情である。この目視観察は1日数回が限度で、かつ個人差がある。フロック監視システムはフロックを直接連続的に監視し、フロック形成状態を定量的に把握する画像処理技術を応用したシステムである。

フロック監視制御システムの構成を図7に示す。フロック形成池に水中カメラを浸せきし、カメラからの映像を画像処理装置に伝送し画像処理する。得られた画像からフロックだけを抽出し、それぞれのフロックの面積, 粒径, 体積を計算する。複数の画面で統計処理し、粒径分布, 体積分布などを求めフロック形成状態を定量化する。この結果と、原水の水質, 凝集剤の注入率, 沈殿池出口濁度との相関関係を評価し、凝集剤注入率の適正化を図ることができる³⁾。その画像処理手順と結果を図8に示す。今後、研究開発と現地検証を重ね、フロック監視システム応用の凝集剤注入制御方式の早期実用化を図っていきたい。

4 監視制御システムの近代化リプレイス(モダニゼーション)

設備の老朽化に伴う更新を、単に「交換, 置き換え」の発想から、生産性向上, 効率向上, 維持管理費低減などの積極的な考え方をもとに「モダニゼーション」と呼称し、設備全般の総合近代化に取り組んでいる。

モダニゼーションの計画は、現状設備の問題把握, 付加する機能の評価, 既設設備から新しい設備への切換方法, 工程の検討を順序立てて計画することが必要である。モダニゼーションの計画手順を図9に示す。

4.1 久留米市放光寺浄水場の監視制御システム

4.1.1 モダニゼーションの背景

久留米市放光寺浄水場は、下記の点からモダニゼーション

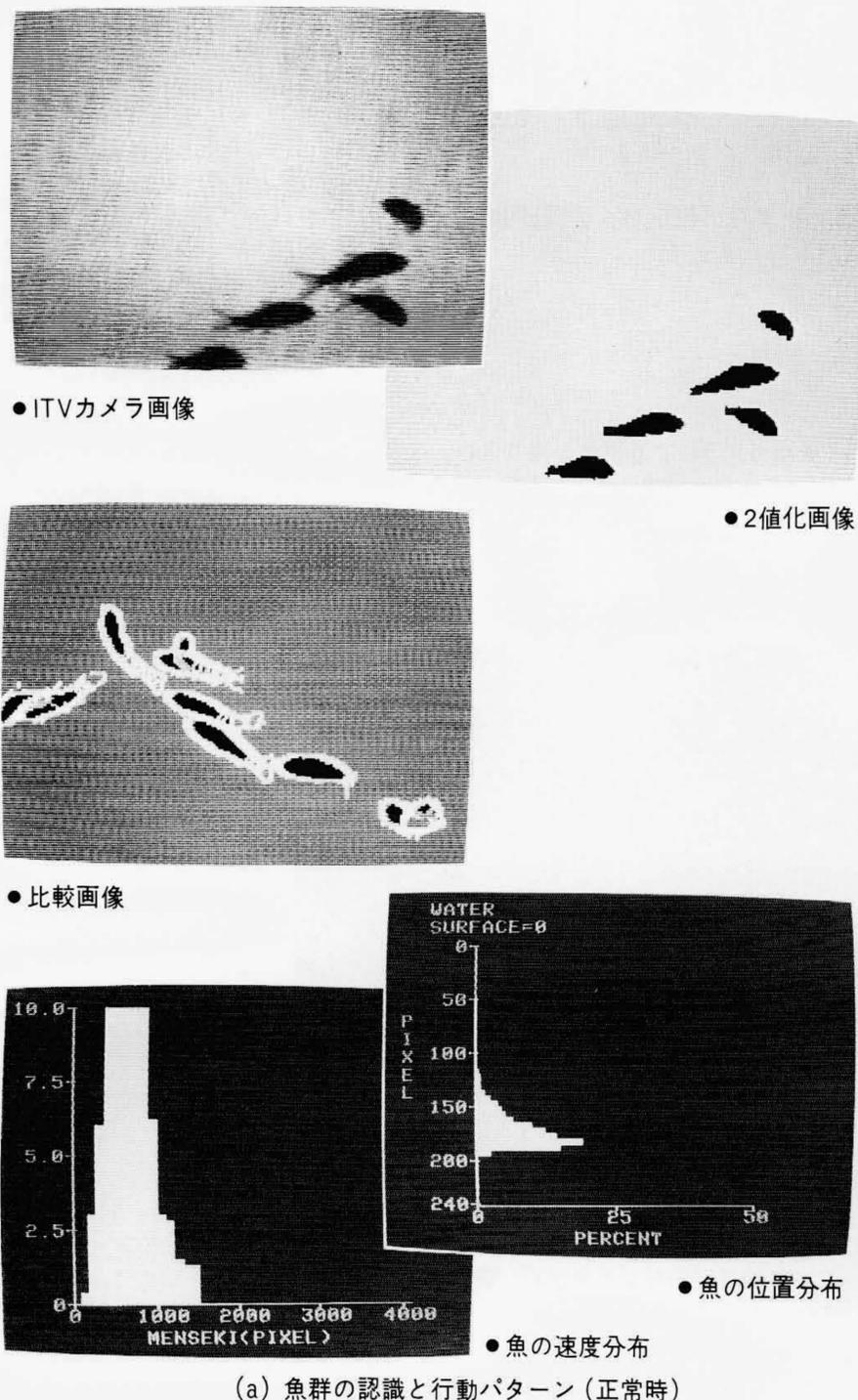


図6 魚群の認識と行動パターン フナを用いた計測結果で、異常時の行動パターンはシアン0.1 ppm, 10分後の結果を示す。

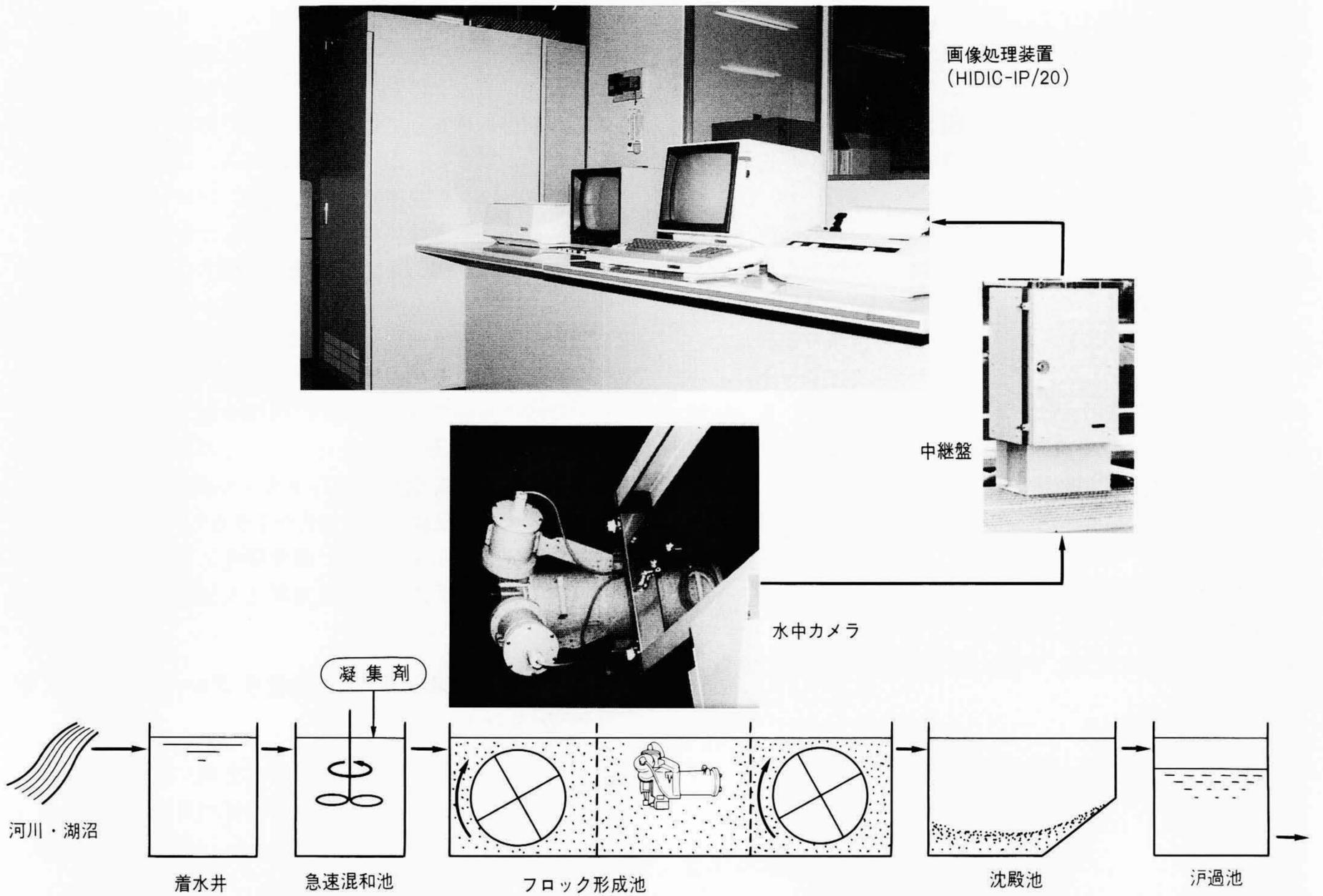
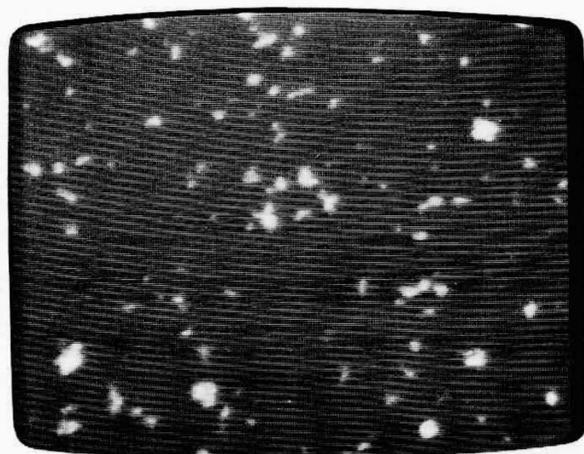
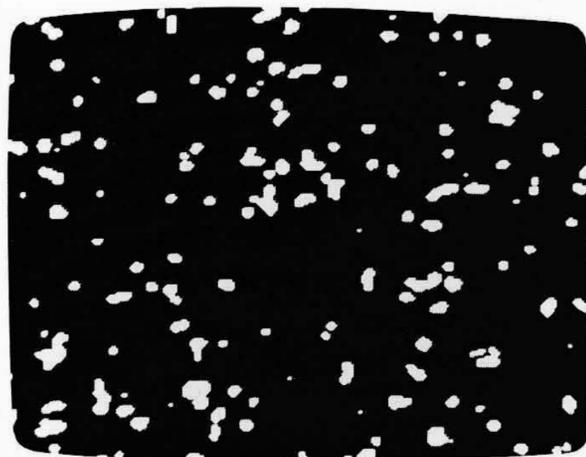


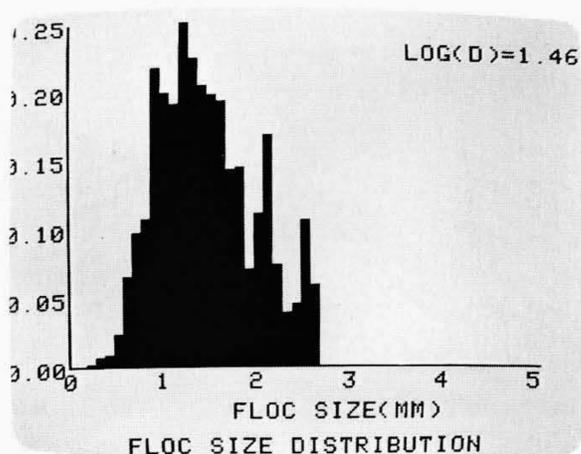
図7 フロック監視システムの構成 フロック形成池に設置された水中カメラからの画像は、画像認識装置によってフロック形成状況の定量化がなされる。



- ←(1) 水中カメラにより画像を取り込む。
(A-D変換—画像メモリ)
- (2) フロックを検出しやすいように輝度強調の処理をする。

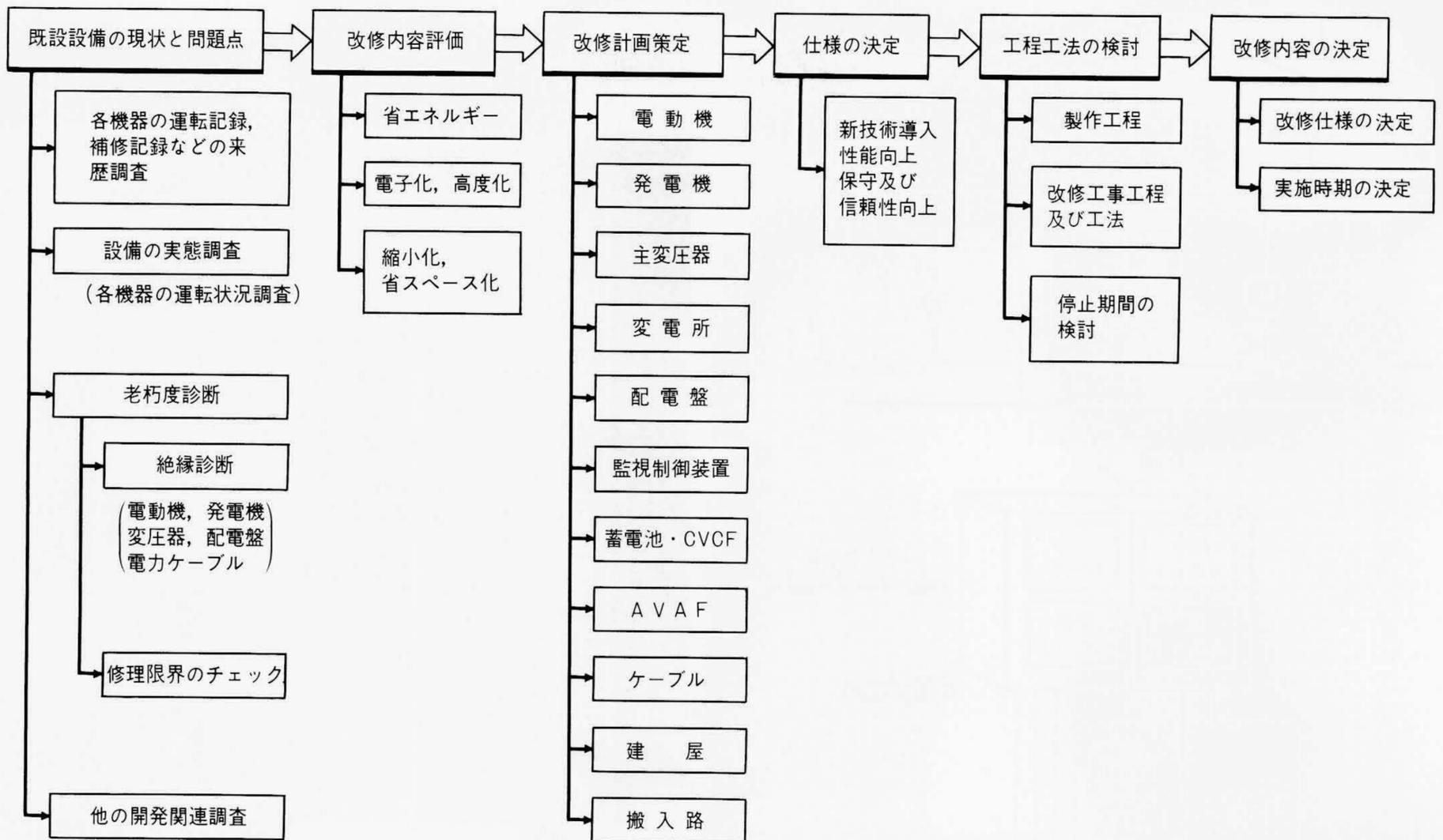


- (3) 濃淡画像を2値化処理する(明暗を→「明」と「暗」に分離)。
- (4) それぞれのフロックに番号を付ける(ラベリング処理)。



- ←(5) それぞれのフロックについて面積、等価径、体積などを求める。
- (6) 複数画面について統計処理し、粒径分布や体積濃度分布などを求め、表示する。

図8 フロック画像処理手順と結果 数多くのフロックは、粒径1 mmから2 mmに集中している。



注：略語説明 CVCF(Constant Voltage and Constant Frequency), AVAF(Adjustable Voltage and Adjustable Frequency)

図9 モダニゼーションの計画手順 既設設備の問題点把握，機能・性能向上策，工程工法の検討がポイントとなる。

が計画された。

- (1) 既設設備は完成後十数年経過し，老朽化対策が必要となってきた。
- (2) 給水地区を共有している御井浄水場は，昭和初期に建設された古い浄水場で，老朽化が著しく閉鎖することにした。その分の給水量を放光寺浄水場で増産する。
- (3) 水を有効活用するために，取水から配水までの総合的な監視制御を実施する。

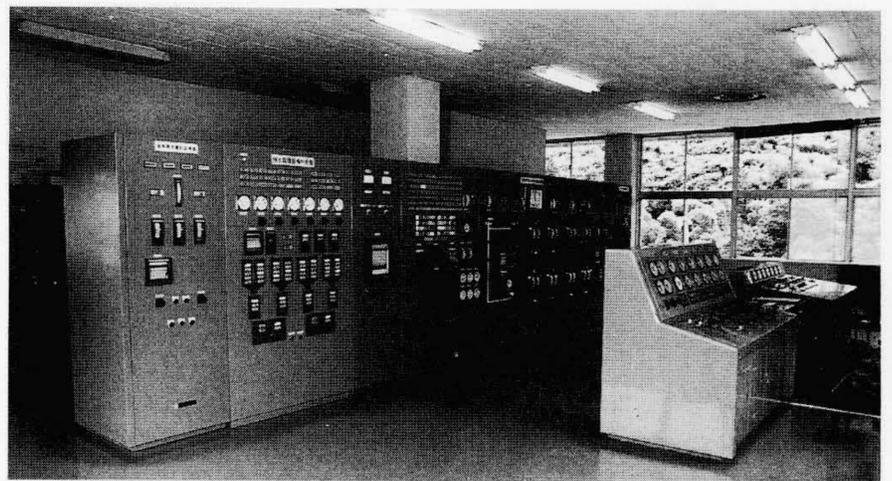
4.1.2 システムの特徴

久留米市全域に給水する浄水場であるため，給水を止めることなく短期間にリプレースをしなければならない。その中で監視制御システムは，随時部分的な運転から全体の運転へ移行させる拡張性を持ったシステムを導入した。その主な特徴を下記に示す。

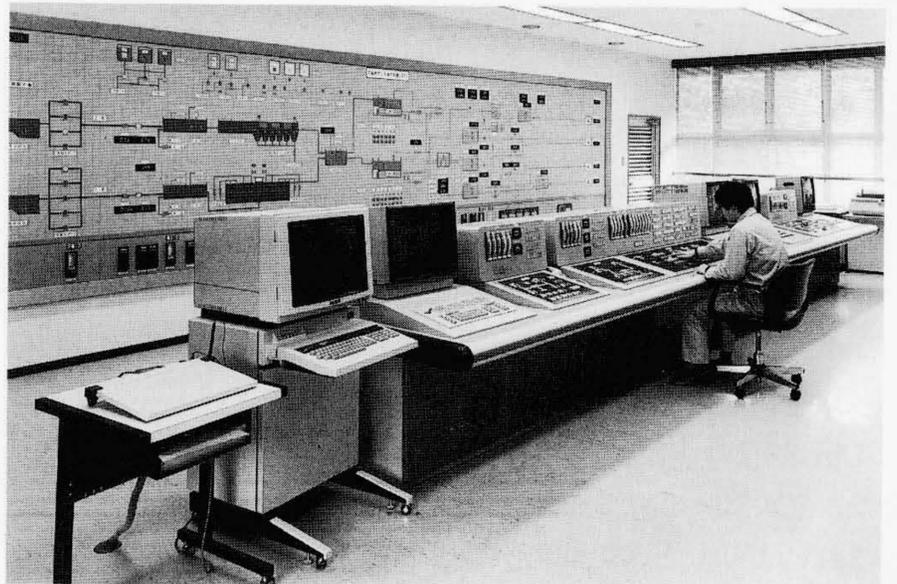
(1) 監視操作の合理化

取水から給水までの全体系統監視操作を行うグラフィックパネル，操作卓，プロセスの細部監視を行うCRTを採用し，状況に応じた合理的な監視操作が行える。浄水場のプロセス管理データは，日報，月報の形で作成し管理の合理化を図った。CRT画面は，プロセス画面のほかに，プロセストレンド画面を持ち，制御状態の確認，1日の経時時変動の検証に威力を発揮している。これらの装置が置かれる中央監視室のリプレース前後を図10に示す。リプレース後は人間と環境の調和を考慮した意匠の刷新を行い近代的な中央監視室に生まれ変わった。

(2) 盤設置スペースの縮小化

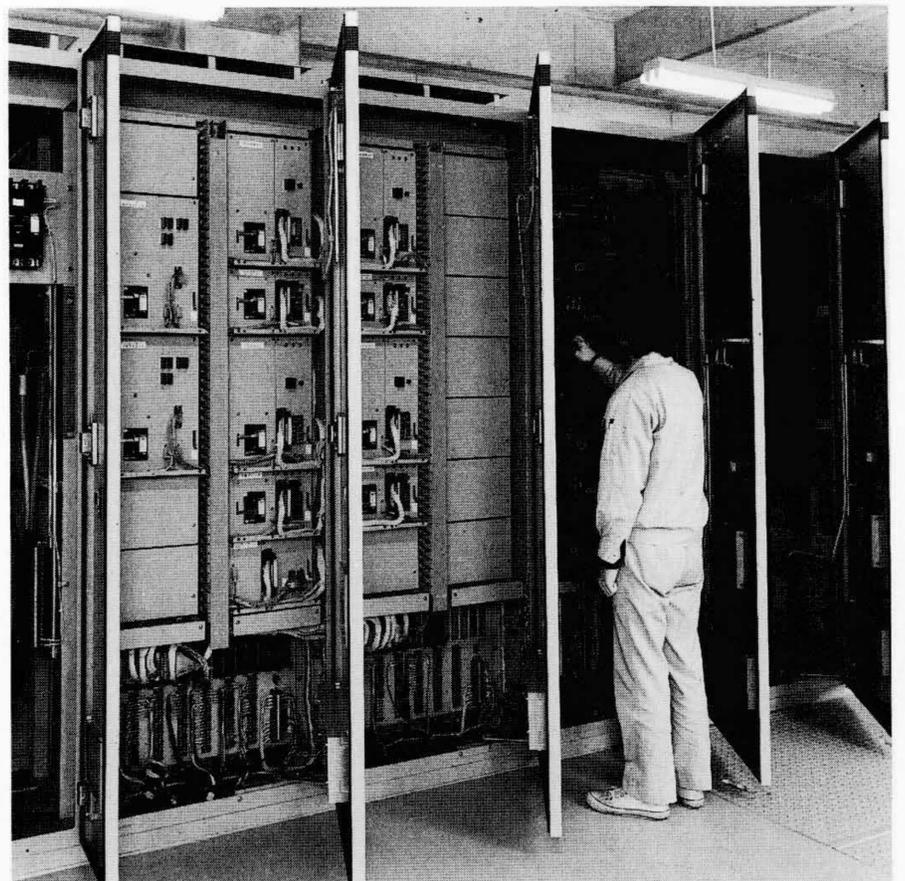
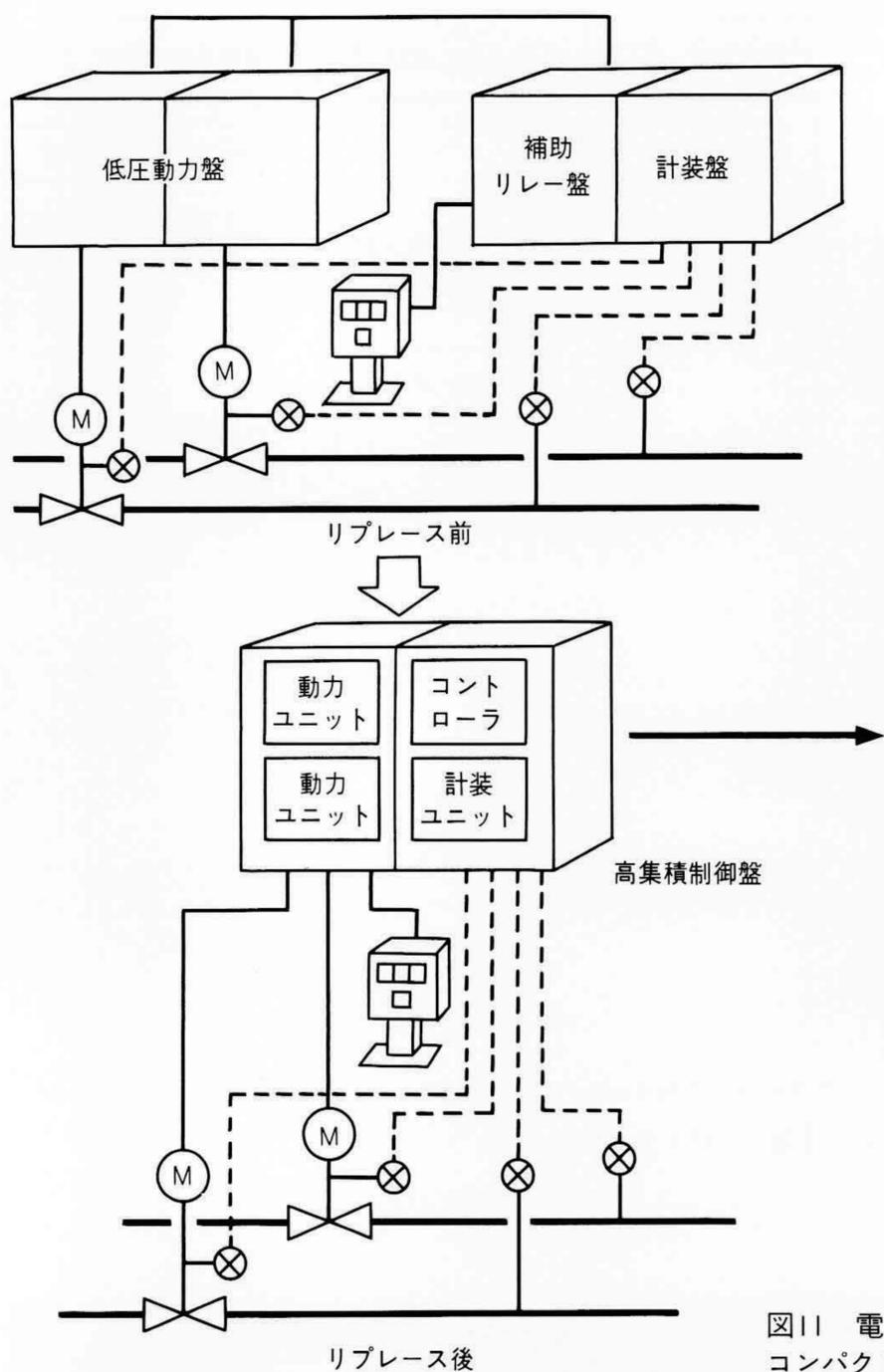


(a) リプレース前



(b) リプレース後

図10 中央監視室のリプレース 意匠の刷新を行い，近代的な中央監視室に生まれ変わっている。



高集積制御盤 (ICCX-90)

図11 電気室設置の高集積制御盤 低圧動力盤, 補助リレー盤, 計装盤を一体化し, コンパクト化と高機能化を図っている。

動力回路, シーケンス制御, 計装制御を一体化した高集積制御盤 (ICCX-90) を採用した。高集積制御盤は, 監視制御システムのコンポーネントとして設置スペースが従来の動力盤, 補助リレー盤, 計装盤より縮小化される。したがって, 既設電気室の設置空間を有効利用できた。電気室に設置した高集積制御盤を図11に示す。高集積制御盤は, 制御のDDC (Direct Digital Control) 化など高度な機能を持っている。

(3) 高信頼性

監視制御システムは, 水処理系列ごと (1系, 2系) に系統分離し, かつ設置単位にコントローラを分散設置して信頼性の向上を図った。分散化は, 設備の危険分散とともに, 設備を稼働させながらリプレースする手段として大いに効果があった。

(4) 工事期間の短縮

中央監視室とローカル電気室間の信号伝送に, データウェイ伝送 (信号多重伝送方式) を採用した。データウェイ伝送はケーブル本数の削減, 既設ケーブルピットの再利用ができる。これにより, 工事期間の大幅な短縮ができた。

5 結 言

監視制御システムNEW-AQUAMAX-Pは, 維持管理時代

に入った水道設備, 及び水道プロセスの特質からくるニーズを設計思想に反映させたシステムである。本システムは, 高信頼性, 保守性の向上, 自動化率の向上, 監視制御の高度化を実現し実績を挙げている。監視制御システムの近代化リプレース (モダニゼーション) など複雑化, 多様化していく水道プラントに威力を発揮する。また, 故障ガイダンス, フロック監視システムなど知識工学, 画像処理技術を応用した新しい技術の開発を推進していきたい。

終わりに, 本システムの開発にあたり貴重な御意見, 御指導をいただいている関係各位に対し厚くお礼申し上げる。

参考文献

- 1) 藤田, 外: 上下水道新デジタル制御システム, 日立評論, 68, 9, 743~748 (昭61-9)
- 2) 馬場, 外: 画像処理によるバイオアッセイの研究 (IV), 第38回全国水道研究発表会講演集 (昭和63-5)
- 3) 馬場, 外: 水質因子と画像因子とを考慮した凝集剤注入率の予測, 第38回全国水道研究発表会講演集 (昭和63-5)