

# 下水道における監視制御システム

## Supervisory Control Systems for Wastewater Treatment Plants

下水道監視制御システムは、水の安全処理、放流水質の維持のため高信頼性が求められる。近年、下水処理設備の活発な拡充と技術の高度化から、規模と機能の多様化に対応できる監視制御システムが求められている。また、監視制御機能の高度化をも含めた設備更新も重要な課題である。

日立製作所では、これらのニーズにこたえ各種の下水道監視制御システムを製品化した。NEW-AQUAMAXシリーズは、高い信頼性、拡張性と優れた操作性、制御性を実現した。下水水質制御に、画像処理技術を導入した微生物画像認識システム、雨水排水ポンプの最適運転を可能とする流入量予測システムをはじめとする、監視制御技術の高度化を実現した。また、監視制御機能を高度化した設備の近代化の実例についても紹介する。

浅田 能勝\* *Yoshikatsu Asada*  
渡辺 昭二\*\* *Shôji Watanabe*  
早稲田邦夫\*\*\* *Kunio Waseda*

### 1 緒 言

近年の下水道は下水道資源の有効利用技術、施設の多目的利用技術、バイオテクノロジー活用の高効率処理技術をはじめ多くの技術課題を持っている。その中で、中小都市の下水道普及率の早期向上をはじめとし、大都市ではヒートアイランド現象による都市形洪水防止、維持管理業務の省力化、熟練オペレータ不足解消、水処理技術の高度安定化・省エネルギー化が重要とされている。

こうした下水道環境の中で、昭和52年度に製品発表して以来、数多くの納入実績を持つAQUAMAXシリーズの蓄積技術を踏まえ、NEW-AQUAMAXシリーズを開発した。更に、知識工学を応用した知的予防診断システム、知的運転支援システムの開発、画像処理技術を応用した下水微生物画像認識システムの開発など、下水道設備での監視制御技術に取り組んできた。

以下、下水道の新監視制御システムと監視制御技術について述べる。

### 2 監視制御システム

#### 2.1 監視制御システムのニーズ

下水道は処理水量の増加に伴い、設備が増設、拡張されて成長する。監視制御システムは、下水処理設備の特質から要求される下記のニーズにこたえる必要がある。

- (1) システムの高い信頼性
- (2) 増設性、拡張性
- (3) 設備規模に応じたシステムのメニュー化
- (4) 制御の高度化
- (5) 操作性・マンマシン性の向上

#### 2.2 NEW-AQUAMAXシリーズの設計思想

NEW-AQUAMAXシリーズは、ユーザーの要求にきめ細かく対応できるように処理プロセスの広域化、大形化に対処する大規模システムから小規模システムまでの設備規模に応じたシステムメニュー化<sup>1),2)</sup>を図った。表1にAQUAMAX-S 100, S 200, S 1000, S 2000, S 5000の各システムを示す。プラント規模に対するNEW-AQUAMAXシリーズの適用範囲を図1に示す。信頼性の高いハードウェアを採用するとともに、機能分担の最適化を図った自律分散制御システムを構築し、高信頼性を確保し、増設性、拡張性を向上させた。徹底したデジタル制御技術の導入を図り、コントローラ間の信号伝送は多重伝送方式を採用し、ケーブルの縮減、建設期間の短縮を実現した。制御機能の充実と操作性の向上を図るため、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にも柔軟に対応できるように、豊富なソフトウェアパッケージを用意した。

#### 2.3 NEW-AQUAMAXシリーズの特長

##### 2.3.1 AQUAMAX-S 100, S 200の特長

###### (1) コストパフォーマンスの優れたシステム

小規模向きのコンパクトなデジタル化システムであり、コストパフォーマンスに優れている。PC(Programmable Controller)を中央コントローラとして適用した。特に、極小規模向けには分散形RI/O(リモート入出力装置)をローカルに設置するだけとした。

###### (2) 監視制御機能の充実

中央マンマシン、DDC(Direct Digital Control)、ローカル連動シーケンスを標準ソフトウェアパッケージ群で構成でき、監視制御機能の充実を容易にした。

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

表1 AQUAMAXシリーズシステム構成比較 いずれのシステムも中央からローカルまで、デジタル化、エレクトロニクス化された製品によって構成され、制御の分散化、集中監視を可能としている。

	AQUAMAX-S 100	AQUAMAX-S 200	AQUAMAX-S 1000	AQUAMAX-S 2000	AQUAMAX-S 5000
システム構成	<p>オプション パーソナルコンピュータ</p> <p>ミニGP 操作部 PC IML オプション</p> <p>RI/O RI/O M RI/O ≤ 3U</p>	<p>オプション パーソナルコンピュータ</p> <p>ミニGP 操作部 PC PC IML オプション</p> <p>PC PC PC M PC ≤ 8</p>	<p>ミニGP 操作部 PCU T/W CRT POC-10 CV-NET (500 kbps)</p> <p>PCU PCU PCU M SQC</p>	<p>GP デスク T/W PCS CRT FOC-200 μΣ Network (1 Mbps)</p> <p>PCS PCS PCS M SQC</p>	<p>GP デスク T/W PCS CRT V90/25 R.PADT μΣ Network (1 Mbps)</p> <p>PCS PCS M SQC</p>
システムセプト	小規模 デジタル電気計装システム	小規模 デジタル電気計装システム	小・中規模 デジタル電気計装システム	中・大規模 電気、計装、計算機(プロコン)統合化システム	大規模 電気、計装、計算機(プロコン)統合化システム
ソフトウェア	標準ソフトウェアで、中央マンマシン、DDC、ローカル連動シーケンスを構築。	標準ソフトウェアで、中央マンマシン、DDC、ローカル連動シーケンスを構築。	豊富な標準ソフトウェアで、中央マンマシン、DDC、ローカル連動シーケンスを構築。 電気ソフト(台数制御、受変電設備制御)が構築可能。	豊富な標準ソフトウェアで、中央マンマシン、DDC、ローカル連動シーケンスを構築。 電気ソフト(台数制御、受変電設備制御)が構築可能。	豊富な標準ソフトウェアで、中央マンマシン、DDC、ローカル連動シーケンスを構築。 電気ソフト(台数制御、受変電設備制御)、AI応用制御が構築可能。

注：略語説明

GP(グラフィックパネル), T/W(タイプライタ), POC(Process Operator Console), PCU(Process Control Unit), SQC(Sequence Controller), M(Motor)  
 PCS(Process Control Station), R.PADT(Remote Programming and Debugging Tool), PC(Programmable Controller), IML(Intelligent Micro Logger)  
 RI/O(Remote Input/Output), CRT(Cathode Ray Tube), DDC(Direct Digital Controller), AI(Artificial Intelligence)

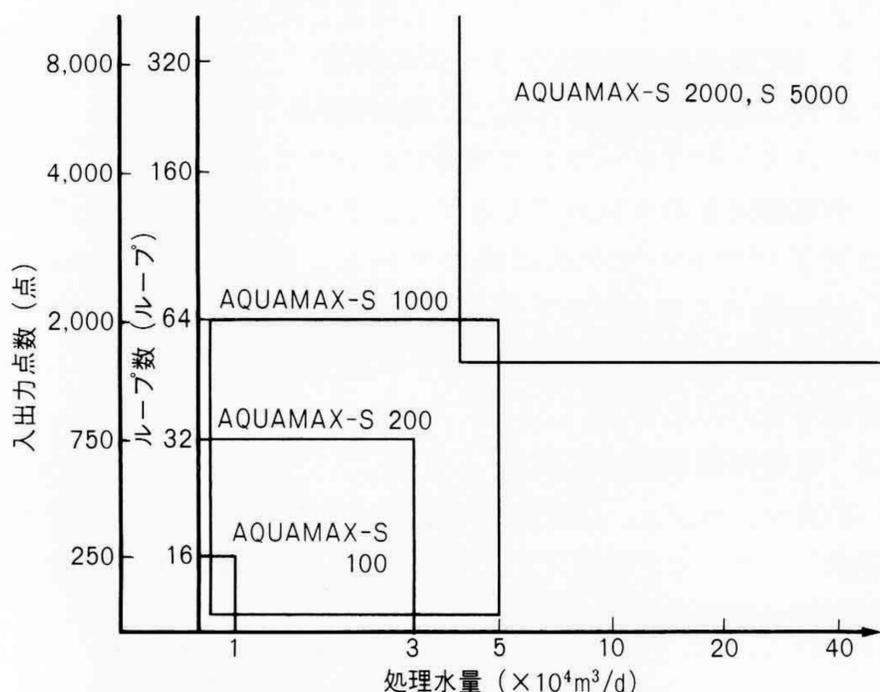


図1 プラント規模に対するAQUAMAXシリーズ適用範囲  
 下水処理場の規模と情報量に基づくシステムメニュー選定の目安を示す。

### 2.3.2 AQUAMAX-S 1000, S 2000の特長

#### (1) 高信頼性

高信頼性のニーズに柔軟に対応できるシステムとした。中央コントローラ(POC: Process Operator Console)とローカルコントローラ(PCU: Process Control Unit, PCS: Process Control Station)の機能分担の最適化を図り、コントローラ間は二重化伝送路で接続した。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を可能とした。

#### (2) 優れた操作性

プラント全体の多量の情報の中から、必要時だけ適切なコミュニケーションが可能なCRT(Cathode Ray Tube)による随時監視制御方式と、主要機器を対象としたプラント全体の監視操作を、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、優れた操作性を実現した。

#### (3) 拡張性、増設性の向上

コントローラ個々の機能が独立し、他のコントローラの機

能に影響を与えない自律分散制御システムを構築し、ノードダウンでシステム増設を可能とした。コントローラ間の伝送方式に、ブロードキャスト方式、トークンパッシング方式を採用し、1台のコントローラがダウンしても、ダウンしたコントローラを全体システムから切離しできる。

(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、シーケンス制御及びループ制御とシーケンス制御が一体化した複合制御、並びに各種非線形な高度制御に対して柔軟に対応できる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。

2.3.3 AQUAMAX-S 5000の特長

(1) 自律分散による高い信頼性、拡張性

システム全体の高信頼化、高拡張性を実現するため、伝送路及びコントローラの二重化を可能とし、コントローラ個々の機能が独立した自律分散制御システムを構築した。

(2) EIC統合による優れた操作性、制御性

監視操作を“C”(中央計算機)によるCRT主体とし、プラントの“E”(電気)、“I”(計装)を総括して行う。また、分散された二重化コントローラは“E”、“I”の両方の制御可能な高速コントローラとし、プラントの電気、計装すべての制御情報

をプラントのトータル監視制御するのに適したEIC(電気・計装・計算機)一体形として操作性、制御性の向上を図った。

(3) 保守性の向上

システム内にプログラミングワークステーションを設け、システムを停止することなく、しかもEICすべてを対話形でプログラムの保守を可能とした。

(4) AI技術の応用

運転管理の安全性を確保するため、AI(Artificial Intelligence)ワークステーションを設け、予防保全、予防診断機能や異常発生時、復旧の早期化を図るため、故障ガイダンスなどAI応用技術を導入できる。

図2にAQUAMAX-S 5000システム構成例を示す。AIワークステーションを導入し、伝送路は光ネットワークを採用している。

3 監視制御技術

下水水質制御性の向上やプラント運転管理に有効かつ導入容易な監視制御技術に対するニーズが高まっている。監視制御に新技術を導入し、プラントの運用と維持管理に有効な種々のシステム構築を行った。例として、画像処理技術を水質制御に適用した「微生物画像認識システム」、処理場内の多部門へ必要な情報を提供し、有効に活用できるAHS(Aqua Humanication System: 水質・事務管理統合化監視制御システム)、及び雨水排水ポンプの最適運用に有効な「コンパクト流入量予測システム」を紹介する。

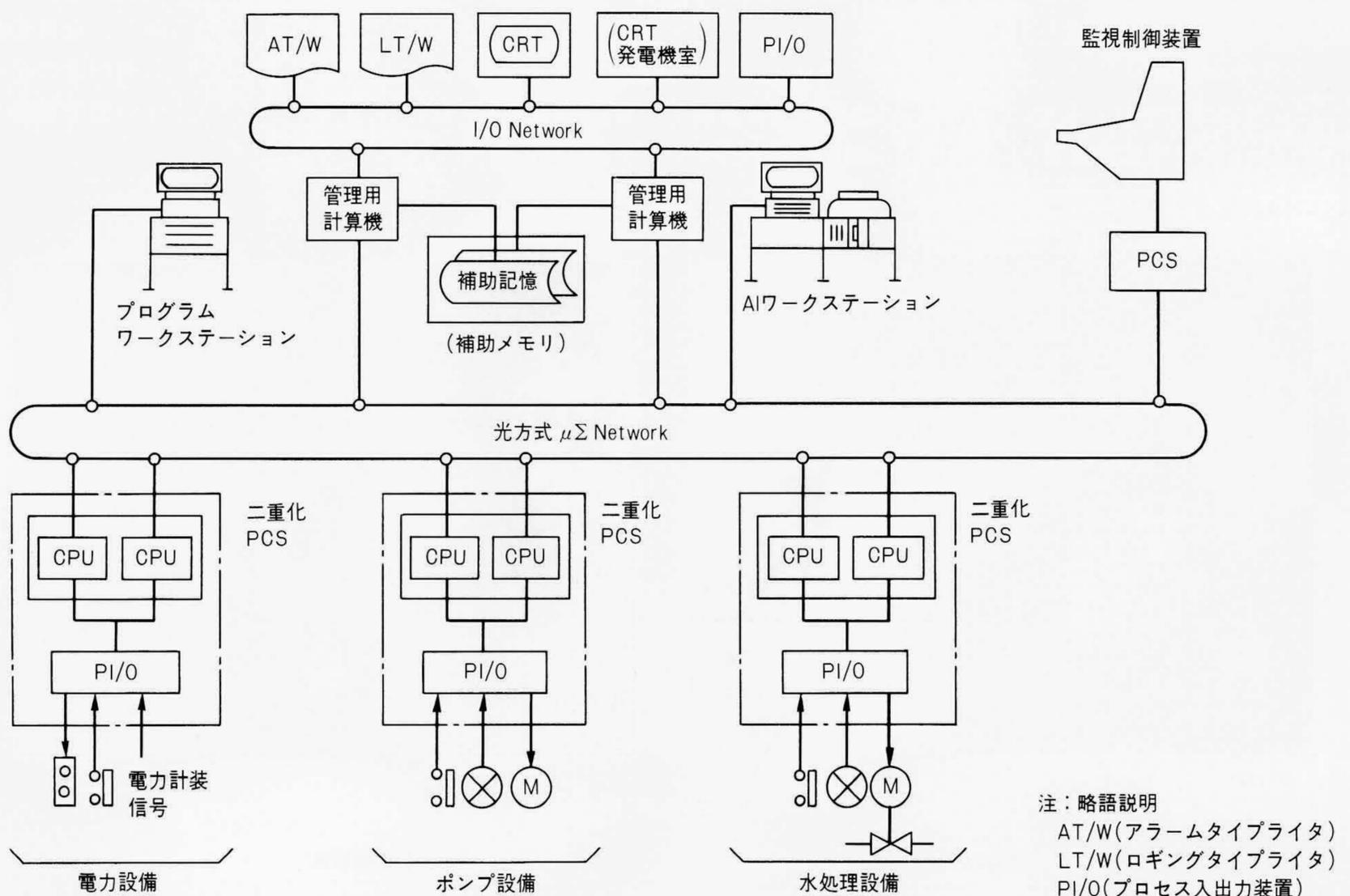
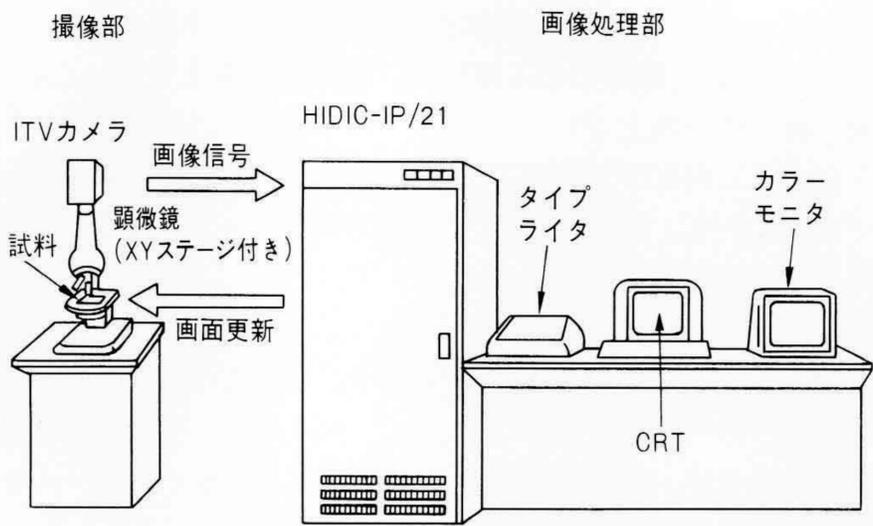


図2 AQUAMAX-S 5000システム構成例 自律分散技術を導入し、高い信頼性、拡張性を持たせるとともに、E(電気)、I(計装)、C(計算機)を統合し、上下水プロセス監視制御システムとして最適なものとした。



注：略語説明 ITVカメラ(工業用テレビジョンカメラ)

図3 微生物画像認識システムのシステム構成 画像処理部と撮像部から成り、顕微鏡にセットされた試料(プレパラート)は画像処理装置(HIDIC-IP)から操作される。

### 3.1 微生物画像認識システム

下水処理場の処理性能は、活性汚泥に出現する微生物相の種類や濃度に大きく影響される。例えば、糸状性微生物(後述図4参照)が異常に増殖すると活性汚泥の沈降性が悪くなり、最終沈殿池からの汚泥流出を招く。また、凝集性微生物が形成するフロックの大小によっても沈降性が変化する。このため、微生物相の監視は運転上極めて重要であるが、現状は専門家による顕微鏡観察に依存しており、経験と時間を要する作業であった。そこで、活性汚泥の維持管理を支援することを目的に、目視観察を自動化し、微生物相を定量的に計測する微生物画像認識技術を確立した<sup>3)</sup>。

#### 3.1.1 システム構成

微生物画像認識技術は、日立はん(汎)用画像認識解析装置HIDIC-IP(以下、画像認識装置と言う。), 光学顕微鏡及びITV

カメラ(工業用テレビジョンカメラ)から構成される。システム構成図を図3に示す。顕微鏡には、画像認識装置の指令により位置制御されるXYステージが設置されており、画面が順次更新される。処理画面数も、画像認識装置から任意に設定できる。このような装置構成により、1サンプル(100画面)当たり約5分で活性汚泥の定量的な自動計測を可能とした。

#### 3.1.2 認識結果

活性汚泥の画像認識は、微生物相の特徴ある形状と輝度差を有効に利用している。糸状性微生物と凝集性微生物を各々分離抽出し、糸状性微生物は細線化処理(糸状性微生物の太さをすべて1画素幅とする。)により、糸状性微生物の長さをも認識できる特徴を持つ。画像認識結果の一例を図4に示す。認識画像は、微生物相ごとに色別表示され、抽出状態を一目で評価できる。微生物相の大きさや長さは、全画面を統計処理し計測できる。計測された糸状性微生物の長さから、沈降性の指標であるSVI(Sludge Volume Index: 汚泥容量指標)を予測できるようにしている。

本技術を適用し、活性汚泥中の凝集性微生物と糸状性微生物を短時間で定量化でき、下水処理場の代表的な異常現象であるバルキング(活性汚泥の膨化)の早期予知へ応用した。

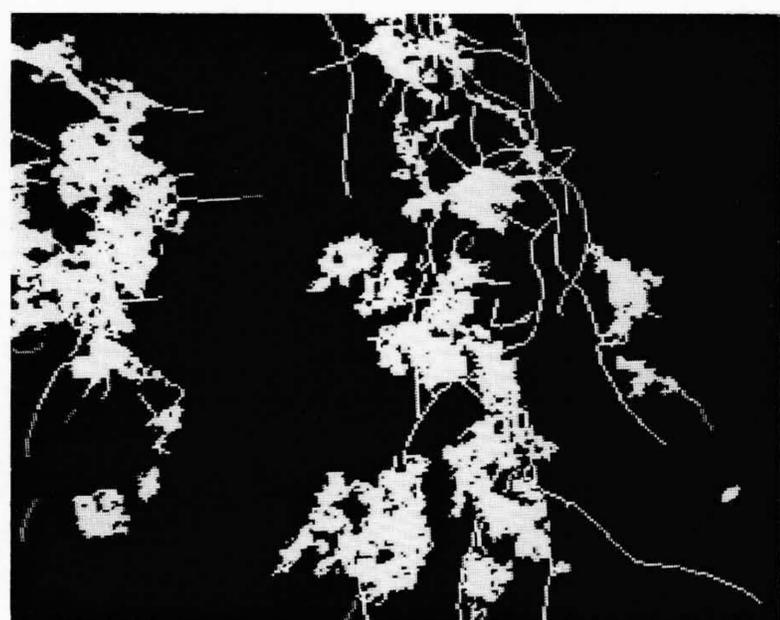
#### 3.2 AHS

下水処理場では監視制御システムが広く普及し、プラントの運転管理の自動化・省力化が図られている。監視制御システム内の情報をプラントの運転管理だけでなく、必要な情報を事務室、水質実験室など下水処理場全体で有効に活用できるAHSの必要性が高まっている<sup>4)</sup>。

具体的には土木・建築・水質・機械・電気の各エンジニアが必要な情報を監視制御システムから提供し、全員参画意識の持てるシステムとすることや、システム利用者の必要とする情報を目的・用途に合致した分かりやすい形で提供できるシステムとすることである。



(a) 顕微鏡画像



(b) 認識画像

図4 活性汚泥画像認識結果の一例 凝集性微生物は分離抽出後、色分けして合成表示し、処理状態を評価できるように工夫している。

3.2.1 具体例

システム構成を図5に示す。監視制御システムの中央計算機と、水質実験室、事務室に設置されたオンライン端末装置を通信制御装置(モデム)を介して接続した。各オンライン端末に必要な情報は、中央計算機から提供する。オンライン端末は、中央計算機からのプラントデータを基に、水質実験室、事務室の目的に応じた帳票作成、ディスプレイ表示を行う。オンライン端末装置は、中央計算機とのデータ送信時だけデータの授受を実行し、不要時は停止可能としている。オンライン端末装置としては、小形で安価なパーソナルコンピュータ又はワークステーションを使用し、流通ソフトウェアの利用可能なOA(Office Automation)機器として使用できる。本システムのソフトウェア機能構成を表2に示す。

3.3 コンパクト流入量予測システム

都市では雨水の滞留場所が少なくなり、雨水排水ポンプ場では流入量が急激に変動するため、ポンプ起動最適化に運転管理の重点が置かれる。ポンプ起動遅れによって路上いっ(溢)水、ポンプ場冠水の危険性がある。これらを防止するには、流入量予測を行い貯留容量を有効に利用したポンプ起動最適化が必要となる。反面、流入量予測システムは主として降雨時に必要となるもので、常時必要とされない。したがって、小形で導入の容易なシステムが要望され、降雨時以外はOA機器としても利用できるシステムが望まれる。このようなニーズにこたえたコンパクト流入量予測システムにワークステーションを用い、図6に示すシステムを構築した<sup>5)</sup>。流入量予想

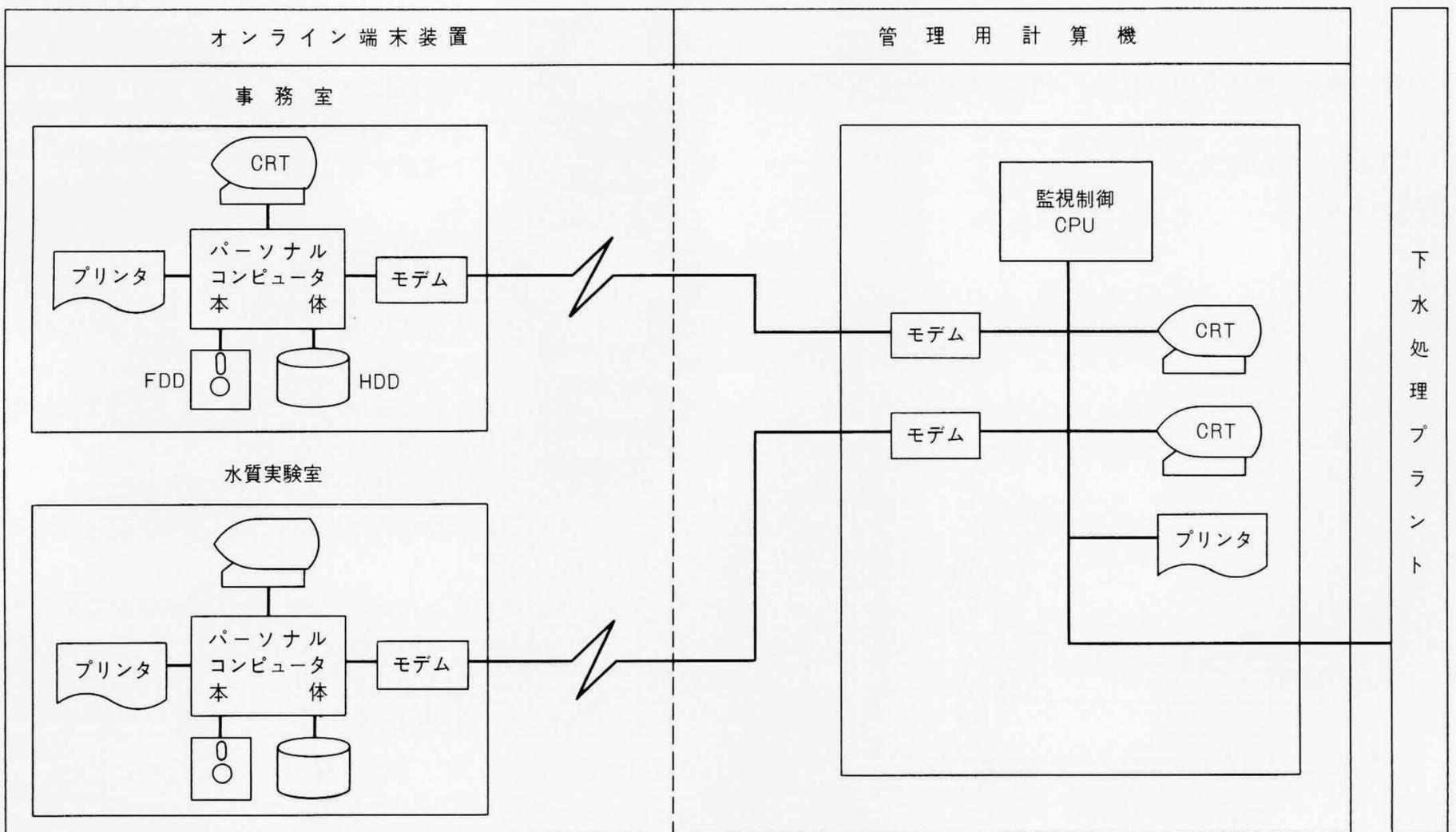
表2 AHSのソフトウェア構成 オンライン端末装置のソフトウェアは、事務室、水質実験室での目的に応じたソフトウェア構成である。

オンライン端末装置	中央計算機
● 中央計算機対向通信機能	● プロセスデータ入出力機能
● データファイル管理機能	● データファイル作成機能
● 手分析データ入力機能	● データファイル保守・管理機能
● 作表・作画機能	● プロセス監視機能
● 日本語ワードプロセッサ機能	● プロセス制御機能
● メッセージ交換機能	● オンライン端末装置対向通信機能
● データ統計・解析処理機能	● その他
● その他	

注：点線枠内は流通ソフトウェアで構築可能である。

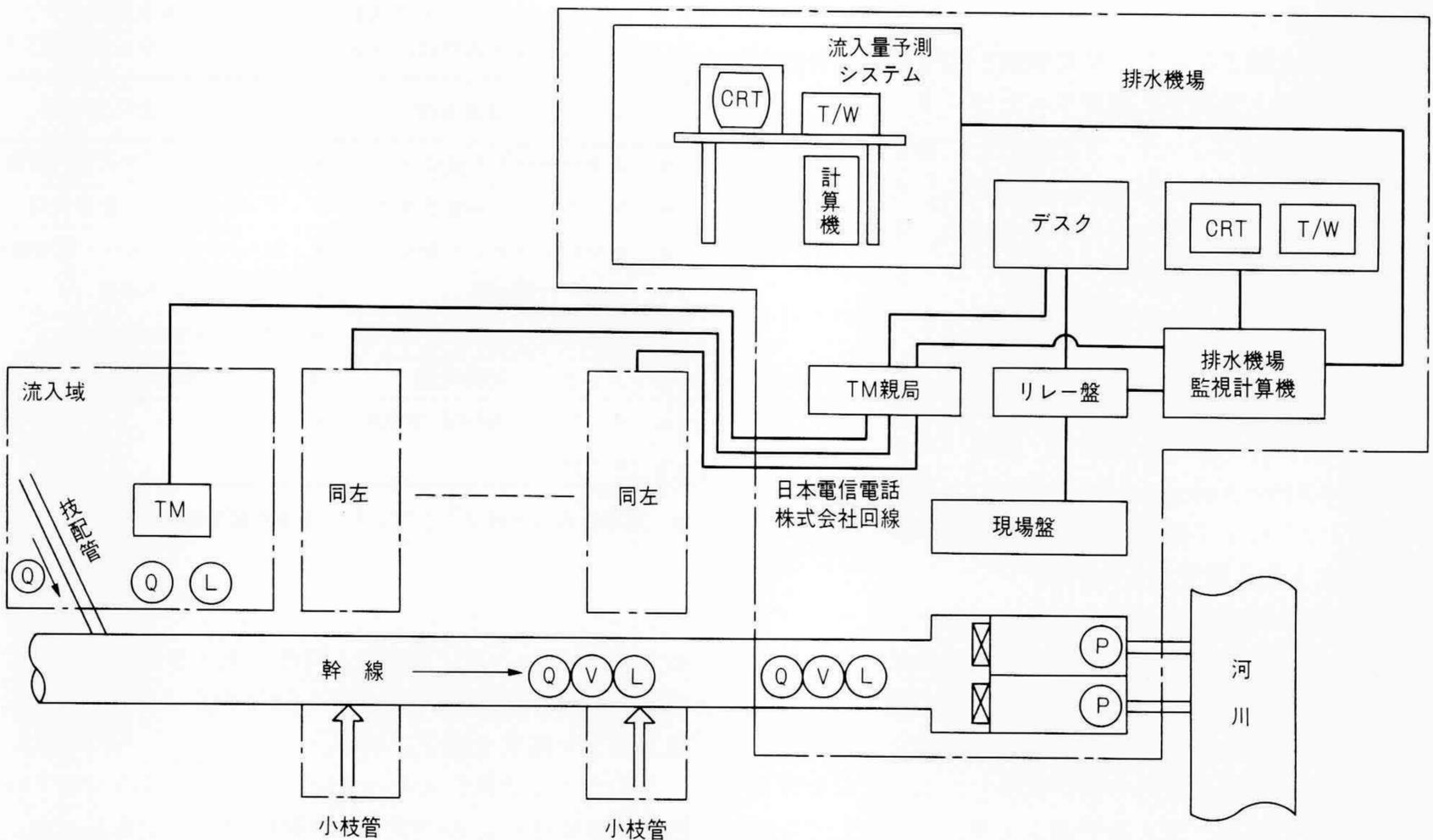
モデル<sup>6)</sup>を用い、ポンプ場流入幹線の流入量計測値から、ポンプ場への流入量、ポンプ井水位を60分先まで予測可能とした。流入量予測結果を図7に示す。

このような予測システムでは、初期導入時のパラメータ調整、経年変化によるパラメータ調整が必要である。本システムは、パラメータを変更しながら流入量予測モデルを繰り返し作動し、最適なパラメータを決定できる。本システムは、降雨時の計測情報及び予測結果を蓄積データとして蓄え、流入量予測モデルのパラメータを変更した後、計測情報蓄積データを使用し、流入量予想モデルを再計算可能としている。



注：略語説明 FDD(Floppy Disk Drive), HDD(Hard Disk Drive)

図5 AHS(Aqua Humanication System)構成例 オンライン端末は、事務室と水質実験室に設置され、中央計算機から必要な情報を入力し、各所の目的に応じ利用している。



注：略語説明 TM (テレメータ), Q (流量), V (流速), L (水位), P (ポンプ)

図6 コンパクト流量予測システムのシステム構成例 流入量予測システムをワークステーションで構築し、コンパクトなシステムとした。パラメータ調整、操作が容易である。

#### 4 下水道監視制御システムの近代化(モダニゼーション)

設備・機器の更新要因として、一般に下記項目が挙げられる。

- (1) 機能・性能の向上
- (2) 老朽化対策

- (3) 省エネルギー化
- (4) 意匠の刷新
- (5) 省力化

監視制御システムの近代化(モダニゼーション)は、ただ単にリプレースだけでなく、監視制御機能の高度化を実現する必要がある。以下、下水ポンプ所のモダニゼーションを例にとり、具体的に述べる。

##### 4.1 監視制御システムの近代化具体例

下水ポンプ所の更新要因を下記に示す。

- (1) 当初納入年度から20年以上経過し、部分的改良・補修の必要性が頻繁に発生し、改良・補修費が多額となったこと。
- (2) 都市化・人口増加による急激な雨水流入量の変動に対応できる制御の高度化が必要となったこと。
- (3) 現場の詳細監視可能な集中監視方式が望まれたこと。
- (4) ケーブルの縮減、建設期間の短縮可能な信号伝送方式が必要となったこと。
- (5) コントローラダウン時の危険分散、ノーダウンでシステム増設を可能とする自律分散制御システムが望まれたこと。
- (6) 職場環境の改善が望まれたこと。

今回、AQUAMAX-S 1000システムを導入し、監視・制御機能の大幅な改善、及び二重化多重伝送路を用いた自律分散制御システムを実現した。表3に既設システムと「モダニゼーション」後のシステムとの比較を示す。図8は「モダニゼーション」前後の監視室内を示す。本「モダニゼーション」施工で、特に留意した点は下記のとおりである。

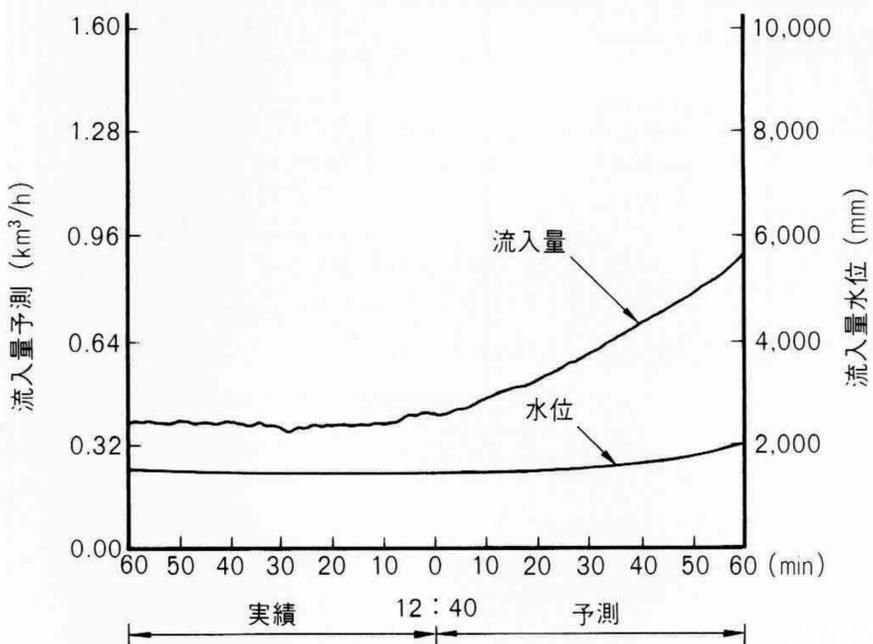
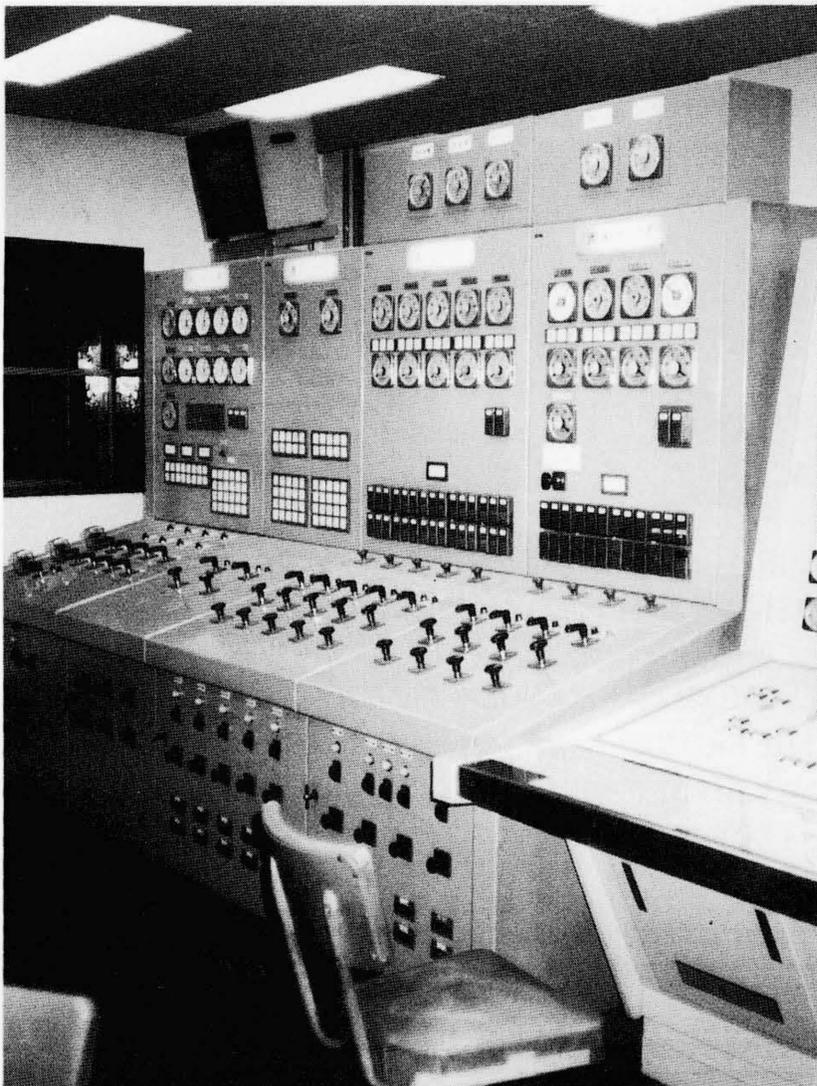


図7 流入量予測結果 流入量予測演算により、60分後までのポンプ井への流入量ポンプ井水位が精度よく予測でき、排水ポンプの最適運用ができた。

表3 「モダニゼーション」前後のシステム比較 モダニゼーションによって監視制御機能、管理機能が大幅に改善されている。

		既設システム	モダニゼーション後システム
システム構成			
監視機能		状態表示器，故障表示器，指示計による重要情報監視	CRTによる詳細監視，ミニグラフィックパネルによるマクロ監視，ガイダンス出力
制御機能	止水扉	手動操作だけ	手動操作のほか，開度設定，一斉閉操作，停電時自動閉操作可能
	雨水，汚水ポンプ	手動連動操作だけ	自動制御（水位変化率制御，台数制御）の導入
	雨水，汚水沈砂池設備	手動操作だけ	手動操作，手動連動操作，タイマによる保守運転可能
	力率制御（SC制御）	手動操作だけ	手動操作，力率制御可能
管理機能	日報	手書き	タイプライタによる自動印字
	月報	手書き	タイプライタによる自動印字
制御電源分岐		設備ごとの大まかな分岐	設備の目的ごと，主要機器の号機ごとの分岐
職場環境		—	監視室内に空調設備を設置し，室内を明るく近代化された。



(a) モダニゼーション前



(b) モダニゼーション後

図8 「モダニゼーション」前後の中央監視制御システム ミニグラフィックパネル付き操作デスクとCRTにより，監視制御機能が大幅に改善された。監視室全体が明るく近代化された。

## (1) 監視操作機能の向上

ポンプ所全体の監視操作を行うグラフィックパネル、操作デスクと詳細監視を行うCRTを採用し、合理的な監視操作を可能とした。また、日報、月報を中央コントローラで作成し、大幅な管理業務の改善を行った。

## (2) 切替施工の工程管理

新旧システム切替施工時、停電時間の制約があり、分刻みの切替施工スケジュールを立案し実施した。本ポンプ所は稼動中であり、しかも上流側ポンプ所群と、下流側処理場とを連係して運転する必要があった。

## (3) 環境対策

電子制御装置導入に際し、床・天井・窓からの腐食性ガス侵入を防止した。また、監視室に空調設備を新たに設置した。

## (4) 職場環境への配慮

監視室全体の色調・照明を考慮し、監視操作デスク・制御盤塗装色・フロア色・壁面色の調和を図り、監視室全体を明るく刷新した。

**5 結 言**

監視制御システムNEW-AQUAMAXシリーズは、最新のデジタル技術を駆使し、規模別、機能別対応と機能の高度化、高信頼性を実現した。画像処理技術を水質制御に適用した「微生物画像認識システム」をはじめとし、雨水排水ポンプの最適運用ができる「コンパクト流入量予測システム」、処理場内、他部門へ情報提供、有効活用できるAHSなど、プラントの運

用と維持管理に有効な製品を開発した。また、設備の近代化「モダニゼーション」の実施実績を拡大し、制御性・操作性の向上、業務改善に好適な監視制御システムを提供した。

終わりに、多数のユーザー各位から御意見や御助言をいただいた。ここに深謝の意を表す次第である。

**参考文献**

- 1) 岩城, 外: 下水処理場の制御, 日立評論, 59, 8, 655~660(昭52-8)
- 2) 佐藤, 外: 最近の上下水道監視制御システム, 日立評論, 62, 8, 599~604(昭55-8)
- 3) 津村, 外: 高速画像処理装置を用いた糸状微生物特長の計測, 第20回水質汚濁学会講演集(昭61-3)
- 4) 笠井, 外: 水質・事務管理統合化監視制御システム, 第25回下水道研究発表会(昭63-5)
- 5) 笠井, 外: ワークステーションによる流入量予測システムの構築, 第25回下水道研究発表会(昭63-5)
- 6) 大音, 外: 上下水道におけるシミュレーション技術, 日立評論, 64, 9, 645~650(昭57-9)

**論文抄録****バイポーラCMOS複合の超高速ROM**

日立製作所 栗田公三郎・上野雅弘・他2名

電子情報通信学会論文誌C J70C-6, 776~782(昭62-6)

近年、論理LSIに対する性能向上への要求はますます強くなっており、これを実現する高速かつ高集積なLSI技術が望まれている。この一つの解答として、CMOSの高集積性、低消費電力性とバイポーラの高速性を併せ持った新しいLSI技術であるHi-BiCMOS (High Performance Bipolar CMOS) 技術の適用が提案されている。Hi-BiCMOS技術は現在ゲートアレー、メモリに適用され、上記特長を実証している。

一方、このHi-BiCMOS技術をプロセッサなどの論理LSIに適用するには、内部論理に応じてバイポーラとCMOSとを組み合わせることが必要となる。

ところで、プロセッサなどの論理LSIではデバイスの微細化とともに大規模化の傾向

にある。これに伴い、内部コントロールをマイクロプログラム方式で実現する手法が一般的となっている。そこで論理LSIの高速化のためには、このマイクロプログラムコードを格納する高速なROM(マイクロROM)が不可欠である。

本論文では、高速なマイクロROMを実現する一例として、Hi-BiCMOS技術を採用し、その高速回路方式について検討した。

初めに、Hi-BiCMOS回路とCMOS回路の比較から、高負荷駆動ではHi-BiCMOS回路が有利であるが、逆に軽負荷駆動ではCMOS回路が有利であることを明らかにした。

次に、マイクロROM各部の高速化方式について示し、その高速化を実現するHi-

BiCMOS回路を提案した。その特徴としては、メモリセルアレーをMOSトランジスタで構成し、アレー周辺のワード線ドライバ、データ線センス回路、データ線プリチャージ回路などをバイポーラトランジスタの高駆動能力や大きな $gm$ (相互コンダクタンス)を生かしたバイポーラCMOS複合回路で構成して、高集積性と高速性を両立させたことである。

更に、提案した回路の高速性を確認するため、容量128 kビットのHi-BiCMOSマイクロROMを試作した。試作品を評価した結果、電源電圧5Vで最高動作時のサイクル時間16 ns、電源電圧±10%の変動に対してサイクル時間の変動は-7~+13%となり、Hi-BiCMOS回路の高速性を実証した。