

下水道集中制御システム

Centralized Control System of Sewerage

When water pollution is aggravating to a threatening extent, construction of sewerage systems and sewage treatment plants seem to offer a key to solve this serious problem. While sewerage systems grow in capacity, when viewed from the point of control criteria, they have a big time constant and a big dead time, and the dynamic characteristics of activated sludge processes employed in sewage treatment plants have many unknown factors.

To have sewerage systems and sewage treatment plants with above-mentioned characteristics under effective control, simulation and estimation techniques aided by control computers have been introduced. This paper describes characteristics of sewage treatment process, simulation of an activated sludge process, and the centralized control of a sewerage system.

大音 透* *Tōru Ohto*
 野北舜介** *Shunsuke Nogita*
 岩城秀夫*** *Hideo Iwaki*
 森 俊二*** *Shunji Mori*
 小野寺傑*** *Takashi Onodera*

1 緒 言

水質汚濁は人体、生物に対する悪影響、環境破壊をもたらす大きな社会問題⁽¹⁾となっている。その主要な原因の一つに都市下水道の未整備があげられる。昭和45年現在、わが国の下水道の面積普及率は22.8%と低く欧米に遠く及ばない。現在第三次下水道整備5個年計画が強力に推進され、昭和50年には面積普及率は38%に高められようとしており、下水道系統は都市の広い地域、あるいは河川の流域全体を対象とした大規模なものになりつつある。

汚水および雨水の排除方式は従来主として合流式が採用されているが、晴天時と雨天時では流入水量の変動は数倍にも達するから、雨水量が多いときには一部は簡易処理のまま放流してもさしつかえない場合があるため、分流式排除方式の

普及が推進されている。

終末処理場の汚水処理プロセスは主として活性汚泥(おでい)法による二次処理が実施されており、処理コストが低廉である反面、菌体を対象とした生物化学的反応であるためプロセス動特性の把握(はあく)と活性度の評価は相当困難である。

以上はいずれも下水道システムの制御の困難さを示すものであって、事実、従来曝気(ばっき)量、返送汚泥量などは経験的に問題ないと判定された範囲内に設定され運転が行なわれていることが多い。シミュレーション・テクノロジー、流入水量予測などの高度な手法の採用によってこれらの困難はしだいに克服されている。また制御用計算機の導入によって制御の高度化が実現し大規模、複雑化した下水道系統を少数

表1 下水処理プロセスとその特性 下水処理プロセスの水量変動に対しては各点の水位を一定に、水質変動に対しては返送汚染量曝気量を制御し、処理水の水質を一定に保つ。

Table 1 Characteristics of Sewage Treatment Process and Preferable Controlled Results

処理工程	フ	ロ	ー	シ	ー	ト	処理内容	プロセス制御特性
生下水中継			P			P 中継ポンプ場	汚水雨水の送水	流入側水位一定範囲
前処理			流入ゲート			沈砂池	流入量制御 固形物除去 沈砂の除去	吸水水位一定範囲 スクリーン効果一定以上 ①沈砂池流速一定 ②堆砂量一定以下
最初処理			雨水ポンプ井			汚水ポンプ井 P 雨水ポンプ P 汚水ポンプ P 最初沈殿池	汚水の揚水 雨水の揚水 沈殿性固形物の除去	吸水水位一定範囲 吸水水位一定範囲 ①最初沈殿池流速一定 ②沈殿汚泥濃度一定以下 引抜きなま汚泥濃度一定
高級処理 (活性汚泥法)			エアレーションタンク			最終沈殿池 塩素混合池	不純物の酸化 凝集吸着 沈殿物の除去 塩素殺菌	最終処理水のBOD,SS一定範囲 最終沈殿池流速一定 最終処理水の大腸菌数規定値以下
汚泥処理			濃縮			消化	濃縮	濃縮そう内汚泥濃度一定範囲
			洗浄			薬品混合	消化	消化効率一定以上
			脱水機			焼却炉	洗浄	洗浄汚泥のアルカリ度一定以下
							薬品混合	正味汚泥量に対する正味薬品量比率一定
							脱水機	正味汚泥量に対する正味脱水量比率一定
							焼却炉	焼却効率一定以上

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

の人員で掌握できる管理システムが完成に近づいている。

以下、日立下水道集中制御システムの最近の進歩について述べる。なお、放流水面水質基準の厳格化、あるいはリン、窒素などの除去に対応する高度処理、いわゆる三次処理システムおよび再循環使用システムの制御については後日に譲る。

2 下水処理プロセスとその特性

下水処理プロセスおよびその特性を示すと表1のようになる。処理対象地域の条件により多少の相違はあるが、流入下水量と下水水質の時間的変動は大きい。BOD負荷量(=流入下水量×流入水BOD濃度)を指標にとれば、この指標の日間最大値と最小値の比が晴天時において5ないし6に達する処理場も多い。この変動は処理プロセスにとって大きな外乱の一つである。水温の季節的変動も長期的な外乱として作用し、処理プロセスのBOD除去性能を変化させる。このほかに、降雨に伴う流入水水質の変動、毒物の流入など大きな外乱として作用する。

一方、活性汚泥プロセスでは生物相の応答が複雑であるうえに、リサイクルとしての返送汚泥ラインの存在がプロセスの応答をさらに複雑にする。この種のプロセスの挙動を直感によつて的確に把握することは困難であり、運転者の経験に加えてプロセス・シミュレータによる定量的な解析が必要となり最適制御を行なうために重要な役割を果す。

3 下水処理プロセスのシミュレーション

下水処理プロセスの中で、生物化学反応とリサイクルを含みその挙動が最も複雑である部分、すなわち曝気そうとその周辺について、シミュレータの構成、単位装置の数式モデル、計算結果、シミュレーションの効果などについて説明する。

3.1 プロセス・シミュレータの構成

非線形性の強い生物化学反応を含むプロセスのダイナミクスを解明する。

プロセス・デジタルシミュレータの構成法としては、曝気そう、沈殿池、分流器などの単位装置ごとにユニット計算プログラムを作成しておき、それらを主プログラムによって結び合わせる方式が一般に採用される。この方式によれば、プロセス・フローの変更や単位装置の形式変更などを入力データの変更によって柔軟に処理される、汎用性の高いシミュレータを作ることができる。

3.2 ユニット計算プログラム

主要な単位装置についてその数式モデルを略述する。

(1) 曝気そう

下水や曝気空気の導入方法の差異によってさまざまな形式が知られている。代表例は図1に示すとおりである。これらの方式を一見するとそれぞれ異なったもののように感じられるが、曝気そうをさらに単位そうに分割し単位そう列モデルを組み立てることにより統一的に取り扱うことができる。単位そうの数式モデルとしては、完全混合形、押し出し流れ形、両者の中間に位置する混合拡散形などが考えられるが、実際の曝気そうには押し出し流れに近い混合拡散形モデルがよく適合するようである。

基質反応速度に関して、

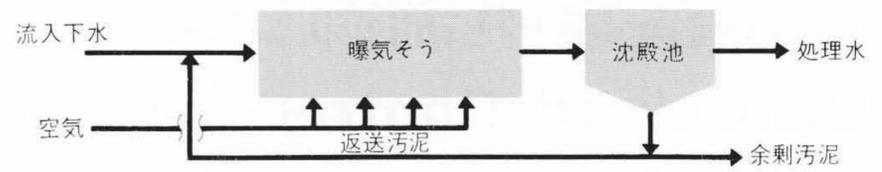
$$dL/dt = -k\lambda SL + \beta bS$$

汚泥反応速度に関して

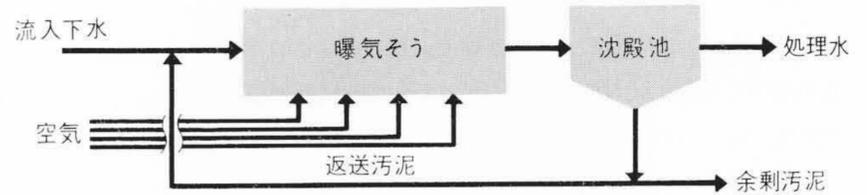
$$dS/dt = ak\lambda SL - bS$$

活性度に関して

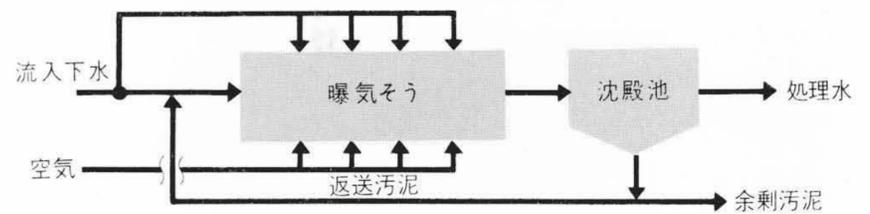
$$d\lambda/dt = dS/dt + K(1-\lambda)S - mk\lambda SL$$



(1) 標準活性汚泥法



(2) 傾斜曝気法



(3) 段階的曝気法

図1 活性汚泥法の曝気そう形式 代表例を示すが、標準活性汚泥法が最も一般的である。

Fig. 1 Types of Aeration Systems

が提案されている⁽²⁾。

ここで、 L 、 S 、 λ はそれぞれ基質濃度、汚泥濃度、活性度、 a 、 b 、 k 、 K 、 β 、 m はそれぞれ反応に関する諸係数である。

単位そうへの出入量と上記3式による単位そう内での変化量をまとめて、基質、汚泥、活性度に関する物質収支式をつくり、これらの微分方程式を連立させて数値的に解けば、曝気そうのダイナミクスが明らかになる。混合拡散形モデルを用いた際の曝気そう内の基質と汚泥の軸方向濃度分布の一例は図2に示すとおりである。

(2) 沈殿池

汚泥表面積負荷と処理水SS濃度の関係は実験的に求められており⁽³⁾、負荷量と処理水SS濃度の関係を数式化することは容易である。ただし、汚泥性状と汚泥沈降速度の間には複雑な関係があるため、数式モデル中のパラメータは実測データに基づいて逐次修正できるようにしたい。また、沈殿池における過大な汚泥の抜き出しは返送汚泥の希薄化を招くので、汚泥収支に関する数式モデルもこのユニット計算に含まなければならない。

一般の水平流式沈殿池の混合特性は、近似的に押し出し流れと仮定できるので、時間遅れの数式化は容易である。

(3) 分流器

実際の処理プロセスでは、返送汚泥と余剰汚泥がそれぞれ独立した配管系統によって沈殿池から抜き出される場合も多いが、プロセス全体をみる際にはこれらを一括して分流器として取り扱うと便利である。分流器のモデルに定比率返送や定量返送などさまざまな操作特性を組み入れておき、必要に応じていずれかの操作を取らせるようにプログラムしておく。

(4) 合流器

曝気そうの上流において流入下水と返送汚泥を混合させる水路部分を合流器と名づけ一つのユニット計算プログラム

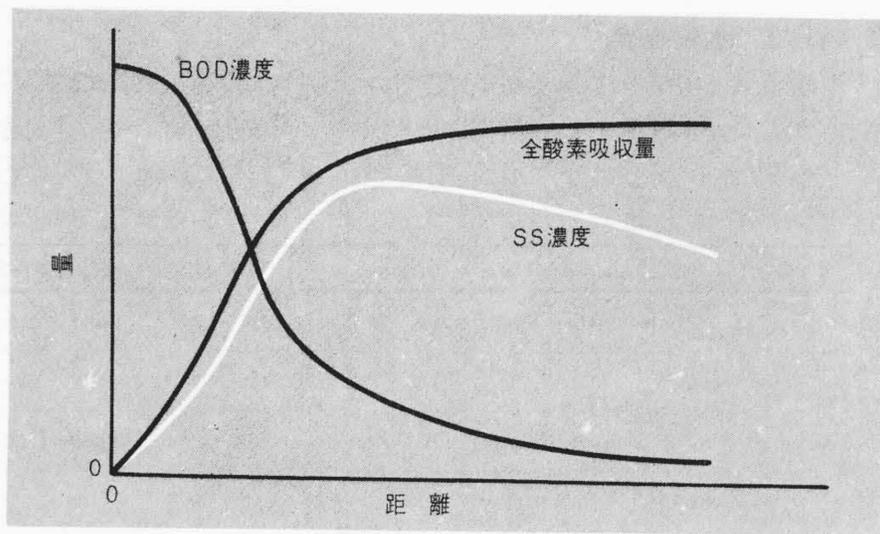


図2 基質と汚泥の流れにそった濃度分布 距離すなわち時間経過によるBODとSSの反応変化を示す。

Fig. 2 Distribution of BOD and SS

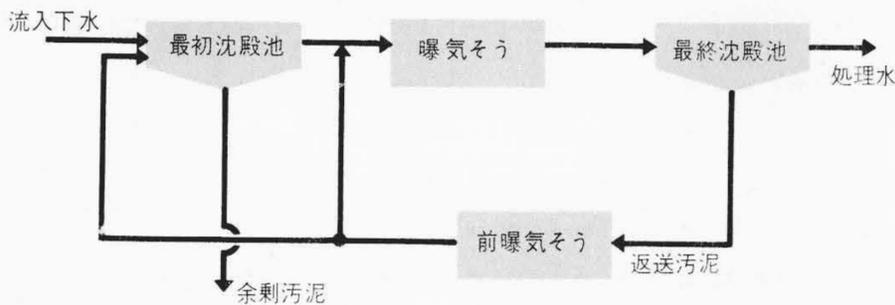


図3 曝気そうまわりのプロセス・フローの一例 曝気そうまわりのプロセス構成を示す。最初沈殿池、曝気そう、最終沈殿池、前曝気そうより構成される。

Fig. 3 Schematic Diagram of an Activated-sludge Treatment Process

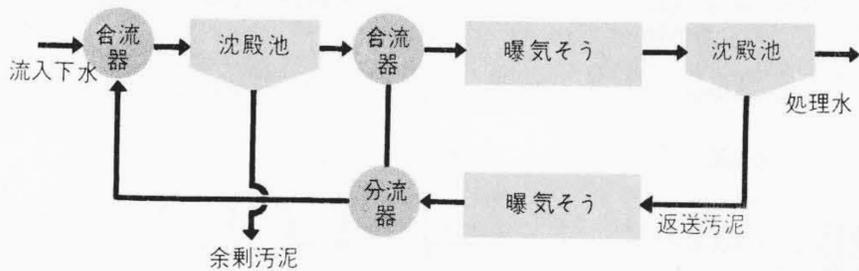


図4 シミュレータ構成の一例 シミュレーション構成のため分水器合流器の考え方を導入している。

Fig. 4 Block Diagram of an Activated-sludge Treatment Process

としておく。計算内容は、時間遅れなく混合が行なわれるとして単に物質収支関係を求めるのみでよい。

(5) 管路

曝気そうと沈殿池の有効容積に比べて水路と配管の容積は非常に小さいので、管路による時間遅れは無視して差しつかえない。したがって管路の数式モデルはつくらなくてよい。

以上のユニット計算プログラムを組み合わせれば、曝気そうとその周辺のダイナミクスを計算するプロセス・シミュレータが完成する。図3はプロセス・フローの一例を、図4はそのプロセスに対応するシミュレータの構成を示したものである。

3.3 計算手順と結果の一例

このシミュレータに装置容量、係数類などの固定変数およびプロセス変数に関する初期値をデータとして与え、また流入下水流量や流入水BOD濃度などについては時間的変動をデータとして読み込ませたのち、計算を始める。計算手順は図5に示すとおりである。シミュレータの内部では、装置構成

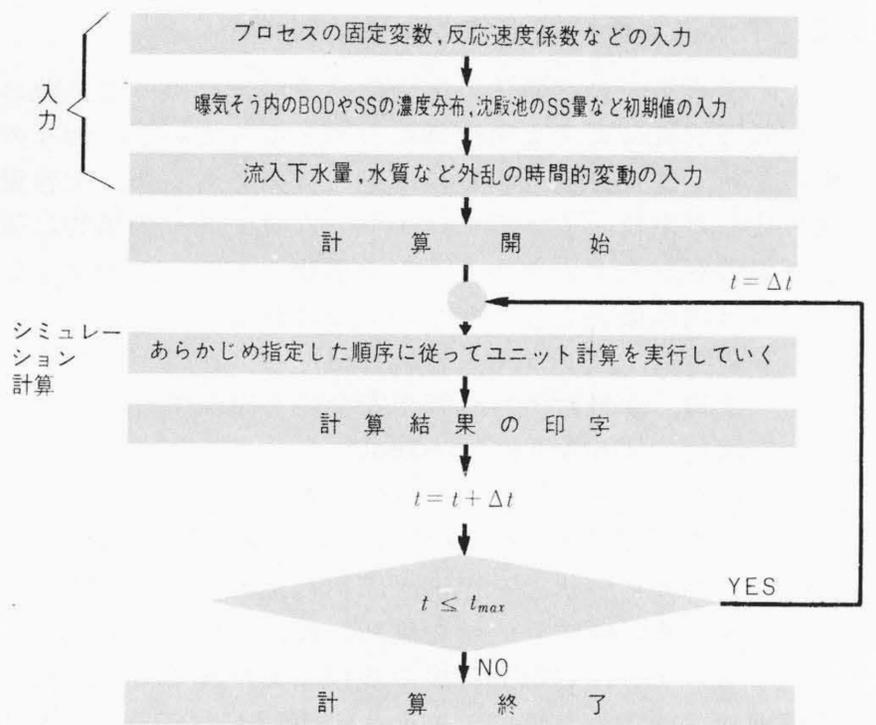
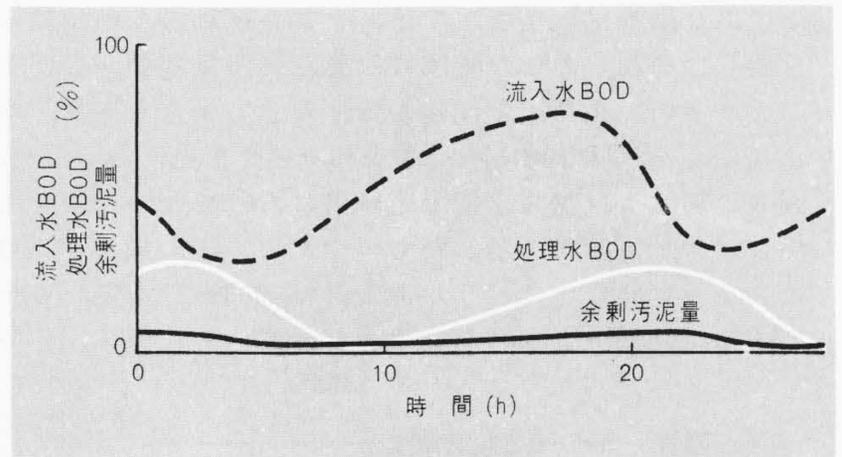


図5 計算手順 シミュレータの内部では、あらかじめ指定された順序に従ってユニット計算を繰り返す。

Fig. 5 General Flow of a Simulator of an Activated-sludge Treatment Process



注：条件、流入下水流量一定、定比率返送

図6 シミュレーション結果の一例 処理水BODは流入BOD変動にかかわらず、常にほぼ一定となる。

Fig. 6 Result of Calculation Using an Activated-sludge Treatment Simulator

に応じてあらかじめ指定した順序に従ってユニット計算を実行してゆき、すべてのユニット計算が終わったならば、時間を Δt 進めて再び最初のユニット計算に戻りこれを繰り返す。

図6は結果の一例を示したものである。

3.4 シミュレーションの効用

プロセス・シミュレーションは、すでに10年以上の歴史をもち多方面に活用されているが、下水処理プロセスにこれを適用すれば次の効果が期待されるであろう。

- (1) 各操作因子の処理水水質に対する影響を定量的に把握できる。
- (2) 現時点におけるプロセスの状態に立脚して最適運転操作の指針が得られる。
- (3) プロセスや制御方式の改変に伴う操業状態の変化が予測できる。
- (4) 計画、設計段階において処理プロセスのボトルネックを予測する。

これらの事項は、処理場の制御方式を検討するうえで欠くことのできない情報であり、今後シミュレータの精度を向上し、制御方式はさらに合理化できる。

4 下水道集中監視制御システム

下水道設備の大容量化、広域化、流域化に伴って系統および設備の構成はますます複雑なものとなっている。個々の設備の革新、改良を推進するのはもちろんであるが、大容量、複雑化した系統をできるだけ少ない人員で最も効果的に運営できる管理システムを作ることが重要である。このようなシステムは次の条件をもったものでなければならない。

- (1) 安全確保：(Security Control)
水質、水量および設備の安全性を確保する。
- (2) 最適化：(Optimum Control)
最小のコストで最適の管理結果を得る。
- (3) 的確な運転操作可能：(Man-Machine Communication)
プロセスの状態を迅速、確実に把握する。常時はもちろん異常時にも的確な判断、操作が可能のこと。

このシステムは対象処理場の規模により異なるが、表2は規模別に標準化した制御システムを、図7にはこのうちHIDIC 500制御用計算機を中心としたAQUAMAT-S₄⁽⁴⁾下水道集中監視制御システムを示している。

4.1 制御方式

4.1.1 水量制御

下水の水量制御の特徴は排除系統が大部分、開水路自然流下であり雨水ポンプなどではエンジン駆動のため始動に時間を要し、これらのむだ時間に対処して予測制御が必要となることが多い。また流量測定がむずかしい場合もあり、水位変化率によって間接的に水量を求める必要を生ずる場合がある。図8は汚水ポンプ井水位一定制御においてこの方法を用いた場合⁽⁵⁾の制御結果を示したものである。流入量の1,200m³/hのステップ状変化に対し水位変動幅0.3m、安定するまでに要する時間28分と安定な結果を示している。

4.1.2 水質制御

現在、採用される活性汚泥プロセスにおいては、最終処理水のBOD、SSを規定値以内に保つよう曝気量、返送汚泥量を制御することになるが、前提条件として沈砂池、最初沈殿池、最終沈殿池の処理効果が十分であり、さらに水量制御が

システム名	AQUAMAT-S ₁	AQUAMAT-S ₂	AQUAMAT-S ₃	AQUAMAT-S ₄
プロセス規模 (処理人口)	5万人以下	5万人~20万人	20万人~50万人	50万人以上
シーケンス	下水処理	100以下	100~150	150~300
	汚泥処理	100以下	100~300	300~500
アナロググループ数 (電力関係も含む)	下水処理	30以下	30~50	50~100
	汚泥処理	20以下	20~40	40~80
制御	処理場内情報伝送	1:1伝送	1:1伝送	リモートステーション
	中継ポンプ所情報伝送	1:1スーパーテレメータ	1:1スーパーテレメータ	1:Nスキャニングテレメータ
シ	集中監視制御	グラフィック盤 1:1制御	グラフィック盤 一段選択制御	グラフィック盤 二段選択制御
	カラーディスプレイ			
ス	記録	アナログ記録計	ログ専用機	
	シーケンス制御	プログラマブルシーケンス・コントローラ	プログラマブルシーケンス・コントローラ	
テ	水量制御	アナログ調節計	アナログ調節計	
	水質制御			
構	総合管理			
	構成			
			HIDIC 100 または HIDIC 350 制御用計算機	HIDIC 500 または HIDIC 700 制御用計算機

表2 下水処理規模別制御システム構成 処理場規模別の制御システムの構成を示したものである。制御内容によって制御用計算機種別を選定する必要がある。

Table 2 Hitachi AQUAMAT-S Centralized Control System for Sewage Treatment Plants

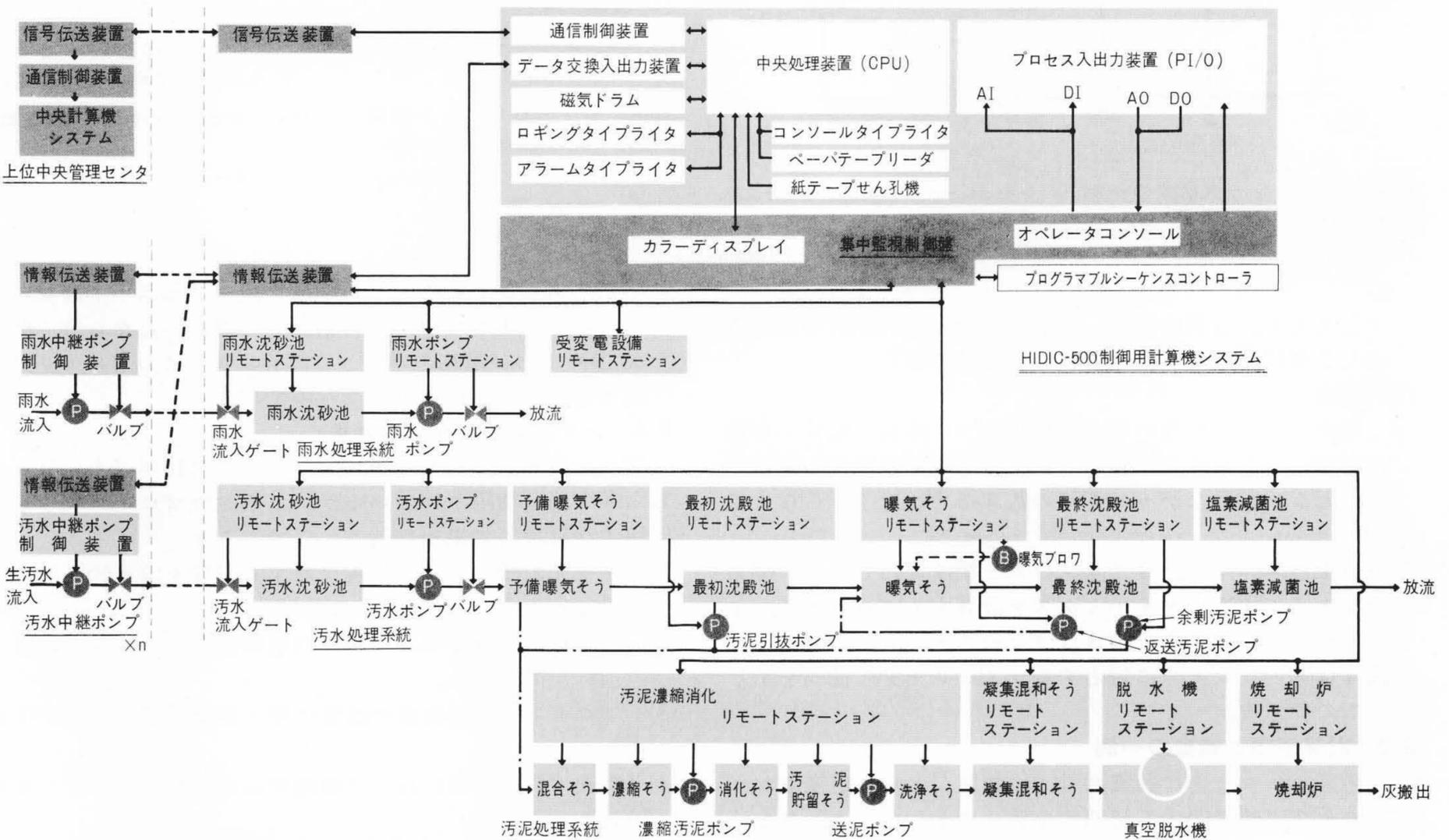


図7 AQUAMAT-S₄下水道集中監視制御システム AQUAMAT-S₄システムのブロック図を示す。HIDIC 500制御用計算機システムを中心としてカラーディスプレイがマンマシンシミュレーションに構成され、威力を発揮する

Fig. 7 AQUAMAT-S₄ Centralizing Control System for Sewerage, Employing HIDIC 500 Control Computer System

的確に行なわれている必要がある。沈砂池は粗粒固形物、沈砂を除去するもので、スクリーンは差圧により自動運転される。また堆砂(たいさ)量規定値により沈砂かき寄せ機を自動運転する。最初沈殿池は固形物の沈殿除去を目的とするもので、池の運転数制御により流速一定制御および引抜き汚泥濃度一定制御が行なわれる。最終沈殿池は池の運転数を制御して流速一定制御を行なう。

活性汚泥法を中心となる曝気量、返送汚泥量の制御は次のステップを踏んで実行する必要がある。

- (a) 対象プロセスのデータ収集によりダイナミック特性を把握。
- (b) ダイナミックシミュレータにより制御用計算機にLOAD。
- (c) ON-LINEでプロセス量をINPUTし、シミュレータにより最適曝気量、返送汚泥量の計算。
- (d) 計算された曝気量、返送汚泥量に一致するよう制御。
- (e) 実測水質による修正計算と制御。

4.2 集中監視制御盤

集中監視制御盤は運転者がプロセス運転状況を把握する中枢となるもので、**図7**の例においてはカラーディスプレイがプロセスの細部まで監視を行なっている。グラフィックおよび計器類は万一の計算機ダウン時のバックアップに必要な最少限度にとどめ監視盤の縮小化が図られている。**図9**は大阪府南部広域下水道、鴻池処理場の集中監視制御盤を示したものである。

4.3 制御用計算機

制御用計算機は信頼性が高く、拡張性、融通性に富み、取り扱いが容易で経済的なことが必要である。日立製作所はこれを追求し、HIDIC 100, 350, 500, 700⁽⁶⁾をシリーズ化している。**図7**においては、HIDIC 500による制御システムを示した。システムの規模、入出力点数などにもよるがAQUAMAT-S₄システムにはHIDIC 500が適当である。

4.4 情報伝送装置

4.4.1 遠方監視制御装置, 遠隔測定装置

遠方にある中継ポンプ場を無人化し、流入生活污水量、水質、雨水量などのデータを中央に集め、下水道系統全体の運転を省力化するために遠方監視制御装置、遠隔測定装置が重要な役割を果たす。処理場への流入水路が多く中継ポンプ場が数個所以上あるような大規模な系統にはスーパーロール-740C (1:N スキャニングスーパーテレータ) が適している。子局マイナ制御装置へ設定値指令を送信できる、緊急情報の優先伝送ができる、データ交換入出力装置⁽⁷⁾(DX_{1/6})により制御用計算機と結合できるなどのすぐれた機能を有している。

4.4.2 リモート・ステーション

処理場の広い構内のすべての情報を直接中央の監視盤お

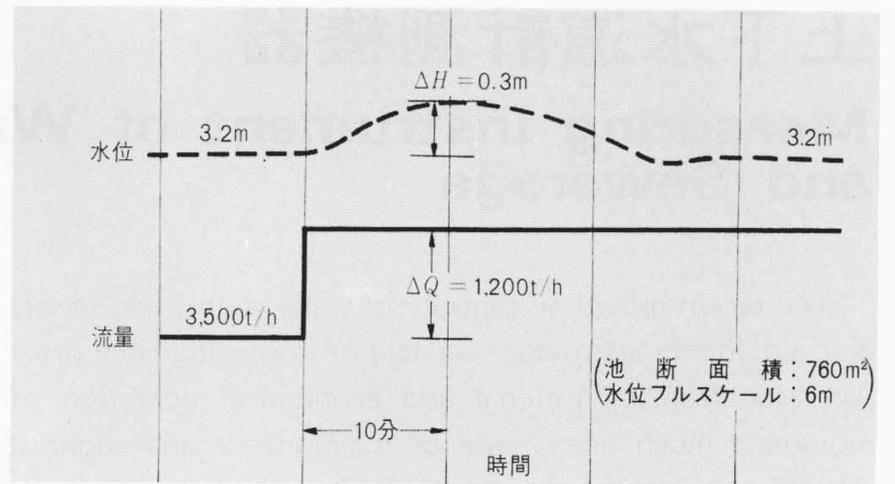


図8 水位変化率計算による水位一定制御制御結果 水位変化率を計算し制御することにより、良好な水位制御結果を得る。

Fig. 8 Oscillo-diagram of a Constant Water-level Controller Compensated by Water-level Derivative

び計算機に取り込むとケーブルが混雑、監視盤および計算機は膨大なものとなる。リモートステーションは遠方でスキャニングされたデータだけを中央へ伝送し、これらの問題を解決できる。

5 結 言

以上、下水処理プロセスの特性と集中監視制御システムについて述べたが、水質汚濁が深刻化しつつあるとともに、下水道の広域化、流域化、高度浄化がますます重要な課題となりつつある。それに伴い制御システムにおいても新しいハードウェア、ソフトウェアの開発が望まれるが、特にON-LINE制御に耐える水質検出端の開発、水質制御のソフトウェア技術の開発が重要である。水質制御の場合、各地域あるいは季節によりプロセス特性が異なるので、まず長期にわたるデータ収集、解析が必要であり、その後ON-LINE制御化することとなる。下水処理の計算制御は開発途上の技術であり、今後とも、処理設備自体の革新、改良とあいまって下水道の運転管理の合理化に力を尽したい所存である。

終わりに臨み、このシステムの開発にあたり、終始ご指導を賜った関係各位に深く謝意を表する。

参考文献

- (1) 浜岡：日立評論 54, 557 (昭47-6)
- (2) 高松, 内藤, 池田：下水道協会誌 4, No. 43, P11 (昭42-12)
- (3) P. Pflanz (谷口訳)：下水道協会誌 6, No. 65, P39 (昭44-10)
- (4) 商標登録出願中
- (5) 特許出願中
- (6) 岩田ほか：日立評論 52, 1137 (昭45-12)
- (7) 中野ほか：日立評論 52, 1142 (昭45-12)

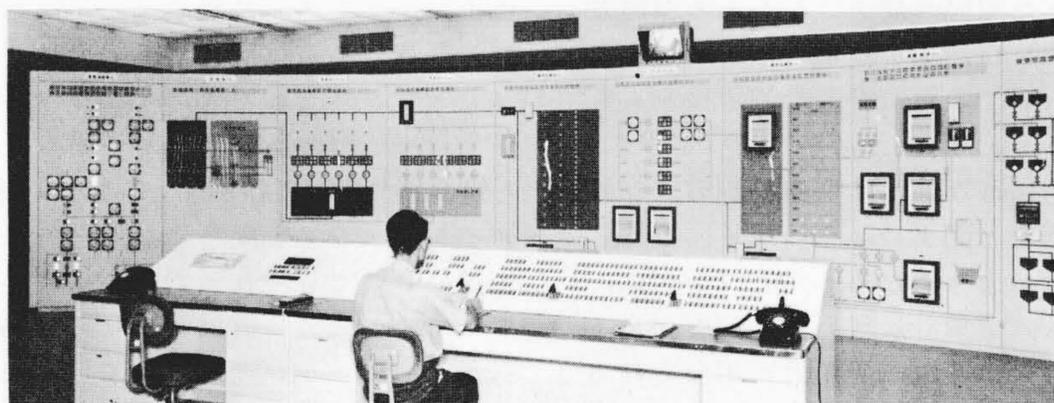


図9 集中監視制御盤 大阪市南部広域下水鴻池処理場集中監視制御盤を示す。アナログ指示記録計は最小限にとどめデータ処理装置によっている。制御は2段選択制御を採用、操作デスクを小形化している。

Fig. 9 Centralized Control Board for Kōnoike Sewage Treatment Plant of South Osaka Broad-area Sewerage Works, Osaka Prefecture