

下水道の計算機制御システム

Computer Control Systems for Wastewater Treatment Systems

下水道システムにおける電子計算機システムは、階層化制御システムの上位ユニットとしてモード変更、並びにパラメータ修正を担当し、フィードフォワード制御、最適制御、適応制御を行なうとともに、マンマシンプロセスインタフェースの中核にあって下水道システム全体の集中監視システムを支配するものとなった。

日立製作所は、実プロセスに適用可能な数式モデルをおおむね確立したので、この論文においては長期、中期、短期、及び適応モデルにより形成される階層化水質制御システムの上位制御ユニットのあり方と従来のグラフィック盤に代わり電子計算機によって駆動されるプロセスカラーディスプレイ装置が新しいマンマシンプロセスインタフェースを形成し最大限まで集中監視、及び制御、指示を実行することによって情報量と対話処理速度が飛躍的に増大した事例について述べる。

柏木雅彦* Masahiko Kashiwagi

森 俊二* Shunji Mori

田沼正也** Masaya Tanuma

1 緒 言

終末処理場に代表される下水処理プラントに、デジタル計算機が導入されはじめて数年が経過した。

当初は終末処理場における日報の作成が主な機能であった電子計算機システムはカラーCathode Ray Tube (CRT)の出現により、今日では集中監視システムの中核に位置づけられている。

更に下水水質計測システムの実用化とプロセス特性の解明によって、電子計算機は最適水質制御システムの中核として重要な位置にあり、下水処理プラントへの計算機制御システムの導入はますます盛んになるものと考えられる。

この論文では下水道システムの制御における電子計算機システムの役割、特に水質制御のための機能とシステムの集中監視のためのマンマシンプロセスインタフェースとしての電子計算機の位置につき述べる。

2 下水道電子計算機制御システム

電子計算機制御が広く使用されている鉄鋼や電力プラントにおける電子計算機システムの導入過程に見られたように、下水道プラントへの電子計算機システムの応用は、日報や月報の自動作成、機器の動作記録などのデータログ機能から、CRTを用いた集中監視機能とプロセス解析のためのエンジニアリングデータ収集機能へと発展し、更にプラントの最適運転のための第一歩である水質制御へと拡大されつつある。

今日、国内外における応用の多くは活性汚泥法による二次処理プラントに対するものである。

従って、ここでは活性汚泥法による終末処理場を中心とする下水道システムにおける電子計算機制御について述べる。

2.1 汚水処理プロセスの電子計算機制御システム

図1に活性汚泥法による汚水処理プロセスの概略フローシートと各プロセスにおける制御項目、モニタ表示及び演算項目を示す。

制御システム構成はハイアラキシステムとすることが推奨され、シーケンス制御やフィードバック制御だけで可能な制御は、電子計算機の下位ユニットである専用制御装置(マイク

ロコントローラ(MINIDIC)、プログラマブルロジックコントローラ(HISEC)へのタイミング指令や設定値指令制御が望ましい。

下水道システムにおける電子計算機制御の特長は、フィードフォワード制御、適応制御、及び最適制御にあり、この意味から曝気槽、最終沈殿池まわりの水質制御システム、及び処理場管理の基本である下水流入量予測システムへの期待が大きい。

一方、データ処理機能は日報や月報などの報告書作成のほかにXYプロッタや紙テープパンチャなどの使用によるプロセス特性の解析が準備されはじめている。

また、CRTは高密度(1画面3,200字)化され、1画面当たりの情報量が豊富となってA1サイズのフローシートなら1画面で表示可能(従来4~5画面)となり、監視機能が大幅に向上している。

2.2 汚泥処理プロセスにおける電子計算機制御システム

汚泥処理プロセスに対する電子計算機システムは、現在、データログ、CRTによるプロセス監視、及び複雑なシーケンス制御となる脱水工程のオペレータズガイドなどが主な適用範囲であるが、今後のプロセス解析により消化槽や焼却炉の最適制御へと発展するものと思われる。

2.3 電子計算機システム構成

終末処理場に設置され、データログ、集中監視及び制御機能をもつ電子計算機システムの構成例を図2に示す。

図2はシングル系の例であり、また今日の大半の導入例はシングル系である。バックアップについて十分考慮する必要のあることは言うまでもないが、ハイアラキ構成によりシステム運転を継続でき、実用上シングル系で十分なことが多い。

また図2は、中継ポンプ場や雨量計からの各種情報の入力と、ポンプ運転遠隔制御を行なうためのテレメータ、テレコントロール装置をデータ交換装置(DXIO)を介して接続した例であり、操作員は処理場や中継ポンプ所からの多量の情報を整理された形でCRTより受け、プラントの監視を行なうことができる。

* 日立製作所大みか工場 ** 日立製作所日立研究所

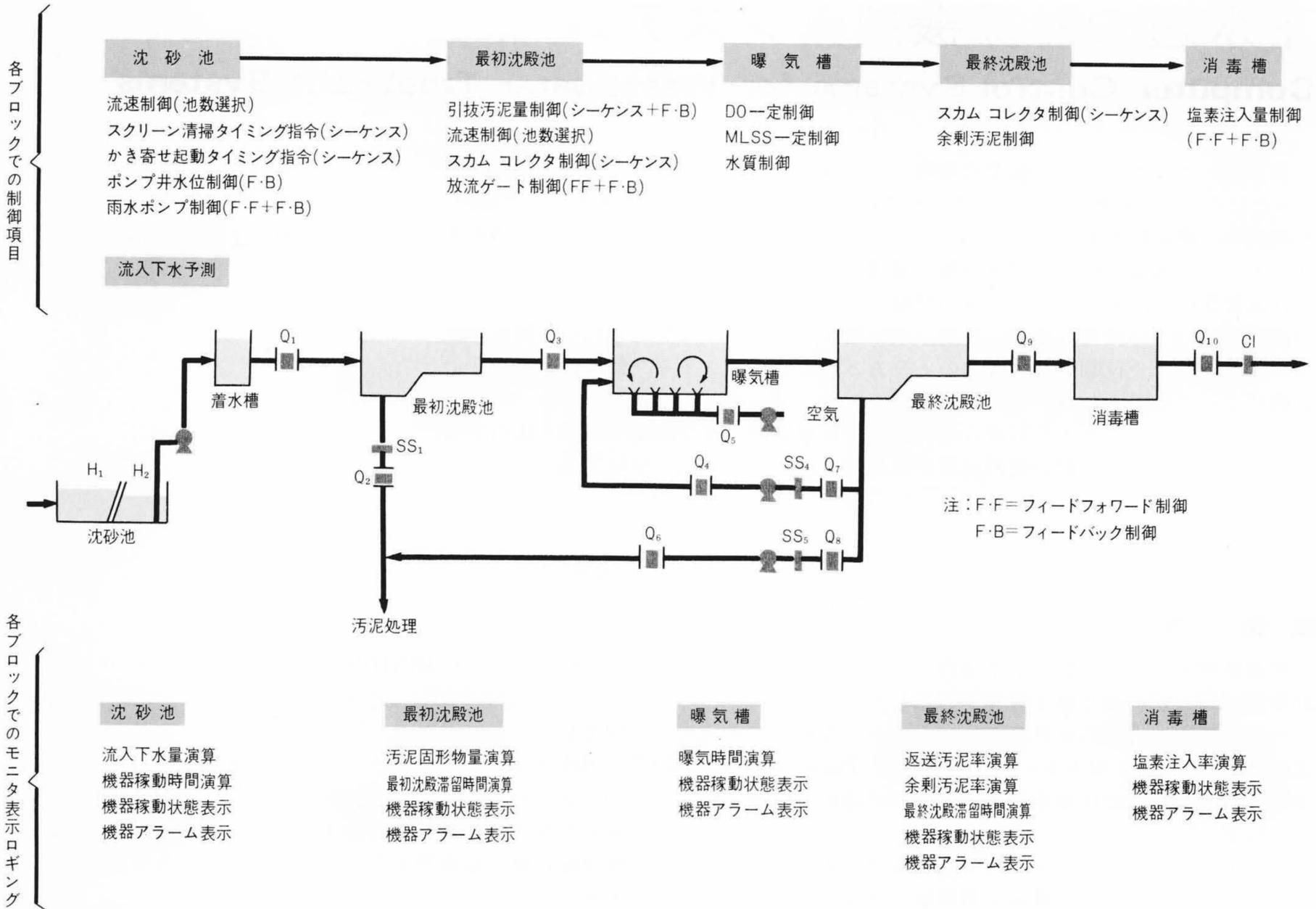


図1 下水道システム電子計算機制御の概要 各ブロックでの制御項目とその電子計算機制御の概要が分かる。

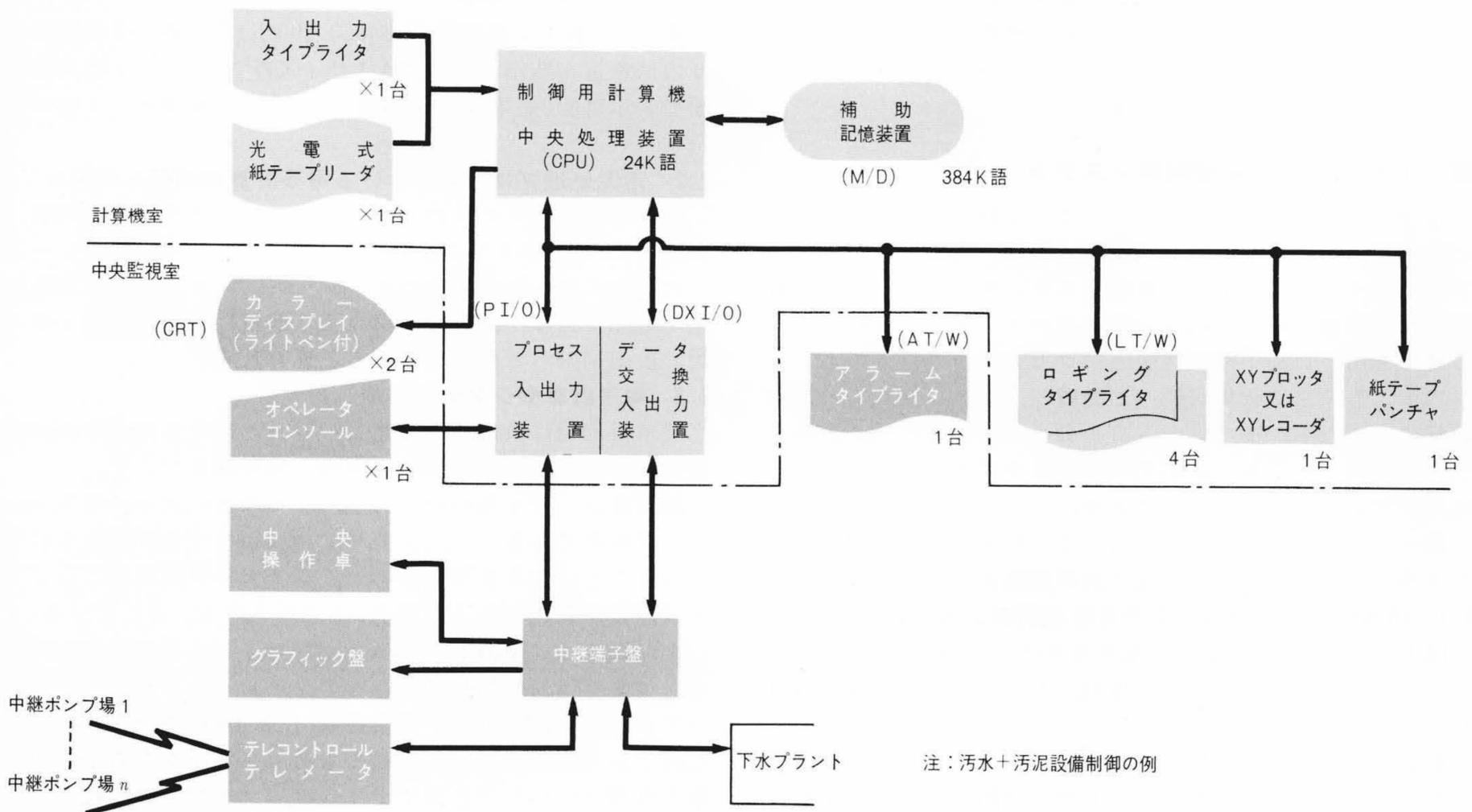


図2 下水道システム電子計算機システムブロック図 下水道システムの機器配置を図形化したため、電子計算機システムの全体が分かる。

このように電子計算機システムが広域化・拡大化され、その取り扱うデータが多量にわたり、電子計算機システムのダウンが下水道システム全体のダウンに拡大するおそれがあるような大形システムとなった場合は、広域上水道電子計算機制御システムに導入されはじめたように、下水道システムにおいても二重系システムの導入が必要であろう。

最近の電子計算機システムでは、周辺装置の充実により機能の向上と多様化が図られている。その主なものを次に述べる。

(1) CRT装置

この装置は、グラフィック表示、計測量のデジタル表示、アナログ表示及びトレンド表示を行なうものである。最近、人間とプロセスとの対話の中心でライトペンやハードコピーの併用により一段と機能が向上している。使用台数は、機器やプロセスの状態表示、及び計測量表示に1台、アラームやオペレーターズ ガイド表示用に1台程度となることが多いが、同時に監視したい画面数、グラフィック盤によるバックアップなどとの関連により決定する必要がある。

(2) ロギング タイプライタ

日報や月報用紙の1行分の必要印字数によりプラテン幅やタイプライタ機構、ひいては使用台数が異なってくるが、多数台の採用は初期コスト、スペース及びメンテナンス費用の増大を伴うため慎重に検討しなければならない。

アラーム印字用タイプライタは、日報、月報とフォーマットが異なること、日報や月報タイプライタ故障時のバックアップなどのための専用タイプライタの設置が好ましい。

(3) 紙テープパンチャ

複雑なプロセス特性を解析するため制御用電子計算機出力を用い、技術計算用大形電子計算機で解析することが必要となる場合がある。紙テープパンチャはこの場合必要であるが、このほか電子計算機の相互関係をよく検討し、むだのないプログラミングが必要である。

(4) コンソールほか

オペレータコンソールは、ロギング要求やロギング周期変更、CRT画面要求及び時刻変更や計測値アラームの上下限值変更など重要なマンマシンインタフェース機器であり、CRT位置と関連して操作しやすい集中制御卓に設置される。

このほかXYレコーダ、XYプロッタ及びトレンドレコーダが適用できる。

3 集中監視システム

3.1 下水道システム集中監視システムの条件

下水道システムの大容量化・広域化に伴い、そのシステムが備えなければならない条件は、本来、下水道システムが目標とする安全性の確保と運転の信頼性を向上するために次のことが要求されている。

- (1) 通常レベル、通常の教育、訓練を受けた少数の人員で確実に運転できるようマンマシンプロセスインタフェースを充実させること。
- (2) 多くの変数を同時に把握でき、相互の関係が直ちに把握できること。
- (3) 変化の方向と結果をあらかじめ予測でき、的確な手段がとれること。
- (4) システム内に情報が迅速に流通すること。
- (5) 誤判断、誤操作がないこと。
- (6) 取扱いやすいこと。

電子計算機システムは、これらの条件を満足するものとしてマンマシンプロセスインタフェースの中核となりつつある。

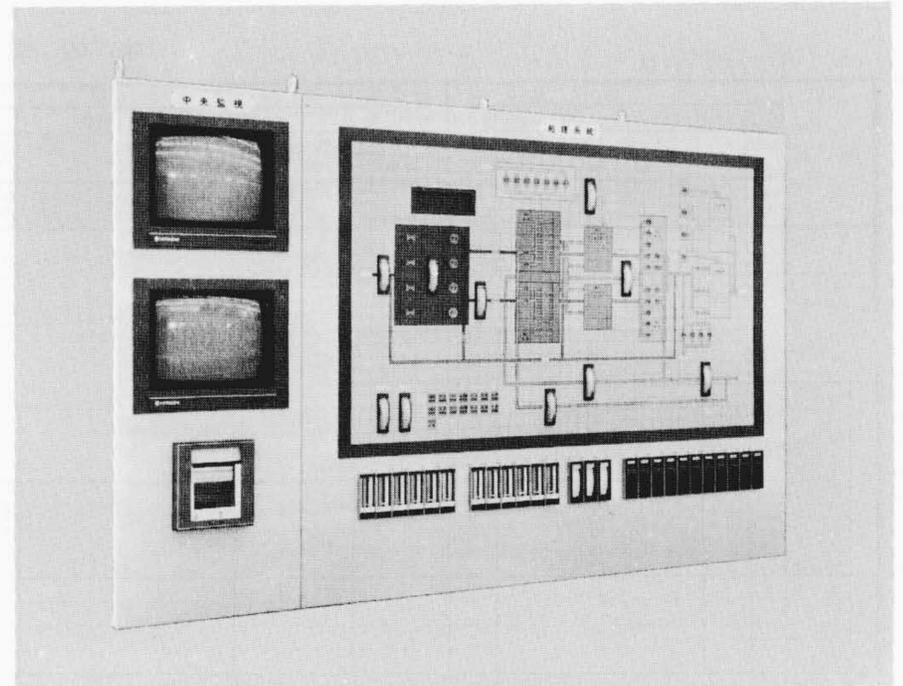


図3 集中監視制御盤 2台のカラーCRTによりグラフィック盤は従来の約1/5に縮小でき、集中監視制御の高度化を図った。

3.2 集中監視システムにおける電子計算機システム

従来の大形グラフィック盤、及び盤面計器類によるマンマシンダイアログは、重要、且つ高度の判断業務を操作員に任せているために対話速度と情報量に制限があり、上記の条件を満足し得ない場合が生じている。電子計算機を用いて判断業務を最大限にまで行なわせ、CRTを採用した新しいマンマシンプロセスインタフェースは対話の速度を上昇させるだけでなく、大量の情報を選択して適時に提供できるから、大量化・広域化しつつある下水道システムの集中監視システムとして最適であり、上記の条件を満足することができる。

図3に福岡市下水道局中部下水処理場に納入した集中監視盤を示す。45万人の処理能力をもつ大規模処理場にもかかわらず、HIDIC 500制御用電子計算機、2台のCRT装置及び5台のタイプライタを主体とした対話形のマンマシンプロセスインタフェースの採用により、記録計を設ける必要がほとんどなく、グラフィック盤幅は、従来の1/5に縮小されている。

図4に同上処理場納めのロギングフォーマット例を示す。

3.3 CRT装置

表1に下水システムにおけるCRTの適用例を示す。用途別に操作面、管理面及び解析面に大別される。操作面では、秒単位のレスポンスタイムで対話できることが必要であり、

表1 下水処理におけるCRT応用例 秒単位のレスポンスが要求される操作面、及び日単位、月単位の長期データによるものが多い管理面、解析面の応用に分類される。

操 作 面	管 理 面	解 析 面
1. プロセスの把握 (1) 機器運転状態 (2) プロセス量表示	1. 実績データ+予測データ (グラフ表示) (1) 流入量 (2) 薬品量	1. 実績データの相互関係 (グラフ及び表表示) (1) 流入量と天候 (2) 処理水質と制御変数 (3) MLSSトレンド (4) DOトレンド
2. オペレータ ガイド (1) 機器指定 (2) 故障表示とトラブルシューティング法の指示	2. 原単位計算 (1) 日報表示 (2) 月報表示	

年 月 日			水 処 理 関 係 I																											
時 刻	沈 砂 池				前 曝 気		初 沈		曝 気 槽				最 終 沈 殿 池				塩 素 混 和 池													
	流入	ポンプ	流 入	汚 水	沈砂池	曝気風量	汚泥引抜	ブロウ風量			池内		曝気槽		返送汚泥		濃度	除砂	流入量	貯槽	放 流 水			塩 素 注 入						
	水位1 cm	水位2 cm	流量 m ³	DO 10 ⁻³ PPM	PH PH	温度 °C	I 10m ³	流量 m ³	濃度 10 ⁻² %	No.1 m ³	No.3 m ³	No.5 m ³	D01 PPM	D03 PPM	曝気風量 10m ³	比率 %	流量 I-1 m ³	流量 I-2 m ³	I-1 10 ⁻² %	I m ³	流量 m ³	水位 cm	流 量 m ³	PH PH	ORP mV	TUB PPM	流入量1 kg	注入量3 kg	比率 PPM	
			C	D	T	ORP	湿度 %	II 10m ³	実質流量 m ³	No.2 m ³	No.4 m ³	No.6 m ³	D02 PPM	D04 PPM	流入流量 m ³	実質 I-1 m ³	実質 I-2 m ³	I-2 10 ⁻² %												
日	最大値																													
集	平均																													
計	最小値																													
月	最大値																													
集	平均																													
計	最小値																													
	積算値																													

図4 ロギングフォーマット例 活性汚泥プロセスによる処理場のキーデータのロギング例を示す。

一方、管理面や解析面では時間単位、日単位あるいは月単位の長期データによるものが多い。従って、処理場の規模と必要な対話内容に応じて複数台のCRTを設定することが望ましい。

図5に沈砂池の機器運転状況表示例を示す。プロセス量をデジタル表示し、沈砂池運転状況を容易に把握できる。図6は活性汚泥法のキーデータを集約表示しているもので、処理場の基本運転状況が一目で判定できる。

4 水質制御システム

水質浄化に最も重要な働きをする曝気槽、及び最終沈殿池における、電子計算機を用いた水質制御システムについて述べる。

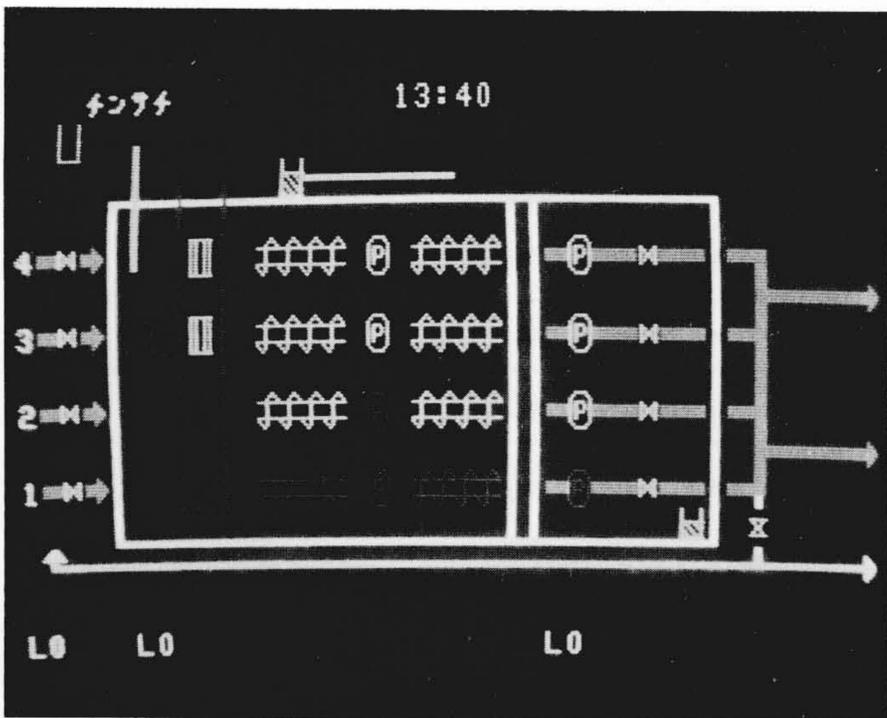


図5 カラーCRTディスプレイ装置による沈砂池運転状況表示例 機器運転状態を色別表示するとともに故障時はシンボルフリッカする。必要なプロセス量をデジタル表示し、プロセスの状態が一目で判読できる。

4.1 水質制御システムの概要

放流水の水質を常に良好に保つのが難しい原因として、次の三つが考えられる。

- (1) 放流水質に影響する要因が多く、且つそれらは相互干渉しているため、最適な運転条件が見つけにくい。
- (2) 流入水量、水質変化など種々の外乱が入る。
- (3) プロセス特性に不明な部分が多く、且つ特性が時間とともに変化する。

これら三つの問題点に対処できる制御システムは、図7に示すように、最適な操業条件を探索する長期水質制御、外乱に対処する中期、短期水質制御及び特性変化に対応する適応制御から構成される。

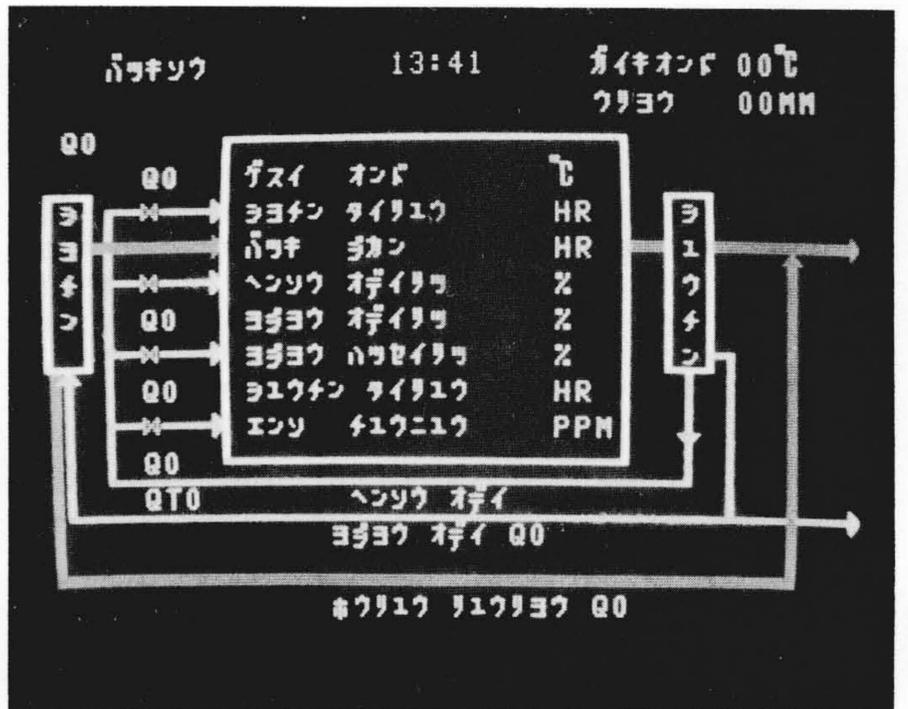


図6 カラーCRTディスプレイ装置による活性汚泥プロセスキーデータの表示例 活性汚泥処理プロセスの基本の運転状況が一目で判読できる。

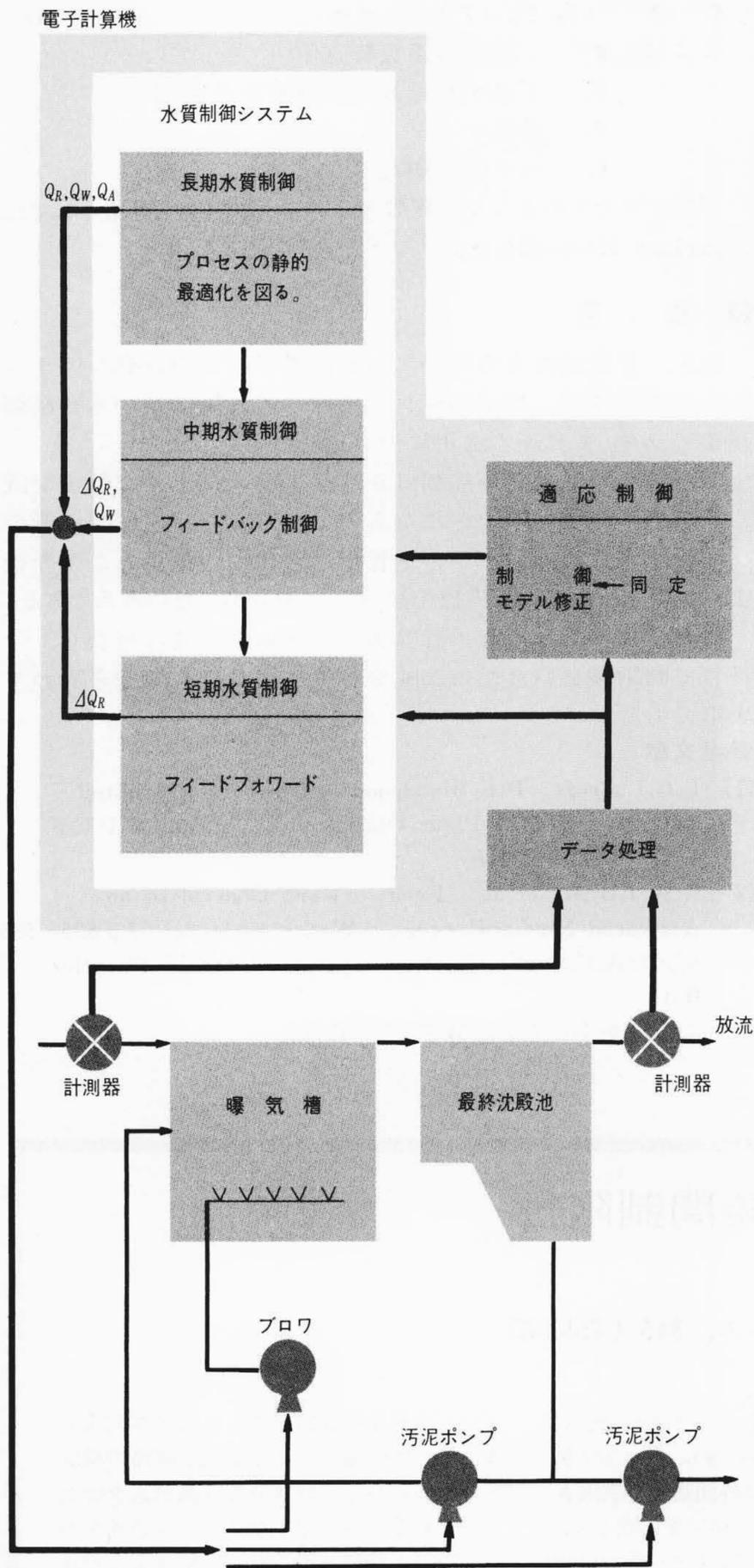


図7 電子計算機を用いた水質制御システム 長期水質制御によりプロセスの最適化を図り、中期及び短期水質制御で外乱の影響を除去する。

4.2 水質制御方式

4.2.1 長期水質制御

これは、1～2週間といった比較的長期間の平均水質の最適化を、水質に影響するパラメータ間の相互干渉を考慮した数式モデルを用いて行なう。1～2週間の水質の平均値を考えた場合、それは次のような非線形ではあるが静的なモデルにより表わされる。

$$C = f_1(Q_0, S_0, C_0, Q_R, Q_W, Q_A, K) \dots \dots \dots (1)$$

- ここに、C：放流水の有機物濃度
- Q₀：流入下水水量
- S₀：流入浮遊物濃度
- C₀：流入有機物濃度

- Q_R：返送汚泥量
- Q_W：引抜き汚泥量
- Q_A：曝気風量
- K：パラメータ・ベクトル
- f₁：関数

Cを最少にするQ_R、Q_W、Q_Aを求める手法は種々あるが、原則的には、 $\frac{\partial C}{\partial Q_R}$ 、 $\frac{\partial C}{\partial Q_W}$ 、 $\frac{\partial C}{\partial Q_A}$ がゼロになるQ_R、Q_W、Q_Aを求めればよい。静的な数式モデルを実測データから作成する試みは既に行なわれている⁽¹⁾。

4.2.2 中期水質制御

外乱のうちでも比較的周期が長い(1日以上)、外乱の水質への影響を除去する中期水質制御は、基本的には沈殿池出口の水質計を利用したフィードバック制御となる。プロセスの特性を良好に保つためには汚泥令も一定に保つことが必要なので、次のような多変数制御となる。

$$\begin{bmatrix} \Delta Q_R \\ \Delta Q_W \end{bmatrix} = D^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \Delta C \\ \Delta A \end{bmatrix} + \int D_{L2} \cdot \begin{bmatrix} \Delta C \\ \Delta A \end{bmatrix} dt \dots \dots \dots (2)$$

- ここに、Δ：基準値からの偏差
- K₁、K₂：制御ゲイン
- A=汚泥令
- t：時間

筆者らは、線形水質モデルと最適制御理論を用いて、有機物と汚泥令の最適フィードバック制御系を考察した。制御系の応答の一例を図8に示す。

4.2.3 短期水質制御

これは流入下水水量の日間変動等の短周期の外乱に対する制御であり、予測制御やフィードフォワード制御が主体となる。流入下水水量及び水質変化に対する制御については、従来から研究が行なわれている⁽²⁾。制御モデルは、一般的には次のような式で表わされる。

$$\Delta Q_R = f_2(\Delta Q_0, \Delta C_0, \Delta S_0, K) \dots \dots \dots (3)$$

f₂については、シミュレーション、こう配法などの数理計画法を用いて、それぞれのプラントに適した形を決定する必要がある。

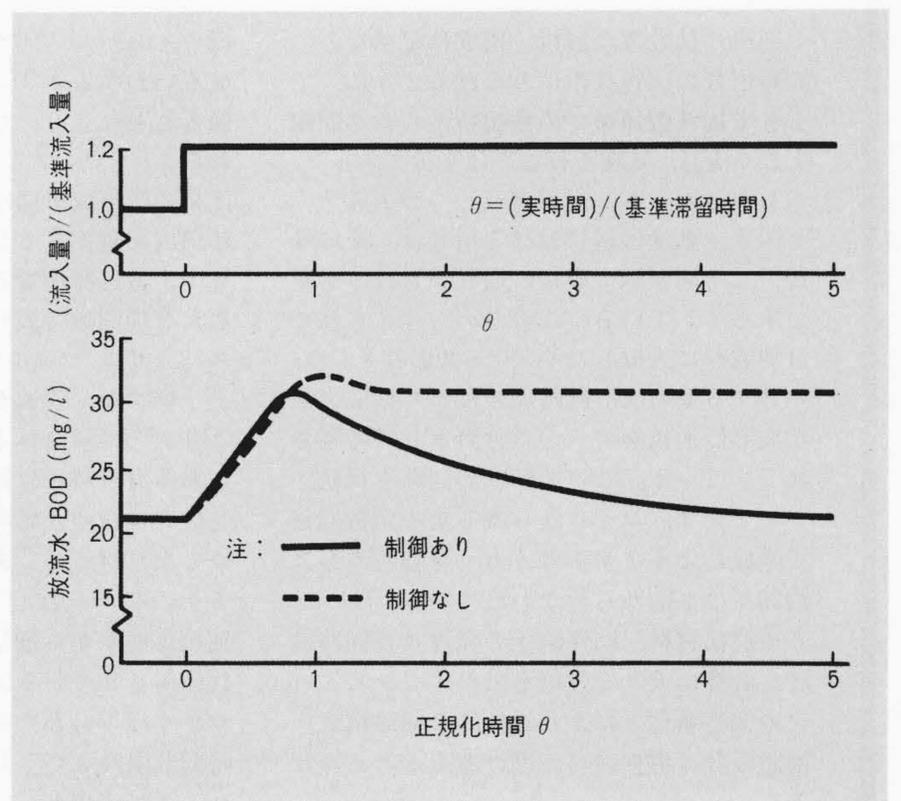


図8 最適フィードバック制御のシミュレーションの結果 曝気槽出口の水質測定値を用いたフィードバック制御により、周期の長い外乱の影響は除去される。

4.2.4 マイナ制御系との協調

電子計算機より下位レベルの制御として、Mixed Liquor Suspendid Solid (MLSS) 制御系などのマイナ制御系が用いられることもある。その場合、電子計算機は操作量の Q_R , Q_W , Q_A を数式モデルを用いて MLSS, 汚泥令, Dissolved Oxygen (DO) に変換し、変換した値をマイナ制御系の目標値として設定する設定値制御を行なう。

4.3 水質適応制御システム

時々刻々その特性が変化する下水プロセスにおいては、プロセス特性変化に応じて制御モデルを変更していく適応制御が必要である。適応制御の一つの方法に、実測データを用いて水質モデルの係数を修正し、その修正値に基づいて制御モデルを変更していく方法がある。ここでは、その適応制御につき概説する。

4.3.1 水質モデルの適応修正

水質モデルによる推定値と実測値とができるだけ一致するように、水質モデルを修正する適応修正法は次のステップを踏む。

(1) 修正すべき係数の選択

水質モデルのすべての係数を実測データに基づいて修正することは必ずしも適切な方法ではなく、影響力の強い係数についてのみ適応修正を行なったほうがよく、影響力の強い係数を選び出すための有効な手段としては、感度解析手法などがある。

(2) 係数の適応修正法

プロセスモデルの係数を実測データに基づいて修正する方法として、よく用いられるのは実測値とモデルによる計算値の差に応じて係数を修正していく方法である。

$$K^{(i)} = K^{(i-1)} + f_3(Y_A^{(i)} - Y_C^{(i)}) \dots \dots \dots (4)$$

ここに、 $K^{(i)}$: i 回目の係数修正値

Y_A : 下水プロセスの各種変数の実測値

Y_C : 計算データ

f_3 : ベクトル関数

下水プロセスのような非線形モデルの係数の推定法としては Invariant Embedding 法⁽³⁾などが挙げられる。

5 結 言

以上、下水道終末処理場における電子計算機制御システムにつきその概要、集中監視システムへの適用法及び水質制御ハイアラキモデルの適用につき述べた。

下水道への電子計算機制御システム導入は、まだ歴史が浅くその適用範囲も限定されたものであるが、集中監視機能の高度化、水質制御やプラント管理近代化への道具として今後広く利用されるため適用技術の向上に力を尽したい考えである。

終わりに、下水道電子計算機システムの開発に当たり、一貫して御指導をいただいた関係各位に対し深く謝意を表わす次第である。

参考文献

- (1) P.G.Lacroix, D.E.Bloodgood: "Computer-Assisted Activated Sludge Plant Operation", Journal WPCF 44-12 p.2205~2217
- (2) R.W.J.Brett et al: "Feed forward Control of an Activated Sludge Process", Water Research 7 p.525~535
- (3) 例えば A.P.Sage "Optimum System Control" Prentice Hall
- (4) 大音ほか: 日立評論 54 919(昭47-10)



回路網応答波の時間制限性

日立製作所 前田成道

電子通信学会論文誌 A 56-A, 345 (昭48-6)

従来、信号波の解析、構成は電話などの音声信号の伝送技術にみられるように、主として周波数領域での振幅特性のみを問題として検討、処理を行なえば十分であった。

しかしながら、近年普及しつつあるデータ伝送、画像伝送における信号は、その性質上、時間領域で直接に取り扱われる必要が生じてきている。このため、与えられた目的波形に近似したインパルス応答をもつ、いわゆる波形成形回路網の種々の構成方法が波形伝送技術の一つの分野として考案されてきている。この波形成形回路を抵抗、コンデンサ、コイルから成る集中定数回路で構成しようとする考え方や理論的考察は約20年ほど前から行なわれている。しかし、今や通信材料、回路素子の発達及び回路設計、計算に大きな役割を果たすコンピュータの大容量化とにより具体的な回路構成、回路設計は再検討の時期にあると考えられる。

このような現状において、本論文は回路

網のインパルス応答がタップ付遅延線から成るいわゆるトランスバーサルフィルタを通ることにより、容易に時間領域で制限されることを見だし、その結果を応用して、従来の波形成形回路網とは異なる新しい回路構成を提案するものである。すなわち、集中定数回路網などのように、その伝送関数が有理関数で表わされる回路網とトランスバーサルフィルタとを縦続に接続して、タップゲインの値を適当に設定することによりシステム全体としてのインパルス応答がある有限時刻以後（この有限時刻はタップ付遅延線の遅延時間に等しい）は常にゼロとなり得るのである。集中定数回路網とトランスバーサルフィルタとはそれぞれ単独には従来から通信の分野において開発され使用されている回路であって、それらをうまく組み合わせることによって応答波の時間制限性という新しい有用な性質が得られ、その応用として、従来の方式より非常に近似度の高い波形をインパルス応答とし

てもつ波形成形回路が得られる。本論文ではまず、時間領域での波形成形回路の構成という観点から、具体的な回路形式を提案し、それらのシステム全体としてのインパルス応答が時間制限されるということの証明及び応答波の数式表現を導いている。これらの関係式を用いて、与えられた目的波形に近似したインパルス応答をもつ波形成形回路の各回路パラメータを得る設計式を導出している。次いで、これらの設計法が実際に有効であることを示すために、目的波形が矩形波である場合、三角波である場合、それぞれについて計算を行ないその有用性を示している。更に、この方式は目的波形が連続波のみならず、不連続波に対しても有効であることを示している。この集中定数回路とトランスバーサルフィルタとを組み合わせるといふ方式は、単に応答波の時間制限性という特徴のみならず、他の有用な性質をも期待される。