

応 用 例

上下水道分野における応用
Application for Water and Sewage Works

伊東祐輝* Yuhki Itoh・大倉和郎** Kazuo Ohkura・杉浦 至** Itaru Sugiura

I. まえがき

水処理プラントは、飲料水の供給、水質保全、水質汚濁防止などを目的とする公共事業であり、その自動化の目的も、安定した水の供給、品質向上、省力、省労、省エネルギー、作業環境の改善などをねらった監視・制御システムの確立を主としている。しかも近年の傾向として、上水道は拡張から維持管理の時代へ、下水道は大幅な設備拡充期へと入りつつあり、大形化、機能の多様化、複雑化の動きは依然として続いている。こういう状況の中で、計算機システムのソフトウェアとハードウェアのとるべきシステム形態は、絶えず問い直されている。ここでは、そのための機能分析とシステムの実現手段について述べる。

II. 上下水道システムの自動化の目的

上下水道システムの自動化の目的及びそのレベルごと

の処理項目を第1，2表に示すが、総体的には、品質向上、安定した水の供給、水処理過程での省力、省労、省エネルギーをねらった集中監視、分散制御システムの確立が目標である。

III. 上下水道システムの情報処理

1. 上水道システムの情報処理

総括制御の処理項目は、対象施設の規模、運転方式により異なる。一般的には、予測あるいは実績を基とした水量配分計画から割り出される各種の水量指令により、取水ポンプ場、沈殿池、ろ過池、送配水ポンプなどの運転を行い、CRT ディスプレイ、オペレータコンソール、グラフィックパネルなどのマンマシンインタフェースを介して、オペレータの監視及び操作のもとで、ローカルレベルのDDC，SPC，SQCなどによるユニット制御が行われる。水質制御に関しては、ジャーテスト結果や水

第1表 上水道システムの目的
Table 1. Purpose of water works

レベ ル	時間幅	目 的	処 理 項 目
経 営 管 理	年→月	パブリックサービス { 必要な時に 必要な量/圧力の 良質の水を安価に供給 }	予測 (需要/水源保有量/河川流出量) ↓ 設備整備/拡充計画
生産・日程計画	月→週 週→日	↓ 有効な設備運用/管理	運用管理 (集中管理/自動化/高信頼)/機器保全 ↓ 原水配分計画 取水量計画 浄水生産計画 配水計画
設 定 値	時→分	↓ 最適操業 (安定化/安全化/品質向上/生産性向上) ↓ 最適制御 (省力/省労/省エネルギー)	↓ ユニット制御/機器操作
制 御	分→秒	↓ 精度向上 (DDC/SPC/SQC)	(取水制御, 導水制御, 薬注, 沈殿池, ろ過池, 送配水 ポンプ, 配管網運用, 汚泥処理, 電力設備運用)

第2表 下水道システムの目的
Table 2. Purpose of sewage water works

レベ ル	時間幅	目 的	処 理 項 目
経 営 管 理	年→月	都市計画に基づいた下水処理 (・環境保全・都市災害防止・水の高度利用)	流入汚水量予測→汚水/汚泥処理 ↓ 設備整備/拡充計画
生産・日程計画	月→週 週→日	↓ 有効な設備運用/管理	↓ 運用管理 (集中管理/自動化/高信頼)/機器保全
設 定 値	時→分	↓ 最適操業 (安定化/安全化/水質保全) ↓ 最適制御 (省力/省労/省エネルギー)	↓ 汚水処理計画 汚泥処理計画 高次処理計画
制 御	分→秒	↓ 精度向上 (DDC/SPC/SQC)	↓ ユニット制御/機器操作 [ポンプ制御, 沈砂池制御, 分水井/雨水沈殿池制御, 汚水処理, 汚泥処理 (濃縮, 消化, 脱水, 焼却) 電力設備運用]

* 水処理事業部 技術部 ** 富士ファコム制御 システム本部

質モデルから求めた注入率を使って薬品注入制御を行う。薬品注入モデルのオンライン同定及び水量・水質の急変、異常などに対する制御性の向上とプラントの安全運転が重視される。

また、設備によっては、長距離ずい道を持つ場合もあり、ずい道途中の分水井、接合井などを介して原水の配分が行われる。この場合も、ずい道のむだ時間を考慮した予測制御と、異常処理及びプラントの運転、機器の保全などに対する自動ガイダンスが必要である。更に送配水網では、各需要家への流量及び圧力の最適制御、配水状態の推定、漏水検知などを行う。

2. 下水処理システムの情報処理

下水処理場のポンプ井では、汚水の流入量予測に基づき、運転すべきポンプ台数・機番などの計画を行う。その目的関数として、運転時間の均一化、ポンプ消費電力最少化、吐出流量変動の最少化、切換回数の最少化など各種の設定をする。この指令値は、プログラム設定器への指令、あるいはオペレータガイダンスとして利用する。

活性汚泥法による下水処理では、生物処理における微生物の環境を整え、BOD(生物的酸素要求量)除去率の向上に重きを置く。これは、好気性微生物により下水中の有機物の吸着、酸化作用を促進する。制御方式としては、DO(溶存酸素)一定制御、活性汚泥の濃度一定化を目標とするMLSS(混合液浮遊物濃度)制御、F/M(基質量/微生物量)比一定制御、活性汚泥の鮮度を一定にする汚泥日令一定制御、SRT(汚泥滞留時間)制御、活性汚泥量の一定化を目標とする余剰汚泥量制御などがある。汚泥処理では、汚泥の濃縮、消化、洗浄、薬品添加、脱水、焼却、搬出処分という各段階を経るが、シーケンス制御も多いのが特長である。

下水処理に共通していえることは、センサ設置環境の悪条件、センサ精度の問題、複雑なプラント動特性、水量、水質などの外乱の大幅変動などにより、現代制御理論が適用しにくいことで、試行錯誤、運転経験の活用を

折り込みながら実用的な制御方式の適用の努力が続けられている。

IV. システムの実現手段

1. ハードウェア

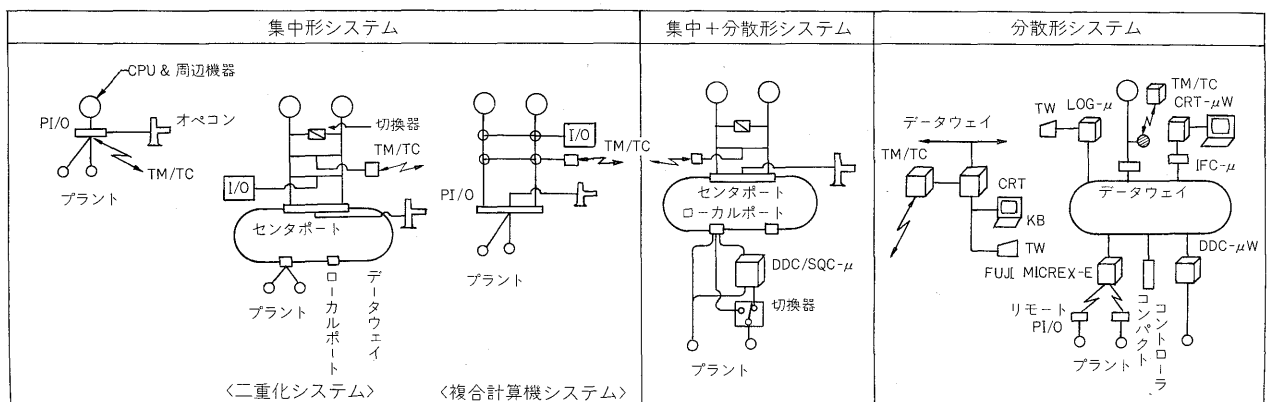
以上の各種の要求に対して、計算機による管理システム、制御システムを導入するのが一般的である。そのためには、対象プラントの規模に応じて、目的、予算、業務管理範囲、運営体制、信頼度対策、人間と機械の分担範囲、即応性、拡張性などに関して、バランスのよいシステムとなるよう配慮する必要がある。システム形態は、単独設置形から階層構成形まで、あるいは集中制御形から分散制御形、シンプレックス形から複合計算機形まで各種の形態がとれる。第1図にその例を示す。

集中形システムでは、信頼性を重視すればするほど、システムは重装備となる。集中・分散形システムでは、常時はマイクロコントローラによる分散制御の形態をとるが、マイクロコントローラ障害時は、中央計算機が肩代わりをする。分散形システムでは、トータルシステムダウンの危険度は少ないが、多様な機能をもつマイクロコントロールシステムが要求される。

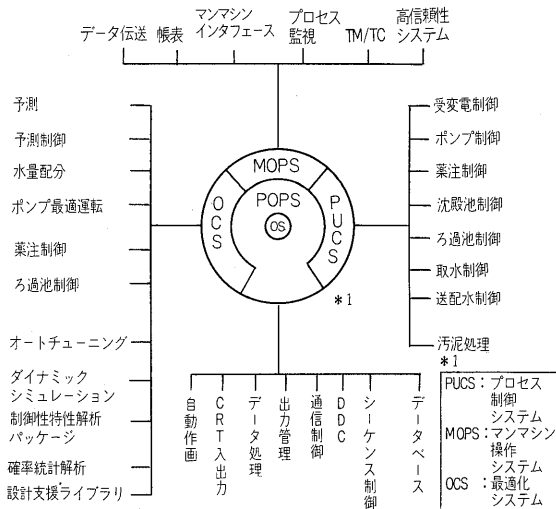
2. ソフトウェア

水処理用の標準ソフトウェアの体系として、第2～5図に一例を示す。OS及びプロセス制御用基本パッケージを核として、データ伝送、システム監視・操作、帳表、多重化システム運用などを行うマンマシンシステム用パッケージ、プロセス制御専用パッケージ、SCC及び最適化のための最適制御パッケージなどから成り、ツールとして、DP、LP、カルマンフィルタ、自己回帰手法、非線形計画法、管網計算法、ディシジョンテーブル処理などを制御用としてコンパクト化して適用しており、POLあるいはFIFの利用により作業性を向上している。

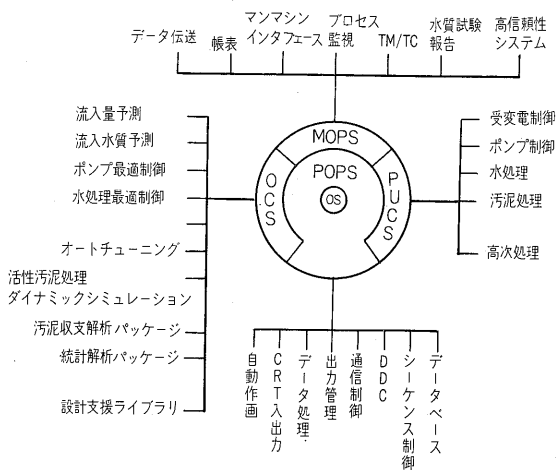
分散制御用としては、機能単位に専用のマイクロコントロールシステムを分散設置させ、監視・操作用マイク



第1図 ハードウェアシステム構成
Fig. 1. Construction of hardware works



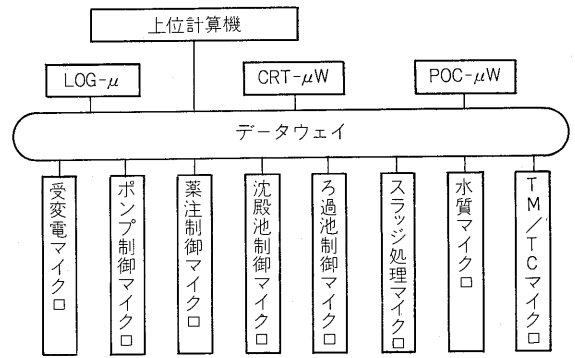
第2図 集中制御システム用ソフトウェアパッケージ上水道用 W-TCS
Fig. 2. W-TCS for water works



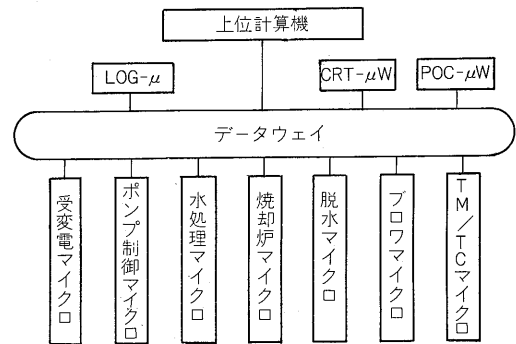
第3図 集中制御システム用ソフトウェアパッケージ下水道用 S-TCS
Fig. 3. S-TCS for sewage water works

第3表 予測用パッケージ
Table 3. Package programs for forecasting

	最小自乗法	回帰分析	自己回帰モデル	カルマンフィルタ	GMDH
一日配水量	$\hat{Q} = aq + b$	$\hat{Q} = f(\alpha_i)Q_{-1} + g(\beta_i)$ 曜日, 天候の関数 温度, 天候	$\hat{Q} = \sum_{m=1}^M a(m)Q(s-m)$	$\hat{Q} = \sum_{m=1}^N a(m)Q(s-m)$	$\hat{Q} = \alpha_0 + \alpha_1 Q_{-1} + \alpha_2 Q_{-2} + \beta_1 Q_{-1}^2 + \beta_2 Q_{-1} Q_{-2} + \beta_3 Q_{-2}^2$
時間配水量	$Q_n = D_n \cdot \hat{Q}$ $D_n = \alpha d_n + (1-\alpha)D_{n-1}$	$Q_n = D_n \cdot \hat{Q}$ D_n : 過去の平均値	$Q(s) = \sum_{m=1}^M A(m) \cdot Q(s-m)$	$Q(n) = \sum_{m=1}^N a(m)Q(n-m)$	
備考	・シンプル ・天候 / 社会事象の急変などの突発的な外乱に弱い。	・シンプル	・多変数汎用モデル ・数ステージ先の予測には不向き	・同左, モデルの動的アップデート可。 ・同左	・トレーニングデータとチェックデータを使いモデルの多層化をする。 ・1変数の予測には効果的でない。



第4図 分散制御システム用ソフトウェアパッケージ上水道用 FUJI MICREX-W
Fig. 4. FUJI MICREX-W for water works



第5図 分散制御システム用ソフトウェアパッケージ下水道用 FUJI MICREX-W
Fig. 5. FUJI MICREX-W for sewage water works

ロコントローラないしは、スーパーミニコンにより SCC システムを構築している。

V. 上下水道システムにおける実例

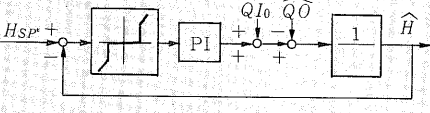
1. 上水道システムにおける実例

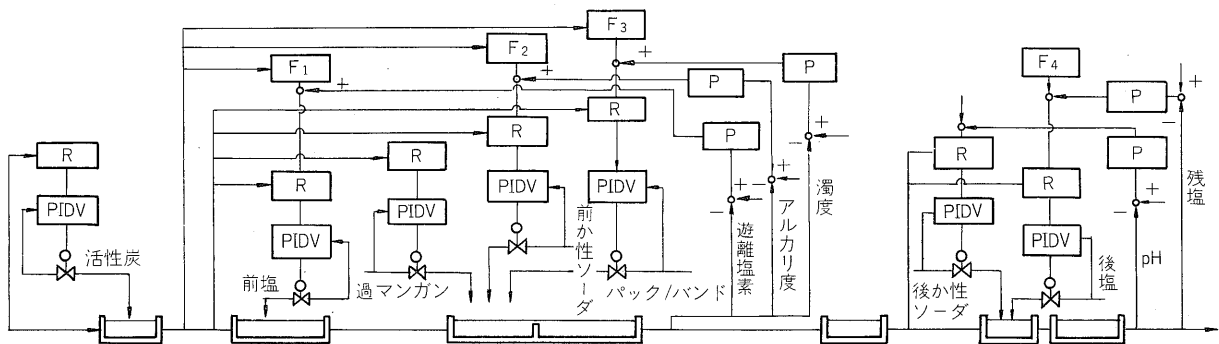
1) 予測方式

予測誤差を最小にするように、最小自乗法を適用するものが多い。上水道集中制御システム用ソフトウェアパッケージ (W-TCS) における例を第3表に示す。

第 4 表 配水池制御手法

Table 4. Control logics for reservoir

制御対象	CUT & TRY 法	LP法(リニアプログラミング)	DP法(ダイナミックプログラミング)
	 ・制約条件 ・設備の安全性検定 ・管理目標水位への復旧 ・操作量変動/切換回数最小	$h_n = h_{n-1} + \frac{Q I_{n-1} - Q O_{n-1}}{A}$ $Q_L \leq Q I_n \leq Q_u$ $h_L \leq h_n \leq h_u$ $P = \sum_{n=1}^N C_n \cdot Q I_n \rightarrow \text{最小}$	$h_n = h_{n-1} + \frac{Q I_{n-1} - Q O_{n-1}}{A}$ $h_L \leq h_n \leq h_u$ $h_N = \text{GIVEN}$ $h_0 = \text{現在値}$ $P = \sum_{n=1}^N (\alpha Q I_n^2 + \beta h_n^2) \rightarrow \text{最小}$



第 6 図 薬注制御
Fig. 6. Example of dosing control

2) 配水池制御手法

浄水池あるいは配水池をバッファと考えて、第 4 表のような各種の手法を適用できる。

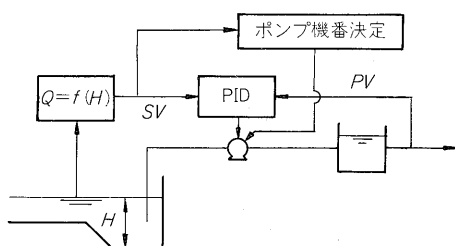
3) 薬注制御

基本的には、オペレータ設定ないしは、注入率演算式による注入率を使った比率制御が主体であるが、オフセット除去のために、フィードバック制御との結合形が使われることが多い（第 6 図参照）。

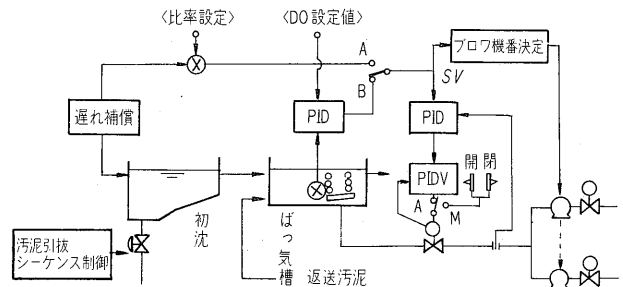
2. 下水道システムにおける事例

1) 流入量予測と平滑化

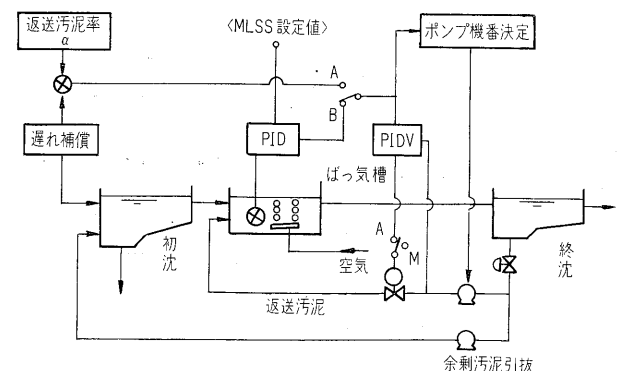
流入量の予測には、予測誤差を最少にするように、最小自乗法を適用する。処理流量の平滑化を行うために、管渠をバッファと考えて、ポンプ井水位から吐出量カーブを決定して、ポンプの台数決定と速度制御を行う（第 7 図参照）。



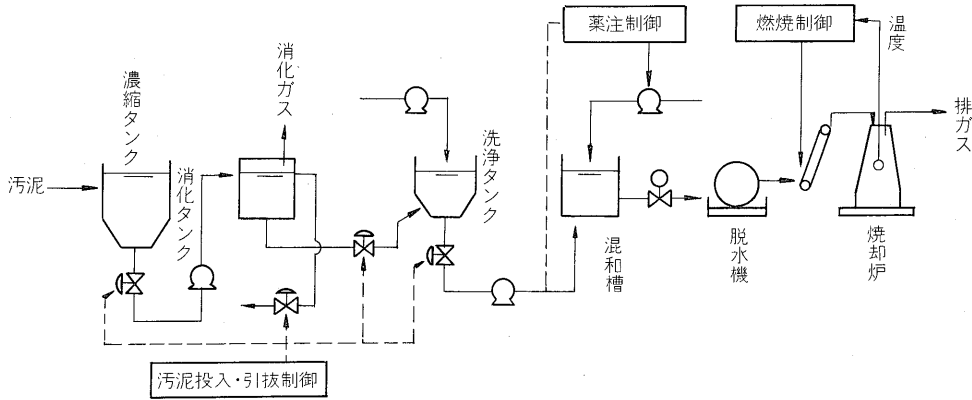
第 7 図 流入量平滑化制御
Fig. 7. Intake water filtration control



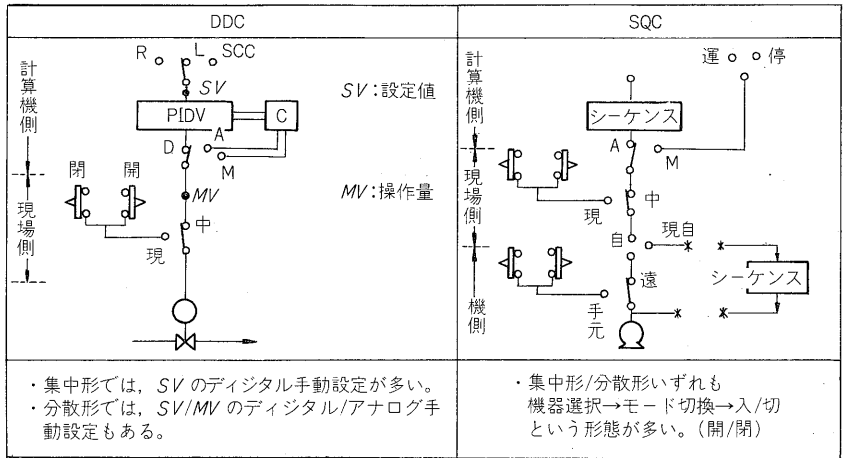
第 8 図 DO 制御
Fig. 8. Block diagram of DO control



第 9 図 MLSS 制御
Fig. 9. Block diagram of MLSS control



第 10 図 汚泥処理
Fig. 10. Block
diagram
of sludge
control



第 11 図 操作方法とバックアップ方式
Fig. 11. Example of plant operation
and back up control

2) 水質制御

制御方式は各種のものをそろえ、下水処理場により運転方式をかえて、運用効果をみながら、よりよいものを追求していく。

(1) DO 制御

制御方式を第 8 図に示す。送風量を汚水流入量との一定比率で決める。比率はオペレータ設定によるもの(A)と、ばっ気槽内の DO を計測して、所定の値になるよう風量のカスケード制御を行うもの(B)、その他ばっ気排ガスの酸素分圧減少量により呼吸速度を求め、これを DO 制御に利用する方法などがある。

(2) MLSS 制御

返送汚泥率を求めて、比率制御をする(A)、あるいは、MLSS を測定し、この一定制御を行うもの(B)などがある(第 9 図参照)。

(3) 汚泥処理

汚泥引抜から脱水までの過程で、DDC やシーケンス

制御が各種あり、相互に関連しながら、制御することも必要である(第 10 図参照)。

VI. 操作方式とバックアップ方式

中央の計算機側からの操作ルートは、システム形態に応じて、多様な形をとってきているが、一例を第 11 図に示す。

VII. あとがき

以上、水処理用計算機システムの目的、機能分析とシステムの実現手段の一部を紹介した。最近の省資源、省エネルギーの拘束は、ユーザの多様化した要求仕様とともに、より高度なシステム設計技術が必要となってきた。これらに対して、電機、計装、計算機、情報伝送機器を含めた当社のハードウェア及びソフトウェア供給体勢は万全を期しており、きめの細かい対処が可能である。ユーザ各位の御批評と御指導をお願いする次第である。



＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。