

[24] 下水処理における計算機制御の実際と展望

富士電機製造(株) 水処理技術部 伊 東 祐 輝
 " 第二システム部 清 水 勉 大 倉 和 郎
 " " ○青 木 誠

1. 緒 言

下水処理における計算機制御は、自動化により処理場の維持管理の省力化を推進すると同時に、処理水質の向上、処理工程における省資源や省エネルギー効果などを目的として、計画導入される場合が多い。その場合、調節計やリレーによる自動化設備を単に電子回路でおきかえるだけでなく、計算機の有する能力を積極的に活用することが要請されている。計算機が有する情報処理能力は、処理場の運用管理における広範な機能を実現することが可能であるが、本論ではプロセス制御において計算機の特長を生かした機能という観点から試みた内容について紹介する。

プロセス制御は、図-1に示すような階層構造の機能レベルに分けてとらえることができる。各機能レベルの計算の複雑さと計算の頻度は、一般的に図-1の傾向を有している。最近のマイコン応用システムの進歩と普及により、直接制御レベルから最適調整レベルの機能は、マイコンで実施する場合が多くなり、計算機はより高レベルの制御機能を要求されるようになってきた。

下水道におけるプロセス制御の特質は、制御対象があいまい性の大きい社会現象や、自然現象のなかでも法則化しにくい気象や生物現象に支配されていることである。これに対し、計算機は大量のデータに基づく予測、複雑な数式モデルによるプロセス解析や運用シミュレーション、数値計画法による最適化計画などの機能を実施し、図-2に示すような運用形態で以下に記す高度な管理制御を実現する能力を有している。

2. 下水流入量の予測制御⁽¹⁾

予測制御システムでは、あらかじめ変動を推定し、それに基づいて最適な運転方法を決定しようというものである。下水道における予測制御の適用例として、下水流入量の予測に基づく最適化制御がある。

下水処理場や中継ポンプ場などの汚水ポンプや雨水ポンプの運転制御に利用することにより、(a)ポンプの効率的運転による省エネルギー効果、(b)ポンプなどの機器の操作頻度の減少、(c)流量変動の平滑化による下水処理の安定化、高効率化、特に夜間運転の過少負荷の回避、(d)浸水や冠水の防止、(e)雨天時の汚濁負荷の流出低減などの大きな効果が得られる。

この予測制御システムは、図-3に示すように雨水予測モデルと汚水予測モデルならびに最適化計画の機能を中心として構成される。図-3に示

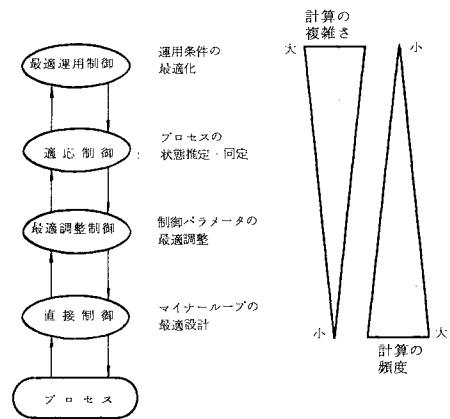


図-1 制御システムの階層構造

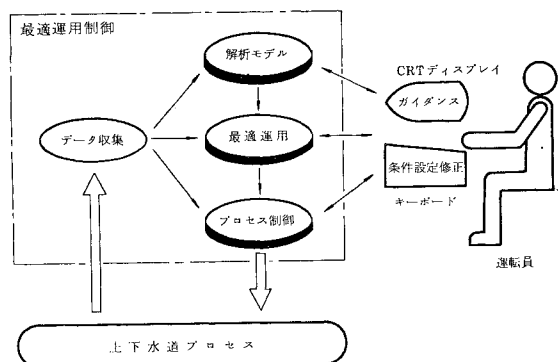


図-2 計算機制御の運用形態

されている予測結果は、実際のデータに基づいて予測計算されたものであり、実測値ともよく一致している。また予測に基づく最適化計画の一例として、ポンプ揚水量の変動を最小にするという最適化により得られた結果を図-3の運用ガイドンスに実線で示す。この場合の有効貯留容量は日平均汚水量の4時間分であるが、同一条件で予測を利用せずにフィードバック制御(同図破線)する場合に比べ、非常に大きな平滑化効果が得られている。またこれによるポンプの省エネルギー効果も大きい。

予測制御システムを設計するうえで重要な項目は、汚水だけでなく雨水も予測制御の対象にするか否かという点である。雨水は一般に変動が大きく急激であるため、その予測制御はリアルタイム処理が中心になる。一方、汚水の予測制御は、その変動特性によっては一部の機能をオフライン的に処理することも可能である。

さらに制御方式の選定には、貯留容量と流入量の変動特性との関係および予測精度などを総合的に検討する必要がある。流入量の変動特性を確定変動(各時刻の平均値の動き)と不確定変動(各時刻の平均値の回りの変動)に分離して把握すると、適切な制御方式が設計できる。流入量の変動特性に対応した制御方式の選定基準を、表-1に示す。確定変動が不確定変動に比べて大きく、かつ有効貯留容量と同程度の大きさの場合に、予測と最適化制御の効果が最も顕著となる。

表-1 流入量の変動特性に対応した制御方式の選定基準

変動特性	不確定変動 大	不確定変動 小
確定変動 大	<ul style="list-style-type: none"> ・スケジューリング制御(主) ・フィードバック制御(従) ・予測の性能を向上する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・スケジューリング制御(流入量予測が最も有効活用される。)
確定変動 小	<ul style="list-style-type: none"> ・フィードバック制御(主) ・スケジューリング制御(従) ・予測の性能を向上する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・フィードバック制御

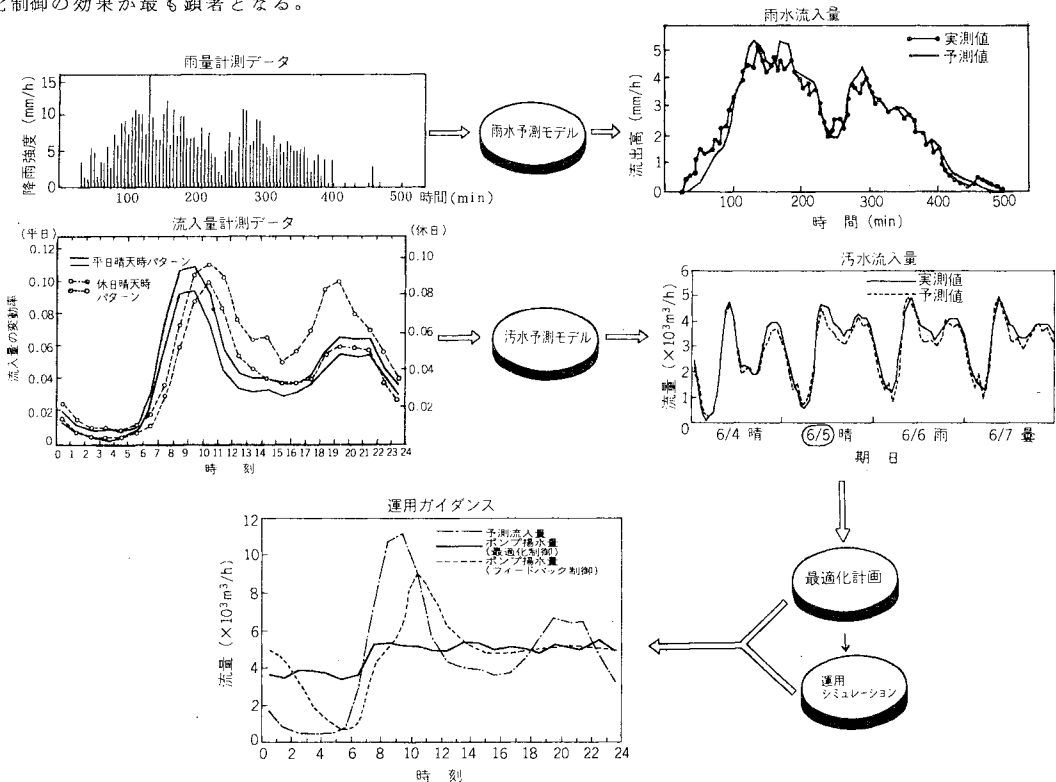


図-3 下水流入量の予測制御システム

3. DO制御のオートチューニング⁽²⁾⁽³⁾

広く普及しているPID制御方式では、精度と安定性の高い良好な制御動作を行わせるためには、制御パラメータを適切な値に調整しなければならない。この調整が不適当であると制御が不安定になり、要求される管理精度も満たされなくなる。この調整には経験と手数を要するので、計算機またはマイクロコントローラで自動的に調整できるようにしたものがオートチューニング機能である。

自然環境により特性が大きく左右される水処理プロセスの場合、プロセス特性の変化に応じて頻繁にパラメータの再調整が必要となることがある。下水処理におけるDO制御がその一例である。ある処理場の場合、空気量に対するプロセスゲインは $1/400 \sim 1/2500 \text{ ppm/Nm}^3/\text{h}$ 、時定数20分～45分と変化し、これに応じたパラメータ調整が必要である。

オートチューニングは次の一連の手順を自動的に行う。まず、プロセスにパルス操作を加え、プロセスの応答を計測する。次に、計測データからプロセス特性の同定を行い、その結果をもとに最適パラメータを決定する。図-4に実施例を示す。プロセス特性の同定には図-5(a)に示す特性面積法を用いている。本法は、一般に利用されている図-5(b)のインディシャル応答法に比べ、計測ノイズに強いという長を有している。インディシャル応答法がプロセス特性を P, L, τ で表わすのに対し、特性面積法では S_T, S', S を利用する。同定された特性を基に、(1)式の誤差評価関数を最小とするよう最適パラメータを決定する。

$$J = \int_0^{\infty} \{ERR(t) e^{\beta t}\}^2 dt \quad (1)$$

ここで、 $ERR(t)$ は目標値からの偏差で、 $e^{\beta t}$ は制御の安定性を向上させるための重み関数である。本オートチューニングの特長は、(a)パルス操作幅はインディシャル応答法の $1/2 \sim 1/3$ しか要せず、プロセスへの影響はほとんどない、(b)計測ノイズやプロセス外乱などの影響が小さく、演算結果の信頼性が高い、などである。

オートチューニングにより得られた制御パラメータでDO制御を実施した結果を図-6に示す。DOの制御精度は $\pm 0.2 \text{ ppm}$ で、弁の動作頻度も30回/日程度と良好な制御結果が得られている。

オートチューニングはDO制御だけでなく、流量ループなど多数の単一ループを効率よく最適に調整する場合や、プロセス特性の不明なループの最適調整にも威力を発揮している。

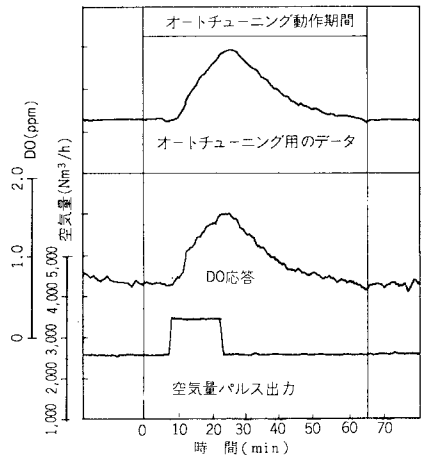
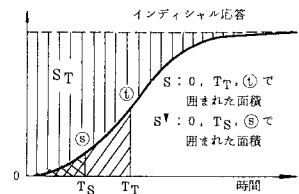


図-4 オートチューニングの実施例：
(DO制御パラメータ決定)

(a) 特性面積法



(b) インディシャル応答法

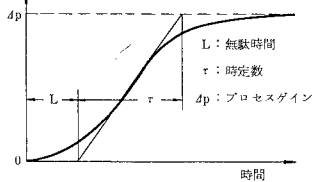


図-5 プロセス特性の同定

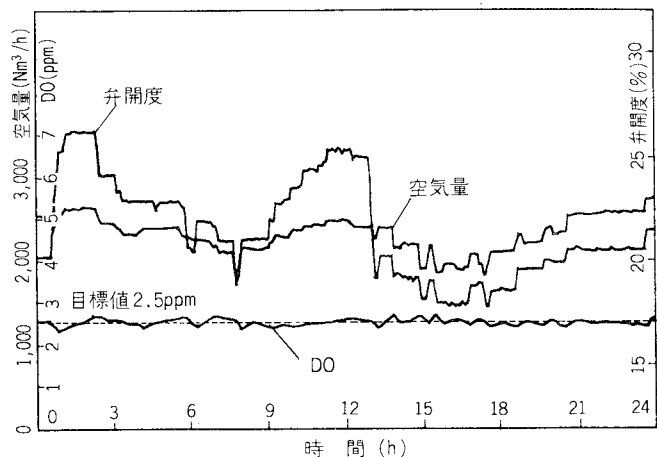


図-6 オートチューニングによるDO制御実施例

4. 活性汚泥シミュレーション⁽¹¹⁾⁽¹²⁾

シミュレーション技術は、現在、施設設計に、あるいは運転制御の方式と効果の検討に、幅広く活用されているが、その使われ方はあくまでもオフライン的なものである。これを一歩進め、オンラインに組み込み、実データを使用して複雑なプロセスの状態と制御結果を推定し、オペレータはそれを参考にして管理制御するという試みが行われている。我々は、ある処理場の管理制御システムに活性汚泥シミュレーションを導入し、複雑な活性汚泥プロセスの管理制御のための手段としている。図-7は、本シミュレーションの結果と実測値の比較である。シミュレーションはエアレーションタンク内のDOと溶解BODの変化をよく表現している。

活性汚泥の管理目標は処理水質の向上と安定にあるのは言うまでもないが、同時に省エネルギー化を図ることも要請され、DOによる空気量制御が実施されている。しかし、省エネルギー効果をより高めるためには、DO制御だけでなく、MLSSも含めた管理制御が必要となる。DO一定の場合、必要とする空気倍率は図-8に示すようにMLSSに大きく依存し、MLSSを低いレベルで管理制御の方がエネルギー的に有利となるが、しかし当然のことながら、図-9に示すようにMLSSの低下は処理水質の悪化をまねくことになる。したがって、両者を総合的に判断しMLSSの管理制御レベルを決定する必要がある、この判断には、シミュレーションにより得られる定量的情報が非常に役立つ。

5. 結 言

計算機を活用した高度な管理制御の一端を紹介してきたが、これらは、複雑な数式モデルや大量のデータを高速に処理できるという計算機の特長を生かしたものである。一方で、運転員が有する多様な情報と、全体状況を適確に把握する能力は、ますます重要になり、計算機と運転員とがそれぞれの特長を生かすことにより、より高度な管理制御が表現できる。今後の課題として、処理場の運転状況の良し悪しを定量的に評価できるシステムとその運用形態の構築が、最も重要なことであると考えている。

参考文献

- ①大倉，清水，青木，佐藤：下水道における予測制御システム，富士時報，Vol.52，No.11，752（1979）
- ②中辻，前島，清水：DO制御とそのオートチューニング，第16回下水道研究発表会講演集，575（1979）
- ③西川，太田他：FUJI.MICREXにおけるPID制御パラメータのオートチューニング，富士時報，Vol.51，No.4（1978）
- ④中辻，加藤，松永，梅村：活性汚泥処理のシミュレーション，富士時報，Vol.50，No.11（1977）
- ⑤中辻，前島，青木：CRTディスプレイを用いた水質の管理，第14回下水道研究発表会講演集，59（1977）

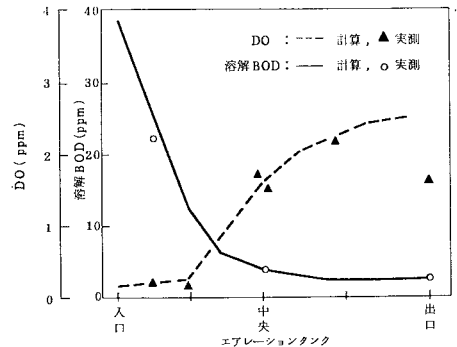


図-7 活性汚泥シミュレーションと実測値の比較

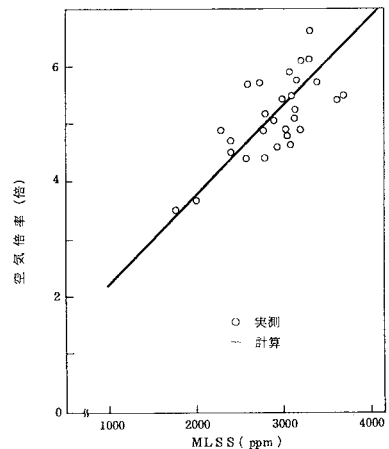


図-8 MLSSと空気倍率の関係
(シミュレーションと実測値)

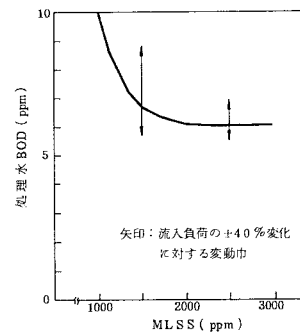


図-9 MLSSと処理水質の関係
(シミュレーション結果)