

[47] 中小規模下水処理場における制御システムに関する研究

京都大学 工学部 ○平岡 正勝 津村 和志

1. はじめに

「中小規模下水処理場において、制御系はいかにあるべきか」という問いに対し、一つの解答案をしめすことが、本研究の目的である。

我々は1977年にロンドン・ストックホルムでひらかれた国際会議で、計算機制御システムの概念設計を提案した¹⁾。それ以来、奈良の平城浄化センターを対象に、この概念設計の可適用性について検討してきた。平城浄化センターは、処理能力341m³/hourの分立式家庭廃水処理プラントである。本報文は、これまでに平城浄化センターでおこなわれた実験結果の成果を、制御システムの形でまとめたものである。

2. 制御システムの構成と特徴

制御システムの概念設計を図1にしめす。

本研究が対象とした平城浄化センターでは処理水を中水道に利用する研究がおこなわれている。本研究では、その研究との関連で、制御目標を処理水質の安定化にさだめた。

本制御システムの特徴は、制御系をいくつかの部分の組合せとして構成したことである。システムは図1にしめされるような4つの部分から構成され、各部分は他の部分を補うような働きを持ち、全体としてうまく機能するように考えられた。

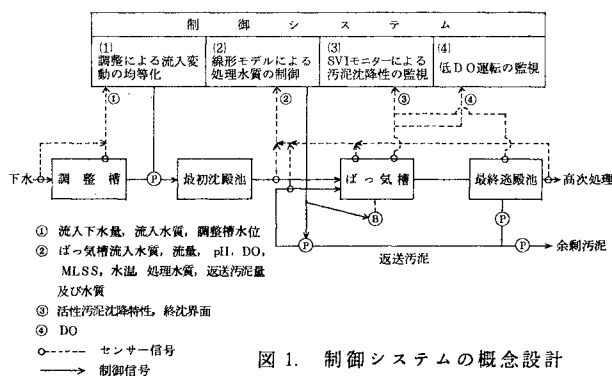


図1. 制御システムの概念設計

第2の特徴は調整槽をもうけることである。流入流量の変動には、空気量や返送汚泥量の制御といった方法で対処する方法や安全率を大きくするといった方法と、我々が採用している調整槽で対処する方法がある。

調整槽で対処する方法の利点は、大きな流量変動にも対応できることである。中小規模の下水処理場では、流入流量の変動は大きく、そのピークはするどい。それゆえ調整槽による均等化が最もすぐれた方法だと判断される。

調整槽をもうけることには、もう一つの利点がある。本制御システムは、人間の運転管理を容易にすることをもう一つの目標にしているが、均等化は定常状態に近い状態での運転を可能にする。これは人間にまかされた部分の管理、たとえば汚泥引抜の管理等も容易になることを意味する。

第3の特徴は、動特性モデルとして線形モデルを使うことである。一般に活性汚泥法の制御ではMonod式を代表とする非線形型のモデルが使われる。これは活性汚泥系が元来非線形であるためである。しかしMonodモデルは活性汚泥の動特性を表現するには不十分であることが知られており、いろいろな修正がなされ、多数の多次元非線形モデルが提案されている。しかし、これらモデルを実際の制御で使うとなると、中小規模の下水処理場では大型計算機を入れるわけにはいかないので、モデルを単純化する必要がある。もし単純化するのであれば、始めから単純なモデルを使って制御を考えるほうが、よりよい方法であると考えられる。むしろその単純なモデルが成立する条件を作りだす工学的工夫をすることのほうが重要だと考えられる。

そこで本研究では、簡単なモデルとして線形モデルを選んだ。またこの線形モデルが成立する条件として、先のべた調整槽を導入し、線形近似が成立する範囲内に流入変動をおさえることを考えた。

以下では制御システムを構成する各部分について方法等を詳しく説明する。

3. 調整槽制御部分

調整槽の制御部においては、2つの機能が要求される。1つは処理場への流入下水流量の予測であり、もう1つは、この予測にもとづく調整槽流出流量の決定である。

流入流量の予測では、過去の流入下水流量の値だけをつかった予測ではうまくいかないことがわかっている。それゆえフィードフォワード的要素を入れ、上水使用量も予測のために使うべきである。このことは、中小規模下水処理場の設計においては、その集水区域へ流入する上水量を計測できるように、都市計画の段階で考慮しておくべきであることをしめしている。図2はこのような、上水量と下水流量をつかった1時間先の流入下水流量予測の一例である^{2),3)}。この例では、流入流量を季節に依存する平均日内変動部と平均変動からのずれをあらわす日変動部の和と考え、日変動部を上水供給量と過去の下水流入流量の関数としてあらわしたものである。日変動部の予測にはGMDHをつかった。

次に調整槽流出流量の決定法であるが、これには2つの考え方がある。1つは流量の均等化に主眼をおくもので、もう1つは負荷の均等化に主眼をおくものである。調整槽の運転方法としては、どちらも可能である。ただしどちらか一方を中心とする運転法は、他方の均等化にはあまり効果を持ちえない。我々は流量変動中のある範囲内に限定し、その範囲内で負荷変動が最小になるように、流出流量を制御すべきだと考えている。これはD.P.によって計算される^{1),3)}。

以上が調整槽制御部の考え方であるが、平城浄化センターの現在の状態を説明しておく。現在平城浄化センターでは、図3のような調圧タンクによって流量の均等化がおこなわれており、図4のような結果をえている。処理水質はSSについてみると、調整槽入口の標準偏差が55.2、初沈入口が58.1、初沈出口が7.7である。

4. 活性汚泥制御部分

本研究では線形モデルを動力学モデルとしてつかうが、過去線形モデルを活性汚泥プロセスの動特性表現につかおうとした試みはあったが、その結果はあまりよくなかった。その原因を分析すると手法上の問題として、系の持つフィードバック構造を無視したこと、雑音を白色ノイズとしたことの2点が重要である。

通常線形モデルの同定につかわれるクロススペクトル密度関数をつかう方法は、フィードバック構造をもつシステムでは、雑音源が白色ノイズでない限り、よい結果は期待できない。ただしこの場合も観測数は無限に大きくする必要があり、有限の観測数ではよいモデルは得られない。

さらに雑音が有色の場合（活性汚泥プロセスではこれが普通）は、モデル同定のためのデータ数をいかに多くしても、よいモデル式は得られない。

それゆえ、有色ノイズのかかるフィードバック構造を持つ活性汚泥システムのような系を、線形モデルで表現する場合には、工夫が必要である。本研究では赤池による自己回帰モデルを使う方法によって、この問題を解決した。

また赤池の方法⁴⁾は、ステップ入力のように特殊な入力をかけることなく、モデルの同定ができる。これは活性汚泥プロセス（実プラント）のように、人工的な入力を与えることが難しく、常に外乱を受けているような系には、適した方法だといえる。

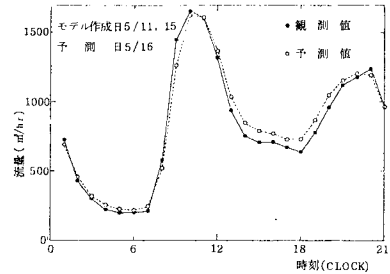


図2. 5月14, 15日のデータをもとに予測式を作成し、5月16日の流入流量を予測した例（B処理場）

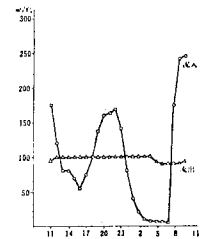
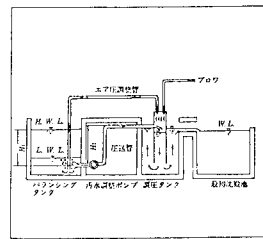


図3. 調圧タンクの作動原理図⁵⁾ 図4. 調整槽による均等化

以下赤池の方法によって解析した結果についての。データは平城浄化センターでえられた。測定間隔は1時間で図5中の各点で図中にしめされた項目を測定した。図中の値は各測定値の平均値である。

この測定結果にもとづいて動特性解析をおこない、その結果にもとづいて制御を考えた。処理水質である TOD_{out} , SS_{out} のパワースペクトルをみると TOD_{out} においては低周波数成分のしめる割合が多い。その変動は $1/6$ (cycle/hour) 以下の部分に集中している。そこで $1/6$ 以下の TOD_{out} の変動に寄与する他の変数のようすを図7にしめた。これより $1/12$ から $1/6$ の間では流入流量の寄与が大きく、流量変動をおこえることが有効であると考えられる。

さらにパワーの大きい $1/12$ 以下の部分については、 $MLSS$, 流入 SS , 水温等の変動をおさえるように努力することが有効であると判断される。

次に SS_{out} についてみると、それほど明確な傾向を持たない。これは図8からも明らかなように、突発的な SS の上昇に起因するものである。このような突発的な上昇は、5分間隔で測定してもやはり存在する。実プラントにおける観察によると、これは終沈に沈んでいる污泥が浮上し、処理水中に流出するためである。図9に SS_{out} の変動に対する他の変数の寄与をしめすが、この図からわかるようにやはり SS_{out} 自身の発生する雑音の影響が大きい。それゆえ SS_{out} の変動をおさえるには、 SS_{out} 自身の変動、すなわち突発的な上昇をおさえる必要がある。またこの変動は他の変数の変動とは無関係なものと判断される。

SS_{out} に加わる雑音の原因は次のようなものだと考えられる。本研究の対象とする処理場は、低負荷状態であり、ばっ気槽での滞留時間が長い。このため DO 濃度を上げると硝化が進行し、硝化により発生した硝酸性窒素が終沈でガス化され、このガスが污泥中に蓄積され浮上がおこると考えられる。

それゆえ硝化をおさえる低 DO 運転をおこなうことが、 SS_{out} の変動をおさえる最も重要な対策であると考えられる。硝化抑制の低 DO 運転は別の意味からも重要である。これについては後述する。

次にこのモデルにもとづいて制御をかけた場合の効果について検討した。評価基準は TOD_{out} と SS_{out} を正規化し、両者の24時間にわたる全変動和を最小にすることにした。制御方策は、この全変動和が最小になるようなゲイン G を DP で求め、比例制御をおこなった。

操作変数としては、 TOD_{out} , SS_{out} に影響を持つ変数として、ばっ気槽流入 TOD , SS , 返送汚泥 SS , 流量, 水

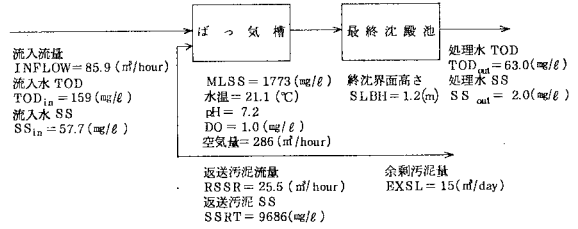


図5. 測定項目とその平均値

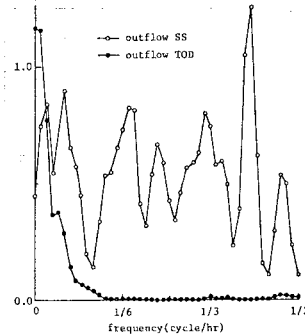


図6. TOD_{out} , SS_{out} のパワースペクトル

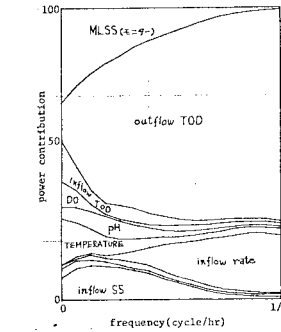


図7. TOD_{out} に対する各変数の寄与率

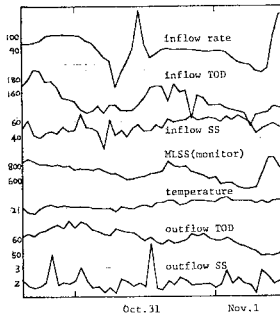


図8. 同時記録の例

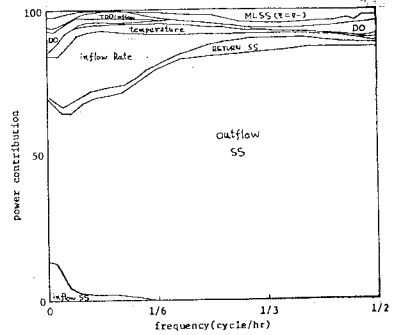


図9. SS_{out} に対する各変数の寄与率

温, pH, DO を選んだ。この中には現段階では操作変数とするのは無理なものも含まれているが、制御の可能性をみるという立場から、操作変数になりうるものはすべて操作変数とした。

まず制御のレベルを次のように設定した。

レベル 1 系には雑音のみがかり、制御は全くかけない状態。

レベル 2 現在操作変数には雑音がかかり変動しているが、雑音源を除去し、一定値になるようにした状態。

レベル 3 1 変数のみによる比例フィードバック制御

レベル 4 全操作変数による比例フィードバック制御

結果を簡条書きにすると、(1)制御レベルによって処理水質の変動は表 1 のようになる。(2)操作変数を 1 つだけ動かす比例制御をおこなった場合、TOD の変動は減少するが、SS の変動は増加するものもある。水温、pH、流入 SS 濃度がそのような変数である。TOD の変動を減少させるには pH、TOD_{in}、ついで SS_{in}、水温、DO、返送汚泥濃度が効果を持ち、流入下水量はあまり効果がなかった。一方 SS に対しては、DO、返送汚泥濃度、TOD_{in}、流入下水量の順に効果を持ち、SS_{in}、pH、水温は悪影響をもたらした。(3)TOD_{out}、SS_{out} の変動を同時におさえようとするれば、全操作変数をつかった比例制御をおこなえばよい。これによって雑音の分散と同程度まで TOD、SS の変動をおさえられる。効果を図 10 にしめす。

表 1. 各制御レベルでの分散値

被制御変数	制 御 レ ベ ル			
	1	2	3	4
TOD _{out}	50.4	34.0	12.2~22.1	7.3
SS _{out}	0.29	0.20	0.14~0.29	0.13

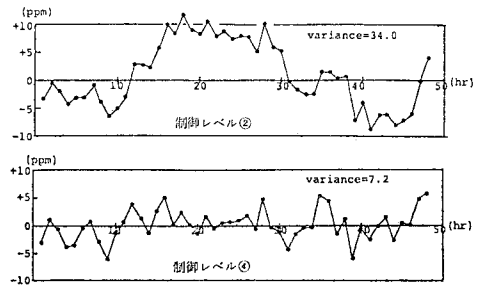


図 10. 制御による効果

5. 終沈制御部分

活性汚泥制御部だけでは、活性汚泥の沈降性が悪化しないことを保証できない。それゆえこの部分では活性汚泥の沈降性を監視し、異常がみとめられた場合は、活性汚泥制御部による制御を中止し、人間による制御に委ねる。

6. 低 DO 運転維持部分

本研究が対象とした処理場では低 DO 運転がおこなわれており、BOD₅ 10 mg/ℓ、SS 3.3 mg/ℓ という良好な水質をえている。先にものべたように、この処理場では DO が上昇すると硝化が進む。本研究では TOD を状態変数としているため、硝化の進行は系の動特性を大きくかえる。すなわち NH₃-N は酸素を消費し TOD の値が高くなる。硝化が進むと NH₃-N が NO₃-N や NO₂-N となるため、硝化が抑制されたときの TOD 値に比べて、かなり低くなる。

それゆえ作成されたモデルが長時間安定してつかえることを保証するために低 DO を維持する制御系をもうける。DO 値がある範囲を越えるときは、活性汚泥部による制御を中止する。

参 考 文 献

- 1) M. Hiraoka, et al., "Analysis of Dynamic Response of the Sewage Treatment Plant", Prog. Wat. Tech., 9, Nos. 5/6, pp 409-413 (1977).
- 2) 松下真他「GMDH による下水処理場への流入変動予測」, 土木学会講演概要集第 2 部, pp 685-686(1977)
- 3) 京大・平岡研, 日本住宅公団, 「家庭排水処理施設のプラント化に関する研究」の報告書(その 6), 昭和 52 年 3 月.
- 4) 赤池弘次他, 「ダイナミックシステムの統計的解析と制御」サイエンス社(1972).
- 5) 正木文憲他, 「平城ニュータウンの下水循環再利用実験システム」, 月刊下水道, 2, 9, pp 63-78(1979).