

自己回帰モデルによる活性汚泥プロセスの制御

平岡正勝* 津村和志* 藤田逸朗** 金谷利憲**

*京都大学工学部衛生工学科
京都市左京区吉田本町

**㈱安川電機製作所
北九州市小倉北区大手町12番1号

概要

近年、活性汚泥プロセスにおけるDO制御、MLSS制御等は、ほぼ実用化の段階に入ったと考えられる。しかしこれらの制御方法は、処理水質の制御という観点からは間接的であり、また安定化という面では十分とは言えないようである。筆者らが研究を進めてきた自己回帰モデル(Autoregressive Model, 以下ARモデルと呼ぶ)¹⁾を利用した制御方法は、この点を可能にする。つまり本制御系は、被制御変数として有機物濃度、SS等の処理水質、参考変数として系への外乱と考えられる流入水量、水質等、及び操作可能な余剰汚泥量、曝気風量、返送汚泥量の変数で構成される多入力多出力の制御系なので、所望の処理水質を目標値として設定できる。研究はいくつかのステップ^{2), 3)}を経て、現在実処理場における試行実験の段階にあり、その有効性の確認もできた。本報告では、システム同定後⁴⁾に行った処理水質の制御実験及びその解析結果について述べる。

キーワード

活性汚泥プロセス 自己回帰モデル システム同定 協調的制御系 フィードバックゲイン 水質制御

1. 制御系の設計

本制御実験はARモデルから得られる最適フィードバックゲインを利用しておこなわれた。以下にその求め方について説明する。

定常時系列のARモデルは次式で与えられる。

$$X(S) = \sum_{m=1}^M A(m) X(s-m) + U(s)$$

ここでX(S)はシステム変数を要素とする時刻sにおけるベクトルである。またA(m)はモデルの自己回帰係数行列、Mはモデルの次数、U(s)は白色の固有ノイズベクトルである。

上式は現在及び過去の状態量がわかると、1時点先の状態量を計算することができることを示している。これを繰り返せばプロセスの状態がどのように変化してゆくかを予測することができる。このことを利用すれば遠い時点での状態の安定性まで考慮にいれて、現在操作すべき量を計算することができる。¹⁾これは現代制御理論の領域であり、まずARモデルを状態空間表現に変形し、次に「現在から将来にわたる(被制御変数の)状態量と(操作変数の)操作量を自乗和した値」を二次評価基準として、それを極小にするような現在の操作量を求める。結果として現在の最適操作量は現在の状態量の一次変換となり、その変換行列が最適フィードバックゲイン行列である。この実験で使用したARモデルでは、システム変数は8(操作変数2を含む)、モデル次数Mは6であり、またフィードバックゲインは2×36の行列である。

余剰汚泥量については、PI制御系では曝気槽流入SSの高濃度での流入に対し、MLSSを一定に保つべく最大の操作指令値を出している。後半にMLSSが低下し、目標値近くに達するまではほとんど最大値のままである。

これに対しARモデル制御では、前半の処理水質の悪い時は、最小の操作量を出していることが多い。処理水SS、処理水UVの日間変動を受けて、比較的目標値に近い時はプラスの操作量も出しているようである。後半は処理水質の回復に従い、操作量が増加している。

曝気風量については、PI制御は日間変動が主であり、急激な流入負荷の増加時にはそれに応じて操作量を増加させている。

ARモデル制御は余剰汚泥量と同様に、前半と後半で操作量が変化している。前半は処理水質が目標値より高いので曝気風量を上げ、後半は処理水質が回復したのを受けてその値を下げている。また処理水質の日間変動を受けた操作量の変化も見られる。

以上のごとく、ARモデル制御系は、処理水質の変動に応じて、余剰汚泥量、曝気風量の操作を決定しており、その方向は最初に予測されたものと一致する。

(2) 制御効果

次のような条件を前提として、協調的制御系とPI制御の制御効果について比較する。

- ・制御実験開始以前の各処理系の処理水質は、平均値、分散ともほぼ同じであり、処理状況に差はみられない。
- ・実験中の両処理系への流入負荷も大体同じである。

まず処理水質の分散を見ると、図2、3に示した値から、協調的制御系とPI制御系の比は、SSで0.58、UVで0.61程度であり、ARモデル制御の方が安定していると言える。

次に変動特性について考察を行うが、前述のように処理水質と制御特性に前半と後半に違いが見られたので、ここでは期間を分けて比較することにする。図5に処理水質のパワースペクトルを示す。

① 全期間の変動特性

処理水SS、処理水UVとも全周波数帯にわたって協調的制御系のパワーは小さくなっていて、その変動が抑えられているのがわかる。特に24時間周期(0.41h)付近の変動を抑える効果が

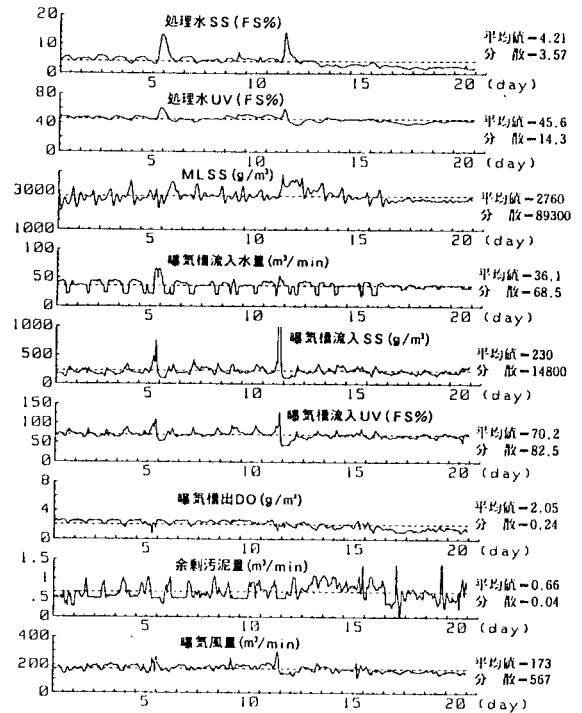


図2 協調的制御時の計測データの経時変化

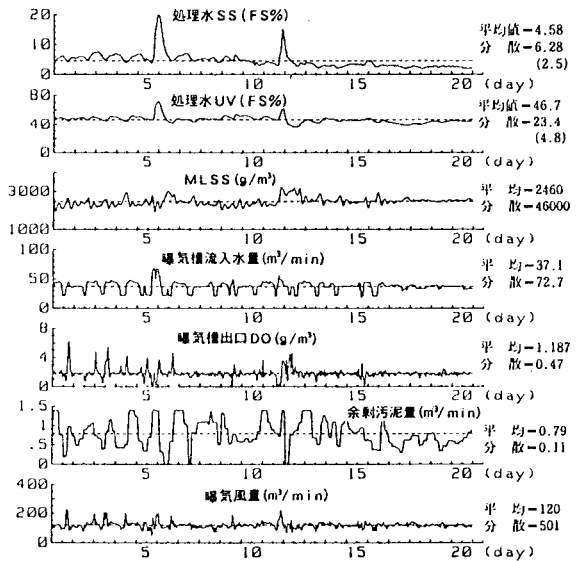


図3 PI制御時の計測データの経時変化

大きいようである。

② 処理水質の悪い時(実験前半)の変動特性
全期間の場合と同じく、協調的制御系の変動は全周波数帯において、小さくなっている。ここでは、特に低周波領域でARモデルの制御効果が顕著である。

③ 処理水質の良い時(実験後半)の変動特性
処理水質そのものの変動が小さく、ARモデルの制御効果として特に認められるものはない。図5においては、パワーの差が見られるが、その値からして注目すべきほどのものではない。

④ 流入負荷が急増時の変動特性
図2からわかるように、今回の実験中には負荷の急増は2回起きているが、その両者とも協調的制御系下の処理水SS、UVの方が低くなっている。実験開始時から処理水質が目標値より高くなっていたので、ARモデル制御から余剰汚泥量を下げような操作がなされ、MLSSが高くなっていた。その結果、負荷の急増に対し、プロセスの吸収力が大きくなっていったものと考えられる。以上の結果を総合して、ARモデル制御は処理水質の変動を抑える効果があると考える。

5. まとめ

実処理場において、ARモデルを用いて活性汚泥プロセスの処理水質に関する制御実験を行った。その結果、ARモデル制御系とPI制御系で構成される協調的制御系は処理水質の変動を抑えるのに有効であるということが明らかにされた。

周知のように活性汚泥プロセスは季節の変化によって大きな影響を受けるが、これは、モデル構造の変化に関係した問題である。今後は、長期の実験を行い、この点について検討を進める予定である。

参考文献

- 1) 赤池弘次, 中川東一郎, 『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)
- 2) M.HIROKA, et al, "Stastical analysis of activated sludge process dynamics in a combined wastewater treatment plant", Instrumentation and Control for Water and Wastewater Treatment and Systems, Pergamon Press (1985)
- 3) 平岡, 津村ほか, "自己帰帰モデルによる活性汚泥プロセスのシステム同定と制御", 安川電機. Vol151, No. 195 (1987)
- 4) 平岡, 津村ほか, "自己帰帰モデルによる活性汚泥プロセスのシステム同定", 水システム自動計測ワークショップ 論文集 (1989)

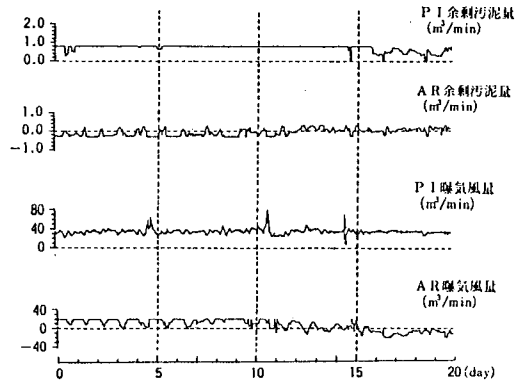


図4 操作指令値の経時変化

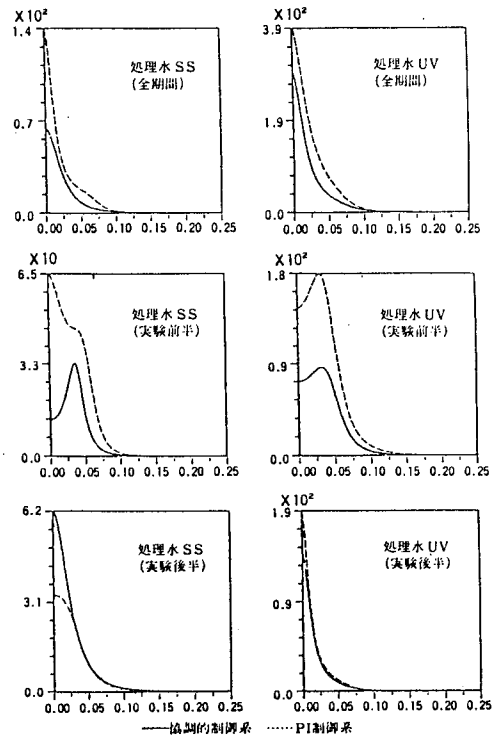


図5 処理水質のパワースペクトル