

嫌気-好気活性汚泥プロセス最適化のための知的監視制御システム

古川誠司*、廣辻淳二*
時盛孝一**

* 三菱電機(株) 先端技術総合研究所
尼崎市塚口本町8-1-1

** 三菱電機(株) 制御製作所
神戸市兵庫区和田岬町1-1-2

概要

嫌気-好気活性汚泥プロセスの制御設定値を最適化する、新しい知的監視制御システムを開発した。IAWQモデルにより制御特性を解析し、非定常状態では過去の設定値を考慮しながら逐次新しい制御目標値を決める必要があることをつきとめた。そこで、いわゆる設定値計画と非定常状態における制御目標値の調整とを分担した2つのコントローラからなるシステムを構築した。Slow Time-Scale Controllerは比較的長い周期で制御設定値を計画する。すなわち定常状態における制御目標値を算出する。Fast Time-Scale Controllerは、負荷変動や過去の設定値を考慮しながら制御目標値を調整する。対象とするのは溶存酸素濃度などの応答の速い制御変数である。シミュレーションによる制御実験では、処理水リン濃度を安定に制御できた。

キーワード

嫌気-好気活性汚泥法、制御、リン、シミュレーション

1 はじめに

嫌気-好気活性汚泥プロセス(以下AOプロセス)は生物学的リン除去が可能である。既存の曝気槽を嫌気槽・好気槽に分割することにより比較的容易に導入できるため、全国に普及しつつある¹⁾。

リン除去の原理は、嫌気・好気の繰返しによる活性汚泥への過剰摂取現象である。嫌気・好気のバランスが支配的要因となるため、溶存酸素濃度などの制御設定値の可否が極めて重要である。いくつかの流入条件および制御設定値での処理状況をシミュレーションすることにより、AOプロセスの制御特性を解析した。また、その結果から、制御設定値を最適化するための新しい知的監視制御システムを考案した。

2 AOプロセスの制御特性解析

2.1 定常状態での制御特性

(1) 検討方法

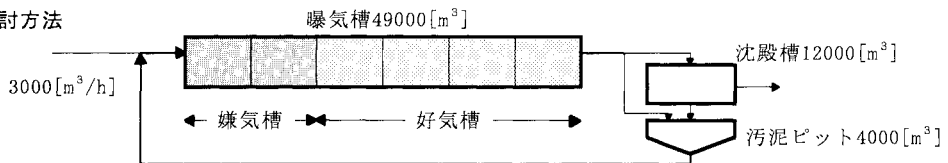


図1 仮定した処理フローと諸元

MLSS濃度を1000~2000[mg/L]、返送比を0.2~0.4、好気槽出口の溶存酸素濃度(以下DO濃度)を0.5~4[mg/L]の範囲で設定し、定常に達したときの処理水質をIAWQモデルNo.2²⁾を用いてシミュレーションした。処理フローと諸元は図1のように仮定した。流入下水の組成は、COD 260[g/m³]、アンモニア態窒素16[g/m³]、リン酸態リン3.6[g/m³]とした。

(2) 結果および考察

図2、3にシミュレーション結果を示す。MLSS=1000[mg/L]のとき(図2)リン濃度はほとんどのケースで1[mg/L]を下回った。DO濃度が低いとリン濃度は若干上昇したが、返送比を上げることにより抑制できた。嫌気的な返送汚泥がリンの吐出を促進した結果、その後の好氣的吸着量が増加したものと考えられる。一方、処理水窒素濃度は、硝化がほとんど起こらなかったため低減しなかった。

MLSS=2000[mg/L]のとき(図3)リン濃度はMLSS=1000[mg/L]のときに比べて上昇した。ASRTが約10日となって硝化が起り、生成した硝酸態窒素が嫌気槽でのリンの吐出を妨害したと考えられる。返送比については、硝酸態窒素の返送による嫌気度の低下とその他の基質の返送による嫌気度上昇とが拮抗した結果、大きい方が若干良好な水質が得られた。DO濃度の設定値による差異は小さかった。一方、処理水窒素濃度は、DO濃度が1[mg/L]以上の範囲でMLSS=1000[mg/L]のときよりも常に良好となった。

以上より、DO濃度、MLSS濃度などの設定値が処理水質に複雑に影響することがわかった。特に、硝化を起こすか否かで特性が大きく異なり、適切な設定値の組み合わせも変わることが示唆された。

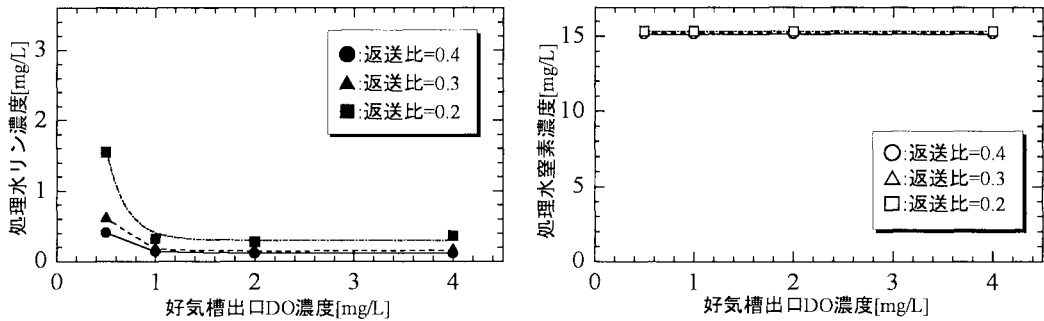


図2 制御設定値と処理水リン濃度および窒素濃度との関係 (MLSS=1000[mg/L])

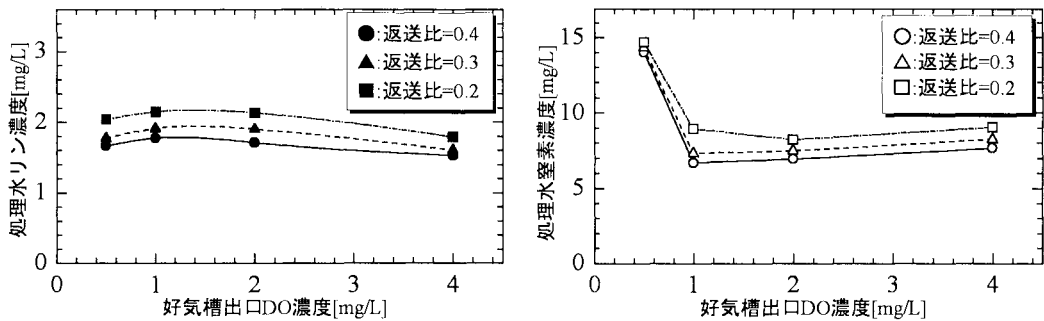


図3 制御設定値と処理水リン濃度および窒素濃度との関係 (MLSS=2000[mg/L])

2. 2 非定常状態での制御特性

(1) 検討方法

非定常状態の制御特性として、定常状態のプラントに雨水が流入したときの処理状況をシミュレーションした。雨水の流入は6時間とした。この間、流入流量は倍増し、各基質濃度は1/2に希釈されるものとした。また、流入水には1[mg/L]の酸素が溶存するものとした。

(2) 結果および考察

図4(1)(2)にシミュレーション結果の一例を示す。(1)はMLSS=1500[mg/L]、返送比0.4、DO濃度2[mg/L]の定常状態へ雨水が流入した場合の処理水リン濃度の経時変化である。雨水流入時も同じ制御設定値で運転するとDOが嫌気槽でのリンの吐出を妨害し、処理水リン濃度が一時的に上昇した。これに対し、返送比を0.2に、DO濃度を4[mg/L]に変更するとリン濃度の上昇は抑制された。好気槽での吸着量の増大と沈殿汚泥の濃縮がリン濃度抑制に寄与したと考える。

一方、(2)は返送比0.4、DO濃度0.5[mg/L]の定常状態へ同じ雨水が流入した場合のシミュレーション結果である。(1)と同様、制御設定値を変更しないとリン濃度が上昇した。このとき、リン濃度の上昇を抑えるためには、返送比を0.3、DO濃度を3[mg/L]と先とは異なる設定値に変更する必要がある。

DOを含む雨水が流入したとき、逆にDO濃度を高めた方が処理水リン濃度を抑えられること、また新たに設定すべき制御目標値はそれまでの設定値により異なることなど、興味深い制御特性が示唆された。

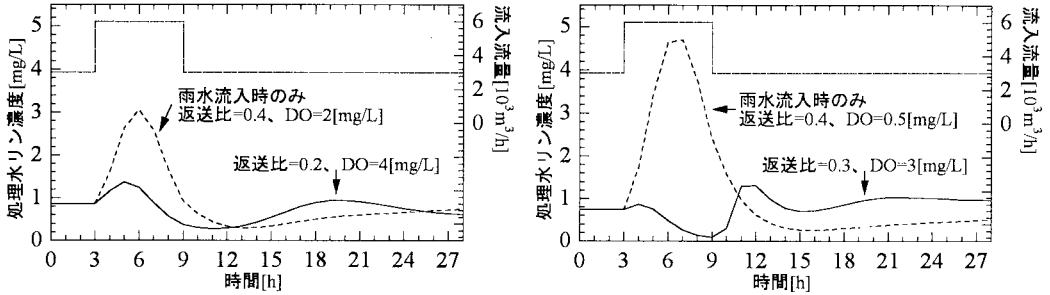


図4 雨水流入時の処理水リン濃度の経時変化

3 知的監視制御システム

3.1 知的監視制御システムの枠組み

AOプロセスの制御設定値は処理水質に複雑に影響すること、また非定常状態では過去の設定値を考慮しながら逐次新しい制御目標値を決める必要があることなどがわかった。そこで、いわゆる設定値計画と非定常状態における制御目標値の調整とを分け、前者を比較的長い周期で、後者を短い周期で行う監視制御システムを考案した。図5に概要を示す。これは自律型飛翔体の誘導制御システム³⁾を参考にしたもので、2つのタイムスケールのコントローラで構成する。

Slow Time-Scale Controllerは処理水質 (x) を監視しながら制御設定値を計画する。すなわち、水温、流入負荷などの条件 (T) と処理水質の目標値 (x_c) から制御目標値 (u) を求める。MLSS濃度のように応答の遅い制御変数に対しては目標値そのものが、返送比、DO濃度のように応答の速い制御変数に対しては定常状態での目標値が与えられる。

Fast Time-Scale Controllerは、返送比、DO濃度のような速い制御変数を調整する。水温、流入負荷などが変動したとき、それまでの設定値 (u) や処理水質 (x) を考慮した上で適切な操作量 (Δu) を求める。

上のシミュレーション結果からもわかるように、制御変数 u 、被制御変数 x 、パラメータ T の相互の因果関係は複雑であり、動力学モデルを用いた制御演算は多大な計算量を要する。よって、各コントローラはニューラルネットワークなどのインテリジェントモデルで構成し、これを適宜学習させるような手法が有望と考える。

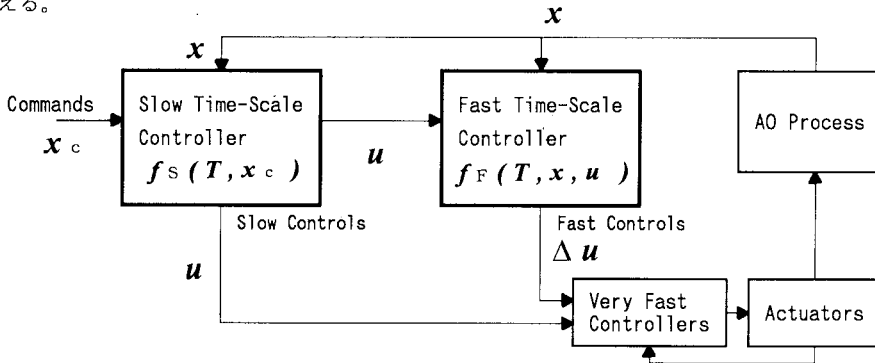


図5 AOプロセスの知的監視制御システム

3. 2 シミュレーションによる制御実験

(1) 実験方法

新しい知的監視制御システムの効果を確認するために、シミュレーションによる実験を行った。短周期の負荷変動に対する応答を、簡単なニューラルネットワークを用いた場合と比較した。

実験系では、返送比を制御変数 u 、処理水リン濃度を被制御変数 x 、流入下水の流量および濃度をパラメータ T とし、 T 、 u および x を用いて新しい u を決定した。すなわち

$$\Delta u = f_1(T, x, u) \quad (1)$$

一方、対照系では T のみを入力項目とした。

$$\Delta u = f_2(T) \quad (2)$$

f_1 、 f_2 はニューラルネットワークによる写像である。

図5に示すように、流入下水の流量および濃度は3時間ごとにステップ状に変化させた。制御周期も3時間とした。1周期ごとに各コントローラの制御設定値と他のいくつかの設定値のシミュレーション結果を比較し、後者の方が良好な処理水質が得られたときはこれを教師データとして学習させた。

(2) 結果および考察

図6に返送比および処理水リン濃度の経時変化を示す。実験系、対照系ともに高負荷時にリン濃度が上昇した。このとき両系のコントローラは、返送比を下げるにより沈殿槽の汚泥を濃縮しリン濃度のピークを抑えようとしたが、実験系の方がより効果を発揮した。特に時間の経過とともに実験系のピークが低減したことから、その良好な学習効果を確認できた。過去の設定値を用いて制御変数を調整する Fast Time-Scale Controller の有効性を示せたと考える。

4 まとめ

IAWQモデルによるシミュレーションを行い、AOプロセスの制御特性を解析した。また、その結果から、制御設定値を最適化するための新しい知的監視制御システムを考案した。以下に結果をまとめる。

- (1) 定常状態の制御特性を解析した結果、制御設定値は処理水質に複雑に影響し、特に硝化を起すか否かで最適な設定値の組み合わせが大きく異なることがわかった。
- (2) 非定常状態の制御特性として、雨水が流入したときの処理状況をシミュレーションした。その結果、逆に DO 濃度を高めた方が処理水リン濃度を抑えられること、また返送比、DO 濃度の新しい目標値は、それまでの設定値を考慮しながら逐次決める必要のあることなどが示唆された。
- (3) このような特性に適した制御を実現するために、設定値計画と非定常状態における制御目標値の調整とを分担した2つのタイムスケールのコントローラからなる知的監視制御システムを考案した。
- (4) シミュレーションによる制御実験では、処理水リン濃度を安定に制御できた。

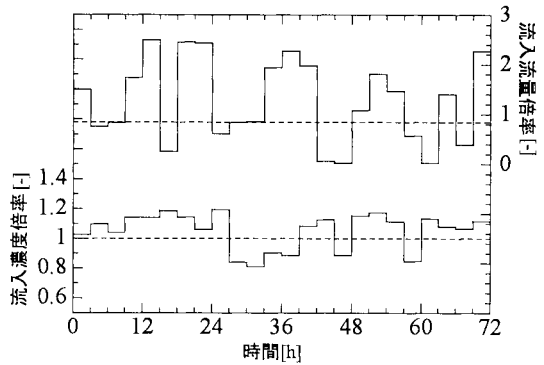


図5 流入下水の流量および濃度の変動パターン

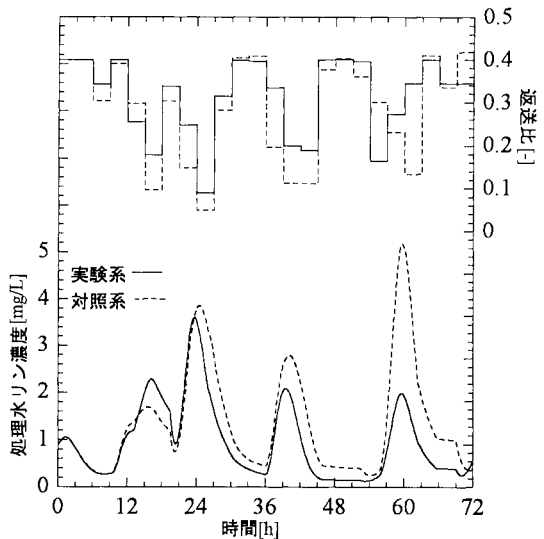


図6 返送比および処理水リン濃度の経時変化