

自動水質モニタを用いた嫌気好気活性汚泥法のための制御手法

高須 弘* 松田 初弘*

時盛 孝一** 長田 俊二** 古川 誠司*** 廣辻 淳二***

* 東京都下水道局施設管理部施設管理課水質調査係
東京都新宿区西新宿 2-8-1

** 三菱電機(株)電力産業システム事業所
神戸市兵庫区和田崎町 1-1-2

*** 三菱電機(株)先端技術総合研究所
兵庫県尼崎市塚口本町 8-1-1

概要

閉鎖性水域における富栄養化防止の観点から、窒素・リンの排出規制が強化されつつある。この動きに対応するべく、生物学的窒素・リン除去プロセスの導入が進められているが、こういったプロセスの適切な運転のために、筆者らは曝気槽内のアンモニア性窒素($\text{NH}_4^+\text{-N}$)・りん酸性りん($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)の濃度をオンラインで測定する計測機器を用いた硝化制御・りん吐出制御システムについて、シミュレーションによる検討を行った。

その結果、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ モニタを用いた硝化制御では、好気槽末端 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度を 0 近傍に制御することで常に硝化が達成できる、曝気風量を節約することができる、処理水全窒素濃度をより小さくすることができる、といった効果を確認した。また $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ モニタを用いたりん吐出制御では、嫌気槽末端 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 濃度を一定に制御することで常に嫌気槽でのりん吐出量を高く維持することができる、処理水全りん濃度ならびにその変動をより小さくすることができる、といったことがわかった。

キーワード

嫌気好気活性汚泥法、自動水質モニタ、自動制御

1. はじめに

閉鎖性水域における富栄養化防止の観点から、窒素・リンの排出規制が強化されつつある。この動きに対応するべく、生物学的窒素・リン除去プロセスの導入が進められているが、これらのプロセスは、通常は嫌気もしくは好気という異なる環境下で誘導される微生物の機能を利用するものであり、現在のところ、その適切な運用には高度な専門知識やノウハウを必要としている。したがって、こういったプロセスの適切な運転のためには、簡素化あるいは一部自動化を可能とする水質制御技術が必要となる。

筆者らは、近年実用化され始めている、曝気槽内のアンモニア性窒素($\text{NH}_4^+\text{-N}$)・りん酸性りん($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)の濃度をオンラインで測定する計測機器に注目し、これを用いた硝化制御・りん吐出制御システムについて検討している。今回、**IAWQ**モデルを用いたシミュレーションにより、**AO**法における硝化制御・りん吐出制御の検討を行ったので、その結果を報告する。

2. NH_4 モニタを用いた硝化制御システム検討

2.1 システム構成

好気槽における $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度を計測し、その値により好気槽の風量制御を行うシステムでの制御について検討した。処理フロー及び制御系の構成を図 1 に示す。好気槽末端部で $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度を計測し、その値がほぼ 0 近傍になるように、曝気風量を調節する。

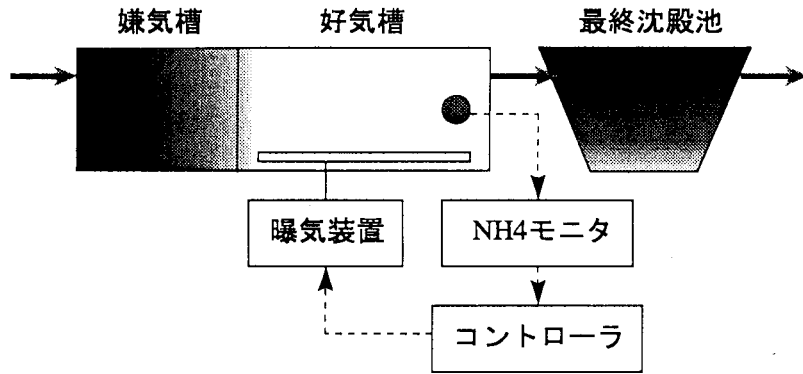


図1 硝化制御システム構成

2.2 検討方法と項目

シミュレーションには、IAWQ 活性汚泥モデル NO.2 を用いた。運転条件は表 1 の通りである。更に流入量と $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度には図 2 に示すような変動を与えた。

表 1 シミュレーション条件

流入条件	流量 500[m ³ /h]、BOD 濃度 80[mg/L] T-N 濃度 20[mg/L]、T-P 濃度 2[mg/L]
曝気槽	嫌気槽 2000m ³ 好気槽 6000m ³
最終沈殿池	4000[m ³]
MLSS 濃度	1000[mg/L]
返送率	100[%]
水温	20[°C]
曝気風量	1000Nm ³ /h~8000Nm ³ /h
曝気風量変更間隔	30 分(計測機器の測定間隔と同じ)
$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 設定値	0.15[mg/L] or 0.5[mg/L]

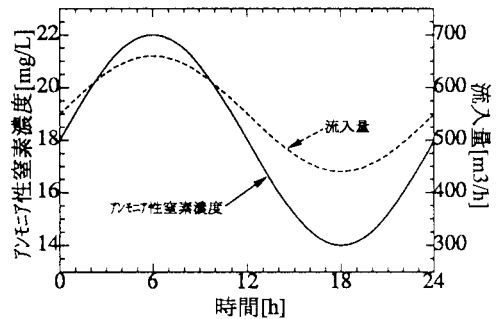


図2 シミュレーションに与えた流入下水の変動

検討項目については、以下の通りである。

1)硝化制御の可能性検討

硝化制御による曝気風量の調節で $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度の制御が可能か否かを検討した。

2)制御効果について

硝化制御を行うことによる、曝気風量や処理水全窒素(T-N)濃度に対する効果を確認した。

2.3 結果および考察

(1)好気槽末端 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度

図 3 に計算機シミュレーションより制御を行ったときの好気槽末端 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度の変動を示す。制御を行った場合、設定した目標値 0.15mg/L、0.5mg/L にほぼ追従させることができた。

比較のため、曝気風量を 2,200Nm³/h、4,400Nm³/h に固定してシミュレーションを行った。図 4 に制御を行っていないときの好気槽末端 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度の変動を示す。4,400Nm³/h の場合はほとんど $\text{NH}_4^+\text{-N}$ が残存しなかった。一方 2,200Nm³/h の場合は $\text{NH}_4^+\text{-N}$ がわずかながら残存し、0.1~0.5mg/L の間で変動した。

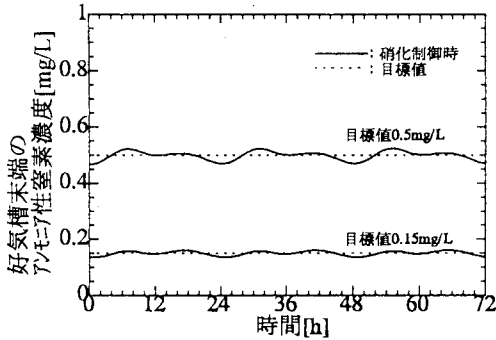


図3 好気槽末端の $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度の変動 (硝化制御あり)

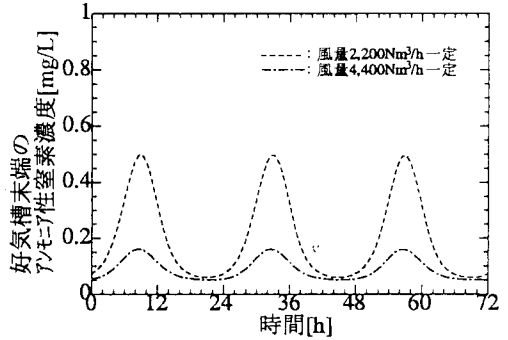


図4 好気槽末端の $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度の変動 (硝化制御なし)

(2)曝気風量

図5、図6に計算機シミュレーションにより制御を行ったときの曝気風量の変動を示す。制御を行ったときの平均風量は目標値 0.15mg/L の場合で $2,361\text{Nm}^3/\text{h}$ 、目標値 0.5mg/L の場合で $1,606\text{Nm}^3/\text{h}$ であり、それぞれ同じ程度まで $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度を低減できる風量 $4,400\text{Nm}^3/\text{h}$ 一定、風量 $2,200\text{Nm}^3/\text{h}$ 一定の場合と比べて、はるかに少ない風量で硝化を達成できた。

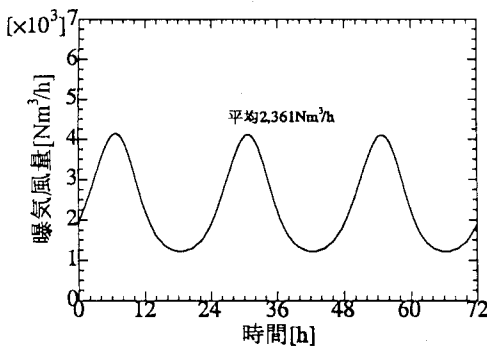


図5 硝化制御時の風量の変動 (目標値 0.15mg/L)

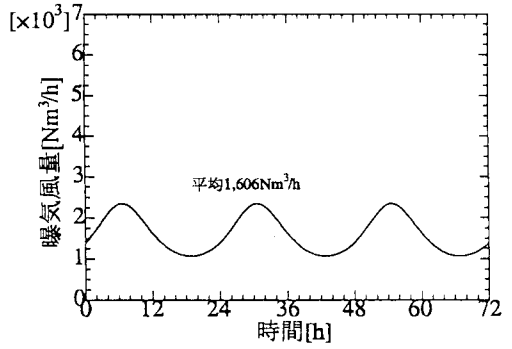


図6 硝化制御時の風量の変動 (目標値 0.5mg/L)

また図5、図6にDO制御を適用した場合の結果を示す。好気槽末端のDO濃度を 6.5mg/L とすることにより目標値 0.15mg/L の硝化制御の $\text{NH}_4^+\text{-N}$ にまで、また好気槽末端のDO濃度を 3.0mg/L とすることにより目標値 0.5mg/L の硝化制御の $\text{NH}_4^+\text{-N}$ にまでを低減できた。このときの曝気風量の平均値は、DO目標値 6.5mg/L 場合で $3,099\text{Nm}^3/\text{h}$ 、DO目標値 3.0mg/L 場合で $1,775\text{Nm}^3/\text{h}$ であり、やはり硝化制御を適用するほうがDO目標値 6.5mg/L 場合で約25%、DO目標値 3.0mg/L 場合で約10%少ない風量ですむことがわかった。これは負荷の変動に応じて曝気風量を制御することで、硝化にとって過不足のない曝気風量となるためと考えられる。これによりプラント運転に必要なエネルギーの大半を占めると思われる曝気エネルギーが節約できる。

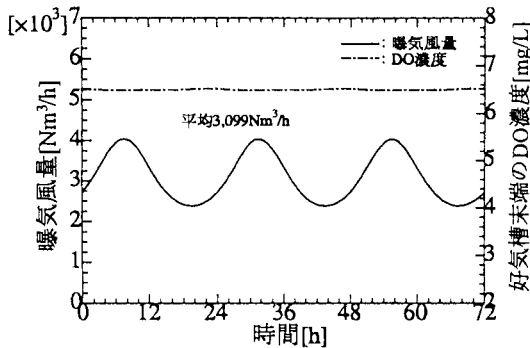


図7 DO制御時の風量とDO濃度
(目標値 6.5mg/L)

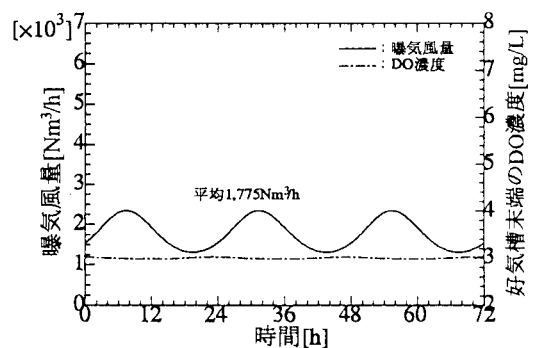


図8 DO制御時の風量とDO濃度
(目標値 3.0mg/L)

なお、硝化制御を行った際、0.15mg/Lと0.5mg/Lの2通りの目標値で検討したが、目標値を0.15mg/Lとするほうが完全硝化を確実に実施できる一方でその分曝気風量が大きくなる。目標値を0.5mg/Lとすれば、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ が若干残存する可能性はあるが、曝気風量は小さくすむ。したがって、目標値設定の際には、硝化の達成度と必要曝気風量の両方を検討した上で、決定する必要がある。

(3)処理水 T-N 濃度

表2に硝化制御を適用した場合、DO制御を適用した場合、風量を2,200Nm³/h、4,400Nm³/hに固定した場合の処理水全窒素濃度を示す。差はわずかであるが硝化制御を適用した場合が最も全窒素濃度を低く抑えることができた。これは硝化制御により過不足のない曝気風量となるため、返送による溶存酸素、酸化態窒素の嫌気槽への戻りが低く抑えられ、嫌気槽の嫌気度が十分保たれることで、脱窒量が維持されることによるものと考えられる。

表2 処理水全窒素濃度の平均値

制御方法	処理水全窒素濃度平均値 (目標値 0.15mg/L)	処理水全窒素濃度平均値 (目標値 0.5mg/L)
硝化制御	8.28mg/L	7.83mg/L
DO制御	8.69mg/L	8.06mg/L
風量 2,200Nm ³ /h 一定	8.35mg/L	
風量 4,400Nm ³ /h 一定	8.99mg/L	

3. PO₄ モニタを用いたりん吐出制御システム検討

3.1 システム構成

嫌気槽における PO₄³⁻-P 濃度を計測し、その値により返送量制御を行うシステムでの制御について検討した。処理フロー及び制御系の構成を図9に示す。好気槽末端部で PO₄³⁻-P 濃度を計測し、その値が一定になるように、曝気風量を調節する。

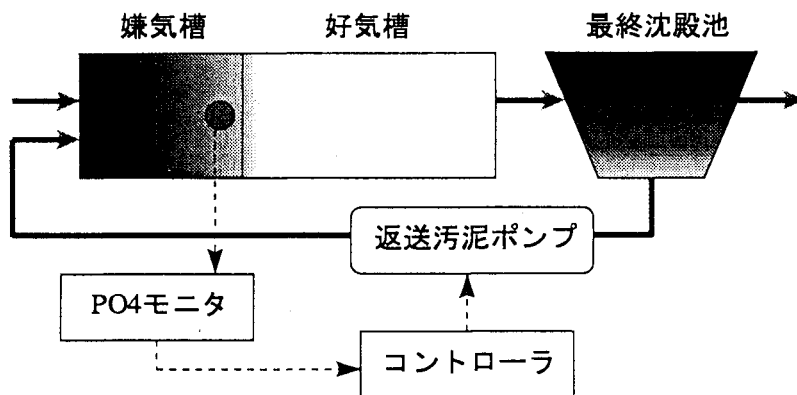


図9 リン吐出制御システム構成

3.2 検討方法と項目

シミュレーションには、LAWQ 活性汚泥モデル NO.2¹⁾を用いた。また曝気風量を 4,400Nm³/h 一定、返送率の変更範囲を 20~100%とし、その他の項目については表1と同じとした。また流入量と PO₄³-P 濃度には図10に示すような変動を与えた。

検討項目については、以下の通りである。

1)リン吐出制御の可能性検討

リン吐出制御による返送率の調節で PO₄³-P 濃度の制御が可能か否かを検討した。

2)制御効果について

リン吐出制御を行うことによる、処理水全りん(T-P)濃度に対する効果を確認した。

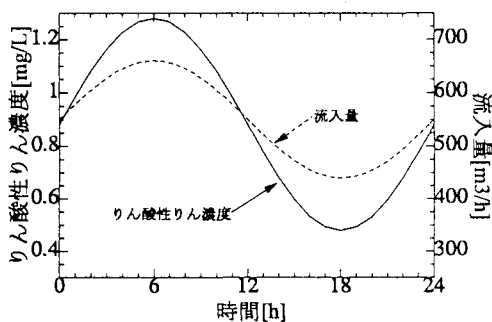


図10 シミュレーションに与えた流入下水の変動

3.3 結果および考察

(1)嫌気槽末端 PO₄³-P 濃度

図11に計算機シミュレーションよりリン吐出制御を行ったときの嫌気槽末端 PO₄³-P 濃度の変動を示す。制御を行った場合、設定した目標値 6.0mg/L にほぼ追従させることができた。

比較のため、返送率を 60%に固定してシミュレーションを行った。この場合は PO₄³-P が 5~8mg/L の範囲で変動した。

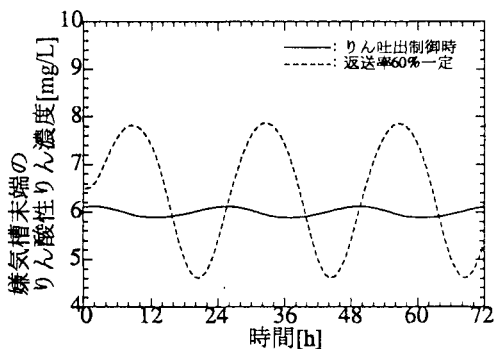


図11 嫌気槽末端の PO₄³-P 濃度の変動 (制御ありとなし)

(2)処理水 T-P 濃度

図 12 にりん吐出制御を適用した場合と返送率を 60%、100%に固定した場合の処理水全りん濃度を示す。りん吐出制御を適用した場合は、返送率を 60%に固定した場合に比べて処理水全りん濃度の変動を抑えることができた。また返送率を 100%に固定した場合に比べて処理水全りん濃度を低く抑えることができた。これはりん吐出制御により、嫌気槽でのりんの吐出量が安定的に高く維持されることによるものと考えられる。

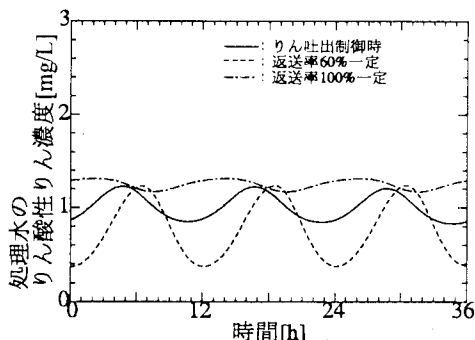


図 12 放流 T-P 濃度の変動(制御ありとなし)

4. おわりに

自動水質モニタを用いた嫌気好気活性汚泥法のための制御手法を明らかにするため、その有効性及び処理特性を計算機シミュレーションにより検討した。得られた知見を以下にまとめる。

【硝化制御】

- (1)流入量、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度の変動に対しても、好気槽末端 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度を 0 近傍に制御することで、常に硝化が達成でき、アンモニアを処理系外へ流出することがない。
- (2)流入負荷の変動に応じて、硝化にとって過不足のない空気が供給され、曝気風量を節約することができる。
- (3)処理水全窒素濃度をより小さくすることができる。これは、制御により過不足のない曝気風量となり、その結果嫌気槽の嫌気度が損なわれないことで脱窒量が維持されることによるものと考えられる。

【りん吐出制御】

- (1)流入量、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 濃度の変動に対しても、嫌気槽末端 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 濃度を一定に制御することで、常に嫌気槽でのりん吐出量を高く維持することができる。
- (2)処理水全りん濃度ならびにその変動をより小さくすることができる。これは、制御により常に嫌気槽でのりん吐出量を高く維持することによるものと考えられる。

上記のように、好気槽末端部で $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度を計測し、曝気風量を制御する手法は、窒素除去に対して有効であることが、また嫌気槽末端部で $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 濃度を計測し、返送量を制御する手法は、りん除去に対して有効であることが確認できた。

硝化制御、りん吐出制御以外にも、自動水質モニタを用いたシステムが考えられる。例えば図 13 に示すように、嫌気槽や処理水の $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ を計測し、その値に応じて酢酸や凝集剤を添加することでりんを除去することができる。今後も自動水質モニタを有効に適用した窒素除去、りん除去のシステムについて検討、確立を目指して行く。

なお本報告は、東京都下水道局の委託調査²⁾の一環であり、データ収集等でご協力頂きました東京都下水道局中野処理場に感謝の意を表します。

参考文献 1) Water Sci Technol,31,2,1-11(1995) 2)中野処理場における嫌気好気法処理特性調査(1998)

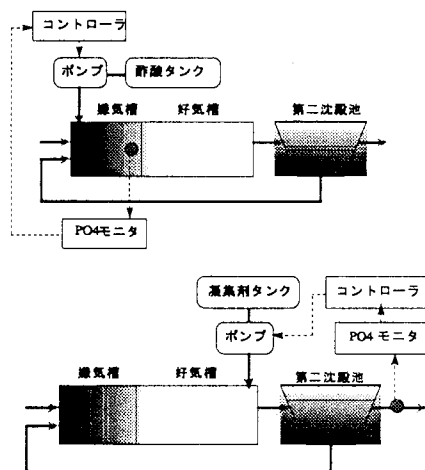


図 13 薬剤添加制御システム