

回分式間欠曝気活性汚泥プロセスの 好気／嫌気時間制御

古川誠司、廣辻淳二

三菱電機（株） 中央研究所
〒661 兵庫県尼崎市塚口本町8-1-1

概要

回分式間欠曝気活性汚泥プロセスにおいて窒素を良好に除去するための条件を、動力学モデルに基づく計算機シミュレーションによって検討した結果、「好気時間および嫌気時間は、少しずつ増減させながら比較的短時間で切替えるのがよい」という知見が得られた。このような運転を、槽内の窒素濃度を計測することなく近似的に実現することをねらって、「硝化速度積分方式」による好気／嫌気時間の制御法を開発した。硝化速度積分方式とは、DOの積分値を硝化量に換算して槽内の窒素濃度をコントロールするものである。本方式の有効性を室内実験において検討した結果、窒素除去率を向上できることが分かり、本制御方式の効果を実証することができた。

キーワード

小規模処理場、高度処理、回分式活性汚泥法、間欠曝気、好気時間、嫌気時間、硝化、脱窒

1. はじめに

閉鎖水域における富栄養化問題が深刻化するなかで、「第7次下水道整備五箇年計画」では中小市町村の下水道整備が最重点項目に指定されるにいたり、今後、高度処理をねらいとした小規模処理場運転支援システムに対する期待がますます高まっていくものと思われる。筆者らは、システムを処理方式ごとにモジュール化し、運転管理手法および制御方策の検討を行っている。

回分式活性汚泥プロセスは小規模下水処理場の代表的な処理方式であるが、多くの施設では負荷に対してオーバースペックになっており、曝気が間欠運転で行われている。間欠曝気法は、曝気のon/offを適切に設定してやれば、硝化反応および脱窒反応を時間的にコントロールすることができ、窒素除去率を飛躍的に向上させることが可能である。本報では、窒素除去のための最適な好気時間および嫌気時間に関し、動力学モデルを用いた計算機シミュレーションにより検討した結果と、これを踏まえて開発した「硝化速度積分方式」、ならびに本制御方式による好気／嫌気時間制御の実証実験結果を報告する。

2. 計算機シミュレーション

流入負荷を図1のように設定して、動力学モデルにより窒素濃度およびDO濃度のトレンドを計算した¹⁾。

図2~図4は、それぞれ50分、60分で好気、嫌気を繰り返した場合、 $\text{NH}_4^+-\text{N}=0[\text{mg}/\text{l}]$ 、 $\text{NO}_3^--\text{N}=0[\text{mg}/\text{l}]$ で好気、嫌気を切り替えた場合、 $\text{NH}_4^+-\text{N}=1[\text{mg}/\text{l}]$ 、 $\text{NO}_3^--\text{N}=1[\text{mg}/\text{l}]$ で好気、嫌気を切り替えた場合のシミュレーション結果である。

図2に注目すると、流入負荷は一定であるにも関わらず、各回の好気もしくは嫌気工程終了時に得られる水質が異なっている。すなわち、間欠曝気工程において、 NO_3^--N 濃度のレベルは上昇する傾向にあり、 NH_4^+-N 濃度のレベルは下降する傾向にある。これは、間欠曝気工程中は処理水の排出がなく負荷の流入が続くことや、硝化速度と脱窒速度とのバランス等に依存する現象である。回分処理のサイクル数[回/日]を一日の途中で変更するようなより柔軟な運転を可能とするためには、工程の最後で必ず目標水質が保証されることが望ましく、流入負荷が定常である場合も、あるパターンをもって好気時間および嫌気時間を変化させていく必要がある。実際、図4に注目すると、嫌気時間はだんだん長くなっている。好気時間については、水位の上昇が酸素移動効率に対し有利に作用して硝化速度に影響を与えるため、増減の比率を定量化することは難しい。

また、図3に注目すると、好気時間、嫌気時間も長時間継続している。図中↑印のように槽容量の制約から嫌気で間欠曝気工程を終了せざるを得なくなった場合、嫌気時間中にたまった NH_4^+-N を全て排出工程に持込むことになり、図4よりも処理水質が悪くなっている。他の条件でシミュレーションした結果からも、硝化・脱窒が完了するまで好気時間もしく

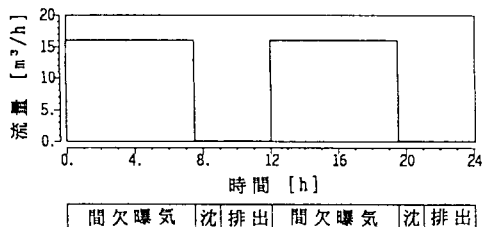


図1 流入負荷パターン（流入基質濃度 150 [mg/l]、流入 NH_4^+-N 濃度 30[mg/l]）

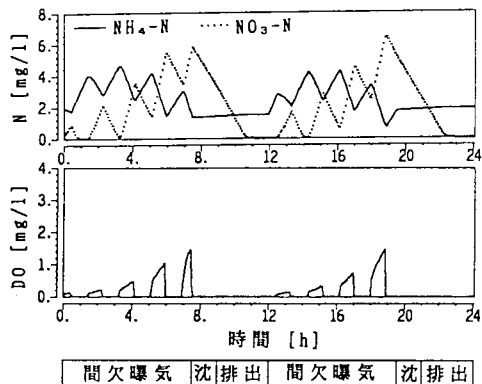


図2 50分、60分で好気・嫌気を繰り返した場合の計算結果

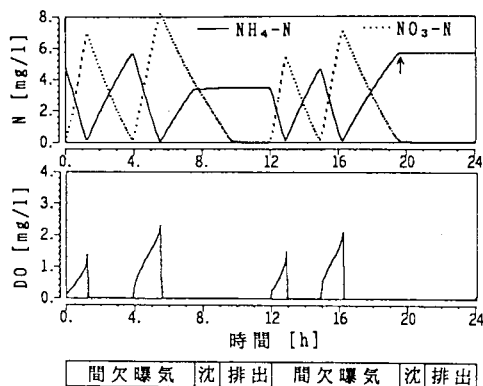


図3 $\text{NH}_4^+-\text{N}=0[\text{mg}/\text{l}]$ 、 $\text{NO}_3^--\text{N}=0[\text{mg}/\text{l}]$ で好気・嫌気を繰り返した場合の計算結果

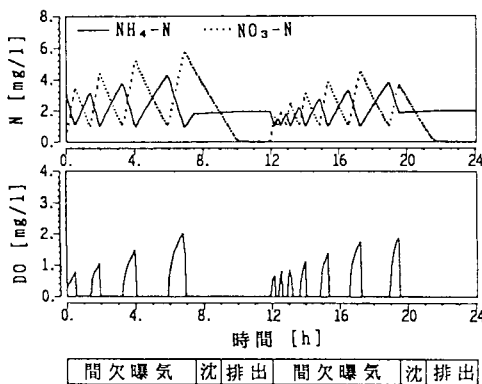


図4 $\text{NH}_4^+-\text{N}=1[\text{mg}/\text{l}]$ 、 $\text{NO}_3^--\text{N}=1[\text{mg}/\text{l}]$ で好気・嫌気を繰り返した場合の計算結果

は嫌気時間を継続させるよりも、比較的短時間で好気・嫌気を切替えて”適度に”硝化・脱窒させた方が窒素除去率が向上させる上では有利である、という知見が得られた。

3. 硝化速度積分方式

前項で指摘したような「好気時間および嫌気時間を少しずつ変化させつつ比較的短時間で切替える」運転を、槽内の窒素濃度を計測することなく近似的に実現するために、硝化速度がDOの影響を強く受けることに着目して考案したのが、硝化速度積分方式である。すなわち、この方式ではDOを硝化速度に読替え積分してNH₄⁺-N除去量を計算し、槽内のNH₄⁺-N濃度が所定の値となったところで曝気を停止する。また、NH₄⁺-N除去量はNO₃⁻-N生成量でもあるので、これに対応する嫌気時間を確保する。

本制御方式の回路構成図の一例を図5に示す。この例では、DO計、流量計、水位計をセンサとして使用している。演算器1には流入NH₄⁺-N濃度の平均的な値が設定してあり、これと流入流量とを乗ずることによって刻々の流入NH₄⁺-N量(X_{i,n})を求める。積算器Aではこの値を好気時間終了時から積算し、積算値(ΣX_{i,n})を求める。演算器2には槽の底面積が設定してあり、これと水位とを乗ずることによって槽内の処理水体積(V)を求める。演算器3には硝化量演算のための係数が設定してあり、これとDOとを乗ずることによって刻々のNH₄⁺-Nの分解量すなわちNO₃⁻-N生成量(X_{r,m})を求める。積算器Bではこの値を嫌気時間終了時から積算し、積算値(ΣX_{r,m})を求める。

好気時間中は演算器4で式(1)の演算を行い、槽内のNH₄⁺-N濃度(X_{o,t})を刻々求める。

$$X_{o,t} = (X_0 + \Sigma X_{i,n} - \Sigma X_{r,m}) / V \quad (1)$$

ここで、X₀は前回の好気時間終了時に残存していたNH₄⁺-N量であり、その時の処理水体積に目標水質(X₀)を乗ずることによって求められる。比較演算器ではX_{o,t}とX₀とを比較し、X_{o,t}の方が小さければ曝気を停止し、嫌気工程となる。

嫌気時間中は演算器4で式(2)の演算を行い、槽内のNO₃⁻-N濃度(y_{o,t})を刻々求める。

$$y_{o,t} = (y_0 + \Sigma X_{r,m} - \Sigma y_{r,m}) / V \quad (2)$$

ここで、y₀は前回の嫌気時間終了時に残存していたNO₃⁻-N量であり、その時の処理水体積に目標水質(y₀)を乗ずることによって求められる。Σy_{r,m}は脱窒速度の積算値である。比較演算器ではy_{o,t}とy₀とを比較し、y_{o,t}の方が小さければ曝気を再開する。

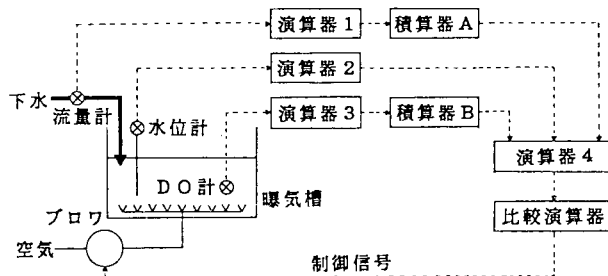


図5 回路構成例

4. 実証実験

硝化速度積分方式を適用すると、従来の固定サイクル方式に比べ窒素除去率が向上することを確認するために、実証実験を行った。

実験装置は、曝気・攪はんの起動・停止、合成下水の供給などが自動化された容積15lの小型装置であり、DO、水位などの自動計測値はパソコンで収集し、制御のための計算ができるようになっている。合成下水は肉エキスを主成分とするものを用い、NH₄⁺-N=30[mg/l]程度に調整して定量ポンプで曝気槽に連続的に注入した。なお、活性汚泥は間欠曝気運転を行っている浄化槽の活性汚泥を使用した。

1サイクルは12時間とし、間欠曝気工程(合成下水は連続流入)を510分、沈澱工程を150分、排出工

程を35分とし、残りの25分を合成下水作成工程とした。反応槽内の水量は間欠曝気工程開始時で7.36l、終了時で12.3lである。空気量は0.3~0.35[l/min]に、MLSS濃度は満水時で1500~1700[mg/l]となるように調整した。また、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 濃度はイオンクロマトグラフ法により分析した。

曝気45分・曝気停止110分の場合、曝気24分・曝気停止138分の場合、ならびに硝化速度積分方式を適用した場合の実験結果を、それぞれ図6~8に示す。

図6に注目すると、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 濃度のレベルが高く、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ は殆ど残っていない。また、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 濃度のピークが上昇し $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度のピークが下降していく現象が見られるが、これはシミュレーション結果と定性的に一致している。曝気停止後しばらく $\text{NO}_3^-\text{-N}$ が増え続けているのは、DOが残存しているためである。図7では、曝気時間を減らした分、図6に比べ $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 濃度のレベルが下がり、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度のレベルが上がっている。また、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 濃度および $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度のトレンドに関して図6と同様な傾向が出ている。図8では、流入負荷がやや高かったため、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 濃度、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度ともやや高いレベルで推移しているが、好気工程もしくは嫌気工程の終わりで目標水質（今回2[mg/l]に設定）は確保できている。最初、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度が低いのは、計算機上で $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度の初期値を2.5[mg/l]に設定していたためである。

測定終了時のT-N濃度で評価すると、図6では除去率67.6%、図7では83.1%、図8では86.0%となる。図7と図8との間であまり大きな差は出ていないが、図8の流入負荷がやや高かったことを勘案すると、硝化速度積分方式の効果は充分に実証できたと言えよう。

5. おわりに

計算機シミュレーションにより、回分式活性汚泥プロセスで窒素を良好に除去するためには、「好気時間および嫌気時間を少しずつ変化させながら比較的短時間で切替える」運転が必要であることを明らかにした。また、このような運転を実現するために開発した硝化速度積分方式による好気/嫌気時間制御の内容を紹介し、実際にこれを適用した室内実験の結果を報告した。従来の固定サイクル方式と比較して、窒素除去率が向上することが分かり、本方式の効果を実証することができた。

参考文献 1)古川等、第29回下水道発表会講演集、49 (1992)

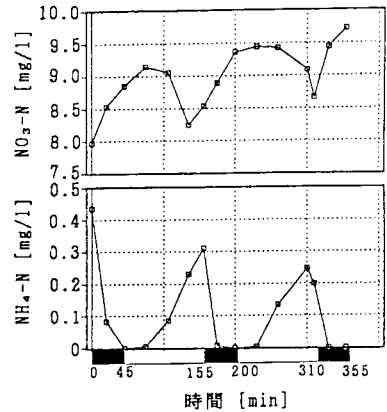


図6 曝気45分、曝気停止110分の場合の実験結果

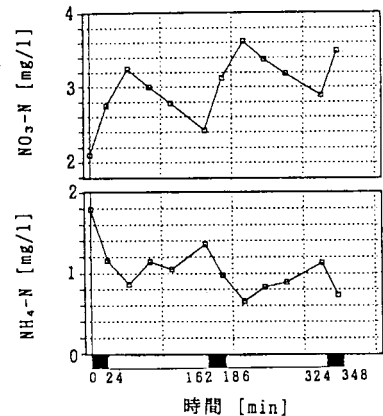


図7 曝気24分、曝気停止138分の場合の実験結果

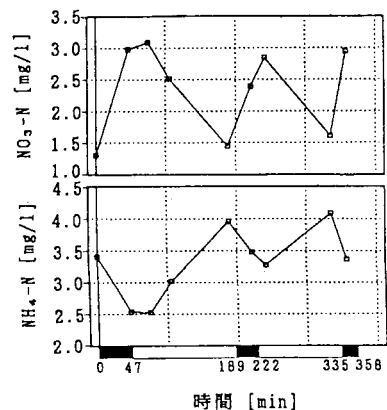


図8 硝化積分方式を適用した場合の実験結果