

回分式間欠曝気活性汚泥プロセスの曝気パターン選択支援システム

古川誠司<sup>\*</sup>、廣辻淳二<sup>\*</sup>、池田 彰<sup>\*</sup>  
嶋岡正浩<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup> 三菱電機（株）中央研究所  
尼崎市塚口本町8-1-1

<sup>\*\*</sup> 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

回分式間欠曝気活性汚泥プロセスの新しい曝気パターン選択方法として、複数の曝気パターンに対し予め順位を定めておき、硝化処理と脱窒処理とのバランスを示す管理指標に基づき、順位に従ってパターンを変更する方法を開発した。計算機シミュレーションによりDO濃度の変動と処理水の窒素濃度との関係を検討した結果、管理指標としては間欠曝気工程中の好気時間帯（DOの存在する時間帯）と嫌気時間帯（DOの消失している時間帯）の時間比が有効であること、曝気パターンは繰り返し回数が多い方が効率的であり、全曝気時間の長短により順位付けられることがわかった。時間比の制御目標値を1として行った負荷変動シミュレーションでは、曝気パターンが適切に変更され安定かつ良好な窒素除去率が得られた。

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、硝化、脱窒

1. はじめに

下水道普及率を向上するために、小都市域を中心とする小規模下水処理施設の整備が進められている。回分式活性汚泥プロセスは省スペースに利点があり、平地の少ない山間部などを中心に増えることが予想される。一方、河川や湖沼の富栄養化は依然として進行しており、小規模施設においても窒素・リンの除去による高度処理の重要性が高まりつつある。回分法では間欠曝気による窒素除去が可能であるが、通常、運転員が経験則に従って曝気パターンを選択しており、良好な処理水質を得るためには多大な労力と熟練した技術が必要である。

そこで本報では、運転員の負担を軽減しつつ高度で安定した窒素除去を達成するための曝気パターン選択支援システムの構築を目的として、Stenstromのモデル<sup>1)</sup>によるシミュレーションを行い、DO濃度の変動と処理水の窒素濃度との関係を中心に検討した。

2. 曝気パターン選択支援システムの枠組み

間欠曝気による窒素除去処理を安定かつ適正に行うためには、第一に曝気パターン選択の定量的な管理指標を定めること、第二に複数のパターンを合理的に順位付け

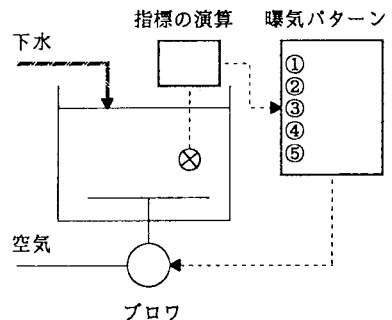


図1 曝気パターン選択支援システム

て運用することが必要である。

これに基づき、筆者らは図1のような曝気パターン支援システムを考案した。このシステムは、硝化処理と脱窒処理のバランスを示す管理指標をDO計などの標準的なセンサから算出し、この値に基づいて、記憶回路に設定された複数の曝気パターンを予め定められた順位に従って変更する。その結果、流入負荷が変動しても硝化処理と脱窒処理のバランスが適正に保たれ、高度で安定した窒素除去が行われる。

### 3. 曝気パターン選択のための管理指標

硝化処理と脱窒処理のバランスを示す実用的な管理指標を定めるために、実処理場で使われている30種類の曝気パターンについてシミュレーションを行い、DO濃度の変動と処理水T-N濃度(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N濃度とNO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N濃度の和)との関係を調べた。設定した運転条件を表1に示す。

図2は好気時間(DOが存在する時間帯の合計)と嫌気時間(DOが消失している時間帯の合計)の比と、処理水T-N濃度との関係を示している。図2によると、好気時間/嫌気時間比はT-N濃度と相関があり、この比が1近傍のとき最小値(7 mg/L)を示している。

このような好気時間/嫌気時間比の最適値が得られた理由は次のように考えられる。図3の(c)のように好気時間が不足すると、生成するNO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N量自体が少ないので除去率が低下する。一方、(a)のように好気時間が過剰でも、生成したNO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Nに対する脱窒量が不足し、窒素除去率は改善されない。すなわち、(b)のように好気時間中に生成したNO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Nが嫌気時間中でちょうど消失するとき、窒素除去率は最大となる。今回のシミュレーションではこのときの時間比として、1近傍の値が得られたと思われる。

以上より、曝気パターン選択の管理指標として好気時間/嫌気時間比が有効であると言える。

### 4. 曝気パターンの順位付け

曝気パターンを合理的に順位付けるためには、曝気パターンと処理特性との関係を把握する必要がある。まず、曝気・曝気停止の繰り返し回数

表1 運転条件

項目	設定値	備考
槽容量	338[m <sup>3</sup> ]	84.5[m <sup>2</sup> ]×4[m]
サイクル数	2[回/日]	
曝気工程時間	7.5[h]	
沈澱工程時間	3[h]	
放流工程時間	1.5[h]	
引き抜き比	0.5[-]	
K <sub>L</sub> a	7[1/h]	
MLSS濃度	1000[mg/L]	
流入流量	10[m <sup>3</sup> /h]	
流入NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N濃度	20[mg/L]	
流入BOD濃度	100[mg/L]	満水時の値 満水時の値 連続流入

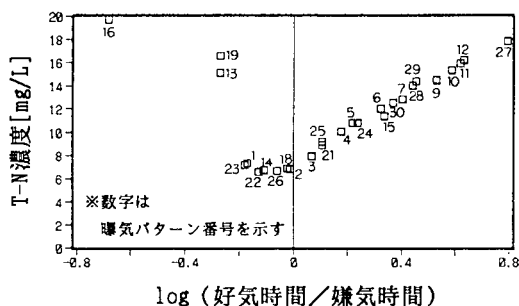


図2 好気時間/嫌気時間比と処理水質との関係

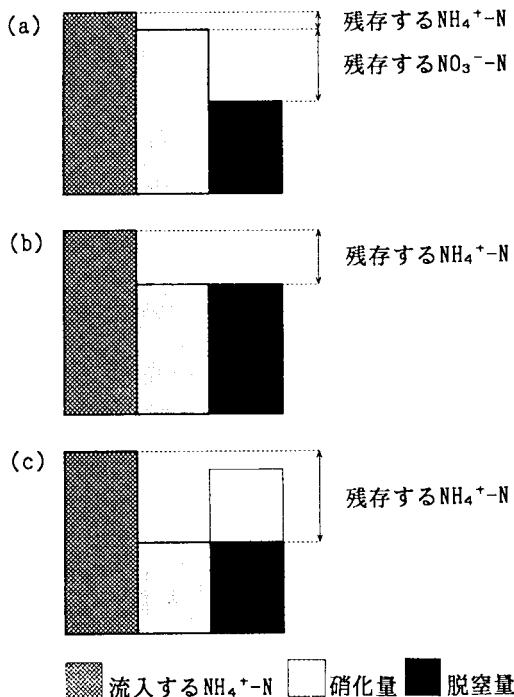


図3 流入量と硝化量、脱窒量との関係

違いが与える影響に注目し、全曝気時間を210分に固定して繰り返し回数を変えた曝気パターンのシミュレーションを行った。パターンを図4に示す。

図5に繰り返し回数と好気時間との関係を、図6に処理水 $\text{NO}_3^-$ -N濃度との関係を示す。図5によると、繰り返し回数の多いほど生成する好気時間の合計が長くなり、回数を2回から最大13回に増やすことによって好気時間は約10%増加している。これは、繰り返し回数が増えるに従い曝気停止後のDOの残存時間の和が多くなることに起因する。さらに繰り返し回数を増やすと、1回あたりの残存時間が少なくなり、好気時間の合計は頭打ちとなる傾向が見られる。処理水中の $\text{NO}_3^-$ -N濃度も図5と同様の傾向を示しており、わずかな好気時間の増加に対し $\text{NO}_3^-$ -N濃度が上昇しているが、3mg/L程度で頭打ちとなっている。

従って、生成する $\text{NO}_3^-$ -N濃度が飽和する程度に、すなわち、1回の曝気時間中にDO濃度が十分上昇する程度に繰り返し回数を多くとり、全曝気時間の長短によって曝気パターンの順位付けを行うのがよいと考えられる。

曝気パターンの構成要素としては、この他にも、各回の曝気時間の配分方法、すなわち曝気時間を漸増するのがよいのか・漸減するのがよいのか、といった点があげられ、今後の検討が必要である。

5. 計算機シミュレーションによる検証

提案法の効果を検証するために、図7のような負荷変動に対する窒素除去の安定度をシミュレーションした。好気時間/嫌気時間比の制御目標値は1とした。また、曝気パターンは表2の4種類とし、繰り返し回数を11回に固定して全曝気時間の長短によって順位付けた。同時に、曝気パターンを②に固定したときの窒素除去のシミュレーションも行い、比較検討した。

図8に好気時間/嫌気時間比を、図9に選択された曝気パターンを、図10に処理水T-N濃度の経時変化を示す。これらによると、パターンを固定した場合は負荷変動に追従して好気/嫌気時間比が変動して

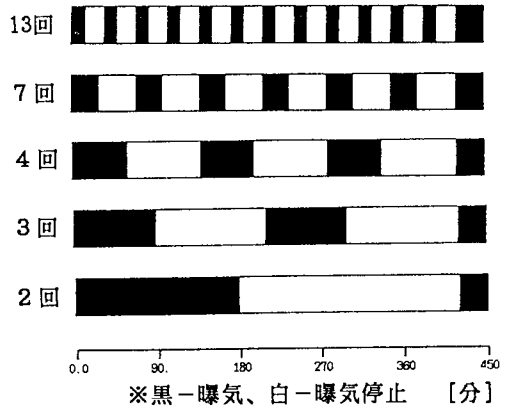


図4 繰り返し回数を変えた曝気パターン

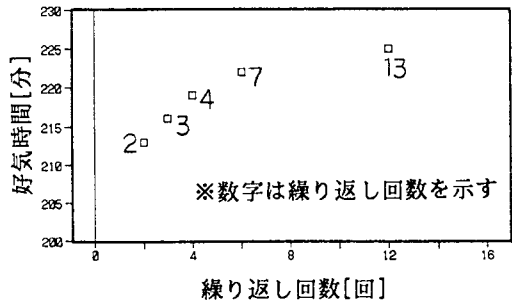


図5 繰り返し回数と好気時間との関係

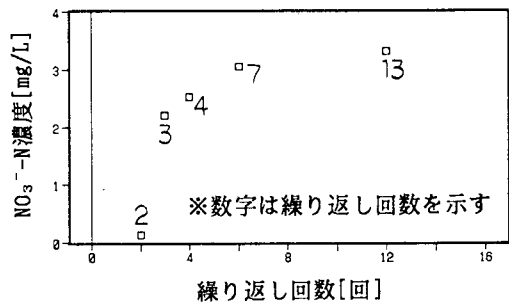


図6 繰り返し回数と $\text{NO}_3^-$ -N濃度との関係

表2 検証に用いた曝気パターン

	曝気			曝気停止		
	時間[分]	回数[-]	合計[分]	時間[分]	回数[-]	合計[分]
①	21.0	11	231	21.9	10	219
②	20.0	11	220	23.0	10	230
③	19.0	11	209	24.1	10	241
④	18.0	11	198	25.2	10	252

いる。特に負荷の低いときに好気時間が過剰になり、 $\text{NO}_3^-$ -Nが残留するために処理水T-N濃度が高くなっている。これに対し、提案法では、好気時間/嫌気時間比を1近傍に保つように曝気パターンが変更されて処理水T-N濃度が低いレベルで安定し、その結果、両者は最大で3 mg/L程度の濃度差を示している。

よって、この曝気パターン選択方法は窒素除去率の向上および安定化に対し有効であると言える。さらに大きな負荷変動に対する効果についても今後検証したい。

## 6. まとめ

本報では、運転員の負担を軽減しつつ高度で安定した窒素除去を達成するための曝気パターン選択支援システムの構築を目的として、Stenstromのモデルによるシミュレーションを行い、DO濃度の変動と処理水の窒素濃度との関係を中心に検討した。以下に得られた知見を示す。

- 実処理場で使われている30種類の曝気パターンについてシミュレーションを行い、DO濃度の変動と処理水T-N濃度との関係を調べた結果、間欠曝気工程中の好氣的時間帯と嫌氣的時間帯の時間比はT-N濃度と相関があり、この比が1近傍のとき最小値（7 mg/L）を示した。
- 曝気・曝気停止の繰り返し回数と処理特性との関係を検討した結果、好気時間は回数とともに増加し、その後飽和する傾向が見られ、また生成する $\text{NO}_3^-$ -N濃度にも同様の現象が見られた。
- 負荷変動に対し、好気時間/嫌気時間比の制御目標値を1として曝気パターン群を運用したシミュレーションでは、曝気パターンを固定した場合に比べ、処理水T-N濃度は低いレベルで安定し、最大で3 mg/L程度の改善効果を示した。よって、繰り返し回数の多い曝気パターンを全曝気時間の長短により順位付け、好気時間/嫌気時間比を選択のための管理指標としてこれらを運用する提案法は、窒素除去率の向上および安定化に対し有効であると言える。

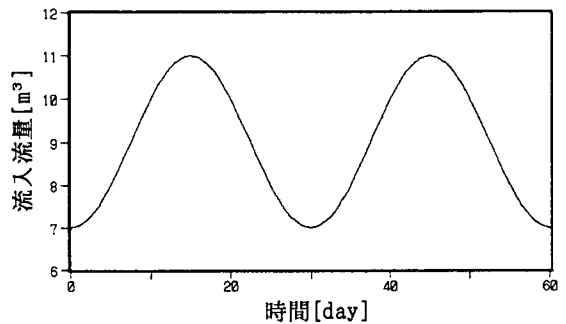


図7 流入流量の変動パターン

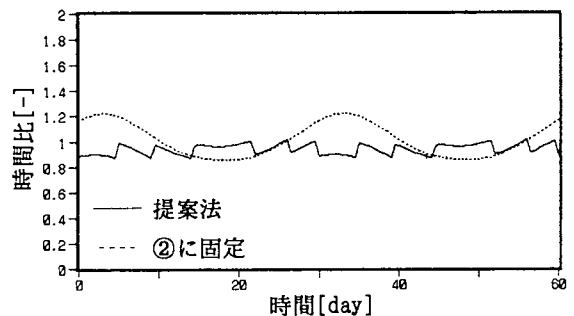


図8 好気時間/嫌気時間比の変化

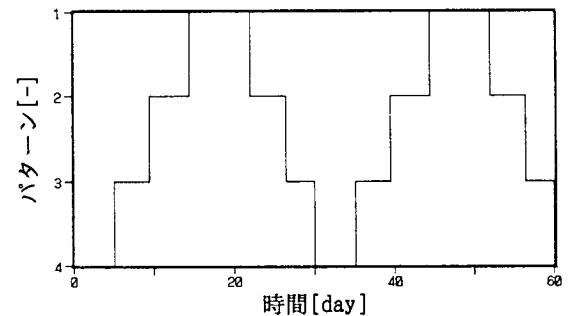


図9 曝気パターンの変化

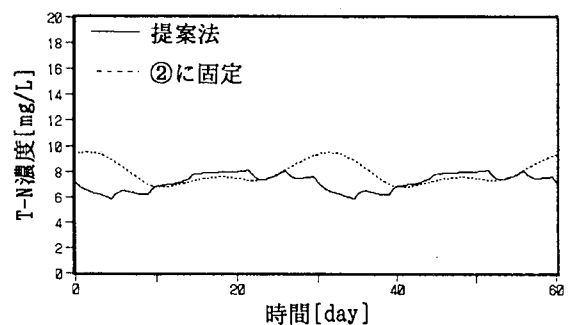


図10 処理水質の経時変化

[参考文献] 1)下水道研究発表会講演集,29,49(1992) 2)下水の高度処理技術,理工図書(1993)